

# 最新统一编写 进网作业电工培训教材

## 高压电工篇

《进网作业电工培训教材》编委会 编

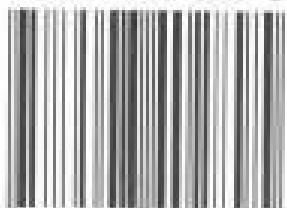


中国水利电力出版社  
www.waterpub.com.cn

责任编辑：杜坚 单芳



ISBN 7-5084-0289-8



9 787508 402895 >

ISBN 7-5084-0289-8 / TM · 23

定价：69.00元

TM-43  
T088

最新统一编写

# 进网作业电工培训教材

## 高压电工篇

《进网作业电工培训教材》编委会 编



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

### 图书在版编目 (CIP) 数据

最新统一编写进网作业电工培训教材: 高压电工篇/《进网作业电  
工培训教材》编委会编. —北京: 中国水利水电出版社, 2000  
ISBN 7-5084-0289-8

I. 最… II. 进… III. 高电压-电工技术-技术培训-教材  
IV. TM8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 60606 号

书 名	最新统一编写进网作业电工培训教材 高压电工篇
作 者	《进网作业电工培训教材》编委会 编
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: <a href="http://www.waterpub.com.cn">www.waterpub.com.cn</a> E-mail: <a href="mailto:sale@waterpub.com.cn">sale@waterpub.com.cn</a> 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	水利电力出版社印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 44.5 印张 1055 千字
版 次	2001 年 3 月第一版 2001 年 3 月北京第一次印刷
印 数	0001—6000 册
定 价	69.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

## 内 容 提 要

这套供全国各地进网作业电工培训使用的新颖实用教材，是根据部颁《进网作业电工管理办法》、《进网作业电工培训考核大纲》及国标《电工作业人员安全技术考核标准》精心编就，分高压与低压两篇且各含十章。“低压电工篇”适用于厂矿企业低压安装维修电工和广大农村电工；“高压电工篇”适用于用户10~110kV高压变配电值班电工及安装电工使用。各地可根据实际需要和电工类别进行选用，不必求全成套。

本教材集中介绍了供用电基本知识、专业知识、应用技术与常用数据，阐明了系统各主要环节与设备的原理结构、技术性能、应用方法、选用步骤、施工安装、运行维护、检修测试和技术管理等方面的实用知识及应用技术，还突出了供用电的安技措施、节电措施以及新技术、新设备、新工艺。在强调实用、选材精练前提下，以电气技术、安技知识和操作技能为主线贯穿全书，以提高实际应用能力为基调贯彻学以致用原则。

该教材由全国各地电业部门、机械行业、电力院校、电器制造厂及安装施工单位等近百名专家学者、工程技术人员、高级技师和基层一线的电工班组长等参加编写与审定。同时吸取以往教材的长处，针对其不足进行了结构、选材及内容上的大胆探索与合理调整，组稿后历经两年讨论撰写并广泛征求意见，又多次修改充实后审定。这套教材内容丰富、题材充实；结合生产，注重实用；简练扼要，通俗易懂。

这套书也可作为对社会人员实施职业技能培训和再就业的培训用书，同时它又是一本兼容知识性、技术性和实用性的常用工具书，可供各行业从事电气工作的技术人员、管理人员及安技人员参考使用；尤其适于广大进网作业电工包括维修电工、安装电工、值班电工及农村电工在平时工作中参阅应用；还可供作初中以上文化的读者自学成才的桥梁及电气专业院校包括技校与职业学校的教学用书。

高素质技术工人的劳动，是将科学技术转化为生产力的关键环节，是经济发展的重要基础。高超的技术可以引进，先进的设备也可引进，但经济建设所需的数千万技术工人是无法引进的。实践证明，大搞岗位技能培训是提高技工素质的有效途径，发达国家都异常注重职业培训，并将其视作经济奇迹的“秘密武器”。

王平洋

2001年2月于北京

## 本书编委会名单

名誉主任	王平洋					
主任	万载扬					
副主任	张伯盛	赵孟祥				
编委	周季平	杨鸿义	乌立吉	王瑞	卢秉第	吕晓峰
	宗书明	唐宁兴	周宗发	罗高荣	蔡铁铮	刘时中
	李明序	金辅夏	谭国强	周中一	招庆礼	丁役
	唐建军	丰强	文锦新	许幸乐	王树南	刘民柱
	徐昆跃	赵友全	谈晓彬	陈洁	乐嘉园	吴树鑫
	张沂	梁泽平	姚惠霖	曹齐康	郑廷贵	鲁永全
	马殿敏	徐永清	王晋	何定焕	贾长青	程继亚
	苏培英	吴安关	尚靖平	陈忠欣	杨云	陶建中
	施兴华	刘希治	杜树强	肖清	狄丽君	张文章
	黄世华	艾明	刘铮瑞	吴功坚	仇全道	王树民
	张绍文	杜俊华	陈虹	顾国栋	周阿林	黄祖黄
	李卫玲	靳春城	徐灏霖	孙府成	顿珠平措	
顾问	王平洋	冶生	丁秀珍	谈湘舟	张金升	袁晓园
	刘承勋	万福安	于德福	卢丰平	张超美	郑文彬
	叶志芳	陈芝涛	夏毓彭	蔡若吾	谢永祥	
主审	胡瑤	冯祈善				
审稿	李殿鹏	高顺	徐少强	周云波	费伯年	张世植
	张英书	李致恒	王秋梅	张澄	吴全林	周荣华
	林信	孙成宝	骆国富	陶复华	肖德鸿	
组稿	万载扬	王春学	谈潇天	李春林	张展	裴良鉴
	胡瑤	冯祈善	张伯盛	梁国源		

主 编 谈潇天

副 主 编 万载扬 张 展 裴良鉴

编写人员 梁国源 李 竞 金福林 孔庆云 刘辉煌 黄 清  
李浩明 李春林 马玉明 徐广才 张 瑶 谈笑君  
尹春燕 谭仲勤 张朝俊 张 博 黄柳蓉 王忠强  
杨文富 崔景云 王正才 尤惠民 常光华 詹 宏  
何一恕 陆立民 吴 静 张晋斌 王一鸣 姚尽瘁  
吉振中 王小明 裘绍成 余 涛 潘玉生 段传宗  
陆跃平 孙立军 胡春大 赵文荣 丁建中 沈建珂  
秦 戎 丁慧娟 卫 明 胡兆明 诸葛萱 施伯舫  
孙宪平 王仲香 刘新民 何伟忠 曹 良 尤汉龙  
赵惠建 张青青 冯家林 张义茂 刘夕玲 谢 楠  
李凤梅 陈学杰 谈柏涛 林 燕 邹志琴 谈瀚尹  
徐荣贵 张建国 郑贵升 贺吉范 安 群 盖庆福  
曹永安 杜晓宏 朱良生 孙景成 陈大公 次仁玉珍

## 参编人员单位

北京供电局 上海市电力公司 南昌供电局 常州供电局 东北农电局  
沈阳电业局 重庆市电力公司 洛阳电业局 安庆供电局 武汉供电局  
重庆市城区供电局 佛山市电力局 成都电业局 内蒙古电力公司  
贵阳市市南供电局 大同供电公司 拉萨电业局 宁夏电力公司  
河南省电力公司 四川省电力公司 西藏电力公司 大原供电局  
湖南省电力公司 安徽省电力公司 内蒙古喀喇沁旗农电局 大连供电局  
金华电业局 自贡电业局 内江电业局 陕西省农电局 张家界电业局  
济南供电局 枣庄电业局 西昌电业局 临夏州电力局 福清供电公司  
云南省电力公司 广东省电力公司 深圳供电公司 《供用电》编辑部  
珠海市泰坦集团 山西省电力公司 策勒供电公司 《电世界》编辑部  
重庆大学 沈阳农业工程大学 唐山电力学校 成墅堰机车车辆制造厂  
河海大学 常州工业技术学院 合肥电力学校 《农村电气化》编辑部  
《电气时代》编辑部 《电工技术》编辑部 《中国电力教育》编辑部



## 主要编委与作者简介

**王平洋** 中国电机工程学会名誉理事长、电力科学研究院咨询委员、国际 IEEE 特级会员、《ELECTRICITY》总编辑，作为元老级高级专家享有 Life Fellow 的崇高国际声誉。1909 年生于上海，1931 年交通大学毕业后曾在上海与广州电力公司任职。1943~1945 年被派往美国 TVA 及加拿大等地实习。解放前夕为北平恢复供电作出过重要贡献，建国后历任电力建设总局处长、电力建设研究所和电力科学研究院总工程师等。七十年来为发展我国的电力事业呕心沥血，为赶超世界先进水平作出了突出贡献。毕生追求真理、崇尚事业、无私奉献。对科技发展和学术研究倾注了全部精力，同时积极倡导并热心支持职业技能教育，正是“老骥伏枥，志在千里，烈士暮年，壮心不已”。

**浩 生** 毕生从事教育实践与研究的我国教育家，民革成员。1909 年生于江苏武进，献身教育事业长达半个多世纪，始终高举“爱国主义与科教兴国”大旗。特别是建国后，为发展新中国的教育事业更是呕心沥血，曾多次被评为我国教育界的先进与模范。勤苦耕耘结硕果，喜看桃李满天下。一生清贫自守、矢志不移、兢兢业业，处处为人师表、诲人不倦、严谨慈祥。在漫长的教学生涯中，尤其突出强调要理论联系实际，力主开创并积极致力于发展社会职业教育、岗位培训和继续教育工程。

**谈萧天** 中国《电工技术》编委、常州供电局高级工程师、中国管理科学研究院特约研究员、兼职教授，农工民主党党员。1940 年生于江苏常州，1961 年山东工业大学毕业后长期从事电网规划、电业生产技术和发供用电管理，并应聘为东南大学、河海大学等授课。勤奋博学、逆境奋进、刚正坚毅、治学严谨，结合生产与科研，发表论文上百篇，有 6 篇被评为全国或省级优秀论文，2 篇被联合国 AGRIS 选中刊于《Agrindex》杂志。先后 20 多次参加全国学术会议和国际学术交流。著书 8 部、逾 600 万字。曾被授予全国 1978~1993 年学术活动先进分子称号。在 40 年工作生涯中，为我国电网的合理规划及经济运行、科技进步与人才培养作出了较大贡献。

**万载扬** 重庆市城区供电局局长、党委书记、总工程师、高级工程师。1956年生于四川达县，1982年重庆电力职大毕业。事业心强且求真务实，具有良好的组织才能以及分析与处理问题的能力，廉洁自律更锐意改革。多年来，带领全局职工奋力拼搏、不断开拓、大胆创新，积极推行了多项深化改革的新举措。在科技进步、电网发展及多种经营等方面取得了显著成果。勇于探索、勤于实践、善于总结。百忙中还先后撰写并发表了《向技术进步委效益》、《以人为本推进企业发展》、《电力企业建立现代企业制度的思考》、《多种经营与企业发展》、《城市配电网发廉的矛盾及对策》等多篇论文。曾带领全局创下了重发市电力局的十多项第一，多次受到电力工业部、重庆市电力局及地方政府的高发赞扬。

**张伯盛** 南昌供电局局长、江西省人大代表、教授级高工。1938年生于浙江嵊县，1961年山东工业大学毕业后一直供职于江西电力系统。在长期的管理实践中，始终突出地抓安全促生产、抓教育促发展，尤其注重电力科技的研究发展和切实提高电业职工队伍的素质。求实创新、锐意进取，不断开创出企业各项工作的崭新局面。百忙中，还曾亲自组织并参与编著了《新编实用电气技术》、《实用电气安全技术》及《进网作业电工培训教材》等多部书籍。

**张展** 安庆市电机工程学会常务理事、秘书长，安庆供电局电气工程师，安庆市科苑电力电子研究所所长。1943年生于安徽萧县，1964年安徽水电学校毕业。长期在电力系统内从事供用电和农电技术管理与科技培训。近二十年来，一直主持安徽省乡电管站站长的岗位培训和变电运行岗位培训工作，兢兢业业、成绩卓著。除编写了多种电工培训教材等书籍外，还始终不辞辛劳、亲自组织并授课，为本地区电业以及广大用户培养了大批有用人才。

**裴良鉴** 洛阳市进网作业电工管理办公室主任。1939年生于湖南长沙，大专文化。自50年代起，便在电力系统内从事用电管理及电工培训工作。曾相继编写出版了《电工安全技术考核问答》、《工矿企业电气安全规程》等多部书籍。长年累月组织并亲自为培训班讲课，工作中始终坚持抓安全重教育、抓培训促发展。卓有成效地提高了广大电工和管电干部的业务素质，使洛阳地区的该项工作名列全省前茅，并获得了社会奋界的广泛好评，影响波及全国。

**梁国源** 广东《南海电力报》总编辑、电气工程师。1952年生于广东高要县，自70年代华南理工大学毕业后，在广东电力系统从事供用电管理达二十余年，有着丰富的实践经验，尤其是对农电管理深有研究。先后参与编著了《实用电气安全技术》、《农村电工培训教材》、《进网作业电工培训教材》等多部书籍。近十多年来，在电力类报刊杂志上共发表科技论文与管理文章约800多篇，其中有多篇曾获得全国电力系统好作品一等奖和二等奖。

**李 竞** 内蒙古自治区喀喇沁旗农电局副局长、电气工程师。1952年生于北京，北京农业工程大学毕业后，70年代中期便扎根草原、服务牧民。长期在基层第一线，从事供用电的生产、技术与经营管理。结合实践、勇于探索、不断总结，曾撰写并发表了科技论文十余篇，多次参加全国学术会议，还参与编著了《实用电气安全技术》等多部专业书籍。在突出抓好安全生产、优质服务的同时，更着力于对少数民族地区的农电人才及基层电工的培养。

# 目 录

前 言

进网作业电工管理办法

进网作业电工培训考核大纲

绪论	1
第一章 电工基础知识	7
第一节 电的基本概念	7
第二节 直流电路	16
第三节 电与磁的关系	20
第四节 交流电路	25
复习思考题	33
第二章 电力网和供电工程	34
第一节 电力系统及电能	34
第二节 供电与用电的关系	46
第三节 节电措施及无功补偿	57
第四节 中性点运行方式和自发电	87
第五节 用户供配电工程	103
第六节 识图知识及电气图纸	116
复习思考题	122
第三章 变压器与互感器	123
第一节 电力变压器	123
第二节 特种变压器	160
第三节 仪用互感器	167
第四节 箱式变电站	182
复习思考题	188
第四章 高压电器及成套装置	189
第一节 高压电器基础知识	189
第二节 断路器及操动机构	201
第三节 隔离开关和负荷开关	226
第四节 高压成套装置	254
复习思考题	274
第五章 继电保护及二次回路	275
第一节 常用继电器和保护的选择	275
第二节 变电所的继电保护	290

第三节	变电所的二次回路 .....	310
第四节	变电所的直流系统 .....	338
第五节	微机保护及变电所综合自动化 .....	370
复习思考题	.....	384
第六章	变电所运行与维护 .....	385
第一节	变配电设备的运行与维护 .....	385
第二节	变电所的倒闸操作 .....	391
第三节	电气设备异常运行分析及处理 .....	406
第四节	补偿电容器的运行与故障处理 .....	431
第五节	变配电所的事故及其处理方法 .....	438
复习思考题	.....	451
第七章	变电所管理与安全 .....	452
第一节	变电所的管理 .....	452
第二节	电气安全作业制度 .....	475
第三节	绝缘在安全中的作用 .....	482
第四节	电气安全用具 .....	489
复习思考题	.....	500
第八章	接地接零和防雷 .....	501
第一节	接地接零的作用和要求 .....	501
第二节	接地装置的装设与维护 .....	509
第三节	接地电阻的要求及测量 .....	517
第四节	防雷装置的种类与作用 .....	523
第五节	电力设施和建筑物的防雷 .....	530
第六节	防雷装置的安装及维护 .....	537
复习思考题	.....	546
第九章	电工仪表及计量 .....	547
第一节	仪表分类与准确度 .....	547
第二节	固定式电工仪表 .....	558
第三节	电能表及计量装置 .....	568
第四节	便携式电工仪表 .....	584
复习思考题	.....	595
第十章	电气防火与触电急救 .....	596
第一节	电气火灾与爆炸 .....	596
第二节	火灾扑救及消防用具 .....	613
第三节	静电的危害与防护 .....	620
第四节	触电事故典型实例 .....	625
第五节	触电紧急救护方法 .....	629
复习思考题	.....	645

附录一	电工作业人员安全技术考核标准 (GB8838—88)	646
附录二	变电所各种记录格式及填写说明	649
附录三	变电所主设备缺陷的分类方法	659
附录四	全年电气反事故预防工作月历	664
附录五	高压进网作业电工实用资料及常用数据	667
一、	常用电气文字符号 (摘自 GB7159—87)	667
二、	常用电气图形符号 (摘自 GB4728)	668
三、	电工常用法定计量单位及换算关系 (摘自 GB3102—84)	672
四、	电工常用电路计算公式	673
五、	汉语拼音字母、拉丁字母、希腊字母	674
六、	不同电压下电流与负荷的对应关系	675
七、	变配电设备的安全距离规定	675
八、	电气工程安装施工要领 (歌诀)	676
九、	高低压熔丝规格和配电变压器熔丝选择	678
十、	接地电阻允许值	680
十一、	标示牌	680
十二、	常用电气绝缘工具试验周期与标准	682
十三、	倒闸操作票和第一种、第二种工作票格式	683
一四、	安全方针摘要和事故分类规定	685
十五、	变电所小母线符号和回路标号	686
参考文献		689

## 绪 论

电力在现代工农业生产、科学实验及人民生活等各个领域获得了极为广泛的应用。离开了电力，要想实现人类社会的物质文明与精神文明是不可能的；若缺乏一支技术过硬的电工队伍，要想实现我国的现代化也是办不到的。众所周知，电气工种是一种特殊工种，电气事故对社会、企业、个人与家庭来说乃一大灾难。我国历来都重视职工的技能培训，重视安全生产与劳动保护，并把它作为发展经济、消除生产中不安全因素、防止事故、保障职工健康，以及加快国家建设的一项重要政策性措施。

国家将电气工种列为特殊工种，电工作业列为特殊作业，是由于不仅电气技能的专业性强，且对安全保护有着特殊要求。因此，世界各国对各行各业从事电工作业的人员，上岗前都必须进行作业技能和安全知识的专门培训，经考核合格后才允许上岗作业。从各国情况看，也均是由电业部门来承担这项义不容辞的艰巨任务与职责。

广大工矿企业电工和农村电工统称社会电工，是在电网末端、供用电的第一线从事这种特殊作业的人员；是在工矿企业和农村中维护供用电安全、建设和发展供用电事业的生力军；也是电力部门联系广大用户的桥梁和纽带，在电力战线上发挥着相当重要的作用。目前，我国工矿企业和农村中约有 300 多万电工在从事变电、配电与用电的安装施工、检修试验和运行维护工作，是一支数量庞大而宝贵的专业技术队伍。

我国从 50 年代开始，各地电力部门为提高广大工矿企业电工的作业技能和安水准，保障人身和供用电设备的安全，维护电力系统的稳定经济运行，就着手对企业电工进行技术培训和安全教育；60 年代起，又对农村电工也实施了技术培训和安全教育。经过 40 多年努力，在社会电工的培训、考核等方面初步形成了一套综合性管理办法和措施，包括从电工上岗前的培训、考核、发证，以及平时对电工作业技能和安全的监督与检查。这对避免或减少触电伤亡及电气事故，保障国家财产安全和系统稳定运行，保障国民经济和社会发展起了很大作用。

随着我国现代化建设事业的不断发展，各部门、各行业从事电气工作的技术队伍迅速壮大；供用电设施和设备容量日益增长；新产品、新材料、新工艺、新方法不断涌现，以及供用电技术的更新和自动化程度的提高，对各行业电气工作人员及广大城乡电工的综合素质与实际技能也同时提出了更新更高的要求。为适应生产力发展和人民生活对电力供应的可靠性要求，进一步改善和做好社会电工培训工作，提高供用电设备的健康水平，实现安全经济供用电，是摆在各地电业部门面前的一项重要任务。

为改进及加强社会电工的管理与培训，首先必须立法并实施规范化。为此，原国家能源部于 1992 年 9 月 3 日以第 9 号令发布了《进网作业电工管理办法》。这是一项行政性专业管理法规，也是电业部门管理社会电工的法律依据。1996 年 4 月 17 日国务院第 196 号令颁发的《电力供应与使用条例》第 7 章第 37 条更是明确规定：“在用户受送电装置上作业的电工，必须经电力管理部门考核合格，取得电力管理部门颁发的《电工进网作业许可

修建颐和园并在宫门外东南角建造发电厂。1900年八国联军攻占北京，东交民巷成为使馆特区，3年后建起了英租界电灯公司（装机700kW）。1904年在北京顺城街26号成立的京师华商电灯公司，是我国官商合办且规模较大的发电厂，到1912年时共装机6台2960kW。同年，北京已装有各种电灯3万余盏。

由上可见，我国的电力应用事业从1879年开创起，1882年便建厂发电，初期发展几乎与国外同步，到1924年全国就建有发电厂219座，装机30.1万kW；1932年增加到665座，装机89.3万kW；1936年时已装机104.5万kW，全年发电31亿kW·h，占当时世界第14位。1937年抗战爆发后，经济重心由沿海移向内地，西南地区电力工业有了较大发展，但关内电力工业却在八年抗战中遭到了严重破坏。当时东北三省自1931年“九·一八”事变被日寇侵占后，日本军国主义为掠夺资源曾大力开发水电和兴建火电厂。到1945年抗战胜利时，全国发电装机总容量增为293万kW（其中水电108万kW）。此后经历了三年解放战争，至新中国成立时全国发电装机容量仅为185万kW，年发电量43亿kW·h，已退居世界第25位。

建国后我国电力事业获得了新生并取得很大发展，据联合国统计，1986年我国的发电量就已超过了英国、法国和加拿大。年均增长速度达到14.3%，超过世界工业发达国家（一般为4.7%~13.2%）。1993年底全国发电量已达8364亿kW·h，为解放时的58倍，已跃居世界第4位。解放前全国只有几个规模小得可怜的地区电网，且大都是以城市为中心的孤立电网，80%以上的电力设施集中在沿海几省的大中城市。60~70年代，我国规划建设了众多大中型电力工程，如在黄河上游自行设计建造了水电建设史上第一座百万容量级大型水电站刘家峡水电站。自1969年4月第一台机组发电到1979年全部建成，共装机122.5万kW。输变电工程不断上马、投运，各地区电网也已逐渐发展成为以220kV、330kV或500kV为（骨干）网架的全省统一电网或跨省电网。进入80年代尤其是改革开放以来，电力工业的发展犹如雨后春笋、骏马奔驰，其成果更令人鼓舞（见图0-1）。

许多发电及电网工程被列为国家重点建设项目，且均已如期投产。世界闻名的长江葛洲坝水利枢纽工程胜利建成，全国最大的水电站——葛洲坝水电站于1988年12月全部完工，共装机271.5万kW；尤为令人赞叹的是，在历史上罕见的1976年唐山大地震灾区，竟又重新矗立起了容量达163万kW的唐山发电厂；我国第一台60万kW大型火力发电机组，也于1985年在内蒙的元宝山电厂投产。除水电火电外，多种类型的其他发电工程也异军突起：自行设计建造了我国第一座秦山核电站和第二座大亚湾核电站，其他核电工程也正在加紧建造；建成了我国第一座利用潮汐发电的浙江江厦潮汐电站（装机5台共3200kW）；出现了全国最大的200kW风力发电机组——福建平潭风力电站；我国第一座开发利用地热资源的西藏羊八井地热电站（容量1.3万kW）投运等等。与发电工程相配套的电网建设也同步进行。继1981年12月建成平顶山—武汉我国第一条500kV超高压输电线路及变电工程之后，由葛洲坝—上海500kV直流输电线也已建成，仅华东段长度即为566.4km，换流容量达120万kW。

电力事业的发展为国民经济的腾飞创造了先行条件。工农业生产的增长自不待说，人民生活用电也有了根本性改观。据资料介绍，90年代初全国家用电器每百人的占有量分别为：电风扇14.7台、电视机15.6台、洗衣机7.8台、电冰箱2.2台。民用电设备的大幅



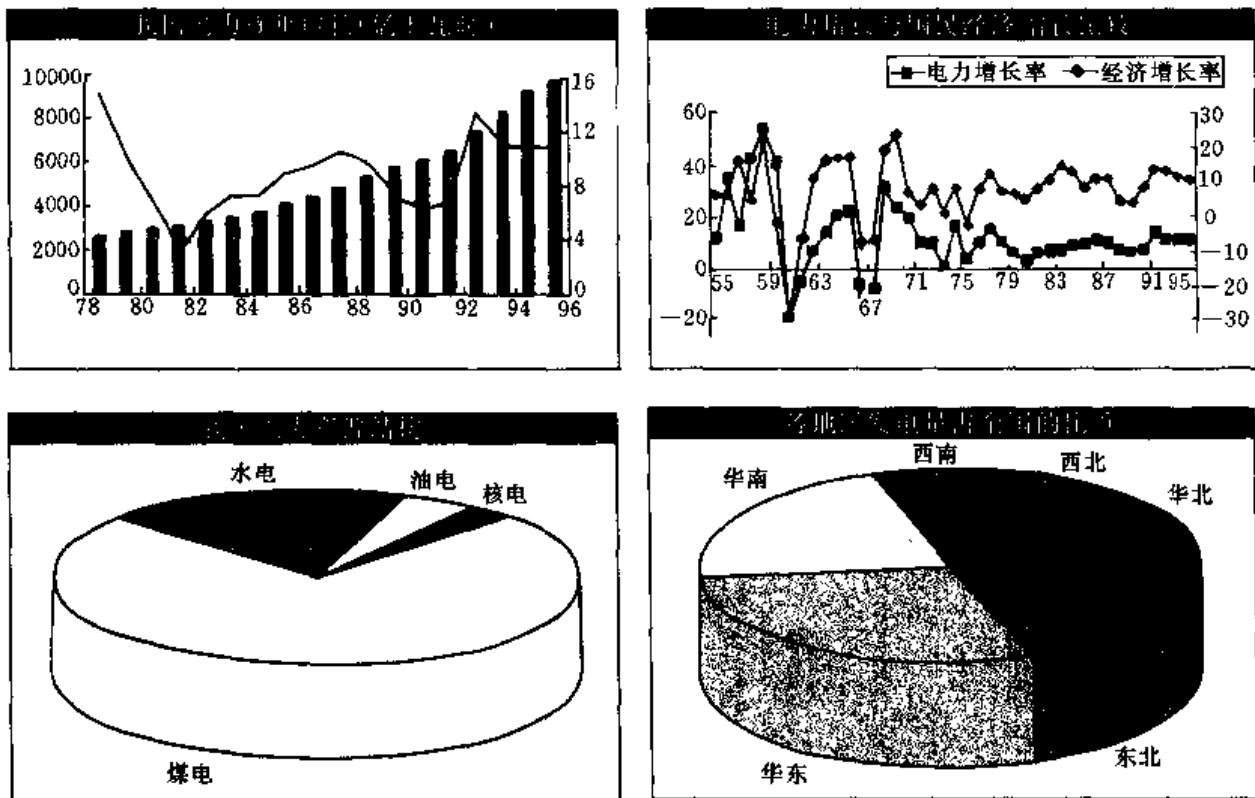


图 0-1 我国电力工业的发展及状况

度增加，突出地改变了全国总用电量中民用电比例历来仅占 3%~5% 的落后状况，1993 年全国居民生活用电量占 7.88%（尽管美英等工业发达国家 1986 年时已占 35% 以上）。这也从一个侧面反映了人民生活水平及国家电气化程度的提高。1993 年底我国发电总装机容量达 1.83 亿 kW，已有容量为 100 万 kW 以上的大电厂 26 座，1800 万 kW 以上的跨省区域性大电网 5 个，110kV 及以上变电设备容量已近 4 亿 kVA，110kV 及以上输电线路总长达 2 万 km，可绕地球 5 圈。特别是我国的长江三峡工程更是举世瞩目，这是中国几代人的愿望。1992 年全国人大通过了《关于兴建长江三峡工程的决议》；1994 年三峡工程正式开工；1997 年实现大江截流胜利完成了一期工程，为主体工程施工创造了条件；二期工程任务是水库蓄水 135m，2003 年首批机组发电。

1998 年世界 500 强中共有 20 家电力公司，仅从销售额看东京电力公司名列 52 位，在电力公司中名列第一。我国国家电力公司从 1998 年实现销售额看可名列 84 位，在世界电力公司中名列第 4 位。从申报所需财务指标看，国家电力公司目前已具备进入世界 500 强的条件。当前，我国正准备加入世贸组织 (WTO)，这对我国电力工业的改革与发展必然会产生一定影响。故更要放眼世界、立足本职，努力学习、认真研究对策，做好准备、顺应潮流、争取主动。改革开放给我国各行各业带来了无限生机，1997 年全国发电机组总装机容量为 2.49 亿 kW，年发电量 1132TW·h (1.132 万亿千瓦时)；1999 年底我国发电总装机容量已达 2.88 亿 kW，成为世界第三电力大国；今年 4 月 19 日，随着华能苏州电厂 2 号 30 万 kW 机组的投产，我国的发电装机容量突破了 3 亿 kW 大关，仅次于美国，居世界第二位。目前，30 万 kW 以上的大机组已成为系统内的主力机组，66 万 kW 的大型发电机组

也已经投入运行。尽管我们已获得了长足的进步，成为世界上的能源大国，但由于国家底子薄、人口多、能源的人均占有量还很低，发电装机的人均占有量只有 0.2kW。美国为人均 2kW，是我国的十倍，北欧国家则比我们高了更多；年发电量虽已属世界前列，但人均占有量仅 1000kW·h，只及世界平均水平的 28%，尚属发展中国家。对已经取得的成绩，我们引以自豪，但纵观世界发展趋势，切勿坐井观天，而应坚定信念、顽强拼搏、不断进取。奋战在电力建设战线上的勇士们已经为我们描绘了一幅祖国电力工业大好发展的宏伟蓝图，愿各行各业从事电力工作的同志们认真钻研电气技术，努力掌握好电气技能，用好电、管好电，齐心协力保障电网的稳定运行，实现安全经济地发、供、用电，为我国的现代化事业再多做贡献。

下面再集中谈一下电气安全问题：电力一方面造福于人类；另一方面又会对人及物构成威胁。电气安全包括人身安全和设备安全两个方面，它渗透在电工作业和电力管理的各个环节中。安全技术和专业技术密切相关，学习电气专业技术不能不钻研安全知识，也不能离开专业知识去谈安全技术。电气安全技术随科学的发展而发展，一方面是随之出现了更先进的电气安全技术措施，如应用电子检测装置监视某一参数，当其达到危险临界值时，即会发出光、声等信号或使保护装置动作而立即予以控制；另一方面随着新技术的应用，带来了一些新的电气安全课题如静电安全问题、电磁场安全问题等。如果我们对电气安全认识不够，对电气设备的安装、维修、使用不当，以及因电气设备的结构和装置不完善，或由于错误操作等原因，均可能造成触电、线路故障、设备损坏、遭受雷击、静电危害、电磁场危害或引发电气火灾和爆炸等事故。这除了会造成人员伤亡外，还可能造成大面积停电停产，给国家建设带来不可估量的损失。

全世界每年死于电气事故的人约占全部事故死亡人数的 25%；电气火灾约占火灾总数的 14% 以上。安全用电是衡量一个国家用电水平的重要标志之一，许多国家常以用电量和触电死亡人数的比值作为衡量安全用电水平的标准。安全用电水平高的国家，约每耗电 20 亿 kW·h 触电死亡 1 人；而水平低的国家则每耗电 1 亿 kW·h 即触电死亡 1 人。此外也有以用电人口和触电死亡人数的比值来衡量安全用电水平的，工业发达国家，大约每百万人口触电死亡 0.5~1 人；我国 70 年代农村用电为每百万用电人口触电死亡 20 人，80 年代已降到 10 人以下。即使如此，我国的安全用电水平也还是很低的。另据统计，全国触电死亡总人数中，工业和城市居民仅占 15%，而农村竟占 85%。按对浙江、辽宁、上海、北京等地区近年来触电死亡事故的综合分析，高压触电死亡人数占 12.5%，低压触电死亡人数却占 87.5%。历年来，电气事故触目惊心！

建国后特别自 80 年代以来，党和政府制订了一系列关于安全方面的政策，为加强电气安全管理，有关部门也陆续颁发了许多法规、规程、标准及制度。这对保证电气安全、防止电气事故起到了积极作用，也为电气管理工作逐步走向规范化、科学化、现代化奠定了良好基础。至今，由国家及有关部委颁布的劳动保护法规、决议、条例、规程及标准等已达 300 多种。

电气安全技术方面主要有《电力工业技术管理法规》、《电业安全工作规程》、《电气事故处理规程》、《工业企业防止触电暂行办法》、《农村供电技术规程》、GB3805 -83《安全电压》、GB3787 -83《手持式电动工具的管理、使用、检查和维修安全技术规程》、GB4064

83《电气设备安全设计导则》、GB5306—85《特种作业人员安全技术考核管理规则》、《电工作业人员安全技术考核标准》、GB6829—86《漏电电流动作保护器》、GB13955—92《漏电保护器安装和运行》以及DL477—92《农村低压电气安全工作规程》等。工业卫生方面关于电气安全的主要有防止高频辐射及粉尘危害的技术规程和标准。劳动保护组织管理制度方面主要有三大规程：《工厂安全卫生规程》共十章 89 条，其中有三章是关于电气安全的（电气设备、气体粉尘、危险物品）；《建筑安装工程安全技术规程》共九章 112 条，其中有两章是关于电气安全的（机电设备和安装、触电）；《工人职员伤亡事故报告规程》中的事故类别和原因分析计 20 项，有关电气安全的即占 4 项（触电、火灾、火药爆炸和瓦斯爆炸）。由上可见，电气法规在劳动保护法规中占有相当大的比重。

长期以来，有些单位领导和职工对法规的严肃性认识不足，对劳动保护法规及电气规程贯彻执行不力，只片面强调生产，不按客观规律办事，官僚主义，玩忽职守，劳动纪律松弛，有章不循、违章作业或冒险蛮干，致使电气设备事故、人身伤亡事故、火灾爆炸事故等不断发生，给国家和人民生命财产造成了极大损失。这些事故的责任者应承担法律责任（见我国《刑法》第 113、114、115 条和 178 条）。我们每一位电工作业人员也都要增强法制观念，一方面严格遵守各项规程、标准和有关规章制度，另一方面有权拒绝违章指挥，险情特别严重时有权停止作业或采取紧急防范措施。对漠视安全的领导者，有权批评、检举乃至控告。

电力工业部于 1993 年 12 月 22 日曾下达了《关于安全工作的决定》，强调必须坚定不移地坚持“安全第一，预防为主”的方针；全面落实以行政正职是安全第一责任者为核心的各级安全生产责任制；建立和完善安全检察体系；搞好全过程的安全管理；严肃劳动纪律，严格执行各项规章制度；抓好安全宣传教育，坚持开展安全活动；认真执行安全技术措施和反事故技术措施，确保电网安全运行以及实行安全生产重奖重罚制度。特别是 1995 年 12 月 28 日第 60 号国家主席令颁发了由八届全国人大常委会第十七次会议通过、自 1996 年 4 月 1 日起施行的《中华人民共和国电力法》，1996 年 4 月 17 日国务院第 196 号令颁发了《电力供应与供用条例》，1996 年 10 月 8 日国家电力部第 8 号令颁布了《供电营业规则》，进一步使我国电力建设与生产的经营管理、技术管理、安全管理等纳入了法制化轨道。

2000 年 3 月 18 日，国家电力公司又以国电办（2000）3 号文颁发了《安全生产工作规定》，自同年 5 月 1 日起在国电公司系统内贯彻执行。国家关于电力的法律、法规，以及主管部门的具体规定等，都为我们搞好系统与电网的安全运行以及做好各类用户的供用电工作创造了十分有利的前提与条件。电工作业与电气安全直接关系到国民经济的发展和人民生活的安定，保护劳动者的安全健康是我国的一项基本国策。认真学好电气技术，不断提高电工素质，切实搞好电气安全工作，就必定能促进生产、发展经济，保障改革开放的顺利进行及国家现代化事业的更快发展。

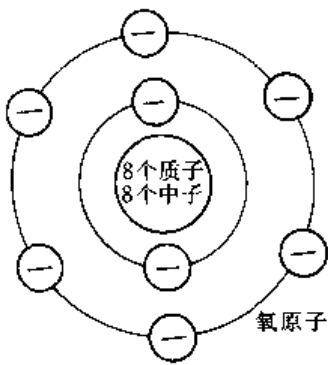


图 1-1 原子结构示意图

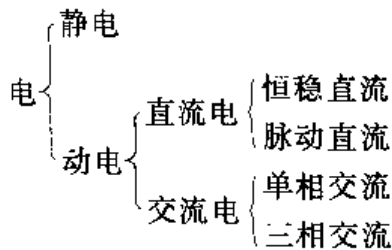
想的原子模型（见图 1-1），它已为无数实验所证实，并可用来解释众多科学试验中所发生的现象或结论。

由于中子不带电但质子带正电，故原子核带正电，而电子则带负电。正常情况下，原子核所带的正电与电子所带的负电数量相等，所以平常原子（乃至物质）便不显带电状态。电子围绕着原子核按一定轨道运转，有似宇宙天体中的太阳系里各行星与太阳间的关系那样（见图 1-2），处在外层轨道上的电子与原子核之间的联系比较薄弱。当电子在外界因素（如光、热、外力等）的影响下获得了一定能量后，就可能会脱离原子核对它的吸引与束缚而跑出轨道成为自由电子，使该物体因缺少了负电而呈现带正电的状态，另一种获得了自由电子的物体则带负电。

## 二、电的类型及其传导

### （一）电的类型

根据自由电子在传导物体内部是否移动，其方向是否随时间而改变以及如何改变等的特征，可将电大致划分为如下几种类型：



静电是由于受摩擦力等外力作用，使两种相关物体发生了自由电子的得失（呈现了带不同电荷的状态）而产生的。这样的电，由于它不能在带电物体内部“流动”，故称静电。它的应用范围也就因此受到了极大限制，尤其是它无法作为生产上的动力来加以应用。

动电是使电能够按照人们的意愿、在规定的通路内“流动”的一种电。最初的动电是由伏打电池（见图 1-3）与蓄电池产生的。电池内的化学反应（化学能）提供了使电不断地“流动”的原动力，故常称其为电源。由于动电能够持续不断地产生与存在的这一特性，使得它的应用范围越来越广。

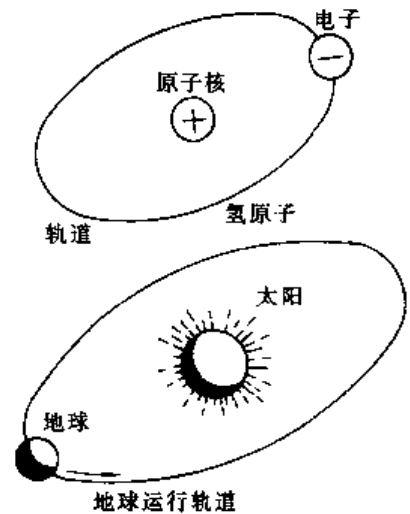


图 1-2 地球绕太阳旋转

又传给了第3块砖。这样一块一块地传递下去，直至最后那块砖在逐块砖传递过来的能量作用下被撞倒。由此例可见，每块砖在传递能量的同时，它们自身并没有发生多大的位移，而只是在原地发生了很小的位置变化。第1块砖根本没有移动到最后一块砖的位置上去。

导体内电的传导，犹如那排砖依次倒下去时传递能量那样。电能由导体这一端传到另一端时，电子本身并没有从这一端“流动”到另一端去，而只是在原位置处发生了极微小的位移而已，故只应称作“移动”。事实上，正是由于大量自由电子的这种有规则地定向移动才形成了电流，同时实现了电（能）的传送。不过这种传送速度非常之快，可高达每秒30万公里，即在“嘀嗒”一瞬间，便可绕地球转7圈半，这也就是电（或光）的传播速度。

### 三、人类对电的探索与认识

在历史长河中，人类对电进行了不断的探索。公元13世纪起，便萌生了对电力科学的实验与研究，同时取得了一个又一个突破性进展。1269年，著名西方学者马里古特发表了《关于磁石的书信》。1600年英国医学家兼实验家吉尔伯特在上述《书信》影响下，经过大量的实验与研究后发表了巨著《磁石论》，开创了崭新的电磁宇宙观，为对电的研究指出了方向。1672年，德国的格里凯又发表了关于硫磺球试验的论著，详细说明了摩擦起电的原因。

1746年荷兰莱顿大学教授麦申布略克发现了一种能把电荷储存起来的“容器”，并命名为莱顿瓶。1749年，美国著名科学家富兰克林通过实验认为电是一种“流体”且具有不同的特性，并将经过摩擦后的毛皮或火漆棒带的电称为“负电”，丝绸或玻璃棒上带的另一种电称为“正电”。从此，对这两种性质截然相反且一直被称作“玻璃电”与“琥珀电”的不同的带电状态给定了正式名称。1752年，富兰克林又和他的儿子一起冒着生命危险用风筝做了一次“天电传输”试验，这次震撼世界的“风筝实验”的成功，验证了雷与电的内在关系。

1775年意大利物理学家伏特研制成功了一种能够产生电的器具——电盒，同时他又提出了维持电荷运动的原动力问题。经潜心、刻苦的研究与试验，他进而创造出了震古铄今的电堆，也就是原电池的雏型伏打电池。1782年，他又研制成功了蓄电池。虽然这类电源十分原始，但电池的发明，却是由静电发展到动电的重大转机，促使电的研究得到迅速的发展。1785年法国军事要塞建筑专家、物理学家库仑提出了用数学公式明确表达两个带电体之间相互作用关系的库仑定律，使得后来的电学研究能够以数学为基础来进行。

1807年丹麦学者奥斯特发现了导体通电后，它附近的小磁针就会发生偏转的现象，但不知缘故。13年后（1820年7月），他又用强力电池进一步反复试验，结果证实了这种使磁针偏转的电流磁效应。他断言当导体中有电流通过时，周围就会伴有磁场产生，并写出了以《关于电的冲突对磁针作用的实验》为题的传单。这一电能生磁的重大发现，揭示了电现象与磁现象之间的内在联系，从而奠定了电磁学研究的基础。

1882年法国物理学家安培用原子、分子或分子团内存在着一种环形电流（也称分子电流）的理论，创造了关于磁性起源的假说并解释了上述现象。他发表了名为《新的电动力

学的实验》的研究报告书，提出了关于电流使磁针受到力作用的电动力学原则，以及判定由电流产生磁场方向的安培游泳者定律（即今所称之安培右手定则或右螺旋定则）。它指出了电与磁既具有同一性，且电磁作用应采用“电流的相互作用”这一提法加以统一描述。麦克斯韦曾对此给予了高度评价：“这个成功，使他确实成了电气方面的牛顿”。

1826年，出生在英国爱尔兰的著名物理学家欧姆（世居英国的德国侨民），企图采用数学形式来描述电并提出以此作为电的一般法则的设想。在安培支持下，他在对电流的研究中引入了电阻这一概念；后又以坚定的信念溯本穷源，在进行大量实验后终于发现了控制电流的规律，归纳出在任一通有电流的闭合电路中，电流强度与电动势成正比、而与电路总电阻成反比的这一举世闻名的欧姆定律，并在1827年5月发表了《动电电路的数学研究》论文，提出了（后经基尔霍夫加以定形的）欧姆定律公式。但却遭到了黑格尔派的攻击，说它是“幻想的产物”。欧姆不屈服于权威名流的压力，据理驳斥，同时得到了俄国楞次、英国惠斯顿、美国亨利等学者的支持。经另一位德国科学家基尔霍夫（也曾译克希荷夫）进一步研究，又提出了解决任意电路、特别是复杂电路的节点电流定律与回路电压定律。

1827年，美国科学家亨利在前人研究的基础上研制成功了强力电磁铁，并采用圆筒形线圈进行试验，以观察一个回路中接通与切断电流时的火花变化。他总结试验结果撰写出了《螺旋状长导线内的电气自感》的论文，从而发现并提出了自感现象。1828年德国科学家高斯在柏林召开的研究磁暴的科学工作者大会上，结识了有志探究地磁的年轻人韦伯。后经韦伯协助，高斯设计制成了测磁针、磁侧角计等，并采用磁偏角、磁倾角和磁强度这三个要素来描述地磁。5年后进而提出了测定地磁强度的报告，且据此画出了地球的等磁力线图。渊博的知识与非凡的才能，还使他在数学与天文领域内都作出了巨大贡献。高斯掌握十几种外国文字，直到60多岁还在开始自学俄文。他在科学上作出的无与伦比的贡献，博得了数学家、物理学家和天文学家三顶桂冠。

1831年8月英国物理学家、化学家法拉第，在进行了长达9年的反复研究后终于发现了磁也能生电、即动磁生电的规律。进一步明确了电与磁的关系并提出了磁力线概念。这一极为重要的新发现是电学发展史上的光辉里程碑。正是这项电磁感应的伟大发现，为后来发电机等电气设备的发明奠定了理论基础，使人类获得了打开电能宝库的钥匙，从此跨入了一个崭新的时代。

1833年，俄国科学院院士楞次在论文中阐述了磁场的变化不能突变的观点，并说明这是由于受感应电动势的反抗作用而引起的。所以，楞次定律也常常被称之为电磁惯性定律。同时由此提出了确定感应电动势方向的楞次定则，它较用右手定则判定感应电动势方向具有更加普遍的意义。此外，楞次还对电流通过导体时导体的发热现象进行了研究。1884年，他与英国物理学家、当时年仅22岁的焦耳几乎同时在不同地点发表了关于电流热效应的研究成果，即电阻上产生的热量与所通过电流的平方、电阻大小及通电时间三者成正比（后人称之为焦耳—楞次定律或简称焦耳定律）。

1856年，年仅24岁的英国科学家麦克斯韦在剑桥大家的哲学杂志上发表了《论法拉第力线》一文。他将电学先辈们所发现的全部电磁现象描绘成一个定性概念，并采用时间—空间关系的严密公式来表达。当时已经66岁的法拉第看到这篇论文后，高度赞扬了他对电

磁现象的真知灼见。麦克斯韦除把库仑定律、安培定律及法拉第定律综合起来外，还提出了所谓位移电流。1860年他又发表了《电磁场的力学》等重要论文，在原有电磁学理论中引进了场的概念，并建立了麦克斯韦电磁场（微分）方程，这是电学发展史上又一光辉的里程碑。他认为是由于空间里某种称为以太的物质传播了电磁力，从而否定了名噪一时的牛顿超距作用。1873年，他又用过渡方程说明了在空间里随时间变化的电场和磁场是相互依存的，认为变化的电场性质能产生磁场，反之亦然。从而推论出电磁场将以光速在真空中传播能量及光的电磁性质。1887年德国科学家赫兹成功地进行了用人工方法产生电磁波的实验，从而证实了麦克斯韦预言的正确性。对此，相对论创始人爱因斯坦曾说过：“在我的学生时代，最着迷的课题是麦克斯韦理论”，“狭义相对论的起源要归功于麦克斯韦的电磁场方程”。

1881年在巴黎召开的国际电气会议上，经德国科学家韦伯倡导，为表彰与纪念科学家们在电力科学上建立的丰功伟绩，会议制订并决定了以伏特、库仑、安培、欧姆及法拉第等人名分别作为电压（电势）、电荷量、电流、电阻及电容的国际实用单位。其后，在同样的会议上又决定将亨利、高斯与特斯拉、麦克斯韦、韦伯以及赫兹等人名分别作为电感、磁感应强度、磁通量以及交流电或电磁波频率的国际实用单位。

#### 四、电力的应用和电能优越性

##### （一）电力应用技术的初期发展

实践是理论的基础，理论又指导实践。随着电力科学的不断发展，自19世纪70年代起，在电力应用技术方面的发明创造也同时获得了惊人的突破。1876年俄国的雅普罗奇科夫进行了所谓电蜡烛的交流电试验。1879年举世闻名的美国科学家、发明家爱迪生经过数千次试验，发明并多次改进了自炽灯，这就使发展中的电力应用事业受到了极大鼓舞。次年他又发明了熔丝（当时是用锌丝）。19世纪的最后一个冬天，他在创造维太放映机的基础上发明了活动电影，从此开始了把实物影像生动而逼真地搬上银幕的时代。爱迪生一生的各项发明创造，包括发电机、自动电报机、打字机、留声机以及新型（镍铁磁）蓄电池等，达到了总计近2000项的惊人数字，对人类作出了不朽的贡献，堪称“伟大的发明家”。

当时世界上已出现了单相交流电及单相同步发电机，但仅是应用在照明上。工业上用的交流电动机，最初也只为单相交流异步电动机，由于它不能自行起动，其使用受到了很大限制。1881年巴黎国际博览会展出了爱迪生创造的交流发电机，1882年法国的盖拉勒和英国的格布斯发明了磁路式变压器。1885年，世界上第一台实际可供使用的单相闭合磁路的铁芯变压器在欧洲诞生，并在两年后应用到单相交流设备上；同年，根据意大利人弗兰利斯发现的旋转磁场现象所制造的两相交流发电机问世。

1888年，俄国工程师德布罗夫斯基和德尔伏创建了三相交流制。次年，三相交流电由试验到应用获得成功，并首建了世界上第一条三相制线路。不久三相发电机及电动机相继问世，这就为三相交流制在世界上的普遍应用奠定了基础。自1890年制成采用三柱铁芯的三相变压器后，三相异步电动机就得到广泛应用，工业动力便很快被它所代替。这就使得电能在工业生产上的应用获得了迅速发展，且逐步取代了蒸汽等动力源。到20世纪初，人类便结束了自1796年由英国瓦特发明蒸汽机起所开创的蒸汽时代，跨入了面貌全新、更为

先进的电气时代。可见单就三相交流制应用技术及电力事业的创建与发展来说，世界上从创造、试验到普遍应用，至今还仅为一百多年。

## （二）电能的优越性

能源是发展社会生产和提高人民生活水平不可缺少的重要物质基础。它是指产生机械能、热能、光能、电磁能、化学能等各种形式能量的资源。电能是现代工农业生产、科学实验及人民生活等各个领域广泛应用的主要能源与动力。离开了电力，要想实现人类社会的物质文明与精神文明是不可能的。没有足够的电力，要实现我国的现代化也是难以想象的。它之所以能获得如此广泛的应用，是因为有其自身的特点，在与其他能源相比时，电能有着如下的优越性：

（1）易于生产。现代生产技术的发展，可较容易地将其他形式的能源转变为电能。

（2）便于传输。由于能源的产地与消费地区通常相距较远，故传输是个重要问题。由于电能可以沿线路以近似光速传播，故它是一种最便于传输的能源。

（3）使用方便。电能很容易转变为机械能、热能、光能与化学能等常用的能源，且转换的用电装置结构较简单，使用这些装置也较方便，且这些装置都较易实现自动化。

（4）利用率高。使用电能的有效利用率较使用其他能源的利用率高，如铁路蒸汽机车使用煤炭的利用率仅为5%~8%，而电力机车的能源有效利用率则可高达25%~30%，故广泛使用电力，还可以达到节约社会总能源消耗的良好效果。这一全新的节能观点，现已为越来越多的人所理解与接受。

（5）没有污染。当今世界随着各国工业化的进展，环境日益受到污染，许多地区已达到相当严重的地步。为了人类的生存，为给人们保持与创造一个良好的外部环境，环境保护已作为一个十分重要的课题普遍受到世界各国重视。而使用电能作为主要能源与动力，它不会产生对环境的污染。

此外，对它还可进行远距离控制、调节与测量，这就为实现生产过程的半自动或全自动化创造了良好条件。因此，电力成为现代工农业生产的主要动力是势在必行。

## 五、电荷、电压与电流

### （一）电荷与电位

电荷是带电的物质基本微粒。电子是它的最小单元，一个电子所带的电荷为  $1.9 \times 10^{-19} \text{C}$ 。电荷是客观存在的一种物质，既不能创造，也不会消灭。在它周围还同时客观地存在着一个能显示出电性能（电作用）的空间范围，这个空间范围称为电场。电荷与电场的这种依存关系，正反映了它们是一个事物的两个方面。

电位是从能量的角度来描述电场的另一个物理量，单位是V（伏）。某一点的电位，在数值上等于单位正电荷（也称点电荷）在该点所具有的电位能。应注意，电位仅与电场本身的性质有关，而与该点放不放点电荷无关。

实际上，所说某一点的电位，是指该点相对于电位参考零点（即零电位点）而言的电位差。显然，某点电位的高低，与零电位点的选择密切相关，所以说电位是相对的。若零电位点选择不同，则电路中某点的电位便可能是正电位，也可能是负电位。电位参考零点原则上可以任意选定，但当产生电场的电荷只是分布在有限大区域里时，理论上应取无穷



远点作为零电位点。通常，多是选择大地作为零电位点。电气上常说的接地，实际上就是指接零电位点。

## (二) 电压与电动势

电场中或电路里任意两点之间的电位差叫电压。其方向由高电位到低电位即电位降低的方向，单位为 V（伏）。显然，它与零电位点的选择没有关系。所以说，电压是绝对的。因为不管零电位点如何选择，电压始终只是某两点之间的电位差。可见，电压与电位是两个不同的概念。实用中我们也可将电压理解为是使电荷在外电路里作有规则移动的原动力，参见图 1-6。

电动势与电压是两个不可混淆的概念。外力将单位正电荷从电源负极经电源内电路定向地移到电源正极所做的功，称为电动势。电动势的单位与电压一样，也是 V（伏）。实用中我们也可以将电动势理解为是使电荷在全电路里作有规则移动的原动力。电压和电动势两者在量值上的关系是当电路不或闭合回路（即电路内没有电流）的情况下，电源的电动势就等于极间外部电路的端电压。若电路闭合而存在电流时，该电流在电源内部电路上将会产生电压降落（简称电压降或压降）。这时，电源电动势则等于外部电路电压与内部电路压降之和。

## (三) 电流及其产生的条件

电流是指大量电荷在电场力作用下作有规则的定向移动。如金属中自由电子的定向移动，液体或气体中正、负离子的相反方向运动等。实际使用中，通电以后电灯会发光、电炉能发热以及电动机会转动等，这些都反映出电路里有电流存在。

所谓电流强度，是指单位时间内通过导体某一横截面的电荷，也常简称为电流。单位为 A（安）。习惯上把正电荷运动的方向规定为电流强度的方向。

产生电流的条件有两个：一是电路中必须存在不为零的电动势，即电路两端要存在一定的电压；二是电路必须成为闭合回路。两者缺一不可，若缺少了其中任何一条，电路内便不可能存在电流。而对原来已经通有电流的电路，也只要破坏上述两条件中的任意一条，就会使电路里的电流中断。实用电路里所采用的各种类型的开关设备，就是起到这种能够控制电路的闭合与开断、进而使电路内能否存有电流的作用。

## 六、电阻、半导体和电工基础

### (一) 电阻及电阻率

物体对电流通过时所呈现的阻力叫电阻。单位是  $\Omega$ （欧）。电阻的倒数为电导，可以将它理解为导体对电流通过时的引导能力，单位是 S（西 [门子]）。

电阻率是指长度为 1m、均匀截面积为  $1\text{mm}^2$  物体所具有的电阻值。它反映了不同物体（材质）在不同温度下所具电阻的固有性质，也称为电阻系数，用  $\rho$  表示，单位为  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ （或  $\Omega \cdot \text{m}$  及  $\Omega \cdot \text{cm}$ ）。如常用金属材料的  $\rho$  值分别为：银 0.016，铜 0.0175，铝 0.029，钨 0.055，康铜 0.43，锰铜 0.50，镍铬合金 1.10 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) 等。

实验证明，任何材料的电阻值都是与其长度  $l$  (m) 及材质的电阻率成正比，而与材料的（均匀）截面积成反比。具体可表达为

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (\Omega)$$

由于不同材质所含的自由电子（或正、负离子）数量相差悬殊，这就决定了它们的导电性能（让电流通过的能力）也有很大差别。具体可反映在材料的电阻率大小上：

（1）凡电阻率在  $10^{-6} \sim 10^{-8} \Omega \cdot \text{cm}$  范围内，因含有大量能够在电场力作用下自由移动的带电粒子（自由电子或正、负离子），故而能很好地传导电流的物体，常称作导体或良导体。如各种金属、碳棒、石墨及电解液等。

（2）若电阻率在  $10^8 \sim 10^{20} \Omega \cdot \text{cm}$  范围内，导电性能很差或极差，可认为在一般温度下几乎不导电的物体，叫作绝缘体或电介质。如空气、胶木、橡胶、干木头及纯净的水等。

电阻率的大小与材质的温度有关。对金属材料等导体而言，其电阻率随温度的升高而增大，但大部分绝缘体及半导体却相反。这是因为导体温度升高时，其内部原子和分子等粒子的活动能力增强，运动加剧，自由电子运动时所受到的碰撞机会显著增大，就势必妨碍自由电子的定向移动，故温度升高时导体的电阻便会增大。但绝缘体与半导体的情况却不一样，因这类物质的导电过程（除含自由电子移动外尚有所谓空穴对传导理论）与导体的导电过程全然不同。当温度升高时，它们的电阻反倒会变小。

### （二）半导体的特性和用途

凡导电性能介于导体与绝缘体之间，且外界条件变化时其导电性能也会随之发生较显著变化的物体，称为半导体。其电阻率常在  $10^{-3} \sim 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$  范围内。

属于半导体的材料有锗、硅、硒以及大多数金属氧化物等，它们通常呈晶体状结构。当半导体中的杂质含量或外界条件改变时（如温度变化、受光照射等），其导电性便会发生显著变化。纯净的半导体，在极低温度下几乎不能导电。但随着温度的升高，半导体的电阻将迅速减小。制作半导体器件时，常采用含有微量特定杂质的半导体材料，它可以分为 N 型半导体和 P 型半导体两大类。

根据上述半导体的光敏性、热敏性及掺杂性等特点，以及其内所含 PN 结的独特性能，可用来制成半导体二极管、半导体三极管、半导体整流元件、光敏电阻、热敏电阻、半导体光电池、半导体温差发电机与致冷器，以及大功率晶闸管和大规模集成电路等。随着电子技术的发展和工业化的进程，这些以半导体材料为基础制成的各类元器件，正日益成为实现自动化与高科技发展所不可缺少的核心部件。

### （三）电工基础研究什么

电工基础作为一门技术基础学科，它所研究的问题很多，所涉及的范围也相当广泛。为能简单明了地说清楚这一问题，必须先弄清电路里的各种元件及参变量。

电路元件的种类很多，但归纳起来不外乎下列五种：两种电源元件，即电流源与电压源。它们通常是为进行等效变换以研究复杂电路（含两条以上有源支路的电路）而抽象或引伸出来的两种理想电源。三种耗能或储能元件，即电阻、电感与电容。事实上，任何简单电路或复杂电路都是由上述五种（或其中几种）元件所组成的。电路里有多种参与变化的物理量，即所谓参变量，但主要是三个，即电流、电压与电动势。

电工基础主要就是研究由电源、储能与耗能元件所组成的各种不同电路及电流、电压与电动势这三种参变量之间相互关系的一门学科。在电路与电场这两大方面，电工基础主要是研究电路的问题；而在稳态与暂态、线性与非线性方面，它又主要是研究在稳态情况下的线性电路问题。

## 第二节 直 流 电 路

### 一、电路及其断开与短接

#### (一) 电路及其组成

电流所经过的路径称为电路。当它是闭合的通路时，就称为闭合回路。

电路一般包括四个主要部分，即电源、负载、连接导线与控制设备（见图 1-6）。电源是电路中的能源所在，其作用是将各种形式的能量转换为电能输出。负载是用电设备，如灯泡、电动机、电炉等，它们将电能转换为所需形式的能量。连接导线的作用是传输电能。

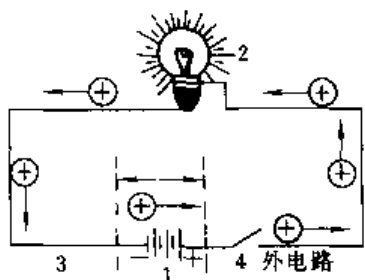


图 1-6 电路示意图

1—电源；2—负载；3—连接导线；  
4—控制设备（开关）

控制设备则是用来执行控制任务的，由它来实现电路的接通或断开（如各类开关）。

当电路内的电源是直流电源时，该电路称直流电路。而含有交流电源的电路，则称交流电路。在电路中，电源内部的电流通路称内电路。除去电源的那部分电路，统称为外电路。凡电路的参数（电阻、电感、电容）不随电流或电压的大小及方向而变化的电路，称线性电路。反之，则称非线性电路。

#### (二) 断路或短路的危害

在闭合电路中的某一部分发生了断开现象，从而使电流不能导通的状态称断路状态，简称断路。发生断路后，电气设备便不能工作；运行中的设备就会停止工作或出现异常，甚至引起故障；断路处断落的带电导体或线路也易引发更为严重的触电等事故。

由电源通向用电设备（也称用电负载或负荷，常简称负载）的导线，若不经过负载（或负载近似为零）而相互直接连通短接的状态称短路状态，简称短路。这时电路里的电流（称短路电流）将会增大到远远超过正常工作电流或导线与设备所允许的电流限度（由欧姆定律表达式  $I=U/R$  可见，当  $R \rightarrow 0$  时， $I$  必将  $\rightarrow \infty$ ）。这会造成电气设备的过热或烧毁，甚至引起电气火灾。同时，短路时还会产生很大的电动力，也会导致电气设备或相关设备损坏等严重事故。所以，电气设备一定要采取防止短路的保护措施，包括装设相应的保护装置等，以防止短路的发生或限制短路所造成的影响范围与破坏程度。

### 二、电路的串并联和星三角转换

#### (一) 电路的串联与并联

##### 1. 电路的串联

将电路元件逐个顺次相接成为无分支电路的接法称为串联。

(1) 电源串联。把一个直流电源的负极接到另一个电源的正极，这样顺次连接时，整个电源组的电动势  $E$  等于各电源电动势之和。当实用中需要高一些的直流电源电压时，就可以采用这种接法，即

$$E = E_1 + E_2 + \dots$$

(2) 电阻串联。把各电阻顺次连接成无分支的单一电路（见图 1-7）。

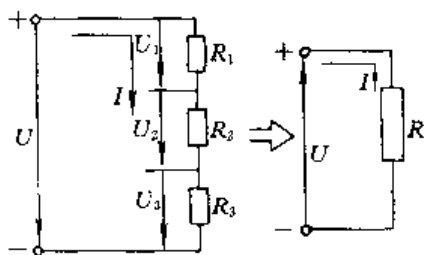


图 1-7 电阻串联电路

电阻串联电路有下述特点：

- 1) 串联电路中电流处处相等，即通过各电阻的电流都相同 ( $I = I_1 = I_2 = I_3$ )。
- 2) 串联电路中总电压等于各分段电压之和 ( $U = U_1 + U_2 + U_3$ )。
- 3) 串联电路的总电阻也称等效电阻 (即各电阻串接后可用一总电阻来替代，该总电阻和原来的串接电阻等效)，等于各串接电阻之和 ( $R = R_1 + R_2 + R_3$ )。

## 2. 电路的并联

将电路元件相应两端并接在一起，并列地接到电路两点之间的接法称为并联。

(1) 电源并联。将几个电动势相等的直流电源的正极连接在一起，另将负极也单独连接在一起，然后接到电路中去。这时，总电动势仍等于单个电源的电动势；而通过外电路的总电流，将等于通过各电源的电流之和。若需要提高供电的可靠程度、增大电源容量和能更持久地供出某一定值的直流电流时，使可以采用这种接法。即

$$E = E_1 = E_2 = \dots \text{ 及 } I = I_1 + I_2 + \dots$$

(2) 电阻并联。把各电阻的两端分别并接一起后再接入电路中去 (见图 1-8)。

电阻并联电路有下述特点：

1) 并联各电阻两端的电压都相等，且等于同一外加电压 ( $U = U_1 = U_2 = U_3$ )。

2) 并联电路干线中的电流等于流经各电阻的电流之和 ( $I = I_1 + I_2 + I_3$ )。

3) 并联电路的总电阻 (等效电阻) 的倒数，等于各电阻倒数之和 ( $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ )。

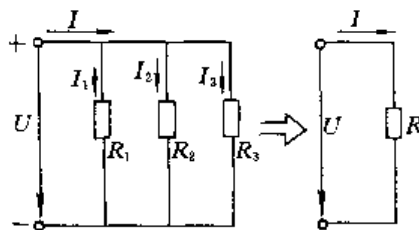


图 1-8 电阻并联电路

顺便指出，并联接法在实用电路中得到了极为广泛的应用。这是由于各并联元件两端的电压都相等，因此当电路采用并联接法时，就可以对各用电设备 (元器件) 分别进行控制，尤其是各用电设备便都可以按照统一的额定电压来进行设计与制造。这给制造、安装、使用及维修都带来了很大方便。正因为如此，实用中凡低压动力和照明等用电，一般都是采用并联接法而组成为并联电路。

凡电路中既含串联又含并联的混合接法，称为混联。该电路也叫作混联电路。显然，混联电路的总电阻值，应分别采用串联和并联两种计算方法，对各自相关的部分电路先进行简化 (称为等效变换)，然后再进行合并计算便可以求得。

### (二) 电阻的星三角转换

在进行复杂电路的计算与简化过程中，常会遇到需要将三角形 (D) 连接的电阻负载转换为星形 (Y) 连接，或者是将星形连接的电阻负载转换为三角形连接，然后再采用电阻的串、并联计算公式，便可较顺利地进行电路的有关运算，进而可求取相关的参变量数值。在星形与角形连接的互换过程中，两种连接方式的各电阻值 (即实际元件的电阻值) 与等效电阻值之间有着如下关系。

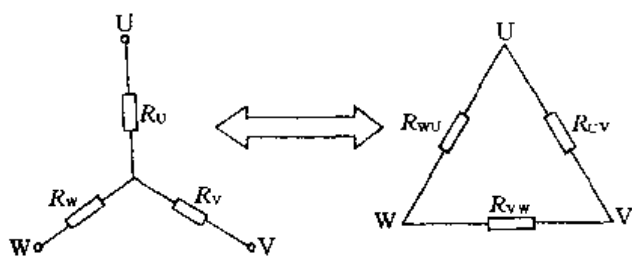


图 1-9 电阻连接的星三角转换

设星形连接的三相电阻值分别为  $R_U$ ,  $R_V$ ,  $R_W$ ; 而呈三角形连接时分别为  $R_{UV}$ ,  $R_{VW}$ ,  $R_{WU}$  (见图 1-9)。它们的关系是相互等效 (等价) 的。

电阻元件星—三角连接的相互转换关系式, 具体可表达如下。

D→Y

$$R_U = \frac{R_{UV}R_{WU}}{R_{UV} + R_{VW} + R_{WU}}; R_V = \frac{R_{VW}R_{UV}}{R_{UV} + R_{VW} + R_{WU}}; R_W = \frac{R_{WU}R_{VW}}{R_{UV} + R_{VW} + R_{WU}}$$

Y→D

$$R_{UV} = R_U + R_V + \frac{R_U R_V}{R_W}; R_{VW} = R_V + R_W + \frac{R_V R_W}{R_U}; R_{WU} = R_W + R_U + \frac{R_W R_U}{R_V}$$

### 三、欧姆定律及基尔霍夫定律

#### (一) 欧姆定律

欧姆定律是电学中最基本的定律之一。该定律反映了在有恒稳电流通过的电路中, 电流、电压与电阻三者之间相互关系的客观规律。它有如下两种表达形式。

(1) 部分电路的欧姆定律。电路里电流的大小与该段电路两端所施电压成正比, 而与电路的电阻成反比。具体可表达为 (见图 1-10)

$$I = \frac{U}{R}$$

式中  $I$ ——电路电流, A;

$U$ ——电路两端电压, V;

$R$ ——电路电阻,  $\Omega$ 。

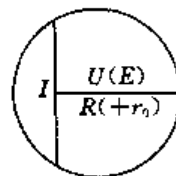


图 1-10 欧姆定律公式记忆图

(2) 全电路欧姆定律。在含内外电路的全电路里, 电流的大小与电源电动势成正比, 而与全电路的总电阻成反比 (见图 1-10 及图 1-11)。具体可表达为

$$I = \frac{E}{R + r_0}$$

式中  $I$ ——全电路电流, A;

$E$ ——电源电动势, V;

$R+r_0$ ——全电路之总电阻,  $\Omega$ ; 其中  $r_0$  为电源的内电阻。

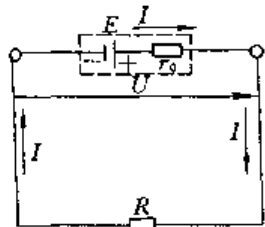


图 1-11 全电路示意图

(点划线框指电源内电路)

顺便指出, 欧姆定律同样也适用于交流电路, 但电路电阻应为阻抗, 电流、电压与电动势应为相量, 所有运算均要按复数法则进行。

#### (二) 基尔霍夫定律

所谓节点, 是指电路中凡有三条及以上支路的共同连接点。

基尔霍夫定律是确定任意形式的电路 (特别是复杂电路) 中通过各节点的电流之间或各回路的电压之间所应遵循的普遍规律。它包括两个定律: 基尔霍夫第一定律, 也称节点电流定律 (KCL), 它是电流的连续性原理的推断; 基尔霍夫第二定律, 也称回路电压定律 (KVL)。

将随电流的平方倍数而增大。故当电气设备过载（尤其是经常或长时期过载）时，其危害是极大的。因为这时产生的热量，将会随着电流的增大而成平方倍数地增加（如电流增大3倍，则发热量将增大为9倍），此时电气设备的绝缘能力（绝缘电阻值）就会因过度受热而迅速下降，甚至被击穿，进而导致放电，造成短路或烧毁事故。

### 第三节 电与磁的关系

#### 一、磁力线特性和电磁感应

##### （一）磁场和磁力线的特性

磁体能够吸引铁磁性物质的特性，称做磁性。磁体上磁性最强的部位（如条形磁铁的两端）称磁极。磁极也具有类似电荷的同性相斥，异性相吸特性。而指南针的一端（极）之所以能始终指向朝南方向，就是因为上述特性以及地球本身是个大磁性体的缘故（见图1-12）。磁体周围具有磁力作用的空间，叫做磁场。它也是一种特殊物质，并与电场相似，同样具有力和能的特性。

实验证明，当一个可自由转动的小磁针放在磁场的不同位置时，它所受的作用力大小及其偏转方向也各不相同。这就说明，磁场内不同位置的磁场（强度）的大小及方向是不同的。

为形象地表示磁场的存在，特别是为表明磁场内不同位置的磁场强弱与方向，便人为地引出关于磁力线（即磁通）的概念。同时具体用画出磁力线的方法来表明其大小与方向。磁力线上所标的箭头，表明磁场的方向；磁力线根数的多少，则表征磁场的强弱。磁力线愈密，表示磁场愈强；反之，则表示愈弱。

可见，磁场内并不客观地存在那么一根根的所谓磁力线，它仅是人为地引出来用以形象化地表明磁场的强弱与方向的。磁力线有如下特性（见图1-13）：

- （1）它既无头也无尾，只有方向，且从不间断或中止，它总是闭合的。
- （2）每根磁力线都是各走各的路，相互间从不交叉。
- （3）在磁铁外部（即外磁场）它总是由N极到S极。而磁铁内部正相反，是由S极出发到N极。

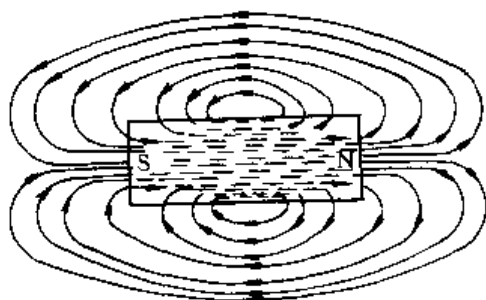


图 1-13 条形磁铁的磁力线分布

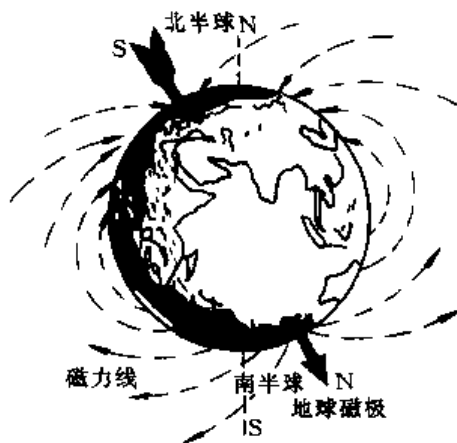


图 1-12 地球磁场

（4）它很像橡皮筋或弹簧，总有缩短自身的趋势。也就是说，它始终是想走近路及尽可能通过磁阻较小的磁路。

上述最后一条特性，对于研究磁场来说尤为重要。

##### （二）电与磁的同一性及电磁感应

实验证明，当导体内有电流通过时，导体周围便产生磁场，即电生磁。反之，若导体切割磁力线或穿

涡流虽有其有害的一面，但在一定条件下，却可利用它有利的一面。如在变压器检修中，可以利用变压器铁芯中涡流引起的发热来干燥变压器绕组（线圈）。在电工仪表中，可以利用涡流来产生阻尼力矩（称涡流阻尼）。而高频电炉，就是主要利用涡流引起发热（尚有磁滞及集肤效应等因素）来设计的（见图 1-16）。

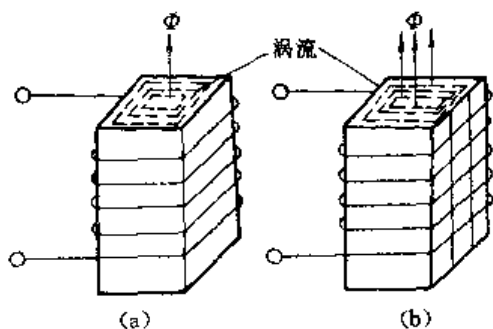


图 1-15 铁芯中的涡流

(a) 整块铁芯中的涡流；(b) 用硅钢片造成的铁芯中的涡流

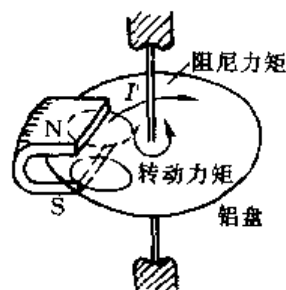


图 1-16 涡流阻尼

### 三、右旋定则、左手定则和右手定则

#### (一) 判定磁场方向的右旋定则

当电流通过导体（或线圈）时，在它周围便一定会产生磁场。安培右手定则就是用来由通电方向判定所产生的磁场方向的。为区别于判定感生电势方向的右手定则及纪念科学家安培在这方面的功绩，故称安培右手定则。由于该定则符合右螺旋（向前推进）方向，故有时也称右螺旋法则，简称右旋定则。

它的具体运用，分如下两种情况：

(1) 电流通过直导体。右手半握，大拇指表示电流方向（由高电位到低电位，即正电荷的运动方向），四指则表示它所产生的磁场方向 [见图 1-17 (a)]。

(2) 电流通过螺线管（线圈）。右手仍半握，四指表示电流方向，大拇指的指向则表示其所产生的磁场方向（即磁力线方向），或表示为线圈的 N 极 [见图 1-17 (b)]。

#### (二) 判定受力方向的左手定则

左手定则（也称电动机定则）是确定通电导体在外磁场中受力方向的定则。具体运用方法是伸开左手，大拇指与其余四指垂直，并和手掌在同一平面内；手心朝向北极（N

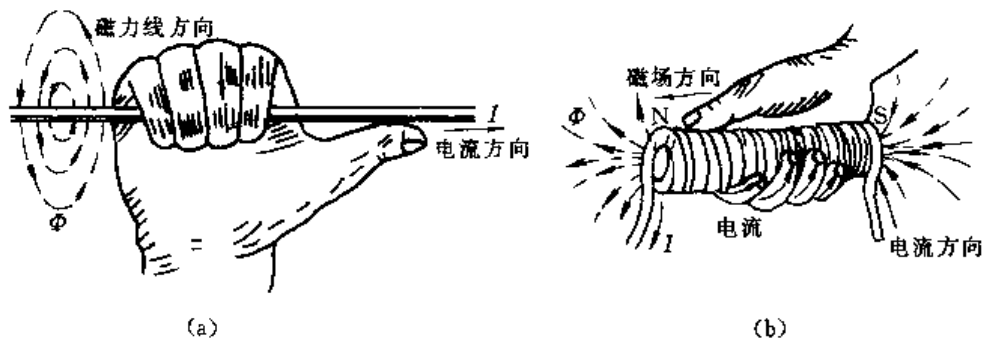


图 1-17 右手螺旋定则示意图（通电导线产生磁场）

(a) 直导体所生磁场方向；(b) 螺线管所生磁场方向

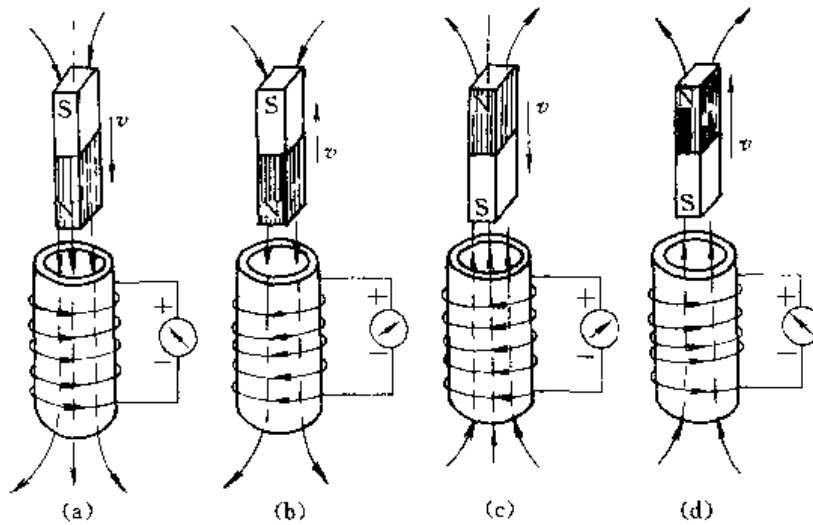


图 1-20 线圈中产生的感生电势（电流）方向  
(a) 磁铁 N 极向下插入线圈时的情形；(b) 磁铁 N 极拔出线圈时的情形；  
(c) 磁铁 S 极向下插入线圈时的情形；(d) 磁铁 S 极拔出线圈时的情形

示，单位为亨利（简写亨），用 H 代表。对空心线圈来说，当它的结构一定时，电感  $L$  是一常数，称线性电感。如在线圈中插入铁磁性材料，则因其导磁系数不且不为常数，故该线圈的电感便也增大且不为常数，因此称为非线性电感。

当一个线圈所产生的磁通量发生变化而引起另一个与它有磁（场）联系的线圈中感生出电动势来的现象，称为互感现象，该电动势叫互感电动势。其方向仍须由楞次定则判定，大小则与电流的变化速率及反映一个线圈在另一个线圈中产生互感电动势能力的系数（称互感系数）成正比。互感系数简称互感，它与两线圈的匝数、几何形状、相对位置及周围介质等因素密切相关。互感常用  $M$  表示，单位也为 H。

无论是电力变压器、互感器还是电子线路中的电源变压器等，它们都是因其结构中的线圈之间存在互感而得以工作的。除自耦变压器外，它们各自的两个或多个线圈之间并没有电的直接联系，而是由共同的磁力线将其相互穿透（或称匝链），这种关系也称磁耦合。互感电动势的方向，不仅决定于磁通的增减，且还与线圈的绕向有关。

### (二) 线圈的同名端

为判定互感电动势的方向，必须先知道如下两个条件：一是原线圈内的电流方向与变化趋势；二是两个线圈的具体绕制方向。但要在电路图上画出线圈的实际绕向很不方便。为此，必须采用约定的标记来表明线圈的绕向。

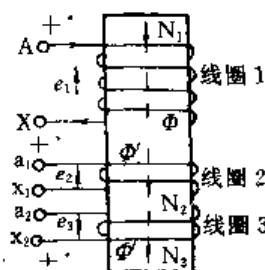


图 1-21 线圈的同名端标记

$e_2, e_3$ —感生电势方向；  
 $A, a_1, x_2$  同名端

常用的标记方法就是同名端标记法。即对两个有磁耦合关系的线圈用小圆点“·”或星号“\*”来标记线圈的一端。具体方法是当同时有交变电流从某两端分别流入两个线圈时，若线圈内由电流产生的自感磁通与互感磁通的方向相一致（即互相加强），则该两端便称为同名端（也同极性端），并在该两端画上圆点或星号加以标明。这两个线圈未标记号的另外两端，实际上它们之间的关系也是同名端，仅是无需再加标记罢了（见图 1-21）。



显然在标有同名端记号的两个线圈中，若其中有一个线圈（称原线圈）通过交变电流时，则另一个线圈内所产生的互感电动势方向，将始终与原线圈的电动势方向一致。即在任一瞬间，原线圈带标记的一端电位如为正（+）时，另一个线圈带标记的那一端也一定为正（+）；反之亦然。

所以，线圈的同名端标记醒目地表明了两个线圈的极性，反映了它们的实际绕向间的相互关系。更为方便的是，由此完全可以按照同名端标记来简捷地确定线圈中所产生的互感电动势的方向。

#### 六、集肤效应及其产生的原因

实验证明，当导线中通过直流电时，电流在导线的任一横截面上都是均匀分布的。但通以交流电时，导线表层（截面外圈部分）的电流密度要比内层的大得多。导线中心部位的电流密度就更小。而且交流电的交替变化越快，这种现象就越明显。这种交流电大部分集中或趋近于导线表层通过的现象，称为集肤效应（或趋肤效应，有时也称趋表效应）。它的存在，相对地减小了导线的有效（导电）面积，同时也随之相应地增大了导体的电阻。

产生集肤效应的原因是由于存在电磁感应，具体地说是因为导体本身具有电感，在交流电通过的导线的里外层呈现出不同感抗（见下节之三）的缘故。

为便于说明，可以把导线假想成是由许多根细导线组成的。当交流电通过导线时，便会在导线中及其周围建立磁场。对于整个导体截面来说，描述磁场的磁力线是许多同心圆（见图 1-22 中的虚线）。显然，越近于截面中心的假想细导线被包围的磁力线就越多（自感电动势也越大），导线表层的则少。由于交流电产生的磁力线数量随时都在交变，从而在导线中将产生出自感电动势。自感电动势大，表明感抗大，故导线中心部位通过的电流就少；而表层的感抗小，通过的电流就多。

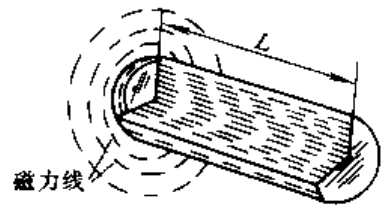


图 1-22 交流电通过导线时的集肤效应  
(图示为一段导线的剖面)

电气上常采用多股细绞线和空心母线等，其主要原因之一，就是针对及为了避免这种集肤效应的影响，使它们能通过更多的电流，同时也利于散热，扩大容量。

## 第四节 交流电路

### 一、交流电三要素及波形图

#### (一) 交流电的三要素

含交流电源的电路称交流电路，其特征是电路内的电动势、电压与电流是随时都在交变的。大小和方向均随时间作周期性变化的电流叫交流电，简称交流，常用 AC 表示（方向不随时间变化的电流称直流电，常用 DC 表示）。一般交流发电机所发出的都为正弦交流电，它随时间按正弦规律作周期性交变。

正由于交流电随时都发生着交变，故在表达或描述它时，除了用大小之外，还必须表示出它变化的快慢以及该瞬间（即这一时刻）它的变化状态。能够清楚地表明上述三方面变化特征的最大值（或有效值）、频率（或周期）、以及初相位（角）这三个物理量，便称作交流电的三要素。

为何实际电网中都是采用按正弦规律变化（即具有正弦波形）的交流电呢？这是因为任何其他周期性的非正弦波都可以分解为包含有一个直流分量（或为零）、一个按正弦规律变化的基本波（也称基波），以及许多同样按正弦规律变化（但交变频率不同）的高次谐波（见图 1-23）。由于高次谐波的存在，将会使发电机本身及由它供电的所有设备增加许多损耗；特别是还可能由它激发而产生谐波过电压，引起电气设备绝缘击穿事故。若感应电动机接在这种电源上，除增加损耗外还会产生谐波转矩，降低出力，甚至危及安全运转。

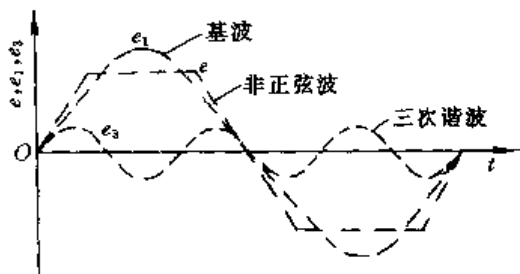


图 1-23 非正弦波内含高次谐波（如  $e_3$ ）

此外，当交流电采用正弦波后，则电路电压、电流及电势都将按正弦规律变化，这就有利于电路计算及实际测量；且按正弦规律变化的电流，变动时无突变现象，可由此避免因突变而导致的过电压等不利因素。

### （二）交流电的量值与变化快慢

表示交流电大小的量值有所谓瞬时值、最大值、有效值及它们的平均值。它们的含意各不相同。因为它每时每刻都在变化，故将交流电在某一瞬间的量值大小称为瞬时值。显然，瞬时值随时间而变化，不同时刻便有不同的瞬时值。正因为如此，势必需要引出下列各种量值来加以描述与表达（见图 1-24）。

（1）最大值。它是交流电各不同瞬时值中最大的一个量值。对交流电的正弦波形来讲，最大值就表示其振幅。由于它表征了正弦曲线的最高（或最低）点对水平中心轴的位移程度，故也称峰值。

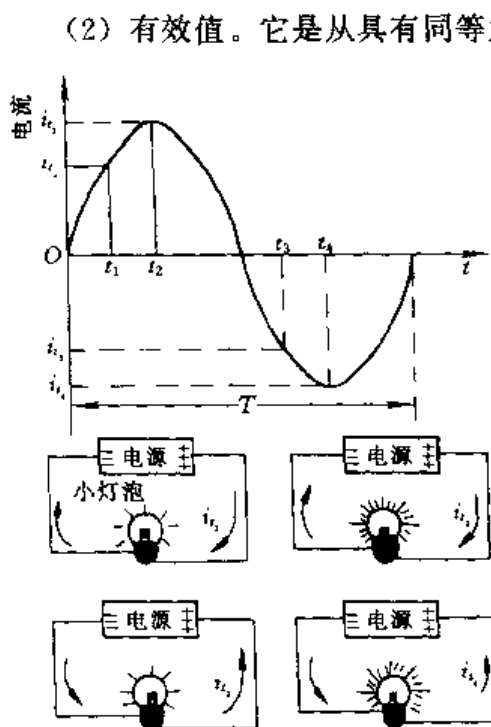


图 1-24 正弦交流电波形图及其量值变化

（2）有效值。它是从具有同等发热效果引出、用来表示交流电大小的一种量值。当交流电通过某一电阻、在规定时间内所产生的热量，与另一直流电通过该电阻且在相同时间内所产生的热量相等时，便以这个直流电的量值称为该交流电的有效值（亦称方均根值），在实用电工计量中多采用此值。由理论推算得知，交流电的有效值为它最大值的  $1/\sqrt{2}$ ，即 0.707 倍；或最大值为有效值的  $\sqrt{2}$ ，即 1.414 倍。

（3）平均值。它是指正半周（一般由零到  $\pi/\omega$  的时间）内，交流电各瞬时值的平均量值。同样可由理论推算得知，交流电的平均值为最大值的  $2/\pi$ ，即 0.637 倍。或者是最大值为平均值的  $\pi/2$ ，即 1.571 倍。

正弦交流电变化一周所需的时间，称为交流电的周期。常用  $T$  表示，单位为 s（见图 1-24）。

正弦交流电每秒钟内周期性交变的次数，称为频率。常用  $f$  表示，单位为周/秒或赫兹（简称赫，并用 Hz 表示）。显然，交流电的频率与周期是互为倒数关系（ $f=1/T$ ）。

交流电变化的快慢，除了用周期或频率表示外，还可用电角频率  $\omega$  来表示（也称电角速度），单位是弧度/秒，用 rad/s 表示。它为交流电频率的  $2\pi$  倍（ $\omega=2\pi f$ ）。这是因为旋转一周，电角度变化  $2\pi$ （弧度），所需时间为一周期  $T$ 。故单位时间内所转过的电角度（即电角频率）为

$$\omega=2\pi/T=2\pi f$$

所谓工频，是指工业用交流电的频率。目前世界上一般有 50Hz 与 60Hz 两种，我国统一规定采用 50Hz。所以日常所说的工频交流，就是指频率为 50Hz 的交流电。

## 二、相的概念及相位与相位差

### （一）相位、初相及相位差

相位是某一物理量随时间（或空间位置）作周期性交变时，决定该量在任一时刻（或位置）所处状态的一个物理量。

如交流电压按正弦规律变化时，它可以用下式表示

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_0)$$

其中  $u$  为交流电压瞬时值， $U_m$  为最大值，其后部分为正弦函数值。在不同的时间  $t$  就有不同的  $\omega t + \varphi_0$ ，继而也便有不同的  $u$  值。故  $\omega t + \varphi_0$  称该交变电压的相位。当  $t=0$ （即时间为零）时，相位（角）为  $\varphi_0$ ，称为初相位，也称初相角，简称初相。

相位差亦称相角差或者相差。它是两个同频率交流量（可以是电动势、电压、电流）之间的相位差值，也就是它们初相的差值。相位差实质上反映了某一个时间差。它们之间所差的时间，在数值上应等于  $\varphi/\omega$ （s）。

凡相位差为  $0^\circ$  或  $180^\circ$  的偶数倍时，称同相；为  $180^\circ$  的奇倍数时，则称反相。若一个交变量的初相大于另一个交变量的初相时，则称前者超前于后者（相位超前），或后者滞后于前者。如某一交流电路中，电压的相位为  $\omega t + \varphi_0$ ，而电流的相位为  $\omega t$ ，则该电压与电流间的相位差就是  $\varphi_0$ 。因此可以说，该电压的相位比电流的相位超前了一个  $\varphi_0$  角，或者说电流滞后于该电压  $\varphi_0$  角（见图 1-25）。

### （二）如何理解交流电中相的概念

交流电路中，电流、电压及电动势均是按正弦规律作周期性交变的参变量。在三相交流电路里，各相的电流、电压等也都属于正弦交变量，它们都是时间的函数，即随时间变化而各具有其自身的大小、方向及变化趋势等特征。

为了表达交变量周期性变化的瞬时状态这一特征，提出了关于相的概念。由不同的相，来反映它们各不相同的瞬态特征。故可以认为，用以表明正弦交流量周期性变化时瞬态特征的量，便称为相。对于三相交流电可分别用 U、V、W（即 A、B、C）这三种不同的相别来表示它们所具有的不同瞬态特征。但 U、V、W 这三种相别，本身并无特定含义，只是在相互比较时用以区别而已。在电气设施（如线路电杆及母线）上，常分别以黄、绿、红这三种颜色来对应地表示 U、V、W 三相。对于单相交流电，由于它仅为一相，但并不是说它就无所

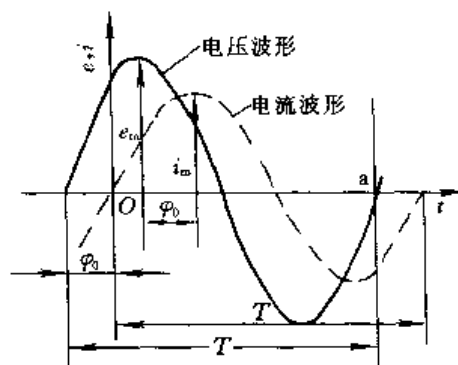


图 1-25 电流落后于电压  $\varphi_0$  角（相位差）

谓具有相的含义了，实际上它也同样有其相的特征。

可见，相实质上是指交流量的某种状态。它具体地表征了该正弦交流量在某一瞬间的三个主要特征，即大小（量值）、方向（正或负）及其变化趋势（即此刻将由小变大还是由大变小）。

### 三、感抗和容抗

#### （一）感抗

电感是线圈自身所具有的一种固有特性。线圈中的电流变化时，便会产生（自）感应电动势。电感的单位有亨（H）、毫亨（mH）、微亨（ $\mu\text{H}$ ），且  $1\text{H}=1000\text{mH}=10^6\mu\text{H}$ 。

交流电通过电感线圈时所受到的阻碍力量，即是所谓感抗，用  $X_L$  表示，单位为  $\Omega$ 。感抗与电感间的关系式是  $X_L = \omega L = 2\pi fL$ 。式中  $f$  为交流电频率（Hz）， $L$  为线圈电感量（H）， $\pi \approx 3.14$ 。由感抗计算公式可见，感抗与交流电的频率成正比，即  $f$  越高  $X_L$  越大； $f$  越低  $X_L$  便越小。

由于直流电  $f=0$ ，故电感（线圈）对直流电的阻力为零（ $X_L=0$ ）。即在稳态情况下，电感对直流电就好像是短路。

电感（线圈）为储能元件。因线圈通电后，定会在线圈中及其周围建立磁场。该磁场内储存的磁场能由线圈消耗的电能转换而来（ $W = I^2 X_L t = 2\pi f L t I^2$ ），并不会发生突变，且仅与电感和电流的平方成正比。所以，通过电感线圈的电流不能突变。

#### （二）容抗

电容器（常简称电容）大都是由两块金属片中间隔以绝缘介质组成。电容用  $C$  表示，单位为法拉（F）。由于这个单位太大，故实用中常用微法（ $\mu\text{F}$ ）或皮法（pF），且  $1\text{F}=10^6\mu\text{F}=10^{12}\text{pF}$ 。

交流电可以通过电容，但通过时会受到一定的阻碍力量。这种阻力即称容抗，用  $X_C$  表示，单位也是欧（ $\Omega$ ）。容抗与电容之间的关系式为  $X_C = 1/\omega C = 1/2\pi fC$ 。式中  $C$  为电容器的电容量（F）。由容抗计算公式可见，容抗与交流电的频率成反比，即  $f$  越高  $X_C$  越小； $f$  越低  $X_C$  便越大。

因直流电  $f=0$ ，故电容（器）对直流电的阻力  $X_C$  为无限大（用符号  $\infty$  表示）。所以，它无法通过电容器，即在稳态情况下，电容对直流电就像是开路或断路。

电容（器）也属储能元件。对它充电后，极板上便储集了电荷（两极板上的正、负电荷），并在极板间的介质中建立起电场。该电场内储存的电场能是由电源电能转换而来（ $W = U^2 t / X_C = 2\pi f C t U^2$ ）并不会发生突变，且仅与电容量和电压的平方成正比。所以，电容器两极板上的电压同样不能突变。

### 四、阻抗及阻抗三角形

电路中的用电设备常称负载。直流电路中，负载（包括连接导线）对电流通过时所呈现的阻碍作用，称作该电路的直流电阻（ $R$ ）；相应地，负载在交流电路中所呈现的阻碍作用，便称作阻抗（常用  $Z$  表示）。

交流电流通过时所受到的阻力，不单是由于电阻元件在起作用，尚有电感  $L$  与电容  $C$  这两类元件也在起一定（甚至很大）的作用。在直流电路中，电感仅是起通路（认为电阻为零）的作用，电容则起到断路（电阻无限大）的作用；但在交流电路中却不是这样，它

们还都将随着交流电源的不同频率而呈现出一定的电抗  $X$ 。其中包括电感元件所呈现的感抗  $X_L$  与电容元件所呈现的容抗  $X_C$ 。

在交流电路中，当同时存在电阻、电感及电容元件时，由于感抗与容抗所呈现的作用相反，电路的总电抗便为感抗与容抗的合成值即代数和；而交流电路的阻抗，则为该电路电阻与电抗的几何和。交流电路里电阻、电抗与阻抗（应注意它们都不是相量）三者之间的关系，可用阻抗三角形表示（见图 1-26）。

其值大小可由下列关系式进行计算：

$$\text{电抗 } X = X_L + (-X_C) = X_L - X_C \quad (\Omega)$$

$$\text{阻抗 } Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (\Omega)$$

$$\text{阻抗角 } \varphi = \arctg(X/R) \quad (^\circ)$$

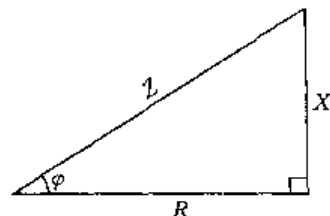


图 1-26 交流电路的  
阻抗三角形

顺便指出，交流电路里还常会出现各种性质不同的元件相串联或并联的情况。此时总阻抗的计算方法如下（电阻的倒数称电导，电抗的倒数称电纳）。

(1) 交流电路中各元件（包括电感、电容或电阻）串联时，总电阻或总电抗将分别等于各串联电阻或电抗的代数和，而总阻抗则等于总电阻与总电抗的几何和，即

$$R = R_1 + R_2 + \dots \quad (\Omega)$$

$$X = X_1 + X_2 - \dots \quad (\Omega)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (\Omega)$$

(2) 交流电路中各元件（包括电感、电容或电阻）并联时，总电导  $g$  或总电纳  $b$ （其单位均为西门子，简写作 S，即为  $1/\Omega$ ）将分别等于各并联元件的电导或电纳之和，而总导纳  $Y$ （总阻抗的倒数）则等于总电导与总电纳的几何和，即

$$g = g_1 + g_2 + \dots \quad (\text{S})$$

$$b = b_1 + b_2 + \dots \quad (\text{S})$$

$$Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{g^2 + b^2} \quad (\text{S})$$

## 五、星形与三角形连接及三相电功率

### （一）三相电源或负载的星形与三角形连接

三相电源或负载的连接方法可分为两大类，即所谓星形连接与三角形连接。

(1) 将三相电源的三个线圈（三相绕组）的末端连接在一起，由三个首端引出向外供电的连接方式，称电源的星形连接，符号用 Y 表示；而将三相负载的三个末端连接在一起，三个首端接到三相电源上去的连接方式，则称负载的星形连接。三个末端连接在一起共同点称中性点。若将电源中性点与负载中性点也用导线连接起来，这种供电方式便称为三相四线制。电源首端与负载首端之间的连接线叫相线（俗称火线，单相时常用 L 标注，三相时则分别标为  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ ，即 U、V、W 三相或 A、B、C 三相）；电源中性点与负载中性点之间的连接线则称中性线（用 N 标注）。电源中性点接地时便称为零点，此时中性线称零线（常用 O 标注）。由于一般三相四线制低压配电网的中性点均接地，故它也俗称地线。

相线与中性线之间的电压叫相电压，而相线与相线之间的电压叫线电压。电源每相绕组或每相负载中通过的电流称相电流，而电源与负载间相线内通过的电流则称线电流。中

一个周期内瞬时功率的平均值,故也称平均功率。可以证明其值大小等于瞬时功率最大值的一半,也就是等于电阻元件两端电压有效值与通过电阻中电流有效值的乘积。

## 六、无功的实质和功率因数

### (一) 无功的实质及功率三角形

交流电路负载内具有的电感性或电容性元件,在通电后便会建立起电感线圈的磁场或电容器极板间的电场。因此,在交流电变化每个周期内的上半部分(瞬时功率为正值)的时间内,它们将会从电源吸收能量用来建立磁场或电场,而下半部分(瞬时功率为负值)的时间内,其建立的磁场或电场能量却又会返回电源。因此,在整个周期内这种功率的平均值为零。也就是说,电源的能量与磁场能量或电场能量在进行着可逆的能量转换而并不消耗功率,它们(理论上)并没有消耗能量。但能量又确实是在电源和电感或电容之间来回往复而快速地进行着转换的。

为了反映以上事实并加以表述,故将这种往复转换功率的规模(即瞬时功率的最大值)称为无功功率,简称无功。确切地讲,它是交流电路里由于电抗性元件(指纯电感或纯电容)的存在,而实行了功率的可逆性转换的那部分电功率。实质上它表示了交流电源能量与磁场或电场能量交换的最大速率。简言之,为建立(电感)磁场或(电容)电场所需的电功率即为无功功率,用 $Q$ 表示,单位为乏(var)或千乏(kvar)。

所以,如果没有无功功率,则变压器和电动机等就不能建立工作磁场。变压器不能产生互感而改变电压,电动机也不能产生旋转磁场而使转子转动。可见,所谓无功的含意,决不是指无用之功;恰恰相反,无功功率倒常是交流电路中电源做实际有用功时所必不可少的一种电功率。

由于实际运用的交流电路中一般常接有感性负载(如电动机等),故如上所述,电源供给的电功率可分为两种:一种是有功功率,它是指消耗在阻性负载上,把电能不可逆地转换成其他形式能量的功率;一种是无功功率,它是电能交流电源和感性(或容性)负载之间交替往返、实行了可逆转换的电功率。它虽然并没有做实际有用功,但却是在用电设备中建立磁场以使能进行有效工作所必不可少的。而交流电源(交流发电机或变压器)发出的总功率即为视在功率。

视在功率( $S$ )、有功功率( $P$ )及无功功率( $Q$ )之间的关系(它们也都不是相量),可以用功率三角形来表示(见图1-27)。它是一个直角三角形,斜边为 $S$ ,两直角边分别为 $P$ 与 $Q$ 。显然 $S$ 为 $P$ 与 $Q$ 的几何和。 $S$ 与 $P$ 之间的夹角为 $\varphi$ ,也就是阻抗角 $\varphi$ ,它反映了该交流电路内电压与电流之间的相位差(角)。各种功率之间有如下关系式

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (\text{VA})$$

$$P = S \cos \varphi \quad (\text{W})$$

$$Q = S \sin \varphi \quad (\text{var})$$

### (二) 功率因数的实际意义

交流电路中有功功率与视在功率的比值称功率因数(同时可以证明,它实际上也等于电路有效电阻与阻抗的比值),即 $\cos \varphi = P/S = R/Z$ (见图1-26,图1-27)。它是一无名值(无量纲),有时也用百分数表示。因为它

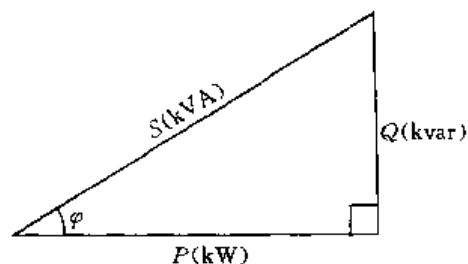


图 1-27 交流电路的功率三角形

表征了做有用功的电力在总电功率中所占的比率,所以在电力行业中也常俗称为力率。

从功率三角形或其相互关系式中不难看出:在视在功率不变的情况下,若功率因数越低( $\varphi$ 角越大),有功功率就越小,同时无功功率却越大。这将使电源的容量及线路的供电能力受到限制而不能充分被利用,即所输送的仅是大量无功,而有功却很少。此外,输送的无功功率增大后,还将会加大供电设备及线路中的有功损耗。因此,用电时必须采取一切有效措施(如采用电力电容器进行无功补偿等),尽可能提高用电的功率因数。

功率因数既然是表示了总功率中有功功率所占的比例,显然它无论什么情况下也不可能大于1。由功率三角形可见,当 $\varphi=0^\circ$ 即交流电路中电压与电流同相位时,有功功率便等于视在功率。也就是说,这时功率因数最大值为1。这种情况仅在电路里只有纯阻性负载或感抗与容抗相等时才会出现。

感性电路里电流的相位总是落后于电压,此时 $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ ,称电路有着滞后的功率因数;而容性电路内电流的相位总是超前于电压,这时 $-90^\circ < \varphi < 0^\circ$ , $\cos\varphi$ 仍为正值且小于1(因 $\varphi$ 角的余弦函数值永远不可能大于1),此时便称该电路有着超前的功率因数。

## 七、相量及正弦量的数形表示

### (一) 相量的含义

研究任何一个物理量都要考虑到它的大小与方向两个方面。有些物理量只有大小而不存在方向问题,这样的量称标量;而既有大小又有方向的量,便称矢量,有时也叫向量(因表达时为一带箭头的线段)。它可采用在代表该量的字母上加箭头表示。在坐标平面上,则可用有向线段来表示,线段的长度表示其大小,而箭头就代表其方向。

取正弦交变量的幅值(最大值)作矢量长度,以初相角作为矢量起始位置与正向横轴间的夹角,而以电角速度逆时针方向旋转时,该矢量在任一瞬间与正向横轴间的夹角,就表示为正弦交变量的相位(角)。此瞬间,该矢量在纵轴上的投影,便为正弦量的瞬时值。为简便起见,通常只用起始位置(即 $t=0$ 时)的矢量来表示正弦量。交流电路中的电流、电压及电动势都可用平面坐标上的矢量来表示。由于该矢量以电角速度逆时针方向旋转,故称旋转矢量。同时也只有正弦量才能用旋转矢量来表示,其它周期性交变量则不行。为了特指交流电路里的这类旋转矢量,便专门给了它一个名词叫相量,并只准用在代表该量的字母上加圆点的符号来表示(如 $\dot{I}$ ,  $\dot{U}$ ,  $\dot{E}$ 等)。

只有随时间按正弦规律变化的交流量,才可以用所谓相量即平面上的旋转矢量来表示。故虽名为旋转矢量,实质上它是所谓时间矢量(即以时间 $t$ 为自变量)。也就是说,旋转矢量只是一种仅能在平面上表示的时间矢量,它并不存在空间的方向问题。故相量与一般所说的力、加速度、电场强度、磁场强度等空间矢量在实质上根本不同。

### (二) 正弦量的数形表示和符号法

在实际交流电路里,电动势、电压与电流这三个主要参变量均属正弦交变量,故它们也称作正弦交流量并简称正弦量。对于按正弦规律变化的交变物理量,一般都可采用数(函数或数值)与形(图像或形像)这两类不同的表达方式加以描述。由于交变量本身是时间 $t$ 的函数,即是随时都在不断地变化着的,所以又可按其瞬时值与有效值(或最大值)分别从数与形两方面来表达。对正弦交变量的瞬时值,常用解析式(函数式)作为数的表示,而用波形(正弦曲线)作为其形的表示。对正弦交变量的有效值(或最大值)则常用复数

## 第二章 电力网和供电工程

### 第一节 电力系统及电能

#### 一、动力系统、电力系统和供电环节

##### (一) 动力系统及其组成

电力系统、热力系统及其动力部分的总和称为动力系统。它包括由发电机、变压器、电力线路、用电设备连在一起组成的电力系统，由锅炉、汽轮机、热力网与用热设备组成的热力系统，以及由水库、水轮机和核电厂的反应堆等组成的动力部分。动力系统也可看成主要是由以下两类元件构成：

(1) 变换元件。其主要任务是将一种形态的能量变换为另一种形态的能量。属此类元件的有反应堆、锅炉、汽（水）轮机、发电机、变压器、电动机、工作机械（水泵、风机、车床等）、整流器、照明及家用电器等。

(2) 输送元件。其主要任务是输送能量。属于此类元件的有架空电力线路、电缆线路、发电厂或变电所的配电装置、管道及燃料输送设备等。

在动力系统中(见图 2-1)，通过上述元件首先把不同形式的能量转换为电能或热能，然后输送出去，分配到各用户去使用，或由各用户再转变为所需其他形式的能量。

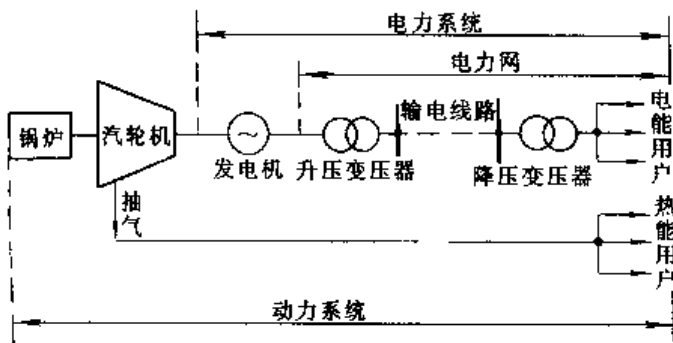


图 2-1 动力系统示意图

##### (二) 电力系统与电力网

电力系统与电力网是两个不同的概念。这可由电力系统的形成中明显地看出来。

现代工农业及整个社会生活中所应用的电力，绝大部分是由发电厂发出来的。但发电厂的生产离不开煤炭、石油或水力资源，而具有兴建发电厂必备条件的地方，往往并不是用电户大量集中的地区，故通常要实行远距离输电。由于发

电机发出的电压一般不可能太高（受绝缘结构、制造技术与运行安全等因素限制，通常为 10.5、13.8kV 或 15.75kV）。为了能将电能输送得远一些，以增大输电容量并减少输电损耗，必须通过变电所将电压升高（如升到 110、220kV 或 500kV）。经输电线路将电力送到了需大量用电的地区后，又要把输电电压降低到配电电压（如 10kV 或 35kV 等），然后再经配电线路分配到各用电单位和住宅去。电力送到用户处后，基于安全和制造因素，各种用电设备因面广量大，从制造成本及用电安全考虑，大都制造成低电压的，故要求供给低压电源。因此还要把电压再行降低，方能适应各种不同用电设备的使用要求。如高压电动机用 3kV 或 6kV 电压，低压电动机一般用 380V 电压，普通照明及家用电器则用 220V 电



压，工矿企业的安全照明及某些携带式电器仅用 36V 或 24V 电压等。所以还必须建有不同电压等级的各级变电所，逐级降压，以供应用。

由以上概略介绍可知，电力从生产到供给用户应用，通常都要经过发电、输电、变电、配电、用电这五个环节。电力从生产到应用的全过程，客观上就形成了电力系统。严格地讲，由发电厂里的发电部分、输配电线路、变配电所及用电户的各种用电设备所组成的整体，称之为电力系统，常简称系统（见图 2-2）。

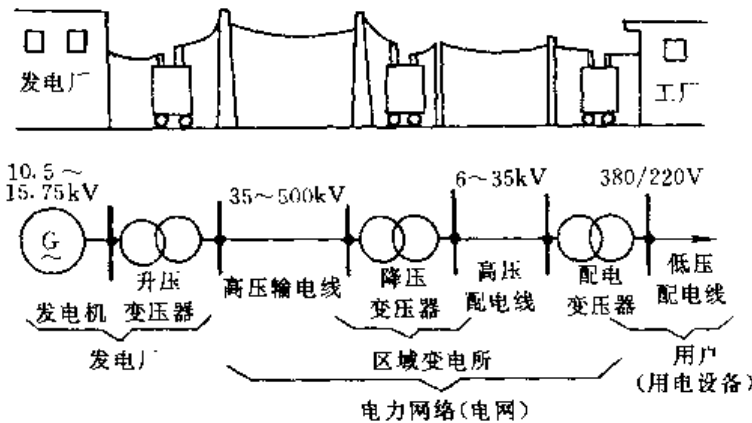


图 2-2 电力系统示意图

各种不同电压等级的电力线路和变配电所组成了电力网，也叫电力网络（简称电网）。它是电力系统的一个重要组成部分，承担了将电力由发电厂发出来之后供应给用电户的工作，即担负着输电、变电与配电（统称为供电）的任务。

电力网按其在电力系统中的作用不同，分为输电网和配电网（见图 2-3）。输电网是以高电压甚至超高压将发电厂、变电所或变电

所之间连接起来的送电网络，所以又可称为电力网中的主网架。直接将电能送到用户去的网络称为配电网。配电网的电压因系统及用户的需要而定，因此配电网中又分：高压配电网（常指 35kV 及以上电压）、中压配电网（常指 10、6kV 或 3kV 电压）及低压配电网（220、380V）。

### （三）电网供电的各个环节

在国民经济的各个部门，无论是工业、农业或交通运输业，也无论是城市或农村，所有大中型工矿企业、乡镇企业以及居民住宅与广大农户，现时使用的电力除极少数地区（尤其是边远山区）由小火电、小水电、风力发电或沼气发电等供电外，几乎全都由电网供给。所谓电网供电，实际上是由电力系统供电。现代化电力系统的规模一般都较大，通常把许多不在一地的发电厂都并列起来，联成较大或大型的电力系统。这样不但能显著提高系统运行的稳定性与安全性，提高发供电的经济效益，对电力实行有效的统一调度和分配，还能提高对用电户（简称用户）供电的可靠性及降低用户的用电成本，提高企业的经济效益。

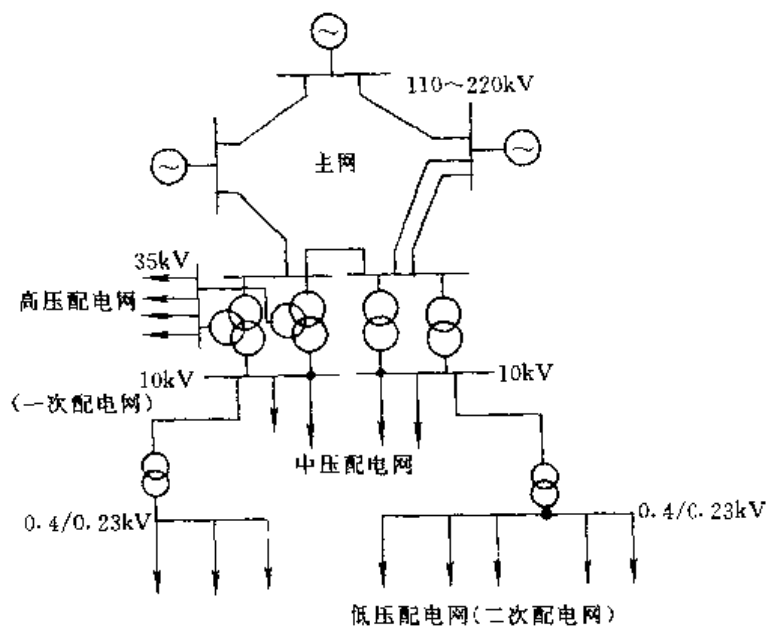


图 2-3 电力网示意图

具体地讲，构成大型电力系统在技术经济上具有下列优点：

(1) 提高了供电可靠性。由于大型电力系统的构成，使得电力系统的稳定性提高。同时，对用户供电的可靠程度相应地提高了，特别是构成了环网，对重要用户的供电就有了保证。当系统中某局部设备故障或某部分线路检修时，可以通过变更电力网的运行方式，对用户继续连续供电，减少了由于停电造成的损失。

(2) 减少了系统备用容量。电力系统的运行具有灵活性，各地区可以通过电力网互相支援，为保证电力系统所必需的备用机组也可大大地减少。

(3) 便于发展大型机组及利用大型动力资源，特别是能充分发挥水力发电厂电能生产成本低的优势性。

(4) 通过合理分配负荷可以降低系统的高峰负荷，提高运行经济性。

(5) 能够提高供电质量。

电能由生产、供应到使用的全过程和各环节如下。

### 1. 发电

发电即电力的生产。生产电力的工厂称为发电厂。发电厂按所使用的能源不同，可分为火力发电（简称火电）厂，水力发电（简称水电）厂和核能发电（简称核电）厂等。

(1) 火力发电厂。火力发电厂通常以煤或原油为燃料，使锅炉产生过热蒸汽。高温高压的过热蒸汽驱动汽轮机使之高速旋转，再由汽轮机带动发电机发电（见图2-4）。某些规模较小的发电厂，也有采用燃汽轮机或内燃机带动发电机发电的。

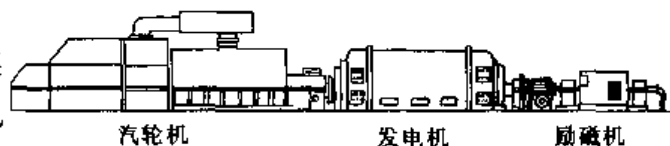


图 2-4 火电厂内汽轮机带动发电机发电

(2) 水力发电厂。水力发电厂是利用自然水力资源作为动力的发电厂。它通常是通过建水库或筑坝等截流方法以提高水位，再利用大量水流的位能来驱动水轮机旋转，由水轮机带动发电机发电。

(3) 核能发电厂。核能发电厂也称核电厂（站），由核燃料在反应堆（见图2-5）中进行裂变反应所释放出的热能来产生高温高压蒸汽，驱动汽轮机进而带动发电机发电。

由于设备制造关系，发电机的输出电压不可能很高（一般都在 22kV 以下），要把电能输送到数百公里以外将很困难且会损耗很多电能。因此，必须经过升压变压器将电压升高到 35~500kV。该升压功能也由发电厂完成。目前我国内地常用的输电电压等级有 35、110、220、(330)、500kV 等多种。东北地区则采用 66、220kV 和 500kV。通常将 330kV 或 500kV 及以上的电压等级称为超高压。

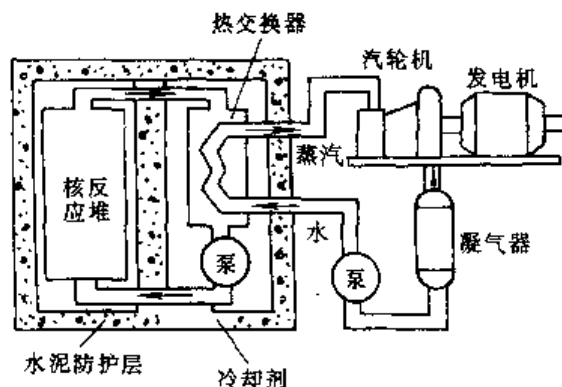


图 2-5 核能发电厂生产过程示意图

### 2. 输电

输电是指电力的输送。输电的距离越长，输电电压就必须升得越高才行。一般情况下，凡输电距离在 50km 以下的可采用 35kV 电压；在 100km 左右的宜采用 110kV 电压；超过 200km 时则采用 220kV 或更高的电压。

输电线路一般采用架空线路，有些地方或场合采用电缆线路。架空线路按不同的电压等级采用不同的杆塔。35kV 线路通常采用混凝土杆，每个支持点上用 2~4 片悬式绝缘子串接来支持导线。110kV 线路有用铁塔架设的，也有用混凝土杆单杆或双杆架设的，每个支持点上用 7~8 片悬式绝缘子串接来支持导线。220kV 及以上线路常采用铁塔架设，每个支持点上用 13~14 片（且常采用双串）悬式绝缘子串接来支持导线。因此，根据杆塔构造和导线支持点串接绝缘子的多少便可判断架空输电线路的电压等级。

### 3. 变电

变电即变换电网的电压等级。变电即变换电网（内电能）的电压等级，通常所讲的变电多指降压，事实上升压也属于变电。变电可分为输电电压的变换和配电电压的变换，且常将前者称为变电所（站），后者称为变配电所（站）。若只起配电作用而无改变电压功能的，则称为配电所（站）。变电所（站）全貌见图 2-6 所示。

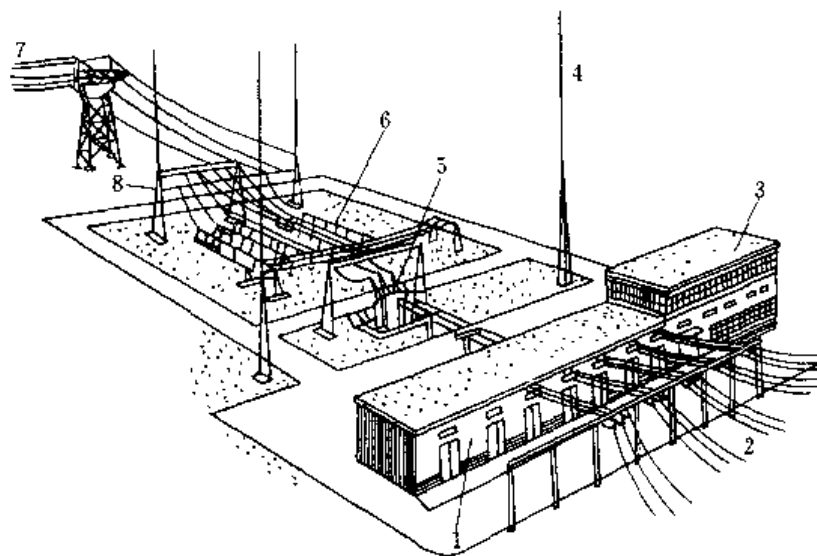


图 2-6 变电所（站）全貌

1—开关室；2—配电线；3—主控制室；4—避雷针；5—主变压器；  
6—室外配电装置；7—输电线；8—H 型构架

### 4. 配电

配电即电力的分配。我国电网的高压配电电压分别为 35kV 与 10kV（原采用的 6kV 已趋淘汰），有时也将 35kV 称作高配电压、10kV 称作中配电压。低压配电电压为 220V、380V。确切地讲，凡经电力变压器降成 10kV 或 0.4kV（三相四线制供电方式时即为 220/380V）的那级电压，方称高配电压。电网内有时也直接将 35kV 降为 0.4kV，这种供电方式常称为直配。现国外有不少国家或地区已采用 15.4、22、33kV 和 380V、660V 分别作为高（中）、低压配电电压。随着我国工业化程度的不断提高，改为采用较高等级的电压如 20kV 和 380V、660V 分别作为我国的高（中）、低压配电电压，是改革的必要，也是发展的必然趋势。

### 5. 用电

电能输送与分配到用户之后，便可供各类用电设备使用。在同一时刻，各用电设备所需要（或耗费）电功率的总和称用电负荷（单位 kW）。根据用户对供电可靠性的要求，用

成了低谷负荷，迫使电力的生产与供应只得减少，发变电及供配电设备得不到充分利用，同样会给电网的正常与经济运行带来影响。

针对上述情况，广大用户应积极认真地配合当地电业部门，努力做好调荷节电工作。它包含调整负荷与节约用电两方面内容。节约用电是指各用电单位及城乡居民用户都应尽可能节省对电能的消耗，尤其应杜绝浪费。调整负荷则是人为地改变用电的高峰与低谷（包括调整厂休日与班次，改变用电时间等），削峰填谷以使负荷曲线尽量平稳，保障系统内发电机能稳发满发及用户的正常用电需要，避免电网电力供应的过度紧张或设备容量的较多空裕。

电业部门自身也在想方设法做好调荷工作。由于目前对作为工农业生产动力使用的电能尚无法储存，故采用将其转换为其他形式能量的办法进行间接地变相储存。如在电网用电低谷时，将系统富裕的电力用来抽水，把大量的水由下水库提升到上水库（高处或山顶水库）内，使电能转换成水的位能存储起来。再在用电高峰期电力供应紧缺时，让水库放水，冲动可逆式水轮发电机（抽水时作为水泵与电动机用）旋转而发出电来，即被储存的大量水的位能重新转换成电能以供电网。这种类型的水力发电站称为储能电站或蓄能电站（见图 2-8）。

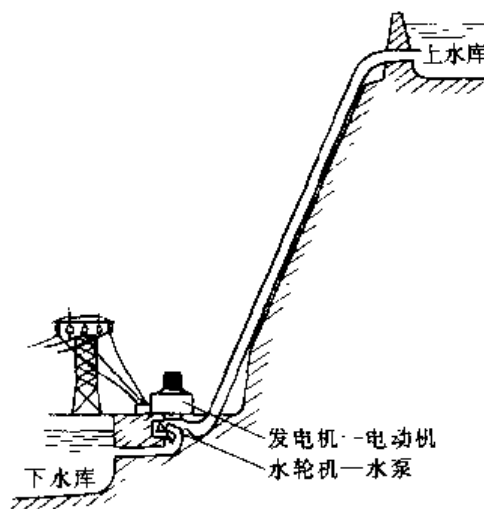


图 2-8 储能电站原理示意图

虽然现时我国尚未能大规模兴建这种储能电站，使其在系统的电力平衡中发挥很大作用，但由于它显著的优越性，这方面的工作已开始起步，且个别储能电站近几年也已经建成投运。作为广大电力用户，则始终应严格按照计划用电，调整工作班次，错开用电时间，改进设备和工艺，降低用电单耗（单位产品的耗电量）。密切配合当地供电部门，认真做好调整荷节电工作。

### 三、为何世界上普遍采用三相制

三相交流电系统现已成为近代发电、供电及动力用电的基本制式。这种三相交流制之所以能获得如此广泛的应用，主要是经过各种方案的技术、经济分析与比较，三相制比起单相制或其他多相制来，具有下述几方面优越性：

(1) 三相交流制较单相制更便于获得旋转磁场。这种磁场是使感应电动机与同步电动机等这类最常用电气设备能够运转的必要条件。

(2) 传输单相电功率需 2 根导线，而传递三相电功率（3 倍于单相功率）仅需 3 根导线，且对称（各相量值与相位差分别相同）三相电路功率的瞬时值可以恒定不变。这就为电力的供应与使用创造了极有利的条件。

(3) 采用同样等级的供电电压、输送等量的电功率，在送电距离及线路损耗均相同的前提下，三相制较单相制或其他多相制所耗费的线路导线等材料最省，费用最低。

(4) 主要电气设备与用电设备，如发电机、变压器与电动机等，制成三相制设备比制造相同功率的单相或其他多相制设备，一般讲制造工艺相对简便，而且平均单位功率所耗

费的材料等也最省，制造成本最低。

正因为三相交流制具备上述优越性，所以从它刚问世起，世界各国及我国便都普遍广泛地采用它。

#### 四、我国能源紧张的原因与对策

##### (一) 我国能源供应紧张的原因

目前我国能源的供需矛盾十分突出，造成这种供不应求紧张局面的原因，除了社会生产的持续高速度发展及人民生活用电需求的大量增加外，主要是：

(1) 能源开发相对不足。我国有 10 多亿人口，每人每年的能源平均消耗量只合 0.6t 标准煤，仅占世界平均值 2.14t 的 28%。与美国 (12t)、欧洲各国 (6t 左右) 和日本 (4t) 相比差距更大。故能源的开发量不足，是我国能源供应紧张的根本原因之一。

(2) 能源使用浪费很大。世界上能源的有效利用率：日本为 57%，欧洲为 43%，美国为 35%，而我国只有 28%，仅为日本的一半。调查资料表明，我国的钢铁、化肥、炼油、水泥等工业单位产量的耗能都比日本高出一倍以上。虽存在一些不可比因素，但也足以说明我国能源使用中的浪费确实很大。

尤需指出，我国的能源紧张是在能源消费人均水平很低的条件下出现的。世界按人口平均的用电量约 3000kW·h/(人·年)，工业发达国家均在 5800kW·h/(人·年) 以上，而我国仅及世界平均值的 1/3 左右。若按到 2000 年我国人均年用电量达到目前世界平均水平计算，如果人口控制在 12 亿，则每年需电量达 36000 多亿 kW·h。若靠火电来满足，即使考虑煤耗率 (每发 1kW·h 电所消耗的标准煤用量) 降至目前美国的水平，每年也需煤炭 20 亿 t，约为目前我国煤炭年产量的 2 倍多，这几乎是不可能的。

##### (二) 我国解决能源紧张的对策

(1) 制订周密而有科学依据的能源规划。能源平衡主要包括各种能源的生产平衡、消费平衡、生产与消费之间的综合平衡三个方面。只有围绕能源平衡这一核心问题，制订出一个周密而有科学依据、且切合我国实际的长远规划，才能保证整个国民经济的顺利发展。

(2) 煤的利用要提高到一个新水平。随着石油、天然气的供应紧张以及资源的逐渐枯竭，世界能源正处于一个过渡时期，即加快增加煤的开发利用时期。我国由于石油储量的限制，各种能源消费中仍以煤为主，而目前其利用率又很低。因此，如何提高煤炭的利用率和利用技术至关重要。

(3) 加快发展电力工业，大力开发水电。由直接使用一次能源改为应用二次能源，在很多情况下是节约综合能耗、提高劳动生产率、实现文明生产的有效途径。全世界发电用能源在一次能源总耗中所占比重已达 25%，并有日渐增长的趋势。我国发电用燃料目前只占一次能源总耗的 22% (每年发电用煤约占全国原煤产量的 20%)，所以要加快发展电力工业。目前世界水力资源的利用程度平均约 17%，我国仅为 2.5%。西方国家水力资源的开发利用程度已达 38%，其中瑞士 98%，意大利 83%，西德 78%，日本 66%，美国 43%。在我国发电量中，水电仅占 19.4%，故更应大力开发水电。因此，国家现正在抓紧建设宏伟的三峡工程。

(4) 注意核能利用技术的研究与发展。核能是今后几十年内人类用以大规模替代石油、

煤炭的新能源。据国外预计，到 2000 年世界总能源消耗中核能的使用将占 13%。我国从事核电站的研究与发展工作起步较晚，除已建成的秦山核电站与大亚湾核电站外，现正抓紧制定规划及筹备建设其他新的核电项目。

(5) 认真解决农村能源问题。我国农村能源不足且情况严重，全世界目前烧柴草的大约有十几亿人，中国就占了一半。全国农村每年需烧柴草 6 亿多 t，估计每年缺三个半月的柴草。解决农村能源问题不能全靠国家生产的油、煤、电，还要适当使用沼气、小水电、太阳能及风能等可再生能源。

(6) 研究能源管理的经济政策。能源的合理和有效利用，涉及到技术、管理和经济问题。经济政策对头了，节约能源的积极性便可调动起来，能源的使用也能趋向合理。在目前新能源还不能很快被大规模采用的情况下，就应特别重视能源的合理使用并注重能源的节约。因此有人称节能为第五能源，“21 世纪将是节能的世纪”。从我国当前实际情况出发，在能源问题上采取开发与节约并重的同时，近期还必须把节能放在优先地位。

### 五、供电质量指标与规定

电力既然是发电厂的一种产品，故它也必然像其他商品一样有着质量的好坏。对于电力系统所供出的电能来讲，所谓好坏则应看它是否符合有关对质量指标的要求。供电质量是指电能质量与供电可靠性。供电质量不合格，会使用电设备的性能恶化，如设备运行效率和功率因数下降，电能损耗增加，使用寿命缩短；使自动运动装置或电子设备的工作失常；使工作机械生产效率下降，生产的产品质量变差变劣；严重时会使产品大量报废，甚至危及设备或人身的安全。

电能质量表征了电能品质的优劣程度。通常以供用电双方设备产权分界点处的电能质量作为评价依据。电能质量包括电压质量与频率质量两部分。

#### 1. 电能的质量指标

(1) 电压。电压是电能的主要质量指标之一。电压质量对电网的稳定运行，降低线路损耗，保证生产的安全与正常进行，提高产品质量，降低单耗等都有着直接影响。电压质量既有数值上的要求，也有波形与对称性方面的要求。数值上，一般来说电力用户受电的端电压偏移不得超过额定电压的  $\pm 5\% \sim 7\%$ 。波形应是正弦波，畸变程度不大，实际波形中所含任一高次谐波的瞬时值不应超过同相基波电压瞬时值的  $1.5\% \sim 5\%$ （对 110kV 到低压供电电压而言，电压等级越高要求也越高）。此外，三相之间还要求互相对称，否则便会含负序与零序分量，要求它们都不应超过正序分量的 2%。

由于各类用户的生产与工作情况均与电压的高低有着密切关系，故世界上许多国家根据运行实践所规定的电压允许变化范围大都为额定电压的  $\pm 5\%$ ，少数国家也有宽到  $\pm 10\%$  或严到  $\pm 3\%$ （参见表 2-1）。我国按国家技术监督局 1990.4.20 批准，1990.12.1 实施的国家标准（GB12325—90）规定，对电压数值的允许变化范围是：

1) 35kV 及以上供电电压的正、负偏差的绝对值之和，不应超过额定电压的 10%（如供电电压上下偏差同号时，按较大偏差的绝对值作不衡量依据）。

2) 10kV 及以下三相供电电压的允许偏差为额定电压的  $\pm 7\%$ 。

3) 220V 单相供电电压的允许偏差为额定电压的  $+7\% \sim -10\%$ 。

(2) 频率。电力系统供出的交流电的频率是电能质量的另一个主要指标。频率的偏差

表 2-1 一些国家、地区和组织对电压允许偏差的规定

国家、地区与组织	电 压 允 许 偏 差	国家、地区与组织	电 压 允 许 偏 差
国际电工委员会 (IEC)	对 100~1000V 交流供电系统为 $\pm 10\%$	意大利、荷兰、南斯拉夫、奥地利	$\pm 10\%$
国际发供电联盟协会 (UNIPED)	对低压供电网为 $\pm 10\%$ (230/2000V 系统)	瑞典	无全国规定, 一般为 $\pm 5\%$ , 最大为 $\pm 10\%$
美国	未规定, 一般为 $\pm 5\%$ (费城: 动力 $\pm 10\%$ ; 照明 $\pm 5\%$ )	波兰	城市为 $\pm 5\%$ , 其他地区 $\pm 10\%$
前苏联	1kV 及以下 $\pm 5\%$ , 最大允许 $\pm 10\%$ , 6~20kV 短暂允许最大 $\pm 10\%$	捷克斯洛伐克、罗马尼亚、瑞士	实际为 $\pm 5\%$
日本	101V 为 $\pm 6\%$ , 202V 为 $\pm 20\%$	匈牙利	+5%~10%
德国	城市为 $\pm 3\%$ , 农村为 $\pm 10\%$	挪威	无全国规定, 城市为 $\pm 5\%$ , 其他为 $\pm 10\%$
英国	240V 为 $\pm 6\%$	丹麦	无全国规定, 实际白天为 $\pm 10\%$ , 夜间为 $\pm 5\%$
法国	中压网 $\pm 7\%$ , 低压电缆供电 $\pm 5\%$ , 架空线供电 $\pm 7.5\%$ , 其他 $\pm 10\%$	芬兰	无全国规定, 城市为 $\pm 5\%$ , 其他为 $\pm 10\%$
		巴基斯坦	650V 以下为 +5%, 650V 以上为 12.5%

同样将严重影响系统的安全运行和用户的正常用电。目前, 世界上有许多国家对频率变化的允许偏差规定为不超过  $\pm 0.5\text{Hz}$ , 但是也有少数国家规定为不超过  $\pm 0.1\sim\pm 0.2\text{Hz}$ 。

我国规定电力系统交流电频率的额定值应为 50Hz (常称工频)。按国家标准 (GB/T15945—1995), 交流电频率的允许变化范围是:

- 1) 电力系统正常频率偏差允许值为  $\pm 0.2\text{Hz}$  (即由 49.8~50.2Hz)。
- 2) 当系统容量较小时 (一般指 300 万 kW 以下), 其偏差值可以放宽到  $\pm 0.5\text{Hz}$  (即由 49.5~50.5Hz)。

## 2. 供电可靠性

供电可靠性是持续供电能力的量度。对于工厂企业等任何电力用户或其他用电户, 显然都希望能供电可靠。因突然停电或经常停电而招致的停工、停产、产品报废、设备损坏, 甚至造成电气火灾或人员伤亡等恶性事故, 总是会给各类用电单位及职工带来很大损失或酿成惨重后果。所以供电可靠性显然应该是供电质量的主要指标之一。为了对它定量地加以说明, 使用供电可靠率这一概念。它是指某一统计期内供电部门对用户的实际供电时间 (统计期内总时间减去平均停电时间) 与本统计期全部时间的百分比 (据资料介绍, 日本的供电可靠率为 99.95%, 而美国则达 99.99%)。停电时间应包括事故停电、临时性停电及计划检修停电时间。

我国开展这项工作起步较晚, 目前已开始将它列为电力企业的一项考核指标。现阶段对供电可靠性的含义, 一般可理解为根据用户用电需要, 供电部门应将由于电网各种故障或检修等主客观原因而引起对用户实行停电的次数与时间, 降低到某一规定限度。

## 六、电能质量优劣对用户的危害

### (一) 电压质量偏差对用户的危害

#### 1. 电源电压高低所造成的危害

各类用电设备都要求供给其额定电压才能正常工作。若电源电压超标准降低或升高时, 轻则

不能正常工作，严重时会引起设备损坏等事故。现将其具体影响分述如下（参见表 2-2）。

(1) 白炽灯。电源电压降低时其发光效率和光通量都将急剧下降，若下降 10% 时，发光效率将降低 32%。当电压增高时，灯泡的使用寿命便大为缩短。如电压增高 10%，灯泡的使用寿命就将缩短 70% 左右（见图 2-9）。

(2) 荧光灯。俗称日光灯。电源电压每降低或升高 10%，其亮度将减少或增大 20% 左右。不论电压升高或降低，都会影响灯管寿命，且升高时影响最大。若过低（约 20%）时，荧光灯便难于启辉发亮。其他电光源如水银灯等，也有类似影响。

(3) 电动机。它是系统中应用最广泛的一种用电设备。据统计，各行业所有用电设备中电动机的容量约占设备总容量的 70% 左右。而各类电动机中，感应电动机又占绝大多数（2/3 以上）。对这种使用最为普遍的感应电动机来说，当其输出功率一定时，它的定子电流、功率因数和效率对电压的变化都十分敏感（见图 2-10）。其运行特性与电源电压的关系相当密切。端电压下降时，由于电动转矩与电压平方成正比，转矩将显著减小，从而引起转速降或停转。这将会造成废品或引起事故。且此时因转差较大，会使定子和转子电流都显著增大，导致电动机发热加剧、温度上升甚至被烧毁。反之，电源电压过高时，电动机（凡含励磁铁芯的电气设备如变压器、电焊机等均如此）铁芯内的磁密将会增高以致饱和，从而励磁电流与铁耗都大为增加（称过励磁）。这将使电机过热，效率降低，影响加工质量且使波形变坏。

(4) 电热设备。它是将电能转换成热能的用电设备。由焦耳定律可见，其功率与电压

表 2-2 电压偏差对用电设备性能的影响程度

电气设备名称	与电压的关系	在下列电压偏差下对性能的影响程度	
		-10% 时	+10% 时
异步电动机			
对启动、最大转矩	$U^2$	-19%	+21%
对滑差	$U^{-2}$	+23%	-17%
对启动电流	$U$	-(10~12)%	-(10~12)%
对满载电流		+11%	-7%
对温升		+(6~7)%	-(3~4)%
同步电动机			
对最大转矩	$U$	-10%	+10%
电热设备			
对输出热能量	$U^2$	-19%	+21%
白炽灯			
对光通量	$\approx U^{3.6}$	-32%	+40%
对寿命	$\approx U^{-14}$	+330%	-70%
气体放电灯			
对荧光灯光通量	$\approx U^2$	-20%	+22%
对荧光灯寿命		+35%	-20%
对高压水银灯光通量	$\approx U^3$	-27%	-30%
对金属卤化物灯光通量	$\approx U^3$	-27%	+30%
对高压钠灯光通量	$\approx U^{4.4}$	-37%	+50%
补偿电容器			
对输出无功功率	$U^2$	-19%	+21%

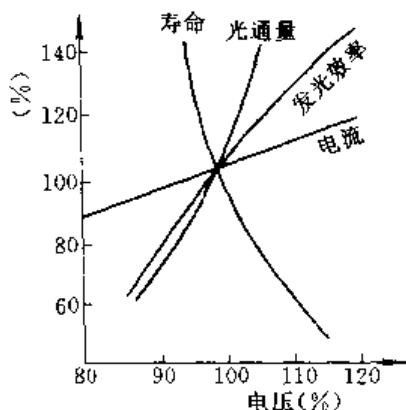


图 2-9 白炽灯的电压特性

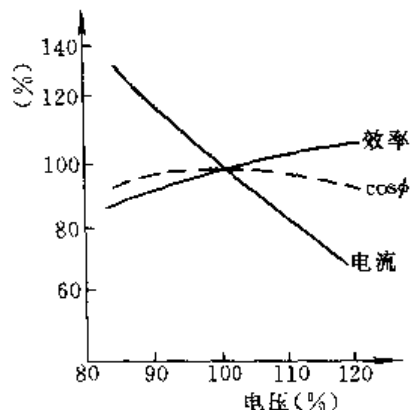


图 2-10 感应电动机的电压特性



的平方成正比。显然，过高的电源电压将会损坏设备或产生废品；电压过低时，设备功率便显著降低，就达不到所需的加热温度，同样将影响企业的正常生产。

(5) 电子设备。如电视、广播、通信、电传、雷达及各种自动控制装置等，它们对电压质量的要求就更高。电子设备中的各种电子管、半导体元件、集成电路或磁芯装置，都是在一定的特性曲线下工作的。若电源电压过高或过低，都会使其特性发生变化而影响正常工作。如对电视机来说，过高的电源电压显然会缩短其使用寿命或导致烧坏。当电压每降低或增高 10% 时，其图像亮度将减弱或增强 10%~30%，且图像将减小或增大 5% 左右。对于彩色电视机，则不论电压降低或增高，还均会影响其色彩与收视效果。

## 2. 波形畸变或电压不对称造成的危害

(1) 供电电源电压的波形发生畸变、即不为正弦波时，经分析可知，是由于此时电源电压和电流的波形中出现了多种高次谐波（即多种频率分别为基波频率整数倍的各次谐波）。它们对用户的正常用电及用电设备本身都会造成相当危害。高次谐波成分将会使电动机的工作效率降低以致无法正常运行；可能使系统产生高次谐波共振而危及发供电设备的安全；它还会增大电网供配电线路的电能损失；加速电动机、变压器、电缆，特别是电容器等器件或设备的绝缘老化，降低对用户的供电可靠性。同时，对自动远动装置和通信线路还会产生严重干扰。

(2) 当各相电压的量值相差较大或各相间相位差并非均为  $120^\circ$  时，这种不对称的电源电压就会程度不同地影响用户各类常用电气设备，尤其是精密仪器或自动装置的正常工作。如导致用电设备出力降低，电能损耗增大，引起局部过热，缩短使用寿命或导致装置误指示与误动作等。故对用户的三相用电设备，应供出对称的三相电源电压。

## (二) 电源频率偏差对用户及系统的影响

(1) 对各类用户最常用的电动机来说，低频率会使其转速下降，从而降低生产效率并影响电机自然寿命。反之，频率增高就会使电动机转速上升，将增大功率消耗而降低运行经济性。某些对电机转速要求严格的工业部门（如纺织、机械、冶金、化工及造纸等），频率的偏差将会严重影响产品质量与数量。此外，不合格的电源频率还会造成电钟计时不准、影响甚至破坏用户各种电子装置、设备或器械的工作精度与正常功能。

(2) 频率偏差超出规定的允许范围时，对发电厂乃至电力系统自身都会造成重大影响，危及其稳定运行。因发电厂锅炉给水泵和风机之类的离心式机械，在频率降低时其出力将急剧下降，从而迫使锅炉出力减小甚至引起紧急停炉。这就进一步减少了系统的发电出力，导致系统频率更加下降。故若系统频率急剧下降的趋势不能及时得到制止，势必引起恶性循环，甚至使整个电力系统发生崩溃。

## (三) 供电可靠性降低对用户的影响

无论工厂企业或其他任何用电单位，若电业部门对其供电可靠性降低，经常限电或断电，供电无保障，所造成的影响是显而易见的。

在需要供电的时间里，不论城市工矿或乡镇企业，若得不到足够并合格的电力供应，势将造成减产、停产，这就影响到企业的经济效益，甚至波及国家建设和国民经济的发展。此外，对机关等事业单位、公共设施用电及人民生活用电方面，同样会造成极大影响，使之难以保持正常的工作秩序、社会秩序和生活秩序。

尤其是电网的突然事故停电或无计划临时停电，更易引起严重后果。因为此时电力用户缺少事先准备，突然停电就容易造成产品报废、大量减产、设备损坏，甚至酿成人员伤亡、引起电气火灾或爆炸等恶性事故，给国家、企业和群众带来惨重损失。

### 七、电压等级标准与高低压的划分

所谓额定电压，就是指能使各类电气设备处在设计要求的额定或最佳运行状态的工作电压。1959年时国家曾颁发了我国交流电系统额定电压的等级标准，后随着国民经济的不断发展，进一步考虑到经济、技术的合理性，并为实现电气设备生产的标准化和系列化，1980年和1993年我国曾两次修订发布了国家《标准电压》(GB156-80和GB156-93)。按参照采用国际标准IEC38(1983)《标准电压》制订的我国标准电压等级分为如下四类(见表2-3)。

划分交流电高电压与低电压的标准通常有如下两种：

(1) 采用以250V作为划分标准，其规定是：凡设备对地电压大于250V者称高电压(简称高压)，如3、6、10、(20)、35、66、110、220、330kV及500kV等。凡设备对地电压在250V及以下者则称低压(简称低压)，如220/380V。

(2) 采用以1kV作为划分标准，其规定是：凡额定电压超过1kV以上者称高压；在1kV及以下者则称低压。这是又一种划分界限，它与前一种界限相比各有其特点。

交流电压除划分为高、低压外，还划有超高压和安全电压的规定。超高压是指330kV及以上的电压等级，这大都在电力系统内方有涉及；安全电压则与广大用户密切相关。它一方面是相对于电压的高低而言，但更主要是指对人体安全危害甚微或没有威胁的电压。人体电阻不是纯电阻，它还包含与皮肤电阻并联的电容与电抗，因电容很小故可忽略。人体体内电阻值主要取决于胖瘦程度，基本不受外界因素影响，其值约500Ω；皮肤电阻则随条件不同而有很大差异，使得人体电阻也在很大范围内变化(见表2-4)。

表 2-4 不同条件下的人体电阻值 (Ω)

接触电压 (V)	人 体 电 阻			
	皮肤干燥 <sup>①</sup>	皮肤潮湿 <sup>②</sup>	皮肤湿润 <sup>③</sup>	皮肤浸入水中 <sup>④</sup>
50	4000	2000	875	400
100	3000	1500	770	375
350	1500	1000	650	325

- ① 相当于干燥场所的皮肤，电流途径为单手至双足。
- ② 相当于潮湿场所的皮肤，电流途径为单手至双足。
- ③ 相当于有水蒸汽等特别潮湿场所的皮肤，电流途径为双手至双足。
- ④ 相当于游泳池或浴池的情况，基本上为体内皮肤。

表 2-3 我国《标准电压》(GB156-93)

序号	分 类	电 压 等 级
I	220~1000V 交流电力系统及电气设备的标称电压或额定电压值 (V)	220/380, 380/660, 1000 (1140)
II	3kV 及以上交流三相系统的标称电压值 (kV)	3, 6, 10 (20), 35, 66, 110, 220, 330, 500, (750)
III	交流 380V 及以下电气设备的额定电压值 (V)	6, 12, 24, 36, 48, 110, 220, 380
IV	发电机的额定电压值 (kV)	0.115, 0.23, 0.4, 0.69, 3.15, 6.3, 10.5, 13.8, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26

影响人体电阻的因素很多，除皮肤厚薄外，皮肤潮湿、多汗、有损伤、带有导电性粉尘等都会降低人体电阻。接触面积加大、接触压力增加也会降低人体电阻。通过电流加大，通电时间延长，将增加发热出汗，也会降低人体电阻。接触电压增高，会击穿表皮角质层，并增加机体电解，也会降低人体电阻。此外，人体电阻还随电源频率的增高而降低，如100kHz时的人体电阻仅约为50Hz时的一半。

二级负荷应由两回线路供电，这两回线路应尽可能引自不同的变压器或母线段。当取得两回线路确有困难时，也可允许采用一回专用线路供电。

(3) 三级负荷。突然停电后影响不大，以及所有不属于一级和二级负荷的其他用电负荷。如一般机械厂、纺织厂、矿山的辅助车间和福利设施，以及一般民用电等。

三级负荷对供电的连续性目前阶段尚没有特殊要求，允许有一段不长时间的停电，故现时可以由单回线路供电。

此外，还可按用电设备的工作方式（也称工作制）进行负荷分类：

(1) 连续运行工作制。凡使用时间较长、连续工作的用电设备均属此类。此类设备在工作时有的负荷稳定，如通风机、水泵和压缩机等用的电动机；有的负荷变动较大，如金属加工机床上的电动机等。它们对负荷电流的计算影响很大。

(2) 短时运行工作制。凡工作时间甚短、停歇时间却很长的用电设备均属此类。如水闸门的启闭电动机、某些辅助机械所用的电动机等。负荷计算时，与连续运行工作制同样看待。

(3) 反复短时工作制。凡时而工作时而停歇、如此反复运行的用电设备均属此类。如吊车用电动机及电焊变压器等。因是反复短时工作，用电时间短暂，从发热观点看，同样的铭牌功率，其负荷电流可（比连续运行工作制的设备）取小一些。

顺便指出，在计算供用电负荷时，这种按工作制的划分方法尤其重要。计算中应根据不同的工作制进行适当换算，方能求得较为切合实际的计算负荷值。

## 二、电业对用户的供电方式

### (一) 对用户供电电压的确定原则

供电部门对用户的供电电压，应从供用电的安全和经济出发，根据国家标准电压等级、电网规划、用电性质、用电容量、供电方式及具体供电条件等因素，在进行技术经济比较后，与用户协商确定。

在电力网中，额定电压的选定是一项很重要的技术管理工作，对不同容量的用户及不同规模的变、配电所要求选择不同的额定电压供电。额定电压的确定与供电方式、供电负荷、供电距离等因素有关（参见表 2-5）。

### (二) 电网的建设与改造

城市电网的建设与改造应纳入城市建设与改造的统一规划。供电部门要与城建部门密切配合，以便城建部门统一安排供电设施的用地、线路走廊、电线隧道，以及在城市大型建筑物内和建筑群中预留区域配电室、开关所（站）和营业网点等的建筑面积。

农村电网的建设与改造要纳入县区、乡镇建设与改造的统一规划。应结合农田水利、乡镇企业、农副产品加工及农村经济的发展，由供电部门统一规划。集体自筹资金兴建农村输变电设施时，要从全局出发，服从电网统一规划。

表 2-5 供电电压与输送容量的关系

额定电压 (kV)	线路种类	极限容量 (kW)	输送距离 (km)
6	架空	2000	3~10
	电缆	2000	8
10	架空	3000	5~15
	电缆	5000	10
35	架空	2000~10000	20~50
110	架空	10000~50000	50~150
220	架空	50000~200000	150~300
500	架空	200000 以上	300 以上

特别要指出的是：当前国家正在下大力气、下大决心，投入数千亿元资金实施对全国城网与农网的改造。初步规划 1998~2000 年三年中即要完成全国约 280 个地（市）、级城网改造工程，总投资约 1200 亿元。比 90 年代前 7 年实现总量的 1.5 倍还要多。项目都经国家审批，国家有关综合部门和国家电力公司都非常重视，领导亲自布置指导、组织检查、推动落实。重点放在 110kV 及以下供配电网的建设与改造，着重从根本上消除使配电“卡脖子”环节，提高住宅供电设施标准，充分满足城乡居民用电快速增长的需求；进一步提高城乡电网的科技含量，向现代化供电迈进。要求采用设备小型化、无油化、绝缘化、少维护、少占地，推进城市中心区电缆入地、使用封闭组合型断路器 GIS、试点实践配网自动化和用电管理现代化；同时重视落实节能方针，扩大使用节能降耗效果明显的变压器及线路器具，更换淘汰在运高耗变压器，配网主干线更换大导线，采用足量且优化的无功补偿装置、增强调节性能等。

### （三）备用电源和临时电源

用户需要备用电源或保安电源时，供电部门要按其负荷性质、容量及供电可能性，与用户协商确定。对供给备用或保安电源暂很困难或所需投资过大时，用户也可采用自备电源解决。但装设自备发电机的用户，必须具有可靠的防止倒送电装置及有关措施，经供电部门批准并双方签订自发电协议后，方可投用。

对基建工地、市政建设、农田水利或其他情况确需临时用电时，供电部门可供给临时电源。但使用临时电源的用户不得对外转供电，也不得转让给其他用户。如需改为正式用电，则应按新装用电手续办理。

### （四）实行转供电的具体规定

（1）供电部门在其所辖公用供电设施尚未能到达的地区，经征得该地区有供电能力的直供用户同意，可采用委托方式向其附近用户转供电力。但不得委托重要的国防军工用户转供电。

（2）供电部门委托用户转供电时，双方应就转供范围、转供容量、转供期限、转供费用、转供用电指标、计量方式、电费计算、转供电设施建设、产权划分、运行维护、调度通信、违约责任等事项签订协议。

（3）用户不得自行转供电。任何用户未经供电部门批准或受其委托，不准向邻近用户擅自转供电，否则按违章处理。

（4）对被转供户，应视同供电企业的直供户，与直供户享有同样用电权利，其一切用电事宜按直供户规定办理。被转供户应按国家规定交纳电费和实行计划用电，严格执行供用电合同。

## 三、高低压用户和调度范围的划分

### （一）高低压用户的区分

凡由供电部门直接以 10kV 及以上高压实行供电的用户，称为高压供电用户，简称高压用户。而由供电部门直接以 220/380V 的低压实行供电的用户，称低压供电用户，简称低压用户。

由于各电力用户所需供电容量的不同，为了取得供配电的经济合理性，供电部门便采用不同等级的电压向用户实行供电。对用户实行高低压供电的具体容量界限，由省电网经

营企业作出规定。各地标准不一，通常可参照以下各条：

(1) 用户用电设备容量在 250kW 或需用变压器容量在 160kVA 或 250kVA 及以下时，应实行低压供电（特殊情况也可实行高压供电）；用电设备容量超过 250kW 或需用变压器容量超过 160kVA 或 250kVA 时，则实行 10kV 高压供电。

(2) 实行高压供电方式的用户又可分为两种情况。凡需变压器容量不足 630kAV 的，可实行高压供电、低压计量方式（即所谓高供低计）；变压器容量在 630kAV 及以上者，则实行高压供电、高压计量方式（即所谓高供高计），用户应建造 10kV 变配电所。

(3) 凡用户所需供电容量超过 3000kVA 时，实行 35（或 66）kV 高压供电，用户应建 35（或 66）kV 变电所。

(4) 凡用户所需供电容量超过 10000kVA 时，实行 110（或 220）kV 高压供电，用户应建 110（或 220）kV 变电所。

## （二）对供电系统的基本要求

(1) 供电可靠性。供电系统应有足够的可靠性，特别是对用户连续供电，在任何时间都能满足用户用电的需要。即便在供电系统中局部出现故障的情况下，仍不能对某些重要用户的供电有较大影响。为此要求电力系统至少具备 10%~15% 的备用容量。

(2) 电能质量合格。电能质量的优劣，直接关系到用电设备的安全经济运行和生产的正常进行，对国民经济的发展有着重要意义。无论是供电的电压、频率，以及不间断供电，哪一方面达不到标准都会对用户造成极不良后果。故供电系统应确保对用户的供电质量。

(3) 安全、经济、合理性。供电系统要安全、经济、合理地供电，这同时也是供、用电双方要求达到的目标。为此就需要供、用电双方共同加强管理，做好工作，同时还要求用户积极配合，密切协作，为对方提供必要的方便条件。

(4) 电网运行调度的灵活性。对于一个庞大的电力系统或电力网，必须做到运行方式灵活，调度管理先进。只有如此，才能实现系统的安全可靠运行。只有灵活的调度，才能使系统在局部故障时获得及时检修而达到系统的安全可靠、经济合理地运行。

## （三）供用电两者间的关系

正确而妥善地处理好供电与用电的关系，十分重要。由于电力是宝贵的二次能源，目前乃至相当长时期内，我国的电力供应仍将处于紧张状况。因此，不可避免会产生电力的供需矛盾，出现电力供不应求的被动局面。但这种矛盾在目前电力生产不足的情况下，也还是有办法使之趋于缓和或获得不同程度的解决的。其首要的一条，就是供电部门与电力用户双方都要严守有关供用电的各项规定，服从电网的统一调度，密切配合，共度难关。

供电部门要切实做到安全经济供电，尤其要树立全心全意为用户服务的思想，端正服务态度，切实有效地克服电衙门、电老虎、电霸头作风。对用户不应只是监察，更主要地是协助。要大力开展优质服务，帮助及指导用户用上电、用好电，尽可能做到安全、经济、合理地使用电网电力。广大用户则要严格遵守有关用电的规章制度，配合供电部门共同管好电，并应认真而扎实地做好安全用电、计划用电与节约用电工作，充分发挥每 kW·h 电能的应有作用。

#### (四) 调度范围的划分

如前所述，城市中各类工厂及乡镇企业中，凡用电设备、用电量以及用电负荷较大的单位，一般都应实行 6~10kV 及以上（如 35kV 或 66kV、甚至 110kV）高压供电。否则，供电部门便无法供应它们所需的足够电力。同时，为接受电力网供来的高压电力，这类工厂企业大都建有自己的变配电所，以承担其所属范围内各类设备用电需要的供配电任务。

这些工厂变配电所，因其电压等级较高，用电负荷较大，与电力网的电气联系又十分密切，故在整个电力系统中占着相当重要的地位。同时，也必然与电网的调度部门存在着调度关系。它们与当地供电部门的地区调度所之间关系极为密切，必须明确职权与调度范围，实行集中统一调度，保障电力系统和工厂企业的安全供用电。调度范围划分的一般原则是：

(1) 35kV 用户变电所（即工厂变电所）中，35kV 母线及进线设备一般归供电部门调度所调度。若用户变电所系内桥接线，则地区调度所一般不调度用户主变压器的运行。

(2) 对 10kV 用户的高压配电室，其进线开关及母线（包括母联开关）一般归供电部门调度所调度。

(3) 若用户电源进线多，且内部接线较为复杂或自成一独立系统者，供电部门的调度所可以与用户的主管部门签订调度协议，明确规定电源归供电部门统一调度，用户内部则由工厂企业自行调度。

工厂变配电所的主管人员与值班人员，也应熟知电网内的调度术语与操作术语，以利于正确执行电网的调度命令和实行正确操作，保证安全供配电。

#### 四、供电设施运行维护管理范围的划分

供电设施的运行维护管理范围，按产权归属确定。据 1996 年 10 月 8 日电力工业部颁发的《供电营业规则》，供用电双方的责任分界点按下列各项确定：

(1) 35kV 及以上公用高压线路供电的，以用户厂界外或用户变电所（站）外第一基电杆为分界点，第一基电杆属供电企业。

(2) 10kV 及以下公用高压线路供电的，以用户厂界外或配电室前的第一断路器或第一支持物为分界点，第一台断路器或第一支持物属供电企业。

(3) 凡采用电缆供电的，应本着便于维护管理的原则，由双方协商确定。

(4) 产权属于用户且由用户运行维护的线路，以公用线路分支杆或专用线路接引的公用变电站外第一基电杆为分界点，专用线路第一基电杆属用户。

(5) 公用低压线路供电的，以接户线用户端最后支持物为分界点，支持物属供电企业。

在电气上的具体分界点，由供用电双方协商确定。实践中通常可参照以下各条：

(1) 35kV 及以上高压用户。

1) 户外式。电气分界点在 35kV 及以上线路至用户变电所第一断路器（刀闸）上桩头与导线连接处。若备用或保安电源也系 35kV 及以上电压，则主、备用分界点均同上；若备用电源为 6~10kV 时，其分界点同 6~10kV 高压用户的划分法。

2) 户内式。电气分界点在 35kV 及以上用户变电所高压配电室墙上、悬式支持绝缘子

前的耐张线夹向电源侧 1m 处。备用分界点划分同上项情况，即同电压级时分界点相同，备用为 6~10kV 时，则同时 6~10kV 用户。

(2) 6~10kV 高压用户。

1) 架空进线。分界点在高压接户线电源侧（电杆上）刀闸的上桩头与导线连接处。

2) 电缆进线。电缆进线杆前有分界刀闸时，分界点在该刀闸的上桩头；电缆进线杆前无刀闸时，则以跌落熔断器的下桩头为分界点。

(3) 220/380V 低压用户。

1) 电灯用户（俗称灯户）。其电气分界点在接户线与进户线的搭接处。具体为相线在户外熔断器（俗称羊角保险）的下桩头；零线在用户处第一支持物（绝缘子）上。电能表及电表箱均由供电局（所）供给，资产权及管理权均属供电部门，对总电能表（俗称总表）、电表箱及进出表线，用户不得擅自更动，确需更动时，应经供电部门同意并派员施工。

2) 电力用户（俗称力户）。其电气分界点也是在接户线与进户线的搭接处。具体为各相线均在户外熔断器的下桩头；零线在第一支持绝缘子上。计量用的总电能表及其附件（如电流互感器）由供电局（所）供给，资产权及管理权属供电部门。同样，不得擅自更动总电表、电流互感器、电表箱及电表进出线，确需更动时应经供电部门同意并派员施工。

供电局（所）和用户分工维护管理的供用电设施与设备，未经分管单位同意时，对方不得操作或更动。若因紧急事故确实必须操作或更动时，事后应迅即通知分管单位。供电局（所）由于工程施工或线路维护原因，需要在用户处凿墙、挖沟、掘坑与巡线等时，用户应给予方便，供电人员应遵守用户的有关安全保卫等制度。用户确需到供电部门维护的设备区工作时，应事先征得供电局（所）同意，并在供电部门派员监护下进行工作，且竣工后应予及时恢复。

## 五、对用电监察及电气人员的要求

### （一）对供用电监督人员的基本要求

为使电力更好地为发展国民经济和改善人民生活服务，必须坚决贯彻执行国务院 1996 年发布的《电力供应与使用条例》以及同年由电力工业部颁发的《供用电监督管理办法》与《供电营业规则》。各级电力部门应配备供用电监督人员（习称用电监察），以针对性地开展有效工作。用电监察必须事实为依据，以电力法律和行政法规及电力技术标准为准绳，监督、检查、指导、帮助用电单位进行有关安全、经济、合理用电的各项工作，密切供用电双方协作关系，以达能保障安全经济地供用电和实现提高用电经济效益的目的。

由于用电监察工作的内容广泛，政策性强，技术业务也较复杂，所以供用电监督人员必须作风正派、办事公道、廉洁奉公；掌握有关电力的各项方针、政策和具体规定；应具备相应的法制观念、业务素质和管理水平。对其基本要求是：

（1）具备相应的电气专业知识，有电气专业中专以上或相当学历，三年以上从事供用电专业工作的实际经验和相应的管理能力。

（2）经过法律知识培训，熟悉国家电力方面的法律和行政法规，严格执行与认真贯彻人民电业为人民的服务宗旨。

《农村低压电气安全工作规程》规定，对农村电工的基本要求是：

(1) 农村电工必须具备下列条件：

- 1) 经医师鉴定，身体健康、无妨碍工作的病症（体检每两年一次）；
- 2) 具备必要的电气知识，熟悉农村低压电气安全工作规程和其他有关规程与规定；
- 3) 学会并能应用触电紧急救护方法。

(2) 必须经过考试并合格，由县（市）级电业部门颁发电工（合格）证后，方可从事电气工作。

(3) 凡持有电工证的电工，每年要按农村低压电气安全工作规程考试一次，考试不合格者，可在两个月内申请补考一次。补考仍不合格者将收回电工证。

(4) 必须熟悉所管辖的电气设备，认真执行电气工作的各项规章制度，为农村用好电、管好电尽职尽责。对单独工作的电工，还必须具有一定的实际工作经验。

## 六、对违章用电和窃电的处理

任何用电户均应认真执行供用电的有关规章制度，特别是1996年10月8日国家电力部以第8号令颁发的《供电营业规则》及其内各项规定。遵纪守法、遵章守纪。明确违章的含义与违章的危害，杜绝违章用电。供电部门则应加强培训与宣传教育，对违章用电应即予制止及处理；对多次违章者，可停止供电；对造成严重后果者，应依法起诉。

### 1. 违章用电的含义及处理规定

(1) 在电价低的供电线路上，私自接用电价高的用电设备或私自改变用电类别。处理时应按实际使用日期补收其差额电费，并处以1~2倍差额电费的罚金；对使用起迄日期难以确定时，则至少按3个月计算。

(2) 电力用户超过报装容量私自增加用电容量。应追补电费并处以每kW(kVA)的罚金，同时拆、封其私增设备；如用户要求继续使用时，应接新装增容手续办理。

(3) 擅自使用已报暂停的电气设备或启用封存的电气设备。应追补电费并处以每kW(kVA)的罚金，同时再次封存擅自启用的电气设备。

(4) 私自迁移、更动和擅自操作供电部门的电能计量装置、电力定量装置。线路或其他供电设施。均应处以罚金。

(5) 未经供电部门同意便自行引入备用电源。则应立即拆除并按其接用容量处以每kW(kVA)的罚金。

### 2. 窃电的含义及处理规定

窃电是盗窃国家资财的不法行为。任何用电单位或个人，均应以国家利益为重，严格要求，认真清查，杜绝各类窃电现象：

(1) 在供电企业的供电设施上擅自接线用电，或绕越供电企业的用电计量装置用电。

(2) 伪造或开启供电企业加封的用电计量装置封印用电，或故意损坏供电企业的用电计量装置（电能表）。

(3) 故意使供电企业的用电计量装置不准或失效，以及采用其他方法窃电者。

对于各种窃电行为，供电部门除应予制止并可当场中止供电外，还应按私接容量和实际使用时间追补电费并按追补电费的3~6倍处以罚金。情节严重时，要依法起诉。窃电时



间无法查明时，则至少按 6 个月计算（电力用户每日按 12h，照明用户每日按 6h 计）。用户窃电或违章用电造成电业设备损坏时，应负责赔偿或修复。

供电部门对检举和查获窃电的有关人员要给予奖励（奖金可从窃电罚款中支付）。供电局及用户的电气工作人员都应带头抵制任何窃电与违章用电行为，对明知故犯者要从严处理。

## 七、电力用户的用电申请

### 1. 申请新装、增容、变更用电

(1) 电力用户需新装或增加用电、变更用电都必须依照部颁《供电营业规则》的规定，事先到供电部门用电营业处所提出申请并办理手续。为了加强用电管理，又要适当简化手续，用户在办理申请用电时一般需经过相应的如图 2-11 所示的程序。

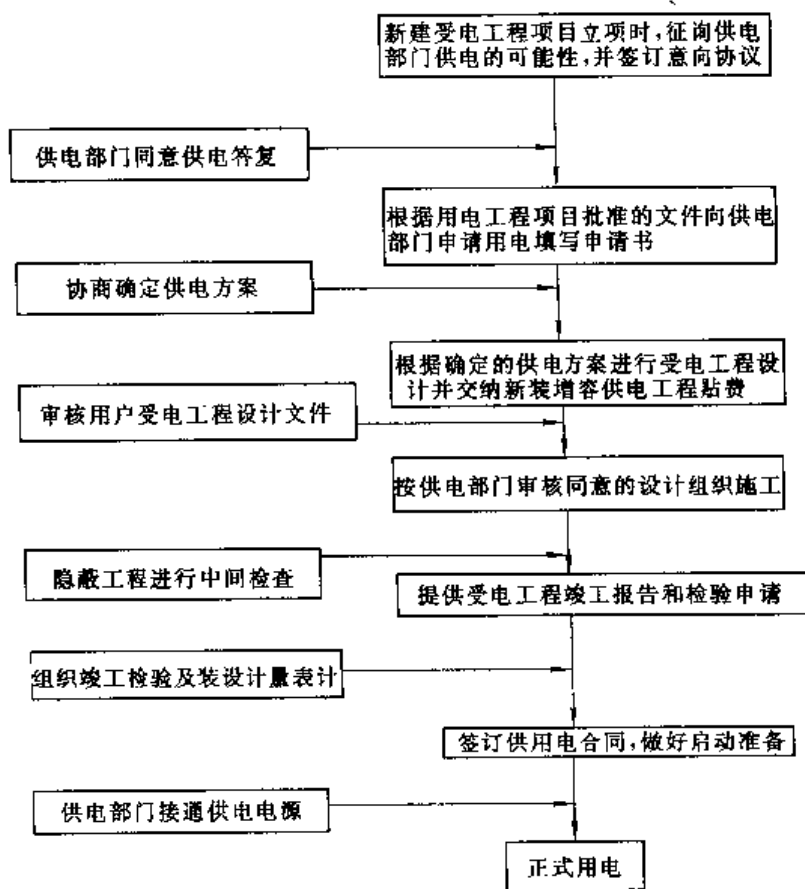


图 2-11 申请用电流程示意图

(2) 申请用电时，用户应提供用电工程项目批准文件及有关的用电资料，主要包括：用电地点、电力用途、用电性质、用电设备清单、用电负荷、保安电力、用电规划、高压电气装置的一次主接线图（扩初）等。

(3) 用户用电工程的设计应符合国家或电力行业标准，对国家和电力行业尚未制定标准的，应符合省（自治区、直辖市）电力管理部门的规定和规程。高压用户应送交供电部门审核的设计文件和资料有：① 用电工程设计及说明书；② 用电负荷分布图；③ 负荷组成、性质及保安负荷；④ 影响电能质量的用电设备清单；⑤ 主要电气设备一览表；⑥ 节能涉及主要生产设备、生产工艺电耗以及允许中断供电时间；⑦ 高压受电装置一、二次接

线图与平面布置图；⑧ 用电功率因数计算及无功补偿方式；⑨ 继电保护、过电压保护及电能计量装置的方式；⑩ 隐蔽工程设计资料；⑪ 配电网络布置图；⑫ 自备电源及接线方式。对于低压电力用户，则应提供负荷组成和用电设备清单。

(4) 用户用电工程需由持电力管理部门颁发《承装（修）电力设施许可证》的单位施工。工程施工、试验完工后，用户应向供电部门提出的工程竣工报告，其主要包括：① 工程竣工图及说明；② 电气试验及保护整定调试记录；③ 安全用具的试验报告；④ 隐蔽工程的施工及试验记录；⑤ 运行管理的有关规定和制度；⑥ 值班人员名单及进网作业的资格证书。

(5) 用户变更用电时，也应事先提出申请，并携带有关证明文件到供电部门办理手续及变更供用电合同。变更用电的种类有：① 减容——减少合同约定的用电容量；② 暂停——暂时停止全部或部分用电设备的用电；③ 暂换——临时更换大容量变压器；④ 迁址——迁移用电装置的用电地址；⑤ 移表——移动用电计量装置的安装位置；⑥ 暂拆——暂时停止用电并拆表；⑦ 更户（过户）——改变用户的名称；⑧ 分户——一户分列为两户及以上的户数；⑨ 并户——两户及以上用户合并为一户；⑩ 销户——合同到期终止用电；⑪ 改压——改变供电电压等级；⑫ 改类——改变用电类别。

## 2. 供用电合同

供电部门和用户在正式供电之前，需根据电力用户用电需求和供电部门的供电能力以及办理用电申请时双方已认可或协商一致的有关文件，根据平等自愿，协商一致的原则，依据部颁《供电营业规则》签订供用电合同。其主要条款有：

- (1) 供电方式、供电质量和供电时间；
- (2) 用电容量和用电地址、用电性质；
- (3) 计量方式和电价、电费结算方式；
- (4) 供用电设施维护责任的划分；
- (5) 合同的有效期限；
- (6) 违约责任。

## 3. 供用电设施维护责任的划分原则

对于供用电设施维护责任的划分，通常可以按下列规定确定：

(1) 对属于用户专用性质（或共用性质）但不在公用变电所内的供电设施，由用户运行维护管理，也可与供电部门协商委托代为运行维护。以公用线路分支杆或专用线路接引的公用变电所外第一基电杆为分界点。

(2) 对属于公用性质或占用公用线路规划走廊的，由供电部门统一管理。用户由公用线路供电的，其责任分界点的确定是：① 低压供电的，以供电接户线用户端最后支持物为分界点；② 高压供电的，以厂界外或变配电室前的第一断路器或第一支持物（或用户变电所外第一基电杆）为分界点；③ 对采用电缆供电的，本着便于维护管理的原则，协商确定分界点。

## 八、用电检查和停电联系

为保障正常的供用电秩序和公共安全，供电单位的用电管理部门专门配备了用电检查人员，依法开展对用户的用电检查工作。各类电力用户应当接受检查并提供相应的便利

条件。

#### 1. 用电检查的具体内容

- (1) 用户执行国家有关电力供应与使用的法规、方针、政策、标准、规章制度情况；
- (2) 用户受（送）电装置工程的施工质量检验；
- (3) 用户受（送）电装置中电气设备运行的安全状况；
- (4) 用户的保安电源和非电性质的保安措施；
- (5) 用户的反事故措施；
- (6) 用户进网作业电工的资格、进网作业的安全状况，以及作业时的安全保障措施；
- (7) 用户执行计划用电和节约用电的情况；
- (8) 用电计量装置、电力负荷控制装置、继电保护和自动装置以及调度通信的安全运行状况；
- (9) 供用电合同及有关协议的履行情况；
- (10) 用户受电端的电能质量状况；
- (11) 有否违章用电和窃电行为；
- (12) 并网电源和自备电源的并网安全状况。

#### 2. 对用户实施终止供电的规定

用电检查中凡发现下列情形之一的，可按规定实施终止供电：

- (1) 对危害供用电安全、扰乱供用电秩序，拒绝检查者；
- (2) 拖欠电费经多次通知催交仍不交者；
- (3) 受电装置经检验不合格，在指定期间内又未能改善者；
- (4) 用户注入电网的谐波电流超过标准，冲击负荷及非对称负荷对电能质量产生严重干扰，且在规定的限期内又未能采取措施者；
- (5) 拒不在限期内拆除和增加用电容量者；
- (6) 拒不在限期内交付违约用电所引起的费用者；
- (7) 违反安全用电、计划用电有关规定，且拒不改正者；
- (8) 私自向外转供电或确有窃电行为又不改正者；
- (9) 出现不可抗拒因素或需要紧急避险（如自然灾害）等情况时。

#### 3. 用户调度管理与停电工作联系

对 35kV（或 66kV）用户变电所，双电源用户或有自备发电机组并网的用户，一般均应与供电部门的调度机构签订调度协议。对应属地区调度管辖（或许可）范围内电力用户的相关设备，均应纳入地区电力系统进行统一调度管理。

所谓调度许可设备，是指设备由用户管辖、但在进行有关操作前必须报告上级调度机构值班调度员，并取得其许可后方能进行操作的设备。调度管辖是指发电设备的出力计划和备用运行状态；电气设备的运行方式、接线方式；继电保护和安全自动装置的状态；倒闸操作以及事故处理。调度管辖项目均应按照上级调度机构值班调度员的调度命令或获得其同意后才能进行。

对属于地区电网调度管辖或许可的用户设备变更状态、改变运行方式以及停电检修时，均需提前三天到调度机构办理申请手续，停电检修工作应按部颁《电业安全工作规程》规

定办理手续。同时严禁约时停送电；严禁在虽已停电但未办完许可手续的设备上进行停电检修工作。

## 第三节 节电措施及无功补偿

### 一、计划用电的作用及其措施

#### 1. 计划用电的含义与作用

计划用电的含义，就是对有限的电力资源通过经济的、技术的、法律和必要的行政手段，根据国家产业政策，提出电力资源使用方向，合理配置资源，引导企业加强用电管理，不断提高电能的使用效率。因此，实行计划用电仍应是社会主义市场经济体制下必须坚持的长期方针。

加强计划用电管理，做好计划用电工作，均衡好电力负荷，可以节省国家对电力工业的基本建设投资。由于计划用电可以压低高峰负荷，从而提高发电、供电设备的利用率，减少为满足短时间高峰负荷而必须增加的发供电设备投资，并且可以减少发电厂机炉设备的开停次数，提高发电厂的热效率，降低发电煤耗和发电成本。

实行计划用电又是缓和与解决电力供需矛盾的重要措施。目前我国电力资源还不能完全满足国民经济很快发展和不断增长的人民生活用电需要，通过计划用电的有效调节，在一定程度上可以缓和长期存在的电力生产和需要之间的矛盾。因此，计划用电在缺电的情况下更加具有重要的现实意义。

#### 2. 超计划用电的危害及处理方法

超计划用电会造成系统频率下降，电网输、变电设备超负荷，并影响到电力系统的安全与稳定运行。同时，一部分用户的超计划用电，势必会影响到其他用户的正常供用电。

对擅自超过计划分配指标用电的，用户应承担高峰超用电量每次每千瓦1元和超用电量按现行电价5倍的违约使用电费；同时，电力管理部门还将依照部颁《供用电监督管理办法》的有关处罚规定，对超用电量、电量分别处以每千瓦每次5元和10倍现行电价的电费，累计为总额不超过5万元的罚款。对拒绝改正的，供电企业有权终止供电。

#### 3. 电力用户的用电计划编制

城乡工矿企业等各类电力用户，应根据国家下达的产品产量或产值指标，按市场需求调节的产品产量指标，以及基建与生活用电等需要，按照有关主管部门下达的用电单耗等指标，制订好本企业的用电计划（包括电力和电量）。其主要内容有：

(1) 预测和编制次年需电量和年最高负荷，有自备电厂或余热发电的企业，还应上报发电计划。

(2) 根据主管部门下达的年度用电量指标，参照生产计划进度，按季分月编排季、月用电量计划，并根据上级下达的负荷率指标（见表2-6），预测负荷水平。

(3) 根据上半年用电量的实际情况，预计当年需电量。企业的全部用电量应为其所含各类用电量的总和，即

$$\begin{aligned} \text{企业全部用电量} = & \text{企业产品用电量} + \text{基建用电量} + \text{非生产用电量} \\ & + \text{转供用电量} + \text{其他用电量} \end{aligned}$$

能、水能等；后者则是由一次能源经直接或间接加工转换得来的能源，如电能、汽油、柴油、蒸汽、沼气等。其中，电能就是获得最广泛应用的一种二次能源，显然相比于一次能源来讲，二次能源就更为宝贵。

我国一次能源的储藏量十分丰富，其中煤炭、石油及水力资源的蕴藏量位居世界前列。但目前国内能源（尤其是电能）的供需矛盾却是十分突出，造成这种局面的主要原因首先是能源开发相对不足，其次是能源使用浪费很大（见前所述）。根据我国的实际情况，除了加快能源开发的步伐，努力发展电力建设外，特别要重视能源的合理使用和节约使用。为解决与扭转能源紧张的被动局面，必须积极地开源节流。节能是全社会的共同任务，以节能为中心的技术改造是我国经济建设的一个全局性问题，也是一项长远的战略措施。

节约用电就是通过采取技术上可行、经济上合理和对环境保护无妨碍的一切措施，用以消除用电过程中的不合理和浪费现象，提高电力能源的有效利用程度，并实现电力供需的平衡。节约用电原则是我国实行的电力开发与节约并重的发展能源工业基本方针的重要体现。

节约用电是我国发展国民经济必须长期坚持的方针，节电的主要意义表现为以下几个方面：

(1) 缓和电力供需矛盾。广泛开展全民节约用电活动，积极推广一些行之有效的节电措施和典型经验，缓和电力供应紧张的局面。

(2) 节电也可看成是一种最经济的电源。节电可以少建电厂，而用户节电投入的费用要比建同等容量电厂的投资少得多，同时还可相应地节约一部分建设电网的费用。节电可相应地节约了煤炭的消耗，这样又减少了建设煤矿的投资和运煤的交通投资。节电不仅不会产生对环境的污染，反面相应地减少燃煤电厂脱硫脱硝的投资。因此，节约用电可看做是一种最经济的电源。

(3) 推动用电合理化，提高企业经济效益。一些企业用电管理差，技术装备落后，用电不合理，造成很大浪费。由于在工业产品成本中，电力消耗占有很大的比重（平均约为6%~7%），因此，一方面要提倡节约用电和技术改造，改善不合理用电状况，另一方面又能降低产品成本，提高劳动生产率，从而提高企业经济效益。

(4) 开展节电工作，是爱护资源、保护环境的需要。

(5) 加速设备的技术改造和工艺改革。

因此，各用电单位和部门都必须按照国家《供用电营业规则》规定，积极采用各项节电措施、推广行之有效的节电经验，降低单耗、节省电能。

## (二) 电能利用的现状和节电潜力

电能经转换成机械能、热能、化学能、光能等多种形式的能后，用于生产和人民生活。我国一年内消耗的电能，大约有70%通过电动机转换为机械能而消耗掉了；约有16%的电能通过电热设备转换为热能，用于金属材料的熔炼和加热；约有8%以上的电能通过各类电光源转为光能，用于各种场合的照明；约有6%的电能被电化学设备转换为化学能，用于电化学生产。可见，电动机（包括被拖动的生产机械）和电热设备是电能的主要使用者。从我国近几年的用电情况分析，电能的有效利用程度普遍较低，如热处理电炉全国拥有约10万余台，其容量达480多万kW，其中相当部分为五、六十年代产品，设备落后、热效率低、

电耗高，处理 1t 工件平均耗电 1500kW·h 左右，有的竟高达 4000 多 kW·h，比国外的热处理耗电高出两倍以上。我国热处理的电能有效利用率仅为 16%~40%，若按一次能源的有效利用程度来计算则更差，只有 4%~10% 的一次能源被有效利用。由于我国电能利用的状况很差，每年约有 60%~70% 的电能被无效地消耗掉了。

因此节电的潜力很大，若能针对下列诸方面进行对症治理，定可收到极大的节电效果：

(1) 设备性能差。目前我国生产中使用的的大量机电设备，有许多尚属陈旧落后的产品，其性能很差，与国外同类产品相比，中小型电动机的效率低 1.5%~4%；中小型变压器的损耗高 70%~90%；水泵效率低 5%~10%；风机效率低 10%~15%；电阻炉热效率低 15%~20%；有些地区的风机效率仅为 18%，较好的也只有 40% 左右。而且由于长期使用，又未能得到及时改造和更新，其性能便更差。

(2) 生产工艺落后。我国相当一些产品的生产工艺水平较低，有的甚至很低，致使生产周期长、产品质量差，电能利用率低、用电单耗高以及生产成本低。

(3) 经济结构不合理。国民经济各部门之间及供需之间的比例关系不够协调，同样也会造成用电的损耗和浪费。如有些产品或配件不配套，造成积压、损坏或无谓地消耗，这实际上也就间接地浪费了许多宝贵的电能。

(4) 缺乏严格的管理制度。不少用电部门尚缺少一整套相应的用电效果考评分析制度，有的根本就没有建立起用电合理化的评价标准。有许多单位常常是用了算、而不是算了用。

### 三、用电合理化和节电途径

#### (一) 设备用电合理化的评价标准

用电合理化的评价，应该成为节约用电的一项重点工作，是搞好电能管理的基础。因此，对于工业企业的供用电设备，都应分别规定用电合理化的管理标准，一般包括下列几方面：

(1) 确定供用电设备的管理标准。根据用电负荷的种类，用电容量和运行情况以及电动机、电加热、照明、风机、水泵等各种设备，规定的标准使用电压、电流、功率因数、负荷系数，电能利用率等管理标准。

(2) 建立使用状况的原始记录。对主要的供用电设备，测量并记录有关各参数，作为供用电合理化的参考资料和评价的依据。

(3) 采取减少供用电设备功率损耗的措施。如变压器容量与负荷应匹配，根据需要可调整运行台数，以提高运行效率；躲开用电高峰负荷，使负荷均衡，以提高负荷率；供电设备的配置和配电方式的选择，应力图使功率损耗降低到最小，供电末端的功率因数应在 0.90 以上。

(4) 开展电能平衡和电能利用率测试工作。对企业配电线路、变压器、电动机、通风机、离心水泵、空气压缩机、管网、电加热设备、电弧炉、机械加工设备、大功率硅整流机组等进行电体系过程分析，研究电能传送、流向、转换过程中的电能消耗与有效利用及损耗之间的平衡关系，测试并计算电能利用率，评价用电合理化程度，为挖掘节电潜力提供依据。

的最佳操作法。因此改进操作方法，也是节约用电的一条有效途径。如某铝厂在生产过程中，总结出“一整、二勤、三降、四快”的操作方法，即规整炉膛，勤看电压，勤加工，降电压，降母线接点压降，降低效应系数，快速焙烧，快速开动，快速降低电压，快速达到正常生产。使电解槽的效应系数由 0.2 降到 0.1，平均槽电压由 4.8V 降为 4.7V，每生产 1t 铝其电耗约可下降 350~400kW·h。

(5) 减少传动摩擦损耗。任何机械传动装置在运行中都存在着摩擦，没有摩擦它们就无法工作。摩擦可分为滑动摩擦、滚动摩擦和静摩擦。静摩擦力量大，滚动摩擦力最小。在条件许可时，应尽量采用滚动摩擦。机械传动设备中广泛使用滚动轴承来传动机械，可以比滑动摩擦传动省力、又能节约用电。另外对于运行中的机械设备采用适当的润滑方式，也是减少摩擦损耗的重要措施。润滑的目的，主要是减少摩擦和磨损，降低功率消耗。同时，润滑还有冷却、防尘、防锈和减振的作用。润滑剂有润滑油、润滑脂、固体润滑剂（石墨、二硫化钼等）和气体润滑（如空气）等，对于非金属轴承还可用水润滑。当选用润滑油时，应根据机械设备的工作特点、转速及润滑油的物理性能等情况来确定。如电动机的轴承若采用二硫化钼固体润滑剂，可以节电 6%~15% 左右。

(6) 加强设备检修，提高检修质量。各种机电设备和生产装置，在长期使用的过程中，工作效率将会逐渐降低，使电能消耗增大。因此加强设备检修，提高检修质量，提高使用效率是合理利用电能的重要方面。如厂矿企业要注意消灭风、水、汽等管路系统的跑、冒、滴、漏现象，直至消灭泄漏，就可取得显著的节电效果。

(7) 搞好设备经济运行。设备实行经济运行的目的是降低电能消耗，使运行成本降到最低限度。对于多台设备为同一系统提供服务的，可采取经济运行方式来降低电能的消耗。如多台变压器并列运行，要根据负荷情况，安排并列进行的台数；再如城市的自来水供水系统中，可以通过调节水源的开泵台数和调节泵的流量来实现经济运行。

(8) 提高用电的功率因数。其方法有：① 提高用电设备的自然功率因数；② 提高变压器、电动机的负荷系数，减少空载运行时间；③ 加装电容器、调相机进行无功补偿。

#### 四、提高功率因数的积极意义

##### 1. 功率因数和经济功率因数

电力系统中的负荷功率，除有功功率外还有无功功率。有功功率  $P$ 、无功功率  $Q$  和视在功率  $S$  之间的关系如图 2-12 所示。图中  $\varphi$  角为功率因数角，其余弦是有功功率与视在功率之比称为功率因数（即  $\cos\varphi=P/S$ ）。

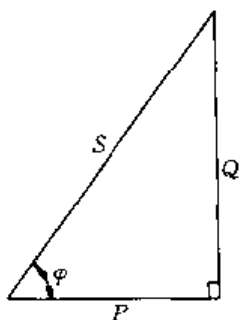


图 2-12 功率三角形

用电系统中的电动机以及其他凡是带有线圈（绕组）的供电与用电设备非常多，这类设备工作时除了要从电源取得一部分电功率作有用功之外，还将耗用相当一部分电功率用来建立线圈磁场，这就额外地加大了电源的负担。功率因数  $\cos\varphi$  也称力率，就是反映总电功率中有功功率所占比例的大小。

经济功率因数指节电效果最佳、电能质量好、支出电费最少的最佳功率因数。为充分利用发电设备能力，降低电压损失和电能损耗，减少无功负荷，节约用电，必须调整电网及电力用户的功率因数（见表 2-

7、表 2-8、表 2-9、表 2-10），并使它们能尽可能地在经济功率因数下

运行。这是电力系统、工厂企业和农村用户的一项重要任务，也是具有重大经济意义的节电措施。

表 2-7 配电变压器在不同负载下的功率因数

负载状况	空载	25%	50%	75%	满载
cosφ	0.15 以下	0.67	0.73	0.75	0.76

表 2-8 异步电动机在不同负载下的功率因数

负载状况	空载	25%	50%	75%	满载
cosφ	0.2 以下	0.5~0.55	0.7~0.75	0.8~0.85	0.85~0.9

表 2-9 功率因数与线损中可变损耗增大的关系

从 cosφ=1.0 下降到	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
可变损耗（铜损）增大的百分数（%）	11	24	39	56	77	104	136	178

## 2. 提高功率因数的具体意义

提高供电与用电的功率因数可以有以下作用：

(1) 提高设备的有功出力。由于有功功率  $P = S \cos\varphi$ ，当视在功率  $S$  为某一定值时，如果提高功率因数  $\cos\varphi$ ，则  $P$  也随之增大，即提高了电气设备的有功出力。

(2) 降低功率损耗和电能损失。三相交流配电线路中，功率损耗  $\Delta P$  的表达式为

$$\Delta P = 3I_{ph}^2 R = \frac{P^2 R}{U^2 \cos^2 \varphi} \times 10^{-3} \text{ (kW)}$$

在线路电压  $U$  和输送的有功功率  $P$  一定时，当功率因数  $\cos\varphi$  提高后， $\Delta P$  将成平方倍地大大下降，使得在线路上和变压器中的功率损失均下降。

(3) 减少电力设备的投资。对于三相交流电路而言，其中一相导线通过的电流值为

$$I_{\phi} = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos\varphi}$$

在有功功率  $P$  和电压  $U$  一定的情况下，提高功率因数便可减小线路中通过的电流，从而可以减小导线截面积，节约电力线路的建设投资。同时由于  $S = P / \cos\varphi$ ，在有功功率  $P$  一定的情况下，提高功率因数可使得所需的视在功率  $S$  变小，对于用电单位而言，在满足用电需要的情况下，便可减小所需的变压器容量，这也就降低了基建投资和电能损耗。

(4) 减少电压损失、改善电压质量。在线路中电压损失  $\Delta U$  的表达式为

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} \times 10^{-3} \text{ (kV)}$$

提高功率因数即可减少线路中传输的无功功率  $Q$ ，这就会使电压损失  $\Delta U$  减少，从而改

表 2-10 不同供电方式下电力负荷的经济功率因数

供电方式	经济功率因数
发电厂直配供电	0.80~0.85
发电厂升压后，经一次降压供电	0.90~0.95
发电厂升压后，经二次或三次降压供电	0.95~0.98

注 1. 农网内可取表中范围的偏低值。  
2. 各级电压电网无功损耗的构成（所占比例）通常为 0.4kV 级电网约占 50%，10kV 级占 20%，35kV 级占 10%，110kV 级占 20%；依输电网划分则输电网络的无功损耗约占总无功损耗的 70%，配电网约占 30%左右。



无功功率)等。实践中,在电力系统里尤其是工厂企业内部,最常用的简便措施是装设补偿电容器来改善功率因数。这是因为采用电力电容器补偿无功功率有许多优点,主要是它没有旋转部分,补偿效益高;安装较简单,也便于运行维护;可以自动投、切,利于调整其补偿容量。

电容器补偿的最大优点是有功损耗小,一般约为其无功容量的0.3%~0.5%。若采用调相机补偿,则有功损耗分别为:满载时占额定功率的1.8%~5.5%,半载时为2.9%~9%,带1/4负载时将高达5%~15%。可见,补偿电容器由于没有旋转部分,其有功损耗仅为调相机功耗的1/10~1/40。此外,采用电容器投资省,效益高。如采用调相机时,其补偿单位无功功率的投资一般约为电容器投资的1.5~2倍。所以,无论在工厂企业等高压与低压电力用户还是电力系统内部,都普遍地采用电容器进行无功补偿。但其不足之处是寿命较短(一般使用期限约10~15年);切除后剩有残余电荷;不允许在1.1倍的额定电压下长时期运行。

采用电力电容器无功补偿有串联补偿和并联补偿两种方法:串联补偿是把电容器串联在高压输电线路,以改变输电线路参数,降低电压损失,提高输电能力,降低线路损耗,主要适用于远距离输电线路,用电单位很少采用;并联补偿是把电容器并接到被补偿设备的电路上,以提高功率因数,这种方法称为并联电容器补偿,用电单位普遍采用的多为这种补偿方法。正因为如此,故实用中也常将补偿电容器称之为并联电容器。

## (二) 电容器无功补偿的原理与实质

电网的供用电负荷中,绝大部分属电感性负荷。由于电容器的固有特性,在实际网络内若将电容和电感并接在同一电路,则电感吸收能量时,正好电容在释放能量;而电感放出能量时,电容却在吸收能量。能量就在它们之间互换,即电感性负荷所吸收的无功功率,可由电容器所输出的无功功率供给,故把具有电容性负荷的装置称为无功补偿装置,且系统及工厂企业常用的无功补偿装置大都为电力电容器。

在电网内装设电容器后,它可以发出无功功率,提高功率因数。其补偿原理是:假设电感性负荷需要从电源吸取的无功功率为 $Q$ ,加装电容器后,补偿无功功率为 $Q_c$ ,使电源输送的无功功率减少到 $Q'$ ,功率因数可由 $\cos\varphi$ 提高到 $\cos\varphi'$ ,视在功率 $S$ 也减少到 $S'$ (见图2-13);电容器的无功补偿作用,还可以用电流的关系来加以说明。用电负荷的总电流可分为有功电流 $I_p$ 和无功电流 $I_Q$ ,以端电压 $\dot{U}$ 为基准,有功电流 $I_p$ 与电压 $\dot{U}$ 的向量一致,无功电流 $I_Q$ 落后电压 $U$ 90°(见图2-14),当电容器接入时,流入电容器的电流 $I_c$ 将超前电压90°。容性电流 $I_c$ 与感性电流 $I_Q$ 方向恰好相反,故可抵销一部分电感性电流,使电感性的无功电流由 $I_Q$ 减小到 $I'_Q$ ,即 $I'_Q = I_Q - I_c$ ,总电流由 $I$ 降低到 $I'$ ,功率因数角由 $\varphi$ 减小到 $\varphi'$ ,功率因数从而得到提高。如果补偿的电容电流等于电感电流,功率因数将等于1,这时无功功率全部由电容器供给,而电网只需传输有功功率了(见图2-14)。

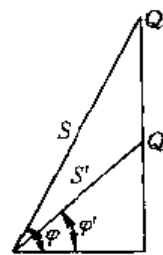


图 2-13 电容器的无功补偿作用

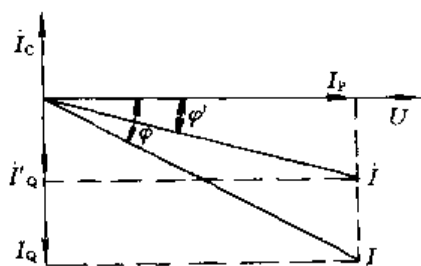


图 2-14 电容器补偿电流的相量分析图

所谓无功补偿的实质是：用户装设电力电容器后，补偿了所需的部分或全部无功功率。也就是满足了工厂自身用电设备对无功功率的部分或全部需求，因而提高了用电负荷的功率因数。值得注意的是，工厂用电实际所需无功功率的消耗量，并不因其是否装设了补偿电容器而改变。这是因为无功总耗量仅仅取决于工厂内部用电设备的容量与负载性质；改变的只是在采用电力电容器后，工厂自身提供了所需无功功率的部分或者是全部，从而减少了对电力系统无功功率的需求量而已。

### (三) 平均功率因数的含义及其求法

平均功率因数是指某一定时间内，如一个作业班、一天（昼夜）、一月内功率因数的平均值。计算平均功率因数的方法有以下两种。

(1) 利用有功电量与无功电量值，由如下公式计算平均功率因数，有

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{W_P}{\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}}$$

式中  $W_P$ 、 $W_Q$ ——测计期内的有功电量，kW·h；无功电量，kvar·h；

$P$ 、 $S$ ——测计期内的平均有功功率，kW；视在功率，kVA。

(2) 查找无功对有功电量比值与功率因数关系对照表。根据某一计测期内所抄见的无功电量与有功电量并求其比值，然后查对照表（见表 2-12），即可直接找出该测计期内的平均  $\cos\varphi$  值；若由某时刻的无功功率（kvar）及有功功率（kW）并求其比值，则可由表查得该时刻的（瞬时） $\cos\varphi$  值。

表 2-12 无功对有功的比值与功率因数对照表

比 值	功率因数	比 值	功率因数	比 值	功率因数	比 值	功率因数
5.04~5.35	0.19	2.27~2.32	0.40	1.29~1.31	0.61	0.69~0.71	0.82
4.80~5.03	0.20	2.20~2.26	0.41	1.26~1.28	0.62	0.66~0.68	0.83
4.56~4.79	0.21	2.14~2.19	0.42	1.22~1.25	0.63	0.64~0.65	0.84
4.35~4.55	0.22	2.08~2.13	0.43	1.19~1.21	0.64	0.61~0.63	0.85
4.15~4.34	0.23	2.02~2.07	0.44	1.16~1.18	0.65	0.59~0.60	0.86
3.97~4.14	0.24	1.96~2.01	0.45	1.13~1.15	0.66	0.56~0.58	0.87
3.80~3.96	0.25	1.91~1.95	0.46	1.10~1.12	0.67	0.53~0.55	0.88
3.65~3.79	0.26	1.86~1.90	0.47	1.07~1.09	0.68	0.51~0.52	0.89
3.51~3.64	0.27	1.81~1.85	0.48	1.04~1.06	0.69	0.48~0.50	0.90
3.37~3.50	0.28	1.76~1.80	0.49	1.01~1.03	0.70	0.45~0.47	0.91
3.25~3.36	0.29	1.71~1.75	0.50	0.98~1.00	0.71	0.42~0.44	0.92
3.13~3.24	0.30	1.67~1.70	0.51	0.96~0.97	0.72	0.39~0.41	0.93
3.04~3.12	0.31	1.63~1.66	0.52	0.93~0.95	0.73	0.35~0.38	0.94
2.92~3.03	0.32	1.59~1.62	0.53	0.90~0.92	0.74	0.32~0.34	0.95
2.82~2.91	0.33	1.55~1.58	0.54	0.87~0.89	0.75	0.28~0.31	0.96
2.73~2.81	0.34	1.51~1.54	0.55	0.85~0.86	0.76	0.24~0.27	0.97
2.64~2.72	0.35	1.47~1.50	0.56	0.82~0.84	0.77	0.18~0.23	0.98
2.56~2.63	0.36	1.43~1.46	0.57	0.80~0.81	0.78	0.11~0.17	0.99
2.48~2.55	0.37	1.39~1.42	0.58	0.77~0.79	0.79	0.00~0.10	1.00
2.40~2.47	0.38	1.36~1.38	0.59	0.74~0.76	0.80		
2.33~2.39	0.39	1.32~1.35	0.60	0.72~0.73	0.81		

#### (四) 补偿电容器的结构与型号

##### 1. 单台补偿电容器

普通型补偿电容器主要由芯子、外壳和出线结构三部分组成(见图 2-15)。其芯子通常由若干个元件、绝缘件和紧固元件等经过压装并按规定的串并联法连接而成。电容器的元件主要采用卷绕的形式,是用铺有铝箔的电容器纸卷绕而成,先卷成圆柱状卷束,然后再压成扁平元件。电容元件极间介质的厚度一般为  $30\sim 80\mu\text{m}$ ,由于纸质的不均匀和存在导电点,通常极板间纸的层数不少于三层。过去补偿电容器内的浸渍介质多为三氯甲苯,由于三氯甲苯具有毒性,早已停止生产与使用,现都采用矿物油、烷基苯硅油或植物油等。外壳均采用薄钢板制成的金属外壳,金属外壳有利于散热,但其绝缘性能较差。

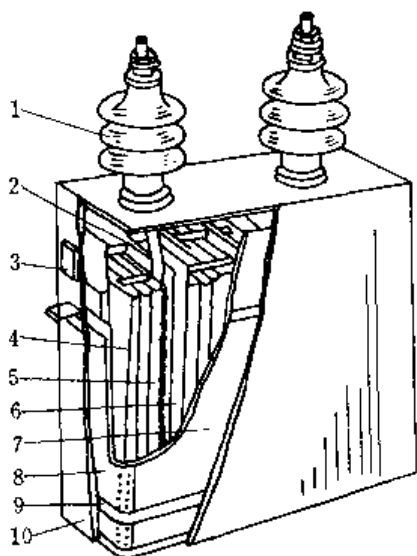


图 2-15 补偿电容器结构

1—出线套管; 2—出线连接片;  
3—连接片; 4—扁平元件; 5—固定板;  
6—绝缘件; 7—包封件; 8—连接夹板;  
9—紧箍; 10—外壳

目前国内广泛采用聚丙烯金属膜电容器(又称自愈式电容器),这种电容器的各项电性能及特性大大优于老型号油浸纸介电力电容器。其最大特点是应用具有自愈性能的聚丙烯金属化膜作为电容器元件的介质和极板,具有高工作场强、低介质损耗以及体积小、容量大等特点。如国产 BCMJ、BZMJ、BGMJ 系列节能型电容器,它们的电容元件均用聚丙烯薄膜做介质,用直接沉积在薄膜表面的铝薄层做电极板卷制而成,具有介质损耗低、寿命长、可靠性高等优点。其外壳采用高强度塑料制成,电容器的外部电气连接全部罩入绝缘罩盖之中,因此抗腐蚀力强、操作安全可靠;每个电容器元件内装有放电电阻,当电容器从电源断开后,可在很短时间内使电容器极间电压降至安全电压值以下,因此无需另设放电装置,安装使用比较方便;每个电容器元件内装有限流线圈,可有效地限制电容涌流;每个电容器元件内还装有过温保护装置,当该元件温度达到一定值时,可将电容器元件永久

切除、断开电源。

自愈式电容器主要是由芯子、浸渍剂、端子、壳体、熔断器、自放电装置、外壳及安装架等组成,现简介如下:

(1) 芯子。芯子是电容器的基本工作单元,由聚丙烯金属化膜绕制而成,两端面的金属层通过喷金连接成电极,每台电容器由若干只芯子根据要求进行组合连接。三相低压补偿电容器,一般采用 $\Delta$ 形连接。它的自愈性能就是利用金属化膜的特殊性能,金属化膜是在聚丙烯膜表面利用高真空蒸镀技术蒸镀一层锌或铝金属薄层。当元件因故击穿时,击穿电流使击穿点周围的金属层蒸发,介质迅速恢复绝缘性能,使电容器能继续安全运行,每通过一次自愈,电容器的耐压也就能提高一个等级。

(2) 浸渍剂。自愈式电容器选用油蜡作为浸渍剂,当元件自愈时可以迅速灭弧,性能稳定且不燃烧,并有效地解决了漏油问题。

(3) 保险装置。当自愈式电容器万一由于自愈失效,保险装置能及时切断电源,从而保护整个装置。

(4) 自放电装置。内部自放电装置能在断电后 3min 内将退出运行时的初始峰值电压降至 50V 以下。

(5) 外壳及其他。外壳由马口铁冲制而成，耐腐蚀，外形美观，密封性能好，绝缘性能稳定。其他还有接线桩头及安装支架等。

凡额定电压在 1kV 以下的电容器称低压电容器，1kV 以上的则称为高压电容器。1kV 以下的电容器都做成三相，三角形接线，内部元件并联，每个并联元件都有单独的熔丝；3.15kV 以上的都做成单相，内部元件也并联。

## 2. 密集型补偿电容器

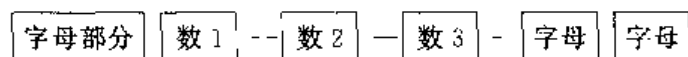
10kV 密集型电容采用密集型结构，它体积小，安装维护方便，可靠性高且运行费用低，适用于变电所集中补偿及城市电网改造等，目前主要有 BFF、BGF、BFM、BAM 型等品种。

(1) 结构。密集型并联电容器有单机和三相两种，主要由内部单元电容器、框架、箱体和出线套管组成。单元电容器内每个元件串有一熔丝，当某个元件击穿时，其他完好元件即对其放电，使熔丝在毫秒级的时间内迅速熔断，切除故障元件，从而使电容器能继续正常工作。单元电容器安装在框架上，根据不同的电压和容量作适当的电气连接。出线端子通过导线与箱盖上的套管相连，供进出线及放电线圈使用。箱体由钢板焊接而成，箱盖上装有套管、油枕或金属膨胀器及压力释放阀。箱壁两侧有片式散热器、压力式温度指示控制器。

(2) 特点。密集型并联电容器采用了小元件加内熔丝的设计方案，延长了检修周期，提高运行可靠性。密集型并联电容器容量大小、一次接线方式及继电保护型式可根据用户需要而定。由于体积小，有安装于室外的，也有安装于高压开关柜内的，安装、运行、维护较简便。

## 3. 电容器型号与含义

并联电容器的铭牌上标有型号、电容值、额定电压、额定频率及内部接线方式等。其型号通常由字母与数字两部分组成，排列方式如下：



字母部分的第一位字母，表示电容器的用途特征，如 Y—移相；B—并联；C—串联。第二位字母，表示液体介质材料种类，如 Y—矿物油；W—十二烷基苯；G—苯甲基硅油；C—蓖麻油；Z—植物油。第三位字母，表示固体介质材料种类，如 F—纸、薄膜复合介质；M—全聚丙烯薄膜；无标记—全电容纸。第四位字母，表示极板特性，如 J—金属化极板。

数字部分的第一个数，以 kV 为单位表示的额定电压；第二个数，以 kvar 为单位表示单台容量；第三个数字表示相数，如 3 表示三相，1 表示单相。

数字后面的第 1 位字母表示使用场所，W—户外型，无标记—户内型；第 2 位字母 R—内有熔丝；TH—湿热型。

如电容器型号为 BZMJ0.4-15-3，则它表示为植物油浸渍的全聚丙烯薄金属化极板的并联电容器，额定电压 0.4kV，单台容量 15kvar，三相，户内型。

## 六、补偿容量的确定及补偿方式

### (一) 补偿电容器容量的确定方法

### 1. 微法与千乏的区别及关系

习惯上说电容器为若干千乏时，是指电容器可补偿的无功容量多少（也称电容器的额定容量或标称容量）；说为多少微法时，则是表明电容器的电容量大小（也称电容器的标称电容或电容值）。前者是无功功率的单位，与其所接网络的电压高低有关；而后者是电容量的单位，与电压高低全然无关。它们是从不同的侧面反映了电容器容量的大小。

表示电容器的微法与千乏之间，有如下换算关系，即

$$Q_c = 2\pi fCU^2 \times 10^{-3} \quad (\text{kvar})$$

式中  $f$ ——交流电的频率，50Hz；

$C$ ——电容器的电容量， $\mu\text{F}$ ；

$U$ ——电容器的额定电压，也即其所接网络的额定电压，kV。

可见，电容器所能补偿的无功容量  $Q_c$  是与电容器本身及网络额定电压的平方成正比。同时由上式可以算得，一般 400V 低压电容器每  $20\mu\text{F}$  便相当于 1kvar。也就是说，当额定电压为 400V 的电容器装接在 400V 低压配电网路上运行时，它每  $20\mu\text{F}$  电容量即可发出（补偿实际负荷所需的）无功功率 1kvar。

顺便介绍一下补偿电容器电流的计算方法：

(1) 按标称容量和额定电压计算电容器的额定电流 ( $I_c$ )。单相有  $I_c = \frac{Q_c}{U}$ ；三相有  $I_c = \frac{Q_c}{\sqrt{3}U}$ 。

(2) 按实际电容值和额定电压计算电容器的实际电流。单相有  $I_c = 2\pi fCU \times 10^{-3}$ ；三相有  $I_c = \frac{2\pi fCU \times 10^{-3}}{\sqrt{3}}$ 。

**【例】** 有一台 BZMJ0.4-15-3 型的电容器，铭牌电容值为  $299\mu\text{F}$ ，( $f=50\text{Hz}$ )，试计算其额定电流。

据以上算式，可以有  $I_c = \frac{2\pi fCU \times 10^{-3}}{\sqrt{3}} = \frac{0.314 \times 299 \times 0.4}{\sqrt{3}} \approx 21.7 \text{ (A)}$

或  $I_c = \frac{Q}{\sqrt{3}U} = \frac{15}{\sqrt{3} \times 0.4} \approx 21.7 \text{ (A)}$

### 2. 所需补偿电容器容量的计算

当工厂企业用电的平均功率因数一般在低于 0.85 时，便可认为功率因数过低。应采取相应措施加以调整，使能提高到 0.95 左右或更高一些为好。若采用补偿电容器时，其容量应满足所需的补偿要求，但也不能过大。过大了则造成过补偿，会引起电压升高超过限值，给设备及运行带来不良影响。故应恰当地选择所需装设的补偿电容器容量，其方法通常有两种：一是按公式计算求取所需容量；二是直接查表进行容量选择。

(1) 计算法。所需补偿电容器的容量通常可按式确定，有

$$Q_c = P_p(\text{tg}\varphi_1 - \text{tg}\varphi_2) = P_p q_c$$

或者  $Q_c = P_p \left[ \sqrt{\frac{1 - \cos^2\varphi_1}{\cos^2\varphi_1}} - \sqrt{\frac{1 - \cos^2\varphi_2}{\cos^2\varphi_2}} \right]$

式中  $Q_c$ ——所需装设的补偿电容器容量，kvar；

$P_p$  —— 年内最大负荷月份的平均有功负荷, kW;

$\operatorname{tg}\varphi_1$ 、 $\operatorname{tg}\varphi_2$  —— 补偿前、后平均功率因数角的正切值;

$\cos\varphi_1$ 、 $\cos\varphi_2$  —— 现有的及计划提高后的平均功率因数。

对某些尚未投运的单位, 在考虑无功补偿容量时一般可按下式计算, 有

$$Q_c = \alpha P_m (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) \quad (\text{kvar})$$

式中  $\alpha$  —— 月平均有功负荷系数 (对工厂企业一般取 0.7~0.8);

$P_m$  —— 最大有功计算负荷, kW。

**【例】** 某企业三班制工作, 最大负荷月的有功电量  $W_p$  为 80 万 kW·h, 无功电量  $W_Q$  为 60 万 kvar·h, 按国家标准要求功率因数应达到 0.9, 问该企业是否达到标准? 若未达到, 需要装设多少台单台容量为 15kvar 的低压并联电容器才能满足要求?

**解** 先求原功率因数  $\cos\varphi_1$  为

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{W_Q}{W_p} = \frac{60}{80} = 0.75$$

$$\cos\varphi_1 = \sqrt{\frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2\varphi_1}} = 0.8$$

这说明该厂如今功率因数未达到标准, 现需实施电容器无功补偿以使其增至 0.9, 则所需补偿容量应为

$$\begin{aligned} Q_c &= P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) \\ &= \frac{80 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}}{24 \text{ h/天} \times 30 \text{ 天}} \times \left[ 0.75 - \sqrt{\frac{1}{0.9^2} - 1} \right] \\ &= 300 (\text{kvar}) \quad (\text{三班制生产即以每日生产 24h 计算}) \end{aligned}$$

需设电容器台数  $n \geq \frac{300}{15} = 20$  (台)

故需增加单台容量为 15kvar 的电容器 20 台, 才能将功率因数提高至 0.9。

**【例】** 某工厂变配电方案正处于设计中, 其有功计算负荷为 280kW, 自然功率因数为 0.74, 为使功率因数能提高到 0.9, 应选择多少台单台容量为 15kvar 的低压并联电容器?

**解** 查三角函数表可得: 对应于  $\cos\varphi_1 = 0.74$  的正切值  $\operatorname{tg}\varphi_1 = 0.91$ , 对应于  $\cos\varphi_2 = 0.9$  的正切值  $\operatorname{tg}\varphi_2 = 0.48$ , 则

$$Q_c = \alpha P_m (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) = 0.75 \times 280 \times (0.91 - 0.48) = 90 \quad (\text{kvar})$$

故所需电容器数量为

$$n \geq \frac{90}{15} = 6 \quad (\text{台})$$

(2) 查表法。当需将现有功率因数由  $\cos\varphi_1$  提高到  $\cos\varphi_2$  时, 由计算法公式中  $\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2 = q_c$  并称为补偿率, 其意为对应于实际取用的每千瓦有功功率所需装设的补偿容量 (kvar) 数。根据不同的  $\operatorname{tg}\varphi_1$  与  $\operatorname{tg}\varphi_2$  值, 可计算其对应的  $q_c$  值并制成补偿率表 (见表 2-13、表 2-14), 使用中据  $\cos\varphi_1$  与  $\cos\varphi_2$  查找对应的  $q_c$  值, 再乘以  $P_p$  值即年内最大负荷月份的平均有功负荷 (kW) 即可。

$U_N$ ——电容器的额定电压, kV;

$U$ ——电容器的实际运行电压, kV。

(2) 对于电动机进行个别补偿时, 其电容器容量的计算, 应以电动机空载时补偿的功率因数接近 1 为宜, 而不能按电动机的负荷情况来计算补偿容量。若以负荷情况补偿至功率因数等于 1 时, 空载时将会出现过补偿。过补偿的电动机在切断电源后, 电容器放电将供电动机以励磁, 能使旋转着的电动机成为感应发电机, 从而使电压超过额定电压好多倍。这对电动机和电容器的绝缘都很不利, 因此对于个别补偿的电动机, 其补偿容量应按下列公式确定, 有

$$Q_c \leq \sqrt{3} U I_0$$

式中  $Q_c$ ——电动机所需补偿容量, kvar;

$U$ ——电动机的电压, kV;

$I_0$ ——电动机的空载电流, A。

概言之, 对异步电动机进行个别补偿时, 补偿电容器容量的选择不应以负荷情况计算, 而应以电动机空载电流来考虑, 并根据其运行工况加以确定。实用中也可参照如下经验公式:

1) 对于机械负荷惯性小的异步机 (如风机等), 其补偿容量为

$$Q_c \approx 0.9 \text{ 倍空载无功功率}$$

2) 对于机械负荷惯性较大的异步机 (如水泵等), 其补偿容量为

$$Q_c = (1.3 \sim 1.5) \text{ 倍空载无功功率}$$

(3) 对于单相补偿电容器, 由于必须在三相制系统中对称地装设, 因此实际工作中选择的电容器容量, 应为每只电容器额定容量的  $3n$  倍 ( $n$  为自然数)、而且要略大于由计算或查表所得的无功补偿容量。

## (二) 装接电容器的补偿方式

### 1. 补偿方式的种类及适用场合

为了提高无功补偿装置的经济效益, 减少无功功率 (电流) 的传送, 应尽量贯彻就地补偿的原则以取得良好效果并满足实际需要。通常补偿方式可分为下述三种。

(1) 个别补偿。广泛应用于低压网络。它是将电容器直接并接在单台用电设备的同一电气回路中 (见图 2-16), 一般和用电设备合用一套开关并与其同时投入运行或断开。其优点是补偿效果最好, 能就地平衡无功电流, 缺点是电容器利用率低。对于连续运行的用电设备且容量较大时, 所需补偿的无功负荷较大, 这时采用个别补偿方式最为适宜。

(2) 分组补偿 (也称分数补偿)。它是将电容器组分别安装在各车间配电盘的母线上或各分路出线上 (见图 2-17 中的分组补偿)。这样受电变压器以及变电所至车间的线路, 由于无功负荷的减少便都可收到补偿效果。分组补偿的电容器组利用率比个别补偿时为高, 所需容量也比个别补偿为少; 但比集中补偿设备投资大、电容器组的利用率较低。一般适用于补偿容量小、用电设备多而分散和部分补偿容量相当大的场所。

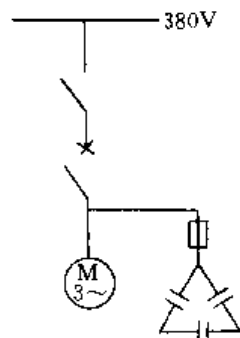


图 2-16 电容器个别补偿接线图

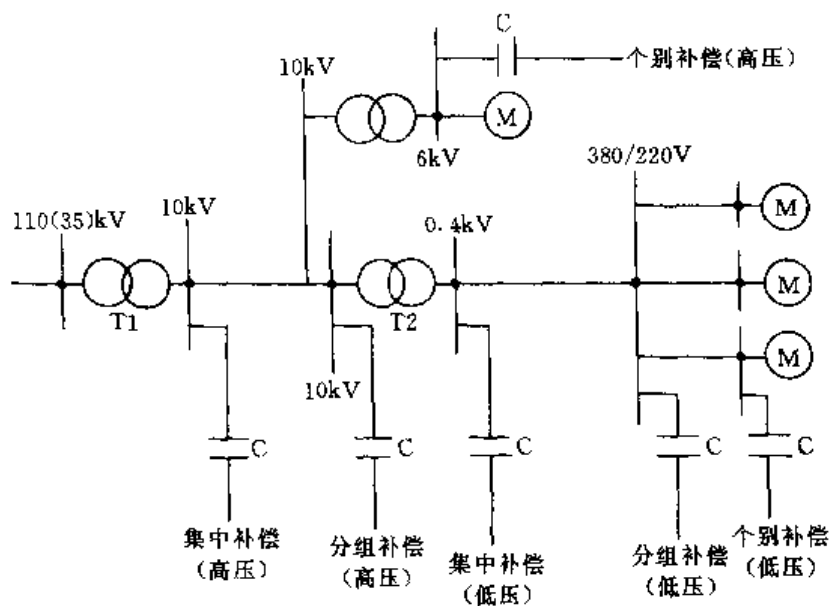


图 2-17 电容器补偿方式示意

(3) 集中补偿。将电容器组接在变配电所的高压或低压母线上，电容器组的容量需按变配电所的总无功负荷来选择，这种补偿方式电容器组利用率较高，能够减少电网和用户变压器及供电线路的无功负荷，但不能减少用户内部配电网路的无功负荷。这种补偿方式安装简便、运行可靠、利用率高，因此应用比较普遍。但必须装设自动控制设备，使之能随负荷的变化而自动投切，否则可能会造成过补偿，而破坏电压质量。

电容器接在变压器一次侧时，可使线路损耗降低，一次母线电压升高，而对变压器及其二次侧没有补偿作用，而且安装费用高。电容器安装在变压器二次侧时（见图 2-18），能使变压器增加出力，并使二次侧电压升高，补偿范围扩大，安装、运行、维护费用低。因此，中小型企业普遍都是将电容器安装在变压器二次侧。

可见，各种补偿方式各有其优缺点。电容器有高压与低压之分，补偿电容器可安装在高压侧，也可安装在低压侧；可以集中安装，也可分散安装。从补偿的角度看，低压补偿比高压补偿好，分散补偿比集中补偿好；从节省投资和便于管理的角度看，高压补偿比低压补偿好，集中补偿比分散补偿好。总之，这三种补偿方式各有利弊，实际选用时应根据具体情况及用电负荷的特点来加以选择，也可将三种方式结合起来使用（如图 2-17），以提高补偿效果。

## 2. 补偿电容器组的实用接线

(1) 接线方式的分类与特点。由于补偿电容器的输出容量与施加到电容器上的电压平方和频率成正比，电网电压如果高于电容器的额定电压，电容器将会过负荷运行；若施加到电容器的端电压低于电容器额定电压，则电容器的输出容量将会降低（不足）。所以装接电容器时，应使它的端电压尽可能接近于它的额定电压。

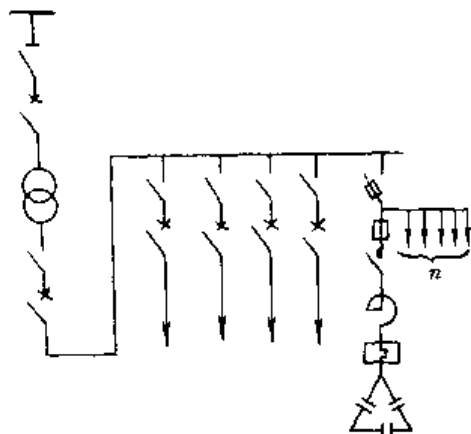


图 2-18 电容器集中补偿接线图

电容器组的接线通常可分为三角形接线和星形接



线两类（此外还有双三角形和双星形接线），而星形接线又有中性点接地和不接地两种。究竟采用哪种接线方式，应根据具体情况决定。我国电容器组接线方式，大多采用三角形接线。电容器的额定电压等于电网的线间电压时，在配电系统可以直接接成三角形使用。

三角形接线的电容器，直接承受线间电压，当任何一台电容器因故障被击穿时，就形成两相短路，故障电流很大，如果故障不能迅速切除，故障电流和电弧将使绝缘介质产生气体，会引起电容器油箱爆炸。所以，三角形接线多用于短路容量较小的厂矿企业用户变配电所。

(2) 不同补偿方式下的实用接线。

1) 低压个别补偿时的接线。电容器组与电动机的端子直接连接，其间没有任何隔离开关或熔丝，控制电动机的刀闸及熔丝或开关兼作电容器组的控制及保护装置用。对于采用星形—三角形起动方式的异步电动机，最好采用三台单相电容器，在起动状态下和运行状态下，电容器组与电动机定子绕组的接线方式见图 2-19、图 2-20。

对于三端子电容器的接线，其端子上的三根引线一定要接至电机绕组的电源侧，否则在电动机起动时电容器将被短路，起不到补偿作用。此外，如果电动机运行中为星形连接，而星形中性点接触开路，即使是瞬时的，也可能会出现电压谐振，而发生过高电压，造成电容器与电动机的损坏。

2) 分组补偿时的接线方式。分组补偿时电容器组的接线方式如图 2-21 所示。每组电容器对一部分负荷进行补偿无功，应连接在分组母线电源开关的外侧，这样，当分组母线开关 QA4、QA5 断开时，就不会发生自动励磁现象。

为了防止电源总开关 QA1M 断开时出现自动励磁现象，当总开关断开时，用总开关联动接点 QA1A 接通脱扣线圈 WT 的电路，从而断开分组补偿电容器的开关 QA2、QA3。

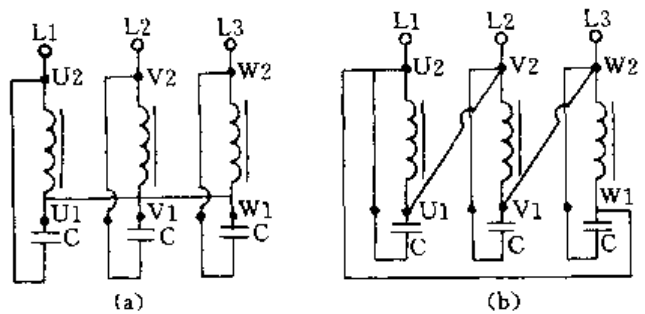


图 2-19 六端子电容器的接线  
(a) 起动状态下，定子绕组接线；  
(b) 运行状态下，定子绕组接线

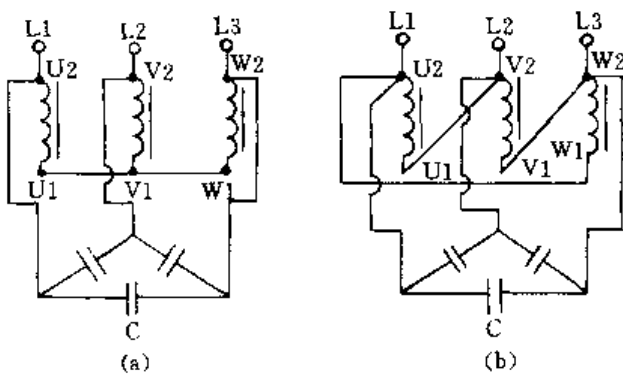


图 2-20 三端子电容器的接线  
(a) 起动状态下，定子绕组接线；  
(b) 运行状态下，定子绕组接线

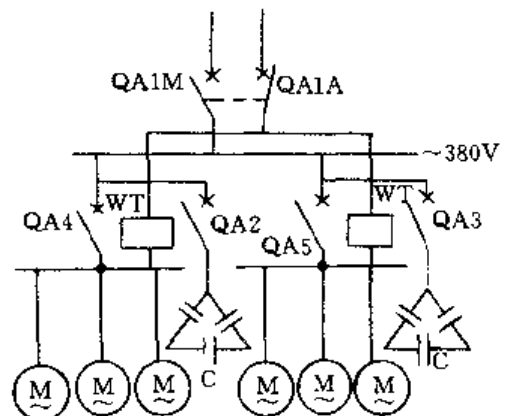


图 2-21 分组补偿的接线  
QA—自动开关；C—电容器组；  
M—电动机；WT—脱扣线圈

3) 集中补偿时的接线。集中补偿的高压电容器一般连接于用户变电所的高压母线或配电变压器的高压侧,并装有专用的电容器开关(见图 2-22)。采用低压电容器组集中补偿时,其接线如图 2-23 所示,电容器组上设专用开关,装在总开关的外侧,不要装在低压母线上。这样,总开关断开时,不会产生自励磁现象。当电容器组集中装设在配电变压器的低压侧时,接线如图 2-24 所示。

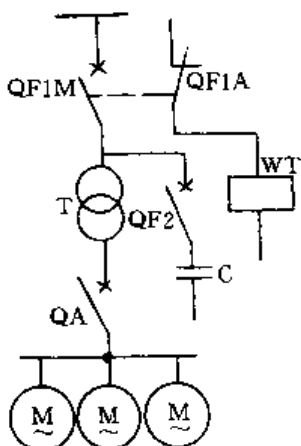


图 2-22 由配电变压器供电、  
高压电容器集中补偿  
QF1M- 电源开关; QF2- 电容器  
开关; C- 电容器组;  
T- 配电变压器; WT- 脱  
扣线圈; QA- 低压自动  
开关; M- 电动机

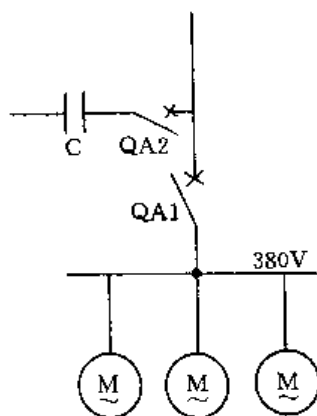


图 2-23 由低压供电、低  
压电容器组集中补偿  
C- 电容器组;  
QA- 低压自动开关

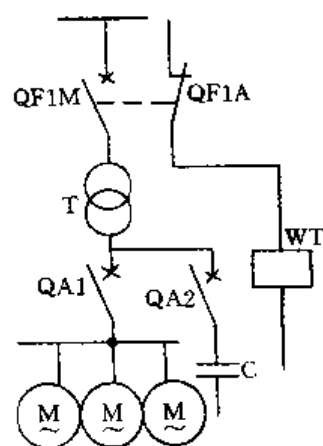


图 2-24 由配电变压器供电、  
低压电容器组集中补偿  
T- 配电变压器; C- 电容器组;  
M- 电动机; QA1、QA2- 低压自  
动开关; QF- 高压电源开关;  
WT- 脱扣线圈

电源侧装有高压开关,当高压开关断开时可能会产生自励磁,这时配电变压器的低压绕组就相当于饱和电抗器元件,限制了过电压的幅值。为防止产生自励磁,高压开关 QF1M 断开时,可利用其联动接点 QF1A,接通电容器低压开关 QA2 脱扣线圈 WT 的回路,使电容器开关同时断开。

(3) 确定电容器组接线的注意事项。

1) 补偿电容器与电力网连接时,它们的额定电压应该相符。

2) 当单相电容器的额定电压与电力网的额定电压相同时,电容器应采用三角形接法。若按星形接法连接时,由于每相电压为线电压的  $1/\sqrt{3}$ ,而  $Q=U^2/X_C$ ,式中容抗  $X_C=(2\pi fC)^{-1}$ ,显然此时无功出力将减少为三角形接法时的  $1/3$ ,那就不合适了。

3) 当单相电容器的额定电压低于电网的额定电压时,应采用星形连接或几个电容器串联以后(其电容器组的额定电压提高)接成三角形接线;对于三相电容器,只要其额定电压等于或高于电网的额定电压时,便可以直接接入使用。

4) 为了防止电容器因过电压而受到损坏,接线时应注意必须符合下列要求:① 当电容器需串联后接入电网使用时,每台电容器的外壳对地均应绝缘起来,其绝缘水平应不低于电网的额定电压;② 在中性点不接地的系统中,当电容器采用星形接线时,其外壳也应与地绝缘,绝缘等级要符合电网的额定电压(这主要是考虑在中性点不接地系统中若发生一相接地时,其他两相的电压将升高  $\sqrt{3}$  倍)。

5) 电容器与被补偿系统两者的额定电压不符合时,禁止装接使用。因为补偿电容器中

所通过的电流与加在电容器上的电压成正比 ( $I=2\pi fCU_N$ )，电容器的补偿容量与加在电容器上电压的平方成正比 ( $Q_c=2\pi fCU_N^2$ )。故若补偿电容器的额定电压与电源电压不符合时，其通过电流与无功容量将相应地发生变化。若电源电压过高，虽此时补偿效果会更好些，但通过电容器的电流将增大，就会有被击穿或损毁的危险；若电源电压过低，则其补偿效果将大为降低，这是很不经济的。同样道理，补偿电容器运行中若电网电压波动时，对电容器也将会产生上述影响，仅是程度不同而已。

6) 接线方式不同时，通过补偿电容器的电流也不同。对三相交流制中每相电容器的电流，可分别按下式进行计算

a. 星形接线时,  $I_L = I_\phi = \frac{Q_{CZ}}{\sqrt{3}U_L}$ ;

b. 三角形接线时,  $I_L = \sqrt{3}I_\phi = \frac{Q_{CZ}}{\sqrt{3}U_L}$ 。

式中  $I_L$ ——线电流, A;

$I_\phi$ ——相电流, A;

$Q_{CZ}$ ——补偿电容器总容量, kvar;

$U_L$ ——所接系统的线电压, kV。

## 七、电容器组的控制与保护

### (一) 电容器组的控制

#### 1. 控制设备的选择原则

- (1) 控制设备的额定电压、额定容量应满足电容器组的要求。
- (2) 控制设备的遮断容量应满足电容器安装点短路容量的要求。
- (3) 低压电容器组的控制设备，不仅消弧能力要满足要求，而且应有明显断开点。

#### 2. 常用的控制设备

凡 100kvar 以下的低压电容器组常采用刀熔开关作为总控制；100kvar 以上的则采用具有过流脱扣器的低压断路器作为控制设备。常用的刀开关与刀熔开关、交流接触器及低压断路器的主要型号及技术数据见表 2-15~表 2-18。

高压电容器组容量小于 100kvar 时可采用跌落式熔断开关进行控制；其容量在 100~300kvar 范围内的，应采用负荷开关控制；大于 300kvar 时则采用断路器控制，且应选用不重燃的断路器控制其开断与关合，容量应能满足在电容器组故障时切断电源且能通过合闸涌流，其额定电流一般可按电容器组额定电流的 1.3~1.5 倍选择。

### (二) 电容器组的保护

表 2-15 刀开关与刀熔开关技术数据

型号	结构型式	额定电流 (A)	备注
HD11	中央手柄式	200、400、600	板前接线
HD8	中央杠杆操作机构式	200、400、600、1000、1500	
HR3-/34	中央杠杆操作机构式	100、200、400、600	熔芯规格见表 2-18 中的 RT0

表 2-16 交流接触器技术数据

型号	额定电流 (A)	吸引线圈电压 (V)	
		AC	DC
CJ10	20、40、60、100、150	110、200、380	110、220
CJ12	250、400、600	220、380	24、48、110、220

表 2-17 低压断路器技术数据

型 号	额定电流 (A)	脱扣器额定电流 (A)	操作方法	失压脱扣器电压 (V)	分励脱扣器电压 (V)
DZ20—100	100	16、20、32、40、50 63、80、100	手动 电动	AC: 220、380 DC: 110、220	AC: 220、380 DC: 110、220
DZ20 200	200	100、125、160 180、200、225	手动 电动	AC: 220、380 DC: 110、220	AC: 220、380 DC: 110、220
DZ20—400	400	200、250、315 350、400	手动 电动	AC: 220、380 DC: 110、220	AC: 220、380 DC: 110、220
DZ20—630	630	250、315、350 400、500、630	手动 电动	AC: 220、380 DC: 110、220	AC: 220、380 DC: 110、220
DW10—400	400	100、150、200、250 300、350、400	手动 电动	AC: 100、220	AC: 220、380
DW10·600	600	600	电磁操作	AC: 220、380 DC: 110、220	AC: 220、380 DC: 110、220
DW10—1000	1000	1000	电动操作	AC: 220、380 DC: 110、220	AC: 220、380 DC: 110、220

表 2-18 熔断器技术数据

型 号	额定电流 (A)	熔体电流 (A)
RL10-60	60	20、25、30、35、40、50、60
RT0 100	100	30、40、50、60、80、100
RT0 200	200	80、100、120、150、200
RT0·400	400	150、200、250、300、350、400
RT0—600	600	350、400、450、500、550、600

### 1. 保护装置的设置

电容器组应配装有短路保护装置，以免由于击穿而引起电容器爆炸事故。对其与断路器之间连线上的短路和电容器的内部短路，以及电容器回路内的单相接地故障等，则都应由保护装置进行保护。其通常设置如下：

(1) 低压电容器组可应用熔断器作为它的单独保护装置，并可在每台电容器上都装置小容量的熔断器。采用这种方法基本上可以

把电容器的故障控制在最低限度内。

(2) 采用熔断器保护时，熔体的额定电流通常不应大于电容器额定电流的 1.2~1.3 倍。

(3) 对于容量在 300kvar 以上的高压电容器组，应采用继电保护装置去控制高压断路器自动跳闸；100~300kvar 的用负荷开关保护；100kvar 以下的用跌落式熔断器保护。对于额定电压超过 1kV 的电容器组，为了防止相间损伤，还可采用瞬时动作的两相式过电流保护装置。

(4) 对于容量小于 100kvar 的低压电容器组，可用刀熔开关保护；超过 100kvar 的，可以采用含过流脱扣器的低压断路器作为保护。

### 2. 对保护装置的要求

(1) 当电容器组母线电压超过额定电压 1.1 倍或低于额定电压 60% 时，电容器组应自动退出运行。

(2) 当电容器组中某台电容器内部故障时，保护装置应能可靠动作，断开故障电容器，并能及时找出故障电容器。

(3) 在电容器组投切的暂态过程中以及电网出现接地故障等异常情况时，保护装置应不误动、不拒动。

(4) 电容器内部保护失灵时，其后备保护应能准确动作，以防止事故扩大。

(5) 单台熔断器保护应与继电保护装置相配合，起到互补作用。

### 3. 电容器组的保护方式

(1) 熔断器保护。低压并联电容器组通常采用熔断器保护，其结构简单，安装方便，容易及时发现故障，并能迅速切除故障电容器。单台电容器装设单独的熔断器时，当一台发生短路故障后，依靠熔丝熔断切除，可保证其他电容器的连续运行。选择熔断器时应注意：  
① 电容器在最大长期允许电流运行不会熔断；② 当电容器内部元件击穿  $1/2 \sim 2/3$  时能够熔断，而全部击穿时应迅速熔断；③ 在合闸涌流下不应熔断。

(2) 过电流保护。它主要是为防止短路故障扩大和防止过负荷用。当电容器组发生母线短路故障和过负荷超过规定的允许值时，能使断路器跳闸，迅速切除故障，并可作为电容器内部保护的后备保护。它们主要有低压断路器所含过流脱扣器、负荷开关以及过流保护装置。300kvar 以上的高压电容器组除采用断路器作为控制与保护外，还要装设专门用来保护电容器的高灵敏度的过电流速断保护装置。

(3) 过电压保护。它是防止系统过电压时危害电容器组安全运行的保护装置。当系统运行电压超过电容器组额定电压的 1.1 倍时，过电压保护带时限动作于信号或跳闸。电容器组已装设按电压自动投切装置时，则不需要再装设过电压保护。目前使用的低压无功功率自动补偿控制器中也具有过电压保护功能，过电压时它能自动快速地切除电容器组。

(4) 低电压保护。可在电容器组所接母线电压过低甚至瞬时失压时，使电容器组退出运行。当运行母线电压降低到额定值的 60% 左右时，低电压保护动作使断路器跳闸，切除电容器组，从而避免了变电所事故停电后再恢复送电时，空载变压器与电容器组同时合闸而发生的铁磁谐振。

(5) 不平衡电压保护。电容器发生故障后，由于熔断器熔断将故障电容器切除，从而引起电容器组三相电容值不平衡而产生的电压不平衡，使之作用于断路器跳闸。单星形接线的电容器组可采用开口三角形保护，串联段数为二段及以上的单星形电容器组，可采用电压差动保护。

(6) 不平衡电流保护。这种保护方式是利用故障相电容器容抗减小后电流增加，用增加的电流值与正常相电流值之间的电流差值作用于断路器跳闸，一般采用的是中性点不平衡电流保护。

### (三) 放电装置及串联电抗器

#### 1. 电容器的放电装置

运行中的电容器在脱离电源以后，其金属极板上尚残存一定电荷，两极仍处于储能状态，极板间存有所谓残留电压（初始值为电容器的额定电压）。虽然残留电压随时间而降低，但若没有专门的放电负载、仅靠电容器本身放电，则由于电容器的绝缘电阻高达数十兆欧，放电非常缓慢。高压电容器上的残留电压靠本身放电降到安全值及以下将需要几个小时；而且电容器在带电荷的情况下若再次合闸投运时，将会产生很大的冲击合闸涌流和很高的过电压。这对于设备和人身会有很大的危害。因此，电容器组必须加装放电装置。

高压电容器放电装置可选用专用的放电线圈，也可以用互感器或配电变压器的一次绕组作为兼用放电线圈；低压电容器可以用灯泡或电动机作为放电负载。对放电线圈或负载

分放尽后，方可悬挂临时接地线并开始工作。

2) 当电容器或电容器组直接（不经过可断开设备）与异步电动机（或变压器）相连接时，可不再另行装设放电电阻。因为在拉开开关或熔断器动作后，电容器将能够通过电动机绕组而自行放电。

### 3. 电容器组串联电抗器

为了限制电容器组的合闸涌流、操作过电压和电网中高次谐波对电容器的影响，在电容器组中串联电抗器，可以取得良好效果。

合闸涌流是电容器（组）合闸投运的瞬间，由于暂态过程的特性，将会产生很大的冲击涌流。单独一组电容器的合闸涌流约为额定电流的5~15倍，其频率约为250~4000Hz，并伴随产生过电压可达相电压的2~3倍。逐级投入电容器组时，还将会产生追加合闸涌流。过大的电流将产生很大的机械应力，这对电容器、断路器等便可能造成很大破坏。限制合闸涌流的方法，主要是安装串联电抗器。

电力系统中有些电气设备是高次谐波源，产生的高次谐波电流，将引起系统电压波形的畸变，污染电网。谐波电流，特别是3、5、7、……奇次谐波对电容器的危害性很大。畸变电流通过电容器，又使电压波形畸变程度加重，造成恶性循环。电压波形的严重畸变，对其他电气设备的运行很不利，如效率降低、绝缘老化、减少使用寿命等。为了抑制高次谐波的危害，必须采取加装滤波装置（抑制3次谐波）或串联电抗器（抑制5次以后的谐波）等措施。

根据安装电抗器的目的不同，电抗器选择的结果也不同。一般单纯为限制合闸涌流所安装的串联电抗器，其电抗值可取为电容器组容抗值0.1%~2%的空心电抗器；为限制高次谐波的电抗器，其电抗值则取电容器组容抗值的4.5%~6%，这不仅可以抑制谐波，同时也可起到限制合闸涌流的作用。

## 八、电容器的安装、交接和投运

### （一）电容器的搬运和安装前的检查

#### 1. 补偿电容器的搬运方法

（1）若将电容器搬运到较远的地方，应装箱后再运；装箱时电容器的套管应向上直立放置，且电容器之间及电容器与木箱内壁之间应垫松软物。

（2）搬运电容器时，应吊抓外壳两侧壁上所焊的吊攀，严禁用双手抓住电容器的套管搬运。

（3）在仓库及安装现场，决不允许将一台电容器置于另一台电容器的外壳上。

#### 2. 电容器安装前的检查

电容器在安装前应首先进行外观检查：检查油箱有无膨胀和凹陷处；瓷套管有无裂纹或缺口；有无漏油；引出线端连接用的垫圈及防松螺帽是否齐全；套管的导油芯棒是否有弯曲现象。当发现有损伤和缺陷时，应送回更换或修理。电容器的漏油量应根据其本身重量来衡量，当其重量减少超过总重量的5%时则不能使用，应退回更换。应注意，在检查过程中不得打开电容器油箱取油或装油。

### （二）补偿电容器的安装要求

补偿电容器的安装要求可分为三个方面，即对安装环境的要求、对电容器室的要求及

对安装电容器的具体要求。

### 1. 安装环境应满足产品规定的技术要求

(1) 非湿热带地区（海拔不超过 1000m）要采用符合 GB3985—83《并联电容器》规定的定型产品；高原地区（海拔 1000~5000m）应采用符合 GB6915—86《高原电力电容器》规定的定型产品；热带地区（海拔在 1000m 以下）应采用符合 GB6916—86《湿热带电力电容器》规定的定型产品。

(2) 周围环境不含有对金属和绝缘有害的侵蚀性气体和蒸汽，以及大量的尘埃。

(3) 周围环境应无易燃、易爆危险，以及无剧烈的冲击和震动。

(4) 在周围环境较差的场所，如在化工厂、农药厂、硫酸厂、水泥厂、焦化厂和采煤矿场附近，不宜在户外装设补偿电容器。

(5) 装于户外的补偿电容器，应防止日光直接照射。

### 2. 对电容器室的要求

(1) 电容器室最好为单独建筑物，其耐火等级不低于二级，并就近设置消防设施。

(2) 电容器室的通风应良好，使电容器因热损耗产生的热量能以对流和辐射方式而散出。

(3) 电容器室的环境温度应满足制造厂家规定的要求。若自然通风不能将室温控制在 40℃ 及以下时，应增设机械通风。

(4) 电容器室装设通风机时，进口要开向本地区夏季的主要风向，出风口应安装在电容器组的上端。进风机和排风机宜在对角线位置安装。

(5) 电容器室屋顶应采取隔热措施，进、出风口应有防雨雪和小动物进入的措施。

(6) 电容器室可用人工照明，不需要天然采光，不需装设采暖装置。

(7) 电容器室不应有窗户，门宜设在北侧或东侧，应能向左右外开 90° 以上；建筑上一般不应与开关室毗连，以保安全（补偿屏可与配电屏一起安装在配电室内）。

### 3. 安装电容器的具体要求

(1) 电容器分层安装时，一般不超过三层，层间不应加隔板，以免妨碍空气流通。电容器母线对上层构架的垂直距离不应小于 0.2m，下层电容器的底部距地面应大于 0.3m，上层电容器底部距地面一般不应大于 2.5m。

(2) 低压电容器构架间的水平距离不应小于 0.5m，每台电容器之间的距离不应小于 50mm（高压的上述距离分别为 1.5m 与 100mm）。所有电容器的铭牌均应面向通道。

(3) 电容器额定电压与低压配电网额定电压相同时，应将电容器外壳和支架接地；若低于配网额定电压时，则要将每相电容器的支架绝缘（绝缘等级应与配网的额定电压相匹配）。

(4) 三相的电容器容量应配置平衡，其误差不应超过每相平均容量的 5%；并在电容器的适当位置上设温度计或贴示温蜡片，以便监视运行温度。

(5) 电容器应装设相间及电容器内部元件故障的保护装置或熔断器。低压电容器组超过 100kvar 以上者，可装设低压断路器进行保护与控制；高压电容器组为 100~300kvar 者，应采用负荷开关加熔断器保护和控制，超过 300kvar 时应采用断路器保护和控制。

(6) 电容器应有合格的放电装置，同时应根据需要加装串联电抗器；每台电容器与母

前应加装熔断器。

(3) 1kV 以下的非自愈式电容器组常采用白炽灯接成三角形接线，作为放电装置。

(4) 1kV 以上的电容器组则多采用接成三角形或开口三角形的电压互感器作为放电装置。

#### (四) 电容器安装后的交接试验

##### 1. 电容器交接试验的项目和标准

补偿电容器组安装好之后，要根据 GBJ232—82《电气安装工程施工及验收规范》中的《电气设备交接试验标准》进行交接试验（参见表 2-19）。

表 2-19 电容器交接试验项目和标准

试验项目	标准						备注
双极对外壳绝缘电阻	20℃时， $\geq 2000\text{M}\Omega$						3kV 及以上用 2500V 摇表
电容值测定	范围为出厂实测电容值的 $\pm 10\%$						
双极对外壳交流耐压 (50Hz, 1min)	额定电压 (kV)	0.5 及以下	1.05	3.15	6.3	10.5	出厂试验电压应分别为 2.5, 5, 18, 25, 35kV, 若不同时，则交接试验电压为出厂试验电压的 85%
	试验电压 (kV)	2.1	4.2	15	21	30	
极间直流耐压	$U_N \times 4.3 \times 0.85$ , 时间 10s						$U_N$ 为电容器的额定电压
冲击合闸试验	在电网额定电压下，对电容器进行 3 次合闸试验。开关合闸时保护装置不应动作，电容器组各相电流的差值不应超过 5%						

根据许多运行单位较长时间来的实践经验，对电容器组安装后的交接试验项目与标准、在实际工作中对照执行时，可作如下适当调整：

(1) 双极对壳绝缘电阻值。在部颁标准中对此未作规定。要求用 2500V 绝缘电阻表测量，在 20℃ 时应不小于 1000M $\Omega$ 。

(2) 电容值测量。其判断标准可为不超过出厂试验时实测值 -5% 到 +10% 的范围。

(3) 相间电容量的平衡调整。国家标准中也未作要求。实用中其判断标准是：

1) 当采用相差动电流保护、中性线电流平衡保护或零序电流保护时，其不平衡电流应尽可能小，要能满足保护的灵敏度要求。

2) 若采用其他种类的保护时，其相间电容量的差值应不超过每相量值的 5%。顺便指出，关于对（运行中）电容器组的预防性试验项目与标准（见表 2-20），原部颁有关规程中未作具体规定，故凡具试验条件的单位，可以参照其项目与标准自定进行；但据目前国内运行经验表明，对每台电容器都做预防性试验实在是有点事倍功半。可以考虑在采用单台熔断器保护后，便无需再进行预防性试验，以便尽量发挥电容器功用，直至其损坏为止。

##### 2. 摇测电容器绝缘电阻的方法

电容器的绝缘电阻分为两极间的绝缘电阻和两极对外壳的绝缘电阻。由于电容器的两极间及两极对外壳均有电容存在，因此要特别注意摇测方法，否则便容易损坏绝缘电阻表（俗称摇表）。

摇测低压电容器可采用 500V 或 1000V 绝缘电阻表，而摇测高压电容器则应采用 2500V 绝缘电阻表。摇测前应先将电容器放电。摇测时先将绝缘电阻表摇至规定转速，待



表 2-20

电容器预防性试验项目、周期和标准

试 验 项 目	周 期	标 准						备 注
双极对外壳绝缘电阻	每 2 年一次	$\geq 1000M\Omega$						3kV 及以上用 2500V 摇表
电容值测定	每 3~5 年一次	6.3kV 以下的电容值变化不超过 +10%， 10.5kV 的电容值变化不超过 +5%						
双极对外壳交流耐压试验 (50Hz, 1min)	每 3~5 年一次	额定电压 (kV)	0.5 及以下	1.05	3.15	6.3	10.5	
		试验电压 (kV)	2.1	4.2	15	21	30	
极间直流耐压	每 3~5 年一次	$U_N \times 4.3 \times 0.75$ , 时间 10s						$U_N$ 为电容器的额定电压

注 对运行中电容器组的预防性试验，部有关试验标准中未作具体规定，上表供参考。

其指针平稳后将绝缘电阻表线接至电容器的两极上，再继续转动绝缘电阻表。开始时由于对电容器充电，表计指针会下降，然后再慢慢上升直至稳定，此时读数即为电容器的极间绝缘电阻。记取读数后，要先将绝缘电阻表线撤除，然后再停止摇动，否则会因电容器放电而易烧坏表头。摇测后应立即将电容器进行放电，以免引起触电。

由于电容器是由串、并联电容元件构成的，个别元件的绝缘劣化不会使整台电容器的绝缘电阻明显降低。放摇测极间绝缘电阻一般很难发现缺陷，因此《电气设备交接和预防性试验标准》中只规定了双极对外壳绝缘电阻的试验项目，而对绝缘电阻值未作具体规定。

根据规程要求和运行经验，电容器两极对外壳的绝缘电阻值要求为：在交接试验及鉴定性试验中应大于  $2000M\Omega$  (最低不小于  $1000M\Omega$ )；在预防性试验中则不应低于  $1000M\Omega$ 。

#### (五) 投运前的检查和投切方式

##### 1. 新装补偿电容器组投运前的检查项目

- (1) 投运前应按电容器交接试验项目与标准进行试验并合格。
- (2) 检查电容器组的布置应合乎要求，接线要正确，电容器额定电压应与电网额定电压相符合。
- (3) 电容器及放电设备外观检查要良好，应无渗、漏油现象。
- (4) 放电电阻的阻值和容量应符合要求，并经试验合格。
- (5) 电容器组三相间的容量应平衡，其误差不应超过一相总容量的 5%。
- (6) 各接点的接触应良好，外壳和构架的接地（接零）要良好并牢固可靠。
- (7) 电容器组的控制设备应完好，继电保护装置应校验合格且整定值正确。
- (8) 电容器室的建筑结构及通风设施均应符合规程要求。

##### 2. 投切补偿电容器组的控制方式

电容器组应按负荷变化进行投入或切除，否则在负荷变化大的情况下，轻载时功率因数可能会出现过补偿情况，这就未必经济。因此应将电容器组分成若干组，用手动操作或自动控制方式进行电容器的投切，并伴随负荷的不断变化，确定最佳无功补偿容量。近年来，国内外普遍推广的自动控制方式有以下几种：

- (1) 程序控制方式。用时间切换器按固定程序进行投切，这种方式适用于日负荷曲线

按固定规律变化的企业。时间切换器的动作时间有 24h、一周或一个月的，把不同的时间切换器组合起来，就能满足假日和平时负荷的要求，进行最佳无功补偿的自动控制。

(2) 无功功率控制方式。以提高功率因数为目的，多采用无功功率控制方式，以无功功率继电器作为控制元件，当负荷所需无功功率超出无功继电器的整定值时，发出投入信号，自动投入一部分电容器。当负荷的无功功率减小或变为超前时发出切除信号，无功功率继电器动作，自动切除一部分电容器。

(3) 电流控制方式。适用于负荷电流和无功功率之间保持一定比例关系的场合。电容器组的容量较小时，采用这种方式可不用电压互感器，所以比较经济。当负荷电流达到规定值时，将电容器投入，低于规定值时则切除。

(4) 功率因数控制方式。用功率因数继电器作起动元件，在一定的功率因数下进行投切。采用这种控制方式，把电容器按不同容量分组，容量大的一组电容器后投入。要注意在轻负荷情况下，应同时减少无功功率的控制幅度。当无功负荷小于一组电容器的容量时，可能会产生反复投切。为防止这种情况必须将自动控制装置闭锁。

按负荷电流自动投切电容器组的装置类型很多，如 ZKW 系列、JKL1 系列及 JKG 系列等自动补偿器。若变配电所在一昼夜 24h 内无功负荷的变化很大或较大时，则应采用相应的控制方式及控制装置，根据无功负荷电流的大小来控制电容器组的投切。

### 3. 无功功率自动补偿控制器

为保证电容器组的补偿能够随负荷的变化而自动进行投切，防止因过补偿造成向电网倒送无功功率和产生自励过电压，或者因欠补偿造成功率因数偏低等现象，低压集中补偿应装设符合国家专业标准 ZBK44001—89《低压无功功率自动补偿控制器》规定的定型产品。目前采用的自动补偿器主要有 ZKW 系列、KSC—4 系列、JKL1 系列、JKG 系列等，其规格（输出点数）共有 5 种：4、6、8、10、12 点。

#### (1) 自动补偿控制器的功能特点。

1) 采用数字或表头显示功率因数，读数准确、直观。

2) 能识别并自动转换取样电流极性，使安装、调试更方便。

3) 采用锁相环技术，功率因数和无功电流两套检测系统能按电流大小自动转换，使全负荷范围内补偿控制精确。

4) 输出程序为先接通者先分断、先分断者先接通的安全循环工作方式，这可以延长成套补偿设备和电容器的使用寿命。

5) 有过电压显示，能自动判断并快速地逐级切除补偿电容器组，其分段时间小于 1min。

6) 具有过补偿或欠补偿等状况的显示装置，并能自动地作出相应处理。

7) 含有超低负荷判断、显示及封锁功能，

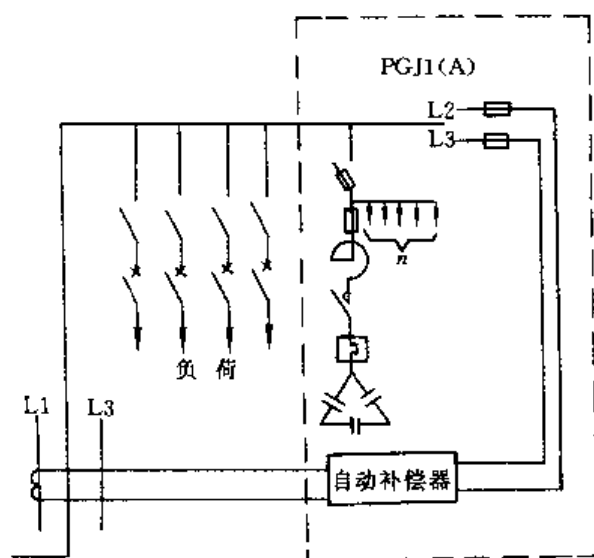


图 2-27 PGJ1、PGJ1A 型自动补偿屏主回路接线原理图

能有效地防止出现振荡。

8) 具有手动或自动切换, 可以实现自动跟踪投切或手动投切。

9) 抗干扰能力强, 能抵御从电源直接输入, 幅值为 2000V 的脉冲影响。

(2) 自动补偿屏的主回路及控制线路。

1) 以 PGJ1、PGJ1A 型自动补偿屏为例, 其主回路接线原理如图 2-27 所示。

2) 以 JKL1 系列补偿器为例, 其整定值及可调范围如表 2-21 所示, 其控制线路如图 2-28 所示。

表 2-21 整定值及可调范围

项 目	整定值及可调范围
功率因数 $\cos\varphi$	0.9~0.95 连续可调
过电压保护	400~410V 连续可调
每路投切延时	10~90s ( $\pm 10\%$ ) 连续可调

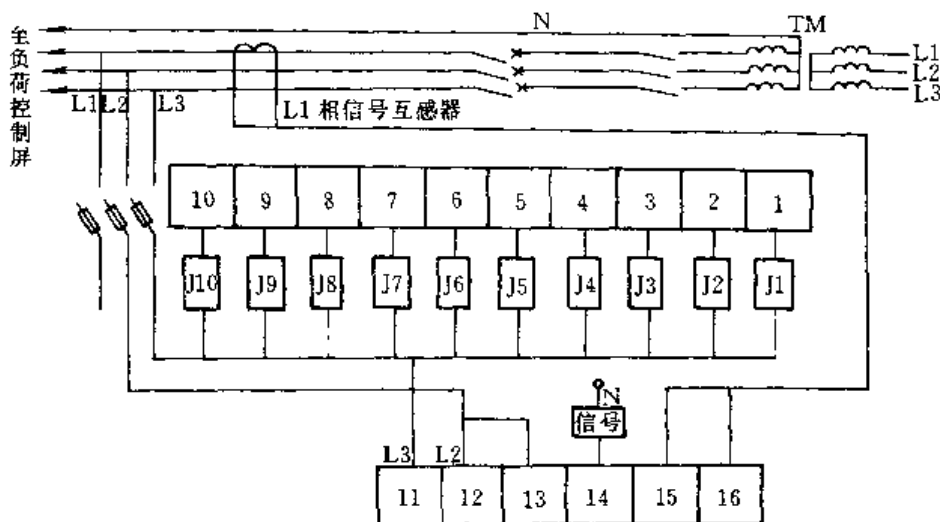


图 2-28 JKL1 系列补偿器控制线路图

## 第四节 中性点运行方式和自发电

### 一、电力系统中性点运行方式

电力系统中性点运行方式有不接地、经电阻接地、经电抗接地、经消弧线圈接地或直接接地等多种。我国电力系统目前所采用的中性点接地方式主要有三种, 即不接地、经消弧线圈接地和直接接地。现就这三种方式简介如下。

#### (一) 中性点不接地(绝缘)的三相系统

中性点不接地的三相系统 [见图 2-29 (a)]。由于输电线路与大地之间存在着电容, 各相对地就有电容电流通过, 其大小决定于线路对地的电压和对地的电容。为了便于分析, 各相对地的电容用集中电容  $C_A$ 、 $C_B$ 、 $C_C$  表示, 线间电容不予考虑。

##### 1. 中性点不接地系统的正常运行

由于正常运行时各相对地的电压  $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$  是对称的, 各相线路对地电容 ( $C_A$ 、 $C_B$ 、 $C_C$ ) 相等, 故各相对地的电容电流也相等。各相电流等于负荷电流及对地电容电流之和, 相量关系见图 2-29 (c)。以 A 相为例, 有  $\dot{I}_A = \dot{I}_{fbA} + \dot{I}_{cA}$ , 式中  $\dot{I}_A$  为 A 相电流,  $\dot{I}_{fbA}$  为 A 相负荷电流,  $\dot{I}_{cA}$  为 A 相对地电容电流。

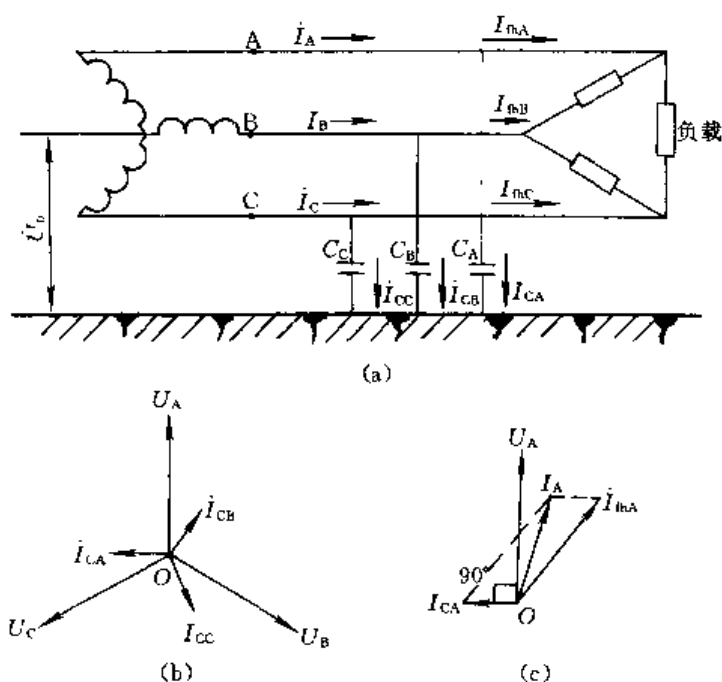


图 2-29 中性点不接地电力系统的正常工作状态  
(a) 接线图; (b) 相量图; (c) A 相相量图

各相对地电容电流的数值相等而相位相差  $120^\circ$ ，他们的相量和等于零，相量关系见图 2-29 (b)，地中没有电容电流通过，中性点对地电位为零 ( $U_0=0$ )，即中性点与地电位一致。这时，中性点接地与否对各相对地电压没有任何影响。

可是，当中性点不接地系统的各相对地电容不相等时，即使在正常运行状态下，中性点的对地电位便不再是零，通常此情况称做中性点位移，即中性点不再是地电位了。这种现象的产生，多数是由于架空线路排列不对称而又换位不完全的缘故。在中性点位移相量图（见图 2-30）中， $\overline{OO'}$  即  $\dot{U}_0$  便为中性点位移（电压）。

## 2. 中性点不接地系统的单相接地

中性点不接地系统的任何一相（如 C 相）发生接地时 [见图 2-31 (a)]，接地相的对地电压为零，接地相对地的电容电流也为零，此时中性点电位不再是零了，未接地的 A、B 两相的对地电压将升高到相电压的  $\sqrt{3}$  倍，即 A、B 两相的对地电压等于线电压。各量的相量关系如图 2-31 (b) 所示。

在中性点不接地的三相系统中，当一相接地后，各相间的电压大小和相位没有变化，电压的对称性没有变化。因此，这样的三相系统发生一点接地后，还可继续运行一段时间。同时由分析可知，单相接地时，通过接地点的电容电流为未接地时每一相对地电容电流的 3 倍。

综上所述，在中性点不接地的三相系统中，当一相发生接地时：

(1) 未接地两相对地电压升高到相电压的  $\sqrt{3}$  倍，即等于线电压，所以，在这种系统中，相对地的绝缘水平应根据线电压来设计。

(2) 各相间的电压大小和相位仍然不变，三相系统的平衡没有遭到破坏，因此可继续运行一段时间，这是这种系统的最大优点。但不许长期接地运行，尤其是发电机直接供电的电力系统，因为未接地相对地电压升高到线电压，一相接地运行时间过长可能会造成两相短路。所以在这种系统中，一般应装设绝缘监视或接地保护装置。当发生单相接地时能及时发出信号，使值班人员迅速采取措施，尽快消除故障。一相接地系统允许继续运行的时间，最长不得超过 2h。

(3) 接地点通过的电流为电容性的，其大小为原来相对地

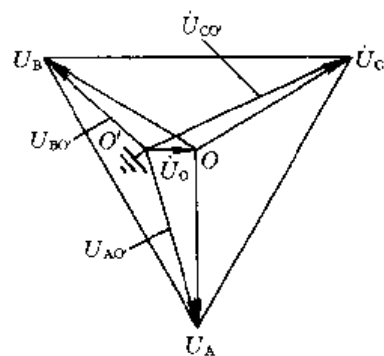


图 2-30 中性点位移的相量图

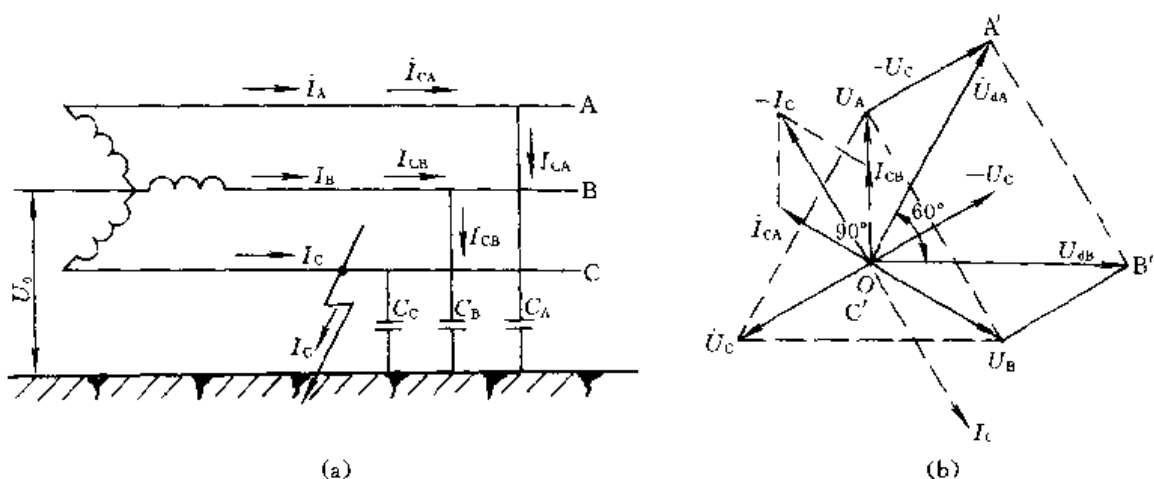


图 2-31 中性点不接地系统的单相接地

(a) 接线图; (b) 相量图

电容电流的 3 倍，这种电容电流不易熄灭，可能会在接地点引起弧光接地，周期性地熄灭和重新发生电弧。弧光接地的持续间歇性电弧较危险，可能会引起线路的谐振现象而产生过电压，损坏电气设备或发展成相间短路。故在这种系统中，若接地电流大于 5A 时，发电机、变压器和电动机都应装设动作于跳闸的接地保护装置。

### (二) 中性点经消弧线圈接地的三相系统

上面所讲的中性点不接地三相系统，在发生单相接地故障时虽还可以继续供电，但在单相接地故障电流较大，如 35kV 系统大于 10A，10kV 系统大于 30A 时，却无法继续供电。为了克服这个缺点，出现了经消弧线圈接地的方式。在 35kV 三相系统中，广泛地采用中性点经消弧线圈接地的方式。

消弧线圈是一个具有铁芯的可调电感线圈，装设在变压器或发电机的中性点。当发生单相接地故障时，可形成一个与接地电容电流大小接近相等而方向相反的电感电流，这个滞后电压 90° 的电感电流与超前电压 90° 的电容电流相互补偿，最后使流经接地处的电流变得很小以至等于零，从而消除了接地处的电弧以及由它所产生的危害。消弧线圈的名称就是这样得来的。

图 2-32 表示中性点经消弧线圈接地的三相系统中发生单相接地时的电流路径和相量图。当发生单相（如 C 相 d 点）接地时，中性点电压  $\dot{U}_0$  将变为  $-\dot{U}_C$ ，这时消弧线圈处于相电压下，其内将产生一感性电流  $I_L$ （滞后于  $\dot{U}_0$  90°）。

如图 2-32 (b) 相量图所示，当 C 相接地时，健全相 A 和 B 的电压升高到线电压，而 A 相和 B 相的对地电容电流  $I_{CA}$  和  $I_{CB}$  分别超前  $U'_A$  和  $U'_B$  90°。从图中可以看出， $I_{CA}$  和  $I_{CB}$  所组成的总电容电流  $I_C$  将超前  $\dot{U}_0$ （即图中的  $-\dot{U}_C$ ）90°。电感电流  $I_L$  与电容电流  $I_C$  正好相位相反，且  $I_L$  也流经故障点，从而对单相接地所产生的电容电流实现了补偿。由于接地电流的减小，电弧将自行熄灭，故障即消失。

若所选消弧线圈的电感值恰使电感电流等于电容电流时，接地电容电流将全部被补偿，接地处的电流为零，这种情况叫做全补偿。如果消弧线圈的电感值大于这一数值，电感电

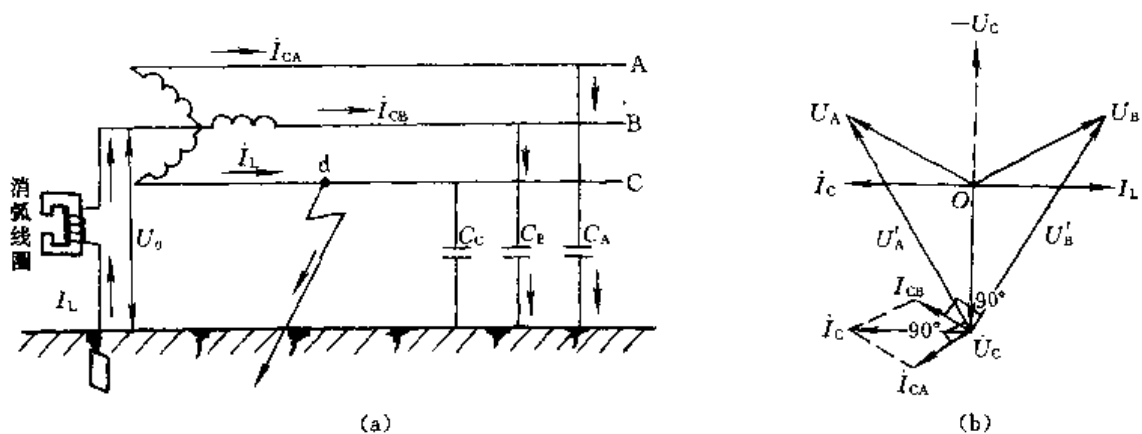


图 2-32 中性点经消弧线圈接地

流小于电容电流，这种情况叫做欠补偿；反之，电感电流大于电容电流时，叫做过补偿。采用全补偿使接地电流为零似乎很理想，但实际上此时容抗等于感抗，系统会发生串联谐振，该谐振电路内将产生很大的电流，并在消弧线圈的阻抗上形成很高的电压降，使中性点的对地电位大为升高，可能会损坏设备的绝缘。因此，一般系统都采取不完全补偿的方式。

欠补偿或过补偿都可减少故障电流，从而达到减小中性点位移过电压的目的。但实际上都采用过补偿方式，因为过补偿时  $I_L > I_C$ ，消弧线圈的容量可留有一定裕度。即使将来电力网发展，对地电容增加，原有消弧线圈还可继续使用。如果采用欠补偿方式，则在运行方式变更而切除部分线路时，整个网络的容抗减少，便可能变得接近完全补偿的方式，从而出现不容许的谐振过电压。为了调节补偿度 ( $I_L$  与  $I_C$  的比值)，一般的消弧线圈制造成最大补偿电流和最小补偿电流之比为 2:1 或 2.5:1，通常在这个范围内装有 5~9 个分接头供调节使用。

### (三) 中性点直接接地的三相系统

中性点直接接地的三相系统也叫大电流接地系统 (见图 2-33)。系统单相一点 (如图中 d 点) 接地时，通过接地点的短路电流  $I_s^{(1)}$  很大，要烧坏电气设备。因此，发生接地故障后，电力网不能再继续运行供电，此时继电保护应瞬时动作，使开关跳闸，切除故障。

中性点直接接地电力网的主要优点是单相接地时中性点的电位接近于零，非故障相的对地电压接近于相电压，可以使电力网的绝缘水平和造价降低。目前，我国对 110kV 及以上的电力网都采用中性点直接接地。

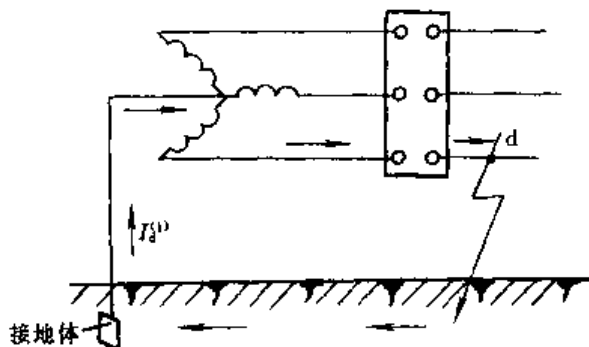


图 2-33 中性点直接接地系统

对于不同电压等级的电力系统中性点接地方式的选择，可以归纳如下：

(1) 220kV 及以上电压的电力网，采用中性点直接接地的方式。

(2) 110~154kV 的电力网，我国原有的 154kV 电力网是经消弧线圈接地的，而 110kV 电力网则大部分采用直接接地方式，小部分采用经消弧线圈接地的方式。

(3) 20~60kV 的电力网，从供电可靠性

出发，采用消弧线圈接地或不接地的方式。当单相接地电流大于 10A 时，可采用消弧线圈接地的方式。

(4) 3~10kV 电力网，供电可靠性与故障后果是主要的考虑因素，一般采用中性点不接地方式；当电力网接地电容电流大于 30A 时，可采用经消弧线圈接地或经电阻接地的方式。

(5) 1000V 以下的低压电力网，即对 220/380V 三相四线制电力网，从安全观点出发，均采用中性点直接接地方式，这样可以防止一相接地时出现超过 250V 的危险对地电压。在特殊场所，如爆炸危险场所或矿下，也有采用中性点不接地方式的。这时一相或中性点应有击穿保险器，以防止高压窜入低压所引起的危险。

## 二、低压网配电方式的分类及其特点

### (一) IEC 对低压电网配电方式的划分

现时我国低压配电网采用的三相四线制（及其保护接地或接零）方式，基本上沿用前苏联低压配电网的制式（即配电制与保护方式）。国际电工委员会（IEC）第 64 技术委员会（建筑电气装置技委会，TC64），则将低压电网的配电制及保护方式分为 TN、TT、IT 三类。其含义分别是第一字母表示电力系统对地关系：T——直接接地；I——不接地或经电阻接地。第二字母表示装置外露的可导电部分（以下均称为电气设备金属外壳）的对地关系：T——电气设备的金属外壳接地，并与配电系统接地相互独立；N——电气设备的金属外壳接地，并与配电系统直接连接。

#### 1. TN 系统的保护方式

该系统电源端直接接地，电气设备的金属外壳与中性线相连接（实为保护接零制）。当电气设备的金属外壳发生接地时，回路处于短路状态，使过流装置动作并切除故障。按照中性线和保护线的组成情况，TN 又分为 TN-C、TN-S、TN-C-S 三种系统。

(1) TN-C 系统。整个系统内中性线 N 和保护线 PE 是合用的（见图 2-34），且标为 PEN（实为中性点接地的三相四线制配电系统）。

(2) TN-S 系统。整个系统内中性线 N 与保护线 PE 是分开的。它是从电源侧向室内引出保护（接地）线，设备金属外壳都接在保护线上（见图 2-35）。不管是否有重复接地或与系统接地共用接地线，保护接线都是单独引出（实为单相三线制或三相五线制）。这种接地方式可以避免由于末端线路、分支线路或主干线中线断线所造成的危害。在这种系统中，只有当保护线断开且有一台设备发生相线碰壳时才会发生危险。通过采取相应措施，可大大减少设备外壳出现危险电位的可能性（如保护线可采用一定截面的钢线或钢线以避免断裂）。但这种系统由于要多增加一根保护线，故工程费用较大。

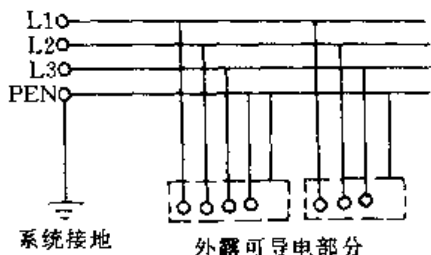


图 2-34 TN-C 系统

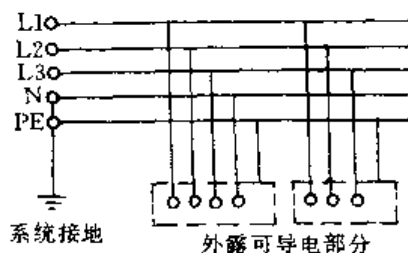


图 2-35 TN-S 系统

地或阻抗接地系统（见图2-38）。

这种方式是在低压系统容量与范围不大，系统绝缘良好且分布电容又小，在一处触及带电部分时通过人体的电流很小的前提下才能取得保护效果。但由于各种原因（如高压串入低压、雷电或操作过电压、产生静电等）引起对地电位升高时，便无法抑制及起到保护作用；且这种方式也很难长期保证系统会有良好的绝缘；当单相接地电流不大时，也不容易检测出来。

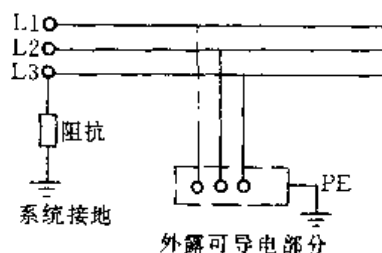


图 2-38 IT 系统

所以，过去有些国家曾较多地采用这种系统，后来由于上述原因而渐趋淘汰，逐步改为采用中性点直接接地系统。

### （二）目前国外低压电网的配电方式

世界各国根据低压电网的配电制与供电电压的不同，所采用的接地系统及保护方式也就有所区别。从目前现状及发展情况来看，世界各国的低压配电网基本上趋向于采取中性点直接接地的方式，而保护方式则大都是采用接零保护。

国外虽有各种各样的低压配电电压与电压制以及相应的接地与保护方式，但归纳起来可分为美国式、英国式、欧洲大陆式及其他方式。有些国家或地区，则由于历史原因而采用关系国的低配电压及配电制式。

美国一般用户大都采用 120/240V 和 200V 单相三线制，但大城市中以 120/208V 三相四制居多。另外，在高楼大厦及工厂中 265/460V 三相四制较盛行，荧光灯用 265V，三相电动机中额定电压为 440V 者采用 460V 供电，对于用插座供电的小型电器具，则大多是将电压从 265/460V 降到 120/208V 使用。

英国低压电网的配电是以 240V 二线制或 240/415V 三相四线制供电作为标准方式，无论电灯还是小型电器具都使用该电压级别（与日本相比，则有电压较高的感觉）。欧洲除英国外大都是以 220/380V 三相四线作为标准方式，因此住宅中的电灯和电视都是采用单相 220V（与我国相同）。

日本从很早以来，低压配电电压都是采用 100V 和 200V。近几年在城市中心部分人口稠密地区，随着建筑物的高层化而采用了 415V 电压配电。但一般居民照明等仍是采用单相 100V，工厂动力用电采用三相 220V。415V 除用于高楼配电外，还供作部分工厂的动力用电。

为进一步完善低压配电网的保护系统，现各国都在推广加装漏电保护装置（漏电保护开关）的做法。国外低压电网的配电制及其接地系统与保护方式，可参见表 2-22。

## 三、推广三相五线制低压配电系统

### （一）新建筑物采用三相五线制配电的技术要求

（1）城市民用建筑特别是高层建筑，其低压配电网应采用并推广三相五线制系统。若建筑物内部有单独的变配电所，便非常容易实现这一点。

（2）对三相四线制架空进线，中性线应加强重复接地，接地电阻不大于  $10\Omega$ ，以尽量降低接角电压。从引入线开始，应利用穿线钢管保护零线到配电箱，直到每个插座的接地插孔。从而达到工作零线 N 和保护零线 PE 严格分开的三相五线制配电要求。



表 2-22 国外低压电网的配电制及保护方式

国 名	美 国	英 国	德 国	法 国	日 本
低压电网的 配电制	60Hz 单相三线 120/240V 三相四线 120/208V 265/460V	50Hz 单相二线 240V 二相四线 240/415V 中性点接地	50Hz 三相四线 220/380V	50Hz 三相四线 220/380V 127/220V (最近统一为 220/380V 中性 点接地)	50、60Hz 单相二线, 100V, 220V 单相三线, 100/220V 三相三线, 220V 三相四线, 240/415V
以 IEC 标准 分类的主要接 地系统及保护 方式	TN 过流切断方式 漏电切断方式	TT 或 TN PME 方式 (重复接地) 漏电切断方式	TN Nullung (与 PME 原理相 同) 漏电切断方式	TN 漏电切断方式	TT 保护接地方式 漏电切断方式

(3) 保护零线 (PE) 在正常情况下通过电流, 有人便误以为可将该线截面减小并一律采用  $2.5V \sim 4mm^2$  铜线。这是不正确的。因正常工况下它虽不通过电流, 但事故时却有电流通过并应能使保护电器迅速动作。故保护零线的截面选择应与工作零线相同。

(4) 低压网络中最好实行分级安装漏电 (电流动作) 保护器 (即漏电开关)。若条件所限或投资确有困难时, 则一般也应每一户或每一单元装设一只漏电开关。末端分支线选用漏电开关主要用于人身漏电保护 (通常为动作电流 30mA、动作时间小于 0.1s)。但从系统保护和防止火灾考虑, 要求装设两只以上的漏电开关, 同时还必须保证各级线路漏电开关动作的选择性 (即级间配合)。

(5) 配电系统中的主干线及支干线应装设短路和过载保护, 用户支线的保护可采用自动空气开关、熔断器或带有漏电保护的自动断路器。

(6) 在三相四线 (TN—C) 制接零系统的 PEN 线 (零线)、三相五线 (TN—S) 制系统保护零线 PE 及三相四线制接地系统的地线 N 上, 从变压器到干线、支干线及插座的接地插孔上, 均不得装设熔断器和开关。

(7) 室内用电宜采用单相三线制 (三根导线) 配电。这样, 在相线和零线上便均可装熔断器或其他保护电器。熔断器之后的工作零线在插座处或其他地方均不应与保护线相连。单相三线制中, 只有在保护线断开、且设备发生相线碰壳这两者同时出现时才会产生外壳危险电位。故若保护线用一定截面的钢线以避免断裂, 则可最大限度地降低触电危险。

(8) 室内用电设备应采有单相三极插宿舍配电, 其中第三极 (保护极) 必须接到未使用的接地线孔 PE 上。目前生产的配电箱许多都只有接零端子而无接地端子, 这是老产品的不中之处。今后要广泛采用符合上述要求的新产品 (其内含有两组接线端子)。

(9) TN 系统的保护线与 TT 系统的保护地线, 应与建筑物内的基础、钢筋等自然接地体相连接, 以保证在故障情况下使保护线电位尽可能接近大地零电位。

(10) 对架空进线的电源线 (包括零线), 其截面选择应按 IEC 规定: 铝线不应小于  $16mm^2$ , 钢线不应小于  $10mm^2$ 。

(11) 为便于识别各种导线的不同用途, 相线、工作零线与保护零线均应以不同颜色加以区别, 以防止相线与零线混用, 或工作零线与保护零线混用, 从而为保证各种插座的正确接线提供方便。

限、电气主接线、运行方式、调度通信、产权划分及值班人员名单等。值班人员应经供电部门考试合格才能担任。

(5) 双电源应设置在一个变电所或配电室内，其进线开关要有明显断开点并设有安全可靠的联锁装置，防止向电网倒送电。有条件的用户应装自投装置，以保证连续供电。

(6) 用户应制订确保安全的运行操作规程，制作含正确主接线和明确标志的现场模拟图，备齐必要的电气安全用具。

(7) 用户接到供电部门一路电源停电检修的通知后，应在规定时间内按操作规程要求倒至另一路电源上用电。如用户需调用另一路电源时必须事先经供电部门同意。

(8) 在电网发生突然故障或异常情况下、用户失去全部电源时，供电部门应在最短时间内对用户至少先恢复一路电源供电。

(9) 用户不得随意更改电源主接线，如确需变更时应报供电部门批准后方可。同时还应在协议中和现场模拟图上作与现场相一致的变更。

(10) 用户不得将双电源转供给其他单位，严禁私拉乱接。并对违反双电源安全管理条件、造成人身或设备事故者，要追究法律和经济责任。

#### (二) 防止双电源误并及倒送电的措施

不准并列运行的两路电源，一旦错误地发生并列情况（即误并列，简称误并）将会产生严重后果。轻者会产生弧光，烧坏开关等设备，或引起误并点开关跳闸，使开关以下局部负荷的供电中断；重则会引起误并点以上的开关跳闸，造成全厂或部分地区较大范围内的停电事故。如果误并的两电源相位不对应，则还会引起相间短路，除造成停电外还将会烧坏并列的相关设备，危及现场人员的安全。此外，凡有两路以上电源供电的工厂，应特别注意防止发生向已实行停电检修的线路倒送电的事故。

实践中，为防止发生双电源的误并及倒送电，应采取下述措施：

(1) 组织措施。严格执行《电业安全工作规程》（部标 DL408—91、DL409—91），尤其是其中的二票制度（检修工作票与倒闸操作票）及监护制度等各项安全措施。

(2) 技术措施。除认真执行安全工作规程规定的各项技术措施外，还应对不允许并列的断路器和隔离开关加装电气联锁或机械联锁等防误装置。

(3) 管理措施。主管部门要加强工作责任性教育，务使值班人员能明确职责、头脑清醒、执行制度、正确操作，确保安全运行。

### 五、备用电源自投和不停电电源装置

#### (一) 备用电源自动投入装置

对于供电可靠性要求较高的用户，通常由两路电源（线路）供电：车间变电所的低压侧，也常设有低压联络线作为备用电源。若再在备用电源线路上装设自动投入装置（简称 BZT）则可在工作电源被切除后迅速投入备用电源。这就大大缩短了电源切换时间，提高了供电可靠性。应注意，若备用电源线路由供电部门管理时，用户采用 BZT 必须严格执行审批手续。

##### 1. 备用电源自动投入的基本原理

在工作电源线 1WL 的断路器 1QF 合闸后（见图 2-39），辅助触点 1QF<sub>1</sub> 闭合，合闸继电器 K<sub>1</sub> 获电吸合。当 1QF 自动跳闸后，触点 1QF<sub>2</sub> 闭合、1QF<sub>1</sub> 分断，K<sub>1</sub> 线圈失电；但其

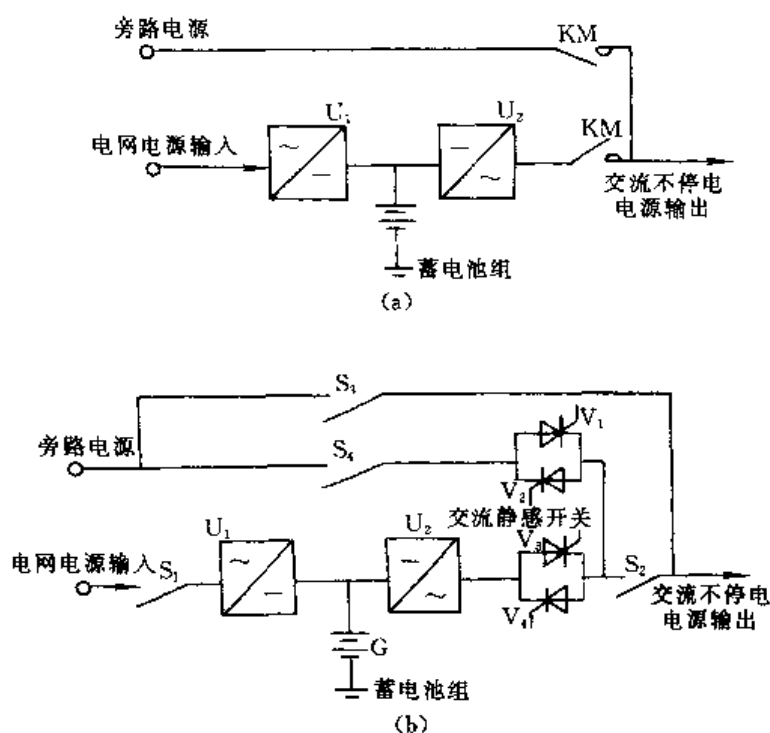


图 2-41 交流不停电电源装置原理框图

(a) 单相交流不停电电源；(b) 三相交流不停电电源

城市电网低压电源（220/380V 三相或单相交流电）输入后，经硅整流器  $U_1$  或晶闸管整流器整流，并经滤波与稳压等环节后成为直流，对蓄电池组  $G$  进行浮充电；同时又经逆变器  $U_2$ ，将平稳的直流电逆变为优质的交流电对负载输出。当城市电网突然停电时它虽将停止工作，但可由  $G$  提供直流电源，经  $U_2$  继续向负载提供交流电源。

$U_2$  一般是由晶闸管元件构成的桥式电路，利用晶体振荡器和电子电路产生频率精确的控制信号，从而使晶闸管按一定规律准确地导通和关断，这样就可不停地供出交流电而成为交流不停电电源。

由于 UPS 装置与城市电网经过直流储能环节实施了隔离，因此它将不受电网电压、频率突然变化和波形畸变的干扰与影响。这对于供电给计算机、通信设备、灵敏的电子设备和仪表等来说，该特性尤为重要。另外它也在许多要求不间断供电的场所与设备上（如化工、医院、邮电及银行等部门内）得到了广泛应用。

这种 UPS 装置主要由电子电路和蓄电池组  $G$  等组成，可称为静态交流不停电电源装置。它与另一类使用发电机组的旋转型交流不间断电源机组相比，具有体积小、效率高、占地少、安装使用方便、无旋转噪声、维护费用少及可靠性高等优点。

交流不停电电源装置的类型很多，大致可分为单台 UPS 供电系统、并联 UPS 供电系统、多重化 UPS 供电系统三大类。此外，还可按有无交流旁路、蓄电池接线方式等进行分类。我国自 70 年代以来，已经陆续试制出了多种 UPS 供电装置，它们在用户用电系统中的局部应用也已日趋广泛。

## 六、自发电用户及其机组与励磁系统

### (一) 对自发电用户的管理

大型或较大型企业中，除少数建有自备火力发电厂外，有的属一、二级负荷的中小型企业也设置了自备发电装置（简称自发电），且通常为柴（汽）油发电机组。因为它具有启动迅速、操作方便等优点，适于作为应急备用电源。而在电网电力目前尚难输送到的地区、某些流动单位或缺乏应急电源的企业，则也常采用柴（汽）油发电机组作为日常或应急所需的照明、动力甚至通信电源。

为防止自发电机组及电网的安全运行，避免发生人身或设备（包括自发电设备）事故，实用中也应特别注重加强对自发电用户的各项管理。

对自发电的管理与注意事项如下：

(1) 凡已装和需要安装自发电的用户应向当地供电部门登记。自发电的电气主接线必须经供电部门审核同意，经检查合格并签订协议后方准投运发电；自发电用户要明确一位领导及有专职部门分管自发电，用户电工必须经供电部门考试合格后方可上岗操作，值班人员名单要报供电部门备案。

(2) 自发电用户必须建立健全下列规程制度：① 岗位责任制；② 现场安全工作规程；③ 运行操作制度；④ 事故处理规程；⑤ 预防性试验制度；⑥ 维护检修制度；⑦ 设备缺陷和事故记录，以及运行日志；自发电机应装置有功、无功电能表等计量设备，其每月发电量在下月 1 日要填报供电部门。

(3) 供电部门应配备专职或兼职人员，负责审查、监察自发电的安全技术措施和电气设备的运行状况，建立台帐和有关技术资料档案，帮助用户搞好自发电的检修、运行、人员培训和管理的工作，定期组织自发电用户开展安全检查。

(4) 为确保自发电机组与电网的运行安全，凡单机容量在 300kW 以下的柴（汽）油发电机组不得与电网并列运行，并应装设双投刀闸或安全可靠的联锁装置、防止向电网倒送电，否则不准投运。

(5) 自发电机组的中性线要有单独而合格的接地装置，禁止利用供电部门线路上的接地装置接地。农村自发电用户宜装设灵敏可靠的漏电保护装置（触电保安器）。

(6) 自发电只限本单位自发自用，不得向其他用户转供，私自转供者按违章用电处理；对重要用户必须转供时，应事先向供电部门申请，经同意并在制订安全措施与加装相关装置后方能转供。

(7) 凡符合并网条件的自发电机组，用户应先向供电部门提供自发电机的台数、容量、参数及动力机械等情况；电气一次、二次接线图；继电保护方式；同期并列与厂用电系统等有关资料，并与供电部门就运行方式、有功和无功管理、电能销售、计量方式和电费等具体事项签订协议后方可并网。并网后必须严格执行电网的统一调度。

(8) 并入电网运行的自发电机组，必须具备必要的继电保护装置和可靠的同期并列装置。对并列和解列点开关的技术要求及保护方案与整定值均需由供电部门审定，并按有关规程进行校验、整定和加封，用户不得擅自更动。

(9) 对于机组容量较大，经常向电网输出电能者，供电部门应在用户受电端装设输入和输出的有功、无功电能表各一套，分别计量输入和输出电能。不向电网送电的，应装设含防倒装置的有功、无功电能表；并网用户自发自用后，若有多余电能向电网输送，可作为电网购入电能，收购电价按国家和省有关规定执行。

(10) 对擅自安装自发电的用户，供电部门应责令其停止发电，不听劝告时供电部门可停止供电；对于违反用户自发电管理条例、造成人身或设备事故者，应报请有关部门追究法律责任和经济责任。

## (二) 自备发电机及其励磁系统

用户的自备发电装置经常是采用柴油或汽油发电机组，柴（汽）油发电机是由柴（汽）油机拖动的同步发电机。目前生产的产品容量有几个 kW 至几千 kW，中小型用户通常以 200kW 以下的自励恒压式发电机组应用最广。

柴（汽）油发电机组由柴（汽）油机和发电机组组成。发电机的主要部分为定子和转子。其工作原理是在转子绕组中通入直流励磁电流，在铁芯中产生磁场，当转子由柴（汽）油机带动旋转时，使定子绕组切割了旋转的磁场，从而产生出交流感应电动势。

柴（汽）油发电机组配备有配电控制柜，对机组起保护和控制作用。新型机组还可以实现自动启动和停机。机组采用电力启动时，设置蓄电池组和充电器。采用压缩空气启动时，设备空气压缩机和贮气罐。

发电机励磁性能的优劣，直接影响机组的各项电气性能指标，如稳态电压调整率、电压稳定时间、启动负荷能力等。常见的励磁方式有他励和自励两类。他励式励磁是采用单独励磁机产生的直流励磁电流，以供给发电机的励磁绕组，这在中小型发电机上很少使用。自励式励磁是将发电机本身所产生的交流电经过硅整流器或晶闸管整流后再送入励磁绕组。因其结构简单、电压稳定性能好，在中小型柴油发电机组上应用很广。

自励式励磁的功率可以从发电机组输出端、发电机电枢绕组的油头、发电机定子槽中另行装置的输助绕组等部件上取得。现介绍以下两种常用的励磁系统。

### 1. 不可控电抗移相相复励励磁系统

发电机转动后，由于转子铁芯中存在剩磁，便能在定子绕组中感应出微弱的交流电动势，称剩磁电动势（见图 2-42）。由定子绕组的抽头处取出部分电动势，经电抗器 L 移相，再经硅整流器整流后，提供励磁电流，使转子磁场增强，直至发电机输出额定电压。带上负载后，由于负载电流的去磁作用，会使端电压降低。但负载电流互感器 TA 的二次侧此时产生的较大电流，经整流后提供给励磁绕组，故可使发电机的端电压基本上维持不变。改变与励磁绕组并联的整定电阻  $R_1$ （又称分流电阻）的大小，便可调节通过励磁绕组的励磁电流，进而调整发电机输出的端电压。

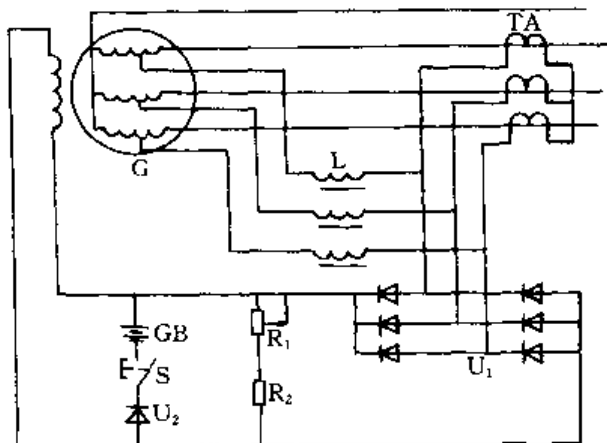


图 2-12 不可控电抗移相相复励系统

### 2. 三次谐波励磁系统

发电机电动势中不同程度地存在三次以上的高次谐波，这些谐波将使发电机和负载产生损耗、发热等有害影响，通常应尽量设法消除。

但三次谐波励磁却正是利用三次谐波功率来作为励磁能源。其办法是（见图 2-43）在定子槽中另再设置一套三次谐波绕组，其极距为主绕组的  $1/3$ ，并采用适当的连接方式，使基波电动势互相抵消而三次谐波增强，再

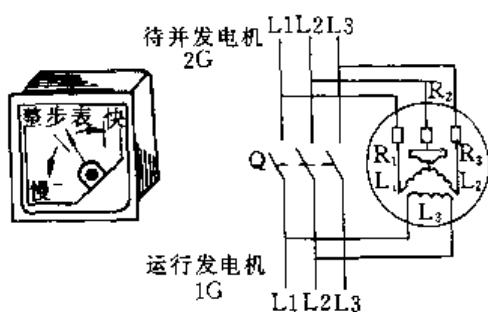


图 2-45 同步指示表及接线图

转速究竟是快还是慢了。

(3) 采用同步指示表（整步表）可以更为直观和方便（见图 2-45）。进行并车操作时，同步表针可指示出待并机组的转速是偏高还是偏低。当其表针指向标有红线的同步位置时，即可迅速合上开关 Q，即完成了合闸并车。实用中要注意，同步表每次连续使用的时间不应超过 20min。

## 2. 自同步法

自同步法并车是先不在待并机组中加入励磁电流，待其转速与运行机组一致时即合闸，并车 1~2s 内，待并机组因磁阻特性会自动被拉入同步运行。然后再给其加入励磁电流，并调整转速、合理分配有功与无功负荷。这种方法在合闸时会出现一定的电流冲击，且端电压下降较多。故一般在小型机组上很少采用，大都是在事故处理过程中需紧急并车时方才使用。

### (二) 自备机组的并网运行及其联锁

#### 1. 自备发电机组的并网运行

工厂或其他用户的自备交流发电机组与电力系统并网运行，可以使自备机组运行稳定，额定出力得以充分发挥，从而增大了供电能力，同时还有利于负荷调整，以取得更经济合理的效果。但由于并网时容易引发事故，尤其在操作不当时更会如此。因此，自备机组并入电网运行时要严格执行有关规定，同时要能确保操作适时，正确无误。计划并网的工厂或单位，应事先向当地供电部门提出申请，在征得同意并验证相关的电气接线、并网装置及所制订的操作程序符合要求后，签订并网协议，并切实遵照执行。

具体进行并网操作时，技术上应符合下列条件：

- (1) 待并发电机的各相相序，应与电网母线的相序分别相同。
- (2) 待并发电机的各相电压，应与电网母线的各相电压相等。
- (3) 待并发电机发出的交流电频率，应与电网交流电频率相符合。
- (4) 待并发电机各相的电压相位，应分别与电网母线上对应相的电压相位一致。

此外，并入电网时还有如下两项基本要求：① 并网合闸的最初瞬间产生的冲击电流越小越好。这样将不致于产生有害的机械冲击；② 并列后自备发电机转子要能与电网内各发电机转子立即同步运转。这样方能保证顺利并网及保持稳定的同期运行。

自备发电机组若并网操作失误时，将会引发非同期并列事故。此时的现象是定子电流突然增加、系统电压降低、发电机音响异常并发出吼声、定子电流随之剧烈波动等。对照并网条件可分述为待并发电机与系统电压不等时，便会导致发电机线圈过热；两者相位不同时，会使发电机运转急剧加速并引起损坏；若频率不同则会产生不同破坏性的冲击力矩；如果相序不对，可能烧坏发电机及相关电气设备。上述四个并网的技术条件，必须全部符合。在前三条经查核符合后，关键就在于正确的并网操作，以使上述第（4）条也能做到。不正确的并网具体操作，主要就是指这最后一条。因为做不到这一点（使两者对应相的相位一致），就会导致非同期并列的恶果。轻则引起自备机组不同程度的损伤、开关跳闸或全厂停电，严重时还会危及系统的稳定运行与可靠供电，甚至引起大面积停电等。

可见，并网操作的理想条件是自备机组与电网之间，两者的电压与频率要分别相同，两者的相序与相位要完全一致。实践中，为防止发生非同期并列事故，完全靠手动操作是较为困难的。所以，应尽可能采用自动或半自动的准同期并网装置来进行并网操作，以确保自备发电机组能准确地并入电网并稳定进行。

### 2. 自备机组与电网间的简单联锁

凡不允许实行并网的用户自备发电机组，运行时必须与电网电源完全隔离，且不仅相线必须相互断开，零线也要完全隔断。否则仍有可能在自备机组运行时中性点电位严重偏离零电位，从而给机组及用电设备带来很大危害。因此必须采用相应的安全联锁装置，最简单的安全联锁装置如图 2-46 所示。该联锁装置采用一只四极双投刀开关并实行手动切换，以保证三相四线制电源的相线、零线能同时切换。该方案设备简单、操作方便，但不宜用于动力与照明分别由电网计量收费的用户，因其无法将负荷划分开。

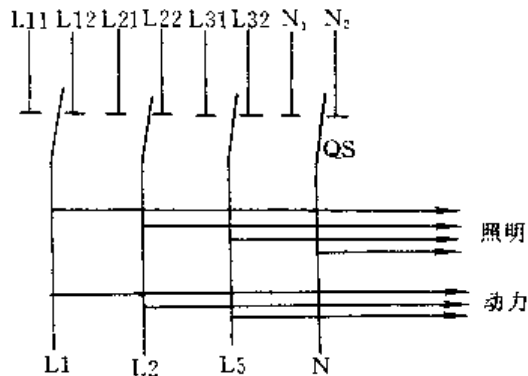


图 2-46 采用一只四极双投刀开关的双电源联锁装置

对于动力和照明实行不同电价的用户，可采用另一种联锁方案：用两只四极双投刀开关分别切换动力与照明负荷，但必须将用户内部网类用电设备的零线完全隔开。否则仍有可能在切换了一只开关而尚未切换另一只开关的那段时间内，由于自备发电机的零线与电网电源的零线连接在一起而引发事故。

采用自动切换装置时，也可用两只四极（或五极）交流接触器 Q 实行互锁切换的方案。但应在控制线路上采取必要措施，以防止因误动作而引起自备机组误并网。而且，事先应取得当地供电部门审核批准。

## 第五节 用户供配电工程

### 一、供电设计的阶段和步骤

#### (一) 供电设计的任务与阶段

各类用户、尤其是大中型用户，如各种工厂、企事业单位、大楼或高层建筑等的设计与基建，大都包括土建、供电、机械、给排水、工艺、自控、管理及环保等诸多方面内容。供电设计是其中的重要一环，也是关键所在。若供电方案选择不当，考虑不周或不妥，设计不合理，将会造成处处被动，必将影响甚至危及企业的投产、生存与发展。

用户供电设计的任务，应保证电能以安全可靠、简便经济的方式由电源或电网送至用电地点与用电设备。供电设施主要包括变配电所、供配电线路和用电设备等部分。

凡新建工程的供电设计，是在整个工程的总体规划方案确定后进行的，并与土建、机械等诸多环节密切配合。供电设计一般可以分为初步设计和施工图设计两个阶段。

#### 1. 初步设计阶段

其目的在于确定原则性方案并编制概算。初步设计的资料包含有设计说明书、概算书和图纸等。

(1) 初步设计说明书的内容主要包括：

- 1) 设计依据、原始资料及设计的范围和具体内容；
- 2) 电力负荷的分析、计算方法与结果；
- 3) 供电电源方案的选择和电压等级的确定；
- 4) 变配电所和供电系统方案的拟定及其分析论证；
- 5) 主要电气设备的选择及主要材料所需数量；
- 6) 工程总概算及说明；
- 7) 施工条件及协作配合条件；
- 8) 工程技术经济指标分析。

(2) 初步设计的图纸及附表主要包括：

- 1) 供电系统总体布置图，包括负荷分布、变配电所位置及线路布局；
- 2) 工厂电网主要接线图和变配电所主接线图；
- 3) 变配电所平面布置图；
- 4) 变配电所电力负荷分配和总负荷计算表；
- 5) 主要设备材料表。

## 2. 施工设计阶段

它是指包括技术与绘制施工图的综合设计，且是在初步设计经上级主管部门批准后进行的。它通常包括编制如下主要资料和图纸：

- 1) 施工说明书；
- 2) 各项工程的平面和断面布置图；
- 3) 各种电气设备的安装图；
- 4) 各种部件的制造和安装图；
- 5) 设备器材明细表；
- 6) 工程总预算。

当供电工程规模较小且不大复杂，或为缩短时间早日开工以加快工程实施进度时，其设计工作也可适当简化，采取合并为一个阶段即扩大初步设计加施工安装图来完成。

## (二) 供电设计的具体步骤

用户（主要如工厂）的供电设计通常有好些步骤，必须按步骤顺序进行。其步骤一般是：

(1) 收集原始资料。根据设计任务书给定的要求，了解用电设备的性质、特征、规模、布局；供电范围内的环境条件及气象条件；水文地质及地形勘测资料；建筑设计平面及断面图；可能提供的电源情况及供电方式等。

(2) 分析计算电力负荷。根据动力和照明等用电条件及配置，确定负荷计算方法，进行工厂各车间及全厂的总负荷计算，求出各层次的计算负荷。

(3) 进行技术经济比较。据此选定最佳供电方案，确定变配电所位置、数量和供配电线路走向，拟定变配电所电气主结线和全厂供电系统图。

(4) 进行供电系统总体平面布置。土建与电气布置两者密切相关。进行土建总体平面布置时应考虑电气运行的安全可靠、维护与检修方便、建设投资最省等因素；进行电气总



体平面布置时，又要考虑到土建工程的技术经济等原则。

(5) 进行供配电线路和变配电所等各项工程设计。包括变电所和高低压配电设计；厂及车间内配电线路设计；若含直流系统，则还应进行变流装置的设计等。

(6) 选择各种电气设备与材料；绘制各项工程图纸；汇总所需设备材料清单。

(7) 按照有关规定与现时定额编制工程概（预）算；编制技术经济指标表；编制工程设计说明书。

对于用户改建或扩建工程的供电设计，则要清楚地了解目前工厂供电的系统现状，改建扩建对供电任务的具体要求，然后根据报经上级部门批准的设计任务书内容，进行各项工程的具体设计。

## 二、计算负荷的含义与求法

### (一) 计算负荷的用处、含义及求法分类

为能正确地选择供配电系统中的各主要电气设备或器材，如电力变压器、断路器、隔离开关以及导线与电缆等，必须对所供的电力负荷进行仔细计算，力求能算出较为切合实际的计算负荷值。所谓计算负荷，它是通过统计计算求出的、用来按发热条件选择供配电系统中各组成设备的负荷值。其大小，理论上应相当于从（日后实测的）负荷曲线上计得的半小时（即 30min）的最大负荷值，故计算负荷有时也写作  $S_{30}$ （视在计算负荷值）与  $P_{30}$ （有功计算负荷值）。

计算负荷是供用电设计计算（包括变压器容量与台数选择）的基本依据。但由于影响正确计算的因素很多，负荷情况也很复杂，虽然电力负荷的变化有一定规律可循，也还是很难十分准确地确定的。故负荷计算只能是力求切合实际，力求合理与准确。目前我国较为普遍采用的是需要系数法和二项式系数法。其他还有产品、产量单耗法，以概率论为基础的利用系数法及设计部门提出的 ABC 法等。它们都较为复杂，即使是常用的需要系数法和二项式系数法，也由于众多系数的取值通常有着不小的范围，往往难以取准，从而很可能会影响到计算结果的真实性和适用性。

为此，实践中人们又总结出一种简易计算方法（即所谓口诀式算法）。它可避免大量公式与繁杂计算，易于大家掌握使用，其所得结果同样具有实用价值。因为口诀来源于理论公式，它是在计算的基础上简化与总结得来的，可供从事实际工作的人员在实践中参考应用。它利于对各种设备、元器件及导线、电缆等进行选择、监护与维修，更利于大家记忆和实际运用。

### (二) 用电负荷的口诀式算法

#### 1. 单台低压用电设备负荷电流的估算

单台低压用电设备的负荷电流值（安培数），可按用电设备铭牌上的功率（千瓦、千乏或千伏安数）直接折算而得，口诀是“电机加倍，其他加半；单相 4.5，相间两安半”。口诀前两句适用于低压 380V 的三相用电设备，后两句适用于 220V 和 380V 的单相用电设备。应用方法如下：

(1) “电机加倍”。380V 的三相电动机，其千瓦数加一倍（乘 2），即是其负荷电流的安培数。如 7.5kW 的三相 380V 电动机，其负荷电流便为 15A。这也就是电工同志们常说的“一个千瓦抵两个安培”的意思。

(2) “其他加半”。除电动机外的其他 380V 的三相用电设备，如 380V 三相电炉、三相四线制照明负荷（单位 kW）、三相补偿电容器（单位为 kvar）、三相变压器和三相整流器（单位为 kVA），将它们的功率数（千瓦、千乏或千伏安数）加一半（即乘 1.5），便是其负荷电流的安培数。如 15kW 的三相 380V 电阻炉，其负荷电流为 23A；12kW 的三相 380V 照明负荷，其负荷电流为 18A；100kvar 的三相 380V 移相电容器，其电容电流为 150A；320kVA 的三相配电变压器，其 380V 电压侧的电流为 480A。

(3) “单相 4.5”。接 220V 相电压的单相用电设备，当功率为 1kW（或 kVA）时，其负荷电流约为 4.5A。直流 220V 的用电设备亦适用。如 220V、1kW 的投光灯，其负荷电流为 4.5A；0.5kVA 的行灯变压器，其 220V 侧的电流为 2.25A。

(4) “相间两安半”。接 380V 相间电压的单相用电设备，当功率为 1kW（或 kVA）时，其负荷电流约为 2.5A。如单相 380V、32kW 的电阻炉，其负荷电流为  $32 \times 2.5 \approx 80A$ ；21kVA 的交流电焊变压器，其初级接单相 380V，则电流为 53A。

### 2. 单台高压三相用电设备负荷电流的估算

单台高压三相用电设备的负荷电流值（安培数），也可按用电设备铭牌上的功率（千瓦、千乏、千伏安数）直接折算而得。口诀是“10 千伏百 6，6 千伏百 10；若为千瓦，再加 2 成”。口诀前两句适用于以千伏安或千乏为单位的高压三相用电设备，后两句用于以千瓦为单位的高压电动机。应用方法如下：

(1) “10 千伏百 6，6 千伏百 10”。对高压三相用电设备，当设备额定电压为 10kV 时，为 6%A（即 0.06A）；当设备额定电压为 6kV 时为 10%A（即 0.1A）。如 10/0.4kV、320kVA 三相配电变压器，其高压侧电流为  $320 \times 0.06 \approx 19A$ ；6kV、200kvar 三相补偿电容器，其电流为 20A。

(2) “若为千瓦，再加 2 成”。对以千瓦为单位的高压电动机，其电流计算可以先把千瓦看成千伏安，采用上面的方法计算后，再将其结果加大 2 成（即乘 1.2）。如 6kV、260kW 电动机，其额定电流为  $260 \times 0.1 \times 1.2 \approx 31A$ 。

对于少数电压为 3kV 的高压用电设备，仍可以 6kV 为准，即电压降低 1/2，电流便增大 2 倍。如 3kV、260kW 电动机，其额定电流应为  $260 \times 0.1 \times 1.2 \times 2 \approx 62A$ 。

### 3. 车间负荷电流的估算

工厂车间里的用电设备通常不止一台，将这些设备的额定容量相加且按总容量换算出来的电流，并不会等于车间供电线路上的实际负荷电流。因为所有设备不一定同时工作，同时工作的设备也不一定都满负荷。这种参差不齐的程度，与生产工艺的性质、工作制、材料情况、工人熟练程度和工具质量等很多因素有关，有些因素又是变化的，很难进行计算。实用中，若车间供电线路上每接 100kW 用电设备，则其负荷的安培数可按下述口诀估算：“冷床 50，热床 75，电热 120，其余 150；台数少时，2 台倍数，几个车间，再乘 0.8”。口诀解释如下：

(1) “冷床 50”。是指一般车床、刨床等冷加工机床，每 100kW 设备容量（下同），估算负荷电流为 50A。“热床 75”，指锻、冲、压等热加工机床，估算负荷电流为 75A。“电热 120”，指电阻炉等电热设备，也可包括电镀等整流设备，估算负荷电流为 120A。“其余 150”，指压缩机、水泵等长期运转的设备，估算负荷电流约 150A。如该加工车间的一般机

床容量共 240kW，则其负荷电流为  $50\text{A} \times 240\% = 120\text{A}$ ；空压站压缩机容量共 225kW，则负荷电流为  $150\text{A} \times 225\% = 338\text{A}$ 。

(2) “台数少时，2 台倍数”。指一条供电线路上所接用电设备的台数少时，仍按上述口诀算出的负荷电流将难以满足实际要求。这时，估算电流应取其中 2 台设备容量最大的电流为宜。如某加工车间的配电箱共供电给 5 台一般机床（它们分别为 2.8kW 2 台，7kW 2 台，10kW 1 台），共近 30kW。按上述口诀估算负荷电流为  $50\text{A} \times 30\% \approx 15\text{A}$ ，这显然无法满足实际需要，且比最大那台 10kW 设备的所需电流还小。对此，可取其中两台设备容量最大的千瓦数加倍，即取  $[(10+7) \times 2]\text{A} \approx 34\text{A}$  作为车间负荷电流。

(3) “几个车间，再乘 0.8”。指一条供电干线供给两个或两个以上车间，考虑到各车间用电参差不齐，将各车间估算出的负荷电流相加后，再乘系数 0.8，即为这条干线的负荷电流。若一个车间有几个不同的大工段，也可以先估算出各工段的电流，相加以后再乘以 0.8，即为其供电干线的负荷电流。如一条干线供电给机械加工设备（负荷电流为 180A）和热处理（负荷电流 240A）两车间，则这条干线的负荷电流约为  $(180\text{A} + 240\text{A}) \times 0.8 = 336\text{A}$ ；又如一个由电镀和热理工段组成的车间，其估算电流分别为 150A 及 230A，则车间进线的负荷电流为  $(150\text{A} + 230\text{A}) \times 0.8 \approx 304\text{A}$ 。

在统计用电设备容量时，可按工艺用电设备统计，不必分单相和三相，也不必去分千瓦和千伏安，而可统看成千瓦并相加。对辅助用电设备，如卫生通风机、吊车、附属电焊设备及照明等，允许忽略。因估算电流中已有适当裕量，可以包括这些设备的用电容量。备用设备的容量一般不必计入，因只有在工作设备退出后它才投入运用。

#### 4. 全厂用电容量的估算

工厂的用电容量主要由其工艺设备容量和工厂用电性质确定。统计用电设备容量的方法同上。工厂用电的性质，根据主要设备运行的工作制及所需负荷的稳定程度来定，如前所述它可分为三种，第一种是主要设备长期连续运行、负荷比较稳定的工厂，如冶金、纺织、水泥等厂；第二种是主要设备短时连续运行、负荷波动较大的工厂，如各种机械制造及修理工厂；第三种是属于上述两种性质之间的厂家，负荷的长期性及稳定性比第一种低，但比第二种高，如一些轻工业工厂和化工厂等。

在估算上述三种工厂的全厂用电容量 (kVA) 和全厂工艺设备容量 (kW) 间的关系时，可分别运用如下口诀“冶纺 1，机械半，其余 7 成算”。应用方法如下：

(1) “冶纺 1”。第一种性质的工厂，全厂用电容量的千伏安数和工艺设备容量的千瓦数相同（即 1 比 1 的关系）。如一座纺织厂的工艺设备容量为 2700kW，其全厂用电容量可估算为 2700kVA。若拟设 3 台变压器，则可选 3 台 800kVA 的，或是选择其他的组合方案。

(2) “机械半”。其意思是第二种性质的工厂，全厂用电容量的千伏安数约为工艺设备容量千瓦数的一半。如一机械修配厂的工艺设备容量为 1800kW，其全厂用电容量可估算为 900kVA。如拟设一台变压器，则选 1000kVA 的便可。

(3) “其余 7 成算”。第三种性质的工厂，全厂用电容量的千伏安数约为工艺设备容量的 70%。如某铸管厂的工艺设备容量为 1200kW，其全厂用电容量可估算为  $1200 \times 0.7 \approx 840\text{kVA}$ 。则需选用一台 800 或 1000kVA 的，或者是选用两台 500kVA 的变压器。

### 三、变压器台数和容量的选择

变电所内最主要的电气设备是电力变压器，其台数与容量的正确选择，牵涉到供配电的好坏、运行的安全可靠、造价的高低以及投运后的经济性等，故必须慎重对待。变电所内担负主要变电任务及大量电力传输任务的变压器，称为主变压器（简称主变）；所内另设有专供变电所自身低压用电需要的小容量变压器，称所用变压器（简称所用变）；凡是将6~10kV或35kV变换为400V低电压的变压器，称配电变压器（简称配变）。

这里介绍的用户（如工厂）变电所内变压器台数和容量的选择，是指主变和配变而言。其选择的原则与方法，也同样适用于乡镇企业及其他用户。在具体选择变压器台数与容量时，通常按自下而上的步骤，即先车间后全厂的程序进行。

#### （一）变压器台数的选择

##### 1. 车间变压器

车间变压器台数主要根据负荷大小、对供电可靠性和电能质量的要求等来确定，同时应兼顾节约电能、降低造价、方便运行。

（1）对于一、二级负荷的车间变电所，如果一、二级负荷所占比重较大，对供电的可靠性要求较高，为满足由两个独立电源供电的要求，应选择两台或两台以上的变压器。如果只有少量一、二级负荷，并能从邻近变电所取得低压联络线而获得备用电源时，也可采用一台变压器。

（2）对于三级负荷的车间变电所，如装用一台变压器能满足负荷需要，应尽量选用一台变压器。如负荷较大，一台变压器不能满足要求时，采用两台及以上变压器。当昼夜负荷或季节性负荷变化大，或由独立车间变电所向几个负荷变化相差较大的车间供电时，因选用一台变压器在技术经济上不合理，宜选用两台变压器，并应采取经济运行方式。

（3）特殊场合可选用多台变压器。如井下变电所因受运输条件和坑室高度的限制，可选用2~3台315kVA及以下容量的变压器。

（4）如单相负荷使变压器三相负荷的不平衡率超过25%时，宜设单相变压器。

（5）电力和照明一般由共用的变压器供电。若共用变压器严重影响照明质量及灯泡寿命时，可考虑设置照明专用变压器。

（6）如冲击性负荷较大，严重影响电能质量时，应设专门变压器以供冲击负荷。

##### 2. 主变压器

由于工厂总变电所在企业中所处地位的重要性，应着重考虑保证安全供电这一技术要求。主变的台数应按下述原则确定：

（1）当企业的绝大多数负荷属于三级负荷，其少量一、二级负荷可由附近电网取得低压备用电源时，可装设一台主变压器。

（2）如一、二级负荷所占比重较大，则应装设两台主变压器。网台之间相互备用，当一台事故或检修时，另一台应能承担全部一、二级负荷。

（3）在特殊情况下可装设两台以上主变。如分期建设的大型企业，为节约基建初期投资，提高变压器的运行效率，可采取装设多台变压器分期投产来代替一台大型主变；再如当企业供电系统内有电弧炉或其他引起电网电压严重波动的设备时，为了改善供电质量，可装设多台专用变压器；或是当原变电所容量满足不了需要，须扩建增加新的变压器时，都

可使变电所的主变超过两台以上。

## (二) 变压器容量的选择

### 1. 车间变压器容量的选择

车间变压器容量的选择应根据下述原则进行：

(1) 变压器容量应根据计算负荷确定，为了满足车间负荷的需要并考虑具有一定的裕度，变压器的额定容量  $S_N$  应大于或等于该变压器所担负的车间用电设备的计算负荷  $S_{30}$  (即  $S_N \geq S_{30}$ )。对平衡负荷供电的变压器，负荷率一般取 85% 左右；对昼夜或季节性波动较大的负荷供电的变压器，其容量应考虑运行的合理性，并可在高峰时适当过载；对短时负荷供电的变压器则可充分利用其过载能力。

(2) 两台或两台以上的变压器，当其中一台停电后，其余变压器应能保证全部一级负荷及大部分二级负荷的用电。

(3) 变压器的容量应根据电动机起动或其他负荷冲击的条件进行验算。

(4) 单台变压器的容量一般不宜大于 1000kVA。若负荷较大而集中，低压电器允许且运行又合理时，也可选用更大容量的变压器。

### 2. 工厂变电所主变容量的选择

根据工厂所有车间变电所的视在计算负荷 (kVA) 以及其他用电负荷 (如附近部门及生活区用电等) 的总和而定。当变电所仅装设一台主变时，其容量宜有 15%~25% 的裕度，以提高变压器的运行效率及避免高峰时过载。当装设多台主变时，每台变压器的容量应满足当某一台变压器因事故或检修退出工作时，其余变压器仍能保证一、二级负荷供电 (此时不宜再考虑利用其过负荷能力)。

## 四、用户供电系统及接线方式

电力用户 (主要如城市工厂及乡镇企业) 的供配电系统均处于电力系统中的后段部位，它们犹如人体内众多的分支血管与毛细血管那样，是整个电力系统不可缺少的组成部分。若发电厂以及公用电力网的运行安全可靠，则显然能提高对工厂供电的可靠性并提供合格的电力。反之，如果工厂企业内部供用电不够安全，电气事故频发，势必将反过来影响或危及电力系统的正常运行与安全稳定。两者是相互关联、密不可分的。

### (一) 用户变配电所的布置

用户变配电所主要可分为户外式和户内式 (其他还有地下式、移动式与箱式等)。目前中小型用户 6~10kV 变配电所多采用户内式结构。户内式变配电所主要由高压配电室、变压器室、低压配电室三部分组成。此外，有的还设有高压电容器室和值班室。对于用户变配电所布置的总体要求是：

(1) 便于运行维护和检修。值班室一般应尽可能靠近高低压配电室，特别是要靠近高压配电室，且应有直通门或与走廊相通。

(2) 要利于运行安全。变压器室的大门应向外开关并避开露天仓库，以利于在紧急情况下人员出入和处理事故。门最好朝北开，避免朝西开，以防西晒。

(3) 进出线方便。如果是架空线进线，则高压配电室宜位于进线侧。户内变配电所的变压器一般宜靠近低压配电室。

(4) 节约占地面积和建筑费用。当变配电所有低压配电室时，值班室可与其合并。但

这时低压配电屏的正面或侧面，离墙不得小于 3m。

(5) 合乎防爆防火要求。高压电容器组应设在单独的高压电容器室内，该室一般应临近高压配电室，两室之间砌有防火墙。对低压电容器柜，则应设在低压配电室内。

(6) 留有发展余地。变配电所的位置选择和规模设计等，既要利于现时的合理供配电与安全运行，又应考虑到日后工厂和车间的发展。

在确定变配电所的总体布置方案时要因地制宜，合理设计，应通过对几个方案的技术经济比较，力求选用最优方案。图 2-47 为某用户变配电所平面布置图

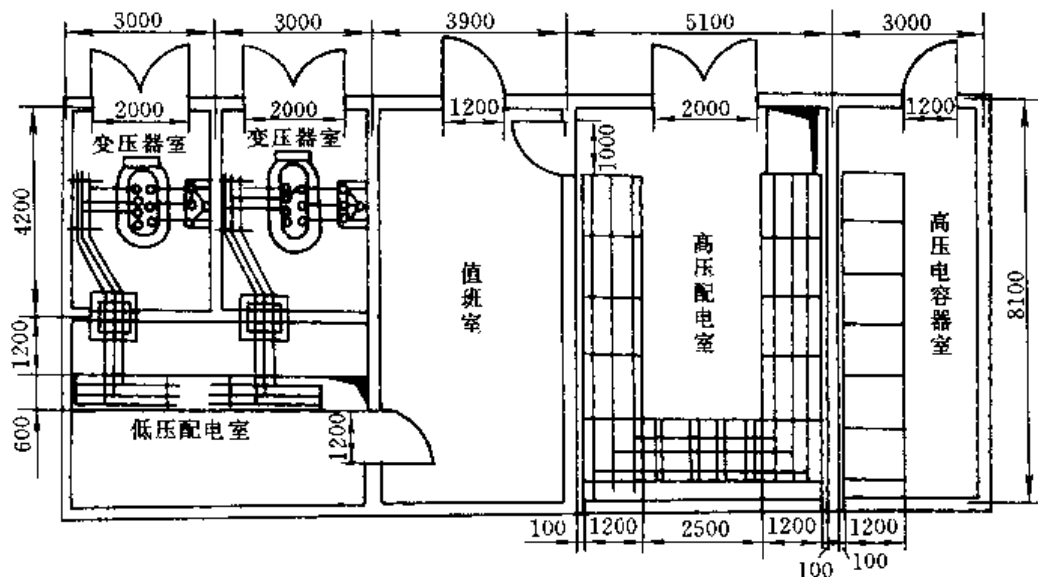


图 2-47 某用户变配电所平面布置图

## (二) 用户供电系统的降压方式

电力用户供电系统通常由降压变电所、高压配电线路、车间变配电所、低压配电级及用电设备组成。用户降压变电所的作用是把电力系统供给的高压电，经过变电所降压，变成一般用电设备所需要的低压电，然后通过配电装置和配电线路将电能送到各部门或车间，以供各用电设备使用。降压变电所可分为一次降压和二次降压两种（如举工厂为例）：

(1) 大型工厂和某些负荷较大的中型工厂，常采用 35~110kV 电源进线。一般都是经过两次降压，即先经过工厂总变电所，将 35~110kV 的电源电压降至 6~10kV，然后通过高压配电线路将电能送到各车间变电所，再由车间的变配电所将 6~10kV 降为 220/380V。这种供电方式称为二次降压供电方式 [见图 2-48 (a)]。工厂的 (6~10kV) 高压配电线路，主要作为厂区内输送和分配电能之用。

(2) 一般的中小型工厂，多采用 6~10kV 电源进线，或采用 35kV 电源进线，经变电所一次降压至 220/380V。这种供电方式称为一次降压供电方式 [见图 2-48 (b)]。

用户供电系统中，变电所的作用是接受电能、变换电压和分配电能；而配电所的作用是接受电能和分配电能。两者的区别主要是变电所设有电力变压器，可实行电压变换；配电所则无此设备与功能。实用中，为节省占地和投资，常将变、配电设备设计并安装在同一设施内，故常统称为变配电所。

供配电系统接通电源、投入使用的工况，便称作“运行”。

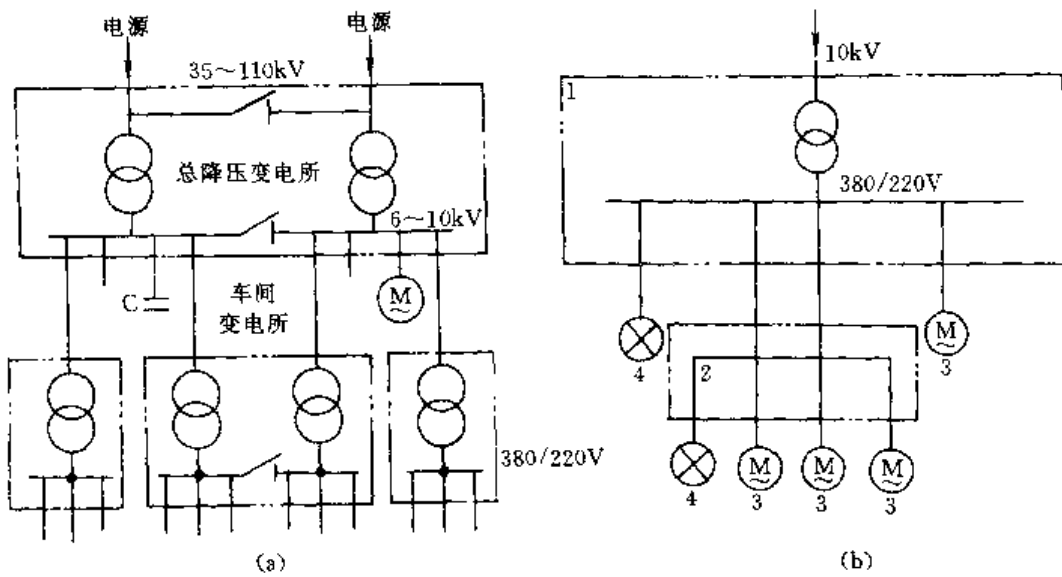


图 2-48 工厂降压供电方式示意图

(a) 二次降压方式；(b) 一次降压方式

1—工厂变电所；2—车间变电所；3—电动机；4—照明

### (三) 变配电所的主接线

主接线是指由变配电所的一次设备、即与电力网直接连接的主要高压电气设备组成的主电路接线关系。接线图中一般采用单线形式画出母线、断路器、互感器、隔离开关、变压器及其相互间的连接。

#### 1. 对变配电所主接线的基本要求

- (1) 变配电所的主接线应根据变配电所实际情况和供配电需要，尽量达到简单、供电方式可靠、主设备齐全。
- (2) 设备选择合理，运行安全经济，运行灵活，并适当考虑未来的发展。
- (3) 便于维护检修，操作步骤简单、方便。
- (4) 对故障处理能保证安全，便于执行规定的安全措施，年运行损失要小。

#### 2. 变配电所常用的主接线型式

(1) 线路变压器组式接线（图 2-49）。这种接线适用于中、小容量的变电所。其主要特点是：

- 1) 接线简单，使用的设备节省；
- 2) 投资省，维护简单，操作方便；
- 3) 检修需要全部停电。

(2) 单母线式主接线。对于单路或双路供电的变配电所适用这种方式的接线系统。它可分为三种：

1) 单电源供电单母线式主接线。这种主接线系统适用于 10kV 供电的一般用户（图 2-50）；

2) 双路电源供电单母线式主接线。这种接线方式的特点是接线简单、操

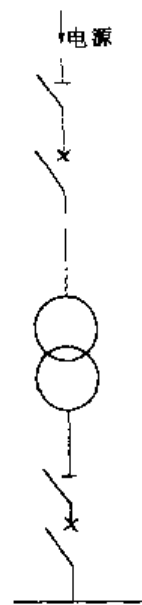


图 2-49 线路变压器组接线

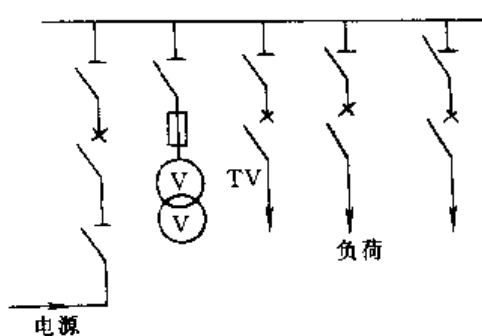


图 2-50 单电源单母线式主接线

作方便及投资较省。它又可分为：① 单母线不分段 [图 2-51 (a)]；② 单母线用隔离开关分段 [图 2-51 (b)]；③ 单母线用断路器分段 [图 2-51 (c)]。

3) 单母线加旁路母线式主接线 (图 2-52)。这种主接线的特点：① 断路器故障时，可不停负荷进行检修；② 供电可靠、运行灵活；③ 适用于出线回路较多的变电所。

### 3. 双母线式主接线

双母线式主接线系统适用于电力系统中的枢纽

变电所和一类负荷的用户，这种主接线可分为三种：

- 1) 双母线不分段的主接线 (图 2-53)；
- 2) 双母线分段式主接线 (图 2-54)；
- 3) 双母线分段加旁路母线式主接线 (图 2-55)。

双母线式主接线的主要特点是：① 供电容量大；② 可用于供电回路多的电站；③ 供电可靠性高；④ 运行灵活性大；⑤ 投资高，操作复杂；⑥ 占地面积和建设面积大。

因此，上述双母线式的主接线，对用户来说，多用于受电电压 110kV 及以上的变电站。

### 4. 桥式主接线

这种接线常用于系统中电压 35kV 及以上的变电所。它又可分为内桥接线 [图 2-56(a)] 和外桥接线 [如图 2-56(b)] 两种：

1) 内桥接线的特点：① 设备简单，投资省；② 运行灵活；③ 检修时操作复杂；④ 继电保护复杂。

2) 外桥接线的特点：① 检修时操作方便；② 当主变压器断路器外侧发生短路故障时，会影响主系统供电的可靠性。

### 5. 10kV 用户常用的主接线

对于 10kV 供电的用户，其变配电所的主接线多采用线路变压器组或单母线接线方式。

电压为 10kV、容量 160 ~ 600kVA 的用电单位，其变配电所常采用高供低计的供电方式，即高压供电、在低压侧计量但应加计变压器损失。对于这种供电方式的用戶常采用线路、变压器组方式的主接线系统 (如图 2-57)。

对于受电变压器总容量超过

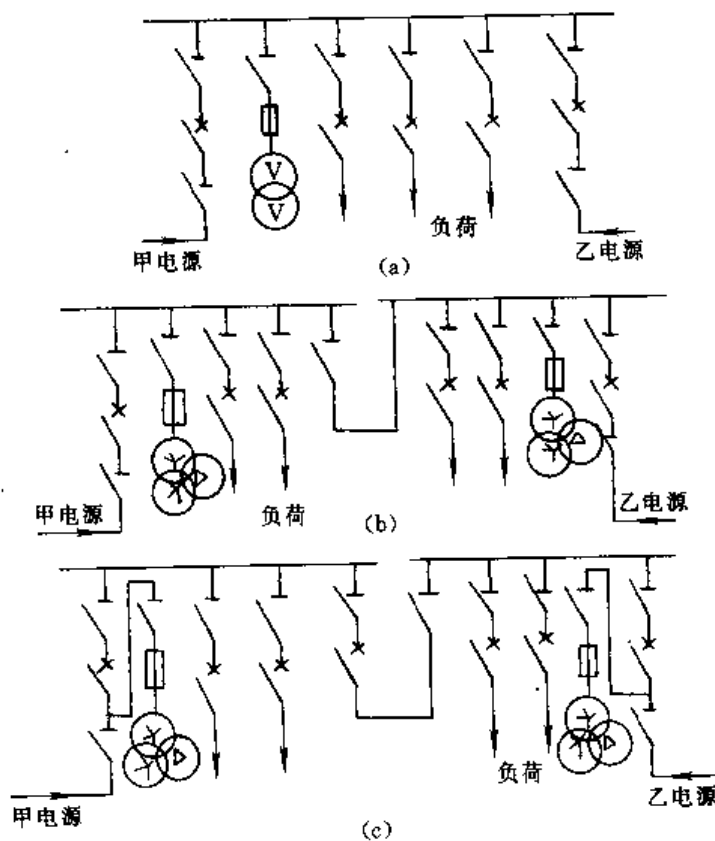


图 2-51 双电源供电单母线式主接线

(a) 单母线不分段；(b) 单母线用隔离开关分段；

(c) 单母线用断路器分段



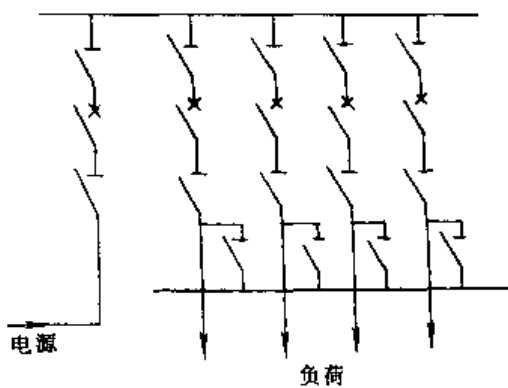


图 2-52 单母线加旁路母线式主接线

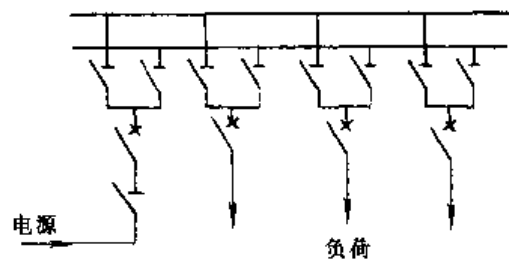


图 2-53 双母线不分段式主接线

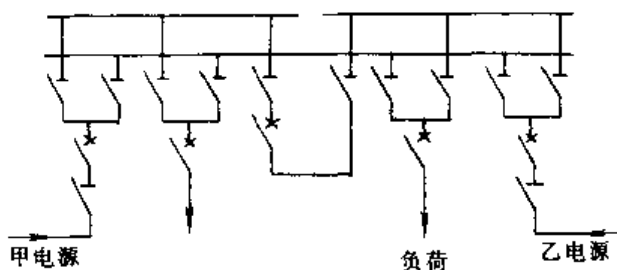


图 2-54 双母线分段式主接线

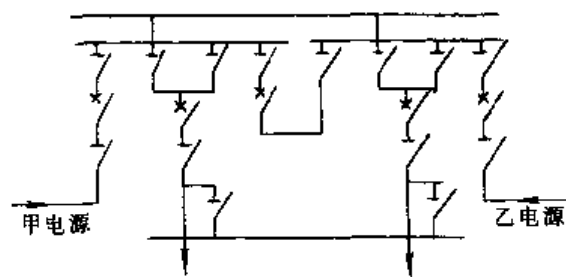


图 2-55 双母线分段加旁路母线主接线

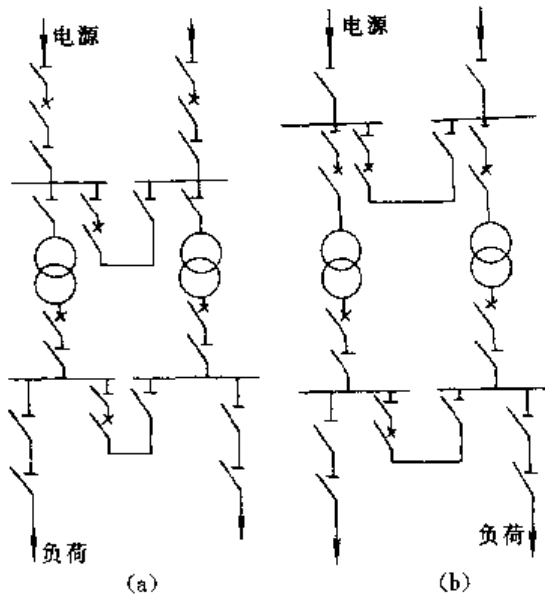


图 2-56 桥式接线

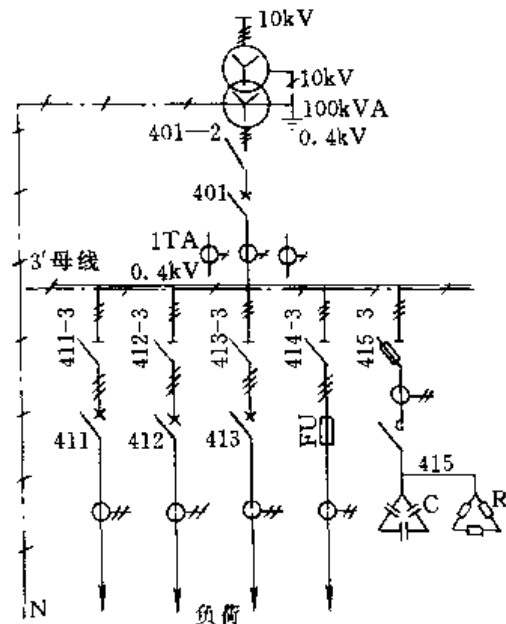


图 2-57 线路变压器组主接线图

600kVA 的中型用户，其变配电所可采用单路电源供电、单母线不分段，或采用双路电源供电、单母线用隔离开关或断路器分段的主接线方式；采用双路电源供电时，两台变压器可采用单母线用断路器分段的主接线方式。这种接线方式适用于容量 1000kVA 及以上的双电源供电用户，它供电较可靠，运行方式灵活，倒闸操作较方便，对某些 10kV 重要用户常是采用这种主接线方式。

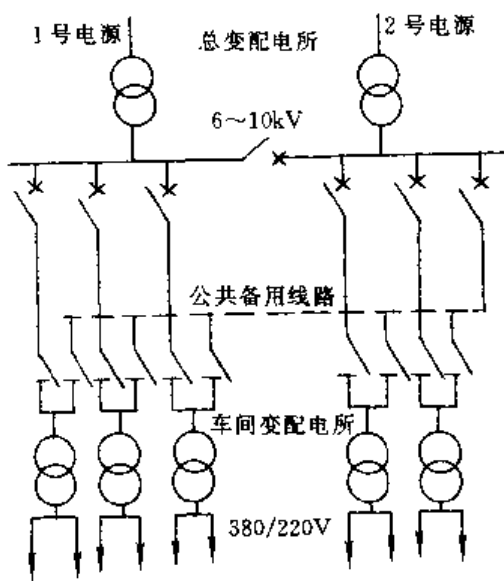


图 2-60 具有公共备用线的放射式线路

目要限制在 5 个以内。其供电可靠性差，仅适用于三级负荷。

(2) 串联型树干式线路。可发挥树干式线路的上述优点，又能提高供电可靠性（见图 2-62）。这种接线的特点是干线进入各车间变配电站并接至高压母线上，干线进出的两侧均安装隔离开关。当干线发生故障时可以减小停电范围（如图中 d 点发生故障时，只需断开 L3 两侧的隔离开关，变压器  $T_1$  和  $T_2$  可继续供电），故它适用于二级负荷。

### 3. 环式线路

环式线路是对串联型树干式线路的改进，实质上只要把两路串联型树干式线路联络起来就构成了环式线路（见图 2-63），环式线路可分为开环和闭环两种运行方式。

这种线路的优点是运行灵活，供电可靠性高。当干线上任何地方发生故障时，只要通过一定的倒闸操作，断开故障点两端的隔离开关，切除故障后，车间变配电站便均可迅速恢复供电。故它适用对于二级负荷供电。

实用中选择接线方式时，应注意下列事项：

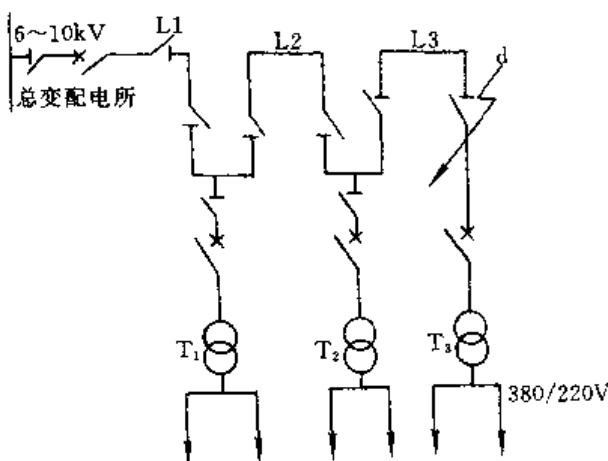


图 2-62 串联型树干式线路

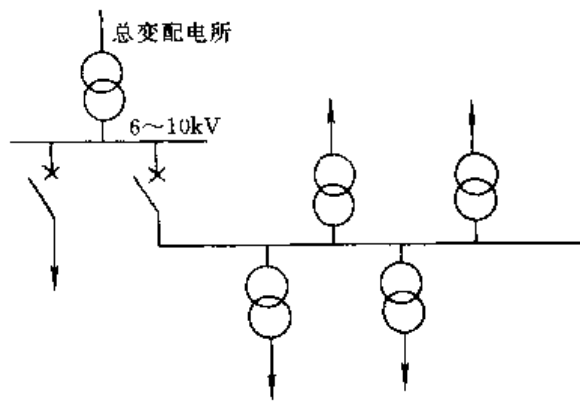


图 2-61 直接联线型树干式线路

房或道路敷设，各车间变配电站或高压设备直接从干线上接出分支线供电（见图 2-61）。这种线路的优点是配电设备少、投资小。缺点是干线发生故障或检修时，会造成大面积停电，所以分支数目

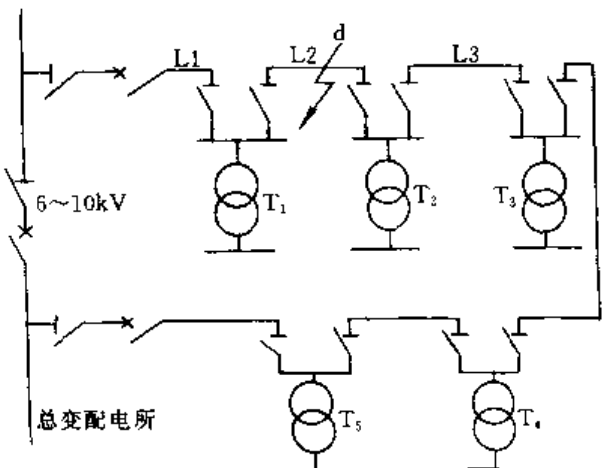


图 2-63 环式线路

#### 4. 符号

电气图中由于元器件及设备很多，常用图形符号和文字符号来表示。每个符号都代表一定的含义，理解了这些符号和它们之间的相互关系，看图就很方便。常用图形符号可参照国标 GB4728《电气图用图形符号》，它包括 13 个部分；常用文字符号可据国标 GB7159—87《电气技术中的文字符号制订通则》。文字符号分基本文字符号（单字母或双字母）和辅助文字符号。

(1) 单字母符号是按拉丁字母将各种电气设备、装置和元器件划分为 23 大类，每一大类用一个专用单字母符号表示。如 C 表示电容器类，R 表示电阻器类等。应用时要优先采用单字母符号，只有在单字母符号不能满足要求时，才采用双字母符号，以便更具体地表述。

(2) 双字母符号由一个表示种类的单字母符号与另一个字母组成，且以单字母符号在前，另一字母在后的次序列出。如 G 为电源的单字母符号，GB 表示蓄电池，F 表示保护器件类，FU 表示熔断器，FR 表示具有延时动作的限流保护器件。

(3) 辅助文字符号是用以表示电气设备、装置和元器件以及线路的功能、状态和特征的。如 SYN 表示同步，L 表示限制，RD 表示红色等。辅助文字符号也可放在表示种类的单字母符号后边组成双字母符号，如 YB 表示电磁制动器。为简化起见，若辅助文字符号由两个以上字母组成时，允许只采用其第一个字母进行组合，如 MS 表示同步电动机。辅助文字符号还可以单独使用，如 ON 表示接通，M 表示中间线，PE 表示接地等。文字符号的字母采用拉丁字母大写正体字。由于拉丁字母 I 与 O 易同阿拉伯数字 1 和 0 混淆，故它们不允许单独作为文字符号使用。

#### 5. 回路标号

由于二次设备及元器件的种类与数量繁多，相互间连接复杂。在二次接线图中对其回路进行标号时，一般有以下原则：

(1) 根据供给二次回路电源的不同类型划分为不同的独立部分，每一部分又分成若干行。行的排列顺序从上至下：交流电按第一相 L1 (U)、第二相 L2 (V)、第三相 L3 (W)，其他电路按电器的动作次序排列。电路右侧有简单文字说明各元器件的作用。

(2) 同一仪表的各种线圈，电器、继电器的线圈与触点，均分别画在不同电源的电路中；对同一元件的线圈与触点，则标以同一符号。

(3) 展开图中各独立电路的电源，除了交流电路用电流互感器直接表示外，其他小母线供电的电源采用文字符号前冠以数字来区分，如 1L<sub>1</sub>、1L<sub>2</sub>、2N 等。

(4) 展开图中每个单元和元器件都应标注项目代号（高层代号、位置代号、种类代号、端子代号），电路及其元器件间的连线一般都用数字组标注。

### 二、变配电工程电气图

它包括主接线图（也称一次回路接线图或系统图），平面布置图（含剖面图），以及二次回路接线图（简称二次接线图）。

#### （一）主接线图

用来表示电气设备的组成部分及其连接方式等。可用多线图表示，也可用单线图表示。但实用中，绝大多数是采用单线图表示。

## (二) 平面图和剖面图

由于系统图中通常不表明电气设备的具体安装位置，故需借助于平面（布置）图和（立体）剖面图来表示。这些图纸上对每台设备的安装位置、空间距离、具体尺寸及技术要求等都有明确表示（见图 2-64 和图 2-65）。

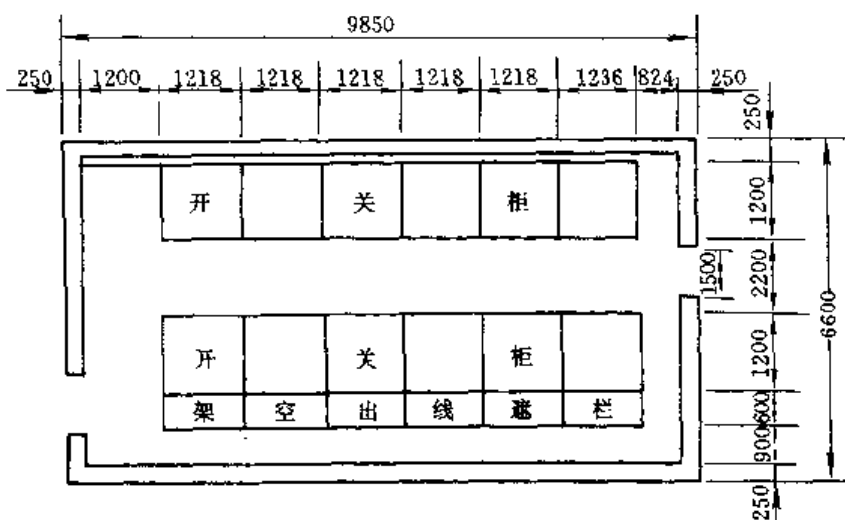


图 2-64 10kV 室内配电装置平面布置图（单位：mm）

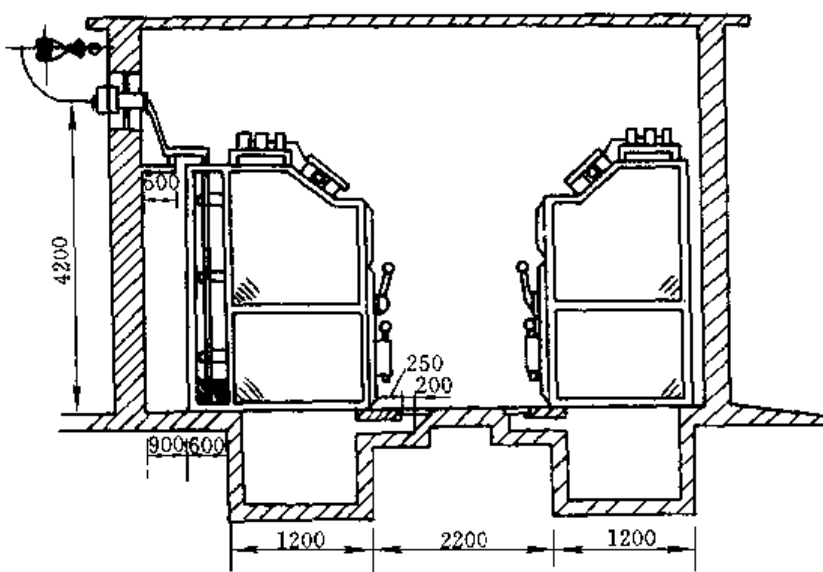


图 2-65 10kV 室内配电装置立体剖面图（单位：mm）

（架空出线与电缆出线混合布置，采用 GG-1A 成套开关柜）

## (三) 二次接线图

### 1. 原理图和展开图

二次接线图是用来描述二次设备的全部组成和连接关系，并表示某一特定工作原理的电路图。二次接线图可分为集中表示法（原理图）和分开表示法（展开图）。

(1) 集中表示法。二次设备或元器件用整体形式表示，继电器的线圈和触点画在一起，相互间用连接线对应连接。这种电路图称整体式原理接线图（简称原理图）。因它比较直观，

能给看图者一个明确的整体概念。如图 2-66 (a) 就是采用这种集中表示法 (某线路定时限过电流保护整体式原理图)。

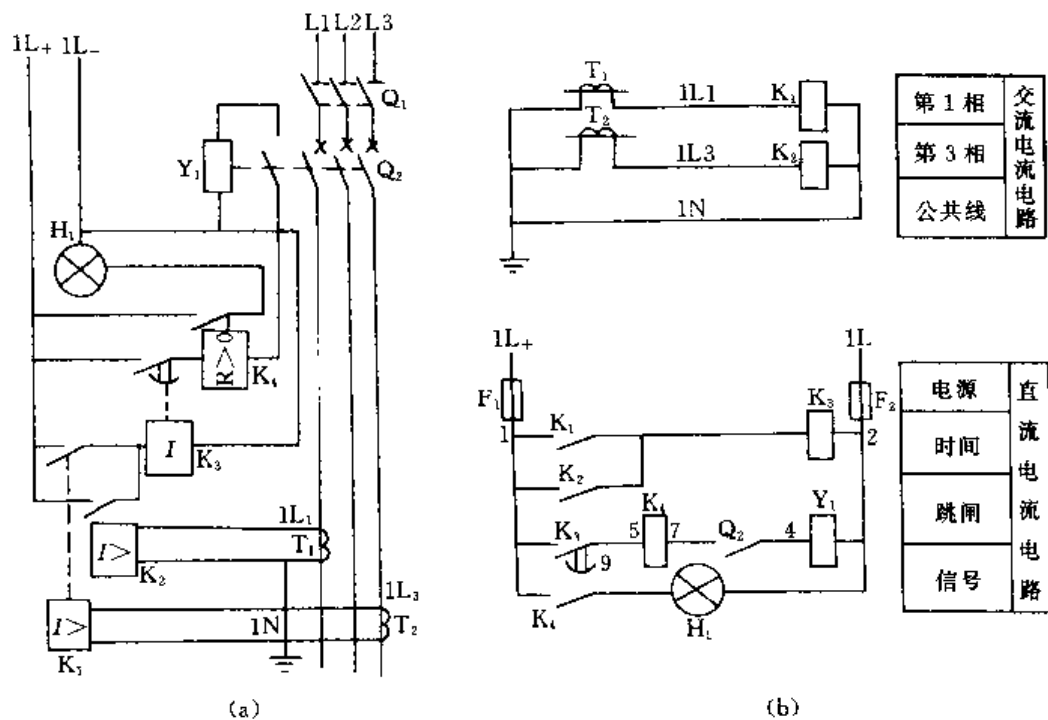


图 2-66 线路定时限过电流保护原理图  
(a) 集中表示法 (原理图); (b) 分开表示法 (展开图)

(2) 分开表示法。将继电器、其他电器及仪表的线圈与触点分开, 分别画在所属的电路中, 并将各电路按交流电流电路、交流电压电路、直流电流电路, 直流信号电路的顺序, 且按不同电压等级画成几个独立部分。这种电路图称展开式原理接线图 (简称展开图)。如图 2-66 (b) 所示是采用这种分开表示法 (某线路定时限过电流保护展开式原理图)。它与整体式原理图等效, 但展开图电路清晰, 易于读图, 也便于了解整套装置的动作程序和工作原理。

## 2. 屏面布置图、端子排图和屏背面接线图

为把二次设备的实体具体地连接起来以达到二次接线图所要求的功能, 仅靠二次接线图还是不够的, 特别是在布置、安装、调试和检修时尤其如此。因此, 还要有与之配套的屏面布置图、端子排图和屏背面接线图等。

(1) 屏面布置图。它表明了二次设备在屏面及屏内的具体布置, 也是制造厂用来作屏面布置设计、开孔与安装, 以及在施工现场用来校对屏内设备、进行拆装及维修的依据 (见图 2-67)。

(2) 端子排图。为了便于接线和查线, 屏内设备与屏外设备之间的连接是通过接线端子来实现的。接线端子是二次接线中不可缺少的配件, 许多端子组合在一起便构成端子排。表示端子排内各端子与内外设备之间连接关系的图, 即称端子排图。

(3) 屏背面接线图。它是以二次接线图、屏面布置图、端子排图为主要依据重新绘制的一种图。既是屏内走线、接线、查线的重要依据, 也是安装接线图中最重要的一种图纸

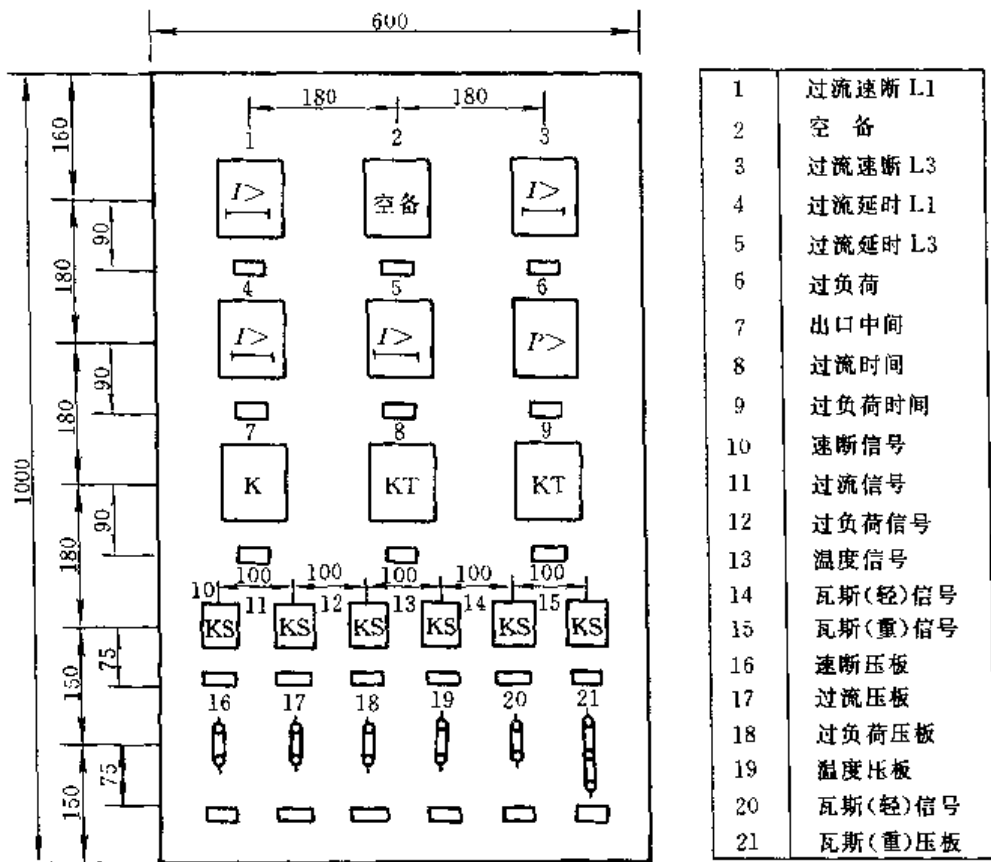


图 2-67 继电保护屏面布置图 (保护屏的上部分)

(见图 2-68)。其接线可用连续线或中断线表示，但在中断处必须标明导线去向。

### 三、动力及照明工程电气图

#### (一) 动力装置电气图

动力装置电气图和变配电工程图一样，有一次接线系统图、控制原理图、安装图以及平面敷线图。一次回路接线图有绘成单线的，也有绘成多线的，但以单线图表示较为普遍。

(1) 小容量低压电动机系统图中，电源由 380V 母线引入，经过隔离开关 QS 和熔断器 FU 接至电动机 M [见图 2-69 (a)]。电动机若用自动开关 QA 控制时则接在 FU 后边 [见图 2-69 (b)]。

(2) 高压电动机系统图中，电源经隔离开关 QS 和断路器 QF，再接到电动机 [见图 2-69 (c)]。

(3) 电力拖动系统一般多采用接触器控制方式。其原理接线图包括主回路和控制回路两部分。为了便于看得清楚，主回路要用粗实线、控制回路用细实线（或用虚线框起）绘制（见图 2-70）。

#### (二) 照明工程电气图

常用的有两种，即电气照明工程系统图和平面敷线图（见图 2-71）。

照明电源通常由变电所供给，照明装置和动力装置合用同一电源（配电变压器）。因此变压器的二次绕组就必须有引出的中性线，且中性点应接地（此时中性线称零线）。各种电

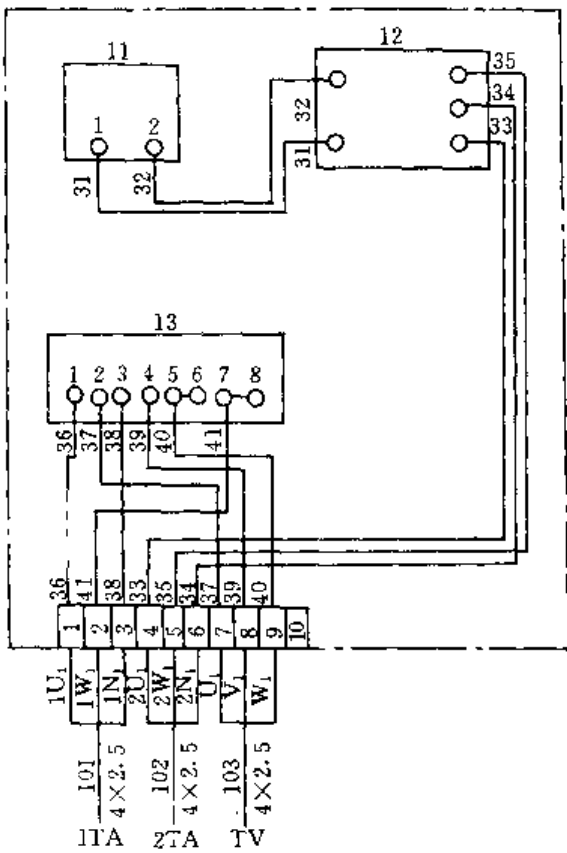


图 2-68 屏背面接线图

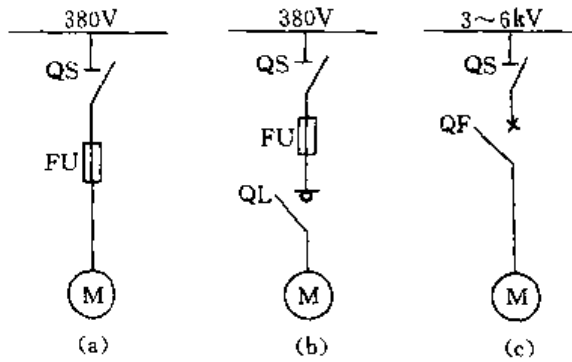


图 2-69 电动机系统图  
(a) 经闸刀开关与熔断器；(b) 用自动开关控制；  
(c) 经隔离开关和断路器

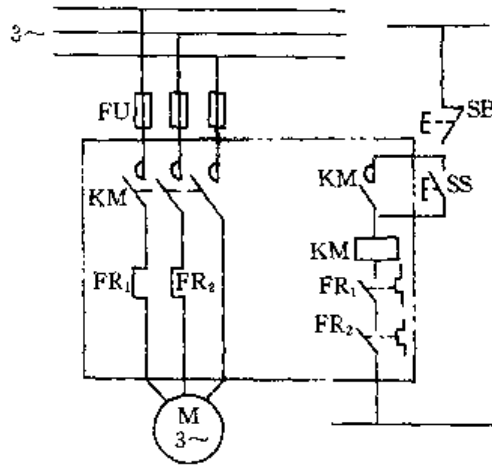


图 2-70 电动机控制原理图

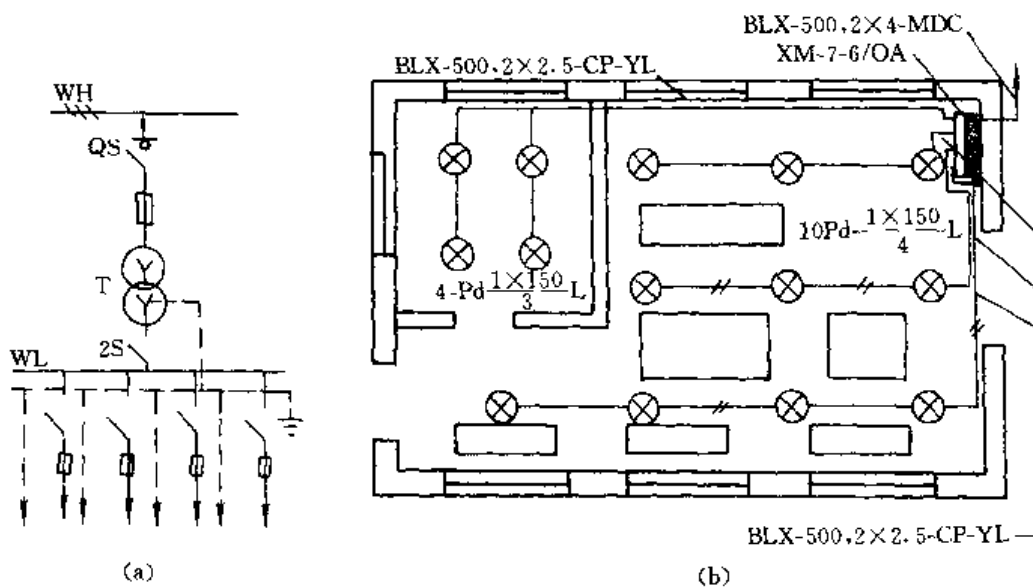


图 2-71 电气照明工程施工图  
(a) 电气照明系统图；(b) 照明敷线平面图

气照明设备及其他单相电气器具，则应分别接至由配电变压器引出的相线和零线上。

### 复 习 思 考 题

1. 动力系统、电力系统及电力网有何区别？电能由生产到使用共分哪五大环节？
2. 电力生产过程的特点是什么？电能有哪些优越性？为何普遍采用三相交流制？
3. 试述供电质量指标及其具体规定。高压与低压的划分标准有哪两种？
4. 当前国家正在对城乡电网实施宏伟的改造工程，试述其重要意义及改造重点内容。
5. 怎样处理好供电与用电两者间的关系？对工厂电工与农村电工分别有哪些基本要求？
6. 对10kV及0.4kV配电网常采用何种接地方式？为什么？在低压配电网中推广三相五线制有哪些优越性？
7. 对双电源及自发电用户的安全管理，分别具体有哪些注意事项？
8. 用户供配电工程中，供电设计的任务是什么？有哪些具体步骤？
9. 试述用电负荷口诀式计算的具体内容，并逐条加以解释。
10. 用户供电系统分哪两种降压方式？分别在什么情况下采用？
11. 用户配电系统有哪几种接线方式？实践中选择时应注意些什么？
12. 电气技术图纸有何具体作用？看懂电气图纸要掌握哪五方面基本知识？



- (2) 按相数分有：单相变压器；三相变压器。
- (3) 按绕组分有：单绕组变压器(为两级电压的自耦变压器)；双绕组变压器；三绕组变压器。
- (4) 按绕组材料分有：铜线变压器；铝线变压器。
- (5) 按调压方式分有：无载调压变压器；有载调压变压器。
- (6) 按冷却介质和冷却方式分有：

1) 油浸式变压器。冷却方式一般为自然冷却，风冷却（在散热器上安装风扇），强迫风冷却（在前者基础上还装有潜油泵，以促进油循环）。此外，大型变压器还有采用强迫油循环风冷却等。

2) 干式变压器。绕组置于气体中（空气或六氟化硫气体），或是浇注环氧树脂绝缘。它们大多在部分配电网内用作配电变压器。目前已可制造到 35kV 级，其应用前景很广。

### (三) 变压器的工作原理

变压器是基于电磁感应原理而工作的。正是因为它的工作原理以及工作时内部的电磁过程与电机（发电机和电动机）完全相同，故将它划为电机一类，仅是旋转速度为零（即静止）而已。变压器本体主要由绕组和铁芯组成。工作时，绕组是“电”的通路，而铁芯则是“磁”的通路，且起绕组骨架的作用。一次侧输入电能后，因其交变故在铁芯内产生了交变的磁场（即由电能变成磁场能）；由于匝链（穿透），二次绕组的磁力线在不断地交替变化，所以感生出二次电动势，当外电路沟通时，则产生了感生电流，向外输出电能（即由磁场能又转变成电能）。这种“电—磁—电”的转换过程是建立在电磁感应原理基础上而实现的，这种能量转换过程也就是变压器的工作过程。

下面再由理论分析及公式推导来进一步加以说明：

在单相变压器的原理图中（见图 3-1），闭合的铁芯上绕有两个互相绝缘的绕组。其中接入电源的一侧叫一次绕组，输出电能的一侧叫二次绕组。当交流电源电压  $\dot{U}_1$  加到一次绕组后，就有交流电流  $\dot{I}_1$  通过该绕组并在铁芯中产生交变磁通  $\Phi$ 。这个交变磁通不仅穿过一次绕组，同时也穿过二次绕组，两个绕组中将分别产生感应电势  $E_1$  和  $E_2$ 。这时若二次绕组与外电路的负载接通，便会有电流  $\dot{I}_2$  流入负载  $Z$ ，即二次绕组就有电能输出。

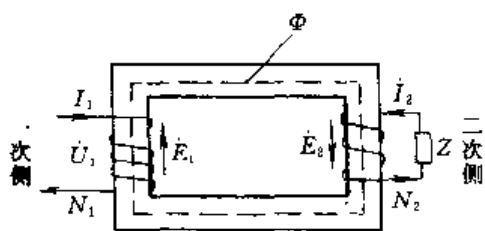


图 3-1 单相变压器的原理图

一次绕组感应电动势值

$$E_1 = 4.44fN_1 B_m S \times 10^{-4} \quad (\text{V})$$

二次绕组感应电动势值

$$E_2 = 4.44fN_2 B_m S \times 10^{-4} \quad (\text{V})$$

式中  $f$ ——电源频率 (Hz)，工频为 50Hz；

$N_1$ ——一次侧绕组匝数，匝；

$N_2$ ——二次侧绕组匝数，匝；

$B_m$ ——铁芯中磁通密度的最大值，T；

$S$ ——铁芯截面积， $\text{cm}^2$ 。

由上两式可以得出

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

足见，变压器一、二次侧感应电动势之比等于一、二次侧绕组匝数之比。

由于变压器一、二次侧的漏电抗和电阻都比较小，可忽略不计，故可近似地认为： $U_1 = E_1$ ； $U_2 = E_2$ 。于是有

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

式中  $K$  ——变压器的变压比。

变压器一、二次绕组的匝数不同，将会导致一、二次绕组的电压高低不等。显然，匝数多的一边电压高，匝数少的一边电压低。这就是变压器之所以能够改变电压的道理。

在一、二次绕组电流  $I_1$ 、 $I_2$  的作用下，铁芯中总的磁势为

$$I_1 N_1 + I_2 N_2 = I_0 N_1$$

式中  $I_0$  ——变压器的空载励磁电流。

由于  $I_0$  比较小（通常不超过额定电流的 3%~5%），在数值上可忽略不计，故上式可演变为

$$I_1 N_1 + I_2 N_2 = I_0 N_1 \approx 0$$

进而可推得  $I_1 N_1 = -I_2 N_2$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K}$$

可见，变压器一、二次电流之比与一、二次绕组的匝数成反比。即绕组匝数多的一侧电流小，匝数少的一侧电流大；也就是电压高的一侧电流小，电压低的一侧电流大。

## 二、变压器结构与器身构造

电力变压器的基本结构是由铁芯、绕组、带电部分和不带电的绝缘部分所组成，为使变压器能安全可靠地运行，还需要油箱、冷却装置、保护装置及出线装置等，故其结构如图 3-2 所示，组成如下：

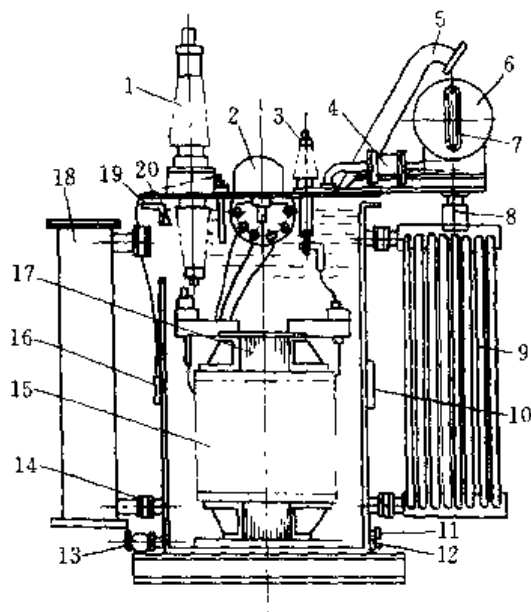
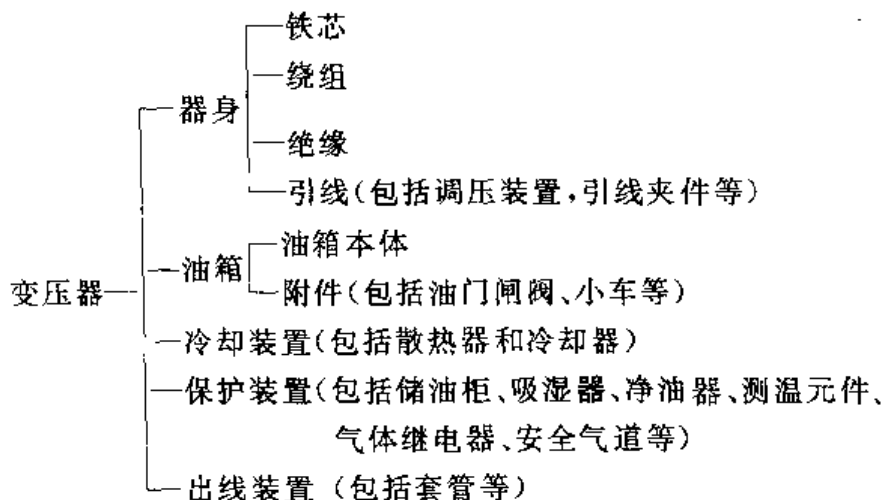


图 3-2 电力变压器结构图

1-高压套管；2-分接开关；3-低压套管；4-气体继电器；5-安全气道（防爆管）；6-油枕（储油柜）；7-油表；8-呼吸器（吸湿器）；9-散热器；10-铭牌；11-接地螺栓；12-油样活门；13-放油阀门；14-活门；15-绕组（线圈）；16-信号温度计；17-铁芯；18-净油器；19-油箱；20-变压器油



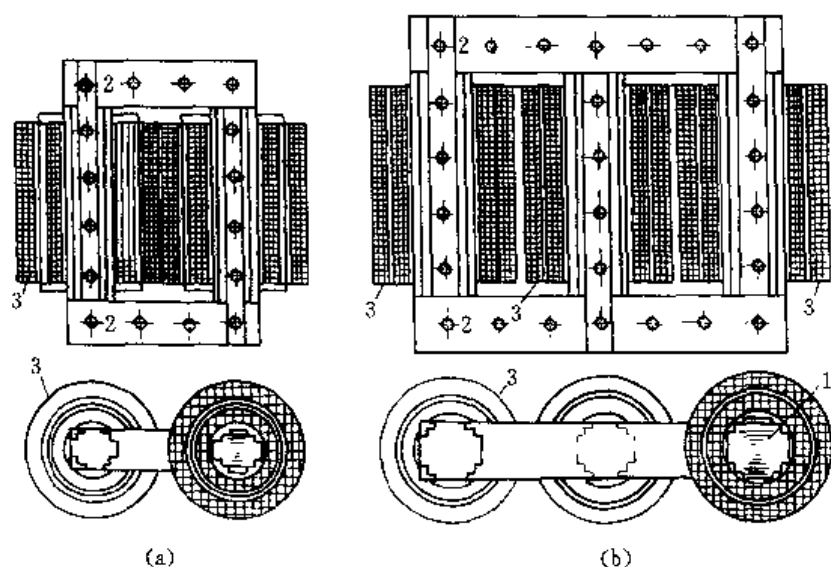


图 3-4 内铁式变压器的铁芯和绕组  
(a) 单相内铁式变压器的铁芯和绕组；(b) 三相内铁式变压器的铁芯和绕组  
1 - 铁芯柱；2 - 铁轭；3 - 绕组

随着含硅量的增加，硅钢片的电阻率也增加，因此含硅量高的硅钢片的涡流损失较小。但含硅量太高则硅钢片变脆，影响机械加工，故含量也不能太高。硅钢片因加工方式不同有热轧与冷轧两种。冷轧硅钢片有的具有方向性（即顺着辗压方向的单位铁损耗比热轧硅钢片低），在相同磁场强度下，磁通密度约可增大 20%，而垂直辗压方向的单位铁损耗会增至 3~4 倍。热轧硅钢片的方向性不显著。变压器设计时铁芯磁通密度一般都选在饱和点之后，即热轧硅钢片在 14500GS，冷轧硅钢片在 17000GS 左右。因此，采用冷轧硅钢片的铁芯截面较小，变压器的体积和重量也显著减小，故冷轧硅钢片得到了日益广泛的应用。

冷轧硅钢片经过剪切、冲孔、压毛、搬运、敲打等过程后，会产生内应力，将降低磁率，并增大磁滞损耗。因此，加工完的冷轧硅钢片要经过退火处理，使硅钢片恢复原有的导磁性能。常采用的牌号有 D310、D320、D330、D340 等。

## 2. 铁芯装配

铁芯有两种装配方法即叠装和对装。对装时先将铁芯柱和铁轭分别叠装，然后组装在一起，在铁芯柱和铁轭间放一层耐热的绝缘垫片，以避免铁芯柱和铁轭间的涡流。这种组装方法虽方便，但会使变压器的激磁电流增大，机械强度也不好，一般已不采用。叠装是把铁芯柱和铁轭的钢片按图 3-5 的排列方法分层交错叠置，每一层的接缝都被邻层的钢片盖上，这种方法装配的铁芯其空气隙较小。这种接缝叫作直接缝，适用于热轧硅钢片。冷轧硅钢片则采用如图 3-6 的半直半斜接缝，以避免接缝处的磁力线与硅钢片辗压方向直交。这种形状的硅钢片加工较复杂，为加工方便一般采用斜接缝，又为叠装方便通常每层仅叠两片。

除上述叠片方式的铁芯外，现国内已有生产渐开线型的铁芯，材料是用高磁导率的取向冷轧硅钢片。这种铁芯也分有铁芯柱和铁芯轭两部分：铁芯柱用一定尺寸的硅钢片经专用设备弯曲成渐开线形状，一片一片插装成圆柱形铁芯柱，外径和内径之比为 4.5~6；铁轭用同一宽度的涂漆硅钢片卷成等边三角形。然后将 3 个铁芯柱以等边三角形安放在铁轭

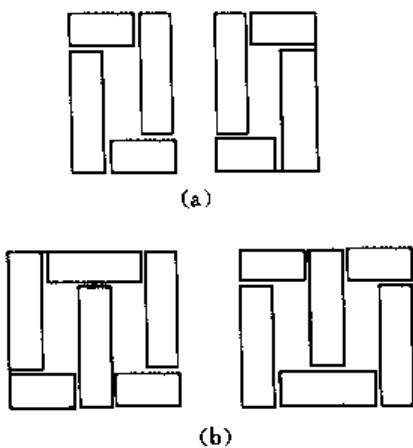


图 3-5 热轧硅钢片铁芯叠装法  
(a) 单相; (b) 三相

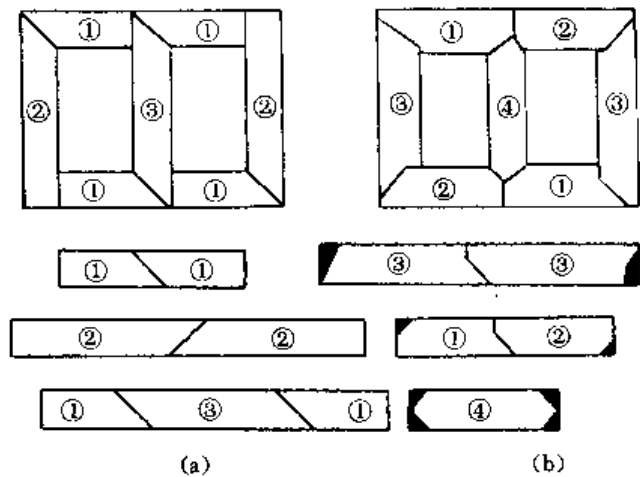


图 3-6 冷轧硅钢片叠片及套装图  
(a) 斜接缝; (b) 半直半斜接缝

断面上, 以对接形式组合, 再用 3 个穿心螺杆夹紧成一整体 [见图 3-7 (a)]。由于它的三相磁路对称, 故渐开线铁芯具有三相空载电流对称、材料省、铁损小、重量轻、铁芯尺寸

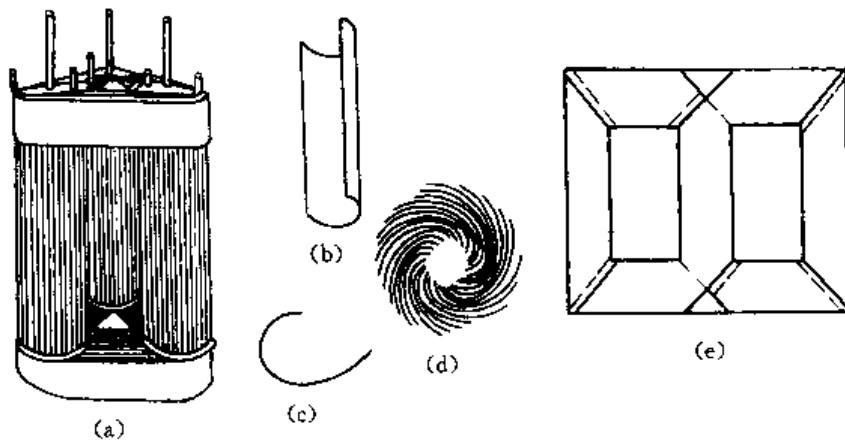


图 3-7 渐开线式变压器铁芯结构和全斜接缝叠装法  
(a) 渐开线铁芯结构; (b) 铁芯叠片; (c) 渐开线形状;  
(d) 铁芯柱断面; (e) 全斜接缝叠装法

规格小及便于成批生产等优点。但对目前硅钢片标准尺寸受限制以及振动与噪声较大等缺点, 尚待继续研究改进。1982 年以来, 我国已生产了 S7、SLZ7 等型低损耗电力变压器。其铁芯采用 Q<sub>10</sub> 优质冷轧取向硅钢片, 采用全斜缝叠装 [见图 3-7 (e)], 空载损耗比“JB1300—73 标准”的老产品降低 40% 左右。因为采用这种叠装法后可降低铁芯柱到铁轭拐弯处的附加损耗。但它们仅是一种过渡型产品, 现又趋淘汰并正在大量生产 S<sub>7</sub> 系列及开始生产与研制性能更优的低损耗变压器。

### 3. 铁芯柱及铁轭截面

由于绕组是圆形, 为充分利用绕组内的空间, 增大有效截面, 铁芯柱截面多为阶梯形 (见图 3-8), 阶梯级数愈多, 截面愈接近圆形, 在一

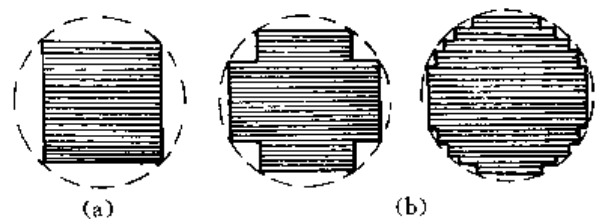


图 3-8 铁芯的截面形状  
(a) 方形; (b) 阶梯形

定的直径下铁芯柱的有效截面也愈大。但级数愈多,叠片种类随着增多,从而使铁芯的制造工艺复杂化。一般是铁芯柱直径愈大,则选用级数愈多。

铁轭截面有矩形、T形和多级梯形几种(见图3-9)。在直接缝的热轧钢片铁芯中,铁轭截面往往比铁芯柱截面大5%~10%,以减少铁芯损耗。

对于斜接缝的冷轧硅钢片,其铁轭的级数、各级截面和铁芯柱对应的各级截面都相同,因为工艺上必须如此。

铁芯占有的空间截面积称几何截面积,它减去硅钢片片间的间隙及绝缘漆膜厚度所占去的面积,方为铁芯的实际截面积,称有效截面积。有效截面积与几何截面积之比叫作叠片系数,它与硅钢片的平整程度、硅钢片厚度和其绝缘厚度等有关,通常约在0.92~0.95之间。

#### 4. 铁芯的散热油道

铁芯直径较大时,为使铁芯内部散热良好,常在铁芯叠片间留有油道[见图3-10(a)与(b)]。当叠片系数为0.92~0.93,铁芯直径在380mm及以上,或系数为0.94~0.95,铁芯直径在430mm及以上时就开始有油道。在更大直径的铁芯上,还有与硅钢片垂直的油道,垂直的比平行的散热好,但其结构复杂。

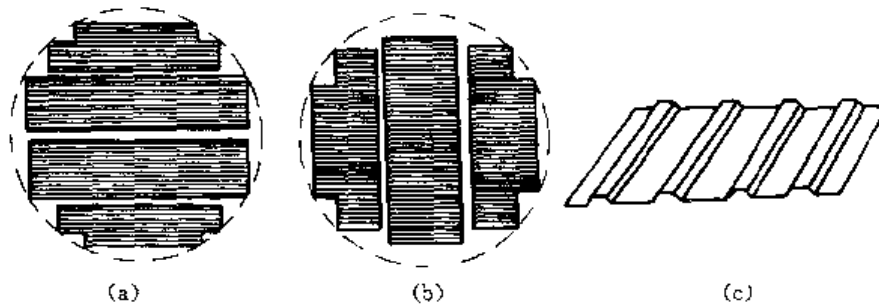


图 3-10 含油道的铁芯示意图

(a)与硅钢片平行的油道;(b)与硅钢片垂直的油道;(c)用硅钢片冲制的铁轭油道

铁芯油道的构成,一般为在0.5mm厚的硅钢片上点焊 $\phi 6$ 钢丝,叠入铁芯柱及铁轭中规定的位置而成。铁芯柱中钢丝与水平方向成 $45^\circ\sim 50^\circ$ ,钢丝之间距离为45~50mm,而铁轭油道的钢丝则呈垂直方向[见图3-10(d)]。此外还有槽形结构的油道,即用硅钢片压制形成槽形而形成油道[见图3-10(c)],它能承受 $40\text{kg}/\text{mm}^2$ 以上的夹紧力。为确保油道的机械强度,120MVA及以上容量的变压器铁芯中常采用双槽油道,即用两张硅钢片压制形成油道。槽形油道的优点是节省了 $\phi 6$ 钢丝,减少了钢丝中的涡流损耗,不用点焊机且增加了散热面,故今已逐渐被采用。

#### 5. 铁芯的夹紧

变压器的铁芯必须夹紧,否则运行时会发出不正常的噪音,且起吊器身时还可能会出现残余变形。中小型变压器的铁芯柱若采用穿心螺杆夹紧时,常用环氧玻璃粘带绑扎,带厚0.1mm、宽50mm,缠好后在 $110\sim 150^\circ\text{C}$ 下干燥8h以上。

铁芯柱为环氧玻璃粘带绑扎,而上、下铁轭则多用铁轭螺杆夹紧。一般上、下铁轭各

有 2~4 件铁轭螺杆且视铁芯直径而不同（见图 3-11 铁轭上的螺孔）。螺杆与铁芯或夹件的接触处，必须用绝缘纸管、绝缘垫圈与铁芯、夹件隔开（见图 3-12）否则铁芯或夹件与螺杆连通，将会形成短路匝。

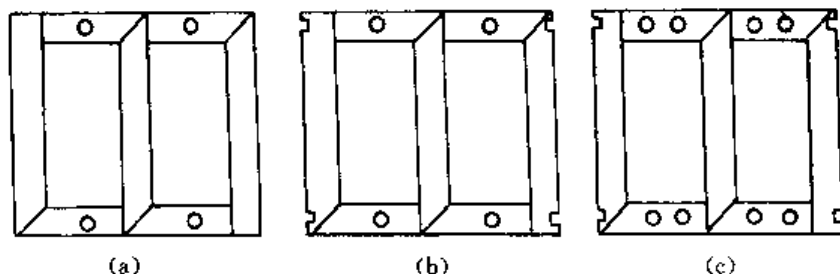


图 3-11 三柱式铁芯图

(a) 用于  $\phi 185 \sim \phi 360$ ; (b) 用于  $\phi 370 \sim \phi 800$ ; (c) 用于  $\phi 800 \sim \phi 880$

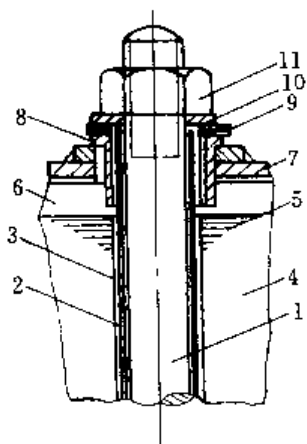


图 3-12 铁轭螺杆的装配

1—铁轭螺杆；2—电木管；  
3—螺孔；4—铁轭；5—绝缘纸板；6—绝缘垫块；7—铁轭夹件；8—钢座套；9—绝缘垫圈；10—钢垫圈；11—螺母

为了防止最外层硅钢片突起，采用夹板夹紧。对直径为  $\phi 185 \sim \phi 360$  的铁芯，铁芯柱上、下均用绝缘板制成的夹板夹紧；对直径为  $\phi 370 \sim \phi 880$  的铁芯，下部用绝缘夹板夹紧，上部采用方铁结构而无上部夹板。图 3-11 (b)、(c) 中两旁铁柱上冲出的方槽即为安装方铁（见图 3-13）的位置，它对铁芯柱用纸板绝缘。当变压器额定电压  $\geq 60\text{kV}$  级且高压和低压或高、中、低压的接线均为 Y 或 Y<sub>0</sub> 接法时，方铁的一端必须与夹件绝缘，以避免三次谐波磁通所产生的感应电势在夹件中形成回路。

上、下铁轭的夹紧，采用夹件、螺杆和方铁配合拧紧的结构。当铁芯直径为  $\phi 360$  及以下时，用槽钢夹件；当铁芯直径为  $\phi 370$  及以上时，由于铁轭高度较大，上、下肢板宽度有时不同，一般采用焊接结构。夹件和铁轭间应有绝缘措施。

#### 6. 铁芯的接地

为防止变压器在运行或试验时，由于静电感应在铁芯或其它金属构件上产生悬浮电位而造成对地放电，铁芯及其所有构件，除穿心螺杆外都必须可靠接地。由于铁芯叠片间的绝缘电阻较小，一片叠片接地即可认为所有叠片均已接地。

铁芯叠片只允许有一点接地。如果有两点或两点以上接地，则接地点之间可能会形成闭合回路。当主磁通穿过此闭合回路时，就会在其中产生循环电流，造成局部过热事故。

#### (二) 绕组

绕组通常采用绝缘铜线或铝线绕制而成，匝数多者称为高压绕组，匝数少者称为低压绕组。按高压绕组和低压绕组相互间排列位置的不同，可分为同心式和交叠式两种。

##### 1. 同心式绕组

它是把一次、二次绕组分别绕成直径不同的圆筒形线圈套装在铁芯柱上，高、低压绕组之间用绝缘纸筒相互隔开。为了

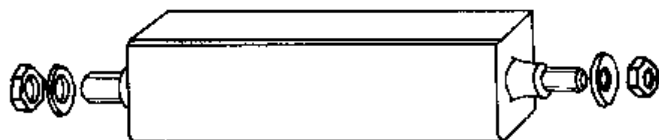


图 3-13 方铁的形状

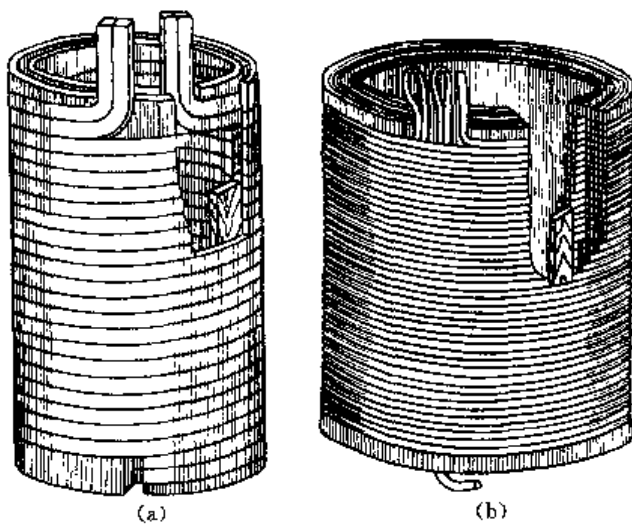


图 3-14 圆筒式绕组

- (a) 320kVA 变压器的 400V 低压双层圆筒式绕组；
- (b) 320kVA 变压器的 10000V 高压多层圆筒式绕组

便于绝缘和高压绕组抽引线头，一般是将高压绕组放在外面。同心式绕组结构简单，绕制方便，故被广泛采用。按照绕制方法的不同，同心式绕组又可分为圆筒式、螺旋式、连续式和纠结式等几种；

(1) 圆筒式绕组有单层、双层、多层和铝箔筒式等型式。通常一次绕组用圆铜线或铝线绕成多层，二次绕组用单根或几根圆铜线或铝线并联连续绕成（见图 3-14）。这种型式一般用于 630kVA 及以下、电压不超过 15kV 三相变压器的高、低压绕组。圆筒式绕组的优点是绕制简单，油道散热效率高，但端部支撑的稳定性差，绕组的轴向高度很难控制，绕组内部有时温差较大。

此外，并绕根数较多或绝缘件较复杂时绕制亦困难。

(2) 螺旋式绕组绕制时线匝之间不是彼此靠紧而是中间隔着一个油道，整个绕组很像一个受拉力时的螺旋弹簧（见图 3-15）。这种绕组每匝并联导线的数量较多，且是沿着径向一根压一根地迭绕起来的。由于并联股数不同，它又分为单螺旋、双螺旋、四螺旋等。螺旋式绕组具有绕制简便的优点，但在应用上有局限性，如线圈匝数较多使轴向高度过大时不能采用。它常用于三相容量为 800kVA 及以上、电压为 35kV 及以下的大电流绕组和有载调压变压器的调压线圈。

(3) 连续式绕组是用单线或不超过 4 根并联扁导线连续绕成若干串联线饼（又称线段），每个线饼又是由几个线匝按顺序连续绕成。线饼之间依靠绝缘纸作成的垫块形成油道。由于线饼之间没有焊头而是用一种特殊工艺方法连续绕制的，所以叫作连续式绕组（见图 3-16）。绕组的首、末端都从线饼的外圈引出，故第一个线饼（即 1~6 匝）是由外圈到里圈，叫作反饼。第二个线饼（即 7~12 匝）是由里圈绕到外圈，和绕线的顺序一致，叫作正饼。这种绕组应用范围较大，优点是机械强度高、散热性能好、工艺性较好，但绕制技术要求较高。它多用于三相容量为 630kVA 以上、电压为 3~110kV 的绕组。

(4) 纠结式绕组的外形和连续式绕组相似，是连续式绕组的一个变种（见图 3-17）。它也是由扁导线绕成一个个线饼，每两个线饼为一组，然后再交叉

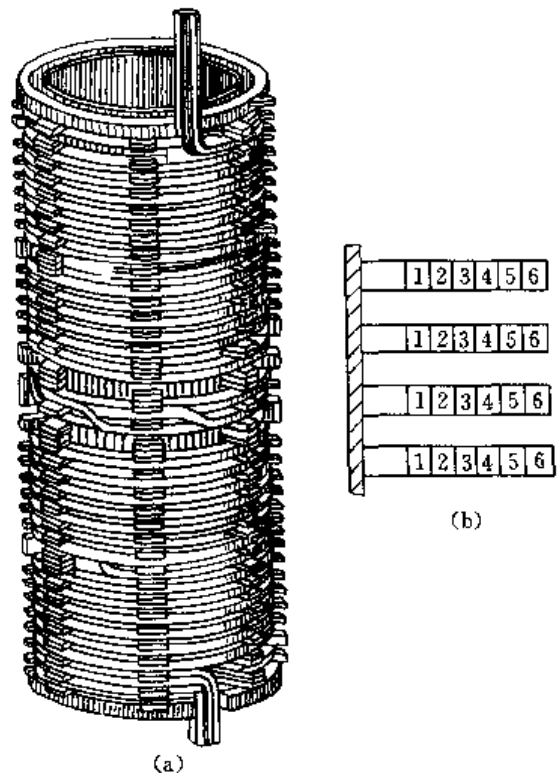


图 3-15 螺旋式绕组

- (a) 绕组外形图；(b) 导线排列情况

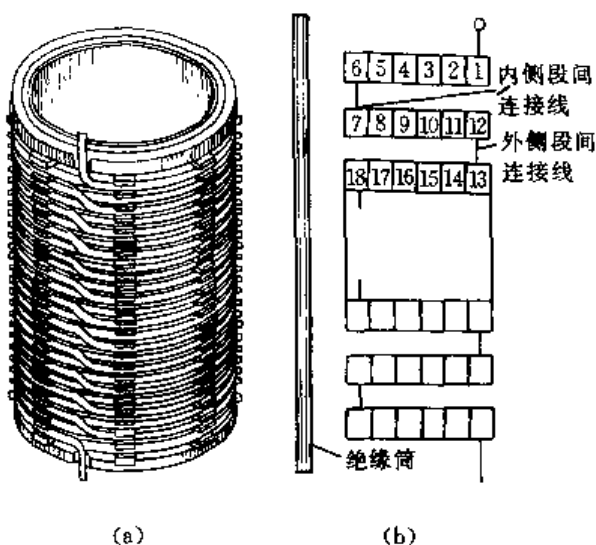


图 3-16 连续式绕组  
(a) 绕组外形图；(b) 连接顺序示意图

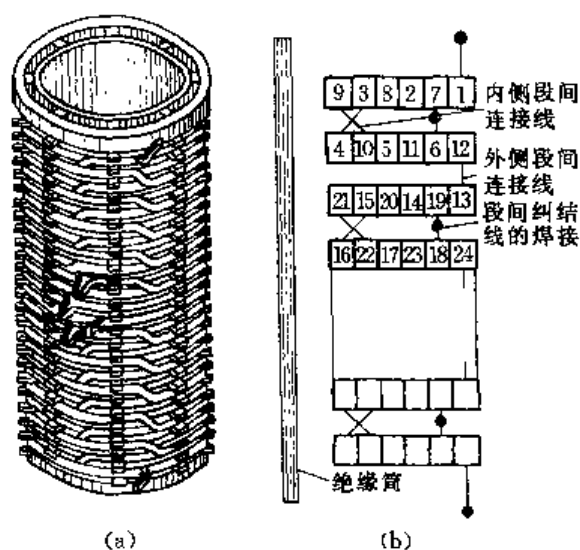


图 3-17 纠结式绕组  
(a) 外形图；(b) 段间连接示意图

串联成一路，这样一个线饼内的线匝是交替排列的，故焊点较多。但相邻两匝间电位差为连续式绕组的数倍，两线饼间的等效电容以及匝间电容都比连续式绕组大许多倍。过电压时，起始电压就比较均匀地分布在各线饼及线匝间，从而能显著地改善冲击电压的分布，提高变压器的防雷性能。近年来，我国制造的大容量变压器的高压绕组已广泛采用纠结式线圈。

## 2. 交叠式绕组

它是把一次、二次绕组按一定的交替次序套装在铁芯柱上。这种绕组的高、低压绕组之间间隙较多。因此绝缘较复杂、包扎工作量较大。其优点是机械性能较高，引出线的布置和焊接比较方便，漏电抗也较小，故常用于低电压、大电流的变压器（如电炉变压器、电焊变压器等）。

### (三) 绝缘

#### 1. 绝缘等级

绝缘材料按其耐热程度可分为 7 个等级，它们的最高允许温度也各不相同，见表 3-1。一般情况下，所有绝缘材料应能在耐热等级规定的温度下长期（指 15~20 年）工作，保证电机或电器的绝缘性能可靠并在运行中不会出现故障。

表 3-1 绝缘材料的耐热等级与极限温度

绝缘材料耐热等级	Y	A	E	B	F	H	C
极限工作温度 (C)	90	105	120	130	155	180	180 以上

各级绝缘材料通常有：

Y 级绝缘材料：棉纱、天然丝、再生纤维素为基础的纱织品，纤维素的纸、纸板、木质板等。

A 级绝缘材料：经耐温达 105℃ 的液体绝缘材料浸渍过的棉纱、天然丝、再生纤维素等制成的纺织品、浸渍过的纸、纸板、木质板等。

E 级绝缘材料：聚脂薄膜及其纤维等。

B 级绝缘材料：以云母片和粉云母纸为基础的材料。

F 级绝缘材料：玻璃丝和石棉及以其为基础的层压制品。

H 级绝缘材料：玻璃丝布和玻璃漆管浸以耐热 180℃ 的有机硅漆。



C级绝缘材料：玻璃、电瓷、石英等。

变压器所采用的绝缘材料通常有变压器油、电缆纸、电话纸、绝缘纸板、酚醛压制品、浸渍漆等。现分述如下：

纯净的变压器油的抗电强度可达 $200\sim 250\text{kV/cm}$ ，比空气的高 $4\sim 7$ 倍。因此用变压器油作绝缘可以大大缩小变压器体积。此外，油具有较高的比热和较好的流动性，依靠对流作用可以散热，即具有冷却作用。因为纸和纸板的原料丰富、价格便宜，机械强度高，浸油后耐压强度很高，故得到广泛的使用。

变压器中常用的电缆纸牌号为K-08、K-12，其厚度分别为 $0.08、0.12\text{mm}$ ，比重为 $0.7$ ，呈淡褐色，机械强度很高。K-12电缆纸未浸油前耐压强度为 $9\text{kV/cm}$ ，浸油后则为 $16\text{kV/cm}$ 。电缆纸多用作绕组的匝绝缘、层间绝缘、绕组端部加强绝缘，引线的绝缘则常用皱纹纸。

变压器常用的电话纸型号是DH-50，厚度为 $0.05\text{mm}$ ，比重为 $0.82$ 。用途和电缆纸相同，它还可加工成绝缘纸，代替黄蜡布包扎引线。

用于油中的绝缘纸板型号为DY-100/100，其厚度有 $0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0\text{mm}$ ，比重 $1.0$ ，浸渍后有较高的耐压强度，可用作绝缘筒、油道撑条、垫圈等。

酚醛压制品，是将单面或双面涂有酚醛树脂的上胶纸多层经过热压面成，如胶纸筒、胶纸板等。

变压器绕组需要浸漆处理以提高机械强度，一般采用1030醇酸漆浸渍。

此外，变压器中还用棉布带、木材等，用作固定和支撑用。

## 2. 绝缘结构

变压器的绝缘分为外绝缘和内绝缘两种：外绝缘指的是油箱外部的绝缘，主要是一次、二次绕组引出线的瓷套管，它构成了相与相之间和相对地的绝缘；内绝缘指的是油箱内部的绝缘，主要是绕组绝缘和内部引线的绝缘以及分接开关的绝缘等。

绕组绝缘又可分为主绝缘和纵绝缘两种。主绝缘指的是绕组与绕组之间、绕组与铁芯及油箱之间的绝缘；纵绝缘指的是同一绕组匝间以及层间的绝缘。引线和分接开关的主、纵绝缘之分如图3-18所示。变压器（110kV端部出线）的主纵绝缘结构见图3-19，其中静电环与角环的构造分别如图3-20与图3-21所示，相间隔板和铁轭绝缘如图3-22所示。

### （四）引线及调压装置

#### 1. 引线

引线是指连接各绕组、连接绕组与套管，以及连接绕组与分接开关的导线。引线要从绕组内部引出来，必然要从绕组之间、绕组与铁芯油箱壁之间穿过。因此必须保证引线对这些部分有足够的绝缘距离，如要缩小这些距离则引线的绝缘厚度应当增加。为不使沿着包扎绝缘的交接处发生沿面放电，交接处应做成圆锥面，以加长沿面放电的路径。引线如遇到尖角电极（如铁轭的螺钉），除保持一定的绝缘距离外，为改善引线和尖角电极间的电场，可以采用金属屏蔽使电场比较均匀。

#### 2. 无激磁调压装置

电压是电能质量指标之一，其变动范围一般不得超过额定电压值的 $\pm 5\%$ 。为了保证电压波动能在一定范围内，就必须进行调压。采用改变变压器的匝数进行调压就是一种方法。为了改变绕组匝数（一般是高压侧的匝数），常把绕组引出若干个抽头，这些抽头叫作分接

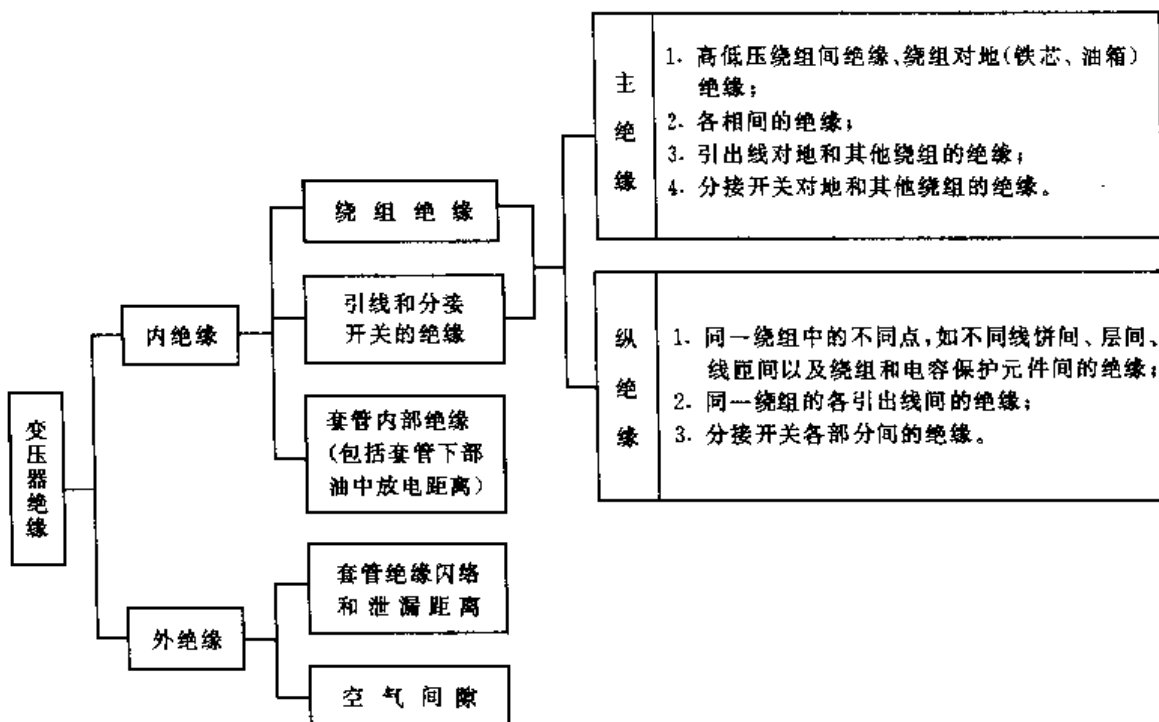


图 3-18 变压器绝缘的划分与含义

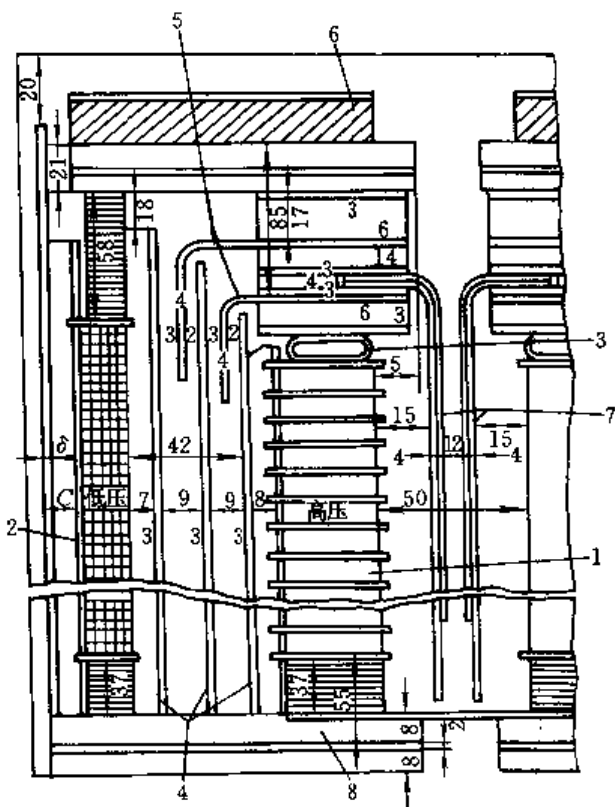


图 3-19 变压器的主、纵绝缘结构

1· 高压绕组; 2—低压绕组; 3—静电环; 4—绝缘纸筒;  
5· 角环; 6—压板; 7—相间隔板; 8—铁轭绝缘

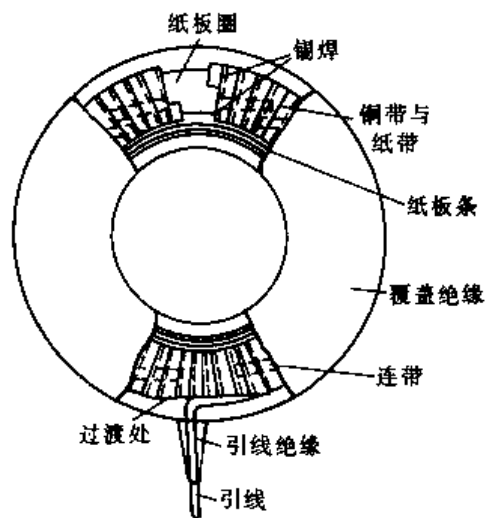


图 3-20 静电环的构造

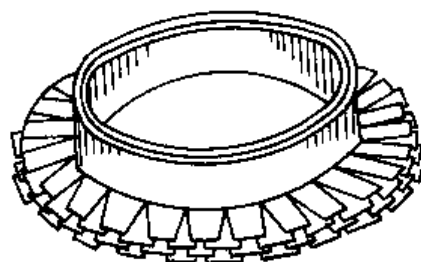


图 3-21 角环的构造

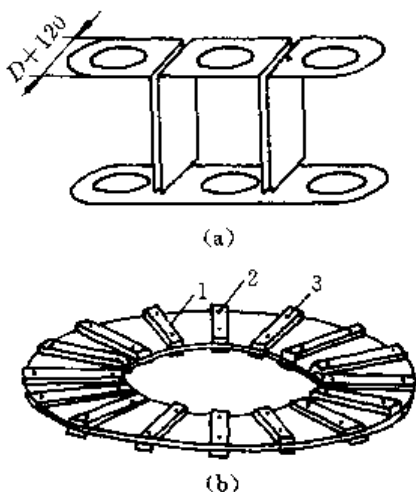


图 3-22 相间隔板和铁轭绝缘的构造  
(a) 相间隔板; (b) 铁轭绝缘  
1—绝缘纸圈; 2—绝缘垫块;  
3—绝缘铆钉

头。当用分接开关切换到不同的抽头时，便接入了不同的匝数。这种调压方式又分无激磁调压和有载调压两种。无激磁调压是指切换分接头时，必须在变压器不带电的情况下进行切换。切换用的开关称为无激磁分接开关；有载调压就是用有载分接开关，在保证不切断负载电流的情况下由一个分接头切换到另一个分接头。

无激磁调压分接开关的作用是在变压器的一次侧和二次侧均与网络开断的情况下，用以变换一次或二次绕组的分接，改变其有效匝数、进行分级调压。无激磁调压的范围及级数可参见 GB1094·1 的规定：

- (1) 容量为 6300kVA 及以下的高压线圈： $U_n \pm 5\%$ ；
- (2) 容量为 8000kVA 及以上，电压 35kV 及以上： $U_n \pm 2 \times 2.5\%$ ；电压 10kV： $U_n \pm 5\%$ ；
- (3) 三绕组变压器，电压为 35kV，中压或低压绕组： $U_n \pm 5\%$  或  $U_n \pm 2 \times 2.5\%$ 。

根据使用部门的要求，在调压范围和级数不变的情况下，允许增加负分接级数、减少正分接级数；例如  $(U_n) \pm 3 \times 2.5\%$ 。在  $-7.5\%$  和  $-10\%$  分接位置时，变压器的容量应较其额定容量分别降低  $2.5\%$  和  $5\%$ 。

无激磁调压的方法是从调压侧绕组抽出分接头进行的（见图 3-23）。小容量变压器一般有三个分接头，中间一个分接头相当于额定电压，其他两个分接头相当于额定电压改变  $\pm 5\%$ ；容量稍大的一般有 5 个分接头，相应的电压调节范围为  $U_e \pm 2.5\%$  和  $U_e \pm 5\%$ ，也记作  $U_e \pm 2 \times 2.5\%$ ，即每级的变化为  $2.5\% U_e$ 。对于三相中性点调压方式，连结  $X_1 Y_1 Z_1$  为  $+5\%$  级，即 I 分接；连  $X_2 Y_2 Z_2$  为额定电压，即 II 分接；连  $X_3 Y_3 Z_3$  为  $-5\%$  级，即 III 分接。要得到这样的连接，变压器分接头和分接开关接线图如图 3-24 (a) 所示，这时采用三相中性点调压分接开关。对于三相中部调压方式，如 A 相连结  $A_2 A_3$ 、 $A_3 A_4$ 、 $A_4 A_5$ 、 $A_5 A_6$ 、 $A_6 A_7$ ，可得  $U_e \pm 2 \times 2.5\%$  和额定电压等五个调压级。此时变压器绕组和分接开关接线图如图 3-24 (b) 所示，这时采用一个三相或三个单相的中部调压分接开关。因此，无激磁分接开关有以下几种：

(1) 三相中性点调压无激磁分接开关。图 3-25 为 10kV、60A 三相无激磁调压分接开关外形。绝缘盘 4 上有九个孔，以固定九个定触头 5（每相三个）形成三个分接位置。绕组分接头接

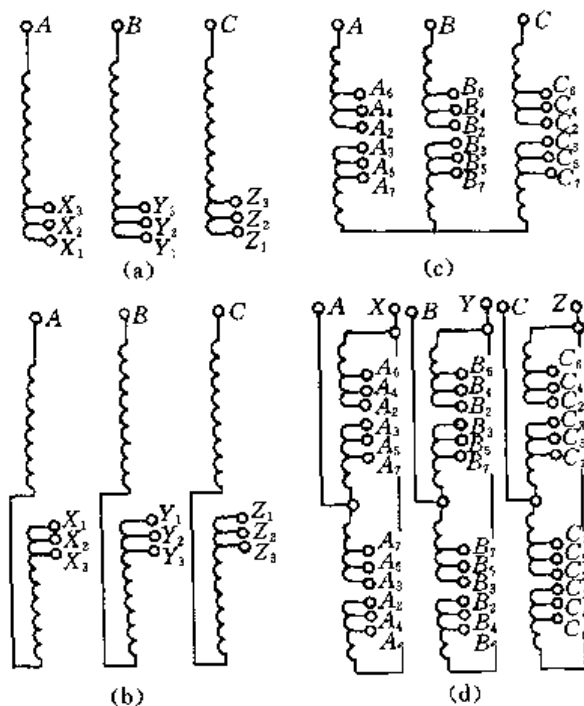


图 3-23 无激磁调压常用的绕组连接方式  
(a) 三相中性点调压; (b) 三相中性点反接调压;  
(c) 三相中部调压; (d) 二相中部并联调压

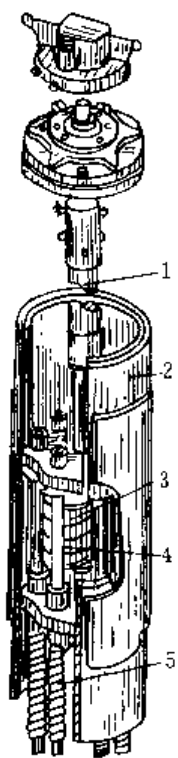


图 3-27 220kV500A

单相无激磁调  
压分接开关

- 1 操动杆; 2 绝缘筒;
- 3 动触头; 4 定触头;
- 5—电缆

柱内钎入分接引线 5。动触头 3 是由 5~8 个套于中间回转轴的小轴上的接触环构成。接触环内分别装有盘形弹簧。靠弹簧的压力,接触环和接触柱之间保持良好的接触。回转轴可转 5 个位置,在每个位置上接触环同时和两个接触柱接通,构成一个分接位置。

### 3. 有载调压开关

有载调压可分为平滑调压和有级调压两种。平滑调压如感应调压器、有滑动触点的自耦变压器等,它们可将电压进行大幅度连续调节,但材料消耗多、效率低,容量只能做到几十或至多几百 kVA,大多用在电工试验和科学实验方面。随着对供电质量要求的提高,很多用户是不允许停电的,因此分级有载调压变压器获得了日益广泛的应用。所谓分级有载调压就是从变压器绕组中引出若干分接头,通过有载分接开关,在保证不切断负载电流的情况下,由一个分接头“切换”到另一分接头,以变换绕组的有效匝数。采用这种调压方式的变压器,材料消耗少、变压器体积增加不多,可以制成很高的电压和很大的容量。

切换过程需要过渡电路,过渡电路有电抗式和电阻式两种。电抗式有载分接开关因体积大、消耗材料多,触头烧蚀严重已不再生产。这里主要介绍埋入变压器油箱或单独油箱内的电阻埋入型有载分接开关。电阻式的特点是过渡时间较短、循环电流的功率因数为 1,切换开关电弧触头的电寿命可由电抗式的 1 万~2 万次提高到 10 万~20 万次。但由于电阻是短时工作的,操作机构一经操作便必须连续完成。倘若由于机构不可靠而中断、停留在过渡位置,将会使电阻烧损而造成事故。如果选用设计合理的机构和优质材料,这个问题是可以解决的。

简单的有载调压原理电路如图 3-28 所示。在图 3-28(a)中,分接开关的两个触头  $K_1$  和  $K_2$  都和分接头 2 相接触,负载电流由分接头 2 输出。与触头  $K_1$  相串联的电阻  $R$  为限流电阻。而图 3-28(b)为触头  $K_1$  已切换到分接头 1 上,这时负载电流仍由分接头 2 输出。电阻  $R$  起限制循环电流的作用。若没有限流电阻则分接头 2 和 1 间的绕组将被触头  $K_2$  和  $K_1$  短路而引起巨大的短路电流。在图 3-28(c)中,触头  $K_2$  已离开分接头 2 而尚未达到分接头 1,负载电流由分接头 1 经触头  $K_1$  输出。在图 3-28(d)中触头  $K_2$  已切换至分接头 1。至此切换过程即全部结束。原来由分接头 2 输出的电流就改换为由分接头 1 输出,在整个切换过程中不停电。

在电流不大、每级电压不高时,让切换触头直接在各个分接触头上依次切换,这就是“直接切换式”有载分接开关,也称“复合型”或“单体型”有载分接开关。这种开关所有分接触头都要承担断开电流的任务,故触头上都需镶嵌耐电弧的铜钨合金,因此在容量较大、分接头较多时就不经济。此外复合型分接开关的尺寸随电压增高而迅速加大,因为电压高时切换空间要加大以保证断弧,故它不适用于大容量或高电压的情况。

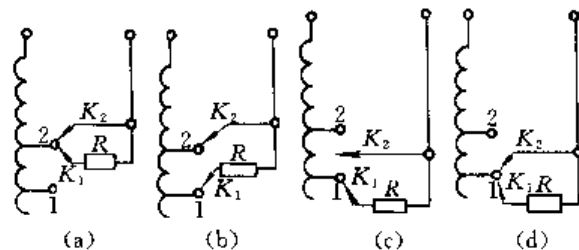


图 3-28 单电阻、单臂、有载调压电路示意图  
(a) 切换前; (b)  $K_1$  接到“1”上;  
(c)  $K_2$  离开“2”; (d) 切换后

为解决这个问题,通常是把切换电流的任务交由单独的切换开关来承担,这一单独部分称作选择开关。它的构造是把所有分接头分为两组,即单数组  $S_1$  和双数组  $S_2$ ,随着切换的过程,依次把相应的分接头连到切换开关触头  $S_1$  或  $S_2$  上。选择开关在此只作准备工作,将即刻要换接的分接头预先接通,然后切换开关才能切换(接通)到这个分接头上来。选择开关是不切换负载电流的,其触头表面也不需镶嵌铜钨合金,只有切换开关触头才镶嵌铜钨合金,这样的分接开关称组合型有载分接开关。有载调压分接开关通常由选择开关、切换开关和操作机构等部分组成。切换开关是专门承担切换负载电流的部分,它的动作是通过快速机构,按一定程序快速完成的。选择开关是按分接顺序,使相邻的即刻要换接的分接头预先接通,并承担连续负载的部分。它的动作是在不带电的情况下进行的。为满足这一要求,选择开关又分为单数的和双数的,两者分步动作。为了增大调压范围,有时选择开关可带有一个或几个范围开关,联接成正反调压、粗细调压等以增加调压级数。切换开关和选择开关,两者总称为开关本体,一般都安装在变压器油箱内。切换开关在切换负载电流时产生电弧,会使油质劣化,因此必须装在单独的绝缘筒内,使与变压器油箱内的油隔开。操作机构是使开关本体动作的动力源,它可以电动也可以手动。此外,它还带有必需的限动、安全联锁、位置指示、计数以及讯号发生器等附属装置。电动时操作机构是通过垂直轴、齿轮盒和水平轴等与开关本体相连的。通常,操作机构都是安装在变压器油箱外部的箱壁上。

电阻式有载调压分接开关按其切换开关和选择开关的组成方式,有组合型和复合型两种。复合型的开关中,切换开关和选择开关合并为一体称为选切开关,即选择开关兼有切换触头(见图 3-29)。有载调压分接开关由于操作频繁,一般要求机械寿命应保证至少 20 万次,电弧触头为钨铜镶嵌结构时,其电寿命应保证至少 2 万次。随着真空开关的推广使用,用真空开关作为切断开关可以显著增加允许的操作次数。

### 三、变压器油箱及其他装置

电力变压器结构中,除作为核心部分的器身外,尚有油箱及其他一些装置,否则它将无法正常地投入运行。

#### (一) 油箱与冷却装置

油浸式电力变压器的冷却方式,按其容量大小可分为油浸自冷、油浸风冷及强迫油循环风冷或水冷三类。其油箱(也叫箱壳)的结构与它的容量大小有关,通常可分为平顶及拱顶两种。平顶油箱的箱盖是平的,多用于 6300kVA 以下的变压器;拱顶油箱的箱沿设在下部,上节箱身做成钟罩形,多用于 8000kVA 以上的变压器。箱身做成椭圆形,它的机械强度较高,所需的油量也较少。油箱既是外壳,又是盛变压器油的容器,对于中、小

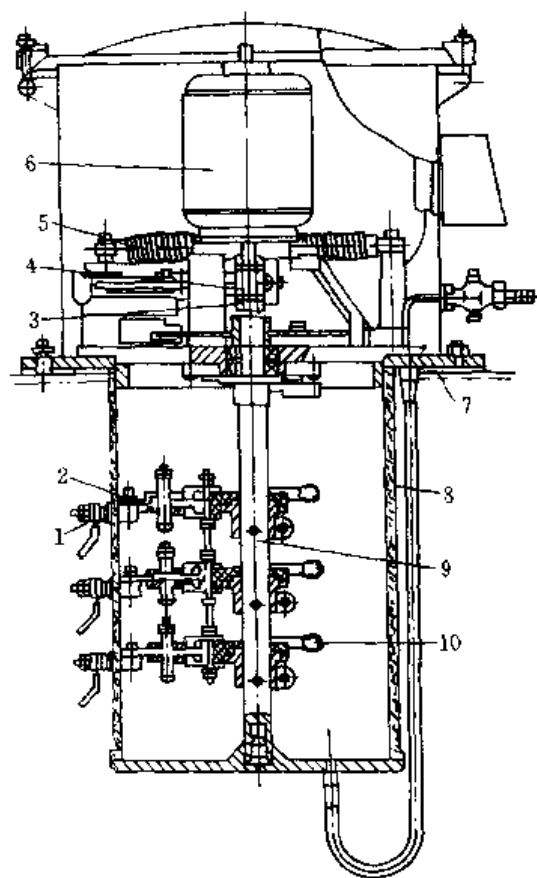


图 3-29 复合型有载分接开关

(三相 10kV、60A)

- 1—动触头; 2—定触头; 3—斜齿轮; 4—蜗杆;
- 5—弹簧; 6—电动机; 7—变压器箱盖; 8—绝缘筒;
- 9—选切开关轴; 10—限流电阻

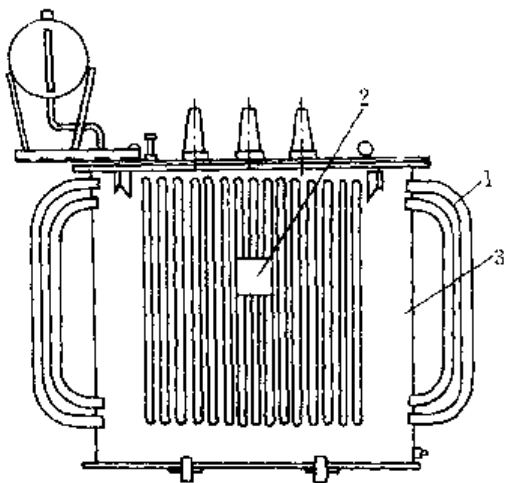


图 3-30 散热管式冷却的变压器  
1-扁管散热管；2-变压器铭牌；3-油箱

型变压器，油箱又是对外散热的冷却装置。变压器在工作时有能量损耗，损耗转变为热量，热量可以通过油箱表面及其他冷却装置散入大气。

对于 20kVA 以下的变压器，平顶油箱的散热面已足够。对容量稍大的变压器，为了扩大散热面积，需在油箱上装设圆管形或扁管形散热器。对于较大容量的变压器还需采用其他附加的冷却装置，如油浸风冷变压器在散热器上安装风扇，使空气流速加快，以增大散热能力。同一台变压器采用风冷，其容量可提高 30% 以上。大容量变压器有时采用油泵强迫变压器油循环，加快油流速度并将热油送入附加的风冷或水冷却器中冷却，使散热更容易。强迫油循环冷却是大型变压器常用的冷却方式，它一般可使容量增大 30%。

器身装在充满变压器油的油箱中，油箱用钢板焊成，呈椭圆桶状。容量小的变压器可用平面油箱，即油箱上不装设散热用的管子等冷却装置。容量稍大的变压器则采用管式油箱（见图 3-30），在它的箱壁上装有为增加散热面而用的管子。但冷却管的排数不能太多（不超过三排），再多则管子互相影响散热，冷却效率就低了。当满足不了散热要求时就要装散热器。每个散热器上均有两个集管器，管子都焊在集管器上，为使散热器与油箱连接，在油箱上设有特殊的带散热器油门的管头。当散热器油门关闭时，可以取下散热器，而不需放出变压器油箱内的油。散热管多用扁管，与圆管比较，相同的散热面可省油，这种自然冷却的变压器每一平方米冷却面积只能散出 500W 左右。散热容量更大时就要采用风冷、强迫油循环风冷或强油水冷。采用风冷散热器时（见图 3-31），若风速为 1~1.25m/s，则每平方米冷却表面的散热量可达 800W 左右；采用强迫油循环风冷时，如空气流速为 6m/s，油流量为 20~40m<sup>3</sup>/h 时，每平方米可散出热量 1000W；采用强油水冷却器、水流量为 12~25m<sup>3</sup>/h 及油流量为 25~80m<sup>3</sup>/h 时，每平方米可散出热量 10000W。强油冷却方式（见图 3-32 及图 3-33）的大部分油流通过箱壁和绕组之间的空隙，只有很少的油流通过绕组和铁芯表面。由于采用这种冷却方式时，变压器内部的温度分布是很不均匀的，所以近来采用强迫油循环导向冷却，就是在高、低压绕组和铁芯内部设有一定的油路，使进入油箱内的冷却过的油流全部通过绕组和铁芯的内部表面而流出。这样就可带走大量的热，改善了上、下热点的温差，提高了散热效率，故大容量变压器已普遍采用。

变压器大修时必须敞露器身，对于小容量变压器一般是吊出器身。对较大容量的变压器因器身较重，吊出时需重型设备，而一般变电所又不备有这种设备。为检修方便，凡器身重量大于 15t 的变压器都把油箱作成钟罩式，检修时只要把上节油箱吊起即可。即使是大型变压器，上节油箱一般仅 15t，这样就可采用一般的起吊设备。

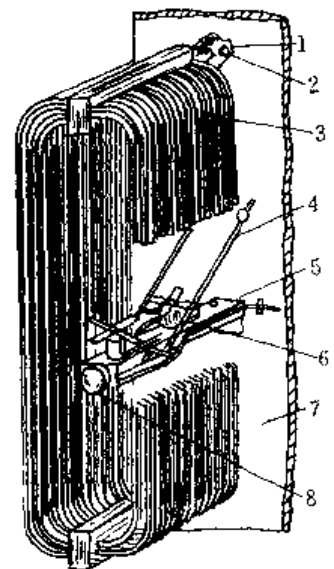


图 3-31 带风扇装置的扁管散热器

1-连管头；2-阀门；3-扁管散热器；4-拉杆；5-支座；6-风扇电动机；7-油箱壁；8-进线盒

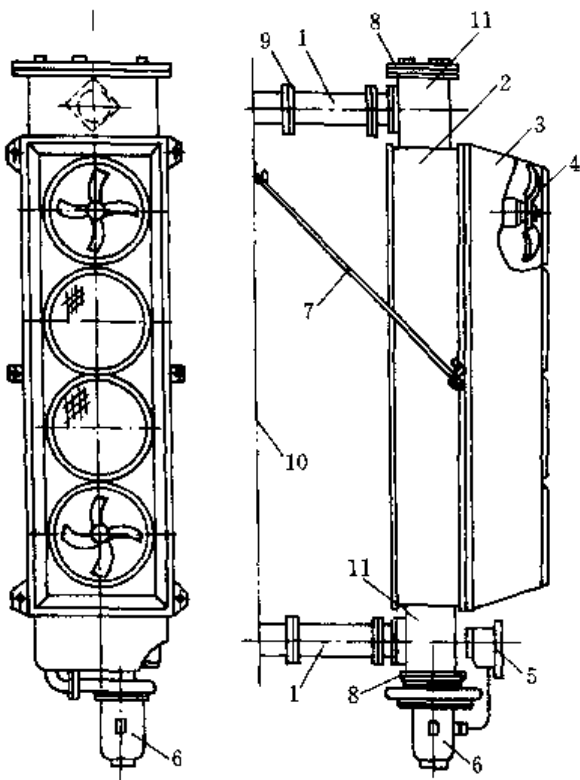


图 3-32 强迫油循环风冷式冷却器构造  
1—接管；2—冷却器；3—导风筒；4—冷却风扇；  
5—分控制箱；6—潜油泵；7—拉杆；8—端盖；  
9—蝶形阀；10—变压器；11—集油室

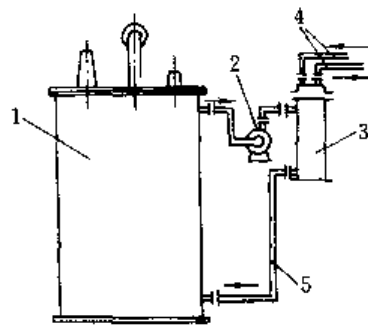


图 3-33 强迫油循环水

冷式冷却原理

1—变压器；2—潜油泵；3—冷油器；  
4—冷却水管道；5—油管道

变压器油箱由铁板制成，故引出线套管有交流电流过时，在套管穿过铁箱处附近会产生交变磁场、引起涡流而发热。因此大电流套管（800~3000A）要采取隔磁措施，即在油箱盖上的安装孔间焊有一段材料为不导磁的不锈钢，用以增加磁阻、减少涡流。

## (二) 变压器的保护装置

1. 储油柜（油枕）和吸湿器（呼吸器）

油枕是用钢板作成的圆桶形容器，它水平安装在变压器油箱盖上，用弯曲联管与油箱连接（见图 3-34）。油枕的一端装有玻璃油位指示计（油表），油枕容积一般为变压器所装油量的 8%~10%。若变压器不装油枕，油箱内的油面要在油箱盖以下，油温改变时油箱内油面要发生变化，油箱将排出部分空气或从大气中吸入部分空气，使油受潮和氧化，油及浸在其中的绝缘材料的电气强度便会降低。采用油枕后，油枕的油面比油箱内的油面小得

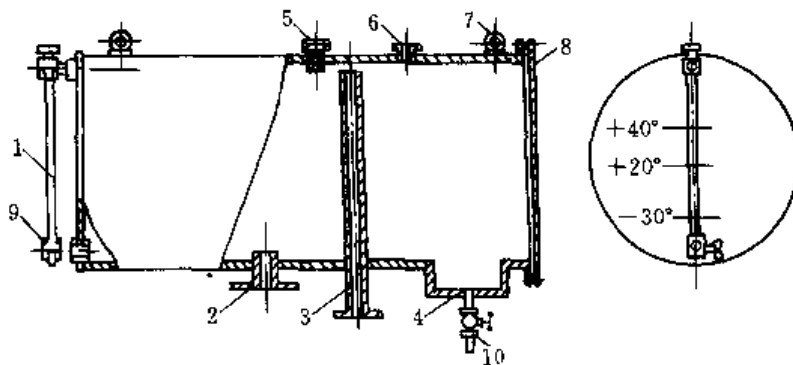


图 3-34 油枕的构造

1—油位计；2—气体继电器连通管的法兰；3—呼吸器连通管；  
4—集污盒；5—注油孔；6—与防爆管连通的法兰；  
7 吊攀；8 端盖；9、10 阀门

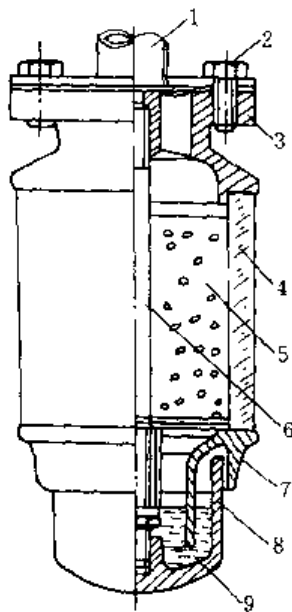


图 3-35 呼吸器的构造  
1—连接管；2—螺钉；3—法兰盘；4—玻璃管；5—硅胶；6—螺帽；7—底座；8—底罩；9—变压器油

多，使油与空气接触面积减少，从而减少了油受潮和氧化的可能性，且油枕内油的温度比油箱上部油温低得多，故油的氧化过程也较慢。油枕内的油几乎不和油箱内的油对流循环，因此从空气中吸入油中的水分，绝大部分会沉到油枕中的沉积器（集污盒）中而不进入油箱。此外，装设油枕后还能装用气体继电器。

为防止空气中的水分浸入油枕的油内，油枕是经过一个呼吸器（也称吸湿器）与外界空气连通的如图 3-35 所示。呼吸器内盛有能吸收潮气的物质（通常为硅胶），硅胶被氯化钴浸渍过后称为变色硅胶，它在干燥状况下呈蓝色，吸收潮气后渐渐变为淡红色，此时即表示硅胶已失去吸湿效能。如把吸潮后的硅胶在 140℃ 高温下烘焙 8h，使水分蒸发出去，则硅胶又会还原成蓝色而恢复吸湿能力。

大型变压器为加强绝缘油的保护，不使其与空气中的氧气接触以免氧化，常采用绝缘油不和空气直接接触的密封式油枕（如在油枕内增加隔膜或充氮等）。图 3-36 为我国制造的一种隔膜密封式油枕，油枕内装设了一个耐油的尼龙橡胶隔膜袋，隔膜袋内侧经过吸湿器与大气相通，外侧则与绝缘油接触。当变压器油箱内的油因温度升高而体积膨胀时，油枕内油面上升，压缩隔膜袋便向外排气。

反之，油枕内油面下降时隔膜袋外面的大气只进入隔膜袋内，而不与变压器油相接触，从而避免了氧化。在油枕的底部还装一个橡胶薄膜制的压油袋，这样可把油枕与油位计里的油隔开。

采用油枕内充氮保护时，要在变压器外部装设气囊，以满足吸气和排气的要求。

## 2. 防爆管

防爆管安装在变压器油箱盖上，作为油箱内部发生故障而产生过高压力时的一种保护，所以又称为安全气道。凡容量为 800kVA 及以上的油浸式变压器均

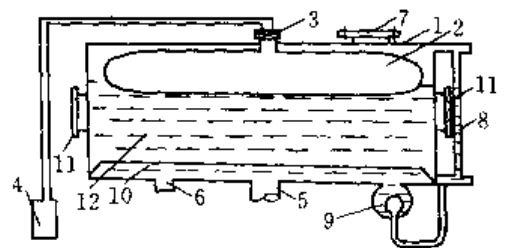


图 3-36 隔膜密封式油枕

1—油枕；2—隔膜袋；3—呼吸口；4—吸湿器；5—油箱联管；6—沉积器；7—注油孔；8—油位计；9—压油袋；10—护架；11—安装孔；12—变压器油

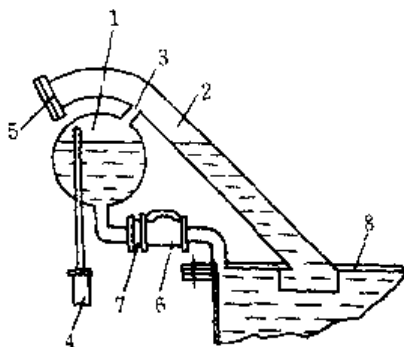


图 3-37 防爆管与变压器油枕间的连通

1—油枕；2—防爆管；3—油枕与安全气道的连通管；4—吸湿器；5—防爆膜；6—气体继电器；7—蝶形阀；8—箱盖

应设此装置。防爆管的主体是一个长形钢质圆筒，圆筒顶端装有胶木或玻璃膜片。变压器内部发生故障时，油箱里压力会升高，当达到一定限度时，变压器油和产生的气体将会冲破膜片向外喷出，因而减轻了油箱内压力，防止油箱爆炸或变形。

全密封变压器其膜片的破坏压力是  $0.75 \sim 0.85 \text{ kg/cm}^2$ ，自由排、吸气的变压器膜的破坏压力是  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ 。防爆管的高度总是稍高于油枕，为防止周围气温变化时防爆管上部的气体可能产生压力把膜片冲裂，故用连通管把防爆管上部与油枕上部连通（见图 3-37）。这样进入防爆管上部的空气便可进入油枕而与大气相连，避免了因温度变化而产生的压力增



温管 3,两者之间用金属软管 1 连接。测温管固定在油箱顶盖上的一个开口套筒内,套筒内注满了绝缘油,用管接头 2 连接测温管及金属软管。软管的另一端连到温度表的气压弹簧管,管内充满氯甲烷。当油温变化时,氯甲烷的压力也跟着变化,于是弹簧管变形而使表的指针 5 偏转,同时指示出相应的温度数值。信号温度计的表盘装在油箱的侧面,离地面高度约 1.5m。该温度计带有电接点,当温度上升到整定的数值时,接点接通并发出信号或自动启动冷却系统的控制装置。信号温度计的接点工作在 220V(交流电压)下时,其工作电流约为 0.25~0.3A。一般大型变压器还装有两只信号温度计,用以测量不同位置的上层油温。

#### 4. 净油器

净油器又称温差过滤器,它是改善运行中变压器油的性能,防止变压器油继续老化的装置(见图 3-41)。其主要部分是用钢板焊成的圆筒形净油罐 8,它安装在变压器油箱的一侧,罐内充满吸附剂(如硅胶)。变压器运行时由于上、下层油之间的温差,变压器油将从上向下经过净油器形成对流,油与吸附剂接触后其中的水分、渣滓、酸和氧化物等均被吸附剂吸收,从而使油质保持清洁,延长了油的使用年限。净油器的底部有放油塞 6,上部有放气塞 5。为了便于更换吸附剂,容器的上、下盖板都作成可拆卸的,同时在油管道的上、下端都装有平板式油阀 2。只要关闭阀门,隔断净油器与油箱的油路,便可放出净油器内的存油,拆开上、下盖板后即可更换吸附剂。

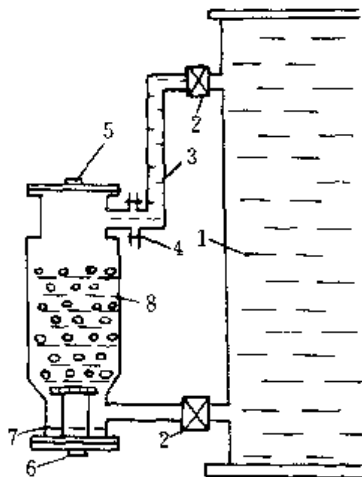


图 3-41 净油器

1—油箱; 2—油阀门; 3—连管;  
4—联结法兰; 5—放气塞; 6—放油塞; 7—集污器; 8—净油罐

#### 5. 气体继电器

安装于油箱和油枕间的连通管上,作为变压器运行时内部故障的一种保护。规程规定凡容量为 800kVA 及以上的油浸式变压器和 400kVA 及以上的厂用变压器,应设此附件。

它的作用是当变压器油位下降或内部发生短路故障并伴随产生气体时,给值班人员发出报警信号或切断电源以保护变压器,不使故障扩大。在检查故障情况时,还可透过气体继电器玻璃窗口观察分解出的气体颜色及数量,在气体继电器上部排气阀口还能取出气样进行分析,用以判断变压器内部故障的性质与情况。

#### (三) 变压器的出线装置

变压器的套管是将变压器绕组的高、低压引线引到油箱外部的绝缘装置,它是引线对地(外壳)的绝缘,同时又担负着固定引线的作用。因此,必须具备规定的电气强度、足够的机械强度及良好的热稳定性,此外还要求外形小、重量轻、密封性能好和便于继护检修等。变压器套管有纯瓷套管、注油式套管和电容式套管等多种。3~10kV 配电变压器的高压侧都是用纯瓷充气式绝缘套管,它是在瓷套管中穿过一根导电铜杆,瓷套内为空气绝缘;35kV 级变压器则广泛应用瓷套管内充油式绝缘套管,它也是在瓷套管内穿过一根导电铜杆,铜杆外包上几层绝缘纸,然后在套管内充以变压器油。以前常用上述两种结构形式的套管,但由于其顶部帽盖和中段安装法兰与瓷套之间的固定与密封,都是用水泥作为胶合剂粘结起来而实现的,使用日久在胶合处常会发生渗漏油现象,故现已改为拆装的夹瓷式套管。日前在 35kV 及以下的各种变压器上使用的套管,基本结构都是相同的,不同的只是瓷套的瓷伞数有所差别。现分述如下。

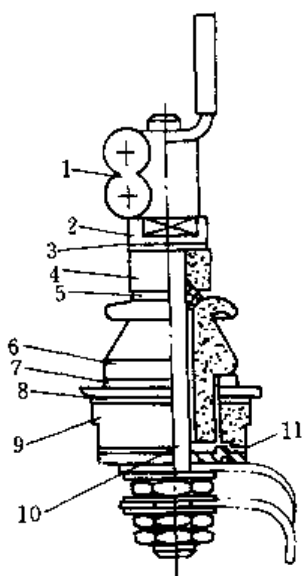


图 3-42 电流为 800~1200A 的复合式套管

1—接线头；2—圆螺母；3—衬垫；4—瓷盖；5—封环；6—上瓷套；7—密封垫圈；8—纸垫圈；9—下瓷套；10—导电杆；11—纸垫圈

### 1. 纯瓷套管

纯瓷套管分为以下三种：

(1) 复合瓷绝缘式套管。简称复合式套管，用于额定电压 1kV 及以下、额定电流为 300~3000A (见图 3-42)。套管由上瓷套和下瓷套组成绝缘部分，上瓷套作为径向绝缘和气侧轴向绝缘，下瓷套作为油侧轴向绝缘 (对油浸式变压器)。导电杆穿过瓷套的中心并利用导杆下端焊上的定位件和上端的螺母将上下瓷套串压在变压器箱盖上。这种固定方法很简单，只需在变压器箱盖上开一安装孔即可。纸垫圈起缓冲作用，避免在安装压紧时下瓷套受力过于集中而损坏。在纸垫圈一侧开有一个约 5mm 宽的缺口，使变压器油能渗入瓷套内腔，提高瓷套的散热效果。

导电杆即为变压器的引出线，导电杆直径和套管尺寸随额定电流的增大而增大。套管上部接线头，凡 600A 及以下的为杆式结线，800~3000A 的用板式结线；套管下部接线头，当电流为 600~1000A 时采用杆式，以一件软接线片接线，1200A 的采用二件软接线片，电流大于 2000A 时则用板式接线。

由于其外瓷套外形较大，所以只用于 400V 低压，当电压较高时就得采用单体瓷绝缘式。

(2) 单体瓷绝缘式套管分导杆式及穿缆式两种 (见图 3-43)。在 20kV 及以下电压等级中应用很广。

单体瓷绝缘只有一个瓷套，瓷套中部有固定台以便卡装在变压器箱盖上，现多用压钉方式固定。额定电压为 10kV 及以下时有 2 个瓷伞，15kV 时有 3 个瓷伞。穿缆式瓷套上部孔中有两个缺口构成一个导电杆固定槽，它与导电杆上铸出的两个短棒 (叫做凸台) 相吻合，以免拧紧螺母时导电杆随之转动。导杆式瓷套下部也有类似的固定槽，做为卡入导电杆的下部固定件。

穿缆式的下端比导杆式的短，在钟罩式油箱上使用很方便，因为不需要在套管附近设置安装用的手孔。导杆式的用于钟罩式油箱时一定要设置安装孔。导杆型单体瓷绝缘套管当电流大于 600A 时，头部设有排气孔，使套管的内腔能充满变压器油，以增加套管散热效果，提高绝缘性能，此时变压器油枕的最低油面应高于套管顶端。

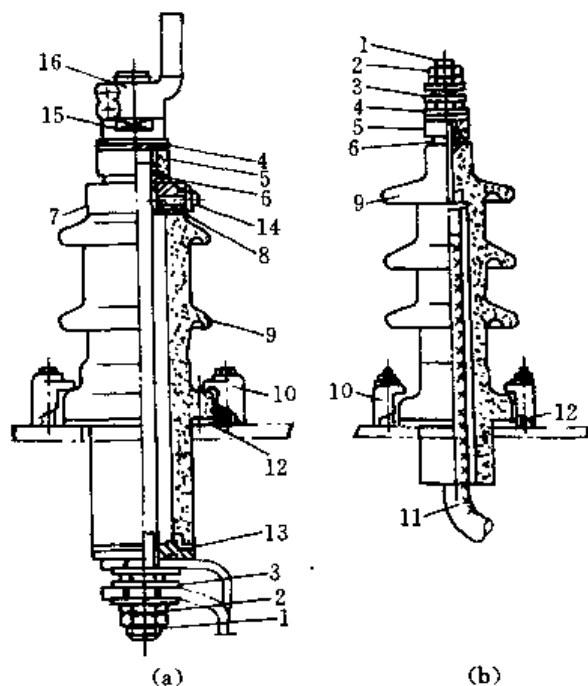


图 3-43 单体瓷绝缘式套管

(a) 导杆式 BD-10-15/800~1000；  
(b) 穿缆式 BJL-10-15/50~275

1—导电杆或电缆接头；2—螺母；3—垫圈；4—衬垫；5—瓷盖；6—封环；7—罩；8—密封垫圈；9—瓷套；10—压钉；11—电缆；12—密封垫圈；13—衬垫；14—放气塞；15—圆螺母；16—接线头

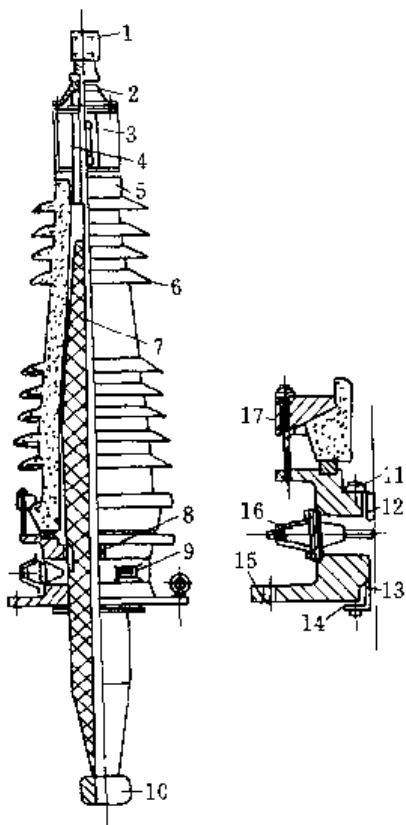


图 3-46 110kV600A 分段卡装式胶纸电容式套管

1—接线头；2—放气塞和罩；3—储油柜；4—卡紧螺栓；5—密封垫圈；6—瓷套；7—胶纸电容芯子；8—取油样塞子；9—铭牌；10—均压球；11—法兰；12—锥形环；13—封环；14—压圈；15—安装法兰；16—接地套管（测量端子）；17—压圈（或压钉）

沈阳变压器厂制造      变 压 器

型号       标准

额定容量  kVA      额定频率  Hz

额定电压  kV

额定电流  A      相数      3

连接组标号 YN,d11

阻抗电压  %

冷却方式 ONAN      使用条件 户外式

器身吊重  kg      油重  kg

运输重  kg      总重  kg

绝缘水平 LI75 AC35/AC35

高 压		分接位置	分接连接		
电压(V)	电流(A)		A	B	C
<input type="text"/>	<input type="text"/>	1	A <sub>2</sub> -A <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> -B <sub>3</sub>	C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	2	A <sub>3</sub> -A <sub>4</sub>	B <sub>3</sub> -B <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	3	A <sub>4</sub> -A <sub>5</sub>	B <sub>4</sub> -B <sub>5</sub>	C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	4	A <sub>5</sub> -A <sub>6</sub>	B <sub>5</sub> -B <sub>6</sub>	C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	5	A <sub>6</sub> -A <sub>7</sub>	B <sub>6</sub> -B <sub>7</sub>	C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>

出厂序号        年  月 出品

图 3-47 电力变压器的铭牌

其他：O—全绝缘；L—铝线圈或防雷；O—自耦（在首位时表示降压自耦，在末位时表示升压自耦）；Z—有

载调压；TH—湿热带（防护类型代号）；TA—干热带（防护类型代号）。

## 2. 相数和额定频率

变压器分单相和三相两种。一般均制成三相变压器以直接满足输配电的要求。小型变压器有制成单相的，特大型变压器做成单相后组成三相变压器组，以满足运输的要求。

变压器的额定频率是指所设计的运行频率，我国规定为 50Hz（常称“工频”）。频率（在电源电压不变的情况下）对变压器技术参数的影响如表 3-2 所示。

表 3-2 电源频率  $f$  与变压器性能数据的关系

性能数据	与电源频率 $f$ 的关系	频率由 50Hz 变为 60Hz
空载电流 无功分量 ( $I_{0r}$ )	$I_{0r} \propto f B_c^2 \quad (B_c \text{ 磁通密度})$ $\text{而 } B_c = \frac{e_r \times 10^3}{4.44 A_r} \cdot \frac{1}{f} = \frac{k_1}{f}$ $\text{所以 } I_{0r} \propto f B_c^2 = k_1^2 / f$	与频率成反比，空载电流主要是无功分量，故空载电流降低到 $50/60=0.834$ 倍
空载损耗 ( $P_0$ )	$P_0 = k_{10} f^{1.3} B_c^2$ $\text{而 } B_c = k_2 / f$ $\text{所以 } P_0 = k_{10} f^{1.3} (k_2 / f)^2 \propto f^{-0.7}$	与频率 -0.7 次方成正比，空载损耗降低到 $(60/50)^{-0.7}=0.88$ 倍

续表

性能数据	与电源频率 $f$ 的关系	频率由 50Hz 变为 60Hz
电抗值 ( $X$ )	$X \propto f$ (由其计算公式得)	与频率成正比, 电抗值增加到 $60/50=1.2$ 倍
负载损耗 ( $P_f$ )	负载损耗中占 70% 的电阻损耗与频率无关, 而占 30% 的涡流和杂散损耗与频率 $f^2$ 成正比	负载损耗增加到 1.12 倍, 即 $P_{f60} = 70\%P_f + (60/50)^2 \times 30\%P_f$ $= 112\%P_f$
温升和输出容量	空载损耗随频率增加而降低, 负载损耗则增加, 负载损耗大, 所以总损耗也增加	总损耗增加, 温升增加, 输出容量降低

### 3. 额定容量 ( $S_N$ )

额定容量是制造厂所规定的在额定工作状态 (即在额定电压、额定频率、额定使用条件下的工作状态) 下变压器输出的视在功率的保证值, 以 kVA 表示。对于三相变压器的额定容量, 是指三相容量之和; 对于双圈变压器, 其额定容量以变压器每个绕组的容量表示 (双绕组变压器两侧绕组容量是相等的); 对于三绕组变压器, 中压或低压绕组容量可以为 50% 或 66.7%  $S_N$  (其中之一也可为 100%)。因此额定容量通常是指高压绕组的容量; 当变压器容量因冷却方式而变更时, 则额定容量是指它的最大容量。

变压器额定容量的大小对变压器的结构和性能参数的影响很大。容量越大, 变压器的铁芯直径、线性尺寸、重量和损耗等的相对值便越小, 也就越经济。变压器额定容量的大小与电压等级也是密切相关的。电压低、容量大时电流就大, 损耗也便增大; 电压高、容量小时因绝缘比例过大, 变压器的尺寸相对也就增大。因此电压低的容量必然小, 电压高的容量必定大。电压等级与额定容量的关系如表 3-3 所示。

表 3-3 电力变压器高压电压等级与容量的关系

电压等级 (kV)		6、10	35	63	110	220
额定容量 (kVA)	无励磁调压	30~1600 <sup>①</sup> 或 630~6300	50~1600 <sup>①</sup> 或 800~31500	630~63000	6300~120000 或 6300~63000 <sup>②</sup>	31500~360000 或 31500~240000 <sup>③</sup>
	有载调压	200~1600	2000~12500	6300~63000	6300~63000	31500~180000 或 31500~240000 <sup>④</sup>

- ① 为配电变压器;
- ② 低压为 35kV 或二绕组变压器;
- ③ 低压为 63kV、三绕组或自耦变压器;
- ④ 中性点死接地变压器。

由表 3-3 可见按国内传统习惯, 电力变压器也可按其额定容量大致分为: 小型变压器 ( $\leq 1600$ kVA)、中型变压器 (1600~6300kVA)、大型变压器 (8000~63000kVA) 和特大型变压器 ( $> 63000$ kVA)。

按国家标准, 三相或三相组变压器的额定容量分为以下三个标准类别: 第 I 类小于 3150kVA; 第 II 类 3150~4000kVA; 第 III 类 4000kVA 以上。

### 4. 额定电压 ( $U_N$ )

变压器的额定电压就是各绕组的额定电压, 是指额定施加的或空载时产生的电压。一

次额定电压  $U_{1N}$  是指接到变压器一次绕组端点的额定电压值；二次额定电压  $U_{2N}$  是指当一次绕组所接的电压为额定值、分接开关放在额定分接头位置上，变压器空载时二次绕组的电压（单位为 V 或 kV）。三相变压器的额定电压指的均是线电压。

一般情况下在高压绕组上抽出适当的分接头，因为高压绕组或其单独调压绕组常常套在最外面，引出分接头方便；其次是高压侧电流小，引出分接引线和分接开关的载流部分截面小，分接开关接触部分容易解决。若是升压变压器则在二次侧调压，此时磁通不变为恒磁通调压；降压变压器因在一次侧调压其磁通改变，为变磁通调压。

降压变压器在电源电压不为额定值时，可通过高压侧的分接开关接入不同位置来调节低压侧电压。用分接电压与额定电压偏差的百分数表示则为：

(1) 对于无励磁调压变压器：①容量在 6300kVA 及以下的变压器绕组  $U=U_N \pm 5\%$  或  $U=U_N^{+0-2 \times 2.5\%}$ ；②容量在 8000kVA 及以下的高压绕组为  $U=U_N \pm 5\%$  或  $U=U_N \pm 2 \times 2.5\%$ ；③三圈变压器的中压绕组为  $U=U_N \pm 5\%$ 。如为  $\pm 5\%$  的，有三档调节位置，即： $+5\%$ ， $\pm 0\%$ ， $-5\%$ 。如为  $\pm 2 \times 2.5\%$  的，有五档调节位置，即： $+5\%$ ， $+2.5\%$ ， $\pm 0\%$ ， $-2.5\%$ ， $-5\%$ 。

(2) 对于有载调压变压器：①电压为 110kV 及以下的高压绕组为  $U=U_N \pm 3 \times 2.5\%$ ；②电压为 220kV 的高压绕组为  $U=U_N \pm 4 \times 2.5\%$ 。

电力变压器标准调压范围和调压方式如表 3-4 所示。

表 3-4 电力变压器标准调压范围和方式

方式	额定电压和容量	调压范围	分接级	级数	调压型式	分接开关
无励磁调压	35kV、8000kVA 或 63kV、6300kVA 以下	$\pm 5\%$	5%	3	中性点调压	中性点调压分接开关
	35kV、8000kVA 或 63kV、6300kVA 及以上	$\pm 2 \times 2.5\%$	2.5%	5	中部调压	中部调压分接开关
有载调压	10kV 及以下	$\pm 4 \times 2.5\%$	2.5%	9	中性点线性调压	选择开关或有载分接开关
	35kV	$\pm 3 \times 2.5\%$	2.5%	7		
	63kV 及以上	$\pm 8 \times 1.25\%$	1.25%	17	中性点线性、正反或粗细调压	有载分接开关

上述  $U_N$  指电网（线路）额定电压（kV）， $U$  为相应各分接位置的工作电压（kV）。同时应注意：①升压变压器的高压绕组作为送电端，其额定电压较电网额定电压高 10%，即 220kV 电网升压变压器为 242kV，110kV 电网为 121kV；降压变压器高压绕组为受电端，它与电网额定电压相同。②变压器能在 105% 的额定电压下输出额定电流，这是因为 5% 过电压下的较高空载损耗引起的温升稍增可略去不计。对于特殊的使用情况（如变压器的有功功率可在任何方向流通），用户可在不超过 110% 的额定电压下运行。因此变压器铁芯的磁通密度选取值要偏低，以防止过励磁。

#### 5. 额定电流 ( $I_{1N}$ 、 $I_{2N}$ )

变压器一、二次额定电流是指在额定电压和额定环境温度下使变压器各部分不超温的一、二次绕组长期允许通过的线电流，单位以 A 表示。或者说它是由绕组的额定容量除以该绕组的额定电压及相应的相系数（单相为 1，三相为  $\sqrt{3}$ ）而算得的流经绕组线端的电流。

因此，变压器的额定电流就是各绕组的额定电流，且显然是指线电流并以有效值表示。对若是组成三相组的单相变压器且绕组为三角形连接，则绕组的额定电流是线电流再除以 $\sqrt{3}$ 。

变压器在额定容量下运行时，绕组的电流定为额定电流。参照国际电工委员会 IEC 标准《油浸变压器负载导则》变压器可以过载运行：凡三相变压器额定容量不超过 100MVA（单相为 33.3MVA）时，可有负载率不大于 1.5（负载电流/额定电流）的偶发性过载，容量更大时可有负载率不超过 1.3 的偶发性过载。

## 6. 阻抗电压

阻抗电压也称短路电压（ $u_z\%$ ），它表示变压器通过额定电流时在变压器自身阻抗上所产生的电压损耗（百分值）。用试验求取的方法为：将变压器二次侧短路，在一次侧逐渐施加电压，使电流达到额定值，这时一次侧测得的电压  $U_z$  便为阻抗电压；显然对于多绕组变压器，则有任意一对绕组间所组合成的  $U_z$ 。通常阻抗电压以对额定电压之比的百分数表示，即  $u_z\% = (U_z/U_N) \times 100\%$ ，且应折算到参考温度：对 A、E、B 绝缘级的变压器，参考温度取 75℃；对其他等级的则取 115℃；强迫导向油循环时为 80℃。

阻抗电压大小与变压器的制造成本、技术性能、系统稳定性及供电质量等均有关，电力变压器的标准阻抗电压如表 3-5 所示。

表 3-5 双绕组变压器的标准阻抗电压

电压等级 (kV)	6~10	35	63	110	220
阻抗电压 ( $u_z\%$ )	4~5.5	6.5~8	8~9	10.5	12~14

可见阻抗电压是变压器的一项重要参数。两台变压器能否并列运行，并列条件之一就是要求阻抗电压相等；电力系统短路电流计算时，也必须用到阻抗电压。如果阻抗

电压太大，会使变压器本身的电压损失增大，且造价也增高；阻抗电压太小，则变压器出口短路电流过大，要求变压器及一次回路设备承受短路电流的能力也加大。因此选用变压器时，要慎重考虑短路电压的数值，一般是随变压器容量的增大而稍提高短路电压的设计值。

变压器负载运行时，由于存在阻抗电压，其二次电压将会随着负载电流和负载功率因数的改变而变化。变压器的电压调整率即为二次空载电压  $U_{2N}$  和二次负载电压  $U_2$  之差、与二次空载电压比值的百分数，即

$$\varepsilon\% = (U_{2N} - U_2)/U_{2N} (\%)$$

对于某台变压器来讲，其阻抗电压是一定的，若负载变化不大，则电压调整率主要是与负载功率因数有关。电压调整率是衡量变压器供电质量好坏的重要数据。

## 7. 空载电流 ( $I_0$ )

变压器一次侧施加（额定频率的）额定电压，二次侧断开运行时称为空载运行，这时一次绕组中通过的电流称空载电流，它主要仅用于产生磁通，以形成平衡外施电压的反电动势，因此空载电流可看成也就是励磁电流。变压器容量大小、磁路结构和硅钢片的质量好坏，是决定空载电流的主要因素，铁芯接缝间隙的大小也会影响空载电流。变压器若发生铁芯故障、致使绕组匝间短路时，便会使空载电流增大。

严格讲空载电流  $I_0$  中，其较小的有功分量  $I_{0a}$  用以补偿铁芯的损耗，其较大的无功分量

$I_{0r}$ 用于励磁、以平衡铁芯的磁压降。空载电流  $I_0 = \sqrt{I_{0r}^2 + I_{0w}^2}$  (单位为 A)，且它通常以对额定电流之比的百分数表示，即  $i_0\% = (I_0/I_N) \times 100$ 。它一般为 1%~3%，变压器容量越大，空载电流百分值便越小。

空载电流的无功分量  $I_{0r}$ 是励磁电流。由于  $I_{0r}$ 与铁芯中磁通的关系是非线性的，所以  $I_{0r}$ 的波形是含有奇次谐波的非正弦波形，各次谐波的大小通常如表 3-6 所示。

表 3-6 励磁电流的谐波分量(%)

谐波分量	冷轧电工钢片
基波	100
3次谐波	40~50
5次谐波	10~25
7次谐波	5~10
9次谐波	3~6
10次谐波	1~3

空载合闸电流是当变压器空载合闸到线路时，由于铁芯饱和而产生的数值很大的励磁电流，故也常称励磁涌流。空载合闸电流大大地超过稳态的空载电流  $I_0$ ，甚至可达到额定电流的 5~7 倍。空载合闸电流与合闸时铁芯的剩磁  $\Phi_r$  及电压相角  $\psi$  有关。合闸时  $\psi=0$ ， $\Phi_m$  在半波内能变化到  $2\Phi_m$ 。有同向剩磁  $\Phi_r$  时将增加到  $2\Phi_m + \Phi_r$ ，空载合闸电流

更为严重(见图 3-48)。变压器容量越大，其持续时间越长，可达 5~10s。在三相变压器中总有一相要产生这种“过渡”现象，不过现差动继电器已可不再因空载合闸而误动作。

### 8. 空载损耗 ( $P_0$ )

空载电流的有功分量  $I_{0w}$ 为损耗电流，由电源所汲取的有功功率称空载损耗  $P_0$ 。忽略空载运行状态下一次绕组的电阻损耗时可称为铁损，因此空载损耗主要决定于铁芯材质的单位损耗。可见变压器在空载状态下的损耗主要是铁芯中的磁滞损耗和涡流损耗(此时，由通电绕组导线引起的铜损很小，常可忽略)。因此空载损耗也叫铁损(单位为 W 或 kW)，它表征了变压器(经济)性能的优劣；变压器投运后，测量空载损耗的大小与变化，可以分析变压器是否存在铁芯缺陷。

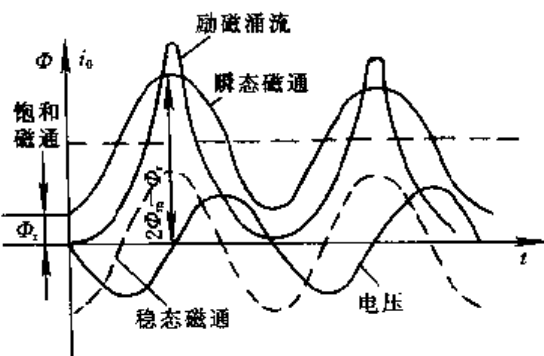


图 3-48 空载合闸电流波形图

9. 短路损耗也称负载损耗 ( $P_T$ )

### 9. 短路损耗也称负载损耗 ( $P_T$ )

短路损耗变压器二次侧短接、一次绕组通过额定电流时变压器由电源所汲取的(亦即消耗的)功率(单位为 W 或 kW)。严格地讲，负载损耗=最大一对绕组的电阻损耗+附加损耗(负载损耗也要折算到参考温度)。其中，附加损耗包括绕组涡流损耗、并绕导线的环流损耗、结构损耗和引线损耗；而电阻损耗也称铜损或铜耗，即铜损是指变压器绕组导线电阻所引起的损耗。因此时电压低、铁芯磁通密度小，铁损可忽略不计，因此短路损耗又叫铜损。它同样也表征变压器(经济)性能的优劣，而且通过对短路损耗的测量，可以检查修理后变压器绕组的结构与性能是否完好。

变压器的空载损耗和负载损耗与额定容量和额定电压的关系分别如图 3-49 和图 3-50 所示。

### 10. 连接组别

表示变压器各相绕组的连接方式和一、二次线电压之间的相位关系。符号顺序由左至

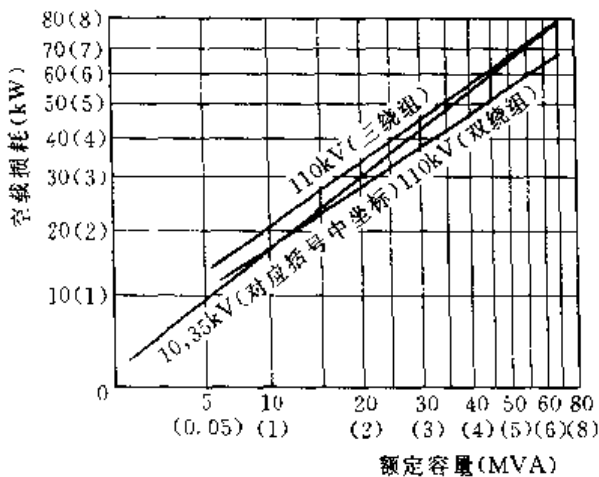


图 3-49 变压器空载损耗与容量和电压的关系

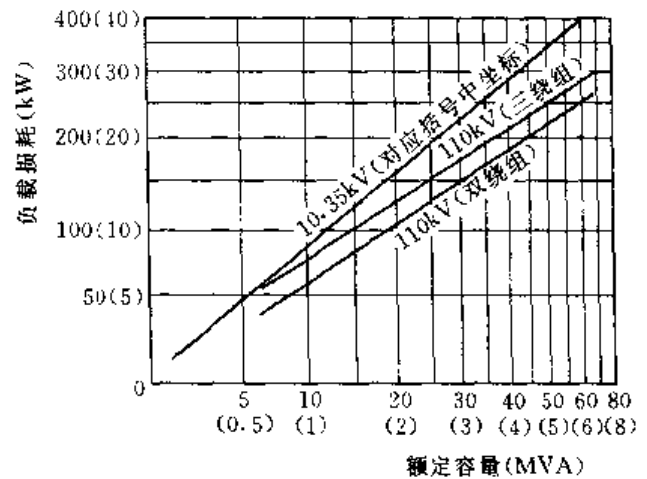


图 3-50 变压器负载损耗与容量和电压的关系

右各代表一、二次绕组的连接方式，数字表示两个绕组的联结组号。

### 11. 冷却方式

表示绕组及箱壳内外的冷却介质和循环方式，即变压器的冷却方式是由冷却介质种类及其循环方式来标志。如“油浸风冷”，表示绕组的冷却介质是矿物油，箱壳外的散热器上装有风扇，进行吹风冷却。冷却介质种类和循环种类的字母代号如表 3-7 所示。

冷却方式常由 2 或 4 个字母代号标志，依次为线圈冷却介质及其循环种类；外部冷却介质及其循环种类。冷却方式的代号标志及其应用范围如表 3-8 所示。

### 12. 温升

温升一般是指变压器的运行温度与周围环境实际温度之间的差值；温升允许值则是指变压器在额定条件下运行时，其实际（测量）温度超出环境温度的最大允许值。温升允许值的大小取决于变压器所使用的绝缘材

表 3-7 冷却介质种类与循环方式的字母代号

冷却介质种类	矿物油或可燃性合成油	O
	不燃性合成油	L
	气体	G
	水	W
	空气	A
循环种类	自然循环	N
	强迫循环（非导向）	F
	强迫导向油循环	D

表 3-8 冷却方式标志及适用范围

冷却方式	代号标志	适用范围
干式自冷式	AN	一般用于小容量干式变压器
干式风冷式	AF	绕组下部设有通风道并用冷却风扇吹风，提高散热效果，用于 500kVA 以上变压器时是经济的
油浸自冷式	ONAN	容量小于 6300kVA 变压器采用，维护简单
油浸风冷式	ONAF	容量在 8000~31500kVA 变压器采用
强油风冷式	OFAF	用于高压大型变压器
强油水冷式	OFWF	

注 强油导向风冷或水冷式分别标志为 ODAF 或 ODWF。



料等级。

### 13. 使用条件

是指制造厂规定变压器安装和使用的环境条件，如户内、户外、海拔、湿热带等（海拔 1000m 以上称为高海拔地区，需加强绝缘）。

此外，铭牌上还标明有总重、器身重、油重（变压器油重约占总重的 25%~30%，电压高、容量大时，油重比例还稍偏大些）、绝缘材料等级、产品代号、产品序号及制造年月等，以利于电力变压器的选择、安装和维修。

## 五、容量规范和各型变压器性能

### 1. 容量规范

电力变压器的额定容量规范有两个系列，即 R8 系列和 R10 系列。

R8 系列是指变压器容量等级之间按  $\sqrt[3]{10} \approx 1.33$  的倍数增加的老系列（沿用前苏联标准）。对于 10kV 配电变压器，该系列的额定容量取上述关系的近似整数，分别为 30、50、75、100、180、240、320、500、750kVA 及 1000kVA 等，早年生产的变压器都采用该系列，现已废止不用。

R10 系列是指其容量等级间按  $\sqrt[10]{10} \approx 1.26$  的倍数增加的新系列。10kV 配电变压器的容量等级分别为 30、40、50、63、80、100、125、160、200、250、315、400、500、630、800kVA 及 1000kVA 等。

由于 R10 系列是国际电工委员会确定的国际通用的标准容量系列，其特点为容量等级较密、选用方便，故为我国新的国家标准所认定，现已广泛采用。

### 2. 各型变压器的技术性能

我国自 20 世纪 60 年代以来生产了多种系列与型号的电力变压器。除按 GB500—64 标准生产的高能耗变压器（已明令淘汰）外，现将按 GB1300—73 标准（其产品已规定不再生产，但目前电网中的使用仍较普遍）及 GB1094—86 标准制造的产品及其性能简介如下。

1) SJ3 系列变压器。它属于 GB1300—73 标准系列产品，采用 R10 容量等级。其铁芯采用 0.35mm，D43 热轧硅钢片，铜线绕组，高压侧带无励磁调压开关，调压  $\pm 5\%$ ，温升标准：绕组 65 C，油顶层 55 C。

2) SJL1 系列变压器。SJL1 型也属 1973 年全国统一设计系列产品，采用 R10 容量等级，铝线绕组，冷轧硅钢片，高压侧带无励磁调压开关，调压  $\pm 5\%$ ，温升标准：绕组 65 C，油顶层 55 C。

3) SZ7 系列变压器。我国自 1979 年开始便着手组织并确立了中小型变压器的更新目标，1981 年完成了联合设计，于次年便完成了样机试制和鉴定。同时决定以全国统一设计的 10~35kV 级 SL7 和 SZ7 型变压器为全国推广产品，并取代 SJ 系列变压器。SZ7 及 S7（铜芯）型产品属我国第一代低损耗节能变压器，其铁芯材料采用晶粒取向冷轧硅钢片、铝线绕组，高压侧带无励磁调压开关，调压  $\pm 5\%$ 。它与原标准 SJ 系列变压器的基本参数与技术要求相比，10kV 级空载损耗可降低 41.5% 左右，短路损耗约可降低 14%；35kV 级空载损耗能降低 38% 左右，短路损耗约可降低 16%（参见表 3-9）。

4) S9 系列变压器。S9 系列产品属第二代优质低耗的节能变压器。它的铁芯材料采用

晶粒取向冷轧硅钢片、钢线绕组，铁芯采用全斜接缝及玻璃纤维带绑扎等工艺，其技术性能更优，各项参数指标已接近国际同类产品水平（参见表 3-10）。

表 3-9 35kV (1600~20000kVA) S7、SF7 型电力变压器技术数据

型号	额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)		连接组标号	空载损耗 (kW)	负载损耗 (kW)	空载电流 (%)	阻抗电压 (%)	外形尺寸 (mm)			重量 (kg)			轨距 (mm)			
		高压	低压						长	宽	高	总重	油	器身				
S7-1600/35	1600	35 或 38.5 ±5%	3.15; 6.3; 10.5	Y, d11	2.65	19.5	1.2	6.5	2675	1460	2640	5100	1300	2500	820			
S7-2000/35	2000				3.40	19.8	1.1		2810	1560	2605	5850	1415	3045				
S7-2500/35	2500				4.00	23.0	1.1		2910	1700	2650	6900	1590	3580				
S7-3150/35	3150				35 或 38.5 ±5%	3.15; 6.3; 10.5	Y, d11	4.75	27.0	1.0	7	2820	2730	2830	8350	1910	4180	1070
S7-4000/35	4000							5.65	32.0	1.0		3235	2800	3005	10310	2480	5170	
S7-5000/35	5000							6.75	36.7	0.9	3230	2840	3070	11460	2670	5860		
S7-6300/35	6300							8.20	41.0	0.9	3310	2900	3330	13985	3030	7345	1475	
SF7-8000/35	8000	35 或 38.5±2 ×2.5%	3.15; 3.3;6.3 6.6; 10.5;11	YN,d11	11.5	45	0.8	7.5	4370	3200	3280	15260	2720	9320	1475			
SF7-10000/35	10000				13.6	53	0.8		3880	3260	3475	19115	3950	11130				
SF7-16000/35	16000				19.0	77	0.7	8	4800	3484	3725	26390	5290	16400	1475			
SF7-20000/35	20000				22.5	93	0.7		4330	3545	3935	31300	6400	18980				

表 3-10 10kV (160~1600kVA) S9 系列电力变压器技术数据

型号	额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)		连接组标号	空载损耗 (kW)	负载损耗 (kW)	空载电流 (%)	阻抗电压 (%)	外形尺寸 (mm)			重量 (kg)			轨距 (mm)
		高压	低压						长	宽	高	总重	油	器身	
S9-160/10	160	6; 6.3; 10±5%	0.4	Y, yn0	0.40	2.20	1.4	4.0	1340	870	1460	930	196	580	550
S9-200/10	200				0.48	2.60	1.3		1390	838	1420	1060	215	620	
S9-250/10	250				0.56	3.05	1.2		1490	996	1450	1245	255	730	
S9-315/10	315				0.67	3.65	1.1		1540	1010	1510	1440	280	910	
S9-400/10	400				0.80	4.30	1.0		1500	1230	1630	1655	325	1015	
S9-500/10	500				0.96	5.10	1.0	1570	1250	1610	1890	360	1160		
S9-630/10	630				1.20	6.20	0.9	4.5	1880	1530	1980	2825	605	1820	820
S9-800/10	800				1.40	7.50	0.8		2200	1550	2320	3215	680	1965	
S9-1000/10	1000				1.70	10.30	0.7		2280	1560	2468	3960	870	2345	
S9-1250/10	1250				1.95	12.00	0.6		2395	1400	2547	4645	980	2795	
S9-1600/10	1600	2.40	14.50	0.6	2370	1498	2720		5210	1115	3170	1070			

## 六、变压器损耗与效率特性

### 1. 变压器的铜损和铁损

在能量传递过程中，变压器内部要产生一定损耗，其主要损耗有铜损  $P_{Cu}$  和铁损  $P_{Fe}$  两部分。

变压器的基本铜损是指电流通过绕组电阻所产生的损耗。一次绕组的铜损  $P_{Cu1} = I_1^2 r_1$ ，

## 七、变压器连接组别和判别方法

### (一) 三相电力变压器的连接组别

三相变压器一次侧、二次侧（各有 3 个绕组）采用不同连接时，将会出现不同的连接组别（常简称连接组）。它有两层含义，即连接方式和连接组标号。连接方式分星形（Y）与三角形（D）连接两种；连接组标号则共有 12 种。对一次、二次绕组采用不同的连接方式时，两绕组各相电动势（或电压）便会出现不同的相位。按其相位关系，把绕组的连接分成不同的组别，称为绕组的连接组标号。

经分析证实，三相变压器两侧相应的线电压间的相位差角总是  $30^\circ$  的整倍数，而时钟盘面上两个相邻的数字间的夹角也正好为  $30^\circ$ ，因此便采用钟表的长针代表高压侧线电压相量，并使它指在 12 点上不动，短针代表低压侧相应的线电压相量，根据短针所指的数字，表示出两侧相对应的线电压间的相位关系。这种表示法就叫做时钟表示法。现以最常用也是最基本的两种连接组为例分析如下（以下分析用所有一次与二次侧线电压和相电压均指相量）。

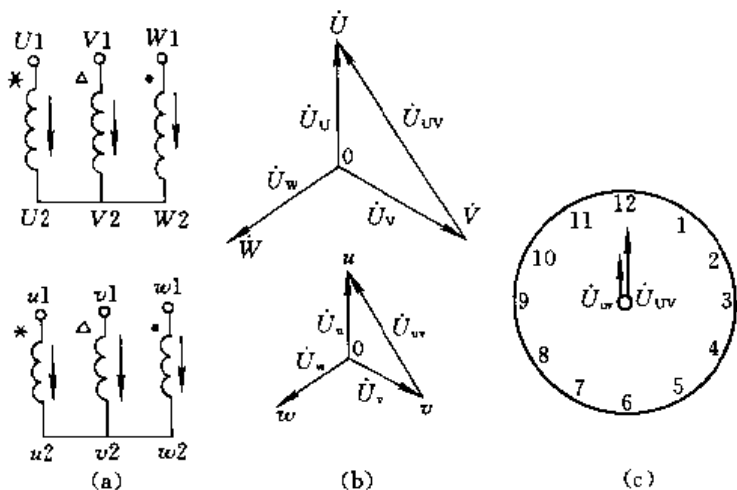


图 3-52 Y, y0 连接组

(a) 连接图；(b) 相量图；(c) 时钟表示法

所以时钟短针也指在“12”上，故其连接组标号即为“12”。因此用 Y, y0 表示。

2) Y, d11 连接组。这种连接如图 3-53 (a) 所示，一次绕组作星形连接，二次绕组作三角形连接，其首末端连接关系为  $u1-v2, v1-w2, w1-u2$ 。一次、二次绕组对应的相电压、线电压关系如图 3-53 (b) 所示。一次、二次绕组各对应相电压同相位，且有一  $-U_{uv} = -U_v$ 。因此，二次绕组线电压  $U_{uv}$  落后于一次绕组对应线电压  $U_{UV} 330^\circ$ 。在时钟 [见图 3-53 (c)] 上表示为  $U_{UV}$  指“12”， $U_{uv}$  指“11”（即  $330^\circ \div 30^\circ = 11$ ），故用 Y, d11 表示。

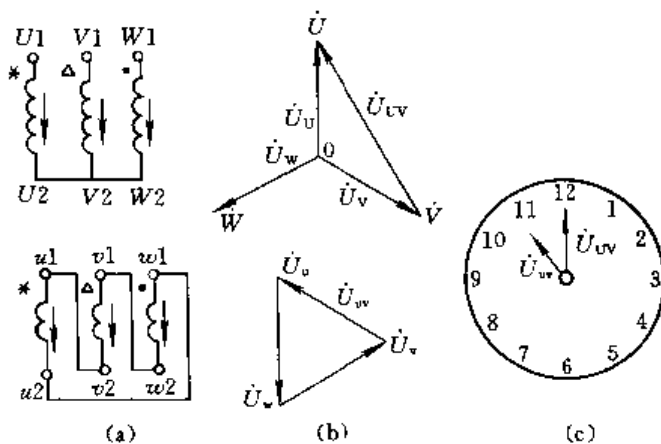


图 3-53 Y, d11 连接组

(a) 连接图；(b) 相量图；(c) 时钟表示法

连接组种类很多，为便于生产和应用，国家标准规定 Y, yn0; Y, d11; YN, d11; Y, y0 及 YN, y0 五种为标准连接组（实际网络中，最常用的是前 3 种）。它

双绕组电力变压器的常用连接组别及其特性与应用场合，可见表 3-14（该特性对三绕组变压器同样适用）。

表 3-14 双绕组变压器常用连接组别及其特性

连接组	相量图	连接图	特性及应用
单相 I, I (I, I0)			作为单相变压器使用时，没有特殊要求。但不能结成 Y, Y 连接的三相变压器组，因此时三次谐波磁通完全在铁芯中流通，三次谐波电压较大，对绕组绝缘不利；能结成其他连接法的三相变压器组
三相 Y, yn (Y, yn0)			绕组导线填充系数大，机械强度高，绝缘用量少，可以实现四线制供电，常用于小容量三柱式铁芯的小型变压器上。但有三次谐波磁通。将在金属构件中引起涡流损耗
三相 Y, zn (Y, zn11)			在二次或一次侧遭受冲击过电压时，同一心柱上的两个半线圈的磁势互相抵消，一次侧不会感应过电压或逆变过电压，适用于防雷性能高的配电变压器。但二次绕组需增加 15.5% 的材料用量
三相 Y, d (Y, d11)			二次侧采用三角形接线，三次谐波电流可以循环流动，消除了三次谐波电压。中性点不引出，常用于中性点非死接地的大、中型变压器上
三相 YN, d (YN, d11)			特性同上。中性点引出，一次侧中性点是稳定的，用于中性点死接地的大型高压变压器上
三相 D (yn, 11)			一次侧采用三角形接线，可适应二次侧不平衡负载，避免二次侧中性点漂移造成的电压波动。但一次侧绕组绝缘水平高，造价相应增高，适用于城市电网配电变压器

### (三) 变压器电压组合与连接组标号的关系

电力变压器的额定电压组合与连接组标号的关系见表 3-15。

变压器技术数据中的额定电压均为线电压  $U_L$ ，但在确定绕组匝数而进行计算时需用相电压  $U_\phi$ 。在连接组别确定之后，可由线电压求出相电压（见表 3-16）。

变压器技术数据中额定电流为线电流  $I_L$ ，但是在计算绕组中电流密度和选取导线时需用相电流  $I_\phi$ ，因此可由容量  $S$  和线电压求出线电流和相电流（见表 3-17）。

表 3-15 电力变压器的电压组合和连接组标号

额定容量 (kVA)	电压组合 (kV)			连接组标号	额定容量 (kVA)	电压组合 (kV)			连接组标号
	高压	中压	低压			高压	中压	低压	
30~1600	6、10		0.4	Y, yn0 Y, zn11 D, yn11	800~31500	35 (38.5)		3.15~10.5 (3.3~11)	Y, d11 (YN, d11)
630~6300	6、10		3.15、6.3	Y, d11	6300~120000	110 (121)		6.3、11 (10.5、13.8)	YN, d11
50~1600	35		0.4	Y, yn0 D, yn11	6300~63000	110 (121)	38.5	6.3、11	YN, yn0, d11

表 3-16 变压器相电压与线电压的关系

连接方式	单相单柱	单相两柱串联	单相两柱并联	三相三角形连接	三相星形连接
相电压	$U_{\phi} = U_L$	$U_{\phi} = \frac{U_L}{2}$	$U_{\phi} = U_L$	$U_{\phi} = U_L$	$U_{\phi} = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$

注 为一柱绕组的电压。

表 3-17 变压器线电流、相电流与容量的关系

连接方式	单相单柱	单相两柱串联	单相两柱并联	三相三角形连接	三相星形连接
线电流	$I_L = \frac{S}{U_L}$	$I_L = \frac{S}{U_L}$	$I_L = \frac{S}{U_L}$	$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} U_L}$	$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} U_L}$
相电流	$I_{\phi} = I_L$	$I_{\phi} = I_L$	$I_{\phi} = \frac{I_L}{2}$	$I_{\phi} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$	$I_{\phi} = I_L$

注 为一柱绕组的电流；自耦变压器公共线圈中电流  $I_G = I_{2\phi} - I_{1\phi}$ 。

#### (四) 判定连接组别的简捷方法

在已知变压器的实际接线、端头标号与极性情况下，为确定其连接组别，若按前面介绍的分别画出一一次侧和二次侧电压相量图再行判定的方法，实用中确实嫌其麻烦。现介绍以下方法，可较简捷地判定连接组别。

该法是利用判定图，如图 3-54 所示。这种判定图是一次侧各相电压和线电压的相量图，同时以  $\dot{U}_{UV}$  指向“12”，逐次标出各钟点数。再根据实际接线画出接线图并标注端头标号和同名端如图 3-55 所示。然后只需依据实际接线图单独找出二次对应线电压相量  $\dot{U}_{uv}$  在判定图上的位置（即找出与  $\dot{U}_{uv}$  同指向的一次电压相量）。它的指向（钟点数）即为连接组标号。

例：某三相变压器的实际接线如图 3-55 所示，标出已知的极性（同名端）与端头符号后，再找  $\dot{U}_{uv}$ （这是关键）。由图 3-55 可见，由于二次侧采用三角形连

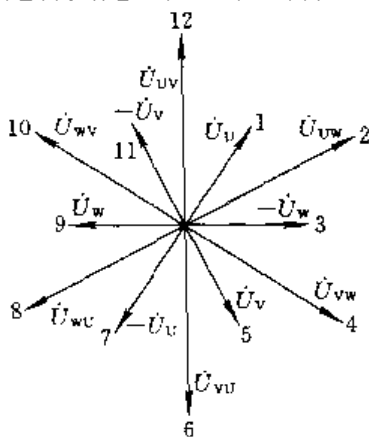


图 3-54 简捷判定图

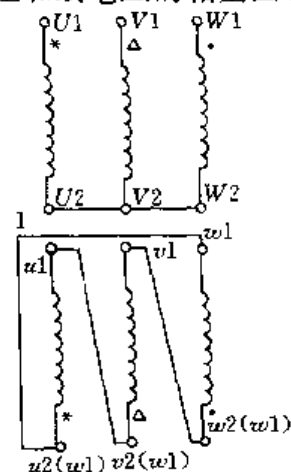


图 3-55 某变压器的实际接线

接， $u1$  端和  $v2$  端连接在一起，即  $v2$  点就是  $u1$  点； $\dot{U}_{u1v1}$  就是  $\dot{U}_{v2v1}$  也即二次相电压  $\dot{U}_{v1}$ （因“ $v2$ ”与“ $V1$ ”为同名端，即同极性端）；在判定图上找出  $\dot{U}_{v1}$  即为  $\dot{U}_{v1}$  的方向，而  $\dot{U}_{v1}$  也就同  $\dot{U}_{u1v1}$  的方向（ $\dot{U}_{v1}$  显然与  $\dot{U}_{v1}$  一致，因  $V1$  相与  $v1$  相系套在同一铁芯柱上的一次、二次绕组）。所以  $\dot{U}_{u1v1}$ （即  $\dot{U}_u$  方向）它指向“5”点，该变压器的连接组标号应为 5，连接组别显然是 Y，d5。

若实际接线中“ $u1u2$ ”与“ $w1w2$ ”两相互换（见图 3-55 中加括号之端  $u2$  标），即原标的“ $w1w2$ ”为“ $u1u2$ ”。此时， $v1$  点与  $v2$  点连接在一起， $\dot{U}_{u1v1}$  即  $\dot{U}_{u1u2}$ ；由于“ $u2$ ”与“ $W1$ ”同极性（即  $u2$  相与  $W1$  相为套在同一铁芯柱上的一次、二次绕组），故  $\dot{U}_{u1v1} = -\dot{U}_{u1}$ ，其相量方向应与  $-\dot{U}_{u1}$  一致；在判定图上找出  $-\dot{U}_{u1}$  指向“3”点钟，所以该实际接线的连接组别应为 Y，d3。

## 第二节 特种变压器

### 一、自耦变压器和调压器

#### （一）自耦变压器的原理与特点

具有两级电压的自耦变压器又称单绕组变压器。这种变压器仅有一个绕组，但与普通变压器一样也有一、二次侧之分。该绕组内有一部分为一、二次侧所公用，它仍是基于电磁感应原理而工作，唯其部分能量的传递为通过自身耦合进行（见图 3-56）。

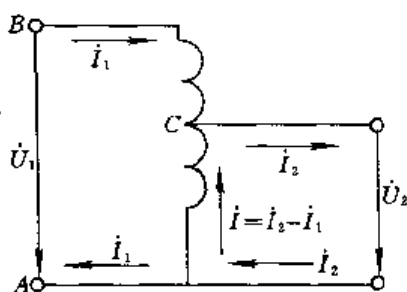


图 3-56 自耦变压器原理图

图 3-56 中，在绕组  $A、B$  端面加一次电压  $U_1 = U_{AB}$ ，绕组内  $AC$  部分为一、二次公用（它既是二次绕组的全部，又是一次绕组的一部分）。显然，自耦变压器结构较简单、造价也较低廉。在无负荷（ $I_2 = 0$ ）情况下，它与普通双绕组变压器空载情况相同。因为  $U_{AB}$  平均分布在绕组所有的线匝上，且此时二次侧电压为

$$U_{AC} = \frac{U_{AB}}{N_{AB}} N_{AC}, \quad \text{令 } K_A = \frac{N_{AB}}{N_{AC}}, \quad \text{则 } U_{AC} = \frac{U_{AB}}{K_A}$$

式中  $N_{AB}$  与  $N_{AC}$ —— $AB、AC$  绕组的匝数；

$K_A$ ——自耦变压器的电压比。

$K_A$  的数值在 1 与 2 之间。当  $K_A = 1$  时变压器即失去意义，完全变成沿导线输电； $K_A$  超过 2 时自耦变压器失去其经济性，同时自耦变压器的高压侧与低压侧电压相差很多，电气上又连在一起，低压侧的一切设备都要按高压侧要求来考虑（绝缘），这样就既不方便，也不安全。

自耦变压器一、二次侧的功率关系及传输过程：一次侧输入的功率为  $P_1 = U_1 I_1$ ， $P_1$  是由两种方式传到二次侧去的，一部分是和普通双绕组变压器一样，按“电—磁—电”的能量转换关系传过去的，以  $P_m$  代表；另一部分则是自耦变压器一、二次侧导线直接传过去的，以  $P_e$  代表。即  $P_1 = P_m + P_e$ 。

按“电—磁—电”规律传送过去的功率  $P_m$  相当于绕组  $CB$  部分的功率。同时，不难证

明有如下关系

$$P_c = \frac{P_1}{K_A} \text{ 及 } \frac{P_1}{P_m} = \frac{K_A}{(K_A - 1)}$$

从自耦变压器的结构上来看, 仅  $P_m$  与自耦变压器的内部结构 (绕组载流能力) 有关,  $P_c$  只与变压器外部输电导线的输电能力有关, 而与自耦变压器结构无关。 $P_1$  是  $P_m$  与  $P_c$  的总和, 可见自耦变压器的传输容量 (即  $P_1$ ) 可比自耦变压器本身的载流容量 (即  $P_m$ ) 大 (这一点双绕组变压器办不到), 特别当  $K_A$  接近于 1 时,  $P_1$  比  $P_m$  可大很多倍。如  $K_A=1.10$  时,  $P_1$  能比  $P_m$  大 11 倍。

自耦变压器的主要特点是, 自耦变压器较相同容量的普通变压器消耗材料少, 因而成本低、体积小、重量轻, 便于运输和安装, 且损耗小、工作效率较高。其主要缺点是, 由于一、二次绕组直接相通, 如单相自耦变压器连接错误 (相线与地线接反), 当人体触及二次侧任何一端时, 便会有危险。因此规定, 安全变压器不能采用自耦变压器。

## (二) 调压变压器

在需要经常改变电压的场合, 如硅整流、直流调压、电力系统的有载调压以及实验室所用需较大范围的调压等, 均可利用调压变压器来实现。

常用的调压变压器为采用滑动触头的自耦调压器 (见图 3-57)。它是在环形铁芯上绕有  $N_1$  绕组, 二次绕组的抽头不是固定的, 是一个滑动触头, 它能沿径向裸露的绕组表面滑动, 以改变匝比而平滑地调节输出电压。

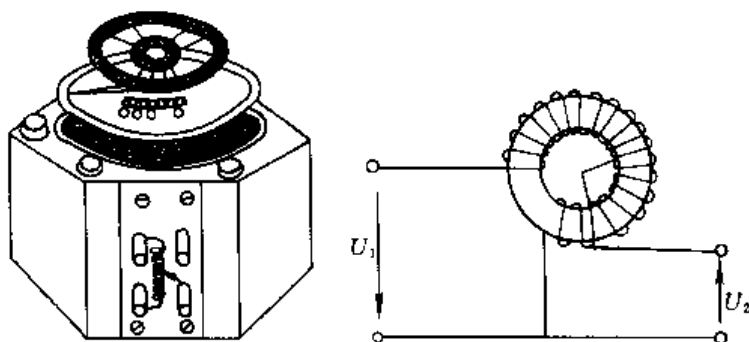


图 3-57 自耦调压器外形及原理接线

这种调压器通常容量不大, 一般为几十伏安到几个千伏安。原因是滑动触头经常会使很少部分绕组短路, 这对大容量调压器很不利。为了避免滑动时产生火花和过快的磨损绕组, 滑块一般采用较软的石墨电刷, 并借助于弹簧的压力, 紧贴在绕组的滑道上。其二次侧电压可以从零一直调到稍高于一次侧电压。

二、干式变压器

## 二、干式变压器

### (一) 干式变压器的用途与种类

干式变压器的铁芯和绕组都不浸在任何绝缘液体中, 一般适用于安全防火要求较高的场合。为便于制造和维护、小容量低电压的特种变压器也常做成干式。干式变压器通常有下列几种类型:

(1) 开启式。是常用的型式, 其器身与大气相通, 适用于比较干燥而洁净的室内环境 (环境温度  $+20^{\circ}\text{C}$  时, 相对湿度不超过 85%)。目前电压在 15kV 以下, 空气自冷式容量可达 1000kVA 左右, 更大容量时一般采用吹风冷却。

由于空气的绝缘强度和散热性能都比油差, 以空气作绝缘的干式变压器的有效材料消耗比油浸式为多, 所以电力变压器只有在地下铁道、公共建筑物、车间内部等防火要求较

高的场所才采用干式。

以空气作绝缘的干式变压器承受冲击电压的能力较油浸式差，其使用条件一般限于不和架空线路相连，不会受到大气过电压作用的场合（否则应加特殊防雷保护，使大气过电压幅值不超过工频试验电压幅值）。因此除工频耐压外，不再另外要求规定冲击强度。

(2) 封闭式。与外部大气不相连通，可用于更为恶劣的环境。由于密封，散热条件差，目前主要用于矿用隔爆型变压器。也可充以绝缘强度和散热能力胜于空气的其他气体，如充以2~3个大气压下的六氟化硫并加以强迫循环，则变压器的绝缘和散热能力可和油浸式相比拟，它适用于高电压的产品。

(3) 浇注式。用环氧树脂或其他树脂浇注作为主绝缘，其结构简单、体积小，适用于较小容量的产品。

### (二) 环氧树脂浇注式干式变压器

简称环氧变压器，它具有难燃、自熄、耐尘、耐潮、机械强度高、体积小、重量轻、损耗低、噪声小等特点。与油浸变压器相比，更具有安全、经济、可靠及方便等优点，现简述如下。

(1) 难燃性、自熄性。由于变压器事故引起火灾，造成人身伤亡和重大经济损失事故还是不少的。因人口密集，防火问题就显得特别重要。为了消除火源，这就要求变压器本身具有难燃、自熄的特性。随着新型的环氧树脂、硬化剂、增韧剂、填料等化工材料的迅速发展和浇注工艺的不断改进和提高，高电压大容量变压器绕组采用环氧树脂浇注技术在国内已日趋成熟。

其特性是：①良好的耐潮性和自熄性；②优良的工艺加工性能；③优异的电气绝缘性能；④高的机械强度；⑤好的耐热性和导热性。

(2) 损耗低。变压器是电力系统中重要的电器设备，提高变压器的效率对节约电能的消耗有很大的意义。环氧变压器设计选用优质冷轧晶粒取向硅钢片，采用45°全斜接缝铁芯、不上漆、不退火、钢带扎紧等一系列技术工艺措施，使铁芯损耗大幅度下降。

(3) 机械强度高。正常运行的变压器由于二次侧突然短路，虽然短路的瞬变过程很短，但巨大的冲击电流所产生的电磁力以及绕组的急剧发热很可能使变压器损坏，因此变压器的结构必须具备承受短路电流冲击的能力。绕组由于采用环氧树脂浇注结构，机械强度是很高的，能保证环氧变压器在各种恶劣的条件下正常运行。

(4) 绝缘性能好。由于环氧树脂具有良好的耐湿性，且绕组经过浇注后，与空气无直接接触。特性稳定，电气绝缘性能好。在额定电压下运行的变压器，电压幅值是一定的，如果因某种原因使其电压超过额定电压，变压器将遭受过电压。使用干式变压器的地方（大楼、地铁、矿井、居民集中区）一般不直接与架空线路相连，因此受大气过电压影响比油浸式变压器要小，其绝缘水平主要考虑操作过电压。

(5) 噪声低。变压器噪声主要由硅钢片的磁滞伸缩引起，它由2倍电源频率基频和包括高次谐波的分量叠加而成。环氧变压器由于绕组压紧，定位采用了硅橡胶缓冲结构，从而使变压器的振动和噪声得到了一定改善。环氧变压器的噪声实测值见表3-18。

表 3-18 环氧浇注变压器噪音测试值

额定容量(kVA)	50	315	630	800	1000
噪声 (dB)	50	57.2	57.4	56	54.4

注：测量距离：1m；测量高度：1/2器身高；噪声值为10点平均值。

环氧树脂浇注干式变压器具有难燃、自



熄、耐潮性好、机械强度高、损耗低、噪音小等优点，适用于对安全可靠要求高的高层建筑、机场、车站、港口、公共建筑物等场合。由于环氧干式变压器占地少，且有较好的防火性能，故可以安装在建筑物内负荷中心，这样能减少电能损耗、节约线缆设备投资、综合节能效果显著，所以环氧树脂浇注干式变压器在供配电系统中势将得到更加广泛的应用。

### 三、防灾型变压器

随着我国建设事业的迅速发展，安装在高层建筑、地上和地下商业中心、火车站、地下铁道、飞机场、政府机关、电台及电视台等要害部分的变压器越来越多。用户对这些变压器的防灾性能，尤其是防火防爆性能的要求越来越高，要求在可能出现的火灾中，或因地震、爆炸造成的变压器损坏事故中，变压器不会燃烧爆炸，也不泄漏出有害甚至有毒物质、造成环境污染。另外，变压器防噪声灾害也已提到了议事日程，希望能研制出低噪声变压器。为此，近年来国内外很多变压器厂家都投入了大量人力物力来研制与开发各种防灾型变压器。

防灾型变压器通常有以下几种型式。

(1) 干式变压器。见本节之二。

(2) 不燃液变压器。在变压器内充以电气强度高、粘度小、冷却性能好，完全不燃性的化学液体，以代替传统的变压器油。这种液体由于其沸点低，属于液气两相材料，在变压器过负荷产生局部过热时，该液体可气化，从器身上吸收大量气化热，从而使器身得到良好的冷却，避免温度过高而损坏设备，这样就大大提高了变压器的过负荷性能。

(3) 难燃液变压器。各国变压器专家在努力探索用不燃液代替有毒的 PCB（聚氯联苯）液的同时，还在寻求用难燃的绝缘液体作为替代品，并已取得了很大成功。这些难燃液体有硅油、合成酯、高分子量石蜡油等。

硅油即有机硅液体，适用于变压器的是甲基硅油。硅油的热稳定性高于变压器油和 PCB（聚氯联苯）液，其闪点和燃点均接近变压器油的 2 倍。尽管它是可燃的，但它难以起火，自燃温度可高达 400℃ 并具有自熄灭性能。硅油的优点还在于电气性能比较理想，击穿电压和介电常数均高于变压器油，而介质损失角的正切值却比变压器油要低得多。因此在油纸绝缘结构中，即便在冲击电压下，硅油也具有与变压器油相当、甚至稍高的绝缘强度。

因为硅油早已实现工业化批量生产，不会造成任何环境污染，现已逐步被很多制造厂和广大用户所接受。在所有无毒性的不燃液或难燃液变压器中，硅油变压器是目前产量最高的一种。硅油变压器已广泛应用于高层建筑、地下铁道及化工厂等。

另一种应用比较多的难燃液是合成酯，其中最适用的是 MIDEL7131 液，其化学成分是季戊四醇酯。这是一种无毒的透明液体，即使发生意外泄漏，它也会自行生物消解；尽管粘度较大，但其比热和导热性较高，因此冷却效果与变压器油相当；它的绝缘强度较高，热膨胀小且不易受潮；其凝固点很低，还可适用于北方寒冷的户外条件。

(4) 气体绝缘变压器。气体绝缘变压器与普通油浸变压器的主要不同之处，在于其绝缘冷却的机理不同。普通的气体绝缘变压器所用的绝缘冷却介质是 SF<sub>6</sub> 气体，整个器身置于充有 SF<sub>6</sub> 气体的箱体中。由于 SF<sub>6</sub> 气体不燃、无毒、绝缘强度高，消弧性能好，因此是

特性。为得到这样的外特性,就要人为地增加它的漏阻抗。因此,电焊变压器的一、二次绕组不是同心地套在一起,而是分装两个铁芯柱上。有的在二次电路中还另外串联一个铁芯电抗器(见图 3-59)。

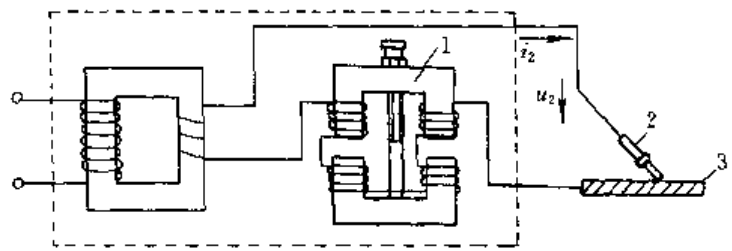


图 3-59 电焊变压器原理示意图  
1—电抗器; 2—焊把; 3—工件

焊接时一般是先将焊条与焊件接触,这相当于电焊变压器的二次侧短路。这时因为受到绕组漏阻抗和电抗器的限制,短路电流并不大(图 3-58 中曲线 2 的  $I_s$ )。然后,迅速将焊条提起,焊条与焊件间就产生电弧。电弧就其性质来说相当于 1 个电阻,电弧上的电压降(大致上也就是二次绕组输出电压)约在 30V 左右(图 3-58 中的  $U_{2N}$ ),相当于电焊变压器的额定负载情况。这时二次输出电流(焊接电流)就是  $I_{2N}$ 。当焊条与焊件间的距离发生变化而使电弧长度也随之而变化时,电弧压降也要在  $U_{2N}$  上下变化,二次输出电流也要在  $I_{2N}$  左右变化。由于电弧变压器的外特性很陡,所以当电弧压降变化时,焊接电流的变化并不显著,因此电弧比较稳定,能够满足焊接的要求。

要改变焊接电流的大小,可以改变与二次绕组串联的电抗器的感抗(调节电抗器的空气隙长度或其绕组匝数)。当气隙增大时,铁芯磁通便减小,感抗也随之变小,则电焊变压器的电流就会增大。

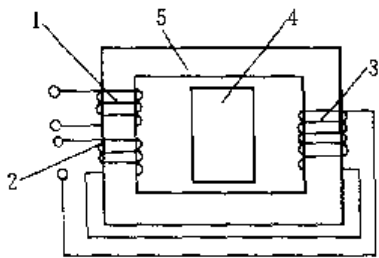


图 3-60 磁分路动铁式电焊变压器示意图  
1—一次绕组; 2—二次绕组; 3—电抗绕组; 4—动铁芯; 5—主铁芯

可见,为了得到足够软的外特性,电焊变压器的漏抗要大。因此,一般在二次绕组电路中专门串接一个电抗器。这样,当负载增大时,由于变压器的漏抗压降较大,从而使输出电压明显下降;同时,根据工件大小和焊条粗细,应能改变二次绕组的匝数或者改变绕组的漏抗(包括电抗器的电抗),从而调节焊接电流的大小。

常用的交流弧焊机有如下 3 种:

(1) 磁分路动铁式电焊变压器。单相磁分路式电焊变压器(见图 3-60)有一个框形主铁芯 5,中间置有一个动铁芯 4;一次绕组 1 绕在主铁芯的一个铁芯柱上,二次绕组则分为两部分:一部分(图 3-60 中的 2)绕在一次绕组外面,另一部分(图 3-60 中的 3)兼作电抗绕组,绕在主铁芯的另一个铁芯柱上。这样就一方面加大了绕组的漏抗,同时又在二次绕组中串联了电抗器,从而能获得较软的外特性。

它的电路接线如图 3-61 所示。电流的调节有粗调和细调两种:粗调是通过改变输出接线板上连接片的位置,从而改变二次绕组和电抗绕组的匝数来进行的,连接片在位置 I 时二次侧空载电压高,特性软,电流小。连接片在位置 II 时二次侧空载电压低,特性稍硬,电流较大;电流的细调是靠转动弧焊机的手柄以移动动铁芯的位置,动铁芯越进去漏抗越

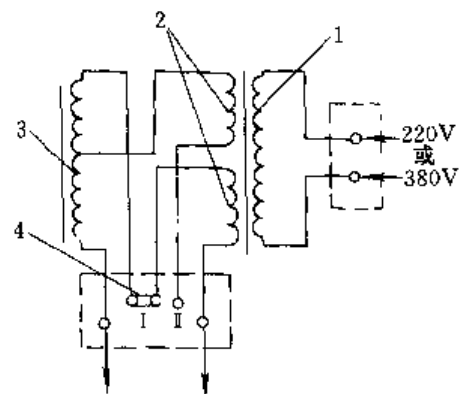


图 3-61 磁分路动铁式电焊变压器接线图  
1—二次绕组; 2—一次绕组; 3—电抗绕组; 4—连接片

大,外特性越软,电流就越小。连续改变磁分路(动铁芯)的位置,就能均匀调节焊接电流。国产 BX1 系列电焊变压器就属于这一种,它适用于中、小容量的弧焊机。

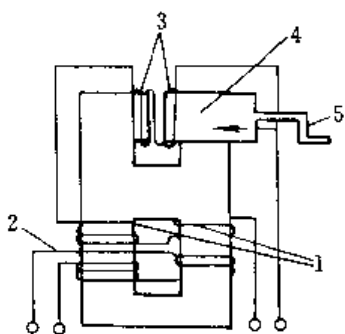


图 3-62 同体组合电抗式电焊变压器示意图

1—一次绕组;2—二次绕组;3—电抗线圈;4—动铁轭;5—手柄

(2) 同体组合电抗式电焊变压器。同体组合电抗式电焊变压器(见图 3-62)的铁芯分上下两部分,上部为电抗器铁芯,下部为变压器铁芯。电抗器铁芯的下铁轭和变压器铁芯的上铁轭是公用的磁路部分。一次绕组 1 分成两部分绕于变压器铁芯的两个铁芯柱上;二次绕组 2 亦分成两部分绕在一次绕组的外层;电抗线圈 3 分为两半,一半绕在电抗器铁芯的定铁轭上,另一半则绕在电抗器铁芯的动铁轭 4 上。

由于二次侧串有电抗器,这种电焊变压器具有所需的软外特性。焊接时,可摇动手柄 5,调节电抗器动铁轭与定铁轭之间的气隙大小,就可改变漏抗大小,从而调节焊接电流。国产 BX2 系列电焊变压器就属这一种。

(3) 动圈式电焊变压器。动圈式电焊变压器(见图 3-63)的一次绕组 1 分成两部分固定在两个铁芯柱的底部,二次绕组亦分成两部分,装在铁芯柱上由非磁性材料做成的活动架上。使用时借助手柄转动螺杆,调节二次绕组的上下位置,以改变一次、二次绕组之间的距离,就能改变绕组漏抗的大小,从而改变焊接电流的大小。显然,一次、二次绕组之间的距离越大,漏抗就越大,焊接电流就越小;反之,电流就越大。如果改变一次、二次绕组各自两部分的串联和并联关系,便可进行粗调,就能扩大电流的调节范围。国产 BX3 系列电焊变压器就属于这一种。

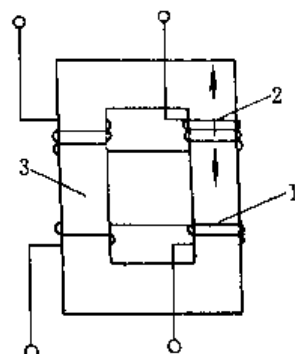


图 3-63 动圈式电焊变压器示意图

1—一次绕组;2—二次绕组;3—铁芯

表 3-19

电焊变压器的技术数据

型 号	额定输入容量 (kVA)	电源电压 (V)	工作电压 (V)	电流调节范围 (A)		暂载率 (%)	主 要 用 途
				接法 I	接法 II		
BX—500	32	220 或 380	30	150~700		65	焊接低碳钢或作电弧切割
BX—135	3.7		30	25~85	50~150	65	焊接 5~8mm 钢板
BX <sub>J</sub> --330	21		30	50~180	160~450	65	焊接 3~30mm 低碳钢板
BX <sub>1</sub> —500	31	380	30	50~180	115~63	60	焊接 3~40mm 低碳钢板
BX <sub>2</sub> 500	42	380	45.5	200~600	200~600	100; 60; 42	焊接低碳钢板
BX <sub>2</sub> —700	56	220	43	250~900	250~900	100; 60; 35	焊接低碳钢板
BX <sub>3</sub> 120	7; 9	380	25	20~60	60~160	100; 60; 35	焊接低碳钢板

注 1. B 表示变压器, X 表示焊接用, 下标数字为产品设计序号; 暂载率表示其二次侧带均匀负荷时额定容量降低的百分数。

2. 各型的空载电压均为 60~75V; 效率分别为 78%、86%与 83%; 功率因数分别为 0.58、0.52 与 0.53。

## 2. 使用电焊机时的注意事项

交流电弧焊机是各类电焊机中用得最多的一种。交流电弧焊机（以下简称电焊机）使用时，应注意下列方面：

(1) 应按电焊机铭牌上规定的技术数据（或在其允许范围内）进行操作。电焊机容量常以暂载率为 65% 确定。所谓电焊机的暂载率，是指它的焊接时间与工作周期（即每一焊接时间与相邻非焊接时间之和）的比率。由于手动电焊机工作周期一般规定为 5min，在取暂载率为 65% 时，则持续工作时间可为 3min15s，中断时间应为 1min45s。若焊接电流低于额定焊接电流时，则持续时间可适当延长，但也不宜过多。

(2) 电焊机低压侧的引线电流一般很大，在与电焊机及焊接钳连接时，一定要连接牢固、可靠，最好能在引线两端装上铜接头（见图 3-64），尤应避免引线乱绞、乱拉、受压或挤伤。

(3) 电焊机的电源控制可采用一般的铁壳开关或刀开关，但开关容量要配合，同时要选用合乎规定的熔断器进行保护。

(4) 在雨天或潮湿场所使用时，常会有麻电现象。因此，使用电焊机前要预先测量它的绝缘电阻。若绝缘电阻值低于  $1M\Omega$  时，要进行烘干处理，待合格后方可使用。

(5) 使用时应恰当地选择焊接电流的大小，这一点很重要。其原因一方面是为了安全，另一方面它牵涉到焊接质量。焊接（铜质工件）电流值通常按  $I = (30 \sim 50)d$  进行选择，其中  $I$  为所需选择的焊接电流值（A）， $d$  为电焊条的直径（mm）。30~50 为一系数范围：在平焊或焊接较厚的工件时，可选较大值；在其它焊接如立焊、横焊、仰焊，或者焊接工件较薄时，则宜选较小值。此外，还可根据焊接时的各种具体情况及操作者的实践经验，在焊接过程中随时适当地调节焊接电流的大小，以确保焊接质量与操作安全。

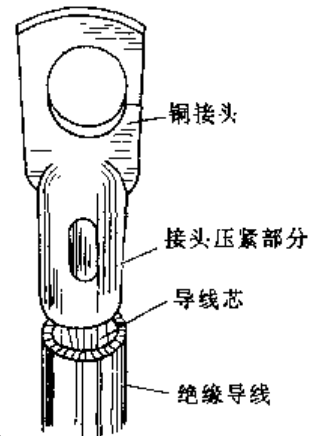


图 3-64 引线端铜接头

## 第三节 仪用互感器

### 一、互感器分类与作用

仪用互感器（简称互感器）是电力系统、用户供配电系统中专供测量和保护用的一种主要电器。它是一种特殊变压器，尤应注意，在变电所内互感器也属一次设备。

仪用互感器可分为电压互感器和电流互感器两大类：前者能将系统的高电压变成标准的低电压（100V 或  $100/\sqrt{3}$  V）；后者能将高压系统中的电流或低压系统中的大电流，变成低压标准的小电流（5A 或 1A），用以供给测量仪表和继电器。

仪用互感器的具体作用是：

(1) 与测量仪表配合，对线路的电压、电流、电能进行测量。与继电器配合，对电力系统和设备进行过电压、过电流、过负载和单相接地等保护。

(2) 使测量仪表、继电保护装置和线路的高电压隔开，以保证操作人员和设备的安全。

(3) 将电压和电流变换成统一的标准值，以利于仪表和继电器的标准化。

互感器在电力系统中的接线原理如图 3-65 所示。

## 二、电压互感器

### (一) 电压互感器的原理、型号及技术数据

#### 1. 电压互感器的工作原理

电压互感器又称仪用变压器，习称“压变”或“TV”。按其工作原理可以分为电磁感应原理和电容分压原理（在220kV以上系统中使用）两类。常用的电压互感器是利用电磁感应原理工作的，它的基本构造与普通变压器相同。主要由铁芯、一次绕组、二次绕组组成，电压互感器一次绕组匝数较多，二次绕组匝数较少，使用时一次绕组与被测量电路并联，二次绕组与测量仪表或继电器等电压线圈并联。由于测量仪表、继电器等电压线圈的阻抗很大，因此，电压互感器在正常运行中相当于一个空载运行的降压变压器，它的二次电压基本上等于二次电动势值，且取决于恒定的一次电压值，所以电压互感器在准确度所允许的负载范围内，能够精确地测量一次电压。

电压互感器工作时相当于一台降压变压器，其一次电压 $U_1$ 与二次电压 $U_2$ 间，存在着下列关系

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K_U$$

式中  $N_1$ 、 $N_2$ ——电压互感器一次和二次绕组的匝数；

$K_U$ ——变压比，一般采用铭牌上标的一、二次额定电压之比，如10000/100。

所以，当知道电压互感器的二次电压 $U_2$ 时，再乘以变压比 $K_U$ ，就可求出电压互感器的一次电压 $U_1$ 。这就是利用电压互感器二次侧低压电表间接测量出一次侧高电压数值的道理（电压表盘面可按一定比例刻度，以直接读出高压数值）。

#### 2. 电压互感器型号及技术参数

(1) 电压互感器的型号含义。电压互感器按其结构型式，可分为单相、三相、双绕组、三绕组以及户外装置、户内装置等。其型号用横列拼音字母及数字表示，横杠后的数字指额定电压，各部位字母含义见表3-20。

表 3-20 电压互感器型号中的字母含义

排序	字母含义	代号含义
1	品名	J—电压互感器
2	相数	D—单相； S—三相
3	绝缘形式	J—油浸式； G—干式 Z—浇注式； C—瓷箱式 R—电容分压式
4	结构型式	B—三柱带补偿绕组 W—五柱三绕组 L—接地保护

型号举例：

1) JDJ-10：10kV 单相双绕组油浸式电压互感器；

2) JSJW-10：10kV 三相三绕组五铁芯柱油浸式电压互感器；

3) JDZ-10：10kV 单相双绕组浇注式绝缘的电压互感器。

(2) 电压互感器的技术参数：

1) 变压比。通常在铭牌上标出电压互感器一次绕组和二次绕组的额定电压，变压比

即是指一次与二次绕组额定电压之比  $K_U = U_{1n} / U_{2n}$ 。

2) 误差和准确度级次。电压互感器的测量误差分两种，一种是变比误差（电压比误

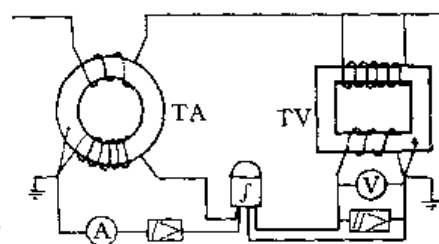


图 3-65 互感器在系统中的接线原理图

TA—电流互感器；TV—电压互感器

差), 另一种是相角误差。

变比误差决定于下式

$$\Delta U \% = \frac{K_U U_2 - U_{1n}}{U_{1n}} \times 100\%$$

式中  $U_{1n}$ ——电压互感器一次额定电压;

$U_2$ ——电压互感器二次电压实测值。

所谓相角误差是指二次电压的相量  $\dot{U}_2$  与一次电压相量间的夹角  $\delta$ , 角误差的单位是分。当二次电压相量超前于一次电压相量时, 规定为正角差, 反之为负角差。正常运行的电压互感器相角误差很小, 一般都在  $1^\circ$  以下, 最大不超过  $4^\circ$ 。

电压互感器的这两种误差与下列因素有关:

- 1) 与互感器励磁电流有关, 励磁电流增大时, 误差也增大;
- 2) 与互感器绕组的电阻、感抗以及漏抗有关, 阻抗和漏抗加大使误差加大;
- 3) 与互感器二次负载大小有关, 二次负载加大时, 误差加大;
- 4) 与二次负载功率因数 ( $\cos\varphi$ ) 有关, 功率因数减小时, 角误差将明显增大;
- 5) 与一次电压波动有关, 只有当一次电压在额定电压 ( $U_{1n}$ ) 的  $\pm 10\%$  的范围内波动时, 才能保证不超过准确度规定的允许值。

电压互感器的准确度级次, 是以最大变比误差简称比差和相角误差简称角差来区分的, 见表 3-21。准确度级次在数值上就是变比误差等级的百分限值, 电力工程上通常把电压互感器的误差分为 0.5 级、1 级和 3 级三种。另外, 在精密测量中尚有一种 0.2 级试验用互感器。准确级次的具体选用应根据二次负载性质来确定, 如用来馈电给电度计量专用的电压互感器应选用 0.5 级; 用来馈电给测量仪表用的电压互感器应选用 1 级或 0.5 级; 用来馈电给继电保护用的电压互感器应具有不低于 3 级次的准确度。实际使用中, 经常是测量用电压表、继电保护以及开关控制信号用电源混合使用一个电压互感器。这种情况下, 测量电压表的读数误差可能较大, 故不能作为计算功率或功率因数的准确依据。

由于电压互感器的误差与二次负载的大小有关, 所以同一电压互感器对应于不同的二次负载容量, 在铭牌上标注几种不同的准确度级次。电压互感器铭牌上所标定的最高准确级次, 称为标准准确级次。

(3) 容量。电压互感器的容量, 是指二次绕组允许接入的负荷功率, 分为额定容量和最大容量两种, 以 VA 值表示。由于电压互感器的误差是随二次负载功率的大小而变

化的, 容量增大, 准确度降低所以铭牌上每一个给定容量是和一定的准确级次相对应的, 通常所说的额定容量, 是指对应于最高准确级次的容量。

最大容量是允许发热条件规定的极限容量, 除特殊情况及瞬时负荷需用外, 一般正常运行情况下, 二次负荷不应达到这个容量。

(4) 接线组别。电压互感器的接线组别, 是指一次绕组线电压与二次绕组线电压间的

表 3-21 电压互感器的准确级次和误差限值

准确级次	误差限值		一次电压变化范围	二次负荷变化范围
	比差 (%)	角差 (')		
0.2	$\pm 0.2$	$\pm 10$	(0.85 ~ 1.15) $U_{1n}$ ( $U_{1n}$ 为电压互感器一次绕组额定电压)	$S_{2n}$ ( $S_{2n}$ 为电压互感器相应准确级次下的额定二次负荷)
0.5	$\pm 0.5$	$\pm 20$		
1	$\pm 1.0$	$\pm 40$		
3	$\pm 3.0$	没有规定		

相位关系。10kV 系统常用的单相电压互感器，其接线组别为 1/1—0；三相电压互感器的接线组别则为 Y，yn12 或 YN，yn12。

### 3. 10kV 系统常用电压互感器

(1) JDJ—10 型电压互感器。这种互感器为单相双绕组、油浸式绝缘，户内安装，适用于 10kV 配电系统中，供给电压、电能和功率的测量以及继电保护用，目前在 10kV 配电系统中应用较为广泛。该种互感器的铁芯采用壳式结构，由条形硅钢片叠成，在中间铁芯柱上套装一次及二次绕组，二次绕组绕在靠近铁芯的绝缘纸筒上，一次绕组分段绕在二次绕组外面的胶纸筒上，胶纸筒与二次绕组间设有油道。器身利用铁芯夹件固定在箱盖上，箱盖上装有带呼吸孔的注油塞。其技术数据见表 3-22；外形及安装尺寸见图 3-66。

表 3-22 JDJ—10 型电压互感器技术数据

型号	额定电压 (V)		额定容量 (VA) ( $\cos\varphi=0.8$ )			最大容量 (VA)	连接组	重量 (kg)
	一次绕组	二次绕组	0.5 级	1 级	3 级			
JDJ—10	10000	100	80	150	320	640	1/1—12	36

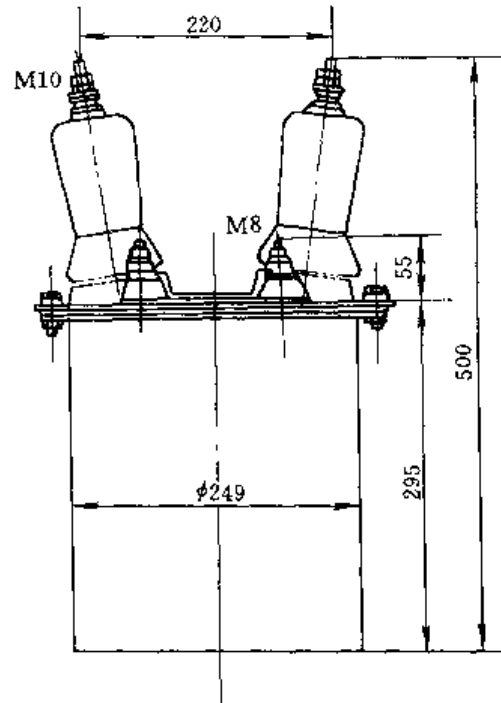


图 3-66 JDJ—10 电压互感器

(2) JSJW—10 型电压互感器。这种互感器为三相三绕组五铁芯柱式油浸电压互感器，适用于户内。在 10kV 配电系统中供测量电压（相电压和线电压），电能、功率、继电保护、功率因数以及绝缘监察使用。该互感器的铁芯采用旁铁轭（边柱）的心式结构（称五铁芯

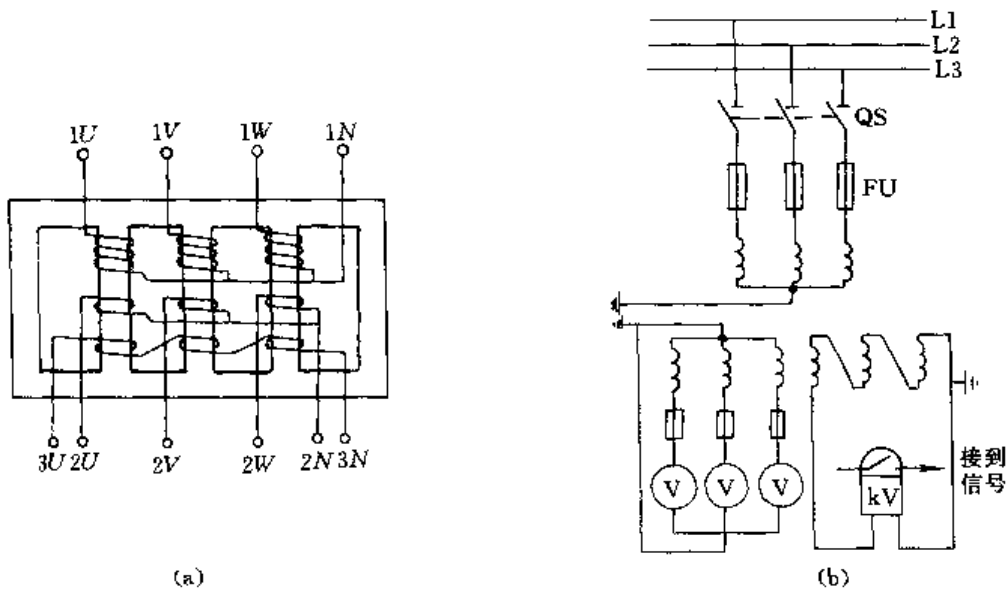


图 3-67 三相五柱电压互感器示意图

(a) 铁芯结构；(b) 线圈接线

柱),由条形硅钢片叠成。每相有三个绕组(一次绕组、二次绕组和辅助二次绕组),三个绕组构成一体,三相共有三组绕组分别套在铁芯中间的三个铁芯柱上。辅助二次绕组绕在靠近铁芯里侧的绝缘纸筒上,外面包以绝缘纸板,再在绝缘纸板外面绕制二次绕组。一次绕组分段绕在二次绕组外面,一次和二次绕组之间置有角环,以利于绝缘和油道畅通。三相的三个基本二次绕组接成星形,供给仪表及继电器用;三相的三个辅助二次绕组接成开口三角形,供给母线绝缘监视用。其铁芯结构及绕组接线见图 3-67。这种互感器的器身用铁芯夹件固定在箱盖上,箱盖上装有高低压出线瓷套管、铭牌、吊攀及带有呼吸孔的注油塞,箱盖下的油箱呈圆筒形,用钢板焊制,下部装有接地螺栓和放油塞。其技术数据见表 3-23;外形尺寸见图 3-68。

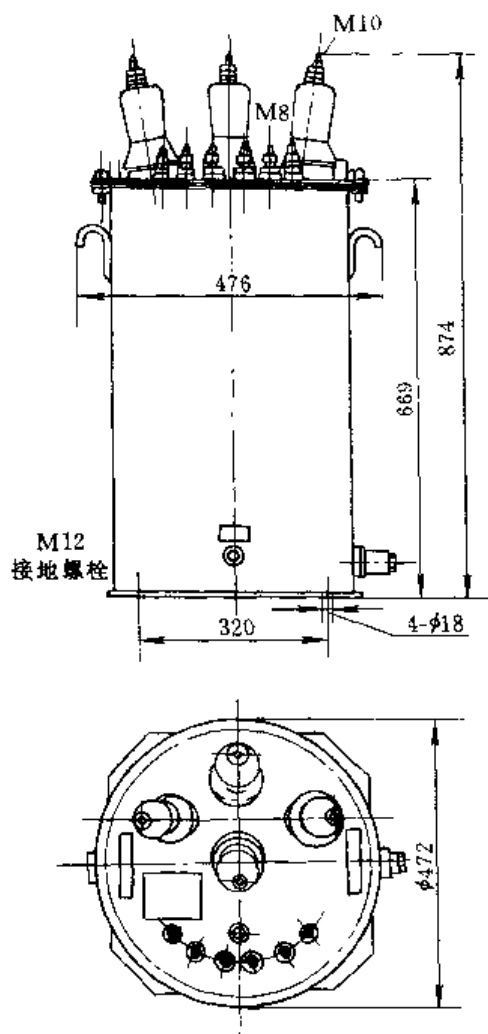


图 3-68 JSJW-10 电压互感器

(3) JDZJ-10 型电压互感器。这种互感器为单相三绕组浇注式绝缘、户内用设备,在 10kV 配电系统中可供测量电压、电能,功率及接地继电保护等使用。也可利用三台这种互感器组合来代替一台 JSJW 型,但不能作单相运行。该种互感器体积较小,气候适应性强,铁芯采用硅钢片卷制成 C 形或叠装成方形,外露在空气中。其一次绕组、二次绕组及辅助二次绕组同心绕制在铁芯中,用环氧树脂浇注成一体,为全绝缘型结构。绝缘浇注体下部涂有半导体漆并与金属底板及铁芯相连,以改善电场的均匀性。其技术数据见表 3-24;外形及安装尺寸见图 3-69。

表 3-23 JSJW-10 电压互感器技术数据

型号	额定电压 (V)			额定容量 (VA) ( $\cos\varphi=0.8$ )			最大容量 (VA)	连接组	重量 (kg)
	一次绕组	二次绕组	辅助绕组	0.5 级	1 级	3 级			
JSJW-10	10000	100	100/3	120	200	180	960	$Y_0/Y_0-12$ 辅助绕组接成开口三角形	190

表 3-24 JDZJ-10 电压互感器技术数据

型号	额定电压 (V)			额定容量 (VA) ( $\cos\varphi=0.8$ )			最大容量 (VA)	连接组	重量 (kg)
	一次绕组	二次绕组	辅助绕组	0.5 级	1 级	3 级			
JDZJ-10	$10000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100/3	40	60	150	300	1/1/1-12-12	26

(4) JSJB-10 型电压互感器。这种互感器为三相双绕组油浸式户内用电压互感器。铁芯为三柱内铁芯式,三相绕组分别装设在三个柱上,器身由铁芯件固定在箱盖上,箱盖上



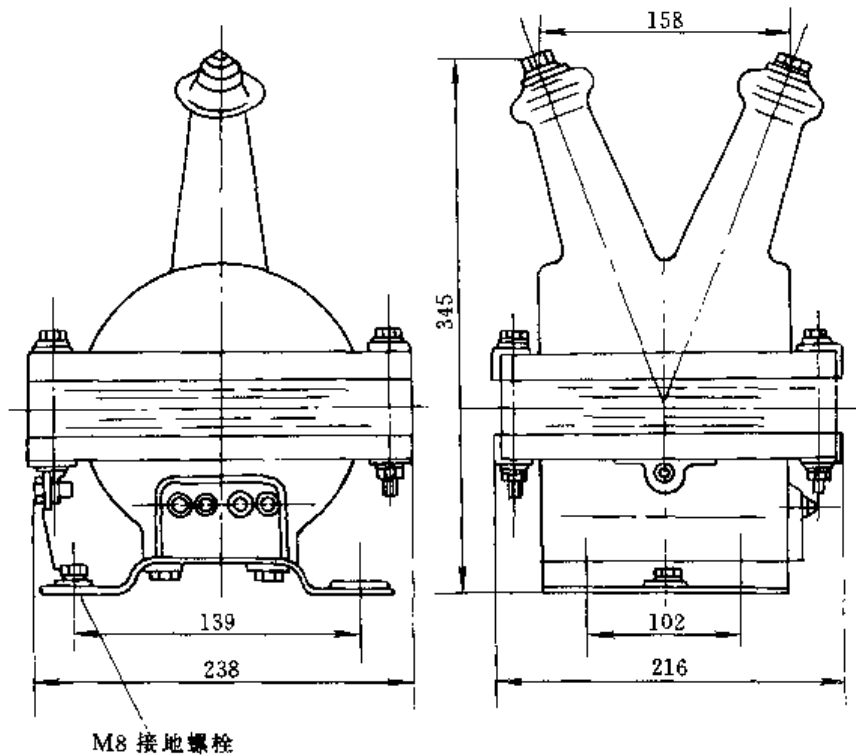


图 3-69 JDZJ-10 电压互感器

装有高、低压出线瓷套管以及铭牌、吊攀及带有呼吸孔的注油塞，油箱为圆筒形，下部装有接地螺栓和放油塞。

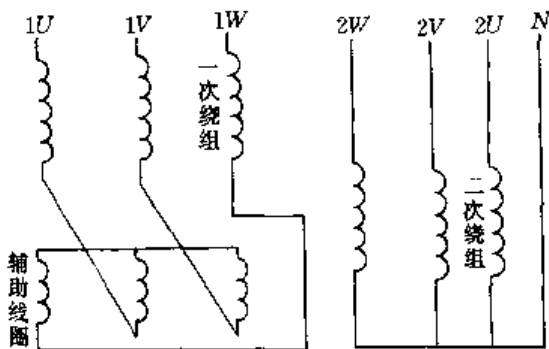


图 3-70 JSJB-10 电压互感器绕组接线

该种互感器一次高压侧三相共有六个绕组，其中三个是主绕组，三个是相角差补偿绕组，互相接成 Z 形接线，即以每相绕组与匝数较少的另一相补偿绕组相连。为了达到补偿角差的目的，要求正相序连接，即 U 相主绕组接 V 相补偿绕组，V 相主绕组接 W 相补偿绕组，W 相主绕组接 U 相补偿绕组。这种接法（见图 3-70）可减少互感器的误差、提高其准确级次。

JSJB-10 型互感器在 10kV 配电系统中，可供测量电压（相电压及线电压）、电能和功率以及继电保护用。由于采用了补偿线圈减少了角误差，因此更适宜供给电能计量使用。其技术数据见表 3-25。

(二) 电压互感器的安装和使用

1. 电压互感器的安装

电压互感器是供给交流高压装置中的测量仪器和继电保护装置启动用电电压的电源。它在运输过程中因受振动常发生瓷套管损坏或螺栓松动等现象，故在安装前必须检查。一般情况下，只作外部检查而不作内部

表 3-25 JSJB-10 型电压互感器技术数据

型号	额定电压 (V)		额定容量 (VA) ( $\cos\phi=0.8$ )			最大容量 (VA)	连接组	重量 (kg)
	一次绕组	二次绕组	0.5 级	1 级	3 级			
JSJB-10	100000	100	120	200	480	960	Y/Y <sub>0</sub> 12	105

检查。如经过试验判断有不正常现象（如断线或直流电阻不符合规定）时，再作吊心检查。外部检查可按下列各项进行：

（1）检查瓷套管有无裂纹，边缘是否毛糙或损坏，瓷套管与上盖间的胶合是否牢靠，用手轻轻扳动套管，套管不应活动。

（2）检查电压互感器的油位指示器，应无堵塞和渗油现象。油面要达到标准高度，油面太高，会使密闭式互感器内产生较大的压力，油面太低，会引起互感器过热或绝缘物质损坏。油面的高度一般距油箱盖 10~15mm。

（3）检查电压互感器的外壳有无漏油或渗油现象，如发现此类现象，应把铁芯吊出，将油放出后进行修补。用手转动油箱上的阀门，阀门应转动灵活。

电压互感器的吊心检查方法与变压器吊心检查基本相同，实用中可参照进行。

电压互感器一般均直接安装于混凝土墩上，安装前混凝土墩应达到一定强度。电压互感器有时也装在成套开关柜内，对这种电压互感器只需检查接线。具体安装时应注意：搬运电压互感器时，其倾斜角度不要超过 15°，以免内部绝缘受损；接到套管上的母线，不应使套管受到拉力，以免损坏套管；电压互感器外壳必须妥善接地。此外，电压互感器必须经过接交试验后才可投入运行。

## 2. 电压互感器使用注意事项

（1）电压互感器除应根据所测电压的高低来进行选择外，还应注意使所接测量表和继电器等所消耗的功率不超过电压互感器的额定容量。否则，电压互感器的准确度将降低。在电压互感器的铭牌上，标出了与准确度相对应的容量。如 JDZ—10 型电压互感器的容量：在 0.5 级时为 80VA；1 级时为 100VA；3 级时为 300VA；最大容量为 500VA。

（2）电压互感器的一次绕组和二次绕组，一般都应装设熔断器进行短路保护。电压互感器一次侧的熔断器，用于保护电压互感器的内部短路故障及电压互感器与电网连接线上的短路故障。10kV 电压互感器一次侧熔丝的额定电流一般选 0.5A。电压互感器的二次侧在工作时不得短路，所以在二次侧主回路上装设了总熔断器，用于保护总熔断器以下回路的短路故障；为了防止测量表的电压回路短路，影响二次主回路工作，在表计回路上还加设有熔断器。一般总熔丝的额定电流选 3~5A，表计回路熔丝额定电流选 1~2A。接成开口三角形的二次出线上一般不装熔断器，这是唯恐接触不良发不出接地信号，因为平常开口三角形的端头无电压，无法监视熔断器的接触情况。

（3）为了保证人身和设备的安全，电压互感器的二次侧有一端必须接地。因若二次绕组未作安全接地，万一绝缘损坏，高压窜入低压，则与二次回路接触的工作人员将有生命危险。再则二次回路的绝缘水平低，若没有接地点，将使绝缘击穿，电压互感器损坏更严重。

（4）巡视电压互感器时应注意检查瓷瓶是否清洁，有无裂纹、缺损及放电现象；油浸式电压互感器油面是否正常，有无严重渗油、漏油现象；当线路发生一相接地时，供接地监视的电压互感器声音是否正常，有无异味。

## 3. 电压互感器的接线方式

单相或三相五柱式电压互感器常用接线有如下 4 种（见图 3-71）：

（1）图 3-71（a）是只有一台单相电压互感器的接线，在只需一种线电压时采用。

（2）图 3-71（b）是两台单相电压互感器接成不完全三角形（即 V 形）的接线，用在只

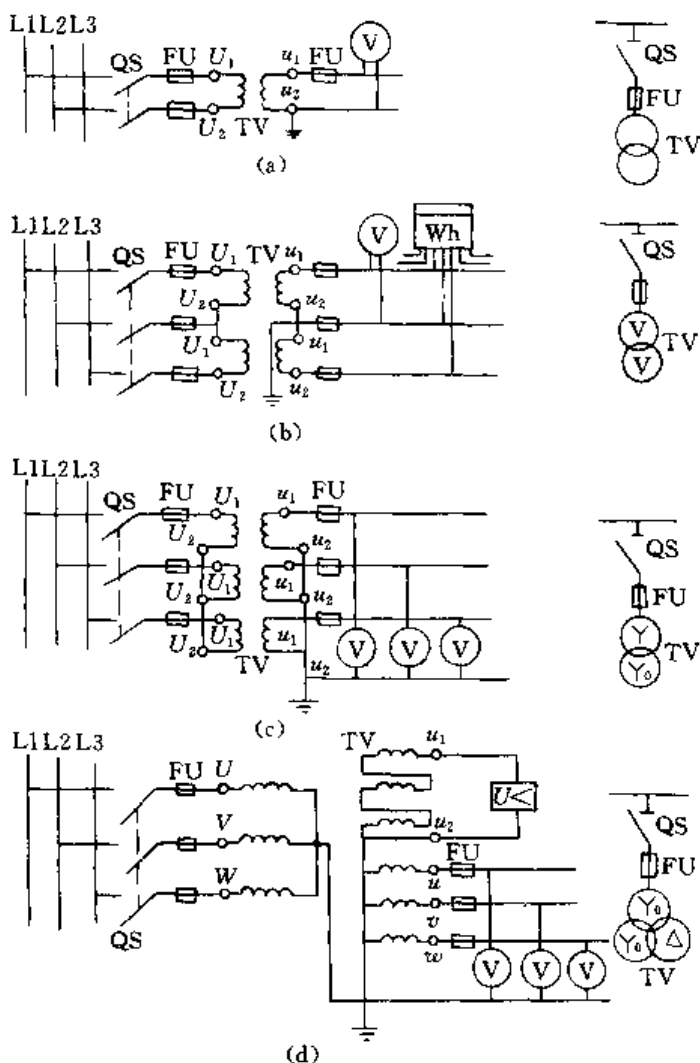


图 3-71 电压互感器在电路中的接线方式

- (a) 一只单相电压互感器；(b) 两只单相电压互感器接成 V/V 形；  
 (c) 三只单相电压互感器接成 Y/Y<sub>0</sub> 形；(d) 三只单相三绕组电压互感器或一只三相五心柱电压互感器接成 Y<sub>0</sub>/y<sub>0</sub>/d

需线电压而不需相电压的场合。在变配电所 6~10kV 系统中，用来连接三相电度表、三相功率表、接线电压的电压表及继电器等。

(3) 图 3-71(c) 是三台单相电压互感器接成 Y/Y<sub>0</sub> 形的接线。在中性点绝缘的电网中，可满足仪表和继电器接相电压和线电压的要求，但不能用来供电给绝缘检查电压表，就是说这种接线测不出相对地的电压（因为互感器一次侧中性点未接地，一次绕组接的是相线对中性点的电压而不是相线对地的电压。电网一相接地时，接地相对地电压虽为零，但对中性点的电压仍为相电压。此时，加在电压互感器一次绕组上的电压未变，故绝缘检查电压表上便反映不出电网接地情况）。

(4) 图 3-71(d) 是一台三相五柱式电压互感器或三台单相三绕组电压互感器接成 Y<sub>0</sub>/y<sub>0</sub>/d(开口三角形)的接线。

互感器一次绕组接成 Y<sub>0</sub> 形中性点直接接地；基本二次绕组也接成 y<sub>0</sub> 形，用来供给线电压、相电压及连接绝缘检查电压表；辅助二次绕组接成开口三角形，用来供给绝缘监视的电压继电器，当中性点不接地电网发生

一相接地时，可使电压继电器动作发出单相接地信号。

### 三、电流互感器

#### (一) 电流互感器的原理、型号及技术数据

##### 1. 电流互感器的工作原理

电流互感器又称仪用变流器，习称“流变”或“TA”。它一次绕组匝数很少（有的直接穿过铁芯，只有 1 匝），导线很粗；二次绕组匝数很多、导线较细，是用来把大电流变为小电流的变流器。工作时，一次绕组串联在供电系统的一次电路中；二次绕组则与仪表、继电器的电流线圈串联联接，形成一个闭合回路。由于这些电流线圈的阻抗很小，所以工作时，电流互感器二次侧接近于短路状态，而一次侧通过的电流与二次侧的阻抗无关，它决定于主电路的负载电流。这就是电流互感器工作时的特点。

一次绕组通过一次电流  $I_1$ ，产生的磁化力  $I_1 W_1$ （称一次绕组磁化力），大部分被二次电流  $I_2$  通过二次绕组产生的磁化力  $I_2 W_2$ （称二次绕组磁化力）所平衡，只有小部分磁化力

$I_0 W_0$  (称总磁化力) 在铁芯中产生磁通  $\phi_0$ 。据磁化力平衡原理有式  $I_1 W_1 = I_2 W_2 + I_0 W_0$ , 若忽略激磁电流  $I_0$  (即令  $I_0 = 0$ ), 则

$$I_1 W_1 = I_2 W_2$$

即 
$$I_1 = \frac{W_2}{W_1} I_2 = K_1 I_2 \quad \left\{ \text{其中 } K_1 = \frac{W_2}{W_1} \right\}$$

式中  $W_1$ 、 $W_2$ ——电流互感器一次、二次绕组的匝数;

$K_1$ ——变流比 (一般铭牌上标有该值, 即一、二次额定电流之比, 如 300/5)。

所以当知道电流互感器的二次电流  $I_2$  时, 乘上变流比  $K_1$  就可求出一次电流  $I_1$ 。这就是利用电流互感器二次侧小电流表间接测量出一次侧大电流的道理 (表盘按一定比例刻度, 可直接读出大电流数值)。

## 2. 电流互感器型号及技术参数

(1) 电流互感器的型号含义。电流互感器可以按其用途、结构型式、绝缘型式及一次绕组的型式来分类。通常, 型号用横列拼音字母及数字来表达, 其中斜杠前的数字为额定电压, 斜杠后的数字为准确级次, 而横杠后则标额定电流。各部位字母含义见表 3-26。

型号举例:

1) LQJ-10 10kV 线圈式树脂浇注绝缘电流互感器;

2) LZX-10 10kV 浇注绝缘小体积柜用电流互感器;

3) LFZ2-10 10kV 复匝贯穿式树脂浇注绝缘电流互感器。

(2) 电流互感器的技术参数。

1) 变流比。是指电流互感器一次绕组的额定电流与二次绕组额定电流之比。由于其二次绕组的额定电流都规定为 5A, 所以变流比的大小取决于一次额定电流的大小。电流互感器的一次额定电流等级有: 15、20、30、40、50、75、100、150、200、(250)、300、400、(500)、600、(750)、800、1000、1200、1500、2000、3000、4000、5000、6000、8000A 及 10000A 等。目

表 3-26 电流互感器型号中的字母含义

排序	字母含义	代号含义
1	品名	L——电流互感器
2	安装型式	A——穿墙式; Y——低压型 R——装入式 C——瓷箱式或手车式 F——贯穿复匝式; D——贯穿单匝式 M——母线式; J——接地保护 Q——线圈式; Z——支持式
3	绝缘型式	C——瓷绝缘; X——小体积柜用 K——塑料外壳; L——电缆电容型 M——母线式 S——速饱和; Z——浇注绝缘 W——户外式; J——树脂浇注
4	结构型式	B——保护型; Q——加强型 D——差动保护用 J——接地保护或加大容量 L——铝线型; G——改进型

前, 在 10kV 用户配电装置中, 电流互感器一次额定电流选用规格, 一般在 15~1500A 范围内。

2) 误差和准确度级次。电流互感器的测量误差分为两种: 一种是变比误差 (简称比差); 另一种是相角误差 (简称角差)。

变比误差由下式决定

$$\Delta I \% = \frac{K_1 I_2 - I_{1n}}{I_{1n}} \times 100 \%$$

式中  $I_{1n}$ ——电流互感器一次额定电流;

$I_2$ ——电流互感器二次电流实测值。

电流互感器的相角误差是指二次电流的相量  $\dot{I}_2$  与一次电流相量间的夹角  $\delta$ , 单位是

去磁安匝减少,同样使励磁电流加大和误差加大。为了使一次电流和二次阻抗这两个影响误差的主要因素互相制约以保证误差在 10% 范围以内,各种电流互感器产品规范给出了 10% 误差曲线。所谓电流互感器的 10% 误差曲线,就是电流误差为 10% 的条件下,一次电流对额定电流的倍数和二次阻抗的关系曲线(图 3-72 给出 LQJC -10 型电流互感器 10% 倍数曲线)。利用 10% 误差曲线,可以求出与保护计算用一次电流倍数相适应的最大允许二次负载阻抗。

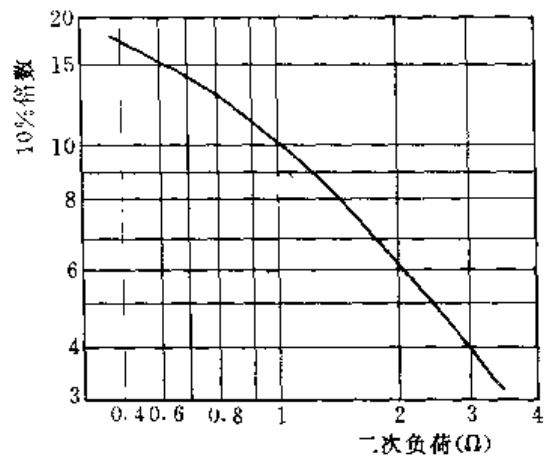


图 3-72 LQJC -10 电流互感器 10% 倍数曲线

5) 热稳定与动稳定倍数。它们表示了互感器承受短路电流热作用和机械力作用的能力。热稳定电流是指互感器在 1s 内承受短路电流的热作用而无损伤的一次电流有效值。所谓热稳定倍数,就是热稳定电流与电流互感器额定电流之比;而动稳定电流是指一次线路发生短路时,互感器所能承受的无机械损伤的最大一次电流峰值,它一般为热稳定电流的 2.55 倍。所谓动稳定倍数,就是指动稳定电流与电流互感器额定电流的比值。

### 3. 10kV 系统常用电流互感器

(1) LQJ-10、LQJC-10 型电流互感器。这种互感器为线圈式、浇注绝缘、户内型,在 10kV 配电系统中可供电流、电能和功率测量以及继电保护用。互感器的一次绕组和部分二次绕组用树脂混合浇注成一个整体,铁芯由条形硅钢片叠装而成,一次绕组引出线在顶部,二次接线端子在侧壁上。其外形及安装尺寸见图 3-73。

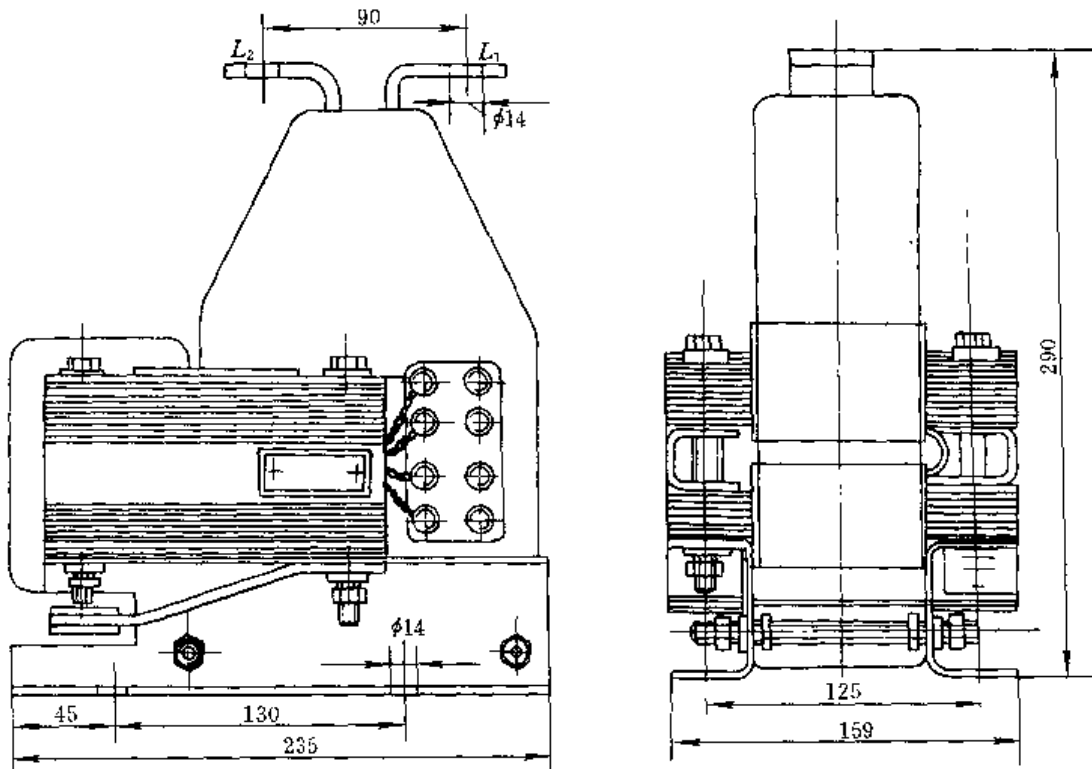


图 3-73 LQJ-10、LQJC -10 电流互感器

技术数据如下：

- 1) 额定一次电流：5~200A 及 400A 共 12 种规格；
- 2) 额定二次电流：5A；
- 3) 电流互感器两套二次绕组的准确级次组合：0.5/3、1/3、0.5/D、1/D；
- 4) 额定二次负荷、10%倍数及短路稳定倍数：见表 3-28。

表 3-28 LQJ—10、LQJC 10 型电流互感器的额定二次负荷、10 %倍数及短路稳定倍数

型 号	准 确 级 次	额定二次负荷 (Ω) (cosφ=0.8)				10%倍数	短 路 稳 定 倍 数			
		0.5 级	1 级	3 级	D 级		1s 热稳定倍数		动稳定倍数	
							5—100/5	150 400/5	5—100/5	150 400/5
LQJ—10	0.5	0.4	0.6	—	—	6	90	75	225	160
	1	—	0.4	—	—					
	3	—	—	0.6	—					
LQJC—10	0.5	0.4	0.6	—	—	6	90	75	225	160
	1	—	0.4	—	—					
	D	—	—	—	0.6	15				

注 额定二次负荷栏内的准确级次是指电流互感器实际使用的级次。

(2) LFZ2—10、LFZD2—10 型电流互感器：这种互感器在 10kV 配电系统中，可供电流、电能和功率测量以及继电保护用。结构为半封闭式，一次绕组为贯穿复匝式，一、二次绕组用树脂混合胶浇注成型，叠片式铁芯和安装板夹装在浇注体上。其外形及安装尺寸见图 3-74。

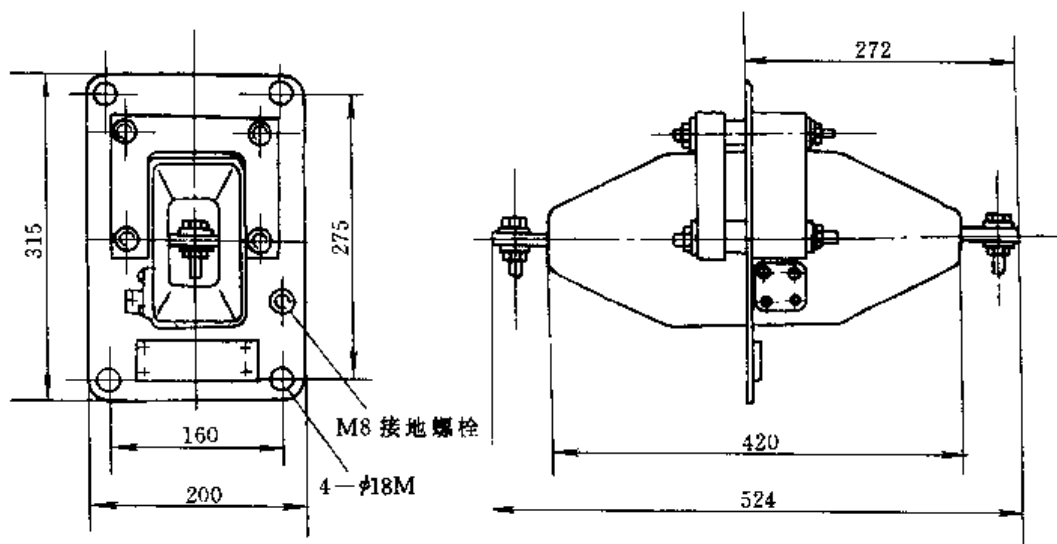


图 3-74 LFZ2—10、LFZD2—10 电流互感器外形及安装尺寸

技术数据如下：

- 1) 额定一次电流：LFZ2—10 型为 5~300A 及 400A，LFZD2—10 型为 75~300A 及 400A；
- 2) 额定二次电流：5A；
- 3) 电流互感器准确级次组合：0.5/3、0.5/D、D/D；
- 4) 电流互感器的额定二次负荷，短路稳定倍数：见表 3-29 及表 3-30。

## (二) 电流互感器的接线方式

电流互感器的常用接线有下列 4 种：

(1) 一台电流互感器接线如图 3-76 (a) 所示。这种接线方式即一相式接线，它用来测量单相负荷电流或三相系统中平衡负荷下的某一相电流。

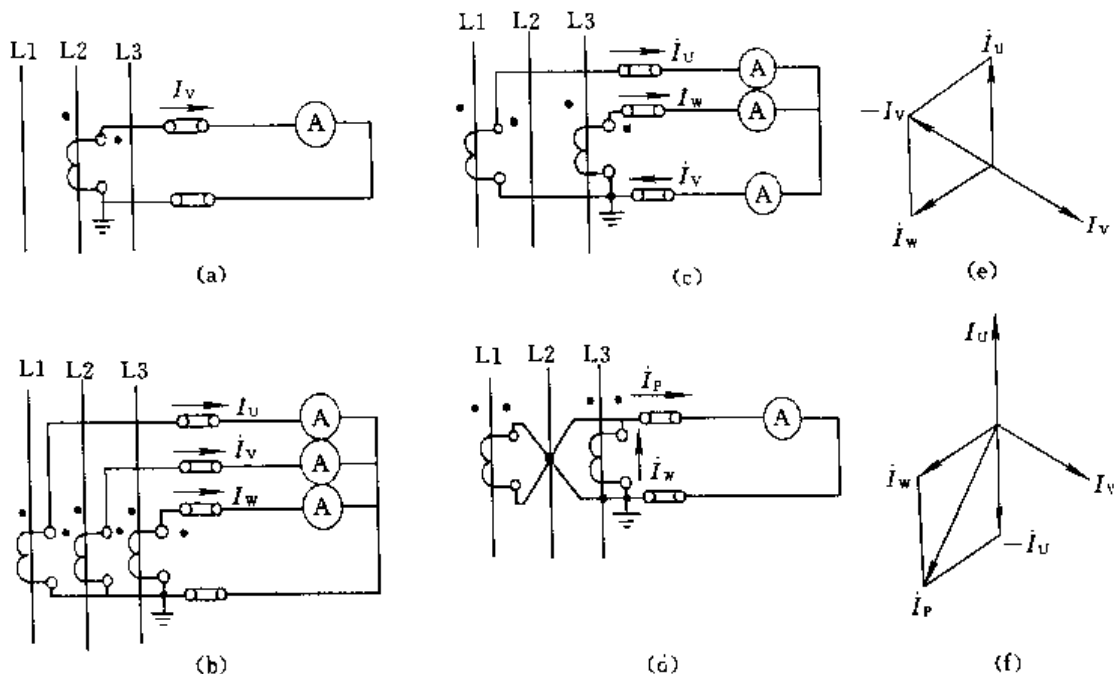


图 3-76 电流互感器在电路中的接线方式

(a) 一相式接线；(b) 三相星形接线；(c) 两相 V 形接线；(d) 两相电流差接线；(e) C 接线三相量图；(f) d 接线三相量图

(2) 三台电流互感器组成星形接线，如图 3-76 (b) 所示。这种接线可以用来测量负荷平衡或不平衡的三相电力系统中的三相电流。这种三相星形接线方式组成的继电保护电路，能保证对各种故障（三相、两相短路及单相接地短路）具有相同的灵敏度，因此可靠性较高。

(3) 两台电流互感器组成不完全星形接线方式如图 3-76 (c) 所示。这种接线方式也称两相 V 形接线，它可用于测量负荷不论平衡与否的三相三线制线路，在 6~10kV 中性点不接地系统中应用较广泛。由图 3-76 (e) 可见，通过公共导线上仪表中的电流，等于 U、W 相电流的相量和，也就是等于 V 相的电流。即

$$I_U + I_W = 0$$

$$I_V = -(I_U + I_W)$$

不完全星形接线方式组成的继电保护电路，能对各种相间短路故障进行保护，但与三相星形接线比较，灵敏度较差。由于不完全星形接线方式比三相星形接线方式少了 1/3 的设备，因此可节省投资费用。

(4) 两台电流互感器组成两相电流差接线，如图 3-76 (d) 所示。这种接线方式通常应用于继电保护线路中，如线路或电动机的短路保护及并联电容器的横联差动保护等。它能反应各种相间短路，但灵敏度却各不相同。这种接线方式在正常工作时，通过仪表或继电

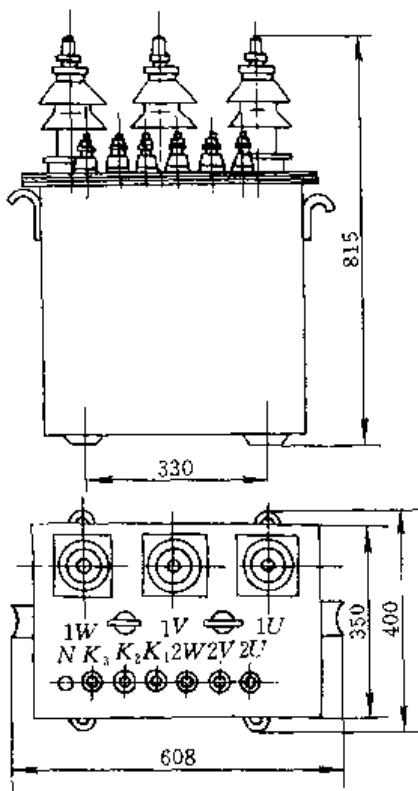


图 3-77 组合式互感器  
外形及安装尺寸

器的电流是  $W$  相电流和  $U$  相电流的相量差，其数值为电流互感器二次电流的  $\sqrt{3}$  倍，如图 3-76 (f) 所示。即

$$I_P = I_W - I_U$$

$$I_P = \sqrt{3} I_U$$

电压、电流组合式互感器及其接线：这种组合式互感器，系由单相电压互感器和单相电流互感器组合成三相，并包在同一油箱体内如图 3-77 所示。这种组合式互感器具有结构简单、安装方便、体积小的优点，通常在户外小型变电所及高压配电线路上作电能计量及继电保护用。目前，国产 10kV 标准组合式互感器型号为 JLSJW-10 型，其接线方式见图 3-78。

### (三) 电流互感器的安装和使用

#### 1. 电流互感器的安装

电流互感器是供给测量仪表和继电保护装置启动用电流的电源。同样，由于运输、搬装等原因，在安装电流互感器之前，必须先进行外观检查：检查瓷体外表是否有掉落、裂纹等现象；法兰盘有无裂纹；穿心导电杆固定是否牢固等。电流互感器的安装方式要视设备配置情况而定，一般有：

定，一般有：

(1) 将电流互感器安装在金属构架上（如母线架上）。

(2) 在母线穿过墙壁或楼板的地方，将电流互感器直接用基础螺栓固定在墙壁或楼板上；或者先将角钢做成矩形框架、埋入墙壁或楼板中，再将与框架同样大小的铁板（厚约 4mm）用螺栓固定在框架上，然后再将电流互感器固定在钢板上。

(3) 安装在成套配电柜内。对这种电流互感器不需进行本体安装，只要检查接线。

安装电流互感器时，应注意下列各点：

(1) 如电流互感器安装在墙孔及楼板孔中心时，其周边应有 2~3mm 的间隙，然后塞入油纸板以便于拆卸，同时也可以避免外壳生锈。

(2) 接至电流互感器端子的母线，不应使电流互感器受到拉力。

(3) 电流互感器的二次绕组不应开路。因此，其二次回路中不应装设熔断器。它的二次回路一般都接有仪表，若不使用仪表时，则应通过接线板使其短路并直接接地。

(4) 电流互感器的二次绕组当其绝缘电阻低于 10~20MΩ 时，必须干燥以恢复绝缘。

(5) 每相电流互感器其中心应安装在同一平面上，并与支持绝缘子等设备装在同一中心线上，各互感器的间隔应一致。互感器的法兰盘应接地，一般采用裸铜线用螺丝连接。

此外，电流互感器必须经过接交试验后才可投入运行。

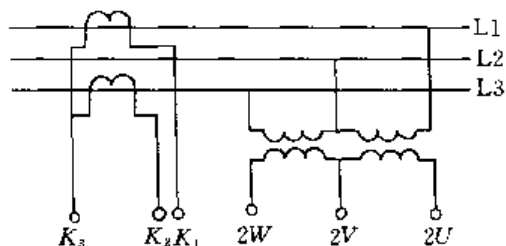


图 3-78 组合式互感器的接线



## 2. 电流互感器使用注意事项

(1) 电流互感器的准确度与其二次侧所接负荷的大小有关。一定的准确度，对应一定的二次侧额定容量。实际负荷超过规定的额定容量时，准确度将降低。二次侧负荷包括二次绕组所串接的仪表、继电器的电流线圈及连接导线的阻抗。所以串接的仪表数不宜过多，一般不超过3~4只；连接的导线也不宜过细，一般铜芯绝缘线的截面不小于 $1.5\text{mm}^2$ ，铝芯不小于 $2.5\text{mm}^2$ ，以免影响测量精确度。

(2) 电流互感器的二次侧有一端必须保护接地。这是为了防止一、二次绕组绝缘击穿时一次侧的高压窜入二次侧，威胁人身安全及损坏设备。

(3) 电流互感器在连接时，要注意其一、二次绕组接线端子上的极性不能接错。否则，其二次侧所接仪表、继电器中通过的电流，便不是所要求的电流(将增大 $\sqrt{3}$ 倍)，就可能烧坏表计，引起事故。电流互感器一、二次绕组接线端子上都标有极性。标注的方法很多，一般一次绕组端子用 $L_1$ 和 $L_2$ 标志，二次绕组端子用 $K_1$ 和 $K_2$ 标志。 $L_1$ 与 $K_1$ 同极性， $L_2$ 与 $K_2$ 同极性。

(4) 电流互感器的二次侧在工作时决不能开路。这是因其一次电流的大小与二次负载电流的大小无关。当二次侧开路时 $I_2=0$ ，此时有：

$$I_1W_1 + I_2W_2 = I_0W_1$$

即一次绕组磁化力全部变成了总磁化力，也就是一次电流完全成了励磁电流。这将会导致铁芯中磁通急剧增加，使二次绕组上感生很高的电动势（其峰值可达几kV），威胁人身安全，造成仪表、保护装置和互感器二次绝缘的损坏。另外，铁芯中磁通密度的过度增大，有可能造成铁芯严重发热而损坏。所以电流互感器在工作时二次侧决不允许开路。当运行或调试过程中因不慎或其他原因造成二次侧开路时，有关表计（如电流表、功率表）会有变化或指示为零，若是连接螺丝松动还可能有打火现象（随着打火，表计指针也可能有摇摆）。此时应即设法处理，其方法是：能够转移负荷停电处理的尽量停电处理；不能停电的，若是电流互感器处开路，限于安全距离人又不能靠近，此时只能减小负荷电流，等渡过高峰后再停电处理；若是盘后端子排上螺丝松动，则可站在绝缘垫上，戴上手套并用有绝缘把的螺丝刀，动作果断迅速地拧紧螺丝。应注意，处理时先要停用相应的保护装置。

(5) 巡视电流互感器时应注意检查：瓷质部分是否清洁，有无破损和放电现象；注油电流互感器的油面是否正常，有无漏油、渗油现象；接头是否过热；二次回路有无冒火现象；以及有无异味及异常声响。

## 第四节 箱式变电站

### 一、箱式变电站的特点和适用范围

#### (一) 箱式变电站的特点

箱式变电站也称组合式变电站或成套变电站，它是适用于城市房屋建筑密集区，特别适用于高层建筑、公共场所、住宅楼群和公园等场所，也可作为建筑工地的临时性供电设备。以变压器为主的成套电气设备。依摆工矿企事业单位或城市与郊区住宅小区变电站的主接线要求，将变压器、断路器、隔离开关、互感器、低压配电装置及计量仪表等设备或电器，按所要求的预定接线顺序装配在封闭柜中所组成的成套变配电装置，称之为箱式或

组合式变电站。它有许多特点，其优点是：

(1) 占地面积小(除某些型号的箱式变电站需建油坑基础外其余均不需建筑物)。这在当今寸土千金的时代里，特别是城市建筑密集区或某些工厂企业内更显优越。

(2) 完整成套，运输吊装方便，接好进出线即可使用，大大缩短了安装与送电的时间。

(3) 可灵活地安装在用电负荷中心，减少了线路损耗，且设施美观。

(4) 某些型号的箱式变电站可以进行环网供电或双回路供电，提高了供电水平。

但箱式变电站也自有其不足之处，主要是：

(1) 采用常规的高压断路器，就显得庞大而笨重，与变压器连接的安全性还有待提高。

(2) 由于绝缘水平落后，目前还不能做得很紧凑，也存有发生火灾的可能性。

(3) 在防寒与隔热方面还不能满足要求，以及造价偏高。

## (二) 箱式变电站结构与适用场合

各型式变电站的结构及其具体适用范围，见表 3-32。

表 3-32 常用箱式变电站型号、结构及适用范围

型 号	结 构	适 用 范 围
ZB 型户 外箱式变 电站	外壳由薄钢板及隔热材料制成，四周有通风百页窗，窗上有薄泡沫塑料层，既防尘、防小动物，又不影响空气流通。该型变电站由高压室、变压器室和低压室组成。高压室装有配电柜 4 台，配电柜装有负荷开关、熔断器、避雷器、接地开关等；变压器室装有 500kVA 及以下 6~10/0.4kV SCL 型环氧树脂浇注干式变压器；低压室可装低压屏 4 台，低压屏装有自动开关、计量仪表和进线及馈电回路	用于工业企业、高层建筑、住宅小区、机场、宾馆及建筑工地的环式、放射式、树干式的电缆线路变配电系统中，作为动力、照明供电
TBW 系 列箱式变 电站	该型变电站由 6~10kV 高压室、10/0.4kV 变压器室及低压配电室组成。箱体为金属封闭、积木式结构。高压室装有带熔断器的负荷开关、真空断路器或少油断路器；变压器室装设变压器为 6、10/0.4kV、50~1600kVA；低压配电室装有 DW15 和 DZ10 型自动开关	用于生活小区，中小型工厂、矿山、港口、油田、铁路以及其他需要临时电源的场所
ZXB-2 系列组合 型箱式变 电站	该型变电站箱体外形尺寸分为 1~6 号六种规格，可组合成三箱体、五箱体和双三箱体等型式。高压室装有负荷开关、真空断路器或少油断路器；变压器室装有 10、6、0.4kV、200~630kVA 变压器；低压室装有自动开关、刀开关、电流互感器、熔断器以及计量、指示仪表等	用于工矿企业、公共建筑物、港口、码头、车站及居住小区等场所
XBW-1 系列箱式 变电站	它为整体结构，依次安装高压开关柜、变压器和低压配电屏。也可分为二个独立部分：高压室、变压器室和低压室。变压器容量：XBW-1 型的为 200~500kVA；XBW-3 型的为 100~630kVA	用于楼群、地下设施、机场、车站、码头、工矿企业、事业单位以及临时施工用电等场所，但使用地点的短路容量不可大于 200MVA
CPN 型 户内箱式 变电站	本装置由高压开关柜、变压器柜、低压配电屏一种基本单元组成。尚可据用户要求，增加低压静电电容器屏和计量柜。变压器容量为 125~1250kVA	用于高层建筑、地下设施、工矿企业、车站、码头、港口和集中住宅区等场所，作为中小型变电站

## 二、ZBW 型箱式变电站接线方案

ZBW 型户外箱式变电站(Z 指组合式、B 为变电站、W 指户外)的一次接线(包括高压与低压)方案有多种，见表 3-33，实用中可据具体情况及需要进行选择。

表 3-33

ZBW 型户外箱式变电站的一次接线方案

高压一次接线方案							
一次方案编号	1		2		3		
一次方案图							
高压开关柜台数	2		3		3		
低压一次接线方案							
一次方案编号	2	3	1	2	6	13	14
一次方案图							
用途	进线	进线	动力	动力	动力	照明	照明

### 三、ZB—F 系列箱式变电站

ZB—F 系列为一种新型箱式变电站，它是参照美国箱式变电站产品，由我国自行开发的一种新型变配电成套设备。该产品已通过型式试验和新产品鉴定，且已供各地实际使用。ZB—F 系列的特点如下。

(1) 结构完全突破国内的常规设计，创造性地将高压负荷开关、插入式熔断器及后备限流熔断器等高压组件进行了结构优化与完美组合，将它们置于变压器油箱里并浸入油中，而且低压开关亦做到了小型化。这使其体积大为缩小，仅为常规产品的 1/4 左右（见图 3-79）。

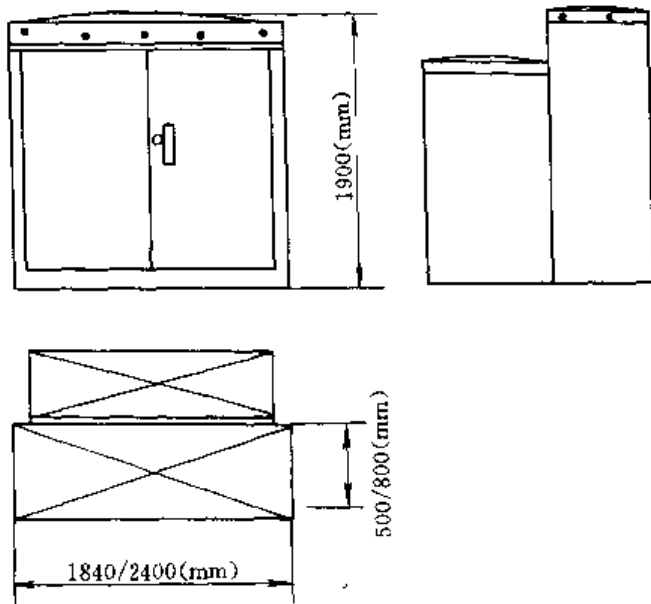


图 3-79 ZB—F 系列组合式变电站的外形尺寸

(2) 采用全封闭、全绝缘结构。高压电源进线采用肘形电缆插头与高压端子相组合的形式，这样就没有了裸露的高压带电部分。使对其操作更安全可靠，而且维护简单。

(3) 散热处理上进行了重大改进，取消了散热片，无需常规产品采用的耗能型风冷散热装置。既提高了箱体的机械强度，又保证了设备安全。

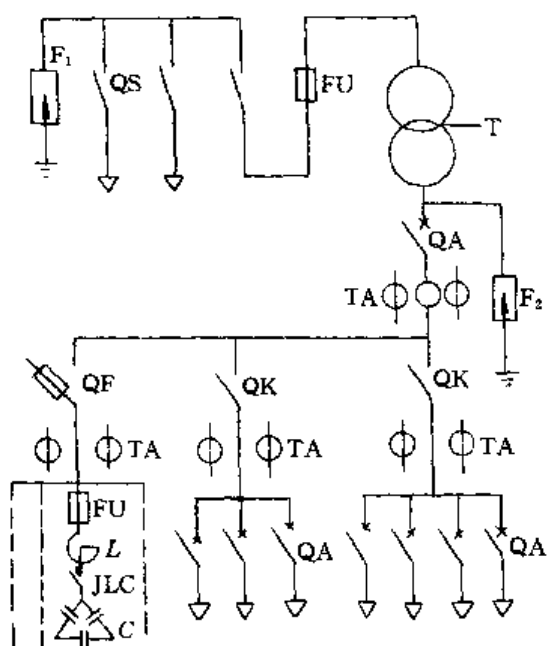


图 3-82 ZB41 型箱式变电站主接线图

时使大部分尘沙下沉,而进入箱壳内部的空气就较为洁净。  
在柜体前后两个方向上设有能左右打开的双扇门,以便于操作或检修内部电气设备。顶盖由薄钢板弯制焊接而成,也是双层结构,内层薄板上还冲有通风孔,顶盖的四周也有通风孔。这样,箱体内部的热空气便可通过内层薄板的通风孔及顶盖四周的通风孔排出。为减少太阳直晒对箱内温度的影响,在顶盖内加上了一层岩棉垫。

高压配电装置与电力变压器之间用塑料电缆连接,电缆头套有绝缘筒以保证运行安全。低压配电装置和变压器由铜排连接,高压配电设置、变压器及低压配电装置之间均有隔板隔开。低压配电装置内装有无功功率自动补偿装置。变压器需装卸时可以打开顶盖从上方吊出或打开侧板从侧面拉出。箱式变电站内可装用标准型电力变压器,也可装用环氧树脂浇铸的干式变压器(可很好地防火)。在其低压配电装置室内,还可根据需要安装电能计量装置。

## 2. 高配装置的技术数据及构成

(1) 高配装置的技术数据: 额定电压: 10kV; 额定开断电流: 400A ( $\cos\varphi$  为 0.7); 母线额定电流: 200A; 动稳定电流: 30kA (峰值); 闭合短路电流: 30kV (峰值); 热稳定电流: 8kA, 4s; 工频试验电压: 42kV, 1min; 冲击试验电压: 75kV (全波); 熔断器开断容量: 200MVA; 最大电缆截面: 3mm×120mm。

(2) 高配装置的构成: 它是由负荷开关单元、熔断器单元及避雷器单元等按积木式原理构成的, 它们能很方便地组成一个整体并构成各种不同的接线方式 (各主要电器元件的技术参数见表 3-34)。

表 3-34 ZB41 型箱式变主要高压电器元件技术参数

负荷开关	型号	额定电压(kV)	额定电流(A)	额定开断电流(A)	动稳定电流(kA)	热稳定(4s)电流(kA)
	FN-10	10	200	400	30	8
熔断器	型号	额定电压(kV)	额定电流(A)	额定开断容量(MVA)	所配变压器容量(kVA)	
	RN1-10	10	20/15	200	100kVA	
			20/20		160kVA	
			50/30		200kVA	
			50/40		315kVA	
50/50			400~630kVA			
避雷器	型号	额定电压(kV)	压敏电压(kV)	漏电流 10kV 时 不大于( $\mu$ A)	残压比 $U_{5000A}/U_{1mA}$	温度系数小于 (V/C)
	FS-10	10	20	2.25	2.25	$5 \times 10^{-3}$

各单元的导电部分全部由环氧树脂绝缘起来,相邻电气元件之间用特制导电管连接。该导电管上套了一个锥形橡胶套,若不同单元连在一起,只需依靠该绝缘套的胀力便可填满导电管周围的间隙,以保证带电体在该处与外界隔离。旋紧导电管的穿心螺栓,便可将不同单元按积木式原理组合在一起完成电气连接。将所组装的全部单元靠拢并接通电路后,再用侧板及螺杆夹紧,就构成了完整的装置。最后,将此装置安装在可以调整宽度的底架上。在高压侧的底架下部,还安装有电缆卡箍和接地螺钉等。

从负荷开关或熔断器组下部引出纸绝缘的铅封电缆时,应配用专用塑料电缆盒及专用电缆胶。如果是塑料电缆,则配用专用塑料套筒,这些配件出厂时已经装在盘上。它们能保证电缆和出线端子连接处与外界隔离,使运行时安全可靠。在负荷开关与熔断器组串接的电路中还加装了机械联锁,以确保操作程序只有在打开负荷开关的触头帽后才能取下熔断器保护盖,从而避免误操作。

负荷开关由一个固定底座和三个可取下的触头帽组成。在树脂浇铸的底座内装有静触头座和灭弧管,侧面有三个导电管连接孔。接电缆的负荷开关底座下面有三个引出端子,如果是与熔断器组串接的负荷开关,则其底座上没有引出端子,但侧面增加了三个导电管连接孔。动触头帽也是树脂浇铸的,里面有主触头和弧触头,用专用的操作手柄可将触头帽插入负荷开关底座,此时便接通了电路,取下触头帽后电路即断开。因此,负荷开关是分相并用手力操动的。

### 3. 低配装置的参数与电气性能

(1) 低配装置的技术数据:额定电压:380/220V;动稳定电流:15kA,30kA;工频试验电压:2500V。

(2) 低压侧总保护设过流及速断保护,出线自动空气开关的过流保护及短路速断保护是发生短路故障时的第一级保护。

(3) 过负荷保护:各出线负荷过载时,自动空气开关的热元件保护动作。

(4) 装有电压表、电流表、功率因数表,低压计量箱内装设有有功电能表、无功电能表及电接点压力式温度计。

(5) 为防止变压器温升过高,箱式变增设了仪表排风扇。其控制元件为一电接点压力式温度计 WTZ—288,它能根据室内温度自动开闭电扇。

(6) 无功功率自动补偿:箱式变内装有无功功率自动补偿柜,由于箱式变容量及用户对功率因数的补偿要求不同,电容器安装容量便也不同。选用塑料金属化膜电力电容器,它适于三相、单相交流的低压电力系统作为补偿感性无功消耗之用。电容的投切由无功自动补偿控制器控制,它还可据负载的功率因数自动投切,以及在电网电压高于额定值时切除或低负荷时拒投电容器。

### (三) 箱式变电站的使用与维护

箱式变电站使用与维护的注意事项如下:

(1) 箱式变电站是一种无人值班与监护的集受、变、馈电为一体的成套电器装置,因此应该每天巡视一次,每月清扫一次,每季维护一次。以及时发现异常或隐患,避免发生事故。

(2) 箱体为金属结构,虽经防腐处理,但若巡视中发现锈蚀部分时,则应及时涂补。

(5) 短时耐受电流（热稳定电流）。在规定条件下，能承受工作条件下可能出现的时间为  $t$  (s) 的短路电流值有效值 (kA)。

(6) 峰值耐受电流（动稳定电流）。能耐受工作场合万一出现短路时的最大峰值电流 (kA)。

(7) 关合电流。在规定条件下要能关合不造成触头熔焊，或其他妨碍继续正常工作的电流，且应满足工作场合关合时电流最大峰值 (kA) 的要求。

## 二、电弧理论及灭弧方法

电弧是一定条件下客观存在的一种物理现象，它有弊也有利。在开关电器中，当接通或断开电路时，触头间产生的电弧是有害的，要求它能被尽快熄灭；另一方面也可以利用它，如工程上的电弧焊接和电弧冶炼技术等则是直接利用电弧的特性来进行生产，为人们服务。

不掌握电弧理论，不懂得电弧特性，就无法了解开关电器的结构特点和工作性能。学习电弧理论，是为了对开关设备等能达到使用好、维护好、保证它们能够长期地安全运行。

### (一) 气体放电现象

电流经气体传导的各种形式统称为气体放电，它是一种物理现象。金属能够导电是因为金属中的自由电子在电场力作用下作定向运动所形成的；液体导电是因为酸、碱、盐在溶液中形成的正、负离子向异性电极运动的结果，但液体的导电往往伴随着化学反应。

常温下气体是不导电的，因为一般气体分子不会像金属那样容易释放出自由电子，也不像酸、碱、盐溶液那样容易分解为正、负离子。但在某种条件下，气体分子也可分离为电子和正离子，这种现象称为游离。气体放电就是游离气体的导电质点即自由电子和正离子在电场力作用下定向运动的结果。最常见的气体放电现象有如下三种形式：

(1) 电晕放电。通常电晕放电现象产生于带高电压的导体周围空间，特别是导体表面有尖角的部位。由于电场强度高，使周围空间中的气体分子被游离，同时发出吱吱声，在黑暗中可以看到导体周面有蓝色的光圈。

(2) 火花放电。火花放电现象产生于具有电压的两极间，当具备了使气体放电的条件时，由于电源的能量不足，或外回路的阻抗很大限制了放电电流，仅在两极间闪现出贯通两极的断续的明亮细火花并发出噼啪声。

(3) 电弧放电。电弧放电现象是气体自持放电的一种形式。所谓自持放电即两电极间的导电质点不断产生和消失，处于一种平衡状态。它的条件是电源的能量足以维持电弧的燃烧。实践证明，当开关电器切断有电流的电路时，若触头间的电压大于  $10\sim 20\text{V}$ ，电流超过  $80\sim 100\text{mA}$  时，断开瞬间触头间便会产生强烈的白光，这种白光即称电弧。此时触头虽已分开，但电流以电弧的形态维持，电路仍处于接通状态。只有在触头分开到足够距离、电弧熄灭后，电路才算被切断。出现电弧是开关电器在断开过程中不可避免的一种现象。

### (二) 电弧的形成过程

开关电器中电弧的形成是触头间具有电压以及气体分子被游离的结果。具体过程为：当开关电器用来断开电路时，在触头的分离过程中，由于动、静触头间的接触压力和接触面积不断下降和减少，接触电阻迅速增大，接触处的温度将急剧升高；另一方面在触头初分瞬间，由于触头的距离很小，其间电场强度很高（间隙距离为  $10^{-3}\text{cm}$  时，电场强度可高达

$10^5 \sim 10^6 \text{V/cm}$ )。作为阴极的触头在高温和强电场的作用下,将发生热电子发射(由于电极的高温而使金属内的自由电子从金属表面逸出)和强电场发射(由于电场力的作用把金属中的自由电子从阴极表面拉出)。由阴极发射出的电子在电场力的作用下,逐渐加速运动,迅速奔向阳极。在高速运动的电子奔向阳极的过程中,不断与气体分子碰撞,当积累足够大的动能时,可使中性气体分子分离成自由电子和正离子,这一过程称为碰撞游离。新产生的电子将和原有的电子一起以极高的速度向阳极运动,当它们和其他中性气体分子相碰撞时,再次发生碰撞游离,由此连续不断的碰撞游离,这样气体介质中的带电质点就大量增加,具有很大的电导,在外加电压作用下,气体介质开始被击穿,而形成弧光放电。

弧光放电时,弧柱温度可高达  $5000 \sim 13000^\circ\text{C}$ 。弧柱中的气体分子在高温作用下,产生剧烈的热运动,且动能很大,使气体分子间相互撞击,分离出新的自由电子和正离子,这种现象称为热游离,弧柱的导电就是靠热游离来维持的。热游离形成的带电质点分别向阴极和阳极移动。正离子向阴极移动的过程中受阴极压降区强电场的作用,不断撞击阴极,保持阴极的电子连续发射,于是电流就以电弧的形态在已分开的触头间持续流通。由于电弧放电主要靠热游离维持,因此维持电弧稳定燃烧的电压就不需要很高。

电弧的形成实际上是一个连续过程:最初由阴极借强电场和热电子发射提供起始自由电子,然后由碰撞游离而导致介质击穿、产生电弧,最后是靠热游离来维持电弧放电。

### 1. 电弧电压及其分布

电弧形成后,维持电弧稳定燃烧的电压称为电弧电压。电弧电压沿电弧全长的分布可分为三个部分:阴极压降区、弧柱和阳极压降区(见图 4-1)。

由图可见,阴极和阳极压降有一集中区域,该区域仅占电弧全长的极小部分。阴极压降区上的电压很高,一般约为  $10 \sim 20\text{V}$ ;阳极压降区上的电压一般均小于阴极压降区的电压,且随电弧电流的增大而减小,甚至接近于零;而弧柱占弧长的大部分,电压的变化却不很大。由此可见,当电流很大时,要维持电弧燃烧,加在电弧上的电压应不低于阴极电压降和弧柱电压降之和。在低压电路中阴极电压降对灭弧具有重大意义。

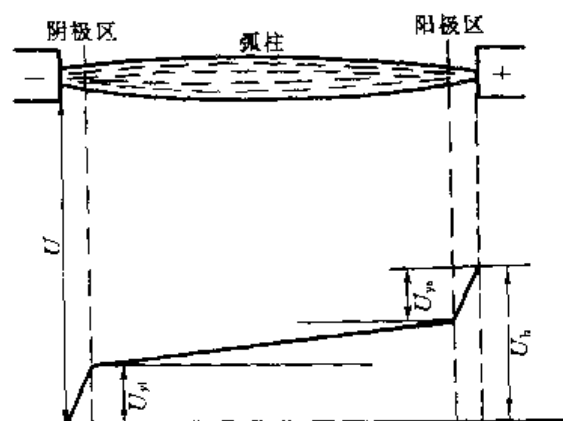


图 4-1 沿电弧的电压分布

### 2. 电弧的去游离及其影响因素

电弧存在基本游离现象的同时,还存在着一种与游离现象相反的过程,即带电质点互相中和为不导电的中性质点,使带电质点大大减少,这种现象称为去游离。去游离的强弱是能否熄灭电弧的主要因素。在电弧的形成过程中,游离和去游离过程是同时存在的。当游离作用大于去游离作用时,电弧电流越来越大;如两者作用平衡,则电弧稳定燃烧,游离作用小于去游离时,则电弧电流减小,直至熄灭。因此要使电弧迅速熄灭,就应人为地创造一种条件,加强去游离作用。开关电器中的灭弧装置,就是在这—理论基础上来实现的。

(1) 电弧的去游离方式。电弧的去游离方式有复合和扩散两种:

1) 复合。异性带电质点的电荷彼此中和成为中性质点的现象称为复合。两异性带电质

变化曲线。图中  $u_{\text{fl}}$  为发弧电压。发弧后电弧电流增大，电弧温度升高，热游离加强，弧内电导增大，电弧电压开始下降。以后电弧电流由最大值减小至零，电弧电压随电弧电流的减小反而逐渐上升，这是因为供给电弧的能量减小了，去游离的作用增强的结果。最后直至电弧熄灭，电压  $u_{\text{xb}}$  称为熄弧电压。负半周具有相同的变化规律。

交流电弧每半个周期自然过零一次。从熄弧角度来看，电流过零时，电弧自动熄灭，只要使过零后的电弧不再重燃，则交流电弧就熄灭了。因此对交流电弧来说，不是电弧能否熄灭，而是电流过零后，弧隙是否会再被击穿而重新燃弧的问题。

#### (四) 高压电器中的基本灭弧方法

现代高压开关电器中，广泛采用的基本灭弧方法有下列几种。

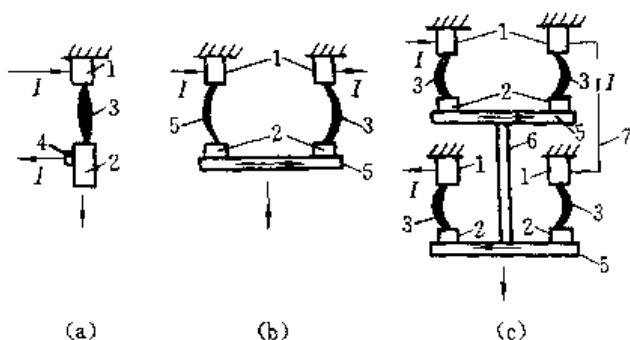


图 4-3 一相内有几个断开点时的触头示意图

(a) 一个断开点；(b) 二个断开点；(c) 四个断开点

1—固定触头；2—可动触头；3—电弧；4—滑动触头；

5—触头的横担；6—绝缘杆；7—载流连接条

#### 1. 迅速拉长电弧

拉长电弧有利于散热和带电质点的复合和扩散，具体方法如下：

(1) 加快触头的分离速度。如采用强力断路弹簧等。目前，高压断路器的分闸速度已经从 1m/s 提高到 16m/s。

(2) 采用多断口。在触头行程、分闸速度相同的情况下，多一个或几个断口（见图 4-3），总比单个断口的电弧长，电弧被拉长的速度也成倍增加，因而能提高灭弧能力。

#### 2. 吹弧

吹弧广泛应用于高压断路器中，如在油断路器内，利用油在电弧高温作用下分解出的大量高压气体，强烈吹动电弧；在压缩空气断路器中利用压缩空气吹动电弧。吹弧作用是使电弧强烈冷却和拉长，加速扩散，促使电弧迅速熄灭。吹弧方式有横吹和纵吹两种基本类型（见图 4-4）。横吹比纵吹更有利于拉长电弧和增大散热面积，因而灭弧性能好。然而纵吹也有它的优点，只要使用得当，其效果也很好，而且灭弧装置的结构比较简单。一般断路器广泛采用横、纵联合吹弧的方式。

凡利用电弧本身能量来灭弧的称为自能灭弧，其吹弧能力与开断电流的大小有关。压缩空气断路器的吹弧能量是来源于压缩空气，这种情况称为外能灭弧，其吹弧能力与开断电流的大小无关。

另外，在 110kV 及以上高压开关中还有采取在断口上加装并联电阻、并联电容等方法。

#### 3. 将长弧分成几个短弧

该法常用于低压开关电器中（见图 4-5）。在触头间发生的电弧进入与电弧垂直放置的金属栅片内，将一个长弧分成一串

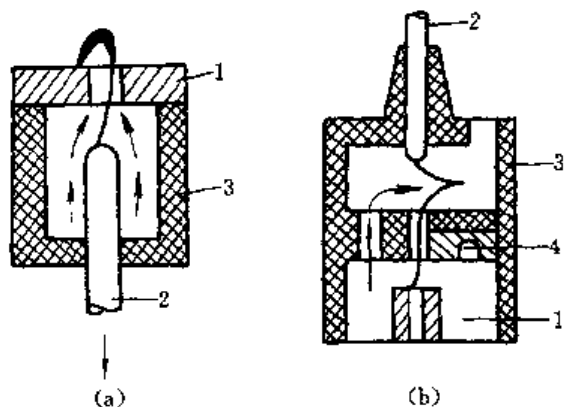


图 4-4 吹弧方式

(a) 纵吹；(b) 横吹

1—定触头；2—动触头；3—灭弧室；4—缓冲室



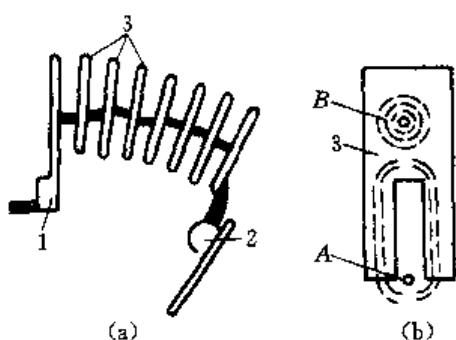


图 4-5 将长电弧分成几个短电弧  
(a) 金属灭弧栅; (b) 缺口钢片  
1—静触头; 2—动触头; 3—栅片

电弧在周围介质中移动, 也能得到与气体吹弧同样的效果。使电弧在周围介质中移动的方法有电动力、磁力和磁吹动三种 (见图 4-6)。这种方法也常用于低压开关电器中。

为了使电弧迅速进入栅片, 可采用有矩形缺口的钢片灭弧栅, 电弧借助栅片的磁力吸入, 由 A 处移向 B 处, 这就是所谓的磁吹动。

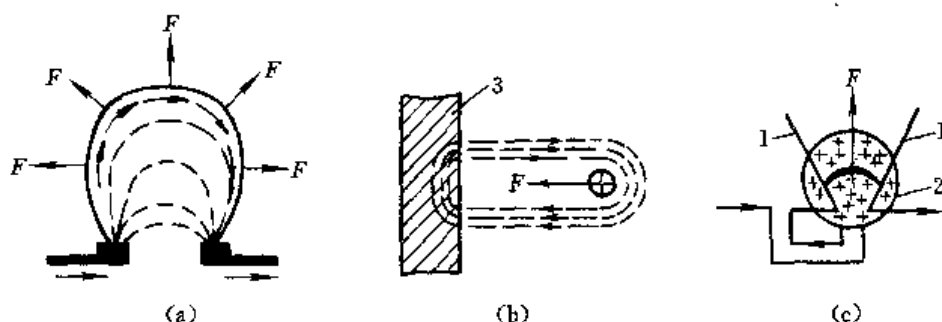


图 4-6 电弧在周围介质中的移动  
(a) 电动力; (b) 磁力; (c) 磁吹动  
1—吹弧角; 2—磁线圈; 3—磁性材料

### 三、开关绝缘的分类及特点

高压开关设备的绝缘, 应能承受长期作用的最高工作电压和短时作用的过电压。绝缘结构承受电压的部位是: 载流部分和接地部分之间; 相邻各相的载流部分之间; 在分闸位置下, 同相的各分离触头之间 (简称断口间)。电气设备承受大气过电压的能力用冲击 (全波和截波) 试验电压来考验, 承受内部过电压的能力大多用工频试验电压来考验。

#### 1. 开关绝缘的分类

按高压开关设备绝缘结构所处的工作条件, 可分为以下两类:

(1) 外绝缘。即以大气为绝缘介质的绝缘结构部分, 其电气强度由大气中间隙的击穿强度或由大气中沿固体绝缘表面的闪络强度所决定。外绝缘的主要特点是它的电气强度和大气条件有关。

(2) 内绝缘。不直接以大气为绝缘介质, 而以油、压缩空气、真空、SF<sub>6</sub> 等为绝缘介质的绝缘结构部分。其电气强度, 由介质中间隙的击穿强度或沿介质中固体绝缘表面闪络的

短弧。

在交流电路中, 利用近阴极效应, 即当电流过零时, 所有短弧同时熄灭, 在每一短弧的阴极附近立即出现 150~250V 的介电强度, 所有电弧阴极的介电强度总和将大于触头间的外加电压, 电弧就不再重燃。

在直流电路中, 是利用所有短弧上的阴极和阳极电压降的总和大于触头上的外加电压, 使电弧迅速熄灭。

此外, 金属栅片还有冷却电弧的作用。

#### 4. 使电弧在周围介质中移动

强度所决定。内绝缘的特点是它的电气强度和大气条件基本无关。不同介质绝缘间隙的电场特点和影响绝缘强度的主要因素（如间隙长度、压力与温度、以及电极状况等）可参见表 4-1。

表 4-1 影响间隙绝缘强度的主要因素

介质种类	大 气	压 缩 空 气	SF <sub>6</sub> 气 体	变 压 器 油 (或开关油)	真 空
常用绝缘结构的电场特性	大多数为长间隙的极不均匀电场	通常为较短间隙的稍不均匀电场	通常为较短间隙的稍不均匀电场	大多数为不均匀或稍不均匀电场	短间隙均匀电场
间隙长度	有明显影响。击穿电压随间隙长度增加而增加，近似成线性关系，但对大于 3m 的长间隙，随着间隙长度加大，工频和操作波击穿电压的增加有饱和趋势	有明显影响。随着间隙加大，电场的均匀度会增加，故击穿电压的增加有饱和趋势	有明显影响。随着间隙加大，电场的均匀度会增加，故击穿电压的增加有饱和趋势	有明显影响。随着间隙加大，电场的均匀度会增加，故击穿电压的增加有饱和趋势	有明显影响。在较长间隙时，击穿电压有饱和趋势，且分散性增大
压力（或真空度）与温度	压力降低或温度升高而引起的空气密度降低，会使击穿电压降低	绝缘强度随空气压力增加而增加，有饱和趋势。电场越不均匀，越容易饱和。温度对击穿电压的影响与在大气中相同	击穿电压随气压增加而增大，有饱和趋势。电场越不均匀，气压越高，越容易饱和。气压的增加还受到设备在最低环境温度下不允许 SF <sub>6</sub> 介质液化的条件所限制	对脱过气的油，压力对击穿电压几乎无影响。湿度对击穿电压有较明显影响。在不均匀电场中，温度增加会使击穿电压下降	在真空度高于 0.013Pa 时，绝缘能力与真空度关系甚小。环境温度对击穿电压有较明显影响
电压波形与极性	与不接地电极的电压极性有关，正极性的冲击放电电压 $U_{50} < U_{-}$ 。冲击击穿电压比工频电压高。对波头时间为数百微秒的正极性操作冲击波，绝缘强度最低	与不接地电极的电压极性有关。冲击击穿电压比工频电压高。电场越不均匀，冲击系数越高	与不接地电极的电压极性有关， $U_{50}$ 大于 $U_{-}$ 。冲击击穿电压比工频电压高。电场越不均匀，冲击系数越高。冲击电压波形对击穿电压影响较大，绝缘强度随波头时间增大而减小	与不接地电极的电压极性有关，但极性效应比大气要小；在不均匀电场下， $U_{50}$ 小于 $U_{-}$ ，在稍不均匀电场下，则 $U_{50}$ 略低	与不接地电极的电压极性有关。触头间隙耐受冲击电压的能力往往较低
介质纯净度	一般情况下，空气的湿度和尘埃对间隙击穿电压影响甚微	空气中的湿度和尘埃对间隙击穿电压有一定影响	气体中混入导电微粒会使击穿电压明显下降	均匀电场中，油中的气泡、水分和纤维等均会使击穿电压明显下降；极不均匀电场中，杂质的影响随间隙长度增大，对击穿电压的影响越来越小	金属蒸汽等杂质会使击穿电压显著下降
电极状况	电极材料及表面状况对击穿电压无明显影响，但易形成局部放电，增加放电电压的分散性	电极表面状况及导电微粒对击穿电压有明显影响	电极表面状况对击穿电压的影响，比在压缩空气中要明显。气压越高，表面粗糙度的影响越明显	电极材料、电极表面状况对击穿电压的影响不明显	电极材料、表面光洁度与清洁度、导电微粒等对击穿电压有显著影响

## 2. 开关绝缘的特点

高压开关设备绝缘的主要特点是具有断口绝缘，现对不同类型的开关设备分述如下：

(1) 对于起控制保护作用的高压开关设备，断口绝缘必须考虑电弧与介质流动所造成的下列影响：

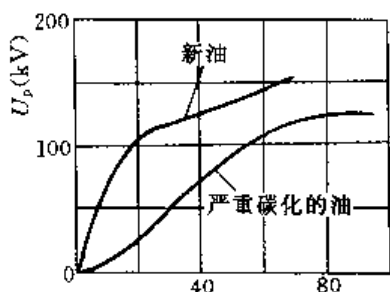


图 4-7 新油和严重碳化油的工频放电电压

1) 电弧会使绝缘介质劣化(如使油碳化)，导致绝缘能力下降。经碳化的油，其工频放电电压比新油低，但随着电极间距离的加大，两者的差别逐渐缩小(见图 4-7)。电弧还会烧损电极，影响电场均匀性，并产生导电粉尘。固体绝缘材料表面亦可能被电弧烧伤，所有这些均会使绝缘强度降低。

2) 开断过程断口间绝缘介质的流动，也会引起绝缘强度降低。压缩空气在流动状态下的耐压强度，约为静止状态下的 50%~70%；流动状态下的油耐压强度，约为静止状态下的 80%。

3) 在开断过程中，灭弧室向外排出的热气体和其他分解物，有可能影响断口间、相间或对地的外绝缘。

(2) 对于主要起安全隔离作用的隔离开关，为了可靠地隔离电源，要求断口间的绝缘强度比任何其他绝缘部分都高。

综合以上特点，对开关绝缘的要求可以归纳为：

- 1) 防止绝缘击穿或沿面放电。
- 2) 防止固体绝缘材料被电弧烧灼损坏，以及由于机械力或热的长期作用而引起绝缘损坏。
- 3) 尽量避免出现局部放电。

高压开关设备的绝缘结构，对它的总体尺寸有很大影响。

## 四、电器触头的要求与结构

### (一) 对电器触头的要求

电器触头是指两个导体或几个导体之间相互接触的部分，如母线或导线的接触连接处以及开关电器中的动、静触头等，统称为电器触头。特别是开关电器中的触头，它被用来接通和断开电路，是开关电器的执行元件，其工作可靠与否，直接影响到电器的质量。运行中若电器触头的工作状况不良，往往是造成严重设备事故的重要原因。因此，对电器触头的要求是：

- (1) 结构可靠。
- (2) 有良好的导电性能和接触性能，即触头必须有低的接触电阻值。
- (3) 通过规定的电流而不过热(不超过允许温度)。
- (4) 能可靠地开断规定容量的电弧及有足够的抗熔焊和抗电弧烧伤的性能。
- (5) 通过短路电流时，具有足够的动稳定性和热稳定性。

触头的质量在很大程度上决定于触头的接触电阻值，因为触头在正常工作和通过短路电流时的发热都与其接触电阻值有关。实际上，触头间的接触面并不是全部接触，面仅是多点接触。因此接触电阻是指电流由一个触头流到另一个触头的过渡区域中，由于导体接触面减小而增加的电阻。触头的表面加工状况、表面氧化程度、触头间的压力及接触情况

等都会影响接触电阻值。

开关电器触头间的接触压力，一般是利用触头本身的弹性或附加弹簧产生的。利用触头本身的弹性不能保证一定的压力，因而也不能保证规定的接触电阻值，当多次接通或断开后，弹性触头可能变形，造成接触不良，使触头电阻增加。故一般在触头上附加钢弹簧，这样得到的接触压力比较可靠，接触电阻较为恒定。

用金属材料制成的触头在空气中易受氧化，触头表面的氧化对接触电阻有重大影响。金属表面的氧化物一般都是不良导体，因而氧化程度越严重，氧化膜层越厚，接触电阻就越大。氧化程度与加热温度有关，当温度在  $60\sim 75^{\circ}\text{C}$  以上时，氧化最为强烈。为此在可断触头的结构上，考虑在接通或断开时使触头间造成较大的摩擦，以将触头表面的氧化层自动净化。触头间的压力越集中，则自动净化作用就越好，接触电阻也就越小。

### (二) 触头材料及防氧化措施

触头一般由铜、黄铜和青铜等制成，此种材料的触头在空气中工作时容易被氧化。为防止氧化，往往在触头表面镀上一层锡或铅锡合金。这种镀锡触头的接触电阻比没有氧化的铜触头的接触电阻约高  $30\%\sim 50\%$ ，但在运行中将不再会增加。

镀锡的铜触头可用在屋外装置中，也可用在潮湿的场所，气温可达  $60^{\circ}\text{C}$  以上。没有镀锡的铜触头在上述条件下使用时，必须加以密封，即在触头间的接缝处涂上两层透明面光滑的漆。

在屋外装置或潮湿场所使用的大电流铜触头，最好在触头表面镀银。因为银在空气中不易氧化，另外当空气中的硫化氢遇氧而分解时，硫和银化合形成的一层硫化银 ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ) 将会覆盖在银表面上。由于硫化银的电导与银相近，因此镀银触头的特性不会改变，不影响接触电阻。

如果用钢制触头，则在所有情况下其接触表面都应镀锡，并涂上两层漆加以密封。

用铝制触头，在空气中氧化最为厉害，并产生具有很大电阻的氧化膜层。因此所有情况下，其表面都应涂上防止氧化的中性凡士林油层并加以覆盖。

一般电机、变压器的引出端头都是铜制的，故在屋外和潮湿的场所中，不能将铝导体用螺栓与铜端头连接。因为铝与铜直接接触会产生  $1.86\text{V}$  的电位差（钢电位为  $+0.52\text{V}$ 、铝电位为  $-1.34\text{V}$ ）。当铜与铝的接触面间渗入含有溶解盐的水分即电解液时，便会产生电解反应，铝被强烈地电腐蚀。结果触头很快遭到破坏，以致可能造成重大事故。为预防这种现象，通常在上述装置中需将铝导体与铜导体连接时，采用一头为铝、另一头为铜的特殊过渡触头，也称铜铝过渡接头（见图 4-8）。而在屋内装置中，允许将铝导体用螺栓直接与电器的铜端头连接。

目前，新型高压开关电器中的触头多数采用陶制铜—钨合金材料。

### (三) 触头的电动稳定和热稳定

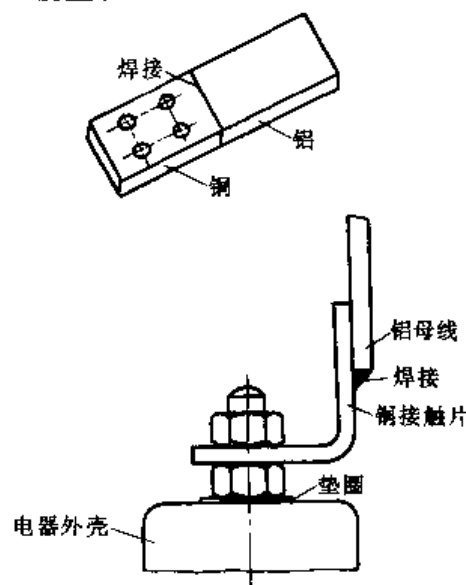


图 4-8 铝母线接到电器铜端头上用的接头

短路电流通过触头时，触头的电动稳定和热稳定是很重要的。由于触头间表面接触不平整，电流只流经触头的几个接触点，触头间的接触点越少，则接触电阻越大，发热温度越高。当短路电流通过时，触头可能过热得很厉害，甚至在实际接触的地方发生熔化、造成熔接，这说明触头的热稳定性不符合要求。

短路电流通过电气触头时，电动稳定度不够的触头常常发生弯曲变形，甚至有熔接的危险。这是由于触头间的接触点很少，同时从横向来观察互相接触的触头中电流的方向是相反的（见图 4-9），触头间产生电动力  $F'$ ，它与外加压力  $F$  的作用正好相反，有使触头分开的趋势。触头间的接触点越少，则电动力就越大，当  $F'$  大于外加压力  $F$  时，会使触头略微分开，此时触头间将会产生电弧，触头可能被熔化，当短路电流减小而触头又重新接触时，将会造成触头熔接。不仅如此，当短路电流很大且又没有专门的锁住机构时，开关电器还有可能自动分闸，造成误动作。

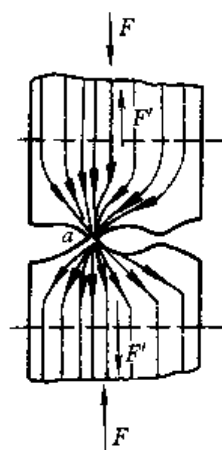


图 4-9 平面触头的接触情况

为了提高触头的电动稳定度，应在触头的结构上考虑利用短路电流所产生的电动力将触头压紧在一起。如采用双刀动触头来夹持固定触头，或者是采用磁锁的办法。

#### （四）触头的分类及其结构

##### 1. 按接触面的形式分

（1）平面触头。这种触头在受到很大压力时，接触点数和实际接触面积仍比较小。特别是当两个触头不能自动调节时，只要其中一个触头稍有歪斜，触头实际上便接触在一点，这样通过触头的电流因接触处路径狭窄而产生很大的电动力，使触头有互相分开的趋势。所以为保证其电动稳定，必须有较大的接触压力。这种触头只限于低压开关电器中应用，如刀形开关、插入式熔断器等。

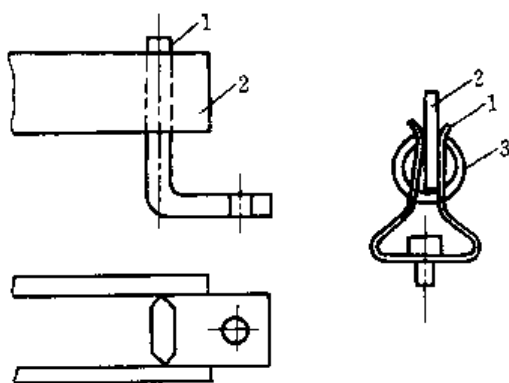


图 4-10 线触头

1—固定触头；2—动触头；3—弹簧

（2）线触头。近年来在高、低压开关电器中，普遍采用线触头（见图 4-10）。线触头是指两个触头间的接触面为线接触的触头，如图中的柱面与平面接触，或两圆柱面接触均为线接触。线接触触头的压力强度较大，在同压力下线触头比平面触头的实际接触点多。

线触头接通和断开时，一个触头会沿另一个触头的表面滑动，由于触头压力较大，氧化膜层易被自净，可减少接触电阻。此外，线触头的接触面积也比较固定。

（3）点触头。点触头是指两个触头间的接触面为点接触的触头，如球面和平面接触，或两个球面接触均为点接触。这种触头通常应用在工作电流和短路电流较小的情况下，如继电器和开关电器的辅助接点等。

##### 2. 按触头结构的形式分

（1）可断触头。可断触头广泛应用于高、低压开关电器中，按其结构不同，可分为下列几种：

1) 刀形触头。它被广泛应用于高压隔离开关和低压刀形开关中。刀形触头就其本身的接触状况可分为面接触和线接触两种。

2) 对接式(终端式)触头。这种对接式或称终端式结构的触头,在旧型的 35kV 多油断路器中应用较多(见图 4-11 与图 4-12)。

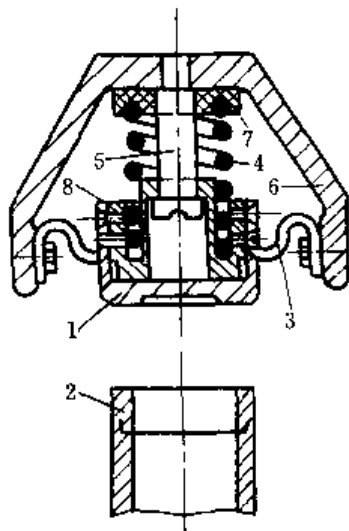


图 4-11 平面对接式触头

1- 静触头; 2- 动触头; 3- 软连接; 4- 弹簧;  
5- 导电杆; 6- 支座; 7- 塑料罩; 8- 铜罩

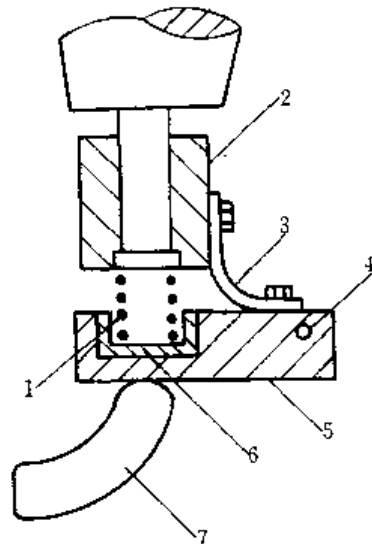


图 4-12 对接式触头

1- 弹簧; 2- 导电部分; 3- 软连接; 4- 导杆;  
5- 静触头; 6- 塑料罩; 7- 动触头

对接式触头的特点是结构简单,断开速度比插座式触头快。缺点是接触面不稳定,随压力的变化而改变较大,接通和断开时容易发生弹跳,无自净作用,触头容易被电弧烧伤。

3) 指形触头。它由成对地装在载流体 2 两侧的接触指 1、楔形触头 3 和夹紧弹簧 4 组成(见图 4-13)。指形触头的特点是电动稳定性较高;接通与断开过程中有自净作用;由于不易与灭弧室配合,工作表面易受电弧烧损。指形触头被应用于少油断路器中作为工作触头(主触头),在一些新型隔离开关中也应用较多。

4) 插座式(梅花形)触头。它的静触头是由多片梯形触指组成的插座,动触头是圆形铜导电杆。接通时导电杆插入插座里面,由强力弹簧或弹簧钢片把触指压向导电杆,利用插座的内径与导电杆的外径适当配合,使每片触指内圆的两棱边与圆杆形成线接触,所以接触面的工作非常可靠(见图 4-14 与图 4-15)。由于触指的数量比较多,所以每片触指的接触压力并不太大。在接通和断开过程中,圆杆与触指摩擦,接触面得到自净,把氧化膜和污垢除去,故接触面的接触电阻较稳定。同时动触头的运动方向与动、静触头间的压力方向垂直,接通时触头的弹跳很小;触指片之间以及触指与导电杆之间的电

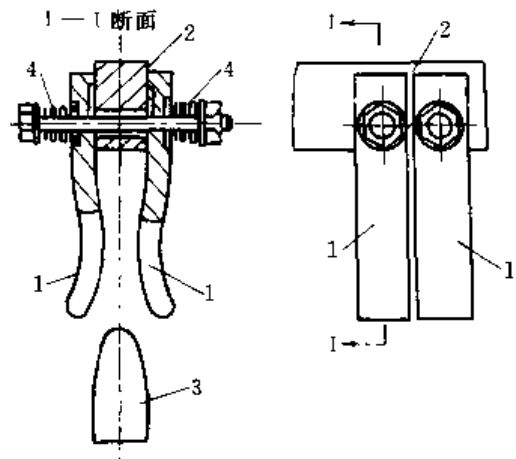


图 4-13 少油断路器的指形触头

1- 接触指; 2- 载流体; 3- 楔形触头; 4- 弹簧

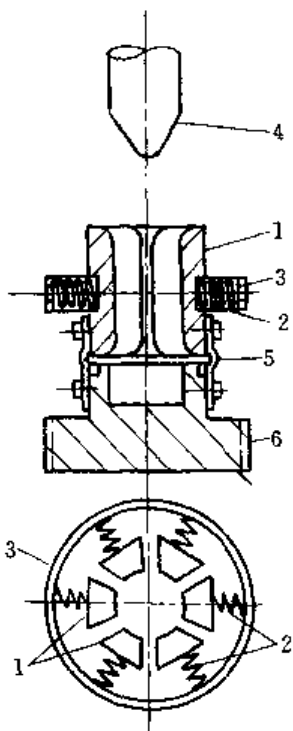


图 4-14 有挠性连接条的插座式触头  
1—静触头片；2—弹簧；3—环；4—动触头；  
5—挠性连接条；6—触头底座

流是同一方向，电动力趋向于使触指压紧导电杆，短路时的接触也很稳定。但插座式的结构较复杂，允许通过的电流受到限制且断开时间也较长。它常应用于 SN10 型少油断路器中作为主触头或灭弧触头。为增强触头抗电弧灼伤能力，常在外套端部加装铜钨合金保护环，在动触头端部镶嵌铜钨合金的耐弧头。

(2) 固定触头。固定触头是指连接导体之间不能相对移动的触头，如母线之间，母线与电器引出端头间的连接等。常见的固定触头有多种，如图 4-16 与图 4-17 所示。

固定触头的接触表面都应有适当的防腐措施，以防止外界的侵蚀，保证可靠性和耐久性。防腐的方法一般是在触头连接后，在外面涂以绝缘漆、瓷釉或中性凡士林油等。

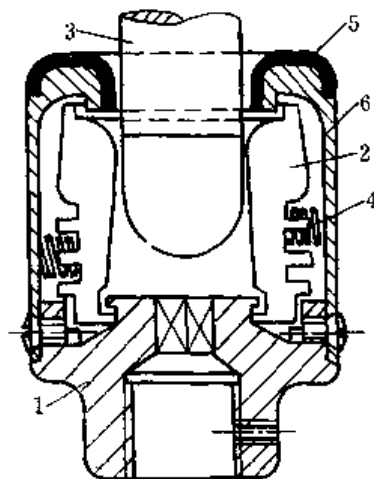


图 4-15 挠性连接条的插座式触头  
1—触座；2—静触头；3—动触头；4—弹簧；  
5—保护环；6—外套

为增强触头抗电弧灼伤能力，常在外套端部加装铜钨合金保护环，在动触头端部镶嵌铜钨合金的耐弧头。

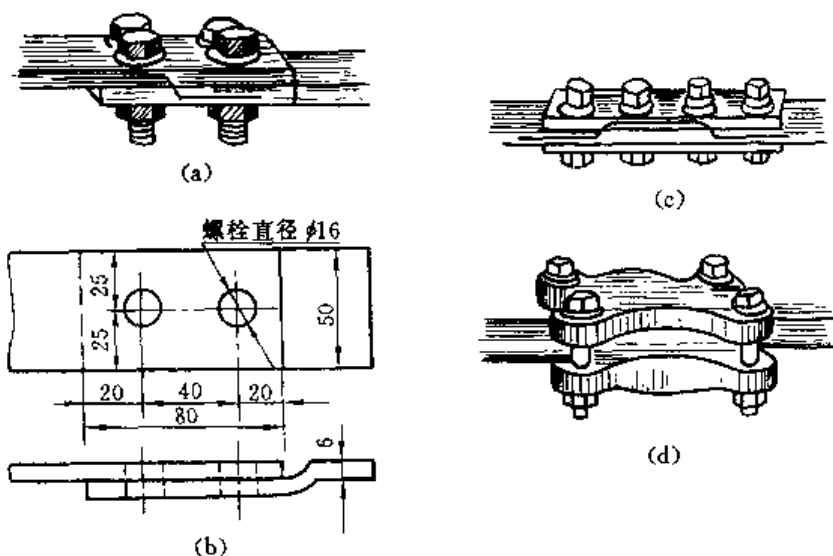


图 4-16 母线的连接

(a)、(b) 搭接；(c) 用压板和夹持螺栓的对接；(d) 用压板和夹持螺栓的搭接

(3)滑动触头。滑动触头是指在工作中被连接的导体总是保持接触，能由一个接触面沿着另一个接触面滑动的触头，如电机中的滑环与炭刷、滑线电阻等。目前在SN10和SW6等型少油断路器中广泛采用的滑动触头有下列形式：

1) 豆形触头。它的静触指分上、下两层，均匀分布在上、下触头座的圆周上，每一触指配有小弹簧作缓冲，以防止动触杆卡涩和减少摩擦力，动触杆由其中心孔通过。豆形触头由于接触点多，故在较小的接触压力下具有良好的导电能力，而且结构紧凑。但它不能制成可断触头，因此通用性差。它应用于SW6型少油断路器中。

2) “Z”形触指式滑动触头。其结构与插座式触头很相似，它是把“Z”形触指（静触头）装在特制的导电座里面，用弹簧保持触指的位置，并把触指压紧到圆形导电杆（动触头）上面成。它应用于SW4等系列的少油断路器中。

3) 滚动式滑动触头。它是指在工作中被连接的导体由一个接触面沿着另一个接触面滚动的触头，由圆形导电杆、成对的滚轮、面定导电杆及弹簧装配组成。弹簧的作用是保持滚轮和可动导电杆以及滚轮和固定导电杆间的接触压力。在接通和断开过程中，滚轮绕着自身轴转动并沿着导电杆滚动。这种触头由于接触面的摩擦力很小，其自净作用不如插座式。

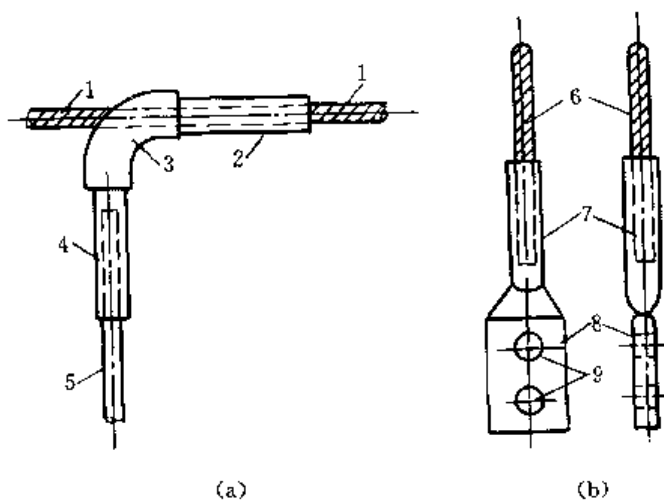


图 4-17 绞线分支与电器连接的压接接头  
(a) 绞线分支的压接接头；(b) 与电器连接的压接接头  
1、5、6—绞线；2、4、7—圆管；3—夹具的外壳；  
8—端板；9—螺孔

## 第二节 断路器及操动机构

### 一、断路器技术参数及基本要求

#### 1. 断路器的作用、特点和型号

高压断路器（以下简称断路器）是高压开关设备中最重要也是最复杂的一种，它既能切断正常负载，又可排除短路故障，同时承担着控制和保护双重任务。大部分断路器能进行快速自动重合闸操作，排除线路临时性故障后能及时恢复正常运行。

断路器主要按所采用的灭弧介质进行分类，各类断路器的技术性能、主要特点及使用场所见表 4-2。

高压断路器的类型很多，根据国家技术标准规定，目前我国断路器的型号按下面的顺序和代号组成：

第 1 单元——产品名称，用字母表示：S—少油断路器；D—多油断路器；K—空气断路器；L—六氟化硫断路器；Z—真空断路器；Q—产气断路器；C—磁吹断路器。

第 2 单元——安装场所，用字母表示：N—户内式；W—户外式。



表 4-2 各类断路器的技术性能、特点及使用场所

类别	结构特点	技术性能	运行维护	主要使用场所
多油	触头系统及灭弧室安置在接地的油箱中,主要用油作为对地绝缘介质。结构简单,制造方便,易于加装单匝环形电流互感器及电容分压装置。但不能实现积木式结构,耗钢耗油量大	额定电流不易做大,一般开断小电流时,燃弧时间较长,动作速度慢	运行经验较多,易于维护,噪音低。但需一套油处理装置	35kV 及以下电压等级变电所
少油	对地绝缘主要依靠固体介质,结构较简单,制造方便,若配用液压机构,工艺要求较高	积木式结构可做到任何使用电压等级,开断电流大,全开断时间短。加机械油吹后,可满足开断空载长线的要求。但额定电流不易做得很大(35kV 以下可加并联回路提高额定电流)	运行经验较多,易于维护,噪音低。但灭弧室油易劣化,需一套油处理装置	各级电压的户内、外变电所,是生产量最大的品种
压缩空气	易于加装并联电阻,但结构较复杂,工艺要求较高	额定电流和开断能力都可以做得很大,开断空载长线易于做到不重击穿,动作快,开断时间短	检修方便,不检修间隔期长。噪音大,需一套空压机系统	110kV 及以上大容量发电站、变电所,发电机保护断路器及操作频繁的断路器
六氟化硫	单压式结构简单,但密封要求严,对工艺和材料要求高	额定电流和开断能力都可以做得很大,各种开断性能均好。触头系统在开断大小电流时损耗均小,断口电压可做得高(如单断口 220kV)	不检修间隔期长,噪音低。检修前准备工作量较大,需一套充放气及过滤装置	35kV 及以上大容量变电站及频繁操作场所
真空	体积小,重量轻,但灭弧室工艺及材料要求较高	可连续多次自动重合闸,能进行频繁操作,开断电容电流性能好。但断口电压不易做高	不需检修灭弧室,运行维护简单。无爆炸可能,噪音小	35kV 及以下户内变电所及工矿企业中要求频繁操作的场所
固体产气	结构简单、重量轻、制造方便	额定电流和开断电流不易做得大,断口电压亦不易做高	易于维护检修噪音大	35kV 及以下户外小容量变电所
磁吹	结构较复杂,体积、重量较大	特别适合频繁操作。但断口电压不易做高(20kV 及以下)	检修方便,不检修间隔期长,噪音小	20kV 及以下户内频繁操作场所

第 3 单元——设计系列序号,用数字表示。

第 4 单元——额定电压 (kV)。

第 5 单元——补充工作特性,用字母表示:G—改进型;F—分相操作。

第 6 单元——额定电流 (A)。

## 2. 高压断路器的技术参数

为深入了解高压断路器的各项技术性能,现对其主要技术参数(通常由制造厂给定)介

绍如下：

(1) 额定电压。是指断路器能够承受的正常工作电压（线电压）并标于铭牌上。国家标准规定，它有 10、35、60、110、220、330kV 及 500kV 各种等级。它不仅决定了断路器的绝缘要求，且相当程度上决定了断路器的总体尺寸和灭弧条件。

(2) 最高工作电压。考虑到输电线路有电压降，线路供电端母线额定电压高于受电端母线额定电压，这样断路器可能会在高于额定电压下长期工作，因此规定断路器有一最高工作电压。按国家标准，对于额定电压在 220kV 及以下的设备，其最高工作电压为额定值的 1.15 倍。

(3) 额定电流。是指铭牌上所标明的断路器可以长期通过的工作电流。当长期通过额定电流时，断路器各部分的发热温度不超过允许值。额定电流决定了断路器触头及导电部分的截面，且在一定程度上也决定了它的结构。

(4) 额定断路电流。额定电压下断路器能可靠地切断的最大电流称额定断路电流 ( $I_{br}$ )，它表明了断路器的断路能力。当电压不等于额定电压时，断路器能可靠切断的最大电流称该电压下的断路电流 ( $I_{dl}$ )。当电压低于额定值时，断路电流较额定断路电流会有所增大，但有一最大值并称之为极限断路电流。

(5) 动稳定电流。它表明断路器在冲击短路电流作用下所能承受电动力的能力。该值的大小由导电及绝缘等部分的机械强度所决定。

(6) 热稳定电流。是指断路器在某规定的时间内允许通过的最大电流。它表明了断路器所能承受短路电流热效应的能力。

(7) 合闸时间。对有操动机构的断路器，它是指自发出合闸信号（即合闸线圈加上电压）起到断路器接通时为止所需的时间。断路器的合闸时间一般大于分闸时间。

(8) 分闸时间。是指从发出跳闸信号（即跳闸线圈加上电压）起到断路器开断至三相电弧完全熄灭时为止所需的全部时间。它为断路器的固有分闸时间（指跳闸线圈通电到灭弧触头刚分离的这段时间）。与电弧熄灭时间（指触头分离到各相电弧完全熄灭的这段时间）之和，一般为 0.06~0.12s。少于 0.06s 的断路器，便称为快速断路器。

### 3. 对高压断路器的基本要求

由于断路器要在正常工作时接通和切断负载电流，短路时切断短路电流，并受环境变化的影响，故对高压断路器大致有如下几方面要求：

(1) 工作可靠。断路器在额定条件下，应能长期可靠地工作。

(2) 有足够的开断能力。由于电网电压较高、电流较大，断路器断开电路时触头间会出现电弧，只有将电弧熄灭才能断开电路。故要求它应有足够的断路能力，尤其在短路故障时，应能可靠地切断短路电流，并保证具有足够的热稳定度和动稳定度。

(3) 有尽可能短的不断时间。当电网发生短路故障时，要求断路器能迅速切断故障电路，这样可以缩短电网的故障时间和减轻短路电流对电气设备的危害。尤其在超高压电网中，迅速切断故障电路可增大系统的稳定性。因此，分闸时间是高压断路器的一个重要参数。

(4) 结构简单与价格低廉。在要求安全可靠的同时，还应考虑到经济性。故应力求断路器的结构简单、尺寸小、重量轻、价格低廉。

## 二、多油断路器

其触头系统置于装有变压器油的油箱中,油一方面用来熄灭电弧,另一方面还作为断路器导电部分之间以及导电部分与接地的油箱间的绝缘介质。因它用油量较多,故称多油断路器。它分为没有特殊灭弧装置的(电弧在油内自由地熄灭)含灭弧装置的可加速灭弧,提高断路器的断流能力。多油断路器的主要部件有油箱、箱盖、绝缘套管、触头和灭弧装置等。10kV 以下的多油断路器(35kV 及以上)每相触头均单独放在一个圆形或椭圆形的油箱中且都装有特殊的灭弧装置,用以提高断路能力,并可在电弧产生时减少对油箱的压力。

多油断路器的导电部分一般呈“U”形状,每相至少有两个断口。导电部分穿过箱盖时要用绝缘套管,套管下端可以套装电流互感器。为了加强绝缘,在油箱内壁围上一层或多层的绝缘板以防止导电部分与油箱之间发生闪络,其油箱是不带电的。

多油断路器的缺点是体积大,用油多,且随额定电压的增高而加大,增加了爆炸和火灾的危险性,检修工作量也较大。因此,目前除 DW8—35 型和 DW12—35 型外,已逐步被其他类型的断路器所取代。多油断路器的特点是:配套性强(断路器内部可装设电流互感器);油量较多,在户外使用时受大气影响较小。现时在一些老发电厂和变电所中,多油断路器仍有使用,现以 DW8—35 型为例简介如下。

### 1. DW8—35 型多油断路器的结构

DW8—35 型多油断路器是采用三相分箱结构,每相装在一个椭圆形油箱内,三相共同装在一个角铁钢架上,由一个操动机构通过水平连杆和垂直拉杆进行操作。其结构包括:油箱、油箱盖、提升机构、导电系统、电容套管、灭弧室、电流互感器、升降机构和操动机构(见图 4-18)。

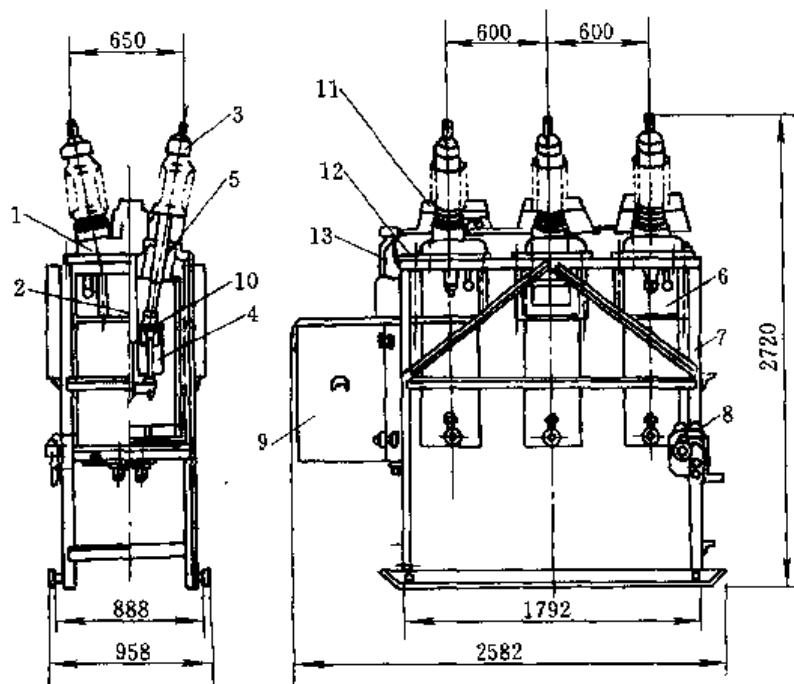


图 4-18 DW8—35 型多油断路器 (单位: mm)

- 1—油箱盖; 2—提升机构; 3—电容套管; 4—灭弧室; 5—电流互感器; 6—油箱; 7—铁架;  
8—升降机构; 9—操动机构; 10—静触头; 11—罩; 12—水平拉杆; 13—垂直拉杆

断路器每相有两个断口，每个断口上均装有灭弧室 4。每相有两个电容式套管 3（见图 4-19），固定在油箱盖 1 上。油箱盖用非磁性铸铁制成。灭弧室 4 与静触头 10 装在穿过绝缘套管的载流导体的下端、静触头是插入式的（见图 4-20）。每个静触头中装有 12 瓣梅花触指、一个黄铜铸的触头座、铜钨合金保护环及逆止阀等。逆止阀的作用是提高灭弧室压力和加强冷热油的循环，降低灭弧室内的温度。套管下端套装电流互感器 5。动触头由镀银铜管制成，其端部装有可更换的铜钨合金灭弧触头。动触头装在导电的铝横担上，横担中部用绝缘杆与提升机构相连，可以作上下方向运动。提升机构（见图 4-21）内绝缘导向管中装有强力断路弹簧，当断路器接通时弹簧被压缩贮能，并被操动机构的维持机构锁住。当维持机构脱扣时，断路弹簧使断路器迅速跳闸，弹簧上部装有油缓冲装置可用来吸收跳闸最后阶段的剩余动能，从而缓和冲击。

油箱盖的下面有隔板，用来分离灭弧时喷出的油和气体，使油回流到油箱内，并将气体从排气孔排出箱外。由于灭弧室承受了灭弧时产生的压力，因此油箱直接承受的压力不大。为了防爆，在箱盖上另装有 1.5mm 厚的胶木薄板制成的防爆门，当箱内压力过大时，薄板破碎，气体排出，使压力减低。

油箱由铜板制成椭圆形，焊缝用铜焊，以减少涡流损失。油箱内油位不能过高或过低，必须留有占油箱容积 20%~30% 的缓冲空

油箱由铜板制成椭圆形，焊缝用铜焊，以减少涡流损失。油箱内油位不能过高或过低，必须留有占油箱容积 20%~30% 的缓冲空

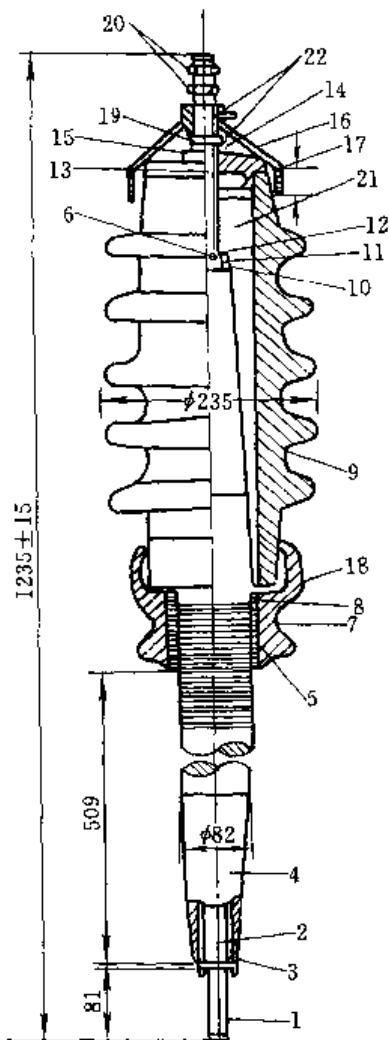


图 4-19 电容充胶套管结构（单位：mm）

1—导电铜管；2—活塞销；3—固定衬垫；4—电容纸芯；5—法兰；6—固定螺钉；7—接地螺丝；8—胶合剂（氧化铝、甘油）；9—瓷套；10、11—压紧橡皮胶垫；12—压紧螺母；13—压紧端盖；14—锥形压紧密封胶皮垫；15—铜垫圈；16—防雨罩；17、18—耐油橡皮胶垫；19—压紧螺母；20—引线用螺母；21—绝缘胶；22—固定螺母

A—A 视图

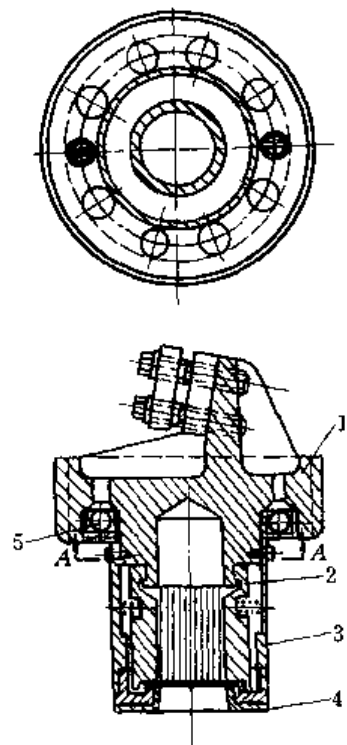


图 4-20 DW8—35 型断路器定触头

1—触头座；2—触片；3—铜套；4—保护环；5—逆止阀

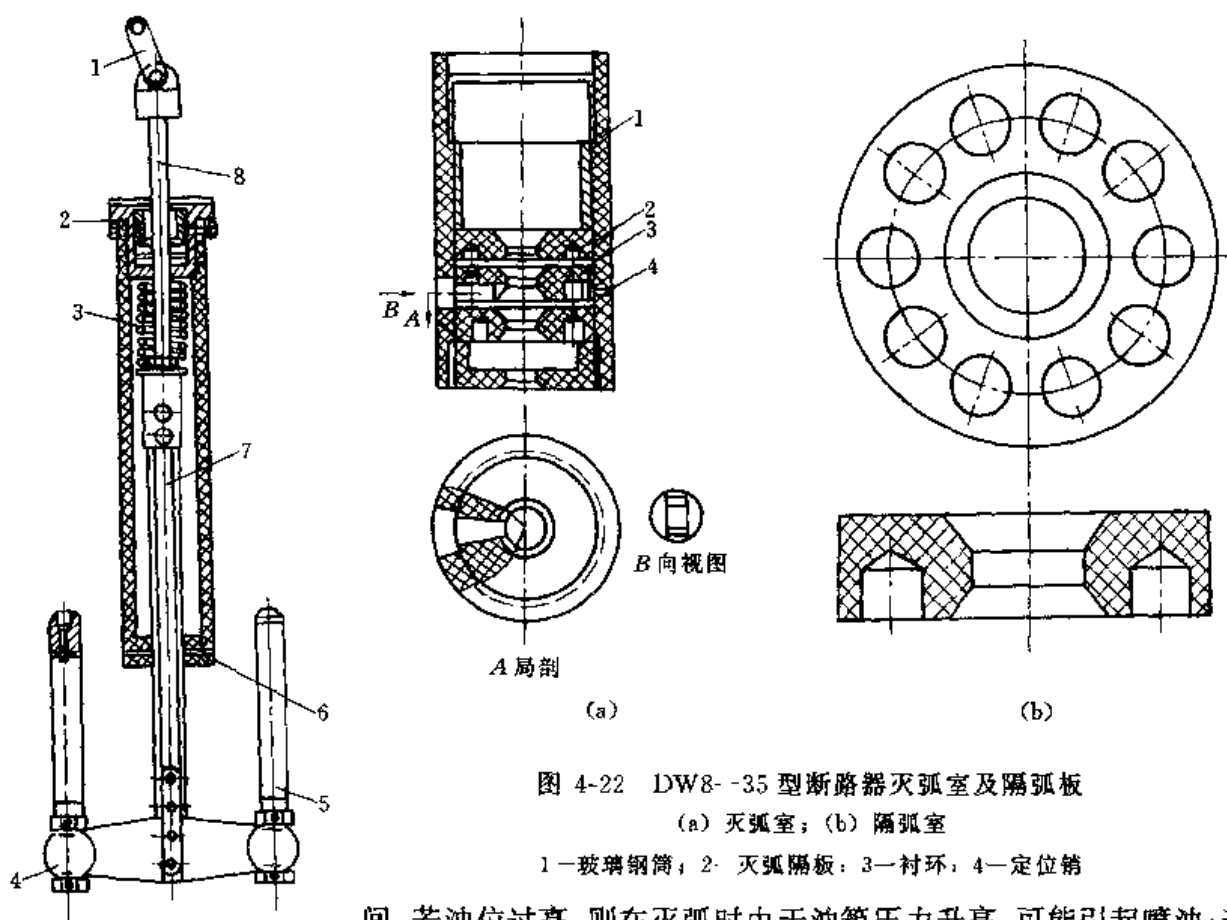


图 4-21 提升机构  
1-连板; 2-缓冲器; 3-断路弹簧; 4-横担; 5-动触头; 6-绝缘导向管; 7-铁拉杆; 8-绝缘提升杆

图 4-22 DW8-35 型断路器灭弧室及隔弧板  
(a) 灭弧室; (b) 隔弧室

1-玻璃钢筒; 2-灭弧隔板; 3-衬环; 4-定位销

间。若油位过高,则在灭弧时由于油箱压力升高,可能引起喷油;若油位过低,则灭弧时产生的高温气体,特别是氢气在通过油层时来不及冷却,可能在缓冲空间与空气中的氧混合形成爆炸。故多油断路器常在箱体上均装设油位指示器,以便于观察油位的高低。

## 2. DW8—35 型断路器的灭弧室结构及灭弧原理

DW8—35 型的灭弧室是采用纵横吹灭弧原理、由一个玻璃钢筒内叠装有 3 块灭弧隔板和衬环组成(见图 4-22)。玻璃钢筒是由环氧树脂玻璃布压制而成的高强度圆筒,灭弧隔板采用三聚氰胺玻璃纤维压塑而成,耐弧性能好且不易吸潮。每块灭弧隔板开有 10 个圆槽,称贮气孔或缓冲室。中间的一块灭弧隔板有缺口通向油箱,可进行横吹,而上、下两块灭弧隔板则仅起纵吹作用。

其灭弧原理是:当断路器开断时,触头间产生电弧,由电弧的高温作用,油被分解成气体,在灭弧室中形成很高的压力,使隔弧板贮气孔内的气体被压缩。当动触头继续下降,将横吹口打开后,灭弧室内储存的高压油和气体以极高的速度喷出,通过纵吹口和横吹口形成强烈的吹弧,而使电弧迅速熄灭。开断大电流时,电弧在横吹口附近熄灭,燃弧时间约 0.02s;开断小电流时,燃弧时间稍长一些,但都在灭弧室内熄灭。

电弧熄灭后,弧道中的高压油和气体从横吹口排出灭弧室,与此同时逆止阀开启,油箱内的新鲜油进入灭弧室内的弧道,保证了弧隙介质强度的恢复速度大于弧隙恢复电压的上升速度,使电弧不致重燃。如随后接着进行快速重合闸,也可以保证在第二次跳闸时可靠灭弧,不降低其断流容量。

制、保护高压电气设备之用，今已取代其他 SN 型少油断路器。SN10—10 I 型断路器可配用 CD10 型电磁机构，亦可配 CT8 型弹簧机构或手动操作机构。

### 1. 基本结构与动作原理

少油断路器主要由基架、传动系统及油箱三部分组成。基架上装有分闸弹簧、合闸弹簧缓冲器和分闸限位缓冲器及大轴。传动系统由大轴拐臂、绝缘拉杆、转轴等组成。油箱由上帽、上出线座、静触头、大绝缘筒、下出线座、基座等组成（见图 4-23）。

基座内由转轴、拐臂和导电杆组成摇杆式变直机构。基座底部有底盖，阻尼杆及导电杆下端深孔组成油缓冲器，基座上面装有以下出线座及大绝缘筒。绝缘筒内装有弹簧圈及铝压圈，在铝压圈四孔内穿入内六角螺钉。从面把大绝缘筒、铝压圈、下出线座和基座牢固地装在一起。铝压圈的上部是灭弧室静触头和上帽。

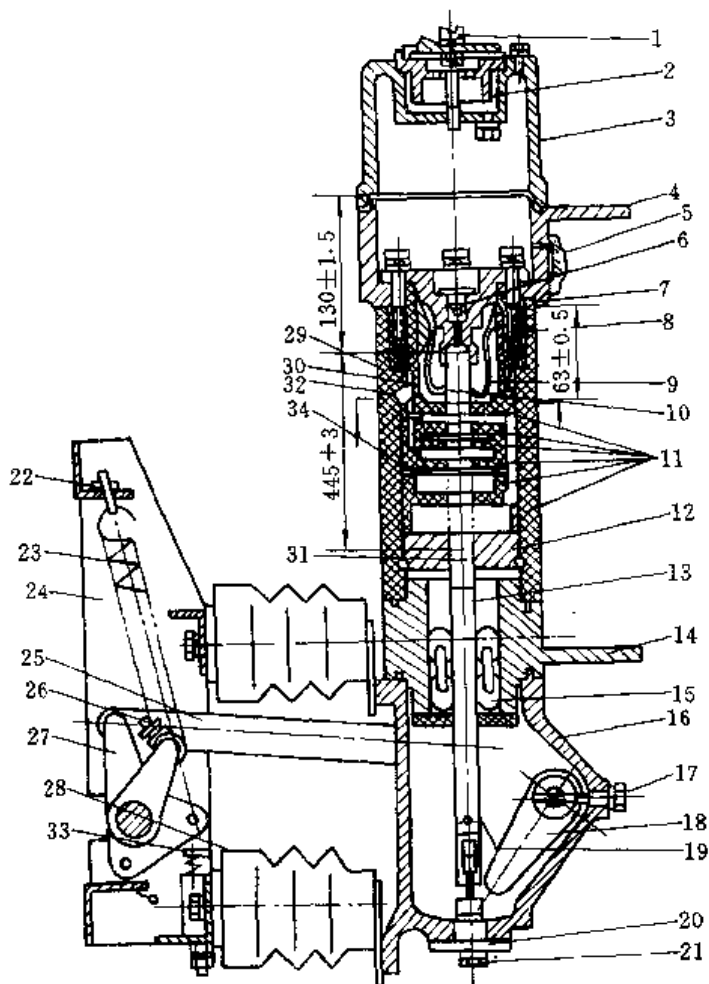


图 4-23 SN10—10 I 型断路器（固定式）结构

- 1—注油螺钉；2—油气分离器；3—帽子；4—上出线；
- 5—油标；6—静触座；7—逆止螺钉；8—螺纹压圈；
- 9—指形触头；10—弧触指；11—灭弧室；12—下压圈；
- 13—导电杆；14—下出线；15—滚子；16—基座；
- 17—螺钉；18—转轴；19—连杆；20—分闸缓冲；
- 21—放油螺钉；22—螺母；23—分闸弹簧；24—框架；
- 25—拉杆；26—分闸限位；27—大轴；28—绝缘子；
- 29—绝缘环；30—绝缘套筒；31—触头；32—垫圈；
- 33—合闸缓冲；34—绝缘衬垫

合闸过程：操动机构通过传动拉杆和拐臂，把力传到大轴上，通过大轴及三根绝缘拉杆推动基座内的转轴、拐臂，使三相导电杆向上作直线运动，最后插入静触头中。此时大轴拐臂上合闸缓冲滚子，碰撞并压缩合闸缓冲器，直到合闸终止位置时，由操动机构扣住，使断路器保持在合闸位置。在这一过程的同时，由于大轴的转动使分闸弹簧拉伸储能。合闸缓冲的作用有两个：一是合闸时起缓冲作用，二是开断大电流时帮助分闸弹簧克服动静触头间的夹紧力。

分闸过程：当操动机构用手动或电动脱扣后，由于分闸弹簧及合闸缓冲器弹簧力的作用使大轴转动，带动绝缘拉杆、转轴等环节，使导电杆向下运动而分闸。当分闸快到终点时，导电杆尾端的缓冲器开始阻尼，使导电杆运动速度逐渐减慢。最后由于分闸弹簧的预拉力，使大轴拐臂上的滚子紧靠在分闸限位缓冲器上，从而使断路器保持在最终分闸位置。

### 2. 灭弧室结构及灭弧原理

SN10—10 I、II 型少油断路器的灭弧室装在大绝缘筒的中上部。上面用带锯齿螺纹的黄铜压圈压紧。该灭弧室属于纵横吹式，三级横吹，一级纵

(2) 低型。断路器和操动机构组装成一体，两者成垂直布置，固定安装在较低的基础上。低型可用于户内和户外。其型号为 SW4—35B/1200~1000。

(3) 手车型。在低型基础上加装轮子和隔离插头而成。移动手车可使隔离插头分合，并有机械和电气联锁以保证操作安全。手车型可用于户内和户外。其型号为 SW4—35C/1200~1000。

该型断路器为单柱式，三相装于同一底座上。每相有上下两只瓷瓶，上瓷瓶中装有灭弧室和触头系统，下瓷瓶作为支持和绝缘用（见图 4-25）。其技术数据见表 4-4。

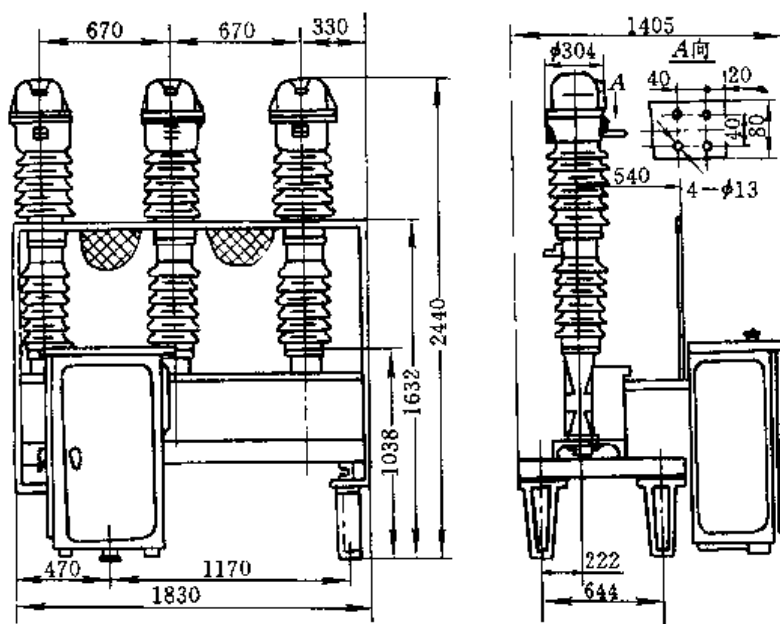


图 4-25 SW4—35 型断路器

表 4-4

SW4—35 型高压少油断路器技术数据

名称	数据	名称	数据	
额定电压 (kV)	35	固有分闸时间, 不大于 (s)	0.08	
最高工作电压 (kV)	40.5	合闸时间, 不大于 (s)	0.35	
额定电流 (A)	1200	自动重合闸无电流间隔时间, 不小于 (s)	0.5****	
额定开断电流 (kA)	16.5*	不检修连续“合分”次数	额定断流容量时	3
极限开断电流 (kA)	24.83**		60%断流容量时	6
关合电流, 峰值 (kA)	42	重量 (kg)	总重 (包括机构及油)	≈1000
4s 热稳定电流, 有效值 (kA)	16.5		油重	51
极限通过电流, 峰值 (kA)	42	安装基础动、静负荷 (向上, 向下) (t)	1	
额定断流容量 (MVA)	1000			
操作循环	分—0.5s—合分—180s—合分***			

\* 当断路器额定电压为 35kV 时的数据。

\*\* 当断路器额定电压为 12kV 时的数据。

\*\*\* 操作循环中每次“分”时都保证额定断流容量。

\*\*\*\* 该数据是用户在使用中应满足的数值。

#### 四、真空断路器

ZN-10型和ZN-35型真空断路器系三相交流50Hz、户内式高压开关设备，它配有专用的、带有自由脱扣的直流操动机构。适用于额定电压10kV及以下以架空为进线的户内配电系统，除作为普通配电保护断路器外，尤其适用于频繁操作及故障较多的场合，如投切电容器组、控制电炉变压器、切合高压电动机等。

##### 1. ZN-10型真空断路器

(1) 主要技术参数。其额定电压为10kV，最高工作电压12kV，额定电流可分别为630、1000、1250A或3150A，额定频率50Hz，额定开断电流（有效值）20kA，最大关合电流（峰值）50kA（合闸电压为85%额定值时），极限通过电流（峰值）50kA，2s热稳定电流（有效值）20kA，切合电容器组容量10000kvar及以下，固有分闸时间小于0.05s，全开断时间小于0.07s，合闸时间小于0.1s，一次自动重合闸无电流间隔时间不大于0.5s，动、静触头允许磨损厚度各为2mm，外形尺寸（高、宽、深）872mm×635mm×410mm，总体重量105kg。其他参数可见表4-5。

断路器经调整后应达到以下要求：①触头开距12-1mm；②超行程3+1mm；③三相触头不同期性不得超过1mm；④相间中心距210±2mm；⑤平均合闸速度0.4~0.6m/s；⑥平均分闸速度0.9~1.2m/s；⑦各相导电回路直流电阻不大于80μΩ；⑧合闸时触头弹跳时间不大于2ms。

(2) 总体结构。这种断路器主要由真空灭弧室、操动机构绝缘支持件、传动件及底座等组成一体（见图4-26）。灭弧室由两块压制半圆形的绝缘支架支撑并固定在底座上。由导电夹、软连结、出线板通过灭弧室两端组成高压回路。底座下部是操动机构，带自由脱扣，包括合闸电磁铁、分闸电磁铁、合闸掣子、抬杠、拉杆、分闸摇臂、分闸弹簧、三相联动轴、辅助开关等，且还设有机械计数器、分合指示、二次线路接线端子等。底部装有4个滚轮和4块弯板供搬运及安装用。半圆形的绝缘支架是用玻璃纤维压制而成的，绝缘性能好，机械强度高，用它能分相支持灭弧室而不需另加相间隔板。高压间无框架连接，不仅能提高相间的绝缘强度，且对真空灭弧室也有一定的防护作用。

其传动件（绝缘子）既要保证高压对地可靠绝缘，还要传递分合闸功能及经受数万次的冲击振动。该断路器采用玻璃纤维压制成型，不易老化、发脆、断裂，从而满足了真空开关机械寿命长的要求。

(3) 真空灭弧室和工作原理。真空灭弧室是真空断路器的绝缘和灭弧元件，其结构见图4-27。该灭弧室由动触头、动端跑弧面、动导电杆、波纹管、动端法兰、静触头、静端跑弧面、静端法兰、屏蔽罩、瓷柱、不锈钢支撑法兰、玻壳等零件部件，经清洗、玻璃封接、真空焊、氩弧焊、排气等工艺程序处理后封装而成。各主要零部件均密封在玻璃壳中，

表 4-5 ZN-10型真空断路器部分技术参数

序	技术参数	单位	数据	备注
1	电寿命			
	满容量开断次数	次	30	
	额定电流开断次数	次	10000	
2	机械寿命	次	10000	
3	1.频耐压	kV	42	
4	冲击耐压（正负极性）	kV	75（断流前）； 60（断流后）	
5	操动机构额定合闸电压	V	220 110	直流
6	操动机构额定合闸电流	A	40 80	直流
7	操动机构额定分闸电压	V	220 110	直流
8	操动机构额定分闸电流	A	2.5 5	直流



上。真空灭弧室和高压导电回路则通过绝缘支座固定在小车上。其结构见图 4-28，技术数据见表 4-6。

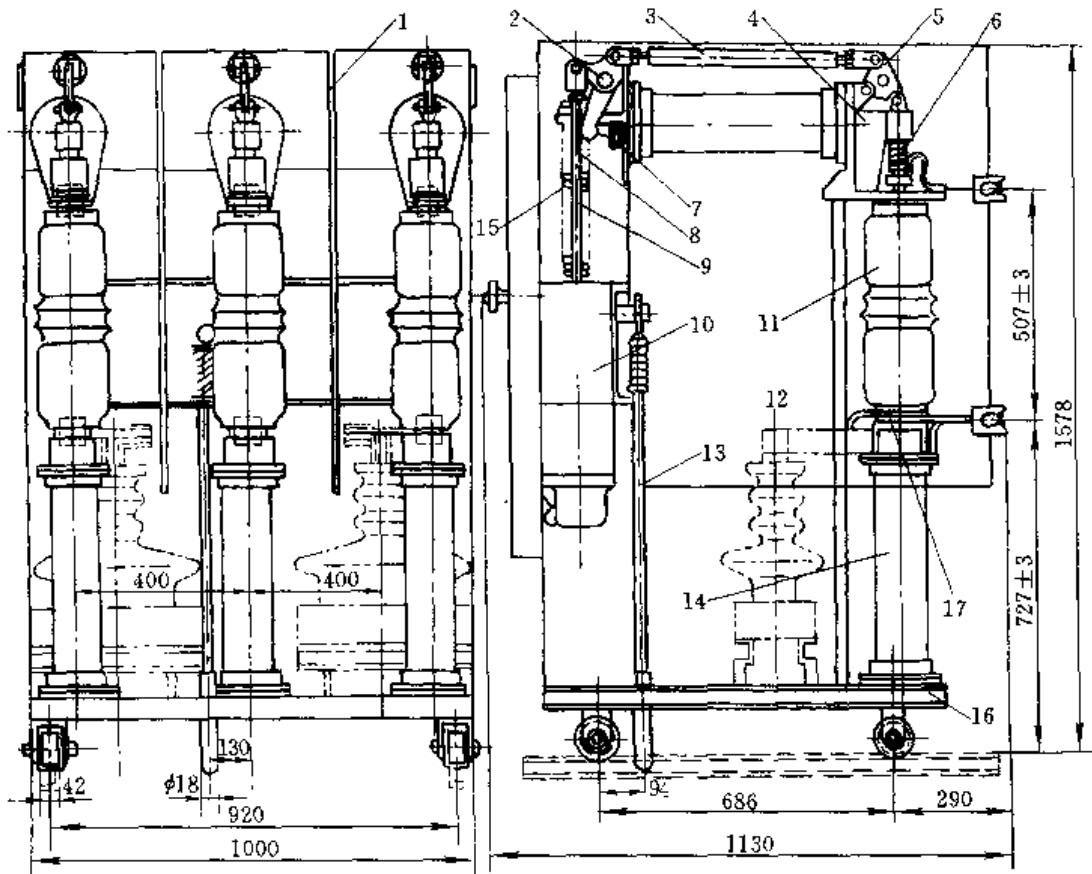


图 4-28 ZN—35 型真空断路器

- 1—相间隔板；2—主轴；3—绝缘拉杆；4—支架；5—拐臂；6—接触压力弹簧装配；7—止位器；  
8—油缓冲器；9—拉杆；10—CD2—40G 操动机构；11—真空灭弧室；12—电流互感器；  
13—机构联锁；14—绝缘支座；15—分闸弹簧；16—接线板；17—铁架

表 4-6 ZN -35 型真空断路器及其操作机构技术数据

额定电压 (kV)	最高工作 电压 (kV)	额定电流 (A)	额定开断 电 流 (kA)	额定开断电流 时的开断次数 不 少 于	2s 热稳定电 流, 有效值 (kA)	动稳定电流, 峰 值 (kA)	关合电流, 峰 值 (kA)
35	40.5	630	8	20	8	20	20
≤0.06	≤0.2	≥0.5	5000	110/220	240/120	110/220	5/2.5

## 五、SF<sub>6</sub> 断路器

### 1. SF<sub>6</sub> 断路器的特点

该断路器是采用 SF<sub>6</sub> 气体作为灭弧和绝缘介质的高压断路器。SF<sub>6</sub> 气体具有优良的绝缘和灭弧性能，所以 SF<sub>6</sub> 断路器的优点为：开断能力强、断口耐电压高、结构较简单、允许连续开断次数多、适于频繁操作、检修周期长、噪音小及无火灾危险等。近年来在各等

级电压网络中的应用已越来越多；但SF<sub>6</sub>断路器对加工工艺与材料的要求较高，需一套SF<sub>6</sub>气体系统，并要采取专门措施以防止低氟化合物对人体或材料的危害与影响。

SF<sub>6</sub>气体是无色、无臭、不燃烧、无毒的惰性气体，它的比重是空气的5.1倍。SF<sub>6</sub>分子有个特殊的性能，它能在电弧间隙的游离气体中吸附自由电子。在分子直径很大的SF<sub>6</sub>气体中，电子的自由行程是不大的，在同样的电场强度下产生碰撞游离的机会减少了，故SF<sub>6</sub>气体有优异的绝缘及灭弧能力。与普通空气相比，其绝缘能力约高2.5~3倍，灭弧能力则高近百倍。因此采用SF<sub>6</sub>作电器的绝缘介质或灭弧介质，既可大大缩小电器外形尺寸、减少占地面积，又可利用简单的灭弧结构达到很大的开断能力。此外，电弧在SF<sub>6</sub>中燃烧时电弧电压特别低，燃弧时间也短，因而SF<sub>6</sub>断路器每次开断后触头烧损很轻微，不仅适于频繁操作，同时也延长了检修周期。由于这些优点，SF<sub>6</sub>断路器发展很快，电压等级也在不断提高，特别是近年来SF<sub>6</sub>全封闭组合电器的发展速度相当快。

SF<sub>6</sub>气体的电气性能受电场的均匀程度及水分等杂质的影响特别大，故对SF<sub>6</sub>断路器的密封结构、元件结构及SF<sub>6</sub>气体本身质量的要求相当严格。

## 2. 总体结构

断路器三极装于一个底箱上，内部相通，箱内有一三相连动轴，通过三个主拐臂、三个绝缘拉杆操动导电杆（见图4-29）。每极为上下两绝缘筒构成断口和对地的外绝缘，内绝缘则采用SF<sub>6</sub>气体。箱体有两个自封阀，一个供充放气用，另一个安装电接点真空压力表。它的机械传动部分包括：大轴13、拐臂16、推杆8、主拐臂15、分闸缓冲14、合闸缓冲17以及分闸弹簧6。

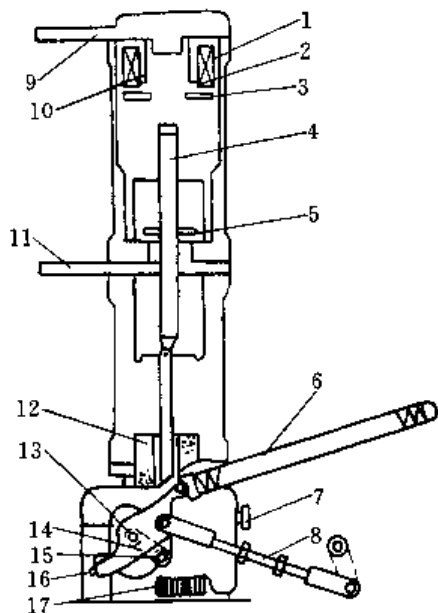


图 4-29 LN2-10SF<sub>6</sub> 断路器单相结构示意图

- 1 线圈；2-弧触指；3-环形电极；
- 4-动触头；5-助吹装置；6-分闸弹簧；
- 7-自封阀盖；8-推杆；9-上接线座；
- 10-静触指；11-下接线座；12-吸附器；
- 13-主轴；14-分闸缓冲；15-主拐臂；
- 16-拐臂；17-合闸缓冲

分闸时，在分闸弹簧6作用下，主轴13作顺时针转动，通过主拐臂16，使导电杆4向下运动，直到拐臂16上的滚子撞上分闸缓冲器14为止；合闸时，在弹簧机构操动下，推杆8使主轴13作逆时针转动，从而导电杆向上运动，直到同一滚子撞上合闸缓冲器17为止。

它的导电回路由上接线座9、触指2、10、动触头4、导电杆下接线座11组成。

## 3. 灭弧原理及技术参数

LN2-10型SF<sub>6</sub>断路器的灭弧原理采用了旋弧纵吹式与压气式相结合的高效灭弧方式。即当电弧从弧触指转移到环形电极上时，电弧电流通过环形电极流过线圈产生磁场，磁场和电弧电流相互作用使电弧旋转，同时加热气体、压力升高并在喷口形成高效气流、将电弧冷却。当介质恢复足够时，电弧便在电流过零时熄灭。

其主要技术参数为：额定电压10kV，最高工作电压12kV，额定电流1250A，额定开断电流25kA，额定开合电流（峰值）63kA，额定动稳定电流63kA，热稳定电流25kA，热稳定时间4s，额定失步开断电流6.5kA，年漏气率≤1%，水分含量150ppm（体积），SF<sub>6</sub>气体重量1kg，

断路器本体重量 110kg，其余可参见表 4-7。

表 4-7 LN2 -10 型 SF<sub>6</sub> 断路器部分技术参数

序	技 术 参 数		单 位	数 据	
1	额定绝缘水平	雷电冲击耐压 (全波)	kV	75	
		工频耐压 1min	kV	42	
2	电寿命	开断额定电流 (1250A)	次	2000	
		开断额定开断电流 (25kA)	次	10	
3	机械寿命		次	10000	
4	合闸时间	当操作电压为	最低	s	≥0.15
			最低、额定、最高		≥0.1
5	分闸时间	额定、最高			≥0.06
6	SF <sub>6</sub> 额定气压 20℃ (表压)		MPa	0.55	
7	闭锁压力 20℃ (表压)		MPa	0.5	
8	配用 CT3 型弹簧操动机构	合闸线圈	V	交流 110, 220, 380	
		分闸线圈		直流 48, 110, 220	
		电动机		交流 110, 220, 380 直流 110, 220	

#### 4. 气体检漏及含水量检测

(1) SF<sub>6</sub> 气体检漏。SF<sub>6</sub> 气体的泄漏主要是在断路器的密封面、焊缝和管路接头等处。对 SF<sub>6</sub> 气体进行检漏须使用专用检漏仪。测量漏气量应在断路器充 SF<sub>6</sub> 气体至额定压力后 24h 进行，对于装配部件的双层密封处的检漏应挂瓶 33min，测量 0.6MPa 气体漏气率应小于  $2.57 \times 10^{-7} \text{MPa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ ；0.4MPa SF<sub>6</sub> 气体漏气率应小于  $1.71 \times 10^{-7} \text{MPa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ 。

如果发生较大量 SF<sub>6</sub> 气体泄漏，操作人员则不能停留在离泄漏点 10m 以内的区域。如果电器内部发生故障，在容器内会存在 SF<sub>6</sub> 电弧分解物。打开外壳进行清除及检修工作时，必须使用防毒面具并穿好保护工作服。

(2) SF<sub>6</sub> 含水量检测。SF<sub>6</sub> 断路器对 SF<sub>6</sub> 的纯度及含水量都有严格要求。我国规定，运行中断路器内 SF<sub>6</sub> 气体的水分含量，在机械特性试验后不应超过 150ppm (体积比)。在正常运行和内部闪络的情况下，会生成多种 SF<sub>6</sub> 分解产物，大气中的水分也会渗入气体绝缘中，从而增加了 SF<sub>6</sub> 气体的含水量。有些活性杂质，如 HF、SO<sub>2</sub> 等对气体绝缘中的各种构件会产生腐蚀作用；某些分解产物还具有毒性，一旦泄漏出来会污染环境，影响工作人员的健康；过量的水分还会使气体绝缘设备的绝缘强度下降，甚至导致内部闪络事故。因此，掌握 SF<sub>6</sub> 气体的检漏，含水量的检测具有重要意义。

(3) 检漏与测定的作用。通过定期对 SF<sub>6</sub> 断路器 SF<sub>6</sub> 气体的检漏和水分的测定，可以做到：① 在 SF<sub>6</sub> 气压降低到闭锁压力之前，及时发现漏气现象及漏气点，以便采取措施进行处理；② 能够定量的计算出漏气量，判断 SF<sub>6</sub> 气体对断路器正常运行的影响程度；③ 通过定期检查巡视，还可以发现结构是否变形，瓷套有无破损，气体压力表是否生锈和损坏，SF<sub>6</sub> 气体管路和阀门有无变形等异常现象。

#### 六、非油断路器

断路器是电力系统的重要组成元件，国际电工委员会 (IEC) 认为，断路器的作用是：

表 4-8 少油断路器与几种非油断路器的性能与特点比较

对比项目		断 路 器 类 型			
		少油断路器 (POCB、MOXB)	磁吹断路器 (MBB)	真空断路器 (VCB)	SF <sub>6</sub> 断路器 (GCB)
消弧原理		油流喷吹	由于磁吹线圈的作用,使电弧进入灭弧栅中、电弧冷却、拉长而消失	真空中电弧急速扩散,当电流过零时而消失	利用 SF <sub>6</sub> 气体的优异绝缘性能和对于电弧的亲合力而消弧
消弧介质		绝缘油	空气	真空	高压 SF <sub>6</sub> 气体
体形大小		中等	较大	小	小
重 量		重	较重	轻	轻
安装连接方式		手车式水平引出	手车式水平引出	手车式水平引出	手车式水平引出
维护检修	更换遮断件	困难	较困难	容易、不要调整	困难
	污 染	小	无	无	小
	检查项目	油、触头灭弧室	触头 灭弧室	触头消耗	触头消耗
	操作机构	简单	复杂	简单	简单
可燃性材料		较多	多	少	少
失步断路 #		可能	不可能	可能	可能
触头寿命	遮断额定 负荷电流	800~2000 次	1000~5000 次	6000~10000 次	1000~4000 次
	遮断额定 分断电流	3~5 次	4~8 次	20~50 次	10 次
电弧	临界电流	0.34s(1.7 周波)以内	0.04~0.07s (2~3.5 周波)	约 0.01s (0.5 周波)	0.01s (0.5 周波)
	大电流	30%容量以上 0.02s (1 周波) 以下	60%容量以上 0.02s (1 周波) 以下	≤0.01s (0.5 周波)	≤0.01s (0.5 周波)
操作方式		手动弹簧,电动弹簧,电磁	电磁 电动	电磁 电动	电磁 电动
脱扣方式		过流脱扣、低压脱扣、分励脱扣、电容器脱扣	过流脱扣 分励脱扣 电容器脱扣	分励脱扣 电容器脱扣	分励脱扣 电容器脱扣
优 点		① 工艺成熟结构简单; ② 遮断性能好; ③ 维修简便; ④ 价格便宜	① 无火灾爆炸危险; ② 维修工作简单、费用低; ③ 遮断性能好、绝缘可靠性高; ④ 触头损伤小,可用于频繁操作、触头可由外部监视检查	① 无火灾爆炸危险; ② 遮断性能优良; ③ 几乎不用维护; ④ 重量轻、体积小; ⑤ 触头寿命长; ⑥ 操作力小	① 没有火灾爆炸危险,不会出现异常电压; ② 遮断性能优良,触头寿命长; ③ 运行可靠性高; ④ 适用于高电压与超高电压
缺 点		① 触头寿命短,不宜频繁操作; ② 更换遮断部件困难; ③ 形体大	① 价格较高; ② 高电压、大容量在制作上有困难; ③ 脱扣时声响大; ④ 灭弧室有吸潮可能	① 价格较高; ② 容易产生过电压; ③ 真空泄漏检查困难	① 对 SF <sub>6</sub> 气体的杂质、水分和开关的严密性必须严格管理; ② 价格较高

## 七、断路器的操动机构

高压断路器的操动机构（也称操作机构）通常有电磁式、手动式及弹簧储能式等多种，现分述如下。

### （一）电磁式操动机构

用电磁铁将电能转变成机械能来实现断路器分、合闸的动力机构，称为电磁操动机构。其特点是结构较简单且运行可靠，它与少油式屋内断路器配套被广泛地应用于变电所和发电厂中。CD10型操动机构是一种常用的电磁操动机构，它主要与SN10—10型断路器配套进行分、合闸操作。

#### 1. CD10型操动机构的结构

CD10型操动机构的结构见图4-31，它由下列三部分组成：

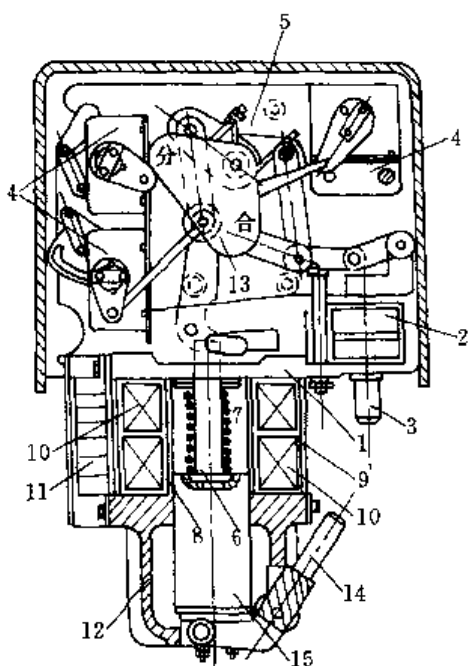


图 4-31 CD10型电磁操动机构结构图  
1—铸铁支架；2—分闸线圈；3—分闸铁芯；  
4—辅助开关；5—主转轴；6—顶杆；7—复位弹簧；8—内圆筒；9—外铁筒；10—合闸线圈；11—接线板；12—缓冲法兰；13—分、合闸指示牌；14—手动操作手柄；15—合闸铁芯

（1）自由脱扣机构。位于操动机构上部，分闸电磁铁位于操动机构右部，它由分闸铁芯（又称脱扣铁芯）3和分闸线圈（脱扣线圈）2组成。分闸过程中分闸线圈通过直流电流产生磁场，铁芯被吸向上，进行分闸。分闸完毕后，切断分闸线圈的直流电源，铁芯下落。在铸铁支架1的左上方和右上部装有辅助开关4（又称联锁开关）；左下方装有接线板11；前面装有合闸线圈10和合闸铁芯15。主转轴5穿过支架，通过连杆等传动机构操作断路器。主转轴的前面装有分、合闸指示牌13，可以指示操动机构的分、合闸位置。

（2）合闸电磁系统。位于操动机构中下部，缓冲法兰12的上部作为它的下部导磁体，铸铁支架1的水平部分是它的上部导磁体。在上、下导磁体之间有一个外铁筒9作为磁轭。外铁筒又作为电磁合闸线圈10的外护套，可避免线圈受外部损伤。合闸线圈内部有圈柱形合闸铁芯15，在铁芯上装有一根顶杆6，穿过铸铁支架1的水平部分圆孔。

当合闸线圈通电时铁芯被吸向上，驱动传动机构使断路器合闸，合闸线圈失电后铁芯会自动落下。为防止线圈内表面在铁芯上、下运动时受到擦伤，在铁芯与合闸线圈之间插入内圆筒8。合闸后辅助开关4立即切断合闸线圈的电源，由于剩磁，合闸铁芯可能粘附在铸铁支架的水平部分上。为此在铸铁支架1水平部分的下面装有铝环和铁环，以减少剩磁。顶杆6上套有复位弹簧7，合闸铁芯15被吸向上时压缩复位弹簧。合闸线圈失电后，在复位弹簧的作用下可克服剩磁吸力，使合闸铁芯迅速下落。

（3）缓冲法兰。缓冲法兰12位于操动机构下部，通过四根螺杆与外铁筒9一起装在铸铁支架1的下面。既能对外铁筒9、内圆筒8、合闸铁芯15和合闸线圈10起定位作用，又是磁路的组成部分。它内部有橡皮衬垫，在合闸铁芯15下落时起缓冲作用。缓冲法兰的下部装有手动操作手柄14，也可装在操动机构的正面、左侧或右侧。

(2) 手动分闸。手动分闸时手顶脱扣器的脱扣铁芯 8 使其向上冲击连杆 10，连杆 10 向上转动，当销轴  $A_5$  随之向上运动过死点后，销轴  $A_5$  亦向上移动。在断路器分闸弹簧作用下，滚子从搭钩上落下，连杆 1 转动，断路器进行分闸，如图 4-32 (e) 所示。此时滚子沿着搭钩落入缺口，断路器完成分闸操作。当手释放脱扣器后，脱扣铁芯 8 落下，在复位弹簧作用下连杆 10、11、12 返回原位，重又进入准备合闸状态 [见图 4-32 (a)]。

### 3. 控制回路的工作原理

变电所中常采用控制开关或继电器的触点控制断路器的操作，断路器的控制回路如图 4-33 所示。

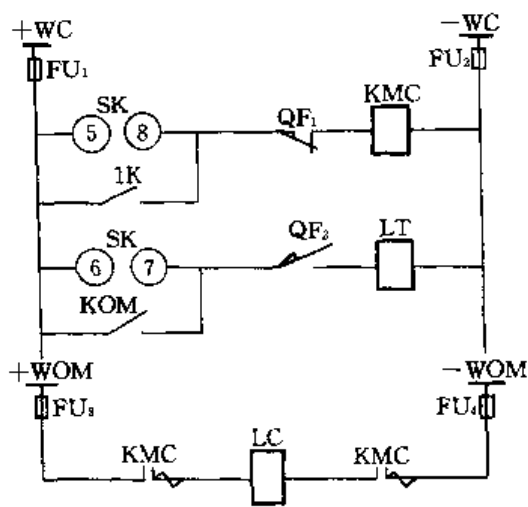


图 4-33 断路器的控制回路简图

SK—控制开关；LC—合闸线圈；LT—跳闸线圈； $QF_1$ 、 $QF_2$ —断路器辅助接点；KMC—合闸接触器；1K—自动装置的合闸继电器接点；KOM—继电保护出口继电器接点；+WC、-WC—直流控制回路电源小母线；+WOM、-WOM—直流合闸电源小母线； $FU_1 \sim FU_4$ —熔断器

(1) 合闸操作。假定断路器处于分闸状态，工作人员在远距离操作控制开关 SK。控制开关触点  $SK_{5-8}$  闭合。电路沿  $+WC \rightarrow SK_{5-8} \rightarrow QF_1 \rightarrow KMC \rightarrow -WC$  接通。合闸接触器带电动作，其接点 KMC 闭合。通路为： $+WOM \rightarrow KMC$  触点  $\rightarrow LC \rightarrow KMC$  触点  $\rightarrow -WOM$ 。合闸铁芯被吸向上，合闸铁芯的顶杆把滚子顶向上。操动机构按前述手动合闸过程进行合闸，此外还可通过自动装置的合闸继电器接点 1K 闭合来进行上述合闸。

由于合闸线圈是按短时间通电而设计的，为保证合闸线圈的安全，合闸后应迅速切除电源。为此在断路器合闸后，控制开关触点  $SK_{5-8}$  和断路器辅助接点  $QF_1$  断开，使合闸接触器 KMC 失电，自动切断合闸电路。合闸铁芯靠它本身的重力和复位弹簧的力落到缓冲法兰上，同时断路器辅助接点  $QF_2$  闭合，准备跳闸 [其传动机构如图 4-32 (d) 所示]。

(2) 分闸操作。分闸时工作人员操作控制开关 SK。 $SK_{6-7}$  触点闭合，跳闸线圈带电，脱扣铁芯 8 被

吸向上，撞击连杆 10，迫使销轴  $A_5$  过死点，释放传动机构、在分闸弹簧作用下，断路器进行分闸。

跳闸线圈也是按照短时带电设计的，跳闸后应立即切断跳闸线圈的电源。为此断路器分闸后， $SK_{6-7}$  触点和断路器辅助接点  $QF_2$  断开，切断跳闸回路，脱扣铁芯依靠重力下降。连杆 10、11、12 在复位弹簧作用下返回原位，为再次合闸作好了准备。

(3) 防跳措施。用控制开关或自动装置合闸时，如果控制开关  $SK_{5-8}$  触点长时间闭合或粘住，或者自动装置的合闸接点 1ZJ 被粘住、而断路器又合闸于永久性故障的设备或线路上，则继电保护动作使断路器分闸。断路器辅助接点  $QF_1$  闭合，合闸回路接通，断路器又合闸，断路器辅助接点  $QF_2$  闭合。由于故障仍存在，继电保护又动作，断路器再次跳闸。这种发生多次“跳合”的现象称为“跳跃”现象，它极易损坏断路器。

CD10 型操动机构本身具有防止“跳跃”的能力。由于搭钩内侧具有特殊轮廓，当分闸时，在断路器的分闸弹簧作用下，滚子将到达搭钩的缺口处，分闸才算完成。如果在滚子

进入搭钩的缺口之前进行合闸，合闸铁芯被吸向上，这时连杆 10 和 11 尚位于死点之上，滚子偏向顶杆右侧，顶杆不能把滚子顶起 [见图 4-32 (f)]，断路器不能合闸。这样就防止了断路器重新接通电路，从而达到了“机械防跳”的目的。

(4) 自由脱扣。若断路器合闸于故障电网，则合闸后合闸铁芯被吸住或正在下降过程中，此时继电保护动作，跳闸线圈带电，滚子仍可通过顶杆掉下来完成断路器的分闸操作。从而可保证：在合闸铁芯长期被吸住时能使断路器自动跳闸；断路器的分闸过程与合闸铁芯返回位置无关；在合闸过程中自由脱扣机构动作，滚子也能从顶杆上落下来进行分闸。所以 CD10 型操动机构不论处在合闸状态还是合闸过程中的不同位置，都能使断路器无阻碍地实施分闸，这也就是所谓的“自由脱扣”。

## (二) 手动操动机构

手动机构是指用手力直接操作来实现断路器分、合闸的机构，其分闸可分手动和电动两种。这种机构的合闸速度，与操作者在操作时的体力、操作技巧、精神状态等因素有关。当关合短路时，若合闸速度降低，则可能降低关合能力，甚至在未合到底时，由于继电保护动作而使机构脱扣分闸，降低分闸速度，因而降低开断能力。目前断路器分、合，趋向于用手力储能机构取代手动机构，以确保分、合闸速度。手动操作还有一个不足之处是不能实现自动控制及自动重合闸，优点是结构简单，便于维护且故障少。这里介绍 10kV 断路器常用的 CS2 型和 CS15 型手动操动机构。

### 1. CS2 型手动操动机构

CS2 型是用手柄转动机构的连杆使断路器合闸，由于机构中有自由脱扣机构，故能在合闸过程中的任何位置用手力或装在机构内的脱扣附件使断路器分闸。该机构装于箱内，可用于户外。CS2 型手动操动机构 (见图 4-34) 的使用种类是由其脱扣附件数量和型式不同来区别的，该操作机构有四种脱扣器：

1) 瞬时过载脱扣器 ( $T_1-1$ 、 $T_1-6$ )，过载及短路保护用。

2) 延时过载脱扣器 ( $T_1-2$ )，过载及短路保护用。

3) 失压脱扣器 ( $T_1-3$ )，当网路电压降落时保护用。

4) 切断电磁铁 ( $T_1-4$ )，用于其他需要的联锁操作或保护 (由各种电源通过带有闭合触头的继电器来操作)。

CS2 型手动操动机构的动作原理如下：

#### (1) 合闸过程。

1) 预备合闸：将手柄 1 向下按，让圆盘 11 与手柄连接，并与拉杆 12 一起

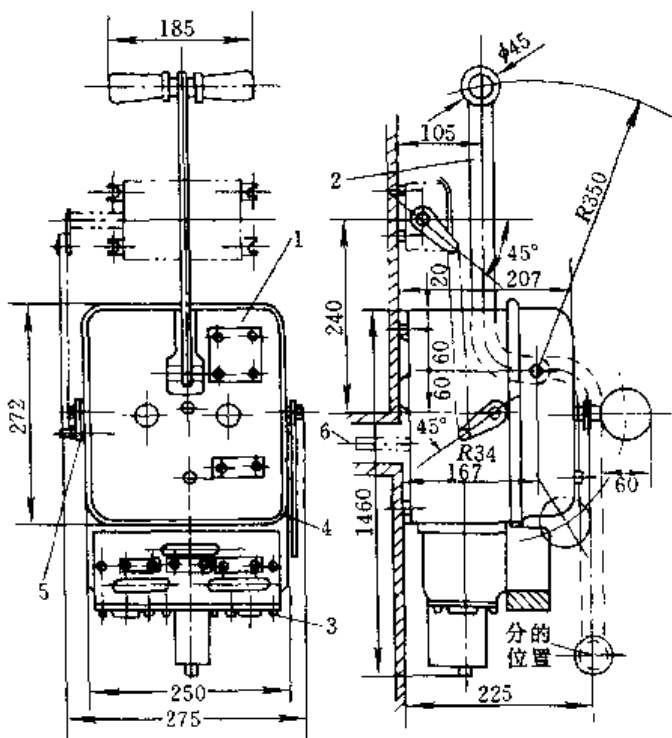


图 4-34 CS2 型操动机构外形及结构  
1—机壳；2—手柄；3—脱扣线圈；4—分合指示器；  
5—辅助开关连杆；6—传动轴

顺时针方向转动，引导扣板 6 到脱扣杠杆 7 的左边，锁扣 5 的末端扣在扣板 6 的下面，并用手柄压住推杆 9 把失压脱扣器扣住，使操动机构由图 4-35 (a) 或图 4-35 (d) 进到图 4-35 (b) 的准备合闸位置。

2) 合闸：从下向上（逆时针方向）转动手柄，连杆 18 带动拐臂 2 绕轴 4 旋转，连接在拐臂下端的输出拉杆 19 被拉向右移，使断路器合闸，同时，操动机构进入图 4-35 (c) 的位置，轴 8 处于  $O_1$  和  $O_2$  的连线下面，构成死点，使操动机构保持在合闸位置。

(2) 分闸过程。

1) 手动分闸：机构处于图 4-35 (c) 状态，从上向下（顺时针方向）转动手柄 1，带动拐臂 2 和圆盘 11 也向合闸相反方向转动，再通过摩擦螺钉 17 的作用，分闸板 13 转动一个角度，使脱扣杠杆 7 扭转，把扣板 6 的末端从扣住位置释放出来。弹簧 15 使被释放的扣板和半圆轴反时针方向旋转到达一定角度，锁钩 5 也从扣住位置释放、轴 8 向下滑动，拐臂 2 脱离死点，在油断路器的分闸弹簧的作用下实现分闸。分闸终了时，机构处于图 4-35 (a) 的位置。

2) 电动分闸：机构处于合闸位置故障情况下，脱扣器动作，顶杆 10 上冲，使脱扣杠

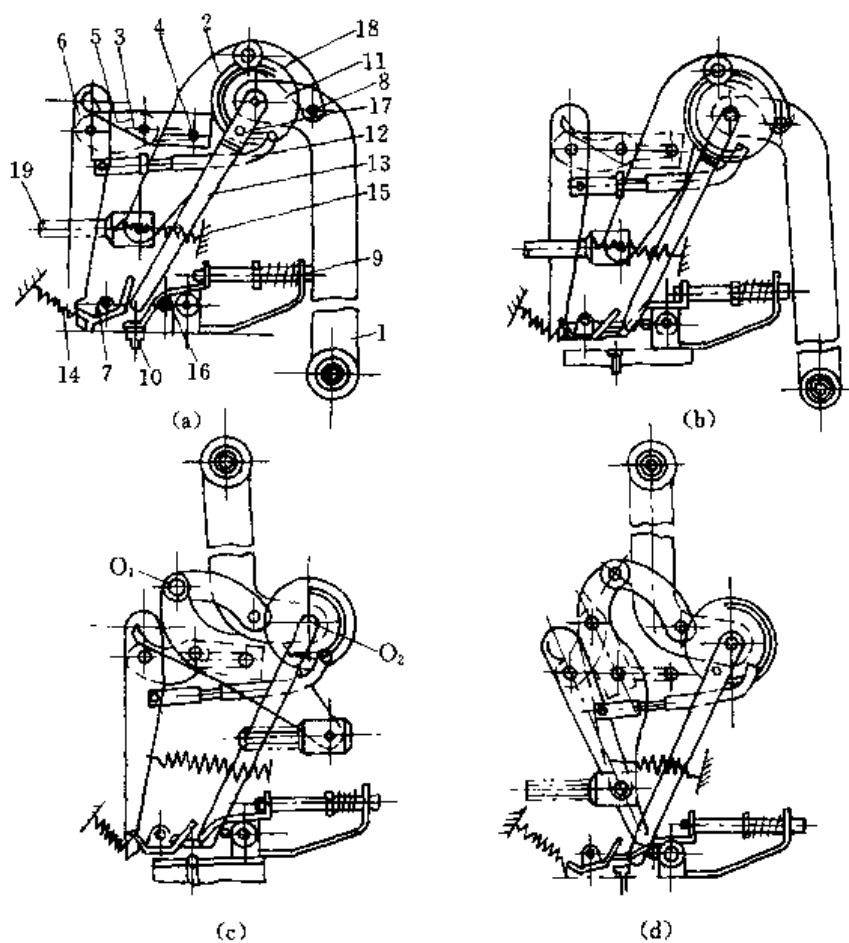


图 4-35 CS2 型手动操动机构动作图

(a) 手动分闸位置；(b) 准备合闸位置；(c) 合闸位置；(d) 自动分闸位置  
1—手柄；2—拐臂；3、4、8—轴；5—锁扣；6—扣板；7—脱扣杠杆；9—推杆；  
10—顶杆；11—圆盘；12—拉杆；13—分闸板；14、15—弹簧；  
16—角板；17—摩擦螺钉；18—连杆；19—输出拉杆



杆向反时针方向扭转，扣板 6 下端失去支持，向右移动，带动拐臂 2 使 O 向右移动，脱离死点位置，断路器分闸，最终使操作机构处于图 4-35 (d) 的位置。

合闸过程中，脱扣器动作，将使轴 8 不能进入死点位置，合不上闸。

## 2. CS15 型手动操动机构

CS15 型与 CS2 型基本类同，其不同之处在于 CS15 型是使操作手柄旋转 90°来完成操作的，故比 CS2 省力。其脱扣器的技术性能与参数为：失压脱扣器额定电压为 110、220、380V；瞬时过流脱扣器额定电流 5~15A；分励脱扣器额定电压分为直流 24、48、110、220V，对应的脱扣功率分别为 40、40、80、143VA；交流 110、220、380V，对应的脱扣功率分别为 55、79、118VA。

由于手动操动机构的合闸速度慢以及其他一些不足之处，今已渐趋淘汰。故对它们的技术数据等，这里就不再多作介绍。

### (三) 弹簧储能操动机构

弹簧储能式操动机构简称弹簧操动机构，有 CT7、CT8、CT9、CT11 型及 CT12 等型号。它们的基本原理类同，这里主要介绍 CT8 型弹簧操动机构，它系户内弹簧储能式中压断路器操动装置，用于操动 SN10—10 系列户内中压少油断路器，或合闸功能与其相当的其他断路器。它可用于 10 (6) kV 固定式开关柜或者手车式开关柜。

机构合闸弹簧的储能方式有两种，一种是既能电动机储能又能手力储能；另一种是仅有手力储能。同时具有电动机储能和手力储能的有 CT8 I 型，配 SN10—10 I 型及 SN10—10 II 型少油断路器；还有 CT8 II 型，配 SN10—10/2000—43.3 型及 SN10—10/3000—43.3 型少油断路器。只有手力储能的有 CT8 III 型，配 SN10—10 I 型、SN10—10 II 型及 SN10—10/1250—43.3 型少油断路器。

机构的合闸操作有合闸电磁铁和手动按钮两种操作方式；分闸操作除有手动按钮外，还有电动脱扣器，包括分闸电磁铁（分励脱扣器）、瞬时过电流脱扣器及失压脱扣器。脱扣器可根据用户的不同要求而装设。

#### 1. 结构简介

CT8 型弹簧操动机构采用夹板式结构。机构的储能驱动部分、合闸驱动部分及合闸电磁铁等布置在左右侧板之间，两根合闸弹簧分别布置在左右侧板外边。右侧板外面还布置着切换电机回路的行程开关、瞬时过电流脱扣器、由独立电源供电的分闸电磁铁及失压脱扣器，左侧板外面布置着接线端子。储能电动机和辅助开关布置在机构下部，“分”、“合”按钮布置在机构下面上方左右两边，储能指示与“分”、“合”指示则布置在机构正面。机构输出轴在机构后部，并与安装底板平行布置（见图 4-36）。

#### 2. 动作原理

CT8 型弹簧操动机构的合闸操作动作示意图 4-37。

(1) 电动机储能。图 4-37 中储能电动机 2 通电，通过偏心轮、滚轮、操动块、带动驱动棘爪 4、棘轮。棘轮上的销顶住驱动板，使储能轴 14 转动，带动挂簧拐臂，将合闸弹簧 9 拉长。当拉到最长位置再向前转一点（约 3°），挂簧拐臂自行过程中，与储能轴联为一体的滚轮紧靠在定位件 6 上，维持住合闸弹簧的储能状态。同时挂簧拐臂推动行程开关，切断储能电动机电源。

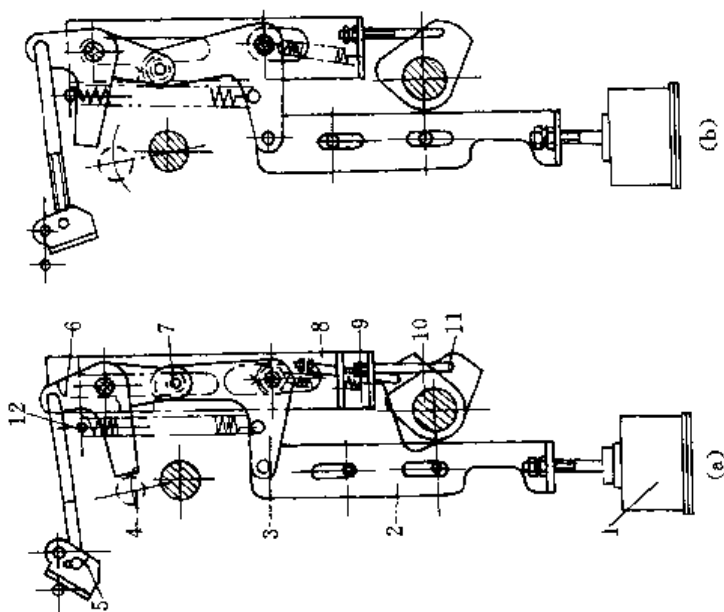


图 4-37 弹簧操动机构合闸操作动作示意图  
(a)机构已储能时合闸操作系统的位置;  
(b)合闸操作时的状态

1—合闸电磁铁;2—导板;3—杠杆;4—滚轮;  
5—脱扣板;6—定位件;7—滚子;8—联锁板;  
9—复位弹簧;10—输出轴;11—拉杆;12—轴  
(注:图 a 中实线表示机构处于分闸并已储能时该  
系统的位置,双点划线表示机构处于合闸并  
已储能时该系统的位置)

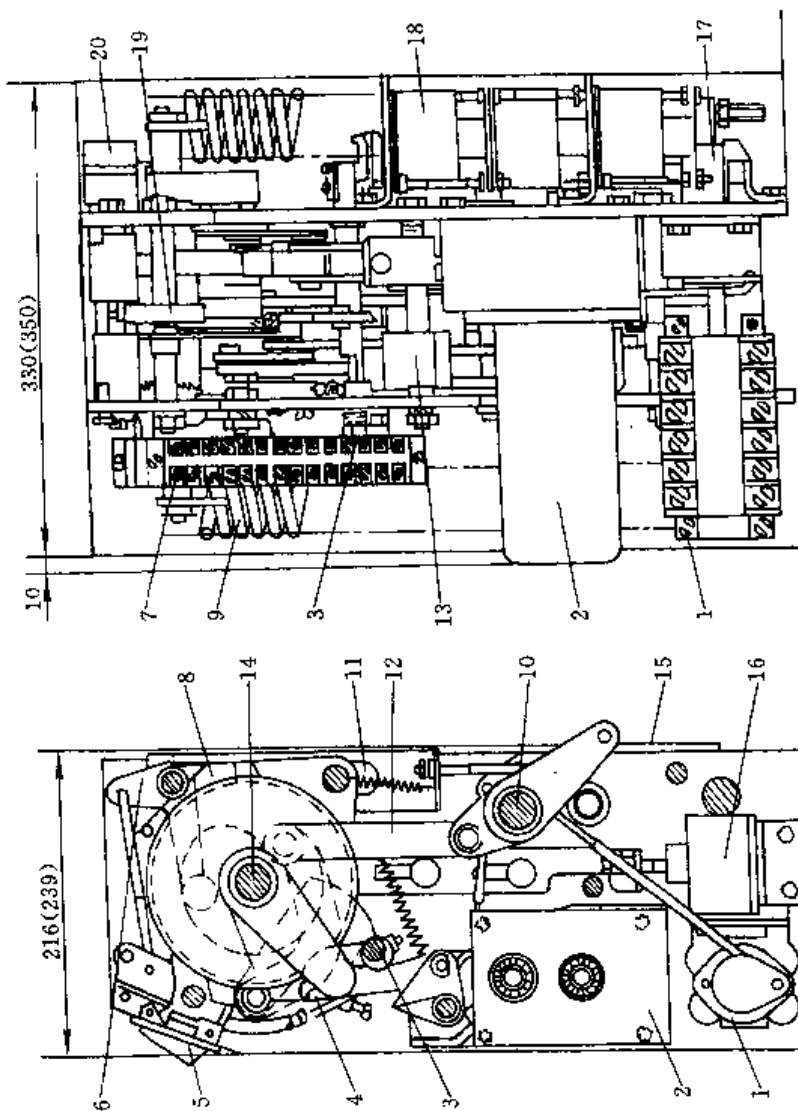


图 4-36 CT8 型弹簧操动机构

1—辅助开关;2—储能电动机;3—半轴;4—驱动棘爪;5—按钮;6—定位件;7—拨  
线端子;8—保持棘爪;9—合闸弹簧;10—输出轴;11—合闸联锁板;12—合闸四联杆;  
13—分合指示牌;14—储能轴;15—角钢;16—合闸电磁铁;17—失压脱扣器;18—瞬  
时过电流脱扣器及分励脱扣器;19—储能指示;20—行程开关  
(注:括号内的数值为 CT8 型弹簧操动机构的外形尺寸)

表 4-12 失压脱扣器技术数据

额定电压 (V)	-110	-220	-380
额定功率 (VA)	<40		
20℃时线圈电阻值 (Ω)	≈47	≈185	≈590
	≈32	≈142	≈541

大于 0.3s。

#### 4. 控制线路

CT8 型弹簧操动机构的控制线路及内部接线分别见图 4-38 及图 4-39。

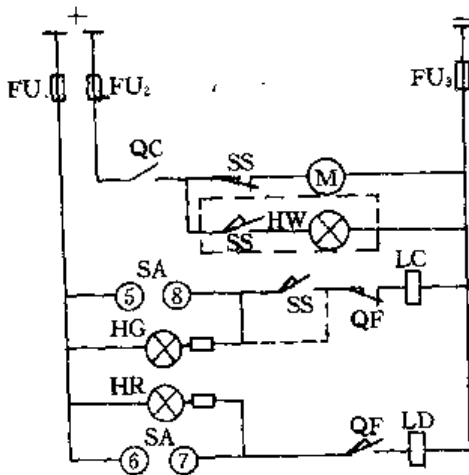


图 4-38 弹簧操动机构控制线路  
FU<sub>1</sub>、FU<sub>2</sub>、FU<sub>3</sub>—熔断器；M—电动机；  
SS—行程开关；QF—辅助开关触头；  
LC—合闸线圈；LD—分闸线圈  
(上列电器均在机构内)；QC—组合开关；  
SA—控制开关；HG、HR、HW—信号灯  
(注：虚线框及虚线适用于另  
设储能信号灯 HW 时)

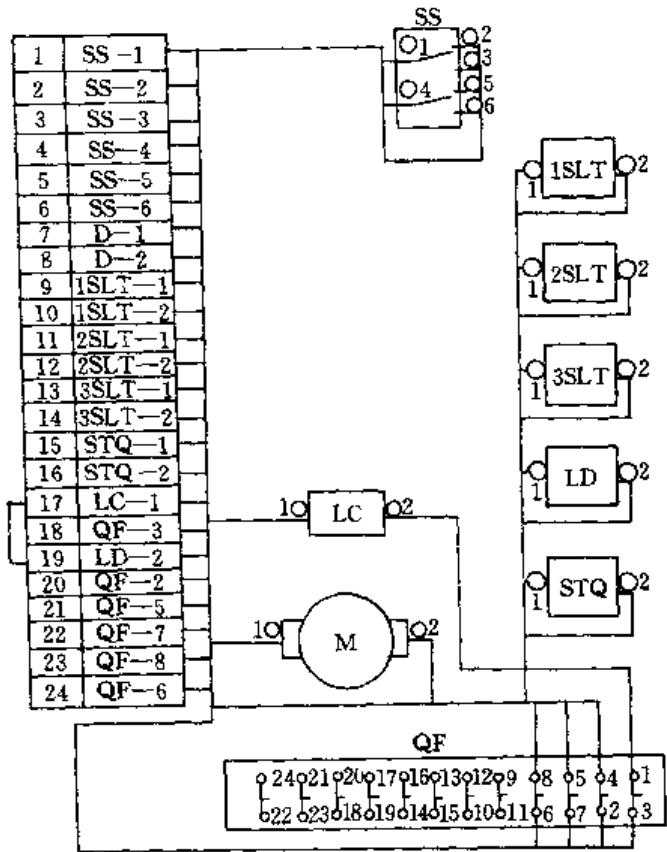


图 4-39 弹簧操动机构内部接线  
M—电动机；SS—行程开关；1SLT、2SLT、  
3SLT—过电流脱扣器；STQ—失压脱扣器；  
LC—合闸线圈；LD—分闸线圈；  
QF—辅助开关  
(注：本图以三个瞬时过电流脱扣器、一个分  
励脱扣器和一个失压脱扣器为例)

### 第三节 隔离开关和负荷开关

#### 一、隔离开关

隔离开关又名隔离刀闸，常简称刀闸，属高压开关的一种。由于它没有专门的灭弧结构，故不能用来切断负荷电流和短路电流，但由它可以造成电网或主结线电路中的明显断开点。使用时应与断路器配合，只有在断路器断开后才能进行操作。

##### (一) 隔离开关的用途与要求

电力系统中隔离开关的主要用途是：

- (1) 将电气设备与带电的电网隔离。以保证被隔离的电气设备有明显的断开点，从而可安全地进行检修。

(2) 改变运行方式。在双母线的电路中，可利用隔离开关将设备或线路从一组母线切换到另一组母线上。

(3) 接通和断开小电流电路。如可利用隔离开关进行下列操作，即接通和断开：电压互感器和避雷器电路；电压为 10kV 长 5km 以内的空载输电线路；电压为 35kV 容量 1000kVA 及以下或电压为 110kV 容量 3200kVA 及以下的空载变压器；电压为 35kV 长度在 10km 以内的空载送电线路等。

按照隔离开关担负的任务，应满足以下要求：

(1) 隔离开关应具有明显的断开点，易于鉴别电器是否与电网断开。

(2) 隔离开关断开点之间应有可靠的绝缘，即要求隔离开关断开点之间应有足够的距离，以保证在恶劣的气候条件下也能可靠工作，并在过电压及相间闪络的情况下，不致从断开点击穿而危及人身安全。

(3) 它在运行中，会受到短路电流的热效应和电动力的作用，故它应具有足够的热稳定性和动稳定性，尤其不能因电动力的作用而自动断开，否则将引起严重事故。

(4) 隔离开关的结构应尽可能简单，动作要可靠。

(5) 带有接地闸刀的隔离开关必须有联锁机构，以保证先断开隔离开关后再合上接地闸刀，先断开接地闸刀后再合上隔离开关的操作顺序。

## (二) 隔离开关的类型和结构

隔离开关可按下列不同方面进行分类：

(1) 按绝缘支柱的数目可分为单柱式、双柱式和三柱式 3 种。

(2) 按闸刀的运行方式可分为水平旋转式、垂直旋转式、摆动式和插入式 4 种。

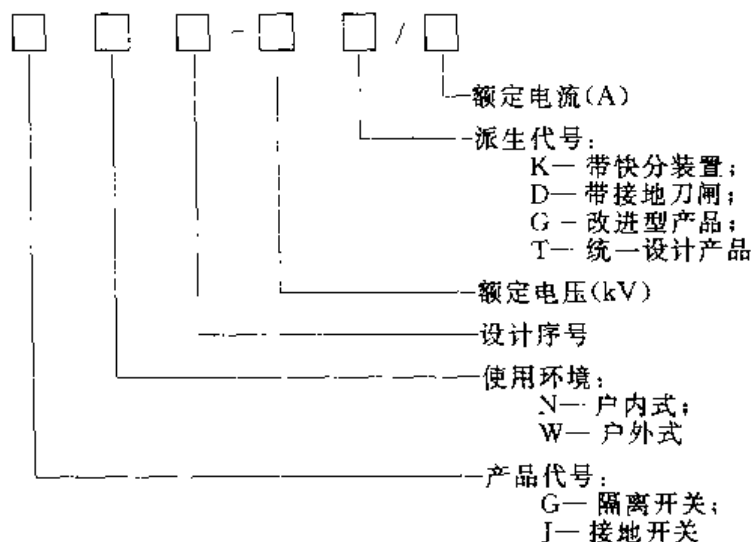
(3) 按装设地点可分为户内式和户外式两种。

(4) 按有无接地闸刀可分为有接地闸刀和无接地闸刀两种。

(5) 按隔离开关的极数可分为单极和三极隔离开关两种。

(6) 按隔离开关配用的操动机构可分为手动、电动和气动操作等类型。

隔离开关的型号由字母和数字两部分组成：



### 1. 户内式隔离开关

户内式隔离开关有单极或三极的且都是闸刀式，其可动触头（闸刀）装设得与支持绝缘的轴垂直，并且大多是线接触。下面对常用户内式隔离开关作简要介绍。

(1) GN6 型隔离开关。GN6-10T/600 型三极隔离开关的外形见图 4-40。它的动触头是每相有两条铜制的闸刀，用弹簧紧夹在静触头两边，并形成线接触，以增加接触压力，提高电动稳定性。

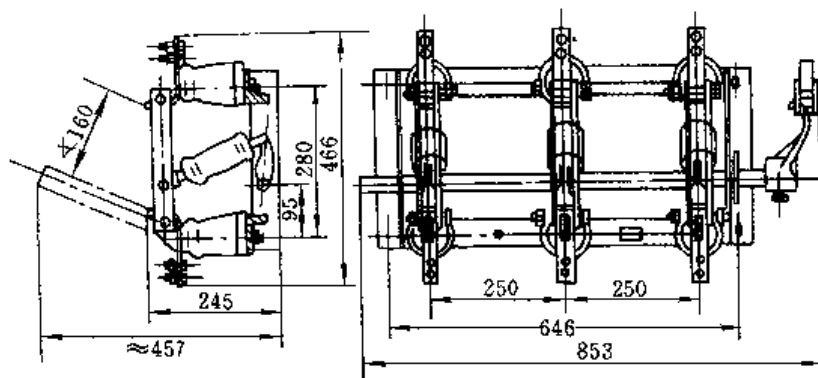


图 4-40 GN6-10T/600 型三极隔离开关的外形图

户内隔离开关一般采用手动操作机构。轻型隔离开关采用杠杆式手动机构。额定电流在 3000A 及以上的重型隔离开关，一般采用蜗轮式手动机构。

(2) GN8 系列隔离开关。GN8 系列的隔离开关结构见图 4-41。它在结构上与 GN6 系列的基本相同，只是将绝缘瓷瓶改为绝缘套管。所以安装时很方便，可以水平、垂直或倾斜安装，也可装在天花板上及不同的墙面上。其中 GN8-6IT 型或 10IT 型的一边是支柱瓷瓶，另一边是绝缘套管；GN8-6 或 10IVT 型的则两边都是绝缘套管。

根据不同情况，隔离开关与手动操作机构的相对位置可分 4 种不同的安装方式，具体可根据需要选择采用。

## 2. 户外式隔离开关

由于它的工作条件比较恶劣，应保证在冰、雨、风、灰尘、严寒和酷热等条件下均能可靠地工作。故对其绝缘要求较高，并应具有较高的机械强度。此外，它还有可能在触头结冰时操作，这就要求开关触头在操作时具有破冰作用。户外式隔离开关可分为单柱式、双柱式、V 型式及三柱式。

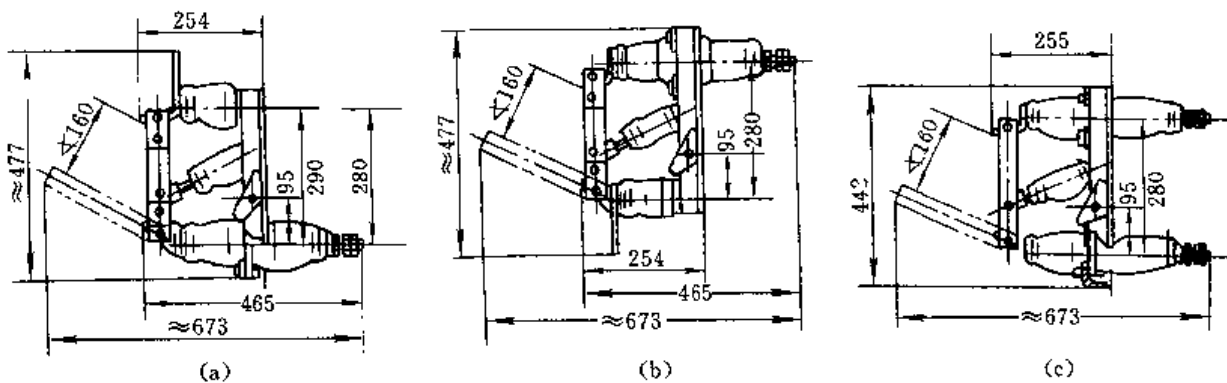


图 4-41 GN8 系列隔离开关的结构

(a) GN8- $\frac{6}{10}$ IT/1000 型；(b) GN8- $\frac{6}{10}$ IT/1000 型；(c) GN8- $\frac{6}{10}$ IVT/1000 型

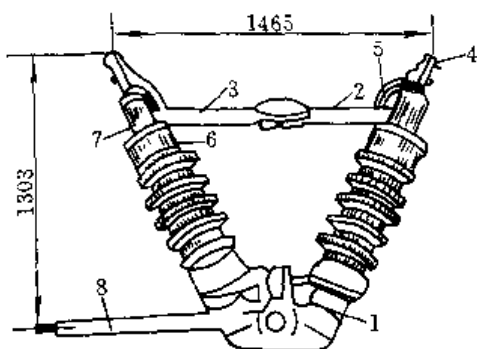


图 4-42 GW5-110D 型隔离开关的结构

- 1—底座；2、3—闸刀；4—接线端子；  
5—挠性导体；6—棒式绝缘子；  
7—支承座；8—接地刀闸

(1) 双柱式户外隔离开关。这种隔离开关每相只有两组绝缘子，操作时两组绝缘子水平移动，使刀闸合上或打开。它的刀闸是向左右移动的，结构简单、体积小。其缺点是当隔离开关分闸时，由于刀闸移动而使带电导体相间距离缩小。

(2) V 型式隔离开关。V 型式隔离开关的基本结构与双柱型相同。GW5-110D 型隔离开关结构见图 4-42，它与 GW4-110 型相比，其底座尺寸更小，可节约钢材，并使配电装置中的水泥支架和基础尺寸也相应缩小。

(3) 单柱式隔离开关。这种开关为单相设备，是专供在线路空载带电情况下，分、合变压器中性点接地线路用的。它由支持瓷瓶、对地绝缘瓷瓶、静触头、闸刀及底板构成。正常情况下隔离开关处于合闸位置；需分闸时，操作机构带动主轴，使闸刀转 90° 到分闸位置。其优点是结构紧凑、占地面积小。

### (三) 隔离开关的操作机构

变电所配电装置中装设的隔离开关，一般都配有操作机构。应用操作机构来操作隔离开关，可提高工作的安全性（因操作手柄与隔离开关相隔一定距离），并使隔离开关的操作简化，还可实现其操作机构与断路器操作机构之间的相互闭锁，以防止误操作。

隔离开关的操作机构分有手动杠杆操作机构、手动蜗轮操作机构、电动操作机构和气动操作机构等。当隔离开关采用电动或气动操作机构时，可以实现远距离控制和自动控制。

现时变电所中较广泛地采用的是手动操作机构。虽然其结构简单、价格低廉，但在隔离开关合闸操作后，必须检查触头的接触情况。所以即便采用远距离控制，也并不能免去运行人员做以上工作。下面对各种类型的操作机构分别作一简介。

(1) CS6 型手动杠杆操作机构。CS6 型手动杠杆操作机构（见图 4-43）适用于额定电流在 3000A 以下的户内隔离开关。

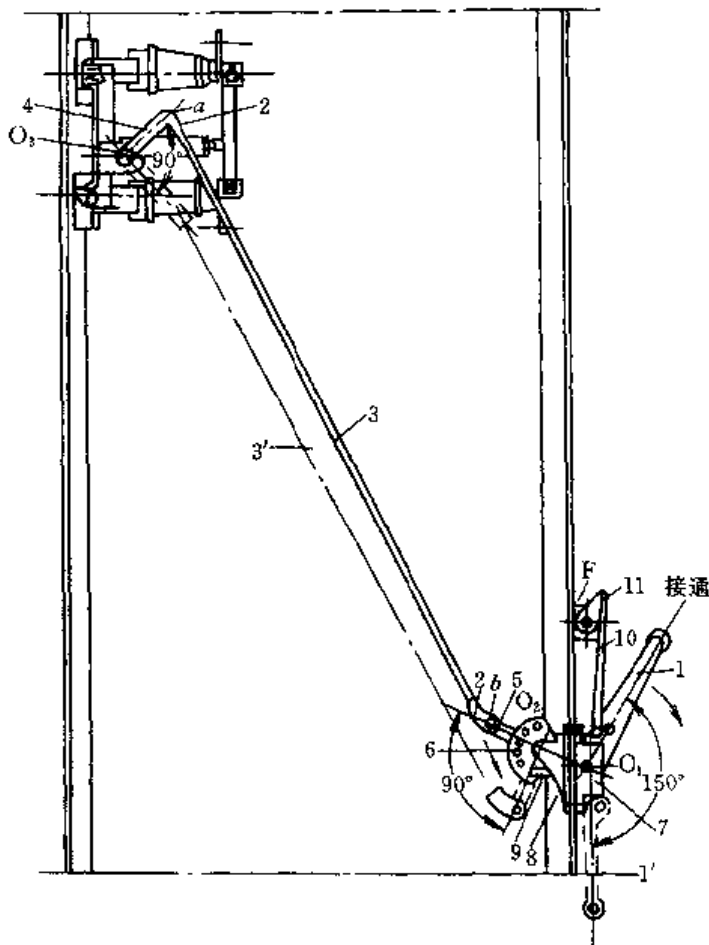


图 4-43 CS6 型手动杠杆操作机构

- 1—手柄；2—牵引杆的端接头；3—牵引杆；4—拐臂；5—连杆；  
6—扇形杆；7—前轴承；8—后轴承；9—连杆；  
10、11—联锁触点盒连杆；F—辅助触点盒

操作机构前轴承 7 的轴  $O_1$  上, 装有硬性连接的手柄 1; 后轴承 8 的轴  $O_2$  上, 装有硬性连接的杆 5 和扇形杆 6。扇形杆 6 的边缘有一排孔, 可用螺栓穿入某一孔内, 将杆 5 与扇形杆 6 作不同角度的硬性连接, 以便于调整。连杆 5 利用牵引杆 3 两端的接头 2, 与隔离开关轴  $O_3$  上的拐臂 4 相铰连。

(2) CS9 型手动蜗轮操作机构。重型隔离开关配用的 CS9 型手动蜗轮操作机构 (见图 4-44) 主要用来操作额定电流在 3000A 及以上的户内式隔离开关。

操作机构后轴承 5 的轴 6 上, 装有蜗轮 4, 蜗轮 4 与摇把轴 2 末端的蜗杆 3 咬合。轴 6 与连杆 7 连接, 连杆 7 与窄板 8 铰接, 窄板 8 利用筐 9 与牵引杆 10 硬性连接。牵引杆 10 利用弯接头 11 与隔离开关轴 13 上的传动杆 12 铰连。摇动摇把 1 时, 经蜗杆 3 使蜗轮 4 转动, 通过传动连杆系统, 使隔离开关接通或断开。顺时针摇动摇把 1 使蜗轮 4 转过  $180^\circ$  时, 隔离开关即完全合闸; 逆时针使蜗轮 4 反转过  $180^\circ$  时, 隔离开关则完全分闸。

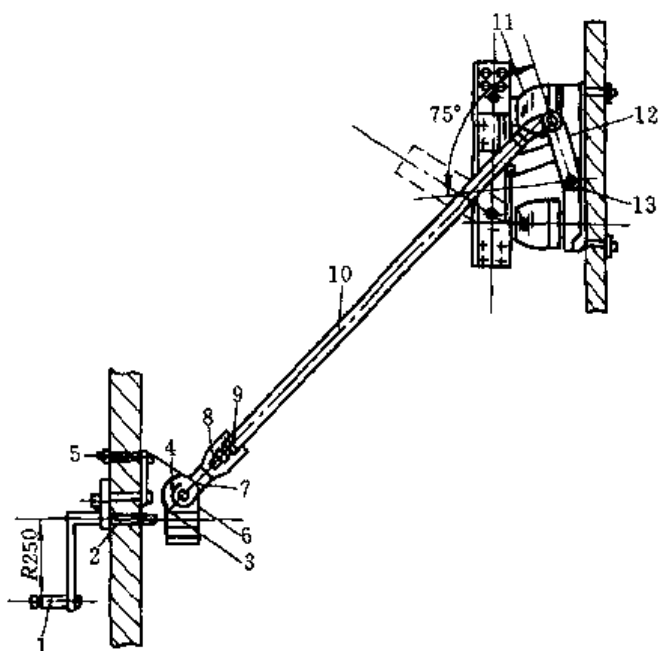


图 4-44 CS9 型手动蜗轮操作机构

- 1—摇把; 2—摇把轴; 3—蜗杆; 4—蜗轮; 5—后轴承;  
6—轴; 7—连杆; 8—窄板; 9—筐; 10—牵引杆;  
11—弯接头; 12—传动杆; 13—轴

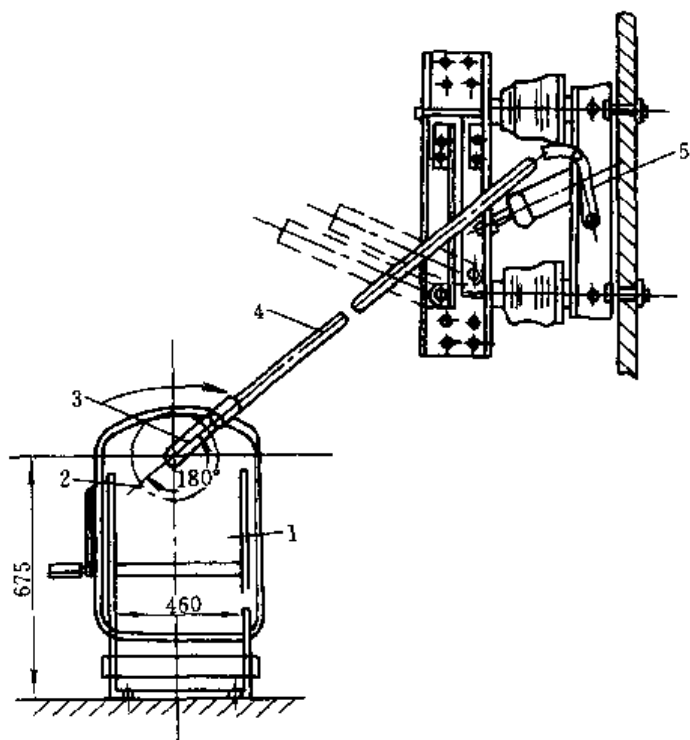


图 4-45 CJ2 型电动机操作机构

- 1—电动机; 2—蜗轮; 3—传动杆; 4—牵引杆; 5—传动杆

(3) 电动机操作机构。电动机操作机构是用来从控制室远距离操作隔离开关的。由于它比手动操作机构复杂而价高, 故只用于需远距离操作的户内式重型隔离开关或户外式 110kV 及以上的隔离开关。

GN10—20/8000 型隔离开关配用的 CJ2 型电动机操作机构见图 4-45 所示, 其传动原理与手动蜗轮操作机构相同。当操作机构的电动机 1 转动时, 通过齿轮、蜗杆使蜗轮 2 转动。蜗轮轴上装有传动杆 3, 它通过牵引杆 4 与隔离开关轴上的传动杆 5 连接。电动机按某一个方向旋转, 每当传动杆 3 转过  $180^\circ$  时, 即完成一次合闸或分闸的操作。每次操作完成后, 由联锁触点控制电动机的接触器, 使电动机自动

停止转动。

(四) 隔离开关的技术参数

各型隔离开关的技术参数分别见表 4-13 和表 4-14。

二、高压负荷开关

1. 分类、型号和特点

高压负荷开关分为户内型及户外型。户内有 FN2、FN3、FN4、FN5 等型号，其中 FN4 为真空式负荷开关，FN5 为轻小型负荷开关，该两系列均已有性能较好的新产品。目前多采用 FN2—10 (R) 及 FN3—10 (R) 型户内压气式负荷开关，其灭弧是利用分闸时，主轴带动活塞压缩空气，使压缩空气从喷嘴中高速喷出以吹熄电弧，因此灭弧性较好。FN5—

表 4-13 户内式高压隔离开关技术数据

型 号	额定电压 (kV)	最大工作电压 (kV)	额定电流 (A)	极限通过电流 (kA)		热稳定电流 (kA)			配用机构	重量 (kg)
				有效值	峰值	1s	5s	10s		
GN6-10T/400	10	11.5	400	30	40	30	14	10	CS6--1	27
GN6-10T/600	10	11.5	600	20	52	30	20	14	CS6-1	29
GN6--10T/1000	10	11.5	1000	43	75	43	30	21	CS6--1	50
GN6--35T/1000	35	40.5	1000		75	43	30		CS6-2	
GN8-10T/200 I、II、IV	10	11.5	200	14.7	25.5	14.7	10		CS6--1	38
GN8-10T/400 I、II、IV	10	11.5	400	30	40	30	14		或	39
GN8--10T/600 I、II、IV	10	11.5	600	30	52	30	20		CS6--1T	41
GN8--10T/1000 I、II、IV	10	11.5	1000	43	75	43	30			
GN10--10T/3000	10	11.5	3000		160		70		CS9	54.5
GN10--10T/4000	10	11.5	4000		160		85			60
GN14--20/10000	20	23	10000		250		106	75		571
GN <sub>15</sub> <sup>15</sup> --10/600	10	11.5	600		52		20		CS15 CS16	23 34
GN <sub>16</sub> <sup>15</sup> 10/1000	10	11.5	1000		75		30		CS15 CS16	29 34
GN19 10/600 40G	10	11.5	600		40	16*			CS6--1G	
GN19--10C/600--40G	10	11.5	600		40	16*			CS6--1G	
GN19--10/400--30	10	11.5	400		30		12**			
GN19--10C/400--30	10	11.5	400		30		12**			
GN19--10/600--52	10	11.5	600		52		20**			
GN19--10C/600--52	10	11.5	600		52		20**			
GN19--10/1000--75	10	11.5	1000		75		30**			
GN19--10C/1000 75	10	11.5	1000		75		30**			

注 GN19--10/600--40G 及 GN19--10C/600- 40G 是应用在高原地区的产品。在型号标注中末尾未加 G 字者均适用在非高原地区。

\* 系 2s 热稳定电流值。

\*\* 指 4s 热稳定电流值。



## 2. 负荷开关外形与结构

FN2—10 型、FN2—10R 型、FN3—10R 型、FN3—10R/S 型、FN4—10 型及 FN5—10D 型高压负荷开关的外形与结构，可分别见图 4-46～图 4-53。

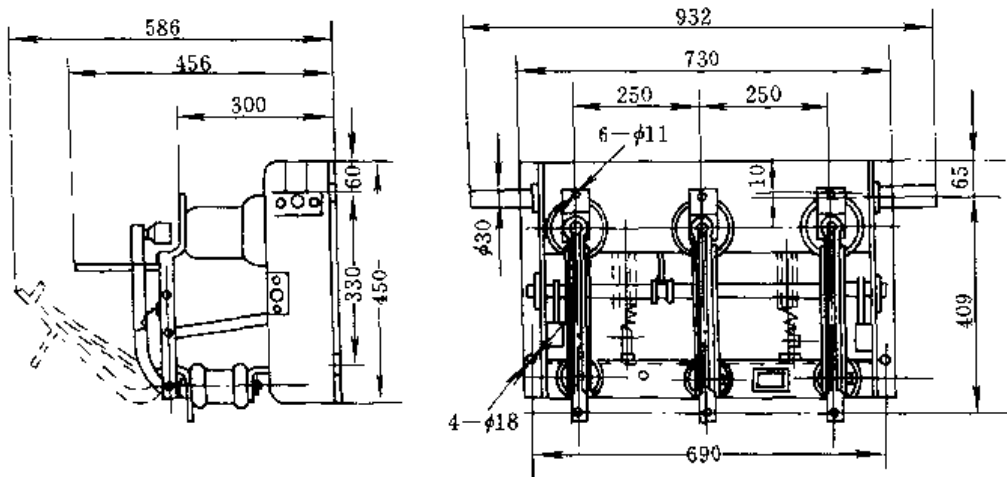


图 4-46 FN2—10 型负荷开关

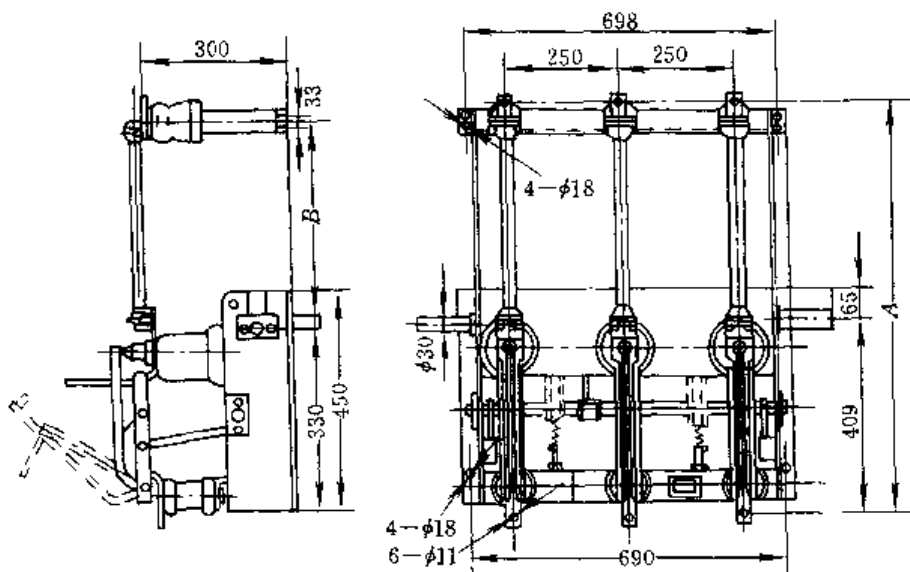


图 4-47 FN2—10 (R) 型负荷开关

## 3. 负荷开关的技术数据

户内各型负荷开关的主要技术性能与所配熔断器数据，可分别参见表 4-15～表 4-19。

### 三、高压熔断器

高压熔断器分 RW 及 RN 两个系列。在供电及城乡用户系统中，对容量较小且不太重要的负载常广泛使用熔断器作为供配电线路及电力变压器（包括电压互感器）的过载及短路保护。它既经济又能满足一定程度的可靠性，其结构简单，也易于维护和检修。

熔断器一般由熔断管、熔体、灭弧填充物、动、静触座、绝缘支持物及指示器等组成。

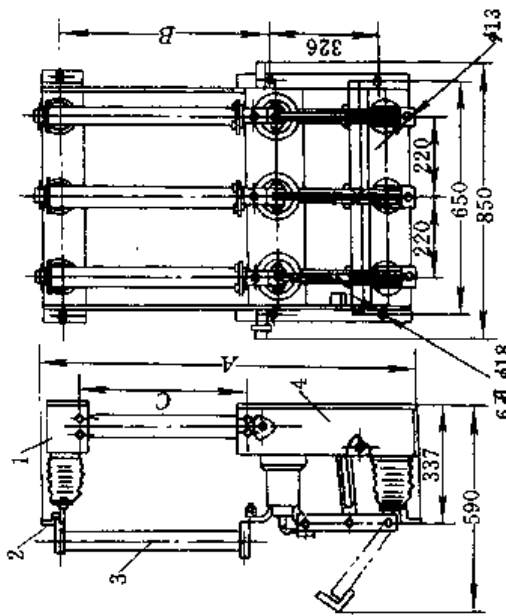


图 4-49 FN3-10R/S 型负负荷开关  
1—框架;2—插座;3—熔断管;4—负负荷开关本体

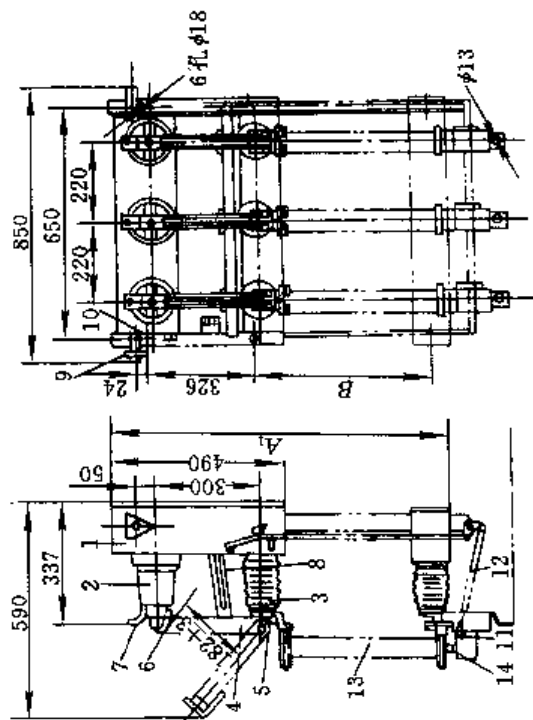


图 4-48 FN3-10R 型负负荷开关  
1—框架;2—上绝缘子;3—下绝缘子;4—闸刀;5—下触座;  
6—弧动触头;7—主静触头;8—绝缘拉杆;9—拐臂;10—接  
地螺钉;11—熔断器;12—拉杆;13—熔断管;14—插座

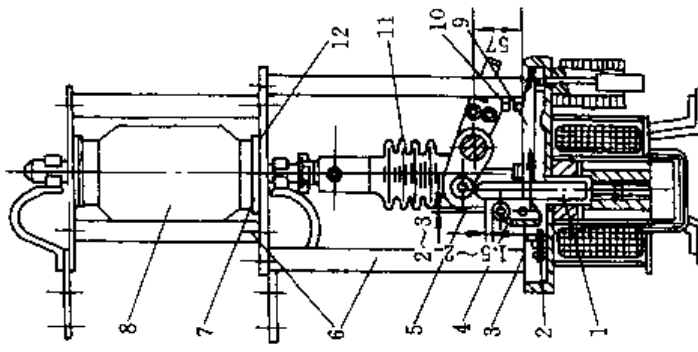


图 4-51 FN4-10 型负负荷开关结构  
1—动铁芯准杆;2—调节螺钉;3—底架;  
4—支架;5—扇形板;6—绝缘杆;7—触  
胶垫;8—真空灭弧室;9—分闸踏板;  
10—合闸限位螺钉;11—绝缘子;  
12—绝缘撑板

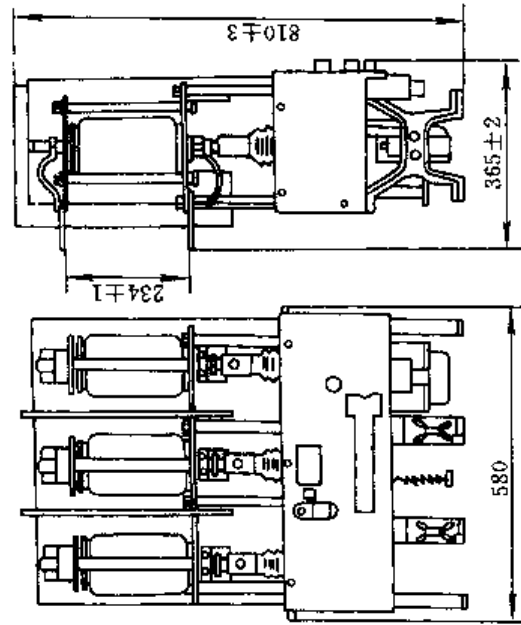


图 4-50 FN4-10 型负负荷开关外形

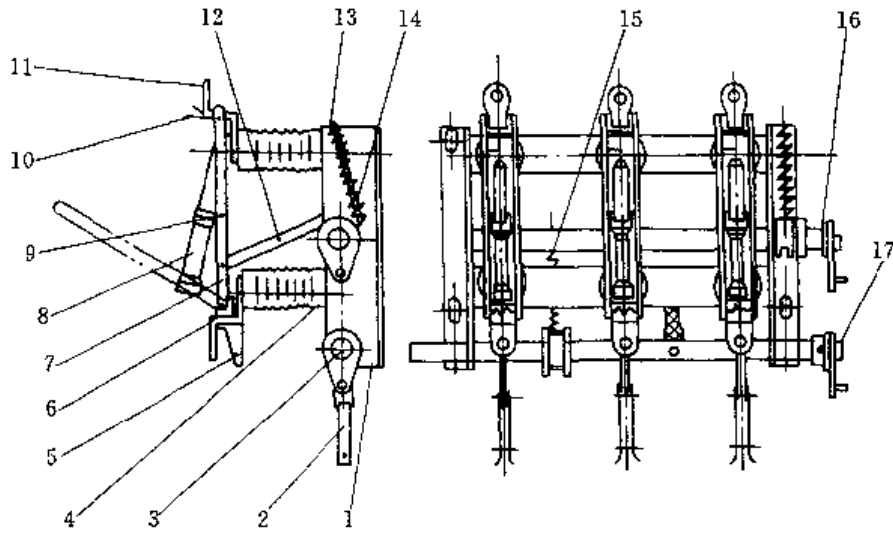


图 4-52 FN5-10D 型负荷开关

- 1—框架；2—接地刀片；3—接地开关转轴；4—支柱绝缘子；5—接地转轴；6—支座接线板；  
7—刀片；8—灭弧管；9—拉簧及扭簧销轴；10—导向片；11—触座接线板；12—拉杆；  
13—负荷开关转轴；14—负荷开关弹簧储能机构；15—接地开关弹簧储能机构；  
16—负荷开关操作机构；17—接地开关操作机构

熔断器的动作具有反时限特性，通过熔体的短路电流愈大，则熔体的熔断电流时间便愈短。为了提高熔断器的灭弧性能，有些熔断器（如RN型）的熔断管内还装有石英砂作充填物。这有利于快速灭弧，而且还能提高其断路容量。

高压熔断器的型号由字母及数字两部分组成，其含义如下：

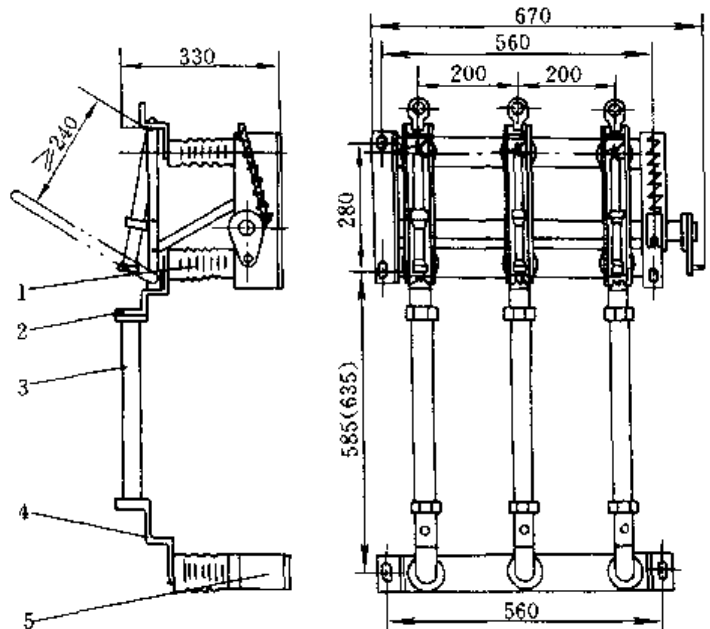
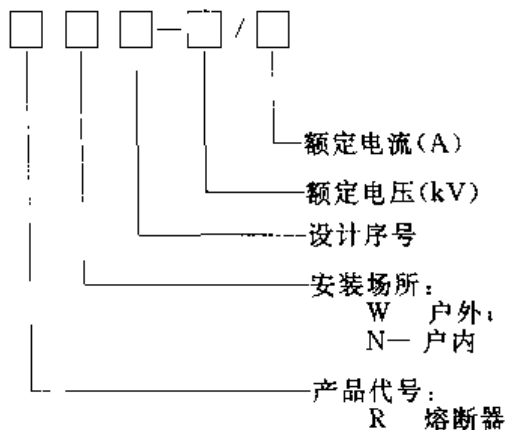


图 4-53 FN5-10R 型负荷开关

- 1—开关本体；2—支座熔断器接线板；3—熔管；  
4—熔断器接线板；5—熔断器支架  
(注：括号内为配RN3熔管电流75A及以上时的安装尺寸)

表 4-15 FN 型负荷开关技术数据

型 号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定断流容量 (MVA)	最大开断电流 (kA)	极限通过电流 (kA)		热稳定电流 (kA)		固有分闸时间不大于 (s)	重量 (kg)	操作机构	外形尺寸 (mm)			
					有效值	峰值	4s	5s				高	宽	深	
FN2-10/400	10	400	25	1200	14.5	25		8.5		44	CS4,CS4-T	450	932	586	
FN2-10R/400	10	400	25	1200	14.5	25		8.5		44	CS4,CS4-T		932	586	
FN3-6/400	6	400	20	1950	14.5	25		8.5		42	CS3,CS3-T 及 CS2	662	850	590	
FN3-6R/400	10	400	20	1950	14.5	25		8.5		58				850	590
FN3-10/400	10	400	25	1450	14.5	25		8.5		42			662	850	590
FN3-10R/400	10	400	25	1450	14.5	25		8.5		58				850	590
FN4-10/600	10	600	50	300		7.5	3		0.05	75	电磁	810	560	365	

表 4-16 FN2-10R 所配 RN1 型熔断器主要技术数据

额定电压 (kV)	熔管最大额定电流 (A)	最大开断电流有效值 (kA)	最小开断电流 (额定电流倍数)	断流容量 (三相) (MVA)	当开断最大开断电流时的最大电流瞬时值 (kA)
6	75	20	1.3	200	14
	200	20	1.3		25
10	20	12	不规定		4.5
	50	12	1.3	200	8.6
	100	12	1.3		15.5

表 4-17 FN3 型负荷开关所配 RN3 型熔断器主要技术数据

额定电压 (kV)	额定电流 (A)	最大开断电流 (有效值) (kA)	最大断流容量 (MVA)	当切断极限短路电流时电流之最大峰值 (kA)
6	10~50	20	200	14
	75			14
	100			19
	200			25
10	10~50	12	200	8.6
	75			8.6
	100~150			15.5

表 4-18 FN5-10 型负荷开关技术数据

额定电压 (kV)	最高工作电压 (kV)	1min 工频耐压 (kV)	额定电流 (A)	4s 热稳定电流 (kA)	动稳定电流峰值 (kA)	额定开断电流 (A)	短路关合电流 (kA)
10	11.5	42	400	10、12.5	25、31.5	400	25、31.5
			630	16	40	630	40
			1250	20	50	1250	50

表 4-19 FN5-10 型所配熔断器数据

额定电压 (kV)	最高工作电压 (kV)	额定电流 (A)	三相断流容量 (MVA)	熔体额定电流 (A)
10	11.5	50	200	2、3、5、7.5、10、15、20、30、40、50
				75
				100
				200

(一) RW 系列熔断器

1. 外形与结构

这类户外高压跌落式熔断器常用于 10kV、交流 50Hz 的送配电线路及配电变压器进线侧作为短路和过负荷保护。在一定条件下，它可以分断与关合空载架空线路、空载变压器和小负荷电流。

RW 系列熔断器由瓷绝缘子、接触导电系统和熔管等三部分组成(见图 4-54~图4-57)。

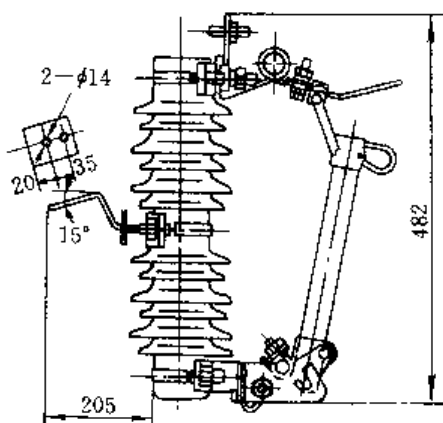


图 4-54 RW3 10 (G) 型跌落式熔断器结构及外形尺寸

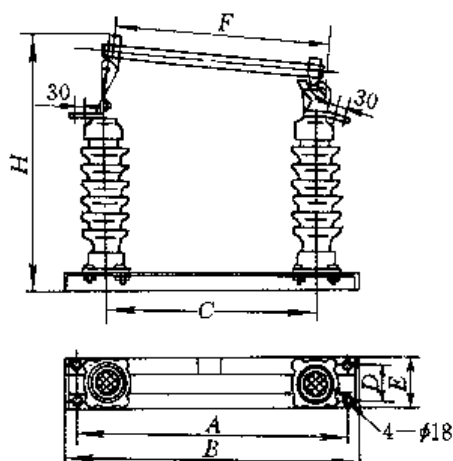


图 4-55 RW5—35 型跌落式熔断器外形尺寸

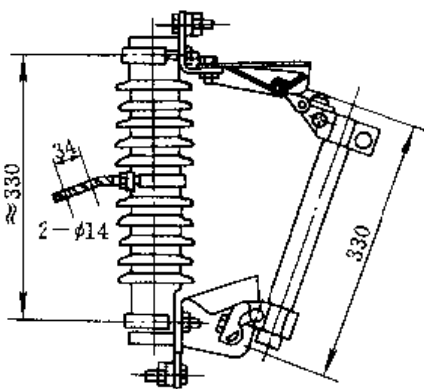


图 4-56 RW7—10 型户外高压跌落式熔断器外形尺寸

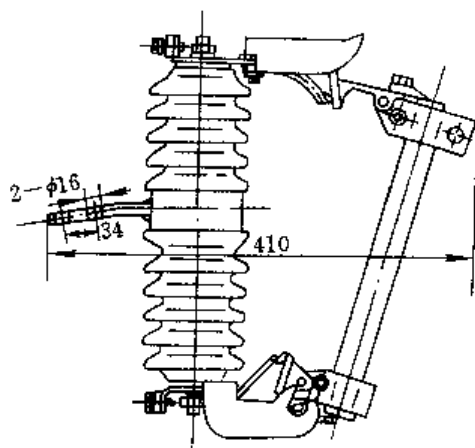


图 4-57 RW11—10/100 型跌落式熔断器外形

## 2. 动作原理

正常工作时熔丝使熔管上的活动关节锁紧,故熔管能在上触头的压力下处于合闸状态。当熔丝熔断时,熔管内便产生电弧,其内衬的消弧管在电弧作用下会分解出大量气体,在电流过零时产生强烈的去游离作用而熄灭电弧。由于熔丝熔断,继而活动关节释放使熔管下垂,并在上下触头的弹力和熔管自重作用下迅速跌落,形成明显的分断间隙。

各型熔断器的不同之处在于:RW3、RW4 为普通常用型,RW11 为防污型,RW7 的熔管有较高的机械强度和多次开断能力,RW5—35 为 35kV 电压等级用,其特性较好,RW10 则为限流型户外式高压熔断器。

## 3. 技术数据

常用 RW 系列熔断器的主要技术数据可分别见表 4-20~表 4-22。

### (二) RN 系列熔断器

#### 1. 动作原理与适用场合

这类户内高压熔断器适用于高压送配电线路、电力变压器、电压互感器、电力电容器等设备的过载及短路保护。它主要由熔体管、接触导电部分、支持绝缘子和底座等组成。

RN 系列户内熔断器(见图 4-58)是内充石英砂的熔断器,当它通过过载电流或短路电

## 2. 技术性能参数

常用 RN 系列熔断器的技术数据可见表 4-23 及表 4-24。

表 4-23 RN1 型高压熔断器技术数据

型 号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	最大开断电 流,有效值 (kA)	最小开断电 流(额定电 流倍数)	当开断极限短路电流 时,最大电流峰值 (kA)	重 量 (kg)	熔体管 重量 (kg)
RN1 6	6	75	20	1.3	14	9.6	2
		100			19	13.6	5.8
		200			25	13.6	5.8
		300			—	17	8.8
RN1-10	10	50	12	1.3	8.6	11.5	2.8
		100			15.5	14.5	5.8
		150			—	21	11
		200			—	21	11
RN1-35	35	10	3.5	1.3	1.6	23	2.5
		20			2.8	27	7.5
		30			3.6	27	7.5
		40			4.2	27	7.5

注 最大三相断流容量均为 200MVA; 过电压倍数均不超过 2.5 倍工作电压。

表 4-24 RN2 型高压熔断器技术数据

型 号	额定 电压 (kV)	额定 电流 (A)	最大开 断电流 (kA)	三相最大 断流容量 (MVA)	当开断极限短路电流 时,最大电流峰值 (kA)	过电压倍 数(额定 电压倍数)	熔体管 电阻 ( $\Omega$ )	重 量 (kg)	熔体管 重量 (kg)
RN2-10	6	0.5	85	1000	300	2.5	100±7	8	0.9
					—		—	5.6	—
RN2 10	10	0.5	50	1000	1000	2.5	100±7	8	0.9
					—		—	5.6	—
RN2-35	35	0.5	17	1000	700	2.5	142±14	20	2.5
					—		—	15.6	—

### (三) 高压熔丝

#### 1. 熔体的构成与特点

熔丝(熔体)是熔断器中的核心部件,利用它在电流的热作用下熔化来断开电路,故要求它熔点低、导电性能好、不易氧化和易于加工。熔体材料一般有铜(熔点 1080℃)、银(熔点 960℃)、锌(熔点 420℃)、铅(熔点 327℃)、铅锡合金(熔点 200℃)等。铅锡合金及锌熔体的熔化温度较低、导电率小,故熔体截面积较大,灭弧能力低,主要用于 1000V 以下的低压熔断器中,但锌熔体氧化缓慢、能保证熔体的工作特性。

对于高电压、大电流电路,要求熔断器具有较大的分断电流能力。此时用铅锡合金或锌熔体往往不能可靠地断开电弧,这就要求用铜或银质熔体,但银质熔体一般只在重要场合才使用。由于铜和银的电阻率小,热传导率较大,因此铜或银熔体的截面积较小,熔断时产生的金属蒸气也少且易于灭弧。铜或银熔体的缺点是熔点高,长期工作时可能达到较

高的工作温度，结果会造成熔断器损坏。同时，要使其快速熔断必须流过较大的电流，否则会延长熔断时间，这对被保护设备不利。为消除这一缺点，在铜或银制成的熔体上便常常焊以锡或铅质小球，用以降低熔体的熔化温度，使熔断器性能更为完善（这种作用称为冶金效应）。

10 (6) kV 及 35kV 的高压熔丝由熔体、铜套圈和铜绞线等三部分组成（见图 4-59），

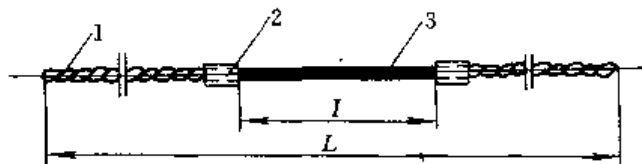


图 4-59 6~35kV 熔丝外形（不带钮扣）

1—绞线；2—套圈；3—熔体

它又分带钮扣和不带钮扣两类。熔体由特种合金材料制成，具有良好的熔化稳定性。熔丝的尾线采用经镀锡处理的多股紫铜绞线，不仅接线方便且性能可靠。铜套圈采用紫铜管材，起连接绞线和熔体的作用。按熔断器熔体管的不同类型，可选用带钮扣或不带钮扣的熔丝。

## 2. 熔体的工作情况

熔断器的熔体有以下两种工作情况，现分述如下：

(1) 正常工作情况。在正常工作情况下，当熔断器熔体中通过等于或小于额定值的工作电流时，熔体和其他部分（如触头、外壳等）都会发热到一定温度，但不会超过各载流部分的长期允许发热温度。

(2) 过载或短路情况。在过载或短路情况下，熔体中通过过载或短路电流，当熔体的温度升高到一定值后，熔体熔断，电弧熄灭后，电路被断开。熔断过程包括熔体发热熔化过程和电弧的熄灭过程。熔断器的动作时间实际上就是这两个过程的时间之和，熔断的快慢决定于熔断器中流过电流的大小和其结构。很显然，当通过熔断器的电流超过其额定值的倍数越大，则熔断时间就越短。

熔体中通过大于其额定值很多倍的电流时，熔体会迅速熔化并产生大量金属蒸气。在汽化温度下，金属蒸气尚未被游离，属良绝缘体。因此熔体熔化时，电流即被突然截断。由于电路中存在电感及电容，电流突然截断时会在电路中引起过电压，过电压的大小决定于两络参数和被截断电流的值。甚高的过电压值会危及设备和人身安全，故当尽力避免。由于较长熔体沿全长一起熔化和蒸发后（虽然截断了电流）因间隙长不易击穿，可能会出现过电压。为减小过电压值，应尽可能减少熔体长度，在熔体长度不大时，击穿间隙所需的电压也就较小。有的熔断器中采用阶梯式熔体，它在全长上的截面不同且分成了 2~3 级，熔体最先在小截面部分熔化而后击穿、发生电弧，如此分级进行，直到沿全长发生电弧。这样所产生的过电压值，将比等截面熔体的熔断器小得多。

熔断器间隙被击穿后产生的电弧，要求在尽可能短的时间内熄灭，但灭弧时间的长短决定于灭弧方式。灭弧能力越强，由弧熄灭便越快。

## 3. 熔断器的保护特性

熔断器的保护特性又称安秒特性，是熔体熔断电流和最小熔断时间相互间的关系曲线（见图 4-60）。按照保护特性选择熔体，就可获得熔断器动作的选择性。熔断器的保护特性与熔体截面大小有关，故各类熔断器的保护特性曲线均不相同。

6、10、35kV 熔丝的过负荷特性为：在 1.3 倍额定电流通过时 1h 内不熔断；在 2 倍额定

电流通过时1h内熔断。其规格与外形尺寸见表4-25。

(四) 高压熔断器的选择和使用

1. 高压熔断器的选择

选择高压熔断器的要求如下：

(1) 熔断器的型号应符合所使用的环境条件，如用在户外的就不能选择户内式的；限流式高压熔断器一般不宜使用在运行电压低于熔断器额定电压的电网中，以避免熔断器熔断截流时产生过电压。跌落式熔断器在灭弧时，会喷出大量游离气体，并发出很大响声，故一般只在室外使用。

(2) 熔断器的额定电压和电流不能小于工作电压和电流；高压熔断器熔管的额定电流应大于或等于熔体的额定电流。

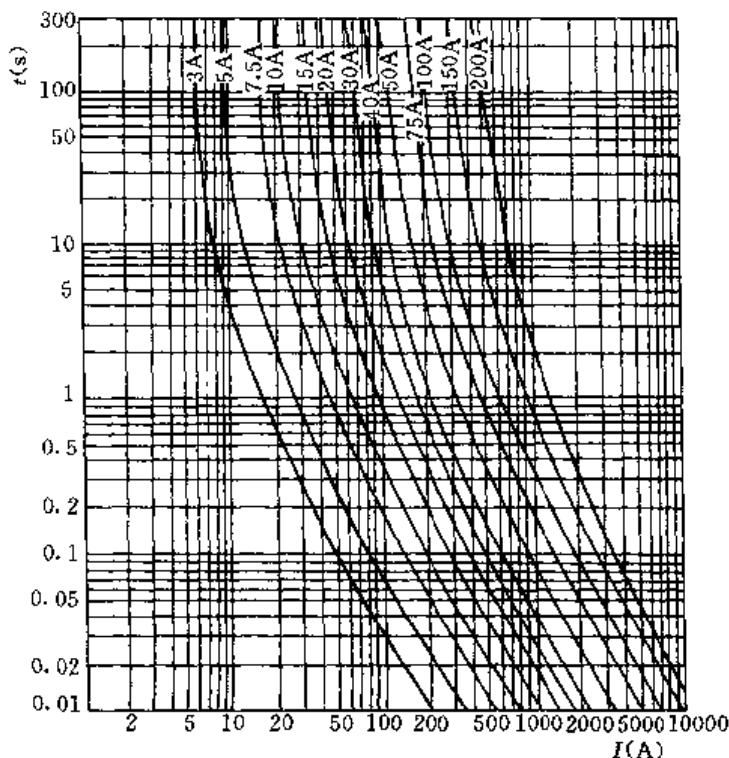


图 4-60 6~35kV 熔丝的安-秒特性曲线

表 4-25 6~35kV 高压熔丝规格与外形尺寸

额定电压 (kV)	额定电流 (A)	尺寸 (mm)			额定电压 (kV)	额定电流 (A)	尺寸 (mm)		
		L	I	熔体直径			L	I	熔体直径
6~10	3	500	60	0.54	35	3	810 或 900	60	0.54
	5					60			
	7.5	550	40	0.71		7.5		40	0.71
	10					40		0.81	
	15					75		0.71	
	20					60		0.81	
	30					30		0.91	
	40					35		1.02	
	50					35		1.22	
	75					35		1.5	
	100					40		1.8	
	150					35		2.2	
200	30	2.5							

(3) 作为变压器的过负荷保护时，熔断器的熔体额定电流应等于或稍大于变压器的额定电流。

(4) 作为分支线路的保护时，熔断器的熔体额定电流按实际负荷电流选择。

(5) 按照熔断器的保护特性选择熔体可获得熔断器动作的选择性。

(6) 高压熔断器熔体的额定电流应按保护熔断特性选择，并应满足保护的可靠性、选



择性和灵敏度的要求。

(7) 选择熔体时, 应保证前后两级熔断器之间、熔断器与电源侧继电保护之间、以及熔断器与负荷侧继电保护之间动作的选择性。

### 2. 高压熔断器的运行维护

对运行中的高压熔断器应经常检查接触是否良好, 有无破损及熔体熔断现象, 若发现熔体熔断时, 则要查明原因, 不可随意加大熔体容量。

更换熔断器的熔体管(熔丝), 一般应在不带电情况下进行, 若需带电更换, 则应使用绝缘工具, 并按照有关防护要求进行。

### 3. 高压熔断器的巡视检查

高压熔断器运行中的巡视检查要点如下:

(1) 额定电压为 35kV 及 60kV 的熔断器运行时, 因熔体与尾线表面的电场强度很高, 易出现电晕。如果熔断器工作环境存在有害气体或盐雾, 熔体与尾线会因腐蚀而使截面积减小, 甚至在正常工作电流下熔体也会熔断。电晕是造成这种情况的主要根源, 故运行中若发现电晕, 要立即采取措施。

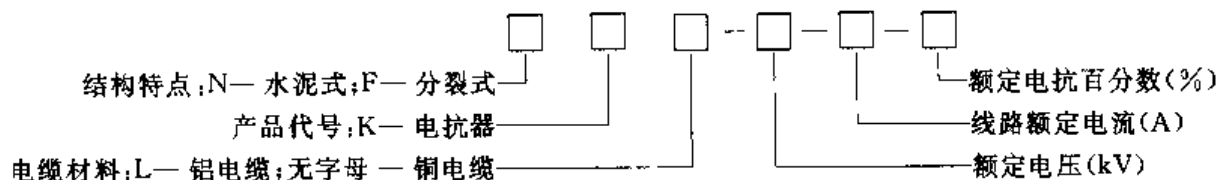
(2) 10kV 系统中大量使用的跌落式熔断器, 运行中经常出现接触点温升过高, 熔体熔断后熔管不能自动跌落面烧毁熔管等情况。因此, 平时应加强对其接触点的温升检查。

## 四、电抗器

随着电力系统的日益发展, 短路容量增加很大, 这就要求某些开关的遮断容量也相应地增大。为限制短路容量的增加, 以利于选择轻型开关, 在变电所的一次接线、尤其是在 6~10kV 系统中常采用电抗器来限制短路电流; 同时, 由于短路时电抗的压降较大, 还有利于维持母线的电压水平; 电抗器在长线路充电时, 有防止因线路电容大而使电压升高的作用, 这对保证供电质量是非常有益的。

电力网中常用的电抗器有空心式电抗器、铁芯式电抗器和饱和电抗器。空心电抗器接于交流电力系统中, 用以限制短路电流; 铁芯电抗器用于补偿输电系统中容性电流, 抵消一相接地故障时的电容电流, 同时也有起到降压起动、滤波、限流等作用; 饱和电抗器则用于调节负荷电流和功率, 调节整流装置的直流输出电压。

电抗器的型号是由字母和数字两部分组成, 其含义如下:



如 FKL—10—2×750—6 型, 表示额定百分电抗 6%、额定电压 10kV、有两个支路、每支路额定电流为 750A 的铝电缆分裂电抗器。

### 1. 电抗器的选用

(1) 电抗器的参数可按表 4-26 中所列技术条件和环境条件进行选择。

(2) 普通电抗器的额定电流选择:

1) 电抗器几乎没有过负荷能力, 故主变或出线回路的电抗器, 应按回路的最大工作电流进行选择, 而不能按正常持续工作电流来选择。

2) 发电厂母线分段回路的电抗器,应根据母线上事故切断最大一台发电机时、可能通过电抗器的电流进行选择。一般为取该台发电机额定电流的 50%~80%。

3) 变电所母线分段回路的电抗器,选择时应满足用户的一级负荷和大部分二级负荷的要求。

(3) 分裂电抗器的额定电流选择:

1) 用于发电厂的发电机或主变回路时,一般按发电机或主变额定电流的 70%选择。

2) 用于变电所主变回路时,应按负荷电流大的一侧中应通过的最大负荷电流来选择;当无负荷资料时,通常也按主变额定电流的 70%进行选择。

(4) 电抗百分值的选择:

1) 计算出将短路电流限制到要求值所必须的电抗器的电抗百分值。

2) 正常工作时电抗器上的电压损失不宜大于额定电压的 5%。

3) 校验短路时母线上的剩余电压。当出线电抗器的继电保护装置带有时限时,应按照在电抗器之后发生短路来计算。

## 2. 电抗器的检查验收

电抗器在验收时,应进行下列检查:

- (1) 支柱应完整且无裂纹,线圈应无变形。
- (2) 线圈外部的绝缘漆应完好。
- (3) 支柱绝缘子的接地应良好。
- (4) 混凝土支柱的螺栓应拧紧。
- (5) 混凝土电抗器的风道应清洁且无杂物。
- (6) 各部位的油漆均应完好无损。

## 3. 电抗器的运行维护

电抗器运行时的正常巡视检查项目有:

- (1) 周围整洁无杂物,接头接触良好不发热。
- (2) 支持绝缘子清洁并安装牢固,水泥支柱无破碎。
- (3) 垂直布置的电抗器应无倾斜。
- (4) 电抗器绕组无变形,无放电声及焦臭味。

在正常运行中,电抗器的工作电流不应大于额定电流。当环境温度超过 35℃时,其工作电流应适当低于额定电流。

## 4. 电抗器的修补

电抗器遇有下列情况时,应对其进行修补:

- (1) 混凝土支柱的漆层损坏,表面裂纹长度不超过柱子径向尺寸的 1/3、宽度不超过 0.5mm 时可予填补,填补后应在其表面重新涂以防潮绝缘漆。
- (2) 混凝土电抗器的线圈绝缘有损伤时,应予包扎。
- (3) 干式电抗器的线圈绝缘损伤及导体裸露时,应按制造厂的技术规定进行相应

表 4-26 电抗器参数选择的条件

项 目		参 数
技术条件	正常工作条件	电压、电流、频率、电抗百分值
	短路稳定性	动稳定电流、热稳定电流和持续时间
	安装条件	安装方式、进出线端子角度
环境条件		环境温度、相对湿度、海拔高度、地震烈度

实际使用中,不论是变配电所还是工矿的车间内,其配电干线普遍采用 LMY 型矩形硬铝母线(L—铝、M—母线、Y—硬),它还常用于主变至配电室内。矩形截面单片硬铝母线规格及允许载流量可见表 4-27,其允许运行温度为 70℃,周围环境温度为 25℃。

表 4-27 矩形铝母线长期允许载流量 (A)

导体尺寸 (mm×mm)	单 条		双 条		导体尺寸 (mm×mm)	单 条		双 条	
	平 放	竖 放	平 放	竖 放		平 放	竖 放	平 放	竖 放
25×4	292	308			80×6.3	1100	1193	1517	1649
25×5	332	350			80×8	1249	1358	1858	2020
40×4	456	480	631	655	80×10	1411	1535	2185	2375
40×5	513	543	719	756	100×6.3	1363	1481	1840	2000
50×4	565	594	779	820	100×8	1547	1682	2259	2455
50×5	637	671	884	930	100×10	1663	1807	2613	2840
63×6.3	872	949	1211	1319	125×6.3	1693	1840	2276	2474
63×8	995	1082	1511	1644	125×8	1920	2087	2670	2900
63×10	1129	1227	1800	1954	125×10	2063	2242	3152	3426

(2) 圆形截面。在 35kV 以上的户外配电装置中,为了防止产生电晕,一般采用圆形截面母线。在 110kV 以上的户外配电装置中,采用钢芯铝绞线或管形母线;在 110kV 以上的户内配电装置中,则都采用管形母线。在电压为 35kV 及以下的户外配电装置中,一般也采用钢芯铝绞线,这样可使母线的结构简化,投资降低。

(3) 槽形截面。当每相 3 条以上的矩形母线不能满足要求时,一般采用由槽形截面母线组成近似正方形的空心母线结构(见图 4-61)。这种结构的优点是:邻近效应较小,冷却条件好,金属材料利用率较高。为了加大槽形母线的截面系数,可将两条槽形母线每相隔一定距离用连接片焊住以构成一个整体。通常,槽形母线的工作电流可高达 10~12kA。

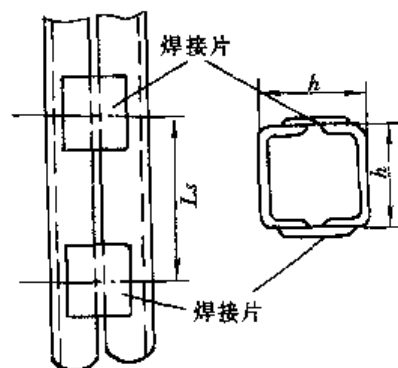


图 4-61 槽形母线及其焊接片

## (二) 母线的涂色、排列和安装工艺

### 1. 母线的涂色规定与排列方式

为了便于识别相序和防止腐蚀,母线表面还涂上了不同的颜色漆。涂漆还可增加辐射能力、改善散热条件,母线涂漆后,其允许载流量可提高 12% 左右。钢母线涂漆后显然还能防止锈蚀。不同的漆色所标志的含义可见表 4-28。母线涂漆时应注意,在母线的各个连接处和距离连接处 10cm 以内的地方,以及涂有温度漆(变色漆)的地方不应涂漆;另外凡是间隔内的硬母线均要余留 50~70mm,在该长度内也不应涂漆,以供停电检修时挂接临时接地线之用。

表 4-28 母线的涂色规定

母线类别	交流 U 相	交流 V 相	交流 W 相	直流正极	直流负极	不接地中性线	接地中性线	接地线
涂漆颜色	黄色	绿色	红色	红(赭)色	蓝色	白色	紫色	紫底黑条

在变配电所内进行母线安装时，通常主母线都水平放置于柜顶的支持绝缘子上，其中心间距为 250mm（载流量为 2000~3000A 的母线中心间距为 350mm）。各相母线的排列位置应符合表 4-29 的规定。

表 4-29 母线的排列位置

相 别	母线排列位置（自柜前向母线看去的方向）		
	上	后	左
第 1 相（U 相）	上	后	左
第 2 相（V 相）	中	中	中
第 3 相（W 相）	下	前	右

矩形母线的排列方式可分以下几种：

（1）平放水平排列。其优点是母线对短路时产生的电动力具有较强的抗弯能力，缺点是散热条件稍差。

（2）立放水平排列。其优点是散热条件好，缺点是抗弯能力差。

（3）立放垂直排列。其优点是散热条件好，抗弯能力强，缺点是增加了空间高度。

（4）三角形排列。可参看手车式高压开关柜，这种排列方式可减少开关柜的深度和高度及使布置比较紧凑的特点。

## 2. 母线的连接、弯曲及固定

### （1）母线连接的技术要求。

母线应校正平直，表面不得有划痕、气孔、坑凹、起浮、断股、起股打扭等缺陷。当母线与分支线或与电器端子连接时，应满足下列要求：

1) 各种相同布置的主母线、分支母线、引下线及设备连接线应对称一致，整齐美观。母线相互连接或母线与各电器端子连接时，不应该使其接点受到任何外加应力。

2) 母线与母线及母线与电器端子的连接，应根据不同材料按表 4-30 规定进行。应当强调指出，铜铝相接的电化腐蚀严重，因此必须按规定进行处理。

3) 母线搭接处的长度应等于或大于母线的宽度，接触面要平整、光滑并涂以凡士林。接好后用 0.05mm 厚的塞尺检查，其塞入深度对母线宽度在 60mm 及以上者，不得超过 6mm；母线宽度在 50mm 及以下者，不得超过 4mm。

4) 母线连接点的直流电阻要用抽查 2% 接点数的方式来检验，但至少应检验一点。硬母线搭接点和软母线压接管的接触电阻，不得大于同长度导体电阻的 1.2 倍。硬母线焊接时，其焊接点的电阻不应大于同长度原导体的电阻值；若采用搭接时，螺栓两侧应加平垫、螺母侧加弹簧垫，所用螺栓数量及规格均应符合规定。

### （2）母线弯曲与扭转的技术要求：

1) 硬母线安装时应尽量减少弯曲或扭转，必须弯曲时，应使弯曲点与连接处接触面的边缘距离  $A$  不小于 50mm，如图 4-62（a）所示。

2) 母线的弯曲半径不能过小，否则会使母线产生裂纹及折皱。其最小弯曲半径  $R$  与母线宽度（立弯时）或厚度（平弯时）之比不应小于表 4-31 规定。

3) 母线弯曲处对两端支持绝缘子中心线的距离  $B$  不应小于 100mm，但也不应大于弯曲处两端支持绝缘子中心距离的 25%，如图 4-62（b）所示。

表 4-30 不同材质母线与电器端子连接的要求

连接材质	连 接 方 法
铜—铜	1) 在干燥室内可直接连接 2) 在室外，高温且潮湿室内，或有腐蚀性气体室内，表面应涂锡
钢—钢	任何情况下均可直接连接
钢—铜（或铝）	在任何情况下接点表面应涂锡。在干燥室内，可直接连接；在室外或特殊潮湿的室内，应使用铜铝过渡段

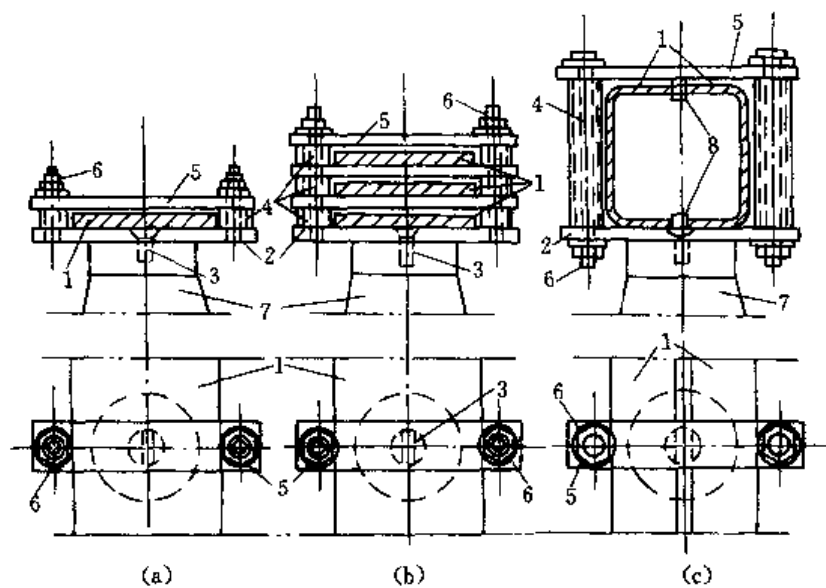


图 4-64 母线在支持绝缘子上的固定

(a) 每相有一条矩形母线；(b) 每相有三条矩形母线；(c) 每相有两条槽形母线  
1—铝母线；2—钢板；3—螺钉；4—间隔钢管；5—铝板；  
6—拧入板 2 的螺栓；7—绝缘子；8—撑杆

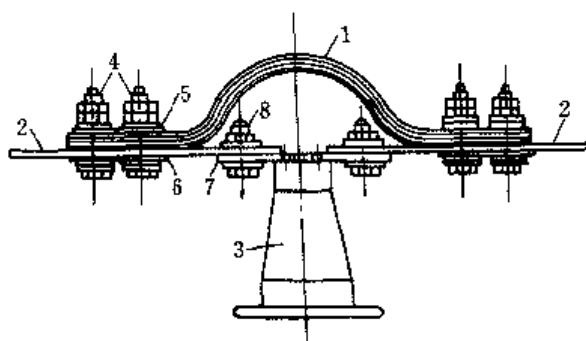


图 4-65 母线伸缩补偿器

1—补偿器；2—母线；3—支柱绝缘子；  
4、8 螺栓；5—垫圈；6—衬垫；7—盖板

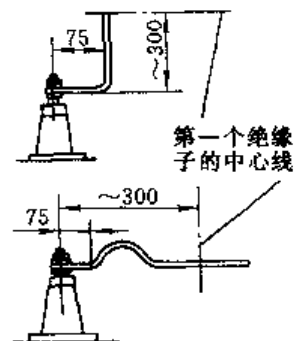


图 4-66 母线的硬性连接

一回路的几条母线构成，则无论平放或立放，均应采用特殊的母线夹板固定。

### (三) 母线的验收、运行与检修

#### 1. 母线竣工后的检查验收

母线施工结束后需进行竣工验收，其验收检查内容如下：

- (1) 母线的排列应整齐，相间及对地的电气距离应符合要求。
- (2) 连接螺丝及固定螺丝应拧紧且无短扣现象，垫圈、开口销等零部件均应齐全可靠。
- (3) 各部位刷漆及相色标志应正确与完好。
- (4) 母线的弯曲及扭转部分应完好无裂纹。
- (5) 对硬母线应用塞尺检查其接头，软母线应测量其接头电阻值，且均要符合要求。
- (6) 测量母线绝缘电阻，并进行母线绝缘子等设备的耐压试验，应无放电闪络现象。

## 2. 母线的运行维护

母线的正常运行是指母线在额定条件下，能够长期、连续地汇集和传输额定功率的工作状态。母线的电压等级完全取决于支持绝缘子的绝缘水平。因此母线正常运行时，支持绝缘子和悬式绝缘子应完好无损，无放电现象；软母线弧垂应符合要求，相间距离应符合规程规定，无断股、散股现象；硬母线应平、直，不应弯曲，各种电气距离应满足规程要求；母排上的示温蜡片应无融化，连接处应无发热，伸缩应正常。

## 3. 母线的检修项目

- (1) 清扫母线，检查接头伸缩节及固定情况。
- (2) 检查与清扫绝缘子，测量悬式绝缘子串的零值瓷瓶。
- (3) 检查软母线弧垂及其电气距离。
- (4) 进行绝缘子的交流耐压试验。

## 六、绝缘子与套管

### (一) 绝缘子的用途和分类

绝缘子也叫瓷瓶，广泛应用于发电厂和变电所的户内、户外配电装置、变压器、开关电器以及输、配电线路中，用它来支持和固定带电导体并与地绝缘，或作为带电导体之间的绝缘。因此要求绝缘子具有足够的机械强度和绝缘性能，并能在恶劣环境（高温、潮湿、多尘埃、污垢等）下安全运行。绝缘子可按如下两方面加以分类：

(1) 按装设地点，可分为户内式和户外式两种。它们的区别在于：户外式具有较多和较大的裙边，以增长沿面放电距离，并能在雨天阻断水流，使绝缘子能在较恶劣环境中可靠工作（在多尘和含有有害气体地区应采用防污绝缘子）；户内绝缘子则表面没有裙边。

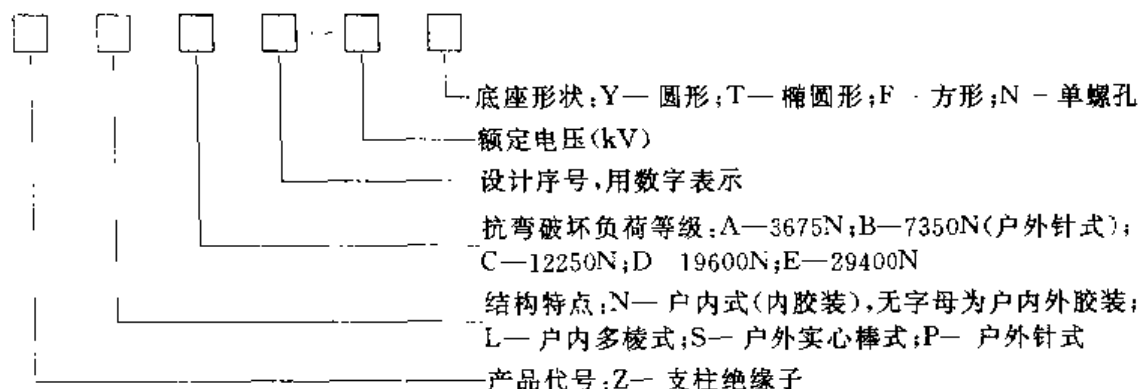
(2) 按具体用途，可分为电站绝缘子、电器绝缘子和线路绝缘子 3 种。

1) 电站绝缘子的用途是支持和固定户内、外配电装置的硬母线并使母线与地绝缘。它又分为支持绝缘子和套管绝缘子两类，后者用于母线穿越墙壁或天花板及从户内向户外引出之处。

2) 电器绝缘子的用途是固定电器的载流部分，也分支持绝缘子和套管绝缘子两种。前者用于固定没有封闭外壳的电器的载流部分（如隔离开关的静、动触头等）；套管绝缘子则用来使有封闭外壳的电器（如断路器、变压器等）的载流部分引出外壳。

3) 线路绝缘子的用途是固定（和支持）输、配电架空线路的导线，并使之与地绝缘。一般可分为悬式（高压）、针式（高压与低压）与蝶式（低压）绝缘子 3 类。

电站绝缘子的型号由字母和数字两部分组成，其含义如下：



无损坏和裂纹,铁件表面是否锈蚀。如铁件已生锈,可用蘸有汽油或煤油的抹布将其擦净。

(2) 绝缘子在安装前应测量其绝缘电阻(使用1000V或2500V摇表),绝缘电阻值应在800~1000MΩ以上。室外式支持绝缘子除测量绝缘电阻外,还必须逐个进行耐压试验;室内式支持绝缘子可不作耐压试验,而留待母线安装好后一起进行。

(3) 安装支持绝缘子的方法很简单,因基础螺丝已埋好,安装时只要把绝缘子的法兰套入基础螺栓,然后用螺帽拧紧即可。拧紧绝缘子底座螺帽时,应将各个螺栓轮流均匀地拧紧,以防底座因受力不匀而损坏。

(4) 为能使母线安装得平直和每个绝缘子承受的机械负荷均匀,安装的所有绝缘子应使其铸铁顶盖在同一平面上和垂直面上,其误差不要超过3mm。不能满足此要求时,可在绝缘子底座的法兰盘下加垫片来调整,但垫片的厚度不要超过5mm。

(5) 支持绝缘子的法兰盘均应接地,可采用裸铜线或扁钢与接地网相连。如绝缘子装在墙上,接地线与法兰盘的连接应用螺丝连接;如绝缘子装在金属支架上,接地线可焊在金属支架上。为了美观,各绝缘子接地线的方向应一致。

(6) 支持绝缘子安装好后,其底座、顶盖以及金属支架都要刷一层绝缘漆,颜色一般为灰色。

### (三) 绝缘子的验收、运行及防污措施

#### 1. 绝缘子的检查验收

绝缘子的质量应合乎要求,在检查验收时应注意下列方面:

(1) 瓷面应光洁发亮,不得有裂纹、掉釉或破损等现象。

(2) 铁件应无裂纹、歪斜或锈蚀等现象,表面镀锌或油漆应完好,铁瓷粘合部分应牢固。

(3) 悬式绝缘子组合时,连接金具的螺栓、穿钉及弹簧销子等必须完整,开口销子末端应分开,耐张绝缘子串的碗口要向上,弹簧销子的弹力应充足。

(4) 绝缘子串的球头和碗口的接合应灵活自如,不得卡死。

(5) 垂直绝缘子串应保持垂直状态,个别情况下不应超过5°倾斜角。

(6) 经交流耐压试验并合格。

#### 2. 绝缘子的运行维护

对运行中的绝缘子应作如下检查:

(1) 绝缘子应保持清洁无脏污,瓷质部分应无破损和裂纹现象,要进行定期清扫。

(2) 瓷质部分有无闪络痕迹,金具有无生锈、损害或缺少开口销的现象。

(3) 瓷件与铁件的胶合应完好,切不能有松动。

(4) 在多尘和有害气体地区,应对绝缘子加强清扫及制订并实施防污措施。

#### 3. 绝缘子的防污措施

绝缘子防污的根本措施是消灭和减少污染源。目前通常采用的防污措施有:

(1) 采用防污性能好的绝缘子、增加绝缘子串或柱的元件数,以增大设备瓷绝缘的爬电距离。

(2) 加强运行维护,定期进行清扫。

(3) 在绝缘子表面涂有机硅脂、硅油或地蜡等防污涂料。

(4) 合理布置绝缘子，并在选择变电所所址及线路路径时，尽量避开污染源，减轻其所受污秽的影响。

(5) 对绝缘子进行定期测试，及时更换不合格或不良品。

#### (四) 穿墙套管及其安装

穿墙套管用于变电所配电装置作引导导电部分穿过建筑物墙壁或电气设备箱壳，使导电部分与地绝缘及起支持作用（见图 4-69）。穿墙套管分户内与户外两类，按结构型式又分为铜导体穿墙套管和铝排穿墙套管。根据它们的额定电压、额定电流和机械强度的不同，穿墙套管有多种类型（见图 4-70~图 4-73）。

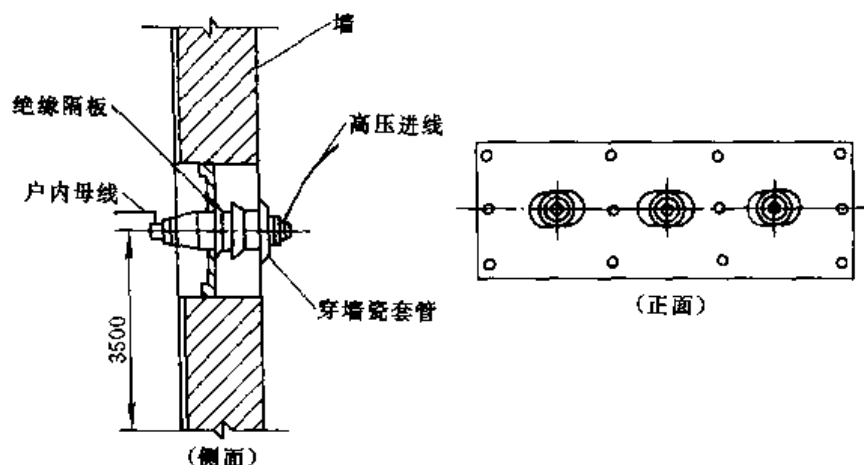
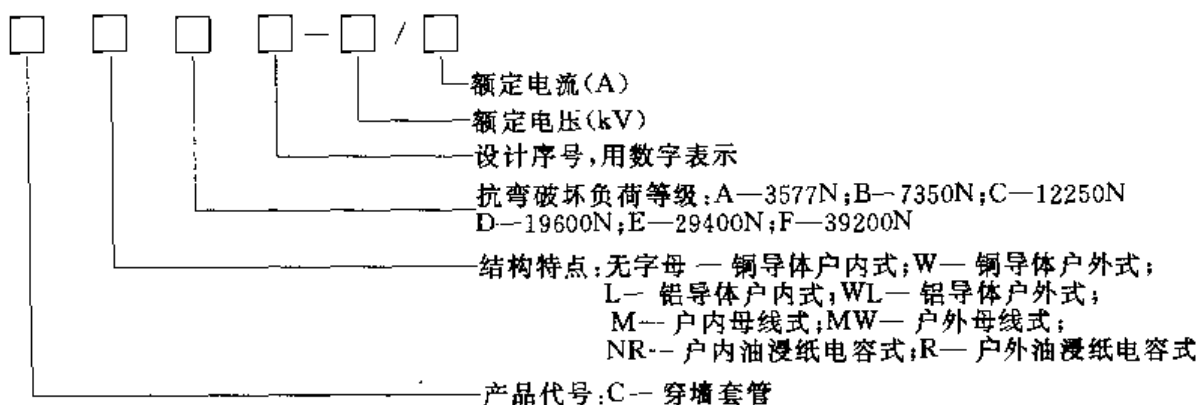


图 4-69 穿墙套管的安装与接线

穿墙套管结构的主要部件是瓷体，瓷体外面有一法兰盘用来固定套管，瓷体里固穿有铝排或铜导体作为导体。

穿墙套管的型号由字母和数字两部分组成，其含义如下：



穿墙套管的安装应符合下列要求：

(1) 安装套管的孔径应比嵌入部分大 5mm 以上，混凝土安装板的最大厚度不得超过 50mm。

(2) 额定电流在 1500A 及以上的穿墙套管直接固定在钢板上时，套管周围不应构成闭合磁路。

(3) 穿墙套管垂直安装时，其法兰应向上；水平安装时，法兰应在外。



(4) 600A 及以上母线穿墙套管端部的金属夹板(紧固件除外)应采用非磁性材料,金属夹板厚度不应小于3mm;它与母线间要用金属相连,其接触应稳固;当母线为两片及以上时,母线的各片之间应予以固定。

(5) 充油套管水平安装时,其储油柜及取油样管路应无渗漏,油位指示清晰;注油及取样阀位置应装设于巡回监视测;注入套管内的油必须合格。

(6) 对套管的接地端子及不用的

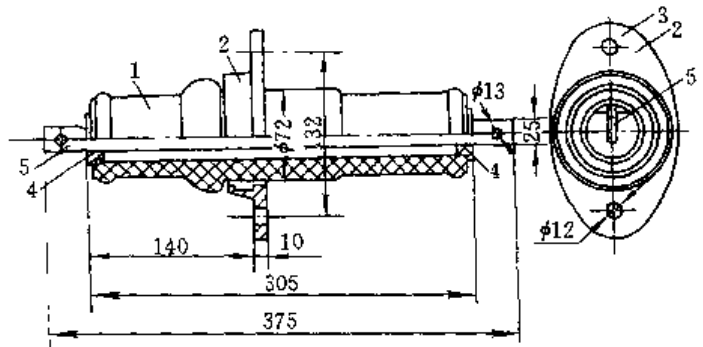


图 4-70 户内套管绝缘子

1-空心瓷体; 2-椭圆法兰; 3-螺孔;  
4-矩形孔金属圈; 5-矩形截面导体

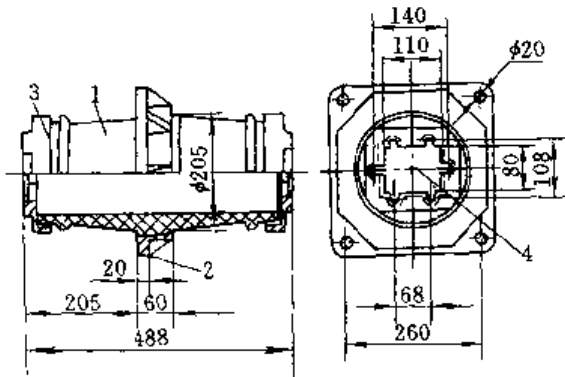


图 4-71 户内母线式穿墙套管

1-瓷体; 2-法兰盘; 3-帽; 4-矩形口

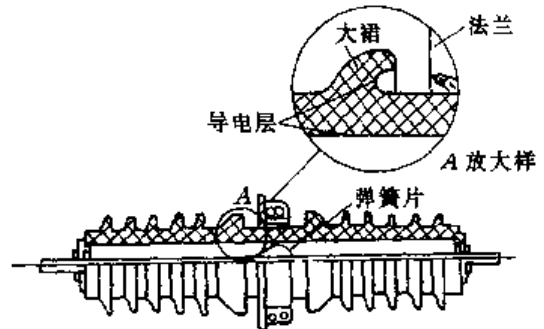


图 4-72 10kV 户外穿墙套管

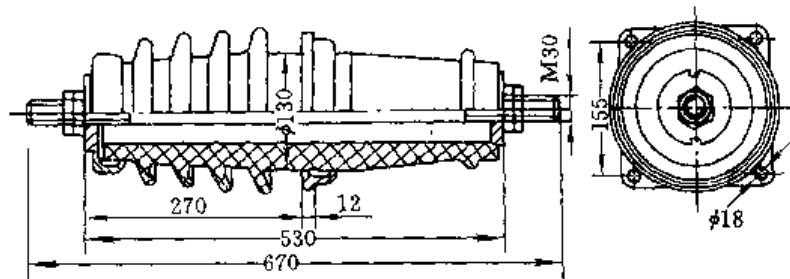


图 4-73 35kV 户外穿墙套管

取压端子,均应实行可靠接地。

穿墙套管的安装方法通常有两种:一种是在土建施工时,把套管螺丝直接预埋在墙上成基础螺栓,并预留3个套管圆孔,套管直接固定在墙面的基础螺栓上(见图4-74);另一种是土建施工时便在墙上留一方孔,再在方孔上装一角铁框以固定钢板,然后将套管固定在钢板上。

套管在安装前应进行外观检查,即检查套管的瓷体是否完好,要求瓷体不应有裂纹或迸瓷现象。

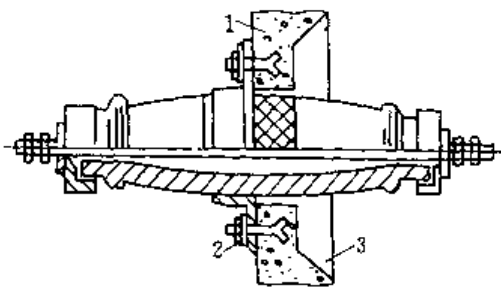


图 4-74 穿墙套管直接固定在墙上

1-混凝土墙; 2-基础螺栓; 3-喇叭口

室外套管安装前还应做耐压试验，但一般以 1000V 或 2500V 绝缘电阻表测定其绝缘电阻（其阻值应在 1000MΩ 以上）。

穿墙套管的具体安装方法与安装支持绝缘子大致相同。但注意，安装时应使穿墙套管中心线与支持绝缘子的中心线在同一直线上，否则母线穿过时会发生困难，且还很不美观。

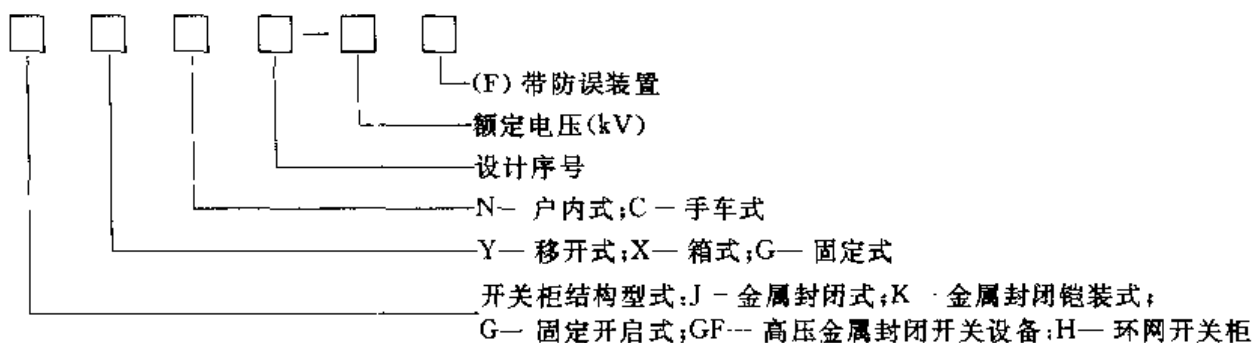
## 第四节 高压成套装置

### 一、高压成套配电装置的特点和作用

成套配电装置又叫成套配电柜，是以开关为主的成套电器，故也俗称开关柜。它用于配电系统，作为接受与分配电能之用。据电压高低，它可分为高压开关柜和低压开关柜两大类；按装置地点的不同，又分户外式与户内式（10kV 及以下的多采用户内式）；按开关电器是否可以移动，又可分为固定式和手车式。可见，高压开关柜是成套配电设备的一种，是由制造厂成套供应的高压配电装置。在这种封闭或半封闭的柜中可装设各种高压电器、测量仪表、保护电器和控制开关等等。通常一个柜就构成一个单元回路（必要时也可用两个柜），所以一个柜也就成为一个间隔。使用时可按设计的主电路方案，选用适合各种电路间隔的开关柜，然后便可组成整个高压配电装置。它具有占地少、安装使用及维护检修方便，适于大量生产等特点，故应用很广泛。

高压开关柜种类较多，分类方法亦有多种：按断路器的安装方式可分为固定式和手车式两大类；按柜体结构型式可分为开启式与封闭式两种；还可分为一般环境用与特殊环境用（后者包括矿用、化工用、高海拔地区用等）。

高压开关柜的型号含义如下：



型号中其他常用字母含义还有：

G——高压开关柜；F——封闭式；W——户外型；H——活动式；C——手车或小车式等。

成套配电装置是按一定的接线方案将有关的一、二次设备组合起来的成套电气设备。其组合是根据电力系统供电状况及使用场合与控制对象，并结合主要电器元件的特点，确定一次接线单元方案（单元方案应分别适用于电缆进出线和架空进出线）；应用时可按设计方案选用各种适用接线方案的开关柜组合起来，便构成了整个配电装置。这种组合必须满足安全可靠、检修维护方便、经济合理、实用美观等要求。如图 4-75 所示便为组合方案中的一种，它系双电源进线，两断路器之间具有联锁装置。

现对 3~10kV 及 35kV 高压成套装置分别综述简介如下。

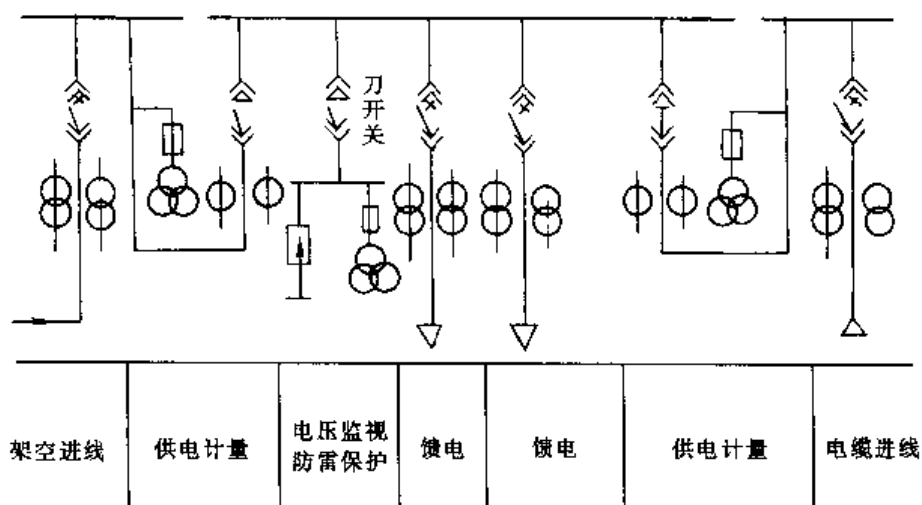


图 4-75 一种成套装置组合方案

### (一) 35kV 高压开关柜

过去 35kV 电压级的配电装置常采用户外式布置,近几年来由于 GBC—35 型高压开关的出现,35kV 级配电装置已进入室内。从而大大地减少了占地面积,也减轻了维护工作量。这种开关柜有手车式和固定式两种。

GBC—35 型手车式高压开关柜用于额定电压 35kV、额定电流 1000A 的单母线系统,作为接受与分配电能之用。该开关柜共有 139 种一次接线方案,其典型的组合方案有:① 单回路电缆或架空进、出线;② 单母线双电源电缆或架空进出线;③ 双绕组变压器内桥架空进、出线;④ 双绕组变压器外桥电缆或架空进、出线;⑤ 双绕组变压器分段双向供电架空进、出线;⑥ 双绕组变压器分段供电架空进、出线;⑦ 所用变压器接于进线开关前的电缆和架空进、出线等。

GBC—35 型固定式高压开关柜的一次接线方案有 48 种,它是 GBC—35 型手车式高压开关柜的派生产品。其使用条件、应用范围及单体开关柜的用途与手车式相同,但该型柜系无断路器方案。如需选断路器柜时,可用 GBC—35 型手车式柜与本型柜配合使用,这样也能使工程费用大大降低。经几年运行实践证明,无论在质量和可靠性方面,上述产品都基本满足了用户要求。现又已生产出以外销为主的 GFC—35 型封闭型手车式高压开关柜,以适应国际市场的需求。

### (二) 3~10kV 高压开关柜

目前生产的 3~10kV 户内型高压开关柜分为固定式、活动式和手车式。

(1) 固定式高压开关柜。这种柜由于结构简单、价格低廉,所以常用于变、配电所高压配电室等户内场所作为接受和分配电能之用。型号有 GG—1A、GG—10、GG—10A、GG—11、GG—15、GG—20 等。10kV 固定式高压开关柜仍以 GG—1A 型为主,由于柜体宽大,维修方便,应用仍十分普遍,而且内部主要电器近几年较以前都有所更新或统一。如用 SN10—10 I、II 型少油断路器代替了 SN1、SN2—10 型等少油断路器,用 LA、LDZJ、LDZ1 或 LFZ1 型电流互感器代替了老产品,JDZB 型浇注绝缘电压互感器代替了油浸绝缘电压互感器,且大部分生产厂都采用了 CD10 型电磁操动机构或 CT8、CT7 型弹簧储能操

动机构。

(2) 活动式开关柜。其主要设备断路器及操动机构为活动式。检修时可将公用检修小车推到柜前，先将断路器拉到车上，然后推到检修场地进行检修。但互感器、避雷器等不是活动的，需在柜内检修。主母线布置在柜后半部的中间位置（即柜的腰部）。这种产品是从固定式到小车式的一种过渡型式，有 CH—1 等型号。

(3) 手车式高压开关柜。这种柜的主要特点是油断路器等主要电气设备可随小车拉出柜外检修，既方便又安全。推入同类备用小车便可继续供电，缩短了停电时间，故其应用已越来越广泛。特别是近几年来由于真空断路器发展较快，电压等级已达 35kV、10kV 开断电流可达 17.3kA，再加上它独有的可频繁操作这一特点，故户内封闭手车式高压开关柜内装真空断路器者已日益增多。现 10kV 户内封闭手车式开关柜，大都是既可装 SN10—10 型少油断路器，也可装 ZN□—10 系列真空断路器，其型号命名在原型号尾部加字母 Z。内装少油断路器和内装真空断路器的高压开关柜可以并列使用。其型号有 GFC—1A、GFC—3A、GFC—3AZ、GFC—7B、GFC—7BZ、GFC—15、GFC—15Z、GFC—15A、GFC—20、GC—2 (Z) 等。

户外封闭式 3~10kV 高压开关柜有 GWC—15、GWC—3A、GWN—1 等型号。

以上开关柜的操作电源有直流操作、交流操作、硒整流操作三种系列。

## 二、高压成套装置选用原则和技术要求

### (一) 高压成套装置的特点与选用原则

各类高压成套装置的特点与选用原则见表 4-32。

表 4-32 各类高压成套装置的特点与选用原则

分 类	特 点	选 用 原 则
手车式（移开式） 高压开关柜	母线及主要带电部分为全封闭或半封闭式；断路器与母线的连接采用活动插接式弹性接头，利用小车推入或拉出柜体，使断路器与其他电气设备连接或断开；尺寸较小，外形较美观；不靠墙安装，可从背面进行维护、检修	当进出线回路较多，需要经常分路切换进行检修维护时；当用电负荷较重要，在断路器发生故障要求迅速更换断路器恢复供电时，多选用此种类型
固定式高压开关柜	母线及主要带电部分为半封闭式或开启式；断路器与母线等用螺栓固定连接；尺寸较大时，可靠墙安装，也可离墙安装	当不需要迅速更换断路器时，常选用此种类型

### (二) 各类高压成套装置的主要技术要求

高压电器成套配电装置是以高压断路器为主、其他高压电器与之配套的有机组合装置。目前 35kV 及以下的各种户内高压电器，已大都装于高压开关柜上进行使用。柜内电器的载流导体之间以及这些设备与金属外壳之间是互相绝缘的，其绝缘大多数是利用空气和干式绝缘材料组成。对高压开关柜主要有以下技术要求：

- (1) 柜体结构有足够的机械强度，不致因操作一次侧元件而引起二次侧元件误动作。
- (2) 柜体结构有防止事故蔓延扩大的措施，并能在一次侧不停电的情况下，安全地检修二次侧设备。
- (3) 备有机械的或电气的安全联锁装置，能保证按规定程序进行操作。如断路器合闸

5) 如用电磁闭锁, 闭锁回路电源要与继电保护、控制信号回路分开;

6) 闭锁装置应尽量做到结构简单可靠, 操作维修方便, 尽可能不增加正常操作和事故处理的复杂性。

(11) 高压开关柜的一次和二次电气回路及其电器的绝缘强度, 应能承受 1min 工频耐压试验而无击穿或闪络现象。工频试验电压数值分别为: 额定电压 0.5kV 及以下 (二次回路) 的采用 1kV; 3kV 的用 24kV; 6kV 的用 32kV; 10kV 的用 42kV; 35kV 的采用 80kV。

(12) 高压开关柜的一般使用条件是:

- 1) 海拔不超过 1000m;
- 2) 周围介质温度为  $-20\sim+40^{\circ}\text{C}$ ;
- 3) 没有导电尘埃和足以腐蚀金属与破坏绝缘的气体的场所;
- 4) 无爆炸危险的场所;
- 5) 温度为  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度不大于 85%;
- 6) 无剧烈振动和颠簸, 倾斜度不超过  $5^{\circ}$  的场所。

### 三、常用高压成套配电装置

#### (一) GG—1A (F) 型防误固定式高压开关柜

目前这种具有五防功能的高压开关柜已获得普遍应用。它是在原 GG—1A 型开关柜基础上改进的派生产品, 主要用于工矿企业变配电站, 交流 50Hz, 电压 3~10kV 三相单母线系统, 作为接受和分配电能之用。柜体由角钢和薄钢板焊接而成, 柜内用薄钢板隔开, 柜的上部为油断路器室, 下部为隔离开关室, 主母线水平放置在顶部支柱绝缘子上。

GG—1A (F) 型开关柜 (见图 4-76) 内所装主要电器及设备与原 GG—1A 型开关柜完全

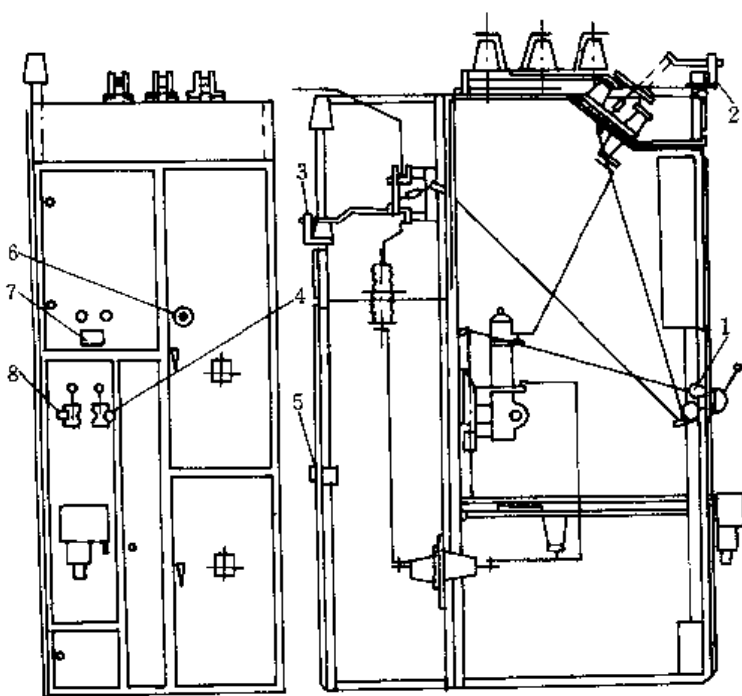


图 4-76 GG—1A (F) 型高压柜上的联锁装置

- 1—锁板装置 (用隔离开关程序锁时无此装置); 2—接地开关;  
3—出线侧接地开关; 4、8—隔离开关程序锁;  
5、6—前后柜门程序锁; 7—三功能控制开关

相同。安装好后, 其柜前走廊是操作走廊且宽度不应小于 1.5~2m, 出线侧的走廊为维护走廊, 宽度不应小于 0.8m。开关柜布置在中间, 两边有走廊的称为独立式配电装置; 若配电装置仅有一排间隔的称作单列布置。如果采用电缆出线, 则开关柜可靠墙布置, 这叫做背靠式配电装置。根据出线间隔数量的多少, 开关柜可以单列布置, 也可双列布置。

GG—1A (F) 型开关柜的五防闭锁方案分一般闭锁方案和简易闭锁方案。一般闭锁方案是带而定接地刀闸的 GG—1A (F) I 型, 简易闭锁方案是带接地桩头的 GG—1A (F) II 型。开关柜的机械闭锁装置由一个三功能控制开关和若干把程序锁组成。根据开关柜不同的主回路

方式和要求,适当地组合在一个或两个开关柜上。通过它们之间的相互闭锁关系,使运行人员可按预先指定的程序进行操作。现分述如下。

### 1. 三功能钥匙闭锁控制开关

它代替了原有的控制开关手柄部分,简称“三功能控制开关”(见图 4-77)。它具有防止误拉断路器、防止带负荷拉(合)隔离开关、防止走错开关间隔三种功能:

(1)防止误拉断路器。三功能控制开关手柄 4 的上端装有防止误拉断路器的红绿牌 8 (见图 4-78)。牌子带有对号孔,正面为红色,背面为绿色。绿牌与红牌有一点不同,绿牌除三个对号孔外,尚有一个可以让防误活动销 7 自由活动的孔。断路器在合闸状态时,控制开关手柄上应插入红牌 [见图 4-78 (a)],模拟图板断路器位置上相应应有红牌。当红牌插入控制开关手柄上的定位销时,使开关手柄 4 向下移动而插入锁壳槽中,此时控制开关手柄就无法转动。停电操作时应根据操作票进行模拟操作核对,核对正确后将控制开关手柄上的红牌翻为绿牌,并能插入模拟图板对应位置的插销中,将模拟板上取下的红牌 [见图 4-78 (b)] 翻为绿牌插入控制开关手柄插销上。此时控制开关手柄中的防误活动销上升,退出锁壳槽,即可进行断路器操作。如插不进则说明选错了开关,应重新核对。

(2)防止带负荷拉(合)隔离开关。五防开关柜在正常运行状态下,柜内的上、下隔离开关操作把手及前后柜门均用程序锁锁住。每个回路的全套钥匙都采用联环互锁原理,将钥匙分别锁在上道工序的锁具中,保证开锁的程序性。出线侧隔离开关程序锁的钥匙插在三功能钥匙闭锁控制开关手柄中。断路器在合闸状态下钥匙无法取出,从而便不能随便操作。只有断路器在分闸状态下(见图 4-79),即控制开关手柄在水平位置时方可取出钥匙。开关在合闸位置即控制开关手柄在水平位置时,钥匙就取不出来,控制开关手柄中若未插进钥匙,则手柄亦无法转动。

停电操作时,据上述原理经模拟核对互换红绿牌后,将该开关手柄向分闸方向转动并

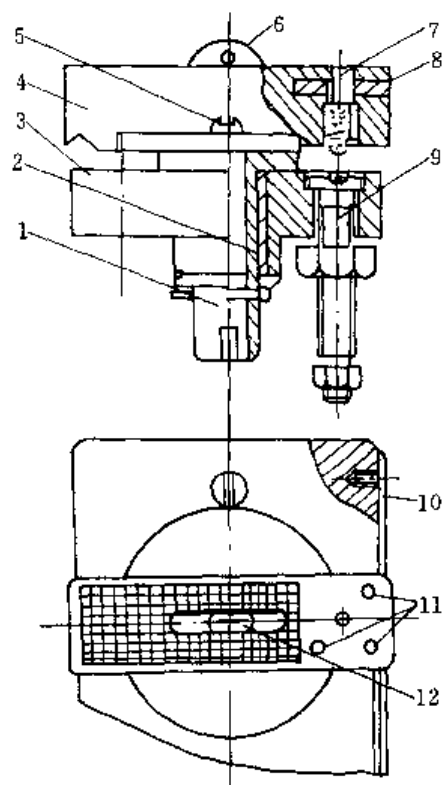


图 4-77 三功能钥匙闭锁  
控制开关总装图

- 1—铜套; 2—铁芯转轴; 3—锁壳;
- 4—开关手柄; 5—螺钉; 6—钥匙;
- 7—防误拉活动销; 8—防误拉绿牌;
- 9—销壳固定螺钉; 10—旁路隔离开关  
钥匙插座; 11—防误插销; 12—铁芯

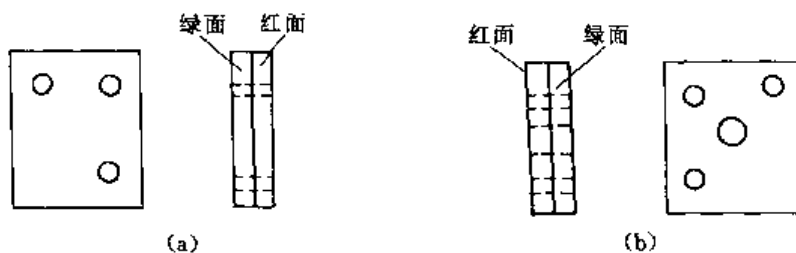


图 4-78 红绿牌外形

(a) 运行状态插在控制开关把手上; (b) 运行状态插在模拟图板上

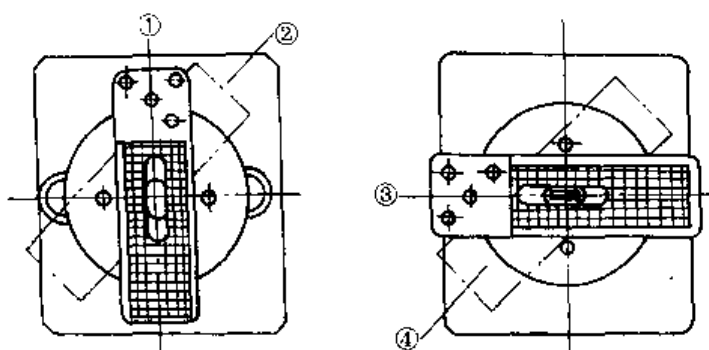


图 4-79 三功能闭锁控制开关操作示意图

在①的方向时应是预合或合闸后的位置，钥匙取不出来；  
在②的方向应是合闸位置；在③的方向应是预分或分闸位置，  
钥匙可取出；在④的方向应是分闸位置

分闸（见图4-79）。此时手柄已成水平位置，锁芯弹子卡不住钥匙齿槽，钥匙可以取出，用以打开该回路的隔离开关程序锁。钥匙从控制开关锁芯中取出后，锁壳弹子卡住了锁芯轴，使锁芯轴无法转动，即断路器不可能合闸，从而避免了运行人员先合断路器后合隔离开关，防止了带负荷合隔离开关的误操作。

送电操作时，必须将隔离开关合上后才能从该程序锁中取出此钥匙，并将此钥匙插入控制开关手柄中。由于钥匙的插入使锁壳弹子分开，锁芯轴可以转动，断路器方能合闸。断路器合闸后，控制开关手柄成垂直位置，锁芯弹子卡住了钥匙齿槽，钥匙无法取出，亦就无法在断路器合闸时取出钥匙，打开隔离开关程序锁，拉开隔离开关，从而起到了防止带负荷拉隔离开关的重要作用。

在三功能钥匙闭锁控制开关底座的侧面钥匙，可开取旁路刀开关程序锁。此钥匙只有在断路器合闸时，即手柄为垂直位置时才能取出，并与手柄中的钥匙有联锁关系，可保证拉合旁路刀开关时按程序操作。当断路器在分闸位置时，手柄会将此钥匙挡住而取不出来，这样就能防止带负荷拉合旁路隔离开关。

(3) 防止走错开关间隔。由于五防开关柜全套钥匙采用联环互锁，因此当断路器跳闸后只能按操作程序才能打开相应的柜门，从而起到了防止走错开关间隔发生误操作的作用。

## 2. 程序锁

程序锁是专门锁隔离开关和开关柜柜门的，它有一把、二把和三把钥匙等几种。根据需要，由若干把程序锁适当地组合在一个电气主回路上，它们与三功能钥匙闭锁控制开关相配合，以达到开关柜的五防要求。其特点是：一只程序锁上的二把或三把钥匙互为闭锁。也就是说，若一把钥匙不放进去则另一把（或二把）钥匙就拔不出来，从而能防止越项操作。

隔离开关的程序锁结构示意可见图 4-80 及图 4-81。柜门程序锁原理与此基本相似，仅结构略有不同。在带电测温、全部停电检修或特殊情况下，可用总钥匙开启该五防开关柜的全部锁具。这样既能方便操作、又弥补了程序锁的某些不足。

### (二) KYN--10 型铠装移开式高压开关柜

这种金属铠装移开式高压开关柜用于三相交流频率 50Hz、额定电压 3~10kV、额定电流 3000A 以下的单母线及母线分段系统中，用以接受和分配电能。它具有完善的五防装置，适用于各类发电厂、变电站及工矿企业的要求。该柜为全国联合设计产品，达到 IEC—298《交流金属封闭开关设备和控制设备》(1981 年版) 标准要求和 GB—3906—83《3~35kV 交流金属封闭开关设备》标准要求；其特点是使用安全可靠，维护修理方便。

本开关柜用钢板弯制、焊接组合而成，全封闭型结构，它由继电器室、手车室、母线室和电缆室四部分组成。各部分用钢板分隔，螺栓连接，具有架空进、出线及左右联络的

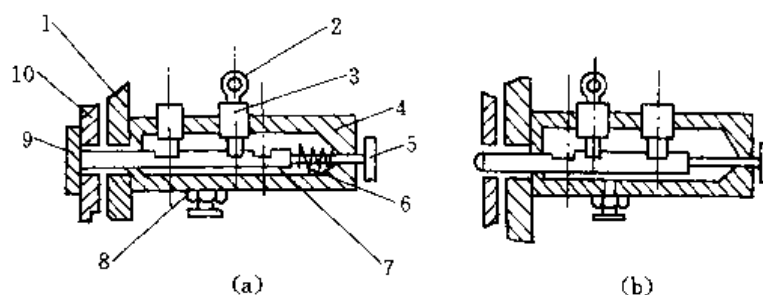


图 4-80 双钥匙程序锁结构图

(a) 隔离开关合闸；(b) 隔离开关分闸

1—隔离开关支架；2—钥匙（闭锁）；3—锁体；4—锁外壳；  
5—锁杆拉把；6—弹簧；7—锁杆；8—解锁装置；9—档板；  
10—隔离开关定位板

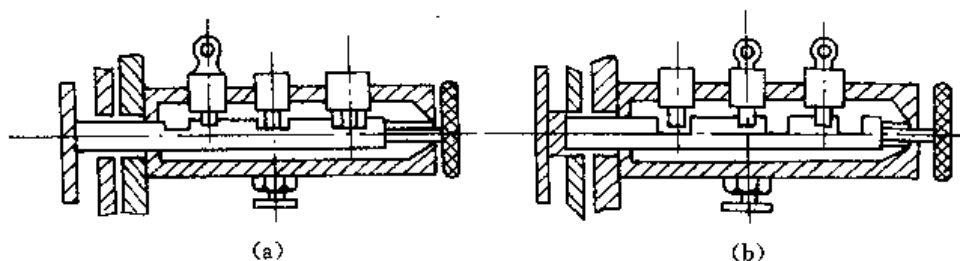


图 4-81 三钥匙程序锁结构图

(a) 隔离开关断开；(b) 隔离开关合上

功能。其外形、尺寸及结构示意图 4-82。

它的手车由角钢和钢板焊接而成，分为断路器手车、电压互感器避雷器手车、电容器避雷器手车、所用变压器手车、隔离手车及接地手车等。手车上的面板就是柜门，门上部有观察窗及照明灯，能清楚地观看断路器的油位指示。门正中的模拟线旁有手车位置指示旋钮，并具有把手车锁定在工作位置、试验位置及断开位置的功能。旁边有紧急分闸按钮及分合闸位置指示孔，能清楚看出少油断路器工作状态。手车底部装有接地触头及 5 个轮子，其中 4 个滚轮能沿手车柜内的导轨进出，当抽出柜外后另一附加小轮能使手车转动灵活。手车在试验位置推进或抽出，可使用推进杆使手车均匀插入或抽出。本开关柜还具有同类型手车可互换以及防止不同类型手车误入其内的措施。

继电保护装置及仪表室是经减震器后固定在柜体上方，前门可装设仪表、信号灯、信号继电器、操作开关等；小门装电能表或继电器；室内活动板上装有继电器。其布置合理、维修方便，二次电缆沿手车室左侧壁自底部引至仪表继电器室。

柜体是由槽钢及钢板焊接而成，柜顶装有泄压孔，前后柜之间用钢板及活门隔离。柜内装电流互感器、接地开关、电压互感器等元件。各段母线室用金属板隔开，后门用螺钉紧固。

为了安全和便于操作，柜内装有各种联锁装置，并能达到五防要求。

由于手车面板上装有位置指示旋钮的机械闭锁装置，所以只有断路器处于分闸位置时



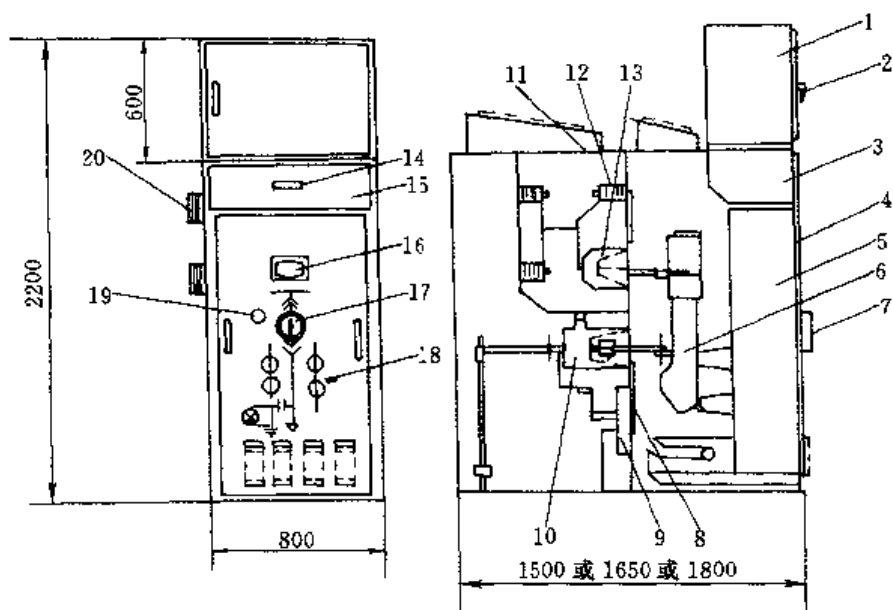


图 4-82 KYN—10 开关柜外形、尺寸及结构示意图

- 1—继电器、仪表室；2—手柄；3—端子室；4—手车面板；
- 5—手车；6—断路器；7—手车手把；8—活门；9—接地开关；
- 10—LDJ 型电流互感器；11—防护罩；12—支持绝缘子；
- 13—一次触头盒；14—铭牌；15—端子室盖；16—观察窗；
- 17—手车位置指示及锁定旋钮；18—分合观察孔；
- 19—紧急跳闸按钮；20—套管

手车才能抽出或插入，实现了防止带负荷接通或断开隔离触头。

手车在工作位置时，一次、二次回路接通；手车在试验位置时，一次回路断开，二次回路仍然接通，断路器可做分合闸试验；手车在断开位置时，一次、二次回路全部断开，手车与柜体保持机械联系。

由于断路器与接地开关装有机电联锁，只有断路器分闸手车抽出后，接地开关才能合闸（带电压显示装置）；手车在工作位置时，接地开关不能合闸，防止了带电挂接地线。接地开关接地后，手车只能推进到试验位置，能有效地防止带地线合闸。

柜后上、下门装有联锁，只有在停电后手车抽出；接地开关接地后，才能打开后下门，再打开后上门。通电前，只有先关上后上门，再关上后下门，接地开关才能分闸，使手车能插入工作位置，防止误入带电间隔。

仪表板上装有带钥匙的控制开关或防误型插座，以防止误分、误合主开关。

另外各柜间可按一次线路方案加装电气联锁和程序联锁。

本开关柜主要技术数据，可参见表 4-34。

### (三) JYN2—10 型手车式高压开关柜

这种开关柜用钢板弯制焊接而成，它由柜体和手车两部分组成。柜体用钢板或绝缘板分隔成手车室、母线室、电缆室和继电仪表室四部分。柜体的前上部位是继电保护装置及仪表室，下门内是手车室以及断路器的排气通道，门上装有观察窗。底部左下侧为二次电缆进线孔，后上部位为主母线室，后下部位为电缆室，后面封板上装有观察窗。下封板与

表 4-34

KYN—10 型开关柜主要技术数据

名称及型号	数据及内容、名称					
额定电压 (kV)	3、6、10					
额定电流 (A)	630、1000、1250、1600、2000、2500、3000					
额定开断电流 (kA)	16、20 (6kV)、31.5、40					
CD10 型 <sup>①</sup> 电磁操作机构	合闸线圈额定电压 (V)			脱扣线圈额定电压 (V)		
	直流 110、220			直流 24、48、110、220		
CT8 型弹簧操作机构	储能电动机 额定电压 (V)	合闸电磁线圈 额定电压 (V)	分励脱扣器 额定电压 (V)	失压脱扣器 额定电压 (V)	过电流脱扣器额定电流 (A)	
	交、直流	交 流	交 流	交 流	5	
	110	110	110	110		
	220	380	380	220		
	交流	直 流	直 流	220		
380	48 110 220	48 110 220	380			
配用少油断路器型号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定开断 电 流 (kA)	极限通过电流 (kA) 峰值	2s 热稳定 电 流 (kA)	配用操作机构 型 号
SN10—10 I	10	630	16	40	16	CD10 I, CT8
SN10—10 II	10	1000	31.5	80	31.5	CD10 II, CT8
SN10—10 III	10	2000, 3000	40	125	40 (4s)	CD10 III

① 配电磁操动机构不允许在运行中以手力合闸。

接地开关有联锁，上封板下面装有电压显示灯。当母线带电时灯亮，不能拆卸上封板。

手车也是用钢板弯制焊成，底部装有 4 只滚轮，能沿水平方向移动。还装有接地触头，导向装置，脚踏锁定机构以及手车杠杆推进机构的扣攀。手车拉出后，用附加转向小轮使手车灵活转向移动。手车分断路器车、电压互感器车、电压互感器避雷器车、电容器避雷器车、所用变压器车、隔离手车及接地车等 7 种。

该开关柜的内部结构如图 4-83 所示，小母线排列见图 4-84，主要技术参数可参见表 4-35。

#### (四) GFC—15 (F) 型防误手车式高压开关柜

这种开关柜适于三相交频率 50Hz、额定电压 3~10kV、额定电流 630~3000A 的单母线系统中，用来接受和分配电能。它由封闭式钢板外壳和断路器手车组成。设备壳体用钢板划分为四个互相隔离的小室，即主母线室、继电器室、手车室及电缆室。设备顶前部的盒内数设着 15 根小母线，中部为防尘通用孔，后部为封盖或安装架空进线结构。设备正面上部为仪表门，内部为继电器室。设备正面下部为手车室大门，门上装有模拟线路，示意设备内部的一次接线方案。开门并安装外轨道后，可按操作程序抽出或推入手车。手车抽出后，手车室后壁的活动遮板将自动关闭，起到安全隔离作用。手车室底板上敷设轨道，并

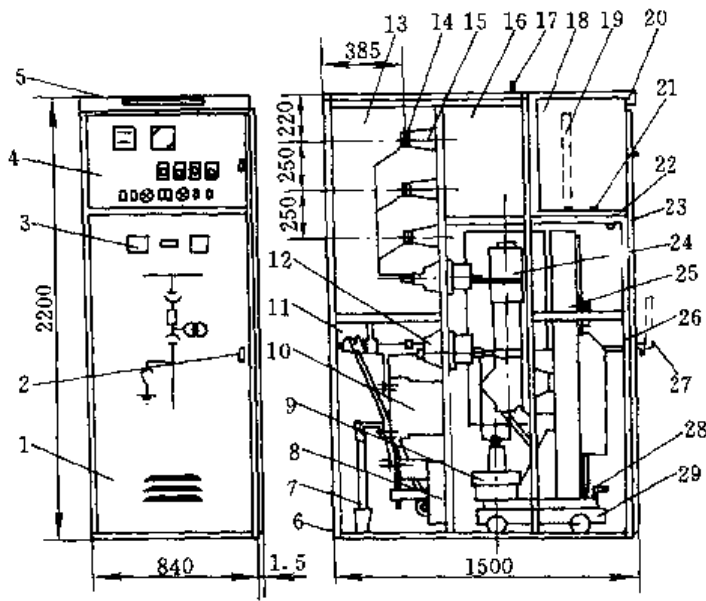


图 4-83 JYN2-10/01-05 内部结构

1—手车室门；2—门锁；3—观察窗；4—仪表板；5—用途标牌；  
6—接地母线；7—一次电缆；8—接地开关；9—电压互感器；  
10—电流互感器；11—电缆室；12—一次触头隔离罩；13—母  
线室；14—一次母线；15—支持瓷瓶；16—排气通道；17—吊  
环；18—继电器仪表室；19—继电器屏；20—小母线室；21—端  
子排；22—减震器；23—二次插头座；24—油断路器；25—断  
路器手车；26—手车室；27—接地开关操作棒；28—脚踏锁定  
跳闸机构；29—手车推进机构扣攀

小母线符号	小母线名称
+WOM - WOM	合闸电源
+WC - WC	控制电源
WLS	灯光信号
(+)WFS	闪光
WTS	事故报警
WPS	预告信号
FM	信号电源
PM	掉牌未复归
VB <sub>1</sub> VB <sub>2</sub> VB <sub>3</sub>	电压
1EL 2EL	照明灯

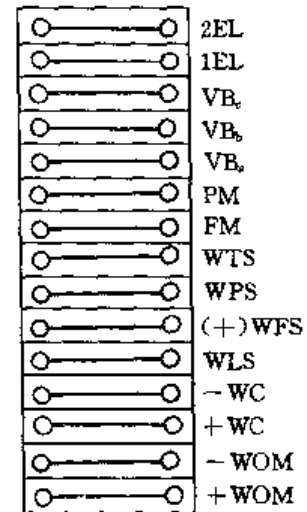


图 4-84 小母线排列图

表 4-35

JYN2-10 开关柜主要技术参数

序号	名称	单位	开关柜和配用断路器的参数			
			SN10-10 I C1	SN10-10 II C1	SN10-10 I C	ZN□10/1000
1	额定电压	kV	3、6、10			10
2	最高工作电压	kV	3.5	6.9	11.5	11.5
3	开关柜额定电流	A	630、800	800	1000、1600、2500	800
4	断路器额定电流	A (有效值)	630、1000	1000	1250、2000、3000	1000
5	额定开断电流	kA (有效值)	16	31.5	31.5	20
6	最大关合电流	kA (峰值)	50	80	80	50
7	动稳定电流	kA (峰值)	50	80	80	50
8	2s 热稳定电流	kA (有效值)	20	31.5	31.5	20
9	开断电容器组	kvar		10000		10000
10	一次母线动 稳定电流	kA (峰值)	50	80	80	50
11	外形尺寸	mm(宽×深×高)	840×1500×2200		1000×1500×2200	840×1500×2200
12	重量	kg	750	800	1000~1200	

可使设备内与电缆沟隔开，二次电缆沿手车室左侧内壁线槽自底部引自继电器室的端子排上。取下后上部封板，可看到主母线和上静隔离触点。开启后下门，可以看到电流互感器和下隔离触点，并由底部引入电缆连接到互感器上，柜间联络母线安装在电缆室的后壁上。馈出线方案的电缆室下部都设有接地开关，结构在后门左侧由专用扳手操作，传动轴与手车之间有闭锁机构。

断路器手车正面上部为推进机构，用手板动联锁手柄，即可使手车在设备内前进或后移。正面下部为断路器操动机构，手车推进机构与断路器操动机构之间有防止误操作的联锁装置。手车底部设有接地滑道、定位轴及位置指示等附件。

该型开关柜有较严密的防误闭锁装置，具备五防功能，即防止带负荷拉（合）隔离开关；防止误分（合）断路器；防止带电挂地线；防止带地线合隔离开关；防止带电误入带电间隔。其中防止带电拉（合）隔离开关采用机械、电气双重闭锁实现，防止误合误分断路器可分别采用红绿翻牌或 14 线插件编码两种方式（可由用户需要选用）。若用户需要按钮操作方式，则由用户自行解决防止断路器误合（分）的问题。防止带电挂接地线和防止带接地线合隔离开关则采用机械闭锁方式。对易于造成误入带电间隔的后门，采用了机构闭锁。在检修中可能造成误触带电部位之处设有安全隔板，联柜间采用程序锁或电磁锁，可有效地防止电气误操作事故的发生。

当选用红绿翻牌防误方式时，用户应说明断路器操作开关与手车室门锁之间要否程序闭锁，若未加注明则不带上述程序闭锁。如选用插件防误方式及按钮操作、集中控制时则均不带上述闭锁。

#### （五）GFC—J 型手车式高压计量柜

这种柜适于用在交流 50Hz、6~10kV 单母线配电系统中、作为电力系统、工矿企业变配电所的电能计量之用。它常与 GFC—10A 系列手车式高压开关柜配套使用，其外形尺寸也与 GFC—10A 系列柜相同。

该高压计量柜由固定的柜体和手车两部分组成。柜体用薄钢板和绝缘板分隔成手车室、两个计量仪表室、母线室和电流互感器室。柜体正面上部为两个计量仪表室、正面下部为手车室。后面上部为母线室、后面下部为电流互感器室。手车室用角钢和钢板焊成，顶部装有接地触头，下部装有二次回路用的插座。

两个计量仪表室中，上部室内装有计费用的分时电能表，分别计量正向的有功与无功电能。下部室内装有最大需量表、失压记录仪，两小室外装有监视计量工作情况的仪表。小室内各种表计均安装在可以拉出与旋转的底盘上，门上开有观察孔并装置照明灯。互感器室装有电流互感器两只。各小室均有钢板门关闭，并可单独加铅封。

手车上装有计量用电压互感器和避雷器，手车底部有滚轮。手车上装有机闭锁和电器联锁装置，它与柜体手车室内的左右定位装置等配合，能有效地防止带负荷推入或拉出手车造成误操作，还能防止因外力而使柜内的手车发生移动。

这种高压计量柜内的主要元件及技术数据见表 4-36。

#### （六）HXGN1—10 型高压环网开关柜

这种开关柜适用于厂矿、住宅小区、高层建筑、学校、公园等处额定电压为 10kV 的三相配电系统，作为接受和分配电能之用。

表 4-36 GFC—J 型高压计量柜内主要元件及技术数据

名称	型号	规格	数量
电流互感器	LA—10	5—600A	2
电压互感器	JPZ—6(或 10)	6(10)/0.1kV0.5 级(0.2)	2
避雷器	FS—6(或 10)	6(10)kV	3
分时电能表	LSF1—1B	100V, 5A, 0.5 级(0.2)	1
无功电能表	DX26	100V, 5A, 2.0 级	1
失压记录仪	SY—I	100V, 5A	1
电力定量器	DSK	100V, 5A	1

柜内选用性能优良可靠的 SF<sub>6</sub> 或真空开关和高分断能力熔断器，新穎型材拼装式柜体结构，具有体积小、质量轻、操作简单、操作力小、使用安全、维护方便，并有可靠的操作防护措施，不会造成火灾或爆炸事故，占地面积小等特点。

高压柜的外壳由基本骨架、顶板、面板、侧板等组成封闭结构。柜的顶部为母线室，母线室的前面为仪表室，仪表室底部的端子板上可装设二次回路端子及柜内照明灯等。计

量柜的仪表室体积大，可装有功、无功电能表，峰谷表等。

柜与柜之间均有金属隔板，母线室之间有绝缘穿墙套管，确保每个供电单元的安全运行。

#### 四、高压开关柜一次接线方案

各型高压开关柜的常用一次接线方案可分别见表 4-37~表 4-41。

#### 五、高压开关柜安装要求与方法

##### 1. 安装要求

(1) 开关柜的安装地点应屋顶密封、不漏水、屋内粉刷已经结束；基础型钢已埋设好，且型钢的水平误差应小于 1/1000，全长总误差要小于 5mm；屋内地坪已完工。

表 4-37 GG—1A (F) 型开关柜常用接线方案 (额定 3、6、10kV, 630~1250A)

一次接线方案编号	01	03	05	07	11	15	18	49
一次接线方案图								
开关柜用途	架空进(出)线		电缆进(出)线		左(右)联络可组架空进(出)线柜及分段联络柜	左联络可组成分段联络柜	右联络可组成电源进线柜	电压互感器
一次接线方案编号	53	54	58	61	77	80	101	119
一次接线方案图								
开关柜用途	避雷器	电压互感器兼避雷器	电压互感器兼电压显示装置	电压互感器兼左(右)联络	电压互感器与左(右)联络组合成电缆进线柜	进线及电压互感器	所用电联络	

表 4-38 JYN2-10 型开关柜常用接线方案 (额定 10kV, 630、800A)

一次接线方案编号	02	03	04	17	18	19	20
一次接线方案图							
开关柜用途	电缆进(出)线			电压互感器兼电缆出线		电压互感器避雷器	

表 4-39 KGN-10 型开关柜常用接线方案 (额定 3、6、10kV, 2500A)

一次接线方案编号	05	06	07	08	51	52	53	56	57
一次接线方案图									
开关柜用途	电缆进(出)线				电容器	电压互感器及避雷器		出线	左(右)联络

表 4-40 KYN-10 型开关柜常用接线方案 (额定 3、6、10kV, 630、1000、1250A)

一次接线方案编号	02	06	07	11	12	43	44
一次接线方案图							
开关柜用途	馈电			架空进出线		电压测量及保护、避雷器、左(右)联络	

表 4-41 GFC-10A 型开关柜常用接线方案 (额定 3、6、10kV, 900A 以下)

一次接线方案编号	02	06	10	12	20	27
一次接线方案图						
开关柜用途	电缆进(出)线	左联络	电缆进线兼左联络	电压互感器	电压互感器兼避雷器	避雷器

(2) 安装好后的开关柜, 其盘面油漆要完好, 回路名称及部件标号齐全, 柜内外清洁。开关柜应良好接地。

(3) 开关柜应安装牢固，连接紧密，无明显缝隙；柜体要与地面垂直，其误差不得大于柜高的 1.5/1000，各柜的盘面不应参差不齐。

(4) 装在震动场所的开关柜应有防震措施；继电器及仪表直接安装在柜上也应有防震措施，以防止开关分合闸时的震动引起误动作。

(5) 开关柜两侧及顶部的隔板齐全无破损，并安装牢固；开关柜的门锁应齐全且开闭灵活；在离墙安装时，开关柜后面要装设防护网。

(6) 母线桥应有足够高度，且要有保护网和隔离板；相对排列的开关柜，其母线的连接和相位应正确并要对称一致。

(7) 安装时尤应合乎规程规定保证最小电气距离，以确保人身及设备安全。户内、外配电装置的最小安全距离见表 4-42 与表 4-43。

表 4-42 户内配电装置的安全净距 (mm)

符号	适用范围	额定电压 (kV)					
		3	6	10	15	20	35
A <sub>1</sub>	带电部分至接地部分之间	75	100	125	150	180	300
	网状和板状遮栏向上延伸线距地 2.3m 处与遮栏上方带电部分之间						
A <sub>2</sub>	不同相的带电部分之间	75	100	125	150	180	300
	断路器和隔离开关的断口两侧带电部分之间						
B <sub>1</sub>	栅状遮栏至带电部分之间	825	850	875	900	930	1050
	交叉的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间						
B <sub>2</sub>	网状遮栏至带电部分之间	175	200	225	250	280	400
C	无遮栏裸导体至地(楼)面之间	2500	2500	2500	2500	2500	2600
D	平行的不同时停电检修的无遮栏裸导体之间	1875	1900	1925	1950	1980	2100
E	通向屋外的出线套管至屋外通道的路面	4000	4000	4000	4000	4000	4000

- 注 1. 当为板状遮栏时其 B<sub>2</sub> 值可取 A<sub>1</sub> + 30mm。  
 2. 通向屋外配电装置的出线套管对屋外地面的距离，不应小于表中所列屋外部分之 C 值。  
 3. 海拔超过 1000m 时 A 值应进行修正。  
 4. 本表所列各值不适用于制造厂产品设计。

## 2. 安装方法

(1) 开关柜的基础施工。开关柜通常安装在槽钢或角钢制成的基础上，其底脚安装示意如图 4-85 所示。

型钢的埋设方法通常有如下两种：

1) 直接埋设法。该法是在土建打混凝土时，直接将基础型钢埋设好。埋设前先将型钢调直，除去铁锈，按图纸尺寸下好料并钻好孔。然后在埋设位置找出型钢的中心线，再按图纸的标高尺寸，测量其安装位置并做上记号。记号要正确，以免造成过大误差。将型钢放在所测量的位置上，使其与记号对准，并用水平尺调好水平（水平误差每米不超过 1mm，

型钢上使其固定，型钢周围可用 1:2 的混凝土填充并捣实。

(2) 开关柜的搬运和检查。搬运配电柜应在较好天气进行，以免受潮。高压配电柜体积较大并且很重，在搬运中容易翻倒，因此在搬运过程中，要防止开关柜倾倒，同时也不要使它受到冲击和震动。配电柜由仓库运到现场时，最好用起重机械装卸。用汽车运输时，配电柜应立放在汽车上，不得侧放和倒放，并用绳子拉住以防倾倒。

配电柜运至现场后，应进行开箱检查。开箱时要小心谨慎，不要损坏设备。开箱后用抹布把开关柜擦干净，再检查设备与原设计是否相符，备品是否齐全，有无损坏、腐蚀等情况。对柜内仪表及继电器等更应仔细检查，技术文件要妥善保管或存入技术档案室，以备检验及维修时使用。

(3) 开关柜的固定与接地。开关柜的固定也叫立柜，且应在浇注基础型钢的混凝土凝固后进行。立柜前先按照图纸规定的顺序将开关柜作好标记，然后用人力将其搬平放在安装位置。立柜时可先把每个柜调整到大致水平位置，然后再精确地调整第一个柜，再以第一个柜为标准逐次调整其他柜。调整顺序可从左到右或从右到左，也可先调中间一柜，然后左右分开调整。配电柜的水平调整，可用水平尺测量；垂直调整，可在柜上放一木棒，沿柜悬挂一线锤，测量柜面上下端与吊线的距离，上下距离相等时表示柜已垂直，如果不等则可用薄铁片加垫。调整好的开关柜应盘面一致，排列整齐；柜与柜之间用螺栓拧紧，应无明显缝隙。开关柜的水平误差不应大于 1/1000，垂直误差不应大于其高度的 1.5/1000。调整完毕后再全部检查一遍，看是否都已合乎要求，然后用电焊（或连接螺栓）将配电柜底座固定在基础型钢上。用电焊时每个柜的焊缝不应少于 4 处，每缝长约 100mm 左右，为了美观焊缝应在柜体内侧。焊接时应把垫于柜下的垫片也焊在基础型钢上，此外还必须将开关柜的基础槽钢作良好的接地（一般用扁钢将其与接地网焊接且接地不应少于两处）。对槽钢露出地面的部分，应涂上一层防锈漆。

(4) 开关柜的接线与试验。成套开关柜是按一定的接线图有机组合面成的配电装置，一般只需进行母线的连接施工即可。但对于新安装的开关柜，应进行下列检查与试验：

1) 开关柜固定好后应进行内部清扫，用抹布擦去柜内元器件表面的灰尘，操作机构的摩擦部分更要擦拭干净并涂上润滑油（严寒地区要求用特殊不冻的润滑油）。

2) 检查母线连接处接触是否良好以及支架是否坚固。

3) 用手动操作油断路器及隔离开关是否灵活，有无卡绊现象。

4) 检查断路器和隔离开关的机械联锁机构是否灵活可靠。如果是电磁联锁装置，则需通电检查电磁锁动作是否灵活，开闭是否准确。

5) 检查断路器和隔离开关的其他部分是否完好。

顺便指出，低压开关柜的安装要求及安装工序与高压开关柜类同，仅是具体尺寸等略有差别；对于落地式配电箱的固定与安装，同样可以参照上述方法。

## 六、手车式高压柜的试验与投用

手车式高压开关柜具有众多优点，目前 GBC—35 型手车式开关柜已获得较广泛应用。该型产品由柜体及手车两大部分组成。柜正面、柜之间及柜两侧终端均采用钢板门或金属封板加以保护，柜后一般为钢网遮栏。柜内带电体之间主要为空气绝缘，各带电体之间、相地之间的绝缘距离不小于 300mm。



## (二) 高压开关柜的投用

开关柜必须经过检查、试验合格后方可投入使用。投运前应再次对电源侧和负载侧线路以及与开关柜有关的连接部分进行仔细检查。开关柜投用的操作步骤及注意事项如下：

(1) 手车推入柜内“试验位置”的操作步骤。

- 1) 手车推入柜内前应将CS6型手柄拉下(即分的位置)并使定位销可靠地插入锁孔中。
- 2) 手车前轮进入柜内后,应将后轮之定位销插入、使轮子定向。
- 3) 当手车推到其操作板板面与左中门内侧红虚线推齐时,向左扳动机械联锁把手拔出CS6型机构上之定位销,合上CS6型手柄,使手车定位于“试验位置”。

4) 插入二次插头,使二次回路投入工作。

(2) 手车由“试验位置”推向“工作位置”的操作步骤。

1) 向左扳动机械联锁把手拔出CS6型机构上之定位销,然后拉下CS6型手柄于“分”的位置,并使定位销可靠地插入CS6型机构之锁孔中。

2) 当手车推到其定位钩碰及定位机构的停档时,左手应立即向左扳动机械联锁把手拔出CS6型机构上之定位销,右手即用力快速推上CS6型手柄,使手车迅速进入“工作位置”。

(3) 手车从“工作位置”移至“试验位置”或从柜内拉出的操作步骤。

首先向左扳动机械联锁把手使断路器分闸,然后拉下CS6型手柄。此时务必在借助定位钩使一次隔离触头断开时移动手车的惯性,立即将手车移至“试验位置”或拉出柜外。

(4) 操作安全及其他注意事项。

- 1) 操作手车前应带好橡皮手套,穿上橡皮鞋,并按规定在柜前铺上绝缘垫块。
- 2) 各类手车推入柜内的程序:隔离手车先推入,其次是电压互感器、避雷器和所用变压器、最后推入断路器手车。
- 3) 将隔离手车推入“工作位置”或由“工作位置”移到“试验位置”时,务必用力且迅速地操作CS6型手柄。因隔离手车重量轻,如果慢速操作将会造成一次隔离触头烧损。
- 4) 全部手车推入柜内后,应到柜后仔细观察各柜的一次隔离触头,观察其接触是否良好。

## 七、高压柜投运前的检查和运行巡视

### (一) 固定式高压开关柜

#### 1. 固定式开关柜投运前的检查

- (1) 检查漆膜有无剥落,柜内是否清洁。
- (2) 操动机构是否灵活,不应有卡住或操作力过大现象。
- (3) 断路器、隔离开关等设备通断是否可靠准确。
- (4) 仪表与互感器的接线、极性是否正确,计量是否准确。
- (5) 母线连接是否良好,其支持绝缘子等是否安装牢固可靠。
- (6) 继电保护整定值是否符合要求,自动装置动作是否正确可靠,表计及继电器动作是否正确无误。
- (7) 辅助触点的使用是否符合电气原理图的要求。
- (8) 带电部分的相间距离及对地距离是否符合要求。
- (9) 五防装置是否齐全与可靠。
- (10) 保护接地系统是否符合要求。

- (11) 二次回路选用的熔断器其熔丝规格是否正确。
- (12) 注油设备有无渗漏现象。
- (13) 机械闭锁应准确，柜内照明装置要齐全完好，以便于巡视检查设备运行状态。

#### 2. 固定式开关柜运行中的巡视

- (1) 每天要进行定时巡视检查。
- (2) 遇有恶劣天气或配电装置异常时，应进行特殊巡视。
- (3) 断路器跳闸后应立即检查柜内设备有无异常。
- (4) 观察母线和金具颜色变化或观察示温蜡片有无受热融化，以判断母线和各触点有无过热现象。
- (5) 检查注油设备有无渗油，油位及油色是否正常。
- (6) 仪表、信号及指示灯等的指示是否正确。
- (7) 接地装置的连接线有无松脱或断线现象。
- (8) 继电器及直流设备的运行是否正常。
- (9) 开关室内有无异常气味和声响。
- (10) 通风、照明及安全防火装置是否正常。
- (11) 断路器操作次数或跳闸次数是否达到了应检修的次数。
- (12) 防误装置和机械闭锁装置有无异常现象。

#### (二) 手车式高压开关柜

##### 1. 手车式开关柜投运前的检查

柜体部分的检查内容：

- (1) 柜上装置的元件、零部件均应完好无损。
- (2) 接地开关操作灵活，合、分位置正确无误。
- (3) 各连接部分应紧固，螺纹连接部分应无脱牙及松动。
- (4) 柜体可靠接地，门的开启与关闭应灵活。
- (5) 二次插头完好无损，插接可靠。
- (6) 柜顶主、支母线装配完好，母线之间的连接紧密可靠，接触良好。
- (7) 控制开关、按钮及信号继电器等型号规格与有关图纸相符，接线无松动脱落现象。

手车部分的检查内容：

- (1) 手车在柜外推动应灵活，无卡住现象。
- (2) 手车处于工作位置时，主回路触头及二次插头能可靠接触。
- (3) 手车在柜内能轻便地推入及推出，能可靠地定位于“工作位置”与“试验位置”。
- (4) 机械连锁装置可靠灵活，无卡滞现象。

##### 2. 手车式开关柜运行中的巡视

(1) 经常注意监听有无异常响声，查看室内的温度与湿度的变化情况。若过高或过大则要进行降温、降湿处理。

(2) 一般每隔一年要对柜内的绝缘隔板、活门、手车绝缘件、母线进行清扫处理，特种环境用户应据具体情况确定间隔期。

(3) 下雨天或梅雨季节更要加强对开关室的观察，及时排清电缆沟内积水，严防柜内

受潮引发事故。

(4) 一般情况下开关柜不会出现故障，如发现绝缘材料受潮，可用 100° 的无水酒精进行擦洗，并进行干燥处理。

### 3. 手车式开关柜的定期清扫检查

手车式高压开关柜运行一段时间后，应进行定期清扫与检查，清扫后的检查项目如下：

(1) 小车在柜外时，用手将二次触头来回推动，触头的移动应灵活。

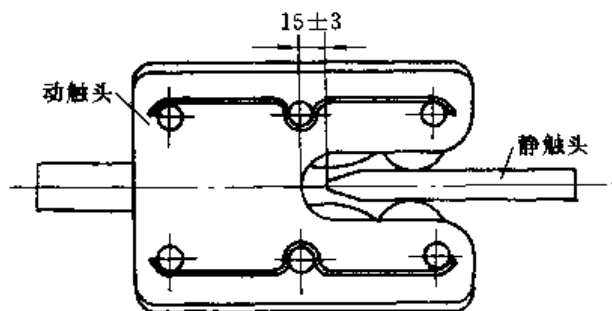


图 4-87 一次隔离触头示意图

(2) 将推进机构上的锁扣向前推动，解除闭锁，提起操作杆，即可把小车推入柜内并固定在工作位置。此时要求：① 锁扣装置应正确地扣住推进机构的操作杆；② 一次隔离触头的中心线应同水平和垂直中心线相重合，动、静触头的底面间隙应为  $15 \pm 3$  mm (见图 4-87)。同时应检查同类小车的互换性；③ 测量一次隔离触头的接触电阻应不大于  $100 \mu\Omega$ 。使用中若接触电阻与安装时

测定的数值相比大于 20% 时，应即进行检修。每当断路器短路跳闸后，也必须对隔离触头进行检查或检修；④ 用操作棒将断路器合闸，使推进机构的操作杆向上提起。应先使断路器跳闸，然后再移动小车。如达不到这个操作程序，则应对机构进行调整；⑤ 接地触头的表面应清洁，接触电阻不应大于  $1000 \mu\Omega$ 。

(3) 当断路器检修后需进行试验时，要先把小车推到工作位置固定，使二次隔离触头完全闭合，然后再从工作位置退到试验位置。当试验位置固定后，即可对断路器进行试验。

## 复 习 思 考 题

1. 高压电器通常分为哪几种？对它的基本要求是什么？
2. 高压电器中的基本灭弧方法是什么？高压开关设备的绝缘分哪两类？
3. 对电器触头有哪些要求？按其接触面与结构形式可分为哪几种？
4. 对高压断路器有哪些基本要求？为何少油断路器能获广泛应用，其特点是什么？
5. 真空断路器适用何种场合？其真空灭弧室是怎样工作的？
6.  $SF_6$  开关有哪些优点？为什么说采用非油断路器是发展的必然趋势？
7. 断路器的操动机构常有哪几种？试分别简述它们的动作过程。
8. 隔离开关和负荷开关的特点是什么？它们有何用途？对其基本要求有哪些？
9. 高压熔断器可起到哪些保护作用？试述母线和绝缘子的特点以及它们不同种类的适用场合？
10. 高压成套配电装置是如何组合而成的？它应满足哪些要求？试述高压成套装置的选用原则。
11. 常用的高压成套装置有哪几种？各有什么特点？分别应用于何种场合？
12. 试述高压开关柜的安装要求。高压开关柜在投运前应检查哪些方面？运行中巡视要注意些什么？

## 第五章 继电保护及二次回路

### 第一节 常用继电器和保护的选择

#### 一、继电保护的任務、要求及继电器的类别

变配电所（以下简称变电所）的电气设备运行中由于外力破坏、内部绝缘击穿或误操作等原因，均可能会造成电气设备的故障或异常。这些故障最多见的是短路，包括三相短路、两相短路、大电流接地系统的单相接地短路以及电气设备内部线圈的匝间短路等。电气设备短路故障所引起的后果主要有：

（1）短路故障时会产生很大的短路电流，引起强电弧或导电回路的严重过热，可能烧坏电气设备。

（2）短路时通过故障设备的短路电流会产生很大的电动力，使电气设备遭受机械力破坏。

（3）短路故障时电力系统电压会急剧下降，致使用户的正常生产用电遭到破坏，甚至造成设备停电停产。

（4）发生严重短路故障时，处理不当还会破坏电力系统的稳定运行，使并网发电厂解列，甚至造成整个系统瓦解，给国民经济带来巨大损失。

#### （一）继电保护的任務

继电保护的任務就是自动迅速地将故障设备从电力系统中切除出去，或及时针对各种不正常的运行状态发出信号。通知运行值班人员并由其迅速处理，把事故尽可能限制在最小的范围内。当正常供电的电源因故突然中断时，通过继电保护和自动装置还可以迅速投入备用电源，使重要设备能获得持续供电。

#### （二）对继电保护的要求

为了能正确无误而又迅速地切除故障，对继电保护有如下要求：

（1）选择性。系统发生故障时，继电保护装置应该有选择地切除故障部分，而非故障部分则应能继续运行，以使停电范围尽量缩小。选择性可通过正确地整定上、下级保护的動作时限和电气動作值的大小来达到配合。一般上、下级保护间的时限差取 $0.5\sim 0.7s$ ，即同一故障电流通过时，上一级保护的整定时间应比下一级保护整定时间长 $0.5\sim 0.7s$ ，故下一级开关比上一级开关先动作。

（2）快速性。快速切除故障可提高电力系统并列运行的稳定性，减少电压降低的时间。但快速性与选择性有时会发生矛盾，这就需要通过采取各种保护配合方式以处理好选择性和快速性之间的关系。

（3）灵敏性。它是指继电保护装置对其保护范围内故障的反映能力，即继电保护装置对被保护设备可能发生的故障和不正常运行方式应能灵敏地感受到并很灵敏地反映出来。上、下级保护之间的灵敏性必须配合，这也是保证选择性的条件之一。

（4）可靠性。为保证继电保护装置具有足够的可靠性，应力求其接线方式简单，继电

器性能可靠以及回路尽可能简化。同时还必须注意保证安装质量，并对继电保护装置加强维护，按时进行校验和维修。

### (三) 继电器的作用、分类和图形符号

继电器是组成继电保护装置的基本元件，当其输入达到或低于一定值时它便动作，并通过执行元件发出信号或动作于跳闸。继电器的种类很多，按其结构原理可分为电磁型、感应型、磁电型、整流型、极化型及晶体管等；按继电器反应（物理）量的性质可分为：电流、电压、功率方向、阻抗及周波继电器等；按其反应量的增大或减小又可分为过量继电器和低量继电器，如反应电流超过整定值而动作的继电器称过电流继电器，而反应电压低于整定值而动作的继电器则称为低电压继电器。

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
名称	继电器	继电器的触点和线圈引出线	电流继电器	电压继电器	时间继电器	中间继电器	信号继电器	差动继电器	气体继电器
旧符号									
新符号									

图 5-1 继电器的新旧图形符号

继电器的图形符号如图 5-1 所示，其中旧图形时常用一个方块，上面配以小半圆表示，方块里表示继电器的线圈或其他动作元件，半圆里则表示继电器的触点。新的国家标准（GB4728）对其图形作了新规定，取消了原有的小半圆，并据 GB7159—87 对继电器的文字符号又作出了相应的规定。

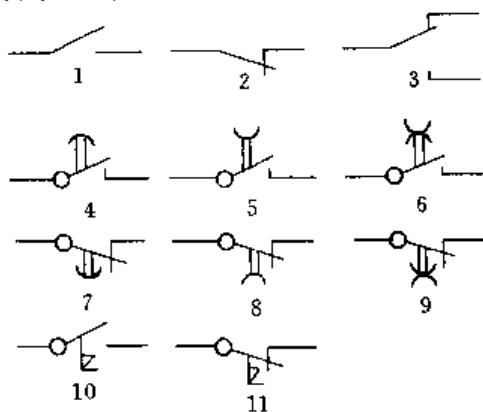


图 5-2 继电器触点的图形符号

1—动合触点（常开）；2—动断触点（常闭）；3—切换触点；4—延时闭合的动合触点（常开）；5—延时返回的动合触点（常开）；6—延时闭合和返回的动合触点（常开）；7—延时闭合的动断触点（常闭）；8—延时开启的动断触点（常闭）；9—延时闭合和开启的动断触点（常闭）；10—需人工复归的动合触点（常开）；11—需人工复归的动断触点（常闭）

继电器触点的符号表示法见图 5-2。图中不论常开触点或常闭触点，其可动触点的表示方法是当继电器动作时，可动触点（画成刀开关的形状）总是向下移动；而继电器返回起始位置时，可动触点向上移动。由此便可不难分析各种类型触点的动作情况。

常用继电器的旧型号含义见表 5-1。按新国标规定，继电器的文字符号均以“K”为第一个字母，而后面的字母为该种继电器用途的英文词汇的字头。如时间继电器用“KT”表示（“T”是 time 的字头）。目前阶段，在厂矿企业和设计制造单位对新、旧文字符号均暂时同时使用，日后逐步过渡并取消旧文字符号。

表 5-1 常用继电器型号

用途代号 原理代号	B	C	D	G	H	J	L	N	P	S	T	X	Y	Z
D 电磁型		DC 差流	DD 接地		DH 重合闸	DJ 电压	DL 电流			DS 时间	DT 同步 检查	DX 信号	DY 电压	DZ 中间
G 感应型		GCZ 差周率	GDZ 低周率	GG 功率 方向	GH 距离		GL 反时限 过电流		GP 平衡					GZ 阻抗
B 晶体管型			BDZ 低周率	BG 功率			BL 电流		BP 平衡	BS 时间	BT 同步 检查		BY 电压	
L 整流型		LCZ 差周率		LG 功率	LH 距离		LL 电流		LP 平衡					
H 极化型		HC 冲击		HG 干簧				HN 逆流					HY 极化	

注 F 表示附件，FB 指中间变流器，FY 指自耦变流器，FZ 表示电阻。

## 二、常用继电器的结构、原理和内部接线

### (一) 电磁型电流继电器

对于定时限过电流保护和电流速断保护来说，电磁型电流继电器用得较多。图 5-3 所示为 DL 型电磁式过电流继电器结构。当线圈 2 中通过电流时，铁芯 1 中产生磁通，对可动舌片 3 产生一个电磁吸引转动动力矩，欲使其顺时针转动。但弹簧 4 产生一个反抗力矩，使其保持原状。当线圈中电流增大，达到整定值时，电磁转动动力矩足以克服弹簧的反作用力矩。于是可动舌片顺时针旋转。这时，与可动舌片位于同一转轴上的可动触点桥也跟着顺时针旋转，与静触点 6 接通，继电器动作；当电流减小时，电磁转动动力矩减小，在弹簧反作用力矩的作用下，可动舌片逆时针往回旋转，于是动触点桥与静触点分离。继电器从动作状态返回到不动作的原来状态。

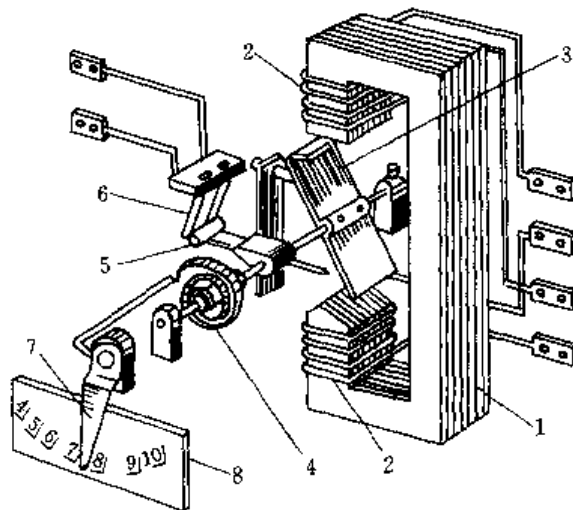


图 5-3 DL 型电磁式过电流继电器结构  
1—铁芯；2—线圈；3—可动舌片；4—弹簧；5—可动触点桥；6—静触点；7—调整把手；8—刻度盘

能使过电流继电器开始动作的最小电流称为过电流继电器的动作电流 ( $I_{DZ}$ )；在继电器动作后电流均匀减小时，使继电器可动触点开始返回原位的最大电流称过电流继电器的返回电流 ( $I_{FH}$ )。

返回电流除以动作电流，便可得返回系数，即

$$K_{FH} = I_{FH} / I_{DZ}$$

过电流继电器的动作电流总是大于返回电流，因此返回系数总小于 1，要求它在 0.85~0.9 之间。若低于 0.85 则认为不合格；超过 0.9 应注意可动触点和固定触点闭合时接触压力是否足够，若压力不够则必须进行调整。电磁型过电流继电器的内部接线如图 5-4 所示。其内电流线圈分成两部分，利用连接片可将线圈接成串联或并联。当由串联改成并联时，动作电流便增大 1 倍。

DL-10 型过电流继电器常开触点的动作时间，在 1.2 倍动作电流的情况下不大于

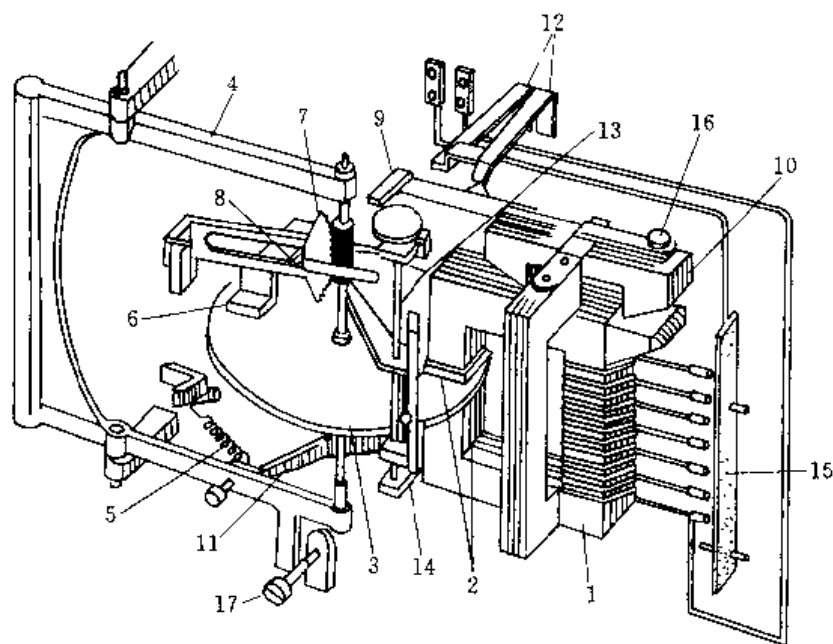


图 5-5 GL 电流继电器结构

- 1- 主铁芯；2- 短路环；3- 铝质圆盘；4- 框架；5- 拉力弹簧；6- 永久磁铁；7- 蜗母轮杆；8- 扇形齿轮；9- 挑杆；10- 可动衔铁；11- 感应铁片；12 触点；13 时间整定旋钮；14 时间指针；15 电流整定端子；16- 速断整定旋钮；17 可动方框限制螺丝

触点等都是感应部分和电磁部分共有的。可动衔铁左侧装有衔铁杠杆，因此左端的重量比右端大，故其左侧下垂，右侧张开。若线圈中流过的电流足够大，达到速断部分的起动电流，则电磁吸力将使可动衔铁沿顺时针方向吸合，使触点动作。可动衔铁右侧端部装有一个短路环，其作用一方面是促使可动衔铁向右侧作顺时针方向吸合，且可消除交流电磁吸力因电流周期性过零时所引起的振动现象。电磁速断部分起动电流的调整，可通过调节速断整定旋钮来改变可动衔铁右侧端部对主铁芯之间的空气间隙大小来实现。电磁速断部分的动作电流一般整定在感应元件动作电流的 2~8 倍之间。

(2) 感应元件部分。这部分除了和电磁速断部分共有电流线圈、铁芯、衔铁杠杆和触点外，还具有铝质圆盘、制动永久磁铁、可动方框、扇形齿轮、蜗母轮杆、时间调节杆以及拉力弹簧和调节返回系数的钢片等。感应元件的动作原理是：当电流线圈中流有电流时，铁芯中就有磁通产生。该磁通穿过圆盘时分成两个磁束，其中一束  $\dot{\Phi}_1$  经过短路环，另一束  $\dot{\Phi}_2$  不经过短路环（见图 5-6）。磁通  $\dot{\Phi}_1$  在短路环中产生感应电动势  $E_1$ 。它在短路环中产生循环电流  $\dot{I}_1$ ，由  $\dot{I}_1$  再产生附加磁通  $\dot{\Phi}'_1$ 。因此，穿过短路环的磁通实际上为  $\dot{\Phi}'_1$ ，即  $\dot{\Phi}'_1 = \dot{\Phi}_1 + \dot{\Phi}_1$ 。由相量图可见， $\dot{\Phi}'_1$  比  $\dot{\Phi}_2$  落后一个相位角  $\alpha$ 。

圆盘的电磁转动转矩为  $M_D = K' \dot{\Phi}'_1 \dot{\Phi}_2 \sin \alpha = KI^2$ 。其转动方向始终是从超前磁通向落后磁通的方向，即从没有短路环的磁极向着有短路环的部分旋转。若没有短路环，则  $M_D$  式中的  $\alpha = 0^\circ$ ，因此转矩  $M_D$  等于零，圆盘便不会旋转。

圆盘旋转时会切割制动永久磁铁的磁力线，产生阻尼力矩  $M_B$ 。当  $M_D > M_B$  时，圆盘作加速运动。由于转矩  $M_D$  与电流  $I$  平方成正比，电流越大就转得越快，阻尼力矩  $M_B$  也越大。

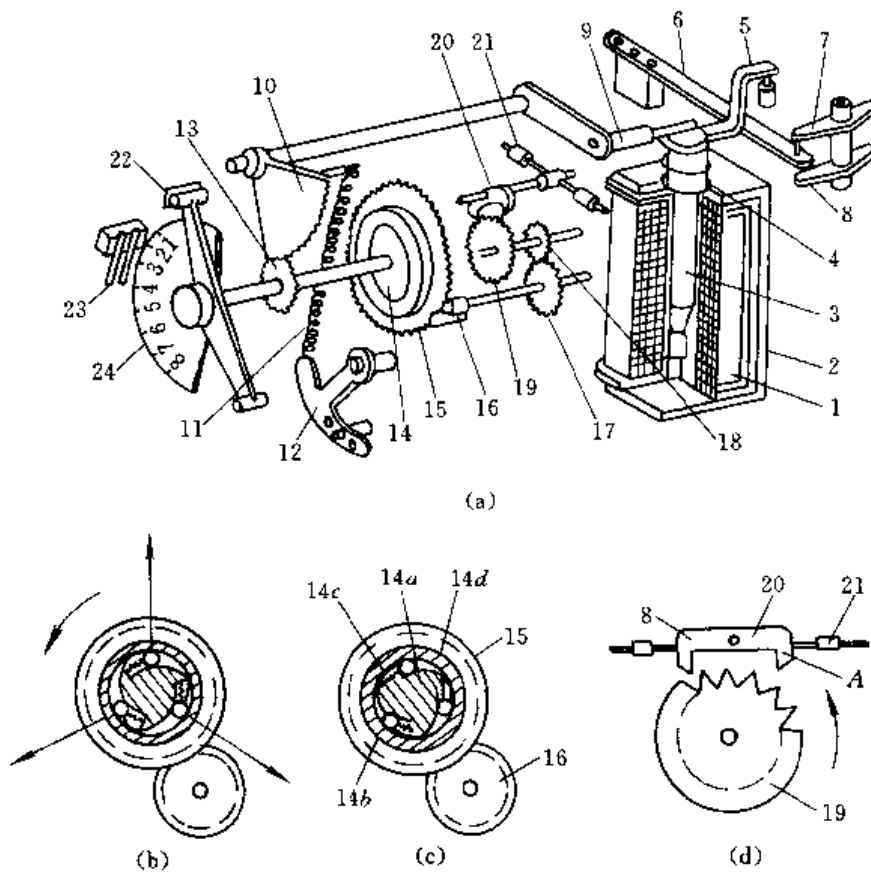


图 5-7 DS-100 型时间继电器的结构图  
(a) 继电器的结构图；(b)、(c) 继电器在工作情况和返回情况下的摩擦分离器；(d) 摆轮和摆卡

1-线圈；2-电磁铁；3-衔铁；4-返回弹簧；5-轧头；6-可动瞬时触点；7、8-静瞬时触点；9-曲柄；10-扇形齿轮；11-主弹簧；12-改变弹簧拉力的卡板；13-齿轮；14-摩擦离合器(14a 星形轮；14b 滚珠；14c 弹簧；14d 套圈)；15-主齿轮；16-钟表机构的齿轮；17、18-中间齿轮；19-摆轮；20-摆卡；21-平衡锤；22-动触点；23-静触点；24-刻度盘

轴脱开，这时钟表机构不参加工作，所以触点轴的行程是无阻的。

继电器时限触点的闭合时间  $t_1$  决定于动触点轴所转动的行程角  $\alpha$  和角速度  $\omega_1$ 。如果钟表机构保证角速度  $\omega_1$  为常数。则  $t_1 = \frac{\alpha}{\omega_1}$ 。继电器动作时限的整定可用改变动触点与静触点间角度的方法来实现。换句话说，就是将固定触点沿着刻度盘移动来改变整定值。

时间继电器的线圈一般不按长期通过电流来设计。因此，当需要长期（大于 30s）加入电压时，应当在线圈回路中串联一个附加电阻。如 DS-110C 型时间继电器内有附加电阻，在正常情况下被继电器的瞬动常闭触点所短接，继电器动作后该触点立即断开，将电阻加入线圈回路以限制电流，提高继电器的热稳定。

DS-100 系列继电器的内部接线见图 5-8。

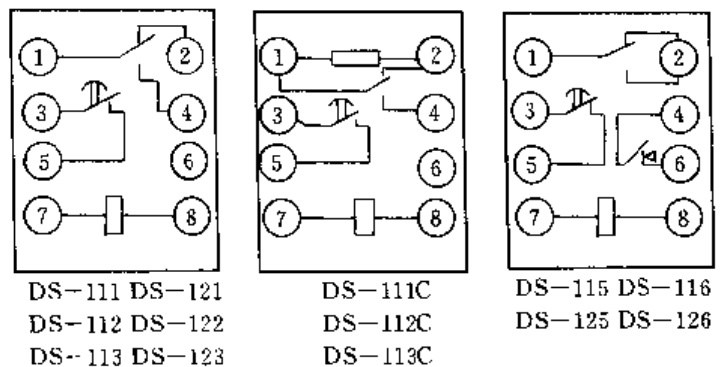


图 5-8 DS 100 系列时间继电器的内部接线



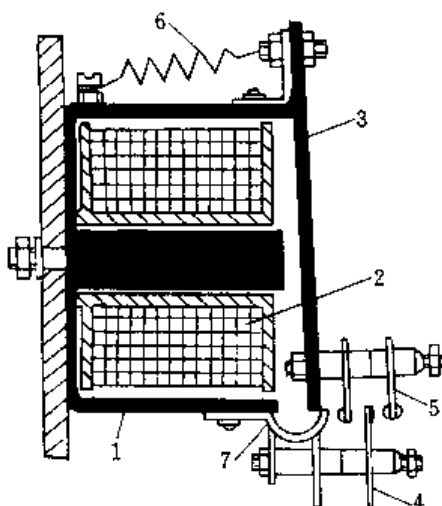


图 5-9 DZ—10 型中间继电器结构图  
1—电磁铁；2—线圈；3—衔铁；4—静触点；5—动触点；6—反作用弹簧；7—衔铁行程限制器

### （五）电磁型中间继电器

中间继电器在继电保护装置中用来增加触点数量和触点容量，也可使触点闭合或断开时带有不大的延时（0.4~0.8s），或者通过继电器的自保持以适应保护装置的需要。电磁型 DZ—10 中间继电器的结构见图 5-9。

当线圈 2 加上工作电压后，电磁铁 1 就产生电磁力，将衔铁 3 吸合而带动触点 5，使其中的常开触点闭合，常闭触点断开。当外施电压消失后，衔铁 3 受反作用弹簧 6 的拉力而返回原来位置。

中间继电器触点的延时闭合或断开，是通过在继电器电磁铁的铁芯上套有若干片铜质短路环而获得的。铜质短路环就相当于阻尼线圈，当断开或加上继电器线圈的工作电压时，在铜质短路环中产生短路电流，此短路电流将阻止继电器电磁铁中磁通的变化，从而使继电器动作或返回都带有延时。

具有自保持线圈的中间继电器有多种，如电压起动、电流保持的中间继电器，一般除了有一个工作的电压线圈外，还有 1~2 个电流自保持线圈。只要中间继电器动作后电流自保持线圈中存在直流电流，中间继电器将一直自保持着。

中间继电器不仅应该在额定电压时能够可靠动作，且在直流电源电压比额定值稍低的情况下也能可靠动作。其动作电压约为额定电压的 70%。瞬时动作的中间继电器在额定电压下常开触点闭合时间约为 0.05~0.06s，返回时间约为 0.01~0.02s。中间继电器的返回系数较低（约为 0.4），但不会影响它的工作可靠性。因为中间继电器返回时，它的线圈上的工作电压都是突然消失到零的。

现介绍几种常用的电磁型中间继电器，图 5-10 为 DZ—10、DZS—100 和 DZB—100 三种系列电磁型中间继电器的内部接线图。

（1）DZ—10 系列中间继电器具有四对触点，其动作时间不大于 0.05s，功率消耗不大于 7W，触点的开断容量可达 110V5A。DZ—15 型中间继电器具有两对常开和两对常闭触点，DZ—16 型具有三对常开和一对常闭触点，而 DZ—17 则具有四对常开触点，如图 5-10（a）所示。

（2）DZS—100 系列中间继电器的触点在动作时，具有不小于 0.06s 的延时，DZS—115、DZS—117 型为延时动作继电器；DZS—127、DZS—136 型为延时电压动作和电流保持动作的继电器（两个绕组）；DZS—145 为延时返回继电器。这些继电器的内部接线如图 5-10（b）所示。

（3）DZB—100 系列的中间继电器有多个动作线圈，如图 5-10（c）所示。如 DZB—115 型有一个电流工作线圈和一个电压保持线圈；DZB—127、DZB—138 型各有一个电压工作线圈、两个电流保持线圈，而 DZB—138 尚有一个阻尼线圈（端子⑦—⑧）。DZB—100 系列继电器的动作时间不大于 0.05s。

### （六）电磁型信号继电器

在继电保护装置中，信号继电器用来发出整套保护装置或者保护装置中某一回路的动

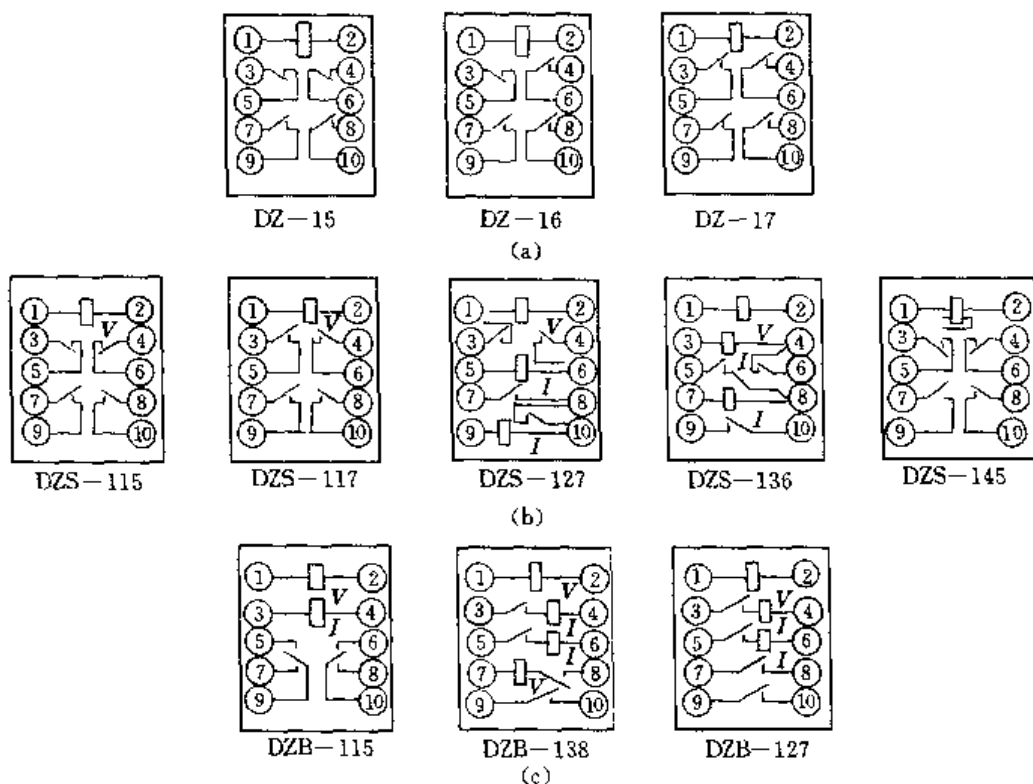


图 5-10 DZ-10、DZS-100、DZB-100 系列中间继电器的内部接线  
(a) DZ-10 系列; (b) DZS-100 系列; (c) DZB-100 系列

作信号。根据信号继电器所发出的信号，值班人员就能够很方便地分析事故和统计保护装置正确动作的次数。DX-11 型信号继电器就是其中之一。

DX-11 型信号继电器的结构如图 5-11 所示。在正常情况下，继电器线圈中没有电流通过，衔铁 3 被弹簧 6 拉住，用手转动复归旋钮 8，使信号牌 9 转至垂直位置，这时衔铁支持着信号牌，并且使它保持在这个位置。

当信号继电器线圈中流过电流时，衔铁 3 在电磁力的作用下开始吸合、释放信号牌，信号牌由于本身的重量而下落且停留在水平位置。与此同时，动触点 4 与静触点 5 闭合。这样，通过继电器外壳的玻璃小窗 7 就可以看到通常涂上红色或白色漆的信号牌。落下的信号牌和已动作的触点，可用复归按钮 8 手动返回。

为了便于值班人员查明继电器发出的信号性质和种类，或者判断出导致断路器跳闸的原因，要求信号指示不能随电气量的消失而消失，应有机械的或电气的自保持。因此，信号继电器应制成手动复归式的。

信号继电器通常可以分成串联信号继电器（电流信号继电器）和并联信号继电器（电

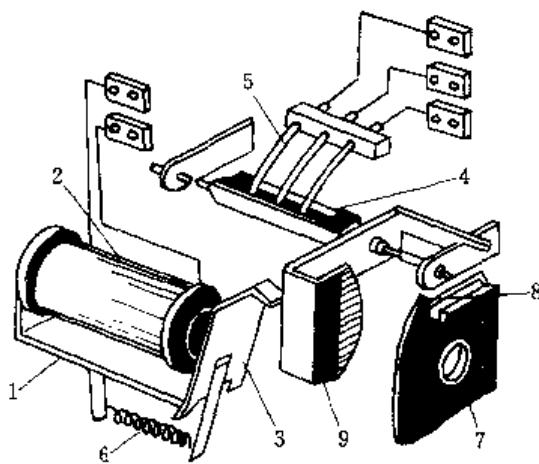


图 5-11 DX-11 型信号继电器的结构  
1—电磁铁; 2—线圈; 3—衔铁; 4—动触点; 5—静触点; 6—弹簧; 7—看信号牌小窗; 8—手动复归旋钮; 9—信号牌

压信号继电器)。

### 三、瓦斯、差动及自动重合闸继电器

#### (一) 瓦斯继电器

瓦斯继电器主要用在油浸变压器的保护装置中，当油箱内发生故障时（如相间、层间或匝间短路），伴随有电弧产生，使绝缘油分解产生气体。此外变压器内部某些部件严重过热，也会使绝缘材料分解并产生挥发性气体。因气体比油轻，就会上升到变压器的最高部位油枕内。在严重故障时，大量气体会产生很大的压力，使油迅速向油枕流动。因此，变压器油箱内气体的产生和油向油枕方向的流动都可以作为变压器内部故障的特征。利用这些特征构成的变压器保护称瓦斯保护，它和差动保护一样都是作为变压器本体的主保护，两者在一定程度上可互为备用。在瓦斯保护中反应这些特征的基本元件就是瓦斯继电器。

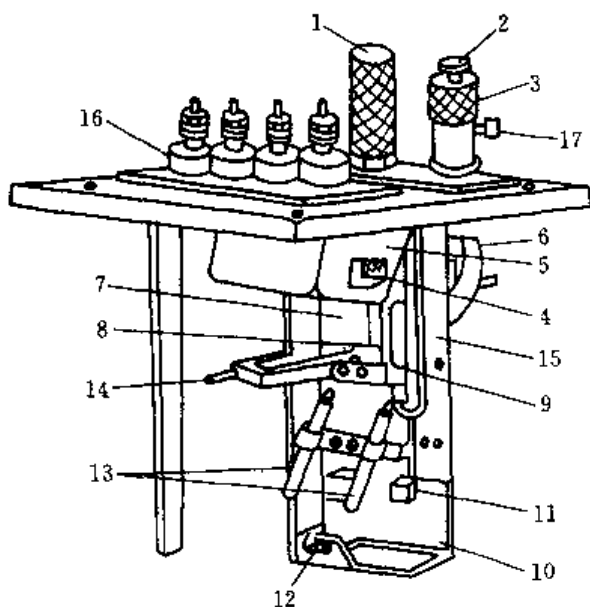


图 5-12 QJ<sub>1</sub>-80 型瓦斯继电器内部结构图

1—罩；2 顶针；3—气塞；4—磁铁；5—开口杯；6—重锤；7—探针；8—开口销；9—弹簧；10—挡板；11—磁铁；12—螺杆；13—干簧触点(重瓦斯用)；14—调节杆；15—干簧触点(轻瓦斯用)；16—套管；17—排气口

最早的瓦斯继电器的典型结构是上、下均为金属浮筒和水银触点的结构（如 GR-3 型、FJ-22 型浮筒式瓦斯继电器）。在使用中发现金属浮筒有漏油问题，影响动作的可靠性；另一方面水银触点的质量也不好，运行中经常发生问题。因此现多采用 QJ<sub>1</sub>-80 型复合式瓦斯继电器（见图 5-12），其上浮筒改为开口油杯，开口油杯的制作工艺比封闭式浮筒简单，因而质量提高，漏油的缺点基本上克服。下浮筒改为挡板，在变压器故障时冲涌的油流作用于挡板的动作较浮筒可靠，所以提高了动作的可靠性。水银触点改用磁力干簧式触点，提高了触点的抗振性（但使用时应注意：干簧触点容量较小，触点负载不应过大；干簧触点易受外界磁场的影响；永久磁铁所处温度不应过高、以免退磁等）。接跳闸的触点用双干簧触点串联，更提高触点的抗干扰性。

这种瓦斯继电器的动作原理是：正常运行时开口油杯浸在油内，由开口油杯侧所产生的力矩，即开口油杯 5 的外壳（不包括油杯内的油重）和附件在油内的重量所产生的力矩，比平衡重锤 6 所产生的力矩小，因而开口油杯处于向上倾斜位置，磁力干簧触点 15 均断开。

变压器内部发生轻微故障时，产生的气体聚集在继电器的上部，而迫使继电器内油面下降或因漏油而油面下降，则开口油杯侧（即开口油杯及附件在空气中的重量加上油杯内油重）所产生的力矩，超过平衡重锤所产生的力矩。上开口油杯下降并带动永久磁铁 4 使干簧触点 15 闭合，发出信号，此信号称轻瓦斯信号。改变开口杯一侧平衡锤的位置，可在 250~300cm<sup>3</sup> 的范围内调节信号触点动作的气体体积。当变压器内部发生严重故障时，油流冲动挡板 10，当挡板运动到某一限定位置时永久磁铁 11 使一对干簧触点 13 闭合，接通跳闸回路。此即为重瓦斯保护。调整挡板位置即改变弹簧 9 长度，可在 0.6~1.5m/s 范围内调整跳闸触点动作的油速，一般出厂时调节在 1.2m/s。

瓦斯继电器顶盖上有 4 个接线端子 16，编号 1、2 为轻瓦斯信号引出端子，3、4 为重瓦斯保护引出端子。顶部还装有排气口 17 和探针 7。

### (二) BCH—2 型差动继电器

变压器差动保护能对变压器内部故障和一、二次引出线上的短路故障起到保护作用。由于差动保护反映故障灵敏、动作迅速、没有死区，而且不受上下级保护配合的限制，因此对于重要的发电机和变压器，广泛采用差动保护作为主要保护。构成差动保护的主要元件是差动继电器。目前用得最多的是 BCH—2 或 DCD—2 型差动继电器。

BCH—2 型、DCD—2 型差动继电器躲避电力变压器励磁涌流的性能比 BCH—1 型、DCD—5 型及 BCH—4 型、DCD—4 型差动继电器为好，也能提高保护装置躲避外部短路时暂态不平衡电流的性能，可作为双绕组和三绕组电力变压器、发电机以及母线的差动保护。

BCH—2 型差动继电器的结构原理和内部接线如图 5-13 所示。整个继电器由执行元件 (DL—11/0.2 型电流继电器) 和速饱和变流器两部分构成。继电器具有一对常开触点，所有部件都组装在一个壳子里。速饱和变流器由三柱型硅钢片交错叠成，中间柱的截面比两边柱的截面大一倍。

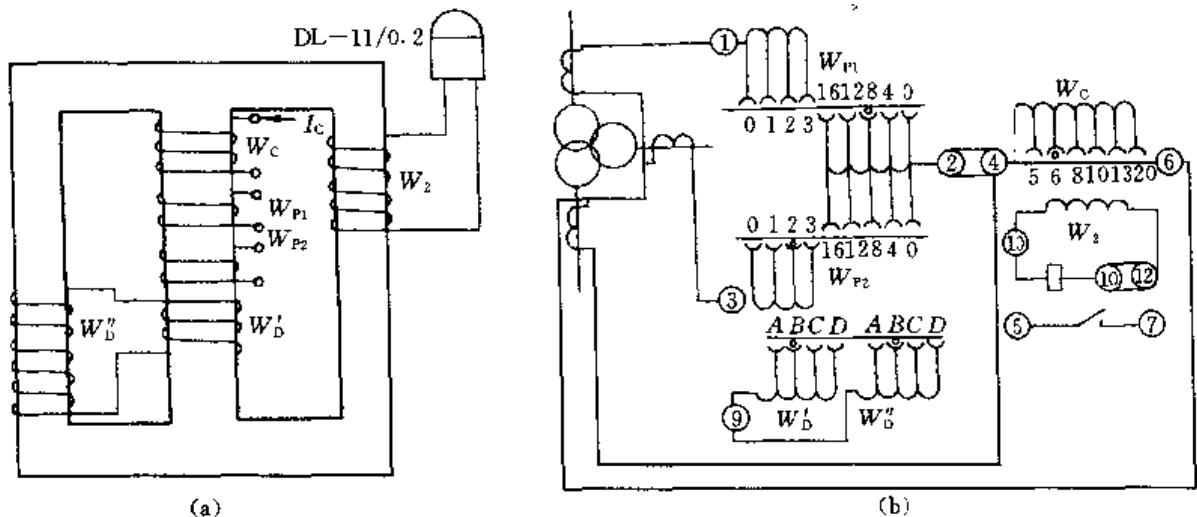


图 5-13 BCH—2 型差动继电器结构原理和内部接线  
(a) 结构原理图；(b) 内部接线图

差动绕组  $W_c$  和两个平衡绕组  $W_{p1}$ 、 $W_{p2}$  以相同的绕向绕在中间柱上。差动绕组的作用是：在正常运行及外部故障情况下，通过差动绕组的仅是不平衡电流，其影响可被平衡绕组消除到最小程度。当保护区内部故障时，由于短路电流通过差动绕组，继电器即迅速动作切除故障。

两个平衡绕组的作用是：由于变压器各侧电流互感器变比不能完全配合，在变压器正常运行时， $W_c$  中有不平衡电流流过。当把平衡绕组接入后，如果平衡绕组的匝数选得适当，就能完全或几乎完全使不平衡电流得到补偿，使得变压器在正常运行时，二次绕组  $W_2$  内没有或几乎没有不平衡电流感应的电势，从而提高了保护装置的可靠性。在保护区内部发生故障时，流过平衡绕组内的电流所产生的磁通与差动绕组内电流所产生的磁通方向一致，于是就增加了使继电器动作的安匝数，从而提高了保护装置的灵敏度。此即  $W_c$ 、 $W_{p1}$ 、 $W_{p2}$  三个绕组绕向需要一致的原因。

短路绕组分为  $W'_D$  和  $W''_D$  两部分,  $W'_D$  的匝数为  $W''_D$  匝数的两倍。  $W'_D$  绕在中间柱上,  $W''_D$  绕在左边柱上, 在中间柱和左边柱所构成的闭合磁路内,  $W'_D$  与  $W''_D$  的绕向相同。二次绕组  $W_2$  绕在右边柱上, 并接入执行元件。除  $W_2$  外其他绕组都有抽头可供整定之用。当差动绕组中有周期分量电流  $I_C$  流过时, 产生的磁通  $\Phi_C$  沿中间柱和两边柱形成闭合回路, 并在短路绕组  $W'_D$  中产生感应电势  $\dot{U}_D$  和感应电流  $\dot{I}_D$ ,  $\dot{I}_D$  在  $W'_D$  和  $W''_D$  内流通。磁势  $\dot{I}_D W'_D$  产生的磁通  $\Phi'_D$  对  $\Phi_C$  起去磁作用, 力图减少中间柱及由中间柱通向右侧边柱二次绕组的磁通。而  $\dot{I}_D W''_D$  在左侧边柱产生通向右侧边柱二次绕组的助增磁通。因此, 电流  $I_C$  向  $W_2$  的传变是通过两条路径实现的: 一方面从  $W_C$  直接传变到  $W_2$  中; 另一方面由  $W_C$  先传变到  $W'_D$ , 再由  $W''_D$  传变到  $W_2$  中。后一种传变称为二次传变。

饱和变流器两边柱的截面为中间柱的一半。如  $W'_D$  的匝数保持为  $W''_D$  的两倍, 则可认为在铁芯未饱和的情况下由于短路绕组的作用, 使中间柱通向右侧边柱的磁通减少的同时, 左侧边柱通向右侧边柱的二次传变磁通产生助增作用, 二者作用互相抵消, 则基本上不影响正弦电流向二次绕组的传变, 故继电器的动作电流在短路绕组的“ $A-A$ ”、“ $B-B$ ”、“ $C-C$ ”、“ $D-D$ ”四个整定位置下基本不变。

当差动绕组中流过含有非周期分量的励磁涌流或不平衡电流时, 非周期分量电流实际上不传变到短路绕组和二次绕组中去, 而是作为励磁电流使铁芯迅速饱和。因此, 在差动绕组中流过同样的周期分量电流时, 由中间柱进入二次绕组的磁通减少了, 二次传变到二次绕组的磁通减少得更为显著。因此在具有非周期分量电流时, 继电器的动作电流就大为增加, 从而提高了躲避励磁涌流和外部短路时暂态不平衡电流的性能。

一般情况下,  $W'_D$  和  $W''_D$  应采用相同标号的插孔, 这样继电器的动作安匝基本上保持不变, 都在  $60 \pm 4$  安匝范围内。在这种情况下, 短路绕组的匝数越多, 意味着进入二次绕组的总磁通中二次传变的部分增加, 因此直流助磁作用愈强, 躲避励磁涌流的性能也越好。但在被保护设备内部故障时, 继电器动作时间的延时也越长(非周期分量衰减后保护才能动作)。因此, 当用 BCH-2 型继电器作为变压器差动保护时, 短路绕组匝数取多些, 而作为发电机和母线差动保护时, 短路绕组宜取少些。

DCH-2 型差动继电器与 BCH-2 型差动继电器的原理相同, 仅执行元件用的是 DL-1 型电流继电器。且为了在不大的范围内调整继电器的起动作安匝, 在饱和变流器的二次绕组上并联了一只  $47\Omega$  的电位器, 该电位器在出厂时已调好, 一般情况下不再作调整。

### (三) 自动重合闸继电器

架空线路上发生的故障有相当一部分属瞬时性质, 线路跳闸后若能立即重合, 就能即时恢复正常供电。采用自动重合闸装置, 就可以实现线路跳闸后的自动重合。此外在复杂网络中, 较难得到既有选择性又有快速性的接线简单的保护方式。这时, 为了迅速从系统中切除故障设备, 可以采取无选择性的快速动作, 然后用自动重合闸来补救。据统计, 线路跳闸后的自动重合闸动作成功率约可在 70% 左右。

自动重合闸继电器是构成自动重合闸装置的主要元件。DH-1、DH-2A、DCH-1 和 DH-3 型重合闸继电器在输配电系统中较为常见, 如图 5-14 所示, 现将图中各元件的作用和装置的动作原理简介如下。

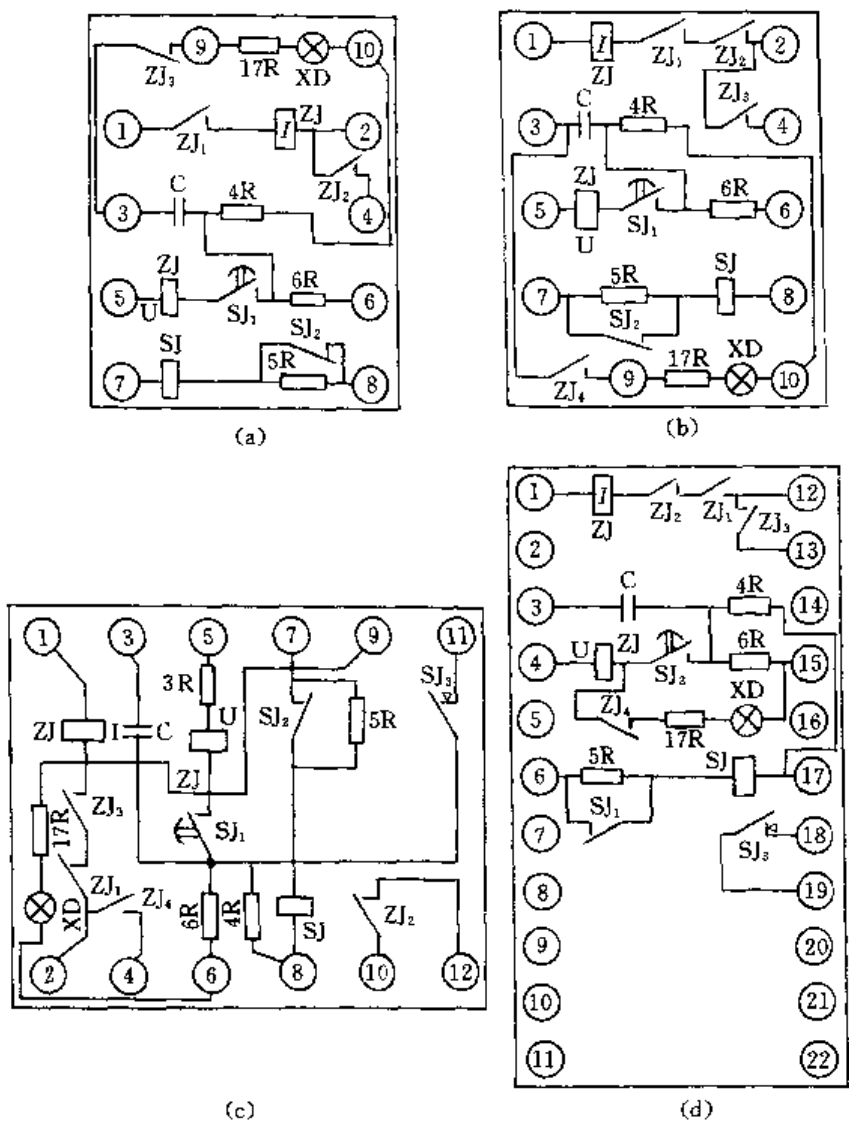


图 5-14 重合闸继电器的内部接线

(a) DH-1 型; (b) DH-2A 型; (c) DCH-1 型; (d) DH-3 型

1. 元件及其作用

(1) 时间元件。DH-1 型和 DH-2A 型继电器内采用 DS-112C 型时间继电器作为时间元件，DCH-1 型继电器内采用 DS-32C/2 型时间继电器作为时间元件，DH-3 型用以代替 DH-2A 型继电器，其时间元件采用 DS-22 型时间继电器。时间元件用来整定重合闸装置的动作时间。

(2) 中间元件 ZJ。DH 型继电器内采用电码继电器，DCH-1 型继电器内采用 DZK-226 型快速中间继电器作为中间元件。它是装置的出口元件，用于发出接通断路器合闸回路的脉冲。继电器有两个线圈，电压线圈靠电容器放电时起动，电流线圈与断路器合闸回路串联，起自保持作用，直到断路器合闸完毕，继电器才失磁复归。

(3) 其他元件。电容器 (C) 用于保证重合闸装置只动作一次；充电电阻 (4R) 用于限制电容器 C 的充电速度，防止一次重合闸不成功时而发生多次重合；放电电阻 (6R) 为在不需重合闸时（如用手断开断路器），电容器可通过 6R 来放电。电阻 (5R) 用于保证

时间元件 SJ 的热稳定；信号灯 (XD) 用于监视中间元件 ZJ 和控制开关的触点是否良好，若信号灯熄灭即表示直流电源中断；电阻 (17R) 用于限制信号灯 XD 上的电压。

DCH—1 型继电器内与 ZJ 电压线圈串联的附加电阻 3R (电位器)，则是用来调整充电时间的。

## 2. 动作原理

由于重合闸装置的使用类型不一样，故其动作原理亦各有不同。如馈线普通重合闸和两侧电源重合闸，在两侧电源重合闸中又可分同步检定、检查线路或母线电压的重合闸 (称无电压检定重合闸) 等。现以常用的 DH 型重合闸装置如图 5-15 为例加以说明。

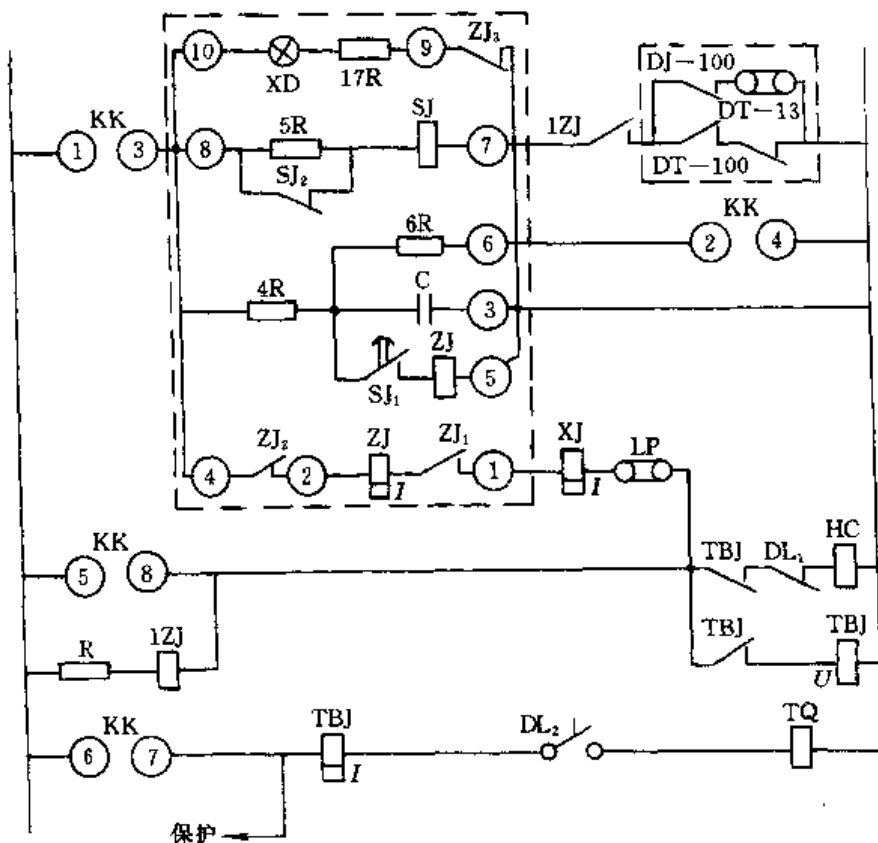


图 5-15 DH 型重合闸装置接线回路图

图中断路器表示在合闸状态。控制开关 KK 的①、③接通，而②、④断开，电容器 C 充电，重合闸装置投入运行。当断路器自动跳闸时，断路器辅助触点  $DL_1$  闭合，1ZJ 经合闸接触器线圈 HC 励磁而动作，但此时断路器不会合闸，因 1ZJ 动作电流远远小于 HC 动作电流。当 1ZJ 动作后，重合闸继电器起动，时间元件 SJ 动作，其瞬动常闭触点断开，5R 加入；延时触点经一定时间后闭合，电容器 C 经此触点向中间元件 ZJ 电压线圈放电。中间元件 ZJ 动作，其常开触点闭合后经过本身电流线圈自保持，同时直流电通入合闸接触器线圈 HC 使断路器合闸。断路器合上后， $DL_1$  辅助触点断开，ZJ 和 1ZJ 继电器复归，重合闸继电器也复归，电容器 C 再次经电阻 4R 充电，准备下次动作。

如果重合于永久性故障时，由于电容器 C 来不及充电到 ZJ 的动作电压，故 ZJ 不能动作，从而保证只进行一次重合闸。用控制开关 KK 手动跳闸时，由于 KK 的②、④触点接通，电容 C 经 6R 放电，故断路器不能重合 (在用 KK 手动合闸于永久性故障时，由于电容器 C 充电时间

短,不会发生再次重合闸现象)。当用控制开关 KK 投入断路器或中间元件 ZJ 动作合闸时,其触点因某种原因未复归,此时线路短路故障还未消除时,继电器 TBJ 的电流线圈通过电流而动作,并由电压线圈自保持将合闸回路断开,使继电器不致发生多次重合。

两侧电源重合闸装置的接线回路是在重合闸起动回路即 1ZJ 继电器的触点回路中串入 DT-13 型同步检查继电器的触点,用以控制线路电压与母线电压的相角差不超过允许范围。当采用无电压检定重合闸时应串入 DJ-100 电压继电器的触点,检查线路无电压后,便能将线路重合(见图 5-15 虚线框内)。当采用检查同期的重合闸方式时,应将低电压继电器的常开触点和同步检查继电器的常闭触点同时接入。

DH 型重合闸装置的技术条件如下:

(1) 额定电压下当环境温度为 20℃,相对湿度不大于 70%时,电容器充电到使中间元件动作的电压值所必须的时间为 15~25s。

(2) 在 70%额定电压下继电器应能可靠地工作,但此时电容器充电时间需增加到 60~120s。

(3) 其电压回路能长期耐受 110%的额定电压(时间继电器串入附加电阻后)。

(4) DH 型继电器内时间元件的动作时间调整范围为 0.25~3.5s, DH-3 型为 1.2~5s, DCH-1 型为 0.5~5s。

(5) 当中间元件的电压线圈上无电压而电流线圈中的电流为额定电流时,手动衔铁于动作位置后能自保持。

(6) 中间元件的电流线圈中允许通过 3 倍的额定电流,且历时可达 60s。

(7) 中间元件的触点 ZJ<sub>1</sub>、ZJ<sub>2</sub> 串联后,在额定电压下应保证能接通 8A 电流历时 5s,触点不应有熔化和焊接的痕迹。

(8) 继电器导电部分对外壳的绝缘应耐受交流 50Hz、2000V 电压历时 60s 的耐压试验。

(9) 信号灯的额定电压为 24V。

(四) 继电保护装置的灵敏度

继电保护装置的灵敏度通常以其灵敏系数  $K_{LM}$  来衡量。

(1) 对于反应故障时参数量增加的保护装置,其灵敏系数为

$$\text{灵敏系数} = \frac{\text{保护区末端金属性短路时故障参数的最小计算值}}{\text{保护装置动作参数的整定值}}$$

如过流保护的灵敏系数为

$$K_{LM} = \frac{I_{D \cdot ZK}}{I_{DZ \cdot J}}$$

式中  $I_{D \cdot ZK}$ ——保护区末端金属性短路时的最小短路电流二次值, A;

$I_{DZ \cdot J}$ ——保护装置的二次动作电流, A。

(2) 对于反应故障时参数量降低的保护装置,其灵敏系数为

$$\text{灵敏系数} = \frac{\text{保护装置动作参数的整定值}}{\text{保护区末端金属性短路时故障参数的最大计算值}}$$

如低电压保护的灵敏系数为

$$K_{LM} = \frac{U_{DZ \cdot J}}{U_{D \cdot ZD}}$$



最大短路电流，因此在被保护设备的末端有一段保护不到的死区。这时就必须依靠过电流保护作为后备。

### 3. 限时电流速断保护

由于瞬时电流速断保护动作迅速、但不能保护线路的全长，而过电流保护能保护线路的全长，但动作却不迅速。特别是当被保护线路本来就不长，如果再去掉一段死区，速断保护所能保护的範圍就很小，这就失去了其价值。如果这时过流保护的时间又较长，则为了实现快速切除故障，可采用带时限的电流速断保护，即限时电流速断保护。

带时限电流速断保护的動作时限比下一段线路瞬时動作的速断保护大一个时间阶差，因此一般取 0.5s。其動作电流应大于下一段线路瞬时速断保护的動作电流。

### 4. 低电压保护

反映电压降低而动作的继电保护称低电压保护。在中小型变配电所和车间变配电所中常使用失压跳闸装置，也称无压释放装置或简称“失压线圈”，它也属低电压保护。低电压保护常用于以下四种场合：

(1) 因事故等原因，当电源电压突然剧烈降低或瞬间消失时，为了保证重要负荷的电动机的自起动，对不重要的电动机装设低电压保护动作于跳闸；

(2) 对不准自起动的电动机以及由于生产工艺条件和技术保安要求，不允许失去电源后再自起动的电动机，应装设低电压保护动作于跳闸；

(3) 10kV 配电线路由于事故等原因瞬间跳闸后，为了减少自动重合闸动作合闸时线路上变压器的激磁涌流，以防止激磁涌流过大引起线路继电保护第二次跳闸而使重合闸动作失败，对一般用电负荷装设低电压保护，在线路失压后动作于跳闸；

(4) 在工厂自备发电机与电力系统并网运行的解列点开关上，一般也应装设低电压解列保护。当系统或并列线路有故障时，应先将发电机解列。

### 5. 其他保护

10kV 变配电所采用的继电保护除了上面介绍的几种外，还有瓦斯保护，有的双电源变电所还采用备用电源自动投入装置等。

#### (二) 35kV 及以上变电所的继电保护装置

35kV 及以上变电所的继电保护，常用的有过电流保护、电流速断保护、变压器瓦斯保护、差动保护、方向性电流保护和方向性电流闭锁低电压速断保护，以及自动重合闸装置和备用电源自动投入装置等。

#### (三) 变电所电气设备继电保护方式的选择

变电所电气设备如主变压器厂区架空线路及补偿电容器等，它们常用继电保护方式的选择见表 5-2。为使带时限电流速断保护在最小运行方式下发生两相短路时，仍能可靠地保护线路全长，故必须以本线路末端作为灵敏度校验点，其灵敏度  $K_{LM}$  可由下式求得

$$K_{LM} = \frac{I_{D \cdot ZK}}{I_{DZ}}$$

式中  $I_{D \cdot ZK}$ ——本线路末端的最小短路电流，A；

$I_{DZ}$ ——本线路带时限电流速断保护的動作电流，A。

按《继电保护及自动装置设计技术规程》规定，要求  $K_{LM} \geq 1.25$ 。

表 5-2

变电所电气设备常用的继电保护方式

被保护设备名称	保护方式	作用于主回路的动作情况	使用范围	一般采用继电器型号
主变压器	纵联差动保护	动作于一、二次侧主开关的跳闸	并列运行的容量在 6300kVA 及以上的变压器	BCH-2
			单台运行容量在 10000kVA 及以上，重要用户单台容量在 6300kVA 及以上的变压器	
			电流速断灵敏度不符合要求的 2000kVA 及以上变压器	
	电流速断保护	动作于一、二次侧主开关的跳闸	用于 10000kVA 以下，没有差动保护，且其过电流保护时限大于 0.5s 时	DL-10 GL-10
	过电流保护	动作于一次侧主开关的跳闸	一次侧具有高压开关的所有变压器	DL-10 GL-10
过负荷保护	动作于信号需要时可动作于跳闸	普遍采用	DL-10 GL-10	
瓦斯保护	轻瓦斯动作于信号，重瓦斯动作于一、二次开关跳闸	变电所变压器容量在 800kVA 及以上的油浸式变压器	QJ-80	
6~10kV 架空线路	过电流保护	动作于跳闸	普遍采用	DL-10 GL-10
	电流速断保护	动作于跳闸	普遍采用	DL-10 GL-10
6~10kV 电力电容器	相间短路速断保护	动作于跳闸	用断路器控制的电容器组	DL-10 GL-10
	过、低电压保护	动作于跳闸	普遍采用	
	横联差动保护	动作于跳闸	电容器台数较多且无法按组或单个装保险时	BCH-1 或 2

## 二、电力变压器的保护

电力变压器是各种不同电压等级变电所里最重要、最核心的电气设备，在变电所内常称主变压器（简称主变）；装于车间或线路上的 6~10kV 变压器常称配电变压器（简称配变）。其保护装置主要有差动保护、瓦斯保护、电流速断保护、过电流保护及过负荷保护，现将这些保护的接线方式以及定值的计算方法介绍如下。

### （一）过电流保护

主变过流保护的接线方式与电力线路的过流保护接线方式相同（参见线路的过流保护）。只是有一点需注意，对于 35kV 及以上的电力变压器，由于其接线组别通常是一次为星接、二次为角接，为了提高过电流保护的灵敏度，要求将过电流保护接成三相式。这时可以采用三只电流互感器的完全星形接法，也可以采用两只电流互感器不完全星形接法，在中性线上加装一只电流继电器。

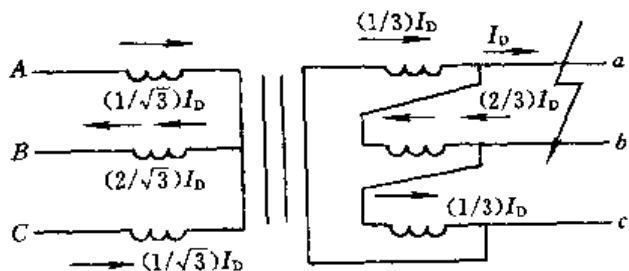


图 5-16 Y, d<sub>11</sub> 接线降压变压器在三角形侧外部 a、b 两相短路时的电流分布图

现以图 5-16 为例进行分析。图中所示为 Y, d<sub>11</sub> 接线的降压变压器，当三角形侧外部 a、b 两相短路时，短路电流的分布情况如图中箭头所示。图中假定变压器的变压比是 1:1，或者说二次侧已经折算到一次侧。由图可见，当二次侧 a、b 两相外部短路时，在一次侧 B 相中的电流要比 A、C 两相大一倍。

为了提高过流保护的灵敏度，在B相上要加装一只继电器。对于两相不完全星接的变流器，可在中线上加装一只电流继电器，这是因为不完全星形接线时、中线上的电流与B相电流相等。对于速断保护，由于对外部短路故障不需它起后备保护作用，因此只在a、c两相上各装一只继电器（见图5-17）。主变压器过流保护的動作电流可按下式计算

$$I_{DZ.J} = \frac{K_{JX}K_kK_{ZO}}{K_{FNL}} I_{B.c}$$

式中  $I_{B.c}$ ——变压器的额定电流，A；

其余符号的含义与线路过流保护的整定中所列举的相同。

上式中自启动系数由负荷性质而定；可靠系数可取1.2。这样算出的过流保护动作值一般在变压器额定电流的1.5~2.5倍之间（对于主要负荷是大型异步电动机或者电弧炼钢炉的变压器，其过流保护定值有时可达额定电流的3~3.5倍）。

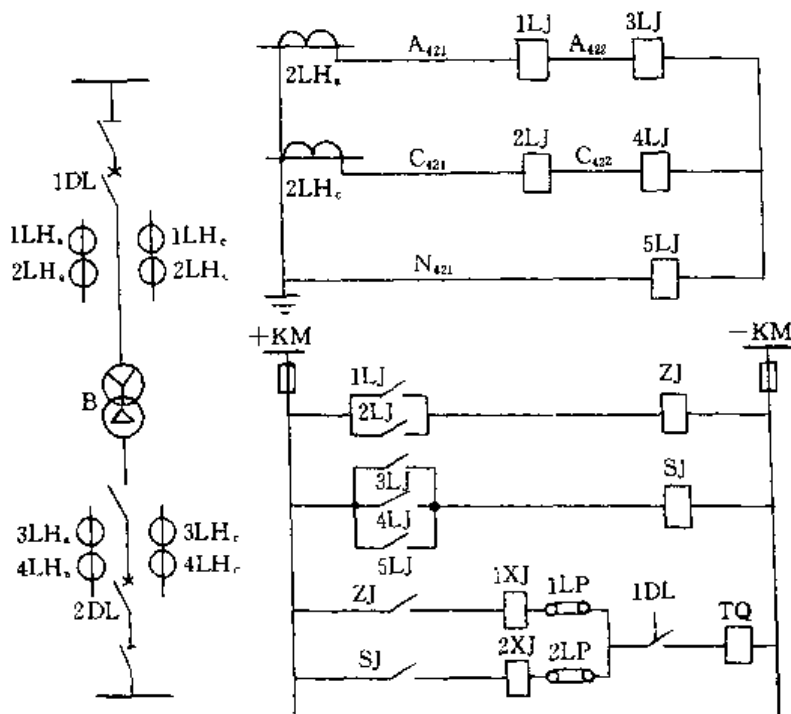


图 5-17 Y, d 接线变压器的过电流和电流速断保护配置简图

过流保护的動作时限计算方法与电力线路的相同。过电流保护的灵敏系数不小于1.5，且用低压侧母线两相最小短路电流来进行校验。

### (二) 电流速断保护

主变压器的电流速断保护可按下式计算

$$I_{DZ.J} = \frac{K_{JX}K_k}{n_L} I_{D.ZD}$$

式中  $I_{D.ZD}$ ——被保护变压器副边出口三相最大短路电流，A；

$K_k$ ——可靠系数（可取1.2~1.3）。

电流速断保护的灵敏系数应不小于2，且用保护安装处最小两相短路电流来校验；变压器电流速断保护可以按两相式接线，电流速断保护的動作时限取为0s。

### (三) 差动保护

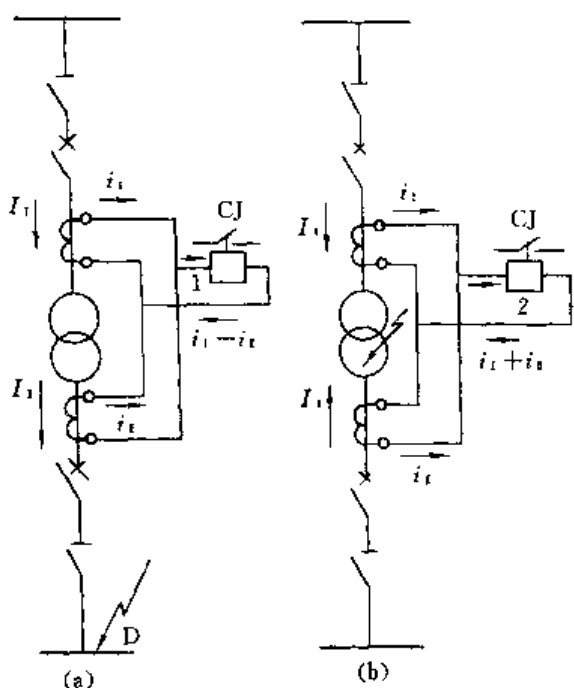


图 5-18 变压器差动保护原理图

(a) 外部故障；(b) 内部故障

主变压器是电力系统中十分重要的设备，它的故障将对供电可靠性和系统的正常运行带来严重影响，特别是大型主变更是很贵重的设备。变压器内部的某些故障如匝间短路、铁芯绝缘损坏等，虽然最初故障电流较小，但产生的电弧将引起变压器内部的绝缘油分解，产生可燃性气体；严重时引起喷油或爆炸。为避免主变事故的扩大，要求变压器内部发生故障时应迅速切断电源，使其退出运行。主变的过电流保护具有一定时限、动作不够迅速，变压器速断保护虽动作迅速、但动作电流整定较大，对于轻微的内部故障不能反应；而且在变压器内部，靠近二次出线处还存在死区（即速断保护不到的地方）。因此，规程规定对于大容量主变压器应装设电流差动保护。

### 1. 电流差动保护的原理

变压器电流差动保护的動作原理如图 5-18 所示。图 5-18(a) 表示变压器外部故障时的电流分布图 5-18(b) 表示变压器内部故障时的电流分布。由图可见，当变压器外部故障时，流入继电器的电流是变压器一、二次侧的两个电流之差。如果适当选择一、二次侧的变流器，使变压器流过穿越性电流时，在一、二次变流器的副边出现接近相等的电流，则流入继电器的电流  $i_1 - i_2$  接近于零，继电器便不会动作。

在主变发生内部故障时，可能有两种情况：一种是变压器只一侧加有电源，流入继电器的电流仅为  $i_1$ ，如果故障电流足够大，则电流  $i_1$  足以使差动继电器动作；另一种是如果主变两侧都有电源，则就有两个电流流入变压器 ( $I_1$  和  $I_2$ )。该两电流方向相反，但通过变流器后则为同方向流入差动继电器 CJ，即流入继电器的是两个电流相加，这就足以使继电器动作。

### 2. 电流差动保护的接线方式

实际上大容量高电压的主变通常按 Y, d 接线，即高压侧接成星形、低压侧接成三角形（见图 5-19）。对于三角形接线侧，由于线电流和相电流之间不仅是电流大小相差  $\sqrt{3}$  倍，且电流的相位角也偏离了  $30^\circ$ 。若变压器一、二次两侧的变流器都接成星形，即使主变压器是发生外部故障，但由于一、二次电流存在相位差，此时也会有一个相当大的电流流入差动继电器而使继电器误动作。

为避免发生这类误动作情况，就必须通过改变变流器的接线方式，将流入差动继电器的电流相位矫正过来。图 5-19 (a) 的接线方式是通过一次侧变流器采取角接，二次侧变流器采取星接的方式来矫正变流器二次电流间的相位差 [其分析见图 5-19 (b)]： $\dot{I}_{A1}^Y$ 、 $\dot{I}_{B1}^Y$  和  $\dot{I}_{C1}^Y$  表示变压器星形侧的线电流， $\dot{I}_{A1}^A$ 、 $\dot{I}_{B1}^A$  和  $\dot{I}_{C1}^A$  表示变压器角形侧的线电流。由相量图可见，角形侧的线电流较之星形侧的线电流、其相位角要超前  $30^\circ$ 。 $\dot{I}_{A2}^Y$ 、 $\dot{I}_{B2}^Y$  和  $\dot{I}_{C2}^Y$  表示变压器星形侧变流器的二次侧相电流，其线电流分别为  $\dot{I}_{A2}^Y - \dot{I}_{B2}^Y$ 、 $\dot{I}_{B2}^Y - \dot{I}_{C2}^Y$  和  $\dot{I}_{C2}^Y - \dot{I}_{A2}^Y$ 。可见当外部故障时，变压器星形侧变流器的二次侧线电流与变压器角形侧变流器的二次侧线电流相位相

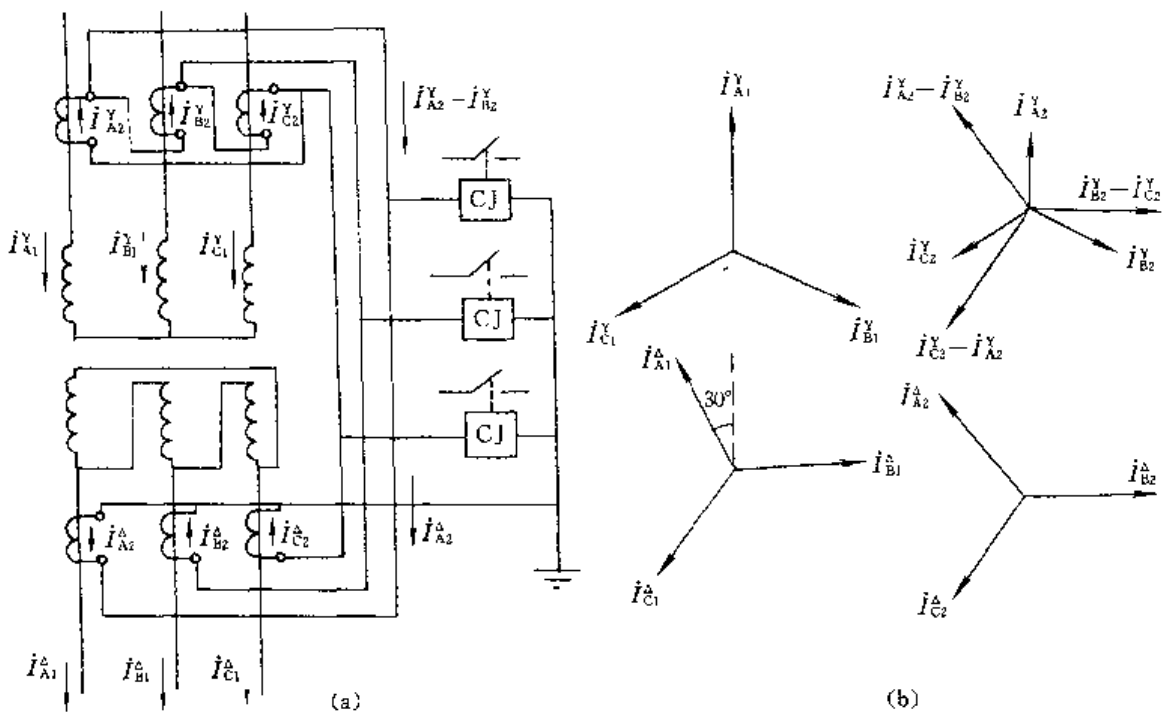


图 5-19 Y, d<sub>11</sub>主变外部故障时差动保护回路的电流分布及相量图  
(a) 电流分布图; (b) 相量图

同，即流经差动继电器时电流相减。只要适当选择主变一、二次侧变流器的变比，就可使这两个电流近于相等，从而使流入差动继电器的电流接近为零，使继电器不致误动作。

当变压器内部故障时，如果是一侧电源，则流入差动继电器的是变压器的故障电流；若是两侧电源，则流入差动继电器的是两侧故障电流之和。上述两种情况均足以使继电器动作、断路器跳闸，使故障变压器退出运行。

变压器差动保护常用的继电器为 BCH—2 型或 DCD—2 型，它们的结构原理相似。

### 3. BCH—2 型电流差动保护的動作电流计算

(1) 按躲过外部最大不平衡电流计算。对于三绕组变压器且三侧都有电源时，为

$$I_{1DZ} = K_k (K_{TX} \Delta f_1 I_{D1.ZD} + \Delta U_\alpha I_{D\alpha.ZD} + \Delta U_\beta I_{D\beta.ZD} + \Delta f_1 I_{D1.ZD} + \Delta f_1 I_{D1.ZD})$$

式中  $I_{1DZ}$ ——差动保护的一次动作电流；

$K_k$ ——可靠系数，取 1.3；

$K_{TX}$ ——变流器同型系数，当电流互感器型号相同时， $K_{TX}=0.5$ ；当型号不同时， $K_{TX}=1$ ；

$\Delta f_1$ ——变流器容许最大误差，取 0.1；

$I_{D1.ZD}$ ——最大外部短路电流（周期分量）；

$I_{D1.ZD}$ 、 $I_{D\beta.ZD}$ ——所计算的外部短路情况下，I、II 侧电流互感器流过的周期分量电流；

$\Delta U_\alpha$ 、 $\Delta U_\beta$ ——变压器在相应侧（ $\alpha$ 、 $\beta$  侧）由于调压所引起的相对误差，采用调压范围的一半；

$I_{D\alpha.ZD}$ 、 $I_{D\beta.ZD}$ ——在所计算的外部短路时，流过相应调压侧（ $\alpha$ 、 $\beta$  侧）变流器的最大短路电流周期分量；

$\Delta f_1$ 、 $\Delta f_1$ ——由于继电器实用匝数与计算匝数不等而产生的相对误差，其数值可按下列

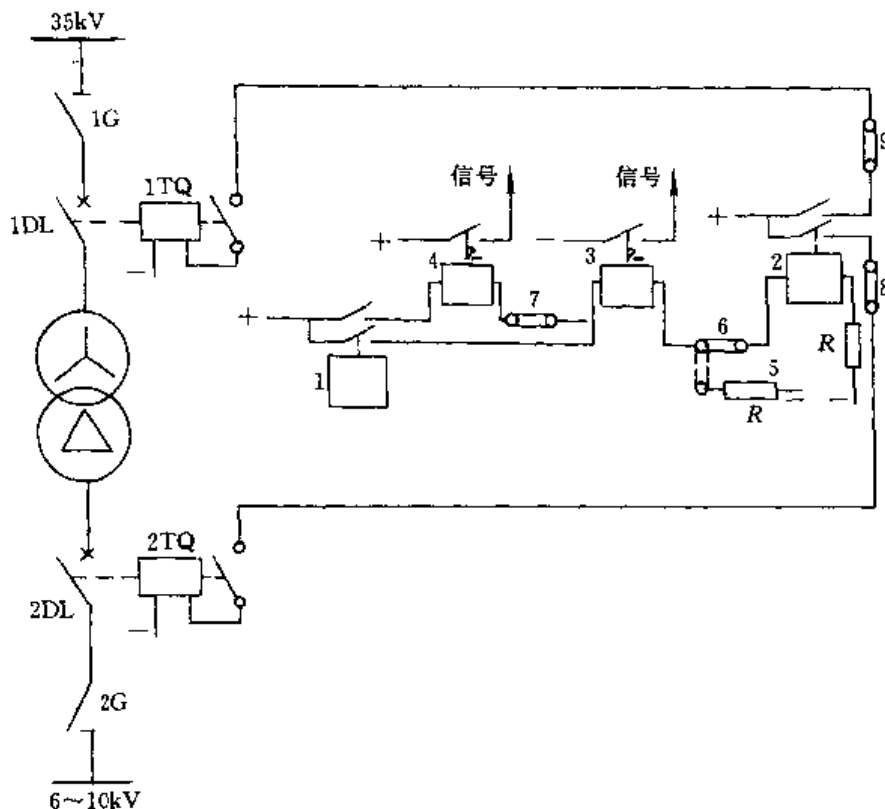


图 5-20 变压器瓦斯保护原理接线图

1—瓦斯继电器 QJ<sub>1</sub>-80 型；2—出口中间继电器 DZB-138/110 型，串电阻 20W、1000Ω；3—电流信号继电器 DX-11/0.05 型；4—电压信号继电器 DX-11/220 型；5—电阻 2500Ω、20W；6—切换片；7、8、9—连接片

3 天)，直至不再存在上述空气逸出时为止。

当将重瓦斯由作用于跳闸切换至信号时，电阻  $R$  代替了中间继电器的电压线圈。其数值的选择，应使信号继电器 3 的灵敏度不小于 1.4。在图 5-20 所示的变压器瓦斯保护原理接线图中，若电流信号继电器选用 DX-11/0.05 型，已知 DX-11/0.05 型线圈电阻为 70Ω，动作电流 0.05A，长期允许通电电流 0.15A，当重瓦斯保护切换至作用于信号时，其直流回路如图 5-21 所示。直流回路中电流  $I$  应大于 DX-11/0.05 型电流信号继电器动作电流  $I_{dz}$  的 1.4 倍，则

$$I > 1.4 \times 0.05A = 0.07A$$

电阻  $R$  便可按下式求得

$$R + 70\Omega = \frac{220V}{0.07A}$$

$$R = 3143 - 70 = 3073(\Omega)$$

即电阻  $R$  的数值不能超过 3000Ω，我们实际可选用 2500Ω。再检验长期流过电流信号继电器的电流  $I$  为

$$I = \frac{220}{70 + 2500} = 0.086(A)$$

由此可见，它未超过电流信号继电器允许的长期通电电流 0.15A。

实践中，电阻  $R$  的数值及其相对应的信号继电器型式可参见表 5-3。

重瓦斯保护是由于油流或气流的冲击，使挡板转动了一个

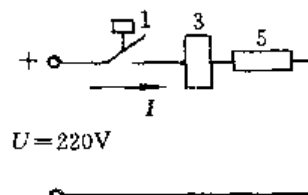


图 5-21 重瓦斯保护切换至作用于信号时的直流回路  
1—重瓦斯继电器触点；3—电流信号继电器线圈；5—电阻  $R$

表 5-3 重瓦斯保护改换信号时电阻  $R$  值及其对应的信号继电器

操作电源电压 (V)	信号继电器型式	电阻 $R$ ( $\Omega$ )
220	DX-11/0.025	5000
	DX-11/0.05	2500
	DX-11/0.075	2000
	DX-11/0.1	1500
110	DX-11/0.025	2000
	DX-11/0.05	1500
110	DX-11/0.075	1000
	DX-11/0.1	700
43	DX-11/0.075	400
	DX-11/0.1	300
	DX-11/0.15	200

注 电阻功率一律采用 20~30W。

角度而导致触点闭合，故触点的闭合有冲击的特性（即是短时的）。为使触点发出的脉冲命令能有足够的时间去跳开断路器，出口中间继电器应有自保持回路。

主变压器瓦斯保护投运的注意事项以及投运后日常维护的注意事项如下。

(1) 使用瓦斯继电器的注意事项：

1) 瓦斯继电器的下浮子必须为挡板式。

2) 主变安装时应有一定倾斜，使变压器顶盖沿油枕方向有 1%~1.5% 的升高坡度。这样便能保证故障时使气体可无阻碍地通到油枕，并防止空气泡积存在顶盖下面。

3) 瓦斯继电器的流速整定为：有强迫油循环的主变为 1.1~1.25m/s，无强迫油循环的则为 0.6~1m/s。

4) 瓦斯保护二次回路的绝缘（用 2000V 绝缘电阻表测量）应大于  $1M\Omega$ ，工频耐压 1000V、1min 应合格。运行经验证明瓦斯保护的电缆分线盒中常有油浸入，使电缆芯的橡皮绝缘腐蚀，造成电缆芯间短路。故瓦斯继电器的引出线要用优质塑料绝缘电缆，并加装瓦斯保护和温度信号合用的接线箱。从瓦斯继电器到接线箱间的电缆连接线应从下面进入接线箱，以防变压器油沿导线进入该箱内。

5) 瓦斯继电器的内部检查试验和安装后的现场检验应项目齐全、数据合格，并有继电器试验报告和现场校验报告。

6) 主变压器在下列状态下，如带电进行滤油或注油，大量放油、放气或调换硅胶，开闭热虹吸阀门或开闭瓦斯继电器联接管道的阀门，充氮变压器的油枕抽真空或补充氮气，以及强迫油循环装置投入或停用时，均应将重瓦斯保护从跳闸改接为信号并采取措施防止空气大量进入，待工作结束后，空气排尽及无信号示警发生时，再从信号改投跳闸。

7) 新装变压器或停电检修进行滤油，从底部注油，调换瓦斯继电器、热虹吸、散热器、强迫油循环装置以及套管等工作，再投运时须待空气排尽，方可将重瓦斯保护投入跳闸。但变压器在冲击合闸或新装变压器空载试运期间，重瓦斯保护必须投入跳闸。

(2) 对瓦斯保护日常维护的注意事项：

1) 瓦斯保护投于跳闸的主变压器，在现场应有明显标志。跳闸试验用的探针其外罩在运行中不准旋下，并应在外罩上涂红漆以示警告。

2) 瓦斯保护应同其他电气保护一样对待，其投于跳闸、接至信号或者停用，均应严格按照调度操作规程的有关规定执行。

3) 瓦斯继电器的小修校验和大修轮调，与变压器本体的周期相同，且可结合进行。

4) 变压器运行中若发现油面突然升高或降低时应查明原因。在瓦斯跳闸连接片未改接至信号位置前，禁止打开各种放气、放油阀门，以防误跳闸。

5) 当变压器轻瓦斯保护信号动作后，应尽快查明原因并作好记录。若信号动作时间间

隔逐渐缩短时，说明变压器内部有故障，可能会跳闸，此时应将每次信号的动作时间作好详细记录，并立即向有关调度和本单位领导汇报。

6) 当重瓦斯保护动作后，无论变压器跳闸与否均应尽快查明原因，并立即从瓦斯继电器中收集瓦斯气体和油样，迅即进行瓦斯成分的分析 and 色谱分析，以确定故障性质。

7) 重瓦斯动作、变压器已跳闸停电时，必须对变压器作外观检查，再进行绝缘试验。在确认变压器绝缘正常，瓦斯气体分析又未发现有故障，系外部穿越性故障或继电器本身引起的误跳闸后，才可重新将变压器投入运行。

8) 若重瓦斯保护接于信号，其动作后变压器仍在继续运行，此时应即汇报调度和本单位领导，同时尽快转移或限制负荷，将变压器紧急停电并进行检查试验。

9) 对户外变压器应保证瓦斯继电器的端盖有可靠保护，以免水分侵入。

当气候骤然变冷时，应加强对瓦斯保护的巡查。

### 三、电力线路的保护

#### (一) 过电流保护

系统中发生短路时，其特征之一就是线路中的电流剧增。过电流保护就是利用这一特征在电流增长到超过事先按最大负荷电流整定的数值而引起动作的一种保护装置。它按时限特性可分为定时限过电流保护和反时限过电流保护。所谓定时限过电流保护是指不管故障电流超过整定值多少，其动作时间总是一定的；若动作时间与故障电流值成反比，即故障电流超过整定值越多，动作便越快，则称为反时限过电流保护。如果故障电流超过整定值若干倍（一般为6倍）以后，动作时间不再成反比例关系而趋于恒定者，则称为有限反时限过电流保护。过电流保护的接线方式有三相星形接线、两相不完全星形接线、两相差接线，常用的是两相不完全星形接线。

##### 1. 定时限过电流保护的接线方式

定时限过电流保护两相不完全星形的接线方式如图 5-22 所示。当被保护线路发生两相短路或三相短路时，视具体故障情况，图 5-22(a) 中电流继电器 1LJ 和 2LJ 两块继电器中有一块动作或两块同时动作，于是继电器的触点闭合，接通时间继电器 SJ 的电源，时间继电器起动，经过预先整定的时间后，时间继电器触点闭合，接通中间继电器 ZJ 的电源，中间继电器动作，触点闭合，接通跳闸线圈 TQ 的电源，断路器 DL 跳闸，将故障线路停电。在中间继电器触点闭合，接通 TQ 的同时，也接通了信号继电器 XJ 的电源，其触点闭合，给出信号。

在图 5-22(b) 的展开图中，上部为电流互感器线圈与电流继电器接线的展开图，下部为

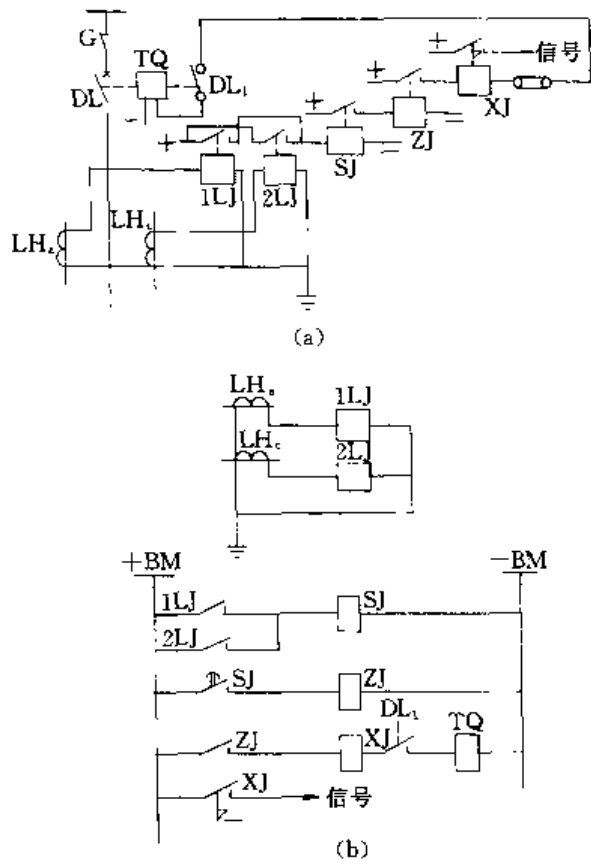


图 5-22 定时限过电流保护接线图  
(a) 原理图；(b) 展开图



$$I_{0Z.J} = \frac{K_{JX}K_kK_{ZQ}}{K_F n_L} I_{FH.ZD}$$

式中  $I_{0Z.J}$  ——继电器动作电流, A;

$K_{JX}$  ——接线系数 (星形接法为 1, 角形与差接时为  $\sqrt{3}$ );

$K_k$  ——可靠系数 (一般取 1.15~1.25);

$K_{ZQ}$  ——自起动系数 (考虑外部故障会引起母线电压下降, 故障消除后母线电压又恢复, 电动机自起动会引起电流增大, 该系数值一般大于 1);

$K_F$  ——电流继电器返回系数 (一般取 0.85);

$n_L$  ——电流互感器额定变比;

$I_{FH.ZD}$  ——最大负荷电流, A。

过电流保护动作时间的整定应采取阶梯原则, 即位于电源侧的上一级保护的动作时间要比下级保护时间长。这个时间上的差别称时限阶段差 (简称时限阶差), 一般用  $\Delta t$  表示。通常时限阶差  $\Delta t$  取 0.5~0.7s。对于采用感应型电流继电器 (GL 型) 的过电流保护, 则  $\Delta t$  取 0.7s。

但当采用 GL 型继电器构成过电流保护时, 由于其动作时间是随流入继电器的电流大小而变化的, 因此在标明动作时间的同时, 必须标明电流的具体数值。如图 5-24 所示的特性曲线, 当流入继电器的电流正好为继电器的动作电流时, 亦即对应于动作电流倍数为 1, 在曲线上找不到确切的动作时间。试验时可测出这个时间有很大的随机性, 大约在 10~30s 之间。显然不能通过测量这一时间来判断继电器保护会不会越级跳闸。故采用 GL 型继电器构成过电流保护时, 都不在继电器的起动电流数值下整定动作时间, 而是在 2~4 倍起动电流的动作电流下整定动作时间, 具体选择哪一个倍数值需要根据上、下级的保护定值配合来决定。当动作电流大于起动电流 5 倍以上时, 其动作时间将很少变化, 故也不可用以整定动作时间。

## (二) 电流速断保护

电流速断保护与过电流保护比较有两点区别: 首先电流速断保护的起动电流是按躲过被保护线路末端的最大短路电流整定的, 故继电器的起动电流要比过电流保护的起动电流大得多; 其次瞬时电流速断保护是通过动作电流的正确选择达到上、下级保护动作的选择性, 而不是依靠动作时间阶差来实现选择性, 故瞬时电流速断保护不采用时间继电器, 其动作时间为 0s, 是快速保护。由于电流速断保护具有可靠的选择性和快速性, 因此多用作线路 (或其他电气设备) 的主要保护。电流速断保护的缺点是具有末端死区。电流速断保

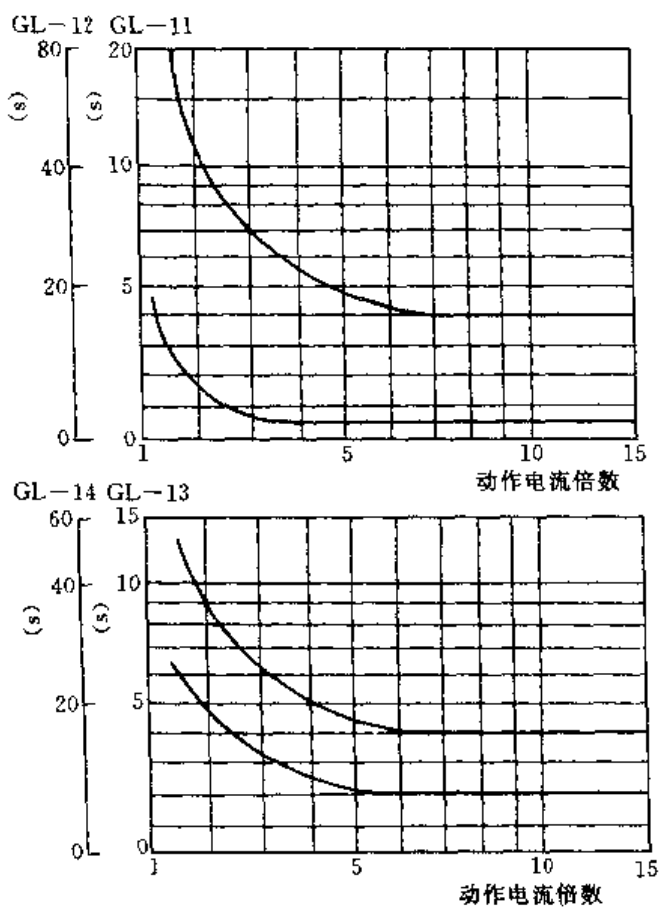


图 5-24 GL-10 系列继电器的时限特性曲线

$K_k$ ——可靠系数（取 1.1~1.15）；

$I_{DZ}$ ——下一相邻线路的瞬时电流速断保护动作电流，A。

带时限电流速断保护必须和下一相邻线路的瞬时电流速断保护相配合，其动作时间比下一相邻线路的瞬时电流速断保护的動作时间大一个时限阶差 0.5s。

#### （四）带方向电流保护

定时限过电流保护和电流速断保护多只能用在单电源供电的线路上，若出现双侧电源供电或环形供电，再采用一般的电流保护就不能获得正确的选择性了，这时必须采用带方向的电流保护。

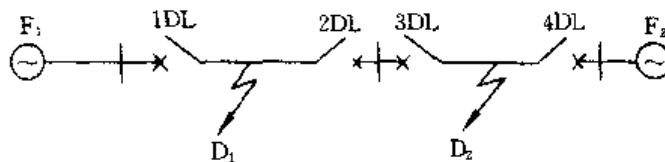


图 5-26 双侧电源供电的网络图

现在来看图 5-26，当  $D_1$  点短路故障时，从电源  $F_2$  一侧来看，应该 2DL 首先跳

闸，如果 2DL 拒动则 3DL 或 4DL 才可跳闸。当  $D_2$  点短路时，从  $F_1$  电源侧来看，应该 3DL 首先跳闸，如果 3DL 拒动则 2DL 或 1DL 再行跳闸。由此可见，若从  $D_1$  点短路来看，要求 3DL、4DL 的动作时间大于 2DL 的动作时间；但从  $D_2$  点短路来看，应该 3DL 的动作时间小于 2DL 的动作时间，这就出现了矛盾。为克服这一困难，可以采用方向继电器以构成方向保护。

带方向过电流保护的构成原则是：只有当电流从母线流向线路时保护才动作，如果电流从线路流回母线，则保护不动作。以图 5-26 为例来说，当  $D_1$  点故障时，在电源  $F_2$  一侧只有 2DL 和 4DL 动作，因此只要求 4DL 的动作时间大于 2DL 就可以了；当  $D_2$  点短路时，电流  $F_1$  一侧只有 1DL、3DL 动作，只要求 1DL 的动作时间大于 3DL 就可以了。而 3DL 和 2DL 在动作时间上，并不会存在矛盾。

#### （五）低电压闭锁的过电流保护

过流保护的動作电流是按躲过最大负荷电流来整定的，但某些情况下不能满足灵敏度要求。为提高保护动作的灵敏度和改善躲过负荷电流的条件，可采用低电压闭锁的过流保护装置。其原理接线见图 5-27。

它由低电压继电器、中间继电器及信号继电器构成低电压闭锁回路，由电流继电器、时间继电器和信号继电器构成过电流保护。正常情况下（电压正常且没过负荷）低电压继电器 1、2、3 和电流继电器 5、6 触点都处于断开位置，保护不动作。若有大型电机起动，起动电流会使最大负荷电流超过电流继电器的整定值并使其动作，但由于母线电压不会有显著下降，故低电压继电器触点不会闭合，中间继电器 4 不起动，因此也不会起动作出口中间继电器 8，保护装置不动作。只有当被保护线路发生短路故障时既产生大电流、又伴有母线电压下降，这时低电压继电器 1、2、3 闭合，中间继电器 4 触点闭合且电流继电器 5、6 触点也闭合，经一定时限后时间继电器 7 触点闭合。此时便起动作出口中间继电器 8，其触点闭合发出跳闸脉冲，将断路器 DL 跳开。

可见装设了低压闭锁元件后，过流保护的整定值便可不按躲过最大负荷电流来整定、而按正常持续负荷电流整定即可，这就提高了过流保护的灵敏度及保护装置动作的可靠性。中间继电器 4 的另一对触点可起动作信号继电器 9，其作用是除了保护动作时发出信号外，还可在电压回路断线或熔丝熔断时也发出信号，以便及时处理此类障碍。为保证低压闭锁元件在发生各种相间短路时能可靠动作，三只低电压继电器均接于线电压并将它们的触点并联。低压闭锁过流保护的整定值如下：

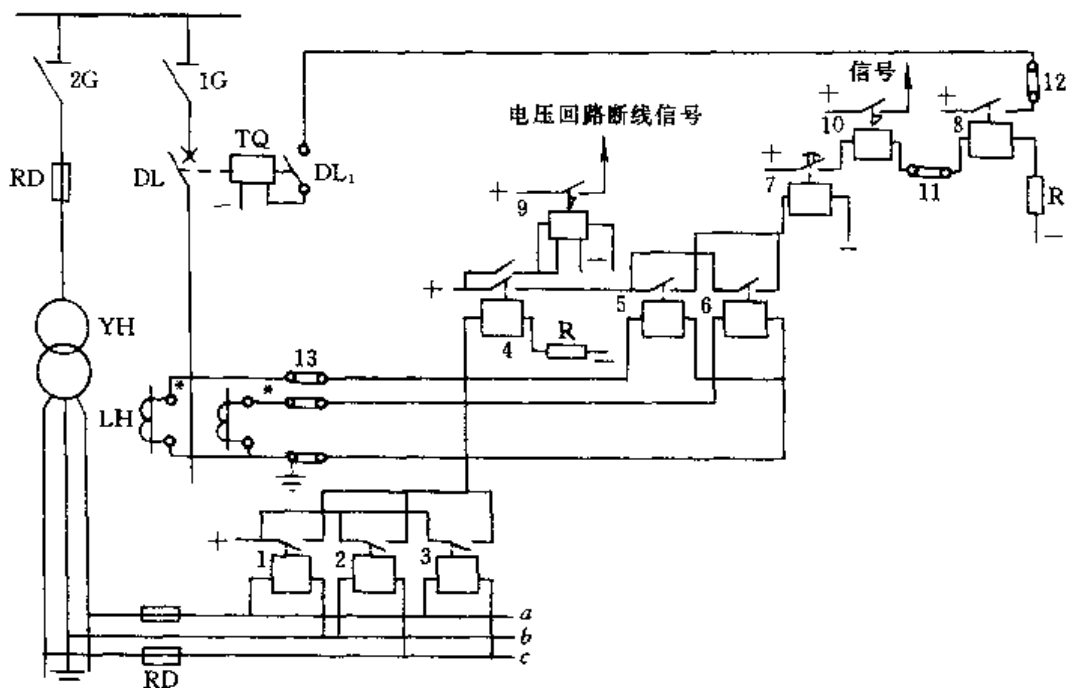


图 5-27 低电压闭锁过流保护原理接线图

1、2、3—电压继电器 DJ-122/160 型，4—中间继电器 DZ-17/110 型，串电阻 20W、2000Ω；5、6—电流继电器 DL-11/20 型；7—时间继电器 DS-122/220 型；8—出口中间继电器 DZ-17/110 型，串电阻 20W、2000Ω；9—电压信号继电器 DX-11 型；10—电流信号继电器 DX-11/0.025 型；11、12—连接片；13—电流试验端子；RD—熔断器

(1) 低压闭锁元件的动作电压。低电压继电器在系统最低工作电压时应不会动作，而在外部短路故障被切除以后它应能可靠地返回，故其返回一次电压  $U_F$  应小于最低系统工作电压。低电压继电器的动作电压为

$$U_{DZ-J} = \frac{U_{G-ZX}}{K_k K_F n_Y}$$

式中  $U_{DZ-J}$ ——低电压继电器的动作电压，V；

$U_{G-ZX}$ ——系统最低工作电压（取 0.95 额定电压）；

$K_k$ ——可靠系数（取 1.1~1.25）；

$K_F$ ——返回系数（取 1.25）；

$n_Y$ ——电压互感器额定变比。

据实践计算，低电压继电器的动作电压一般取为电压互感器副侧额定电压的 0.6~0.7 倍，即 60~70V。

(2) 低压闭锁过流保护的動作电流。该动作电流可不躲过最大负荷电流而按正常持续负荷电流  $I_{FH}$  整定，即

$$I_{DZ-J} = \frac{K_k K_{JX}}{K_F n_L} I_{FH}$$

式中  $I_{DZ-J}$ ——低压闭锁过流保护的動作电流，A；

$K_F$ ——返回系数（取 0.85）；

$K_k$ ——可靠系数（取 1.1~1.25）；

$n_L$ ——电流互感器额定变比；

$K_{jx}$ ——电流互感器接线系数。

### (六) 电流电压联锁速断保护

除上述低压闭锁的过流保护外，变电所内还常用到另两种电流电压联锁保护，一种叫“电流闭锁电压速断保护”，其动作电流按照躲过最大负荷电流来整定，动作电压按小于最小运行方式时、本线路末端短路时母线的残余电压来整定。这种保护方式的优点是能防止与同一母线相连的任一路配出线发生短路故障时，由于母线电压下降而引起同一母线上其他线路的低压保护误动。

另一种称“电流电压联锁速断保护”，其构成方式与低压闭锁的过流保护相似，只是取消了时间继电器。为使电流电压联锁速断保护能在系统经常出现的运行方式下具有较大的保护范围，而在最大、最小运行方式下又不致误动作，这种保护的整定原则是在系统经常出现的运行方式下，使电流元件和电压元件有相同的保护范围。

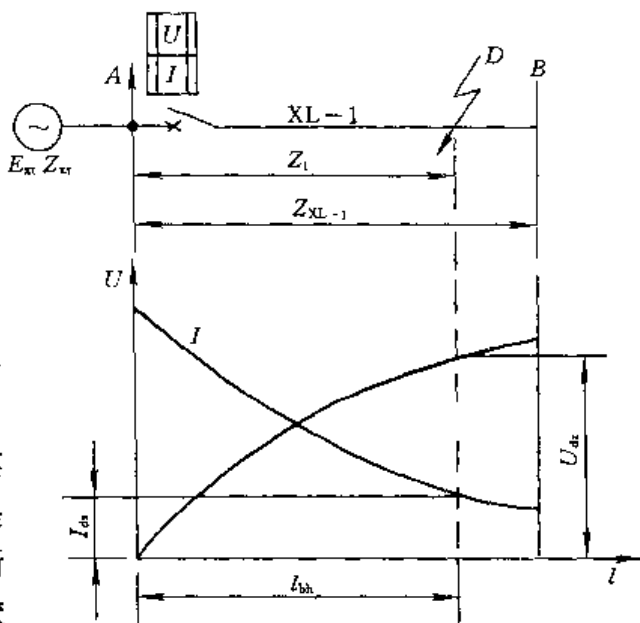


图 5-28 电流电压联锁速断保护动作电压和动作电流的整定

如在线路 XL-1 装设电流电压联锁速断保护（见图 5-28），该段线路的阻抗为  $Z_{XL-1}$ ，在某一经常出现的运行方式下系统阻抗为  $Z_{XT}$ ，相电动势为  $E_{XT}$ ，保护装置保护范围的阻抗若为  $Z_1$ ，则  $Z_1 = Z_{XL-1} / K_k$  ( $K_k$  为可靠系数取 1.2~1.3)，即  $Z_1 \approx 0.8 Z_{XL-1}$ 。也就是说，在经常出现的运行方式下，电流电压联锁速断保护范围为线路全长的 80% 左右。

在上述保护范围时电流元件的动作电流为

$$I_{DZ} = \frac{E_{XT}}{Z_{XT} + Z_1}$$

电压元件的动作电压为

$$U_{DZ} = \sqrt{3} I_{DZ} Z_1$$

这样整定后，在经常出现的运行方式下电流电压联锁速断保护的范同如图 5-28 中的  $l_{bh}$ 。在最大运行方式下，下一线路首端发生短路时电流继电器可能动作，但由于母线 A 的残压更高，故电压继电器不会动作，则整套保护装置不会动作，从而保证了选择性。反之，在最小运行方式下、下一线路首端发生短路时，电压继电器可能动作，但短路电流更小于动作电流，电流继电器不会动作，同样也能保证保护的选择性。

电流电压联锁速断保护与电流速断保护相比，其接线较复杂且元件较多，但可得到较高的灵敏度和较大的保护范围。所以当系统运行方式变化较大，采用电流速断保护的保护区很短甚至难以实现时，可以采用电流电压联锁速断保护。

## 四、自动重合闸和备用电源自投装置

### (一) 自动重合闸装置

运行经验证明系统中有不少短路事故是瞬时性的,特别是架空线路由于落雷引起的短路,或者因刮风或鸟类碰撞引起导线舞动所造成的短路,在继电保护动作、开关跳闸切断电源后,故障点的电弧会很快熄灭、绝缘自行恢复。这时如能将断路器自动重新投入,电力线路将可继续保持正常供电。实现这一功能的装置称为自动重合闸装置(简称 ZCH)。

### 1. 自动重合闸装置的分类

(1) 按自动重合闸的结构类型,可分为普通重合闸、无电压检定重合闸和同期检定重合闸。

(2) 按自动重合闸的动作方法,可分为机械式重合闸和电气式重合闸。机械式重合闸适用于无直流合闸电源的小变电所中,常用的有弹簧储能式和重锤储能式两种。

(3) 按重合闸动作的次数,可分为一次重合闸或二次重合闸。所谓二次重合闸,就是在第一次重合不成功后,经过不小于 10~15s 时间再自动进行一次重合。一般情况下均选用一次重合闸,选用二次重合闸必须认真校核断路器的断流能力是否允许。由于二次重合闸结构复杂,故只在电压较高、负荷特别重要的线路上采用。

(4) 按重合闸作用于断路器的方式,可分为三相重合闸、单相重合闸和综合重合闸。在 10kV 以下的系统中,一般均装设三相重合闸,即不论电力线路上发生单相接地短路还是两相短路,继电保护动作后均使断路器三相断开,然后自动重合闸装置再将三相投入。但对 220kV 及以上的系统,由于绝大部分故障都是单相接地短路,故常采用单相自动重合闸。但若发生两相或三相短路,则也要采用三相重合闸,因此常需采用“综合自动重合闸”。这种合闸方式既具单相重合闸功能,又具三相重合闸功能,且通过特殊接线方式它可综合判断不同的故障并自动采取相应的重合闸方式。

(5) 按自动重合闸使用的条件,可分为单侧电源重合闸和双侧电源重合闸。对于双侧电源的供电线路上的重合闸,必须满足:①线路两侧的重合闸应保证在两侧的断路器都跳闸以后再重合;②根据电两运行方式的特点采取一些附加措施,以满足电网安全运行的要求。例如,线路两侧为两个独立电源,则应考虑两侧电源是否同步,还需装设同步检定装置。

(6) 按重合闸和继电保护的配合方式,可分为保护前加速、保护后加速和不加速保护三种。如采用前加速保护方式,当线路发生故障时,靠近电源侧的保护首先无选择性地瞬时动作,然后再自动重合,若故障已自动消除则重合成功,电两恢复供电。若为永久性故障,则靠近故障点的保护再按照选择性要求动作。如靠近故障点的保护拒动,则靠近电源侧的保护第二次跳闸,将故障元件切除。

前加速保护的优点是能快速切除故障,使瞬时性故障来不及发展成永久性故障,而且使用设备较少,上下级只须装设一套重合闸装置;其缺点是如果重合闸装置拒动、将扩大停电范围,而且装有重合闸的断路器跳闸次数较多、工作条件恶劣。

后加速保护的构成原则与不加速保护方式基本相同,只是在重合闸动作后,若故障没有消除则一律瞬时将故障第二次切除(与第一次切除故障时是否带时限无关)。后加速保护的优点是第一次切除故障就是有选择性的,不会扩大停电范围;其缺点是上下级每个断路器都需装设一套重合闸装置,比前加速保护复杂。

### 2. 对自动重合闸装置的基本要求

(1) 下列情况下重合闸不应动作:

1) 由值班人员人为操作断路器断开;

2) 值班人员操作断路器合闸, 由于线路上有故障而引起断路器随即跳闸。

(2) 除上述两种情况外, 当断路器由于继电保护动作或因其他原因而跳闸 (断路器的状态与操作把手的位置不对应) 时, 它都应该动作。

(3) 对于同一次故障, 自动重合闸的动作次数应符合预先的规定 (如一次重合闸就应是只动作一次)。

(4) 自动重合闸动作后应能自动复归, 以备下一次线路故障时再次动作。

(5) 当断路器处于不正常状态 (如气压或液压机构中使用的气压或液压降到允许值以下) 时, 重合闸应退出运行。

### 3. 三相一次式自动重合闸装置

三相一次式自动重合闸装置的原理可参见图 5-15 及其相关说明, 在此不再多述。

#### (二) 备用电源自动投入装置

备用电源自动投入装置简称 BZT, 它是当工作电源因故障被断开后、备用电源能够自动投入, 使工厂不致于因停电而停产。BZT 一般可分为两种类型: 一种是当线路有主、备用时, 若主用线路因故突然失电后, BZT 动作、合至备用线路, 保持继续供电; 另一种是当主变有两台及以上时, 若运行变压器因故跳闸, 则 BZT 动作, 使备用变压器自动投入继续供电。

为使备用电源自动投入装置能安全可靠地工作, 该装置应满足以下要求: ①只有在正常工作电源跳闸后, 方能自动投入备用电源; ②备用电源自投装置只应动作一次; ③当备用电源无电时, 自投装置不应动作; ④当电压互感器的保险丝熔断时, 自投装置不应误动作。

现以备用变压器的自动投入为例, 说明实现上述要求的方法 (见图 5-29)。

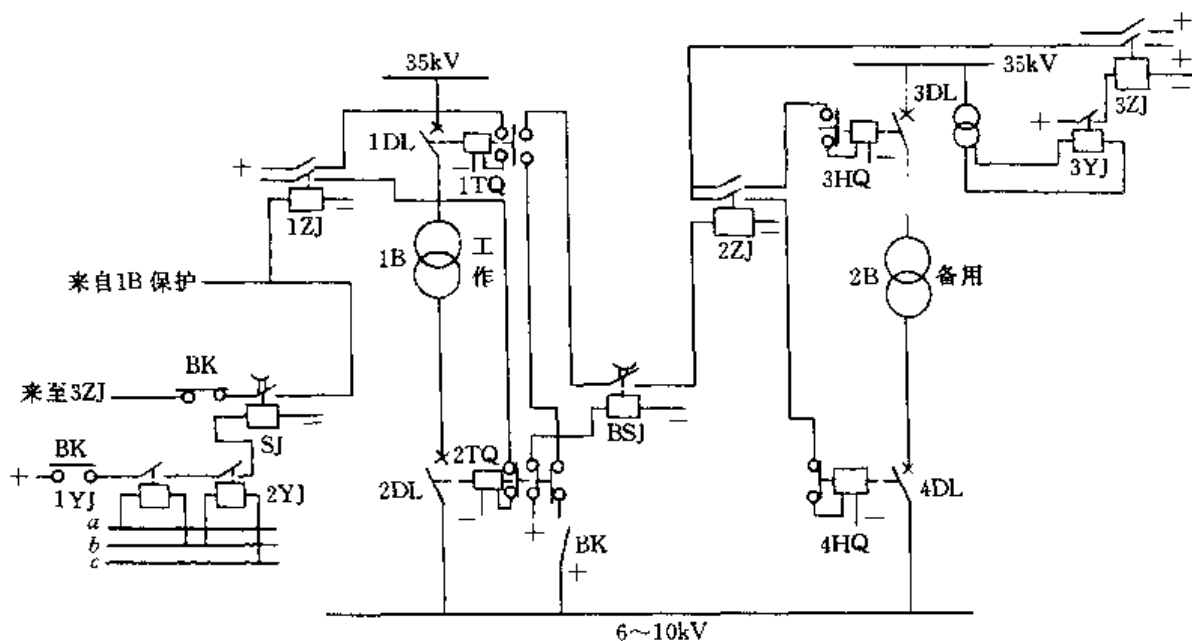


图 5-29 备用变压器自动投入装置的原理接线

(1) 为实现上述要求, 在正常运行变压器的二次侧电压互感器上接入两只低电压继电器 1YJ、2YJ, 分别接在电压互感器二次侧的 A、B 相和 B、C 相, 该两继电器的常闭触点互相串联。只有当电压  $U_{ab}$  和  $U_{bc}$  同时失压时, 它们的触点才同时闭合并接通正常运行变压器一、二次侧的跳闸线圈。当电压互感器一相保险丝熔断时, 只有一只电压继电器动作, 另

一只不动作，故不会使正常运行的变压器跳闸。

(2) 在正常运行的变压器跳闸后，其一、二次侧开关都处于分闸位置，辅助触点闭合，接准备用变压器开关的合闸回路并使其合闸，这就满足了上面提到的第 1 项要求。

(3) 备用变压器若在合闸过程中因故又自动跳闸时，为防止再次自动合闸，在自投回路中接入了一只延时打开触点的中间继电器 BSJ。正常时中间继电器因被励磁，触点闭合。当正常运行的变压器跳闸时，通过其开关的辅助触点将这只继电器的励磁回路切断，过了一段很短的时间(0.5~0.8s)，中间继电器延时常开触点断开，切断备用变压器的合闸回路，便使备用变压器不能再次动作合闸，这就满足了前述的第 2 项要求。

(4) 实现前述第 3 项要求的办法，是在备用电源母线的电压互感器回路内接入一只电压继电器，当备用母线无电时电压继电器常开触点返回，从而切断了正常运行变压器的跳闸回路。由于正常运行变压器不跳闸，备用变压器也就不可能自动投入。

必须注意，用电单位安装备用电源自动投入装置须先到供电部门申请，得到批准后方可实施。

### 五、补偿电容器的保护

地区电网及用户供配电系统中，通常采用在变电所内装设电力电容器以补偿无功功率(故也称补偿电容器)，以提高功率因数。对电力电容器的保护，一般可按以下原则考虑：

1) 为防止由于一台电容器击穿损坏而引起其他电容器损坏，必须做到每台电容器都有自身的熔断器保护。

2) 所有电容器装有全组共用的短路电流保护，它主要保护电容器组和断路器间连接部分可能发生的短路。

3) 对于并列运行的分组电容器，对每组均应装设保护，主要是保护电容器内部故障及其引出线部分的短路。

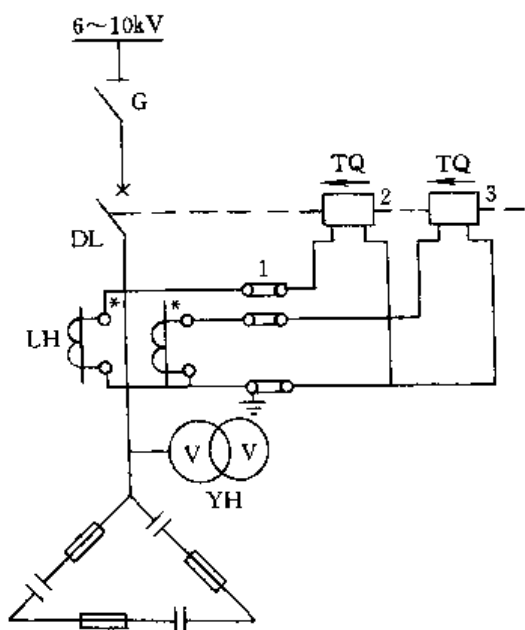


图 5-30 电流互感器二次电流直接动作跳闸的电力电容器组保护方式  
1—电流试验端子；2、3—瞬时过电流脱扣器

4) 若装设电容器的 6~10kV 系统的单相接地电流大于 20A，且短路电流保护对接地故障不灵敏时，则还需装设单相接地保护。

#### (一) 电容器数量较少时的保护方式

6~10kV 用户一般装设的补偿电容器较少，变电所中若无直流操作电源，则可采用如图 5-30 所示的直接动作跳闸的保护方式。由图可见，每台电容器本身都装有各自的熔断器保护。

熔断器额定电流可按电容器额定电流的 1.5~2.5 倍选取；构成直接跳闸方式的跳闸线圈的动作电流可按电容器组额定电流的 2.5~4 倍选取；如果装有过流继电器，则动作电流宜取电容器额定电流的 1.5~2.5 倍，且为避开电容器的合闸涌流，可取 0.2s 动作时限。其保护的接线方式与电力线路保护的接线方式相同。

#### (二) 电容器组容量较大时的保护方式

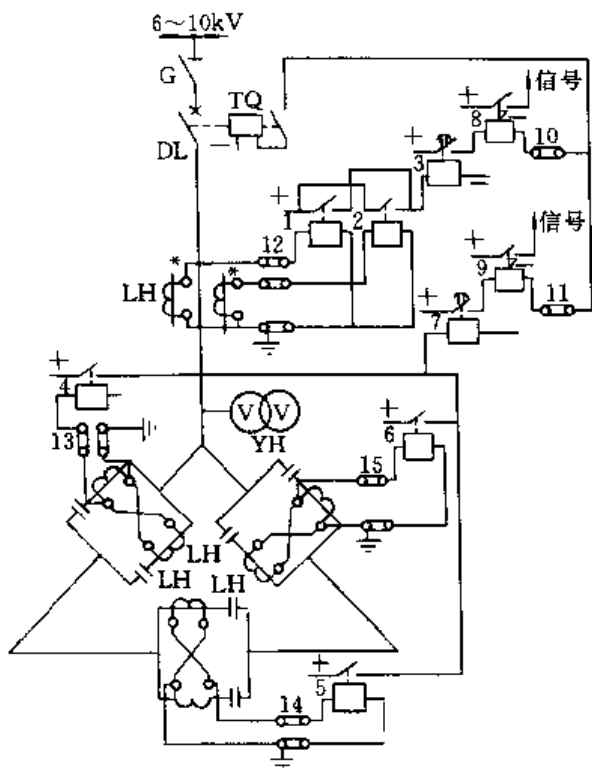


图 5-32 Δ-Δ 接线电容器组的电流横差保护接线图  
1、2—过电流继电器 DL-11/50 型；3、7—时间继电器 DS-111/220 型；4、5、6—过电流继电器 DL-11 型；8、9—电流信号继电器 DX-11/1 型；10、11—跳闸连接片；12~15—电流试验端子

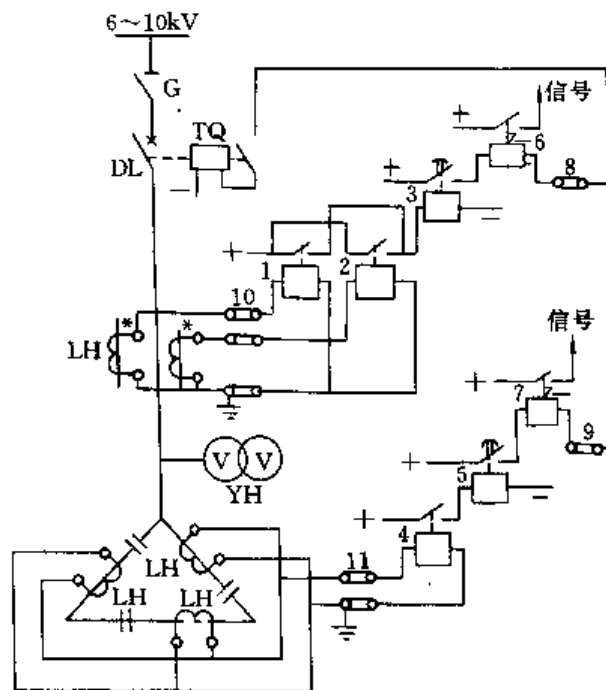


图 5-33 Δ 接线电容器组的零序电流保护接线图  
1、2—过电流继电器 DL-11/50 型；3、5—时间继电器 DS-111/220 型；4—过电流继电器 DL-11 型；6、7—电流信号继电器 DX-11/1 型；8、9—跳闸连接片；10、11—电流试验端子

零序电源保护的動作電流  $I_{DZ.0}$ ，其整定算式為也同上所述。其時間整定仍可取 0.2s，或採用一只中間繼電器達到延時，以避免過電壓的影響。

隨著科技進步與電力事業的發展，目前電業與用戶變電所內的無功補償裝置已多數做成或採用成套電容器櫃；集電容器、保護及自動裝置於一體，裝入成套櫃內。它可以隨著供、用負荷的大小及功率因數的變動，而自動投、切電容器的數量。

### 第三节 变电所的二次回路

#### 一、二次回路的功用、分类及接线图

##### (一) 变电所二次回路的含义、作用与分类

变电所中凡直接用来接受与分配电能以及和改变电能电压相关的所有设备均称为一次设备。它包括主变压器、断路器、隔离刀闸、母线、互感器、电抗器、补偿电容器、避雷器及输配电线路等。由一次设备连接成的系统称电气一次系统或电气主接线系统。

为保证主接线系统的正常与安全运行；凡对一次电气设备进行监视、测量、操纵、控制及起保护作用的辅助性电气设备，均称为二次设备。如各种继电器、信号装置、测量仪表、控制开关、控制电缆、操作电源及小母线等。由二次设备连接成的回路称二次回路或二次系统。

二次系统的任务是反映一次系统的工作状态，控制一次系统并在其发生事故时使事故部分退出工作。二次系统与一次系统相比，其设备都是低压或弱电设备且数量与种类较多，



同时由成百上千根导线互相连接。因此，熟悉二次设备的符号图形，掌握其用途，对保证二次系统的正常工作，进而确保一次系统的安全运行，有着十分重要的意义。

变电所的二次回路按二次设备各自不同的用途可分为继电保护二次回路、自动装置二次回路、控制系统二次回路、测量仪表二次回路、信号装置二次回路和直流操作电源二次回路等。由于二次回路设备数量与种类繁多，且有成百上千根导线需要按一定要求相互连接起来，因此要了解二次回路，首先要了解与熟悉二次设备的符号与图形。每个二次设备应用一个文字符号来标示，不同类型的二次设备应标以不同的文字符号。同一安装单位几个同样类型和用途的二次设备，要在设备文字符号前用不同的数字标号来区别。要想完整而清楚地表示一个变电所的二次回路接线，一般要应用多种二次回路接线图和布置图，如原理接线图、展开式接线图、屏面布置图及屏后安装接线图(包括二次电缆敷设图和小母线布置图)。

## (二) 二次回路原理图、展开图及安装接线图

### 1. 原理图

原理图是表示二次回路构成原理的最基本的图。在图上所有的仪表和继电器都是以整体形式的设备图形符号表示的，不画出其内部的接线，而只画出接点的连接。并将二次部分的电流回路、电压回路、直流回路和一次回路图绘制在一起。这种接线图的特点，是能使看图人对整个装置的构成有一个整体概念，并可清楚地了解二次回路各设备间的电气联系和动作原理。

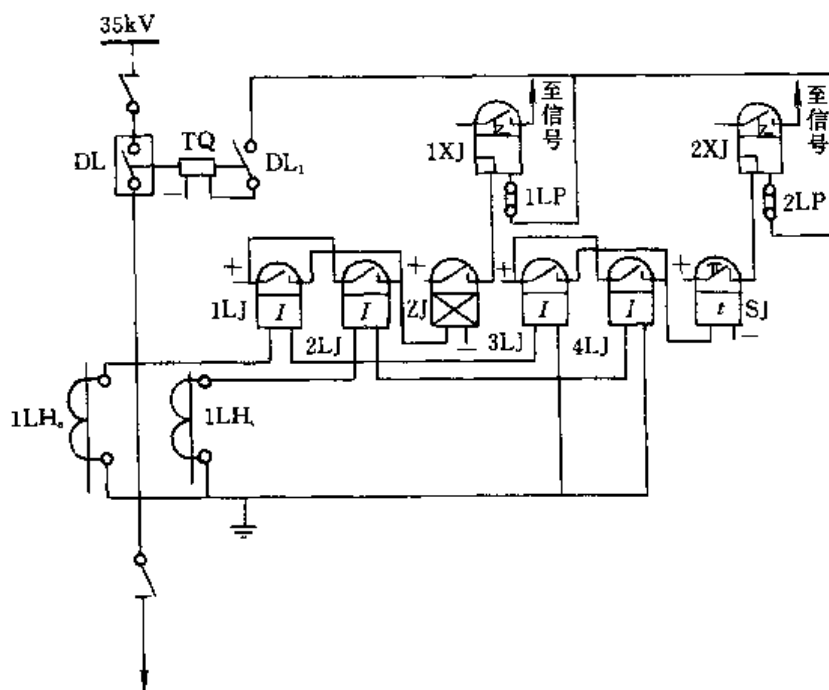


图 5-34 35kV 输电线路保护装置的原理图

图 5-34 所示是按照国家标准绘出的 35kV 输电线路保护装置的原理图，由图可见，整个保护装置采用不完全星形接线方式，由电流速断和过电流保护构成。第一段电流速断由电流继电器 1LJ、2LJ，中间继电器 ZJ 和信号继电器 1XJ 组成；第二段过电流保护由电流继电器 3LJ、4LJ，时间继电器 SJ 和信号继电器 2XJ 组成。其任何一段保护动作均能使断路器

器跳闸，相应的信号继电器 1XJ、2XJ 有掉牌指示，并发出灯光和音响信号。连接片 1LP、2LP 供选择“投入”或“退出”各段保护用的。当系统发生相同短路时，短路电流流过 1LH<sub>1</sub> 或 1LH<sub>2</sub>，若短路电流大于速断保护的起动值时，则电流速断和过电流两套保护均起动，但后者有继电器 SJ 延时。由原理图 5-34 可简明地看出各元件的动作次序和电流途径：

(1) 速断保护起动：

“+” → 1LJ (2LJ) 常开接点 → ZJ 线圈 → “-”；

“+” → ZJ 常开接点 → 1XJ 线圈 → 1LP → DL<sub>1</sub> → TQ → “-”，断路器跳闸。

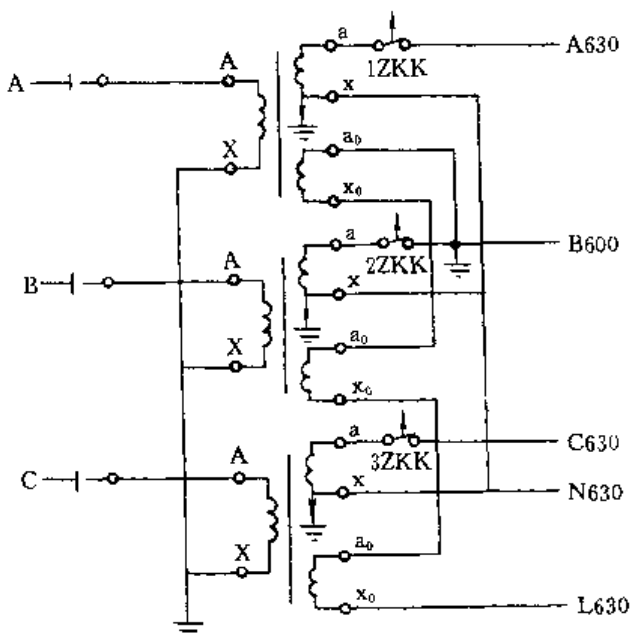


图 5-36 1YH 接线图

实际应用中，大多采用展开图。图 5-35 是测量仪表交流电流回路展开图。为了绘制二次回路安装接线图，展开图中各表计和继电器等设备接线柱之间的连接线都给以编号，如电流回路 A431、A432 和 A433 等。二次回路编号按等电位原则，即电路图中从同一点出发的各条线都编同一个号，例如由 2A 和 VAR 两个电流线圈以及从 3LH 中性点引出的连接线都编为 N431。

图 5-36 是电压互感器接线图。击穿保险装在互感器上，自动空气开关 ZKK 装在电压互感器端子箱中。二次系统采用 B 相接地。图中略去了切换部分。

图 5-37 是交流电压回路展开图。每组电压互感器的二次 A630、C630 和 A640、C640 经重动继电器 2ZZJ 和 4ZZJ 的常开触点（N630、L630 和 N640、L640 也要经重动继电器的常

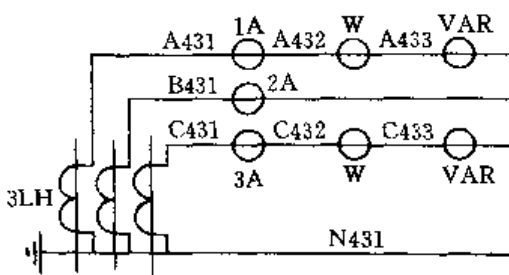


图 5-35 交流电流回路展开图

(2) 过电流保护起动：

“+” → 3LJ (4LJ) 常开接点 → SJ 线圈 → “-”；

“+” → SJ 延时常开接点 → 2XJ 线圈 → 2LP → DL<sub>1</sub> → TQ → “-”，断路器跳闸。

以上所述为原理图突出的优点。但原理图也存在一些不足之处，如对于二次接线的某些细节表示的不够全面、没有元件的内部接线、没有元件的端子号码和回路标号、导线的表示也仅是一部分，并且只表示出直流电源的极性。由于原理图存在以上问题，在二次回路比较复杂时，阅图就比较困难，缺陷和错误也不易发现和寻找。因此，原理图多用于继电保护和自动装置的原理分析或作二次回路设计的原始依据。

## 2. 展开图

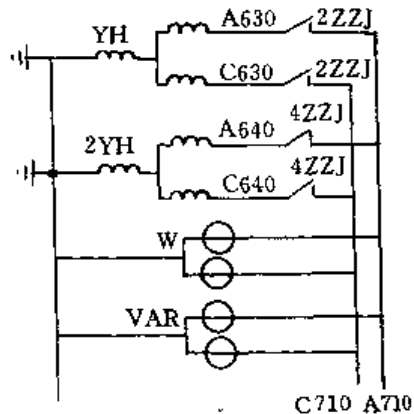


图 5-37 交流电压回路展开图

开触点，图中未画出)，合并为 A710 和 C710 接到测量和保护回路。重动继电器是切换回路的中间继电器，装在线路重合闸屏上。当用隔离开关将线路由 I 组母线切换到 II 组母线时，2ZZJ 常开触点断开，4ZZJ 常开触点闭合，使测量和保护取得 2YH 的电压。

### 3. 安装接线图

由于二次设备布置分散，需要用控制电缆把它们互相连接起来，因此单凭原理接线图和展开接线图来安装是有困难的。为此，在二次接线安装时，尚须绘制安装接线图。安装接线图包括屏面布置图、屏背面接线图和端子排图。

屏面布置图表示屏上设备的布置情况，要求按实际尺寸照一定的比例绘制。

屏背面接线图是在屏上配线时所必需的图纸，应标明屏上各设备在屏背面引出端子间以及与端子排间的连接情况（见图 5-38）。

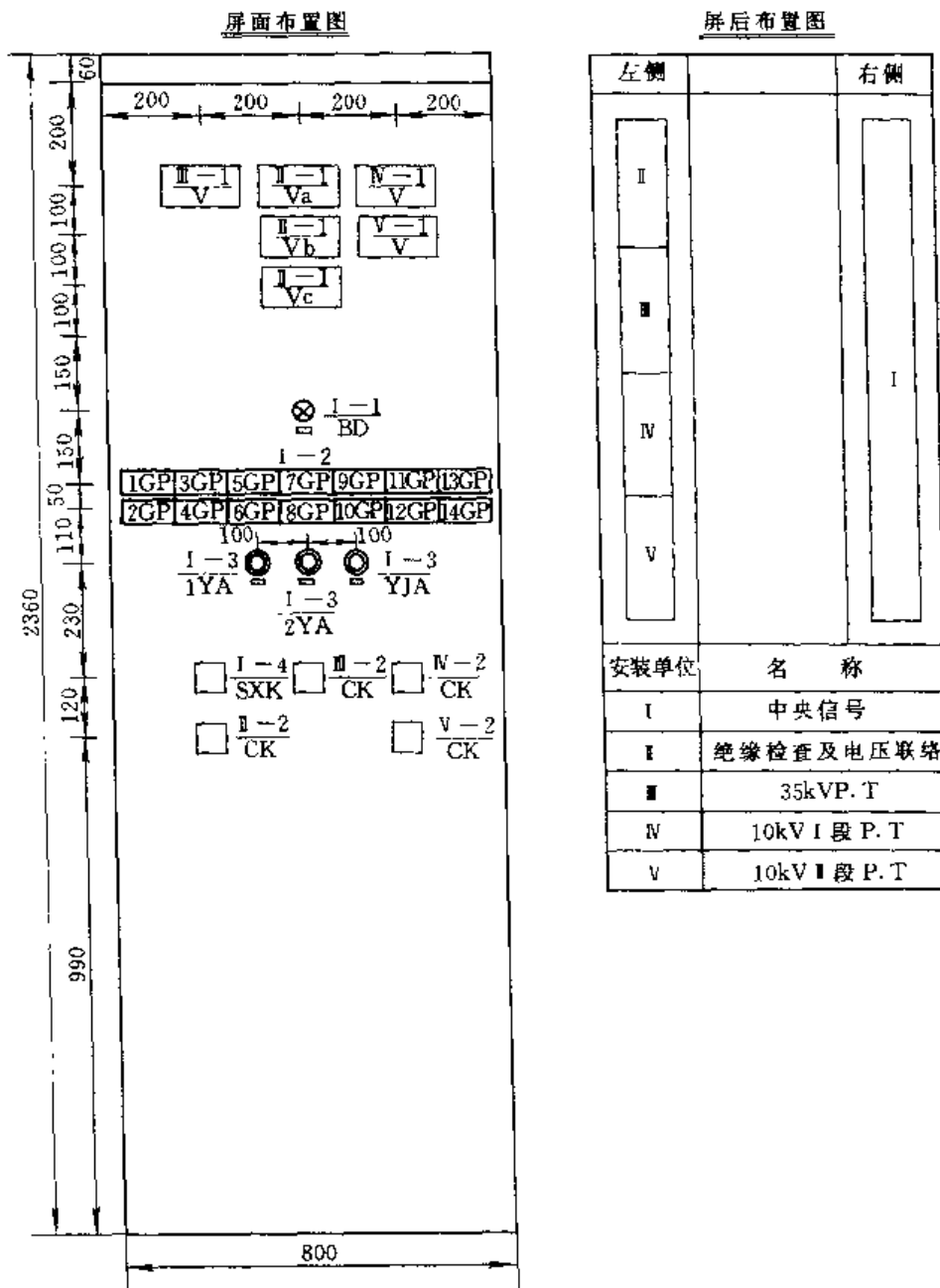


图 5-38 屏布置图

端子排图是表示屏上需要装设的端子排数目、类型、排列次序以及屏上设备与屏顶设备、屏外设备连接情况的图纸。

在安装接线图中，各种仪表、电器、继电器及连接导线等，都必须按照它们的实际图形、位置和连接关系绘制。

## 二、二次回路的编号与设备标志

为了便于安装施工和运行维护，在展开接线图中对回路应进行编号；在安装接线图中除编号外，尚须对设备进行标志。

对回路编号的要求：①在展开接线图中，根据编号能了解该回路的用途；②在安装接线图中，根据编号能进行正确的连接。

二次回路的编号，根据等电位的原则进行，就是在回路中连接在一点的全部导线都用同一个数码来表示。当回路经过开关或继电器触点分开后，因为触点断开时，其两端已不是等电位，故应给予不同的编号。

安装接线图上对二次设备、端子排等进行标志的内容有：①与屏面布置图相一致的安单位编号及设备顺序号；②与展开接线图相一致的设备文字符号；③与设备表相一致的设备型号。

### 1. 展开接线图中的回路编号

展开接线图中的直流回路数字编号组如表 5-4 所示。表中一、二、三、四表示标号组，

表 5-4 直流回路数字编号组

回 路 名 称	数 字 标 号 组			
	一	二	三	四
正电源回路	1	101	201	301
负电源回路	2	102	202	302
合闸回路	3—31	103—131	203—231	303—331
绿灯或合闸回路监视继电器回路 <sup>①</sup>	5	105	205	305
跳闸回路	33—49	133—149	233—249	333—349
红灯或跳闸回路监视继电器回路 <sup>①</sup>	35	135	235	335
备用电源自动合闸回路 <sup>②</sup>	50—69	150—169	250—269	350—369
开关设备的位置信号回路	70—89	170—189	270—289	370—389
事故跳闸音响信号回路	90—99	190—199	290—299	390—399
保护回路	01—099 (或 J1—J99)			
发电机励磁回路	601—699			
信号及其他回路	701—999			

① 对接于断路器控制回路内的红灯和绿灯回路，如直接自控制回路电源引接时，该回路可标注与控制回路电源相同的标号。

② 在没有备用电源投入的安装单位接线图中，标号 50—69 可作为其他回路的标号，但当回路标号不够用时，可以向后递增。

每组用于由一对熔断器引下的控制回路的编号。例如对于三绕组变压器，每侧装一台断路器，其符号分别为 1DL、2DL、3DL，则每台断路器的控制回路应取相应的符号。例如 1DL 应取 101—199，2DL 应取 201—299，3DL 应取 301—399。

直流回路编号方法是从正电源出发，以奇数顺序编号，直到最后一个有压降的元件为止。如最后一个有压降的元件后面不是直接接在负极，而是通过连接片、开关或继电器触

点接在负极上，则下一步应从负极开始以偶数顺序编号至上述已有编号的回路为止，如图 5-39 所示。

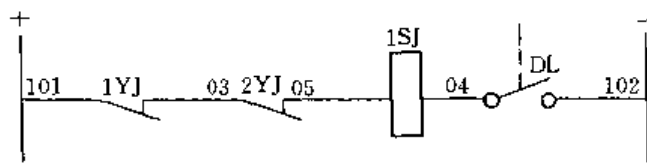


图 5-39 直流回路编号实例

在具体工程中，并不需要对二次回路展开接线图中的每一个回路都进行编号，而只对引入端子排的回路加以编号。

展开接线图中的交流回路数字编号组，如表 5-5 所示。

表 5-5 交流回路数字编号组

回路名称	互感器的文字符号及电压等级	回路标号组				
		A 相	B 相	C 相	中性线	零序
保护装置及测量表计的电流回路	LH	A401—A409	B401—B409	C401—C409	N401—N409	L401—L409
	1LH	A411—A419	B411—B419	C411—C419	N411—N419	L411—L419
	2LH	A421—A429	B421—B429	C421—C429	N421—N429	L421—L429
	9LH	A491—A499	B491—B499	C491—C499	N491—N499	L491—L499
	10LH	A501—A509	B501—B509	C501—C509	N501—N509	L501—L509
保护装置及测量表计的电压回路	19LH	A591—A599	B591—B599	C591—C599	N591—N599	L591—L599
	YH	A601—A609	B601—B609	C601—C609	N601—N609	L601—L609
	1YH	A611—A619	B611—B619	C611—C619	N611—N619	L611—L619
在隔离开关辅助接点和隔离开关位置继电器接点后的电压回路	2YH	A621—A629	B621—B629	C621—C629	N621—N629	L621—L629
	110kV	A (B、C、N、L、X) 710—719				
	220kV	A (B、C、N、L、X) 720—729				
	35kV	A (B、C、N、L) 730—739				
绝缘监察电压表的公用回路	6~10kV	A (B、C) 760—769				
		A700	B700	C700	N700	
母线差动保护公用电流回路	110kV	A310	B310	C310	N310	
	220kV	A320	B320	C320	N320	
	35kV	A330		C330	N330	
	6~10kV	A360		C360	N360	
控制、保护、信号回路		A1—A399	B1—B399	C1—C399	N1—N399	

电流互感器和电压互感器是按它们在一次接线中的顺序号来分组编号的。例如在主接线图中有一条线路上装有两组电流互感器，其中一组供继电保护用，其顺序号为 1LH，则回路编号应取 A411—A419、B411—B419、C411—C419 和 N411—N419；另一组供测量表计用，其顺序号为 2LH，则回路编号应取 A421—A429、B421—B429、C421—C429 和 N421—N429，依此类推。交流电流和交流电压回路的编号不分奇数与偶数，从电源处开始按顺序编号。

展开接线图中各小母线用粗线条表示，并注以文字符号，其各种符号规定如表 5-6 所示。

## 2. 安装接线图中设备标志和编号

安装接线图中的屏面布置图如前所述，二次设备的位置是按一定比例画出的，而屏背

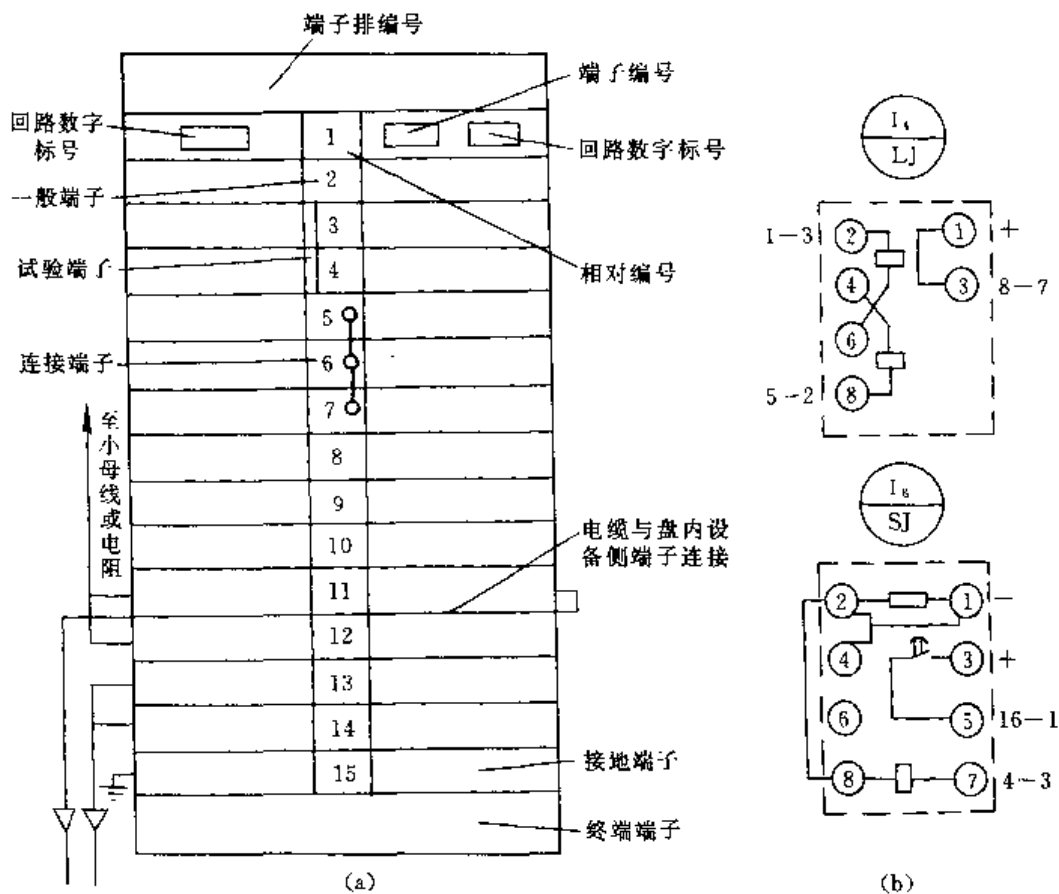


图 5-41 端子排及屏后安装接线表示方法示意图

(a) 端子排; (b) 设备屏后安装接线

则成为特殊端子，它用于需要经常断开的回路中。绝缘座中间有缺口的，就是连接端子，用于端子之间需要连接的场合。终端端子是固定端子排用的，无导电片。一个端子只允许接一根导线，导线截面一般不超过  $6\text{mm}^2$ 。在特殊情况下，个别端子允许最多接两根导线。

端子排垂直布置时，排列由上而下；水平布置时，排列由左而右。其顺序是交流电流回路、交流电压回路、控制回路、信号回路和其他回路等。每一安装单位的端子排应编有顺序号。

### (3) 端子排排列原则。

为满足运行、检修、调试的方便，一般端子排的排列是遵照以下原则来布置和排列的：

- 1) 当同一块屏上只有一个安装单位时，则端子排的放置应与屏内设备的位置相对应，如设备的大部分靠近屏的右侧，则端子排应放在屏的右侧，这样既省料、又省力。
- 2) 当同一块屏上有几个安装单位时，则每一安装单位应用独立的端子排，它们的排列应与屏面布置相配合。最后留 2~5 个端子作为备用端子，在端子排的两端应装终端端子。
- 3) 端子形式的选用，需根据具体情况决定，一般来说，交流电流回路应经试验端子；预告和信号回路及其他需要断开的回路，则应经特殊端子或试验端子。
- 4) 每一安装单位的端子排上，必须预留一定数量的备用端子；否则，万一需要增加接

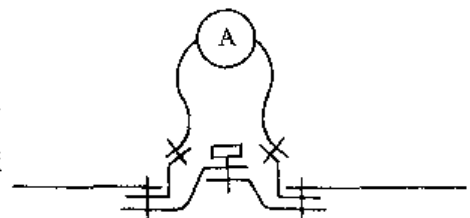


图 5-42 试验端子结构示意图

线时，则势必将造成很大的麻烦。同时，必须在端子的两端装设终端端子。

5) 当一个安装单位的端子过多（按《电力工程设计手册》要求，屏每侧装设端子的数目最多不得超过 155 个）或一块屏上只有一个安装单位时，可将端子布置在屏的两侧。但此时应按交流电流、交流电压、信号、控制等回路所属的各个组别成组地分开。

6) 正、负电源之间，经常带正电的正电源，合闸和跳闸回路之间的端子排应不相毗邻，一般需用一个空端子隔开。特别是户外的端子箱中更应该如此，以免端子排因受潮造成短路，而使断路器误动作。

7) 一个端子的每一个接线螺钉，一般只接一根导线；特殊情况下，最多可接两根导线。接于端子的导线截面，一般不应超过  $6\text{mm}^2$ 。

8) 端子排上的回路安装顺序应与屏面设备相符，以避免接线迂回曲折。端子排垂直布置时，应按自上而下的顺序分组排列。

9) 交流电流回路：按每组电流互感器分组，对同一保护方式的电流回路一般排在一起，按数字大小从上至下，并按相序 A、B、C、N 排列，如 A411、B411、C411、N411、A421、B421、C421、N421。

10) 交流电压回路：按每组电压互感器分组，对同一保护方式的电压回路一般排在一起，按数字大小从上至下并按相序 A、B、C、N 排列，如 A611、B611、C611、A613。

### 3. 相对编号法

安装接线图是表示各设备之间互相连接的图纸。表示方法系采用相对编号法。相对编号法是这样表述的，如有甲乙两个设备的接线端子需要连接起来，那么，在甲设备的接线端子上，标出乙设备接线端子的编号，同时，在乙设备该接线端子上标出甲设备接线端子的编号，即两个接线端子的编号相对应，这表明甲乙两设备的相应接线端子应该连接起来。此编号法目前在二次回路中已得到广泛的应用。

例如图 5-41 (b)，电流继电器 LJ 的编号为 4，时间继电器 SJ 的编号为 8。LJ 的 3 号接线端子与 SJ 的 7 号接线端子相连。在 LJ 的 3 号接线端子旁标上“8—7”，亦即与第 8 号元件的第 7 个端子相连。而第 8 号元件正是 SJ。与之对应，在 SJ 第 7 号端子旁标上 4—3，这正是 LJ 的第 3 个端子。查找起来十分方便。

### 4. 读安装接线图注意事项

安装接线图是二次回路的重要图纸，应用十分广泛。看安装接线图时应注意以下事项：

(1) 与展开图对照起来看，首先要弄通展开图，然后去看安装接线图。看安装接线图时，先从左、右两旁的端子排看起。从上到下，每个端子的标号，都可以在展开图上找到相应的回路，然后查找屏面布置图，看这个电气元件是在本屏，还是在其他屏。如果属于本屏上的元件，根据相对标号法则，即可找到对应元件；如果是外屏设备，就通过电缆引出去。根据电缆去向，找到另外一张安装接线图，并在该图上找到相应的端子标号。

按照这个办法，一个端子一个端子看下去，理通一个端子一个端子的来龙去脉，直至所有端子。这样就能把整张安装图看通。

(2) 牢牢记熟相对标号法则，凡本屏上的设备，都是用相对标号法则标号。寻找本屏上的电气元件，只要正确应用相对标号法，就一定能找到。

(3) 由于安装接线图表示了屏上所有设备，因而图纸较大，线条较多，比较复杂，容

易看花眼。为了避免看花眼或看漏端子，可准备一个直尺或三角板，将直尺或三角板压在你所看的端子上，每走通一个回路就用铅笔在旁边作上记号，逐个端子看下去，就不会遗漏了。

### 三、变电所的信号装置

变电所内的信号装置据其用途可分为中央信号、位置信号以及其他类信号装置。

位置信号的主要任务是指示断路器的跳、合闸位置和隔离开关的分、合闸位置。

中央信号装置分为事故信号和预告信号两种。事故信号的主要任务是在断路器事故跳闸时，能及时地发出音响信号，并使相应的断路器灯光位置信号闪光。预告信号的主要任务是在运行设备发生异常现象时，瞬时或延时发出音响信号，并使光字牌显示出异常状况的内容。音响信号是为了唤起值班人员的注意；灯光信号是为了便于了解故障的设备和故障的性质。

事故音响信号使用的是蜂鸣器 (FM)，预告音响信号使用的是电铃 (JL)，中央信号装置通常装在主控室的中央信号屏上。

位置信号装置，由于本身结构及回路接线均较简单，故此处不讨论。

#### (一) 事故信号装置

事故信号装置，按其使用对象的接线繁简，分为中央复归不能重复动作的事故信号和中央复归能重复动作的事故信号两种装置。

##### 1. 中央复归不能重复动作的事故信号装置

中央复归不能重复动作的事故信号装置接线，如图 5-43 所示。它由中间继电器 1ZJ、蜂鸣器 FM 和试验按钮 1YA、解除按钮 YJA 组成。事故音响小母线 1SYM 与 2SYM 之间的回路为事故音响起动回路。

当某台断路器发生事故跳闸时，例如第一台断路器，通过控制开关 KK 和断路器的不对应回路起动蜂鸣器 FM，发出事故音响信号。值班人员听到后，只需按下中央音响解除按钮 YJA，于是中间继电器 1ZJ 起动，其常开触点 1ZJ<sub>1</sub> 闭合，另一不对应回路 +XM → IRD → 1ZJ

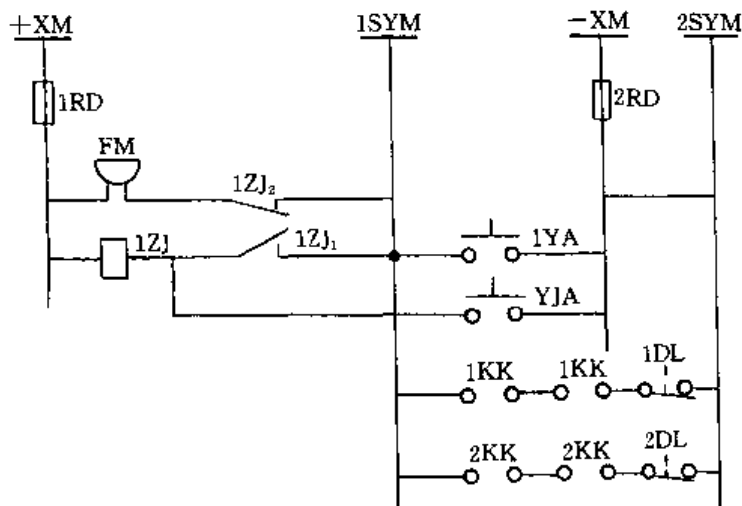


图 5-43 中央复归不能重复动作的事故音响装置

(线圈) → 1ZJ<sub>1</sub> → 1KK → 1KK → 1DL → 2RD → -XM 接通，形成自保持；同时其常闭触点 1ZJ<sub>2</sub> 断开，蜂鸣器音响立即解除。中间继电器的常开触点 1ZJ<sub>1</sub> 待自保持不对应回路复归后，即自行返回。于是整个装置接线又恢复到正常状态。

这种接线的缺点是不能重复动作，当第一次音响信号发出后，值班人员用按钮 YJA 将音响解除，而不对应回路尚未复归前，如第二台断路器又发生事故跳闸时，事故音响信号就不能再次起动，这样第二台断路器的事故跳闸就可能发现不了。

##### 2. 中央复归能重复动作的事故信号装置



所谓中央复归能重复动作的事故信号，是指当断路器自动跳闸后，为了使值班人员不受音响信号长期干扰而影响事故处理，可以保留绿灯闪光信号而将音响信号立即解除。当音响信号解除后，第一台断路器的控制开关和断路器的不对应回路尚未复归前，如第二台断路器又发生了事故跳闸，音响信号仍能再次发出。

音响信号重复动作是利用冲击继电器（亦称信号脉冲继电器）来实现的。

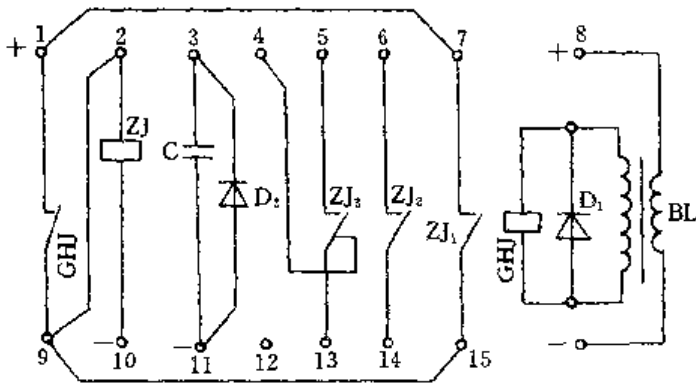


图 5-44 ZC-23 型冲击继电器的内部接线图

在信号回路中目前广泛采用的冲击继电器型号有 ZC 型、BC 型及 CJ 型三种。冲击继电器虽有不同型号，但原理、结构基本一样。所以只介绍 ZC 型冲击继电器及其应用。

ZC-23 型冲击继电器内部接线，如图 5-44 所示。图中 BL 为脉冲变流器，GHJ 为单触点干簧继电器，ZJ 为多触点干簧继电器， $D_1$ 、 $D_2$  为二极管，C 为电容器。

单触点干簧继电器 GHJ 的结构，如图 5-45 所示，它主要由线圈和干簧管组成。干簧管是个密封的玻璃管，其舌簧触点是烧结在与簧片热膨胀系数相适应的红丹玻璃中，管内通常充以氮等惰性气体，以减小触点的污染与电腐蚀。舌簧片由铁镍合金制成，它具有良好的导磁性能，又富有弹力，在触点的接触面上镀有金、铱、钯等金属，以保证良好的接通与断开电路的能力，并延长使用寿命。当线圈中通有电流时，在线圈内部有磁通穿过，使舌簧片磁化，两舌簧片的自由端所产生的磁极性正好相反。当电流达到继电器的起动值时，舌簧片靠磁的“异性相吸”而闭合，将外电路接通；当电流降低到继电器的返回值时，舌簧片靠本身的弹性而返回，使触点断开。干簧继电器和电磁型继电器一样，动作无方向性。它具有灵敏度高，消耗功率少，动作速度快（约几个 ms），结构简单，体积小，经久耐用以及出厂后不需调整等优点，因而得到广泛的应用。

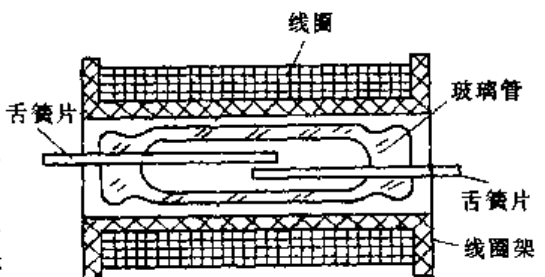


图 5-45 干簧继电器的结构原理图

用 ZC-23 型冲击继电器 1XMJ 构成的事故信号装置，如图 5-46 所示。图中 GHJ 为干簧继电器，做执行元件。并联在 BL 一次侧的二极管  $D_2$  和电容器 C 起抗干扰作用；并联在 BL 二次侧的二极管  $D_1$  的作用，是将由于一次回路电流突然减小而产生的反方向脉冲电势所引起的二次电流旁路，使其不流入 GHJ 的线圈，故其动作无方向性。

图 5-46 所示的中央复归能重复动作的事故音响信号装置的动作原理如下：

当第一台断路器事故跳闸时，事故音响小母线 SYM 与 -XM 之间的“不对应”回路接通，于是冲击变流器 BL 一次线圈中有电流通过。因为此电流是由零值突变增高到一定数值的，所以在二次线圈中就感应出脉冲电流，使执行元件 GHJ 动作。GHJ 动作后，其常开触点 GHJ 闭合，起动中间继电器 ZJ，触点  $ZJ_1$  闭合，实现自保持，以补 GHJ 继电器在 BL 二次线圈中的脉冲电流消失后，即自行返回之不足；触点  $ZJ_2$  闭合，起动蜂鸣器，发出音响；

预告信号的作用是当电气设备发生不正常运行情况时，发出音响，同时使相应的光字牌点亮，使值班人员及时地采取措施加以处理，以防止事故的发生。

电气设备不正常运行中，有些持续时间较长，如熔断器熔断、发电机或调相机转子回路接地等，必须立即发出信号；但有些情况，如短时过负荷，出现时间较短而且是允许的，故可延长一段时间才发信号。所以预告信号可分为瞬时预告信号和延时预告信号。瞬时预告信号和延时预告信号在灯光信号组成上有所区别，前者是双灯的光字牌，后者是单灯和一个电阻组成的光字牌。

1. 用 ZC—23 型脉冲继电器构成中央复归能重复动作的预告信号装置

接线如图 5-48 所示。图中 2XMJ、3XMJ 和 4XMJ 为 ZC—23 型脉冲继电器；1YBM 和 2YBM 为瞬时预告信号小母线；3YBM 和 4YBM 为延时预告信号小母线，它们分别经转换开关 1ZK 和 2ZK 与瞬时预告信号脉冲继电器 2XMJ 和延时预告信号脉冲继电器 3XMJ 和 4XMJ 相连接。转换开关有两个位置，“工作”位置和“试验”位置，平时处于“工作”位置，其触点 1ZK13—14、1ZK15—16、2ZK13—14、2ZK15—16 均接通。

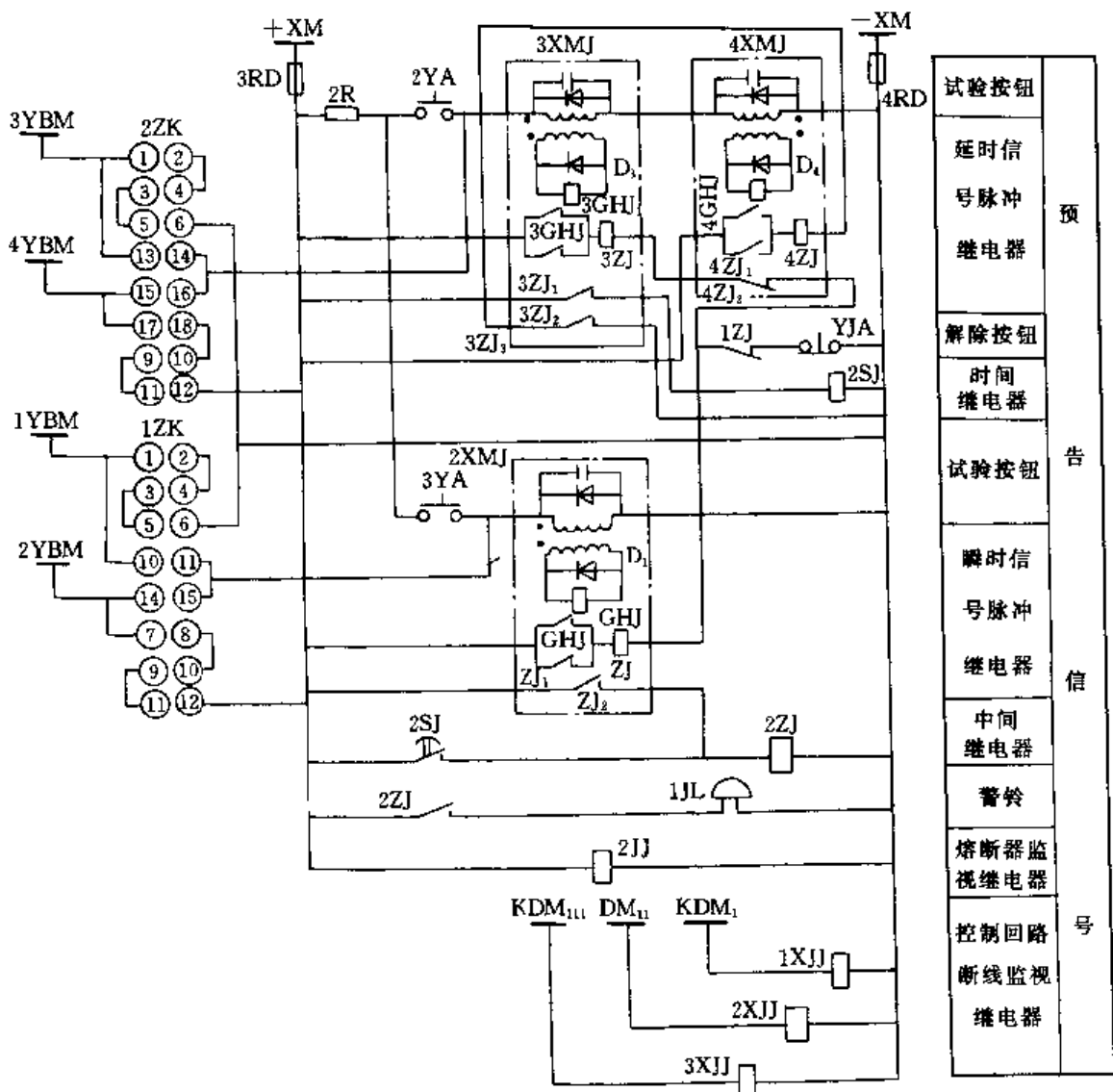


图 5-48 ZC—23 型冲击继电器构成的中央复归能重复动作的预告信号装置

## 2. 瞬时预告信号工作原理

例如当变压器轻瓦斯动作时，瓦斯继电器触点 WSJ 闭合，由图 5-48 和图 5-49 可知，下述回路  $+XM \rightarrow 3RD \rightarrow WSJ \rightarrow 1GP$  (光字牌)  $\rightarrow 1YBM$  和  $2YBM \rightarrow 1ZK10-11$  和  $1ZK14-15 \rightarrow 2XMJ \rightarrow 4RD \rightarrow -XM$  接通，在变压器控制屏上标有“轻瓦斯”字样的光字牌点亮。与此同时脉冲继电器 2XMJ 动作，然后起动中间继电器 ZJ，常开触点  $ZJ_1$  闭合，形成自保持；常开触点  $ZJ_2$  也闭合，又起动中间继电器 2ZJ。中间继电器 2ZJ 起动后，它的一个常开触点 2ZJ 闭合，警铃 1JL 发出音响；同时另一个装设在事故音响装置中的常开触点 2ZJ 也闭合，起动了时间继电器 1SJ (参见图 5-46)。时间继电器的常闭触点 1SJ 延时闭合后，起动该装置中的中间继电器 1ZJ，1ZJ 起动后，使装设在本预告信号回路中的常闭触点 1ZJ 断开，音响信号自行解除。如欲手动解除音响信号，只需要按一下解除音响的按钮 YJA。

## 3. 延时预告信号工作原理

例如，某控制回路发生了断线，断线后经控制回路断线小母线 KDM 起动中间继电器 XFJ。图 5-49 中中间继电器常开触点 XFJ 闭合后， $+XM \rightarrow 3RD \rightarrow XFJ \rightarrow 10GP \rightarrow 3YBM$  和  $4YBM \rightarrow 2ZK13-14$  和  $2ZK15-16 \rightarrow 3XMJ \rightarrow 4XMJ \rightarrow 4RD \rightarrow -XM$  接通 (参见图 5-50)，控制屏上断线光字牌点亮。由于 3XMJ 和 4XMJ 是反极性串联，此时正接的脉冲继电器 3XMJ 起动，由触点 3GHJ 去起动中间继电器 3ZJ，再由常开触点  $3ZJ_2$  去起动时间继电器 2SJ，约经 9s 延时后；由中间继电器触点 2ZJ 使警铃 1JL 发出音响。由此可见，延时预告信号是先亮光字牌，几秒后才能听到铃声。中间继电器 3ZJ 的第三个常开接点  $3ZJ_3$  的作用，是当其闭合后，为中间继电器 4ZJ 准备通路。

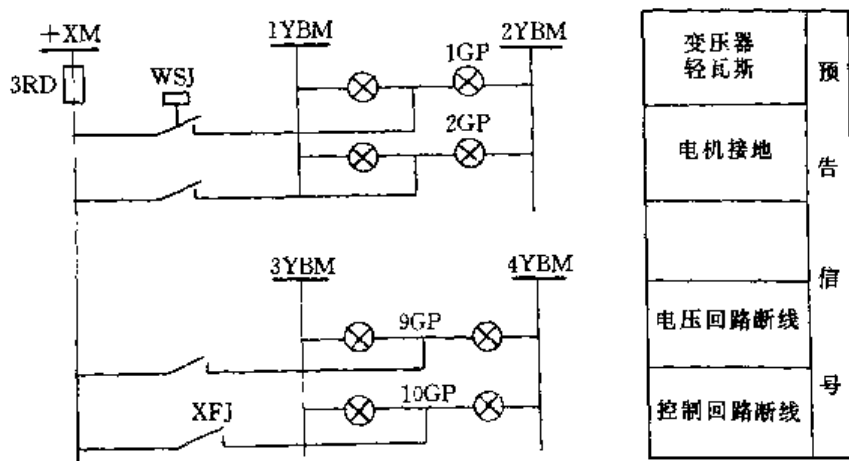
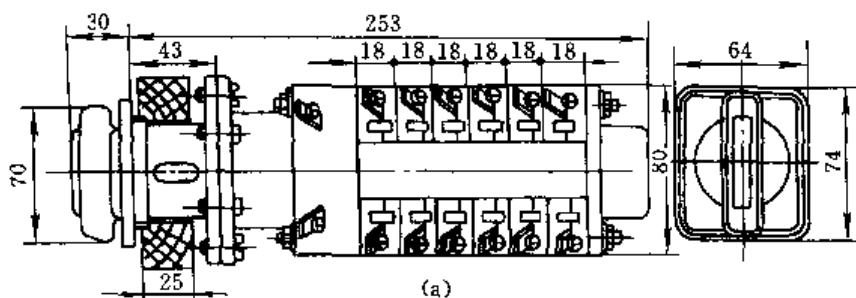


图 5-49 预告信号起动回路

采用 3XMJ 和 4XMJ 两个脉冲继电器做反极性串联，其目的是为了防正由于外部短路引起的暂短不正常的情况下，误发音响信号。其道理可这样阐述：首先不接入 4XMJ，当外部短路交流电压下降时，则控制屏上“电压回路断线”的光字牌立即点亮，3XMJ 因是正接而动作。于是预告信号回路的动作将按前述的顺序进行，如在时间继电器 2SJ 触点未闭合前 (9s) 不正常的情况已经消失，光字牌熄灭，因 ZC-23 型脉冲继电器不具有返回特性，故仍将发出音响信号。今在 3XMJ 后面反极性串接 4XMJ 后，在外部短路交流电压下降光字牌点亮的同时，正接的 3XMJ 动作，而反极性连接的 4XMJ，因二次侧脉冲电势被二极管  $D_4$  短接，故不会动作。3XMJ 动作后，如前所述恰在时间继电器 2SJ 起动时，外部不正常情况已消失，这



在“跳闸后”位置的手柄(正面)的样式和触点盒(背面)接线图								
手柄和触点盒型式		F8	1a	4	6a	40	20	20
触点号		—	1-3 2-4	5-8 6-7	9-10 9-12 10-11	13-14 14-15 13-16	17-19 17-18 18-20	21-23 21-22 22-24
位置	跳闸后		—	×	—	—	×	—
	预备合闸		×	—	—	×	—	×
	合闸		—	—	×	—	×	—
	合闸后		×	—	—	×	×	—
	预备跳闸		—	×	—	—	×	—
	跳闸		—	—	×	—	×	—

图 5-50 转换开关

(a) 外形图; (b) 触点图表

将使流过 3XMJ 和 4XMJ 一次线圈中的电流突然消失,因而在脉冲继电器二次侧感应出负的脉冲电势,此时 4XMJ 不为  $D_4$  所短接而动作。4XMJ 动作后,起动中间继电器 4ZJ,其常开触点  $ZJ_1$  闭合,形成自持;常闭触点  $4ZJ_2$  断开,将中间继电器 3ZJ 的自保持电路断开,使 3ZJ 返回。于是时间继电器 2SJ 亦随之返回,从而保证了不会发出无光字牌的音响信号。

瞬时预告信号和延时预告信号音响部分是公用的,因此音响解除按钮也是公用的。

#### 四、断路器的控制回路

安装在配电装置中的断路器,合闸和跳闸的操作通常是在主控制室进行的,主控制室与断路器之间的距离,一般约数十到数百米。主控制室中的控制屏上,装有对断路器进行合闸和跳闸控制的转换开关。转换开关与断路器操作机构箱之间用控制电缆联系。操作转换开关即可控制断路器跳、合闸。

发电厂和变电所容量越大,断路器数量也越多,为了减少主控制室的运行监视面,可将某些不重要回路的断路器的操作,设置在配电装置的断路器旁,称为就地控制。例如发电机电压母线的直馈线、厂用电某些电路、变电所中低压母线的馈电线等,其断路器的控制可采用就地控制方式。

断路器的控制电路,随断路器操作机构、监视断路器是在合闸位置还是跳闸位置的方法、以及三相连动还是分相操动机构的不同而有所区别。

##### (一) 电磁操作机构的断路器控制回路

控制断路器用的转换开关根据其用途有各种型式,图 5-50 (a) 是 LW2—Z—1a、4、6a、

40、20、20/F8 型转换开关的外形图。控制屏正面看到的是转换开关的面板及手柄。图 5-50 (b) 触点图表中，示出了手柄六个位置及其相应的位置名称。

从控制屏后可看到转换开关的六个触点盒，每一个触点盒有四个接线螺钉，在触点盒内部有四个固定接触点和可动触刀。触点盒的结构型式多种多样，图 5-50 (b) 所示的第一个触点盒是 1a 型。手柄在跳闸后位置时 2—4 触点接通。手柄顺时针方向旋转 90°到预备合闸位置时，1—3 触点接通。从触点图表中可见，1a 触点盒，仅当手柄在竖直向上和水平向左位置时，才有触点接通。因此，1a 触点盒仅有 1—3 和 2—4 两对触点，1—3 触点在预备合闸和合闸后位置接通，2—4 触点在预备跳闸及跳闸后位置接通，其他位置均断开。其他触点盒，由于可动触刀的结构型式不同，因而有不同的触点对数。利用转换开关的触点在不同位置时的通和断，便组成了断路器的控制电路。

### 1. 没有电气防跳设施的断路器控制电路

图 5-51 (a) 是具有 CD2 型操作机构的断路器控制电路。 $\pm$ KM 是装在控制屏顶上的两根控制小母线。1RD 和 2RD 是装在控制屏顶上的熔断器。

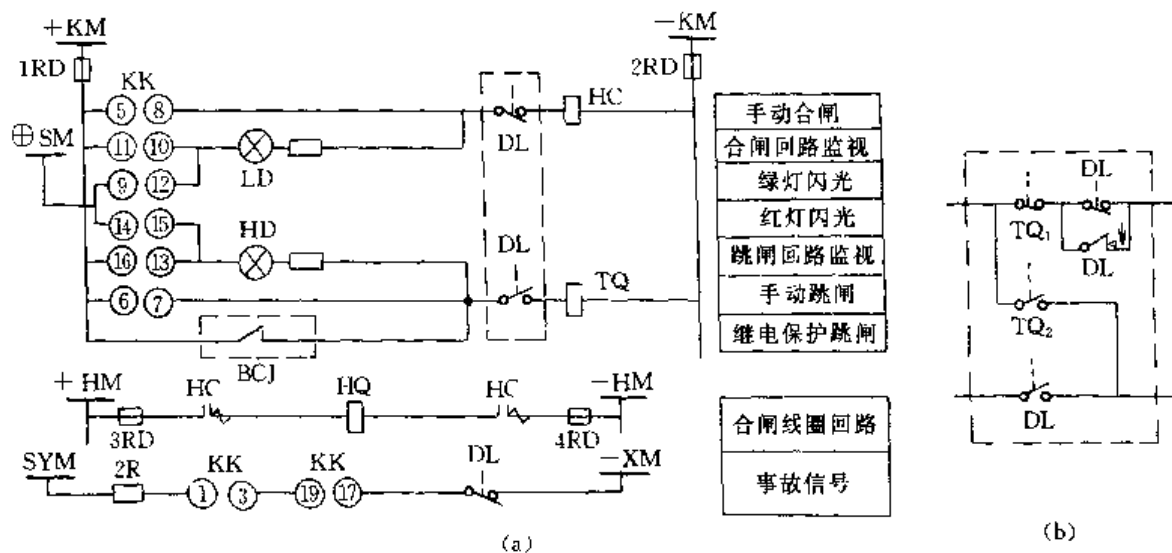


图 5-51 断路器控制电路

(a) 没有电气防跳设施的断路器控制电路；(b) 利用跳闸线圈辅助触点防跳的控制电路

(1) 合闸状态。在断路器原处于合闸状态时，KK 手柄在合闸后位置。此时断路器的操作机构箱中辅助开关的常开触点 DL（断路器断开，DL 断开，断路器合闸，DL 接通）是闭合的，KK 的 16—13 触点是接通的，这样红灯 HD 经附加电阻和断路器常开辅助触点 DL 及断路器操作机构箱中的跳闸线圈 TQ 形成通路，红灯发平光。这时虽然跳闸线圈 TQ 有电流通过，但因回路中串接了红灯电阻及附加电阻，故电流很小，电磁力不足以将跳闸铁芯吸上，断路器不会动作跳闸。灯所以带附加电阻，是为了防止灯泡两端短接，造成断路器误跳闸。红灯亮平光，一方面指示断路器在合闸位置，另一方面指示跳闸线圈回路完好。运行中红灯熄灭，则表明跳闸线圈回路断线，下一步操作跳闸时断路器将拒绝动作，必须检查修复。因此这种电路称为具有灯光监察的控制电路。

(2) 分闸操作。在进行断路器分闸操作时，将 KK 手柄旋转到预备分闸位置后继续旋转到分闸位置。这时 KK 的 6—7 触点接通，将红灯电阻及附加电阻短接，因而流过分闸线

圈电流增大，电磁力能吸引跳闸铁芯，使操作机构脱扣，断路器分闸。断路器分闸后，其辅助常开触点 DL 断开，使分闸线圈断开。辅助常闭触点 DL 接通，使合闸接触器线圈 HC 及绿灯 LD 所形成回路经 KK 的 11—10 触点接通（因手柄在跳闸位置时 KK 的 11—10 触点是接通的）。这样绿灯亮发平光，指示断路器已经分闸。随后手柄弹回到分闸后位置。此时 KK 的 6—7 触点断开，KK 的 11—10 触点仍接通，故绿灯一直亮平光。虽然合闸接触器线圈 HC 有电流流过，但因串接有绿灯电阻及附加电阻，故电流很小，不足以使合闸接触器动作，因而不会造成断路器误合闸。绿灯亮平光，一方面指示断路器在分闸位置，另一方面监视合闸接触器回路完好。

(3) 合闸操作。在进行断路器合闸操作时，旋转手柄到预备合闸位置后，继续旋转到合闸位置。此时 KK 的 5—8 触点接通，将绿灯和附加电阻短接。流过合闸接触器线圈 HC 电流增大，因而合闸接触器动作，使断路器的合闸线圈 HQ 接通电源，将断路器合闸。为什么 KK 的 5—8 触点不直接接通 HQ 呢？这是因为 HQ 线圈的导线很粗电阻很小，合闸电流可达数百安培，假如 KK 的触点直接接通 HQ，将会烧坏 KK 的触点。为避免此缺点，将 KK 的 5—8 触点先接通一个中间接触器的线圈，再通过中间接触器触点接通断路器的合闸线圈。此外由于合闸电流很大，因此不能由控制小母线 KM 经熔断器 1RD 和 2RD 供电；而是采取由直流屏顶上的合闸母线 HM 经合闸电缆送到断路器端子箱供电。3RD 和 4RD 是合闸熔断器，它们装于断路器端子箱内。

断路器合闸以后，辅助常闭触点 DL 断开，HC 断路，因而合闸接触器触点断开，使合闸线圈 HQ 断开。因 KK 的 16—13 触点在合闸位置时接通，合闸后辅助常开触点 DL 接通，故红灯 HD 亮平光，红灯亮指示断路器已合闸。随后手柄弹回到合闸后位置，KK 的 5—8 触点断开，而 16—13 触点仍接通，故红灯一直亮平光。

(4) 事故跳闸。当运行中一次系统发生事故，继电保护动作，装在继电保护屏上的保护出口继电器 BCJ 的触点闭合，一端接到正电源，另一端经电缆接到 KK 的 7 号接线柱。因而将红灯电阻及附加电阻短接，断路器跳闸。

断路器事故跳闸，必须发出事故信号。事故信号包括事故音响信号（喇叭叫）和事故跳闸断路器绿灯闪光。音响告知出了事故，绿灯闪光指示是哪一台断路器发生事故跳闸。由于手柄在合闸后位置时，KK 的 9—10 触点接通，故当断路器事故跳闸，其辅助常闭触点 DL 接通后，将绿灯右边接到负电源，左边接到控制屏顶的闪光小母线  $\oplus$ SM。而闪光小母线由控制屏引到直流屏，经闪光装置接到正电源。故正负电源经绿灯接入闪光装置，闪光装置起动。闪光装置相当于一对触点一时接通一时断开，如此不停的反复动作，使闪光小母线一时带正电，一时不带电，这样绿灯就闪光。闪光的同时还起动事故音响信号；事故信号回路中 KK 的 1—3 和 17—19 触点，因手柄在“合闸后”位置时接通，当断路器事故跳闸时，其辅助常闭触点 DL 接通，故负极信号小母线—XM 通过电阻 2R 与事故信号小母线 SYM 接通。而 SYM 引到中央信号屏，经事故音响装置接到正极信号小母线+XM，因此正负电源经电阻加到事故音响装置，起动发出事故音响。

值班人员处理事故时，首先停止音响信号，但保留闪光，以便处理事故过程中知道是哪一回路的断路器发生了事故跳闸。在事故处理完毕，将手柄旋转到跳闸后位置，KK 的 9—10 触点断开，闪光便解除。同时 KK 的 1—3、19—17 触点断开，于是事故信号回路随即

断开。

从图 5-51 中可见,当操作断路器合闸时,将手柄旋转到预备合闸位置,KK 的 9—10 触点接通,此时由于断路器在跳闸位置,其辅助常闭触点 DL 接通,因而绿灯闪光。同样如操作断路器跳闸,将手柄旋转到预备跳闸位置时红灯闪光。这种情况下的闪光是短时的,不属事故闪光。

(5) 防跳。上述控制电路并未设电气防跳装置。所谓防跳其含义如下:

当操作断路器合闸时,旋转 KK 的手柄到合闸位置, KK 的 5—8 触点接通,断路器合闸。如果在合闸瞬间电力系统有短路事故,则继电保护立即动作跳闸。但此时因为操作人员仍把住手柄在合闸位置, KK 的 5—8 触点仍在接通状态,合闸接触器又会重新动作使断路器再次合闸。接着继电保护又再次动作跳闸,如此循环形成断路器跳跃现象,一直到手柄弹回,才停止跳跃。这样的跳跃是不允许的,因合闸于短路的回路,是接通短路电流,跳闸便是切除短路电流,多次跳跃的后果,一方面使断路器损坏,另一方面使一次系统工作受到严重影响。为了防止这种跳跃发生,必须采用电气的或机械的防跳装置。

当断路器操作机构是 CD2 型时,操作机构本身具有防跳设施,因此图 5-51 (a) 控制电路不含电气防跳。

## 2. 利用跳闸线圈辅助触点防跳的控制电路

当断路器采用 CD5 型、CD6—G 型和 CD8 型操作机构时,机构本身不能防跳,必须加装电气防跳设施。将图 5-51 (a) 的虚线方框中部分换成图 5-51 (b) 所示,就是这种加装电气防跳设施的控制电路。操作机构的跳闸线圈带有一对常开触点  $TQ_2$  和一对常闭触点  $TQ_1$ ,利用这两对辅助触点的切换达到防跳目的。例如当断路器在跳闸位置时,其辅助常开触点 DL 断开,跳闸线圈 TQ 不带电,因而  $TQ_1$  接通,  $TQ_2$  断开。此时绿灯及合闸接触器线圈回路接通。当手柄旋转至合闸位置, KK 的 5—8 触点接通,断路器合闸。假如合闸瞬间系统有短路事故,继电保护动作使流过 TQ 电流增加,跳闸铁芯向上吸引,一方面使操作机构脱扣跳闸,另一方面使  $TQ_1$  断开,  $TQ_2$  接通。因把住手柄在合闸位置, KK 的 5—8 触点一直在接通,故经  $TQ_2$  使跳闸线圈 TQ 维持通路,因而手柄被把住使得 TQ 始终有电流流过,使  $TQ_1$  始终断开,从而切断了合闸回路,使断路器不能合闸。弹回手柄后, TQ 失电,  $TQ_1$  接通,  $TQ_2$  断开,断路器维持跳闸位置。

断路器常闭辅助触点 DL 并联一对滑动触点,原因是:断路器合闸时, KK 的 5—8 触点接通,经过合闸接触器 HC 的中间传动使断路器合闸。但往往断路器还未合上,辅助常闭触点 DL 就先断开,因而合闸接触器线圈 HC 失电,使断路器不能合闸。为此并接一对滑动触点 DL。当操作机构动作时,操作机构的滑动触点也闭合。由于是滑动接触,故闭合时间较长,一直到操作机构运动到终了位置,滑动触点才断开,这样就保证断路器能合上。

## 3. 装设跳跃闭锁继电器的断路器控制电路

若断路器操作机构本身不能机械防跳,而跳闸线圈又没有辅助触点,则可采用图 5-52 所示的防跳电路。它的作用是: KK 的 5—8 触点接通使断路器合闸。若系统发生事故,继电保护动作,使 TQ 回路接通,一方面跳跃闭锁继电器 TBJ 的电流线圈带电,其触点  $TBJ_2$  断开合闸回路。触点  $TBJ_1$  闭合,因而经 KK 的 5—8 触点使跳跃闭锁继电器电压线圈带电,并使跳跃闭锁继电器电压线圈自保持。另一方面 TQ 带电,使断路器跳闸,跳闸后虽然断路

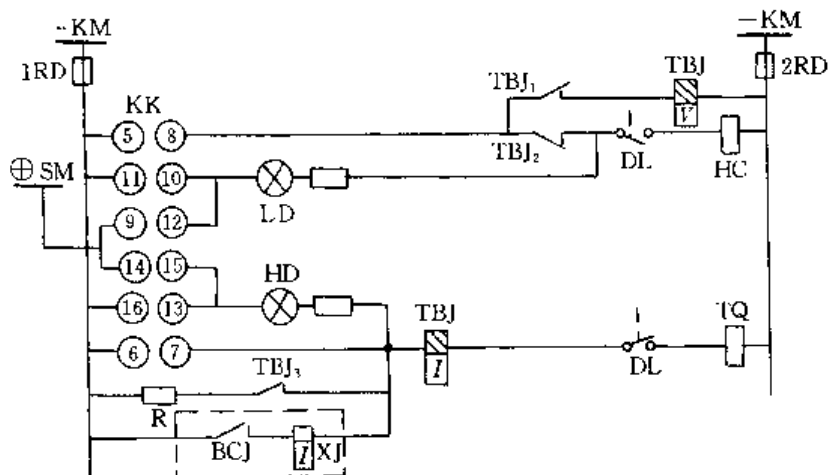


图 5-52 具有跳跃闭锁继电器防跳接线的断路器控制电路

器辅助常开触点断开，使跳跃闭锁继电器电流线圈失电，但因电压线圈已自保持，这样断路器不会发生跳跃。手柄弹回后，KK 的 5—8 触点断开，TBJ 复归。

图中加了一对 TBJ<sub>3</sub> 触点，并且串接电阻 R，其作用是：继电保护出口继电器触点 BCJ 闭合使断路器跳闸，跳闸后断路器辅助常开触点 DL 断开 TQ 回路，切断跳闸电流。假如在辅助常开触点 DL 未断开之前，继电保护出口继电器触点就断开，则由于切断跳闸电流会烧坏触点。为此并接 TBJ<sub>3</sub>，跳闸电流在保护出口继电器触点断开后仍有通路，只有断路器辅助常开触点才能切断跳闸电流。TBJ<sub>3</sub> 串接电阻 R 的作用是：当保护出口继电器触点串有电流型信号继电器线圈 XJ 时，触点闭合使信号继电器流过跳闸电流，但其还来不及掉牌 TBJ<sub>3</sub> 就已经闭合，若无电阻 R 将使信号继电器线圈失电而不能掉牌。为此串接 R，使 TBJ<sub>3</sub> 闭合后，信号继电器线圈仍有电流流过能够掉牌。电流型信号继电器线圈电阻一般是 0.7Ω 和 0.2Ω 两种，故 R 阻值只需 1Ω 即可。当保护出口继电器触点不串接信号继电器线圈时，可取消 R。

#### 4. 就地控制断路器的控制电路

控制电路如图 5-53 所示，其工作原理简述于下：

操作 KK 到合闸位置，其 5—8 触点接通，使断路器合闸。断路器合闸后使合闸位置继电器 HWJ 带电，因而 HWJ 的常开触点闭合，接通红灯回路。红灯回路的小母线 XPM 与中央信号回路的 +XM 相连，-XM 经配电装置内转换开关 KZ 与中央信号回路的 -XM 相连。需红灯亮屏运行时，合上 KZ，暗屏运行时断开 KZ。

操作 KK 到跳闸位置，其触点 6—7 接通，断路器跳闸。断路器跳闸后其常闭辅助触点 DL 闭合，因而接通绿灯回路（KK 的 22—24 触点在跳闸及跳闸后位置时接通），绿灯亮平光。

当跳闸回路断线时，继电器 HWJ 失电，故其常闭触点闭合，使预告信号中，跳闸回路断线电路接通（断路器在合闸，其常开辅助触点 DL 接通、KK 在合闸后位置，其 9—10 触点接通），使预告信号小母线 YBM<sub>1</sub> 带上正电源。而 YBM<sub>1</sub> 引到中央信号回路，经中央信号装置到负电源，故跳闸回路断线电路接通时，即起动中央信号装置，发出中央预告信号。

由于红灯和绿灯都装在配电装置内，故没接入闪光装置。由于其他回路均属于继电保



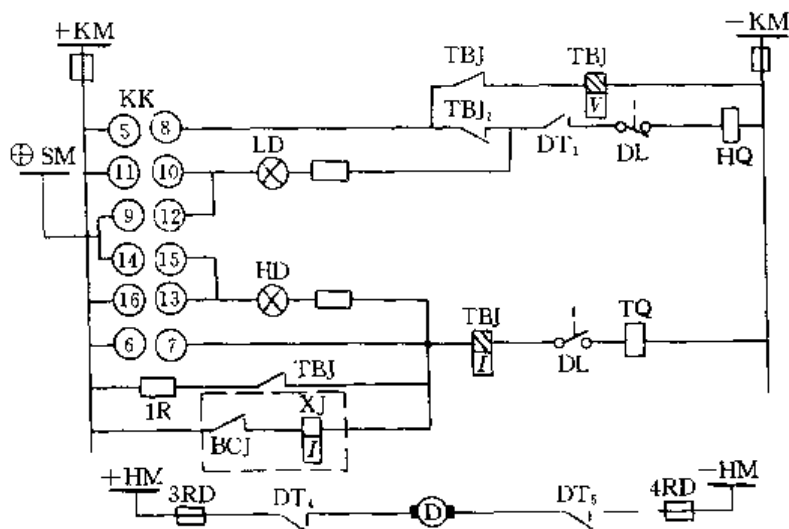


图 5-55 具有弹簧操作机构的断路器控制电路

### (三) 具有音响监察的断路器控制电路

在大型发电厂和变电所中，因断路器较多，如采用上述带红绿灯的控制电路，则当发生跳合闸回路断线或操作小保险熔断时，红灯或绿灯熄灭不易为值班人员所发现，为此采用具有音响监察的控制电路。

#### 1. 音响监察的断路器控制电路

图 5-56 是采用电磁操作机构的控制电路。控制开关 KK 用图 5-57 所示的 LW<sub>2</sub>-YZ-1a、4、6a、10、20、20/F<sub>3</sub> 型转换开关，转换开关手柄本身带有白灯，用以代替红灯和绿灯。从图 5-57 可见，手柄在预备合闸、合闸及合闸后位置时，灯与 KK 的 2—4 触点接通。手柄在预备跳闸、跳闸及跳闸后位置时，灯与 KK 的 1—3 触点接通。

(1) 音响监察断线。由图 5-56 可见，当断路器在合闸状态，手柄在合闸后位置，断路器辅助常开触点 DL 接通，合闸位置继电器线圈 HWJ（电压线圈）带电，因而手柄白灯经 KK 的 2—4 触点及 KK 的 20—17 触点加上电压，亮平光。下一步操作是跳闸，假如跳闸线圈 TQ 回路断线或操作小保险熔断，则 HWJ 线圈失电。同时由于断路器辅助常闭触点 DL 断开，使跳闸位置继电器线圈 TWJ（电压线圈）也失电。这样两个位置继电器的常闭触点都闭合，接通断线信号小母线 KDM，在中央信号装置经延时发出音响信号（延时的作用将在下面叙述），同时因 HWJ 的常开触点断开，使手柄灯熄灭。值班人员听到音响（铃响），看到在合闸后位置的断路器手柄灯熄灭，就知道该断路器的跳闸回路出现断线故障。同理，警铃响，并且在跳闸后位置的手柄灯熄灭，表示该断路器的合闸回路出现断线故障。

(2) 分闸操作。当需要断路器分闸时，将手柄旋转到预备分闸位置，KK 的 17—18 触点接通，指示灯接到 KK 的 1—3 触点，因而灯发出闪光。再将手柄旋转到分闸位置，KK 的 10—11 触点接通，将 HWJ 线圈短接，使分闸线圈 TQ 电流增大而分闸。分闸后断路器辅助常闭触点 DL 闭合，使 TWJ 线圈带电。TWJ 常开触点闭合，使指示灯经 KK 的 1—3 触点和 15—14 触点加上电压，故断路器在分闸后灯亮平光。然后放手使手柄弹回到分闸后位置，灯仍亮平光。

分合闸回路断线监视的音响信号，之所以经延时发出，是因为当手柄旋转到分闸位置

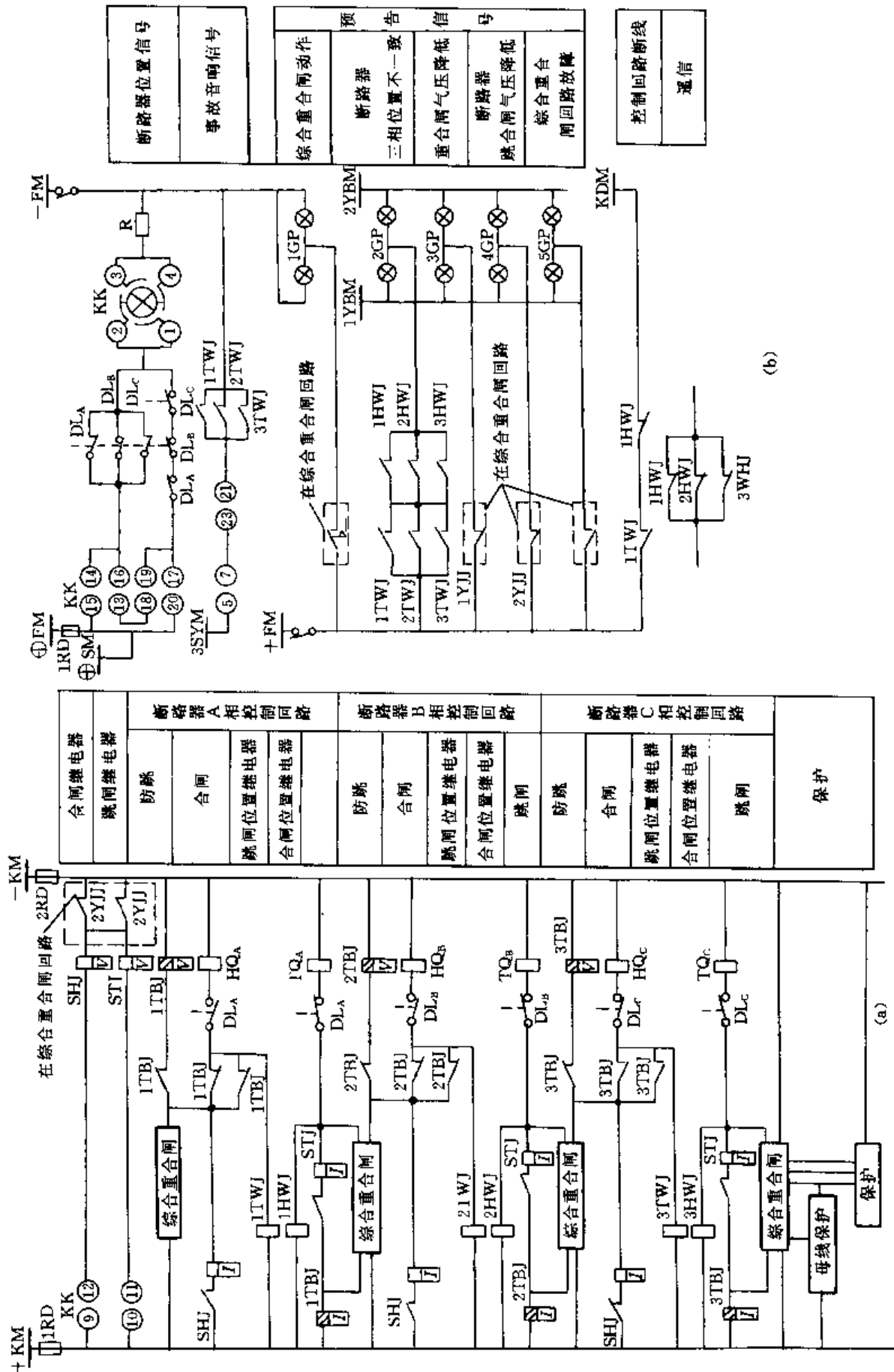


图 5-58 具有综合重合闸装置的压缩空气断路器控制、信号电路  
(a)控制电路;(b)信号电路

综合重合闸动作时，光字牌 1GP 亮。

当断路器出现三相位置不一致时，如一相跳闸两相合闸，则常开触点 1TWJ、2HWJ 和 3HWJ 闭合，将 +FM 接到 2GP，经 2GP 到预告信号小母线 1YBM 和 2YBM，经小母线到中央信号屏，一方面使 2GP 亮，另一方面在中央信号屏发出预告音响信号。

当气压低到不允许重合闸及跳合闸时，1YJJ 和 2YJJ 常闭触点闭合，3GP 和 4GP 亮并发出预告音响信号。综合重合闸回路故障时，经 5GP 发预告信号。控制回路断线的预告信号同图 5-56 一样。

遥信信号是在遥信通道中接入三个并联的 HWJ 常闭触点，当断路器跳闸时，经过通道告知调度值班员。

### 五、交流及复式整流操作电源

变电所开关控制、继电保护、自动装置和信号设备所使用的电源称为操作电源。对操作电源的基本要求是要有足够的可靠性。不论变电站的运行状况如何变化，即使变电站发生短路事故，母线电压降到零，操作电源不允许出现中断，仍应保证有足够的电压和足够的容量。

操作电源可分为两大类：对于结线方式较为简单的小容量变电所，常常采用交流操作电源；对于较为重要、容量较大的变电所，一般采用由固定蓄电池供电的直流操作电源。

#### （一）交流操作电源

交流操作电源可以由变流器、电压互感器或所用变压器供电。

##### 1. 变流器供给操作电源

当电气设备发生短路事故时，短路电流流经变流器的一次线圈，变流器的二次线圈端子上流出一个很大的电流，这个电流可以供给操作回路作为跳闸操作电源。图 5-59 所示，即为 GL 系列过电流继电器去分流跳闸的连接图。正常时，跳闸线圈 TQ 与过电流继电器的常闭和常开触点形成并联分流电路。当被保护区发生短路故障时，过流继电器 GL 起动，常开触点合上，常闭触点打开，于是变流器的二次线圈与继电器 GL 的电流线圈和跳闸线圈 TQ 组成串联回路，变流器二次回路流过的电流使开关跳闸。

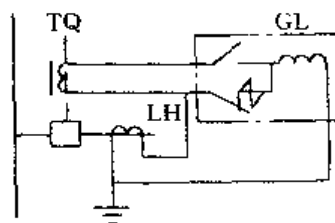


图 5-59 变流器供给  
操作电源

只有在发生短路事故时，或者在负荷电流较大时，变流器的二次电流才足够作为继电保护跳闸之用。如果负荷电流较小，则不足以操纵开关设备。

##### 2. 电压互感器和站用变压器供给操作电源

和电流互感器相反，当采用电压互感器或站用变压器供给操作电源时，只适用于正常运行或接近正常运行的情况，不适用于发生短路的情况。因为当发生短路时，母线电压下降，由电压互感器或站用变压器供给的操作电源电压降低，使开关操作发生困难。因此上述两种交流操作方式只在个别情况下采用。在 10kV 及以下的中小容量变电站中，变流器供给操作电源的方式用得较多。

#### （二）复式整流操作电源

由所内变压器低压 380V 电源经降压整流后，输出直流，作为正常情况下继电保护及断

路器操作及跳闸电源。当变配电所母线或出线上发生短路故障时，变配电所内所用电压降低，此时由电流互感器和电压互感器二次经整流后供给操作电源的方式，称为复式整流操作电源。

用复式整流操作电源代替蓄电池，投资少、体积小，便于维护，但电压不够稳定。特别是当变电所的运行状态比较复杂时，复式整流的结线也比较复杂。且复式整流的运行状态与变电所的主结线方式有关，不易管理。因此目前复式整流装置已较少应用。

图 5-60 为利用电流互感器和所用变压器构成复式整流的一个实例。由图中可见，电流互感器经速饱和变流器输出交流电压，经硅整流器整流后供给直流操作电源。速饱和变流器有两种结构。

#### 1. 不等截面速饱和变流器

图 5-60 中的速饱和变流器即为不等截面速饱和变流器，黑粗线代表的是大截面铁芯，而细线代表的是小截面铁芯。

初级绕组  $W_1$  及补偿绕组  $W_k$  绕于大铁芯上，次级绕组  $W_2$  及电容绕组  $W_c$  绕于小铁芯上，当  $W_1$  内流过电流后，在  $W_2$  内感应出电压，由于铁芯饱和使  $W_2$  输出的电压不高。 $W_k$  与  $W_2$  串联，极性相反，当通过大量的故障电流时， $W_k$  内的电压抵消掉  $W_2$  的一部分电压，使输出电压较平稳。

电容器 C 接在电容绕组  $W_c$  上，其作用有两点：

(1) 该电容器 C 作为速饱和变流器的一个负载，从而减小了电流互感器的二次负载阻抗。

运行中当主变压器的负荷电流反映到电流互感器次级为 1.7A 时，曾测量了电流互感器的次级电压，其值如下：

当电容器接上时： $U_{a_0}=16V$ ， $U_{b_0}=15V$ ， $U_{c_0}=16V$ ；

电容器停用时： $U_{a_0}=120V$ ， $U_{b_0}=115V$ ， $U_{c_0}=120V$ 。

说明电容器停用时电流互感器的负担大大增加，电流互感器的铁芯可能要发热。

(2) 电容器 C 的电容电流与速饱和变流器铁芯的励磁电流相抵消，从而使输出电压稍平稳。

#### 2. 等截面速饱和变流器

实践证明补偿线圈  $W_k$  的作用不大。当  $W_k$  的匝数放得少时其稳压作用很小，放得太多时，抵消  $W_2$  的输出电压较多，造成输出功率降低。在  $W_k$  取消后，铁芯没有必要再做成大小两个截面了，可以做成等截面。铁芯磁通密度取 1.5T 左右。

采用复式整流装置，必须进行可靠动作区校核。如图 5-60 所示的变电所，根据系统阻抗，计算出 6kV 馈线在不同距离故障点发生短路时的短路电流及 6kV 母线上的残压，绘出曲线，见图 5-61。

CD2 型电磁操作机构最低的跳闸电压，一般为额定电压的 60%~70%，从图 5-61 残压曲线中 66% $U_0$  即 4kV 时短路点离母线约 2.25km。在 2.25km 以外短路时，完全可由降压变压器的电压源使断路器跳闸。

2.25km 处短路时从短路电流曲线中查得电流为 400A，从而要求速饱和变流器在 35kV 电流互感器的一次侧通过 400A 时有足够的功率使断路器跳闸。

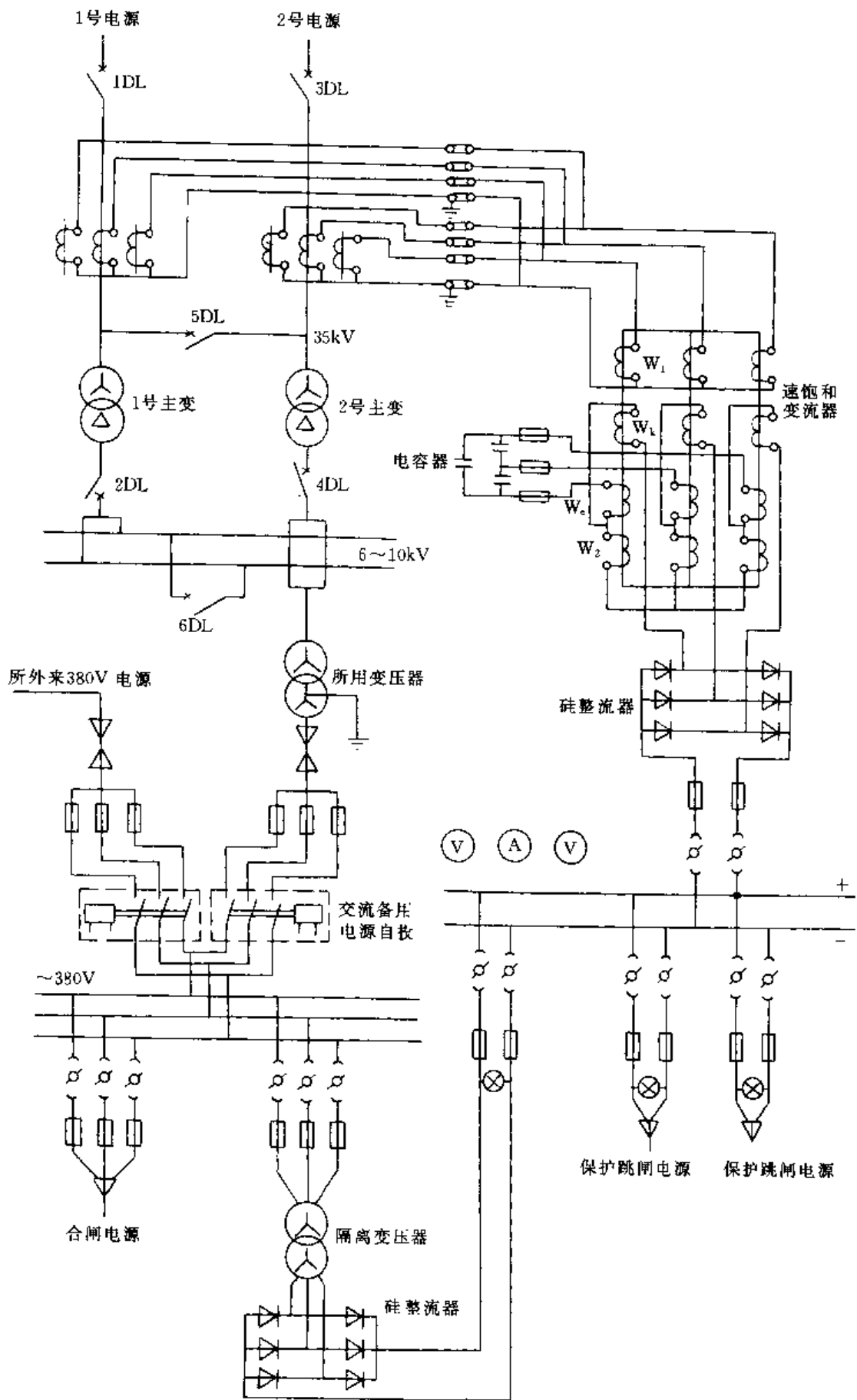


图 5-60 复式整流操作电源原理接线图

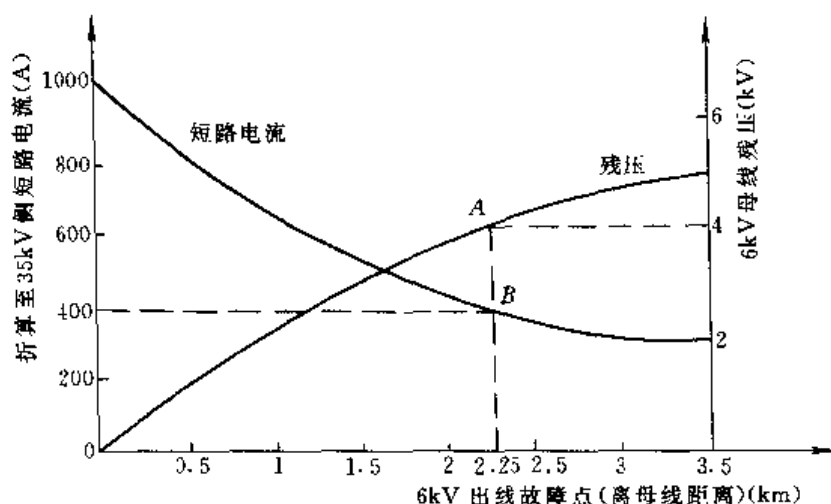


图 5-61 短路电流及母线残压

当 35kV 侧母线短路时，因故障电流较 6~10kV 出线短路时的电流大得多，此时速饱和变流器输出的功率也增大，能可靠地使断路器跳闸。

复式整流装置代替变配电所内的蓄电池后，大量地减少了运行维护工作，一般只需在变配电所停电检修时，通电流检验一次即可，平时不需要专门的维护工作，检验周期可以 2~3 年 1 次。

复式整流跳闸装置还存在着电压不够稳定的缺点，速饱和变流器的直流输出电压随着其直流侧负载电流大小而变化。速饱和变流器空载时输出电压最高，若直流额定电压是 110V 的，则可高达 190~200V。由于故障电流通过的时间很短，高电压很快消失，对电磁式继电保护装置影响不大，但应用半导体继电器时，要注意稳压问题。

## 第四节 变电所的直流系统

### 一、直流电源供电系统

变电所及发电厂的蓄电池组是作为控制、信号、继电保护及自动装置的直流电源，经电缆送到主控制室直流屏顶上的直流母线，再由直流母线分别引出作为控制电源、信号电源及合闸电源（见图 5-62）。

正常运行时蓄电池组处于浮充电状态，刀闸 6G 闭合、4G 合于上触头。浮充电电源一方面向蓄电池组供浮充电电流，另一方面供负荷电流。充电时，刀闸 3G 和 5G 都合于下触头，充电电源一方面向蓄电池组供充电电流，另一方面供负荷电流。刀闸 7G 和 8G 从直流母线取得电压加到合闸母线  $\pm$ HM，再由合闸母线用电缆引到各断路器操作机构箱作为合闸电源。刀闸 11G 和 12G 从直流母线和闪光小母线取得电压，经电缆送到控制屏顶作为信号及闪光电源。刀闸 9G 和 10G 从直流母线取得电压，经电缆送到控制屏顶作为控制电源。

合闸网络如图 5-63 所示，图中画出 110kV 户外断路器的合闸电源电路。断路器操作机构箱 X-1 和 X-7 分别从两根电缆取得电源，再从 X-1 和 X-7 分别送到其他断路器操作机构箱。操作机构箱 X-4 中的刀闸平常断开，若一侧失去电源时将此刀闸合上。

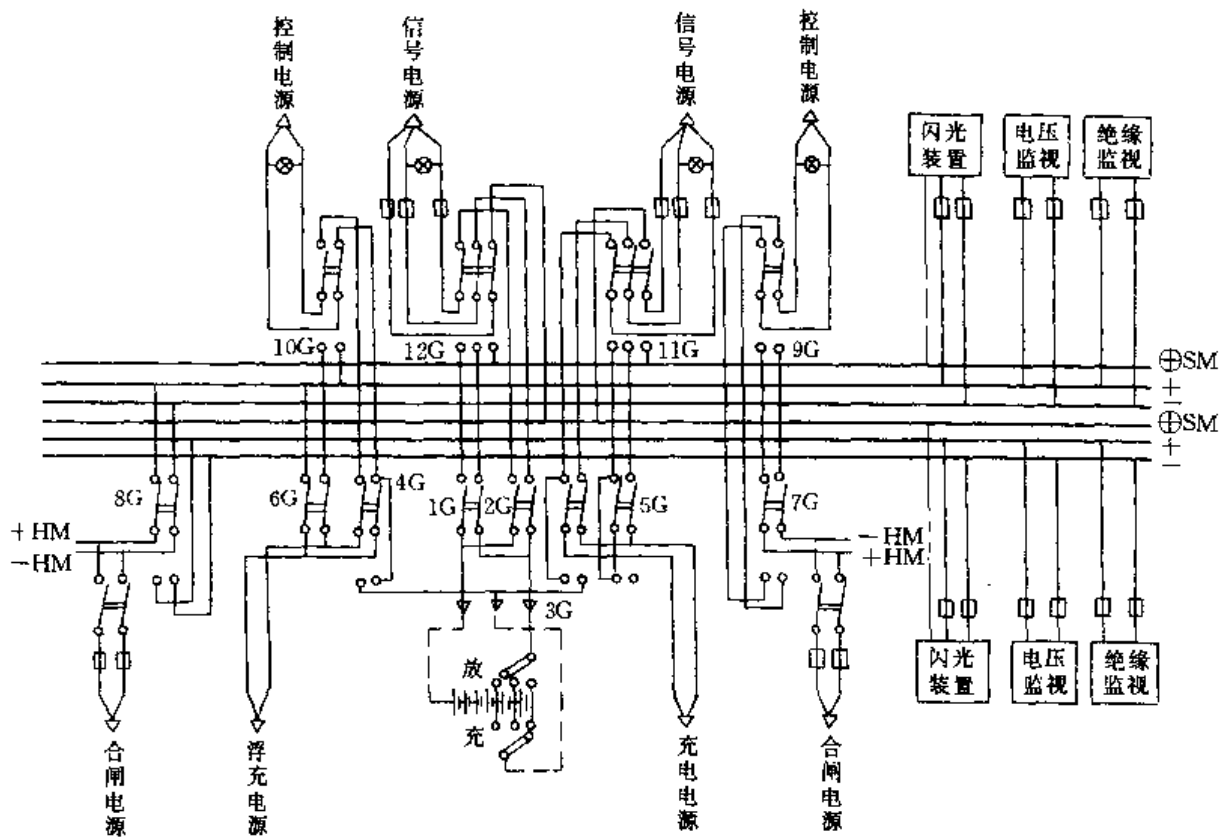


图 5-62 直流供电系统

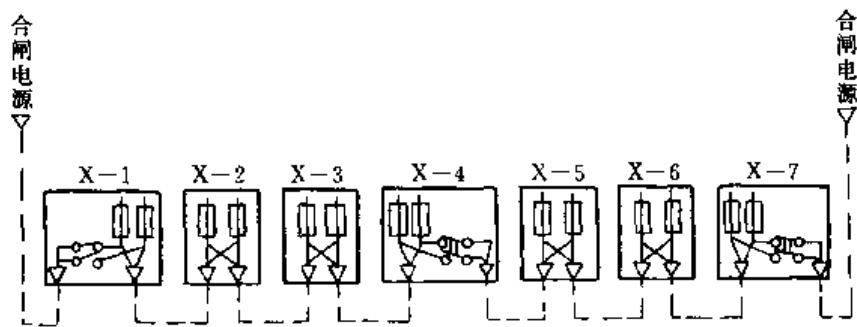


图 5-63 合闸网络

控制和信号电源网络如图 5-64 所示，屏顶小母线分三段，每段都能从两个方向取得电源。

在图 5-62 中，直流屏上每一段直流母线都装有闪光装置、电压监视装置和绝缘监视装置。

闪光装置电路如图 5-65 所示，它的作用是当断路器事故跳闸时使绿灯闪光。按下按钮 YA，则负极经白灯 BD 到闪光小母线⊕SM，再经闪光继电器 SGJ 到正极，该回路接通。电容器 C 充电，加到继电器线圈上电压逐渐升高，升高到一定数值，继电器动作，常闭触点断开。断开后，电容器经线圈放电，电压逐渐下降。降到一定数值，常闭触点又闭合，电容器又充电。如此反复充电和放电，使得常闭触点时断时合，因而使接到闪光小母线与负极之间的灯 BD 闪光。

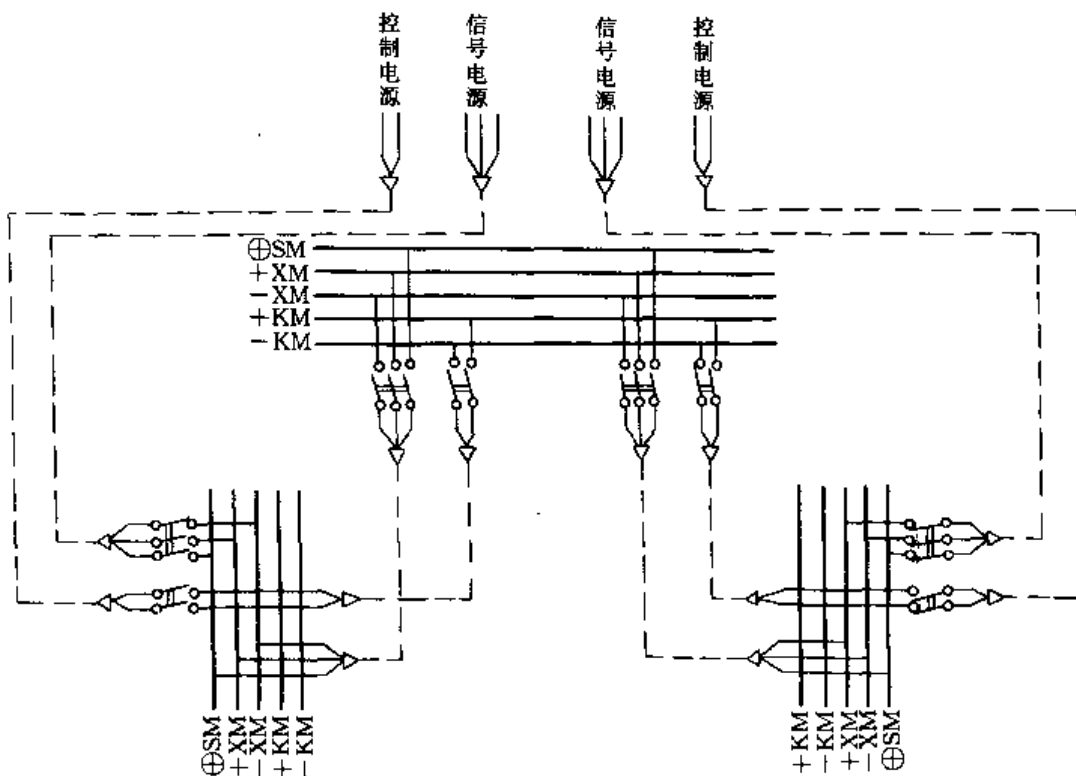


图 5-64 控制信号小母线供电电路

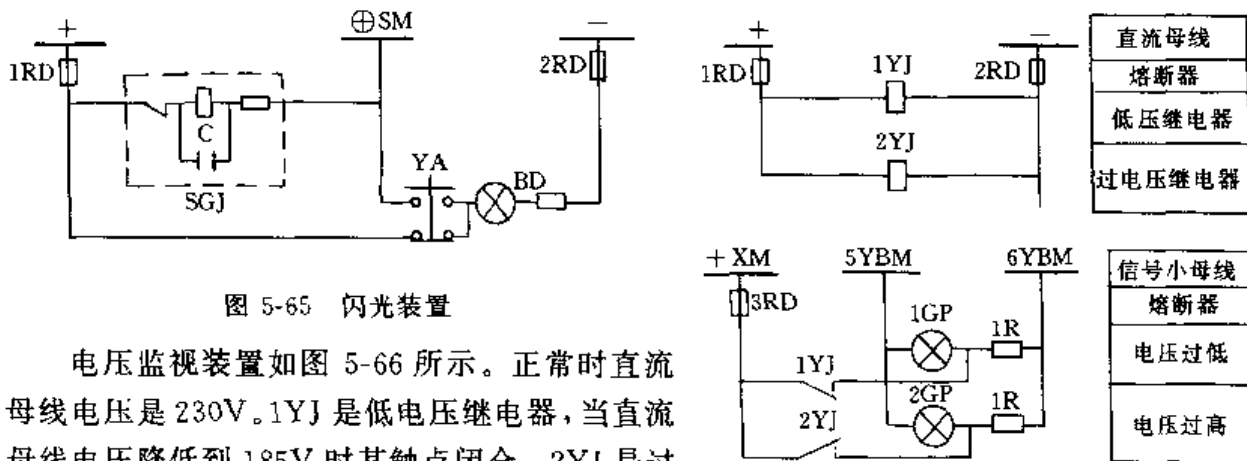


图 5-65 闪光装置

电压监视装置如图 5-66 所示。正常时直流母线电压是 230V。1YJ 是低电压继电器，当直流母线电压降低到 185V 时其触点闭合。2YJ 是过电压继电器，当直流母线电压升高到 275V 时其触点闭合。触点闭合后，接通光字牌 1GP 和 2GP，发出声光信号，指示直流电源发生不正常的电压降低和升高。

图 5-66 电压监视装置

## 二、直流系统的绝缘监察和电压监察

### (一) 直流系统的绝缘监察

直流供电网络一般分布较广，尤其变电站规模较大时，其控制回路分布范围更广，系统复杂，外露部分多，容易受到外界环境因素的侵蚀，使得直流网络绝缘水平降低，甚至可能发生绝缘损坏而接地。如果是正、负两极都接地，此时故障回路的熔断器熔丝熔断使相应部分的直流系统停电。如果是一极接地，直流网络仍可继续运行，但这是危险的不正常情况。如断路器跳闸线圈或继电保护装置出口继电器接地，再伴随其他一点接地，断路



器将会发生误跳闸。

由于上述原因为了防止两点接地可能发生的误跳闸，对发电厂（变电站）的直流系统必须装设足够灵敏度的绝缘状态监察装置。当直流系统（一般为 220V）中任何一极的绝缘下降到 15~20kΩ 时，绝缘监察装置应发出灯光和音响信号。

如图 5-67 是最简单的绝缘监察装置，将电压表接在直流系统的主母线上，图 5-67 (a) 用一个电压表，正常时转动切换开关 CK 至“+”或“-”时电压表无指示。若“-”极发生接地，则 CK 转至位置 2（“-”极）电压表无指示，转动到位置 1（“+”极）电压表有指示。

图 5-67 (b) 用两块电压表。在正常时两块电压表指示值是一样的，各是直流回路电压的一半。若“-”极接地时，则电压表 V<sub>2</sub> 指示数值下降，电压表 V<sub>1</sub> 指示数值增高。当某极完全接地时，其中一块表指示值升至全电压，另一块表电压指示值为零。

图 5-67 (c) 使用一块电压表，转换开关 CK 具有三个位置。手柄在中央时 1-2 及 5-8 接通，此时电压表 V 测量直流母线电压。手柄向左时 1-4 及 5-8 接通，电压表 V 测量负极对地电压。手柄向右时 1-2 及 5-6 接通，电压表 V 测量正极对地电压。而直流系统接地程度，只能根据电压表的指示值进行粗略估计。

在操作电源规模较大的直流系统中，常用的典型绝缘监察装置如图 5-68 及图 5-69 所示。

电压表 V<sub>2</sub> 平时用作测量母线电压，CK1-2 和 CK5-8 触点接通。同时也可用以粗略的估计正极和负极的相对绝缘电阻。

电压表 V<sub>1</sub> 用作测量系统总的绝缘电阻。正常时转换开关 1XK 的触点 5-7 和 9-11 以及 CK 的触点 9-11 都接通，V<sub>1</sub> 指示为零。当正极或负极接地（或绝缘降低到一定值时），对地绝缘电阻失去平衡，电流继电器动作发出信号。此时，可先借 V<sub>2</sub> 判断是正极还是负极绝缘降低，再将转换开关 1XK 投入到 I 或 II。当 1XK 处于位置 I 时，其触点 1-3 和 13-14 接通；当 1XK 处于位置 II 时，触点 2-4 和 14-15 接通。然后调节电位器 3R，使 V<sub>1</sub> 指示为零。再将 1XK 投到与前一操作相反的位置 II 或 I 上，此时 V<sub>2</sub> 指示即为直流系统总的对地绝缘电阻 R<sub>∑</sub>。为了知道每极的对地电阻，需进行如下换算：

当 1XK 处于位置 I 时（正极绝缘降低）

$$R_1 = \frac{2R_{\Sigma}}{2 - X}$$

$$R_2 = \frac{2R_{\Sigma}}{X}$$

当 1XK 处于位置 II 时（负极绝缘降低）

$$R_1 = \frac{2R_{\Sigma}}{1 - X}$$

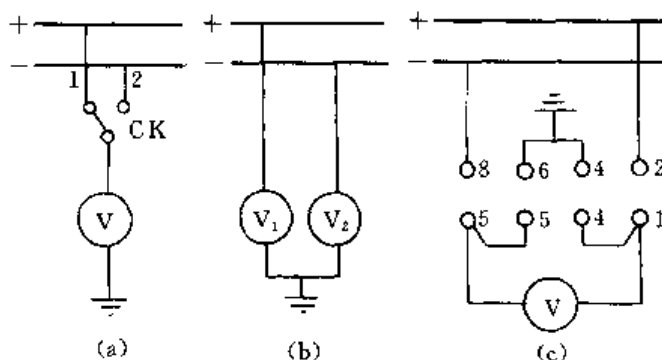


图 5-67 绝缘监察装置

(a)用一个电压表；(b)用两个电压表；(c)CK 实际接线

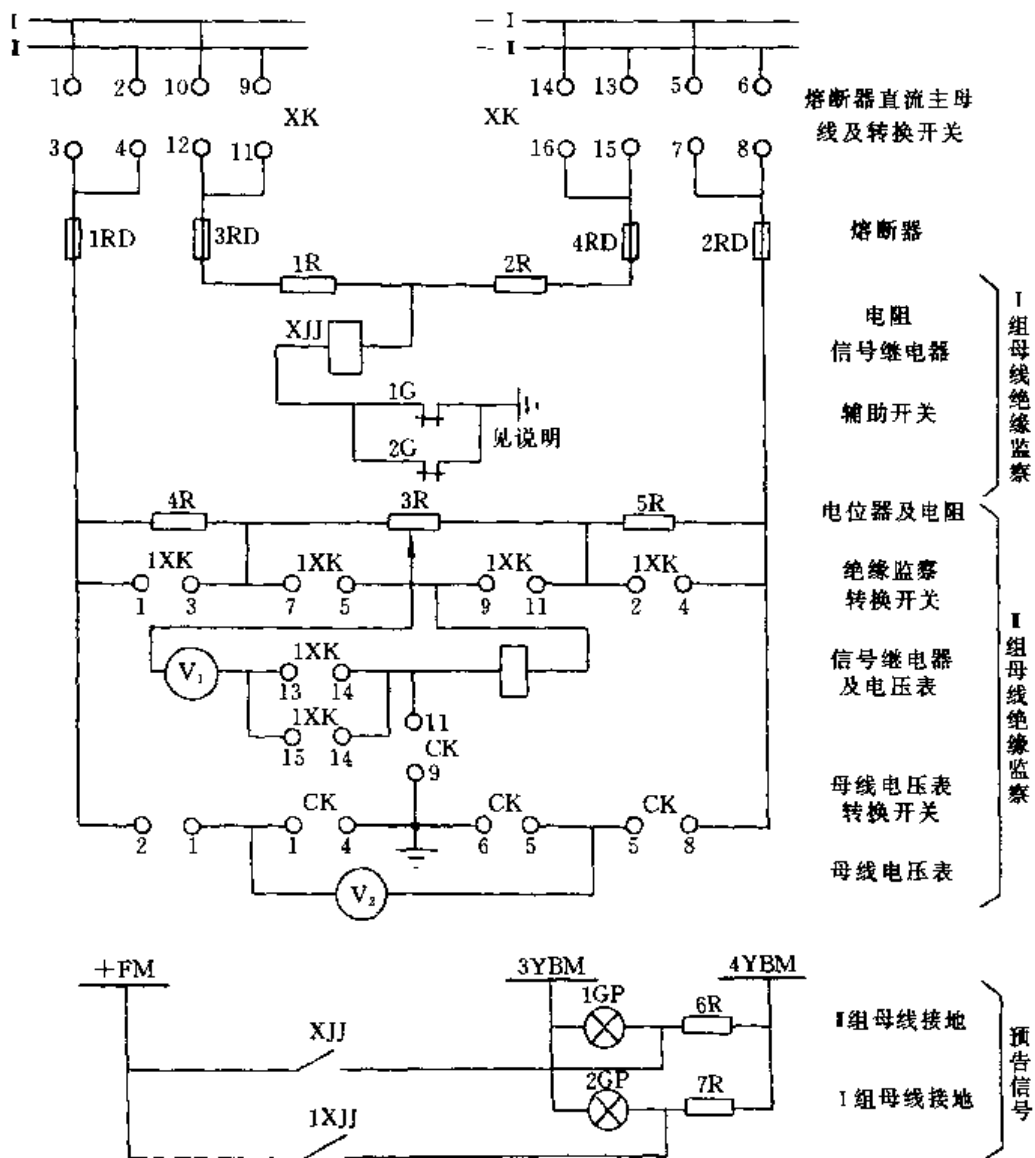


图 5-68 绝缘监察装置接线图  
说明：1G、2G 为蓄电池组回路刀开关的辅助触点

$$R_2 = \frac{2R_{1D}}{1 + X}$$

式中  $X$ ——电位器读数的百分值；

$R_1$ 、 $R_2$ ——直流系统正负极对地绝缘电阻值。

电压表  $V_1$  应为电压和电阻的双刻度。电阻的刻度应与系统的额定电压相对应，即电阻表尺的零刻度应位于电压表尺二分之一直流系统额定电压处。

信号继电器  $XJJ$  或  $1XJJ$  的参数应满足下列条件：

- 1) 系统中任一极对地绝缘电阻小于系统中最灵敏的中间继电器内阻（对 220V 系统为 20kΩ，110V 为 6kΩ）时，信号继电器应可靠动作。
  - 2) 信号继电器的内阻应保证系统中最灵敏的中间继电器不动作。
- 必须指出，这种接线的缺点是两极绝缘均同等下降时，不能发出信号。

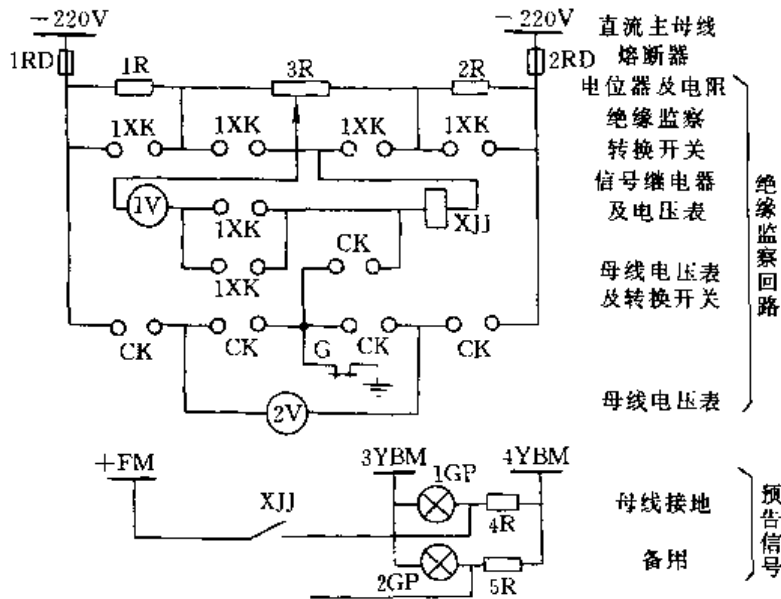


图 5-69 绝缘监察装置接线图

注：1. 本图适用于第一组母线绝缘监察装置。当用于第二组母线绝缘监察装置时，应将 CK 触点 4、6 及 9 直接接地。  
2. G 为母线联络开关上的辅助触点

绝缘监察装置为两段母线共用一套，而信号部分则各自分开。

### (二) 直流系统的电压监察

直流系统中除了要对绝缘进行严格的监视外，对其母线电压亦需进行准确监视，以防止直流电压偏离要求，造成继电保护和断路器拒动或误动。典型的直流电压监察装置接线如图 5-70 所示。它是由一只低电压继电器 KV1 和一只过电压继电器 KV2 组成的。当直流

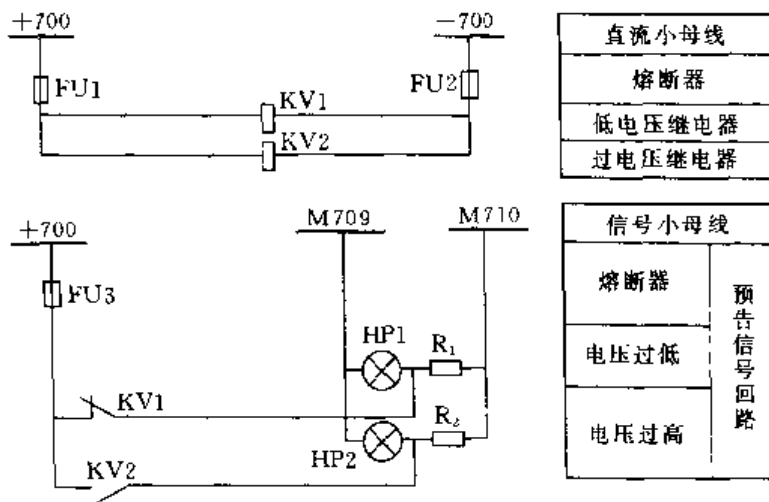


图 5-70 直流电压监察装置接线图

母线电压高于或低于额定值时，过电压或低电压继电器动作，发出预告信号。一般过电压继电器动作值选为  $1.25U_N$ ，低电压继电器返回值选为  $0.75U_N$ 。

### 三、硅整流电容储能直流电源

采用硅整流装置的直流系统，当整流装置的受电电源发生短路故障时，会引起交流电

源的电压下降，严重时（如电源进线短路）还会造成继电保护装置不能动作。这时采用电容器储能来补偿直流电压是一个比较简单可行的解决办法。选用的电容器，所储能量应能满足继电保护装置和断路器跳闸线圈动作时所需的能量。

### 1. 电路原理接线

硅整流及电容器电压补偿装置的电路原理接线，见图 5-71。

一般硅整流及电容器电压补偿装置装设两台硅整流器，分别接至两个不同的交流电源，在整流器的直流侧并列供电。为保证交流电源的可靠性，在交流电源侧不应装无电压释放等装置。直流额定电压宜选用 110V 和 220V。为了充分利用电容器的放电能量，电压运行值应比额定电压高 10%~30%。两台硅整流器的容量选择有两种方案，一种是……组容量较

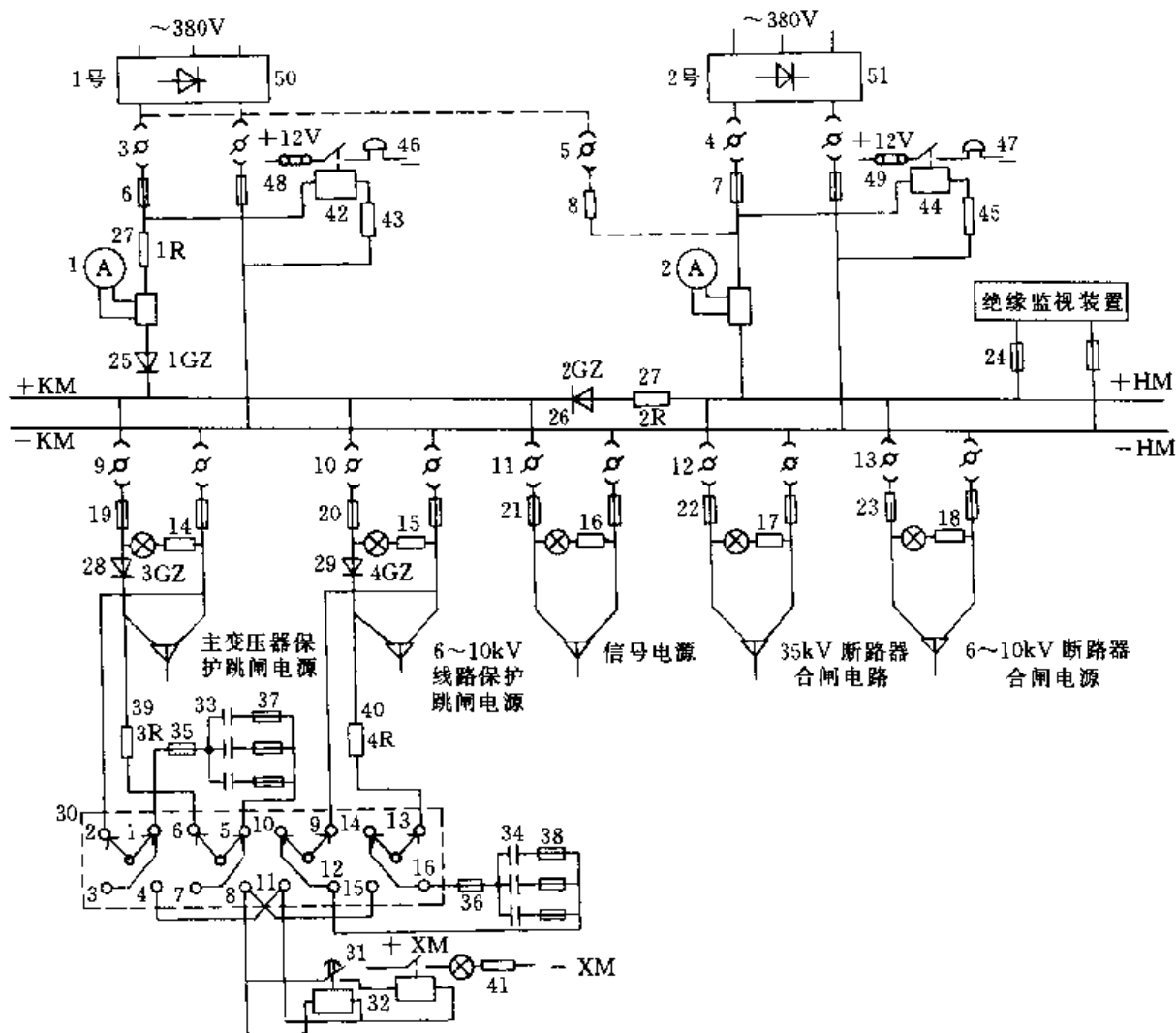


图 5-71 硅整流及电容储能电压补偿装置的原理接线图

- 1—电流表,1C2—A,25A;2—电流表,1C2—A,150A;3—组合开关 HZ10—25/2 型;4、5—组合开关 HZ10—60/2 型;6—熔断器,RC1—15A,内放 1/14 铅丝;7、8—快速熔断器,RSL—80A;9、10、11—组合开关 HZ10—25/2 型;12、13—组合开关 HZ10—60/2 型;14、15、16、17、18、41—指示灯;19、20、21—熔断器,RC1—10A,内放 1/16 铅丝;22、23—熔断器,RC1—100A,内放 1/18 铜丝;24—熔断器,RC1—10A,内放 1/18 铅丝;25、26、28、29—硅二极管,2CZ—30A/500V;27、39、40—电阻 5Ω、150W;30—转换开关,LW2—5.5/5.5/F4—X 型;31—时间继电器,DS—113/220 型;32—过电压继电器,DJ—111/220 型;33、34—电容器组;35、36—熔断器,RC1—15A,内放 1/16 铅丝;37、38—熔断器,RC1—10A,内放 1/21 铅丝;42、44—中间继电器,DZ—15/110 型;43、45—电阻,2kΩ、20W;46、47—铃;48、49—连接片;50、51—硅整流器

小仅用于向操作控制母线供电,另一组容量较大供断路器合闸,兼向操作控制母线供电;另一种是两台硅整流器选得一样大(如GBA-30、60A/220、110V型),这样如图5-71中一组硅整流器通过虚线部分所示的连接可作另一组硅整流器的备用,或两台硅整流器并联运行以供给较大的合闸电流。为保证断路器在故障下能跳闸,在主变压器保护操作电源及6~10kV线路保护操作电源处分别加装补偿电压用的电容器组。

### 2. 逆止二极管的作用

为了使电容器的储能仅供继电保护装置动作及断路器跳闸,避免系统故障直流电压下降时,电容器对指示灯、监视灯、自保指示灯、信号继电器及与继电保护装置无关的元件进行不必要的放电(这样电容器组的容量可以合理使用),采用逆止二极管元件3GZ和4GZ。

硅整流及电容器电压补偿装置装设的两台硅整流器,其直流+极间用逆止二极管2GZ隔开。2GZ的作用是防止1号硅整流器向合闸母线侧供电,以保证操作电源可靠。逆止二极管1GZ的作用是防止2号硅整流器向故障的1号硅整流器送电,避免二套硅整流器同时停电。为避免1GZ和2GZ在母线短路时,被较大的短路电流烧坏,它们都串联限流电阻1R和2R。限流电阻的选择使流过二极管的短路电流不超过2倍二极管的额定电流,并在流过操作回路最大负荷电流时压降不超过15%。

1GZ~4GZ的作用很重要,在日常运行中要定期检查其逆止作用是否完好。检查方法:拉断1号和2号硅整流器的交流电源时,相应的中间继电器(编号42和44)应动作发出铃响(显而易见,中间继电器的作用是监视硅整流的交流电源),证明1GZ和2GZ正常良好。拉断相应的电容器补偿回路的组合开关,该回路指示灯即暗,表示相应的3GZ或4GZ正常良好。

### 3. 电容器组及其检查装置

补偿电压用的电容器的额定电压以不低于450V为宜。

正确选用电容器的容量是保证可靠跳闸的重要条件,下面介绍利用能量的方法来确定电容器容量的经验公式如下

$$C = \frac{2A}{U_c^2} \times K \times 10^6 (\mu F)$$

式中 A——各放电回路所消耗能量的总和, W·s;

$U_c$ ——直流电压的额定电压, V;

K——可靠系数,要按电容器的分组情况和衰老及安全系数来考虑,约取1.5~2.0,建议取1.75~2;

C——电容器的容量,  $\mu F$ 。

**【例】** 某变配电所一组电容器供相继动作的两套继电保护,第一套继电保护动作时间为0.5s,第二套继电保护动作时间为2s,求电容器的电容量。

设直流额定电压为220V,则据上式可有

$$C = \frac{2A}{U_c^2} K \times 10^6 = \frac{2(6 + 24 + 25 + 25)}{220^2} K \times 10^6 = \frac{160}{48400} \times 2 \times 10^6 = 6600 (\mu F)$$

上式中,时间继电器A取12W·s,断路器跳闸线圈取25W·s,K取2。

为便于检查损坏的电容器,每组电容器应分成小组,每小组电容器容量宜在2000 $\mu F$ 左

右，每小组电容器前加装一只熔断器，安放 4A 熔丝。

为了限制过大的电容器充电电流，避免损坏硅整流元件及逆止硅元件，每组电容器前加装限流电阻如图 5-71 的 3R 和 4R。3R 和 4R 的选择原则，应考虑断路器跳闸线圈电流通过时压降不超过额定电压的 15%，如断路器操作机构为 CD2 型，跳闸线圈额定电流为 2.5A，两台断路器同时跳闸时在 4R（若选用  $5\Omega$ ）上的压降为  $2 \times 2.5 \times 5 = 25$ （V），即为额定电压的 11.7%，还能满足要求。

由于电容器是采用电解电容器，它的寿命较短，故必须定期检查电解电容器是否损坏。检查的方法是用切换开关将一组电容器切换到向时间继电器放电，经一定时间，时间继电器动作，该电容器组的残压应能使电压继电器动作，指示灯亮。这说明电容器容量没有减少，电容器正常良好，否则应该逐个检查电容器是否有损坏，对时间继电器整定取 4s，即大于过流保护最长时限，电压继电器整定为 180V，即要求残压大于 80% 直流额定电压。

#### 四、铅酸蓄电池直流电源

##### 1. 铅酸蓄电池的构造及工作原理

电池是用化学转换方法得到电能，所以又叫化学电源。常用的有原电池和蓄电池。在原电池（如干电池）中，化学能转变为电能是不可逆的。当化学变化的活性物质（即有效物质）全部作用完后，它的寿命便告終了。所以又称为一次电池。蓄电池能把电能转变为化学能储存起来，使用时再由化学能转变为电能释放出来。其变换就电能作用来说，过程是可逆的。当蓄电池完全放电或部分放电后，两电极表面形成了新的化合物，这时如果用适当的反向电流通入蓄电池，可以使已形成的新化合物还原成原来的活性物质，又可供下次放电之用。这种用反向电流通入蓄电池的作法，叫作充电。电池供出电流给外电路使用，叫做放电。换句话说，放电就是将化学能转变为电能，供外电路使用；充电就是将电能转变为化学能储存起来。蓄电池的充电放电过程，可以重复循环，所以蓄电池又称为二次电池。

放电时电流所流出的电极称为正极或阳极，以“+”号表示。电流经过外电路之后，返回电池的电极称为负极或阴极，以“-”号表示。

根据电极和电解液所用物质的不同，蓄电池一般分为酸性蓄电池和碱性蓄电池。酸性蓄电池的电解液是浓度为 27%~37% 的硫酸（ $H_2SO_4$ ）水溶液，即稀硫酸。硫酸是酸性化合物。酸性蓄电池正极板的活性物质是二氧化铅（ $PbO_2$ ），负极板的活性物质是绒状铅（Pb）所以酸性蓄电池又叫铅蓄电池。

碱性蓄电池的电解液是浓度为 20% 的氢氧化钾（KOH）水溶液。氢氧化钾是碱性化合物。在碱性蓄电池中，用氢氧化镍  $[Ni(OH)_2]$  作正极板，用铁（Fe）作负极板，叫作铁镍蓄电池。如用镉（Cd）作负极板的叫作镉镍蓄电池。用银（Ag）作正极板，用锌（Zn）作负极板的叫作锌银蓄电池。很多年来，电力系统所采用的蓄电池原多为铅蓄电池。

铅蓄电池的两组极板插入稀硫酸溶液里发生化学变化就产生电势，极板是在板栅上涂上以氧化铅为主的粉膏，然后再焊接成组，通入直流电充电。在正极板栅上的氧化铅就变成了棕褐色的二氧化铅（ $PbO_2$  也叫过氧化铅），在负极板上的氧化铅就变成灰色的绒状铅（Pb 也叫海绵状铅）。铅蓄电池放电时正负极板上的活性物质都吸收硫酸起了化学变化，逐渐变成硫酸铅（ $PbSO_4$ ），当两种极板上大部分活性物质都变成了同样的硫酸铅后，蓄电池

的电压就下降到不能再放电了。蓄电池放完了电，就要对它马上充电，使之恢复到原来的二氧化铅和绒状铅状况，这样蓄电池又可以继续放电。铅蓄电池这种充电和放电过程中的可逆电化程序的理论叫“双硫酸化理论”。总的化学反应过程是可逆的，见表 5-7。

表 5-7 铅蓄电池充放电的可逆变化

工作状态	正极板	负极板	电解液
完全充电	二氧化铅	绒状铅	硫酸
放电 ↓ 充电 ↑	放电 ↓ 充电 ↑	放电 ↓ 充电 ↑	放电 ↓ 充电 ↑
完全放电	硫酸铅	硫酸铅	水

必须注意，在正常使用情况下，蓄电池不宜过度放电。否则将使同活性物质混在一起的细小硫酸铅结晶，结成较大的结晶，增大了极板电阻，在充电时就很难使它还原，因而妨碍充电过程的进行。

要想使蓄电池在放电终了后，正负极板上的生成物质恢复为原来的活性物质，就必需具备一定的条件。这个条件是利用直流电源（如整流器或直流发电机）进行充电。充电的过程与放电时正好相反，蓄电池内部电流方向是从正极流向负极。

从表 5-7 可以看出，当电池充电后，两极活性物质被恢复为原来的状态，而且电解液中硫酸的成分增加，水分减少。

铅蓄电池充电终期可由电解液的比重高低来判断。在充电终期时，由于正极板上的硫酸铅（ $PbSO_4$ ）已大部分转变为二氧化铅（ $PbO_2$ ）和绒状铅（ $Pb$ ），倘再继续充电，充电电流只能起分解水（ $H_2O$ ）的作用，结果在负极板便有氢气（ $H_2 \uparrow$ ）逸出，在正极板有氧气（ $O_2 \uparrow$ ）逸出，造成强烈的冒气现象。

## 2. 蓄电池组的直流电源接线

铅酸蓄电池组恒定浮充电的原理接线见图 5-72。图中有一组浮充电硅整流装置和一组充电硅整流装置。在运行中蓄电池组与浮充电硅整流装置并联工作，浮充电硅整流装置供给经常接在直流母线上的直流负荷，并不断用小电流使蓄电池组浮充电，补偿蓄电池组的自放电，使蓄电池总是处在完全充电的状况下，在事故情况下，其容量可以被充分利用。装置中所发生的短时高峰负荷如高压断路器合闸操作，主要由蓄电池组承担（因为蓄电池组的伏安特性  $U=f(I)$  比浮充电机组的伏安特性平坦）。

蓄电池组是经过双柄电池开关与直流母线、浮充硅整流装置及充电硅整流装置相连接。

双柄电池开关含有一排金属片和两个手柄（充电柄和放电柄），金属片与蓄电池连接。电池开关的作用是当每只蓄电池电压下降时移动电池开关可投入更多只数的蓄电池来保持直流母线电压的不变。为了使电池开关的手柄从一片金属片移到另一片时不致造成蓄电池短路和断路，将每一手柄分成相互绝缘的两部分，它们之间经过电阻  $R$  连接。

蓄电池组中有一部分作为调节电压用的蓄电池，总有一些没有经过电池开关的放电柄接到直流母线上，因此得不到浮充电，它们的自放电未被补偿，这部分蓄电池硫化严重，很容易损坏。为此，在浮充电运行未接入母线部分的端电池上并接一可调电阻，调节该电阻可使该部分端电池与整组蓄电池处于相同的运行状态。其电流分布见图 5-73。在运行中调节  $R$  使此电阻回路内电流表的读数  $i_1$ ，等于浮充电装置的输出电流  $i$  减去蓄电池的浮充电流  $i_2$ ，从图 5-73 中可看出：固定基本电池与端电池通过的电流相同，端电池处于浮充状态，可使硫化现象减轻。选择调节电阻的条件为：电流应大于经常负荷电流，阻值应满足当经常负荷电流流过该电阻时的压降大于正常浮充电运行时未接入母线部分的端电池电压（对

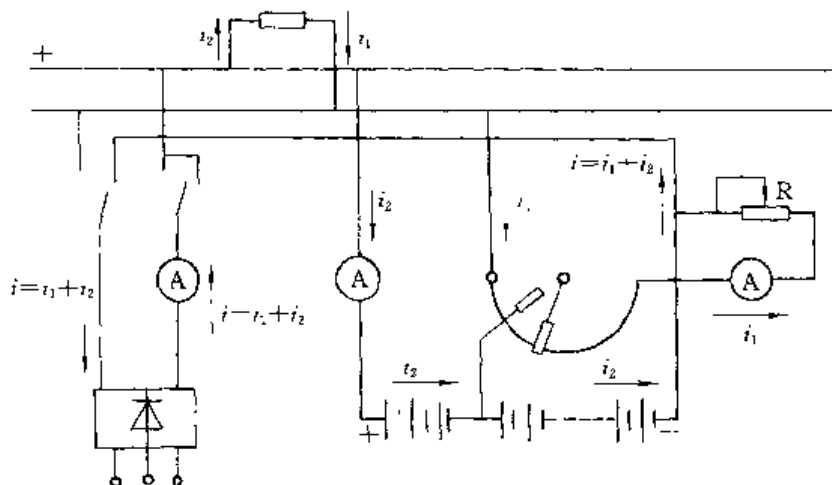


图 5-73 减少端电池硫化的附加电阻回路电流分布  
 $i_1$ —浮充电设备输出电流； $i_1$ —直流负载电流； $i_2$ —蓄电池浮充电流

于变配电所取 20~25V)，一般选用 10A、10Ω（可选用 CB—804 型），装在直流屏屏后。

按照恒定浮充电法工作的蓄电池组应每月进行一次放电，随即完全充电。这样可以避免在浮充电电流值控制得不够仔细时极板上积聚起硫酸铅，而尤其重要的，是为了将那些平时没有浮充电电流通过，并且处于自放电而容量略有不足的附加蓄电池充电。

蓄电池组充电硅整流装置的功率比浮充电硅整流装置大。也能利用充电硅整流装置进行蓄电池组的定期核对性放电。

蓄电池组、浮充电装置和充电装置各个回路中都装设电压表和电流表。蓄电池组上应装设两只电流表，一只用来测量放电电流和充电电流，另一只小量程的电流表用来测量浮充电小电流，平时该表由直流接触器短路，需要测量浮充电电流时，可利用按钮将直流接触器断开，串入小量程电流表。

### 3. 蓄电池组的运行管理

(1) 经常检查浮充电装置的输出电流，使其符合下式

$$I_d \geq I_k + I_l$$

式中  $I_d$ ——整流装置或浮充电机的在浮充运行时的输出电流；

$I_k$ ——蓄电池浮充电流；

$I_l$ ——正常负载电流。

(2) 每周关闭浮充电后半小时测量蓄电池端电压和电解液比重，使其符合表 5-8。

表 5-8 定期检查蓄电池端电压和电解液比重

	蓄电池状态	端电压 (V)	电解液比重		蓄电池状态	端电压 (V)	电解液比重
固定式	满充电状态	2.1~2.2	1.21	汽车用	满充电状态	2.1~2.2	1.285
	放完电状态	1.75	1.10		放完电状态	1.95	1.17

(3) 每月进行一次补充电，补充电电流  $I_{bc}$  为 0.05 倍蓄电池额定容量，即

$$I_{bc} = 0.05Q_c$$



(4) 每天巡视检查以下内容：检查电解液是否溢出或流出，极板是否有脱落，玻璃缸是否破碎。

#### 4. 蓄电池组的选择

(1) 蓄电池组母线的电压和蓄电池组数。蓄电池组母线电压采用 110V 还是 220V，各有优缺点。对采用电动合闸机构的断路器，因合闸电流较大，电压越高，合闸电缆截面可越小些，这样 220V 从合闸电缆的选择和电压降落来看比 110V 优越，但 220V 直流继电器的电压线圈，线芯较细易断线造成继电保护拒绝动作，从这点看 110V 比 220V 优越，总之对某一变配电所采用哪一个电压，应经过经济技术比较来确定。

通常，用户 35kV 变配电所只需装设一组蓄电池即可。

#### (2) 蓄电池组。

1) 全组蓄电池数  $n$  及基本蓄电池数  $n_0$ 。蓄电池组母线上正常电压应较直流电网额定电压大 5%，如额定电压 110V 蓄电池组的母线电压应是 115V。额定电压 220V 蓄电池组的母线电压应是 230V。每个酸性蓄电池在充足电时为 2.7V，经 1h 放电率放电完毕时为 1.75V。

对 110V 蓄电池组：

全组蓄电池数

$$n = \frac{115}{1.75} = 65$$

基本蓄电池数

$$n_0 = \frac{115}{2.7} = 43$$

对 220V 蓄电池组：

全组蓄电池数

$$n = \frac{230}{1.75} = 130$$

基本蓄电池数

$$n_0 = \frac{230}{2.7} = 85$$

全组蓄电池数  $n$  减去基本蓄电池数  $n_0$  为接到电池开关的附加蓄电池数（即端电池数）。

2) 蓄电池容量。按照恒定浮充电法工作的蓄电池组容量的选择是根据故障时间内的放电容量（A·h），最大长期放电电流（A），最大短时放电电流（A）。

以恒定浮充电状态工作而在故障时放电的蓄电池组的计算放电容量决定于下式

$$Q = (I_t - I_g)t_g + I_g t'_g$$

式中  $t_g$ ——故障时间。对于变配电所讲取 1h；

$I_t$ ——正常恒定负载电流；

$I_g$ ——故障时的故障负载电流；

$I'_g$ ——故障下使用时间  $t'_g$  小于 1h 的故障负载电流。

故障状态下的最大长期放电电流  $I_{d,zd}$  由下式计算

$$I_{d,zd} = I_t + I_g + I'_g$$

计算出  $Q$  与  $I$  后乘以 1.1 安全系数以免蓄电池组完全放电，并为了防备蓄电池组用过

几年后减低容量。

求得的放电容量及最大长期放电电流后，查表 5-9 中的 1h 率的放电电流和容量，即选得蓄电池组的容量。

表 5-9 蓄电池各种放电率的放电电流及容量

电 池 型 号		10h 率		3h 率		1h 率		最大放电电流 (A)
		放电电流 (A)	容 量 (A·h)	放电电流 (A)	容 量 (A·h)	放电电流 (A)	容 量 (A·h)	
GG-36	1K-3	3.6	36	9	27	18.5	18.5	46
GG-72	1K-5	7.2	72	18	54	37	37	92
GG-108	1K-7	10.8	108	27	81	55.5	55.5	139
GG-144	1K-9	14.4	144	36	108	74	74	185
GG-180	1K-11	18.0	180	45	135	92.5	92.5	231
GG-216	1K-13	21.6	216	54	162	111	111	277
GG-252	1K-15	25.2	252	63	189	129.5	129.5	323
GG-288	2K-9	28.8	288	72	216	148	148	370
GG-360	2K-11	36.0	360	90	270	185	185	462
GG-432	2K-13	43.2	432	108	324	222	222	555
GG-504	2K-15	50.4	501	126	378	259	259	647
GG-576	2K-17	57.6	576	144	432	296	296	740
GG-648	2K-19	64.8	648	162	486	333	333	832
GG-720	2K-21	72.0	720	180	540	370	370	925

校核按表 5-9 所选定的蓄电池组的最大放电电流与最大短时放电电流，使得

$$I_{xf,zd} > I_{df,zd}$$

式中  $I_{xf,zd}$  —— 蓄电池组最大放电电流；

$I_{df,zd}$  —— 最大短时放电电流。

最大短时放电电流是指最大长期放电电流加上断路器电动操作机构合闸操作时的合闸电流。

【例】 某变配电所需选用 220V 蓄电池组，它的正常恒定负载电流  $I_l$  为 15A，故障照明电流  $I_g$  为 35A，断路器的电动操作机构合闸电流  $I_{cb}$  为 73A，计算故障时间取 1h。

计算放电容量为

$$Q = (15 + 35) \times 1 = 50(\text{A} \cdot \text{h})$$

最大长期放电电流  $I_{cf,zd}$  为

$$I_{cf,zd} = 15 + 35 = 50(\text{A})$$

最大短期放电电流  $I_{df,zd}$  为

$$I_{df,zd} = 15 + 35 + 73 = 123(\text{A})$$

将计算放电容量  $Q$  与最大长期放电电流  $I_{cf,zd}$  乘以 1.1，得

$$Q' = 1.1 \times Q = 1.1 \times 50 = 55(\text{A} \cdot \text{h})$$

$$I'_{df,zd} = 1.1 \times I_{cf,zd} = 1.1 \times 50 = 55(\text{A})$$

再经查表 5-9，故可选用 GG-108 型。

校核蓄电池最大放电电流与最大短时放电电流  $I_{df,zd}$ ：139A > 123A

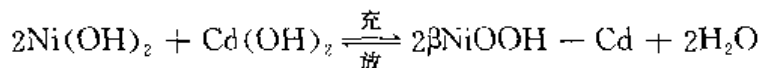
## 五、镉镍蓄电池直流电源

### 1. 镉镍蓄电池的结构和特性

下面主要介绍 GNG 烧结式碱性蓄电池在变电站的实际应用。这种蓄电池正极板由氢氧化亚镍、负极板由氢氧化镉构成。将不同规格的正负极板，中间隔以尼龙布隔膜组成极板组，装入塑料外壳内，加盖胶封。盖上有正负极柱，正极以红色塑料垫圈作标记，负极以蓝色塑料垫圈作标记。盖还设有注液口，可以注入比重为 1.24~1.26 的氢氧化钾水溶液作为电解液。依靠电极和电解液之间的化学反应，通过充电将电能转变成化学能储存起来，在放电时将化学能转变成电能而输出。

### 2. 镉镍蓄电池的充放电过程

镉镍蓄电池在充放电过程中，电解液中的氢氧化钾只作为化学反应的媒介，不参与分解和化合。因此，在充放电过程中电解液中的氢氧化钾成分既不增加也不减少。但在充放电时，电极有吸收或释放出水的特性，充电时释出水而电解液面升高，放电时吸收水面电解液面下降。镉镍电池的充放电操作比较简单，充电时间比铅酸蓄电池短得多。判断蓄电池充电过程是否已经完成主要根据充电电流、充电时间和蓄电池的端电压，不像铅酸蓄电池那样麻烦。镉镍蓄电池充放电时的化学反应方程式如下



### 3. 镉镍蓄电池的运行维护

(1) 初充电。镉镍蓄电池如为湿态出厂的新电池，或者处于自放电状态长期存放的电池，在使用前应首先将电池擦洗干净，打开气塞，灌入电解液达到液面标记线以内，然后开始按表 5-11 进行 4h 制充放电，充放一个循环；再以 4h 制充电，即可使用。在充电时，蓄电池正极板接充电电源正极，负极接充电电源负极。每只蓄电池所需充电电源电压约为 1.9~2V。在充电终了时，电压一般为 1.68~1.75V。在充电时，GNG20—(3)、GNG35—(2) 采用新型气塞，可以不打开，其他镉镍蓄电池应打开气塞，或按出厂说明进行。

镉镍蓄电池可在 -20~40℃ 环境内工作，在高温和低温下工作时容量要降低。镉镍蓄电池充电时的温度以 20±5℃ 为宜，当电解液的温度高于 45℃ 时，使充电效率降低，最好采用降温措施；否则应减小电流或暂时停止充电，待电池内温度降低后再充电。在充电过程中，特别要检查蓄电池组中间电池的温度不可超过 45℃，最好不超过 35℃ (可用酒精温度计测量)。

此外，蓄电池不适合于在低温下充电，当环境温度低于 5℃ 以下，也会降低蓄电池的充电效率。所以最好是在常温下充足电后，再到低温下使用。

蓄电池在充放电过程中，如发现充电电压太低，温度升高，需检查电池是否短路，如电池确实短路，需更换新电池。电池短路时，两极开路电压为零。为了提高蓄电池的使用效果，在蓄电池组合时，应先测量一下电压，如发现个别蓄电池电压特别低应挑出来更换，尽量将电压较高的蓄电池组合到一起使用。

蓄电池充电后，如搁置 15 天以上，不超过 1 个月，则可以按表 5-12 所示的充电电流和充电时间进行补充充电。

(2) 自放电。和铅酸蓄电池一样，镉镍蓄电池在充电后由于自放电的缘故，即使不带任何直流负荷，容量也会下降。在环境温

表 5-12 补充充电电流和充电时间

电 池 型 号	补充充电电流 (A)	充电时间 (h)
GNG5 (2)	1.5	2
GNG10 (2)	3	2
GNG20 (3)	5	2
GNG35—(2)	9	2

度为  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  时，搁置 28d，每只蓄电池的容量损失一般不会超过额定容量的 25%。

(3) 浮充电。和铅酸蓄电池一样，镉镍蓄电池通常和充电电源并联连接，采取浮充方式运行。每只电池端电压控制在  $1.35 \sim 1.38\text{V}$  之间。电池浮充时，充电电流很小，约为  $1 \sim 2\text{mA}/(\text{A} \cdot \text{h})$ ，产生气体很少，可不打开气塞。在浮充时，如发现个别蓄电池电压在  $1.33 \sim 1.40\text{V}$  范围内，也是允许的。

(4) 容量恢复(活化)。镉镍蓄电池长期处于浮充电状态，各个电池之间由于电化学反应不均衡，会出现容量不均或不足。和铅酸蓄电池一样，正常处于浮充电状态的蓄电池，应定期进行容量核对，称为“容量恢复”，或者叫做镉镍蓄电池“定期活化”。定期活化一般每年进行 1 次，其方法是以 4h 制电流放电至每只电池电压降为  $1.0\text{V}$ ，然后以同样电流充放循环一次，再重新充电即可使用。在充放循环时，如果发现蓄电池容量低于额定容量的 80%，即认为电池寿命已经终止。

#### 4. 镉镍电池直流电源屏成套装置

图 5-74 为 BZGN 系列镉镍电池直流屏电气原理图。镉镍电池直流电源屏可作为中小

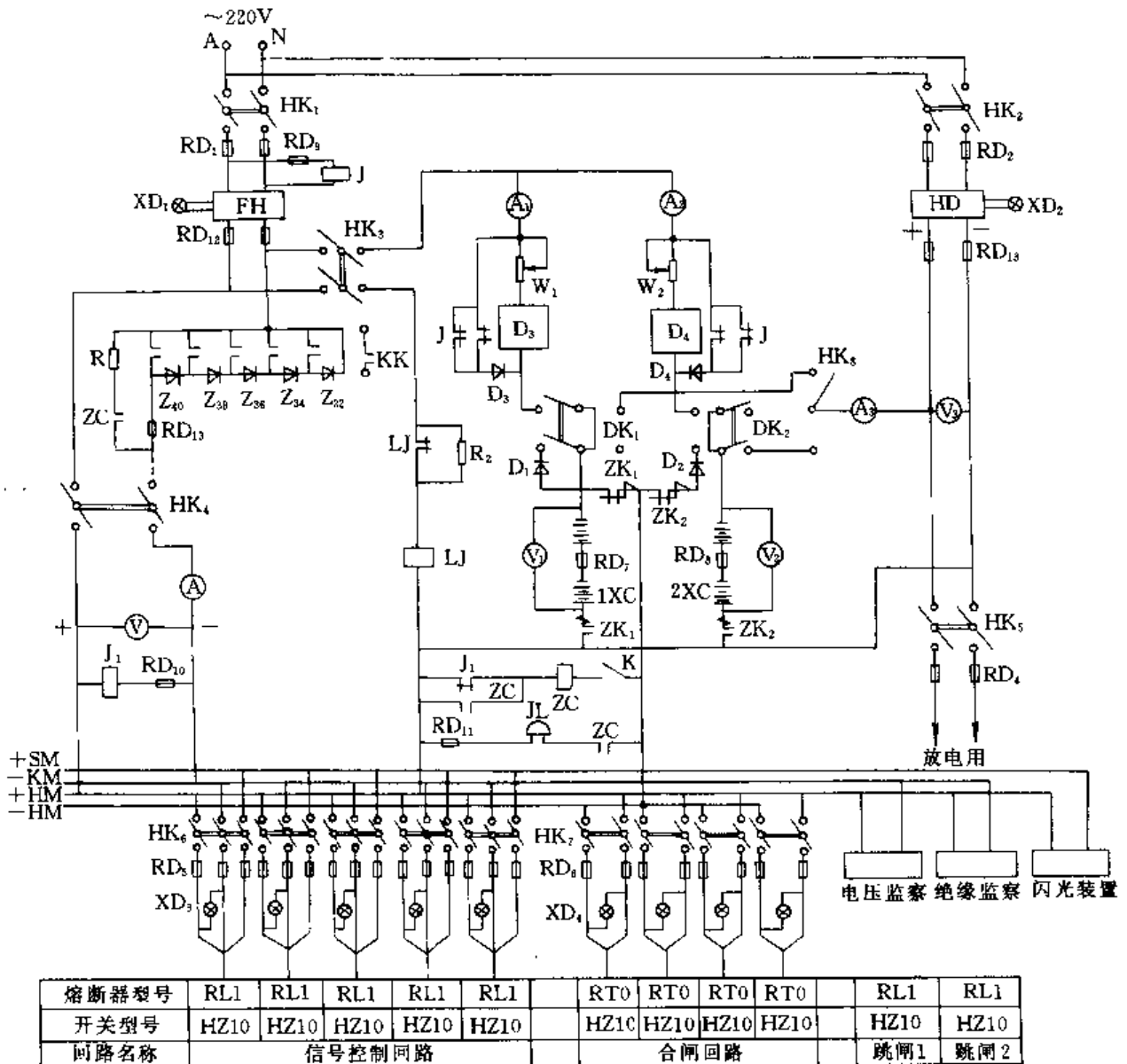


图 5-74 BZGN—Ⅰ系列镉镍电池直流电源屏电气原理图

型电厂、变电站的直流电源装置，作为高压断路器直流电磁操动机构的分、合闸电源及继电保护的直流电源。

### 六、硅整流充电设备

目前，变电所广泛采用硅整流器作为直流操作电源蓄电池的充电设备。硅整流器中最基本元件是硅晶体二极管，二极管两端引出线有极性，一端是正，一端是负。二极管具有单向导电性能，二极管正向连接时，如图 5-

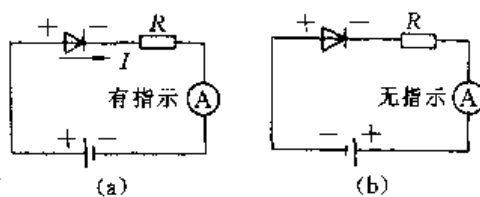


图 5-75 二极管的单向导电性  
(a) 正向连接；(b) 反向连接

75 (a) 所示，直流电源的正极同二极管的正极连接，电源的负极同二极管的负极连接，二极管内阻很小，负载电阻  $R$  中有电流流过（串入的电流表有指示），二极管正向很容易导电。二极管反向连接时如图 5-75 (b) 所示，即二极管上加反向电压时，它显示出内阻很大，很难导电。二极管流过的反向电流很小，可以忽略不计（串入的电流表指示不出数值来或数值很小），可认为二极管是不导通的。但是，给二极管上所加的反向电压增大到一定数值时，则流过二极管的反向电流突然增加，即二极管突然由不导通状态变为导通状态，这就叫二极管的“击穿”，此时所加的电压叫二极管反向击穿电压。二极管在使用时不能超过这个数值，否则二极管因击穿而损坏，就丧失单向导电性能了。

#### 1. 单相桥式全波整流电路

图 5-76 中示出用晶体二极管组成的单相桥式全波整流电路。图中 ZB 是单相电源变压

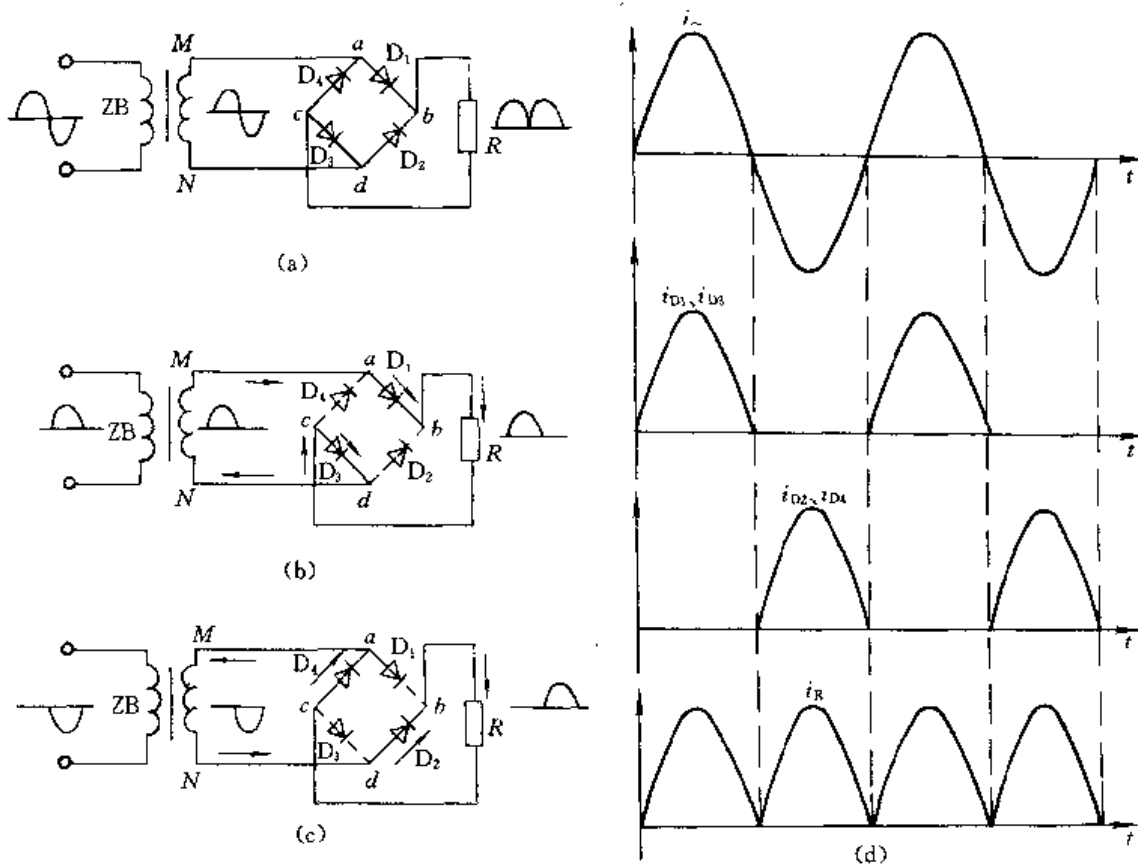


图 5-76 单相桥式全波整流电路及波形图

(a) 单相桥式整流电路；(b) 正半波时导电情况；(c) 负半波时导电情况；(d) 整流电路波形图  
 $i_s$ —电源侧交流电流； $i_{D1}$ 、 $i_{D3}$ —正半波时， $D_1$ 、 $D_3$  中流过的电流； $i_{D2}$ 、 $i_{D4}$ —负半波时， $D_2$ 、 $D_4$  中流过的电流； $i_R$ —负载中流过的直流脉动电流

77 (a), 这样, ZB 副边输出三相电压  $u_a$ 、 $u_b$ 、 $u_c$  是按正弦规律变化的, 见图 5-77 (b)。

在  $t_1 \sim t_2$  时间间隔内,  $a$  相电压  $u_a$  最高,  $b$  相电压  $u_b$  最低, 而  $c$  相电压  $u_c$  在  $u_a$  和  $u_b$  之间, 此时只有二极管  $D_1$ 、 $D_4$  是导通的, 电流途径见图 5-77 (b) 中所示: 从  $a$  点出发经  $D_1 \rightarrow M$  点  $\rightarrow R$  (负载)  $\rightarrow N$  点  $\rightarrow D_4 \rightarrow b$  点,  $M$  点电位 (近似等于  $a$  点电位) 高于  $N$  点电位 (近似等于  $b$  点电位), 这就使得二极管  $D_3$ 、 $D_5$ 、 $D_2$ 、 $D_6$  都承受反向电压而在截止状态。

在  $t_2$  瞬间,  $u_a$  仍是最高 (为正值),  $u_b$  和  $u_c$  相等 (为负值), 此瞬间电流从  $D_1$  流出经  $M$  点, 流过负载  $R$  从  $D_4$ 、 $D_5$  分别流回电源, 二极管  $D_3$ 、 $D_5$ 、 $D_2$  仍处于截止状态。

在  $t_2 \sim t_3$  时间间隔内,  $u_a$  最高 (仍为正值),  $c$  相电压  $u_c$  变为最低 (为负值),  $b$  相电压  $u_b$  在  $u_a$  和  $u_c$  之间, 此时间内,  $D_1$ 、 $D_6$  是导通的, 电流途径见图 5-77 中所示: 从  $a \rightarrow D_1 \rightarrow M \rightarrow R \rightarrow N \rightarrow D_6 \rightarrow c$ ,  $M$  点电位 (近似等于  $a$  点电位) 高于  $N$  点 (近似等于  $c$  点电位), 二极管  $D_3$ 、 $D_5$ 、 $D_2$ 、 $D_4$  都承受反向电压而在截止状态。

在  $t_3$  瞬间,  $u_a = u_b$  是正值,  $u_c$  是负值, 此瞬间电流分别从  $D_1$ 、 $D_6$  流出经  $R$  由  $D_5$  流回电源, 二极管  $D_5$ 、 $D_2$ 、 $D_4$  处于截止状态。

在  $t_3 \sim t_4$  时间间隔内, 二极管  $D_3$ 、 $D_6$  导通, 电流从  $M$  点流出。

在  $t_4 \sim t_5$  时间间隔内, 二极管  $D_5$ 、 $D_2$  导通, 电流从  $M$  点流出。

在  $t_5 \sim t_6$  时间间隔内, 二极管  $D_5$ 、 $D_2$  导通, 电流从  $M$  点流出。

三相电压  $u_a$ 、 $u_b$ 、 $u_c$  互差  $120^\circ$  地随时间变化, 6 个二极管按一定规律在不同时间内导通, 电流总是从  $M$  点流出,  $N$  点流回, 这样, 在负载  $R$  中流过方向不变的脉动直流电流  $i_R$ , 见图 5-77 (d)。与单相桥式整流比较, 三相桥式整流电路的输出电压和电流的脉动成分要小得多。

### 3. GCA 系列硅整流充电装置

GCA 系列 (G—硅整流设备; C—充电用; A—元件冷却方式为自然冷却) 硅整流充电装置的产品规格较多。整流电路有单相桥式、三相桥式; 交流输入电压有 110V、220V、380V; 额定直流输出电流有 5~150A 等; 最大直流输出电压有 36~300V 等。下面介绍适于变电所及小型发电厂使用的两种产品。

(1) GCA—25/0~72 型硅整流充电装置。其电气线路图 (见图 5-78), 该装置采用 220V 交流电源及单相桥式全波整流电路, 额定直流输出电流为 25A, 输出电压可通过自耦变压器 TB 在 0~72V 范围内调节。

考虑到当整流器电路发生过载或负载侧短路时, 流过硅元件的电流很大, 将会使它的温度急剧上升而被烧坏, 所以装置中采用了快速熔断器 1RD 和 2RD 作为过电流保护。

在整流电路中有电感存在, 当断开电路或熔断器的熔体熔断时, 由于电磁能量不能立即释放, 会使电路电压可能超过正常值 (即出现过电压)。为防止硅二极管在运行和操作中因反向击穿而被损坏, 必须采取防止过电压的措施。如图 5-78 所示, 在 ZB 的副边并联电阻  $R$  和电容  $C$ , 即利用电容器两端电压不能突变, 并能吸收电磁能量的性质来抑制瞬间过电压, 这与水库 (容水) 可以保护农田免受洪水侵害的作用相似。电阻  $R$  起阻尼作用。

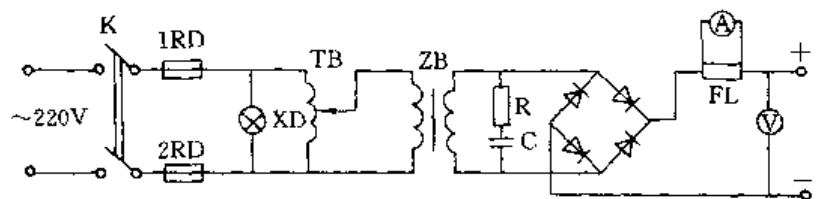


图 5-78 GCA-25/0~72 及 GCA-30/0~36 型

硅整流充电装置电气接线图

K—电源开关；1RD 和 2RD—快速熔断器；XD—电源指示灯；TB—调节自耦变压器；ZB—整流变压器；FL—分流器；R—电阻；C—电容

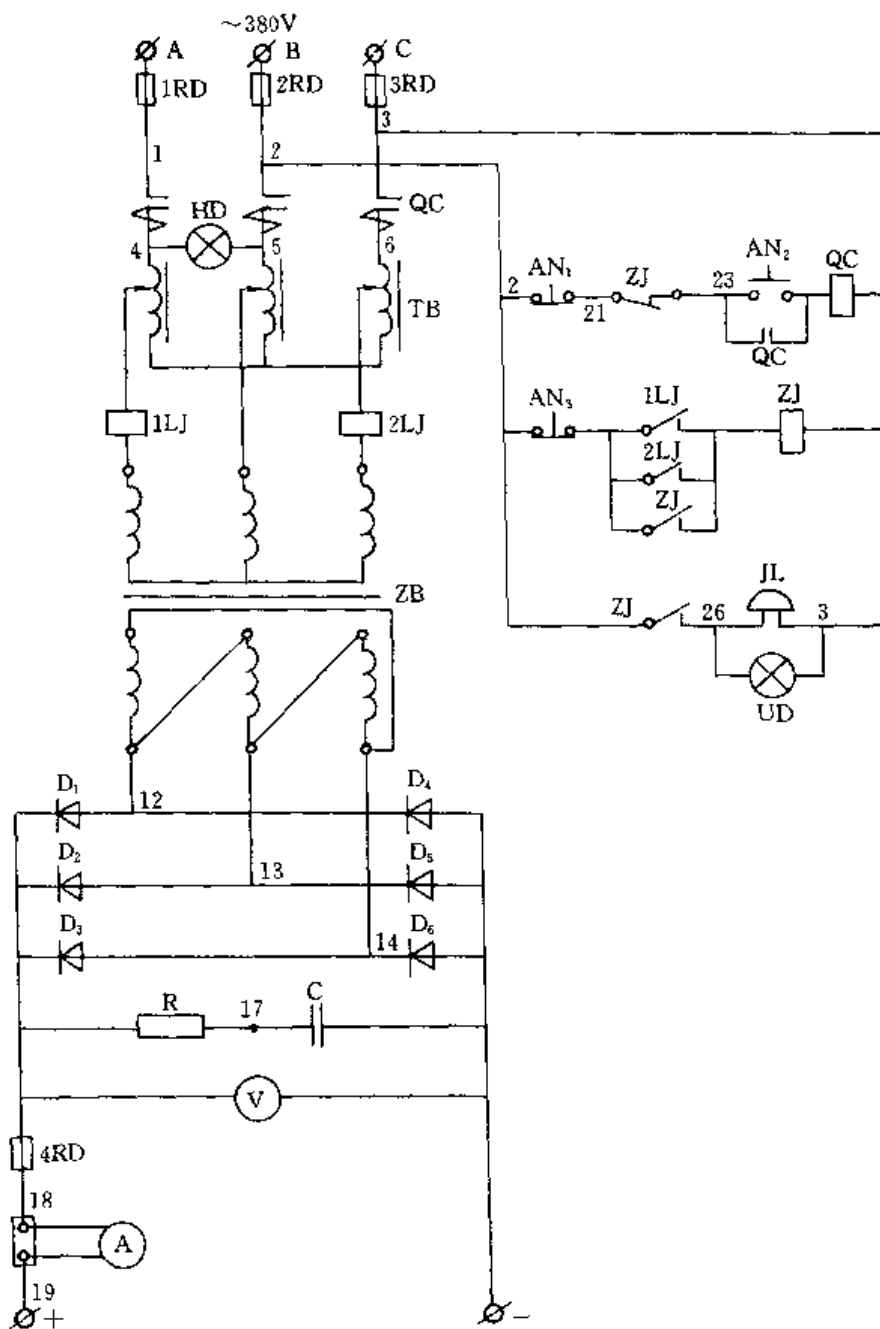


图 5-79 GCA-20/0~230 及 GCA-80/0~72 硅整流充电装置电气接线图

AN<sub>1</sub>—跳闸用按钮；AN<sub>2</sub>—合闸用按钮；AN<sub>3</sub>—复归按钮；ZJ—中间继电器；

HD—红灯（电源指示灯）

(2) GCA—20/0~230 型硅整流充电装置。装置的电气接线如图 5-79 所示,它采用三相 380V 交流电源,经熔断器 1RD、2RD、3RD、交流接触器 QC、调压器 TB、电流继电器 1LJ、2LJ 及整流变压器 ZB 向三相桥式硅整流电路供电,它的额定直流输出电流为 20A,输出电压可在 0~230V 范围内调节。

1RD~4RD 是作为装置外部短路的保护;R、C 是装置的过电压保护;1LJ、2LJ 及 ZJ 作为装置的过载保护。当过载时,1LJ 或 2LJ 动作,经 ZJ 使接触器 QC 跳闸,切断电源,并有警铃 JL 响声及黄灯 UD 指示(图 5-78 中控制电路按 QC 在断开时绘出的)。

充电装置应根据蓄电池组的电压、容量以及直流系统经常负荷电流的大小来选用。

## 七、 阀控式密封铅酸蓄电池

### 1. 免维护蓄电池的特点

阀控式密封铅酸蓄电池也称免维护蓄电池。GFM—Ⅱ 代新型免维护蓄电池的多项重要性能,已达到甚至超过了国际水平。目前,发变电所(包括用户及变电所)已广泛采用免维护型蓄电池组。它们均做成成套柜,既便于现场安装,又不需要专门房间,且可与开关柜及保护屏合在一起。免维护型蓄电池采用了国际最新一代 AGM 技术,它具有以下特点:

(1) 可靠的槽盖 ABS 热封技术,彻底消灭了槽盖之间的漏液问题。

(2) 可靠的极柱密封结构,保证电池使用寿命期间极柱密封的安全、可靠。

(3) 大电流放电性能。1h 率放电,放出容量可达额定容量的 70%~75% (电力或电信标准为达 55% 即可) 3h 率放电,放出容量达额定容量的 90% 以上 (电力或电信标准为达 75% 即可)。

(4) 寿命长,一般为 10~15 年。

(5) 极均匀的浮充电压,使用时可任意配组。

(6) 可竖放又可卧放,灵活方便。

(7) 独特的软连接技术,绝无短路现象。

(8) 极低的电池内阻。一般仅为零点几 mΩ,如 GFM—600 Ⅱ 的内阻仅 0.175mΩ (按电力标准测试)。

(9) 近 100% 的气体复合效率。

(10) 模块化安装设计。安装时省时省力、简单方便、安全可靠。

### 2. 电池结构的重要改进

GFM—Ⅱ 型电池在结构上做了如下重要改进。

(1) 密封结构采用自主产权的极柱密封结构专利技术。槽盖采用 ABS 热封独特设计的三层密封双层保险结构。

(2) 改进槽体结构。具有气体复合效率近 100% 的槽体设计,以及防鼓胀、防热失控的特有槽盖设计。

(3) 改进浮充技术。采用独特的均一化工序,使浮充电压差  $< \pm 20\text{mV}$ ,具有独到的均匀开路电压。

(4) 提高运行寿命。含防短路、防延伸的子母型板栅,无酸雾,有防失水的专利安



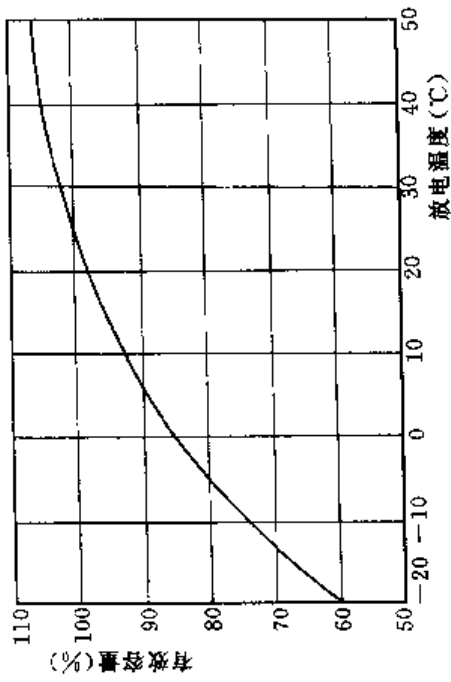


图 5-81 GFM—I 系列电池放出容量与温度的关系曲线

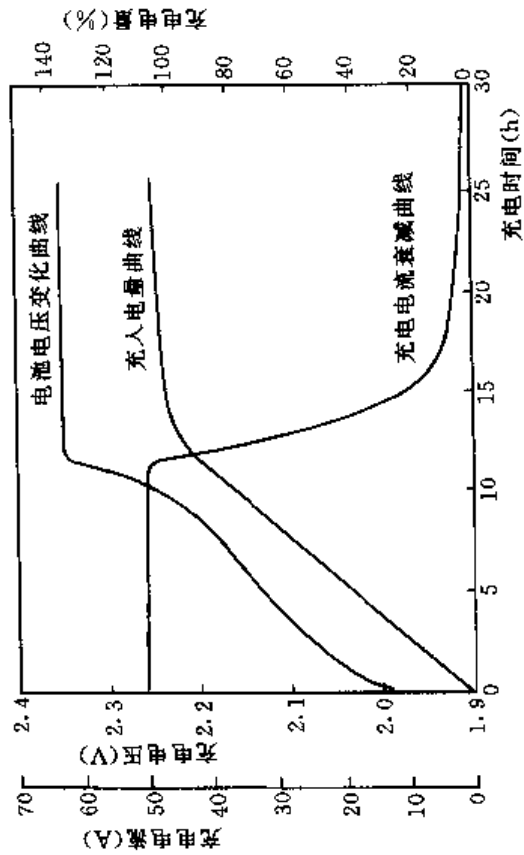


图 5-83 GFM—500 I 在放电深度 100% 后用  $0.1C_{10}$  A 的电流，限压 2.35V/单体 (25°C) 的充电特性曲线

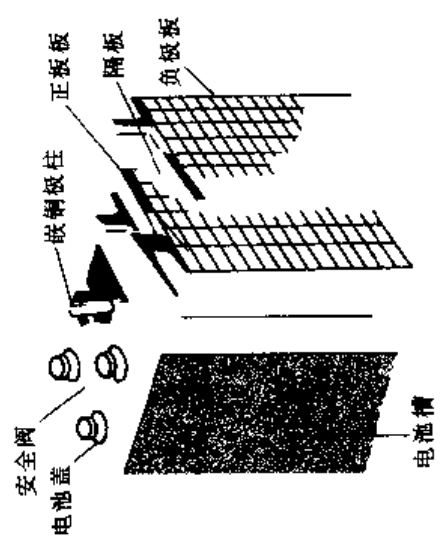


图 5-80 GFM—I 电池结构图

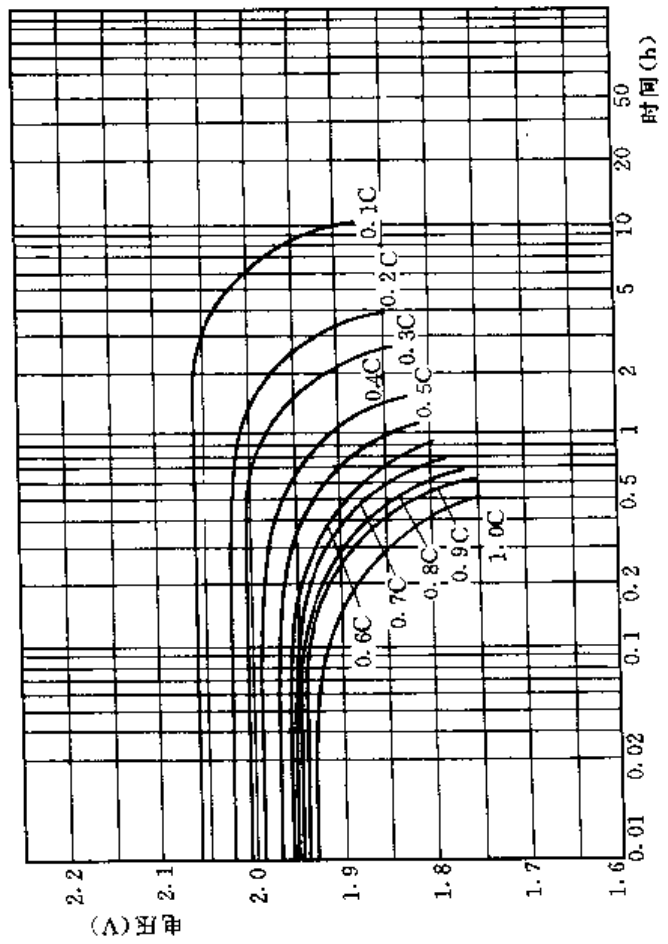


图 5-82 GFM—I 系列电池不同倍率的放电特性曲线 (25°C)

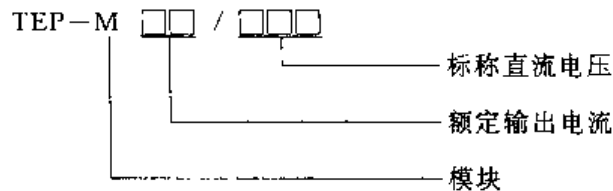
(9) 室内使用且通风良好。

## 2. 技术指标

- (1) 输出电压：198~320V，99~160V。
- (2) 额定电流：5A、10A、25A (220V)；10A、20A、25A (110V)。
- (3) 整定电流：0.2 $I_{MAX}$ ~ $I_{MAX}$ 连续可调 ( $I_{MAX}$ 为最大电流)。
- (4) 稳压精度： $\leq \pm 0.5\%$ 。
- (5) 稳流精度： $\leq \pm 0.5\%$ 。
- (6) 纹波系数： $\leq \pm 0.1\%$ 。
- (7) 效率： $\geq 90\%$ 。
- (8) 噪声： $\leq 55\text{dB}$  (25A)  $\leq 45\text{dB}$  (10A)。
- (9) 开机浪涌：无。

## 3. 型号含义及原理框图

(1) 型号含义如下：



(2) 高频开关电源模块的原理框图，见图 5-84。

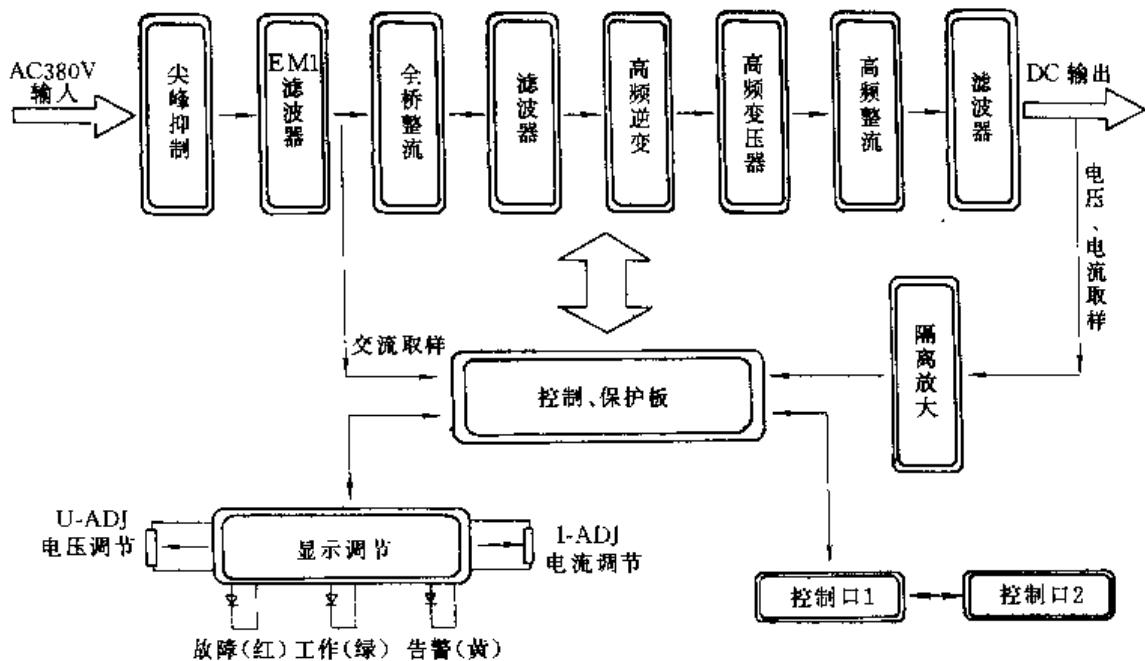


图 5-84 高频开关电源模块的原理框图

## 4. 模块结构及功能

(1) 前面板 (见图 5-85、图 5-86)。

1) 黄灯：告警指示。当输入过压或欠压、输出过压或欠压、过热时，黄灯亮。输入过欠压、输出过压、过热时，模块无输出；输出欠压时，模块有输出。

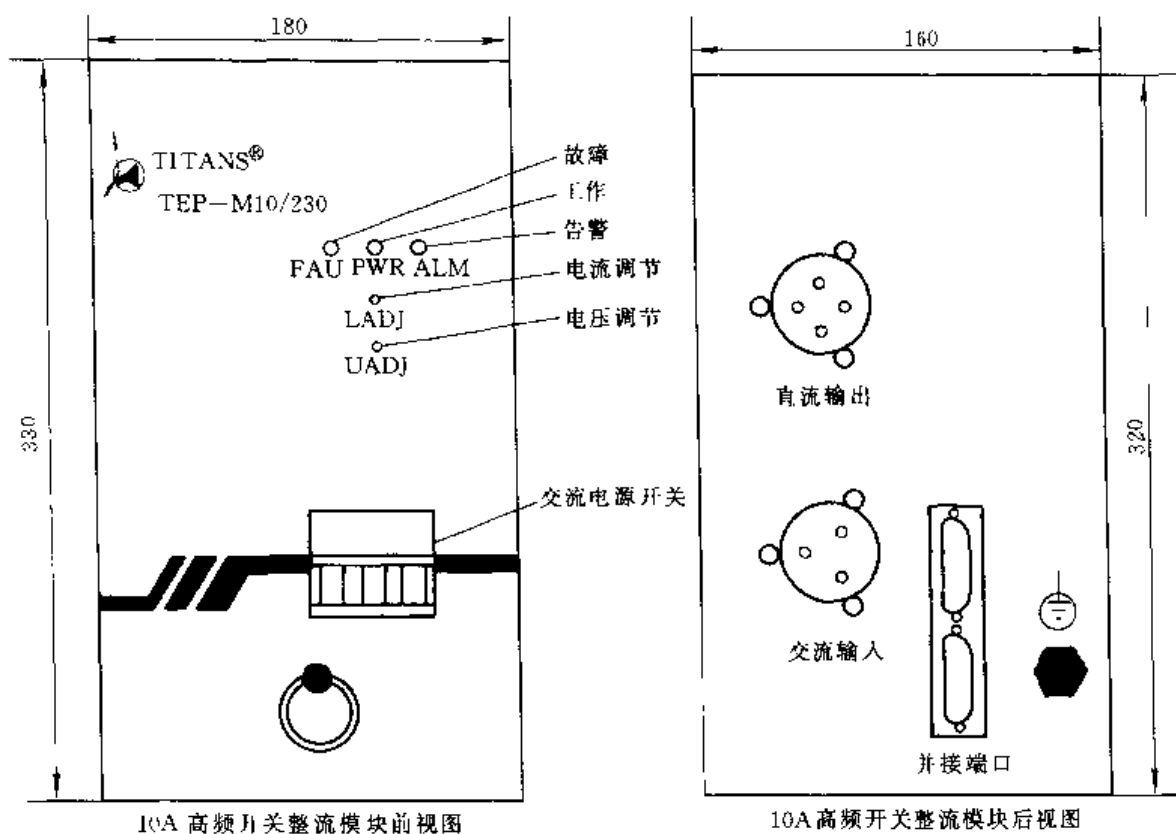


图 5-85 10A 高频开关整流模块前、后视图

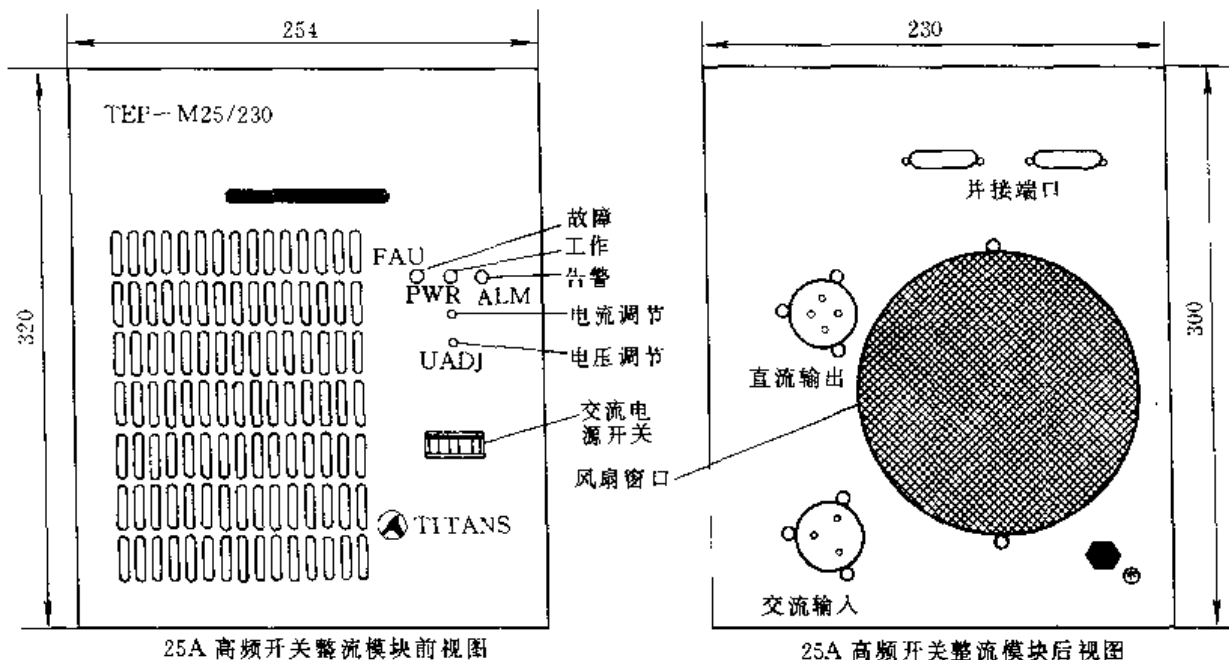


图 5-86 25A 高频开关整流模块前、后视图

- 2) 绿灯：工作指示。逆变桥工作时，此灯亮，否则不亮。
  - 3) 红灯：故障指示。当输入电压正常，输出无过压；模块没过热时，逆变桥不工作；红灯亮，表示机器有故障。
- 注：模块开机时有 2~5s 黄灯与红灯一起亮，但非故障。

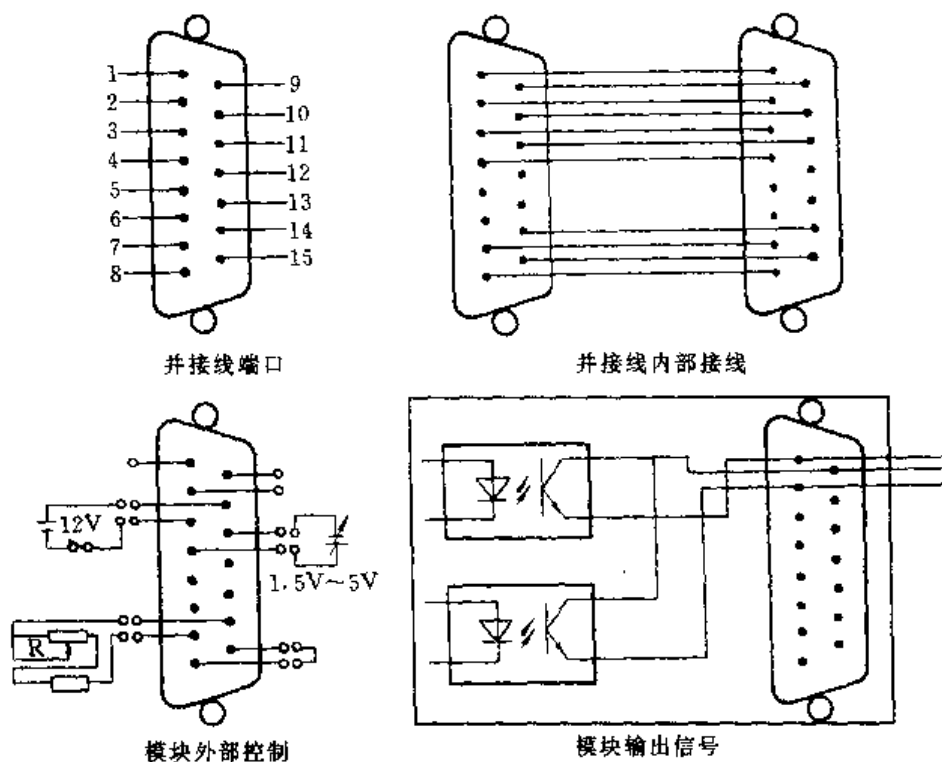


图 5-89 电源模块的并接端口及连接方式

图 5-89 中 1~15 脚的功能如下：

1 脚与 9 脚：当模块并联时，由外部短接，使模块具有自动均流，自动限制总输出电流，并由外部整定电流的功能。若单模块工作，1 脚与 9 脚开路，模块输出电流由前面板 I-ADJ 设定。

2 脚与 10 脚：外接一电阻  $R$ ，决定并联模块总电流 ( $I_0$ ，输出)。当  $(10/R) I_{ADJ} \leq NI_{MAX}$  时， $I_0 = (10/R) I_{ADJ}$ ；当  $(10/R) I_{ADJ} > NI_{MAX}$  时， $I_0 = NI_{MAX}$ 。其中： $I_{MAX}$  为单模块电流最大输出值（额定值）； $I_0$  为并联模块总输出电流最大值； $N$  为并联模块数； $R$  为 2、10 脚外接电阻值（单位  $k\Omega$ ）； $I_{ADJ}$  为并联模块 I-ADJ 设定值中的最大值。

应注意，并联时  $N$  个模块 I-ADJ 应调一致，否则模块损坏时， $I_0$  可能有变化。出厂时，I-ADJ 均已调到最大，一般无须再作调整。

**【例】** 今有 5 个模块， $I_{MAX} = 25A$ （即 25A 的模块），并联  $R = 5k\Omega$ ，I-ADJ 调为 20A。求总输出电流  $I_0$ ；若其余 4 个为 15A，又模块损坏时，求  $I_0$ 。

$$I_0 = (10/5) \times 20 = 40(A) [I_0 \leq NI = 125(A)]$$

当损坏 3 个模块时， $I_0$  仍为 40A [ $I_0 < (N-3) I_{MAX} = 50A$ ]

若 I-ADJ 最大值为 20A，其余 4 个为 15A，当 I-ADJ 为 20A 模块损坏时，则有

$$I_0 = (10/5) \times 15 = 30 (A)$$

此外要指出，脚高的外接电阻一般采用电阻与电位器串联的方式，以利于调整。

3、4、11、12 脚：空脚。

5、13 脚：外部调压端口，5 脚接正极，13 脚接负极。电压范围为 1.5~5V，对应输出

为 210~280V。当 5、13 电压低于 1.5V 时，外部调压不起作用，此时输出电压由 U—ADJ 设定；当 5、13 电压大于 1.5V 时，U—ADJ 不起作用，输出电压由 5、13 脚电压决定。

6、14 脚：外部关机端，6 脚接负，14 脚接正，电压为 12V。当关机电压小于 12V 时，机器可能显示故障信号，并无输出，此为正常现象，当电压为 12V 时，故障信号消失。

7、8、15 脚：告警、故障信号输出端。7 脚为告警端，8 脚为故障端，15 脚为告警及故障的公共电源端子图 5-89。

#### 5. 安装调试

(1) 安装前准备：安装前先检查外观有无损坏，当外观完好时，方可安装。模块出厂时，电压电流已整定好，若需重新整定，应按以下步骤进行：

1) 电流整定（单模块）。将交流电源空气开关打到 OFF，接入三相电源及所需负载，航空插头插牢旋紧后，把交流电源空气开关打到 ON，调节 I—ADJ 到所需要的整定值。若模块并联应用，一般把 I—ADJ 调到最大（顺时针）即可，若需整定到其他值，应按： $I_0 = (10/R) I_{ADJ}$ ，把所有模块的  $I_{ADJ}$  都调整到同一数值。

2) 电压整定。调整 U—ADJ 到所需电压即可。若模块并联使用，一般使用外部调压，此时，建议把 U—ADJ 整定到系统的浮充电压值。

#### (2) 系统安装：

- 1) 将交流电源空气开关打到 OFF 位置。
- 2) 插入航空插头并旋紧。
- 3) 插入并接线，并拧紧螺钉。
- 4) 接好外部控制线，并拧紧螺钉。
- 5) 确认外部控制及各连接线正确无误后，把交流电源空气开关打到 ON。
- 6) 观察指示灯及输出电压、电流是否正常（正常时绿灯亮）。
- 7) 若需整定系统电压、电流，则可按下述步骤进行：①调整外部控制电压到所需值即可；②接入负载，使系统处于限流状态，调整并接端口 2、10 脚所接电阻，观察输出电流到所需值即可。

#### (3) 调试：

- 1) 手动浮充：观察电压是否正常。
- 2) 手动均充：观察模块输出电压、电流是否符合均充程序。（见 GZDW 微机自控高频开关电源直流系统使用说明书）。
- 3) 限流实验（加负载或均充限流状态）。关掉一个模块，观察输出电流，再打开此模块，并关掉第二个模块，观察输出电流，以此类推，直到调试完所在并联模块，其电流变化应小于 2%。

4) 均流试验（带负载）：①当输出电流大于  $0.2I_{MAX}$  模块应处于均流状态，各模块电流的差异要小于  $0.05I_{MAX}$ ；②当电流小于  $0.2I_{MAX}$  时，模块不均流，但各模块中，最大电流小于  $0.25I_{MAX}$ 。

TEP—M 系列高频开关电源模块接线图见图 5-90。

### 九、微机自控高频开关电源直流系统

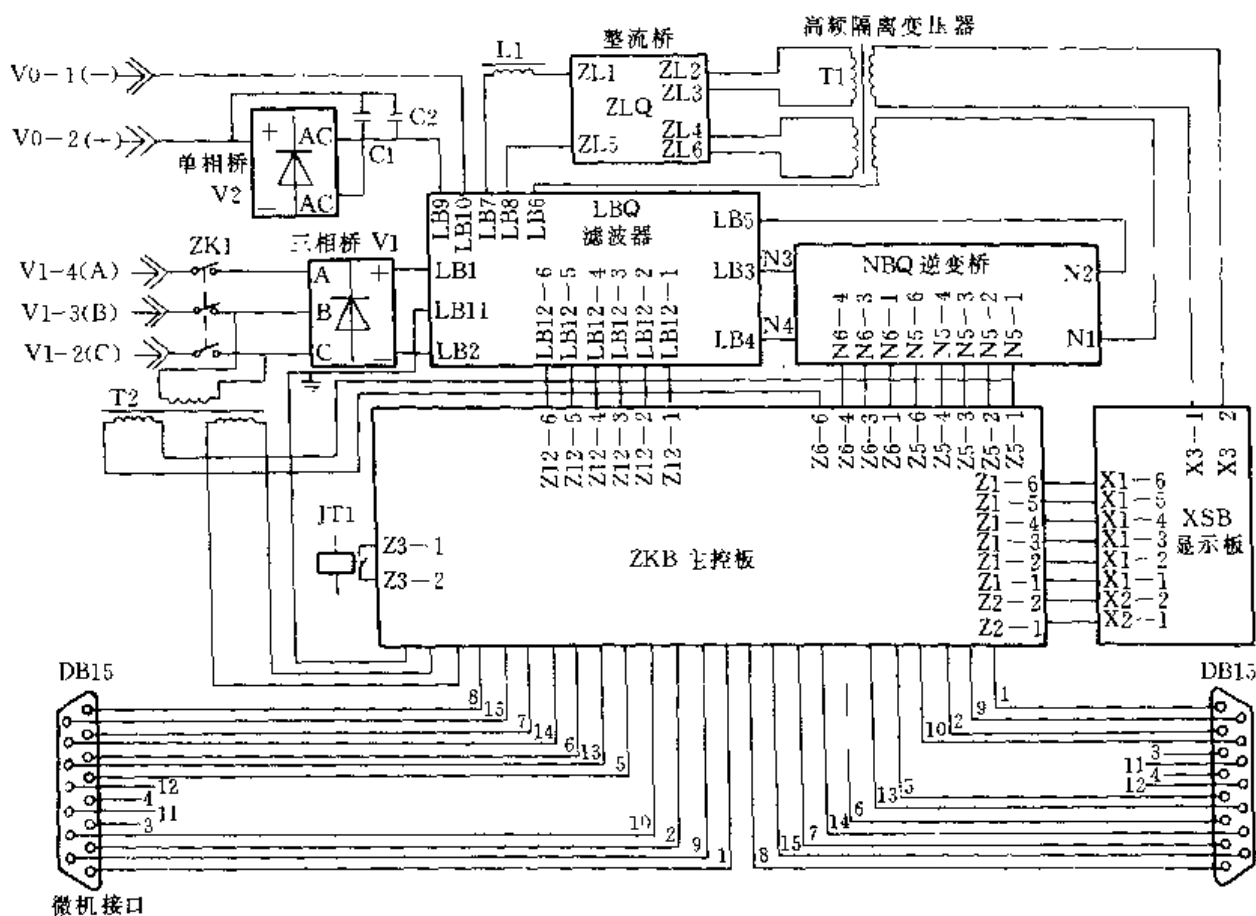


图 5-90 TEP-M 系列高频开关电源模块接线图

GZD(W)微机自控高频开关电源直流系统广泛用于发电厂及变电所，作为高压断路器直流操作机构的正常分合闸、继电保护、信号母线等使用的操作电源，以及事故时分合闸照明、控制等用的直流电源。针对电力系统的高可靠、高性能要求而设计的这种新一代产品，是目前可控硅、磁饱和类直流电源系统的更新换代产品及进口替代品。它能同时满足无人值守和四遥以及其他远程自动化的一切要求。该设备由充电馈电柜和蓄电池柜或充电柜、馈电柜及蓄电池柜组成。

### 1. 工作原理

(1) 充电、浮充电装置采用多个高频开关电源模块并联组成。 $N+1$  备份，即在用  $N$  个模块能满足电池的充电电流 ( $0.1C_{10}$ )，加上经常负荷电流 (合闸电流除外) 下，选用  $N+1$  个模块。如对 200Ah 直流系统：充电电流 ( $0.1 \times 200Ah$ ) + 经常负荷电流 (约 5A) = 25A，选用 TEP-M10/230 模块 4 台并联即可。

(2) 系统可以选用任何主接线型式 (见图 5-91)。系统的输出特性见图 5-92。

1) 均衡充电状态为从图 5-92 中的 A 点开始充电，AB 之间的区域为恒流充电区域。

2) 当蓄电池电压上升至均衡充电电压值 B 点后，设备进入恒压充电工作方式，BC 段为恒定电压区域，均衡充电在给定的时间内结束。均衡充电结束后，自动转换到浮充电压状态，即蓄电池持续地在完全充满状态，并在 DA 段工作。

该系统充电、浮充电及均衡充电的含义如下：

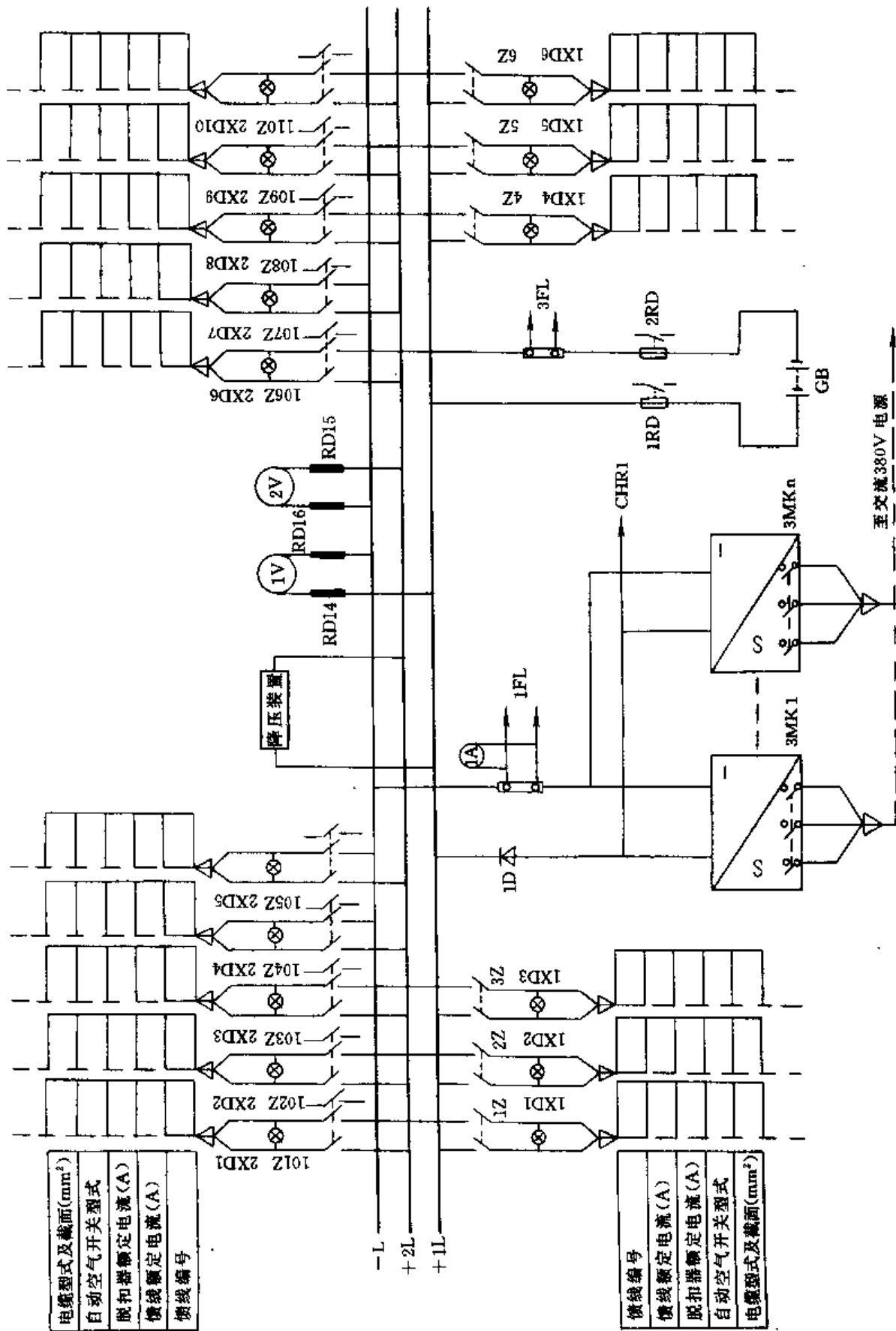


图 5-91 某系统的主接线型式

充电：采用恒流方式，向蓄电池提供稳定的直流电流。

浮充电：采用恒压方式供电，充电模块输出端并联后经逆止二极管接到合闸母线上，再经熔断器接到电池组上。合闸母线经降压装置，再接到控制母线。当交流电中断时，充电机无直流电压输出，此时蓄电池电压经过降压装置加到控制母线上，使控制母线能持续。降压装置可采用自动或手动方式调节输出电压。设备可根据交流电停电的时间长短在交流恢复时，自动选择浮充或均充状态对蓄电池进行补充性充电。

均衡充电：均充时，充电机向直流系统提供较高的均充电压，该电压快速给蓄电池补充因其向负载放电而损失的能量。其电路原理及供电路线，与浮充电时一致。

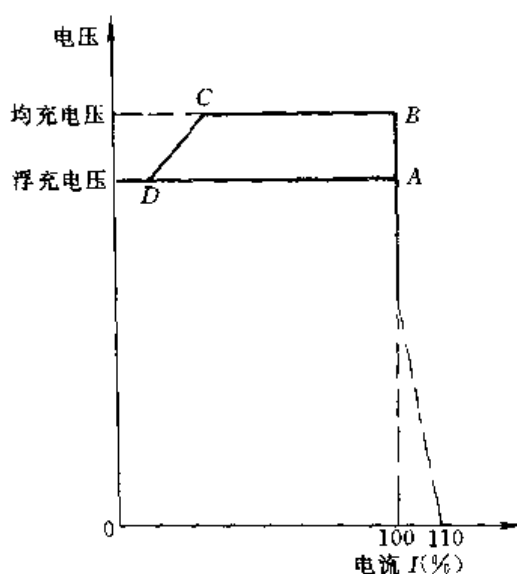


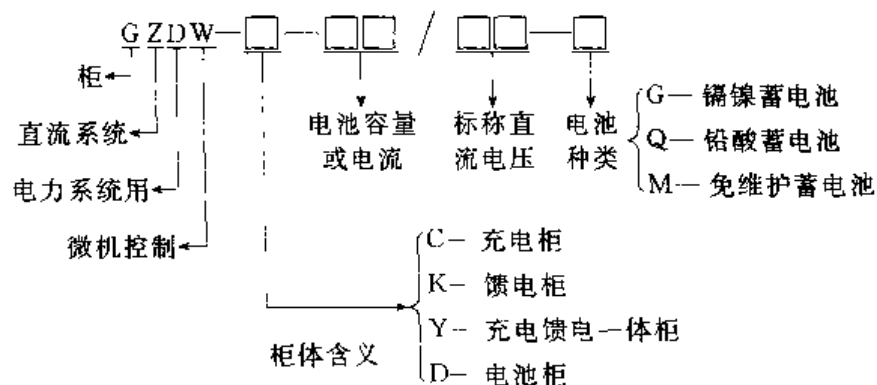
图 5-92 系统的输电特性

## 2. 正常使用条件

- (1) 海拔不超过 2000m。
- (2) 周围空气温度不低于  $-5^{\circ}\text{C}$ ，不高于  $45^{\circ}\text{C}$ ，在设备停用期间，周围空气温度允许为  $-25\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。
- (3) 周围空气的最大相对湿度不超过 98%（周围空气温度  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  时）。
- (4) 周围空气温度变化率不超过  $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，相对湿度变化率每小时不超过 5%。
- (5) 安装处的地基无振动和冲击，垂直倾斜度不超过 5%。
- (6) 运行地点无剧烈导电或爆炸尘埃，没有腐蚀金属和破坏绝缘的气体或蒸气。
- (7) 电网的交流电压波形为正弦波，电网电压幅值的持续波动范围不超过额定值  $\pm 20\%$ 。
- (8) 电网交流电的频率波动范围不超过  $\pm 5\%$ 。
- (9) 室内使用，且通风良好。

## 3. 型号含义及原理框图

(1) 型号含义如下：



(2) GZD(W) 的原理框图如图 5-93 所示。



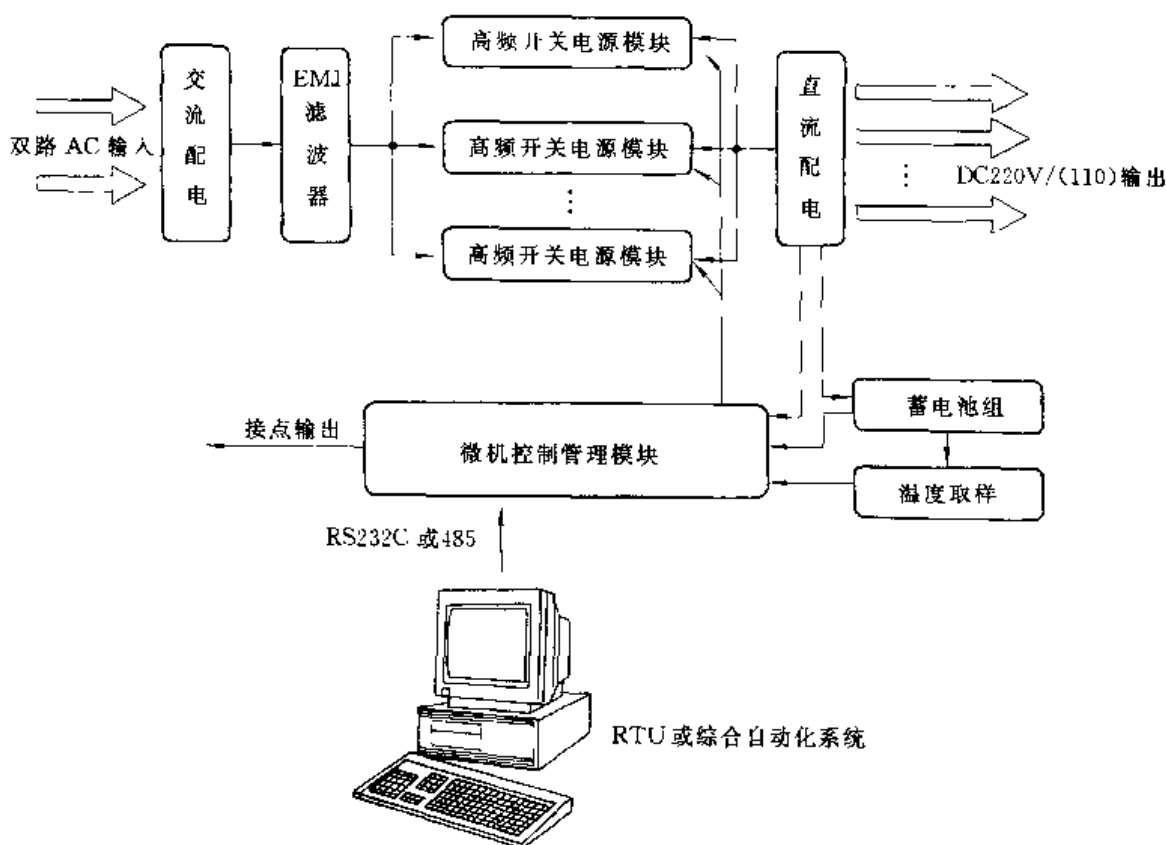


图 5-93 微机自控高频开关电源直流系统的原理图

## 第五节 微机保护及变电所综合自动化

### 一、电子计算机在继保领域中的应用与发展

近年来电子计算机特别是微型计算机技术发展很快，其应用已广泛而深入地影响着科学技术、生产和生活等各个领域。它使各部门的面貌发生了巨大的且往往是质的变化，继电保护技术也不例外。在继电保护技术领域，除了离线地应用计算机作故障分析和继电保护装置的整定计算、动作行为分析外，20 世纪 60 年代末期已提出用计算机构成保护装置的倡议。最早的两篇几乎同时发表的关于计算机保护的研究报告，揭示了它的巨大潜力，引起了世界各国继电保护工作者的兴趣。20 世纪 70 年代，掀起了研究热潮，仅公开发表的有关论文就有 200 余篇，在此期间提出了各种不同的算法原理和分析方法。但是限于计算机硬件的制造水平以及价格过高，故当时还不具备商业性地生产这类保护装置的条件。早期的研究工作是以小型计算机为基础的，出于经济上的考虑，曾试图用一台小型计算机来实现多个电气设备和整个变电站的保护功能。这种想法使可靠性难以得到保证，因为一旦当该台计算机出现故障，所有的被保护设备都将失去保护。到了 20 世纪 70 年代末期，出现了一批功能足够强的微型计算机，价格也大幅度降低，因而无论在技术上还是经济上，已具备用一台微型计算机来完成一个电气设备保护功能的条件。甚至为了增加可靠性，还可以设置多重化的硬件，用几台微型计算机互为备用地构成一个电气设备的保护装置，从而

大大提高了可靠性。美国电气和电子工程师学会（IEEE）的教育委员会，在 20 世纪 70 年代末曾组织过一次世界性的计算机保护研究班。这个研究班之后，世界各大继电器制造商都先后推出了各种定型的商业性微机保护装置产品。目前发展最快的是日本。20 世纪 80 年代中期，日本继电保护设备的总产值中已有一半属微机保护产品。由于微机保护装置具有一系列独特的优点，这些产品问世后很快受到用户的欢迎。据日本有关部门统计，目前这类产品已达继电保护设备总产值的 70%。

国内在计算机保护方面的研究工作起步较晚，但进展却很快。1984 年有一套微机距离保护样机在经过试运后通过了科研鉴定。现在全国已有不少套各种不同原理的由专业厂家制造的微机保护装置样机在电力系统中试运行。80 年代末已有一批产品经鉴定后投入小批量生产。数字化继电保护装置是继电保护装置中的一种类型，其优越性和普遍性日趋明显。总的来讲，数字化继电保护装置的功能与其他常规类型相比是有过之而无不及的。除了技术性能更优越外，由于硬件数量大为减少，检修维护方便，整体故障率随之减少。且具有自检功能，所以安全性显著提高。一般皆有 2~4 套整定值储存着，可按照运行方式变更的要求，通过一个简单指令来选用任一套整定值。若根据电网结构的变动，需要更改继电保护装置逻辑回路时，可通过 PC 和相应支持软件很方便地进行修改，而不必更动外部接线和元件，所以灵活性很高。

由于计算机技术的日新月异，现代继电保护装置的主流，即数字化继电保护装置亦是不断推陈出新。其技术性能日趋精湛，突出地体现在下列几点：

- (1) 多功能化；
- (2) 具有（动态）自适应性能；
- (3) 具有多方面的（静态）适应性能；
- (4) 性能日趋完整化。

## 二、微机保护装置的特点

### 1. 维护调试方便

目前在国内大量使用的整流型或晶体管型继电保护装置的调试工作量很大，尤其是一些复杂的保护，例如超高压线路的保护设备，调试一套保护常常需要一周，甚至更长的时间。究其原因，这类保护装置都是布线逻辑的，保护的每一种功能都由相应的硬件器件和连线来实现。为确认保护装置是否完好，就需要把所具备的各种功能都通过模拟试验来校核一遍。微机保护则不同，它的硬件是一台计算机，各种复杂的功能是由相应的软件（程序）来实现的。换言之，它是用一个只会做几种单调的、简单操作（如读数，写数以及简单的运算）的硬件，配以软件，把许多简单操作组合而完成各种复杂功能的。因而只要用几个简单的操作就可以检验微机的硬件是否完好。或者说如果微机硬件有故障，将会立即表现出来。如果硬件完好，对于已成熟的软件，只要程序和设计时一样（这很容易检查），就必然会达到设计的要求，用不着逐台做各种模拟试验来检验每一种功能是否正确。实际上如果经检查，程序和设计时的完全一样，就相当于布线逻辑的保护装置的各种功能已被检查完毕。微机保护装置具有自诊断功能，对硬件各部分和存放在 EPROM 中的程序不断地进行自动检测，一旦发现异常就会发出警报。通常只要给上电源后没有警报，就可确认装置是完好的。所以对微机保护装置可以说几乎不用调试，从而可大大减轻运行维护的工

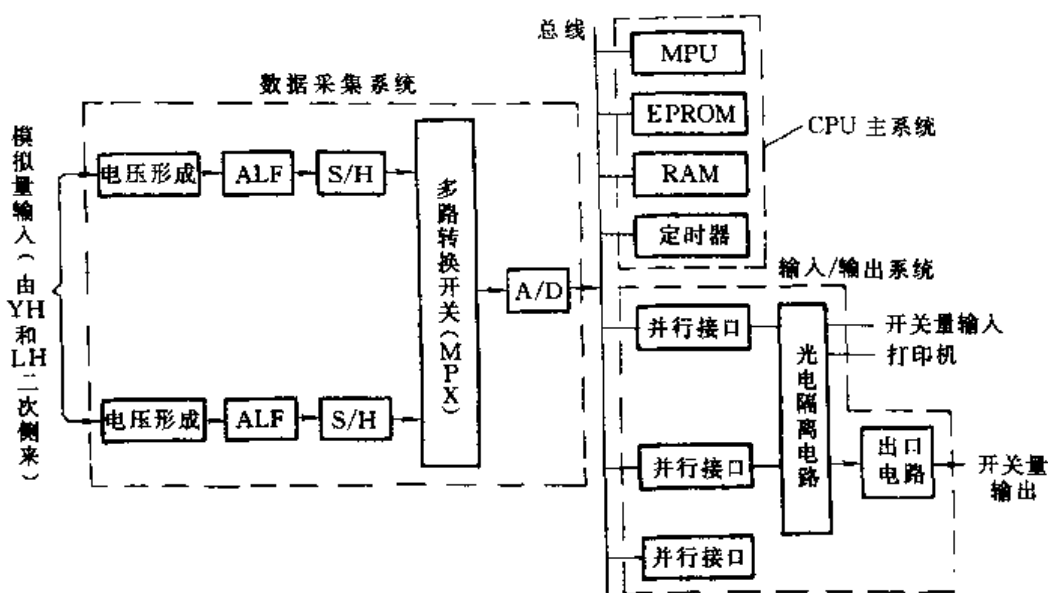


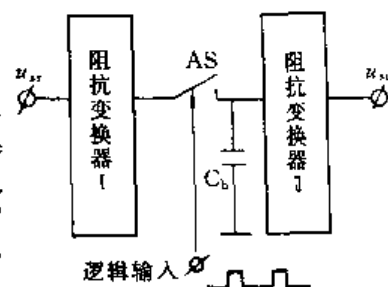
图 5-94 微机保护硬件示意框图

在其二次侧并电阻以取得所需电压的方式。此外，也有采用电抗变换器的，两者各有优缺点。例如，电抗变换器有阻止直流，放大高频分量的作用，因此当一次流过非正弦电流时，其二次电压波形将发生严重的畸变，这是所不希望的。电抗变换器的优点是线性范围较大，铁芯不易饱和，有移相作用，另外其抑制非周期分量的作用在某些应用中也可能成为优点。电流中间变换器的最大优点是，只要铁芯不饱和，则其二次电流及并联电阻上的二次电压的波形可基本保持与一次电流波形相同且同相，即它的传变可使原信息不失真。这点对微机保护是很重要的，因为只有在这种条件下作精确的运算或定量分析才是有意义的。至于移相，提取某一分量或抑制某些分量等，在微机保护中，根据需要可以容易地通过软件来实现。电流中间变换器的缺点是，在非周期分量的作用下容易饱和，线性度较差，动态范围也较小，这在设计和使用中应予以注意。

此外，这些中间变换器还起到屏蔽和隔离的作用，可提高保护的可靠性。

## 2. 采样保持 (S/H) 电路

S/H 电路的作用是在一个极短的时间内，测量模拟输入量在该时刻的瞬时值，并在模拟—数字转换器进行转换的期间内保持其输出不变。S/H 电路的工作原理可用图 5-95 来加以说明。它由一个电子模拟开关 AS、电容  $C_h$  以及两个阻抗变换器组成。开关 AS 受逻辑输入、入端电平控制。在高电平时 AS 闭合，此时电路处于采样状态。 $C_h$  迅速充电或放电到  $u_{sr}$  在采样时刻的电压值。AS 的闭合时间应满足使  $C_h$  有足够的充或放电时间即采样时间。显然希望采样时间越短越好，因而应用阻抗变换器 I，它在输入端呈现高阻抗，而输出阻抗很低，使  $C_h$  上的电压能迅速跟踪到  $u_{sr}$  值。AS 打开时， $C_h$  上保持 AS 打开瞬间的电压，电路处于保持状态。同样，为了提高保持能力，电路中应用了另一个阻抗换器，它对  $C_h$  呈现高阻抗，而输出阻抗 ( $u_{sr}$  侧) 很低，以增强带负载能力。阻抗变换器可由运算放大器构成。



采样保持的过程如图 5-96 所示。  $T_s$  为采样脉冲宽度，  $T_r$  图 5-95 采样保持电路原理图

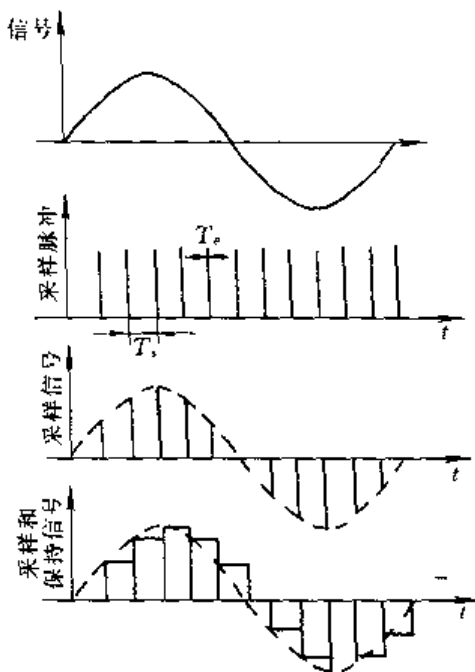


图 5-96 采样保持过程示意图

为采样周期（或称采样间隔）。

### 3. 模拟量多路转换开关 (MPX)

对于反映两个量以上的继电保护装置，例如阻抗、功率方向等都要求各个模拟量同时采样，以准确地获得各个量之间的相位关系，因而要对每个模拟输入量设置一套电压形成、抗混叠低通滤波和采样保持电路。所有采样保持器的逻辑输入端并联后由定时器同时供给采样脉冲。但由于模数转换器价格昂贵，通常不是每个模拟量输入通道设一个 A/D，而是公用一个，中间经 MPX 切换轮流由公用的 A/D 转换成数字量输入给微机。多路转换开关包括选择接通路数的二进制译码电路和由它控制的各路电子开关，它们被集成在一个集成电路芯片中。以常用的 16 路多路转换开关芯片 AD7506 为例，其内部电路组成框图如图 5-97 所示。因为要选择 16 路输入量，所以它有  $A_0 \sim A_3$  四个路数选择线，以便由 CPU 通过并行接口芯片或其他硬件电路给  $A_0 \sim A_3$  赋以不同的二进制码，选

通  $AS_1 \sim AS_{16}$  中相应的一路电子开关  $AS$ ，将被选中的某一路接通至公共的输出端供给 A/D 转换器。

图 5-97 中的  $E_N$  (Enable) 端为芯片选择线，只有在  $E_N$  端为高电平时多路开关才工作，否则不论  $A_0 \sim A_3$  在什么状态， $A_1 \sim A_{16}$  均处于断开状态。设置  $E_N$  端是为了可以用二片（或更多片）AD7506，将其输出端并联以扩充多路转换开关的路数。

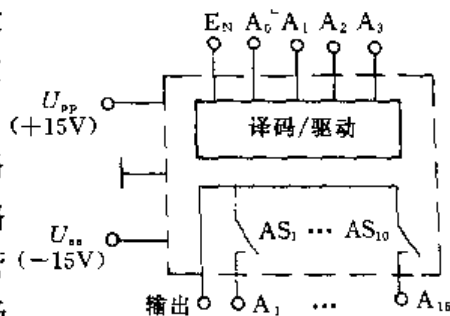


图 5-97 AD7506 的内部电路组成框图

MPX 中的模拟电子开关  $AS$  在 D/A、A/D、S/H 电路中应用甚广，现作简单介绍。它是用电子逻辑（数字）电路控制模拟信号通、断的一种电路。通常有双极型晶体管 (BJT)，结型场效应晶体管 (JFET) 或金属氧化物半导体场效应管 (MOS—FET) 组成的电子开关。BJT 模拟电子开关是用得最早的一种，电路举例如图 5-98 所示，这是一种

反接晶体管模拟开关，该电路可直接用 TTL 数字逻辑电路控制。当控制信号为低电平时， $T_1$ 、 $T_2$  截止， $T_3$  导通。当控制信号为高电平时， $T_1$ 、 $T_2$  导通， $T_3$  截止。这种电路导通误差电压大约为  $1 \sim 2\text{mV}$ ，精度不高。为提高精度还可以采用并联互补，串联补偿等电路。

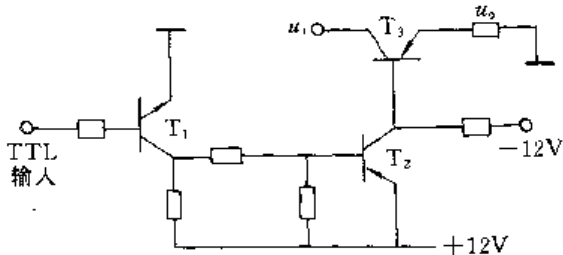


图 5-98 BJT 模拟开关电路举例

### 4. 模数转换器 (A/D 转换器或称 ADC)

(1) ADC 的一般原理。由于计算机只能对数字量进行运行，而电力系统中的电流、电压信号均为模拟量，因此必须采用模数转换器将连续的模拟量变为离散的数字量。

模数转换器可以认为是一编码电路。它将输入的模拟量  $U_A$  相对于模拟参考量  $U_R$  经一编码

电路转换成数字量  $D$  输出。一个理想的 A/D 转换器，其输出与输入的关系式为

$$D = U_A / U_R$$

式中  $D$  是小于 1 的二进制数。对于单极性的模拟量，小数点在最高位前，即要求输入  $U_A$  必须小于  $U_R$ ， $D$  可表示为

$$D = B_1 2^{-1} + B_2 2^{-2} + \dots + B_n 2^{-n}$$

式中  $B_1$  为其最高位，常用英文缩写 MSB 表示， $B_n$  为最低位，英文缩写为 LSB。 $B_1 \sim B_n$  均为二进制码，其值只能是“1”或“0”。故有

$$U_A \approx U_R (B_1 2^{-1} + B_2 2^{-2} + \dots + B_n 2^{-n})$$

以上即为 A/D 转换器中模拟信号量化的表示式。

由于编码电路的位数总是有限的，如上式中有  $n$  位，而实际的模拟量公式  $U_A / U_R$  却可能为任意值，因而对连续的模拟量用有限长位数的二进制数表示时，不可避免地要舍去比最低位 (LSB) 更小的数，从而引入一定的误差。显然这种量化误差的绝对值最大不会超过和 LSB 相当的值。因而模数转换编码的位数越多，即数值分得越细，所引入的量化误差就越小，或称分辨率就越高。

(2) 数模转换器 (DAC 或 D/A 转换器)。模数转换器一般要用到数模转换器，数模转换器的作用是将数字量  $D$  经一解码电路变成模拟电压输出。数字量是用代码按数位的权组合起来表示的，每一位代码都有一定的权，即代表一具体数值。因此为了将数字量转换成模拟量，必须将每一位代码按其权的值转换成相应的模拟量，然后，将代表各位的模拟量相加，即得到与被转换数字量相当的模拟量，亦即完成了数模转换。

## (二) 开关量输入及输出回路

### 1. 开关量输入回路

对微机保护装置的开关量输入，即接点状态 (接通或断开) 的输入可以分成以下两大类。

(1) 安装在装置面板上的接点。这类接点包括在装置调试时用的或运行中定期检查装置用的键盘接点以及切换装置工作方式用的转换开关等。

(2) 从装置外部经过端子排引入装置的接点。例如需要由运行人员不打开装置外盖而在运行中切换的各种压板，转换开关以及其他保护装置和操作继电器的接点等。

对于装在装置面板上的接点，可直接接至微机的并行接口，如图 5-99 所示。只要在初始化时规定图中可编程的并行口的  $PA_0$  为输入口，则 CPU 就可以通过软件查询，随时知道图 5-99 中外部接点  $K_1$  的状态。

对于从装置外部引入的接点，如果也按图 5-99 接线将给微机引入于扰，故应经光电隔离如图 5-95 所示。图中虚线框内是一个光电耦合器件，集成在一个芯片内。当外部接点  $K_1$  接通时，有电流通过光电器件的发光二极管回路，使光敏三极管导通。 $K_1$  打开时，则光敏三极管截止。因此三极管的导通和截止完全反映了外部接点的状态，如同将  $K_1$  接到三极管的位置一样。不同点是图 5-100 中可能带有电磁干扰的外部接线回路和微机的电路部分之间无电的联系，而光电耦合芯片的两个互相隔离部分间的分布电容仅仅

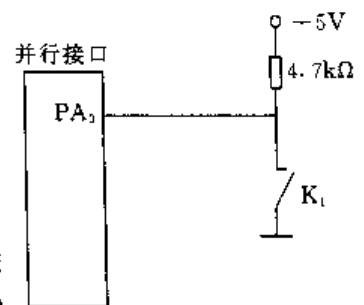


图 5-99 装置面板上的接点与微机接口连接图

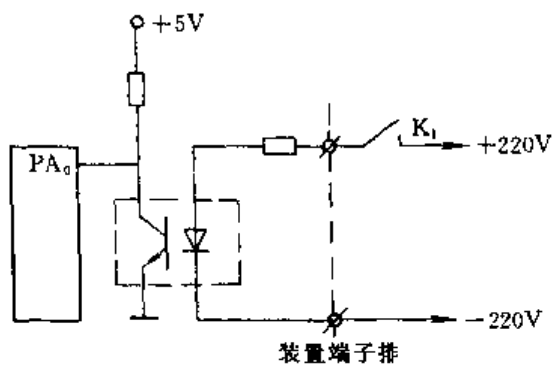


图 5-100 装置外部接点与微机的连接接线图

电隔离如图 5-101 所示。

只要由软件使并行口的  $PB_0$  输出“0”， $PB_1$  输入“1”，便可使与非门  $H_1$  输出低电平，光敏三极管导通，继电器  $J$  被吸合。

在初始化和需要继电器  $J$  返还时，应使  $PB_0$  输出“1”， $PB_1$  输出“0”。

设置反相器  $B_1$  与与非门  $H_1$  而不是将发光二极管直接同并行口相连，一方面是因为并行口带负载能力有限，不足以驱动发光二极管，另一方面因为采用与非门后要满足两个条件才能使  $J$  动作，增加了抗干扰能力。

最后应当注意图 5-101 中的  $PB_0$  经一反相器，而  $PB_1$  却不经反相器，这样接法可防止拉合直流电源的过程中继电器  $J$  的短时误动。因为在拉合直流电源过程中，当 5V 电源处在中间某一临界电压值时，可能由于逻辑电路的工作紊乱而造成保护误动作，特别是保护装置的电源往往接有大量的电容器，所以拉合直流电源时，无论是 5V 电源还是驱动继电器  $J$  用的电源  $E$ ，都可能相当缓慢地上升或下降，从而完全可能来得及使继电器  $J$  的接点短时闭合。若采用图 5-101 的接法后，由于两个相反条件的互相制约，便能可靠地防止误动作。

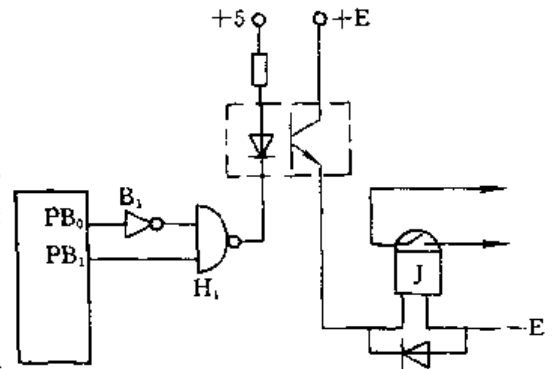


图 5-101 装置开关输出回路接线图

### 3. 定值输入

对于某些保护装置，如果需要整定的项目很有限，则可以在装置面板上设置定值插销或拨轮开关，将整定值的数码的每一位接点如图 5-99 所示的那样输入。对于比较复杂的保护装置，如采需要整定的项目很多，这种方法不仅使而板上元件过多，不好安排，而且也将由于引线太多，降低了装置的抗干扰能力和可靠性。对于这种保护装置可以将定值由面板上的键盘输入，并在装置内设置 EPROM 的固化电路，将输入定值固化在 EPROM 中。采用 EPROM 的一个缺点是在改写时，必须将它取出用紫外线照射擦去原来写入的内容后才能重新写入，这将给运行带来很大的不便。目前已有一种不用紫外线照射就可以改写的 ROM 叫 EAROM (Electricly Alterable Rom)，但这种芯片国内市场尚少见，而且价格昂贵。一种现实的方法是将一片大容量 EPROM 的存储地址分成许多页，每一页的容量足够

存放所需要的所有定值。这样每次改写定值就不需要将原有定值擦去，而是用下一页写入。一片 EPROM 通常可用几十次，很方便。

#### 4. 打印机的接口

微机同打印机之间的接口是采用标准化的电路，许多资料都作过介绍，本书不再赘述，但应当指出，由于继电保护对可靠性的要求特别高，又由于它的装设环境含电磁干扰比较严重，所以最好在接口电路中，也要经过光电隔离。

### 四、微机保护的具体应用

#### (一) 变压器保护

常规的变压器保护，在高、中、低压各侧皆需增设辅助电流互感器，并适当地选择其变比和 Y/ $\Delta$  接线，以起到下列作用：

(1) 补偿变压器各侧主变流器变比和变压器各侧电压变比值之间的差异。

(2) 补偿变压器各侧因 Y/ $\Delta$  接线不同所引起的各侧电流相位间的角差。

(3) 防止 Y<sub>0</sub>/ $\Delta$  接线的变压器在 Y 侧（中性点直接接地）发生外部接地故障时，零序电流进入差动继电器而引起误动作。

当采用微机差动保护时，上述辅助电流互感器皆可省去，参见图 5-102 所示。而常规差动继电器保护，必须依靠外加的特定变比和特定接线的辅助电流互感器进行补偿，才能防止由此而引起的误动作。

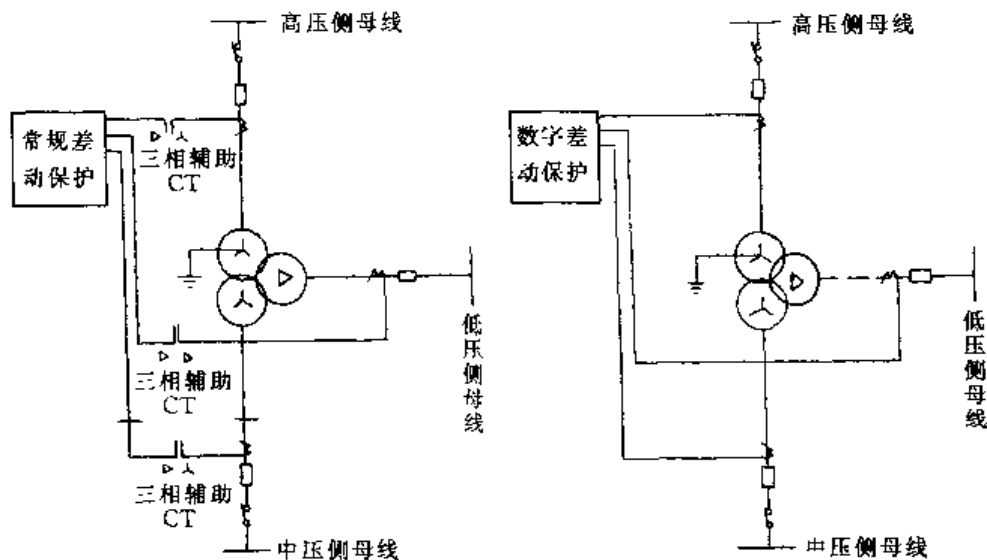


图 5-102 变压器常规差动保护与数字差动保护装置对照示意图

在微机变压器差动保护中，防止励磁涌流可能引起误动作的措施，亦较常规差动保护更全面。除了通常的以二次谐波电流制动外，还增添了不少附加措施，以达到更可靠地防止励磁涌流所引起的误动及更快速地切除变压器内部的故障。例如：利用励磁涌流波形（除了二次谐波的特征外）与故障电流波形的差别，以区分励磁涌流和故障电流；或利用励磁涌流与变压器内部故障电流上升率的差别，以区分二者。

一般变压器差动保护对变压器靠近中性侧接地故障反应的灵敏度很差，所以重要的或大容量的变压器常需以高阻抗分相差动保护或零序差动保护加以补充，它们对靠近中性侧

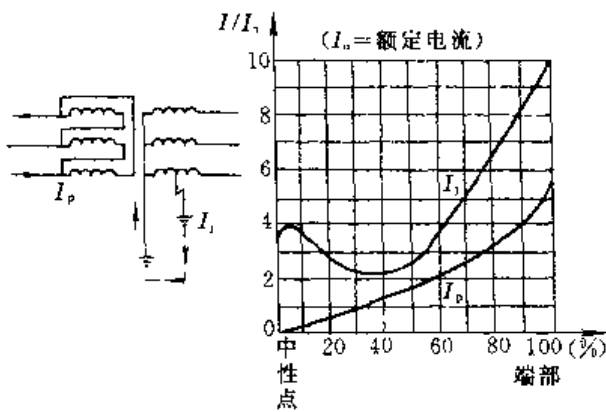


图 5-103 变压器 Y 绕组近中性点接地故障时的电流值趋势

接地故障的灵敏度相当高（见图 5-103）。

一般简单的变压器零序差动保护的動作正确率很低，进口的零序差动保护系高阻抗型的或带方向比较的（例如 RET521 型）可以提高区分内外部故障的能力，故很少误动作。

微机变压器保护除了差动功能外，还可包含过励磁，热过负荷，过电流，接地电流，零序差动（高阻抗型等），变压器带负荷电压分接头自动调整等功能。

## （二）线路保护

### 1. 过电流保护

简单的微机馈线保护一般包含二阶段可整定具有各种特性（定时限及各种反时限特性等）的过电流，接地电流保护和自动重合闸等功能。

由于历史原因，我国配电系统（6~35kV）的中性点接地方式比较复杂，相应地配电网路的接地保护不易适应。一般面临下列几种情况。

（1）中性点不接地。若配电网规模较大，线路发生接地时，流过的接地电容电流足以启动灵敏的接地电流继电器。但灵敏的整定值有时难以躲过三相式 CT 的不平衡电流，而需要采用电缆型零序 CT。

若配电网规模很小，线路发生接地时，故障线路与非故障线路上接地电容电流差别不显著时，则需采用零序方向继电器（见图 5-104）。

（2）中性点经消弧线圈接地。此时接地故障线路与非故障线路难以电流幅值或零序电流方向来区分（参见图 5-105）。

只能依靠发生接地故障的瞬间电流方向（例如 RXPG 型）来甄别接地故障线路。稳态下只能以 0 度特性的方向继电器测量其有功损耗，作为辅助判据。

（3）中性点经小电流电阻接地。目前趋向于将中性点经电阻接地，当线路发生接地故障时，故障电流将被限制在几十到几百安培范围，一般接地电流继电器可以适应。

### 2. 距离保护

这类型的继电器使用在高压系统的数字化距离保护中，相当一部分还带有某种自适应性能。例如：在振荡闭锁回路中判别系统振荡和系统故障的  $\Delta t$ ，能适应振荡过程中振荡周期愈来愈短的情况，自动缩短且有效地进行闭锁，以防止  $\Delta t$  跟不上振荡周期而导致距离保护误动作。

在带四边形特性的阻抗第一阶段，能进行负荷的自动补偿，以防止区外经小电阻接地故

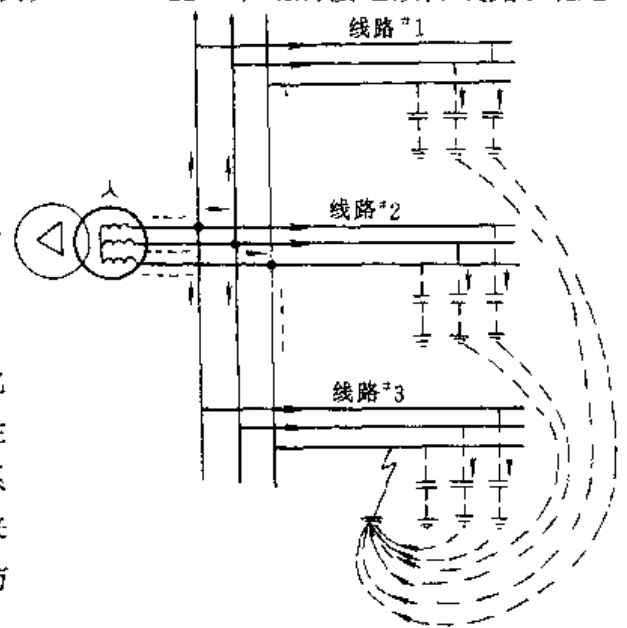


图 5-104 线路<sup>#</sup>3 一相接地时的电流分布（系统中性点不接地）



障时所发生的超越。

经演算测得阻抗值的变化轨迹及速率以及频率跟踪等技术措施，亦可在某些距离保护中体现出来。

距离保护中还往往附有1~4阶段的定时限或反时限的零序方向过流保护功能，用以切除高电阻接地故障。

### 3. 电流差动保护

由于光缆技术的发展和价格相对地下降，以及数字微波通讯应用的扩大，分相电流差动保护日益受到用户的欢迎，其最主要优点是：

- (1) 选相不成问题。
- (2) 系统振荡不成问题。
- (3) 试验和实践证明良好的该类保护在运行上很少出现问题。

采用数字化技术措施后，被保护线路两端保护装置能正确同步；能正确地将同一瞬间的电流进行比较；能允许两端CT变比不一致，并能相对地降低对CT特性的要求。

它一般还带有传输远方分闸命令的功能，在传输中并附有检查传输正确性的措施，因此可以省却比较累赘的就地判别元件。

#### (三) 母线差动保护

目前应用的微机母线差动保护装置，大致有下列几种类型。

##### 1. 中阻型微机母线差动保护

其测量元件是静态型的，以达到数字化元件难以达到的动作速度。其逻辑回路主要由微处理器来实现，以简化硬件，并具有部分自检功能。

它具有高阻抗型母差的优点即较强的区分内部和外部故障的能力；而没有高阻抗型母差的缺点即对主变流器拐点电压的要求相当高等。

这种中阻抗微机型母差保护装置可以适应几乎各种变流器，毋需挑剔主变流器的具体类型和特性（如REB103型母差）。其典型框图见图5-106所示。

它在回路设计上，考虑到区外故障时主变流器在半饱和或全饱和状态下皆不会误动作。它在自主变流器至差动保护之间控制电缆的回路电阻值满足要求的条件下，不需要再验算

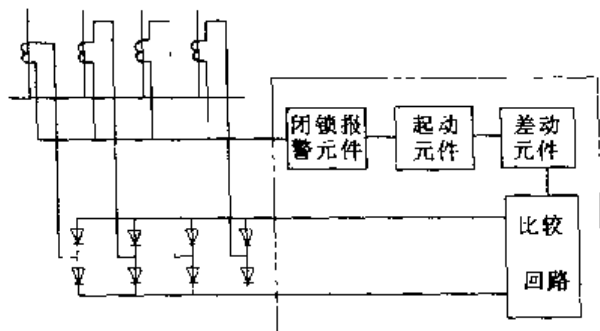


图 5-106 中阻抗微机母线差动保护典型框图

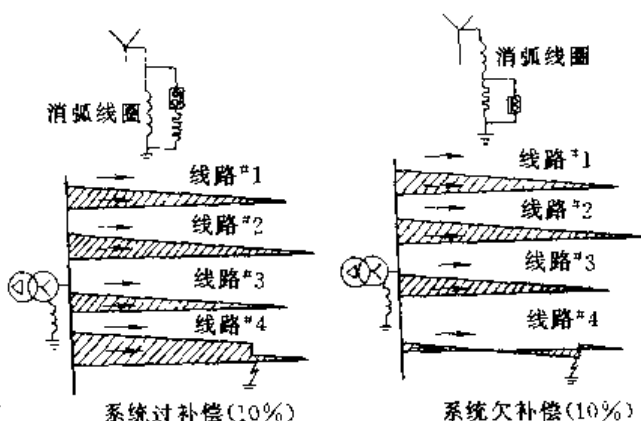


图 5-105 线路#4一相直接接地时电流分布  
(系统中性点经消弧线圈接地)

CT10%误差曲线，不论穿越故障电流会多大，该母线差动保护都能可靠地不发生误动作。

##### 2. 低阻型微机母线差动保护

这种母线差动保护装置由若干个（相当于母线上所接的元件数）间隔单元和一个中央单元构成。每个间隔单元中设有辅助输入变流器以接受母线上每个回路上主变流器的二次侧电流；设有光电耦合器接受相应回路上的母线间

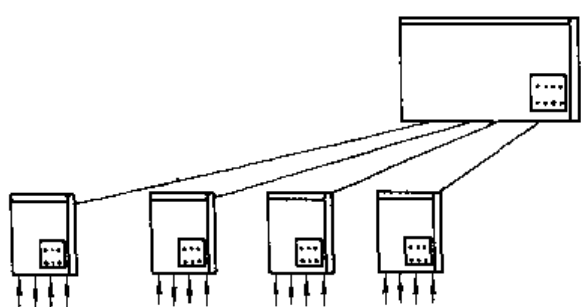


图 5-107 分散安装的低阻抗数字母线保护装置

刀和断路器位置信号的输入；设有跳闸继电器，其接点输出作用于母线上相应的断路器。每个间隔单元由逆变电源供电，由微处理器掌管信息的处理和传输，还具有模数转换等功能。这些间隔单元可分散，也可就地安装。

中央单元通过光纤和星形耦合器与各个间隔单元相连，集中进行运算和过程处理，从而实现母差保护的有关功能，见图 5-107 所示（如 REB500 型母差）。其中央单元可安装在适当继电保护室内。

需要时亦可将间隔单元和中央单元集中安装在 1~2 个保护柜内。

（四）自备发电机保护

供电系统中亦可能接有用户自备电厂，因而涉及到发电机保护或发电机—变压器组的保护。对于较大型的发电机—变压器组所要求的继电保护功能一般较为繁多。过去采用常规保护装置，由于硬件数量较多，不但安装检修工作量很大，而且硬件发生故障的机率亦相应地增多。

一台数字化发电机—变压器组保护装置则可以包含大量乃至全部所需要的保护功能。但为了保持一定的冗余度，一般将所需要的保护功能分散包含在 2~3 个独立装置中。有一种发电机—变压器组保护装置（如 REG216/316 型）采用较新颖和灵活的方式：即每个装置中存有完整的保护功能库，根据需要可将保护功能库中的保护功能进入运行状态。而且可以多次转换而形成有多重化功能。这样必要时用户可以自行通过软件变更保护功能的结构，参见图 5-108 所示。

（五）电容器保护

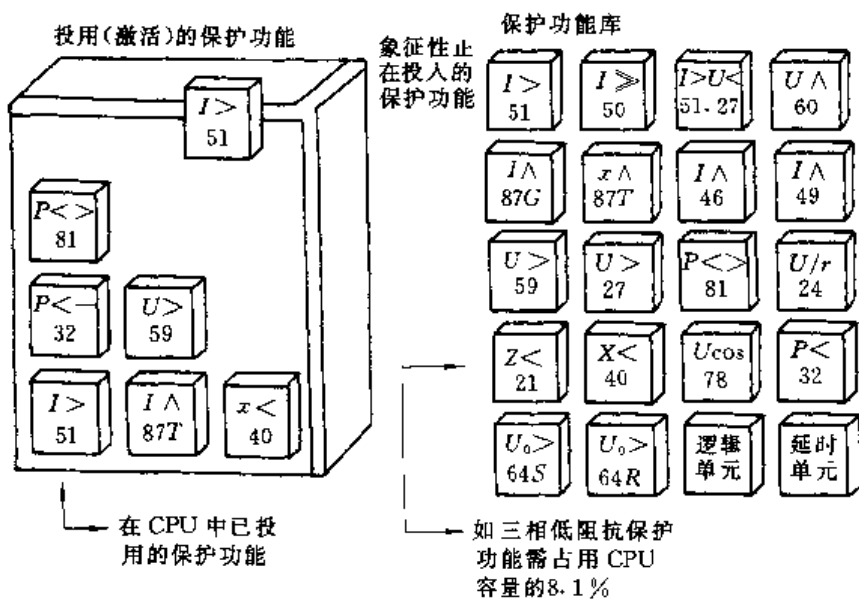


图 5-108 灵活完整的数字化发电机保护

注：数字编号为 IEEE 代号，如 50 为瞬时过电流保护功能；51 为带时延过电流保护功能；87 为差动保护功能等

补偿电容器的继电保护功能,可以根据设计要求进行配置。一般是将电容器分成两组,其容量尽可能相等且分别接成星形。将其中性点相连,在该中性点连接线上设置电流互感器以构成灵敏的横差电流保护。但是实践中两组电容器不可能完全相等。故在横差电流保护中就会出现不平衡电流。采用微机保护可以从幅值上和相角上加以补偿,使不平衡电流不会在保护中出现。

此外,还可以设置按电压或按功率因数的高低、自动投切补偿电容器的装置。

#### (六) 按周率自动减载装置

一般微机周率继电器兼具低周率或高周率功能。具有几个可分别整定的阶段。可以带延时,经低电压闭锁或周率变化率( $df/dt$ )的闭锁。需要时,亦可带按周率恢复而自动恢复负载的功能。

### 五、变电所综合自动化系统

#### (一) 综合自动化和无人值班变电所

变电所自动化是指应用自动控制技术和信息处理与传输技术,通过计算机硬软件系统或自动装置代替人工对变电所进行监控、测量、运行操作的一种自动化系统。

变电所综合自动化是指变电所的二次设备(包括控制、信号、测量、保护、自动装置、远动装置),利用微机及网络技术,经过功能的重新组合和优化设计,对变电所执行自动监控、测量、运行操作及其协调的一种综合性的自动化系统。

无人值班变电所是指无固定值班人员在所内进行日常监视与操作的变电所。一般中低压变电所综合自动化系统的典型结构框图如图 5-109 所示,该系统可分为三个层次:

(1) 最低层次为保护测控层。该层由若干单元组成,每单元含保护和测控两部分,包括交流采样、开入、保护和操作出口回路。

(2) 中间层次为数据交换层。主要由通信网络、通信控制器构成。

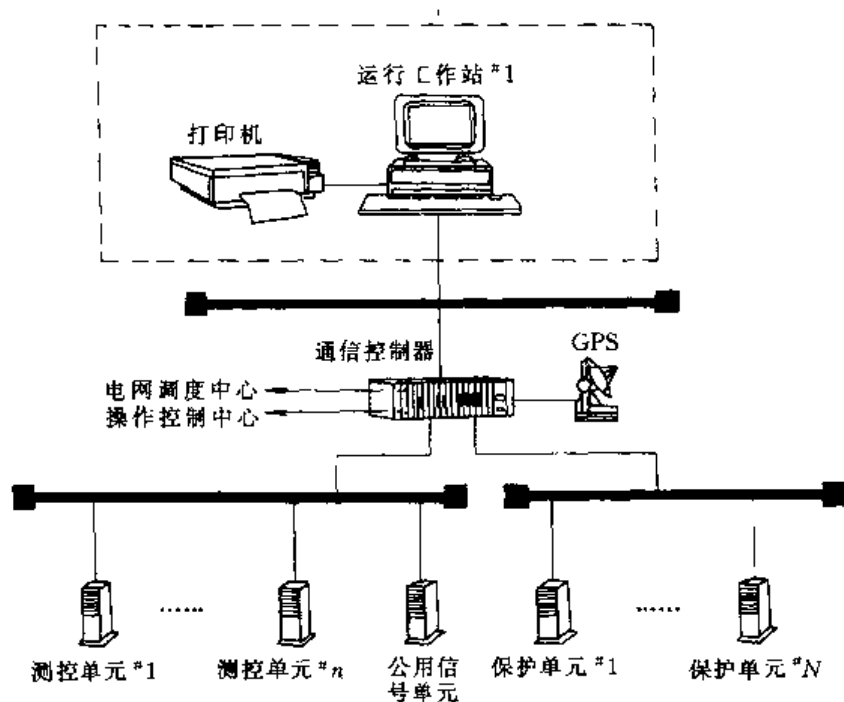


图 5-109 变电站综合自动化系统典型结构

(3) 上层由变电所主计算机系统构成。根据不同的需要, 变电所的主计算机系统可以由一台或多台计算机构成。

变电所计算机层直接面向变电所运行维护人员, 提供变电所综合自动化系统人机界面, 以实施数据处理、分析、统计、运行监视和控制。

变电所综合自动化系统以分散式测控单元为基本单元, 实现模拟量、开关量的数据采集, 断路器、刀闸以及变压器分接头的遥控、遥调工作。各测控单元由通信控制器实现互连、通信管理和控制, 并与变电所计算机系统和电网调度中心交换数据, 实现变电所的实地和远方监控。变电所的主计算机系统作为变电所监视和控制的中心, 采集和处理来自测控单元、微机保护、以及变电所内其他二次设备和辅助设备所提供的变电所运行的各种数据, 对变电所运行进行监视, 按照运行人员的控制命令和预先设定的控制条件, 对变电所实施控制, 并为变电所运行维护人员提供变电所运行监视所需的各种功能。

作为变电所综合自动化系统的一个重要部分, 变电所内的微机保护、自动装置等均借助于计算机通信技术实现互连, 可实现远方监测保护状态、检查和修改保护定值、投退保护功能、自动记录保护动作原因及设备故障电气参数, 减轻了保护设备的维护工作量, 提高了变电所运行的可靠性, 又为保护设备运行、事故分析提供了准确的数据。

各测控单元、微机保护以及其他自动化设备向变电所主计算机系统提供变电所运行监视所需的全部数据, 执行变电所主计算机系统所要求的各种控制功能, 各测控单元、微机保护以及其他自动化设备在变电所主计算机系统的协调、管理和控制之下, 完成变电所运行、监视和控制任务。通过与电网调度自动化系统配合协调, 完成电网调度自动化所要求的各种功能, 实现变电所无人值班, 减人增效。并为电网自动化的进一步发展提供了扎实的基础。

## (二) 变电所微机实时监控系统的

### 1. 变电所监控方式和微机监控系统的功能

对变电所的监控, 归纳起来有三种方式: ①人工监控; ②采用远动装置实现某些自动监控; ③采用微型机实现某些自动监控。其中采用微型机实时监控系统的具有以下优点: 装置体积小, 可靠性高, 具有对信息进行存储、记忆、运算和逻辑判断等功能, 并可对数据作采集、处理、打印和屏幕显示。因此, 除电业变电所外, 还很有必要在大中型企业和某些农网降压变电所中逐步推广采用微型机实时监控系统的, 以提高变电所运行的自动化水平。

采用微型机实时监控系统的可实现以下功能:

(1) 对变电所正常运行时各项主要参数的自动采集、处理和打印、显示。这些参数包括: 电流、电压、有功、无功、频率、功率因数等。

(2) 定时打印电能量和负荷率。

(3) 自动投切补偿电容器, 以实现功率因数的自动调整。

(4) 具有带负载调压的变压器, 可以实现自动调压。

(5) 可以实现负荷的自动控制。当高峰负荷超过规定值时, 能自动发出信号, 并切除部分次要负荷。

(6) 当系统发生短路事故时, 能自动记录事故发生的时间、短路电流大小、开关跳闸情况以及继电保护动作情况。

## 第六章 变电所运行与维护

### 第一节 变配电设备的运行与维护

#### 一、变配电设备的巡视及其规定

##### (一) 巡视的重要性

变配电设备包括变电设备（主变压器）和配电装置。对它们的运行维护工作至关重要，变配电设备的正常运行，是保证安全可靠地供配电的关键。

主变压器是变电所内的核心设备，通过对它的监视检查，可以监督其运行情况，随时了解变压器的运行状态，及时发现变压器存在的缺陷或所出现的异常情况，从而采取相应措施来防止事故的发生或扩大，以保证安全可靠地供电。

配电装置担负着受电和配电任务，是变配电所的重要组成部分。对配电装置同样也应定期巡视检查，以便及时发现运行中出现的设备缺陷或故障，并采取相应措施予以消除。

##### (二) 巡视期限

对变配电设备（尤其是户外装置部分）的巡视期限，一般有如下规定：

(1) 有人值班的变配电所，应每日巡视一次（或夜间再巡视一次）。35kV 及以上的变配电所，则要求每班（三班制）巡视一、二次。

(2) 无人值班的变配电室（通常容量较小），应在每周的高峰负荷时间巡视一次（或隔夜巡视一次）。

(3) 在雷雨、暴风雨、雨夹雪及浓雾等恶劣天气时，应对室外装置进行白天或夜间的特殊巡视。

(4) 对外在多尘或含腐蚀性气体等不良环境中的变配电设备，巡视次数要适当增加。无人值班的，每周巡视不应少于两次并应作夜间巡视。

(5) 变配电设备或装置在出现异常或发生事故后，要及时进行特殊巡视检查，以密切监视变化。

##### (三) 巡视路线

确定巡视路线的原则是：根据室内外变配电设备与装置的具体布局，应能够巡视到全部设备而没有（或少有）重复路线。为提高工效，巡视路线要以最短为宜。

##### (四) 巡视注意事项

(1) 值班人员在巡视检查时，要以高压部分及重点设备为主，但也不应放过低压部分与一般设备的细微变化。

(2) 巡视高压设备时，要注意路面高低、沟坑或电缆沟盖板的破损处。巡视中进出高压室时，必须随手将门关上并锁好。高压室的钥匙至少应有 3 把，由值班人员负责保管，按值移交。

(3) 巡视电气设备时，人体与带电导体间的距离应大于安全距离。不同电压下的最小

安全距离规定是：10kV 及以下高压为 0.7m，35kV 为 1m，110kV 为 1.5m。

(4) 巡视只许在遮栏外边进行，禁止移开或越过遮栏。遮栏距带电导体的最小安全距离规定是：10kV 及以下高压为 0.35m，35kV 为 0.6m，110kV 为 1.5m。

(5) 巡视时不得对设备进行任何操作或工作，且禁止接触高压电气设备的绝缘部分。雷雨天气需要巡视室外高压设备时，应穿绝缘靴并不得靠近避雷针和避雷器。

## 二、变配电设备巡视检查的方法

变电所（站）电气设备巡视检查的方法：①通过运行人员的眼观、耳听、鼻嗅、手触等为主要检查手段，发现运行中设备的缺陷及隐患；②使用工具和仪表，进一步探明故障性质。较小的障碍也可在现场及时排除。

常用的巡视检查方法有：

(1) 目测法。目测法就是值班人员用肉眼对运行设备可见部位的外观变化进行观察来发现设备的异常现象。如变色、变形、位移、破裂、松动、打火冒烟、渗油漏油、断股断线、闪络痕迹、异物搭挂、腐蚀污秽等都可通过目测法检查出来。因此，目测法是设备巡查最常用的方法之一。

(2) 耳听法。变电所（站）的一、二次电磁式设备（如变压器、互感器、继电器、接触器等）。正常运行通过交流电后，其线圈铁芯会发出均匀节律和一定响度的嗡嗡声。运行值班人员应该熟悉掌握声音的特点。当设备出现故障，会夹着杂音，甚至有噼啪的放电声。可以通过正常时和异常时的音律、音量的变化来判断设备故障的发生和性质。

(3) 鼻嗅法。电气设备的绝缘材料一旦过热会使周围的空气产生一种异味。这种异味对正常巡查人员来说是可以嗅别出来的。当正常巡查中嗅到这种异味时，应仔细寻查观察，发现过热的设备与部位，直至查明原因。

(4) 手触法。对带电的高压设备，运行中的变压器、消弧线圈的中性点接地装置，禁止使用手触法测试。对不带电且外壳可靠接地的设备，检查其温度或温升时需要用手触试检查。二次设备发热、振动等可以用手触法检查。

## 三、一次设备的巡视检查

### (一) 变压器的巡视检查

#### 1. 监视仪表及抄表

值班人员应根据控制盘上的仪表来监视变压器的运行情况，电压不能过高或过低，负荷电流不应超过额定值，每小时应抄表一次。过负荷下运行，则每隔半小时抄表一次。

#### 2. 变压器的一般巡视检查

(1) 检查油枕及充油套管内油位、油色是否正常。

(2) 检查变压器上层油温。一般油浸自冷变压器上层油温应在 85℃ 以下，强油风冷和强油水冷变压器应在 75℃ 以下。同时，还要监视变压器的温升不超过规定值。

(3) 检查变压器的响声。变压器正常运行时，一般有均匀的嗡嗡电磁声，如内部有噼啪的故电声则可能是绕组绝缘有击穿现象。如出现不均匀的电磁声，可能是铁芯的穿心螺栓或螺母有松动。出现异常情况无法处理要向有关部门及时报告。

(4) 检查变压器的套管应清洁，无破损裂纹及放电痕迹。

(5) 检查冷却装置的运行情况是否正常。

- (6) 检查变压器的呼吸器是否畅通，硅胶不应吸潮至饱和状态。
- (7) 检查防爆管上的防爆膜是否完整无破损。
- (8) 变压器主、附设备应不漏油、渗油。
- (9) 外壳接地是否良好。
- (10) 检查气体继电器内是否充满油，无气体存在。

### 3. 变压器的特殊巡视检查

- (1) 当系统发生短路故障或变压器故障跳闸后，应立即检查变压器有无位移、变形、断裂、爆裂、焦味、闪络、喷油等现象。
- (2) 雷雨时，应检查套管有否放电闪络，避雷器放电记录器的动作情况。
- (3) 大风时，应检查引线有否松动，摆动是否过大，有否搭挂杂物。
- (4) 雾天、毛毛雨，应检查套管、瓷瓶有无电晕和放电闪络。
- (5) 气温骤冷或骤热，应检查油温和油位是否正常。
- (6) 过负荷运行时，检查各部位是否正常，冷却系统运行是否正常。
- (7) 新投或大修后投运几小时应检查散热器散热情况，气体继电器动作情况。
- (8) 下雪天气应检查变压器引线接头部分，是否有落雪立即融化或蒸发冒气现象，导电部分应无冰柱。

#### (二) 互感器的巡视检查

##### 1. 电压互感器的巡视检查

- (1) 电压互感器的瓷瓶应清洁无裂纹、无破损及放电痕迹。
- (2) 运行中的电压互感器发出嗡嗡响声是否正常，有无放电声和异常音响。
- (3) 油色和油位是否正常，有无渗油和漏油，呼吸器的硅胶是否受潮变色。
- (4) 检查一、二次回路接线是否牢固，各接头有无松动。
- (5) 检查二次侧接地是否牢固且接触良好。
- (6) 检查电压互感器一、二次熔断器是否完好。
- (7) 检查一次隔离开关及辅助接点接触是否良好。

##### 2. 电流互感器的巡视检查

- (1) 检查电流互感器各接头是否有发热及松动现象。
- (2) 检查电流互感器的二次侧接线是否牢固可靠。
- (3) 检查油色、油位是否正常，有无渗油和漏油，呼吸器的硅胶是否受潮变色。
- (4) 检查瓷瓶是否清洁、无破损裂纹及放电痕迹。
- (5) 检查运行中电流互感器发出嗡嗡响声是否正常。满负荷运行有无异常气味。

#### (三) 断路器的巡视检查

##### 1. 断路器的正常巡视检查

- (1) 检查油色、油位是否正常，本体各充油部位不应有渗油和漏油。
- (2) 检查瓷套管是否清洁，无破损裂纹和放电痕迹。
- (3) 检查各连接头接触是否良好，无发热松动。
- (4) 检查绝缘拉杆及拉杆瓷瓶是否完好无缺陷，连接软铜片完整无断片。
- (5) 检查分合闸机械指示器与断路器实际状态是否相对应。

- (6) 检查室外操作机构箱的门盖是否关闭严密。
- (7) 检查操作机构的连杆、拉杆瓷瓶、弹簧等是否清洁无腐蚀，无杂物卡阻。
- (8) 检查端子箱内二次线端子是否受潮，有否锈蚀现象。
- (9) 真空断路器应检查真空包是否完整，有无损裂，变色现象。
- (10) SF<sub>6</sub>断路器应检查 SF<sub>6</sub> 的压力指示，并通过等密曲线进行换算，看压力指示是否正常。

(11) 对采用液压操作机构的断路器，应检查其油压是否正常，高、低压油回路有否漏、渗油现象。

#### 2. 断路器的特殊巡视检查

(1) 在事故跳闸后，应对断路器进行下列检查：

- 1) 有无喷油现象，油色和油位是否正常。
- 2) 本体各部件有无位移、变形、松动和损坏现象，瓷件有无断裂。
- 3) 各引线接点有无发热或熔化。
- 4) 分合闸线圈有无焦味。

(2) 高峰负荷时应检查断路器各连接部位是否发热变色打火。

- (3) 大风过后应检查引线有无松动断股。
- (4) 雾天或雷雨时应检查瓷套管有否闪络痕迹。
- (5) 雪天应检查各接头处积雪是否融化。
- (6) 骤热骤冷应检查油位是否正常。

#### (四) 隔离开关的巡视检查

(1) 隔离开关本体检查。本体应该完好，三相触头在合闸时同期到位，无错位或不同期到位现象。

(2) 隔离开关触头检查。

- 1) 触头应平整光滑、无脏污锈蚀变形；
- 2) 动、静触头间接触良好，无因接触不良引起过热发红或局部放电现象；
- 3) 触头弹簧或弹簧片完好，无变形损坏。

(3) 绝缘子检查。隔离开关各支持绝缘子应清洁完好，无放电闪络，无机械损坏。

(4) 操作机构检查。操作机构各部件无变形锈蚀、无机械损伤，部件之间连接牢固、无松动脱落现象。

(5) 接地部分检查。对于接地的隔离开关，其触头接触应良好，接地应牢固可靠，接地体可见部分应完好。

(6) 底座检查。底座连接轴上的开口销应完好，底座法兰无裂纹，法兰螺栓紧固无松动。

#### (五) 母线及电缆的巡视检查

##### 1. 母线的巡视检查

- (1) 多股软母线有无断股，硬母排有否变形，母排上的示温片有否变化。
- (2) 设备线卡、金具是否紧固，连接处有无发热、伸缩现象。
- (3) 瓷瓶是否清洁完好，有无放电痕迹。
- (4) 架构接地是否完好。



## 2. 电缆的巡视检查

- (1) 检查电缆头有否渗漏油、发热熔化、放电等现象。
- (2) 检查电缆外皮有无损伤，外皮接地是否良好。
- (3) 检查电缆沟内是否有渗水和积水。
- (4) 检查沟内是否有不准堆放的杂物和易燃品。
- (5) 检查电缆支架是否牢固，应无松动或锈烂现象，接地应良好。

### (六) 电容器装置的巡视检查

- (1) 套管和支持瓷瓶应清洁、无破损、无放电痕迹。
- (2) 电容器外壳不变形，无渗漏油。
- (3) 电容器内部无异常放电声。
- (4) 各连接部位接触良好，无发热现象。
- (5) 检查电容器单台保护熔断器应完好，无熔断。
- (6) 检查电容器是否在额定电压和额定电流下运行。如运行电压超过额定电压的 10%，运行电流超过额定电流的 30% 时，应将电容器退出运行。

### (七) 消弧线圈的巡视检查

#### 1. 运行表计监视

- (1) 正常运行中应监视消弧线圈相关的电压、电流、温度表计，并定时抄录。
- (2) 电网发生单相接地时，应监视各相关表计和信号音响，判断故障相并向调度员汇报。
- (3) 单相接地故障尚未排除而消弧线圈通过补偿电流运行时，其上层油温不超过 95℃，允许时间不超过铭牌规定的时限。

#### 2. 巡视检查项目

- (1) 上层油温、油位是否正常，油色是否发墨。
- (2) 消弧线圈正常运行时无电流通过，无响声，系统故障时有嗡嗡声，但无杂音。
- (3) 引线连接应牢固，外壳接地和中性点接地应紧密无松动。
- (4) 油箱清洁无渗漏油。
- (5) 瓷瓶套管清洁无损坏。
- (6) 其他同变压器检查项目。

## 四、二次系统的巡视检查

### (一) 直流系统的巡视检查

#### 1. 直流母线电压的检查

直流母线电压允许在 220~230V 之间变动，一般保持在 225V 为宜。电压过高，会造成设备损坏或引起绝缘老化，电压过低会使保护及自动装置拒动或降低其动作灵敏度。

#### 2. 直流盘各装置的检查

直流盘上表计、信号灯具完好，闪光装置良好，各操作把手操作无卡阻、刀闸触头接触良好。

#### 3. 直流系统绝缘监察装置检查

检查该装置指示表计是否完好，检查直流系统正负极对地指示是否为零。经检查如发现直流系统一点接地，不允许继续运行。

#### 4. 硅整流电容储能直流装置的巡视检查

- (1) 检查硅整流器的输入和输出电压是否在正常值范围。
- (2) 接触器、继电器和调压器的触点接触是否良好，有无过热或放电现象。
- (3) 调压器转动手柄是否灵活，有无卡阻。
- (4) 硅整流元件应清洁，连接的焊点或螺栓应牢固无松动。
- (5) 检查电容器的开关应在充电位置，电容器外壳洁净无变形、无放电；连接线无虚焊、断线。

#### 5. 酸铅蓄电池组的巡视检查

(1) 当蓄电池采用浮充电方式运行时，值班人员要根据直流负荷的大小，监视或调整浮充电源的电流，使直流母线电压保持额定值，并使蓄电池总是处于浮充电状态下工作。每个蓄电池电压应保持在 2.15V，变动范围为 2.1~2.2V。电压长期高于 2.35V，会产生“过充”；低于 2.1V，则会产生“欠充”。过充或欠充都会影响蓄电池的使用寿命。

(2) 每天都应测量代表电池的电压、比重及液温。

(3) 检查极板的颜色和形状。充好电后的正极板是红褐色；负极板是深灰色的。极板应无断裂、弯曲，极板间应无短路或杂物充塞。

(4) 电池缸应完整无倾斜，表面清洁。

(5) 蓄电池各接头连接应紧固，无腐蚀现象。

(6) 蓄电池室的温度应保持在 10~30℃之间，低于 10℃应启动热风装置，高于 30℃应启动冷风装置。

(7) 检查充电设备运行情况，硅整流元件温升在允许值内，旋转电机无过热，炭刷无严重冒火现象。

(8) 蓄电池室无强烈气味，通风及其他附属设备应完好。

#### (二) 继电保护、自动装置的巡视检查

(1) 检查表计是否正确完好。

(2) 检查各种灯光、音响信号设备：监视灯、指示灯是否正确，光字牌灯池是否完好，试验警铃、蜂鸣器是否完好，保护动作后信号继电器是否掉牌。

(3) 检查各操作部件：小熔断器、小刀闸、切换开关、压板、连接片是否都在正确位置并且接触良好。

(4) 二次设备的维护检查：值班员应定期清扫二次线、端子排、表盘、继电器外壳，但要严防误碰设备。巡视检查各二次接线端、继电器接点、线圈外观是否正常。

(5) 若断路器自动跳闸，要检查保护动作情况，并查明原因。试送时，将所有保护装置的信号复归。

(6) 定期做重合闸试验。

### 五、辅助设备的巡视检查

#### (一) 所用变压器的巡视检查

(1) 检查高压熔断器接触是否良好。

(2) 检查低压配电盘(箱)上的指示表计是否正确，低压总开关(或熔断器)接触是否良好。

其他可参照变压器的巡视检查项目进行。

#### (二) 防雷设备的巡视检查

- (1) 避雷针、避雷器、避雷线的引线接头是否牢固、有无断股现象，焊接点有否脱落。
- (2) 瓷套是否清洁，有否破损和放电痕迹。
- (3) 避雷器的放电记录指示器动作是否正确。
- (4) 避雷针有否断裂倾斜，铁件有否锈蚀，各连接部分是否牢固，基础有否沉陷。
- (5) 各防雷设备的接地线是否牢固可靠。

### (三) 房屋建筑物的巡视检查

- (1) 检查主控制室、高压室、配电室的门窗是否严密，有无小动物进入的孔洞。
- (2) 房屋有否漏雨，渗水现象。
- (3) 室内雨季排水是否良好。
- (4) 所有建筑物和设备的基础是否牢固，有否下沉。

## 第二节 变电所的倒闸操作

### 一、设备的操作状态与判别方法

倒闸操作是指按预定实现的运行方式，对现场各种开关（断路器及隔离开关）所进行的分闸或合闸操作。它是变配电所值班人员一项经常性的、复杂而细致的工作，同时又十分重要。稍有疏忽或差错，都将会造成事故或严重事故，甚至带来难以挽回的损失。

要正确地进行倒闸操作，避免因错误操作而造成事故，就必须清楚地了解设备的操作状态，即正确地判别隔离开关和断路器的位置。

#### (一) 设备操作状态的分类

电气设备的工作状态通常分为如下四种：

- (1) 运行中。隔离开关和断路器已经合闸，使电源和用电设备连成电路，则设备是在运行中。
- (2) 热备用。某设备（例如变压器）的电源由于断路器的断开已停止运行，但断路器两端的隔离开关仍接通，则该设备处于热备用。
- (3) 冷备用。某设备的所有隔离开关和断路器均已断开，则该设备便为处于冷备用。
- (4) 检修中。设备的所有隔离开关和断路器已经全部断开，并挂牌和设遮栏、接好地线，则该设备是在检修中。

#### (二) 操作状态的判别方法

区别变配电装置中各种电气设备究竟是处于带电还是断电状态，通常可以采用下列方法进行判断：

- (1) 开关所处状态。有明显断开点的开关从其分闸或合闸状态即可区分清楚。凡断路器可从操作机构的指示牌上看出其实际位置，但有时指示牌因松动等原因也会造成指示错误，所以还要结合相关隔离开关所处的状态进行综合判断。
- (2) 有无电压指示。从电压表的指示可以判别电气设备是否带电。但要注意仪表及其接线应完好正确，以避免因仪表失灵而误以为无电。
- (3) 信号灯显示情况。由表明通电或是断电的灯光信号显示来进行判别，也是判断装置或设备是否带电的一种辅助方法。

续表

编号	调度术语表	含 义
22	×点××分××开关跳闸重合又跳闸	×点××分××开关跳闸重合又跳闸
23	×点××分××开关跳闸重合闸拒绝动作	×点××分××开关跳闸重合闸拒绝动作
24	×点××分××开关强送×次成功	×点××分××开关强送×次成功
25	×点××分××开关强送不成功	×点××分××开关强送不成功
26	拉开/合上××刀闸（或开关）	将××刀闸（或开关）切断/接通
27	在××开关侧（母线侧、线路侧或两侧）挂（或拆除）接地线	在××开关侧（母线侧、线路侧或两侧）挂（或拆除）接地线
28	××线路（或设备）许可开工时间×点××分	××线路（或设备）转入检修后值班调度员发布的许可开工命令
29	现在××线路（或设备）工作结束，现场工作接地线已拆除（或接地刀闸已拉开）、人员已撤离、或已送电	现场检修人员在调度许可的设备上工作结束后，向值班调度员汇报术语
30	消弧线圈瞬时动作×次	带消弧线圈接地系统发生接地时引起消弧线圈指示动作多少次
31	××母线单相接地指示	经消弧线圈接地或不接地系统中发生单相接地后变电所（或发电厂）母线接地信号指示
32	直流接地	直流系统一相接地
33	直流接地消失	直流系统一相接地消失
34	××保护动作跳闸	继电保护动作，开关跳闸
35	××开关跳闸保护未动作	开关跳闸，保护未动作

### 3. 运行中电气设备的状态

(1) 设备的“运行状态”：指设备的刀闸及开关都在合上位置，将电源至受电端的电路接通（包括辅助设备如电压互感器、避雷器等）。如图 6-1 所示。

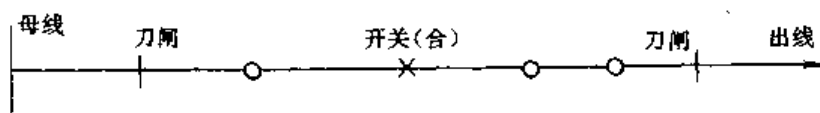


图 6-1 运行状态

(2) 设备的“热备用状态”：指设备处在开关断开而刀闸仍在合上位置。当开关一经合闸就投入运行的状态。如图 6-2 所示。

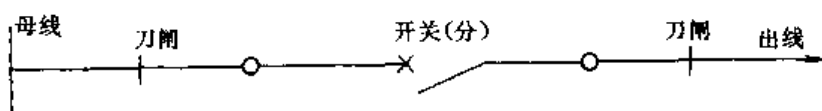


图 6-2 热备用状态

“××母线从冷备用转为热备用”是指有任一路电源开关处于热备用状态，一经合闸该母线即可带电，包括母线压变转为运行状态。

(5) 对不符合上述四种状态的操作，调度员在发布操作命令时须明确提出要求。

#### 4. 电力系统操作术语

电力系统常用的操作术语见表 6-3。

表 6-3 电力系统操作术语

编号	操作术语	含 义
1	操作命令	值班调度员对其所管辖的设备为变更电气接线方式和事故处理而发布的倒闸操作命令
2	操作许可	值班调度员对其所管辖的设备，在变更状态前，由现场提出操作项目和要求，值班调度员给予许可
3	并列	发电机（或系统）经用同期表检查同期后与发电机（或系统）并列运行
4	解列	将发电机（或系统）与发电机（或系统）解除并列运行
5	自同期并列	将发电机用自同期法与系统并列运行
6	非同同期并列	将发电机（或两个系统）不经同期检查即并列运行
7	合上	把开关或刀闸放在接通位置
8	拉开	把开关或刀闸放在切断位置
9	跳闸	设备自动从接通位置改成断开位置（开关或主汽门等）
10	倒母线	母线刀闸从一组母线倒换至另一组母线
11	冷倒	开关在热备用状态，拉开母线刀闸，合上（另一组）母线刀闸
12	合环	将电气环路用开关或刀闸进行闭合的操作
13	解环	将电气环路用开关或刀闸进行断开的操作
14	强送	设备因故障跳闸后，未经检查即送电
15	试送	设备因故障跳闸后，经初步检查后再送电
16	充电	不带电设备与电源接通
17	验电	用校验工具验明设备是否带电
18	放电	设备停电后，用工具将静电放去
19	挂（拆）接地线或合上（拉开）接地刀闸	用临时接地线（或接地刀闸）将设备与大地接通（或拆开）
20	核对相位	用校验工具核对带电设备两端的相位
21	试相序	用校验工具核对电源的相序
22	带电拆装	在设备带电状态下进行拆卸或接通安装
23	短接	用临时导线将开关或刀闸等设备跨越（旁路）连接
24	拆引线或接引线	架空线的引下线或弓字线的接头拆卸或接通
25	变压器分接头从××电压调到××电压	变压器固定分接头调节
26	变压器分接头从×调到×	变压器有载分接头调节

续表

编号	操作术语	含义
27	消弧线圈从×调到×	消弧线圈调分接头
28	线路事故抢修	线路已转为检修状态,当检查到故障点后,可立即进行事故抢修工作
29	按频率减载动作跳闸	当频率降低到某一预定值并经过一定时间后自动将某些供电线路开关跳开
30	非自动	将设备的直流(或交流)操作回路解除
31	限电	限制用户用电
32	拉路	将向用户供电的线路切断停止送电
33	检查	观察设备的状态如何,如运行中的正常检查和事故检查
34	清扫	将设备上的灰尘,脏物除去
35	测量	测量电气设备绝缘、电压、温度等
36	校验	预测电气设备是否在良好状态,如安全自动装置、继电保护等
37	××(设备)××保护起用	××(设备)××保护所有跳闸回路压板投入
38	××(设备)××保护停用	××(设备)××保护所有跳闸回路压板断开
39	改变继电保护整定值	继电保护时间、阻抗、电流等定值由一个定值改变至另一个定值
40	信号掉牌	继电保护动作发出信号
41	信号复归	将继电保护的信号牌恢复原位
42	放上或取下熔断器(或压板)	将保护熔断器(或继电保护压板)放上或取下
43	启用(或停用)××(设备)××(保护)×段	将××(设备)××(保护)×段跳闸压板投入(或断开)
44	××保护方向元件短接	即××保护方向元件短接后,方向不起作用而保护不带方向
45	××保护方向元件短接线拆除	即××保护方向元件短接线拆除后,保护恢复带方向
46	母差保护接信号	保护直流电源投入,装置运行,但保护所有接跳开关的跳闸回路压板断开
47	母差保护启用	保护直流电源投入,装置运行,保护出口所有接跳开关的跳闸回路压板断开
48	母差双母线方式	母差有选择性(一次结线与二次直流跳闸回路要对应),先跳开母联以区分故障点,再跳开故障母线上所有开关
49	母差单母线方式	一次为双母线运行;无选择性,一条母线故障,引起二条母线上所有开关跳闸 一次为单母线运行;母线故障,母线上所有开关跳闸
50	母差固定连接方式	母差在选择性(一次结线与二次电流互感器回路要对应),先跳开母联以区分故障点,再跳开故障母线上所有开关
51	母差非固定连接方式	一次为双母线运行;无选择性(一次结线与二次TA回路不对应,或虽然对应,但母联为非自动),一条母线故障,跳开两条母线上所有开关 一次为单母线运行;母线故障,母线上所有开关跳闸
52	××保护由跳××开关改为跳××开关	××保护由投跳××开关,改为投跳××开关而不跳原来开关(如同时跳原来开关,则应说明改为跳××××开关)

### 5. 电气设备运行状态之间倒换典型操作

电力系统根据生产的需要经常要将设备从一种状态倒换到另一种状态,表 6-4 列出了电气设备四种状态之间相互倒换的典型操作。

表 6-4 电气设备运行状态之间倒换表

设备状态	倒换后状态 (注)			
	运行	热备用	冷备用	检修
运行		(1) 拉开必须切断的开关 (2) 检查所切断的开关处在断开位置	(1) 拉开必须切断的开关 (2) 检查所切断的开关处在断开位置 (3) 拉开必须断开的全部刀闸 (4) 检查所拉开的刀闸处在断开位置	(1) 拉开必须切断的开关 (2) 检查所切断的开关处在断开位置 (3) 拉开必须断开的全部刀闸 (4) 检查所拉开的刀闸处在断开的位置 (5) 挂上保护用临时接地线或合上接地刀闸 (6) 检查合上的接地刀闸处在接通位置
热备用	(1) 合上设备所必需的开关 (2) 检查所合上的开关处在接通位置		(1) 检查所拉开的开关处在断开位置 (2) 拉开必须断开的全部刀闸 (3) 检查所拉开的刀闸处在断开位置	(1) 检查所拉开的开关处在断开位置 (2) 拉开必须断开的全部刀闸 (3) 检查所拉开的刀闸处在断开位置 (4) 挂上保护用临时接地线或合上接地刀闸 (5) 检查所合上的接地刀闸处在接通位置
冷备用	(1) 检查全部接线 (2) 检查所断开的开关处在拉开的位置 (3) 合上必须合上的全部刀闸 (4) 检查所合上的刀闸在接通位置, 合上必须合上的开关 (5) 检查所合上的开关处在接通位置	(1) 检查全部接线 (2) 检查所断开的开关处在拉开位置 (3) 合上必须合上的全部刀闸 (4) 检查所合上的刀闸在接通位置		(1) 检查所断开的开关处在断开位置 (2) 检查全部刀闸处在断开位置 (3) 挂上保护用临时接地线或合上接地刀闸 (4) 检查所合上的接地刀闸处在接通位置
检修	(1) 拆除全部保护用临时接地线或拉开接地刀闸 (2) 检查所拉开的接地刀闸在断开的位置 (3) 检查所断开的开关处在断开的位置 (4) 合上必须合上的全部刀闸 (5) 检查所合上的刀闸在接通位置 (6) 合上必须合上的开关 (7) 检查所合上的开关处在接通位置	(1) 拆除全部保护用临时接地线或拉开接地刀闸 (2) 检查所拉开的接地刀闸在断开的位置 (3) 检查所断开的开关处在断开的位置 (4) 合上必须合上的全部刀闸 (5) 检查所合上的刀闸在接通位置	(1) 拆除全部保护用临时接地线或拉开接地刀闸 (2) 检查所拉开的接地刀闸在断开的位置 (3) 检查所断开的开关处在断开位置 (4) 检查所断开的刀闸处在断开的位置	

注 表内设备转入“检修状态”时应挂上标示牌, 装设临时遮栏等安全措施虽未载明, 但仍须按照《电业安全规程》的规定执行, 拆除时亦同。

#### (四) 倒闸操作的步骤

变配电所的倒闸操作可参照下列步骤进行：

(1) 接受主管人员的预发命令。值班人员接受主管人员的操作任务和命令时，一定要记录清楚主管人员所发的任务或命令的详细内容，明确操作目的和意图。在接受预发命令时，要停止其他工作，集中思想接受命令，并将记录内容向主管人员复诵，核对其正确性。对枢纽变电所重要的倒闸操作应有二人同时听取和接受主管人员的命令。

(2) 填写操作票。值班人员根据主管人员的预发令，核对模拟图，核对实际设备，参照典型操作票，认真填写操作票，在操作票上逐项填写操作项目。填写操作票的顺序不可颠倒，字迹清楚，不得涂改，不得用铅笔填写。而在事故处理、单一操作、拉开接地刀闸或拆除全所仅有的一组接地线时，可不用操作票，但应将上述操作记入运行日志或操作记录本上。

(3) 审查操作票。操作票填写后，写票人自己应进行核对，认为确定无误后再交监护人审查。监护人应对操作票的内容逐项审查。对上一班预填的操作票，即使不在本班执行，也要根据规定进行审查。审查中若发现错误，应由操作人重新填写。

(4) 接受操作命令。在主管人员发布操作任务或命令时，监护人和操作人应同时在场，仔细听清主管人员所发的任务或命令，同时要核对操作票上的任务与主管人员所发布的是否完全一致。并由监护人按照填写好的操作票向发令人复诵。经双方核对无误后在操作票上填写发令时间，并由操作人和监护人签名。这样，这份操作票方合格可用。

(5) 预演。操作前，操作人、监护人应先在模拟图上按照操作票所列的顺序逐项唱票预演，再次对操作票的正确性进行核对，并相互提醒操作的注意事项。

(6) 核对设备。到达操作现场后，操作人应先站准位置核对设备名称和编号，监护人核对操作人所站立的位置、操作设备名称及编号应正确无误。检查核对后，操作人穿戴好安全用具，取立正姿势，眼看编号，准备操作。

(7) 唱票操作。监护人看到操作人准备就绪，按照操作票上的顺序高声唱票，每次只准唱一步。严禁凭记忆不看操作票唱票，严禁看编号唱票。此时操作人应仔细听监护人唱票并看准编号，核对监护人所发命令的正确性。操作人认为无误时，开始高声复诵并用手指数编号，做操作手势。严禁操作人不看编号瞎复诵，严禁凭记忆复诵。在监护人认为操作人复诵正确、两人一致认为无误后，监护人发出“对，执行”的命令，操作人方可进行操作并记录操作开始时间。

(8) 检查。每一步操作完毕后，应由监护人在操作票上打一个“√”号。同时两人应到现场检查操作的正确性，如设备的机械指示、信号指示灯，表计变化情况等，以确定设备的实际分合位置。监护人勾票后，应告诉操作人下一步的操作内容。

(9) 汇报。操作结束后，应检查所有操作步骤是否全部执行，然后由监护人在操作票上填写操作结束时间，并向主管人员汇报。对已执行的操作票，在工作日志和操作记录本上做好记录。并将操作票归档保存。

(10) 复查评价。变配电所值班负责人要召集全班，对本班已执行完毕的各项操作进行复查、评价并总结经验。

图 6-6 为变电所倒闸操作的流程图。



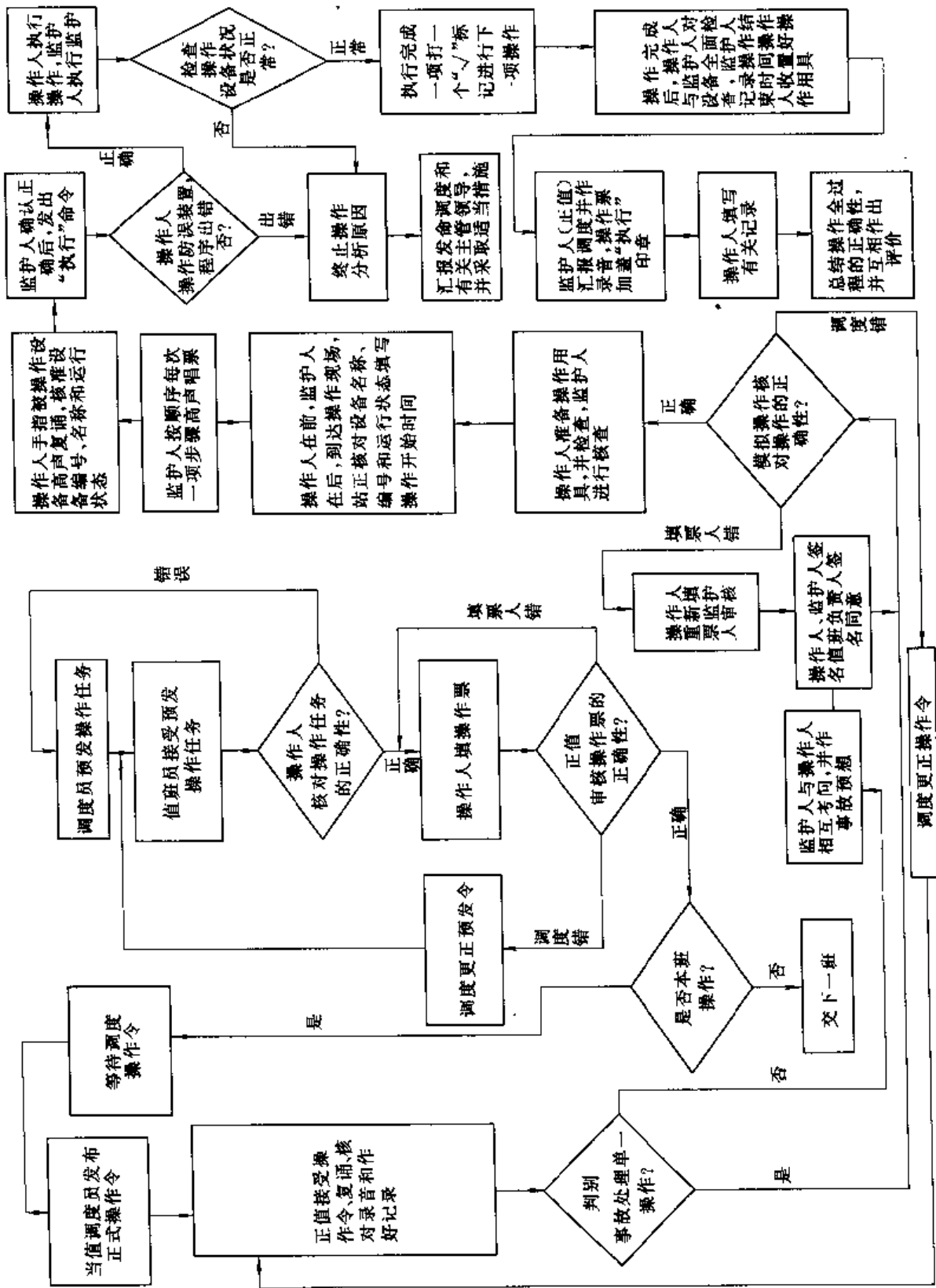


图 6-6 变电所倒闸操作流程

### 三、倒闸操作的方法和注意事项

#### (一) 隔离开关的操作方法及注意事项

(1) 在手动合隔离开关时必须迅速果断，在合到底时不能用力过猛，以防合过头和损坏支持瓷瓶。在合隔离开关时如发生弧光或误合，则应将隔离开关迅速合上。隔离开关一经合上，不得再行拉开，因为带负荷拉开隔离开关会使弧光扩大，使设备损坏更加严重。误合后只能用断路器切断该回路，才允许将隔离开关拉开。

(2) 在手动拉开隔离开关时，应按“慢—快—慢”的过程进行。刚开始时应慢，其目的是：操作连杆一动即要看清是否为要拉的隔离开关，再看触头刚分开时有无电弧产生。若有电弧则应立即合上，防止带负荷拉隔离开关；若无电弧，则接着就应迅速拉开。在切断小容量变压器的空载电流、一定长度架空线路和电缆线路的充电电流、少量的负荷电流以及用隔离开关解环操作时，均会有小电弧产生，此时应迅速将隔离开关拉开，以利灭弧。当隔离开关快要全部拉开时，又应稍慢些，以防不必要的冲击损坏瓷瓶。

(3) 隔离开关装有电气（电磁）联锁装置或机械联锁装置的，若装置未开、隔离开关不能操作时，不可任意解除联锁装置硬进行分、合闸，应查明原因后才能进行操作。

(4) 隔离开关经操作后，必须检查其“开”、“合”位置。因有时会由于操作机构有故障或调整得不好，而可能出现操作后未全部拉开或未全部合上的现象。

#### (二) 断路器的操作方法及注意事项

(1) 断路器不允许现场带负荷手动合闸。这是因为手动合闸速度慢，易产生电弧而使触头损坏。

(2) 遥控操作断路器，扳动控制开关时，不要用力过猛，以免损坏控制开关。

(3) 断路器经操作后，应查看有关的信号装置和测量仪表的指示，判别断路器动作的正确性。但不能只以信号灯及测量仪表的指示来判别断路器的分、合状态，还应到现场检查断路器的机械位置指示装置来确定其实际所处的分、合位置。

(4) 当断路器合上、控制开关返回后，合闸电流表应指在零位，以防止因合闸接触器打不开而烧毁合闸线圈。

#### (三) 高压跌落式熔断器的操作方法与顺序

高压跌落式熔断器有安装在隔离开关附近，也有单独使用的。操作高压熔断器多采用绝缘杆单相操作。分或合高压熔断器时，不允许带负荷。如发生误操作，产生的电弧会威胁人身及设备的安全。现将其操作过程中的情况分析如下：

在拉开第一相的大多数情况与断开并联回路或环路差不多，其上仍保持有电压，因此都不会发生强烈电弧。而在带负荷拉开第二个单相时，就会产生强电弧，致使相邻各相发生弧光短路。所以要根据第一相断开时的弧光情况，慎重地判断是否是误操作，然后再决定是继续操作，还是重新合上已拉开的第一相。

为防止可能发生的弧光短路事故，高压熔断器的操作顺序为：拉闸时应先拉中间相，后拉两边相（且其中先拉下风相）；合闸时应先合两边相（且其中先合上风相），再合中间相。

#### (四) 母线的操作

母线的投运和停用，以及双母线接线设备在两条母线之间、改变运行方式的操作，都属于母线操作的范围。进行母线操作前应作好充分准备，操作时必须严格按预定顺序进行。

同时要注意下列几点：

(1) 备用母线有母联开关时，应以母联开关向母线充电。母联开关的保护应在投入状态，必要时将保护整定时间调整为零。这样如果备用母线存在故障，便可由母联开关迅速切除，以防止事故扩大。

(2) 当母联开关合上后进行母线倒闸时，母联开关的操作电源应切除，以防止母联开关误跳闸而影响隔离开关的操作安全。

(3) 对于双母线接线的设备，将其某一设备倒换母线时，应在母联开关合闸且保护停用的条件下进行。操作时，应先合后拉。

#### (五) 变压器的操作

##### 1. 主变压器的停电与送电

(1) 仅一台主变压器且二次侧无总断路器或负荷开关的，停电时应先拉开负荷侧各条配电线路的断路器或开关，送电时则应在变压器投运后，再合上各条与线路的断路器或开关。

(2) 10kV 少油断路器合闸后，若发现托架或拉杆瓷瓶折断，则不能再继续操作。应将断路器保护停用，并迅速汇报，等候处理。

(3) 更换并列运行的变压器或进行可能使相位发生变动的工作时，必须经过核相器核对，正确无误后，方可并列运行。

(4) 变压器充电要利用有保护的电源断路器进行，保护整定应能保证变压器充电时不动作。如变压器有故障，应能保证其迅速跳闸而不致引起上一级开关动作。

##### 2. 电压互感器的启用与停用

(1) 启用三相五柱或三只单相电压互感器组时，投运前，应先合上一次侧的中性点接地刀闸。

(2) 电压互感器停用时，要先充分考虑有无影响表计指示与计量，以及是否会引起有关继电保护和自动装置发生拒动或误动的情况，并提前采取正确而有效的预防措施。

#### (六) 变配电所整流设备的操作

(1) 整流器送电时应先合交流电源，再合直流输出，停用时则相反。

(2) 无蓄电池的变配电所，停用整流器时必须经主管技术的领导批准。

#### (七) 断路器与隔离开关的倒闸操作顺序

倒闸操作步骤为：合闸时应先合隔离开关，再合断路器；拉闸时应先拉开断路器，然后再拉开隔离开关。

这是因为隔离开关由于构造及性能上的限制，一般不能接通或切断负荷电流。否则将引起很大电弧，容易烧坏触头，甚至造成相间短路或伤害操作人员。而断路器是用来“接通”或“切断”带负荷电路用的，它内部具有专门的灭弧装置，能够“通、断”负荷电流并熄灭通断时所产生的较大电弧，故不致引起上述事故而造成恶果。

高压隔离开关在电网内常称隔离刀闸（习称刀闸）。“带负荷拉刀闸”是原水电部明令禁止的六大恶性事故之一。由于隔离开关本身没有专门的灭弧装置，故严禁带负荷或故障负荷进行操作。操作时，如果万一发生了带负荷误操作（拉开或合上刀闸），则切不可慌乱而应沉着处理。具体办法是：

(1) 错拉隔离开关：若隔离开关刚一离开静触头且仅产生了少量电弧，这时应立即合上，便可（灭弧）避免事故；若隔离开关已全部拉开，则绝不允许将误拉的隔离开关重新合上！如果是单极隔离开关，在操作一相后已发现错位，则对其他两相便不应再继续操作，同时要立即采取措施（即操作断路器）以切断负荷。

(2) 错合隔离开关：既已合错，或在合闸时产生了较大电弧，也决不准再往回拉开！因为若再带负荷拉隔离开关，又将会产生强烈电弧甚至造成相间弧光短路。故万一发生了错合隔离开关的情况，同样也应立即操作断路器来切断负荷。

#### 四、保障正确进行倒闸操作的措施

##### 1. 严格执行操作票制度

在1kV以上的设备上进行倒闸操作时，必须得到电气负责人命令或根据工作票内容与要求，按规定格式正确地填写倒闸操作票。填写操作票时应做到填写清楚、具体、明确，必要时应画出接线图。

##### (1) 填写操作票的注意事项：

- 1) 倒闸操作票必须用钢笔或圆珠笔填写，保持清晰，不得涂改或损坏。
- 2) 操作票应编号并按顺序使用。作废的操作票应盖“作废”字样的图章加以注明，已操作的操作票应盖“已执行”字样的图章加以注明。
- 3) 使用过的操作票必须保存3个月，以备查用。
- 4) 每一张操作票只允许填写一个操作任务。

(2) 操作票的具体内容：在操作票上不仅要填写断路器和隔离开关的操作步骤，还应填写下列检查内容：

- 1) 检查接地线是否拆除。
- 2) 在拉开或合上断路器及隔离开关后，应检查实际的分、合位置。
- 3) 切断或合上并列设备或环路时，应根据表计指示检查负荷分配情况，以防止设备过负荷而引起过电流保护动作。
- 4) 进行验电，检查需要装设临时接地线的设备确已无电。
- 5) 安装或拆除控制回路及电压互感器回路的熔断器。
- 6) 切换保护回路或改变整定值。

##### 2. 认真严肃地进行操作

在倒闸操作过程中，要认真严肃地按照前述有关隔离开关和断路器等设备的正确操作方法进行操作。

##### 3. 牢记倒闸操作的注意事项

进行倒闸操作应牢记并遵守下列注意事项：

- (1) 倒闸操作前必须了解运行、继电保护及自动装置等情况。
- (2) 在电气设备送电前，必须收回并检查有关工作票，拆除临时接地线或拉下接地隔离开关，取下标示牌，并认真检查隔离开关和断路器是否在断开位置。
- (3) 倒闸操作必须由两人执行，一人操作一人（对设备较为熟悉者）监护（单人值班的变电所倒闸操作可由一人执行）。特别重要和复杂的倒闸操作，要由熟练的值班员操作，值班负责人或值长监护。操作中应使用合格的安全工具，如验电笔、绝缘手套、绝缘靴等。

断路器或跌落式熔断器，则恢复送电前，应先将变电所低压主开关或所有出线开关断开，然后才能闭合高压隔离开关或跌落式熔断器，最后再将低压主开关或所有出线开关合上，恢复供电。

变配电所在运行过程中进线突然没有电压时，多数是因外部电网暂时停电。这时总开关不必拉开，但出线开关应该全部拉开，以免突然来电时各用电设备同时起动，造成过负荷和电压骤降，影响供电系统的正常运行。当电网恢复供电后，再依次合上各路出线开关恢复送电。

变配电所的厂内出线发生故障使开关跳闸时，如开关的断流容量允许，可以试合一次，争取尽快恢复供电。由于许多故障属暂时性的，所以多数情况下可试合成功。如果试合失电开关再次跳闸，说明线路上故障尚未消除，这时应对故障线路进行隔离检修。

### （二）停电操作

变配电所停电时，应将开关拉开，其操作步骤与送电相反，一般先从负荷侧的开关拉起，依次拉到电源侧开关。按这种步骤进行操作，可使开关分断流量减致最小，比较安全。仍以图 6-7 为例进行说明：停电时，先拉低压侧各路出线开关。如果刀开关或熔断器式刀开关未带灭弧罩时，则还应先断开相关的负荷开关。所有出线开关开后，就可相继拉开低压和高压主开关。若高压主开关是高压断路器或负荷开关，紧急情况下也可直接拉开高压断路器或负荷开关以实现快速停电。假如高压侧装设的是隔离开关加熔断器或跌落式熔断器，则停电时只有断开所有低压出线开关和低压主开关之后，才能拉开高压隔离开关或跌落式熔断器。

线路或设备停电以后，考虑到检修线路和设备人员的安全，在断路器的开关操作手柄上应悬挂“有人工作，禁止合闸！”标示牌，并在停电检修线路或设备的电源侧（如可能两侧来电时，应在其两侧）装设临时接地线。装设临时接地线时，应先接接地端，再接线路端或设备端。

### （三）停送电操作时拉合隔离开关的次序

操作隔离开关时，绝对不允许带负荷拉或合。故在操作隔离开关前，定要认真检查断路器所处的状态。为了在万一发生错误操作时能缩小事故范围，避免人为扩大事故，停电时应先拉线路侧隔离开关，送电时应先合母线侧隔离开关。这是因为停电时可能出现的误操作情况有：断路器尚未断开电源而先拉隔离开关，造成了带负荷拉隔离开关；断路器虽已断开，但在操作隔离开关时由于走错间隔而错拉了不应停电的设备。

若断路器尚未断开电源时误拉了隔离开关，如先拉了母线侧隔离开关，弧光短路点将在断路器内侧，造成母线短路；如是先拉线路侧隔离开关，则弧光短路点在断路器外侧，断路器保护动作跳闸，便能切除故障，缩小事故范围。所以，停电时应先拉线路侧隔离开关。

送电时，若断路器误在合闸位置便去合隔离开关，此时如是先合线路侧隔离开关、后合母线侧隔离开关，则等于用母线侧隔离开关带负荷合闸，一旦发生弧光短路，便会造成母线故障，就人为地扩大了事故范围。如先合母线侧隔离开关、后合线路侧隔离开关，则等于用线路侧隔离开关带负荷合闸，一旦发生弧光短路，断路器保护便会动作跳闸、切除故障，从而缩小了事故范围。所以，送电时应先合母线侧隔离开关。

## 六、保障安全措施的实施流程

变电所电气设备检修时，必须按照《电业安全工作规程》的相关规定，严肃认真地执

行。其中，也必然牵涉到应实行正确的倒闸操作。必须采取各项保障安全的措施，其实施流程可参见图 6-8。

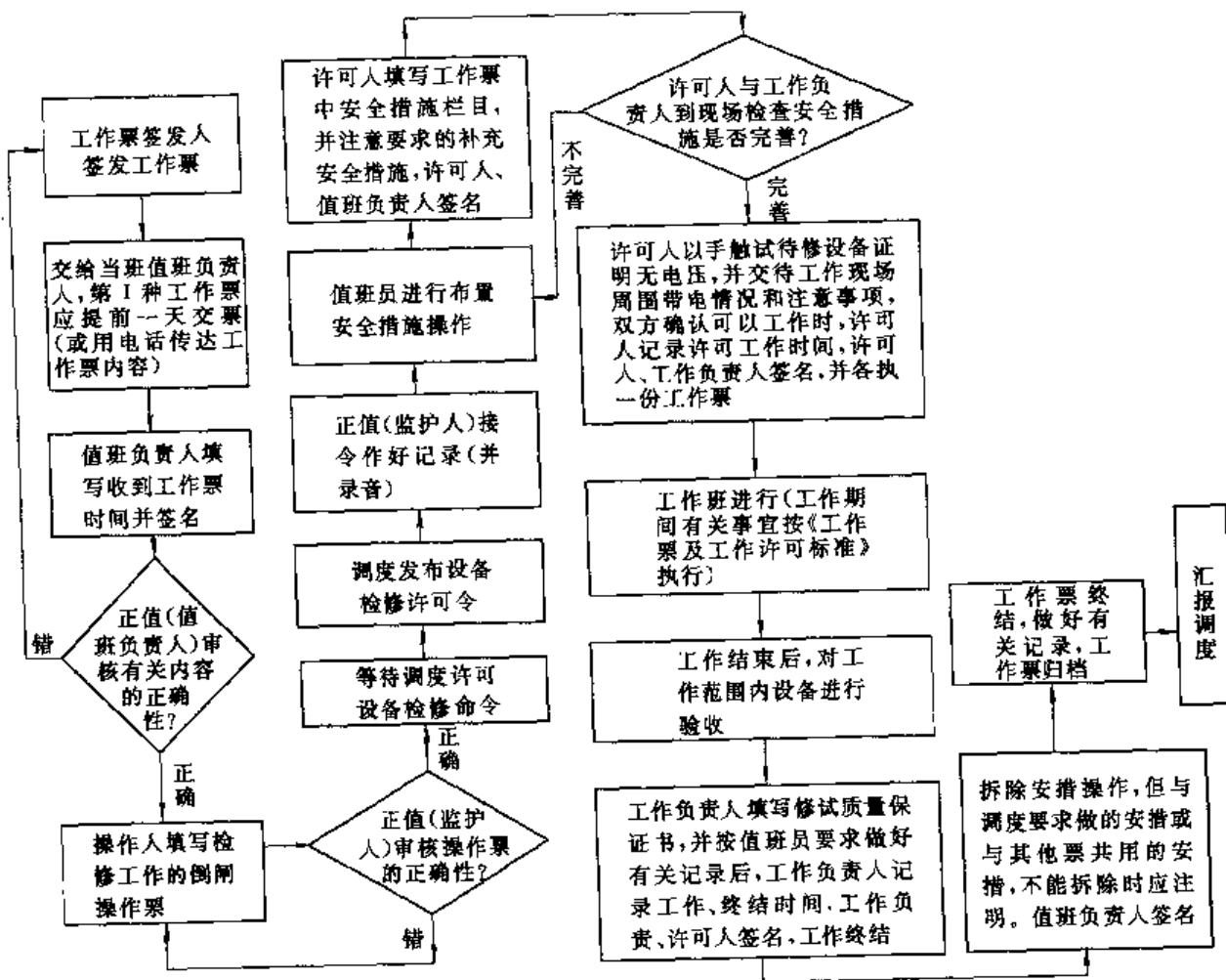


图 6-8 布置安全措施流程图

### 第三节 电气设备异常运行分析及处理

#### 一、设备运行状态和异常处理原则

设备运行的异常现象是设备故障和事故的前兆。运行人员的主要职责就是要及时发现和消除缺陷，把事故隐患消灭在萌芽状态，确保安全供用电。严重的事故不仅导致设备的损坏和用户长时间停电，而且可能造成人身伤亡。

纵观变电所的设备事故，除少数系外因造成外，大多数是由于设备、人员等内因所致。如设计、安装、修试存在问题；运行中设备缺陷发展成事故等；人员违章误操作；运行管理混乱或人员素质差引发事故等。根据历年来的运行实践和事故调查统计分析，主要事故有以下几种：

- (1) 主要电气设备的绝缘损坏事故。
- (2) 电气误操作事故。

- (3) 电缆头与绝缘套管的损坏事故。
- (4) 高压断路器与操作机构的损坏事故。
- (5) 继电保护及自动装置的误动作或因缺少这些必要的装置而造成的事故。
- (6) 绝缘子损坏或脏污所引起的闪络事故。
- (7) 雷害所引起的事故。
- (8) 倒杆、倒塔所引起的事故。
- (9) 导线及架空地线的断线事故。
- (10) 配电变压器事故。
- (11) 刀闸接触不良或机构失灵引起的事故。

#### (一) 设备的正常、异常及事故状态

设备的正常工作状态是指在规定的周围环境条件下（如额定电压、电流、介质、环境温度等）保证连续正常地达到额定工作能力的状态。在正常工作状态下，由于环境和温度的影响，设备始终处于老化阶段。随着时间的推移或外部环境的改变，设备即使在规定的条件下，部分或全部失去额定的工作能力，可认为该设备已进入异常状态，如设备不能承受额定电压；出力达不到铭牌要求；达不到规定的运行时间等。设备发生轻微异常时还可继续运行，但发展成较为严重时，将造成设备部分损坏，引起系统运行异常，中止对用户供电。

综上所述，变电所内某一设备或全所发生异常运行状态时，运行人员必须尽早作出判断，尽快予以处理。在异常和事故处理中，时间是十分宝贵的，提早一分一秒，都会制止异常状态的进一步扩展，减少系统和用户的损失。

#### (二) 事故处理的一般原则

发生事故时运行人员必须沉着、迅速、准确地进行处理，不应慌乱匆忙或未经慎重考虑即行处理以免扩大事故。

##### 1. 具体措施

- (1) 尽快限制事故发展，消除事故的根源并解除对人身和设备的危害。
- (2) 用一切可能的方法保持未损坏设备继续运行，对重要用户应保证其不停电，对已停电的用户应迅速地恢复供电。
- (3) 及时向调度和上级主管部门汇报发生事故的原因、已采取的措施和变电所当时的运行方式。

在处理事故的过程中，要特别注意所用电的恢复，尤其对操作电源是硅整流电容器储能的变电所，这一点十分重要。

##### 2. 对运行人员的要求

- (1) 处理事故时除现场领导和运行人员外，其他外来工作人员应退出事故现场。
- (2) 发生事故时，当值调度员是处理事故的指挥人。重要操作必须有值班调度员命令方可执行。

对解救触电人员、扑灭火灾、挽救危险设备，值班员有权先行处理，然后再报告调度员。

- (3) 在事故处理过程中，值班员除积极处理外，还应有明确地分工，要将事故发生情

况及处理的过程，详细地记入设备操作记录簿内。

(4) 如逢交接班时发生事故，则应由交班人员处理，接班人员做助手，等恢复正常时，再交班。但若一时恢复不了，则要经有关领导同意后方可交接班。异常及事故是威胁电力系统正常运行的大敌，而且又是运行中不可避免的现象。因此，能正确处理异常及事故，是每个运行人员最重要的基本功，要学会事故的分析、判断与处理的一般方法与原则，不断提高判断事故与处理事故的能力，以满足现场工作的需要。在判断事故原因时，应根据事故发生的部位（配电室、户外构架、馈电出线）收集事故现场观察到的各种信息资料，整理出与事故有关的各种数据（电流表摆动或电压下降的幅度、电弧闪络或着火、喷油的部位等）。这些原始资料不仅可以提供有关事故部位的确切信息，而且对以后编写事故报告、分析事故原因也是不可少的。

### 3. 正确判断事故地点和确定处理事故的方案

变电所运行值班人员在判断事故点时，除了应根据现场发现故障现象外，还要根据控制盘上的灯光信号仪表指示，以及继电保护和自动装置的信号表示情况，迅速判断事故部位、故障性质，了解停电范围，确定处理事故的方案。

在根据继电保护和自动装置的动作情况判断事故性质时，要考虑继电保护范围和灵敏度。这时要注意是否存在非故障设备的越级跳闸和故障设备的拒动等情况。

如果在事故发生时出现一些互相矛盾的信号或事故波及的范围很大，以至值班人员不可能在很短的时间内摸清情况，一时无法采取有效措施，这时可把注意力集中在主要的问题上（例如消除对人员的人身威胁，扑灭火灾，恢复对重要用户的供电，制止事故蔓延等），并采取有针对性的措施。

在事故处理过程中，如果条件允许，应抽出时间及时向主管和调度汇报发生的事故情况及事故处理过程。在紧急情况下，值班员尚未弄清楚事故情况或值班员必须采取某种紧急措施，无法作详细汇报，则要用简洁的语言先报告调度（如我们这里发生了事故，情况正在查明等）。

变电所运行值班人员在处理事故时，在技术上应严格遵循运行规程，并与主管和调度在事故处理中对电网相关联部分所采取的操作指令协调一致。

## 二、变压器的异常运行分析及处理

### (一) 变压器过负荷运行的对策

#### 1. 变压器的正常过负荷能力

变压器在正常运行时允许过负荷，这是因为变压器在一昼夜内的负荷，有时是高峰，有时是低谷。在低谷时，变压器是在较低的温度下运行，其次在一年内，季节性的温度也在变化，冬季变压器周围冷却介质的温度较低，变压器的散热条件也优于制造厂规定的数值，因此在不损害变压器绕组的绝缘和不降低变压器使用寿命的前提下，变压器可以在高峰负荷及冬季时过负荷运行。其允许的过负荷倍数及允许的持续时间应根据变压器的负荷曲线及冷却介质的温度来确定。

(1) 由于昼夜负荷的变动而容许的过负荷。当变压器的昼夜负荷率  $k$  小于 1 时，在高峰负荷期间变压器的允许过负荷倍数及允许的持续时间可按图 6-9 所示的曲线来确定。

负荷率  $k$  是在一昼夜内平均负荷 ( $P_p$ ) 与一昼夜内发生的最大负荷 ( $P_m$ ) 的比值，即



$$k = \frac{P_p}{P_n} \leq 1$$

如果缺乏负荷率资料，也可根据过负荷前的上层油温升，参照表 6-5 规定的数值，确定允许过负荷倍数及允许的持续时间。

(2) 由于夏季低负荷而允许的过负荷。根据变压器的典型负荷曲线，如果在夏季（6、7、8 三个月）最高负荷低于变压器额定容量时，则夏季负荷每降低 1%，在冬季（11、12、1、2 四个月）可过负荷 1%，但以 15% 为最高限额。

过负荷百分数的计算方法为

$$\text{过负荷百分数} = \frac{\text{负荷电流} - \text{变压器额定电流}}{\text{变压器额定电流}} \times 100\%$$

上述两种允许过负荷规定可以叠加使用，但过负荷的总数对室外变压器来讲，不得超过 30%，对室内变压器来讲，不得超过 20%，但应严格遵循允许的时限规定。

表 6-5 自然冷却或吹风冷却油浸式电力变压器的过负荷允许时间 (h : min)

过负荷倍数	过负荷前上层油温升 (°C)						
	18	24	30	36	42	48	54
1 : 05	5 : 50	5 : 25	4 : 50	4 : 00	3 : 00	1 : 30	
1 : 10	3 : 50	3 : 25	2 : 50	2 : 10	1 : 25	0 : 10	
1 : 15	2 : 50	2 : 25	1 : 50	1 : 20	0 : 35		
1 : 20	2 : 05	1 : 40	1 : 15	0 : 45			
1 : 25	1 : 35	1 : 15	0 : 50	0 : 25			
1 : 30	1 : 10	0 : 50	0 : 30				
1 : 35	0 : 55	0 : 35	0 : 15				
1 : 40	0 : 40	0 : 25					
1 : 45	0 : 25	0 : 10					
1 : 50	0 : 15						

注 此表在周围空气温度为 40°C 及以下时适用。

变压器事故过负荷的数值和时间，应按制造厂的规定执行。如无制造厂的规定资料时，对于自然冷却和吹风冷却的油浸式电力变压器及干式变压器，可参照表 6-6、表 6-7、表 6-8 所示的数值确定。若过负荷数值和时间超过允许值，则应按规定减少变压器的负荷。

表 6-6 自然冷却油浸式变压器允许的过负荷能力

过负荷倍数	1.30	1.45	1.60	1.75	2.00
允许持续时间 (min)	120	80	45	20	10

表 6-7 变压器冷却系统发生事故切除全部风扇后允许的过负荷能力

空气温度 (°C)	-15	-10	0	10	20	30
额定负荷下允许最长时间 (min)	60	40	16	10	6	4

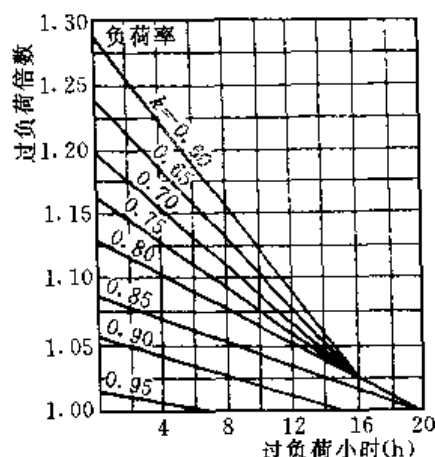


图 6-9 变压器在负荷率 k 小于 1 时允许的过负荷曲线

## 2. 变压器事故过负荷

发电厂、变电所或系统发生事故时，由于一方面需要保证对重要用户的连续供电，另一方面又不应该限制发电厂的出力，故允许变压器在短时间（消除事故所必须的时间）内过负荷运行，这称为事故过负荷。但运行人员应对事故迅速进行处理，以消除事故过负荷。

事故过负荷会引起变压器绕组的绝缘温度超过允许值，使绝缘的老化速度比正常工作条件下快得多，因而会缩短变压器的使用年限。但考虑到事故发生的机会少，以及发电厂和变电所的变压器平时一般以相当大的欠负荷状态运行，所以短时的事故过负荷不会引起绝缘的显著损害。

制在 95℃ 以下，变压器各部分的温升极限值可参照表 6-9。

若发现在同样条件下油温比平时高出 10℃ 以上，或冷却装置运行正常，负荷不变但温度不断上升，则认为变压器内部发生故障（但应注意温度计有无误差或失灵）。

当变压器的油温升超过许可限度时，应做如下检查：

- (1) 检查变压器的负荷及冷却介质的温度，并与以往同样负荷及冷却介质相比较。
- (2) 对新安装或大修后新投运的变压器，检查散热器的阀门是否打开，冷却装置是否正常。
- (3) 检查温度计本身是否失灵。

若以上均正常，油温比同样条件下高出 10℃，且还在继续上升时，则可断定为变压器内部故障，如铁芯发热或匝间短路等。铁芯发热可能是涡流所致，当夹紧用的穿芯螺栓与铁芯相碰，或硅钢片间的绝缘破坏，片间短路均可能形成涡流发热。一旦发现变压器内部有异常热源应立即停运变压器，等候处理。

#### (四) 变压器油位异常的分析及处理

##### 1. 油位异常

变压器油枕的油位表，一般标有 -30℃、20℃、40℃ 三条线，它是标志变压器未投入运行前不同油温时的三个油面标志，根据这三个标志可以判断是否需要加油或放油。运行中变压器温度的变化会使油体积变化，从而引起油位的上下位移。

常见的油位异常有假油位和油面过低两种。运行中的变压器如发生防爆管通气管堵塞、油标管堵塞，油枕呼吸器堵塞等故障，则在负荷温度变化正常时油标管内的油位就会变化不正常或不变，这些现象称假油位。油面过低一般是由变压器严重渗漏或大量跑油，多次放油后未作补充，原来油量不足又遇温度骤降等原因造成。变压器严重缺油时，内部的铁芯，绕组就可能暴露在空气中使绝缘受潮，同时露在空气中的部分绕组因无油循环散热导致散热不良而引起损坏事故。配有瓦斯保护的变压器，瓦斯继电器装设在油枕下方，当油位降到一定程度时还会发生轻、重瓦斯保护动作。

##### 2. 油位指示器看不见油位的处理

无论因渗漏油、放油未补充、气温急剧下降等诸因素造成油位指示器看不见油位，都应将变压器退出运行。

#### (五) 变压器外表异常的分析及处理

##### 1. 外表异常

运行中的主变压器多置于室外，长期通电带负荷运行和自然条件影响，会使变压器外表发生下列变化。

渗油漏油是变压器最常见的外表异常现象。由于变压器本体充满油，各连接部位是中间夹有胶垫以防渗漏油，长时间的运行会使胶垫老化龟裂而引起渗漏油。当然螺丝松动或放油阀门关闭不严，制造时有沙眼或焊接质量差也是渗漏油的主要原因之一。

套管闪络放电也是变压器常见的外表异常现象。套管闪络放电多数是因制造中有隐伤

表 6-9 变压器各部分温升极限值

变压器部位	最高温度 (℃)
油 (顶部)	55
线圈	65
铁芯	70

或安装中发生轻微碰伤，套管表面落有导电尘埃，系统出现内、外过电压引起。套管闪络放电会造成其发热，导致老化，引起套管接地或爆炸。

此外，有时还会发生防爆管玻璃破损的现象，这主要是由内部发生短路故障。更换防爆管玻璃时螺丝拧得太紧、法兰盘表面不平整、呼吸器堵塞等原因造成。当油枕呼吸器堵塞后，油枕上方空气压力发生变化，引起防爆管玻璃破损，这样水蒸气和湿的空气将进入变压器，引起绝缘受潮。

为了保证变压器油枕上方空气压力与外部压力平衡，变压器均装有呼吸器。呼吸器下端玻璃筒内装有变色硅胶，其目的是为了便于运行人员监视。正常情况下变色硅胶呈浅蓝色，若其变成粉红色时，说明它已不具备吸潮性能，应予以更换。

在无月光或阴雨天晚上，有时还会发现套管与引线线夹处发红。这是由于连接部位螺丝松动，接触面氧化严重，使接头过热。一般规定接头连接部位温度不宜超过 $70^{\circ}\text{C}$ 。可用示温蜡片试验，有条件也可以用红外线测温仪测量。

## 2. 事故处理

对上述几种外表异常，在运行中，轻者汇报主管部门及调度，加强监视；严重者应请示停用变压器，等候处理。对下列三种特别严重的故障，可先停止变压器运行，再向调度及设备主管部门汇报。

(1) 防爆玻璃破碎向外喷油。变压器顶盖上部设有防爆装置，用来将变压器运行中产生的不能承受的高压气体及时泄放。运行中的变压器，一旦发现防爆玻璃破碎向外喷油则应立即将其退出运行。

这种情况产生的原因是变压器内部有急骤发出大量热量的部位，如绕组短路击穿，分接开关严重接触不良，起弧发热，使变压器油受热急剧分解出大量气体引起的。

(2) 套管严重破裂、放电。变压器的瓷套管一旦发生严重破损，引起放电，则应认为该变压器已经失去了正常运行的功能，立即退出运行。

(3) 变压器着火。变压器一旦着火，除应立即将变压器从系统中隔离外，还应立即采取正确的防火措施。变压器着火时，若油溢在变压器顶盖上着火，则应打开变压器下部的放油阀放油，并将油引入储油坑内，采取措施防止再燃。变压器火灾的扑灭，应使用1211泡沫灭火剂，以及干粉等不导电灭火剂。

为防止从变压器流出的油着火，变压器油坑内应放卵石以起到降温散流的作用。

### (六) 变压器分接开关的故障及处理

#### 1. 无载分接开关的故障及处理

(1) 故障现象。值班人员在检查变压器时，如发现变压器油箱内上部有吱吱的放电声，电流表随着响声发生摆动，瓦斯保护可能发出信号，油的闪光点急剧下降，此时可初步判断为分接开关出现了故障。若故障端持续发展下去，则分接开关可能会被烧坏，造成非三相送电。

(2) 故障原因。通常有如下四个方面：

1) 弹簧压力不足，滚轮压力不均，使有效接触面积减少，以及镀银层机械强度不够而严重磨损等引起分接开关在运行中被烧坏。例如某台SFS—20000/110型变压器，运行两年后，发现可燃气体增高，测量其直流电阻值则大于标准，解体检查后发现，高压C相第I

档分接头的定触头和 5 个动触头烧坏。分析其原因这是由于弹簧压力松，用手指一压，弹簧就离开了。又如一台 SFSL-31500/110 型变压器，在预测绕组直流电阻时，高压相间互差 7.2%，中压相间互差 17.55%，解体检查后发现，高压三相分接开关均有不同程度的烧伤，镀银层因机械强度不够而严重磨损。

2) 分接开关接触不良，引出线连接和焊接不良，由于经受不起短路冲击而造成分接开关故障。如某台 SFPL1-60000/35 型变压器，由于 35kV 侧分接开关接触不良，在运行中被烧伤，引起油质劣化，闪光点迅速降低，解体检查后发现，A、C 两相分接开关已严重烧伤。又如一台 SFPL1-120000/220 型变压器，在运行中因另一台变压器的断路器爆炸，引起该主变压器重瓦斯保护动作，将变压器两侧断路器自动跳开，经解体检查后发现，分接开关引接线接头已脱焊，引接线已烧断一半，这是由于经受不了短路冲击所造成的。

3) 在倒换分接头时，由于分接头位置切换错误，引起分接开关烧坏。如某台 SFS-15000/110 型变压器，在试测分接开关直流电阻时，误将分接开关位置拨过一档，测试结束后也没有检查核对，在运行中因分接开关倒换错误而引起接触不良，使轻瓦斯动作并发出信号，经解体检查后发现分接开关第Ⅰ、Ⅴ档烧坏。

4) 由于相间绝缘距离不够，或者绝缘材料的电气绝缘强度低，在过电压（大气过电压或操作过电压）的情况下，绝缘击穿，造成分接开关相间短路。

(3) 故障处理。值班人员应监视变压器的运行情况，如电流、电压、温度、油位、油色和声音的变化。试验人员应立即取油样进行气相色谱分析，以鉴定故障的性质。值班人员应将分接开关切换到完好的另一档上（切换后经测量证明），此时变压器仍可继续运行。

为了保证变压器的安全运行，应采取有效的预防性措施，将事故消灭在萌芽状态。

变压器在投入运行前或调换分接头位置时，必须测量各分接头的直流电阻。因为分接开关的接触部分在运行中可能会烧伤，未用的分接头长期浸在油中可能会产生氧化膜等，都会造成倒换分接头后接触不良的现象，所以无载调压的变压器倒换分接头时，必须测量直流电阻，且测得之三相电阻应平衡，如发现不平衡时，其相差值不得超过 2%，并应参考历次测试的数据进行核对。在倒换分接头位置时，应核对油箱外的分接指示器与内部分接头连接情况是否一致，以保证接线良好，且应将分接开关手柄转动 10 次以上，以消除触头部分的氧化膜及油污，然后再调至所需要的分接头位置上并将变压器投入运行。

## 2. 有载分接开关的故障及处理

(1) 过渡电阻在切换过程中被击穿烧断，在烧断处发生闪络，引起触头间的电弧越拉越长，并发出异常声音。

(2) 分接开关由于密封不严而进水，造成相间闪络。

(3) 由于分接开关滚轮卡住，使分接开关停在过渡位置上，造成相间短路而烧坏。

(4) 调压分接开关油箱不严密，造成油箱内与主变压器油箱内的油相通，而使两个油位指示器的油位相同，这样，使分接开关的油位指示器出现假油位，造成分接开关油箱内缺油，危及分接开关的安全运行。所以，在大型有载调节的变压器油枕上，装有两个油位指示器，一个是指示有载分接开关油箱内的油位，另一个是指示变压器油箱内的油位，两个油箱是隔离的，所以这两个油位指示是不相同的，在运行中应注意检查。

以上所述是有载分接开关的各种故障情况，其现象和处理方法与无载分接开关相同，这

障的严重程度有密切关系。因此，分析溶解于油中的气体，就能尽早发现设备内存在的潜伏性故障，可随时掌握故障的发展情况。

利用气相色谱分析油中溶解气体可判断设备故障类型。不同故障类型产生气体的成分见表 6-11 和表 6-12。如果发现内部故障特征，则需进行吊芯检查。

表 6-11 不同故障类型产生气体的成分

故障类型	主要气体成分	次要气体成分
油过热	CH <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
油 and 纸过热	CH <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> CO CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
油纸绝缘中局部放电	H <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> CO	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> CO <sub>2</sub>
油中火花放电	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	
油中电弧	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
油和纸中电弧	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> CO CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
进水受潮或油中气泡	H <sub>2</sub>	

表 6-12 油中溶解气体含量注意值

设 备	主要气体成分	含量 (ppm)
变 压 器	总 烃	150
电 抗 器	乙 炔	5
	氢	150
互 感 器	总 烃	100
	乙 炔	3
套 管	氢	150
	甲 烷	100
	乙 炔	5
	氢	500

### 2. 变压器差动保护动作后的处理

为了保证变压器的可靠运行，以及当变压器内部各侧差动电流互感器之间一次电气部分发生主变引出线及主变绕组多相短路、单相严重的匝间短路时，应将其退出运行，进行事故检修。凡容量为 1000kVA 及以上的主变压器均装有差动保护。

主变差动保护是按循环电流原理设计制造的，而瓦斯保护是根据变压器内部故障时会产生或分解出气体这一特点设计制造的。它们都作为主变的主保护相互配合来完成保护主变的任务。

运行经验证明，在变压器故障时（除不严重的匝间短路），差动和瓦斯都能反映出来。因为变压器内部电气故障时，油的流速反映于一次电流的增加，有可能使两种保护起动。

变压器差动保护动作跳开变压器各侧开关。运行人员在拉开主变两侧断路器的隔离开关后，应重点检查：①变压器套管是否完整，连接变压器的母线上是否有闪络的痕迹；②对变压器差动保护区范围内的所有一次设备（即变压器高压侧及低压侧断路器之间的所有设备及引线等）进行检查，以便发现在差动保护区内有无异常。

若上述检查没有结果，在排除误碰情况下应进一步查明变压器内部是否有故障。当变压器内部有损伤时，则不允许将变压器合闸送电。有时，差动保护在其保护范围外发生短路时，也可能会发生误动作。如变压器没有损伤的征象时，跳闸确实是由外部引起的，可在主保护投入情况下，将该变压器空载合闸试送电。合闸后，经检查正常时，方可与其他线路接通。

### 3. 变压器后备保护动作后的处理

当变压器由于定时限过电流保护动作跳闸时，首先应解除音响，然后详细检查有无越级动作跳闸的可能，即检查各出线断路器保护装置的动作情况，各信号继电器有否掉牌，各操作机构有无卡死等现象。如查明不是因某出线故障引起的越级跳闸，则应将低压侧所有

断路器全部拉开，检查低压母线与变压器本体有无异常情况。若查不出有明显故障征象时，则将变压器空载情况下试投一次，正常后再逐路恢复送电；当在试送某一出线断路器时又引起越级跳闸时，则应停送该线，而将其余线路恢复送电。若在检查中发现低压母线有明显的故障征象，而变压器本体无明显故障征象时，应待母线故障消除后再试合闸送电。若检查发现变压器本体有明显故障征象，则不可合闸送电。应向上级汇报，听候处理。

### 三、互感器的异常运行分析及处理

互感器是一种仪用变压器。电力系统中常说的互感器是指电压互感器和电流互感器，它们是一、二次系统的联络元件，是测量、保护二次回路的电源。它应能正确地反映电气设备的正常运行和故障情况。互感器的正常状态是指在额定条件下，互感器的热稳定，动稳定不被破坏，二次电气量为额定值时，保证达到规定的准确度等级的工作状态。

为了保证人在接触测量仪表和继电器时的安全以及二次设备自身的安全，互感器的二次绕组必须接地。这样当一、二次间绝缘损坏时，可防止在仪表和继电器上产生高电压。电压互感器的作用是将一次高电压变换成低电压（二次额定电压为100V）；电流互感器的作用是将一次大电流变换为小电流（二次额定电流为5A）。这两种互感器的共同特点是一次绕组运行在高压侧，二次绕组运行在低压侧。所不同的是电压互感器一次绕组并联在电路中，二次正常工作在近似于开路状态；电流互感器一次绕组串联在电路中，二次正常工作在近似于短路状态。所以正常运行中的电压互感器二次不得短路，电流互感器二次不得开路。

#### （一）互感器的异常分析

正常运行中的互感器有时会出现下述异常现象。

##### 1. 一、二次接头接触不良

一次接头不良将引起接头处过热。这主要是安装质量差，或者是紧固螺丝松动。二次接头接触不良将易造成电流互感器二次开路或电压互感器二次失压。接触不良主要原因是端子排螺丝不紧或者是在剥线头做小圈时铜线严重受伤。

##### 2. 互感器突然声音异常

正常运行的互感器有类似于变压器正常运行的嗡嗡声，但较轻微。如发生声响特大或有放电声，就可能是绝缘局部击穿，螺丝松动或者是电流互感器二次开路。

##### 3. 互感器气味异常

正常运行的互感器无气味，如有异味或焦糊味，则可能是互感器内部铁芯或绕组过热。

#### （二）电压互感器的异常处理

##### 1. 电压互感器的熔断器熔断或二次回路断线

当中央信号屏发出“TV 电压回路断线”的预告信号，同时光字牌亮、警铃响。值班员检查电压表可发现：未熔断相电压指示不变，熔断相指示降低或指示为零，与该相有关的线电压表指示为相电压值，与此电压无关的表计指示正常。

值班人员根据以上现象可以判断为电压互感器二次回路断线或熔断器熔断。此时，应按以下步骤处理：

（1）退出电压互感器所带保护与自动装置，防止保护误动作。

（2）检查二次熔断器是否熔断。如已熔断，应立即更换。若再次熔断，应查明原因，且

不可将其容量增大。如熔断器完好时，可检查电压互感器二次回路有无短路现象，切换回路有无接触不良。找到短路处应后立即予以处理。

(3) 如二次回路正常，应检查一次熔断器是否熔断。更换一次熔断器应用隔离开关将电压互感器退出运行，在做好安全措施后进行。如合闸后再次熔断，则应再次将电压互感器退出运行，向主管部门和调度汇报，听候处理。

#### 2. 电压互感器高压熔断器熔断原因分析

- (1) 系统发生单相间歇性电弧接地。
- (2) 系统产生铁磁谐振。
- (3) 电压互感器本身内部出现单相接地或相间短路故障。
- (4) 二次侧发生短路而二次侧熔断器未熔断，也可能造成高压熔断器熔断。

需要指出：3~35kV 电压互感器高压侧熔断器，是按机械强度设计的，只保护熔断器安装处至电压互感器本体内部处各种故障，对互感器二次回路的故障并不起有效的保护作用。因此，在更换电压回路二次熔断器时一定要选适合的规格。

#### 3. 电压互感器其他事故的处理

当电压互感器发生下列严重事故时，应立即停用，并向上级汇报。注意在停用电压互感器时严禁用取高压熔断器的办法，应使用电压互感器本身的隔离开关退出电压互感器。

- (1) 电压互感器一次熔断器连续熔断。
- (2) 电压互感器漏油、漏胶、瓷套管破碎，外部放电。
- (3) 电压互感器着火、冒烟、有糊味。

#### (三) 电流互感器的异常处理

##### 1. 电流互感器二次开路的处理

运行中的电流互感器当发出噪声或怪声，电流型仪表指示摆动或为零时，此电流互感器二次可能开路。

开路后的电流互感器其二次会感应出危险的高电压，危及设备和人身安全，此时值班人员应作如下处理：

- (1) 在靠近电流互感器最近的端子排上将其二次回路短接。在短接时一定要穿绝缘靴，戴绝缘手套和带绝缘把手的工具，在监护人监护下开展工作。
- (2) 若短路后，开路现象仍未消除，则可能是互感器本身接线端子或内部开路，此时应立即报告调度，将该电流互感器退出运行后进行修理。

##### 2. 电流互感器其他事故的处理

当电流互感器发生下列故障时，应立即汇报上级，切断电源进行处理。

- (1) 内部发出异味或冒烟、着火。
- (2) 内部有故电现象，声音异常或引线与外壳间有火花放电现象。
- (3) 主绝缘发生击穿，造成单相接地故障。
- (4) 充油式电流互感器漏油、漏胶。

#### 四、高压断路器的异常运行分析及处理

高压断路器是变电所的重要控制和保护设备之一。它的主要作用是在正常情况下可以接通和断开高压电路的空载和负载电流，当系统发生故障时，在继电保护配合下能迅速切

断故障电流，减少停电范围，保证电网的安全运行。

高压断路器的正常运行状态是：断路器在规定的条件下（电压、气温、海拔等）可以长期连续通过额定电流以及断开限定的短路电流。断路器的内外结构，机械和电气性能良好。

由于 35kV 变电所大多采用油断路器，故这里着重介绍它的事事故分析及处理方法。

油断路器可分为多油和少油两种。其根本区别就在于多油断路器中的油既起灭弧作用，又起导电部分与地间绝缘作用；而少油断路器中的油仅起灭弧作用。其桶体为处于高压带电状态。

#### （一）断路器运行时的异常状态

##### 1. 断路器声音异常

运行中或刚合闸后的断路器若内部有较规律的噼啪声，可能是断路器内部绝缘损坏，造成带电部分对外壳放电；如是不规则的放电声，可能是断路器内与带电部分等电位的绝缘部分连接松脱，形成悬浮电位放电；如有水开似的咕噜声，则可能是断路器静触头接触不良，形成主电流回路跳火，使油在电弧作用下受热翻滚所致。

上述三种声音异常，对运行中的油断路器威胁很大，应尽快处理。一般用上一级断路器将所在电路断开，再将该断路器拉开，并拉开两侧隔离开关，将其转为“冷备用”。然后认真进行内部检查和油的分析化验，以确定故障的性质。

##### 2. 断路器油位异常

运行中的油断路器若油位指示异常（如油而过低或过高），则都应当进行调整。

油面过高会使断路器内部缓冲空间减少，当遮断较大的故障电流时，产生的电弧将会使油气化并产生很高的压力，此时由于缓冲空间太小，就会使断路器喷油。

运行中的油断路器是否缺油，要认真地进行判断，以防因气候的变化油标看不见油位面误作为缺油来处理。只有断路器因大量漏油而看不到油位时，才确定断路器缺油。此时，断路器已不能安全地灭弧并切断电路，必须立即取下该断路器的控制熔断器，并挂“不准分闸”的标示牌。设法用旁路断路器将该断路器负荷转移后，停下该断路器进行检修与加油。如无转移负荷的可能，则要立即退出该断路器的所有保护，同时申请用上一级断路器断开该电路（但这样就扩大了停电范围）。

油断路器缺油严重的原因主要有：

- 1) 放油阀门胶垫龟裂或关闭不严面渗漏油。
- 2) 油标玻璃裂纹或破损漏油。
- 3) 修试人员多次放油后未作补充。
- 4) 气候影响且原来油量不足。

##### 3. 断路器油色变黑及跳闸后严重喷油冒烟

断路器内的绝缘油在正常情况下呈浅黄色。当断路器切断负荷电流，特别是多次切断故障电流时，电弧将会使油迅速分解，大量金属粉末和游离炭的存在使绝缘油绝缘能力下降。在配有自动重合闸的电路中，可能出现短时间内二次断弧，情况更严重。因此，运行规程中均规定各断路器极限跳闸次数。当断路器切断故障的次数达到规定值或油已发黑时，应申请停运，并对该断路器安排换油或临时检修。



当油断路器出现合闸故障发生喷油时，运行人员切不可对该断路器盲目强送，而应立即报告调度，待检修排除故障后，方可继续再投运。如果情况紧急，必须在检查处理前将该断路器投运，则应停用重合闸后，方可再投入运行。

## (二) 断路器的事故处理

### 1. 断路器拒绝合闸

在变电所运行操作中，经常遇到断路器拒绝合闸的情况。断路器拒绝合闸，可能是本体和操作机构的原因，也可能是操作回路的原因。此时，如该回路必须马上合闸送电，应报请调度考虑用旁路断路器代供，或听从调度员处理，必须待该断路器处理后方可送电。

断路器发生拒合，应从电气和机械两方面查找原因。对照断路器的控制回路图（如图 6-10）和断路器接点位置图（如图 6-11）查找电气回路的故障和机械方面的原因。

#### (1) 电气回路故障主要有以下四种情况：

1) 指示灯不亮或不正常。首先应检查操作电源的电压值，如与规定值不符，应先调整。进一步从检查指示灯入手寻找故障。

a. 当控制开关的把手置于合闸位置而指示灯不亮，应认为合闸回路没有电压，可能是合闸回路断线或熔断器熔断。

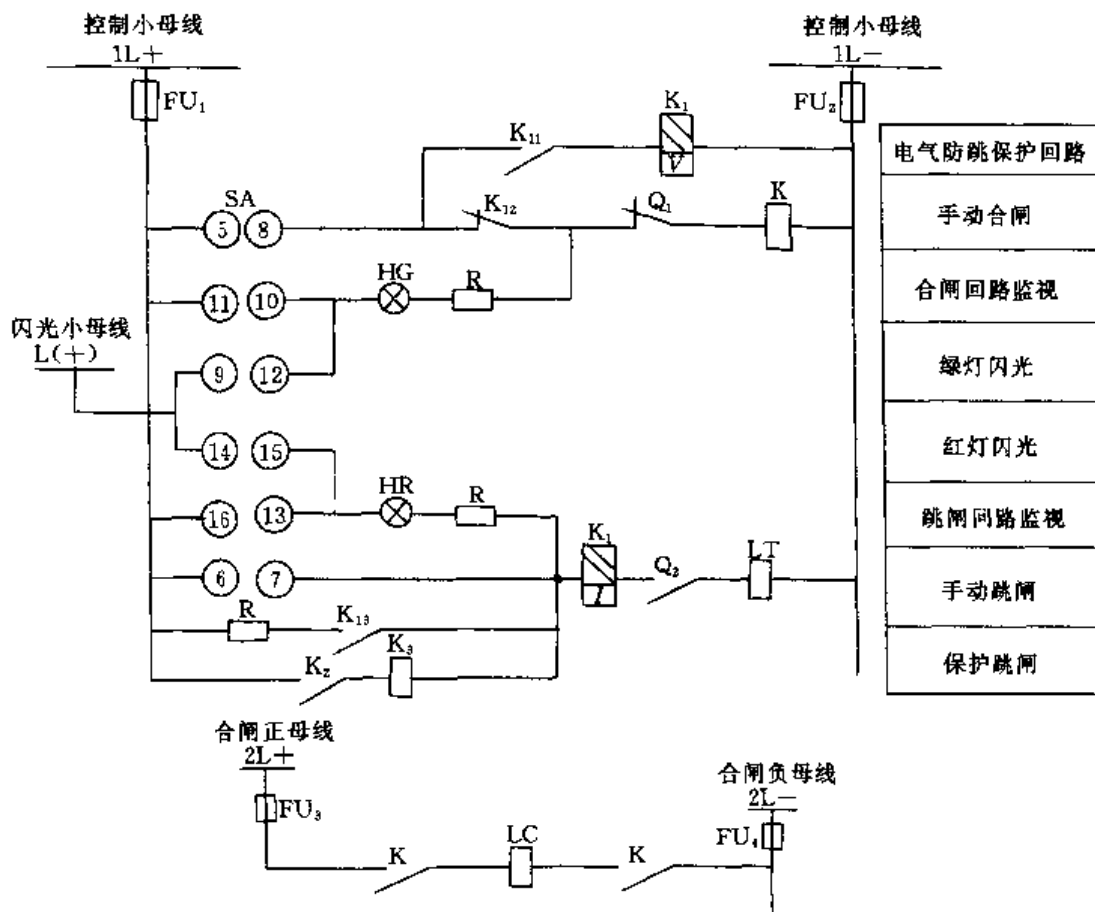


图 6-10 断路器的控制回路图

SA—控制开关；K<sub>1</sub>—防跳继电器；K—合闸接触器；HG—绿灯；HR—红灯；

Y<sub>1</sub>—合闸线圈；LT—跳闸线圈；K<sub>2</sub>—保护出口继电器常开触点；

Q<sub>1</sub>—断路器常闭辅助触点；Q<sub>2</sub>—断路器常开辅助触点

在跳闸位置的手柄 (正面) 样式和接头盒(背 面)接线图																	
手柄和接 头盒型式	F8	1a	4	6a	40	20	6a										
接点号	—	1-3	2-4	5-8	6-7	9-10	9-12	10-11	13-14	14-15	13-16	17-19	17-18	18-20	21-22	21-24	22-23
手柄位置	—	1-3	2-4	5-8	6-7	9-10	9-12	10-11	13-14	14-15	13-16	17-19	17-18	18-20	21-22	21-24	22-23
跳闸后		—	X	—	—	—	X	X	—	X	—	—	—	X	—	—	X
预备合闸		X	—	—	—	X	—	—	X	—	—	—	X	—	X	—	—
合闸		—	—	X	—	—	X	—	—	—	X	X	—	—	—	X	—
合闸后		X	—	—	—	X	—	—	—	—	X	X	—	—	X	—	—
预备跳闸		—	X	—	—	—	—	X	X	—	—	—	X	—	—	—	X
跳闸		—	—	—	X	—	—	X	—	X	—	—	—	X	—	—	X

图 6-11 SA (LW2-Z 1a、4、6a、40、20、6a/F8 型) 断路器接点位置图  
X·触点接通；——触点断开

b. 指示“跳闸位置”的绿灯已熄，而表示“合闸后位置”的红灯不亮，应检查红灯的灯泡是否完好。

c. 绿灯熄灭后又重新点亮，可能是电压太低，以致操作机构未能将断路器的提升杆正常地提起，或是操作机构机械部分有毛病和调整不正确。

d. 绿灯已熄，红灯亮后但立刻又熄灭，绿灯闪光。则说明断路器曾合上过，但因机械上的故障，维持机构未能托住。应注意在操作电源的电压过高时，也会发生这种现象，即操作机械在合闸时发生强裂的冲击而不能托住。

2) 合闸接触器不起动。其原因可能是正、负控制母线的熔断器熔断（这种情况下绿灯应不亮）；控制开关 SA<sub>ⓐ</sub>接点接触不良；防跳继电器 K<sub>12</sub>接点接触不良；断路器辅助接点 Q<sub>1</sub>接触不良或未接通；合闸接触器 K 或合闸线圈 LC 线圈断线或二次回路断线等。如遇此种情况可用试电笔或万用表测量，并通过分析，判断找出故障点进行处理。

3) 合闸接触器起动，而断路器未动作。其原因可能是正，负合闸母线保险熔断；合闸接触器 K 接点接触不良，合闸接触器接点被消弧罩卡住。合闸线圈断线，合闸整流器交流保险熔断等。

4) 合闸接触器起动，断路器动作但未合上，除机械原因外，还可能是由于直流母线电压太低，二次回路混线（不应接通的却接通了）把跳闸回路接通，或由于操作不当及 SA 把手返回太早等原因造成的。

(2) 机械故障主要有以下几种情况：

1) 由于调整不当，跳闸后机械传动装置各轴不能复归原位。

2) 合闸铁芯钢套卡涩，铁芯顶杆太低冲力不足，铁芯顶杆太长合闸终期吸力不足等。

2) 自动重合闸内继电器接点误闭合。

3) 由于合闸接触器线圈电阻偏高，动作电压偏低，在直流系统发生瞬间脉冲时，使断路器误合闸。

4) 检查断路器本身有无异常。断路器跳闸有无卡涩，触头是否熔焊在一起。

#### 4. 断路器过热

断路器过热的主要表现是桶体发热，少油断路器的部分框架也会发热。导致发热的可能原因是触头导电部分接触不良和氧化，应加强监视。如果温度有继续上升的趋势，则应按事故进行处理，停止其运行，并进行检查。多油断路器可以用手摸油箱，少油断路器可以从油位和油色来判断。断路器过热严重时，可能会发展成为绝缘件烧坏，瓷瓶烧裂，断路器冒烟、喷油直至爆炸等事故。因此，运行人员要加强巡视，及早发现及时解决。

### (三) 断路器的其他故障和处理

#### 1. 断路器着火

油断路器着火而尚未自动跳闸时，如果刚刚起火，应立即远方操作切断燃烧着的油断路器，如火势较盛，已无法看油位，则应用上级断路器断开该电路并将断路器两侧的隔离开关拉开，使其与电源及可能波及到的运行设备分开，并用干式灭火器灭火。如火不能扑灭时，再用泡沫灭火器灭火。

造成断路器着火的主要原因有：

- (1) 断路器外部套管污秽或受潮，而造成对地闪络及断路器内部闪络。
- (2) 断路器分闸时动作缓慢或遮断容量不足。
- (3) 断路器内油面上的缓冲空间不足。

#### 2. 跳合闸线圈冒烟

手动分合断路器或自动装置动作后，有时会出现跳合闸线圈冒烟的现象。由于跳合闸线圈是按短时通电设计的，因此其冒烟烧毁，多是由于长时间带电而引起的。

断路器跳合闸线圈冒烟烧毁后不能再继续运行，应立即报告调度和主管部门申请更换并在排除故障后方可再次投运。运行人员在操作过程中如遇合闸熔断器熔断，应更换规定规格的熔断器，但不能擅自更换大容量熔断器，以防烧毁合闸线圈。

#### 3. 断路器紧急分闸

运行中的油断路器，若发现有下列情况之一的，应立即退出运行：

- (1) 断路器瓷套管严重破裂闪络和爆炸。
- (2) 连接部分熔化和断开。
- (3) 断路器内部有严重放电声。
- (4) 断路器严重缺油等。

上述几种故障处理后，均应尽快向主管部门和调度部门汇报，并作详细记录。

### (四) 断路器的几项特殊操作

变电所的油断路器一般均采用电动操作，设有远方操作机构。但在某些特殊情况下，或者修试调整时便需要手动操作。分下述两种。

#### 1. 千斤顶合闸

厂家在制造断路器及配套机构时，都装有主要供调整断路器使用的手动就地合闸装置，

由于隔离开关本身并没有灭弧能力。因此变电所运行中，严禁用隔离开关拉、合负荷电流。

(1) 误拉隔离开关。运行人员因跑错间隔，违反倒闸操作规定等原因发生带负荷拉隔离开关。处理方法有两种：一是刀片刚离开刀口（已起弧），应立即将未拉开的隔离开关合上，避免弧光短路。二是隔离开关已被拉开，则不允许再合上，保持隔离开关在断开位置，用该断路器或上一级断路器断开电流后方可再合隔离开关。

(2) 误合隔离开关。对运行人员误操作带负荷误合的隔离开关，无论什么情况下都不允许再拉开。如确需拉开，应在该回路负荷电流被用断路器切断后，再拉开。

### 3. 隔离开关拒绝开、合闸

(1) 拒绝合闸。由于轴销脱落、楔栓退出、铸铁断裂等机械故障，或因为电气回路故障，可能发生刀杆与操作机构脱节，从而引起隔离开关拒绝合闸。此时，应用绝缘棒进行操作，或在保证人身安全的情况下，用扳手转动每相隔离开关的转轴。

(2) 拒绝开闸。当隔离开关拉不开时，如系操作机构被冰冻结，应该轻轻摇动，并注意支持瓷瓶及机构的每个部分，以便根据它们的变形和变位，找出障碍地点。如果障碍地点发生在隔离开关的接触部分，则不应强行拉开，否则支持瓷瓶可能受破坏而引起严重事故，此时只有改变设备的运行方式来加以处理。

### 4. 隔离开关瓷件破损

运行中的隔离开关由于环境污染或安装过程中碰伤，其支柱绝缘子破损或放电。如系闪络放电，应加强监视，待申请停电后清扫；如系支柱瓷瓶破损、断裂，则应用上一级断路器断开电路，使损伤隔离开关退出运行进行修理。

### 5. 自动掉落合闸

一些垂直开合的隔离开关处在分闸位置时，如果操作机构的闭锁失灵或未加锁，遇到振动较大的情况下，隔离开关动触头可能会自动落下而呈合闸状态。

发生这种情况十分危险，尤其是当有人在停电设备上工作时，很可能造成人身伤害，设备损坏或者带地线合闸事故，当发生此种情况时，应按照带负荷误合刀闸进行处理。

隔离开关动触头自动掉落合闸的主要原因有：

- (1) 处于分闸位置的隔离开关操作机构未加锁或其他型式的防误操作装置失灵。
- (2) 机械闭锁失灵，如弹簧销子振动滑出。

为防止类似情况发生，要求操作机构的闭锁装置可靠，拉开隔离开关后必须加锁。

## 六、消弧线圈的异常运行分析及处理

35kV 及以下系统一般采用中性点不接地运行方式。当一些 35kV 和 10kV 线路较长，系统发生单相接地时，接地电容电流就较大，会在接地点形成间隙性电弧并产生内部过电压，将危及设备绝缘。为此，在变压器中性点与大地之间装设一感性负荷——消弧线圈，以补偿系统发生单相接地时产生的电容电流，使故障点流过尽可能小的电流。

消弧线圈的正常运行应包括两方面内容：一是系统正常时，它基本处于无压状态，其油色、油位应正常，各连接部分应完好；二是系统发生单相接地时，如属完全金属性接地，则它基本处于相电压下运行，此时其油色、油位应正常，声音应连续均匀，各连接部分应完好且不过热。

### 1. 消弧线圈的异常

(1) 油位异常。由于渗漏油，修试放油后未作补充等原因使消弧线圈油位降低，当油面过低或看不见油位时，应视为异常。补充油应在系统正常时拉开变压器中性点的隔离开关，并在做好安全措施后进行。

(2) 油温过高。当系统发生单相接地时，消弧线圈便带负荷运行。此时应对消弧线圈的上层油温加强监视，使其不超过 95℃，并注意消弧线圈带负荷运行时间不应超过铭牌规定的允许时间。若在规定时间内油温不断升高甚至从油枕中喷油，则可能是消弧线圈内部发生故障，如匝间短路、铁芯多点接地及分接开关接触不良等。此时应停运接地线路，在接地消失后使消弧线圈退出运行，待处理好后再投入。

(3) 套管闪络放电或本体内部有放电声。套管闪络放电多是由于套管污秽较重，表面绝缘降低而形成。在系统正常时，应退出消弧线圈，清扫后再投入运行。本体内部放电多数因分接开关接触不良面产生放电火花。在不太严重情况下可继续运行，但要加强监视，待系统正常后再作处理。如放电声很响，油温上升急剧，应立即汇报调度，设法使消弧线圈退出运行。

### 2. 消弧线圈动作的处理

当电网内发生单相接地、串联谐振及中性点位移电压超过整定值时，消弧线圈动作，此时，“消弧线圈动作”光字牌亮及警铃响，中性点位移电压表及补偿电流表指示值增大，消弧线圈本体指示灯亮；若为单相接地故障，则绝缘监视电压表指示接地相电压为零，未接地两相的电压将升高至线电压。

当发生上述故障时，值班人员应进行如下处理：

(1) 确认消弧线圈信号动作正确无误后，值班人员应立即将接地相别、接地性质（永久性的、瞬间性的及间歇性的）、仪表指示值、继电保护和信号装置及消弧线圈的动作情况向电网值班调度员汇报，并要求将接地故障尽速消除。

(2) 派人巡视母线、配电设备、消弧线圈所连接的变压器。若接地故障持续 15min 未消除，应立即派人检查消弧线圈本体，其上层油温应正常且无冒烟喷油现象、套管无放电痕迹、接头也无发热现象，并每隔 20min 检查一次。若上层油温超过 95℃，持续运行时间超过规定值时，应要求电网调度员下令停用消弧线圈。

(3) 在消弧线圈动作时间内，不得对其隔离开关进行任何操作。

(4) 电网发生单相接地时，消弧线圈可继续运行时限可根据各档分头值确定，以便运行人员采取措施，查出故障点并及时处理。

(5) 如消弧线圈本身发生故障，应先断开连接消弧线圈的主变压器，然后拉开消弧线圈隔离开关。

(6) 值班人员应监视各种仪表指示值的变动情况，并作好详细记录。

### 3. 欠补偿运行产生串联谐振过电压的处理

消弧线圈在欠补偿运行时，由于线路发生一相导线断线、两相导线同一处断线、线路故障跳闸或断路器三相触头动作不同步，均可能产生串联谐振过电压。

在故障时，消弧线圈动作光字牌亮及警铃响，中性点位移电压表及补偿电流表指示值增大并针尖甩到尽头，消弧线圈本体指示灯亮，绝缘监视电压表各相指示值升高且不同，消

### 3. 母线绝缘子破损

母线用在什么电压等级完全取决于绝缘子的绝缘水平。因此，绝缘子一旦破损，会造成母线接地或相间短路，严重的可能由于绝缘子击穿放电而将母线烧坏、烧断。值班员对运行中的母线绝缘子应加强巡视，当发现有放电、裂痕等异常情况时，应及时申请停电处理。在退出运行前，应加强对破损绝缘子的监视。

### 4. 母线电压不平衡

母线电压不平衡时，一般情况下将有接地信号出现和警铃动作。造成母线电压不平衡原因主要有：

#### (1) 输电线路发生单相金属性接地或非金属性接地故障。

在小电流接地系统中，正常运行对称的三相系统，当任何一相绝缘受到破坏而接地时，各相对地电压改变，对地电容电流也发生变化，中性点电位不再为零，其对地的电压值视故障点的接地情况而异。完全金属性接地时，接地相对地电压为零，其余两相对地电压升高 $\sqrt{3}$ 倍。非金属性接地时，接地相对地电压大于零小于正常相电压，其余两相对地电压大于正常相电压而小于正常线电压值。当发生间隙性接地时，接地相电压时增时减，非故障相电压时减时增，或有时正常。发生弧光接地时，非故障相的相电压，有可能升高到额定电压的2.5~3倍。

#### (2) 电压互感器一、二次熔断器熔断。

当一次侧熔断器熔断一相时，熔断相的接地电压表指示为零，其他两相正常或略低，电压回路断线信号动作，功率表，电能表读数不准确，用电压切换开关切换时，三相电压不平衡。接地信号动作（电压互感器的开口三角形线圈有电压33V）。

当二次侧保险熔断一相时，熔断相的接地电压表指示为零，其他两相电压表的指示数值不变，电压断线信号动作，功率表，电能表读数不准确，用电压切换开关切换时三相电压不平衡。

#### (3) 空母线或线路三相对地电容电流不平衡，有可能出现假接地现象。

### 5. 母线电压消失

这是变电所和电网最严重的故障之一，它将造成大面积停电。

(1) 母线失压变电所的反映。当变电所母线失压时（排除电压互感器二次断线因素），该电压级下与该母线有关的进出线所有电流表，电压表，功率表全部指示为零。如全所只有一台接在该母线上的所用变压器，则全所停电。

(2) 母线失压的处理。在母线电压消失时，运行人员应根据仪表指示、信号掉牌、继电保护和自动装置的动作情况，以及失压时的外部迹象，来判明母线失压的故障原因和故障性质。

1) 若是所内的故障，处理时应立即拉开和该母线连接的所有断路器，并汇报调度。由母线短路或由母线到断路器间的引线段发生短路而引起母线电压消失时，其外部迹象除表计反映短路现象外（仪表剧烈摆动，光字牌亮），在故障地点还会有爆炸声、冒烟、起火等现象，并可能使连接在故障母线上的主变压器的断路器及线路断路器跳闸，并出现闪光、喇叭响等信号。此时，应切除故障母线，汇报调度，等候处理。切忌在处理母线失压故障时忽视对母线本身的检查，严防因母线本身故障没被发现对故障母线充电的现象。

2) 若是所内无故障,是因线路故障断路器拒动而引起越级跳闸的母线失压,应将故障线路手动切除后,恢复向其他线路送电。

若无法判明故障线路,则在拉开所有断路器后合上母线进线断路器对母线进行充电,然后,逐条线路试送。若送到某条线路又使进线断路器跳闸时,则说明该回线即为故障线路。在手动切除该回线后,再合母线进线断路器,使母线带电,接下去逐条线路恢复送电。

## (二) 绝缘子故障的分析与处理

### 1. 运行中污闪事故的成因和对策

空气中存在着大量的尘埃微粒,这就不可避免地会使配电装置的外绝缘以及送电线路的绝缘子(多系电瓷质或玻璃质制成)表面逐渐积聚污垢物或形成污垢层。它们在一定的条件下如被湿润后便能使绝缘子表面的电导率增加,绝缘性能下降,造成沿绝缘子表面的放电现象,即所谓“闪络”。连续不断的闪络,便形成了相对地的击穿事故。从而导致送电线路保护装置动作、线路自动跳闸。这种户外配电装置的外绝缘及送电线路的绝缘子,在不良气候与不良运行条件下形成污秽闪络,以致造成接地的现象,称为“污闪事故”。

由于大气中含有多种物质的固态、液态或气态微粒,如工业生产的烟雾尘埃、地面飞起的尘土、海水的飞沫等等。其中尤以化学工业与冶金工业的烟雾灰尘、海水飞沫及盐碱地区的尘埃等类污垢对绝缘的破坏性最为严重。这类尘埃中游离物质的含量较高,空气中的水分与游离物质会结合生成电解质,由此便增加了绝缘子表面的电导率。迷雾、露水和毛毛雨使绝缘子表面的污垢物被湿润,更容易引起闪络。而大雨则有助于冲洗绝缘子污垢,对保持绝缘性能有利。

发生污秽闪络事故的季节性很强,如许多地区常冬季多雾,春季又多雨夹雪,污秽闪络事故就多在这段时间里发生。且闪络大部分又出现在后半夜和清晨,因为这时气温较低、湿度大,所以有的人还把闪络事故叫做“日出事故”。

防止绝缘子发生污闪事故的对策是:

(1) 坚持做好定期清扫绝缘子的工作。在每年污秽闪络季节到来之前,必须对绝缘子(包括变电所瓷瓶)进行一次普遍清扫,在污秽严重地区还应增加清扫次数。清扫的方法有停电擦拭法和不停电水冲洗法(系一种带电作业项目),一般配电线路多采用停电擦拭法。

(2) 提高绝缘水平,增加泄漏距离。对污秽严重的地区应适当提高绝缘水平,如增加每串悬垂绝缘子个数,采用电压等级高一级的针式绝缘子或瓷套管,配电线路耐张杆或终端杆增加悬式绝缘子等,这样可以增加泄漏距离,提高绝缘水平,减少闪络事故。

(3) 采用有防尘涂料的绝缘子。如采用有硅根油<sup>#</sup>880,二甲基硅油或石蜡等涂料,可以提高绝缘子的抗污性能。防尘涂料的作用是,雨水在绝缘子表面会形成水珠滚下,不易使绝缘子表面湿润(和荷叶上不易存水一样)。此外,防尘涂料还有包围污秽微粒的作用,使它们孤立起来并与雨水隔离,能有效地防止污秽闪络。

(4) 定期对绝缘子进行测试,并及时更换不良的绝缘子。一般1~2年要用绝缘子测试棒在不停电的情况下,对绝缘子进行一次直接测试。但在潮湿、下雨、下雪或大风时,则不宜进行。

(5) 划分污区等级并按污区等级调正泄漏爬距,这是一条根本性的措施。对污区的划分还应进行定期调整,以防止失去控制。

## 2. 绝缘子损坏的原因和裂纹判断法

变电所配电装置以及架空线路，在运行中有时会发生绝缘子损坏现象。究其原因，不外乎下列几种：

(1) 绝缘子安装使用不合理，如机械负荷超过规定，电压等级不符合和安装位置不当等。

(2) 由于天气骤冷骤热以及冰雹等外力破坏。

(3) 由于绝缘子污秽，在雷雨、雾天时引起闪络。

(4) 电气设备短路，因电动机械应力过大而引起绝缘子损坏。

绝缘子损坏现象中，除了明显的本体（尤其是瓷质）缺损外，主要是出现了裂纹。裂纹有大有小，有的无法看出来。对绝缘子裂纹的判断方法通常有：

(1) 明显的裂纹可以在巡视中察看到。

(2) 可以根据放电声响情况加以判断。

(3) 可以用望远镜进行细致观察。

(4) 可以在停电后摇测其绝缘电阻。

(5) 可以采用固定火花间隙带电测量绝缘子。

凡破损或出现了裂纹的绝缘子，其绝缘电阻便多为零值。由于它应用在配电装置或架空线路上，故起不到使带电的导体（线）与大地及杆塔构件间的应有绝缘作用。

送电线路的绝缘子串由于各绝缘子的绝缘电阻和分布电容不同，故电压分布是不均匀的。若某个绝缘子承受的分布电压值等于零，则该绝缘子便叫“零值瓷瓶”，其绝缘电阻值等于零。

线路上如果有零值或低值绝缘子存在，就相应地失去或降低了绝缘水平，容易发生闪络或接地短路事故。因此，一经发现（包括通过巡线检查及耐压试验）破损或出现裂纹的绝缘子，便即应按规定与要求予以更换，以确保配电装置或架空线路能安全可靠地供配电。

## 八、电缆和避雷设施的异常运行分析及处理

### （一）电力电缆的异常运行分析及处理

在变电所内，电力电缆绝大部分都敷设于地下。与架空线路相比较，电缆具有成本高，敷设后不易变动，寻找故障点困难及修复时间长等缺点。因此，防止电缆事故显得更为重要。

电缆的正常运行是指在额定电压、允许气温条件下长期连续地通过额定电流，电缆的正常发热不应超过允许值；在外部短路流过短路电流时，短时发热也不应超过短时发热的允许值，即热稳定不被破坏。对 35kV 及以下的电缆，多采用三芯电缆，因此正常运行时，相间及相对地之间的绝缘应完好，电缆头绝缘应良好。

#### 1. 电力电缆的异常

(1) 电压异常。为了保证电缆有足够的绝缘强度，要求正常运行中的电缆必须在不超过额定电压 15% 的情况下运行，如超过此值则应视为电压异常（对 35kV 中性点不接地系统发生单相接地在允许带接地运行时间内除外）。一般对 35kV 以下的电力电缆，电压稍偏高不会对正常运行构成威胁，不需要采取紧急措施，只要汇报主管部门加强监视即可。

(2) 温度异常。温度异常对电缆的正常运行威胁较大。要求正常运行中的电缆长期允



许工作温度不得超过厂家规定。以防止温度过高加速绝缘老化，造成铅包龟裂膨胀，铠装缝隙开裂，沥青绝缘胶受热膨胀，电缆端头、中接头胀裂，绝缘油外溢等事故。

电缆正常运行中的温度高低除环境温度外，主要取决于负荷的大小。值班员可监视其不过负荷以达到控制电缆温度不致过高的目的。

## 2. 电力电缆常见故障的处理

(1) 充油电缆渗漏油。电力电缆多为充油电缆，为了防止外部水分侵入，内部油均有一定的压力。当电缆头外部受伤、内部温度过高压力增大或是电缆内部短路、温度剧增使电缆头炸裂后，内部绝缘油就大量外溢。渗漏油将造成内部绝缘受潮，严重时，如果内部绝缘油流尽，即使在正常运行时内部相间不击穿，相间绝缘也十分薄弱。当系统异常（如发生单相接地）时会发生相间短路或接地短路等事故。因此，渗漏油严重的电缆应尽快处理。

运行中如发现漏油，应视为较严重的缺陷并加以记录，同时应注意该电缆另一端电缆头的绝缘情况，以防高位置电缆头由于缺油严重而降低了绝缘水平，甚至引起放电击穿。

(2) 电缆头故障。由于制作材料、施工工艺使电缆头电压分布不均而引起绝缘破坏，或运行维护不当使电缆头受损造成闪络放电等时，则该电缆应停止运行。

(3) 机械损伤。如外力伤害使电缆铠装遭破坏，铅包断裂等。若铠装断裂脱落但铅包完好，说明内部绝缘未受到伤害，可以继续使用。若铅包断裂，渗、漏油或严重鼓肚，说明内部受损，应停止运行。

## (二) 避雷设施的异常运行分析及处理

### 1. 避雷针的事故处理

为了防止直接雷落入变电所造成对所内设备的损坏，各变电所均设有避雷针保护。其形式有两种：一是独立避雷针；二是装在构架上的构架避雷针。它们的作用是利用尖端放电把变电所上空的雷电流泄入大地，起到保护变电所建筑物及各种设备的作用。

避雷针正常运行时，应直立、安装牢固，针体无弯曲构架无锈蚀，基础无下沉，接地良好且接地电阻值要小于 $10\Omega$ 。

对运行中发现的避雷针基础下沉（不均匀）；接地引下线脱焊、锈蚀、截面小于规定标准；接地电阻不合格等缺陷，应在非雷雨季节尽快处理。如急需处理也应注意在雷雨和天空有大片阴云时不得登上避雷针架工作，且在雷雨时，禁止任何人走近避雷针，以防止跨步电压造成对人员的伤害。

### 2. 避雷器的事故及处理

避雷器是防止雷电过电压对电力设施造成危害的保护电器。一般 $35\text{kV}$ 变电所均采用阀型（变电所内用FZ型，线路用FS型）避雷器作为过电压保护。要求避雷器在工频额定电压下不导通，在规定的过电压下立即导通，并能经受短时间内大电流通过自身的冲击，待电压恢复后立即截止，避雷器的瓷件应完好无损、内外部均无电流通过。

#### (1) 避雷器的常见故障。

1) 避雷器上下引线松脱或折断。避雷器在系统正常运行时不起任何作用，引线的状态无关紧要。但当过电压出现时，引线松脱将使避雷器失去作用。过电压可能对被保护设备造成损坏。因此在每年雷雨季节到来之前，应对引线进行认真地检查。平时运行中一旦发

现引线松脱应尽快处理。

2) 雷击放电后, 连接引线严重烧伤或烧断。切断故障避雷器前应检查有无接地现象, 若有接地现象, 则不能用隔离开关断开避雷器, 应汇报调度和设备主管部门听候处理。

3) 雷击放电后, 避雷器瓷瓶破损或爆炸。这主要是泄漏雷电流太大或是工频续流没有截断, 内部发热严重所致。应立即将故障避雷器退出, 并予以更换。

(2) 阀型避雷器运行中的监视。在运行中对阀型避雷器应经常作一般性检查, 尤其是在每次雷电以后和系统发生故障有可能出现过电压的情况下, 应进行认真检查。应注意以下几个方面:

- 1) 瓷套是否完整。
- 2) 水泥接合缝及其上的油漆是否完整。
- 3) 连接导线及避雷器的接地引下线是否有烧灼痕迹。
- 4) 动作记录器的指示次数及计录器本身是否完整。

对避雷器瓷套表面污秽应引起足够的重视。因为瓷套表面污秽, 将使电压分布很不均匀。在有并联分路电阻的 FZ 型避雷器中, 当其中一个元件电压分布增大时, 其并联分布电阻中的电流将增大很多, 会使电阻烧毁而引起事故。由于电压分布不均匀, 还可能造成避雷器不能灭弧。应经常配合线路、设备检修等工作, 始终保持避雷器瓷套的清洁。

## 第四节 补偿电容器的运行与故障处理

### 一、补偿电容器组的运行标准

#### 1. 允许过电压

补偿电容器在正常电压下运行, 是发挥其无功补偿作用的重要条件。由于负荷随时在变动, 电容器的运行电压也经常发生变动。负荷轻时, 电容器的端电压增高; 负荷增大的时候, 电容器的端电压将随之下降。电容器运行电压的增高会带来有害影响; 而运行电压的降低, 又将使电容器输出的无功功率降低, 这同样是不利的。

电容器组允许连续运行的过电压为 1.1 倍额定电压, 即它可以在 1.1 倍额定电压下长期运行。在运行中, 由于倒闸操作、电压调整、负荷变化等因素可能会引起过电压。电容器组允许短时间过电压, 其短时过电压的数值由过电压的时间加以限定 (见表 6-13)。

#### 2. 允许过电流

通过电容器的电流与其端电压成正比关系。允许的过电流中除包括最高允许过电压引起的过电流外, 还应考虑电网谐波引起的过电流。故过电流的限额比过电压的限额要高。电容器运行中由于下列原因常会引起过电流: ①电容器的电容值有正偏差; ②变电所母线电压较电容器额定电压高; ③电网有谐波电压; ④电网轻负荷运行引起高电压; ⑤电网频率高于额定频率 (50Hz); ⑥由于发生

表 6-13 电容器组允许的工频过电压

工频过电压	最长持续时间	说明
$1.10U_N$	连续	电容器运行中任何一段时间的最高平均值
$1.15U_N$	每 24h 中 30min	系统电压的调整与波动
$1.20U_N$	5min	轻负荷时电压升高
$1.30U_N$	1min	

表 6-14 电容器组允许过电流和过负荷

国别	最大允许电流 $I/I_N$ (%)	最大允许负荷 $Q/Q_N$ (%)
IEC	130	130
中国	130	—
美国	180	135
前苏联	130	—
英国		130
比利时	135	135
日本	135	
瑞典	130	
波兰	110	—

故障或操作引起暂态过电压。

电容器组允许在其 1.3 倍额定电流下长期运行。在允许超过额定电流的 30% 中，10% 是由允许的工频过电压所引起，20% 是由高次谐波电压所引起。

电容器允许连续运行的过电压为 1.1 倍额定电压，由此引起的电流为其额定电流的 1.1 倍，这是指基波电压引起的过电流。国际电工委员会 (IEC) 规定：包括高次谐波引起的过电流在内，电容器允许长期在 1.3 倍额

定电流下运行。这个电流限值是从热稳定的要求来确定的。电容器与其他电气设备的一个重要区别是它没有铜损，也没铁损，仅有介质损耗。电容器的发热量由介质损耗决定，亦即由电容量、频率和电压决定，更与其绝缘介质性能直接相关。世界各国对电容器允许的过电流与过负荷标准，可见表 6-14。

### 3. 允许温升

温度对于电容器的运行是一个极为重要的因素。补偿电容器温度过高时，会影响它的使用寿命，甚至引起其介质击穿而造成电容器损坏。电容器的周围环境温度要按制造厂的规定进行控制，若厂家无规定的，一般电容器为  $-40 \sim +40^\circ\text{C}$ ，自愈式电容器为  $-45 \sim 50^\circ\text{C}$ 。

## 二、电容器的操作过电压和谐波影响

### 1. 防止投切电容器组时引起操作过电压

当切断电容器组时，会出现电感、电容回路的振荡现象，从而产生操作过电压。在切断时，如果断路器发生电弧重燃，将会引起强烈的电磁振荡，出现更高的过电压，此过电压的幅值与被切除电容器和母线侧电容的大小有关、与电弧重燃时触头间的电位差有关。因此，实用中应尽量减少电容器组的操作次数。

### 2. 重视电容器组投入时涌进电流的危害

当电容器组与电源接通的瞬间，电压和电流的波形和幅值会随时间产生一定的变化，该变化过程称暂态过程。在这个过程中，会出现电容器组的过电压和过电流现象。若电容器组接入电网的合闸瞬间电压正巧为最大值时，便可能产生高频和高幅值的过渡电流（也叫涌进电流）。其时间虽然很短，但涌进电流的幅值与频率很高（可达数千 Hz），它对于电气设备产生的危害却不可忽视，它还会对开关灭弧室产生很大的机械应力，从而起到一定的破坏作用。

### 3. 电网谐波对电容器工况的影响

运行中的电容器，常会受到电网内谐波的影响。当对某高次谐波发生谐振时，便会产生很大的谐振电流。谐振电流将会使电容器过负荷、过热、振动并发出异音。产生谐波的原因是多方面的，归纳起来主要有以下两种：

(1) 变压器的励磁电流。变压器和互感器等带有铁芯的电气设备，其运行电压超过额定电压的极限值时，铁芯便可能出现饱和状态，这时磁通激增，使励磁电流的波形变歪，于

是产生多种谐波分量，其中以 3 次谐波为主。由于变压器通常有三角形接线的绕组，3 次谐波电流能在这个低阻抗的绕组中循环而不流入电网，因此电网内只可能有 5 次、7 次等非 3 次谐波分量。这些谐波电流经过电网的阻抗时将产生谐波电压，其大小由谐波电流与在该谐振频率下所确定的阻抗的乘积来决定。降低因变压器过励磁产生谐波电压的最好办法，是适当地采取调压设备或者是调整电容器的容量，以降低变压器的运行电压。

(2) 整流装置的影响。连接在电网中的大功率硅整流和可控硅整流装置，在现代电气化铁道、电车、冶金、化工、电解等工业企业中被广泛应用。由于它们的负荷是脉动性的，其中存在着谐波分量，故脉动负荷将会在电网中产生谐波电压和谐波电流。若使整流装置的极数增多，则可使其脉动得到改善；如果没采用滤波装置来消除谐波分量，就会给电容器带来功耗增大等一系列不小的麻烦。

由  $n$  次谐波产生的无功功率损耗  $Q_n$  和有功功率损耗  $P_n$  分别为

$$Q_n = U_n I_n = 2\pi f n C U_n^2 = \frac{1}{2\pi f C} \frac{I_n^2}{n}$$

$$P_n = Q_n \operatorname{tg} \delta_n = 2\pi f n C U_n^2 \operatorname{tg} \delta_n$$

式中  $\operatorname{tg} \delta_n$  ——  $n$  次谐波的介质损失角的正切值。

高次谐波影响会造成电压波形的畸变，并会使电容器产生过电流和过负荷，故十分有害。

### 三、电容器的操作及对壳体温度的控制

#### 1. 操作补偿电容器组的注意事项

- (1) 正常情况下，全所停电操作时，应先拉开电容器开关，然后拉开各路出线开关。
- (2) 正常情况下，全所恢复送电时，应先合各路出线开关，后合电容器组的开关。
- (3) 事故情况下，全所无电后，必须将电容器的控制断路器拉开。
- (4) 补偿电容器组的控制断路器跳闸后，不准强送；保护熔丝熔断后，在未查明原因前，也不准更换熔丝送电。
- (5) 补偿电容器组禁止带电荷合闸。电容器组再次合闸时，必须在断路 3min 以后进行。

#### 2. 电容器组带电荷合闸的危害及防止

在交流电路中，如果电容器带有电荷时再次合闸，则可能使电容器承受 2 倍以上额定电压的峰值作用，这种残余过电压对电容器是十分有害的，同时还会造成很大的冲击电流，可能会使熔丝熔断或断路器跳闸。因此电容器组每次拉闸之后，必须随即进行放电，待电荷消失后再行合闸。

从理论上讲，电容器的放电要经过无限长的时间才能放完。但实际上，只要放电电阻选得合适，那么经 1min 左右便可基本放完，即满足要求。所以运行规程中规定：“电容器组每次重新合闸，必须在电容器组断开 3min 后进行”。这样可使再次投入时，电容器端子上的残余电压不高于额定电压的 10%，以保障安全。

#### 3. 电容器有功损失及其壳体温度控制

(1) 运行中补偿电容器的有功损失。补偿电容器运行时消耗一定的有功功率，这部分有功损失包括介质损失、极板与载流部分的电阻损失，以及由集肤效应产生的附加损失。其中，介质损失占电容器总有功损失的 98% 以上，其大小与介质性能及工况有关，即

$$P_j = Q \operatorname{tg} \delta \times 10^3 = 2\pi f C U^2 \operatorname{tg} \delta \times 10^{-6} \text{ (W)}$$

式中  $P_j$ ——补偿电容器的介质损失；  
 $\operatorname{tg} \delta$ ——介质损失角的正切值；  
 $U$ ——电容器运行电压，V；  
 $C$ ——补偿电容器的电容量， $\mu\text{F}$ ；  
 $f$ ——电源电压频率，Hz。

可见，介质损失的大小直接影响着电容器的温升。随着  $\operatorname{tg} \delta$  的增大，介质损失也增大，从而使电容器内部绝缘发热，温度升高，绝缘老化加速，电容器使用寿命缩短。

(2) 电容器外壳温度规定和示温蜡片。电容器外壳即箱壁的温度，通常不准超过  $55^\circ\text{C}$ 。而对外壳上最热点的温度规定，根据不同型号可分别为  $60\sim 80^\circ\text{C}$  不等。为了便于监视电容器运行中的温度，可在电容器外壳上的最热点、即通常为铭牌附近或其下方  $1\sim 2\text{ cm}$  处粘贴示温蜡片，以测试与显示电容器的实际发热程度。

示温蜡片所使用的原料多为锦州地蜡（滴点  $104^\circ\text{C}$ ）和普通石蜡（滴点  $54^\circ\text{C}$ ）。其具体配方与性能见表 6-15。

表 6-15 示温蜡片配方及性能

蜡片熔化温度 ( $^\circ\text{C}$ )	颜色	直径 (mm)	厚度 (mm)	流化温度 ( $^\circ\text{C}$ )	地蜡	石蜡	附加颜色
55	粉红	25	3	$\pm 1$	45%	55%	1% 油画颜料
60	淡黄	25	3	$\pm 1$	60%	40%	1% 油画颜料

示温蜡片的制作工艺与步骤是：①核定原料后，按配方比例称取规定分量；②将配方原料置于烧杯内，缓缓加热；③在升温熔化过程中要经常搅拌，最高温度控制在  $150^\circ\text{C}$  以下；④原料充分熔化后，降低并保持在  $80\sim 90^\circ\text{C}$  左右，准备浇注；⑤将充分混合的熔液缓缓注入蜡片模子内；⑥待模子冷却至室温后取去铁板，用小刀仔细将蜡片取下，如有破损，则要淘汰更新。

(3) 电容器室温的测量方法。一般电容器室的温度要求控制在  $-40\sim 40^\circ\text{C}$  之间（自愈式电容器室为  $-45\sim +50^\circ\text{C}$ ），具体还要遵守制造厂家的规定。当电容器室温超过  $40^\circ\text{C}$  时，应将电容器组的控制开关断开、退出运行；同时需加强通风，使电容器室的温度能迅速降下来。对于电容器室温的测量，应注意要选择室内各层电容器总装设高度的  $2/3$  左右处装置温度计。因为这是室内散热条件最差的地方，由该处反映的温度也最真实。这样测得的温度，才能较正确地显示出室内环境的实际温度。

#### 四、电容器运行中的巡视检查

##### (一) 对运行中电容器组的巡视检查

对运行中的电容器组应进行日常巡视检查、定期停电检查以及特殊巡视检查。

(1) 日常巡视检查。由运行值班人员进行。有人值班时每班检查一次，无人值班时每周检查一次。检查时间，夏季在室温最高时进行，其他季节可在系统电压最高时进行。检查时主要观察电容器外壳有无膨胀、漏油痕迹，有无异常声响和火花，熔丝是否正常，放电指示灯是否熄灭，记录有关电压表、电流表、温度表的读数，对检查发现的缺陷应进行

记录。为便于检查，必要时可短时停电。停电时应注意，除电容器组自动放电外，还应进行人工充分放电，否则不得触及电容器。

(2) 定期停电检查应每季进行一次。除检查日常巡视检查的项目外，还应检查各螺丝接点的松紧和接触情况；放电回路是否完好；风道有无积尘并清扫电容器的外壳、绝缘子和支架等处的灰尘；检查外壳的保护接地线是否完好；继电保护及熔断器等保护装置是否完整可靠，以及断路器和配电线等是否良好。

(3) 在出现断路器跳闸、熔体熔断等情况后，应立即进行特殊巡视检查。要有针对性地查找原因，必要时应对电容器进行试验。在查出故障原因之前，不得再次合闸运行。

(4) 按规程要求定期对电容器进行预防性试验，各项试验均要合格。

### 五、电容器投切原则和故障退出运行

正常情况下电容器组的投入和退出，应根据系统无功负荷潮流和负荷功率因数以及电压情况来决定。用户变(配)电所由电容器组的投切，原则上应按供电部门对功率因数给定的指标来决定电业变电所内的电容器组，原则上应按电网电压的实际运行值进行自动投切。

当发生下列异常情况之一时，应立即拉开电容器组开关，以使其退出运行：

(1) 电容器组母线电压超过电容器组额定电压 1.1 倍，以及通过电容器组的电流超过额定电流的 1.3 倍。

(2) 电容器周围环境的温度超出允许范围（一般为 40~50℃），或电容器外壳最热点温度超出允许范围（一般为 60~80℃）。

(3) 电容器接点严重过热或熔化。

(4) 电容器内部或放电装置有严重异常声响。

(5) 电容器外壳有明显的异形膨胀。

(6) 电容器瓷套管发生严重放电或闪络。

(7) 电容器喷油、起火或爆炸。

### 六、电容器组运行中的注意事项

(1) 电容器组的环境温度不得超过 40℃；24h 内的平均温度不得超过 30℃；一年内的平均温度不得超过 20℃。超过上述要求时，应采用人工冷却或将电容器组与网络断开。安装地点的温度一般通过水银温度计来测量，并且必须做好温度记录。

(2) 电容器组应在额定电压下运行，若暂不可能，则允许在超过额定电压 5% 的范围内继续运行及 1.1 倍额定电压下短期运行。但一昼夜内只允许运行 6h，长时间出现过电压情况则应及早消除。此外，应避免电容器在最高电压和最高温度同时出现的情况下运行，以保障电容器使用寿命。

(3) 电容器应维持在三相平衡的额定电流下工作，如暂不可能，则允许在不超 1.3 倍额定电流下继续工作。但应设法消除线路中长期出现的过电压和高次谐波，如轻负荷时切除部分电容器或者加装串联电抗器等。

(4) 注意清扫套管表面、电容器外壳、相关电器及铁架上的积灰尘或其它脏物，一般每季必须清扫一次。

(5) 为不致于严重缩短电容器的使用寿命，工频过电压发生的次数不应太多。在电容器整个使用寿命中，高于 1.15 倍额定电压的次数通常不应超过 200 次。

而使体积膨胀而造成的。

对出现鼓肚现象的电容器应立即停止使用，否则就可能引起电容器爆炸。若采用降低电压的方法继续使用，则内部击穿处仍然会不断产生电弧，从而使体积更加膨胀而导致电容器爆炸。因此对已经鼓肚的电容器，绝不允许降压后继续使用。应该及时停用，更换上合格的电容器。

#### 4. 处理故障电容器时的安全注意事项

由于电容器停电后，其两极残留残余电荷的特点，故处理前必须首先设法将电荷放尽，否则容易引发触电事故。

处理故障电容器时，首先应拉开电容器组的断路器及其上、下隔离开关，如系采用熔断器保护，则应先取下熔丝管。此时，电容器组虽然已经过放电电阻自行放电，但仍会有部分残余电荷，因此还必须进行人工放电。放电时，要先将接地线的接地端与接地网固定好，再用接地棒多次对电容器实施放电，直至无火花和无放电声为止，最后要将接地线固定好。

同时还应注意，电容器如果有内部断线、熔丝熔断或引线接触不良时，其两极间还可能存有残余电荷。而在自动放电或人工放电时，这部分残余电荷是不会被放掉的。故运行或检修人员在接触故障电容器时，还应先戴好绝缘手套，并用短路线短接故障电容器两极以使其放尽电。此外，对采用串联接线方式的电容器还应进行单独放电。

#### 5. 电容器检修的类别、项目与要求

每年从系统和用户退役下来有缺陷的电容器数量不少，但因缺乏专门检修力量，常使这些故障电容器都作为废品处理。其实，大部分有缺陷的电容器经过适当检修后，技术性能多数可以得到恢复，还可继续使用。电容器的检修工作，按其缺陷性质和检修工序可分为以下三类：

(1) 小修。属于外壳焊缝渗油、焊接式套管渗油、装配式套管外瓷件破裂、油箱缺油、双极对壳绝缘电阻降低等缺陷时，可以在不打开外壳的情况下进行以消除缺陷。

(2) 中修。属于内部引线脱焊，焊接式瓷套银膏脱落引起严重漏油或装配式套管内瓷套破裂等缺陷，需开盖中修，并对元件进行预烘和整烘真空注油处理。

(3) 大修。属于电容值偏大或变小，极对壳击穿、极间击穿、严重游离和外壳膨胀等缺陷，必须开盖，拿出芯子拆包，通过试验剔除损坏元件，进行清洗、组装和真空处理。对于打开箱盖发现油内含有严重游离炭或焦臭味的电容器，一般修理价值很小，应予淘汰。

表 6-16 电容器鉴定性试验项目与标准（参考）

试 验 项 目	试 验 标 准					
两极对壳绝缘电阻	2000MΩ 以上（最低不小于 1000MΩ）					
电容量的测量	与制造厂规定值比较，范围为 ±3%					
极间交流耐压	与运行中上次试验值比较，范围为 ±5%；2.1 倍额定电压，1min					
双极对壳交流耐压	电压等级 (kV)	0.5 及以下	1	3	6	10 (11/√3)
	1min 试验电压 (kV)	2.10	1.2	15	21	30
游离电压和高频 放电电流测定	在 1.1 倍额定电压下，高频放电电流不大于 1μA					

电容器检修前要进行鉴定性试验,目的是为了能及时而准确地发现所存在的具体缺陷,以便针对性地进行修复。试验的项目与标准可参见表 6-16。

检修结束后,仍应按该表要求再次进行试验,以确定是否已经修复。有条件的单位还可进行持续负荷试验,即环境温度保持 40℃,在 1.2 倍额定电压下持续运行 48h,此时外壳温升应不高于 15℃且不发生异常现象,方为合格。

## 第五节 变配电所的事故及其处理方法

### 一、常见事故的起因和处理原则

#### (一) 常见事故的类别及其起因

变配电所发生的每一次事故都有其一定的原因。设计、安装、检修、运行中存在的问题和设备缺陷都会引导起事故。除此以外,由于值班人员业务不熟悉或违反规章制度也会造成事故。整个变配电系统中,由于设备种类繁多,可能发生的故障类别也就较多。一般常见事故或故障的类别及其起因如下。

(1) 断路。断路故障大都出现于运行时间较长的变配电设备中,原因是由于受到机械力或电磁力的作用,以及受到热效应或化学效应的作用等,使导体严重氧化而造成断线。断路故障可能发生在中性线或相线上,也会发生在设备或装置内部。

(2) 短路。由于绝缘老化、过电压或机械作用等,都可能造成设备及线路的短路故障。因短路可能出现一相对地、相与相之间,以及设备内部匝间短路等故障。

(3) 错误接线。错误接线故障绝大多数是由于工作人员过失而造成。在检查、修理、安装、调校等过程中,可能会发生接线错误。所以,在每次接线后都应注意进行仔细核对。常见的错误接线有相序接错、变压器一次侧接反或极性的错接等。

(4) 错误操作。常见的错误操作,如对隔离开关的带负荷拉刀闸引起操作电压等。凡出现误操作故障,大都是因为未能严格按照安全规程及措施(包括技术措施及组织措施)认真去做而引起的。

根据运行经验及事故统计,变配电所较严重的事故通常有:①主要电气设备的绝缘损坏事故;②电气误操作事故;③电缆头与绝缘套管的损坏事故;④高压断路器与操作机构的损坏事故;⑤继电保护装置及自动装置的误动作或缺少这些必要的装置而造成的事故;⑥由于绝缘子损坏或脏污所引起的闪络事故;⑦由于雷电所引起的事故;⑧电力变压器故障而引发的事故。

变配电值班人员对变配电所发生的各种故障或事故,应能正解分析、及时处理。

#### (二) 事故处理的原则与注意点

(1) 发生事故时,值班人员必须沉着、迅速、正确地进行处理。其处理原则是:①迅速限制事故的发展,寻找并消除事故根源,解除对人身及设备安全的威胁;②用一切可能的办法保持设备继续运行,对重要负荷应尽可能做到不停电,对已停电的线路及设备则要能及早地恢复供电;③改变运行方式,使供电尽早地恢复正常。

(2) 处理事故时,除领导和有关人员外,其他外来人员均不准进入或逗留在事故现场。

(3) 调度管辖范围内的设备发生事故时,值班员应将事故情况及时、扼要而准确地报



告调度员，并依照当班调度员的命令进行处理。在处理事故的整个过程中，值班员应与调度员保持密切联系，并迅速执行命令、做好记录。

(4) 凡解救触电人员、扑灭火灾及挽救危急设备等工作，值班员可有权先行果断处理，然后报告有关领导及调度员。

(5) 事故处理过程中，值班人员应有明确分工。处理完毕后要将事故发生的时间、情况和处理的全过程，详细填写在记录簿内。

(6) 交接班时如发生事故，应由交班人员负责处理，接班人要全力协助。待处理完毕、恢复正常后再行交班。如果一时不能恢复，则要经领导同意后才可交接班。

## 二、单相接地故障

35kV 及以下中性点不接地或经消弧线圈接地的系统发生单相接地后，允许短时间继续运行。

### 1. 接地时出现的现象

(1) 接地光字牌亮，同时信号警铃响。

(2) 发生完全接地时，绝缘监察电压表三相指示有所不同，接地相电压为零或接近于零，非接地相电压升高 $\sqrt{3}$ 倍，且持久不变。

(3) 发生间隙接地故障时，接地相电压时减时增，非故障相电压则时大时小或有时正常。

(4) 发生弧光接地故障时，非故障相的相电压有可能升高到额定电压的 2.5~3 倍。

### 2. 寻找故障点的方法

(1) 对变配电中的所有供出线路逐条进行拉闸试验。

(2) 有重合闸装置的，可依次将各线路断路器拉开。若该线路无故障时，便可由重合闸装置随即送上。无重合闸装置的，可用人工操作。

(3) 若在断开某条线路的断路器时，绝缘监察与仪表恢复正常，则说明是这条线路上发生了接地故障。

接地点查出后，对一般性负荷线路，应在切除后进行检修；对带主要负荷的线路且无法由其他线路供电时，应先通知有关部门或车间做好停电准备后再行切除和检修。

### 3. 处理接地事故时的注意事项

(1) 发生接地故障时，应严密监视电压互感器，以防止其发热。

(2) 不得用隔离开关断开接地点。

(3) 在切除联络线或环状线路时，两侧断路器均应断开。但要注意在切除之后，不应使其他线路过负荷。

## 三、线路断路器跳闸

### 1. 线路跳闸变电所的反映

线路故障时，出线断路器将跳闸，变电所内的信号反映为蜂鸣器响，控制屏跳闸断路器绿灯闪光。继电保护动作，应有一种或两种保护信号继电器掉牌。同时，“掉牌未复归”光字牌亮。此时要检查该断路器，已在断开位置。

### 2. 线路跳闸后的处理

(1) 解除音响，检查是哪一套保护动作。

(2) 检查断路器及出线部分有无故障现象，并向调度员汇报。

(3) 如无故障现象，对无重合闸的线路征得调度值班员同意后可试送一次。试送成功，报告调度；试送失败，应通知查线。对装有重合闸的线路跳闸重合不成不再试送即报告调度通知查线。

(4) 凡联络线断路器跳闸，值班人员一律不得强送，汇报调度等待命令。

(5) 低周减载装置动作使线路跳闸，应在请示调度值班员后再决定是否送电。

#### 四、一回线跳闸后系统出现接地信号

当某一回出线跳闸后，中央信号屏同时发出接地信号。这是由于两回出线异相接地，只有一回线的断路器跳闸，而另一回出线的接地仍然存在的缘故。

##### 1. 两回线异相接地在变电所内的反映

两回线异相接地在变电所主控制室反映出现象为跳闸和接地情况的叠加。听到的是事故音响蜂鸣器、预告信号警铃同时报警；看到的有线路控制屏跳闸断路器绿灯闪光，中央信号屏交流绝缘监察表计三相电压不平衡；“掉牌未复归”、“母线单相接地”光字牌同时亮。

##### 2. 两回线异相接地的处理

当发生两回线异相接地故障时，运行人员首先复归蜂鸣器和警铃音响信号，然后复归跳闸的断路器把手。接下来按单相接地故障处理方法进行处理。

#### 五、系统接地后两回出线跳闸

##### 1. 系统接地后两回线跳闸在变电所内的反映

当系统两回线异相接地出现两回线同时跳闸时，主控制室反映除线路控制屏有两个跳闸断路器绿灯闪光外，其他与一回线跳闸系统出现接地现象相同。只不过在中央信号屏上交流系统三相电压又恢复平衡，接地现象消失。

##### 2. 系统接地后两回线跳闸的处理

发生这种情况时，值班人员自行强送其中的一条较为重要的线路，另一条则不准强送，并报告调度。已强送成功的线路（仍存在单相接地），其允许运行的时间，应在现场运行规程中规定的时间内运行。

系统两回线路异相接地时，如何会出现一回线路跳闸，系统出现接地或可能两回出线同时跳闸这两种情况呢？这是因为小电流接地系统中一般采用两相式（ $U$ 、 $W$ 相）电流互感器测量方式。当发生两回线路异相接地故障时，装设电流互感器的相接地，线路相电流保护装置测量到故障电流，继电保护装置动作，该线路开关跳闸；而未装电流互感器那相接地的线路，相电流保护装置就无法测量到故障电流，该线路就不会跳闸，因为这时该系统的接地点还存在，此时系统就出现接地故障信号。当发生两回线路异相接地故障均为装设电流互感器的相时，则两回线路均跳闸。具体情况见表 6-17（ $\#1$  线路三相用  $U_1$ 、 $V_1$ 、 $W_1$  表示， $\#2$  线路三相用  $U_2$ 、 $V_2$ 、 $W_2$  表示，该系统的电流互感器均装在  $U$ 、 $W$  相上）。

#### 六、变电所全所停电事故

##### 1. 造成全所停电的几种原因

- (1) 单电源、单母线运行时发生短路事故。
- (2) 变配电所受电线路故障。
- (3) 上一级系统电源故障。

表 6-17

系统接地后两回线跳闸情况

跳闸情况 #1线接地 #2线接地	$U_1$	$V_1$	$W_1$
$U_2$	$U_1, U_2$ 同相接地, 不跳闸。系统发单相接地信号	#2 线路跳闸, 系统 V 相接地	#1、#2 线同时跳闸
$V_2$	#1 线跳闸, 系统 V 相接地	$V_1, V_2$ 同相接地, 不跳闸, 系统发出单相接地信号	#1 线跳闸, 系统 V 相接地
$W_2$	#1、#2 线同时跳闸	#2 线跳闸, 系统 V 相接地	$W_1, W_2$ 同相接地, 不跳闸系统发生单相接地信号

(4) 主要电气设备故障。

(5) 二次继电保护拒动, 造成越级跳闸。

## 2. 全所停电的处理方法

(1) 上一级电源故障。如果变配电所全所停电是由于上一级电源故障或受电线路故障而造成的, 则向用户供电线路的出口断路器均不必切断。电压互感器柜应保持在投入状态, 以便根据电压表指示和信号判明是否恢复送电。

(2) 变压器故障。由于变压器内部故障使重瓦斯动作, 主变压器两侧断路器全部断开, 如是单台主变压器运行, 即会造成全所停电。这时应将二次侧负荷全部切除, 将一次侧刀闸拉开, 待主变事故处理好后再恢复送电。

(3) 越级跳闸。对于断路器拒动或保护失灵造成越级跳闸而使全所停电的事故, 要根据断路器的合、分位置和事故征象, 准确判断后即向调度汇报。根据调度命令将拒动断路器切除, 或暂时停掉误动的继电保护装置, 然后恢复送电。

## 七、配电线路故障

配电线路出现故障跳闸时, 应作如下检查与处理:

(1) 供出线路故障跳闸后, 应查明继电保护动作情况, 并对开关作外部观察和检查。若无喷油、冒烟情况, 可改为冷备用状态, 并向值班长汇报。在查明情况后, 根据跳闸原因, 决定是否再进行试送电。

(2) 故障跳闸的线路若强送成功后又转为单相接地故障时, 应立即拉闸, 以验证是否确系该线路接地。

(3) 对配电线路进行试送电时, 如果电流表指针到满刻度后 2s 内未返回, 且保护装置未动作时, 应立即拉闸断开电路。

(4) 误拉或误碰开关引起掉闸时, 如该开关控制的电路无并列电路, 则可立即合上, 再向值班长汇报; 对有并列电路的, 应汇报供电部门, 并按调度员的命令进行处理。

(5) 若误合备用中的断路器, 可立即拉闸后再行汇报。如误拉或误合了隔离开关, 应立即停止操作, 检查设备是否受到损害, 并即向领导汇报。

## 八、需与供电部门协作处理的事故

发生下列情况时, 用户变电所应迅速报告供电部门并请协助处理:

(1) 严重的设备损坏或影响系统送电的事故。

(2) 油开关严重喷油冒烟, 母线、隔离开关绝缘支持瓷瓶闪络引起单相接地、相间

短路。

- (3) 发生全所停电事故。
- (4) 危急情况下操作进线断路器后。
- (5) 发生人身触电事故。
- (6) 设备发生严重缺陷或出现异常情况，原因不明。
- (7) 二次回路故障，继电保护失灵，越级跳闸，开关拒动等。
- (8) 计量设备出现故障，影响准确计量。

### 九、电气装置过载发热和油箱渗漏油

运行实践中，变配电所内电气装置出现过载发热和充油设备油箱渗漏油的情况也甚为多见。若不及时妥善处理，将会引发事故并带来严重后果，现将其产生原因与处理方法分述如下。

#### 1. 电气装置在运行中发生过载的原因

变配电所内各类电气装置的型式及规格很多，选用时必须根据实际负荷情况来确定其规格。对变压器、油断路器、隔离开关、电动机等来讲，与负荷有关的数据主要是额定电流或容量；而导线则以安全载流量为容许负荷的选择依据。如果所选用的电气装置的额定电流小于实际负荷，则运行时便会出现过载（即过负荷）发热现象。若不及时解决就会酿成故障，甚至引发事故。

运行中电气装置发生过载的原因一般有：

(1) 电力变压器的正常过负荷倍数和允许的持续时间是有一定限度的，经常超过这个限度就会形成长期过载。这种情况下，应换用与实际负荷大小相适应的变压器。

(2) 油断路器和隔离开关的额定电流，往往在设计与选用时高于实际负荷，故正常情况下不易过载。若出现过载，多数是发生于系统中出现短路故障的时候。

(3) 导线的实际负荷若大于该导线的安全流量时，应该更换较大截面的导线。

(4) 电气装置的实际电压高于额定电压时也会出现过载，如补偿电容器的端电压高于其额定值时，就会引起过负荷。此外，高次谐波对补偿电容器也有严重影响，同样会造成电容器过负荷。由于高次谐波的作用，还会引起其绝缘击穿。因电容器外壳封闭很严密，绝缘击穿时所产生的气体将会使外壳膨胀，甚至使电容器发生爆炸。

变配电设备运行时，有时会出现不正常的发热现象。过载是引起电气装置发热的主要原因之一，还有一些其他原因也会造成电气设备的非正常发热，主要是：导线连接不牢固，使接触电阻过大、接触部位发热。长期发热，就能加速金属导体氧化过程，大大增加接触电阻，使发热更剧烈。如此循环下去，将会使连接点的温度剧增。断路器的动、静触头接触不良，会引起接触部分的过热。隔离开关的夹紧部件松动，造成刀片和触头接触不良，也会引起过热，严重时甚至可能将刀片与触头熔接在一起。

#### 2. 电气装置油箱渗漏油的原因及其处理

油断路器及变压器等充油设备，常会发生渗油甚至漏油现象。对轻微渗漏，可在停电检修时进行渗漏处理并补充绝缘油。但渗漏严重者，必须立即进行检修处理，否则会由于缺油而酿成重大设备事故。产生渗油或漏油的原因和处理方法是：

- (1) 橡胶垫（或盘根）不耐油，应换用耐油橡胶。

(2) 耐油橡胶垫加压太紧，使橡胶失去弹性。压紧时应掌握适当的压力，一般宜将橡胶垫压缩 35%~40% 左右。

(3) 长久未检修橡胶垫或者是使用太久时，其弹性便会减弱，应及时予以更换。

(4) 如用牛皮浸漆后制成密封垫，则在油漆未干便注入绝缘油时也会发生渗漏。应待其确实完全干后再行注油。

(5) 由于过热使密封垫老化或焦化（一般多发生于油断路器），此时应及时更换，并查出过热原因，采取相应措施解决。

(6) 若油标或放油阀门等处密封不严，也会出现绝缘油的渗漏现象，故应密封严实。

(7) 油箱或油管等焊接质量不好，出现缝隙而造成渗漏油。若出现这种情况，应及时安排进行焊补。

## 十、直流系统异常运行的分析及事故处理

变电所的继电保护、自动装置、事故照明以及操作电源等，一般都采用直流供电。常用的有处于浮充电状态下的硅整流器蓄电油直流系统、硅整流器电容器组储能直流系统两种。第一种情况，正常情况下硅整流装置并接于直流母线，除供所内正常的直流负载外还同时向蓄电池组浮充电。当电磁式操作机构断路器合闸时，较大的合闸电流由蓄电池组提供（有合闸硅整流器者除外），当硅整流器停运时，蓄电池组供全部直流负载。第二种情况，变电所配有两台硅整流器，容量大的供全部直流负载，容量小的只供给控制、保护回路，不供给合闸回路。储能电容器（接在跳闸回路），只是在系统发生故障时提供可靠的跳闸电源。

### （一）硅整流器的异常及处理

正常运行中的硅整流器常遇的故障两大类，一类是硅整流器本身的故障，如不能起动不能复位等，第二类是输出直流电压异常，如直流电压过高，过低及电压升不上去等。

#### 1. 硅整流器控制回路异常

(1) 硅整流器不能起动。在按下“运行”按钮时，硅整流器不能投入运行，直流电压表输出无指示。这主要是控制回路异常，如交流接触器主接点接触不良，熔断器熔断等。

(2) 信号无指示。当硅整流器接通交流电源后，其“停止”信号灯应发光，接着按下“运行”按钮，则硅整流器已投入运行。当无信号指示时，说明控制回路有故障存在，硅整流器不能起动（灯泡坏除外）。应检查熔断器是否完好，中间继电器常闭接点是否接触不良等，待缺陷消除后方可起动硅整流器。

#### 2. 直流输出电压异常

(1) 硅整流器输出电压太低。硅整流器供电的直流系统电压降低，调压后也不能再升高。首先，应检查交流电压是否也降低。如不是交流电压引起的，要继续检查硅整流元件是否损坏，交流回路是否非全相运行等。

(2) 硅整流器输出电压太高。若直流输出电压太高，且调压后仍不下降，可能是由于直流负荷太小。

### （二）铅酸蓄电池的异常及处理

#### 1. 极板硫酸化

(1) 现象和原因。蓄电池在正常使用条件下，正负极板上的活性物质，大部分都变为松软的硫酸铅小结晶块，均匀分布在极板中，在充电时很容易恢复成原来的二氧化铅（正

后，它就象一个电阻串联在电路中，如图 6-12 (b) 所示，因此测量时电压极性将决定于通过该电阻上的电流方向，从图中可以清楚地看出，极性是反向的，但当这个反极电池从全组中取出后，它的极性仍然照常，只是电动势很低，故出现上述现象。反极故障电池串在电路中如不能及时发现，反充电时间一长，该电池将真正反极，即使拆下单独测量，极性还是反常。

当出现这种故障后，应立即对反极电池进行单独的过充电，严重的要进行反复充、放电。直至此电池容量恢复正常后，才能接入全组蓄电池中使用。

全组蓄电池中如有几个电池发生反极故障时，应同时取出，串接后按以上方法同样处理。

### 5. 极板上活性物质过量脱落

铅蓄电池在正常工作时，活性物质会少量脱落，但当活性物质脱落的数量大大地超过正常情况的时候，应及时分析原因并进行相应处理。

### (三) 直流系统接地

直流系统母线电压的波动范围一般规定为 $\pm 10\%$ ，电压过高会使长期带电的设备过热损坏，电压过低又会造成开关、保护动作不可靠。

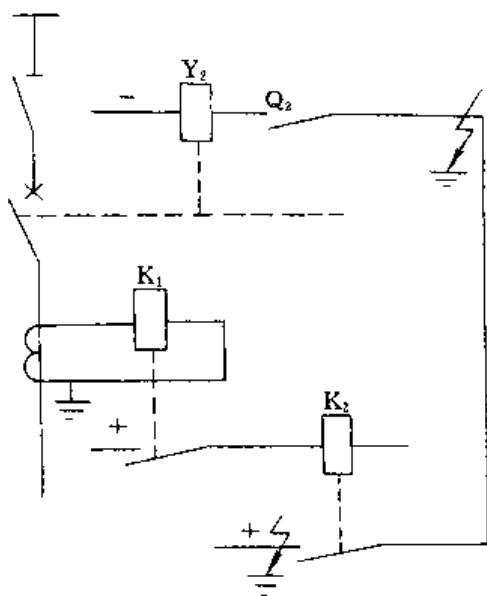


图 6-13 线路继电保护的直流操作回路一极发生两点接地  
K<sub>1</sub> 电流继电器；K<sub>2</sub>—中间继电器；Y<sub>2</sub>—跳闸线圈

变电所的直流系统比较复杂，它需要供给动力、照明、控制、信号、继电保护及自动装置等，而且还必须通过电缆线路与屋外配电装置的端子箱、操作机构箱连接，发生接地机会较多。

直流系统发生一点接地时，由于没有短路电流通过，熔断器不会熔断，仍能继续运行。但是这种故障必须及早发现并予以排除，否则，当再发生另一点接地时，构成直流系统两点接地时将会造成信号装置、保护装置及断路器的误动。同时可能使继电器烧毁。

图 6-13 为输电线路过电流保护，当发生直流系统一极的两点接地时，因中间继电器接点被短接，因而使断路器跳闸。

另外，在已有一极发生一点接地时，假如再发生另极的一点接地，就造成直流系统短路。因此不允许直流系统长期带一点接地运行，为此需装设直流绝缘监察装置以加强监视，其电路如图 6-14。

绝缘监察装置有两个转换开关 SA<sub>1</sub> 和 SA<sub>2</sub>。其接点通断状态见图 6-15。图中，电压表 V<sub>2</sub> 利用转换开关 SA<sub>2</sub>，可测量直流母线电压和各极对地电压。转换开关 SA<sub>2</sub> 有三个位置：“断开”、“负对地”、“正对地”。平时 SA<sub>2</sub> 手柄在竖直的“断开”位置，触点 9-11、2-1、5-8 接通，电压表 V<sub>2</sub> 测量母线电压。若将 SA<sub>2</sub> 手柄逆时针方向转 45° 到“负对地”位置，触点 5-8、1-4 接通，电压表 V<sub>2</sub> 接到负极与地之间。当 SA<sub>2</sub> 顺时针方向转发 45° 到“正对地”位置时，触点 1-2、5-6 接通，电压表 V<sub>2</sub> 接到正极与地之间。若两极对地绝缘很好，则正、负极对地的指示均为零。但由于现场 R<sub>+</sub> 和 R<sub>-</sub>

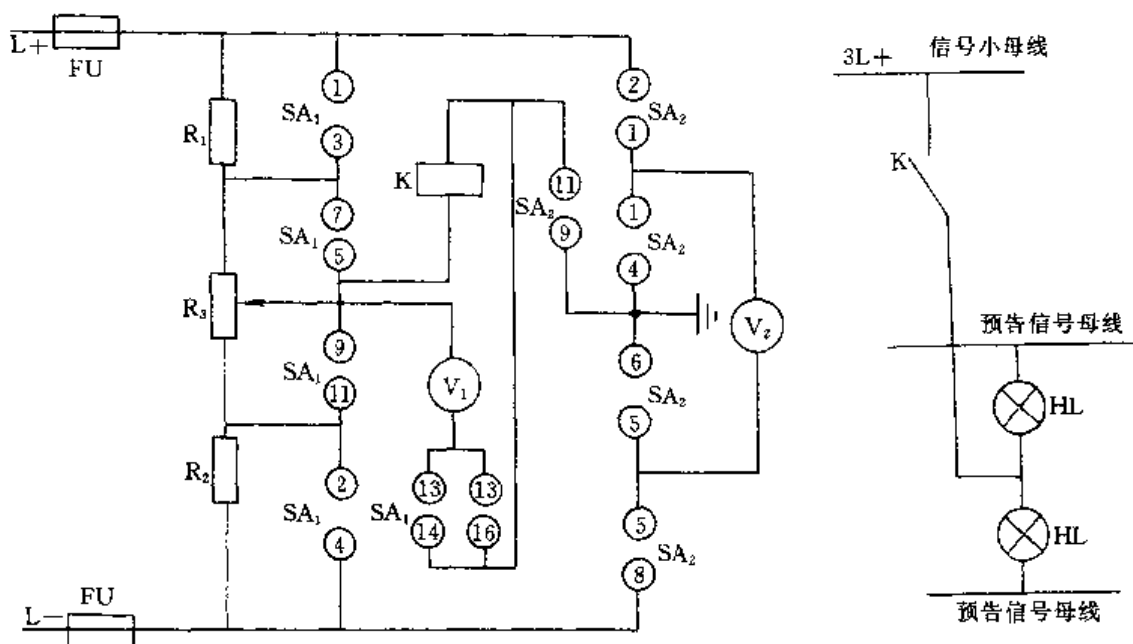


图 6-14 直流绝缘监察装置

不可能为无穷大，因此，实际测量时均约有 100V 电压，假定正极发生接地，则“正对地”电压为 0V，而负对地指示为 220V，反之亦然。

SA<sub>1</sub> 是绝缘测量的转换开关。它有三个位置：“信号”、“测量 I”、“测量 II”。平时 SA<sub>1</sub> 手柄在“信号”位置，触点 7—5、9—11 接通，SA<sub>2</sub> 在“断开”位置，触点 9—11 接通，则将继电器 K 投入。图中 R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>、R<sub>3</sub> 都是 1kΩ，当两极对地绝缘良好，其绝缘电阻相等，组成平衡电桥。此时，K 中无电流通过，当一极对地的绝缘电阻降低时，K 中就有电流流过。如果绝缘电阻降低到 15~20kΩ 时，K 动作，其常开接点闭合，通过光字牌 HL 发出灯光和音响信号。

在投入继电保护压板时，应先检查压板两端确无电压后方可投入，这是为了防止继电保护发生误动。

一旦发现直流系统接地时，在判断是哪一极接地基础上，分析接地的性质，判断其发生的原因。一般可按下述步骤进行处理：把直流系统分割成若干部分寻找接地点，即采用回路的分、合试验，一般分、合顺序为：事故照明、信号回路、充电回路、户外合闸回路、户内合闸回路，6~10kV 控制回路、35kV 控制回路、直流母线、蓄电池。以上顺序应根据具体情况灵活掌握，凡分、合时涉及到调度管辖范围内的设备时，应先征得调度同意。

检查直流系统接地时的注意事项：①禁止使用灯泡寻找接地点，以防止直流回路短路；②使用仪表检查接地时，所用仪表的内阻不应小于 2000Ω/V；③当直流系统发生接地时，禁止在二次回路上工作；④检查直流系统一点接地时，应防止直流回路另一点接地，造成直流短路；⑤在寻找和处理直流接地故障时，必须有两人进行；⑥在拉路寻找直流接地前，应采取必要措施，防止因直流电源中断而造成保护装置误动作。

#### 十一、二次回路异常的分析及事故处理

二次回路又称二次接线，在变电所中是指用来控制、监视、保护一次设备的二次设备（如电气仪表、继电保护、自动装置、控制开关、导线、接线端子等）所组成的电气连接回

在“母线”位置的手柄(正面)外形图和触点组(背面)接线图							
手柄和触点组的型式	F6	6a	6	6	6	a	a
位置 \ 触点号		1-2	1-4	5-6	5-8	9-11	10-12
母线		×	-	-	×	×	-
“-”对地		-	×	-	×	-	-
“+”对地		×	-	×	-	-	-

(a)

在“信号”位置的手柄(正面)外形图和触点组(背面)接线图									
手柄和触点组的型式	F4-8X	2	1	1	1	1	1	7	7
位置 \ 触点号		1-3	2-4	5-7	6-8	9-11	10-12	13-14	13-16
信号		-	-	×	-	×	-	-	-
测量位置 I		×	-	-	-	-	-	-	×
测量位置 II		-	×	-	-	-	-	×	-

(b)

图 6-15 SA<sub>1</sub>、SA<sub>2</sub> 接线图表

(a) SA<sub>2</sub> (LW2-W-6a·6·1/F6 型) 母线电压表转换开关接线图表;

(b) SA<sub>1</sub> (LW2-2.1.1.7/F4-8X 型) 绝缘监察转换开关的接线图表

路。二次回路总的来说,可分成继电保护回路和控制信号回路。

### (一) 继电保护及自动装置异常运行分析及事故处理

电气设备在运行中经常会发生各种故障,如短路、断线、接地等,直接影响电网的安全运行。为此,必须迅速地将故障点从电网中自动切除,以缩小事故范围,使故障设备免遭严重损坏。继电保护及自动装置运行中常见的故障有以下几种。

#### 1. 继电保护装置异常的分析

(1) 保护误动。系统正常,保护动作将断路器跳开,或者系统异常,本级主保护还未动作,后备(包括近后备和远后备)保护把断路器跳开,统称为保护误动。保护误动的原因有:



- 1) 直流系统有两点以上的接地，使出口中间继电器或跳闸线圈带电；
- 2) 定值有误或调试错误或接线有误；
- 3) 人员误碰。

(2) 保护拒动。系统发生故障时，本级保护不动作而靠上一级后备保护动作切除故障，同时造成大面积停电，此称本级保护拒动。保护拒动的原因有：

- 1) 电流互感器不能正确反映故障电流的变化；
- 2) 定值计算有误或调试不正确；
- 3) 保护回路不通，继电器故障；
- 4) 跳闸压板未投或直流系统多点接地。

继电保护发生上述异常时，要即时上报有关领导和调度，请求及时处理。在处理好之前，断路器不得投运。

## 2. 自动装置异常

通常变电所的自动装置主要为三相一次自动重合闸。出现的异常主要是重合闸拒动，其原因有：

- (1) 重合闸投切开关未投，使重合闸失去电源，或重合闸压板未投，使重合闸回路不通。
- (2) 重合闸继电器内部故障，如充电电容器损坏，时间继电器、中间继电器接点接触不良等。
- (3) 断路器合闸回路不通。

重合闸发生拒动时，要及时上报调度和设备主管部门，找出原因并请求尽快处理。

## 3. 继电器的故障

继电器常见的故障有：接点压力不够，接触不良，继电器线圈冒烟、烧毁等。对继电器的故障，值班员一般不能擅自处理。在做好安全措施的基础上，由专门继电保护检修工进行修理或更换。

## (二) 控制回路的异常

控制回路异常主要有控制、信号回路熔断器熔断；端子排连接松动两种。控制回路熔断器熔断后，警铃响，“控制回路熔断器熔断”光字牌亮；信号熔断器熔断后；中央信号屏屏顶信号灯熄灭。此时，值班人员应尽快更换好熔断器。更换时，应注意使用同样的规格。若发现二次端子排松动，值班员应及时加以紧固。

## (三) 中央信号的异常及处理

中央信号装置是全所共用的一套设备，当设备或系统发生事故和异常时，相应的信号装置将会发出各种灯光及音响信号，以使运行值班人员能迅速准确地判断处理。

中央信号装置按用途可分为事故信号、预告信号和位置信号三类。事故信号包括音响信号和灯光信号。如，当断路器事故跳闸后，蜂鸣器发音响，通知值班人员有事故发生，同时，跳闸的断路器位置指示灯闪光、光字牌亮，显示出故障的范围和性质。预告信号包括警铃和光字牌。如当发生设备有缺陷危及安全运行的情况时警铃动作，同时光字牌显示设备异常的种类。位置信号是监视断路器的断合状态及操作把手的位置是否对应。中央信号的异常主要有以下几种：

(1) 事故信号异常。最常见的是断路器自动跳闸后，喇叭不发音响。其原因是喇叭损坏（可用事故信号试验按钮测试其好坏）。直流母线电压太低。信号脉冲继电器或事故音响回路发生故障等。

(2) 预告信号异常。当变电所设备发生异常情况时，预告信号警铃不响或光字牌不发光。可能的原因有：警铃故障，预告信号回路不通或信号脉冲继电器故障等。

对中央信号发生的异常，要尽快处理。因为中央信号是监视变电所电气设备在运行中是否发生了事故和异常的自动报警装置。对安全运行，及时处理事故起到了积极的作用。

#### (四) 信号回路熔断器的监视

事故信号和预告信号分别取自不同的电源如图 6-16 和图 6-17 所示，在中央信号控制屏背面有六只熔断器。1FU、2FU 为事故音响信号熔断器；3FU、4FU 为预告信号熔断器；5FU、6FU 为熔断器监视熔断器。屏正面顶部有盏白灯。

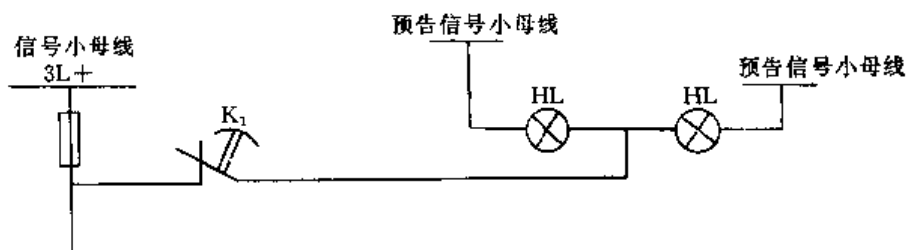


图 6-16 事故信号装置熔断器熔断信号回路

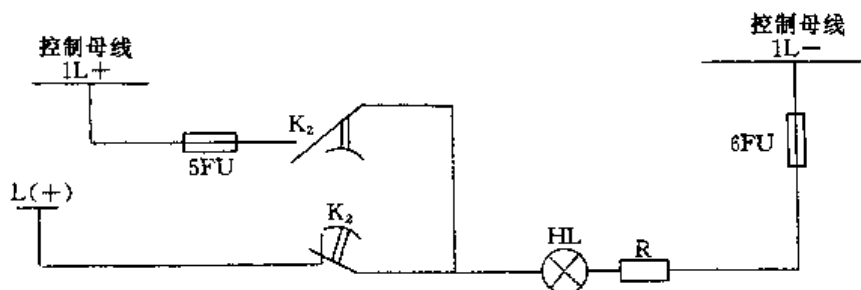


图 6-17 预告信号装置熔断器监视灯

当 1FU、或 2FU 熔断时，接在该回路的熔断器监视继电器  $K_1$  失磁，其常闭接点接通警铃和光字牌报警。当 3FU 或 4FU 熔断，接在该回路的熔断器监视继电器  $K_2$  失磁，其常开接点打开，常闭接点闭合，将中央信号控制屏白灯 HL 由发常光切换至闪光电源回路。当 5FU 或 6FU 熔断时，白灯 HL 无电源不发光。

#### (五) 常用仪表的异常及处理

##### 1. 常用指示仪表的异常及处理方法

指示仪表是运行人员的“眼睛”，如果指示有错误，将会造成运行人员的错误判断。仪表出现无指示的原因一般为：

- (1) 回路断线，接头松动。
- (2) 指示电压的仪表熔断器熔断。
- (3) 仪表指针卡死或损坏。

若出现以上现象，运行人员应尽快判明问题所在，能自行处理的要及时处理，并于事后报告有关专业管理人员，不能自行处理的应及时上报，等候处理。

## 2. 计量表计的异常及处理方法

35kV 变电所的电能表在长期运行中可能出现计数器卡字不走，表内有脏物卡住，电表空转，由于检修质量不良造成字车和铝盘衔接太紧，各部螺丝松动造成不走，止逆装置失灵，轴承磨损造成表慢等异常现象，此外，因电能表回路故障（例如 TV 熔断器熔断，TA 开路，接线错误等）也使电能表出现异常。属于电能表本身问题应立即通知专业人员修理，属于回路问题，运行人员应判明原因，能及时自行处理的，处理后报告主管部门。不能自行处理的应报告主管部门听候处理。

无论是指示仪表，还是计量表计，在过负荷，绝缘降低，电压过高，电阻变质，电流线接头松动造成虚接开路等原因都可能发生冒烟现象。当发现后，应迅速将表计电流回路短接，电压回路开路。在操作中应注意，勿使电压线圈短路和电流线圈开路，避免出现保护误动及误碰等人为事故。完成上述工作后立即汇报主管部门等候处理。

## 复 习 思 考 题

1. 运行人员对电气设备进行巡查有何重要意义？巡视检查如遇雷雨时或高压设备发生接地时分别有何安全规定？
2. 变电所运行巡视分哪几种？哪些情况下需要对电气设备进行特殊巡视？
3. 试述对电力变压器的一般巡视检查项目及其内容。运行中变压器的常见异常状态有哪些？
4. 对电流互感器和电压互感器的巡视检查分别有哪些项目？
5. 油断路器的正常巡视项目和特殊巡视项目各包含哪些内容？
6. 对运行中的隔离开关进行重点巡视的项目有哪些？
7. 什么是设备的正常运行状态？什么是设备的异常运行状态？
8. 对电力变压器的过负荷有哪些规定？当变压器发生何种现象时，应该立即停运并进行处理？
9. 互感器在运行中经常出现的异常现象有哪几种？电压互感器运行中其二次回路断线或熔断器熔断时会出现哪些现象？如何处理？
10. 运行中的电流互感器若二次侧开路时会出现哪些现象？此时应如何处理？
11. 变压器的瓦斯保护、差动保护及后备保护动作后应如何处理？当变压器油温过高、漏油或着火时应怎样处理？
12. 小电流接地系统发生单相接地时有哪些现象？应如何处理？处理时要注意些什么？

## 第七章 变电所管理与安全

### 第一节 变电所的管理

#### 一、变电所的管理标准和规章制度

##### (一) 变电所的地位、作用和值班方式

##### 1. 变电所的地位和作用

(1) 变电所的地位。无论是110、66、35 kV还是6~10 kV变(配)电所,它们都担负着变换电压和分配电能的重要任务,是电力系统中不可缺少的环节之一。它供电面积广,城市的厂矿企业、市政建设、机关学校,以及农村的生产、生活用电基本上均由其直接供给。

(2) 变电所的作用。变电所利用输电线路从电网中接受电能,经过主变压器把较高等级的电压变为用户所需要的较低等级的电压,并通过所内母线将电能分配和输送给用户;有的变电所还有汇集和分配小火电、热电、小水电生产的电能的作用,为了提高供电质量和电压水平,大部分变电所内还装设了无功补偿电容器。

##### 2. 变电所的值班方式

目前较为普遍采用的有两类:即有运行人员值班和无运行人员值班。有人值班可分为1~2人值班与多人值班;无人值班从真切含义上讲应该是采用自动化手段后的无人值班,这在少数大中型企业变电所已有实施。但实际系统中,也有少数单位(尤其是中、小型企业)的10 kV变配电所是“无人值班”(没有设置专门值班人员),有的只是安排低压维修电工兼管,有的甚至根本无人管理,这种状况实在是一大隐患,亟待改进。

##### (二) 变电所的管理标准与内容

搞好变电所的管理,源于当地供电企业及所属用电单位的素质高低,事关地区电网及相关用电单位的正常生产与安全运行。而抓好标准化工作是变电所实施现代化管理的基础工作之一。所谓标准,就是要求对某项工作应该达到的统一尺度和必须遵循的共同规定。如规定运行人员在所值班中必须对设备进行一次全面巡视,这就是标准,任何人都必须严格执行;所谓标准化,则是指制定标准、贯彻标准以及修订标准的全过程。

变电所的管理标准,就是对变电所的安全生产、技术管理、运行管理、文明生产等各项工作,制订一个统一的工作程序、工作制度、工作内容和工作要求,以便全体运行人员共同遵照执行。管理标准的主要内容有以下几个方面:

(1) 安全管理。变电所安全教育,安全责任制、安全技术、安全活动制度;变电所防火管理制度、变电所安全保卫制度。

(2) 设备管理。设备缺陷管理、设备验收规范、设备定期试验和切换、设备评级管理及设备专责分工管理标准等。

(3) 技术管理。变电所必须具备的规程、制度、图纸、台帐、记录、揭示图表及技术

培训制度和资料管理制度。

(4) 运行管理。交接班、巡回检查、操作监护、运行分析及人员管理、记录格式填写等具体规定。人员管理中包括所长工作标准、值班长工作标准和值班员工作标准。

(5) 变电所管理标准化流程。包括《设备缺陷管理流程图》、《变电所运行工作标准化流程图》、《变电所倒闸操作流程》、《变电所工作票许可和终结流程图》及《变电所值班流程图》。

### (三) 变电所的各项规章制度

建立相应的各项规章制度并严格贯彻执行是实现变电所安全经济、稳定运行的根本保障。变电所应具备与建立的各项规章制度主要有：

- (1) 电气安全工作规程（包括安全用具管理）。
- (2) 电气运行操作规程（包括停、限电操作程序）。
- (3) 值班人员岗位责任制度。
- (4) 运行人员交接班制度。
- (5) 电气设备巡视检查制度。
- (6) 电气设备维护检修制度。
- (7) 电气事故处理规程。
- (8) 电气设备缺陷管理制度。
- (9) 调荷节电管理制度。
- (10) 安全保卫及消防制度。

## 二、变电所各级人员的职责与岗位规范

变电所一般设所长一人，正值班员和副值班员若干人。具体定员要按变电所的规模即电压等级、主变压器容量以及断路器台数等进行设置。

### (一) 变电所各级人员的基本素质与基本职责

变电所的管理工作要靠人来做，而变电所各级人员则是执行这项工作的主体，也是做好变电所管理、特别是运行管理工作的主人。故应具备如下方面基本素质：

(1) 人员素质要求。即思想品质、职业道德、劳动纪律、专业技术和不同岗位技能水平、组织管理水平，以及身体健康状况等。

(2) 岗位职责要求。指各种不同在岗人员应该完成的工作任务及其要求，并且要明确规定与上级主管及业务部门的隶属关系。

(3) 应知应会要求。指各级人员所在岗位应该知道的内容和应能胜任的实际操作与工作。

(4) 权力界限要求。即变电值班人员在岗期间可以行使的权力。

变电所各级人员的基本职责主要是：

- (1) 正确履行岗位责任制，脚踏实地干好本职工作。
- (2) 严格执行电业安全工作规程、变电所现场运行规程和有关供电企业的技术标准。
- (3) 严格执行变电运行管理制度，逐步学会和熟悉运行管理工作。
- (4) 对本所的一、二次设备原理、结构、性能和运行情况应熟练掌握。
- (5) 对变电所安全管理、技术管理、文明生产管理等工作，要善于组织和实施。

(3) 掌握并熟知本所主要设备的健康状况和评级标准。

(4) 熟悉本所电气设备检修工艺标准和试验周期及其标准，以及新设备投入运行的技术要求。

(5) 熟悉并掌握现场运行规程、电力工业技术管理法规、电业安全工作规程、调度规程及事故处理规程等。

(6) 掌握并熟悉本所设备正常运行情况和运行方式。

(7) 熟悉本所各岗位人员的工作状况，具有一定的组织指挥能力，能正确组织、熟练指挥倒闸操作、设备试验、事故处理等工作，并能解决设备运行中出现的生产技术问题。

### 2. 值班长（或正值）应知应会标准

(1) 熟悉本所所有的各种规程，并熟知本所运行规程有关规定的理论依据。

(2) 熟知本所电气设备及系统的结构特点和各种正常的运行方式，熟知全所电气设备的操作、保护、信号、自动装置二次回路及保护整定原则和使用方法。

(3) 了解本所电气设备异常运行时给设备和系统带来的影响，并能采取措施处理。

(4) 根据表计、信号、气味、温度和声响等现象，正确判断并设法处理异常故障点（包括二次回路故障）。

(5) 了解开关设备及配电装置的主要性能参数及绝缘水平。

(6) 了解本所原设计规范，基建时的隐蔽工程及其电气设备参数、性能、原理和健康水平。

(7) 熟悉本班各岗位人员情况，具有一定的组织和管理工作能力。

### 3. 副值班员应知应会标准

(1) 熟知现场运行规程、电力工业技术管理法规、电业安全工作规程的有关部分。

(2) 看懂全所一次设备有关的操作回路图，以及一般继电保护原理图和展开图。

(3) 熟知全所所属一、二次系统中电气设备的位置和用途，各种设备的正常运行方式及维护检查方法。

(4) 能正确布置一般性的安全措施，能在巡回检查中发现异常情况，处理简单缺陷，并能在指导下正确处理一般事故。

(5) 在指导和监护下，能正确进行倒闸操作。

(6) 会使用一般电气仪表、安全工具、防火工具，并了解常用备品、材料的用途。

### (二) 变电所各级人员的权限范围

#### 1. 所长的权限

1) 指挥本所的生产管理和各项工作。

2) 对本所人员的工作有决定和分配权。

3) 对不服从分配工作的人员及违章作业、违章操作和违反劳动纪律的行为有制止和批评的权利，必要时经上级同意可提出处理意见。

4) 有奖金二次分配权，对本所人员的奖惩、晋级和培训有建议权。

5) 对有关人员的违章指挥有拒绝执行的权利，并可越级向上反映。

#### 2. 值班长（正值）的权限

1) 奖惩本值值班人员的建议权。

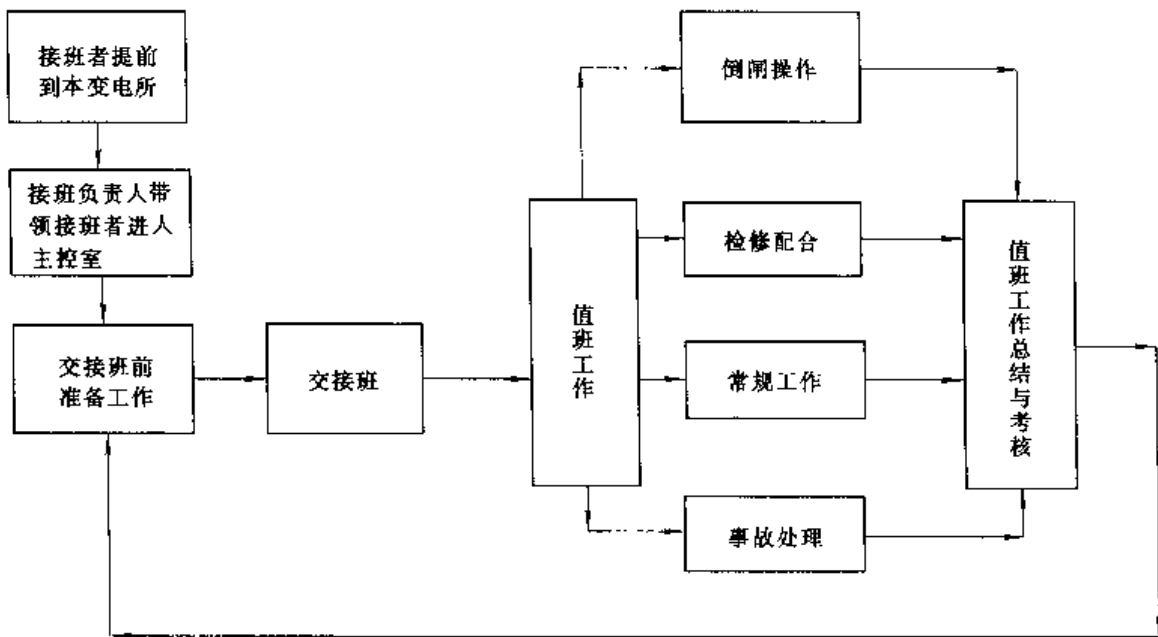


图 7-1 变电所运行工作标准化流程图

流程图主要内容介绍：

(1) 常规工作。主要是接班后值班长主动向值班调度员汇报设备运行方式、天气情况，主要检修工作，和校对时钟。班中的日常工作有：设备巡视、设备维护、抄表记录、汇报负荷、计算电量和清洁卫生。

(2) 检修配合。收到工作票后，值班长（正值）应根据现场运行方式仔细审查工作票所列内容是否正确，是否符合现场实际，由操作人填好有安全措施的操作票，经监护人（值班长或正值）审核并签名后，正副值到现场布置安全措施，然后由工作许可人会同工作负责人到现场检查后许可开始工作（双方共同在工作票上签字后许可工作）。检修期间，未经工作许可人和工作票签发人同意，工作班任何成员都必须执行开始布置的安全措施。工作结束，应由所长（值班长、正值）组织好竣工验收工作，并且督促检修班组负责人作好相应记录后，方可办理工作终结手续。

(3) 工作考核。一个班的八小时工作结束之前，值班长（正值）要组织当班人员做好工作小结。

## 2. 变电所交接班制度

(1) 交接班管理制度的严肃性。严肃认真地做好交接班工作是变电所安全生产的重要保证。也是保证工作连续性的一项重要措施。任何时候、任何情况下都不得有丝毫马虎和草率。为此，在执行交接班制度时应注意以下几点：

1) 变电值班人员应按排定的轮值表进行上、下班进行交接，交接班内容应按交接班制度进行。未办理完毕交接班手续，任何人不得擅自离岗。

2) 进行重大操作或事故处理时不得进行交接班。接班人可以协助交班人进行操作和事故处理，但必须服从交班值班长的指挥和安排。直至情况允许时，在经双方值班长同意后，方可进行交接班。当交接双方签字后在交班人员还未离开时发生事故，应由接班者负责组织处理。

3) 为了保证交接班的质量,做到交清接明,防止扯皮和混乱及仓促交接而导致异常,正常情况下交班人在交班前 15 min 左右,不进行一、二次设备的倒闸操作和办理第一种工作票许可和终结手续。

(2) 交接班的基本程序和责任划分:

1) 准备交接。交班者应在交班前半小时左右做好准备工作,主要做好本班工作总结、设备巡视情况登录、各种记录检查整理,执行或未执行的操作票、工作票及调度任务票整理归类存放,工作台面物品整理摆放整齐,主控室和继保室及开关室卫生清扫,工器具及各种钥匙整理等工作。接班人员要在规定的时间提前进所。

2) 交待情况。交班负责人应向接班人员口头交待现场运行方式、倒闸操作情况、发生异常和事故及处理情况、本班发现的设备缺陷和消除情况、设备修试情况、保护工作及定值更改情况,执行的两票及记录情况、上级指示和通知、下一班将要进行的操作和注意事项、钥匙和小工具及备品配件等。接班人员在认真听取交班人员的汇报以后应认真查阅各种记录、资料和两票等。

3) 巡视检查。接班值班长应分配巡视人员在认真核对一次系统模拟图后,对所内的一、二次设备进行一次全面巡回检查,并按照定期切换试验制规定的项目,进行交接班切换试验,一次设备巡视人员应重点检查新发现的缺陷情况和检修现场所布置的安全措施。接班值班长应重点对照运行日志,了解设备的运行情况、修试变更情况、继保及自动装置动作情况及各种记录资料情况等。并且认真听取本班巡视人员的汇报。

4) 履行手续。接班人员在进行详细全面地检查并认为确无问题后,交接双方在交接班记录簿上签名,并且交接值班佩带标志,交接班工作方告结束。

5) 交接责任划分。若因交班者记录不清或不全,导致接班后发生异常,交班者负主要责任,接班者负次要责任。若因接班者检查马虎不细导致发生问题,则完全由接班者负责。如果在交接班期间发现或发生问题,则由交接人员负责处理和记录,并向所长汇报,经分析论证后处理。

变电所交接班流程,如图 7-2 所示。

### 3. 变电所值班制度

(1) 值班要求与值班制度内容。值班人员必须熟悉现场规程和电气设备,并经当地电业部门培训考核合格、取得《电工进网作业许可证》。单独值班人员或值班负责人还应具有一定实际工作经验,单人值班时不得单独从事修理工作。变电所内的高压设备符合下列条件者,方可由单人值班:

1) 室内高压设备的隔离室装设了遮栏,遮栏的高度在 1.7 m 以上且安装牢固并加锁者。

2) 室内高压断路器(开关)的操作机构用墙或金属板与该断路器(开关)隔离,或装有远方操作机构者。

不论高压设备带电与否,值班人员不得单独移开或越过遮栏进行工作。若必须移开遮栏时,应有监护人在场,并符合以下安全距离规定:

10 kV 及以下为 0.7 m; 20~35 kV 为 1.0 m; 60~110 kV 为 1.5 m; 220 kV 为 3.0 m。

变电所值班制度的主要内容如下:



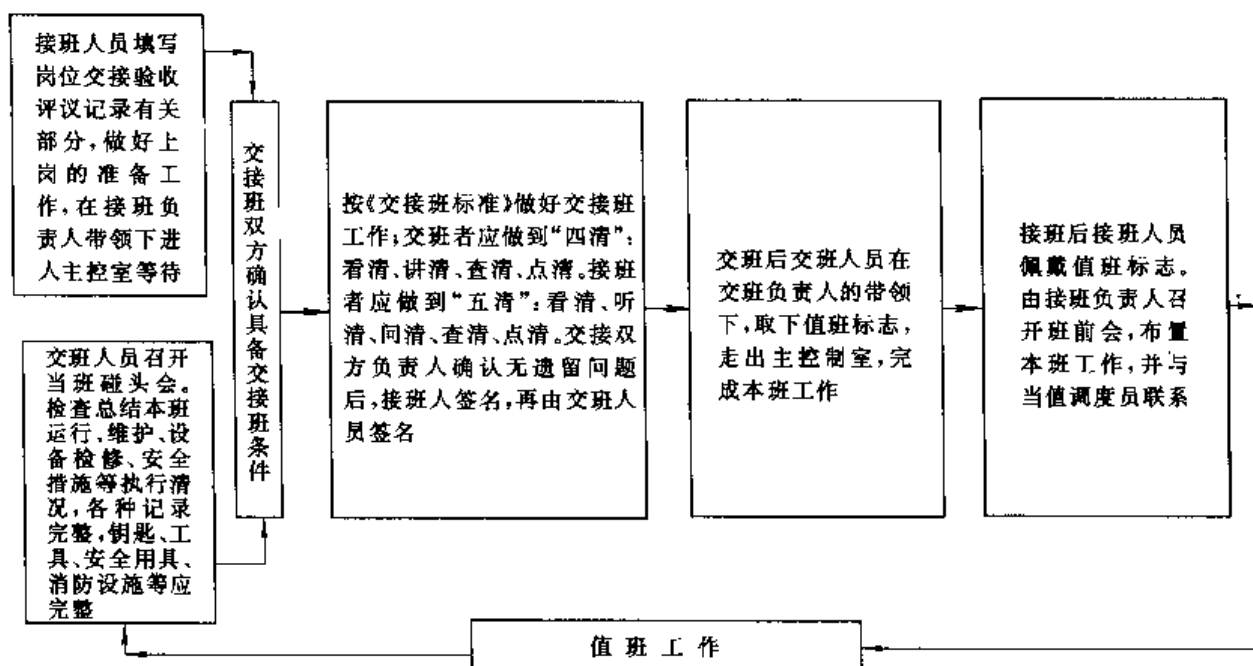


图 7-2 变电所交接班流程图

1) 变配电所值班人员必须不断地认真学习，结合实际，熟悉现场所有电气设备各项规程与规章制度。

2) 坚守岗位，严守纪律，服从调度，执行命令。值班时不闲谈、不喝酒、不做任何与值班无关的事情。

3) 果断正确地处理出现的异常情况、故障或事故，及时记录并向上级汇报与请示。

4) 35 kV 及以上的工厂变电所一般应有两人或以上值班，负责人值班或单独的值班人员应具备相当的实际工作能力和应变能力。

5) 值班时认真监视各种仪表，按时进行巡回检查设备运行情况，切勿疏忽或稍有懈怠。

6) 记录当值时间内设备的运行状态，包括设备操作，设备异常及故障情况、检修工作等，填好运行日志。

7) 记录与处理好当值内上级下达的任务，并及时向有关方面汇报联系。

8) 根据生产及季节特点，在高峰负荷及雷雨或冰雪天气，应特别加强监视与巡视。

9) 据现场实际情况和以往经验教训，积极做好事故预想，认真做好反事故措施。

10) 严格变配电所出入制度，及时登记进出人员姓名、职务、事由与时间。

11) 管理好各种安全用具及仪表工具，并完成规定的定期测试或维护保养等工作。

12) 搞好值班维护地段的设备清洁与环境卫生工作。

(2) 变配电运行日志内容及其作用。变配电所值班人员在工作中应熟悉并如实而及时地正确填写“运行日志”中相关的各项内容。它主要包括：

1) 一、二次系统的电压、电流、功率、有功与无功电量的小时记录、功率因数和负荷率等的记录。

2) 各路出线的定时负荷记录。

3) 主设备的温度监视记录，冷却系统运行及充油设备的油位指示记录。

- 4) 异常现象有事故处理（包括故障处理及停、送电时间）记录。
- 5) 接令与发令等操作任务记录。

及时并认真填写好运行日志十分重要。通过对运行日志的细致分析，可掌握如下情况：

- 1) 根据负荷记录资料了解设备的利用率，指导变配电设备的负荷调整，提出并调整（经批准后）变压器的运行方式，以提高负荷率和设备利用率，努力实现经济运行。
- 2) 根据运行日志提出并确定电气设备的检修内容，适时安排检修及试验工作，以达到预期的安全经济效果。
- 3) 对于工厂变配电所，可以藉此提出调整工厂生产工艺流程的建议并付诸实施，以合理开停设备，做到既增产又节电。
- 4) 根据有功、无功功率的比例（ $\cos\varphi$ 值）提出并确定补偿设备的容量和具体补偿部位，从而既可提高电压质量又减少电能损耗。
- 5) 根据负荷记录可汇总制定发展规划，使之更加切合实际，并对现有运行状态中的不合理与不完备处进行合理的技术改造。

#### 4. 设备巡视检查制度

1) 变配电所值班人员对设备应经常进行巡视检查。巡视检查分为定期巡视、特殊巡视和夜间巡视三种，其含义是：①定期巡视，值班员每天按现场运行规程的规定时间和项目，对运行的和备用的设备及周围环境进行定期检查。②特殊巡视，对特殊情况下增加的巡视。如在设备过负荷或负荷有显著变化时，新装、检修或停运后的设备投入运行，运行中出现可疑现象及特殊天气时的巡视。③夜间巡视，其目的在于发现接点过热和绝缘污秽放电情况，一般在高峰负荷期和阴雨无月的夜间进行。

2) 巡视检查要精力集中，注意安全。巡视高压设备时，不得移开或越过遮栏，也不准进行其他工作。

3) 巡视中若发现设备有异常情况，不论电气设备带电与否，未得主管领导批准，值班人员不得擅自接近导体进行修理或维护工作。

4) 高压室的钥匙至少应有3把，由值班人员负责保管并按值移交；一把专供值班员使用，一把专供紧急时使用；剩余的可以借给许可单独巡视高压设备的人员和工作负责人使用，但必须登记签名，当日交回。

5) 巡视配电装置进入高压室时，应该随手将门关上并锁好。

6) 高压设备发生接地时，在室内不得接近故障点4 m以内；在室外不得接近故障点8 m以内。进入上述范围的人员必须穿绝缘鞋；接触设备外壳或构架时应戴绝缘手套。

7) 雷雨天气需巡视室外高压设备时，应穿绝缘鞋，同时不准靠近避雷针和避雷器。

8) 巡视中发现的缺陷要记入记录簿内，重大设备缺陷应立即向主管领导汇报。

#### 5. 设备日常维护制度

变配电所值班人员要严格坚持并认真做好变配电设备的日常维护工作。它包括以下各项：

- 1) 各载流接头（包括刀闸）应在高峰负荷时用蜡触试或用红外线测温仪测试接点温度。
- 2) 监视注油设备的油面，及时进行补油、放油及室外注油设备的检查。

缘垫或绝缘台上。

10) 电气设备停电后,即使是事故停电,在未拉开有关刀闸和做好安全措施以前,不得触及设备或进入遮栏,以防突然来电。

11) 开关的遮断容量如不能满足电网要求,则必须将操作机构用墙或金属板与该开关隔开,并设远方控制,重合闸装置必须停用。

12) 在发生人身触电事故时,为了解救触电者,可以未经许可,自行断开有关设备的电源,但事后必须立即报告上级。

13) 下列各项工作可以不用操作票:①事故处理;②拉合开关的单一操作;③拉开接地刀闸或拆除全变配电所仅有的一组接地线。但上述操作均应记入操作记录簿内。

14) 操作票应先编号,按照编号顺序使用。作废的操作票应注明“作废”字样,已操作的要注明(或盖章)“已执行”字样。上述操作票要保存3个月。

#### 7. 运行分析制度

(1) 运行分析意义和一般要求。运行分析是变电所运行管理工作的重要组成部分。通过经常性地细致地运行分析可以全面了解和掌握设备运行情况和规律,以找出设备和工作中的薄弱环节,有针对性地制定预防措施,为变电所的安全经济运行打下坚实的物质基础。

运行分析会由所长召集,每月不少于一次,并做好记录。记录内容包括分析会日期、参加人员、分析内容、分析意见和采取对策,并将有关问题及时上报。

通过运行分析,对所内设备应做到心中有数,便于对设备进行评级,不断提高设备的完好率。同时,也是提高运行人员技术水平的好方法。

(2) 运行分析种类和主要内容如下:

1) 综合分析:①分析两票三制执行情况及存在问题;②分析各种规章制度执行情况,各种记录检查情况及安全生产中出现的问题;③分析事故及异常运行处理情况,有哪些经验教训;④设备的异常现象,如放电、发热、异音、油位变化、仪表指示异常、熔丝熔断、断路器和继电保护误动作等;⑤设备绝缘降低、绝缘油变化、色谱分析,以及检修和试验中发现的问题;⑥根据负荷日报表分析本所潮流分布情况、设备过负荷情况和经济运行情况;⑦根据季节性频发事故分析事故预想中提出的各种预防措施是否完善,制订执行和实施的意见;⑧根据事故通报或兄弟单位发生的不安全情况,结合本所实际吸取教训,并制订相应的对策和防范措施;⑨对各种仪表的变化情况,应结合继保及自动装置动作情况,进行综合分析判断;⑩对电能平衡、电压质量、生产培训、运行情况、文明生产等亦应定期进行分析。

2) 专题分析:针对综合分析中所述问题列出专题,专门组织运行分析会进行更深层次的分析。专题分析会根据实际情况和需要应经常不定期地进行。

#### 五、变电所的设备管理

变电所运行人员是设备的主人,加强变电所的设备管理,是提高设备健康水平,保证电网安全运行的重要物质基础。设备管理的主要任务是保证变电所的设备经常处于技术完善、质量良好的状态下工作。

对设备缺陷的管理,要求能全面掌握设备的状态,以便及时发现设备缺陷,并尽快补

缺。保证设备经常处于良好的技术状态，是确保供电系统安全运行的重要环节，也是妥善安排设备检修、校验和试验工作的重要依据。

从变电所运行管理方面来讲，设备管理的基本内容如下：

- (1) 设备分工负责制。
- (2) 设备验收管理制。
- (3) 设备缺陷管理制。
- (4) 设备定期评级制。
- (5) 设备档案管理制。
- (6) 设备日常运行维护制。

#### 1. 设备分工负责制

设备分工负责制就是将变电所的全部设备按台分区，明确主管、落实责任，使变电所的每台设备有人管，运行人员人人管设备。

(1) 设备分工负责制的基本内容：

- 1) 合理划分管理范围，明确管理分界点；
- 2) 制定分工管理的要求和职责；
- 3) 经常检查分工管理情况；
- 4) 设备分工负责的人员名单，管理范围等应以图表形式公布上墙；
- 5) 分工时应充分考虑每一成员的特长和业务技术水平；

(2) 设备负责人的职责：

- 1) 熟悉设备的结构性能、技术规范及有关操作规程；
- 2) 掌握设备的运行情况、技术状况和缺陷情况，定期做好设备的评级工作；
- 3) 做好设备运行中的维护保养和清洁卫生工作，督促设备缺陷的消除和技术改造及反事故措施的落实；
- 4) 把好分管设备的检修验收关，有条件的情况下应经常参加分管设备修试工作；
- 5) 对分管设备发生的异常或事故，要认真负责地参加调查、分析原因，吸取教训，制定相应的防范措施。

#### 2. 设备验收管理制

设备验收管理是运行管理的重要环节，是保证变电设备健康运行和文明生产的有力措施，因此工区、所运行管理人员必须认真负责地把好这一关口。做到修后设备不验收不投运，检修中发现设备缺陷不消除不签字。检修后检修人员和运行人员不分别在检修记录上作好结论性记录不投运。设备验收主要分为新建、扩建工程验收和修试后验收两种。

(1) 新建、扩建工程的验收。新建、扩建工程的验收必须以部颁有关规程规定和制造厂家提供的安装使用说明书为依据，验收的全过程应坚持标准、质量第一，对运行单位负责到底。

1) 验收前必须具备的条件：①施工人员全部撤离现场，室内外场地清洁，设备外观整洁美观；②必须向运行单位提供符合现场实际的竣工图纸和设备安装使用说明书；③施工单位必须向运行单位提供工程建设中征地和交叉跨越等文件和合同等；④施工单位必须向运行单位提供设备出厂试验报告，安装调试记录和施工记录及地下隐蔽工程图纸；⑤变电

所固定资产清册。

2) 验收的具体程序：①成立启动验收委员会：变电所所长和运行人员应分别参加设备的验收和启动时的操作工作；②现场验收：由施工单位和运行单位共同派人参加变电所现场验收，验收中应坚持外观检查，资料查核，实际操作三结合的原则；③缺陷消除：对于验收过程中发现的缺陷或问题，应由施工单位负责并且按启动验收委员会规定的期限彻底消除；④启动交接：验收并消除缺陷后的设备，可以启动投入运行，经 24 h 试运行，并及时消除试运行过程中发现的缺陷后，方可办理正式移交手续，交给生产运行单位。

(2) 设备修试后的验收：

1) 变电一次部分：重点核对各种数据应符合有关规定，机构操作无卡死现象，设备瓷件、绝缘完整无损，充油设备油色、油位正常，无渗漏油现象，本体清洁无遗留物，引线接头紧固无松动。

2) 继电保护及二次部分：重点核对保护定值、压板位置、保护联动试验的正确性。拆动过的二次线是否恢复，信号及光字牌指示正确，各保护箱内外的指示灯，电源监视灯应亮，继电器外壳清洁且无异声。

3) 电试工作：重点核对试验数据应符合部颁规程及其他有关标准，检查外壳应清洁，完整无损，试验中拆动过的接头引线是否恢复，试验结果作出分析结论，评价能否投运应向运行人员交待清楚，并由工作负责人写在设备检修记录中。

4) 缺陷的处理：修试中发现的缺陷，能处理的应尽量处理，个别不能处理，而又必须投入运行的（以不影响安全运行为原则），需经局总工程师或主任工程师批准。

3. 设备缺陷管理制

(1) 设备缺陷的定义：

- 1) 设备本身零件损坏或技术性能不良，导致对安全运行构成威胁等；
- 2) 由于外来原因形成威胁电气设备安全运行的异常现象。

(2) 设备缺陷的分类：设备缺陷根据其威胁安全程度分为一、二、三类：

一类缺陷：对安全运行有严重威胁，短期内随时可能导致事故的发生，这类缺陷为紧急缺陷，性质严重，必须立即进行处理。

二类缺陷：对安全运行有一定威胁，虽短期内不可能发生事故，但长期不处理即会逐渐增加对安全的威胁性，缩短设备使用寿命，甚至发展为事故，这类缺陷为重要缺陷，应安排计划在短期内消除。

三类缺陷：对安全运行威胁较小且发展较慢，这类缺陷属一般缺陷，可列入季或年度计划进行检修、予以消除。

(3) 设备缺陷的管理：

1) 基本要求：建立设备缺陷管理制度和缺陷管理流程，做到发现及时、汇报及时、处理及时。

2) 缺陷处理流程：①运行人员发现缺陷后，应对缺陷进行鉴定，分析缺陷的真实性和原因，进行分类后填入“设备缺陷记录簿”内，并按分类进行汇报；②设备缺陷在未消除之前，运行人员或设备专责人应加强对设备的巡视，并注意其发展和变化，以防发生事故；③设备缺陷消除后，应在设备缺陷记录簿内写明消除日期、消除人姓名、消除情况等，未

能一次消除的缺陷应重新填入设备缺陷记录簿内，并注明原因；④每季各变电所应对设备缺陷进行一次清理，列出清单一式三份，报主管部门和生技部门各一份。

3) 设备缺陷管理流程如图 7-3 所示。

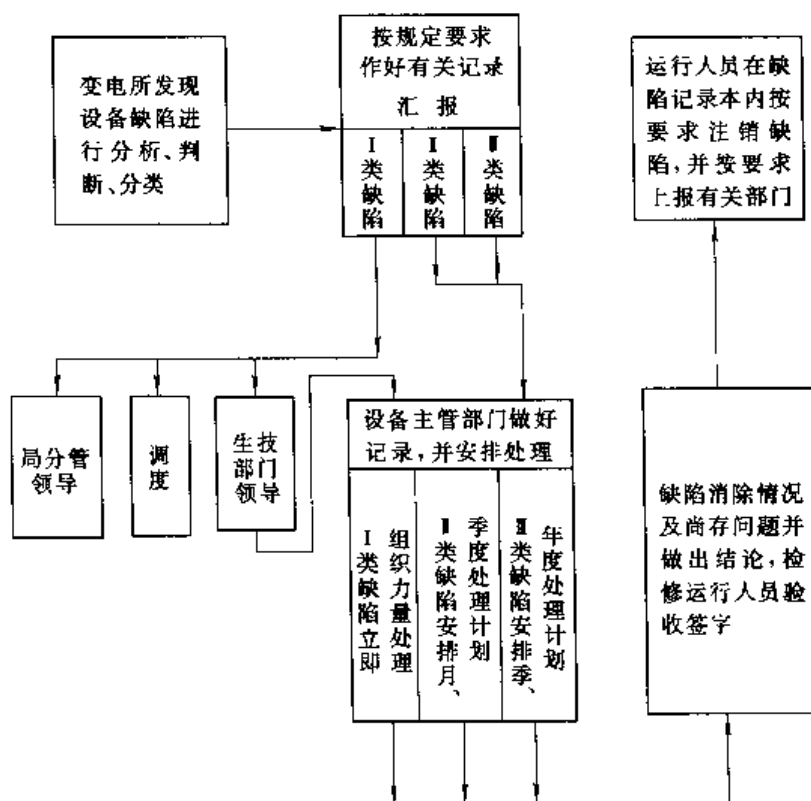


图 7-3 设备缺陷管理流程图

#### 4. 设备定期评级制

(1) 设备评级的意义：设备评级是供电设备技术管理的一项基础工作，设备评级可全面掌握设备技术状况，又可以加强对设备的维修和改进，使变电设备经常处于完好状态。

(2) 设备评级的周期：设备评级的时间一般定为本季末和下季初，先由变电所设备主人组织初评，然后报主管部门，设备主管部门组织技术管理人员和有关检修班组结合设备检修状况和运行状况进行综合评定。

(3) 设备评级的原则和划分：

1) 设备评级的原则：设备评级主要是根据运行中和检修中发现的缺陷，并结合预防性试验结果，进行综合判断和分析，比较对安全运行的影响程度，并考虑绝缘定级和继电保护、二次设备定级以及其技术管理情况来核定该设备的等级。

2) 设备评级的划分（可参见附录三）：

一类设备：技术状况全面良好，外观整洁，技术资料齐全正确。能保证安全经济运行，一类设备的绝缘定级和继电保护及二次设备定级应均为一类。

二类设备：个别次要元件或次要试验结果不合格，但暂时不影响安全运行或影响较小，外观尚可，主要技术资料齐备，且基本符合实际者；或检修和预防性试验超周期但不超过半年者。二类设备的绝缘定级和继电保护及二次设备定级应为一类或二类。

三类设备：有重大缺陷，不能保证安全运行，三漏严重，外观很不整洁，主要技术资料残缺不全，或检修预防性试验超过一个周期加半年仍未修、未试的，上级规定的重大反事故措施未完成者。

一、二类设备均称为完好设备，完好设备台数与参加评级设备总台数的比值的百分数称为设备完好率。

(4) 评级的单元划分：

1) 送配电线路：①架空线路以条（公里）为单元，支接线应包括在内，双回线应按二个单元计数，但双回路公用一个出线开关按一单元计数。评级内容应包括杆塔及基础、导地线、绝缘子，金具、拉线和接地装置。②电缆线路凡有单独出线开关的电缆线路和其附件为一单元。

2) 变电设备：①变压器以每一台为单元（含附属设备），三台单相变压器为三个单元，变压器一次侧无开关时应包括熔断器在内。②以开关为主要元件的回路应包括从母线侧刀闸下桩头起所连线的母线、刀闸、电流互感器、电压互感器、电抗器、电缆（指设备与设备之间联接电缆，若是线路应另立单元）、耦合电容器、线路避雷器及构架等为一个单元，三绕组变压器三侧有开关者，则其开关回路定为三个单元。③母线包括母线刀闸、电压互感器、母线避雷器及构架为一个单元。④电力电容器以组为一个单元，包括分组熔断器、电缆、放电电压互感器、中性点电流互感器等。⑤所用变压器以台为一个单元，包括刀闸熔断器、电缆等。⑥直流设备为一个单元，包括闸刀、示警装置。⑦消弧线圈以台为一个单元。⑧空气压缩系统为一个单元。⑨所内防雷接地系统为一个单元。⑩除基础与构架外的全站土建房屋、场地、电缆等为一个单元。⑪全站照明设备作为一个单元。⑫继保和二次设备除随相应的变电所一次设备为同一单元外，全所公用的继保、自动、控制、信号装置和盘作为一个单元。

#### 5. 设备档案管理制

(1) 设备档案管理的意义：建立完善的变电所设备档案，是运行人员掌握设备健康状况、及时发现设备内部隐患和存在问题的可靠措施，是变电所技术管理人员督促检修部门和班组定期进行设备修试的重要手段。变电所应设立兼职资料保管员。

(2) 设备档案管理的主要内容：设备台帐、揭示图表、各种记录、修试报告、各种图纸及设备使用说明书等。

(3) 设备档案管理的基本要求：

1) 设备台帐。记录设备型号、主要技术参数、制造厂家、出厂年月、投运日期等。

2) 揭示图表。指示设备单元、设备型号和重要参数、修试（核）日期、评级情况、缺陷情况等。

3) 各种记录。记录变电所一、二次设备修试结果、结论，记录变电所每天的工作情况和运行情况等（各种记录的使用标准和要求可参见附录二）。

4) 修试报告。变电所一、二次设备修试（校）结束后，检修班必须以书面报告的形式，将修试日期、修试情况、遗留问题和缺陷在规定的时间内上报工区技术管理人员审核，然后由技术管理人员及时送回变电所存档（一般规定在设备检修结束之后一个星期内应返馈到位）。

5) 各种图纸。变电所应具备六种图纸,即一次系统主结线图、一次设备电气安装图、二次设备展开图及安装接线图、防雷接地系统图、直流系统图和所用电系统图。六种图纸必须和现场相符。如果改动现场接线,检修班组和工区必须及时通知变电所更改相关图纸(一般应以书面形式通知)。

6) 各种技术资料。必须正确完整、字迹端正,符合实际,检修记录应做到规范化、标准化,设备检修结束办理工作票终结手续前,工作负责人应主动认真记录检修时间、检修设备、检修内容和检修结论,并且做到内容清晰、用语准确。

7) 有关基建工程资料交接的规定,可参见前面介绍的“设备验收管理制度”。

#### 6. 设备日常运行维护制

(1) 设备的正常运行。变电设备应严格按照铭牌规范和现场运规的规定运行,值班人员应做好经常性的监督和巡视检查及定期切换。如主变压器的运行,主要监视其上层油温不超过《变压器运行规程》的规定范围。

(2) 设备的正确操作。设备的停送电操作必须按《电业安全工作规程》规定和现场运规的规定进行,同时在操作中应注意各种电气设备的操作性能和正确的操作方法。

(3) 设备的定期切换。运行中的电气设备必须按《设备定期切换试验制》的规定进行切换检查,如每天交接班时的中央信号和直流系统的试验检查,每周一次的继电保护和自动装置(重合闸)的切换试验,每月一次的工作所变和备用所变的切换检查等,每项试验和切换均应认真进行,做好事故预想,作好运行记录。

1) 为保证设备的完好性和备用设备完好的处在备用状态,应定期对备用设备及直流电源、事故照明、消防设施、备用轮换装置等进行试验和轮换使用。

2) 各单位应针对自己的设备情况,制订定期试验轮换的项目、要求和周期,并明确执行和监护人,经领导批准后实施。

3) 对运行设备影响较大的轮换试验,应做好事故预测,制订完善对策,并及时将试验轮换结果记入专用的记录本中。

(4) 设备的维护保养。主要包括设备的防水防潮、防腐防锈、保暖降温、油垢积尘的清除、盘前盘后和端子排清扫、电缆孔洞的封堵等。运行人员应积极配合检修班组,根据文明生产的管理制度定期进行。

### 六、变电所的技术管理

#### (一) 技术管理的主要内容

(1) 建立和健全必要的管理制度和管理标准。

(2) 编制和修改变电所现场运行规程。

(3) 建立和健全设备的技术档案。

(4) 收集和管理变电设备的技术资料(检修报告、产品说明书等)。

(5) 做好运行人员的业务技术培训工作。

#### (二) 变电所应具备的技术资料

##### 1. 规程

(1) 《电业安全工作规程》(发电厂变电所部分)。

(2) 《××变电所现场运行规程》。



- (3) 《电气设备预防性试验规程》。
- (4) 《变压器运行规程》。
- (5) 《电力生产事故调查规程》。
- (6) 《高压断路器检修工艺》(或检修导则)。
- (7) 相关的《电力系统调度规程》。

2. 图纸 [见前述“设备档案管理”中第5)条]

3. 揭示图板(表)

- (1) 一次系统模拟图(包括安全记录揭示栏)。
- (2) 继电保护及自动装置定值配置图。
- (3) 变电所设备修试揭示图(包括评级和设备分工)。
- (4) 变电所设备巡视路线图。
- (5) 变电所消防器材布置图。
- (6) 事故紧急拉路顺序表。

(7) 有关人员名单表(主要有变电所值班轮值表、有权发布调度命令人员名单表、有权签发工作票人员名单表、有权单独巡视高压设备人员名单表、工作负责人名单表)。

4. 设备主要技术档案

- (1) 一、二次设备台帐。
- (2) 一、二次设备产品使用说明书。

(3) 修试(校)报告(主要有大、小修报告、充油设备油质分析报告、预防性试验报告、继电保护定期校验报告)。

- (4) 历年修试(校)记录。

5. 各种记录簿

参见附录二。

(三) 变电所技术资料的管理

见前“设备档案管理制度”。

(四) 变电所的技术培训

(1) 变电所的技术培训应有专人(或兼职)分工管理,同时应制订好月、季、年度培训计划。

(2) 变电所技术培训的方法:

1) 培训的总的指导原则是以现场培训及个人自学为主,以集体组织辅导讲授为辅。

2) 新人所的值班人员的培训分三个阶段:①业务学习阶段:学习规定、规程、制度;②现场见习阶段:根据现场运行规程和图纸,熟悉一次设备的运行规范、运行方式、现场接线特点和二次设备的接线情况;③跟班学习阶段:进一步熟悉系统接线和设备构造及性能,进一步掌握运行业务和操作技能,在有经验的老师傅的指导监护下,能进行一些简单的停送电操作。

上述三个阶段大约需要3~6个月时间,再经考试合格后方可担任变电所副值。

3) 技术培训的形式:①技术问答:每月至少一期,每月每人至少做一题,并应作好评价;②反事故演习:以所为单位,由所长、班长、技术员组织实施,每季至少一次;③事

故预想：以值为单位，每转班一次；④技术讲座：可结合所内的定期集体活动灵活安排，讲课的内容应以现场设备的原理性能、运行中注意事项和异常事故处理为主。新设备投运时，应请主管部门工程技术人员和有关班组技术骨干授课。

(3) 变电所各种类型的技术培训，均必须认真地作好记录并妥善保管。

## 七、变电所的安全管理

变电所是电网发、供、配的重要中间环节，它的安全运行与否对整个国民经济和工农业生产及人民生活用电关系重大，同时对供电部门本身的经济效益也将产生极其重要的影响。因此，变电所在任何时候，任何情况下，都要毫不动摇地坚持“安全第一、预防为主”的工作方针，始终把安全运行放在各项工作的首位。坚持不懈地抓好安全第一的思想教育，不断提高运行人员执行《电业安全工作规程》和各种安全生产规章制度的自觉性，增强职工安全生产的主人翁责任感。

### (一) 保障变电所安全运行的措施

1. 坚持不懈地采用多种形式，强化安全教育

(1) 组织好《电业安全工作规程》经常性的学习和讨论，认真做好运行人员每年度一次的《电业安全工作规程》考试工作，将考试成绩公布并记录在案。

(2) 做好安全与运行分析，一般情况下每月一次。组织好本系统的事故通报，安全生产信息和简报的学习，并且联系本所近阶段运行当中遇到的实际问题和季节性工作特点，深入细致地分析异常和事故发生的原因、发生事故的 harm 和教训，以及本所工作中要注意的地方和应采取的对策。

(3) 始终不渝地抓好变电所的安全活动，做到定期组织、内容充实、形式多样。一般情况下每周应进行一次，由所长和安全员主持召集，内容包括：倒闸操作情况、两票三制执行情况、设备修试情况、设备缺陷情况、设备运行情况及运行人员思想情况，对威胁安全生产的苗头或隐患，一定要抓住不放，深入剖析、举一反三、制订反措。使大家通过一次安全活动都能受到一次深刻的安全教育。

(4) 扎实抓好安全知识培训，不断提高运行人员的安全技术素质，这项工作可结合变电所安全与运行分析会和安全活动会适时开展，其主要内容有：

1) 学会和掌握触电急救法；

2) 学会和掌握消防器材的正确使用；

3) 学会和掌握安全防护用品的使用和保管；

4) 学会和掌握变电所常用的绝缘靴、绝缘手套、绝缘棒、验电笔、操作杆、安全帽等安全工器具的使用方法。

2. 制订安全生产责任制，进行安全的全方位管理

(1) 变电所所长安全生产职责：

1) 所长是变电所安全生产的第一责任者，应对本所全体人员及全所运行工作负全面安全责任，认真贯彻执行上级有关安全生产的方针、政策、指示；

2) 以身作则，带头学习和执行安全规程，现场运行规程，调度规程及本单位本部门各项管理制度，经常对本所人员进行安全思想教育，安排好每月的安全活动和运行分析会的内容，支持本所安全员的工作；

3) 对本所职责范围内的各项维修、检查、整改工作，应及时安排并详细交待安全措施，及时检查安全用具的使用情况和试验周期，督促运行人员正确使用劳保用品，在布置生产工作的同时布置安全工作；

4) 组织开展本所的季节性安全大检查，及时发现和消除设备缺陷，按时完成上级下达的反事故措施计划；

5) 主持本所发生的异常、严重未遂事故、障碍等不安全情况的调查分析工作，做到“三不放过”，及时查明原因，制订防范措施；

6) 及时了解和掌握运行人员的思想状况，加强安全知识和业务技术培训，不断提高运行人员的安全水平和应变能力；

7) 经批准有工作票签发权的所长，应负责本所范围内的工作票签发，并承担相应的安全责任。

#### (2) 变电所安全员的安全职责：

1) 在所长的领导下，具体负责本所的安全监察工作，督促所内人员严格执行《电业安全工作规程》和安全生产规章制度，根据所内工作计划的安排提出补充安全措施。协助所长搞好现场安全管理，制止违章行为，并及时向所长或上级安全员汇报本所的安全生产情况；

2) 负责对本所人员的安全思想教育，协助所长开展各种安全活动，表扬安全生产中的好人好事，批评和纠正违章行为和不安全现象，并认真作好记录；

3) 协助所长开展好季节性安全生产大检查。组织分析安全生产中存在的问题。对本所发生的事故和不安全情况，应协助所长及时召开会议，分析原因，提出对策，并尽快写出事故原始材料呈报上一级主管部门；

4) 负责本所安全工器具的定期检查和试验，监督本所人员正确使用安全防护和劳保用品；

5) 负责做好所内的安全管理基础工作，及时写出安全总结，填写安全报表、报告，做好安全资料、安全工器具、个人安全防护用品的保管与建帐登记工作。

#### (3) 值班负责人的安全职责：

1) 值班负责人在当值期间内是本所的运行负责人，应对当值期间的运行工作负全面安全责任；

2) 以身作则，带头学习和执行有关规程和规章制度，及时检查和纠正值内其他同志的违章操作行为，确保安全运行；

3) 认真监督本值人员，按照规定的路线和项目，定期进行设备巡视检查，定期参加所内组织的季节性安全大检查，对分工所管辖的设备缺陷及时上报，并督促检修人员及时消除；

4) 严格执行两票三制，按照工作票要求布置现场安全措施，与工作负责人办理许可手续，并承担《电业安全工作规程》中规定的四项安全责任；

5) 主动汇报本值安全生产情况，发生事故、障碍、异常情况应按照运行规程规定组织当值人员迅速处理，并及时报告所长或主管部门，听取指导，事后作好详细记录，不得隐瞒，否则将追究责任。

#### (4) 正值班员的安全职责：

1) 协助值班负责人处理当值发生的事故及异常运行情况；

2) 按照工作票要求布置现场安全措施，与工作负责人办理工作许可手续，并承担《电业安全工作规程》中规定的四条安全责任；

3) 按时接班，坚守岗位，严格遵守各项安全生产的规章制度，不违章操作，并制止他人违章操作，确保安全运行；

4) 了解本所在系统中的运行方式及掌握本所设备运行状况，严格审核副值所填写的倒闸操作票，并对其操作要认真监护。

(5) 副值班员的安全职责：

1) 负责操作票的填写及一般正常操作，但应在正值班员允许监护下进行；

2) 协助正值（当班值长）处理当值所发生的事故和异常运行情况；

3) 按照工作票要求，布置现场安全措施，与工作负责人办理工作许可手续，并承担《电业安全工作规程》中规定的四条安全责任；

4) 倒闸操作前应对安全工器具进行检查，看是否符合要求，不得使用不合格的安全工器具，同时应正确穿戴防护用品，确保人身安全。

(6) 技术员的安全职责：

1) 协助所长搞好技术管理和培训工作；

2) 定期参加本所的设备安全大检查和安全活动，了解设备缺陷，做好设备的评级工作，根据缺陷的分类，协助所长做好设备的消缺工作，并对所采取的技术措施的正确性负责；

3) 做好设备管理和技术监督工作，参加本所的事故及障碍分析会，积极提出防范措施。

(7) 学员的安全职责：

1) 认真执行安全工作规程、现场运行规程和其他安全生产规章制度，服从正、副值班员的领导和指挥；

2) 不能进行任何操作上的联系工作，在经过一段时间学习并经考试合格后，可以在正副值班员的监护下进行一般简单的倒闸操作；

3) 搞好环境卫生工作及一般工器具的管理。

3. 制订与执行安全生产的组织措施和技术措施

严格采取保证安全的各项组织措施，认真执行“两票三制”。现对工作票制度作一重点介绍。

(1) 执行工作票制度的重要意义：严格执行工作票制度是保证检修人员安全作业的关键所在，它主要包括工作票制度、工作许可制度、工作监护制度、工作间断、转移和终结制度，其核心是工作票制度，电力生产的实践充分证明，谁不认真执行工作票制度，设备事故和人身伤亡事故就有可能发生，最后的结果必然是一害他人，二害自己，三害企业，四害国家，给国家和人民生命财产造成重大损失。因此，凡在变电所内从事的一切检修作业（除《电业安全工作规程》规定的可以不要票），不管什么工种，都必须填写工作票，否则值班人员有权拒绝其工作。

(2) 填写工作票的一般规定：

1) 工作票必须用钢笔或圆珠笔填，一式两份，工作票中的计划工作时间、工作地点、设备双重名称、接地线装设地点四项不准涂改，其他如有必要改动也不得超过三处，且改

室按值移交，当值人员应将工作票号码、工作内容、许可工作时间及工作结束时间记入运行日志中。工作票所列检修内容若当日不能完成的，在每天收工时工作负责人应将工作票交给值班员，次日开工前应重新履行工作许可手续（书面形式或非书面形式）后再进行工作，以确保检修工作的质量和安全。

#### 4. 变电所安全工（器）具的分类和管理

(1) 安全工器具的分类：变电所的安全工器具通常可分为两大类，一类为承受电气设备工作电压的绝缘夹钳、绝缘棒、绝缘挡板和验电笔等；另一类是作为保安作用或防止跨步电压的辅助安全工具，如绝缘手套、绝缘靴、绝缘台、绝缘垫等。

(2) 安全工（器）具的管理：

1) 各种安全工器具都应编号并放置在使用方便的固定地点即安全工具室，且要对号入座；

2) 各种安全工（器）具应按“安规”规定时间进行电气绝缘试验（参见附录五），并挂好试验标牌；

3) 各种安全工（器）具要妥善保管，不得故意损坏，安全工具室应通风透光，保持干燥，清洁整齐，含有橡胶制品的工具严禁阳光直射暴晒、酸碱油污腐蚀、坚硬物体打击等；

4) 安全工（器）具的清点检查应作为运行交接班的内容之一。安全工（器）具不准外借，并不许把安全工器具作为一般工具使用。

#### 5. 电气安全用具保管制度

(1) 电气安全用具可分为高压安全用具、低压安全用具和辅助安全用具三类：

1) 高压安全用具：绝缘棒、验电器、绝缘钳等；

2) 低压安全工具：绝缘手套、有绝缘柄的工具、验电笔等；

3) 辅助安全用具：绝缘手套、绝缘靴、绝缘垫、绝缘站台等。

电气安全用具应设专人保管，经常检查其是否齐全与完好。

(2) 存放电气安全用具的场所，应有明显标志并“对号入座”，做到存取方便。存放场所要干净、通风良好、无任何杂物堆放。

(3) 凡橡胶制品的电气安全用具，不可与石油类的油脂接触。存放环境不能过冷或过热。也不可和锐器、铁丝等存放在一起。

(4) 绝缘手套、绝缘靴、绝缘夹钳等，应存放在柜内，要与其他安全用具分开。使用中应防止受潮、受污或损伤。

(5) 绝缘棒应垂直存放，且架在支架上或吊挂在室内，注意不可与墙壁接触。

(6) 绝缘台的瓷瓶应完好、无裂纹与破损，木质台则要保持干燥。

(7) 验电器用过应存放于匣内并置于干燥处。

(8) 对绝缘手套、靴、垫、毯等，不允许有外伤、裂纹、气泡或毛刺等。发现有小时，应立即更换。如果绝缘工具遭受表面损伤或者已经受潮，则应及时进行处理或使之干燥，并在经试验合格后方可继续使用。

(9) 无论任何情况，电气安全用具均不可作为它用；对安全用具应进行定期试验，各试验项目要能合乎标准与要求。

(10) 对安全带（绳）、升降板、脚扣及竹（木）梯等登高安全工具，应正确使用，妥善保管和保管。同时应进行定期检查与试验：①外表检查周期，每月一次；②试验周期，半

年一次；③试荷时间，5 min；④试验静拉力，大安全带 2205N；小安全带 1470N；安全绳 2205N；升降板 2205N；脚扣 980N；竹（木）梯 1765N（指试验荷重）。

## 八、变电所的文明生产

### 1. 变电所文明生产的意义

变电所是供电部门的窗口单位之一，搞好变电所的文明生产是运行管理的重要组成部分，创造良好的环境，可以陶冶值班员的思想情操，为值班员搞好安全生产提供舒适安静、美观文明的生活环境和劳动条件。

### 2. 变电所文明生产对运行人员的基本要求

(1) 值班员上班时着装整齐，佩戴值班标志，正常情况下应穿符合劳动保护要求的工作服。女值班员上班时不得穿高跟鞋，留披肩长发。男值班员上班时不准穿睡衣睡裤，裤头背心及拖鞋。

(2) 上班时应认真监盘，谨慎操作，不开玩笑，不干与值班无关的事情，不看小说及文艺书刊，不干私活，上班期间严禁饮酒，不得酒后接班，上级领导来所和外单位来人参观学习时应主动起立，热情介绍本所情况及设备运行情况。

(3) 工作台上应保持整齐清洁，模拟图应保持与现场对应，各种记录、资料类应按规定要求定置存放，完好无损。

(4) 控制室、继保室的门窗应随开随关，防止小动物事故或鸟害事故的发生。控制室开关室的地面、门窗墙壁，控制屏、保护屏上的仪表和继电器，屏后的接线端子排等应经常打扫和擦拭，保持干净整洁，没有积尘，没有蛛网。

(5) 值班人员的临时休息室、生活间及（厨房）厕所等应分工管理，要定期清扫，始终保持卫生与整洁。

(6) 值班人员上班期间的食用物品不准放在主控制室和开关室，以防小动物进入造成事故。

(7) 装有蓄电池或储能电容器的变电所，每月应认真清扫一次，保持蓄电池室的良好卫生环境。

### 3. 变电所文明生产对所容所貌的要求

(1) 设备整洁，构架无锈蚀，房屋无漏雨。

(2) 电缆沟无积水，盖板无破损，巡回道路整洁畅通。

(3) 运行设备标志清楚正确，构架、墙壁上不准张贴与运行无关的纸张和标语。

(4) 室内、外照明充足完好。

(5) 生产区和生活区场地平整无杂物，绿化美观且无杂草，生产区内不准种高秆、油料、爬藤类植物和粮食，不准饲养家禽、家畜甚至挖塘养鱼。

## 第二节 电气安全作业制度

在变配电所（发电厂）的电气设备或电力线路上工作时，应严格执行《电业安全规程》，包括发电厂和变电所电气部分（DL408—91）、电力线路部分（DL409—91）以及热力和机械部分（电安生〔1994〕227号）。要切实做好各项保证安全的组织措施与技术措施。

并重新履行工作许可手续。

(7) 工作票签发人不得兼任该项工作的负责人，工作负责人可填写工作票，工作许可人不得签发工作票；工作票签发人应由工区或所内熟悉人员技术水平、设备情况及安全规程的生产领导、技术人员或经厂（局）主管生产领导批准的人员担任。工作票签发人员名单应书面公布；工作负责人和允许办理工作票的值班人员（工作许可人）应由工区主管生产的领导书面批准。

(8) 工作票中所列人员的安全责任如下：

1) 工作票签发人：①工作必要性；②工作是否安全；③工作票上所填安全措施是否正确完备；④所派工作负责人和工作班人员是否适当和足够，精神状态是否良好。

2) 工作负责人（监护人）：①正确安全地组织工作；②结合实际进行安全思想教育；③督促、监护工作人员遵守安全规程；④负责检查工作票所载安全措施是否正确完备和值班员所做安全措施是否符合现场条件；⑤工作前对工作人员交待安全事项；⑥工作班人员变动是否合适。

3) 工作许可人：①负责审查工作票所列安全措施是否正确完备，是否符合现场条件；②工作现场布置的安全措施是否完善；③负责检查停电设备有无突然来电的危险；④对工作票中所列内容即使发生很小疑问，也必须向工作票签发人询问清楚，必要时要求作详细补充。

4) 工作班成员：认真执行本规程和现场安全措施，互相关心施工安全，并监督本规程和现场安全措施的实施。

(9) 第一、二种工作票的有效时间，以批准的检修期为限。第一种工作票至预定时间，若工作尚未完成，应由工作负责人办理延期手续。在工作期间，工作票应始终保留在工作负责人手中。工作终结后，交签发人保存3个月。

## 二、工作许可制度

(1) 工作许可人在完成施工现场的安全措施后，还应：①会同工作负责人到现场再次检查所做的安全措施，以手触试，证明检修设备确无电压；②对工作负责人指明带电设备的位置和注意事项；③和工作负责人在工作票上分别签名。

完成上述许可手续后，工作班方可开始工作。

(2) 线路停电检修，必须将可能受电的各方面都拉闸停电并挂好接地线，再将工作班（组）数目、工作负责人姓名、工作地点和工作任务记入记录簿内，才能发出许可工作的命令。

(3) 许可开始工作的命令应通知到工作负责人。可采用当面通知、电话传达或派人传达。

(4) 严禁约时停、送电。

(5) 工作负责人、工作许可人任何一方不得擅自变更安全措施，值班人员不得变更有关检修设备的运行接线方式。工作中如有特殊情况需要变更时，应事先取得对方同意。

## 三、工作监护制度

(1) 完成工作许可手续后，工作负责人（监护人）应向工作班人员交待现场安全措施、带电部位和其他注意事项。工作负责人（监护人）必须始终在工作现场，对工作班人员的

安全应认真监护，及时纠正违反安全的动作；分组工作时，每小组应指定小组负责人（监护人）。线路停电工作时，工作负责人（监护人）在班组成员确无触电危险的条件下，可以参加工作班工作。

(2) 所有工作人员（包括工作负责人）不许单独留在高压室内和室外变电所高压设备区内；若工作需要（如测量极性等）且现场设备具体情况允许时，可准许工作班中有实际经验的一个或几人同时在室内进行工作，但工作负责人应在事前将有关安全注意事项予以详尽指示。

(3) 工作负责人（监护人）在全部停电时，可以参加工作班工作。在部分停电时，只有在安全措施可靠、人员集中的工作地点，不致误碰导电部分的情况下，方能参加工作；工作票签发人或工作负责人，应根据现场的安全条件、施工范围、工作需要等具体情况，增设专人监护和批准被监护的人数。专职监护人不得兼做其他工作。

(4) 工作期间，工作负责人若因故必须离开工作地点时，应指定能胜任的人员临时代替，离开前应将工作现场交代清楚，并告知工作班人员。原工作负责人返回工作地点时，也应履行同样的交接手续；若工作负责人需要长时间离开现场，应由原工作票签发人变更新工作负责人两工作负责人应做好必要的交接。

(5) 值班员如发现工作人员违反安全规程或任何危及工作人员安全的情况，应向工作负责人提出改正意见，必要时可暂时停止工作并立即报告上级。

#### 四、工作间断和终结制度

(1) 工作间断时，工作班人员应从工作现场撤出，所有安全措施保持不动，工作票仍由工作负责人执存。间断后继续工作，无需通过工作许可人。每日收工应清扫工作地点，开放已封闭的通路，并将工作票交回值班员。次日复工时，应取得值班员许可，取回工作票，工作负责人必须事前重新认真检查安全措施是否符合工作票的要求后方可工作。若无工作负责人或监护人带领，工作人员不得进入工作地点。

(2) 在未办理工作票终结手续以前，变配电所值班员不准将施工设备合闸送电；在工作间断期间，若有紧急需要，值班员可在工作票未交回的情况下合闸送电，但应先将工作班全班人员已经离开工作地点的确切根据通知工作负责人或电气分场（工区）负责人，在得到他们可以送电的答复后方可执行，并应采取下列措施：

1) 拆除临时遮栏、接地线和标示牌，恢复常设遮栏，换挂“止步，高压危险！”的标示牌；

2) 必须在所有通路派专人守候，以便告诉工作班人员“设备已经合闸送电，不得继续工作”，守候人员在工作票未交回以前，不得离开守候地点。

(3) 检修工作结束以前，若需将设备试加工作电压，可按下列条件进行：

1) 全体工作人员撤离工作地点；

2) 将系统的所有工作票收回，拆除临时遮栏、接地线和标示牌，恢复常设遮栏；

3) 应在工作负责人和值班员进行全面检查无误后，由值班员进行加压试验。

工作班若需继续工作时，应重新履行工作许可手续。

(4) 在工作中遇雷、雨、大风或其他任何情况威胁到工作人员的安全时，工作负责人或监护人可根据情况，临时停止工作。



(5) 白天工作间断时，工作地点的全部接地线仍保留不动。如果工作班须暂时离开工作地点，则必须采取安全措施和派人看守，不让人、畜接近挖好的基坑或接近未竖立稳固的塔杆以及负载的起重和牵引机械装置等。恢复工作前，应检查接地线等各项安全措施完整性。

(6) 填用数日内有效的电力线路第一种工作票，每日收工时如要将工作地点所装接地线拆除、次日重新验电装接地线恢复工作，均须得到工作许可人许可后方可进行；对经调度允许的连续停电、夜间不送电的线路，工作地点的接地线可不拆除，但次日恢复工作前应派人检查。

(7) 全部工作完毕后，工作班应清扫、整理现场。工作负责人应先周密的检查，待全体工作人员撤离工作地点后，再向值班人员讲清所修项目、发现的问题、试验结果和存在问题等，并与值班人员共同检查设备状况、有无遗留物件、是否清洁等，然后在工作票上填明工作终结时间，经双方签名后，工作票方可终结；线路工作结束后，工作负责人（包括小组负责人）必须检查线路检修地段的状况以及在杆塔上、导线上及瓷瓶上有无遗留的工具、材料等，通知并查明全部工作人员由杆塔上撤下后，再命令拆除接地线。接地线拆除后应即认为线路带电，不准任何人再登杆进行任何工作。线路工作终结后，工作负责人应报告工作许可人。

(8) 对于电力线路检修，工作许可人在接到所有工作负责人（包括用户）的完工报告后，并确知工作已经完毕、所有工作人员已由线路上撤离、接地线已经拆除并与记录簿核对无误后，方可下令拆除变配电所线路侧的安全措施，向线路恢复送电。

(9) 对于变配电所设备检修，只有在同一停电系统的所有工作票均已结束，拆除所有接地线、临时遮栏和标示牌，恢复常设遮栏，并得到值班调度员或值班负责人的许可命令后，方可合闸送电。

## 五、停电作业安全制度

在全部或部分停电的电气设备上工作时，必须完成如下保障安全的技术措施：①停电；②验电；③装设接地线；④悬挂标示牌和装设遮栏。

### 1. 停电

(1) 停电必须把各方面的电源完全断开（任何运用中的星形接线设备的中性点，必须视为带电设备）。禁止在只经断路器（开关）断开电源的设备上工作。必须拉开隔离开关（刀闸），使各方面至少有一个明显断开点。对与停电设备有关的变压器和电压互感器，必须从高、低压两侧断开，以防止向停电检修设备倒送电。

(2) 断开开关、刀闸的操作能源，其操作机构应加锁，断开有可能返回（倒送）低压电源的开关和刀闸，跌落保险的保险器管应摘下，并在开关或刀闸的操作机构上悬挂“线路有人工作，禁止合闸！”标示牌。

### 2. 验电

(1) 在停电的设备或线路工作地段装接地线前，要先验电以确认无电压。验电时必须用电压等级合适而且合格的验电器。应在设备进出线两侧逐相验电。在线路上检修联络用的开关或刀闸时，也应在两侧验电。

(2) 高压验电必须戴绝缘手套，并有专人监护。凡表示设备断开和允许进入间隔的信

号、经常接入的电压表等，不得作为设备无电压的根据；但若指示有电，则禁止在设备上工作。对同杆架设的多层电力线路进行验电时，要先验低压，后验高压；先验下层，后验上层。

### 3. 装设接地线

(1) 当验明设备确已无电压后，应立即将检修的设备（三相短接）或线路工作地段两端挂接地线。这是保护工作人员、防止工作地点突然来电的可靠安全措施，且设备断开部分的剩余电荷亦可因接地而放尽。同时，凡有可能送电到停电设备的各方面或线路的分支线，以及可能使其产生感应电压的，也都要挂接地线。

(2) 接地线与检修部分之间不得连有开关或保险器。降压变电所全部停电时，应将各个可能来电侧的部分接地短路（其余部分不必每段都装设接地线）。室内配电装置上，接地线应装在该装置导电部分的规定地点，这些地点的油漆应刮去，并涂上黑色记号。

(3) 变配电所内装设接地线必须由两人进行，若为单人值班，则只允许使用接地刀闸接地，或使用绝缘棒合接地刀闸。

(4) 装设接地线必须先接接地端，后接导体端，且必须接触良好。拆接地线的顺序与此相反。装、拆接地线均应使用绝缘棒和戴绝缘手套，注意人体不得碰触接地线；若杆塔无接地引下线时，可采用临时接地棒。接地棒在地面下深度不得小于 0.6 m。

(5) 接地线应用多股软裸铜线，其截面应符合短路电流的要求，但不得小于  $25 \text{ mm}^2$ 。接地线在每次装设以前应经过详细检查。损坏的接地线应及时修理或更换。禁止使用不符合规定的导线作接地或短路之用。接地线应使用专用的线夹固定在导体上，严禁用缠绕方法进行接地或短路。

### 4. 悬挂标示牌和装设遮栏

(1) 在一经合闸即可送电到工作地点的开关和刀闸的操作把手上，均应悬挂“禁止合闸，有人工作！”标示牌。如果线路上有人工作，应在线路开关和刀闸操作把手上悬挂“禁止合闸，线路有人工作！”标示牌。标示牌的悬挂和拆除应按命令执行。

(2) 在室内高压设备上工作，应在工作地点两旁间隔和对面间隔的遮栏上及禁止通行的过道上悬挂“止步，高压危险！”标示牌。

(3) 在室外地面高压设备上工作，应在工作地点四周用绳子做好围栏，围栏上悬挂适当数量的“止步，高压危险！”标示牌，且标示牌必须朝向围栏里面。

(4) 在工作地点，则要悬挂“在此工作！”标示牌。

(5) 在室外构架上工作，应在工作地点邻近带电部分的横梁上悬挂“止步，高压危险！”标示牌，且应在值班人员监护下由工作人员悬挂；在工作人员上下用的铁架或梯子上，应悬挂“从此上下！”标示牌；在邻近其他可能误登的带电构架上，应悬挂“禁止攀登，高压危险！”标示牌。

(6) 严禁工作人员在工作中移动或拆除遮栏（围栏）、接地线和标示牌。

## 六、低压作业安全制度

(1) 低压带电作业应设专人监护，使用有绝缘柄的工具，工作时要站在干燥绝缘物上进行并戴手套和安全帽。必须穿长袖衣工作，严禁使用锉刀、金属尺和带有金属物的毛刷等工具。

(2) 高低压同杆架设，在低压带电线路工作时应先检查与高压线的距离，采取防止

误碰带电高压设备的措施。在低压带电导线未采取绝缘措施时，工作人员不得穿越。在带电的低压配电装置上工作时，应采取防止相间短路和单相接地的隔离措施。

(3) 上杆前应先分清火、地线，选好工作位置。断开导线时，应先断开火线，后断开地线，搭接导线时，顺序应相反。人体不得同时接触两根线头。

(4) 凡在停电的低压配电盘、配电箱和电源干线上作业时，均应慎用第二种工作票。在低压电动机和照明回路上的工作，可用口头联系。上述工作至少应由两人进行。

(5) 对低压回路停电时应采取如下安全措施：①将检修设备的各方面电源断开取下可熔保险器，在刀闸操作把手上挂“禁止合闸，有人工作！”标示牌；②工作前必须验电；③根据需要采取其他安全措施。

(6) 停电重换保险器后，在恢复操作时应戴手套和护目眼镜。

(7) 在全部或部分带电的盘上进行工作时，应将检修设备与运行设备前后以明显的标志隔开（如盘后挂红布帘，盘前挂“在此工作！”标示牌）。

(8) 所有电流互感器和电压互感器的二次绕组应有永久性的、可靠的保护接地。

(9) 在带电的电流互感器二次回路上工作时，应采取如下安全措施：①严禁将变流器二次侧开路；②短路变流器二次绕组，必须使用短路片或短路线，短路应妥善可靠，严禁用导线缠绕；③严禁在电流互感器与短路端子间的回路和导线上进行任何工作；④工作必须认真、谨慎，不得将回路的永久性接地点断开；⑤工作时必须有专人监护，要使用绝缘工具并站在绝缘垫上。

(10) 在带电的电压互感器二次回路上工作时，应采取如下安全措施：①严格防止短路或接地。应使用绝缘工具并戴手套。必要时，工作前停用有关保护装置；②需接临时负载时，必须装有专用的刀闸和可熔保险器。

## 七、电缆作业安全制度

(1) 电力电缆停电工作应填写第一种工作票，不需停电的工作应填写第二种工作票。工作前必须详细核对电缆名称、标示牌是否与工作票所写的符合。安全措施正确可靠后方可工作。

(2) 挖掘电缆工作，应由有经验人员交待清楚后才能进行。挖到电缆保护板后，应由有经验的人员在场指导方可继续工作；挖掘电缆沟前，应做好防止交通事故的安全措施。在挖出的土堆起的斜坡上，不得放置工具、材料等杂物且沟边应留有走道。

(3) 挖掘出的电缆或接头盒，如下面需要挖空时，必须将其悬吊保护；悬吊电缆应每隔约 1.0~1.5 m 吊一道；悬吊接头盒应平放，不得使接头受到拉力。

(4) 敷设电缆时应有专人统一指挥。电缆走动时，严禁用手搬动滑轮，以防压伤。移动电缆接头盒一般应停电进行。如带电移动时，应先调查该电缆的历史记录，由敷设电缆有经验的人员、在专人统一指挥下平正移动，以防止绝缘损伤爆炸。

(5) 锯电缆以前必须与电缆图纸核对是否相符，并确切证实电缆无电后，用接地的带木柄的铁钎钉入电缆芯后方可工作。扶木柄的人应戴绝缘手套并站在绝缘垫上。

(6) 熬电缆胶工作应有专人看管，熬胶人员应戴帆布手套及鞋盖。搅拌或舀取熔化的电缆胶或焊锡时，必须使用预先加热的金属棒或金属勺子，以防落入水份发生溅爆烫伤。

(7) 进电缆井之前应排除井内浊气。在电缆井内工作时，应戴安全帽，并做好防火、防

水及防止高空落物等措施，电缆井口应有专人看守。

(8) 制做环氧树脂电缆头和调配环氧树脂过程中，应采取有效的防毒和防火措施。

## 第三节 绝缘在安全中的作用

### 一、绝缘材料的作用及性能指标

#### (一) 绝缘的重要作用及其基本要求

凡由电阻系数大于  $10^9 \Omega\text{cm}$  的物质所构成的材料，在电工技术上便称为绝缘材料（简称绝缘，有时也称电介质）。它的导电性能极差（即隔电能力很强），许多电器、电气设备、装置及电气工程上之所以广泛地使用它，正是由于绝缘具有很强的隔电能力。如胶木、塑料、橡胶、云母、电瓷及矿物油等都是常用的绝缘材料。

各种电气设备或设施大都由导电部分和绝缘部分组成，且是利用绝缘材料把带电导体封闭起来。绝缘的作用是把电位不同的带电部分互相隔开，从而使设备能长期安全、正常地发挥效用；同时它可以防止人体触及带电部分，避免发生触电事故。所以，绝缘在电气安全中有着十分重要的作用。为此，对电气绝缘材料有如下基本要求：

- (1) 有良好的介电性能，即具有较高的耐压强度，能避免发生漏电、闪络或击穿。
- (2) 有良好的耐热性能，即不致因长期受热发生老化而失去其应有的绝缘性能。
- (3) 有较好的导热性与耐潮性，同时还应具有较高的力学强度，且又便于加工等。

#### (二) 绝缘材料的分类和性能指标

常用的电气绝缘材料，按其化学性质不同可分为三大类：

(1) 无机绝缘材料。有云母、石棉、大理石、瓷器、玻璃、硫磺等，主要用作电机、电器的绕组绝缘，开关的底板和绝缘子等。

(2) 有机绝缘材料。有虫胶、树脂、橡胶、棉纱、纸、麻、蚕丝、人造丝等，大多用以制造绝缘漆、绕组导线的被覆绝缘物等。

(3) 混合绝缘材料。它是由以上两种材料经加工后制成的各种成型绝缘材料，主要用来作电器的底座及外壳等。

常用绝缘材料的主要性能指标及其含义分别是：

(1) 绝缘耐压强度。电场中的绝缘物质，当电场强度增大到某一极限值时，就会发生击穿。这一引起击穿的电场强度便称为绝缘耐压强度（也称介电强度或绝缘强度）。通常以 1 mm 厚的绝缘材料所能耐受的电压 (kV) 值表示。

(2) 抗张强度。指绝缘材料每单位截面积所能承受的拉力。如玻璃经试验测定，其每  $\text{cm}^2$  截面能够承受约 1400 N 的拉力，则称玻璃的抗张强度为 1400 N。

(3) 密度。指绝缘材料每  $\text{cm}^3$  体积的重量。如硫磺每  $\text{cm}^3$  体积重 2g，即其密度为  $2\text{g}/\text{cm}^3$ 。

(4) 膨胀系数。指绝缘体受热后体积增大的相对程度，用系数来表示。

### 二、绝缘的等级和被击穿的原因

#### (一) 绝缘材料的等级与极限温度

按电工绝缘材料在正常运行条件下所能允许的最高工作温度分级（称耐热等级），可分

为七级。现国内通行的具体分级标准和极限温度见表 7-1 所列。

(二) 绝缘在使用中遭受破坏的原因 表 7-1 绝缘材料的耐热等级与极限温度

原因

绝缘材料耐热等级	Y	A	E	B	F	H	C
极限工作温度 (°C)	90	105	120	130	155	180	180 以上

当电气绝缘体承受的电压超过某种限度时,其内某些部位便会发生放电现象,从而使绝缘性能遭到不同程度的

破坏。此时在外施电压作用下,电流将剧增,最后使绝缘体发生分解或破裂,并完全失去其绝缘性能。这一过程,称为电介的“击穿”。击穿是电气绝缘遭受破坏的一种基本形式。

固体绝缘体被击穿后,一般多不能自行恢复绝缘性能。液体或气体绝缘体若被击穿,当外施电压撤除后,却通常可恢复原有的绝缘能力。固体绝缘体被击穿的原因常分如下三类:

(1) 电击穿。绝缘材料在强电场作用下,其内部离子获得许多能量后便高速运动,进而使其他中性分子产生碰撞电离,从而生成大量电流造成击穿。电击穿主要取决于电场强度与材料的击穿电压,且随其厚度增加而呈线性提高。均匀电场中,击穿强度通常与电压作用时间及周围散热条件无关,受周围环境温度的影响也甚微。

(2) 热击穿。在电压作用下,绝缘材料由于泄漏电流的通过会导致发热。当产生过多热量来不及散发时,材料温度便升高。又因其具有负电阻温度系数(绝缘电阻随着温度的升高反而降低),故增大了电流且使材料进一步发热。如此恶性循环,最后导致材料被烧坏甚至烧熔,完全丧失绝缘性能。显然,热击穿是过多的热量在起主导作用。

(3) 放电击穿。内部含有气泡与杂质的绝缘材料,在外加电压作用下,气泡部分会先产生碰撞电离引起放电;杂质会因电场的加热作用被汽化又产生气泡,这就进一步加剧了气泡的电离放电。最终会造成击穿并使材料丧失绝缘能力。

由上可知,在工程实践中可采取某些针对性措施来提高固体绝缘材料的击穿强度。如将其用液体绝缘材料浸渍(可填充其内部气孔,减少气泡并改善散热条件);适当增加其厚度(可提高击穿电压,但从热击穿角度考虑尚不能单纯采用此法)等。提高击穿强度、防止绝缘破坏的主要措施,是恰当选择材料种类和合理设计其使用结构。

绝缘材料除因击穿而遭破坏外,其他原因如不良的环境条件(腐蚀性气体、蒸汽、潮湿及粉尘)以及机械损伤等,也都会降低其绝缘性能或导致破坏。再有,即便在正常工作情况下,绝缘材料本身也会因日久老化而逐渐失去其应有性能。

### 三、绝缘电阻的含义及其数值要求

#### (一) 绝缘电阻的含义

材料绝缘性能的好坏及其具体程度,主要由绝缘材料所具有的电阻(称绝缘电阻)大小来反映。其值为加于绝缘物上的直流电压与流经绝缘物的电流(称泄漏电流)之比。足够的绝缘电阻,能将泄漏电流限制在允许范围内,从而可防止由它所造成的设备事故或触电事故。

绝缘电阻可分为体积电阻和表面电阻。前者是电流通过绝缘厚度的电阻值,后者是通过绝缘表面的电阻值。上面所说的绝缘电阻(指绝缘材料的全电阻)就是这两者的并联值。与此相对应的是,绝缘材料的电阻率也有体积电阻率和表面电阻率之分。

测量绝缘电阻的专用仪表是绝缘电阻表,俗称摇表(原也称兆欧表)。它虽有多种,但

从原理上讲都不外是由直流电源和检测仪表两部分组成，故属于一种组合式仪表。目前在现场广泛应用的多为 ZC 系列携带型绝缘电阻表。其电流部分为一台微型手摇直流高压发电机，测量部分是一只磁电比率表。常用绝缘电阻表的型号与规格可见表 7-2。

表 7-2 常用绝缘电阻表的型号与规格

型 号	级 别	额 定 电 压 (V)	测 量 范 围 (MΩ)
ZC7	1.0	500	1~500
		1000	2~2000
		2500	5~5000
ZC11-3	1.0	500 (±10%)	0~2000
ZC11-4	1.0	1000 (±10%)	0~5000
ZC11-5	1.0	2500 (±10%)	0~10000
ZC11-8	1.0	500 (±10%)	0~1000
ZC11-9	1.0	50 (±10%)	0~2000
ZC11-10	1.5	2500 (±10%)	0~2500
ZC25-3	1.0	500 (±10%)	0~500
ZC25-4	1.0	1000 (±10%)	0~1000

(二)对电力线路及常用电气设备的绝缘电阻要求

(1) 电力线路。对不同的线路有着不同的绝缘电阻要求。通常高压线路较低压线路的要求高，新设备较老设备要求高，室外的较室内的要求高，移动的较固定的要求高。

1) 对新装和大修后的低压电力和照明线路，要求绝缘电阻值不低于 0.5 MΩ；对运行中的线路，则可降低要求为每伏工作电压不低于 1000Ω。

2) 新装和大修后的高压架空电力线路，要求每个绝缘子的绝缘电阻不低于 300MΩ。

3) 配电盘的二次线路，绝缘电阻不应低于 1MΩ；对处于潮湿环境的可降为 0.5MΩ。

4) 运行中的 9~10 kV 电缆线路，绝缘电阻不应低于 400~1000MΩ（干燥季节应取范围内的较大值，潮湿季节可取较小值）。

(2) 电力变压器。油浸式电力变压器的绝缘电阻，在各种湿度下的测量值不应低于表 7-3 所列数值。设备交接时，其值不应低于制造厂出厂试验值的 70%。对大容量变压器应以 60 s 的测量值为准；当测试温度不同时，为了比较必须进行换算，在由高温向低温方向换算时要乘上换算系数（见表 7-4）。

表 7-3 油浸式电力变压器绝缘电阻允许值 (MΩ)

高 压 绕 组 电 压 等 级 (kV)	温 度 (°C)							
	40	20	30	40	50	60	70	80
3~10	450	300	200	130	90	60	40	25
20~35	600	400	270	180	100	80	50	35
63~220	1200	800	540	360	240	160	100	70

注 同一变压器的中压和低压绕组绝缘电阻的标准与高压绕组的相同。

表 7-4 变压器绝缘电阻的温度换算系数

温度差 (°C)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
换算系数	1.2	1.5	1.8	2.3	2.8	3.4	4.1	5.1	6.0	7.5	9.2	11.2

(3) 电动机。测量时应选用不同规格的绝缘电阻表：电动机额定电压为 500 V 以下者，应使用 500 V 绝缘电阻表；500~3000V 电动机要用 1000V 绝缘电阻表；3000V 以上的电动

型避雷器必要时需作工频放电电压试验；电气设备用的绝缘油要在油杯中以标准电极进行耐压强度试验。

正因为耐压试验主要是检验电气设备承受过电压的能力，如不接地三相系统中发生一相接地时，另两相对地电压将升高到原来的 1.73 倍；特殊情况下，内部过电压可升高到原来的 3~3.5 倍；遭受雷击时可能出现更高的过电压。故耐压试验就是对被试物施加略高于运行中可能遇到的过电压来进行的。试验时，确定试验电压的高低是个重要环节，其标准根据电力系统的大气过电压和内部过电压的幅值，以及系统中相应保护装置的水平来决定。一般选择在其额定电压的一倍到数倍之间，但不得低于 1 kV。对于大容量试品（如电力电容器、电力电缆、大容量发电机等），进行交流耐压试验时需要大容量的试验设备，有时就比较困难。故可改做直流耐压试验（还可同时测量泄漏电流），但试验电压（与交流耐压相比）必须提高 1.5~2 倍。

## 六、监视温度和维护保养的重要性

### （一）监视温度是保障设备安全的关键

凡完好的电气设备，投运后由于电流通过便产生一定热量并有一定温度，且都是在设备铭牌标明的额定温度或允许的温升限值以内。设备发生故障时，如过载、机械传动卡死、通风不良、内部有缺陷等，其温度将明显升高、温升增加。这就会损伤设备的绝缘性能，降低使用寿命，甚至可能烧毁设备。为此，电气设备必须限制在规定的允许温升范围内运行。故监视其运行温度，便成为保证设备安全的一个重要环节。当设备过热时，应能尽早地发现并查明原因，采取措施加以消除。

不同电气设备或同一电气设备的不同部位，其允许温升值多各不相同（通常在产品样本上都有说明）。现将几种主要电气设备各部位的允许温升规定列下。

（1）电力变压器温升标准是：上层油温升不应超过 55℃；绕组温升不应超过 65℃（以环境温度 40℃，年平均温度 15℃ 为准）。变压器内各部位的温升极限值见表 7-5。

表 7-5 变压器各部位的允许温升

变压器部分	最高温升 (℃)	测量方法
绕组	65	电阻法
铁芯表面	70	温度计法
油(顶层)	55	温度计法

（2）电动机额定温升标准各制造厂家不尽相同。按一般规定，在海拔 100 m、环境温度为 40℃ 时，对不同绝缘等级的电动机各部位的温升极限见表 7-6。通常铭

牌上所指的额定电流，系指环境温度为 40℃ 时的电流值。如果环境（空气）温度超过或小于 40℃，则电动机的最大允许电流可按表 7-7 所列数值变化。

表 7-6 电动机各部位的允许温升 (℃)

电动机部位	A 级		E 级		B 级		F 级		H 级	
	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法
绕组	50	60	65	75	70	80	85	100	105	125
定子铁芯	60		75		80		100		125	
集电环	60		70		80		90		100	
滚动轴承	55		55		55		55		55	

续表

现象	主要原因
磨损	电机轴承磨损，整流子表面磨损，碳刷磨损，电机传动机构磨损等
火花	整流子表面发出火花，导体或触头接触不良，导体间或导体对地距离过近引起放电，短路故障，局部故电等
冒烟	电机、变电器等设备严重过载或内部故障短路，电容器、电阻器和半导体元件过热或击穿，导线严重过载等
有杂质异物	开关柜内积尘，电缆沟内有鼠窝或小动物，电气设备周围堆有杂物等
动作不正常	设备损坏，控制回路混线、短路、开路或安装错误，继电保护调整不当或失灵等

(3) 听声音观察振动。设备运行时都会发出各种声音和振动，电工要熟悉正常运行时的声音和振动（这很重要），通过测听实际声响高低、音调变化和振动强弱，经过与正常运行时的声响和振动相比较来判断设备有无异常或故障。如：可用细木棒（听音棒）一端放在变压器油箱上，另一端置于耳边仔细监听，若是连续均匀轻微的嗡嗡声，则表明运行正常；如果比正常时声响加重，就可能是电压与油温太高，或是铁芯振动所致；当听到有劈啪声时，则可能内部有局部放电现象或绝缘击穿；巡检中发现电动机有叩击声、滑动声或金属声，若不能判断异常声音发自电机内部还是外部，可将电机与拖动物机械分离，让电机单独运转便能弄清；电磁接触器若结构松动、安装螺丝松脱或短路环缺损时，都会使接触器发出比平时高得多的异常声响。

(4) 用鼻闻气味变化。运行中的设备，特别是刚安装完毕新投运时会产生一定气味，但它们与电气绝缘材料过热或烧焦时所产生的刺鼻焦臭味却完全不同。巡视检查中如嗅到有与平时不同的气味时，应进一步查看有没有冒烟的地方和变色的部位。嗅气味必须与看外观、查变色相结合，才能正确地判断故障所在及其大致原因。如巡视开关柜时嗅到有焦臭味，则要打开柜门进一步检查，若估计是某接触器出了毛病，可用手触摸接触器线包，感觉有一只发热严重且外表有烧焦样时，则便可判明是该接触器线圈已烧损。

## 第四节 电气安全用具

### 一、电气安全用具的分类与作用

为了防止电气工作人员发生触电、灼伤、高处摔跌、煤气中毒等事故，必须正确使用相应的电气安全用具。这是保证人身安全的基本条件之一。电气安全用具分绝缘安全用具和一般防护安全用具两大类。

属于一般防护安全用具的有：安全带、安全帽、安全照明灯具、防毒面具、护目眼镜、标示牌和临时遮栏等。

属于绝缘安全用具的是：绝缘杆、绝缘夹钳、绝缘台、绝缘手套、绝缘靴（鞋）、绝缘垫、验电笔、携带型接地线等。绝缘安全用具又可分为如下两类：

(1) 基本安全用具。它的绝缘强度大，能长时间承受电气设备的工作电压，并能在该电压等级产生内过电压时保证工作人员的人身安全，如绝缘杆、绝缘夹钳及验电器等。



(2) 辅助安全用具。它的绝缘强度小，不能承受电气设备的工作电压，只是用来加强基本安全用具的保安作用，能防止接触电压、跨步电压和电弧对操作人员的伤害，如绝缘台、绝缘手套、绝缘靴（鞋）及绝缘垫等。

## 二、绝缘杆和绝缘夹钳

### (一) 绝缘杆

绝缘杆是一种主要的基本安全用具，又称绝缘棒或操作杆（见图 7-4）。绝缘杆由工作部分、绝缘部分和握手部分组成。绝缘部分与握手部分以护环相隔开，它们用浸过绝缘漆的木材、硬塑料、胶木或玻璃钢制成。工作部分一般用金属制成，也可用玻璃钢等有较大机械强度的绝缘材料制成。绝缘杆握手部分和绝缘部分的最小长度，可根据使用电压的高低及使用场所的不同而定。绝缘杆长度见表 7-9。

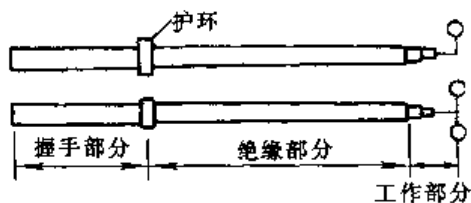


图 7-4 绝缘杆

绝缘部分的有效长度，不包括与金属工作部分连接的一段长度。工作部分金属钩的长度，在满足工作需要的前提下，应该做得尽量短些，一般在 5~8 cm 左右，以免由于过长而在操作时引起相间短路或接地短路。

表 7-9 绝缘杆长度

电气设备额定电压	室内设备用		户外设备用	
	绝缘部分长度 (m)	握手部分长度 (m)	绝缘部分长度 (m)	握手部分长度 (m)
10 kV 及以下	0.70	0.30	1.10	0.5
35 kV 及以下	1.10	0.40	1.40	0.6

绝缘杆在变配电所里主要用于闭合或断开高压隔离开关（见图 7-5）、安装和拆除携带型接地线（见图 7-6）以及进行电气测量和试验等工作。在带电作业中，则是使用的各种专用绝缘杆。

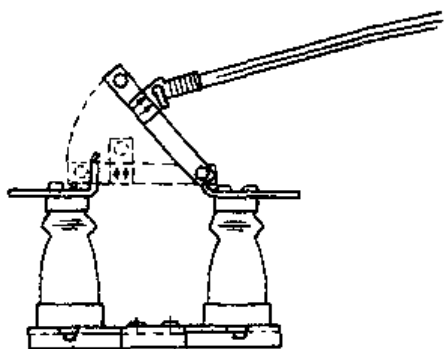


图 7-5 合上或断开高压隔离开关

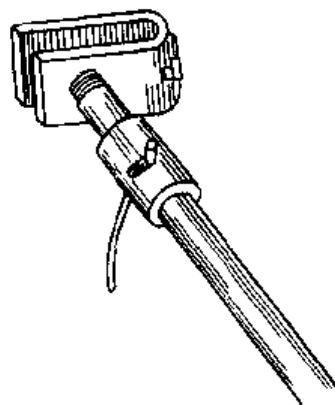


图 7-6 安装和拆卸携带型接地线

使用绝缘杆的注意事项：

- 1) 使用绝缘杆时禁止装设接地线；
- 2) 使用时工作人员手拿绝缘杆的握手部分，应注意不能超出护环，且要戴绝缘手套、

穿绝缘靴（鞋）；

3) 绝缘杆每年要进行一次定期试验。

### (二) 绝缘夹钳

绝缘夹钳（见图 7-7）是由工作钳口、绝缘部分和握手部分组成。钳口必须能保证夹紧熔断器。制造绝缘夹钳所用的材料和绝缘杆的相同。绝缘夹钳只允许在 35 kV 及以下的设备上使用，它的绝缘部分和握手部分长度见表 7-10。

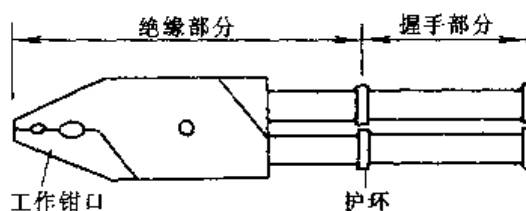


图 7-7 绝缘夹钳

表 7-10 绝缘夹钳长度

电气设备额定电压	室内设备用		户外设备用	
	绝缘部分长度 (m)	握手部分长度 (m)	绝缘部分长度 (m)	握手部分长度 (m)
10 kV 及以下	0.45	0.15	0.75	0.20
35 kV 及以下	0.75	0.20	1.20	0.20

使用绝缘夹钳的注意事项：

- 1) 夹熔断器时工作人员的头部不可超过握手部分，并应戴护目眼镜、绝缘手套和穿绝缘靴（鞋）或站在绝缘台（垫）上；
- 2) 工作人员手握绝缘夹钳时要保持平稳和精神集中；
- 3) 绝缘夹钳的定期试验为每年一次。

### 三、绝缘手套和绝缘靴

#### (一) 绝缘手套

绝缘手套是在电气设备上进行实际操作时的辅助安全用具，也是在低压设备带电部分上工作时的基本安全用具。它用特种橡胶制成（见图 7-8）。绝缘手套一般分 12 kV 和 5 kV 两种，这都是以试验电压数值命名的。技术数据见表 7-11。

使用绝缘手套的注意事项：

- 1) 使用前检查时可将手套朝手指方向卷曲，检查有无漏气或裂口等（见图 7-9）；

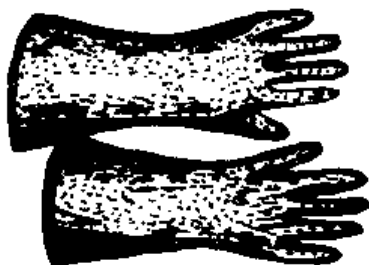


图 7-8 绝缘手套



图 7-9 绝缘手套在使用前的检查

- 2) 戴手套时应将外衣袖口放入手套的伸长部分；
- 3) 绝缘手套使用后必须擦干净，放在柜子里，并且要和其他工具分开放置；
- 4) 绝缘手套每半年要试验一次。

表 7-11 绝缘手套的技术数据

项 目		单 位	12 kV 绝缘手套	5 kV 绝缘手套
试验电压		kV	12	5
使用电压		V	1000 V 以上为辅助安全用具 1000 V 以下为基本安全用具	1000 V 以下为辅助安全用具
物理性能	扯断强度	N/cm <sup>2</sup>	1600 以上	1600 以上
	伸长率	%	600 以上	600 以上
	硬 度	邵 氏	35±5	35±5
规 格	长 度	mm	380±10	380±10
	厚 度	mm	1~1.4	1±0.4

(二) 绝缘靴 (鞋)

绝缘靴 (鞋) 是在任何电压等级的电气设备上工作时, 用来与地面保持绝缘的辅助安全用具, 也是防护跨步电压的基本安全用具 (见图 7-10)。



图 7-10 绝缘靴 (鞋)

(a) 绝缘靴; (b) 绝缘鞋

绝缘靴 (鞋) 是用特种橡胶制做的, 里面有衬布。它绝不同于日常穿用的雨靴或胶鞋, 这一点尤应注意。绝缘靴 (鞋) 的技术数据如下:

绝缘靴规格: 37~41 号, 靴筒高 230 mm±10 mm; 41~43 号, 靴筒高 250 mm±10 mm。  
绝缘鞋规格为: 35~45 号。绝缘靴 (鞋) 的物理性能见表 7-12。

表 7-12 绝缘靴 (鞋) 的物理性能

指 标 名 称	单 位	绝 缘 靴		绝 缘 鞋
		靴 面	靴 底	
扯断强度	N/cm <sup>2</sup>	1400 以上	1400 以上	1500 以上
伸长率	%	450 以上	350 以上	450 以上
硬 度	邵 氏	50~65	50~65	58±8
磨 耗	1 mL/1.6 km		2 以上	1 以下

使用绝缘靴 (鞋) 的注意事项:

- 1) 绝缘靴要存放在柜子里, 并应与其他工具分开放置;
- 2) 绝缘鞋使用期限, 制造厂规定以大底磨光为止, 即当大底露出黄色面胶 (绝缘层) 时就不适合在电气作业中使用了;

高度不小于 10 cm。绝缘台必须放在干燥的地方。用于户外时，要避免台脚陷入泥中造成站台面触及地面，从而降低绝缘性能。

绝缘台的定期试验为 3 年一次。试验标准为：不分使用电压等级，一律加交流电压 40 kV，持续时间为 2 min。定期试验是整体进行的（试验接线见图 7-13），即绝缘台瓷瓶上、下部应电气连通，电压加在上下部之间。试验过程中若发现有跳火花情况，或试完除去电压后用手摸瓷瓶有发热情况，则为不合格。

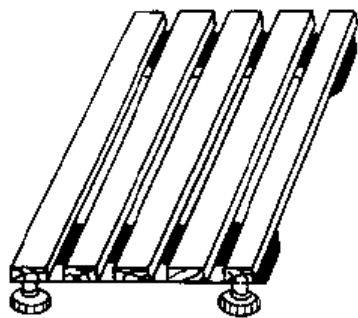


图 7-12 绝缘台

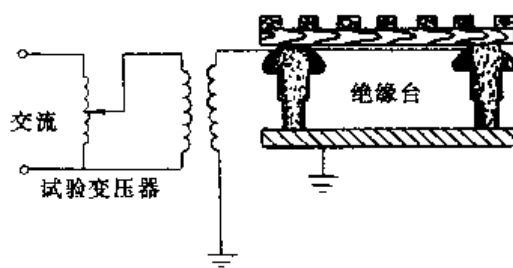


图 7-13 绝缘台试验接线图

### 五、携带型接地线

携带型接地线可用来防止设备因突然来电（如错误合闸送电）而带电，消除邻近感应电压或放尽已断开电源的电气设备上的剩余电荷。它是必不可少的重要的安全用具，对保护工作人员的人身安全有着重要的作用。

携带型接地线是由短接各相用软导线与接地用软导线，将接地软导线连接到接地极的夹头，将短路导线连接到设备各相导电部分的夹头三部分组成（见图 7-14）。

短路软导线连接到导电部分的夹头必须坚固，以防突然来电时所产生的动力使其脱落，且要便于用绝缘杆进行安装、紧固和拆卸。接地软导线夹头的大小，应适合于连接到接地极的接头上。携带型接地线的所有夹头与软导线的连接，都必须用螺丝连接，以使接触可靠。短路软导线和接地软导线应采用多股裸软铜线，其截面不应小于 25 mm<sup>2</sup>。多股裸软铜线规格，可参见表 7-15。

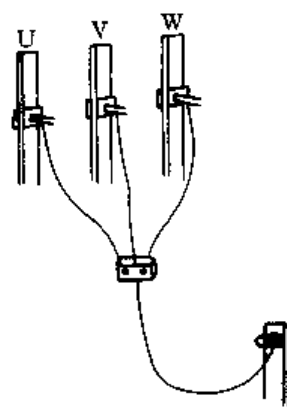


图 7-14 携带型接地线

表 7-15 TRJ、TRJ—1 型裸软铜线规格

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	股数×根数×单股直径 (mm)	外 径 (mm)	20℃时的直流电阻 (Ω/km)	重 量 (kg/m)	制造长度 (m)
16	7×7×0.64	5.8	1.26	0.145	2000
25	12×7×0.62	7.7	0.67	0.238	2000
35	19×7×0.58	8.7	0.512	0.323	1000
50	19×7×0.98	10.2	0.375	0.444	1000
70	27×7×0.68	12.6	0.262	0.631	1000
95	37×7×0.68	14.3	0.195	0.894	500
120	37×7×0.76	16.0	0.153	1.080	500
150	48×7×0.74	18.1	0.134	1.328	500

软铜线的标称截面是考虑接地线在热稳定情况下有足够的机械强度和在短路掉闸的短暂时间内不会烧断来确定的。根据计算得知，25 mm<sup>2</sup> 的接地线可以承受 4 kA 的短路电流冲击而不致被烧断。发生短路时，为防止携带型接地线在开关跳闸前被烧断而使工作地段失去保护，其截面应满足短路时的热稳定要求，计算式为： $S = I_K \sqrt{t} / 264$ 。

式中， $S$  为携带型接地线的选用截面 (mm<sup>2</sup>)； $I_K$  指接地线可能承受的短路稳定电流 (A)，且对短线部分取三相短路电流，对接地线部分取单相短路电流； $t$  为对应于所取  $I_K$  的继电保护动作时间 (s)，并考虑到一段或一级保护发生拒动的可能性。

使用携带型接地线的注意事项：

1) 电气装置上需安装接地线时，应安装在导电部分的规定位置。该处不涂漆并应画上黑色标志，要保证接触良好；

2) 装设携带型接地线必须两人进行。装设时应先接接地端，后接导体端。拆接地线的顺序与此相反。装设接地线时应使用绝缘杆并戴绝缘手套；

3) 凡是可能送电至停电设备，或停电设备上有感应电压时，都应装设接地线；检修设备若分散在电气连接的几个部分时，则应分别验电并装设接地线；

4) 接地线和工作设备之间不允许连接刀闸或熔断器，以防它们断开时设备失去接地，使检修人员发生触电；

5) 装设时严禁用缠绕的方法进行接地或短路。这是由于缠绕的接触不良，通过短路电流时容易产生过热而烧坏，同时还会产生较大的电压降作用于停电设备上；

6) 禁止用普通导线作为接地线或短路线。若用其缠绕短路，因无接地端，工作结束后常会忘记拆除该短路线，送电时将会发生三相短路，造成人身或损坏设备事故；

7) 为了保存和使用好接地线，所有接地线都应编号，放置的处所亦编号，以便对号存放。每次使用要作记录，交接班时也要交接清楚。

## 六、验电笔

验电笔有高压验电笔和低压验电笔两类，它们都是用来检验设备是否带电的工具。当设备断开电源、装设携带型接地线之前，必须用验电笔验明设备是否确已无电。

### (一) 高压验电笔

高压验电笔 (见图 7-15) 是一个用绝缘材料制成的空心管子，管上装有金属制成的工作触头，触头里装有氖光灯和电容器。绝缘部分和握柄用胶木或硬橡胶制成。验电笔的最小尺寸见表 7-16。

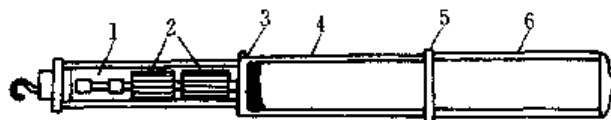


图 7-15 高压验电笔

1—氖光灯；2—电容器；3—接地螺丝；  
4—绝缘部分；5—护环；6—握柄

表 7-16 验电笔的最小尺寸

额定电压 (kV)	绝缘部分长度 (mm)	握柄长度 (mm)	全长(不包括钩子) (mm)
10 及以下	320	110	680
35 及以下	510	120	1060

使用高压验电笔的注意事项：

1) 必须使用额定电压和被验设备电压等级一致的合格验电笔。验电前应先将验电笔在带电的设备上验电，证实验电笔良好时，再在设备进出线两侧逐相进行验电 (不能只验一相，因实际工作中曾发生过开关故障跳闸后其某一相仍然有电压的情

况)。验明无电压后再把验电笔在带电设备上复核它是否良好。上述操作顺序称“验电三步骤”；

2) 反复验证验电笔的目的,是防止使用中的验电笔突然失灵而误把有电设备判断为无电设备,以致发生触电事故;

3) 若将 10 kV 或 35kV 验电笔可靠地安装在与设备电压相适应的绝缘杆上时,验电笔还可以用来检验更高等级的电压;

4) 在没有验电笔的情况下,可用合格的绝缘杆进行验电。验电时要将绝缘杆缓慢地接近导体(但不准接触),以形成间隙放电并据有无放电火花和噼拍声判断有无电压;

5) 在高压设备上进行验电工作时,工作人员必须戴绝缘手套;

6) 高压验电笔每 6 个月要定期试验一次。

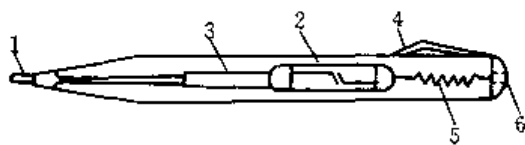


图 7-16 低压验电笔

1—工作触头; 2—氖灯; 3—炭精电阻;  
4—金属夹; 5—弹簧; 6—中心螺钉

## (二) 低压验电笔

低压验电笔是用来检查低压设备是否有电及区别火线(相线)与地线(中性线)的一种验电工具。外形通常为钢笔式或旋凿式,其结构前端有金属探头,后端有金属挂钩(使用时手必须接触金属挂钩),内部有发光氖泡、降压电阻及弹簧(见图7-16)。

它的作用原理是:当拿着它测试带电体时,便由带电体经试电笔、人体到大地形成了回路(即使穿了绝缘鞋或站在绝缘物上,也同样是形成了回路。因绝缘物的泄漏电流和人体与大地间的电容电流足以使氖泡起辉)。只要带电体和大地间的电位差超过一定数值(通常约 40~60V),验电笔就会发出辉光。若是交流电,氖泡会两极发光;若是直流电,则氖泡一极发光。

使用低压验电笔的注意事项:

1) 测试前应先在确认的带电体上试验以证明是否良好,防止因氖泡损坏而造成误判断。电工在每天出工前都应试验一次,并注意经常要保持验电笔的完好;

2) 日常工作中要养成使用验电笔的良好习惯。使用验电笔时一般应该穿用绝缘鞋(俗称电工鞋);

3) 在明亮光线下测试时,往往不容易看清楚氖泡的辉光。此时应采用避光观察,并注意仔细测试;

4) 有些设备特别是测试仪表,其外壳常会因感应而带电,验电时氖泡也发亮,但不一定构成触电危险。此时可用万用表测量等其他方法以判断是否真正带电。

## 七、安全带和安全帽

### (一) 安全带

在变配电所及电力线路上,属于登高类的工作是较多的,特别是电气设备安装和检修,常免不了要在高处工作。按照《电业安全工作规程》第 579 条规定:凡在离地面 2 m 及 3 m 以上处进行工作,都应视作高处作业。第 584 条又规定:在没有脚手架或在没有栏杆的脚手架上工作,高度超过 1.5m 时,必须使用安全带或采取其他可靠的安全措施。

根据国家标准生产的锦纶安全带,其优点是强度高、延伸率高、回缩率强以及耐腐、耐磨、耐蛀、耐碱和重量轻。

1. 高空作业用锦纶安全带（见图 7-17）

技术规范：腰带为 40mm×4mm；背带为 40mm×3mm；腿带为 30mm×2.5mm；胸带为 30mm×5.2mm；吊带为 30mm×2.5mm；拉带为 30mm×2.5mm；安全绳为 8 股线，直径 14±0.5mm，绳长 2.42mm；重量 1.5kg。各配件的极限拉力指标见表 7-17。

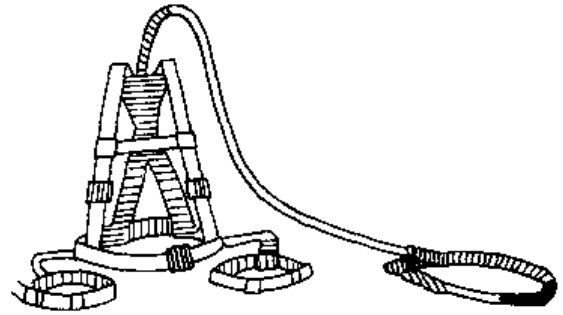


图 7-17 高空作业用锦纶安全带

2. 电工用锦纶安全带（见图 7-18）

技术规范：围腰带为 55mm×3mm；腰带为 40mm×4mm；围杆带为 40mm×4mm；安全绳 8 股，直径 13.5±0.5 mm，绳长 2.42 mm，重量 1.85 kg。各配件的极限拉力指标见表 7-18。

表 7-17 高空作业用锦纶安全带各配件的极限拉力指标

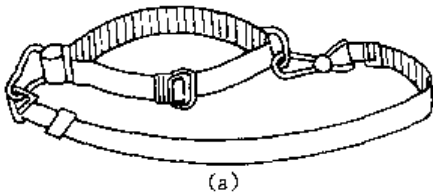
名 称	配件极限拉力指标 (kN)	名 称	配件极限拉力指标 (kN)
腰带	11.76	活梁、卜子	10.98 (大), 5.88 (小)
背带	9.80	圆环、半圆环	11.76
吊、胸、腿带	6.86	挂钩	11.76
安全绳	14.70	固定卡子	5.88

表 7-18 电工用锦纶安全带各配件的极限拉力指标

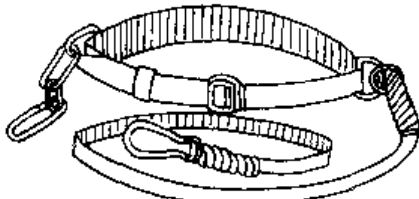
作业方法	10.98 kN	11.76 kN	14.70 kN
围杆作业	活梁卡子、三角挂环	挂钩、腰带、围杆带、半圆挂环	围腰带
悬挂作业	活梁卡子、三角挂环	挂钩、腰带、圆环、围杆带、半圆环安全绳	围腰带

使用安全带的注意事项：

1) 使用前必须作一次外观检查（使用中也应随时注意外观），如发现有破损、变质等情况时，禁止使用；



(a)



(b)

图 7-18 电工用锦纶安全带

(a) 围杆作业用安全带；

(b) 悬挂作业用安全带

2) 安全带应高挂低用或平行栓挂，切忌低挂高用。要将活梁卡系紧，腰带穿到皮带内，否则禁止使用；

3) 安全带不宜接触 120℃ 以上高温、明火和酸类物质，以及有锐角的坚硬物体和化学药品；

4) 安全带应卷成螺旋状存放在架子上或吊挂起来，但不得接触潮湿墙壁；

5) 安全带可放入低温水内用肥皂轻轻擦洗，再用清水漂干净，然后晾干，不允许浸入热水中及在日光下曝晒或用火烤。

(二) 安全帽

在变配电构架、架空线路等电气设施的安装或检修现场，以及在可能有上空落物的工作场所，都必须戴上安全帽

(见图 7-19),以免落物打伤头部。安全帽的技术条件为:①耐冲击力为 36 N。将 3.6 kg 重物悬空 1.5 m,自然落下冲击安全帽一次,不裂者为合格品;②硬度为 90°以上(邵氏);③重量为 320 g 以下;④使用期限一般 5 年以上。

## 八、行灯、护目镜和标示牌

### (一) 安全照明灯具

这里主要介绍行灯。它是电气工作及其他作业经常使用的手提照明灯。为防止触电事故,电业安全工作规程规定,禁止将 220 V 电灯作为手提照明灯使用。在特别危险场所如锅炉、电缆沟、油箱等内部工作时,所用行灯的电压不可超过 36 V。

过去制造的行灯也曾经造成过触电事故,这往往是由于连接行灯的绝缘导线破损漏电所造成的。因行灯常需移动,导线易受磨损。另外,行灯受潮、遇高热或被腐蚀等均会引起损坏漏电,造成触电事故。AD-2 型安全照明灯具的主要特点是体积小、重量轻、高度大、便于携带、使用安全可靠,适于在电气检修及事故抢修中使用。

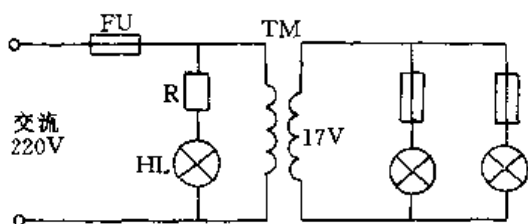


图 7-20 安全照明灯具电气线路(AD-2 型)

这套灯具由 220 V/17 V、130 W 电源变压器 TM 及两组 JZ-12-50 型手把行灯组成。采用 2mm×1mm、25 m 长的轻型橡胶套电缆连接变压器和灯具,连接灯具的一端电压降低为 12 V。灯泡为 12V、50W,玻璃壳内壁有半面涂上反射镀层,使光线集中而均匀。变压器外壳上带有专用的插头座,并装有指示灯 HL、熔断器 FU 和接地螺丝等保护装置。

AD-2 型安全照明灯具(电气线路见图 7-20)的主要技术规范:输入交流电压 220 V;输出(灯具)电压 12 V;额定容量 100 W;双灯亮度 1200 lm;允许使用温度 +55℃;变压器重量 3 kg;试验电压为变压器能耐受 50 Hz 正弦交流电压 1500 V、历时 1 min。

### (二) 防毒面具和护目眼镜

#### 1. 防毒面具

在变配电所及工厂的正常工作、事故抢修与灭火工作中,难免要接触有害气体时,必须使用防毒面具(见图 7-21),以保障工作人员人身安全。应注意,使用防毒面具时要有人监护。

MP 型防毒面具属于过滤性防毒面具,在滤毒罐内装入不同的过滤剂,分别可使多种毒气被过滤吸收。过滤剂有一定的使用时间,一般为 30~100 min。当它失去作用时,面

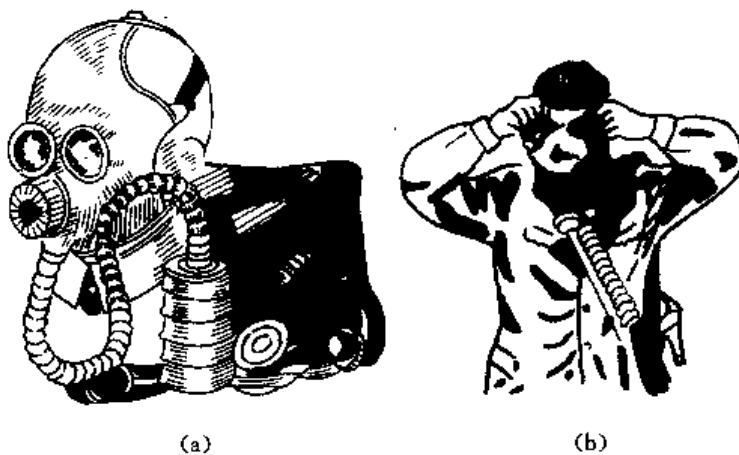


图 7-21 防毒面具  
(a) MP 型防毒面具外形; (b) 戴用防毒用具的方法



具内便会有特殊气味,此时应更换过滤剂。滤毒罐的种类、防护范围和使用时间可见表 7-19。

表 7-19 滤毒罐的种类、防护范围和使用时间

型号	颜色	防护范围	防护举例	使用时间 (min)
MP-1	草绿+白道	氢氰酸及其衍生物、砷化物、毒烟、毒雾	氢氰酸、化氢、双光气、二氯甲砷、路易氏、溴甲烷、光气	>50
MP-2	绿	氢氰酸及其砷化物、各种有机气体和蒸气	氢氰酸、砷化氢、路易氏气、芥子气	>90
MP-3	褐	各种有机气体和其蒸气	苯、氯、丙酮、醇类、苯胺类、二硫化碳、氯仿、四氯化碳、溴甲烷、硝基烷、氯甲烷	>35~60
MP-4	灰	氨、硫化氢	氨、硫化氢	>60~100
MP-5	白	一氧化碳	一氧化碳	>70
MP-6	黑+黄条	汞	汞	
MP-7	黄	各种酸性气体	氯化氢、氯、光气、硫的氧化物	>35

## 2. 护目眼镜

在维护电气设备和进行检修工作时,为保护工作人员的眼睛不受电弧灼伤,以及防止灰尘、铁屑等脏杂物落入眼内,必须使用护目眼镜(见图 7-22)。



图 7-22 护目眼镜

护目眼镜应是封闭型的,镜片玻璃要能耐热、耐压(即能承

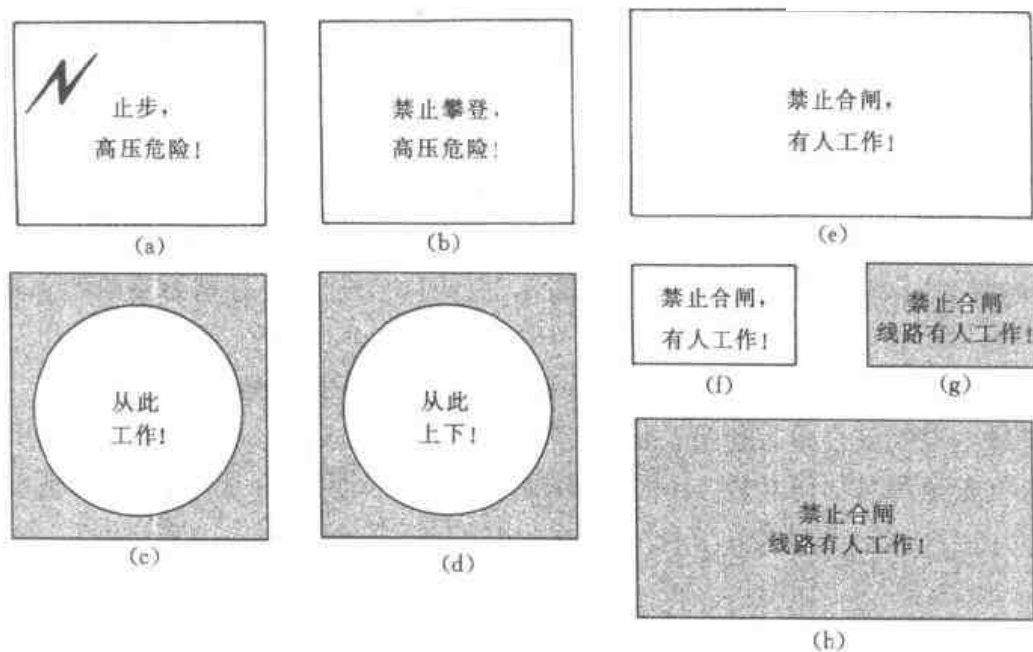


图 7-23 标示牌

(a) 尺寸为 250mm×200 mm, 白底红边黑字, 有红色危险标志; (b) 尺寸为 250mm×200 mm, 白底红边黑字; (c)、(d) 尺寸为 250mm×250 mm 在绿底中有直径为 210 mm 的白圆圈, 白圆圈中写黑字; (e) 尺寸为 200mm×100 mm, 白底红字; (f) 尺寸为 80mm×50 mm, 白底红字; (g) 尺寸为 80mm×50 mm, 红底白字; (h) 尺寸为 200mm×100 mm, 红底白字

受一定的机械力作用)。

### (三) 临时遮栏和标示牌

#### 1. 临时遮栏

可用来防止工作人员无意中碰到带电设备，也是工作位置与带电设备之间的距离小于安全距离时使用的安全用具。

临时遮栏是用干燥的木材、橡胶或其他坚韧的绝缘材料制成的，不能用金属材料制作。临时遮栏上必须有“止步，高压危险！”字样，以提醒工作人员注意。

#### 2. 标示牌

标示牌的用途是警告工作人员不得接近设备的带电部分，提醒工作人员在工作地点采取安全措施，以及表明禁止向某设备合闸送电等。

根据含义与用途的不同，标示牌可分为警告类、允许类、禁止类三类共6种（见图7-23）。标示牌的悬挂和拆除，均需按《电业安全工作规程》规定进行（参见附录五）。

## 复 习 思 考 题

1. 变电所的运行管理有什么特点？运行管理的主要内容有哪些？
2. 变电所运行人员的基本职责是什么？运行值班工作有哪些注意事项？变电所的运行分析有何意义？
3. 交接班的基本程序如何？执行交接班制度时应注意些什么？
4. 设备的日常维护主要有哪儿方面？设备管理的基本内容有哪些？设备缺陷分哪几类？
5. 什么是倒闸操作？倒闸操作的主要内容是什么？哪些项目应填入操作票内？
6. 倒闸操作应遵守什么样的顺序？正常情况允许用刀闸进行哪些操作？手动进行刀闸操作时应注意哪些事项？
7. 操作过程中发生带负荷拉刀闸怎么办？断路器停电操作后应分别检查哪些项目？
8. 保障安全的组织措施和技术措施分别有哪些？应填写第一种及第二种工作票的工作分别指哪些？
9. 倒闸操作时监护人有何职责？操作高压设备时，为什么要穿戴合格的绝缘靴和绝缘手套？
10. 试述验电方法及验电时的注意事项。怎样装设和拆除接地线？
11. 绝缘在电气安全中有何重要作用？什么是介质损？对耐压试验的一般要求是什么？
12. 电气安全用具如何分类？分别有哪几种？它们的作用分别是什么？怎样保管好安全用具？

## 第八章 接地接零和防雷

### 第一节 接地接零的作用和要求

#### 一、接地装置、接触电压及接地电阻

##### (一) 电气上所说的“地”究竟指何含义

“地”一般指大地。但在电气上，它却具有更深一层的含义。由于大地内含有自然界中的水分等导电物质，因此它也是能导电的。当一根带电的导体与大地接触时，便会形成以接触点为球心的半球形地电场。此时，接地电流  $I_d$  便经导体由接地点流入大地内，并向四周呈半球形流散（见图 8-1）。

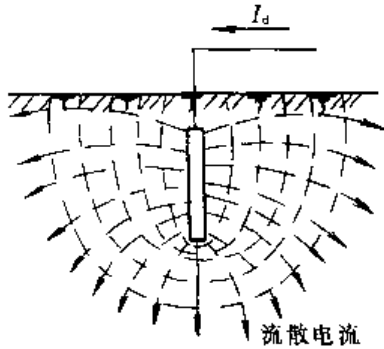


图 8-1 地中电流呈半球形流散

实际上已是零电位了（见图 8-2）。而这些电位为零的地方，也就是电气上通常所说的“地”，即其含义实际上是泛指零电位的地方。

由于地球非常大，相比于一物体来讲，可认为大了无限倍。因此无论多少电荷也可经它流散，而不会使整个地球的电位升高。正因为如此，电气上便常以大地的电位作为参考零电位。

##### (二) 接地装置、对地电压与接触电压

###### 1. 接地装置、接地体与接地线

所谓接地装置，是指人为设置的接地体与接地线的总称（见图 8-3）。

埋入土壤内并与大地直接接触的金属导体或导体组，叫做接地体，也叫接地极。它按设置结构可分为人工接地体与自然接地体两类。按具体形状可分为管形与带形等多种。连接接地体与电气设备应接地部分的金属导体，叫做接地线。它同样有自然接地线与 T 接地线之分，且通常又可分为接地干线与接地支线。

###### 2. 对地电压、接触电压与跨步电压

在大地中，因球面积与半径的平方成正比，半球形的面积将随着远离接地点面迅速增大。所以越靠近接地点，电流通路的截面越小，电阻就越大；而相距越远，其截面便越大，电阻就越小，通常在距离接地点约 20m 左右处，半球形面积已达  $2500\text{m}^2$ ，土壤电阻已小到可以忽略不计。这就是说，可以认为在远离接地点 20m 以外时，便不会再产生电压降  $U_d$ ，即实际上已是零电位了（见图 8-2）。而这些电位为零的地方，也

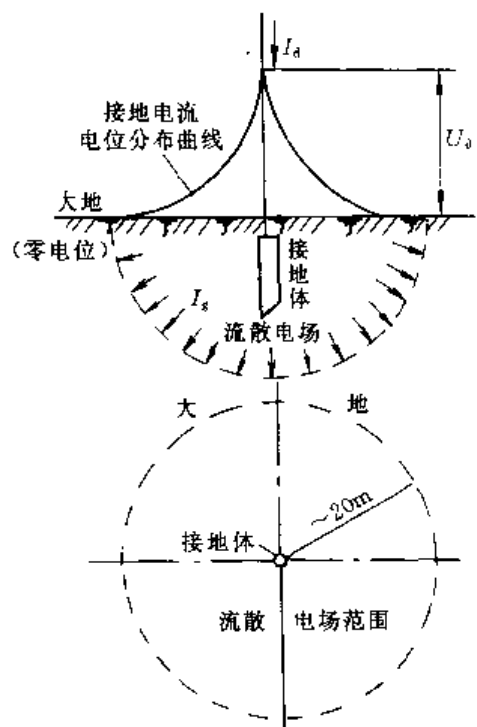


图 8-2 接地流散电场分布示意图

$I_d$ —地中电流； $U_d$ —对地电压

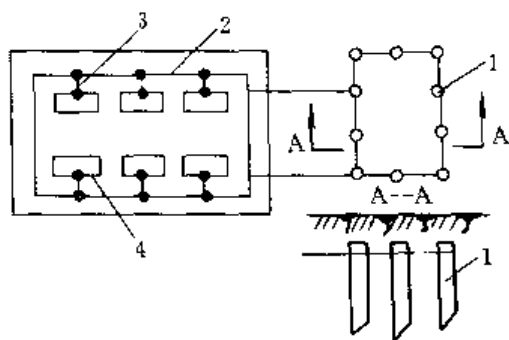


图 8-3 接地装置示意图

1- 接地体；2- 接地干线；3- 接地支线；4- 设备

叫做对地电压曲线，也称接地电流电位分布曲线 [见图 8-4 (a)]。

图 8-4 中，纵坐标为各点实际对地电压与接地体对地电压的比率 ( $U_{an}/U_d$ )，横坐标指各点离接地体上最远点的实际距离对接地体自身宽度的比值 ( $S/S_d$ )。由图可见，随着远离接地体，对地电压曲线的变化就越趋平缓（曲线陡度变小）。这说明各点的对地电压逐渐下降，也即土壤（流散）电阻不断减小。

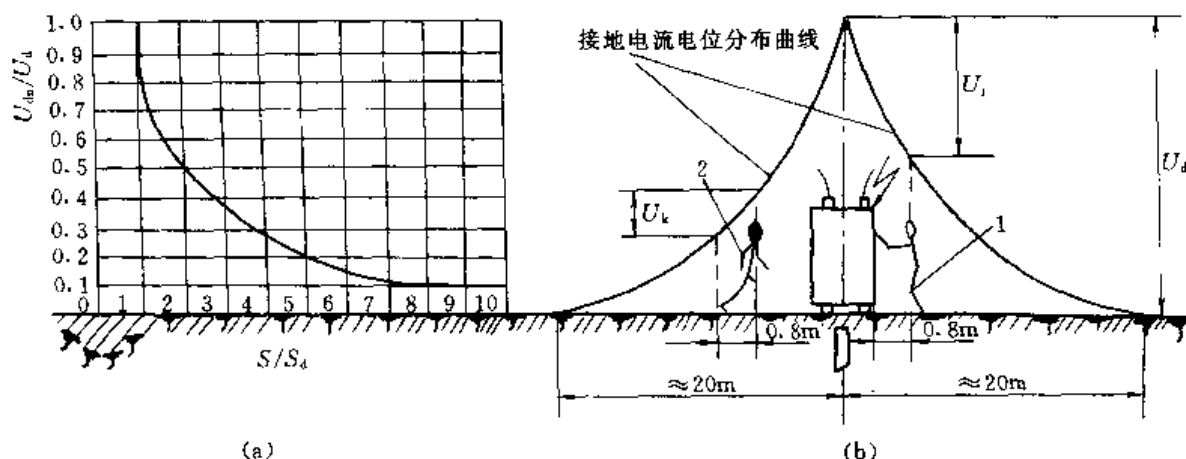


图 8-4 对地电压曲线、接触电压和跨步电压

(a) 接地体的导地电压曲线；(b) 接触电压和跨步电压

可见，当设备发生接地故障时，以接地点为中心的大地表面约 20m 半径的圆形范围内，便形成了一个电位分布区。当人体处在这一范围内又同时接触该故障设备的外壳（或构架）时，人体所承受的电位差便称为接触电压 ( $U_c$ )。显然其大小与设备（或接触设备外壳的人体立地点）离接地点的远近有关，离得愈近接触电压就愈小，愈远其值便愈大 [见图 8-4 (b)]。在流散电场范围内，人体两脚（或牲畜前后脚）之间所承受的电位差称跨步电压 ( $U_k$ )。其值随立地处距接地点的远近和跨步的大小而变化，离得越近或跨步越大，跨步电压就越高，反之则越小。

### (三) 接地电流和接地电阻

#### 1. 接地电流与接地短路电流

凡从带电体流入地下的电流即为接地电流。有正常接地电流与故障接地电流之分。正常接地电流指正常工作时，通过接地装置流入地下、借用大地形成回路的电流；故障接地

电流指系统发生故障时出现的接地电流。

若系统接地而导致系统发生短路，这时的故障接地电流，便叫做接地短路电流。在高压系统中，接地短路电流可能会很大。因此规定：凡接地短路电流在 500A 及以下，称小接地短路电流系统；大于 500A 则称为大接地短路电流系统。

可见，接地电流与接地短路电流是不同的两回事。它们各有其含义，故不应混淆。

## 2. 流散电阻及接地电阻

在接地体上，电流自接地体向四周大地流散时所遇到的全部电阻，称作流散电阻（或散流电阻）。

接地电阻是指整个接地装置的电阻值，它是接地体的流散电阻与接地线本身电阻之和。由于接地线的电阻（包括接地线与接地体间的连接电阻）一般都很小，故常可忽略不计。因此，可近似认为接地电阻就等于流散电阻。

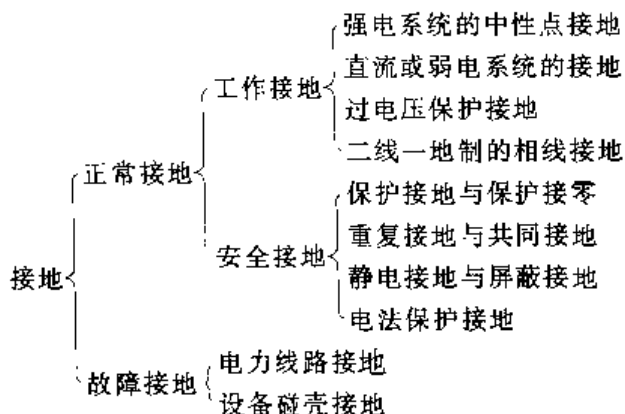
通常说的接地电阻值都是对工频电流而言。当雷电流通过接地装置时，由于雷电流有着强烈的冲击性，这时接地电阻值便会发生很大的变化。为了区别起见，将这种情况下的接地电阻称为冲击接地电阻。

所以，接地电阻、流散电阻与冲击接地电阻所指含义各不相同，概念上定要分清。

## 二、接地的分类与工作接地的作用

### （一）电气接地的含义及其分类

凡是电气设备或设施的任何部位（不论带电与不带电），人为地或自然地与具有零电位的大地相接通的方式，便称为电气接地（常简称接地）。它是电气技术（尤其是安全技术）中的一个专用名词，应用相当广泛。接地的分类如下：



按照接地的形成情况，可以将其分为正常接地和故障接地两大类。前者是为了某种需要而人为地造就的，后者则是由各种外界或自身因素自然地造成的。

按照接地的不同作用，又可将正常接地分为工作接地和安全接地两大类。

工作接地通常有以下三种情况：①利用大地作回路的接地。此时，正常情况下也有电流通过大地。如直流工作接地、弱电工作接地、两线一地制供电方式中的一相接地。②维持系统安全运行的接地。正常情况下没有电流或只有很小的不平衡电流通过大地。如 110kV 以上系统的中性点接地、低压三相四线制系统的变压器中性点接地。③为了防止雷击和过电压对设备及人身造成危害而设置的接地。即为过电压保护接地，也叫防雷接地。

安全接地主要包括：①为防止电力设施或电气设置绝缘损坏、危及人身安全而设置的

保护接地。②为消除生产过程中产生的静电积累，引起触电或爆炸而设的静电接地。③为防止电磁感应而对设备的金属外壳、屏蔽罩或屏蔽线外皮所进行的屏蔽接地。④为了防止管道受电化腐蚀、采用阴极保护或牺牲阳极的电法保护接地等。

## （二）各种工作接地的主要作用

由于运行和安全需要，为保证电力网在正常情况或事故情况下能可靠地工作而将电气回路中某一点实行的接地，称为工作接地。如电源（发电机或变压器）的中性点直接（或经消弧线圈）接地，电压互感器一次侧中性点的接地，以及“两线一地”制供电方式中接地相的接地等，都属于工作接地。强电系统中，各种工作接地的主要作用是：

（1）变压器和发电机的中性点直接接地，能维持相线对地的电压不变（故障相除外），并可降低人体的接触电压及适当降低制造时对电气设备的绝缘要求。在变压器供电时，可防止高压电窜至低压用电侧的危险。

（2）变压器或发电机的中性点经消弧线圈接地，还能在发生单相接地故障时，消除接地短路点的电弧及由此而可能引起的危害。

（3）仪用互感器如电压互感器一次侧线圈的中性点接地，主要是为了对一次系统中的相对地电压进行测量。

（4）“两线一地”制的相线接地，是为了利用大地当作一根导线，从而可以降低线路基建投资与年运行费用，并减少线路材料的耗量。但对电讯有干扰影响，对安全也不利。故这种供电方式平原地区现已不再推广采用，原有的也正在逐步加以改造。

## 三、低压配电网中性点接地的优越性

### （一）为何低压配电网的中性点大都实行工作接地

在一般 220/380V 三相四线制低压配电网中，配电变压器的中性点大都实行工作接地。这主要是因为这样做有下述优越性：

（1）正常供电情况下能维持相线的对地电压不变，从而可向外（对负载）提供 220/380V 这两种不同的电压，以满足单相 220V（如电灯、电热）及三相 380V（如电动机）不同的用电需要。

（2）若中性点不接地，则当发生单相接地情况时，另外两相的对地电压便升高为相电压  $\sqrt{3}$  倍。而中性点接地后，另两相的对地电压便仍为相电压。这样，既能减小人体的接触电压，同时还可适当降低对电气设备的绝缘要求，利于制造及降低造价。

（3）可以避免高压电窜到低压侧的危险。实行上述接地后，万一高低压线圈间绝缘损坏而引起严重漏电甚至短路时，高压电便可经该接地装置构成闭合回路，使上一级保护动作跳闸切断电源，从而避免低压侧工作人员遭受高压电的伤害或造成设备损坏。

所以，低压电网的配变中性点一般都要实行接地。前些年也有主张农村低压配电网不实行中性点接地的，这主要是基于广大农村中单相触电在所有触电事故中占有很高的比例，且个别地区试行了这种配变中性点不接地的运行方式。但至今尚存在许多问题，故不宜推广。

### （二）中性点（线）与零点（线）的区别

中性点有电源中性点与负载中性点之分。它只是在三相电源或负载按 Y 形连接时才出现。对电源而言，凡三相线圈的首端（或尾端）连接在一起的共同连接点，称电源中性点，

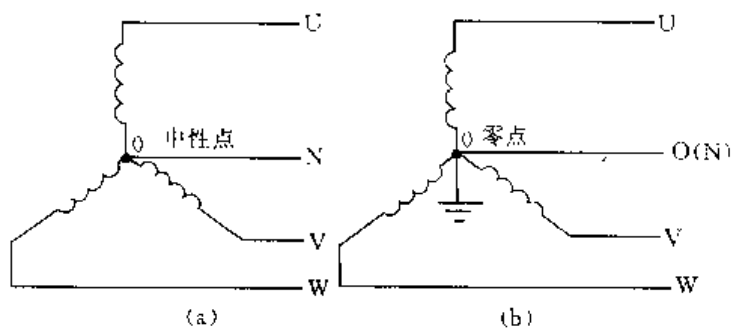


图 8-5 中性点与零点、中性线与零线的区别

(a) 三相四线制中性点不接地系统；(b) 三相四线制中性点接地系统

简称中点；而由电源中性点引出的导线便称中性线，简称中线，且常用 N 表示（见图 8-5）。

当电源中性点与接地装置有着良好连接时，因已取得了大地的零电位，该中性点便称零点；由零点引出的导线称零线，常用 0 表示（有时也表作 N）。

通常对 220V 单相回路的两根线，也将其中一根称为相线或火线（用 L 表示；三根相线时则分别用 A、B、C、U、V、W 或 L1、L2、L3 表示），而将另一根称零线或地线。火线与地线的称法，只是实用中的一种俗称，其中特别是地线的称法并不确切。严格地讲应是：如该线的电源侧（三相配电变压器中性点）接地时，则称零线；若不接地时，则应称中线，以避免与接地装置中的地线相混淆，这样较为妥善。

#### 四、保护接地与保护接零

##### (一) 保护接地的作用及其局限性

为了保障人身安全，避免发生触电事故，将电气设备在正常情况下不带电的金属部分（如外壳等）与接地装置实行良好的金属性连接，这种方式便称为保护接地，常简称接地。它是一种防止触电的基本技术措施，实用中相当普遍。

当电气设备由于种种原因造成绝缘损坏时就会产生漏电，或是带电导线碰触机壳时，都会使本不带电的金属外壳等带上电（具有相当高或等于电源电压的电位）。若金属壳未实施接地，则操作人员碰触时便会发生触电。如果实行了保护接地，此时就会因金属外壳已与大地有了可靠而良好的连接，便能让绝大部分电流通过接地体流散到地下。

人体若触及漏电的设备外壳，因人体电阻 ( $R_A$ ) 与接地电阻 ( $R_{地}$ ) 相并联，且  $R_A \gg R_{地}$ （人体电阻比接地电阻起码大 200 倍以上），由于分流作用，通过人体的故障电流将远比流经  $R_{地}$  的要小得多，对人体的危害程度也就极大地减小了（见图 8-6）。

此外，在中性点接地的低压配电网中，假如电气设备发生了单相碰壳故障，若实行了保护接地时，由于电源相电压为 220V，如按工作接地电阻为  $4\Omega$ 、保护接地电阻为  $4\Omega$  计算，则故障回路将产生 27.5A 的电流。一般情况下，这么大的故障电流定会使熔断器 (FU) 熔断或自动开关跳闸，从而切断电源，保障了人身安全。

但保护接地也有一定局限性。这是由于为能保证使熔丝熔断或自动开关跳闸，一般规定故障电流必须分别大于熔丝或开关额定电流的 2.5 倍或 1.25 倍。因此，27.5A 故障电流便只能保证使额定电流为 11A 的熔丝或 22A 的开关动作；若电气设备容量较大，所选用的熔丝与开关的额定电流超过了上述数值，则此时便不能保证切断电源，进而也就无法保障人身安全了。

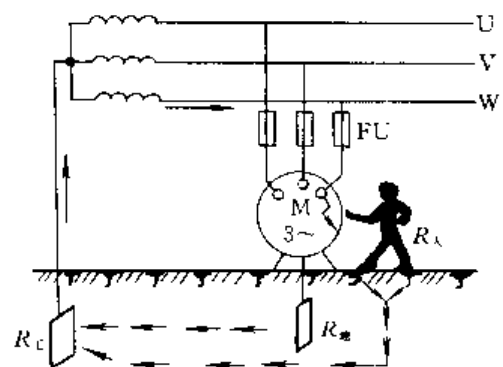


图 8-6 保护接地示意图

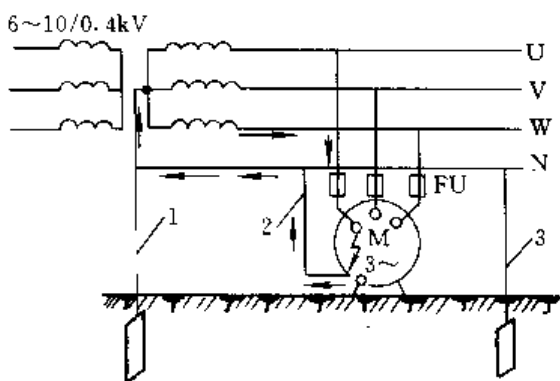


图 8-7 保护接零、工作接地、重复接地示意图  
1—工作接地；2—保护接零；3—重复接地

所以，接地保护方式存在着一定的局限性。

### (二) 保护接零的优点及实施要求

若将电气设备在正常情况下不带电的金属部分用导线直接与低压配电系统的零线相连接。这种方式便称为保护接零，常简称接零（见图 8-7）。它与保护接地相比，能在更多的情况下保证人身安全，防止触电事故。

在实施上述保护接零的低压系统中，如果电气设备一旦发生了单相碰壳漏电故障，便形成了一个单相短路回路。因该回路内不含工作接地电阻与保护接地电阻，整个回路的阻抗很小，因此

故障电流必将很大（远远超出 27.5A），就足以能保证在最短时间内使熔丝熔断、保护装置或自动开关跳闸，从而切断电源，保障了人身安全。

显然，采取保护接零方式后，便可扩大安全保护的范同，同时也克服了保护接地方式的局限性。在低压配电系统内采用接零保护方式时，应注意如下要求：

- (1) 三相四线制低压电源的中性点必须良好接地，工作接地电阻值应符合要求。
- (2) 在采用接零保护方式的同时，还应装设足够的重复接地装置。
- (3) 同一低压电网中（指同一台配电变压器的供电范围内），在选择采用保护接零方式后，便不允许再（对其中任一设备）采用保护接地方式。
- (4) 零线上不准装设开关和熔断器。其敷设要求应与相线一样，以免出现零线断线故障。
- (5) 零线截面应保证在低压电网内任何一处短路时，能够承受大于熔断器额定电流 2.5~4 倍及自动开关额定电流 1.25~2.5 倍的短路电流，且不小于相线载流量的一半。
- (6) 所有电气设备的保护接零线，应以“并联”方式连接到零干线上。

必须指出，在实行保护接零的低压配电系统（简称接零系统）中，电气设备的金属外壳在正常情况下有时也会带电。产生这种现象的原因不外乎以下三种：

- (1) 三相负载不平衡时，在零线阻抗过大（线径过小）或断线的情况下，零线上便可能会产生一个有麻电感觉的接触电压。
- (2) 保护接零系统中有部分设备采用了保护接地时，若接地设备发生了单相碰壳故障，则接零设备的外壳便会因零线地位的升高而产生接触电压。
- (3) 当零线断线又同时发生了零线断开点之后的电气设备单相碰壳。这时，零线断开点后的所有接零设备，便会带有较高的接触电压。

### (三) 接地与接零的适用范围和注意事项

它们的含义、目的、适用范围、作用原理及注意事项各不相同（见表 8-1）。

### (四) 保护接地与接零方式混用的危害

#### 1. 保护接地与保护接零切不可混用

在由同一台配电变压器或同一段母线供电的低压配电系统内，只应选择采用同一种保护方式：或者全部采用保护接地，或者全部采用保护接零。而不能同时采用保护接地和保护接零这两种不同的方式。



在中性点不接地的低压配电网中，应采用保护接地方式。对所有高压电气设备，一般都是实行保护接地。

## 五、重复接地和共同接地

### (一) 实行零线重复接地的作用

在中性点直接接地的低压配电系统中，为确保接零保护方式的安全可靠，防止零线断线所造成的危害，系统中除了工作接地外，还必须在整个零线的其他部位再行接地，称之为重复接地。事实上，保护接零本身就包含着必须重复接地的要求。需重复接地的处所有：

- (1) 架空线路或分支线的首端与终端处。
- (2) 无分支的架空线路的沿线每隔 1km 处。
- (3) 电缆或架空线路引入屋内的进线处（距接地点不超过 50m 者除外）。
- (4) 车间内零干线的终端处，以及零干线很长时，其中间的适当部位处。
- (5) 屋内设备接地时，应将零线与所有低压开关等设备及控制屏的接地装置相连接。

若未实行这种重复接地（见图 8-9），则当零线万一断线而同时又发生某一设备（如电动机  $M_2$ ）碰壳（W 相绝缘损坏）时，断线处（M）后边所有用电设备（如  $M_3$ ）的外壳上，虽在自身并无故障的情况下，也会出现较高的对地电压（为电源一相对地电压  $U = 220V$ ）。这就势将严重威胁人身安全。如果实行零线重复接地后（重复接地电阻为  $R_c$ ）， $M_3$  外壳的对地电压  $U_c$  便可大为降低（仅等于故障电流  $I_d$  与  $R_c$  的乘积）。若  $R_c = R_0 = 4\Omega$ ，则  $U_c$  便只为电源相电压的 1/2，从而可以减小触电的危险程度；且由于此时已构通了故障电流回路， $I_d$  也就可能会使保护（如熔断器等）动作而切断电源。

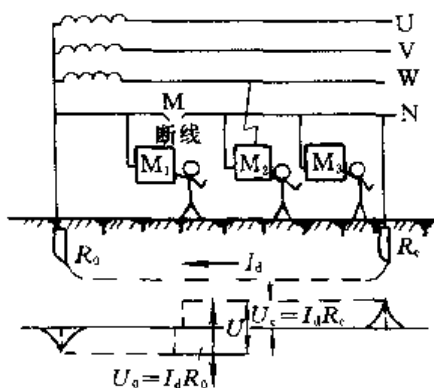


图 8-9 有重复接地时零线断线

### (二) 变压器的铁芯与外壳要同时接地

变压器运行时，铁芯及其各种连接的金属结构都处于线圈所产生的强磁场中。如果铁芯不与箱体（外壳）同时接地，则由于强磁场的作用，便会使铁芯与箱体间存在较高的电位差，很可能由此形成间隙放电，这是不允许的。铁芯和箱体若实行了同时接地，就可保护它们始终都处于相同地位。这种将若干电气设备需实行接地的不同部位同时接地的方式，称共同接地。

实用中对于铁芯的接地常采用一点接地方式。这是出于各芯片间要求相互绝缘以限制涡流来考虑的。若将整个铁芯接地，各片间就互相连通，势必产生很大涡流。由于片间绝缘相对来说比较薄弱，它虽能阻止涡流，但却不能阻挡高压静电的泄漏。所以当实行一点接地方式后，对于感应高电压来说，实际上相当于将整个铁芯接地了。

### (三) 配电系统的三点共同接地

配电系统中，为防止架空配电网受过电压危害，常将变压器中性点、变压器外壳及避雷器接地引下线三者共同与一个接地装置相连接。这种方式称为配电系统的三点共同接地。

如果不实行这种三点共同接地的方式，则当雷电流经过避雷器及接地装置泄入大地时，避雷器上的残压和雷电流在接地装置上所产生的电压降，将通过接地体加到变压器的外壳与绕组上，使变压器要承受超出其额定电压很多倍的高电压，这就很可能会导致变压器绕

都可以用来作为自然接地体。它们主要有：

- (1) 与大地有可靠连接的建筑物的钢结构件。
- (2) 敷设于地下而数量不少于两根的电缆金属外皮。
- (3) 建筑物钢筋混凝土基础的钢筋部分。
- (4) 敷设在地下的金属管道及热力管道等。

输送可燃性气体或液体（如煤气、天然气、石油）的金属管道则应除外，包有黄麻、沥青层等绝缘物的金属管道也不能作为自然接地体。尤其要指出，分布范围很广、利用也方便的自来水管也不宜直接用来作为自然接地体。这是历来有争议的问题。事实上，因为自来水管多采用金属管或塑料管，塑料管因其导电性能极差，显然不能用来作为自然接地体。金属自来水管虽大都埋设在地下，且分布较广接用方便，但由于管路长弯曲多，于是接头也多，又为了防止漏水，在接头处总是嵌入麻丝并涂入磁漆等填充物，它在电气上呈一种不连续状态。这就影响了电气通路的导电性能，增大了接触电阻。若用来作为自然接地体，势将增大接地装置的总电阻值而难于合乎要求。再者，使用中万一某处水管带有一定电位后，就会传至相关各处管路，极易引起麻电或触电。因此，只有在经过采取焊接与加跨接线等措施后方可加以利用。

## (二) 宜于用作自然接地线的设施

为减少基建投资、降低工程造价并加快施工进度，实际工程中可充分利用下述设施作为自然接地线（当利用它们能满足规定要求时便可不必另设人工接地线）：

(1) 建筑物的金属结构（如梁和柱子等）。利用时要求它们能保证成为连续的导体。故除了其结合处采用焊接处，凡用螺栓连接或铆钉焊接的地方都要采用跨接线（一般用扁钢）连接。作接地干线时截面不小于  $100\text{mm}^2$ ；作接地支线则不小于  $48\text{mm}^2$ 。

(2) 生产用的金属结构。如吊车轨道、配电装置、起重机或升降机的构架。

(3) 配线的钢管。利用时，其管壁厚度不应小于  $1.5\text{mm}$ ，以免产生锈蚀而成为不连续导体。在管接头和接线盒处，都要采用跨接线连接。钢管直径为  $40\text{mm}$  及以下时，跨接线采用  $6\text{mm}$  圆钢；钢管直径为  $50\text{mm}$  以上时，跨接线采用  $25\text{mm} \times 4\text{mm}$  的扁钢。

(4) 电缆的金属包皮。利用电缆的铅包皮作为接地线时，接地线卡箍的内部需垫以  $2\text{mm}$  厚的铅带；电缆钢铠甲与接地线卡箍相接触的部分均要刮擦干净，以保证两者接触可靠。步箍、螺栓、螺母及垫圈均应镀锌。

(5) 电压  $1000\text{V}$  以下的电气设备，可利用各种金属管道作为自然接地线。但不得利用可燃液体、可燃或爆炸性气体的管道，金属自来水管也不宜直接利用。

## 二、装设接地装置的技术要求

### (一) 装设接地装置的一般要求

(1) 充分利用并严格选择自然接地体。要特别重视使用的安全及具有良好的接地电阻这两方面。利用自然接地体时，必须在它们的接头处另行跨接导线，使其成为具有良好导电性能连续性导体，以取得合格的接地电阻值。

(2) 凡直流回路均不能利用自然接地体作为电流回路地零线、接地线或接地体。直流回路专用的中性线、接地体及接地线也不能与自然接地体相接。因直流的电介作用，容易使地下建筑物和金属管道等受到侵蚀而损坏。恰恰是这一点，常易为人们所忽略。

(3) 人工接地体的布置应使接地体附近的电位分布尽可能均匀。如可布置成环形等，以减少接触电压和跨步电压。由于接地短路时接地体附近会出现较高的分布电压，危及人身安全，有时需挖开地面检修接地装置。故人工接地体不宜埋设在车间内，应离建筑物及其出入口和人行道 3m 以上。不足 3m 时，要铺设砾石或沥青路面，以减少接触电压和跨步电压。此外，埋设地点还应避开烟道或其他热源处，以免土壤干燥，电阻率增高；也不要埋设在垃圾、灰渣及对接地体有腐蚀的土壤中。

## (二) 对各类设备接地装置的具体要求

装设接地装置时，由于设备与环境等条件或因素不同，其具体要求也各不相同：

### 1. 电缆线路

电缆绝缘若有损坏时，其外皮、铠甲及接头盒上都可能带电，因此高压电缆外皮在任何情况下都要实行接地；低压电缆除在危险场所如潮湿、有腐蚀性气体、有导电尘埃场所外，一般可不接地；地下敷设的电缆，其外皮两端都应接地；截面为  $16\text{mm}^2$  及以上的单芯电缆，为消除涡流，其一端应接地；两根单芯电缆平行敷设时，为限制产生过高的感应电压，则应多点接地。

### 2. 便携式用电设备

凡用软线接到电源插座上的各种便携式电气设备、仪表、电动工具（如手提电钻、砂轮、电熨斗、台灯等），其接地和接零的要求是：

(1) 用电设备的插头与插座，应采用有接地触头的，如单相三孔和三相四孔插头与插座。

(2) 接地触头和金属外壳应有可靠的电气连接，接地线要用软铜线，其截面要与相线一样。

(3) 接地（零）线要正确连接（见图 8-10），即应由设备外壳的接地（零）线直接放线接到地（零）干线上（称直放接）。

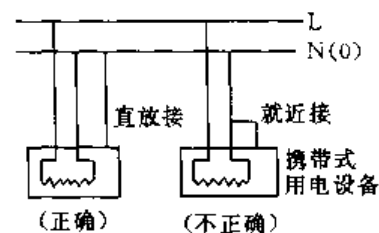


图 8-10 便携式用电设备的接地（零）示意图

### 3. 电气医疗设备

如 X 光机、心电图描记器、脑电图描记器等经常与病人接触的设备。由于病人皮肤电阻一般较低，应严格做好接地。有金属外壳的，金属外壳应可靠接地；若没有的，则内部电源、供电电缆、X 光管等的金属外壳、外皮和支架均必须接地。为确保安全，在这些设备附近还应对其零线实施重复接地。对心电图描记器、脑电图描记器等设备，为避免假信号窜入记录中，还必须采用单独的接地线路。

### 4. 有爆炸与火灾危险场所的设备

为防止电气设备外壳产生较高的对地电压，以及金属设备与管道间产生火花，对危险场所内电气设备接地和接零的要求是：

(1) 将整个电气设备、金属设备、管道、建筑物金属结构全部接地，并且在管道接头处敷设跨接线。

(2) 接地或接零的导线要采用裸导线、扁钢或电缆芯线并有足够截面。在 1000V 以下中性点接地的配电网内，为保证能迅速可靠地切断接地短路故障，当线路采用熔断器保护时，熔体额定电流应小于接地短路电流的  $1/4$ ；若线路上装设自动开关时，自动开关瞬时

脱扣器的整定电流应小于接地短路电流的  $1/2$ 。

(3) 对所装用的电动机、电器及其他电气设备的接线头，导线或电缆芯的电气连接等，都应可靠地压接，并采取防止接触松弛的措施。

(4) 为防止测量接地电阻时产生火花，测试要在没有爆炸危险的建筑物内进行，或者将测量端钮用线引接至户外进行测量。

### 三、接地体的制作及施工安装

#### (一) 接地体施工安装的技术要求

利用自然接地体时，要采用不小于两根的导体，并在不同地点与接地干线相连接。进行人工接地体施工安装时，应严格按照设计要求逐项实施：

(1) 人工接地体所采用的材料，垂直埋设时常用直径为 50mm、管壁厚不小于 3.5mm、长 2~2.5m 的钢管；也可采用长 2~2.5m，40mm×40mm×4mm 或 50mm×50mm×5mm 的等边角钢。水平埋设时，其长度应为 5~20m。若采用扁钢，其厚度不应小于 4mm，截面不小于 48mm<sup>2</sup>；用圆钢，则直径不应小于 8mm。如果接地体是安装在有强烈腐蚀性的土壤中，则接地体应镀锡或镀锌并适当加大截面。注意不准采用涂漆或涂沥青的办法防腐蚀。

(2) 安排接地体位置时，为减少相邻接地体之间的屏蔽作用，垂直接地体的间距不应小于接地体长度的两倍；水平接地体的间距，一般不小于 5m。

(3) 接地体打入地下时，角钢的下端要削尖；钢管的下端要加工成尖形或将圆管打扁后再垂直打入；扁钢埋入地下时则应立放。

(4) 为减少自然因素对接地电阻的影响并取得良好的接地效果，埋入地中的垂直接地体顶端，距地面不应小于 0.6m；若水平埋设时，其深度也不应小于 0.6m。

(5) 埋设接地体时，应先挖一条宽 0.5m、深 0.8m 的地沟。然后再将接地体打入沟内，上端露出沟底 0.1~0.2m，以便对接地体上的连接扁钢和接地线进行焊接。焊接好后，经检查认为焊接质量和接地体埋深均合乎要求时，方可将沟填平夯实。为日后测量接地电阻方便，应在适当位置加装接线卡子，以备测量时接用。

#### (二) 垂直接地体的制作及安装方法

(1) 制作方法。垂直安装的接地体采用角钢或钢管制作，长度一般为 2~3m 间，但不能短于 2m。下端应加工成尖形。用角钢的，其尖点应在角钢的钢脊线上，且两个斜边要对称。用钢管的，要单边斜削保持一个尖点（见图 8-11）。凡用螺栓连接的，要先钻好螺栓的

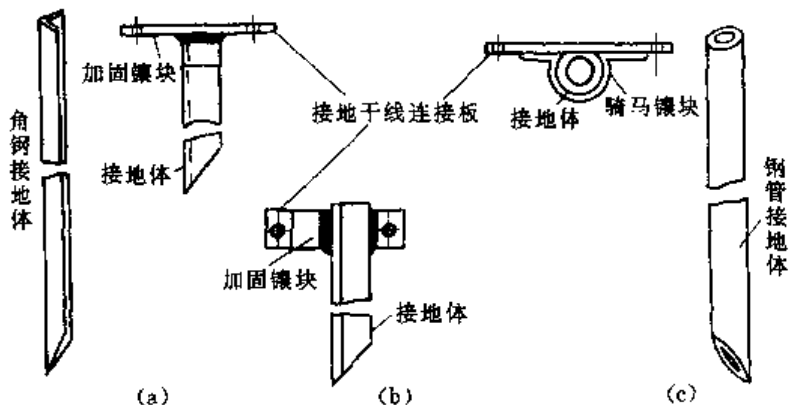


图 8-11 垂直接地体

(a)角钢顶端装连接板；(b)角钢垂直面装连接板；(c)钢管垂直面装连接板

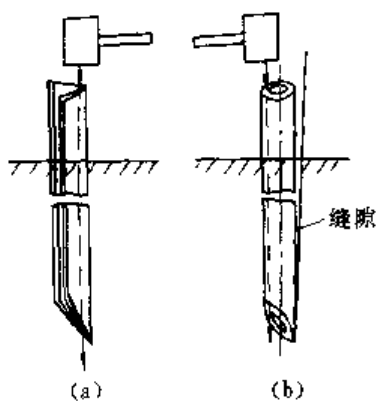


图 8-12 接地体打入土壤情形  
(a) 角钢接地体；(b) 钢管接地体

通孔。为便于连接，要在接地体上端或垂直面上制装连接板。

(2) 安装方法。采用打桩法将接地体打入地下（见图 8-12）。接地体应与地面垂直，不可歪斜，有效深度不少于 2m；多极接地或接地网的各接地体之间，应保持 2.5m 以上的直线距离。

用锤子敲打角钢时，应敲打角钢端面角脊处，锤击力会顺着角脊线直传到其下部尖端，容易打入、打直 [见图 8-12 (a)]。若是钢管，则锤击力应集中在尖端的切点位置，否则不但打入困难且不易打直，致使接地体与土壤产生缝隙，增大接触电阻。全部打入地下后，应在四周用土壤埋填夯实，以减小接触电阻。若接地体与接地线在地面下连接，则应先将接地体

与接地线用电焊焊接后再埋土夯实。

#### 四、接地线的施工安装与截面规定

##### (一) 人工接地线的施工安装要求

接地线是接地装置中的另一组成部分。实际工程中要尽可能利用自然接地线，但要求它具有良好的电气连接。为此在建筑物钢结构的结合处，除已焊接者外，都要采用跨接线焊接。跨接线一般采用扁钢，作为接地干线时，其截面不得小于  $100\text{mm}^2$ ；作为接地支线的，不得小于  $48\text{mm}^2$ 。对于暗敷管道和作为接零线的明敷管道，其结合处的跨接线可采用直径不小于 6mm 的圆钢。利用电缆的金属外皮为接地线时，一般应有两根。若只有一根，则应敷设辅助接地线。若无可利用的自然接地线，或虽有能利用的、但不能满足运行中电气连接可靠的要求及接地电阻不能符合规定时，则应另设人工接地线。其施工安装要求是：

(1) 一般应采用（钢质扁钢或圆钢）接地线。只有当采用钢质线施工安装困难时，或移动式电气设备和三相四线制照明电缆的接地芯线，才可采用有色金属作人工接地线。

(2) 必须有足够截面保证连接可靠及有一定的机械强度。扁钢厚度不小于 3mm，截面不小于  $24\text{mm}^2$ ；圆钢直径不小于 5mm；电气设备的接地线用绝缘导线时，铜芯线不小于  $25\text{mm}^2$ ，铝芯不小于  $35\text{mm}^2$ ；架空线路的接地引下线用钢绞线时，截面不小于  $35\text{mm}^2$ 。

(3) 为能在低压接地电网中自动断开线路故障段，接地线和零线的截面应能保证在导电部分与接地部分（或零线）间发生单相短路时，网内任一点的最小短路电流不小于最近处熔断器熔体额定电流的 4~5 倍、自动开关瞬时动作电流的 1.5 倍，并应能符合热稳定要求。同时接地线和零线的电导，一般不小于本线路中最大相线电导的 1/2。

(4) 中性点直接接地的低压电气设备的专用接地线或零线，宜与相线一起敷设。钢、铝、铜接地线的等效截面见表 8-2。

(5) 接地线与接地体之间的连接应采用焊接或压接，连接应牢固可靠。采用焊接时，扁钢的搭接长度应为宽度的 2 倍且至少焊接

表 8-2 钢、铝、铜接地线的等效截面 ( $\text{mm}^2$ )

钢 ( $\text{mm} \times \text{mm}$ )	铝	铜
15×2	—	1.3~2
15×3	6	3
20×4	8	5
30×4 或 40×3	16	8
40×4	25	12.5
60×5	35	17.5×25
80×8	50	35
100×8	70	47.5×50

注 等效截面积是按等效导体电阻考虑的。

3个棱边；圆钢的搭接长度应为直径的6倍。采用压接时，应在接地线端加金属夹头与接地体夹牢，夹头与接地体相接触的一面应镀锡，接地体连接夹头的地方应擦拭干净。

(6) 接地线应涂漆以明显标志，其颜色是：黑色为保护接地，紫色底黑色条为接地中性线（每隔15cm涂一黑色条，条宽1~1.5cm）。接地线应装设在明显处，以便于检查，对日常容易碰触到的部位，要采取措施妥加防护。

## (二) 接地线的截面规定及安装工艺

### 1. 用于输配电系统工作接地的接地线

(1) 10kV 避雷器的接地支线宜采用多股导线，可选用铜芯或铝芯绝缘电线和裸线，也可用扁钢、圆钢或多股镀锌绞线，截面不小于16mm<sup>2</sup>；用作避雷针和避雷线的接地线截面不应小于25mm<sup>2</sup>。接地干线则通常用扁钢或圆钢，扁钢截面不小于4mm×12mm，圆钢直径不小于6mm。

(2) 配电变压器低压侧中性点的接地支线，要采用裸钢绞线，其截面不应该小于35mm<sup>2</sup>；变压器容量在100kVA以下时，接地支线的截面可采用25mm<sup>2</sup>。

### 2. 用于设备金属外壳保护接地的接地线

(1) 接地线所用材料的最小和最大截面如表8-3所列。

表 8-3 设备保护接地线的截面规定

接 地 线 类 别		最小截面 (mm <sup>2</sup> )	最大截面 (mm <sup>2</sup> )
铜	移动电具引线的接地芯线	生活用 0.2 生产用 1.0	25
	绝缘铜线	1.5	
	裸铜线	4.0	
铝	绝缘铝线	2.5	35
	裸铝线	6.0	
扁钢	户内：厚度不小于 3mm	24.0	100
	户外：厚度不小于 4mm	48.0	
圆钢	户内：直径不小于 5mm	19.0	100
	户外：直径不小于 6mm	28.0	

(2) 当接地线最小截面的安全载流量不能满足表8-3的规定时，则接地支线必须按相应的电源相线截面的1/3选用；接地干线必须按相应的电源相线截面的1/2选用。

(3) 低压配电系统中，接地或接零干线的载流量一般不小于容量最大线路的相线允许载流量的1/2；支线载流量不小于分支相线允许载流量的1/3。

(4) 低压电力设备的接地线截面，在中性点接地或不接地配电系统中，一般分别不应大于表8-4中数值（mm<sup>2</sup>）。

(5) 装于地下的接地线不准采用铝导线；移动电器的接地支线必须用钢芯绝缘软线。

### 3. 接地线的安装工艺

(1) 接地干线与接地体的连接。尽可能采用电焊焊接，连接处要加镶块以增加焊接面积。无条件时也允许用螺钉压接，但接触面须经镀锌或镀锡处理，并采用12mm或14mm镀锌螺钉。安装时接触面应保持平整、严密，不可有隙缝，螺钉要拧紧，在震动场所螺钉上要加弹簧垫圈。连接处应置在便于检查和维修的地方，如埋入地下，应在地面上做好标记。

(2) 接地网各接地体之间的连接。如需提供接地线，就要安装在地沟中，沟上应复有沟盖，且要与地面平齐（见图8-13）。若接地体连接干线采用扁钢宽面垂直安装时，应预先钻好接线用的通孔并在连接处镀锡。如不需提供接地线，则应埋入地中300mm左右，并在地面标明干线走向和连接点位置，以便

表 8-4 低压电力设备接地线截面的选取 (mm<sup>2</sup>)

中性点方式	钢	铝	铜
不接地	≤100	≤35	≤25
直接接地	≤800	≤70	≤50

于检修。埋入地下的连接点，尽量采用电焊焊接。

(3) 公用配变的接地干线与接地体的连接。连接方法与(1)同，连接点一般埋入地下100~200mm。在接地干线引出地面处2~2.5m的地方断开，再用螺钉压接重新接牢(见图8-14)，以便于测量接地电阻。

(4) 从接地体或从接地体连接干线引出的接地干线应明设并涂黑漆标明；穿越楼板或墙壁时应穿管保护；接地干线要支持牢固；采用多股导线连接时要采用接线耳(见图8-15)。

(5) 采用扁钢或圆钢作接地干线，若需接长时，必须采用电焊焊接。焊接处两端要搭头，扁钢搭头为其宽边的2倍，圆钢搭头为其直径的6倍。

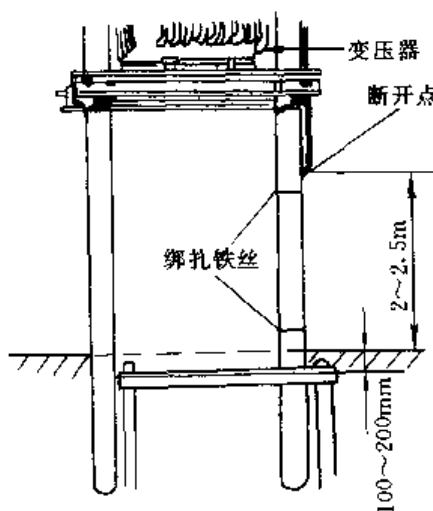


图 8-14 配电变压器  
接地干线断开点

(6) 接地支线的安装应注意：

1) 每台设备的接地点必须用一根接地支线与接地干线相连接；不允许用一根接地支线把几台设备串接起来，也不允许将几根接地支线并接在接地干线的的一个连接点上。

2) 户内接地支线要采用多股绝缘绞线，户外常采用多股绞线；明设的接地线，在穿越墙壁或楼板时应套入管内保护；接地支线与接地干线及设备连接点的连接，一般采用螺钉压接，接地支线的线头要用接线耳。

3) 固定敷设的接地支线需要接长时，连接必须正规，钢芯线连接处要钎焊加固。用于移动电具的接地支线不允许中间有接头；接地支线的每一个连接处，都应置于明显部位，以便于日后检修。

### 五、装设接地装置应注意的几个问题

(1) 配电间布置接地装置时的注意事项：

1) 配电装置凡在正常情况下不带电的金属部分，均必须与接地装置有良好的电气连接；对成列设备的配电屏，应在其两端分别与接地干线用连接法进行可靠连接。

2) 不同用途与不同电压的电力装置，除另有专门规定外，通常应使用一个总接地体；且其接地电阻要符合其中某一最低数值的要求。

(2) 为取得良好接地效果及保障安全可靠，人工接地体不论垂直还是水平埋设，其钢管、角钢或扁钢的根数均不应少于2根；接地体与建筑物之间的距离，不应小于1.5m，与独立避雷针的接地体之间则不应小于3m。

(3) 常用的人工接地体有垂直打入地

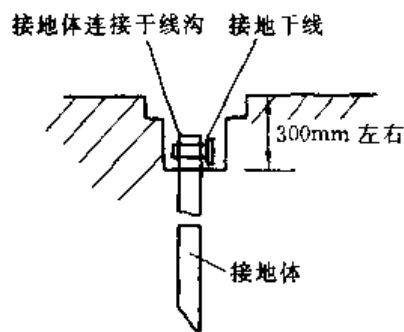


图 8-13 接地体连接干线沟

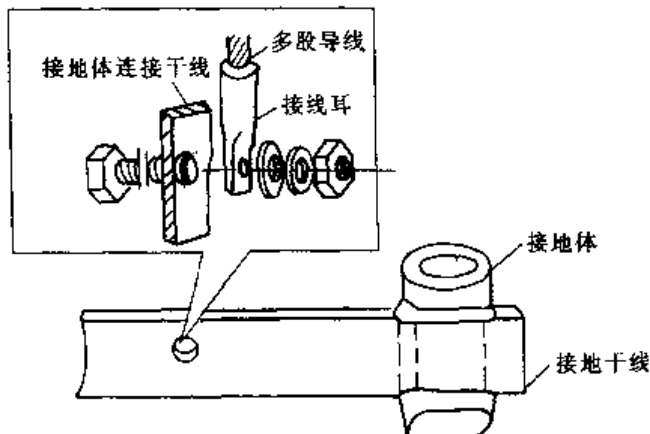


图 8-15 接地干线用多股导线的连接方法

流 (A)。

## (二) 各类常用接地电阻的允许值

为确保接地装置在运行中能发挥应有的作用,其接地电阻均应符合规程要求(参见附录五表 14)。对各类常用的接地装置,其允许接地电阻值 ( $R$ ) 分别为:

- (1) 电源容量 100kVA 以上的变压器或发电机的工作接地,  $R \leq 4\Omega$ 。
- (2) 电源容量  $\leq 100\text{kVA}$  的变压器或发电机的工作接地,  $R \leq 10\Omega$ 。
- (3) 100kVA 及以下低压配电系统的零线重复接地,  $R \leq 10\Omega$ ; 当重复接地有 3 处以上时,  $R < 30\Omega$ 。
- (4) 电气设备不带电金属部分的保护接地,  $R \leq 4\Omega$ ; 引入线装有 25A 以下熔断器的设备的保护接地,  $R \leq 10\Omega$ 。
- (5) 低压线路杆搭的接地或低压进户线绝缘子脚的接地,  $R \leq 30\Omega$ 。
- (6) 变配电所母线上 FZ 型阀型避雷器的接地,  $R \leq 4\Omega$ 。
- (7) 线路出线段 FS 型阀型避雷器接地、管型避雷器接地、独立避雷针接地(个别可取  $R \leq 30\Omega$ ), 工业电子设备(包括 X 光机)的保护接地, 均为  $R \leq 10\Omega$ 。
- (8) 烟囱的防雷保护接地,  $R \leq 30\Omega$  (包括水塔或料仓的防雷接地均同此项要求)。

## 二、用电流—电压表法测量接地电阻

接地装置投入使用前和使用中都需要测量接地电阻的实际值,以判断其是否符合要求。目前常用的测量方法主要有电流—电压表法和接地电阻测量仪测量法两种。

电流表—电压表法测量接地电阻的接线如图 8-18 所示: T 是测量用变压器,  $R_x$  为被测接地体(及其接地电阻值),  $S_y$ 、 $S_l$  分别指电压极、电流极与  $R_x$  之间的距离。接通电源后, 电流沿  $R_x$  和电流极构成回路。

如果  $S_y$  和  $S_l$  都有足够的大小, 能使  $R_x$  和电流极的对地电压曲线互不影响, 并能使电压极位于  $R_x$  和电流极的对地电压曲线趋近于零的范围之外, 则可根据电流表的读数  $I_A$  和电压表的读数  $U_V$  求得接地电阻值为

$$R_x = U_V / I_A \quad (\Omega)$$

为了测量安全及使测量电流与电网分开, 以消除电网可能给测量带来的影响, 及使测量结果更符合实际, T 应采用双线圈变压器且电流  $I_A$  不可太小(最好保持在实际接地电流的 20% 以上)。因此, 测量用变压器的容量一般要在 1kVA 以上。电流极的流散电阻不宜太大, 一般需用一极直径 40~50mm、长 2.5m 左右的钢管; 如果被测接地体流散电阻很低, 则电流极应用几根钢管组成。为了减小测量误差, 应采用有高内阻的电压表。电压极可采用一根直径 25mm、长 1m 左右的圆钢或钢管。

如测量电极位置选择不当, 便会产生很大的测量误差。而且土壤电阻率越高, 测量误差愈大。电流极、电压极与被测接地体可以采取直接排列(见图 8-19), 也可以采取三角形排列(见图 8-20)。

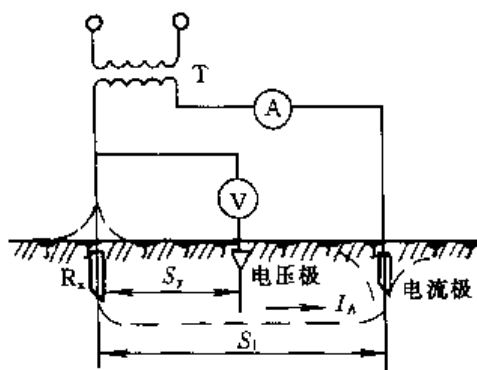


图 8-18 电流—电压表法  
测量接地电阻接线图



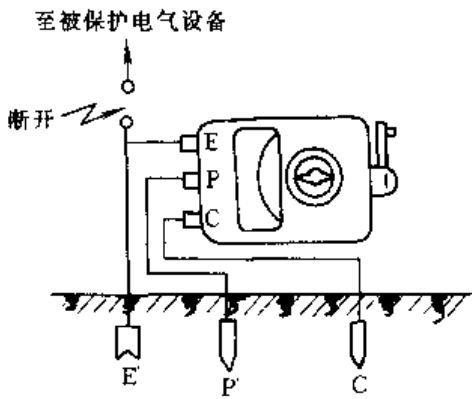


图 8-21 三端钮测量仪的测量接线

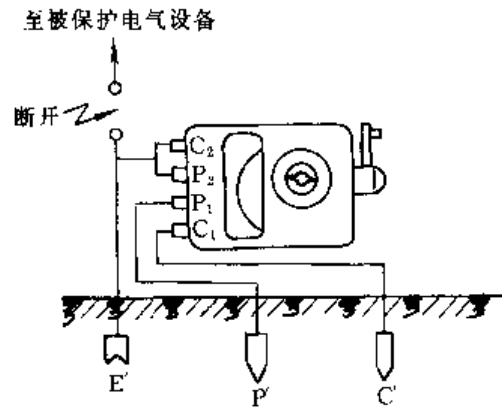


图 8-22 四端钮测量仪的测量接线

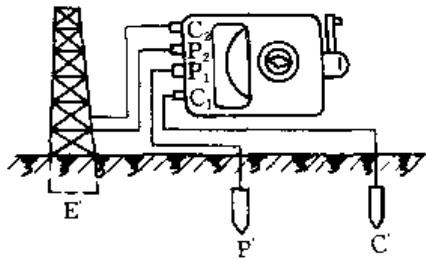


图 8-23 测量小于  $1\Omega$  时的接线

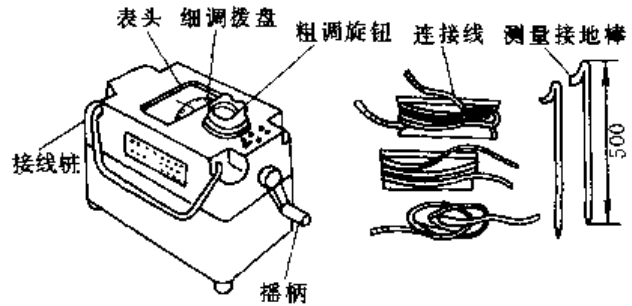


图 8-24 ZC-8 型接地电阻测量仪及附件

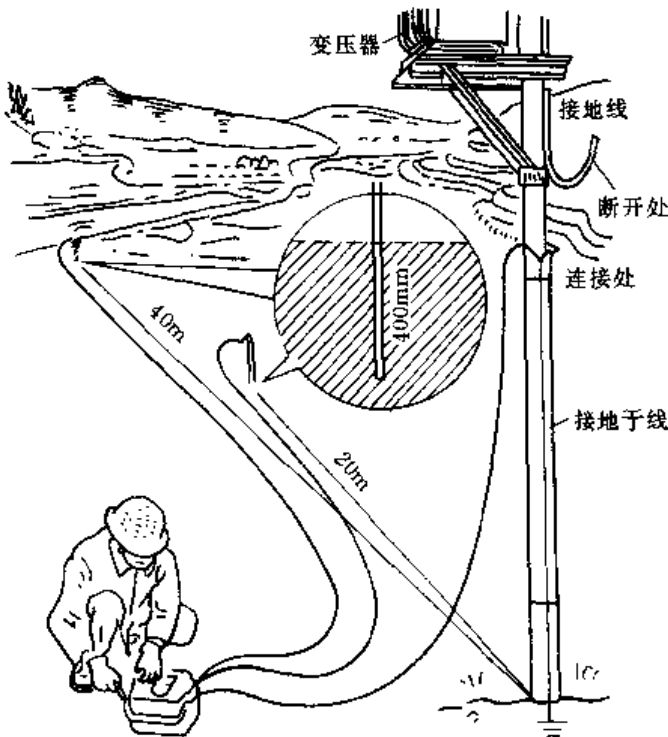


图 8-25 用 ZC-8 型接地电阻测量仪测量接地电阻

(1) 拆开接地干线与接地体的连接点，或拆开接地干线上所有接地支线的连接点。

(2) 将二支测量接地棒插入分别离接地体 20m 与 40m 远的地下，且均应垂直地插入地面约 400mm 深处。

(3) 将接地电阻表放在接地体附近平整的地方，然后再进行接线：

1) 用一根最短的连接线连接表上接线桩 E 和接地装置的接地体；

2) 用一根最长的连接线连接表上接线桩 C 和一支 40m 远的接地棒；

3) 用一根较长的连接线连接表上接线桩 P 和一支 20m 远的接地棒。

(4) 根据被测接地体的电阻要求，调节好粗调旋钮（表上有三档可调范围）。

(5) 以约 120r/min 的转速均匀插动手柄，当表针偏离中心时，边摇动手柄边调节细调拨盘，直至表针居中并稳定后为止。

(6) 以细调拨盘的读数  $\times$  粗调定位倍数，其结果便是被测接地体的接地电阻值（如细

调拨盘指 0.4，粗调定位倍数是 10，则测得接地电阻为  $0.4 \times 10 = 4\Omega$ 。

#### 四、测量接地电阻时的注意事项

(1) 测量接地电阻时应停电进行。对运行中的接地装置要进行定期检查和试验，以保证接地装置不致因外力损坏或接地电阻发生变化而失去作用。对于变配电所和电气设备的接地装置，应每年进行一次测试。

(2) 测试接地电阻应在土壤导电率最低时进行。一般以选择每年 3、4 月份为宜。接地装置凡重新装设或经检修整理后，也要进行接地电阻测量。测量时可使用接地摇表测量，也可采用电流表—电压表法进行测量。

(3) 用接地摇表测量时比较方便，可直接从表上读出被测的接地电阻值；若采用电流表—电压表法，虽可不受测量范围的限制但不甚方便，故实用中广泛应用接地摇表。

(4) 电流—电压表法宜用来测量大中型电厂和变电所的接地电阻。它需要独立的交流电源（指不接地的交流电源或采用隔离变压器，容量为 5~15kVA，电源电压 65~220V。电压表要用高内阻表（真空管或晶体管电压表），电流表不应低于 0.5 级。

(5) 接地摇表常用来测量中小型电厂、变电所、线路、变压器等电力设备的接地电阻。测量时若测量标度盘的读数小于 1，可将倍率标度置于较小的倍数，再调整标度盘以得到正确读数。若检流计灵敏度过高，可将电位探针（电压极）插浅一些；反之若灵敏度不够，则可沿电位探针和电流探针（即电流极）注水，使土壤湿润。

(6) 不论用哪种方法测量接地电阻，均应将被测接地体同其他接地体分开。以保证测量的正确性。同时应尽可能把测量回路同电网分开，以利于测量安全及消除杂散电流引起的误差影响，防止测量电压反馈到与被测接地体相接的其他导体上而引起事故。

(7) 测量时被测接地体应与接地线断开；两极的位置要避开架空线路和地下金属管道的走向，应布置在与它们相垂直的方向上；应避免在雨后立即测量接地电阻；测量时在电流极周围会有较大的跨步电压，故在其 30~50m 范围内要禁止人畜进入。

此外，在缺少专用仪器等条件受限制的情况下，为应急需要也可临时用万用表来测量接地电阻。该法需经计算，但测量方法简单，不过误差较大，仅可供粗略地判断接地装置是否正常与良好，接地电阻值能否合乎要求。具体方法是：①在离接地体 A 为 3m 的地方加装两个临进接地极 B 与 C，且使  $AB=AC$ ，并呈等腰三角形，其所夹顶角在  $30^\circ \sim 60^\circ$  范围内；②然后用万用表的欧姆档分别测出 A 与 B、B 与 C、以及 C 与 A 之间的电阻值，即测出  $R_{AB}$ 、 $R_{BC}$  及  $R_{CA}$ ；③再将由万用表测得的上述三个电阻值代入下式计算，便可求得所需测量的接地电阻  $R_A$

$$R_A = \frac{1}{2}(R_{AB} - R_{BC} + R_{CA}) \quad (\Omega)$$

顺便指出，对各类接地装置接地电阻值的测量，特别是在大地电阻率不相同或很不均匀的地区，现时尚无十分满意的完美方法，还有待今后进一步研究与探索。

#### 五、降低接地电阻值的常用方法

在电阻系数较高的砂质、岩盘等土壤中，欲达到所要求的接地电阻值往往会有一定困难。在不能利用自然接地体的情况下，只有采用人工接地体。降低人工接地体接地电阻值的常用方法有：

### 1. 利用低电阻系数的土壤

该方法是利用粘土、黑土及砂质粘土等代替原有较高电阻系数的土壤。置换的范围是在接地体周围不小于0.5m以内和近地面侧不小于接地极长的1/3区域内（见图8-26）。

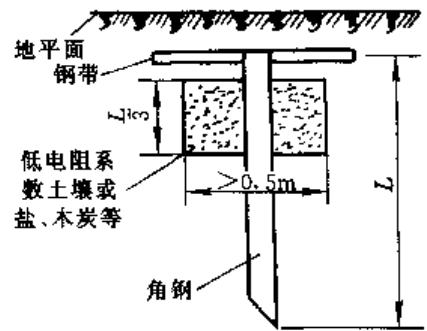


图 8-26 置换或充填范围示意图

### 2. 采用加食盐等人工处理法

在接地体周围土壤中加入食盐、煤渣、炭末、炉灰、焦炭等，以提高土壤的导电率。其中最常用的是食盐，因食盐对改善土壤电阻系数的效果较好，受季节性变动较小，且价格低廉。处理方法是把盐和土壤一层隔一层地依次填入坑中。通常盐层的厚度为1cm，每层盐都要用水湿润，一根管形接地体的耗盐量约30~40kg；若再加入10kg左右的木炭，效果会更好。因木炭是固体导体，不会被溶解、渗透和腐蚀，故其有效时间较长。对扁钢、圆钢等平行接地体，采用上述方法处理也能得到较好效果。但该法也有缺点：如对岩石及含石较多的土壤效果不大；降低了接地体的稳定性；会加速接地体的锈蚀；会因盐的逐渐溶化流失而使接地电阻慢慢变大。故在人工处理后2年左右即需进行一次处理。

### 3. 采用外引式接地

尤其在山丘地区，当接地电阻值要求较小而原地又难以达到时，若附近不远处有水源或电阻系数低的土壤，则可利用该处制作接地极或敷设水下接地网。然后再利用接地线（如扁钢带）引接过来作为外引式接地。但应注意，外引接地装置要避开人行通道，以防跨步电压触电；穿过公路时，外引线的埋深不应小于0.8m。

### 4. 采用导电性混凝土

在水泥中掺入碳质纤维来作为接地极使用。如在1m<sup>3</sup>水泥中掺入约100kg的碳质纤维，制成半球状（直径1m）的接地极。经测定，其工频接地电阻值（与普通混凝土相比）通常可降低30%左右。此法常用于防雷接地装置。为能进一步降低冲击接地电阻值，还可同时在导电性混凝土中埋入针状接地极，使放电电晕能从针尖连续地波及碳质纤维，这对降低冲击接地电阻有明显作用。

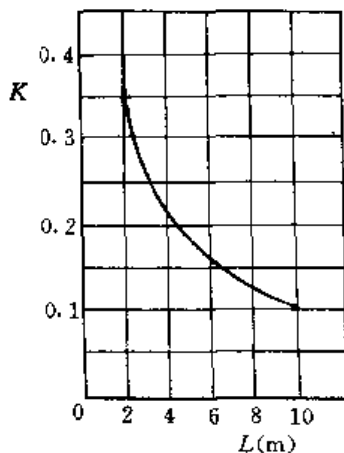


图 8-27 垂直接地体  
 $R_0$  的  $K \sim L$  曲线

### 5. 采用降阻剂的化学处理法

用碳粉和生石灰等作为主要原料的降阻剂，因不含电介质，故能在土壤中长期使用，也不会因地下水而流失，所以能得到长期既无公害且又稳定的低接地电阻值（约可比采用减阻剂处理土壤前降低1/2）。对于坚硬岩盘地带，采用埋设接地线和降阻剂并用的方法相当有效，其接地电阻值比只埋接地线时约能降低40%。且此法只要在挖掘好并敷上接地线的沟内撒上粉状降阻剂或长效降阻剂，再将旧土回填就可取得良好效果。

### 6. 钻孔深埋法

该法国外早有报导并在实践中取得了良好效果，近年来我国也已开始采用这种新方法。此法所采用垂直接地体长度一般为5~10m（再长效果不大还给施工带来困难），且常采用 $\phi 20 \sim$

75mm 圆钢（不同直径的圆钢对接地电阻值影响不大）。该法适用于建筑物拥挤或敷设接地网的区域狭窄等场合。这些场合用传统方法很难找到埋设接地极的适当位置，且安全距离往往无法保证。深埋法对含砂土壤最有效，因其含砂层大都处在 3m 以内的表面层，地层深处的土壤电阻系数较低。此外它也适于多石的岩盘地区。垂直接地体的接地电阻值  $R_d = K\rho$ ，接地计算系数  $K$  可由图 8-27 中的曲线近似求得。施工时，可采用  $\phi 50\text{mm}$  及以上的小型人工螺旋钻或钻机打孔。在孔穴中埋设  $\phi 20\sim 75\text{mm}$  圆钢接地体，再灌入碳粉浆（用碳纤维拌水浆）或泥浆，最后将同样处理的数个接地体并联，就成了完整的接地体。用本法可获得稳定的接地电阻值，且由于深埋还可使跨步电压显著减小，这对保障人畜安全也很有利。

## 第四节 防雷装置的种类与作用

### 一、过电压分类和雷电的形成与危害

#### （一）过电压的分类

过电压是指对电气设备绝缘有危险的突然升高的电压。按产生原因可分为大气过电压和内部过电压两大类。大气过电压也叫雷电过电压，它又分为直击雷过电压、感应雷过电压和雷电侵入波；而内部过电压可分为操作过电压、弧光接地过电压及谐振过电压等。

过电压保护的目的是，为了防止电气设备绝缘遭受过电压的破坏。在过电压作用下如不采取措施，则电气设备的绝缘将会被击穿而造成设备损坏和停电等事故。

对于大气过电压，要设法防止它侵入电气设备，并应采取相应措施将它尽可能降低到对电气设备的绝缘不致造成损害的程度。对内部过电压，则要了解它产生的原因及其特性，然后针对性地采取相应措施，以防止其危害。

#### （二）雷电的形成过程

雷电是大气中的放电现象。最常见的有线形雷，有时也能见到片形雷，个别情况下还会出现球形雷。

云是由地面蒸发的水蒸气形成的。水蒸气上升过程中，遇到上部冷空气凝成小水滴，成为积云。此外，水平移动的冷气团或热气团，在其前锋交界面上也会形成积云。云中水滴受强气流吹袭时，分成较小的和较大的水滴。较小的水滴被气流带走，形成带负电的雷云，较大的水滴则形成冰晶并带正电，故可以认为水滴结冰过程中发生了电荷的转移，冰晶带正电，水滴带负电。当遇强烈气流把水带走后，便形成了带相反电荷的雷云。可见，水、蒸汽及强烈气流是形成雷云的基本条件。

随着电荷的积累，雷云的电位逐渐升高。当带不同电荷的雷云或雷云与大地凸出物相互接近到一定程度时，将会发生激烈放电，同时出现强烈闪光。由于放电时温度可高达  $20000\text{C}$ ，空气受热急剧膨胀，随之发生爆炸的轰鸣声，这就是电闪与雷鸣。

#### （三）雷电的破坏作用

雷击时，雷电流很大，其幅值可达数十到数百千安；雷电放电的时间很短，通常只有  $50\sim 100\mu\text{s}$ ；放电陡度甚高，每  $\mu\text{s}$  达  $50\text{kA}$ ；雷电压极高，感应雷一般可达  $300\sim 400\text{kV}$ ，直击雷电压则更高。雷电有很大的破坏力，它会造成设备或设施的损坏，造成大面积停电或生命财产的损失。就其破坏因素来分，它有如下三方面破坏作用：

(1) 电性质的破坏作用。表现在数十万伏至数百万伏的冲击电压可能毁坏发电机、电力变压器、断路器、绝缘子等电气设备的绝缘，烧断电线或劈裂电杆，造成大面积停电；绝缘损坏可能引起短路、导致火灾或爆炸事故；还会造成高压窜入低压，引起严重触电事故；巨大的雷电流流入地下时，会在雷击点及其连接的金属部分产生很高的接触电压或跨步电压，造成触电危险。

(2) 热性质的破坏作用。表现在巨大的雷电流通过导体时，会在极短的时间内产生大量热能，造成易燃品燃烧或金属熔化、飞溅，引起火灾或爆炸；如果易燃物品直接遭到雷击，则容易引起火灾或爆炸事故。

(3) 机械性质的破坏作用。表现为被击物遭到破坏，甚至爆裂成碎片。这是因雷电流通过被击物时，在被击物缝隙中的气体剧烈膨胀，缝隙中的水分也急剧蒸发为大量气体，致使被击物破坏或爆炸。此外，同性电荷间的静电斥力、同方向电流的电磁作用力也有很强的破坏性，雷击时的气浪也有相当的破坏作用。

## 二、雷电过电压的产生及雷暴日

### (一) 雷电过电压的产生

(1) 直击雷过电压。雷云带有大量电荷，当带不同电荷的雷云相遇时，雷云之间便会产生放电（中和）现象；低空中的雷云还会直接对建筑物或其他物体放电。当遭受雷击而通过强大的雷电流时，便会造成巨大损失。架空线路和露天变配电所都在室外，遭受雷击的机会就比较多。如果雷云直接对导线放电，雷云中的大量电荷将聚集到导线上，就会产生直击雷过电压，其数值可高达几千千伏。

(2) 感应雷过电压。当架空线路上空出现雷云时，它会使线路和线路附近的物体感应出大量电荷。靠近雷云的导线上会感应出与雷云电性相反的电荷；距雷云较远的导线上，则感应出与雷云电性相同的电荷。这些电荷会经过导线的对地电阻流入大地。雷云对线路附近的大地或物体放电后，雷云电荷便消失。此时，原来导线上的束缚电荷就会因失去外力束缚而成为自由电荷。由于它们本身互相排斥，就向线路两端以很高速度运动，从而形成感应过电压，其幅值最高可达 500~600kV。

(3) 雷电侵入波。也称高电位侵入波，它是指由于架空线路或架空金属管道上遭受直击雷或感应雷而产生的高压冲击雷电荷，可能沿线路或管道侵入室内。据统计，在电力系统中，由于雷电波侵入而造成的雷害事故，约占雷害总数的一半以上。

### (二) 雷暴日与雷电活动的一般规律

为了表明雷电活动的频繁程度，常用年平均雷暴日数来衡量。只要一天之内能听到雷声的就算一个雷暴日。通常说的雷暴日都是指一年内的平均雷暴日数，即年平均雷暴日。雷暴日数愈多，说明雷电活动愈频繁。此外，也有用雷暴小时来衡量雷电活动的（我国大部分地区一个雷暴日约折合 3 个雷暴小时）。

山地雷电活动较平原频繁，山地雷暴日约为平原的 3 倍。广东省雷州半岛和海南岛一带是雷电活动最频繁地区，年平均雷暴日高达 100~130 日；广东、广西、云南等省部分地区雷暴日约在 80 日以上；长江流域以南地区雷暴日约 40~80 日；长江以北大部分地区雷暴日约 20~40 日；西北地区雷暴日多在 20 日以下。年平均雷击日不超过 15 日的地区称少雷区，超过 40 日的叫多雷区。在考虑防雷问题时，首先应注意到当地的年平均雷暴日。

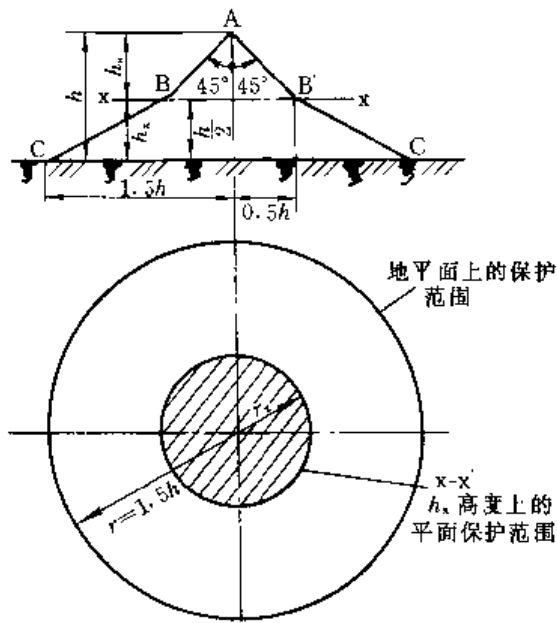


图 8-28 单支避雷针的保护范围

$h$ —避雷针的高度； $h_x$ —被保护物的高度； $h_0$ —避雷针本身的有效高度； $r_x$ —避雷针在  $h_x$  高度水平面上的保护半径； $r$ —避雷针在地面上的保护半径

内的建(构)筑物或电气设备遭受直击雷的破坏。

### (一) 单支避雷针的保护范围

它是以前避雷针为轴的折线圆锥体(见图 8-28)。折线的确定方法是：设避雷针高为  $h$ ，A 为避雷针的顶点，B 点是高度及离避雷针距离都等于避雷针高度一半 ( $h/2$ ) 的一点，C 点则是地平面上距离避雷针为  $1.5h$  的一点，连接 ABC 即为保护范围的折线。折线表明当针高为  $h$  时，避雷针在地面上的保护半径  $r=1.5h$ 。如被保护物的高度为  $h_x$  时，则在  $h_x$  水平面上 ( $xx'$  连线平面) 的保护半径  $r_x$  按下式计算：

- (1) 当  $h_x \geq h/2$  时， $r_x = (h-h_x)P = h_x P$ ；
- (2) 当  $h_x < h/2$  时， $r_x = (1.5h-2h_x)P$ 。

式中  $P$  为与避雷针高有关的系数(在下述有关避雷针或避雷线的计算中均同)。当  $h \leq 30\text{m}$  时， $P=1$ ； $30\text{m} < h \leq 120\text{m}$  时， $P=5.5/\sqrt{h}$ 。高度和半径均以 m 计算(被保护高度指最高点的高度)。

由上式可见，当避雷针的高度超过 30m 时，其保护范围不再随针高成正比例增加。所以，通常采用多支等高或不等高的避雷针来扩大其保护范围。

### (二) 两支等高避雷针的保护范围

利用两支等高避雷针进行联合保护时，先要根据被保护物的长、宽、高与避雷针理想的安装位置等情况，初步确定两针间的距离  $D$ ；然后按  $D \leq 7h_0$  的条件，初选  $h_0$ (见图 8-29)。在

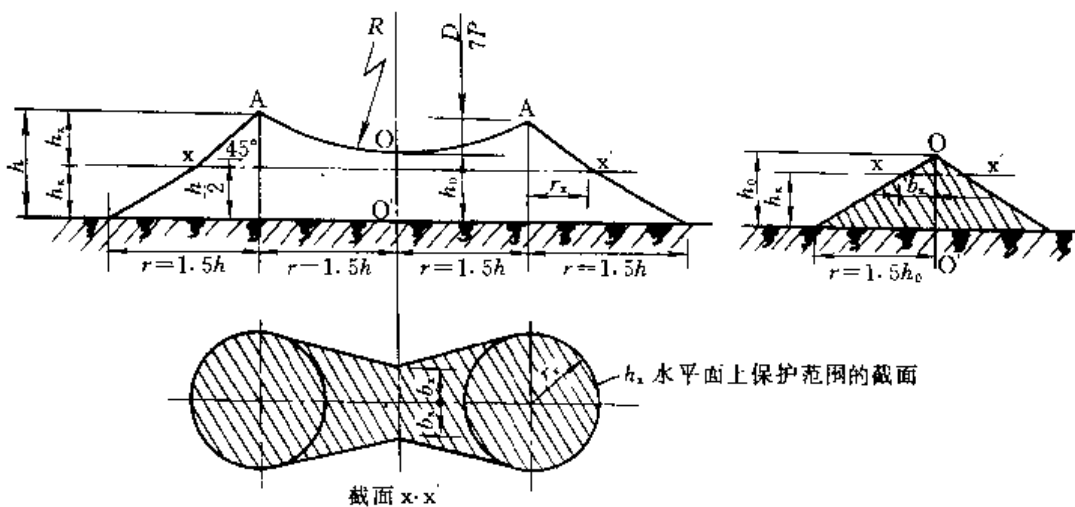


图 8-29 两支等高避雷针的保护范围

$D$ —两避雷针的距离； $h_0$ —两针保护范围上限的最低点的高度或称假想避雷针的高度； $2b_x$ —在  $h_x$  水平面上 ( $xx'$  连线平面) 的保护范围最小宽度； $r_x$ —单支避雷针在  $h_x$  平面上的保护半径； $R$ —通过两支避雷针的顶点 (A、A') 及保护范围上部边缘最低点的圆弧半径；O—位于  $h-D/7P$  的水平面上

确定了  $D$  和  $h_0$  后,再进行如下两针联合保护范围的验算:

(1) 两针外侧的保护范围按单支避雷针的计算方法确定。

(2) 两针间在  $h_x$  水平上的保护范围,先根据  $h_0 = h - D/7P$  确定  $O$  点做假想(等效)避雷针的高度,过两顶点  $A$ 、 $A'$  及两针间最低保护高度  $O$  点作圆弧  $AOA'$ ,过  $O$  点作垂直于圆弧  $AOA'$  的平面,求出等效避雷针在地在上一侧的最小保护宽度  $b_x = 1.5h_0$ ,其保护范围外界为--通过  $O$  点的屏蔽直线(见图 8-29 中右上角截面图);两针间在  $h_x$  水平面上一侧的最小保护宽度  $b_x$  可由如下关系式确定:

1)  $h > 30\text{m}$  时,  $b_x = 1.5(h_0 - h_x)$ ;

2)  $h > 30\text{m}$  时,  $b_x = 1.5(h_0 - h_x)P$ ,若  $D = 7h_0P$  时,  $b_x = 0$ 。

经过验算,在被保护物  $h_x$  水平面上  $b_x > 0$ ,且整个被保护物均处于保护屏蔽下,即满足保护要求。否则,应重新确定  $D$  及  $h_0$ ,直至验算合格为止。最后确定两针间的保护范围。

保护变配电装置用的避雷针,两针间距离与针高之比  $D/h$  不宜大于 5;但保护第一类工业建筑物时,  $D/h$  不宜大于 4。

必须注意  $b_x$  不得大于  $r_x$ 。另外,欲使两针对被保护物能够构成联合保护,即使被保护物的高度为零时,两针间的距离  $D$  也必须小于  $7h_0P$ 。

### (三) 多支等高避雷针的保护范围

三支等高避雷针所形成的三角形外侧保护范围,应分别按两支等高避雷针的计算方法确定。若可使三角形内被保护物的最大高度  $h_x$  水平面上,各相邻避雷针间保护范围一侧的最小宽度  $b_x \geq 0$  时,全部面积即能够受到保护。

四支或超过四支等高避雷针所形成的四角形或多角形,可先将其分成两个或几个三角形,然后分别按三支等高避雷针的方法计算。

### 五、保护间隙的种类与适用场合

与被保护物绝缘并联的空气火花间隙叫保护间隙,又叫空气间隙。按其结构型式可分为棒形、球形和角形三种。目前 3~35kV 线路上广泛应用的角形间隙,是一种最简单的防雷设备,它由两根  $\phi 10 \sim 12\text{mm}$  的镀锌圆钢弯成羊角形电极并固定在瓷瓶上(见图 8-30)。

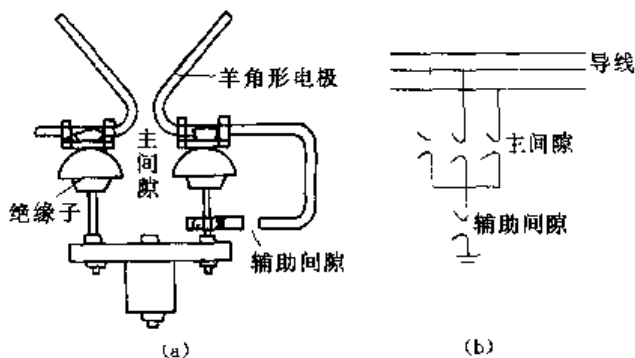


图 8-30 角形保护间隙结构与接线  
(a) 间隙结构; (b) 接线图

正常情况下,间隙对地是绝缘的。当线路遭到雷击时,就会在线路上产生一个正常绝缘所不能承受的高电压,使角型间隙被击穿,将大量雷电流泄入大地。角形间隙击穿时会产生电弧,它由于发热面沿弧角上升,电弧拉长致断弧面熄灭,使线路绝缘于或其他电气

表 8-5 各种电压下角形间隙的距离

线路电压 (kV)	3	6	10	20	35
主保护间隙 (mm)	8	15	25	100	210
辅助间隙 (mm)	5	10	10	15	20

设备的绝缘上不致发生闪络,从而起到保护作用。除上述主保护间隙外,为防止鸟、虫害等引起保护间隙误动作,一般在其接地引线中串联一个辅助间隙。不同电压下角形保护间隙的间隙距离见表 8-5。

若保护间隙的保护性能不好，则间隙的冲击击穿电压高而不稳，且在间隙动作时又会产生一个急剧的电压降，对电动机、变压器等有线圈设备的匝间绝缘很不利。此外，保护间隙灭弧能力较小，雷击过后，保护间隙还很可能切不断工频续流而造成接地短路故障，引起线路开关跳闸或熔断器熔断，造成停电。所以在装有保护间隙的线路上，一般要求装设自动重合闸装置或自动重合熔断器与它配合以提高供电可靠性。

保护间隙一般用来保护变配电所的进线段、线路的绝缘薄弱点，交叉档或大跨越档的杆塔（见图8-31）。若用来保护变压器时，则宜装在高压熔断器里侧，以缩小可能造成的停电范围。

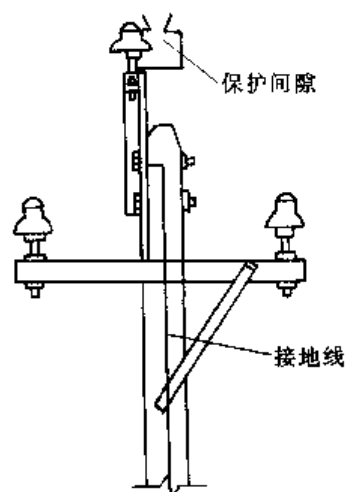


图 8-31 顶相绝缘子  
装有保护间隙

## 六、避雷器的作用及其装设要求

### (一) 管型避雷器及其安装要求

管型避雷器实质上是一个具有较高灭弧能力的保护间隙，它主要由灭弧管和内、外间隙组成（见图8-32）。管型避雷器型号有GX、GW、GS、GL及GXS等型，字母含义为：G—管型，X—线路用，W—纤维电木式，S—塑料式，L—有机玻璃式。技术特性用型号后面分数表示，分子指额定电压（kV），分母指切断续流（工频短路电流）范围。如GXS<sub>1</sub>35/（2~8）型，是表示塑料式线路用管型避雷器，额定电压为35kV，切断工频短路电流的范围最小为2kA，最大8kA。

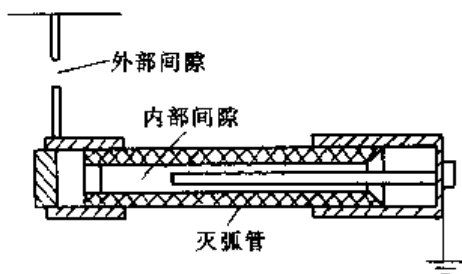


图 8-32 管型避雷器结构

它的内间隙由棒形电极和环形电极组成。装在由纤维材料、塑料或橡胶等产气材料制成的灭弧管壳。外间隙接在内间隙上方。在雷电过电压作用下，内、外间隙击穿，雷电流泄入大地，雷电波被截断，被保护物得到保护。随之而来的工频续流电弧，会促使灭弧管在高温下分解出大量气体，并以很大压力从管内喷出，迅速吹灭电弧，恢复正常工作。管型避雷器灭弧能力较强，无需与自动重合闸配合使用。

管型避雷器是自吹灭弧的，其灭弧能力除决定于灭弧管的特征外，还决定于续流的大小。续流太小时，由于产气太少，避雷器将不能灭弧；续流过大时则产气太多，若超过灭弧管的机械强度，将会使其破裂或爆炸。多次动作后的管型避雷器，由于灭弧管内径扩大、产气量逐渐降低，因此不能再继续使用。管型避雷器的外间隙距离可分别采用下表数值（见表8-6）。

为减少用于变电所进线段首端的管型避雷器在反击时动作的可能性，应降低管型避雷器与避雷线的总接地电阻值，同时增大管型避雷器的外间隙距离，但也不宜超过上列相应数值。

管型避雷器绝缘结构的击穿电压与加压时间之间的关系，称绝缘结构的伏秒特性。管型避雷器由于极间电场分布很不均匀，其伏秒特性较陡。同一般的管型避雷器来保护变

表 8-6 管型避雷器的外间隙距离

额定电压 (kV)	3	6	10	35
外间隙最小距离 (mm)	8	10	15	100
外间隙最大距离 (mm)	—	—	—	250~300



压器，则由于变压器的伏秒特性较平，其保护效能将不理想。所以管型避雷器主要用来保护电力线路或除变压器外的电气设备，安装管型避雷器时应注意下列要求：

- (1) 管型避雷器的灭弧管容易受潮，可能会在工作电压下发生沿表面闪络而导致误动作。故装接使用时，必须串联一个空气间隙（即外间隙），并要保证外间隙稳定不变。
- (2) 安装管型避雷器时，还应同时装设简单可靠的动作指示器。
- (3) 安装时应注意，避免避雷器动作时排出的气体相交，引起相间短路。
- (4) 为了防止管内积水，管型避雷器应开口向下，且宜垂直安装或倾斜安装（与水平线夹角不小于  $15^\circ$ ），在污秽地区则应增大倾斜角度。
- (5) 额定电压 10kV 及以下的管型避雷器，为防止雨水造成短路，其外间隙的电极切不可垂直布置。

### (二) 阀型避雷器和并联电阻的功用

若在避雷器支路中未串入电阻，则会因产生截波而损坏变压器等被保护设备的绝缘。因此希望在避雷器支路中能串进这样一种电阻，该电阻要是非线性的，且对较小电流其阻值会显得很大，以遏制振荡；对较大电流其阻值又要变小，以限制残压不致过高。阀型避雷器就是采用这种非线性电阻的避雷器。

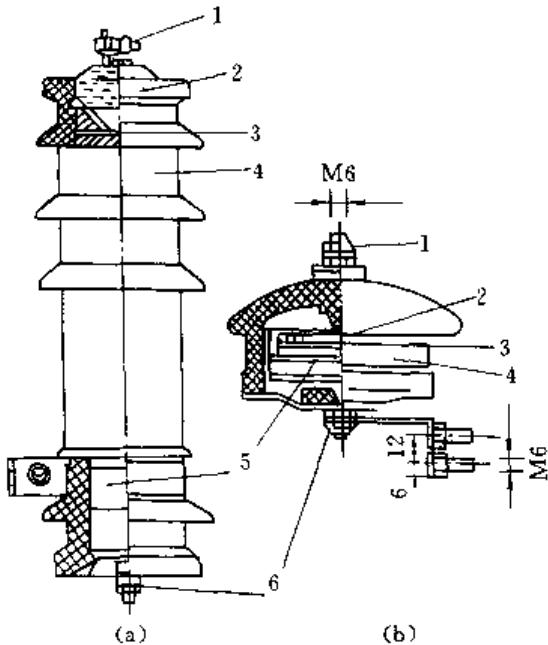


图 8-33 高低压阀型避雷器

(a) FS-10 型；(b) FS-0.38 型

- 1—上接线端；2—火花间隙；3—云母垫圈；
- 4—瓷套管；5—阀电阻片；6—下接线端

阀型避雷器主要由瓷套、火花间隙和非线性电阻组成（见图 8-33）。其中，瓷套是绝缘的，起支撑和密封作用；火花间隙是由多个间隙串联而成，每个火花间隙由两个黄铜电极和一个云母垫圈组成（见图 8-34）。由于电极间的距离很小，电场较均匀，间隙的伏秒特性较平，故保护性能较好。非线性电阻又称电阻阀片，呈饼状，它由金钢砂（SiC）颗粒烧结而成。该元件的电阻值不是常数。当阀片电阻承受工频电压时，电阻值很大，工频电流难以通过；当阀片电阻承受雷电高压时，电阻值又变小，雷电流便容易通过。

总之线路或设备正常运行时，避雷器的火花间隙将线路或设备与大地隔开；当线路或设备出现危险的过电压时，火花间隙即会被击穿，雷电流将通过阀片阻泄入大地，从而起到保护电力线路或电气设备绝缘的安全作用。

阀型避雷器按电压可分为高压和低压两种，型号有 FS 型，主要用于保护 10kV 及以下的配电线路或设备；FZ 型，火花间隙旁并联有分路电阻，它的保护性能较好（见图 8-35），主要用来保护大中容量的配电装置（如电厂或变电所的电气设备）。此外有 FCD 型，火花间隙旁不但并联有分路电阻，还利用磁场使火花间隙中的电弧产生运动以提高灭弧能力，即所谓磁吹型，主要用于保护

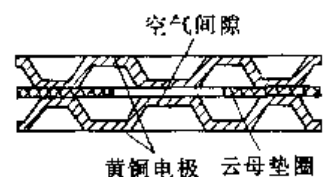


图 8-34 火花间隙内部结构

电压在 20kV 以下时，线路的绝缘不高，只要雷电流稍微大一些，接地引下线在杆顶处的电位升高就足以引起接地引下线向导线放电（即反击），使导线受到很高的电位，设备受到损害。在这种情况下要防止反击是较困难的。因此 6~10kV 配电线路上都不装设避雷线，而是利用水泥电杆的自然接地作用和中性点非直接接地作用。

避雷线一般在 35kV 及以上送电线路路上装设。110~220kV 以上线路大都沿全线装设避雷线。但在雷害不严重的地区，110kV 及 20~60kV 线路通常不沿全线装设，仅是在发电厂升压站出线和变电站进出线 1~2km 内装设避雷线，作为变电站的进线保护。

避雷线的保护范围与它保护的导线所成的角度大小有关。保护角越小，其遮蔽效果也越好，因此可能条件下应尽量采用较小的保护角。保护角的要求：双避雷线  $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，单避雷线约  $25^{\circ}$ 。避雷线在正常情况下是不导电的，只有在雷击其上时才将雷电流导入大地。因此避雷线的选择主要是考虑其机械强度及其与导线配合，而对其导电性能要求并不高，且不考虑引导雷电流的耐热性。因而避雷线一般均采用镀锌钢绞线，导线与避雷线的型号配合如表 8-7。

表 8-7 导线与避雷线配合表

导线型号	LGJ-35	LGJ-95	LGJ-240
	LGJ-50	LGJ-120	LGJ-300
	LGJ-70	LGJ-150	LGJQ-300
避雷线型号	GJ-25	LGJ-185	LGJQ-400
		GJ-35	GJ-50

对 6~10kV 架空配电线路的防雷保护措施如下：

(1) 提高线路本身的绝缘水平。在线路上采用瓷横担，这种线路的耐雷击水平要比铁横担线路高得多。当线路受雷击时，发展成相间闪络和建立稳定工频电弧，造成雷击

跳闸的次数要比铁横担线路少得多。在铁横担混凝土电杆线路上，为提高防雷水平，可改用高一绝缘等级的绝缘瓷瓶。

(2) 利用三角形顶线作保护线。由于 6~10kV 线路通常是中性点不接地的，因此如在三角形排列的顶相绝缘子上装以保护间隙，则在雷击时顶线承受雷击，间隙击穿，对地泄放雷电流，从而保护了下面两根导线，一般不会引起线路跳闸。

(3) 加强对绝缘薄弱点的保护。线路上个别特高的电杆，线路的交叉跨越处，线路上的电缆头、开关等处，就全线路来说，它们是线路的绝缘薄弱点。雷击时，这些地方最容易发生短路。对这些薄弱点处，需装设管型避雷器或保护间隙加以保护。

(4) 采用自动重合闸或自重合熔断器作辅助防雷措施。实践证明，当线路受雷击时，要完全避免相间短路是不可能的（特别是 6~10kV 线路上）。此时线路断路器跳闸或熔断器自动跌开，电弧熄灭，经过 0.5s 或稍长一点时间后又自动合上，电弧一般不会复燃，又能恢复供电。线路受雷击后停电时间很短，对一般用户影响不大，从而可减轻雷害事故的影响。

此外，不进行系统无功补偿，提高线路电压水平，有时还在高压配电线路上装设移相（补偿）电容器。装在高压架空线路上的电容器既属较贵重设备，又是线路中的绝缘薄弱点，放应安装阀型避雷器或保护间隙予以保护，具体保护接线与安装方法见图 8-36。

#### (二) 低压架空线路的防雷保护措施

220/380V 低压架空线路的分布即广且密，尤其在多

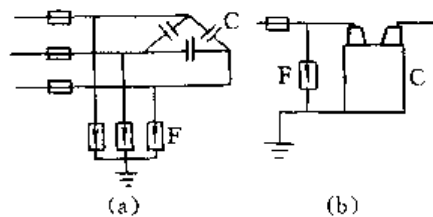


图 8-36 线路移相电容器保护接线  
(a) 接线方法；(b) 避雷器安装方法

雷区，它也很容易受到雷击。同时由于低压线路直接引入室内，低压电气设备的绝缘水平一般又较低，引起触电的机会就多。因此，必须考虑对低压架空线路的保护，以及当雷击线路时雷电波沿线路侵入用户室内的防雷保护问题。其措施如下：

(1) 一般用户低压线路及接户线的绝缘子铁脚宜接地。当其上落雷时，就能通过绝缘子铁脚放电，把雷电流泄入大地而起到保护作用。其接地电阻不应超过  $30\Omega$ 。凡土壤电阻率在  $200\Omega \cdot m$  以下地区的铁横担水泥杆线路，因连续多杆自然接地的作用，可不再另设接地。

(2) 对于重要用户，宜在低压线路进入室内前 50m 处安装一组低压避雷器；进入室内后再装一组低压避雷器。

(3) 室内有电力设备接地装置的建筑物，在入口处宜将绝缘子铁脚与接地装置相连，可以不必另设接地装置。

(4) 人员密集的公共场所（如剧院和教室等）及由木杆或木横担引下的接户线，其绝缘子铁脚应接地，并要设置专用的接地设置。但水泥电杆（即钢筋混凝土杆）的自然接地电阻若不超过  $30\Omega$  的可不设。

(5) 年平均雷暴日不超过 30 天的地区，凡低压线路被建筑物及树木屏蔽，或接户线距低压干线的接地点不超过 50m 的，由于遭雷击机会较少，其接户线的绝缘子铁脚可不接地。

(6) 在多雷区或易遭雷击的地段，直接与架空线路相连的电表宜设防雷装置，具体保护接线见图 8-37。

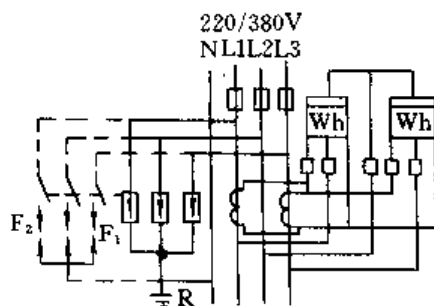


图 8-37 电能表的保护接线

$F_1$ —低压阀型避雷器； $F_2$ —保护间隙； $Wh$ —电能表； $R$ —重复接地

## 二、变配电所的防雷保护措施

### (一) 装设避雷针保护整个变配电所建（构）筑物以免遭直接雷击

避雷针可防护直击雷，其保护范围前面已作介绍。避雷针可单独立杆，也可利用户外配电装置的构架或投光灯的杆塔；但变压器的门型构架不能用来装设避雷针，以防止雷击产生的过电压对变压器发生闪络放电。

### (二) 装设架空避雷线及其他避雷装置作为变电所进出线段的防雷保护

(1) 35kV 电力线路一般不采用全线装设架空避雷线的方法来防直击雷，但为防止变电所附近线路上受到雷击时雷电压沿线路侵入变电所损坏设备，需在变电所进出线 1~2km 段内装设架空避雷线作为保护，使该段线路免遭直接雷击。

(2) 为使上项保护段以外的线路受雷击时侵入变电所内的过电压有所限制，一般可在架空避雷线的两端装设管型避雷器，其接地电阻不得大于  $10\Omega$ 。进出线段防雷保护接线方式如图 8-38 所示。保护段以外的线路受到雷击时，雷电波到管型避雷器  $F_3$  处，即行对地放电，降低了雷电压值。 $F_2$  只有当变电所内高压断路器经常断开，而线路又可能带有电压时才安装。其作用是防止入侵雷电波在断开的断路器处产生过电压击坏断路器。

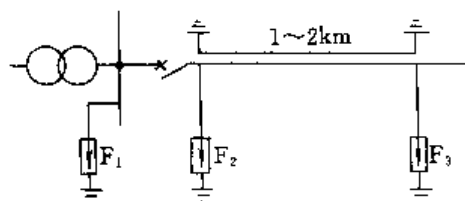


图 8-38 变电所进出线段  
防雷保护接线方式

$F_2, F_3$ —管型避雷器； $F_1$ —阀型避雷器

(3) 对电压 35kV、容量 3200kVA 以下的一般负荷变电所，可采用简化的进出线段保护接线方式（见图 8-39）。

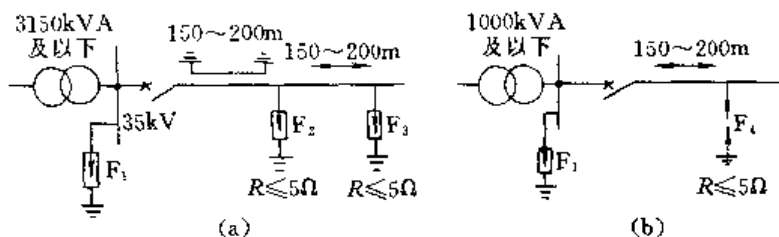


图 8-39 简化的进出线段保护方式

(a) 35kV、3150kVA 以下；(b) 35kV、1000kVA 以下

F<sub>1</sub>—屏型避雷器；F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>—管型避雷器；F<sub>4</sub>—保护间隙

(4) 对 10kV 及以下的高压配电线路进出线段，其防雷保护可只装设 FZ 型或 FS 型避雷器以保护线路断路器及隔离开关（见图 8-40）。

(三) 装设阀型避雷器对沿线路侵入变电所的雷电波进行防护

(1) 变配电所的进出线段虽已采取防雷措施、且雷电波在传播过程中也会逐渐衰减，但沿线路传入变电所内的部分，其过电压对所内设备仍有一定危害。特别是对价值最高、绝缘相对薄弱的主变压器更是这样。故变电所母线上，还应装设一组阀型避雷器进行保护（见图 8-38、图 8-39 及图 8-40）。

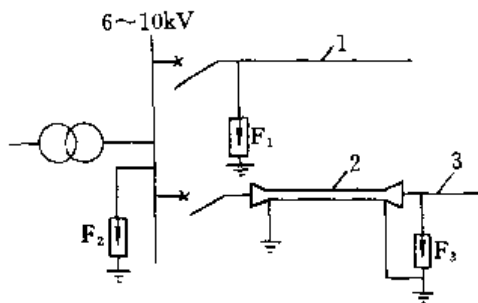


图 8-40 6~10kV 配电线路进出线段防止侵入波的保护接线

1—架空出线；2—电缆出线；3—架空线

(2) 6~10kV 变电所中，阀型避雷器与被保护的变压器间的电气距离，一般不应大于 5m。为使任何运行条件下所内变压器都能得到保护，采用分段母线时每段都应装设阀型避雷器。

### 三、配电变压器和柱上开关的防雷保护

#### (一) 配电变压器的防雷保护措施

##### 1. 对 6~10/0.4kV、Y，yn0 接线的配电变压器

(1) 为防止雷电侵入波损坏变压器，高压侧一般应装设阀型避雷器；为提高保护效果，保护装置应安装在高压熔断器的内侧。

(2) 避雷器的接地引下线应与变压器中性点及金属外壳连接在一起后共同接地，其工频接地电阻应满足最低值要求，以保护高压侧雷击避雷器时，变压器绝缘上所承受的电压接近于避雷器的残压，以达到绝缘配合。

(3) 避雷器接端线到变压器外壳的连接线应尽量短。因接地连接线有电感，当雷电流通过时，其电感与长度成正比，压降与避雷器的残压迭加后共同作用到变压器的绝缘上。

(4) 变压器低压侧应装设一组 220V 避雷器、440V 压敏电阻或击穿保险器，以防止逆变换波和低压侧的雷电侵入波击穿高压侧绝缘。这是为了防止低压侧落雷反击到一次侧而必须采取的措施（见图 8-41）。

因为高压线路遭受雷击时避雷器动作，接地电阻上将产生电压降  $IR$ ，若以 5kA 和 7Ω

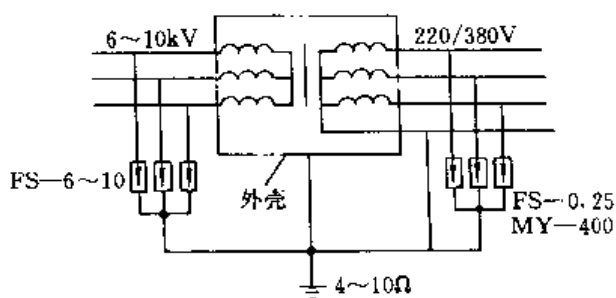


图 8-41 6~10kV、Y, yn0 变压器的反变换防雷接线  
MY—压敏电阻

计算为  $IR=35\text{kV}$ 。该电压降使接地装置与低压侧中性点等电位，此时低压侧出线相当于经导线波阻抗接地，该电压降便基本都加在低压线圈上。因电磁感应形成逆变换，高压侧线圈将按变比感应出高电压。对 10/0.4kV 变压器变比为 25；则 10kV 绕组两端的冲击电压将达  $25 \times 35 = 875\text{kV}$ 。高压绕组出线端电位受避雷器控制，故 875kV 高电位完全分布在高压绕组上且在中性点处达最大值，这就可能击穿中性点附近绝缘或高压绕组的层间或匝间绝缘。

### 2. 对 6~10/0.4kV、Y, yn 接线的配电变压器

对于低压侧中性点不接地的配电变压器，除应满足上述要求外，还要在中性点增设击穿保险器（即保护间隙）。击穿保险器的一端必须与总接地网相连（见图 8-42）。

正常情况下，击穿保险器处在绝缘状态，系统不接地；当高压窜入低压时，击穿保险器的空气隙被击穿，故障电流经接地装置泄入大地，该电流即为高压系统的接地短路电流，它可引起高压系统的继电保护装置动作，切除故障。

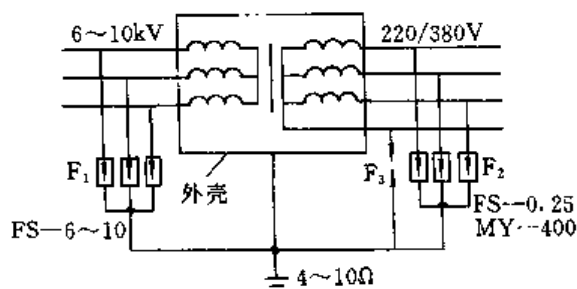


图 8-42 6~10kV、Y, yn 变压器的反变换防雷接线  
F<sub>3</sub>—击穿保险器

### 3. 对 35/0.4kV 直配变压器

其高、低压侧都要装设阀型避雷器（参见图 8-41）。在 35/0.4kV 配电变压器与避雷器之间，要增设一组电感线圈，直径为 20cm、30 匝左右、长度 24cm，电感量约为  $10\mu\text{H}$ 。用以限制雷电侵入波的陡度和幅度。

应注意：用独立避雷针保护 6~10kV 变配电所时，独立避雷针至配电装置带电部分的空间距离要满足  $S_h \geq 0.3R_x + 0.1h$  的计算要求；对未设所用变压器的 6~10kV 配电所，其防雷措施为仅在每条架空进出线上装设一组阀型避雷器即可。

### （二）柱上油开关或负荷开关的防雷保护措施

对于 6~10kV 柱上油断路器（习称柱上油开关），负荷开关或隔离开关的防雷保护问题，实践中也应予以充分重视。

由于柱上油断路器或负荷开关多为线路分段或切合变压器用，就其影响范围而言，它比变压器重要。且这些设备相间距离小，绝缘水平也低，常因雷击闪络而引起变电所跳闸。因此，也必须用阀型避雷器或保护间隙进行保护。

对于经常开路运行的柱上油断路器，它相当于线路的终端。当开关的某一侧线路落雷时，由于雷电波的反射叠加作用，会使雷电压成倍抬高，对开关的危害很大。为此，应在开关的两侧安装避雷器。对经常闭路运行的柱上油断路器、负荷开关或隔离开关，可只在电源侧安装避雷器，且应将接地线与开关外壳相连，以使外壳与避雷器放电时的电位相等，防止对外壳放电。其保护接线见图 8-43 所示。

#### 四、建筑物的防雷保护及其要求

##### (一) 建筑物的防雷保护

(1) 第一类建筑物及其防雷保护。凡在建筑物中存放爆炸物品或正常情况下能形成爆炸性混合物，因电火花而会发生爆炸，致使房屋毁坏和造成人身伤亡者。这类建筑物应装设独立避雷针防止直击雷；对非金属屋面应敷设避雷网，室内一切金属设备和管道，均应良好接地并不得有开口环路，以防止感应过电压；采用低压避雷器和电缆进线，以防雷击时高电压沿低压架空线侵入建筑物内（见图 8-44）。图中采用低压电缆与避雷器防止高电位侵入时，电缆首端设低压 FS 型阀型避雷器，与电缆外皮及绝缘子铁脚共同接地；

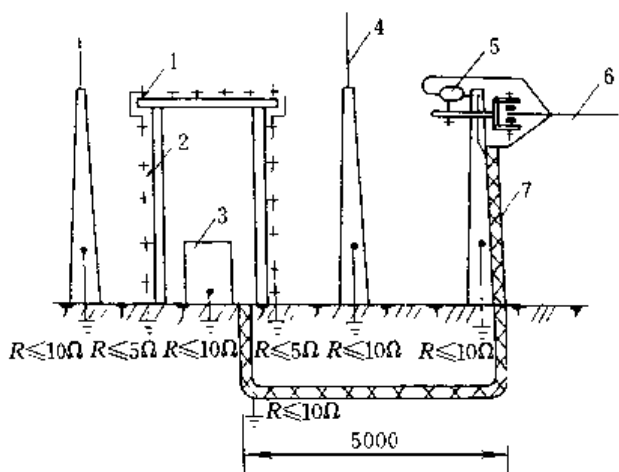


图 8-44 第一类建筑物防雷措施示意图

1—避雷网（防止感应雷）；2—引下线；3—金属设备；4—独立避雷针（防止直击雷）；5—低压避雷器；6—架空线；7—低压电缆（防止高电位引入）

建筑物可在其上装避雷针或采用避雷针和避雷带混合保护，以防直击雷；室内一切金属设备和管道，均应良好接地并不得有开口环路，以防感应雷；采用低压避雷器和架空进线，以防高电位沿低压架空线侵入建筑物内（见图 8-45）。图中采用低压避雷器与架空进线防止高电位侵入时，必须将 150m 内进线段所有电杆上的绝缘子铁脚都接地；低压避雷器装在人户墙上。当高电位沿架空线侵入时，由于绝缘子表面而发生闪络及避雷器击穿，便降低了高电位，限制了高电位侵入。

(3) 第三类建筑物及其防雷保护。凡不属第一、二类建筑物但需实施防雷保护者。这类建筑物防止直击雷可在建筑物最易遭受雷击的部位（如屋脊、屋角、山墙等）装设避雷带或避雷针进行重点保护；若为钢筋混凝土屋而，则可利用其钢筋作为

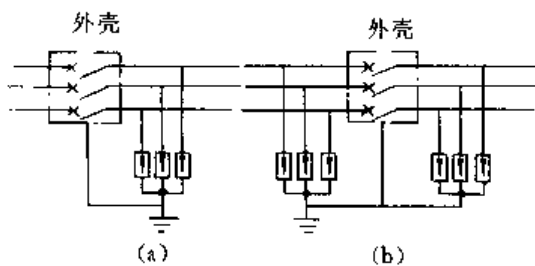


图 8-43 柱上油断路器的保护接线

(a)经常闭合的油断路器；(b)经常开路的油断路器

电缆末端外皮一般须与建筑物防感应雷接地电阻相连。当高电位到达电缆首端时，避雷器击穿，电缆外皮与电缆芯连通，由于集肤效应及芯线与外皮的互感作用，便限制了芯线上的电流通过。当电缆长度在 50m 以上、接地电阻不超过 10Ω，绝大部分电流将经电缆外皮及首端接地电阻入地。残余电流经电缆末端电阻入地，其上压降即为侵入建筑物的电位，通常已可降低到原值的 1%~2% 以下。

##### (2) 第二类建筑及其防雷保护。划分条件同第一类，但在因电火花而发生爆炸时，不致引起巨大破坏与人身事故，或政治、经济及文化艺术上具有重大意义的建筑物。这类

建筑物可在其上装避雷针或采用避雷针和避雷带混合保护，以防直击雷；室内一切金属设备和管道，均应良好接地并不得有开口环路，以防感应雷；采用低压避雷器和架空进线，以防高电位沿低压架空线侵入建筑物内（见图 8-45）。图中采用低压避雷器与架空进线防止高电位侵入时，必须将 150m 内进线段所有电杆上的绝缘子铁脚都接地；低压避雷器装在人户墙上。当高电位沿架空线侵入时，由于绝缘子表面而发生闪络及避雷器击穿，便降低了高电位，限制了高电位侵入。

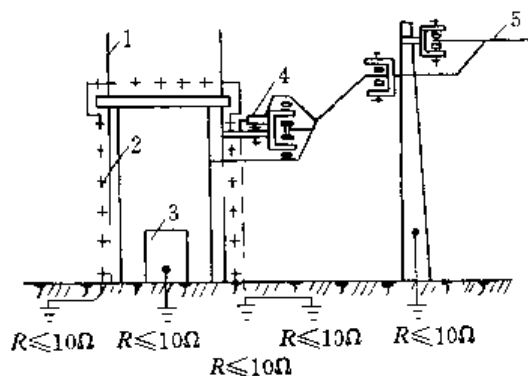


图 8-45 第二类建筑物防雷措施示意图

1—避雷针（防止直击雷）；2—引下线；3—金属设备；4—低压避雷器（防止高电位引入）；5—架空线

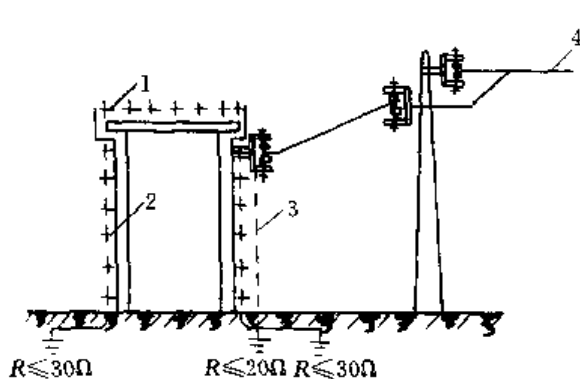


图 8-46 第三类建筑物防雷措施示意图  
1—避雷带（防止直击雷）；2—引下线；3—烧瓶铁脚接地（防止高电位引入）；4—架空线

防雷装置：为防止高电位侵入，可在进户线上安装放电间隙或将其绝缘子铁脚接地（见图 8-46）。

(二) 对建（构）筑物防雷装置的要求

(1) 建（构）筑物接地的导体截面不应小于表 8-8 中所列数值。

(2) 引下线要沿建筑物外墙以最短路径敷设，不应构成环套或锐角，引下线的一般弯曲点为软弯，且不小于 90°；弯曲过大时，必须满足  $D \geq L/10$  的要求。D 指弯曲时开口点的垂直长度 (m)；L 为弯曲部分的实际长度 (m)。若因

建筑艺术有专门要求时，也可采取暗敷方式，但其截面要加大一级。

表 8-8 建（构）筑物防雷接地装置的导体截面

防 雷 装 置		钢管直径 (mm)	钢管直径 (mm)	扁钢截面 (mm <sup>2</sup> )	角钢厚度 (mm)	钢绞线截面 (mm <sup>2</sup> )	备 注
接 闪 器	避雷针在 1m 及以下时	φ12	Gg20				镀锌或涂漆， 在腐蚀性较大的 场所，应增大 一级或采取其 他防腐蚀措施
	避雷针在 1~2m 时	φ16	Gg25				
	避雷针装在烟囱顶端	φ20					
	避雷带（网）	φ8		48，厚 4mm			
	避雷带装在烟囱顶端	φ12		100，厚 4mm			
	避雷网					35	
引 下 线	明设	φ8		48，厚 4mm			镀锌或涂漆， 在腐蚀性较大的 场所，应增大 一级或采取其 他防腐蚀措施
	暗设	φ10		60，厚 5mm			
	装在烟囱上时	φ12		100，厚 4mm			
接 地 体	水平埋设	φ12		100，厚 4mm			在腐蚀性土 壤中应镀锌或 加大截面
	垂直埋设		φ50 壁厚 3.5		4.0		

(3) 建（构）筑物的金属构件（如消防梯）等可作为引下线，但所有金属部件之间均应连接成良好的电气通路。

(4) 采用多根引下线时，为便于检查接地电阻及检查引下线与接地线的连接状况，宜在各引下线距地面 1.8m 处设置继续卡。

(5) 易受机械损伤的地方，在地面上约 1.7m 至地下 0.3m 的一段应加保护管。保护管可为角钢或塑料管。如用钢管则应顺其长度方向开一豁口，以免高频雷电流产生的磁场在其中引起涡流而导致电感量增大，加大了接地阻抗，不利于雷电流入地。

(6) 建（构）筑物过电压保护的接地电阻值应能符合要求，具体规定可见表 8-9。

(7) 对垂直接地体的长度、极间距离等要求，与接地或接零中的要求相同；而防止跨步电压的具体措施，则和对待独立避雷针时的要求一样。

表 8-9 建（构）筑物过电压保护的接地电阻值

建（构）筑物类别		直击雷冲击 接地电阻 ( $\Omega$ )	感应雷工频 接地电阻 ( $\Omega$ )	利用基础钢筋 工频接地电阻 ( $\Omega$ )	电气设备与避 雷器的共用工 频接地电阻 ( $\Omega$ )	架空引入线间隙 及金属管道的 冲击接地电阻 ( $\Omega$ )
工业建筑	第一类	$\leq 10$	$\leq 10$		$\leq 10$	$\leq 20$
	第二类	$\leq 10$	与直击雷 共同接地 $\leq 10$		$\leq 5$	入户处 10 第 1 根杆 10 第 2 根杆 20 架空管道 10
	第三类	20~30		$\leq 5$		$\leq 30$
	烟囱	20~30				
	水塔	$\leq 30$				
民用建筑	第一类	5~10		1~5	$\leq 10$	第 1 根杆 10 第 2 根杆 30
	第二类	20~30		$\leq 5$	20~30	$\leq 30$

## 第六节 防雷装置的安装及维护

### 一、避雷针的装设规定与要求

避雷针是防止直击雷的有效措施，分独立避雷针和构架避雷针两种。在确定独立避雷针的位置及安装时，应注意下列规定与要求：

(1) 独立避雷针与被保护物之间应保持一定的空间距离  $S_b$  (见图 8-47)，以免雷击避雷针时，它所产生的高电位对被保护物或其他有联系的金属导体发生“反击”事故。该空间距离是根据空气的耐压强度和雷击时避雷针上的电位确定的，它应满足下式要求

$$S_b \geq 0.3R_{cb} + 0.1h$$

式中， $R_{cb}$  为独立避雷针的冲击接地电阻值 ( $\Omega$ )， $h$  指配电装置构架或避雷针校验点的高度 (m)。  $S_b$  通常不应小于 5m。为减少降低避雷针(线)时  $h$  值所造成的感应过电压影响，条件许可时  $S_b$  宜适当放大。

(2) 独立避雷针应设独立的接地装置，它与被保护物的接地网之间也应保持一定的地中距离  $S_d$  (图 8-47)，以防止雷击时在土壤中间被保护物的接地网发生“反击”。  $S_d$  通常不应小于 3m，且要能满足下式要求

$$S_d \geq 0.3R_{ch} \quad (\text{m})$$

(3) 独立避雷针及其接地装置不应设在人员经常出入的地方。它距离建（构）筑物的出入口及人行道不应小于 3m，以降低跨步电压，否则应采取下列措施之一：

- 1) 水平接地体局部埋深不能小于 1m；
- 2) 水平接地体要局部包绝缘物（如 50~80mm 厚的沥青

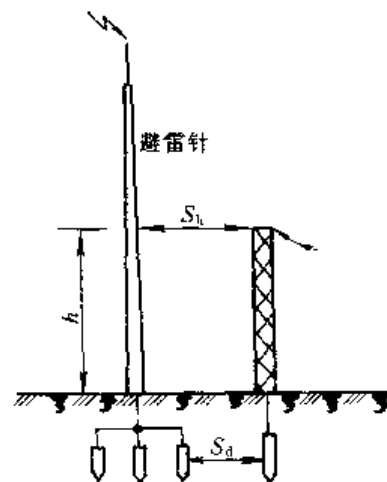


图 8-17 避雷针与被保护物的距离



### (三) 避雷针安装时的注意事项

(1) 独立装设时, 避雷针及其接地装置与配电装置之间应保持规定距离: 地面上, 由独立避雷针到配电装置的导电部分、变电所电气设备和构架接地部分之间的空气间距离, 不应小于 5m; 在地下, 独立避雷针的接地装置与变电所接地网之间的最小地中距离, 不应小于 3m。

(2) 避雷针接地装置要安装牢固, 连接可靠, 其接地电阻一般不应大于  $10\Omega$ 。

(3) 自避雷针与接地网的连接处起, 到变压器与接地网的连接处止, 沿接地的地中距离不得小于 15m, 以防避雷针放电时产生反击, 击穿变压器的绝缘。

(4) 为防止雷击避雷针时, 雷电波沿线路侵入室内, 危及安全, 凡照明线、广播线、天线或电话线等严禁架设在独立避雷针的针杆上。

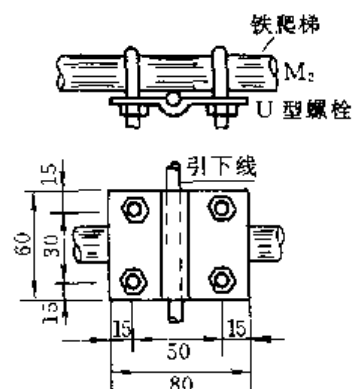


图 8-51 防雷接地体(极)的装设

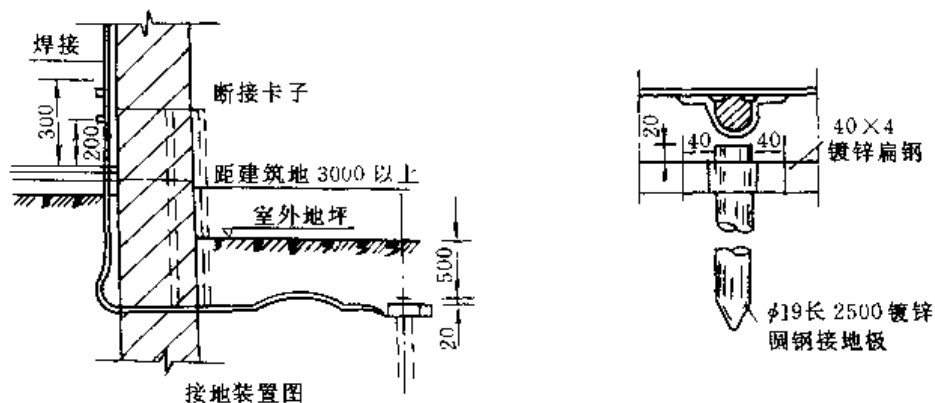


图 8-52 避雷针引下线的固定

### (四) 避雷针制作与装设中的几个问题

#### 1. 避雷针端部形状及涂漆不会影响其保护效能

避雷针会使整个地面电场发生畸变, 但其顶端附近电场的局部不均匀范围很小, 对于由雷云向地面发展的先驱放电并无影响。故避雷针端部尖不尖、分不分叉, 对其保护效能无影响。此外, 避雷针常涂漆以防锈蚀, 延长使用寿命, 也同样不会妨碍其所起的保护作用。顺便说明, 在避雷针保护范围内, 由于雷电放电途径受很多因素制约与影响, 故要想保证被保护物绝对不遭受雷击是相当困难的。一般只是要求保护范围内被雷电击中的概率能在 0.1% 以下。

#### 2. 避雷针引下线不宜在地面敷设过长

避雷针在直击雷冲击放电情况下, 放电电压及电流值都很大。特别是因其波幅陡度大、时间短, 故可看作是高频波。避雷针的接地引下线若在地面敷设过长, 在高频电流通过时, 虽是直线敷设, 其电感量还是很可观的。这样, 就会在引下线上产生较高的感抗压降, 这对巡视变配电所的值班人员或其他涉足该地区的人员便很危险。故其接地引下线一定不可在地面敷设过长。

#### 3. 避雷针与有爆炸危险的易燃油贮罐等的安全距离

对有爆炸危险及可能波及变配电所内主设备、严重影响供电的建（构）筑物，如制氢站、露天氢气贮罐、氢气罐储存室、易燃油泵房、露天易燃油贮罐、厂区内架空易燃油管道、装卸油台和天然气管道及露天天然气贮罐等应采用独立避雷针保护，并要采取防止感应雷的措施。避雷针和它们之间的空间与地中距离除应符合前述之  $S_b$  和  $S_d$  值之要求外，还应满足以下要求：

(1) 避雷针与贮罐呼吸阀的水平距离不应小于 3m，针尖要高出呼吸阀 3m 以上；避雷针的保护范围边缘要高出呼吸阀顶部 2m 以上；避雷针与 5000m<sup>3</sup> 以上贮罐呼吸阀的水平距离不应小于 5m，针尖高出呼吸阀也不应小于 5m。

(2) 在露天贮罐周围应设置闭合环形接地体，且其接地电阻值不应超过 30Ω，接地点不应小于两处，接地点间距不可大于 30m；架空管道每隔 20~25m 应接地一次，其接地电阻不应超过 30Ω。

(3) 若金属罐体和管道的壁厚不小于 4mm 并已接地时，也可不在避雷针保护范围内；但易燃油和天然气贮罐及其管道必须在避雷针保护范围内。易燃油贮罐的呼吸阀和热工测量装置均应实行重复接地，即与贮罐接地体另用金属线妥善连接。

### 三、对接闪器和接地装置的技术要求

(1) 接闪器所用材料的尺寸应能满足机械强度和耐腐蚀的要求，还要有足够的热稳定性，以使其能承受雷电流的热破坏作用。

(2) 避雷针一般用镀锌圆钢或钢管制成。针长 1m 以下者，圆钢不小于  $\phi 12\text{mm}$ ，钢管不小于  $\phi 20\text{mm}$ ；针长 1~2m 者，圆钢与钢管分别不小于 16mm 与 25mm；装设在烟囱上方时，由于烟气有腐蚀作用，要采用  $\phi 20\text{mm}$  以上的圆钢。

(3) 避雷线一般采用截面积不小于 35mm<sup>2</sup> 的镀锌钢绞线。

(4) 避雷网和避雷带这类接闪器的制作材料可采用镀锌圆钢或扁钢。圆钢不得小于  $\phi 8\text{mm}$ ；扁钢厚度不得小于 4mm；截面不得小于 48mm<sup>2</sup>。若装设在烟囱上方时，则圆钢不小于 12mm；截面不小于 100mm<sup>2</sup>。

(5) 接地装置是防雷装置的重要组成部分。经它向大地泄放雷电流，以限制防雷装置的对地电压不致过高。它与一般接地装置的要求大体相同，仅所用材料的最小尺寸稍大一些：采用圆钢最小为  $\phi 10\text{mm}$ （一般接地装置是 8mm）；扁钢最小厚度为 4mm，最小截面为 100mm<sup>2</sup>（一般接地装置为 48mm<sup>2</sup>）；角钢最小厚度为 4mm；钢管最小壁厚为 3.5mm。

(6) 除独立避雷针以外，在接地电阻值能满足要求的前提下，防雷接地装置可以和其他接地装置共用。

(7) 防雷接地电阻一般指冲击接地电阻。规定允许的接地电阻值，根据防雷种类、建（构）筑物的类别而定。防直击雷的接地电阻一般不得大于 10~30Ω；防静电感应的接地电阻不得大于 5~10Ω；防雷电侵入波的接地电阻一般不得大于 5~30Ω。

(8) 防雷接地装置应进行热稳定校验。热稳定包括两方面的要求：一是接地体应有足够表面积，以保证其周围土壤不致过热而使土壤电阻率增大；二是钢质接地体本身要有足够截面积，以保证其温度不致过高。

### 四、阀型避雷器的安装与使用

#### (一) 阀型避雷器的安装工艺

阀型避雷器与被保护的电气设备并联相接（见图 8-53），当线路上出现危及设备绝缘的过电压时，它就对地放电，从而保护设备的绝缘免受雷电波危害。阀型避雷器的应用十分广泛，装设了它之后就相当于在电气设备上装了一个安全阀。当被保护设备上出现过电压且超过了它的放电电压时，就自动放电，使系统承受的高电压降低到对设备没有危害的程度；而在雷电流泄入大地后，它又能自动封闭（断超），使系统工作电流不致于长时间通过避雷器入地。

10kV 以下变配电所常用的阀型避雷器有国产 FS 型等。这种避雷器体积较小，一般安装在墙上或电杆上。装在墙上时应有金属支架悬挂，装在电杆上则应有横担悬挂。安装前，应根据设计要求将金属支架或横担加工好，然后再装设避雷器（见图 8-54）。

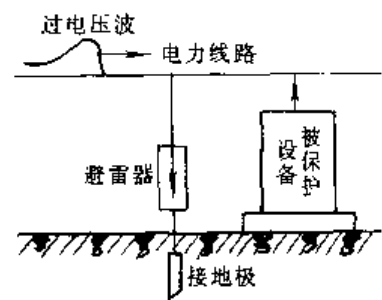


图 8-53 避雷针的连接示意图

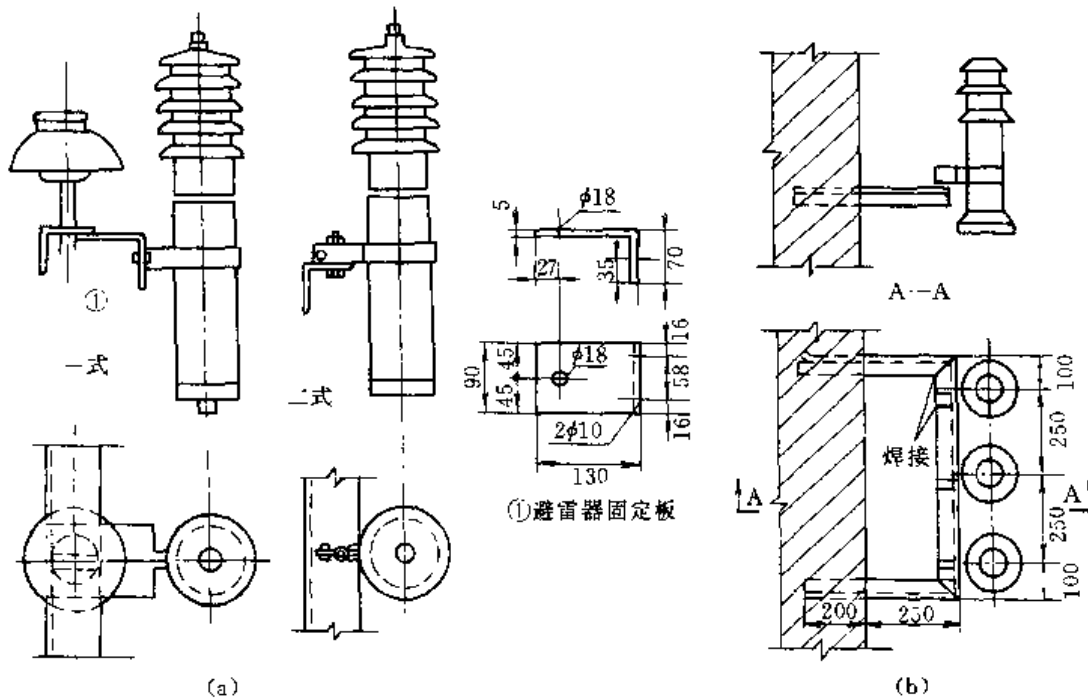


图 8-54 FS 型阀型避雷器安装方式  
(a) 户外安装法；(b) 户内安装法

避雷器运到现场后先要进行检查，验看瓷体上有没有裂缝，瓷套底座和盖板之间封闭是否完好，用手轻轻摇动里面不应有响声。安装前应进行绝缘电阻测定，用 2500V 绝缘电阻表测量，其值应在 1000~2000Ω 以上；户外避雷器应用镀锌螺栓将其上部端子接到高压母线上，下部端子接至接地线。接地线要尽可能短而垂直，截面应合乎规定要求。

安装阀型避雷器的注意事项：

- (1) 阀型避雷器与被保护设备间的电气距离，原则上越近越好，以便被保护设备能得到有效的保护，一般不宜大于 5m。
- (2) 安装在变压器台上的避雷器，其上端引线（电源线）最好接在跌落式熔断器的下端。当跌落式熔断器合上后，避雷器和变压器同时投入运行；跌落式熔断器拉开后，它们

又同时停止运行，这就能使避雷器不再经常处于工频电压或操作过电压下。

(3) 避雷器必须垂直安装，倾斜不应大于  $15^\circ$ 。对周围物体的距离要求是：带电部分与相邻导线或金属构架的间距不小于  $0.35\text{m}$ ；底座对地不小于  $2.5\text{m}$ 。

(4) 避雷器的引线应连接牢靠，它与母线、导线的接头长度不应小于  $100\text{mm}$ 。为防止松动，最好用弹簧垫圈或双螺母紧固。引线不应过松过紧，且不允许有接头。截面不得小于：铜线  $16\text{mm}^2$ ；铝线  $25\text{mm}^2$ 。

## (二) 阀型避雷器的试验与投运

### 1. 安装前的试验项目与要求

安装前应对阀型避雷器进行必要的电气试验，如工频交流耐压试验，直流泄漏电流测量和绝缘电阻测定等。达不到标准的不能使用，否则将失去防雷保护作用，甚至造成避雷器爆炸事故。安装投运前，用户（或委托当地供电部门）一般应进行下列试验：

(1) 测量电导电流。在  $20\text{C}$  时的电导电流允许值，对不带并联电阻者不宜超过  $10\mu\text{A}$ ，带并联电阻者一般不宜超过  $400\mu\text{A}$  左右。

(2) 测量非线性系数。对非线性系数的相差值，规定允许为  $0.15$ 。

(3) 测量绝缘电阻。应使用  $2500\text{V}$  及以上绝缘电阻表，测量结果一般不应低于  $2000\text{M}\Omega$ ，且与出厂试验结果比较应无明显变化。

(4) 测量工频放电电压。凡不含并联电阻的阀型避雷器需测定该项目。 $10\text{kV}$  及以下 FS 型避雷器的工频放电电压要求值可参见表 8-10（其他型号可另按制造厂规定）。

### 2. 投运及预防性试验

(1) 每年投入运行的时间，应根据当地雷电活动的情况确定，一般由当地供电部门统一布置。通常是在每年 2 月中旬或 3 月初到 10 月底或 11 月中旬的这段时期内投入运行。雷雨季节过后应及时退出运行，以延长其使用寿命。

(2) 测定阀型避雷器的绝缘电阻值，可以发现避雷器内部缺陷。它是最简单的预防性试验，要在每年雷雨季节前进行一次测定。测量时应选用  $2500\text{V}$  及以上的绝缘电阻表。FS 型避雷器的绝缘电阻值一般应大于  $2000\text{M}\Omega$ （最少不低于  $1000\text{M}\Omega$ ）。

(3) 试验测得的绝缘电阻值还应与前一次测量的结果及出厂时的测量结果相对比。若有显著下降，一般是由于密封破损致使受潮或火花间隙短路；如有显著增高，一般系弹簧不紧或内部元件分离等原因造成（对 FZ 型阀型避雷器还可能是由于并联电阻断裂或接触不良所致）。

表 8-10 FS 型避雷器的工频放电电压

额定电压 (kV)		3	6	10
工频放电电压 (kV)	新品	9~11	16~19	26~31
	运行品	8~12	15~21	23~33

## (三) 避雷器使用中的几个问题

### 1. $10\text{kV}$ 避雷器能否用到 $6\text{kV}$ 设备上

电气设备的绝缘配合原则是：避雷器的工频放电电压和残压应低于被保护电气设备的耐压水平。这样，在沿路线袭来的雷电侵入波可能危害电气设备之前，避雷器就击穿放电，将雷电流泄放入地；并且将避雷器的残压（即雷电流通过避雷器时产生的压降）限制在对设备没有危险的数值以下，从而使电气设备的绝缘得到保护。但  $10\text{kV}$  避雷器的工频放电电压和残压均高于  $6\text{kV}$  电气设备的耐压水平，所以不能用于  $6\text{kV}$  系统或设备上。

反之,额定电压为6kV的避雷器同样也不能用于10kV系统或设备上。因为10kV系统的内过电压水平可高达23kV(指“相”对“地”),而6kV避雷器的工频放电电压约为15~21kV,灭弧电压仅为7.6kV。故在内过电压作用下便会引起误动作,且不能灭弧,势将导致避雷器爆炸。这就不仅不能作为外过电压保护,倒反而成为引发事故的根源。

### 2. 运行中有时会突然爆炸的原因

(1) 中性点不接地系统中发生单相接地时,可能使非故障相的对地电压升高到线电压。此时避雷器所承受的电压虽小于其工频放电电压,但在持续过电压作用下,也可能会引起爆炸。

(2) 电力系统发生铁磁谐振过电压时,可能会使避雷器放电(阀型避雷器是不允许在这种情况下动作的),从而烧损其内部元件而引起爆炸。

(3) 当线路受到雷击、避雷器正常动作后,由于自身火花间隙灭弧性能较差,间隙承受不住弧复电压被击穿时,电弧重燃工频续流将会再度出现,这样便因间隙多次重烧,阀片电阻烧坏,从而引起避雷器爆炸。

(4) 避雷阀片电阻不合格,残压虽然降低但续流却增大了,由于间隙不能灭弧,阀片会因长时间通过续流而烧毁、进而引起爆炸。

(5) 避雷器由于瓷套管密封不良,运行中容易受潮和进水等,也很可能引发爆炸。

### 3. 运行中发现瓷套管有裂纹的处理

巡视检查中若发现避雷器瓷套管有裂纹时,应根据现场实际情况分别作如下处理:

(1) 向上级报告并申请停电,在得到批准并同时做好各项安全措施后,进行更换。

(2) 暂无备品可供更换时,在不致威胁供电系统安全运行的前提下,可先采取防止受潮的临时措施(如在裂纹处涂漆或环氧树脂),同时应尽快安排在短期内更换新品。

(3) 若发现时正值雷雨天气,则应尽可能不使其通出运行,待雷雨过后再行处理。

(4) 若因裂纹引起放电但尚未导致接地现象时,应即设法先将故障相的避雷器停用,以免引起事故扩大。

## 五、防雷保护装置的检查和维护

### (一) 避雷针(线、带、网)的检查与维护

(1) 检查避雷针(线、带、网)各处明装导体是否有裂纹、歪斜与锈蚀,或因机械力损伤而发生折断现象,各导线部分的电气连接是否紧密牢固。发现接触不良或脱焊时应及时进行检修。

(2) 检查接闪器有无因遭受雷击而发生熔化或折断的情况;检查引下线是否短而直,引下线距地2m一段的保护处有无破损情况;检查断接卡子有无接触不良情况。

(3) 检查避雷线是否每基杆塔处都有可靠接地,以及有否与避雷器的接地线共同接地;检查接地装置周围的土壤有无沉陷情况,有否因挖土方敷设其他管道与种植树木等而挖断或损伤接地装置。

(4) 检查有否由于修缮建筑物或建筑物本身的变形,而使防雷保护装置受到影响或发生变化;木质结构的接闪器支架有无腐朽现象。

### (二) 保护间隙的检查与维护

(1) 雷雨应对保护间隙进行特殊巡视。由于保护间隙的灭弧性能较差,动作时往往

容易被烧坏，故发现损坏时必须及时维修或更换。

(2) 检查保护间隙的距离有无变动，如有变动，则必须及时加以调整。

(3) 检查间隙的电极是否烧伤、锈蚀或支持绝缘子是否发生闪络。如有严重烧伤或闪络现象，应及时更换或检修。

(4) 检查保护间隙有无被鸟巢或冰雪堆积而存在引发短路的可能，如有应即清理。

(5) 检查导线及接地引下线是否有断股或接触不良情况，如有要及时处理。

(6) 在测试线路绝缘子时，对支持保护间隙电极的绝缘子亦应进行测试。若发现不合格时，应及时更换。

### (三) 阀型避雷器的检查与维护

(1) 检查避雷器瓷套管表面是否污秽。若受污严重时，会使电压分布很不均匀。在含有并联电阻的避雷器中，因其中某一元件所受分布电压增高时，通过它的电流便显著增大，就可能被烧坏。此外，还可能影响避雷器的灭弧性能，降低其保护作用。因此，发现瓷套管表面污秽时，必须及时清扫。

(2) 检查避雷器引线及接地引下线有无烧伤痕迹、断股现象以及放电记录器是否烧坏。这类检查最易发现避雷器的隐形事故。因避雷器动作后，接地引下线和记录器中只通过幅值不大（约 80A 以下）时间很短（约 0.01s）的工频续流，不会产生烧伤痕迹。若避雷器内部阀片存在缺陷或不能灭弧时，则通过工频续流的幅值与时间都将增大，接地引下线连接点上便会产生烧伤痕迹或使放电记录器内部烧黑与损坏。当发生上述情况时，应即设法将避雷器退出运行，进行详细检查，以免引发事故。

(3) 检查避雷器的瓷套管有无裂纹、破损及放电痕迹；避雷器上端引线处的瓷套与法兰连接处的水泥缝密封是否良好，以免密封不良会进水受潮而引起事故；避雷器的构架、遮挡是否牢固完整，基础是否下沉；要结合停电机，检查阀型避雷器上法兰泄水孔是否畅通。

(4) 检查避雷器与被保护物的电气距离是否符合要求。避雷器至接地装置的接地引线要求短而且直，且不允许套入铁管中。因雷电流经接地线泄入大地时，会在铁管中产生感应电势，造成环流，由此产生磁通而阻止磁场变化，增大了波阻抗，也就相当于增大了接地电阻。

(5) 雷电后应检查雷电记录器的动作情况，避雷器表面有无闪络放电痕迹，避雷器引线及接地引下线是否松动和本体有无摇动。此外，为了能及时发现阀型避雷器内部的隐形缺陷，应在每年当地雷雨季节到来之前进行一次预防性试验。

(6) 当阀型避雷器存在下列缺陷时，应及时安排进行检修与试验。

- 1) 瓷套表面有裂纹或密封不良（应进行解体检查与检修）；
- 2) 瓷套表面有轻微碰伤（应经泄漏及工频耐压试验，合格后方能投入运行）；
- 3) 瓷套表面有严重污染（应及时进行清扫和试验）；
- 4) 瓷套及水泥结合处有裂纹，法兰盘和橡皮垫有脱落；
- 5) 检查放电记录器，发现避雷器动作次数过多；
- 6) 检查泄漏电流、工频放电电压大于或小于标准值；
- 7) 对于 FZ 和 FCD 型避雷器，泄漏电流小于允许标准值。

大都由特殊的带电气体形成，直径一般约0.2~10m，滚动速度约2m/s。雷雨时若出现了球形雷，则它很可能会从门、窗或烟囱等通道侵入车间或室内。为此，雷雨时必须迅速关好门窗，以防止可能出现的球形雷对人体、房屋及设备造成危害。

### 3. 雷雨时值班电工要暂停露天巡视

由于变配电所周围常架设高大的避雷针，避雷针上有接地引下线与地下的接地极相连接。雷雨天若避雷针上万一落雷时，该避雷针接地极周围的相当范围内便会形成一个电位分布区，且其电位通常很高。这种情况下若值班人员进行露天设备巡视，两脚之间将会受到危险的跨步电压作用而引起触电。所以雷雨时，变配电所值班电工及有关人员均不宜再在露天进行设备巡视等作业，应等待雷雨过后再进行。

### 4. 对遭受雷击伤害者的紧急处理

万一有人遭雷击后，切不可惊慌失措，应冷静而迅速地处置。除非受雷击者已有明显死亡症状外，对于一般不省人事、处于昏迷状态甚或“假死”状态的伤害者，应不失时机地就地地进行正确的紧急救护。具体救护方法，与对一般触电者施行的急救方法相仿，且同样应注重及时、对症、正确、坚持诸要点，尽力抢救雷击伤害者的生命。

## 复 习 思 考 题

1. 何谓接地装置？接地分几类？安全接地又分哪几种？
2. 试述保护接地的局限性和保护接零的优越性。若混用时有何危害？
3. 重复接地是指什么？哪些设备必须实行保护接地或接零？
4. 对接地装置有何技术要求？试述人工接地体的规范和施工方法。
5. 试述对接地装置进行维护检查的周期与内容。
6. 怎样用接地电阻仪测量接地电阻？测量时应注意些什么？
7. 何谓接闪器？各种防雷装置的作用是什么？
8. 试述变配电所防雷保护措施的主要内容。
9. 在确定独立避雷针的位置及安装时有哪些规定与要求？
10. 对接闪器和接地装置有哪些技术要求？
11. 安装阀型避雷器要注意些什么？运行中发现瓷套管有裂纹应如何处理？
12. 简述对防雷保护装置进行维护检查的要点。怎样防止雷击伤人？

及电力系统的遥测系统中，变送器是必不可少的。

## 二、指示仪表分类和测量机构的特性

### 1. 指示仪表的分类、名称与符号

它的具体分类方法有多种，主要是：

(1) 按测量原理与结构可分为磁电系、电磁系、电动系、感应系等。

1) 磁电系仪表。是利用永久磁铁的磁场与载流线圈（即通有电流的线圈）相互作用的原理而制成的。结构特点是具有固定的永久磁铁和活动的线圈。这种仪表使用十分广泛，可用来测定直流电压、电流，加装适当的整流器和变送器后也可测量交流及非电量。

2) 电磁系仪表。是利用通电的固定线圈中，被磁化了的动、静铁片之间的作用力而制成的仪表。它结构简单，可直接用来测量交流电量，故在电气测量中得到广泛应用。

3) 电动系仪表。是利用通有电流的固定线圈代替磁电系仪表中的永久磁铁。由于线圈可以通过直流，也可以通过交流，所以它可以做成交直流两用表。

4) 感应系仪表。如交流电能表，是一种功率积算表，它既不是简单地反映电压、电流，也不是指示瞬时功率，而是反映电能随时间积累的总和。因此，结构上采取所谓感应系特殊结构。它将一定时间内负荷功率的大小变成表内转盘的转数，再通过计数装置将转数累积，从而指示出用电量。

(2) 据 1987 年国家标准《电气测量指示仪表通用技术条件》，电工仪表按其准确度等级可分为七级：0.1 级，0.2 级，0.5 级，1.0 级，1.5 级，2.5 级，5.0 级。

其中 1.5 级及以下的大都为安装式配电盘表；0.1 和 0.2 级仪表常用作校验标准表；0.5 和 1.0 级仪表供实验室和工厂作较精确的测量用；1.5~5.0 级仪表多用于一般工程上。

(3) 按其用途即被测量的名称分类，可分为电流表、电压表、有功功率表、无功功率表、功率因数表、相位表、频率表及绝缘电阻表等。常用电工仪表的名称和符号见表 9-1。

表 9-1 常用电工仪表的名称和符号

被 测 量	仪表名称	符 号
电 流	电流表	A, mA, $\mu$ A
电 压	电压表	V, kV
有功电功率	有功功率表	W, kW, MW
无功电功率	无功功率表	kvar, Mvar
电 量	电能表	kW·h
功率因数	功率因数表	$\cos\varphi$
频 率	频率表	Hz

(4) 按测量时工作电流的种类分，则有直流表、交流表及交直流两用表。

(5) 按读数装置的结构形式，可分为指针式、光指示器式和振簧式。

(6) 按标度尺零位的位置分，有单向标度尺仪表、双向标度尺仪表和无零位仪表。

(7) 按仪表外形尺寸，可分为微型、小型、中型及大型仪表四种。

(8) 按具体使用的方式，可分为便携式和固定式（又称开关板式或配电盘式）。

### 2. 常用测量机构的主要特性和应用

测量机构是仪表的核心部分。根据它们具体结构与工作原理的不同，决定了各自的技术特性多有差异；而由它们组成的各种电气仪表，其应用范围与用途也各不相同（见表 9-2）。



表 9-2 常用测量机构的主要特性和应用

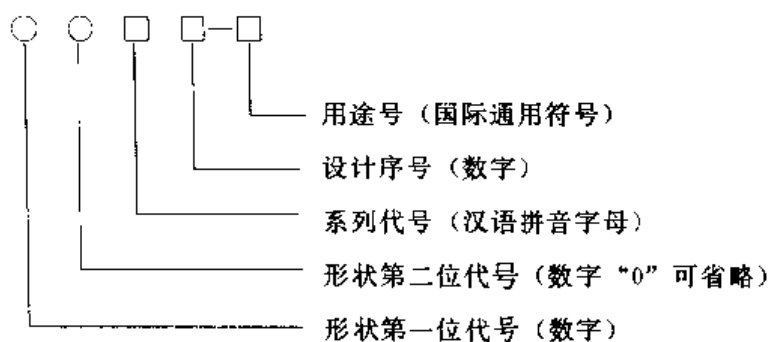
系 别	适用电 流 种 类	基本测量量	准确度级	标尺特性	过载 能力	防御外磁 场能力	功率 消耗	主 要 用 途
磁电系	—	电 流	达 0.1	均 匀	弱	强	小	直流可携式仪表及直 流固定式仪表(电流表、 电压表、欧姆表、检流计)
电磁系	~ (主要用于交流)	电 流 有 效 值	达 0.2	不 均 匀	强	弱	较大	交流安装式仪表(电 流表、电压表、相位表、同步 指示器)
电动系	~	电 流 有 效 值 功 率 平 均 值	达 0.1	电 压、电 流 不 均 匀、 功 率 均 匀	弱	弱	大	交流便携式标准表(电 流表、电压表、功率表、相 位表、频率表)
铁磁电动系	~	电 流 有 效 值 功 率 平 均 值	达 0.5	电 压、电 流 不 均 匀、 功 率 均 匀		强	较小	交流式仪表(功率表、 相位表、频率表及记录仪 表)
感应系	~ (工频)	电 能	达 1.0		强	强	大	交流电能表

### 三、电工仪表的型号标志和指针

#### 1. 仪表的型号及其含义

电工仪表的产品型号是按规定的标准编制的。对于固定式和便携式指示仪表的型号各有不同编制规则。

安装式仪表型号的基本组成形式如下所示：



形状第一位代号按仪表面板形状最大尺寸编,形状第二位代号按外壳形状尺寸特征编;系列代号表示仪表的不同系列(电磁系用T,电动系用D,感应系用G,整流系用L,静电系用Q,磁电系用C表示等等)。如42C3-A型直流电流表,42为形状代号(按形状代号可从有关标准中查出仪表的外型和尺寸),C表示磁电系仪表,3为设计序号,A表示用来测量电流。

对于可携式仪表,则不用形状号。第一位为组别号,亦即用来表示仪表的不同系列,以下部分的形式和固定式仪表相同。如T19-V型交流电压表,T表示电磁系,19为设计序号,V表示用来测量电压。

续表

端钮、调零器的符号							
名称	符号	名称	符号	名称	符号	名称	符号
负端钮	—	公共端钮	✳	与外壳相连接的端钮		调零器	
正端钮	+	接地用的端钮		与屏蔽相连接的端钮			

按外界条件分组的符号					
名称	符号	名称	符号	名称	符号
I级防外磁场(例如静电系)		II级防外磁场及电场		IV级防外磁场及电场	
I级防外电场(例如磁电系)		II级防外磁场及电场		P组仪表 S组仪表 A组仪表 B组仪表	不标注 S A B

### 3. 仪表表盘刻度和指针

(1) 标度线、黑点与红线。如前所述, 仪表刻度分均匀和非均匀两类。据电气测量仪表检验规程规定: 仪表面上每一分格可以用1、2、5、10的倍数来代表, 这有利于读取指示数。如1T1-A型电流表, 量程为100A, 标度尺分四大格, 每大格为25A, 分别标有25、50、75、100A。每大格分为5小格, 每小格为5A。当指针指在小格中间时, 则可估测。

在仪表(常为电磁式仪表)的表盘刻度起点附近有一黑点, 它是用来区分盘面刻度的工作部分与非有效工作部分的。一般由黑点往上, 为盘面刻度的20%~100%量限范围内属工作部分, 其量测值符号仪表的准确度等级要求, 即指示值是准确的; 黑点往下占盘面刻度的20%量限范围, 属非有效工作部分。由于仪表制造上的关系, 该范围内满足不了准确度要求, 即黑点以下的指示值就不够准确。故选用仪表时量限要选择恰当, 不应使指示值常在黑点以下, 一般要使被测值能处在仪表量限的2/3或盘面刻度工作部分的1/2以上。

此外, 在有些电工仪表(常为固定式指示仪表)的表盘刻度上限侧或近于测量上限处, 还刻有一条红色线条。这是表示该量值为被监视设备的额定值(又称为额定运行线), 在正常情况下不允许超越该红线运行; 有时, 还将该红线表示为允许运行的最大值或极限值, 在运行中绝不许超过, 故用红色表示警戒之意。

(2) 枪形指针和刀形指针。配电盘上所装用的仪表, 对其指示数值读数的要求并不很高, 故一般都采用1.5级(及以下)表。它的指示误差本身较大, 精确的读数并无实用意义; 且值班人员一般离配电盘上仪表的距离较远(常约1m以上)。为了便于观察读数, 所以, 这类仪表常做成枪形指针, 即似箭头一般的形状。依箭头所指量值来表明被测变量的数值。

但在仪表准确度及灵敏度较高的情况下, 这种枪形指针便难以合乎需要了。为了能做到指示精确和读数精确, 通常将指针做成刀形(即所谓立面指示, 看上去有似一条细线);

仪表的准确度。也就是说，仪表的准确度等级  $K$  的百分数，就是由最大绝对误差  $\Delta_m$ （即  $\Delta A$  的最大值）所决定的最大引用误差

$$K\% = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\%$$

最大引用误差愈小，仪表的基本误差就愈小，准确度便愈高。我国电工仪表的准确度等级据国家标准规定共分七级。各等级仪表在正常工作条件下使用时，其基本误差应不超过表 9-4 规定。

表 9-4 仪表的基本误差

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差 (%)	$\pm 0.1$	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$	$\pm 1.0$	$\pm 1.5$	$\pm 2.5$	$\pm 5.0$

准确度和精密度的含义有所不同。一般来说精密度用来表征随机误差的大小，准确度（也称精确度，简称精度）则表征综合误差的大小。如果一个测量结果的系统误差和随机误差都很小，则可称为准确度高或精确度高。

**【例】** 用 2.5 级电压表的 300 V 档，在额定工作条件下测量某电压值，其指示值为 250.0 V，试求测量结果可能出现的最大相对误差，并指出实际值的范围。

解 绝对误差  $\Delta A = 2.5\% \times 300 = 7.5 \text{ (V)}$

相对误差  $\gamma = \pm \frac{7.5}{250} \times 100\% = \pm 3\%$

实际值  $A$  的范围为： $(250 - 7.5) \leq A \leq (250 + 7.5)$ ，即在 242.5V 与 257.5V 之间。

一般情况下，测量结果的准确度（即其最大相对误差）并不等于仪表的准确度，不可把二者混淆起来。因此选用仪表时，不仅要考虑仪表的准确度，还要根据被测量的大小，选择合适的仪表量程，才能保证测量结果的准确性。有时仪表的准确度级虽然提高了，但测量结果的相对误差却反而会增大。所以，片面地追求仪表的准确度级而忽视对仪表量程的合理选择是错误的。为了保证测量结果的准确性，通常应使被测量值的大小为仪表测量上限的  $1/2 \sim 2/3$  以上。

#### 4. 减少基本误差和补偿附加误差的途径

具体应用电工仪表时，应创造条件提高测量技术，尽可能减小测量误差，做到精益求精、一丝不苟，务使测量结果准确、可靠。减少基本误差和补偿附加误差的途径主要有：

(1) 制造厂家及使用单位的修校部门要严把质量关，各结构元件的制造质量要好、精密度高。

(2) 仪表内部结构件的装配要正确，松紧程度要适当。严格校验，一丝不苟，确保合乎要求与规定。

(3) 仔细保管，小心安装，正确接线，认真读数。注意使用中的维护与保养，防止受潮受振与表壳变形，并避免超量程使用。

(4) 环境温度的变化，有时很难符合仪表使用的规定要求，可采用各种温度补偿方法

(如接入温度补偿线路)来减小温度对仪表内阻的影响。

## 五、电工仪表的选择原则与要求

### 1. 电工仪表及配用器件的选择原则

在实际应用中,由于选用仪表不合适,将造成测量结果不准确,或由于不切实际过分要求准确度而造成不必要的浪费。因此,应根据实际情况按以下原则进行选择:

(1) 仪表名称及型式的选择。根据被测量对象不同来确定仪表名称,如测电流必须用电流表,测电压必须用电压表等。若仪表是装置在配电屏上用,则应选固定式;若为实验室及电气修理用仪表,应选用携带式。

(2) 精度等级的选择。仪表精度等级越高,价格越贵。一级之差,价格相差是很大的。因此不可盲目地选用高精度仪表。高精度仪表一般用作校验用的标准表;一般配电屏装置用指示仪表,不必要较高的准确度;实验室用仪表,对准确度有一定的要求,因此选用0.5~1.0级较适宜。

(3) 仪表量程的选择。为使被测量的误差不超过仪表精度等级,应选用量限值接近被测量的仪表或选用被测量值大于满标值 $2/3$ 的仪表。被测量值在仪表标示尺上所占刻度越小,则测量误差就越大。因此用大量程仪表去测较小的量是不合适的。实验室用仪表,因测量范围大且又不固定,所以宜选用多量程仪表。

### 2. 电工仪表及配用器件的选择要求

(1) 指示仪表的准确度(精度)等级,一般不得低于2.5级;交流电流表、电压表及功率表应为1.5~2.5级;直流电流表、电压表应为1.5级;频率表应为0.5级。

(2) 与仪表连接的分流器、附加电阻、电压或电流互感器的准确度等级不应低于0.5级(GBJ63—90规定);仅作电压或电流测量时,1.5级和2.5级的仪表允许配用1.0级的互感器。

(3) 选择仪用互感器和仪表测量范围(量限)时,要考虑设备在正常运行条件下,使仪表指示在仪表盘面刻度工作部分量程的70%~100%处或 $2/3$ 以上;设备过负荷时,也应有适当裕度。

(4) 在可能出现短时的冲击过负荷电气设备的控制盘(屏)上,要安装标有过负荷电流标度的电流表。

(5) 有互供设备的变配电所内,应装设符合互供条件要求的电气测量仪表。如当功率有送、受关系时,必须安装两组电能表及有双向刻度的功率表和电流表。

(6) 凡500V及以下的直流电路中,允许采用直接接入或带分流器的电流表。

## 六、电工仪表及配用器件的安装

对电工仪表及配用器件(或称附设器件如互感器等)的一般安装要求如下:

(1) 安装使用场所的具体条件(如工作位置、环境温度、振动、极性及磁场或电场影响等),应与所选用电气仪表及配用器件的技术条件相符。

(2) 电气仪表及附设器件的安装要牢固妥贴,接线要正确无误,有利于检查维护及校验或拆换。

(3) 指示仪表的装设要满足如下要求:能正确反映电气设备的运行状况;能监视电气系统的绝缘状况;在发生事故时,能利于运行人员迅速判断情况。

(4) 仪表应装设在便于监视的地方。在控制盘(屏)或配电盘(屏)上,仪表水平中心线距离地面的高度通常为 1.2~2.2 m,但准确度高或刻度小的仪表,则不宜高于 1.7 m。

(5) 一般电气仪表(含电能表)与继电保护装置共用电流互感器时,其安装接线应符合如下要求:

1) 通常情况下,应将电工仪表接到精度(准确度)较高的二次绕组上,而将继电保护装置单独接到另一个精度较低的二次绕组上。

2) 若由于继保装置的要求,使电流互感器变比过大,而不能合乎电工仪表的要求时,则应尽量分开,各自接用单独的电流互感器。

3) 若受条件限制而只得共用电流互感器的一个二次绕组时,则应有必要的安全措施,同时不得超过互感器的额定容量。

## 七、变配电所的仪表配置和绝缘监察

### 1. 仪表形状尺寸与配置数量

在变配电所的控制与配电盘(屏)上,根据对电气设备与电力线路运行状况实行监控的需要,常配装多种且数量不等的电工仪表。

变配电所常用的各种电工指示仪表,按照它们(仪表面)的形状还可分为方形、矩形及槽形三类。方形仪表的面板尺寸为 160mm×160mm,其特点是显示清晰、价格低廉,但尺寸较大;矩形仪表采用磁电式内磁结构及相应的晶体管变换器。目前常用的有 44 型和 59 型两个系列,其尺寸长×宽×深分别为 100mm×80mm×66mm 和 120mm×100mm×70mm,它们常用于各种控制台或屏的面板上;槽形仪表采用透明有机玻璃外壳,其指针与表尺处在同一圆弧面上,外形为一狭长方形。目前常用的为 16 型和 46 型两个系列,其尺寸长×宽×高分别为 160mm×80mm×226mm 和 120mm×60mm×188mm,其特点为占用屏(盘)的面积小、造型美观、与模拟母线配合使用时模拟性强。

为了便于运行人员进行监视以及方便替换、校验与维修,使备品备件尽可能统一,同类变配电装置上或是同一变配电所内要尽可能选用同类型电工仪表。

按照监视、控制与计量要求,据规程规定普通中小企业常用的 6~10 kV 变配电所的电气仪表配置如表 9-5 所示。表中所列为必备(起码)数量与种类,实用中若盘(屏)面位置允许时也可以多装。此外,表中还同时列出了同步或异步电动机所需配装的电工仪表及其只数。

### 2. 交流绝缘监察的仪表配置与接线

中性点不接地系统是不允许长时期单相接地运行的,为此对具有较长 6~10 kV 配电线路的用户,10(6) kV 母线上必须装设专用仪表来监视对地绝缘状况。

图 9-1 是交流绝缘监视接线原理图,图中 TV 是 10(6) kV 母线电压互感器(JSJW 三相五柱式或 JDJJ×3),其一次侧中性点接地,正常时副边每相为相电压( $100/\sqrt{3}$  V),开口三角形端没有电压(或很小不对称电压),当一相完全接地时(如 U 相),则电压表  $V_u$  指示为零,电压表  $V_v$ 、 $V_w$  指示线电压。开口三角处出现 100V 电压,起动电压继电器 KV,接通了 KS 线圈回路,使信号继电器 KS 掉牌,发出预告信号。通过切换开关 SC,电压表  $V$  可指示出母线三相间的线电压。

表 9-5

6~10 kV 变配电所电工仪表的配置

线路或设备名称		配装电工仪表的种类和数量					说 明	
		电流表	电压表	有功功率表	无功功率表	有功电能表		无功电能表
6~10 kV 进线		1				1	1	
6~10 kV 出线		1				1	1	不单独经济核算的出线，不装无功表；线路负荷大于 5000 kW·h，装有功率表
6~10 kV 联络线		1		1		2		电能表只装在线路一端，并应有止逆器
配电变压器 10(6)/6(3) kV 或 10(6)/0.4 kV	一次侧	1				1	1	5000 kVA 及以上，应装有功功率表
	二次侧	1						
	二次侧	3				1		单独经济核算时，应装无功电能表
母线（每段或每条）			4					其中 1 只经转换开关检测三相电压，余 3 只作母线绝缘监视用
补偿电容器		3					1	
同步电动机		1		1	1	1	1	另需装设 $\cos\varphi$ 表
异步电动机		1				1		

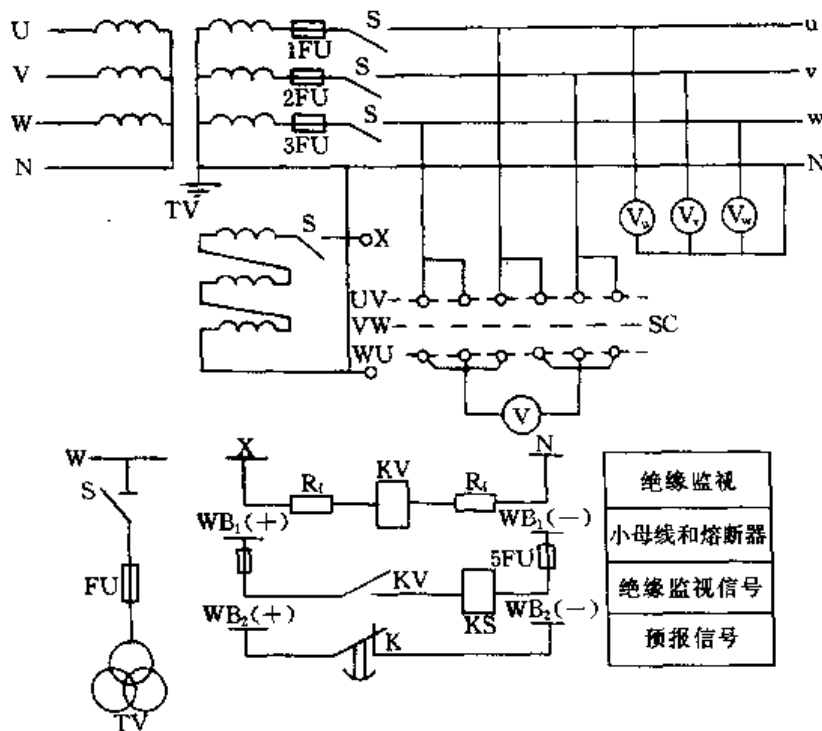


图 9-1 交流电压测量和绝缘监视接线原理图

## 八、电工仪表的维护保养和校验期限

### 1. 电工仪表使用中的维护保养

为保证电工仪表应有的准确度、整体的完好性以及延长其使用寿命，在使用中应加强维护与保养。电工仪表无论在使用还是保管时，均按下列注意事项执行：

- (1) 根据规定做定期校验和调整。
- (2) 装卸和搬运仪表应特别小心，轻拿轻放，不要受振动，以防损坏仪表轴承或张丝。
- (3) 仪表的安装和拆卸都应事先切断电源。
- (4) 装设仪表的地方应清洁干燥，温度适当，无振动，附近无强烈的磁场存在，不可装在强烈的阳光下或高温处。
- (5) 仪表在接入电路之前，应先估计被测电压、电流等是否在仪表最大量程之内。
- (6) 装有换相开关之电流表，平时及电动机启动时，应将换向开关置于“0”位置，以防启动电流损坏仪表。
- (7) 仪表连接必须适当和可靠，以免导线及接点发热而产生电压降，影响读数。
- (8) 仪表的指针，使用前应注意调零。若指针有弯曲变形现象，不能用调零来纠正，应送有关部门修理。
- (9) 仪表指针转动不灵活时，切不可敲击或摇振仪表，应拆下修理。
- (10) 仪表应经常保持清洁，要用细软干布擦净。不能用水拭试和随便加油。
- (11) 仪表发生故障，应送有关单位或由有经验的专门人员修理，不可乱拆。
- (12) 保存仪表的地方，周围的温度应保持 10~30℃ 之间，相对湿度应在 30%~80% 之间，空气应清洁，不能有过多的尘埃和含酸、碱等腐蚀性气体。以防线圈及零件发霉、腐蚀、生锈。为此，应定期检查。
- (13) 携带式仪表在不使用时，应放在干燥的箱柜内，不能随意乱放。仪表的附件和专用接线，要经常保持完整无缺。

### 2. 电工仪表的校验期限

按照电气专门装置的有关规程规定，使用中及修理后的电工仪表都必须进行校验。校验的目的是为了检查仪表的各项技术特性，特别是其准确度是否与规定相符。校验的方法主要是通过外观检查和进行试验。

电工仪表的校验期限、项目与方法等在部颁《电气测量仪表检验规程》中作了明确规定。

(1) 仪表的校验期限。按照上述规定，对 0.1、0.2 和 0.5 级标准仪表的定期检验，每年不得少于一次；对其他仪表的校验（检验）期限如表 9-6。

(2) 仪表的外观检查。主要检查外壳、玻璃、端钮、刻度盘、指针和调整器等有无损坏，仪表内部有没有脱落的零件，指针有否卡住现象，以及必要的标志和极性符号是否清楚等。

(3) 仪表误差的校验。用得最多的是直接比较法，即被校表和标准表直接在试验中进行对比的方法。为了保证校验结果准确，标准表的准确度等级一般应比被校表高 2 级。对标准表及其扩大量程装置的准确度级别的规定，如表 9-7 所示。此外标准表的量限还应和被检表的量限相适应，标准表的量限不得超过被检表量限的 125%。

表 9-6 电工仪表的校验期限

仪表种类	安装场所或使用条件	定期检验次数
配电盘指示及记录仪表	主要设备和主要线路的配电盘仪表 <sup>①</sup>	每年1次
	其他配电盘仪表 <sup>②</sup>	每2年1次
试验用指示及记录仪表	标准仪表	每年1次
	常用的携带型仪表	每年2次
	其余的携带型仪表 <sup>③</sup>	每年1次
计量电能表	标准电能表(回转表)	每年2次
	电网关口表计及月用电量超过100万kW·h表计	每3个月1次
	月平均用电量10万kW·h以上的表计	每6个月1次
	月平均用电量10万kW·h以下的表计	每年1次
	非计费电表、动力电能表、照明电能表	每2~5年1次

- ① 应与仪表所连接主要设备的大修时间一致,不应延迟。  
 ② 有的配电盘仪表可每4年至少检验1次。  
 ③ 万用表与钳形电流表可每4年至少检验1次,绝缘电阻表与接地电阻表每2年至少检验1次,用于高压电路使用的钳形表和用作吸收比试验用的绝缘电阻表则每年至少检验1次。

表 9-7 标准表、互感器、分流器和被检表之间的级别关系

被检表的准确度级别	标准表的准确度级别		与标准表一起使用的互感器级别	与标准表一起使用的分流器级别
	不考虑更正	考虑更正		
0.2	-	0.1	0.05	0.05
0.5	0.1	0.2	0.1	0.1
1.0	0.2	0.5	0.2	0.2
1.5	0.2	0.5	0.2	0.2
2.5	0.5	—	0.2	0.2
5.0	0.5	—	0.2	0.5

## 第二节 固定式电工仪表

### 一、磁电系仪表和直流电流与电压的测量

磁电系仪表的测量机构(俗称表头)如图9-2所示。其固定部分由马蹄形永久磁铁1、极靴2和处在磁极中间不动的圆柱形铁芯3组成;可动部分由转动线圈4、支持在轴承上的转轴5、平衡重物6、指针7、游丝8和调零器(包括调零螺丝9和调零导杆10)等部件组成。

转动线圈是采用很细的高强度漆包线绕制在铝框架上而成,它只允许通过很小的电流。线圈两端分接至两个游丝,该游丝既作线圈电流的通路,又产生所需的反抗转矩。

当被测电流通过线圈时,线圈两边导体在磁场中受电磁力的作用,方向可用左手定则确定,从而产生电磁转矩 $M$ 带动指针偏转,与此同时,游丝被卷紧,产生反抗转矩 $M_R$ ,当偏转到 $M_R$ 与 $M$ 平衡时,指针停留的位置即表示被测电流的大小。



磁电系仪表的优点是：①刻度均匀；②灵敏度和准确度较高；③读数受外界磁场的影响小。它的缺点是：①测量机构只能测量直流（采用整流装置后也可用来测量交流）；②过载能力差。目前用来测量直流的仪表和万用表的表头几乎都是磁电系的。

1. 直流电流的测量方法及注意点

将磁电系仪表串联在被测电路中〔见图 9-3 (a)〕，就可测出直流电流的数值。

磁电系测量机构的可动线圈和游丝一般只容许通过几十微安到几十毫安的电流，测量大于此值的电流时，需加分流电阻  $R_{RI}$  与测量机构相并联〔见图 9-3 (b)〕，使被测电流的大部分或一小部分通过分流电阻  $R_{RI}$ ，而通过测量机构的电流不超过表头的量限。由于  $R_{RI}$  和测量机构电阻  $R_i$  的比值一定，所以通过表头的电流  $I_i$  与被测电流  $I$  的大小成比例，可按此算出被测电流的大小。通常仪表的标尺就是按被测电流刻度的，从仪表刻度上可直接读出被测电流的大小，这样就扩大了电流表的量程。

有些电流表的分流电阻  $R_{RI}$  就装在仪表内部。当被测电流在几十安以上时，就往往将分流电阻做成单独的装置，叫做外附分流器，使用时用粗的一对接线端钮串联于被测电路之中，用配制的连线将细的一对接线端钮与表并联〔见图 9-3 (c)〕。

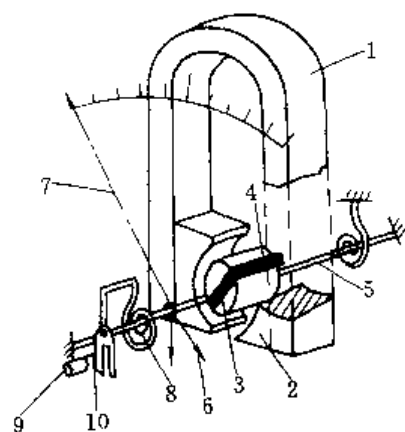


图 9-2 磁电式测量机构的结构原理

- 1 永久磁铁；2—极靴；3—圆柱铁芯；
- 4 转动线圈；5—转轴；6—平衡重物；
- 7—指针；8—弹簧游丝；9 调零螺丝；
- 10—调零导杆

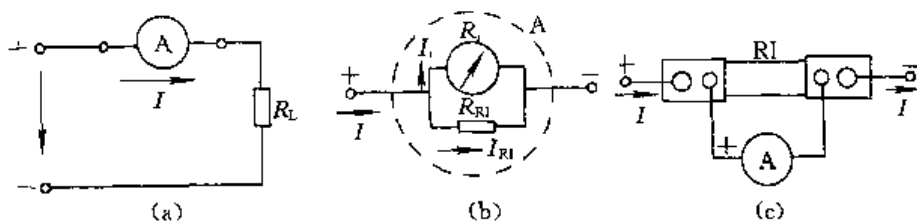


图 9-3 磁电式直流电流表的接法

A—电流表； $R_{RI}$ —分流器； $R_L$ —负载电阻； $R_i$ —内电阻； $R_{RI}$ —分流电阻

如果要将磁电系电流表的量程扩大  $n$  (大小等于  $I/I_i$ ) 倍，所需分流电阻的大小可按下式计算

$$R_{RI} = \frac{R_i}{n - 1}$$

【例】 有一磁电系电流表，表头的量限为 1 mA，测量机构内阻  $R_i = 150 \Omega$ ，现要将其量程扩大为 1 A，则应并联的分流电阻阻值应为

$$R_{RI} = \frac{R_i}{n - 1} = \frac{150 \Omega}{\frac{1}{0.001} - 1} = 0.15 (\Omega)$$

使用直流电流表时必须注意：

(1) 电流表必须串联在被测电路中。为减小电路受接入电流表的影响，电流表的内阻必须很小。因此，如果错把电流表并联到电路两端，必将烧坏。

(2) 必须注意极性, 标有“+”的接线端钮为电流流入端, 标有“-”的接线端钮为电流流出端, 如果接错, 会使指针反转, 有可能把指针打弯。

(3) 选择仪表量程时, 应先估计被测电流的范围, 仪表量程应大于被测电流。若估计不出被测量的范围, 应先用最大量程测量, 然后再调至适当大小的量程。

## 2. 直流电压的测量方法及注意点

磁电系测量机构串联大电阻(分压电阻  $R_{RV}$ )后并到被测电路两端, 即可测量电路两端的直流电压(见图 9-4)。通过测量机构的电流  $I_i = \frac{U}{R_i + R_{RV}}$ , 与被测电压  $U$  成正比, 所以指针的偏转角度可以表示电压的大小, 串联不同的分压电阻  $R_{RV}$ , 可得不同的电压量程。电压量程较低时, 分压电阻就接在表内, 量程较高时, 分压电阻做成独立的装置, 称为外附分压器, 使用时与表串联后再与被测部分并联。

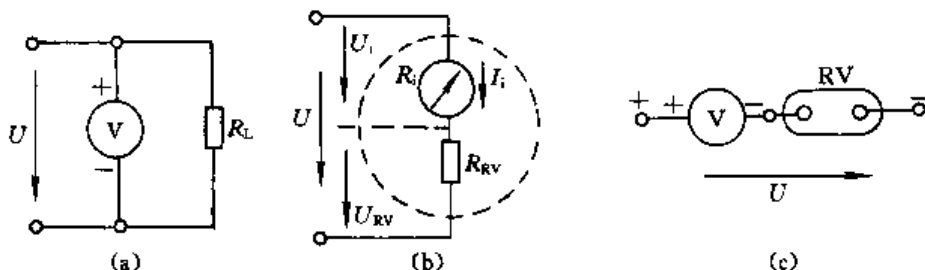


图 9-4 磁电式直流电压表的接法

V· 电压表; RV—分压器;  $R_L$ —负载电阻;  $R_i$ —内阻;  $R_{RV}$ —分压电阻

若要将磁电系电压表的量程扩大  $m$  (大小等于  $U/U_i$ ) 倍, 则所需分压电阻的大小可按下式计算

$$R_{RV} = (m - 1)R_i$$

**【例】** 有一磁电系测量机构, 量限为 1 mA, 内阻  $R_i = 150 \Omega$ , 若欲制成 250 V 量程的电压表, 所需串联的分压电阻值就可由  $R_{RV}$  算式算出。

测量机构满刻度偏转时, 两端电压为

$$U_i = I_i R_i = 1 \times 10^{-3} \times 150 = 0.15 \text{ (V)}$$

量程扩大倍数为

$$m = U/U_i = 250 \div 0.15 = 1667$$

故分压电阻为

$$R_{RV} = (m - 1)R_i = (1667 - 1) \times 150 = 249850 \text{ (}\Omega\text{)}$$

使用直流电压表时应注意:

- (1) 必须并接在被测部分的两端。
- (2) 注意正负极性, 将电表的“+”端与被测部分的正端相接, 另一端与被测部分的负端相接。
- (3) 不要超出量限, 并尽量使指针在刻度的  $1/3 \sim 2/3$  范围以内, 这利于减小测量误差。

## 二、电磁系仪表和交流电流、电压的测量

电磁系仪表的测量机构如图 9-5 (a) 所示。固定部分主要由圆形线圈(固定线圈) 1 和

装在线圈内侧的固定铁片 2 组成；可动部分主要由转轴、装在轴上的可动铁片 3、指针、空气阻尼器 4、游丝和校正器等组成。

固定线圈中有被测电流通过时，产生磁场，使固定铁片和可动铁片同时被磁化，并呈同一极性 [见图 9-5 (b)]。由于同性相斥的缘故，动铁片受转矩  $M$  的作用带动转轴一起偏转，当  $M$  与游丝的反作用转矩  $M_R$  平衡时，指针偏转的角度即表示电流的大小。由于定、动铁片的磁性强弱均与电流成正比，所以转矩和偏转角度的大小与电流的平方成正比。如果线圈中电流反向，则定、动铁片磁化的极性同时改变 [见图 9-5 (c)]，仍能产生转矩  $T$  使指针正向偏转，所以电磁式仪表既可用于测量直流，也可用于测量交流。

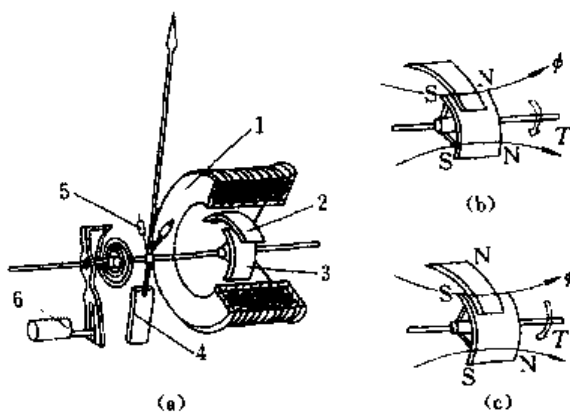


图 9-5 电磁式测量机构的结构原理  
1—固定线圈；2—固定铁片；3—可动铁片；  
4—空气阻尼器；5—平衡重物；6—调零螺丝

电磁系仪表的优点：①同时适用于交、直流测量；②线圈是固定的，故能测量较大的电流和容许较大的过载；③构造简单，价格较低。它的缺点：①因为偏转角度与电流的平方成正比，所以刻度不均匀；②准确度不高；③读数受外磁场的影响较大。电磁系仪表主要用于交流电流和交流电压的测量。

### 1. 交流电流的测量方法

电磁系仪表串联于被测电路，就可测量交流电流的有效值。为了改变量程，固定线圈一般分成两段，设两段线圈串联时的量程为 5A [见图 9-6 (a)]，则改为并联时的量程为 10A [图 9-6 (b)]。电磁式交流电流表的量程可以高达 100A，如果要测 100A 以上的交流电流时，则需采用电流互感器来扩大量程 [图 9-6 (c)]。

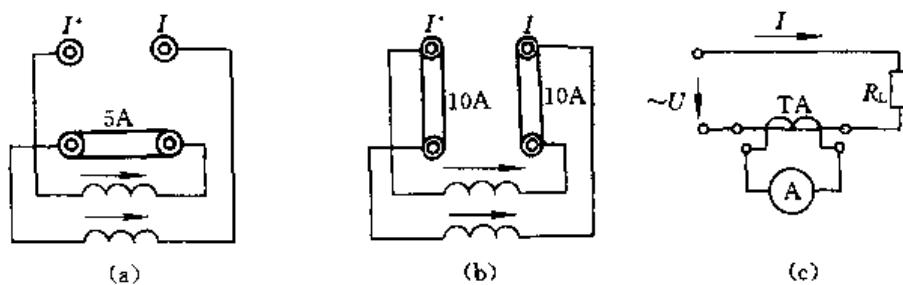


图 9-6 电磁式交流电流表量程的变换  
(a) 线圈串联；(b) 线圈并联；(c) 用电流互感器 (TA—电流互感器)

同理，交流电流表必须串联于被测电路中，但不必考虑极性。

### 2. 交流电压的测量方法

电磁系测量机构的固定线圈串联一个分压电阻就可作为交流电压表，测量原理和方法与直流电压表相同，一个测量机构串接不同阻值的分压电阻，就可做成多量程的电压表 (见图 9-7)。测量交流高压时，考虑到仪表和人身的安全问题，应采用电压互感器来扩大量

程并使测量电路与高压电路隔离（见图 9-8）。

同理，交流电压表必须跨接于电路的被测部分，且不必考虑极性。

### 三、电动系仪表和交流电功率的测量

电动系仪表的测量机构如图 9-9 所示，固定部分是两个对称的固定线圈 2，可按需要串联或并联；可动部分主要有转轴、可动线圈 3、游丝 5、指针 1 和空气阻尼器 4 组成。

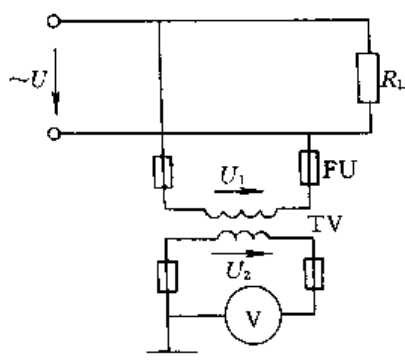


图 9-8 电磁式交流电压表用电压互感器扩大量程  
FU—熔断器；TV—电压互感器

和电磁式测量机构一样，电动式测量机构指针的尾部装有一块铝质薄片，称为空气阻尼器，指针偏转时，此铝片在一密闭空气室（图中未画出）内移动，受空气阻力而产生阻尼作用，使指针能平稳地指向平衡位置，减少振荡，提高读数的速度和准确度。

电动系仪表的优点：①同时适用于交、直流测量，一般作为交直流两用仪表；②灵敏度和准确度比其他交流仪表高，一般做成 0.2~1.0 级仪表。它的缺点：①刻度不均匀；②动圈电流要通过游丝，所以过载能力差；③读数受外磁场的影响较大。目前，比较精确的交直流两用电压表、电流表和功率表大都采用电动式仪表。

电流表和电压表的用法与电磁式相同，故本节只介绍功率表的用法和功率测量。

#### 1. 单相功率的测量方法及注意点

电动式测量机构作单相功率表时，固定线圈与负载串联，称电流线圈；可动线圈串接分压电阻  $R_{RV}$  后与负载并联，称电压线圈，其连接方法如图 9-10 (a) 所示。图 9-10 (b) 为电动系功率表的接线图。

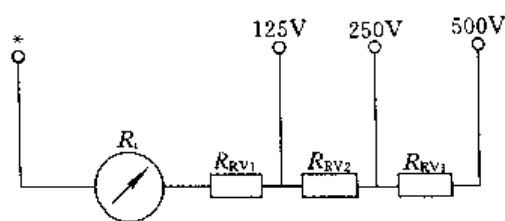


图 9-7 电磁式交流电压表量程的变换

将电动式测量机构的固定线圈和可动线圈串联，指针偏转的角度与电流的平方成正比，可作电流表，若将可动线圈的两个部分由串联改为并联，量程扩大一倍。如果将固定线圈和可动线圈串联后再串接分压电阻  $R_{RV}$ ，可作电压表，串接不同的  $R_{RV}$ ，可得不同的量程。若将固定线圈与负载串联，可动线圈串接  $R_{RV}$  后与负载并联，则其偏转角度与负载的功率成正比，可作为功率表。

固定线圈和可动线圈中任何一个线圈内的电流改变方向，指针的偏转方向就随之改变，但如果两个线圈中的电流方向同时改变，则指针的偏转方向不变。所以，电动式测量机构可同时适用于交直流电路，作为交直流两用仪表。

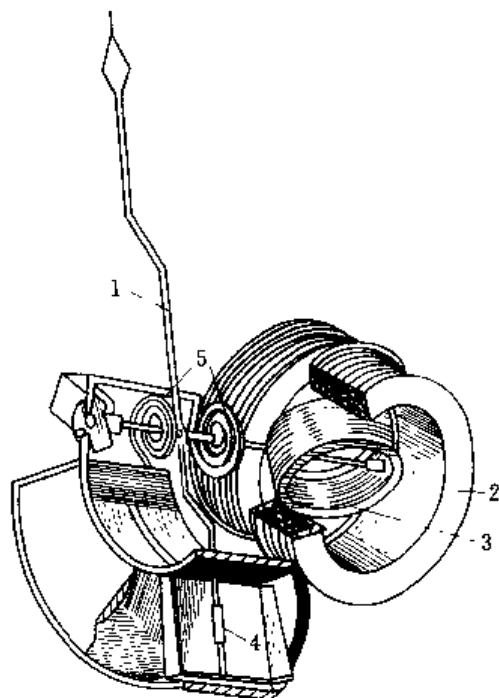


图 9-9 电动式测量机构的结构原理  
1—指针；2—固定线圈；3—可动线圈；  
4—空气阻尼器；5—游丝

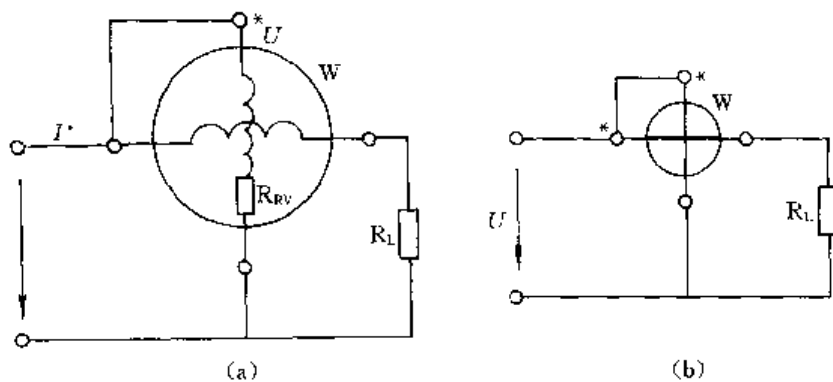


图 9-10 电动式功率表的接线图  
W 功率表

电压线圈串有高值电阻  $R_{RV}$ ，该支路的感抗与电阻相比可忽略不计，故可认为其中电流与其两端电压  $U$  同相并成正比，因而指针的偏转角度与  $UI\cos\varphi$  成正比，即与电路中有功功率  $P$  成正比，这就是交流功率表的基本原理。

和电流表一样，固定线圈（电流线圈）可以通过串联或并联改变电流量程，可动线圈（电压线圈）和电压表一样，可串接不同的附加电阻改变电压量程。图 9-11 是电流量程为 5A、10A 和电压量程为 125V、250V、500V 时的内部接线图。

在多量程功率表表面上，一般只有一条刻度尺，这时应将刻度尺上的读数乘上某一倍数，才是所测负载功率。此倍数可根据所用电压、电流的量程在表盖内或说明书上查得。一般为电压量程和电流量程的乘积与满刻度的比值。

使用电动系功率表时应注意：

(1) 接线时要注意电流线圈和电压线圈的极性，将电流线圈的  $I^*$  端和电源相接，另一端和负载相连；电压线圈的  $U^*$  端和  $I^*$  或  $I$  端相接，另一端跨接到负载的另一端（见图 9-12），此为功率表的正确接线规则。若不是这样，将其中一对端钮反接，则指针将反偏，这是不允许的。在用三相功率表（或电能表）测量三相功率（或电能）时，尤其要注意它的极性，否则会出现错误指示。

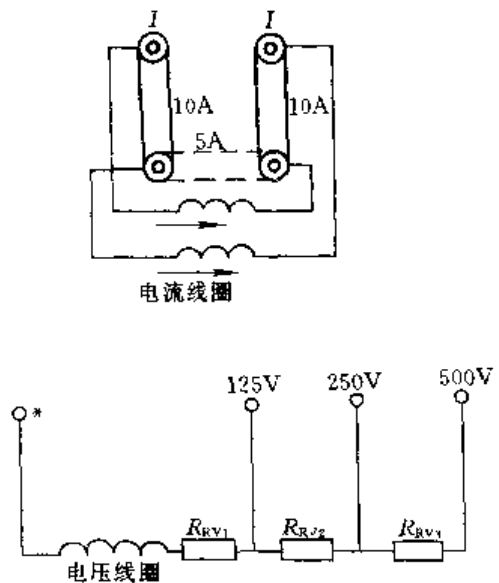


图 9-11 功率表变换量程的内部接线图

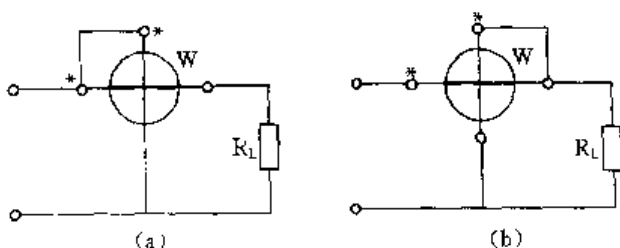


图 9-12 功率表电压线圈与电流线圈极性端的接法

(2) 功率表的电流线圈和电压线圈，均不能在超量程情况下使用。

(3) 测量前要通过表盖上的调零器将仪表指针准确地调到标度尺的零位。

(4) 功率表中电压支路的附加电阻  $R_{R'}$  必须接在电压线圈的非极性端一边。若将

附加电阻接到极性端，则在电压线圈和电流线圈之间将存在很高的电压（电路的全电压）。会引起两个线圈间的静电作用，而产生附加误差，甚至可能击穿绝缘。

## 2. 三相有功功率的测量方法

(1) 三功率表法。此法用于测量三相四线制不对称负载的功率，即把三只单相功率表分别接在被测的三相电路中（见图 9-13）。设各相功率表的读数分别为  $P_1$ 、 $P_2$  和  $P_3$ ，则三相功率  $P$  为三者之和，即

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

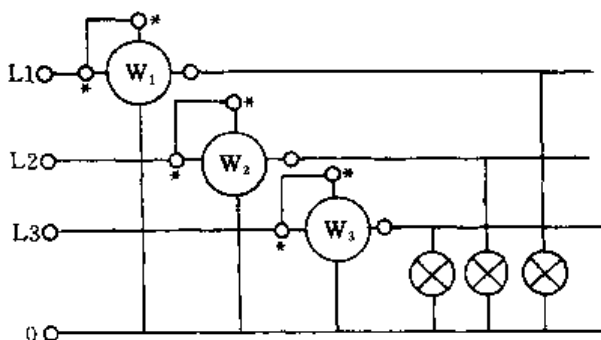


图 9-13 用三功率表法测量三相四线制不对称负载功率的接线图

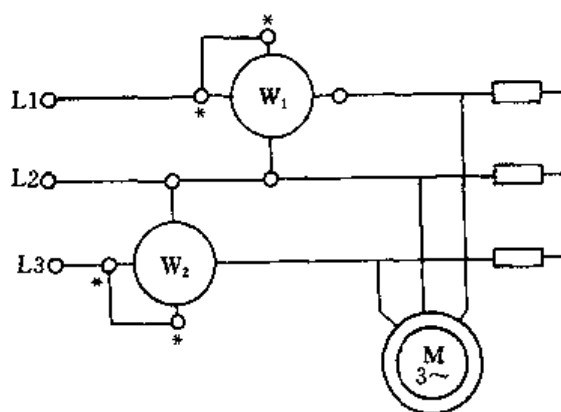


图 9-14 用二功率表法测量三相三线制负载功率的接线图

(2) 二功率表法。此法用于测量三相三线制对称或不对称负载的三相功率，图 9-14 表示其接线方法。可以证明：两只功率表的读数之和即为三相总的有功功率，即  $P = P_1 + P_2$ 。当负载的功率因数较低时，可能出现有一个功率表的指针反转而无法读数的情况，这时应切断电源，将该表电流线圈的两个接线端（ $I^*$  和  $I$ ）反接，使之正转，但记住此表的读数应为负值，如该表读数为  $P_2$ ，则三相功率  $P = P_1 - P_2$ 。注意不可将电压线圈的接线端反接，以免仪表绝缘被击穿而损坏。

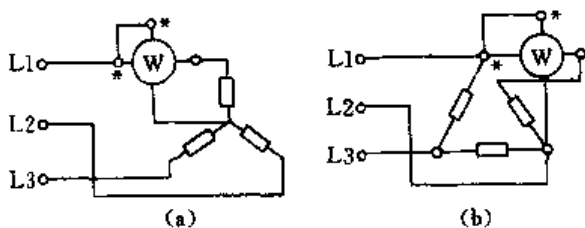


图 9-15 用一功率表法测量三相对称负载功率的接线图

(a) 负载为星形连接；(b) 负载为三角形连接

(3) 一功率表法。此法适用于测量三相四线制和三相三线制对称负载的功率。由于三相负载对称，所以只需用一个单相功率表测出任一相的功率再乘以 3，便得三相功率。用一功率表法测量三相三线制对称负载功率时的接线如图 9-15 所示。由图可看出，采用这种方法，星形连接的负载要能引出中点，三角形连接的负载要能断开其中一相，以便接入功率表的电流线圈。若不能满足该条件，则应采用上述二功率表法。

上述二功率表法。

(4) 三相功率表法。为方便起见，常用一只三相有功功率表测量三相三线制对称或不对称负载的有功功率。这种功率表是根据二表法的原理制造的，它具有两个独立的单元，每一单元相当于一只单相功率表，两个单元的可动部分机械地固定连接在同一轴上。这样，指

针偏转的角度可以直接反映三相三线制对称或不对称负载的功率。图 9-16、图 9-17、图 9-18 是这种功率表的接线图。当采用电压互感器和电流互感器时，电路的实际功率  $P$  应为电表读数  $P'$  乘以电压互感器和电流互感器的变比  $K_u$  和  $K_i$ ，即

$$P = P' K_u K_i$$

若该功率表和所用互感器是配套的，即刻度已经考虑了变比  $K_u$  和  $K_i$ ，则可直接从功率表上读得三相功率，无需再乘上互感器的变比（倍率）了。

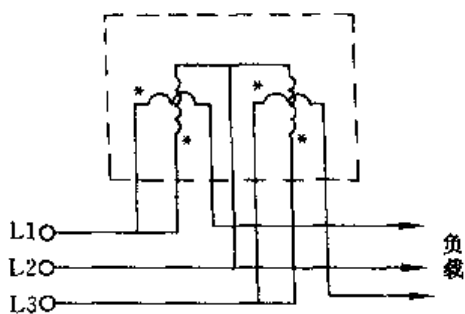


图 9-16 三相功率表内部接线图

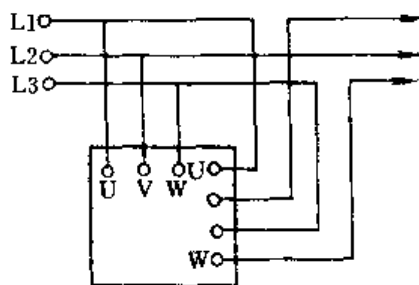


图 9-17 三相功率表外部接线图  
(直接接入法)

### 3. 三相无功功率的测量方法

(1) 有功两表相减法。接线方法与二表法测三相有功功率时相同（见图 9-14）。可以证明，当负载对称时二表读数之差（当其中一表指针反转而将电流线圈反接后则为读数之和）的  $\sqrt{3}$  倍即为三相无功功率，即  $Q = \sqrt{3} (P_2 - P_1)$ 。

(2) 有功两表相加法。若将图 9-14 所示二表法的接线改成图 9-19 所示的接法，可以证明，负载对称时，两个功率表读数之和（当其中一表电流线圈反接时则应为读数之差）乘以  $\sqrt{3}/2$  即为三相无功功率，即  $Q = \frac{\sqrt{3}}{2} (P_1 + P_2)$ 。

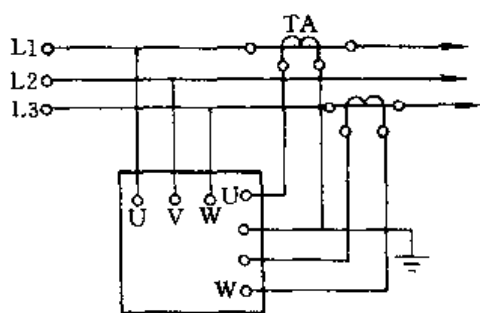


图 9-18 三相功率表外部接线图  
(经电流互感器接入法)  
TA—电流互感器

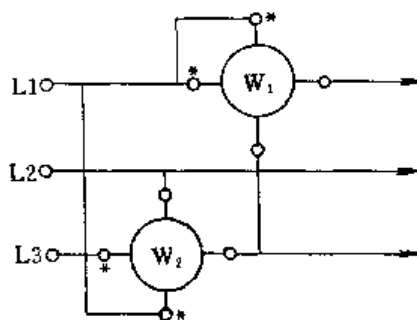


图 9-19 用两只单相功率表测量对称  
三相电路无功功率的接线图

(3) 三相无功功率表法。用三相无功功率表可以直接测量对称三相电路的无功功率。三相无功功率表是根据有功两表相加法的原理制成的，其结构与三相有功功率表相同，只是内部接线是按图 9-19 的方式连接的，外部接线方法则与三相有功功率表的接法相同（见图 9-17 或图 9-18）。

及以上时,允许误差为 $\pm 0.2\text{Hz}$ ,低于300万kW则允许误差 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。电网所供交流电的频率是否符合要求,是通过频率表来进行监测的。频率表通常有铁磁电动式频率表,电动式频率表,转换器式频率表(含微分式频率表)以及数字式频率表等。

### 1. 1D1-Hz型频率表

为常见配电盘(屏)安装用频率表,属铁磁电动式。测量范围由45~55Hz,基本误差不超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ ,其结构示意图和电路原理如图9-23所示。

内部导磁体和柱形铁芯均由硅钢片叠成。固定线圈B起电感 $L_1$ 作用(有时还设有附加电感),A为可动线圈。该型表由三个电路组成,即由 $L_1$ 、 $C_1$ 与 $R_1$ 组成的串联谐振电路(也称主电路); $R_2$ 与 $C_2$ 组成的移相电路以及由动圈A和 $R$ 、 $L$ 组成的电气游丝回路。

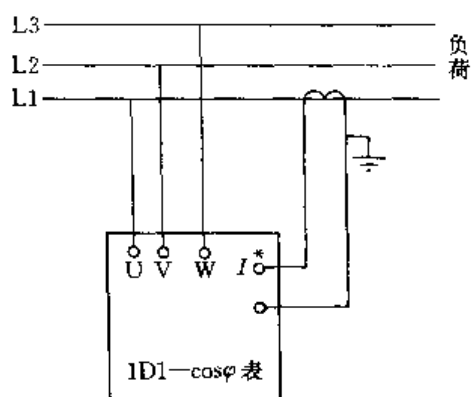


图 9-22 1D1-cosφ表外部接线图

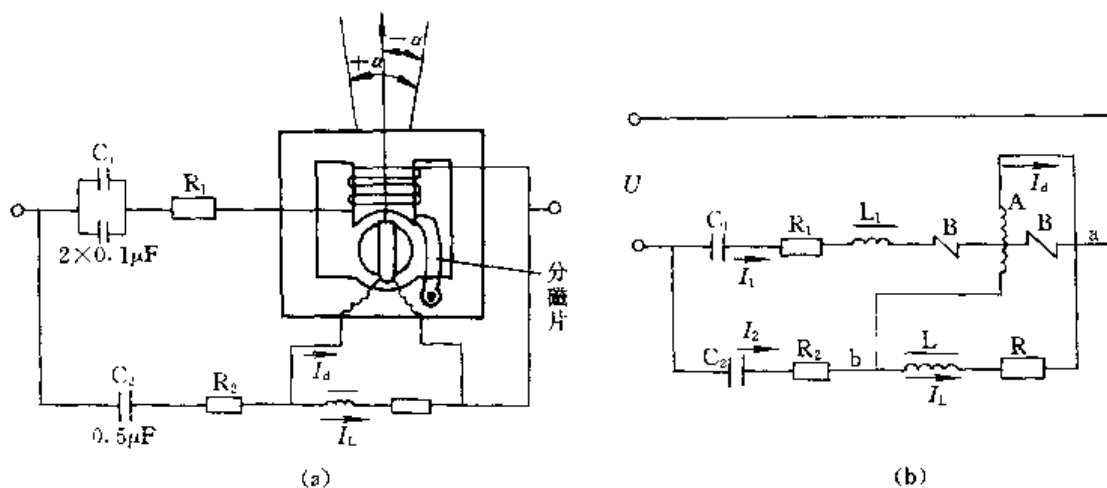


图 9-23 1D1-Hz型频率表  
(a) 结构示意图; (b) 原理电路

1D1-Hz型频率表在周围空气温度由 $-20\sim+50\text{C}$ 范围内变化时,每变化 $10\text{C}$ 所引起的指示误差范围为 $\pm 0.4\text{Hz}$ ;实际所施电压与额定值偏离 $\pm 10\%$ 时,表计误差范围为 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。实际使用时,外部接线方法和普通电压表相同,只是它的电压端子(量限)有100、220、380V不等,用时不可选错。

### 2. 16D2-Hz型频率表

这种频率表与上项表计类同,亦为安装式,属铁磁电动式,准确度为0.5级,有外附阻抗器。其工作原理、调整方法、外部接线和1D1-Hz型基本相同,但它结构较复杂、调整不方便。实用中,这种仪表散热性能好,长时间通电后其指示值基本不变。

### 3. 1L1-Hz型频率表

它是一种微分式频率表,是转换器式频率表中常见的一种仪表。这种仪表由两部分组成,即转换器和磁电系仪表。转换器都是采用半导体技术使被测之量(如频率、相位和功率等)变换为与其成比例的直流电流或电压,然后用磁电系仪表进行测量。转换器式仪表



由于利用了半导体和磁电系仪表，所以结构简单，灵敏度高，功率消耗低。仪表的准确度、稳定性和各种附加误差等影响，在很大程度上主要取决于转换器。微分式频率表内有温度补偿电阻，表计有机械零位，刻度线到了45Hz以下。这样，就可以避免接通输入信号时所引起的误差。

#### 4. PP7型数字式频率表

这是一种电子计数直读式频率显示器，它可以对电能频率进行稳定和精确地测量。内部采用晶体管插件式印刷电路，结构简单，工作可靠，使用方便，且能长期连续运行。其原理是运用测量交流电周期的方法，在测量时间 $T$ 里，通过门电路的标准频率 $f_s$ 的脉冲个数 $N$ 来反映被测信号周期的大小，进而转换成频率并显示出来（见图9-24）。

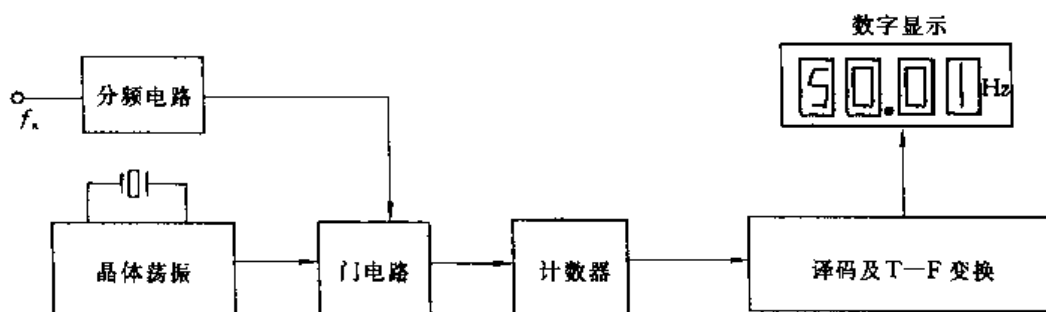


图 9-24 PP7 型数字式频率表逻辑电路图

PP7型数字式频率表的测量范围46.00~53.99Hz；精度0.02%（50Hz附近），实际频率接近测量范围的上、下限时误差 $<0.7\%$ ；采样频率约1次/s，显示方式为4位十进制数字显示；电源为交流220/110V，50Hz（兼作信号源）。

### 第三节 电能表及计量装置

#### 一、感应系仪表和电能的测量

感应系仪表的测量机构如图9-25所示。固定部分包括并联电磁铁1、串联电磁铁5和制动磁铁（永久磁铁）4，可动部分由转轴、固定在轴上的铝盘3和计数装置2组成。并励电磁铁的励磁线圈是电压线圈，工作时与负载并联；串励电磁铁的励磁线圈是电流线圈，工作时与负载串联。电压线圈和电流线圈同时工作时，两个电磁铁产生的磁通分别在铝盘中产生感应电动势和电流（涡流），电流与磁通相互作用产生电磁力，从而产生使铝盘转动的转矩。铝盘旋转时，切割制动磁铁的磁通，在盘中产生涡流，此涡流与制动磁铁的磁通作用产生制动转矩，当制动转矩与转动转矩平衡时，铝盘便以恒定的速度旋转。理论分析和实践证明，铝盘的转速与被测负载的有功功率成正比，因此可用计数装置积累铝盘的转数来指示负载所消耗的电能。电能的计量单位是 $\text{kW}\cdot\text{h}$ （原以“度”表示）。所以，感应系仪表主要是用作测量交流电能的电能表（有时也称瓦时表）。

感应系仪表的优点是：①线圈内有铁芯、磁场强，因而受外磁场的影响小；②线圈是固定的，故能承受较大的过载；③能产生较大的转矩。它的缺点是：①只能用于一定频率的交流电路；②准确度较低。

电能表均为低压 220V。三相电能表则有低压表与高压表之分：低压表为 380/220V，即线电压 380V，相电压（相线对零线）220V；高压表则都为 100V。

电能表额定电压采用下法表示：三相电能表在线电压数的前面乘以相数，如  $3 \times 380\text{V}$ ；三相四线电能表还标明线电压与相电压（用斜线隔开），如  $3 \times 380/220\text{V}$ ；经电压互感器接入的高压电能表，则标明额定电压 100V，或电压互感器的额定变比。

#### 4. 选用容量相宜、满足实际需要的电能表

电能表的标定电流与额定最大电流的含义是，前者指作为计算负载的基数电流值，如 5A 的单相电能表可带负载为  $(220 \times 5) \text{kW} = 1.1 \text{kW}$ ；后者为在该最大电流下允许长期工作且其误差与温升完全能满足规定要求的电流值。

单相电能表铭牌上标明 5 (10) A，说明该表标定电流（也称额定电流）为 5A，在一段时间内可承受的最大电流为 10A；三相电能表则在其前面乘以相数，如  $3 \times 5 (10) \text{A}$ ；需经电流互感器接入的电能表还要标明电流互感器的额定变比，如  $3 \times 200/5\text{A}$ 。

电能表容量究竟应选用多大为合适，应根据用户实际负荷的大小来确定。选用过大了，会引起计量不准，过小则可能烧坏表计。因此，先要计算出各种用电设备负载电流的大小及每相电流值并考虑到实际负载电流的变化、用电设备的功率因数和用电的同时率与需用率，然后按下述原则选择电能表容量（额定电流）：使负载电流的上限不超过电能表额定电流的 1.5~2.0 倍，而下限又不小于额定电流的 5% ( $\cos\varphi=1.0$ ) 或 10% ( $\cos\varphi=0.5$  时)。

### 三、电能计量装置的安装规定

#### 1. 装设电能计量装置的主要规定

(1) 按照用户的用电类别和电价分类，由当地供电部门负责装设计算电费用的电能表。包括有功电能表、无功电能表、最大需量表及电压、电流互感器等。这些仪表的安装、接线、铅封及启封、校验、移动或拆除均应由供电部门进行，用户不得启封、更动或移迁等。

(2) 高压供电用户应在高压侧装设计量电能表；低压供电用户要在低压侧装置电能表。特殊情况经当地供电部门按有关规定批准后，高压用户也可暂在低压侧装电能表（即所谓高供低计），但计费时需将变压器损耗计算在内。

(3) 装设的电能表容量，应按用户申报及电业部门批准的数值选择。用户的总用电负荷不要超过电能表许可的额定容量；由于用电设备增加等原因而超过时，用户须事先办好增容手续，由供电部门更换合适的电能计量装置。

(4) 城市照明用电以前多按一个院、一个门牌号码（居民楼按层或单元）装一具公用电能表；随着用电事业的日益发展，具体可由当地供电部门根据实际情况决定，即可就近合装总表，也完全可以申请（现全国许多城乡正在推广）单独装表用电（即所谓一户一表）。

(5) 供电部门所装计量电能表及其附属设备，用户要负责妥善保管；若有过负荷烧毁、损坏或失窃等情况发生，则用户应负担赔偿或修理费用。

(6) 装表方式应符合以下规定：不同电价的用电应分别装表计量；单相和三相供电的，要装 1 只三相四线（三元件）电能表或 3 只单相电能表；仅为三相动力用电时，则装 1 只三相三线电能表；三相三线供电的，装 1 只三相三线（二元件）电能表。

(7) 用户最大需量表的准确度不应低于 1.0 级；电能表配用的电流互感器不可低于 0.5

级（若仅作为企业内部经济分析与监测用、而不计费的配用互感器可为 1.0 级）。由于电流互感器（俗称 CT）的二次电流都规定为 5A，故 CT 变比的选择实质上也就是一次电流的选择。实用中要求配用电流互感器的一次侧额定电流应大于（用电设备）正常运行时总负荷电流的  $1/3 \sim 2/3$ ；否则要更换为容量较低的电能表或电流互感器，以利准确计量。

## 2. 电能表的具体安装要点

(1) 装设场所应环境清洁、干燥、不受震及无强磁场存在，电能表要装设在明显位置以便于监视、维护与读数。

(2) 环境温度要符合如下要求：对 1.0 级有功电能表及 2.0 级无功电能表，其正常工作的环境温度为  $0 \sim +40^{\circ}\text{C}$ ，而 2.0 级有功表和 3.0 级无功表为  $-10 \sim +50^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 安装应合乎规定。电表应装设在稳固的地方并要安装牢靠，对于垂直方向的倾斜度不能超过  $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$ ，否则会引起附加误差。

(4) 电能表及附件要装设在专用的电表箱或计量柜内，电能表距地面高度不超过  $0.7 \sim 2.0\text{ m}$ 。表箱应加玻璃并具加封设施，表箱大小依装表数量而定。装表的板厚不应小于  $20\text{ mm}$  且应装设牢固。

(5) 为利于在实际使用中能方便而安全地装、拆或校验电能表，在配装的互感器与电能表之间可装设专用的接线装置——联合接线盒（见图 9-31）。

(6) 电能表接线要正确。应根据计量要求和规定接线方法依次地将进、出表线接线端头可靠地连接好，应特别注意电流线圈的极性和三相交流电的相序，切勿搞错。

(7) 应在额定的电压和频率下使用。一般电压波动范围为电能表额定电压的  $\pm 10\%$ ，频率变化不得超出  $\pm 5\%$  的范围，否则都将会产生较大的附加误差。

## 四、计量互感器及其二次接线的安装要求

### 1. 电能计量用互感器精度及二次压降规定

(1) 0.5 级的有功电能表和 0.5 级专用电能计量仪表，应配用 0.2 级的互感器。

(2) 1.0 级的有功电能表、1.0 级的专用电能计量仪表、2.0 级计费用的有功电能表及 2.0 级无功电能表，应配用不低于 0.5 级的互感器。

(3) 仅作为企业内部技术经济考核而不计费的 2.0 级有功电能表及 3.0 级无功电能表，宜配用不低于 1.0 级的互感器。

(4) 电力用户处电能计量点的 0.5 级的电能表和 0.5 级的专用电能计量仪表处电压降，

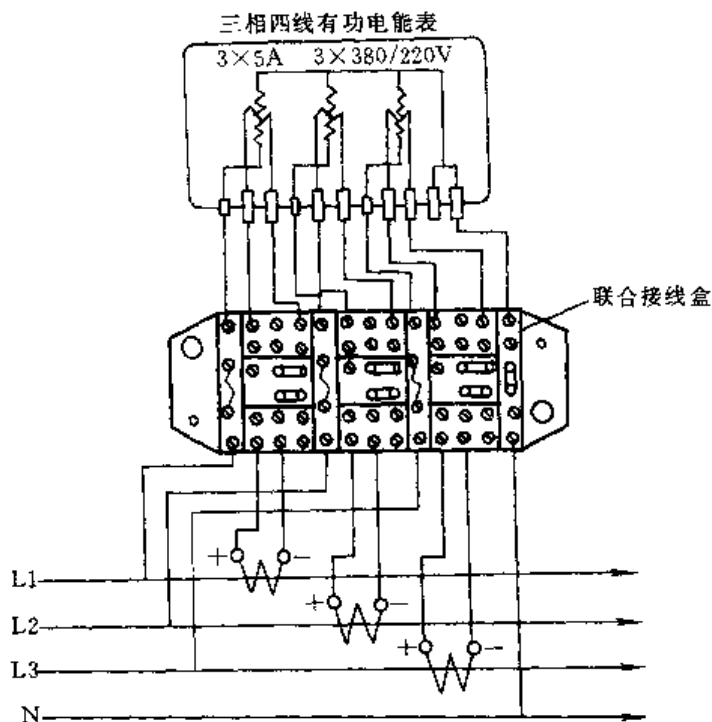


图 9-31 应用联合接线盒的电能表接线  
(三相三元件有功电能表计量三相四线电路电量)

不宜大于电压互感器额定二次电压的 0.25%。

(5) 1.0 级及 2.0 级的电能表处电压降，不得大于电压互感器额定二次电压的 0.5%。

## 2. 电流互感器

进行大电流计量时，电能表必须配装电流互感器（俗称仪用 CT）。

(1) 使用前必须先做好电流比、角差、极性及耐压等试验并测试合格。安装前要检查绝缘支持件，应完好、外壳无严重损伤或损坏。

(2) 应装在专用的计量柜（箱）内或配电所间隔的支持架上，安装要牢固。接线时注意极性：标十号（或 L1）的一端与配电母线的电源相接，标一号（或 L2）的一端则与配电母线的负载侧连接。

(3) 电流互感器的外壳应良好接地，且其二次侧的一端也要妥善接地。

(4) 高压侧导电部分至接地结构或墙壁间的安全距离应符合规定：互感器不同相间及相对地间的最小允许距离分别为 10cm（6kV）与 12.5cm（10kV），导电部分到护网或栅栏的最小允许距离分别为 22.5cm 或 50cm（6~10kV）。

(5) 与电流互感器一次侧相接的配电母线支持绝缘子，要尽可能靠近互感器装设，以增强其电动稳定度，且连接应良好，连接处要平整光滑。

## 3. 电压互感器

进行高压计量时，电能表还必须配装电压互感器（俗称 PT）。其具体安装要求基本与电流互感器类同，如使用前应做好试验，安装前要检查完好程度，接线方式中互感器电源侧要配装隔离闸刀，外壳应良好接地以及各相导电部分间和相对接地间的安全距离规定等。此外，还应符合以下要求：

(1) 使用前要进行电压比试验并合格。安装时电压互感器一次侧应加装保护熔体。

(2) 高压侧与配电母线连接时，其标记相位应与母线相位相同。单相电压互感器则要注意相别、不能接错。

(3) 电压互感器电源侧装设隔离闸刀，利于工作人员更换高压熔体等作业以保证安全。

(4) 除电压互感器外壳应可靠接地外，其二次侧也要实行接地：Y 形接法的中性点要接地，V 形接法的公共点要接地。

## 4. 计量二次回路

(1) 计量二次回路，包括电能表的电压、电流线圈引接线，电流互感器和电压互感器的二次回路导线等，应采用单股铜芯绝缘线，不准采用铝芯线或软线。

(2) 电流互感器二次回路导线的最小截面应为  $2.5\text{mm}^2$ ，且中间不准有接头，二次侧负载（含导线）不得超过仪用 CT 准确度等级所规定的负载范围。

(3) 电压互感器二次回路的导线截面不应小于  $1.5\text{mm}^2$ ，应按所接相别分别采用黄、绿、红等不同颜色的单股铜芯绝缘线。

(4) 仪用电流互感器的二次回路在几种不同用途时要分别放线。低压电流互感器的额定容量不得小于 10VA，其二次侧可不接地。

(5) 计量二次回路要采用专门的联合接线盒，以利于进行计量设备、元件或导线的装拆、更换与校验等。接线盒位置要适当，安装要牢固。电压连片在固定螺丝松开后，应能自动下落而断开，不可装反。

## 五、电能表常见错误接线及计量结果

### 1. 单相有功电能表

(1) 将相线（火线）误接成从接线端子的标号 3 进而由 1 引出。极性接反了会造成电能表倒走。

(2) 将相线与零线误接在 1 和 2 端、或 3 和 4 端，形成了短接状态（短路），结果会烧坏电表。

(3) 在端子 1 旁附有与 1 相连的电压线圈连片，若误将该连片断开，电能表就会停走。

(4) 误将相线与零线搞错而接入电能表，此时虽仍可正确计量，但当用电设备一端接地时，电能表会不走或漏计电量。

上述末项相线与零线倒接的事例，实践中极易发生。给单相电能表接线时，如果不按正确接法而将相（火）线与零（地）线颠倒地接入表内（见图 9-32），虽然在一般情况下电能表也能做到正确计量；但某些情况下，如用户将电灯、电扇、收录机或电视机等单相用电设备接到相线和与大地接触的设施（暖气管、自来水管等）之间时，则负荷电流便可能不流过或很少流过电能表的电流线圈，从而会导致电度计量的不准确（不计或少计）。

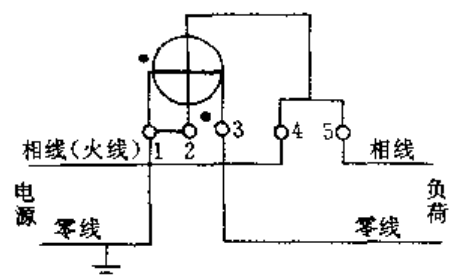


图 9-32 单相电能表相线与零线倒接

此外，上述倒接入的做法由于违反安全常规，因此更主要的是增加了不安全因素，容易引起人身触电事故。所以倒接也属于一种错误接法，单相电能表的相线与零线是不能颠倒的。这一点，在实用中要务必注意。

### 2. 三相有功电能表

实用中广泛装设的三相四线（三元件）电能表容易出现如下错误的接线与计量：

(1) 电压线圈的任意二相接线对换误接，结果会造成电能表少计  $2/3$  的电量。

(2) 电压线圈的一端与中性线（零线）未接或接后断开，结果在中性线有电流时便会引起漏计（中线无电流时仍能正常计量）。

(3) 电能表其中一相电压线圈断线或接线断开，此时电能表将漏计  $1/3$  的电量。

(4) 电能表有一相电压线圈断开，且电压线圈的一端未与零线相接或接后断开，结果电能表将少计  $1/2$  的电量。

(5) 电压线圈发生一相短路（即未能跨接在该相线与零线间而自身短接），结果将使电源侧熔体熔断或烧坏电表线圈，造成计量不准。

(6) 任一相电压线圈短路，且其接零线端未与零线相接或接后断开。此时若负载对称，它相当于三相二元件表，计量仍准确，但电压线圈承受了线电压，易烧坏线圈与电表。

(7) 电压线圈有两相断线或脱接，且其接零端与零线未接或接后又断开，此时电能表不走。

## 六、判断电能表接线是否正确的方法

实际工作中，由于电能表使用场合很多，其接线又较为复杂，常会因种种原因而造成误接，无法对电能进行准确计量，故需采用较为简便的方法，对接线的正确与否进行判断

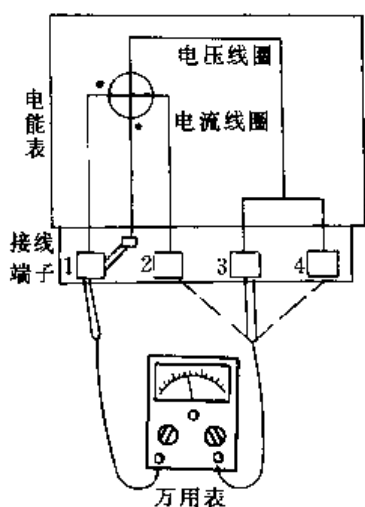


图 9-33 用万用表确定电表内部接线

和校核，具体采用方法如下。

### 1. 判断单相电能表内部接线的方法

单相有功电能表内部有两只线圈，即电流线圈与电压线圈。通常它们在接线端子1处用电压小钩（小压板）连在一起；电流线圈的另一头接至端子2上；电压线圈的另一头有两根引线，分别接到端子3与4上。但有时也会出现两种线圈与接线端头错接的情况，仅仅依据端头标号来判断或接线并不是万全之策。为此，可以根据电流线圈的电阻值小、电压线圈电阻值大的特点，采用如下两种方法来判别线圈种类，进而确定其内部接线如何：

(1) 万用表法。将万用表置于  $R \times 1000\Omega$  档，一只表笔接端子1处，另一支依次接触其他端子。若测得阻值近似为零的是电流线圈，且应是接触端子2时量得，该线圈接法方为正确；测得电阻值为  $1200\Omega$  左右的是电压线圈，同样应在分接端子3与4时量得才对（见图9-33）。

(2) 灯泡法。将220V电流的相（火）线接于电度表的1端，再把串接一盏220V灯泡电路的一端和电网零（地）线相接，另一端依次接触电能表的其他接线端子（见图9-34）。如果接触2时灯泡正常发光，说明是电流线圈，且其内部接线正确；灯泡很暗，则为电压线圈，这应在接触3与4时出现，否则说明内部接线（线圈与端子相接）有错。

此法若不采用220V电源与灯泡，而改用干电池与小电珠测试也可。其原理、接线和判断方法同上。测得小电珠发亮为电流线圈，不发亮的是电压线圈。

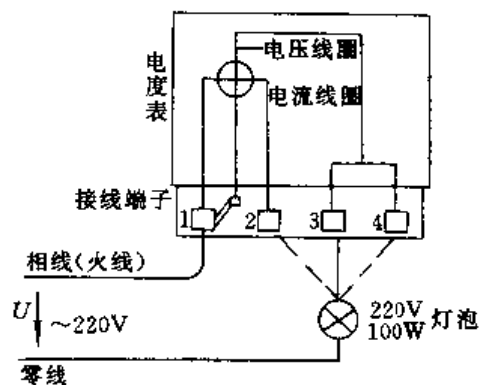


图 9-34 用灯泡确定电表内部接线

### 2. 判断三相电能表接线对错的方法

通常可采用所谓力矩法的原理来检查三相三线（二元件）有功电能表的接线是否正确。这类判别方法有多种，最简单的是：把接到电能表U相和W相的电压线头换位查试。若此时电能表停转，说明接线正确；否则便可判明接线有问题。

另一种办法叫抽中相法（也属于力矩法）：由于三相平衡时表计测量的总功率为  $W =$

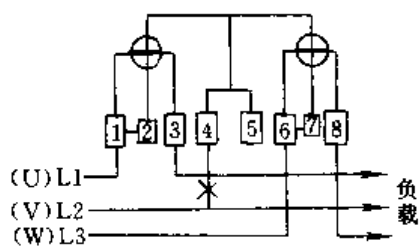


图 9-35 三相电能表抽中相检查法（X 拆开处）

$\sqrt{3}UI\cos\varphi$ ；如果抽去中相，即将V相断开（见图9-35），则此时测出功率仅为  $W_D = (\sqrt{3}/2)UI\cos\varphi$ 。电度表的改正系数  $K = W/W_D = 2$ 。可见，三相三线电能表断开中相电压后，表计转矩便为断开前转矩的一半，亦即转速下降为原来的1/2。凡属错误的接线，其改正系数均不为2，故可用来判断接线的正确与否。具体方法是：先用秒表测定被查电表转  $n$  圈的所需时间  $T$ ，然后断开中相电压，用秒表同样测定转  $n$  圈的所需时间  $T_D$ 。若原线路正确，则应  $T = 2T_D$ 。但应

注意：要在负荷较稳定时做此试验；为使测试结果尽量可靠，必须重复试验两次。

该判别法虽能用来区分接线是对了还是错了，但其不足之处是难以判明属于哪一种错误接法，即具体错在何处。对此，还可采用其他专门仪器测试电压与电流间的相位关系，或经仔细逐一查找（核对接线图）等法加以解决。

## 七、电表读数方法和电表常数的应用

### 1. 电能表的读数方法

电能表（俗称电表）内的计数装置可以将铝盘的转动经齿轮传动转变为数字、并由表盖上的窗孔显示出来。常用的转字式计数器结构如图 9-36 所示。

（1）电表的读数可从表面正上方的五个小窗孔抄录，最后一个红色孔内的数字是小数点后第一位数，单位是千瓦时。其计量是累积式的，电表装好后应抄录底数，并以此作为原始数据，两次抄录数字之差称为电能表的读数差，两次抄录间隔时期负载消耗的实际电能数可由此读数差求得。

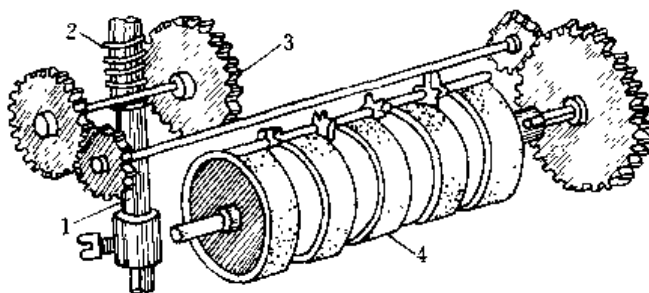


图 9-36 转字式计数器结构

1—竖轴；2—蜗杆；3 计数器的齿轮；4—计数器的字轮

（2）如果电表是直接接入电路的，那末实际电能数就等于电表的读数差。

（3）如果电表是经过互感器接入电路的，电表上又没有注明变化，那末实际电能数应为电表读数差乘以电压互感器的变比  $K_v$  和电流互感器的变比  $K_i$ 。

（4）如果电表的铭牌上注有电压、电流互感器的变比，电表经过与铭牌要求相符的电压、电流互感器接入电路，这时的实际电能数就等于电表的读数差。

（5）有的电表上注有“ $10 \times (\text{kW} \cdot \text{h})$ ”、“ $100 \times (\text{kW} \cdot \text{h})$ ”等字样，表示应将电表读数乘以 10 或 100 才能求得读数差，即为所计的实际用电量。

### 2. 电表常数的含义及应用

每只电表钉有铭牌。在铭牌上标明制造厂名、电表型式、额定电流、额定电压、相线数别、准确度等级、每  $\text{kW} \cdot \text{h}$  的圆盘转数（即电表常数）。常见电表常数的表示法，一般有两种：

（1）以每  $\text{kW} \cdot \text{h}$  圆盘的转动数  $[r/(\text{kW} \cdot \text{h})]$  或每  $\text{kvar} \cdot \text{h}$  圆盘的转动数  $[r/(\text{kvar} \cdot \text{h})]$  表示，一般用符号  $R$ 。例如国产 DD28 型、5A、220V 电表，每  $\text{kW} \cdot \text{h}$ ， $R=1200r$ ，它说明在  $1\text{kW}$  负荷下运行  $1\text{h}$ ，该表圆盘转动  $1200r$ ，就显示耗电为  $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

（2）以圆盘转一转代表的  $\text{W} \cdot \text{h}$  数  $(\text{W} \cdot \text{h}/r)$  表示，一般用符号  $K$ 。例如进口某电表  $K=2.5\text{W} \cdot \text{h}/r$ ，它说明圆（铝）盘转动一转，耗电为  $2.5\text{W} \cdot \text{h}$ 。

目前国产电表都采用第 1 种表示法，进口电表标法不一，有的用  $K$  来表示。两种表示法之间有倒数关系，即可按  $K=1/R (\text{kW} \cdot \text{h}/r)$  进行换算。由于这里用  $\text{kW} \cdot \text{h}$  嫌单位太大，故常以  $\text{W} \cdot \text{h}$  作单位计算。

使用中可以利用电表常数来简捷地测算负荷功率。若对电表是否准确有疑问时，可在现场进行判断。现通过下述两例加以说明。

磁元件铁芯受交变磁化影响会引起铁芯振动并发出声响。若较平时细微响声明显增大时，则应进行修理与校验。

### 3. 电能表的定期校验轮换与不定期修校

据部颁《电能计量装置检验规程》规定，对运行中的电能计量装置，应分别按下列周期进行现场检验和轮换。

(1) 10MW（即1万kW）及以上发电机的发电计量；12万kVA及以上变压器的供电计量；主网线损与220kV及以上网络的地区分界电量（所谓“关口”表计）；每月平均用电量在100万kW·h及以上的计费用户；电能表规定每3个月至少现场检验1次，每2~3年轮换1次。

(2) 10MW以下发电机的发电计量；月平均用电量10万kW·h及以上的计费用户；电能表每6个月至少现场检验1次，每2~3年轮换1次。

(3) 月平均电量10万kW·h以下的高压计费用户；320（315）kVA及以上变压器供电的用户；电能表每年至少现场检验1次，每2~3年轮换1次。

(4) 320（315）kVA以下变压器供电的低压计费用户；其他非计费的计量（仅供企业内部分析用）；凡三相电能表（俗称动力电表）规定为每2~3年轮换（含校验）1次，单相电能表（俗称照明电表）则每5年轮换（含校验）1次。

(5) 计量电能表配用的电流互感器与电压互感器（尤其是计量电能每月平均超过10万kW·h的），规定每5年至少检验（或现场校验）1次。

对运行中的电表，若出现下列任何一种故障时，用户应及时向当地供电部门（或抄表人员）报告、由它们按管理规定拆下修理与校验（即进行不定期修校）：

(1) 电表“潜动”严重。即电能表不带负载时，在电压线圈作用下表内铝盘仍缓慢地转动不停。

(2) 电表卡盘不转。其原因是转盘不平，因而卡住制动磁铁，或制动磁铁与转盘间有铁屑等异物。

(3) 计数走字不正确。是因为转轴上的涡轮与积算机构即计数器的齿轮啮合不好或没有啮合，造成转盘转动而使数字不走。若积算机构组装不当时，会引起走字太快或者跳字。

(4) 电表发生反转。由于单相电表电流线圈接反或三相电表电压相序、电流线圈极性接错等原因导致表计反转。

### 4. 电表运行中的异常情况及处理

(1) 电表空走。出现该情况时用户可先切断电表出线总开关（闸刀），若空转消除，便说明电表正常，是由于线路漏电或接有容量很小的用电设备；如电表仍空走，则证明电表有问题，应报告供电部门处理（用户分表有问题时可拆下送计量部门修校）。

(2) 电表不转、跳字或反转。说明表计内部出现异物卡涩、螺钉松动、焊接不良、轴承磨损、啮合不好以及进出线接反、互感器极性或相序接错等。即应停用、检查接线与极性，按正确接法予以改正；若表计内部问题，则要拆下修校或换用新表。

(3) 电表或互感器冒烟。这多数是因为负荷过重、绝缘降低、电压过高、内部元件变质或短路、电流线接头松动或脱焊等造成。发现冒烟时，应迅即断开电表电源。但操作中



应注意安全，勿使电压回路短路和电流回路开路，以免扩大或引起新的故障。

#### 5. 电表现场工作的注意事项

(1) 不准用手去触摸有电的裸导体，用手触摸带电的低压绝缘导线时，应站在干燥的绝缘物（木板或木凳等）上。

(2) 在接触导线、电具的金属外壳或其他可能因绝缘损坏而带电的部分前，应先用试电笔测试。如有漏电又不能切断电源，需带电工作时应戴上橡皮绝缘手套、使用绝缘手柄工具进行作业。

(3) 停电工作时，如需切断总电源或分路电源，则在拉下开关后要验明无电并在手柄处挂上标示牌“禁止合闸，有人工作”。若工作现场离开开关较远，除应将熔体插头拔脱暂放身边外，还要派人负责看管（以防误合闸）。

(4) 在带电的电流互感器二次回路上工作时，严禁将二次侧开路，应先使用短路片（线）将其短接，且要求妥善可靠、不准随手用导线缠绕。禁止在互感器与短接端子之间的回路和导线上进行任何工作。工作时要认真谨慎、不得将回路的永久接地点断开。工作要有专人监护，使用绝缘工具并站在绝缘垫上。

(5) 在带电的电压互感器二次回路上工作时，严禁将二次侧短路或接地，还要防止相间发生短接或者接地。工作时应使用绝缘工具并戴绝缘手套。在接临时性负载时，必须装有专用刀闸和可熔保险器。

### 九、电力定量器、监控仪和分时电能表

#### 1. 电力电量定量器

简称电力定量器，主要用来监视和控制用电负荷有功功率与电量。当实用中超过整定的限值时，它会发出报警信号、进而引起跳闸，达到保证按计划用电、改善负荷曲线与削峰填谷等要求。其主要组成部分包括：功率与电量的计量元件（即普通的三相二元件电能表及电量计数器）；钟控机构（即定时石英开关钟，用来对有功功率和电能实现定时控制）；电磁离合器（用来接通或切断功率控制与电量控制部分）；电子逻辑线路和电力、电量的报警与跳闸元件。常用的 DSK1—2 型电力定量器的安装接线，如图 9-37 所示。

主要技术指标：额定电压  $3 \times 100\text{V}$ 、额定电流  $5\text{A}$ ；准确度等级为 5.0 级与 3.0 级两种；电功率控制范围自  $200 \sim 850\text{W}$ （分 12 级）；电能量控制为  $1 \sim 20\text{kW} \cdot \text{h/d}$ ；功率控制跳闸延时，当功率连续超过整定值  $10\text{min}$  后跳开；功率与电量报警和跳闸控制的输出容量为  $250\text{V} \times 2\text{A}$ ；钟控精确度范围为  $\pm 20\text{s/d}$ ；功率消耗分别不大于  $1.5\text{W}$ （电压线圈）与  $2\text{VA}$ （电流线圈）。

#### 2. 电力监控仪

它是一种开展计划用电与营业管理工作的新型计量仪器，具有预置、检查、选择显示和打印等功能，可保证功率、需量与电能的正常计量精度；具有超用报警、延时跳闸、自动记录和可靠的断电保护功能；更换电能表时能记录和计算除停用时间外的前、后电量。

712—3 型电力监控仪的技术指标：显示功能及精度分别为测实用功率的误差  $\leq 0.5\%$ ，测最大需量的误差  $\leq 1.0\%$ ，可显示“峰、谷、平”负荷各段电量及总电量；记录超计划用电次数和实行电压互感器的断相保护；应可打印有功、无功功率读数、倍率、更换时间、有功与无功电量等；脉冲信号发生装置的整体功耗应小于  $2\text{VA}$ 。

- 2) 遮光片及整定值必须正确采用。
- 3) 检查镉镍电池、整定值调整及误差测定时，别忘了按复位开关。
- 4) 时段编制完毕后一定要进行检查，时控操作键盘插入或拔出时，功能键开关应拨在钟（中间）的位置。
- 5) 检查和使用脉冲发生器（处在表外）时，要防止强光照射光电断续器而产生判断失误。

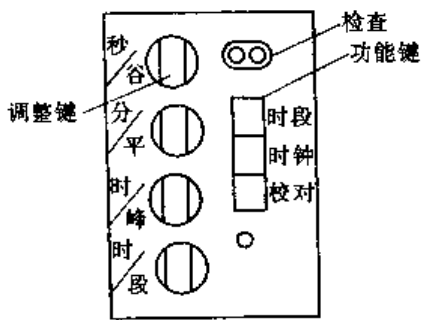


图 9-38 FD-1C 型分时电能表时控键盘

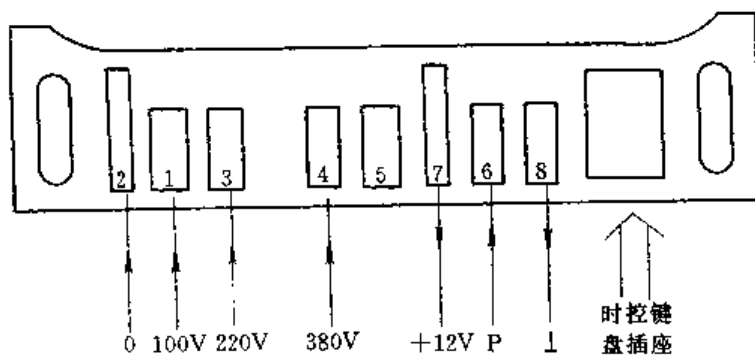


图 9-39 FD-1C 型分时电能表接线端子

分时记量功能的检查方法与步骤：

将改装完成的三相电能表与 FD-1C 分时电能表连接，并使之处于运行的状态。此时，三相电能表开始运行，脉冲信号显示灯（绿色）开始不停地闪烁。

1) 脉冲信号的检查。三相电能表圆盘每旋转 1 周，脉冲信号显示灯应亮若干次，次数与采用的遮光片叶数相同。

2) 分时记度功能的检查。将时间控制器的调整操作键盘插入，进行时间和控制时段的调整操作分别使分时电能表处于峰控状态、谷控状态和平时状态。此时，相应的时段显示灯发光显示。

当处于峰控状态时，峰电能值记量器进位动作，谷电能值记量器不动作（其余类同）。动作的次数为三相电能表圆盘每旋转 1 周，记量器动作次数为遮光片叶数/(整定值+1)次。

在了解三相电能表遮光片叶数、FD-1C 分时电能表整定值与电能记量值的相互关系时，上述两种检查也可采用如下接线形式（见图 9-40），即采用手动发出脉冲信号的方式进行。脉冲发生器上的光电断续器每被遮光 1 次，便发出一个脉冲信号。

(2) 远控三相分时电能表。远控三相分时记量电能表是一种具有在两种时控信号控制

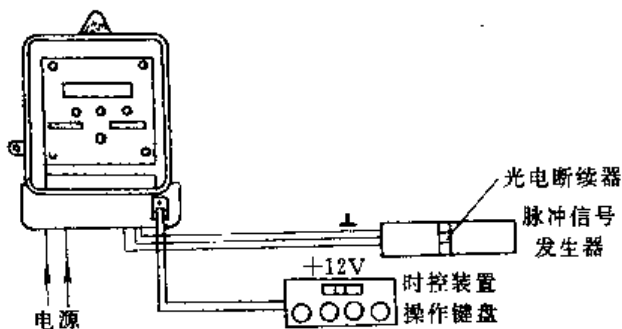


图 9-40 分时计量功能的检查接线

下进行峰谷电能记量的分时记量电能表。当远控信号有效时，它按照远控信号接收装置输进的时段控制信号进行峰谷电能记量，当远控信号无效，或当远控信号切断时，自动进行时控信号源的转换，改为表内预设的峰谷时段进行峰谷电能记量。除此之外，它还具有将电能脉冲信号输出的性能。

DF—W 型与 DF WX 型远控三相分时记量电能表适用于与无线电遥控、遥测，音频遥控、遥测以及微波遥控、遥测等装置配合使用；也可以作为一台普通的三相分时记量电能表来使用。其主要技术指标如下：

1) 表内时控信号源采用电脑三时段可编程六位显示数字钟，停电后直流电源供电时间  $\geq 90$  d，直流电源采用镉镍电池，并在表内设有浮充电装置。

2) 状态显示峰、谷、平时段显示，运行时表示实际处于的时段状态，表内时段进行编程时表示编程状态；内控、外控状态显示；电能脉冲信号显示。

3) 电能脉冲信号输出，每盘转 4 个脉冲，脉宽  $150 \mu\text{s}$ ，正逻辑，交电频 11V，电流 20 mA。

4) 峰谷电能记度器，采用步进电机—记度器组合件，记度范围  $000.00 \sim 999.99 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

5) DSF—4W 型 0.5 级三相三线有功分时电能表装，设有逆向旋转判别器，克服网络潮流频繁变化带来的记录误差，其他规格的表可按用户要求装设逆向旋转判别器。

## 十、电能计量柜及断相计时仪

### 1. 高、低压电能计量柜

电能计量柜是一种具有电能计量、负荷监控、失压记时、防误操作与防窃电等多种功能的综合性电气计量装置。

PJ<sub>1</sub>—G 型电能计量柜配用 DDK 型高压开关柜（PJ 为电能计量柜代号，下标 1 指整体式，如杠后为 D 指配用 PGL 型或抽屉式低压开关柜）适用于交流 3~10kV 电力用户的电能计量；PJ<sub>2</sub> 系列产品（下标 2 指分体式）则适用于系统中的变配电所和一般用户、作为低压电能计量及负荷控制等的专用装置。PJ<sub>1</sub>—G 型电能计量柜的主要电气性能指标见表 9-8。

该装置采用宽负荷（1.5~6A）、长寿命（10 年）的电能表；设置了监视灯、警铃及柜内照明；为使计量准确，计量二次回路均不安装熔断器，所有二次回路接点处都焊接线鼻或搪锡，且辅助设备回路的电源均不从电压互感器二次侧供给；安装了失压计时装置以防止漏计电量；为避免误接线，二次回路采用不同颜色与不同粗细的导线；采用了新型接线盒，以利于现场校验的安全和操作方便并设置了电气闭锁和机械闭锁来确保安全。

表 9-8 PJ<sub>1</sub>—G 型电能计量柜主要电气性能指标

项 目		单位	主要技术参数		
额定电压		kV	3	6	10
最高工作电压		kV	3.5	6.9	11.3
额定频率		Hz	50		
绝缘水平	工频耐压 1min	kV	25	32	42
	冲击耐压	kV	40	60	75
	二次回路二频耐压 1min	kV	2		
额定电流		A	20~1000		

### 2. 计量 PT 断相计时仪

电能表配用的电压互感器（即计量 PT）运行中若熔体熔断，便会造成失压和计量不准（漏计电量）。由于不知熔断失压导致漏计电量的确切时间，这就给准确计算、追补电量造成困难，而通常采用的按规定估算办法，难免会有损于用户或电业部门的利益。采用断相计时仪后，便可合理地解决这一难题。

该装置中的断相传感器采用变压器方式，用以取得断相信号；计时显示单元应用三块液晶电子石英表；计时仪面板上配有读数和变换按钮，可供随时查看可能存在的断相时间。其主要技术性能为：输入电压额定值  $3 \times 100\text{V}$ ， $50\text{Hz}$ ；断相计时灵敏度为可保证正常计时的最小输入电流不大于  $0.1\text{A}$ ；计时准确度  $\pm 0.3\%$ （三相分别累加）。

断相计时仪使用方法如下：

- 1) 将计时仪接线盒中 A、B、C 三个端子用导线按相序并联接入电能表的输入端，以获取断相信号。
- 2) 将接线盒中 B—B 两端子（即电流输入端子）用导线串联接入三相电能表的负 V 相电路中，以获取用电传感信号。
- 3) 接通面板上清零开关，在确认已经清零后方可将计时仪投入运行。注意清零开关的位置，在投用后应置于计时位置。
- 4) 确定断相时间的操作步骤为先按下面板上“读数”按钮开关，这时电子表显示数据。再分别按动 A、B、C 三个按钮，此时电子表便会顺序显示出“月”、“日”、“时”、“分”。其中显示“时”时，A 代表上午、P 代表下午。

## 第四节 便携式电工仪表

### 一、钳形表的特点及使用注意事项

用一般电流表测量电路电流时，需要切断电路将仪表串入。钳形表则可在不切断电路的情况下进行测量，且使用和携带都很方便。钳形表分为可测交流电流和可测交、直流电流的两类，有的还可测量交流电压。它是线路及变压器等设备检修、运行监视中常用的一种便携式电工仪表。

#### 1. 钳形表的结构原理

钳形表的外形与结构可见图 9-41 所示。它实质上是电流表与电流互感器的组合，其钳形铁芯可以开闭，当钳形电流表的钳口卡入带电导线时，就相当于有了一次绕组。此时，工作电流就会在钳形电流表的铁芯内产生磁通，该磁通匝链（穿透）二次绕组便感应出二次电势，同时二次负载中也就会存在一定的电流。这个二次电流的大小与一次实际工作电流成正比例，这样表头指示的数值便可间接地反映出一次工作电流的大小。所以，钳形电流表的最主要特点是在不需要断开电路的情况下测出交流电流的大小。

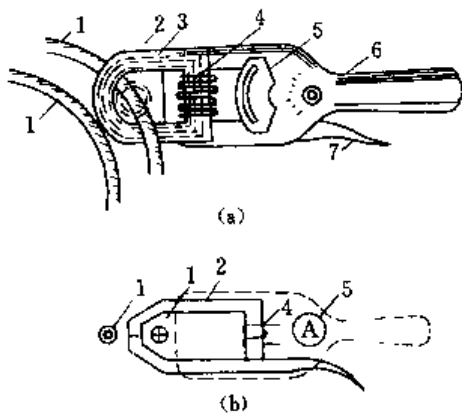


图 9-41 钳形表外形与结构

(a) 外形及使用图；(b) 结构原理图

- 1 电线；2—铁芯；3—磁通；4—二次线圈；  
5—电流；6 量程旋钮；7—开钳口手柄

这种钳形表的表头是磁电式测量机构，不能直接测量交流，故其测量电路中加有桥式整流器。通过转换开关，使表头电路通过整流器和分压电阻再到测试棒，这样就可用来测量交流电压。

另一类测量交、直流电流的钳形表，表头是采用电磁式测量机构。在改变量程时必须更换测量机构，且准

准确度又低（通常为5.0级），故实际应用较少。

## 2. 使用时的注意事项

(1) 用钳形表测量交流电流时，应事先将表计柄擦干净。电工手部要干燥或戴绝缘手套。钳口接合要保持良好。

(2) 低压钳形电流表只应该用来测量低电压交流电流，而不能用于高压带电测量。

(3) 测量时要选择合适的量程档，以防止误用小量程档测量大电流而损坏表计。具体可估计被测电流大小，将量程转换开关置于合适档，或先置于最高档，根据读数大小逐次向低档切换。并尽可能使指针在全刻度的一半左右，以得到较准确的读数（测量前要先把电流零位调好）。

(4) 测量过程中决不能切换电压量程档。因为表内二次匝数很多，测量时又相当于短路状态（忽略表头内阻），一旦在测量中切换量程，就会造成二次瞬间开路，这时绕组中将会感应出高电压，导致绕组绝缘击穿。

(5) 测量时应逐相进行，要尽量将导体置于钳口中央，同时不得触及任何接地的导线或其他带电导体，以防引起接地或短路。

(6) 测量低压母线电流时，应先将邻近各相用绝缘板隔离，以防止钳口张开时可能引起相间短路。

(7) 有些型号的钳形电流表还附有交流电压测量档，测量电流与电压时应分别进行，不能同时测量。

(8) 在读取表计读数时要注意安全，切勿触及其他带电部分。测量后最好把转换开关放在最大电流量程位置，以免下次使用时未经选择量程而造成仪表损坏。

## 3. 测量结果的一般规律

(1) 钳形表钳口夹入任何一相导线时，表计将指示该相电流的大小。

(2) 夹入三相平衡负载的三根导线（相线）时，钳形表指示为零（因三相电流的相量和等于零）。

(3) 夹入其中任意两根相线时，钳形表指示的电流值与未夹入一相中电流的绝对值相等（如  $\dot{I}_U + \dot{I}_V = -\dot{I}_W$ ），即它指示的却为未夹入一相的电流。

(4) 钳口夹入一相正向导线和另一相反向导线时，钳形表指示值将为一相电流的1.73倍 [如  $\dot{I}_U + (-\dot{I}_V) = \dot{I}_U - \dot{I}_V = \dot{I}_{UV} = \sqrt{3}\dot{I}_U$ ]。

此外，实用中有时夹入钳口后即发出振动声或杂声，这时可适当活动连接钳口的手把或将钳口重新开合1~2次。若声响未消除，可检查钳口接合面是否有污垢，如有则用汽油擦净；测量小电流时，若电流值小于5A或表计电流最小量程的1/2以下，为了得到较准确的读数，在条件许可时，可将被测导线多绕几圈再放进钳口进行测量，但实际电流数值应为读数除以放进钳口内的导线根数（圈数）。

由于钳形表测量时不串入与接触线路，故其准确度不高，误差较大，实际工作中可作为一般性监测用。常用钳形表型号有：钳形交流电流表T301型，钳形交流电流电压表T302型、MG4型与MG24型（准确度均为2.5级），钳形交直流电流表MG20型与MG21型（准确度均为5.0级）。

## 二、万用表的使用方法与维护保养

### 1. 万用表的功用与组成

万用表是一种多用途、多量程的便携式电工仪表 [见图 9-42 (a)]。它能够测量交流电压、直流电压、直流电流和电阻，并可用来检验电路的通断情况，还可对半导体器件进行简单测试，有的还能测量交流电平（分贝）或测量电容等。故无论生产、基建、运行、检修和实验都常用到它，应用十分广泛。

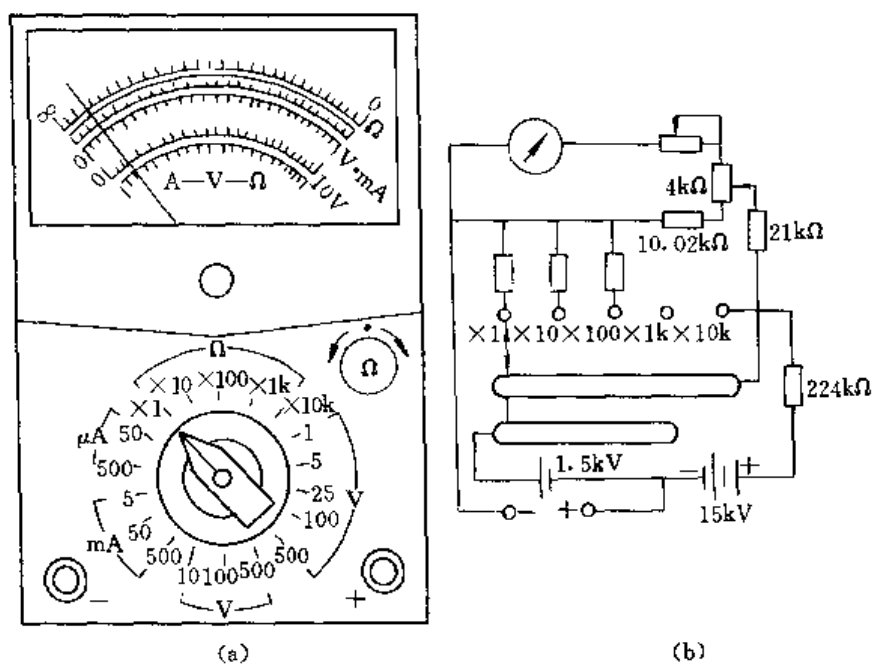


图 9-42 MF30 型万用表  
(a) 仪表面板；(b) 原理分解的电阻测量电路

万用表的电压量程是靠串接不同分压电阻来变换的；直流电流量程靠并接不同的分流电阻进行变换；测量交流电压时，交变电流先经两只二极管整流后再进入表头；测电阻时用内接电池作测量电源。所以，万用表实际是把多种测量电路协调而巧妙地组合在一起了 [见图 9-42 (b)]。

万用表的型号很多，各有特点（主要是测量范围和准确度等级不同），但其基本结构是相同的，均由测量机构（表头）、测量线路和转换开关三部分组成：

(1) 表头是一个磁电式的微安表，其满刻度电流越小，万用表的灵敏度就越高，一般在  $100\mu\text{A}$  以下。为配合各种用途和量程，它有一块多条刻度线组成的标有各种单位的表面。

(2) 测量电路包括分压电阻、分流电阻、半导体整流器和干电池等，只有将它们与表头适当配合，才能使用一个表头进行多用途多量程的测量。显然，用途越广、量程越多的万用表，由上述元件组成的测量电路也越复杂。

(3) 转换开关用来改变测量线路，以适应被测量的种类和量程，有的万用表（如 500 型和 MF18 型）有两个转换开关，一个选择测量种类，一个改变量程，使用时先选择测量种类，然后选择量程。

### 2. 万用表的使用方法

### (1) 测量前的准备工作。

1) 检查测试棒是否完好，接线有无损坏，以确保操作安全。要注意表计应放平、放稳妥。

2) 将红色测试棒的插头插入正插口，黑色测试棒的插头插入负插口。

3) 检查指针是否在零位，如不在零位，可用小螺丝刀（起子）调整表盖上的调零器进行调零。

4) 据被测量的种类与数值范围，将转换开关拨转到相应位置，且每次测量前都应检查其位置是否符合。要养成习惯，决不能拿起测试棒就测量。因若错用电阻或电流档去测电压时，就会烧坏内部电路与表头。

5) 根据转换开关位置，先认清该量程所对应的刻度线及其分格数值，防止在测量过程中找错，影响读数速度和准确度。

(2) 直流电压的测量。将转换开关拨至直流电压的各档范围内，若事先不知被测量的大致范围，应先选用最大的量程测量，测试后，再逐步换到适当的量程，尽可能使被测值达到量程的  $1/2$  或  $2/3$  范围内。

测量直流电压前，应弄清正负极，以免指针倒转伤表，如预先不知正负极，应置于较高量程档，用测试棒碰一下被测电路，根据指针的动向确定正负极性。

(3) 直流电流的测量。将转换开关拨至直流电流各档范围内，测量时应将测试棒串接在被测电路之中，红棒接正端，黑棒接负端。量程的选择方法与测直流电压时同。

(4) 交流电压的测量。将转换开关拨至交流电压各档范围内，测量方法与测直流电压相似，但不必分极性。测量 250V 及以上的电压时，应注意安全，最好养成一只手操作的习惯，另一只手不要摸被测设备。有的表能测 1000V 以上的高压，测量高电压时应使用专测高压的测试棒，并使用绝缘手套、绝缘垫等安全保护工具，确保人身安全。

(5) 电阻的测量。将转换开关拨至电阻各档范围内，并将两根测试棒短接，调整  $\Omega$  旋钮，使指针指在电阻刻度的零位，然后进行测量。改变量程时，应重新调整零点。调不到零时应更换电池。

MF30 型万用表内的 1.5V 五号电池一节，是供  $\Omega \times 1 \sim \Omega \times 1k$  四个量程使用的；另有一个 15V 的层迭电池，是专供  $\Omega \times 10k$  一档使用的。

测量电路中的电阻时，应先切断电源，切勿带电测量电阻。选择倍率时，应尽量使指针位于刻度中间位置附近。表头上的读数乘以所用电阻档的倍率，才是所测的电阻值。

测量完毕，应将转换开关拨到空档或交流电压的最大量程档，以防测电压时忘记拨转换开关，用电阻挡去测电压，将万用表烧坏。不用时不要把转换开关置于电阻各档，以防测试棒短接时使电池放电。

### 3. 用万用表判别变压器的同名端

变压器及电动机等电气设备，有些情况下需判别其绕组（线圈）的同名端（也称同极性端，常用 \* 号表示）。实用中可以有多种判别办法，但生产现场利用万用表加以判断十分简捷。

当两个绕组的同极性端相连接时称为减极性连接，此时两绕组产生的合成电动势为两电动势相减；若两异极性端相接，称为加极性连接，此时两绕组产生的感应电动势相加便

为合成电动势。此外，变压器的同极性端可以与线圈端头标号相同，也可以不同（见图9-43）。

判别两绕组的同极性端，可以使用万用表简便而迅速地办到：在变压器的高压绕组侧用一节1.5V干电池，一端与变压器引出端相接，另一端在准备判别时搭接。低压绕组侧接入一个万用表，量程开关旋到毫安档，当电池正端搭接1端的瞬间、表针正摆，或者当电池正端搭接后从1离开的瞬间、表针反摆，则说明1、3为同极性端；反之，若搭接瞬间反偏或离开瞬间正偏，则说明1、4是同极性端（见图9-44）。

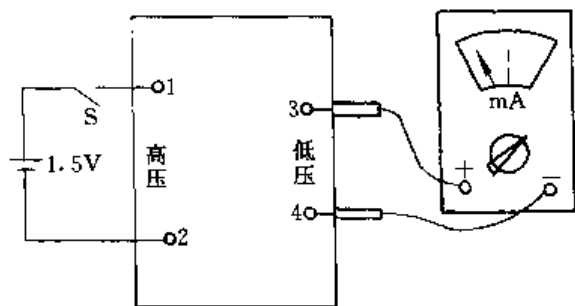


图 9-44 用万用表判别变压器极性

水酒精清洗。

(4) 不要带电拨动转换开关，在测大电流时更要注意，以免切断电流瞬间产生火花，烧坏开关触点。

常用万用表的型号有：MF30型、MF18型、MF14型及500型等，其准确度在各种参量时分别为1.5~4.0级，个别可达1.0级与5.0级。

### 三、绝缘电阻表的选择和测量方法

绝缘电阻表是测量线路和电气设备绝缘电阻、判别其绝缘状况好坏的一种携带式仪表。仪表面上的刻度以兆欧(MΩ)为单位，故原先常称兆欧表，现已规定不再用计量位作为表名。由于使用时要摇动表内微型发电机的手柄，又俗称摇表。

#### 1. 绝缘电阻表结构原理和接线柱含义

该表主要由电源部分和测量机构两部分组成(见图9-45)。电源部分一般为手摇直流发电机或手摇交流发电机加整流二极管，也有用晶体管电路代替发电机而将工频交流转换为所需直流电压的；测量机构常采用磁电式流比计。这是一种测量两个电流比值的仪表(由一个磁钢和两个固定在同一轴上的线圈组成)。

绝缘电阻表测量的对象，是阻值一般在兆欧以上的高电阻，因此表内电源采用能产生数百伏到数千伏电压的手摇发电机。根据所测设备不同的额定电压，分别制造有500、1000、2500V及5000V的绝缘电阻表。

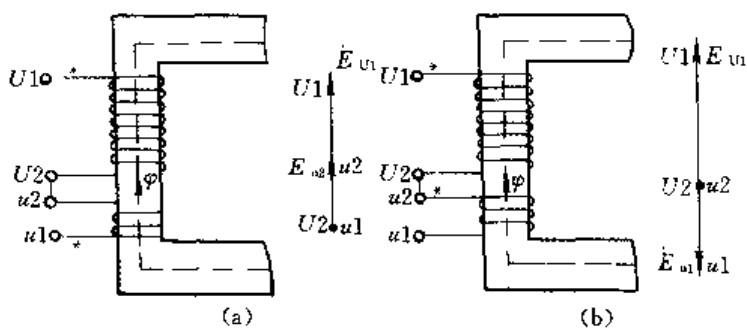


图 9-43 两绕组的加极性与减极性连接

#### 4. 对万用表的维护与保养

(1) 保持清洁、干燥，不要放在高温和有强磁场的地方，以免永久磁钢退磁，降低测量精度。

(2) 携带、使用时要轻拿轻放，避免振动，以免造成测量机构机械部分的损坏和退磁。

(3) 转换开关易发生接触不良，印刷电路板制成的转换开关使用日久，易被磨下的金属屑短路，发现接触有问题时，可用脱脂棉蘸无水酒精清洗。



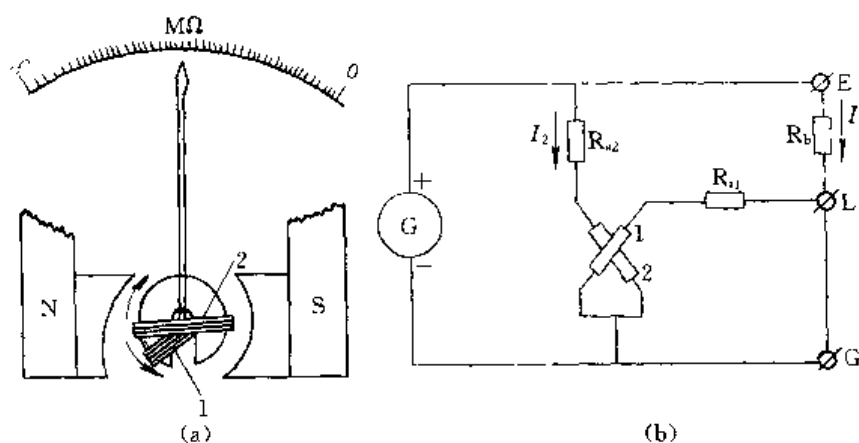


图 9-45 绝缘电阻表结构与原理电路图

(a) 结构图；(b) 原理电路

1、2—可动线圈； $R_L$ —绝缘电阻； $R_{a1}$ 、 $R_{a2}$ —附加电阻

绝缘电阻表通常有三个测量端子（接线柱）：线路接线柱 L，测量时和被测导体连接；接地接线柱 E，测量时和被测物的外壳或其他部分连接；保护（或屏蔽）接线柱 G，测量时与被测量物上的保护屏蔽环相接。

测量时，一般只用线路和接地两个接线柱；保护接线柱只有当被测物表面漏电严重，对测量结果影响很大且不易消除时才采用（见图 9-46）。

## 2. 绝缘电阻表的选用原则与要求

实际工作中对于绝缘电阻表的选用，主要应考虑仪表的额定电压和测量范围是否与被测电气设备的耐压要求相适应，其原则是：

(1) 测量高压电气设备的绝缘电阻时，要选用额定电压相应的绝缘电阻表。

(2) 测量低压电气设备的绝缘电阻时，应选择额定电压较低的绝缘电阻表；否则非但不能获得正确读数，甚或还可能导致击穿，危及安全。

正确地选用绝缘电阻表时，要求做到：

(1) 额定电压 500V 以上的电气设备，需选用 2500V 的绝缘电阻表。对瓷绝缘、母线及隔离刀闸，要选用 2500~5000V 绝缘电阻表；500V 以上的电力变压器、发电机、电动机的线圈绝缘，则选用 1000~2500V 绝缘电阻表。

(2) 额定电压 500V 及以下的电气设备，一般选用 500~1000V 的绝缘电阻表。对 500V

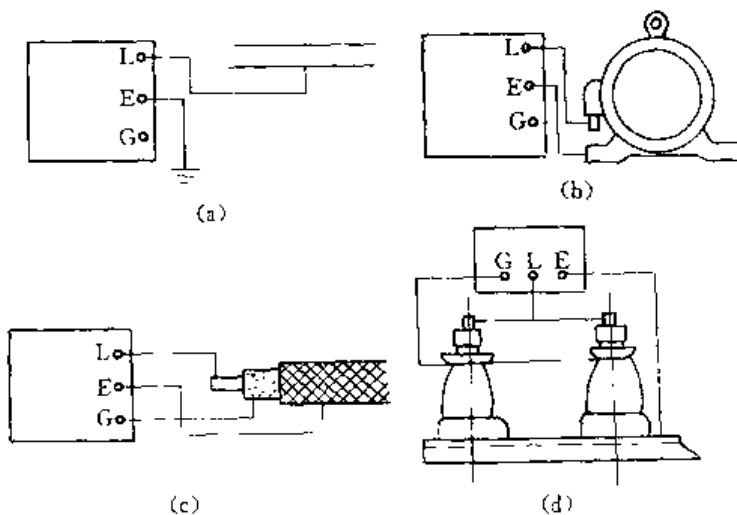


图 9-46 绝缘电阻表接线柱含义及用法

(a) 测量线路对地绝缘电阻；(b) 测量电动机绝缘电阻；

(c) 测量电缆的绝缘电阻；(d) 测量变压器的绝缘电阻

对于电压越高、容量越大的设备，指针便更易偏转过度（超过 $\infty$ 标记）。因此在测量完后，要先脱开线路端线头，再停止手柄转动，从而保证表计指针不因偏转过度而损坏。

(4) 摇测线路绝缘近于零能否肯定接地。获得近于零值的测量结果可能是由多种因素引起的。可能真是线路接了地，但也许是其他因素所造成，故不能肯定。要据现场实际情况具体分析、判断。所说其他因素，主要指：

- 1) 供电线路在雷雨天气里，由于绝缘子潮湿而导致漏电严重。
- 2) 供电线路过长，绝缘子很多，因多个绝缘子污秽而引起泄漏电流值很大。
- 3) 供电线路相当长线路对地电容大，测量时充电电流便较大，易使测得读数近于零。
- 4) 绝缘电阻表使用方法不当，如采用较长的绞合线作为与测量端子相接的引线等，使测得的绝缘值下降很多或近于零。

#### 四、接地电阻仪及其使用要点

接地电阻测定仪因使用时必须摇动其手摇发电机，故俗称接地摇表。它主要用于直接测量各种接地装置的接地电阻值以及土壤电阻率。接地摇表的型式有多种，相应的测量使用方法也有所不同，但其基本原理是一样的。实用中常见的有国产 ZC—8 型和 ZC—29 型等接地摇表。

ZC—8 型接地摇表由手摇发电机、电流互感器、高灵敏度检流计及调节电位器等组成，它带有三个旋钮 (E、P、C)。当以 120 r/min 的速度用手摇动发电机时，便会产生 85~98Hz 的交流电。电流经互感器一次绕组、接地极、大地和探针后再回到发电机，由互感器产生的二次电流将使检流计指针偏转，同时借助于调节电位器可使检流计达到平衡（检流计又称平衡指示器或指零仪，它具有很高的灵敏度并带有标度尺，实际上是一种磁电系电流计）。ZC—8 型摇表的量限有两种，分别为 0~1~10~100 $\Omega$  与 0~10~100~1000 $\Omega$ ；并带有两根探针，一根为电位探测针，另一根为电流探测针（见图 9-47）。

ZC—29 型接地摇表与上型基本类同，它也是由于摇发电机、电流互感器、检流计及滑线电阻等元件组成，主要用来测量电气接地装置与避雷器接地装置的接地电阻值，其测量范围是：0~10 $\Omega$  最小分度 0.1 $\Omega$ ，0~1000 $\Omega$  最小分度 10 $\Omega$ ，辅助接地棒的接地电阻为：测量范围为 0~10 $\Omega$  时不大于 1000 $\Omega$ ，对测量无影响；0~100 $\Omega$  时不大于 2000 $\Omega$ ，对测量无影响；0~1000 $\Omega$  时不大于 5000 $\Omega$ ，对测量结果也无影响。

使用接地电阻仪的测量方法与要点如下：

(1) 测量前先断开连接设备或线路侧的接地线；将两根探针分别插入地中，但接地极 E、电位探测针 P 与电流探测针 C 要成一直线且相距 20m，同时应将 P 插于 E 和 C 之间；然后用专用导线分别将 E、P、C 接到仪表的相应接线柱上（见图 9-48）。

(2) 测量时先把仪表放到水平位置，并检查检流计的指针是否指在中心线上，否则可借助零位调整器把指针调整到中心线上；然后将仪表的倍率标度置于最大倍数上，慢慢转动发电机摇把，同时旋

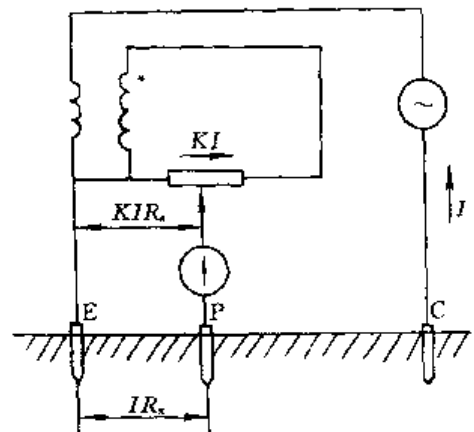


图 9-47 ZC—8 型接地电阻测定器原理图

动测量标度盘使检流计指针平衡。

(3) 当指针接近中心线时,应加快摇转速度(达到约 120r/min 以上);然后再调整测量标度盘,使检流计指针重新指于中心线上。此时便可获得测量结果:将测量标度盘的读数乘以倍率标度的倍数,即为所测装置的接地电阻值 ( $\Omega$ )。

### 五、直流电桥的功能及其应用

它是一种比较仪表,能精确地测量电阻值。常可用它测量电气设备的线圈电阻、绕组电阻、触头的接触电阻和电阻元件的阻值等,应用机会也较多。之所以能精确测量电阻值的原因,一方面是由于测量时是将被测电阻和标准电阻直接比较来决定其数值的,标准电阻的准确度可以做得很高(达  $10^{-4}$  以上);另一方面目前检流计的灵敏度也可制作得很高,这样就能更确切地保证平衡条件,以获得相当高的测量精度。

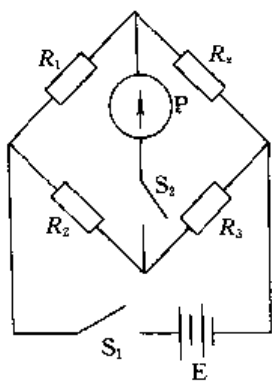


图 9-49 直流单臂电桥原理图

#### 1. 单臂与双臂电桥的测量范围

直流电桥有单臂电桥(又称惠斯登电桥)与双臂电桥(又称凯尔文电桥或汤姆逊电桥)之分,通常还简称为单桥和双桥。在需要测量  $1\Omega$  以下的小电阻时,连接导线的电阻及接头的接触电阻将给测量带来不允许的误差。因此,必须想办法消除或减小接线电阻及接触电阻对测量结果的影响。这一点单臂电桥是无法解决的,因用它测定时被测电阻和接线电阻、接触电阻同接于电桥的一臂,故测量误差较大,必须用双臂电桥进行精确测量。通常单臂电桥可测  $1\sim 10^7\Omega$  的电阻,而双臂电桥则可测  $10^{-6}\sim 10\Omega$  的电阻。

#### 2. 单臂电桥的原理与功能

图 9-49 是直流单臂电桥的原理图,图中  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  为标准电阻,  $R_x$  为被测电阻,通常把  $R_1/R_2$  称为比率臂,  $R_3$  称为比较臂,  $R_x$  称为被测臂;  $P$  为高灵敏度的检流计,如有微小电流通过,指针就会偏转;  $E$  为直流电源,一般用干电池。由电路的基本原理可知,当检流计中的电流为零,亦即电桥平衡时,相对的两个支路电阻的乘积相等,即  $R_x R_2 = R_1 R_3$ , 故有

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3$$

所以,只要调整  $R_1/R_2$  和  $R_3$  的数值,使电桥平衡,将比较臂  $R_3$  的数值乘以比率臂的比率  $R_1/R_2$ , 就得被测电阻  $R_x$  的数值。由于  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  均为标准电阻,精确度高,加上检流计的灵敏度又可以做得很高,所以电桥的准确度高于一一般指示仪表。

图 9-50 和图 9-51 是 QJ-23 型单臂电桥的外形图和电路图。由图可以看到,面板上有五个旋钮,右边四个分别标记有  $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$  及  $\times 1000$  字样,各自又可

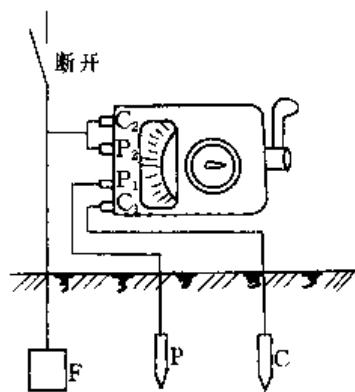


图 9-48 测量接地电阻时的具体接线

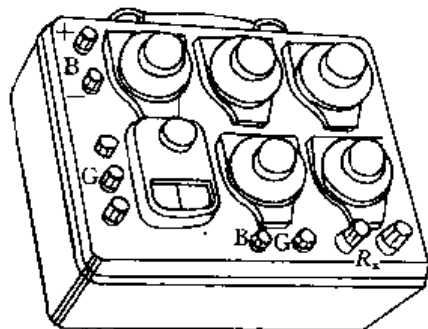


图 9-50 QJ-23 型直流单臂电桥外形图

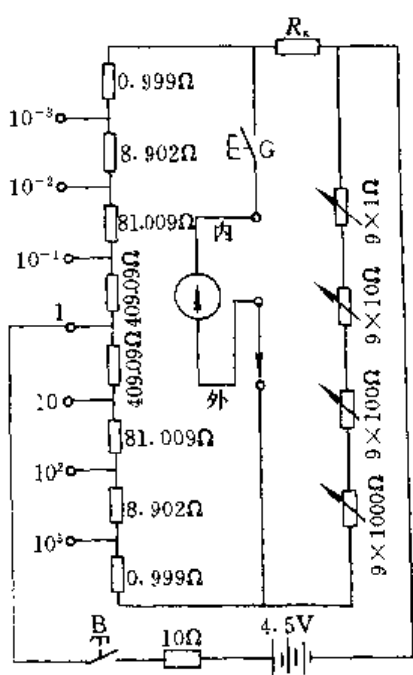


图 9-51 QJ-23 型直流单臂电桥电路图

旋出 0~9 十个位置，把它们组合起来就能使  $R_3$  在 0~9999 $\Omega$  范围内连续变化。例如将  $\times 1000$  旋到指 1 处， $\times 100$  旋到指 9 处， $\times 10$  旋到指 3 处， $\times 1$  旋到指 6 处，比较臂  $R_3$  的阻值就是  $1 \times 1000 + 9 \times 100 + 3 \times 10 + 6 \times 1 = 1936\Omega$ 。左上角的旋钮可旋出  $10^{-3}$ 、 $10^{-2}$ 、 $10^{-1}$ 、1、10、 $10^2$  和  $10^4$  七档，这是比率臂，如旋在  $10^{-2}$  位置上，说明  $R_1/R_2 = 0.01$ 。如果这时电桥平衡，那么被测电阻值为  $R_x = 0.01 \times 1936\Omega = 19.36\Omega$ 。

### 3. 双臂电桥的原理与功能

图 9-52 为直流双臂电桥的原理图，图中  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  和  $R_s$  为标准电阻， $R_x$  为被测电阻， $R$  是一根粗连接线的电阻。被测电阻  $R_x$  必须具备两对接头：电流接头  $C_1$ 、 $C_2$  和电位接头  $P_1$ 、 $P_2$ ，而且电流接头一定要在电位接头的外边。

由电路的基本原理可以推得，当电桥达到平衡（检流计电流为零）时，被测电阻的计算公式为

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_s + \frac{R R_3}{R + R_3 + R_4} \left( \frac{R_2}{R_1} - \frac{R_4}{R_3} \right)$$

在双臂电桥中通常采用两个机械联动的转换开关，同时调节  $R_1$  与  $R_3$ ， $R_2$  与  $R_4$ ，使  $R_1$  与  $R_3$ 、 $R_2$  与  $R_4$  总是保持相等，从而使得电桥在调节平衡的过程中， $R_2/R_1$  恒等于  $R_4/R_3$ 。这样，上述算式的第 2 项为零，则得

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_s$$

说明双臂电桥调至平衡时，被测电阻值仍等于比率臂的比率乘以比较臂电阻的数值。但这时被测电阻的引线电阻和接触电阻对测量结果的影响却大为减小了。这可据图 9-51 和上式加以说明： $C_1$  处的引线电阻和接触电阻只影响总的工作电流  $I$ ，对电桥的平衡没有影响，就不会影响测量结果； $C_2$  处的引线电阻和接触电阻可归入  $C_2$  与  $R_s$  间粗连接线的电阻  $R$ ，因为电桥平衡时， $R$  的大小不会影响  $R_x$  的数值，对测量结果亦无影响； $P_1$  和  $P_2$  处的接触电阻（约  $10^{-3} \sim 10^{-4}\Omega$ ）分别包括在  $R_2$  和  $R_4$  中，它们与  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ （ $10\Omega$  以上）相比，微不足道，所以对测量的结果影响甚微。综上所述，双臂电桥可以排除和大大减小引线电阻和接触电阻对测量结果的影响，适用于测量  $1\Omega$  以下的小电阻。

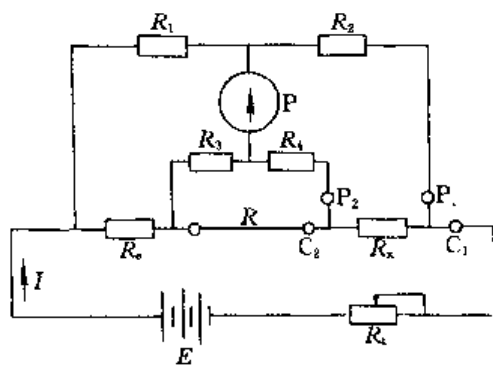


图 9-52 直流双臂电桥原理图

图 9-53 和图 9-54 是 QJ103 型双臂电桥的面板图的电路图。对照这两个图可以看出：比率臂的比率  $R_2/R_1 = R_4/R_3$  共有 100、10、1、0.1 和 0.01 五档，由左上方的旋钮进行变换。比较臂的标准电阻  $R_s$  为滑线电阻，可由右方旋钮在  $0.01 \sim 0.11\Omega$  之间连续调节，其值由面板上的刻度盘上读出。图中  $C_1$ 、 $C_2$  为被测电阻  $R_x$  的电流接头接线柱， $P_1$ 、 $P_2$  为  $R_x$  的电位

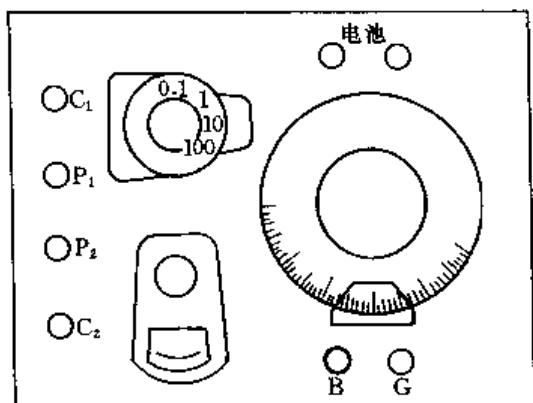


图 9-53 QJ103 型直流双臂电桥面板图

接头接线柱，面板上还备有外接电源接线柱和电源、检流计按钮。测量时，变换比率臂的比率，旋转比较臂的旋钮，至电桥平衡时，刻度盘上的数值乘以比率，即为被测阻值。

#### 4. 电桥的使用步骤及注意事项

应用电桥测量电阻值是相当精密的测量方法。若使用不当，非但不能获得应有的精确结果，还可能会损坏该测量设备。电桥正确使用的步骤及有关注意事项如下：

(1) 应根据被测电阻的粗略范围和对测量准确度的要求，选择合适的电桥。电桥的准确度分为 0.02、0.05、0.1、0.2、1.0、1.5、2.0 和 5.0 八个等级。如准确度为 1.0 级，表明电桥在有效量限范围内，误差不超过 1%。所选电桥的误差应略小于被测电阻的容许误差。

(2) 电桥一般具有内部电源（QJ23 型为 1.5V 电池三节），如需外接电源，可将电压符合说明书规定的直流电源接于外接电源的+、-接线柱上。

(3) 将被测电阻连接到电桥上时，应尽量采用短而粗的导线，以减少引线电阻和接触电阻，并要接牢，以免碰掉时电桥严重不平衡，损坏检流计。

(4) 将检流计锁扣轻轻打开（向下拨），若指针不在零点，可转动调零旋钮调至零位。

(5) 估计被测电阻的大小，选择适当的比率，使比较臂的电阻各档均被充分利用，以提高测量精度。

(6) 测量时应先用左手中指按下电源按钮 B，再以食指按下检流计按钮 G，若检流计指针按正的方向偏转，则应加大电阻，反之应减小电阻，如此将检流计指针调到指零为止。

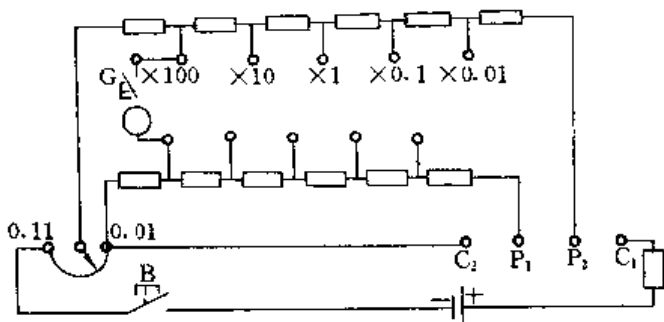


图 9-54 QJ103 型直流双臂电桥电路图

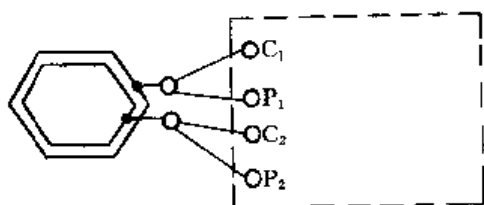


图 9-55 被测电阻电位接头  
与电流接头的接法

(7) 测量后应先松开按钮 G，再松开按钮 B。以免测量具有电感性绕组的电阻时产生较大的自感电势，会冲击检流计，使检流计指针打弯甚至烧坏测量线圈。

(8) 读数并计算被测电阻的数值。此时  $R_x = \text{比率} \times \text{比较臂的读数}$ 。

(9) 使用完毕后应将检流计的锁扣锁住（即向上拨）。

(10) 在使用双臂电桥时，被测电阻与电流接头和电位接头的接法如图 9-55 所示。外接电源最好采用容量较大的蓄电池（电压 2~4V）。

## 复 习 思 考 题

1. 电工仪表有哪些作用？电工仪表和指示仪表分别可分为哪几类？
2. 何谓仪表的测量误差？它有几种表示方法？精密度和精度的含义有何不同？
3. 电工仪表的选择原则与选择要求分别是什么？
4. 电工仪表使用中的维护保养包括哪些内容？
5. 试述交流电流与交流电压的测量方法。使用电动式功率表应注意哪几点？
6. 对交流三相有功功率与无功功率怎样进行测量？画出测量接线图。
7. 感应式仪表有何优点？画出单相电能表及三相四线有功电能表的测量接线图。
8. 电能表选择的项目与方法主要有哪些？电流互感器的安装及使用应注意些什么？
9. 判断单相与三相电能表接线是否正确的方法分别有哪几种？
10. 电力定量器、监控仪和分时电能表分别有何种用途？
11. 试述使用钳形电流表的注意事项。怎样对万用表进行维护保养？
12. 绝缘电阻表使用中应注意些什么？试述接地电阻仪的测量方法与使用要点。

缘老化，引起短路而导致火灾。随之而起的燃烧爆裂声与消防警笛声响彻一片，奏起了一曲悲怆的奏鸣曲。这场大火使教学楼4层50多间房内的各类物品焚毁殆尽，直接经济损失达60多万元。

(8) 1993年2月14日上午，唐山林西百货大楼进行违章扩建、边营业边施工，无证焊工黄某在一层家俱部屋顶违章电焊，电焊火花曾引燃了一小纸盒，但未引起人们重视。下午13时15分再次动焊，火花溅落到海棉床垫上引起了大火。这场火灾使79人葬身于火海之中，另有53人受伤，直接经济损失高达400多万元。

(9) 1993年8月5日，深圳清水河化学危险品仓库惊天动地一声巨响，发生了一场全国罕见的特大火灾爆炸事故。违章建库、严重违反化学危险品存储规定，是引发这场大爆炸的一个重要原因。爆炸震动了深圳，警动了全国。在这一场灾难性事故中，深圳市公安部门两位副局长献出了生命，另有15人罹难、800多人受伤，造成的直接经济损失竟高达2亿多元！

各种电气设备的绝缘大多属于易燃物质，运行中导体通过电流要发热，开关切断电流时会产生电弧，由于短路、接地或设备损坏等可能产生电弧及火花，将周围易燃物引燃，发生火灾或爆炸。又因燃烧中的带电体对消防人员有触电危险，且火灾后的设备难以修复，故不能用一般办法抢救。为此必须了解电气火灾发生的原因，采取预防措施，并在火灾发生后能采用正确的抢救方法，以防止触电伤亡或引发爆炸。

### (一) 火灾与爆炸的含义

火灾与爆炸是两种性质不同的灾害，实践中它们又常伴随在一起发生。引起火灾与爆炸的条件虽然不同，但其触发因素几乎一样，即它们大都由高温或电弧火花而引起。

#### 1. 火灾

凡是使被氧化物质失去电子的反应都属于氧化反应，伴随有热和光同时发生的强烈氧化反应便称为燃烧。可燃物质在空气中燃烧是普遍的燃烧现象，凡超出有效范围形成危害的燃烧即称为火灾。燃烧的 necessary 条件是具有可燃物质、助燃物质（又称氧化剂），同时存在火源。助燃物质多数是空气中的氧，某些情况下氯和硫的蒸气等也可助燃。火源则是指具有一定温度和热量的能源，如火源、电火花、电弧和灼热的物体等。

#### 2. 爆炸

物质发生剧烈的物理或化学变化，且在瞬间释放大量能量，产生高温高压气体，使周围空气猛烈震荡而造成巨大声响的现象称为爆炸。发生爆炸的必要条件是具有可燃易爆物质或爆炸性混合物，同时存在火源。爆炸分为物理性爆炸和化学性爆炸两类。物理性爆炸过程中不产生新的物质，如蒸汽锅炉由于超压力而引起的爆炸。化学性爆炸过程中伴随着物质间的转化，如炸药性爆炸（火药、雷管、导爆索等）和可燃性物质爆炸（如石油气、煤气、乙炔、汽油、酒精、可燃粉尘及纤维等）。

### (二) 危险场所的划类

#### 1. 火灾危险场所

按可燃物质的状态可划分为如下三级：

H-1级 指有可燃液体的火灾危险场所（如柴油、润滑油、变压器油等）。

H-2级 指有悬浮状或堆积状的可燃纤维，它们不可能形成爆炸性混合物，但属有火灾危险场所（可燃粉尘如煤粉、面粉和合成树脂等；可燃纤维如棉、麻、丝

和木质纤维等)。

H—3 级 对指固体状可燃物质的火灾危险场所(如煤、木材、布、纸等)。

## 2. 爆炸危险场所

可划分为二类五级。

(1) 第一类为有气体或蒸气爆炸性混合物的爆炸危险场所,划分为如下三级:

Q—1 级 指正常情况下能形成爆炸性混合物,即达到爆炸浓度的场所。

Q—2 级 指仅在不正常情况下(设备事故损坏、误操作、维护不当、检修设备等)能形成爆炸性混合物的场所。

Q—3 级 指不正常情况下,整个空间形成爆炸性混合物的可能性较小的场所。

(2) 第二类为有粉尘或纤维爆炸混合物的爆炸危险场所,划分为如下二级:

G—1 级 指正常情况下能形成爆炸性混合物的场所。

G—2 级 指仅在不正常情况下能形成爆炸性混合物的场所。

## 3. 爆炸危险场所的区域范围

爆炸危险场所的区域范围内,应安装相应的防爆型电气设备;在该区域范围之外,可安装非防爆型电气设备,但不能以该范围作为能否使用明火的依据。

爆炸危险场所区域范围的划分如下(非开敞的建筑物内部常以室为单位划定):

(1) 易燃液体注送站的注送口外水平距离 15m、垂直距离 7.5m 以内的空间范围,为爆炸危险场所的区域范围。

(2) 可燃气体、易燃液体和闪点低于或等于场所环境温度的可燃液体贮罐,在离开上述设备外壳 3m 以内的空间范围。

(3) Q—1 级建筑物通向露天的门、窗外 3m 以内的空间范围可降低为 Q—2 级;Q—2 级建筑物通向露天的门、窗外 1m 以内的空间范围可降低为 Q—3 级。

## 二、引起电气火灾与爆炸的主要原因

### (一) 造成电气火灾与爆炸的主要原因

所谓电气火灾与爆炸,就是指因电气原因而引发的火灾或爆炸事故。除设备本身缺陷及设计与施工等方面的原因外,运行中电流产生过多的热量,以及产生电火花或电弧是引发火灾或爆炸的直接原因。此外,其主要原因有:

(1) 电气设备选型和安装不当。因违背有关设计规定或设计时考虑不周造成设备选型不当,以及未严格按照安装规程和要求办事而导致安装错误,这就给日后运行时引发火灾或爆炸酿成了先天条件、埋下了事故隐患,如在有爆炸性危险场所选用非防爆电机、电器;在汽油化室内安装普通照明灯;在汽油库采用木槽板敷线等。

(2) 违反安全操作规程。实践中由于工作中违反有关各项安全操作规程而引起电气火灾或爆炸的事例屡见不鲜,如在带电设备、变压器、油开关等附近使用喷灯;在有火灾与爆炸危险的场所使用明火;在可能发生火花的设备或场所用汽油擦洗设备等。

(3) 电气设备使用不当。对电气设备的性能了解不够和使用不当,常会引发火灾和爆炸事故。如白炽灯离易燃、可燃物过近,尤其是碘钨灯灯泡表面温度可高达 500~800℃,极易烤燃纸、布及木板;电热器接通后无人看管或电热器靠近易燃、可燃物等。电气设备与用电器具有各自的允许温升,使用中严重或长期超载时,不但缩短寿命,还会造成设备



过热、损坏或引起火灾。

## (二) 造成设备故障或过负荷等的原因

### 1. 电气设备短路

凡电流未经一定用电负载阻抗、或未按规定路径而就近自成通路的状态，称做短路。如几条电源线直接碰触在一起，或者中性点接地系统的相线与大地相碰等。此时导线的发热量剧增，不仅能使绝缘燃烧，且还会使金属熔化或引起邻近的易燃、可燃物质燃烧酿成火灾。发生短路的原因主要是：

- (1) 导体的绝缘由于磨损、受潮、腐蚀、鼠咬，以及老化等原因而失去绝缘能力。
- (2) 设备长年失修，导体支持绝缘物损坏或包裹的绝缘材料脱落。
- (3) 绝缘导线受外力作用损伤，如导线被重物压轧或被工具等损伤。
- (4) 架空裸导线弛度过大，风吹造成混线；线路架设过低，搬运长大物件时不慎碰导线，以及导线与树枝相碰等，都会造成短路事故。
- (5) 检修不慎或错误造成人为短路。

### 2. 电气设备过负荷

电流通过导线时，因导线有电阻存在，便会引起导线发热。导线允许连续通过而不致使其过热的电流量，称为导线的安全载流量。如果实际电流超过了安全载流量，就称作过负荷。这时导线温度就会超过最高允许温度，其绝缘层老化将加速。若是严重过负荷或长期过负荷，则绝缘层就将变质损坏而引起短路着火。发生设备过负荷的原因主要有：

- (1) 电气设备规格选择过小，容量小于负荷的实际容量。
- (2) 导线截面选得过细，与负荷电流值不相适应。
- (3) 负荷突然增大，如电机拖动的设备缺少润滑油、磨损严重、传动机构卡死等。
- (4) 乱拉电线，过多地接入用电负载。

### 3. 电气设备绝缘损伤或老化

绝缘损伤或老化会使绝缘性能降低甚至丧失，从而造成短路或引发火灾。引起电气设备绝缘老化的原因主要有：

- (1) 电气因素。绝缘物局部放电、对水树枝放电；操作过电压或雷过电压；事故或过负荷的电流等。
- (2) 机械因素。旋转部分、滑动部分、接触部分的摩擦损耗；结构材料的屈曲、扭曲、拉伸等运动或异常振动、冲击等的反复作用等。
- (3) 热因素。温升过高使绝缘物热分解、氧化等的化学变化、气化、硬化、龟裂、脆化；设备反复启动、停止、温升、温降的热循环，使结构材料间因热膨胀系数不同产生应力等。
- (4) 环境因素。周围有害物质（煤气、油、药品等）的腐蚀；阳光、紫外线长期照射和氧化作用；老鼠、白蚁等咬坏电线、电缆，以及水浸等。
- (5) 人为因素。施工不良、维护保养不善或设备选型不当等。

### 4. 电气连接点接触电阻过大

在电气回路中有许多连接点。这些电气连接点不可避免地产生一定的电阻，这个电阻叫做接触电阻。正常时接触电阻是很小的，可以忽略不计。但不正常时，接触电阻显著增大，使这些部位局部过热，金属变色甚至熔化，并能引起绝缘材料、可燃物质的燃烧。电

气连接点接触电阻过大的原因主要有：

(1) 铜、铝相接且处理不好。如对铜、铝线(排)仅用简单的机械方法连接(而未采用铜铝过渡接头),尤其在潮湿并含盐份的环境中,这样的接头就相当于浸泡在电解液中的一对电极,铝会很快因丧失大量电子而被腐蚀掉,使电气接头慢慢松弛,造成接触电阻过大。

(2) 接点连接松弛。螺栓或螺母未拧紧,使两导体间接触不紧密,尤其在有尘埃的环境中,接触电阻将显著增大。当电流流过时,接头发热,甚至产生电火花。

### 5. 电火花与电弧

电火花是电极间放电的结果,大量密集的电火花构成了电弧。电弧温度可达 3000~9000℃,因此它们能引起周围可燃物质燃烧,使金属熔化或飞溅,构成危险的火源,引发火灾。电火花可分为工作火花和事故火花两类。工作火花是指电气设备正常工作或操作时产生的火花(如通断开关、插拔插头时产生的火花);事故火花是指电气设备发生故障时产生的火花(如导线短路时产生的火花、熔丝熔断时产生的火花),以及由外来原因产生的火花(如雷电、静电、高频感应等产生的火花)。产生电火花与电弧的原因主要有:

- (1) 导线绝缘损坏或导线断裂引起短路,从而在故障点会产生强烈的电弧。
- (2) 导体接头松动,引起接触电阻过大,当有大电流通过时便会产生火花与电弧。
- (3) 架空裸导线弧垂过大,遇大风时混线而产生强烈电弧。
- (4) 误操作或违反安全规程,如带负荷拉刀闸、在短路故障未消除前便合闸等。
- (5) 检修不当,如带电作业时因检修不当而人为地造成了短路等。
- (6) 正常操作开关或熔丝熔断时产生的火花。

### 三、电气防火与防爆的各类措施

防止电气火灾与爆炸,必须采取严密的综合措施。它包括组织措施(如建立健全消防组织、严格执行规程、规章制度及有关法令等)和技术措施两大方面。

根据电气火灾与爆炸的成因,预防的根本性技术措施可概括为三类。

#### (一) 排除可燃易爆物质

(1) 保持良好通风和加速空气流通与交换,能有效地排除现场可燃易爆的气体、蒸气、粉尘和纤维,或把它们浓度降低到不致引起火灾和爆炸的限度之内。这样还有利于降低环境温度,这对可燃易物质的生产、贮存、使用及对电气装置的正常运行都是十分重要的。采用机械通风时,供气中不应含有可燃易爆或其他有害物质。事故排风用的电动机控制设备,应安装在事故情况下便于操作的地方。

(2) 加强密封,减少可燃易爆物质的来源。可燃易爆物质的生产设备、贮存容器、管道接头和阀门等均应严密封闭并经常巡视检测,以防止可燃易爆物质发生跑、冒、滴、漏等现象。

#### (二) 排除各种电气火源

(1) 对正常运行时会产生火花、电弧和危险高温的电气装置,不应设置在有爆炸和火灾危险的场所。

(2) 在爆炸和火灾危险场所内,应尽量不用或少用携带式电气设备。

(3) 爆炸和火灾危险场所内的电气设备,应根据危险场所的等级合理选用电气设备的类型,以适应使用场所的条件和要求。

(4) 在爆炸和火灾危险场所内,线路导线和电缆的额定电压均不得低于配电网的额

定电压。低压供电回路要尽量采用铜芯绝缘线。

(5) 在爆炸危险场所内，所有工作零线的绝缘等级应与相线相同，并应在同一护套或管子内。绝缘导线应敷设在钢管内，严禁明敷。

(6) 在火灾危险场所内，宜采用无延燃性外被层的电缆和无延燃性护套的绝缘导线，用钢管或硬塑料管明、暗敷设。

(7) 电力设备和线路在布置上应使其免受机械损伤，并应防尘、防腐、防潮和防日晒雨雪。安装验收应符合规范，要定期检修试验，加强运行管理，确保安全运行。

(8) 正确选用保护和信号装置并合理整定，保证电气设备和线路在严重过负荷或故障情况下，都能准确、及时、可靠地切除故障设备和线路，或是发出报警信号。

(9) 凡突然停电有可能引起电气火灾和爆炸的场所，要有两路及以上电源供电，且两路电源之间应能自动切换。

(10) 在爆炸和火灾危险场所内，各电气设备的金属外壳都应可靠接地或接零，以便外壳接地短路时能迅速切断电源，防止短路电流产生高温高热引发爆炸与火灾。

### (三) 改善环境条件

(1) 配电装置所在建筑的耐火等级不应低于二级，变压器室与多油开关室应为一类。

(2) 变配电装置室及有爆炸火灾危险房间的门均应向外开；长度大于7m的配电装置室应设两个出口；配电装置室为两层及以上时，一个出口要通向室外楼梯平台；充油的电气设备房间内，放置油量超过60kg且门又向内开时，则应采用非燃烧性材质的实体门。

(3) 室内充油电气设备的单台总油量为60kg以下时，要安装在有隔离板的间隔内；总油量60~600kg时应装在有防爆隔墙的间隔内；超过600kg时则要有单独的防爆间。

(4) 凡室外充油电气设备的单台充油量为100kg以上、室内单台断路器及电流互感器的总油量在60kg以上，以及10kV以上的油浸式电压互感器，应设置容纳100%油量的贮油池或设置容纳20%油量的挡油设施，但后者还应具备能将油排到安全处的相应设施。

(5) 油量为2500kg以上的各种室外油浸变压器，若彼此间无防火墙时，其防火净距不应小于10m。

(6) 凡属爆炸与火灾危险场所的地面，都要用耐火材料铺设；对爆炸和火灾危险场所的所有房间均应采取有效的隔热和遮阳措施。

(7) 在有爆炸危险场所的工作照明熄灭后，无论设备继续运转、工作中断或发生误操作，都可能引起爆炸火灾或设备人身事故，所以还应单独装设事故照明：

1) 事故照明灯具应布置在可能发生事故的设备、材料、物品的周围和主要通道、危险地段、出入口等处。在事故照明灯具上的明显部位应涂以红色标记，以示区别。

2) 事故照明的光源应采用能瞬时可靠点燃的白炽灯或卤钨灯。若它同时又作为正常照明且经常开用，在事故时不需要切换电源的情况下，也可采用其他光源。

3) 事故照明的照度不应低于工作照明总照度的10%。

4) 在重要车间和场所、有关键设备的厂房与重要仓库均需设值班照明。它可利用工作照明中能单独控制的一部分或事故照明中的一部分。

## 四、电气设备的防火间距及通风要求

### (一) 保持防火间距

(4) 通风系统的电源必须可靠，应采用双回路供电方式。

(5) 防爆通风充气型电气设备的通风与充气系统，应符合如下要求：

1) 通风、充气系统必须采用非燃性材料制成，结构应坚固、连接要紧密封，通风系统内不应有阻碍气流的死角；

2) 电气设备应与通风、充气系统联锁。运行前必须先通风，当通过的气流量大于该系统容积的 5 倍时，才能接通电气设备的电源；

3) 进入电气设备及其通风、充气系统内的气体，不应含有爆炸危险物质或其他有害物质，通风过程排出的废气，也不应排入有爆炸危险的场所；

4) 运行中电气设备及其通风、充气系统内的气流正压不应低于 196Pa，低于 68Pa 时应自动发出信号或断开电气设备的主电源；

5) 对于闭路通风的防爆通风型电气设备及其通风系统，应供给清洁空气，以补充漏损和保持系统内气流的正常压力；

6) 电气设备外壳及其通风、充气系统内的门或盖子上，应有警告标志或联锁装置，防止运行中被错误打开；

7) 有爆炸危险的场所内，事故排风用电动机的控制设备应设在便于操作的地方。

## 五、正确选用和安装电气设备

### (一) 电气设备的选用

电气设备所产生的火花、电弧或危险温度，都能引起危险场所的火灾或爆炸事故。因此电气设备根据产生火花、电弧或危险温度的特点采取多种防护措施，同时按防护措施的不同，它们可分多种类型。实践中，应根据使用环境的危险程度来正确地选择。

(1) 火灾危险场所电气设备的选型。正常运行时有火花的和外壳表面温度较高的电气设备，应尽量远离可燃物质。在有火灾危险的场所选用电气设备时，应根据场所等级、电气设备的种类和使用条件进行选择（参见表 10-1）。

表 10-1 火灾危险场所电气设备的选型

电气设备及其使用条件	场所等级	可燃液体 (H—1级)	悬浮状、堆积状可燃粉尘 或可燃纤维 (H—2级)	固体状可燃物质 (H—3级)
	电动机	固定安装	防爆式 <sup>①</sup>	封闭式
	移动式 and 携带式	封闭式	封闭式	封闭式
电器和仪表	固定安装	防水型、防尘型、充油型、保护型 <sup>③</sup>	防尘型	开启型
	移动式 and 携带式	防水型、防尘型	防尘型	保护型
照明灯具	固定安装	保护型	防尘型 <sup>④</sup>	开启型
	移动式 and 携带式 <sup>⑤</sup>	防尘型	防尘型	保护型
配电装置		防尘型	防尘型	保护型
接线盒		防尘型	防尘型	保护型

① 电动机正常运行有火花的部件（如滑环）应装在全封闭的罩子内。

② 正常运行时有火花的部件（如滑环）的电动机最低应选用防爆型。

③ 正常运行时有火花的设备，不宜采用保护型。

④ 照明灯具的玻璃罩应用金属网保护。

⑤ 可燃纤维火灾危险场所，固定安装时，允许采用普通荧光灯。

(2) 爆炸危险场所电气设备的选型。选用时应根据爆炸危险场所的类别、等级和电火花形成的条件，并结合爆炸性混合物的危险性进行选择（参见表 10-2）。

表 10-2 爆炸危险场所电气设备的选型

场所等级 电气设备及其使用条件		有可燃气、易燃液体的场所			有可燃粉尘、纤维的场所	
		正常情况下能达到爆炸浓度的场所(Q-1级) <sup>①</sup>	事故或检修时才能达到爆炸浓度的场所(Q-2级)	事故或检修时不易在整个区域达到爆炸浓度的场所(Q-3级)	正常情况下能达到爆炸浓度的场所(G-1级)	事故或检修时才能达到爆炸浓度的场所(G-2级)
电动机		隔爆型、防爆通风充气型	任意一种防爆类型	封闭式 <sup>②③</sup>	任意一级隔爆型、防爆通风充气型	封闭式 <sup>④</sup>
电器和仪表	固定安装	隔爆型、防爆充油型、防爆通风充气型、防爆安全火花型	任意一种防爆类型 <sup>④</sup>	防尘型、防水型 <sup>⑤</sup>	任意一级隔爆型、防爆通风充气型、防爆充油型	防尘型
	移动式及携带式	隔爆型、防爆通风充气型、防爆安全火花型	除防爆充油型外任意一种防爆类型	除防爆充油型外任意一种防爆类型、密封型、防水型	任意一级隔爆型、防爆通风充气型（携带式为任意一级隔爆型）	防尘型
照明灯具	固定安装及移动式	隔爆型、防爆通风充气型	任意一种防爆类型	防尘型	任意一级隔爆型	防尘型
	携带式 <sup>⑥</sup>	隔爆型	隔爆型	防爆型、防爆安全型	任意一级隔爆型	防尘型
电力变压器		隔爆型、防爆通风充气型	任意一种防爆类型	防尘型	任意一级隔爆型、防爆充油型、防爆通风充气型	防尘型
配电装置		隔爆型、防爆通风充气型	任意一种防爆类型	密封型	任意一级隔爆型、防爆通风充气型	防尘型

- ① 正常情况下，连续或经常存在爆炸性混合物的地点（例如贮存易燃液体的贮罐或工节设备上部空间），不宜设置电气设备，但为了测量、保护或控制的要求，可装设防爆安全火花型电气设备。
- ② 事故排风用电动机应选用任意一种防爆类型。
- ③ 电机正常运行时有火花的部件（例如滑环）应采用下列类型之一的罩子，即防爆通风充气型乃至封闭式等。
- ④ 正常运行时不发生火花的部件和按工作条件发热不会超过 80℃ 的电器和仪表，可选用防尘型。
- ⑤ 事故排风机用电动机的控制设备（如按钮）应选用任意一种防爆类型。
- ⑥ 照明灯具的玻璃罩应有金属网保护。

(3) 危险场所线路导线的选择。对用于火灾爆炸危险场所的线路导线除应满足一般安全要求外，还应符合防火防爆要求：

1) 应有足够的机械强度。在这些场所使用的电缆或绝缘导线，其铜、铝线芯的最小截面应符合表 10-3 规定。

表 10-3 爆炸危险场所电缆和绝缘导线线芯最小截面

爆炸危险场所级别	线 芯 最 小 截 面 (mm <sup>2</sup> )					
	铜 芯			铝 芯		
	动 力	控 制	照 明	动 力	控 制	照 明
Q-1	2.5	2.5	2.5	不许使用		不许使用
Q-2	1.5	1.5	1.5	4.0		2.5
Q-3	1.5	1.5	1.5	2.5		2.5
G-1	2.5	2.5	2.5	不许使用	不许使用	不许使用
G-2	1.5	1.5	1.5	2.5		2.5

2) 绝缘导线都要穿钢管敷设。3~10kV 的电气线路应使用铠装电缆；1 kV 及以下的电气线路可使用无铠装电缆或钢管配线。H-1、H-2 场所 500V 以下的线路还可采用硬塑料管配线、钢索配线；远离可燃物的可用瓷瓶配线。

3) 选用绝缘导线和电缆的额定电压不得低于电网的额定电压，且不得低于 500V。在爆炸危险场所，工作零线与相线应有相同的绝缘，并在同一护套内或管子内。

4) 高温场所应采用瓷管、石棉、瓷珠等耐热绝缘的耐燃线。有腐蚀性气体或蒸气的场所要采用铅包线或耐腐蚀的穿管线；移动电气设备应采用四芯橡皮套软线。

(4) 合理选用保护装置。火灾和爆炸危险场所应有完善的短路与过载等保护装置，以便能迅速切断电源，防止事故扩大。

1) Q-1、G-1 级爆炸危险场所内，单相线路的相线和工作零线均应装设短路保护装置。

2) 有爆炸危险的场所，为防止突然停电应有两路电源供电，并装有自动切换的联锁装置。

3) 对于有通风要求的场所，应装设联锁装置。

4) 对于防爆通风、充气型电气设备，应装设联锁装置或其他保护装置。

5) 在有爆炸性混合物的场所，应装设自动检测装置。当爆炸性混合物的浓度达到危险浓度时，发出信号或警报，以便立即采取措施，消除险情。

#### (二) 设备安装时的注意事项

(1) 安装施工中不能损伤导体的绝缘；电缆沟敷设必须考虑防积水与鼠害的措施；在不需拆卸检修的母线连接处，要采用熔焊或钎焊；在螺栓连接处应防止自动松脱。

(2) 有爆炸危险场所的单相线路中，其相线与工作零线均应有短路保护装置，并要选用双极开关。

(3) 危险场所不准装设插座或敷设临时线路，同时严禁使用电热器具。

(4) 露天安装时应有防雨、雪措施；在高温场所应采用瓷管、石棉、耐热绝缘的耐燃线，在有腐蚀介质的场所，应采用铝皮线或耐腐蚀的穿管线。

(5) 有爆炸危险的场所，应将所有设备的金属部分、金属管道以及建筑物的金属结构全部接地（或接零），并连接成连续的整体；接地（或接零）干线宜在爆炸危险场所的不同方向且不少于两处与接地体相连，以提高连接的可靠性。

(6) 有爆炸或火灾危险的场所，安装人员不应穿戴腈纶、尼龙及涤纶织物的服装和袜

子、手套、围巾。同时，所使用的工具也应尽量不采用塑料或尼龙制品的。

### （三）危险场所实施接地的要求

在有爆炸危险的场所实施接地或接零时，其要求较一般场所为高。具体是：

（1）除生产上有特殊要求者外，凡一般场所不要求接地（接零）的部分也都应接地（接零）。如不良导电的地面处，安装在已接地金属结构上的电气设备等。

（2）在有爆炸危险的场所，6V 电压所产生的微弱火花即可引起爆炸。故必须将所有设备的金属部分、金属管道及建筑物的金属结构全部接地（接零），并连接成连续整体。

（3）单相设备的工作零线应与保护零线分开；相线和工作零线均应装置短路保护装置，同时要装设两极开关。

（4）在有爆炸危险的场所，若是由不接地系统供电时，则必须装设能够发出信号的绝缘监视装置。

（5）变压器低压侧中性点接地的保护接零系统，其单相短路电流应稍大些，以提高系统的可靠性和缩短短路故障的持续时间；最小单相短路电流不得小于该段线路熔断器额定电流的 5 倍，或自动开关瞬时（或短延时）动作过流脱扣器整定值的 1.5 倍。

## 六、防止设备故障及过负荷等的措施

设备运行中防止产生过大的工作火花事故火花与危险温度，对于防火防爆有着重要意义。为此，实践中应分别采取如下措施。

### （一）防止电气设备发生短路的措施

（1）电气设备的安装应严格按照要求施工。对于不同的场合应选用不同类型的电气设备和安装方式。如在潮湿和有腐蚀介质的场所，应采用有保护层的绝缘导线或者将线敷设在管子内。

（2）导线绝缘强度必须符合电源电压的要求。即用于 220V 电压的绝缘导线应选用 250V 级，用于 380V 电压的绝缘导线应选用 500V 级。

（3）应定期用绝缘电阻表检测设备的绝缘情况，发现问题要及时处理。

（4）敷设线路时，导线之间、导线对地及对建筑物的距离应符合规定的安全距离要求。架空线路附近的树木应定期修剪。要及时调整导线的弧垂。

（5）穿墙或穿越楼板的导线，应用瓷管或硬塑管保护，以免导线绝缘遭到损坏。

（6）应安装符合规定的熔断器及保护装置，使线路发生短路时便能迅速切断电源。

### （二）防止电气设备过负荷的措施

（1）通过导线的电流不得超过其安全载流量，不能在原线路上擅自增加用电设备。

（2）爆炸危险场所所用导线的允许载流量，不应低于线路熔断器额定电流的 1.25 倍和自动开关长延时过流脱扣器整定值的 1.25 倍；低压异步电动机电源线的允许载流量不得小于电动机额定电流的 1.25 倍。

（3）电气线路上都必须装设过流保护装置，并要与所保护电气设备的额定电流和导线允许载流量相匹配。在不影响电气设备正常工作情况下，应整定得尽量小一些。

（4）对高压线路的导线截面选择，应按短路电流进行热稳定校验。

（5）电气设备的容量要与实际负载功率相匹配，也不要“大马拉小车”造成浪费。

（6）经常监视线路及电气设备的运行情况，发现严重或长期过负荷应及时加以调整，切

## （二）油断路器的防火防爆措施

油断路器（俗称油开关）是一种贮油的电气设备（尤其是多油开关），因此较易着火，并且一旦着火还很容易蔓延或引起爆炸。这就给变配电所人员与设备的安全造成很大威胁。防止油开关发生火灾与爆炸的措施是：

（1）正确选用遮断容量与电力系统短路容量相适应（配合）的油开关。

（2）油开关的设计安装要符合规程规定，应安装在耐火建筑物内且要有良好的通风。室内应装设在不易燃烧的专门间隔内，且要有拦油措施；在室外，应有卵石层贮油池。

（3）加强油开关的运行管理和检修工作。定期巡视检查油开关，尤其是最大负荷和每次自动跳闸后，以及下雨、降雪时应增加巡视次数，随时掌握其运行状态。

（4）监视油位指示器油面，使之保持在两条限度线之间，不能过高或过低；检查有无渗漏油现象，绝缘套管有无污损或裂纹，有无异常杂音或闪络现象。

（5）定期进行预防性试验。油质要符合标准，发现老化、污脏或绝缘强度不够时，应及时换油；每年要做一次耐压试验和简化试验；每次短路跳闸后应取油样化验。

（6）定期进行小修和大修。一般小修每年1~2次，大修3年一次；但在短路跳闸3次后就要进行一次全面检查。

（7）油开关事故跳闸后不能立即拆开检修。因这时打开油箱，空气将会急速进入，并与油面上许多绝缘油分解产生的气体混合成为一种易燃性气体，万一被点着，就会引起事后爆炸。故应待油面上弥漫着的气体冷却或大部排出以后，方可进行检修。

## （三）补偿电容器的防火防爆措施

补偿电容器起火与爆炸的原因大都是由于电容器极间或对外壳绝缘被击穿而造成。产生上述故障多数是因为电容器质量不好（如真空度不高、不清洁、对地绝缘不良）或其运行温度过高等。由于电容器大都集中安装在一起，一只电容器爆炸很可能引起其余电容器群爆，燃烧的漏油还会危及其他电气设备的安全。因此必须采取下列防护措施：

（1）采用内部有熔丝保护的高、低压电容器。对于无熔丝保护的应采取分组熔丝保护；双Y形接线的用零序电流平衡保护；双D接线的用横差保护；单D接线的用零序电流保护。

（2）采用优质节能型新产品（如BCMJ与BGMJ系列）。其介质损耗低、寿命长、可靠性高；有自愈性能，内部元件击穿时能自动恢复绝缘；内部有防爆装置且采用阻燃外壳。

（3）加强对电容器的运行监视，定时巡视检查。有人值班的变配电所，至少每班一次；无人值班的，至少每周一次。注意电压、电流和环境温度；监听噪声及异常气味；观察瓷套管有无污损、闪络痕迹及异常火花；检查有无漏油和鼓肚现象。

（4）对补偿电容器一般有如下规定（运行中要严格掌握与执行）：

1) 应在额定电流下运行（必要时允许不超过1.3倍）；

2) 应在不超过1.05倍额定电压下运行，在1.1倍额定电压下只允许连续运行4h；

3) 电容器室环境温度应在-25~+40℃范围内，外壳温度不得超过55℃，外壳上最热点温度通常不应超过60℃且不得超过铭牌规定值；

4) 禁止电容器组在带电荷情况下再次合闸，刚退出运行后至少应放电3min方可再次合闸；



化学腐蚀及火灾危险场所应采用专门型式的开关。否则应装在室外或其他合适地方。

(2) 闸刀开关应安装在耐热、不易燃烧的材料上。三相闸刀应远离易燃物，要防止其发热或拉合闸刀时产生火花引起燃烧；闸刀相间要用绝缘板隔离，以避免相间短路。

(3) 导线与开关接头处的连接要牢固，接触要良好，防止接触电阻过大引起发热或火灾。

(4) 容量较小的负荷，可采用胶盖瓷底闸刀开关；潮湿、多尘等危险场所应用铁壳开关；容量较大的负荷要采用自动空气开关。

(5) 开关的额定电压应与实际电源电压等级相符；其额定电流要与负荷需要相适应；断流容量要满足系统短路容量的要求。

(6) 自动开关要常检查、勤清扫，防止触头发热、外壳积尘而引起闪络和爆炸；低压开关若有损坏时，应及时更换；安装在环境条件不好场所的开关，更应注意除尘和防潮。

(7) 中性点接地的低压配电系统中，单极开关一定要接在火线上。否则开关虽断，电气设备仍然带电，一旦火线接地，便有发生接地短路而引起火灾的危险。

(8) 防爆开关在使用前必须将黄油擦除（出厂时为防止锈蚀而涂），然后再涂上机油。因黄油内所含水分等在电弧高温作用下会分解，极易引起爆炸。

#### (七) 防止电动机引起火灾的措施

电动机是使用最为普遍的一种用电设备，各行业装用电动机的容量约占所有各类用电设备总容量的70%以上。实用中，由于电动机安装或使用不当而引起火灾的事故屡见不鲜。造成电动机过热或起火的原因主要有：线圈的匝间、相间短路或接地，线圈受潮，绝缘损伤，两相运行，电刷火花，接触电阻过大，轴承过热，周围有可燃物质，以及维修保养不力等。对电动机的防火措施具体为：

(1) 正确选型。在有火灾或爆炸危险场所使用的电动机，可参见附录五附表5-19和附表5-20进行选型。

(2) 电动机不可直接安装在可燃性材料基础上。机座下应先垫上铁板或用其他非燃性材料隔开。在电动机的周围不可堆有易燃物品及其他杂物。

(3) 必须保证安装质量。要按防火防爆的安全要求进行施工。电动机接线端子与导线的连接必须牢固可靠，以防火花产生。外壳应实行良好的接地或接零。

(4) 每台电动机必须装设单独的操作开关。正确选择熔断器和热继电器，使它们能对短路和过载起到保护作用。大容量或重要场合的电动机，可装设断相保护器以防止两相运行。

(5) 加强日常巡视和维护保养。注意电流、电压和温升不得超过规定，要保持良好的通风。监听电动机有无异常声响并经常维护清扫。定期进行小修和大修。

(6) 做好电动机的绝缘测试工作。对于运行中的低压电动机，绝缘电阻不应小于 $0.38M\Omega$ ；长期停止运行的电动机，运行前测试的绝缘电阻不应小于 $0.5M\Omega$ 。

(7) 普通电动机的起动次数不宜过频，一般每分钟不要超过3~5次；热状态下连续起动的次数每分钟不要超过1~2次，以防过热引起火灾。

#### (八) 防止照明灯具引起火灾的措施

造成照明灯具火灾的主要原因是选型错误、使用不当、电灯线短路及接头冒火、周围环境有易燃或可燃物等。防止照明灯具起火的具体措施有：

(1) 正确选用合乎要求的灯具型式。在有火灾及爆炸危险场所，应选择专用照明灯具；开启式照明灯具只能用于干燥、无腐蚀性和爆炸危险性气体的场所；在潮湿和有蒸气环境应使用防潮型灯具；室外照明应安装防水型灯具。

(2) 照明线路的导线及其敷设，应符合规定与实际照明负荷的需要；要防止混线短路；接头要少并连接可靠，且要用黑胶布包好。防止松动或过热产生火花，引起火灾。

(3) 照明灯泡与可燃物之间应保持一定距离。在灯泡正下方不可存放可燃物，以防灯泡破碎时掉落火花引起燃烧。白炽灯泡的表面温度很高，烤着可燃物很快，极易引发火灾。具体可见表 10-4、表 10-5 所示。

(4) 高压水银荧光灯的表面温度与白炽灯相近；卤钨灯的石英管表面温度极高，1000W 的卤钨灯可达 500~800℃。故存放可燃、易燃物的库房不宜使用。

表 10-4 白炽灯泡的表面温度

灯泡功率 (W)	灯泡表面温度 (℃)	灯泡功率 (W)	灯泡表面温度 (℃)
40	56~63	100	170~216
60	137~180	150	148~228
75	136~194	200	154~296

表 10-5 白炽灯泡烤燃可燃物的时间和起火温度

灯泡功率 (W)	可燃物	可燃时间 (min)	起火温度 (℃)	试验放置方式	灯泡功率 (W)	可燃物	可燃时间 (min)	起火温度 (℃)	试验放置方式
100	稻草	2	360	卧式埋入	200	稻草	1	360	卧式埋入
100	纸张	8	330~360	卧式埋入	200	纸张	12	330	垂直紧贴
100	棉絮	13	360~367	垂直紧贴	200	棉絮	5	367	垂直紧贴

(5) 要注意灯泡的散热通风。尤其是嵌入式照明灯具，切不可让散热孔堵塞，以免烤着周围可燃物引起火灾；对嵌入天花板内的灯具，其外壳周围应留有 10 cm 以上空距。

(6) 使用 36V 安全灯具时，其电源导线必须有足够截面，否则会导致电线过热起火。这一点常易被疏忽，因同样功率的灯泡，电压越低时通过电流就会越大。

(7) 荧光灯和高压水银灯的镇流器不应安装在可燃性建筑构件上，以免镇流器过热烤着可燃物；灯具应牢固在悬挂在规高度上，以防掉落或被碰落引着可燃物。

(8) 更换防爆型灯具的灯泡时，不应换上比标明瓦数大的灯泡，更不可随意或临时用普通白炽灯泡替代。

(9) 发现灯具及其配件有缺陷时应及时修理，切勿将就使用；各种灯具、尤其是大功率灯具凡是不需用时，都应该随手关掉。

#### (九) 开关、插座和熔断器的防火措施

##### 1. 防止开关与插座引发电气火灾的措施

单极开关与电气插座的使用十分广泛，由开关与插座引发的火灾事故也较常见。所以，在选择、安装与使用中应注意安全。开关与插座的防火具体措施如下：

(1) 正确地选型。在有爆炸危险场所，应选用隔爆型、防爆型开关和插座；在室外应采用防水开关；在潮湿场所宜选用拉线开关。在有腐蚀性气体、火灾与爆炸危险场所，要尽可能将开关、插座安装在室外。

(2) 单极开关要接在火线上。如果误接在零线上，则开关断开时，用电设备将仍然带

电。这不但危及人身安全，且一旦火线接地时，还会造成短路甚至引起火灾。

(3) 开关与插座的额定电流和电压均应与实际电路相适应；不可盲目增加负荷，以免因过载而烧坏刀口和胶木，造成短路而起火。

(4) 开关与插座应安装在清洁、干燥场所。要注意对它们的防尘，经常进行维护清扫，防止受潮或腐蚀，造成胶木击穿等短路事故。

(5) 开关与插座损坏后，应及时修理或更换，不可将就凑合着使用。

## 2. 防止熔断器引发电气火灾的措施

熔断器作为一种最简便而有效的防止短路的保护电器，在实际使用中极为普遍。其起火原因，通常是由于熔体选用不当或安装环境有易燃物品等。防止熔断器引发火灾的主要措施为：

(1) 熔体选用要恰当。不可随意换大熔丝或乱用铜丝代替。熔体额定电流是指其允许长期通过的电流，熔断电流则是指其通过电流超过 1.5~2 倍额定电流时熔体开始熔断的电流。

(2) 正确选型。在有爆炸危险场所，应选用专门型式的熔断器或普通熔断器加密封外壳封闭；熔断器应尽可能安装在危险场所的外边。

(3) 一般应在电源进线、线路分支线和用电设备上安装熔断器；熔断器各接线端头与导线的连接应牢固可靠，触头钳口应有足够的压力。

(4) 大电流熔断器应安装在耐热的基座上（如石板、瓷板、石棉板等），其密封保护壳应用瓷质或铁制材料，不准用硬纸或木质夹板等可燃物。

(5) 熔断器周围不许堆放易燃或可燃物质，也不可堆放金属丝等，以免引发短路及火灾事故；日常中应注意检查，保持清洁，及时更换缺损的熔断器部件。

## (十) 防止电热器具引起火灾的措施

人们生活中常用的电热器具主要有电炉、烘箱、电熨斗、电烙铁、电饭锅及电热水器等。电热器具的电阻丝通常由镍铬合金制成，温度可达 800℃ 以上。由于电热器具的功率一般都较大，若使用不当，很容易引起火灾。其原因多为使用者粗心大意，器具内部有故障，通电后无人看管，电热器具附近有易燃或可燃物等。电热器具的防火措施主要有：

(1) 在有电热器具或设备的车间、班组等场所，应装设总电源开关与熔断器；大功率电热器具要用单独的开关和熔断器，避免用电气插销，因其插拔时容易引起闪弧或短路。

(2) 电热器具的导线，其安全载流量一定要能满足电热器具的容量要求，且不可使用胶质线作为电源线。

(3) 电热器具应放置在泥砖、石棉板等不可燃材料基座上。切不可直接放在桌子或台板上，以免烤燃起火，同时应远离易燃或可燃物；在有可燃气体、易燃液体蒸汽或可燃粉尘等场所，均不应装设或使用电热器具。

(4) 使用电热器具时必须有人看管，不可中途离开，必须离开时应先切断电源；对必须连续使用的电热器具，下班时也应指定专人看护及负责切断电源。

(5) 日常应加强对电热器具的维护管理。使用前须检查是否完好；若发现其导线绝缘损坏、老化，开关、插销及熔断器不完整时，不准勉强使用，必须更换合格器件。

## 第二节 火灾扑救及消防用具

### 一、防火灭火的原则与方法

#### (一) 火灾的分类

火灾分类是根据国际标准规定进行的，即按燃烧物质的种类划分，可将火灾分为如下四类（电气火灾尚不作为单独的一类），并应采用相应的灭火器进行灭火。

一类：普通固体可燃物质，如木材、纸张等（燃烧后为碳）的火灾。水是这类火灾的最好的灭火剂，可采用新产品清水灭火器（北方冬季易冻）或一般泡沫灭火器灭火。

二类：易燃液体和液化固体，如各种油类、溶剂、石油制品、油漆等的火灾。最好使用 1211 灭火器灭火，其次是使用二氧化碳、泡沫、干粉灭火器灭火。

三类：气体，如煤气、液化气等的火灾。应用 1211、干粉、二氧化碳灭火器灭火。

四类：可燃金属，如钾、钠等的火灾。应使用专用的轻金属灭火器灭火。

#### (二) 着火燃烧的必要条件

着火燃烧是可燃物剧烈的氧化反应。它必须同时具备以下条件：

(1) 有可燃物存在。凡能与空气中的氧或其他氧化剂起化学反应的物质，都称可燃物，如木材、汽油、纸、煤、乙炔等等。可燃物是进行燃烧的物质基础，去掉可燃物质燃烧就会停止。

(2) 有助燃物存在。凡是能帮助燃烧的物质，都称为助燃物，也称氧化剂。一般燃烧的助燃物是空气中的氧。空气中含氧约占 21%，如果使空气中的含氧量降低到 16% 以下，燃烧就会停止。利用蒸汽、二氧化碳、空气泡沫等进行灭火，就是通过这些物质冲淡或隔绝空气，使燃烧得不到足够氧气而熄灭。

(3) 有着火源存在。凡能引起可燃物燃烧的热能源称着火源，如明火及电火花等。各种物质燃烧时所需温度都不一样，如纸张只要加热到 130℃ 就能着火；无烟煤要加热到 280~500℃ 才会着火燃烧；油气只要有一个火星就足以引起爆炸或燃烧。用水灭火，就是使可燃物温度下降到着火点以下，火会因冷却而熄灭。

只有在上述三个基本条件都具备时，着火燃烧才能得以产生和维持下去。可燃气体在正常状态下就具备了燃烧条件，它比可燃液体和固体都易于燃烧。就燃烧速度而言，气体最快，液体次之，固体最慢。可燃物质在燃烧时，火焰的温度（即燃烧温度）大都在 1000~2000℃ 之间。

#### (三) 防火与灭火的基本方法

##### 1. 防火的基本原则与方法

防火的基本原则是：一切防火措施都是为了不使燃烧条件形成，从而达到防火的目的。防火的基本方法有如下四种：

(1) 控制可燃物。限制易燃物品的储存量；加强通风，降低可燃气体、蒸气和粉尘的浓度，使它们的浓度控制在爆炸下限以下；用防火漆涂料浸涂可燃材料，提高其耐火极限；及时清除撒漏在地面或沾染在设备上的可燃物等。

(2) 隔绝空气。密闭有可燃物质的容器或设备；变压器充惰性气体进行防火保护；将

村，以及各厂矿企事业单位中都应建立相应的消防组织。

### （二）消防组织的建立和任务

为了贯彻执行“以防为主，以消为辅”的方针，为能认真做好防火灭火工作，必须先要落实与建立严密的消防组织。

在城乡各类工厂企业中，厂长、车间主任、班（组）长等各级领导对消防工作负有直接领导责任。根据工厂的规模大小，均要组织有适当人数的专业消防组织，以及每个班（组）设1~2名义务消防人员。切不要误以为消防组织只是在万一发生火灾后才发挥作用，而平日里却似乎无事可做便忽视其重要性。消防组织建立后，应认真做好下列各项工作：

- （1）贯彻执行与消防有关的方针、政策、法令及规章制度。
- （2）制订消防工作计划，组织消防人员及全厂职工学习消防知识。
- （3）定期举行消防演习和防火检查。
- （4）管理好消防器材，对全厂性消防水系统及灭火器等进行定期检查、保养和试验。
- （5）对特别危险的地带、工作项目要订出防火制度。
- （6）对易燃易爆物品要规定保管、领用、发放等办法。
- （7）定期清扫引火物品。

### 三、灭火前的电源处理和带电灭火

无论是电业部门、城乡工厂企业，还是居民区或者农户住宅，一旦发生了电气火灾，由于通常是带电燃烧，蔓延很快，故扑救较为困难且危害极大。为了能尽快地扑灭电气火灾，必须了解电气火灾的特点及熟悉切断电源的方法，平时要严格执行好消防安全制度，常备不懈。

电气火灾与一般性火灾相比，有两个突出特点：

（1）着火后电气装置可能仍然带电，且因电气绝缘损坏或带电导线断落等接地短路事故发生时，在一定范围内存在着危险的接触电压和跨步电压，灭火时若未注意或未预先采取适当安全措施，便会引起触电伤亡事故。

（2）充油电气设备（如变压器、油开关、电容器等）受热后有可能发生喷油，甚至爆炸，造成火灾蔓延并危及救火人员的安全。所以扑灭电气火灾，应根据起火场所和电气装置的具体情况，针对性地（符合其特殊要求）进行有效扑火。

#### （一）扑灭火灾前的电源处理

发生电气火灾时，应尽可能先切断电源，而后再采用相应的灭火器材进行灭火，以加强灭火效果和防止救火人员在灭火时发生触电。切断电源的方法及注意事项是：

（1）切断电源（停电）时切不可慌张，不能盲目乱拉开关；应按规定程序进行操作，严防带负荷拉刀闸，引起闪弧造成事故扩大；火场内的开关和刀闸，由于烟熏火烤其绝缘会降低或破坏，故操作时应戴绝缘手套、穿绝缘靴并使用相应电压等级的绝缘用具。

（2）切断带电线路导线时，切断点应选择在电源侧的支持物附近，以防导线断落地上造成接地短路或触电事故。切断低压多股绞合线时，应分相一根一根地剪、不同相电线要在不同部位剪断，且应使用有绝缘手柄的电工钳或带上干燥完好的手套进行。

（3）切断电源（停电）的范围要选择适当，以防断电后影响灭火工作；若夜间发生电

气火灾，切断电源时应考虑临时照明问题，以利扑灭火灾。

(4) 需要电力部门切断电源时，应迅速用电话联系并说清楚地点与情况。对切断电源后的电气火灾，多数情况下可以按一般性火灾进行扑救。

#### (二) 带电灭火及其注意事项

如果处于无法或不允许切断电源、时间紧迫来不及断电或不能肯定确已断电的情况下，应实行带电灭火。它是蕴含一定危险性的不得已做法，必须注意：

(1) 应使用二氧化碳、四氯化碳、1211、干粉灭火剂。这类灭火机的灭火剂不导电，可供带电灭火；泡沫灭火机的灭火剂有一定导电性，故切不可用来带电灭火。

(2) 灭火机嘴及人体与带电体之间应保持足够的安全距离。带电灭火时接地体对带电体的最小允许距离：35kV 为 60cm；10kV 为 40cm；对低压带电设备也不可靠得太近。

(3) 若高压电气设备或线路导线断落地面发生接地时，应划出一定警戒范围以防止跨步电压触电；室内，扑救人员不得进入距故障点 4m 以内；室外，不得进入 8m 以内。若必须进入上述范围内时必须穿绝缘靴，接触设备外壳和构架时，应戴绝缘手套。

(4) 用水枪灭火时宜采用喷雾水枪，同时必须采取安全措施，如穿戴绝缘手套、绝缘靴或穿均压服等进行操作。水枪喷嘴应可靠接地。接地线可采用截面为  $2.5\sim 6\text{mm}^2$  的编织软导线，接地极可用临时打入地下的长 1m 左右的角钢、钢管或铁棒。

(5) 用四氯化碳灭火时，灭火人员应站在上风侧，以防中毒，灭火后要注意通风；扑救架空线路火灾时，人体与带电导线间的仰角应不大于  $45^\circ$  并站在其外侧，以防导线断落引起触电；未穿绝缘靴的扑救人员，要注意防止地面的水渍导电而发生触电。

(6) 若遇到变压器、油断路器、电容器等油箱破裂，火势很猛时，定要立即切除电源并将绝缘油导入贮油坑。坑内的油火可采用干砂和泡沫灭火剂等扑灭；地面的油火则不准用水喷射，以防止油火飘浮水面而扩大。此外，还要防止燃烧着的油流入电缆沟内引起蔓延。

(7) 工作着的电动机着火时，为防止设备的轴和轴承变形，应使其慢速转动并用喷雾水枪扑救，使能均匀地冷却。也可采用二氧化碳、四氯化碳、1211 灭火机扑救，但不可使用干粉、砂子或泥土等灭火，以免造成电机的绝缘和轴承受损。

#### 四、灭火剂性能及灭火器的使用与保养

常用灭火剂的性能和特点如下：

(1) 水是一种最常用灭火剂，它有很大的比热，在标准大气压下，每 1kg 水沸腾蒸发要吸收  $2.26\times 10^3\text{J}$  的热量，因此水有很好的冷却效果。纯净的水不导电，但一般水中由于含有各种盐类等杂质故具导电性。在未采取防止人身触电的有关措施前，不能用水带电灭火。此外水也不能对比重较小的油类进行灭火，以防油火飘浮水面蔓延扩大。

(2) 干砂的作用是覆盖燃烧物、吸热降温并使燃烧物与空气隔离。它特别适于扑灭油类和其他易燃液体火灾，但禁止用于旋转电动机灭火，以免损坏电气绝缘和轴承。

(3) 泡沫灭火剂是利用硫酸或硫酸铝与碳酸氢钠作用放出二氧化碳的原理制成的。其中加入甘草根汁等化学药品造成泡沫，浮在固体和泡体燃烧物表面，可隔热、隔氧，使燃烧停止。因上述物质导电，故不适于带电灭火。扑灭油类火灾时，应先射边缘后射中心，以

免油火蔓延。

(4) 二氧化碳是一种惰性气体，不导电，灭火剂为筒装液态，极易挥发气化。液态喷射时体积会扩大 400~700 倍，强烈吸热冷却凝结为霜状干冰，干冰在燃烧区又直接变为气体，吸热降温并使燃烧物隔离空气。当气体二氧化碳占空气浓度的 30%~35% 时，即可使燃烧迅速熄灭。因它易使人窒息，使用时应站在上风侧且防止接触干冰而造成冻伤。

(5) 干粉灭火剂主要由钾或钠的碳酸盐类加入滑石粉、硅藻土等掺合而成，也不导电。干粉灭火剂在火区覆盖燃烧物并受热产生二氧化碳和水蒸气，因其有隔热、吸热和阻隔空气作用，故使燃烧熄灭。它适用于扑灭可燃气体、液体、油类、忌水物质（如电石等）及除旋转电动机外其他电气设备的初起火灾。它有人工投掷和压缩气体喷射两种。

(6) 四氯化碳是一种无色透明、易挥发的有毒液体，不自燃、不助燃、不导电。当液态四氯化碳喷射到火区时会迅速吸热气化，蒸气笼罩燃烧物，由于氧气被隔绝而停止燃烧。空气中四氯化碳蒸气的浓度达 10%~14% 时，即可有效灭火，故适用于扑灭可燃液体、油类和电气设备的火灾，但不能用于扑灭电石、乙炔气体和部分金属的火灾。

(7) 二氟一氯一溴甲烷（简称 1211）是一种具有高效、低毒、腐蚀性小、灭火后不留痕迹、不导电、使用安全、贮存期长的新型优良灭火剂。其灭火作用在于阻止燃烧连锁反应并有一定的冷却和窒息效果。特别适用于扑灭油类、电气设备、精密仪器仪表及一般有机溶剂的火灾。

各类灭火器的使用方法与保养检查见表 10-6。

表 10-6 各类灭火机规格、效能、用法及保养检查

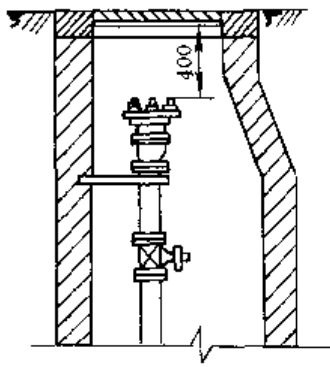
种类	泡 沫	二 氧 化 碳	四 氯 化 碳	干 粉	1211
规格	10L 65~130L	2kg 以下 2~3kg 5~7kg	2kg 以下 2~3kg 5~8kg	8kg 50kg	1kg 2kg 3kg
药剂	筒内装有碳酸氢钠、发泡剂和硫酸铝溶液	瓶内装有压缩成液态的二氧化碳	瓶内装有四氯化碳液体，并加有一定压力	钢筒内装有钾盐或钠盐干粉，并备有盛装压缩气体的小钢瓶	钢筒内装有二氟一氯一溴甲烷，并充填压缩氮
用途	扑救油类或其他易燃液体火灾。不能扑救忌水和带电物体火灾	不导电。可扑救电气、精密仪器、油类和酸类火灾。不能扑救钾、钠、镁、铝等火灾	不导电。可扑救电气设备火灾。不能扑救钾、钠、镁、铝、乙炔、一硫化碳等火灾	不导电。可扑救电气设备火灾，但不宜扑救旋转电机火灾。可扑救石油产品、油漆、有机溶剂、天然气和天然气设备火灾	不导电。可扑救油类、电气设备、化工化纤料原等初起火灾
效能	10L 喷射时间 60s，射程 8~10m，65L 喷射时间 170s，射程 15~18m	接近着火地点，保持 3m 距离。手枪式射程 1.2~2m	3kg 喷射时间 30s，射程 1m	手枪式喷射时间 14~18s，射程 3~5m；推车式喷射时间 50~55s，射程 8~13m	手提式喷射时间 6~8s，射程 2~3m；推车式射程 5~6m

续表

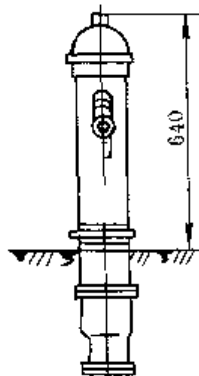
种类	泡沫	二氧化碳	四氯化碳	干粉	1211
使用方法	倒过来稍摇动或打开开关药剂即喷出	一手拿好喇叭筒，对着火源，另一手打开开关即可	只要打开开关，液体就可喷出	提起圆环，干粉即可喷出	拔下铅封或横销，用力压下压把即可
保养和检查方法	每年检查一次，泡沫发生倍数低于4倍时应换药	保管： (1) 置于取用方便的地方 (2) 注意使用期限 (3) 防止喷嘴堵塞 (4) 冬季防冻，夏季防晒 检查： (1) 二氧化碳灭火器，每3个月测量一次，重量减少1/10时应充气 (2) 四氯化碳灭火器应检查压力情况，低于规定压力时应充气		置于干燥通风处，防受潮、日晒。每半年抽查一次，干粉是否受潮或结块。小钢瓶内的气压压力，每3个月检查一次，重量减少1/10时，应换气	置于干燥处，勿碰撞，每年检查一次重量

### 五、消防工具的作用和使用方法

(1) 消防栓。也称消火栓，是连接消防供水系统的阀门装置，打开它便可大量而连续地供给灭火用水。室外消火栓多数安装在地面下，也有安装在地面上的（见图 10-1）；室内消水栓则大多数安装在墙壁上（见图 10-2）。其出水口径一般为 65mm 或 50mm。接口大都



(a)



(b)

图 10-1 室外消火栓  
(a) 地下式；(b) 地上式

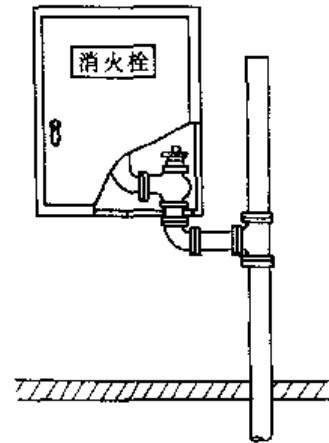


图 10-2 室内消火栓

是内扣式，也有压簧式。使用方法是：打开消火栓的门，卸下出水口的堵头，接出水带，拧开阀门，水即经水带输送到火场。关闭时，首先关紧阀门停止水的输送，然后再把水带分解开，卸下接扣并把堵头安好。如果是地下消火栓，还要打开回水门，等水放净后再将阀门关闭，最后盖上井盖。

(2) 水龙带。常用的水龙带有内扣式和压簧式两种，其口径一般为 60、50mm 两种。平时卷好存放在通风、干燥的地方，防止腐烂。使用时要铺好，不要拧麻花、拐死弯，接口



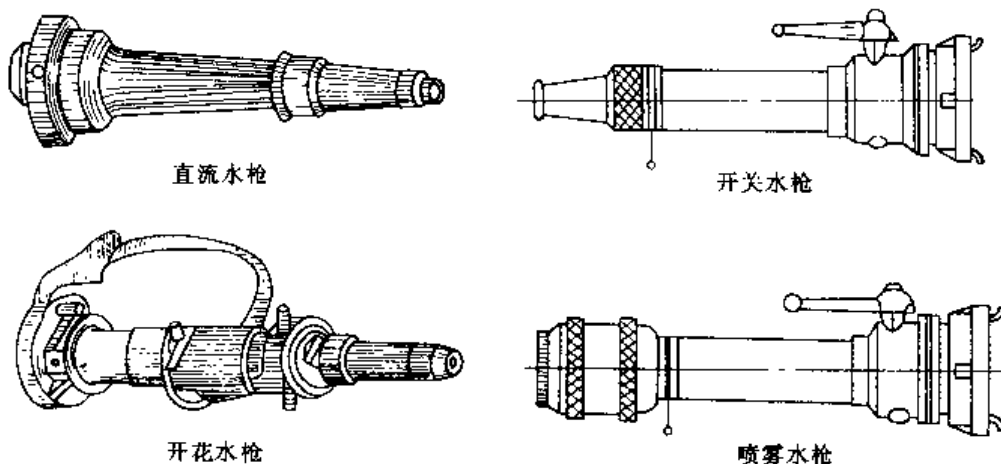


图 10-3 消防水枪

要衔接好。每次用后要冲洗干净，晒干后卷好，以保证完好备用。

(3) 消防水枪。常用的消防水枪（见图 10-3）有直流水枪和开花水枪。水枪接口有内扣式和压簧式两种，水枪口径一般有 13、16、19、32mm 四种。开花水枪除与直流水枪有相同作用外，还可根据灭火的需要喷射开花水，用来冷却容器外壁、阻隔辐射热、掩护灭火员靠近火点。直流水枪上装上一个开关后叫开关水枪，使用时可根据火势情况控制射水量，这对于扑灭室内火灾和零星火更为适用。直流水枪上装上一只双级离心喷雾头后叫喷雾水枪。使用时可将水泵送来的压力水经喷雾水枪离心力的作用形成雾状，可以用来扑灭油类火灾及变压器、多油开关等电气设备的火灾。

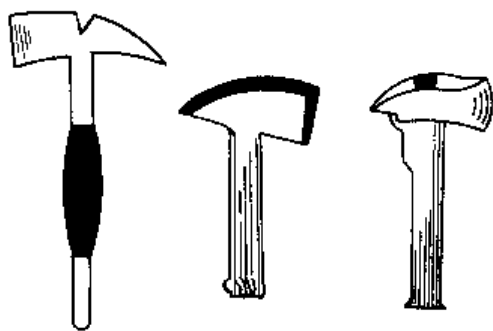


图 10-4 消防斧

(4) 破拆工具。主要在灭火时用来破拆建筑物、门窗、地板、屋顶等，以便打开通路进行灭火、救人、疏散物资或防止火势蔓延。常用的破拆工具有消防斧、铁铤、消防钩等（见图 10-4、图 10-5 及图 10 6）。

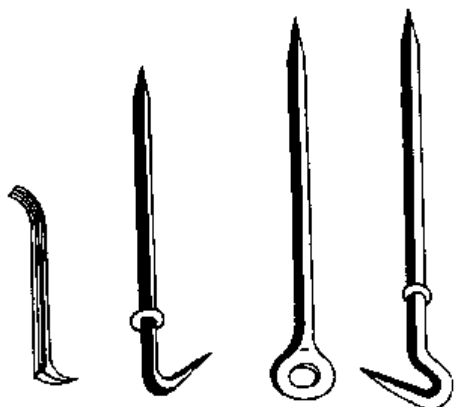


图 10-5 铁铤

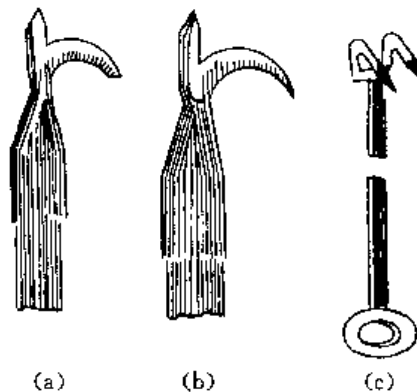


图 10-6 消防钩

(a) 小型钩杆；(b) 大型钩杆；(c) 爪型钩杆

## 第三节 静电的危害与防护

### 一、静电会引起爆炸或火灾

#### (一) 静电的产生与危害

静电通常是指相对静止的电荷，它是由物体间的相互摩擦或感应而产生的。静电现象是一种常见的带电现象，如干燥天气里用塑料梳子梳头，可以听到清晰的“噼啪”放电声；夜晚脱毛衣时，还能够看到明亮的蓝色小火花；冬春季节的北方或西北地区，有时会在客人握手寒暄之际、出现双方骤然缩手或跳起的喜剧场面。这是由于客人在干燥地毯或木地板上走动时产电荷积累又无法泄漏，握手时发生了放电的缘故。由于电量有限，尚不致造成危害。

工业生产中的静电现象是很多的。特别是化工、塑料、化纤等合成材料生产部门、橡胶、印刷、造纸、纺织及其他制造、加工、转运高阻材料的部门，都经常会遇到有害的静电。但静电也有其可被利用的一面，如静电除尘、静电喷漆、静电植绒、静电选矿、静电复印等。它们是利用外加能源来产生高压静电场，与生产工艺过程中产生的有害静电不同。

因此要加深对静电的认识、了解和控制。掌握不好，对可能引起各种危害的静电未能采用科学方法加以防护，则会造成各种严重事故：静电火花会引起爆炸与火灾；静电放电还可能直接造成电击而伤亡；静电的产生和积聚妨碍正常生产与工作的进行。放对静电可能造成的危害，必须采取有效措施加以防范。

#### (二) 静电引发爆炸或火灾的原因

爆炸和火灾是静电的多种危害中最为严重的一种。静电电量虽然不大，但因其电压很高而容易发生火花放电，如果所在场所有易燃物品，又由于易燃物品会形成爆炸性混合物（爆炸性气体、蒸汽及爆炸性粉尘），便可能由于静电火花而引起爆炸或火灾。

潮湿季节里静电不容易积累，故静电事故多发生在干燥的冬季。无论是带静电的人体接近接地体或接地的人体接近带静电物体，都可能会发生火花放电而导致爆炸或火灾。对于静电引起的爆炸和火灾，就行业性质而言，一般以炼油化工、橡胶、造纸、印刷、粉末加工等行业居多；就工艺种类而言，则以输送、装卸、搅拌、喷射、卷绕和开卷、涂层、研磨等工艺过程居多。

放电火花的能量超过爆炸性混合物的最小引燃能量时，即会引起爆炸或火灾。静电爆炸和火灾多由于火花放电引起；对于引燃能量较小的爆炸性气体或蒸汽混合物，也可由刷形放电而引发爆炸和火灾。带静电的绝缘体经过一、二次火花放电后，其上仍然可能会残存危险的静电；导体的火花放电却正相反，它只能发生一次火花放电，其上的静电即全除消失。所以导体的火花放电，因是其积聚能量的集中释放故具有更大危险性。

由静电引起爆炸或火灾的惨重事故，屡见不鲜且触目惊心。例如：

- 1) 1969年曾有3艘20吨级的巨型油轮因静电放电爆炸起火；
- 2) 1970年又有两架“波音”飞机因油料静电引起油箱爆炸；
- 3) 1967~1970年间某国空军竟连续发生了17次注油静电火灾事故；
- 4) 在矿井下，静电曾引起过许多次瓦斯爆炸；

制静电的积累，使其不超过安全限度；二是控制工艺过程，限制静电的产生，使之不超过安全限度。第一条途径包括两种方法，即泄漏与中和法。接地、增湿、添加抗静电剂、涂导电涂料等具体措施均属泄漏法；运用感应中和器、高压中和器、放射线中和器等装置消除静电危害的方法，均属中和法。第二条途径包括就材料选择、工艺设计、设备结构等方面所采取的相应措施。静电防护的主要措施有下列四种。

#### （一）静电控制法

控制静电产生的方法有：

- （1）保持传动带的正常拉力，防止打滑。
- （2）以齿轮传动代替带传动，减少摩擦。
- （3）灌注液体的管道通至容器底部或紧贴侧壁，避免液体冲击和飞溅。
- （4）降低气体、液体或粉尘物质的流速。

#### （二）自然泄漏法

使静电从带电体上自行消散的方法有：

（1）易于产生静电的机械零件尽可能采用导电材料制成。必须使用橡胶、塑料和化纤时，可在工艺配方中掺入导电添加剂炭黑、金属粉尘、导电杂质等，制成导电的橡胶、塑料和化纤。

（2）在绝缘材料的表面喷涂金属粉末或导电漆，形成导电薄膜。

（3）表面易于吸湿的物质在不影响产品质量前提下可适当提高相对湿度。表面吸湿后导电性增加，会加速静电自然泄漏。空气相对湿度若能保持在70%左右，即可防止静电大量积累。

（4）对于表面不易吸湿的化纤和塑料等物质，可以采用各种抗静电剂。其主要成分是以油脂为原料的表面活性剂，它能赋予物质表面以吸湿性（亲水性）和电离性，从而增强导电性能，提高静电自然泄漏的效果。

#### （三）静电中和法

利用相反极性的电荷中和（清除）静电的方法有：

（1）不同物质相互摩擦能产生不同的带电效果，故对产生静电的机械零件要适当选择组合，使摩擦产生的正、负电荷在生产过程中自行中和，破坏静电积累的条件。

（2）在胶片生产和印刷生产中，因湿度不宜过大，可以装设消电器产生导电性电荷，以电晕放电方式中和静电。

（3）利用放射性同位素，可在不需要电源的情况下放射出 $\alpha$ 、 $\beta$ 粒子，以中和静电。这种方法稳定性好，效率高、即便在易燃、易爆的条件下也是比较安全的。

（4）向粉尘物质输送管道中喷入离子风，以中和静电电荷，防止静电引爆。

#### （四）防静电接地法

它是防止静电积累、消除危害的简便有效方法。实践中应注意：

（1）凡加工、运输和贮存各种易燃、易爆的气体（液体）和粉尘的设备及一切可能产生静电的机件、设备和装置，都必须可靠接地。

（2）同一场所两个及以产生静电的机件、设备和装置，除分别接地外相互间还应作金属均压连接，以防止由于存在电位差而放电。灌注液体的金属管器与金属容器，必须经金

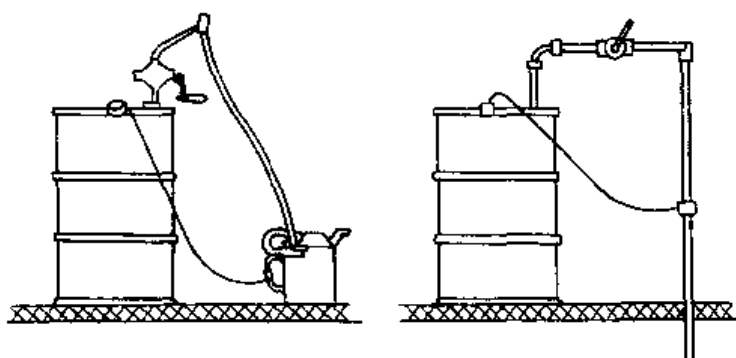


图 10-7 油壶和油桶与注油设备跨接并接地

来并且接地（见图 10-7）。

(8) 汽车油槽应带金属链条，链条一端和油槽底盘固定相连，另一端下垂与大地活动接触（见图 10-8）。油槽车在装油卸油之前，应与贮油设备跨接并接地；装卸完毕应先拆除油管，方可拆除跨接线和接地线。所有装卸油的设备都要遵守“先接地，后接油管”，“先拆油管，后拆地线”的原则。汽车油槽车装油时的跨接线如图 10-9 所示。

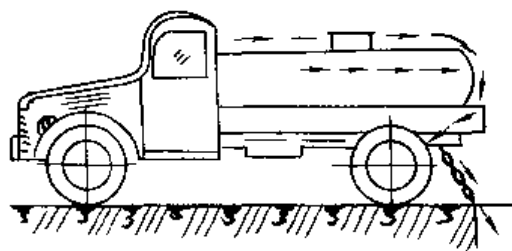


图 10-8 拖地链条将静电荷传入大地

### 五、变压器油造成静电危害的防护

在给变压器充油以及过滤变压器油时，都会产生静电。若未采取有效措施，则容易引起变压器油燃烧导致火灾或爆炸。具体措施是：

(1) 利用油箱下部的油阀门往变压器里注油。这样做可以防止充油时产生的静电危害。因为若将变压器油通过油枕，且以较大的流速注入变压器箱内时，就会在变压器油内产生并积聚静电。尤其是在干燥的冬天，或当变压器油的粘度较大及夹杂固体微粒时便会积聚静电。当静电一旦积聚到相当程度时，就会发生火花放电，引起变压器油燃烧而导致火灾。

所以，一般都不从变压器油箱上部往里注油（仅在补充油时方可由上部缓慢地注入）；当从下部注油阀门往里注油时，可先将油管妥善接地，使变压器油靠本身压力慢慢注入。

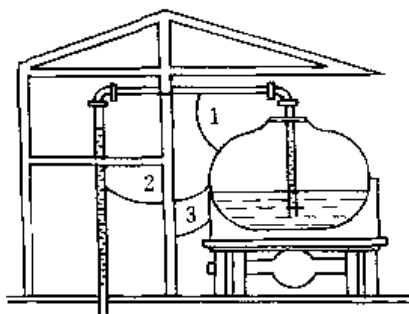


图 10-9 汽车油槽车装油跨接示意图

1、2—跨接线接于管道上；  
3—跨接线接于金属挂钩上

(2) 过滤变压器油时不能使用普通胶皮管。这一方面是因为普通胶皮管在接触变压器油后会受到腐蚀而引起变质，且此时变压器油将会由于胶皮管的化学作用而使油质劣化。

另一方面因为在滤油过程中，由于胶皮管是绝缘的，滤油时产生静电荷便不能很快地泄漏，静电的积聚现象将会越来越严重。直至胶皮管与滤油机铁架等金属部分之间的电位差达到很高数值时，便会产生火花放电而导致火灾。故过滤变压器油时不应使用一般的普通橡皮管。

## 第四节 触电事故典型实例

在介绍触电急救的具体方法之前,让我们先来看一看这里经精选辑录的城乡工矿企业、居民家庭及农户等在生产建设与日常生活中所不幸发生的 30 例典型触电事故。由这些活生生的实例材料可见,触电事故给人们带来了多么惨重的灾难!给国家、集体、家庭和个人造成了多么巨大的损失!经常学习并掌握好电气安全技术和触电急救方法,该是何等重要!望广大电工阅后一定要认真思考,务必牢牢记取这些血的教训!

### 一、缺乏电气安全常识的事故实例

(1) 跨步电压。1980 年 6 月,某县郊电杆上的电线被大风刮断掉在水田中。早晨有一小学生把一群鸭子赶进水田,当鸭子游到断线落地处附近时,一只只死去,小学生便下田去拾死鸭子,未跨几步即被电击倒。随后哥哥赶到田边并下田去拉弟弟,也被电击倒。爷爷赶到田边急忙跳入水田拉孙子,又被电击倒。小学生的父亲闻讯赶到,见鸭死人亡,急忙下田抢救,也被电击倒。一家 3 代 4 人,均被电击而惨死在水田中!

主要原因:①低压线(常用的 380/220V 系统)一相断落碰地形成单相接地短路,尤其是在水田中,落地处 1m 附近的跨步电压即已很高;②缺乏电气安全常识,又未能立即切断电源,从而造成多人触电死亡的恶性事故。

(2) 无保护装置。1982 年 7 月某天炎热的中午,有 5 个小学生来到某化肥厂的工业循环水池游泳。水池长 40m,宽 10m,深 5m。露天下安装了一台水泵,配用一台 17kW 交流电动机,从水池内日夜抽水供循环水系统用水。当他们游到进水管附近时,竟全部触电死亡!

主要原因:①对学生的电气安全教育不够,儿童缺乏电气安全常识;②在穿有输电线的保护钢管内有电线接头,因雨水长期浸湿而松动脱落,其裸线接头触及钢管,然后使水泵、电动机座、电动机外壳、水泵外壳、水管及其附近的水面均带电;③电动机未采取相应的保护措施。

(3) 外壳带电。1985 年 8 月 22 日 3 时 20 分,某供销社豆制品厂一职工(男,47 岁)在磨豆腐时,因磨豆粉机的电动机外壳带电而触电死亡;1986 年 8 月 22 日 11 时 30 分,某县商业总店一营业员(女,41 岁),在豆腐店使用电磨加工米粉时,由于 380V 电磨外壳带电而触电死亡。

主要原因:①管理混乱,设备陈旧,未定期检修;②缺乏电气安全常识;③电气设备外壳未采取保护接零或保护接地措施。

(4) 违章带电作业。1979 年 8 月 3 日 15 时左右,某工厂机动科一电工(男,26 岁)和另一人安装日光灯。他站在七档人字梯的最高档,带电接日光灯电源线。当拆开火线上的绝缘胶布时,不慎碰上附近的接地线铁丝引起触电,并从 2.3m 高处的梯子上摔下,头部后脑着地,经抢救无效于当日死亡。

主要原因:①低压带电作业未采取相应安全措施;②缺乏高处作业的安全常识,也未使用安全带;③对周围环境未仔细观察,误碰接地铁丝线,形成单相经人体接地短路故障。

(5) 安全距离不够。1984 年 1 月 31 日下午 4 点,某县 3 名职工在四楼平台上安装电视

机室外天线时，金属天线不慎倾倒在附近的10kV高压线上，3人同时触电摔倒。经抢救，两人脱险，一人死亡。

主要原因：①缺乏电气安全常识；②装设电视机室外天线时，未考虑到万一倾倒时天线可能碰触架空线；③高压线距楼台建筑距离仅1.5m，不符合安全距离规定。

(6) 线路老化。1985年9月7日15时10分，某市第×建筑工程公司一混凝土工（男，39岁），在操纵蛙式打夯机时，因开关处电线破损漏电而触电死亡。

主要原因：①橡皮电缆软线陈旧老化，没有定期检查更换且施工用电混乱；②开关上未采取保护接零或保护接地措施，又未装设漏电保护装置；③非电气人员缺乏应有的电气安全常识。

(7) 静电火花。某工厂用管道输送高压液化石油气时，发现漏气，检修时发生了爆炸事故，并导致5人死亡！

主要原因：①缺乏静电与安全知识；②检修时泵内残留的 $137.3 \times 10^4 \text{Pa}$ 压力的液化气高速喷出，产生了高压静电，并由静电火花引起爆炸并导致人员伤亡。

## 二、电气安装不合要求的事故实例

(1) 火线外露。1980年6月，某厂男浴室内，淋浴的几个工人感到脚麻、胸闷，池内的工人惊叫“有电！”池边的几个工人跑到外面大声呼救，待切断电源时两名工人因触电严重，无力走动，浸泡在水池中而触电身亡！

主要原因：①浴室北端的一只灯头火线外露，并有烧焦痕迹，与暗管道的钢管距离很近，浴室内水蒸气弥漫，因潮湿使钢管及与其相连的钢筋和混凝土均带电；②暗管道的钢管未进行接地处理；③浴室照明未采用密封防潮灯具。

(2) 带电移动电器。1986年8月25日9时40分，某县水利建筑安装公司实习电工两人，在某工地帮助打夯时，由于打夯机移位，电缆线被压破，打夯机外壳带电，致使两人都触电。经抢救，结果一人获救，一人死亡。

主要原因：①电气安装不合要求，设备外壳没有采取接地或接零措施，且也未装设漏电保护装置；②施工现场管理混乱；③带电移动电器未注意安全工作事项。

(3) 晒衣铁丝触电。1970年9月的一天早晨，我海军某通讯站一位守机员，执勤后在狂风暴雨中归来，将湿衣服往门外晒衣服的铁丝上搭去。由于铁丝与被大风刮断的电线相接，顿时被电击倒，呼吸停止，心脏也停止了跳动。后经人员发现，切断电源后，采取触电急救措施幸未伤亡。

主要原因：①电力线路安装不合要求，晒衣铁丝也离得过近，又未装设漏电保护装置；②及时而正确地采取了触电急救措施，并坚持进行抢救取得了成效。

(4) 未装避雷器。某年7月，某县一青年将收音机天线挂在20m高的大树上。有一天忽然雷声大作，正在天线引下线处收衣服的女青年当场被击死，且雷电沿引线进入室内将收音机击毁，墙边的水缸打穿，天线也随即熔化。

主要原因：①未安装避雷器，引线对地也未留放电间隙；②天线过高，超出常规；③雷雨期间，天线未与地线相连（此措施只防感应雷，对直击雷仍不安全）。

(5) 三孔插座接错线。1982年5月，某厂一女工买来400mm台扇，插上电源试运转。当手触碰电扇底座时，竟惨叫一声并将风扇从桌上带甩下来，且压在自身胸部，造成触电死亡。

主要原因：①电源相线误接在三孔插座内的保护接零桩头上，从而使外壳带有 220V 相电压；②未装设漏电保护器；③未施行触电急救。

(6) 错误接零。某年 8 月 14 日，某厂装配车间林某，使用单相手电钻作业。当他把四孔插头插向中央配电箱的四孔插座上后，刚拿起电钻时竟触电身亡。

主要原因：①保护接零的零线错误地接在四孔插座已松动的固定螺丝上；②单相手电钻错误地使用了四孔插头，从而使电源从插头经手电钻绕组，再通过保护接零到外壳，然后经过人体入地，构成了触电回路。

(7) 零线烧红。1984 年某日，某厂变电所值班电工正在值班。忽然室内照明熄灭，接着外面有人叫喊：“变压器起火，变压器起火！”当值班电工奔出来时，只见变压器（10/0.4kV）平台上一片烟火；燃烧不停，酿成了电气火灾。

主要原因：①电气设备漏油；②发生事故时断路器过流脱扣保护装置失灵，使短路电流得以持续而导致零线烧红；③烧红的零线又燃着了漏油，酿成了电气火灾。

(8) 零线断线。某厂因外部电源停电，便启用自备柴油发电机发电，各车间与部门便相继合闸用电。每开一盏灯，灯泡或灯管只闪烁一下便烧毁。半个小时内共烧毁日光灯 16 支，白炽灯 82 只，损坏数占全部灯具的 60% 以上。

主要原因：①零线安装不合要求、发生断裂且三相负荷不平衡，负荷小的一相电压值升高到线电压（380V），使该相所带灯具及设备被烧毁；而另外两相上的灯具或设备则串接在 380V 上，负荷小的一相其灯具或设备承受的电压会高于 220V 也可能被烧毁；②安装时未实施重复接地。

### 三、设备有缺陷或故障的事故实例

(1) 电线漏电。1982 年 7 月 12 日，某市人防一公司机电队沙某（男，34 岁，钳工班长）在工地的更衣室内换衣时，发现挂衣服的铁丝麻手（由于铁丝磨破了行灯电源线），铁丝的另一端落在墙壁的竹扫把上。沙在挂衣服时，下肢又误碰到竹扫把那端的铁丝，“哎呀！”一声便倒在积水的地面上，当即触电身亡。

主要原因：①违反国务院《工厂安全卫生规程》中第 44 条：“行灯电压不能超过 36V，在金属容器内或潮湿场所不得超过 12V”的规定而采用了 220V 电源；②设备有缺陷，发现漏电又未及时采取相应的防范措施；③安全措施检查不细不严。

(2) 闸刀爆炸。1982 年 12 月 18 日上午，某厂 309 宿舍打井时，使用一台 3kW 水泵抽水（用 380V、15A 闸刀开关直接起动），并已运转多时。当水泵停机后再开时，不料闸刀发生炸裂，烧伤操作人员并右手致残。

主要原因：①设备有缺陷，闸刀开关动触头螺丝松动，合闸时三相不能同时接触面引起电弧放电；②由电弧进而造成相间短路，产生高温后引起闸刀爆炸。

(3) 配电柜起火。1984 年 4 月 10 日下午 1 时，淮南矿务局某厂铸造车间清砂房内的 1 号配电柜弧光一闪，一声巨响，配电柜起火。接着室外低压架空线路有 1 根线断落，碰到其余 3 根架空线上，瞬时弧光大起，响声如鞭炮，4 根架空线全部熔断掉落，造成全厂局部停电 8 小时，以及部分车间停产事故。

主要原因：①灭弧罩上有豆粒大的缺损，当交流接触器切断电路时，主触头产生的电弧通过灭弧罩缺损处引起相间短路；②配电柜应采用 RM1 型熔断器作短路保护，而现场实

际熔丝是用裸铝丝代替，使熔断时间延长不能立即切断故障电流。

(4) 导线短路。1988年1月21日凌晨，某无线电厂彩电插件房发生重大火灾。出动17部消防车，经两小时后才扑灭，直接经济损失达18万余元！

主要原因：①室内照明线路短路；②安装时未穿管敷设，导线受潮、受热老化，切断开关时仍带电；③该插件房吊顶和隔墙均为可燃材料，吊顶内潮湿、闷热，不符合防火安全要求。

(5) 变压器爆炸。某厂有一台320kVA车间变压器，因故障导致变压器油剧烈分解、气化，油箱内部压力剧增发生爆炸，箱盖螺栓拉断，喷油燃烧，竟使8m外的工作人员面部也被烧伤。燃油又点燃下层电缆及其他可燃物，并沿电缆燃烧，致将上层的配电室和控制室也烧毁。

主要原因：①变压器内部出现短路故障，产生电弧，引起爆炸；②无储油措施，致使燃油外流，引起重大火灾。

(6) 变电所起火。1984年2月1日下午4时，某矿变电所内变压器引线的电缆头发热冒烟，片刻电弧燃着了喷油，火由室内烧到屋顶，使整个变电所大火四起。

主要原因：①变压器引线的电缆过热。使导线烧断，造成三相弧光短路，且油断路器受热后绝缘油向外喷出，遇电弧后燃烧；②变电所继电保护装置在系统出现故障（电压下降）时，保护动作失灵（保护电源未能采用独立的蓄电池供电）。

(7) 互感器爆炸。1987年7月25日，上海某变电站内的电流互感器发生爆炸，引起两台大容量220kV变压器跳闸。中断了上海某化工厂电源，并使该厂电解槽内的氯气压力增加，使氯气外逸，致附近居民百余人中毒！

主要原因：①互感器电容芯子绝缘内部有气泡，在运行电压下发生了局部放电；②产品有缺陷，对局部放电量大的电容式电流互感器、制造时未能进行长时间高真空处理以消除气泡。

#### 四、违反操作规程或规定的事故实例

(1) 误碰高压。1986年6月27日，某厂电工（男，30岁）在变电所拆下计量柜上的电能表时，被相邻的10kV高压母线排放电击中，并被电弧烧伤，经抢救无效而死亡。

主要原因：①邻近高压开关柜（10kV）带电操作时，安全距离不足0.7m，严重违反了安全工作规程；②没有严格执行工作票制度和监护制度。

(2) 擅自合闸。1980年1月23日，某市电机厂停电整修厂房，并悬挂了“禁止合闸！”的标示牌。但组长周某为移动行车便擅自合闸，此时房梁上的木工梁某（男，27岁）正扶住行车的硬母排导线，引起触电。当周某发现并立即切断电源时，梁双手也随即脱离母排并从3.4m高处摔下，经送医院抢救无效，于当夜死亡。

主要原因：①严重违反操作规程，擅自合闸通电；②有关高处作业的安全措施不落实，检查不严；③违反了高处触电急救的安全注意事项。

(3) 交接不清。1979年2月7日，某县水泥厂检修工周某（男，34岁，3级钳工）正在维修熟料提升机，操作工潘某午饭后回来打扫清洁，不问检修情况，便按动电钮清料，致使正在检修的周某被提升机挤死。

主要原因：①交接不清，管理混乱，劳动纪律松懈，违反安全规定；②开关处未悬挂



“禁止合闸!”标示牌。

(4) 误近高压线。1987年10月15日,某市大酒家一电工(男,26岁)运送铜管进店。管子过长,欲从三楼窗口送入,由于窗外有梧桐树且枝叶并茂,当他将铜管竖直时,因离马路上的高压线过近便放生发电,致双手触电连冒火花。他人急用木棒猛击铜管,方使触电者脱开电源。随即送医院后,只得锯掉双手双脚,造成终身残废。

主要原因:①违反安全规程,忽视必要的安全距离;②对周围环境未作仔细观察。

(5) 无联锁装置。1978年8月下旬的一个晚上,某化工厂机修车间有一女青工去更换60A胶盖开关的保险丝。换装后未盖胶盖她即把开关一合,只听轰的一声,瞬间短路将保险丝熔断,强烈电弧喷射她的双眼,从此双目失明。

主要原因:①违反安全规程,保险丝熔断既未查明原因,也未排除故障;②拉合开关时未能侧过身子,且双眼也不该正视;③大容量负荷开关未设联锁装置(能待未盖上开关盖就不能接通电源),操作人员违反规定未将胶盖盖上便合上开关。

(6) 二次电压触电。1983年8月的一天,天气炎热,某厂机修车间电焊房内,上午下班时发现某电焊工躺在2m多长的焊件上。紧握焊钳的右手,掌心一片灼黑,后腰有3cm长的电击点,由电击灼伤而导致死亡(当时在现场,从焊钳与焊件之间测出交流电焊机的二次电压为57V)。

主要原因:①违反安全规程,天气炎热身上又有汗水,操作人员未戴绝缘手套,未穿绝缘鞋,未戴头盔,导致带有汗水的右手与焊钳上的导体经右臂、上躯、后腰到焊件形成回路,使电焊机二次线圈的电流流经人体;②未在弧焊机上装设空载自动断电装置,放弧焊机二次线圈的电源未能自动切断。

(7) 配电板着火。1983年8月15日,某厂焊工车间有一木制动力配电板,其内三相熔丝完好,但运行中却突然冒烟着火。

主要原因:①管理混乱,违反规定,任意接线加大电力负载,使三相负荷的平衡遭到破坏;②其中一相严重过电流,将胶皮线烧焦并引起木制配电板着火;③对木制配电板未采取防火安全措施。

(8) 零线带电。某矿由6台柴油发电机组并列运行供电。在检修其中一台134kW柴油发电机组时,用汽油淋洗定子和转子线圈。突然“轰”的一声,发电机基础的滑轨上燃起熊熊大火,火焰高达2m,发生了严重的火灾事故。

主要原因:①违反规程的规定,发电机组负荷很不均衡,使零线对地电压竟高达180V;②检修中零线线端误碰发电机滑轨引起闪烁火花,点燃了正在淋洗过程中溅泼到发电机基础和滑轨上的汽油,引发了电气火灾。

## 第五节 触电紧急救护方法

### 一、触电会引起人体死亡的根本原因

触电一般是指人体触及带电体。如前所述,触电事故可分为电击与电伤(也称电灼伤)两种类型。所谓电击,是指电流通过人体内部,破坏人的心脏、呼吸系统与神经系统的正常功能,严重时危及生命(见图10-10);而电伤则是指由电流的热效应、化学效应

触电急救的基本原则是，应在现场对症地采取积极措施保护触电者生命，并使其能减轻伤情、减少痛苦。具体是：应遵循迅速（脱离电源）、就地（进行抢救）、准确（姿势）、坚持（抢救）的八字原则。同时应根据伤情需要，迅速联系医疗部门救治。尤其是对于触电后果严重的人员，急救成功的必要条件是动作要迅速，操作要正确。任何迟疑拖延和操作错误都会导致触电者伤情加重或造成死亡。此外，急救过程中要认真观察触电人的全身情况，以防止伤情恶化。

因此，电气工作人员，尤其是现场人员都应定期进行安技培训，学会并能熟练地施行正确的触电紧急救护方法。包括：解脱电源的方法、心肺复苏法、各种外伤（止血与包扎）的处理法，以及搬运转移伤员的方法等。

### 三、解救触电者脱离电源的方法

使触电者脱离电源，就是要把触电者接触的那一部分带电设备的开关、刀闸或其他断路设备断开；或设法将触电者与带电设备脱离（见图 10-11）。

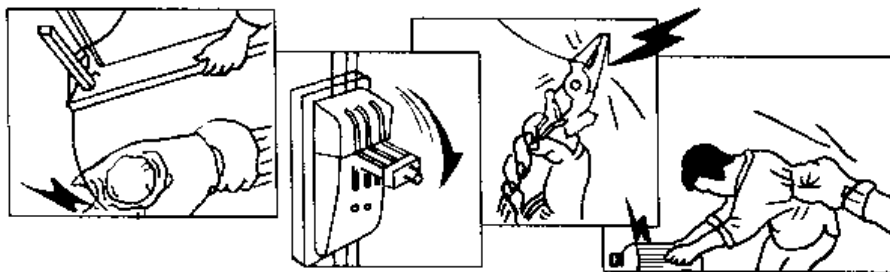


图 10-11 使触电者迅速脱离电源

#### （一）使触电者脱离电源的安全注意事项

- （1）救护人不得采用金属和其他潮湿的物品作为救护工具。
- （2）在未采取任何绝缘措施前，救护人员不得直接接触及触电者的皮肤和潮湿衣服。
- （3）在使触电者脱离电源的过程中，救护人最好用一只手操作，以防再次发生触电。
- （4）当触电者站立或位于高处时，应采取措施防止脱离电源后触电者的摔跌或坠落。
- （5）夜晚发生触电事故时，应考虑切断电源后的事故照明或临时照明，以利救护。

#### （二）使触电者脱离电源的具体方法

（1）触电者若是触及低压带电设备，救护人员应设法迅速切断电源，如拉开电源开关或刀闸，拔除电源插头等；或使用绝缘工具、干燥的木棒、木板、绳索等不导电的东西解脱触电者；也可抓住触电者干燥而不贴身的衣服，将其拖开（切记要避免碰到金属物体和触电者的裸露身躯）；也可戴绝缘手套或将手用于干燥衣物等包起后去拉触电者，或者站在绝缘垫与干木板上去拉，使触电者脱离电源。

（2）低压触电时，如果电流通过触电者入地，且触电者紧握电线，可设法用干木板塞进其身下，使触电者与地面隔开；也可用干木把斧子或有绝缘柄的钳子等将电线剪断（剪电线时要逐相一根一根地剪，并尽可能站在绝缘物或干木板上）。

（3）触电者若是触及高压带电设备，救护人员应迅速切断电源；或用适合该电压等级的绝缘工具（戴绝缘手套、穿绝缘靴并用绝缘棒）去解脱触电者（抢救过程中应注意保持自身与周围带电部分必要的安全距离）。

(4) 如果触电发生在杆塔上，若是低压线路，凡能切断电源的应迅速切断电源；不能立即切断时，救护人员应迅速登杆（束好安全带），用带绝缘胶柄的钢丝钳或绝缘物使触电者脱离电源。如系高压线路且又不可能迅速切断电源时，可用抛挂铁丝等金属短路线办法使电源开关跳闸。抛挂前要先将短路线一端固定在铁塔或接地引下线上，另一端系重物（抛掷时应注意，防止电弧伤人或引起断线危及人员安全）。

(5) 不论是高压或低压线路上发生的触电，救护人员在使触电者脱离电源时，均要预先注意防止发生高处坠落和再次触及其他有电线路的可能。杆上或高处触电者经急救脱离电源后，可采用如图 10-12 所示方法将其安全地放至地面或平台上。

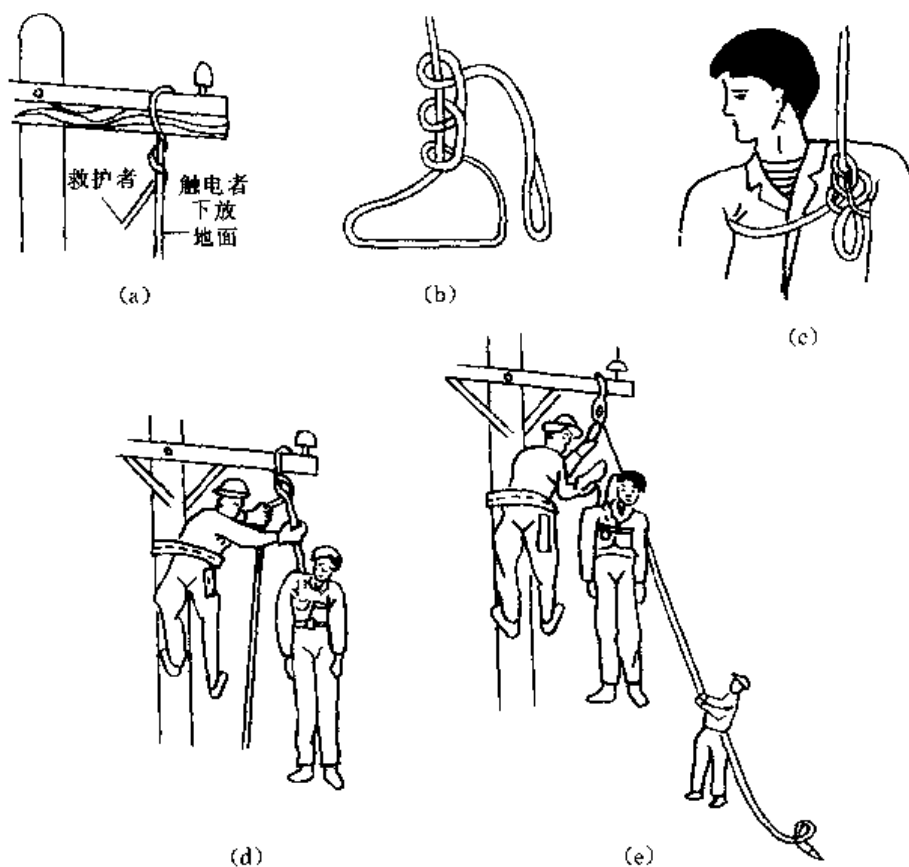


图 10-12 杆上或高处触电后下放地面的方法

(6) 若触电者是触及了断落在地上的带电高压线，在未确证线路无电且未做好安全措施（如穿绝缘靴等）之前，救护人员不得接近断线落地点 8~12m 范围内，以防跨步电压伤人（但可临时将双脚并拢蹦跳地接近触电者）。在使触电者脱离带电导线后，亦应迅速将其带至 8~12m 外并立即开始紧急救护。只有在确证线路已经无电的情况下，方可在触电现场立即就地进行对症救护。

#### 四、脱离电源后的现场救护

抢救触电者使其脱离电源后，应立即就近移至干燥与通风场所，要注意切勿慌乱和围观，并即分别不同情况进行现场对症救护。切记关键是判别情况与对症救护，这样方能使救护工作取得尽可能好的效果。

##### (一) 意识、呼吸与心跳情况的判定

进行，切不能消极地等待医生到来；在送往医院途中，也不应停止抢救。

## 五、假死状态的分类和判断方法

### (一)“假死”状态的分类

电击造成严重伤害时，主要表现为全身电休克所导致的“假死”状态，特别是电流通过心脏时所形成的心室纤维性颤动；电流过大还可引起心肌纤维断裂、凝固、变性；电流还可抑制中枢神经引起心跳与呼吸停止。此时触电者立即失去知觉，面色苍白，瞳孔放大（见图 10-14），心跳、呼吸停止。为便于对症处理，可将假死状态分成三种类型：

- 1) 心跳停止，但呼吸尚存在；
- 2) 呼吸停止，但心跳尚存在；
- 3) 心跳与呼吸全都停止。

对于有心跳无呼吸或有呼吸无心跳的情况（那只是暂时现象），若抢救迟缓一些，就会导致触电者心跳、呼吸全都停止，甚至造成真正死亡。

当心脏停止跳动时，人体的血液循环也就中断。呼吸中枢无血液供应时，就会丧失功能，所以呼吸也就会停止。同样，当呼吸停止时，对体内各组织便无法供氧，心脏本身的组织也会严重缺氧，故心脏也就会很快停止跳动。

触电造成“假死”，一般都是即时发生的；但也有个别情况，即会在触电后期（几分钟、几小时甚或几天）突然出现“假死”，进而导致死亡。

### (二) 假死状态的判断

触电者脱离电源后若出现昏迷，应尽快判明他是否处于假死及处于哪一类假死状态。因为只有先明确判断，才能及时地采取正确的急救措施。判断是否处于假死的简便办法是将脱离电源的触电者迅速移至通风、干燥处，让其仰卧并将上衣与裤带松开，然后：

(1) 依照前述看、听、试的方法迅速查明触电者是否呼吸与心跳。可由此判明是否处于假死状态，或究属第一种还是第二种“假死”类型。

(2) 迅即小心谨慎地用两指（姆指与食指，或食指与中指）掀开触电者眼睑，验看其瞳孔是否放大或开始放大。这是最主要、最快捷的判断方法。若观察到瞳孔已经放大（最大不超过 0.8cm），则说明已处于最严重的第三种“假死”状态。

由于人眼的瞳孔（俗称眼仁）是一个由大脑控制的能自动调节的光圈。若触电者大脑与细胞严重缺氧，整个自动调节系统的中枢神经便失去作用，瞳孔也就会自行放大。此时，说明已处于死亡边缘（但尚未真死；若瞳孔放大到 0.8~1.0cm 以上方为真死）。故瞳孔已放大者（<0.8cm），则说明已属最严重的一种“假死”状态。

通过以上检查，即可判断触电者是否确已处于“假死”状态及其所属类型。然后应迅即进行对症救治，以做到有的放矢。

## 六、抢救触电者生命的心肺复苏法

心肺复苏法包括人工呼吸法与胸外按压法两种急救方法。对抢救触电者生命来说，既至关重要又相辅相成，一般情况下两法要同时施行。因为心跳和呼吸互相联系，它们是人体存活的基本特征。心跳停止了，呼吸很快就会停止；呼吸停止了，心跳也维持不了多久。

正常的呼吸是由呼吸中枢神经支配的，由于肺的扩张和缩小，吸入氧气，排出二氧化



图 10-14 瞳孔放大的判别

碳，维持机体的正常生理功能。一旦呼吸停止，机体不能建立正常的气体交换，最后便导致人的死亡。人工呼吸法就是采用人工机械的强制作用维持气体交换，并使其逐步地恢复正常呼吸。

心脏是血液循环的发动机。正常的心脏跳动是一种自主行为，同时受交感神经、副交感神经及体液的调节。由于心脏的收缩和舒张，把氧气和养料输送给机体，并把机体的二氧化碳和废料带回。一旦心脏停止跳动，机体因血液循环中止，将缺乏供氧和养料而丧失正常功能，最后导致死亡。胸外心脏按压法就是采用人工机械的强制作用维持血液循环，并使其逐步地过渡到正常的心脏跳动。

触电后的“假死”现象，就是由于受工频电流的刺激，引起呼吸和心跳骤停而造成的。实践证明，多数呈现假死状态的人，可以通过及时而正确施行的人工呼吸和胸外心脏挤压这两种方法挽救生命并逐步恢复正常。

采用心肺复苏法进行抢救，以维持触电者生命的三项基本措施是：①通畅气道；②口对口（鼻）人工呼吸；③胸外心脏按压（人工循环或人工氧合）。

#### （一）通畅气道

（1）触电者呼吸停止时，最主要的是先要始终确保其气道通畅；若发现触电者口内有异物，则应清理口腔防阻塞（见图 10-15）。即将其身体及头部同时侧转，并迅速用一个或两个手指（交叉）从口角处插入以取出异物。操作中要注意防止将异物推向咽喉深部。



图 10-15 从口角处插入以取出异物



图 10-16 仰头抬颏法

（2）采用使触电者鼻孔朝天头后仰的仰头抬颏法（见图 10-16）通畅气道（即呼吸道）。具体做法是用一只手放在触电者前额，另一只手的手指将其下颌骨向上抬起，两手协同将头部推向后仰，此时舌根随之抬起，气道即可通畅（见图 10-17）。禁止用枕头或其他物品垫在触电者头下，因头部抬高更会加重气道阻塞，且使胸外按压时流向脑部的血流减少，甚至消失。

#### （二）口对口（鼻）人工呼吸

（1）在保持气道通畅的同时，救护人员再用放在触电者额上那只手指捏住其鼻翼，深深地吸足气后，与触电者口对口接合并贴紧吹气，然后放松换气，如此反复进行（见图 10-18）。开始时（均在不漏气情况下）可先快速连续而大口地吹气两次（每次用 1~1.5s）。经两次吹气后观察其胸部有无起伏状，同时测试其颈动脉（见图 10-19），若仍无搏动，便可判断为心跳已停止，此时应即同时施行胸外按压。

（2）除开始施行时的两次大口吹气外，此后正常的口对口（鼻）吹气量均不需过大



图 10-17 气道阻塞与通畅

(但应达 800~1200mL), 以免引起胃膨胀。施行速度约每分钟 12~16 次(即每次吹气与间隔为 4~5s); 对儿童则每分钟 20 次(即每 3s 吹气 1 次)。吹气和放松时, 应注意触电者胸部要有起伏状呼吸动作。吹气中如遇有较大阻力, 很可能是头部后仰不够, 气道不畅, 要及时纠正。

(3) 触电者如牙关紧闭且无法弄开, 可改为采用口对鼻人工呼吸。口对鼻人工呼吸吹气时, 要将触电者嘴唇紧闭以防止漏气。

施行口对口(鼻)人工呼吸法时, 国内亦有采用简易的 S 形通气管道的(见图 10-20)。即将 S 形通气管道一端插入触电者口腔内约 10cm (通气管总长 18~20cm), 救护人对准另一端吹气, 但应注意, 不论是直接吹气还是经管道吹气, 均要避免将触电者舌头推向后缩, 以防影响呼吸道的通畅。



图 10-18 口对口(鼻)人工呼吸法

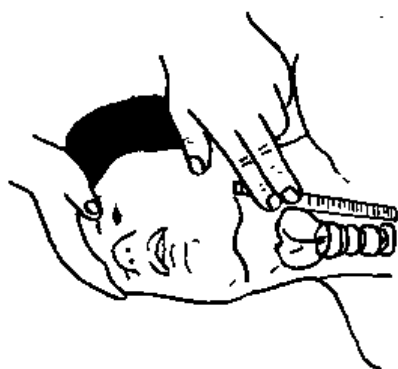


图 10-19 测试颈动脉

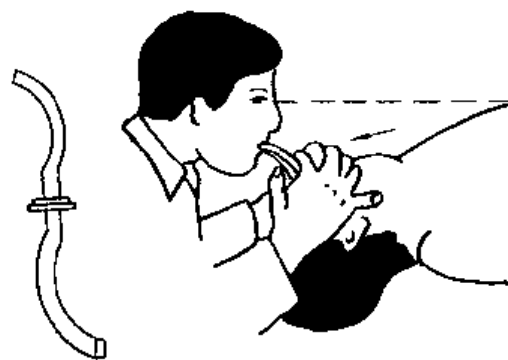


图 10-20 S 形通气管道及使用方法

### (三) 胸外心脏按压(人工循环)

(1) 正确的按压位置(称压区)是保证胸外按压效果的重要前提。确定正确按压位置的步骤是 [见图 10-21 (a)]:

- 1) 右手食指和中指沿触电者右侧肋弓下缘向上, 找到肋骨和胸骨接合处的中点。
- 2) 两手指并齐, 中指放在切迹中点(剑突底部), 食指平放在胸骨下部。

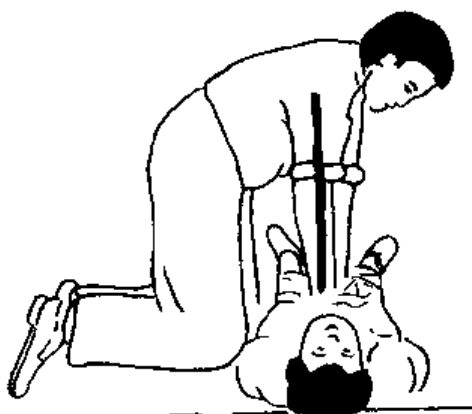


图 10-24 正确按压姿势

以免颈动脉受压，妨碍头部供血。

5) 若未触及到搏动，则表明心跳已停止。但注意要避免触摸感觉错误（如可能将自己手指的搏动感觉为触电者的脉搏）。

6) 判断应综合审定，如丧失意识再加上触不到脉搏，即可判定心跳已停止。

(3) 胸外按压的动作频率。

1) 胸外按压要平稳，不能冲击式地猛压。应以均匀速度有规律地进行，每分钟80次左右，每次按压和放松的时间要相等（各用约0.4s）。

2) 胸外按压与口对口（鼻）人工呼吸两法同时进行，其节奏为：单人抢救时，按压15次、吹气2次（15:2），如此反复进行；双人抢救时，每按压5次、由另一人吹气1次（5:1），轮流反复地进行（见图10-26）。

### 七、抢救触电者应注意的几个问题

#### (一) 施行救护时的注意事项

急救过程中可再测试触电者的颈动脉，看其是否搏动。由于颈动脉位置靠近心脏，容易反映心跳的情况。此外，因颈部暴露，便于迅速触摸，且易于学会与记牢。触试方法及注意事项如下：

1) 在气道通畅的情况下，于首次人工呼吸后进行。

2) 一手置于触电者前额，使头部保持后仰，另一手在靠近抢救者一侧触及颈动脉。

3) 可用食指及中指指尖先触及气管正中部位，男性可先触及喉结，然后向旁滑移2~3cm，在气管旁软组织处轻轻触摸颈动脉（见前图10-19）。

4) 检查时间不要超过10s。触摸时不能用力过大，

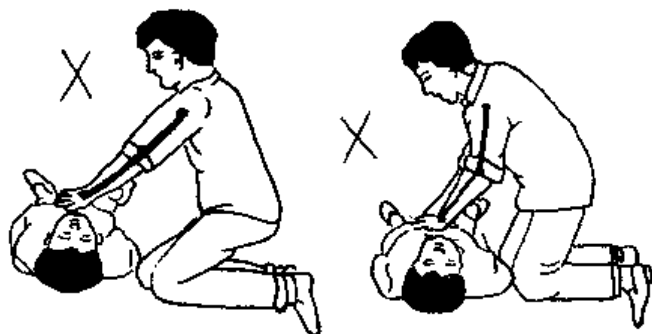


图 10-25 不正确按压姿势

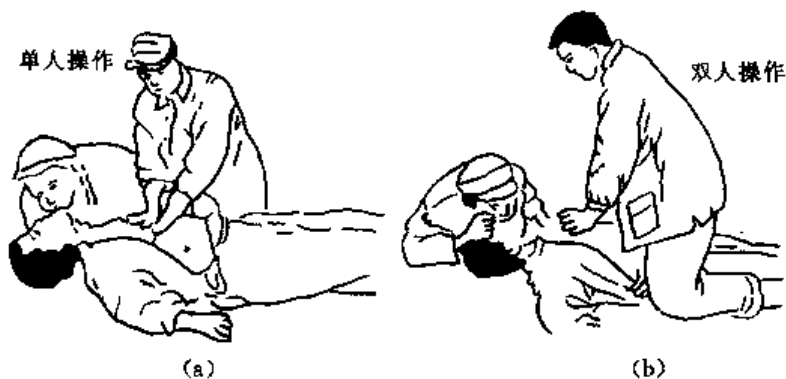


图 10-26 两法同时进行抢救

(a) 先吹气2次再挤压15次反复交替进行；  
(b) 每5s吹气1次每s挤压1次两法同时进行

### 1. 抢救过程中触电症状的再判定

(1) 施行心肺复苏法抢救触电者时,要随时注意其发生的变化。按压吹气 1 min 后(相当于单人抢时做了 4 个 15:2 压吹循环),应用看、听、试方法在 5~7s 内完成对触电者呼吸和心跳是否恢复的再判定。

(2) 若判定颈动脉已有搏动但无呼吸,则暂停胸外按压而再连续大口地吹气两次(每次 1~1.5s),接着可每 5s 吹气一次(即每分钟约 12 次)。如搏脉和呼吸均未恢复,则应继续坚持心肺复苏法抢救。

(3) 在整个抢救过程中,要每隔数分钟就进行一次再判定,且每次判定时间均不得超过 5~7s。在医务人员未接替抢救前,现场救护人员不得放弃现场抢救。

### 2. 抢救过程中伤员的移动与转院

(1) 心肺复苏应在现场就地坚持进行,不要为一时方便而随意移动触电者。如确有需要移动时,抢救中断时间不应超过 30s。

(2) 确需移动触电者或将其送医院时,除应使触电者平躺在担架上并在其背部垫以平硬阔木板外,在移动或送往医院过程中不应中断抢救;对心跳与呼吸停止者要继续施行心肺复苏法,在医务人员未接替救治前切不可中止。

(3) 应创造条件,用塑料袋装人砸碎冰屑包成帽状包绕在触电者头部,露出眼睛,使脑部温度降低,争取心、肺、脑能尽早地完全复苏。

### 3. 触电者伤情好转后的处理

(1) 如触电者的心跳和呼吸经抢救后均已恢复,可暂停心肺复苏法操作。但心跳呼吸恢复的早期有可能再次骤停,故要严密监护不能麻痹,要随时准备再次施行抢救。

(2) 初期恢复后,触电者会出现神志不清、精神恍惚,或者情绪躁动,应尽量设法使他保持平静和安静。

### 4. 紧急救护的其他注意事项

(1) 进行触电抢救时,对采用肾上腺素等药物(即注射所谓强心针)应持特别慎重态度,否则往往会出现适得其反的效果。

(2) 急救过程中若发现触电者皮肤由紫变红,瞳孔由大变小,说明已见效果;当触电者嘴唇稍有开合、眼皮活动或咽喉有咽物样动作,应观察呼吸和心跳是否恢复。除非触电者呼吸和心跳都已恢复正常,或是出现明显死亡症状(瞳孔散大无光照反应,背部四肢等出现红色尸斑,皮肤青灰身体僵冷)且经医生诊断时死亡时,方可中止救护。

(3) 对于昏迷、失去知觉或处于假死状态的触电者,在进行人工呼吸和胸外心脏按压的同时,还可配合祖国医学中宝贵的针灸疗法,如强刺人中、百会、内池、涌泉穴位或用粗针在人中、十宣、少泽、少商等穴位点刺出血,会有一定的辅助疗效。

(4) 触电后出现的神经麻痹、呼吸和心跳停止是由于电击造成的伤害,也是现场救护中要解决的主要矛盾。对于电伤和摔跌造成的局部外伤,现场救护中也应作适当处理,以防止细菌感染及摔跌骨折刺伤周围组织,减轻触电者痛苦和便于转送医院。

### (二) 发生在杆上或高处的触电急救

(1) 发现杆上或高处有人触电,应紧急呼救并争取时间及早从杆上或高处开始进行抢救。救护人员登高时要随身携带必要的工具、绝缘用具及牢固的绳索等。



(2) 救护人员应在确认触电者已与电源脱离、且自身所处位置的安全距离内已无电源时，方能接触触电者进行继续抢救，同时应注意防止发生高空坠落的可能。

(3) 对高处触电者的救护方法，具体是：

1) 触电者脱离电源后，应将其扶卧在自己的安全带上（或在适当的地方躺平），并注意尽量保持触电者的气道通畅；

2) 救护人员要迅速按前述方法判定触电者的意识（神志）、呼吸和心跳情况；

3) 如触电者呼吸停止，应立即口对口（鼻）吹气两次，再测试其颈动脉。如有搏动，则每 5s 继续吹气 1 次。若仍无搏动，可用空心拳叩击其心前区两次、力促心脏复跳。

(4) 为使高处触电抢救更为有效，应及早设法用绳索参照前图 10-12 所示方法，或采取其他有效措施迅速将其送至地面或平台上。

(5) 在将触电者由高处送至地面前，要再施行口对口（鼻）吹气 4 次。触电者送至地面后，应立即继续施行心肺复苏法并坚持抢救。

### (三) 救护触电者的其他科学方法

对触电者进行现场救护时，若有条件还可配合采用下列科学方法，使急救工作能取得尽可能好的效果：

(1) 新针疗法。祖国医学是一座伟大的宝库，尤其是针灸疗法对触电急救也有相当疗效。在对触电者进行人工呼吸与心脏挤压时，可以由医务人员配合使用中医新针疗法。引针的穴位有：人中、素髻、百会、风府、风池、郄门、内关、神门、中冲、少商、十宣、涌泉等（见图 10-27）。具体可根据触电者的不同情况选择适当穴位；行针时均采用强刺激法，即大幅度捻针、快插、快提，同时不留针；此外也可用稍粗的针在人中、十宣等穴位进行针刺放血。

(2) 强迫输氧。在对触电者施行人工呼吸的同时，可使用氧气口罩或氧气袋并施行一

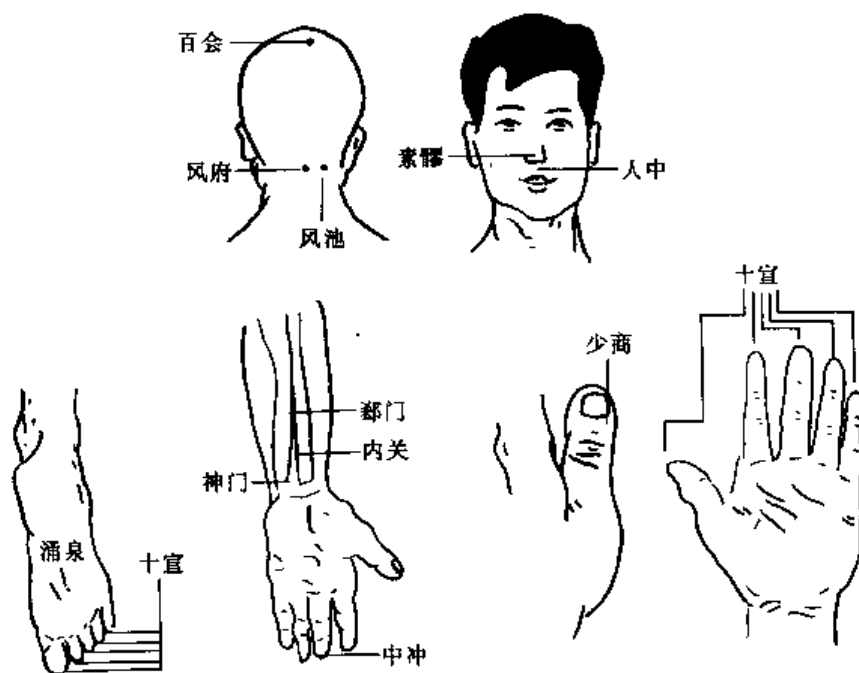


图 10-27 触电急救的针灸穴位图

定压力，强迫触电者吸入氧气和7%的二氧化碳混合气；此外，可再伴以胸外心脏按压等措施。这对于恢复触电者的正常呼吸与心跳机能很有好处。

(3) 注射兴奋剂。根据触电者的具体症状及发展情况，可以在有一定医疗条件的医院里，由医生于适宜时机对其注射适量的呼吸中枢兴奋剂，及有助于减轻或消除心脏室颤的兴奋剂（应注意，这类药物均需慎用），以帮助或挽救触电者逐渐恢复正常。

#### (四) 对触电者究竟能不能打强心针

通常所说的强心针仅是一种俗称，更有将其称为“救命针”的。事实上，对触电者急救时能否打强心针的问题，并不能一概而论。既不能认为它会促使心脏颤动更加恶化、从而加速死亡而严禁使用；也不应认为它一定具有救命作用便可随意注射（见图10-28）。



图 10-28 不要乱打强心针

实践证明，在急救时酌情使用适量的呼吸中枢兴奋剂（如尼可刹米、山梗茶碱等），以及除颤药剂（如利多卡因、普鲁卡因酰胺、溴苄胺等）能够取得有益效果。强心针剂药品有很多种，如盐酸肾上腺素、去甲肾上腺素、异丙肾上腺素等。据近代医学文献资料及有关试验验证，过去那种认为急救时若注射肾上腺素等药剂会促使心室颤动更趋恶化的观点是不尽正确的。相反，根据触电者具体情况，如其室颤系细颤动而非粗颤动时（心电图波形为锯齿波），适量注射此类药物或再伴用去颤器进行电除颤，可以收到降低心脏颤动频效、增大缩张幅度，从而促使心脏恢复正常跳动的效果。

可是，由于现场触电急救人员大都是非专业医务人员，对医学知识掌握不多；况且现场也没有专用的心电图设备来迅速辨别其室颤究属细颤还是粗颤。若盲目使用强心针，便会导致触电者立即死亡。因此，现场触电急救禁止使用强心针是有一定科学根据和现实意义的。国家卫生部和电力部早先曾联合颁发过这种禁令，即现场触电急救禁止使用强心针。以往由于很多地方（尤其在触电现场）一般都缺乏相当的医疗水平与条件，故规定对触电者不可注射强心针。特别是不问具体情况与病情进程，跑到现场就打所谓救命针那更是不可取的。

## 八、常见外伤的急救处理

### (一) 外伤急救处理的基本要求

在电气人员或其他工作人员万一发生触电的同时，伴随触电者受电击或电伤常会出现各种外伤，如皮肤创伤、渗血与出血、骨折、脑部外伤及电灼伤等。此外，电气工作人员（如外线巡线工、郊外变配电所值班人员等）在工作中或日常生活中，也会不幸发生或碰上其他外伤情况，如冻伤、动物咬伤及溺水等。工作人员在高温场所或盛夏酷暑以及有毒气体（包括煤气）场所，也容易发生高温中暑或有害气体中毒等伤害。因此作为电气人员，无论是电业线路工、变电工、城乡低压维修电工及变配电值班电工，均应能掌握多种常见外伤的紧急救护方法。

外伤急救处理的基本要求是：

(1) 外伤急救原则上是先抢救，后固定，再搬运，并注意采取措施，防止伤情加重或

感染。需要送医院救治的，应立即做好保护伤员措施后送医院救治。

(2) 抢救前应先使伤员安静地躺平，同时判断其全身情况和受伤程度，如有无出血、骨折和休克等。

(3) 若外部出血则应立即采取止血措施，防止失血过多引起休克。对外观无伤但呈休克状态及神志不清或昏迷者，要考虑胸腹部内脏或脑部受伤的可能性。

(4) 高压触电可能会造成大面积严重的烧伤，往往深达骨骼，处理很复杂。现场可先用无菌生理盐水冲洗，再用酒精涂擦，然后用消毒被单或布片包好急送医院处理。

(5) 为防止伤口感染，可用无菌生理盐水或清洁的温开水冲洗好，再用消毒纱布或清洁布片覆盖。救护人员不得用手直接接触伤口，也不准在伤口上随使用药。

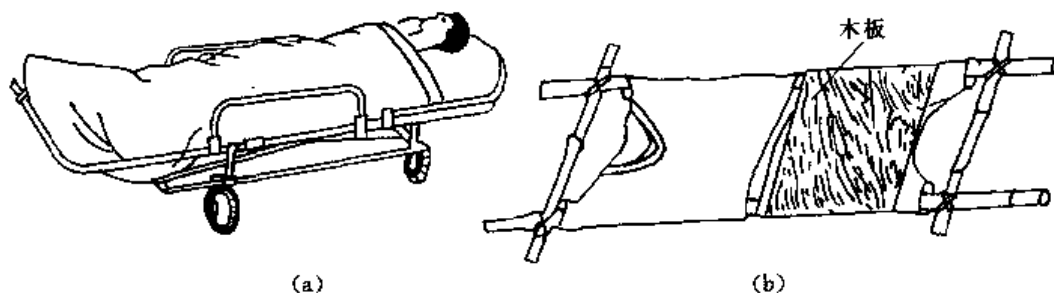


图 10-29 担架  
(a) 正式担架；(b) 临时担架

(6) 搬运时应使伤员平躺在担架上，且腰部也要束在担架上以防翻跌。若现场附近一时无法找到担架时，也可用竹（木）杆加衣、裤和木板做成临时担架（见图 10-29），严禁错误搬运（见图 10-30）。平地搬运时伤员头部在后，上、下楼或下坡时都要头部在上。搬运中应密切观察伤员，注意防止伤情突变。



图 10-30 错误搬运

## (二) 出血、骨折与颅脑外伤的救护方法

### 1. 伤口渗血或大量出血

伤口出血，以动、静脉出血危险性最大。动脉出血，血色鲜红且状如泉涌；静脉出血，血色暗红且持续溢了。人体总血量约 4000~5000mL 左右，若出血超过 1000mL，就可能引起心脏停跳而死亡。故要立即设法止血：

(1) 伤口渗血用较伤口稍大的消毒纱布数层覆盖伤口，然后进行包扎。若包扎后仍有较多渗血，可再加绷带适当加压止血。

(2) 伤口出血呈喷射状或有鲜红血液涌出时，应立即用清洁手指压迫出血点上方（近心脏那端），使血流中断。同时将出血肢体抬高或举高，以减少出血量。

(3) 用止血带或弹性较好的布带等止血时[图 10-31(a)]，应先用柔软布片或衣袖等数层垫在止血带下，然后扎紧止血带以使肢端动脉搏动刚好消失为度。上肢每 60min、下肢每

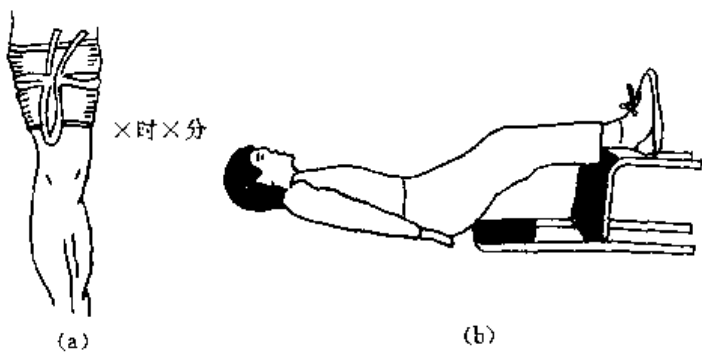


图 10-31 止血带包扎和抬高下肢  
(a) 止血带包扎；(b) 躺平并抬高下肢

80min 放松一次，每次放松 1~2min，且开始扎紧与每次放松的时间均应标明在止血带旁。扎紧时间不宜超过 4h。不要在上臂 1/3 处和腋窝下使用止血带，以免损伤神经。放松时观察若已无大量出血即可暂停使用。注意严禁用电源线、铁丝、细绳等作为止血带使用。

(4) 高处坠落、撞击、挤压后可能有胸腹内脏破裂出血。受伤者外观无出血但常表现为面色苍白，脉搏细弱，气促，冷汗淋漓，四肢厥冷，烦躁不安，甚至呈神志不清等休克状态。此时应将其迅速平躺并抬高下肢 [图 10-31 (b)]，同时要保持温暖并速送医院救治。若送院途中时间较长，可给伤员饮用少量糖盐水。

至呈神志不清等休克状态。此时应将其迅速平躺并抬高下肢 [图 10-31 (b)]，同时要保持温暖并速送医院救治。若送院途中时间较长，可给伤员饮用少量糖盐水。

## 2. 骨折急救

(1) 肢体骨折可用夹板或木棍、竹竿等将断骨上、下方两个关节固定 (图 10-32)，也可利用伤员身体进行固定，避免骨折部位移动，以减少疼痛，防止伤势恶化。对开放性骨折且伴有大量出血者，应先止血，再固定，并用干净布片覆盖伤口，然后速送医院救治。应注意，切勿将外露的断骨再推回伤口内。

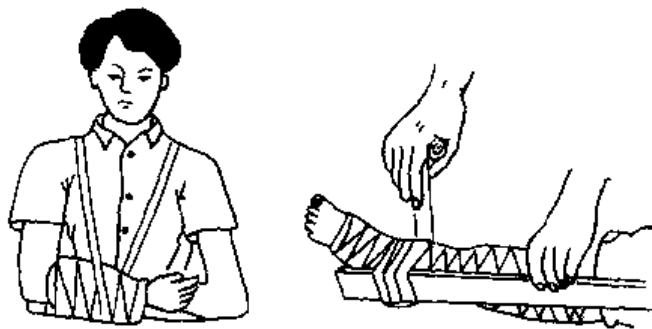


图 10-32 肢体骨折固定

(2) 若疑有颈椎损伤时，可在让伤员平卧后，再用沙土袋 (或其他代替物) 放置在头部两侧 [图 10-33 (a)]，使颈部固定不动。必须进行口对口呼吸时，只能采取抬颌方法使气道通畅，不应再将头部后仰或转动，以免引起截瘫或死亡。

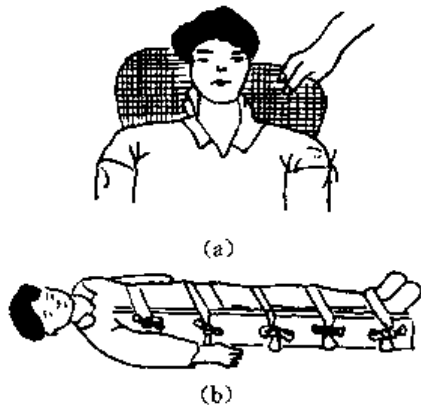


图 10-33 颈椎损伤和  
腰椎骨折急救  
(a) 颈椎损伤；(b) 腰椎骨折

(3) 发生腰椎骨折时，应将伤员平卧在平硬木板上，并将腰椎躯干及两侧下肢一并固定以预防瘫痪 [图 10-33 (b)]。搬动时要数人合作，保持平稳，不能扭曲。

## 3. 颅脑外伤

(1) 应使伤员采取平卧状态并保持气道通畅。若有呕吐，应扶好头部和身体，使头部和身体同时侧转，以防止呕吐物造成窒息。

(2) 耳鼻有液体流出时，不要用棉花堵塞，只可轻轻拭去，以利降低颅内压力。也不可用力挤捏鼻子来排除鼻内液体，或是将液体再挤入鼻内。

(3) 颅脑外伤时，病情可能复杂多变，要禁止给予饮食并速送医院进行救治。

### (三) 烧伤和冻伤的救护方法

#### 1. 烧伤急救

(1) 对电灼伤、火焰烧伤或高温气、水烫伤，均应保持伤口清洁。伤员的衣服鞋袜可用剪刀剪开后除去。伤口全部用清洁布片覆盖，防止污染。四肢烧伤时，先用清洁冷水冲洗，然后用清洁布片或消毒纱布覆盖送医院。

(2) 强酸或碱灼伤应立即用大量清水彻底冲洗，并迅速将被侵蚀的衣物剪去，为防止酸碱残留在伤口内，冲洗时间一般不少于10min。

(3) 未经医务人员同意，灼伤部位不宜敷搽药物或其他任何东西。

(4) 在送往医院途中，可给伤员多次少量口服糖盐水。

#### 2. 冻伤急救

(1) 冻伤会使肌肉僵直，严重者深及骨骼。在救护搬运过程中动作要轻柔，不要强使其肢体弯曲活动，以免加重损伤。还应使用担架，让伤员平卧，抬至温暖室内救治。

(2) 将伤员身上潮湿的衣服剪去后，再用干燥柔软衣物覆盖，注意不得烤火或搓雪。

(3) 全身冻伤者，呼吸和心跳有时十分微弱，此时切勿误认为已经死亡，应即全力抢救。

### (四) 溺水、中暑及气体中毒的救护方法

#### 1. 溺水急救

(1) 发现有人溺水后应设法迅速将其从水中救出。若溺水者呼吸与心跳已停止，则可用心肺复苏法坚持抢救。凡受过水中抢救训练者，在水中即可抢救。

(2) 施行口对口人工呼吸若因异物阻塞而发生困难、但又无法用手指除去时，可用两手相叠，置于脐部稍上正中线上（远离剑突）迅速向上猛压数次，挤出异物（如淤泥等），但也不可用力太大。

(3) 溺水死亡的主要原因是窒息缺氧。淡水在人体内能较快经循环而吸收，但人体气管能容纳的水量却很少，在抢救溺水者时不能因采用倒水教法而延误抢救时间，更不应仅是“倒水”而不采用心肺复苏法进行抢救。

#### 2. 高温中暑急救

(1) 烈日直晒头部、环境温度过高、饮水过少或出汗过多都可能会引起中暑现象，如恶心、呕吐、胸闷、眩晕、虚脱等。此时应即将其转移到阴凉通风处休息，再用冷水擦浴、湿毛巾覆盖身体、电扇吹风并及时给其口服盐开水。

(2) 中暑严重时，还可能会出现抽搐惊厥、甚至昏迷等症状。对严重的中暑患者，除要立即将其先移至阴凉通风处外，并应急送医院救治。

#### 3. 有害气体中毒急救

(1) 中毒开始时会有流泪、服痛、呛咳、咽部干燥等症状，应引起警惕。稍重时会出现头痛、气促、胸闷、眩晕，严重时还会引起惊厥与昏迷。对此，要立即将中毒者转移到通风处休息。抢救人员进入险区前，必须带好防毒面具。

(2) 在情况紧急又无防毒面具时，也可砸开门窗并暂用湿毛巾捂住口鼻、握住呼吸冲入现场将中毒者救出。同时迅速查明有害气体的种类与名称，以利于医院对症治疗。

(3) 在现场对已昏迷病员要保持气道通畅，有条件时可给予输氧。呼吸与心跳停止者，要立即施行心肺复苏法进行抢救，并速联系送往医院救治。

## 附录一 电工作业人员安全技术考核标准（GB 8833—88）

为了提高电工作业人员安全技术素质，实现安全生产，提高经济效益，特制定本标准。本标准对电工作业人员的从业条件和安全技术要求作了基本规定。本标准适用于在中华人民共和国境内的一切从事电工作业的人员。

### 1. 定义

#### 1.1 电工作业

是指从事发电、输电、变电、配电和用电装置的安装、运行、检修、试验等电工工作。

#### 1.2 电工作业人员

是指直接从事电工作业的技术工人、工程技术人员及生产管理人员。

#### 1.3 电力系统

是指电能的生产、输送、转换、分配的设备和装置的总组合体。

#### 1.4 用户受送电装置

是与电力系统供电网络有直接电联系的电气设备的组合体。

### 2. 电工作业人员的基本条件

#### 2.1 年满十八周岁。

#### 2.2 身体健康，无妨碍本职工作的病症和生理缺陷。

#### 2.3 具有不低于初中毕业的文化程度和本标准所规定相应的电工作业安全技术、电工基础理论和专业技术知识，并有一定的实践经验。

### 3. 培训、考核、发证、复审

#### 3.1 培训

##### 3.1.1 电工作业人员的安全技术培训，必须根据其工作岗位的要求，按本标准相应内容进行。培训时间不得少于八十学时。

##### 3.1.2 培训由劳动部门（或其指定的单位）和电业部门分别进行。电力系统和在用户受送电装置上从事电工作业的人员，由电业部门培训。

#### 3.2 考核

##### 3.2.1 培训期满后，由地、市及以上劳动部门（或其指定的单位）和电业部门分别按本标准的规定命题考核。

##### 3.2.2 考核分为安全技术理论和实际操作两部分。理论考核和实际操作都必须达到合格要求。考核不合格者，可进行补考；补考仍不合格者，须重新培训。

#### 3.3 发证

考核合格后，由地、市及以上劳动部门（或其指定的单位）和电业部门分别审核发证。取得操作证后方准独立作业。

### 3.4 复审

3.4.1 复审期限为一至两年一次。对脱离本岗位工作连续超过六个月以上者亦需进行复审。

3.4.2 复审不合格者，可在两个月内再进行一次复审；仍不合格者，收缴操作证。到期而未经复审者不得继续独立作业。

#### 3.4.3 复审内容

- a. 体格检查；
- b. 电工作业的安全理论知识和实际操作；
- c. 对事故责任者检查。

3.4.4 复审由考核发证部门或其指定的单位进行。

### 4. 考核内容

4.1 了解电气事故的种类、危险性和电气安全的特点、重要性。

4.2 了解电伤害的类型、构成原因和电流对人体的作用、触电事故发生的规律。

4.3 了解触电事故的处理方法。掌握现场触电急救方法。

4.4 了解我国安全电压等级。掌握安全电压的选用和使用条件。

4.5 了解绝缘、屏护、间距等防止直接电击的措施和绝缘破坏的原因、绝缘指标。掌握防止绝缘损坏的技术要求和基本的绝缘测试方法。

4.6 了解保护接地、保护接零，加强绝缘、电气隔离、不导电环境、等电位连接等防止间接电击的措施。掌握保护接地和保护接零的安全原理、应用范围、基本技术要求和安装、测试方法。

4.7 了解漏电保护装置的类型、原理和特性参数。掌握漏电保护装置的选择、使用及维护方法。

4.8 了解电气安全用具的种类、性能及用途。掌握其使用、保管方法和试验周期、试验标准。

4.9 根据本岗位的环境特点，了解潮湿、高温、易燃、易爆、导电性粉尘、腐蚀性气体或蒸汽、强电磁场、多导电性物体、金属容器、地沟、隧道、井下等环境条件对电气设备和安全作业的影响。掌握相应环境条件下的安全措施。

4.10 了解周围环境对电气设备安全运行的影响（如建筑物、施工搭架、烟囱、树木、挖掘、爆破作业等）。掌握相应的防止事故措施。

4.11 了解电气设备的过载、短路、欠压、失压、断相等保护的原理。掌握本岗位中电气设备保护方式的选择和保护装置的安装、调试技术。

4.12 掌握照明装置、家用电器、移动式电器、手持式电动工具及临时供电线路的安装、运行、检修、维护的安全技术要求。

4.13 掌握与电工作业有关的登高、机械、起重、搬运、挖掘、焊接、爆破等作业的安全技术。

4.14 掌握本岗位中电气设备的性能、主要技术参数及其安装、运行、检修、维护、测试等项工作的技术标准和安全技术要求。

- 4.15 了解电气装置的安全屏护和间距规定的要求。掌握在邻近带电设备或有可能产生感应电压的设备上工作时的安全技术。
- 4.16 了解带电作业的理论知识。掌握相应的带电作业操作技术和安全要求。
- 4.17 掌握低压配电装置的控制电器、保护电器、二次回路的安全运行技术。
- 4.18 了解静电的特点、危害和产生的原因。掌握静电防护的基本方法。
- 4.19 掌握本岗位电力系统结线图、设备编号、运行方式、操作步骤和事故处理程序。
- 4.20 掌握调度管理要求和用电管理规定。
- 4.21 掌握本岗位的现场运行规程和操作票制度、操作监护制度、巡回检查制度、交接班制度。
- 4.22 掌握电工作业中保证安全的下列组织措施和技术措施：
  - a. 工作票制度；
  - b. 工作许可制度；
  - c. 工作监护制度；
  - d. 工作间断制度；
  - e. 工作转移制度；
  - f. 工作终结和恢复送电制度；
  - g. 停电；
  - h. 验电；
  - i. 装挂接地线；
  - j. 悬挂标示牌、装设遮栏和开关加锁等。





## 二、开关跳闸记录

开关跳闸记录填写说明：

- (1) 凡因故障开关跳闸应作记录，重合不成，统计为二次故障，并累计之；
- (2) 每只开关应用专项记录，不得混在一起；
- (3) 保护动作情况应写得详细明白；
- (4) 开关经检修后，应写明检修日期、跳闸次数应从零开始计算；
- (5) 记录簿必须保持整洁、字迹清楚、记录要齐全。

开关跳闸记录格式见附表 2-2。

附表 2-2 开关跳闸记录

跳 闸 时 间				跳 闸 原 因	保 护 动 作 情 况	动 作 次 数	累 计 次 数	值 班 员	开 关 跳 闸 后 抢 修 日 期 及 工 作 负 责 人
月	日	时	分						

## 三、安全运行分析记录

安全运行分析记录填写说明：

- (1) 运行或操作中发生的不安全情况，如事故、未遂事故、异常运行、操作差错等的分析；
- (2) 分析两票三制的执行情况；
- (3) 分析运行中发现的缺陷，总结对缺陷的发现、判断和消除方面的经验；
- (4) 学习事故通报，根据事故教训对照本所实际，找出存在的问题，提出采取的对策；
- (5) 每次分析要记载参加人员、讨论内容、原因分析、防范措施、执行日期等；
- (6) 记录簿必须保持整洁、字迹清楚、记录要齐全。

安全运行分析记录格式见附表 2-3。

## 四、设备缺陷记录

设备缺陷记录填写说明：

- (1) 记录一、二次设备和辅助设备上存在的缺陷（包括油化电试不合格项目）；
- (2) 设备缺陷按其性质必须填明 I、II、III 类；
- (3) 设备缺陷必须由发现人填写并签名，然后填写缺陷通知单或电话报告工区。缺陷通知单应有编号，电话双方应有记录；
- (4) 设备缺陷消除后，由当值负责人注销，并写明消除日期；

- (5) 每单元各设备应用专页记录，不得混在一起；
  - (6) 记录簿必须保持整洁、字迹清楚、记录要齐全。
- 设备缺陷记录格式见附表 2-4。

附表 2-3

安全运行分析记录

年 月 日 星期

---

参加人员：

---

分析内容：

---

分析意见：

---

记录人：

附表 2-4

设备缺陷记录

年

页

发现日期		设备名称和 缺陷内容	缺陷性质	缺陷发现人	缺陷汇报		缺陷 消除日期	消除人
月	日				电话汇报何人	报告单编号		

五、历年来不安全及事故情况记录

历年来不安全及事故情况记录填写说明：

- (1) 凡本所发生的事故、障碍、严重未遂、异常情况 etc 不安全情况均应记录；
- (2) 应将经过情况详细记载，责任者应分清，原因分析要彻底，防范对策应具体，措施应落实到人；
- (3) 记录簿必须保持整洁、字迹清楚、记录要齐全。

### 七、避雷器动作及雷电活动记录

避雷器动作及雷电活动记录填写说明：

- (1) 每一组避雷器建立一张卡；
- (2) 每次雷雨时应记录起讫时间和雷电小时；
- (3) 每次雷雨后又应记录动作次数，且雷雨季节每月巡查记录一次；
- (4) 动作次数以累计记录，记录人应签名；
- (5) 记录簿必须保持整洁、字迹清楚、记录齐全。

避雷器动作及雷电活动记录格式见附表 2-7。

附表 2-7 避雷器动作及雷电活动记录

安装地点	运行时间	动作次数及相别			雷电活动情况	当值班班员
	年月日时分	A	B	C		

### 八、一次设备大小修记录

一次大小修记录填写说明：

- (1) 按单元各设备设专页作检修试验记录，不得混在一起；
- (2) 设备经大、小修，缺陷处理结束后，由工作负责人填写修试日期、内容、修试中发现的问题，和尚遗留的问题，并填写设备是否可以投运，工作负责人、当值负责人应签名；

(3) 记录簿必须保持整洁、字迹清楚、记录要齐全。

一次设备大小修记录格式见附表 2-8。

### 九、蓄电池维护记录

蓄电池维护记录填写说明：

- (1) 记录定期测试蓄电池的电压、比重等；
- (2) 详细记录每年一次或两次的核对性充放电情况；
- (3) 蓄电池存在的缺陷及消除情况；
- (4) 记录簿必须保持整洁、字迹清楚，记录要齐全。

蓄电池维护记录格式见附表 2-9。



附表 2-12

变电所反事故演习记录

\_\_\_\_\_变电所

日期： 年 月 日 第 号

演习开始时间 \_\_\_\_\_

演习终了时间 \_\_\_\_\_

演习地点 \_\_\_\_\_

参加演习人员和职称 \_\_\_\_\_

领导人 \_\_\_\_\_

监护人 \_\_\_\_\_

演习题目 \_\_\_\_\_

结论和对每一参加人员的单独评价（指出演习人员有哪些错误）：

其他意见：

根据演习结果而拟定的措施

编号	简要内容	执行人	期限	备注

领导人 \_\_\_\_\_（签章）

监护人 \_\_\_\_\_

附表 2-13

值班人员生产知识考问与讲解记录

\_\_\_\_\_变电所

日期	职称和姓名	考问讲解题目（问题）	补充内容	评价	主考人签字

十四、变电所值班人员考试记录

变电所值班人员考试记录格式见附表 2-14。

### 十六、变电所岗位交接验收评议记录

变电所岗位交接验收评议记录格式见附表 2-16。

附表 2-16

变电所岗位交接验收评议

变电所 年 月 日班次

项 目	序 号	内 容	✓ ×		说 明
			✓	×	
安 全 生 产	1	上班内发生的运行情况是否清楚（事故及异常情况）			
	2	运行方式、模拟图板是否对应			
	3	各种运行记录是否齐全、对应、正确和清楚			
	4	使用中的工作票及安全措施是否正确完备			
	5	执行后及遗留的操作票、任务票、是否正确、齐全			
	6	设备巡视及缺陷记录齐全、无遗漏			
	7	装置定期切换及定期安全检查是否进行			
	8	安全工器具及公用工具、程序锁钥匙是否齐全、对应			
	9	各种备品备件是否充足			
	10	消防器材外观是否完好无缺，按规定存放			
	11	上级的命令指示及有关通告是否清楚			
文 明 生 产	12	主控制室台、桌、椅整洁，地面清洁，报纸上架			
	13	各种资料、图纸存放整齐完好			
	14	继保室、休息室、地面清洁，被褥整齐			
	15	生产区、个人卫生包干区窗明几净、清洁整齐			
	16	生活间餐具齐全、铜台、水池、电源板干净整洁			
	17	着装整齐、值班标志配戴齐全			
	18	检修后场地清洁无杂物			
劳 动 纪 律	19	无人迟到、早退			
	20	无人喝酒、精神萎靡不振，无带病上岗，无故延班			
评议人签名		接班人员			交班值长
		交班人员			接班值长

## 附录三 变电所主设备缺陷的分类方法

**设备缺陷分类原则：**根据设备缺陷对安全运行构成的威胁程度区分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类。

**Ⅰ类缺陷：**对安全运行有严重威胁，短期内可能发生事故。视其严重程度应予紧急消除。

**Ⅱ类缺陷：**对安全运行有一定威胁。虽在短期内不可能发生事故，若长期不处理，即会逐渐增加对安全的威胁性，甚至发展为事故或缩短设备使用寿命。一般应有计划安排处理。处理期不宜拖延过长。

**Ⅲ类缺陷：**对安全运行威胁较小，应列入季、年度计划检修项目中进行处理。

### 一、变压器

#### 1. Ⅰ类缺陷

- (1) 绝缘油耐压不合格或酸值严重超标、有水分、气相色谱分析数据反映有明显隐患。
- (2) 电气预防性试验主要项目不合格。
- (3) 套管破损、裂纹、并有严重放电声。
- (4) 引线连接点或引线过热发红。
- (5) 测温装置全部损坏或失灵。
- (6) 主变强油循环工作冷却器缺少一半以上，主变自然循环风冷却设备冷却器部分失灵而影响出力者。
- (7) 散热器阀门堵塞。
- (8) 严重漏油或主变油位过低（低于厂家规定或变压器运行规定要求者）。
- (9) 有载调压开关指示异常，限位位置的闭锁，不可靠，接触电阻不符合规程规定。
- (10) 内部有异常响声。
- (11) 达不到铭牌出力。
- (12) 凡上述未列入而危及设备安全运行和人身安全的缺陷。

#### 2. Ⅱ类缺陷

- (1) 引线桩头螺丝松动连接处发热。
- (2) 绝缘油化学、电气性能不良，气相色谱数据分析可能有潜伏故障。
- (3) 温度指示准确，超温信号异常（失灵）。
- (4) 基础下沉。
- (5) 冷却设备不全，尚不影响出力。
- (6) 外壳接地不良。
- (7) 严重渗油。
- (8) 油面与温度监视线不对应。
- (9) 相色及标志编号名称不对齐。

#### 3. Ⅲ类缺陷

- (1) 外壳渗油污脏、脱漆或有轻微锈蚀。



- (2) 附件震动大。
- (3) 引线或接线桩头有严重电晕。
- (4) 场地不整。

## 二、断路器

### 1. I 类缺陷

(1) 开关本体的关键部件及性能（如套管、均压电容、回路电阻、绝缘提升杆、绝缘油、周期、分合闸速度及时间等），有一项与《电气设备预防性试验规程》和厂家标准相比悬殊较大者。

(2) 开关操作机构卡涩，运行中有拒合、拒分或误分误合的现象，液压机构的油压超出闭锁限额，油开关严重漏油，不能保证安全运行者。

(3) 液压操作机构油泵启动次数频繁超过制造厂规定值。

(4) 开关断流能力不能满足运行要求，又无保证安全运行的措施，额定电流小于负荷电流者。

(5) 故障跳闸已超过规定次数以及大修超周期六个月而未进行大修者。

(6) 操动机构箱封堵不严，又未采取防止小动物进入的措施，威胁安全运行者。

(7) 桩头引线过热发红。

(8) 分合闸电气和机械指示（三相）不一致。

### 2. II 类缺陷

(1) 引线断股、接地不符合要求，引线桩头螺丝松动或发热者。

(2) 机构指示失灵。

(3) 基础下沉或露筋、轻微剥落、杆有纵向裂纹。

(4) 开关本体或机构渗油较严重。

(5) 反措未完成但尚能满足目前运行条件者。

(6) 油面过高或过低者。

(7) 预试数据合格但与历史数据比较变化较大。

(8) 相色及标志编号名称不齐全。

(9) 低型布置的少油开关，遮栏不完整。

(10) 操作机构储能电机据坏。

### 3. III 类缺陷

(1) 外壳渗油污脏、脱漆或有轻微锈蚀。

(2) 引线或接线桩头有严重电晕。

(3) 机构箱内加热器失灵。

(4) 场地不整洁。

## 三、隔离刀闸

### 1. I 类缺陷

(1) 操作机构及闭锁失灵，接地不良。

(2) 预试不合格。

(3) 瓷件破损严重，有严重放电痕迹。

(4) 设备线头受力，严重变形者。

(5) 三相不同期，触头接触不良，刀口严重吃不足或开转角度不符合运行要求。辅助接点接触不良。

(6) 额定电流小于负荷电流者。

(7) 桩头引线过热发红。

## 2. I类缺陷

(1) 户内刀闸合闸后接触面积小于100%大于4/5，户外刀闸合闸后导电杆歪斜不在一直线上，但辅助接点闭锁装置良好。

(2) 引线连接松动发热。

(3) 瓷裙损伤在2 cm<sup>2</sup>以下。

(4) 室外刀闸触头防雨罩损坏。

## 3. II类缺陷

(1) 瓷柱、刀口脏污。

(2) 操作机构不灵活，缺锁或插锁脱落。

(3) 瓷裙损伤在1 cm<sup>2</sup>以下。

(4) 引线螺栓及其他金属部位有严重电晕。

# 四、互感器、耦合电容器

## 1. I类缺陷

(1) 互感器绝缘油不合格或气相色谱分析数据有明显隐患，电气预试不合格。

(2) 内、外部有严重响声，套管破损或有放电痕迹。

(3) 互感器漏油或油位异常。

(4) 引线桩头过热发红。

(5) 接地不良。

## 2. II类缺陷

(1) 一、二次接线桩头螺栓松动。

(2) 油位与温度监视线不对应。

(3) 瓷套有轻微破损但不会进水受潮。

(4) 渗油严重。

(5) 外壳接地不良。

(6) 熔丝配合不良。

(7) 基础下沉或露筋、剥落。

(8) 互感器绝缘油化学、电气性能不良，气相色谱数据分析可能有潜伏性故障。

(9) 相色及标志编号名称不齐全。

(10) 端子箱封堵不严，又未采取防止小动物进入的措施。

## 3. III类缺陷

(1) 外壳渗油污脏，脱落或轻微锈蚀。

(2) 引线与其他金属部件有严重电晕。

(3) 互感器凡反措未完成而运行，但预试、油质化验数据变化不大，尚能满足目前运

行条件者。

## 五、母线

### 1. I类缺陷

- (1) 接头过热发红，导线断股。
- (2) 电气试验不合格。
- (3) 每串绝缘子中零值破损瓷瓶数量大于运行标准。
- (4) 有悬挂物和杂物危及设备和人身安全。

### 2. II类缺陷

- (1) 悬挂物和杂物。
- (2) 绝缘子串中有零值瓷瓶。
- (3) 接头螺丝松动或发热。

### 3. III类缺陷

- (1) 设备外部脏污。
- (2) 震动过大。
- (3) 导线金具等部位有严重电晕。

## 六、防雷设备

### 1. I类缺陷

- (1) 接地电阻不合格。
- (2) 接地引线严重断裂，引线截面不合格或未与接地网相连接。
- (3) 避雷器预试不合格。
- (4) 瓷件破损、裂纹、飞弧。
- (5) 避雷针严重锈蚀，基础下沉、严重倾斜，有倾倒的危险。

### 2. II类缺陷

- (1) 接地引下线断股。
- (2) 试验超周期。
- (3) 避雷针歪斜过度、锈蚀较严重。
- (4) 避雷器泄漏电流增长过快。
- (5) 避雷器动作计数器失灵。

### 3. III类缺陷

- (1) 接地引下线或扁铁生锈。避雷针轻微生锈。
- (2) 标志不清。

## 七、直流设备

### 1. I类缺陷

- (1) 蓄电池极板严重弯曲、断裂、短路过热。
- (2) 蓄电池电解液不合格。
- (3) 蓄电池容器破损、渗漏。
- (4) 引线连接条断裂。
- (5) 蓄电池容量达到80%的额定容量。

- (6) 硅整流装置工作异常。
- (7) 储能电容器装置试验不合格。
- (8) 直流永久性接地或绝缘严重不良。
- (9) 直流系统电压异常且无法恢复正常。
- (10) 蓄电池室不防酸。
- (11) 无通风、保温、照明设施。

#### 2. II 类缺陷

- (1) 蓄电池极板弯曲变形、颜色不正常。
- (2) 蓄电池有大量沉淀物。
- (3) 蓄电池室加热通风设备不良。
- (4) 蓄电池达不到 80% 额定容量，但仍能满足开关合闸要求。
- (5) 蓄电池接线桩头轻微生盐。

#### 3. III 类缺陷

- (1) 蓄电池标志不清。
- (2) 蓄电池室照明不足。

及开关操作机构的保养；③抓电动机轴承加油等保养工作；④抓电气设备的保养与清洁，完善通风及冷却装置，半导体器件的清洁与更换劣化元器件；⑤以防雷、防雨、防漏为重点增加变配电所、线路及车间设备的巡视次数；⑥杆根培土加固。

## 6. 六月

气候特点：雨水多，雷电频繁，阵风，湿度大。

事故特点：①雷电危害频繁；②容易碰线或断线；③变配电系统及开关柜易发生接地事故；④人身事故开始增多。

预防措施：①结束变配电设备的检查、试验及更换不良设备的工作；②全面进行杆根检查；③复查线路下面的树木；④加强开关与刀闸的维护工作；⑤做好车间及变配所电缆沟排水设施的检查与清扫，复查防洪工作；⑥抓电动机轴承加油等保养及热继电器、过流继电器等的整定；⑦保护装置和监测装置的检查；⑧检查总结上半年大、小修工程完成情况；⑨开展安全教育。

## 7. 七月

气候特点：炎热，阵雷、阵风，台风。

事故特点：①雷害频繁；②出现水害；③出现风害；④人身事故多；⑤设备事故多，电动机、开关柜内元件及补偿电容器等易过热损坏，夏季负荷较重的变压器易过载；⑥半导体器件损坏率高。

预防措施：①加强对防雷装置的巡视；②加强洪水及台风期前后对杆根、拉线、导线的检查，加强变配电所的巡视和“四防一通”检查；③加强对变压器及油开关的油温和过载监视；④加强电气设备巡视，开关柜维护，对通风及冷却装置的检查；⑤加强人身安全教育及预防事故教育。

## 8. 八月

气候特点：炎热，雨水集中，洪水，台风，多雷。

事故特点：①水害与雷害多；②人身事故多；③同七月的④、⑤、⑥条。

预防措施：①洪水过后及时对杆根培土加固；②观察与调整架空导线的弧垂；③同七月的③、④、⑤条。

## 9. 九月

气候特点：秋高气爽，尚有阵雷。

事故特点：①雷害；②人身事故也多。

预防措施：①加强电气设备巡视，检查设备接点；②注意开关柜通风，检查冷却装置；③加强人身安全教育；④开展秋季安全大检查；⑤抓好国庆期间停电检修的准备工作。

## 10. 十月

气候特点：秋风大，干燥，天凉。

事故特点：①节日前后易发生安全事故；②易发生火灾；③有时出现风害。

预防措施：①抓国庆停电检修，包括：变压器、油开关油样试验；变配电所高、低压进出线接头紧固；油开关检修及电动机保养；②开关柜电气接头检查与紧固；③对保护装置和监测装置进行检查；④抓清除设备缺陷；⑤抓节日前后安全教育；⑥寒冷地区要做好设备的防冻工作；⑦做好迎接冬季高峰负荷的准备。

## 11. 十一月

气候特点：出现冰霜，开始寒冷。

事故特点：①绝缘子和套管易污闪；②因负荷增加，变配电设备接点易过热；②负荷重的电力变压器易过载。

预防措施：①撤除阀型避雷器；②加强配对变电设备的接头检查和对变压器与油开关的巡视；③总结防雷工作和制订明年防雷措施；④编制下一年度培训工作计划；⑤全面检查工程计划完成情况；⑥编制明年运行技术措施与组织措施计划。

## 12. 十二月

气候特点：寒流，天冷，冰冻。

事故特点：①开关机构易失灵、易结冰，接线端子易短路；②负荷重的电力变压器易过载；③变配电设备的接头易过热。

预防措施：①加强开关操作机构的检查；②加强对变压器与油开关的巡视和对变配电设备接头的检查；③加强对开关柜的维护及干燥工作，清扫接线端子；④抓好元旦检修的各项准备工作；⑤整理各种图纸资料；⑥总结本年度安全工作，安排明年安全工作计划。

## 附录五 高压进网作业电工实用资料及常用数据

### 一、常用电气文字符号（摘自 GB 7159—87）

常用电气文字符号见附表 5-1。

附表 5-1

常用电气文字符号

基本文字符号											
名称	新符号		旧符号	名称	新符号		旧符号	名称	新符号		旧符号
	单字母	双字母			单字母	双字母			单字母	双字母	
直流发电机	G	GD	ZF	断路器	Q	QF	DL	附加电阻器	R	RA	FR
交流发电机	G	GA	JF	隔离开关	Q	QS	GK	电容器	C		C
同步发电机	G	GS	TF	自动开关	Q	QA	ZK	电感器	L		L
异步发电机	G	GA	YF	转换开关	Q	QC	HK	电抗器	L		DK
水轮发电机	G	GH	SLF	刀开关	Q	QK	DK	起动的电抗器	L	LS	QK
汽轮发电机	G	GT	QLF	控制开关	S	SA	KK	感应线圈	L		GQ
励磁机	G	GE	L	行程开关	S	ST	CK	电线	W		DX
直流电动机	M	MD	ZD	限位开关	S	SL	ZK	电缆	W		DL
交流电动机	M	MA	JD	终点开关	S	SE	ZDK	母线	W		M
同步电动机	M	MS	TD	微动开关	S	SS	WK	避雷器	F		BL
异步电动机	M	MA	YD	脚踏开关	S	SF	TK	熔断器	F	FU	RD
笼型电动机	M	MC	LD	按钮开关	S	SB	AN	照明灯	E	EL	ZD
电枢绕组	W	WA	SQ	接近开关	S	SP	JK	指示灯	H	HL	SD
定子绕组	W	NS	DQ	电压继电器	K	KV	YJ	蓄电池	G	GB	XDC
转子绕组	W	WR	ZQ	电流继电器	K	KA	LJ	晶体管	V		BG
励磁绕组	W	WE	LQ	时间继电器	K	KT	SJ	电子管	V	VE	G
控制绕组	W	WC	KQ	频率继电器	K	KF	PJ	调节器	A		T
电力变压器	T	TM	LB	压力继电器	K	KP	YLJ	晶体管放大器	A	AD	BF
控制变压器	T	TC	KB	控制继电器	K	KC	KJ	电子管放大器	A	AV	GF
升压变压器	T	TU	SB	信号继电器	K	KS	XJ	磁放大器	A	AM	CF
降压变压器	T	TD	JB	接地继电器	K	KE	JDJ	压力变换器	B	BP	YB
自耦变压器	T	TA	OB	接触器	K	KM	C	位置变换器	B	BQ	WZB
整流变压器	T	TR	ZB	制动电磁铁	Y	YB	ZDT	温度变换器	B	BT	WDB
电炉变压器	T	TF	LB	牵引电磁铁	Y	YT	QYT	速度变换器	B	BV	SDB
稳压器	T	TS	WY	起重电磁铁	Y	YL	QZT	自整角机	B		ZZJ
电流互感器	T	TA	LH	电磁离合器	Y	YC	CLH	测速发电机	B	BR	CSF
电压互感器	T	TV	YH	电阻器	R		R	接线柱	X		JX
整流器	U		ZL	电位器	R	RP	W	连接片	X	XB	LP
变流器	U		BL	起动的电阻器	R	RS	QR	插头	X	XP	CT
逆变器	U		NB	制动的电阻器	R	RB	ZDR	插座	X	XS	CZ
变频器	U		BP	频敏电阻器	R	RF	PR	测量仪表	P		CB

辅助文字符号

名称	新符号	旧符号		名称	新符号	旧符号		名称	新符号	旧符号		名称	新符号	旧符号	
		单组合	多组合			单组合	多组合			单组合	多组合			单组合	多组合
高低	H	G	G	正	FW	Z	Z	交流	AC	JL	J	自动	A, AUT	Z	Z
升	L	D	D	反	R	F	F	电压	V	Y	Y	手动	M, MAN	S	S
降	U	S	S	红	RD	H	H	电流	A	L	L	起动	ST	Q	Q
主	D	J	J	绿	GN	L	L	时间	T	S	S	停止	STP	T	T
辅	M	Z	Z	黄	YE	U	U	闭合	ON	BH	B	控制	C	K	K
	AUX	F	F	直流	DC	ZL	Z	断开	OFF	DK	D	信号	S	X	X

## 二、常用电气图形符号（摘自 GB 4728）

常用电气图形符号见附表 5-2。

附表 5-2 常用电气图形符号

图形符号	名称及说明	图形符号	名称及说明
1. 基本符号			短路电流计算网络中的等值阻抗
	直流	2. 端子和导线的连接	
	交流		导线的连接点
	交直流		端子（必要时圆圈可画成圆黑点）
N	中性（中性线）		可拆卸的端子
	接地	形式1 形式2 	导线的连接
形式1 形式2 	接机壳或接底板	形式1 形式2 	导线的多线连接
	无噪声接地 （抗干扰接地）		导线的不连接（跨越）
	故障（用以表示假定故障位置）	3. 连接器件	
	闪络、击穿	形式1 形式2 	接通的连接片
	导线间绝缘击穿		断开的连接片
形式1 形式2 	导线对机壳绝缘击穿	4. 电缆附件	
	导线对地绝缘击穿		不需要示出电缆芯数的电缆终端头
	电阻	5. 内部连接的绕组	
	电抗		两个绕组 V 形（60°）连接的三相绕组
	阻抗		三角形连接的三相绕组
	感抗		开口三角形连接的三相绕组
	容抗		



续表

图形符号	名称及说明	图形符号	名称及说明
	星形连接的三相绕组	形式1 形式2 	电压互感器 (一般可使用变压器的有关符号)
	中性点引出的星形连接的三相绕组	8. 电阻器、电容器和电感器	
	曲折形或双星形互相连接的三相绕组		
6. 电机			电阻器一般符号
	一般符号中的 * 必须用下列字母代替: G—发电机; GS—同步发电机; MG—能作为发电机或电动机使用的电机; M—电动机; MS—同步电动机; CS—同步调相机 如需表示电压类别或绕组连接方式时, 可同时示出 交流~; 直流—; 星形连接Y; 三角形连接Δ; 星形连接且中性点引出Y		可变电阻器 可调电阻器
		滑动触点电位器	
	电容器一般符号		极性电容器
	可变电容器 可调电容器		电感器、线圈、绕组、扼流圈 注: 符号中半圆数目不作规定, 但不得少于3个
	交流发电机	示 例	
	交流电动机		
	直流电动机		带磁芯的电感器
	手摇发电机		磁芯有间隙的电感器
7. 变压器和电抗器		9. 变流器方框符号	
	铁芯 带间隙的铁芯		整流器
形式1 形式2 	双绕组变压器		桥式全波整流器
	三绕组变压器		逆变器
	自耦变压器 注: 对形式1可注出绕组连接, 对形式2可画出铁芯	10. 原电池和蓄电池	
形式1 形式2 	电抗器		原电池或蓄电池 (短线代表阴极, 为强调可画粗些)
形式1 形式2 	电流互感器		

续表

图形符号	名称及说明	图形符号	名称及说明
	蓄电池组或原电池组		旋钮开关、旋转开关（闭锁）
11. 开关装置和控制装置		13. 位置和限位开关	
形式1  形式2	单极开关 一般符号		位置开关、限制开关动合触点
单线表示  多线表示	多极开关 一般符号		位置开关、限制开关动断触点
12. 单极开关		14. 熔断器和熔断器式开关	
	接触器 在非动作位置 触点断开 在非动作位置 触点闭合		熔断器一般符号
	具有自动释放的接触器 （自动断路器）		熔断器式开关
	断路器	15. 避雷器	
	隔离开关		火花间隙
	负荷开关 （负荷隔离开关）		避雷器
16. 触点		16. 触点	
	手动开关的 一般符号	形式1  形式2	动合（常开）触点
	按钮开关 （不闭锁）		动断（常闭）触点
	拉拔开关 （不闭锁）		中间断开的双向触点 （小圆必须画出）

续表

图形符号	名称及说明	图形符号	名称及说明
	联动的开关 动合触点		快速继电器 (快吸和快放) 的线圈
	联动的开关 动断触点	18. 继电器、继电保护及自动装置	
形式 1  形式 2	当操作器件被 吸合时延时闭 合的动合触点		继电器或继电保护装置一般符 号。* 处应填写动作特征量、能量 流动方向、整定范围、返回系数及 延时符号
形式 1  形式 2	当操作器件被 释放时延时断 开的动合触点	示 例	
形式 1  形式 2	当操作器件被 释放时延时闭 合的动断触点		过电流继电器
形式 1  形式 2	当操作器件被 吸合时延时断 开的动断触点		电流继电器 (大于 5A 小于 3A 时动作)
形式 1  形式 2	当操作器件被 吸合时延时断 开的动断触点		差动保护
	热继电器的 动断触点		过电压保护
	非电量继电器触 点、液压或气压 控制型动合触点		接地保护
	液位控制型动合触点		气体继电器
17. 继电器、接触器线圈			自动装置一般符号。需表示某种 复杂的成套保护及自动装置时,* 处应写出装置具体型号
	操作器件 一般符号	19. 灯和信号器件	
	交流继电器的线圈		灯或信号灯一般符号,符号旁可 标注下列字母: RD (红)、YE (黄)、GN (绿)、BU (蓝)、WH (白)
	热元件		电喇叭
			电铃

### 三、电工常用法定计量单位及换算关系（摘自 GB 3102—84）

电工常用法定计量单位及换算关系见附表 5-3。

附表 5-3 电工常用法定计量单位及换算关系

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号	换算关系
长度	$l (L)$	米	m	1m=100 cm (厘米) =10000 mm (毫米)
时间	$t$	秒	s	1 h (小时) =60 min (分) =3600 s (秒)
重量, 质量	$m$	千克(公斤)	kg	1 t (吨) =1000 kg 1 磅 $\approx$ 0.4536 kg 1 盎司=28.3495 g
力 重力	$F$ $W (P, G)$	牛〔顿〕	N	1 kgf(千克力、公斤力) $\approx$ 9.81 N=1 tf(吨力) $=9.81 \times 10^3$ N
平面角	$\alpha, \beta, \gamma$ 等	弧度	rad	1° (度) = ( $\pi/180$ ) rad
面积	$A (S)$	平方米	m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> cm <sup>2</sup> =10 <sup>6</sup> mm <sup>2</sup>
体积	$V$	立方米	m <sup>3</sup>	1 L (升) =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> 1 加仑 (美) $\approx$ 4.5461 $\times$ 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
摄氏温度	$t, \theta$	摄氏度	℃	
能量 功 热	$E$ $W (A)$ $Q$	焦 (耳)	J	1 kW·h (千瓦小时) =3.6 $\times$ 10 <sup>6</sup> J 1cal (卡路里) $\approx$ 4.18 J 1kgf·m (千克力米) $\approx$ 9.81 J
压力 压强	$P$	帕 (斯卡)	Pa	1atm (标准大气压) $\approx$ 1.013 $\times$ 10 <sup>5</sup> Pa 1at (工程大气压) $\approx$ 9.81 $\times$ 10 <sup>4</sup> Pa 1mmHg (毫米汞柱) $\approx$ 133.322 Pa
转速	$n$	转每秒	r/s	1r/min (转每分) = (60) r/s
电流	$I$	安 (培)	A	1 A=10 <sup>-3</sup> kA (千安) =10 <sup>3</sup> mA (毫安)
电位 电压 电动势	$V, \varphi$ $U$ $E$	伏特	V	1 V=10 <sup>-3</sup> kV (千伏) =10 <sup>3</sup> mV (毫伏)
电阻	$R$	欧 (姆)	$\Omega$	1 M $\Omega$ = (兆欧) =10 <sup>6</sup> $\Omega$
电导	$G$	西 (门子)	S	
电感	$L, M$	亨 (利)	H	1 H=1000 mH (毫亨)
电容	$C$	法 (拉)	F	1 F=10 <sup>6</sup> $\mu$ F (微法) =10 <sup>12</sup> $\mu$ $\mu$ F (微微法)
频率	$f (\nu)$	赫 (兹)	Hz	1 MHz=10 <sup>3</sup> kHz (千赫) =10 <sup>6</sup> Hz
功率	$P$	瓦 (特)	W	1 HP (米制马力) $\approx$ 735.5 W 1 HP (电工马力) =0.746 kW
电荷量	$Q$	库 (仑)	C	
磁通量	$\Phi$	韦 (伯)	Wb	1 Mx (麦克斯韦) $\approx$ 10 <sup>-4</sup> Wb
磁感应强度	$B$	特 (斯拉)	T	1 Gs (高斯) $\approx$ 10 <sup>-4</sup> T
磁场强度	$H$	安(培)每米	A/m	1 Oe (奥斯特) $\approx$ (1000/4 $\pi$ ) A/m
光照度	$E$	勒 (克斯)	lx	
光通量	$\Phi$	流 (明)	lm	
光亮度	$L$	坎 (得拉) 每平方米	cd/m <sup>2</sup>	
发光强度	$I$	坎 (得拉)	cd	

#### 四、电工常用电路计算公式

电工常用电路计算公式见附表 5-4。

附表 5-4 电工常用电路计算公式

序	项 目	公 式	说 明
1	直流电路中电压、电流、电阻三者关系(欧姆定律)	$I = \frac{U}{R}$	$U$ ——电路两端电压 (V) $I$ ——电路电流 (A) $R$ ——电路电阻 ( $\Omega$ )
2	直流电路中的电功率	$P = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}$	$P$ ——电路电功率 (W)
3	等截面均匀导体的电阻	$R = \rho \frac{l}{s}$	$R$ ——导体电阻值 ( $\Omega$ ) $l$ ——导体长度 (m) $s$ ——导体截面积 ( $\text{mm}^2$ ) $\rho$ ——材料的电阻率 ( $\Omega \cdot \text{m}$ )
4	电阻与温度关系	$R_t = R_{20}[1 + a(t - 20)]$	$R_t$ ——导体在 $t^\circ\text{C}$ 时的电阻 $R_{20}$ ——导体在 $20^\circ\text{C}$ 时的电阻 $a$ ——导体电阻的温度系数 $t$ ——温度 ( $^\circ\text{C}$ )
5	电阻串联	$R = R_1 + R_2 + R_3$	$R$ ——电阻 ( $\Omega$ )
6	电阻并联	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$	
7	电阻混联	$R = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$ $R_2、R_3$ 并联后与 $R_1$ 串联	
8	交流电路中电阻、电感串联的阻抗值	$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ 其中 $X_L = 2\pi fL$	$Z$ ——阻抗 ( $\Omega$ ) $X_L$ ——感抗 ( $\Omega$ ) $X_C$ ——容抗 ( $\Omega$ ) $X$ ——电抗 ( $\Omega$ ) $L$ ——电感 (H) $C$ ——电容 (F) $f$ ——频率 (Hz) $\pi$ ——圆周率 ( $\approx 3.14$ )
9	电阻、电容串联的阻抗值	$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ 其中 $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$	
10	电阻、电感、电容串联的总阻抗值	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ $= \sqrt{R^2 + X^2}$ 其中 $X = X_L - X_C$	
11	阻抗串联	$Z = \sqrt{(R_1 + R_2 + R_3)^2 + (X_1 + X_2 + X_3)^2}$ $= \sqrt{R^2 + X^2}$ $R = R_1 + R_2 + R_3$ $X = X_1 + X_2 + X_3$ 注意: $Z \neq Z_1 + Z_2 + Z_3$	$R_1、R_2、R_3$ ——分电阻 ( $\Omega$ ) $X_1、X_2、X_3$ ——分电抗 ( $\Omega$ ) $Z_1、Z_2、Z_3$ ——分阻抗 ( $\Omega$ ) $Z$ ——总阻抗 ( $\Omega$ ) $R$ ——总电阻 ( $\Omega$ ) $X$ ——总电抗 ( $\Omega$ )
12	电容串联	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$	$C_1、C_2、C_3$ ——分电容 (F) $C$ ——总电容 (F)
13	电容并联	$C = C_1 + C_2 + C_3$	

续表

序	项 目	公 式	说 明
14	交流电路中电压、电流、阻抗三者关系	$I = \frac{U}{Z}$ $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	$U$ ——电路两端电压 (V) $I$ ——电路电流 (A) $Z$ ——电路的阻抗 ( $\Omega$ )
15	交流电路中的电功率	$P = UI \cos \varphi = I^2 R$ $Q = UI \sin \varphi = I^2 X$ $S = UI = I^2 Z$ $\cos \varphi = \frac{R}{Z} \quad \sin \varphi = \frac{X}{Z}$	$P$ ——有功功率 (W) $Q$ ——无功功率 (var) $J$ ——视在功率 (VA) $\cos \varphi$ ——功率因数
16	对称三相交流电路电功率	$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi$ $Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi$ $S = \sqrt{3} UI$	$U$ ——线电压 (V) $I$ ——线电流 (A) $\varphi$ ——相电压与相电流间的相位角差
17	三相交流电路中 线电压与相电压、 线电流与相电流 关系	角形 (D) 接法: $U = U_X, I = \sqrt{3} I_X$ 星形 (Y) 接法: $I = I_X, U = \sqrt{3} U_X$	$U, I$ ——线电压与线电流 $U_X, I_X$ ——相电压与相电流 (前述关系均指三相对称时)
18	交流并联电路的 总电流和电路的功 率因数角	$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + 2I_1 I_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}$ $\varphi = \text{tg}^{-1} \frac{I_1 \sin \varphi_1 + I_2 \sin \varphi_2}{I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2}$ $\varphi_1 = \text{tg}^{-1} \frac{X_1}{R_1}$ $\varphi_2 = \text{tg}^{-1} \frac{X_2}{R_2}$	$I$ ——并联电路总电流 $I_1$ ——第一分路电流 $I_2$ ——第二分路电流 $\varphi$ —— $I$ 与电压 $U$ 间的相角 $\varphi_1$ —— $I_1$ 与电压 $U$ 间的相角 $\varphi_2$ —— $I_2$ 与电压 $U$ 间的相角

### 五、汉语拼音字母、拉丁字母、希腊字母

汉语拼音字母、拉丁字母、希腊字母及其读音见附表 5-5。

附表 5-5 汉语拼音字母、拉丁字母、希腊字母及其读音

汉语拼音字母和拉丁字母的写法及读音							
字 母		读 音		字 母		读 音	
大 写	小 写	汉 语	拉 丁 语	大 写	小 写	汉 语	拉 丁 语
A	a	啊	爱	N	n	讷	呢
B	b	玻	比	O	o	喔	欧
C	c	雌	西	P	p	坡	批
D	d	得	低	Q	q	欺	克
E	e	鹅	衣	R	r	日	阿
F	f	佛	夫	S	s	思	斯
G	g	哥	基	T	t	特	梯
H	h	喝	去	U	u	乌	优
I	i	衣	哀	V	v	迂	维
J	j	基	哀	W	w	蛙	达
K	k	科	凯	X	x	希	不
L	l	勒	耳	Y	y	呀	溜
M	m	摸	姆	Z	z	资	歪
							贼

续表

(二) 希腊字母的写法及读音

字 母		读 音	字 母		读 音	字 母		读 音
大 写	小 写		大 写	小 写		大 写	小 写	
A	α	阿尔法	I	i	约塔	P	ρ	若
B	β	贝塔	K	κ	卡帕	Σ	σ	西格马
Γ	γ	嘎马	Δ	λ	兰姆达	T	τ	套
Δ	δ	德尔塔	M	μ	缪	T	υ	宇普西隆
E	ε	艾普西隆	N	ν	纽	Φ	φ	斐
Z	ζ	截塔	E	ε	克西	X	χ	喜
H	η	衣塔	O	ο	奥密克戎	Ψ	ψ	普西
Θ	θ	西塔	Π	π	派	Ω	ω	欧米嘎

注 字母读音的汉语音注供参考。

### 六、不同电压下电流与负荷的对应关系

不同电压下电流与负荷的对应关系见附表 5-6。

附表 5-6 不同电压下电流与负荷的对应关系

(一) A (安培) 与 kW (千瓦) 的换算

三相电路 cosφ 电 压	每安培 (A) 换算千瓦 (kW)				每千瓦 (kW) 换算安培 (A)			
	1.0	0.9	0.8	0.7	1.0	0.9	0.8	0.7
220V	0.381	0.343	0.304	0.266	2.63	2.92	3.28	3.75
380V	0.657	0.592	0.526	0.460	1.52	1.69	1.90	2.17
400V	0.692	0.623	0.554	0.484	1.45	1.61	1.81	2.06
6kV	10.392	9.353	8.314	7.274	0.0692	0.1069	0.1203	0.1375
6.3kV	10.912	9.820	8.729	7.638	0.0916	0.1018	0.1146	0.1309
6.6kV	11.431	10.288	9.145	8.002	0.0875	0.0972	0.1093	0.1250
10kV	17.32	15.59	13.86	12.12	0.0577	0.0642	0.0722	0.0825
35kV	60.62	54.56	48.50	42.43	0.0165	0.0183	0.0206	0.0236
110kV	190.5	171.5	152.4	133.4	0.0053	0.0058	0.0066	0.0075

(二) 与 1A 电流相当的电功率 (有功负荷) 数

电压	220 V	380 V	6 kV	10 kV	35 kV	60 (66) kV	110 kV	220 kV
电功率 (kW)	0.22	0.55	8.8	14.7	51.5	88.2 (97)	161.7	323.5
供记忆数 (kW)	0.2	0.5	10	15	50	90 (100)	150	300

注 1. 变电所运行人员值班时, 常需由电流读数估算负荷大小, 本表可供参考。

2. 220 V 单相线路取  $\cos\varphi \approx 1$ ; 380 V 及以上三相线路取  $\cos\varphi \approx 0.85$ , 并选易记之近似数整理, 以供记忆与估算负荷用。

### 七、变配电设备的安全距离规定

变配电设备的安全距离规定见附表 5-7。

附表 5-7

变配电设备的安全距离规定

(一) 室内配电装置 (cm)									
分 项 名 称	额 定 电 压 (kV)								
	0.4	1~3	6	10	15	20	35	60	110 <sup>②</sup>
带电部分至接地部分	2	7.5	10	12.5	15	18	30	55	85/85
不同相的带电部分之间	2	7.5	10	12.5	15	18	30	55	90/100
带电部分至遮栏	80	82.5	85	87.5	90	93	105	130	160/170
带电部分至网状遮栏	10	17.5	20	22.5	25	28	40	65	95/105
带电部分至板状遮栏	5	10.5	13	15.5	18	21	33	58	88/98
无遮栏裸导体至地(楼)面	230	237.5	240	242.5	245	248	260	285	315/325
无遮栏裸导体间的水平净距 <sup>①</sup>	187.5	187.5	190	192.5	195	198	210	235	265/275
出线套管至室外通路的路面	375	400	400	400	400	400	400	450	500/500

(二) 室外配电装置 (cm)

分 项 名 称		额 定 电 压 (kV)					
		0.4	1~10	15~20	35	60	110
带电部分至接地部分		7.5	20	30	40	65	90/100
不同相的带电部分之间		7.5	20	30	40	65	100/110
带电部分至遮栏		82.5	95	105	115	135	165/175
带电部分至网状遮栏		17.5	30	40	50	70	100/110
无遮栏裸导体至地面		250	270	280	290	310	340/350
不同时停电检修的、 无遮栏裸导体间的	水平距离	200	220	230	240	260	290/300
	垂直距离	100	100	100	100	135	175/185

① 指不同时停电检修情况。

② 110 kV 数值中,前者指中性点直接接地系统,后者指中性点不接地系统。

## 八、电气工程施工要领(歌诀)

### (一) 外线工程

设计验算架空线, 气象资料要详尽; 综合考虑诸因素, 再定杆位与线径。  
 线径线路和截面, 根据五年负荷定; 线路避开燃爆区, 尽量不越建筑群。  
 杆坑深度视杆长, 六分之一是通常; 拉力方向保原土, 杆坑挖成成长方。  
 截面选择是关键, 允许压降记心间; 低压不用单股线, 相线一半是零线。  
 导线排列有讲究, 各线弧垂须相同; 高压排成三角形, 低压排列是水平。  
 同杆架设低压线, 横担垂距要牢记; 厂区档距六十米, 低压线距四百毫。<sup>①</sup>  
 金具光洁无砂眼, 瓷瓶完整没伤痕; 铁担防腐要镀锌, 砼杆光滑无裂纹。  
 拉线夹角四十五。<sup>②</sup> 场地受限弓形线; 地桩埋深一米半, 拉棒直径十六圆。<sup>③</sup>

### (二) 变压器安装

容量选择要计算, 紧靠负荷中心按; 避免轻载或超载, 保证经济和安全。  
 设备安装要规范, 基础地脚早预埋; 宽面高压进向里, 窄面油枕总朝外。  
 外观检查要良好, 确保四米运输道; 轮距轨距应对准, 误差不可超十毫。  
 柱式台架二米半, 落地周围设护栏; 栏高不低一米半, 防止人畜往里钻。  
 引线截面超十六。<sup>④</sup> 勿忘应该选多股; 保护装置要齐全, 接地电阻低四欧。<sup>⑤</sup>



### (三) 电缆敷设

电缆运到先检查，	扭绞扁裂不能用；	敷设之前摇绝缘，	千伏以上打耐压。
电缆穿越障碍物，	钢管护罩防护好；	距离长短要量准，	切割时候谨防潮。
电缆埋深七百毫。 <sup>④</sup>	穿越农田一米深；	拐弯接头交叉处，	设立明桩好辨认。
电缆接地应紧固，	防腐处理刷均匀；	保护管口无毛刺，	弯曲半径相一致。
电缆净距有规定，	万伏以下一百毫；	沟内支架排列齐，	盖板齐全平整好。

### (四) 屏箱组装

基础型钢要坚牢，	高出地坪二十毫；	千分之一水平差，	最大不应差三毫。
震动场所须防震，	一般采用橡皮衬；	厚度不小十毫米，	确保仪表指示准。
耐压调试按规范，	盘面排列防凸凹；	倾斜误差尽量小，	允许万分之十五。
螺栓垫圈和螺帽，	均需镀锌或烧蓝；	二次接线齐准牢，	接地一定要可靠。
屏箱内外沟盖板，	平整稳固又齐全；	电缆孔洞应堵严，	防水防鼠做在前。

### (五) 母排施工

母线矫正要平直，	钢锯切割比较好；	排列接线应对称，	整齐美观不可少。
配线弯曲尽量少，	弯点距瓶一百毫；	立弯平弯扭转变，	记牢接近两倍半。
母线焊接要求高，	对口焊接齐又牢；	未冷之前动不得，	裂纹咬边不能要。
螺栓连接很重要，	两面接触要牢靠；	搭接长皮是线宽，	孔比螺栓大一毫。
接触两面研磨平，	螺栓拧紧要均匀；	过度氧化须铲除，	再涂中性凡士林。

### (六) 低压电器安装

电器设备诸元件，	规格性能要两全；	垂直水平细心找，	整齐装好无动摇。
端子排和连接片，	紧线螺栓与垫圈；	铝质铁质不能用，	不锈钢质方为好。
安装电磁接触器，	衔铁位置仔细调；	触头压力要适度，	防震消声不要少。
接线端子金属盘，	可靠绝缘最重要；	空气间隙三毫半， <sup>⑤</sup>	绝缘距离超六毫。
千伏以下支母线，	无论直流交流电；	十五毫米空气隙，	绝缘距离三十毫。
母线涂色和编号，	设备用途也要标；	施工过程应勤细，	碰撞刮漆重涂好。

### (七) 二次接线

按图接线要无误，	连接良好又牢固；	美观整齐加清晰，	导线绝缘损伤无。
测量信号和保护，	导线耐压五百伏；	自动手动都一样，	铜线截面一点五。 <sup>⑥</sup>
可动部分软线连，	造近端子要固栓；	电缆芯线和导线；	不得歪斜交叉连。
导线线芯不能伤，	绝缘套管来预防；	导线穿过金属板，	应加绝缘衬套管。
二次配线始末端，	编号标志双齐全；	线头变曲顺时针，	注意不可少垫圈。

### (八) 钢管配线

配套焊缝须平滑，	扁圆有眼不用它；	管壁棱刺清扫掉，	防锈涂漆很重要。
配管图纸仔细看，	施工方案记心端；	弯曲半径尽量大，	预制弯段不可扁。
管口切割要平直，	棱刺磨光是第一；	套丝连接质量好，	两端须焊跨接线。
管群出口一条线，	设计标高照实践；	防水防潮密封紧，	固定应在填土前。

### (九) 电动机安装

安装之前先查验，	基础装牢再接线；	外壳接地要牢靠，	阻值小子十欧姆。
----------	----------	----------	----------

续表

(二) 三相配电变压器熔丝(片)的选择

电 压 电 流 容量(kVA)	10000 V		6000 V		400 V	
	计算值 (A)	安装值 (A)	计算值 (A)	安装值 (A)	计算值 (A)	安装值 (A)
10	0.58	3	0.96	3	14.43	15
30	1.73	3	2.89	5	43.40	45
50	2.89	5	4.81	10	72.17	75
63	3.64	7.5	6.06	10	9.93	100
80	4.62	10	7.70	15	115.47	125
100	5.77	10	9.62	20	144.34	160
125	7.22	10	12.03	20	180.42	200
160	9.24	15	15.10	25	230.94	260
180	10.39	15	17.32	25	259.81	260
200	11.55	20	19.25	30	288.68	300
250	14.43	20	24.06	30	36.84	350
315	18.19	30	30.31	50	454.66	450
400	23.90	40	38.49	50	577.35	600

(三) 单相配电变压器熔丝(片)的选择

电 压 电 流 容量(kVA)	10000 V		6000 V		220 V	
	计算值 (A)	安装值 (A)	计算值 (A)	安装值 (A)	计算值 (A)	安装值 (A)
3	0.30	3	0.50	3	13.64	1
5	0.50	3	0.83	3	22.73	20
7.5	0.75	3	1.25	3	34.09	30
10	1.00	3	1.67	3	45.45	50
15	1.50	3	2.50	5	68.18	75
20	2.00	3	3.33	5	90.90	100
25	2.50	5	4.17	7.5	113.64	100
30	3.00	5	5.00	10	136.36	150
40	4.00	7.5	6.67	15	181.82	200
50	5.00	10	8.33	15	227.27	200
75	7.50	15	12.5	30	340.91	350
100	10.00	20	20.00	30	454.55	500

附表 5-9

各类接地电阻允许值的规定

序	电气装置名称	接地的电气装置特点	接地电阻 ( $\Omega$ )
1	1 kV 以上大 接地电流系统	仅用于该系统的接地装置	$R_{zd} \leq \frac{2000}{I_d}$ 当 $I_d >$ 4000 A 时 $R_{zd} \leq 0.5$
2	1 kV 以上小 接地电流系统	仅用于该系统的接地装置	$R_{zd} \leq \frac{250}{I_d}$ 且 $R_{zd} \leq 10$
3		与 1 kV 以下系统共用的接地装置	$R_{zd} \leq \frac{120}{I_d}$ 且 $R_{zd} \leq 10$
4	1 kV 以下系统	总容量在 100 kV A 以上的发电机或变压器相联的接地装置	$R_{zd} \leq 4$
5		上行装置的重复接地	$R_{zd} \leq 10$
6		与总容量在 100 kV A 以下的发电机或变压器相联的接地装置	$R_{zd} \leq 10$
7		上行装置的重复接地	$R_{zd} \leq 30$
8	引入线上装有 25 A 以下熔断 器的小容量线路 和电气设备	任何供电系统	$R_{zd} \leq 10$
9		高低压电气设备联合接地	$R_{zd} \leq 4$
10		电流互感器、电压互感器二次侧接地	$R_{zd} \leq 10$
11		电弧炉的接地	$R_{zd} \leq 4$
12		工业电子设备的接地	$R_{zd} \leq 10$
13	建筑物	第一类防雷建筑物（防直击雷）	$R_{c1} \leq 10$
14		第一类防雷建筑物（防感应雷）	$R_{c1} \leq 10$
15		第二类防雷建筑物（防直击雷、感应雷共用）	$R_{c1} \leq 10$
16		第三类防雷建筑物（防直击雷）	$R_{c1} \leq 30$
17		其他建筑物防雷电波沿低压架空线侵入	$R_{c1} \leq 30$
18	防雷设备	保护变电所的独立避雷针	$R_{c1} \leq 10$
19		杆上避雷器或保护间隙（在电气上与旋转电机无联系者）	$R_{c1} \leq 10$
20		杆上避雷器或保护间隙（但与旋转电机有电气联系者）	$R_{c1} \leq 5$

注  $R_{zd}$ 为工频接地电阻； $R_{c1}$ 为流经接地装置的单相短路电阻（ $\Omega$ ）； $I_d$ 为单相接地电容电流（A）。

附表 5-10

标示牌分类、规格及悬挂要点

名 称	悬挂处所	式 样		
		尺 寸 (mm)	颜 色	字 样
禁止合闸，有人工作！	一经合闸可送电到施工设备的断路器（开关）和隔离开关（刀闸）操作把手上	200×100 和 80×50	白底	红字
禁止合闸，线路有人工作！	线路断路器（开关）和隔离开关（刀闸）的把手上	200×100 和 80×50	红底	白字

续表

名 称	悬挂处所	式 样		
		尺 寸 (mm)	颜 色	字 样
在此工作!	室外和室内工作地点或施工设备上	250×250	绿底, 中有直径 210 mm 白圆圈	黑字, 写于 白圆圈中
止步, 高压危险!	施工地点临近带电设备的遮栏上; 室外工作地点的围栏上; 禁止通行的 过道上; 高压试验地点; 室外构架上; 工作地点临近带电设备的横梁上	250×250	白底红边	黑字, 有红 色箭头
从此上下!	工作人员上下的铁架、梯子上	250×200	绿底中有直径 210 mm 白圆圈	黑字, 写于 白圆圈中
禁止攀登, 高压危险!	工作人员上下的铁架临近可能上下的 另外铁架上; 运行中变压器的梯子上	250×250	白底红边	黑字

注 标志牌分3类, 即警告类(“止步, 高压危险!”); 允许类(“在此工作!”“从此上下!”); 禁止类(“禁止合闸, 有人工作!”“禁止合闸, 线路有人工作!”“禁止攀登, 高压危险!”)。

应按调度员的命令执行。

2) 部分停电的工作, 对安全距离小于附表 5-11 规定的未停电设备, 则应装设临时遮栏, 且其与带电部分的距离不得小于附表 5-11 规定。

附表 5-11 装设遮栏的要点

电压等级 (kV)	设备不停 电时的 安全距离 (m)	工作人员工作中正常 活动范围与带电设 备的安全距离 (m)
10 (13.8) 及以下	0.70	0.35
20~35	1.00	0.60
60~110	1.50	1.50
220	3.00	3.00

3) 临时遮栏可用干燥木材、橡胶或其他坚韧绝缘材料制成, 装设牢固, 并要悬挂“止步, 高压危险!”的标示牌。35 kV 及以下设备的临时遮栏, 如因特殊工作需要, 可用绝缘挡板与带电部分直接接触。但此种挡板必须具有高度绝缘性能, 符合《电业安全工作规程》中有关耐压试验的要求。

4) 在室内高压设备上工作, 应在工作地点两旁间隔和对面间隔的遮栏上和通行的过道上悬挂“止步, 高压危险!”的标示牌。

道上悬挂“止步, 高压危险!”的标示牌。

5) 在室外地面高压设备上工作, 应在工作地点四周用绳子做好围栏, 围栏上悬挂适当数量的“止步, 高压危险!”的标示牌, 标示牌必须朝向围栏里面。

6) 在工作地点悬挂“在此工作!”的标示牌。

7) 室外构架上工作, 应在工作地点邻近带电部分的横梁上悬挂“止步, 高压危险!”的标示牌, 此项标示牌在值班人员监护下, 由工作人员悬挂。在工作人员上下用的铁架或梯子上, 应悬挂“从此上下!”的标示牌。在邻近其他可能误登的构架上, 应悬挂“禁止攀登, 高压危险!”的标示牌。

8) 严禁工作人员在工作中移动或拆除遮栏、接地线和标示牌。

## 十二、常用电气绝缘工具试验周期与标准

常用电气绝缘工具试验周期与标准见附表 5-12。



附表 5-15

变电所第二种工作票

编号: \_\_\_\_\_

---

1. 工作负责人(监护人): \_\_\_\_\_ 班组: \_\_\_\_\_  
    工作班人员: \_\_\_\_\_

2. 工作任务: \_\_\_\_\_

---

3. 计划工作时间: 自 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日 \_\_\_\_\_ 时 \_\_\_\_\_ 分。  
    至 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日 \_\_\_\_\_ 时 \_\_\_\_\_ 分。

4. 工作条件(停电或不停电): \_\_\_\_\_

---

5. 注意事项(安全措施): \_\_\_\_\_

---

6. 许可开始工作时间: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日 \_\_\_\_\_ 时 \_\_\_\_\_ 分。  
    工作票签发人签名: \_\_\_\_\_  
    工作许可人(值班员)签名: \_\_\_\_\_ 工作负责人签名: \_\_\_\_\_

7. 工作结束时间: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日 \_\_\_\_\_ 时 \_\_\_\_\_ 分。  
    工作负责人签名: \_\_\_\_\_ 工作许可人(值班员)签名: \_\_\_\_\_

8. 备注: \_\_\_\_\_

---

---

#### 十四、安全方针精要和事故分类规定

##### (一) 安全生产方针精要

(1) “安全第一，预防为主”是1985年1月3日由当时的全国安全生产委员会正式确定的安全生产方针，并被写入了党的十二届五中全会决议；全国各行各业的领导和职工，在组织指挥、从事劳动的过程中，都必须坚持“安全第一、预防为主”的方针；它是经济持续、稳定、健康发展的基本保证，也是党和国家关心人民群众，爱护劳动者及保障其切身利益的具体体现。

(2) “安全第一”是安全生产方针的基础。安全生产是全国一切经济部门和生产企业的头等大事；“预防为主”是安全生产的核心，是实现安全生产的根本途径。只有把工作的立足点纳入“预防为主”的轨道，才能“防患于未然”，杜绝或减少事故的发生。

(3) 全体职工（尤其是电业职工及广大进网作业电工）必须贯彻“安全第一，预防为主”的方针，坚持保人身、保电网、保设备的原则，切实保障电力安全生产，更好地为用户服务，为提高各行各业及各类企业的经济效益、发展和壮大我国国民经济实力作出卓有成效的贡献。

##### (二) 各种事故的分类规定

###### 1. 企业职工伤亡事故

企业职工伤亡事故是指职工在劳动过程中发生的人身伤害、急性中毒事故。即职工在本岗位劳动，或虽不在本岗位劳动，但由于企业的设备和设施不安全、劳动环境和作业环境不良、管理不善或受企业领导指派到企业以外从事本企业活动所发生的人身伤害（如轻伤、重伤、死亡）和急性中毒事故。

小母线符号和回路标号

序号	小母线名称	原 编 号		新 编 号	
		文字符号	回路标号	文字符号	回路标号
(一) 直流控制、信号及辅助小母线					
1	控制回路电源	-KM, -KM		+	7001、7002
2	信号回路电源	-XM, -XM	701、702	+700, -700	708
3	事故音响信号 (不发通信号时)	SYM	708	M708	728
4	事故音响信号 (用于直流屏)	1SYM	728	M728	7271、7272、7273
5	事故音响信号 (用于配电装置时)	2SYM <sub>1</sub> 、2SYM <sub>2</sub> 、2SYM <sub>3</sub>	727 <sub>1</sub> 、727 <sub>2</sub> 、727 <sub>3</sub>	M7271、M7272、M7273	808
6	事故音响信号 (发通信号时)	3SYM	808	M808	709、710
7	预告音响信号 (瞬时)	1YBM, 2YBM	709、710	M709、M710	711、712
8	预告音响信号 (延时)	3YBM, 4YBM	711、712	M711、M712	7291、7292、7293
9	预告音响信号 (用于配电装置时)	YBM <sub>1</sub> 、YBM <sub>2</sub> 、YBM <sub>3</sub>	729 <sub>1</sub> 、729 <sub>2</sub> 、729 <sub>3</sub>	M7291、M7292、M7293	
10	控制回路断线预告信号	KDM <sub>1</sub> 、KDM <sub>2</sub> 、KDM <sub>3</sub>			
11	灯光信号	(-) XM	726	M726	726
12	配电装置信号	XPM	701	M701	701
13	闪光信号	(+) SM	100	M100	100
14	合闸	HM、-HM		+	
15	“信号未复归”光字牌	FM、PM	703、716	M703、M716	703、716
16	指挥装置音响	ZYM	715	M715	715
17	自动调整周波脉冲	ITZM, 2TZM	717、718	M717、M718	717、718
18	自动调整电压脉冲	ITYM, 2TYM	Y717、Y718	M7171、M7181	7171、7181
19	同步装置超前时间整定	ITQM, 2TQM	719、720	M719、M720	719、720
20	同步装置发送合闸脉冲	ITHM, 2THM, 3THM	721、722、723	M721、M722、M723	721、722、723
21	隔离开关操作闭锁	GBM	880	M880	880
22	旁路闭锁	1PEM, 2PEM	881、900	M881、M900	881、900
23	厂用电源辅助信号	+CFM, CFM	701、702	-701, -701	7011、7012
24	母线设备辅助信号	+MFM, -MFM	701、702	+702, -702	7021、7022

续表

序号	小母线名称	原 编 号		新 编 号	
		文字符号	回路标号	文字符号	回路标号
(二) 交流电压、同步和电源小母线					
25	同步电压 (运行系统)	TQM <sub>a</sub> 、TQM <sub>b</sub> 、TQM <sub>c</sub>	T621、T622	L1-621、N-621	A621、N621
26	同步电压 (待井系统)	1QM <sub>a</sub> 、1QM <sub>b</sub> 、1QM <sub>c</sub>	T611、T612	L1-611、N-611	A611、N611
27	自同步发电机残压	TQM <sub>d</sub>	A780	L1-780	A780
28	第一组或奇数母线段段的电压	1YM <sub>a</sub> 、1YM <sub>b</sub> 、1YM <sub>c</sub> 、 1YML <sub>a</sub> 、1SYM <sub>c</sub> 、YM <sub>N</sub>	A630、B630、C630、 L630、Sc630、N600	L1-630、L2-630、 L3-630、N-600	A630、B630、C630、 L630、S630、N600
29	第二组或偶数母线段段的电压	2YM <sub>a</sub> 、2YM <sub>b</sub> 、2YM <sub>c</sub> 、 2YML <sub>a</sub> 、2SYM <sub>c</sub> 、YM <sub>N</sub>	A640、B640、C640、 L640、Sc640、N600	L1-640、L2-640、 L3-640、N	A640、B640、C640、 L640、S640、N600
30	6~10kV备用线段的电压	9YM <sub>a</sub> 、9YM <sub>b</sub> 、9YM <sub>c</sub>	A690、B690、C690	L1-690、L2-690、 L3-690	A690、B690、C690
31	转角	ZM <sub>a</sub> 、ZM <sub>b</sub> 、ZM <sub>c</sub>	A790、B790、C790	L1-790、L2-790、 L3-790	A790、B790、C790
32	低电压保护	1DYM、2DYM、3DYM	011、013、02	M011、M013、M02	011、013、02
33	电源	DYM <sub>a</sub> 、DYM <sub>b</sub>		L1、N	
34	旁路母线电压切换	YQM <sub>c</sub>	C712	L3-712	C712

注 1. 表中交流电压、同步电压小母线的符号和标号，适用于电压互感器二次侧中性点接地、同步设备和接线采用单相式。扩建工程小母线的符号和标号一般按原工程接线配合。

2. 母线设备控制 (或继电器) 屏上有几级电压小母线时，可用以下标志加以区分：

6 或 10kV 系统为 1YM<sub>a</sub>-6~1YML-6 等；

35kV 系统为 1YM<sub>a</sub>-3~1YML-3 等；

110kV 系统为 1YM<sub>a</sub>-11~1YML-11 及 1SYM<sub>c</sub>-11 等；

220kV 系统为 1YM<sub>a</sub>-22~1YML-22 及 1SYM<sub>c</sub>-22 等；

330kV 系统为 1YM<sub>a</sub>-33~1YML-33 及 1SYM<sub>c</sub>-33 等；

500kV 系统为 1YM<sub>a</sub>-50~1YML-50 及 1SYM<sub>c</sub>-50 等。



## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998



## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998



## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998



## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998



## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)DL 408-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 2 中华人民共和国电力部. 电业安全工作规程(电力线路部分)DL 409-91. 北京: 水利电力出版社, 1991
- 3 中华人民共和国电力部. 电业生产事故调查规程 DL 558-94. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 中华人民共和国能源部. 电力工人技术等级标准(供用电部分). 北京: 水利电力出版社, 1993
- 5 水利电力部电力生产司. 用电管理培训教材. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 6 П. А. 依昂金主编. 电工学的理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1985
- 7 重庆电力技工学校主编. 电气设备. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 8 刘光源, 孟凡伦, 傅廷俊编. 内外线电工生产实习. 北京: 劳动人事出版社, 1988
- 9 谈潇天, 林迭文编著. 电工安全技术问答. 重庆: 科技文献出版社, 1986
- 10 通用教材编审委员会. 电工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 11 苏文成编. 工厂供电(高等学校教材). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 [日] 电力考试问题调查委员会. 电气人员试题精选 600 例. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 13 天津大学主编. 电力系统继电保护原理. 北京: 电力工业出版社, 1980
- 14 杨存葆主编. 农业电力拖动. 北京: 农业出版社, 1992
- 15 谈潇天, 李兰编. 农村电工技术问答. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 16 [日] 电气学会配电装置委员会. 工厂配电设计施工手册. 张新等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 17 西北电力设计院主编. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 18 电机工程手册编委会主编. 电机工程手册. 北京: 机械工业出版社, 1978~1980
- 19 东北电业管理局调度局编. 电力系统运行操作和计算. 北京: 水利电力出版社, 1977
- 20 上海电子电器技术协会主编. 常用低压电器手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1991
- 21 [日] 和田昱二等. 电气设备诊断技术及其自动化. 张家元等译. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 22 徐少强, 谈潇天编著. 供电企业管理. 北京: 科学技术出版社, 1991
- 23 华中工学院主编. 电力系统继电保护原理与运行. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 24 范鸣玉, 张莹编著. 最优化技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 25 谈潇天主编. 新编实用电气技术. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 26 俞丽华, 朱桐城编. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1992
- 27 中华人民共和国能源部. 进网作业电工培训教材. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992
- 28 谈潇天, 万载扬编著. 实用电气安全技术. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 29 徐少强, 谈潇天, 万载扬编著. 供电企业现代化管理手册. 北京: 中国电力出版社, 1997
- 30 杨存葆主编. 进网作业电工实用技术手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1998