

普通高等教育“十五”国家级规划教材
(高职高专教育)

电工技术实训教程

付植桐 主编
张永飞 孙惠芹 副主编

高等教育出版社

内容简介

本书是在教育部立项课题“高职高专教育电工课程教学内容体系改革、建设的研究与实践”的基础上，为适应高等职业教育迅猛发展的需要，培养面向生产、管理第一线的高级应用型技术人才编写的。

本书是高等职业院校机电类及相关专业学生必修的一门技能实训课。以强化基础，突出能力培养，注重实用为原则，并保证全书有一定的深度。本书上篇电工技术基础知识包括电气安全技术基础、常用电工工具和电工仪器仪表的使用、常用电工材料和电气元器件的选用、电工基本操作技能、电气图制图与读图、变压器、直流电动机与特殊电动机、继电-接触器控制线路分析及故障排除；下篇电工技能实训包括电工技能基础实训、电工技能综合实训，并配有思考题。

本书可作为高职高专院校电工技术实训教材，也可供自学者和技术人员参考。

图书在版编目(CIP)

电工技术实训教程/付植桐主编. —北京：高等教育出版社，2004.7

ISBN 7 - 04 - 014663 - 0

. 电 付 电工技术 - 高等学校：技术学校 - 教材 . TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字

策划编辑 孙 杰 责任编辑 许海平 封面设计 王凌波
版式设计 王艳红 责任校对 王 雨 责任印制

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100011	网 址	http: www.hep.edu.cn
总 机	010 - 82028899		

经 销 新华书店北京发行所
印 刷

开 本	787 × 1092 1/16	版 次	年 月第 1 版
印 张	19. 75	印 次	年 月第 次印刷
字 数	480 000	定 价	22.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

出版说明

为加强高职高专教育的教材建设工作，2000年教育部高等教育司颁发了《教育部关于进一步加强高职高专教育教材建设的若干意见》。按照《意见》提出的“出版500本左右高职高专教育规划教材”的目标，并将高职高专教育规划教材的建设工作分为两步实施：先用2至3年时间，在继承原有教材建设成果的基础上，充分汲取近年来高职高专院校在探索培养高等技术应用性专门人才和教材建设方面取得的成功经验，解决好高职高专教育教材的有无问题；然后，再用2至3年的时间，在实施《教育部关于高职高专教育教材建设内容与建设项目计划》的基础上，出版一批“教育部高职高专规划教材”。这些高职高专规划教材是依据1999年教育部组织制定的《教育部高职高专规划教材建设工作的第一步》。

2002年教育部确定了普通高等教育“十五”国家级教材规划选题，将高职高专教育规划教材纳入其中。“十五”国家级规划教材的建设将以“实施精品战略，抓好重点规划”为指导方针，重点抓好公共基础课、专业基础课和专业主干课教材的建设，特别要注意选择一部分原来基础较好的优秀教材进行修订使其逐步形成精品教材；同时还要扩大教材品种，实现教材系列配套，并处理好教材的统一性与多样化、基本教材与辅助教材、文字教材与软件教材的关系，在此基础上形成特色鲜明、一纲多本、优化配套的高职高专教育教材体系。

普通高等教育“十五”国家级规划教材
校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2002年11月30日

前 言

本教材编写是在完成教育部立项课题基础上，并参照教育部制定的教育出版社出版，由周定文、付植桐主编的

本教材是为适应高等职业教育迅猛发展的需要，以培养应用型人才为目标，以强化基础，突出能力培养，注重实用为原则。教材本着在学生掌握基本知识的基础上，强化操作技能和综合能力的培养。通过学习和实训，使学生既有看懂电路原理图的能力，又有正确选择合适的电路元器件，以实现某种功能的能力；既有安装简单电路的能力，又具有查找电路故障和维修的能力。本教材是高等职业院校机电类及相关专业学生学习

本教材包括电气安全技术基础；常用电工工具、电工仪器仪表的使用；常用电工材料和电气元器件的选用；电工基本操作技能；电气图制图与读图；变压器；直流电动机与特殊电动机；继电-接触器控制线路分析及故障排除；电工技能基础实训；电工技能综合实训等内容。

本教材编写特点：

1. 考虑课程的基础性和应用性，教材重点放在电工技术实训的基本知识和基本技能训练上，同时强化实训，介绍一些基本电路及其控制与故障检修。

2. 教材内容以工程实践中常用的和推广应用的技术所需的理论基础为主，通过实训来了解实际应用。实训中介绍一些实用电路。

3. 随着机电一体化技术发展，机和电已不可分割，而机电传动自动化都是由各种控制电机来实现的，教材中加强特种电机的介绍，以满足实际机电控制的需要。

4. 以高职高专教育为主线，侧重于培养学生解决实际生产问题的能力，在教材编写上以应用为目的，以必须够用为度，精选内容，强调概念，突出能力的培养，并保证全书有一定深度。

本教材由天津职业大学教师编写，其中付植桐编写第1、6章；罗月红编写第2、3章；邢朝明编写第4、5章；张永飞编写第7、8章；孙惠芹编写第9、10章，由付植桐负责全书的统稿工作。

天津大学周定文教授审阅了全书并对初稿提出了很多宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢。

由于时间紧迫和编者水平所限，书中难免存在一些问题，衷心希望读者批评指正。

编者

2004年2月于天津职业大学

目 录

上篇 电工技术基础知识

第1章 电气安全技术基础	3	2.2.7 指针万用表	33
1.1 用电安全概述	3	2.2.8 数字万用表	38
1.1.1 人身安全	3	2.2.9 兆欧表	41
1.1.2 设备安全	5	2.2.10 功率计	43
1.1.3 电气防火与防爆	5	2.2.11 瓦时计	45
1.2 触电及急救方法	6	2.2.12 直流电桥	50
1.2.1 触电种类、原因和形式	6	2.2.13 转速表	53
1.2.2 触电急救方法	7	2.2.14 手握式数字转速表	56
1.3 安全用电预防措施	8	小结	57
1.3.1 安全用电制度措施	8	思考题	57
1.3.2 安全用电技术措施	8		
1.4 接地与接零	10	第3章 常用电工材料和电气元器件的 选用	59
1.4.1 工作接地	10	3.1 常用电工材料	59
1.4.2 保护接地	11	3.1.1 常用绝缘材料	59
1.4.3 保护接零	12	3.1.2 常用导电材料	62
1.4.4 接地装置	13	3.1.3 常用磁性材料	67
小结	15	3.2 常用电气元器件的选用	70
思考题	15	3.2.1 电阻器	71
		3.2.2 电位器	74
第2章 常用电工工具和电工仪表的 使用	16	3.2.3 电容器	75
2.1 常用电工工具及其使用	16	3.2.4 电感器	79
2.1.1 通用电工工具	16	小结	80
2.1.2 专用电工工具	19	思考题	80
2.2 常用电工仪器仪表	22		
2.2.1 常用电工仪器仪表的一般知识	22	第4章 电工基本操作技能	82
2.2.2 电工测量仪表的选择、使用和 维护	24	4.1 常用导线的连接	82
2.2.3 常用电工仪表的工作原理	28	4.1.1 线头绝缘层的剥削	82
2.2.4 电流表	29	4.1.2 导线线头的连接	84
2.2.5 电压表	31	4.2 常用焊接技术	92
2.2.6 钳形电流表	32	4.2.1 电烙铁焊接工艺	92
		4.2.2 电烙铁的使用与维护	93

4.2.3 焊料与焊剂的选用及焊接要领	96	7.1.5 直流电动机的使用	157
4.3 拆焊技术	102	7.1.6 直流电动机的常见故障及处理方法	162
4.4 室内布线工艺	104	7.2 单相异步电动机	163
小结	108	7.2.1 基本结构	163
思考题	108	7.2.2 常用单相异步电动机型号介绍	165
第5章 电气图制图与读图	109	7.2.3 单相异步电动机的调速与正反转控制	166
5.1 电气图的制图	109	7.3 同步电机	167
5.1.1 绘制简图的基本要求	109	7.4 伺服电机	169
5.1.2 功能表图	112	7.4.1 交流伺服电机	169
5.1.3 电气图的作用、分类及绘制方法	116	7.4.2 直流伺服电机	172
5.2 电气图读图方法	122	7.4.3 直流力矩电机	173
5.2.1 读图要求和读图步骤	122	7.5 测速发电机	174
5.2.2 电力系统电气图读图基础	123	7.5.1 直流测速发电机	175
5.2.3 接线图和接线表	126	7.5.2 交流异步测速发电机	176
5.2.4 读图实例——电梯电气图	134	7.6 自整角机	177
小结	139	7.6.1 基本结构	178
思考题	139	7.6.2 工作原理	178
第6章 变压器	140	7.6.3 误差概述	180
6.1 变压器的基本知识	140	7.6.4 选用时应注意的问题及应用举例	180
6.1.1 变压器的分类与作用	140	7.7 步进电机	181
6.1.2 变压器的技术指标	140	7.7.1 工作原理	181
6.2 特种变压器及变压器产品	141	7.7.2 运行特性	184
6.2.1 电源变压器	141	7.7.3 驱动电源	187
6.2.2 自耦变压器	143	小结	188
6.2.3 电焊变压器	144	思考题	188
6.2.4 脉冲变压器	144	第8章 继电 - 接触器控制线路分析及故障排除	190
6.2.5 仪用互感器	144	8.1 低压电器	190
6.3 小型变压器的设计与制作	145	8.1.1 低压电器产品的分类、用途和产品型号含义	190
6.3.1 小型变压器的设计方法	146	8.1.2 低压刀开关	191
6.3.2 变压器线圈的绕制	148	8.1.3 低压熔断器	194
小结	150	8.1.4 低压断路器	198
思考题	150	8.1.5 主令电器	202
第7章 直流电动机与特殊电动机	151	8.1.6 接触器	204
7.1 直流电动机	151	8.1.7 继电器	208
7.1.1 直流电动机的基本结构	151	8.1.8 电磁起动器	214
7.1.2 直流电动机的工作原理	152	8.1.9 凸轮控制器	217
7.1.3 直流电动机的铭牌和分类	154		
7.1.4 直流电动机的运行特性	155		

8.1.10 电磁铁	219	8.3 典型机械设备电气控制线路分析	246
8.1.11 低压电器常见故障与排除	221	8.3.1 电气控制线路分析与故障处理	246
8.2 三相异步电动机基本控制电路	225	8.3.2 CW6140 车床控制线路分析及故障处理	249
8.2.1 三相异步电动机的正转、点动及两地控制	225	8.3.3 Z3040 摇臂钻床控制线路分析及故障处理	251
8.2.2 三相异步电动机正反转控制	228	8.3.4 X62W 铣床控制线路分析及故障处理	253
8.2.3 三相异步电动机的顺序控制及时间控制	230	8.3.5 M7120 型平面磨床控制线路分析及故障处理	259
8.2.4 双速异步电动机高低速控制	233	小结	262
8.2.5 电液控制	235	思考题	262
8.2.6 电动机的保护	238		
8.2.7 基本控制线路安装及故障排除	241		

下篇 电工技能实训

第 9 章 电工技能基础实训	267	9.9 三相异步电动机的使用和起动	287
9.1 基尔霍夫定律的验证	267	9.10 异步电动机继电 - 接触器控制的基本电路	292
9.2 戴维宁定理和诺顿定理的验证	269		
9.3 电压源与电流源的等效变换	272	第 10 章 电工技能综合实训	298
9.4 日光灯电路	274	10.1 常用电工仪表的使用	298
9.5 RL 交流参数测量	277	10.2 导线连接	300
9.6 三相交流电路电压、电流的测量	279	10.3 三相异步电动机顺序控制	301
9.7 三相电路的功率的测量	281	10.4 三相异步电动机 - 起动控制电路	303
9.8 单相变压器	283		
参考文献	306		

上篇

电工技术基础知识

第1章

电气安全技术基础

随着我国社会主义经济体制改革的不断深入和社会主义市场经济制度的不断向前推进，我国国民经济呈现出高速稳定的发展态势。与此同时，电的应用也越来越广泛。电，一方面造福人类，给人类的生活和生产带来很大方便；另一方面，又对人类构成威胁。在用电过程中，必须特别注意用电安全，如果稍有麻痹或疏忽，就可能造成严重的人身触电事故或者引起火灾和爆炸。

1.1 用电安全概述

用电安全包括人身安全和设备安全两方面。人身安全是指人在用电过程中避免触电事故的发生，触电主要是电流对人体造成的危害，是电气事故中最为常见的。

1.1.1 人身安全

人身安全是指人在生产与生活中防止触电及其他电气危害。电流对人体伤害的严重程度与通过人体电流的大小、频率、持续时间、通过人体的路径及人体电阻的大小等多种因素有关。

1. 电流大小

通过人体的电流越大，人体的反应就越明显，感应就越强烈，引起心室颤动所需的时间就越短，对人致命的危害就越大。

对于工频交流电，按照通过人体电流的大小和人体所呈现的不同状态，大致分为下列三种：

感觉电流：指引起人的感觉的最小电流。实验表明，一般成年男性的平均感觉电流约为 1.1 mA，成年女性约为 0.7 mA。

摆脱电流：指人体触电后能自主摆脱电源的最大电流。实验表明，一般成年男性的平均摆脱电流约为 16 mA，成年女性约为 10 mA。

致命电流：指在较短的时间内危及生命的最小电流。实验表明，一般当通过人体的电流达到 30 ~ 50 mA 时，中枢神经就会受到伤害，使人感觉麻痹，呼吸困难。如果通过人体的工频电流超过 100 mA 时，在极短的时间内人就会失去知觉而导致死亡。

2. 频率

一般认为 40 ~ 60 Hz 的交流电对人最危险。随着频率的增加，危险性将降低。高频电流不

仅不伤害人体，还能治病。

3. 通电时间

通电时间越长，人体电阻因多方面的原因会降低，导致通过人体的电流增加，触电的危险性亦随之增加。引起触电危险的工频电流和通过电流的时间关系可用下式表示

$$I = \frac{165}{t}$$

式中：I——引起触电危险的电流(mA) t——通电时间(s)

4. 电流路径

电流通过头部可使人昏迷，通过脊髓可能导致瘫痪，通过心脏会造成心跳停止及血液循环中断，通过呼吸系统会造成窒息。因此，从左手到胸部是最危险的电流路径，从手到手、从手到脚也是很危险的电流路径，从脚到脚是危险性较小的电流路径。

5. 人体电阻

人体电阻包括内部组织电阻
定，角质层越厚，电阻就越大。人体电阻一般约为 1 500 ~ 2 000
800 ~ 1 000)

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。

6. 电压的影响

从安全的角度看，确定人体触电的安全条件通常不采用安全电流而是用安全电压，因为影响电流变化的因素很多，而电力系统的电压是较为恒定的。电压对人体的影响及允许接近的最小安全距离如表 1.1 所示。

表 1.1 电压对人体的影响及允许接近的最小安全距离

接触时的情况		可接近的距离	
电压	对人体的影响	电压	设备不停电时的安全距离
10	全身在水中时跨步电压界限为 10 V/m	10 及以下	0.7
		20 ~ 35	1.0
20	湿手的安全界限	44	1.2
30	干燥手的安全界限	60 ~ 110	1.5
50	对人的生命无危险的界限	154	2.0
100 ~ 200	危险性急剧增大	220	3.0
200 以上	对人的生命发生危险	330	4.0
3000	被带电体吸引	500	5.0
1000 以上	有被弹开而脱险的可能		

1.1.2 设备安全

设备安全是指电气设备、工作设备及其他设备的安全。设备安全主要考虑下列因素：

1. 电气装置安装的要求

总开关、闸刀开关都不能倒装，如果倒装，就有可能自动合闸，使电路接通，这时如果有人正在检修电路很不安全。

不能把开关、插座或接线盒等直接装在建筑物上，而应安装木盒；否则，如果建筑物受潮，就会造成漏电事故。

2. 不同场所对使用电压的要求

不同场所，对电气设备或设施的安装、维护、使用以及检修等方面都有着不同的要求。按照触电的危险程度，可将它分为以下几类：

无高度触电危险的建筑物，例如，住宅、公共场所、生活建筑物、实验室、仪表装配楼、纺织车间等。在这种场所中，各种易接触到的用电器、携带型电气工具的使用电压不超过220 V。

有高度触电危险的建筑物，例如，金工车间、锻工车间、电炉车间、泵房、变配电所、压缩机站等。在这种场所中，各种易接触到的用电器、携带型电气工具的使用电压不超过工频36 V。

有特别触电危险的建筑物，例如，铸工车间、锅炉房、染化料车间、化工车间、电镀车间等。在这种场所中，各种易接触到的用电器、携带型电气工具的使用电压不超过工频12 V。在矿井和浴池之类的场所，在检修设备时，常使用专用的工频12 V或24 V工作手灯。

我国的安全电压值规定是工频36 V、24 V和12 V三种。

1.1.3 电气防火与防爆

各种电气设备的绝缘物质大多属于易燃物质。运行中导体通过电流要发热，开关切断电流时会产生电弧，短路、接地或设备损坏等也可能产生电弧及电火花，这都可能将周围易燃物引燃，造成火灾或爆炸。

1. 电气设备造成火灾和爆炸的主要原因

电气设备选型与安装不当，如在有爆炸危险的场所选用非防爆电机、电器，在存有汽油的室中安装普通照明灯，在有火灾与爆炸危险的场所使用明火，在可能发生火灾的设备或场所中用汽油擦洗设备等，都会引起火灾。

设备故障引发火灾，如设备的绝缘老化、磨损等造成电气设备短路；设备过负荷电流过大引发火灾，如电气设备规格选择过小，容量小于负荷的实际容量，导线截面积选得过小，负荷突然增大，乱拉电线等。

2. 电气火灾的灭火

当发生电气火灾时，首先要尽快切断电源，防止火情蔓延和灭火时发生触电危险。还要尽快使用通信工具报警，所有工作人员平时要学习、掌握简单的灭火常识。

灭火人员不可使身体及手持的灭火器碰到带电的导线或电气设备，否则有触电危险。

1.2 触电及急救方法

1.2.1 触电种类、原因和形式

人体因触及带电体而承受过高的电压，电流流过人体对人体造成伤害，严重时可引起心脏和呼吸骤停，也就是人的血液循环和呼吸功能突然停止而引起死亡的现象称为触电。人体是导体，一旦有电流通过时，将会受到不同程度的伤害。由于触电的种类、方式及条件的不同，受伤的后果也不一样。

1. 触电种类

人体触电有电击和电伤两类：

电击是指电流通过人体时所造成的内伤，它可以使肌肉抽搐，内部组织损伤，造成发热、发麻，神经麻痹等，严重时将引起昏迷、窒息，甚至心脏停止跳动而死亡。通常说的触电就是电击，触电死亡大部分由电击造成。

电伤主要是指电对人体外部造成的局部损伤，包括电流的热效应、化学效应、机械效应以及电流本身作用下造成的人体外伤。常见的有灼伤、烙伤和皮肤金属化等现象，严重时也可能致命。

2. 触电事故产生的原因

发生触电事故的主要原因有：

缺乏用电常识，触及带电的导线。

没有遵守操作规程，人体直接与带电体部分接触。

由于用电设备管理不当，使绝缘损坏，发生漏电，人体碰触漏电设备外壳。

高压线路落地，造成跨步电压引起对人体的伤害。

检修中，安全组织措施和安全技术措施不完善，接线错误，造成触电事故。

其他偶然因素，如人体受雷击等。

3. 触电形式

如图 1.2.1 所示，这是常见的触电形式。人体的某一部分接触带电体的同时，另一部分又与大地或中性线相接，电流从带电体流经人体到大地。分是三相四线制，单相对地电压 220 V，若触及是很危险的。

如图 1.2.2 所示，人体的不同部分同时接触两相电源时造成的触电，对于这种情况，无论电网中性点是否接地，人体所承受的线电压

若架空电力线

中，以导线触地点为中心，构成电位分布区域，越接近中心，地面电位也越高。电位分布区域一般在 15 ~ 20 m 的半径范围内。当人畜跨进这个区域，两脚之间出现的电位差称为跨步电压。在这种电压作用下，电流从接触高电位的脚流进，从接触低电位的脚流出，从而形成触电，如

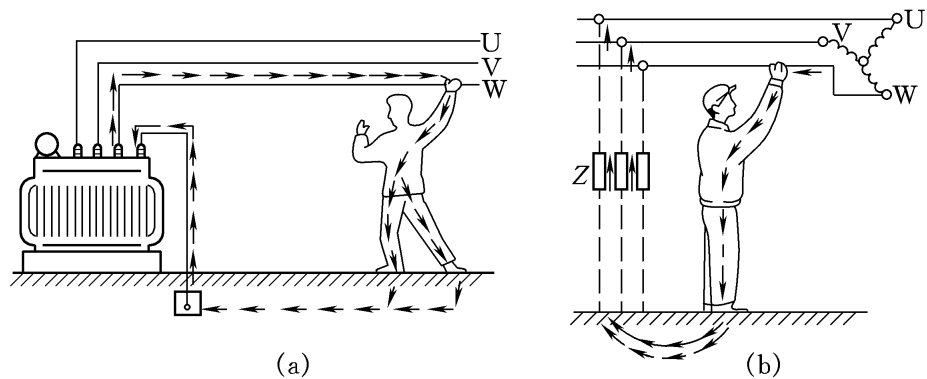


图 1.2.1 单相触电

图 1.2.3 所示。此时人应该将双脚并在一起或用单脚着地跳出危险区。

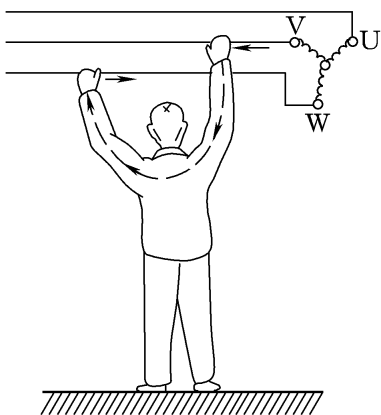


图 1.2.2 两相触电

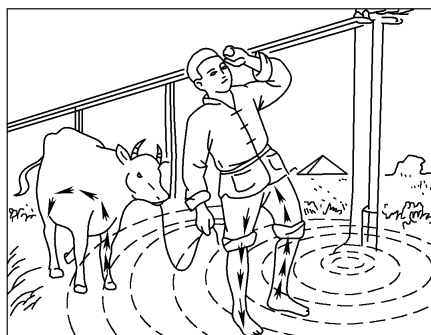


图 1.2.3 跨步电压触电

电力线接地后，除存在跨步电压外，如人体直接碰及带电导线，将会产生接触电压的直接触电，这是十分危险的。

1.2.2 触电急救方法

1. 解脱电源

人在触电后可能由于失去知觉或超过人的摆脱电流而不能自己脱离电源。此时抢救者不要惊慌，要在保护自己不被触电情况下使触电者脱离电源，方法如图 1.2.4 所示。

2. 触电的急救方法

人的生命的维持，主要靠心脏跳动而产生血循环和通过呼吸而形成的氧气与废气的交换。如果触电人受伤较严重，失去知觉，停止呼吸，但心脏微有跳动时，应采用口对口的人工呼吸法。

若触电人受伤得相当严重，心脏和呼吸都已停止，人完全失去知觉时，则需同时采用口对口人工呼吸和人工胸外挤压两种方法。如果现场仅有一个人抢救时，可交替使用这两种方

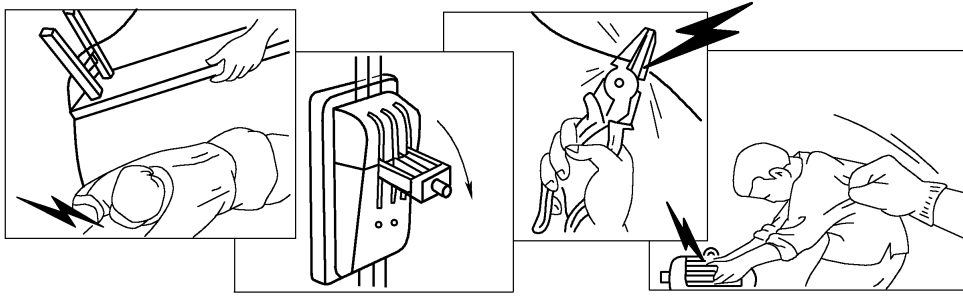


图 1.2.4 使触电者迅速脱离电源

法，先胸外挤压心脏 4~6 次，然后口对口呼吸 2~3 次，再挤压心脏，反复循环进行操作。

在进行触电急救时要同时呼救，请医护人员。施行人工呼吸和心脏挤压必须坚持不懈，直到触电人苏醒或医护人员前来救治为止。只有医生才有权宣布触电人真正死亡。

1.3 安全用电预防措施

1.3.1 安全用电制度措施

1. 安全教育

无数触电事故的教训告诉人们，思想上的麻痹大意往往是造成人身事故的重要因素，因此必须加强安全教育，使所有人都懂得安全的重大意义，彻底消灭人身触电事故。

2. 建立和健全电气操作制度

在进行电气设备安装与维修时，必须严格遵守各种安全操作规程和规定，不得玩忽职守。操作时，要严格遵守停电操作的规定，要切实做好防止突然送电的各项安全措施，如锁上刀闸，并挂上“有人工作，不许合闸！”的警告牌等。此外，在操作前应检查工具的绝缘手柄、绝缘靴和绝缘手套等安全用具的绝缘性能是否良好，有问题应立即更换。

3. 确保电气设备的设计和安全质量

电气设备的设计和安装质量，对系统的安全运行关系极大，必须精心设计和施工，严格执行审批手续和竣工验收制度，以确保工程质量。在电气设备的设计和安装中，一定要严格执行国家标准中的有关安全规定。

1.3.2 安全用电技术措施

1. 固定设备电气安全的基本措施

(

绝缘：用绝缘材料将带电体封闭起来。良好的绝缘材料是保证电气设备和线路运行的必要条件，是防止触电的主要措施。应当注意，单独采用涂漆、漆包等类似的绝缘来防止触电是不够的。

屏保：采用屏保装置将带电体与外界隔开。为杜绝不安全因素，常用的屏保装置有遮拦、护罩、护盖和栅栏等。

间隔：即保持一定间隔以防止无意触及带电体。凡易于接近的带电体，应保持在伸出

手臂时所及的范围之外。正常操作时，凡使用较长工具者，间隔应加大。

漏电保护：漏电保护又称为残余电流保护或接地故障电流保护。漏电保护仅能作为附加电路而不应单独使用，其动作电流最大不宜超过 30 mA。

安全电压：即根据具体工作场所的特点，采用相应等级的安全电压，如 36 V、24 V、12 V 等。

自动断开电源：安装自动断电装置。自动断电装置有漏电保护、过流保护、过压保护或欠压保护、短路保护等，当带电线路或设备发生故障或触电事故时，自动断电装置能在规定的时间内自动切除电源，起到保护作用。

加强绝缘：是指采用有双重绝缘或加强绝缘的电气设备，或者采用另有共同绝缘的组合电气设备，以防止工作绝缘损坏后在易接近部分出现危险的对地电压。

等电位环境：是将所有容易同时接近的裸导体其间电位相同，防止接触电压。等电位范围不应小于可能触及带电体的范围。

2. 移动式电器的安全措施

实行接零

性线

采用安全电压：在特别危险的场合可采用安全电压的单相移动式设备，安全电压也应由双线圈隔离变压器供电。由于该设备不够经济，这种办法只在某些指定场合应用。

采用隔离变压器：在接地电网中可装设一台隔离变压器给单相设备供电，其二次侧应与大地保持良好绝缘。此时，由于单相设备转变为在不接地电网中运行，从而可以避免触电危险。

采用防护用具：即应穿绝缘鞋、戴绝缘手套，或站在绝缘板上等，使人与大地或人与单相外壳隔离。这是一项简便易行的办法，也是实际工作中确有成效的基本安全措施。

3. 合理选择导线

合理选择导线是安全用电的必要条件。导线允许流过的电流与导线的材料及导线的截面积有关，当导线中流过的电流过大时，会由于导线过热引起火灾。不同场所导线允许最小截面积如表 1.2 所示。

表 1.2 不同场所导线允许截面积

种类及使用场所		导线允许最小截面积 ²			
		铜芯软线	铜线	铝线	
照明灯具相线	民用建筑，户内	0.4	0.5	2.5	
	工业建筑，室内	0.5	0.8	2.5	
	户外		1.0	2.5	
移动式用电设备	生活用	0.2			
	生产用	1.0			
敷设在绝缘支持件上的绝缘线，其支持点的间距	2 m 以下	户内	1.0	2.5	
		户外	1.5	2.5	
	6 m 及以下			2.5	4.0
	10 m 及以下			2.5	6.0
	25 m 及以下			4.0	10
穿管线			1.0	2.5	

1.4 接地与接零

电气设备或设施的任何部位(不论带电与不带电)电位,便称为电气接地

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”,半径约为 20 m 左右,如图 1.4.1 所示。

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设置的,后者则是由各种外界或自身因素自然地形成的,应当设法避免。

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。

1.4.1 工作接地

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的中性点与大地相连,称为工作接地。

1. 工作接地形式

工作接地通常有以下三种情况:

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,如直接工作接地、弱电工作接地等。

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 110 kV 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等。

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。

图 1.4.2 为减轻高压窜入低压所造成的危险的最简单方法。

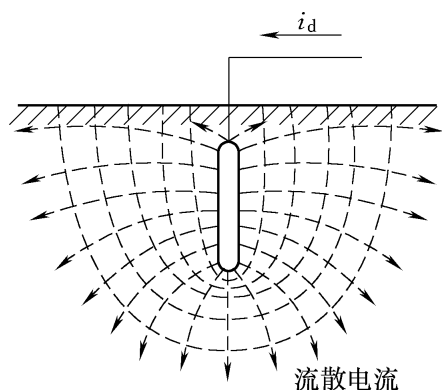


图 1.4.1 地中电流呈半球流散

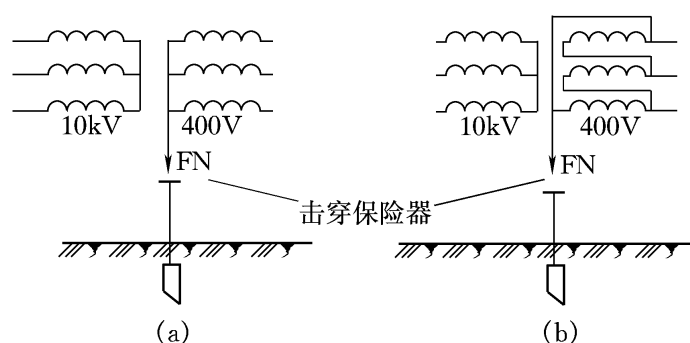


图 1.4.2 带击穿保险器的工作接地

2. 低压配电网工作接地的作用

正常供电情况下能维持相线的对地电压不变,从而可向外种不同的电压,以满足单相 220 V 用电需要。

变压器或发电机的中性点经消弧线圈接地，能在发生单相接地故障时，消除接地短路点的电弧及由此可能引起的危害。

互感器如电压互感器一次侧线圈的中性点接地，主要是为了对一次侧系统中的相对地电压进行测量。

若中性点不接地则当发生单相接地

为线电压；而中性点接地后，另两相的对地电压便仍为相电压。这样，既能减小与人体的相对接地电阻，同时还可适当降低对电气设备的绝缘要求，利于制造及降低成本。

在变压器供电时，可防止高压电窜至低压用电侧的危险。如果因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及造成设备损坏。

1.4.2 保护接地

安全接地主要包括：为防止电力设施或电气设备绝缘损坏，危及人身安全而设置的保护接地；为消除生产过程中产生的静电积累，引起触电或爆炸而设置的静电接地；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。其中保护接地应用最为广泛。

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好的金属性连接，如图 1.4.3 所示，这种方式便称为保护接地，简称接地。它是一种防止静电的基本技术措施，使用相当普遍。

当电气设备由于各种原因造成绝缘损坏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或等于电源电压的电位)

碰触时便会发生触电；如果采用了保护接地，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。

人若触及漏电的设备外壳，因人体电阻与接地电阻相并联且人体电阻比接地电阻大 200 倍以上，由于分流作用，通过人体的故障电流将比流经接地电阻的故障电流小得多，对人体的危害程度也就极大地减小了，如图 1.4.3 所示。

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，由于电源相电压为 220 V，如按工作接地电阻为 4 Ω ，保护接地电阻为 4 Ω 计算，则故障回路将产生 27.5 A 的电流。一般情况下，这么大的故障电流定会使熔断器的熔体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的局限性，这是由于为保证能使熔体熔断或自动控制开关跳闸，一般规定故障电流必须分别大于熔体或开关额定电流的 2.5 倍或 1.25 倍，因此，27.5 A 故障电流便只能保证使额定电流为 11 A 的熔体或 22 A 的开关动作。若电气设备容量较大，所选用的熔体与开关的额定电流超过了上述数值，此时便不能保证切断电源，进而也就无法保障人身安全了。所以保护接地存在着一定的局限性，即中性点接地的系统不宜再采用保护接地。

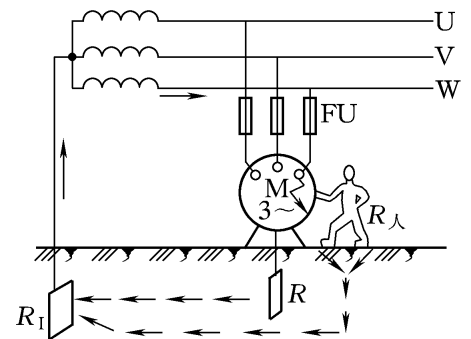


图 1.4.3 保护接地

1.4.3 保护接零

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中性(零)接,这种方式便称为保护接零,简称接零。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。

1. 原理

在实施上述保护接零的低压系统中,电气设备一旦发生了单相碰壳漏电故障,便形成了一个短路。因该回路内不包括工作接地电阻与保护接地电阻,整个回路的阻抗就很小,因此故障电流必将很大

跳闸,从而切断电源,保证了人身安全。

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。

2. 注意事项

在低压配电系统内采用接零保护方式时,应注意以下要求:

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。

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。

同一低压电网中

便不允许再采用保护接地方式

中性线上不准装设开关和熔断器。中性线的敷设要求与相线一样,避免出现中性线断线故障。

中性线截面应保证在低压电网内任何一相短路时,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。

所有电气设备的保护接零线,应以“并联”方式连接到零线上。

必须指出,在实行保护接零的低压配电系统中,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:

三相负载不平衡时,在中性线阻抗过大
会产生一个有麻电感觉的接触电压。

保护接零系统中有部分设备采用了保护接地时,其接地设备发生了单相碰壳故障,则接零设备的外壳会因中性线电位的升高而产生接触电压。

当中性线断线且同时发生了中性线断开点之后的电气设备单相碰壳,这时,中性线断开点后的所有接零设备,便会带有较高的接触电压。

为确保接零保护方式的安全可靠,防止中性线断线所造成的危害,系统中除了工作接地外还必须在中性线的其他部位再进行必要的接地。这种接地称为重复接地,如图1.4.4所示。

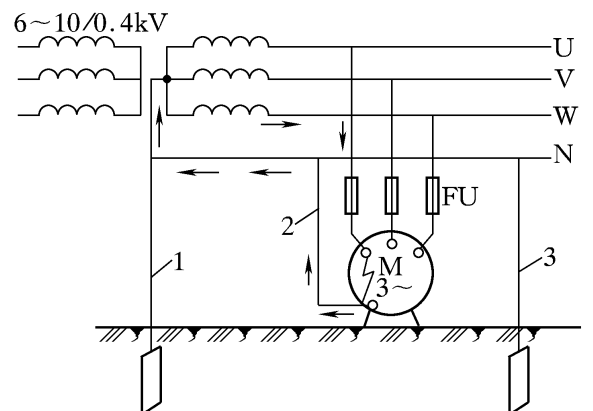


图 1.4.4 重复接地

1——工作接地;2——保护接零;3——重复接地

1.4.4 接地装置

所谓接地装置，是指人为的接地体与接地线的总称。埋入土壤内并与大地直接接触的金属导体或导体组，称为接地体，也称为接地极。接地体是接地装置的主要组成部分，其选择与装设是能否获得合格接地电阻的关键。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，称为接地线。它同样有人工接地线与自然接地线之分。

1. 自然接地体与自然接地线

在设计与选择接地体时，可先考虑利用自然接地体以节省投资。若所利用的自然接地体经实测其接地电阻及热稳定性符合要求时，一般就不必另行装设人工接地体（除外）

之不足。不论是城乡工矿企业及工业与民用建筑，凡与大地有可靠而良好接地的设备或结构件，大都可以用来作为自然接地体。它们主要有：

与大地有可靠连接的建筑物的钢结构件。

敷设于地下而数量不小于两根的电缆金属外皮。

建筑物钢筋混凝土基础的钢筋部分。

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

围很广的自来水管也不宜直接用来作为自然接地体。

利用自然接地体时，要采用不少于两根的导体，并在不同地点与接地干线相连接。

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

建筑物的金属结构

其结合处采用焊接外，凡用螺栓连接或铆钉焊接的地方都要采用跨接线

接地干线时其截面积不小于 100 mm^2 ，作接地支线则不小于 48 mm^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。

配线的钢管。使用时，其管壁厚度不应小于 1.5 mm ，以免产生锈蚀而不能成为连续导体。在管接头和接线盒处，都要采用跨接线连接。钢管直径为 40 mm 及以下时，跨接线采用 6 mm 圆钢；钢管直径为 50 mm 以上时，跨接导线采用 $25 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 的扁钢。

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 mm 厚的铅带；电缆与接地线卡箍相接触的部分要刮擦干净，以保证两者接触可靠。卡托、螺栓、螺母及垫圈均应镀锌。

电压 1000 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。

2. 人工接地体与人工接地线

人工接地体所采用的材料，垂直埋设时常用直径为 5 mm、管壁不小于 3.5 mm、40 mm×40 mm×4 mm 或 50 mm×50 mm×5 mm 的等边角钢；水平埋设时，其长度应为 5~20 m。若采用扁钢，其厚度应不小于 4 mm，截面积不小于 48 mm²；用圆钢时，则直径应不小于 8 mm。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积，注意不准采用涂漆或涂沥青的办法防腐蚀。

安装接地体位置时，为减小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 5 m。

接地体打入地下时，角钢的下端要加工成尖形；钢管的下端也要加工成尖形或钢管打扁后再垂直打入地下；扁钢埋入地下时则应竖直放置。

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，距地面应不小于 0.6 m；若水平埋设时，其深度也不应小于 0.6 m。

埋设接地体时，应先挖一条宽 0.5 m、深 0.8 m 的地沟，然后再将接地体打入沟内，上端露出沟底 0.1~0.2 m，以便对接地体上的连接扁钢接地线进行焊接。焊接好后，经检查认为焊接质量和接地体埋设均符合要求，方可将沟填平夯实。为以后测量接地电阻方便，应在合适的位置加装接线卡子，以备测量接用。

接地线是接地装置中的另一组成部分。实际工程中应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，其截面积不得小于 100 mm²，作为接地支线的不得小于 48 mm²。管道和作为接中性线的明敷管道，其接头处的跨接线可采用直径不小于 6 mm 的圆钢。采用电缆的金属外皮作接地线时，一般应有两根；若只有一根，则应敷设辅助接地线。若不能符合规定时，则应另设人工接地线。其施工安装要求为：

一般应采用钢质

移动式电气设备和三相四线制照明电缆的接地芯线，才可采用有色金属做人工接地线。

必须有足够截面积，连接可靠及有一定的机械强度。扁钢厚度不小于 3 mm，其截面积不小于 24 mm²；圆钢直径不小于 5 mm；电气设备的接地线用绝缘导线时，铜芯线截面积不小于 25 mm²；铝芯线截面积不小于 35 mm²。架空线路的接地引线用钢绞线时，截面积不小于 35 mm²。

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两倍且至少焊接 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，接地体连接夹头的地方应擦拭干净。

接地线应涂漆以示明显标志。其颜色一般规定是：黑色为保护接地，紫色底黑色条为接地中性线

查，对日常容易碰到的部分，要采取措施妥加防护。

3. 接地装置维护与检查

接地装置的良好与否，直接关系到人身及设备的安全，关系到系统的正常与稳定运行，切勿以为已经装设了接地装置，便太平无事了。实际中，应对各类接地装置进行定期维护与检查，平时也应根据实际情况需要，进行临时性检查及维护。

接地装置维护检查的周期一般是：对变配电所的接地网或工厂车间设备的接地装置，应每年测量一次接地电阻值，看是否符合要求，并对比上次测量值分析其变化。对其他的接地装置，则要求每两年测量一次。根据接地装置的规模、在电气系统中的重要性及季节变化等因素，每年应对接地装置进行1~2次全面性维护检查。其具体内容是：

接地线有否折断或严重腐蚀。

接地支线与接地干线的连接是否牢固。

接地点土壤是否因外力影响而有松动。

重复接地线、接地体及其连接处是否完好无损。

检查全部连接点的螺栓是否有松动，并逐一加以紧固。

小 结

电气安全是用电时要考虑的首要问题，主要包括人身安全和设备安全两大方面。

本单元全面介绍了电气系统对人身安全和设备安全构成影响的主要因素，触电事故的种类、原因和形式，介绍了电气防火防爆的常识及灭火和触电急救的方法。

安全以预防为主，电气安全只有在严格、完善、可靠的制度措施和技术措施下才能得到有效的保证。本单元阐述了安全用电的制度措施，并从技术的角度介绍了固定设备、移动式设备及电气系统的电气安全技术措施。对电气系统的接地、接零，从原理、作用及实施的方式等方面作了较为详细的分析介绍。

本单元介绍的电气安全技术基础，也是安全用电常识。使用本教程时，应首先予以教学，使学生一开始就掌握电气安全常识。建立安全用电的概念。

思 考 题

- 1.1 按工频交流电对人体的影响，电流可以分成哪三种，其值的大致范围是多少？
- 1.2 对工频交流电，我国规定的安全电压值有哪三种？
- 1.3 触电事故分哪两大类？其含义分别指什么？
- 1.4 发生触电的主要原因有哪些？
- 1.5 简述触电急救方法。
- 1.6 固定设备电气安全的基本措施有哪些？
- 1.7 使用移动式电器应采取何种安全措施？
- 1.8 接地分几类？完全接地又分哪几种？
- 1.9 试述保护接地的局限性与保护接零的优越性。
- 1.10 重复接地是指什么？
- 1.11 何谓接地装置？

第2章

常用电工工具和电工仪表的使用

2.1 常用电工工具及其使用

电工在安装和维修各种供配电线路，电气设备及线路时，都离不开正确使用各种电工工具，如螺丝刀，钢丝钳，试电笔等。常用工具种类繁多，用途广泛，按其使用范围可分为两大类：通用电工工具与专用电工工具，下面将逐一进行介绍。

2.1.1 通用电工工具

通用电工工具是指电工随时都可能使用的常备工具。

1. 螺丝刀

螺丝刀是一种紧固或拆卸螺钉的工具。

螺丝刀的式样和规格很多，按头部形状不同可分为一字形和十字形两种。

一字形螺丝刀常用的规格有 50、100、150 mm 和 200 mm 等规格，电工必备的是 50 mm 和 150 mm 两种。十字形螺丝刀专供紧固或拆卸十字槽的螺钉，常用的规格有 4 个； 号适用于螺钉直径为 2~2.5 mm， 号为 3~5 mm， 号为 6~8 mm， 号为 10~12 mm。按握柄材料不同螺丝刀又可分为木柄和塑料柄两种。

现在流行一种组合工具，由不同规格的螺丝刀、锥、钻、凿、锯、锉、锤等组成，柄部和刀体可以拆卸使用。柄部内装有氖管、电阻、弹簧，可作试电笔使用。

电工不可使用金属杆直通柄顶的螺丝刀，否则使用时很容易造成触电事故。

使用螺丝刀紧固或拆卸带电的螺钉时，手不得触及螺丝刀的金属杆，以免发生触电事故。为了避免螺丝刀的金属杆触及皮肤或触及临近带电体，应在金属杆上串套绝缘管。螺丝刀的正确使用方法如图 2.1.1 所示。

2. 钢丝钳

钢丝钳又分铁柄和绝缘柄两种，绝缘柄为电工用钢丝钳，常用的规格有 150、175 mm 和 200 mm 三种。

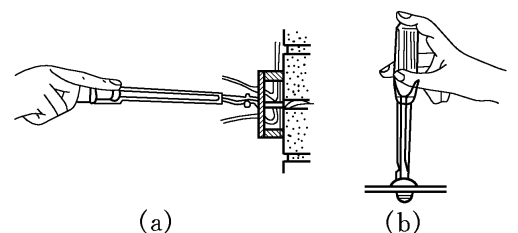


图 2.1.1 螺丝刀的正确使用姿势

电工钢丝钳由钳头和钳柄两部分组成，钳头由钳口、齿口、刀口和侧口四部分组成。钢丝钳的用途很多，钳口用来弯绞或钳夹导线线头；齿口用来紧固或起松螺母；刀口用来剪切导线或剥削导线绝缘层；侧口用来铡切电线线芯、钢丝或铅丝等较硬金属。其构造及用途如图 2.1.2 所示。

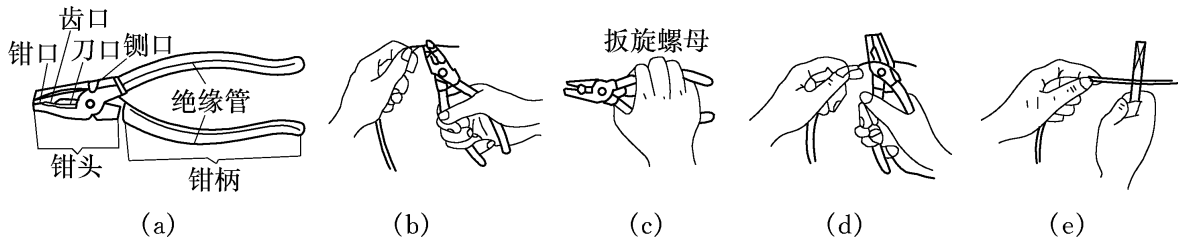


图 2.1.2 钢丝钳的结构与用途

使用电工钢丝钳以前，必须检查绝缘柄的绝缘是否完好。绝缘如果损坏，进行带电作业时会发生触电事故。

用电工钢丝钳剪切带电导线时，不得用刀口同时剪切相线和中性线，以免发生短路。

3. 尖嘴钳

尖嘴钳的头部尖细，适用于在狭小的工作空间操作。尖嘴钳也有铁柄和绝缘柄两种，绝缘柄的耐压为 500 V，其外形如图 2.1.3

尖嘴钳的用途：

带有刃口的尖嘴钳能剪断细小金属丝；尖嘴钳能夹持较小螺钉，垫圈，导线等元件。

4. 断线钳

断线钳又称为斜口钳，钳柄有铁柄，柄管和绝缘柄三种形式，其中电工用的绝缘柄断线钳的外形如图 2.1.3

断线钳是专供剪断较粗的金属丝，线材及电线电缆等用。

5. 剥线钳

剥线钳是用于剥削小直径导线绝缘层的专用工具，其外形如图 2.1.4 所示。它的手柄是绝缘的，耐压为 500 V。

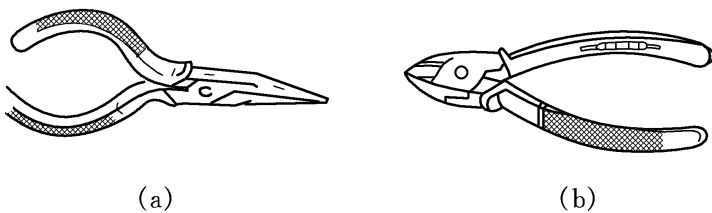


图 2.1.3 尖嘴钳和断线钳的外形

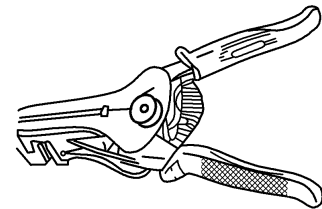
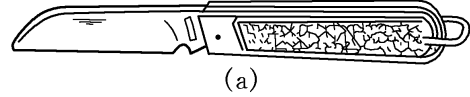


图 2.1.4 剥线钳

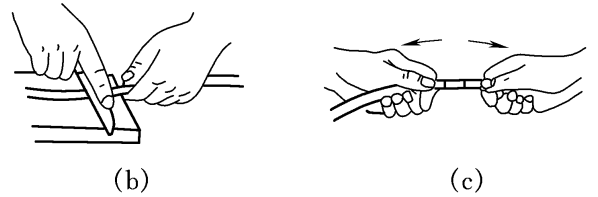
使用剥线钳时，将要剥削的绝缘长度用标尺定好以后，即可把导线放入相应的刃口中（导线直径稍大）

6. 电工刀

电工刀是用来剥削电线线头，切割木台缺口，削制木榫的专用工具。电工刀的外形如图 2.1.5



电工刀使用时，应将刀口朝外剥削。剥削导线绝缘层时，应使刀面与导线成较小的锐角，以免割伤导线，如图 2.1.5



安全使用电工刀应注意以下几点：

电工刀使用时应注意避免伤手。

电工刀用毕，随即将刀身折进刀柄。

图 2.1.5 剥削电线的方法

电工刀刀柄是无绝缘保护的，不能在带电导线或器材上剥削，以免触电。

7. 活络扳手

活络扳手又称为活络扳头，是用来紧固和起松螺母的专用工具。

活络扳手由头部和柄部组成，头部由活络扳唇、呆扳唇、扳口、蜗轮和轴销等构成，如图 2.1.6

电工常用的活络扳手有 150×19 四种。

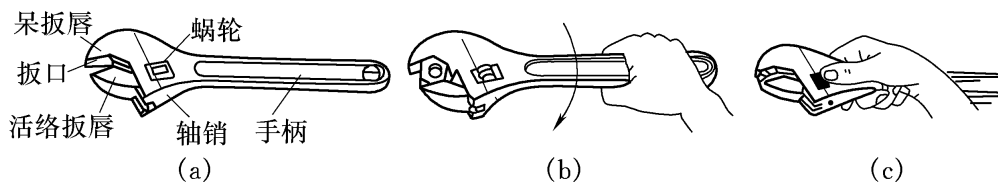


图 2.1.6 活络扳手构造与使用方法

扳动大螺母时，需用较大力矩，手应握在手柄尾处，如图 2.1.6

扳动较小螺母时，需用力矩不大，但螺母过小易打滑，故手应握在靠近头部的地方，如图 2.1.6

8. 电工用凿

电工用凿按用途不同有麻线凿，小扁凿和长凿等。

麻线凿也叫圆榫凿，用来凿打混凝土结构建筑物的木榫孔，电工常用的麻线凿有 16 号和 18 号两种，16 号可凿直径 8 mm 的木榫孔，18 号可凿直径约 6 mm 的木榫孔，凿孔时，要用左手握住麻线凿，并不断地转动凿子，使灰沙碎石及时排出。

小扁凿用来凿打砖墙上的方形木榫孔。电工常用的是凿口宽约 12 mm 的小扁凿。

长凿是用来凿打穿墙孔的。用来凿打混凝土穿墙孔的长凿由中碳圆钢制成，用来打砖结构穿墙孔的长凿由无缝钢管制成。长凿直径分有 19、25 和 30 mm，其长度通常有 300、400 mm 和

500 mm等多种，使用它时，应不断旋转，及时排出碎屑。

9. 镊子

镊子是电子电器维修中必不可少的小工具，主要用于夹持导线线头、元器件等小型工件或物品。通常由不锈钢制成，有较强的弹性。头部较宽、较硬且弹性较强的可以夹持较大物件，反之可以夹持较小物件。镊子的形状如图 2.1.7 所示。

2.1.2 专用电工工具

1. 冲击钻

冲击钻的外形如图 2.1.8 (a)

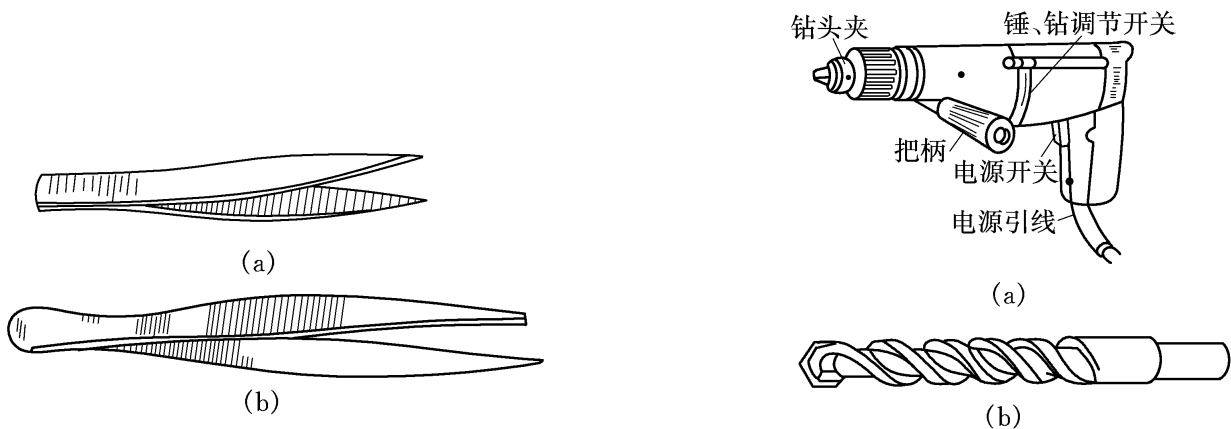


图 2.1.7 镊子

图 2.1.8 冲击钻外形

作为普通电钻用：使用时把调节开关调到标记为“钻”的位置，即可作为电钻使用。

作为冲击钻用：使用时把调节开关调到标记为“锤”的位置，即可用来冲打砖墙等建筑材料的穿墙孔，通常可钻 6~16 mm 直径的圆孔。作普通钻时，用麻花钻头；作冲击钻时，用专用冲击钻头，如图 2.1.8

不同的孔径应该选用功率合适的相应规格的电钻，避免过载而烧毁电动机。

电钻的外壳是接零的，橡胶软线中心的黑线是接零保护线。初次使用时，不要手握电钻去插电源，应将其放在绝缘物上插上电源，用试电笔检查外壳是否带电，然后再使用。

钻孔前，先让手电钻空转几次，观察转动是否正常。

钻头必须锋利，钻孔时不宜用力过猛，以免过载。凡遇转速突然降低时，应立即放松压力。钻孔过程中若钻头突然停止转动，应迅速切断电源。当孔快钻通时应当减小压力。

电钻不宜在空气中含有易爆、易燃、腐蚀性气体及潮湿的特殊环境中使用。

经常注意对电钻的保养，保持清洁并及时更换电刷。

2. 试电笔

试电笔是电工常用的一种辅助安全工具。用于检查 500 V 以下导体或各种用电设备外壳是否带电

试电笔外形是钢笔式结构，前端有金属探头，后端有金属挂钩。试电笔内部有发光氖泡、降压电阻及弹簧。试电笔的外形结构如图 2.1.9 所示。试电笔在使用时，必须用正确的方法握好，用手指触及笔尾的金属端，使氖泡小窗背光朝向自己，如图 2.1.10 所示。



图 2.1.9 试电笔的外形结构

它的作用原理是当手拿着它测量带电体时，带电体经试电笔、人体到大地形成回路是穿了绝缘鞋或在绝缘物上，也认为是形成了回路，因为绝缘物的漏电足以使氖泡起辉)。只要带电体和大地之间存在的电位差超过一定数值出辉光，低于这个数值就不发光。它可以区别相线和中性线，相线发光，中性线一般不发光。

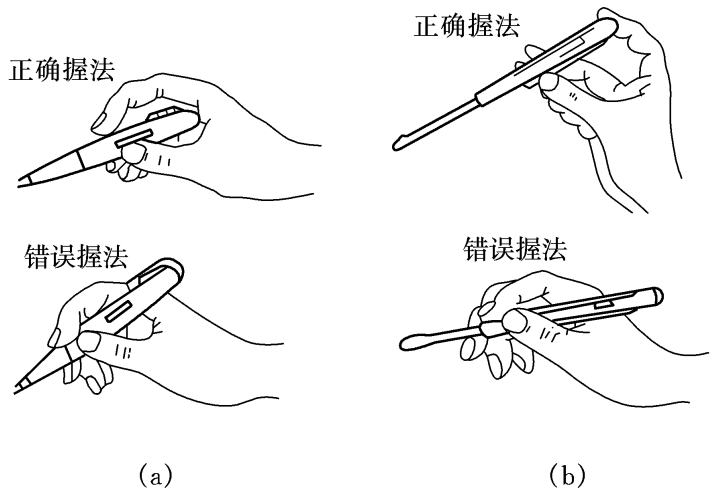


图 2.1.10 试电笔的握法

测量前试电笔应先在确认的带电体上试验，以证明试电笔是否良好。以防因氖泡损坏而得出错误的判断。

使用试电笔一般应穿绝缘鞋。

在明亮光线下测试时，往往不宜看清氖泡的辉光，此时应注意避光仔细测试。

有些设备特别是测试仪表，工作时外壳往往因感应带电，用试电笔测试有电，但不一定会造成触电危险。这种情况下，必须用其他方法电。

对于 36 V 以下安全电压带电体，试电笔往往无效。

3. 压接钳

压接钳是连接导线与导线或导线与端头的常用工具。采用压接钳连接导线施工方便，接触可靠。根据压接导线和压接管面积不同来选择不同规格的压接钳。各种压接钳的使用范围如表 2.1 所示。

表 2.1 各种压接钳的使用范围

名称	型号	使用范围
多股导线压接钳	—	1.0~6 mm ² 多股导线
单股导线压接钳	—	2.5~10 mm ² 单股导线
手动油压钳	SLP-240	16~240 mm ² 铜

4. 吸锡器

焊接时难免会发生错误，使用吸锡器可以吸去焊锡，重新焊接。常用的吸锡器只要在通电后按动尾部推杆即能把焊锡吸去。

5. 塞尺

塞尺又称为厚薄规或间隔片，它主要用于检验两相关配合表面之间的间隙大小或与其他量具配合检验零件相关平面间的间隙误差。

在电器调试与检修过程中，特别是在高精度的机电一体化设备中，调整电磁制动器制动轮与制动瓦之间的间隙等，都需要使用塞尺。塞尺的结构如图 2.1.11 所示。

塞尺由塞尺片和塞尺片护罩构成。

使用塞尺可以使测量快捷而准确。以间隙调整为例，塞尺的使用操作方法为：

针对某一配合间隙，根据其理想的允许值，选取相应或相近尺寸的塞尺片。

手捏塞尺片的后端，取塞尺片平面与间隙面平行，轻缓地插入间隙中。如图 2.1.12 所示。

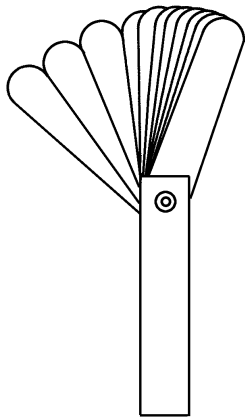


图 2.1.11 塞尺的结构

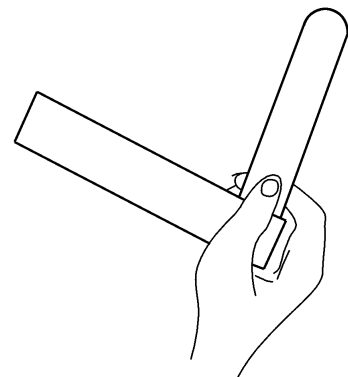


图 2.1.12 塞尺的使用

如果间隙过大，则增大塞尺片厚度，继续测量，直到塞尺片厚度与间隙相符，根据相差值调整间隙直到理想尺寸；如果塞尺插不进去，不要硬插，更换较薄的塞尺片，直到正好插入间隙，根据测得的差值，增加间隙直到理想尺寸。

使用时，塞尺及测量工件上要求清洁、光滑、无污物。

根据尺寸，可用一片或数片重叠进行测量。当数片重叠时，要用力捏紧尺片，确保片间充分紧贴，以使测量准确。

塞尺片应轻缓插入间隙，切忌硬插，防止塞尺片弯曲或折断。

不允许用塞尺测量温度较高的工件。

塞尺使用完毕，应清除污物，保持清洁，放回护套，妥善保存。

6. 喷灯

喷灯是一种利用喷射火焰对工件进行加热的工具，常用于锡焊时加热烙铁或工件。在电工操作中，制作电力电缆终端头或中接头及焊接电力电缆接头时，都要使用喷灯。

按照使用燃料的不同，喷灯分为煤油喷灯和汽油喷灯两种，使用时千万不得将汽油加入到煤油喷灯中或者将煤油加入到汽油喷灯中。煤油喷灯的外形结构如图 2.1.13 所示。

煤油喷灯使用时的具体操作步骤如下：

加油：根据喷灯所使用燃料油的种类，加注燃料油。首先旋松加油阀上的螺栓，放气后再旋开加油阀加入燃料油，加入油量不得超过油桶最大容量的 3/4，然后旋紧加油螺栓。

预热：将少许油倒在预热盘的废棉纱上点燃，加热喷嘴。

打气：在预热盘的火焰未熄灭前，用打气阀打气 3~5 次后，将放油调节阀旋松，喷出油雾，喷灯点燃喷火。

喷火：点燃喷灯后，继续打气至火力正常，即可开始使用。在使用时，手持手柄，使喷灯保持直立，将火焰对准工件即可。

熄火：熄火时应先关闭放油调节阀，直至火焰熄灭。然后，慢慢旋松加油口螺栓放出油桶内的压缩空气。

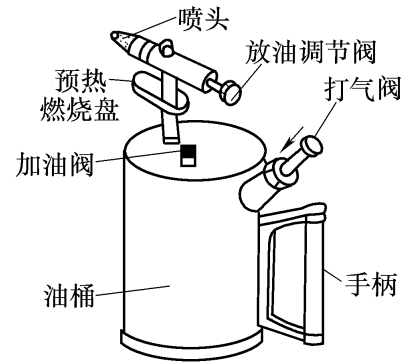


图 2.1.13 喷灯的结构

喷灯在喷射燃烧时，火焰温度高达 900℃ 以上。使用时应注意以下几点：

使用前应仔细检查油桶是否漏油，喷嘴是否畅通，是否有漏气等。

打气加压时，首先检查并确认加油阀是否可以可靠关闭。喷灯点火时，喷嘴前严禁站人。

工作场所不能有易燃物品。喷灯工作时，应注意火焰与带电体之间的安全距离：10 kV 以上大于 3 m，10 kV 以下大于 1.5 m。

桶内的油压应根据火焰喷射力掌握。火力正常时切勿再多打气。

喷灯在使用过程中，要经常检查油桶内的油量是否充实，一般储油量不得少于油桶容量的 1/4，否则会使灯体

喷灯的加油、放油和维修应在喷灯熄火后进行。喷灯使用完毕，倒出剩余燃料并回收，然后将喷灯污物擦除，妥善保管。

2.2 常用电工仪器仪表

2.2.1 常用电工仪器仪表的一般知识

1. 电工仪表概述

电工测量是电工实验与实训中不可缺少的一个重要组成部分，它的主要任务是借助各种电工仪器仪表，对电流、电压、电阻、电能、电功率等进行测量，以便了解和掌握电气设备的特

性、运行情况，检查电气元器件的质量情况。由此可见，正确掌握电工仪器仪表的使用是十分必要的。

在电工技术中，测量的电量主要有电流、电压、电阻、电能、电功率和功率因数等，测量这些电量所用的仪器仪表，统称为电工仪表。

2. 电工仪表的分类

电工仪表的种类繁多，分类方法也各有不同。按照电工仪表的结构和用途，大体上可以分为五类：

指示仪表类：直接从仪表指示的读数来确定被测量的大小。有安装式、可携式两种。

比较仪器类：需在测量过程中将被测量与某一标准量比较后才能确定其大小。如：

直流：电桥、电位差计、标准电阻箱

交流：交流电桥、标准电感、标准电容

数字式仪表类：直接以数字形式显示测量结果。如数字万用表、数字频率计。

记录仪表和示波器类。如 X - Y 记录仪、示波器。

扩大量程装置和变换器。如分流器、附加电阻、电流互感器、电压互感器。

3. 指示仪表的分类

尽管电工仪表种类非常多，但指示仪表是应用最广和最常见的一种电工仪表。

指示仪表的特点是把被测量电量转换为驱动仪表可动部分的角位移，根据可动部分的指针在标尺刻度上的位置，直接读出被测量的数值。指示仪表的优点是测量迅速，可直接读数。

常用指示类仪表又可以按以下七种方法分类：

常用的有电磁式、电动式和磁电式。其他还有感应式、振动式、热电式、热线式、静电式、整流式、光电式和电解式等。

有电流表

率计、电阻表、瓦时计等。

有直流仪表、交流仪表、交直流两用仪表。

有安装式仪表和可携式仪表。

安装式仪表固定安装在开关板或电气设备的板面上，这种仪表准确度较低，但过载能力较强，造价低廉。

可携式仪表不作固定安装使用，有的可在室外使用

作精密测量和标准表用。这种仪表准确度较高，但过载能力较差，造价较贵。

有 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0 七个等级。

仪表的级别表示仪表准确度的等级。所谓几级是指仪表测量时可能产生的误差占满刻度的百分之几。表示级别的数字愈小，准确度越高。

0.1 和 0.2 级仪表用作标准表和校验仪表。

0.5 级至 1.5 级仪表用于实验时测量。

2.5 级和 5.0 级仪表用于工程，装在配电盘和操作台上。

有 A、B、C 三组。

A 组：工作环境在 $0 \sim +40$ ，相对湿度在 85 % 以下。

B 组：工作环境在 $-20 \sim +50$ ，相对湿度在 85 % 以下。

C 组：工作环境在 $-40 \sim +60$ ，相对湿度在 98 % 以下。

有 、 、 、 四个等级。

4. 仪表符号的意义

电工仪表表盘上注有各种符号，用来表示仪表的基本技术特性。如仪表的用途、构造、准确度等级、正常工作状态和对使用环境的要求等。常用仪表符号的含义，如表 2.2 和表 2.3 所示。

表 2.2 常用仪表符号(测量单位)

名 称	符 号	名 称	符 号
千安	kA	千瓦	kW
安	A	瓦	W
毫安	mA	兆乏	Mvar
微安	μ A	千乏	kvar
千伏	kV	乏	var
伏	V	兆欧	M
毫伏	mV	千欧	k
微伏	μ V	欧	
兆瓦	MW		

5. 常用电工仪表的基本结构

常用电工仪表主要由外壳、有标度尺和有关符号的面板、表头电磁系统、指针、阻尼器、转轴、游丝、零位调节器等组成。









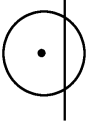

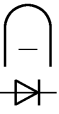


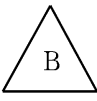





2.2.2 电工测量仪表的选择、使用和维护

1. 仪表选择

各种仪表的选择除了根据用途选择仪表的种类外，还应根据使用环境和测量条件选择仪表的类型。如配电盘、开关板及仪表板上所用仪表等采用适合垂直安装的类型，而实验室大多选用适合水平放置的类型。

在使用仪表时，必须合理地选择仪表的准确度。虽然测量仪表的准确度越高越好，但是不要

表 2.3 常用仪表符号

名 称	符 号	名 称	符 号
磁电系仪表		不进行绝缘强度试验	
电磁系仪表		绝缘强度试验电压为 2kV	
电动系仪表		防外界磁场 (系)	
铁磁电动系表		级防外界磁场	
感应系仪表		级防外界磁场	
整流系仪表		级防外界磁场	
磁电系流比计		A 组仪表	(无标记)
直流	—	B 组仪表	
交流	~	C 组仪表	
直流和交流		负端钮	-
具有单元件的三相平衡负载交流		正端钮	+
以标度尺量百分数表示的准确度等级, 如 1.5	1.5	公共端钮和复用电表)	*
标度尺位置为垂直的	⊥	接地用端钮	
标度尺位置为水平的	┌	与外壳相连接的端阻	
标度尺位置与水平倾斜成一角度, 如 60°		调零器	

盲目追求高准确度。对一般的测量来说，不必使用高准确度的仪表。因为仪表准确度越高价格越贵，从而使设备成本增加，这是不经济的。而且准确度越高的仪表使用时的工作条件要求也就越高，如要求恒温、恒湿、无尘等，在不满足工作条件的情况下，测量结果反而不准确，这是不可取的。另一方面，也不应使用准确度过低的仪表而造成测量数据误差太大。因此仪表的准确度要根据实际需要确定。

准确度等级为 0.1 ~ 0.2 级的仪表通常作为标准表以校正其他仪表。实验室一般用 0.5 ~ 1.5 级仪表。生产部门作监视生产过程时装在配电盘和操作台上的仪表一般为 2.5 ~ 5.0 级。

仪表的级别是表示仪表准确度的等级。所谓几级是指仪表测量时可能产生的误差占满刻度的百分之几。表示级别的数字愈小，准确度越高。因此，同样量程的仪表，选用小级别的仪表测量时，准确度更高。

例如，用 0.1 级和 2.5 级两只同样为 10 A 量程的电流表分别去测量 8 A 的电流。0.1 级的仪表可能产生的误差为 $10 \text{ A} \times 0.1\% = 0.01 \text{ A}$ ，而 2.5 级的仪表可能产生的误差为 $10 \text{ A} \times 2.5\% = 0.25 \text{ A}$ 。可见，用 0.1 级的仪表测量，准确度高。

当使用同一只仪表时，选择量程的恰当与否也会影响测量的准确度。仪表量程的选择应根据测量值的可能范围决定。被测量值范围较小时要选用较小的量程，这样可以得到较高的准确度。如选用太大的量程，则测量结果误差就较大。下面举一个例子说明选择合适的量程的重要性。

例如，用一只 2 级的量程为 0 ~ 5 ~ 10 A 的电流表去测量 4 A 的电流，当用 10 A 量程刻度为 10 A) 测量时，可能产生的误差却只有 $5 \text{ A} \times 2\% = 0.1 \text{ A}$ 。显然，对同一只仪表，用小量程测量比用大量程测量准确度高。

因此在选择量程时应尽量使被测量的值接近于满刻度值，而另一方面，也要防止超出满刻度值而使仪表受损。所以通常选择量程时应使读数占满刻度值的 2/3 以上为宜。至少也应使被测量值超过满刻度值的一半。当被测电流大小无法估计时，可将多量程仪表先置于最大量程挡，然后根据仪表的指示调整量程，使其使用合适的量程挡。

当仪表接入被测电路后，仪表线圈电阻会影响原有电路的参数和工作状态，以至影响测量的准确性。例如，电流表是串联接入被测电路的，仪表内阻增加了电路的阻值，也就相应地减小了原电路的电流，这势必影响测量结果，所以要求电流表内阻越小越好。量程越大，内阻应越小。再如电压表是并联接入被测电路的，它的内阻减小了电路的阻值，使被测电路两端的电压发生变化，影响测量结果，所以电压表内阻越大越好。量程越大，内阻应越大。

2. 指针式仪表测量中应该注意的一般问题

各种指针式仪表，不论是磁电式、电磁式还是电动式仪表，都采用面板刻度方式显示读数。根据不同的测量原理，面板上的刻度有的是均匀的，有的是不均匀的，例如磁电式仪表指针的偏转角 $= RI$ ，R 为仪表结构常数)

而电磁式仪表指针的偏转角 $= RI^2$ ，即与电流的平方成正比，在同一量程内，起始段电流越小，刻度越密，后面电流越大，刻度越稀。

仪表的量程是指允许测量的最大值，不同的量程有不同的允许测量的最大值，因此应根据被测量的数值选用合适的量程。实验室用仪表大多是多量程仪表，常有好几个接线端钮，而指示面板刻度通常只有一条基本量程刻度，故测量中要注意量程的选择应与对应的接线端钮相一致，量程的选择应根据所测电量的大小选定，如果被测电量的大小无法估计，则应用量程最大端钮预测，然后根据预测值选择适当的量程。

大多数指针式仪表设有机械零位校正，校正器的位置通常装设在与指针转轴对应的外壳上，当线圈中无电流时，指针应指在零的位置。如果指针在不通电时不在零位，应当调整校正器旋钮改变游丝的反作用力矩使指针指向零点。仪表在校正前要注意仪表的放置位置必须与该表规定的位置相符。如果规定位置是水平放置，则不能垂直或倾斜放置，否则仪表指针可能不是指向零位，这不属于零位误差。只有在放置正确的前提下再确定是否需要调零，并且保证在全部测量过程中仪表都放置在正确位置，以保证读数的正确性。

测量仪表接入电路时，应以尽量减少对原有电路的影响为原则，例如，测量电压时，若电路电阻较大，则应用高内阻电压表。若电压表已确定，则在保证允许误差的前提下选用较大的量程，因为在同一仪表中量程大其内阻也相应增加，对电路影响就小。相反对于电流测量，若电路电阻很小，则应选用低内阻电流表。这在电路电阻与仪表内阻二者相近量级或只差一个数量级)

仪表与被测量连接至少有两个端钮，每个端钮均应正确连接。对于测量直流量来说，必须把正、负端分辨清楚，“+”端与电路正极性端相连接，“-”端与电路负极性端相连接，不能反接，以防反偏而打坏指针。对于测量交流量来说，应注意电路的相线和中性线，从保证仪表和人身的安全角度考虑连接方式。虽然从原理上说一般无极性要求，有时考虑到屏蔽和安全需要，通常把仪表黑端钮表示端)

读取仪表的指示值应在指针指示稳定时进行，如果指示不能稳定，则应检查原因，并消除不稳定因素。若因电路原因造成指针振荡性指示，一般可以读取其平均值，若测量需要，应将其振幅量读出一个读数镜面，读数时应使视线置于实指针和镜中虚指针相重合的位置再读指示值，以保证读数的正确性，减少读数误差。

3. 仪表的维护

各种仪表应在规定的正常工作条件下使用，即要求仪表的放置位置正常，周围温度为20℃，无外界电场和磁场

外还应满足仪表本身规定的特殊条件，例如恒温、防尘、防震等。以保证测量的准确度。

仪表在使用前应检查，注意端钮是否开裂，短接片是否可靠连接，外引线有无开断，指针有无卡、涩现象等。仪表应定期进行准确度校验，保证其测量性能。

仪表不使用时，应在断电条件下存放。如表内有电池时应将电池取出，防止电池漏液腐蚀

机芯。精度越高的仪表，对存放环境条件的要求也越高。

2.2.3 常用电工仪表的工作原理

电工仪表的种类很多，就指针式仪表而言，其结构和工作原理也不相同。下面对常用的磁电式、电磁式、电动式仪表的结构和工作原理作简单的介绍。

1. 磁电式仪表的工作原理

磁电式仪表原理结构图如图 2.2.1 所示。

磁电式仪表的工作原理是永久磁铁的磁场与通有直流电流的可动线圈相互作用而产生偏转力矩，使可动线圈发生偏转。同时与可动线圈固定在一起的游丝因可动线圈偏转而发生变形，产生反作用力矩。当反作用力矩与转动力矩相等的时候，活动部分最终将停留在相应的位置，指针在标度尺上指出被测量的数值。指针的偏转角与通过线圈的电流成正比。因此，标尺上的刻度是均匀的

标度均匀。

灵敏度和准确度较高。

读数受外界磁场的影响小。

表头本身只能用来测量直流
过载能力差。

测量时，电流表要串联在被测的支路中，电压表要并联在被测电路中。

使用直流表，电流必须从“+”极性端进入，否则指针将反向偏转。

一般的直流仪表不能用来测量交流电，仪表误接交流电时，指针虽无指示，但可动线圈内仍有电流通过，若电流过大，将损坏仪表。

磁电式仪表过载能力较低，注意不要过载。

2. 电磁式仪表的工作原理

电磁式仪表原理结构图如图 2.2.2 所示。

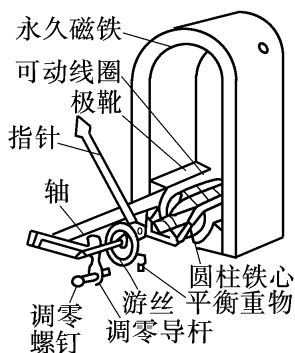


图 2.2.1 磁电式仪表的原理结构示意图

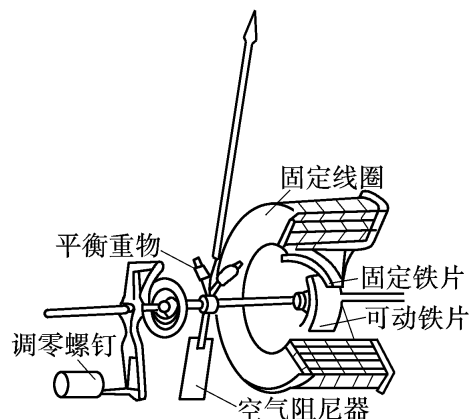


图 2.2.2 电磁式仪表的原理结构示意图

电磁式仪表的工作原理是在线圈内有一块固定铁片和一块装在转轴上的可动铁片。当电流通入仪表后，载流线圈产生磁场，固定铁片和可动铁片同时被磁化，并呈同一极性。由于同性相斥的缘故，铁片间产生一个排斥力，可动铁片转动，同时带动转轴与指针一起偏转。当与弹簧反作用力矩平衡时，便获得读数。电磁式仪表转动力矩的大小与通入电流的平方成正比，指针的偏转由转动力矩所决定，所以标尺刻度是不均匀的，即非线性的。

适用于交直流测量。

过载能力强。

可无需辅助设备而直接测量大电流。

可用来测量非正弦量的有效值。

标度不均匀。

准确度不高。

读数受外磁场影响。

3. 电动式仪表的工作原理

电动式仪表原理结构图如图 2.2.3 所示。

电动式仪表的工作原理是仪表由固定线圈

线圈

电压)

相互作用而产生偏转力矩使可动线圈偏转。当与弹簧反作用力矩平衡时便获得读数。

适用于交直流测量。

灵敏度和准确度比用于交流的其他类型的仪表为高。

可用来测量非正弦量的有效值。

标度不均匀。

过载能力差。

读数受外磁场影响大。

2.2.4 电流表

电流表是用来测量电路中的电流值的，按所测电流性质可分为直流电流表、交流电流表和交直流两用电流表。就其测量范围又有微安表、毫安表和安培表之分。

1. 电流表的工作原理

电流表有磁电式，电磁式，电动式等形式。它们串接在被测电路中。仪表线圈通过被测电路的电流，使仪表指针发生偏转，用指针偏转的角度来反映被测电流的大小。

磁电式仪表的灵敏度高，其游丝和线圈导线的截面积都很小，不能直接测量较大的电流。为此常用一个电阻与磁电式仪表并联，来扩大磁电式仪表的量程。并联电阻起分流作用，称为

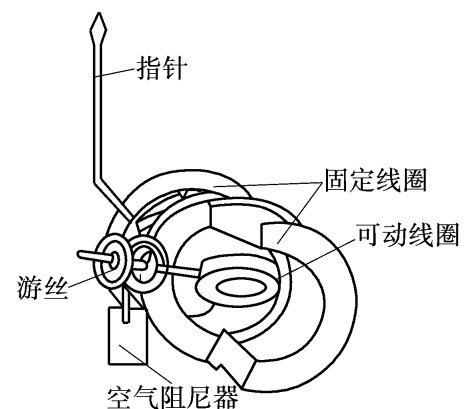


图 2.2.3 电动式仪表的原理结构示意图

分流电阻或分流器，如图 2.2.4 所示。

2. 电流表的选择

测量直流电流时，可使用磁电式、电磁式或电动式仪表，其中磁电式仪表使用较为普遍。测量交流电时，可使用电磁式、电动式仪表，其中电磁式仪表使用较多。通常，对测量要求准确度高，灵敏度高的场合，如测量晶体管电路、控制电路时采用磁电式仪表。对测量精度要求不严格，测量值较大的场合，如装在固定位置、监测线路工作状态时，常选择价格低，过载能力强的电磁式仪表。

在选择电流表形式的同时，还要考虑电流表的量程。电流表的量程要根据被测电流的大小来决定，要使被测电流值处于电流表的量程之内，应尽量使表头指针指到满刻度的 2/3 左右。在不明确被测电流大小的情况时，应先使用较大量程的电流表试测，以免因过载而烧毁仪表。

3. 电流表的使用

在测量电路电流时，一定要将电流表串联在被测电路中，如图 2.2.5

R_1 的电流，电流表与 R_1 串联。图 2.2.5 (c) R_1 与 R_2 的电流和，电流表与 R_1 及 R_2 串联。

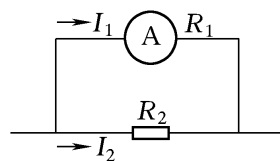


图 2.2.4 电流表扩大量程电路

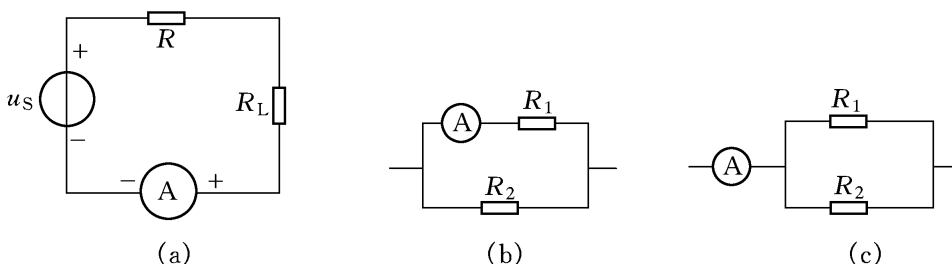


图 2.2.5 电流表的连接

磁电式仪表一般只用于测量直流电流，测量直流电流时，要注意电流接线端的“+”“-”极性标记，不可接错，以免指针反打，损坏仪表。对于有两个量程的电流表，它具有三个接线端，使用时要看清楚接线端量程标记，根据被测电流大小，选择合适的量程，将公共接线端和一个量程接线端串联在被测电路中。

4. 电流表的内阻

用电流表测量电路电流时，电流表要串接在电路中。由于电流表具有内阻，会改变被测电路的工作状态，影响被测电路的数值，如图 2.2.6 所示电路，根据图 2.2.6 实际电流值：

$$I_1 = \frac{U}{R_1}$$

由于电流表的接入，负载电阻为 $R_A + R_1$ ，由图

2.2.6

$$I_2 = \frac{U}{R_A + R_1}$$

式中： R_A 为电流表的内阻。

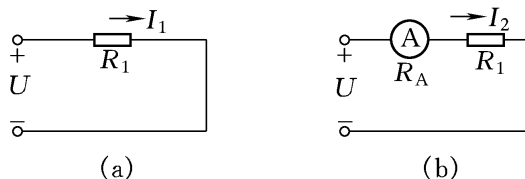


图 2.2.6 电流表的内阻对测量准确度的影响

因为 $R_A + R_i > R_i$ ，所以测量电流值比实际电流值小，产生了测量误差，可见，电流表内阻越小，测量结果越接近实际值。为了提高测量的准确度，应尽量采用内阻较小的电流表。

2.2.5 电压表

电压表是用来测量电路中的电压值的。按所测电压的性质分为直流电压表，交流电压表和交直流两用电压表。就其测量范围又有毫伏表，伏特表之分。

1. 电压表的工作原理

磁电式，电磁式，电动式仪表也是电压表的主要形式。被测电路两点间的电压加在仪表的接线端上，电流通过仪表内的线圈，其电流的大小与被测电路两点的电压有关，同样用指针的偏转角可以反映出被测电路的电压。

灵敏度较高的仪表允许通过的电流值受到限制，为了扩大测量电压的量程，可采用电阻与仪表串联的方法，构成大量程的电压表，串联电阻起分压作用。

2. 电压表的选择

电压表的选择原则和方法与电流表的选择相同，主要从测量对象，测量范围，要求精度和仪表价格等几方面考虑。工厂的低压配线电路，其电压多为 380 V 和 220 V，对测量精度要求不太高，所以一般多用电磁式电压表，选择量程为 450 V 和 300 V。实验中测量和检查电子线路电压时，因为对测量精度和灵敏度要求高，常采用磁电式多量程电压表，其中普遍使用的是万用表的电压挡，其交流测量是通过整流后实现的。

3. 电压表的使用

用电压表测量电路电压时，一定要使电压表与被测电压的两端并联，如图 2.2.7 所示。电压表指针所示为被测电路两点间的电压。

测量所选用的电压表量程要大于被测电路的电压，以免损坏电压表。使用磁电式电压表测量直流电压时，要注意电压表接线端上的“+”，“-”极性标记。

4. 电压表的内阻

用电压表测量电路两端的电压，电压表要与被测电路并联，因为电压表的内阻不是无限大，它的接入会改变被测电路的工作状态，影响被测电路两端的电压。图 2.2.8 为测量 R_2 两端电压的示意图。

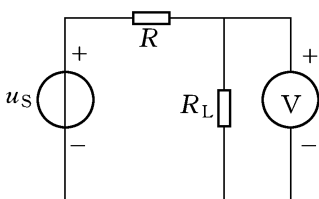


图 2.2.7 电压表的连接

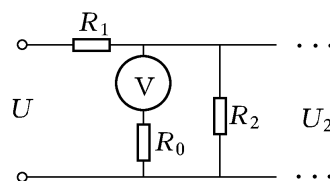


图 2.2.8 电压表的内阻对测量准确度的影响

因为电压表内阻 R_0 与电阻 R_2 的并联值 $R_2 \times R_0 / (R_2 + R_0) < R_2$ 那么 R_1 与 $R_2 \times R_0 / (R_2 + R_0)$ 越接近实际值，测量的准确度越高。应尽量采用内阻较大的电压表。实际上电压表的内阻要比

被测电路的电阻大得多。

电压表内阻的大小，通常用每伏千欧数来表示，其值越大电压表的内阻也越大。如电压表表盘标注 $1\text{ k } /\text{V}$ ，其量程是 100 V ，则该电压表内阻为 $1\text{ k } /\text{V} \times 100\text{ V} = 100\text{ k}$ 。

2.2.6 钳形电流表

通常用电流表测量负载电流时，必须把电流表串联在电路中。当在施工现场需要临时检查电气设备的负载情况或线路流过的电流时，如果先把线路断开，然后把电流表串联到电路中，这样很不方便。那么采用钳形电流表测量电流，就不必把线路断开，可以直接测量负载电流的大小。

1. 钳形电流表的工作原理

钳形电流表是根据电流互感器的原理制成的，外形像钳子一样，如图 2.2.9 所示。

将欲测的导线从铁心的缺口放入铁心中央，这条导线就等于电流互感器的一次绕组。然后松手让铁心自动闭合，被测导线的电流就在铁心中产生交变磁感应线，使二次绕组感应出与导线流过的电流成一定比例的二次电流，从表上就可以直接读数。钳形电流表的使用方法如图 2.2.10 所示。

2. 使用钳形电流表的注意事项

进行电流测量时，被测载流导线的位置应放在钳口中央，以免产生误差。

测量前应先估计被测电流或电压大小，选择合适的量程。或先选用较大量程测量，然后再视被测电流、电压大小，减小量程。

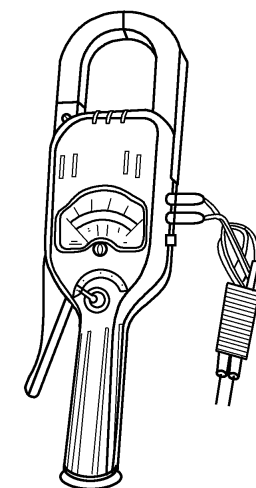


图 2.2.9 钳形电流表

为使读数准确，钳口两个面应保证很好接合。如有杂声，可将钳口重新开合一次。如果声音依然存在，可检查在接合面上是否有污垢存在。如有污垢，可用汽油擦干净。

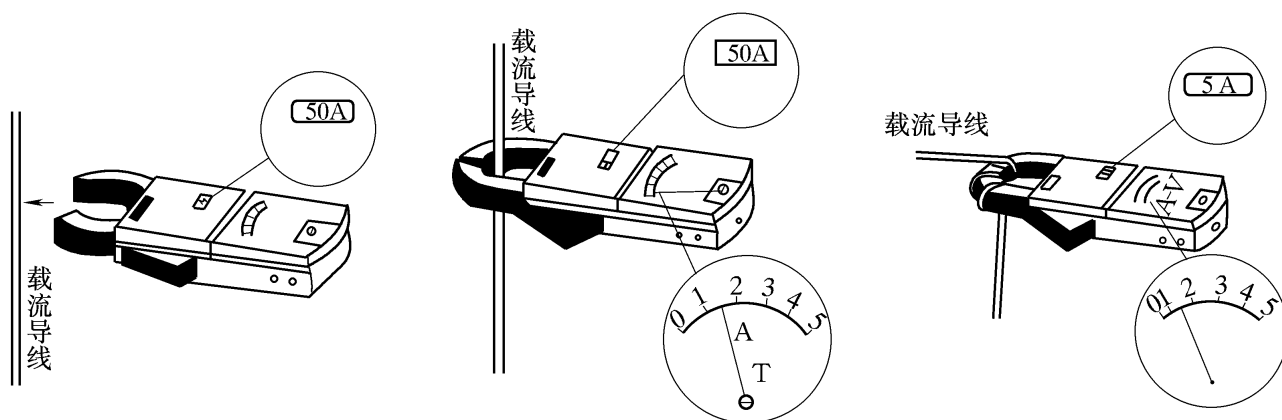


图 2.2.10 钳形电流表的使用方法

测量后一定要把调节开关放在最大电流量程，以免下次使用时，由于未经选择量程而造成仪表损坏。

测量小于 5 A 以下电流时，为了得到较准确的读数。在条件许可时，可把导线多绕几圈放进钳口进行测量，但实际电流值应为读数除以放进钳口内的导线根数。

2.2.7 指针万用表

1. 万用表的组成

万用表又称为复用电表，它是一种可测量多种电量的多量程便携式仪表。由于它具有测量种类多，测量范围宽，使用和携带方便，价格低等优点，常用来检验电源或仪器的好坏，检查线路的故障，判别元器件的好坏及数值等，因此应用十分广泛。

一般万用表都可以测量直流电流、直流电压、交流电压、电阻等，有的万用表还可以测量音频电平，交流电流，电容，电感以及晶体管的 β 值等。

万用表的基本原理是建立在欧姆定律和电阻串、并联分流、分压规律的基础之上。万用表主要由表头、转换开关、分流和分压电路、整流电路等组成。在测量不同的电量或使用不同的量程时，可通过转换开关进行切换。

万用表按指示方式不同，可分为指针式和数字式两种。指针式万用表的表头为磁电式电流表，数字式万用表的表头为数字电压表。在电工测量中，指针式万用表使用得较多，下面主要讲述指针式万用表的结构和使用方法。

(1)

万用表的直流电流挡实质上是一个多量程的直流电流表。由于其表头的满量程电流值很小，所以采用内附分流器的方法来扩大电流量程。量程越大，配置的分流电阻越小。多量程分流器有开路式和闭路式两种，如图 2.2.11 所示。

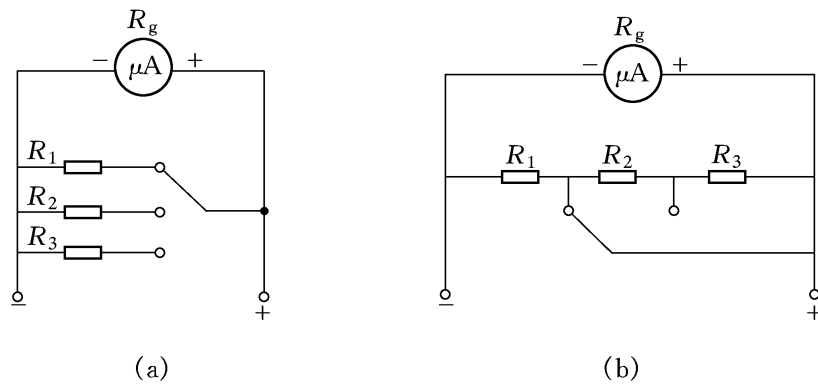


图 2.2.11 万用表的直流电流挡

(2)

万用表的直流电压挡实质上是一个多量程的直流电压表。它采用多个附加电阻与表头串联的方法来扩大电压量程。量程越大，配置的串联电阻也越大。串联附加电阻的方式有单独式和公用式两种，如图 2.2.12 所示。

(3)

万用表测量交流电压时，先要将交流电压经整流器变换成直流后再送给磁电式表头，即万用表的交流测量部分实际上是整流式仪表，其标尺刻度是按正弦交流电压的有效值标出的。由于整流器在小信号时有非线性，因此交流电压低挡位的标尺刻度起始的一小段不均匀。交流电压挡简化测量原理如图 2.2.13 所示。

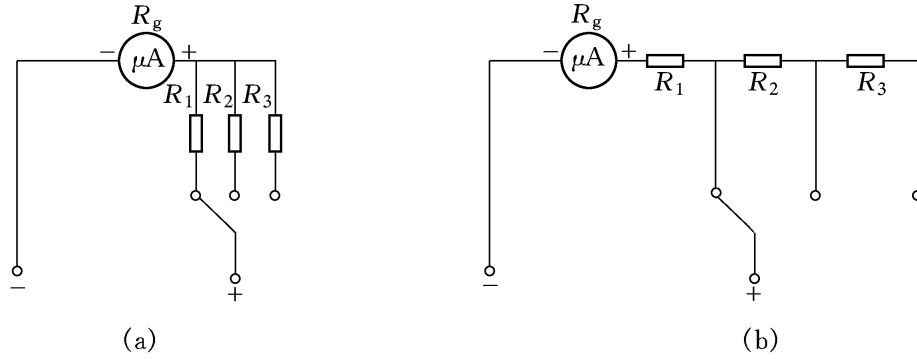


图 2.2.12 万用表的直流电压挡

(a) 单独式附加电阻；

(4)

万用表的直流电阻挡实际上是一个多量程的电阻表，其简化测量原理如图 2.2.14 所示。

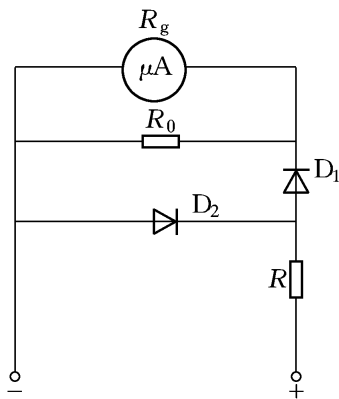


图 2.2.13 交流电压挡
简化测量原理

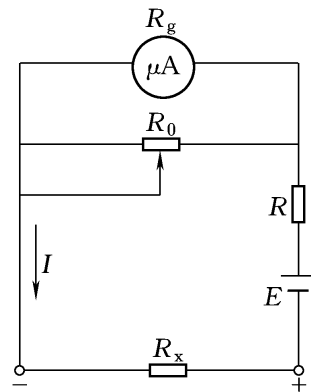


图 2.2.14 直流电阻挡
简化测量原理

电路中的电流 $I = \frac{E}{R_x + R_1}$ $R_1 = R + R_0 \frac{R_g}{R_0 + R_g}$ R_1 为定值时，可看出电流 I 与被测电阻 R_x 的大小相对应。 R_x 越大， I 越小；反之 R_x 越小， I 越大。所以电阻挡的刻度是反向的， $I=0$ 时对应着 $R_x = \infty$ ， $I=I_m$ (满量程值) 对应着 $R_x = 0$ 。由于 R_x 与 I 之间的关系为非线性，所以电阻挡的标尺刻度是不均匀的。

当 $R_x = R$ ， $I = I_m/2$ 时，通常把此处的标度值称为欧姆中心值。电路中的 R_0 用于电阻挡调零，改变电阻挡的量程，是通过改变量程的电流值来实现的。

2. 万用表的使用

万用表的型号很多，但测量原理基本相同，使用方法相近。下面以电工测量中常用的 500 - B 型万用表为例，说明其使用方法。500 - B 型万用表的表头灵敏度为 $40 \mu A$ ，表头内阻为 3000Ω ，其主要性能如表 2.4 所示，外形如图 2.2.15 所示，电路原理图如图 2.2.16 所示。

500 - B 型万用表的使用方法如下：

万用表使用前先要调整机械零点，把万用表水平放置好，看指针是否指在电压刻度零点，如不指零点，则应旋动机械调零螺钉，使表针准确指在零点上。操作方法如图 2.2.17 所示。

表 2.4 500 - B 型万用表的性能

测量功能	测量范围	压降或内阻	基本误差
直流电流	0 ~ 50 μ A ~ 1 mA ~ 10 mA ~ 100 mA ~ 500 mA ~ 5 A	0.75 V	$\pm 2.5\%$
直流电压/V	0 ~ 2.5 ~ 10 ~ 50 ~ 250 ~ 500 ~ 2 500	20 k Ω /V	$\pm 2.5\%$
交流电流/A	0 ~ 5	1.0 V	$\pm 4.0\%$
交流电压/V	0 ~ 10 ~ 50 ~ 100 ~ 250 ~ 500 ~ 2 500	4 k Ω /V	$\pm 4.0\%$
直流电阻/ Ω	$R \times 1$, $R \times 10$, $R \times 100$, $R \times 1 k$, $R \times 10 k$		$\pm 2.5\%$
音频电平/dB	- 10 ~ 0 ~ + 20		

万用表有红色和黑色两支表笔

“*”的两个插孔内，红表笔插入“+”插孔，黑表笔插入“-”或“*”插孔。

500 - B 型万用表有两个转换开关，用以选择测量的电量和量程，使用时应根据被测电量及其大小选择相应挡位。在被测量大小不详时，应先选用较大的量程测量，如不合适再改用较小的量程，应尽量使表头指针指到满刻度的 2/3 左右。

万用表的刻度盘上有许多标度尺，分别对应不同被测量和不同量程，测量时应在与被测电量及其量程相对应的刻度线上读数。

测量直流电流时，将开关旋到直流电流挡“A”的位置上，再选择适当的电流量程，将万用表串联到被测电路中进行测量。测量方法如图 2.2.18 所示。测量时注意正负极性必须正确，应按电流从正到负的方向，即由红表笔流入，黑表笔流出。

测量交流电流时，开关旋到交流电流挡的位置上，选择适当量程进行测量。

被测的交直流电流值，由表盘的相应量程刻度线上读数。

将开关转到电压挡“V”的位置上，再选择适当的电压量程，将万用表并联在被测电路上进行测量。测量直流电压时，正负极性必须正确，红表笔应接被测电路的高电位端，黑表笔接低电位端。测量方法如图 2.2.19 所示。

被测交直流电压值，由表盘的相应量程刻度线上读数。

将开关旋到欧姆挡“ Ω ”的位置上，再选择适当的电阻量程。测量前应先调整欧姆零点，将两表笔短接，看表针是否指在欧姆零点上，若不指零，应转动欧姆调零旋钮，使表针指在零点，操作方法如图 2.2.20

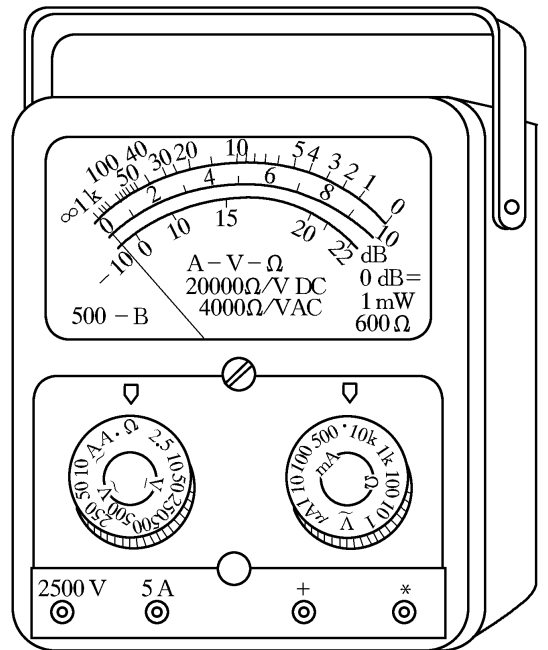


图 2.2.15 500 - B 型万用表外形

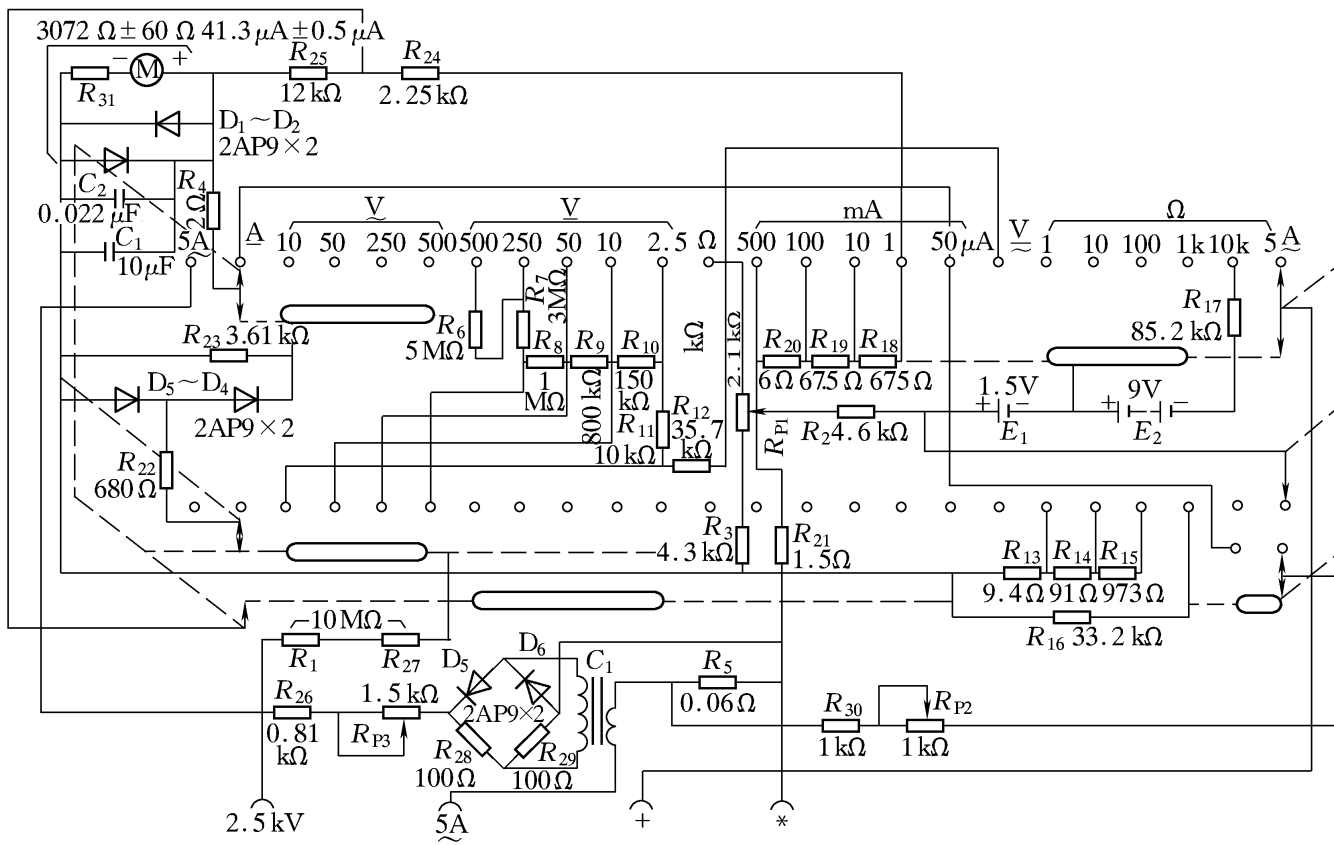


图 2.2.16 500 - B 型万用表电路原理图

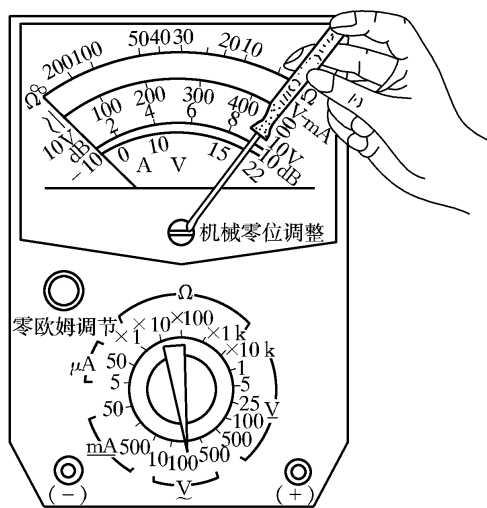


图 2.2.17 万用表调整机械零点

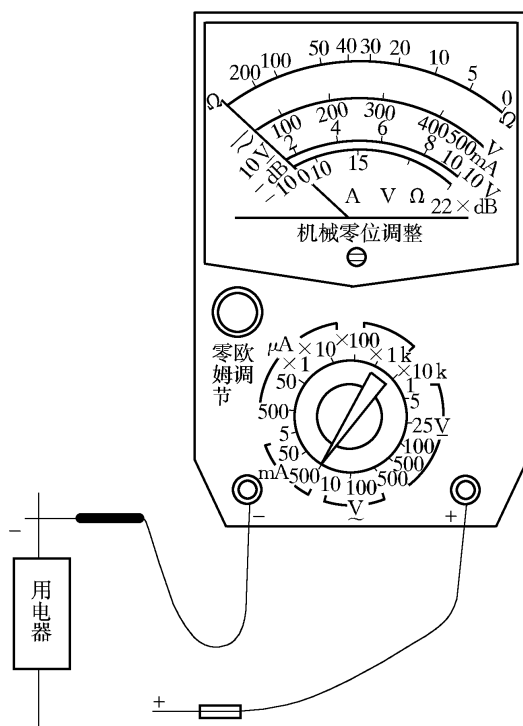


图 2.2.18 用万用表测量直流电流

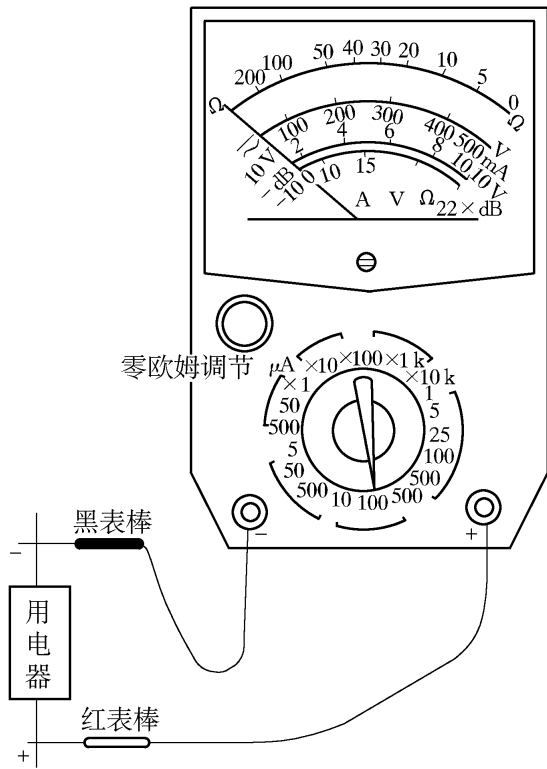


图 2.2.19 用万用表测量直流电压

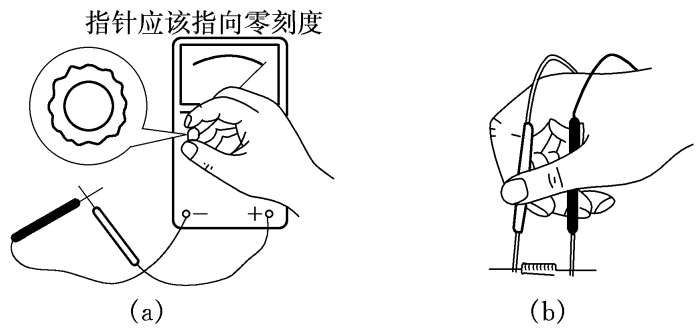


图 2.2.20 用万用表测量电阻

换量程挡后，应重新调整欧姆零点。

测量电阻时用红、黑两表笔接在被测电阻两端进行测量，为提高测量的准确度，选择量程时应使表针指在刻度的中间位置附近为宜，测量值由表盘刻度线上读数。被测电阻值 = 表盘读数 × 量程。

测量中不允许用两手同时触及被测电阻两端，以避免并联上人体电阻，使读数减小，造成测量误差。测量电阻的方法如图 2.2.20

端或断开与被测电阻相并联的电路，此外还必须断开电源，对电解电容进行放电，不能带电测量电阻。

正确选择被测量电量的挡位，不能放错。禁止带电转换量程开关。切忌用电流挡或电阻挡测量电压。

在测量电流或电压时，如果对于被测量电流、电压大小无法估计时，应首选到最大量程，然后再换到合适的量程上测量。

测量直流电压或直流电流时，必须注意极性。正、负端应各与电路的正、负端相接。

测量电流时，应特别注意把电路断开，将表串接于电路之中。

测量电阻时不可带电测量，并要将被测电阻与电路断开。使用欧姆挡时换挡要重新调零。

每次使用完后，应将转换开关拨到空挡或交流电压最高挡，以免造成仪表损坏。长期不使用时，应将万用表中的电池取出。更换或取出电池的方法如图 2.2.21 所示。

总之，在平时测量中应养成正确使用万用表的习惯，每次测量前，应习惯地对表的挡位、

量程、连接方法检查一下。

2.2.8 数字万用表

数字万用表的用途与指针式万用表类似，数字式万用表的表头为数字电压表，它用液晶数字显示测量的结果，工作可靠，直接显示数字及单位。其读数具有客观性和直观性，并且具有量程自动转换，价格低，使用方便，功耗小，体积小，准确度高特点，应用十分广泛。

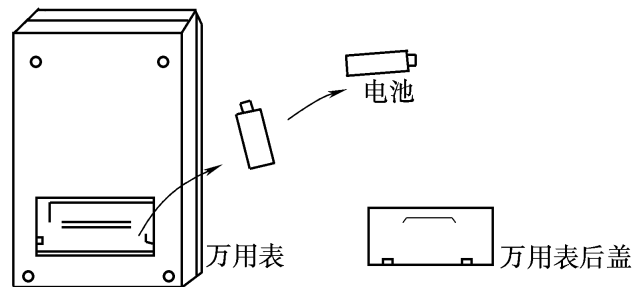


图 2.2.21 万用表更换电池的方法

1. 数字万用表的特点

输入阻抗高，输入电容小，因而对被测电路的影响较小。

测量频率范围宽。一般可从几十赫至几兆赫。

灵敏度高。电压测量范围较大，低到微伏级或毫伏级，高则可达上千伏和几千伏。

指示直观。数字万用表在测量时可由液晶显示屏直接读出电量数值，既方便又直观。

功能齐全。具有普通型万用表的全部功能以及其他附加功能

数)

2. 数字万用表的测量方法

数字万用表的外形图如图 2.2.22 所示。数字万用表的测量方法如下：

将量程开关置于所需电压量程。

黑表笔接“COM”插孔，红表笔接“V”插孔。

表笔并接于被测电路，显示直流电压读数时，同时显示红表笔所接端极性。

注意：

电路。

黑表笔接“COM”插孔，当被测值小于 200 mA 时，红表笔接“A”插孔，当被测值在 200 mA ~ 10 A 之间时红表笔接“20 A”插孔。

将量程开关置于所需电流量程。

将表笔串接于被测电路，显示直流电流读数时，同时显示红表笔所接端的极性。

注意：

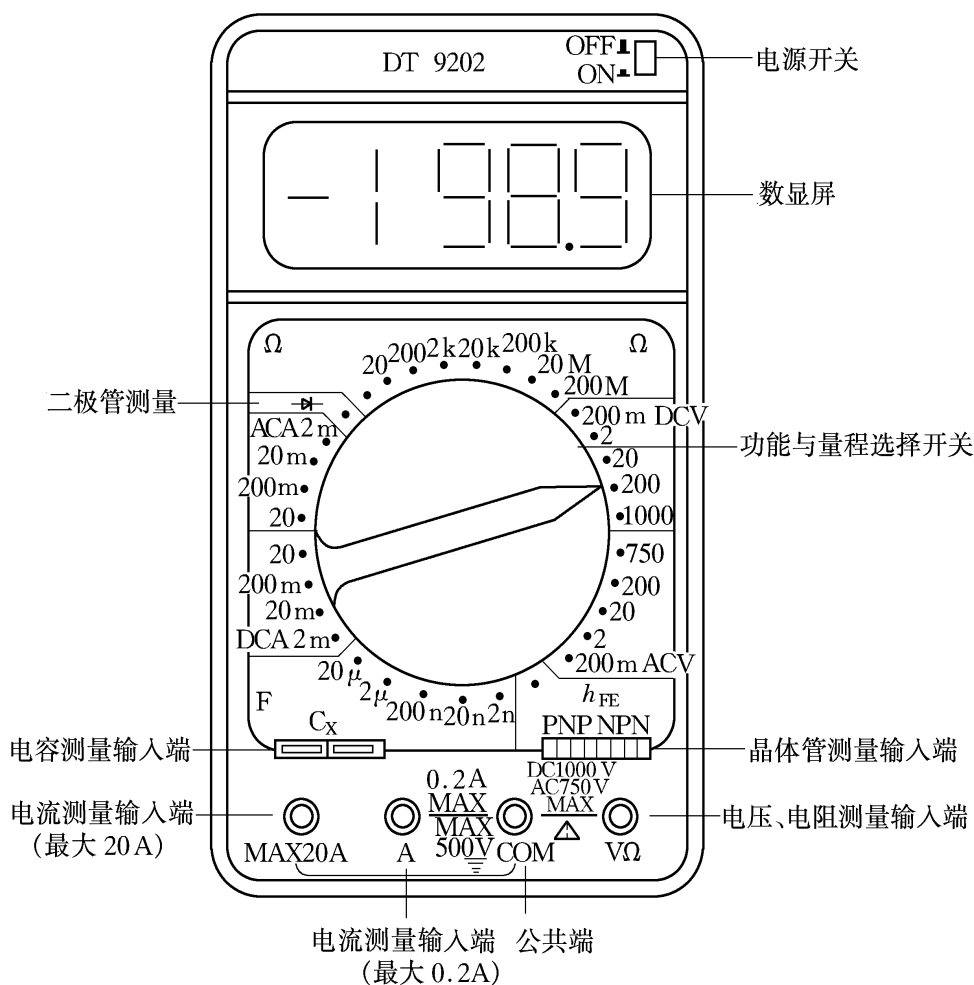


图 2.2.22 数字万用表的外形图

黑表笔插入“COM”插孔，红表笔插入“V”插孔。

将量程开关置于所需电阻量程。

将表笔跨接在被测电阻两端，读出显示值。

注意：

量程开关置于所需电容量程，显示会自动校零。

将被测电容插入“ C_x ”电容输入插孔，读取显示值。

注意：测试前，被测电容应先放电，以免损伤仪表。

将量程开关置于“ ∇ ”挡位。

黑表笔插入“COM”插孔，红表笔插入“V”插孔。

将表笔并接到被测二极管上，显示为正向压降的电压值，当二极管反接时，显示为过量程状态，输入端开路时，也显示为过量程状态，即最高位显示“1”。

测试条件：正向直流电流约 1 mA，反向直流电压约 3 V。

黑表笔插入“COM”插孔，红表笔插入“V”插孔。

将量程开关置于“ Ω ”挡位

将表笔跨接在预测线路的两端，当两点之间的电阻值小于约 70 Ω 时，蜂鸣器便会发出声响。

注意：

声，导致错误判断。

h_{FE} 测量

量程开关置于“ h_{FE} ”挡位。

确认晶体管是 PNP 型还是 NPN 型，将晶体管的三个脚分别插入测试插座对应的 E、B、C 插孔中。

显示读数为晶体管 h_{FE} 的近似值。

测试条件：基极电流 10 μA ， U_{CE} 约 3 V。

3. 使用数字万用表的注意事项

如果开机后不显示任何数字，应首先检查 9 V 集成电池是否已失效，还需检查电池引线有无断线，电池夹是否接触牢靠。若显示出低电压标志符，应及时更换新电池。测量时，倘若仅最高位显示数字“1”，其他位均消隐，证明仪表已发生过载，应选择更高的量程。有些数字万用表带读数保持开关或者按键，平时应置于关断位置，以免影响正常测量。一些新型数字万用表增加了自动关机功能，当仪表停止使用或停止于某一挡位的时间超过 15 min 时，能自动切断电源，使仪表处于低功耗的“休眠”状态，而并非出现故障。此时只需重新启动即可恢复正常工作。

使用数字万用表时不得超过所规定的极限值。最高 DC V 挡的输入电压极限值为 1 000 V，最高 AC V 挡则为 700 V 或 750 V

两者电压之和不得超过所用 AC V 挡的输入电压极限值。

测量交流电压时，应当用黑表笔接被测电压的低电位端（220 V 交流电的中性线端等）

测量直流电压

可不必考虑表笔的接法。

测量大电流时须使用“20 A”插孔，该插孔未加保护装置，因此测量大电流的时间不允许超过 10 ~ 15 s，否则会影响读数的准确性。

数字万用表的红表笔带正电，黑表笔带负电，这与指针式万用表电阻挡的极性恰好相反。测量有极性的元器件时，必须注意表笔的极性。

测量电阻时两手不得碰触表笔的金属端或元件的引出端，以免引入人体电阻，影响测量结果。严禁在被测线路带电的情况下测量电阻。

用电容挡测量电解电容器时，被测电容器的极性应与电容插座所标明的极性保持一致。测量之前必须将电容器放电，以免损坏仪表。

2.2.9 兆欧表

兆欧表(又称为摇表)

兆欧表,主要用来测量绝缘电阻。一般用来检测供电线路、电机绕组、电缆、电气设备等的绝缘电阻,以便检验其绝缘程度的好坏。兆欧表的外形图如图 2.2.23 所示。

常见的兆欧表主要由作为电源的高压手摇发电机和磁电式流比计两部分组成,兆欧表的结构示意图及其原理电路图如图 2.2.24 所示。

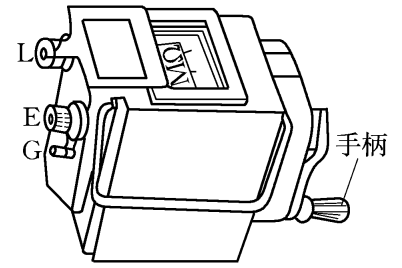


图 2.2.23 兆欧表外形图

1. 兆欧表的选择

在测量电气设备的绝缘电阻之前,先要根据被测设备的性质

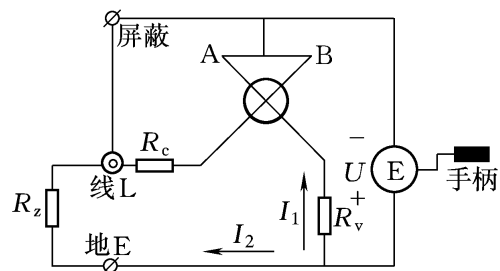
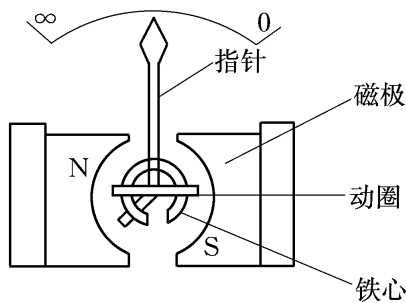


图 2.2.24 兆欧表的结构示意图及其原理电路图

和电压等级,选择适当的兆欧表。

一般测量额定电压在 500 V 以下的设备时,选用 500 ~ 1 000 V 的兆欧表,测量额定电压在 500 V 以上的设备时,选用 1 000 ~ 2 500 V 的兆欧表。例如,测量高压设备的绝缘电阻,不能用额定电压 500 V 以下的兆欧表,因为这时测量结果不能反映工作电压下的绝缘电阻;同样不能用电压太高的兆欧表测量低压电气设备的绝缘电阻,否则会损坏设备的绝缘。

此外,兆欧表的测量范围也应与被测绝缘电阻的范围相吻合。一般应注意不要使其测量范围过多地超出所需测量的绝缘电阻值,以免使读数产生较大误差。一般测量低压电气设备绝缘电阻时,可选用 0 ~ 200 M 量程的表,测量高压电气设备或电缆时可选用 0 ~ 2 000 M 量程的表。刻度不是从零开始,而是从 1 M 起始的,兆欧表一般不宜用来测量低压电气设备的绝缘电阻。表 2.5 给出了选择兆欧表的参考依据。

表 2.5 兆欧表的选择

被测对象	设备的额定电压	兆欧表额定电压	兆欧表的量程
普通线圈的绝缘电阻	500 V 以下	500 V	0 ~ 200 M
变压器和电动机线圈的绝缘电阻	500 V 以上	1 000 ~ 2 500 V	0 ~ 200 M
发电机线圈的绝缘电阻	500 V 以下	1 000 V	0 ~ 200 M
低压电气设备绝缘电阻	500 V 以下	500 ~ 1 000 V	0 ~ 200 M
高压电气设备绝缘电阻	500 V 以上	2 500 V	0 ~ 2 000 M
瓷瓶、母线、高压电缆	500 V 以上	2 500 ~ 5 000 V	0 ~ 2 000 M

2. 使用前的检查

兆欧表使用前要先进行一次开路和短路试验，检查兆欧表是否良好。

将“L”、“E”端开路，摇动手柄，如图 2.2.25

“L”、“E”端短接，摇动手柄，如图 2.2.25

的，否则兆欧表是有误差的。

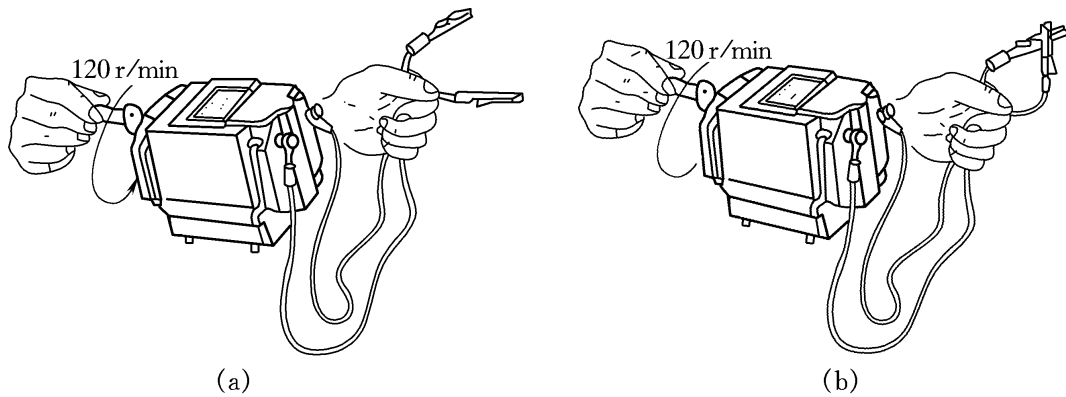


图 2.2.25 兆欧表的开路和短路试验

3. 兆欧表的接线

兆欧表上有三个分别标有接地“E”、电路“L”和保护环“G”的接线柱。

测量电路绝缘电阻时，可将被测端接于电路“L”接线柱上，以良好的地线接于接地“E”的接线柱上，连接方法如图 2.2.26 所示。

测量电动机绝缘电阻时，将电动机绕组接于电路“L”端，机壳接于接地“E”端，如图 2.2.27 所示。

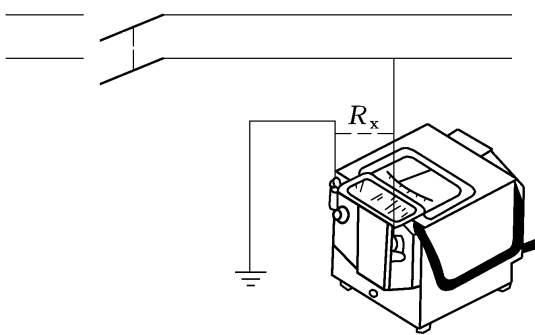


图 2.2.26 用兆欧表测量电路绝缘电阻

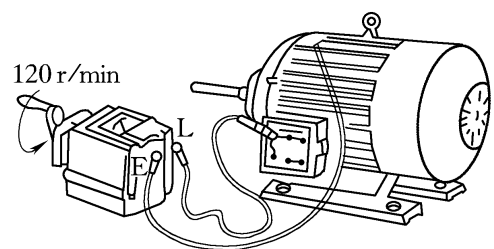


图 2.2.27 用兆欧表测量电动机绝缘电阻

测量电动机绕组间的绝缘性能时，将电路“L”端和接地“E”端分别接在电动机两绕组的接线端，如图 2.2.28 所示。

测量电缆的缆芯对缆壳的绝缘电阻时，除将缆芯接于电路“L”和缆壳接于接地“E”以外，还要将电缆壳、芯之间的内层绝缘物接保护环“G”，以消除因表面漏电而引起的误差，如图 2.2.29 所示。

4. 使用兆欧表的注意事项

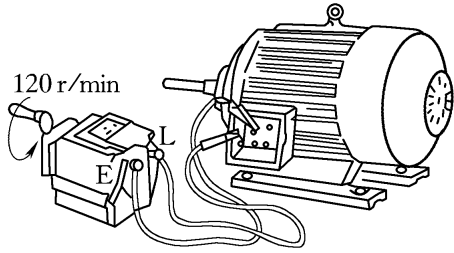


图 2.2.28 测量电动机绕组间的绝缘性能

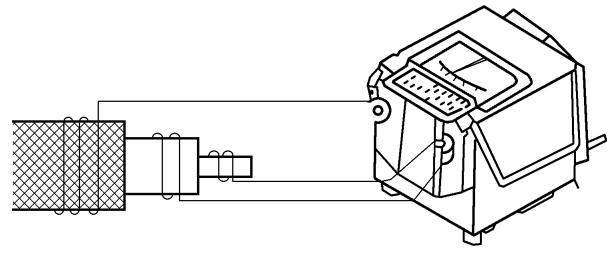


图 2.2.29 测量电缆的绝缘电阻

在进行测量前要先切断电源，被测设备一定要进行放电及人身安全。

接线柱与被测设备间连接的导线不能用双股绝缘线或绞线，应用单股线分开单独连接，避免因绞线绝缘不良引起误差，应保持设备表面清洁干燥。

测量时，表面应放置平稳，手柄摇动要由慢渐快。

一般采用均匀摇动 1 min 后的指针位置作为读数。一般为 120 r/min。测量中如发现指针指示为 0，则应停止转动手柄，以防表内线圈过热而烧坏。

在兆欧表转动尚未停下或被测设备未放电时，不可用手进行拆线，以免引起触电。

2.2.10 功率计

1. 功率计工作原理

功率计多数是根据电动式仪表的工作原理来测量电路的功率。电动式仪表的固定线圈匝数少，导线粗，作为功率计的电流线圈，它与被测电路串联，让负载电流通过；电动式仪表的转动线圈匝数多，导线细，作为功率计的电压线圈，经过附加电阻串联后和被测电路负载并联，电压线圈两端的电压就是负载两端的电压。当测量直流电路功率时，功率计指针的偏转角取决于负载电压和负载电流的大小；当测量交流电路功率时，其指针的偏转角是与负载电压、负载电流和功率因数成正比的。

2. 功率计的选择

在选择功率计时，首先要考虑的是功率计的量程，这必须使其电流量程能承受允许通过的负载电流，电压量程能承受负载电压。例如，有一感性负载，功率为 800 W，额定电压为 220 V，功率因数是 0.8，应如何选择功率计的量程来测量这一负载的消耗功率呢？因负载电压为 220 V，功率计的电压量程可选为 300 V。根据公式 $P = UI \cos \phi$ ，来计算负载电流 I

$$I = \frac{P}{U \cos \phi} = \frac{800}{220 \times 0.8} \text{ A} = 4.54 \text{ A}$$

故功率计的电流量程可选为 5 A。由此可选功率计量程为 300 V，5 A，其功率量程为 1 500 W，如果选用量程为 100 V，15 A 的功率计，虽然功率量程仍为 1 500 W，但负载电压超过了功率计的量程，所以不能使用。可以看出，选择功率计的量程，就是正确地确定功率计的电流量程和电压量程。

要按被测电路交流负载的功率因数的大小，确定选用普通功率计还是低功率因数功率计。普通功率计是按照额定电压，额定电流及额定功率因数 $\cos \phi = 1$ 的条件下进行刻度的。如果

测量功率因数很低的负载时，功率计指针的偏转角很小，测量结果的误差较大，这时需要选择低功率因数功率计。低功率因数功率计标度尺是在功率因数较低的条件下进行刻度的，并在表内采用了多种补偿措施，对功率因数较低的负载可以提高测量的准确度。

3. 功率计的使用

(1)

电动式功率计指针的偏转方向是由通过电流线圈的电流方向决定的，如果改变其中一个线圈的电流的方向，指针就将反转。为了保证指针正转，通常在电流线圈和电压线圈的接线端记“*”符号，称为电源端，并规定电源端接线规则如下：

功率计电流线圈的电源端必须和电源相连接，另一接线端与负载相连接；电压线圈的电源端可以与电流线圈的任一接线端相连，另一接线端跨接被测负载的另一端。按照这个规则接线，指针不会反转。应注意，在仪表上注有“*”号的端点应接在一起，功率计的连接如图 2.2.30 所示。

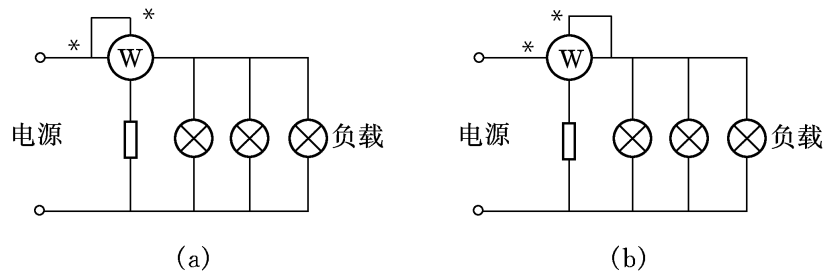


图 2.2.30 功率计的连接

功率计有两种接线方法。当被测负载较小时，考虑功率计功率消耗对测量结果的影响，可根据情况选择接线方法。当负载电阻远大于电流线圈电阻时，应采用图 2.2.30 (a) 方法。此时电压线圈所测的电压为负载和电流线圈所消耗的功率之和。因电流线圈与负载相比电阻小，所测电压近似等于负载电压，功率计指示接近实际值；当负载电阻远小于电压线圈电阻时，应采用图 2.2.30 (b) 方法。此时功率计指示为负载和电压线圈电流之和。因电压线圈电阻远大于负载电阻，所测电流近似等于负载电流，功率计指示较为准确。

在实际测量中，如被测负载的功率很大，上述两种接线方法可任选。

因为是三相平衡负载，每相负载所消耗的功率相同，只需用一只功率计测量一相负载的功率，然后乘以 3，即是三相总功率。图 2.2.31 所示为一相负载功率测量图。功率计电流线圈通过一相电流，电压线圈所测为同一相的相电压。

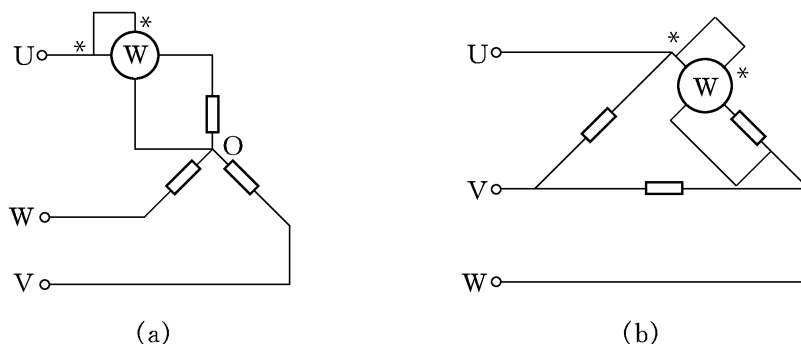


图 2.2.31 用一只功率计测量三相平衡负载功率

在三相四线制电路中，三相负载不平衡，要测量其总功率，需使用3只功率计。3只功率计读数的总和就是三相负载的总功率，如图2.2.32所示。

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

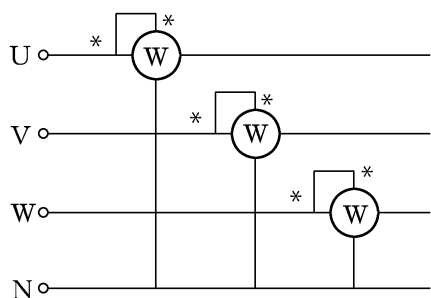


图 2.2.32 用三只功率计测量三相四线制负载总功率

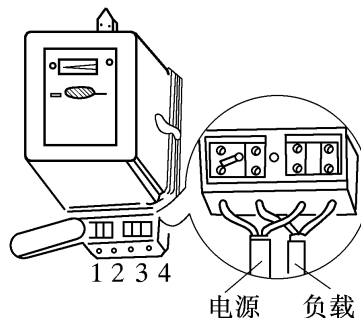


图 2.2.33 单相瓦时计的外形

2.2.11 瓦时计

瓦时计曾称为电度表，它是计量电能的仪表，即能测量某一段时间内所消耗的电能。单相瓦时计的外形如图2.2.33所示。

瓦时计按用途分有有功瓦时计和无功瓦时计两种，它们分别计量有功功率和无功功率。按结构分有单相表和三相表两种。

1. 瓦时计的结构

瓦时计的种类虽不同，但其结构是一样的。它由两部分组成：一部分是固定的电磁铁，另一部分是活动的铝盘。瓦时计有驱动元件、转动元件、制动元件、计数机构、支座和接线盒等部件。单相瓦时计的结构如图2.2.34所示。

驱动元件：驱动元件有两个电磁元件即电流元件和电压元件。转盘下面是电流元件。它由铁心及绕在它上面的电流线圈所组成。电流线圈匝数少，导线截面积相当大，它与用电器串联。转盘上面的部分是电压元件，它由铁心及绕在它上面的电压线圈所组成。电压线圈线径细，匝数多，它与照明线路的用电器并联。

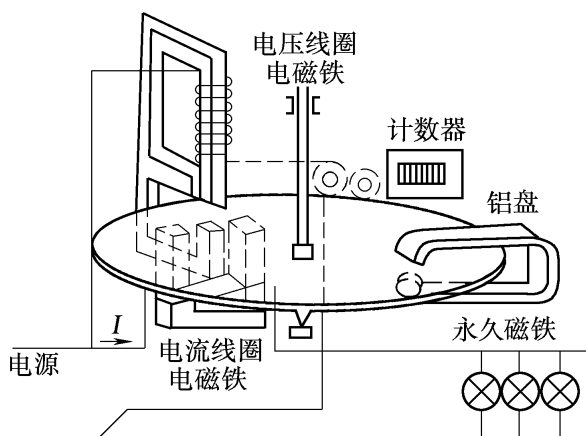


图 2.2.34 单相瓦时计的结构

转动元件：转动元件是由铝制转盘及转轴组成的。

制动元件：制动元件是一块永久磁铁，在转盘转动时产生制动力矩，使转盘转动的转速与用电器的功率大小成正比。

计数机构：计数机构由蜗轮杆、齿轮机构组成，用于电功计量。

支座：支座用于支承驱动元件、制动元件和计数机构等部件。

接线盒：接线盒用于连接瓦時計内外线路。

2. 瓦時計的工作原理

当通入交流电后，电压元件和电流元件的两种交变磁通穿过铝盘时，在铝盘内感应产生涡流，涡流与电磁铁的磁通相互作用，产生一个转动力矩，使铝盘转动。永久磁铁的作用是产生与转动方向相反的制动力矩，在一定的转动力矩作用下，可使铝盘以恒定的速度旋转。

铝盘的转动将通过蜗杆传送到齿轮上，使齿轮组成的机械计数机构计数

3. 瓦時計的安装和使用要求

瓦時計应按设计装配图规定的位置进行安装。应注意不能安装在高温、潮湿、多尘及有腐蚀气体的地方。

瓦時計应安装在不易受震动的墙上或开关板上，墙面上的安装位置以不低于 1.8 m 为宜。这样不仅安全，而且便于检查和“抄表”。

为了保证瓦時計工作的准确性，必须严格垂直装设。如有倾斜，会发生计数不准或停走等故障。

瓦時計的导线中间不应有接头。接线时接线盒内的螺钉应全部拧紧，不能松动，以免接触不良，引起接头发热而烧坏。配线应整齐美观，尽量避免交叉。

瓦時計在额定电压下，当电流线圈无电流通过时，铝盘的转动不超过 1 转，功率消耗不超过 1.5 W。根据实践，一般 5 A 的单相瓦時計每月耗电为 1 kW·h 左右。所以，每月瓦時計总需要补贴总瓦時計 1 kW·h 电。

瓦時計装好后，开亮电灯，瓦時計的铝盘应从左向右转动。若铝盘从右向左转动，说明接线错误，应把相线

单相瓦時計的选用必须与用电器总瓦数相适应。在 220 V 电压的情况下，根据公式：

$$P = I \cdot U$$

式中：P 为功率，单位为 W；I 为电流，单位为 A；U 为电压，单位为 V。

可以算出不同规格的瓦時計可装用电器的最大

表 2.6 不同规格瓦時計可装用电器的最大(总)

瓦時計的规格/A	3	5	10	25
可装用电器最大	660	1 100	2 200	5 500

一般来说，对于一定规格的瓦時計所安装用电器的总功率是表 2.6 中最大 1/5 ~ 1/4 最为适宜。

瓦時計在使用时，电路不容许短路及用电器超过额定值的 125 %。注意瓦時計不要受撞击。

瓦時計不允许安装在 10 % 额定负载以下的电路中使用。

4. 瓦時計的接线

瓦時計是应用较广泛的一种仪表，因为不论是发电、供电、用电部门还是家庭，一般都通过瓦時計来进行必要的经济核算和收付电费。

瓦時計能否正确运行，决定于制造、安装运行、维修等多方面的因素，而瓦時計的接线是

否正确是一个非常重要的环节。瓦时计可分为单相瓦时计和三相瓦时计。它们的连接有直接接入或间接接入方式。下面分别介绍几种常用瓦时计的接线方式。

在低压小电流电路中，瓦时计可直接接在线路上，如图 2.2.35 所示。一般在瓦时计接线盒的背面都有具体接线图。

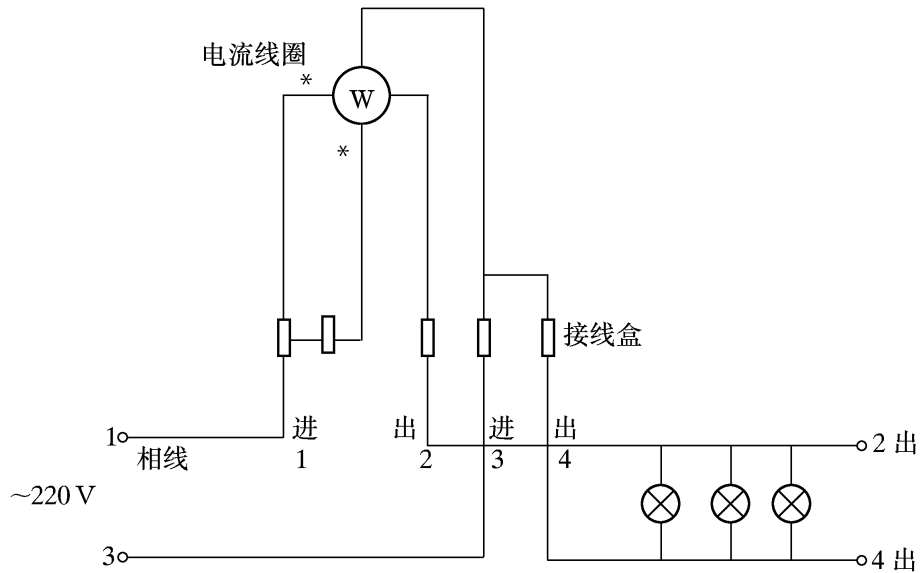


图 2.2.35 单相瓦时计的接线

在低电压大电流线路中，若线路的负载电流超过瓦时计的量程，须经电流互感器将电流变小，即将瓦时计连接成间接式接在线路上，接线方法如图 2.2.36 所示。要把瓦时计上的耗电数值乘以电流互感器的倍数就是实际耗电量。

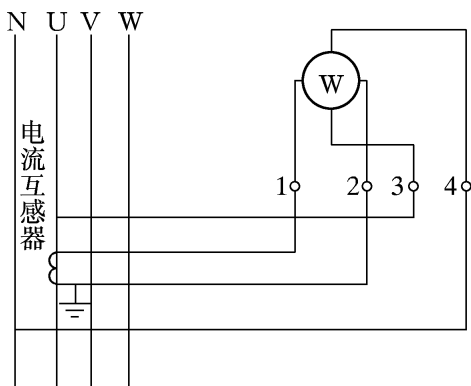


图 2.2.36 经过电流互感器的单相瓦时计接线

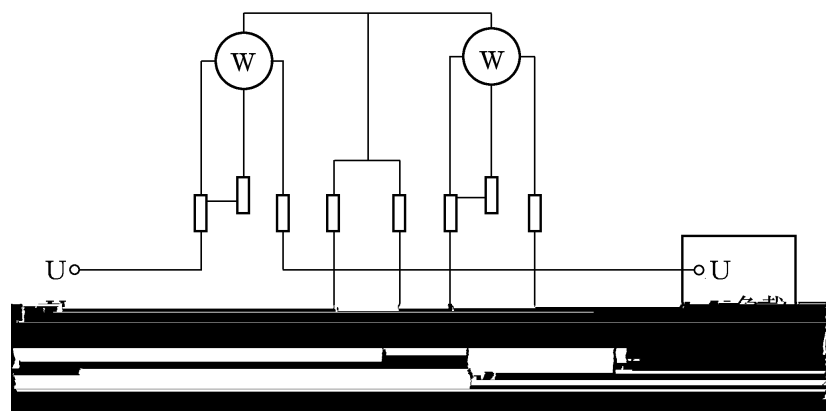


图 2.2.37 三相二元件瓦时计接线

直接接入式的接线方法如图 2.2.37 所示。

经过电流互感器的接线方法如图 2.2.38 所示。

三相三元件瓦时计

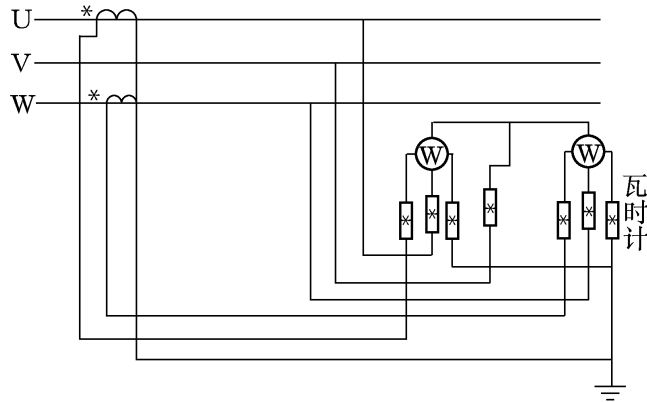


图 2.2.38 三相二元件瓦时计经过电流互感器的接线

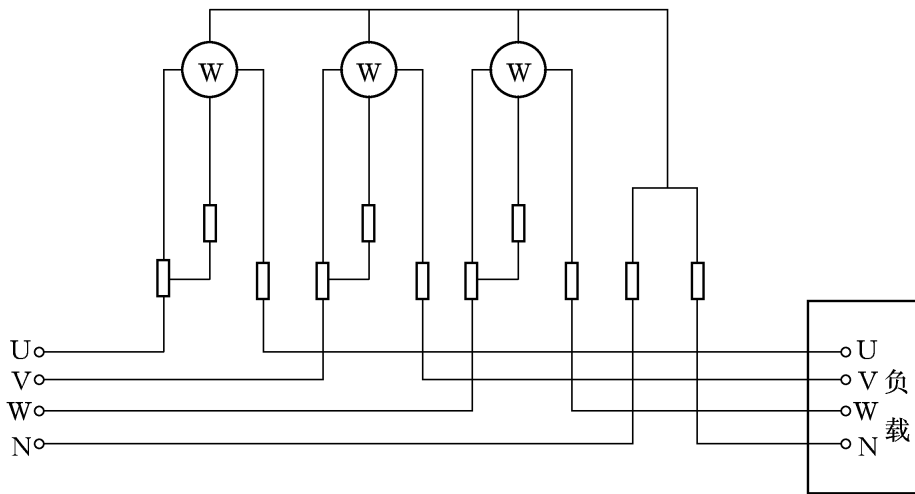


图 2.2.39 三相四线三元件瓦时计的接线

5. 新型瓦时计简介

在科技迅猛发展的今天，新型瓦时计也正快步进入千家万户。这里简要介绍我国近期开发的具有较高科技含量的长寿式机械瓦时计、静止式瓦时计、电卡预付费瓦时计（付费瓦时计）

长寿式机械瓦时计是在充分吸收国内外瓦时计设计、选材和制造经验的基础上开发的新型瓦时计，具有宽负载、长寿命、低功耗、高精度等优点。它与普通瓦时计相比，在结构上具有以下特点：

表壳采用高强度透明聚碳酸酯注塑成型，在 60 ~ 110 范围内不变形，能达到密封防尘、抗腐蚀老化及阻燃的要求。

底壳与端钮盒连体，采用高强度、高绝缘、高精度的热固性材料注塑成型。

轴承采用磁推轴承，支撑点采用进口石墨衬套及高强度不锈钢针组成。

阻尼磁钢由铝、镍、钴等双极强磁性材料，经过高、低温老化处理，性能稳定。

计度器支架采用高强度铝合金压铸，字轮、标牌均能防止紫外线辐射，不褪色，齿轮轴采用耐磨材料制作，不加润滑油，机械负载误差小。

电流线圈线径较粗，自热影响小，稳定性好，与端钮盒连接接头采用银焊压接，接触可靠。

电压线路功耗小于 0.8 W，损耗小，节能。

电流量程一般为 5

静止式瓦时计是借助于电子电能计量先进的机理，继承传统感应式瓦时计的优点，采用全屏蔽、全密封的结构，具有良好的抗电磁干扰性能，集节电、可靠、轻巧、高精度、高过载、防窃电等为一体的新型瓦时计。

静止式瓦时计的工作原理：由分流器取得电流采样信号，分压器取得电压采样信号，经乘法器得到电压电流乘积信号，再经频率变换产生一个频率与电压电流乘积成正比的计算脉冲，通过分频，驱动步进电机，使计度器计量，如图 2.2.40 所示。

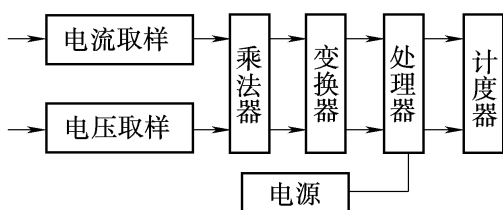


图 2.2.40 静止式瓦时计工作原理方框图

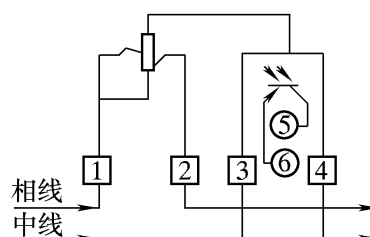


图 2.2.41 静止式瓦时计接线图

静止式瓦时计按电压等级分为单相电子式、三相电子式和三相四线电子式等；按用途可分为单一式和多功能

静止式瓦时计的安装使用要求与一般机械式瓦时计大致相同，但接线宜粗，避免因接触不良而发热烧毁。静止式瓦时计安装接线如图 2.2.41 所示。

电卡预付费瓦时计又称为 IC 卡表或磁卡表。它不仅具有电子式瓦时计的各种优点，而且电能计量采用先进的微电子技术进行数据采集、处理和保存，实现先付费后用电的管理功能。

电卡预付费瓦时计由电能计量和微处理器两个主要功能块组成。电能计量功能块使用分流——倍增电路，产生表示用电多少的脉冲序列，送至微处理器进行电能计量；微处理器则通过电卡接头与电能卡

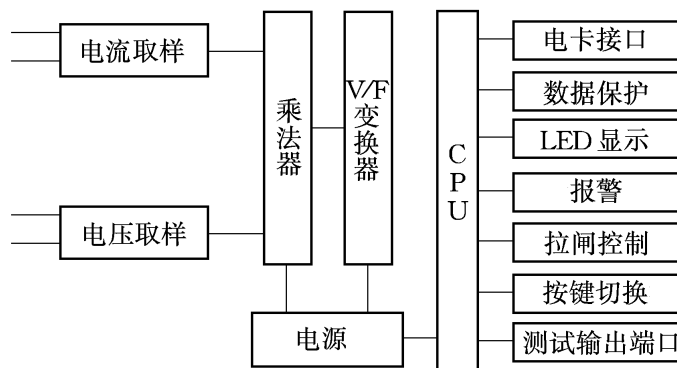


图 2.2.42 电卡预付费瓦时计工作原理方框图

电卡预付费瓦时计也有单相和三相之分。单相电卡预付费瓦时计的接线如图 2.2.43 所示。

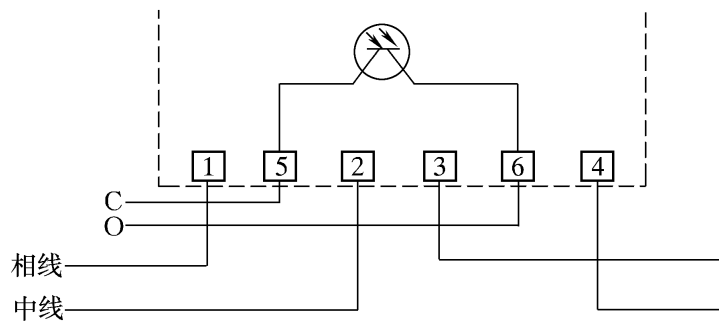


图 2.2.43 单相电卡预付费瓦时计的接线

防窃型瓦时计是一种集防窃电与计量功能于一体的新型瓦时计，可有效地防止违章窃电行为，堵住窃电漏洞，给用电管理带来了极大的方便。

防窃型瓦时计主要具有以下两个特点：

正常使用时，盗电制裁系统不工作。

当出现非法短路电流回路时，盗电制裁系统工作，瓦时计加快运转，并催促非法用电户停止窃电行为。如瓦时计反转时，此表采用了双向计度器装置，使倒转照样计数。

2.2.12 直流电桥

电桥在电磁测量中应用广泛，其特点是灵敏度和准确度都比较高。在需要精确地测量电阻时往往采用电桥。

1. 电桥的种类及用途

电桥可分为交流电桥和直流电桥。交流电桥可以测量电阻、电感及电容等参数。直流电桥又分有直流单臂电桥和直流双臂电桥。直流单臂电桥又称为惠斯通电桥，它用于测量 1 ~ 1 000 k 的中值电阻。直流双臂电桥又称为凯尔文电桥，它用于测量 1 以下的小电阻。

精确测量电阻须采用直流电桥，直流电桥是一种比较测量仪器，它是把被测电阻与标准电阻直接进行比较，从而确定被测电阻的大小。它的测量精度远高于万用表。

2. 直流单臂电桥

直流单臂电桥又称为惠斯通电桥，其电路原理如图 2.2.44 所示。它是由四个电阻连接成一个封闭的环形电路，每个电阻支路均称为桥臂。电桥的两个顶点 a、b 端为输入端，接电桥直流电源，另两个顶点 c、d 端为输出端，接电流检流计。

四个桥臂电阻中， R_x 为被测电阻，其他均为标准电阻。测量时接通电桥电源，调节标准电阻，使检流计指示为零，即 $I_g = 0$ ，此时电桥处于平衡状态，c、d 两点电位相等，即 $R_x I_1 = R_4 I_4$ ， $R_2 I_2 = R_3 I_3$ ，当 $I_g = 0$ 时，有 $I_1 = I_2$ ， $I_3 = I_4$ ，可得到

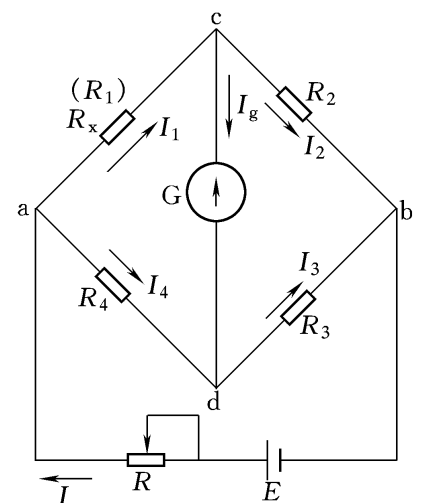


图 2.2.44 直流单臂电桥电路原理图

$R_x/R_2 = R_4/R_3$ 或 $R_x R_3 = R_2 R_4$ ，由此可求得 $R_x = R_4 \times R_2/R_3$ ，电桥中 R_2/R_3 称为比例桥臂，也称为电桥的倍率， R_4 称为比较桥臂。

因此，当调节电桥使其达到平衡时，比较臂 R_4 乘以倍率 R_2/R_3 ，即可得到被测电阻 R_x 的阻值。

由于被测电阻是与标准电阻进行比较，而标准电阻的准确度很高，检流计的灵敏度也很高，所以电桥测量电阻的准确度是很高的。一般直流单臂电桥的准确度等级有 0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、1.5 八个等级。

直流单臂电桥的型号很多，但使用方法基本相同。下面以常用的 QJ23 型直流单臂电桥为例，讲述直流单臂电桥的测量使用方法。

QJ23 型直流单臂电桥的面板和电路如图 2.2.45 所示，其比例桥臂由八个电阻组成，在实际应用中 R_2 和 R_3 是做在一起的，可用一个转换开关来改变 R_2/R_3 的比值，一般有七个挡位，分别为 $\times 0.001$ 、 $\times 0.01$ 、 $\times 0.1$ 、 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 、 $\times 1\,000$ 七种比率，由倍率开关切换。其比较臂由四组电阻串联组成，做成四个读数盘，第一组为 9 个 1 电阻、第二组为 9 个 10 电阻、第三组为 9 个 100 电阻、第四组为 9 个 1 000 电阻，当全部电阻串联时，总电阻值为 9 999，由读数盘开关转换。选择不同的倍率和比较臂的电阻，可测量不同的电阻值。

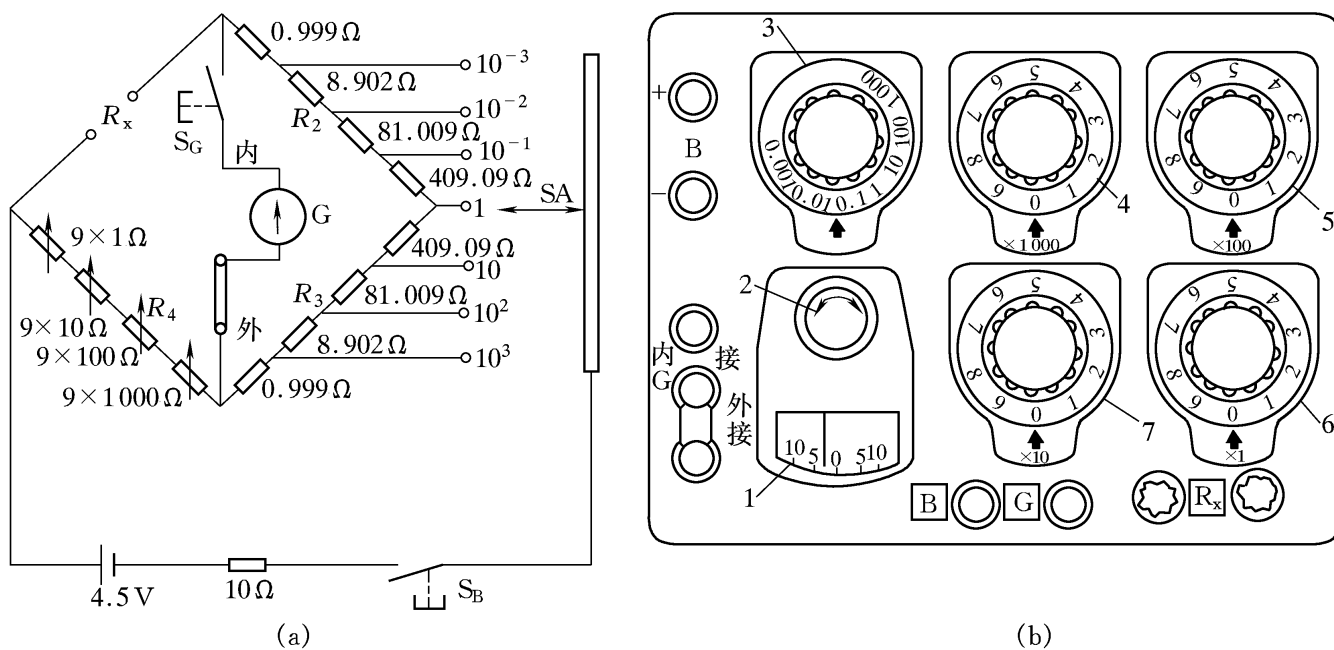


图 2.2.45 QJ23 型直流单臂电桥面板和电路

1——检流计；2——调零旋钮；3——比例臂

QJ23 型直流单臂电桥可以测量从 $1 \times 10^{-3} \sim 9\,999 \times 10^3$ 的电阻。其准确度在不同量程内有所不同。由于接线电阻的影响，只有在 $100 \sim 99\,990$ 的量程内，其基本误差才不超过 $\pm 0.2\%$ 。

QJ23 型直流单臂电桥的测量步骤如下：

使用前先将检流计锁扣打开，并调节其调零装置使指针指示在零位。

用万用表粗测一下被测电阻，先估计一下它的大约数值。根据电阻值的比较臂。一般情况下，应尽可能将比较臂的四组电阻都能用上，以保证读数的精确度为4位有效数值。

选择适当的倍率。当被测电阻 R_x 约为几百欧时，应选择0.1的倍率；当被测电阻 R_x 约为几千欧时，应选择1的倍率；当被测电阻 R_x 约为几万欧时，应选择10的倍率；依此类推。

例如，被测电阻约为5.1 k Ω ，由于

$$R_x = R_4 \times \frac{R_2}{R_3}$$

$R_x =$ 比较臂读数盘电阻之和 \times 倍率

$$5.1 \text{ k} = 5 \ 100 \times 1 =$$

那么，根据计算值当被测电阻约为5.1 k Ω 时， R_2/R_3 的倍率应选择1，比较臂电阻读数盘 R_4 预置为5 100

用短粗导线将被测电阻 R_x 接在测量接线柱上，连接处要拧紧。测量时，应先按电源按钮，再按检流计按钮，调节读数盘，使检流计指示为零，如果此时指针偏转太快，则应及时松开按钮。这时，如果检流计指针偏向标度尺“+”端，应增大比较臂电阻值；反之，如果检流计指针偏向标度尺“-”端，则应减小比较臂电阻值。再按下检流计细调按钮，仔细调节，直至检流计指示基本为零，使电桥基本平衡。

读数，计算电阻值。这时被测电阻值 = 比较臂读数盘电阻之和 \times 倍率。

测量完毕，先松开检流计按钮，再松开电源按钮。

为了测量准确，在测量时选择的倍率应使比较臂电阻的四个读数盘都有读数。

测量时，电桥必须放置平稳，被测电阻应单独测量，不能带电测试。

由于接头处的接触电阻和连接导线的电阻的影响，直流单臂电桥不宜测量电阻值小于1 Ω 的电阻。

测量时，连接导线应尽量用截面积较大，较短的导线，以减小误差。接线必须拧紧，如有松脱，电桥会极端不平衡，会使检流计损坏。

电池电压不足会影响电桥的灵敏度，当发现电池不足时应调换。采用外接电源时，必须注意极性，且勿使电压超过额定值，否则有可能烧坏桥臂电阻。

测量完毕，应先打开检流计按钮，再打开电源按钮。特别是被测电阻具有电感时，一定要遵守上述规则，否则会损坏检流计。

测量结束不再使用时，应将检流计锁扣锁上，以免检流计受震而损坏。

3. 直流双臂电桥

直流双臂电桥又称为凯尔文电桥，它主要用于测量1 Ω 以下小电阻的电桥，如测量电流表的分流器电阻、电动机或变压器绕组的电阻以及其他不能用单臂直流电桥测量的小电阻。它可以消除接线电阻和接触电阻的影响。

一般测量时，连接电阻和接触电阻大约为 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ 数量级，如果这个值与被测电阻值相比已不能忽略，就应该使用直流双臂电桥测量。

直流双臂电桥的电路原理如图 2.2.46 所示，其中 E 为电源， R_x 为被测电阻， R_x 与 R_s 、 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 组成各桥臂，其中 R_x 和 R_s 都有两对接头，即电流接头 C_1 、 C_2 和电位接头 P_1 、 P_2 。电阻值都是指 P_1 、 P_2 之间的值。

测量时接入被测电阻 R_x ，用一根粗导线 R 把 R_s 和 R_x 连接起来，与电源组成一闭合回路，这时 R_x 和 R_s 之间的接线电阻和接触电阻都包含在这一支路里了。调节各桥臂电阻，使电桥处于平衡状态，即检流计指示为零。此时不论 R 的大小如何，只要能保证使 $R_3/R_1 = R_4/R_2$ ，则被测电阻 $R_x = R_s R_2/R_1$ ，这样就消除了接线电阻和接触电阻对测量结果的影响。为了保证 $R_3/R_1 = R_4/R_2$ ，在制造时 R_3 与 R_1 、 R_4 与 R_2 都采用两个同轴转换开关同步调节，使之保持比例相等。

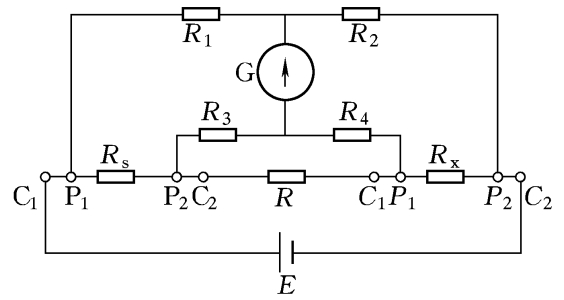


图 2.2.46 直流双臂电桥电路原理图

(2)

直流双臂电桥的型号也很多，但结构原理和使用方法相同。下面以常用的 QJ103 型直流双臂电桥为例，说明其结构和使用方法。

QJ103 型直流双臂电桥的面板和电路如图 2.2.47 所示。其测量范围为 $0.001 \sim 11$ ，基本误差为 $\pm 2\%$ ，电路中用 12 个电阻组成比例桥臂，相当于图 2.2.46 中的 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 。共分为五挡，分别为 $\times 0.01$ 、 $\times 0.1$ 、 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 五种倍率。

QJ103 型直流双臂电桥的比较电阻

R_s ，图 2.2.47 (a) 中未标出)

用滑线电阻结构，其阻值可在 $0.01 \sim 0.11$ 之间调节，测量时可根据转盘位置，直接从面板刻度上读数。

QJ103 型双臂电桥的测量使用步骤如下：

先将被测电阻的电流接头和电位接头分别与接线柱 C_1 、 C_2 和 P_1 、 P_2 连接，其连接导线应尽量短而粗，以减小接触电阻。

根据被测电阻范围，选择适当的倍率挡，然后接通电源和检流计。

调节读数盘，使检流计指示为零，则电桥处于平衡状态，即可读取被测电阻值。被测电阻值 $R_x = \text{读数盘的数值} \times \text{倍率}$ 。

被测电阻的每一端须有两个接线头，电位接头应比电流接头更靠近电阻本身，且两对接线头不能绞在一起。

测量时，接线头要除尽污物并接紧，尽量减少接触电阻，以提高测量准确度。

直流双臂电桥的工作电流很大，如使用电池测量时操作速度要快，以免耗电过多。测量结束后，应立即切断电源。

2.2.13 转速表

1. 转速表的用途

手持离心转速表是用来测量各种动力机械及其他机械设备的旋转部分的每分钟的转速或线速度的。离心式转速表的外形和配件如图 2.2.48 所示。

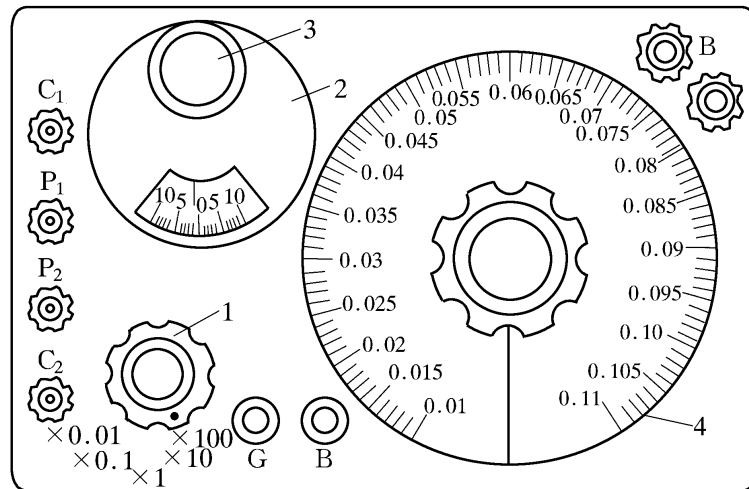
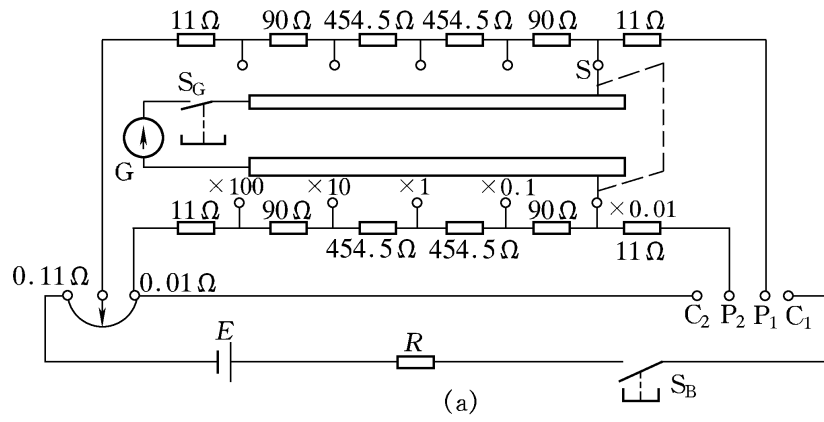


图 2.2.47 QJ103 型直流双臂电桥的面板和电路

1——比例臂

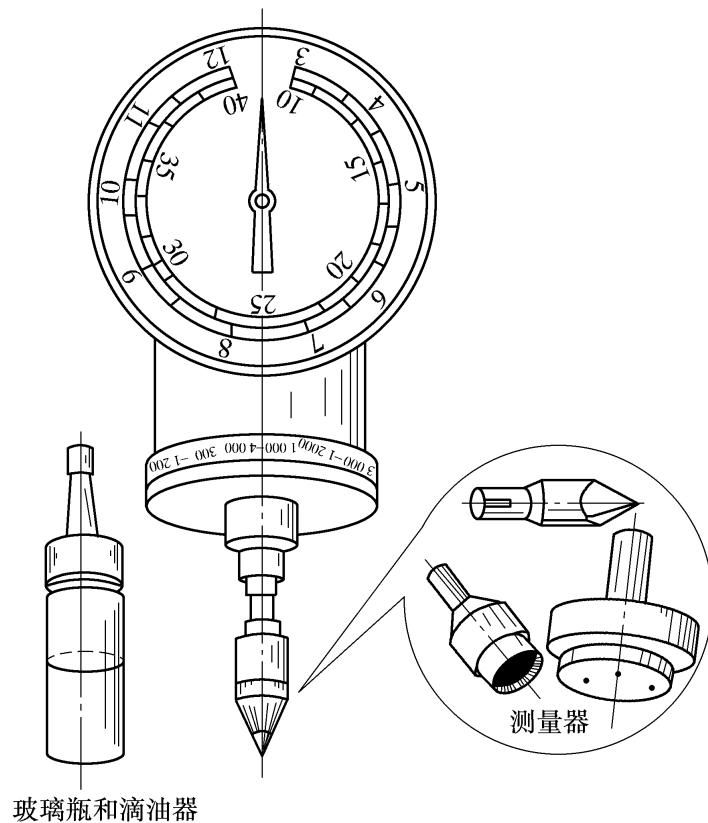


图 2.2.48 离心式转速表的外形和配件

2. 转速测量范围

调速盘挡数	转速范围
	60 ~ 240
	200 ~ 800
	600 ~ 2 400
	2 000 ~ 8 000
	6 000 ~ 24 000

3. 转速表的工作原理

离心式转速表的结构原理图如图 2.2.49 所示，它主要由转速感应机构、传动机构和指示机构等组成。

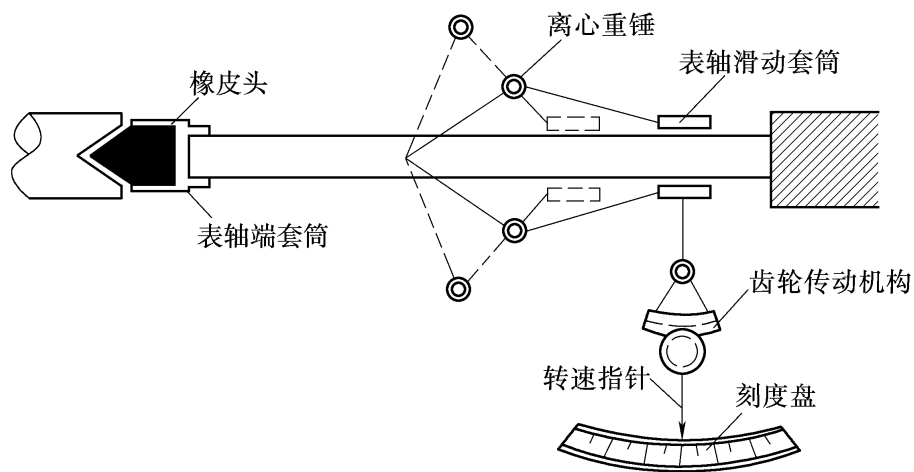


图 2.2.49 离心式转速表的结构

离心重锤：连接测速表轴的滑动套筒，根据转速离心力带动滑动套筒进行移动。转速越高，离心力越大。

滑动套筒：由转速表轴的离心重锤带动，在转轴表面进行滑动位移，从而带动齿轮传动机构；离心力越大，滑动套筒的位移量就越大。

齿轮传动机构：齿轮传动机构将表轴套筒的滑动位移量转换成刻度盘上指针的偏移。滑动套筒的位移量越大，传动机构的偏移量越大。

转速指针：用来指示转速。传动机构的偏移量越大，指针的偏转角度也越大。

固定套筒：固定装设在转速表轴的端部，以保护插入电机的橡皮头。

锥形橡皮头：装设于转轴端部固定套筒内，在测量时将橡皮头插入被测电机轴端中心孔里进行测量。

这种转速表的优点是可以在任意时刻测取电机的转速，使用方便；缺点是准确度不高，用手操作容易产生偶然性误差。

4. 转速选择

测量时，应首先将调速盘旋转到适当的测量范围。

若调速盘的数值在 、 、 挡，则测量的转速应看分度盘外圈的数字再分别乘以 10，100，1 000。

若调速盘的数值在 、 挡，则测得的数值应看分度盘内圈数字再分别乘以 10，100。

5. 使用转速表的安全知识

正确选择分挡量程。如测量 1 500 r/min 的转速，必须选用 450 ~ 1 800 r/min 的挡位。如果转速不能估计，应该用高量程挡位试测，逐渐选择，切勿用低量程测量高转速。

改换量程时，必须取下转速表，待转速表轴不转后再更换量程。绝不允许在测量过程中改变量程，以免打坏内部齿轮。

测量时不可用力过猛，以免损坏转速表。

不读数时，应将表取下，以免表中齿轮机构磨损而影响精度。

测量时表轴及电机轴要保持在一条直线上，不可上下左右偏斜，以保证测量的准确度。

测量时，测轴和被测轴不应顶得过紧，以两轴接触不产生相对滑动为原则。

2.2.14 手握式数字转速表

数字转速表是较为先进的测速仪表。现以 HT - 431 手握式数字转速表为例简要介绍数字转速表的使用方法。

1. HT - 431 手握式数字转速表的特点

使用简便。数字转速表只要将一片反射标记粘贴到待测转体上，就可测得转速，具有超群的安全性和可靠性。

测试的读数可直接读出或储存起来，以便重复读取数据。

测试快，读数精确。

2. 结构及部件作用

HT - 431 型手握式数字转速表是利用闪光测速法的测速原理制作而成的，其结构示意图如图 2.2.50 所示。

HT - 431 型手握式数字转速表主要由电源开关、储存重显示开关、转速表测量机构、数字显示屏和指示发光二极管等组成。

电源开关。开关按下，接通电源，使转速表处于待工作状态。打开仪表背后的电池盖，可更换电池。

储存显示开关。在电源开关被切断 10 min 以内，利用此开关可以显示已测得的转速。

转速表测量机构。主要由一盏灯和一个光电晶体管组成，灯用于照亮待测体上的反射标记，光电晶体管用于接收反射标记的反射光。

数字显示屏。用数字直接显示所测得的读数，其单位是“r/min”。

指示发光二极管。这是一个两用发光二极管。当它连续发光时，说明电源供电不足，应给予更换；

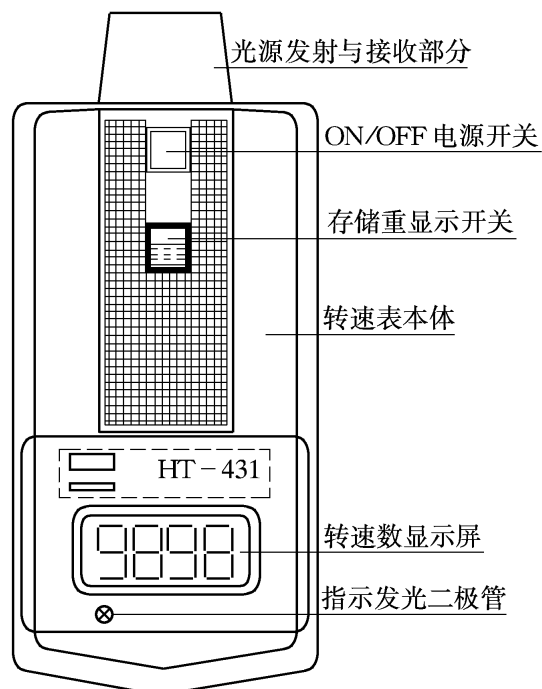


图 2.2.50 HT - 431 型手握式数字转速表结构

当它闪烁发光时，说明已接收到反射标记的反射光；如指示发光二极管不亮，则表明需要更换电池。

3. 数字转速表操作方法

测量前先将一小片反射标记粘贴到待测的转体上。

按正常顺序起动电动机的运行，待达到稳定转速后方可进行测速工作。

按下转速表电源开关，把转速表测量机构的光源指向待测体的反射标记。

光源指向反射标记后，指示发光二极管应闪烁，这说明仪表接收的反射信号合适；当待测体高速转动时，指示发光二极管就连续发光，这是另一种连续发光的指示，并且转速很高，而不是更换电池的指示。

转速表应置于距反射标记 50 ~ 500 mm 的范围内测试，每一秒的转速都可以被读出。

电源开关被释放后，数字显示就消失，但最终的测量值被储存起来。重显示开关在 10 min 以内按下才能显示储存的内容。按显示开关能延长储存的时间。再次按下电源开关后，储存的内容就被消除，而显示下一个测量值。

4. 使用注意事项

为了延长电池的使用时间，待某一转速测出后，应立即释放电源开关，切忌长时间接通电源开关。

在比较长的时间内不使用转速表时，应将电池从转速表内取出。

严禁使用此表来测量转速超过 9 999 r/min 的转体。

小 结

电工仪表和电工工具是电气安装、生产与维修工作的武器，熟悉和掌握这些电工仪表和工具的操作、使用方法是提高工作效率、保证电路性能和施工质量的重要条件，因此必须十分重视和掌握电工仪器仪表和各种工具的正确使用方法。本章着重介绍了通用电工工具和专用电工工具的性能、用途和使用方法。另外还对在调试和维修电路时经常使用的电流表、电压表、钳形电流表、功率计、电桥、兆欧表、万用表、瓦时计、转速表等仪表的使用方法和注意事项进行了比较详细的讲解。希望通过本章的学习，能正确地了解和掌握各种电工仪表和工具的使用方法，为参加实验、实训和维修工作打下良好的基础。

思 考 题

- 2.1 通用电工工具有哪几种？它们的主要用途是什么？
- 2.2 专用电工工具有哪几种？它们的主要用途是什么？
- 2.3 使用冲击钻应注意什么？
- 2.4 使用试电笔应注意什么？
- 2.5 电工仪表按照其结构和用途是如何分类的？
- 2.6 常用指示类仪表是如何分类的？
- 2.7 在使用仪表时，仪表的量程应如何选择？
- 2.8 电流表和电压表的主要区别是什么？在电路连接时应注意些什么？

- 2.9 钳形电流表与普通电流表的区别是什么？
- 2.10 为什么钳形电流表能在不断开被测电路的情况下，测量交流电流？
- 2.11 使用指针式万用表有哪些注意事项？
- 2.12 兆欧表在使用前应如何自检？
- 2.13 如何使用兆欧表测量绝缘电阻？
- 2.14 使用兆欧表有哪些注意事项？
- 2.15 单向瓦时计是如何接线的，请画出电路图？
- 2.16 如何用直流单臂电桥测量电阻？

第 3 章

常用电工材料和电气元器件的选用

3.1 常用电工材料

这里主要介绍电工材料中常用的绝缘材料、导电材料和磁性材料的种类、性能、规格及其选用。

3.1.1 常用绝缘材料

导电能力非常低，施加电压以后电流几乎不能通过（ $\rho > 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ ）的绝缘材料。绝缘材料严格地讲，并非绝对不导电，只是通过电流很小。

绝缘材料在电气设备中的作用是把电位不同的带电部分隔离开来。另外，它还能起到机械支撑，保护导体，防止电晕及灭弧等作用。

1. 绝缘材料的分类

电工绝缘材料品种很多，按其形态可分为气体、液体和固体；按其化学性质又可分为无机、有机和混合绝缘材料。

按其形态可分为气体、液体和固体。

气体绝缘材料：常用的有空气、氮、氢、二氧化碳、六氟化硫等。

液体绝缘材料：常用的有变压器油、开关油、电容器油等。

固体绝缘材料：常用的有云母、玻璃、瓷器、胶、塑料、橡胶等。

按其化学性质又可分为无机、有机和混合绝缘材料。

无机绝缘材料：常用的有云母、瓷器、石棉、大理石、玻璃、硫磺等，用于电机、电器的绕组绝缘、开关底板和绝缘子等。

有机绝缘材料：常用的有橡胶、树脂、棉纱、纸、麻、蚕丝、人造丝、石油等，用于制造绝缘漆、绕组导线的外层绝缘等。

混合绝缘材料：由无机和有机两种绝缘材料进行加工制成的成型绝缘材料，用于电器的底座、外壳等。

2. 绝缘材料的性能指标

为了防止绝缘性能损坏造成事故，绝缘材料应符合规定的性能指标。绝缘性能主要表现在电阻率，击穿强度，机械强度，耐热性能等方面。

它是最基本的绝缘性能指标。足够的绝缘电阻能把电气设备的泄漏电流限制在很小的范围以内，电工绝缘材料的电阻率一般在 10^9 /cm 以上。

绝缘材料抵抗电击穿的能力称为电击穿强度或绝缘强度。当外施电压增高到某一极限值时，就会丧失绝缘特性而被击穿。通常以 1 mm 厚的绝缘材料所能承受的千伏电压值表示。一般低压电工工具，例如，电工钳绝缘柄可耐压 500 V，使用中必须注意。

由绝缘材料构成的绝缘零件或绝缘结构，都要承受拉伸、重压、扭曲、弯折、震动等机械负荷。因此，要求绝缘材料本身具有一定的机械强度。

当温度升高时，绝缘材料的电阻、击穿强度、机械强度等性能都会降低，因此，要求绝缘材料在规定的温度下能长期工作且绝缘性能保证可靠。不同成分的绝缘材料的耐热程度不同，为此耐热等级分为 Y，A，E，B，F，H，C 七个等级，并对每个等级的绝缘材料规定了最高极限工作温度。

Y 级。极限工作温度为 90 。如木材、棉花、纸、纤维、醋酸纤维、聚酰胺等纺织品及易于热分解和融化点低的塑料绝缘物。

A 级。极限工作温度为 105 。如漆包线、漆布、漆丝、油性漆及沥青等绝缘物。

E 级。极限工作温度为 120 。如玻璃布、油性树脂漆、高强度漆包线、乙酸乙烯耐热漆包线等绝缘物。

B 级。极限工作温度为 130 。如聚酯薄膜、经相应树脂处理的云母、玻璃纤维、石棉、聚酯漆、聚酯漆包线等绝缘物。

F 级。极限工作温度为 155 。如用 F 级绝缘树脂粘合或浸渍、涂敷后的云母，玻璃纤维，石棉，玻璃漆布以及由上述材料为基础的层压制品，云母粉制品，化学热稳定性较好的聚酯和醇酸类材料，复合硅有机聚酯漆。

H 级。极限工作温度为 180 。如加厚 F 级材料、云母、有机硅云母制品、硅有机漆、硅有机橡胶聚酰亚胺复合玻璃布、复合薄膜、聚酰亚胺漆等。

C 级。极限工作温度超过 180 。指不采用任何有机粘合剂及浸渍剂的无机物，如石英、石棉、云母、玻璃等。

绝缘材料除以上性能指标外，还有如密度、膨胀系数、耐酸、耐腐蚀性及吸水性等。在选用绝缘材料时，应根据不同需要首先考虑要有合格的绝缘电阻、足够的绝缘强度、允许的耐热等级，其次再考虑要有较好的理化性能，较高的机械强度，加工使用方便等因素。

绝缘材料在使用过程中，受各种因素的长期作用，可能会因电击穿、腐蚀、自然老化、机械损伤等原因，使绝缘性能下降甚至失去绝缘性能。

3. 常用电工绝缘材料的选择

常用绝缘材料性能和用途如表 3.1 所示。

表 3.1 常用绝缘材料性能和用途一览表

名 称	颜 色	厚度/mm	击穿电压/V	极限工作 温度/	特 点	用 途	备 注
电话纸	白色	0.04 0.05	400	90	坚实, 不易 破裂	< 0.4 mm的 漆包线的层间 绝缘	类似品: 相同厚度的 打字纸、描 图纸或胶版 纸
电缆纸	土黄色	0.08 0.12	400 800	90	柔顺、耐拉 力强	> 0.4 mm漆 包线的层间绝 缘、低压绕组 间的绝缘	类似品: 牛皮纸
青壳纸	青褐色	0.25	1 500	90	坚实、耐磨	线包外层绝 缘, 简易骨架	
电容器纸	白、黄色	0.03	500	90	薄, 耐压较 高	< 0.3 mm漆 包线的层间绝 缘	
聚酯薄膜	透明	0.04 0.05 0.10	3 000 4 000 9 000	120 ~ 140	耐热、耐高 压	高压绕组层、 组间等的绝缘	
聚酯薄 膜粘带	透明	0.055 ~ 0.17	5 000 ~ 17 000	120	耐热、耐高 压, 强度高	同上。便于 低压绝缘密封	
聚乙烯 薄膜粘带	透明略黄	0.14 ~ 0.19	1 000 ~ 1 700	60 ~ 80	较柔软、粘 性强、耐热差	低压和高压 线头包扎 (场合)	
油性玻 璃漆布	黄色	0.15 0.17	2 000 ~ 3 000	120	耐热好, 耐 压较高	线圈、电器 绝缘衬垫	
沥青醇酸 玻璃漆布	黑色	0.15 0.17	2 000 ~ 3 000	130	耐热、耐潮 好; 耐压较高、 耐油差	同上。但不 太适用于在油 中工作的线圈 及电器等	
油性漆布 (黄蜡布)	黄色	0.14 0.17	2 000 ~ 3 000	90	耐高压, 但 耐油性较差	高压线圈层、 组间绝缘	
油性漆绸 (黄蜡绸)	黄色	0.08	4 000	90	耐压高, 较 薄, 耐油较好	高压线圈层、 组间绝缘	一般适用 于需减小绝 缘物体积之 场合

续表

名 称	颜 色	厚度/mm	击穿电压/V	极限工作温度/	特 点	用 途	备 注
聚四氟乙烯薄膜	透明	0.03	6 000	280	耐压及耐高温性能极好	需耐高压、高温或酸碱等的绝缘	价格昂贵
压制板	土黄色	1.0 1.5		90	坚实, 易弯折	线包骨架	
高频漆	黄色			90 (干固后)	粘剂	粘和绝缘纸、压制板、黄蜡布等, 线圈浸渍	代用品: 洋干漆
清喷漆	透明稍黄				粘剂	粘和绝缘纸、压制板、黄蜡布等, 线圈浸渍	又名: 蜡克
云母纸	透明	0.10 0.13 0.16	1 600 2 000 2 600	130 以上	耐热好, 耐压较好, 但易碎, 不耐潮	各类绝缘衬垫等	
环氧树脂灌封剂	白色				常用配方: 6101 环氧树脂 70%, 乙二胺 9%, 磷苯二甲酸二丁酯 21%	电视机高压包等高压线圈的灌封、粘和等	宜慢慢灌入 内, 以防空气进入
硅橡胶灌封剂	白色					电视机高压包等高压线圈的灌封、粘和等	同上
地蜡	糖浆色					各类变压器浸渍处理用	石蜡 70%, 松香 30%

3.1.2 常用导电材料

1. 导电材料

导电材料的用途是输送、传导电流和电信号。导电材料一般分良导体材料和高电阻材料。良导体材料分为铜、铝、钢, 主要用于制作导线或母线。钨

(熔点低)

采用。银用作触点。

高电阻材料，如康铜、锰铜、镍铬和铁铬铝等，用作电阻器和热工仪表的电阻元件等。

固体导电材料大部分是金属的，目前铜和铝是使用最多的导电材料。工厂中常用的导电材料是电线，电线又名导线，是传导电流的导体。导线的安全载流量是指导线在不超过最高允许温度时，所允许长期通过的最大电流。

各种导线在不同的使用条件下的安全载流量在各种手册和设计规程中都有明确的规定。它根据导线绝缘所允许的芯线最高工作温度，导线的芯线使用环境的极限温度，冷却条件，敷设条件

例如，BV 型聚氯乙烯绝缘铜芯单芯导线在环境温度 25℃，载流芯温度 70℃ 条件下，架空敷设时的参考载流量如表 3.2 所示。

表 3.2 铜芯导线参考载流量表

标准截面积/mm ²	0.8	1.0	1.5	2.5	4.0	6.0
参考载流值/A	17	20	25	34	45	56

在工厂实用中，一般铜线的安全载流量选每平方毫米 5~8 A，铝线的安全载流量选每平方毫米 3~5 A。

线规是表示导线直径粗细的一种国家标准，我国采用公制线径的线规，即导线的规格是以直径

2. 导线电缆的种类、特点及用途

导线电缆的种类很多。按导线外表是否有绝缘层可分为裸导线和绝缘导线两大类；按制造工艺及使用范围又可把绝缘导线分为四类，即电磁线、电器装备用电线电缆、电力电缆及通信电线电缆。

只有导体部分，没有绝缘和保护层结构的导线称为裸导线，根据裸导线的形态和结构可分为圆单线、型线、软接线和裸绞线。

圆单线。有单股裸铝

型) 2 以上的

有时用作户外架空线或直接用于架空的通信广播线。

型线。非圆线截面的裸导线，分为电车架空线、裸铜排 TMY、裸铝排 LMY 和扁钢等。

电车架空线主要用于电机车运输接触线。裸铜排和裸铝排应用于输配电的汇流排和车间低压架空母线。扁钢多作接地母线使用。

常用的裸铜排，裸铝排的规格有 15 × 3、20 × 3、25 × 3、30 × 4、40 × 4、40 × 5、50 × 5、50 × 6、60 × 6、80 × 6、100 × 6、60 × 8、80 × 8、100 × 8 mm 等。

软接线。凡是柔软的铜绞线和各种编织线都称为软接线，主要有铜电刷线、铜绞线、铜编织线等，主要用于电机、电器的电刷连接线、接地线和整流器引出线。

裸绞线。主要用于架空线路中的输电导线。

裸绞线的规格和用途如表 3.3 所示。型号中“L”表示铝线，“T”表示铜线，“G”表示钢线，“Y”表示硬，“R”表示软，“J”表示绞制。型号后面的数字表示截面积，例如“LGJ - 16”表示截面积为 16 mm² 的钢芯铝绞线。

表 3.3 普通绞线的品种、规格和用途

品 种	型 号	截 面 积	用 途
硬铝绞线	LJ	16 ~ 600	用于挡距较小的一般架空配电线路
硬铜绞线	TJ	10 ~ 400	用于高低压架空输电线
铝合金绞线	HLJ	10 ~ 600	用于一般输配电线路
钢芯铝绞线	LGJ	10 ~ 600	用于重水区或大跨越导线、通信避雷线
镀锌钢绞线		2 ~ 260	用于农用架空线或避雷线

绝缘导线一般是由导电的线芯、绝缘层和保护层所组成的。

对绝缘导线的要求：

导线的金属线芯要求导电率高，机械抗拉强度大，耐腐蚀，质地均匀，表面光滑无氧化、裂纹等。

导线的绝缘包皮要求绝缘电阻值高，质地柔韧有相当机械强度，耐酸、油、臭氧等的侵蚀。

常用的绝缘导线有橡皮绝缘导线和聚氯乙烯绝缘导线

照明用线、电气设备的各种安装连接用线以及大型设备的电控系统布线等。芯线材料有铜芯和铝芯；有单股和多股。目前国家推荐使用聚氯乙烯绝缘导线，常用的绝缘导线种类及应用范围如表 3.4 所示。

表 3.4 常用绝缘导线型号、规格、用途

名 称	型 号	截面积/mm ²	使用范围
铜芯橡皮线	BX	0.5 ~ 500	有防潮性能，适用于户内敷设，可以穿管
铝芯橡皮线	BLX	2.5 ~ 400	
铜芯塑料线	BV	0.8 ~ 95	有防潮性能，耐油，敷设简便，适用于户内敷设，可以穿管
铝芯塑料线	BLV	0.8 ~ 95	
铜芯塑料绝缘及护套线	BVV	1 ~ 10	有防潮性能，耐油，敷设简便，适用于户内敷设，可以穿管
铝芯塑料绝缘及护套线	BLVV	1 ~ 10	
铜芯塑料绝缘软线	RVS RVB	2 × 0.2 ~ 2 × 2.5	供干燥场合敷设在绝缘子上或作移动式受电装置的接线用
丁腈聚氯乙烯复合绝缘软线	RFB RFS	2 × 0.2 ~ 2 × 1.5	耐寒、耐热、耐油、耐腐蚀、不易燃、工艺简单，适用于家用电器接线

电缆是一种多芯电线，即在一个绝缘软管内有很多互相绝缘的线芯，所以要求线芯间绝缘电阻高，不易发生短路等故障。

电缆线芯按使用要求可分为四种结构：硬型、软型、特软型和移动式电线电缆。电缆按线芯数又可分为四类：单芯、双芯、三芯、四芯。

绝缘层是包在导电的线芯外的一层橡皮、塑料或油纸等绝缘物。绝缘层有两个作用：防止通信电缆漏电、防止电力电缆放电。

保护层的作用是保护绝缘层。可分为两种：固定敷设的电缆多采用金属护层。移动电缆多采用非金属护层。金属护层大多采用铅套、铝套、绞纹金属套和金属编织套等，在它的外面还有外护层，以保护金属护层不受外界机械和腐蚀等损伤。非金属护层大多采用橡皮、塑料。有些即将淘汰的产品中用纤维，如棉纱、丝等编织护套。

电缆有电力电缆和通信电缆。电力电缆主要用作动力线。通信电缆包括电信系统的各种通信电缆、电话线和广播线。工厂中常用的是电力电缆。常用电缆的型号、种类及用途如表 3.5 所示。

表 3.5 电缆的型号、种类及用途

型 号	名 称	主 要 用 途
YHZ YHC YHH YHHR	中型橡套电缆 重型橡套电缆 电焊机用橡套软电缆 电焊机用橡套特软电缆	500 V 电缆，能承受相当机械外力 500 V 电缆，能承受较大机械外力 供连接电源用 主要供连接卡头用
KVV 系列	聚氯乙烯绝缘及护套控制电缆	用于固定敷设，供交流 500 V 及以下或者直流 1 000 V 及以下配电装置，作为仪表电器连接用。
VV 系列 VLV 系列	聚氯乙烯绝缘及护套控制电缆	用于固定敷设，供交流 500 V 及以下或直流 1 000 V 以下电力电路 用于 1~6 kV 电力电路

电磁线也是一种绝缘线。电磁线用于电机、电器及仪表的绕组。它的绝缘层是涂漆或包纤维的，如纱包，丝包，玻璃丝和纸包等，其中纱包和丝包即将淘汰。

电磁线按绝缘层的特点和用途分为漆包线、绕包线、无极绝缘电磁线和特种电磁线四类：

漆包线。漆包线的绝缘层是漆膜，是将绝缘漆涂在导线上烘干形成。漆膜均匀、光滑，便于自动绕制线圈，因而漆包线被广泛地用于中、小型电机、电器和微型电工产品中。常用漆包线的名称及用途等如表 3.6 所示。

表 3.6 常用漆包线的名称、型号、特点及主要作用

类别	名称	型号	规格/mm	耐热等级/	特点及主要用途
缩醛漆包线	缩醛漆包圆铜线	QQ - 1 QQ - 2	0.02 ~ 2.5	E	漆膜受卷绕应力易产生裂纹，适用于普通中小电机及油浸式变压器线圈和电气仪表线圈
	缩醛漆包扁铜线	QQB	a边 0.8 ~ 5.6 b边 2.0 ~ 18.0		
	缩醛漆包扁铝线	QQLB	a边 0.8 ~ 5.6 b边 2.0 ~ 18.0		
环氧漆包线	环氧漆包圆铜线	QH - 1 QH - 2	0.06 ~ 2.50	E	耐水性及耐潮性能好，适用于油浸式变压器和线圈，耐化学药品腐蚀、耐潮湿电机绕组。弹性差，不适用于高速自动绕组工艺
聚酯漆包线	聚酯漆包圆铜线	QZ - 1 QZ - 2	0.02 ~ 2.5	B	在干燥和潮湿的条件下耐电压击穿性能优，用于中小电机的绕组、干式变压器和电气仪表的线圈
	聚氨酯漆包扁铜线	QZB	a边 0.8 ~ 5.6 b边 2.0 ~ 18.0		
	聚氨酯漆包扁铝线	QZLB	a边 0.8 ~ 5.6 b边 2.0 ~ 18.0		
聚酯亚胺漆包线	聚酯亚胺漆包圆铜线	QZY - 1 QZY - 2	0.66 ~ 2.50	F	高温电机绕组，干式变压器和电气仪表的线圈
	聚酯亚胺漆包扁铜线	QZYB	a边 0.8 ~ 5.6 b边 2.0 ~ 18.0		
亚胺漆包线 聚酰胺酰	聚酰胺酰亚胺漆包圆铜线	QXY - 1 QXY - 2	0.66 ~ 2.50	(200)	高温重负荷电机，牵引电机，制冷设备电机的绕组，干式变压器和电气仪表的线圈
	聚酰胺酰亚胺漆包扁铜线	QXYB	a边 0.8 ~ 5.6 b边 2.0 ~ 18.0		
聚酰亚胺漆包线	聚酰亚胺漆包圆铜线	QY - 1 QY - 2	0.02 ~ 2.50	C	耐高温电机，干式变压器绕组，密封式继电器及电子元件
	聚酰亚胺漆包扁铜线	QYB	a边 0.8 ~ 5.6 b边 2.0 ~ 18.0		

绕包线。用天然丝、玻璃丝、绝缘纸或合成树脂、薄膜等紧密绕包在导电芯线或漆包线上形成绝缘层的导线称为绕包线。常用绕包线的品种及用途如表 3.7 所示。

表 3.7 常用绕包线的品种、规格、用途

类别	产品名称	型号	耐温等级/	规格/mm	特性与用途
纸包线	线包圆铜线	Z	A(105)	1.0~5.6	在干燥和潮湿的条件下，耐电压击穿性能优，用于中小电机的绕组、干式变压器和电气仪表的线圈
	线包圆铝线	ZL		1.0~5.6	
	线包扁铜线	ZB		a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0	
	线包扁铝线	ZLB		a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0	
玻璃丝包线及玻璃丝包漆包线	双玻璃丝包圆铜线	SBEC	B(130)	0.25~6	电气性能及机械强度良好，用于各种电器、电机的绕组
	双玻璃丝包圆铝线	SBELC		0.25~6	
	双玻璃丝包扁铜线	SBECB		a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0	
	双玻璃丝包扁铝线	SBELCB		a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0	
双玻璃丝包聚酯漆包线	双玻璃丝包聚酯漆包扁铜线	QZSBECB	B(130)	a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0	电气性能及机械强度优良，适用于大型高压电机的绕组，干式变压器线圈
	双玻璃丝包聚酯漆包扁铝线	QZSBELCB		a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0	
玻璃丝包硅有机漆包线及玻璃丝包聚酯漆包线	双玻璃丝包聚酯亚胺漆包扁铜线	QZYSBEFE	H(180)	a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0	
	单玻璃丝包聚酯亚胺漆包扁铜线	QZYSBFB		a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0	
	硅有机漆双玻璃丝包圆铜线	SBEG	H(180)	0.25~6.0	
	硅有机漆双玻璃丝包扁铜线	SBEGB		a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0	

3.1.3 常用磁性材料

1. 常用磁性材料分类及特点

磁性材料在电机、变压器、电器、仪表及电信等许多方面具有广泛的用途。凡利用电磁感应原理制造的各种电气设备如电机、变压器、仪表等，都要用磁性材料来构成磁通回路。为了获得高的磁通密度和磁能，磁性材料要有高的导磁率和低的铁损耗，还要有较好的机械加工性能。

把磁性材料放在磁场中，磁场将显著增强，这时磁性材料也即呈现磁性，这种现象称为磁化。磁性材料所以能被磁化，是因为磁性材料中存在许多“分子磁铁”也称为“磁畴”，磁畴体积很小，约 10^{-9} cm^3 。在无外磁场作用时，这些磁畴杂乱无章地排列着，磁场相互抵消，对外不呈现磁性；在受到外磁场作用时，磁畴都趋向外磁场的方向，因而形成一个附加磁场，与外磁场叠加，从而使磁场显著加强，磁性材料也显示出极性，这时磁性材料就成了磁铁。

当外磁场去掉后，有些磁性材料的磁畴不能马上恢复到原状，仍保留一定的磁性，此现象称为剩磁。若消除此剩磁，需加一个反向的磁场，所加的反向磁场的强度称为矫顽力。

不同的磁性材料在磁化后，去掉外磁场后所存在的剩磁大小不同，矫顽力大小也不同，由此，将磁性材料分为软磁材料和硬磁材料两类。前者主要用作电机、变压器、电磁线圈的铁心，后者主要用在电工仪表内作磁场源。

2. 软磁材料

软磁材料的主要特点是磁导率高，剩磁和矫顽力很低，是很容易磁化，也很容易去磁的材料。从磁滞曲线看，陡而窄。软磁材料在较弱的外磁场作用下，即能产生高的磁感应强度，随着外磁场的增强，磁感应强度很快达到饱和，而外磁场一旦消失，磁性也随之消失。

软磁材料有电工纯铁、电工硅钢片、铁镍合金和铁、铝、硅合金等。

电工纯铁的代号为 DT，其含碳量在 0.04% 以下，它有高的饱和磁感应强度，高的磁导率，低的矫顽力，良好的冷加工性能，多制成块状或柱状。其缺点是电阻率低，在交流磁场中铁损耗高，因此只适合做直流器件的铁心、磁极，不宜用在交流器件中。

电工硅钢片是电机、电器、仪表等行业广泛应用的重要磁性材料，用来做电机、变压器、电气仪表等产品的铁心。在铁中加入 1.8% ~ 4.5% 的硅，就是硅钢。它比电工纯铁的电阻率高，因此铁损耗小。由于硅的加入使其硬度和脆性增大，在一定频率和磁感应强度下，有较低的铁损耗和较高的磁感应强度，多用于低频强磁场中。

电工硅钢片，多加工成片状
分为热轧硅钢片和冷轧硅钢片。

热轧硅钢片有热轧电机钢片，用于发电机和电动机；热轧变压器钢片，用于电力变压器、电抗器和电感线圈。中、高频弱磁场下用热轧钢片，多用于电信工业。

冷轧硅钢片又分有取向和无取向两种。有取向硅钢片沿轧制方向导磁率高，与轧制方向垂直时导磁率最小。无取向硅钢片的导磁率与轧制方向无关。冷轧无取向硅钢片，用于发电机和电动机；冷轧晶粒有取向硅钢片，用于巨型发电机和电力变压器；冷轧晶粒有取向硅钢薄带（中、高频弱磁场下使用）
器、扼流圈等。

在铁中加入 38% ~ 81% 的镍，经真空冶炼而成。铁镍合金工作频率在 1 MHz 以下，是电工行业常用的一种高级软磁材料。

电子技术中，为满足弱信号的要求，常选用磁导率和磁感应强度高的铁镍合金。型号为 J51 铁镍合金，因其电阻率高，饱和磁感应强度和剩磁高，适宜做磁放大器线圈的铁心。电源

变压器铁心用磁导率高的 J50 铁镍合金。J79 铁镍合金和 J16 铁铝合金，常用于小功率音频变压器的铁心，可以减小非线性失真。

软磁铁氧体广泛用于高频或较高频率范围内的电磁元件中。其电阻率高，饱和磁感应强度低，温度稳定性较差。无线电技术中最常用的镍锌和锰锌铁氧体，被用来制作滤波线圈、脉冲变压器、可调电感器、高频扼流圈及天线等的铁心。

磁性材料的软磁材料的品种、主要特点和应用范围如表 3.8 所示。

表 3.8 软磁材料的品种、主要特点和应用范围

品 种		特 点	主 要 用 途
电工用纯铁		含碳量在 0.04% 以下，饱和磁感应强度高，冷加工性好，但电阻率低，铁损耗高，有磁时效现象	一般用于直流磁场
硅钢片		铁中加入 0.8% ~ 4.5% 的硅而成为硅钢。与电工用纯铁比，电阻率高，铁损耗低，导热系数低，硬度提高，脆性增大	电机、变电器、继电器、互感器、开关等产品的铁心
铁镍合金		在低磁场作用下，磁导率高，矫顽力低，但对应力比较敏感	频率在 1 MHz 以下，低磁场中工作的器件
铁铝合金		与铁镍合金相比，电阻率高，密度小，但磁导率低，随着含铝量的增加，硬度和脆性增大，塑性变差	低磁场和高磁场下工作的器件
软磁铁氧体		烧结体，电阻率非常高，但饱和磁感应强度低，温度稳定性也较差	高频或较高频率范围内的电磁元件
其他磁材料	铁钴合金	饱和磁感应强度特高，伸缩系数和居里温度高，但电阻率低	航空器件的铁心，电磁铁磁极，换能器元件
	恒导磁合金	在一定的磁感应强度、温度和频率范围内磁导率基本不变	恒电感和脉冲变压器的铁心
	磁温度补偿合金	居里温度低，在环境温度范围内，磁感应强度随温度升高而急剧地近似线性地减少	磁温度补偿元件

3. 硬磁材料

硬磁材料的主要特点是矫顽力高，经饱和磁化后，具有较大的矫顽力和剩磁感应强度。硬磁材料的磁滞曲线肥而胖，将外磁场去掉后，在很长时间内仍保持强的和稳定的磁性。主要用做提供磁能的永久磁铁，如铝镍钴、稀土钴、硬磁铁氧体等。

常用的永磁材料有铬钨钢、铁镍钴合金、钕铁硼、铝镍钴及由钒、锶等金属氧化物构成的铁氧体永磁材料等。

常用永磁材料的性能和主要用途如表 3.9 所示。

表 3.9 常用永磁材料性能和主要用途

种 类	系 列	性 能	主 要 用 途
铸造铝镍钴系永磁材料	各向同性	制造工艺简单，可做成体积大或多对永磁体，但性能是该系统永磁材料中最低的	一般磁电式仪表、永磁电机、磁分离器、微电机、里程表
	热磁处理各向异性	剩磁和最大磁能积大，制造工艺复杂	精密磁电式仪表、永磁电机、流量计、微电机、磁性支座、传感器、扬声器、微波器件
	定向结晶各向异性	性能是该系永磁材料中最高的，制造工艺复杂，脆性大，容易折断	精密磁电式仪表、永磁电机、流量计、微电机、磁性支座、传感器、扬声器、微波器件
粉末烧结铝镍钴系永磁材料		永磁体表面光洁，密度小，原料消耗少，磁性能较低，宜作体积小或要求工作磁通均匀性高的永磁体	微电机、永磁电机、继电器、小型仪表
铁氧体永磁材料		矫顽力高，回复磁导率小，密度小，电阻率大	永磁点火电机、永磁电机、永磁选矿机、永磁吊头、磁推轴承、磁分离器、扬声器、微波器件、磁医疗片
稀土钴永磁材料		矫顽力和最大磁能积是永磁材料中最高的，适用于微型或薄片状永磁体	低速转矩电动机、起动电动机、力矩电动机、传感器、磁推轴承、助听器、电子聚焦装置
塑性变性永磁材料		剩磁大，矫顽力低	里程表、罗盘仪

3.2 常用电气元器件的选用

电气元器件是构成电路的基础，熟悉各类电气元器件的性能、特点和用途，对设计、安装、调试电气线路十分重要。本节将对常用的电气元器件，按其类别、性能等进行简单介绍，力求对五花八门的电气元器件有一概括性了解，以利于在设计、研制产品中能够正确地选用器件。然而，由于电气元器件种类繁多，新品种不断涌现，产品的性能也不断提高，因此读者必须经常查阅有关期刊、手册，走访电气元器件商家，调研有关生产厂家，才能及时了解最新电气元器件，不断丰富自己的电气元器件知识。

3.2.1 电阻器

电阻器(简称电阻)

的。它在电路中常用来进行电压、电流的控制和传送，起分压、分流、限流、阻抗匹配等作用。

电阻器通常按如下方法进行分类：

按材料分：主要有碳质电阻器、碳膜电阻器、金属膜电阻器、线绕电阻器等。

按结构分：主要分为固定电阻器和可变电阻器。

按用途分：有精密电阻器、高频电阻器、高压电阻器、大功率电阻器、热敏电阻器和限流电阻器。

电阻器的种类很多，其中碳膜电阻器电阻器使用较多。

1. 电阻器的符号

国家标准规定电阻器图形及符号如图 3.2.1 所示。

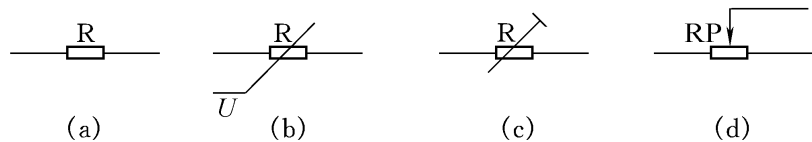


图 3.2.1 电阻器图形及符号

2. 电阻器的参数

电阻器的参数主要包括标称阻值、额定功率、精度、最高工作温度、最高工作电压、噪声参数及高频特性等。在挑选电阻器的时候主要考虑其阻值、额定功率及精度。至于其他参数，如最高工作温度、高频特性等只在特定的电气条件下才予以考虑。

电阻器表面标出的电阻阻值称为标称阻值。电阻器的实际阻值对于标称阻值的允许最大误差范围称为允许误差。标称值按误差等级分类，国家规定有 E24、E12、E6 系列，电阻器的标称阻值及允许误差如表 3.10 所示。

表 3.10 普通电阻器标称阻值系列

阻值系列	最大误差	偏差等级	标称值
E24	± 5%		1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.7, 3.0, 3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1
E12	± 10%		1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.4, 2.7, 3.3, 3.6, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2
E6	± 20%		1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2

电阻器在有电流流过时会发热，如果温度过高就会被烧毁。在环境温度下电阻器长期稳定工作所能承受的最大功率称为额定功率。不同类型电阻器的额定功率如表 3.11 所示。

表 3.11 电阻器额定功率系列

绕线电阻器额定功率系列												非绕线电阻器额定功率系列									
0.05	0.125	0.25	1	2	4	8	12	16	25	40		0.05	0.125	0.5	1	2	5	10	25	50	100
75	100	250	500																		

在电路原理图中，电阻器的功率必须标注出来，如果在电阻器符号上没有额定功率的标志，那就是对功率没有要求，一般用 0.125 ~ 0.25 W 的电阻器。图 3.2.2 为电阻器所能承受最大功率的表示方法。

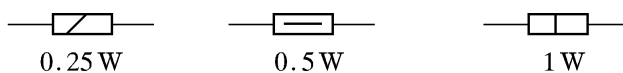


图 3.2.2 电阻器额定功率与对应符号

注：此符号现已废弃，此处仅供参考。

3. 电阻器阻值标注方法

国家标准规定电阻器阻值标注方法有三种：直接标注法、文字符号标注法和色环标注法。

直接标注法是指在电阻器表面用数字、单位符号和百分数直接标出电阻器的阻值和允许误差。符号规定如下：欧

$1\text{ M} = 10^6$ ， $1\text{ k} = 10^3$ 。表示方法如图 3.2.3 所示。

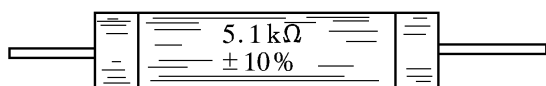


图 3.2.3 电阻器阻值直接标注法

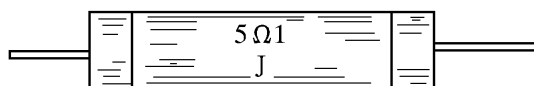


图 3.2.4 电阻器阻值文字符号标注法

文字符号标注法是用数字、单位符号按一定的规律组合表示电阻器的阻值，如图 3.2.4 所示。遇有小数时，常以 Ω ，k，M 取代小数点，如 $5\ \Omega 1$ 表示 $5.1\ \Omega$ ， $4\text{k}3$ 表示 $4.3\text{ k}\Omega$ ， $9\text{M}1$ 表示 $9.1\text{ M}\Omega$ 。

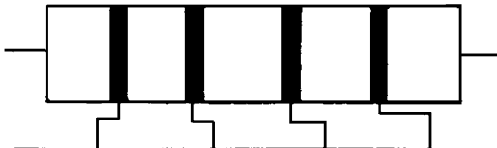
电阻器的允许误差用字母表示：J 为 $\pm 5\%$ 、K 为 $\pm 10\%$ 、M 为 $\pm 20\%$ 等。

2 W 以下的小功率电阻器，电阻材料通常不标出。对于普通碳膜和金属膜电阻器，通过外表颜色可以判定。通常碳膜电阻器涂绿色或棕色，金属膜电阻器涂红色或棕色。2W 以上功率的电阻器大部分在电阻体上以符号标出，符号含义如表 3.12 所示。

表 3.12 电阻材料及代表符号

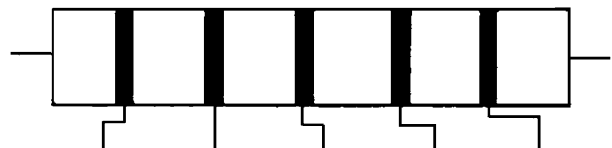
符号	T	J	X	H	Y	C	S	I	N
材料	碳膜	金属膜	线绕	合成膜	氧化膜	沉积膜	有机实心	玻璃釉膜	无机实芯

小功率电阻器较多情况使用色环标注法。色环标注法使用颜色环表示电阻器的阻值和允许误差，用不同的颜色代表不同的数值。色环标注的电阻器，颜色醒目、标志清晰、不易褪色，从每个方向都能看清电阻器的阻值和允许误差，给安装、调试和维修带来极大方便，已被广泛采用。普通电阻器采用四色环表示法，精密电阻器采用五色环表示法，如图 3.2.5 和图 3.2.6 所示。



颜色	第一色环 第一位数	第二色环 第二位数	第三色环 倍率	第四色环 误差
黑	0	0	10^0	
棕	1	1	10^1	
红	2	2	10^2	
橙	3	3	10^3	
黄	4	4	10^4	
绿	5	5	10^5	
蓝	6	6	10^6	
紫	7	7	10^7	
灰	8	8	10^8	
白	9	9	10^9	
金			10^{-1}	$\pm 5\%$
银			10^{-2}	$\pm 10\%$

图 3.2.5 普通电阻器色环标注法



颜色	第一色环 第一位数	第二色环 第二位数	第三色环 第三位数	第四色环 倍率	第五色环 误差
黑	0	0	0	10^0	
棕	1	1	1	10^1	$\pm 1\%$
红	2	2	2	10^2	$\pm 2\%$
橙	3	3	3	10^3	
黄	4	4	4	10^4	
绿	5	5	5	10^5	$\pm 0.5\%$
蓝	6	6	6	10^6	$\pm 0.2\%$
紫	7	7	7	10^7	$\pm 0.1\%$
灰	8	8	8	10^8	
白	9	9	9	10^9	
金				10^{-1}	$\pm 5\%$
银				10^{-2}	$\pm 10\%$

图 3.2.6 精密电阻器色环标注法

4. 常用电阻器介绍

碳质电阻器由碳粉、填充剂等压制而成，价格便宜但性能较差，现在已不常用。

线绕电阻器由电阻率较大、性能稳定的锰铜、康铜等合金线涂上绝缘层，在绝缘棒上绕制而成。具有很好的线性关系，精度高，稳定性好，但具有较大的分布电容，较多用在需要高精度电阻器的仪器仪表中。

碳膜电阻器是由结晶碳沉积在磁棒或瓷管骨架上制成的，稳定性好、高频特性较好并能工作在较高的温度下

与碳膜电阻器相比，金属膜电阻器只是用合金粉替代了结晶碳，除具有碳膜电阻器的特性外，能耐更高的工作温度。其涂层多为红色。

热敏电阻器的电阻值随着温度的变化而变化，一般用做温度补偿和限流保护等。从特性上

可分为两类：正温度系数电阻器和负温度系数电阻器。正温度系数的电阻器的电阻值随温度升高而增大，负温度系数的电阻器则相反。

热敏电阻器在结构上分为直热式和旁热式两种。直热式是利用电阻体本身通过的电流产生热量，使其电阻值发生变化，旁热式热敏电阻器由两个电阻体组成，一个为热源电阻体，另一个为热敏电阻体。

该类电阻器目前常用在高集成度的电路板上，它体积很小，分布电感、分布电容都很小，适合在高频电路中使用。一般用自动安装机安装，对电路板的设计精度有很高的要求，是新一代电路板设计的首选组件。

5. 电阻器的测量

看电阻器引线有无折断及外壳烧焦现象。

电阻器的好坏可用万用表检查：将万用表置相应的“ Ω ”挡位置，调零后用表笔分别接电阻器两端，即可测量其阻值。若任何挡位测量均为无穷大，表明电阻器开路，已损坏。若与标称值相差很大，则表明电阻器变质。

3.2.2 电位器

电位器实际上是一种可变电阻器，它是一种电阻值连续可调的电子元件。电位器通常由两个固定输出端和一个滑动抽头组成。

电位器的种类、形式很多，常见的有旋转式、推拉式、直滑式、带开关式和多圈式。按结构，电位器可分为单圈、多圈；单联、双联；带开关；锁紧和非锁紧电位器。电阻值与滑动角度一般不具有线性关系。

1. 电位器的符号

具体常用电位器外形和符号如图 3.2.7 所示。表 3.13 为电位器使用材料与标志符号。

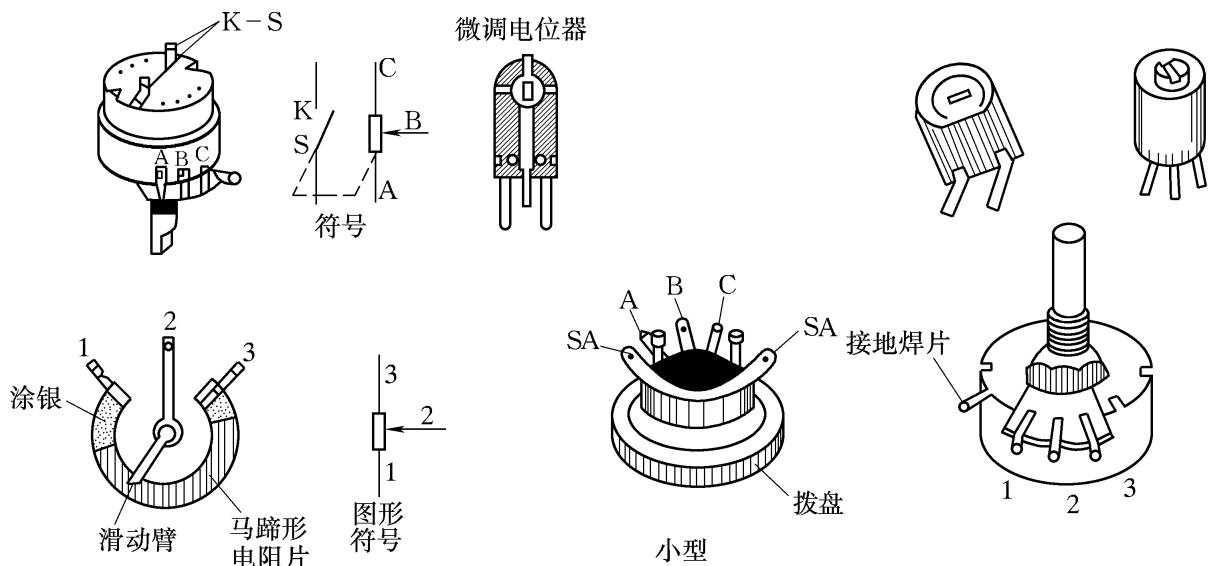


图 3.2.7 常用电位器的外形和符号

表 3.13 电位器使用材料与标志符号

类别	碳膜电位器	合成碳膜电位器	线绕电位器	有机实芯电位器	玻璃釉电位器
标志符号	WT	WTH	WX	WS	WT

2. 电位器的测量

检查电位器阻值大小和好坏的方法是：适当选择万用表“ Ω ”挡位置，两表笔分别接电位器两固定端，测量阻值是否与标称值相符。若表针不动，表示电位器引出端或电阻体断路；若读数比标称值大许多，表明电位器变质损坏。

将任一表笔接滑动端，另一表笔接一个固定端，缓慢移动滑动端，万用表指针应平稳上升或下降，没有跳动和跌落现象，说明电位器良好。若指针忽大忽小或根本不动，则滑动端与电阻体接触不良或开路。

3.2.3 电容器

电容器在电路中通常用做隔直流、级间耦合及滤波等，在调谐电路中和电感一起构成谐振回路。在电子设备中，电容器是不可缺少的元件。

电容器的种类很多，其分类如下：

按结构分：有固定电容器、微调电容器、可变电容器。

按介质材料分：有气体介质电容器、液体介质电容器、无机固质电容器、电解电容器。

按阳极材料分：有铝、钽、铌、钛电解电容器等。

按极性分：有有极性、无极性电容器。

1. 电容器的符号

电容器就是用来存储电荷的容器。比较简单的模型是两个金属板中间夹上一层绝缘材料，这层绝缘材料也可以是空气。电容器的形状很多，如图 3.2.8 所示为常用电容器的形状及符号表示方法。

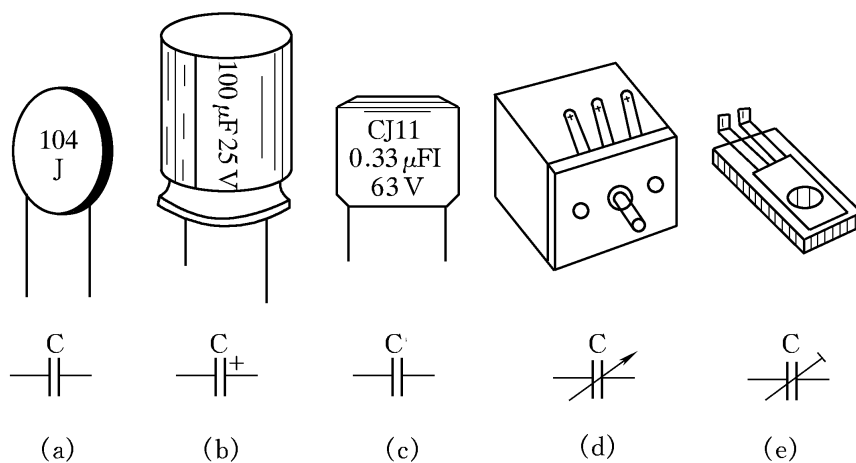


图 3.2.8 电容器的形状及图形符号

2. 电容器的参数

电容器的主要参数有电容器的标称容量、允许误差和耐压等。

电容器长期连续可靠工作时，两电极间最高承受的电压，称为电容器的额定工作电压，简称电容的耐压。固定电容器的直流额定工作电压等级为：

6.3 V、10 V、16 V、25 V、32 V、50 V、63 V、100 V、160 V、250 V、400 V 等。

电容量是指电容器储存电荷的能力。常用单位：法 (F) 与微法 (μF) 的关系为： $1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF}$ 。

标注在电容器外壳上的电容量称为标称容量。国家规定了一系列容量值作为产品标称。固定电容器的标称容量系列如表 3.14 所示。

表 3.14 固定式电容器标称容量系列

标 称 值	最大误差	偏差等级	标 称 值
E24	$\pm 5\%$		1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.7, 3.0, 3.3, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1
E12	$\pm 10\%$		1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2
E6	$\pm 20\%$		1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8

3. 电容器容量的标注方法

电容器的电容量常按下列规则标印在电容器上。

小于 10 000 pF 的电容器，一般只标注数值而省去单位，如 330 表示 330 pF。10 000~1 000 000 pF 之间的电容器，以 μF 为单位，以小数点为标志，也只标注数值而省去单位，如 0.1 表示 0.1 μF ，0.022 表示 0.022 μF ；电解电容器以 μF 为单位直接标印在电容器上，如 100 $\mu\text{F}/16\text{V}$ ，表示标称容量为 100 μF ，耐压为 16 V。

用三位数码表示容量大小，前两位数字是电容量的有效数字，第三位是零的个数，单位为 pF，如 103 表示 $10 \times 10^3 = 10\,000\text{ pF}$ ，224 表示 $22 \times 10^4 = 220\,000\text{ pF} = 0.22\ \mu\text{F}$ 。如果第三位是 9，则乘以 10^{-1} ，如 339 表示 $33 \times 10^{-1} = 3.3\text{ pF}$ 。

电容器的色标法与电阻器色标法大致相同。

4. 常用电容器

电解电容器是目前用得较多的大容量电容器，它体积小、耐压高
(越大)

因其有正负极之分，故只能工作在直流状态下，如果极性用反，将使漏电流剧增，在此情况下电容器将会急剧变热而损坏，甚至会引起爆炸。一般厂家会在电容器的表面上标出正极或负极，新买来的电解电容器，电极引脚长的一端为正极，接电路中的高电位。

目前铝电容器用得较多，钽、铌、钛电容器相比之下漏电流小，体积小，但成本高，通常用在性能要求较高的电路中。

电解电容器，常用在电源滤波、去耦、耦合、旁路等电路中。

用云母片做介质的电容器，高频性能稳定，耐压高，体积小。

采用高介电常数、低损耗的陶瓷材料作介质，电容器的体积小、损耗小、绝缘电阻大、漏电流小、性能稳定，可工作在超高频段，但耐压低，机械强度较差。

瓷介质固定电容器，常用在振荡、高频等电路中。

玻璃釉电容器具有瓷质电容器的优点，但比同容量的瓷质电容器体积小，工作频带较宽，可在 125℃ 下工作。

纸介电容器的电极用铝箔、锡箔做成，绝缘介质是浸醋的纸，锡箔或铝箔与纸相叠后卷成圆柱体，外包防潮物质。体积小、容量大，但性能不稳定，高频性能差。

聚苯乙烯电容器是一种有机薄膜电容器。以聚苯乙烯为介质，用铝箔或直接在聚苯乙烯薄膜上蒸上一层金属膜为电极。绝缘电阻大、耐压高、漏电流小、精度高，但耐热性差，焊接时，过热会损坏电容器。

目前，片状电容器广泛用在混合集成电路、电子手表电路和计算机中。有片状陶瓷电容器、片状钽电容器、片状陶瓷微调电容器等。其体积小、容量大。

独石电容器是以钛酸钡为主的陶瓷材料烧结而成的一种瓷介质电容器，体积小、耐高温、绝缘性能好、成本低，多用在小型和超小型电子设备中。

可变电容器常用在经常改变电容量的场合，如收音机的调谐、电子仪器的调频等。

可变电容器种类很多，按结构可分为单连

片)

寿命长，但体积大。一般单连用于直放式收音机的调谐电路，双连用于超外差式收音机。薄膜介质电容器在动片和定片之间以云母或塑料片做介质，其体积小，重量轻。如图 3.2.9 所示为空气单连、双连可变电容器及其符号。

微调电容器在电路中，主要用在电容量需要作微调谐，调好后一般不需再变动的场合，作

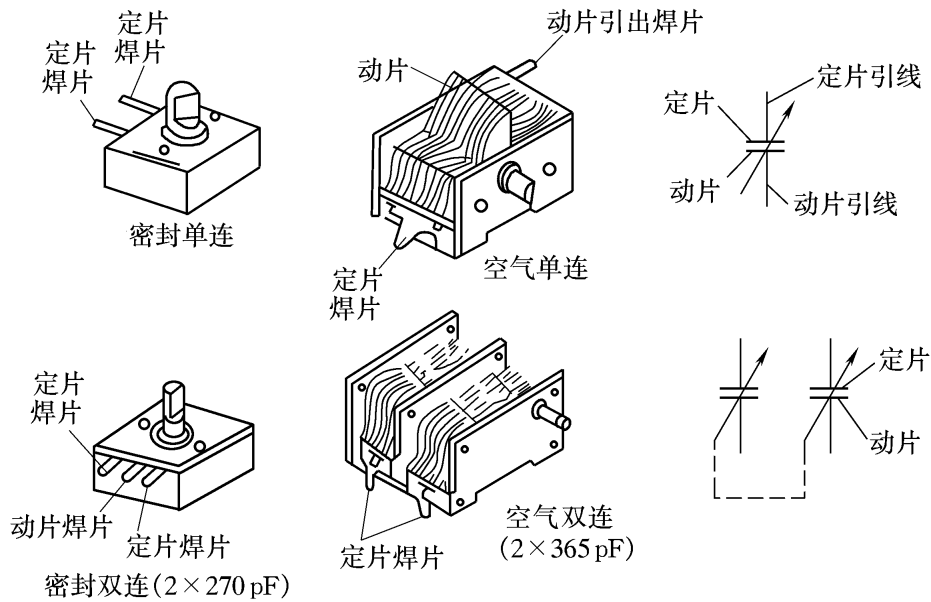


图 3.2.9 空气单连、双连可变电容器及其符号

为补偿和校正，如振荡器等。调节范围为几十皮法。

常用的微调电容器有：有机薄膜介质微调电容器、瓷介质微调电容器、拉线微调电容器和云母微调电容器等。图 3.2.10 为几种微调电容器的外形图及其符号。

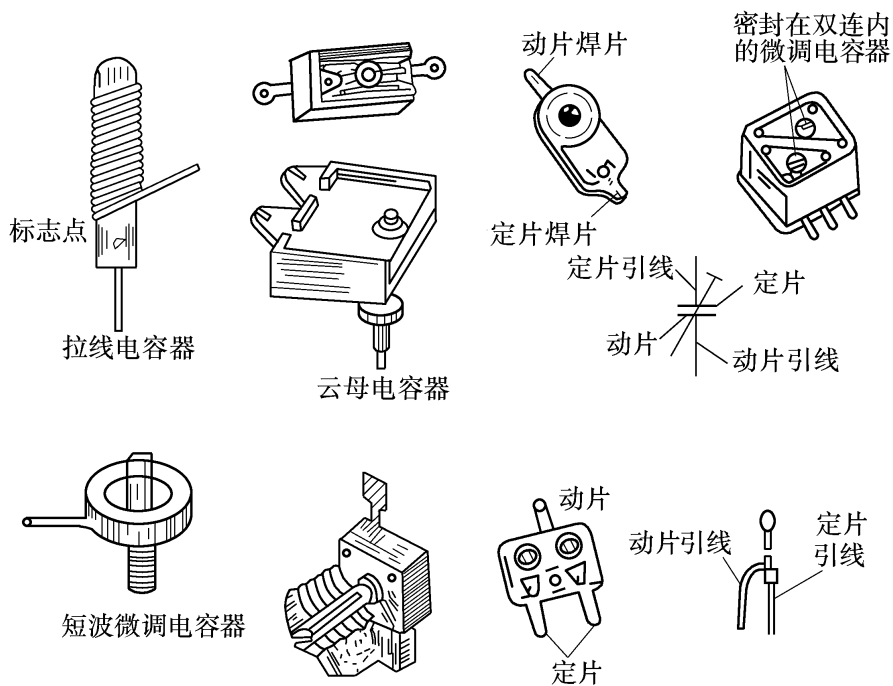


图 3.2.10 各种微调电容器的外形图及其符号

5. 电容器的测量

用万用表的“ ”挡可判断电容器短路、断路、漏电等故障。

0.1 μF 以下的电容器用万用表 $\times 1\text{ k}$ 或 $\times 10\text{ k}$ 挡位，1 μF 以上的电容器用 $\times 100$ 或 $\times 10$ 挡测量电容器两引线之间的电阻值。若表笔接触瞬间，指针摆动一下后立即回到“ ”位置，将表笔对调再测量其阻值，表针出现同一现象，则说明电容器是好的。容量越大，表针摆动的

角度也越大，1 000 pF 以下的电容器几乎看不到表针的摆动。若表针根本不动除外)

后，虽然向“ ”位置回摆，但始终不能达到“ ”置)

电解电容器有正负极性之分，判别正负极性的方法是：用万用表“ ”挡测两极之间的漏电阻，记下第一次测量的阻值，然后调换表笔再测一次，两次漏电阻中，大的那次，黑表笔接的是电解电容器的正极，红表笔接的是负极。

可变电容器的漏电、碰片，可用万用表的“ ”挡来检查。将万用表的两只表笔分别与可变电容器的定片和动片引出端相连，同时将电容器来回旋转几下，表针均应在“ ”位置不动。如果表针指向“0”或某一较小的数值，说明可变电容器已发生碰片或漏电严重。

3.2.4 电感器

电感器即电感线圈，是用导线磁芯上的一种常见电子元件。电感器有存储磁能的作用，在电路中表现为阻碍电流的变化。常用在滤波、振荡、调谐、扼流等电子电路中。

电感器按形式可分为固定电感器、可变电感器和微调电感器。

按磁体的性质可分为空芯线圈、磁芯线圈。

按结构分为单层线圈、多层线圈。

1. 电感器的符号

电感器多用漆包线、纱包线绕在铁心、磁芯上构成，圈与圈之间相互绝缘。电路中用 L 表示。图 3.2.11 为几种电感器的符号。

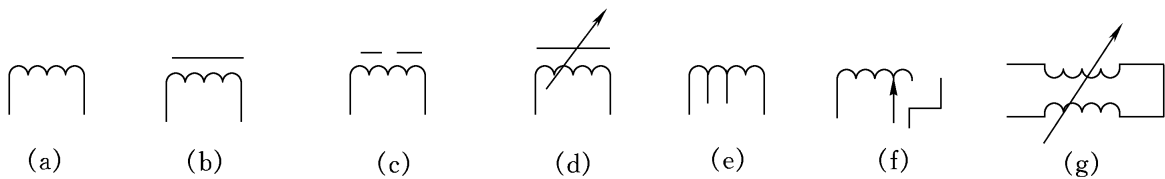


图 3.2.11 各种电感器的符号

(
(

2. 电感器的主要参数

电感量的单位有亨 (H)、毫亨 (mH)、微亨 (μH) 等。1 mH = 10³ μH。
(Q 值)

品质因数是电感器的主要参数。在高频电路中，电感器的品质因数 Q 是一个重要的物理参数，电感器的损耗小，则 Q 值就高，反之 Q 值低。

由于绝缘的线圈相当于电容器的两极，则电感器上就会分布有许多的小电容，称为分布电

容。分布电容的存在是导致品质因数下降的主要因素，所以一般通过各种方法来减小分布电容。

额定电流主要对高频电感器和大功率调谐电感器而言，要求正常工作时，通过电感器的电流小于其额定电流。

3. 电感量的标注方法

电感量参数一般都直接标注在电感器上，在中、高频电路中的电感器，均是特制的，它们的参数以某种型号所代替，如电视机高频调谐器中的电感器。

4. 常用电感器介绍

固定电感线圈一般是将绝缘铜线绕在磁芯上，外层包上环氧树脂或塑料。固定电感线圈体积小、重量轻、结构牢固，广泛应用于电视机、收录机中。有立式和卧式两种。工作频率在 10 kHz ~ 200 MHz。

通过改变插入电感线圈的磁芯的位置来改变电感量。磁棒式天线线圈是可变电感线圈，在收音机中与可变电容器组成调谐回路，用于接收无线电波信号。

微调电感器用于小范围地改变电感量，调整局部电路的参数。

阻流圈也称为扼流圈。分为高频扼流圈和低频扼流圈两种。高频扼流圈用来阻止高频分量的通过；低频扼流圈又称为滤波线圈，它可与电容器组成滤波电路。

小 结

在这一章里主要介绍了电工材料中常用的绝缘材料、导电材料和磁性材料的种类，用途，性能指标，规格及其选用的方法。

另外由于电气元器件是组成各种电工线路的基础和最小单位，正确的识别和使用电气元器件是正确地组成电路或维修电路所必须具备的能力，因此本章还着重介绍了各类电气元器件的分类方法、性能、特点和主要用途。

通过本章的学习，希望能对常用的电工材料和电气元器件有一个基本的了解，为今后参加实验、实训、维修和调试电路打一个基础。

思 考 题

- 3.1 绝缘材料有哪些性能指标？
- 3.2 绝缘材料的耐热等级分几级，它们的极限工作温度是多少，各级有哪些绝缘材料？
- 3.3 什么是导线的安全载流量？在工厂实用中如何选择安全载流量？
- 3.4 导线电缆是如何分类的？
- 3.5 软磁材料和硬磁材料的主要特点是什么？

3.6 电阻器是如何分类的？

3.7 普通电阻器的四色环是如何表示电阻值的？选择三种带色环的电阻器，先计算一下它们的阻值，再用万用表测量一下它们的阻值，比较一下结论是否相同。

3.8 有一只四色环的电阻器，它的色环顺序为棕、黑、红和银色，计算该电阻器的阻值和误差。有一只标注为 5k Ω 的电阻器，其阻值为多少？

3.9 选择三种用三位数码表示法标注电容值的电容器，计算电容值。

3.10 电感器的主要参数是什么？

第 4 章

电工基本操作技能

4.1 常用导线的连接

电气装修工程中，导线的连接是电工基本工艺之一。导线连接的质量关系着线路和设备运行的可靠性和安全程度。对导线连接的基本要求是：电接触良好，机械强度足够，接头美观且绝缘恢复正常。

4.1.1 线头绝缘层的剥削

1. 塑料硬线绝缘层的剥削

塑料硬线绝缘层的去除，有条件时，用剥线钳甚为方便。这里主要介绍用钢丝钳和电工钳剥削。

线芯截面在 2.5 mm^2 及以下的塑料硬线，可用钢丝钳剥削：先在线头所需长度交界处，用钢丝钳口轻轻切破绝缘层表皮，然后左手拉紧导线，右手适当用力捏住钢丝钳头部，向外用力勒去绝缘层，如图 4.1.1 所示。在勒去绝缘层时，不可在钳口处加剪切口，这样会伤及线芯，甚至将导线切断。

对于规格大于 4 mm^2 的塑料硬线的绝缘层，直接用钢丝钳剥削较为困难，可用电工刀剥削。先根据线头所需长度，用电工刀刀口对导线成 45° 角切入塑料绝缘层，注意掌握刀口刚好剥透绝缘层而不伤及线芯，如图 4.1.2

进，将绝缘层削出一个缺口，如图 4.1.2

工刀切齐，如图 4.1.2

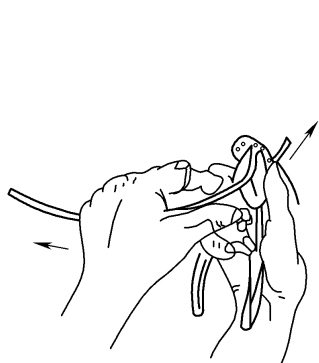


图 4.1.1 用铁丝钳勒去导线外皮

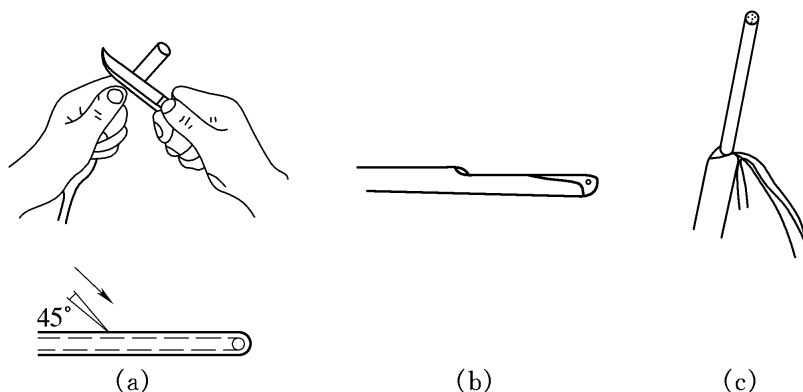


图 4.1.2 用电工刀剥削塑料硬线

2. 塑料软线绝缘层的剥削

塑料软线绝缘层的剥削除用剥线钳外，仍可用钢丝钳根据直接剥削 2.5 mm² 及以下的塑料硬线的方法进行，但不能用电工刀剥削。因塑料软线太软，线芯又由多股铜线组成，用电工刀很容易伤及线芯。

3. 塑料护套线绝缘层的剥削

塑料护套线绝缘层分为外层的公共护套层和内部每根芯线的绝缘层。公共护套层一般用电工刀剥削，先按线头所需长度，将刀尖对准两股芯线的中缝划开护套层，并将护套层向后扳翻，然后用电工刀齐根切去，如图 4.1.3 所示。切去护套层后，露出的每根芯线绝缘层，可用钢丝钳或电工刀按照剥削塑料硬线绝缘层的方法分别除去。钢丝钳或电工刀在切入时应离护套层 5~10 mm。



图 4.1.3 塑料护套线的剥削

4. 橡皮线绝缘层的剥削

橡皮线绝缘层外面有一层柔韧的纤维编织保护层，先用剥削护套线护套层的办法，用电工刀尖划开纤维编织层，并将其扳翻后齐根切去，再用剥削塑料硬线绝缘层的方法，除去橡皮绝缘层。如橡皮绝缘层内的芯线上还包缠着棉纱，可将该棉纱层松开，齐根切去。

5. 花线绝缘层的剥削

花线绝缘层分外层和内层，外层是一层柔韧的棉纱编织层。剥削时先用电工刀在线头所需长度处切割一圈拉去，然后在距离棉纱编织层 10 mm 左右处用钢丝钳按照剥削塑料软线的方法将内层的橡皮绝缘层勒去，有的花线在紧贴线芯处还包缠有棉纱层，在勒去橡皮绝缘层后，再将棉纱层松开扳翻，齐根切去。如图 4.1.4 所示。

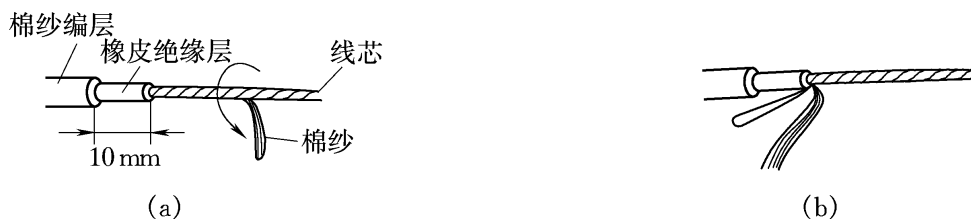


图 4.1.4 花线绝缘层的剥削

6. 橡塑软线

橡塑软线外包护套层，内部每根线芯上又有各自的橡皮绝缘层。外护套层较厚，可用电工刀按切除塑料护套层的方法切除，露出的多股芯线绝缘层，可用钢丝钳勒去。

7. 铅包线护套层和绝缘层的剥削

铅包线绝缘层分为外部铅包层和内部芯线绝缘层。剥削时先用电工刀在铅包层切下一个刀

痕，然后上下左右扳动折弯这个刀痕，使铅包层从切口处折断，并将它从线头上拉掉。内部芯线绝缘层的剖除方法与塑料硬线绝缘层的剥削法相同。剥削铅包层的操作过程如图 4.1.5 所示。

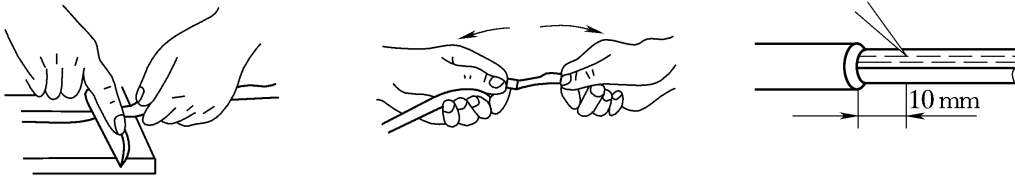


图 4.1.5 铅包线绝缘层的剥削

8. 漆包线绝缘层的去除

漆包线绝缘层是喷涂在芯线上的绝缘漆层。由于线径的不同，去除绝缘层的方法也不一样。直径在 1 mm 以上的，可用细砂纸或细砂布擦除；直径在 0.6 mm 以上的，可用薄刀片刮去；直径在 0.1 mm 及以下的也可以用细砂纸或细砂布擦除，但易于折断，需要小心。有时为了保留漆包线的芯线直径准确以便测量，也可用微火烤焦其线头绝缘层，再轻轻刮去。

4.1.2 导线线头的连接

常用的导线按芯线股数不同，有单股、7 股和 19 股等多种规格，其连接方法也各不相同。

1. 铜芯导线的连接

单股芯线有绞接和缠绕两种方法，绞接法用于截面较小的导线，缠绕法用于截面较大的导线。

绞接法是先将被剥除绝缘层并去除氧化层的两线头呈“×”形相交，如图 4.1.6 并互相绞合 2~3 圈，如图 4.1.6 边的线芯上紧密缠绕到线芯直径的 6~8 倍长好切口毛刺即可。

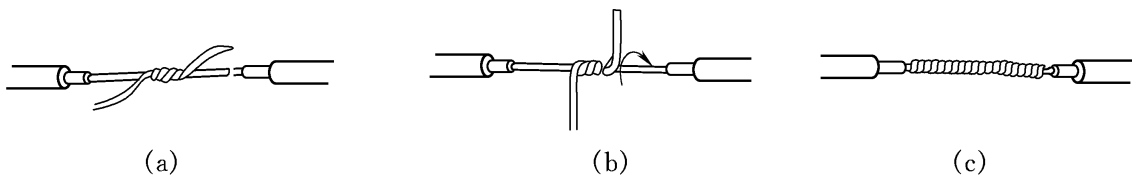


图 4.1.6 单股芯线直接绞接

缠绕法是将已去除绝缘层和氧化层的线头相对交叠，再用直径为 1.6 mm 的裸铜线在其上进行缠绕，如图 4.1.7 所示，其中线头直径在 5 mm 及以下的缠绕长度为 60 mm，大于 5 mm 的，缠绕长度为 90 mm。

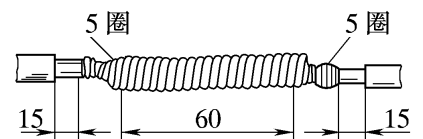


图 4.1.7 缠绕法直接连接单股芯线

单股芯线 T 形连接时仍可用绞接法和缠绕法。绞接法是将除去绝缘层和氧化层的线头与干线剥削处的芯线十字相交，注意在

支路芯线根部留出 3~5 mm 裸线，接着顺时针方向将支路芯线在干路芯线上紧密缠绕 6~8 圈，如图 4.1.8 所示

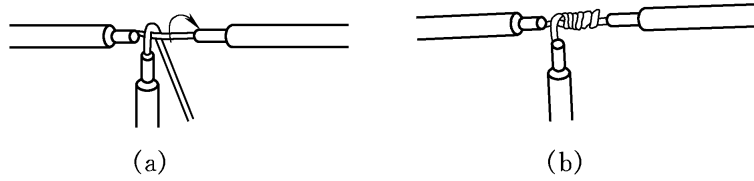


图 4.1.8 单股芯线 T 形连接

对用绞接法连接较困难的截面较大的导线，可用缠绕法，如图 4.1.9 所示单股芯线直连的缠绕法相同。

对于截面较小的单股铜芯线，可用图 4.1.10 所示的方法完成 T 形连接，先把支路芯线线头与干路芯线十字相交，仍在支路芯线根部留出 3~5 mm 裸线，把支路芯线在干线上缠绕成结状，再把支路芯线拉紧扳直并紧密缠绕在干路芯线上。为保证接头部位有良好的电接触和足够的机械强度，应保证缠绕长度为芯线直径的 8~10 倍。

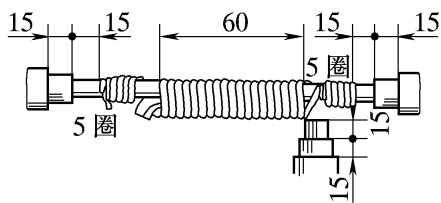


图 4.1.9 缠绕法完成单股芯线 T 形连接

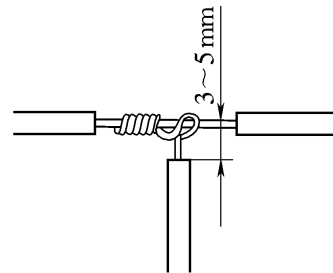


图 4.1.10 小截面单股芯线 T 形连接

把除去绝缘层和氧化层的芯线线头分成单股散开并拉直，在线头总长的三分之一处部距离)

4.1.11

直于线头方向，如图 4.1.11

线，如图 4.1.11

图 4.1.11

使后一组线头压在前一组线头已折成直角的根部。最后一组线头应在芯线上缠绕三圈，在缠到第三圈时，把前两组多余的线端剪除，使该两组线头断面能被最后一组第三圈缠绕完的线匝遮住。最后一组线头绕到两圈半时，就剪去多余部分，使其刚好能缠满三圈，最后用钢丝钳剪平线头，修理好毛刺，如图 4.1.11

与前半完全相同。

把除去绝缘层和氧化层的支路线端分散拉直，在距根部八分之一处将其进一步绞紧，将支

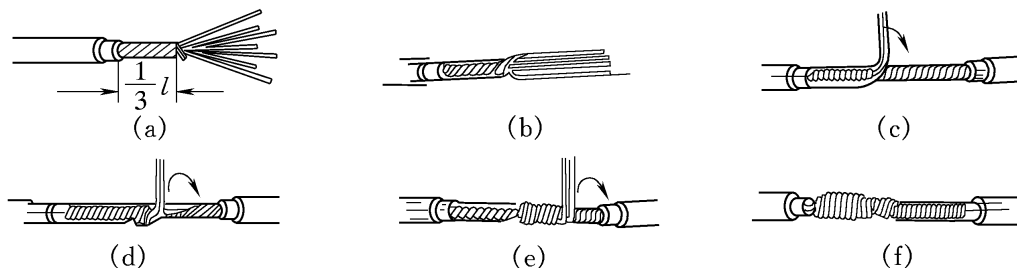


图 4.1.11 7 股铜芯线的直接连接

路线头按 3 和 4 的根数分成两组并整齐排列。接着用一字形螺丝刀把干线也分成尽可能对等的两组，并在分出的中缝处撬开一定距离，将支路芯线的一组穿过干线的中缝，另一组排于干路芯线的前面，如图 4.1.12

多余线头，修整好毛刺，如图 4.1.12

时针方向缠绕 3~4 圈，剪去多余线头，剪平毛刺即可，如图 4.1.12

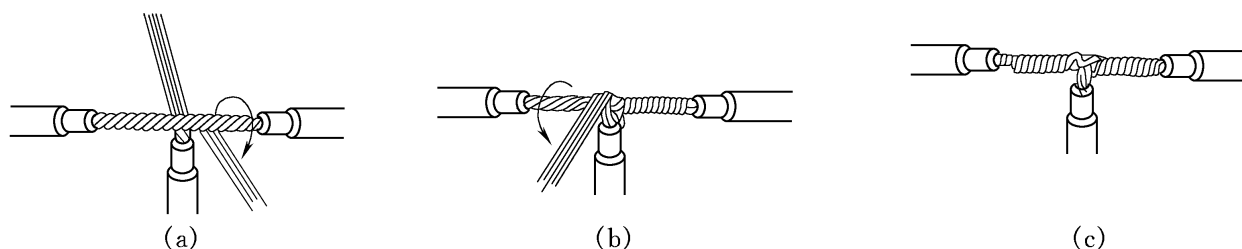


图 4.1.12 7 股铜芯线 T 形连接

19 股铜芯线的连接与 7 股铜芯线连接方法基本相同。在直线连接中，由于芯线股数较多，可剪去中间的几股，按要求在根部留出一定长度绞紧，隔股对叉，分组缠绕。在 T 形连接中，支路芯线按 9 和 10 的根数分成两组，将其中一组穿过中缝后，沿干线两边缠绕。为保证有良好的接触和足够的机械强度，对这类多股芯线的接头，通常都应进行钎焊处理。

2. 电磁线头的连接

电机和变压器绕组用电磁线绕制，无论是检修或维修，都要进行导线的连接，这种连接可能在线圈内部进行，也可能在线圈外部进行。前者用在导线长度不够或断裂时，后者则用在连接线圈出线端。

对直径在 2 mm 以下的漆包线，通常是先绞接后钎焊。绞接时要均匀，两根线头互绕不少于 10 圈，两端要封口，不能留下毛刺，截面较小的漆包线的绞接如图 4.1.13 较大的漆包线的绞接如图 4.1.13

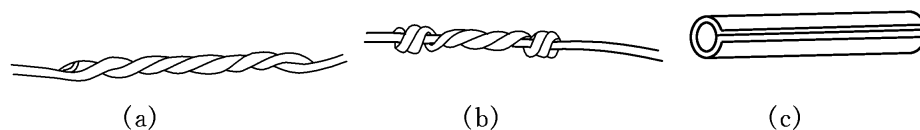


图 4.1.13 线圈内部端头连接方法

直径大于 2 mm 的漆包线的连接，多使用套管套接后再钎焊的方法。套管用镀锡的薄铜片卷成，在接缝处留有缝隙，选用时注意套管内径与线头大小配合，其长度为导线直径的 8 倍左右，如图 4.1.13

对接在套管中间位置，再进行钎焊，使锡液从套管侧缝充分侵入内部，注满各处缝隙，将线头和套管铸成整体。

对截面积不超过 25 mm² 的矩形电磁线，亦用套管连接，工艺同上。套管铜皮的厚度应选 0.6 ~ 0.8 mm 为宜；套管的横截面以电磁线横截面的 1.2 ~ 1.5 倍为宜。

此法适用于室内、外截面较大的架空线路。这类连接有两种情况，一种是线圈间的串、并联，、联结等。这类线头的连接，对小截面的导线，仍采用先绞接后钎焊的办法；对截面较大的导线，可用乙炔气焊。另一种是制作线圈引出端头，用如图 4.1.14 线端子，与线头用压接钳压接，如图 4.1.14

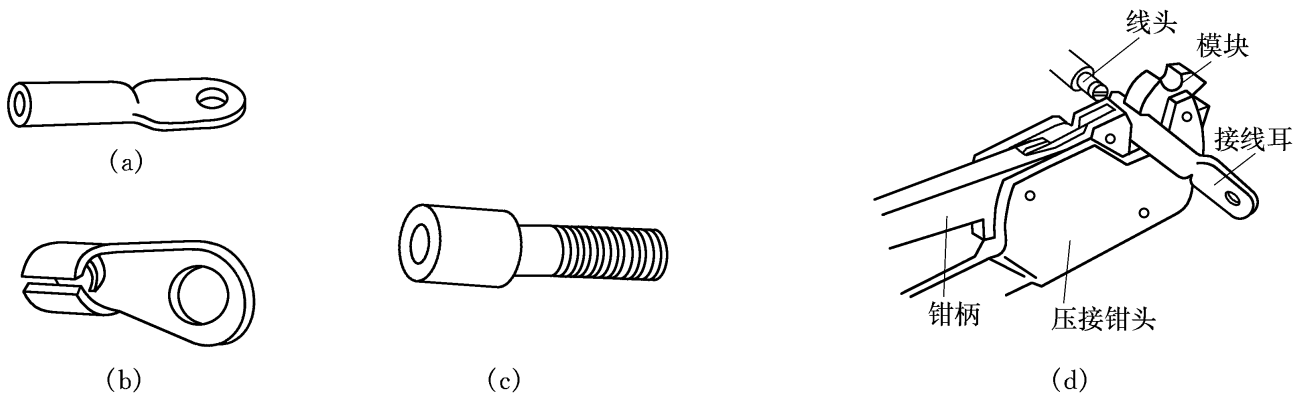


图 4.1.14 接线耳与接线桩螺钉

3. 铝导线线头的连接

铝的表面极易氧化，而且这类氧化铝膜电阻率较高，除小截面铝芯线外，其余铝导线的连接都不采用铜芯线的连接方法。在电气线路施工中，铝线线头的连接常用螺钉压接法、压接管压接法和沟线夹螺钉压接法三种。

将剥去绝缘层的铝芯线头用钢丝刷或电工刀除去氧化层，涂上中性凡士林后，将线头伸入接头的线孔内，再旋转压线螺钉压接。线路上导线与开关、灯头、熔断器、仪表、瓷接头和端子板的连接，多用螺钉压接，如图 4.1.15 所示。单股小截面铜导线在电器和端子板上的连接亦可采用此法。

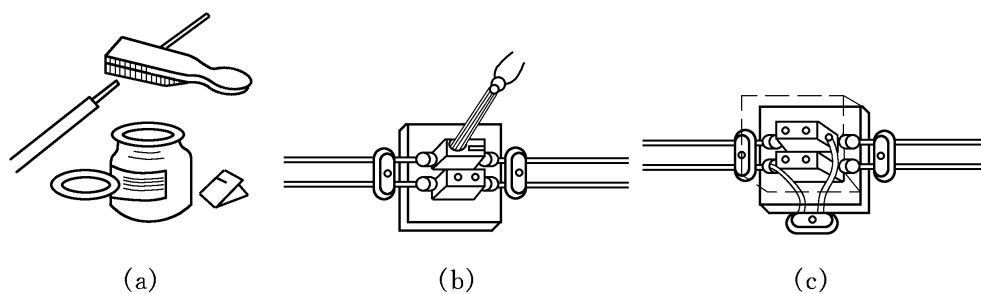


图 4.1.15 单股铝芯导线的螺钉压接法连接

如果有两个或两个以上进行压接，如果直接扭绞的强度不够，还可在扭绞的线头处用小股导线缠绕后再插入接线孔压接。

此方法又称为套管压接法，它适用于室内、外负荷较大的铝芯线头的连接。接线前，先选好合适的压接管，如图 4.1.16

两根线头相对插入并穿出压接管，使两线端各自伸出压接管 25 ~ 30 mm，如图 4.1.16 然后用压接钳进行压接，如图 4.1.16

果压接的是钢芯铝绞线，应在两根芯线之间垫上一层铝质垫片。压接钳在压接管上的压接数目，对于室内线头通常为 4 个；对于室外铝绞线，截面积为 16 ~ 35 mm² 的为 6 个，截面在 50 ~ 70 mm² 的为 10 个；对于钢芯铝绞线，截面在 16 mm² 的为 12 个，截面在 25 ~ 35 mm² 的为 14 个，截面在 50 ~ 70 mm² 的为 16 个，截面在 95 mm² 的为 20 个，截面在 125 ~ 150 mm² 的为 24 个。

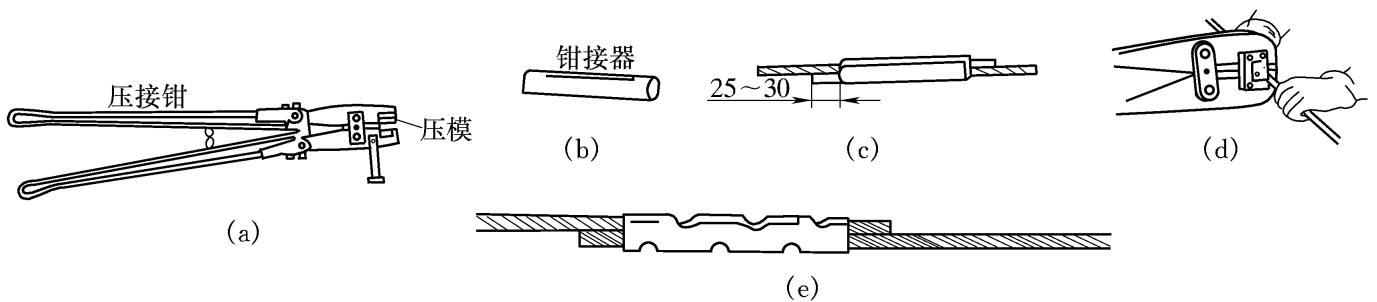


图 4.1.16 压接管压接法

此法适用于室内、外截面较大的架空线路的直线和分支连接。连接前先用钢丝刷除去导线线头和沟线夹线槽内壁上的氧化层及污物，并涂上中性凡士林，然后将导线卡入线槽，旋紧螺钉，使沟线夹紧线头而完成连接，如图 4.1.17 所示。为预防螺钉松动，压接螺钉上必须套以弹簧垫圈。

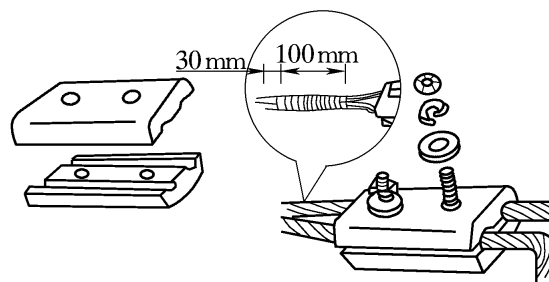


图 4.1.17 沟线夹螺钉压接法

沟线夹的大小和使用数量与导线截面有关。通常导线截面积在 70 mm^2 及以下的，用一副小型沟线夹；截面积在 70 mm^2 以上的，用两副较大型号的沟线夹，两副沟线夹之间相距 $300 \sim 400 \text{ mm}$ 。

4. 线头与接线桩的连接

端子板、某些熔断器、电工仪表等的接线部位多是利用针孔附有压接螺钉压住线头完成连接的。线路容量小，可用一只螺钉压接；若线路容量较大或接头要求较高时，应用两只螺钉压接。

单股芯线与接线桩连接时，最好按要求的长度将线头折成双股并排插入针孔，使压接螺钉顶紧双股芯线的中间。如果接头较粗，双股插不进针孔，也可直接用单股，但芯线在插入针孔前，应稍微朝着针孔上方弯曲，以防压紧螺钉稍松时线头脱出，如图 4.1.18 所示。

在针孔接线桩上连接多股芯线时，先用钢丝钳将多股芯线进一步绞紧，以保证压接螺钉顶压时不致松散。注意针孔和线头的大小应尽可能配合，如图 4.1.19

选用一根直径大小相宜的铝导线做绑扎线，在已绞紧的线头上紧密缠绕一层，使线头大小与针孔合适后再进行压接，如图 4.1.19

量剪去中间几股。通常 7 股线可剪去 1~2 股，19 股可剪去 1~7 股。然后将线头绞紧，进行压接。如图 4.1.19

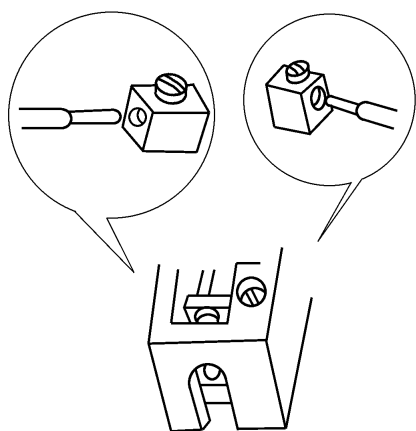


图 4.1.18 单股芯线与针孔
接线压接法

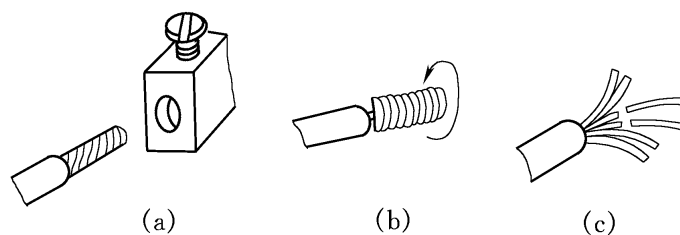


图 4.1.19 多股芯线与针孔接线桩连接

无论是单股或多股芯线的线头，插入针孔时，一是注意插到底；二是不得使绝缘层进入针孔，针孔外的裸线头的长度不得超过 3 mm 。

平压式接线桩是利用半圆头、圆柱头和六角头的螺钉加垫圈将线头压紧，完成连接。对载流量小的单股芯线，先将线头弯成接线圈，如图 4.1.20 所示，再用螺钉压接。对于横截面不超过 10 mm^2 ，股数为 7 股及以下的多股芯线，应按图 4.1.21 所示的步骤制作压接圈。对于载流量较大，横截面积超过 10 mm^2 ，股数多于 7 股的导线端头，应安装接线耳。

连接这类线头的工艺是：压接圈和接线耳的弯曲方向应与螺钉拧紧方向一致，连接前应清除压接圈、接线耳和垫圈上的氧化层及污物，再将压线圈和连接耳压在垫圈下面，用适当的力

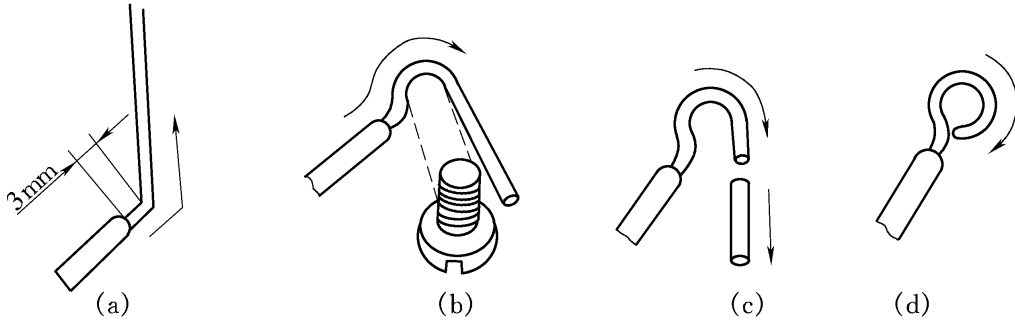


图 4.1.20 单股芯线压接圈的弯法

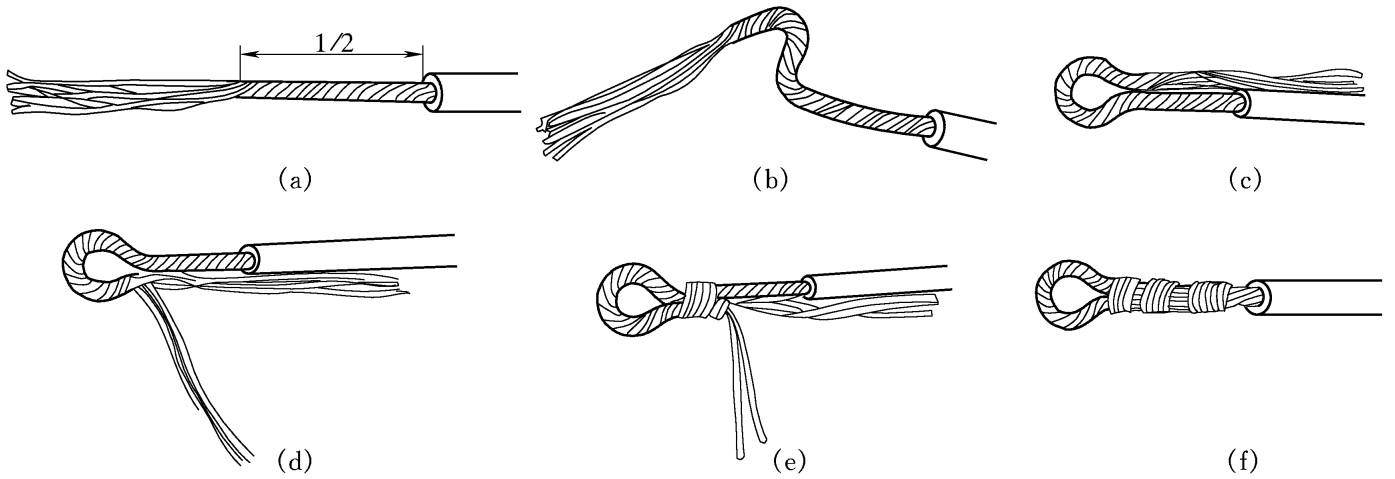


图 4.1.21 7股导线压接圈弯法

将螺钉拧紧，以保证良好的电接触。压接时注意不得将导线绝缘层压入垫圈内。

软导线线头的连接也可用平压式接线桩。导线线头与压接螺钉之间的绕结方法如图 4.1.22 所示。其工艺要求与上述多股芯线的压接相同。

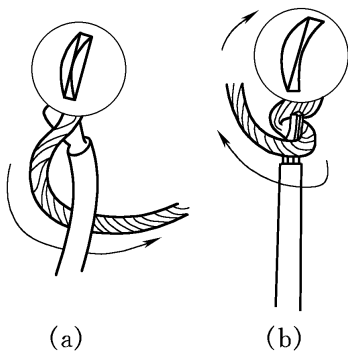


图 4.1.22 软导线线头连接

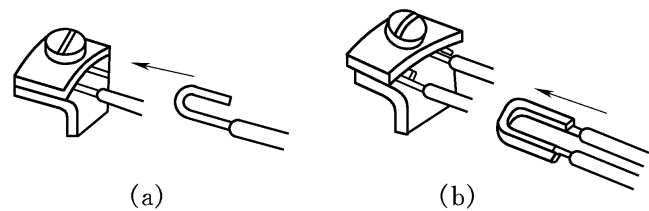


图 4.1.23 单股芯线与瓦形接线桩的连接

瓦型连接桩的垫圈为瓦型。压接时为了不致使线头从瓦型连接桩内滑出，压接前应先将已除去氧化层和污物的线头弯曲成 U 形，如图 4.1.23 接线桩上有两个线头连接，应将弯成 U 形的两个线头重合，再卡入接线桩瓦型垫圈下方压紧，如图 4.1.23

5. 导线的封端

为保证导线线头与电气设备的接触和其机械性能，除截面积 10 mm^2 以下的单股铜芯导线、 2.5 mm^2 及以下的多股铜芯线和单股铝芯线能直接与电气设备连接外，大于上述规格的多股或单股芯线，通常都应在线头上焊接或压接接线端子，这种工艺过程称为导线的封端。但工艺上，铜导线和铝导线的封端是不完全相同的。

铜导线封端方法常用锡焊法或压接法。

锡焊法：先除去线头表面和接线端子内孔表面的氧化层和污物，分别在焊接面上涂上无酸焊锡膏，在线头上先上一层锡，并将适量焊锡放入接线端子的线孔内，用喷灯对接线端子加热，待焊锡熔化时，趁热将上过锡的线头插入端子孔内，继续加热，直到焊锡完全渗透到芯线缝中和灌满线头与接线端子孔内壁之间的间隙，方可停止加热。

压接法：把表面清洁且已加工好的线头直接插入内表面已清洁的接线端子线孔，然后按本节前面所介绍的压接管压接法的工艺要求，用压接钳对线头和接线端子进行压接。

由于铝导线表面极易氧化，用锡焊法比较困难，通常用压接法封端。压接前除了先清洁线头表面及接线端子线孔内表面的氧化层及污物外，还应分别在两接触面涂上中性凡士林，再将线头插入端子线孔，用压接钳压接，已封端完的铝导线端子如图 4.1.24 所示。

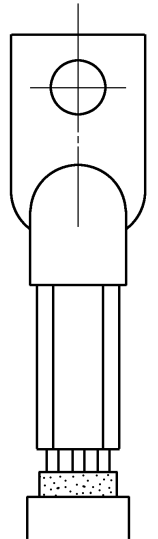


图 4.1.24 铝导线线头封端

6. 线头绝缘层的恢复

导线连接前所破坏的绝缘层，在线头连接完工后，必须恢复且恢复后的绝缘强度一般不应低于剥削前的绝缘强度，方能保证用电安全。电力线上恢复线头绝缘层常用黄蜡带，涤纶薄膜带和黑胶带三种绝缘带。绝缘带宽度选 20 mm 比较适宜。包缠时先将黄蜡带从线头的一边在完整绝缘层上离切口 40 mm 处开始包缠，使黄蜡带与导线保持 55° 的倾斜角，后一圈压叠在前一圈二分之一的宽度上，如图 4.1.25

尾端，朝相反方向斜叠包缠，仍倾斜 55° ，后一圈仍压叠前一圈的二分之一宽度上，如图 4.1.25

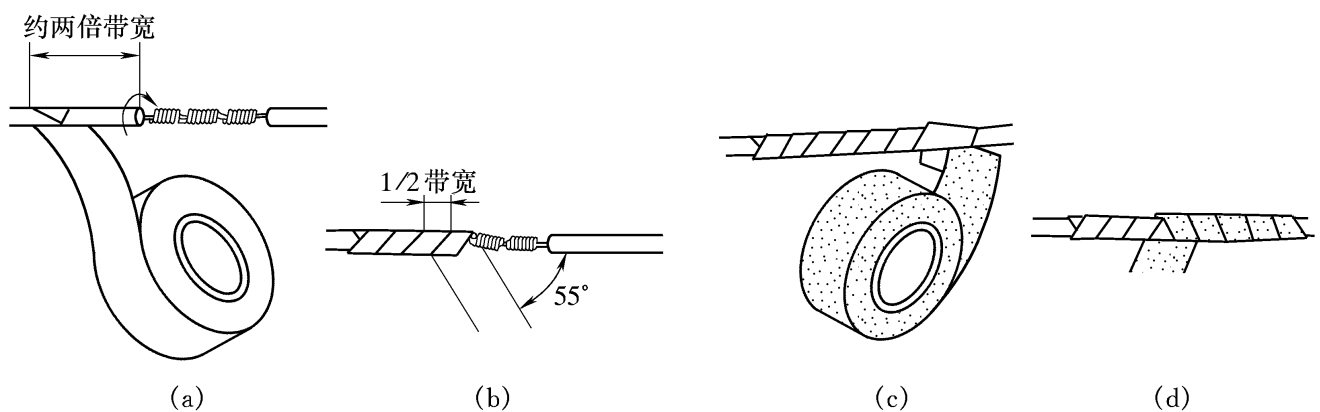


图 4.1.25 绝缘带的包缠

在 380 V 的线路上恢复绝缘层时，先包缠 1~2 层黄蜡带，再包缠一层黑胶带。在 220 V 线路上恢复绝缘层时，可先包一层黄蜡带，再包一层黑胶带或不包黄蜡带，只包两层黑胶带。

4.2 常用焊接技术

4.2.1 电烙铁焊接工艺

1. 焊接基础知识

利用加热或其他方法，使焊料与被焊接金属之间互相吸引，互相渗透，使金属之间牢固结合，这种方法叫做焊接。焊接通常分为熔焊、钎焊及接触焊三种。在电子电气设备的装修中，主要采用钎焊。所谓钎焊，就是利用加热将焊料金属熔化成液态，把被焊固态金属连接在一起，并在焊接部位发生化学变化的焊接方法。在钎焊中起连接作用的金属材料称为钎料，也称为焊料。焊料的熔点，应低于被焊接金属的熔点。

在电工和电子技术中，大量采用锡铅焊料进行焊接，称为锡钎焊，简称锡焊。锡铅焊料堆积而形成焊点，如果被焊接的金属结合面清洁，焊料中的锡和铅原子会在热态下进入被焊接金属材料，使两被焊金属连接在一起，得到牢固可靠的焊接点。要使被焊接金属与焊锡实现良好焊接，应具备以下几个条件：

所谓可焊性是指在适当温度和助焊剂的作用下，在焊接面上，焊料原子与被焊金属原子能互相渗透，牢固结合，生成良好的焊点。

在焊接前，必须清除焊接部位的氧化膜和污物，否则容易阻碍焊接时合金的形成。

助焊剂在熔化时，能熔解被焊部位的氧化膜和污物，增强焊锡的流动性，并能保证焊锡与被焊金属的牢固结合。

焊锡的选用应能使其在被焊金属表面产生良好的浸润，使焊锡与被焊金属间熔为一体。

足够的焊接温度一是能够使焊料熔化，二是能够加热被焊金属，使两者生成金属合金。焊接温度不足将造成假焊或虚焊。

焊接时间过短不能保证焊点的质量，过长会损坏焊接部位和元器件，对印制线路板，焊接时间过长会使电路铜箔起泡。

2. 焊接技术

要获得良好焊接，焊接技术是非常重要的，首先是对焊点应有如下要求：

焊点应可靠地连接导线，即焊点必须有良好的导电性能。

焊点应有足够的机械强度，即焊接部位比较牢固，能承受一定的机械应力。

焊料适量，焊点上焊料过少，会影响机械强度和缩短焊点使用寿命；焊料过多，不仅

浪费，影响美观，还容易使不同焊点间发生短路。

焊点不应有毛刺、空隙和其他缺陷。在高频高压电路中，毛刺易造成尖端放电。一般电路中，严重的毛刺还会导致短路。

焊点表面必须清洁。焊接点表面的污垢，特别是有害物质，会腐蚀焊点、线路及元器件，焊完后应及时清除。

在焊接技术中，除了满足上述条件和对焊点的基本要求外，对于焊接工具的要求，对焊接中的操作要领及工艺要求，都是实现良好焊接所必不可少的。

4.2.2 电烙铁的使用与维护

焊接必须使用合适的工具。目前在电子电气产品的锡焊技术中，用电烙铁进行手工焊接仍占有极其重要的地位，电烙铁的正确选用与维护，是维修人员必须掌握的基础知识。

1. 电烙铁的种类及结构

常用的电烙铁有外热式和内热式两大类，后来又研制出了恒温电烙铁和吸锡电烙铁。无论哪种电烙铁，它们的工作原理基本上是相似的。都是在接通电源后，电流使电阻丝发热并通过传热筒加热烙铁头，达到焊接温度后即可进行工作。对电烙铁要求热量充足、温度稳定、耗电少、效率高、安全耐用。

外热式电烙铁按功率大小有 25 W、45 W、75 W、100 W、150 W、200 W 和 300 W 等多种规格，外热式电烙铁的外形和内部结构如图 4.2.1 所示。

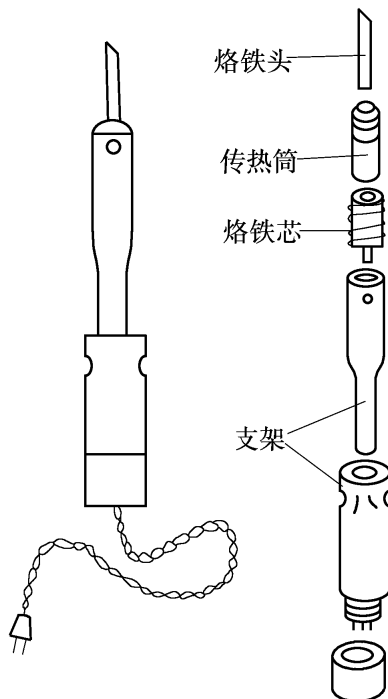


图 4.2.1 外热式电烙铁

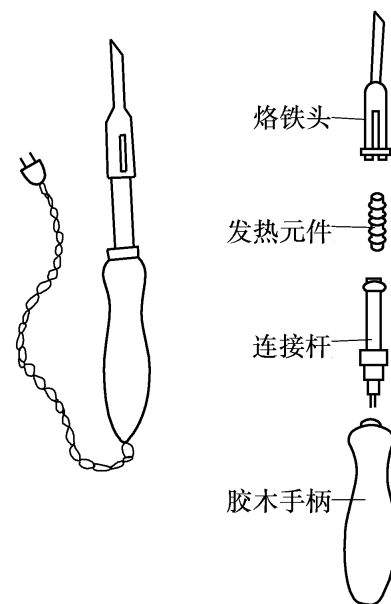


图 4.2.2 内热式电烙铁

外热式电烙铁各部分的作用如下：

烙铁头：由紫铜做成，用螺钉固定在传热筒中，它是电烙铁用于焊接的工作部分，由于焊

接面的要求不同，烙铁头可以制成各种不同形状。烙铁头在传热筒中的长度可以伸缩，借以调节其温度。

传热筒：为一铁质圆筒，内部固定烙铁头，外部缠绕电阻丝，它的作用是将发热器的热量传递到烙铁头。

发热器：用电阻丝分层绕制在传热筒上，以云母作层间绝缘，其作用是将电能转换成热能并加热烙铁头。

支架：木柄和铁壳为整个电烙铁的支架和壳体，起操作手柄的作用。

内热式电烙铁常见的规格有 20 W、30 W、35 W 和 50 W 等几种。外形和内部结构如图 4.2.2 所示，主要部分由烙铁头、发热器、连接杆和手柄等组成，各部分的作用与外热式电烙铁基本相同。在组合上，它的发热元件装在烙铁头空腔内部，故称为内热式。它的连接杆既起支架作用，又起传热作用。内热式电烙铁具有发热快、耗电省、效率高、体积小、重量轻、便于操作等优点。

它是借助于电烙铁内部的磁控开关自动控制通电时间而达到恒温的目的。其外形和内部结构如图 4.2.3 所示。这种磁控开关是利于软金属被加热到一定温度而失去磁性作为切断电源的控制信号。

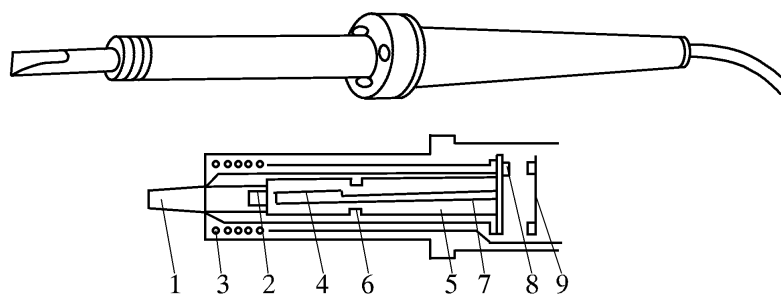


图 4.2.3 恒温电烙铁

- 1——烙铁头；2——软磁金属块；3——加热器；4——永久磁铁；
5——磁性开关；6——支架；7——小轴；8——接点；9——接触弹簧

恒温电烙铁的优点是比普通电烙铁省电二分之一，焊料不易氧化，烙铁头不易过热氧化，更重要的是能防止元器件因温度过高而损坏。

吸锡电烙铁外形如图 4.2.4 所示。主要用于装修中拆换元器件。操作时先用吸锡电烙铁头部加热焊点，待焊锡熔化后，按动吸锡装置，即可把锡液从焊点上吸走，便于拆焊。利用这种电烙铁，使拆焊效率高，不会损伤元器件，特别是拆除焊点多的元器件，如集成块、波段开关等，尤为方便。

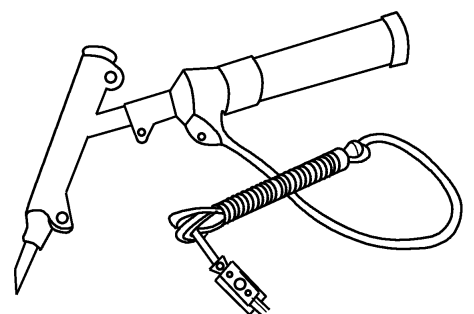


图 4.2.4 吸锡电烙铁

2. 电烙铁的选用

从总体上考虑，电烙铁的选用应遵从下列五个原则：

常用的外热式电烙铁的头部分大多制成镊子式样，而且根据被焊物面要求，镊式烙铁头头部角度有 45° 、 $10^\circ \sim 25^\circ$ 等，镊口的宽度也各不相同，如图 4.2.5 的产品，可用如图 4.2.5 印制线路板和一般焊点，如图 4.2.5 示的凹口烙铁头和图 4.2.5

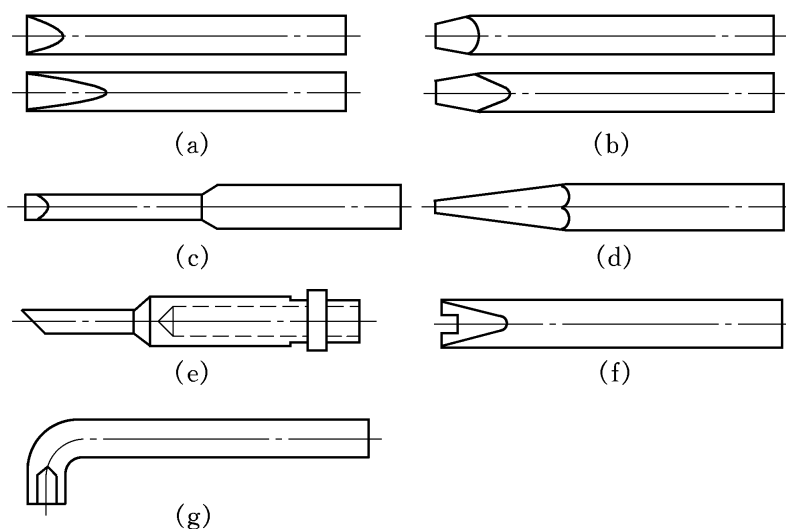


图 4.2.5 各种烙铁头外形

通常这个温度应比焊锡熔点高 $30 \sim 80$ ，而且不应包括烙铁头接触焊点时下降的温度。

热容量太小，温度下降快，使焊锡熔化不充分，焊点强度低，表面发暗而无光泽，焊锡颗粒粗糙，甚至成虚焊。热容量过大，会导致元器件和焊锡温度过高，不仅会损坏元器件和导线绝缘层，还可能使印制线路板铜箔起泡，焊锡流动性太大而难以控制。

所谓温度恢复时间，是指烙铁头接触焊点温度降低后，重新恢复到原有最高温度所需要的时间。要使这个恢复时间适当，必须选择功率、热容量、烙铁头形状、长短等适合的电烙铁。

焊接较精密的元器件和小型元器件，宜选用 20 W 内热式电烙铁或 $25 \sim 45\text{ W}$ 外热式电烙铁。

焊接连续焊点，应选用功率偏大的电烙铁。

对大型焊点及金属底板的接地焊片，宜选用 100 W 及以上的外热式电烙铁。

3. 使用电烙铁的注意事项：

使用前必须检查两股电源线和保护接地线的接头是否正确，否则会导致元器件损伤，严重时还会引起操作人员触电。

新电烙铁初次使用，应先对烙铁头搪锡。其方法是将烙铁头加热到适当温度后，用砂布

用一段时间后，应取下烙铁头，去掉烙铁头与传热筒接触部分的氧化层，再装回，避免以后取

不下烙铁头。电烙铁发热器电阻丝由于多次发热，易碎易断，应轻拿轻放，不可敲击。

焊接时，宜用松香或中性焊剂，因酸性焊剂易腐蚀元器件、印制线路板、烙铁头及发热器。

烙铁头应经常保持清洁。使用中若发现烙铁头工作表面有氧化层或污物，应在石棉毡等织物上擦去，否则影响焊接质量。烙铁头工作一段时间后，还会出现因氧化不能上锡的现象，应用锉刀或刮刀去掉烙铁头工作面黑灰色的氧化层，重新搪锡。烙铁头使用过久，还会出现腐蚀凹坑，影响正常焊接，应用榔头，锉刀对其整形，再重新搪锡。

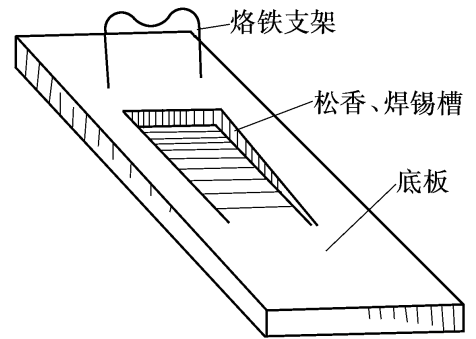


图 4.2.6 烙铁架

电烙铁工作时要放在特制的烙铁架上，烙铁架一般应置于工作台右上方，烙铁头部不能超出工作台，以免烫伤工作人员或其他物品。常用烙铁架如图 4.2.6 所示。底板由木板制成，烙铁架由铁丝弯制，松香、焊锡槽内盛松香和焊锡，槽的斜面可用来摩擦烙铁头，去除氧化层，以便对烙铁头上锡。这种烙铁架材料易得，制作简便，可以自制。

电烙铁的拆装与故障处理：以 20 W 内热式电烙铁为例来说明它的拆装步骤。

拆卸时，首先拧松手柄上顶紧导线的螺钉，旋下手柄，然后从接线桩上取下电源线和电烙铁芯引线，取出烙铁芯，最后拔下烙铁头。安装顺序与拆卸刚好相反，只是在旋紧手柄时，勿使电源线随手柄扭动，以免将电源接头部位绞坏，造成短路。

电烙铁的电路故障一般有短路和开路两种。如果是短路，一接通电源就会熔断熔体。短路点通常在手柄内的接头处和插头中的接线处，这时如果用万用表检查电源插头两插脚之间的电阻，阻值将趋于零。如果接上电源几分钟后，电烙铁还不发热，一定是电路不通。如电源供电正常，通常是电烙铁的发热器、电源线及有关接头部位有开路现象。这时旋开手柄，用万用表 $R \times 100$ 挡测烙铁芯两接线桩间的电阻值，如果在 2 k 左右，一定是电源线断或接头脱焊，应更换电源线或重新连接；如果两接线桩间电阻无穷大，当烙铁芯引线 with 接线桩接触良好时，一定是烙铁芯电阻丝断路，应更换烙铁芯。

4.2.3 焊料与焊剂的选用及焊接要领

1. 焊料的选用

电烙铁钎焊的焊料因锡铅及其他金属所占比例不同而分为多种牌号，常用锡铅焊料的特性及主要用途如表 4.1 所示。

表 4.1 常用锡铅焊料的特性及主要用途

名称、牌号	主要成分/%			熔点 /	杂质	电阻率 / $\cdot\text{cm}^2/\text{m}$	抗拉强度	主要用途
	锡	锑	铅					
10 锡铅焊料 HSnPb10	89 ~ 91	< 20.15	余量	220	铜、铋砷		4.3	钎焊食品器皿及医药卫生物品
39 锡铅焊料 HSnPb39	59 ~ 61	< 20.8	余量	183	铁硫 锌铅	0.145	4.7	钎焊电子元器件等

续表

名称、牌号	主要成分/%			熔点 /	杂质	电阻率 / ·cm ² /m	抗拉强度	主要用途
	锡	锑	铅					
58 - 2 锡铅焊料 HSnPb58 - 2	39 ~ 41	1.5 ~ 2	余量	235		0.17	3.8	钎焊电子元 器件、导线、 钢皮镀锌件等
68 - 2 锡铅焊料 HSnPb68 - 2	29 ~ 31	1.5 ~ 2.2	余量	256		0.182	3.3	钎焊电金属 护套、铝管
90 - 6 锡铅焊料 HSnPb90 - 6	3 ~ 4	5 ~ 6	余量	256			5.9	钎焊黄铜和 铜

表 4.1 所列锡铅焊料的性能和用途是不同的，在焊接中应根据被焊件的不同要求去选用，选用时应考虑如下因素：

焊料必须适应被焊接金属的性能，即所选焊料应能与被焊金属在一定温度和助焊剂作用下生成合金。也就是说，焊料和被焊金属材料之间应有很强的亲和性。

焊料的熔点必须与被焊金属的热性能相适应，焊料熔点过高过低都不能保证焊接质量。焊料熔点过高，使被焊元器件、印制线路板焊盘或接点无法承受。焊料熔点过低，助焊剂不能充分活化起助焊作用，被焊件的温升也达不到要求。

由焊料形成的焊点应能保证良好的导电性能和机械强度。

在具体施焊过程中，遵照上述原则，对焊料可作如下选择：

焊接电子元器件、导线、镀锌钢皮等可选用 58 - 2 锡铅焊料。

手工焊接一般焊点、印制线路板上的焊盘、耐热性能差的元件和易熔金属制品，应选用 39 锡铅焊料。

浸焊与波峰焊接印制线路板，一般用锡铅比为 61/39 的共晶焊锡。

2. 焊剂的选用

金属在空气中，特别是在加热的情况，表面会生成一层薄氧化膜，阻碍焊锡的浸润，影响焊接点合金的形成。采用焊剂

化物漂浮在焊锡表面的作用，有利于焊锡的浸润和焊点合金的生成；它又能覆盖在焊料表面，防止焊料或金属继续氧化；它还能增强焊料金属表面的活性，进一步增加浸润能力。

但若对焊剂选择不当，会直接影响焊接质量。选用焊剂除了考虑被焊金属的性能及氧化、污染情况外，还应从焊剂对焊接物面的影响，如焊剂的腐蚀性、导电性及对元器件损坏的可能性等全面考虑。例如：

对铂、金、银、锡及以它们作为表面的其他金属，可焊性较强，宜用松香酒精溶液作焊剂。

由于铅、黄铜、铍青铜及镀镍层的金属焊接性能较差，应选用中性焊剂。

对板金属，可选用无机系列焊剂，如氯化锌和氯化铵的混合物，这类焊剂有很强的活

性，对金属的腐蚀性很强，其挥发的气体对电路元器件和电烙铁有破坏作用，施焊后必须清洗干净。在电子线路的焊接中，除特殊情况外，不得使用这类焊剂。

焊接半密封器件，必须选用焊后残留物无腐蚀性的焊剂，以防止腐蚀性焊剂渗入被焊件内部产生不良影响。几种常用焊剂配方如表 4.2 所示。

表 4.2 常用焊剂配方

名 称	配 方
松香酒精焊剂	松香 15 ~ 20 g, 无水酒精 70 g, 溴化水杨酸 10 ~ 15 g
中性焊剂	凡士林
无机焊剂	氧化锌 40 g, 氯化铵 5 g, 盐酸 5 g, 水 50 g

3. 电烙铁焊接技术

焊接时的姿势和手法。一般为坐着焊，工作台和坐椅的高度要适当，挺胸端坐，操作者鼻尖与烙铁头的距离应在 20 cm 以上，选好烙铁头的形状和适当的握法。电烙铁的握法一般有三种，第一种是握笔式，如图 4.2.7

于用小功率电烙铁对小型电子电气设备及印制线路板的焊接；第二种是正握式，如图 4.2.7

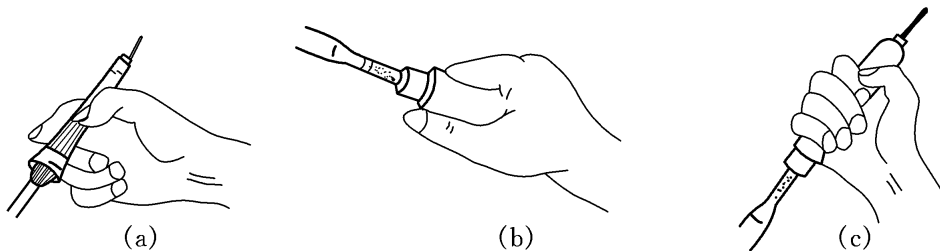


图 4.2.7 电烙铁的三种握法

焊锡丝的拿法，先将焊锡丝拉直并截成 1/3 m 左右的长度，用不拿烙铁的手握住，配合焊接的速度和焊锡丝头部熔化的快慢适当向前送进。焊锡丝的拿法有两种，如图 4.2.8



图 4.2.8 焊锡丝的拿法

焊接面上焊前的清洁和搪锡。清洁焊接面的工具，可用砂纸刮刀。焊接前应先清除焊接面的绝缘层、氧化层及污物，直到完全露出紫铜表面，其上不留一点污物为止。有些镀金、镀银或镀锡的基材，由于基材难以上锡，所以不能把镀层刮掉，只能用粗橡皮擦去表面污物。焊接面清洁处理后，应尽快搪锡，以免表面重新氧化，搪锡前应先在焊接面涂上焊剂。

对扁平集成电路引线，焊前一般不做清洁处理，但焊接前应妥善保存，不要弄脏引线。

焊面的清洁和搪锡是确保焊接质量，避免虚焊、假焊的关键。假焊和虚焊，主要是由焊接面上的氧化层和污物造成。假焊使电路完全不通。虚焊使焊点成为有接触电阻的连接状态，从而使电路工作时噪声增加、产生不稳定状态，电路工作时好时坏，给检修工作带来很大困难。还有一部分虚焊点，在电路开始工作的一段时间内，能保持焊点较好的接触，电路工作正常。但在温度、湿度有变化或发生振动等环境条件下工作一段时间后，接触表面逐步氧化，接触电阻慢慢增大，最后导致电路工作不正常。这一过程有时可长达一、二年。可见虚焊是电路可靠性的一大隐患，必须尽力予以消除。所以在进行焊接面的清洁与搪锡时，切不可粗心大意。

掌握焊接温度和时间。不同的焊接对象，要求烙铁头的温度不同。焊接导线接头，工作温度可在 300 ~ 480 之间；焊接印制线路板上的元件，一般以 430 ~ 450 为宜；焊接细线条印制线路板和极细导线，温度应在 290 ~ 370 为宜；在焊接热敏元件时，其温度至少要 480 ，才能保证焊接时间尽可能短。

电源电压 220 V，20 W 烙铁头工作温度为 290 ~ 400 ；45 W 烙铁头约 400 ~ 510 左右。可以选择适当瓦数的烙铁，使其焊接时，在 3 ~ 5 s 内焊点即可达到要求的温度，而且在焊完时，热量也不致大量散失，这样才能保证焊点的质量和元器件的安全。

恰当掌握焊点形成的火候。焊接时不要将烙铁头在焊点上来回磨动，应将烙铁头搪锡面紧贴焊点，等到焊锡全部熔化，并因表面张力收缩而使表面光滑后，迅速将烙铁头从斜面上方约 45°角的方向移动。这时焊锡不会立即凝固，一定不要使被焊件移动，否则焊锡会凝成砂粒状或造成焊接不牢固而形成虚焊。

对热容量稍大的焊件，可以采用五步焊接法：

准备：将被焊件、电烙铁、焊锡丝、烙铁架、焊剂等放在工作台上便于操作的地方。加热并清洁烙铁头工作面，搪上少量焊锡，如图 4.2.9

加热被焊件：将烙铁头放置在焊接点上，对焊点加温；烙铁头工作面搪有焊锡，可加快升温速度，如图 4.2.9

有两个以上元件，应尽量同时加热所有被焊件的焊接部位。

熔化焊料：焊点加热到工作温度时，立即将焊锡丝触到被焊件的焊接面上，如图 4.2.9

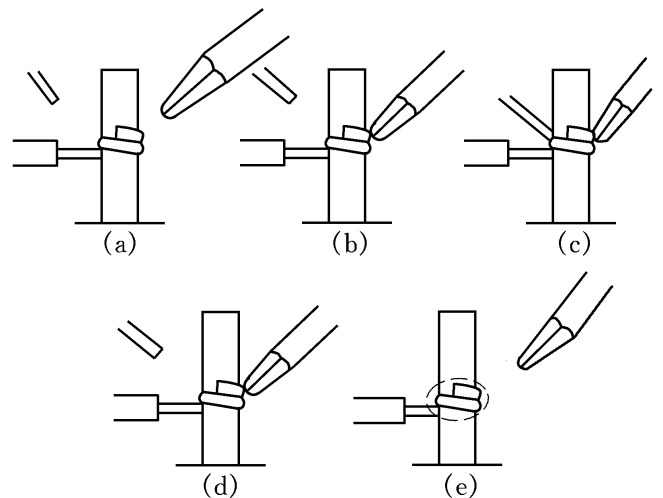


图 4.2.9 五步操作法

移开焊锡丝：当焊锡丝熔化适量后，应迅速移开，如图 4.2.9

移开电烙铁：在焊点已经形成，但焊剂尚未挥发完之前，迅速将电烙铁移开，如图 4.2.9

对于热容量较小的焊件，可将上述五步操作法简化成三步操作法：

准备：右手拿经过预热、清洁并搪上锡的电烙铁，左手拿焊锡丝，靠近烙铁头，作待焊姿势，如图 4.2.10

同时加热被焊件和焊锡丝：将电烙铁和焊锡丝从被焊件的两侧同时接触到焊接点，并使适量焊锡熔化，浸满焊接部位，如图 4.2.10

同时移开电烙铁和焊锡丝：待焊点形成火候达到时，同时将电烙铁和焊锡丝移开。

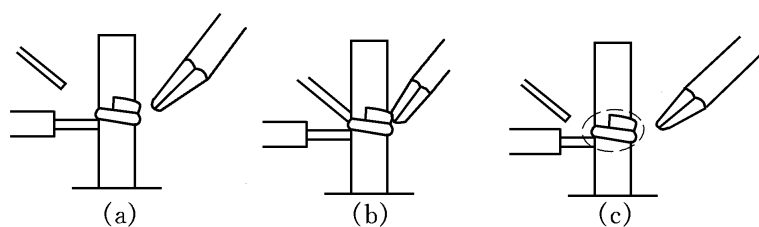


图 4.2.10 三步焊接法

一般结构的焊接。对一般结构，焊接前焊点的连接方式有网绕、钩接、插接和搭接四种形式。如图 4.2.11 所示。采用这四种连接方式的焊接依次为网焊、钩焊、插焊和搭焊。四种连接方式中，网绕较复杂，其操作步骤如图 4.2.12 所示。

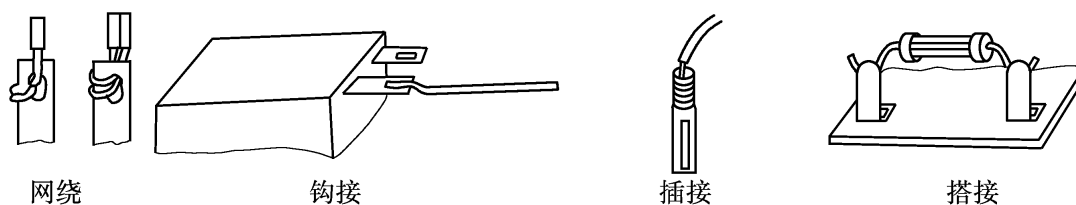


图 4.2.11 一般结构焊接前的连接方式

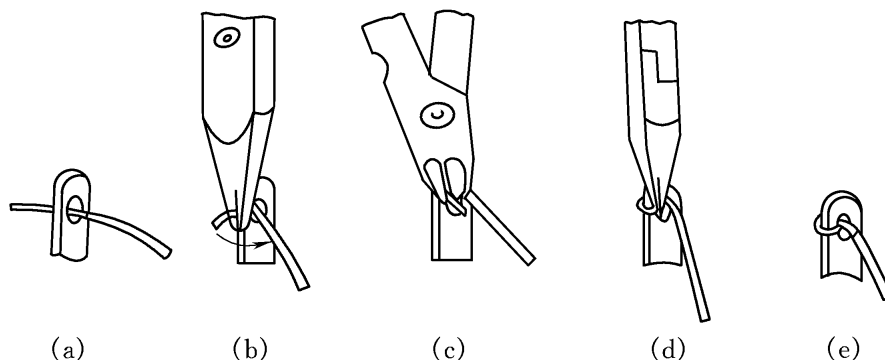


图 4.2.12 网绕步骤

印制线路板上元器件的安装方法如下：

装法。如图 4.2.13 所示，它有加套管和不加套管、加衬垫与不加衬垫之分。

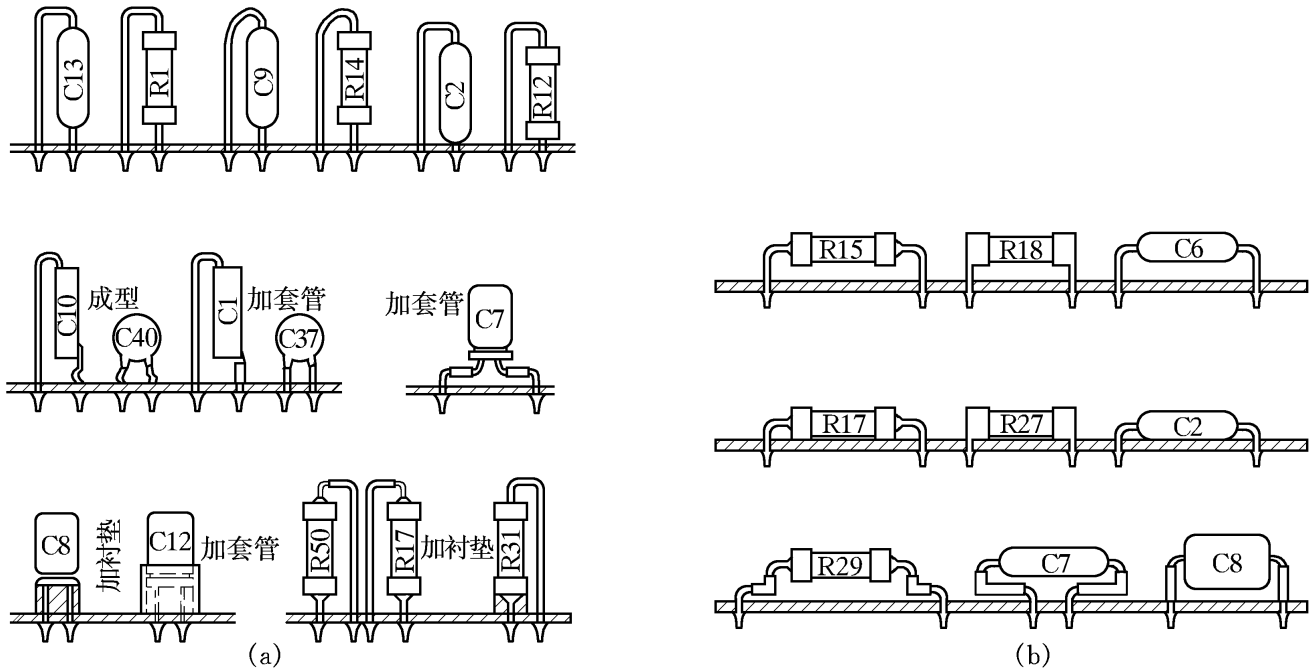


图 4.2.13 立式和卧式安装法

印制线路板上的安装有正装、倒装、卧装、横装及加衬垫装等方式，如图 4.2.14

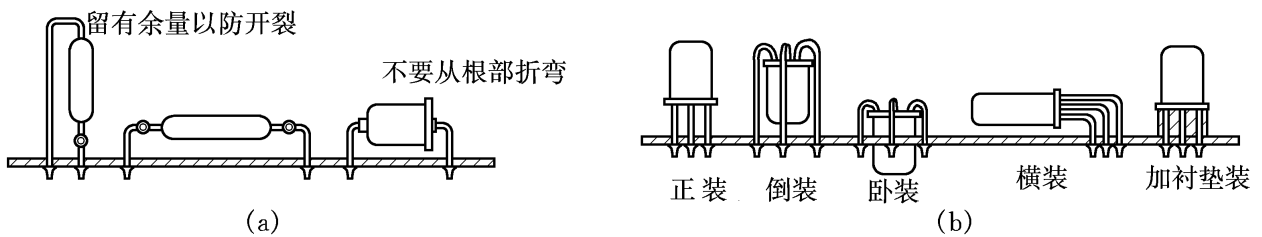


图 4.2.14 小功率晶体管的安装

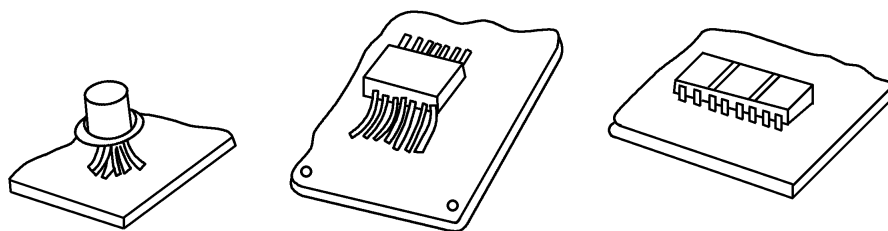


图 4.2.15 集成电路的安装

常用导线在印制线路板上的安装方式如图 4.2.16 所示。

印制线路板上的焊接步骤。在印制线路板上焊接一般元器件、二极管、晶体管，集成

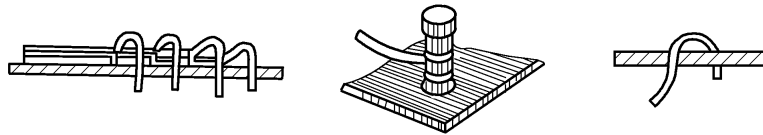


图 4.2.16 印制板上导线的安装

电路的步骤与前面所述电烙铁焊接步骤的五步操作法和三步操作法基本相同。只是在焊接集成电路时，由于是密集焊点焊接，烙铁头应选用尖形，焊接温度以 230 ± 10 为宜。焊接时间要短，应严格控制焊料与焊剂的用量，烙铁头上只需少量焊锡，在元器件引线与接点之间轻轻点牢即可。

另外焊接集成电路时，应将烙铁外壳妥善接地或将外壳与印制线路板公用接地线用导线连接，也可拔下电烙铁电源插头趁热焊接，这样可以避免因电烙铁的绝缘不好使外壳带电或内部发热器对外壳感应出电压而损坏元件。在工厂，常常把电烙铁手工焊接过程归纳成八个字：“一刮、二镀、三测、四焊”。“刮”是指被焊件表面的清洁工作，有氧化层的要刮去，有油污的可擦去。“镀”是对被焊部位的搪锡。“测”是指对搪锡受热后的元件重新检测，看它在焊接高温下是否会变质。“焊”是指最后把测试合格的、已完成上述三个步骤的元器件焊接到电路中去。

4.3 拆焊技术

在装配与修理中，有时需要将已经焊接的连线或元器件拆除，这个过程就是拆焊。在实际操作上，拆焊比焊接难度更大，更需要用恰当的方法和必要的工具，才不会损坏元器件或破坏原焊点。

1. 拆焊工具

吸锡器是用来吸取焊点上存锡的一种工具。它的形式有多种，常用的球形吸锡器如图 4.3.1 所示。球形吸锡器是将橡皮囊内部空气压出，形成低压区，再通过特制的吸锡嘴，将熔化的锡液吸入球体空腔内。当空腔内的残锡较多时，可取下吸锡嘴，倒出存锡。此外，常用的还有管形吸锡器，其吸锡原理类似医用注射器，它是利用吸气筒内的压缩弹簧的张力，推动活塞向后运动，在吸口部位形成负压，将熔化的锡液吸入管内。



图 4.3.1 球形吸锡管

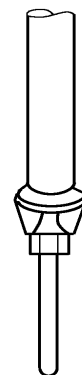


图 4.3.2 排锡管

排锡管是使印制线路板上元件引线与焊盘分离的工具。它实际上是一根空心不锈钢管，如图 4.3.2 所示。使用中可根据元件引线的线径选用型号适合的注射用针头改制。将针尖挫平，针头尾部装上适当长的手柄。操作时，将针孔对准焊点上元器件引线，待烙铁将焊锡熔化后，迅速将针头插入印制线路板元件插孔内，同时左右转动，移开电烙铁，使元件引线与焊盘分离。为使用方便，平时应准备几种不同型号的排锡管，以适应对不同线径元件引线的排锡。

是手工拆焊中最为方便的工具之一，用法如前所述。

以端头尖细的最为适用。拆焊时，可用它夹持元器件引线或用镊夹挑起元器件弯脚或针头。

一般用 6~9 号注射用空针改制，样式与排锡管相同。在拆焊后的印制线路板焊盘上，往往有焊锡将元器件引线插孔封住，这就需用电烙铁加热，并用捅针捅开和清理插孔，以便重新插入元器件。

2. 一般焊接点的拆除

对于钩焊、搭焊和插焊的一般焊接点，拆焊比较简单，只需用电烙铁对焊点加热，熔化焊锡，然后用镊子或尖嘴钳拆下元器件引线。对于网焊，由于在焊点上连线缠绕牢固，拆卸比较困难，往往容易烫坏元器件或导线绝缘层。在拆除网焊焊点时，一般可在离焊点约 10 mm 处将欲拆元件引线剪断，然后再拆除网焊线头。这样至少可保证不会将元器件或引线绝缘层烫坏。

3. 印制线路板上焊接件的拆焊

对印制线路板上焊接元件的拆焊，与焊接一样，动作要快，对焊盘加热时间要短，否则将烫坏元器件或导致印制线路板铜箔起泡剥离。根据被拆除对象的不同，常用的拆焊方法有分点拆焊法，集中拆焊法和间断加热拆焊法三种。

印制线路板上的电阻、电容、普通电感、连接导线等，只有两个焊点，可用分点拆焊法，先拆除一端焊接点的引线，再拆除另一端焊接点的引线并将元件

集成电路、中频变压器、多引线接插件等的焊点多而密，转换开关、晶体管及立式装置的元件等的焊点距离很近。对上述元器件可采用集中拆焊法，先用电烙铁和吸锡工具，逐个将焊接点上的焊锡吸去，再用排锡管将元器件引线逐个与焊盘分离，最后将元器件拔下。

对于有塑料骨架的元器件，如中频变压器、线圈、行输出变压器等，它们的骨架不耐高温，且引线多而密集，宜采用间断加热拆焊法。拆焊时，先用电烙铁加热，吸去焊接点焊锡，露出元器件引线轮廓，再用镊子或捅针挑开焊盘与引线间的残留焊料，最后用烙铁头对引线未挑开的个别焊接点加热，待焊锡熔化时，趁热拔下元器件。

4.4 室内布线工艺

1. 室内布线的技术要求

室内布线不仅要使电能安全可靠地传送，还要使线路布置正规、合理、整齐和牢固。其技术要求如下：

所用导线的额定电压应大于线路的工作电压，导线的绝缘应符合线路的安装方式和敷设环境的条件。导线的截面积应满足供电安全电流和机械强度的要求，一般的家用照明线路选用截面积 2.5 mm^2 的铝芯绝缘导线或 1.5 mm^2 的铜芯绝缘导线为宜。500 V 以下的橡胶、塑料绝缘导线在常温下的安全载流量如表 4.3 所示。

表 4.3 500 V 以下的橡胶、塑料绝缘导线在常温下的安全载流量

线芯截面积/ mm^2	橡胶绝缘导线安全载流量/		聚氯乙烯导线安全载流量/	
	铜芯	铝芯	铜芯	铝芯
0.75	18		16	
1	21		19	
1.5	27	19	24	18
2.5	33	27	32	25
4	45	35	42	32
6	58	45	55	42
10	85	65	75	59
16	110	85	105	80

布线时应尽量避免导线有接头，若必须有接头时，应采用压接或焊接，然后用绝缘胶布包缠好。穿在管内的导线不允许有接头，必要时应把接头放在接线盒、开关盒或插座盒内。

布线时应水平或垂直敷设，水平敷设时导线距地面不小于 2.5 m ，垂直敷设时导线距地面不小于 2 m ，布线位置应便于检查和维修。

导线穿过楼板时，应设钢管加以保护，以防机械损伤。导线穿过墙壁时，应设塑料管保护，以防墙壁潮湿产生漏电现象。导线相互交叉时，应在每根导线上套以绝缘管，并将套管牢靠固定，以避免碰线。

为确保用电的安全，室内电气线路及配电设备和其他管道、设备间的最小距离，应符合有关规定，否则应采取其他保护措施。

2. 室内布线的工艺步骤

室内布线无论采用何种方式，主要有以下工序：

按设计图样确定灯具、插座、开关、配电箱等装置的位置。

勘察建筑物情况，确定导线敷设的路径、穿越墙壁或楼板的位置。

在土建未涂灰之前，打好布线所需的孔眼，预埋好螺钉、螺栓或木楔。暗敷线路还要

预埋接线盒、开关盒及插座盒等。

装设绝缘支撑物、线夹或管卡。

进行导线敷设、连接、分支或封端。

将出线接头与电气装置或设备连接。

3. 线管布线工艺

把绝缘导线穿在线管内敷设，称为线管布线。这种布线方式比较安全可靠，可避免腐蚀性气体侵蚀和遭受机械损伤，适用于公共建筑和工业厂房中。

线管布线有明装式和暗装式两种，明装式要求线管横平竖直，整齐美观；暗装式要求线管短，弯头少。线管布线的步骤与工艺要点如下：

常用的线管种类有电线管、水煤气管和硬塑料管三种。电线管的管壁较薄，适用于环境较好的场所；水煤气管的管壁较厚，适用于有腐蚀性气体的场所；硬塑料管耐腐蚀性较好，但机械强度较低，适用于腐蚀性较大的场所。

线管种类选择好后，还应考虑线管的内径与导线的直径、根数是否合适，一般要求管内导线的总面积

为了便于穿线，当线管较长时，须装设拉线盒，在无弯头或有一个弯头时，线管不超过 50 m；当有两个弯头时，线管不超过 40 m；当有三个弯头时，线管不超过 20 m，否则应选大一级的线管直径。

表 4.4 线管直径选择表

截面积 /mm ²	线管种类									
	水煤气管标称直径					电线管标称直径				
	两根	三根	四根	六根	九根	两根	三根	四根	六根	九根
1	13	13	13	16	25	13	16	16	19	25
1.5	13	16	16	19	25	13	16	19	19	25
2	13	16	16	19	25	16	16	19	25	25
2.5	16	16	16	19	25	16	16	19	25	25
3	16	16	19	19	32	16	16	19	25	32
4	16	19	19	25	32	16	19	25	25	32
5	16	19	19	25	32	16	19	25	25	32
6	19	19	19	25	32	19	19	25	32	32
8	19	19	25	32	32	19	25	25	32	38
10	19	25	25	32	51	25	25	32	38	51
16	25	25	32	38	51	25	32	32	38	51
20	25	32	32	51	64	25	32	38	51	64
25	32	32	38	51	64	32	38	38	51	64
35	32	38	51	51	64	32	38	51	64	64
50	38	51	51	64	76	38	51	64	64	76

为防止线管年久生锈，应对线管进行防锈处理。管内除锈可用圆形钢丝刷，两头各绑一根钢丝，穿入管内来回拉动，把管内铁锈清除干净。线管外壁可用钢丝刷或电动除锈机进行除锈。除锈后在线管的内外表面涂以防锈漆或沥青。对埋设在混凝土中的线管，其外表面不要涂漆，以免影响混凝土的结构强度。

按所需线管的长度将线管锯断，为使线管与线管或线管与接线盒之间连接起来，需在线管端部进行套丝。水煤气管套丝可用钢管绞扳，电线管和硬塑料管套丝可用圆丝扳，套丝工具如图 4.4.1 所示。套丝后，应去除管口毛刺，使管口保持光滑，以免划破导线的绝缘层。

根据线路敷设的需要，在线管改变方向时，需将管子弯曲。为便于穿线，应尽量减少弯头。需弯管处，其弯曲角度一般要在 90° 以上，其弯曲半径，明装管应大于线管直径的 6 倍，暗装管应大于线管直径的 10 倍。

对于直径在 50 mm 以下的电线管和水煤气管，可用手工弯管器弯管，如图 4.4.2 所示。对于直径在 50 mm 以上的线管，可使用电动或液压弯管机弯管。塑料管的弯曲可采用热弯法，直径在 50 mm 以上时，应在管内添以沙子进行热弯，以避免弯曲后管径粗细不匀或弯扁。

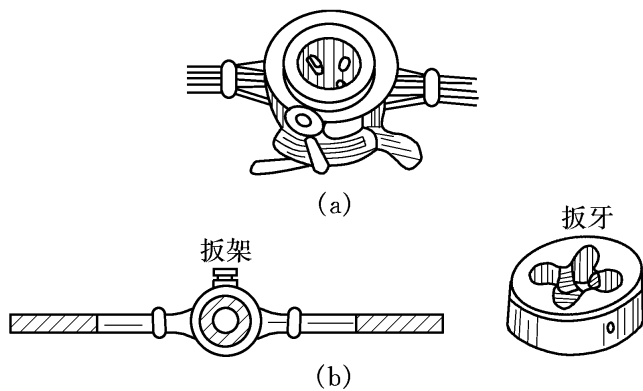


图 4.4.1 管子套丝工具



图 4.4.2 弯管器弯管

线管加工好后，就可以按预定的线路布局。布局工作一般从配电箱开始，逐段布至各用电装置处，有时也可相反。无论从哪端开始，都应使整个线路连通。

固定线管。对于暗装管，如布在现场浇注的混凝土构件内，可用铁丝将线管绑扎在钢筋上，也可用垫块垫起，铁丝绑牢，用钉子将垫块固定在模板上，如图 4.4.3 所示；如布在砖墙内，一般是在土建砌砖时预埋，否则应先在砖墙上留槽或开槽；如布在地面以下，需在土建浇注混凝土前进行，用木桩或圆钢打入地中，并用铁丝将线管与其绑牢。

对于明装管，为使布管整齐美观，管路应沿建筑水平或垂直敷设。当线管沿墙壁、柱子和屋架等处敷设时，可用管卡或管夹固定。当管子沿建筑物的金属构件敷设时，薄壁管应用支架、管卡等固定，厚壁管可用电焊直接点焊在钢构件上。当管子进入开关、灯头、插座等接线盒内和有弯头的地方时，也应用管子固定。管卡固定方法如图 4.4.4 所示。

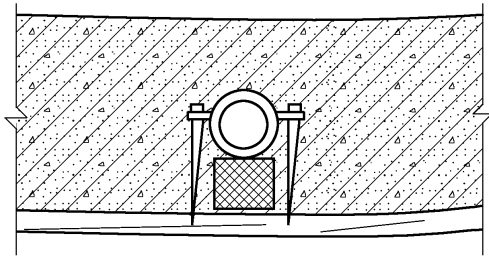


图 4.4.3 线管在混凝土模块上的固定

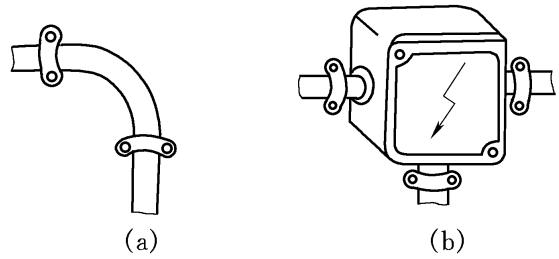


图 4.4.4 管卡固定方法

对于硬塑料管，由于膨胀系数较大，因此沿建筑物表面敷设时，在直线部分每隔 30 m 要装一个温度补偿盒。对于安装在支架上的硬塑料管，可以用改变其挠度来适应其长度的变化，故可不装设温度补偿盒。硬塑料管的固定也要用管卡，与硬塑料管配用的接线盒应使用塑料盒。

线管的连接。无论是明装管还是暗装管，钢管与钢管最好是采用管接头连接。特别是埋地和防爆线管，为了保证接口的严密性，应涂上铅油、缠上麻丝，用管钳拧紧。对直径 50 mm 以上的线管，可采用外加套管焊接，如图 4.4.5 所示。硬塑料管之间的连接，可采用插入法或套接法。插入法是在电炉上加热线管至柔软状态后扩口插入，并用粘接剂或焊接密封；套接法是将同直径的塑料管加热扩大成套筒套在管子上，再用粘接剂或塑焊密封，如图 4.4.6 所示。线管与配电箱或接线盒的连接方法如图 4.4.7 所示。

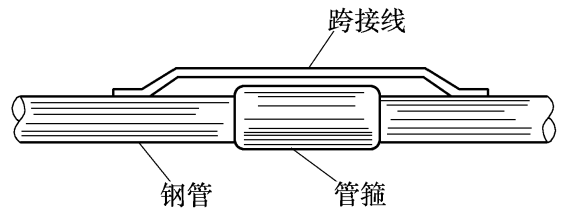


图 4.4.5 管箍连接钢管及跨接线

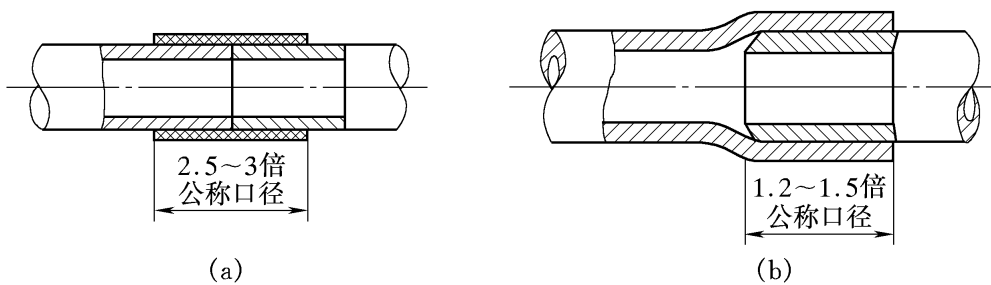


图 4.4.6 硬塑料管的连接

线管的接地。为了安全用电，钢管与钢管、配电箱、接线盒等临界处都应做好系统接地。在管路中有了接头，将影响整个管路的导电性能和接地的可靠性，因此在接头处应焊上跨接线，如图 4.4.5 所示。钢管与配电箱上，均应焊有专用的接地螺栓。

装设补偿盒。当线管经过建筑物的伸缩缝时，为防止基础下沉不均，损坏线管和导线，须在伸缩缝的旁边装设补偿盒。暗装管补偿盒安装在伸缩缝的一边，明装管通常用软管补偿。

穿线就是将绝缘导线由配电箱穿到用电设备或由一个接线盒穿到另一个接线盒，一般在土

建和粉刷工程结束后进行。为了不伤及导线，穿线前应清扫管路，可用压缩空气吹入已布好的线管中或用钢丝绑上碎布来回拉上几次，将管内杂物和水分清除。清扫管路后，随即向管内吹入滑石粉，以便于穿线。最后还要在线管端部安装上护线套，然后再进行穿线。

穿线时一般用钢丝引入导线，并使用放线架，以便导线不乱又不产生急弯。穿入管中的导线应平行成束进入，不能相互缠绕。为了便于检修换线，穿在管内的导线不允许有接头和缠绕现象。为使穿在管内的线路安全可靠地工作，不同电压和不同回路的导线，不应穿在同一根管内。

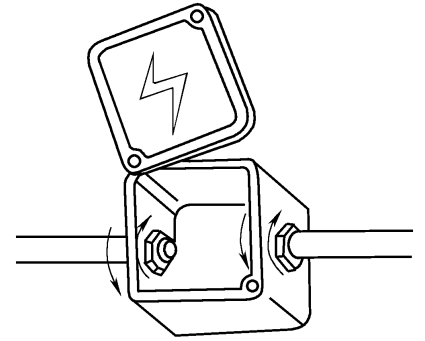


图 4.4.7 线管与接线盒的连接

小 结

在电气安装与线路维护工作中，通常因导线长度不够或线路有分支，需要把一根导线与另一根导线做成固定连接，在电线终端要与配电箱或用电设备做连接，这些连接技能在实际应用中都非常重要。

焊接在电子产品装配中是一项重要的技术。它在电子产品实验、调试、生产中，应用非常广泛，而且工作量相当大，焊接质量的好坏，将直接影响到产品的质量。

电子产品的故障除元器件的原因外，大多数是由于焊接质量不佳而造成的，因此，熟练掌握焊接操作技术非常必要。

室内布线工艺的要求越来越高，在操作中应严格按工艺要求去做。

思 考 题

- 4.1 怎样剥削塑料硬线、塑料软线、塑料护套线、橡皮线、花线、橡套软线、铅包线的绝缘层？
- 4.2 试绘草图说明：单股铜芯线、7股铜芯线进行直线连接和T形连接的工艺过程。
- 4.3 铝芯线头的压接有哪些方法？怎样压接？
- 4.4 导线线头与接线桩的连接有哪几种方法？各自怎么操作？
- 4.5 铜导线和铝导线各应怎样封端？
- 4.6 在380V和220V的线路上，要恢复线头的绝缘层各有哪些要求？
- 4.7 常用电烙铁有哪几种？试简述各自的基本结构和工作原理。
- 4.8 在电子电气装修中，应选用什么样的电烙铁？选用的原则是什么？使用中应注意哪些问题？
- 4.9 试述使用电烙铁的手工焊接要点及操作步骤。
- 4.10 在一般结构的焊接中有哪几种接线方法？怎样焊接和怎样拆焊？
- 4.11 在印制线路板上进行焊接和拆焊各应注意哪些问题？
- 4.12 室内配线有哪些基本要求？怎样选用导线？
- 4.13 室内布线常按哪些步骤进行？
- 4.14 硬塑料管的连接有哪几种方法？
- 4.15 线管内怎样穿线？对管线有哪些要求？
- 4.16 室内常用布线方式有哪些？
- 4.17 室内布线的基本要求是什么？

第 5 章

电气图制图与读图

5.1 电气图的制图

电气图又称为电路图，电路图的种类较多。常用的有电气原理图、安装接线图、展开接线图、平面布置图、剖面图、局部大面图等。识读电气图，应弄清识图的基本要求，掌握好识图步骤，才能提高识图的水平，加快分析电路的速度。

5.1.1 绘制简图的基本要求

1. 简图的布局要求

简图的绘制应做到布局合理、排列均匀、图面清晰、便于看图。为此在布局时应注意以下几点：

表示导线、信号通路、连接线等的图线应采用直线且交叉和折弯要最少。

简图可以水平布置或者垂直布置，有时为了把相应的元件连接成对称的布局，也可采用斜交叉线，如图 5.1.1 所示。

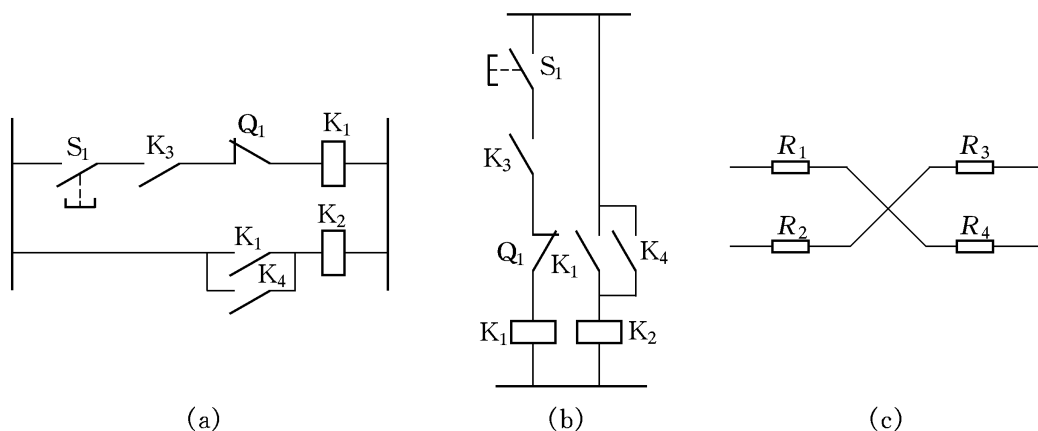


图 5.1.1 简图布局

电路或元件应按功能布置，并尽可能按其工作顺序排列。

对因果次序清楚的简图，尤其是电路图和逻辑图，其布局顺序是从左到右和从上到下。

在闭合电路中，正向则是从右到左或从下到上，如图 5.1.2 所示。应在信息线上画箭头以表明流向，箭头不得与其他任何符号相邻近。

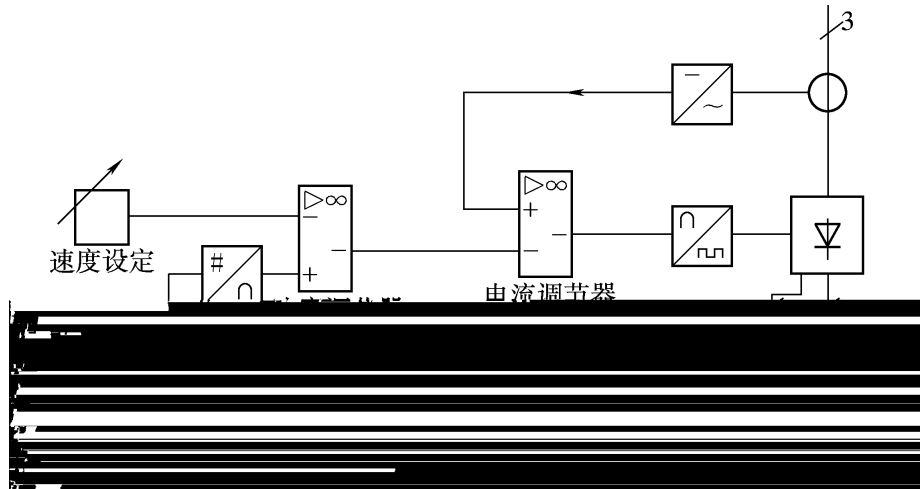


图 5.1.2 信号流方向的表示

图的引入线或引出线，最好画在图纸边框附近。

在同一张电气图中只能选用一种图形形式，图形符号的大小和线条的粗细亦应基本一致。

2. 元件表示方法

当电路较简单时，使用集中表示法或半集中表示法；当电路比较复杂时，可采用分开和重复表示法。

集中表示法和半集中表示法常用于机械功能相关联的图中，也可用于二进制逻辑元件。在半集中表示法中，应清晰地表示出不易受到外部影响且功能上相关联的元件内部各组成部分之间的联系或连接。

在分开表示法和重复表示法中，功能上有关的各组成部分之间的内部联系和连接是隐含的，只有当内部联系如同继电器线圈和相应触点那样明显时，才应采用分开表示法来表示元件各组成部分的每一个子部分的连接。图中多次出现的同一端子都应标注端子代号，但连接只需在一处示出。如果能表达清楚，连接线或其他连接标记也可以全部示出。如果需要标识重复的信息，可把重复的端子代号加括号或使用特殊的识别符，在图中加以说明。

3. 组成部分可动的元件表示方法

组成部分

单一稳定状态的手动或机电元件，如继电器、接触器、制动器和离合器，用非激励或断电状态绘制。在特定情况下，为了有助于对图的理解，也可以用激励或通电状态绘制，但此时应在图中说明。

断路器和隔离开关用断开

开关位置，可表示在其中的任何一个位置或状态。必要时须在图中说明。

标有断开

开

开关，应用设备正常工作时所处的位置绘制或其他规定的位置绘制。

有凸轮、变量

对于功能复杂的手动控制开关，如需要理解功能，应在图中增加表图，如图 5.1.3 所示。

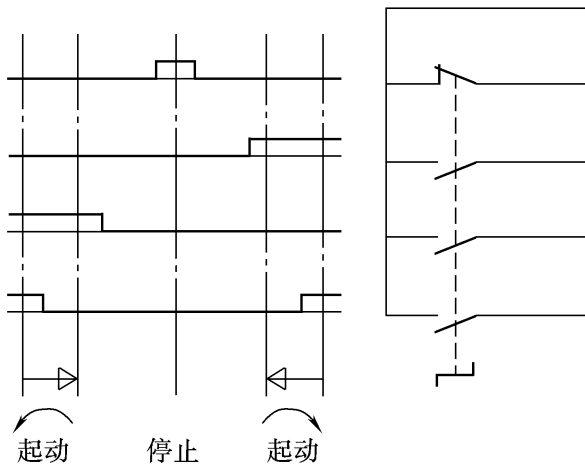


图 5.1.3 手动控制开关

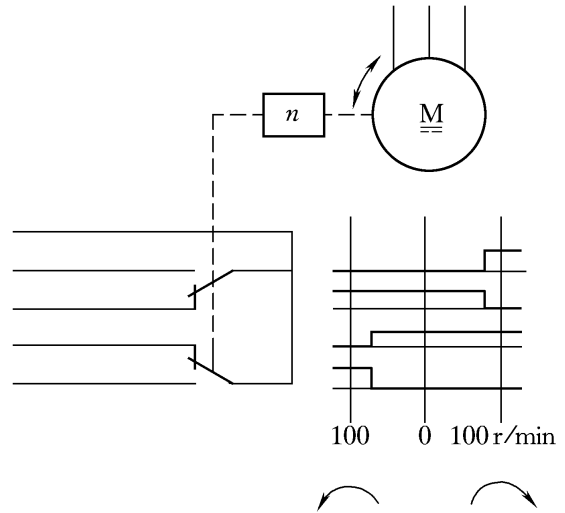


图 5.1.4 速度监测用引导开关

对于引导开关应在其符号附近增加功能说明。该说明可以包含表图，驱动装置的符号，注释、代号或表格，如图 5.1.4 和图 5.1.5 所示。

4. 触点符号表示方法

用动合触点符号，如图 5.1.6

关应按其初始状态绘制。

为了与设定的动作方向一致，触点符号的取向应该是：当元件动作时，水平连接的触点，动作向上；垂直连接的触点，动作向右。当元件的完整符号中含有机械锁定、阻塞装置、延迟装置等符号时，这一点尤为重要。在触点排列复杂而无机械锁定装置的电路中，当采用分开表示法时，为了图面布局清晰，减少连接线交叉，可以改变触点符号的取向。

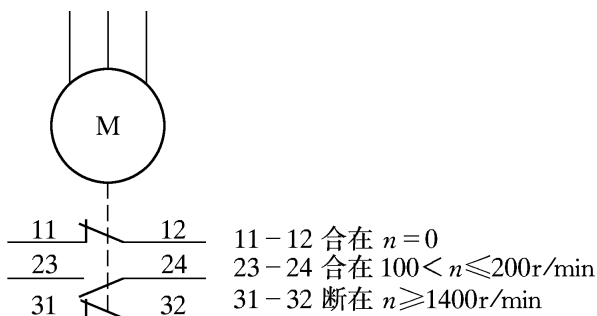


图 5.1.5 速度监测用引导开关说明

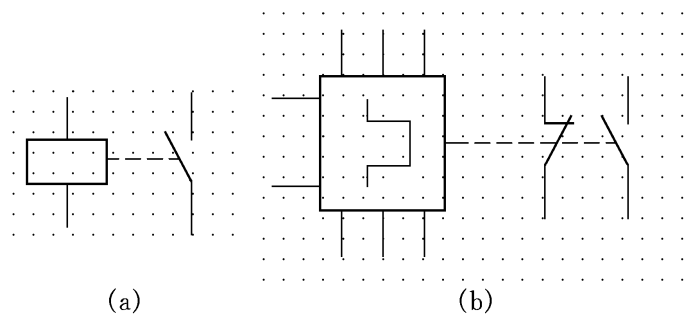


图 5.1.6 用触点符号表示半导体开关

5.1.2 功能表图

1. 功能表图的组成及规定

(

功能表图是用规定的图形符号和文字叙述相结合的表达方法，全面、详细描述控制系统

设计和不同专业人员之间的技术交流使用。

由于通常一个控制系统可以分为两个相互依赖的部分，即被控系统（操作设备）

功能表图又分为被控系统功能表图、施控系统功能表图及整个控制系统功能表图三类，如图 5.1.7 所示。

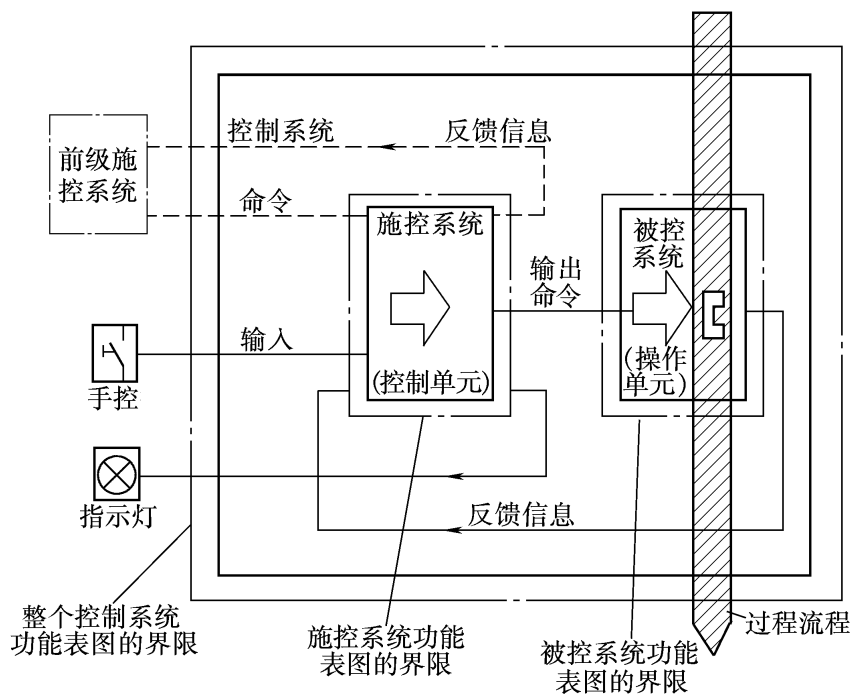


图 5.1.7 功能表图的分类

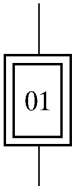
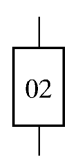
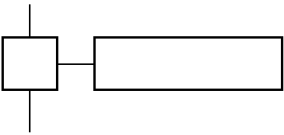
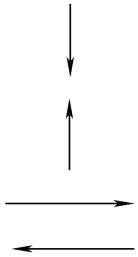
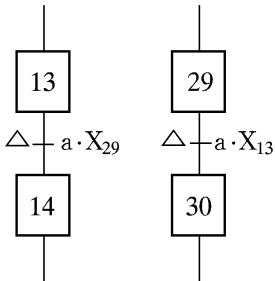
被控系统功能表图的输入由施控系统的输出命令和输入过程流程的输出包括送至施控系统的反馈信息和在过程中执行的动作。被控系统功能表图描述了操作设备的功能，说明它接收什么命令，产生什么信息和动作。它由过程设计者绘制，是操作设备详细设计的基础，还可用于绘制施控系统功能表图。

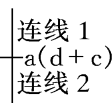
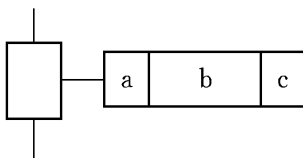
施控系统功能表图的输入由来自操作者和可能存在的前级施控系统的命令加上被控制系统的反馈信息组成。输出包括送往操作者和前级施控系统的信息及送至被控制系统的命令。施控系统功能表图描述了控制设备的功能，说明它可以得到什么信息，发出什么命令和其他信息。施控系统功能表图可由设计者根据其过程的了解来绘制，是操作详细设计控制设备的基础。施控系统功能表图最常用，尤其对独立系统更为有用。

整个系统功能表图的输入由来自前级施控系统 and 操作者的命令以及的参数组成。输出则包括送至前级施控系统 and 操作者的检测信息以及由过程流程所执行的动作。这个功能表图不给出被控和施控之间相互作用的内部细节，而是把控制系统作为一个整体来描述。

在功能表图中，把一个过程循环分解成若干个清晰的连续的阶段，称为“步”。步和步之间由“转换”分隔。当两步之间的转换条件得到满足时，转换得以实现，即上一步的活动结束，而下一步的活动开始，因此不会出现步的重叠。一个步可以是动作的开始、持续或结束。一个过程循环分的步越多，描述得越精细。由以上规定可以看出：两个步决不能直接相连，必须用一个转换隔开。两个转换也不能直接相连，必须用一个步隔开。步之间的进展采用有向连线表示，它还可以将步连接到转换并将转换连接到步。步、转换、有向连线的符号如表 5.1 所示。

表 5.1 功能表图的符号

符 号	说 明
	初始步 01 (矩形的长宽比是任意的)
	步 02
	与步相连的公共命令或动作，一般符号
	有向连线，从上往下进展 有向连线，从下向上进展 有向连线，从左往右进展 有向连线，从右往左进展
	同步转换，“ Δ ”用来表示位于不同表图中的必须同时实现的转换

符 号	说 明
	<p>带有有向连线及有关转换条件的转换符号。转换符号是一根短画线，用布尔表达式说明的转换条件</p> <p>号表示)</p>
	<p>与步相连的详细命令或动作，一般符号。“a”区填写一个或一组字母符号，说明二进制信号如何处理。“b”区填写符号语句或文字语句，说明执行的命令或动作。“c”区示出校验反馈信号相应的参考标记</p>

2. 控制系统功能表图的绘制方法

图 5.1.8

从待加工的材料到加工出零件，被控系统是机床，施控系统是数控装置。图 5.1.8 程是变电和配电，指高压电源进入被控系统，再以合格电压供给用户。被控系统包括变压器、高压侧、低压侧断路器以及用于冷却的辅助设备。施控系统包括有关的逻辑装置和保护装置。

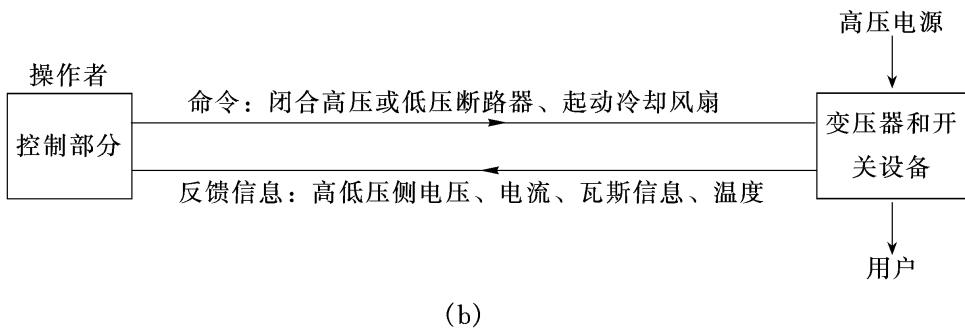
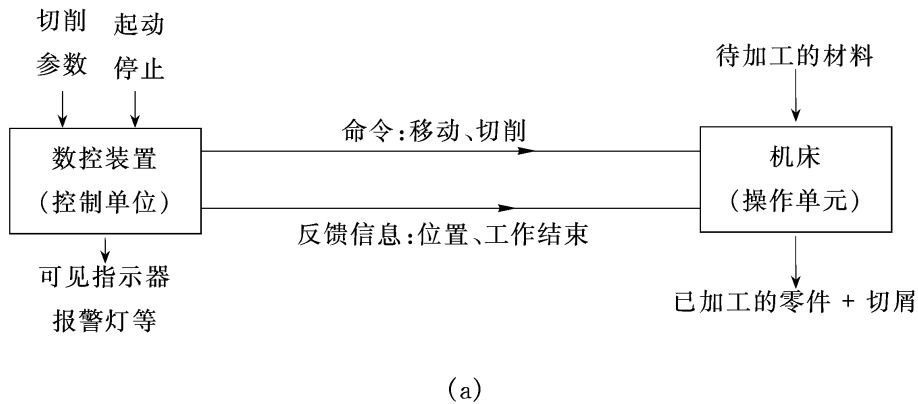


图 5.1.8 被控和施控系统划分实例

图 5.1.9 是绕线式转子感应电动机操作过程功能表图。图中在步 1 和步 3 符号右侧用不加矩形框的文字表示状态以表示同命令或动作的区别。该功能表图是对绕线式转子感应电动机从起动到运转直到停止全过程的概述，其中每一个过程均可用更详细的功能表图描述。

图 5.1.10 所示的功能表图就是一个详细描述绕线式转子感应电动机起动过程的功能表图，初始状态以初始步表征，表示操作开始。每个表图至少应该有一个初始步。步 2 是起动过程，根据实际需要，将步 2 分成 7 个子步并布置成闭环形式。每一个子步中包含详细命令或动作，如子步 2.1 的 S 表示二进制信号是“存储”型命令，子步 2.3 的 L 表示二进制信号将不被存储，但被限制在一定时限内。此外，还有 D 表示非存储型，但有“延迟”的命令；DSL 表示二进制信号将被延迟、存储并限制在一定时间内。子步活动的进展，由转换的实现来完成并与控制过程的发展相对应。

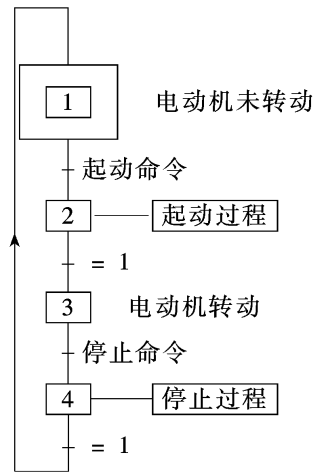


图 5.1.9 电动机操作过程

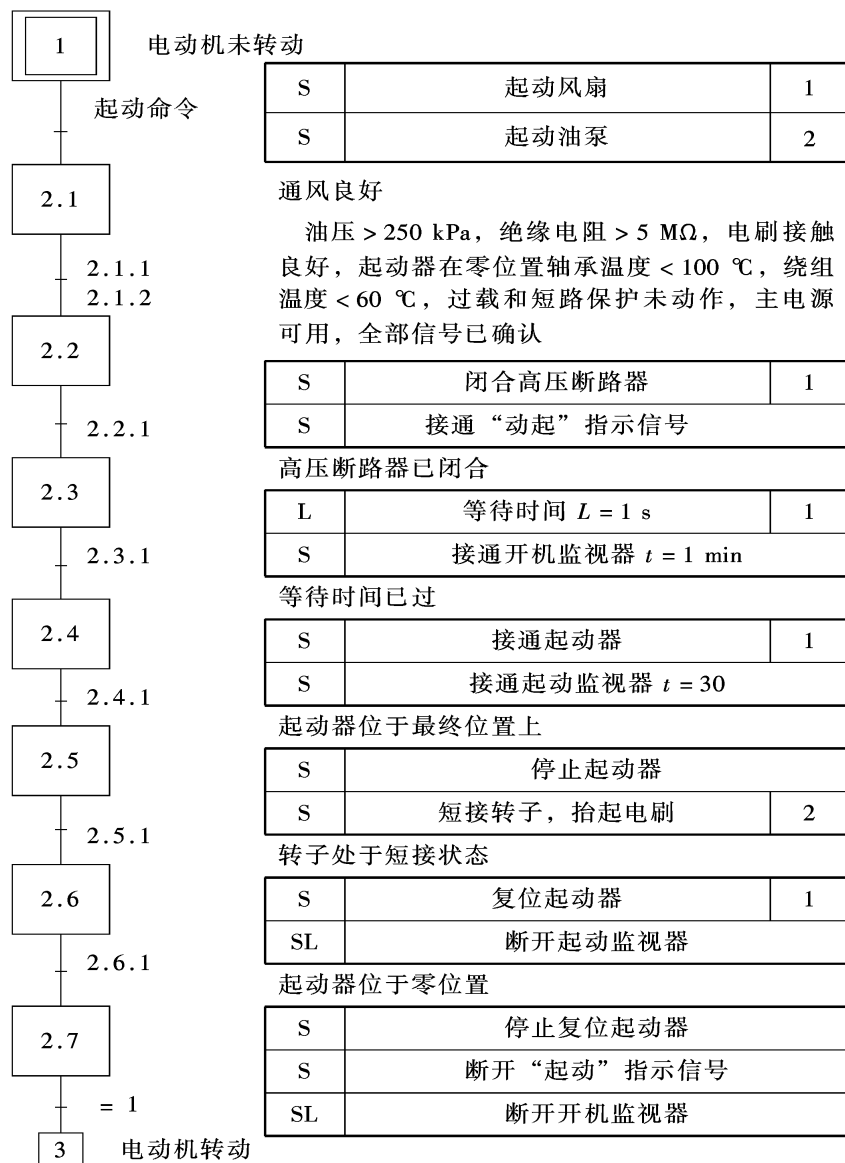


图 5.1.10 电动机起动过程的功能表图

5.1.3 电气图的作用、分类及绘制方法

1. 电气图的作用

电气图用于详细表示电路、设备或成套装置的基本组成部分和连接关系。

电气图的作用是：详细解释电路、设备或成套装置及其组成部分的工作原理；为测试和寻找故障提供信息；作为编制接线图的依据；安装和维修。

2. 电气图的分类

按电气图所描述的对象和表示的工作原理分类：

反映二次设备、装置和系统

通常俗称为二次接线图。

对电动机及其他用电设备的供电和运行方式进行控制的电气图，俗称为电气控制接线图。这类图实质也是二次接线图，但又不限于一般的二次接线，往往还与被控制设备的供电一次接线图画在一起，因此可以说控制接线图是一次、二次合二为一的综合性简图。

反映由电子器件组成的设备或装置工作原理的电子电路图，又可分为电力电子电路图和电子无触点电子电路图。

指导照明，动力工程施工、维护和管理建筑电气照明动力工程图，也是电气图的一种。也可归类为布置图。

表示出某功能单元所有的外接端子和内部功能的电气图，称为端子功能图。端子功能图可以提高清晰度、节省地方和缩小图纸幅面。

表示电信交换和电信布置的电气图。

3. 电气图绘制方法

用线条表示电源，同时在电源线上用符号标明电源线的性质

如图 5.1.11

电路的一侧。多组电源线按相序从上至下或从左至右排列，中性线排在最下方或最右方。直流电源线宜按正、负极次序从上至下或从左至右排列，若有中性线，中性线宜绘在正、负极之间。连接到方框符号的电源线以及功能单元或结构单元内部的电源线均应在与信号流向垂直的方向上绘制，如图 5.1.11

用电源符号和电源电压值表示电源，如图 5.1.11

电气图中相似项目的排列，当垂直绘制时，类似元件宜水平对齐，如图 5.1.11

水平绘制时，类似元件宜垂直对齐，如图 5.1.11

电气图中的相似元件或电路可采用下列简化画法：两个及两个以上分支电路，可表示成一个分支电路加复接符号，如图 5.1.12 所示；两个及两个以上完全相同的电路，可只详细表示一个电路，其他电路用围框加以说明表示，如图 5.1.13 所示。如果电路的图形符号相同，但技术参数不同时，可另列表说明其不同内容。

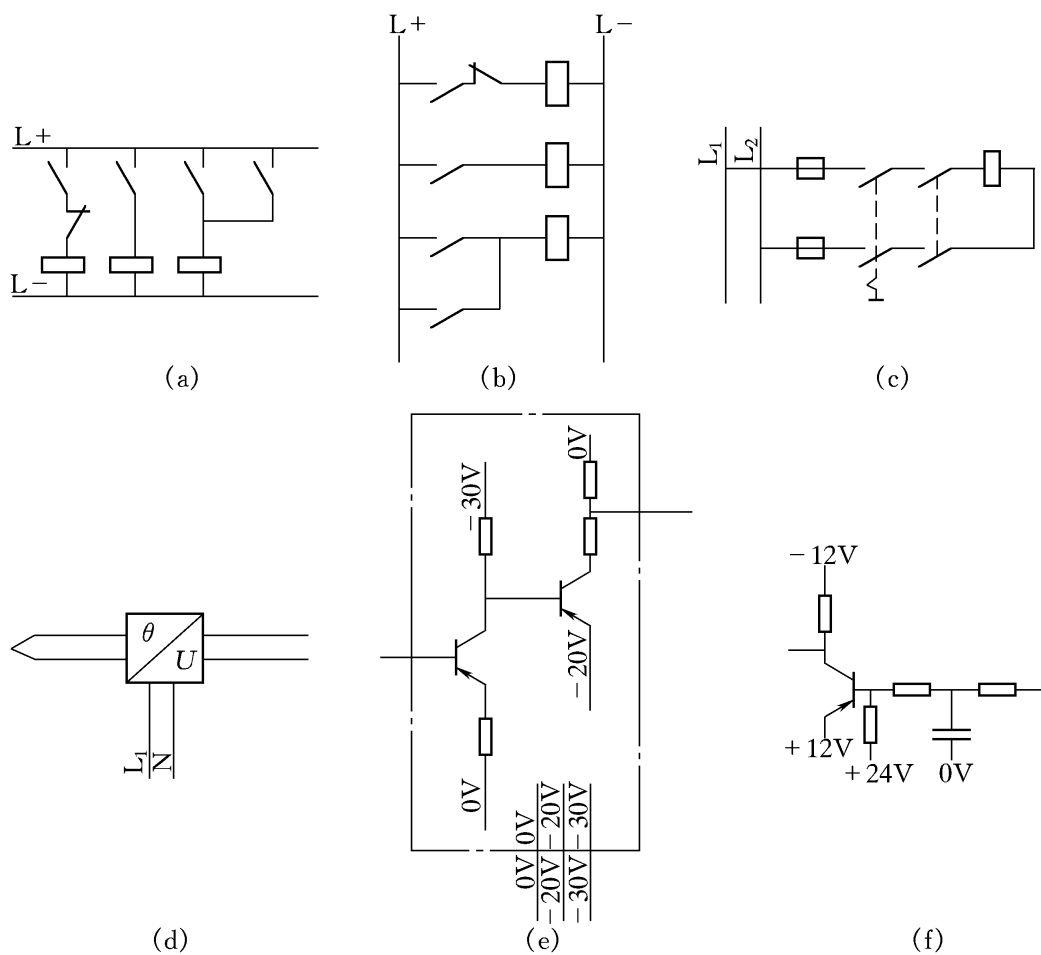


图 5.1.11 电源的各种表示方法

某些常用基础电路的布局若按统一形式出现在电气图上时就容易识别，如图 5.1.14 所示。在基础电路中可增加其他元件、器件，但不应改变基础电路的布局和不影响其易读性。

继电器和接触器的触点符号的动作方向取向应是一致的。当触点具有保持、闭合和延时等功能时更是这样。但是，在用分开表示法表示的触点排列虽复杂而没有保持等功能的电路中，使电路不交叉比使触点符号取向一致更为重要。

对非电或非人工操作的触点，必须在其触点符号附近表明运行方式。为此，可采用下列方法：注释、标记和表格，有时宜采用图 5.1.15 所示的简要说明；图形；操作器件的符号。用图形或操作器件的符号表示的非电或非人工操作的触点，如表 5.2 所示。

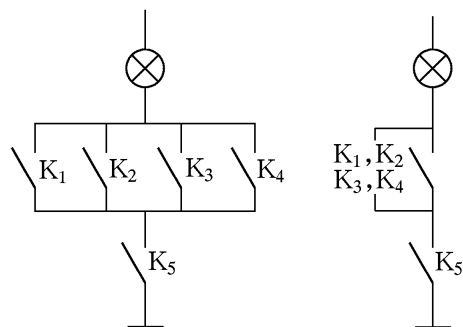


图 5.1.12 相似分支简化法

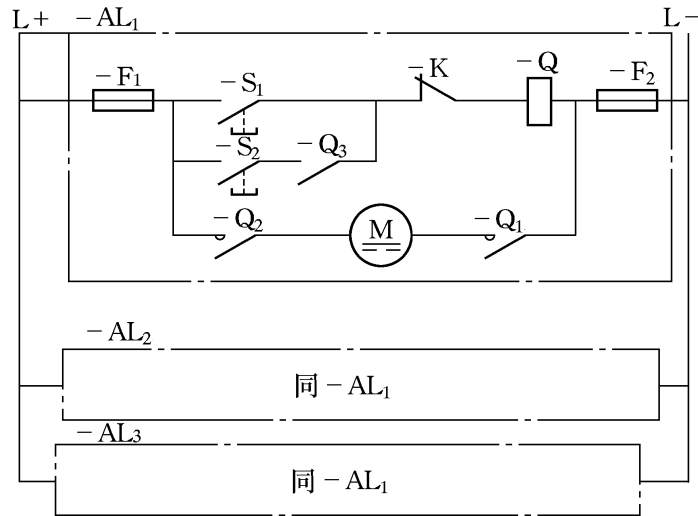


图 5.1.13 相同电路简化法

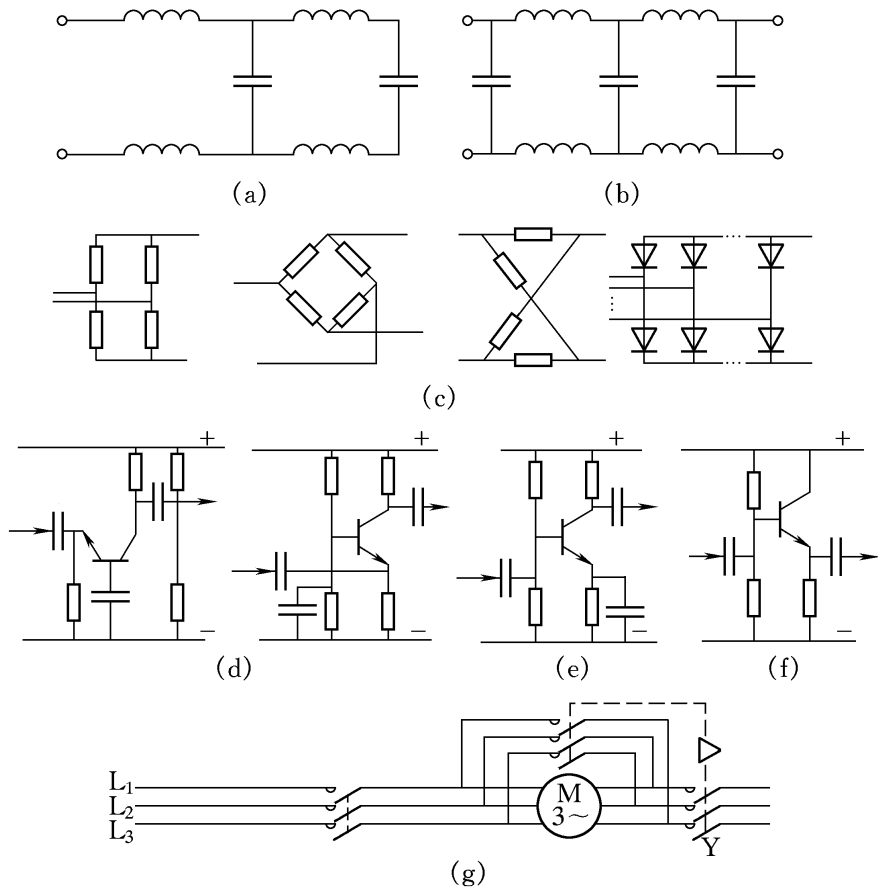


图 5.1.14 基础电路模式

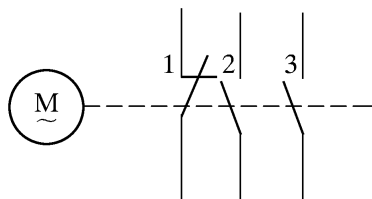
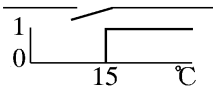

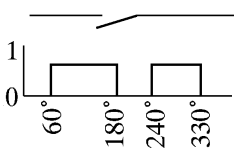
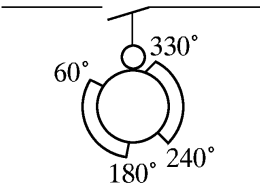
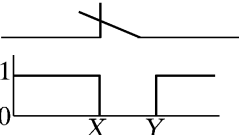
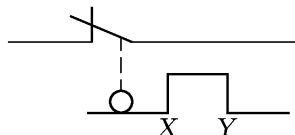


图 5.1.15 采用简单说明的方法
表示触点的运行方式示例

表 5.2 用符号表示的非电或非人工操作的触点

图 形	符 号	说 明
		<p>垂直轴上的“0”表示触点断开，而“1”表示触点闭合 当温度等于或超过 15 时触点闭合</p>
		<p>温度增加到 35 时触点闭合，然后温度降到 25 时触点断开</p>
		<p>水平轴表示角度，触点在 60°与 180°之间闭合，也在 240°与 330°之间闭合，在其他位置断开</p>
		

元件、器件和设备采用图形符号表示，需要时还可采用简化外形图来表示，同时绘出其所有的连接。符号旁应标注项目代号，需要时还可标注主要参数。参数也可列表表示，表格内一般包括项目代号、名称、型号、规格和数量等内容。

元件、器件和设备的可动部分应表示在非激励或不工作的状态或位置。单稳态的机电或手动操作器件，如继电器、接触器和制动器等，宜在非激励或不操作状态。在特殊情况下，如对理解其功能作用有利时，也可按激励或操作状态表示，但应在图中说明。断路器或隔离开关应在断开位置。具有“断开”位置

位)

的各组成部分必须表示在相互一致的位置上等。

对组件内功能相关的部件的表示方法有两种：简单情况可采用连接表示法，如图 5.1.16

或不连接表示法，如图 5.1.16

对组件内功能无关的部件表示方法有两种：简单情况可采用组合表示法，如图 5.1.16

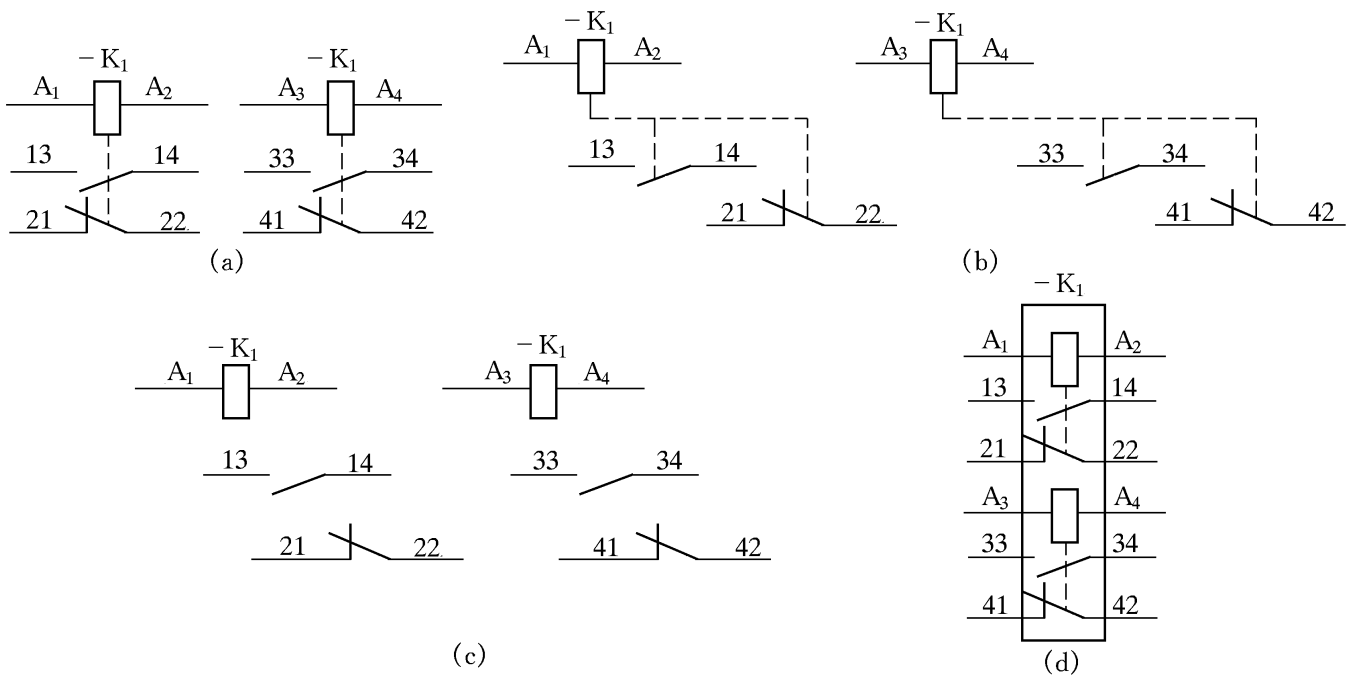


图 5.1.16 组件的表示法

图上位置的表示方法有三种，即图幅分区法、电路编号法和表格法。

电路编号法就是对电路或分支电路可用数字编号来表示其位置，数字编号时应按从左至右或从上至下的顺序排列，如图 5.1.17 所示。

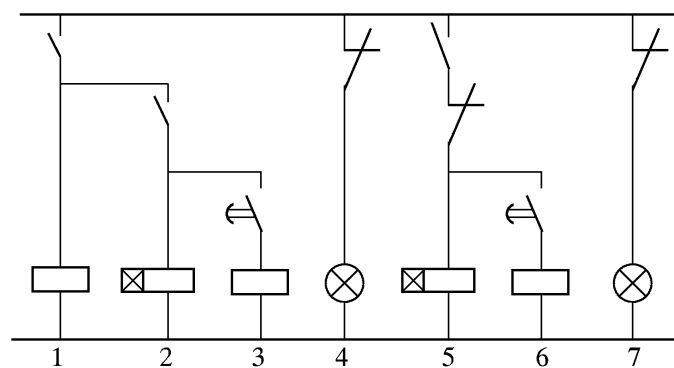


图 5.1.17 电路编号法

表格法就是在图的边缘部分绘制一个以项目代号分类的表格，表格中的项目代号和图中相应的图形符号在垂直或水平方向对齐，图形符号旁仍需标注项目代号。

4. 端子功能图

电气图中的功能单元或结构单元可用方框符号或端子功能图代替，并应在方框符号或端子功能图上加注标记。

端子功能图应表示出该功能单元所有外部接线端子和内部功能。内部功能可用简化电路图、功能图、功能及程序表图或文字说明等表达，如图 5.1.18 所示。

5. 图形符号

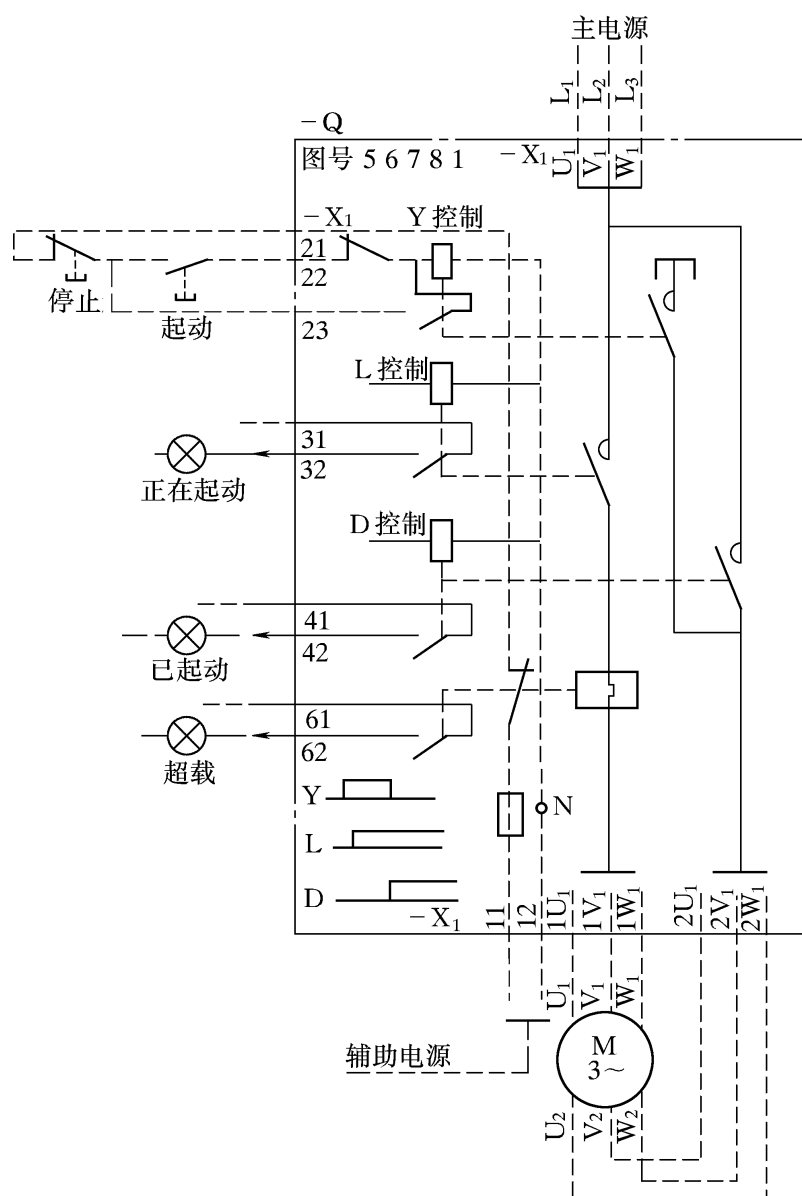


图 5.1.18 端子功能图

图形符号是指通常用于图形或其他文件以表达一个设备或概念的图形、标记或字符。

电气简图用图形符号包括符号要素、限定符号、方框符号和组合符号。

符号要素：是一种具有确定意义的简单图形，不能单独使用。符号要素必须同其他图形组合后才能构成一个设备或概念的完整符号。例如灯丝、栅极、阳极、管壳等符号要素可共同组成电子管的符号。符号要素组合使用时，其布置可以同符号所表示的设备的实际结构不一致。

限定符号：是用以提供附加信息的一种加在其他符号上的符号。它通常不能单独使用。有时一般符号也可用作限定符号。如电容器的一般符号加在传声器符号上即构成电容式传声器符号。

一般符号：是用以表示一类产品和此产品特征的一种通常很简单的符号。

方框符号：是用以表示元件、设备等的组合及其功能的一种简单图形符号。它既不

出元件、设备的细节，也不考虑所有连接。方框符号通常使用在单线表示法的图中，也可用在示出输入和输出接线的图中。

组合符号：是指通过以上规定的符号进行适当组合派生出来的、表示某些特定装置或概念的符号。为适应不同图形或用途的要求，组合时可以改变彼此有关的符号尺寸。

我国规定的电气简图用图形符号由 13 部分组成，符号形式、内容、数量等全部与国际标准 IEC 相同。

5.2 电气图读图方法

5.2.1 读图要求和读图步骤

1. 读图的基本要求

除电磁场外，电工技术讲的主要就是电路和电器。电路又可分为主电路和辅助电路。主电路也称为一次回路，是电源向负载输送电能的电路。主电路一般包括发电机、变压器、开关、熔断器、接触器主触点、电容器、电力电子器件和负载。称为二次回路，是对主电路进行控制、保护、监测以及指示的电路。辅助电路一般包括继电器、仪表、指示灯、控制开关、接触器辅助触点等。通常主电路通过的电流较大，导线线径较粗；而辅助电路中通过的电流较小，导线线径也较细。

电器元件是电路的不可缺少的组成部分。在供电电路中常用隔离开关、断路器、负荷开关、熔断器、互感器等；在机床等机械控制电路中，常用各种继电器、接触器和控制开关等；在电力电子电路中，常用各种二极管、晶体管、晶闸管和集成电路等。读者应了解这些电气元件的性能、结构、原理、相互控制关系以及在整个电路中的地位和作用。

图形符号和文字符号要熟记会用。电气简图用图形符号和文字符号以及项目代号、接线端子标记等是电气技术文件的“词汇”，相当于写文章用的词汇、单词。“词汇”掌握得越多，记得越牢，读图就越快捷、越方便。这好像写文章要有丰富的词汇和写作修辞技巧一样。

图形符号和文字符号很多，如何做到熟记会用？可从个人专业出发先熟读背会各专业共用的和专业专用的图形符号，然后逐步扩大，掌握更多的符号，就能读更多的不同专业的电气技术文件。

掌握各类电气图的绘制特点。各类电气图都有各自的绘制方法和绘制特点，在 5.1 中已作了介绍，掌握了这些特点，并利用它就能提高读图效率，进而自己也能设计、制图。大型的电气图纸往往不只一张，也不只是一种图，因而读图时应将各种有关的图纸联系起来，对照阅读。如通过概略图、电路图找联系；通过接线图、布置图找位置，交错阅读收到事半功倍之效。

把电气图与土建图、管路图等对应起来读图。电气施工往往与主体工程其他工程、工艺管道、蒸汽管道、给排水管道、采暖通风管道、通信线路、机械设备等项安装工程配合进行。电气设备的布置与土建平面布置、立面布置有关；线路走向与建筑结构的梁、柱、门窗、楼板的位置有关；还与管道的规格、用途有关；安装方法又与墙体结构、楼板材料

有关；特别是一些暗敷线路、电气设备基础及各种电气预埋件更与土建工程密切相关。所以阅读某些电气图要与有关的土建图、管路图及安装图对应起来看。

了解涉及电气图的有关标准和规程。读图的主要目的是用来指导施工、安装，指导运行、维修和管理。有一些技术要求不可能都一一在图样上反映出来，标注清楚，因为这些技术要求在有关的国家标准或技术规程、技术规范中已作了明确的规定。在读电气图时，还必须了解这些相关标准、规程、规范，这样才能真正读懂图。

2. 读图的一般步骤

详看图纸说明。拿到图纸后，首先要仔细阅读图纸的主标题栏和有关说明，如图纸目录、技术说明、元件明细表、施工说明书等，结合已有的电工知识，对该电气图的类型、性质、作用有一个明确的认识，从整体上理解图纸的概况和所要表述的重点。

阅读概略图和框图。由于概略图和框图只是概略表示系统或分系统的基本组成、相互关系及其主要特征，因此紧接着就要详细阅读电路图，才能搞清它们的工作原理。概略图和框图多采用单线图，只有某些 380/220 V 低压配电系统概略图才部分地采用多线图表示。

阅读电路图是读图的重点和难点。电路图是电气图的核心，是内容最丰富、也最难读懂的电气图纸。

阅读电气图首先要看有哪些图形符号和文字符号，了解电路图各组成部分的作用，分清主电路和辅助电路，交流回路和直流回路。其次，按照先看主电路，再看辅助电路的顺序进行读图。

阅读主电路时，通常要从下往上看，即先从用电设备开始，经控制元件往电源端看；看辅助电路时，则自上而下、从左至右看，即先看主电源，再依次看各条回路，分析各条回路元件的工作情况及其对主电路的控制关系，注意电气与机械机构的连接关系。

通过看主电路，要搞清电气负载是怎样和电源连接的，电源都经过哪些元件到达负载。通过看辅助电路图，则应搞清辅助电路的回路构成，各元件之间的相互联系和控制关系及其动作情况等。同时还要了解辅助电路和主电路之间的相互关系，进而搞清楚整个电路的工作原理和来龙去脉。

电气图与接线图对照起来阅读。接线图和电气图互相对照读图，可以帮助搞清楚接线图。读接线图时，要根据端子标志、回路标号从电源端依次查下去，搞清楚线路走向和电路的连接方法，搞清每个回路是怎样通过各个元件构成的。

配电盘

上就有线号的接点，外部电路的线号只要在端子板的同号接点上接出即可。因此，看接线图时，要把配电盘

5.2.2 电力系统电气图读图基础

1. 电气主系统概略图(主接线图)

用电气简图用图形符号按照电力系统的组成方式，表示出一次设备的连接次序和关系的系统图称为电力系统概略图或电气主系统图，如图 5.2.1 所示。一次设备是指电力系统中的发电机、变压器、输电线路、开关设备、用电器等。

电气主系统图既能反映一个大电力系统的情形，也能反映一个发电厂、一个枢纽变电站或

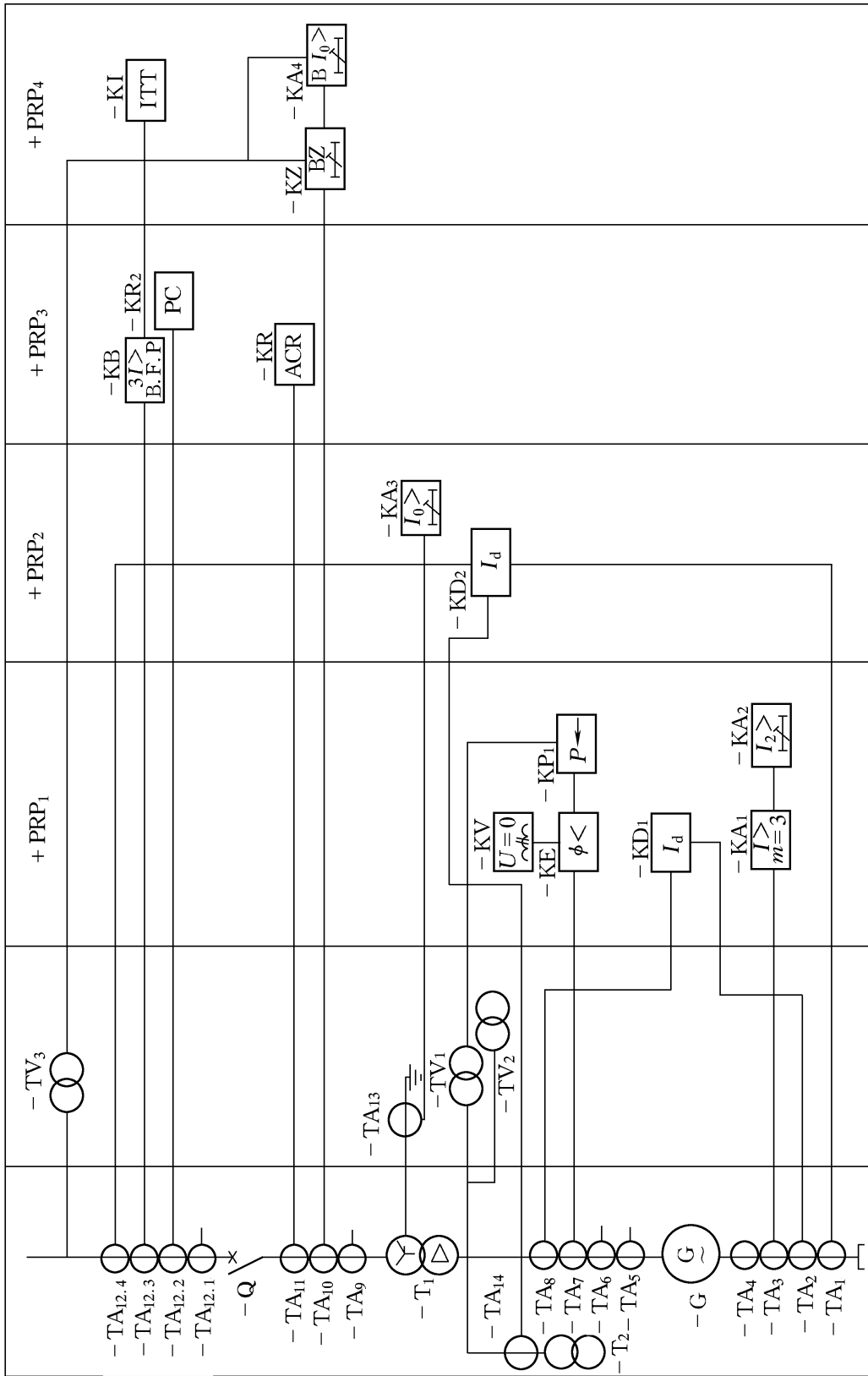


图 5.2.1 发电机-变压器-线路组继电器保护框图

一个工厂、一项大的工程中的电气关系，还能反映一个小区域、一项小工程、一个用电村镇，直到某一电气设备中的电气关系。习惯上，只把电力系统、发电厂、变电所的电气系统图称作主系统图。在实际工作中，工程技术人员都称这样的电气图为主接线图，或一次接线图。

由于电气系统图能够清楚简捷地说明电能发生、输送、控制、分配关系和设备运行关系，因而常作为电力规划设计、进行有关电气计算、选择主要电气设备、拟定配电装置的布置和安装位置的主要依据。通过对电气主系统图的读图，能帮助人们准确迅速地看出整个系统的规模和工作量的大小，理顺一次设备之间的关系。同时，电气主系统图也是电气运行工人进行倒闸操作的主要依据。因而电气主系统图是控制室、调度中心、配电室、总工程师室的必备图纸之一。有的还要将其放大，张贴在墙上。生产现场还将其制成模拟电路板人员进行电气操作前的模拟操作练习，以防误操作。由此可见，电气主系统图是发电厂、变电所的首张图纸，具有十分重要的地位。

2. 电气二次系统图

为保证一次设备运行的可靠和安全，需要许多辅助设备为之服务，以达到正常运行目的：由于电是看不见、摸不着、听不见的，因而一次设备是否带电，往往从设备外表是分辨不清的，需要有各种指示仪表、视听信号等；为了监视一次设备的运行情况，需要用各种仪表来测量设备与电路的各种参数，如电压、电流的频率，功率，电能等；一次设备在运行中有时会发生故障，有时也会超过允许范围和限度，这就需要有一套检测这些故障信号并对一次设备的工作状态进行自动调整（开、切换）

大电流开关设备手动操作很困难，特别是出了故障，需要断路器切断电源，手动操作已不可能，因此需要一整套能进行自动控制的设备。

综上所述，凡对一次设备进行监视、测量、保护与控制的设备称为二次设备，或者称为辅助设备。二次设备的工作电流较小，工作电压也较低。

将二次设备按照一定次序连接起来以表示某一特定功能，反映其工作原理的电路图，称为电气二次系统图，或称为电气辅助系统图，俗称二次接线图。二次接线图无论采用集中表示法，还是分开表示法

二次接线图也是发电厂变电所的重要图纸，与主接线图相比，往往显得复杂得多，其复杂性主要表现在：二次设备的种类数量大大超过一次设备，特别是在发电厂变电所中，如为一台高压断路器服务的二次设备可多达百余件。一座中等容量的 35 kV 工厂变电所，一次设备约有 50 台

杂。通常一次设备只相邻连接，连接导线不外单相两根线，三相三根线，三相四线制供电系统四根线，而二次设备之间的连接导线往往跨越较远的距离，而且交错相连。另外，某些二次设备的接线端子很多，如有些继电器除线圈外，触点多达 10 多对，这就意味着可以有 20 余根导线从中引出。在某一确定的系统中，一次设备的电压等级是很少的，而且全部是交流的（流输电系统除外）

也多，如 380 V、220 V、100 V、36 V、24 V、12 V、6.3 V、1.5 V 等。

3. 二次接线图与布置图

二次接线图主要是描述二次设备的全部组成和连接关系，表示电路工作原理的简图。但要把二次设备的实体真正在空间连接起来，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，因此还需要与之配套的屏面布置图、二次电缆布置图、屏背面安装接线图、端子排接线图等。

屏面布置图是表明二次设备在屏面屏内具体布置的图纸。它是制造厂用来作屏面设计、开孔及安装的依据；施工现场则用这种图纸来核对屏内设备的名称、用途及拆装维修等。

为便于接线和查线，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（简称端子）

各端子与内外设备之间的电线连接关系的图纸，称为端子排连接图，简称端子排图。

屏背面接线图

重新绘制的图纸，它是屏内设备走线、接线、查线的重要参考图，也是安装接线图中最重要的图纸。

总之，发电厂变电所中使用最多的电气图纸是系统概略图、电路图和接线图，也就是前述的电气主系统图、电气二次系统图与二次设备接线图。电气主系统图好像是人的肌体，二次系统图好像是人的内脏，互为依存，同样重要。主系统图表示的是宏观的设备，便于现场对照读图；二次系统图比较抽象，不便于现场对照读图。读图者应具有一定的逻辑思维能力和想像能力。二次设备接线图供二次设备不带电时安装、接线、维修，便于对照设备读图。调试是在二次设备带电情况下进行的，应注意人身及设备安全。

5.2.3 接线图和接线表

1. 接线图和接线表的作用及表示方法

(

接线图和接线表主要用于安装接线、线路检查、线路维修和故障处理。在实际应用中接线图通常需要与电路图和位置图一起使用。

接线图和接线表一般表示出如下内容：项目的相对位置、项目代号、端子号、导线号、导线类型、导线截面积、屏蔽和导线绞合等。接线图和接线表可单独使用也可组合使用。

接线图和接线表根据所表达内容的特点可分为单元接线图
线图

项目的表示方法。接线图中的各个项目
形
中的标注一致。项目的有关机械特征仅在需要时才画出。

端子的表示方法。设备的引出端子应表示清晰。端子一般用图形符号和端子代号表示。当用简化外形表示端子所在的项目时，可不画端子符号，仅用端子代号表示。如需区分允许拆卸和不允许拆卸的连接时，则必须在图或表中予以注明。

导线的表示方法。导线在单元接线图和互连接线图中的表示方法有如下两种： 连接线——表示两端子之间导线的线条是连续的，如图 5.2.2

导线的线条是中断的，在中断处必须标明导线的去向，如图 5.2.2

一般应给以标记，必要时也可用色标作为其补充或代替导线标记。导线组、电缆、缆形线束等可用加粗的线条表示，在不致引起误解的情况下也可部分加粗，如图 5.2.2

元或成套设备包括几个导线组、电缆、缆形线束时，它们之间的区分标记可采用数字或文字。

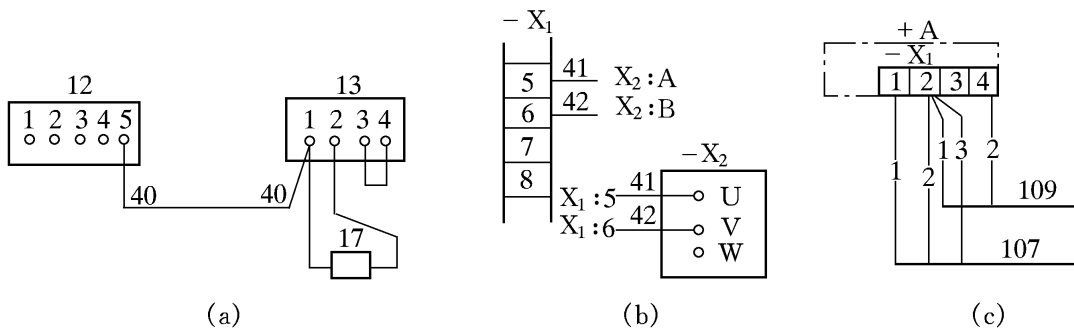


图 5.2.2 导线在接线图中的表示法

2. 单元接线图和单元接线表

单元接线图和单元接线表表示单元内部的连接情况，通常不包括单元之间的外部连接，但可给出与之有关的互连图的图号。

单元接线图通常按各个项目的相对位置进行布置。单元接线图的视图，应选择能最清晰地表示出各个项目的端子和布线的视图，当一个视图不能清楚表示多面布线时，可用多个视图。项目间彼此叠成几层放置时，可把这些项目翻转或移动出视线，并加注说明。当项目具有多层端子时，可错开或延伸绘出被遮盖的部分的视图，并加注说明各层接线关系，如图 5.2.3 所示。

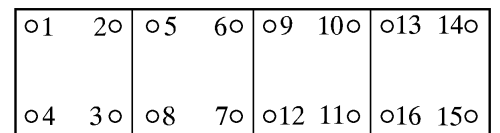


图 5.2.3 LW2 型转换开关

单元接线图中各项目之间或端子之间的连线可以是连续的，如图 5.2.4

是中断的，如图 5.2.4

注导线号外，还要在中断处用“远端标记”表明导线的去向。各项目或端子之间的连线也可用线束表示，如图 5.2.5 所示。

控制屏

框，框内标明设备名称和单元接线图的图号。该端子排至各设备的连线可按线束表示，并标注“远端标记”和导线根数，如图 5.2.4 所示。

单元接线表一般包括线缆号、线号、导线型号、规格、长度、连接点号、所属项目的代号和其他说明等内容。单元接线表的格式可按表 5.3 所示编制，表 5.3 表示的是图 5.2.4 的内容。

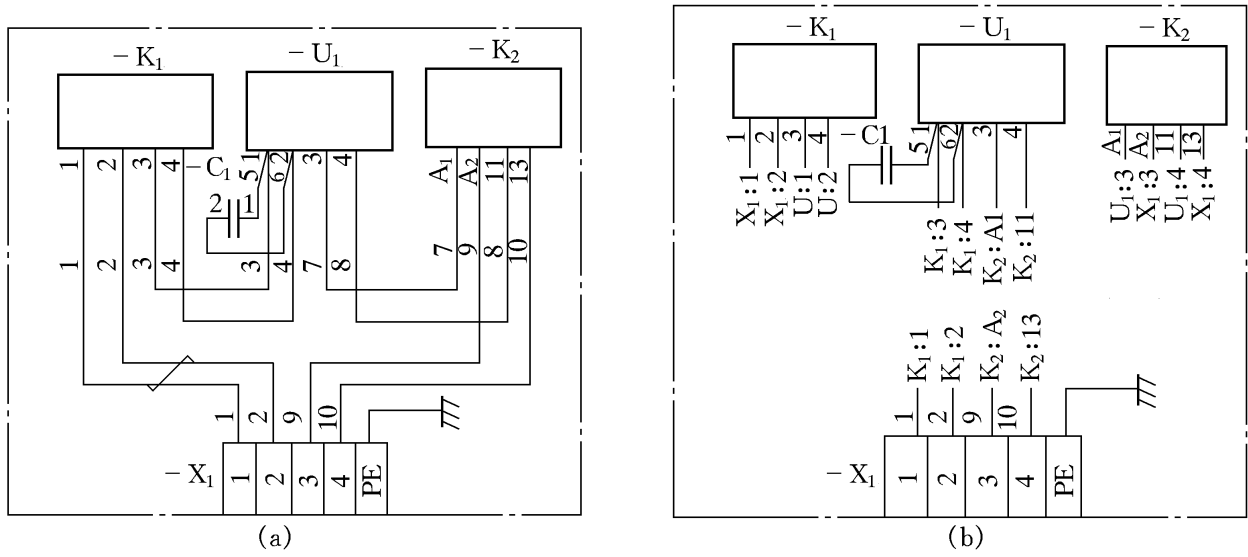


图 5.2.4 单元接线图

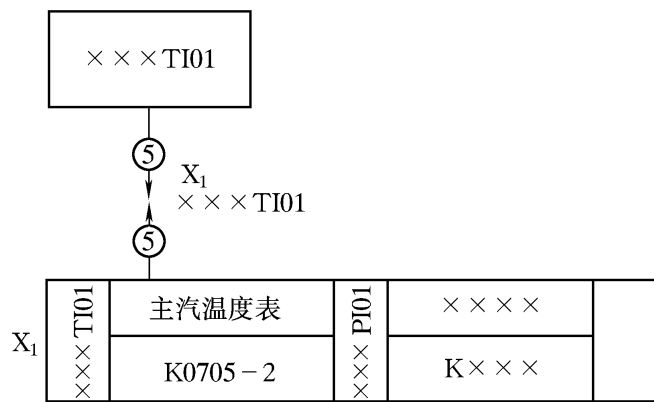


图 5.2.5 控制盘、台内部安装接线

表 5.3 单元接线表示例

线号	连接点			连接点		
	项目代号	端子号	备考	项目代号	端子号	备考
1	- K ₁	1		- X ₁	1	
2	- K ₁	2		- X ₁	2	
3	- K ₁	3		- X ₁	1	
4	- K ₁	4		- X ₁	2	
5	- U ₁	1		- C ₁	1	
6	- U ₁	2		- C ₁	2	
7	- K ₂	A1		- U ₁	3	
8	- K ₂	11		- U ₁	4	
9	- K ₂	A2		- X ₁	3	
10	- K ₂	13		- X ₁	4	

3. 互连接线图和互连接线表

互连接线图和互连接线表表示单元之间的连接情况，通常不包括单元内部的连接，但可给出与之有关的电路图或单元接线图的图号。

互连接线图的各个视图应画在一个平面上，以表示单元之间的连接关系，各单元的围框用点画线表示。各单元间的连接关系既可用连续线表示，也可用中断线表示，如图 5.2.6

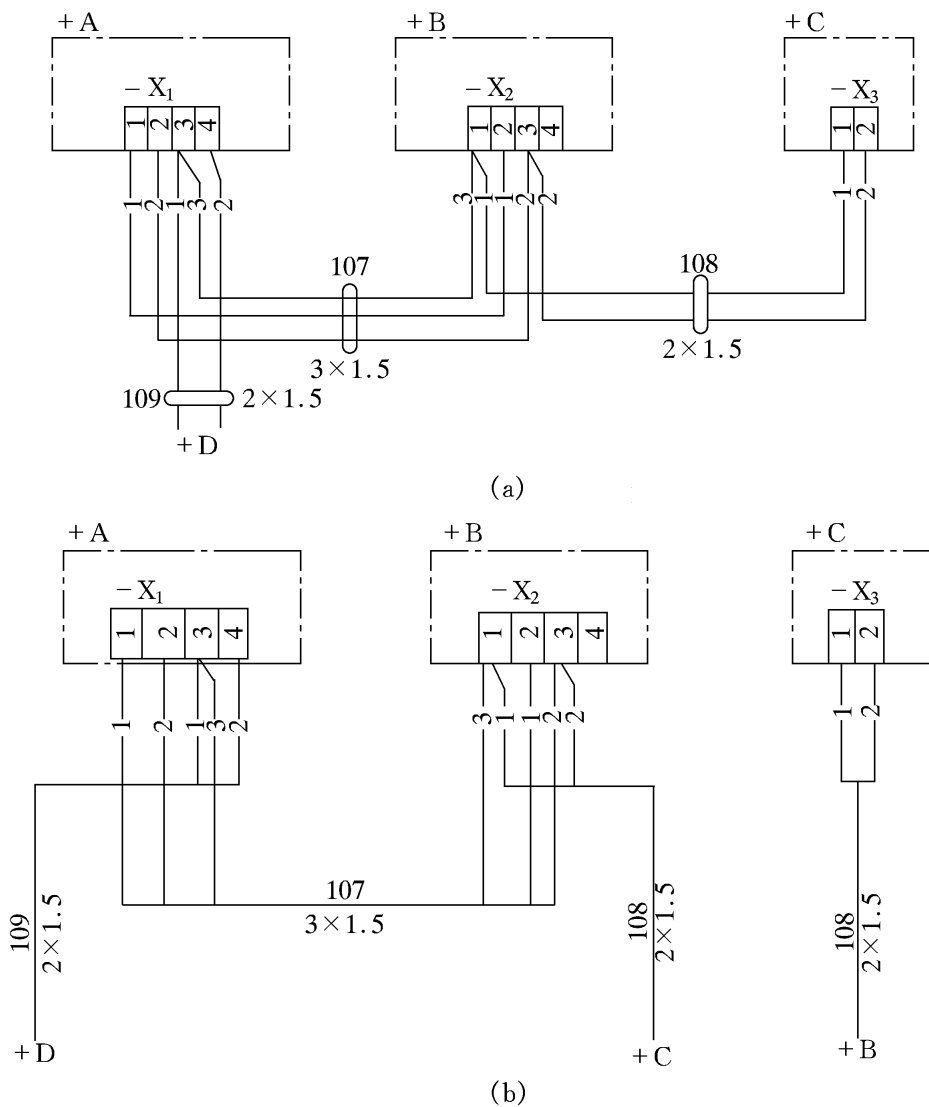


图 5.2.6 互连接线图

互连接线表应包括线缆号、线号、线缆的型号和规格、连接点号、项目代号、端子号及其他说明等，该表的格式可按表 5.4 所示编制。表 5.4 表示的是图 5.2.6 的内容。

表 5.4 互连接线表示例

线缆号	线号	连接点			连接点		
		项目代号	端子号	备考	项目代号	端子号	备考
107	1	+ A - X ₁	1		+ B - X ₂	1	
	2	+ A - X ₁	2		+ B - X ₂	2	108.2
	3	+ A - X ₁	3	109.1	+ B - X ₂	1	108.1
108	1	- B - X ₂	1	107.3	+ C - X ₃	2	
	2	- B - X ₂	3	107.2	+ C - X ₃	1	
109	1	+ A - X ₁	3	107.3	+ D		
	2	+ A - X ₁	4		+ D		

4. 端子接线图和端子接线表

端子接线图和端子接线表表示单元和设备的端子及其外部导线的连接关系，通常不包括单元或设备的内部连接，但可提供与之有关的图纸图号。

绘制端子接线图应遵守下列规定：端子接线图的视图应与端子排接线面板的视图一致，各端子宜按其相对位置表示；端子排的一侧标明至外部设备的远端标记或回路编号，另一侧标明至单元内部连线的远端标记；端子的引出线宜标出线缆号、线号和线缆的去向。

图 5.2.7

及每根缆芯号。无论已连接或未连接的备用端子都注有“备用”字样，不与端子连接的缆芯则用缆芯号。图 5.2.7

端子接线表一般包括线缆号、线号、端子代号等内容，在端子接线表内电缆应按单元（如柜与屏）

表。电缆按数字顺序组合在一起。“—”表示相应缆芯未连接，“”线是绝缘的。不管已接在或未接在端子上的备用缆芯都用“备用”表示。

表 5.5 端子接线表

A4 柜				B5 台			
电缆号	线号	端子号	本端标记	电缆号	线号	端子号	本端标记
136			A4	137			B5
	PE		接地线		PE		接地线
	1	11	X ₁ : 11		1	26	X ₂ : 26
	2	17	X ₁ : 17		2	27	X ₂ : 27
	3	18	X ₁ : 18		3	28	X ₂ : 28
	4	19	X ₁ : 19		4	29	X ₂ : 29

续表

A4 柜				B5 台			
备用	5	20	$X_1 : 20$	备用	5	—	
137			A4	备用	6	—	
	PE		(—)				
	1	12	$X_1 : 12$				
	2	13	$X_1 : 13$				
	3	14	$X_1 : 14$				
	4	15	$X_1 : 15$				
备用	5	16	$X_1 : 16$				
备用	6		—				
136			B4	137			A4
	PE		接地线		PE		(—)
	1	11	$X_8 : 33$		1	26	$X_1 : 12$
	2	17	$X_8 : 34$		2	27	$X_1 : 13$
	3	18	$X_8 : 35$		3	28	$X_1 : 14$
	4	19	$X_8 : 36$		4	29	$X_1 : 15$
备用	5	20	$X_8 : 37$	备用	5		$X_1 : 16$
137			B5	备用	6		
	PE		接地线				
	1	12	$X_2 : 26$				
	2	13	$X_2 : 27$				
	3	14	$X_2 : 28$				
	4	15	$X_2 : 29$				
备用	5	16	—				
备用	6		—				

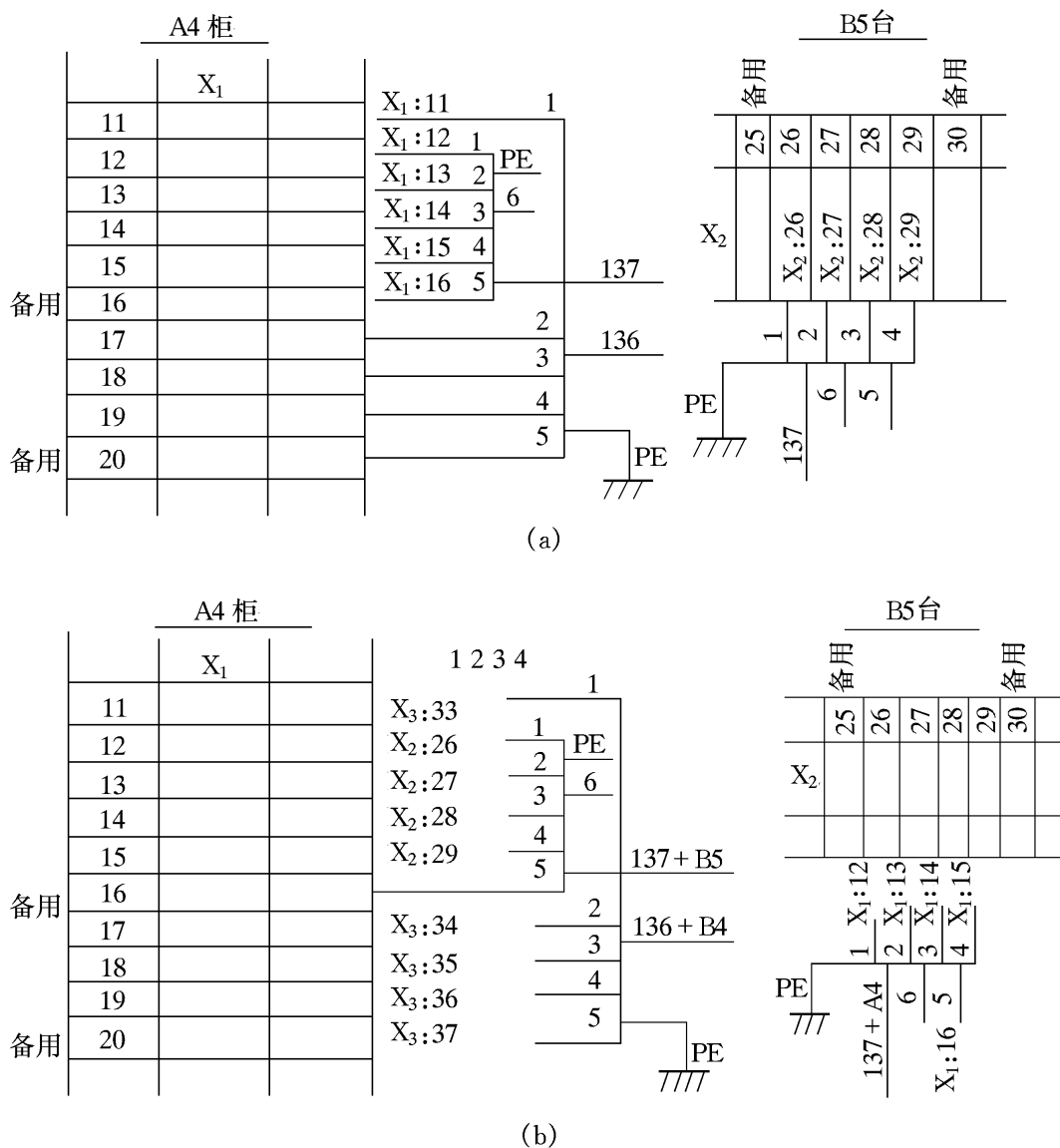


图 5.2.7 端子接线图

端子接线网格表一般包括项目代号、线缆号、缆芯数、端子号及其说明等内容。

端子接线网格表的一般格式如表 5.6

5. 电缆图和电缆表

电缆图和电缆表应表示单元之间外部电缆的敷设，也可表示电缆的路径情况。它用于电缆安装时给出安装用的其他有关资料。导线的详细资料由端子接线图提供。

电缆图应清晰地表示各单元之间的连接电缆。各单元图框可用粗实线绘制，如图 5.2.8 所示。电缆图中宜标注电缆编号，电缆型号、规格，各单元的项目代号等。

表 5.6 (a) 带有本端标记端子接线网络表

芯数 缆号 项目 代号			端子板 X ₁																								本端标记			
项目 代号	缆号	芯数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	中 性 线 N	保护接地线 PE	附 注	
															X ₁ :11	X ₁ :12	X ₁ :13	X ₁ :14	X ₁ :15	X ₁ :16	X ₁ :17	X ₁ :18	X ₁ :19	X ₁ :20						
	137	7												1	2	3	4	5												
	136	6											1						2	3	4	5								
端子网格表 A4 柜																														

表 5.6 (b) 带有远端标记的端子接线网格表

芯数 缆号 项目 代号			端子板 X ₁																								远端标记			
项目 代号	缆号	芯数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	中 性 线 N	保护接地线 PE	附 注	
															X ₃ :33	X ₂ :26	X ₂ :27	X ₂ :28	X ₂ :29	X ₃ :34	X ₃ :35	X ₃ :36	X ₃ :37							
+ B5	137	7												1	2	3	4	5												PEI- NS- 6SP
+ B4	136	6											1						2	3	4	5								
端子网格表 A4 柜																														

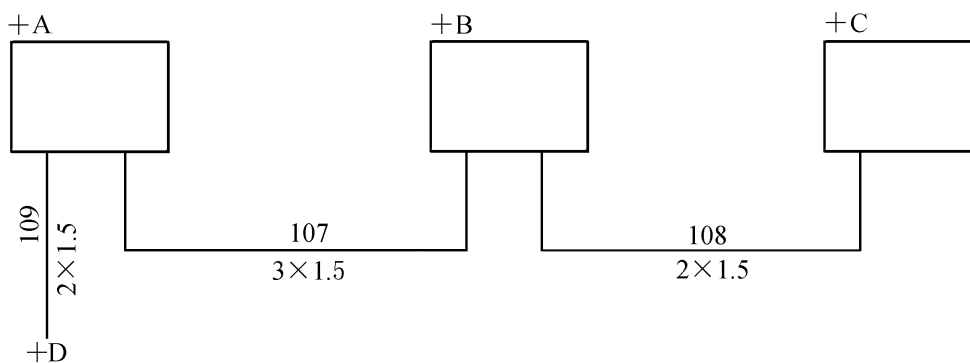


图 5.2.8 电缆图

电缆表包括电缆编号、电缆型号规格、连接点的项目代号和其他说明等。表 5.7 是根据图 5.2.6 编制的电缆表。

表 5.7 电缆表示例

电 缆 号	电缆型号规格	连 接 点		附 注
107	KVV20 - 3 × 1.5	+ A	+ B	
108	KVV20 - 2 × 1.5	+ B	+ C	
109	KVV20 - 2 × 1.5	+ A	+ D	

5.2.4 读图实例——电梯电气图

1. 电梯的工作特性及主要组成部分

电梯是多层建筑物内，楼层之间垂直载重上、下运输的设备，是自动化程度和安全可靠性很高的设备。电梯主要由井道、轿厢、顶部机房等组成。电梯的电气设备很多，主要有以下几个部分：

一般为交流双速异步电动机，定子绕组通常为 Y 或 YY 接，YY 接时为高速，可达 1 000 r/min；Y 接时为低速，只有 250 r/min。

包括各种按钮、开关、位置开关、继电器及电动机的起动设备，轿厢的上、下行是靠电动机的正反转来实现的。为使起动平稳，通常采用电阻降压的起动方式并按时间原则控制。

具体有：

门开关。装在每层厅门和轿厢门上，其触点串接在控制电路中。只有将轿门和全部厅门关好，门开关合上，才能起动电动机。

安全钳。为了预防轿厢牵引钢索松弛、折断导致轿厢坠落，在轿厢底部装有安全钳，可以将轿厢钳在导轨上。同时，串联在控制电路中的安全钳触点断开，电动机停车制动。

速度限制器。钢索绕过限速器绳轮，当钢索经过绳轮的速度过高时，串接在控制电路的限速器触点断开，也会使电动机停车制动。

终点开关。轿厢到达向上或向下的极限位置时，终点限制器开关断开控制电路，同样使机车停车制动。

平层装置。电梯在各层停车后，应使轿厢底部与楼面对齐，称为平层。电梯一般都具有自动平层装置。

2. 阅读电梯主电路图

电梯电气图是比较复杂的，而且图纸也多。限于本书篇幅和为了读图的方便，对于这种需要结合几张图纸才能将工作原理搞清的图纸，可以将有关部分抽出来，整理简化，变成简化电路图就比较清楚了。其实，简化过程也是读图过程，在基本上读懂原理图的基础上，才能画出简化图；反过来简化图又有助于更深入地理解原理图。如此由繁到简、由简到繁的多次反复，便是复杂图纸的读图过程。

图 5.2.9 是电梯电动机的主电路图。主电路图由双速转换电路、电阻减压起动电路、正反转控制电路三个基本电路图组成。具有正、反转高速减压起动与运行，正、反转低速减压起动与运行、低速运行、制动等九种运行状态。

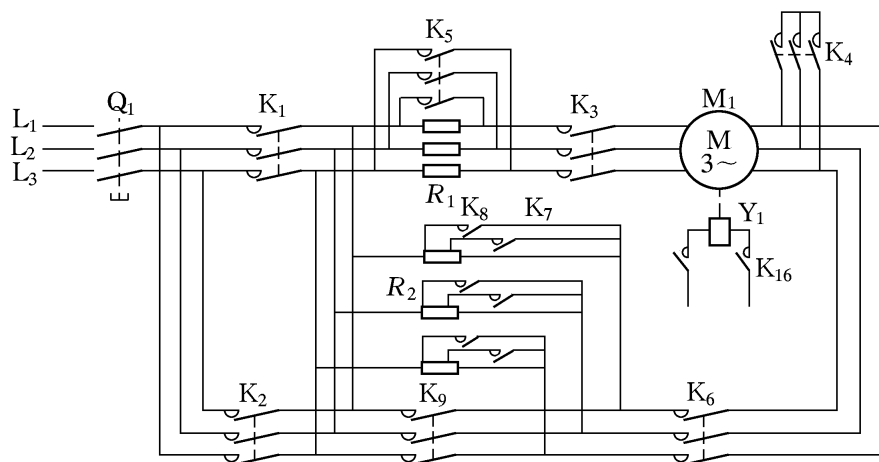


图 5.2.9 电梯拖动电动机主电路图

电路构成。K₆ 断开，K₃、K₄ 接通，M₁ 被接成 YY 接，高速运行；K₃、K₄ 断开，K₆ 接通，M₁ 被接成 Y 接，低速运行。K₅ 断开，起动电阻 R₁ 串入 M₁ 为 YY 接的降压起动。分别断开 K₇、K₈、K₉，起动电阻 R₂ 串入 M₁ 为 Y 接的降压起动。假定 K₆ 断开、K₁ 接通，K₂ 断开，电动机正转；K₂ 接通、K₁ 断开，电动机反转。

电路动作程序。合上 Q₁，关上轿厢门和全部厅门，按下某层按钮，K₃、K₄ 首先吸合，然后 K₁ 或 K₂ 吸合，电动机 M₁ 的快速绕组与 R₁ 串联接入电源，电动机作降压起动。经过一定的起动时间后，K₅ 接通，轿厢在电动机拖动下快速上行或下行。当轿厢达到预定的某层时，K₃、K₄ 断开（K₁ 或 K₂ 不断开），电动机在 K₁ 的制动下减速，当减速到约 250 r/min 时，K₆ 接通，慢速绕组接通，电动机使轿厢以很慢的速度运行，并在平层控制环节的作用下自动平层，K₆、K₁ 或 K₂ 断开，电动机脱离电源。

3. 阅读控制电路图

主电路的工作程序是靠控制电路来实现的。图 5.2.10 为电梯运行过程控制电路图，图 5.2.11 为电梯主拖动控制电路图，两者结合控制主电路。图 5.2.10 电路是由直流电源供电，图 5.2.11 电路是由交流电源供电。

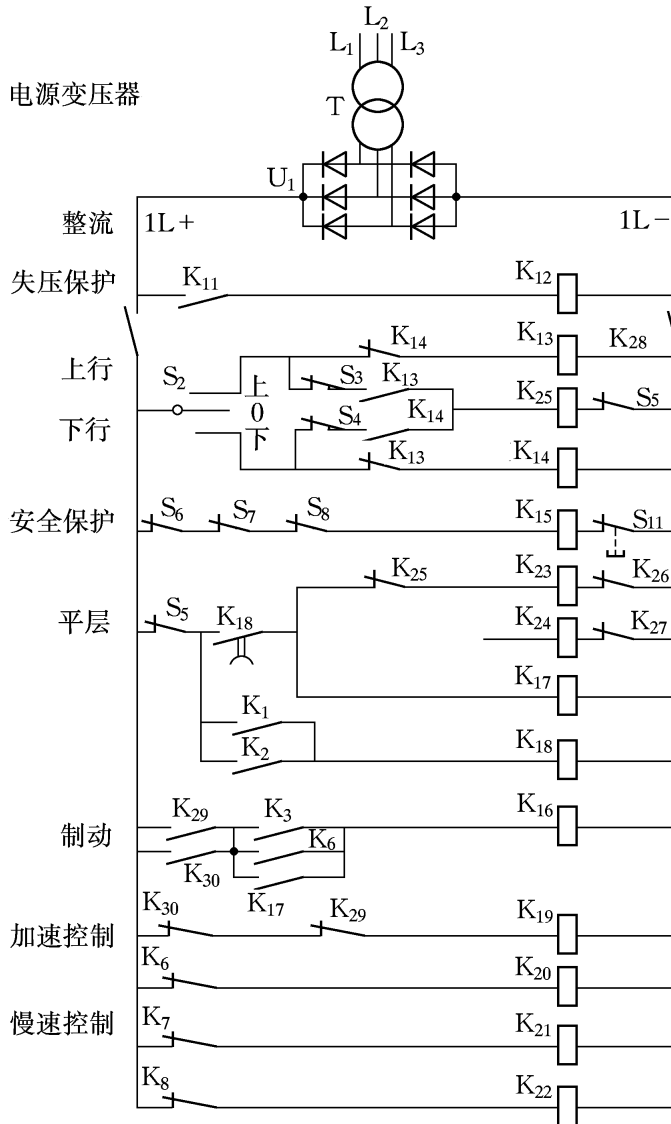


图 5.2.10 电梯运行过程控制电路图

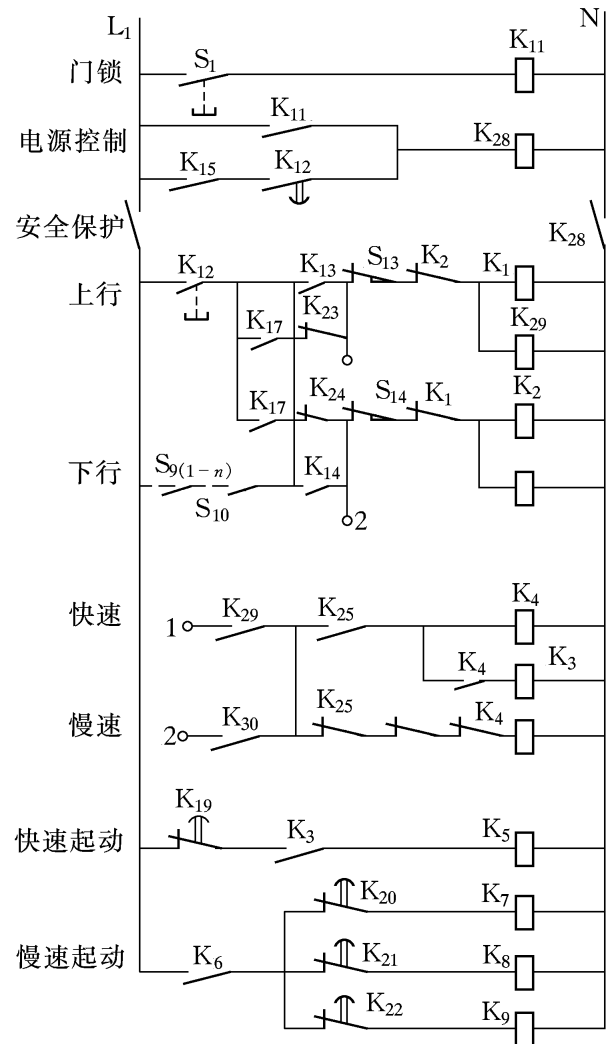


图 5.2.11 电梯主拖动控制电路图

阅读这类较复杂的控制电路，首先应紧紧围绕主电路来分析，具体地说，就是 $K_1 \sim K_9$ 和 K_{16} 这 10 个接触器的线圈回路是如何接通与断开的。其次电梯工作的安全性与可靠性是电梯电气图最重要的特点之一。安全与可靠是通过一系列位置开关或限制开关、连锁触点、保护继电器等来实现的。因此识图时应了解这些开关的名称与用途，以助于更好地理解控制电路。

电源的控制电路。交直流控制电源的接通和断开是由电源接触器 K_{28} 控制的。电梯司机闭合轿厢内的电源钥匙开关 S_1 后，电源继电器 K_{11} 接通，其动合触点接通 K_{28} 线圈的电源，交直流控制电源全部送入电路。与此同时，电源时间继电器 K_{12} 接通，其动合触点延时闭合，保护用中间继电器 K_{15} 得电，其动合触点闭合，使 K_{28} 自保持。

直流电源供电以后，加速时间继电器 K_{19} 和减速时间继电器 K_{20} 、 K_{21} 、 K_{22} 都处于通电吸合状态，为拖动电动机 M_1 起动、加速、减速、制动做好了准备。

电梯的起动控制。电梯的上行与下行起动是相似的，以下仅以电梯上行为例识图。

电梯司机得到上行到某层的指令以后，将操作手柄 S_2 扳向“上”的位置

示) K_{13} 接通，其中的一对动合触点闭合后，快速运行继电器 K_{25} 的线圈经 S_2 “上”、上行缓速位置开关 S_3 、动合触点 K_{13} 、慢速开关 S_5 而接通电源， K_{25} 动作。

控制 M_1 运行的接触器的线圈都是在交流电源下工作的，这些线圈都画在图 5.2.11 的交流控制电路中，因而要了解电梯的起动控制，应到图 5.2.11 中去找继电器 K_{13} 、 K_{25} 的触点。电梯起动时，各厅门门锁开关 S_9 ($1 \sim n$) K_{10} 因门已关上而必然闭合。这时上行接触器 K_1 及其辅助接触器 K_{29} 的线圈支路经 S_9 、 S_{10} 、 K_{13} 的动合触点，上行限制开关 S_{13} 、下行接触器 K_2 的动断触点而与交流电源 L_1 、 N 接通；与此同时，接通快速绕组接触器 K_4 的线圈回路也经上行辅助接触器 K_{29} 的动合触点、 K_{25} 的动合触点等与电源接通； K_4 的辅助动合触点闭合，进而又使接通快速绕组接触器 K_3 的线圈接通。

再看图 5.2.9 的主电路， K_3 与 K_4 主触点的闭合将 M_1 接成快速 YY 接线。这时 M_1 能否起动还有赖于电磁抱闸是否松开，电磁抱闸的电源接通触点 K_{16} 的线圈在图 5.2.10 的直流控制电路图上。在制动支路中，由于 K_{29} 、 K_3 的辅助动合触点闭合，制动接触器 K_{16} 得电，闭合其动合触点，使 Y_1 接通电源，电磁抱闸松开，电动机 M_1 便经起动电阻 R_1 按正转方向上)

电梯的加速运行控制。电梯的加速运行实际上是在 M_1 的降压起动过程之后，通过快速减压起动电阻控制接触器 K_5 的主触点短接起动电阻 R_1 。因此问题的关键是 K_5 的线圈如何接通电源。

由于 K_1 、 K_{29} 的吸合， K_{29} 的动断触点断开，看图 5.2.10 的加速控制支路，加速时间继电器 K_{19} 的线圈回路断电，经过一定时间后，图 5.2.11 中 K_{19} 的延时闭合的动断触点闭合，使快速减压起动电阻控制接触器 K_5 的线圈支路接通，其主触点闭合，短接了 R_1 ， M_1 便快速运行。

电梯的慢速运行控制。电梯的慢速运行控制实际上就是要使 M_1 由 YY 接变成 Y 接运行，反映在图 5.2.9 中就是要使接触器 K_3 、 K_4 断开， K_6 接通。显然， K_3 、 K_4 、 K_6 的线圈在图 5.2.11 的交流电路中，而控制这些线圈的继电器线圈则在图 5.2.10 的直流电路中，因此，分析电梯的慢速运行控制仍应将这三个图对照识图。图 5.2.10 中将手柄 S_2 扳向“0”位，则 K_{13} 、 K_{25} 断电释放。图 5.2.11 中 K_{25} 的动合触点断开，使 K_3 、 K_4 、 K_5 先后断电释放， K_3 、 K_4 的动断触点闭合，接通了慢速绕组接触器 K_6 ， M_1 的慢速绕组串接慢速起动电阻 R_2 起动。

看图 5.2.9 及图 5.2.10，由于 K_6 的吸合，其动断触点断开，切断了减速时间继电器 K_{20} 线圈的电路，经过一定时间后， K_{20} 的动断触点闭合，慢速运行时的慢速电阻控制接触器 K_7 接通，切除慢速起动电阻 R_2 的一部分； K_7 的动断辅助触点切断 K_{21} 的电路，经过一定时间后 K_8 接通，又切除慢速电阻 R_2 的另一部分； K_8 的动断辅助触点切断 K_{22} 的电路，经过一定时间 K_9 接通，慢速起动电阻 R_2 全部被短接，电机 M_1 在慢速状态的额定转速下运行。这一速度称为平层速度。

电梯的平层与制动。当电梯轿厢以平层速度运行至设在轿厢顶的平层装置进入所停层的平层桥时，在图 5.2.10 中干簧管继电器 K_{26} 复位，接通上行平层继电器 K_{23} 的电路， K_{23} 吸合，其动断触点断开使上行接触器 K_1 断电释放，电动机就停电，同时，制动接触器 K_{16} 失电，抱闸抱紧制动轮，电梯停止运行。

如果电梯上行不平层时，也就是说下行平层干簧管继电器 K_{27} 已超出平层桥，在自动平层时间继电器 K_{18} 的延时断开的动合触点延时断开的时间内，下平层继电器 K_{24} 因 K_{27} 触点断开而断电释放，下行方向接触器 K_2 得电动作，电梯以慢速向下运动，直到两个平层干簧管继电器 K_{26} 与 K_{27} 都在平层桥内为止。

电梯的电气安全保护。电梯在机械和电气多方面采取了一系列安全保护措施。在图 5.2.10 中 S_6 是安全钳开关、 S_7 是胀绳轮开关， S_8 是超速断绳开关， S_{11} 是紧急停车按钮。只要这些开关中的任一触点断开，均使保护用中间继电器 K_{15} 线圈失电，其动合触点断开控制电源接触器 K_{28} 线圈的自保持回路，从而将交直流控制电源全部切除，电梯将停止运行或不能起动。

4. 读信号电路图

电梯的信号电路图，如图 5.2.12 所示。图 5.2.12

5.2.12

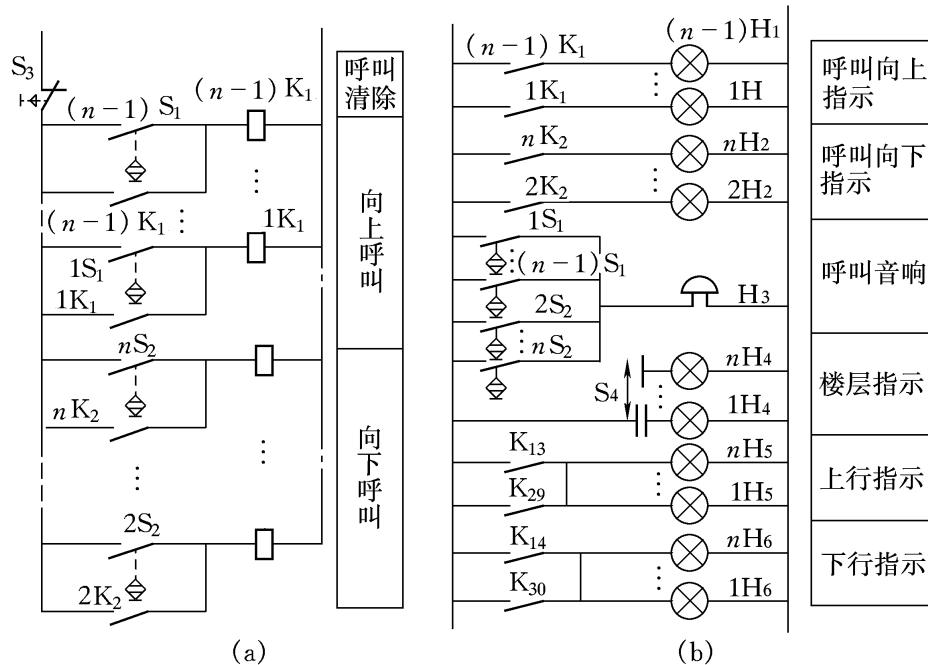


图 5.2.12 电梯的信号电路图

厅外呼叫记忆指示。看图 5.2.12

$2S_1$ 、...、 $(n-1)S_1$ (顶层无向上呼叫按钮) $1K_1$ 、 $2K_1$ 、...、 $(n-1)K_1$ 通电吸合，其一对动合触点闭合自锁。再看图 5.2.12 $1K_1$ 的另一对动合触点闭合后使轿厢内对应的指示灯 $1H_1$ 、 $2H_1$ 、...、 $(n-1)H_1$ 亮，达到呼叫记忆的目的。同时，在按下呼叫按钮 S_1 或 S_2 的同时，轿厢内的电铃 H_3 发出音响指示。消除呼叫灯光指示，只需在轿厢内按一下消号按钮 S_3 即可。向下呼叫情形与向上呼叫类似，只是底层无向下呼叫按钮而已。

轿厢位置指示。在各层门厅门上侧装有轿厢位置指示灯 $1H_4 \sim nH_4$ ，用来指示轿厢停层层数。由图 5.2.12 K_{13} 的动触点与轿厢运行过程中与各层静触点碰触时而亮的。

轿厢的行向指示。各层厅外的“上行”、“下行”箭头指示灯是由上行、下行继电器 K_{13} 、 K_{14} 的动合触点和上行、下行辅助接触器 K_{29} 、 K_{30} 的动合触点联合控制的。如电梯上行时

K_{13} 、 K_{29} 接通，其动合触点闭合，使各层厅门上方的“上行”箭头指示灯 $1H_5$ 、 $2H_5$ 、...， nH_5 全部亮，为各楼层指示轿厢是向上的方向。电梯下行时亦然。

小 结

电路和电气设备的设计、安装、调试与维修，都要有相应的电气图作为依据和参考。电气图是根据国家标准局制订的图形符号和文字标准，按照规定的画法绘制出的图纸。它是电气工程技术的通用语言，电气操作人员必须掌握识读电气用图的基础知识，能够照图施工，才能保证工程质量，提高工作效率。

电气控制接线图是表示电气设备或装置电连接关系的简图，是安装接线、线路检查和线路维修的主要依据。电气控制原理图并非按电气元器件的实际外形和位置来绘制，而是按控制中的作用画在相应的位置上。

思 考 题

- 5.1 电气控制原理图由哪几部分组成？
- 5.2 常用电气用图有哪几种？
- 5.3 电路图的作用是什么？
- 5.4 各种电气原理图的读图步骤是什么？
- 5.5 接线图和接线表的作用是什么？
- 5.6 电梯电气图中主电路是由哪几种电路组成？
- 5.7 电气图读图的基本要求和一般步骤是什么？

第 6 章

变 压 器

本章首先介绍变压器的基本知识，然后学习变压器的主要技术数据和运行特性，最后介绍特种变压器和小型变压器的制作。

6.1 变压器的基本知识

变压器是一种根据电磁感应原理制成的电器设备。它广泛应用于电力系统和电子线路中，在测量系统中也是一种不可缺少的电路设备。

6.1.1 变压器的分类与作用

变压器是一种十分常见的电气设备。按其用途的不同可分为电力变压器和特殊变压器两大类。应用于电力系统变配电的变压器称为电力变压器，常见的有升压变压器、降压变压器、配电变压器和联络变压器等。如果是针对某种特殊需要而制造的变压器，称为特殊变压器。例如，矿用防爆变压器、整流变压器、高压试验变压器、仪用变压器、自耦变压器、电焊变压器、音频变压器、高压变压器和电炉变压器等等。

此外，根据变压器的铁心结构，可分为壳式和心式两种；根据电源的相数可分为单相变压器和三相变压器；按冷却方式可分为油冷变压器和空气变压器等。

上述各种变压器有不同的用途。但其作用都相同——改变交流电压、交流电流、交换阻抗以及改变相位等。

6.1.2 变压器的技术指标

要正确使用变压器，必须首先搞清楚变压器的有关技术指标：

1. 型号

由字母和数字组成，字母表示的意义为：

S 表示三相，D 表示单相，K 表示防爆，F 表示风冷等。例如，S9 - 500/10，S9 表示三相变压器的系列，它是高效节能变压器；500 表示容量，单位为千伏安电压，单位为千伏

2. 连接组别

Y/Y₀ 表示三相变压器的接法及高低压绕组线电压之间的相位关系。例如，Y/Y₀ - 12，Y 表示高压绕组呈星形联结，Y₀ 表示低压绕组呈星形联结且有中线，12 表示一次、二次绕组线

电压的相位相同，即同相。关于三相变压器绕组的连接方法，以后再进一步介绍。

3. 阻抗电压

变压器的一个绕组短路，另一个绕组输入电压使一次、二次绕组的电流分别达到额定值，则该输入电压为阻抗电压，或称为短路电压。

4. 额定电压

变压器铭牌上有两个额定电压，即一次侧额定电压和二次侧额定电压。

一次侧额定电压是指一次侧正常工作时的电压，它是根据变压器的绝缘程度和允许的发热条件决定的。使用时，电源的电压必须与一次侧电压相等，否则变压器不能正常工作。

二次侧额定电压是指一次侧加上额定电压后二次侧的空载电压。

5. 额定电流

额定电流是指根据变压器允许的发热条件而规定的电流值，使用时变压器的电流不应超过额定值。对于三相变压器，额定电流是指线电流。

6. 额定容量

以变压器二次绕组的额定视在功率表示，它反映变压器正常工作运行时可能传输的最大电功率。单位为 kVA 或 MVA。忽略损耗，额定容量可表示如下：

$$\text{单相} \quad S_N = U_{2N} I_{2N} = U_{1N} I_{1N}$$

$$\text{三相} \quad S_N = 3 U_{2N} I_{2N} = 3 U_{1N} I_{1N}$$

式中： U_{1N} 、 U_{2N} 及 I_{1N} 、 I_{2N} 分别为一、二次侧的额定线电压、额定线电流。

6.2 特种变压器及变压器产品

6.2.1 电源变压器

在电子仪器中，一般都有电源变压器，以便将电网交流电压变成所需要的数值不同的电压，经过整流后再变成直流电压，供给电子线路使用。电源变压器的容量不大，一般为几十伏安。

1. 结构

电源变压器的铁心是由硅钢片叠压而成。硅钢片有热轧和冷轧两种。热轧硅钢片通常冲制成 E 字形，绕组套在中间柱上，做成壳式，如图 6.2.1 所示。冷轧硅钢片的导磁性能有方向性，顺着碾压方向导磁能力强，所以先将其卷成环状，然后切成两半成 C 形，将绕组分别套在两边，最后再将两半铁心合在一起，用抱箍包装，如图 6.2.2 所示。

2. 绕组的接法

电源变压器往往具有多个绕组。例如，图 6.2.3 中的变压器就有两个一次绕组和两个二次绕组，使用时根据需要可进行串联或并联。然而在串联或并联时，必须注意绕组的同名端。

在图 6.2.3 中， i_{ab} 和 i_{cd} 分别从绕组的 a 端和 c 端流入，那么铁心中产生的磁通 Φ_{ab} 和 Φ_{cd} 是互相增强的，所以 a 端和 c 端便称为这两个绕组的同名端。不对应的两端 a 和 d 则为异名端。显然，f 端与 h 端也是同名端。可以看出，从所有的同名端送入电流时，在同一铁心中产生的磁通都是互相增强的。

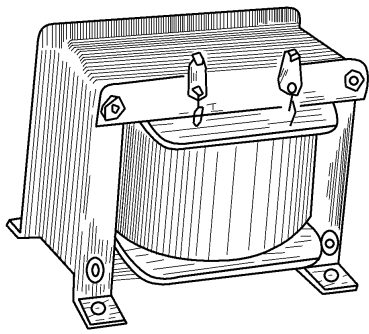


图 6.2.1 壳式电源
变压器的外形

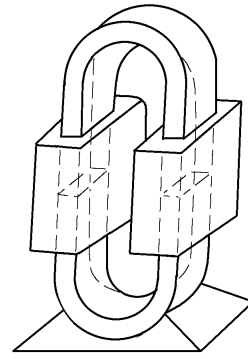


图 6.2.2 C形电源
变压器外形

在变压器的符号图上，常用小圆点作为绕组同名端的标志，如图 6.2.3

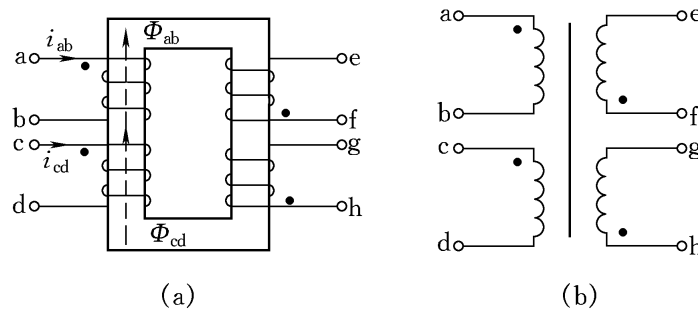


图 6.2.3 多绕组变压器

实际上同名端也反映了变压器各绕组电动势的相位关系。因为一、二次绕组是在同一铁心上，被同一磁通所较连。故当磁通交变时，在各绕组中的感应电动势之间有固定的相位关系。例如，当某一绕组的同名端在某一瞬间的极性为正时，另一绕组的同名端在该瞬间的极性也为正。所以同名端又称为同极性端。

了解变压器绕组的同名端以后，便能进行绕组的串联或并联。

在图 6.2.4 中，若一次绕组 ab 和 cd 的额定电压都是 110 V，而电源电压为 220 V，则应将 b、c 端

那么任何瞬间两个绕组中产生的磁通量都将互相抵消。由于没有磁通，所以一次绕组的感抗等于零。其结果是空载电流很大，变压器迅速发热而烧毁。

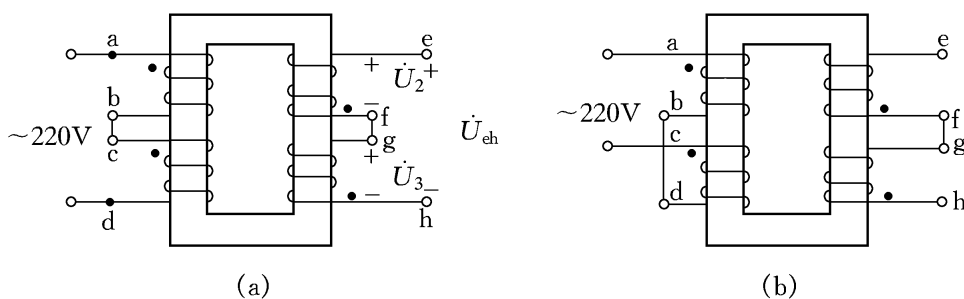


图 6.2.4 绕组的串联

另外，二次绕组有时也可串联起来使用。例如，在图 6.2.4

e、h 端电压 $\dot{U}_{eh} = \dot{U}_2 + \dot{U}_3$ 。

上述变压器接在 110 V 的电源上使用，则应按图 6.2.5 所示的方式接线，即一次绕组的两个同名端相连。此时输入总电流为每个绕组电流的两倍。

现在再来讨论二次绕组的并联。在图 6.2.6 中，设两个二次绕组的电压都是 U_2 ，此时若将它们的同名端并联，则输出电压 $U_{eh} = U_2$ ，而输出电流为每个绕组电流的两倍。

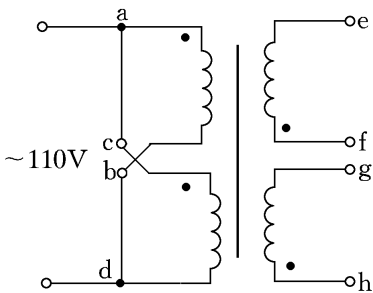


图 6.2.5 一次绕组的并联

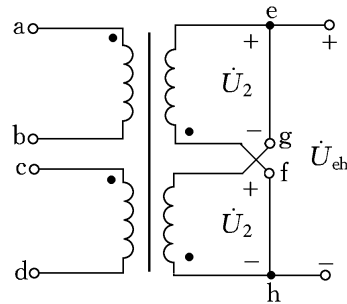


图 6.2.6 二次绕组的并联

6.2.2 自耦变压器

自耦变压器的结构特点：二次绕组是一次绕组的一部分，而且一、二次绕组不但有磁的耦合，还有电的联系，如图 6.2.7 所示。其一、二次绕组的电压比也等于匝数比。

$$k_z = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

式中： k_z 为自耦变压器的电压比。

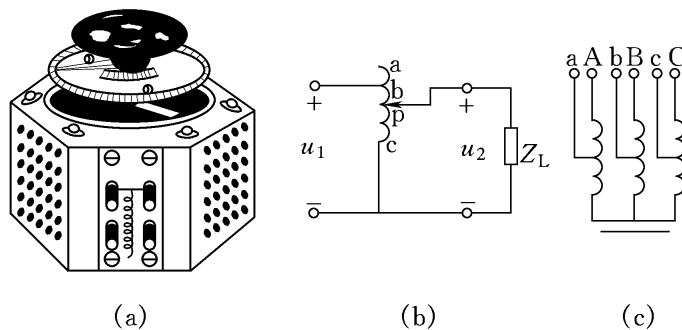


图 6.2.7 自耦变压器

实验室中常用的调压器就是一种可改变二次绕组匝数的特殊自耦变压器，它可以均匀地改变输出电压。图 6.2.7 所示就是单相自耦变压器的外形和原理电路图。除了单相自耦变压器之外，还有三相自耦变压器。

使用自耦变压器时应注意：输入端接交流电源，输出端接负载。不能接错，否则有可能将变压器烧毁。使用完毕后，手柄应退回零位。

6.2.3 电焊变压器

电焊变压器的工作原理与普通变压器相同，但它们的性能却有很大差别。电焊变压器的一、二次绕组分别装在两个铁心柱上，两个绕组漏抗都很大。电焊变压器与可变电抗器组成交流电焊机，如图 6.2.8

$i_2 = 0$ ， i_1 很小，漏磁通很小，电抗器无压降，有足够的电弧点火电压，其值约为 60 ~ 80 V；焊接开始时，交流电焊机的输出端被短路，但由于漏抗且有交流电抗器的感抗作用，短路电流虽然较大但并不会剧烈增大。

焊接时，焊条与焊件之间的电弧相当于一个电阻，电阻上的压降约 30 V。当焊件与焊条之间的距离发生变化时，相当于电阻的阻值发生了变化，但由于电路的电抗比电弧的阻值大得多，所以焊接时电流变化不明显，保证了电弧的稳定燃烧。

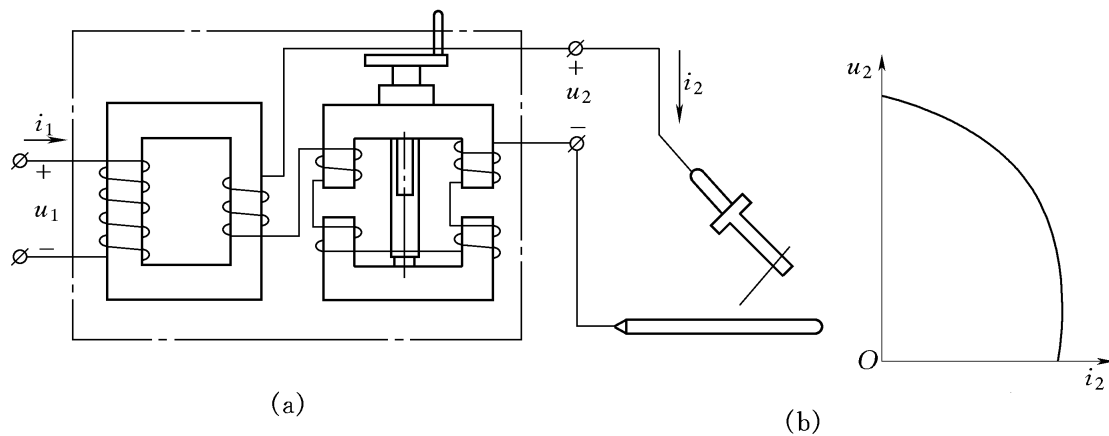


图 6.2.8 电焊变压器

当焊接不同的焊件需要不同的焊接电流时，通过调节可变电抗器大小来满足要求。

6.2.4 脉冲变压器

脉冲数字技术已广泛应用于计算机、雷达、电视、数字显示仪器和自动控制等许多领域。在脉冲电路中常用变压器进行电路之间的耦合、放大及阻抗变换等，此种变压器称为脉冲变压器。图 6.2.9 为一个脉冲变压器的简图。

对于脉冲变压器的要求是输出的电压和电流的脉冲波形畸变最小。为此应尽量增加励磁电感减小漏磁电感，故它的线圈匝数很少，而铁心使用高频下导磁率较高的铁氧体或坡莫合金。

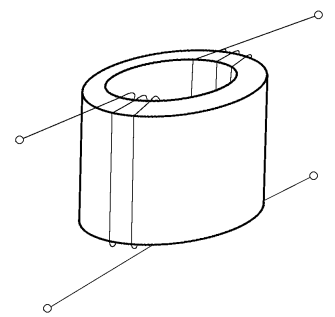


图 6.2.9 脉冲变压器简图

6.2.5 仪用互感器

配合测量仪表专用的小型变压器，称为仪用互感器。使用互感器的目的在于扩大仪表的测量范围和使仪表与高压隔开而保证仪表安全使用。仪用互感器分为电压互感器和电流互感器。

1. 电压互感器

电压互感器是一台小型降压变压器。一次侧与被测电压并联，二次侧与电压表相接，如图 6.2.10

$$U_1 = \frac{N_1}{N_2} U_2 = k_U U_2$$

所以由电压表读出 U_2 再乘以匝数比 k_U ，就得到高压侧的电压，一般电压互感器的二次侧额定电压为 100 V，例如额定电压等级有 6 kV/100 V，10 kV/100 V 等。

使用电压互感器时，为了保证人员安全，高压电路与仪表之间应有良好的绝缘材料隔开；而且铁心与二次侧的一端应安全接地，以免一次侧绝缘击穿而引起触电；运行时二次绕组不应短路。

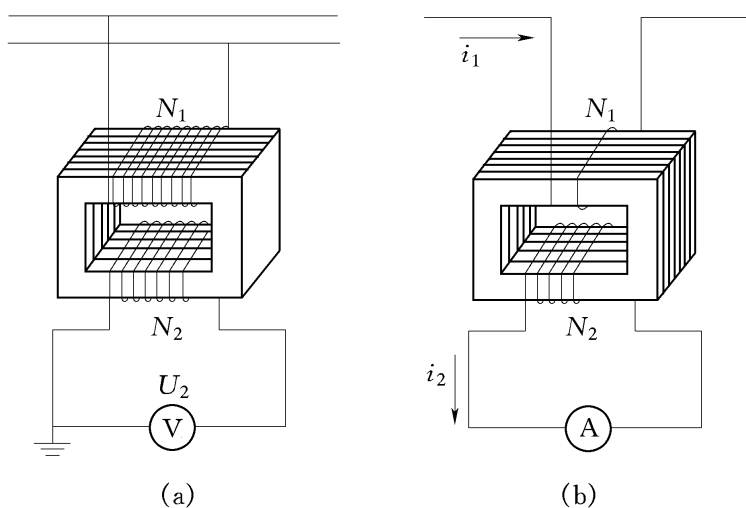


图 6.2.10 仪用互感器

2. 电流互感器

电流互感器是一台小型升压变压器。一次侧与被测电流串联，二次侧与电流表相接，如图 6.2.10

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1} I_2 = k_I I_2$$

电流互感器二次侧的额定电流一般为 5 A，例如 100 A/5 A，3 000 A/5 A 等。

使用电流互感器时应注意：二次绕组不能开路，否则会产生高压，击穿线圈，而且 $N_1 I_1$ 不变，会产生很大磁通，使铁心升温，严重时烧毁互感器。同时，考虑安全因素，要求二次绕组一端与铁心共同接地。

6.3 小型变压器的设计与制作

实际应用中，经常要用到各类小功率电源变压器，购买市售产品往往参数满足不了要求，这就需要根据实际情况，自己动手，设计绕制，因此，掌握小型变压器的设计及绕制技术是电专业学生的一项基本技能。

6.3.1 小型变压器的设计方法

1. 变压器设计的内容及方法

变压器的设计，大致要解决以下几个问题：

确定变压器的功率。

确定变压器铁芯截面、选用型号及规定尺寸。

确定绕组的每伏匝数。

确定各绕组匝数及导线直径。

小型变压器的设计有算法及图解法两种方法。这里为突出技能训练，采用比较简单的图解法，它适用于 1 kV·A 以下小型变压器的设计。

2. 小型变压器功率的确定

变压器总输出功率为二次侧各绕组输出功率之和。对于图 6.3.1 所示变压器绕组，有：

$$P_2 = U_{21} I_{21} + U_{22} I_{22} + \dots + U_{2n} I_{2n}$$

而变压器的输入功率 P_1 略大于输出功率，即： $P_1 = P_2 / \eta$ 这里， η 为变压器效率，小功率变压器一般取为 0.8 ~ 0.9。

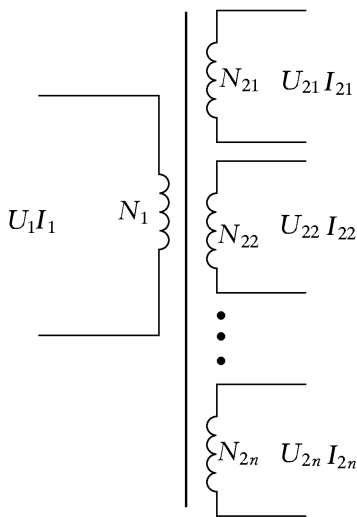


图 6.3.1 变压器绕组

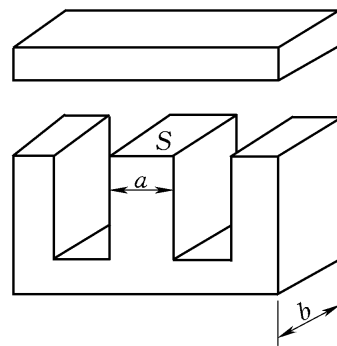


图 6.3.2 变压器的铁心

3. 变压器的铁心截面的选型及规格尺寸的确定

根据输出功率可决定变压器的铁心截面积。

变压器的铁心截面积定义为： $S = a \times b$ ， a 为舌宽， b 为铁心叠厚，如图 6.3.2 所示。

对于设计输出功率为 P_2 的变压器，可由图 6.3.4 变压器所需的铁心截面积，一般选取 $b = (1 \sim 2) a$ ，由此可确定变压器的舌宽并估算叠厚 b 的大小，根据表 6.1 选定某一型号规格的硅钢片，尺寸示意如图 6.3.3 所示。

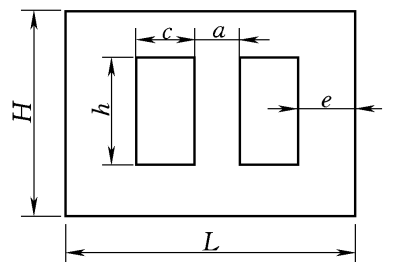


图 6.3.3 变压器的硅钢片

表 6.1 常用小功率硅钢片型号

硅钢片型号	尺寸/mm					
	<i>L</i>	<i>H</i>	<i>h</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>e</i>
GEI - 14	50	43	25	9	14	9
GEI - 16	56	48	28	10	16	10
GEI - 19	67	57.5	33.5	12	19	12
GEI - 22	78	67	39	14	22	14
GEI - 26	94	81	47	17	26	17
GEI - 30	106	91	53	19	30	19

4. 绕组的每伏匝数的确定

在确定绕组的每伏匝数之前,必须先估算一下硅钢片的质量,即估计硅钢片的磁通密度 B 的值。如硅钢片薄而脆,则它的导磁性能较好,反之厚而软,则性能较差。一般 B 在 0.7~1 T 之间选取。

在确定了硅钢片的 B 值以后,可在图 6.3.4 点间画一直线,它与图 6.3.4 (b)

B 及 P_2 两

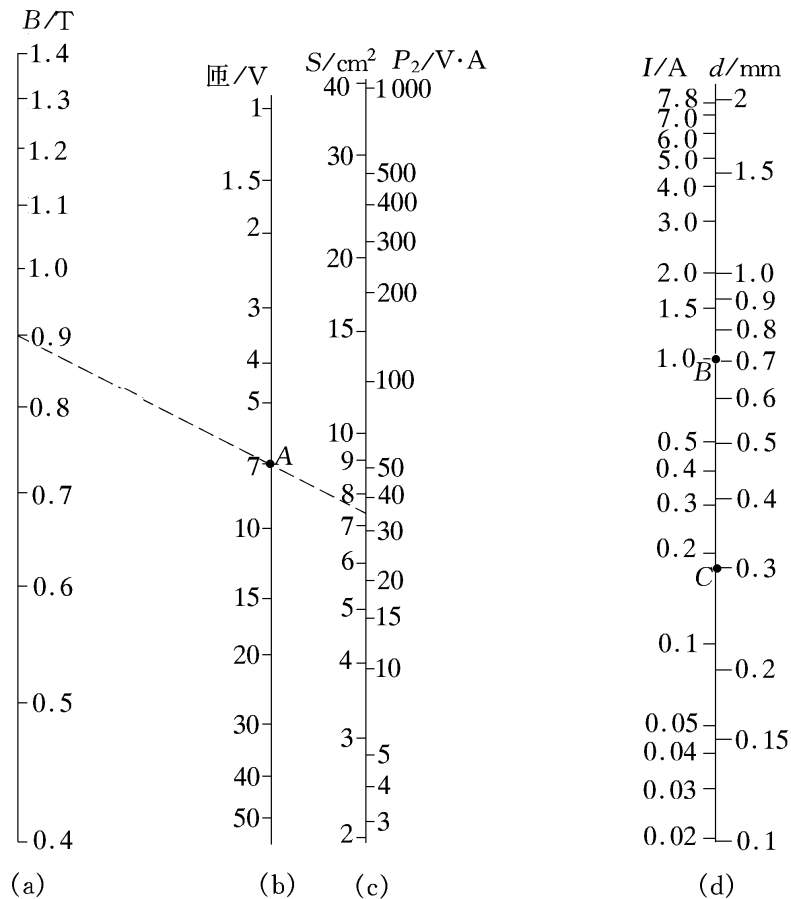


图 6.3.4 1 kV·A 以下小型变压器图解法

5. 各绕组匝数及导线直径的确定

各绕组的匝数 $N_i = \text{各绕组所需电压} \times \text{每伏匝数}$

各绕组的线径，可在图 6.3.4

例 设变压器输入电压为 220 V，要求输出双 18 V 电压，输出额定电流为 1 A，取铁心 $B = 0.9\text{T}$ ，如图 6.3.5 所示，试设计变压器参数。

解： $P_2 = 2 \times 18 \times 1\text{ W} = 36\text{ W}$ 。

由图 6.3.4

$S = 7.5\text{ cm}^2$ ，由

表 6.1 选取 GEI - 22 型号铁心，则舌宽 $a = 2.2\text{ cm}$ ，叠厚 $b = 7.5/2.2\text{ cm} = 3.4\text{ cm}$ ，且满足 $b = (1 \sim 2)a$

在图 6.3.4 (c) $P_2 = 36\text{ W}$ 点与图 6.3.4 $B = 0.9\text{ T}$ 点间画一直线，此直线与图 6.3.3

各绕组匝数为： $N_1 = 220 \times 7 = 1540$ 匝； $N_{21} = N_{22} = 18 \times 7 = 126$ 匝。

导线直径由图 6.3.3 (d) $d_{21} = d_{22} = 0.72\text{ mm}$ ，因 $P_1 = P_2 / \eta$ ，取 $\eta = 0.9$ ，则：

$P_1 = 36/0.9\text{ W} = 40\text{ W}$ ， $I_1 = P_1 / U_1 = 40\text{ W} / 220\text{ V} = 0.18\text{ A}$ ，由图 6.3.3 $d = 0.3\text{ mm}$ 。

小功率变压器的技术参数也可由

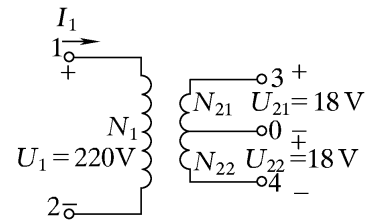


图 6.3.5 变压器设计例图

6.3.2 变压器线圈的绕制

1. 绕制前的准备工作

材料准备：除了根据设计要求选取变压器铁心、漆包线外，还需准备好一些绝缘材料，主要有绝缘纸

制作骨架用的胶木或树脂板

工具准备：小型绕线机、电烙铁、剪刀等。

2. 木芯的制作

木芯套在绕线机转轴上支撑绕组骨架，通常用杨木或杉木，按铁心尺寸 $a \times b$) 6.3.6 所示。图中， $a = a + \delta$ ， $b = b + \delta$ ， $h = h + \delta$ ，木芯中间孔直径为 10 mm，必须钻得正直，否则绕线时会发生晃动，绕组不易绕平齐。

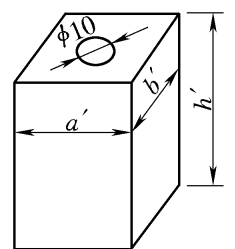


图 6.3.6 变压器

木芯

3. 骨架的制作

先按图 6.3.7 所示，用 1.0 mm 胶木板或树脂板制成相应形状，然后拼装组合即可，此又称为活络框架。

将木芯及骨架套在绕线机轴上并固定好，且安排好漆包线放线架，使它能顺利放线。

漆包线的起头与结尾均需先压入一条细的黄蜡带或青壳纸，如图 6.3.8

以便抽紧起头与结尾。绕组中抽头可按图 6.3.8

导线要求绕得紧密而整齐，绕制时应向绕组前进的相反方向微拉约 5° 左右，绕制过程需有一定的速度和力度，并尽量保持均匀，如图 6.3.9 所示。初次练习时，允许一次绕组有些

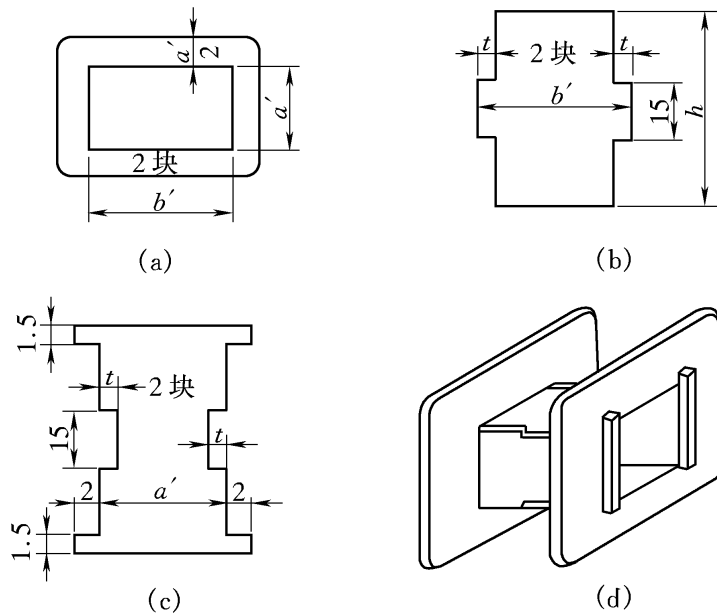


图 6.3.7 变压器骨架
 t ——夹板厚度，图中尺寸均为mm

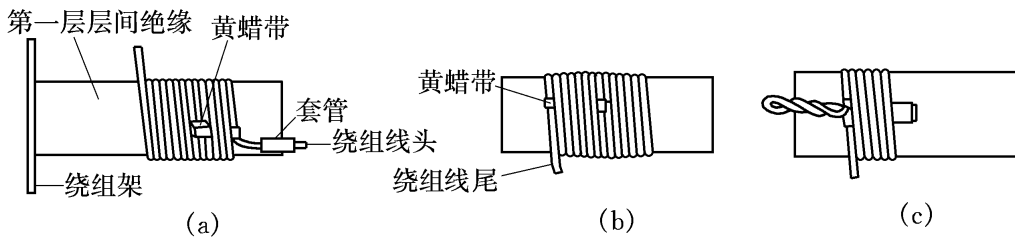


图 6.3.8 漆包线的绕制

叠线，而二次绕组则不允许。

一次侧由于导线较细，可不加层间绝缘，但一次绕组与二次绕组之间需加青壳纸很好绝缘，且二次绕组层间需加绝缘纸绝缘，对电子仪器中使用的变压器，一、二次绕组之间还需加静电屏蔽层。

装配铁心。铁心镶片要求紧而牢，如铁心太松，易发热或产生嗡嗡振动声。插片时需一片一片交叉对插，开始时较容易，越往后由于间隙变小，插片就越是困难，必须小心操作，防止碰坏绕组的绝缘甚至折断绕组。

成品测试分空载测试和加载测试。

空载测试：一次侧接入额定电压，二次侧不接负载，正常时，二次侧电压应比设计电压输出值高，如出现变压器发烫、冒烟等现象，说明设计、绕制有问题，应立即断电。可测量一次侧的直流电阻并与正常值对比，如太小，则说明绕制匝数不够或绕制间有短路，还可以检查铁心截面是否过小或太松。

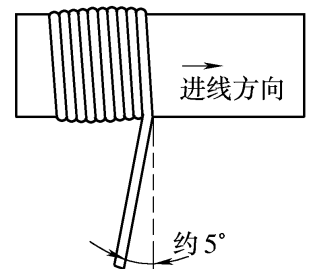


图 6.3.9 绕制过程示意图

加载测试：变压器二次侧接入 100 Ω /1 A 滑线变阻器，调变阻器阻值，使负载电流逐步达到额定值，二次侧电压应接近额定值而不能下降得太多，且变压器不能太烫手（热属正常）

小 结

本章主要介绍了变压器的结构、分类、用途及变压器的额定值运用。

介绍了应用电压变换、电流变换和阻抗变换公式解决变压器应用方面的问题。还介绍了自耦变压器、仪用互感器、电焊变压器和脉冲变压器的特性，使用中应注意的问题。最后为提高应用技能又介绍了小型变压器的设计及制作方法。

思 考 题

- 6.1 变压器负载运行时为什么二次侧的电压一般不等于额定电压 U_N ？
- 6.2 220/110 V 的变压器，可否用于 440 V 电路作降压变压器用或用于 220 V 电路作升压变压器用？
- 6.3 自耦变压器主要优点是什么？
- 6.4 电流互感器二次侧开路会出现什么问题？
- 6.5 电压互感器二次侧接线要注意什么问题？
- 6.6 电焊变压器焊接时，若需要较大电流，电抗器气隙应调大还是调小？
- 6.7 已知一台自耦变压器的额定容量为 15 kV·A， $U_N = 220$ V， $N = 880$ ， $U_{2N} = 200$ V。试求：
应在线圈的何处抽出一线端？
满载时 I_1 和 I_2 各是多少？

第 7 章

直流电动机与特殊电动机

本章主要介绍直流电动机与特殊电动机，二者之间有一定的联系，某些特殊电动机在工作原理上与直流电动机是一样的，特性也大致相同，只是用途、外观、体积等有所不同。直流电动机着重于研究起动和运行状态，其主要任务是能量转换，因此被广泛用于对起动和调速性能要求高的生产机械上，如轧钢机、龙门刨床、起重机械、电力机车等。而特殊电动机着重于研究输出量的大小、特性的精度和快速反应，其主要任务是转换和传递控制信号。特殊电动机容量一般从数百毫瓦到数百瓦，在大功率控制系统中，容量可达数千瓦。

7.1 直流电动机

本节主要介绍直流电动机的基本结构、工作原理、基本运行特性和常见故障及处理方法。

7.1.1 直流电动机的基本结构

直流电动机主要由定子、转子两大部分组成，如图 7.1.1 所示。

1. 定子

定子是直流电动机的静止部分，主要由主磁极、换向磁极、机座、端盖和电刷装置等部件组成，如图 7.1.2 所示。

主磁极由磁极铁心和励磁线圈组成，作用是励磁绕组中通入直流电流，建立恒定磁场。换向磁极由换向极铁心和线圈组成，作用是产生一个附加磁场，改善电动机的换向。机座起机械支撑和导磁作用。端盖上固定轴承和电刷装置。电刷装置是直流电动机的一个重要部件，通过它把转子电路与外部静止电路相连接。

2. 转子

转子是直流电动机的转动部分，主要由电枢铁心、电枢绕组和换向器组成，如图 7.1.3 所示。

电枢铁心用相互绝缘、导磁性能良好的硅钢片叠压而成，是直流电动机磁路的一部分。电磁铁心的开槽中嵌电枢绕组，即转子的电路，其作用是感应电势、流通电流并产生电磁转矩。换向器由许多换向片组成，如图 7.1.4 所示，是直流电动机的特有装置，它与电刷相互作用，将外部的直流量变换成交流量提供给转子电路。

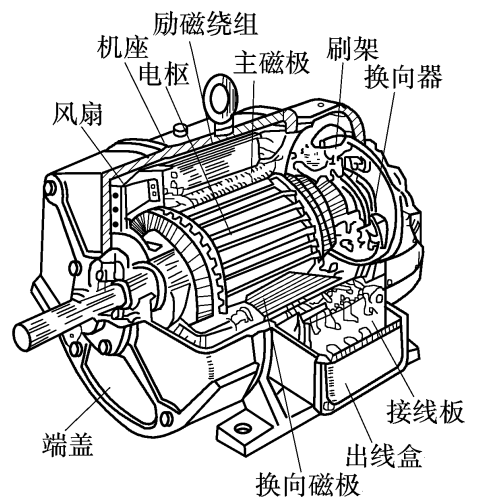


图 7.1.1 直流电动机的基本结构

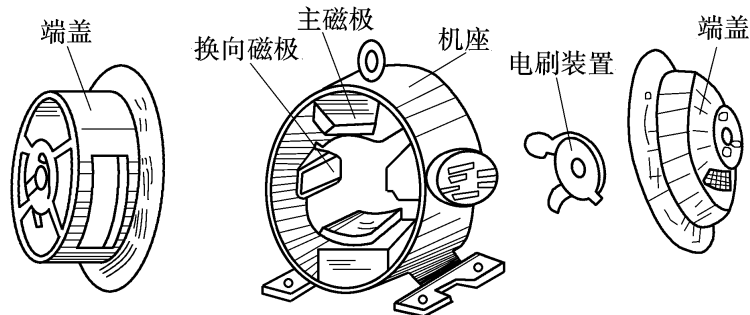


图 7.1.2 定子的组成部件

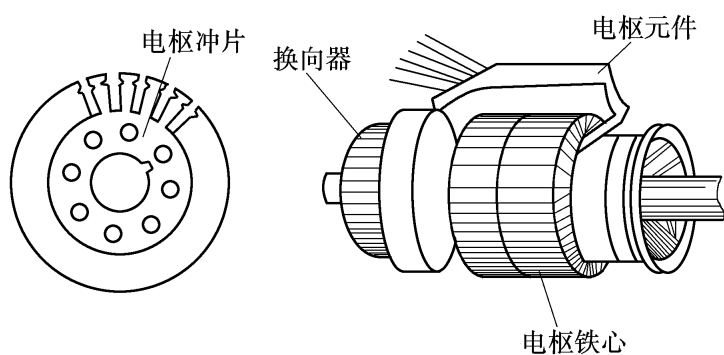


图 7.1.3 直流电动机的转子

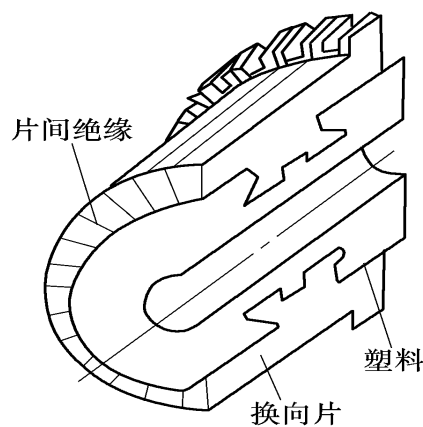


图 7.1.4 换向器结构图

7.1.2 直流电动机的工作原理

1. 转动原理

直流电动机的工作原理与交流电动机一样，同样是利用电磁感应原理，即载流导体与磁场的相互作用产生电磁转矩。直流电动机可简化成如图 7.1.5 所示的模型来说明其工作原理。

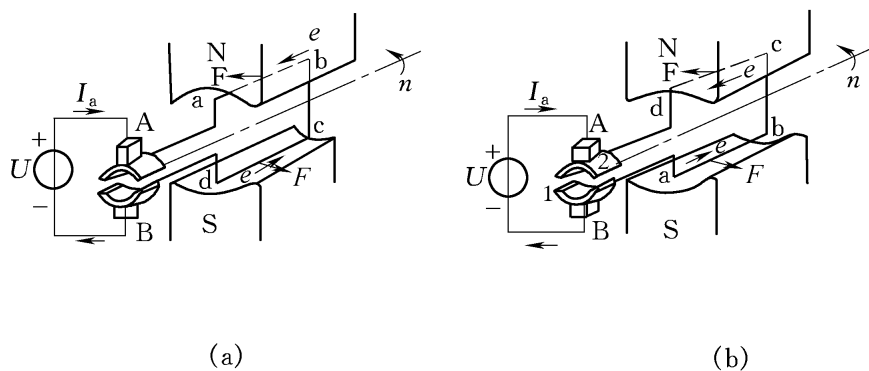


图 7.1.5 直流电机的工作原理图

图中 N、S 是主磁极，采用直流电源励磁，建立恒定磁场。电枢绕组中只有一个线圈，两个引出端分别接在两个换向片上，换向片和电枢绕组随转子转动，电刷 A、B 固定不动，分别压在 1、2 两个换向片上，如图 7.1.5

当直流电压加在 A、B 电刷两端时，A 刷为正极，B 刷为负极，电源电流 I_a 从电刷 A 流入，经过换向片 1、线圈 abcd、换向片 2 由电刷 B 流出，与电源形成一个回路。电枢绕组的两个有效载流导体边 ab、cd 在磁场的的作用下，产生电磁力，由左手定则可判定 ab 边受力方面向左，cd 边

受力方面向右，这一对力偶产生电磁转矩，方向为逆时针方向，驱动电枢逆时针旋转。

电枢转过 180° 后，如图 7.1.5

极下。两个换向片与电刷的接触同时变换，换向片 1 脱离电刷 A，转到电刷 B 下，换向片 2 脱离电刷 B，转到电刷 A 下。此时，电流 I_a 经电刷 A、换向片 2、线圈 dcba、换向片 1、电刷 B 与电源形成回路。可见电枢绕组中电流的方向发生了反向，有效导体 ab、cd 上所受电磁力的方向反向，但线圈所产生的电磁转矩方向不变，仍是逆时针方向，所以电枢绕组的旋转方向不变。

从以上分析可得出，换向器的作用是将电源的直流量，变换成电枢绕组中的交流量，以保证同一磁极下线圈有效导体中的电流方向不变，产生的电磁力方向不变，使电磁转矩方向恒定，电动机转子能按一定的方向连续旋转。

2. 电磁转矩

根据电磁力定律，电枢绕组通入电流后，每根有效导体所受的电磁力大小为

$$F = Bli \quad (7.1.1)$$

式中： B 为磁感应强度，大小与一个磁极的磁通量成正比； l 为载流导体的有效长度； i 为导体中的电流。

电动机电磁转矩的大小由电枢绕组所有有效导体所受到的电磁力的共同作用所决定。因此电磁转矩 T 的大小可表示为

$$T = K_T I_a \quad (7.1.2)$$

式中： I_a 为电枢绕组中电流的有效值，单位为安 (A) 为一个磁极的磁通量，单位为韦 (Wb) K_T 为与电动机结构有关的常数， T 的单位牛·米 (N·m)

由式 电磁转矩 T 的大小与每极磁通量 和电枢电流 I_a 成正比，电磁转矩 T 的方向由电磁力 f 的方向决定， f 与 I_a 的关系满足左手定则。

3. 电枢电势及平衡方程

电枢旋转，电枢绕组切割磁场，导体中会产生电动势 e ，电动势有效值的大小为

$$E = Blv$$

式中： v 为导体运动的线速度； l 为导体的有效长度，为一常数； B 为磁感应强度，与一个磁极的磁通量成正比。电枢绕组两电刷间的总电动势为

$$E_a = K_E n \quad (7.1.3)$$

式中： K_E 为与电动机结构有关的常数； 为一个磁极的磁通量，单位为韦 (Wb) n 为电枢的转速，单位为转每分 (r/min) E_a 的单位为伏

电动势 E_a 的方向，又称为反电动势，可根据右手定则判定。

电枢电路如图 7.1.6 所示，可写出电枢回路的电压平衡方程

$$U = E_a + I_a R_a \quad (7.1.4)$$

式中： R_a 为电枢绕组电阻。

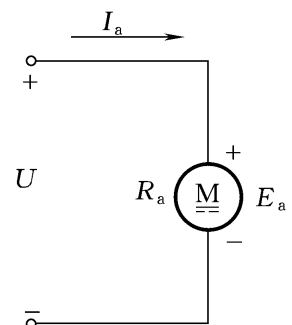


图 7.1.6 直流电动机的电枢电路

7.1.3 直流电动机的铭牌和分类

1. 直流电动机的分类

直流电动机可按结构、用途、容量大小和励磁方式的不同进行分类。这里介绍按励磁方式的分类方法。如图 7.1.7 所示，可分为他励、并励、串励和复励四种。

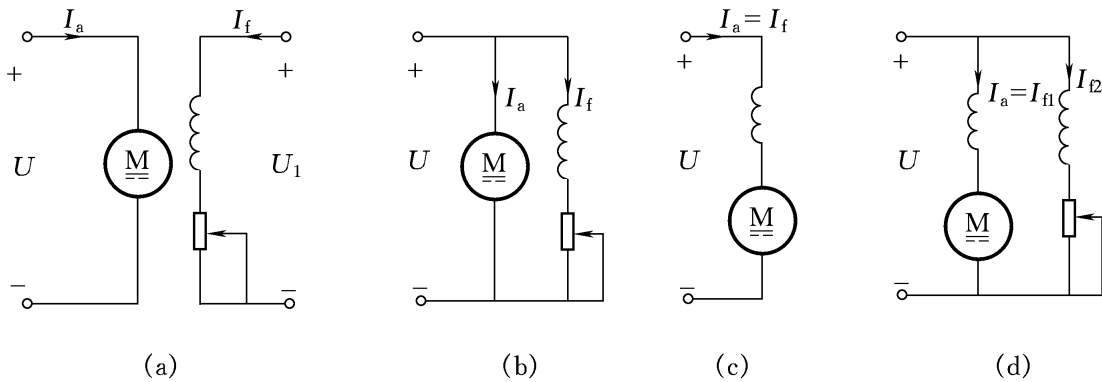


图 7.1.7 按励磁方式分类接线图

他励的励磁绕组由单独的励磁电源提供，如图 7.1.7 联系。

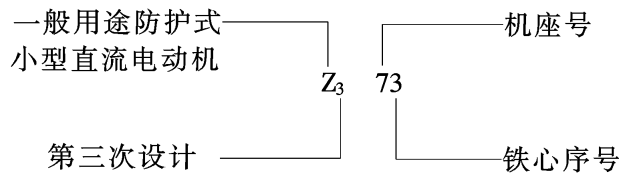
并励的励磁绕组与电枢绕组并联，由同一个电源供电，如图 7.1.7 等于电枢电流 I_a 与励磁电流 I_f 的和。

$$I = I_a + I_f \quad (7.1.5)$$

串励的励磁绕组与电枢绕组串联，由一个电源供电，如图 7.1.7 I_f 与电枢电流 I_a 相同。

复励的励磁绕组分两部分，一部分为并励绕组与电枢绕组并联，一部分为串励绕组与电枢绕组串联，如图 7.1.7

2. 直流电动机的铭牌数据



额定功率 P_N (kW)

额定电压 U_N (V)

额定电流 I_N (A)

额定转速 n_N (r/min)

额定励磁电流 I_{fN} (A)

除此之外，额定值还有额定效率 η_N ，额定转矩 T_N ，额定温升 θ_N 等。

直流电动机的额定输入功率 $P_{1N} = U_{1N} I_{1N}$ ，额定输出功率与额定电压、额定电流的关系为

$$P_N = U_{1N} I_{1N} \eta_N = U_N I_N \quad (7.1.2)$$

额定转矩 T_N 的大小可根据额定功率 P_N 和额定转速 n_N 来确定

$$T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} \quad (7.1.3)$$

式中： P_N 的单位是 kW； n_N 的单位是 r/min； T_N 的单位是 N·m。

额定温升 C_N 由绝缘材料的等级决定。

例 7.1 一台 Z₂52 直流电动机， $P_N = 13$ kW， $U_N = 220$ V， $\eta_N = 0.86$ ， $n_N = 3000$ r/min，试求该电动机的 P_{1N} 、 I_N 、 T_N 。

解：已知 $P_N = 13$ kW， $\eta_N = 0.86$

输入功率 $P_{1N} = \frac{P_N}{\eta_N} = \frac{13 \times 10^3}{0.86} \text{ kW} = 15.12 \text{ kW}$

额定电流 $I_N = \frac{P_N}{U_N \eta_N} = \frac{13 \times 10^3}{220 \times 0.86} \text{ A} = 68.71 \text{ A}$

额定转矩 $T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \frac{13}{3000} \text{ N} \cdot \text{m} = 41.38 \text{ N} \cdot \text{m}$

7.1.4 直流电动机的运行特性

1. 机械特性

直流电动机的机械特性是指电动机的转速 n 与电磁转矩 T 间的关系，即 $n = f(T)$ 。以他励电动机为例，根据式 7.1.3) 7.1.4)

$$E_a = K_E n$$

$$E_a = U - I_a R_a$$

可得电动机的转速为

$$n = \frac{E_a}{K_E} = \frac{U - I_a R_a}{K_E} \quad (7.1.8)$$

由式 7.1.8) 可得 I_a 与电磁转矩 T 的关系

$$T = K_T I_a$$

将 $I_a = \frac{T}{K_T}$ 代入式 7.1.8)

$$n = \frac{U}{K_E} - \frac{R_a}{K_T K_E} T = n_0 - K T \quad (7.1.9)$$

式中： n_0 为理想空载转速， $n_0 = \frac{U}{K_E}$ ； $K = \frac{R_a}{K_T K_E}$ 为一常数，反映机械特性的曲线斜率。

如图 7.1.8 所示，是他励直流电动机的机械特性曲线，由于 R_a 很小，负载增大使电枢电流 I_a 增大时， R_a 上的压降 $R_a I_a$ 增加很少，因此转速下降很少。他励直流电动机的机械特性曲线是一条略向下倾斜的直线。

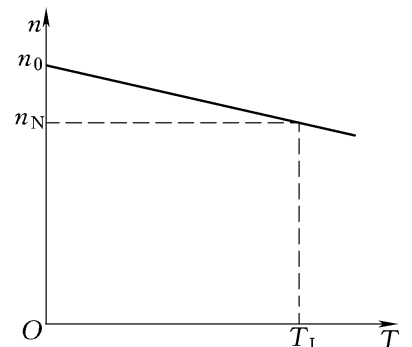


图 7.1.8 他励的机械特性曲线

并励直流电动机的励磁电流 I_f 为

$$I_f = \frac{U}{R_f}$$

由于励磁电流很小，在额定电压的作用下，励磁电流 I_f 对电枢电流 $I_a = I - I_f$ 的影响很小。由于并励和他励两种励磁方式的励磁电流都不受负载变化的影响，因此并励和他励直流电动机的机械特性差别不大。

图 7.1.9 中分别画出了并励，串励和复励电动机的机械特性。串励电动机励磁电流与电枢电流相同 $I_f = I_a$ ，负载增大时励磁电流随之增大，磁通量在不考虑饱和影响时，与励磁电流成正比增大

$$= K I_a$$

电磁转矩

$$T = K_T I_a = K_T K I_a \quad ($$

将上式代入

$$\begin{aligned} n &= \frac{U}{K_E K I_a} - \frac{R_a}{K_E K} = \frac{U}{K_E K \frac{T}{K_T K}} - \frac{R_a}{K_E K} \\ &= \frac{U}{K_E \frac{K}{K_T} T} - \frac{R_a}{K_E K} \quad (\end{aligned}$$

作出机械特性曲线如图 7.1.9 中曲线 3 所示，是一条随负载增大 转速下降很快的软特性。而轻载时，转速很高，严重时会出现飞车现象，因此串励直流电动机不允许在空载或轻载下运行。

复励直流电动机的机械特性介于并励与串励之间，如图 7.1.9 中曲线 2 所示。

例 7.2 一台并励直流电动机，额定数据 $P_N = 15 \text{ kW}$ ， $U_N = 110 \text{ V}$ ， $\eta_N = 0.83$ ， $R_a = 0.05$ ， $R_f = 25$ ， $n_N = 1800 \text{ r/min}$ ，试求： 额定电流； 励磁电流；

额定电磁转矩。

解：

$$P_N = 15 \text{ kW}, \text{ 效率 } \eta_N = 0.83$$

$$\text{额定输入功率 } P_{1N} = \frac{P_N}{\eta_N} = \frac{15}{0.83} \text{ kW} = 18.07 \text{ kW}$$

$$\text{额定电流 } I_N = \frac{P_{1N}}{U_N} = \frac{18.07 \times 10^3}{110} \text{ A} = 164.29 \text{ A}$$

$$\text{励磁电流 } I_f = \frac{U_N}{R_f} = \frac{110}{25} \text{ A} = 4.4 \text{ A}$$

$$\text{电枢电流 } I_a = I_N - I_f = (164.29 - 4.4) \text{ A} = 159.89 \text{ A}$$

$$\text{反电动势 } E_a = U_N - I_a R_a = U_N - (I_N - I_f) R_a = (110 - 159.89 \times 0.05) \text{ V} = 102 \text{ V}$$

$$\text{电磁转矩 } T = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{15}{1800} \text{ N}\cdot\text{m} = 79.58 \text{ N}\cdot\text{m}$$

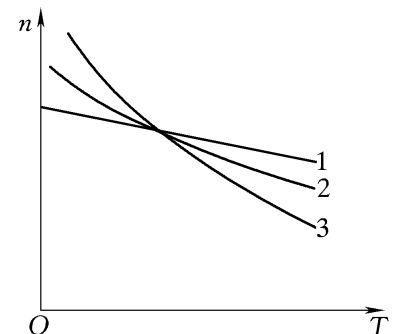


图 7.1.9 直流电动机的机械特性

1——并励；2——复励；3——串励

2. 工作特性

以并励电动机为例，工作特性是指：当 $U_N = \text{常数}$ ， $I_f = \text{常数}$ 时， n ， T ， η 与 I_a 或 P_N 的关系曲线，如图 7.1.10 所示。

转速特性 $n = f(I_a)$ ，是反映电动机转速随负载变化的曲线，因 $T \propto I_a$ ，所以速率特性与机械特性曲线相似，是一条略微下降的直线。

转矩特性 $T = f(I_a)$ $T = K_T I_a$ ，当 I_f 一定时，不变， $T \propto I_a$ ，负载增大时转矩与之平衡，因此曲线为一条上升的直线。

效率特性 $\eta = f(I_a)$ 中含有随负载电流变化的可变损耗和不随负载电流变化的不变损耗，当两部分损耗相等时，效率达到最大值。

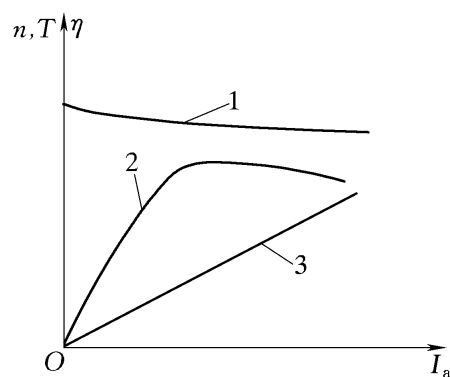


图 7.1.10 并励电动机的工作特性
1——转速特性；2——效率特性；
3——转矩特性

7.1.5 直流电动机的使用

直流电动机作为驱动机械时，与交流电动机一样，生产机械也有对起动、制动和调速性能的要求。并励直流电动机在拖动中用得最为广泛，以并励电动机为例介绍直流电动机的起动、制动和调速。

1. 起动

直流电动机起动的基本要求有：
 1. 起动电流 I_{st} 通常为额定电流的 1.5 ~ 2.5 倍；
 2. 起动转矩 T_{st} 足够大；
 3. 结构简单、经济、可靠。
 直流电动机起动的方有：
 1. 直接起动；
 2. 电枢回路串电阻起动。

(1) 直接起动

直接起动是在不采取任何限流措施的情况下，电枢绕组直接接额定电压起动。

起动瞬间，转子转速 $n = 0$ ，电枢绕组的反电动势 $E_a = K_e n = 0$ ，在加额定电压时电枢的起动电流 I_{st} 为

$$I_{st} = \frac{U - E_a}{R_a} = \frac{U}{R_a} \quad (7.1.12)$$

由于 R_a 很小，此时起动电流可达额定电流的 10 ~ 20 倍，可能在换向器上产生火花而损坏换向器，这是不允许的。

起动转矩 $T_{st} \propto I_{st}$ ，所以它的起动转矩也很大，产生较大的机械惯性，可能造成生产机械的机械性损伤。因此直接起动只允许用于容量很小的电动机中。

为了限制起动电流，可在电枢绕组的回路中串入适当的限流电阻 R_{st} ，如图 7.1.11 所示。

起动瞬间， $n = 0$ ， $E_a = 0$ ，起动电流

$$I_{st} = \frac{U}{R_a + R_{st}} \quad (7.1.13)$$

在起动过程中，随着电动机转速的升高，逐渐切除起动电阻，直到正常运行时全部切除。

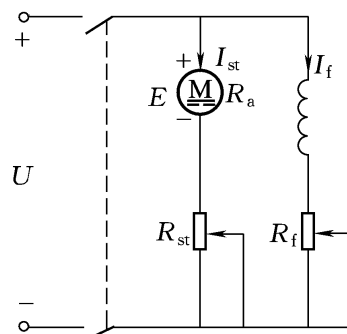


图 7.1.11 电枢回路串电阻

并励直流电动机起动和运行时必须注意，励磁绕组要可靠连接，不允许开路，否则磁通接近于零 $E_a = K_E n$ 也接近于零，使电枢电流 $I_a = \frac{U}{R_a}$ 骤增，绕组可能被烧毁。电磁转矩 $T = K_T I_a$ 很小，起动时无法起动。

在有可调电源的情况下，可采用降压起动，以限制起动电流。随着转速的升高，电压也随之升高，直到额定电压下稳定运行。这种方法多用于发电机 - 电动机组。降压起动的优点是起动电流小，可平滑起动，能耗小。

例 7.3 一台并励直流电动机， $P_N = 10 \text{ kW}$ ， $U_N = 220 \text{ V}$ ， $I_N = 0.8$ ， $R_a = 0.3$ ，试求：
直接起动时的起动电流；
限制起动电流为 $I_{st} = 2 I_N$ ，电枢回路应串多大的起动电阻？

解： 额定电流 $I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{10 \times 10^3}{220 \times 0.8} \text{ A} = 52.85 \text{ A}$

直接起动的起动电流 $I_{st} = \frac{U_N}{R_a} = \frac{220}{0.3} \text{ A} = 733.33 \text{ A}$
 $\frac{I_{st}}{I_N} = \frac{733.33}{52.85} = 13.88$

限制起动电流 $I_{st} = 2 I_N$ 时

$$\frac{U_N}{R_a + R_{st}} = 2 I_N$$

起动电阻 $R_{st} = \frac{U_N}{2 I_N} - R_a = \frac{220}{2 \times 52.85} - 0.3 = 1.78$

2. 反转

要改变直流电动机的旋转方向，必须改变电磁转矩的方向，由式 $T = K_T I_a$ 可知，电磁转矩的方向由主磁通 Φ 和电枢电流 I_a 共同决定，其一改变方向，都能使电磁转矩反向，电动机反转。

由于励磁绕组的电感较大，换接时会产生很高的自感电动势，使操作不安全。因此在实际使用中通常采用改变电枢电流的方向来达到电动机反转的目的。

3. 调速

根据式

$$n = \frac{U}{K_E} - \frac{R_a}{K_T K_E^2} T$$

可知，在负载不变的情况下，改变端电压 U 、电枢电阻 R_a 和励磁电流 I_f (式中未直接给出) 可进行调速。

在他励直流电动机中，保持负载转矩不变，额定励磁不变，电枢回路电阻不变，降低电枢端电压，电动机的理想空载转速 $n_0 = \frac{U}{K_E}$ 减小，而降压后机械特性的斜率 $K = \frac{R_a}{K_T K_E^2}$ 不变，因此可得一组降压调速后的机械特性，如图 7.1.12 所示，是一组平行的直线。随着电压的降

低，转速也降低。为保证电动机的绝缘不受损坏，通常只采用降压调整。

调速过程中，负载转矩不变。当端电压下降时，电枢电流 I_a 减小，电磁转矩 $T = K_T I_a$ 也减小，使负载转矩 $T_L > T$ ，转速下降。此时反电动势 $E_a =$

$K_E n$ 也随之减小，使电枢电流 $I_a = \frac{U - E_a}{R_a}$ 回升，电磁转矩也回升，直到与负载转矩相平衡。

降压调速的优点：

机械特性的硬度不变，调速时电动机运行的稳定性好，能在低速下稳定运行。

当电压平滑调节时，可无级平滑调速。

调速范围宽。

调压电源可兼做起动电源。

缺点是需专用可调直流电源，设备投资大。

由于以上优点，降压调速在直流拖动系统中应用很广，对串励电动机也是适用的。随着电力电子技术的发展和计算机的应用，在调速精度要求很高的生产机械上，已广泛采用计算机控制的可控整流降压调速装置，并可直接使用交流电源供电。

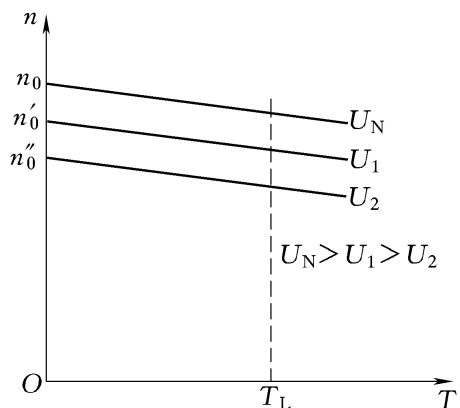


图 7.1.12 降压调速的机械特性

以并励电动机为例，由式

小励磁电流使磁通减少，其理想空载转速 $n_0 = \frac{U}{K_E}$ 增大，斜率 $K = \frac{R_a}{K_E K_T^2}$ 也增大，得一组机械特性曲线如图 7.1.13 所示，可看出励磁减小时，转速升高。

调速过程中，负载转矩不变，当励磁电流 I_f 减小使磁通减少时，开始瞬间由于机械惯性转速 n 不变，反电动势 $E_a = K_E n$ 减小，电枢电流 $I_a = \frac{U - E_a}{R_a}$ 增大，电磁转矩 $T = K_T I_a$ 由于 I_a 的增大远比磁通减小明显得多，使 T 随之增大并大于负载转矩 T_L ，电磁转矩 T 拖动电动机转速 n 上升，转速提高后，反电动势 E_a 回升，使电枢电流 I_a 减小，电磁转矩 T 也减小直到与负载转矩相平衡。

为保证电动机磁路不至过饱和，改变励磁电流通常是从额定励磁向下调，也就是转速升的方向。

改变励磁调速的优点：

可在励磁回路串电阻来调节励磁，因此控制方便，设备简单、经济。

能平滑调速，可达到无级调速。

机械特性硬度较好，运行的稳定性较好。

但是，由于受到电动机机械强度和换向的限制，转速不允许调得过高，一般约为 $1.5)n_N$ ，特殊设计的弱磁调速电动机，可达到 n_N 。

带额定负载调速达到新的稳定运行后，由于磁通的减小，只有电枢电流增大超过额定值才能使电磁转矩 $T = K_T I_a$ 保持与负载转矩 T_L 的平衡，这是不允许的，因此弱磁调速当电枢电

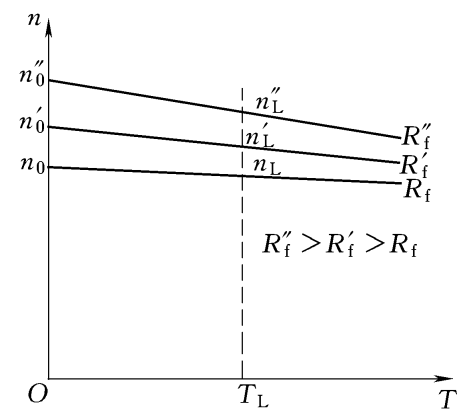


图 7.1.13 变励磁调速的机械特性

流超过额定值时，必须减小负载转矩，这种调速方法适合于拖动恒功率负载，如切削车床的粗、细加工，轧钢机等。

他励直流电动机，广泛采用弱磁调速和降压调速联合使用的方法，使调速范围更宽。

直流电动机拖动恒转矩负载运行时，保持电源额定电压和额定励磁不变，而在电枢绕组中串入调节电阻，可得一组机械特性曲线，如图 7.1.14 所示，是一组过 n_0 点的直线。因为电枢回路串电阻后，电动机的理想空载转速 $n_0 = \frac{U}{K_E}$ 不变，机械特性的斜率 $K = \frac{R_a + R}{K_E K_T}$ 增大，使特性变软。

调速过程中，电枢电阻增大时，电枢电流 I_a 减小，电磁转矩 $T = K_T I_a$ 下降，此时负载转矩 T_L 不变，使 $T_L > T$ ，负载转矩使电动机转速 n 下降。随着转速下降，反电动势 $E_a = K_E n$ 减小，使电枢电流 $I_a = \frac{U - E_a}{R_a - R}$ 回升，电磁转矩 $T = K_T I_a$ 增大，直到与负载转矩 T_L 相等，达到新的平衡，由于电阻增大，所以电枢回路串电阻调速只能从基本转速向下调。

调速过程中，电枢电阻增大时，电枢电流 I_a 减小，电磁转矩 $T = K_T I_a$ 下降，此时负载转矩 T_L 不变，使 $T_L > T$ ，负载转矩使电动机转速 n 下降。随着转速下降，反电动势 $E_a = K_E n$ 减小，使电枢电流 $I_a = \frac{U - E_a}{R_a - R}$ 回升，电磁转矩 $T = K_T I_a$ 增大，直到与负载转矩 T_L 相等，达到新的平衡，由于电阻增大，所以电枢回路串电阻调速只能从基本转速向下调。

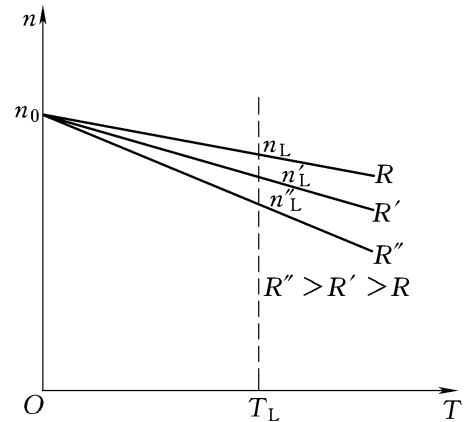


图 7.1.14 电枢串电阻调速的机械特性曲线

电枢串电阻调速的优点是：

设备简单，操作容易。

当调节电阻可平滑调节时，可达无级调速。

调速电阻可兼作起动电阻。

缺点：

特性变软，运行的稳定性下降。

损耗大，效率低，不经济。

轻载运行时，调速范围不大。

因此电枢串电阻调速的方法很少使用。

例 7.4 一台他励直流电动机，额定数据为： $P_N = 13 \text{ kW}$ ， $U_N = 440 \text{ V}$ ， $I_N = 33.3 \text{ A}$ ， $n_N = 1500 \text{ r/min}$ ， $R_a = 0.8 \Omega$ 。在负载转矩为额定值不变的条件下，试求下列两种情况，电动机的转速 n 和电枢电流 I_a 。

励磁不变，电枢电压减小 20%。

电枢电压不变，励磁减少 10%。

解：

$$U_a \quad U_N = 0.8 \times 440 \text{ V} = 352 \text{ V}$$

$$K_E = \frac{U_N - I_N R_a}{n_N} = \frac{440 - 33.3 \times 0.8}{1500} = 0.28$$

因为 T_L 不变，负载转矩恒定，电磁转矩不变，所以电枢电流 I_a 也不变。

电压降低后的转速为

$$n = \frac{U - I_a R_a}{K_E} = \frac{352 - 33.3 \times 0.8}{0.28} \text{ r/min} = 1162 \text{ r/min}$$

磁通减少 10%

$$= (1 - 0.1) = 0.9$$

因 $T = K_T I_a = T_L$ 不变

电枢电流

$$I_a = \frac{T}{K_T} = \frac{T}{0.9 K_T} = \frac{1}{0.9} I_N = \frac{1}{0.9} \times 33.3 \text{ A} = 37 \text{ A}$$

磁通减小后的转速

$$n = \frac{U_N - I_a R_a}{K_e} = \frac{440 - 37 \times 0.8}{0.9 \times 0.28} \text{ r/min} = 1629 \text{ r/min}$$

4. 制动

为了减速或迅速停车，直流电动机也需进行制动。制动方法与异步电动机相似，可采用机械制动和电气制动，直流电动机的电气制动方法有三种：

回馈制动。三种方法的共同特点是，在不改变原励磁方向的情况下，改变电枢电流的方向，以获得与电动机转向相反的制动性质的电磁转矩。

能耗制动采用图 7.1.15 所示电路，制动时，电枢绕组从电网断开，并立即接到一个制动电阻 R 上。此时电动机励磁不变，电动机转子因惯性继续旋转，并在电枢绕组中感应电动势 E_a ，电枢电流 $I_a = \frac{-E_a}{R_a + R}$ ，反向，向制动电阻供电。电磁转矩 T 因 I_a 的反向使其反向成为与电枢旋转方向相反的制动转矩。制动过程中，电动机储存的动能转换成电能全部消耗在电枢电阻和制动电阻上，故称为能耗制动。

能耗制动操作简便、经济但在低速时制动转矩很小，使制动停机时间较长，通常在速度下降到一定值时加机械制动抱闸，使电动机更快停转。

在正、反转频繁，要求快速停车的生产设备中，常采用反接制动。图 7.1.16 所示为并励电动机的反接制动的接线图，可见改变电枢电压方向时，保持了励磁方向不变。

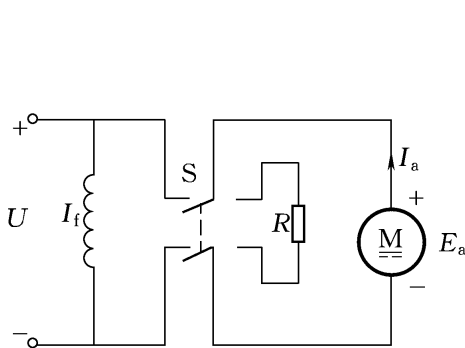


图 7.1.15 并励电动机能耗制动接线图

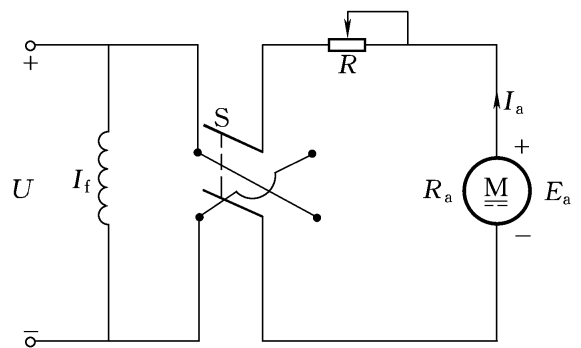


图 7.1.16 反接制动的接线图

制动时，电枢电压反向与反电动势 E_a 同方向，此时电枢中会立即产生很大的反向电流 $I_a = \frac{-(U + E_a)}{R_a}$ ，随之产生很大的方向与电枢旋转方向相反的电磁转矩，使电动机迅速停车。

由于 R_a 很小, $(U + E_a) \gg (U - E_a)$ I_a 非常大, 接近两倍的堵转短路电流, 会对电网造成影响, I_a 所产生的电磁力还会使电枢绕组造成机械破坏, 因此采用反接制动时, 在电枢端电压反接的同时, 必须在电枢回路中串入足够大的限流电阻。

反接制动转速下降到零时, 必须迅速断开电源, 否则电动机会反向起动。

反接制动操作简便, 但能量损耗大, 不经济, 这是因为制动过程中, 电网提供的能量和电动机储存的动能全部消耗在电枢的绕组电阻和限流电阻上了。

在起重机下放重物、电动机下坡等场合, 电动机的转速可能超过理想空载转速, 此时电枢的反电动势 $E_a = K_e n$ 增高而大于电枢端电压 U , 使 $U - E_a < 0$ $I_a = \frac{U - E_a}{R_a} < 0$ 反向, 电动机进入发电机状态运行, 电磁转矩也随电枢电流的反向而反向成为制动转矩, 限制转速的增高。这时电动机将负载的动能转换成电能回送给电网, 因此称其为“回馈制动”。这种制动方法经济性好。

7.1.6 直流电动机的常见故障及处理方法

直流电动机的换向器是直流电动机中最易出现故障的部件, 而且维修困难。其次是定、转子绕组。

本小节分别介绍换向器和定、转子绕组常见故障及处理方法。

1. 换向故障

直流电动机的换向故障主要有换向产生火花, 严重时出现环火, 换向器受损, 电刷损坏等, 分别介绍如下。

火花是电刷与换向器间的电弧放电现象, 是换向不良的明显标志, 微小火花不会损坏电动机, 火花严重时可能产生环火, 会造成电枢绕组部分或全部短路, 而损坏电动机。产生火花的原因可分三类: 电磁原因、机械原因和负载与环境原因。

电磁原因: 主要是由于换向元件合成电动势不为零, 使换向元件产生附加电流, 换向时使电刷边电流密度增大, 元件的电磁能以火花的形式释放出来。

电枢绕组开焊或匝间短路, 使电路不对称, 造成严重火花。

电刷不在几何中心线上, 使换向元件处在主极区内, 感应电动势, 造成换向时产生火花。

机械原因: 机械原因很多, 主要有换向器偏心或变形; 换向器表面粗糙; 换向片突出变形; 片间绝缘突出等都会造成电刷与换向器的接触不良产生火花。

电枢动平衡不好, 振动等原因也造成电刷与换向器的接触不良产生火花。

电刷与刷握的间隙不合适, 电刷压力不当, 电刷材质不合适等, 影响滑动接触, 产生火花。

负载与环境原因: 主要有严重过载, 带冲击性负载等而造成换向困难产生火花。

环境湿度、温度过高或过低, 油雾、有害气体、粉尘量过高等破坏换向器表面氧化膜的平衡而影响正常滑动接触, 产生火花。

根据不同的原因, 处理方法有:

电磁原因的处理方法: 检查换向器的励磁绕组是否正常励磁; 处理电枢绕组的短路和

开焊；将电刷移动至几何中性线上。

机械原因的处理方法：车圆、车光换向器，保证电刷与换向器的良好接触；校平衡消振；调整刷握间隙和弹簧压力；选择合适牌号的电刷。

负载与环境原因的处理方法：使负载在电动机的额定范围内，否则更换合适功率的电动机；改善环境条件，加强通风避免温度过高；防止油雾、粉尘和潮气进入电机，使换向器表面的氧化膜保持平衡。

环火是恶性事故，出现环火时，正、负极电刷之间有电弧飞越，换向器表面出现一圈弧光，此时电弧的高温和具有的能量不仅会严重损坏换向器和电刷，而且会造成电枢绕组的短路，并且危及操作和维修人员的安全。

环火产生的主要原因有：
或带严重的冲击负载；

处理故障的方法：更换片间绝缘；注意维护保养，保持清洁；清除短路、开焊和过电压；改善换向。

2. 绕组故障及原因

绕组中包含有定子绕组和转子绕组。

定子绕组中包含有主极励磁绕组、换向极励磁绕组和补偿绕组。转子绕组是电枢绕组。

运行时绕组常见的故障有：绕组过热，匝间短路、接地，绝缘电阻下降以及极性错接等。

绕组过热的主要原因有：通风散热不良；过载和匝间短路。

匝间短路的主要原因有：匝间绝缘老化；长期过载运行；过电压以及受到冲撞损坏使匝间绝缘受损。

定子绕组接地的原因有：绝缘受损是最常见的；线圈、铁心等槽口的尖毛刺对地击穿；绕组受潮绝缘电阻过低等。

绝缘电阻下降的主要原因有：绕组绝缘受潮；绝缘表面积有粉尘、油污；化学腐蚀气体影响等。

励磁绕组极性错接，使电动机的电磁转矩减少，造成起动困难。换向极绕组极性错接，会造成换向困难，换向火花大。

7.2 单相异步电动机

单相异步电动机由单相电源供电，它广泛地应用于家用电器和医疗器械中，如电扇、电冰箱、洗衣机、医疗器械中都使用单相异步电动机。

7.2.1 基本结构

单相异步电动机由定子和转子两大部分构成。定子上一般有两个绕组，即主绕组和副绕组，一个为工作绕组，另一个为起动绕组。绕组可分为分布式和集中式两种。

当绕组中通入单相交流电时便产生一个交变的脉动磁场。这个磁场没有旋转的性质，转子不能自行起动。但用外力使转子往任一方向旋转时，转子便会按外力作用的方向旋转起来。据

此设计了各种起动方法。按起动方法分类，单相异步电动机一般可分为罩极式、分相式、电容式等，分述如下：

1. 罩极式单相异步电动机

罩极式单相异步电动机的定子为罩极式，定子绕组绕在凸极上，在每个极掌的一端开有一小槽，槽中放置短路环。间装有导磁的薄钢片称为槽楔，主要用于减少气隙中磁场分布曲线的畸变。

当磁场线圈的电流和磁通由零值开始增加时，根据电磁感应定律，罩极线圈中的感应电流所产生的磁通和主磁通方向相反，阻止磁感线的增加，结果大部分磁感线通过未罩部分，而被罩部分却只有少量的磁感线通过，这时磁场的中心线接近未罩部分的中心，当磁场线圈的电流逐渐上升到最大值时，由于电流和磁通变化最小，罩极线圈的感应电流为零，于是磁感线均匀地通过整个磁极，这时磁场的中心线便移到极面的中心。当磁场线圈的电流由最大值逐渐减小时，根据电磁感应定律，罩极线圈中感应电流产生的磁通与主磁通方向相同，被罩部分通过较多的磁感线，此时磁场的中心线移到被罩部分。当负半周电流通过电磁场线圈时，情况与上述相似，只是磁极改变磁性而已，因此形成了一个旋转磁场，转子在这个旋转磁场的作用下转动起来。

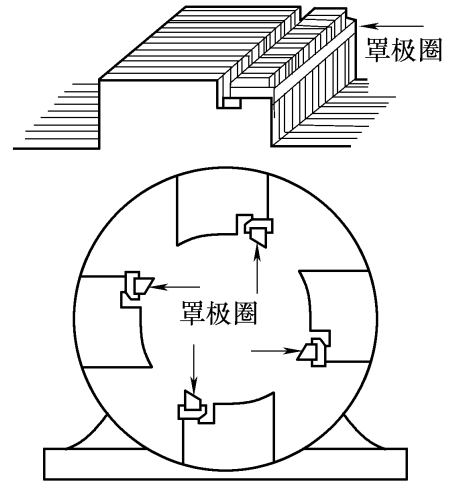


图 7.2.1 罩极式电动机定子结构示意图

罩极式单相电动机结构简单，但起动转矩小，只能在很轻的负载下起动，多用于风扇中。

2. 分相式单相异步电动机

分相式单相异步电动机的定子采用矢槽式，转子为笼型。在定子上有两组分布式绕组：工作绕组和起动绕组。工作绕组置于槽的下层，起动绕组置于槽的上层，它们沿圆周错开一定的空间角

7.2.2 所示。这种电动机有一个离心式起动开关如图 7.2.3 所示。

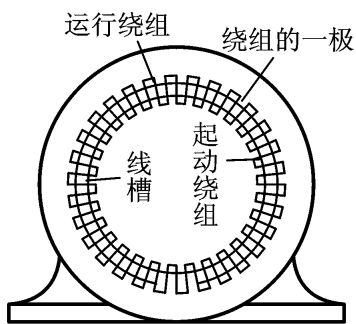


图 7.2.2 分相式电动机定子结构

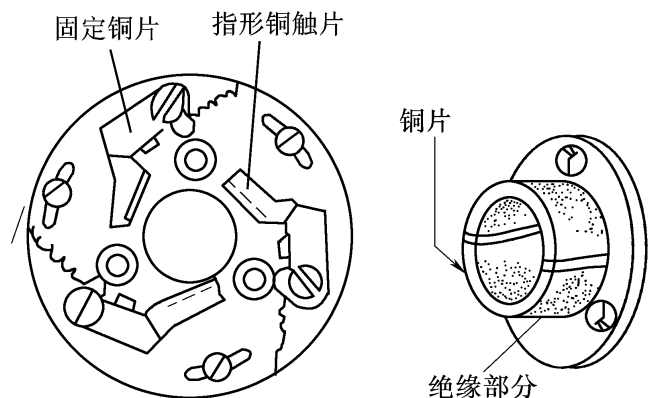


图 7.2.3 离心式起动开关的结构

离心式起动开关的固定部分是两块互相绝缘的铜片，起动绕组的一端和电源的一端分别焊接在铜片上。固定部分装在电动机前端盖内部，转动部分则装在转子的前端，靠弹簧拉力，指

形铜触片压在固定铜片上。因此，不论转动部分转到任何位置，总有一根铜触片把固定的铜片接通，从而使起动绕组接通电源。当电动机达到额定转速的 75% 时，离心力大于弹簧力，三块指形铜触片升起，断开起动绕组的电源。在严重过载时其转速会显著降低，当转速低于额定值的 75% 时，起动绕组再次接通电源，若电动机继续运转，则起动绕组易烧坏。起动开关亦可用装在机壳外面的按钮来代替。

一、二次绕组不仅空间位置相差 90° 电角度，而且工作绕组的导线较粗、匝数较多，因而电阻较小电感较大；而起动绕组的导线较细、匝数较少，故电阻较大电感较小。因此，两绕组并接于单向交流电源后，通过它们的电流相角相差较大，形成一个旋转磁场，拖动转子转动起来。离心开关脱开后电动机继续运行。

由于一、二次绕组的阻抗都是感性的，因此两相电流的相位差不可能很大，更不可能达到 90°，由此产生的旋转磁场椭圆度较大，所以产生的起动转矩较小，起动电流较大。

3. 电容式单相异步电动机

电容式单相异步电动机的结构和工作原理跟分相式电动机基本相似，不同的是起动绕组中串接有电容器。只要电容器容值选择恰当，两绕组的参数设计合理，则可使起动绕组的电流超前工作绕组的电流 90°，从而形成一个旋转磁场。

7.2.2 常用单相异步电动机型号介绍

常用单相异步电动机型号有 G 系列单相串励、YC 系列单相电容起动、BO2 系列分马力单相电阻起动、CO2 系列分马力单相电容起动、DO2 系列分马力单相电容运转异步电动机。

1. G 系列单相串励异步电动机

本系列电动机是按照 JB1135 - 70 标准生产的最新产品。它具有较大的初转矩和过载能力，转速随负载和端电压的变化而改变

(低)

晶闸管调速。

该系列电动机具有转速高、体积小、重量轻、输出功率大、调速方便等特点，广泛用于家电、医疗器械、邮电设备、电动工具、化工机械、小型机床以及仪器仪表中。其型号说明如下：

G 45 2 8

转速代号，8 表示 8 000 r/min

铁心长度代号

机座号

系列代号

G 系列电动机为开启扇冷式结构，机壳、端盖结构材料有铸铝、钢板、铸铁三种，轴承采用精密单列向心球轴承，定、转子用低耗优质硅钢片，绕组用 E 级绝缘高强度漆包线。

2. BO2 系列分马力单相电阻起动异步电动机

BO2 系列分马力单相电阻起动异步电动机广泛用作小型机床、鼓风机、医疗器械、工业缝纫机、排风扇等的驱动设备，本系列按照国家标准并吸取国际上同类产品的优点设计、制造，具有结构简单、运行可靠、维护方便及技术经济指标优异等特点。其型号说明如下：

极数
铁心长度代号
机座号
设计序号
系列代号

BO2 系列电动机的冷却方式为 ICO141，外壳防护等级为 IP44，采用 E 级绝缘材料，绕组具有良好的绝缘性能与机械强度。接线盒装在电动机顶部以便于从四个方向接线，离心开关在电动机内部。

3. CO2 系列分马力单相电容起动异步电动机

CO2 系列分马力单相电容起动异步电动机广泛用于空气压缩机、泵、冰箱、洗衣机及医疗器械等的驱动设备，具有结构简单、运行可靠、维护方便及经济实用等特点。其型号意义及结构形式类同于 BO2 系列，不同之处在于有起动电容接在电动机左上方并从接线盒引出接线。

4. CO2 系列分马力单相电容运转异步电动机

该系列电动机广泛用作录音机、泵、风扇、电影放映机、记录仪器等的驱动设备，其特点和特性类同于上述二系列。与 BO2 系列不同之处在于冷却方式，56 号及以下机座为 ICO041，63 号及以上机座为 ICO110。防护等级，绝缘材料均与上述相同。

5. YC 系列单相电容起动异步电动机

YC 系列单相电容起动异步电动机包括 4 个机座号，共 20 个规格，功率范围 0.25 ~ 3.7 kW，外壳防护等级为 IP44，冷却方式为 ICO141，电动机采用 E 级和 B 级绝缘，连续定额，额定频率 50 Hz，额定电压 220 V。为适合农村电网频率和电压波动大的特点，该系列电动机在 50 ~ 60 Hz，200 ~ 220 V 工作条件下均能正常工作。

该系列电动机适用于小型机床、家用水泵、面粉机、碾米机、豆浆机、扬谷机、饲料粉碎机等有单相电源的地方。

7.2.3 单相异步电动机的调速与正反转控制

1. 调速

单相异步电动机可用调节电阻、电抗、变压器、晶闸管等方式，通过改变电压来调速，如图 7.2.4 所示。其中常用方法是电抗器和晶闸管调速。

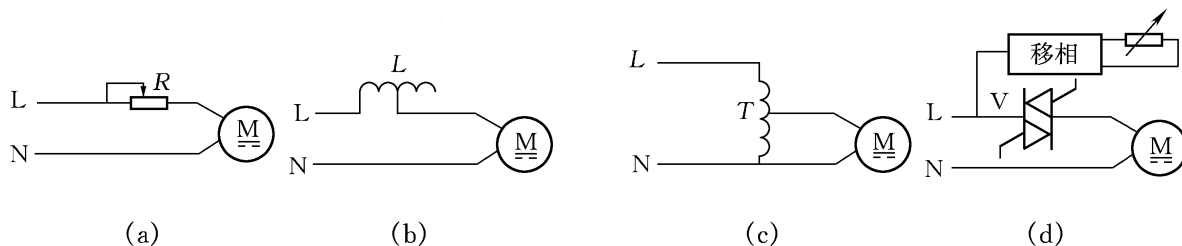


图 7.2.4 单相异步电动机调速电路

(R; (L; (

2. 正反转控制

常用单相异步电动正反转控制的方法如表 7.1 所示。

表 7.1 常用单相异步电动机正反转控制方法

序号	名称	控制方法
1	分相起动式	改变主绕组或辅助绕组的接法
2	电容起动式	改变主绕组或辅助绕组的接法
3	电容运行式	改变主绕组或辅助绕组的接法，对于主、辅绕组完全相同的电动机可改变电容的接法
4	罩极式	一般都不能改变方向

7.3 同步电机

同步电机转子的转速与定子旋转磁场的转速相同。可以用作发电机，也可以用作电动机、调相机。同步电机主要由旋转的磁场和电枢两部分组成。有转枢式场式

1. 同步电机的特点

图 7.3.1 为同步电机的构造原理图。

通常三相同步电机的定子是电枢，与三相异步电机的定子绕组相似。转子装有磁极和励磁绕组。当励磁绕组通入直流电后，转子立即建立恒定磁场。当转子在原动机拖动下以转速 N (r/min) 子绕组和转子旋转磁场有相对切割运动而产生交流电动势，其频率 f 与转子转速 N 和磁极对数 p 的关系为

$$f = \frac{pn}{60} \quad (7.3.1)$$

当三相定子绕组接有负载(作发电机用)或通入三相电流生旋转磁场，其转速为

$$n_0 = \frac{60f}{p} \quad (7.3.2)$$

比较上列二式可知，转子的转速与电枢旋转的转速相等 $n = n_0$ 来，也是同步电机的突出特点。

我国电力系统的标准频率(简称工频) 50 Hz。对应不同的磁极对数，同步转速有 3 000 r/min、1 500 r/min、1 000 r/min、……。

2. 同步电机的分类

同步电机按用途分为以下几类：

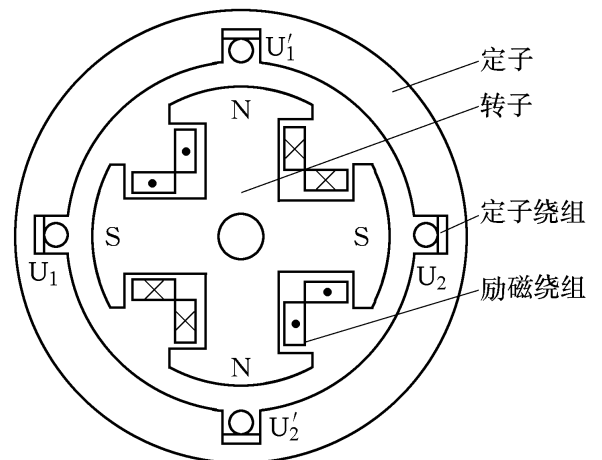


图 7.3.1 同步电机的构造原理图

同步电机做发电机用，按发电能力的大小可分为小型发电机、中型发电机和大型发电机。按原动机的不同可分为水轮发电机、汽轮发电机、燃气发电机和柴油发电机。

水轮发电机：利用水流的能量推动水轮机再拖动发电机转动进行发电。功率从几千瓦到 90 万千瓦，电压从 400 V ~ 20 kV，转速从 50 ~ 1 500 r/min。

汽轮发电机：利用燃烧的热量产生蒸气推动汽轮机，再带动同步电机发电。功率在 300 千瓦到 60 万千瓦，电压在 400 V ~ 27 kV 之间。转速为 1 500 r/min 或 3 000 r/min。

柴油发电机：用柴油

作为备用发电机组或无电网的边远地区或临时移动电源。功率从几千瓦到数兆瓦，电压一般为 220 ~ 6 300 V，转速从 250 ~ 3 000 r/min。

燃气轮发电机：利用燃气燃料的高温气体直接推动燃气轮机带动发电机发电。它有许多优点，正在大力研制，但目前电厂采用的还不多。大、中型电厂运行的主要是水轮发电机和汽轮发电机。

从电网吸收电能转变为其他机械动力的同步电机，称为同步电动机。同步电动机转速为恒定值，不受负载变动的影 响。功率范围一般在 250 kW ~ 10 MW，电压有 3 kV、6 kV 和 10 kV 几种。转速范围从 100 ~ 3 000 r/min。一般用于不调速或恒速机械。

同步电机可以通过调节励磁电流改善电网的功率因数，称为调相机。它可以把功率因数调到 1。同步调相机的容量范围约为 5 000 ~ 60 000 kvar，电压为 6.6 kV、11 kV 等，一般用于电网中。

3. 三相同步电机的结构

同步电机的结构有两种基本形式，一种是旋转电枢式，即三相绕组装在转子上，磁极装在定子上。这种形式在小容量同步电机中得到某些应用。另一种是旋转磁极式，它与前者相反，把磁极装在转子上，三相绕组装在定子上。这种形式广泛应用于大、中型容量的同步电机中，并成为同步电机的通常结构形式，它具有下列特点：

励磁电流比电枢电流小得多，励磁电压比电枢电压低得多，向转子输入励磁电流时，电刷与滑环负荷较小，工作较为可靠。

对于大容量同步发电机，电枢装在定子上，便于嵌线、加强绝缘、通风散热。强大的电流向负载输出时不经过电刷和滑环，可减少故障，保证供电的可靠性。

由于转子的构造不同，旋转磁极式又可分为隐极式和凸极式，如图 7.3.2 所示。

4. 三相同步发电机的铭牌数据

额定电压 U_N ：指发电机正常运行时，定子绕组的线电压

额定电流 I_N ：指发电机额定运行时，定子绕组的线电流

额定功率 P_N ：指发电机在额定运行时，输出的电功率

$$P_N = 3 U_N I_N \cos \varphi_N$$

额定转速 n_N ：指转子正常运行时的转速

$$n_N = \frac{60 f_N}{p}$$

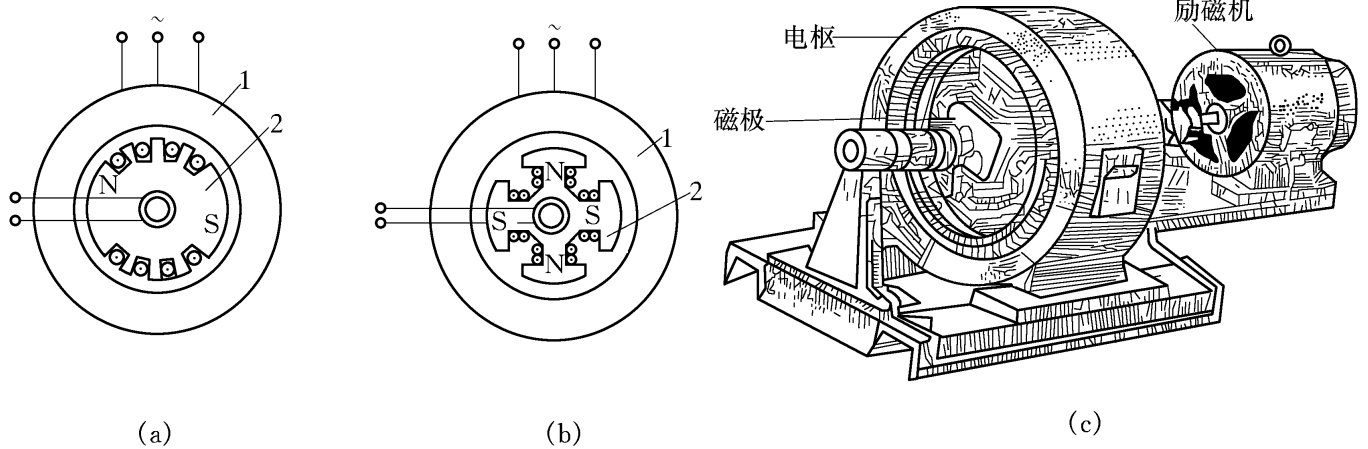


图 7.3.2 同步电机结构示意图

1——定子；2——转子

额定效率 η_N ：指发电机在额定状态下运行的效率。

额定频率 f_N ：国际规定 50 Hz。

此外还有极数、功率因数、温升、绝缘等级、励磁容量和励磁电压等。

7.4 伺服电机

伺服电机是应用较广的一种控制电动机。它的作用是将电信号移或角速度。其最大特点是：有控制信号就旋转，无控制信号就停转。转速的大小与控制信号成正比。小功率的自动控制系统多采用交流伺服电机，一般功率在 30 W 以下，且多制成两极；稍大功率的自动控制系统多采用直流伺服电机。

7.4.1 交流伺服电机

1. 结构和分类

交流伺服电机就是两相异步电动机，其定子上装有两个绕组，一个是励磁绕组，另一个是控制绕组。它们在空间相隔 90° ，励磁绕组与励磁电源连接，控制绕组与控制信号连接。其转子结构有笼型和非磁性杯型两种。笼型转子结构与一般笼型异步电机转子相同，只是转子导体用高电阻的青铜或铸铝做成。非磁性杯型转子伺服电机的结构如图 7.4.1 所示。

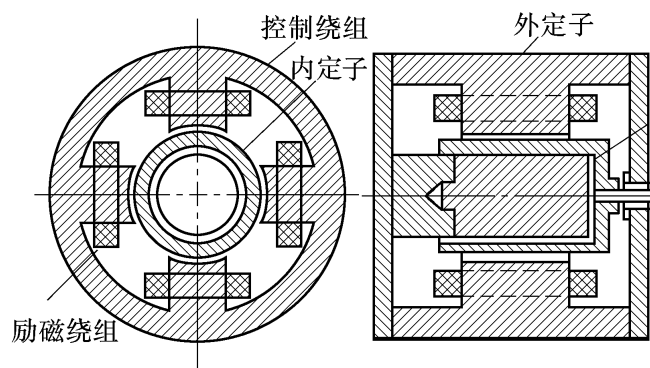


图 7.4.1 杯型转子伺服电机的结构图

为了减小转动惯量，杯型转子通常用铝合金或铜合金制成空心薄壁圆筒。此外，为了减小磁路的磁阻，在空心杯型转子内放置固定的内定子。当前主要应用的是笼型转子的伺服电机。

自动控制系统对交流伺服电机的要求是不允许有自转现象，灵敏度要高，只要有较小的信号就起动，信号消失就立即停转，上述结构的交流伺服电机能满足要求。

2. 工作原理

交流伺服电机的工作原理与单相电容式异步电动机相同，其原理接线图和相量图如图 7.4.2 所示。

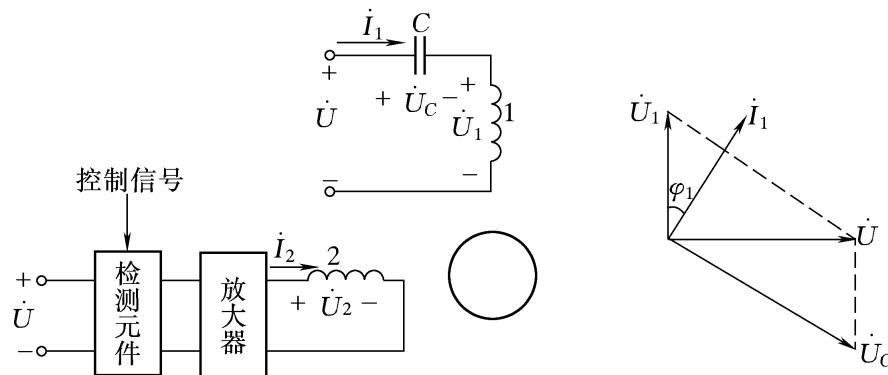


图 7.4.2 交流伺服电机的接线图和相量图

励磁绕组 1 与电容 C 串联后接到交流电源上其电压为 \dot{U} 。控制绕组 2 接在电子放大器的输出端，控制电压 \dot{U}_2 即为放大器的输出电压。励磁绕组串联电容 C 的目的，是为了分相而产生两相旋转磁场，适当选择电容 C 值，可使励磁电流 \dot{I}_1 超前于电压 \dot{U} ，并使励磁电压 \dot{U}_1 与电源电压 \dot{U} 之间有 90° 或近于 90° 的相位差。而控制电压 \dot{U}_2 与电源电压 \dot{U} 有关，两者频率相等，相位相同或相反。因此， \dot{U}_2 和 \dot{U}_1 也是频率相等，相位差基本上也是 90° ，两个绕组中的电流 \dot{I}_1 和 \dot{I}_2 的相位差近于 90° ，在空间相隔 90° 的两个绕组，分别通入在相位上相差 90° 的两个电流，便产生两相旋转磁场，使转子转动起来。

交流伺服电机转速的大小不但与励磁电压的幅值有关，而且还与励磁电流和控制电流间相位差的大小有关。因此，励磁电压、控制电压及它们之间的相位差三个量中任意改变一个或两个，就可以改变电动机的转速。

为了能控制电动机的转速，交流伺服电机的转子电阻 R_2 取得较大；杯型转子做得尽量薄；笼型转子的导体条采用高电阻率的铝或黄铜制成。图 7.4.3 是对应于不同 R_2 值时的 $T = f(s)$ 曲线。将该曲线顺时针转过 90° ，并将纵轴用转速 n 表示，即得交流伺服电机的机械特性曲线 $n = f(T)$

7.4.4 所示 (图中 U_2 为额定控制电压)

由图 7.4.4 可知：在一定负载转矩下，控制电压越高，则转速也越高；在一定控制电压下，负载增加，转速下降。此外，特性曲线很软，不利于系统的稳定。

交流伺服电机的输出功率在 100 W 以下。

3. 应用

现以热电偶温度计中的自动平衡电位计电路为例，来讨论交流伺服电机的应用，7.4.5 所示。

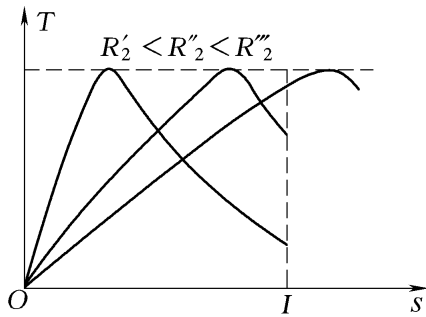


图 7.4.3 对应于不同转子电阻 R_2 的 $T=f(s)$ 曲线

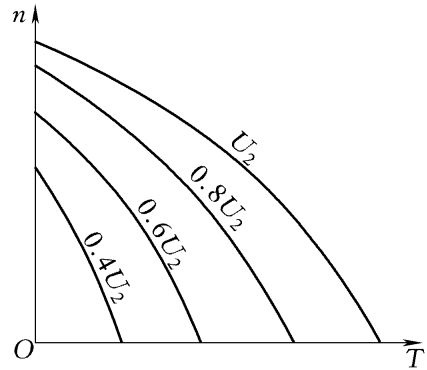


图 7.4.4 在不同控制电压下的机械特性曲线

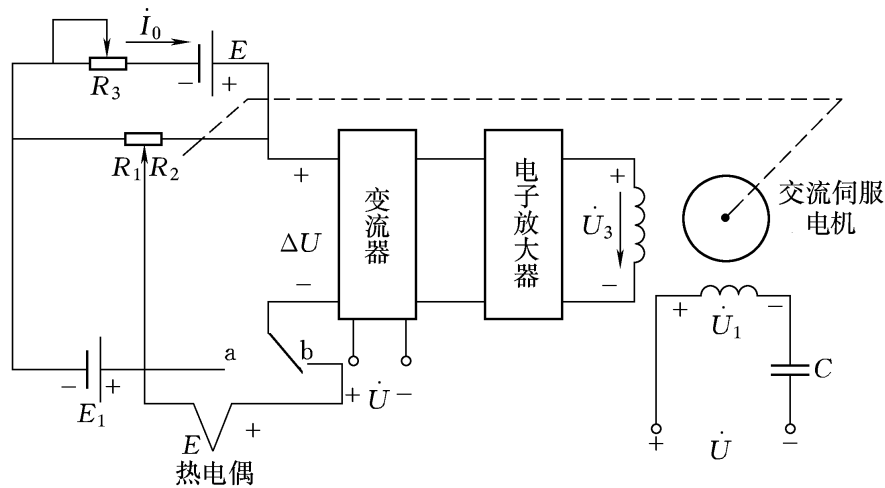


图 7.4.5 自动平衡电位计的原理电路图

在测量温度时将开关合在 b 点，利用电阻段 R_2 上的压降来平衡热电偶的电动势。当两者不相等时产生不平衡电压 U 。 U 经变流器变换为交流电压，而后经电子放大器放大。放大器的输出端接交流伺服电机的控制绕组，于是电动机便转动起来，从而带动电位计电阻的滑动触头滑动，其滑动方向，正好是使电路平衡的方向。一旦达到平衡 ($U=0$) 电机便停止转动。这时电阻 R_2 上的电压降 $I_0 R_2$ 恰好与热电动势 E_t 相等。如果将 I_0 保持为标准值，那么，电阻 R_2 的大小就可反映出热电动势或直接反映出被测温度的大小。当被测温度发生变化时， U 的极性不同，即控制电压的相位不同，从而使伺服电机正转或反转再达到平衡。

为了保持 I_0 为恒定的标准值，在测量前或校验时，可将开关合在 a 点，将标准电池势为 E_0) R_3 ，使 $I_0 (R_1 + R_2) = E_0$ ，即使得 $U=0$ ，这时的 I_0 即等于标准值。 R_2 的滑动触头也常用伺服电机来带动，以自动满足 $I_0 (R_1 + R_2) = E_0$ 的要求。交流伺服电机也带动温度计的指针和记录笔，在纪录纸上记录温度值；另有微型同步电动机以匀速带动记录纸前进

7.4.2 直流伺服电机

1. 结构和分类

控制系统对直流伺服电机的要求是：

具有线性的机械特性。

具有宽广的调节范围。

具有快速的响应。

直流伺服电机的结构与普通直流电动机相同。实质上是一种体积和容量都很小的直流电动机。所不同的是为了减小转动惯量、便于起停而做的细长一些。

直流伺服电机分为永磁式和电磁式两种，通常应用于功率稍大的系统中，其输出功率一般为 1~600 W。按控制方式，可以分为电枢控制和磁场控制两类。磁场控制较少采用，故不作介绍。

2. 工作原理

电枢控制时，直流伺服电机的励磁绕组接在一个恒压直流电源 U_1 上，用以产生恒定的磁通，而将控制电压 U_2 加在电枢上以控制输出的转速和转向，其原理如图 7.4.6 所示。

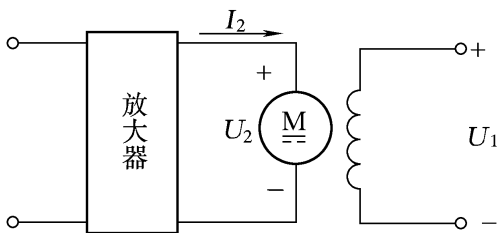


图 7.4.6 电枢控制时的原理图

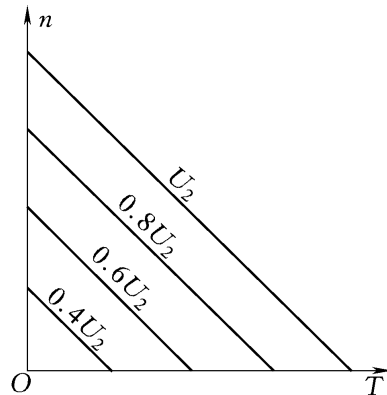


图 7.4.7 电枢控制时的机械特性

直流伺服电机的机械特性和他励

$$n = \frac{U_2}{K_E} - \frac{R_a}{K_E K_T} T \quad (7.4.1)$$

当 $U_2 = \text{常数}$ 时，电枢控制的机械特性 $n = f(T)$

7.4.7 所示。

由图 7.4.7 可知：在一定负载转矩下，当磁通恒定时，如果升高电枢电压，电动机的转速就升高；反之降低电枢电压，电动机的转速就下降；当 $U_2 = 0$ 时，电动机立即停转。要使电动机反转，可改变电枢电压的极性。直流伺服电机的机械特性较硬。

3. 应用

现以随动系统为例说明直流伺服电机的应用。图 7.4.8 是采用电位器的位置随动系统示意图。

和 θ_f 为电位器 R_p 和 R_p 的轴角位移 U_g 和 U_f 是控制指令， θ 是被调量，被控机械与 R_p 的轴连接。差值电压 $U_d = U_g - U_f$ ，经放大后去控制伺服

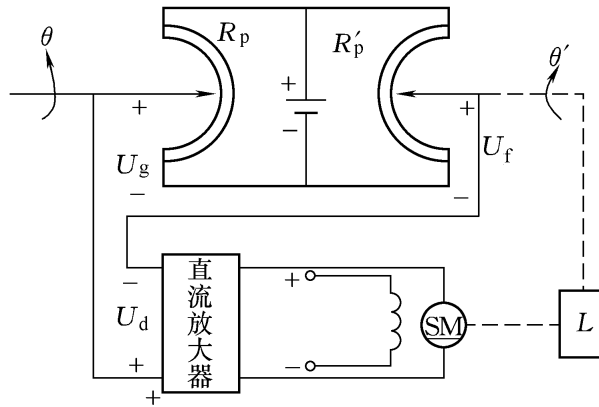


图 7.4.8 位置随动系统示意图

电机，电动机经过传动机构带动被控机械，使 **跟随** 而变化，被控机械的实际位置就跟随控制指令变化，构成一个位置随动系统。

7.4.3 直流力矩电机

1. 结构及特点

直流力矩电机是一种永磁式直流伺服电机。它的主要特点是：可以直接驱动被控制的负载而不需要经过齿轮等减速机构；反应速度快；机械特性的线性好；能在很低的转速下稳定运行

种电动机特别适用于对位置和速度的控制精度要求较高的系统中。由于转速低，转矩大，因此，这种电动机通常采用极数很多，电枢长度和直径之比只有 0.2 左右的偏平式结构。图 7.4.9 为直流力矩电机结构示意图。定子是用软磁材料制成的带槽的圆环，槽中嵌入永久磁钢，组成环形桥式磁路，转子用冷轧硅钢片叠成，电枢绕组采用串联导体数较多的单波绕组，槽楔用紫铜棒做成以代替换向器，转子用高温环氧树脂浇成整体。

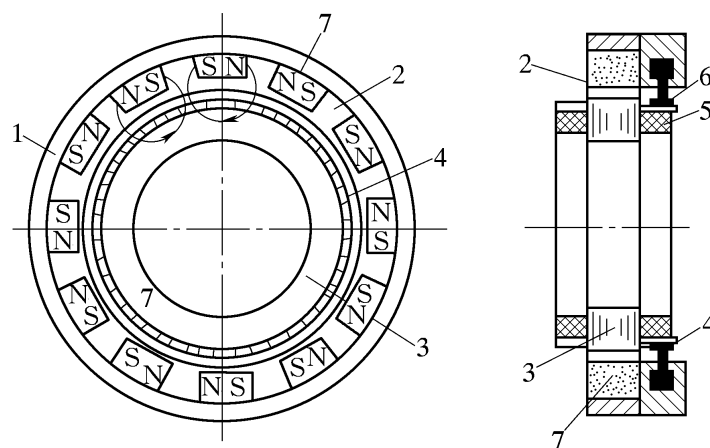


图 7.4.9 直流力矩电机

- 1——铜环；2——定子；3——转子；4——槽楔兼换向器；
5——电枢绕组；6——电刷；7——永磁磁钢

2. 应用

图 7.4.10 为雷达天线的主驱动系统。当雷达开始搜索目标时，力矩电机接在直流电源上，带动雷达天线不停地旋转。当发现目标时，雷达收到反射回来的无线电波，力矩电机便立即自动脱离电源，转由雷达接收机控制。雷达接收机检测出目标的位置，发出信号并经放大器放大后送到力矩电机，使其带动雷达天线跟踪目标。

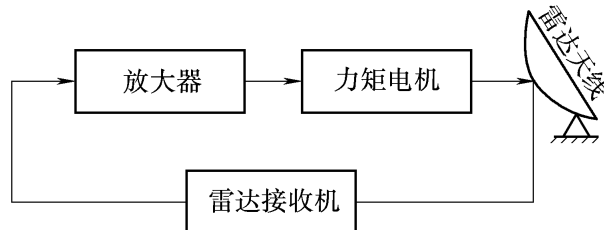


图 7.4.10 雷达天线的主驱动系统

7.5 测速发电机

测速发电机是一种反映转速的信号元件，它将输入的机械转速变换成电压信号输出，这就要求发电机的输出电压与转速成正比关系，其输出电压可用下式表示

$$U = Kn \quad (7.5.1)$$

或

$$U = K \frac{d}{dt} \quad (7.5.2)$$

式中： n 为测速发电机转子的转角

K, K 为比例常数。

由式

置中也可以把它作为微分或积分元件。在自动控制系统和计算装置中测速发电机主要用作测速元件、阻尼元件

自动控制系统对测速发电机的要求是：测速发电机的输出电压与转速保持严格的线性关系，且不随外界条件

速；发电机的灵敏度要高，即测速发电机的输出电压对转速变化的反应要灵敏，也就是要求测速发电机的输出特性斜率要大。

测速发电机有以下几类：

1. 直流测速发电机

永磁式直流测速发电机：我国的产品型号为 CY。

电磁式直流测速发电机：我国的产品型号为 CD。

2. 交流测速发电机

同步测速发电机：我国的产品型号为 CG

异步测速发电机：我国生产的异步测速发电机的型号有 CK

近年来还出现了采用新原理、新结构研制成的霍尔效应测速发电机。

下面仅就常用的直流测速发电机和交流异步测速发电机作简要介绍。

7.5.1 直流测速发电机

1. 工作原理

直流测速发电机的结构与普通小型直流发电机相同，按励磁方式可分为他励式和永磁式两种。

直流测速发电机的工作原理和一般直流发电机没有区别，其原理如图 7.5.1 所示，在恒定磁场中，电枢以转速 n 旋转时，电枢上的导体切割磁通，于是就在电刷间产生空载感应电动势 E_0

$$E_0 = \frac{pN}{60a} \omega n = C_e \omega n \quad (7.5.3)$$

式中： p 为极对数； N 为电枢绕组总导体数； a 为电枢绕组的并联支路对数； $C_e = \frac{pN}{60a}$

在空载时，即电枢电流 $I_a = 0$ ，直流测速发电机的输出电压就是空载感应电动势，即 $U_0 = E_0$ ，因而输出电压与转速成正比。

有负载时，因电枢电流 $I_a \neq 0$ ，若不计电枢反应的影响，直流测速发电机的输出电压应为

$$U = E_0 - I_a R_a \quad (7.5.4)$$

式中： R_a 为电枢回路的总电阻，它包括电枢绕组电阻、电刷接触电阻。

有负载时电枢电流为

$$I_a = \frac{U}{R_z} \quad (7.5.5)$$

式中： R_z 为测速发电机负载电阻。

将式

$$U = \frac{C_e \omega n}{1 + \frac{R_a}{R_z}} \quad (7.5.6)$$

在理想情况下， R_a 、 R_z 和 C_e 均为常数，直流测速发电机的输出电压 U 与转速 n 仍成线性关系。对于不同的负载电阻，测速发电机的输出特性的斜率也有所不同，它随负载电阻的减小而降低，如图 7.5.2 所示。

2. 误差原因

直流测速发电机输出电压 U 与转速 n 成线性关系的条件是 R_a 、 R_z 和 C_e 保持不变，实际上直流测速发电机在运行时，有一些因素会引起这些量发生变化，这些因素是：

周围环境温度的变化，特别是励磁绕组长期通电发热而引起的励磁绕组电阻的变化，从而引起励磁电流及磁通 Φ_0 的变化，从而造成线性误差。

直流测速发电机有负载时，电枢反应的去磁作用，使测速发电机气隙磁通减小，引起线性误差。

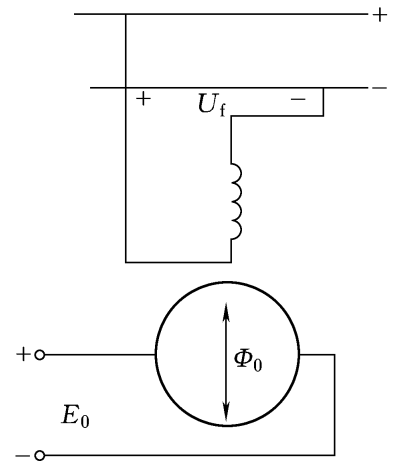


图 7.5.1 直流测速发电机工作原理

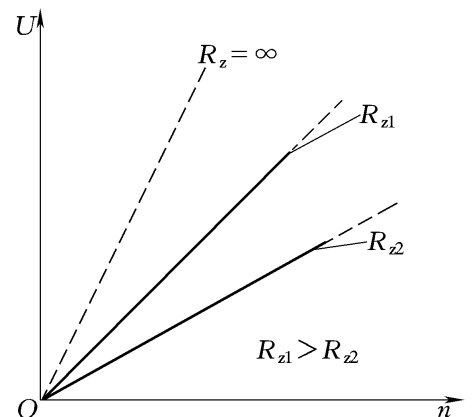


图 7.5.2 直流测速发电机的输出特性

因为电枢电路总电阻中包括电刷与换向器的接触电阻，而这种接触电阻是随负载电流变化而变化的。当发电机转速较低时，相应的电枢电流较小，而接触电阻较大，这时测速发电机虽然有输入信号

为了减小由温度变化而引起的磁通变化，一方面可在实际使用时，在励磁回路中串联一个电阻值较大的附加电阻。附加电阻可用温度系数较低的康铜材料绕制而成。这样，当励磁绕组温度升高时，它的电阻值虽有增加，但励磁回路的总电阻值却变化甚微。另一方面设计时，可使发电机磁路处于饱和状态。这样，即使由电阻值变化引起的励磁电流变化可能较大，但发电机的气隙磁通变化却非常小。为了减小电枢反应的去磁作用，在设计时可在定子磁极上安装补偿绕组，并选取较小的线负荷和适当加大发电机气隙，在使用时尽可能采用大的负载电阻，并选用适当的电刷，以减小电刷接触压降。

7.5.2 交流异步测速发电机

1. 工作原理

在自动控制系统中，目前应用的交流测速发电机主要是空心杯形转子异步测速发电机。其结构和杯形转子伺服电机相似，转子是一个薄壁非磁性杯（厚度 $0.2 \sim 0.3 \text{ mm}$ ）用高电阻率的硅锰青铜或铝锌青铜制成。定子的两相绕组在空间位置上严格保持 90° 电角度，其中一相作为励磁绕组，外施稳频稳压的交流电源励磁；另一相作为输出绕组，其两端的电压即为测速发电机的输出电压 U_2 ，如图 7.5.3 所示。

2. 主要误差

自动控制系统对异步测速发电机的要求：

输出电压与转速成严格的线性关系。

输出电压与励磁电压（即电源电压）

转速为零时，没有输出电压，即所谓剩余电压为零。

实际上，由于测速发电机的定子绕组和转子杯都有一定的参数。这些参数受温度变化的影响以及工艺等方面因素的影响，都会造成线性误差、相位误差和剩余电压等。

3. 选择时应注意的问题

交流测速发电机主要用于交流伺服系统和解算装置中。在选用时，应根据系统的电压频率、工作转速的范围和具体用途来选择交流测速发电机的规格，用作解算元件时应着重考虑精度，输出电压稳定性要好；用于一般转速检测或作阻尼元件时，应着重考虑输出斜率要大。与直流测速发电机比较，交流异步测速发电机的主要优点是：结构简单，维护容易，运行可靠；没有电刷和换向器，因而无滑动接触，输出特性稳定、精度高；摩擦力矩小，转动惯量小；正、反转输出电压对称。主要缺点是：存在相位误差和剩余电压；输出斜率小；输出特性随负载性质

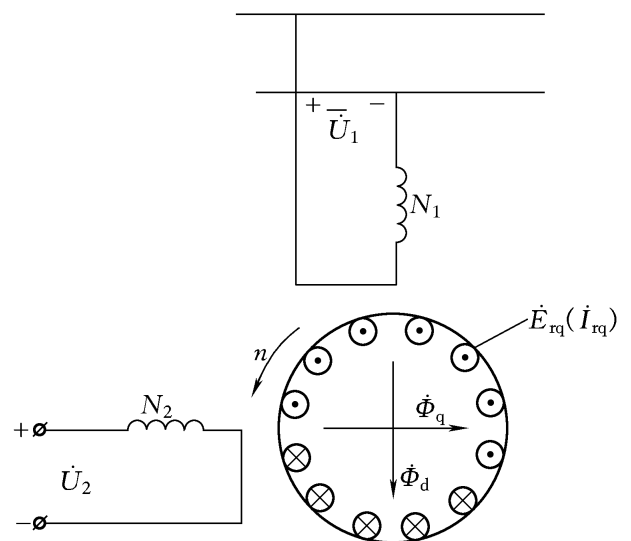


图 7.5.3 交流异步测速发电机的工作原理

当使用直流或交流测速发电机都能满足系统要求时，则需考虑它们的优缺点，全面权衡，合理选用。

4. 测速发电机的应用举例

测速发电机在自动控制系统和计算装置中可以作为测速元件、校正元件和解算元件。用作解算元件时，可以实现对某一函数的微分或积分，现举一用作积分元件的例子加以说明。

图 7.5.4 是利用直流测速发电机电刷两端输出一个与转速成正比的电压

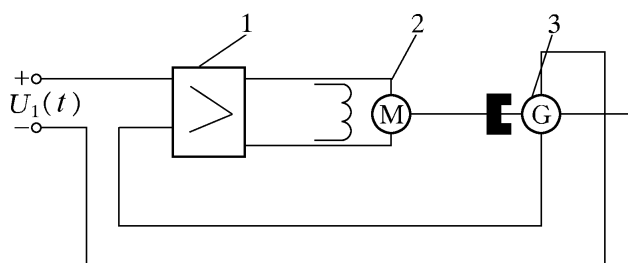


图 7.5.4 实现输入量对时间积分的原理图

1——放大器；2——直流伺服电机；3——直流测速发电机

$$U = Kn = K \frac{d\theta}{dt} \quad (7.5.7)$$

式中： θ 为输出的转角。

输入电压为 $U_1(t)$
电压为

$U_1(t) - U$ ，经放大后加给电动机的

$$U_a = C[U_1(t) - U] \quad (7.5.8)$$

当放大器的放大倍数足够大时，放大器输入电压相对输出电压很小，可近似认为放大器输入电压为零，即

$$U_1(t) - K \frac{d\theta}{dt} = 0 \quad (7.5.9)$$

$$U_1(t) = K \frac{d\theta}{dt} \quad (7.5.10)$$

$$= \frac{1}{k} U_1(t) dt \quad (7.5.11)$$

可见输出转角 θ 是输入量对时间的积分，输出转角通过输出电位器可以转换为输出电压。这种系统在某些场合非常重要，如飞机上的自动驾驶未能将飞机调整到准确状态时，飞机就会逐渐增加或降低高度，如果此时高度误差通过上述积分系统加以积分，就能将高度误差积累成一个能用来校正飞机倾角的控制信号。

7.6 自整角机

自整角机是一种感应式机电元件。在系统中通常是两台或两台以上组合使用。其任务是将转轴上的转角变换为电气信号，或将电气信号变换为转轴的转角，使机械上互不相连的两根或几根转轴同步偏转或旋转，以实现角度的传输、变换和接收。它广泛应用于远距离指示装置和伺服系统。

自整角机按电源的相数，可分为三相和单相两种，三相自整角机多用于功率较大的拖动系统中，构成所谓电轴，它不属控制电机。在自动控制系统中使用的自整角机，一般均为单相的。

自整角机按使用要求的不同，可分为力矩式和控制式自整角机两类。前者主要用于指示系统，后者主要用于随动系统。自整角机按结构的不同，可分为无接触式和接触式两大类。无接触式没有电刷、滑环的滑动接触，因此具有可靠性高、寿命长、不产生无线电干扰等优点。其缺点是结构复杂、电气性能较差。接触式自整角机结构比较简单，性能较好，所以使用较为广泛。我国自行设计的自整角机系列中，均为接触式自整角机。

7.6.1 基本结构

自整角机的定子结构与一般小型绕线转子感应电动机相似，定子铁心上嵌有三相星形联结对称分布绕组，通常称为整步绕组。转子结构则按不同类型采用凸极式或隐极式，放置单相或三相励磁绕组。转子绕组通过滑环、电刷装置与外电路连接，滑环是由银铜合金制成，电刷采用焊银触点，以保证接触可靠。接触式自整角机结构如图 7.6.1 所示。

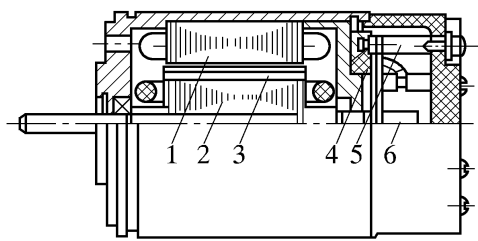


图 7.6.1 接触式自整角机结构示意图

- 1——定子；2——转子；3——阻尼绕组；
4——电刷；5——接线柱；6——滑环

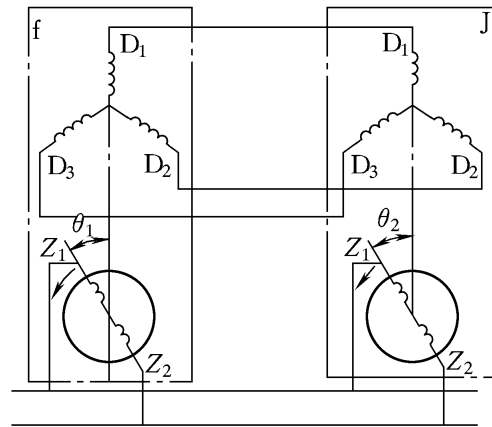


图 7.6.2 力矩式自整角机接线图

7.6.2 工作原理

1. 力矩式自整角机

力矩式自整角机的接线图如图 7.6.2 所示，两台自整角机结构完全相同，一台作为发送机，另一台作为接收机。它们的转子励磁绕组接到同一单相交流电源，定子整步绕组则按相序对应连接。

当在两机的励磁绕组中通入单相交流电流时，在两机的气隙中产生脉动磁场，该磁场将在整步绕组中感应出变压器电动势。当发送机和接收机的转子位置一致时，由于双方的整步绕组回路中的感应电动势大小相等，方向相反，所以回路中无电流流过，因而不产生整步转矩，此时两机处于稳定的平衡位置。

如果发送机的转子从一致位置转一角度 θ_1 时，则在整步绕组回路中将出现电动势，从而引起均衡电流。此均衡电流与励磁绕组所建立的磁场相互作用而产生转矩，使接收机也偏转相

同角度，即此时发送机和接收机中的整步转矩大小相等而方向相反。如以外力强制发送机转子逆时针方向转动 θ 角时，发送机为了保持转子原来的位置，所产生的整步转矩方向将是顺时针的，接收机中所产生的转矩则相反，即为逆时针方向，使转子向逆时针方向转动，以达到和发送机转子有同一位置的目的，从而实现了转角的传递任务。

2. 控制式自整角机

在前述力矩式自整角机系统中，接收机的转轴上只能带很轻的负载，接驱动较大的负载，因为一般自整角机容量较小，转轴上负载转矩较大将使系统的精度降低。

为了提高同步随动系统的精度和负载能力，常把力矩式接收机的转子绕组从电源断开，使其在变压器状态下运行。这时接收机将角度传递变为电信号输出，然后通过放大去控制一台伺服电机，并将接收机转子经减速器与机械负载联系在一起。这种间接通过伺服电机来达到同步联系的系统称为同步随动系统，在这种系统中，用来输出电信号的自整角接收机称为自整角变压器。

图 7.6.3 所示为控制式自整角机的接线图。图 7.6.3 与图 7.6.2 有两点不同，一是图 7.6.3 中接收机转子绕组从单相电源断开，并能输出信号电压。二是转子绕组的轴线位置预先转过了 90° 。

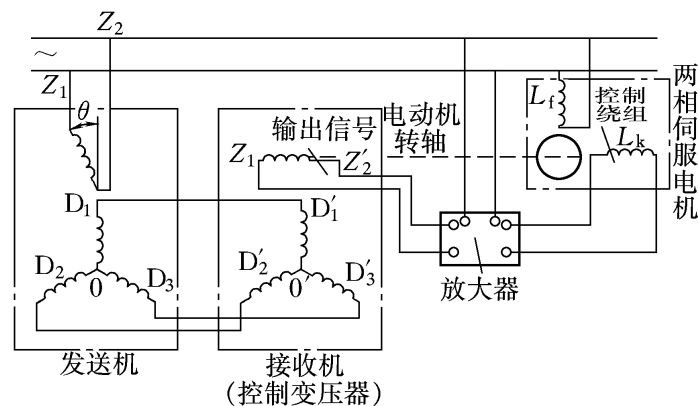


图 7.6.3 控制式自整角机的接线图

由于接收机的转子绕组已从电源断开，如接收机转子仍按图 7.6.2 的起始位置，则当发送机转子从起始位置逆时针方向转 θ 角时，接收机定子磁动势也将从起始位置逆时针方向转过同样的角度 θ ，转子输出绕组中感应的变压器电动势将为失调角 θ 的余弦函数，当 $\theta = 0^\circ$ 时，输出电压为最大，当 θ 增大时，输出电压按余弦规律减小，这就给使用带来不便，因随动系统总是希望当失调角为零时，输出电压为零，只有存在失调角时，才有输出电压，并使伺服电机运转。此外，当发送机由起始位置向不同方向偏转时，失调角虽有正负之分，但因 $\cos(-\theta) = \cos \theta$)

方向。为了消除上述不便，按图 7.6.3 所示将接收机转子预先转过 90° ，这样自整角变压器转子绕组的输出电压信号为

$$E = E_m \sin \theta \quad (7.6.1)$$

式中： E_m 为接收机转子绕组感应电动势最大值。

7.6.3 误差概述

力矩式自整角机的整步转矩必须大于其接收机转轴的阻力转矩(包括负载转矩和接收机本身的摩擦转矩等)

在一定的失调角,这个角度就是力矩式自整角机转角随动的误差。显然,失调角为1时,自整角机具有的整步转矩

对于控制式自整角机,为了提高其精度,把发送机和接收机的转子都做成隐极式。但在实际上,磁动势在空间不能做到真正的正弦分布;转子安装不同心,以致气隙不均匀,而造成磁通密度偏离正弦分布;整步绕组阻抗不对称,所有这些结构、工艺、材料等方面的原因,使失调角即使在 $\alpha = 0^\circ$

了式 7.6.1)

虑输出绕组切割整步绕组合成磁通而产生的速度电动势,速度电动势的存在,使得接收机转子最后所处的位置不是 $\alpha = 0^\circ$ 的地方,而是偏离协调位置某一角度,这就引起了速度误差。速度误差和转速成正比,并和电源频率成反比。对于转速较高的同步系统,为了减小速度误差,一方面选用高频自整角机,另一方面应当限制发送机和接收机的转速。

7.6.4 选用时应注意的问题及应用举例

力矩式和控制式自整角机各具有不同的特点,要根据实际需要合理选用。

力矩式自整角机常应用于精度较低的指示系统。如液面的高低,闸门的开启度,液压电磁阀的开闭,船舶的舵角、方位和船体倾斜的指示,核反应堆控制棒位置的指示,高炉深度位置的指示等等。下面通过一个实例来加以说明。

图 7.6.4 表示一液面位置指示器。浮子随着液面的上升或下降,通过绳索带动自整角发送机转子转动,将液面位置转换成发送机转子的转角。自整角发送机和接收机之间通过导线可以远距离连接,于是自整角接收机转子就带动指针准确地跟随着发送机转子的转角变化而偏转,从而实现远距离的位置指示。

控制式自整角机适用于精度较高、负载较大的伺服系统。现以雷达高低角自动显示系统 9.6.5 所示)

图 7.6.5 中,自整角发送机转轴直接与雷达天线的高低角的高低角 就是自整角发送机的转角。控制式自整角接收机转轴与由交流伺服电机驱动的系统负载 表示。接收机转子绕组输出电动势 E_2 (有效值)

$$E_2 = k \omega \sin(\alpha - \beta) \approx k \omega \alpha \quad (7.6.2)$$

式中:k为常数。

E_2 经放大器放大后送至交流伺服电机的控制绕组,使电动机转动。可见,只要 $\alpha \neq 0$, 就有 $E_2 \neq 0$, 伺服电机就可以转动,使 α 减小,直至 $\alpha = 0$ 。如果 α 不断变化,系统就会使 α 跟着 α 变化,以保持 $\alpha = 0$, 这样就达到了转角自动跟踪的目的。只要系统的功率足够大,接收轴上便可带动火炮一类阻力矩很大的负载。发送机和接收机之间只需三根连线,便实现了远距离显示和操纵。选用自整角机还应注意以下问题:

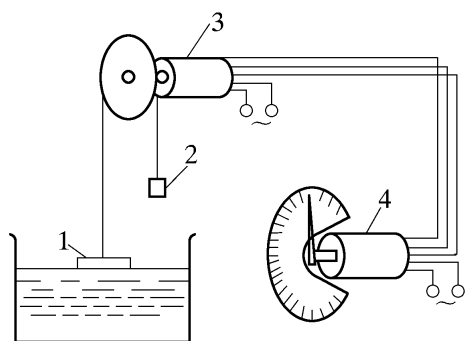


图 7.6.4 液面位置指示器

1——浮子；2——平衡锤；
3——发送机；4——接收机

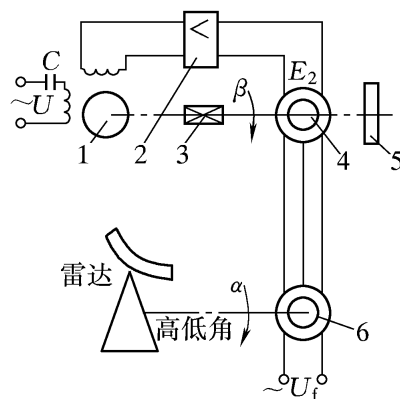


图 7.6.5 雷达高低角自动显示系统原理图

1——交流伺服电动机；2——放大器；
3——减速器；4——自整角接收机；
5——刻度盘；6——自整角发送机

自整角机的励磁电压和频率必须与使用的电源符合，若电源可任意选择时，应选用电压较高、频率较高（400 Hz）

相互连接使用的自整角机，其对应绕组的额定电压和频率必须相同。

在电源容量允许的情况下，应选用输入阻抗较低的发送机，以便获得较大的负载能力。

选用自整角变压器时，应选输入阻抗较高的产品，以减轻发送机的负载。

7.7 步进电机

步进电机是一种用电脉冲信号进行控制，并将电脉冲信号转换成相应的角位移或线位移的控制电动机，说得通俗一点，就是给一个脉冲信号，电动机就转动一个角度或前进一步，因此，这种电动机也称为脉冲电动机。

步进电机的角位移量或线位移量与电脉冲数成正比，它的转速或线速度与电脉冲频率成正比。在负载能力范围内这些关系不因电源电压、负载大小、环境条件的波动而变化。通过改变脉冲频率的高低可以在很大范围内实现步进电机的调速，并能快速起动、制动和反转。

随着电子技术和计算机技术的迅速发展，步进电机的应用日益广泛，例如数控机床、绘图机、自动记录仪表和数/模变换装置，都使用了步进电机。

步进电机种类很多，有旋转运动的、直线运动的和平面运动的。从结构看，它分为反应式与励磁式。励磁式又可分为供电励磁和永磁两种。按定子数目可分为单定子式与多定子式步进电机。按相数可分为单相、两相、三相及多相的步进电机。目前反应式步进电机使用较多，具有一定的代表性，下面对这种步进电机作简要介绍。

7.7.1 工作原理

图 7.7.1 是一个三相反应式步进电机示意图，定、转子铁心由硅钢片叠成。定子有六个磁极，每两个相对的极绕有一相控制绕组，转子只有四个齿，齿宽等于定子极靴宽，上面没有

绕组。

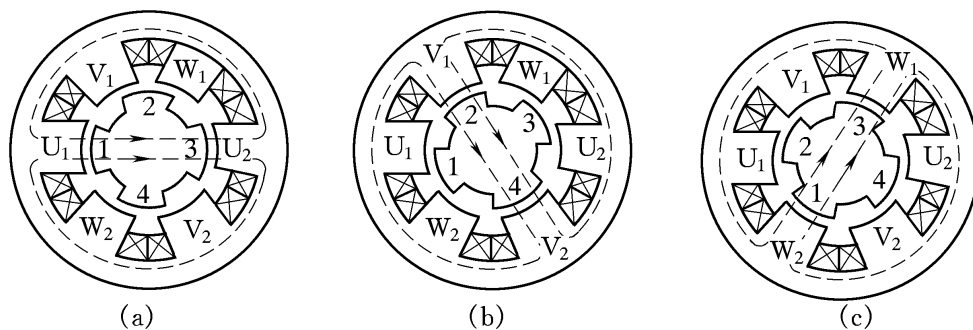


图 7.7.1 三相单三拍运行时反应式步进电机工作原理图

当 U 相控制绕组通电，而 V 相、W 相都不通电时，由于磁通具有力图走磁阻最小路径的特点，所以转子齿 1 和 3 的轴线与定子 U 极轴线对齐，如图 7.7.1

电时，转子便逆时针方向转过 30° ，使转子齿 2 和 4 的轴线与定子 V 极轴线对齐，如图 7.7.1

V 相断电、接通 W 相，转子再转过 30° ，转子齿 1 和 3 的轴线与 W 极轴线对齐，如图 7.7.1

按逆时针方向转动。步进电机转速取决于控制绕组通电和断电的频率

方向取决于控制绕组轮流通电的顺序，若步进电机通电次序改为 U - W - V - U，则步进电机反向转动。

上述通电方式，称为三相单三拍。“单”是指每次只有一相控制绕组通电，“三拍”是指三次切换通电状况为一个循环，第四拍就反回第一拍通电的情况。

步进电机每拍转子所转过的角位移称为步距角。可见，三相单三拍通电方式时，步距角为 30° 。三相步进电机除了单三拍通电方式外，还可工作在三相单、双六拍通电方式。这时通电顺序为 U - UV - V - VW - W - WU - U，或为 U - UW - W - WV - V - VU - U，即先接通 U 相控制绕组，以后再同时接通 U、V 相控制绕组；然后断开 U 相，使 V 相控制绕组单独接通；再同时接通 V、W 相，依此进行。对这种通电方式，定子三相控制绕组需经过六次换接才能完成一个循环，故称为“六拍”。同时，这种通电，有时是单个控制绕组接通，有时又是两个控制绕组同时通，因此称为单、双六拍。

对这种通电方式，步进电机的步距角也有所不同。当 U 相控制绕组通电时，和单三拍运行的情况相同，转子齿 1 和 3 的轴线与定子 U 极轴线对齐，如图 7.7.2

制绕组同时接通时，转子的位置，应兼顾到 U、V 两极所形成的两路磁通，在气隙中所遇到的磁阻同样程度地达到最小。这时相邻两个 U、V 磁极与转子齿相作用的磁拉力大小相等且方向相反，使转子处于平衡。这样，当 U 相通电转到 U、V 两相通电时，转子只能逆时针方向转过 15° ，如图 7.7.2

方向转动，直到转子齿 2 和 4 的轴线与定子 V 极轴线对齐为止，如图 7.7.2

子又转过 15° 角度。如通电顺序改为 U - UW - W - WV - V - VU - U 时，电动机将按顺时针方向转动。

同一台步进电机，因通电方式不同，运行时的步距角也是不同的。采用单、双拍通电方式时，步距角要比单拍通电方式减小一半 即 $\frac{30^\circ}{2} = 15^\circ$ 。

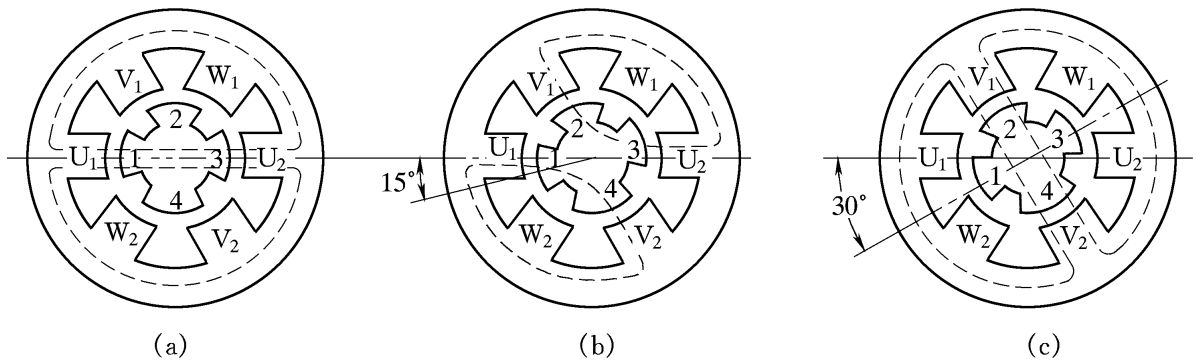


图 7.7.2 单、双六拍运行时的三相反应式步进电机工作原理图

在实际使用时，还经常采用三相双三拍的运行方式，也就是按 UV - VW - WU - UV 方式供电。这时与单三拍运行时一样，每一循环也是换接三次，总共有三种通电状态，但不同的是每次换接都同时有两相控制绕组接通。双三拍运行时，每一通电状态的转子位置和磁通路径与三相六拍相应的两相绕组同时接通时相同，如图 7.7.2

的角度与单三拍时相同，也是 30°。

上述简单的三相反应式步进电机的步距角太大，即每一步转过的角度太大，很难满足生产中所要求的位移量要小的要求。下面介绍三相反应式步进电机的一种典型结构。

在图 7.7.3 中，三相反应式步进电机定子上有六个极，上面装有的控制绕组连成 U、V、W 三相。转子圆周上均匀分布若干个小齿，定子每个磁极极靴上也有若干个小齿。

根据步进电机工作的要求，定、转子齿宽、齿距必须相等，定、转子齿数要适当配合。即要求在 U—U 相一对极下，定子、转子齿一一对齐时，下一相开一齿距 t m (相数) 为 t/m ；再下一相一对极下定子、转子齿错开 $2t/m$ ，并依此类推。

以转子齿数 $z = 40$ ，相数 $m = 3$ ，一相绕组通电时，在气隙圆周上形成的磁极数 $p = 1$ ，三相单三拍运行为例

$$\text{每一齿距的空间角为} \quad z = \frac{360^\circ}{z} = \frac{360^\circ}{40} = 9^\circ \quad (7.7.1)$$

$$\text{每一极距的空间角为} \quad = \frac{360^\circ}{2pm} = \frac{360^\circ}{2 \times 1 \times 3} = 60^\circ \quad (7.7.2)$$

$$\text{每一极距所占的齿数为} \quad \frac{z}{2pm} = \frac{40}{2 \times 1 \times 3} = 6 \frac{2}{3} \quad (7.7.3)$$

由于每一极距所占的齿数不是整数，因此当 U—U 极下的定、转子齿对齐时，V—V 极的定子齿和转子齿必然错开 1/3 齿距，即为 3°，如图 7.7.4 所示。

由图 7.7.4 中可以看出，若断开 U 相控制绕组而接通 V 相控制绕组，这时步进电机中产生沿 V - V 极轴线方向的磁场，因磁通力图走磁阻最小路径闭合，就使转子受到同步转矩的作用而转动，转子按逆时针方向转动 1/3 齿距

应地 U - U 极和 W - W 极下的定子齿又分别和转子齿相错 1/3 齿距。按此顺序连续不断地通

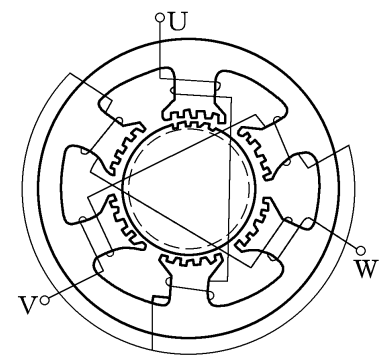


图 7.7.3 小步距角的三相反应式步进电机示意图

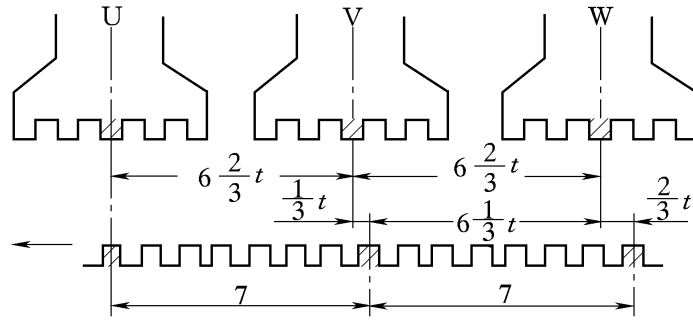


图 7.7.4 小步距角的三相反应式步进电机的展开图

电，转子便连续不断地一步一步转动。

若采用三相单、双六拍通电方式运行，即按 U - UV - V - VW - W - WU - U 顺序循环通电，同样步距角也要减少一半，即每一脉冲时转子仅转动 1.5° 。

由上面分析可知，步进电机的转子，每转过一个齿距，相当于空间转过 $360^\circ/z$ ，则每一拍转子转过的角度只是齿距角的 $1/N$ ，因此，步距角 s 为

$$s = \frac{360^\circ}{z N} = \frac{360^\circ}{40 \times 3} = 3^\circ \quad (7.7.4)$$

式中：N 为运行拍数。

如果脉冲频率很高，步进电机控制绕组中送入的是连续脉冲，各相绕组不断地轮流通电，步进电机不是一步一步地转动，而是连续不断地转动，它的转速与脉冲频率成正比。由 $s = 360^\circ/z N$ 可知，每输入一个脉冲，转子转过的角度是整个圆周角的 $1/z N$ ；也就是转过 $1/z N$ 转，因此每分钟转子所转过的圆周数即转速为

$$n = \frac{60 f}{z N} \quad (7.7.5)$$

式中：n 为转速，单位 r/min；f 为脉冲频率。

步进电机可以做成三相的，也可以做成二相、四相、五相、六相或更多相数的。步进电机的相数和转子齿数越多，则步距角 s 就越小。在一定的脉冲频率下，步距角越小，转速也越低。但是相数越多，电源就越复杂，成本也较高。因此，目前步进电机一般最多六相，个别的也有更多相数的。

7.7.2 运行特性

反应式步进电机的特性，从下面两种运行状态来进行分析：

1. 静态运行状态

步进电机不改变通电的状态称为静态运行状态，静态运行状态下步进电机的转矩与转角特性，简称矩角特性 $T = f(\theta)$)

转矩)

，如图 7.7.5 所示。当

步进电机通电相

$\theta = 0^\circ$ ，电动机转子上无切向磁拉力作

用，转矩 T 等于零，如图 7.7.5 (a)

了切向磁拉力，产生转矩 T，转矩方向与 偏转方向相反，规定为负，如图 7.7.5 (b)

显然，在 $\alpha < 90^\circ$ 时， α 越大，转矩 T 越大。当 $\alpha > 90^\circ$ 时，由于磁阻显著增大，进入转子齿顶的磁通量急剧减少，切向磁拉力以及转矩反而减少，直到 $\alpha = 180^\circ$ 时，转子齿处于两个定子齿正中，因此，两个定子齿对转子齿的磁拉力互相抵消，如图 7.7.5 (c) T 又为零。

再增大，则转子齿将受到另一个定子齿的作用，出现与 $\alpha < 180^\circ$ 时相反的转矩，如图 7.7.5 (d)

T 随转角 α 作周期变化，变化周期是一个齿距，即 2 电弧度。 $T = f(\alpha)$ 的形状比较复杂，它与气隙，定、转子片齿的形状以及磁路饱和程度有关，实践经验证明，反应式步进电机的转角特性接近正弦曲线，如图 7.7.6 所示(图中只画出从 $-\pi$ 到 $+\pi$ 的范围)

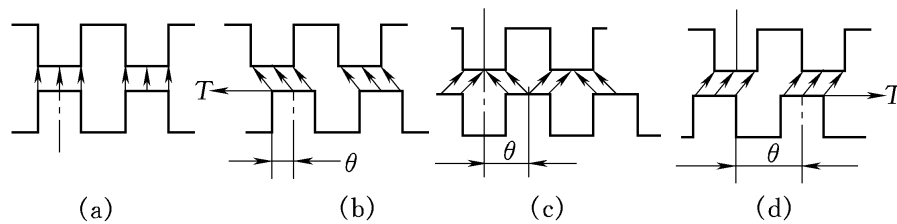


图 7.7.5 定转子间的作用力

如果电动机空载，在静态稳态运行时，转子必然有一个稳定平衡位置。从上面分析看出这个稳定平衡位置在 $\alpha = 0^\circ$ 处，即通电相定、转子齿对齐位置。因为当转子处于这个位置时，如有外力使转子齿偏离这个位置，只要偏离角 α 在 $0^\circ < \alpha < 180^\circ$ 的范围内，除去外力，转子能自动地重新回到原来位置。当 $\alpha = \pm \pi$ 时，虽然两个定子齿对转子一个齿的磁拉力互相抵消，但是只要转子向任一方向稍偏离，磁拉力就失去平衡，稳定性被破坏，所以 $\alpha = \pm \pi$ 这个位置是不稳定的，两个不稳定点之间的区域构成静态稳定区，如图 7.7.6 所示。

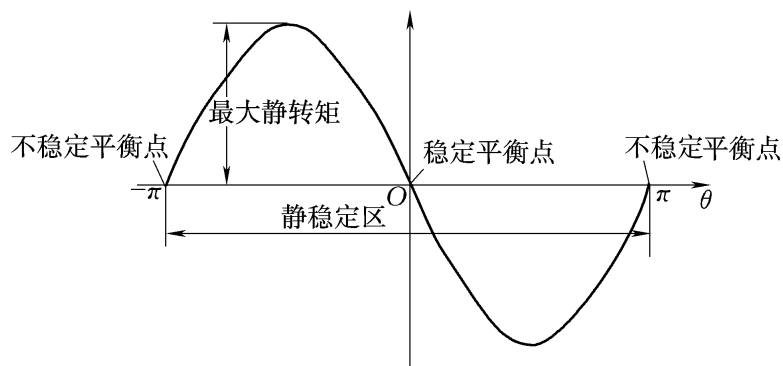


图 7.7.6 反应式步进电机的矩角特性

矩角特性上，电磁转矩的最大值称为最大静态转矩 T_{max} ，它表示了步进电机承受负载的能力，是步进电机最主要的性能指标之一。

2. 步进运行状态

步进电机的步进运行状态与控制脉冲的频率有关。当步进电机在极低的频率下运行时，后一个脉冲到来之前，转子已完成一步，并且运动已基本停止，这时电动机的运行状态由一个个单步运行状态所组成。

步进电机的单步运行状态为一振荡过程。参看图 7.7.1，当步进电机空载，U 相通电时，

转子齿 1 和 3 的轴线与定子 U 极轴线对齐。U 相断电，V 相通电时，转子将按逆时针方向转动，在转子齿 2 和 4 转到对准定子 V 极轴线的瞬间，电动机的磁阻转矩为零。但由于转子惯性的影响它将继续向逆时针方向转动。当转子齿 2 和 4 的轴线越过 V 极轴线位置后，就受到反向转矩的作用而减速直到停转。但此时转子仍受到反向转矩的作用，开始顺时针方向转动，当转子齿 2 和 4 的轴线再次对齐 V 极轴线时，又会因转子惯性的影响同样继续沿顺时针方向转动，如此来回振荡。由于摩擦等阻尼力矩的影响，最终将使齿 2 和 4 轴线停止在 V 极轴线位置。可见，当电脉冲由 U 相切换到 V 相绕组时，转子将转过一个步距角 θ_s ，但整个过程将是一个振荡过程。一般说来，这一振荡是不断衰减的，如图 7.7.7 所示，阻尼作用越大，衰减得越快。

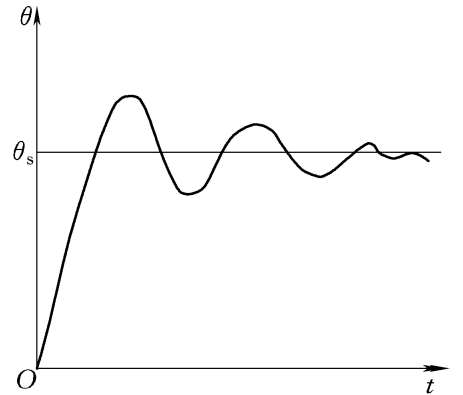


图 7.7.7 步进电机转子振荡过程

当通电脉冲的频率增高时，脉冲周期缩短，因而可能出现一个周期内转子振荡还未衰减完，下一个脉冲就到来的情况。这种运行状态表现的特性主要有如下的几个方面：

动稳定区是指步进电机从一种通电状态切换到另一种通电状态时，不致引起失步的区域。如步进电机空载，且在 U 相通电状态下，其矩角特性如图 7.7.8 中曲线 a 所示，转子位于稳定平衡点 O_A 处。加一脉冲，U 相断电，V 相通电，矩角特性变为曲线 b。曲线 a 与曲线 b 相隔一个步距角 θ_s ，转子新的稳定平衡位置为 O_B 。只要改变通电状态，转子位置处于 $B - B$ 间，转子就能向 O_B 点运动，而达到新的稳定平衡。区间 $B - B$ 为步进电机空载状态下的动稳定区，如图 7.7.8 (a)

静稳定区，步进电机运行越稳定，如图 7.7.8

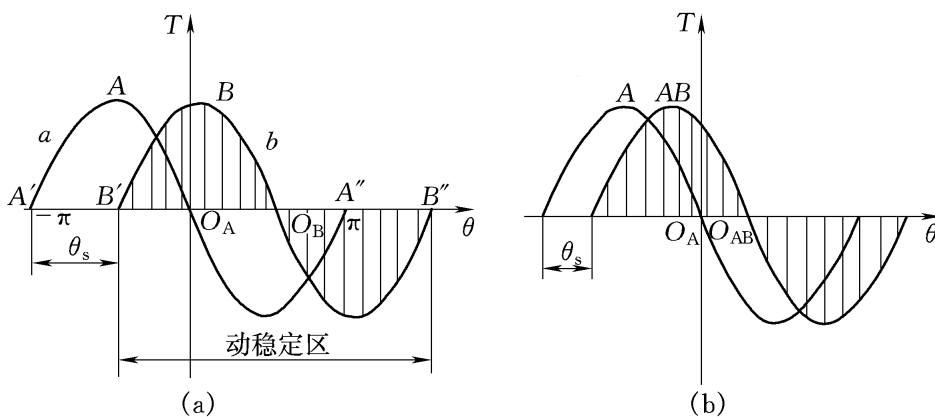


图 7.7.8 三相步进电机的动稳定区

T_{st}

图 7.7.9 为步进电机的矩角特性。

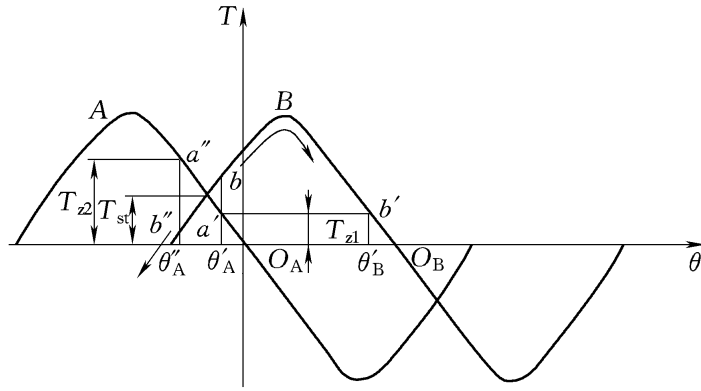


图 7.7.9 步进电机最大负载转矩

图中相邻两个矩角特性的交点所对应的电磁转矩用 T_{st} 表示。当步进电机所带负载转矩 $T_{z1} < T_{st}$ 时，在 U 相通电状态下，转子处在失调角 θ_A 的平衡点 a ，U 相断电，V 相通电，在改变通电状态的瞬间，由于惯性，转子位置还来不及改变，矩角特性跃变为曲线 B，这时对应角 θ_A 的电磁转矩为特性曲线 B 上的 b 点，此时电动机转矩大于负载转矩 T_{z1} ，使转子加速，转子向着增大方向运动，最后达到新的稳定平衡点 b 。如果负载转矩很大，为 T_{z2} ，如图 7.7.9 中所示，起始稳定平衡点是曲线 A 上的 a 点，对应的失调角为 θ_A 。当 U 相断电，V 相通电后，这时对应角 θ_A 的电动机转矩为特性曲线 B 上的 b 点，电动机转矩小于负载转矩 T_{z2} ，显然电动机不能作步进运动。所以各相转角特性的交点所对应的转矩 T_{st} 就是最大负载转矩，也称为起动转矩。最大负载转矩 T_{st} ，比最大静态转矩 T_{max} 要小。随着步进电机相数 m 或拍数 N 的增加，步距角减小，两曲线的交点就升高。 T_{st} 越大，就越接近最大静态转矩 T_{max} 。

步进电机在连续运行状态时产生的转矩称为动态转矩。步进电机的最大动态转矩将小于最大静态转矩，并随着脉冲频率的升高而降低。这是因为步进电机的控制绕组中存在电感，具有一定的电气时间常数，使绕组中电流呈指数曲线上升或下降。频率很高，周期很短，电流来不及增长，电流峰值随脉冲频率增大而减小，励磁磁通亦随之减小，很显然，动态转矩也减小了。步进电机的动态转矩与频率的关系，即所谓矩频特性，是一条下降的曲线，如图 7.7.10 所示，这也是步进电机的重要特性之一。

当控制脉冲频率继续升高时，步进电机将不是一步步地转动。而像普通同步电动机一样做连续匀速旋转运动。

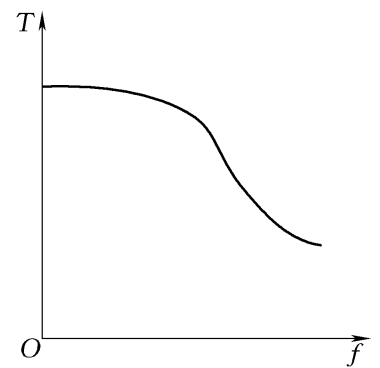


图 7.7.10 步进电机的矩频特性

7.7.3 驱动电源

步进电机是由专用的驱动电源来供电的，驱动电源和步进电机是一个有机的整体。步进电机的运行性能是由步进电机和驱动电源两者配合所反映出来的综合效果。

步进电机的驱动电源，基本上包括变频信号源，脉冲分配器和脉冲放大器三个部分，如图 7.7.11 所示。

变频信号源是一个频率从十赫到数十千赫可连续变化的信号发生器，变频信号源可以采用多种线路，最常见的有由多谐振荡器和单结晶体管构成的弛张振荡器两种。它们都是通过调节

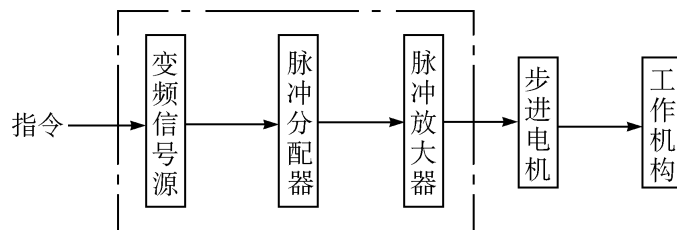


图 7.7.11 步进电机的驱动电源

电阻和电容 C 的大小来改变电容充放电的时间常数，以达到选取脉冲信号频率的目的。

脉冲分配器是由门电路和双稳态触发器组成的逻辑电路，它根据指令把脉冲信号按一定的逻辑关系加到放大器上，使步进电机按一定的运行方式运转。

从脉冲分配器输出的电流只有几个毫安，不能直接驱动步进电机，因为步进电机需要几安到数十安电流，因此在脉冲分配器后面都装有功率放大电路，用放大后的信号去推动步进电机。

小 结

本章主要讲述直流电动机和特殊电动机。在直流电动机中，主要介绍了直流电动机的基本结构、工作原理、运行特性、常见故障及处理方法。在特殊电动机中，主要介绍了特殊电动机的基本结构、工作原理及运行特性，并将二者相联系。特种电动机与一般旋转电动机无原则上的差别，特性也大致相同，但用途不同，一般旋转电动机着重于起动和运行状态，其主要任务是能量转换；而特种电动机着重于输出量的大小、精度和快速反应，其主要任务是转换和传递控制信号。

思 考 题

- 7.1 直流电动机中换向器的作用是什么？将换向器换成滑环，电动机能旋转吗？为什么？
- 7.2 如何改变并励直流电动机的转向？
- 7.3 他励直流电动机，在负载转矩 T_2 和外加电压 U_N 不变的情况下，减小励磁，电枢电流将如何变化？
- 7.4 负载转矩不变，电动机采用电枢回路串电阻调速后，电流如何变化？为什么？
- 7.5 换向产生火花的原因有几类？
- 7.6 一台 Z_373 的直流电动机，额定值分别为 $P_N = 17 \text{ kW}$ ， $U_N = 440 \text{ V}$ ， $I_N = 46 \text{ A}$ ， $n_N = 1000 \text{ r/min}$ ，试求额定负载状态下，电动机的：
 - 输入功率 P_1 。
 - 效率 η 。
 - 电磁转矩 T_e 。
- 7.7 一台并励直流电动机，额定数据如下： $P_N = 20 \text{ kW}$ ， $U_N = 220 \text{ V}$ ， $n_N = 2000 \text{ r/min}$ ， $\cos \phi_N = 0.86$ ， $R_a = 0.04 \Omega$ ， $R_f = 30 \Omega$ ，额定运行时求：
 - 额定电流。
 - 励磁电流。
 - 反电动势。
 - 额定电磁转矩。

7.8 一台并励直流电动机， $P_N = 40 \text{ kW}$ ， $U_N = 220 \text{ V}$ ， $I_N = 208 \text{ A}$ ， $n_N = 1500 \text{ r/min}$ ， $R_a = 0.1$ ， $R_f = 25$ 。试求额定负载时，电动机的：

效率。

总损耗。

反电动势。

作出机械特性曲线。

7.9 试求上题负载转矩为 0.8 倍的额定转矩时的转速。

7.10 一台并励直流电动机 $P_N = 10 \text{ kW}$ ， $U_N = 110 \text{ V}$ ， $n_N = 750 \text{ r/min}$ ， $\alpha_N = 0.81$ ， $R_a = 0.08$ ， $R_f = 50$ ，试求：

直接起动时的起动电流 I_{st} 。

限制起动电流为额定电流的 1.8 倍时，电枢回路应串入的起动电阻 R_{st} 。

以上两种方式起动时，求电动机的输入电流和起动转矩。

7.11 一台并励直流电动机，铭牌数据为 $P_N = 10 \text{ kW}$ ， $U_N = 220 \text{ V}$ ， $I_N = 50 \text{ A}$ ， $n_N = 1500 \text{ r/min}$ ，电枢电阻 $R_a = 0.25$ ，在负载转矩不变的条件下，如果用降压调速的方法将转速下降 20%，电枢电压应降到多少？

7.12 试求上题条件下，电动机将转速提高 20%，采用弱磁调速，主磁通应为额定磁通的多少倍？

7.13 一台他励直流电动机，额定数据为 $P_N = 5.5 \text{ kW}$ ， $U_N = 110 \text{ V}$ ， $I_N = 60 \text{ A}$ ， $n_N = 1500 \text{ r/min}$ ，电枢电阻 $R_a = 0.4$ ，试求当负载转矩和磁通不变时，电枢端电压下降 30% 的转速。

7.14 一台并励直流电动机，铭牌数据为 $P_N = 7.5 \text{ kW}$ ， $U_N = 110 \text{ V}$ ， $I_N = 82.2 \text{ A}$ ， $n_N = 1500 \text{ r/min}$ ，电枢回路和励磁回路的电阻分别为 $R_a = 0.10$ ， $R_f = 46.7$ ，试求：

电枢电流 $I_a = 60 \text{ A}$ 时，电动机的转速。

负载转矩为额定值，电动机主磁通减小 15% 时，电枢电流和转速。

7.15 一台并励直流电动机，额定数据为 $P_N = 7.5 \text{ kW}$ ， $U_N = 220 \text{ V}$ ， $I_N = 41.3 \text{ A}$ ， $n_N = 1000 \text{ r/min}$ ，电枢电阻 $R_a = 0.15$ ，励磁电阻 $R_f = 42$ ，保持额定电压和额定转矩不变，试求：

电枢回路串入 $R = 0.4$ 的电阻时，电动机的转速和电枢电流。

励磁回路串入 $R = 10$ 的电阻时，电动机的转速和电枢电流。

7.16 改变交流伺服电机转动方向的方法有哪些？

7.17 交流伺服电机

试求旋转磁场的转速 n_s 。

若转子转速 $n = 18000 \text{ r/min}$ ，试问转子切割磁场的速度是多少？转差率 s 和转子电流的频率 f_2 各为多少？若由于负载加大，转子转速下降为 $n_2 = 12000 \text{ r/min}$ ，试求这时的转差率和转子电流的频率。

若转子转向与定子旋转磁场的方向相反时的转子转速 $n = 18000 \text{ r/min}$ ，试问这时转差率和转子电流频率各为多少？电磁转矩 T 的大小和方向是否与 $n = 18000 \text{ r/min}$ 时一样？

7.18 当直流伺服电机的励磁电压 U_f 和控制电压 U_c 不变时，如将负载转矩减小，试问这时电枢电流 I_a 、电磁转矩 T 和转速 n 将怎样变化？

7.19 保持直流伺服电机的励磁电压一定。

当电枢电压 $U_2 = 50 \text{ V}$ 时，理想空载转速 $n_0 = 3000 \text{ r/min}$ ，当 $U_2 = 90 \text{ V}$ 时， n_0 等于多少？

已知电动机的阻转矩 $T_c = T_0 + T_2 = (1.50 \times 9 - 5) \text{ N}\cdot\text{m}$ ，且不随转速大小而变。当电枢电压 $U_2 = 50 \text{ V}$ 时，转速 $n = 1500 \text{ r/min}$ ，试问当 $U_2 = 90 \text{ V}$ 时， n 等于多少？

7.20 交流测速发电机的转子静止时是否有电压输出？转动时为何输出电压与转速成正比，但频率却与转速无关？何谓线性误差？

7.21 为什么直流测速发电机的转速不得超过规定的最高转速？负载电阻不能小于给定值？

第 8 章

继电 - 接触器控制线路 分析及故障排除

工厂中的设备各式各样，大多采用电力拖动，常由继电 - 接触器控制系统实现对它们的控制。这种控制方法简单，工作稳定，成本低，在一定范围内适应单机和生产自动化的需要，因此在工矿企业中得到广泛应用。本章将围绕继电 - 接触器控制介绍常用低压电器元件，基本控制环节和典型控制电路。

8.1 低 压 电 器

凡是根据外界特定信号自动、手动地接通、断开电路或非电对象控制的电气产品都称为电器。低压电器是指工作于交流 50 Hz，交流额定电压 1 200 V 以下、直流额定电压 1 500 V 以下的电路中，起通断、保护、控制或调节作用的电器产品。随着生产的发展以及工业部门使用电压等级的提高，低压电器的电压等级也相应提高。低压电器品种多、用量大、用途广泛。本节着重介绍常用低压电器的结构、工作原理、型号、规格、用途、选用原则及维护等。

8.1.1 低压电器产品的分类、用途和产品型号含义

1. 低压电器产品的分类、用途

按照用途的不同，低压电器可分为低压配电电器和低压控制电器两大类。低压配电电器主要有刀开关、转换开关、熔断器、断路器等，对低压配电电器的主要技术要求是分断能力强、限流效果高、动稳定和热稳定性高、操作过电压低。低压控制电器主要有接触器、控制继电器、起动器、主令电器等，对低压控制电器的主要技术要求是适当的转换能力、操作频率高、电寿命和机械寿命长等。低压电器的分类及用途如下：

刀开关：包括大电流刀开关、熔断器式刀开关、开关板用刀开关、负荷开关。主要用于电路隔离，也能接通和分断额定电流。

转换开关：包括组合开关、换向开关。用于两种以上电源或负载的转换和通断电路。

断路器：包括框架式

断路器。用于线路过载、短路或欠压保护，也可用作不频繁接通和分断电路。

熔断器：包括有填料熔断器、无填料熔断器、快速熔断器、自复熔断器。用于线路或电气设备的短路和过载保护。

接触器：包括交流接触器和直流接触器。主要用于远距离频繁起动或控制电动机，接通和分断正常工作的电路。

控制继电器：包括电流继电器、电压继电器、时间继电器、中间继电器、热继电器。主要用于控制其他电器或做主电路的保护。

起动器：包括磁力起动器和减压起动器。主要用于电动机的起动和正反向控制。

控制器：包括凸轮控制器和平面控制器。主要用于电气控制设备中转换主回路或励磁回路的接法，以达到电动机起动、换向和调速的目的。

主令电器：包括按钮、限位开关、微动开关、万能转换开关。主要用于接通和分断控制电器。

电阻器：铁基合金电阻。用于改变电路的电压、电流等参数或变电能为热能。

变阻器：包括励磁变阻器、起动变阻器、频敏变阻器。主要用于发电机调压以及电动机的减压起动和调速。

电磁铁：包括起重电磁铁、牵引电磁铁、制动电磁铁。用于起重、操纵或牵引机械装置。

2. 低压电器产品型号含义

低压电器产品的结构和用途各种各样，每一种产品都有它的型号，具体如下所示：

1 2 3 - 4 5/6 7

其中：1——类组代号

2——设计代号

示防爆用、“7”表示纺织用、“6”表示农用，“5”表示化工用)

3——特殊派生代号

征，一般情况无此代号；

4——基本规格代号

5——派生代号

生字母对照；

6——辅助规格代号

7——热带地区使用的代号。

8.1.2 低压刀开关

低压刀开关又称为闸刀开关，它由操作手柄、触刀、静触点和绝缘底座等组成。广泛地应用于各种配电设备和供电线路，作为不频繁地接通、分断低压供电线路以及隔离电源之用。另外，也可用作小容量笼型异步电动机的直接起动。刀开关按刀的级数可分为单极、双极和三极等类型。刀开关的主要技术参数有额定电压、额定电流、通断能力、动稳定电流、热稳定电流等。常用刀开关有以下几种：

1. 开启式板用刀开关

HD、HS型开启式板用刀开关主要用于成套配电装置中隔离电源；当开关带有灭弧罩并用杠杆操作时，也能接通和切断负荷电流。其外形和电气图形符号、文字符号如图8.1.1所示。

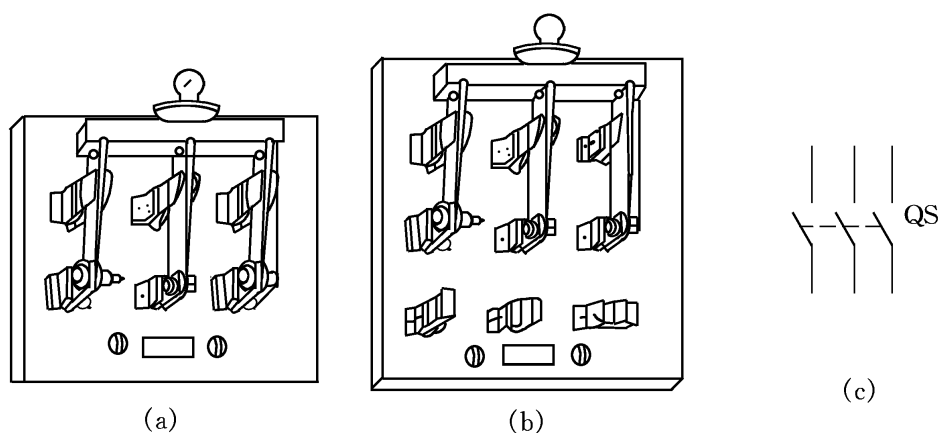


图 8.1.1 HD、HS 刀开关外形、图形符号及文字符号

2. 负荷开关

负荷开关分为开启式负荷开关和封闭式负荷开关两种。电气图形符号和文字符号如图 8.1.2 所示。

开启式负荷开关又称为胶盖瓷底闸刀开关。开启式负荷开关内部装设了熔体，因此当其控制的电路发生短路故障时，可通过熔体的熔断而迅速切断故障电路。用于照明电路时，可选用额定电压为 250 V，额定电流等于或大于电路最大工作电流的二极开关；用于电动机的直接启动时可选用额定电压为 380 V 或 500 V，额定电流等于或大于电动机 3 倍额定电流的三极开关。常用的胶盖瓷底闸刀开关的型号有 HK1、HK2 等系列，三级胶盖瓷底闸刀开关的外形及内部结构如图 8.1.3 所示。

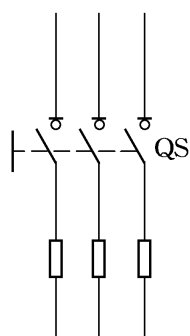


图 8.1.2 负荷开关电气图形符号和文字符号

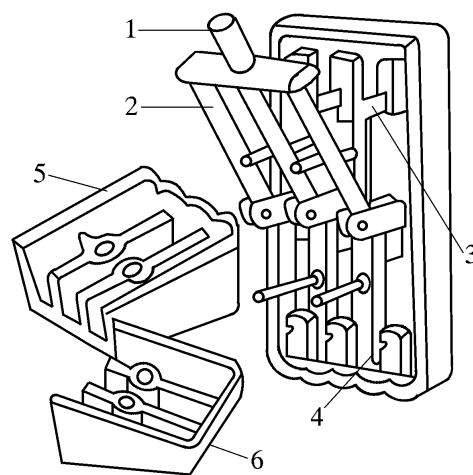


图 8.1.3 三极胶盖闸刀开关结构示意图
1——瓷质手柄；2——闸刀；3——静触点；
4——装熔丝接点；5——上胶盖；6——下胶盖

封闭式负荷开关又称为铁壳开关。铁壳开关适用于工矿企业、农村电力排灌和电热、照明等各

种配电设备中，供手动不频繁地接通与分断电路以及作为线路末端的短路保护之用。交流 50 Hz、380 V、60 A 及以上等级的开关，还可作为交流感应电动机的不频繁地直接启动及分断之用。它由刀开关和熔断器快速动作机构组成，并有联锁装置使开关闭合后不能开启盒盖。铁壳开关的常用型号有 HH3、HH4、HH10、HH11、Hex - 30 等系列，其中 Hex - 30 系列的铁壳开关还带有断相保护，当一相熔体熔断时，铁壳开关的脱扣器动作，使其跳闸断开电路，起到保护作用。铁壳开关的外形及内部结构如图 8.1.4 所示。

3. 组合开关

组合开关又称为转换开关，也属于刀开关类型。其特点是用动触片代替闸刀，以手柄左右旋转操作代替了闸刀开关的上下分合操作。组合开关在机床电气和其他电气设备中使用广泛。其体积小，接线方式多，使用非常方便。常用于交流 50 Hz、380 V 及以下、直流 220 V 及以下的电气线路中，供手动不频繁地接通或分断电路、接换电源、测量三相电压、改变负载的连接方式，控制小容量交、直流电动机的正反转，启动和变速换向等。

图 8.1.5 为 HZ10 - 10/3 型组合开关的结构示意及电气符号。组合开关分为单极、双极、多极等三类，常用的型号有 HZ2、HZ5、HZ10、HZ15 等系列。组合开关的主要技术参数有：额定电压、额定电流、允许操作频率、极数、可控制电动机的最大功率等。

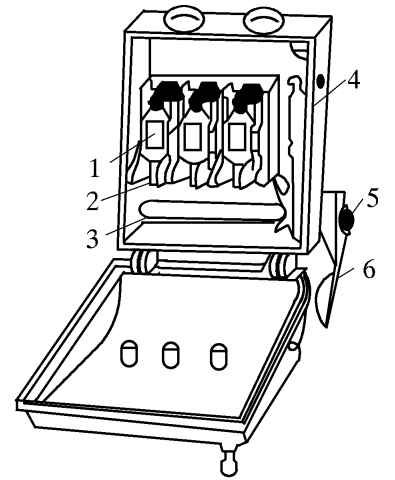


图 8.1.4 HH3 系列封闭式负荷开关的结构示意图

- 1——熔断器；2——静触点；
- 3——动触点；4——速动弹簧；
- 5——绝缘方轴；6——操作手柄

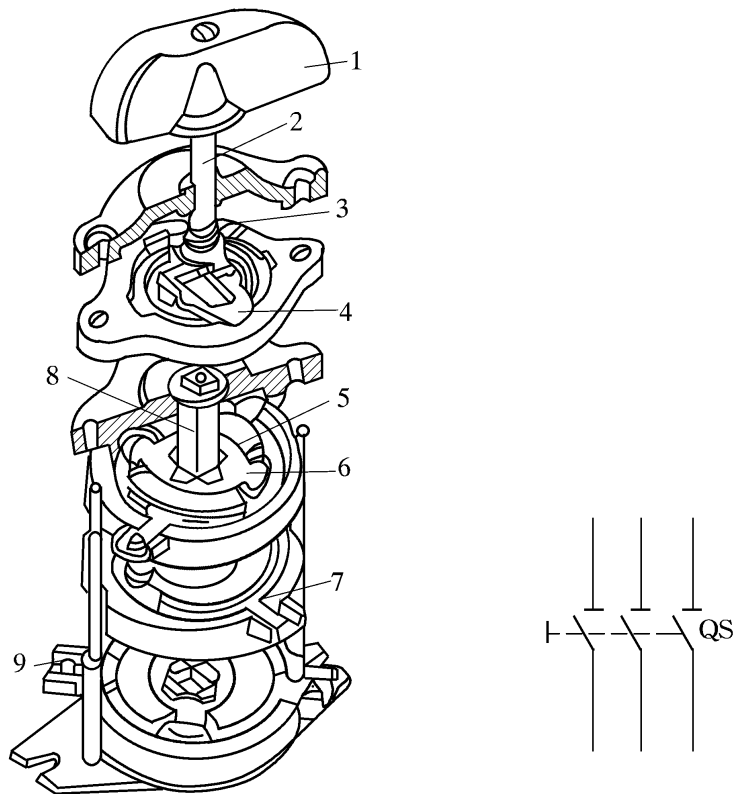


图 8.1.5 HZ10 - 10/3 型组合开关结构示意及电气符号

- 1——手柄；2——转轴；3——弹簧；4——凸轮；5——绝缘垫板；
- 6——动触点；7——静触点；8——绝缘方轴；9——接线柱

4. 低压刀开关的使用

按低压刀开关的用途选择合适的操作方式，中央手柄式刀开关不能切断负荷电流，其他形式的可切断一定的负荷电流，但必须选带灭弧室的刀开关。

低压刀开关的额定电压和额定电流必须符合电路要求。

校核低压刀开关的动稳定和热稳定性。如与电路要求不符，应选增大一级额定电流的刀开关。

组合开关的层数和接线图应符合电路要求。

带熔断器的低压刀开关还应综合考虑对刀开关和熔断器的要求来选择。根据用电设备的容量正确选择熔体的等级及熔体的额定电流。

如果刀开关装设在近电源端作配电保护电器，应选用带高短路分断能力的熔断器的开关；如用在负载端，因短路电流较小，可选用带短路分断能力低的瓷插式熔断器的开关；如果用于不频繁操作电动机，则需按工作台电流计算能控制的电动机容量。

低压刀开关应垂直安装，仅在不切断电流的情况下，允许水平安装。

刀片与固定触点的接触应良好，大电流的触点或刀片可适量加润滑油

有来弧触点的低压刀开关，各相的分闸动作应迅速一致。

双投低压刀开关在分闸位置时，刀片应能可靠地固定，不得使刀片有自行合闸的可能。

组合开关安装后，其手柄位置指示应与相应的接触片位置对应，定位机构应可靠，所有触点在任何接通位置都应接触良好。

熔断器式低压刀开关的槽形轨必须经常保持清洁，以防止积污后操作不灵活。

应经常检查开关的触点，清理灰尘和油污等物。操作机构的摩擦处应定期加润滑油，使其动作灵活，延长使用寿命。

更换熔体时，操作人员应戴上工作手套，避免因熔管的高温而烫手并应注意更换同型号同规格的熔体。

应尽量避免不必要地拆装灭弧室，拆下后，一定要小心地装好，以免发生意外。

重新安装时，在母线与插座的连接处必须清除氧化膜，然后立即涂上少量工业凡士林或导电胶，以防止氧化。

在修理负荷开关时，要注意保持手柄与门的联锁，不可轻易拆除。

当刀开关损坏时需进行维修或在定期检修时进行维修，应清除底板上的灰尘，以保证良好的绝缘。检查触刀的接触情况，如果触刀磨损严重或触点被电弧过度烧损，应及时更换。发现触刀转动铰链过松时，应把螺栓拧紧。

8.1.3 低压熔断器

低压熔断器是低压线路及电动机控制电路中，主要起短路保护作用的电器。它由熔体和安装熔体的绝缘底座或绝缘管等组成。熔断器的符号如图 8.1.6

用易熔金属材料，如锡、铅、铜、银及其合金等制成，熔体的熔点一般在 200 ~ 300 。熔断

器使用时，应串接在要保护的电路中，当正常工作时，熔体相当于一根导体，允许通过一定的电流，熔体的发热温度低于熔化温度，因此不熔断；而当电路发生短路或严重过载故障时，流过熔体的电流大于允许的正常发热的电流，使得熔体的温度不断上升，最终超过熔体的熔化温度而熔断，从而切断电路，保护了电路及设备。熔体熔断后要更换熔体，电路才能重新接通工作。熔断器的主要技术参数有：额定电压、熔体的额定电流、支持件的额定电流、极限分断能力等。

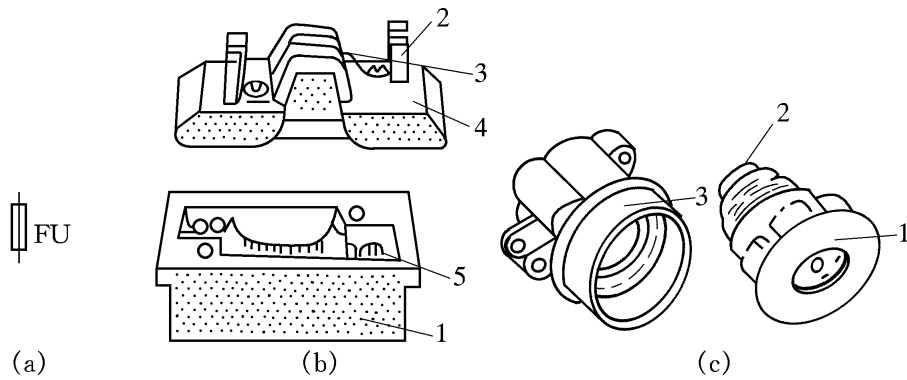


图 8.1.6 熔断器外形及文字、图形符号

1——瓷底座；2——动触点；3——熔体；4——瓷插件；5——静触点；

1. 常用的熔断器

常用的熔断器主要有瓷插式熔断器、螺旋式熔断器、螺旋式快速熔断器及有填料封闭管式熔断器等类型。

瓷插式熔断器是一种常见的机构简单的熔断器，它由瓷底座、瓷插件、动触点、静触点和熔体组成，外形如图 8.1.6

弱，电弧声光效应较大，一般用于低压分支电路的短路保护。常用的瓷插式熔断器的型号有 RC1A 等。

螺旋式熔断器由瓷底座、瓷帽、瓷套、熔管等组成，外形如图 8.1.6 有熔体、石英砂填料等，将熔管安装在底座内，旋紧瓷帽，就接通了电路。当熔体熔断时，熔管端部的红色指示器跳出。旋开瓷帽，更换整个熔管。熔管内的石英砂热容量大、散热性能好，当产生电弧时，电弧在石英砂中迅速冷却而熄灭，因而有较强的分断能力。螺旋式熔断器常用于电气设备的短路和严重过载保护，常用的型号有 RL1、RL6、RL7 等系列。

螺旋式快速熔断器的结构与螺旋式熔断器的完全相同，主要用于半导体元件，如硅整流元件和晶闸管的保护，常用的型号有 RLS1、RLS2 等系列。

有填料封闭管式熔断器是一种具有大分断能力的熔断器，广泛用于供电线路和要求分断能力强的场合

个半波峰值到来之前分断电路；当分断供电电路的电流时，无声光现象，使用安全，分断能力强；当熔体熔断后，有红色熔断指示；它还附有活动绝缘手柄，可以在带电的情况下更换熔体，使用方便。常见的型号有 RT0、RT12、RT14、RT15、RT17 等系列。

上述几种熔断器的熔体一旦熔断，需要更换以后才能重新接通电路。现在有一种新型熔断器——自复式熔断器，它用金属钠制成熔体，在常温下具有高电导率，即钠的电阻很小。当电路发生短路时，短路电流产生高温，使钠汽化，而汽态钠的电阻很大，从而限制了短路电流。当短路电流消失后，温度下降，汽化钠又变成固态钠，恢复原有的良好的导电性。自复式熔断器的优点是不必更换熔体，可重复使用。但它只能限制故障电流，不能分断故障电路，因而常与断路器串联使用，提高分断能力。常用的型号有 RZ1 系列。

2. 低压熔断器的型号含义

低压熔断器的型号含义如下

R12 - 3

其中：R——熔断器；

1——组别、结构代号：C——插入式

L——螺旋式

M——无填料封闭式

T——有填料封闭式

S——快速式

Z——自复式

2——设计序号；

3——熔断器额定电流

3. 熔断器的选择

1)

对于变压器、电炉和照明等负载，熔体的额定电流应略大于或等于负载电流，对于装在瓦时计出线上的熔断器，其熔体额定电流应按 0.9 ~ 1 倍瓦时计额定电流来选择。变压器低压侧的熔断器熔体的额定电流可按 1 ~ 1.2 倍变压器低压侧额定电流来选择。

对于输配电线路，熔体的额定电流应略小于或等于线路的安全电流。

对于电动机负载，因为起动电流较大，一般可按下列公式计算：

对于一台电动机负载的短路保护： $I_{\text{熔体额}} = K I_{\text{电机额}}$ 。式中，系数 K 根据负载性质和起动方式不同而选取。当轻载起动、起动次数少、时间短或降压起动时，取小值；当重载起动、起动频繁、起动时间长或全压起动时，取大值。

对于多台电动机负载的短路保护： $I_{\text{熔体额}} = I_{\text{最大电机额}} + \text{其余电动机的计算负荷电流}$ 。

2)

熔断器的额定电压应大于或等于线路工作电压。

熔断器的额定电流应大于或等于所装熔体的额定电流。

1)

快速熔断器接入整流电路的方式有三种：

接入交流侧，对输出端或整流元件都能起到保护作用，但不能立即判断出故障点。

接入整流桥臂，当任意一臂的任一并联支路内的整流元件短路时，仅相应臂

号，以便及时发现故障点。

接入直流侧，除直流端的短路故障外，不能起到保护作用，而且当熔体熔断时产生的过电压还可能危及硅整流元件。这种接入方式的惟一优点是可以节省熔断器，故偶尔用于小容量整流装置。

2)

选择时应注意到快速熔断器的额定电流是以工频正弦波的有效值表示的，而它保护的半导体元器件的额定电流却是以平均值表示的。

不可控整流电路中的快速熔断器熔体额定电流的选择：当熔断器接在交流侧时，熔体额定电流为 $I_{\text{熔体额}} = K_f I_{\text{max}}$ ，式中， I_{max} 为可能使用的最大整流电流， K_f 为与整流电路形式有关的系数。如表 8.1 所示。

表 8.1 不同整流电路的 K_f 值

整流电路形式	单相半波	单相全波	单相桥式	三相半波	三相桥式
K_f 值	1.57	0.785	1.11	0.575	0.816

当熔断器与硅整流元件串联时，主要按硅整流元件的额定电流选择。考虑到平均值与有效值之比约为 1:1.5，故取熔断器熔体的额定电流等于或大于硅整流元件额定电流的 1.5 倍。

晶闸管整流电路中的快速熔断器的选择：熔体的额定电流仍可按上述原则确定，但系数 K_f 的数值不仅与整流电路形式有关，而且与导通角有关。如表 8.2 所示。

表 8.2 不同整流电路及不同导通角时的 K_f 值

晶闸管导通角		180°	150°	120°	90°	60°	30°
整流电路形式	单相半波	1.57	1.66	1.88	2.22	2.78	3.99
	单相桥式	1.11	1.17	1.33	1.57	1.97	2.82
	三相桥式	0.816	0.828	0.865	1.03	1.29	1.88

3)

快速熔断器熔断瞬间的最高电弧电压可达电源电压的 1.5~2 倍，为保证安全工作，硅整流元件的反向峰值电压必须大于此电压。

4. 使用及维护

应正确选用熔体和熔断器。有分支电路时，分支电路的熔体额定电流应比前一级小 2~3 级，对不同性质的负载，如照明电路，电动机电路的主电路和控制电路等，应尽量分别保

护，装设单独的熔断器。

安装螺旋式熔断器时，必须注意将电源线接到瓷底座的下接线端，以保证安全。

瓷插式熔断器安装熔体时，熔体应顺着螺钉旋紧方向绕过去，同时应注意不要划伤熔体，也不要使熔体绷紧，以免减小熔体截面尺寸或插断熔体。

更换熔体时应切断电源，并应换上相同额定电流的熔体，不要随意加大熔体，更不允许用金属导线代替熔断器接电路。

工业用熔断器应由专职人员更换，更换时应切断电源。

使用时应经常清除熔断器表面积有的灰尘。对于有动作指示器的熔断器，还应经常检查，若发现熔断器有损坏，应及时更换。

5. 熔断器的常见故障及修理

熔断器的常见故障及修理方法如表 8.3 所示。

表 8.3 熔断器的常见故障及修理方法

故障现象	产生原因	修理方法
电动机起动瞬间熔体即熔断	熔体规格选择太小 负载侧短路或接地 熔体安装时损伤	调换适当的熔体 检查短路或接地故障 调换熔体
熔体未熔断但电路不通	熔体两端或接线端接触不良 熔断器的螺帽盖未拧紧	清扫并旋紧接线端 旋紧螺帽盖

一般变截面熔体在小截面处熔断是因过负荷引起。因为小截面处温度上升快，熔体因过负荷熔断，表现为熔断部位较短。

变截面体的大截面部分也熔化，熔体爆或熔体断位很长，一般判断为短路故障引起。

8.1.4 低压断路器

低压断路器又称为自动空气开关，一般分为塑料外壳式。低压断路器可用来接通和分断负载电路。当电路发生严重过载、短路以及欠压、失压等故障时，能自动分断故障电路，起到保护接在其后的电气设备的作用。在正常情况下，也可用于不频繁地接通和分断电路以及控制和保护电动机。低压断路器是一种既有手动开关作用又有自动进行欠压、失压、过载和短路保护的电器。

1. 低压断路器结构及工作原理

低压断路器主要由触点、操作机构、灭弧系统和脱扣器等组成。图 8.1.7 为低压断路器的结构示意图。图 8.1.8 为低压断路器的原理图及电气符号。

低压断路器的主触点由手动或电动合闸，图 8.1.8 中所示的低压断路器处于闭合状态，主触点串在被保护的三相主电路中。当电路正常运行时，电磁脱扣器的电磁线圈虽然串接在电路中，但所产生的电磁吸力不能使衔铁动作，当电路发生短路故障时，电路中的电流达到了动作电流，则衔铁被迅速吸合，撞击杠杆，使锁扣脱扣，主触点在弹簧的作用下迅速分断，从而将

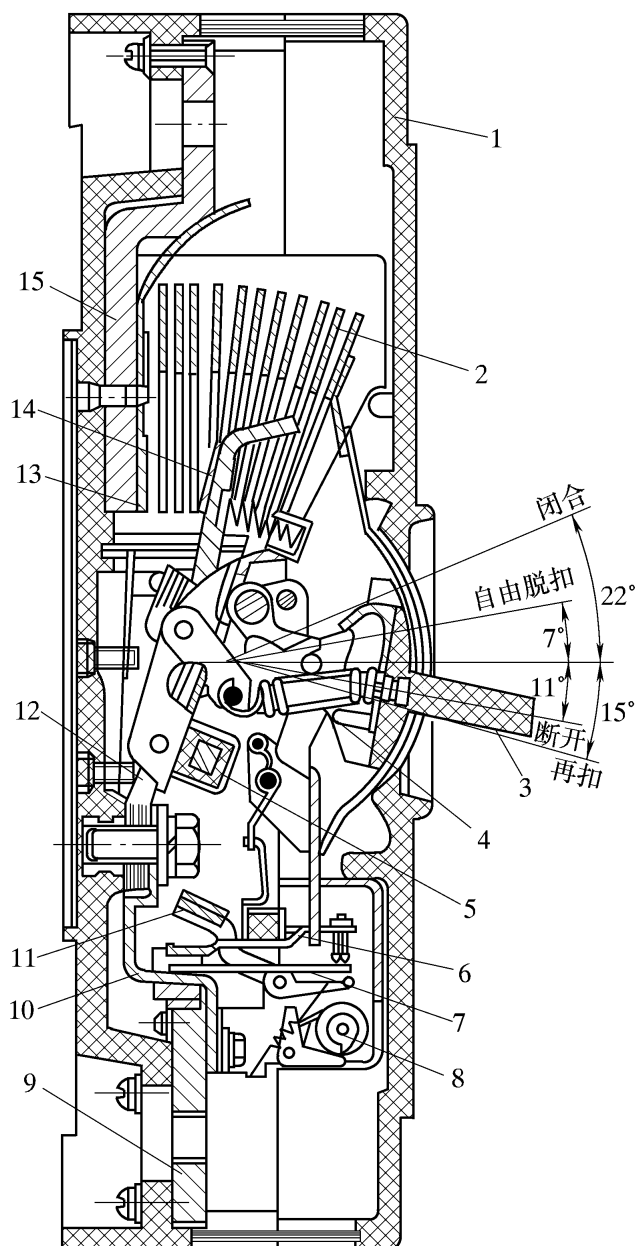


图 8.1.7 塑壳式低压断路器的结构

- 1——盖；2——灭弧室；3——手柄；4——自由脱扣机构；
 5——主轴；6——脱扣轴；7——热双金属片；8——瞬时调节；
 9——下母线；10——热元件；11——电磁脱扣器；
 12——软连接；13——静触点；14——动触点；15——上母线

主电路断开，起到短路保护作用。当电源电压正常时，欠电压脱扣器的电磁吸力大于弹簧的拉力，将衔铁吸合，主触点处于闭合状态；当电源电压下降到额定电压的 40% ~ 50% 或以下时，并联在主电路的欠电压脱扣器的电磁吸力小于弹簧的拉力，衔铁释放，撞击杠杆，使锁扣顶开，从而使主触点在弹簧的拉力作用下分断，断开主电路，起到失压和欠压保护。当线路发生过载时，过载电流使双金属片受热弯曲，撞击杠杆，使锁扣脱扣，主触点在弹簧的拉力作用下分断，从而断开主电路，起到过载保护作用。使用时应注意，当电路发生故障、自动开关自动跳闸时，必须先检查电路，排除故障后，并将手柄往后拉，使再扣板与传动机构的挂钩挂上，然后再把扳把手柄往上推到“合”位置，电路才能接通。常用的低压断路器的型号有 DZ15、

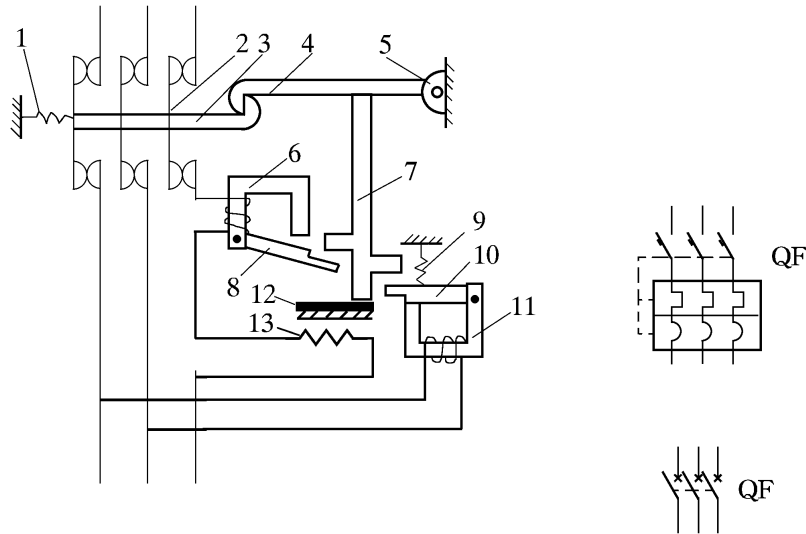


图 8.1.8 低压断路器的原理图及电气符号

- 1, 9——弹簧；2——触点；3——锁键；4——搭钩；5——轴；
 6——过电流脱扣器；7——杠杆；8, 10——衔铁；
 11——欠电压脱扣器；12——双金属片；13——电阻丝

DZ20、DZ5、DZ10、DZX10、DZX19 等系列。低压断路器的主要技术参数有：额定电压、额定电流、极数、脱扣器类型、脱扣器额定电流、脱扣器整定电流、主触点与辅助触点的分断能力和动作时间等。

2. 低压断路器的选用原则

低压断路器的额定电压和额定电流应不小于电路的额定电压和最大工作电流。

热脱扣器的整定电流应与所控制的负载的额定工作电流一致。

欠电压脱扣器额定电压应等于线路的额定电压。

电磁脱扣器的瞬时脱扣整定电流应大于负载电流正常工作时的最大电流。

对于单台电动机，DZ 系列低压断路器电磁脱扣器的瞬时脱扣整定电流 I_z 为

$$I_z = I_q$$

式中： I_q 为电动机的起动电流。

对于多台电动机，DZ 系列低压断路器电磁脱扣器的瞬时脱扣整定电流 I_z 为

$$I_z = I_{q \max} + \text{其他电动机额定电流}$$

式中： $I_{q \max}$ 为最大的一台电动机的起动电流。

3. 漏电保护低压断路器

漏电保护低压断路器又称为漏电保护自动开关或漏电断路器，它是作为低压交流电流中的配电，电动机过载、短路、漏电保护等用途，漏电保护开关有单极、两极、三极和四极之分。单极和两极用于照明电路，三极用于三相对称负荷，四极用于动力照明线路。漏电保护自动开关主要由三部分组成：自动开关、零序电流互感器和漏电脱扣器。实际上，漏电保护自动开关就是在一般的自动空气开关的基础上，增加了零序电流互感器和漏电脱扣器来检测漏电情况。因此，当人身触电或设备漏电时能够迅速切断故障电路，避免人身和设备受到危害。常用的漏电保护自动开关有电磁式和电子式两大类。电磁式漏电保护自动开关又分为电压型和电流型。电流型的漏电保护自动开关比电压型的性能较为优越，所以目前使用的大多数漏电保护自动开

关为电流型。下面介绍电磁式电流型的漏电保护自动开关。电磁式电流型的漏电保护自动开关的主要参数有：额定电压、额定电流、极数、额定漏电动作电流、额定漏电不动作电流以及漏电脱扣器动作时间等。根据其保护的线路又可分为三相和单相漏电保护自动开关。

图 8.1.9 为电磁式电流型三相漏电保护自动开关的原理图。

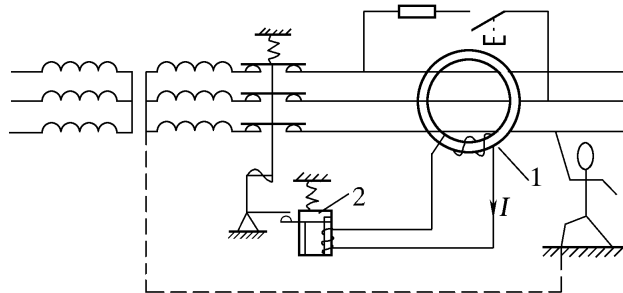


图 8.1.9 电磁式电流型的漏电保护自动开关原理

电路中的三相电源线穿过零序电流互感器 1 的环形铁心，零序电流互感器的输出端与漏电脱扣器 2 相连接，漏电脱扣器的衔铁被永久磁铁吸住，拉紧了释放弹簧。当电路正常时，三相电流的向量和为零，零序电流互感器的输出端无输出，漏电保护自动开关处于闭合状态。当有人触电或设备漏电时，漏电电流或触电电流从大地流回变压器的中性点，此时，三相电流的向量和不为零，零序电流互感器的输出端有感应电流 I_s 输出，当 I_s 足够大时，该感应电流使得漏电脱扣器产生的电磁吸力抵消掉永久磁铁所产生的对衔铁的吸力，衔铁被释放，漏电闭合自动开关触点动作，切断电路使触电的人或漏电的设备与电源脱离，起到漏电保护的作用。三相漏电保护自动开关主要用于动力线路或照明线路。常用的漏电保护自动开关有 DZ15L、DZ10L 等系列。

对于单相电路的漏电保护自动开关，其保护原理类似于三相漏电保护自动开关。不同的是单相漏电保护自动开关穿过零序电流互感器的导线是相线和中性线。单相漏电保护自动开关一般用于学校、办公室、家庭等单相用电线路上，其额定电压为交流 220 V，额定电流为 15 ~ 16 A 或 32 A 左右，额定动作电流为 30 mA，漏电脱扣器动作时间小于 0.1 s。

选用漏电保护开关时应注意：

漏电保护开关的额定电压应与电路的工作电压相适应。

漏电保护开关的额定电流必须大于电路的最大工作电流。

漏电动作电流和动作时间应按分级保护原则和线路漏电流的大小来选择。

4. 低压断路器的使用及维护

断路器在安装前应将脱扣器的电磁铁工作面的防锈油脂擦净，以免影响电磁机构的动作值。

断路器与熔断器配合使用时，熔断器应尽可能装于断路器之前，以保证使用安全。

电磁脱扣器的整定值一经调好后就不允许随意变动，使用日久后要检查其弹簧是否生锈卡住，以免影响其动作。

断路器在分断短路电流后，应在切除上一级电源的情况下，及时地检查触点。若发现

有严重的电灼痕迹，可用干布擦；若发现触点烧毛，可用砂纸或细锉小心修整。

应定期清除断路器上的积尘和检查各种脱扣器的动作值，操作机构在使用一段时间后

灭弧室在分断短路电流或较长时间使用之后，清除灭弧室内壁和栅片上的金属颗粒和黑烟灰，如灭弧室已破损，决不能再使用。长期不使用的灭弧室，在使用前应先烘一下，以保证有良好的绝缘。

8.1.5 主令电器

主令电器是自动控制系统中用来发送控制命令的电器。常见的主令电器有控制按钮、行程开关、万能转换开关等。

1. 控制按钮

控制按钮是一种手动且能自动复位的主令电器，一般做成复合型。控制按钮的结构如图 8.1.10 所示，它一般由按钮、恢复弹簧、桥式动触点、静触点和外壳等组成。控制按钮的电气符号如图 8.1.11 所示。当常态

5 闭合，该触点称为动断触点；静触点 3、4 与桥式动触点 5 分断，该触点称为动合触点。当按下按钮时，动触点 5 先和静触点 1、2 分断，然后和静触点 3、4 闭合。常用的型号有 LA2、LA10、LA18、LA19、LA20、LA25 等系列。其中 LA25 是全国统一设计的新型号，而且 LA25 和 LA18 系列是组合式结构，其触点数目可按需要拼装。LA19、LA20 系列有带指示灯和不带指示灯两种。

控制按钮的主要技术要求如下：规格、结构形式、触点对数和按钮颜色。常用的规格为交流额定电压 500 V、额定电流为 5 A。不同的场合可以选用不同的结构形式，一般有以下几种：紧急式——装有突出的蘑菇形钮帽，以便紧急操作；旋钮式——用手旋转进行操作；指示灯式——在透明的按钮内装有信号灯，以便信号显示；钥匙式——为使用安全起见，用钥匙插入方可旋转操作。按钮的颜色，一般规定起动按钮是绿色的，停车按钮是红色的，其他还有黑、黄、白、蓝等，供不同场合使用。

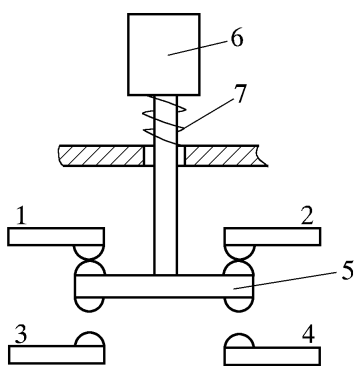


图 8.1.10 控制按钮的结构示意图

- 1, 2, 3, 4——静触点；
- 5——桥式动触点；6——按钮；
- 7——弹簧

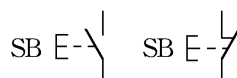


图 8.1.11 控制按钮的符号

2. 位置开关

位置开关又称为行程开关

出控制指令的电器。用于生产机械的运动方向、行程的控制和位置保护。

常用的位置开关型号有 LX19、LX31、LX32、LX33 以及 JLXK1 等系列。

位置开关的种类很多，有直动式、单轮滚动式、双轮滚动式、微动式等。图 8.1.12

开关的动作原理与按钮类似，不同之处是位置开关用运动部件上的撞块来碰撞其推杆，使位置开关的触点动作。

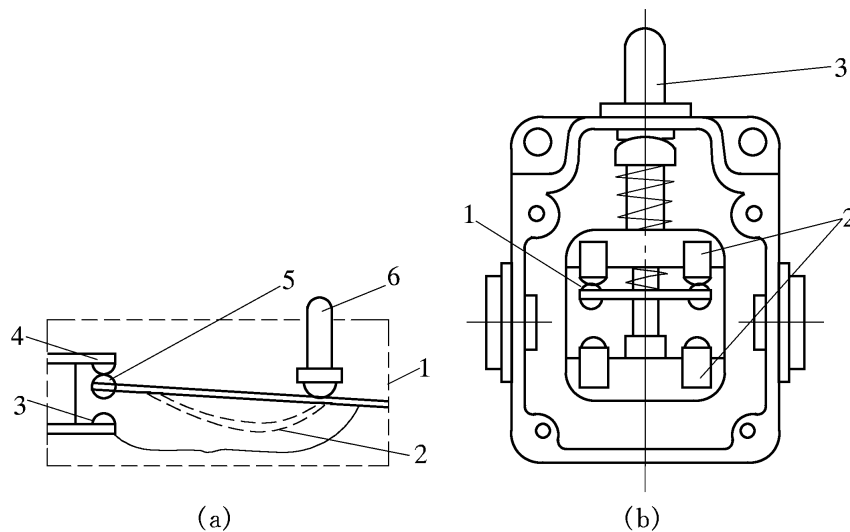


图 8.1.12 位置开关结构示意图

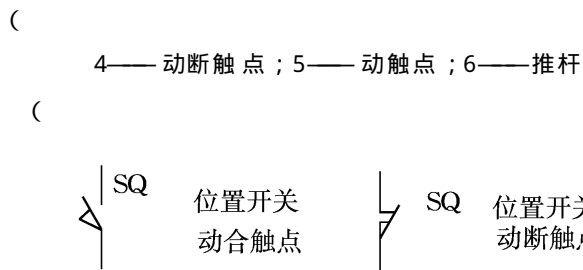


图 8.1.13 位置开关的符号图

3. 万能转换开关

万能转换开关是一种具有多个操作位置和触点、能进行多个电路的换接的手动控制电器。它可用于配电装置的远距离控制、电气控制线路的换接、电气测量仪表的开关转换以及小容量电动机的起动、制动、调速和换向的控制，用途广泛，故称为万能转换开关。

典型的万能转换开关由触点座、凸轮、转轴、定位机构、螺杆和手柄等组成，并由 1~20 层触点底座叠装而成，每层底座可装三对触点，由触点底座中且套在转轴上的凸轮来控制此三对触点的接通和断开。由于各层凸轮的形状可制成不同，因此用手柄将开关转到不同的位置时，使各对触点按需要的变化规律接通或断开，达到满足不同线路的需要的目的。常用的万能转换开关有 LW5、LW6、LW8、LW2 等系列。LW 系列万能转换开关的技术参数包括：额定电流、额定电压、操作频率、机械寿命、电寿命等。其中 LW5

系列的万能转换开关的额定电压为交流 380 V 或直流 220 V，额定电流为 15 A，允许正常操作频率为 120 次/小时，机械寿命为 100 万次，电寿命为 20 万次；LW6 系列的万能转换开关的额定电压为交流 380 V 或直流 220 V，额定电流为 5 A。

LW6 系列万能转换开关中的某一层结构如图 8.1.14 所示。万能转换开关的通断形式可由其图形符号或通断表获得。LW6 系列万能转换开关的符号如图 8.1.15

虚线表示万能转换开关的手柄所处的位置，实黑点表示如手柄旋到该位置是该对触点接通，反之，无实黑点则表示如手柄旋到该位置该对触点没有接通；也可用如图 8.1.15 所示通断表表示，在通断表中，触点接通以“+”表示，触点没有接通则以“-”表示。

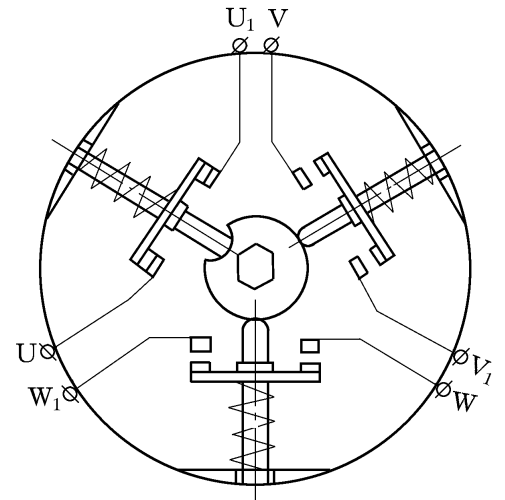
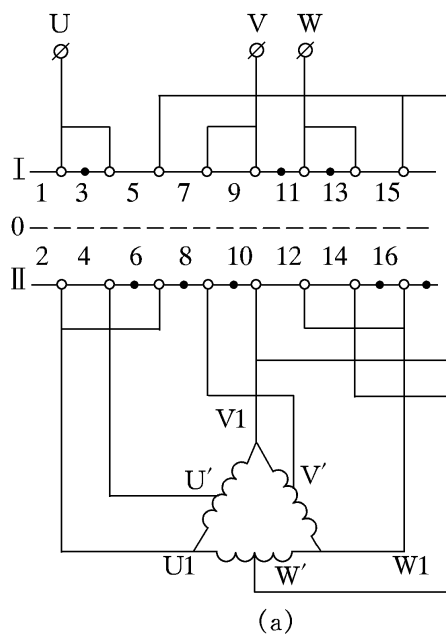


图 8.1.14 LW6 系列万能转换开关的结构示意图



触点	手柄位置		
	I	0	II
1-2	+	-	-
3-4	-	-	+
5-6	-	-	+
7-8	-	-	+
9-10	+	-	-
11-12	+	-	-
13-14	-	-	+
15-16	-	-	+

(b)

图 8.1.15 LW6 系列万能转换开关

8.1.6 接触器

1. 接触器的型号、图形符号和文字符号

接触器是一种适用于远距离频繁地接通和断开交直流主电路及大容量控制电路的电器。具有低电压释放保护功能，控制容量大，能远距离控制等优点，在自动控制系统中应用非常广泛，但也存在噪声大、寿命短等缺点。其主要控制对象是电动机，也可用于控制电焊机，电容器组，电热装置，照明设备等其他负载。

接触器能接通和断开负荷电流，但不可以切断短路电流，因此常与熔断器、热继电器等配合使用。

接触器分为交流接触器和直流接触器两类，两者都是利用电磁吸力和弹簧的反作用力，使触点闭合或断开的一种电器，但在结构上有各自特殊的地方，不能混用。

C12 - 3/4

其中：C——接触器；

1——接触器类别：J表示交流，Z表示直流；

2——设计序号；

3——主触点额定电流

4——主触点数。

交流接触器的图形符号和文字符号如图 8.1.16 所示。

2. 交流接触器

交流接触器由电磁机构、触点系统、灭弧装置和其他部件组成。常用的型号有 CJ20、CJX1、CJX2、CJ12、CJ10 和 CJ0 系列。CJ0 系列属老产品，已有

CJ0 - A、CJ0 - B 等改进型产品予以取代。CJ10、CJ12 系列是早期全国统一设计的系列产品，使用较为广泛。CJ10X 系列消弧接触器是近年发展起来的新产品，采用了与晶闸管相结合的形式，避免了接触器在分断时产生电弧的现象，适用于条件较差、频繁起动和反接制动电路中。

CJ20 系列交流接触器是全国统一设计的新型接触器，主要适用于 50 Hz、660 V 以下可用于 1 100 V)

双断点结构。CJ20 - 63 型及以上的接触器采用压铸铝底座，并以增强耐弧塑料底板和高强度陶瓷灭弧罩组成三段式结构，触点系统的动触桥为船形结构，具有较高的强度和较大的热容量，静触点选用型材并配以铁质引弧角，便于电弧向外运动，辅助触点安置在主触点两侧，采用无色透明聚碳酸酯做成封闭式结构，防止灰尘侵入。图 8.1.17 为 CJ20 - 63 型交流接触器的结构示意图。

3. 直流接触器

直流接触器的结构和工作原理与交流接触器基本相同，也是由触点系统、电磁机构、灭弧装置等部分组成；但也有不同之处，电磁机构的铁心中磁通变化不大，故可用整块铸钢做成。由于直流电弧比交流电弧难以熄灭，因此直流接触器常采用磁吹灭弧装置。图 8.1.18 为直流接触器的结构示意图。常用的直流接触器有 CZ0、CZ18 系列，是全国统一设计的产品，主要用于电压 440 V、额定电流 600 A 的直流电力线路中，作为远距离接通和分断线路，控制直流电动机的起动、停车、反接制动等。

4. 接触器的选择

接触器应合理选择，一般根据以下原则来选择接触器：

接触器类型：交流负载选交流接触器，直流负载选直流接触器，根据负载大小不同，选择不同型号的接触器。

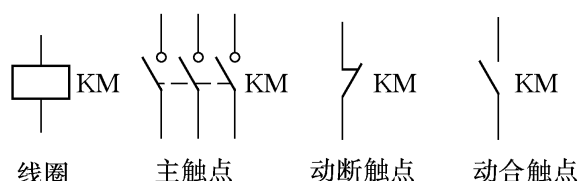


图 8.1.16 接触器符号

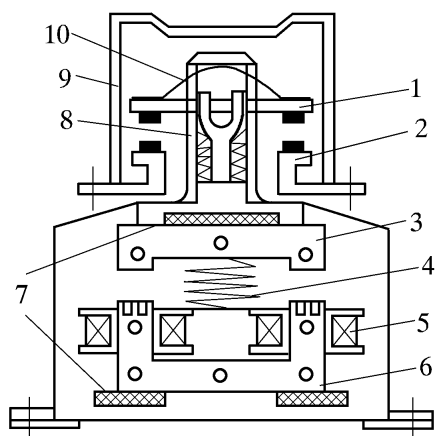


图 8.1.17 CJ20 - 63 型交流接触器的结构示意图

- 1——动触点；2——静触点；3——衔铁；
4——缓冲弹簧；5——电磁线圈；6——铁心；
7——毡垫；8——触点弹簧；9——灭弧罩；
10——触点压力簧片

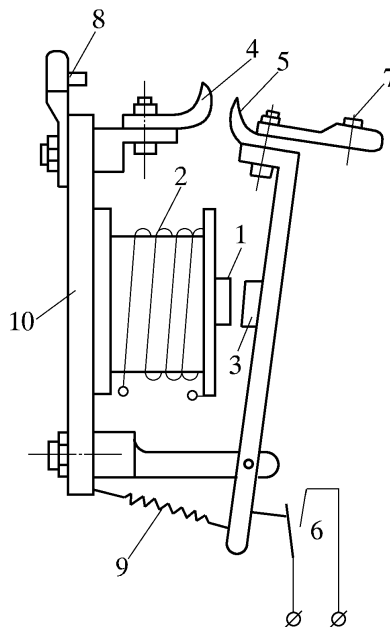


图 8.1.18 直流接触器的结构示意图

- 1——铁心；2——线圈；3——衔铁；
4——静触点；5——动触点；6——辅助触点；
7, 8——接线柱；9——反作用弹簧；10——底板

接触器额定电压：接触器的额定电压应大于或等于负载回路电压。

接触器额定电流：接触器的额定电流应大于或等于负载回路的额定电流。对于电动机负载，可按下面的经验公式计算

$$I_f = 1.3 I_e$$

式中： I_f 为接触器主触点的额定电流； I_e 为电动机的额定电流。

吸引线圈的电压：吸引线圈的额定电压应与被控回路电压一致。

触点数量：接触器的主触点、动合辅助触点、动断辅助触点数量应与主电路和控制电路的要求一致。

注意：直流接触器的线圈加直流电压，交流接触器的线圈一般加交流电压。有时为了提高接触器的最大操作频率，交流接触器也有采用直流线圈的。如果把应加直流电压的线圈加上交流电压，因电阻太大，电流太小，则接触器往往不吸合。如果将应加交流电压的线圈加上直流电压，则因电阻太小，电流太大，会烧坏线圈。

5. 接触器常见故障及其维修

接触器是一种频繁动作的控制电器，要定期检查，要求可动部分灵活，紧固件无松动，触点表面清洁，不允许在使用中去掉灭弧罩。接触器可能发生的故障很多，如无法修理应及时用同型号的接触器更换。常见的故障有：

原因：接触器的触点接触压力不够、触点被电弧灼伤导致表面接触不良、接触电阻增大、工作电流过大、回路电压过低、负载侧短路等。处理方法：调整触点压力、处理因电弧而产生的蚀坑、调换合适的接触器、提高操作电压等。

原因：衔铁歪斜、铁心端面有锈蚀或尘垢、反作用弹簧弹力太小、衔铁运动受阻、短路环损坏或脱落、电压过低等。处理方法：清洁衔铁端面、调整衔铁到合适的位置、更换弹簧、消除衔铁受阻因素、更换短路环、提高操作电压、检查电压过低原因。

原因：线圈电流过大、线圈技术参数不符合要求、衔铁运动被卡等。处理方法：找出引起线圈电流过大的原因、更换符合要求的线圈、使衔铁运动顺畅。

原因：触点在电弧温度时，触点材料汽化或蒸发、三相接触不同步、触点闭合时的撞击或触点表面相对摩擦运动。处理方法：调换合适的接触器、调整三相触点使其同步、排除短路原因，如触点磨损严重，则要更换接触器。

6. 接触器的使用和维护

检查接触器铭牌与线圈的技术数据是否符合控制线路的要求。接触器的额定电压不应低于负载的额定电压，主触点的额定电流不应小于负载的额定电流，操作时的频率不要超过产品说明书上的规定要求，其他条件也应符合要求。操作线圈的额定电压应符合线路的要求，太低或太高会产生吸不上或线圈烧毁的故障。如接触器的交流励磁线圈额定电压为 220 V，若误接 380 V，则因励磁电流过大而烧毁；若误接于是 7 V，则衔铁不吸合，气隙长度增加，导磁系数减小，以致因励磁电流长时间较大而烧毁。

检查接触器的外观，应无机械损伤。用手推动接触器的活动部分时，要动作灵活，无卡住现象。

新近购置或搁置已久的接触器，最好做解体检查。要把铁心上的防锈油擦干净，以免油污的粘性影响接触器的释放，要把铁锈洗去。

检查接触器在 85% 额定电压时能否正常工作，会不会卡住；在失压或电压过低时，能否释放。

检测产品的绝缘电阻。

一般安装在直面上，倾斜不超过 50°，注意要留有适当的飞弧空间，以免烧坏相邻的电器。

安装孔的螺钉应装有弹簧垫圈和平垫圈，并拧紧螺钉以防松脱或振动，注意不要有零件落入电器内部。

定期检查接触器的零部件，观察螺钉有没有松动，可动部分是不是灵活。对有故障的零部件应及时处理。

当触点表面因电弧烧蚀而有金属小粒时，应及时清除。而当银和银基合金触点表面因电弧而烧成黑色时，因为氧化银的导电能力很好，所以不要锉去，锉掉会缩短触点的寿命。当触点磨损到只剩余 1/3 时，则应更换。

灭弧罩往往较脆，拆装时应注意不要碰碎。不允许将灭弧罩去掉，因为这样容易发生

电流短路。

8.1.7 继电器

继电器是一种自动电器，广泛用于电动机或线路的保护以及生产过程的自动化控制。它是一种根据外界输入的信号

的通、断的自动切换电器，其触点常接在控制电路中。

继电器的种类很多。按输入信号的不同可分为电压继电器、电流继电器、时间继电器、热继电器、速度继电器、温度继电器与压力继电器等。本节主要介绍常用的热继电器、电磁式

1. 热继电器

热继电器是利用测量元件被加热到一定程度而动作的一种继电器。在电路中用作电动机或其他负载的过载和断相保护。它主要由加热元件、双金属片、触点和传动系统构成。图 8.1.19 为双金属片热继电器的结构原理图。双金属片是由两种不同膨胀系数的金属压焊而成，与加热元件串联在主电路上，当电动机过载时，双金属片受热弯曲从而推动导板移动，将动断触点

号如图 8.1.20 所示。

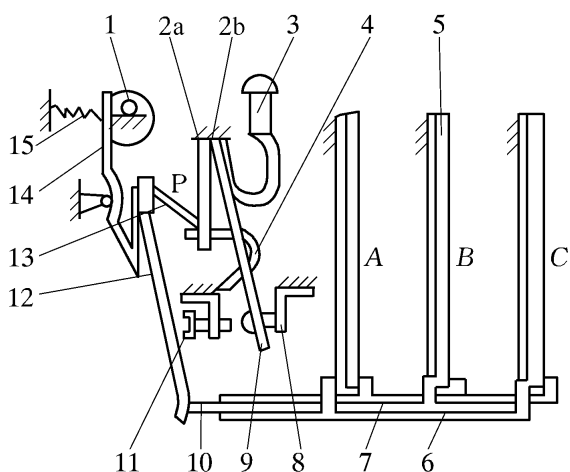


图 8.1.19 JR16 型系列热继电器结构原理图

- 1——电流调节凸轮；2a、2b——簧片；
- 3——手动复位按钮；4——弓簧；5——主双金属片；
- 6——外导板；7——内导板；8——动断静触点；
- 9——动触点；10——杠杆；11——复位调节螺钉；
- 12——补偿双金属片；13——推杆；
- 14——支撑件；15——弹簧

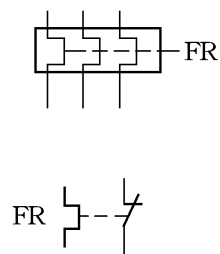


图 8.1.20 热继电器的图形和文字符号

热继电器主要参数有：热继电器额定电流、相数、热元件额定电流，整定电流及调节范围等。

热继电器的额定电流是指热继电器中，可以安装的热元件的最大整定电流值。

热元件的额定电流是指热元件的最大整定电流值。

热继电器的整定电流是指热元件能够长期通过而不致引起热继电器动作的最大电流值。通常热继电器的整定电流是按电动机的额定电流整定的。对于某一热元件的热继电器，可手动调节整定电流旋钮，通过偏心轮机构，调整双金属片与导板的距离，能在一定范围内调节其电流的整定值，使热继电器更好地保护电动机。

常用的热继电器的型号有 JR0、JR10、JR16、JR20、JRS1 等系列。

类型选择：一般情况下，可选用两相结构的热继电器，但对于三相电压的均衡性较差，工作环境恶劣或无人看管的电动机，宜选用三相结构的热继电器。对于三角形联结的电动机，应选用带断相保护装置的热继电器。

热继电器额定电流选择：热继电器的额定电流应大于电动机额定电流。然后根据该额定电流来选择热继电器的型号。

热元件额定电流的选择和整定：热元件的额定电流应略大于电动机额定电流。当电动机起动电流为其额定电流的 6 倍及起动时间不超过 5 s 时，热元件的整定电流调节到等于电动机的额定电流；当电动机的起动时间较长、拖动冲击性负载或不允许停车时，热元件的整定电流，调节到电动机额定电流的 1.1 ~ 1.15 倍。

热继电器安装接线时，应清除触点表面污垢，以避免电路不通或因接触电阻太大而影响热继电器的动作性能。

如电动机起动时间过长或操作过于频繁，将会使热继电器误动作或烧坏热继电器，故一般不用热继电器作过载保护；如仍用热继电器，则应在热元件两端并联一副接触器或继电器的动断触点，待电动机起动完毕，使动断触点断开，热继电器投入工作。

热继电器周围介质的温度，原则上应和电动机周围介质的温度相同，否则，势必要破坏已调整好的配合。

运行中热继电器的检查：

检查负荷电流是否和热元件的额定值相配合。

检查热继电器与外部的连接点处有无过热现象。

检查与热继电器连接的导线截面是否满足载流要求，有无因发热而影响热元件正常工作的现象。

检查热继电器的运行环境有无变化，温度是否超出允许范围

若热继电器动作，则应检查动作情况是否正确。

检查热继电器周围环境温度与被保护设备周围环境温度，如前者较后者高出 15 ~ 25 ℃ 时，应调换取大一号等级热元件，如低 15 ~ 25 ℃ 时，应调换小一号等级热元件。

2. 电磁式继电器

电磁式继电器是使用最多的一种继电器，其基本结构和动作原理与接触器大致相同。但继电器是用于切换小电流的控制和保护的电器，其触点种类和数量较多，体积较小，动作灵敏，无需灭弧装置。

电流继电器：电流继电器是根据线圈中电流的大小而控制电路通、断的控制电器。它的线圈是与负载串联的，线圈的匝数少，导线粗，线圈阻抗小。电磁式电流继电器结构如图

8.1.21

电流继电器又有过电流继电器和欠电流继电器之分。当线圈电流超过整定值时，衔铁吸合、触点动作的继电器，称为过电流继电器，它在正常工作电流时不动作。过电流继电器的图形符号、文字符号如图 8.1.21

当线圈电流降到某一整定值时，衔铁释放的继电器，称为欠电流继电器，通常它的吸引电流为额定电流的 30% ~ 50%，而释放电流为额定电流的 10% ~ 20%，正常工作时衔铁是吸合的。欠电流继电器的文字符号、图形符号如图 8.1.21
JT9、JT17、JT18、JL14、JL15、JL18 等系列。

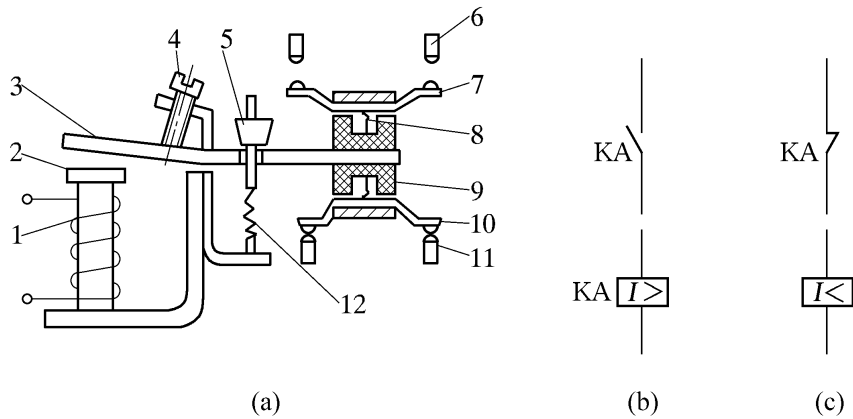


图 8.1.21 电流继电器的结构示意图及符号

- (
- 1——电流线圈；2——铁心；3——衔铁；4——止动螺钉；5——反作用调节螺钉；
 - 6, 11——静触点；7, 10——动合触点；8——触点弹簧；
 - 9——绝缘支架；12——反作用弹簧

电压继电器：电压继电器是根据线圈两端电压大小而控制电路通断的控制电器。它的线圈是与负载并联的，线圈的匝数多，导线细，线圈的阻抗大。

电压继电器又分为过电压继电器和欠电压继电器。过电压继电器是在电压为 110% ~ 115% 的额定电压以上动作，而欠电压继电器在电压为 40% ~ 70% 额定电压动作。它们的图形符号、文字符号如图 8.1.22 所示。常用的电压继电器有 JT4 等系列。

中间继电器：中间继电器实际上也是一种电压继电器，但它的触点数量较多，容量较大，起到中间放大

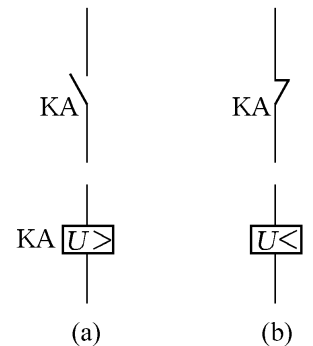


图 8.1.22 电压继电器符号

电器的图形符号、文字符号如图 8.1.23

电器有 JZ12、JZ7、JZ8 等系列。图 8.1.23
器结构外形图。

3. 时间继电器

时间继电器是一种在线圈通电或断电后，自动延时输出信号
时间继电器的种类很多，主要有电磁式、空气阻尼式、晶体管式等。这里只介绍最常用的空气阻尼式时间继电器，它广泛应用于交流电路中。时间继电器的符号如图 8.1.24 所示。

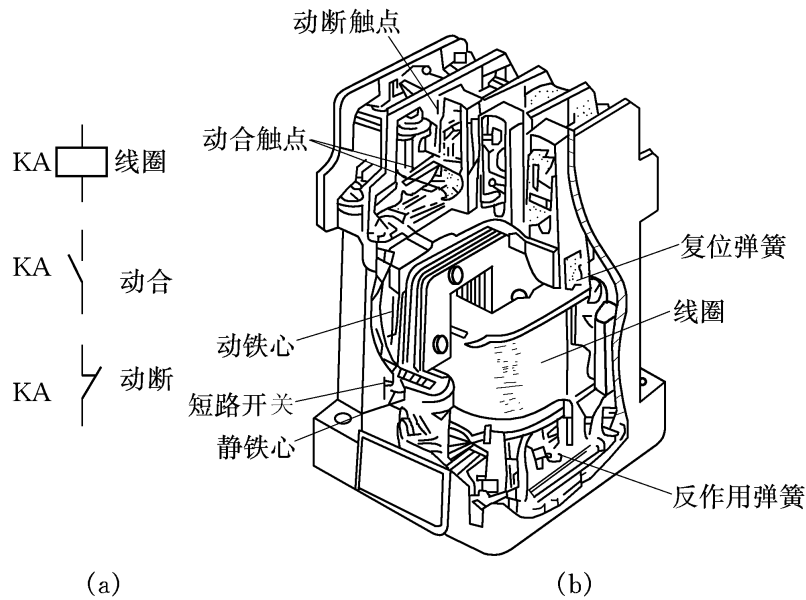


图 8.1.23 中间继电器的结构外形图和符号

空气阻尼式时间继电器是利用空气阻尼来获得延时动作，可分为通电延时型和断电延时型两种。常用的型号有 JS7 和 JS23 系列，图 8.1.25 为 JS7 - A 型时间继电器的工作原理图。它由电磁机构、工作触点及气室三部分组成，它的延时是靠空气的阻尼作用来实现的。当通电延时型时间继电器电磁铁线圈 1 通电后，将衔铁吸下，于是顶杆 6 与衔铁间出现一个空隙，当与顶杆相连的弹簧 7 由上向下移动时，在橡皮膜上面形成空气稀薄的空间，入气室，活塞因受到空气的阻力，不能迅速下降，在降到一定位置时，杠杆 15 使触点 14 动作（动断触点断开）

即为延时时间。线圈断电时，弹簧使衔铁和活塞等复位，空气经橡皮膜与顶杆 6 之间推开的气隙迅速排出，触点瞬时复位。

断电延时型时间继电器与通电延时型时间继电器的原理与结构均相同，只是其电磁机构翻转 180° 安装。空气阻尼式时间继电器具有延时范围较宽，结构简单，工作可靠，价格低廉，寿命长，不受电源电压和频率波动的影响等优点，但是延时精度低，一般用于延时精度要求不高的场合。

4. 速度继电器

速度继电器是根据电磁感应原理制成的，主要由转子、定子和触点三部分组成，其结构如图 8.1.26 所示。其工作原理是：套有永久磁铁的轴与被控电动机的轴相连，用以接受转速信号，当速度继电器的轴由电动机带动旋转时，磁铁磁通切割圆环内的笼型绕组，绕组感应出电流，该电流与磁铁磁场作用产生电磁转矩，在此转矩的推动下，圆环带动摆杆克服弹簧力顺电

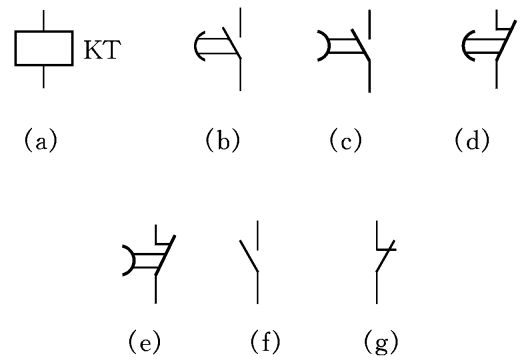


图 8.1.24 时间继电器的符号

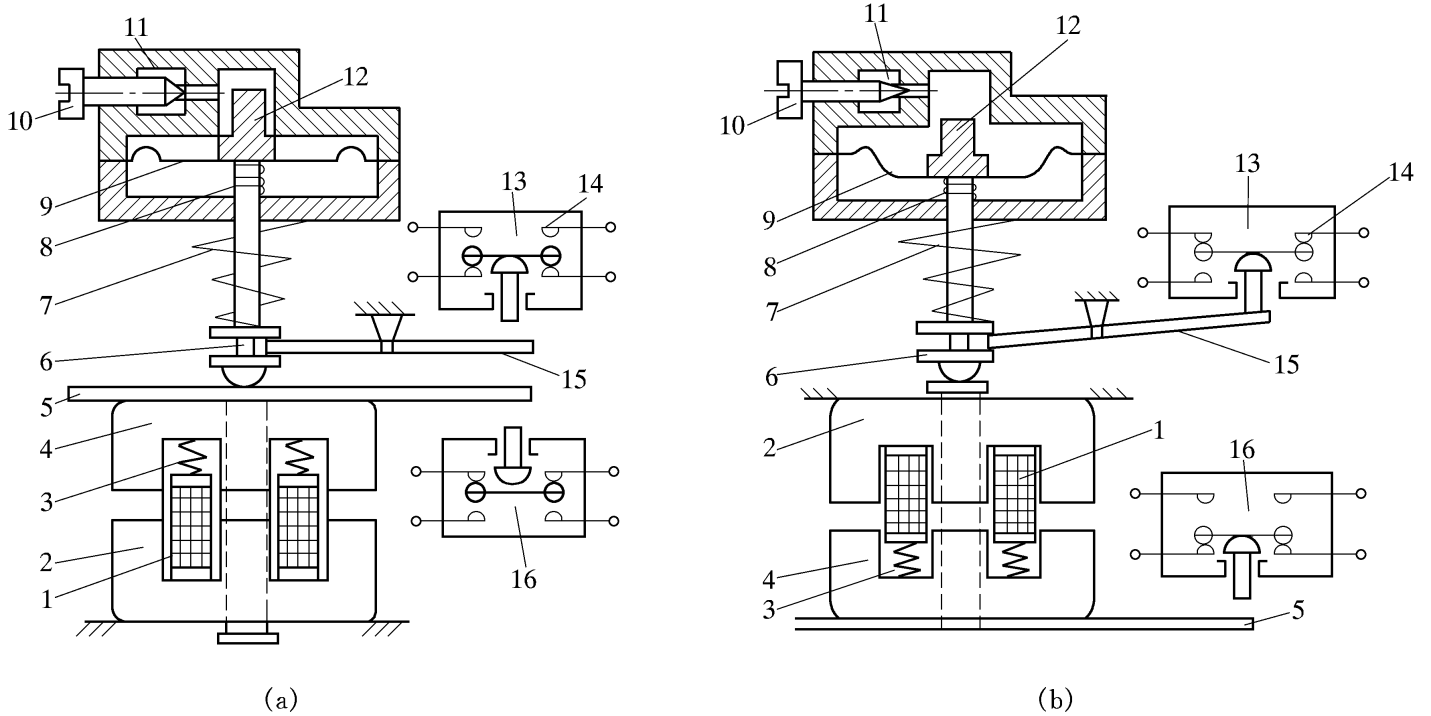


图 8.1.25 JS7 - A 系列时间继电器工作原理图

- (
- 1——线圈；2——静铁心；3、7——弹簧；4——衔铁；5——推板；6——顶杆；
 8——弹簧；9——橡皮膜；10——螺钉；11——进气孔；12——活塞；
 13、16——微动开关；14——延时触点；15——杠杆

动机方向偏转一定角度，并拨动触点改变其通断状态。调节弹簧松紧可调节速度继电器的触点在电动机不同转速时切换。

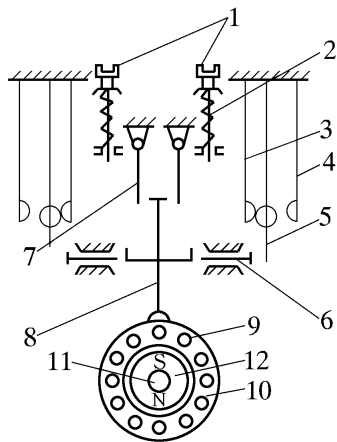


图 8.1.26 速度继电器的结构示意图

- 1——调节螺钉；2——反力弹簧；
 3——动断触点；4——动合触点；
 5——动触点；6——推杆；
 7——返回杠杆；8——摆杆；
 9——笼型导条；10——圆环；
 11——转轴；12——永磁转子

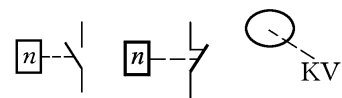


图 8.1.27 速度继电器的符号

速度继电器主要用于笼型异步电动机的反接制动。当反接制动的电动机转速下降到接近零时，能自动切断电源。速度继电器的符号如图 8.1.27 所示。速度继电器的常用型号有 JY1 和 JF20 系列。它们的触点额定电压为 380 V，触点额定电流为 2 A，额定工作转速为 200 ~ 3 600 r/min，一般在 100 r/min 以下转速时触点复原。

5. 继电器的常见故障

继电器常见故障的产生原因及其处理方法如表 8.4 所示：

表 8.4 继电器故障的产生原因及其处理方法

故障现象	产生原因	处理方法
通电后不能动作	线圈断路	更换线圈
	线圈额定电压高于电源电压	更换额定电压合适的线圈
	运动部件被卡住	查明卡住的地方并加以调整
	运动部件歪斜和生锈	拆下后重新安装调整及清洗去锈
通电后不能完全闭合或吸合不牢	线圈电源电压过低	调整电源电压或更换额定电压合适的线圈
	运动部件被卡住	查出卡住处并加以调整
	触点弹簧或释放弹簧压力过大	调整弹簧压力或更换弹簧
	交流铁心极面不平或严重锈蚀	修整极面及去除锈蚀或更换铁心
线圈损坏或烧毁	交流铁心分磁环断裂	更换分磁环或更换铁心
	空气中含有粉尘、油污、水蒸气和腐蚀性气体，以致绝缘损坏	更换线圈，必要时还要涂覆特殊绝缘漆
	线圈内部断线	重绕或更换线圈
	线圈因机械碰撞和振动而损坏	查明原因及做适当处理，再更换或修复线圈
	线圈在超压或欠压下运行而电流过大	检查并调整线圈电源电压
	线圈额定电压比其电源电压低	更换额定电压合适的线圈
	线圈匝间短路	更换线圈
触点严重烧损	负载电流过大	查明原因，采取适当措施
	触点积聚尘垢	清理触点接触面
	电火花或电弧过大	采用灭火花电路
	触点烧损过大，接触面小且接触不良	修整触点接触面或更换触点
	触点太小	更换触点
	接触压力太小	调整触点弹簧或更换新弹簧

续表

故障现象	产生原因	处理方法
触点发生熔焊	闭合过程中振动过分激烈或发生多次振动	查明原因，采取相应措施
	接触压力太小	调整或更换弹簧
	接触面上有金属颗粒凸起或异物	清理触点接触面
线圈断电后仍不释放	释放弹簧反力太小	换上合适的弹簧
	极面残留黏性油脂	将极面擦拭干净
	交流继电器剩磁气隙太小	用细锉将有关极面锉去 0.1mm
	直流继电器的非磁性垫片磨损严重	更换新的非磁性垫片
	运动部件被卡住	查明原因做适当处理
	触点已熔焊	撬开已熔焊的触点并更换新的

8.1.8 电磁起动器

起动器是供电动机起动、停止和换向控制用的一种电器。它可分全压直接起动器和减压起动器两类；按其用途可分为可逆电磁起动器和不可逆电磁起动器。按其外壳防护型式可分为开启式和防护式两种。除少数手动起动器外，起动器大都由接触器、热继电器、控制按钮等电器元件按一定方式组成，并具有过载、失压保护等功能。各种起动器中，以电磁起动器应用最广。

1. 起动器的分类及用途

起动器的品种很多，一般可按起动方式及结构型式分类如表 8.5 所示：

表 8.5 起动器的用途及分类

分类名称	型号	用途
全电压直接起动器	QC10、QC12、QC25、MSB、QZ73、QZ67	供远距离频繁控制三相笼型异步电动机的直接起动、停止及可逆转换，并具有过载、断相及失压保护作用
	QS5	供不频繁控制三相笼型异步电动机的直接起动、停止，可具有过载、断相及欠压保护作用。由于结构简单、价廉、操作不受电网电压波动影响，故特别适用于广大农村使用
	QZ610 QZ610D	由于采用手动合闸且兼具有手动及自动分闸，因此不受电网波动的影响，能适应目前农村用电的情况。为断相、欠压、长期过载和堵转等故障提供保护。结构简单，价格低廉

分类名称	型号	用途	
减压 启动器	自动	QXS、QX1 供三相笼型异步电动机作 - 启动及停止用，并具有过载、断相及失压保护作用。在启动过程中，时间继电器能自动地将电动机定子绕组从星形转换为三角形联结	
	手动	QX3、LC3 - D 供三相笼型异步电动机作 - 启动及停止用	
	自耦减压 启动器	自动	QJ3、QJ10、 QJ10D XJ01，JJ1 供三相笼型异步电动机不频繁地减压启动及停止用，并具有过载、断相及失压保护作用
		手动	
	电抗减压启动器		供三相笼型异步电动机不频繁地减压启动及停止用，并具有过载、断相及失压保护作用
	电阻减压启动器		QJ7 供三相笼型异步电动机或小容量直流电动机的减压启动用，启动时利用电阻来降压，以限制启动电流
延边 - 启动器		XF1 供三相笼型异步电动机作延边三角形启动，并具有过载、断相及失压保护作用。在启动过程中，将电动机绕组接成三角形	
无触点启动器		QW1 供三相笼型异步电动机启动、停止和可逆转换，并具有过载、断相、短路、电流不平衡和防止停电自启动等保护，也可用于控制其他三相负载 别适用于操作频率高和要求频繁可逆转换的场合，有易燃、易爆气体的场所和要求组成自动控制的系统中	

2. 启动方式的选择

电动机的启动电流很大，一般为其额定电流的 5~7 倍，最大时甚至达到额定电流的十余倍。如果电动机容量很大或者有多台电动机同时启动，则对电网的影响尤为严重。

一台电动机是否允许全压直接启动，要看其容量与电网容量的比值是否小于一定数值。此数值既同电源情况有关，也同负载情况有关。

从电源容量的角度考虑推荐启动方式如表 8.6 所示。

表 8.6 启动方式与电源容量的关系

$\frac{\text{电动机容量}}{\text{电源变压器容量}}$	< 0.35	0.35 ~ 0.58	> 0.58
启动方式	直接启动	用串联电阻、电抗的方式，或用 - 减压启动方式	用延边三角形减压启动方式 或自耦减压启动方式

从电网容量方面来看，当电动机由小容量电厂供电时，允许全压启动的笼型异步电动机的容量一般宜在电源容量的 10%~12% 以下；若由单台变压器供电，而电动机又经常启动，其容量就应在电源容量的 20% 以下，但在非经常启动时，允许其容量为电源容量的 30% 以下；

假如电源是多台小容量变压器并联形成的，允许直接起动的单台电动机的容量也可用下列公式计算： $P_M = P_T / (k_f - 1)$ P_M 为电动机容量 P_T 为变压器的总容量 k_f 为电动机的起动电流与其额定电流之比。

在经常有异步电动机直接起动的场合，电压降应小于额定电压的 10%；在异步电动机有足够的起动转矩，而电压降低尚不影响到其他电气设备的正常运行的场合，也允许电压降达到额定电压的 20%；当电动机很少起动或它由单独的变压器供电时，还允许电压降略大于额定电压的 20%。

从负载方面来看，电动机的起动转矩必须大于负载阻力矩。全压起动因起动转矩较大，对重型负载有利，但对于一般的轻型负载来说，就有可能发生机械冲击，以致传动皮带被撕裂，齿轮被打坏等。表 8.7 提供了根据负载性质选择起动方式的依据。

表 8.7 负载性质与起动方式的关系

负载性质	对起动的要求		负载举例
	限制起动电流	减轻机械冲击	
无载或轻载起动	- 减压起动； 电阻或电抗减压起动		车床、钻床、铣床、镗床、齿轮加工机床、圆锯、带锯、离合器的卷扬机、绞盘；离合器的普通纺织机械和工业机械；电动、发电机组
负载转矩与转速成平方关系的负载	延边三角形减压起动；电阻或电抗减压起动；自耦减压起动		离心泵、叶轮泵、螺旋泵、轴流泵等；离心式鼓风机和压缩机，轴流式风扇和压缩机
重载负载		电阻或电抗减压起动	卷扬机、倾斜式传送带类机械；升降机、自动扶梯类机械
摩擦负载	延边三角形减压起动；电阻或电抗减压起动	电阻或电抗减压起动	水平传送带、活动台车、粉碎机、混砂机、压延机和电动门等
阻力矩较小的惯性负载	- 减压起动； 延边三角形减压起动；自耦减压起动； 电抗减压起动		离心式分离机、脱水机、曲柄式压力机等阻力矩小的机械
恒转矩负载	延边三角形减压起动；电阻或电抗减压起动	电阻或电抗减压起动	往复泵和压缩机、罗茨鼓风机、容积泵、挤压机
恒重负载		电阻或电抗减压起动	织机、卷纸机、夹送辊、长距离皮带输送机、链式输送机

总之，直接起动虽具有方法简单、设备简单、价格便宜的优点，但为限制电流及机械化的冲击以及保证电网的供电质量，必须采用减压起动器，或在绕线式异步电动机的转子电路中串

入阻抗。但是采用减压起动方式并非总有利，因为一方面添加起动设备会使投资增大，另一方面有些拖动系统要求电动机正、反转或操作很频繁，这就要求缩短起动时间以提高劳动生产率。因此，确定是否采用全压直接起动，还必须根据具体使用要求和起动方案的技术经济指标作统筹考虑。

适用于直接起动笼型异步电动机的电器有负荷开关、小容量塑料外壳式断路器和电磁起动器，但以电磁起动器应用最广泛。负荷开关不能提供过载保护，除非受到条件限制，一般不用它起动和控制异步电动机。如果非用不可，则开启式负荷开关只宜用于起动 7.5 kW 以下的电动机，封闭式负荷开关只宜用于起动 20 kW 以下的电动机。塑料外壳式断路器中用于控制电动机的产品因其技术性能比较优良，故可用于起动电动机。

3. 电磁起动器选用

电磁起动器选用时应注意下列事项：

根据使用环境确定起动器是开启式

根据线路要求确定起动器是可逆式的或不可逆式的，是有热保护的还是无热保护的。

根据被控制电动机的功率确定用哪一级的起动器，而不是根据电动机的额定电流选择。产品样本中所列的额定电流是从发热方面规定的。如果是保护式产品，由于散热条件较差，就宜使起动器在额定电流方面有点裕度。

电磁起动器在长期工作制、间断工作制和重复短时工作制等场合都可以应用，但其操作频率在带热继电器时通常不得超过 60 次/小时；在不带热继电器且电持续率 TD 40% 时，额定负载下允许 600 次/小时。降低容量使用时，还允许提高到 200 次/小时。

电磁起动器

所配用的热继电器是否具有这项功能。

8.1.9 凸轮控制器

凸轮控制器是一种大型的手动控制电器，它分鼓形的和凸轮的两种，由于鼓形控制器的控制容量小，体积大，操作频率低，切换位置和电路较少，经济效果差，因此，已被凸轮控制器所代替。凸轮控制器主要用于起重设备中控制中小型绕线转子异步电动机的起动、停车、调速、换向和制动，也适用于有相同要求的其他电力拖动场合。其外形如图 8.1.28 所示。

1. 凸轮控制器的型号含义

K T J 1 - 2/3

其中：K——控制器；T——凸轮；J——交流；1——设计序号；2——额定电流；3——接线方式。

2. 凸轮控制器的电气符号

凸轮控制器的电气符号如图 8.1.29 所示。

3. 选择方法

凸轮控制器根据电动机的功率、形式、额定电压、额定电流和工作制以及控制位置数目等来选择。

4. 安装使用及维护

凸轮控制器多用于起重机械中，使用环境大多较恶劣而对安全与可靠性要求又较高，因此

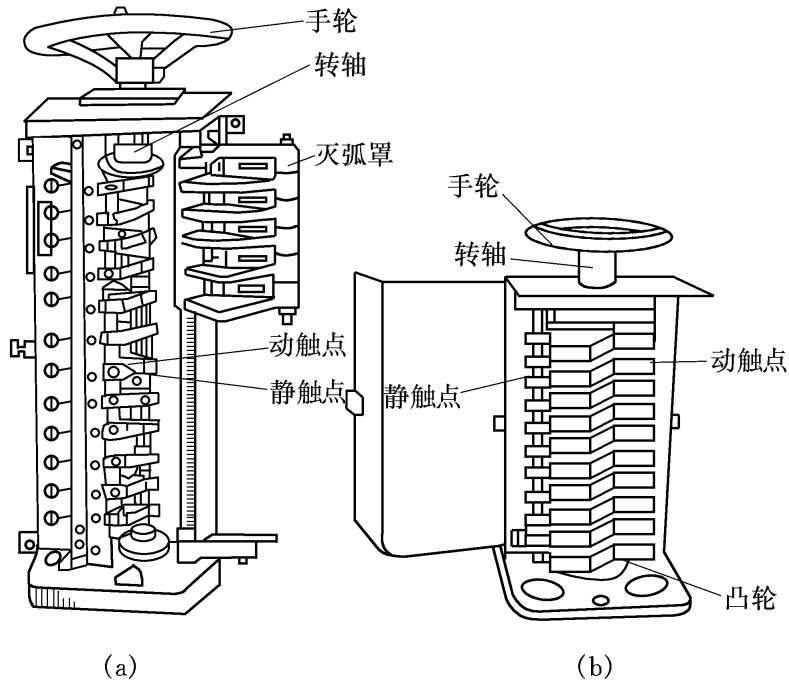


图 8.1.28 凸轮控制器外形图

必须在合理选用的基础上正确安装并做好维护工作。

在安装前应仔细查对产品铭牌上的数据与所选择的规格是否一致，若不一致应停止安装。

安装前应操作控制器手柄不少于 5 次，检查有无卡住现象，若有，应分析原因进行修理或更换。检查控制器触点的开闭顺序是否符合规定的开闭表要求，每对触点是否可靠开闭等。

控制器必须牢固可靠地安装在墙壁或支架上，并按接线图把控制器与电动机、电阻器和保护电器进行连接，然后将金属外壳可靠接地。安装孔的平面应平整，孔的直径尺寸应比控制器安装孔尺寸略大 1~2 mm，并注意手柄在任何一个位置时与墙壁或另一控制器手柄之间的空间间隙不小于 150 mm。

应按开闭表或原理图要求接线，经反复检查后，确实正确无误后才能通电。通电前，应把灭弧罩和控制器外壳全部装上，以防电弧喷出，造成事故。

保养时应注意清除控制器内的灰尘。

所有活动部分应定期加润滑油，可采用黄油油对塑料件有损坏作用。

不使用控制器时，手轮应准确地停放在零位。

首次操作或检修后试运行，若控制器转到第 2 位置后，仍未使电动机转动，则应停止起动，查明原因，检查线路、制动部分及机构是否有卡住情况。

	反转					零	正转				
	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
Q ₁											
Q ₂											
Q ₃											
Q ₄											
Q ₅											
Q ₆											
Q ₇											

图 8.1.29 凸轮控制器的电气符号

试运行，转动手轮不能太快，当转到 1 位置时，使电动机转速达到稳定后，经过一定的时间间隔

过过电流继电器的整定值。

使用中，当降落重载荷时，在控制器的最后位置可得到最小速度，若不是非对称线路的控制器，不可长时间停在第 1 位置，否则会使载荷超速下降或发生电动机转子“飞车”的事故。

5. 常见故障及修理

主要是滑动部分有故障，应先检查滚动轴承是否损坏，或者紧固件嵌入轴承内引起卡死现象。如轴承无损坏，则应检查凸轮鼓是否嵌入异物或者触点部分有无异物嵌入，发现有异物应立即取出并仔细查看损伤部分，若不可修复应立即更换。

由于触点温升过高，使触点支持胶木件烧焦。触点温升过高时应检查使用是否合理，选用是否恰当。如有不符合要求现象应立即更换符合要求的控制器。若以往使用均正常，突然发现整台控制器中有个别触点支架胶木件烧焦，则应检查动、静触点是否良好，触点是否有烧毛现象。若触点烧毛应用细锉刀轻轻地修整，绝不能用砂皮砂光，以免砂粒嵌入触点中，造成触点接触不良。通常控制器的触点弹簧的超程小于 0.5 mm 时就应更换触点。另外应检查触点弹簧是否损坏或是否有退火变软现象，若触点压力变小，则会导致温升增高，此时应检查触点压力。

应检查触点弹簧是否脱落或断裂，导致触点压力不正常；另外应检查触点是否脱落或磨光。反之，应检查外接电路是否正常。

一般是凸轮片碎裂脱落或凸轮角度磨损变化，使开闭角度有变化。另外也可能因机构已有损坏或磨损到不符合要求，若有此情况应更换。

8.1.10 电磁铁

电磁铁是一种通电后对铁磁物质产生吸力，将电能转换为机械能的电器或电气部件。

1. 电磁铁的型号

电磁铁的型号含义如下

M12 - 3

其中：M——电磁铁；

1——类别代号：Q——牵引、Z——制动、W——起重、F——阀用；

2——设计序号；

3——规格及技术要求代号。

2. 电磁铁的图形符号

电磁铁的图形符号如图 8.1.30 所示。

3. 电磁铁的分类及特点

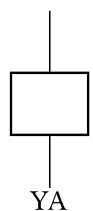


图 8.1.30 电磁铁的图形符号

电磁铁按其工作分类有牵引电磁铁、制动电磁铁、阀用电磁铁及电力液压推动器制)

牵引电磁铁：牵引电磁铁是一种自动化执行元件，它可在机械设备及自动化系统的各种操作机构中作为远距离控制之用。在自动控制设备中，用作开启或关闭水压、油压、气压等阀门以及牵引其他机械装置以达到遥控的目的。

制动电磁铁：制动电磁铁是操纵制动器做机械制动用的电磁铁，通常与瓦式制动架配合使用，在电气传动装置中用作电动机的机械制动，使停机迅速、准确。

起重电磁铁：起重电磁铁用于起重、搬运铁磁性重物。

阀用电磁铁：主要用于电磁阀。

4. 电磁铁的安装、检查与维修

电磁铁的铁心表面应洁净无锈蚀，通电前应除去防护油脂。

电磁铁的衔铁及其传动机构的动作应迅速、准确、无阻滞现象；直流电磁铁的衔铁上应有隔磁措施，以消除剩磁影响。

制动电磁铁的衔铁吸合时，铁心的接触面应紧紧地与其固定部分接触，且不得有异常现象。

有缓冲装置的制动电磁铁，应调节其缓冲器气道孔的螺钉，使衔铁动作至最终位置时平稳，无剧烈冲击。

牵引电磁铁固定位置应与推杆

经常在可动部分加注润滑油，注意可动部分的磨损，适时处理与更换。

定期清除电磁铁零件表面的灰尘和污物。

表 8.8 电磁铁常见故障分析与处理

序号	故障现象	可能原因	处理方法
1	衔铁吸不起	机械部分卡阻 电压过低 三相电磁铁接线错误 线圈断线、短路	清除杂物，加润滑油 提高供电电压 核对接线 修理或更换线圈
2	断电后衔铁不下落	机构卡阻 润滑油冻结 直流电磁铁剩磁过大 非磁性垫片磨损	找出原因消除
3	交流电磁铁噪声加大	衔铁未完全吸合 极面不平 短路环断线	适当调整衔铁固定位置 打磨极面 修理短路环
4	线圈过热	散热不良 未完全吸合 线圈匝间短路 操作过于频繁	找出原因消除

8.1.11 低压电器常见故障与排除

1. 低压电器主要零部件的故障检查与排除

低压电器的主要零部件指电磁系统、触点系统和灭弧装置中的一些关键性零部件，它们的故障将使电器工作失常或不能工作。对运行中的电器，一旦出现故障，必须迅速排除。

1)

电磁线圈断路。该故障的现象是通电后该动作的电器不动作。其可能原因是：线圈因长期存放或受潮霉断或在使用中被故障电流烧断。线圈的断路故障可用万用表相应的电阻挡检测，将万用表两支表笔触及线圈两端，若电阻趋近于 ∞ ，则线圈中有断路故障存在。拆开线圈检查，如果整个线圈完好只有个别断点，可将其焊牢，处理好绝缘后缠绕还原继续使用。如果断点较多或导线外包绝缘漆因大电流的高热或严重潮湿已有损伤，应用新线重绕或将线圈整体更换。

电磁线圈短路。电磁线圈的短路有匝间短路和对地

衔铁不能被吸合或吸合无力并伴有较强烈的振动。造成这种故障的原因可能是线圈受大电流冲击，发高热损坏了漆包线绝缘层；或因机械损伤导致部分漆包线绝缘层损坏；或因线圈严重受潮，降低绝缘性能，通电时被电源短路。电磁线圈内形成大电流的原因主要是线圈通电时，衔铁不吸合或吸合不紧密，铁心未形成良好闭合磁路，使线圈交流阻抗减小，电流大，造成线圈过热而损伤绝缘。在这类故障中，造成衔铁不吸合或有吸合不良的原因是动、静铁心接触面不平整或电源电压过低造成，因此检修应从动、静铁心的结合面和电源电压等方面入手。如果线圈匝间短路或对地短路的故障点或故障部分很少，其余部分完好，可以排除这些短路点的故障，处理好绝缘后，继续使用。如果短路只有少数几匝，可将坏线圈拆去，有条件时最好用同规格新漆包线补上拆去的匝数。为了避免短路故障继续发生，在修复的电磁线圈投入使用前，必须先排除引起短路的因素，如修理好动、静铁心结合面，调整电源电压到正常值等。

重绕线圈所用漆包线的规格和匝数，要直接从旧线圈中测得，也可从铭牌或手册上查出。如果没有铭牌或手册中查不到，线圈又严重烧熔或多数烧断，无法清理匝数时，可用下式进行计算

$$N = \frac{45 \times 10 U}{BA}$$

式中： N 为线圈匝数； U 为线圈工作电压； B 为线圈的磁通密度，一般取 $0.8 \sim 1 \text{ T}$ ； A 为铁心横截面积 cm^2 ）

线圈的匝数确定后，所用导线的直径可用百分尺或游标尺从旧线圈中测得。为减小测量误差，测量前先用微火烧焦绝缘层，再用棉织物勒去炭化层，分别测量几个点，取其平均值。

绕好的线圈，应进行绝缘处理：先在 $105 \sim 110$ 的温度下预烘 3 h ，以驱除潮气，待冷却到 $60 \sim 70$ 时，浸满绝缘漆，将多余的漆液滴除后，再在 $110 \sim 120$ 的温度下烘透烘干，即可投入使用。

2)

铁心故障主要表现在铁心结合面、短路环以及衔铁、传动机构等方面的故障。

动、静铁心结合面不平整或衔铁歪斜，该故障的现象是铁心吸合不良，发生较强的振

动和噪音。其原因是动、静铁心吸合时，多次撞击，发生变形和磨损，或铁心结合面上有锈斑、油污或其他杂物，引起吸合面接触不紧密而振动，同时导致电磁线圈交流阻抗减小，电流增大，使线圈过热甚至烧毁。

排除这类故障时，若是因为铁心结合面的锈斑、油污或其他杂物，只需清除即可；若铁心结合面凹凸不平或歪斜不严重，可进行修理校正；若严重变形或歪斜而无法修复时，只有更换。

短路环损坏或脱出，有短路环的低压电器工作时，由于动、静铁心多次吸合撞击，短路环可能发生断裂或从铁心上脱出，不能减振，使电器的振动和噪音加大。短路环的断裂部位多数发生在铁心槽外的转角部分和槽口部分，对这种断裂的短路环，可焊牢断口，再用粘合剂粘牢在铁心上。如果短路环只脱出，可先用钢锯条将铁心槽壁刮毛，涂上粘合剂，然后将短路环压入铁心。

机械传动部分的故障，动铁心或其他传动部分因机械阻力发生阻滞与卡塞、触点压力弹簧弹力过大，使动铁心吸合受阻，也将造成衔铁吸合不良，增大振动和噪音，检修时应排除传动机械的阻碍因素，调换弹力较小的触点压力弹簧，并通电试验，直至传动部分灵活、动作自如为止。

触点系统故障主要表现在过热磨损和熔焊等方面。

1)

当有电流通过触点时，由于触点之间接触电阻的存在，触点不可避免地会发热，适当的温升是允许的。若动、静触点之间接触电阻过大，温升超过允许值，严重时使动、静触点熔焊在一起，便成为故障。引起触点过热的原因和排除方法：

触点压力不足，由于长期使用，多次开合，接触电阻和电弧高温等原因，触点和触点压力弹簧会退火、疲劳、变形、弹性减弱或失去弹性，造成触点压力不足，接触电阻增大，触点温度升高。再则因触点多次开合撞击发生磨损，使厚度变薄，接触部位歪斜，机械强度变差，也会使触点压力不足。

排除该类故障时，首先调整弹簧压力，减小触点间的接触电阻。检查所调整的触点压力是否合适，可将0.1 mm厚、宽度比触点稍宽的纸条，夹在闭合的动、静触点之间，向上拉动纸条，在正常情况下，对于小容量电器，稍用力，纸条应能被完整拉出；对较大容量的电器，纸条拉出时应有撕裂现象。若纸条轻易被拉出，说明触点压力太小；若纸条一拉就断，则触点压力过大。

若为触点磨损过度或触点压力弹簧失去弹性，调整后仍达不到要求时，应更换触点或弹簧。

触点表面接触不良。其原因除触点之间压力不足外，还有触点接触面有氧化层或污物，增大了触点之间的接触电阻。对于银或银的合金制成的触点，氧化层可不必除去，因为银和银的氧化物电阻率相近，何况银的氧化物遇热时还可还原成银。但对铜触点，较厚的氧化膜则应除去。因铜的氧化物电阻率较大，容易引起触点过热。清除这些氧化物膜，可用电工刀或细纹锉刀，但必须保证结合处的平整。如果接触面有油污或尘垢，可用溶剂清洗擦干。

触点表面烧毛。是分断电路时电弧所造成。烧毛的触点接触面小，接触电阻大，容易

使触点过热。检修时，只需用电工刀或细纹锉刀清除毛刺即可。在清除毛刺时要注意不得把接触面修整得过于光滑，这样反而减小触点之间的接触面积，增大接触电阻。还应注意对烧毛接触面的锉刮要适度，如果锉刮过多，会影响使用寿命。打磨触点表面时，一般不用砂纸或砂布，否则在摩擦过程中不可避免地有砂粒嵌进触点表面，会增加接触电阻。

2)

其原因有电磨损和机械磨损两种。电磨损是指由于触点之间电弧的烧蚀，金属气化蒸发使触点耗损；机械磨损是指触点在多次开合中受到撞击，在触点的接触面间产生滑动摩擦所造成的磨损。若触点磨损不太严重，还可勉强使用。若表面出现严重的不平，可用与前述排除触点烧毛故障的相同方法修理。若因磨损使触点厚度减小到原有厚度的 $2/3 \sim 1/2$ 时，就应当更换新触点，并先查明触点消耗过快的原因。

3)

动、静触点之间因发生高热使表面熔化，两者焊接在一起且不能分断，称为触点熔焊。产生触点熔焊的原因是在触点闭合时，由于撞击和振动，触点间将不断产生短电弧。其温度高达 $3\ 000 \sim 6\ 000$ ，如果时间稍长，即可把触点烧伤或熔化，并使动、静触点熔焊，导致电路失控。

造成触点熔焊的直接原因有两个：一是线路电流太大，超过触点额定容量 10 倍左右；二是触点压力弹簧严重疲劳或损坏，使触点压力减小，无法分断。若触点容量小，满足不了线路载流量的要求，应更换触点容量大的电器；若电器本身与线路载流量配套正确，是电路本身故障造成电流增大，应设法检修电路和设备，若系触点压力弹簧的故障，则应更换同规格的触点压力弹簧。

灭弧装置的故障现象表现为灭弧性能降低或失去灭弧功能。造成这种故障的可能原因是灭弧罩受潮、碳化或破碎，磁吹线圈局部短路，灭弧角或灭弧栅片脱落等。检查故障时，可贴近电器倾听触点分断时的声音。如有软弱无力的“卜、卜”声，则是灭弧时间延长的现象，可拆开灭弧装置检查。若灭弧罩受潮，可用烘烤驱除潮气；若灭弧罩碳化，轻者可刮除碳化层，严重时应更换灭弧罩；磁吹线圈短路，可按线圈短路故障进行检修；灭弧角或灭弧栅片脱落，可以重新固定；若灭弧栅片烧坏，应更换。

2. 几种典型低压电器的故障检查与排除

断路器的常见故障有不能合闸、不能分闸、自动掉闸及触点不能同步动作等几种。

手动操作的断路器不能合闸：当需要断路器接通送电时，扳动手柄，无法使其稳定在主电路接通的位置上。故障的可能原因是失压脱扣器线圈开路、线圈引线接触不良、储能弹簧变形、损坏或线路无电。检修中，应注意失压脱扣线圈是否正常，脱扣机构是否动作灵活，储能弹簧是否完好无损，线路上有无额定电压。在确定故障点后，根据具体情况进行修理。

电动操作的断路器不能合闸：电动操作的断路器常用于大容量电路的控制。导致断路器不能合闸的原因和修理方法是操作电源不合要求，应调整或更换操作电源；电磁铁损坏或行程不够，应修理电磁铁或调整电磁铁拉杆行程；操作电动机损坏或电动机定位开关失灵，应排除操作电动机故障或修理电动机定位开关。

失压脱扣器不能使断路器分闸：当需要断路器分断主电路时，操作失压脱扣器按钮，断路器不动作，仍停留在接通位置。其可能原因是反作用弹簧弹力太大或储能弹簧弹力太小，应调整更换有关弹簧；传动机构卡塞，不能动作，这时应检修传动机构，排除卡塞故障。

起动电动机时自动掉闸：当断路器接通电路后，电动机还在起动时就自动掉闸，分断了主电路。其主要原因是过载脱扣装置瞬时动作整定电流调得太小，应重新调大。

工作一段时间后自动掉闸：这种故障现象是断路器接通电路，电路工作一段时间后，自动掉闸分断主电路而造成电路停电。其主要原因可能是过载脱扣装置延时整定值调得太短，应重调；其次可能是热元件或延时电路元件损坏，应检查更换。

机构损坏或失灵，应检查调整该触点的传动机构。

触点桥或触点传动机构。

热继电器的故障现象主要是不动作和误动作。

热继电器不动作：该故障现象是电路过载后，热继电器该动作时不动作，失去过载保护作用。其可能原因是电流整定值调得过大；热元件烧断或脱焊；动作机构卡死或板扣脱落。修理时可根据负载容量恰当调整整定电流，检修热元件或动作机构。

热继电器误动作：该故障现象是电路未过载，热继电器就自行动作，分断主电路，造成不应有的停电。其可能原因是电流整定值调得过小；热继电器与负载不配套；电动机起动时间过长或连续起动次数太多；线路或负载漏电、短路；热继电器受强烈冲击或振动等。检修时应查明原因，合理调整整定电流或调换与负载配套的热继电器，若是电动机或线路故障，应检修电动机和供电线路。如工作环境振动过大，应配用有防振装置的热继电器。

交流接触器电磁系统、触点系统和灭弧装置的故障前面已介绍过，这里讨论交流接触器触点不同步、相间短路和通电后不动作等几种故障。

一相主触点不能闭合：由于一相主触点损坏、接触不良或连接螺钉、卡簧松脱，动作时只有两相主触点闭合送电，造成电动机缺相运行，这样很容易损坏电动机，应立即断电，检修有故障的触点。

相间短路：该故障多发生在用两个交流接触器控制电动机作可逆运转的电路上，如果联锁电路有故障，动作失灵或误动作，使两只交流接触器同时吸合，即发生相间短路，如果电路保护装置反应迟钝，故障电流可迅速将触点烧毁、线路烧坏，造成严重后果。另外，如果电动机在正反转中由于切换时间太短，动作过快，也可能使相间拉电弧造成短路。这类故障，可采用在控制线路上加装按钮或辅助触点双重联锁进行保护或选用动作时间长的交流接触器，以延长正反转的切换时间。

通电后不动作：该故障的可能原因是电磁线圈开路或线圈电源接触不良，可按低压电器零部件故障排除方法检修；起动按钮动合触点接触不良，应修理起动按钮；动触点传动机构卡死，转轴生锈或歪斜，应修理传动机构。

空气阻尼式时间继电器常见故障是延时时间自行增长、自行缩短或不能延时。延时时间自行增长的原因是气室不清洁，空气通道不通畅，气流被阻滞，应清洁气室和空气通道；延时时间自行缩短或不能延时，是气室密封不严或活塞漏气所致，应改善气室的密封程度，若活塞漏气应更换。

8.2 三相异步电动机基本控制电路

8.2.1 三相异步电动机的正转、点动及两地控制

三相笼型异步电动机具有结构简单、坚固耐用、价格便宜、维修方便等优点，获得广泛的应用。三相笼型异步电动机接通电源后，从静止到稳定运行的过渡过程，称为起动过程。在起动时，转子的感应电动势和感应电流都很大，从而使得定子的起动电流 I_{st} 也很大，一般可达电动机额定电流的 4~7 倍。这样会造成电网电压的显著下降，影响在同一电网下工作的其他设备的正常运行。因此，只有当三相笼型异步电动机的容量小于 11 kW 或满足以下经验公式时

$$\frac{I_{st}}{I_N} \leq \frac{3}{4} + \frac{S}{4P} \quad (8.2.1)$$

式中： I_{st} 为电动机的全压起动电流，单位为 A； I_N 为电动机的额定电流，单位为 A； S 为电源变压器的容量，单位为 kVA； P 为电动机的容量，单位为 kW。

采用直接起动。直接起动是一种经济、简单、可靠的起动方法。但当电动机容量大于 11kW 或不满足公式

制电路。

正转

1. 开关控制电路如下所述

图 8.2.1 为电动机的单向旋转开关控制电路，图中 M 为三相笼型感应电动机，Q 为刀开关，QF 为自动空气开关。

图 8.2.1

空气开关直接控制电动机的起动和停车，一般适用于不频繁起动的小容量电动机。工厂中小型电动机，如砂轮机、三相电风扇等常采用这种控制电路，但是这种控制电路不能实现远距离控制和自动控制。

2. 接触器点动控制电路

在需要频繁起动、停车的点动控制场合

图 8.2.2 所示的由按钮、接触器等实现的点动控制电路，其中 SB 为按钮，KM 为交流接触器。工作原理分析如下：合上刀开关，按下 SB 按钮，KM 线圈得电，其三对动合主触点闭合，电动机三相绕组得电，电动机 M 起动。松开 SB 按钮，KM 线圈失电，其主触点断开，电动机三相绕组失电，电动机 M 停车。

3. 接触器常动控制电路

图 8.2.3

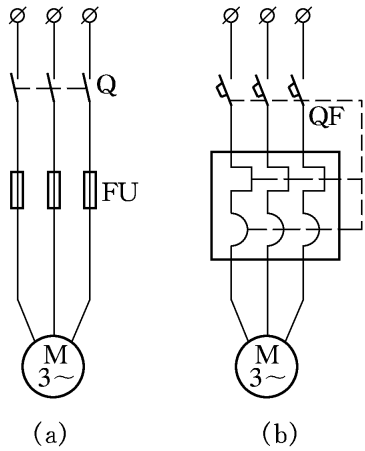


图 8.2.1 单向旋转的开关控制电路

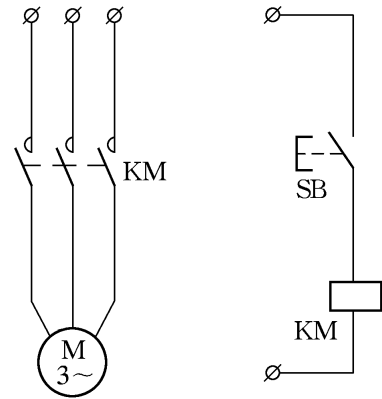


图 8.2.2 接触器实现的单向旋转点动控制电路

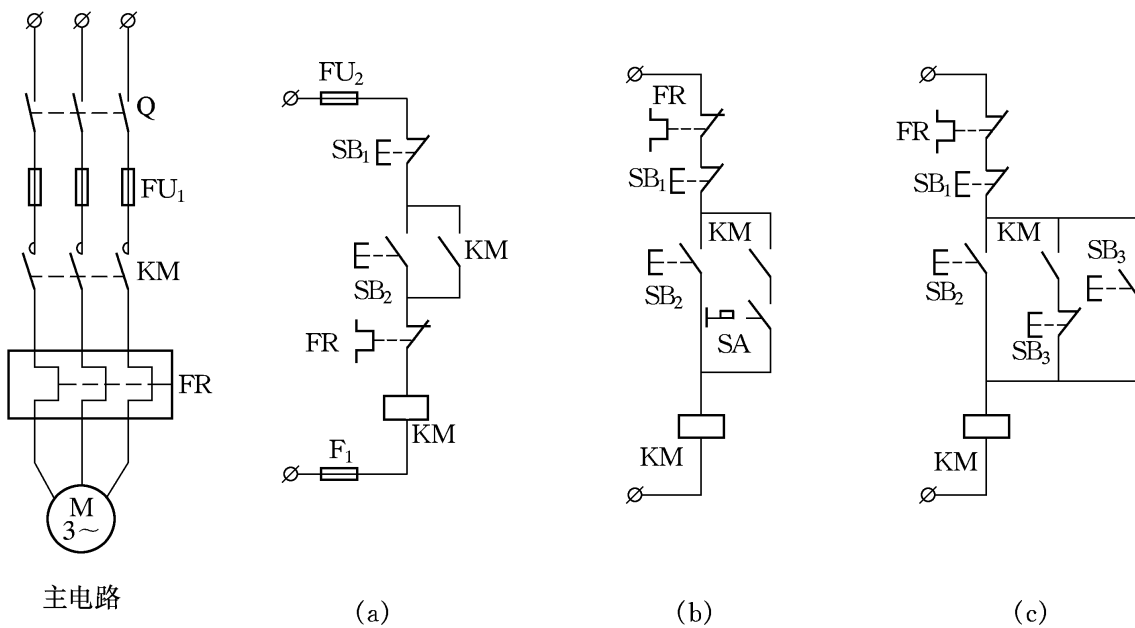


图 8.2.3 具有点动、常动的控制电路

图中 Q 为电源开关，FU₁、FU₂ 分别为主电路和控制电路的熔断器，FR 为热继电器，SB₁、SB₂ 分别为停车和起动按钮。工作过程如下：合上电源开关 Q，按下起动按钮 SB₂，其动合触点闭合，接触器 KM 线圈得电，其主触点闭合，电动机接通三相电源起动。同时，与 SB₂ 动合触点并联的 KM 动合辅助触点闭合，因此，当松开 SB₂ 时，虽然 SB₂ 动合触点断开，可是 KM 线圈通过已闭合的 KM 动合辅助触点仍保持通电状态，从而使电动机获得连续运转。这种依靠接触器自身辅助触点保持线圈通电的电路，称为自锁电路。动合辅助触点称为自锁触点。按下按钮 SB₁，接触器 KM 线圈失电，KM 动合主触点和动合辅助触点均断开，切断电动机的主电路和控制电路，电动机停车。本电路具有以下保护环节：

过载保护：由热继电器 FR 实现电动机的长期过载保护。热继电器的双金属片串接在电动机的主电路中，其动断触点接在接触器的线圈控制回路中，当电动机发生长期过载时，热继

电器的双金属片受热弯曲，使其动断触点断开，切断接触器线圈的控制回路，接触器线圈失电，接触器的主触点断开，从而使电动机断电，起到电动机的过载保护作用。

短路保护：由熔断器 FU_1 、 FU_2 分别实现电动机的主电路和控制电路的短路保护。

失压和欠压保护：当电源电压因某种原因严重下降或消失

接触器的电磁吸力下降或消失，使得接触器的衔铁释放，动合主触点和自锁触点断开，电动机停止转动。当线路电压正常时，接触器线圈不能自动通电，必须再次按下起动按钮 SB_2 后才能重新起动，从而保证了线路正常后电动机突然起动所引起的设备或人身事故。具有自锁电路的接触器控制电路都有失压和欠压保护作用。

4. 具有点动、常动控制电路

图 8.2.3

SA 断开时为常动控制。图 8.2.3

SB_2 时，为常动控制；当按下按钮 SB_3 时为点动控制，它是利用 SB_3 的动断触点来断开自锁电路，实现点动控制。 SB_1 为电动机常动控制的停车按钮。

5. 两地

在大型设备上，为了操作方便，常要求能多个地点进行控制操作。在某些机械设备上，为保证操作安全，需要满足多个条件，设备才能开始工作，这样的控制要求可通过在电路中串联或并联电器的动断触点和动合触点来实现。图 8.2.4

电条件为按钮 SB_2 、 SB_3 、 SB_4 的动合触点任一闭合，KM 辅助动合触点构成自锁，这里的动合触点并联构成逻辑或的关系，任一条件满足，接通电路。KM 线圈电路的切断条件为按钮 SB_1 、 SB_5 、 SB_6 的动断触点任一打开，动断触点串联构成逻辑与的关系，其中任一条件满足，即可切断电路。图 8.2.4

4、 SB_5 、 SB_6 的动合触点全部闭合，KM 的辅助动合触点构成自锁。即动合触点串联成为逻辑与的关系，全部条件满足，接通电路。KM 线圈电路的切断条件为按钮 SB_1 、 SB_2 、 SB_3 的动断触点全部打开，即动断触点并联构成逻辑或的关系，全部条件满足，切断电路。

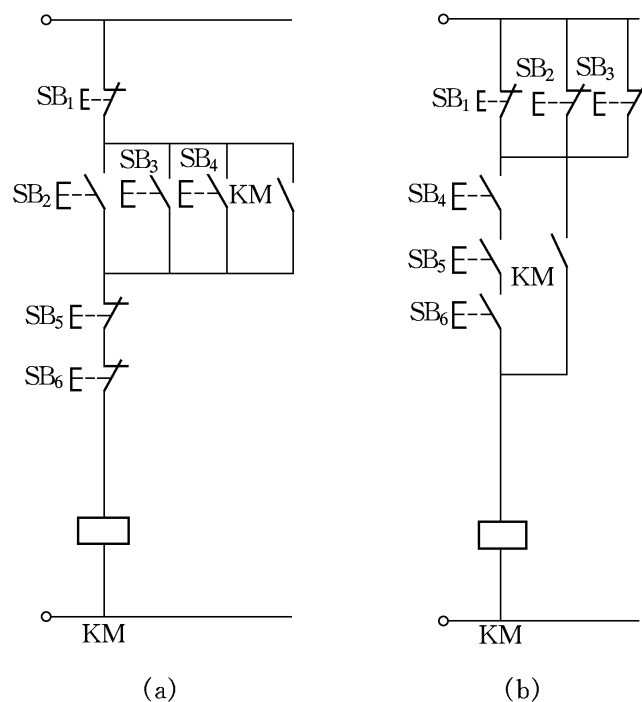


图 8.2.4 多地点多条件控制电路

8.2.2 三相异步电动机正反转控制

前面介绍的几种电动机的控制电路都是有关电动机单一旋转方向的控制电路，但是在生产实践中经常需要电动机能正反转，例如，机床工作台的前进和后退、摇臂钻床摇臂的上升和下降、起重机吊钩的上升和下降等。控制电动机的正反转，可用改变输入三相电源相序的方法实现。

1. 常用的电动机正反转控制电路

图 8.2.5 为用倒顺开关控制的电动机的正反转的控制电路。图 8.2.5 实现电动机正反转的电路，由于倒顺开关无灭弧机构，所以只适用于容量小于 5.5kW 的电动机的正反转控制电路。对于容量大于 5.5kW 的电动机，则采用图 8.2.5 通过倒顺开关预选电动机的旋转方向，而由接触器 KM 来接通和断开电源，控制电动机的起动和停车。此电路采用接触器控制，并且在主电路中接入了热继电器 FR，所以此电路具有失压、欠压和过载保护，熔断器 FU_1 实现了电路保护。

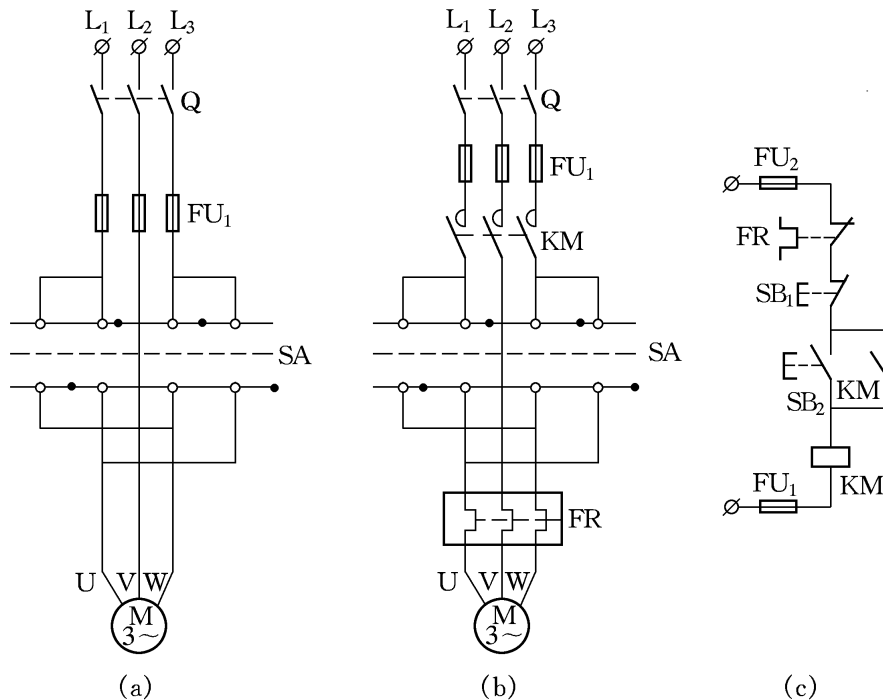


图 8.2.5 用倒顺开关实现的正反转控制电路

图 8.2.6 所示为按钮控制的电动机正反转控制电路。其中 KM_1 为正转接触器， KM_2 为反转接触器。 KM_1 主触点闭合时与 KM_2 主触点闭合时，电动机的电源相序正好改变了其中两相的相序，实现了电动机的正反转。但是图 8.2.6

SB_2 后又同时按下按钮 SB_3)

- 1、 KM_2 主触点同时闭合，使得电源短路，造成电动机无法正常工作甚至发生事故。因此，将 KM_1 、 KM_2 正反转接触器的动断辅助触点串接在对方线圈回路中，这样 KM_1 、 KM_2 线圈就不可能同时得电，防止发生电源短路事故，如图 8.2.6

这种由接触器或继电器动断触点构成的互锁称为电气互锁。可是该电路还存在一个缺点：在电

动机由正转变反转或由反转变正转的操作中，必须先按停车按钮 SB_1 ，这样难以提高劳动生产率。为此，可以采用图 8.2.6

或由反转直接变正转的操作，它是在图 8.2.6 的机械互锁，构成具有电气和机械双重互锁的控制电路。

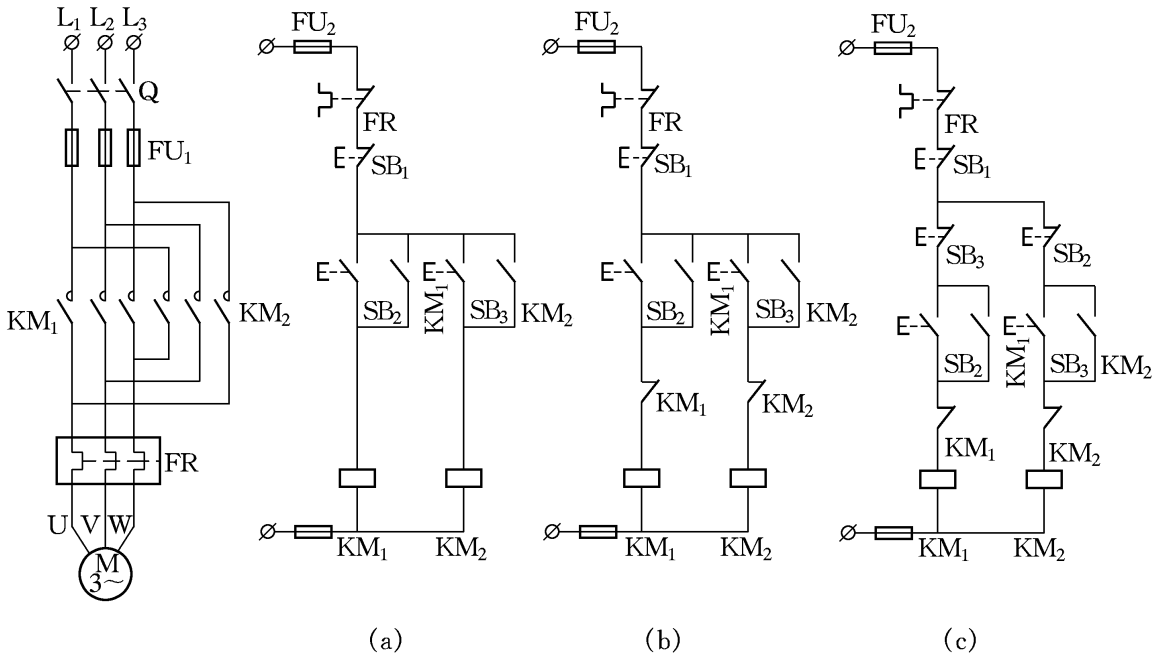


图 8.2.6 用按钮、接触器实现的电动机正反转控制电路

2. 行程控制

行程控制实际上可以看作是正反转控制的特殊应用。某些机械设备中的运动部件的工作台、高炉的加料设备等)

常是利用位置开关来检测往返运动的相对位置，控制电动机的正反转。图 8.2.7 为机床工作台往返运动的示意图。 SQ_1 、 SQ_2 分别安装在床身两端，反映工作台的起点和终点。撞块 A、B 安装在工作台上，当撞块随着工作台运动到位置开关位置时，压下位置开关，使其触点动作，从而改变控制电路，使电动机正反转，实现工作台的自动往返运动。

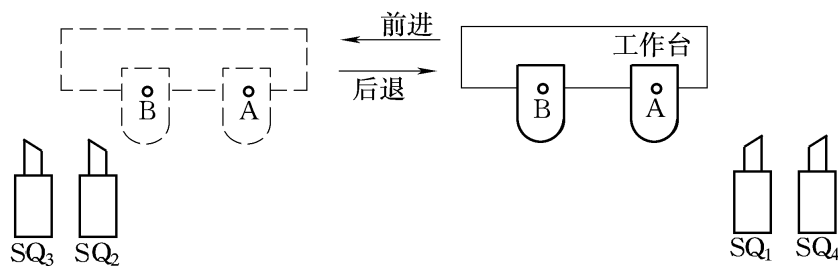


图 8.2.7 机床工作台自动往返示意图

图 8.2.8 为用位置开关实现具有自动往返运行功能的电动机的控制电路。 KM_1 为正转接触器， KM_2 为反转接触器，位置开关 SQ_3 、 SQ_4 分别用作正反转的极限保护，避免工作台因超出极限位置而发生事故。该电路的工作原理：合上电源开关 Q ，按下正向起动按钮 SB_2 ， KM_1 线圈得电并自锁，电动机正向起动，拖动工作台前进，当前进到位时，撞块压下位置开关 SQ_2 ，

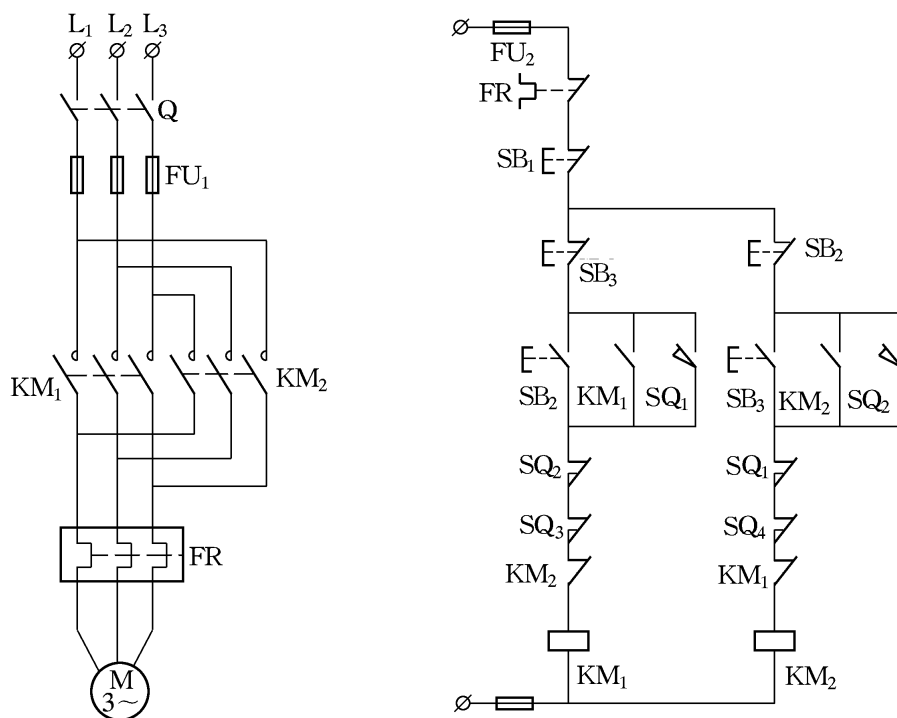


图 8.2.8 工作台自动往返的控制电路

其动断触点断开，使 KM_1 线圈失电，电动机停转，但同时 SQ_2 的动合触点闭合，使 KM_2 线圈得电，电动机反向起动，拖动工作台后退，当后退到位时，撞块又压下位置开关 SQ_1 ，其动断触点断开，使 KM_2 线圈失电，电动机停转，但同时 SQ_1 的动合触点闭合， KM_1 线圈得电，电动机正向起动，拖动工作台前进，如此循环往返，实现了电动机的正反转控制。该电路具有失压、欠压、过载和短路保护环节，同时还具有机械和电气互锁保护等保护环节，该电路在生产实践中得到广泛的应用。

上述利用位置开关按照机械设备的运动部件的行程位置进行电动机的控制称为行程控制。

8.2.3 三相异步电动机的顺序控制及时间控制

1. 顺序控制

实际生产中，有些设备常要求电动机按一定的顺序起动，如铣床工作台的进给电动机，必须在主轴电动机已起动工作的条件下才能起动工作；自动加上设备，必须在前一工步已完成，转换控制条件具备，方可进入新的工步；还有一些设备，要求液压泵电动机首先起动正常供液后，其他动力部件的驱动电动机方可起动工作。控制设备完成这种顺序起动电动机的电路，称为顺序起动控制电路或称条件控制电路。

图 8.2.9 为两台电动机顺序起动的控制电路。

KM_1 是液压泵电动机 M_1 的起动控制接触器， KM_2 控制主轴电动机 M_2 。工作时， KM_1 线圈得电，其主触点闭合，液压泵电动机起动以后，满足 KM_2 线圈通电工作的条件， KM_2 可控制主轴电动机起动工作。在图 8.2.9 中， KM_2 线圈电路由 KM_1 线圈电路起停控制环节之后接出，当起动按钮 SB_2 压下， KM_1 线圈得电，其辅助动合触点闭合自锁，使 KM_2 线圈通电工作条件满足，此时通过主轴电动机的起、停控制按钮 SB_4 与 SB_3 控制 KM_2 线圈电路的通

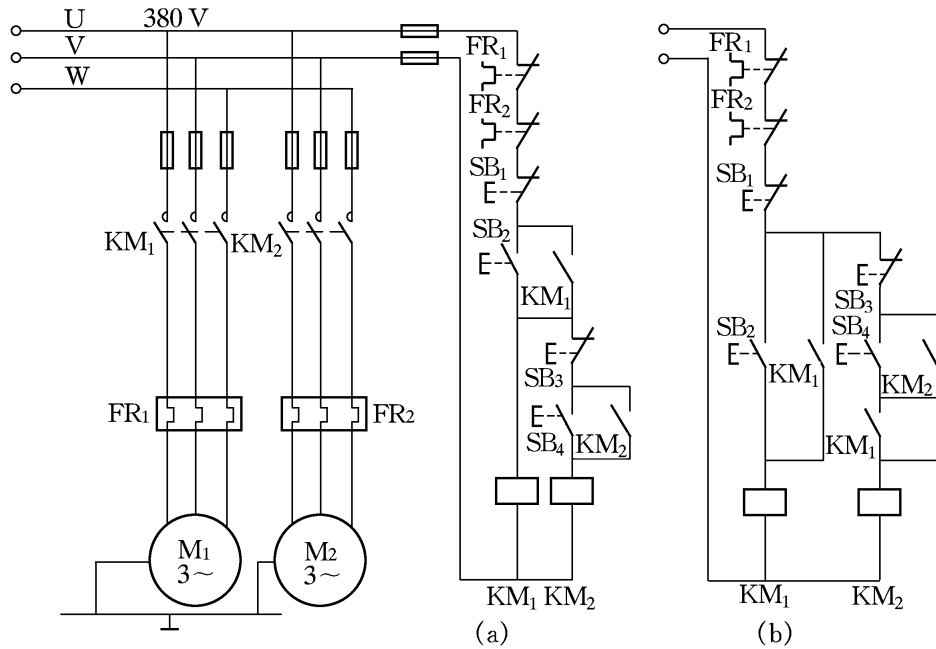


图 8.2.9 是两台电动机顺序起动的控制电路

断电，控制主轴电动机起动工作和断电停车。图 8.2.9 线圈电路与 KM_2 线圈电路单独构成， KM_1 的辅助动合触点作为一控制条件，串接在 KM_2 的线圈电路中，只有 KM_1 线圈得电，该辅助动合触点闭合， M_1 油泵电动机已起动工作的条件满足后， KM_2 线圈可开始通电工作。

2. 时间控制

在自动控制系统中，经常要延迟一段时间或定时接通和分断某些控制电路，以满足生产上的需要。例如，电动机在容量大于 11 kW 或不满足公式电动机减压起动后，经过一段时间，起动过程结束时，就应把电动机的主电路恢复到全压运行时的电路，电动机主电路的切换可以利用时间继电器来完成。这种利用时间继电器实现对电动机的控制就称为时间控制。

下面介绍几种常见的电动机的时间控制电路。

图 8.2.10 为时间继电器控制的减压起动控制电路，它是利用时间继电器来完成电动机的自动切换的，这种方法只适用于电动机正常运行时是联结并且是轻载起动的场合。

电路工作原理如下：合上电源开关 QF，按下按钮 SB_2 ， KM_1 线圈通电，其动合辅助触点闭合， KM_2 线圈也通电，同时 KT 线圈有电，开始计时； KM_1 、 KM_2 主触点闭合，电动机绕组连接成星形起动， KM_2 动合辅助触点闭合，起自锁作用；KT 计时时间到，其延时动作的动断触点断开，延时动作的动合触点闭合，使 KM_1 线圈回路断开， KM_2 线圈回路通电， KM_1 主触点断开， KM_2 主触点闭合，电动机接成全压运行。停车时，按下停车按钮 SB_1 即可。

图 8.2.11 为用两个接触器实现的自耦变压器减压起动控制电路，该电路仅适用于不频繁起动、电动机容量在 30 kW 以下的情况。其工作原理分析如下：合上电源开关，按下起动按钮

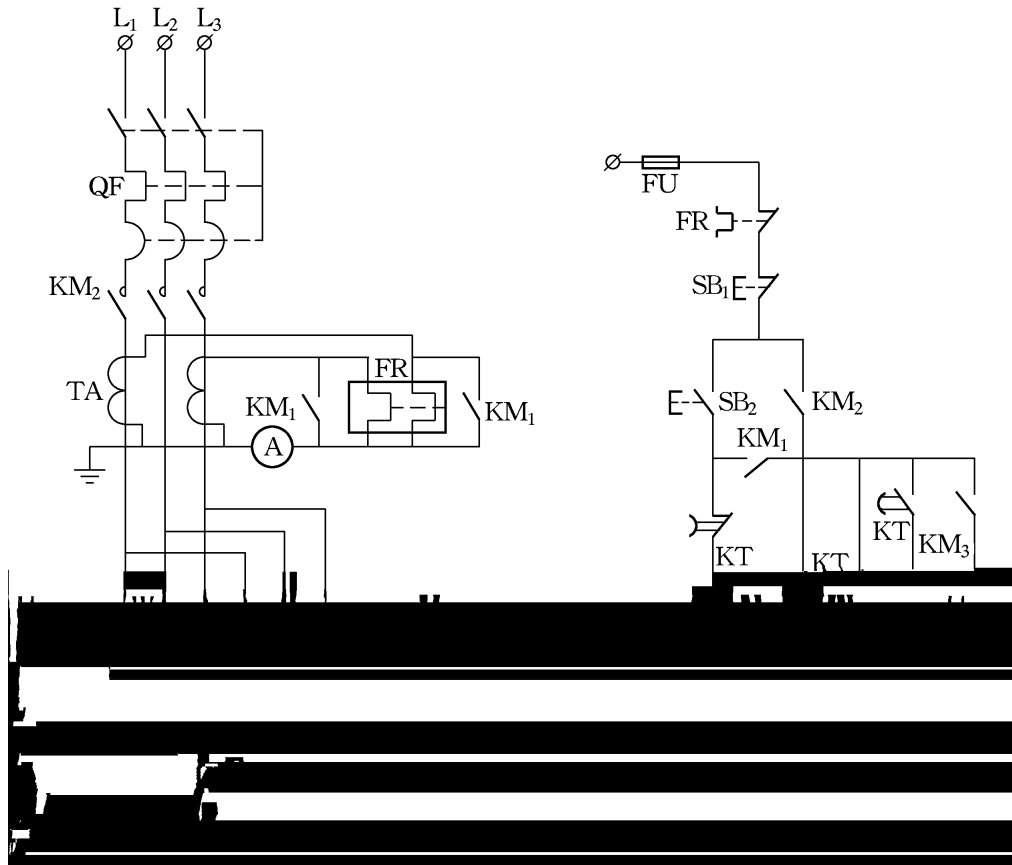


图 8.2.10 - 减压起动控制电路

SB₂，KM₁ 线圈通电并自锁，将自耦变压器 T 接入，电动机定子绕组经自耦变压器供电减压起动；同时，KT 线圈通电，开始计时，整定时间到，其延时闭合的动合触点闭合，使中间继电器 KA 线圈通电并自锁，KM₁ 线圈断电，其主触点断开，KM₂ 线圈通电，其主触点闭合，自耦变压器被切除，电动机全压运行。

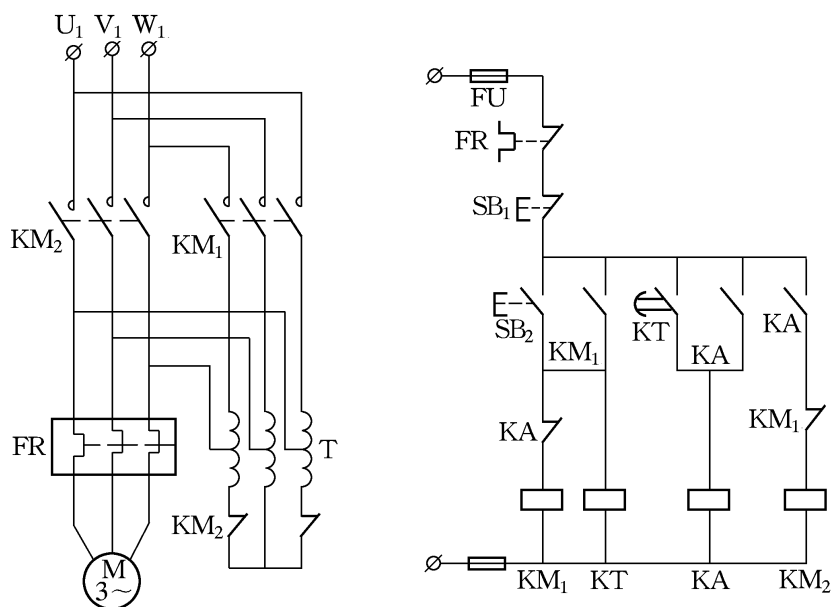


图 8.2.11 自耦变压器减压起动控制电路

图 8.2.12 为时间控制的能耗制动的控制电路。其工作原理分析如下：

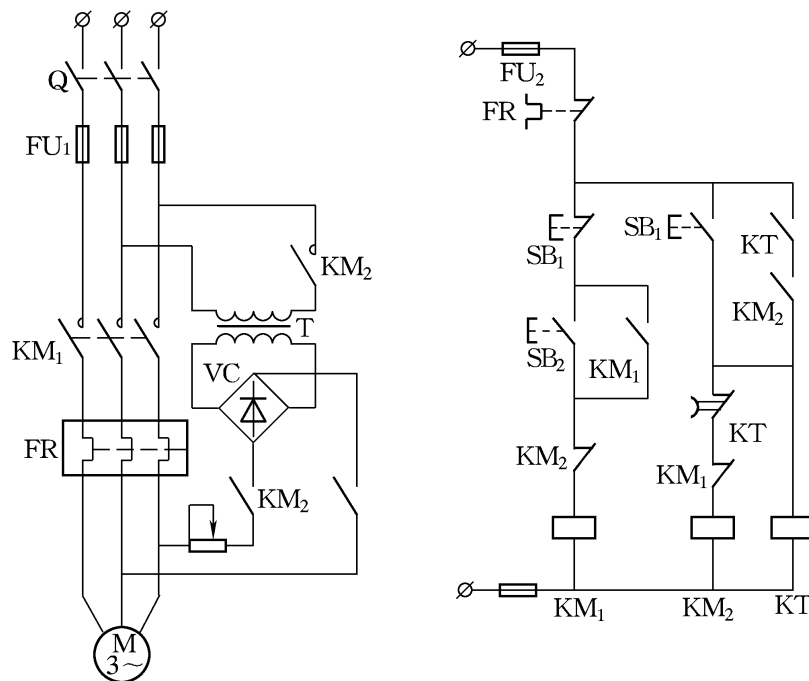


图 8.2.12 单向能耗制动控制电路

电动机已经在正常运行，当按下停车按钮 SB_1 时， KM_1 线圈失电，其主触点断开，电动机定子绕组断电；同时， KM_2 、 KT 线圈通电， KM_2 主触点闭合，电动机在能耗制动作用下，转速迅速下降，当接近零时， KT 计时时间到。其延时触点动作时， KM_2 、 KT 断电，整个电路断电，制动过程结束。电动机停车时采用能耗制动可缩短停车时间，提高工作效率。

8.2.4 双速异步电动机高低速控制

实际生产中，对机械设备常有多种速度输出的要求，通常采用单速电动机时，需配有机械变速系统以满足变速要求。当设备的结构尺寸受到限制或要求速度可调时，常采用电动机调速或多速电动机，本节将简要分析双速异步电动机运行原理及其控制电路。

1. 电动机磁极对数的产生与变化

由电工学知识知道，电动机的转速与电动机的磁极对数有关，改变电动机的磁极对数即可改变其转速。采用改变磁极对数的变速方法一般只适合笼型异步电动机，笼型异步电动机有两种改变磁极对数的方法：第一种是改变定子绕组的连接，即改变定子绕组中电流流动的方向，形成不同的磁极对数；第二种是在定子绕组上设置具有不同磁极对数的两套互相独立的绕组。当一台电动机需要较多级数的速度输出时，也可两种方法同时采用。

多速电动机的定子绕组由两个线圈连接而成，线圈之间有导线引出，如图 8.2.13 所示。

常见的定子绕组接线有两种：一种是由单星形改为双星形，即将图 8.2.13

8.2.13

定子绕组的两个线圈串联后接入三相电源，电流流动方向及电流分布如图 8.2.13

成四极低速运行。当每相定子绕组的两个线圈并联时，由中间导线端子接入三相电源，其他两端汇集一点构成双星形联结，电流流动方向及电流分布改变如图 8.2.13

极高速运行。两种接线方式变换使磁极对数减少一半，其转速增加一倍。单星形 - 双星形切换

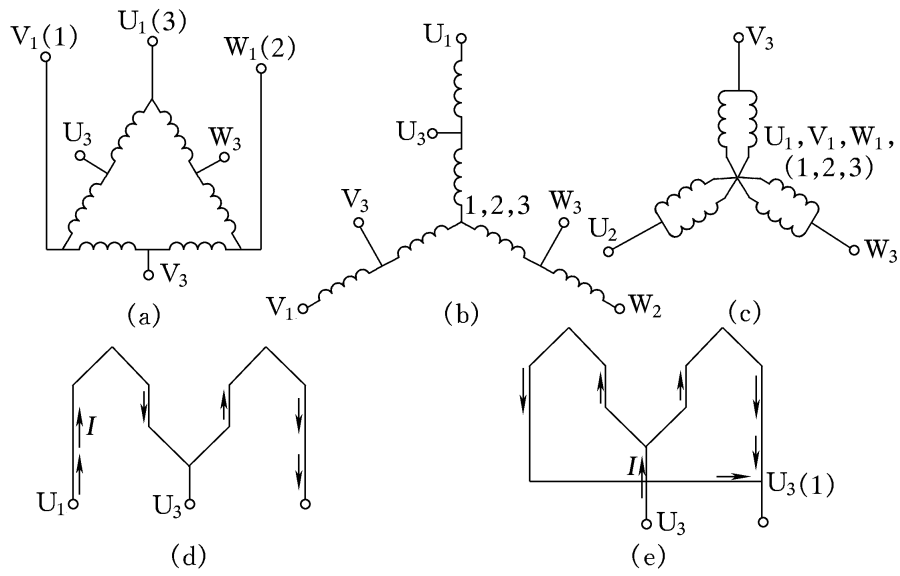


图 8.2.13 双速电动机定子绕组接线

适用于拖动恒转矩性质的负载；三角形 - 双星形切换适用于拖动恒功率性质的负载。

2. 双速电动机控制电路

图 8.2.14 为双速电动机三角形 - 双星形变换控制的电路图，图中主电路接触器 KM_1 的主触点闭合，构成三角形联结， KM_2 和 KM_3 的主触点闭合构成双星形联结。控制电路有三种：

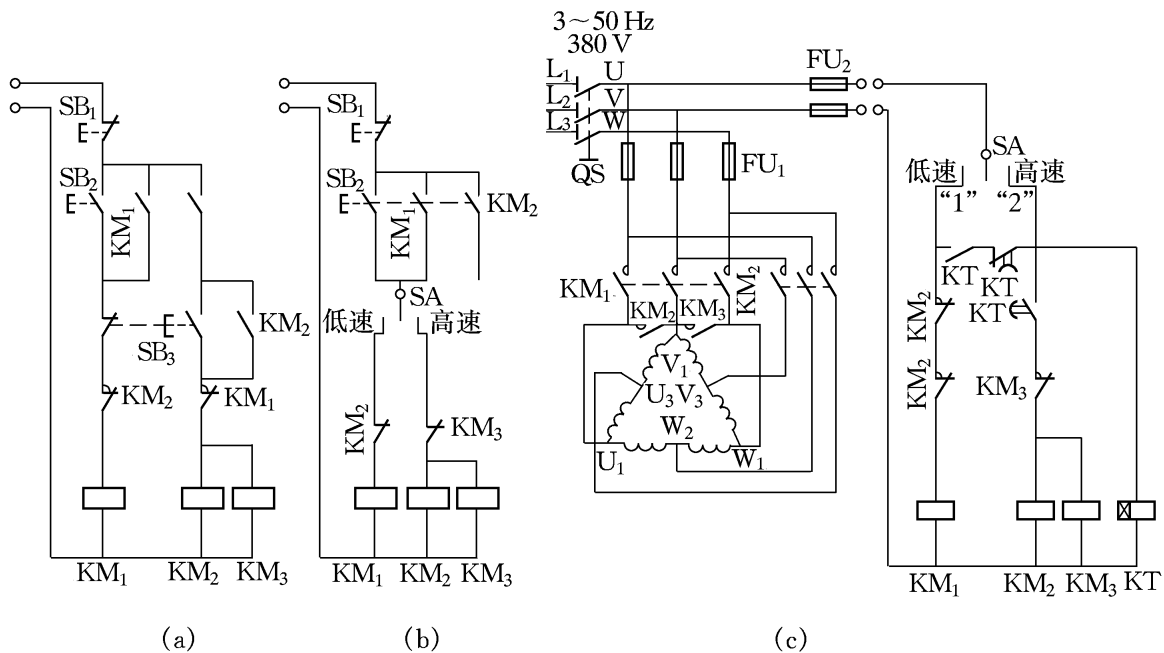


图 8.2.14 双速电动机变速控制电路

图 8.2.14 2 接通接触器 KM_1 的线圈电路， KM_1 主触点闭合，电动机低速运行。SB₃ 接通 KM_2 和 KM_3 的线圈电路，其主触点闭合，电动机高速运行。为防止两种接线方式同时存在， KM_1 和 KM_2 的动断触点在控制电路中构成互锁。图 8.2.14

采用选择开关 SA，选择接通 KM₁ 的线圈电路或 KM₂、KM₃ 的线圈电路，即选择低速运行或者高速运行。图 8.2.14

电路是用于较大功率的电动机，选择开关 SA 选择低速运行或高速运行。SA 位于“1”的位置选择低速运行时，接通 KM₁ 线圈电路，直接起动低速运行，SA 位于“2”的位置，选择高速运行时，首先接通 KM₁ 线圈电路低速起动，然后由时间继电器 KT 切断 KM₁ 的线圈电路，同时接通 KM₂ 和 KM₃ 的线圈电路，电动机的转速由低速切换到高速，工作过程如下所示：



绕组双星形联结,电动机转入高速运行

8.2.5 电液控制

电液控制是通过电气控制系统来控制液压传动系统按给定的工作要求完成动作。液压传动系统能够提供较大的驱动力，并且传递运动平稳、均匀、可靠。当液压系统和电气控制系统组合构成电液控制系统时，就更容易实现传动自动化，因此电液控制被广泛地应用在各种自动化设备上。液压传动系统的工作原理及工作要求是分析电液控制电路工作的一个重要环节。

1. 液压系统的组成

液压传动系统主要由四个部分组成，动力装置
(或液压马达)

液压泵由电动机拖动，为系统提供压力油，推动执行机构液压缸的活塞移动或液压马达转动，输出动力。执行机构的

定，活塞移动速度由进油量和油压的大小来控制。控制调节装置中，压力阀和调速阀用于调定系统的压力和执行件的运动速度，方向阀用于控制液流的方向或接通、断开油路，控制执行件的运动方向和构成液压系统工作的不同状态以满足各种运动的要求。

液压系统工作时，压力阀和调速阀的工作状态是预先调定的不变值，只有方向阀根据工作循环的运动要求变化工作状态，形成各工步液压系统的工作状态，完成不同的运动输出。因此对液压系统工作自动循环的控制，就是对方向阀的工作状态进行控制。方向阀因其结构的不同而有不同的操作方式，可用机械、液压和电动方式改变阀的工作状态，从而改变液流方向或接

通、断开油路。在电液控制中，采用电磁铁吸合推动阀芯移动来改变阀的工作状态，实现控制。

由电磁铁推动改变工作状态的阀称为电磁换向阀，其图形符号如图 8.2.15 所示。

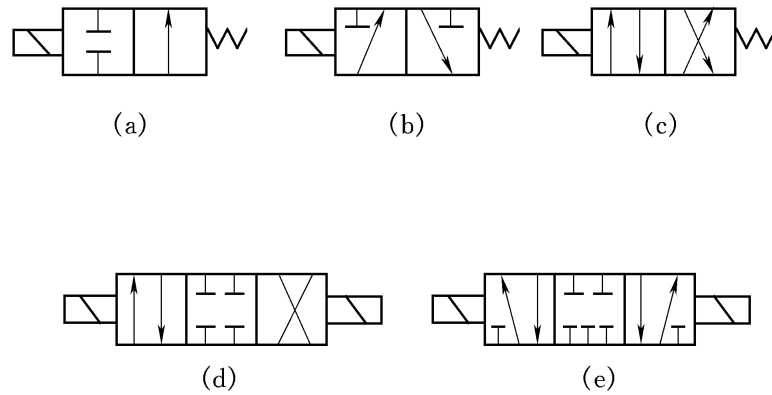


图 8.2.15 电磁换向阀图形符号

从图 8.2.15

当电磁线圈失电时，在弹簧力的作用下，换向阀复位于通油状态。电磁线圈的通、断电控制了油路的切换。图 8.2.15

态。当两电磁线圈都不通电时，换向阀处于中间位的堵油状态，需注意的两个电磁线圈不能同时得电，以免阀的状态不确定。

电磁换向阀有两种，即交流电磁换向阀和直流电磁换向阀，实际选用时应根据控制系统和设备需要而定。

2. 电气控制系统

在电液控制系统中，电气控制系统的任务是保证在进行每一个工步时，与各动作相应的有关电磁阀都正常工作。其工作过程是由继电器 - 接触器控制电磁铁线圈的通、断电，从而控制电磁换向阀的通油状态，进而控制液压缸活塞的运动方向和速度，带动执行机构去完成各种动作。

3. 电液控制系统的分析

分析通常分为三步：

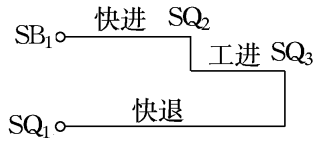
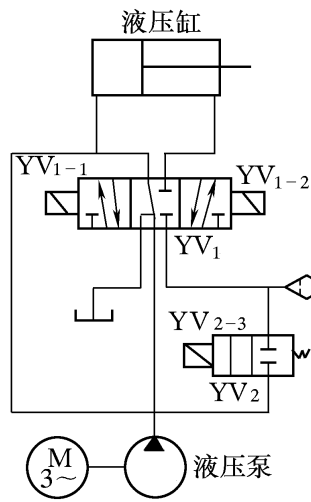
工作循环分析：确定工步顺序及每步的工作内容，明确各工步的转换主令。

液压系统分析：分析液压系统的工作原理，确定每工步中应通电的电磁线圈并将分析结果和工作循环图给出的条件通过动作表的形式列出，动作表上列有每个工步的内容、转换主令和电磁线圈的通电状态。

控制电路分析：根据动作表给出的条件和要求，逐步分析电路如何在转换主令的控制下完成电磁线圈通、断电的控制。

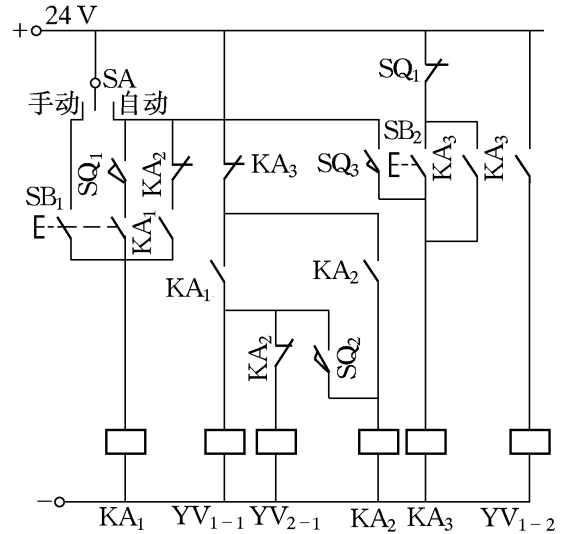
液压动力滑台工作自动循环控制是一个典型的电液控制。液压动力滑台是机床加工工件时完成进给运动的动力部件，由液压系统驱动，自动完成加工的循环。

液压动力滑台一次工作进给的控制电路如图 8.2.16 所示。



电磁阀滑台	YV ₁₋₁	YV ₁₋₂	YV ₂₋₁	转换主令
快进	+	-	+	SB ₁
工进	+	-	-	SQ ₂
快退	-	+	-	SQ ₃
停止	-	-	-	SQ ₁

(a)



(b)

图 8.2.16 液压动力滑台电液控制系统

液压动力滑台的自动工作循环有四个工步：滑台快进、工进、快退及原位停止，分别由位置开关 SQ_2 、 SQ_3 、 SQ_1 及按钮 SB_1 控制循环的起动和工步的切换。对应于四个工步，液压系统有四个工作状态，以满足活塞的四个不同运动要求，其工作原理如下：

当动力滑台快进时，要求电磁换向阀 YV_1 在左位，压力油经换向阀进入液压缸左腔，推动活塞右移，此时电磁换向阀 YV_2 也要求位于左位，使得油缸右腔回油返回液压缸左腔，以增大液压缸左腔的进油量，使活塞快速向前移动。为实现上述油路工作状态，电磁铁线圈 YV_{1-1} 必须通电，使电磁换向阀 YV_1 切换到左位， YV_{2-1} 通电使 YV_2 切换到左位。

当动力滑台快进到位，到达工进起点时，压下行程开关 SQ_2 ，动力滑台进入工进的工步。工进时，活塞运动方向不变，但移动速度改变，此时 YV_1 仍在左位，但控制右腔回油通路的 YV_2 切换到右位，切断右腔回油进入左腔的通路，而使液压缸右腔的回油经调速阀流回油箱，调速阀节流控制回油的流量，从而限定活塞以给定的工进速度继续向右移动，让 YV_{1-1} 保持通电，使阀 YV_1 仍在左位，但 YV_{2-1} 断电，使阀 YV_2 在弹簧力的复位作用下切换到右位，就能满足工进油路的工作状态。

工进结束后，动力滑台在终点压动终点限位开关 SQ_3 ，转入快退工步。滑台快退时，活塞的运动方向与快进、工进时相反，此时液压缸右腔进油，左腔回油，阀 YV_1 必须切换到右位，改变油的通路，阀 YV_1 切换以后，压力油经阀 YV_1 ，进入液压缸的右腔，左腔回油经 YV_1 ，直接回油箱，通过切断 YV_{1-1} 的线圈电路使其失电，同时接通 YV_{1-2} 的线圈电路使其通电吸合，阀 YV_1 切换到右位，就满足快退时液压系统的油路状态。

当动力滑台快速退回到原位以后，压动原位位置开关 SQ_1 ，即进入停止状态。此时要求阀 YV_1 位于中间位的油路状态， YV_2 处于右位，当电磁阀线圈 YV_{1-1} 、 YV_{1-2} 、 YV_{2-1} 均失电时，即可满足液压系统使滑台停在原位的工作要求。

控制电路中 SA 为选择开关，用于选定滑台的工作方式。开关扳在自动循环工作方式时，按下起动按钮 SB_1 ，循环工作开始，其工作过程如下：

原位位置开关 SQ_1 压下

KA_1 触点闭合自锁

按 SB_1 KA_1 线圈得电

KA_1 触点闭合 YV_{1-1}, YV_{2-1} 线圈得电 滑台快进

KA_2 触点闭合自锁

SQ_2 压下 KA_2 线圈得电

KA_2 触点断开 YV_{2-1} 线圈失电 滑台工进

KA_3 触点闭合自锁

SQ_3 压下 KA_3 线圈得电

KA_3 触点断开 KA_1, KA_2 及 YV_1 线圈失电

KA_3 触点闭合 YV_{1-2} 线圈得电 滑台快退

KA_3 触点复位 准备下次循环工作

SQ_4 压下 KA_3 线圈失电

KA_3 触点复位断开 YV_{1-2} 线圈失电 滑台停在原位

SA 扳到手动调整工作方式时，电路不能自锁持续供电，按下按钮 SB_1 ，可接通 YV_{1-1} 与 YV_{2-1} 线圈电路，滑台快进，松开按钮 SB_1 ，则 YV_{1-1} 和 YV_{2-1} 线圈失电，滑台立即停止移动，从而实现点动向前调整的动作。 SB_2 为滑台快速复位按钮，若由于调整前移或工作过程中突然停电等原因，滑台没有停在原位，不能满足自动循环工作的起停条件，即原位位置开关 SQ_1 没有处于受压状态时，通过压下复位按钮 SB_2 ，接通 YV_{1-2} 线圈电路，滑台即可快速返回至原位，压下 SQ_1 后自动停机。

在上述控制电路的基础上，加上延时元件，可得到具有进给终点延时停留的自动循环控制电路，其工作循环图及控制电路图如图 8.2.17 所示。当滑台工作到终点时，压动终点限位开关 SQ_3 ，接通时间继电器 KT 的线圈电路， KT 的动断触点使 YV_{1-1} 线圈失电，阀 YV_1 切换到中间位置，使滑台停在终点位，经一定时间的延时后， KT 的延时动合触点接通滑台快退控制电路，滑台进入快退工步，退回原位后位置开关 SQ_1 被压下，切断 YV_{1-2} 的电路，滑台停在原位。其他工步的控制和调整控制方式、带有延时停留的控制电路与无终点延时停留的控制电路相同。

8.2.6 电动机的保护

电气控制系统除了要能满足生产机械加工工艺要求外，还应保证设备长期安全、可靠、无故障地运行，因此保护环节是所有电气控制系统不可缺少的组成部分，用来保护电动机、电网、电气控制设备及人身安全。

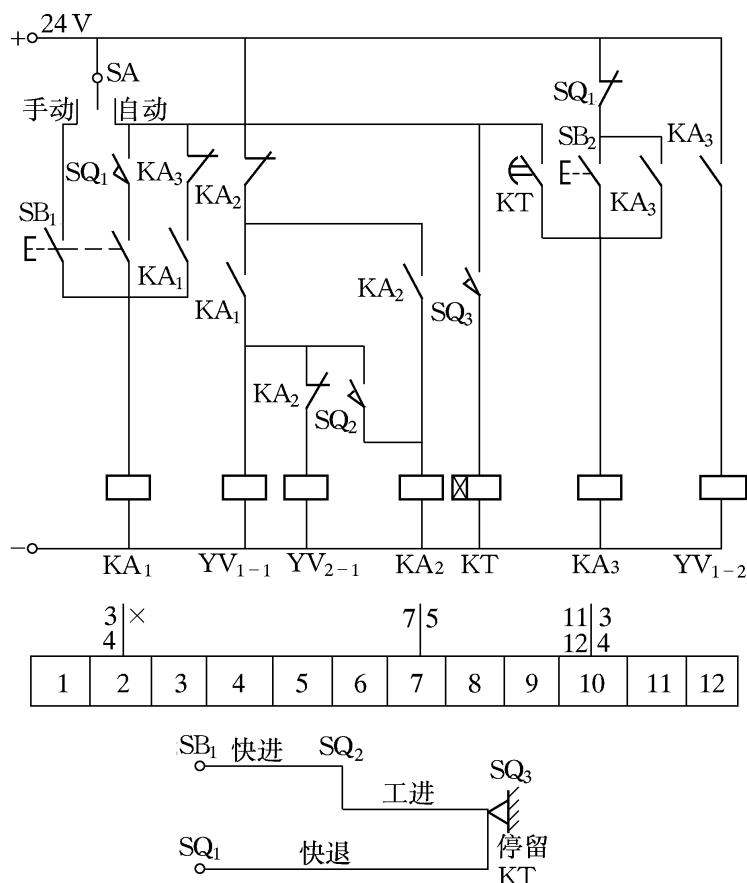


图 8.2.17 具有终点延时停留功能的滑台控制电路

电气控制系统中常用的保护环节有短路保护，过载保护，零压、欠压保护及弱磁保护。

1. 短路保护

电机、电器以及导线的绝缘损坏或线路发生故障时，都可能造成短路事故。很大的短路电流和电动力可能使电气设备损坏。因此，要求一旦发生短路故障时，控制线路能迅速切除电源。常用的短路保护元件有熔断器和自动开关，其保护原理及保护元件的选择方法、自动开关的整定要求已在本章的第一节中作过介绍，这里不再重复。

由于熔断器价格便宜，断弧能力强，所以一般电路几乎无一例外地用它作短路保护。但是熔体的品质、老化及环境温度等因素对其动作影响很大，用其保护电动机时，可能只有一相熔体熔断而造成电动机单相运行。用自动开关作短路保护则能克服这些缺陷。当出现短路时，其电流线圈动作，将整个开关跳开，三相电源便同时被切断。自动开关还兼有过载保护和欠压保护作用，不过其结构复杂，价格贵，不宜频繁操作，一般用在要求高的场合。

2. 过电流保护

电动机不正确地起动或负载转矩剧烈增加会引起电动机过电流运行。一般情况下这种过电流比短路电流小，但比电动机额定电流却大得多。在电动机运行过程中产生过电流比发生短路的可能性更大，尤其是在频繁正反转起动的重复短时工作制的电动机中更是如此。过电流的危害虽没有短路那么严重，但同样会造成电动机的损坏。

原则上，短路保护所用元件可以用作过电流保护，不过断弧能力可以要求低些，完全可以利用

控制电动机的接触器来断开过电流，因此常用瞬时动作的过电流继电器与接触器配合起来作过电流保护，过电流继电器作为测量元件，接触器作为执行元件断开电路。

由于笼型电动机起动电流很大，如果要使起动时过电流保护元件不动作，其整定值就要大于起动电流，那么一般的过电流就无法使之动作了。所以过电流保护一般只用在直流电动机和绕线式异步电动机上。整定过电流动作值一般为起动电流的 1.2 倍。

3. 过载保护

电动机长期超载运行，绕组温升将超过其允许值，造成绝缘材料变脆，寿命减少，严重时会使电动机损坏。过载电流越大，达到允许温升的时间就越短。常用的过载保护元件是热继电器。

由于热惯性的原因，热继电器不会受电动机短时过载冲击电流或短路电流的影响而瞬时动作，所以在使用热继电器作过载保护的同时，还必须设有短路保护，选作短路保护的熔断器熔体的额定电流不应超过 4 倍热继电器发热元件的额定电流。

必须强调指出，短路、过电流、过载保护虽然都是电流保护，但由于故障电流的动作值、保护特性和保护要求以及使用元件的不同，它们之间是不能相互取代的。

4. 零电压和欠电压保护

在电动机运行中，如果电源电压因某种原因消失，那么在电源电压恢复时，如果电动机自行起动，将可能使生产设备损坏，也可能造成人身事故。对供电系统的电网来说，同时有许多电动机及其他用电设备自行起动也会引起不允许的过电流及瞬间网络电压下降。为了防止电网失电后恢复供电时电动机自行起动的保护叫做零电压保护。

当电动机运行时，电源电压过分地降低将引起一些继电器释放，造成控制线路工作不正常，甚至产生事故。电网电压过低时，如果电动机负载不变，由于三相异步电动机的电磁转矩与电压的二次方成正比，则会因电磁转矩的降低而带不动负载，造成电动机堵转停车，电动机电流增大使电动机发热，严重时烧坏电动机。因此，在电源电压降到允许值以下时，需要采用保护措施，及时切断电源，这就是欠电压保护。通常是采用欠电压继电器或设置专门的零电压继电器来实现。

在控制线路的主电路和控制电路由同一个电源供电时，具有电气自锁的接触器兼有欠电压和零电压保护作用。若因故障电网电压下降到允许值以下时，接触器线圈也释放，从而切断电动机电源；当电网电压恢复时，由于自锁已解除，电动机也不会再自行起动。

欠压继电器的线圈直接跨接在定子的两相电源线上，其动合触点串接在控制电动机的接触器线圈电路中。自动开关中的欠压脱扣亦可作为欠压保护。主令控制器的零位操作是零压保护的典型环节。

图 8.2.18 为电动机常用保护线路。图中各电气元器件所起的保护作用分别为：

短路保护：熔断器 FU；

过载保护：热继电器 FR；

过流保护：过电流继电器 KI、K_I；

零压保护：中间继电器 KA；

欠压保护：欠电压继电器 KV；

联锁保护：接触器 KM_1 和 KM_2 互锁。

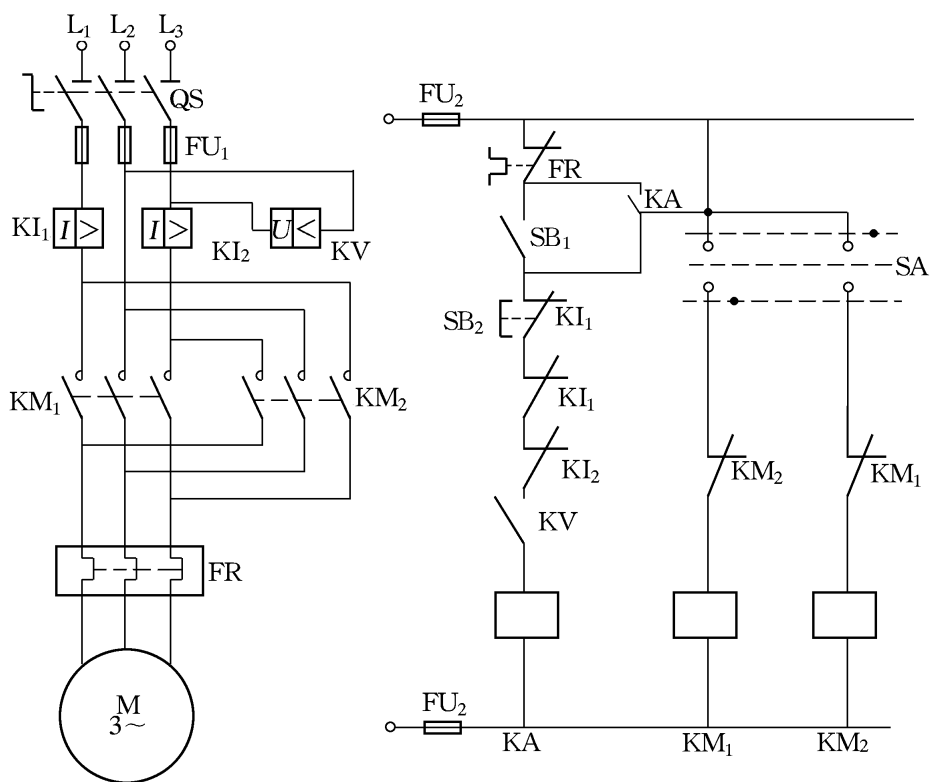


图 8.2.18 电动机常用保护线路

5. 弱磁保护

直流电动机在磁场有一定强度的情况下才能起动，如果磁场太弱，电动机的起动电流就会很大；直流电动机正在运行时磁场突然减弱或消失，电动机转速就会迅速升高，甚至发生“飞车”，因此需要采取弱磁保护。弱磁保护是通过在电动机励磁回路串入欠电流继电器来实现的。在电动机运行中，如果励磁电流消失或降低太多，欠电流继电器就会释放，其触点切断主回路接触器线圈电路，使电动机断电停车。

除上述几种保护外，控制系统中还可能还有其他各种保护，如联锁保护、行程保护、油压保护、温度保护等。只要在控制电路中串接上能反映这些参数的控制电器的动合触点或动断触点，就可实现有关保护。

8.2.7 基本控制线路安装及故障排除

本小节以星形 - 三角形自动降压起动线路为例，介绍控制电路的线路安装及故障排除，主要内容为：

1. 电气图

2. 电工工具、仪表及器材

电工工具：试电笔、尖嘴钳、偏口钳、剥线钳、一字和十字螺丝刀、电工刀、校验灯等。

仪表：万用表、兆欧表等。

器材：

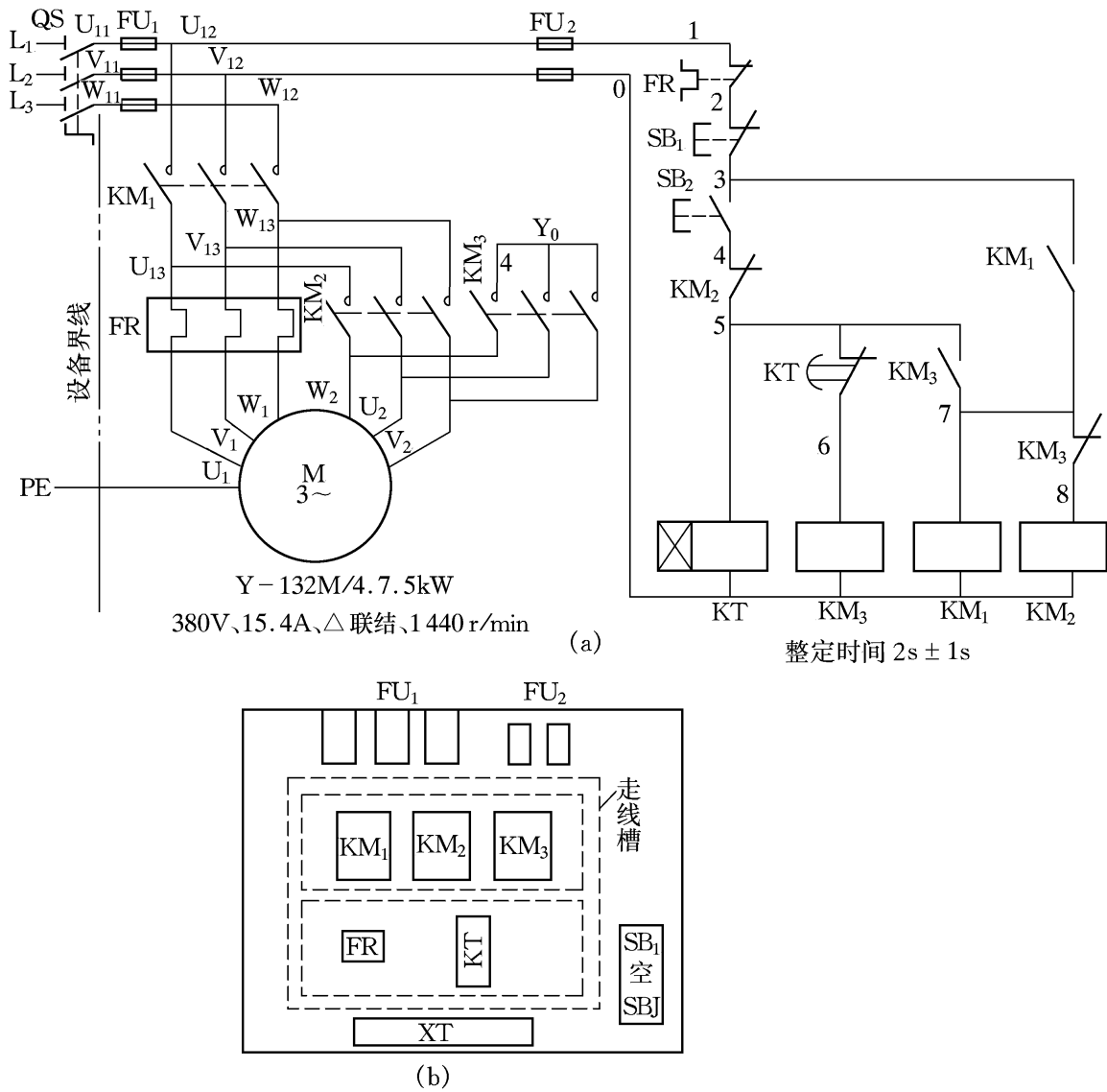


图 8.2.19 - 自动降压起动控制电气图

电气元件：如表 8.9 所示。

表 8.9 元件明细表

代 号	名 称	型 号	规 格	数 量
M	三相异步电动机	Y - 132M - 4	7.5 kW 380 V、15.4A、 联结、1440 r/min	1
FU ₁	熔断器	RL1 - 60/35	60A、配熔体 35A	3
FU ₂	熔断器	RL1 - 15/2	15 A、配熔体 2 A	2
KM ₁ 、KM ₂	交流接触器	CJ10 - 20	20A、线圈电压 380 V	3
KM ₃				
FR	热继电器	JR16 - 20/3	三极、20 A、整定电流 15.4 A	1
KT	时间继电器	J57 - 2A	线圈电压 380 V	1
SB ₁ 、SB ₂	按钮	LA4 - 3H	保护式、按钮数 3	1
XT	端子板	JD ₀ - 1020	380 V、10 A、20 节	1
	走线槽		18 mm × 25 mm	若干
	控制板	自制	50 mm × 650 mm × 500 mm	1

3. 生产实习

实习 1

按图 8.2.19 装接控制线路。
通电空运转校验。

按元件明细表将所需器材配齐并检验元件质量，选用合适规格的导线。

在控制板上按图 8.2.19

按图 8.2.19

检验控制板内部布线的正确性。

进行控制板外部配线。

经教师检查后，通电校验。

拆去控制板外部接线和评分。

检验元件质量应在不通电情况下进行，若有损坏的元件要立即向指导教师报告。

安装控制板上的走线槽及电气元器件时，必须根据电气元器件布置图画线后进行安装，并做到安装牢固，排列整齐、均称、合理以便于走线及更换元件。

紧固各元件时，要受力均匀，紧固程度适当，以防止损坏元件。

控制板内部布线采用控制板正面线槽内配线方法。布线时，在线槽外的导线也应做到横平竖直、整齐、走线合理；进入线槽的导线要完全置于走线槽内，并能方便地盖上线槽盖，各接点不能松动。具体工艺要求是：

元件位置一致的端子和相同型号电气元器件中位置一致的端子上引出或引入的导线，要敷设在同一平面上，并应做到高低一致或前后一致，不得交叉。

电器 JS7 - A 型同一只微动开关的同一侧动合与动断触点的连接导线，允许直接架空敷设外，其他导线必须经过走线槽进行连接。

线端子引出的导线，必须进入元件上面的走线槽；水平中心线以下接线端子引出的导线，必须进入元件下面的走线槽。任何导线都不允许从水平方向进入走线槽内。

截面积和材料性质相适应，并在所有接线端子、导线线头上套有与原理图上相应接点一致线号的套管。

时，必须采用软线。考虑机械强度的原因，所用导线的最小截面积：在控制箱外为 1 mm^2 ；在控制箱内为 0.75 mm^2 ，但对控制箱内很小电流的电路连线，如电子逻辑电路和类似低电平²，并且可以采用硬线，但是必须使用在不能移动又无振动的场合。

并压紧。

线，但导线的连接方式，必须是公认的、工艺上成熟的各种方式，如夹紧、压接、焊接、绕接等，且连接工艺应严格按照工序要求进行。

检验控制板内部布线的正确性，一般应在不通电的情况下进行，必要时，也可进行通电校验，但鉴于目前的实习条件和考虑安全等因素，不允许进行通电情况下检验。

控制板外部配线时，全部配线一律装在导线通道内，使导线有适当的机械保护，能防止液体、铁屑和灰尘的侵入，在实习时可适当降低要求，但必须以能确保安全为条件，如对电动机、起动电阻器等负载或可移动、可调整部件上电气设备的配线，可以采用多芯橡皮线或塑料护套软线来保证。

通电校验必须有指导教师在场监护，学生应根据电气原理图的控制要求独立进行校验，若出现故障也应自行排除。同时，要做好考核记录。

实习课题应在规定的时间内完成，做到安全、文明生产。

进行 Δ 起动控制的电动机，必须是有 6 个出线端子且定子绕组在 Δ 接法时的额定电压等于三相电源线电压的电动机。

实习时，可以优先选用 Y 系列电动机，其最小容量：6 极为 0.75 kW，2、4、8 极为 4 kW。若采用灯箱替代电动机，在通电校验后，必须复检主电路的接线是否正确。

接线时要注意电动机的 Δ 接法不能接错，应将电动机定子绕组的 U_1 、 V_1 、 W_1 通过 KM_2 接触器分别与 W_2 、 U_2 、 V_2 连接。否则，会使电动机在 Δ 联结时造成三相绕组各接同一相电源或其中一相绕组接入同一相电源而无法工作等故障。

KM_3 接触器的进线必须从三相绕组的末端引入、若误将首端引入，则在 KM_3 接触器吸合时，会产生三相电源短路事故。

在实习中，若没有条件在导线端头采用针形或叉形轧头时，也要做到线头与接线端子的连接紧密、不得松动。

通电校验前要再检查一下熔体规格及各整定值是否符合原理图的要求。

电动机、时间继电器、接线端子板的不带电金属外壳或底板应可靠接地。

走线槽安装后可不必拆卸，供后面实习线路使用，安装走线槽不计入定额时间内。

表 8.10 评分标准

项目内容	配 分	评 分 标 准	扣 分
安装元件	15	元件布置不整齐、不匀称、不合理，每只 元件安装不牢固，每只 安装元件时漏装木螺钉，每只 损坏元件	扣 3 分 扣 4 分 扣 2 分 扣 5~15 分

续表

项目内容	配 分	评 分 标 准	扣 分
布 线	35	不按电气原理图接线 扣 25 分 布线不符合要求： 主电路，每根 扣 2 分 控制电路，每根 扣 1 分 接点松动、露铜过长、反圈、压绝缘层，每个 扣 1 分 损伤导线绝缘或线芯，每根 扣 4 分 漏接接地线 扣 10 分	
通电试车	50	整定值整定错误，每只 扣 5 分 配错熔体，主、控电路，每个 扣 4 分 第一次试车不成功 扣 20 分 第二次试车不成功 扣 35 分 第三次试车不成功 扣 50 分 违反安全、文明生产 扣 5~50 分 敷线乱，加扣不安全分 扣 10 分	
定额时间	3 小时	每超过 5 分钟以内扣 5 分计算。	
备注	除定额时间外，各项内容的最高扣分，不得超过所配分数		成绩
开始时间		结束时间	实际时间

实习 2

找出故障现象，并在图 8.2.19

按图 8.2.19

学生应先用通电试验法来发现故障现象。

根据故障现象进行分析，并在原理图上用虚线标出故障电路的最小范围。

用逻辑分析及测量等检查方法迅速缩小故障范围，准确地找出故障点。

采用正确方法迅速排除故障。

通电校验。

要掌握电气原理图中各个控制环节的作用和原理并熟悉电动机的接线方法。

在检修过程中严禁扩大和产生新的故障，否则要立即停止检修。

检修必须在定额时间内完成。

在带电检查、检修故障时，必须有指导教师在现场监护，并确保安全。

表 8.11 评分标准

项目内容	配 分	评分标准	扣 分
故障分析	30	标错故障电路，每个 不能标出最小的故障范围，每个故障 在实际排除故障中无思路，每个故障	扣 15 分 扣 10 分 扣 5~ 10 分
排除故障	70	不能查出故障，每个 查出故障点，但不能排除，每个故障 产生新的故障： 不能排除，每个 已经排除，每个 损坏电动机 损坏电器元件或排故方法不正确，每只 违反安全、文明生产	扣 35 分 扣 25 分 扣 35 分 扣 15 分 扣 70 分 扣 5~ 20 分 扣 10~ 70 分
定额时间	30 分钟	不允许超时检查，若在修复故障中，允许超时，但以每超 1 分钟扣 5 分计算	
备 注	除定额时间外，各项内容的最高扣分，不得超过所配分数		成绩
开始时间		结束时间	实际时间

8.3 典型机械设备电气控制线路分析

电气控制线路在运行中会发生各种故障，造成停机或事故而影响生产。因而，学会分析电气控制线路，找出发生故障的原因，掌握迅速排除故障的方法，是非常必要的。本节通过分析典型机械设备的电气控制系统，一方面进一步学习掌握电气控制电路的组成以及各种基本控制电路在具体的电气控制系统中的应用，同时学习掌握分析电气控制电路的方法，提高阅读电路图的能力，为进行电气控制系统的设计打下基础，另一方面通过了解一些具有代表性的典型机械设备电气控制系统及其工作原理，从而为实际工作中机械设备电气控制电路的分析、调试及维护作参考。

8.3.1 电气控制线路分析与故障处理

1. 电气控制线路分析

进行设备电气控制线路分析，应注意如下几个相关方面的内容：

应了解被控设备的结构组成及工作原理，设备的传动系统类型及驱动方式，主要技术性能及规格，运动要求。

明确电动机作用、规格和型号以及工作控制要求，了解所用各种电器的工作原理、控制作用及

功能，这里的电气元件包括各类主令信号发出元件和开关元件
关等)
磁离合器、电磁换向阀等)

在了解被控设备和采用的电气设备、电气元件的基本状况的基础上，还应确定两者之间的连接关系，即信息采集传递、运动输出的形式和方法。信息采集传递是通过设备上的各种操作手柄、撞块、挡铁及各种现场信息检测机构作用在主令信号发出元件上，主令信号发出元件将信号采集传递到电气控制系统中，其对应关系必须明确。运动输出是由电气控制系统中的执行件将驱动力送到机械设备上的相应点，以实现设备要求的各种动作。

在掌握了设备及电气控制系统的基本原理之后，即可对设备控制电路进行具体的分析。通常，分析电气控制系统时，要结合有关的技术资料将控制电路“化整为零”，划分成若干个电路部分，逐一进行分析。划分后的局部电路构成简单明了，控制功能单一或由少数简单控制功能组合，给分析电路带来极大的方便。进行电路划分时，可依据驱动形式，将电路初步划分为电动机控制电路部分和气动、液压驱动控制电路部分。也可根据被控电动机的台数，将电动机控制电路部分加以划分，使每台电动机的控制电路成为一个局部电路部分。在控制要求复杂的电路部分，还可进一步细划分，使一个基本控制电路或若干个简单基本控制电路部分成为一个局部电路分析单元。机械设备电气控制系统的分析步骤可简述如下：

设备运动分析：对由液压系统驱动的设备还需进行液压系统工作状态分析。

主电路分析：确定动力电路中用电设备的数目、接线状况及控制要求，控制执行元件的设置及动作要求，如交流接触器主触点的位置，各组主触点分、合的动作要求，限流电阻的接入和短接等。

控制电路分析：分析各种控制功能的实现。

2. 电气控制线路的故障检查及线路维修

故障查询就是在检查处理故障前，通过“问”、“看”、“听”、“摸”来了解故障发生前后的详细情况，以便能迅速地判断出故障的具体部位，及时准确地排除故障。

问：向操作者详细了解故障发生前后的具体情况，具体了解的内容是：故障是偶尔发生还是经常发生；故障发生前有无频繁起动、停止或过载；是否经过检修、维护或改动控制线路等；发生故障时有哪些现象

看：断路器是否跳闸，熔体是否熔断；指示仪表显示是否异常；电气元器件有无损坏、烧毁、触点熔焊、接线脱落及断线等。

听：仔细倾听电动机、变压器和电气元器件运行时的声音是否正常。

摸：电机绕组、变压器和电磁线圈等出现故障时，表面温度明显上升，此时可切断电源用手进行触摸检查。

上述所讲是寻找故障的第一步，有很多故障需要作进一步检查。

当外部检查解决不了故障时，可对所修设备通电进行检查：

通电检查时，要把检测仪表、调节器和线路上的转换开关置于零位，位置开关还原到正常位

置，将主电动机和其所连传动机构尽量脱开，确认上述完成后进行通电。通电后应检查主电源是否正常，包括电源电压是否正常及有无缺相等。主电源正常后，再检查控制线路。检查控制线路需开动机床，这必须与操作者配合进行，避免发生意外故障。

通电检查时，应分步进行、先易后难。根据电气控制线路的工作原理，尽量缩小检查范围，以便迅速查出故障所在。一般检查顺序为：先查控制线路，后查主电路；先开关电路，后调整电路；先常见故障部位，后特殊故障部位。对于复杂的电气控制线路，应事先确定故障大致范围，再拟定一个检查步骤，即将复杂的控制线路划成几个单元或环节，按步骤、有目的地进行检查。

通电检查时，也可采用分片试验法，即先断开所有的开关，取下所有熔体，然后按送电顺序，逐一插入所查部位的熔体。合上开关，观察熔体是否熔断，线路、元器件有无冒烟、冒火现象。如果送电正常，再试送各步动作指令，观察各接触器、继电器和位置开关是否按要求顺序动作，即可发现故障。

断电检查时，可使用万用表或电池灯等工具，测量线路的通断和元器件的好坏。也可采用替换法，如果怀疑某个元件有问题，外观检查正常，可以用新的元件替换它，然后送电检测。此时电路恢复正常，说明此元件损坏。此方法对电气线路中含有直流电路部分效。

电阻法，就是使用万用表的电阻挡，检测电路的电阻值是否正常。此法是检测电路断路或短路的有效方法：检测断路故障时，应采用高阻挡，若检测线路的电阻值接近无穷大，则可断定该线路断路。检测短路故障时，应采用低阻挡，若检测线路的电阻值几乎为零，则可断定该线路短路。

线路中接有要求对地绝缘电阻很高的元器件时
可使用兆欧表检测其绝缘电阻值。

用电阻法检测故障时，应注意在检测某单一回路的
的并联回路断开

用电阻法检测故障时，一定要断开电源！不许带电检测。

电压法，就是使用万用表的电压挡，检测电路的在线电压。检测电压时，首先应注意选择适合的电压挡

一般检测顺序为：先检测电源电压或主电路的电压，看其是否正常。再检查开关、接触器、继电器和接线端子应接通的两端，若万用表上有电压指示，则说明该元件断路。对于有阻值线圈的元件，若其两端的电压值正常，电磁机构不动作，则说明该线圈断路或损坏。

采用电压法检测电路，应在电路接通的情况下进行。此时，一定要注意人身安全。不可使用未绝缘的导电工具，不可使身体的裸露部分接触带电部位，避免发生安全事故。

电气控制线路的日常维护包括电动机、电气元器件及电气线路，具体要求如下：

电动机的日常维护应按“电动机的使用和维护”要求进行，并定期进行小修和大修。

电气元器件的日常维护应按“常用低压控制电器的选择和使用”要求进行。

不得随意改变热继电器和自动断路器的整定值及熔体的额定电流。

注意检查接触器、继电器及接线端子等的接点是否松动、损坏或脱落等。

注意检查各电气元件和导线是否浸油或绝缘损伤。

注意检查连接导线是否有断裂、脱落或绝缘老化等现象。

为防止金属屑或油污进入电动机、控制箱和电气线路中，致使绝缘电阻下降、触点接触不良及散热条件恶化，甚至造成短路，应注意保持机床电气设备的清洁。

加强在高温、雨季及严寒季节对电气设备的维护检查，尤其应检查其接地或接零是否可靠。

电气控制线路是多种多样的，它们的故障又往往和机械、液压、气动系统交错在一起，较难分辨。不正确的检修甚至会造成人为事故，因此必须掌握正确的检修方法。电气控制线路的故障，不是千篇一律的，就是同一故障现象，发生的部位也不尽相同，故应理论与实践密切结合，灵活处理，切不可生搬硬套。故障找出后，应及时进行修理，并进行必要的调试。

8.3.2 CW6140 车床控制线路分析及故障处理

卧式车床是机械加工中广泛使用的一种机床，可以用来加工各种回转表面、螺纹和端面。卧式车床通常由一台主电动机拖动，经由机械传动链，实现切削主运动和刀具进给运动的输出，其运动速度由变速齿轮箱通过手柄操作进行切换。刀具的快速移动、冷却泵和液压泵等，常采用单独电动机驱动。不同型号的卧式车床，其主电动机的工作要求不同，因而由不同的控制电路构成，但是，由于卧式车床运动变速是由机械系统完成的且机床运动形式比较简单，相应的控制电路也比较简单，本小节以 CW6140 卧式车床电气控制系统为例，进行控制电路的分析。

1. CW6140 车床控制线路分析

CW6140 车床控制线路图如图 8.3.1 所示。

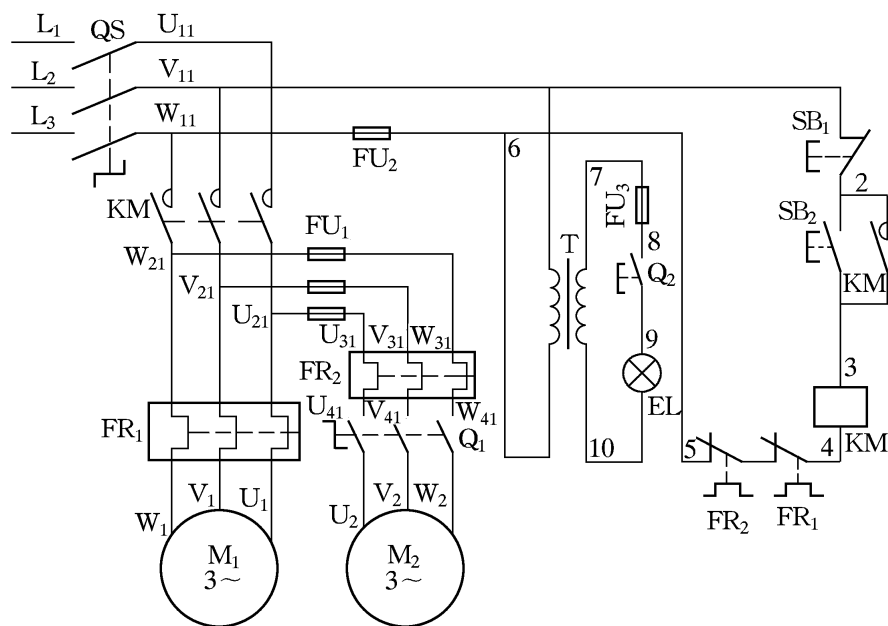


图 8.3.1 CW6140 普通车床控制线路图

主电路有两台电动机， M_1 为主电动机， M_2 为冷却泵电动机，QS 为电源开关，接触器 KM 控制 M_1 起动和停止。转换开关 Q_1 ，控制 M_2 的工作状态。

控制电路采用 380 V 交流电源供电，按起动按钮 SB_2 ，KM 线圈得电并自锁， M_1 直接起动。 M_1 运行后，合上 Q，冷却泵电动机起动。按下 SB_1 ， M_1 、 M_2 同时停转。

机床照明采用 380 /36V 安全变压器 T，照明由转换开关 Q_2 控制。

2. CW6140 车床控制线路故障及处理

车床电路的常见故障有：主轴电动机不能起动；按下起动按钮电动机虽能起动，但松开起动按钮电动机就自行停下来；电动机工作时，按下停止按钮主轴电动机不能停止；冷却泵电动机不能起动工作和照明灯不亮等。

下面以 CW6140 型车床的电气线路为例进行分析。

电源部分故障。先检查接线头有无松脱，如无异常现象，用万用表检查电源开关 QS。

电源开关接通后，按下起动按钮 SB_2 时，接触器 KM 不能吸合，说明故障在控制电路，可能是：

的规格选配不当或热继电器的整定电流过小等。检查并消除上述故障因素，电动机便可以正常起动。

按下起动按钮虽电动机能起动，但松开起动按钮电动机就自行停止。故障原因是接触器 KM 动合触点接触不良或接线头松脱，不能闭合自锁，应检修接触器。

电动机工作时，按下停止按钮主轴电动机不能停止，故障原因有：

接触器 KM 主触点熔焊、被杂物卡住不能断开或线圈有剩磁造成触点不能复位，应修复或更换接触器。

停止按钮动断触点被杂物卡住，不能断开，应更换停止按钮。

主轴电动机未起动，应先起动主轴电动机。

熔断器 FU_1 熔体熔断，应更换熔体。

开关 Q_1 损坏，应更换开关。

冷却泵电动机损坏，应修复或更换冷却泵电动机。

车床照明灯不亮，故障原因有：

照明灯 EL 损坏，应更换照明灯。

照明灯开关 Q 损坏，应更换开关。

熔断器 FU_3 熔体熔断，应更换熔体。

照明变压器 T 的一次绕组或二次绕组烧毁，应更换照明变压器。

8.3.3 Z3040 摇臂钻床控制线路分析及故障处理

钻床是一种用途广泛的万能机床。钻床的结构型式很多，有立式钻床，卧式钻床，深孔钻床及多轴钻床等。Z3040 摇臂钻床是一种立式钻床，在钻床中具有一定代表性，主要用于对大型零件进行钻孔、扩孔、铰孔和攻螺纹等，适用于成批或单件生产的机械加工。摇臂钻床的运动形式有：

主运动——主轴旋转；

进给运动——主轴纵向移动；

辅助运动——摇臂沿外立柱的垂直移动，主轴箱沿摇臂径向移动，摇臂与外立柱一起相对于内立柱的回转运动。

1. Z3040 摇臂钻床控制线路分析

Z3040 摇臂钻床控制线路图，如图 8.3.2 所示。该机床共有四台电动机：主电动机 M_1 、摇臂升降电动机 M_2 、液压泵电动机 M_3 和冷却泵电动机 M_4 。除冷却泵电动机和电源引自配电盘外，其余电气设备均安装在回转部分上。

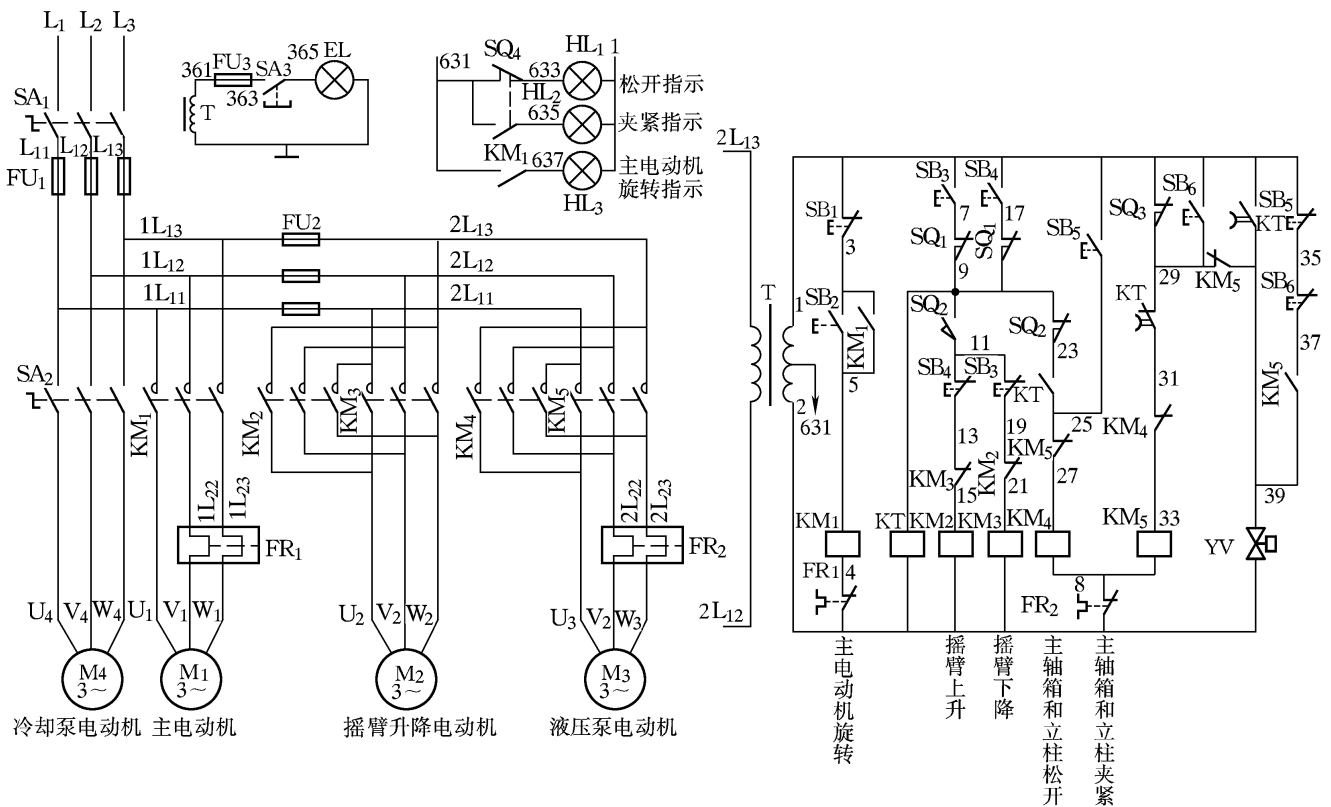


图 8.3.2 Z3040 摇臂钻床控制线路图

主电动机 M_1 单向旋转，它由接触器 KM_1 控制，而主轴的正反转依靠机床液压系统，并配合正、反转摩擦离合器来实现。

摇臂升降电动机 M_2 具有正反转控制，控制电路保证在操纵摇臂升降时先通过液压系统，将摇臂松开后 M_2 才起动，带动摇臂上升与下降，当移动达到所需位置时，控制电路又保证升降电动机先停止，然后自动液压系统将摇臂夹紧。由于 M_2 是短时运转的，所以没有设置长期过载保护。

液压泵电动机 M_3 ，送出压力油作为摇臂的松开和夹紧，立柱、主轴箱的松开和夹紧的原动力。为此， M_3 采用由 KM_4 、 KM_5 实现正反转控制，并设有热继电器 FR_2 作长期过载保护。

冷却泵电动机 M_4 容量小，所以由组合转换开关 SA 直接控制其运转与停止。

该机床的控制电路采用 380/127 V 隔离变压器供电，但其二次绕组增设 36 V 安全电压供局部照明使用。

摇臂升降的控制：按上升 S_{B4} (或 S_{B_4})

合触点 KM_2 (或 KM_3) 同时吸合，液压泵电动机 M_3 旋转，供给压力油。压力油经二位六通阀进入摇臂松开的油腔，推动活塞和菱形块，使摇臂松开。同时，活塞杆通过弹簧片压限位开关 SQ_4 ，使接触器 KM_4 线圈断电释放，液压泵电动机 M_3 停转，同时 KM_2 (或 KM_3) 旋转，带动摇臂上升 下降)

如果摇臂没有松开， SQ_4 的动合触点不能闭合， KM_2 (或 KM_3) 降。

当摇臂上升 S_{B4} (或 S_{B_4}) KM_2 (或 KM_3)

放，摇臂升降电动机 M_2 停转，摇臂停止升降。由于 KT 释放，其延时闭合的动断触点 $1 \sim 3s$ 延时后，接触器 KM_5 吸合，液压电动机 M_3 反向起动旋转，供给压力油。压力油经二位六通阀时电磁阀 YV 仍处于吸合状态)

时，活塞杆通过弹簧片压限位开关 SQ_3 ， KM_5 和 YV 同时断电释放，液压泵电动机停止旋转，夹紧动作结束。

立柱和主轴箱的松开与夹紧控制：立柱和主轴箱的松开与夹紧是同时进行的。首先按下松开按钮 S_{B5} (或夹紧按钮 S_{B6}) KM_5 (或 KM_6) 旋转，供给压力油，压力油经二位六通阀缸，推动活塞和菱形块，使立柱和主轴箱分别松开 HL_2)

2. Z3040 摇臂钻床控制线路故障及处理

钻床电路的常见故障有：主轴电动机不能起动；摇臂升降以后不能完全夹紧；液压泵电动机不能起动；液压泵电动机不能停止等。

熔断器 FU_1 熔体熔断，更换熔体。

接触器 KM_1 的主触点接触不良或接线松脱，应修复或更换接触器。

位置开关动触点的位置偏移，致使摇臂升降完毕但立柱尚未完全夹紧时， SQ_3 过早断开，将位置开关 SQ_3 调到适当位置即可排除。

位置开关的齿轮与拨叉上的扇形齿轮的啮合位置产生偏移，当摇臂尚未完全夹紧时， SQ_3 就过早断开，将行程开关的齿轮与拨叉上的扇形齿轮的啮合位置适当调整。

熔断器 FU_2 熔体熔断，更换熔体。

S_{B5} 或 S_{B6} 触点接触不良，修复或更换按钮。

接触器 KM_4 或 KM_5 触点接触不良，修复或更换接触器。

故障原因一般是接触器 KM_4 或 KM_5 的主触点熔焊，出现这类情况应立即断开电源，修复或更换接触器。

8.3.4 X62W 铣床控制线路分析及故障处理

铣床可用来加工平面、斜面、沟槽等，按照结构和加工性能的不同，可分为立式铣床、卧式铣床、龙门铣床和各种专用铣床等。

铣床所用的切削刀具为各种形式的铣刀。铣床的主运动是主轴的旋转运动，即刀具的旋转运动；进给运动是工作台在垂直方向、纵向、横向三个相互垂直方向上的直线运动；辅助运动是工作台在三个相互垂直方向上的快速运动。下面以 X62W 万能升降台铣床为例讲述。

1. X62W 型万能铣床电气控制线路分析

X62W 型万能铣床电气控制线路如图 8.3.3 所示，元件说明如表 8.12 所示。

表 8.12 电气元件明细表

符 号	名称及用途	符 号	名称及用途
M_1	主轴电动机	SA_4	照明灯开关
M_2	进给电动机	SA_5	主轴换向开关
M_3	冷却泵电动机	QS	电源隔离开关
KM	主电动机起动接触器	SB_1, SB_2	主轴停止按钮
KM_1	进给电动机正转接触器	SB_3, SB_4	主轴起动按钮
KM_2	进给电动机反转接触器	SB_5, SB_6	工作台快速移动按钮
KM_3	快速接触器	FR_1	主轴电动机热继电器
SQ_1	工作台向右进给位置开关	FR_2	进给电动机热继电器
SQ_2	工作台向左进给位置开关	FR_3	冷却泵热继电器
SQ_3	工作台向前，向下进给位置开关	$FU_1 \sim FU_8$	熔断器
SQ_4	工作台向后，向上进给位置开关	TC	变压器
SQ_5	进给变速瞬时点动开关	VC	整流器
SQ_6	主轴变速瞬时点动开关	YB	主轴制动电磁制动器
SA_1	工作台转换开关	YC_1	电磁离合器
SA_2	主轴上刀制动开关	YC_2	电磁离合器
SA_3	冷却泵开关		

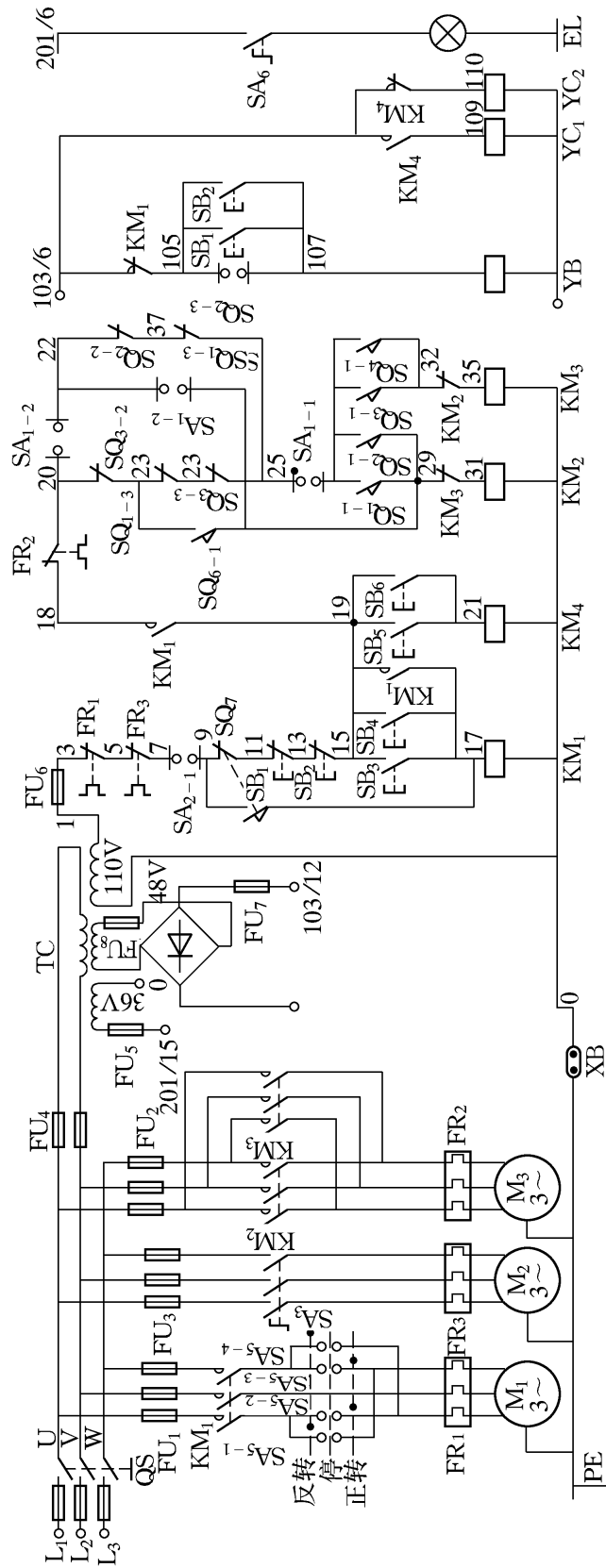


图 8.3.3 X62 万能升降台铣床控制线路

图中电路可分为主电路、控制电路和信号照明电路三部分，下面逐一分析：

主轴电动机 M_1 正转
控制电源的接入与切断。

5 手动切换，接触器 KM_1 的主触点只

进给电动机 M_2 在工作过程中，频繁变换转动方向，因而仍采用接触器方式构成正转与反转接线。

冷却泵驱动电动机 M_3 根据加工需要提供冷却液，电路中采用转换开关 SA_3 在主电路中手动直接接通和断开定子绕组的电源。

1) M_1 的控制

主轴电动机起动控制：主轴电动机空载直接起动，起动前，由组合开关 SA_5 选定电动机的转向，控制电路中选择开关 SA_2 ，选定主轴电动机为正常工作方式，即 SA_{2-1} 触点闭合， SA_{2-2} 触点断开，然后通过按下起动按钮 SB_3 或 SB_4 ，接通主轴电动机起动控制接触器 KM_1 的线圈电路，其主触点闭合，主轴电动机按给定方向起动旋转，压动停止按钮 SB_1 与 SB_2 ，主轴电动机停转。 SB_1 、 SB_3 与 SB_2 、 SB_4 分别位于两个操作板上，从而实现主轴电动机的两地操作控制。

主轴电动机制动及换刀制动：为使主轴能迅速停车，控制电路采用电磁制动器进行主轴的停车制动。按下停车按钮 SB_1 或 SB_2 ，其动断触点断开，使接触器 KM_1 的线圈失电，电动机定子绕组电源断开，同时其动合触点闭合接通电磁制动器 YB 的线圈电路，对主轴进行停车制动。

当进行换刀和上刀操作时，为了防止主轴意外转动造成事故以及为上刀方便，主轴也要处在断电停车和制动的状态，此时工作状态选择开关 SA_2 由正常工作状态位置扳到上刀制动状态位置，即 SA_{2-1} 触点断开，切断接触器 KM_1 的线圈电路，使主轴电动机不能起动， SA_{2-2} 点闭合，接通电磁制动器 YB 的线圈电路，使主轴处于制动状态不能转动，保证上刀、换刀工作的顺利进行。

主轴变速时的瞬时点动：变速时，变速手柄被拉出，然后转动变速手轮选择转速，转速选定后将变速手柄复位。因为变速是通过机械变速机构实现的，变速手轮选定应进入啮合的齿轮后，齿轮啮合到位即可输出选定转速，但是当齿轮没有进入正常啮合状态时，则需要主轴有瞬时点动的功能，以调整齿轮位置，使齿轮进入正常啮合。实现瞬时点动是由复位手柄与位置开关 SQ_7 组合构成点动控制电路。变速手柄在复位的过程中压动瞬时点动位置开关 SQ_7 ， SQ_7 的动合触点闭合，使接触器 KM_1 的线圈得电，主轴电动机 M_1 转动， SQ_7 的动断触点切断 KM_1 线圈电路的自锁，使电路随时可被切断。变速手柄复位后，松开位置开关 SQ_7 ，电动机 M_1 停转，完成一次瞬时点动。

手柄复位时要求迅速、连续，一次不到位应立即拉出，以免位置开关 SQ_7 没能及时松开，电动机转速上升，在齿轮未啮合好的情况下打坏齿轮。一次瞬时点动不能实现齿轮良好的啮合时，应立即拉出复位手柄，重新进行复位瞬时点动的操作，直至完全复位，齿轮正常啮合工作。

2) M_2 的控制

进给电动机 M_2 的控制电路分为三部分，第一部分为顺序控制部分，当主轴电动机起动后，其控制起动接触器 KM_1 辅助动合触点闭合，进给电动机控制接触器 KM_2 与 KM_3 的线圈电路通电工作；第二部分为工作台各进给运动之间的联锁控制部分，可实现水平工作台各运动之间的联锁，也可实现水平工作台工作与圆工作台工作之间的联锁；第三部分为进给电动机正反转接触器线圈电路部分。

水平工作台纵向进给运动的控制：水平工作台纵向进给运动由操作手柄与位置开关 SQ_1 、 SQ_2 组合控制。纵向操作手柄有左右两个工作位和一个中间不工作位。手柄扳到工作位时，带动机械离合器，接通纵向进给运动的机械传动链，同时压动位置开关，位置开关的动合触点闭合使接触器 KM_2 或 KM_3 线圈得电，其主触点闭合，进给电动机正转或反转，驱动工作台向左或向右移动进给，位置开关的动断触点在运动联锁控制电路部分构成联锁控制功能。选择开关 SA_1 即可选择水平工作台工作或是圆工作台工作。 SA_{1-1} 与 SA_{1-3} 触点闭合构成水平工作台运动联锁电路， SA_{1-2} 触点断开，切断圆工作台工作电路。水平工作台控制电路与圆工作台控制电路分别如图 8.3.4

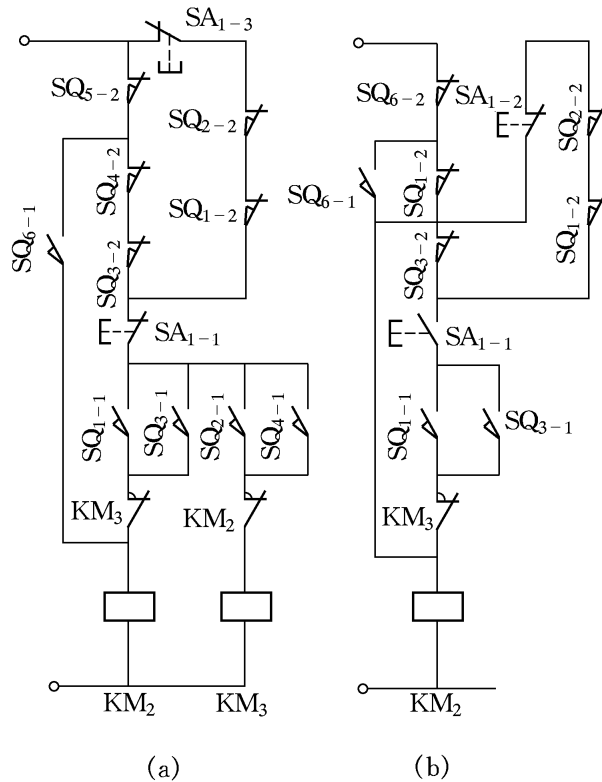


图 8.3.4 工作台控制电路

工作台纵向进给的控制过程如下所示。电路由 KM_1 辅助动合触点开始，工作电流经 SQ_{6-2} SQ_{4-2} SQ_{3-2} SA_{1-1} SQ_{1-1} KM_3 到 KM_2 线圈，或者由 SA_{1-1} 经 SQ_{2-1} KM_2 到 KM_3 线圈。

合上纵向进给机械离合器

纵向手柄扳在右位

压下 SQ SQ_{-2} 断开 KM_2 线圈得电 电动机 M_2 正转 工作台右移
 SQ_{-1} 闭合

合上纵向进给机械离合器

纵向手柄扳在左位

压下 SQ SQ_{-2} 断开 KM_3 线圈得电 电动机 M_2 反转 工作台左移
 SQ_{-1} 闭合

手柄扳到中间位时，纵向机械离合器脱开，位置开关 SQ_1 与 SQ_2 不受压，因此进给电动机不转动，工作台停止移动。工作台的两端安装有限位撞块，当工作台运行到达终点位置时，撞块撞击手柄，使其回到中间位置，实现工作台的终点停车。

水平工作台横向和升降进给运动控制：水平工作台横向和升降进给运动的选择和联锁是通过十字复式手柄和位置开关 SQ_3 、 SQ_4 组合控制，操作手柄有上、下、前、后四个工作位和一个中间不工作位置。扳动手柄到选定运动方向的工作位，即可接通该运动方向的机械传动链，同时压动位置开关 SQ_3 或 SQ_4 ，位置开关的动合触点闭合使控制进给电动机转动的接触器 KM_3 或 KM_4 的线圈得电，电动机 M_2 转动，工作台在相应的方向上移动；位置开关的动断触点与纵向位置开关一样，在联锁电路中，构成运动的联锁控制。工作台横向与垂直方向进给控制过程如下所示：控制电路由主轴电动机控制接触器 KM_1 的辅助动合触点开始，工作电流经 SA_{1-1} SQ_{2-2} SQ_{1-2} SA_{1-1} SQ_{3-1} KM_3 到 KM_2 线圈，或者由 SA_{1-1} 经 SQ_{4-1} KM_2 到 KM_3 线圈。

合上垂直进给机械离合器

十字复合手柄扳在下方

压下 SQ_3 SQ_{3-2} 断开 KM_3 线圈得电 电动机 M_2 正转 工作台上移
 SQ_{3-1} 闭合

合上垂直进给机械离合器

十字复合手柄扳在上方

压下 SQ_4 SQ_{4-2} 断开 KM_4 线圈得电 电动机 M_2 反转 工作台下移
 SQ_{4-1} 闭合

合上横向进给机械离合器

十字复合手柄扳在右方

压下 SQ_3 SQ_{3-2} 断开 KM_2 线圈得电 电动机 M_2 正转 工作台前移
 SQ_{3-1} 闭合

合上横向进给机械离合器

十字复合手柄扳在左方

压下 SQ_4 SQ_{4-2} 断开 KM_4 线圈得电 电动机 M_2 反转 工作台后移
 SQ_{4-1} 闭合

十字复式操作手柄扳在中间位置时，横向与垂直方向的机械离合器脱开，位置开关 SQ_3 与 SQ_4 均不受压，因此进给电动机停转，工作台停止移动。固定在床身上的挡块在工作台移动到极限位置时，撞击十字手柄，使其回到中间位且切断电路，使工作台在进给终点停车。

水平工作台进给运动的联锁控制：由于操作手柄在工作时，只存在一种运动选择，因此铣床直线进给运动之间的联锁，变为两操作手柄之间的联锁即可实现。联锁控制电路由两条电路并联组成，纵向手柄控制的位置开关 SQ_1 、 SQ_2 的动断触点串联在一条支路上，十字复式手柄控制的位置开关 SQ_3 、 SQ_4 动断触点串联在另一条支路上，扳动任一操作手柄，只能切断其中一条支路，另一条支路仍能正常通电，使接触器 KM_2 或 KM_3 的线圈不失电，若同时扳动两个操作手柄，则两条支路均被切断，接触器 KM_3 或 KM_4 断电，工作台立即停止移动，从而防止误操作，使机床运动造成设备事故。

水平工作台的快速移动：水平工作台选定进给方向后，可通过电磁离合器接通快速机械传动链，实现工作台空行程的快速移动。快速移动为手动控制，按下起动按钮 SB_5 或 SB_6 ，接触器 KM_4 的线圈得电，其动断触点断开，使正常进给电磁离合器 YC_2 线圈失电，断开工作进给传动链， KM_4 的动合触点闭合，使快速电磁离合器 YC_1 线圈得电，接通快速移动传动链，水平工作台沿给定的进给方向，快速移动，松开按钮 SB_5 或 SB_6 ， KM_4 线圈失电，恢复水平工作台的工作进给。

圆工作台运动控制：圆工作台工作时，工作台选择开关 SA_1 的 SA_{1-1} 和 SA_{1-3} 两触点打开， SA_{1-2} 触点闭合，构成如图 8.3.4

间不工作位。控制电路由主轴电动机控制接触器 KM_1 的辅助动合触点开始，工作电流经 SQ_{6-2} SQ_{4-3} SQ_{3-2} SQ_{1-2} SQ_{2-2} SA_{1-2} KM_3 到 KM_2 线圈， KM_2 主触点闭合，进给电动机 M_2 正转，拖动圆工作台转动，圆工作台只能单方向旋转。圆工作台的控制电路串联了水平工作台工作位置开关 SQ_{1-4} 的动断触点，因此水平工作台任一操作手柄扳到工作位置，都会压动位置开关，切断圆工作台的控制电路，使其立即停止转动，从而起着水平工作台进给运动和圆工作台转动之间的联锁保护控制。

水平工作台变速时的瞬时点动：水平工作台变速瞬时点动控制原理与主轴变速瞬时点动相同。变速手柄拉出后选择转速，再将手柄复位，变速手柄在复位的过程中压动瞬时点动位置开关 SQ_6 ， SQ_6 的动合触点闭合接通接触器 KM_2 的线圈电路，使进给电动机 M_2 转动，动断触点切断 KM_2 线圈电路的自锁。变速手柄复位后，松开位置开关 SQ_6 。与主轴瞬时点动操作相同，也要求手柄复位时迅速、连续，一次不到位，要立即拉出变速手柄，再重复瞬时点动的操作，直到实现齿轮处于良好啮合状态，进入正常工作。

2. 铣床电路常见故障与处理

铣床电路的常见故障有主轴电动机不能起动；主轴不能制动；工作台不进给；进给不能变速；工作台向左、向右、向前和向下移动都正常但不能向上和向后移动；工作台不能快速移动等。

控制电路熔断器 FU_4 熔体熔断，更换熔体。

转换开关 SA_1 在制动位置，重新调准位置。

组合开关 SA_3 在停止位置，调节位置。

按钮 SB_1 ， SB_2 ， SB_3 或 SB_4 触点接触不良，修复或更换。

位置开关 SQ_1 动断触点不通，检查，修复。

热继电器 FR_1 或 FR_3 动作，检查，排除。

熔断器 FU_6 或 FU_7 熔体熔断，更换熔体。

电磁离合器 YC_1 线圈断路，修复或更换。

熔断器 FU_8 熔体熔断，更换熔体。

接触器 KM_2 ， KM_3 线圈断开或主触点接触不良，修复或更换。

SQ_{2-3} 触点接触不良、接线松动或脱落。调节触点，使触点间接触良好，拧

热继电器 FR_2 动断触点断开，修复或更换。

操作手柄不在零位，重新调准位置。

故障原因通常是位置开关 SQ_4 动合触点断开，应检查位置开关 SQ_4 ，并修复故障。

快速移动按钮 SB_5 或 SB_6 动合触点接触不良或接线松动、脱落，修复使触点接触良好并拧

接触器 KM_4 线圈断路，修复或更换。

电磁离合器 YC_1 断路，修复或更换。

8.3.5 M7120 型平面磨床控制线路分析及故障处理

平面磨床是利用砂轮对工件表面进行磨削加工的设备，下面以 M7120 型平面磨床为例进行讲述。

M7120 型平面磨床主要由床身、工作台、磨头、立柱、电磁吸盘等组成，其外形如图 8.3.5 所示。

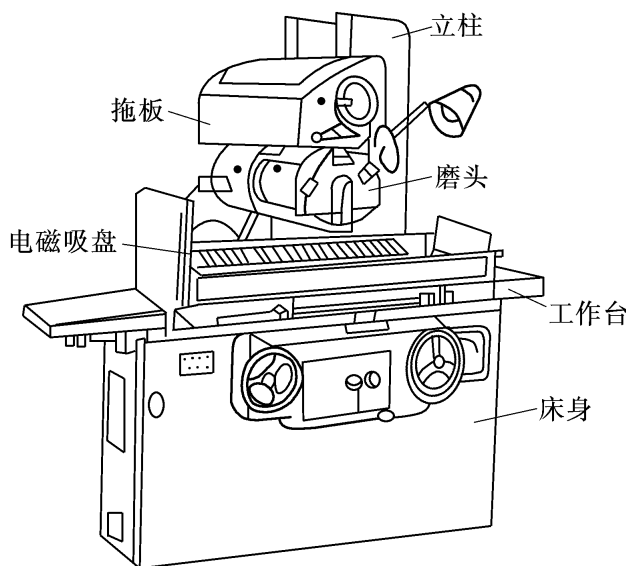


图 8.3.5 M7120 型平面磨床的外形结构示意图

1. M7120 型平面磨床控制线路分析

M7120 型平面磨床控制线路分为主电路、控制电路、电磁吸盘电路和照明指示电路，电气原理如图 8.3.6 所示。

M_1 是油泵电动机， M_2 是砂轮电动机， M_3 是冷却泵电动机，只要求单向旋转，它们分别由接触器 KM_1 ， KM_2 控制。 M_4 是砂轮升降电动机，要求作正反向旋转，由接触器 KM_3 、 KM_4 控制。 M_1 ， M_2 和 M_3 是连续工作的，都装有热继电器作过载保护。 M_4 是断续工作的，一般不装过载保护。四台电动机共由一组熔断器 FU_1 作短路保护。

油泵电动机的控制：合上电源开关 QS ，整流变压器 T 供给 135 V 交流电压，经整流器 VC 全波整流输出直流电压，欠电压继电器 KV 吸合，动合触点闭合，为 KM_1 和 KM_2 线圈通电做好准备。此时，按下起动按钮 SB_1 ，接触器 KM_1 线圈通电，动合触点闭合自锁，主触点闭合，油泵电动机 M_1 起动，为磨削加工做好准备。热继电器 FR_1 的动断触点串接在电路中，为 M_1 作过载保护。若要停止油泵电动机 M_1 ，可按下停止按钮 SB_2 ，则 KM_1 线圈断电，主触点断开，电动机停转。

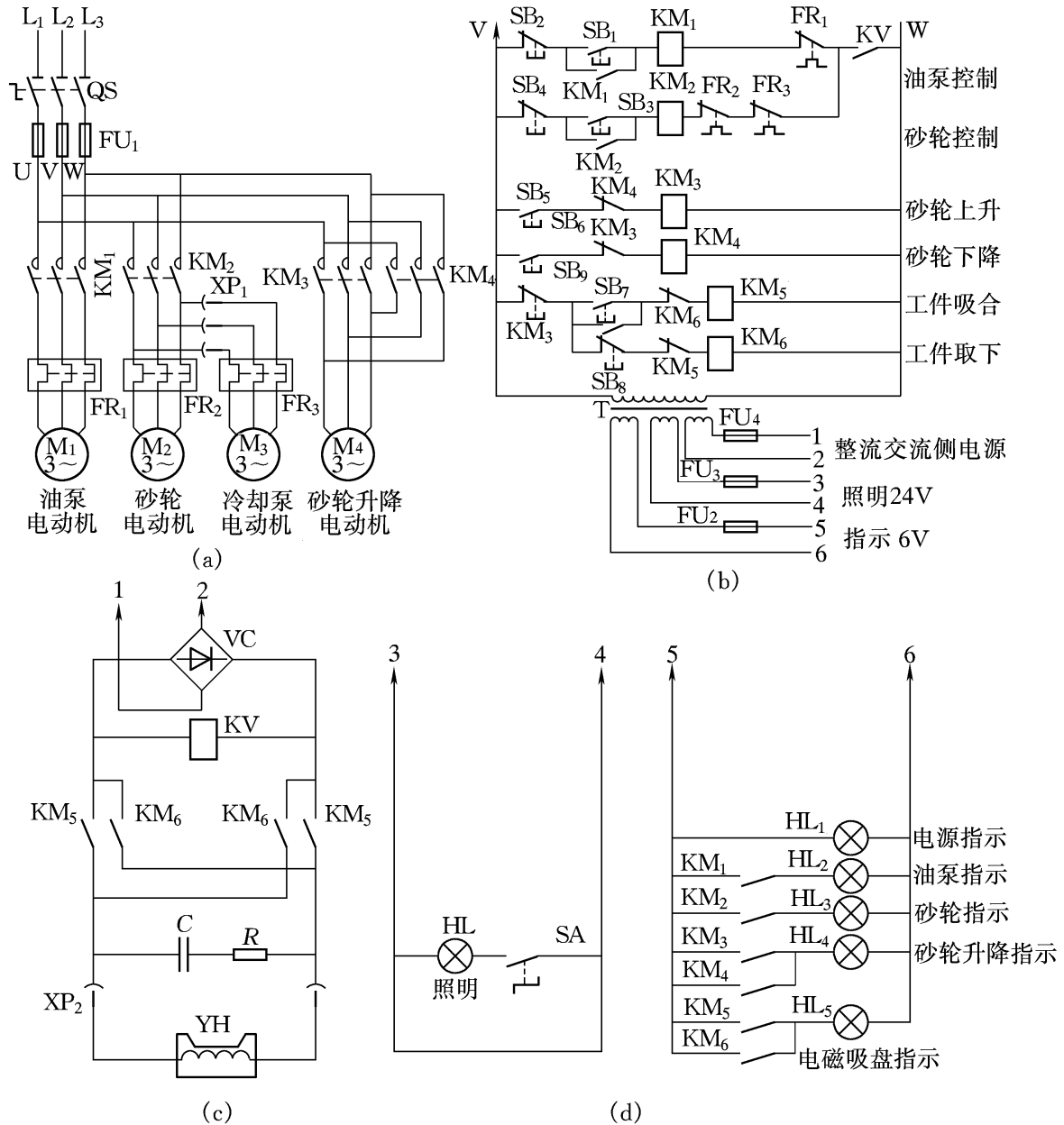


图 8.3.6 M7120 型平面磨床的电气原理图

砂轮电动机和冷却泵电动机的控制：当油泵电动机 M_1 启动后，按下砂轮电动机 M_2 的启动按钮 SB_3 ，接触器 KM_2 线圈通电，动合触点闭合自锁，主触点闭合，砂轮电动机 M_2 和冷却泵电动机 M_3 同时启动。若不需要冷却，可将接插件 XP_1 拉出时，按下停止按钮 SB_4 ， KM_2 线圈断电，主触点断电，砂轮电动机和冷却泵电动机停转。热继电器 FR_2 和 FR_3 的动断触点都串在 KM_2 的电路中，只要其中一台电动机过载，就会使 KM_2 线圈断电。

砂轮升降电动机的控制：砂轮升降电动机为点动控制。按下 SB_5 按钮，接触器 KM_3 线圈通电，主触点闭合，电动机 M_4 正转，使砂轮上移。待移到所需位置时，放开 SB_5 ， KM_3 线圈断电，主触点断电，电动机停转。同理，按下按钮 SB_6 时，砂轮下降，降到合适位置时，放开 SB_6 ，电动机便停转，接触器 KM_3 和 KM_4 的动断触点相互锁住。因为砂轮升降电动机只在调

整加工位置时使用，工作时间较短，所以不加过载保护。

电磁吸盘工作台是用来固定加工零件，以便进行平面磨削。其电路由整流装置、控制装置和保护装置组成。整流装置由变压器变压后，经全波整流输出 110 V 直流电压，供给电磁吸盘 YH；控制装置由接触器 KM_5 、 KM_6 和按钮 SB_7 、 SB_8 、 SB_9 组成。当需要固定加工件时，按下按钮 SB_7 ，接触器 KM_5 线圈通电，动合触点闭合自锁，动断触点闭锁 KM_6 线圈，主触点闭合，电磁吸盘线圈通电，产生磁场吸住工件。要取下工件时，先按下 SB_9 ， KM_5 线圈断电，主触点断电，电磁吸盘线圈断电，再按下 SB_8 ，接触器 KM_6 线圈通电，主触点闭合，电磁吸盘线圈反向通电进行去磁，便可取下工件。去磁控制是点动控制，但现在已有专门的电子去磁控制，其效果更好。保护装置由放电电阻 R 、电容 C 以及欠电压继电器 KV 组成。当电磁吸盘线圈断电时，电阻 R 和电容 C 组成放电回路及时将线圈两端产生的高自感电动势吸收掉，避免损坏线圈及其他元器件。欠电压继电器作欠压保护，当电源电压不足时，欠电压继电器 KV 动作。动合触点断开，油泵电动机和砂轮电动机的控制电路断电，使 KM_1 和 KM_2 线圈断电，主触点断开，油泵电动机和砂轮电动机停转。

HL 为照明灯，由开关 SA 控制， HL_1 为电源指示灯， HL_2 为油泵工作指示灯， HL_3 为砂轮工作指示灯， HL_4 为砂轮升降指示灯， HL_5 为电磁吸盘工作指示灯。

2. 磨床电路常见故障与处理

磨床电路的常见故障有：砂轮电动机不能起动、冷却泵电动机不能起动、油泵电动机不能起动、所有的电动机都不能起动；电磁吸盘没有吸力、电磁吸盘吸力不足；电磁吸盘去磁后工件取不下来等。

砂轮电动机前轴瓦磨损，使电动机堵转，应更换轴瓦。

砂轮磨削量太大，使电动机堵转，应减少磨削量。

热继电器 FR_2 规格不对或未调整好，应根据砂轮电动机的额定电流选择和调整热继电器。

接插件 XP_1 损坏，修复或更换接插件。

冷却泵电动机损坏，更换或修复电动机。

接触器 SB_1 或 SB_2 触点接触不良，修复或更换触点。

接触器 KM_1 线圈烧毁，修复或更换接触器。

油泵电动机烧坏，修复或更换油泵电动机。

检查熔断器 FU_1 熔体是否熔断，接头是否松动或烧毁等。若有，则应排除故障点，拧

检查电源开关 QS 触点接触是否良好，接线是否松动脱落，触点上是否沾染油垢等。若有上述情况，应重新拧

熔断器 FU_1 或 FU_4 熔体熔断，更换熔断的熔体。

接插件 XP_2 损坏，修复或更换接插件。

整流二极管击穿，更换新件。

电磁吸盘线圈局部短路，空载时整流电压较高而接电磁吸盘时电压下降很多
110 V) 应修复或更换电磁吸盘。

整流元件损坏，更换新件。

去磁电路开路，应检查 SB_8 触点接触是否良好。

接触器 KM_6 线圈损坏，修复或更换接触器线圈。

去磁时间太短，应掌握好去磁时间。

小 结

本章主要介绍常用低压电器和典型继电器 - 接触器控制线路。在常用低压电器中，重点讲述了器件的结构、工作原理及常用技术数据，并在此基础上讲解器件在实际应用中常见的故障及排除方法。在典型继电器 - 接触器控制线路中，先讲述继电器 - 接触器控制线路的基本控制线路的构成和工作原理，在此基础上进行典型机械设备控制线路分析以及设备实际运行中常见故障及排除方法。

思 考 题

- 8.1 线圈电压为 220 V 的交流接触器，误接入 380 V 交流电源上会发生什么问题？为什么？
- 8.2 JS7 - A 型时间继电器触点有哪几种？如何调节延时时间？画出它们的图形符号。
- 8.3 两个 110 V 交流接触器同时动作时，能否将其两个线圈串联接到 220 V 电路上？
- 8.4 在电动机主回路装有 DZ20 系列断路器，是否可以不装熔断器？分析断路器与刀开关及熔断器控制、保护方式的特点。
- 8.5 说明热继电器和熔断器保护功能的不同之处。
- 8.6 中间继电器与接触器有何异同？
- 8.7 笼型异步电动机减压起动方法有哪几种？
- 8.8 笼型异步电动机是如何改变转动方向的？
- 8.9 什么叫能耗制动？什么叫反接制动？各有什么特点及适用场合。
- 8.10 什么是互锁
- 8.11 常动与点动的区别是什么？
- 8.12 动合触点串联或并联，在电路中起什么样的控制作用？动断触点串联或并联，起什么控制作用？
- 8.13 设计一个控制电路，要求第一台电动机起动 10 s 以后，第二台电动机自动起动，运行 5 s 以后，第一台电动机停止转动，同时第三台电动机起动，再运转 15 s 后，电动机全部停止。
- 8.14 为两台异步电动机设计一个控制线路，其要求如下：

两台电动机互不影响地独立操作。

能同时控制两台电动机的起动与停止。

当一台电动机发生过载时，两台电动机均停止工作。

- 8.15 简述电气原理图分析的一般步骤。
- 8.16 在 C650 车床电气控制线路中， KM_3 的辅助触点能代替 KA 的触点吗？为什么？
- 8.17 请叙述 C650 车床主电动机反向运行时的反接制动的工作过程。
- 8.18 试画出 T68 型卧式镗床电气原理图中起动运行和反接制动线路部分，并分析其工作过程。
- 8.19 在 T68 型卧式镗床电气原理图中：
 - KM_1 、 KM_2 的自锁回路是如何组成的？
 - KT 的作用是什么？简述其工作过程。
 - KM_1 正常工作中，点动控制是否有效？为什么？
 - SQ_3 、 SQ_4 互锁的目的和原理是什么？
- 8.20 X62W 型万能铣床控制线路中设置变速冲动控制环节的作用是什么？试说明其过程。
- 8.21 说明 X62W 型万能铣床控制线路中工作台六个进给方向联锁保护的工作原理。
- 8.22 说明 X62W 型万能铣床控制线路中圆工作台控制过程及联锁保护的原理。

下篇

电工技能实训

第 9 章

电工技能基础实训

上篇各章介绍了电工技术的一些基础知识及常用工具、仪器仪表、元器件的使用和选用知识，这些无疑是重要的。但从理论联系实际、培养技能型人才的角度说，增加实践与训练环节，会显得更加重要和有效。为此，本章安排了一系列针对性的实训项目，旨在培养和增强学生的动手、分析与排除故障的能力，这既是本单元的目标，也是本教程的主要宗旨。

9.1 基尔霍夫定律的验证

9.1.1 实训目的

1. 通过实训验证基尔霍夫电流定律和电压定律，巩固所学理论知识
2. 加深对参考方向概念的理解
3. 学习根据要求自己设计电路

9.1.2 实训原理

基尔霍夫定律是电路理论中最基本也是最重要的定律之一，它概括了电路中电流和电压分别遵循的基本规律。包括基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律：电路中任意时刻流进

学表达式为： $\sum I = 0$ 。此定律阐明了电路任意节点上各支路电流间的约束关系，这种关系与各支路上元件的性质无关

的)

基尔霍夫电压定律：电路中任意时刻，沿任意闭合回路，电压的代数和为零，其数学表达式为： $\sum U = 0$ 。此定律阐明了任意闭合回路中各电压间的约束关系，这种关系仅与电路的结构有关，而与构成回路的各元件的性质无关

的 时变的或非时变的)

参考方向：

基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律表达式中的电流和电压都是代数量，它们除具有大小之外，还有方向，其方向以量值的正、负表示。为研究问题方便，人们通常在电路中假定一个方向为参考，称为参考方向。当电路中的电流的实际方向与参考方向相同时取正值，其实际方向与参考方向相反时取负值。闭合电路各电压的取值，也应假定某一绕行方向为参考方向，

按绕行方向电位降时，该电压取正值，反之取负值。

9.1.3 实训内容及步骤

1. 验证基尔霍夫电流定律(KCL)

根据实训设备中提供的元件自己设计电路，要求电路具有三个以上的支路。

根据所设计的电路设计实训表格，该表格要能反映出 KCL 定律的内容。

或按图 9.1.1 接好线路，将测量的结果填入表 9.1 中。

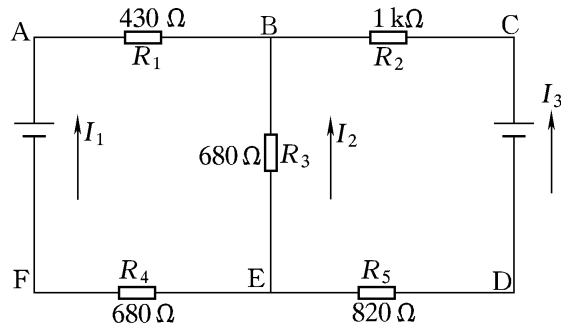


图 9.1.1 验证基尔霍夫定律电路图

表 9.1

	计 算 值	测 量 值	误 差
I_1/mA			
I_2/mA			
I_3/mA			
$I=$			

2. 验证基尔霍夫回路电压定律(KVL)

根据实训设备中提供的元件自己设计电路，要求电路具有两个以上的回路。

根据所设计的电路设计实训表格，该表格要能反映出 KVL 定律的内容。

或按图 9.1.1 接好线路，将测量的结果填入表 9.2 中。

表 9.2

	U_{AB}	U_{BE}	U_{EF}	U_A	回路 U	U_{BC}	U_{CD}	U_{DE}	U_{EB}	回路 U
计算值										
测量值										
误 差										

9.1.4 实训设备

1. 双路直流稳压电源

2. 直流毫安表

3. 直流电压表
4. 电阻若干(51 ~ 1 M)
5. 指针式万用表

9.1.5 实训报告

利用表 9.1 和表 9.2 中的测量结果验证基尔霍夫定律。

利用设计电路中元件参数或电路图中所给元件数据，计算各支路电流与各元件的电压，并比较测量值与计算值之间的误差，分析误差产生的原因。

9.1.6 思考题

如何正确选定毫安表与电压表的量程？

若用万用表直流毫安挡测量各支路电流，何时会出现指针反偏，如何处理？

9.2 戴维宁定理和诺顿定理的验证

9.2.1 实训目的

1. 通过实训验证戴维宁定理和诺顿定理
2. 加深对等效电路概念的理解
3. 学习用补偿法测量开路电压

9.2.2 实训原理

1. 原理

对任何一个线性含源端口网络如图 9.2.1 (a)

U_{oc} 是线性

含源端口网络 C、D 两端的开路电压； I_{sc} 是线性含源端口网络 C、D 两端短路后的短路电流；电阻 R_i 是把线性含源端口网络化成无源网络后的输出电阻。

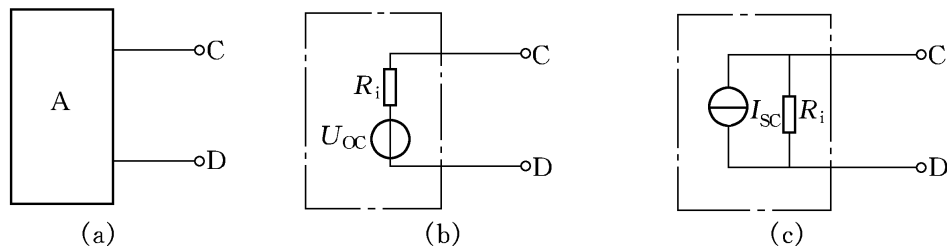


图 9.2.1 戴维宁定理和诺顿定理的等效电路

用等效电路替代端口网络的等效性，在于保持外电路中的电流和电压不变，即替代前后，两者外电路的伏安特性相同。

2. 线性含源端口网络开路电压的测量方法

当线性含源端口网络的输出电阻 R_L 与电压表内阻 R_V 相比可以忽略不计时，可以直接用电压表测量其开路电压 U_{OC} 。

当线性含源端口网络的输出电阻 R_L 与电压表内阻 R_V 相比不可忽略时，用电压表直接测量开路电压，就会影响被测电路的原工作状态，使所测电压与实际值有较大误差，补偿法可以排除电压表内阻对测量所造成的影响。

图 9.2.2 是用补偿法测量开路电压的电路，测量步骤如下：

用直流电压表初测线性含源端口网络的开路电压，并调整补偿电路中电位器的输出电压，使它近似等于初测的开路电压。

将 C、D 与 C'、D' 对应相接，再细调补偿电路中电位器的输出电压，使检流计 G 的指示为零。因为检流计中无电流通过，这时电压表指示的电压等于被测电压，并且补偿电路的接入没有影响被测电路的工作状态。

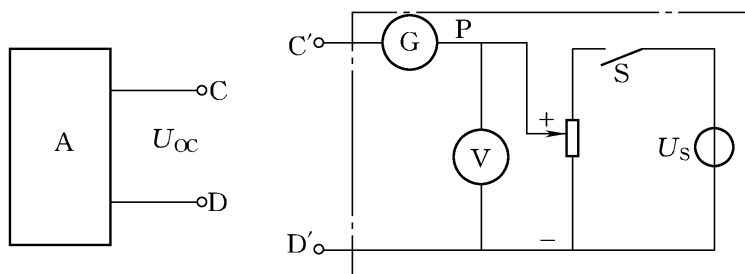


图 9.2.2 用补偿法测端口网络的开路电压

3. 线性含源端口网络输出等效电阻 R_L 的实验求法

线性含源端口网络输出等效电阻 R_L ，可根据线性含源端口网络除源（开路、保留内阻）的开路电压 U_{OC} 和短路电流 I_{SC} ，则 $R_L = U_{OC} / I_{SC}$

9.2.3 实训内容和步骤

本实训按图 9.2.3 接线，使 $U_S = 12\text{ V}$ ， $I_S = 20\text{ mA}$ ，本实训选择 C、D 两端左侧为线性含源端口网络。

1. 测量线性含源端口网络的外特性

调节线性含源端口网络外接电阻 R_L 的数值，使其分别为表 9.3 中的数值，测量通过电阻 R_L 的电流和 C、D 两端电压，将测量结果填入表 9.3 中，其中 $R_L = 0$ 时的电流称为短路电流 I_{SC} 。

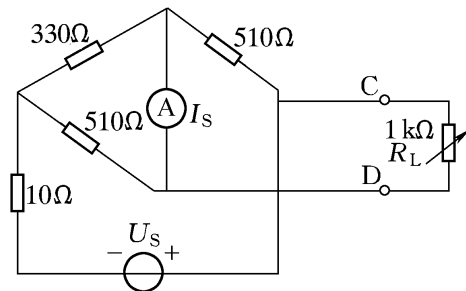


图 9.2.3 测量线性含源端口网络的外特性图

表 9.3

$R_L /$	0	500	1 k	1.5 k	2 k	2.5 k	开路
I / mA							
U / V							

2. 验证戴维宁定理

分别用直接测量法和补偿法测量 C、D 线性含源端口网络的开路电压 U_{OC} 。

用所测得的开路电压 U_{OC} 和步骤 1 中测得的短路电流 I_{SC} ，计算 C、D 端的等效电阻

$$R_{CD} = R_i = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$$

按图 9.2.1

使之等于 U_{OC} ， R_i 用电阻箱代替，在 C、D 端接入负载电阻 R_L ，如图 9.2.4 所示。取和表 9.3 中相同的电阻值，测取通过电阻 R_L 的电流和 C、D 两端电压，填入表 9.4 中。

表 9.4

$R_L /$	0	500	1 k	1.5 k	2 k	2.5 k	开路
I / mA							
U / V							

将表 9.3 和表 9.4 中的数据进行比较，验证戴维宁定理。

3. 验证诺顿定理

按图 9.2.5 接线，构成诺顿等效电路，其中 I_{SC} 用可调电流源，接上负载电阻 R_L ，使其值分别为表 9.3 中的值，测量通过电阻 R_L 的电流和 C、D 两端电压，填入表 9.5。比较表 9.3 和表 9.5 中的数据，验证诺顿定理。

表 9.5

$R_L /$	0	500	1 k	1.5 k	2 k	2.5 k	开路
I / mA							
U / V							

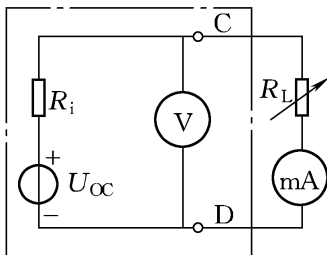


图 9.2.4 戴维宁定理的验证图

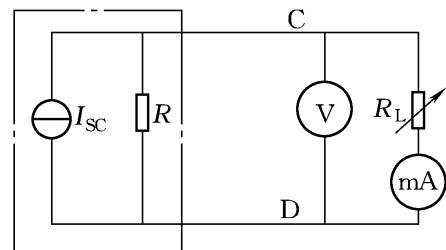


图 9.2.5 诺顿定理的验证图

9.2.4 实训设备

1. 恒压源
2. 恒流源
3. 直流毫伏表

4. 直流电压表
5. 检流计
6. 十进制电阻箱
7. 滑线电位器
8. 电阻若干

9.2.5 实训报告

在同一张坐标纸上画出线性含源端口网络和各等效网络的伏安特性曲线，并做分析比较，说明如何验证戴维宁定理和诺顿定理。

9.2.6 思考题

在求戴维宁定理等效网络时，测量短路电流的条件是什么？可否直接将负载短路？

9.3 电压源与电流源的等效变换

9.3.1 实训目的

1. 掌握电源外特性的测试方法
2. 验证电压源与电流源等效变换的条件

9.3.2 实训原理

一个直流稳压电源在一定的电流范围内，具有很小的内阻，在实用中，常将其视为理想的电压源，即输出电压不随负载电流而变。一个直流恒流电源在一定的电压范围内，具有很大的内阻，在实用中，常将其视为理想的电流源，即输出电流不随负载变化。

一个实际的电压源，其端电压不可能不随负载而变化，因为它具有一定的内阻值。故实训中，用一个小阻值的电阻与稳压源相串联来模拟实际的电压源。同样，一个实际的电流源，其输出电流不可能不随负载而变化，故实训中，用一个大阻值的电阻与恒流源并联来模拟实际的电流源。

一个实际的电源就其外特性，既可以视为电压源，也可以视为电流源。当视为电压源时，可用一个理想的电压源 U_S 与一个电阻 R_0 相串联的模型表示；当视为电流源时，可用一个理想的电流源 I_S 与一个电阻 R_S 相并联的模型表示；其间的等效变换的条件是： $U_S = I_S R_S$ ； $R_S = R_0$ 。

9.3.3 实训设备

1. 直流电压表
2. 直流电流表
3. 恒流源 0 ~ 100 mA
4. 恒压源 0 ~ 30 V

- 5. 电阻若干
- 6. 470 电位器

9.3.4 实训内容

1. 测量恒压源与电压源的外特性

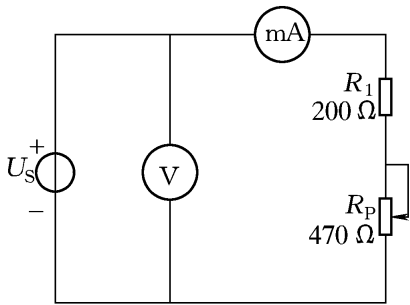


图 9.3.1 测量恒压源的外特性图

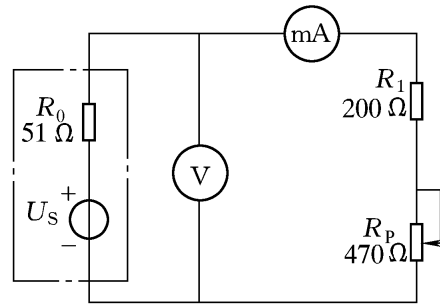


图 9.3.2 测量电压源的外特性图

按图 9.3.1 连线，图中 U_s 为 6 V 恒压源，调节电位器 R_p ，使其阻值由小到大变化，记录直流电压表和电流表的读数，填入表 9.6 中。

表 9.6

U/V							
I/mA							

按图 9.3.2 连线，点画线框内为模拟的实际电压源，调节电位器 R_p ，使其阻值由小到大变化，记录直流电压表和电流表的读数，填入表 9.7 中。

表 9.7

U/V							
I/mA							

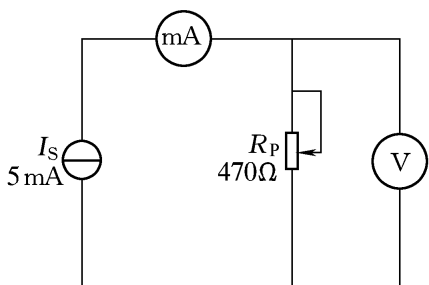


图 9.3.3 测量恒流源外特性图

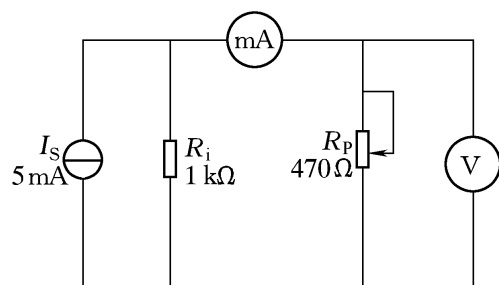


图 9.3.4 测量电流源的外特性图

2. 测量恒流源与电流源的外特性

按图 9.3.3 连线， I_s 为恒流源，调节其输出为 5 mA，调节电位器 R_p ，使其阻值由小到大

大变化，记录直流电压表和电流表的读数，填入表 9.8 中。

表 9.8

U/V							
I/mA							

按图 9.3.4 连线， I_s 为恒流源，调节其输出为 5 mA，调节电位器 R_p ，使其阻值由小到大变化，记录直流电压表和电流表的读数，填入表 9.9 中。

表 9.9

U/V							
I/mA							

3. 根据提供的元件自己设计电路，验证电源等效变换的条件

9.3.5 实训报告

根据实训数据绘出理想电压源、理想电流源、实际电压源、实际电流源的外特性曲线，并总结它们的特性。

从实训结果，验证电源等效变换的条件。

9.3.6 思考题

直流稳压电源的输出端为什么不允许短路？直流恒流源的输出端为什么不允许开路？

电压源与电流源的外特性为什么呈下降变化趋势，稳压源与恒流源的输出在任何负载下是否保持恒值？

9.4 日光灯电路

9.4.1 实验目的

1. 学会日光灯电路的连接方法
2. 掌握日光灯电路的工作原理
3. 学会提高功率因数的方法

9.4.2 实验原理

日光灯电路由灯管、镇流器和起辉器三部分组成。镇流器是一个铁心线圈，故日光灯电路可视为一个 $R-L$ 串联的感性负载电路。

灯管：将一个玻璃管抽去空气后，充入少量水银及惰性气体。管内壁涂一层荧光粉，灯管两端各有一个用钨丝制成的灯丝，其上涂有易于发射电子的氧化物，灯丝上引出两根镍丝

与外电路连接。

镇流器：是一个铁心线圈。它有两个作用，其一是在起动时产生足够高的自感电动势，使灯管易于放电；其二是在灯管正常工作时，限制灯管电流变化，使其工作稳定。

起辉器：外壳是一个小玻璃泡，泡内充有氖气并装两个电极，一个电极是固定的全金属触点，另一个是由两种膨胀系数相差较大的金属片制成的“双金属片”。高温时，双金属片受热膨胀伸直与固定触点接触，温度降低时，双金属片收缩固定触点脱离。所以起辉器相当于一个受温度控制的开关。

日光灯的起燃过程：电路接通电源之处，电源电压不足以使荧光管放电，全部电压加在起辉器的两电极上，氖气被电离发光产生热量，使双金属片受热膨胀与固定触点接触，这时灯丝与镇流器构成通路，有较大的电流加热灯丝，使其易于发射电子。同时由于起辉器两端电压降低，氖气不再被电离，温度降低，过 2~3 s，起辉器双金属片变冷收缩与固定触点脱离，就在这一瞬间，镇流器产生一个很高的自感电动势，它与电源电压一起加在灯管两端，使灯管内水银迅速电离发光。荧光管一旦发生放电，由于维持放电的电压较低，将近一半的电源电压降在镇流器上，又由于起辉器是和灯管并联的，较低的电压不足以使起辉器放电，起辉器失去开关作用，荧光管正常工作。

日光灯电路的功率因数大约为 0.5，为提高电路的功率因数，在日光灯电路的电源两端并联适当大小的电容，可以使功率因数提高到 0.9~0.95。

9.4.3 实验设备

1. 交流电压表、交流电流表、功率及功率因数表
2. 三相调压输出电源
3. 30 W 日光灯
4. 起辉器、镇流器、熔断器
5. 电容若干

9.4.4 实验内容

1. 日光灯电路的连接

按图 9.4.1 连接电路，检查后接通电源

电压缓慢增大，直到日光灯刚好起辉，记录表 9.10 中的数据。再将输出电压调到 220 V，记录表 9.10 中数据。

表 9.10

	测量数值					计算值	
	P/W	I/A	U/V	U_L/V	U_A/V		
起辉值							
正常工作值							

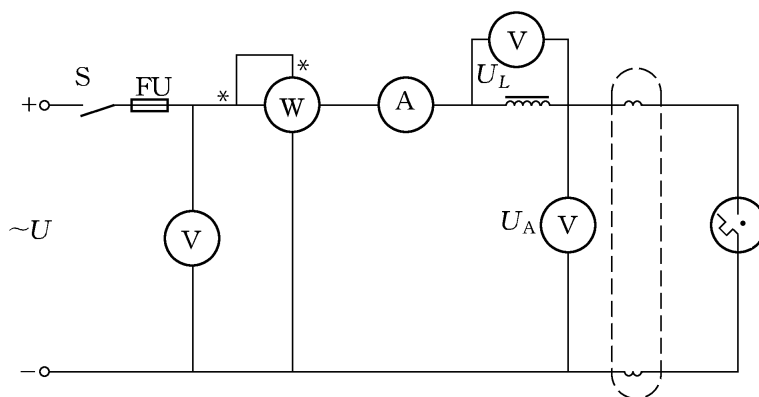


图 9.4.1 日光灯电路的连接

2. 日光灯电路功率因数的改善

按图 9.4.2 连接电路，检查后接通电源

缓慢增大到 220 V，记录接入不同电容值时表 9.11 中数据。

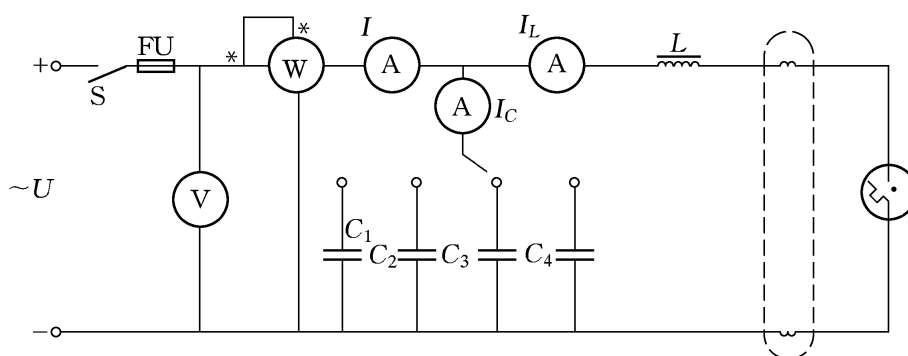


图 9.4.2 日光灯电路功率因数的改善电路图

表 9.11

$C/\mu\text{F}$	P/W	U/V	I/A	I_c/A	I_L/A	
3						
4						
4.68						
5.15						

9.4.5 实验报告

对表格中的数据误差进行分析。

讨论改善电路功率因数的意义及方法。

9.4.6 思考题

在日常生活中，当日光灯上缺少了起辉器时，人们常用一导线将起辉器的两端短接一

下，然后迅速断开，使日光灯点亮；或用一只起辉器去点亮多只同类型的日光灯，这是为什么？

为了提高电路的功率因数，常在感性负载上并联电容器，此时增加了一条电流支路，试问电路的总电流是增大还是减小，此时感性元件上的电流和功率是否改变？

提高线路功率因数为什么只采用并联电容器法而不用串联法？所并的电容器是否越大越好？

9.5 RL 交流参数测量

9.5.1 实训目的

1. 掌握功率计的使用方法
2. 理解交流电路中电压、电流的相量关系

9.5.2 实训原理

测量线圈(即 RL 串联电路)

9.5.1 所示。

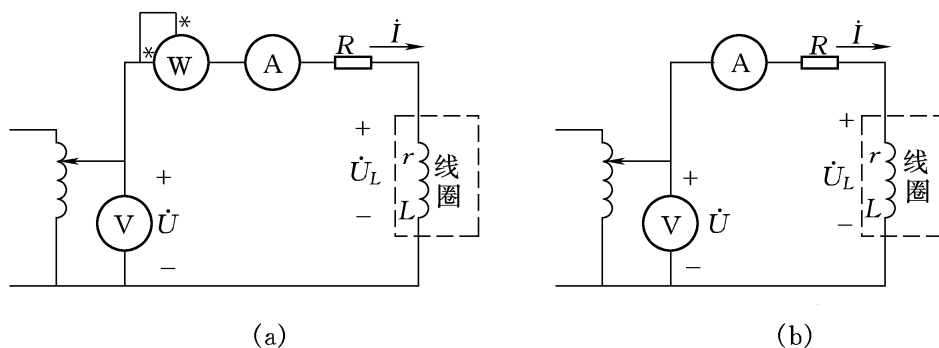


图 9.5.1 RL 参数测量电路图

1. 三表法测定线圈电阻 r 和电感 L

在图 9.5.1 (a)

与线圈电阻 r 的有功功率。

$$P = I^2 (R + r)$$

则线圈电阻 $r = P/I^2 - R$

在图 9.5.1 (a)

$$Z = \sqrt{(R + r)^2 + (\omega L)^2} = \frac{U}{I}$$

则线圈电感

$$L = \frac{\frac{U^2}{I^2} - (R + r)^2}{\omega^2}$$

采用工频交流电源时， $\omega = 2\pi f = 314 \text{ rad/s}$ 。

2. 二表法测定线圈电阻 r 和电感 L

在图 9.5.1 (b)

$$Z_L = \frac{U_L}{I} = r^2 + (L)^2$$

电路的总阻抗为

$$Z = \frac{U}{I} = (R + r)^2 + (L)^2$$

所以

$$r = \frac{U^2 - U_L^2 - R^2 I^2}{2 R I^2}$$

$$L = \frac{U^2 - U_L^2 - R^2 I^2 - 2 R U_L I^2}{I^2 2 R}$$

9.5.3 实训设备

1. 交流电压表、交流电流表、功率计
2. 空心线圈(L = 180 mH)
3. 单相单控开关
4. 单相调压器
5. 电阻

9.5.4 实训步骤

按图 9.5.1 (a)

(交流调压器的输出电压应使电流表的指示值为 0.1 A 以下,防止电路中元件功率过大)

表 9.12 三表法测定 RL 交流参数

项 目	测 量 数 据			计 算 数 据	
	仪表指示值			r	L
	U	I	P		
镇流器					
空心线圈					

按图 9.5.1 (b)

9.13 中。

表 9.13 二表法测定 RL 交流参数

项 目	测 量 数 据				计 算 数 据	
	仪表指示值				r	L
	U	U _L	I	P		
镇流器						
空心线圈						

9.5.5 注意事项及要求

必须先熟悉单相调压器，功率计的使用方法。

调节交流调压器输出电压时，一定要缓慢进行，并注意监测有关额定参数。

9.5.6 实训报告

完成表 9.12 与表 9.13 的参数计算。

总结实训注意事项。

9.6 三相交流电路电压、电流的测量

9.6.1 实训目的

1. 学习三相电路中负载的星形和三角形联结方法
2. 通过实训验证负载做星形和三角形联结时，负载的线电压与相电压、线电流与相电流之间的关系
3. 了解不对称负载星形联结时中性线的作用

9.6.2 实训原理

三相对称负载可接成星形也可接成三角形。当做成星形联结时，线电压 U_L 与相电压 U_p 、线电流 I_L 与相电流 I_p 间的关系为

$$U_L = \sqrt{3} U_p, I_L = I_p,$$

中性线电流 $I_N = 0$ ，可以省去中性线。

当负载做三角形联结时，它们的关系为

$$I_L = \sqrt{3} I_p, U_L = U_p$$

不对称三相负载做星形联结时，若不接中性线，则负载中点的电位与电源中点电位不同，负载上各相电压将不相同，线电压与相电压的关系被破坏。在三相负载为白炽灯时，白炽灯功率最小的

电压最低。此时，相电压高的一相可能烧毁白炽灯，若有中性线，由于中性线阻抗很小，使电源中点与负载中点等电位，因电源各相电压是对称相等的，从而保证各相负载电压也是对称相等的。所以对于不对称负载中性线是不可缺少的。

不对称三相负载做三角形联结时，线电流 I_L 与相电流 I_p 不再是 3 倍关系，但只要电源的线电压对称，加在三相负载上的电压仍然是对称的，对各相负载工作没有影响。

9.6.3 实训内容与步骤

1. 三相负载的星形联结

按图 9.6.1 连接线路，即三相白炽灯负载经自耦调压器接通三相电源，将调压器旋钮置于

三相电压输出为 0 的位置，经查无误后，合上三相电源，调节调压器的输出为 220 V，按表 9.14 内容分别测量三相负载的线电压、相电压、线电流、相电流、中性线电流、电源与负载中点间的电压。

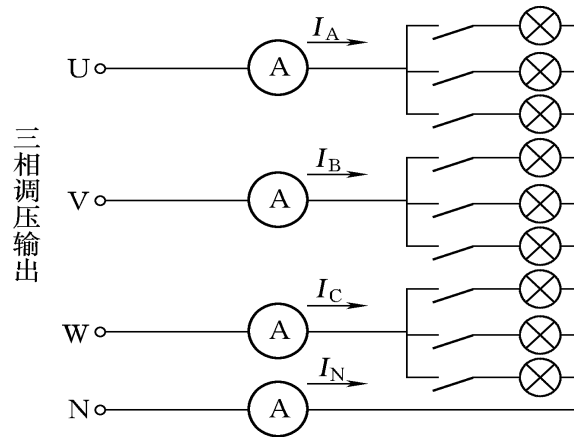


图 9.6.1 负载星形联结电路

表 9.14

	灯盏数			线电流			线电压			相电压			中性线 电流	中点电压
	U	V	W	I_U	I_V	I_W	UV	VW	WU	U	V	W		
星形 N 平衡	3	3	3											
星形平衡	3	3	3											
星形 N 不平衡	1	2	3											
星形不平衡	1	2	3											
星形 NV 相断	1		3											
星形 V 相断	1		3											
星形 V 相短	1		3											

2. 负载三角形联结

按图 9.6.2 连接线路

的输出为 220 V，并按表 9.15 内容进行测量。

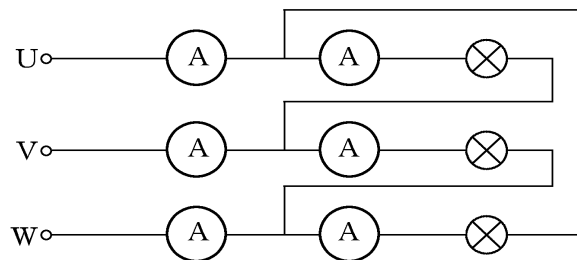


图 9.6.2 负载三角形联结电路图

表 9.15

	开灯盏数			线电压 = 相电压			线电流			相电流		
	U - V	V - W	W - U	U_{UV}	U_{VW}	U_{WU}	I_U	I_V	I_W	I_{UV}	I_{VW}	I_{WU}
三相平衡	3	3	3									
三相不平衡	1	2	3									

9.6.4 实训设备

1. 交流电压表、交流电流表、万用表
2. 三相调压电源
3. 220 V/15 W 白炽灯

9.6.5 实训报告

用实训测量的数据，验证三相电路中电压、电流关系。

用实训测量的数据，总结三相四线制供电系统中，中性线的作用。

不对称三角形联结的负载，能否正常工作。

根据不对称负载三角形联结时的相电流做相量图，求出线电流，与实训测量数据相比较并分析。

9.6.6 思考题

三相负载根据什么条件做星形或三角形联结？

9.7 三相电路的功率的测量

9.7.1 实训目的

1. 掌握用一只功率计和两只功率计测量三相电路，有功功率与无功功率的测量方法
2. 学会功率计的使用方法和线路连接

9.7.2 实训原理

对于三相四线制供电的三相星形联结的负载，可用一只功率计测量各相的有功功率 P_U 、 P_V 、 P_W ，三相功率之和即为三相负载的总有功功率。电路原理图如图 9.7.1 所示（虚框表示用一只功率计分别测量）即为总有功功率。

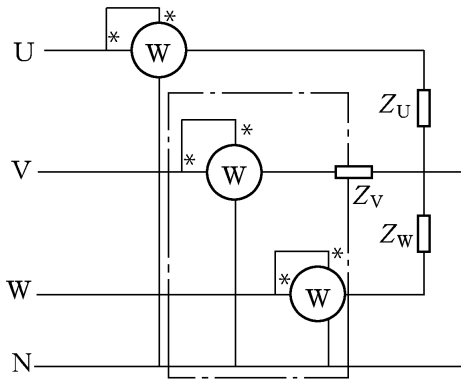


图 9.7.1 一表法测量三相电路功率

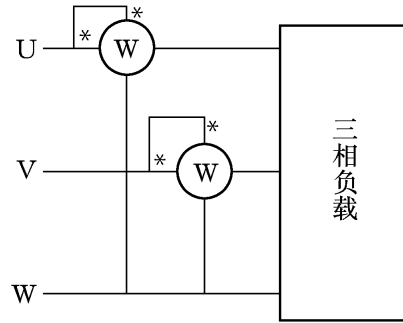


图 9.7.2 二表法测量三相电路功率

三相三线制供电系统中，不论负载是星形联结还是三角形联结，也不论负载是否对称，都可用两只功率计测量三相负载的总有功功率，电路原理图如图 9.7.2 所示。若三相负载对称则可用一表法测量。

9.7.3 实训设备

1. 交流电压表、交流电流表、功率计
2. 万用表
3. 三相调压器
4. 220 V/40 W 白炽灯

9.7.4 实训内容

用一只功率计测量三相对称负载 联结和不对称负载 联结的总功率。按图 9.7.3 连接线路，其中的电流表和电压表用来监视三相电流和电压，以防超过功率计的电压与电流的量程。先将三表求进行测量与计算。

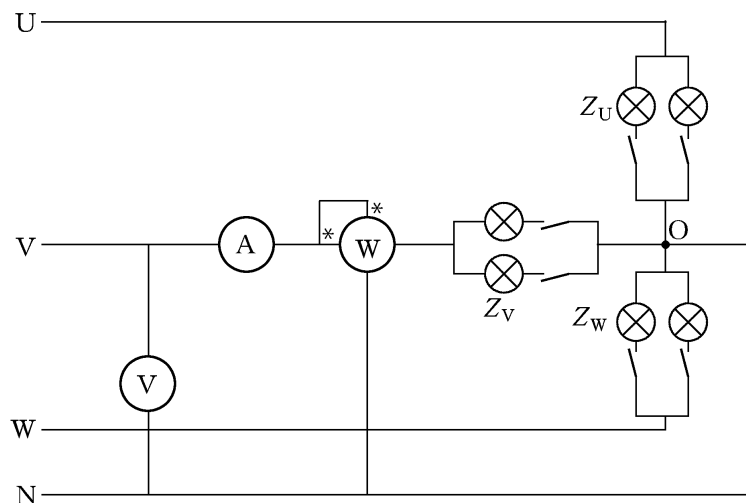


图 9.7.3 一表法测量三相电路功率电路图

表 9.16 一表法测量三相电路功率

负 载	开 灯 组 数			测 量 数 据			计 算 值
	U 相	V 相	W 相	P_U	P_V	P_W	P
联结对称负载	1	1	1				
联结不对称负载	1	2	1				

用两只功率计测量三相负载的总功率：按图 9.7.4 接线，三相负载分别接成星形与三角形，按表 9.17 要求进行测量与计算。

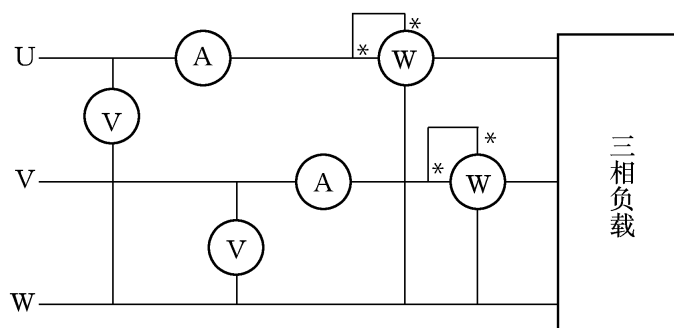


图 9.7.4 二表法测量三相电路功率电路图

表 9.17 二表法测量三相电路功率

	开 灯 组 数			测 量 数 据		计 算 值
	U 相	V 相	W 相	P_1	P_2	P
联结平衡负载	1	1	1			
联结不平衡负载	1	2	1			
联结平衡负载	1	2	1			
联结不平衡负载	1	1	1			

9.7.5 实训注意事项

实训中要注意安全，每次实训后，均需将三相调压器调到零值。

9.7.6 思考题

根据表格的测量数值，比较两种测量方法的优缺点。

9.8 单相变压器

9.8.1 实训目的

1. 巩固判别绕组同名端(相对极性)

2. 测定变压器空载特性并通过空载特性曲线判定磁路的工作状态
3. 测定变压器外特性
4. 学习通过变压器短路实验测量变压器铜损的方法

9.8.2 实训原理

1. 变压器绕组同名端的判定

有磁场相互联系各绕组间的同名端，是进行绕组间相互连接的前提。例如，一台变压器有多个一次绕组和二次绕组需要串联或并联使用时；几个变压器绕组间需要串联或并联使用时；三项变压器绕组间需要接成不同接线组别时，为使连接正确，均须判定各绕组的同名端

本实训使用交流电压表法，判定单项变压器一、二次绕组的同名端。实训方法如图 9.8.1 所示。

先将两绕组各一 endpoint (如 endpoint 2 与 4) 1 和 2 间加交流电压 U_{12} ，用交流电压表测量 1 与 3 和 3 与 4 间的电压 U_{13} 和 U_{34} ，若 $U_{13} = U_{12} + U_{34}$ ，则可判定 2 和 4 是异名端相连。若 $U_{13} = U_{12} - U_{34}$ ，则可判定 2 和 4 是同名端相连。

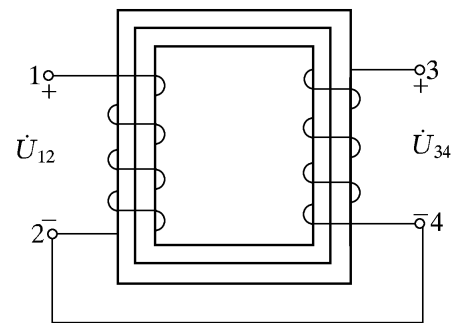


图 9.8.1 变压器绕组间的相对极性判别图

2. 变压器的空载

变压器一次绕组加额定电压，二次侧开路的工作状态称为变压器空载。空载时测得的一次绕组电流称为空载电流 i_0 ，测得的功率 P_0 称为空载损耗，通常变压器空载电流很小，故空载损耗可以认为是铁心损耗

变压器的变比是在空载时测定的一次绕组电压与二次绕组电压比，即变比 $K = U_1 / U_{20}$ (U_{20} 为二次侧空载时的电压有效值； U_1 为变压器空载时一次侧电压有效值)。

变压器空载时，一次侧电压 u_1 与空载电流 i_0 的关系 $i_0 = f(u_1)$

9.8.2 所示。空载特性和铁心的磁化曲线是一样的，空载特性可以反映变压器磁路的工作状态，磁路工作的最佳状态是空载电压等于额定电压时，工作点在空载特性曲线的接近饱和而又没有达到饱和状态的拐点处，图 9.8.2 中的 A 点所示。如果工作点偏低，电流很小，说明磁路远离饱和状态，可以适当减少铁心的截面积或适当减少线圈匝数。如果工作点偏高，截面积或适当增加线圈匝数。

3. 变压器的外特性

变压器一、二次绕组都具有内阻抗，即使一次绕组电源电压 u_1 不变，二次侧电压 u_2 也会随负载电流 i_2 的变化而变化。在 u_1 一定，负载功率因数 $\cos \varphi_2$ 不变时，二次侧电压 u_2 与负载电流 i_2 的关系 $u_2 = f(i_2)$ 的增大， u_2 减少，如图 9.8.3 所示。

4. 变压器的短路

变压器短路是将变压器二次侧短路，一次侧加适当的电压，使二次侧电流达到额定值。这时一次侧所加电压 u_k 称为短路电压，短路时所测得的功率损耗

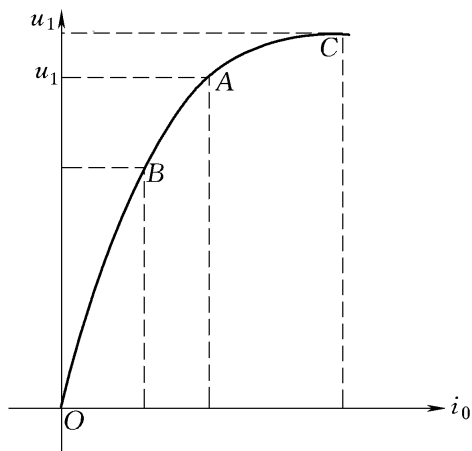


图 9.8.2 变压器空载特性曲线

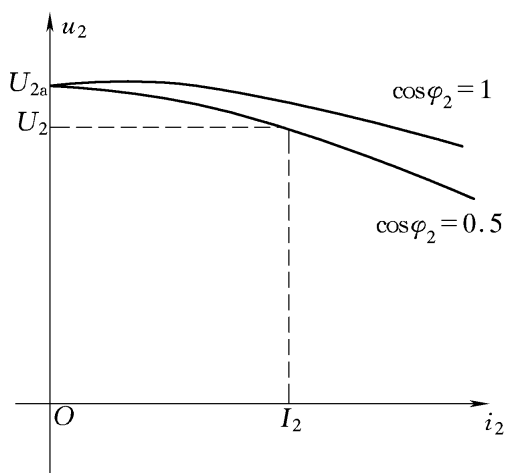


图 9.8.3 变压器的外特性

$$P_K = I_{1K}^2 R_1 + I_{2K}^2 R_2 + P_{FE} K$$

因为短路电压很低，铁心中的磁通密度与其所加额定电压相比小得很多 $B_m \ll U_1$)
路时，铁损耗是很小的，可以认为短路损耗就是变压器额定运行时的铜损耗，即 $P_K \approx P_{Cu}$ 。

从变压器空载，短路实训测得的铁损耗和铜损耗，可以求得变压器额定运行时的效率为

$$= \frac{P_2}{P_2 + P_{FE} + P_{Cu}} \times 100\%$$

9.8.3 实训内容及步骤

1. 判别变压器一、二次绕组的同名端

按实训原理 1. 中叙述的方法，一次侧加额定电压 220 V，判别一、二次绕组的同名端。

2. 变压器空载实训

按图 9.8.4 接线，本实训采用从低压边做的方法，即从低压边加额定电压 110 V，高压边开路。

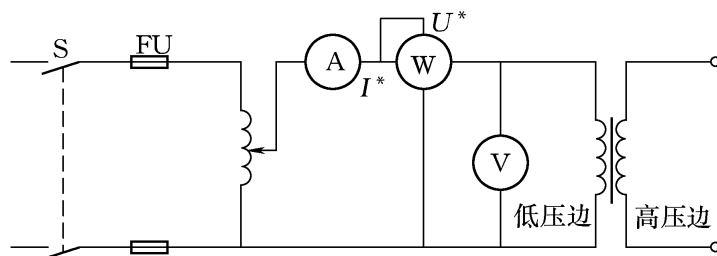


图 9.8.4 变压器空载实训

调节自耦调压器使输出电压为低压边额定值 U ，并测量高压边电压 U_0 ，低压边空载电流 I_0 ，空载损耗 P_0 ，计算变比 K ，填入表 9.18 中。

表 9.18

U	U_0	$K = U_0 / U$	I_0	P_0
110 V				

将电压升到 $1.2U$ 值，然后逐渐降低至 $0.2U$ 为止，取 7~9 个点，读取相应的电压、电流和功率，填入表 9.19 中。

表 9.19

测量项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U/V									
I/A									
P_0/W									

注意：因变压器空载时功率因数很低
功率计。

3. 测量变压器的外特性

按图 9.8.5 连接线路，用自耦调压器维持单相变压器一次侧电压 220 V 始终不变，从空载起至二次侧电流达到额定值为止，在此范围内读取 5~6 个点数据录在表 9.20 中。

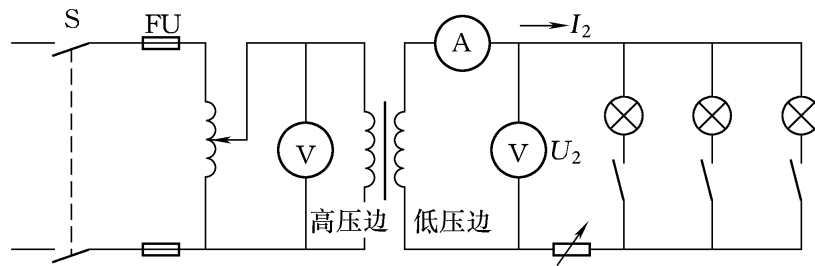


图 9.8.5 测量变压器外特性图

表 9.20

测量项目	1	2	3	4	5	6	7
U_1/V							
I_2/A							

4. 变压器短路实训

按图 9.8.6 接线，用导线将低压边短路。

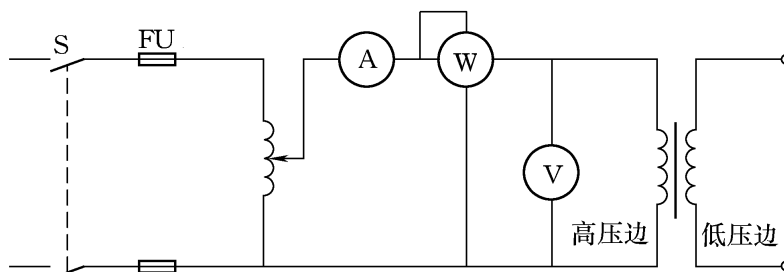


图 9.8.6 变压器短路图

由于短路电压一般都很低，为额定电压的百分之几，所以，调压器一定要旋到零位才能闭合电源开关，然后逐渐增加电压，使短路电流达到高压边额定电流值，测量此时的电压、电流和功率的数值，填入表 9.21 中。

表 9.21

测量项目	U_k	I_k	P_k
数据			

9.8.4 实训设备

1. 自耦调压器(包括指示电压表,熔断器)
2. 交流电压表,交流电流表,低功率因数功率计
3. 单相变压器
4. 白炽灯负载
5. 滑线电阻器

9.8.5 实训报告

根据测量数据计算变比 K 。

绘制本台变压器空载特性及外特性曲线。

9.8.6 思考题

根据所绘制的空载特性曲线，说明所使用的变压器二次侧匝数设计得是否合理？为什么？

一台变压器铭牌丢失，不知一次侧的额定电压是多少，能否通过实训做出正确判断？

9.9 三相异步电动机的使用和起动

9.9.1 实训目的

1. 了解三相异步电动机的铭牌数据
2. 学习测量电动机绝缘电阻的方法
3. 正确连接异步电动机的三相绕组，并使电动机起动和实现反转
4. 学习判断三相异步电动机绕组首、末端的方法

9.9.2 实训原理

1. 三相异步电动机的铭牌和额定值

了解电动机铭牌中各项数据的确切含义，是合理选择并正确使用三相异步电动机的前提，现以 JO2 - 62 - 4 型三相异步电动机的铭牌为例，说明其各项含义

JO2 - 62 - 4 型三相异步电动机的铭牌为：

型号：JO2 - 62 - 4	功率：17 kW	频率：50 Hz
电压：380 V	电流：33 A	接法：
转速：1 460 转/分	工作方式：连续	绝缘等级：E
功率因数：0.88		温升：65

XX 电机厂

出厂 年 月

型号是不同种类和型式电动机的代号，它的每一个字母都具有一定的含义。如 JO2 - 62 - 4 中，J 代表交流异步电动机。O 代表封闭式，即外壳将电动机全部封闭起来。字母后面的数字 2 表示全国统一设计的顺序号，意思是说这种电动机是在 JO 型基础上做了第二次改进设计。第一个半字符后的第一位数字 6 表示机座号，机座尺寸是按与国家统一标准的顺序号所对应的尺寸制造的。第二位数字 2 表示铁心长度序号，同样对应着国家统一规定的具体尺寸。第二个半字符后的数字 4 表示电动机是 4 极电动机 ($p=2$)

电动机型号中每项的意义可用框图表示如下

JO 2 - 6 2 - 4

电动机系列

磁极数

设计顺序号

机座号

铁心长度号

我国已设计出 Y 系列电动机新产品，Y 系列电动机具有高效，节能，特性好，低噪音等优点，功率等级和安装尺寸符合国际标准，这种电动机型号所代表的意义如下面框图所示。

Y 100 L2 4

磁极数

长机座第二种铁心长度

机座中心高

异步电动机

U_N 和接法

电压 U_N 是指电动机定子绕组应接的额定线电压；接法是指在额定相电压下，三相绕组的正确接线方法。有时铭牌上有两种电压值，如 220/380 V，并对应两种接法 / ，表示该电动机可在线电压 220 V 时工作，并应接成三角形；也可在线电压为 380 V 时工作，并应接成星形。

I_N

I_N 是指电动机在额定电压、额定频率并输出额定功率时，定子的额定线电流，铭牌有时标出两种额定电流值，与绕组的不同接法相对应。

V_N

电动机额定运行时，电动机转子的额定转速 V_N 以“r/min”为单位，通常比相应的同步转速低 2% ~ 6%。

P_N

在额定运行条件下，电动机转轴上输出的功率为额定机械功率。实际运行过程中，电动机

输出的功率是由负载大小决定的，并不一定等于额定功率，电动机额定输出功率 P_N 与电动机输入电功率 P_{IN} 的比值称为电动机的效率 η ，即

$$P_N / P_{IN} = \eta$$

一般 $\eta = 75\% \sim 90\%$ 左右，随电动机种类及容量大小而不同。

$\cos \varphi$ 指电动机额定运行时的功率因数，电动机是感性负载，定子电路相电流滞后相电压 φ 角，此角度的余弦值为功率因数，电动机额定运行时，功率因数在 $0.7 \sim 0.9$ 左右，空载或轻载时只有 $0.2 \sim 0.3$ 。因此在电动机使用时，应尽量避免出现电动机的长期空载或轻载运行情况。

为充分发挥电动机的潜力，电动机按持续运行时间设计工作方式，分为连续、短时和重复短时三种工作方式。

连续工作方式，表示这种电动机可以按铭牌上规定的功率长期连续使用。

短时工作方式，表示这种电动机不能连续使用，在额定功率输出时，只能按铭牌规定短时间运行。

重复短时工作方式，表示这种电动机不能在额定功率输出时连续运行，只能按规定时间做重复性短时间运行。

绝缘等级是由电动机所用绝缘材料决定的，按耐热程度不同，绝缘材料分为 A, E, B, F, H 等数级。目前，异步电动机生产中大都采用 E 级绝缘，其最高允许温度为 120°C 。温升是指允许高出标准环境温度的数值。

2. 电动机的绝缘电阻

在使用电气设备时，其绝缘程度的好坏对设备的正常运行有密切关系，绝缘程度的好坏可以用绝缘电阻的高低来衡量。由于设备受热、受潮等原因，会使绝缘电阻降低，甚至可能造成设备外壳带电和出现短路事故，所以在使用期间应做定期绝缘电阻的检查。

绝缘电阻的检查不能用普通的电阻表
摇表)

使用兆欧表时，要注意以下几个问题：

按电气设备的电压等级选择兆欧表的规格，测量额定电压不足 500 V 的绕组的绝缘电阻的绝缘电阻时，则应选用 1000 V 的兆欧表。

测量绝缘电阻前，必须切断电动机的电源，并作兆欧表自检。自检的方法是先将兆欧表两端线开路，缓慢摇动兆欧表手柄，表针应指到零处，如果不是这样，说明兆欧表自身有故障，必须检查、修理后方能使用。

测量绝缘电阻时，将兆欧表端钮 L、E 分别接到待测绝缘电阻处，如测量对地绝缘电阻，则应将 E 接地

兆欧表要平放，转动手柄的转速要均匀

测量电动机的绝缘电阻，一般有两项内容，一是测相间绝缘，二是测对地绝缘

缘) 对于 500 V 以下的中、小型电动机, 绝缘电阻最低不得小于 1 000 Ω/V 。

3. 电动机绕组首、末端的判别

当电动机绕组各相引出线标志脱落时, 必须判明哪两根引出线属于同一相, 哪根是首端, 哪根是末端, 这是对电动机进行正确接线的前提, 判定异步电动机绕组首、末端有多种方法。

首先, 用一只白炽灯与交流电源串联后, 去碰触任意引出线, 能使白炽灯发亮的两根引出线显然是属同相绕组, 这样可将六根引出线分成三相绕组, 然后, 任意规定一相绕组的首、末端 (如 D_1 、 D_4) 为相首、相尾, 将另外两根引出线 (如 D_2 、 D_3) 与 D_1 、 D_4 相连, 将串联起来的这两相绕组的另外两端接到低压电源上。

灯发亮 (如图 9.9.1(a) 所示), 则与 D_1 、 D_4 相连的那一端即为该相的首端 (如 D_2)。

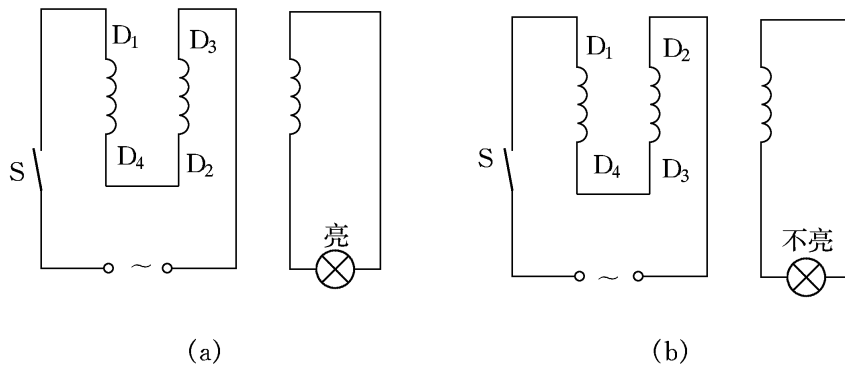


图 9.9.1 串灯法判定绕组首末端

用同样的方法可以判定另一相的首、末端。图中接入开关 S, 是为了使通电时间尽量短些, 以保护电动机绕组。

其原理可简述如下: 如 U、V 两相绕组是首、末端相连, 通入交流电后所产生的合成磁通会穿过 W 相绕组, 因此 W 相绕组产生感生电动势而使白炽灯发亮, 如图 9.9.2(a) 所示; 如 U、V 两相绕组是末端与末端相连, 通入交流电后产生的合成磁通不穿过 W 相绕组, W 相绕组不产生感应电动势, 白炽灯当然不亮, 如图 9.9.2(b) 所示。

用万用表电阻挡或将电池与电流表串联, 逐次碰触任意两根引出线, 定哪两根引线是属同一相的, 然后规定任意一相绕组的首、末端 (如 D_1 、 D_4) 为相首、相尾, 将另外两根引出线 (如 D_2 、 D_3) 与 D_1 、 D_4 相连, S 和电池相连接, 在另一相绕组的两端接上电流表, 在接通开关 S 的瞬间, 若表头指针正向摆动, 则电流表负极所接的引线与电池正极所接的引线端是同极性端, 如图 9.9.3 所示。

4. 三相异步电动机的起动和反转

对于中小型异步电动机, 当电源容量相对电动机功率足够大时, 一般采用直接起动, 即将电动机的定子绕组直接接入额定电压的电源上。

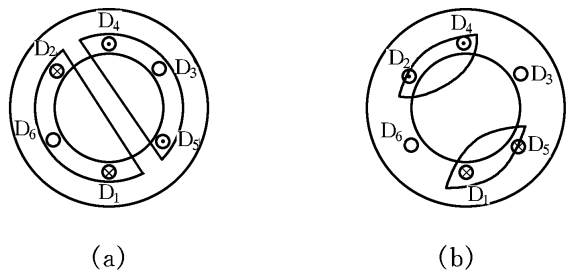


图 9.9.2 串灯法判定绕组首末端原理图

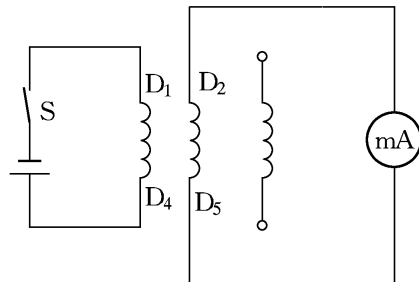


图 9.9.3 电流表法判定绕组首末端

异步电动机转子的旋转方向与旋转磁场的旋转方向相同，而旋转磁场的旋转方向取决于绕组与电源接线的相序。因此，改变三相绕组与电源连接的相序就可达到改变三相异步电动机转向的目的。

9.9.3 实训内容及步骤

熟悉异步电动机的外形结构及各引线端，记录铭牌数据。

测量三相异步电动机的绝缘电阻。

首先自检准备使用的兆欧表，并用检查后的兆欧表测量实训用电动机的绝缘电阻，填入表 9.22 中。

表 9.22

相间绝缘	绝缘电阻	相与机壳绝缘	绝缘电阻
U相与V相		U相与机壳	
V相与W相		V相与机壳	
W相与U相		W相与机壳	

判定三相绕组的首、末端。实训所用电动机上标有首、末端。故实训中用串灯法和电流表法验证标号是否正确。实训分别按图 9.9.1 和图 9.9.3 接线。

按铭牌要求，将电动机正确接线

380 V 三角形联结)

开关 QM 直接起动电动机并观察电动机的转向。

断开负荷开关 QM，改变电动机与电源接线的相序
(换任意三相接线)

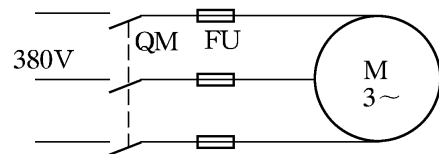


图 9.9.4 电动机正反转实训图

9.9.4 实训设备

1. 三相异步电动机
2. 三相负荷开关
3. 兆欧表(500 V)

- 4. 万用表
- 5. 干电池

9.9.5 思考题

电动机的额定电压与电动机接线方法有什么关系？
分析用电流表法判定三相绕组首、末端方法的道理。

9.10 异步电动机继电 - 接触器控制的基本电路

9.10.1 实训目的

1. 了解交流接触器、热继电器、按钮开关等电器的结构及其使用方法
2. 用继电 - 接触器控制电路对异步电动机进行点动、起动、停车控制
3. 用继电 - 接触器控制电路对异步电动机进行正、反转控制

9.10.2 实训原理

1. 交流接触器、热继电器、按钮开关的结构及使用

交流接触器：交流接触器是一种利用电磁力带动触点接通或断开电动机主电路的电磁开关。交流接触器主要由电磁系统和触点系统两部分组成。其中电磁系统包括线圈、动铁心和静铁心。触点系统分为两种，一种接在主电路中，允许通过电流较大，称为主触点；另一种接在控制电路中，通过电流较小，称为辅助触点。根据线圈未通电之前状态的不同，触点可分为动合触点和动断触点。交流接触器的实物图及符号如图 9.10.1 所示。

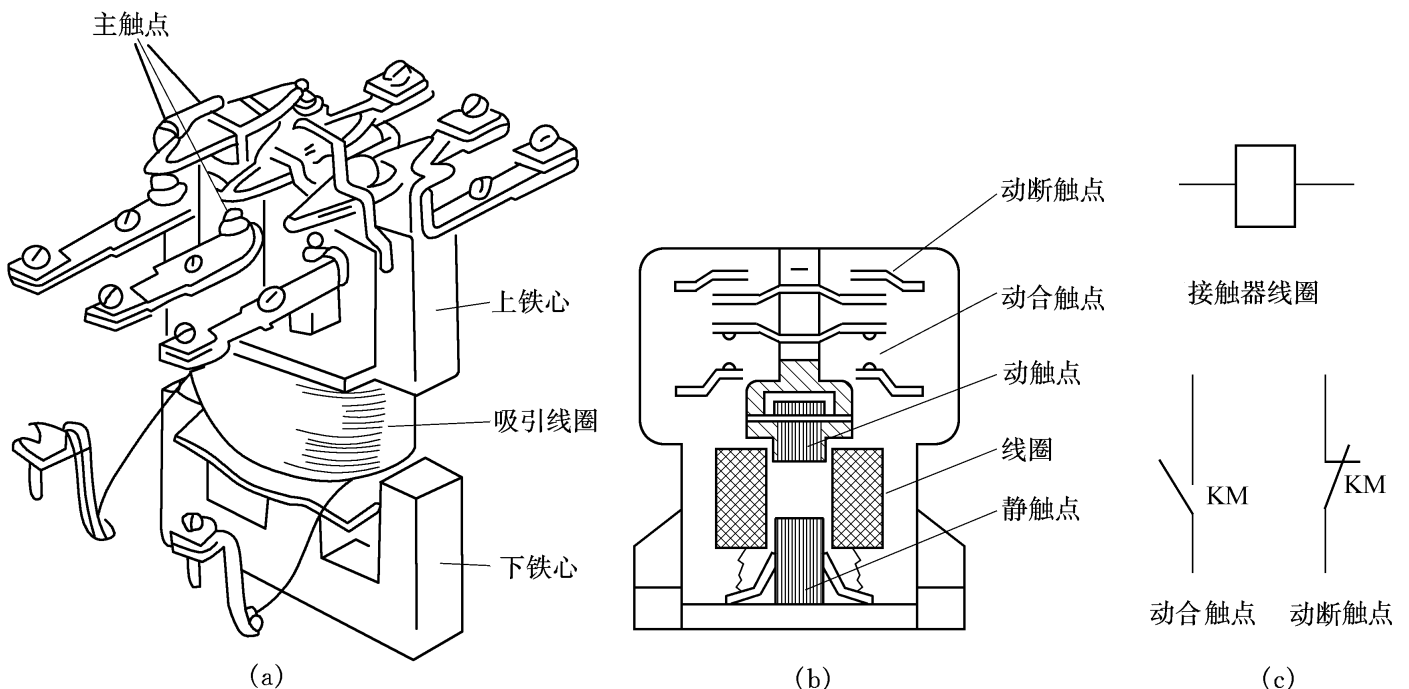


图 9.10.1 交流接触器

接触器在电磁线圈通电后，动、静铁心之间产生电磁吸力，动铁心吸引而向下运动，与此同时，和它连在一起的触点动作，使动合主触点和动合辅助触点闭合，动断辅助触点断开。线圈失电时，电磁力消失，因受弹簧的作用动铁心恢复原位，动合触点释放，动断触点闭合。

用于控制交流电动机的接触器，通常有三对动合主触点，两对动合辅助触点和两对动断辅助触点，工作时可根据需要选择使用。

接触器的线圈和各种触点在电路中用同一字母表示。

为防止主触点断开时，产生电弧而烧坏触点，有些接触器装有灭弧装置，为消除交流接触器工作时铁心的颤动，在铁心端面的一部分套有一个短路环。

热继电器：热继电器是对电动机进行过载保护的一种常用继电器，它根据电流的热效应原理制成，图 9.10.2

构成，直接串接在被保护的电动机主电路中；双金属片是由两种热膨胀系数不同的金属片碾压而成，上层金属片热膨胀系数小，下层金属片热膨胀系数大，双金属片紧贴发热元件，其一端固定在支架上，另一端与扣板自由接触。当电动机在额定负载下运行时，通过发热元件的电流是额定电流，这个电流不足以使热继电器动作。当电动机过载时，通过发热元件的电流超过额定值，产生的热量使双金属片受热变形，弯向膨胀系数小的一侧，即向上弯曲，使双金属片右端与扣板脱开，在弹簧作用下，扣板向左转动，将动断触点断开，此动断触点串在接触器线圈电路中，在触点断开时，切断接触器线圈电路，从而切断主电路，保护电动机。

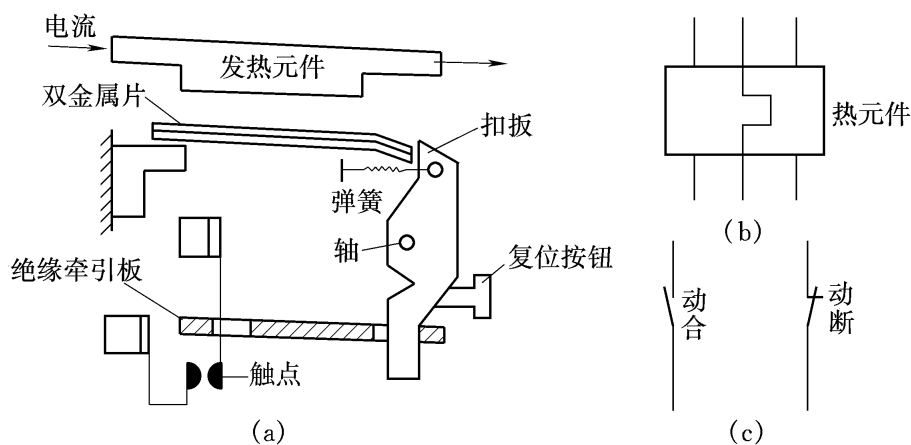


图 9.10.2 热继电器

由于热继电器是依靠发热元件通电后，使双金属片变形而动作的，出现触点断开动作，需要有一个热量积累的过程，对于短时过载，热继电器不会立即动作，所以它只适用于做电动机的长期过载保护，不能做短路保护。

按钮开关：按钮是继电器 - 接触器控制电路中最常用的电器，用于发出“接通”和“断开”指令信号，起到控制电动机的目的。按钮的外形及结构原理图如图 9.10.3

由一对动合触点 3、4；一对动断触点 1、2 及复位弹簧和按钮帽 6 组成，没有按动按钮之前的工作状态称为常态，常态下断开的触点称为动合触点。按动按钮时，触点状态随即改变，动断触点先断开，动合触点随之闭合。松开按钮时，因复位弹簧 5 的作用，各触点立即恢复常态，动合触点先复位断开，动断触点后复位闭合。

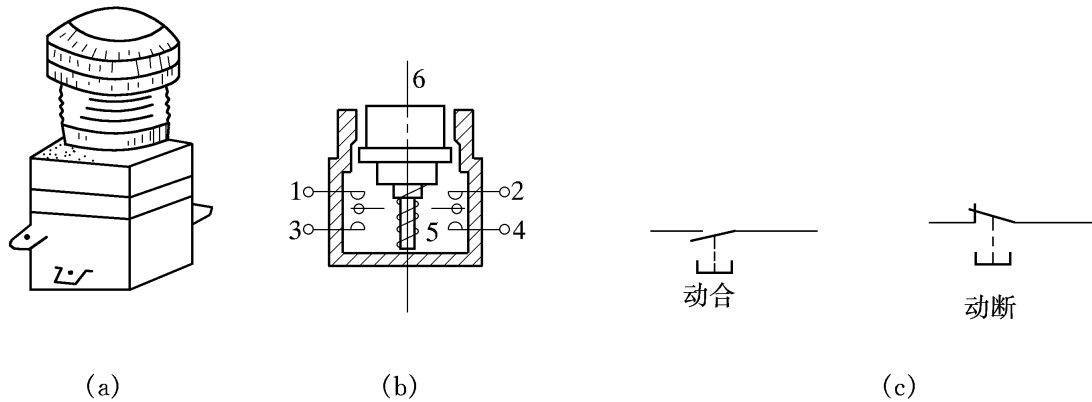


图 9.10.3 按钮

2. 点动控制电路

点动控制电路主要由按钮、接触器组成，如图 9.10.4 所示。

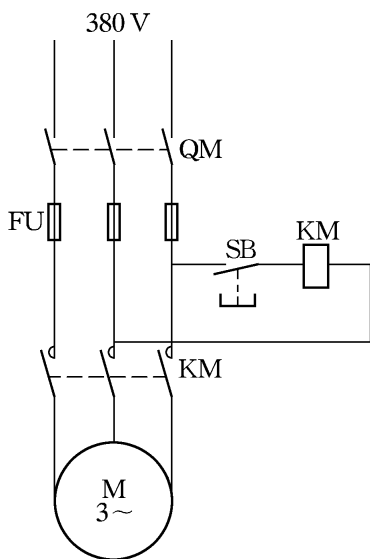


图 9.10.4 点动控制电路

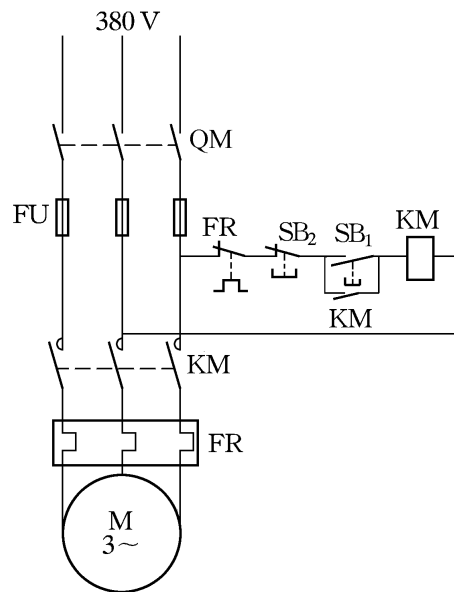


图 9.10.5 起动、停车、保护控制电路

按下起动按钮 SB，接触器线圈 KM 得电，接触器动合触点闭合，电动机得电运转。松开起动按钮 SB，由于复位弹簧的作用，使按钮复位，动合触点断开，接触器线圈失电，电动机停转。如此按下、松开起动按钮，使电动机断续通电，从而实现点动控制。

3. 自锁环节

点动控制只能在按下按钮时，电机运转，松开按钮时，电动机就停止运行，为实现电动机长期连续运行，需要加入自锁环节。自锁环节的实现是在按钮开关的触点两端并联上接触器 KM 的一副辅助动合触点，当按下按钮 SB_1 时，接触器 KM 得电，主触点闭合，电动机得电运转，同时，并联在 SB_1 上的动合辅助触点也闭合，这样即使松开按钮， SB_1 动合触点复位，但接触器线圈仍然有电流通过，因此电动机可继续运行，这种依靠接触器自身辅助动合触点闭合而使线圈保持通电的作用称为“自锁”。起自锁作用的触点称为自锁触点。为使自锁后的电动

机可以停车，在接触器线圈电路中再串入一个带动断触点的停止按钮 SB_2 即可，带自锁环节的控制电路如图 9.10.5 所示。

4. 保护环节

为确保电动机正常运行，防止由于短路、过载、欠压等事故造成的危害，在电动机主电路和控制电路中必须具有各种保护装置，一般有短路保护、过载保护、失压保护和过流保护等。

短路保护通常采用熔断器。

过载保护通常采用热继电器。

注意：热继电器与熔断器两者在电路中所起作用不同，两者不能互相代替，在保护环节中，它们互相补充，都不可缺少

失压和欠压保护：电动机运行时，由于外界原因，突然断电又重新供电，在未加防范的情况下，容易出现事故，因此，在控制电路中应有失压保护环节，确保断电后，在工作人员没有重新操作的情况下，电动机不能自行运转。如电源电压太低，会影响电动机的正常运行（转矩与电压平方成正比）环节。

凡是应用接触器并具有自锁环节的继电 - 接触器控制电路，本身都具有失压保护和欠压保护的环节。当电源电压突然中断或严重欠压时，接触器线圈产生的电磁力为零或很小，由于弹簧的作用，动铁心复位，使主电路切断并失去自锁作用，电动机停止运行。而当电源重新恢复正常供电时，接触器线圈不能自行通电，电动机不能自行起动。只有操作人员在有准备的情况下，再次按下起动按钮，电动机才能起动，从而实现失压和欠压保护。

5. 联锁的环节

几个控制电路通过辅助触点之间相互连接，实现彼此之间相互联系又相互制约的作用，称为互锁。实现联锁控制的触点称为联锁触点。继电 - 接触器控制电路，通过接触器、继电器之间的相互联锁，可以实现多台设备按生产工艺进行工作，是实现自动控制及保护的重要环节。

实训中通过三相异步电动机正、反转的控制电路，说明联锁环节的作用。

要改变三相异步电动机的旋转方向，只需改变引入三相异步电动机三相电源的相序即可，这可以通过两个接触器来实现，如图 9.10.6 所示。按下起动按钮 SB_1 ，接触器 KM_1 线圈通电并自锁，主触点 KM_1 闭合。电动机按正相序正向运转。如按下起动按钮 SB_2 ，接触器 KM_2 线圈通电并自锁，主触点 KM_2 闭合，电动机因 L_1 、 L_2 两相与电动机接线换相，电动机按反相序反向运转。但是，这个电路存在一个非常严重的问题，即当电动机正转运行时，如再按 SB_2 时会出现 KM_1 和 KM_2 同时得电闭合，造成 L_1 和 L_2 两相电源短路故障，因此必须严加防范。即必须设法使两个接触器在任何情况下都不能同时通电。可以将两只接触器的动断辅助触点 KM_1 和 KM_2 ，如图 9.10.7 那样串联到对方接触器线圈所在的支路里，当正转接触器 KM_1 通电时，串联在反转接触器线圈 KM_2 支路中的动断触点已经断开，从而切断了 KM_2 支路，这时即使按下反转起动按钮 SB_2 ，线圈 KM_2 也不会通电。同理，在反转接触器 KM_2 通电时，即使按下正转起动按钮 SB_1 ，线圈 KM_1 也不会通电，保证了电路的正常工作。

9.10.3 实训内容和步骤

按图 9.10.4 连接线路，接线时要按一定顺序进行，主回路可按三相电动机 接触器主

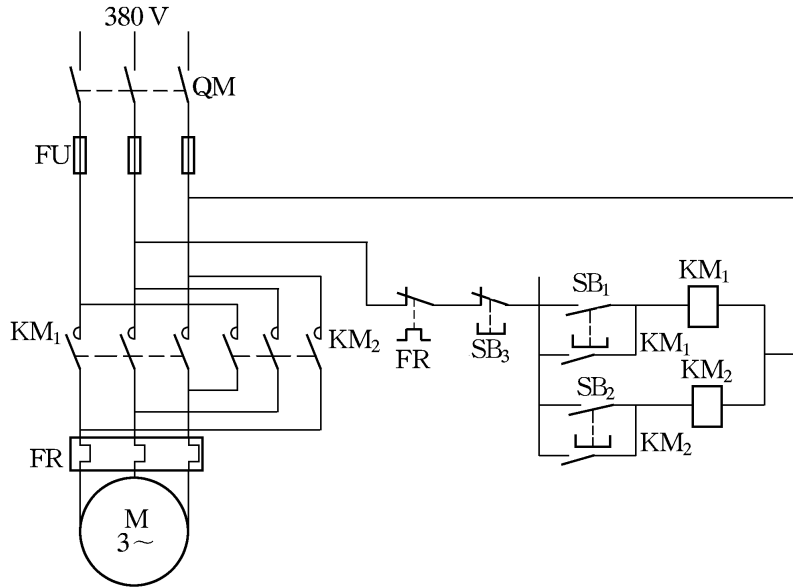


图 9.10.6 不带联锁的正、反转控制电路

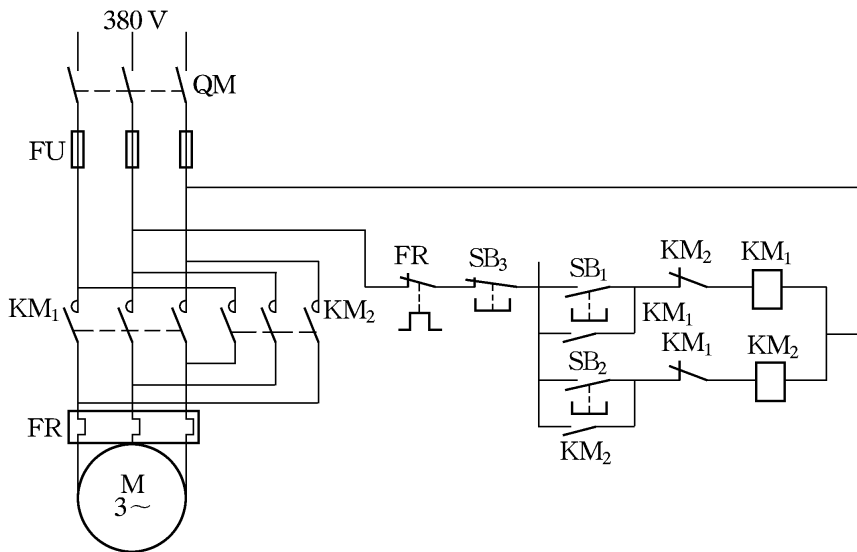


图 9.10.7 带有联锁的正、反转控制电路

触点 熔断器 三相负荷开关 三相电源顺序进行，控制电路按 SB 按钮 接触器线圈 KM 顺序进行，然后将两端接入电源两根相线上，经查无误后，运行控制操作。

按图 9.10.5 接线，即在点动控制电路中加入停止按钮 SB₂、自锁触点 KM 和热继电器动断触点，在主电路中接入发热元件，进行起动、停止控制操作。

按图 9.10.7 接线，经查无误后，再接通电源，闭合负荷开关 QM，按下 SB₁ 使电动机起动，并观察电动机转向。按 SB₂ 验证联锁触点的作用，然后按 SB₃ 使电动机停转，再按下 SB₂ 使电动机重新起动，观察电动机的旋转方向。

9.10.4 实训设备

1. 三相笼型异步电动机
2. 交流接触器

3. 热继电器
4. 按钮开关
5. 负荷开关

9.10.5 实训报告

详细分析带短路及过载保护的三相异步电动机正、反转控制电路。

绘出可以在两地对同一台三相异步电动机进行起动、停止及反转控制的电路。

9.10.6 思考题

若要求第一台电动机起动以后第二台电动机才能起动；第一台电动机停止运行则第二台电动机也必然停止运行，绘出对两台电动机进行顺序控制的电路。

第 10 章

电工技能综合实训

在完成电工技能基础实训以后，为了提高读者的设计和动手能力，再来选做下列电工综合实训。

10.1 常用电工仪表的使用

10.1.1 实训目的

1. 熟悉常用机电式电工仪表的工作原理及分类
2. 掌握使用常用电工仪表测量电流、电压、功率及电阻的基本方法

10.1.2 实训原理

电工仪表按测量方式不同分为两大类：一类是直读式仪表，能直接指示被测量的大小；另一类是比较式仪表，需将被测量与标准量进行比较才能得出其大小。常用电工测量仪表以直读式机电仪表最为普遍。

直读式机电仪表工作原理及电压表、电流表、功率计、万用表的原理与使用详见第 2 章。

10.1.3 实训内容及步骤

记录实训中提供的直流电压表、直流电流表、交流电压表、交流电流表的表盘符号，并说明其意义。

选用合适的交流电压表测量实训中提供的三相交流电源输出端的各线电压和相电压，填入表 10.1 中。

表 10.1

项目	U_{UV}	U_{VW}	U_{WU}	U_{UN}	U_{VN}	U_{WN}
电压/V						

按图 10.1.1 接线，用交流电压表监视从三相交流电源调压器输出 20 V 和 25 V 交流电压，并接到整流器上，选用直流电压表测量输出的直流电压，并填入表 10.2 中。

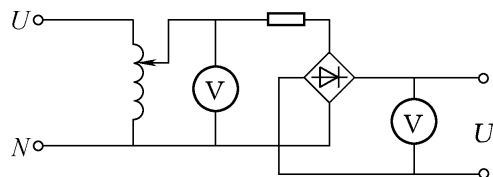


图 10.1.1 电压表的使用

表 10.2

交流输入电压/V	直流输出电压/V	交流输入电压/V	直流输出电压/V
20		25	

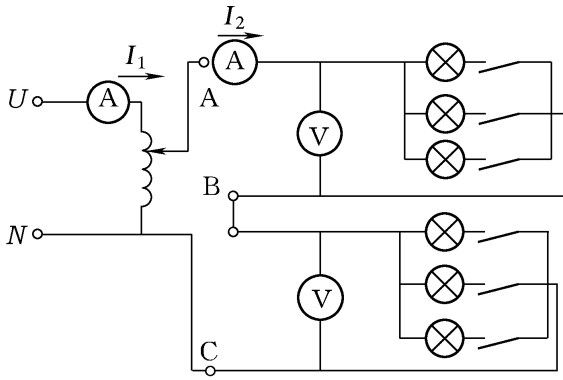


图 10.1.2 交流电压、电流表的使用

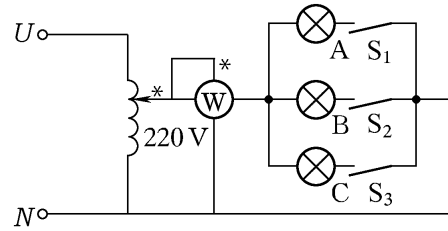


图 10.1.3 功率计的使用

选两组白炽灯

交流电压，改变每组白炽灯数，测量每组白炽灯两端电压，并用电流表测量电流 I_1 和 I_2 。数据记录在表 10.3 中。

表 10.3

第一组三只，第二组一只		第一组两只，第二组两只	
U_{AB}	U_{BC}	U_{AB}	U_{BC}
I_1	I_2	I_1	I_2

按图 10.1.3 接线，测量每只白炽灯实际消耗的电功率 (闭合 S_1 、 S_2 、 S_3 打开 V 相、 W 相同理)

表 10.4

标称功率/W	60	120	180
实际功率/W			

选择万用表欧姆挡中的合适倍率，测量实训中提供的电阻的阻值并将数据记录在表 10.5 中。

表 10.5

R_1	R_2	R_3	R_4	R_5

10.1.4 实训仪器设备

1. 交流调压器
2. 整流电桥
3. 直流电压表、交流电压表、交流电流表、功率计、万用表
4. 负载白炽灯灯箱
5. 电阻5只

10.1.5 实训报告

整理实训数据，书写实训报告。

10.1.6 思考题

若功率计指针出现反向偏转的现象，原因是什么？

若万用表欧姆挡有 $\times 1$ 挡，欧姆中心为12； $\times 100$ 挡，欧姆中心为1200； $\times 1\text{ k}$ 挡，欧姆中心为12000； $\times 10\text{ k}$ 挡，欧姆中心为120000，则测量1.5 k电阻时应选用哪一档？测量15 k电阻时，应选用哪一档？

10.2 导线连接

10.2.1 实训目的

1. 掌握导线的剥削方法
2. 掌握导线的连接方法

10.2.2 实训原理

导线的连接是电工基本工艺之一。导线连接的质量关系着线路和设备运行的可靠性和安全程度。导线连接的具体方法及要求详见第4章。

10.2.3 实训内容

1. 单股绝缘铜芯线的直接连接

将两根长1.2 m，BV2.5 mm²的塑料铜芯线剥开其两端的绝缘层，用单股绝缘铜芯线的直接绞接法和扎线法将两头分别连接。

2. 单股绝缘铜芯线的T形分支连接

将两根长1.2 m，BV4 mm²的塑料铜芯线剥开其中一根线) 线连接在干线上。

将两根长1.2 m，BV4 mm²的塑料铜芯线剥开其中一根线)

线连接在干线上。

3. 7股绝缘铜芯线的直接连接

将7股绝缘铜芯线剪为等长的两段，剥开两根导线各一端的绝缘层，按直接连接法将两头连接。

将两根7股绝缘铜芯线剥开其中一根

绝缘层，按7股绝缘铜芯线的T形分支接头连接方法，将支线连接在干线上。

4. 恢复上述实训内容中的导线连接处的绝缘

10.2.4 实训设备

1. 剥线钳、钢丝钳、电工刀
2. 黄蜡带、涤纶薄膜带和黑胶带
3. 塑料铜芯线

10.2.5 实训报告

总结实训体会，具体说明各实训内容的技术要领。

10.3 三相异步电动机顺序控制

10.3.1 实训目的

1. 研究电动机顺序控制环节的电路原理
2. 连接顺序控制的应用电路，操作并观察对两台电动机进行顺序控制的工作过程

10.3.2 实训原理

1. 顺序控制环节

在实际生产中，对异步电动机的控制有很多要求，除自锁、联锁、时间等环节的控制外，顺序控制环节就是其中重要的一项要求，例如，有时要求几台电动机配合工作或一台电动机有规律地完成多个动作，按照这些要求实现的控制称为顺序控制。

例如，在机床控制电路中，为保证主轴的正常工作，必须事先做好润滑准备，这就要求在主轴拖动电动机工作之前，事先起动油泵润滑电动机，油泵电动机不起动，主轴电动机就不能单独起动，并且要求只要主轴电动机不停止运转，油泵电动机就不能停转。当然，油泵电动机可以单独起动，而主轴电动机可以单独停车。

为实现上述顺序控制功能，可把控制油泵电动机工作的接触器的动合触点串接在主轴电动机接触器线圈电路中，只要油泵电动机接触器线圈不通电，其动合触点不闭合，主轴电动机接触器线圈就不可能通电起动，从而满足了油泵电动机先于主轴电动机起动的要求。另外，还要在油泵电动机控制电路的停止按钮两端并联上主轴电动机接触器的动断触点，这样就可以满足只有在主轴电动机停止运行的情况下，才能使油泵电动机停止运行的要求。

2. 实现两台电动机顺序控制的继电 - 接触器控制电路

满足上述主轴电动机和油泵电动机顺序控制的电路，如图 10.3.1 所示。图中接触器 KM_1

用来控制油泵电动机， KM_2 用来控制主轴电动机； SB_1 和 SB_3 分别为油泵电动机和主轴电动机的起动按钮； SB_2 和 SB_4 分别为油泵电动机和主轴电动机的停止按钮。

此电路的工作过程是：按下油泵电动机起动按钮 SB_1 ，控制它的接触器线圈 KM_1 得电，油泵电动机起动运行，它的辅助动合触点 KM_1 闭合，为主轴电动机接触线圈 KM_2 得电做好准备，按下主轴电动机的起动按钮 SB_3 ，主轴电动机接触器线圈 KM_2 得电，主轴电动机运转，机床可以工作。显然，如果在油泵电动机工作之前按 SB_3 ，主轴电动机是不能起动的，因为串联在 KM_2 线圈电路中的动合触点 KM_1 还没有闭合。

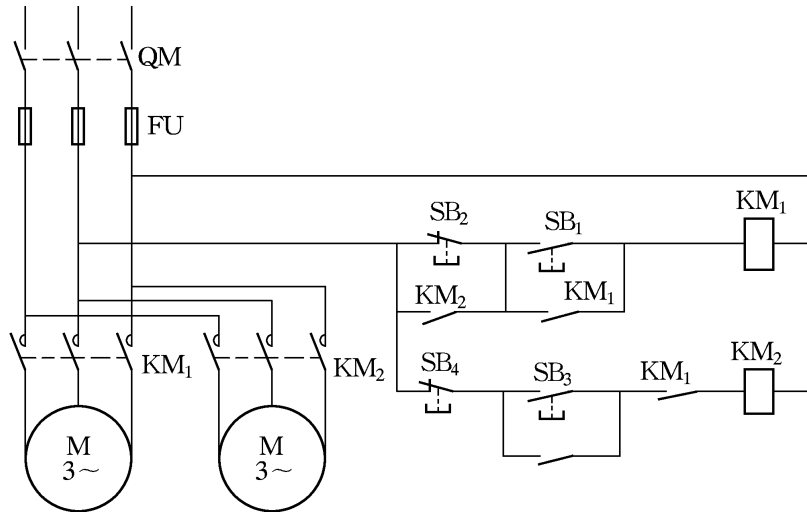


图 10.3.1 三相异步电动机顺序控制电路

停车时，只有先按 SB_4 ，使主轴电动机接触器线圈 KM_2 失电，主轴电动机停止运行，其动合触点 KM_2 断开，再按 SB_2 油泵电动机才能停止运行。在主轴电动机没有停转的情况下，按 SB_2 是不能使油泵电动机停止运行的，因为此时接触器 KM_2 线圈没有失电，和 SB_2 并联的动合触点 KM_2 是闭合的。

10.3.3 实训内容和步骤

分析电路图，弄清各元件的作用及动作顺序。

按图 10.3.1 接好电路

经查无误后，按顺序依次闭合漏电保护开关、自动空气开关、三相负荷开关，为电动机起动做好电源准备工作。

对连接好的控制电路进行顺序控制起动（1 后按 SB_3 ）（4 后按 SB_2 ）

不按顺序起动和顺序停车的要求进行起动和停车，（3 再按 SB_1 ，先按 SB_2 再按 SB_4 ）

控制电路工作完全正常后，将两台电动机与接触器下口接好，重复步骤 1、2 中的操作，观察两台电动机的动作过程是否与控制要求相符合。

10.3.4 实训设备

1. 三相异步电动机

2. 三相负荷开关
3. 交流接触器
4. 按钮开关

10.3.5 实训报告

绘制电路原理图。

10.3.6 思考题

有四台电动机，要求： M_1, M_2, M_3, M_4 按顺序启动； M_4 启动后， M_2 要停止运行，试画出控制电路并分析工作原理。

10.4 三相异步电动机 - 启动控制电路

10.4.1 实训目的

1. 了解时间继电器的作用及空气阻尼式时间继电器的结构、原理和使用方法
2. 掌握 - 启动的原理、继电 - 接触器控制电路的接线和操作

10.4.2 实训原理

1. - 变换启动

三相异步电动机启动时，旋转磁场以最大相对转速切割转子导体，在转子中产生的感应电动势很高，所以转子电流极大，反映到一次侧，定子电流可达额定电流的 4~7 倍，启动电流大会造成电网电压的波动，影响接在同一电网中的其他用电设备的正常工作，频繁启动的电动机会因启动电流的频繁冲击，使电动机发热，因此对于较大容量的电动机必须设法减小启动电流。 - 变换启动就是一种常用的启动方法， - 变换启动只适用于电动机正常运行时为三角形联结的电动机。启动时，将电动机绕组先进行星形

$\frac{1}{3}$ ，而作三角形联结时，如图 10.4.1

时相电流与所加电压成正比，故 联结时的相电流 I 与 联结时的相电流 I 之比为

$$\frac{I}{I} = \frac{\frac{1}{3}U}{U} = \frac{1}{3}$$

设 I_L 和 I_L 分别为 联结和 联结时的线电流，则根据线电流与相电流的关系有

$$I_L = I, I = 3I_L$$

因此有

$$\frac{I_L}{I_L} = \frac{1}{3} \frac{I}{I} = \frac{1}{3} \frac{1}{3} = \frac{1}{3}$$

上式说明，当定子绕组接成星形启动时，电网电流只等于接成三角形的 $\frac{1}{3}$ ，即减小了启动电流。由于电磁转矩是与电压的平方成正比的，采用 $\frac{1}{3}$ 启动，相当于降低电压到正常值的 $\frac{1}{3}$ ，故启动转矩也减至 联结的 $\frac{1}{3}$ 。

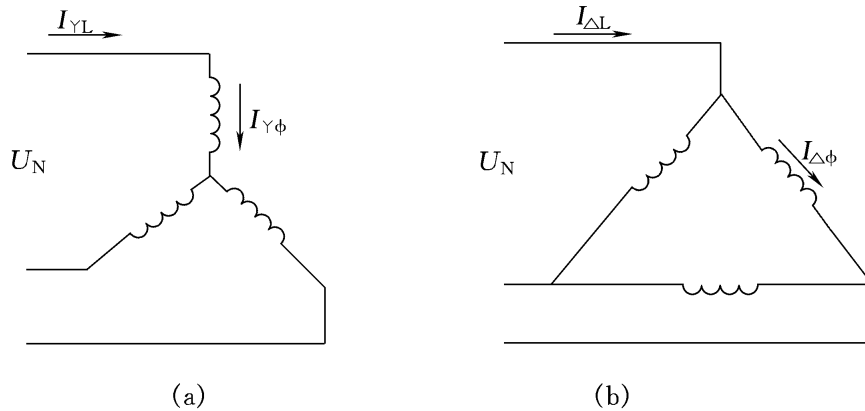


图 10.4.1 - 启动时的电流关系图

2. $\frac{1}{3}$ 启动的控制电路

$\frac{1}{3}$ 启动控制电路应具有如下功能：电路中具有短路、过载保护；按下按钮后，控制电路先将电动机接成 $\frac{1}{3}$ 联结，电动机接近额定转速时，自动将电动机换接成 $\frac{1}{3}$ 联结；电动机启动后，时间继电器要与电路切断。具体电路如图 10.4.2 所示。

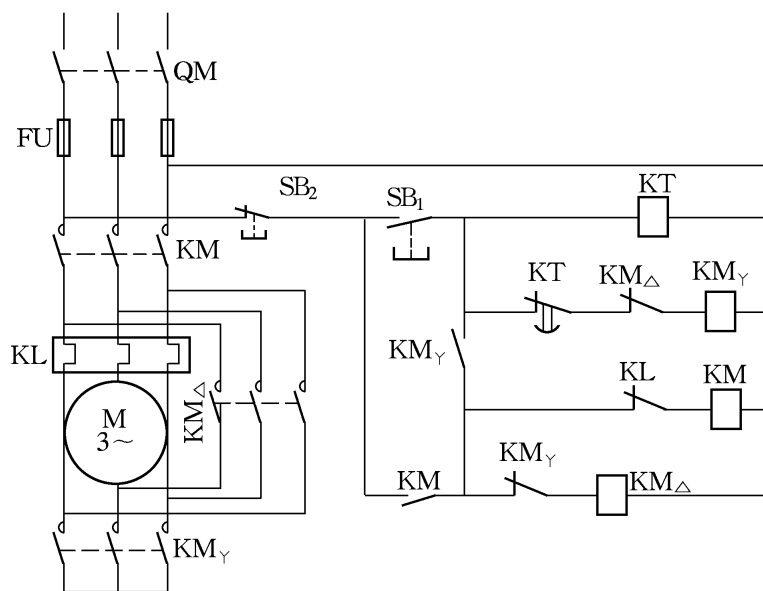


图 10.4.2 - 启动控制电路

主回路包括起短路保护作用的熔断器 FU、起过载保护的热继电器发热元件 KL，负荷开关 QM 闭合后向整个电路提供电源。如接触器动合触点 KM_{Δ} 断开，而动合触点 KM_Y 闭合，则三相定子绕组的三个末端接在一起，电动机接成星形；如接触器动合触点 KM_Y 断开， KM_{Δ} 闭合，三相定子绕组接成三角形；在 KM_Y 或 KM_{Δ} 闭合情况下，若 KM_{Δ} 闭合，则电动机做 $\frac{1}{3}$ 联结启动或 $\frac{1}{3}$ 联结运转。

在控制电路里，第一条支路中有时间继电器的线圈 KT，当其通电时，动断触点将延时断

开，当按下起动按钮 SB₁ 时，时间继电器线圈 KT 和接触器线圈同时得电，KM 的动合触点闭合，电动机接成星形，并使接触器 KM 线圈得电，电动机做星形联结起动。为防止此时 KM 线圈得电，造成电源短路故障，在 KM 线圈电路中串有 KM 接触器的动断触点，当 KM 动合触点闭合时，KM 动断触点是断开的。经过预先调定的延时后，时间继电器动断触点 KT 断开，切断线圈 KM 的电路，因 KM 失电，它的动断触点闭合，使接触器 KM 线圈得电，电动机做三角形联结，并在全压下运转，实现了 - 自动换接的降压起动。KM 线圈得电后，它的动断触点断开，切断了时间继电器线圈电路，使时间继电器停止工作。按下停止按钮 SB₂，线圈 KM 失电，主触点及自锁触点断开，电动机停车。

10.4.3 实训内容及步骤

弄清电动机的接线方法和电路图中各接触器、继电器的动作顺序。

按图 10.4.2 接线，可先接主回路，但接触器 KM 的主触点下部电路暂不连接，然后连接控制电路。

检查控制电路接线是否正确，按顺序依次接通漏电保护开关、空气自动开关及三相负荷开关 QM。

操作起动按钮，观察各接触器、继电器的动作顺序是否正确，如出现故障，拉开 QM 开关，检查排出。

调整时间继电器的延时时间，重新操作，观察延时的作用及变化。

将 KM 接触器动合主触点的下口电路接好。按下起动按钮 SB₁，进行 - 起动，根据电动机起动所用时间，将时间继电器的定时调整合适，并记下调定时间。

10.4.4 实训设备

1. 三相交流异步电动机
2. 时间继电器
3. 交流接触器
4. 中间继电器(代替接触器 KM)
5. 三相负荷开关
6. 按钮开关

10.4.5 实训报告要求

绘制电路原理图。

分析控制电路中各触点在电路中的功能。

总结在实训过程中发生过什么故障，怎样进行检查排除的。

10.4.6 思考题

在实训电路中，时间继电器的延时长短怎么样是合适的？延时过长或过短有什么问题？

参 考 文 献

- 1 秦曾煌主编．电工学．北京：高等教育出版社，1996
- 2 李春茂，付植桐主编．电工技术原理及应用．北京：中国建材工业出版社，1999
- 3 秦曾煌主编．电工学简明教程．北京：高等教育出版社，2001
- 4 林平勇，高嵩主编．电工电子技术（少学时）．北京：高等教育出版社，2000
- 5 陈小虎主编．电工电子技术（多学时）．北京：高等教育出版社，2000
- 6 易沅屏主编．电工学．北京：高等教育出版社，1993
- 7 康巨珍主编．电工技术基础教程．天津：南开大学出版社，2000
- 8 石生主编．电路基本分析．北京：高等教育出版社，2000
- 9 付植桐主编．电工技术．北京：清华大学出版社，2001
- 10 张南主编．电工学（少学时）．北京：高等教育出版社，1996
- 11 顾永杰主编．电工电子技术实训教程．上海：上海交通大学出版社，1999
- 12 顾永杰主编．电路电工技术实验与实训教程．上海：上海交通大学出版社，2001
- 13 陆国和主编．电工实验与实训．北京：高等教育出版社，2001
- 14 余雷声主编．电气控制与 PLC 应用．北京：机械工业出版社，2001
- 15 齐占伟主编．电气控制及维修．北京：机械工业出版社，2001
- 16 马应魁主编．电气控制技术实训指导．北京：化学工业出版社，2001
- 17 郑凤翼主编．维修电工实用读本．北京：人民邮电出版社，1998
- 18 劳动部培训司编．维修电工生产实习．北京：中国劳动出版社，1998
- 19 齐占庆主编．机床电气控制技术．北京：机械工业出版社，1993