

目 录

前言

第一章 电气安全基本知识	1
第一节 电气安全的组织管理	1
一、管理机构	1
二、规章制度	1
三、安全检查	2
四、安全教育	3
五、安全资料	3
第二节 电气事故的分类与分析	4
一、触电事故基本统计法	4
二、触电事故的规律	10
第三节 电流对人体的危害	13
一、电流对人体的伤害	13
二、安全电压的确定	21
第二章 电气安全的基本规定	25
第一节 电压和安全距离	25
一、安全电压	25
二、安全距离	25
第二节 安全色和安全标志	27
一、安全色	27
二、安全标志	29
第三节 电线电缆的识别标志	33
一、颜色标志	33
二、数字标志	33
第四节 电线布线色标的规定	35
一、电工成套装置中的导线颜色	35

二、依导线颜色标志电路	35
三、依电路选择导线颜色	36
第五节 指示灯的颜色	37
一、指示灯的颜色及含义	37
二、闪光信息	37
第六节 按钮的颜色和相对位置	38
一、按钮的颜色	38
二、按钮的相对位置	39
第七节 灯光按钮	39
一、灯光按钮类型	39
二、灯光按钮的颜色与含义	39
三、灯光按钮的信息作用	40
第八节 电机线端标志和旋转方向	41
一、电机线端标志的一般规定	41
二、交流电机的线端标志	41
三、直流电机的线端标志	41
四、电机的旋转方向	41
第九节 电器接线端子的识别与标志	42
一、标志方法	42
二、用字母数字标志端子的原则	42
第十节 电气设备安全规则	45
一、电气绝缘	45
二、设备运行	46
三、电能	46
四、开关、控制和调节装置	48
第十一节 外壳防护等级	49
一、代号	50
二、标志	52
三、一些电气设备的最低防护等级	52
第三章 安全用电装置	54
第一节 保护接地	54
一、接地的基本概念	54

二、保护接地的原理和应用范围	58
三、对高压窜入低压的防护	61
四、绝缘监测	64
第二节 保护接零	65
一、保护接零的原理	65
二、工作接地	68
三、重复接地	70
四、接零线路的要求	73
第三节 接地接零装置和接地接零应用	74
一、接地装置和接零装置	74
二、接地电阻值	82
三、接地接零应用	84
第四节 防雷保护	91
一、雷电的种类、危害和防雷分类	91
二、防雷装置	94
三、防雷措施	98
四、人身防雷	106
第五节 漏电保护装置	107
一、漏电保护装置的工作原理、分类和参数选择	107
二、电压型漏电保护装置	110
三、零序电流型漏电保护装置	111
四、中性点型漏电保护装置	112
五、漏电保护装置的选用	112
六、漏电保护装置的安装	115
七、漏电保护装置投入运行后的管理	117
第六节 静电保护	118
一、静电的产生	118
二、静电的危害	121
三、静电危害的预防	124
第七节 电磁场防护	127
一、电磁场对人体的伤害	127
二、影响伤害程度的因素	128

三、电磁场的安全标准参考值	129
四、电磁场的防护	130
第四章 预防性试验	133
第一节 绝缘材料的电气性能	133
一、介质电导和绝缘电阻率	133
二、相对介电常数	135
三、介质损耗和损耗角的正切	136
四、介质的击穿强度	137
第二节 绝缘电阻的测量	137
一、测量原理	137
二、绝缘电阻的测量步骤	138
三、注意事项	138
第三节 介质损耗测量	139
一、QS3 型西林电桥	139
二、QS1 型高压西林电桥	144
第四节 直流泄漏电流测量及直流耐压试验	149
一、直流泄漏电流测量的原理及特点	149
二、泄漏电流测量方法	149
三、试验的注意事项	154
四、异常现象分析	154
五、直流耐压试验	155
第五节 工频交流耐压试验	156
一、交流耐压的作用和目的	156
二、交流耐压试验方法	156
三、试验操作	166
四、试验的注意事项	167
第五章 安全用具与常用工具	168
第一节 绝缘安全用具	168
一、绝缘安全用具的分类	168
二、绝缘操作用具	169
三、绝缘防护用具	172
第二节 验电器	175

一、低压验电器	176
二、高压验电器	177
第三节 其他安全用具	180
一、携带型三相短路接地线	180
二、标示牌	182
三、隔离板和临时遮栏	183
四、安全帽	184
五、安全带和安全腰绳	186
六、登高用具	187
七、防御灼伤的安全用具	188
第四节 安全用具试验	189
一、试验要求	189
二、各类安全用具的试验	190
第五节 常用工具的使用注意事项	193
一、对使用安全用具的要求	193
二、各种安全用具使用注意事项	194
第六章 电气安全措施	197
第一节 电气安全工作的基本要求	197
一、电工作业人员必须具备的条件	197
二、停送电联系安全要求	198
三、临时线	198
四、电气事故处理	199
第二节 电气安全的组织措施	199
一、工作票制度	200
二、工作许可制度	204
三、工作监护制度	205
四、工作间断、转移和终结制度	207
第三节 电气安全的技术措施	208
一、停电	208
二、验电	209
三、装设接地线	210
四、悬挂标示牌和装设临时遮栏	212

第四节 各类设备的安全运行	213
一、单相设备的安全运行	213
二、电热设备的安全运行	220
三、直流电化学设备的安全运行	230
四、起重机电气设备的安全运行	231
第五节 带电作业安全	241
一、用绝缘操作杆工作	242
二、等电位工作	242
三、带电水冲洗	243
四、低压带电工作	244
第六节 触电急救	246
一、触电的形式和特点	246
二、触电急救	247
第七章 电气防火和防爆	253
第一节 防火和防爆的基础	253
一、燃烧和燃烧条件	253
二、爆炸	254
三、危险物品	254
四、危险场所分类	258
第二节 电气火灾和爆炸的原因	259
一、危险温度	260
二、电火花和电弧	262
第三节 防火和防爆措施	263
一、合理选用电气设备	263
二、合理选用保护装置	266
三、保持设备正常运行	266
四、保持防火间距	267
五、通风	269
六、接地	271
七、其他防火防爆措施	271
第四节 电气灭火常识	272
一、切断电源以防触电	272

二、带电灭火安全要求	273
三、充油设备和旋转电机的灭火要求	275
第八章 电气设备倒闸操作	277
第一节 倒闸操作的基本原则和要求	277
一、倒闸操作的基本原则	277
二、倒闸操作的基本要求	279
第二节 保证倒闸操作安全的措施	280
一、倒闸操作的基本出发点	280
二、倒闸操作的组织措施	281
三、倒闸操作的技术措施	281
第三节 断路器操作的安全技术	282
一、断路器的作用和分类	282
二、高压断路器的主要技术参数	283
三、断路器操作的安全技术	284
第四节 隔离开关的安全操作技术	286
一、隔离开关的作用	286
二、隔离开关的自然灭弧	286
三、隔离开关操作的基本要领	286
四、允许用隔离开关进行操作	287
第五节 变压器和电源的并列操作	287
一、变压器操作的一般原则	287
二、电源的并列操作	288
第六节 母线和电力线路的操作	290
一、母线的操作	290
二、电力线路操作	292
第七节 操作制度	294
一、操作票制度	294
二、操作监护制度	296
第八节 倒闸操作程序	297
一、倒闸操作的顺序	297
二、倒闸操作中注意事项	298
第九节 倒闸操作举例	300

一、变压器操作实例	306
二、线路的停送电操作举例	302
三、母线操作举例	303
第九章 发电机	306
第一节 概述	306
一、同步发电机的结构	306
二、同步发电机的感应电动势	307
三、发电机的铭牌	308
第二节 发电机的起动与检查	309
一、发电机开机前的检查	309
二、大修后机组的特性试验	311
三、发电机的起动、升压与并列	313
四、发电机的同期并列	315
五、发电机接带负荷及其调整	320
第三节 发电机的运行监视与检查	320
一、同步发电机的运行方式	320
二、运行中的发电机的维护和监视	324
第四节 发电机的励磁系统	330
一、直流励磁系统	331
二、他励交流励磁系统	332
三、无刷励磁系统	333
四、自励静止励磁系统	334
第五节 发电机的保护	334
一、发电机的纵联差动保护和横差保护	335
二、发电机定子绕组的接地保护	343
三、发电机转子回路的接地保护	345
四、发电机的失磁保护	348
五、发电机的负序过电流保护	349
六、发电机的过电流及过负载保护	349
第六节 继电保护的反事故措施	349
一、直流系统运行与继电保护	350
二、保护装置操作的基本顺序	350

第十章 变压器	352
第一节 概述	352
一、变压器的结构特征与用途	352
二、变压器的工作原理	353
三、变压器不能用于直流变压	355
四、不平衡电流对变压器的影响	356
第二节 变压器的运行与维护	356
一、变压器的运行方式	356
二、变压器的维护	364
第三节 变压器的故障处理	367
一、变压器的电路故障	368
二、变压器的磁路故障	368
三、变压器的异常现象及其原因与对策	369
四、变压器的其他要求	372
第四节 变压器的保护	376
一、变压器的过电流保护	376
二、变压器的差动保护	380
三、变压器的气体保护	382
四、变压器的过负荷保护	384
第五节 特种变压器	385
一、互感器	385
二、高压试验变压器	391
三、调压变压器	392
第十一章 高压电器及配电装置	393
第一节 断路器	393
一、高压断路器的选择	394
二、使用操作	394
三、运行与维护	398
第二节 隔离开关	406
一、使用和操作	407
二、运行与维修	408
第三节 熔断器	410

一、种类和选用	410
二、跌落式熔断器的安装和操作	411
三、常见故障与处理	412
第四节 负荷开关	413
一、负荷开关的使用	413
二、负荷开关的维护	414
第五节 高压配电装置	414
一、高压配电装置的选择	415
二、高压配电装置的操作	416
三、高压配电装置的运行和维护	417
第六节 联锁装置	420
一、机械联锁装置	420
二、电磁联锁装置	421
第七节 绝缘子	422
一、母线绝缘子的选择	423
二、高压瓷件的使用	423
三、高压穿墙套管的安装	424
四、拆接 35kV 以上高压断路器瓷套管上的引接线	424
五、绝缘子的运行与维护	424
第八节 变电所的主接线图	425
一、对变电所主接线图的要求	426
二、主接线图	426
三、配电所接线图	429
四、车间变电所接线图	430
第九节 高压配电电路的接线方式	430
一、放射式	430
二、树干式	431
三、环式	432
第十二章 低压电器及配电装置	433
第一节 低压电器安装和使用时的安全要求	433
一、低压电器的安全要求	433
二、安装和使用低压电器的一般原则	433

三、电器保护箱的安装注意事项	434
第二节 刀开关	435
一、刀开关的选用	435
二、刀开关安装注意事项	435
三、刀开关的运行与维修	436
四、负荷开关的选用及安装使用注意事项	436
五、组合开关的选用与维修	438
六、隔离开关操作注意事项	439
第三节 熔断器	440
一、熔断器选用	440
二、熔断器的使用与维修	442
第四节 断路器	445
一、断路器的选用	445
二、断路器的安装使用	447
三、断路器的运行和常见故障处理	449
第五节 漏电断路器	452
一、漏电断路器的选用	452
二、安装和接线方法	455
三、常见故障与排除	456
第六节 接触器	458
一、接触器的选用	458
二、安装接触器注意事项	458
三、运行与维修	459
第七节 热继电器	464
一、热继电器的选用	464
二、安装、调试及维护	465
三、常见故障与处理	466
第八节 电磁式控制继电器	468
一、选用	468
二、安装使用和维护	468
三、调试	469
第九节 起动器	470

第十四节 电源开关联锁	523
一、带分励脱扣器的断路器	523
二、电源开关联锁装置	524
第十三章 电动机	526
第一节 三相异步电动机	526
一、三相异步电动机的结构和原理	526
二、异步电动机的选择、起动和制动	527

三、异步电动机的操作运行与维护	532
四、电动机的安全使用	541
五、常见故障与处理	542
第二节 直流电动机	549
一、直流电动机的结构与基本原理	549
二、起动与制动操作	550
三、运行与维修	552
第三节 同步电动机	559
一、运行前的检查	560
二、起动操作	560
三、常见故障与处理	560
第四节 交流换向器电动机	562
一、运行与检查	562
二、常见故障与处理	563
第五节 电磁调速三相异步电动机	567
一、运行中的检查	567
二、常见故障与处理	568
第六节 防爆电动机	569
一、使用前的检查	569
二、运行与维修	570
三、常见故障与处理	570
第七节 制动异步电动机	572
一、运行与检查	572
二、常见故障与处理	572
第八节 潜水三相异步电动机	574
一、运行与维修	574
二、常见故障与处理	574
第九节 牵引电动机	576
一、电动机的起动和运行	576
二、常见故障与处理	577
第十四章 电气线路	579
第一节 10kV 线路的安装、运行及维护	579

一、10kV 架空线路的安装	579
二、10kV 线路的运行及维护	584
第二节 低压线路的安装、运行及维护	591
一、低压线路的安装	591
二、低压线路的运行及维护	596
第三节 电力电缆线路的安装、运行及维护	596
一、电力电缆的安装敷设	597
二、电力电缆的运行及维护	603
第四节 照明线路的安装、运行及维护	613
一、照明线路的安装	613
二、照明线路的运行及维护	620
第五节 线路保护	621
一、配电线路的短路	621
二、配电线路的过电流保护	625
第六节 降低线路损耗的措施	627
一、降低线路损耗的管理措施	628
二、降低线路损耗的技术措施	629
第七节 电气线路常见故障	630
一、架空线路常见故障	630
二、电缆线路常见故障	637
第十五章 电工仪表及其测量	644
第一节 测量仪表的一般知识	644
一、测量的概念	644
二、电气测量的方法与分类	644
三、电工仪表的介绍	645
第二节 电流和电压的测量	646
一、磁电系仪表	646
二、电磁系仪表	651
三、技术要求及安全运行	654
第三节 功率的测量	657
一、电动系仪表	657
二、功率的测量及安全注意事项	659

第四节 电能的测量	666
一、感应系电能表	666
二、电能的计量方式	667
三、电能的测量和安全注意事项	672
第五节 电阻的测量	674
一、直流电桥测量电阻的原理	674
二、直流电桥的使用方法	677
第六节 万用表、钳形表和兆欧表的使用	679
一、万用表	679
二、钳形表	682
三、兆欧表	683
第十六章 电气照明	686
第一节 电气照明的设计和计算	686
一、照明种类	686
二、照明方式	687
三、供电方式	687
四、一般照明线路的设计和计算	688
五、照明线路的一般要求	689
第二节 照明灯具的选择和安装	690
一、灯具的分类	690
二、灯具的选择和接线	690
三、安装照明灯具的注意事项	692
四、几种常用照明灯具的安装	693
第三节 导线的选择和安装	695
一、导线和敷设方式的选择	695
二、导线的安装要求	696
第四节 开关和插座的安装要求	699
一、照明开关的安装及使用要求	699
二、插座的安装及使用要求	700
三、多用插座使用时注意事项	701
四、接线注意事项	701
第五节 光电源的使用与维修	702

一、选择光电源的一般原则	702
二、白炽灯的使用与维修	702
三、荧光灯的使用与维修	704
四、高压汞灯的使用与维修	707
五、高压钠灯的使用注意事项	709
六、金属卤化物灯的使用注意事项	710
七、碘钨灯的使用注意事项	710
八、氙灯的使用与维修	711
九、行灯的使用注意事项	712
十、节日彩灯的使用注意事项	713
十一、霓虹灯的使用注意事项	713
十二、黑光灯的使用注意事项	714
十三、临时照明使用注意事项	714
第十七章 家用电器	716
第一节 家用电器的一般安全要求	716
一、概述	716
二、家用电器的接地要求	716
三、电视机、收录机等设备不接地	716
四、电冰箱、洗衣机、电风扇必须接地	717
五、接地时应注意的事项	717
六、安全用电的注意事项	718
第二节 电热毯	719
一、电热毯的安全要求	719
二、电热毯使用注意事项	720
三、电热毯的维修	721
第三节 电熨斗	722
一、电熨斗的使用与安全要求	723
二、全塑蒸汽电熨斗的维修	724
第四节 电冰箱	727
一、电冰箱的性能和贮存能力	727
二、电冰箱的分类	727
三、电冰箱的修理技术	730

第五节 洗衣机	734
一、洗衣机的分类	734
二、防触电保护	734
三、洗衣机的检修步骤和方法	735

第一章 电气安全基本知识

电在工农业生产和日常生活中越来越广泛地使用，它可直接作为动力开动各种机械；可转换为热能，用于熔炼、焊接、切割、干燥、金属热处理等；可转换为化学能，用于电解、电镀、电化学加工等；还可用于医疗、通信、测量、电子等各行各业以及家庭等。

由于电气设备和用电部门的迅速增加，安全用电管理的工作没有跟上，以致各类电气事故也大量增加。我国目前平均每人的用电量不到发达国家的 1/10，而触电死亡事故却是他们的数十倍。各厂矿企业安全生产检查中，查出的问题和隐患大部分是电气方面的。特别是触电事故往往在极短时间内造成严重后果，死亡率较高。因此，电气安全工作越来越显得重要，各级领导和有关人员尤其是电工作业人员，必须了解和掌握电气方面的安全基本知识。

第一节 电气安全的组织管理

一、管理机构

电工是个特殊工种，又是危险工种，而且分散在全厂各个部门，不安全因素较多。为确保安全，就必须加强电气的安全管理工作。为做好电气安全管理工作，必须从上到下建立一套完整的安全管理机构，安全技术部门应有专人负责电气安全管理工作。

二、规章制度

制定必要而合理的规章制度，是保证安全生产的有效措施之一。

应根据不同的电气工种，建立各种安全操作规程。例如，变电室值班安全操作规程、内外线维护检修安全操作规程、电气设

备维修安全操作规程、电气试验室安全操作规程、手持电动工具安全操作规程、电焊安全操作规程、电炉安全操作规程、起重机司机安全操作规程等。对于其它非电气工种的安全操作规程也不能忽视电气方面的内容。

应该根据环境的特点，建立相应的电气设备运行管理规程和电气设备安装规程，以保证电气设备始终在良好的、安全的状态下工作。

对于某些电气设备，应建立专人管理的责任制。对于开关设备、临时线路、临时设备等比较容易发生事故的装置，都应有专人管理的责任制。特别是临时线路和临时设备，最好能结合现场情况，明确规定安装要求、长度限制、使用期限等项目。

做好电气设备的维护检修工作，是保持电气设备正常运行的重要环节，对消除隐患、防止设备和人身事故也是非常重要的。为了保证检修工作的安全，特别是高压检修工作的安全，必须坚持必要的安全工作制度。如工作票制度、工作许可制度、工作监护制度、工作间断制度及工作终结和恢复送电制度等。

三、安全检查

安全检查可以及早发现问题并及时加以保护，是预防事故发生的有效措施。

定期的安全检查最好每季度进行一次，特别应该注意雨季前和雨季中的安全检查。

电气安全检查包括检查电气设备的绝缘有无损坏、绝缘电阻是否合格、设备裸露带电部分是否有防护、保护接零或保护接地是否正确与可靠、保护装置是否符合要求、手提灯和局部照明灯电压是否为安全电压或是否采取了其他安全措施、安全用具和电气灭火器材是否齐全、电气设备安装是否合格、安装位置是否合理、电气连接部分是否完好、规章制度是否健全等内容。

对于像变压器等重要的电气设备还要坚持巡视，并作必要的记录；对于新安装的设备，特别是自制设备的验收工作要坚持原则，一丝不苟；对于使用中的电气设备和各种接地装置，应定期

测定其接地电阻；对于安全用具、避雷器、变压器油及其他一些保护电器，也应定期检查、测定或进行耐压试验等。

四、安全教育

安全教育主要是为了使工作人员充分认识到安全用电的重要性，熟悉有关电的基本知识，掌握安全用电的基本方法，从而保证安全、有效地进行工作。

(1) 企业新职工上岗前必须进行厂级、车间级、班组级三级安全教育。对一般职工要求懂得电和安全用电的一般知识。

(2) 对使用电气设备的一般生产工人，除要懂得安全用电一般知识外，还应懂得有关的安全规程。

(3) 对于独立工作的电气工作人员，更应懂得电气装置在安装、使用、维护、检修过程中的安全要求，应该熟悉电气安全操作规程，学会电气灭火的方法，掌握触电急救的技能，并按国家法律和标准规定参加培训考核，取得特种作业资格证书。

(4) 新参加电气工作的人员，实习人员和临时参加劳动的人员（干部、临时工等），必须经过安全知识教育后，方可到现场参加指定的工作，但不得单独工作。

(5) 对外单位派来支援的电气工作人员，工作前应向他们介绍现场电气设备的接线情况和有关安全措施。

要做到上述各项要求，需要坚持群众性的、经常的、多样化的安全教育工作。如广播、电视、标语、培训班、现场会等都是可以采用的宣传教育方式；开展交流活动，推广各单位先进的安全组织措施和安全技术措施，是促进电气安全工作向前发展的好办法。

五、安全资料

安全资料是做好安全工作的重要依据。一些技术资料对于安全工作也是十分必要的，应注意收集和保存。

为了工作方便和便于检查，应建立高压系统图、低压布线图、全厂架空线路和电缆线路布置图等资料档案。

对重要设备应单独建立资料，每次检修和试验记录应作为资

料保存，以便查对。

设备事故和人身事故也应作为资料保存。

第二节 电气事故的分类与分析

一、触电事故基本统计法

(一) 触电事故统计分析的意义

(1) 通过触电事故统计分析，找出薄弱环节，发现不安全因素，及时提出改进措施。

(2) 对触电事故进行综合系统分析，可探索事故发生的规律，拟定安全工作的重点，有针对性地采取防范措施。

(3) 大量的系统的统计分析资料，是开展事故预测，改革传统安全管理办法，开展安全系统工程的基础。

(二) 触电事故的基本统计方法

统计工作是一项极其重要而严肃的工作，所提供的资料和数据必须是准确、及时、全面、系统。所以统计工作一定要按资料的收集、资料的整理、选用统计指标、进行统计分析、提出改进措施等五个步骤进行。

1. 资料收集 收集统计资料是统计工作的第一步，也是全部统计工作的基础。原始资料的来源有两个方面：一是经常性资料，包括工作记录和统计报表；二是特定时间的资料，包括现场调查和实验研究所得的资料。

(1) 经常性资料 包括工作记录和统计报表。

1) 工作记录 工作记录为日常工作的原始记录，它是安全生产的凭证，也是业务管理和科学研究的重要资料。如值班工作记录、工人的体格检查、安全检查记录、事故原始调查资料等都必须认真填写，注意积累和保存，并加以充分利用。

2) 统计报表 统计报表是定期取得系统而全面的统计资料的主要方式。统计报表按其报送的周期长短不同，可分为日报、月报、季报和年报等，统计报表格式应由劳动部门统一规定。

(2) 调查 调查是研究和解决实际问题的一项重要工作方

法，调查前必须进行周密而细致的设计，设计的内容大体包括明确调查目的、拟定调查项目、设计调查表格、选择调查对象、实施现场调查等五个方面。

1) 明确调查目的 每一次调查都应有明确的针对性，通过调查要收集什么资料，解决什么问题，目的必须十分明确。

2) 拟定调查项目 项目的提出要确切、具体。如事故发生的时间、地点、伤害人数、伤害部位和程度以及医疗部门对伤亡情况的报告；通过查看现场，了解并发现确定事故原因的痕迹和物证，对现场拍照并绘制现场图；了解事故发生前的生产任务、人员分工、操作方法、工艺、设备状况、安全措施等，要事故现场人员写出证明材料，有关人员写出旁证材料；索取有关生产、工艺、设备等规章制度；必要时，对事故发生、发展起主要作用的设备、物质、材料等作出技术鉴定或模拟试验。

3) 设计调查表格 调查表格一般由下列三部分组成：

——校核项目，包括被调查单位的名称、地址；被调查者姓名、地址等。这一项目主要是为了进行核实和复查时用。

调查项目，根据调查目的而确定的各项内容，是统计整理的原始资料。

——调查者项目，包括单位名称、调查者、调查日期等。这一项目主要是明确责任，如发现错项、漏项时可查询或补正。

4) 选择调查对象 调查对象根据调查目的和调查项目确定。

5) 实施现场调查 现场情况比较复杂，要根据实际情况修改原来设计的调查项目，以便更好地达到调查的目的。一般触电事故的调查均采用重点调查（非全面调查的一种），即根据触电事故的特点、性质和后果确定调查的重点和范围，并应立即进行事故的详细调查，注意保护现场。

2. 资料整理 收集得来的资料一般是分散的、零星的，必须根据调查目的将这些原始资料进行科学的综合整理，这个加工过程就是统计资料的整理。只有经过资料的整理，才能计算指标，进行统计分析。

资料整理的一般步骤是检查资料、分类、汇总和制图表等。

(1) 检查资料 对原始资料的完整性、准确性进行检查，填补缺漏，删去重复，纠正错误。

(2) 分类 把性质相同的合并，不同性质的分开，归并成若干类。通过对各类资料的特点、类与类之间的区别和关系的了解，揭示触电事故的规律。分类是对原始资料进行整理的基础，只有在同性质的条件下分类，才能得出正确的结果。

(3) 汇总 把确定了分类标志，分别汇集起来，得到每类的总和。

(4) 制图表 绘制图表是用数字或图形说明统计结果的一种形式，目的是便于分析、比较，使人一目了然。图表的种类和形式有如下数种。

1) 统计表 统计表的形式要简明易懂。每个表的上方应有一个扼要概括的表题，说明该表的内容、地点和时间；行与列均应有标目并注明单位；标目的排列应有一定的顺序；表内数字用阿拉伯数字填写，若某一格没有数字可用短线“—”填入，若某一项资料暂缺可用省略号“……”填入，数字的位数要上下对齐。

2) 统计图 图式要简明易懂，每图的下方应有一个扼要的图题，说明图的内容、地点和时间。图的纵轴、横轴均应有标目并注明单位。常用的统计图有：线图、直条图和百分圆图三种。

线图 常用来表示触电事故的变化过程。横轴通常表示时间，纵轴表示触电次数。例如，国内部分省市某年低压触电死亡 1395 人，按事故发生月份统计列入表 1-1，绘制成线图如图 1-1 所示。

表 1-1 低压触电事故按月份统计表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
人数	11	25	35	85	97	160	475	284	127	60	24	12

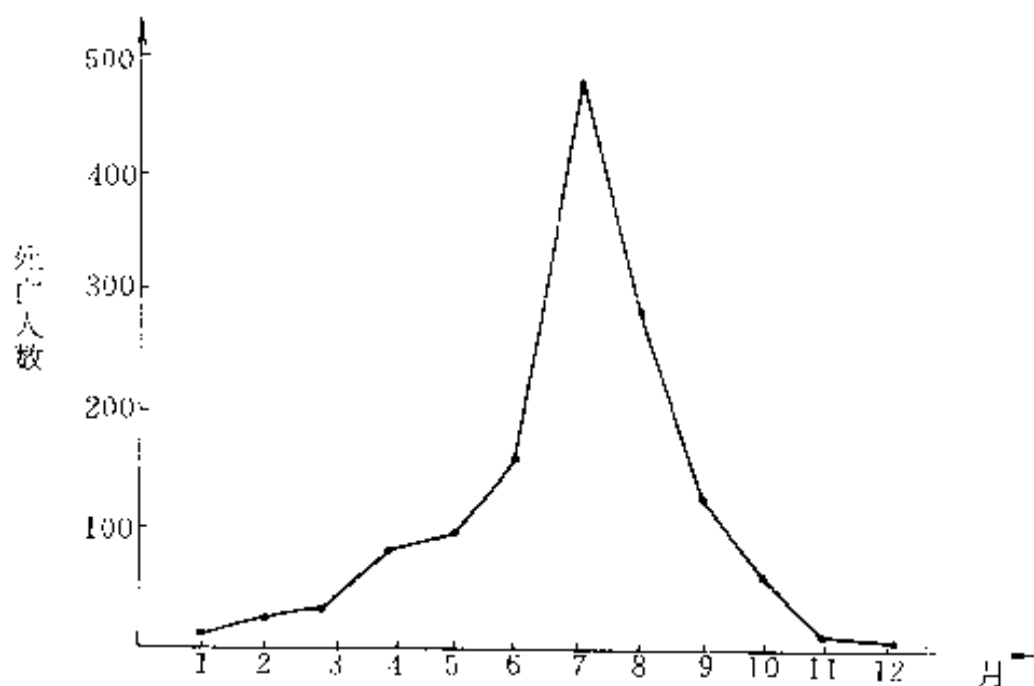


图 1-1 低压触电事故按月份统计

从图 1-1 曲线明显看出，6~9 月份低压触电死亡人数最高，这一规律告诉人们，在这一季节对低压触电问题要加强防范措施。

直条图 常用来表示按性质分类的资料。直条图是用直条的长短来代表数量大小的，各直条宽度及间隔距离相等。一般纵轴的尺度表示次数，横轴方向表示项目。例如，上例中低压触电死亡共 1395 人，按所发生线段的统计资料，列于表 1-2，绘制成直条图如图 1-2 所示。

从图 1-2 明显可见分支线路、动力线路及照明线路事故较多。

表 1-2 低压触电事故按发生线段的统计表

线 段	人 数	百分数 (%)	线 段	人 数	百分数 (%)
合 计	1395	100	照 明	261	18.7
总干线	18	1.3	其它用电设备	24	1.7
分支线路	713	51.1	其 它	55	4.0
动力线路	324	23.2			

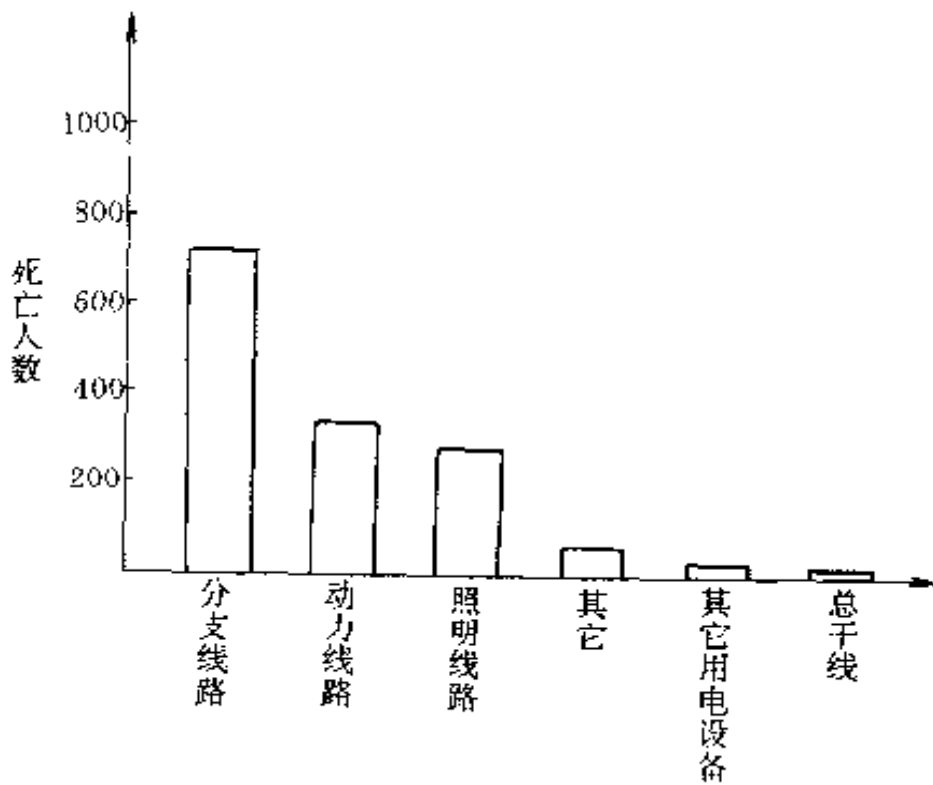


图 1-2 低压触电事故发生线段情况

百分圆图 常用来表示某整体内各部分的百分组成情况。一般以圆内各扇形面积大小表示数量的百分比，其总和为 100%，各扇形面积标明百分比，并用文字或图例加以说明。例如，某国统计资料中，因触电死亡于 200V~250V 的有 166 人，按电流流经人体的途径统计，列于表 1-3，绘成百分圆图如图 1-3 所示。

表 1-3 触电事故按电流流过人体的途径统计

电 流 途 径	人 数	百 分 数 (%)
合 计	166	100
手 臂 到 下 肢	128	77.1
头 部 到 身 躯 或 肢 体	5	3.0
浴 盆	20	12.1
其 它	7	4.2
未 知	6	3.6

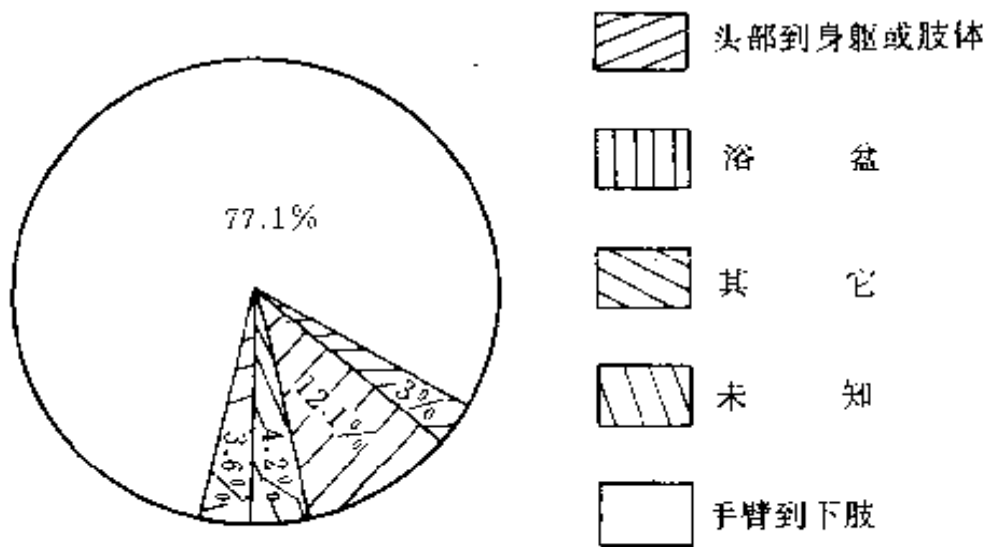


图 1-3 触电事故按电流途径分组构成情况

从图 1-3 可见，从手臂到下肢的触电事故最多，占全部事故的 77.1%，同时也说明电流经大地成回路的触电事故占绝大多数。

3. 触电事故的分析 触电事故的分析是统计分析工作的中心环节，只有通过分析才能找出事故的原因，进而提出防范措施。事故调查分析一般可按下列步骤进行。

(1) 事故原因分析 造成事故的原因往往不是单一的，大多数情况是由多种原因互相关联引起的，可先从直接原因入手，从而掌握事故的全部原因，再分清直接、间接及主要、次要原因。大致可从设备安全措施不完备、人的不安全行为、不良的环境条件和安全管理不善等四个方面考虑。

(2) 事故性质 根据调查资料和事故原因的分析，确定事故性质。如责任事故、非责任事故；工伤事故、非工伤事故；重大事故、非重大事故等。

(3) 事故责任分析 根据事故原因和各级安全生产责任制的规定，确定事故的主要责任者、次要责任者，谁负领导责任、谁负直接责任等。如属设计、施工、制造、安装、检修、工艺条件等有错误或缺陷而发生事故的，则属设计、施工、制造、安装、检修、工艺设计者的责任。管理制度不健全、劳动组织不合理等造

成事故的，则属领导责任等。

应当指出，对于比较复杂的电气事故，用简单的方法去分析，往往会发生困难，因为事故的原因往往是多方面的，有时甚至多种因素交织在一起，而难以说清。若采用逻辑关系图、因果关系图，甚至用安全系统工程的方法去分析，就显得方便、明了。

(4) 拟定措施 根据事故原因，对各不同的情况，提出切实可行的措施。

二、触电事故的规律

(一) 电气事故的种类

从劳动保护的角度来看，电气事故主要包括电流伤害事故、电磁场伤害事故、雷电事故、静电事故和某些电路故障。

1. 电流伤害事故 电流伤害事故即触电事故。一般是人体触及带电体所发生的事故，但在高压触电事故中，往往不是人体触及带电体，而是接近带电体至一定程度时，由于电介质被击穿放电而造成。

电流通过人体内部的触电叫做电击。由电流的热效应、化学效应和机械效应对人体的局部伤害叫做电伤。电伤也属于触电事故，但一般情况下电击比电伤严重。

2. 电磁场伤害事故 人体在电磁场作用下，吸收了辐射能量，会受到不同程度的伤害。

高频电磁场对人体的伤害主要是引起中枢神经系统功能失调，表现为神经衰弱症候群，如头痛、头晕、乏力、睡眠失调、记忆力减退等；高频电磁场对人体的心血管系统的正常工作也有一定影响。电磁场对人体的伤害主要是功能性改变，一般具有可恢复特征。

3. 雷电事故 雷击是一种自然灾害，雷击除了能毁坏建筑设施及引起人、畜伤亡外，在火灾和爆炸危险场所，还可能造成火灾和爆炸。

4. 静电事故 这里所说的静电事故是指生产过程中产生的有害静电酿成的事故。由于静电放电引起现场爆炸性混合物发生

5. 农村触电事故多 主要是由于农村用电设备简陋、人员技术水平低、管理不严所造成。

6. 冶金、矿业、建筑、机械行业触电事故多 主要是由于这些行业现场混乱、温度高、湿度大、移动式设备多、金属设备多等原因造成。

7. 青年、中年人以及非电工触电事故多 主要是由于这些人往往是主要操作者，对电气知识又不足的缘故。

8. 误操作事故多 主要是由于教育不够以及安全措施不完备所致。

掌握这些触电事故的规律，对于安全检查、考虑和实施安全措施等都有很大意义。不过上述触电事故的规律也不是一成不变的，在一定条件下，也会发生变化。如低压触电事故多于高压触电事故这一条，在一般情况下是成立的，但对于电工操作人员来说，往往有相反的情况，即高压触电事故多于低压触电事故。又如，据国外统计，由于低压系统推广应用了漏电保护装置，使得低压触电事故已大为减少，以致低压触电事故与高压触电事故的比例有了一定的变化。因此，应当在实践中不断分析和总结触电事故的规律，为做好电气安全工作不断地、及时地提供可靠的依据，减少触电事故的发生。

(三) 常见的电气设备触电事故

电气设备的种类很多，发生触电事故的情况是各种各样，这里只能把常见的、多发性的电气设备触电事故归纳为以下几方面加以介绍。

1. 配电设备 这类触电事故主要发生在高压设备上，事故的发生大都是在进行工作时，由于没有办理工作票、操作票和实行监护制度，没有切除电源就清扫绝缘子、检查隔离开关、检查油开关或拆除电气设备等而引起。

2. 架空线路 架空线发生的触电事故较多，情况也各不相同。例如，导线折断碰到人体；人体意外接触到绝缘已损伤的导线；上杆工作没有用腰带和脚扣，发生高空摔下；建筑工人在屋顶误触 220V 电线；通信线路上搭有 220V 电力线造成电信工人触电；吊车臂杆碰触架空线路而触电等。

3. 电缆 由于电缆绝缘受损或击穿、带电拆装移动电缆、电缆头发生击穿等原因而引起触电事故。

4. 闸刀开关 这类触电事故主要由于敞露的闸刀开关、电磁

启动器没有护壳、带电修理这类设备，这类设备外壳没有接地等引起的。

5. 配电盘 这类事故主要是电气设备制造和结构上有缺点，屏前屏后的带电部分容易碰触等原因。

6. 熔断器 这类事故主要是带电裸手更换熔体、修理熔断器等引起。

7. 照明设备 这方面触电事故往往发生在更换灯泡、修理灯头时：金属灯座、灯罩、护网意外带电；吊灯安装高度不够等。

8. 携带式照明灯（行灯）我国规定采用 36V、24V、12V 作为行灯的安全电压。如果将 110V 或 220V 使用在行灯上，尤其是在锅炉、金属筒、横烟道、房屋钢结构、盐栈、铸造工场使用高于安全电压的行灯，容易发生触电事故。

9. 电钻 主要是电钻的外壳没有接地，插头座没有接地端头，导线中没有专用一股接地（或接零）导线；其次是接线错误，把接地（或接零）线误接在火线上等引起触电事故。

10. 电焊设备 这类触电事故主要是电焊变压器反接产生高压或错接在高压电源上；电焊变压器外壳没有接地等原因造成。

11. 电炉 由于电阻炉进料时误触及热元件；电弧炉进线导电部分没有防护；带负荷拉断高压隔离开关等引起触电事故。

12. 未接地（或未接零）或接地（或接零）不良 电气设备的金属外壳，由于绝缘损伤而意外呈现电压，引起触电事故。

第三节 电流对人体的危害

一、电流对人体的伤害

电流通过人体时，对人体伤害的严重程度与通过人体的电流的大小、电流通过人体的持续时间、电流通过人体的途径、电流的频率以及人体状况等多种因素有关。而且各种因素之间，有着十分密切的关系。

（一）伤害程度与电流大小的关系

电流通过人体，人体会麻、痛等感觉，更严重者会引起颤

抖、痉挛、心脏停止跳动乃至死亡。通过人体的电流越大，人体的生理反应越明显，人的感觉越强烈。

对于工频交流电，按照通过人体电流大小的不同，以及人体所呈现的不同状态，可将电流划分为以下三级：

1. 感知电流 感知电流是人能感觉到的最小电流。实验资料表明，对不同的人，感知电流也不相同；成年男性平均感知电流约为 1.1mA；成年女性约为 0.7mA。

2. 摆脱电流 摆脱电流是人触电以后能自主摆脱电源的最大电流。实验资料表明，对于不同的人，摆脱电流也不相同；成年男性的平均摆脱电流约为 16mA；成年女性约为 10.5mA。成年男性的最小摆脱电流约为 9mA；成年女性的最小摆脱电流约为 6mA（最小摆脱电流是按 0.5% 的概率考虑的）。

3. 致命电流 致命电流是指在较短时间内危及生命的最小电流。在电流不超过数百毫安的情况下，电击致死的主要原因是电流引起心室颤动或窒息造成的。因此，可以认为引起心室颤动的电流即是致命电流。

心室颤动电流与通过时间有关，如通电时间超过心脏搏动周期时，心室颤动电流仅数十毫安（一般认为是 50mA 以上）。如通电时间小于心脏搏动周期，但超过 10ms，并发生在心脏搏动周期的特定时刻（即易激期）时，心室颤动电流在数百毫安以上。

工频电流经由手—躯干—手的途径，对人体产生作用时，成年男性的感觉情况，见表 1-4。

根据动物实验和统计分析得出的资料，见表 1-5。

表 1-4 工频电流对人体作用的实验资料 (mA)

感 觉 情 况	被试者百分数		
	5%	50%	95%
手表面有感觉	0.7	1.2	1.7
手表面有麻痺似的连续针刺感	1.0	2.0	3.0
手关节有连续针刺感	1.5	2.5	3.5

(续)

感 觉 情 况	被 试 者 百 分 数		
	5%	50%	95%
手有轻度颤动，关节有压迫感	2.0	3.2	4.4
前肢部有强力压迫的轻度痉挛	2.5	4.0	5.5
上部部有轻度痉挛	3.2	5.2	7.2
手伸直有痉挛，但能伸开，已感到有轻度疼痛	4.2	6.2	8.2
上部部、手有剧烈痉挛，失去感觉，手的前表面有连续针刺感	4.3	6.6	8.9
手的肌肉直到肩部全面痉挛，但还可能摆脱带电体	7.0	11.0	15.0

表 1-5 工频电流对人体作用的分析资料

电 流 范 围	电 流 /mA	通 电 时 间	人 的 生 理 反 应
O	0~0.5	连续通电	没有感觉
A ₁	0.5~5	连续通电	开始有感觉，手指手腕等处有痛感，没有痉挛，可以摆脱带电体
A ₂	5~30	数分钟以内	痉挛，不能摆脱带电体、呼吸困难、血压升高，是可以忍受的极限
A ₃	30~50	数秒到数分	心脏跳动不规则，昏迷，血压升高，强烈痉挛，时间过长即引起心室颤动
B ₁	50~数百	低于心脏搏动周期	受强烈冲击，但未发生心室颤动
		超过心脏搏动周期	昏迷，心室颤动，接触部位留有电流通过的痕迹
B ₂	超过数百	低于心脏搏动周期	在心脏搏动特定的部位触电时，发生心室颤动，昏迷，接触部位留有电流通过的痕迹
		超过心脏搏动周期	心脏停止跳动、昏迷，可能出现致命的电灼伤

表中O是没有感觉的范围； A_1 、 A_2 、 A_3 是一般不引起心室颤动、不致产生严重后果的范围； B_1 、 B_2 是容易产生严重后果的范围。

因为心室颤动电流是致命电流，不允许在人体上作这样大的电流实验，故表1-5中的资料是根据动物实验综合分析而得出的。有人认为，不能用简单的数学分析确定人的心室颤动电流，而必须考虑心脏搏动周期的影响，即通电时间长短的影响。因此，国际电工委员会(IEC)建议按图1-4确定电流对人体的作用。图中，a 以左的 I 区是没有感觉的区域，a 是有感觉的起点；a 和 b 之间的 II 区是开始有感觉，但一般是没有病理伤害的区域；b 和 c 之间的 III 区是有感觉，但一般不会引起心室颤动的区域；c 和 d 之间的 IV 区是可能引起心室颤动的危险区域(可能性上升到 50%)；d 以右的 V 区是心室颤动危险性较大的区域(可能性超过 50%)。

图 1-4 比较明确地表示出心室颤动电流的界限，为设计和鉴定防止触电的安全装置提供了比较方便的依据。

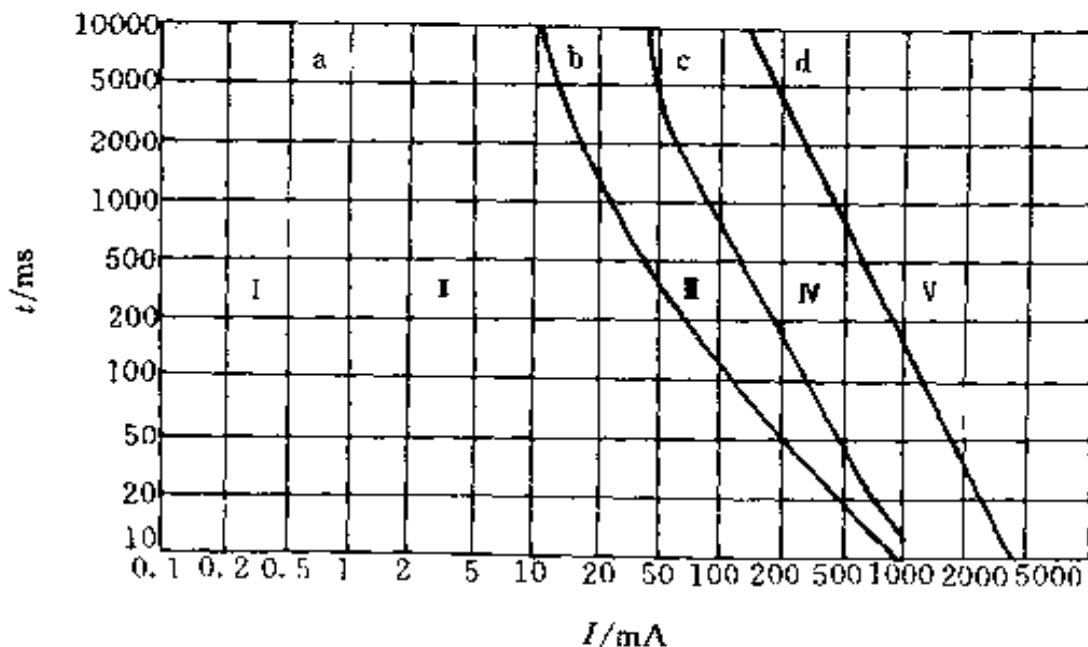


图 1-4 电流对人体的作用

(二) 伤害程度与通电时间的关系

通电时间越长，越容易引起心室颤动，电击危险性也越大。其原因是：

(1) 通电时间越长，能量的积累增加，引起心室颤动的电流减小。当通电时间在 0.01s~5s 范围内时，心室颤动电流和通电时间的关系可用下式表达，即

$$I = \frac{116}{\sqrt{t}}$$

式中 I ——引起心室颤动的电流 (mA)；

t ——通电时间 (s)。

心室颤动电流与时间的关系亦可用下式表达，即

当 $t \geq 1s$ 时， $I = 50mA$ ；

当 $t < 1s$ 时， $I = 50mA/t$ 。

(2) 通电时间短促时，只在心脏搏动的特定时刻才可能引起心室颤动。因此，通电时间越长，与该时刻重合的可能性越大，亦即电击的危险性也越大。

(3) 通电时间越长，人体电阻因出汗等原因而降低，导致通过人体的电流进一步增加，电击危险性亦随之增加。

(三) 伤害程度与电流途径的关系

(1) 电流通过心脏会引起心室颤动，促进心脏停止跳动，中断血液循环，导致死亡。

(2) 电流通过中枢神经或有关部位，会引起中枢神经严重失调而导致死亡。

(3) 电流通过脊髓，可导致半截肢体瘫痪。

(4) 从左手到胸部，电流途经心脏而且途径也最短，是最危险的电流途径；从手到手，电流也途经心脏，因此也是很危险的电流途径；从脚到脚的电流是危险性较小的电流途径，但可能因痉挛而摔倒，导致电流通过全身或摔伤、坠落等二次事故。

(四) 伤害程度与电流种类的关系

以上介绍的是工频电流对人体的伤害作用。直流电流、高频电流、冲击电流和静电电荷对人体的伤害程度，一般较工频电流为轻。以下着重介绍此四种电流对人体伤害的情况。

1. 直流电流对人体的作用 直流电的最小感知电流：男性约

为 5.2mA，女性约为 3.5mA；平均摆脱电流：男性约为 76mA，女性约为 51mA；可能引起心室颤动的电流：通电时间 0.03s 时约为 1300mA，通电时间 3s 时约为 500mA。

表 1-6 是直流电流沿手—躯干—手的途径通过人体（成年男性）的实验资料。

表 1-6 直流电流对人体作用的实验资料 (mA)

感 觉 情 况	被 试 者 百 分 数		
	5%	50%	95%
手表面及手指尖稍有连续针刺感	6	7	8
手表面发热，有剧烈连续针刺感，手关节有轻度压迫感	10	12	15
手关节及手表面有针刺似的强烈压迫感	18	21	25
前肢部有连续针刺感，手关节有压痛，手有刺痛，强烈的灼热感	25	27	30
手关节有强烈压痛，直到肩部有连续针刺感	30	32	35
手关节有剧烈压痛，手上似针刺般疼痛	30	35	40

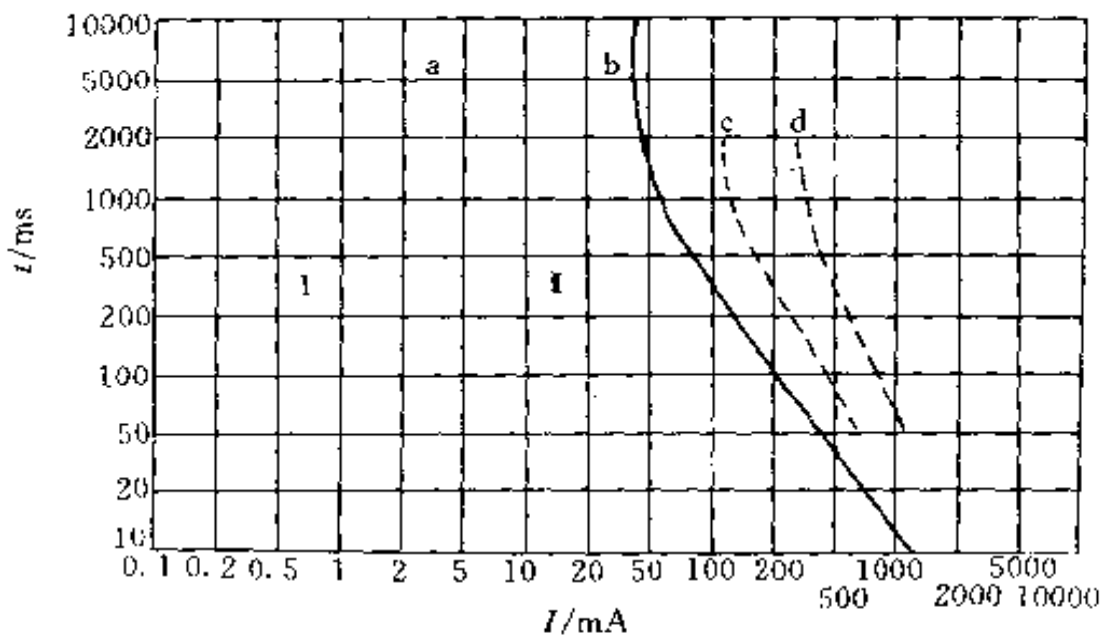


图 1-5 直流电流对人体作用区域划分图

考虑到电流通过时间的长短对人体所产生的影响，建议按图 1-5 确定直流电流对人体的危害作用。图中，a 以左的 I 区是没有

感觉的区域；a 和 b 之间的 II 区是开始有感觉，但一般没有病理伤害的区域；c 和 d 是根据对狗的实验导出的，可引起人的心室颤动的界限，其中，与 c 相对应的心室颤动的概率为 0.5%；与 d 相对应的为 50%。

2. 高频电流对

人体的作用 由于电流的频率不同，对人体的伤害程度也不同。25Hz~300Hz 交流电对人体的伤害最严重，1000Hz 以上时，其伤害程度将明显减轻，但是高压高频电流也有电击致命的危险。男性摆脱电流与电流频率的关系如图 1-6 所示。图中与曲线 1、2、3、4、5、6 和 7 相对应的摆脱概

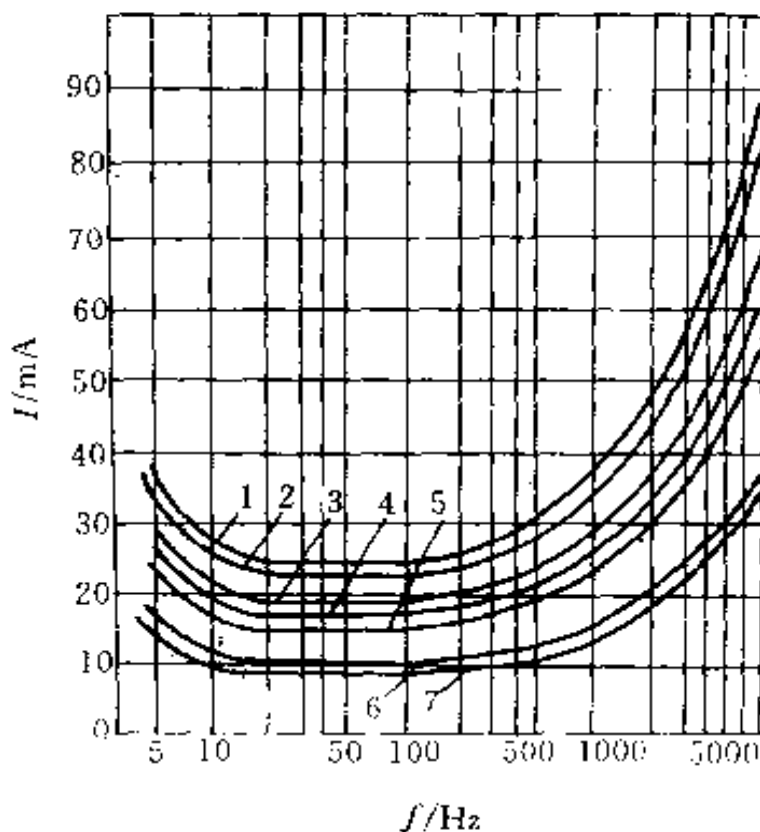


图 1-6 摆脱电流与频率的关系

率分别为 99.5%、99%、75%、50%、25%、1% 和 0.5%。女性摆脱电流与频率的关系，只要将图 1-6 中摆脱电流降低约 1/3 即可。

10000Hz 高频交流电，最小感知电流，对于男性约为 12mA，女性约为 8mA；平均摆脱电流，对于男性约为 75mA，女性约为 50mA；可能引起心室颤动的电流，通电时间 0.03s 时约为 1100mA，通电时间 3s 时约为 500mA。

3. 冲击电流和静电电荷对人体的伤害 雷电和静电都能产生冲击电流，冲击电流能引起强烈的肌肉收缩，给人以冲击的感觉，使人有冲击感觉的最小电流为数十毫安以上。10μs~100μs 的

冲击电流其电流值接近 100mA 时，但也不一定引起心室颤动而使人毙命。

静电电荷对人体的伤害与静电能量有关，亦即与带电体的电容和电压有关。如系电容器放电，当电容器的电容为 740pF 时，电压与电击程度的关系见表 1-7。

表 1-7 静电电荷对人体的作用

电压/kV	能量/mJ	电击程度	电压/kV	能量/mJ	电击程度
1	0.37	没有感觉	15	83.2	轻微痉挛
2	1.48	稍有感觉	20	148	轻微痉挛
5	9.25	刺痛	25	232	中等痉挛
10	37	剧烈刺痛			

通常认为，当人体电阻为 1000Ω 时，冲击电流引起心室颤动的界限为 27W·s。当人体电阻为 500Ω 时，引起心室颤动的冲击电流与时间的关系如图 1-7 所示。

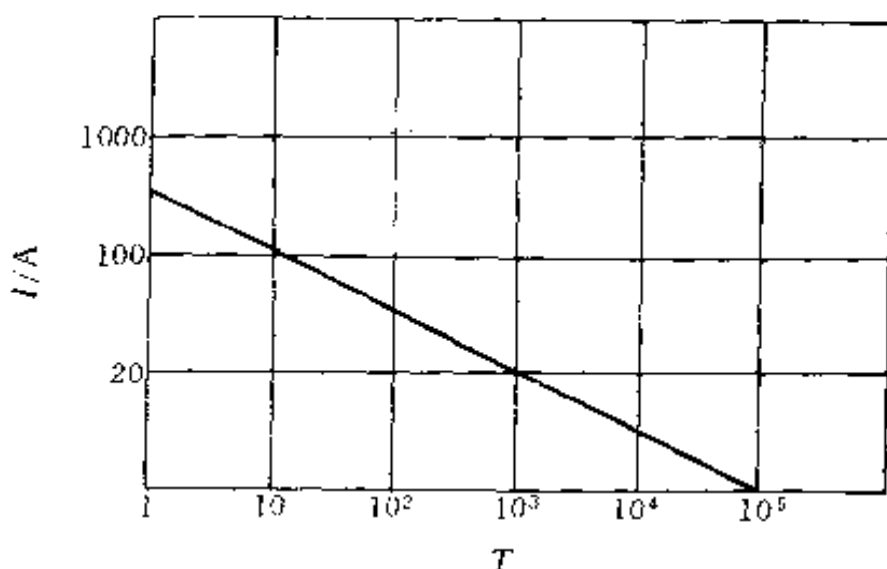


图 1-7 冲击电流的危险界限

(五) 伤害程度与人体状况的关系

随着人体条件的不同，不同的人对电流的敏感程度，以及不同的人在遭受同样电流的电击时其危险程度都不完全相同。

女性对电流较男性敏感，女性的感知电流和摆脱电流约比男性低 1/3。

小孩的摆脱电流较低，遭受电击时比成人危险。

人体患有心脏病症时，受电击伤害比健壮人严重。

二、安全电压的确定

安全电压是制定安全措施的依据，安全电压决定于人体允许的电流和人体电阻。

(一) 人体允许电流

在摆脱电流范围内，人触电以后能自主摆脱带电体，解除触电危险。一般情况下，可以把摆脱电流看作是允许电流。在装有防止触电的速断保护装置的场合，人体允许电流可按 30mA 考虑。在空中、水面等可能因电击造成严重二次事故的场合，人体允许电流应按不引起强烈痉挛的 5mA 考虑。

应当说明，这里所指的人体允许电流，并不是人体长时间能够承受的电流。

(二) 人体电阻

通常所指的人体电阻，实际上并不是纯电阻。人体电阻主要由体内电阻、皮肤电阻和皮肤电容组成。而皮肤电容很小，可以忽略不计。

体内电阻基本上不受外界因素的影响，其数值约为 500Ω。

皮肤电阻随着条件的不同，可在很大范围内变化，使得人体电阻也在很大的范围内变化。皮肤表面 0.05~0.2mm 厚的角质层，其电阻可高达 10kΩ~100kΩ，但角质层不是一张完整的薄膜，而且很容易遭到破坏，故在计算人体电阻时，不宜将角质层考虑在内。除去角质层，人体电阻一般不低于 1000Ω。

不同条件下的人体电阻可按表 1-8 考虑。一般情况下，人体电阻可按 1000Ω~2000Ω 考虑。

影响人体电阻的因素很多，诸如：

(1) 皮肤角质层的厚薄：凡是角质层薄的皮肤电阻小；角质层厚的皮肤电阻就较大。

表 1-8 不同条件下的人体电阻 (Ω)

接触电压/V	人 体 电 阻			
	皮肤干燥 ^①	皮肤潮湿 ^②	皮肤湿润 ^③	皮肤浸入水中 ^④
10	7000	3500	1200	600
25	5000	2500	1000	500
50	4000	2000	875	440
100	3000	1500	770	375
220	1500	1000	650	325

- ① 干燥场所的皮肤，电流途径为单手至双足。
- ② 潮湿场所的皮肤，电流途径为单手至双足。
- ③ 有水蒸气等特别潮湿场所的皮肤，电流途径为双手至双足。
- ④ 游泳池或浴池中的情况，基本上为体内电阻。

(2) 皮肤潮湿、多汗、有损伤、带有导电粉尘等，都会降低人体电阻。

(3) 接触面积加大，接触压力增加，也会降低人体电阻。

(4) 通过的电流增大、通电的时间加长，会使人体增加发热出汗，从而也会降低人体的电阻。

(5) 接触电压增高，会击穿人体的角质层，并增强机体电解，从而使人体电阻降低等。

在考虑皮肤干、湿对人体电阻的影响下，人体电阻和接触电压的关系，如图 1-8 所示，图中，曲线 a 是人体电阻的上限，曲线 c 是人体电阻的下限，曲线 b 是人体

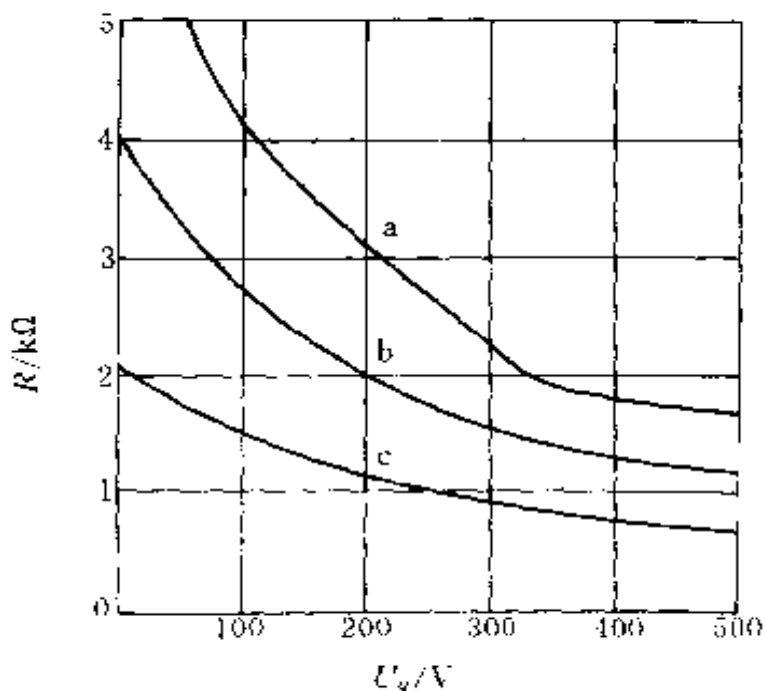


图 1-8 人体电阻和接触电压的关系

电阻的平均值。a 和 b 之间相应于干燥的皮肤；b 和 c 之间相应于潮湿的皮肤。

(三) 安全电压值

我国安全电压值过去多采用 36V 和 12V，83 年我国已正式颁布 GB3805—83《安全电压标准》。为有力贯彻执行这一《标准》，下面就有关内容作一介绍。

1. 安全电压的定义 为了防止触电事故而采用的由特定电源供电的电压系列。这个电压系列的上限值，在正常和故障情况下，任何两导体间或任一导体与地之间均不得超过交流（50Hz～500Hz）有效值 50V。

(1) 除采用独立电源外，安全电压的供电电源的输入电路与输出电路必须实行电路上的隔离。

(2) 工作在安全电压下的电路，必须与其它电气系统和任何无关的可导电部分实行电气上的隔离。

2. 安全电压的等级及选用举例（见表 1-9）

表 1-9 安全电压的等级及选用举例

安全电压（交流有效值）		选 用 举 例
额定值/V	空载上限值/V	
42	50	在有触电危险的场所使用的手持式电动工具等
36	43	在矿井、多导电粉尘等场所使用的行灯等
24	29	可供某些人体可能偶然触及的带电体的设备选用
12	15	
6	8	

3. 几点说明 在这里对《安全电压标准》做几点说明：

(1) 该《标准》不适用于水下等特殊场所，也不适用于有带电部分能伸入人体的医疗设备。

(4)《标准》只规定交流电的安全电压，而直流电的安全电压待以后补充制订。

由于改革和对外开放，不断引进国外先进设备，这里也简要介绍一下国际电工委员会有关安全电压的规定。国际电工委员会曾规定接触电压的限定值为 50V 和 25V。该规定是以人体允许电流与人体电阻的乘积为依据的。50V 一级大体相应于人体允许电流 30mA、人体电阻 1700Ω 的情况，即相应于危险环境的安全电压。25V 一级大体相应于人体允许电流 30mA、人体电阻 650Ω 的情况，即相应于特殊环境的安全电压。此后，则又取消 25V 一级，并规定 25V 以下者不需要考虑其它防止电击的措施。此外，有的国家还规定有 25V 一级安全电压，这一级大体相应于人体允许电流 5mA、人体电阻 500Ω 的情况，即相应于大部浸入水中，且如果不能摆脱带电体或强烈痉挛即可招致致命的二次事故。



第二章 电气安全的基本规定

电在工业和日常生活中应用极为广泛，在工矿企业和家庭中都有品种繁多的电气设备。为保证电气设备和人身安全，必须认真贯彻国家有关规定，以免使人体受到伤害，财产受到损失。

第一节 电压和安全距离

一、安全电压

交流工频安全电压的上限值，在任何情况下，两导体间或任一导体与地之间都不得超过 50V。我国的安全电压的额定值为 42, 36, 24, 12, 6V。如手提照明灯、危险环境的携带式电动工具，应采用 36V 安全电压；金属容器内、隧道内、矿井内等工作场合、狭窄、行动不便及周围有大面积接地导体的环境，应采用 24 或 12V 安全电压，以防止因触电而造成的人身伤害。

二、安全距离

为了保证电气工作人员在电气设备运行操作、维护检修时不致误碰带电体，规定了工作人员离带电体的安全距离；为了保证电气设备在正常运行时不会出现击穿短路事故，规定了带电体离附近接地物体和不同相带电体之间的最小距离。安全距离主要有以下几方面：

(一) 设备带电部分到接地部分和设备不同相部分之间的距离（见表 2-1）

(二) 设备带电部分到各种遮栏间的安全距离（见表 2-2）

(三) 无遮栏裸导体到地面间的安全距离（见表 2-3）

(四) 电气工作人员在设备维修时与设备带电部分间的安全距离（见表 2-4）

(五) 安全距离的其他规定



表 2-1 各种不同电压等级的安全距离

设备额定电压/kV		1~3	6	10	35	60	110 ^①	220 ^①	330 ^①	500 ^①
带电部分到接地部分/mm	屋内	75	100	125	300	550	850	1800	2600	3800
	屋外	200	200	200	400	650	900	1800	2600	3800
不相同带电部分之间	屋内	75	100	125	300	550	900	—	—	—
	屋外	200	200	200	400	650	1000	2000	2800	4200

① 中性点直接接地系统。

表 2-2 设备带电部分到各种遮栏间的安全距离

设备额定电压/kV		1~3	6	10	35	60	110 ^①	220 ^①	330 ^①	500 ^①
带电部分到遮栏/mm	屋内	825	850	875	1050	1300	1600	—	—	—
	屋外	950	950	950	1150	1359	1650	2550	3350	4500
带电部分到网状遮栏/mm	屋内	175	200	225	400	650	950	—	—	—
	屋外	300	300	300	500	700	1000	1900	2700	5000
带电部分到板状遮栏/mm	屋内	105	130	155	330	580	880	—	—	—

① 中性点直接接地系统。

表 2-3 无遮栏裸导体到地面间的安全距离

设备额定电压/kV		1~3	6	10	35	60	110 ^①	220 ^①	330 ^①	500 ^①
无遮栏裸导体到地面间距离/mm	屋内	2375	2400	2425	2600	2850	3150	—	—	—
	屋外	2700	2700	2700	2900	3100	3400	4300	5100	7500

① 中性点直接接地系统。

表 2-4 工作人员与带电设备间的安全距离

设备额定电压/kV	10 及以下	20~35	44	60	110	220	330
设备不停电时的安全距离/mm	700	1000	1200	1500	1500	3000	4000
工作人员工作时正常活动范围与带电设备的安全距离/mm	350	600	900	1500	1500	3000	4000
带电作业时人体与带电体间的安全距离/mm	400	600	600	700	1000	1800	2600

(1) 电气设备的套管和绝缘子的最低绝缘部位对地距离，通常应不小于 2500mm。

(2) 围栏向上延伸，在屋内距地面 2300mm 处，在屋外距地面 2500mm 处，与围栏上方带电部分的距离，应不小于表 2-1 中规定的数值。

(3) 设备在运输时，外廓到无遮栏裸导体的距离，应不小于表 2-4 中规定的数值。

(4) 不同时停电检修的无遮栏导体间的垂直交叉距离，应不小于表 2-4 中规定的数值。

(5) 带电部分到建筑物和围墙顶部的距离，见表 2-5。

表 2-5 带电部分到建筑物和围墙顶部的安全距离

额定电压/kV	10 及以下	35	60	110 ^①	220 ^①	330 ^①
安全距离/mm	2200	2400	2600	3000	3800	4600

① 中性点直接接地系统。

(6) 屋内出线套管到屋外通道路面的距离：35kV 及以下为 4000mm，60kV 为 4500mm，110kV~220kV 为 5000mm。

(7) 海拔超过 1000m 时，表 2-3 中规定的数值应按每升高 100m 增大 1% 进行修正。对 35kV 及以下的而海拔低于 2000m 时，可不作修正。

第二节 安全色和安全标志

为了提醒人们对不安全因素引起注意，预防发生意外事故，需要在带电设备上悬挂各类不同颜色及不同图形的标志，可以使人们引起注意。

一、安全色

安全色是通过不同的颜色表示安全的不同信息，使人们能迅速、准确地分辨各种不同环境，预防事故发生。

安全色规定为红、蓝、黄、绿、黑五种颜色，其含义和用途见表 2-6。

表 2-6 安全色的意义和用途

颜 色	含 义	用 途
红色	禁止	禁止标志，禁止通行
	停止	停止信号，机器和车辆上紧急停止按钮及禁止触动的部位
	消防	消防器材及灭火
	信号灯	电路处于通电状态
蓝色	指令	指令标志
	强制执行	必须戴安全帽，必须戴绝缘手套，必须穿绝缘鞋（靴）
黄色	警告	警告标志，警戒标志，当心触电
	注意	注意安全，安全帽
绿色	提供信息	提示标志，起动按钮，已接地，在此工作
	安全	安全标志，安全信号旗
	通行	通行标志，从此上下
黑色	图形、文字	警告标志的几何图形，书写警告文字

为了提高安全色的辨别度，在安全色标上一般采用对比色。如红色、蓝色和绿色均用白色作对比色，黑色和白色互作对比色，黄色用黑色作对比色，也可使用红白相间、蓝白相间、黄黑相间条纹表示强化含义。

使用安全标志时，不能用有色金属的光源照明，照度不应低于设计时的规定值，并应防止耀眼。

为了便于识别，防止误操作，在变、配电系统中用母线涂色来分辨相位，一般规定黄色为 U (A) 相，绿色为 V (B) 相，红色为 W (C) 相。明敷的接地线涂以黑色。接地开关的操作手柄涂以黑、白相间的颜色，以引起人们注意。

在开关或刀开关的合闸位置上，应有红底白字的“合”字；分闸位置上，应有绿底白字的“分”字。

二、安全标志

安全标志由安全色、几何图形和图形符号组成，用来表达特定的安全信息。安全标志可以和文字说明的补充标志同时使用。

(一) 安全标志的分类

1. 禁止标志 禁止标志的含义是不准或制止人们的某些行为。

禁止标志的几何图形是带斜杠的圆环，圆环与斜杠相连用红色，背景用白色，图形符号用黑色绘画。

我国规定的禁止标志共有 28 个，即禁放易燃物、禁止吸烟、禁止通行、禁止烟火、禁止用水灭火、禁带火种、禁止起动、禁止跨越、禁止乘车、禁止攀登、修理时禁止转动、运转时禁止加油等。

2. 警告标志 警告标志的含义是警告人们可能发生的危险。

警告标志的几何图形是黑色的等边正三角形，背景用黄色，中间图形符号用黑色。

我国规定的警告标志共有 30 个，即注意安全、当心触电、当心爆炸、当心火灾、当心腐蚀、当心中毒、当心机械伤人、当心伤手、当心吊物、当心扎脚、当心落物、当心坠落、当心车辆、当心弧光、当心冒顶、当心瓦斯、当心塌方、当心坑洞、当心电离辐射、当心裂变物质、当心激光、当心微波、当心滑跌等。

“三角黑色闪电”警告标志，是为预防电击和迅速辨别那里装有电气元件而设的，对下列部件应贴有三角黑色闪电警告标志：

(1) 电柜和壁龛门或盖板上，如前后双开门电柜，前后门上均应贴标记。

(2) 接线盒的盖上应贴标记，穿线盒的盖板上不贴标记。

(3) 电柜内，在门打开后，仍有带交流 50V 以上电压的电器，在其绝缘挡板上应贴标记。

(4) 从外表上辨别不出哪里装着电器的外壳上，均应有标记。能从外表上一眼就看出是电器外壳，如按钮、控制面板等则不需要贴标记。

3. 命令标志 命令标志的含义是必须遵守。

命令标志的几何图形是圆形，背景用蓝色，图形符号及文字用白色。

命令标志共有 15 个，即必须戴安全帽、必须穿防护鞋、必须系安全带、必须戴防护眼镜、必须戴防毒面具、必须戴护听器、必须戴防护手套、必须穿防护服等。

4. 提示标志 提示标志的含义是示意目标的方向。

提示标志的几何图形是方形，背景用红、绿色，图形符号及文字用白色。

提示标志共有 13 个，一般提示标志用绿色背景的有 6 个：安全通道、太平门等。消防设备提示标志用红色背景的有 7 个：消防警铃、火警电话、地下消火栓、地上消火栓、消防水带、灭火器、消防水泵结合器等。

5. 补充标志 补充标志是对前述四种标志的补充说明，以防误解。

补充标志分为横写和竖写，横写的为长方形，写在标志下方，可以和标志连在一起，也可以分开；竖写的写在标志杆上部。

补充标志的颜色：竖写用白底黑字；横写的禁止标志用红底白字，用于警告标志的用白底黑字，用于指令标志的用蓝底白字。

(二) 安全标志的尺寸

安全标志的尺寸可按式(1)进行估算：

$$S \geq \frac{L^2}{2000}$$

式中 S ——安全标志几何图形的面积 (m^2)；

L ——最大观察距离 (m)。

安全标志的圆形直径最大不得超过 400mm，三角形的边长最大不得超过 650mm，长方形的边长最大不得超过 285mm，并要求圆环的边宽和斜杠的宽度为圆环外径的 8%，即 $0.08d$ ，斜杠与水平线为 45° 。

(三) 作业安全标志 (作业安全警告牌)

电气作业时应悬挂的标志牌式样和悬挂场所。

1. 标志牌式样 (见表 2-7)

表 2-7 标志牌式样

名 称	悬挂场所	式 样		
		尺寸/mm	颜 色	字 样
禁止合闸,有人工作!	一经合闸即可送电到施工设备的开关和刀闸操作把手上	200×100 和 80×50	白底	红字
禁止合闸,线路有人工作!	线路开关和刀闸把手上	200×100 和 80×50	红底	白字
在此工作!	室外和室内工作地点或施工设备上	250×250	绿底,中有直径210mm的白圆圈	黑字,写于白圆圈中
止步,高压危险!	施工地点附近带电设备的围栏上,室外工作地点的围栏上,禁止通过的过道上,高压试验地点,室外构架上,工作地点附近带电设备的横梁上	250×200	白底红边	黑字,有红色箭头
从此上下!	工作人员上下的铁架,梯子上	250×250	绿底,中有直径210mm白圆	黑字,写于白圆圈中
禁止攀登,高压危险!	工作人员上下的铁架附近可能上下的另外铁架上,运行中变压器的梯子上	250×200	白底红边	黑字
已接地!	已接地线的隔离开关操作把手上,看不到接地线的工作设备上	240×130 和 200×100	绿底	黑字

2. 标志牌的使用

(1) “禁止合闸，有人工作”和“禁止合闸，线路有人工作”的标志牌分别有两种情况，较大的标志牌挂在隔离开关操作把手上，较小的标志牌挂在电动操作把手上。

(2) 若线路上有人工作，必须在线路开关和刀闸操作把手上悬挂“禁止合闸，线路有人工作”的标志牌。标志牌的悬挂和拆除，应按调度员命令执行。

(3) 在室内高压设备上工作，应在工作地点两旁间隔和对面间隔的遮栏上和禁止通行的过道上悬挂“止步，高压危险！”标志牌。

(4) 在室外地面高压设备上工作，应在工作地点四周用绳子做好围栏，并在围栏上悬挂适当数量的“止步，高压危险！”标志牌，而标志牌应朝向围栏里面。

(5) 严禁工作人员在工作中移动或拆除遮栏。

(四) 安全标志的其他规定

(1) 安全标志都应自带衬底色，采用与安全标志相应的对比色。衬底的边宽最小为 2mm，最大为 10mm。

(2) 有触电危险的场所，标志牌应使用绝缘材料来制做。

(3) 标志杆的条纹颜色应与安全标志相一致。

(4) 安全标志应放置在醒目、与安全有关的地方，并使人们看到后有足够的时间来注意它表示的内容。安全标志不宜设在门、窗、架等可移动的物体上，防止这些物体移动后看不见标志。

(5) 安全标志应用坚固耐用的材料制做，如金属板、塑料板、木板等，且无毛刺和洞孔，也可直接画在墙壁或机具上。

(6) 安全标志牌每年至少要检查一次，发现有变形、破损或图形符号脱落及变色不符合安全色的范围，应及时整修或更换。

(7) 装着电气元件的电柜、壁龛和任何地方，当从电柜、壁龛等外部不能辨别其中是否装有电气元件时，必须在门或盖板上装有黑边、黄底、黑字闪电符号的三角形标志。

第三节 电线电缆的识别标志

为了保证电线电缆的正确连接，便于安装和检修，必须作出容易识别的标志，以免引起安装事故。

一、颜色标志

(一) 颜色标志的一般规定

识别电线电缆用的标准颜色共有 12 种：即白、红、黑、黄、蓝（或浅蓝）、绿、橙、灰、棕、青绿、紫、粉红色。

电线电缆绝缘线芯在 5 芯以下时，通常采用颜色识别，5 芯以上者可以用颜色识别，也可以用数字表示。

(二) 接地线芯或类似保护目的线芯的识别

在电气设备中，接地或类似保护目的对安全非常重要，无论采用颜色标志或数字标志，电缆中的接地或类似保护目的用线芯，必然采用绿-黄组合颜色的标志，且绿-黄组合颜色标志不允许用于其他线芯。

绿-黄颜色的组合，其中任一种均不应少于 30%，不大于 70%，而整个长度上应保持一致。

对于多芯电缆，绿-黄组合线芯应放在缆芯的最外层，其他线芯应尽可能避免使用黄色或绿色作为识别颜色。

(三) 多芯电缆绝缘线芯的颜色

两芯电缆——红、浅蓝。

三芯电缆——红、黄、绿。

四芯电缆——红、黄、绿、浅蓝。

其中，红、黄、绿用于主线芯，浅蓝用于中性线芯。

在电缆或埋线电网中，三相四线（U、V、W、N）的进出线端部，也要缠上一条（黄、绿、红、浅蓝色）塑料带。

二、数字标志

(一) 数字标志的一般规定

(1) 电线电缆用数字识别时，载体应是同一种颜色，所有用于识别数字的颜色应相同；载体与标志颜色应有明显不同。

(2) 数字标志应清晰，字迹清楚，且擦拭后的标志仍应保持不变。

(二) 电力电缆绝缘线芯的数字识别

充油电缆、不滴流油浸纸绝缘电缆、粘性油浸绝缘电缆都采用数字识别，在特殊情况下，交联聚乙烯绝缘电缆、聚乙烯绝缘电缆、聚氯乙烯绝缘电缆、橡皮绝缘电缆也允许采用数字识别。

一般情况下，数字标志的颜色应用白色，其数字标志应符合以下规定：

两芯电缆——0、1。

三芯电缆——1、2、3。

四芯电缆——0、1、2、3。

其中，数字1、2、3用于主线芯，0用于中性线芯。

(三) 电气设备电线电缆绝缘线芯的数字识别

线芯的绝缘应是同种颜色，数字应采用阿拉伯数字，印刷在绝缘线芯表面上。所有识别数字应颜色相同，与绝缘颜色一定要有明显的不同。数字编号应从内层到外层，从1号开始，各层都按顺时针方向排列。数字标志应沿绝缘线芯以相同的间隔重复出现，相同两个完整的数字应彼此颠倒。

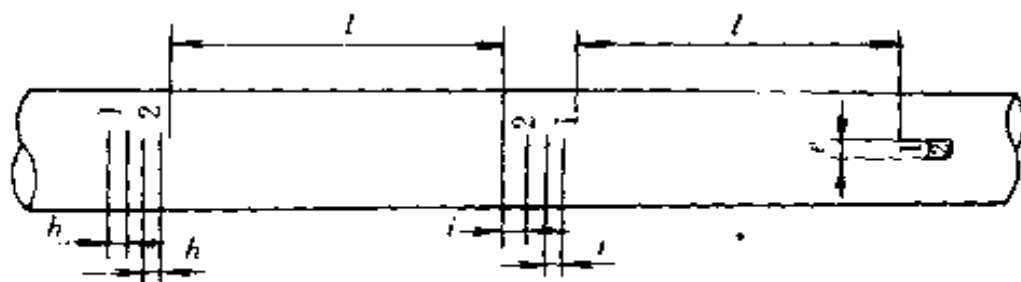


图 2-1 标志的排列

l —相邻两个完整标志之间的最大距离 h —数字最小高度

i —数字和破折号及两个连续数字之间的大致距离

e —标志的最小宽度，数字1的最小宽度为 $e/2$

一个完整的数字标志应由数字和一个破折号组合。若标志由一个数字组成，破折号放在数字的下面，若标志由两个数字组成，后一个数字应排在前一个数字的下面，破折号放在后一个数字的

下面。

标志的排列及尺寸见图 2-1 和表 2-8。

表 2-8 标志排列尺寸 (mm)

线芯标称直径 D	尺 寸			
	l_{max}	h_{min}	i	e_{min}
$D < 2.7$	50	2.3	2	0.5
$2.7 \leq D < 5$	50	3.2	3	1.2

第四节 电线布线色标的规定

一、电工成套装置中的导线颜色

保护导线：黄绿双色线。

动力电路的中线、中间线：浅蓝色。

交流或直流动力电路：黑色。

交流控制电路：红色。

直流控制电路：蓝色。

与保护导线连接的控制电路：白色。

与电网直接相连的联锁电路：桔黄或黄色。

二、依导线颜色标志电路

(1) 黑色 装置和设备的内部布线。

(2) 棕色 直流电路的正极。

(3) 红色 三相电路的 W 相；

半导体三极管的集电极；

半导体二极管、整流二极管或晶闸管的阴极。

(4) 黄色 三相电路的 U 相；

半导体三极管的基极；

晶闸管和双向晶闸管的门极。

(5) 绿色 三相电路的 V 相。

(6) 蓝色 直流电路的负极；

半导体三极管的发射极；

半导体二极管、整流二极管或晶闸管的阳极。

- (7) 浅蓝色 三相电路的零线或中性线；
直流电路的接地中线。
- (8) 白色 双向晶闸管的主电极；
无指定用色的半导体电路。
- (9) 黄绿双色 安全用的接地线。
- (10) 红黑色并行 用双芯导线或双根绞线连接的交流电路。

三、依电路选择导线颜色

- (1) 交流三相电路的U相 黄色；
V相 绿色；
W相 红色；
零线或中性线 浅蓝色；
安全用的接地线 黄绿双色。
- (2) 用双芯导线或双根绞线连接的交流电路 红黑色并行。
- (3) 直流电路的正极 棕色；
负极 蓝色；
接地中线 浅蓝色。
- (4) 半导体三极管的集电极 红色；
基极 黄色；
发射极 蓝色。
- (5) 半导体二极管的阳极 蓝色；
阴极 红色。
- (6) 晶闸管的阳极 蓝色；
门极 黄色；
阴极 红色。
- (7) 双向晶闸管的门极 黄色；
主电极 白色。
- (8) 设备内部布线 黑色；
半导体电路 白色；
有混淆时 容许选指定用色外的其他颜色（如橙、

紫、灰、绿、蓝、玫瑰红等)。

(9) 具体色标，在一根导线上，如遇有两种或两种以上的可标色，视该电路为特定情况，依电路中需要表示的某种含义进行定色。

第五节 指示灯的颜色

在电工成套设备中，有许多指示灯，在操作、检修时必须正确识别指示灯的颜色所代表的意义，才能保证正确操作，保障设备和人身安全。

一、指示灯的颜色及含义

指示灯的颜色有红、黄、绿、蓝、白五种，其含义见表 2-9。

表 2-9 指示灯的颜色及含义

颜色	含 义	说 明	应 用
红	危险或告急	有危险或必须立即采取行动	温度已超过(安全)极限 因保护器件的动作而停机 有触及带电部分的危险
黄	注意	情况有变化或即将发生变化	温度异常 压力异常 仅能承受允许的短时过载
绿	安全	正常或允许进行	通风冷却正常 自动控制系统运行正常 机器准备启动
蓝	按需要指定用意	除红、黄、绿之外的任何指定用意	遥控指示 选择开关在“设定”位置
白	无特定用意	任何用意，如不能确切地用红、绿、黄时及用作执行时	

二、闪光信息

指示灯有时也用来反映闪光信息，其含义与灯光按钮相同，通常反映下列几种情况：

(1) 必须加倍注意。

- (2) 必须立即采取行动。
- (3) 不符合指令要求。
- (4) 表示变化程度。

指示灯闪光信息亮与灭的时间比应在 1 : 1~4 : 1 之间,较高的闪烁频率表示优先的信息。

第六节 按钮的颜色和相对位置

一、按钮的颜色

在电工成套设备中,有较多按钮,在操作时必须正确识别按钮颜色所代表的意义,才能保证正确操作、人身及设备的安全。

按钮的颜色有红、黄、绿、蓝、白、黑、灰七种,其含义见表 2-10。

表 2-10 按钮颜色及含义

颜 色	含 义	应 用
红	处理事故	紧急停机 扑灭燃烧
	停止或断电	正常停机 停止一台或多台电动机 装置局部停机 切断一个开关 带有停止或断电功能的复位
黄	参与	防止意外情况 参与抑制反常的状态 避免不需的变化(事故)
绿	起动或通电	正常起动 起动一台或多台电动机 装置的局部起动 接通一个开关装置(投入运行)
蓝	其他任何指定用意	凡红、黄、绿未包含的用意,均可采用蓝色
黑、白、灰	无特定用意	除单功能的停止或断电按钮外的任何功能

黑、白、灰色用于一钮双用的“起动”与“停止”或“通电”与“断电”按钮。若交替按压以后改变功能的可采用黑、白、灰色按钮，不能用红、绿色按钮。若按时运动，抬起停止运动（如点动、微动），最好用黑色按钮，也可以用白、灰、绿按钮，但不能用红色按钮。

只有“复位”单一功能的用蓝色按钮，也可用黑、白、灰色按钮；“复位兼有停止”或“断电”功能的必须用红色按钮。

二、按钮的相对位置

对应的“起动”和“停止”按钮应相邻安装，“停止”按钮必须在“起动”按钮的下边或右边，当两个“起动”按钮控制相反方向时，“停止”按钮可以装在它们之间。

第七节 灯光按钮

灯光按钮的选色与指示灯、按钮的选色原则相同，若选色有困难，可用白色。

一、灯光按钮类型

- (1) 灯灭与灯亮颜色不变。
- (2) 灯灭时无特定颜色（非彩色），灯亮时为任何一种颜色。
- (3) 灯灭时无特定颜色（非彩色），灯亮时有不同颜色，每种颜色都有各自的灯。

二、灯光按钮的颜色与含义（见表 2-11）

表 2-11 灯光按钮的颜色与含义

颜色	含 义	用 途	举 例
红	最好不用红色灯光按钮	停止（急停按钮绝对不要用灯光按钮），在某些情况下作复位用（只当同一按钮还用作“停止”时）	

(续)

颜色	含 义	用 途	举 例
黄	注意或警告	企图避免危险情况出现而开始操作	某些参数(电流、温度)接近它的许可极限,按下按钮后,可以不执行以前选定的其他功能
绿	已准备好,可以开动	灯光按钮授权后的开动	起动一台或几台辅助功能电动机 开动机床部件 接通电磁夹盘或吸盘 开动循环或部分工序(点动应当使用非灯光黑(或绿)色按钮)
蓝	红、黄、绿、白未包括的任何含义	红、黄、绿、白色未包括的任何用途	指示或命令操作者去完成某项任务,如进行调整(在完成任任务后,要按下这个按钮,以示回答)
白	证明电路已接通或证实操作或运动已开始或预选好了	接通电或者开动或进行预选	接通与工作循环无关的辅助电路,开动或预选

三、灯光按钮的信息作用

(1) 通过按钮上灯亮,告诉操作者按压该亮灯的按钮,以完成某种操作,按压灯灭,反映某个指令已被执行。

(2) 如需要引起操作者注意时(警报),可采用闪光的灯光按钮,该按钮被压下后可变闪光为定光。在引起警报的原因未排除前,而固定光不变。

(3) 按下灭灯的按钮后,该按钮上的灯亮,以反映某个指令已被执行,直到解除执行后,才允许将灯熄灭。

(4) 按下按钮后,按钮上如发出闪光的灯亮,以反映某个指令或某类演变正在执行,完成执行后,必须自动把闪光变为定光。

(5) 灯光按钮不得用作事故按钮。

第八节 电机线端标志和旋转方向

由于电机是带电的，还会以很高的速度旋转，而存在着许多可能导致不安全的隐患，若电机标志发生错误，会造成反转或超高速，将会带来严重危险，所以，对电机的线端标志、旋转方向都由国家统一规定。

一、电机线端标志的一般规定

电机的线端标志由字母和数字组成。绕组以大写字母区别，如U、V、W等。

绕组线端，无论是中间各点，还是终点，以数字紧接绕组字母用来区别，如U1、U2、U3。

同一类型绕组用同样字母标志时，绕组字母前冠以数字加以区别，如1U、2U、1V、2V、1W、2W。

直流绕组选用字母顺序的前部分，交流绕组选用字母顺序的后部分，若不会混淆，绕组字母前、后加注的数字可以省去。

二、交流电机的线端标志

异步电机定了三相绕组的线端标志，如图2-2所示。

三、直流电机的线端标志 (表 2-12)

四、电机的旋转方向

电机若仅有一个轴伸，从轴伸端看旋转方向；若有两个不同直径的轴伸，应从大直径轴伸端看；若有两个相同直径的轴伸或无轴伸，应按以下方法区别：

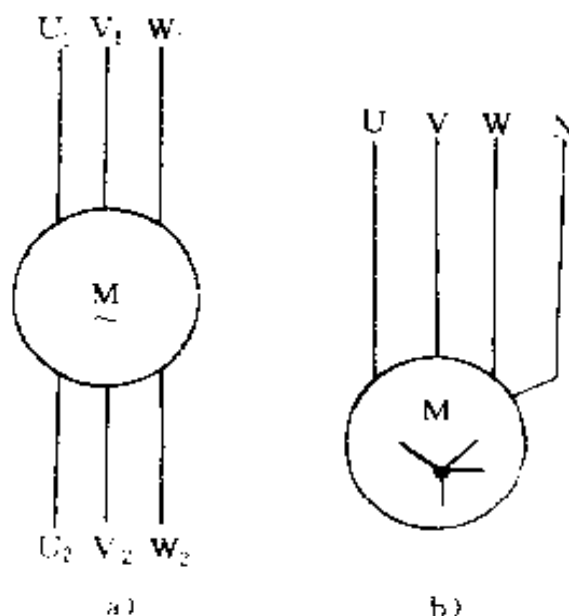


图 2-2 三相异步电动机定子线端标志

a) 中性点不引出 b) 中性点引出

表 2-12 直流电动机出线标志

绕组名称	出线端标志		绕组名称	出线端标志	
	始端	末端		始端	末端
电枢绕组	A ₁	A ₂	串励绕组	D ₁	D ₂
换向极绕组	B ₁	B ₂	并励绕组	E ₁	E ₂
补偿绕组	C ₁	C ₂	他励绕组	F ₁	F ₂

- (1) 若一端有换向器（或集电环），应从无换向器（或集电环）的那端看。
- (2) 若一端有换向器，另一端有集电环，应从集电环那端看。
- (3) 特定情况将特殊规定。
- (4) 电机按以上规定的线端标志进行接线，应为顺时针方向旋转。

第九节 电器接线端子的识别与标志

一、标志方法

电器接线端子的标志方法有颜色、图形符号和字母数字，并标注在相应线端或邻近处，具有同等效果。

用颜色标志接线端子时，颜色与图形符号或字母数字间的对应关系必须在有关的图纸或技术文件上加以说明。

二、用字母数字标志端子的原则

标志用大写的拉丁字母（I、O 除外）和阿拉伯数字组成。一般直流元件的字母选用字母的前半部（即 A 到 M），交流元件的字母选用字母的后半部（即 N 到 Z），在不引起混淆的前提下，可以简化。当一个完整的符号为 1U11 时，若不需要用字母，可简化为 1·11，也可简化为 111；当一个完整的符号为 1U1 时，可简化为 1·1，也可简化为 11。

- (1) 单个元件两 endpoint 采用连续的数字标记，单数在上，双数在下，如图 2-3 所示。

(2) 单个元件有中间抽头（端点）时，应用连续的数字标记。中间抽头的数字必须大于端点所用的数字，并从最近的小的编号端点开始，如图 2-4 所示。



图 2-3 双出线端子的元件

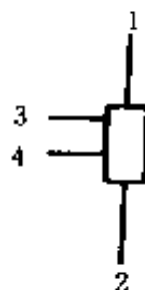


图 2-4 2 个端点、2 个中心抽头的 4 端子元件

(3) 当有几个相同元件组成一个组合单元时，必须按下列方法标记：

1) 两个端头和中间抽头时应字母在前，编号在后，如图 2-5 所示。

2) 当不需或不能作出相序的标记时，两个端点和中间抽头，采用数字和编号来标记，为防止数字与编号混淆，应在中间用一个“·”，使其两个数字分开。前一位数字代表相序，后一个数字代表编号，如图 2-6 所示。

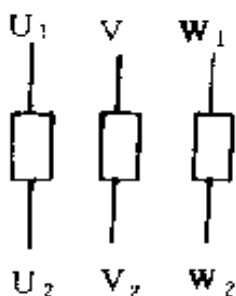


图 2-5 6 个出线端头的三相装置

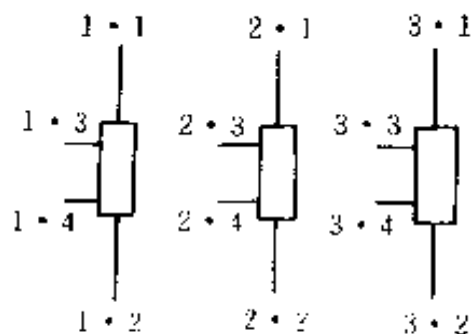


图 2-6 三个单元 12 个出线端子的装置，6 个端子，6 个抽头

3) 每个元件的两端用不同的连续数来区分, 奇数在上, 偶数在下, 如图 2-7 所示。

4) 具有相同字母的同类元件采用字母和数字标记, 数字在前, 字母在后, 如图 2-8 所示。

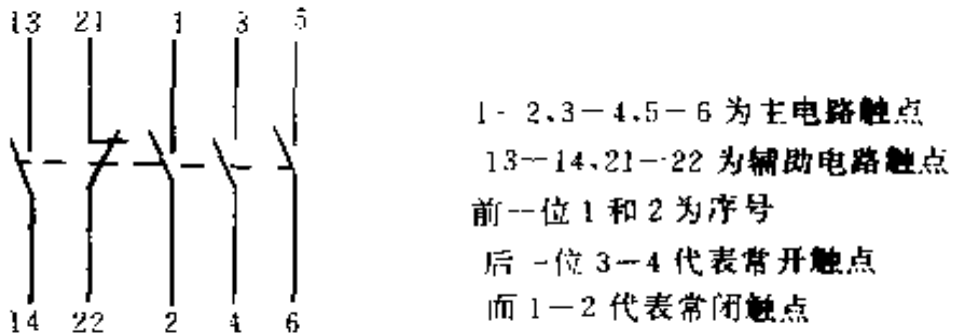


图 2-7 开关器件

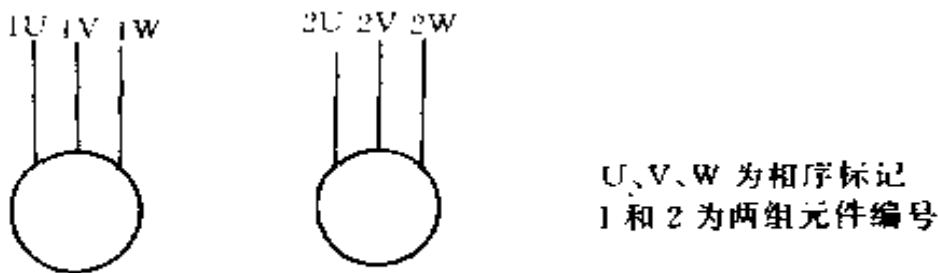


图 2-8 两组单元的三相装置

(4) 设备出线端子预接特定导线的标记, 或通过中间设备连接特定导线时, 必须按照表 2-13 字母作标记。

表 2-13 设备特定接线端子的标记和特定导线线端的识别

导体名称	字母数字符号	
	设备端子标记	导线线端的识别
交流系统电源导体	第 1 相	U L1
	第 2 相	V L2
	第 3 相	W L3
	中性线	N N

(续)

导体名称	字母数字符号		
	设备端子标记	导线线端的识别	
直流系统电源导体	正 极	C	L+
	负 极	D	L-
	中间线	M	M
	保护导体	PE	PE
	不接地的保护导体	PU	PU
	保护中性导体	—	PEN
	接地导体	E	E
	低噪声接地导体	TE	TE
	接机壳、接机架	MM ^①	MM ^②
	等电位连接	CC ^③	CC ^④

① 只有当这些接线端子或导体的电位与保护导体或接地导体的电位不等时，才采用这些识别标志。

第十节 电气设备安全规则

在按规定安装和使用设备时，必须保证安全，不得发生任何危险。所有电气设备、装置和部件都应符合安全要求，如果在安全技术和经济利益之间发生矛盾时，应该优先考虑安全技术的要求，以保证安全。

一、电气绝缘

(1) 设备必须有良好的电气绝缘，以保证设备安全可靠，并防止由于电流直接作用所造成的危险，因此，必须做到：

1) 根据应用范围的不同，把泄漏电流限制在不影响安全的极限值之内。

2) 绝缘材料要具有足够的绝缘性能。

3) 绝缘要有一定的安全系数，以承受因各种原因而造成的过电压。

(2) 对于在基本绝缘损坏情况下出现的危险接触电压进行防护的绝缘，要单独给以鉴定。

(3) 各类绝缘必须有足够的耐热性，如支承、覆盖或包裹带电部分或导电部分。

(4) 支承带电部分的绝缘件，要有足够的耐受潮湿、污秽或类似的影响而不致使其安全性降低的能力。

二、设备运行

(1) 设备的旋转、摆动和转动部件，应使人不能接近或触及，以防发生危险，若不能避免，必须采取安全技术措施。

(2) 电气设备在运行时，若工件、工具、部件和所产生的金属屑不能飞甩出去，应使用防护罩等特殊安全技术措施，一般不得使用提示性安全技术措施。

(3) 带有液体的设备，在正常使用中，当液体逸出时，不得损害电气绝缘，在发生故障和事故时，不致使液体流到工作间或喷溅到工作人员身上。如果在运行中出现有害液体，必须将其密闭起来，或使其变为无害而后排出。

(4) 如果在工作过程中产生有害的粉尘、蒸气和气体，必须将其密闭起来或使其变为无害而后排出。

(5) 必须使设备发出的噪声和振动保持在尽可能低的水平，可选取较合适的转速，应用低噪声的驱动机构和减振构件等。

(6) 如果设备的灼热或过冷部分会造成危险，必须采取接触屏蔽。

(7) 要避免设备上有可能造成伤害的外露尖角、棱及粗糙的表面，如果有，应加以遮盖。

三、电能

(一) 直接接触防护

(1) 电气设备必须使其使用人员不通过辅助手段或工具就不能触及到带电部分，或不能接近到使他们遭受危险的程度。

(2) 如果无法使带电部分断电而同时又允许拆卸或打开设备起就直接接触防护的部件时，只能允许使用适当绝缘的工具拆卸或打开。

(3) 如果满足以下条件之一者，可不采用上述中的防护：

1) 无论在正常情况或故障情况下, 带电部分的电压不超过所规定的安全电压值。

2) 在直接接触时, 只能有不超过安全值的电流流过。

3) 对于不独立使用的设备, 可通过将其装设在一台较大的、有足够接触防护的电气设备中, 以达到必要的防护目的。

4) 将电气设备装设在锁闭的电气操作场所中, 来实现必要的保护。

(二) 间接接触防护

(1) 设备必须达到当基本绝缘发生故障或出现电弧时, 使用人员不致受到危险的接触电压的伤害。设备必须有下列之一的防护措施:

1) 导电部分必须有与接地线连接的装置, 并要保证接线处有非常可靠的连接。

2) 采用双重绝缘结构, 不允许接地。

3) 导电部分的接触电压不超过所规定的安全电压值。

(2) 有意识地将电能以导电、照射、电场和类似的形式施加到人体上, 只允许使用专用的、为了防止危险而经过特殊考虑的设备, 如医疗电气设备和利用有限的、无危险的电流流经人体的器件, 如单相验电笔、电子开关等。

(3) 电能间接作用的危险

1) 除因电能直接作用所造成的危险外, 还必须避免由于电能间接作用所造成的危险, 因此, 要把各种射线、高频、有损于健康的气体、蒸气、噪声、振动及类似的机械作用和热作用限制在无害的范围之内。

2) 设备内部或周围所出现的温度(包括过载和短路所造成的高温), 不得对设备的性能及周围产生有损于安全的影响。

(4) 外界影响所造成的危险

1) 设备必须具有足够的防止因环境影响(如冲击、潮湿、异物侵入等)而危及安全的保护。

2) 设备必须有能承受一定过负载而又不危及安全的能力, 必

要时要装设自动切断电流或限制电流增长的装置。

(5) 标志和标牌

1) 设备上必须有能保持长久、容易辨别并清晰的标志或标牌，给出安全使用设备所必需的主要特征：额定参数、接线方式、接地标记、危险标记、特殊操作类型和运行条件等。

2) 对能根据使用人员的选择置于不同运行或功能（如有几个额定电压可供选择时）状态的设备，必须具有能够清楚表明所选择状态的装置或标记。

3) 因设备本身条件所限，不能在设备上注出时，必须以其他方式清楚、可靠和有效地将应注意的事项告诉使用人员。

(6) 接线和连接

1) 设备必须装设有可能与电源可靠连接的装置。

2) 所需要的连接手段（如接插件、连接线、接线端子等），必须能承受所规定的电（电压、电流和功率）、热（内部或外部受热）和机械（拉、压、弯、扭等）负载。特别容易造成危害的部位必须通过位置排列或附加装置来保护。

3) 母线和导线或带电的连接件，按规定使用时，不应发生过热、松动或造成其他危险的变动。

四、开关、控制和调节装置

(一) 紧急开关

设备如遇以下情况必须装设紧急开关：

(1) 在可能发生危险的区域内，工作人员不能快速地操纵操作开关，以终止可能造成的危险。

(2) 有几个可能造成危险的部分存在，工作人员不能快速地操纵一个共用的操作开关来终止可能造成的危险。

(3) 由于切断某个部分，可能引起危险。

(4) 在控制台处不能看到所控制的全套设备。

必须把足够数量的紧急开关装设在从各个控制位置，人手都能迅速地摸得着的地方，并用醒目的红色标记。无论是被接通还是被分断电源的设备，都不允许由于起动紧急开关而造成危险，有

时还需要刹住缓慢停下来的危险运动，紧急开关应用手动复位。

(二) 防止误起动

对于在安装、维修时需要察看危险区域，人体部分（如手或臂）需要伸进危险区域的设备，必须采用以下措施，防止误起动：

- (1) 先强制分断设备的电能输入。
- (2) 在“断开”位置，用多重闭锁的总开关。
- (3) 控制或联锁元件位于危险区域，并只能在此处闭锁或起动。
- (4) 具有可拔出开关钥匙。

(三) 控制和调节装置

(1) 电能的接通、分断和控制，必须保证有最大限度的安全性。调节部分必须防止造成误接通、误分断。对于手动控制，要保证操作件运动的作用清楚明了，必要时必须辅以容易理解的图形符号和文字说明。对于自动或部分自动的开关和控制过程，必须保证排除由于过程重叠或交叉可能造成的危险，因此要有相应的联锁或限位装置。

(2) 如果在设备上装有控制装置和作为特殊安全技术措施的离合器或联锁机构，必须具有强制性作用。下列情况之一者，就能得到满足：

- 1) 特殊安全技术措施要与工作过程和运行过程的开始同时起作用。
- 2) 特殊安全技术措施作用之后，工作过程和运行过程才有可能开始。
- 3) 在工作人员接近出现危险的区域时，先强制性地停止工作过程和运行过程。

第十一节 外壳防护等级

为了防止人体触及或接近外壳内部的带电部分及可动部分，防止固体异物进入外壳内部，防止水进入外壳内部造成危害，对于最高电压不超过 72.5kV 的电气设备而可用外壳进行防护。

电气设备的防护装置常用的有遮栏、保护网、绝缘隔板、保护罩等。电气设备一般采用以下外壳防护分类分级系统。

一、代号

表示防护等级的代号通常由特征字母 IP 和两位特征数字组成。

第一位特征数字所代表的对接近危险部件的防护等级见表 2-14。

表 2-14 第一位特征数字所代表的对接近危险部件的防护等级

第一位特征数字	防 护 等 级	
	简要说明	含 义
0	无防护	—
1	防止手背接近危险部件	直径 50mm 球形试具应与危险部件有足够的间隙
2	防止手指接近危险部件	直径 12mm, 长 80mm 的铰接试指应与危险部件有足够的间隙
3	防止工具接近危险部件	直径 2.5mm 的试具不得进入壳内
4	防止金属线接近危险部件	直径 1mm 的试具不得进入壳内
5	防止金属线接近危险部件	直径 1mm 的试具不得进入壳内
6	防止金属线接近危险部件	直径 1mm 的试具不得进入壳内

第一位特征数字所代表的固体异物（包括灰尘）进入的防护等级见表 2-15。

表 2-15 第一位特征数字所代表的防止固体异物进入的防护等级

第一位特征数字	防 护 等 级	
	简要说明	含 义
0	无防护	—
1	防止直径不小于 50mm 的固体异物	直径 50mm 球形物体试具不得完全进入壳内
2	防止直径不小于 12.5mm 的固体异物	直径 12.5mm 的球形物体试具不得完全进入壳内
3	防止直径不小于 2.5mm 的固体异物	直径 2.5mm 的物体试具完全不得进入壳内

(续)

第一位 特征数字	防 护 等 级	
	简 要 说 明	含 义
4	防止直径不小于 1mm 的固体异物	直径 1mm 的物体试具完全不得进入壳内
5	防尘	不能完全防止尘埃进入,但进入的灰尘量不得影响设备的正常运行,不得影响安全
6	尘密	无灰尘进入

第二位特征数字表示外壳防止由于进入水而对设备造成有害影响的防护等级见表 2-16。

表 2-16 第二位特征数字所代表的防护等级

第二位 特征数字	防 护 等 级	
	简 要 说 明	含 义
0	无防护	
1	防止垂直方向滴水	垂直方向滴水应无有害影响
2	防止当外壳在 15°范围内倾斜时垂直方向滴水	当外壳的各垂直面在 15°范围内倾斜时,垂直滴水应无有害影响
3	防淋水	各垂直面在 60°范围内淋水,无有害影响
4	防溅水	向外壳各方向溅水无有害影响
5	防喷水	向外壳各方向喷水无有害影响
6	防强烈喷水	向外壳各方向强烈喷水无有害影响
7	防短时间浸水影响	浸入规定压力的水中经规定时间后外壳进水量不致达到有害程度
8	防持续潜水影响	按生产厂和用户双方同意的条件(应比数字为 7 严酷)持续潜水后外壳进水量不致达到有害程度

二、标志

(1) 在一般情况下，防护等级的标志符号由 IP 和二个特征数字组成，如 IP32。若仅需要用二个特征数字表示防护等级时，被省略的数字可用字母 X 代替，如 IPX4，IP3X 等。

(2) 若需要时，可加一个补充字母来表示某种附加含义，补充字母应由有关专业的相应标准规定，补充字母放在第二位特征数字或附加字母之后，其含义如下：

H——高压设备。

M——防水试验在设备的可动部件（如旋转电机的转子）运行时进行。

S——防水试验在设备的可动部件（如旋转电机的转子）静止时进行。

W——适用于规定的气候条件和有附加防护特点或过程。

若无字母 S 和 M，则表示防护等级与设备部件是否运行无关，需要在设备运行和静止时都做试验。但如果试验在另一条件下明显地可以通过时，一般做一个条件的试验就足够了。

(3) 如果设备的安装对防护等级有影响时，制造厂必须在安装说明书或其他类似文件中指出。

三、一些电气设备的最低防护等级

(一) 电柜与壁龛的防护等级

(1) 正规机械加工车间和金属加工工业所用的设备为 IP43。

(2) 木工车间所用的设备为 IP54。

(3) 水喷清洗场所所用的设备为 IP55。

(4) 需要防止灰尘的设备为 IP65。

这些要求是对电气设备的外壳而言。电柜内装元件，不一定是这样的防护等级，可以是 IP00，也可以是较高等级的。但对电柜外装电气元件，必须达到以上要求。如木工车间设备的防护等级是 IP54，若采用 IP44 电机时，应提高防护等级，必须达到 IP54。

(二) 元、器件的防护等级

- (1) 位置传感器为 IP55。
- (2) 电磁阀、制动器、离合器为 IP55。
- (3) 压力和温度传感器为 IP55。
- (4) 控制开关、指示灯罩为 IP55。
- (5) 接线盒、穿线盒入口为 IP54。
- (6) 线管为 IP33。
- (7) 插座（应具备盖板，25A 以上）为 IP33。
- (8) 电动机外壳为 IP44。
- (9) 其他控制器为 IP54。

第三章 安全用电装置

第一节 保护接地

当电气设备漏电时，其外壳、支架以及与之相连的其他金属部分都会呈现电压。当有人触及这些意外的带电部分时，就可能发生触电事故。为了保护人的生命安全和电力系统的可靠工作，需要对变电、配电和用电设备采取接地或接零的措施。所谓保护接地，就是把在故障情况下，可能呈现危险的对地电压的金属部分同大地紧密地连接起来。保护接零，就是把电气设备在正常情况下，不带电的金属部分与电网的保护零线紧密地连接起来。

一、接地的基本概念

(一) 接地分类

按照不同的用途，接地可分为正常接地和非正常的故障接地两类。正常接地又可分为工作接地和安全接地。工作接地又有两种情况：

(1) 利用大地作导线的接地，在正常情况下有电流通过，如直流工作接地和弱电工作接地。

(2) 维持系统安全运行的接地，在正常的情况下，没有电流或电流很小的不平衡电流，如 110kV 以上高压系统的工作接地；三相四线制 380V 系统的变压器中性点的工作接地等。

安全接地主要包括防止触电的保护接地、防雷接地、防静电接地和屏蔽接地等。

故障接地是指带电体与大地之间发生意外的连接，如电气设备的碰壳短路和电力线路的接地短路等。

(二) 接地电流和接地短路电流

凡属由导体流入地下的电流即属接地电流，它有正常接地

电流和故障接地电流之分。

系统的一相接地可能导致系统发生短路，这时的接地电流称为接地短路电流，如接地的 380/220V 系统的单相接地短路电流。在高压系统中，接地短路电流可能很大。接地短路电流在 500A 以下的称为小接地短路电流系统，在 500A 以上的称为大接地短路电流系统。

(三) 散流电阻和接地电阻

接地体的散流电阻，是接地体的对地电压与流经接地体入地的电流之比，也就是说电流自接地体的周围向大地流散所遇到的全部电阻。

接地体的散流电阻与接地线的电阻之和叫做接地电阻。接地线的电阻一般很小，可以忽略不计，因此可以认为散流电阻就是接地电阻。

通常说的接地电阻都是对工频电流而言的，当接地装置通过雷电流时，由于雷电流有强烈的冲击性，接地电阻会发生很大的变化。为了区别起见，这时的接地电阻称为冲击接地电阻。

(四) 对地电压

对地电压是带电体与大地之间的电位差，对地电压就等于接地电流与接地电阻的乘积。

电流沿接地体流入大地时，其周围各点电压不为零，而且各点对地电压随着远离接地体而逐渐降低。图 3-1 为半球形接地体对地电压曲线，接地体的半径为 S_0 ，如果接地体周围土壤是均匀的，则电流 I_d 通过接地体向周围土壤作半球形散流，若忽略接地体和接地线本身的电阻，接地体的对地电压为

$$U_d = \frac{\rho I_d}{2\pi S_0}$$

式中 ρ ——土壤电阻率。

对于接地体周围与地体中心距离为 S 的任一点对地电压为

$$U_{dS} = \frac{\rho I_d}{2\pi S}$$

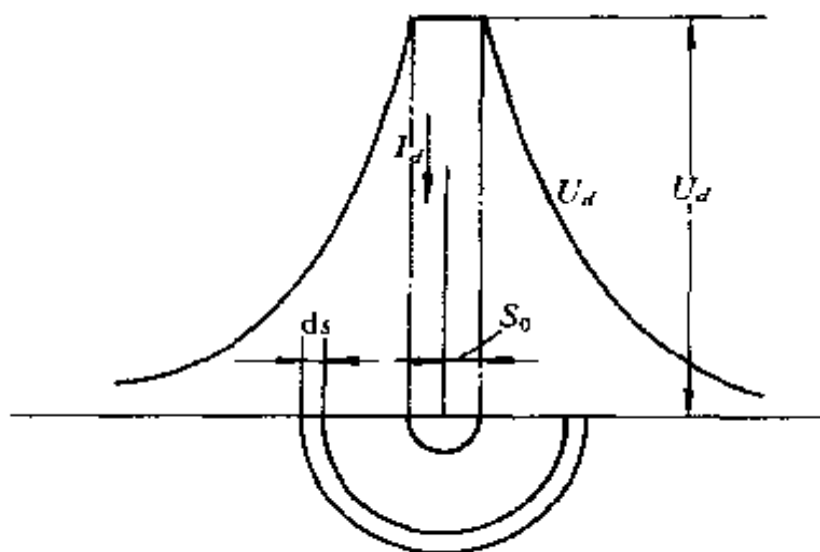


图 3-1 半球形接地体的对地电压曲线

显然,各点对地电压与该点到接地体中心的距离呈反比关系,按此关系画出接地体及其周围各点对地电压曲线,如图 3-1 所示。

接地体周围各点对地电压的相对值,即各点对地电压与接地体的对地电压的比值为

$$\frac{U_{ds}}{U_d} = \frac{S_0}{S}$$

由此可画出对地电压的相对值 U_{ds}/U_d 与距离倍数 S/S_0 的关系曲线,如图 3-2 所示。

其他形状接地体的对地电压曲线也大体具有双曲线的特点,即接地体周围各点对地电压与该点至接地体的距离保持反比关系。随着距离的增大,对地电压逐渐降低,并趋于零。

(五) 接触电压和跨步电压

当电气设备发生故障接地时,其接地部分(接地体、接地线、设备外壳等)与大地电位等于零处的电位差,称为接地时对地电压。

当接地电流流过接地装置时,在大地上形成分布电位,如果在地面上离设备水平距离为 0.8m 的地方与沿设备外壳垂直向上距离为 1.8m 处的两点被人触及,则人将承受一个电压,这个电压称为接触电压,如图 3-3 所示。

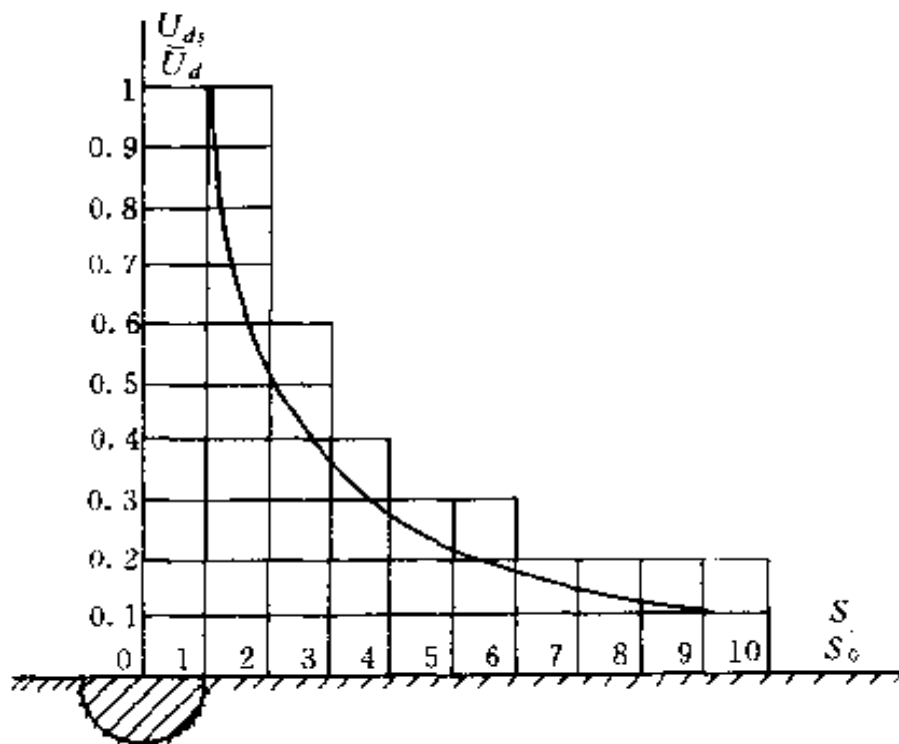


图 3-2 半球接地体对地电压相对值曲线

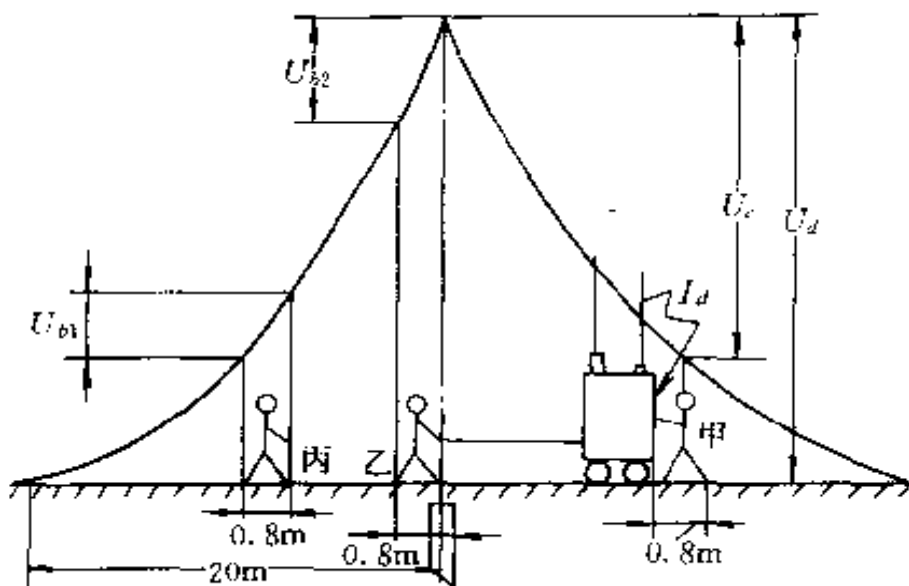


图 3-3 接触电压和跨步电压示意图

当设备漏电时，其漏电电流自接地体流入大地，漏电设备的对地电压为 U_d ，对地电压曲线呈双曲线形状，离开接地体 20m 处对地电压接近于零。

图中甲触及漏电设备外壳，其接触电压（即其手和脚之间的电压差），即图中的 U_c 。

地面上水平距离为 0.8m 的两点有电位差，如果人体两脚接触该两点，则在人体上将承受电压，比电压称为跨步电压。最大跨步电压出现在接地体处地面水平距离 0.8m 与接地体之间，如图 3-3 中 U_{b1} 和 U_{b2} 所示。图中乙承受的跨步电压最大，而图中丙所承受的跨步电压要小些。对于垂直埋设的单一接地体、离接地体 20m 以外的跨步电压接近于零。

对于牛马等畜类的两脚跨距，一般为 1m 以上（约 1.4m），故牛马等畜类的跨步电压要高得多，所以触电的危险性也大。

二、保护接地的原理和应用范围

保护接地是一种技术上的安全措施。所谓保护接地就是在设备或线路发生故障情况下，可能呈现危险的相对地电压的金属部分同大地紧密地连接起来。保护接地应用很广，无论是动电或静电，交流或直流，或是高压或低压，也无论是一般环境或特殊环境，都经常采取接地措施，以保障安全，利于工作。

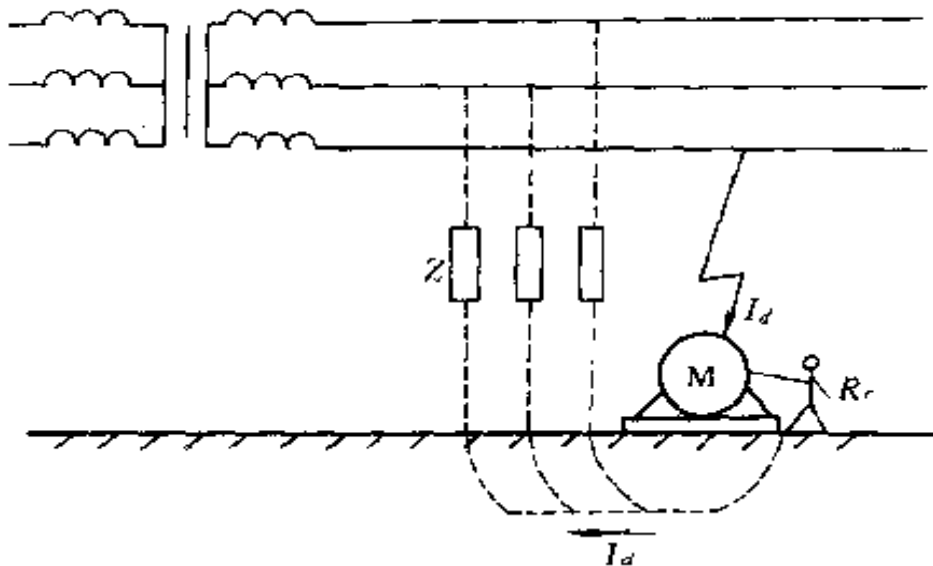


图 3-4 不接地的危险性原理图

（一）保护接地原理

在不接地的低压系统中，当设备或线路其中一相对地漏电碰壳（如图 3-4 所示）时，接地电流将通过人体和电网对地绝缘阻抗形成回路。如各相对地绝缘阻抗相等，则漏电设备的对地电压为

$$U_d = \frac{3UR_0}{|3R_0 + Z|}$$

式中 U ----- 电网相电压；
 R_0 ----- 人体电阻；
 Z ----- 电网每相对地绝缘阻抗。

电网对地绝缘阻抗 Z ，由电网对地分布电容和对地绝缘电阻组成，并可看作是两者的并联。一般情况，绝缘电阻大于分布电容的容抗，如果把绝缘电阻看作是无限大，则对地电压为

$$U_d = \frac{3UR_0}{\sqrt{9R_0^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}$$

式中 C —— 每相对地分布电容；
 $\omega = 2\pi f$ ----- 电源角频率。

从上式可知，当电网对地绝缘正常时，漏电设备对地电压很低。但当电网绝缘性能显著下降，或电网的分布电容很大时，对地电压可能上升到危险的程度。

在上述情况下，可采取如图 3-5 所示的保护接地措施。这时，漏电设备对地电压主要决定于保护接地电阻 R_b 的大小，因 R_b 与 R_0 并联，且当 $R_b \ll R_0$ 时，其值可近似看作为 R_b 。由此可以认为对地电压为

$$U_d = \frac{3UR_b}{|3R_b + Z|}$$

因为 $R_b \ll |Z|$ ，所以漏电设备的对地电压大大降低。只要适当控制 R_b 的大小，即可将漏电设备对地电压限制在安全范围内。

在不接地电网中，单相接地电流主要决定于电网的特征，即电压的高低、范围的大小、敷设的方式等。在一般情况下，由线路对地分布电容决定的电抗都较大；而绝缘电阻还要大得多，计算时可看作是无限大。因此，单相接地电流一般很小，这就有可能采用保护接地把漏电设备的对地电压限制在安全电压以下。

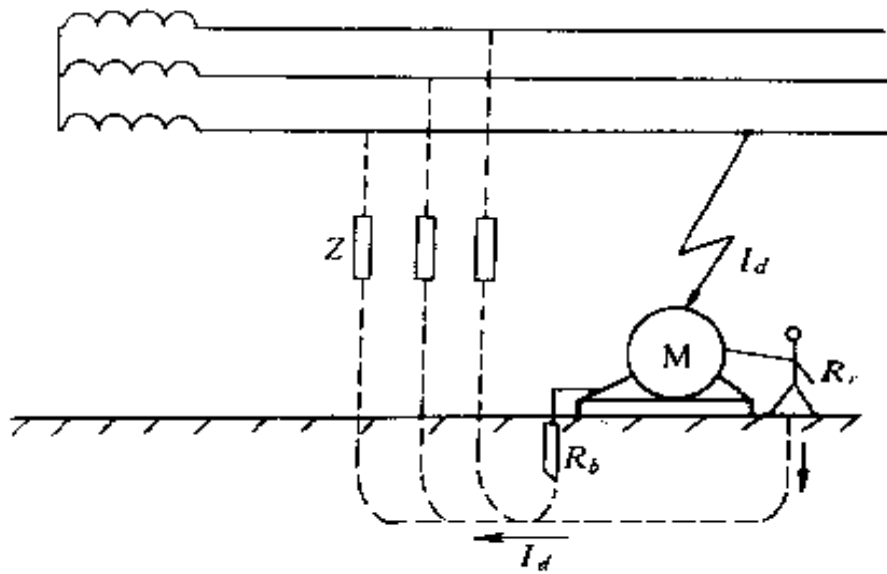


图 3-5 保护接地原理图

由此可以看出，保护接地在不接地电网中可以降低漏电设备的接触电压，使其接触电压限制在安全电压的范围内，这是保障人身安全的一个重要安全技术措施。

(二) 保护接地应用范围

保护接地适用于不接地电网，在这种电网中，无论环境如何，凡由于绝缘破坏或其他原因而可能呈现危险电压的金属部分，除另有规定者外均须接地。其该接地的部分为：

- (1) 电机、变压器、电器和照明设备的底座和外壳。
- (2) 电气设备的传动装置。
- (3) 互感器的二次绕组（但继电保护方面另有规定者除外）。
- (4) 配电屏与控制台的框架。
- (5) 室内外配电装置的金属和钢筋混凝土构架以及靠近带电部分的金属遮栏和金属门。
- (6) 交直流电力电缆接线盒、终端盒外壳和电缆护套、布线钢管等。
- (7) 居民区无避雷线小接地短路电流架空电力线路的金属和钢筋混凝土杆塔。

(8) 装有避雷线的电力线路杆塔。

(9) 安装在配电线路杆塔上的电气设备，如熔断器、电容器等。

(10) 安装控制电缆的金属护套。

(11) 对机床接地的要求：机床床身、独立安装的控制柜以及装有电气元件的附属设备，都必须备有接地线线座或接地母线，其附近要有接地标志。对所有电气设备的非载流的金属外壳、底座和支架，如控制柜的外壳、金属导线管、金属安装板、操纵台的金属外壳和面板，独立安装的电气元件和手提式或悬挂式电器附近的金属外壳，都必须设法使它们与机床总接地母线相连。

而不需要另接地的部分有：

1) 在不良导电地面（木制、沥青）的干燥房间内，当交流额定电压为 380V 及以下和直流额定电压 400V 及以下时，电气设备金属外壳不需要接地，但当维护人员因某种原因同时可能触及到其他电气设备中已接地的其他物体时，则仍应接地。

2) 在干燥的地方，当交流电压为 36V 及以下和直流额定电压为 110V 及以下时，电气装置不需要接地，但有爆炸危险的设备除外。

3) 电力线路的木杆塔和屋外变电所木构架上的悬式和针式绝缘子金属附件（在污积地区除外），以及照明灯具。

4) 安装在控制盘、配电屏及配电装置间隔上的电气测量仪表、继电器及其他低压电器等的外壳，以及当发生绝缘损坏时，在支持物上不会引起危险电压的绝缘子金属附件。

5) 安装在已接地的金属构架上的设备，如套管及两端已接地的铠装电力电缆的构架。

6) 已接地的金属构架上和配电装置间隔上，可以拆卸和打开的部分。

三、对高压窜入低压的防护

如图 3-6 所示，如果因为高压线折断或绝缘损坏等原因致使高压系统意外地碰到低压系统，则整个低压系统的对地电压将升

高到高压系统对地电压。这时整个低压系统的工作人员就处于非常危险的状态，而且故障可能长时间存在，这将会造成严重的危险。

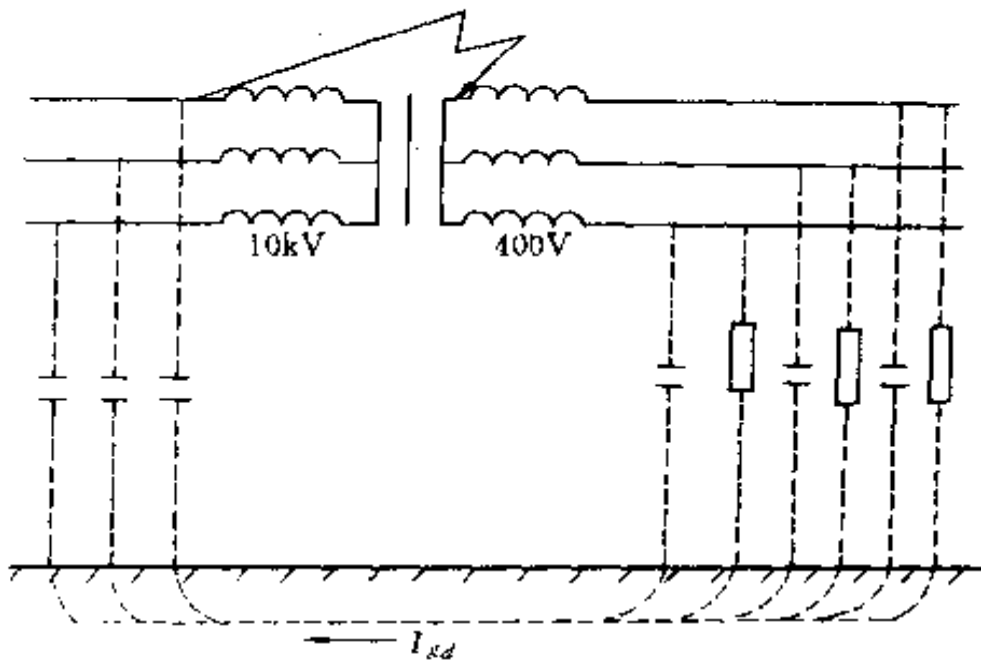


图 3-6 高压窜入低压的危险

在不接地的降压电网中，为了减轻高压窜入低压的危险，应当把低压电网的中性点或者一相经击穿保险器接地，如图 3-7 所示。

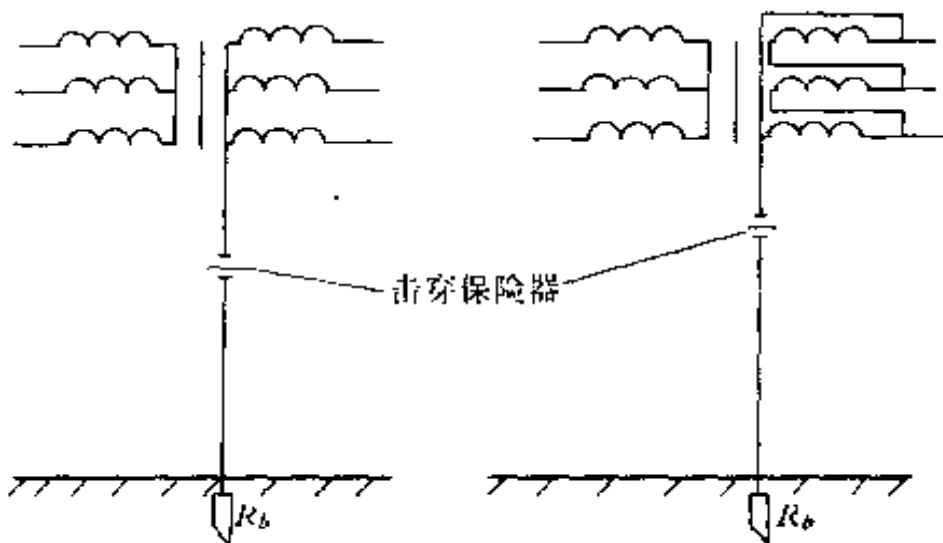


图 3-7 击穿保险器的连接

击穿保险器主要由两片铜制电极夹以带孔的云母片组成。其击穿电压不超过数百伏。F型击穿保险器的击穿电压，见表3-1所列数值。

表 3-1 F型击穿保险装置的击穿电压 (V)

额定电压	220	380	500
击穿电压	351~500	501~600	601~1000

正常情况下，击穿保险器处在绝缘状态，系统不接地；当高压窜入低压时，云母片带孔部分的空气隙被击穿，故障电流经接地装置流入大地。这个电流即高压系统的接地短路电流，它可能引起高压系统过电流保护装置动作，断开电源，切除故障。如果这个电流不大，不足以引起高压保护装置动作，则可以通过选定适当的接地电阻值，控制低压系统电压的升高不超过120V。这就要求接地电阻 R_b 为

$$R_b \leq \frac{120}{I_{0d}}$$

式中 I_{0d} ——高压系统单相接地短路电流。

一般情况下，击穿保险器必须保持良好绝缘。否则不接地系统变成接地系统，系统的保护接地是不能保证安全的。因此，对击穿保险器要经常检查，或者如图3-8所示那样，接上两只电压表进行经常性的监测。

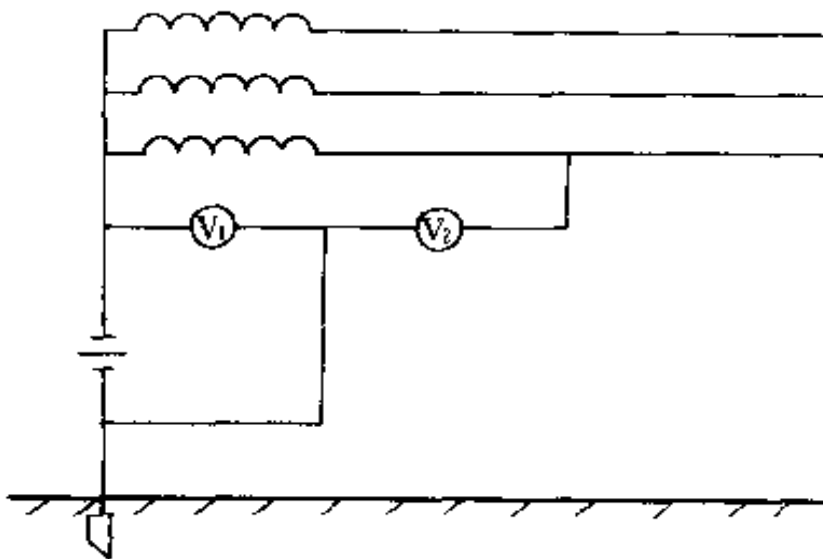


图 3-8 击穿保险器的监视

正常时，两电压表的读数各为相电压的一半，如果击穿保险器内部短路失去绝缘能力，电压表 V_1 读数降至零，而电压表 V_2 读数则上升至相电压。

四、绝缘监测

在不接地电网中，发生一相接地故障时，其他两相对地电压可能升高到接近线电压，这将会增加绝缘负担，还会大大增加触电的危险性。而且，由于一相接地的接地电流很小，线路和设备还能继续工作，故障可能会长时间存在，这对保障安全非常不利。因此，在不接地的电网中，需要对电网的绝缘进行监测。

对低压电网的绝缘监测，是用三只规格相同的电压表来实现的，其接线如图 3-9 所示。

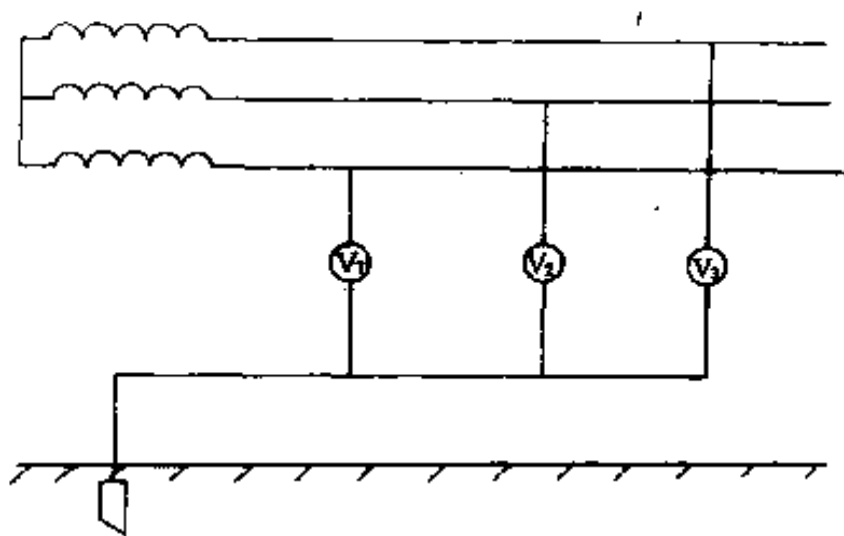


图 3-9 低压电网的绝缘监视

图中，当电网对地绝缘正常时，三相平衡，三只电压表读数均为相电压；当某相接地时，该相电压表的读数急剧降低，另两相则显著升高。即使系统没有接地，而是一相或两相对地绝缘显著恶化时，三只电压表也会给出不同的读数，以引起工作人员的关注。

为了不降低系统中保护接地的可靠性，应采用高内阻电压表。

对高压电网也可用类似的办法进行绝缘监测，其接线如图 3-10 所示。供监测用的仪表，可通过电压互感器同高压连接，一组接成星形，供绝缘监测的电压表用；一组接成开口三角形，开口处接信号继电器。正常时，三相平衡，三只电压表读数相同，三角形开口处电压为零，信号继电器不动作。当其中一相接地，或一相或两相绝缘明显恶化时，三只电压表会出现不同的读数，同时三角形开口处出现电压，信号继电器动作，发出信号。

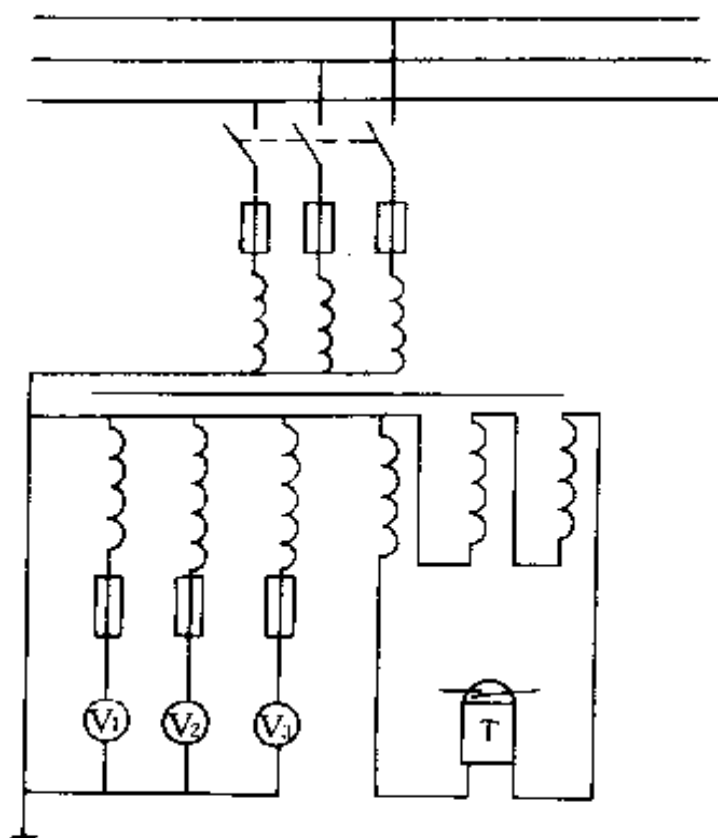


图 3-10 高压电网的绝缘监测

上述绝缘监测装置是以监测三相对地

平衡为基础的，对于一相接地的故障很敏感，但对于三相绝缘同时恶化，即三相绝缘同时降低的故障则不能反应；其另一缺点是当三相绝缘都在安全范围以内，但相互间差别较大时，可能会给出错误的指示或信号。但由于这两种情况极少发生，一般情况下，上述绝缘监测装置还是适用的。

在低压电网中，为了很好地检查和监测电网的绝缘情况，可以采用绝缘电阻偏差计等绝缘监测仪器。

第二节 保护接零

一、保护接零的原理

在中性点接地的 380/220V 三相四线制的系统中，如果用电设备不采取任何安全措施，则当电气设备漏电或绝缘击穿时，触

及设备的人体会承受将近 220V 的相电压，显然对人身的安全是很危险的。

但若采用保护接地，由于存在接地电阻，若接地电流不到足够的数值时，就不可能自动断开故障设备的电源。图 3-11 所示为在中性点接地的电网中，采用保护接地的情况，当电气设备绝缘损坏时，将有接地电流 I_d 通过接地装置，这个电流的大小，决定于相电压和接地装置的接地电阻，即

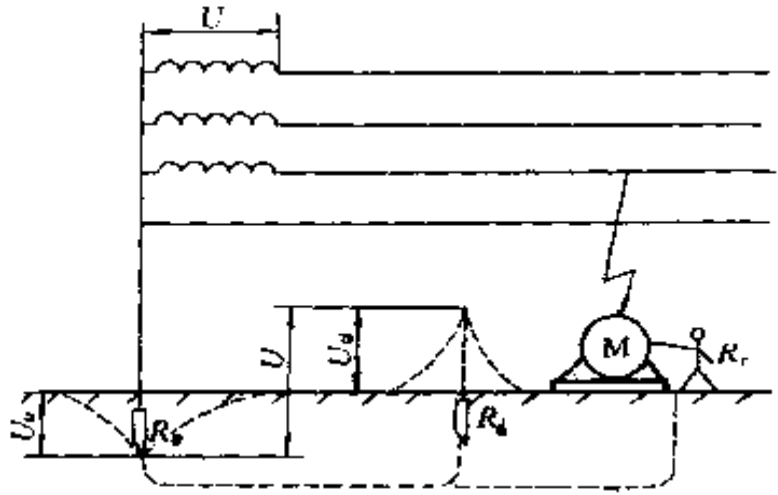


图 3-11 接地电网中单纯保护接地的危险性原理图

$$I_d = \frac{U}{R_0 + R_d}$$

- 式中 R_0 ——工作接地电阻；
- R_d ——保护接地电阻；
- U ——电源相电压。

如系统电压为 380/220V，当 $R_0 = R_d = 4\Omega$ 时，接地电流为

$$I_d = \frac{U}{R_0 + R_d} = \frac{220}{4 + 4} = 27.5A$$

为了使保护装置能够可靠地动作，接地电流应该不小于继电保护装置动作电流的 1.5 倍或熔断器熔体额定电流的 3 倍。因此，上式计算的接地电流，仅能保证动作电流不超过 27.5/1.5（即 18.3A）的继电保护装置，或熔体额定电流不超过 27.5/3（即 9.2A）的熔断器发生动作。如果故障电气设备的容量稍大，保护装置的的动作电流大于上述计算值时，则保护装置将长期存在着对地电压，即

$$U_d = I_d R_d = \frac{R_d}{R_0 + R_d} U$$

当 $R_0 = R_d$ 时, $U_d = 110\text{V}$, 此电压值对人体是不安全的。要使 U_d 值达到安全电压值 (即 50V), 即 R_0 与 R_d 的比值必须是:

$$\frac{R_0}{R_d} = \frac{U - 50}{50}$$

但这样又必然会引起其他两相对地电压大大升高。在系统电压为 $380/220\text{V}$ 时, 其他两相对地电压将升高到:

$$\begin{aligned} U_d &= \sqrt{(U - U_d)^2 + U^2 - 2(U - U_d)U \cos 120^\circ} \\ &= \sqrt{(220 - 50)^2 + 220^2 - 2(220 - 50) \times 220 \cos 120^\circ} \\ &= 338.5\text{V} \end{aligned}$$

这种情况仍然不安全。另外此时变压器低压侧中性点的对地电压将为 $220\text{V} - 50\text{V} = 170\text{V}$, 如果有人接触与此中性点相连的导线, 仍将发生触电危险。

从上述例子可以看出, 在低压系统中, 中性点接地的系统内, 采用保护接地, 对设备容量较大的系统来说, 其接地电流不会使继电保护装置动作。这样, 设备的故障电流会长期存在, 致使故障设备的对地电压对人身有危险, 不能起到应有的安全作用。如降低保护接地电阻, 设备的对地电压也会相应降低, 同时还能增大短路电流, 而促使保护装置迅速动作。但是减小接地电阻值, 在某些地区极为困难, 而且也很不经济。

由于上述原因, 所以在 1000V 以下中性点直接接地的供电系统中, 一般不采用保护接地, 只有在用电量较小的情况下, 才允许采用保护接地。

在 1000V 以下中性点直接接地的电力系统中, 一旦发生单相短路故障, 要能迅速自动切断故障设备的电源, 这是保证安全的基本条件。

在采用保护接零的电力系统中, 所有用电设备的金属外壳都与零线有良好的连接。当电气设备绝缘损坏, 发生碰壳短路时, 就将形成单相短路, 如图 3-12 所示。由于短路回路不包括接地装置的接地电阻, 所以能够有足够的短路电流使熔断器迅速熔断或继电保护装置动作。另外, 即使在熔断器熔断前的时间内, 人体如

果接触到带电的外壳时，也很安全，这是由于线路的电阻远小于人体的电阻，大量的电流将沿线路流通，而通过人体的电流极其微小。

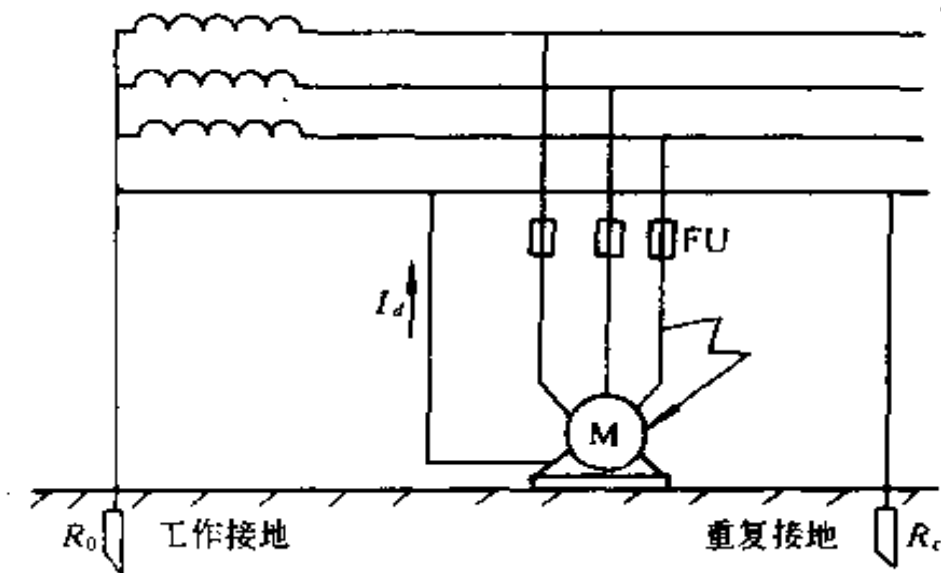


图 3-12 保护接零原理图

为此，通常在变压器的低压侧中性点直接接地的 380/220V 三相四线制电网中，不论环境如何，凡因绝缘损坏而可能出现危险的相对地电压的金属部分，均应接零。要求接零的设备与前述保护接地的设备大致相同。

二、工作接地

在电力系统中，由于运行和安全的需要，在系统中某些点进行的接地叫工作接地。如变压器和互感器的中性点接地，两线一地系统的一相接地等，都属于工作接地。

在接零系统中，变压器低压侧中性点直接接地的的工作接地有以下作用：

(一) 减轻一相接地的危险

如图 3-13 所示，发生一相碰地事故时，接零设备对地电压为

$$U_0 \approx I_d R_d = \frac{R_0}{R_0 + R_d} U$$

减小 R_0 可以把 U_0 限制在某一范围内，同时另外两相对地电压也能控制在一定范围内。当取工作接地电阻 $R_0 \leq 4\Omega$ ，一般可以

限制另外两相对地电压不超过 250V。

(二) 减轻高压窜入低压的危险

工作接地能稳定系统的电位，限制系统对地电压不超过某一范围，减轻高压窜入低压的危险，如图 3-14 所示，当高压窜入低压时，低压零线对地电压为

$$U_0 = I_{gd} R_0$$

式中 I_{gd} ——高压系统单相接地电流。

在这种情况下，按照规定 $U_0 \leq 120V$ 的要求，工作接地电阻为

$$R_0 \leq \frac{120}{I_{gd}}$$

对于不接地的高压电网，单相接地电流通常不超过 30A， $R_0 \leq 4\Omega$ 是能满足要求的。

(三) 能迅速切断故障设备

在不接地系统中，当某相接地时，接地电流很小，因此，保护设备不能迅速动作切断电流，从而会使故障长期持续下去。

而在中性点接地系统中当一相接地时，接地电流将成为很大的单相短路电流，使保护设备能准确而迅速动作切断故障线路，以保证其他线路和设备能正常运行。

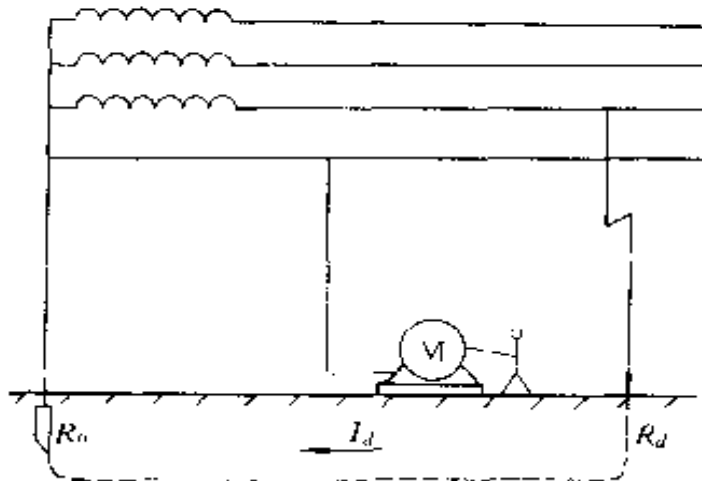


图 3-13 变压器中性点接地时一相接地

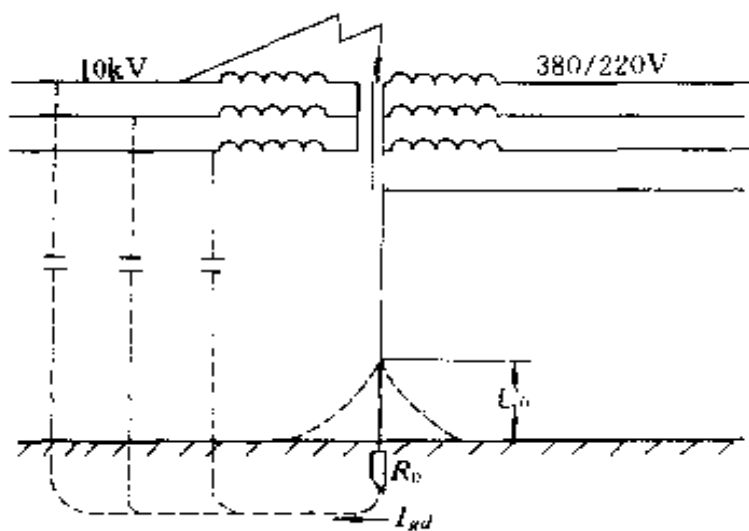


图 3-14 中性点接地时高压窜入低压

(四) 可降低对电气设备和电力线路绝缘水平的要求

因中性点接地系统中一相接地时，其他两相的对地电压不会升高至线电压，而是近似或等于相电压，所以，在中性点接地系统中，电气设备和线路的绝缘水平可只按相电压考虑，从而可降低对设备和线路绝缘水平的要求。

三、重复接地

将零线上的一处或多处通过接地装置与大地再次连接，称为重复接地。重复接地是保护接零系统中不可缺少安全措施，它有以下的安全作用：

(一) 降低漏电设备对地电压

如图 3-15 所示，在没有重复接地的

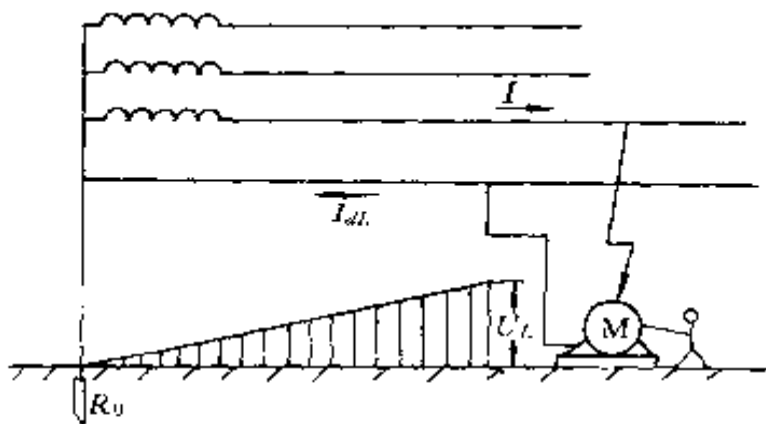


图 3-15 无重复接地的保护接零

的保护接零系统中，当发生碰壳短路时，线路保护装置将迅速动作，切断电源。但是从发生碰壳短路起到保护装置动作为止的一段时间内，设备外壳是带电的，其对地电压 U_d 即短路电流在零线部分产生的电压降 U_L 为

$$U_d = U_L = I_{dL} Z_L = \frac{U}{Z_X + Z_L} Z_L$$

式中 I_{dL} ——单相短路电流；

Z_L ——零线阻抗；

Z_X ——相线阻抗；

U_L ——零线电压；

U ——电网电压。

显然，零线阻抗越大，此时的设备对地电压也越高，这个电压通常比安全电压高出很多，对人是危险的。

在上述情况下，如果在图 3-16 中加上重复接地 R_c ，则触电危

险可以减轻。这时短路电流大部分构成回路，小部分则通过重复接地和工作接地构成回路。后一部分电流在重复接地的电阻上的电压，即设备对地电压为

$$U_d = I_d R_c = \frac{U}{R_c + R_0} R_c$$

显然，这时设备的对地电压只占零线电压降的一部分，危险性就可相对减小。

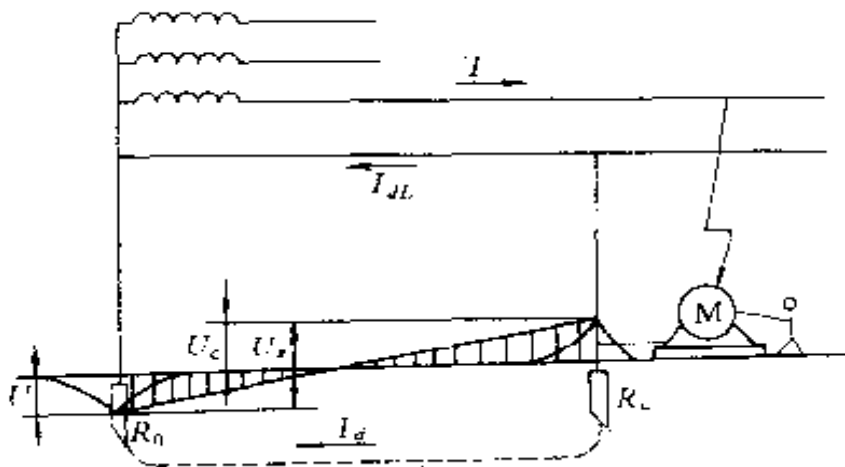


图 3-16 有重复接地的保护接零

(二) 减轻零线断线的触电危险

图 3-17 所示是没有重复接地的接零系统，当零线断裂且有一相碰壳时，故障电流将通过设备、人体和工作接地电阻构成回路。因为人体电阻比工作接地电阻大得多，所以在零线断线后人体几乎承受全部相电压，这样很危险。

如图 3-18 所示，当在零线上有重复接地 R_c 时则是另一种情况。这时，碰壳电流主要通过重复接地电阻 R_c 和工作接地电阻 R_0 而成回路。

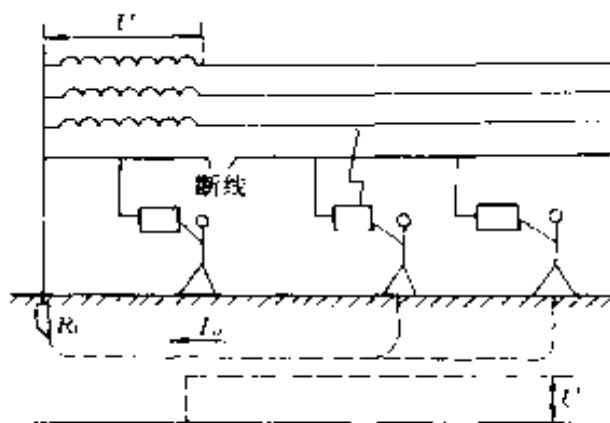


图 3-17 无重复接地时零线断线

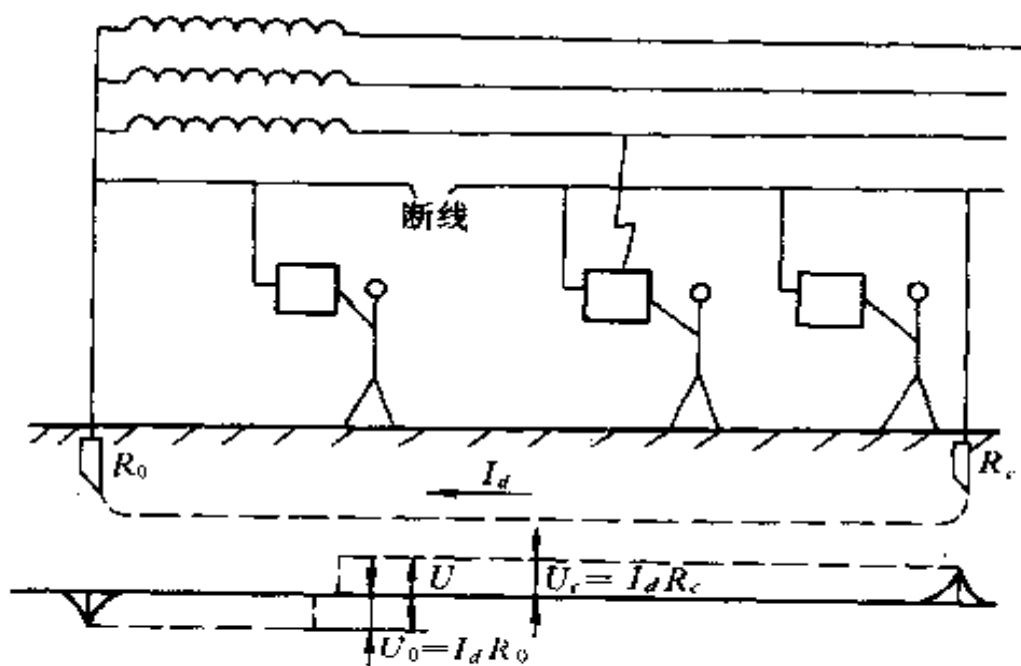


图 3-18 有重复接地时零线断线

在继线之后，接零设备对地电压则为

$$U_c = I_d R_c$$

在断线之前，接零设备对地电压则为

$$U_0 = I_d R_0$$

U_c 和 U_0 之和为电网相电压。因为 U_c 和 U_0 都小于相电压，所以危险程度稍有减轻。

从减轻零线断线事故的危险程度来看，在同一条零线上适当多加几处重复接地会有好处。尽管如此，零线断裂还是有危险的，应当避免这样的事故。为此，在电力线系统中，作保护接零的零线上，严禁装设熔断器及开关，零线导线的截面积也不应过小。

在接零系统中，当零线断线时，若三相负荷严重不平衡时，即使没有发生设备的碰壳短路，零线上也可能出现危险的对地电压。在这种情况下，重复接地可减轻或避免危险的发生。

(三) 缩短故障持续时间

因为重复接地和工作接地可构成零线的并联分支，所以当发生短路时，能增大短路电流，而且线路越长，效果越显著，这将会加速线路保护装置的动作，缩短故障的持续时间。

（四）改善防雷性能

架空线上的重复接地，对雷电流有分流作用，有利于限制其过电压的产生，改善防雷性能。

（五）重复接地的要求

（1）对中性点直接接地的低压线路，在架空线末端，长度超过 200m 的架空分支处和分支线末端及在无分支的架空线路上，每隔 1km 的直线段，这两种情况都应重复接地。

（2）在高、低压线路共杆架设时，在共杆架设段的两端终端杆上，低压线路的零线应重复接地。此时，如低压线路引出支线的长度超过 500m 时，在分支处零线也要重复接地。

（3）没有专用线芯作零线，或利用电缆金属护套作零线的低压电缆线路，也要采用重复接地，其要求与架空线相同。

（4）为等化电位及减小接触电压，车间内的金属结构和地下管道等，应采用接地线连接，以组成环形重复接地，但整个车间还应有不少于两组的集中重复接地装置。如车间周界大于 400m，则每隔 200m，也要进行接地。

四、接零线路的要求

保护接零的目的在于当设备发生漏电时，能迅速切断电源。因此，线路的阻抗不宜过大，以保证发生漏电时有足够的单相短路电流，迫使线路上的保护装置迅速动作。为此，接零的导线截面一般不得小于相应相线导线截面的 $1/2$ 。而机床在接地或接零时，按 IEC 技术条件，在主导线截面小于 16mm^2 情况下，其接地或接零导线的截面应与主导线的截面相同；当主导线截面大于 25mm^2 时，接地或接零导线的截面至少应为主导线截面的 50%，但不得小于 16mm^2 ，而且导线必须是多股胶合软铜线，电线的颜色必须用黄绿双色的绝缘线。

在起保护作用的零线上，绝不允许装设熔断器和单极开关。但对于不起保护作用而只起工作作用的零线（工作零线），在电路中可以同时在相线和零线上装设开关和熔断器。在机床上作为电源引入时，可以装设四极开关，当机床电源切断时应同时将零线或

接地线切断。

在同一供电系统中，应将所有的设备同零线相连接，以构成一个零线网，不允许个别设备接地不接零。若个别设备接地而不接零，会发生如图 3-19 所示的危险。

图中设备 D 接地而未接零，当设备 D 漏电时，电流通过 R_d 和 R_0 构成回路，但电流不会太大，线路上的继电保护装置有可能不动作，故障长时间存在。且该设备对地电压和零线对地电压分别为

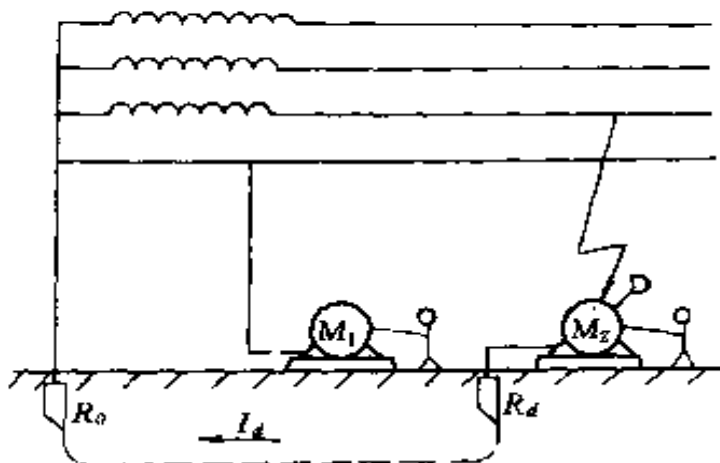


图 3-19 个别设备不接零的危险

$$U_d = \frac{R_d}{R_0 + R_d} U$$
$$U_0 = \frac{R_0}{R_0 + R_d} U$$

设接地电阻 R_d 与工作接地电阻 R_0 相等，即 $R_d = R_0$ ，则此时漏电设备的对地电压和零线对地电压都为电源电压的 $1/2$ 。虽然接零的设备未发生故障，但其外壳上也会出现一半相电压的对地电压。

这样高的电压对人身将很危险。因此，在同一台变压器供电系统中，不能一部分设备采用保护接零，而另一部分设备采用保护接地。

第三节 接地接零装置和接地接零应用

一、接地装置和接零装置

接地装置和接零装置分别用于不接地电网和接地电网的成套安全装置。接地装置由接地体和接地线（包括地线网）组成。接零装置由接地装置和零线（不包括工作零线）组成。

(一) 接地体

1. 自然接地体 在选择接地装置时,如果条件允许,应设法首先利用与大地有可靠连接的自然接地体。可作为自然接地体的有:

(1) 埋设在地下的金属管道(易燃液体、易燃或易爆炸气体的金属管道除外)。

(2) 金属井管。

(3) 与大地有可靠连接的建筑物及构筑物的金属结构。

(4) 与大地连接的水下金属结构。

(5) 直接埋设在地下的电缆金属护套。

自然接地体一般是伸长接地,它与大地接触面积较大,因此它的接触电阻较小,这是人工接地体所难以达到的。自然接地体在地下纵横交叉,如果使其连接起来作为接地体,又可以等化电位,降低接触电压和跨步电压。自然接近体仅需一些连接导体,所以非常经济易行。由于具有这些优点,所以在小接地短路电流的系统中,广泛采用自然接地体,只要达到所要求的接地电阻值,就不必另行敷设人工接地体(发电厂和变电所的接地装置除外)。但是,自然接地体必须保证在所有运行情况和检修工作时都有可靠的连接。

当采用电缆金属护套作为接地体时,必须采用两条电缆作为接地体。在大接地短路电流系统中,因为要求的接地电阻值较低,必须另设电阻不大于 1Ω 的人工接地体。在采用自然接地体时,至少应有两根接地导线接在自然接地体的不同部位。

直流回路不能利用自然接地体作为电流回路的零线、接地线或接地体。

2. 人工接地体 人工接地体有垂直埋设地下的钢管、角钢以及平放的圆钢、扁钢等。

垂直埋设的接地体可采用直径 $40\text{mm}\sim 50\text{mm}$ 的钢管或用 $40\text{mm}\times 40\text{mm}\times 4\text{mm}\sim 50\text{mm}\times 50\text{mm}\times 5\text{mm}$ 的角钢。垂直接地体的长度以 2.5m 左右为宜,太短时会增加接地电阻,太长时施工

困难，并增加钢材的消耗，而且接地电阻减少甚微。垂直接地体一般由两根以上的钢管或角钢组成，或以成排布置，也可作环形布置。相邻钢管或角钢之间的距离以不超过 $3\text{m}\sim 5\text{m}$ 为宜，钢管或角钢上端用扁钢或圆钢连成一个整体。垂直接地体有几种典型布置，如图 3-20 所示。

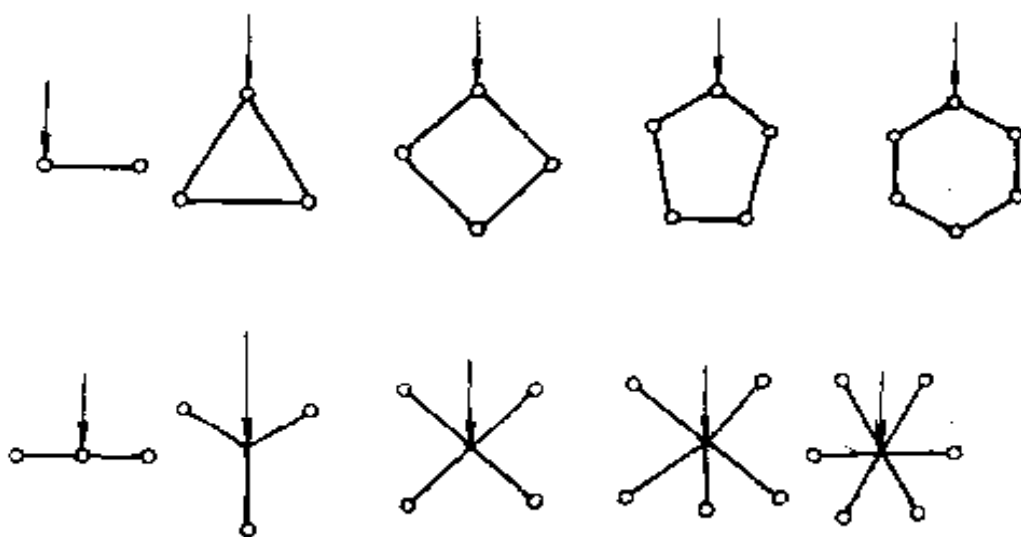


图 3-20 垂直接地体的布置

水平埋设的接地体可采用 $40\text{mm}\times 4\text{mm}$ 的扁钢或直径为 16mm 的圆钢。水平接地体多采用放射形布置，也可以成排布置成环形布置。水平接地体的几种典型的布置，如图 3-21 所示。

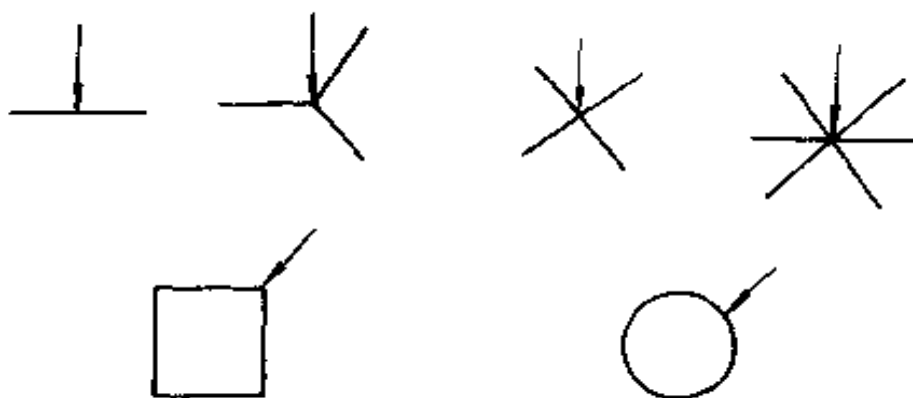


图 3-21 水平接地体的布置

(二) 接地线和接零线

接地线应尽量利用金属构件的自然导体。用作自然接地线的有建筑物的金属结构、生产用的金属结构、布线的钢管以及电缆的金属护套等。采用自然导体作为接地体时，必须要有可靠的电气连接，遇到自然导体连接不可靠的地方一定要另加跨接线。户内跨接线一般采用 5mm 圆钢或截面为 3mm×8mm 的扁钢，户外或地下的则采用截面为 4mm×12mm 的扁钢。

在有爆炸危险的场所内，电气设备的金属外壳应可靠接地。在 0、10 区爆炸场所内的所有电气设备，以及 1 区爆炸场所内除照明灯具以外的其他电气设备，应使用专门的接地线。该接地线若与相线敷设在同一穿线保护管内时，应具有与相线相等的绝缘。此时，爆炸危险场所内的金属管道和电缆的金属护套等，只应作辅助接地线。2 区爆炸场所内的照明灯具和 2、1 区爆炸场所内的所有电气设备，可利用有可靠电气连接的金属管道系统或金属构件作为接地线，但不得利用输送易燃易爆危险物质的管道。

关于爆炸危险场所的分级，可见“电气防火和防爆”部分。

如果连接的电气设备较多，则宜敷设接地干线或接零干线。这两者的区别在于：前者只有接地体连接；后者除与接地体连接外，还须与电源变压器低压中性点连接。如图 3-22 所示，各电气设备分别与接地干线（或接零干线）连接，而接地干线（或接零干线）则与接地体连接。

接地干线宜采用 15mm×4mm~40mm×4mm 扁钢沿车间四周敷设，离地面高度应保持在 200mm~500mm 以上，与墙之间应保持 15mm 以上的距离。

(三) 对接地、接零装置的安全要求

接地装置和接零装置能可靠而良好地工作，这对保障人身安全有十分重要的意义。因此，它们必须符合下列的要求。

1. 导电的连续性 从电气设备至接地体之间，或电气设备至变压器低压中性点，必须保证导电的连续性，而不得有脱断现象。当采用建筑物的钢结构、行车钢轨、工业管道和电缆的金属护套

等自然导体作为接地线时,在其伸缩缝或接头处应另加跨接线,以保证电气性能的连续可靠。

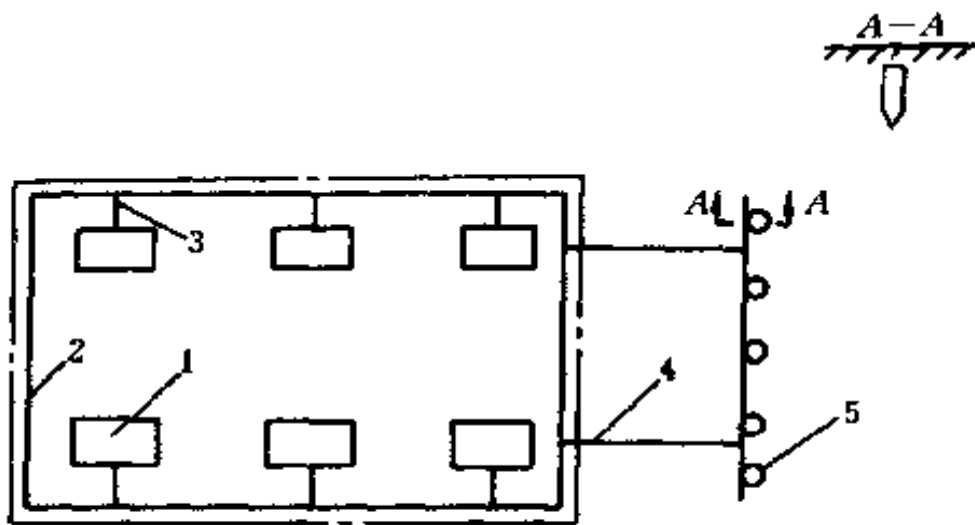


图 3-22 接地装置简图

- 1—电气设备 2—接地（或接零）干线 3—接地（或接零）支线
4—接地体连接线 5—接地体

自然接地体与人工接地体之间,也务必连接可靠,以保证接地装置导电的连续性。

2. 连接要牢固可靠 接地装置之间的连接一般采用焊接。扁钢的搭焊长度应为宽度的两倍,且至少在三个棱边进行焊接;圆钢的搭焊长度应为直径的六倍。在不能采用焊接时,可采用螺栓或卡箍连接,但必须保持接触良好。在有振动的地方,还应采用防松措施。

3. 足够的机械强度 为了保证足够的机械强度,并考虑到防腐蚀的要求,钢质接零线、接地线的最小尺寸,以及钢、铝质接零线、接地线的最小尺寸,可分别见表 3-2 和表 3-3 所列数值。

接地线或接零线宜采用钢质材料,有困难时可采用铜、铝接地线或接零线。地下不得采用裸导体作接地体或连接线。

携带式用电设备因经常移动,其接地线和接零线应采用截面为 $0.75\text{mm}^2 \sim 1.5\text{mm}^2$ 以上的多股铜线。

表 3-2 钢质接零线、接地线和接地体的最小尺寸

材料种类		地上		地下
		屋 内	屋 外	
圆钢直径/mm		5	6	6~8
扁 钢	截面积/mm ²	24	48	48
	厚度/mm	3	4	4
角钢厚度/mm		2	2.5	4
钢管管壁厚度/mm		2.5	2.5	3.5

表 3-3 铜、铝接零线和接地线最小尺寸

材 料 种 类	铜/mm ²	铝/mm ²
明设的裸导体	4	6
绝缘导体	1.5	2.5
电缆接地芯或与相线包在同一护套内的多芯导线的接地芯	1	1.5

携带式用电设备应采用专用芯线接地，此芯线严禁同时用来通过工作电流，严禁利用其他用电设备的零线接地。零线与接地线应分别与接地网相连。

4. 足够的导电能力和热稳定性 采用保护接零时，为了保证使保护装置迅速动作的单相短路电流，必须使零线有足够的导电能力。因此，在不利用自然导体作零线的情况下，保护接零线的导电能力最好不低于相线的 1/2。

5. 其他安全要求 主要有以下几个方面：

(1) 防止损伤 接地线或接零线尽量安装在人不易触及的地方，以免意外受到损坏，但又必须是在明显处，以便于检查。

(2) 防腐蚀 为了防止腐蚀，钢制接地装置最好采用镀锌元件制成，焊接处要涂沥青油防腐，明设的接地线或接零线可以涂防腐漆（一般涂成黑色作为标志）。对于分别接到具体用电设备上

的接地线或接零线，一般用塑料绝缘铜芯线，且其颜色用黄绿双色的软铜线，其接线螺钉也采用铜制的或镀锌的螺钉。在有强烈腐蚀性的土壤中，接地体除应采用镀铜或镀锌元件制成外，还应适当加大其截面积。

(3) 地下安装距离 接地体与建筑物的距离应不小于 1.5m，与独立避雷针的接地体之间的距离应不小于 3m。

(4) 接地、接零支线不得串接 为了提高接地（或接零）的可靠性，电气设备的接地支线（或接零支线）应单独与接地干线（或接零干线）或接地体相连，不得串联连接。接地干线（或接零干线）应有两处同接地体直接相连，以提高可靠性。一般企业变电所的接地，既是变压器的工作接地，也是高压设备的保护接地和低压装置的重复接地，各部分应单独与接地体相连接，不得串联连接。变配电装置最好也有两条接地线与接地体相连接：

(5) 埋设深度 为了减少自然因素对接地电阻的影响，接地体的上端埋入深度一般不应小于 600mm，并在冻土层以下。

(四) 接地装置的运行和维护。

1. 定期巡视和检查 对于变电所的接地网，一般情况下，检查周期为每年一次；对于车间电气设备的接地线或接零线，每年至少应检查两次；对于各种防雷的接地引入线，每年在雷雨季节前应检查一次。通过巡视与检查发现的问题和缺陷，应及时处理，以确保运行中的安全。

运行中的接地装置巡视与检查的一般内容为：

(1) 检查接地线或接零线与电气设备的金属外壳以及同接地网的连接处是否接触良好，有无松动脱落等现象。

(2) 检查接地线有无损伤、碰断和腐蚀等现象。

(3) 对含有重酸、碱、盐或金属矿岩等化学成分土壤地带的接地装置部分，一般每五年应挖开局部地面进行检查，观察接地体受腐蚀程度。

(4) 对接地线地面下 500mm 以上部位，应挖开地面进行检查，观察其腐蚀程度。

(5) 对移动式电气设备的接地线，在每次使用前应检查其接地线情况，观察有无断股等现象。

(6) 定期测量接地装置的接地电阻值。

(7) 测量接地电阻要在土壤电阻率最大的季节内进行，即夏季土壤最干燥时期和冬季土壤冰冻严重时期。

2. 日常维护工作 除对接地装置进行定期巡视检查外，还应加强日常维护工作。维护内容包括以下几个方面：

(1) 要经常观察人工接地体周围的环境情况，不应堆放具有强烈腐蚀性的化学物质。

(2) 当发现运行中的接地装置其接地电阻不符合要求时，可采用降低接地电阻的措施。例如，将接地体引至土壤电阻率较低的地方，装设引外接地体，在接地坑内填入化学降阻剂。常用的两种型号的化学降阻剂配方见表 3-4。

表 3-4 化学降阻剂配方

木质素型		石膏型	
原料	数量/kg	原料	数量/kg
木质素、磷酸 碱水溶液	5 (40%含量)	半水石膏	7
三氯化铁	0.8	二水石膏	1.3
重铬酸钠	0.6	高岭土	2.6
氯化钠	1.5	硫酸钠	1.3
水	1.8	聚乙烯醇	14 (5%水溶液)

(3) 对于接地装置与公路、铁道或管道等交叉的地方应设法采用保护措施，以防止接地线受到损坏。

(4) 电气设备在每次大修后，应着重检查其接地线连接是否牢固。

(5) 接地装置在接地线引入建筑物的人口处，最好有明显的标志，以便为运行维护工作提供方便。

(6) 明敷的接地线表面所涂的标志漆应完好无损。

二、接地电阻值

由保护接地原理可以知道，保护接地的基本原理是将漏电设备外壳的对地电压限制在安全范围以内，各种保护接地的接地电阻就是根据这一原理确定的。

(一) 低压电气设备的保护接地电阻

在 380V 不接地的低压系统中，单相接地电流很小。为限制设备漏电时外壳对地电压不超过安全范围，一般要求保护接地电阻 $R_b \leq 4\Omega$ 。

当配电变压器或发电机的容量小于 $100\text{kV} \cdot \text{A}$ 时，由于电网范围很小，单相接地电流更小，可以放宽对接地电阻的要求，取 $R_b \leq 10\Omega$ 。

(二) 高压电气设备的保护接地电阻

高压系统按单相接地短路电流的大小，可分为：大接地短路电流（其值 $> 500\text{A}$ ）系统与小接地短路电流（其值 $\leq 500\text{A}$ ）系统。

在小接地短路电流系统中，如果高压设备与低压设备共用接地装置，则要求设备对地电压不超过 125V。其接地电阻值应为

$$R_d \leq \frac{125}{I_d}$$

如果高压设备单独装设接地装置，则要求对地电压不超过 250V。其接地电阻值应为

$$R_d \leq \frac{250}{I_d}$$

在大接地短路电流系统中，由于接地短路电流很大，很难限制设备对地电压不超过某一范围，而是靠线路上的速断保护装置切除接地故障。一般接地电阻值应为

$$R_d \leq \frac{2000}{I_d} (\Omega)$$

当接地短路电流 $I_d > 4000\text{A}$ 时，可采用

$$R_d \leq 0.5\Omega$$

对于一般的电气设备及电力线路的接地电阻值可见表 3-5 所列数值。

表 3-5 电气设备及电力线路接地电阻要求值

序号	电力线路名称	接地装置特点	接地电阻/ Ω
1	1kV 以上 大接地电流 电力线路	仅用于该线路的接地装置	$R \leq \frac{2000^{(1)}}{I_{Ld}}$ 当 $I_{Ld} > 4000A$, 可取 $R \leq 0.5^{(1)}$
2	1kV 以上 小接地电流 电力线路	仅用于该线路的接地装置	$R \leq \frac{250}{I_{Ld}} \leq 10^{(3)}$
3		与 1kV 以下线路的共同接地装置	$R \leq \frac{125}{I_{Ld}} \leq 10^{(3)}$
4	1kV 以下 中性点直接 接地电力线 路	与容量在 $100kV \cdot A^{(2)}$ 以上的发电 机或变压器相连接的接地装置	$R \leq 4$
5		序号 4 的重复接地装置	$R \leq 10$
6		与容量在 $100kV \cdot A^{(2)}$ 及以下的发 电机或变压器相连接的接地装置	$R \leq 10$
7		序号 6 的重复接地装置	$R \leq 30^{(3)}$
8	1kV 以下 中性点不接 电力线路	与容量在 $100kV \cdot A^{(2)}$ 以上的发电 机或变压器相连接的接地装置	$R \leq 4$
9		序号 8 的重复接地装置	$R \leq 10$
10		与容量在 $100kV \cdot A^{(2)}$ 以下的发电 机或变压器相连接的接地装置	$R \leq 10$
11		序号 10 的重复接地装置	$R \leq 10^{(3)}$
12	引入线上 装有 25A 以 下熔断器的 小容量线路	任何供电系统	$R \leq 10$
13	高低压电 气设备	高低压电气设备联合接地	$R \leq 4$
14		电流、电压互感器二次线圈	$R \leq 10$
15		高压线路的保护网或保护线	$R \leq 10$
16		电弧炉	$R \leq 4$
17		工业电子设备	$R \leq 10$
18		静电接地	$R \leq 100$

(续)

序号	电力线路名称	接地装置特点	接地电阻/ Ω
19	ρ 大于 500 $\Omega \cdot m$ 高 电阻率土壤 地区	1kV 以下小接地短路电流系统电 气设备	$R \leq 20$
20		发电厂和变电所接地装置	$R \leq 10$
21		大接地短路电流系统发电厂和变 电所装置	$R \leq 5$
22	无避雷线 的架空线	小接地短路电流系统钢筋混凝土 杆、金属杆	$R \leq 30$
23		低压线路钢筋混凝土杆、金属杆	$R \leq 30$
24		零线重复接地	$R \leq 10$
25		低压进户线绝缘子铁脚	$R \leq 30$

- ① 指单台或并联运行的总容量而言
- ② 如果采用自然接地体，即使达到接地电阻要求，还必须采用接地电阻不大于 1 Ω 的人工辅助接地体。
- ③ 重复接地不应少于三处。
- ④ 表中 I_{Jd} 为接地装置流入地中的电流，计算方法如下：

在计算小接地电流系统的接地电阻时，其接地短路电流 I_{Jd} 用以下方法确定，即在中性点经消弧线圈接地的电网中，有消弧线圈时，计算电流等于消弧线圈额定电流的 125%；不接消弧线圈时，计算电流按当切断系统中最大一台消弧线圈，用可能发生的剩余接地短路电流来计算，但不得小于 50A。在中性点不接地的网络中，计算电流采用单相接地电容电流，可按下式计算：

$$I_{Jd} = \frac{U(35L_L + L_J)}{350}$$

式中 U —— 网络线电压 (kV)；
 L_J —— 电缆线路长度 (km)；
 L_L —— 架空线路长度 (km)。

计算接地短路电流，应按运行中可能发生最大接地短路电流的接线方式确定。

三、接地接零应用

(一) 照明设备的接地和接零

1. 工作照明 照明设备有的有保护接地或保护接零的要求，有的则没有保护接地或保护接零的要求。照明设备的保护接地，与

一般设备的保护接地做法相同，而照明设备的保护接零则与一般设备的保护接零不完全相同。

(1) 中性点不接地系统 在中性点不接地系统中，应采用保护接地，而不应采用保护接零。这时中性线只起工作作用，为了减轻短路或过载造成火灾的危险，相线 and 中性线都应装开关和熔断器为宜。另外，对照明线路的接线有以下要求：必须相线进开关，若采用螺口灯头，则它的接线应符合相线接在中心触点的端子上，零线（中性线）接在螺纹的端子上。

(2) 中性点接地系统 在中性点接地系统中，应采用保护接零，在这种系统中如果没有接零要求，必须保持零线连续可靠。为此，在零线上不允许装设开关和熔断器，而且照明设备的接零线应接向零干线，而不应接向接零支线，以免由工作零线断线导致设备外壳带电，如图 3-23 所示。

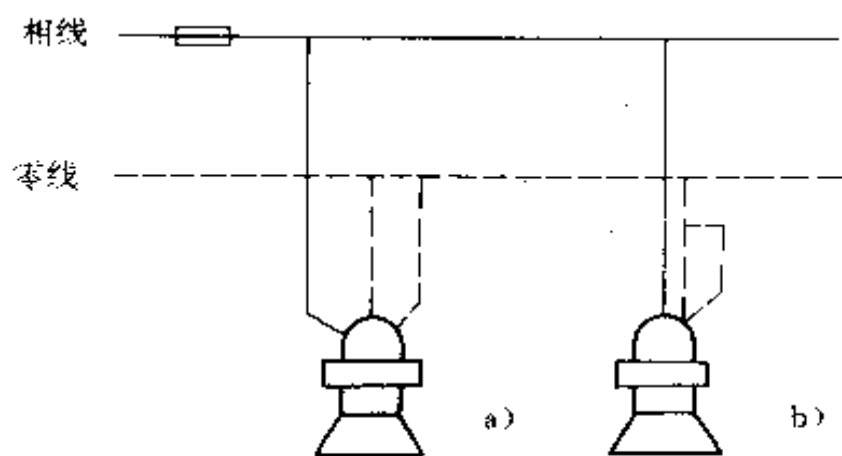


图 3-23 不另设保护零线时照明设备的接零

在有爆炸和火灾危险的环境中，为了减轻过载的危险，相线和工作零线上都应该装有熔断器。这时，除工作零线外，应另设保护零线，如图 3-24 所示，照明设备外壳应接向保护零线。

2. 局部照明 局部照明的电压一般采用 24V 或 12V。但当工作环境比较安全，或者所用灯具有特殊安全结构时，其电压可采用 220V。

24V 或 12V 的电源电压由双线圈变压器供给，不能由自耦变

压器供给。对于中性点接地系统，为了防止变压器漏电，其外壳应接零；为了防止高压窜入低压，变压器低压侧一端也须接零。对于中性点不接地系统，只要将变压器外壳接地即可。

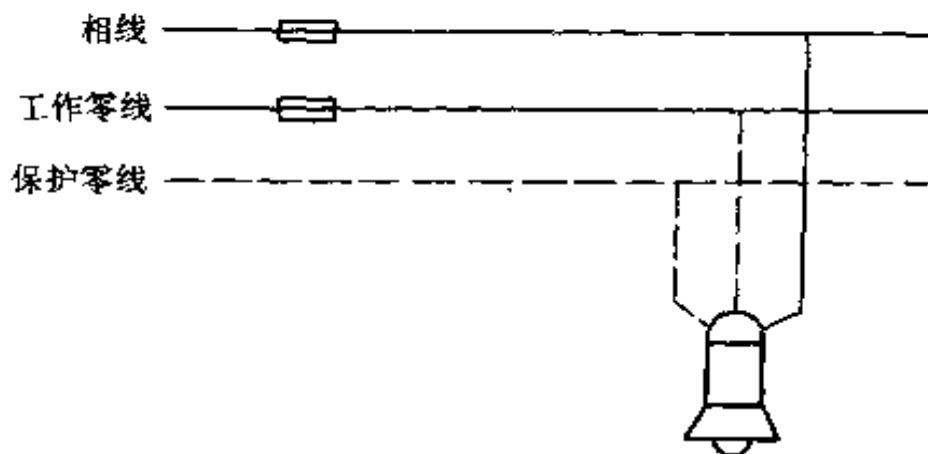


图 3-24 单独敷设保护零线时照明设备的接零

为防止短路事故，变压器的一次和二次侧都应装设熔断器。对于行灯，变压器二次侧宜采用橡皮护套软线；如果行灯移动范围不大，可以采用截面积为 0.75mm^2 的软铜线。

（二）携带式设备的接地和接零

携带式电气设备（如各种手携电动工具），在使用中要经常移动，振动也往往较大，比较容易发生碰壳事故，故触电的危险性较大。

接地（或接零）是携带式设备的主要安全措施之一，携带式电气设备的地线（或零线）不宜单独敷设，而应当和电源线采取同样的防护措施。最好采用带有接地（或接零）芯线的橡皮护套软线作电源线，其专门芯线则用作接地（或接零）线。

单相携带式设备接零的作用与一般照明设备相同。

携带式设备的电源插座和插头，应有专用的接地（接零）插孔和插头，其结构应能保证插入时接地（接零）插头，在导电插头之前接通，拔出时，接地（接零）插头在导电插头之后拔出；同时其结构还应保证接地（接零）插头和导电插头与各自的插孔之间不得互相插错。

（三）移动式设备的接地和接零

移动式电气设备（如挖土机等）由于位置要经常变化，不宜采用固定的接地装置。如电源中性点是接地的系统，应将设备正常时不带电的金属部分接零，由于线路要经常移动、经受拉伸和弯曲，容易损坏，因此零线（或地线）截面应与电源线相同。而且连接的地方应有特殊标志。如电源是中性点不接地系统，则宜采用漏电保护装置保护。

移动式发电设备或移动式变电设备的接地装置，应尽量采用自然接地体。若自然接地体不能满足要求，可加用人工接地体。人工接地体的结构应使得打入地下和拔出地面都比较方便。对于移动式发电设备或变电设备，如果供电范围不大，应考虑采用不接地系统。

电源设备和用电设备合为一体的移动式成套设备，一般采用中性点不接地系统。其外壳构成闭合回路，漏电时人几乎没有危险，不必采取接地措施。

（四）直流设备的接地和接零

由于直流电的电解作用，直流接地装置不宜经常有电流通过。

如果直流设备不多，宜采用不接地系统，其保护接地的要求与交流系统大体相同。

对于流经直流电流的系统，不能利用自然接地体构成电流回路，也不能利用自然接地体作接地线或零线，而且专门设置的电流回路以及接地体和接地线也不能与自然接地体相连，最好能预以绝缘。

（五）医疗电气设备的接地和接零

医疗电气设备如X光机、心电图机、脑电图机等，由于要经常与病人接触，当设备漏电时造成触电危险性较大，故对安全要求较高，在采用保护接零的系统中，除应将可能意外带电的金属部分可靠接零外，还必须装设重复接地。

医疗电气设备可以利用自然接地体作为接地体和接地线，但必须注意对自然接地体进行检修时要保持接地体和接地线的连续

性。

医疗电气设备中，X光机各部件的铁壳、操作台、高压电缆金属护套、电动床、管式立柱等，均应接地，其接地可与其他电气设备、管道接地连接在一起。心电图机和脑电图机为了避免外界干扰，要求单独设置接地装置，其接地电阻值应不大于 4Ω 。

(六) 电子计算机的接地

1. 电子计算机接地种类。

(1) 逻辑地 在电子设备的信号回路中，其电位要有一个统一的基准电位，把这个点接地叫作逻辑接地，简称“逻辑地”，但此基准电位并不一定是大地的零电位。

(2) 功率地 电子设备中大电流电路和非灵敏电路等，如电子计算机框上的继电器，风机，指示灯和交直流电源电路都需要接地，这种接地称功率接地，简称“功率地”。当交直流电路分开接地时，则分别称为交流功率地和直流功率地。

(3) 安全地 为了人身和设备安全，把正常运行时不带电的设备金属外壳，如机框外壳、元件外壳与面板等接地，这种接地称为安全接地，简称“安全地”。

2. 计算机接地系统

(1) 混合接地系统 小型计算机内部的逻辑地、功率地和安全地，在柜内已接到同一个接地端子上，故称为混合接地系统。在机房布置时，只要从这个端子上引出接地线接至接地装置即可。

(2) 悬浮接地系统 计算机柜内的逻辑地、直流功率地接到地板下与大地相绝缘的铜排网上；机柜上的日光灯、风机、插座及中频电源等交流零线和机柜框架则接在交流地上，而与直流地、逻辑地相分开。这样，机柜上的静电荷将泄入地中，而集成电路计算机中直流电源电压和逻辑地的电位都不很高，即使与机柜相碰也无危险。

(3) 交直流分开接地系统 此种系统是逻辑地与直流功率地合在一起接在接地网上，接地电阻不大于 4Ω ；机柜和交流功率地

则共同接地。

(4) 一点接地系统 此系统是在机柜中将逻辑地、功率地与安全地分开，各自成为一独立系统。为此，在机柜引出三个相互绝缘的接地端子，其中逻辑地、功率地的接地铜排从机柜底座引至地板下的铜排网，然后从铜排网和机柜其他接地端子各引出一根引线在同一点与接地体相连，接地电阻不大于 4Ω 。此种接地系统的优点是，逻辑地有一个统一的基准电位，可减少互相干扰，保证安全，而且也可泄放静电荷。

(七) 电子设备接地

电子设备接地是为了保证人身和设备的安全，也就是以上所说的“安全地”；其次是为了电子设备工作时有一个统一的参考电位和防止外界电磁场的干扰。

1. 电子设备接地的种类

(1) 信号地 电子设备中的信号电路，包括放大器、混频器、扫描电路和逻辑电路等，都要进行接地，这种接地叫信号接地，简称“信号地”，其目的是保证电路工作时有一个统一的基准电位。

(2) 功率地 在电子设备中的所有继电器、电动机、电源装置、大电流装置和指示灯等电路都要进行接地，以保证在这些电路中的干扰信号泄漏到地中，不致于干扰灵敏的信号电路。

(3) 安全地 把电子设备的金属外壳进行接地或接零，以保证人身及电子设备的安全。

2. 电子设备的接地系统

(1) 辐射式接地系统 把电子设备中的信号地、功率地和安全地分开敷设的接地引下线，都接至电源室的接地总端子板上，再一起引至接地体，而安全地也可直接接零。这种接地系统将三种接地，在盘上或仪器中相互分开，能避免电源接地回路的干扰信号反馈至信号电路中而引起干扰。这种接地系统大多采用在低频电路中。

(2) 环状接地系统 在高频电路中，信号地、功率地和安全地将无法分开，这是因为频率高、耦合电容的增加，高频干扰信

号在分开的地线中同样可以导致耦合之故。所以，在高频电子设备中，信号地、功率地和安全地都接在一个公共的环状接地母线上。这种接地系统也叫做多点接地，常用在高频回路中。

(3) 混合接地系统 把辐射式接地系统与环状接地系统相结合，即在电子仪表或设备内采用辐射式接线，把信号地、功率地、安全地相分开，而在机壳或仪表壳上汇接在一点，然后把几个电子仪表或设备的汇接点接在环状接地体上，此种系统可用在低频和高频之间。

(八) 变电所接地

变电所内除了配电装置及电气设备外，还有金属遮栏、电缆接头盒的金属外壳、避雷针、避雷器等，它们在正常运行时是不带电的，但是在事故情况下，可能出现对地电压，因此必须接地。

变电所的接地装置要求较高，除利用自然接地体或各种人工接地体外，还应安装水平敷设的人工接地网。为了降低变电所内的接触电压和跨步电压，以确保人身安全，人工接地网边部的接地体应做成围绕设备区的闭合形，并在其中装设若干水平接地体作为均压带。

变电所人工接地网的边角外部电位梯度较高，除了要求将接地网边部的接地体连成闭合形外，边角外还应做成圆弧形（圆形的半径应不小于均压带间距离的一半），这样均压效果较好。

对于接地网边缘上是经常有人出入的通道时，应在通路的地下加强均压措施，以确保人身安全。

对可能将接地网的高电位引向变电所之外（如人站在距接地网较远的低电位处，触及与接地网有金属连接的导体，所承受的接触电压很高，而等于接地电网的全电压时），或将低电位引向变电所内的设备，均应采取措施。

变电所的接地干线与接地网相连，通常不少于两点。接地网接地干线采用 $40\text{mm} \times 4\text{mm}$ 的扁钢，接到设备的接地支线可用 $25\text{mm} \times 4\text{mm}$ 的扁钢。

变电所外部的接地干线，要避开建筑物的墙柱基础，并埋入

地下 0.5m~0.6m。在建筑物内部则要固定在离地面 0.8m~1m 的部位，露出于外面的接地干线还要便于修理和检查，为了能够装设临时接地线，在干线上应有蝴蝶螺母，或便于迅速操作而又可靠的接地装置。

第四节 防雷保护

雷击是一种自然现象，雷击可能造成设备或设施的损坏，或造成大规模停电，或引起火灾和爆炸，危及人身安全。

雷电是一种大气中的放电现象。雷云在形成过程中，某些云积聚起正电荷，另一些云积聚起负电荷，随着电荷的积聚，电压逐渐升高。当带有不同电荷的雷云互相接近到一定程度，其间电场强度超过 25kV/cm~30kV/cm 时，就会发生激烈的放电，并出现强烈的闪光。由于放电温度高达 20000℃，空气受热急剧膨胀，而发出了爆炸的轰鸣声，这就形成了雷电。

一、雷电的种类、危害和防雷分类

(一) 雷电种类

根据雷电产生和危害特点的不同，雷电可分为直击雷、雷电感应、球雷、雷电侵入波等几种。

如果雷云较低，周围又没有带异性电荷的雷云，就在地面凸出物上感应出异性电荷，造成与地面凸出物之间的放电，这就是通常所说的直击雷。

雷电感应也称作感应雷，分静电感应和电磁感应两种。静电感应是由于雷云接近地面，在地面凸出物顶部感应出大量异性电荷所致。在雷云与其他部位放电后，凸出物顶部的电荷失去束缚，以雷电波的形式，沿凸出物极快地传播。电磁感应是由于雷击后，巨大的雷电流在周围空间产生迅速变化的强大磁场所致。这种磁场能在附近的金属导体上感应出很高的电压。

球雷表现为一团发红光或白光的火球，其直径多在 200mm 上下，运动速度多为数 m/s，存在时间多在数秒钟之内。球雷可从门、窗、烟囱等通道侵入室内。

雷电侵入波是由于雷击在架空线路或空中金属管道上产生的冲击电压，沿线路或管道的两个方向迅速传播的行进波，它在架空线路中的传播速度为 $300\text{m}/\mu\text{s}$ ，在电缆中为 $150\text{m}/\mu\text{s}$ 。

（二）雷电的危害

雷电波幅值可达数十至数百 kA，雷电冲击电压可达数百至数千 kV。雷电有很大的破坏力，主要表现为电性质、热性质和机械性质等方面的破坏作用。

1. 电性质的破坏作用 表现为数十乃至数百万伏的冲击电压可能激坏发电机、电力变压器、断路器、绝缘子等电气设备的绝缘，造成大规模、长时间停电；绝缘损坏可能引起短路，烧坏设备或线路，甚至引起火灾或爆炸；二次放电也可能引起火灾或爆炸；绝缘损坏，可能导致设备漏电和高压窜入低压，大面积带来触电的危险；雷云直接对人体放电以及对人体的二次放电都可能使人致命；巨大的雷击电流流入地下，可在相连接的金属导体上和接地点附近产生极高的对地电压，从而带来接触电压触电或跨步电压触电的危险。

2. 热性质的破坏作用 表现为巨大的雷击电流流过导体，在极短的时间内转换出大量的热能，造成易燃品燃烧或造成金属熔化、飞溅，由此引起火灾或爆炸；如果雷击在易燃物上，更容易引起火灾。

3. 机械性质的破坏作用 表现为被击物遭到破坏，成碎片。这是由于巨大的雷电流通过被击物时，在被击物缝隙中的气体剧烈膨胀，缝隙中的水分也急剧蒸发为大量气体，致使被击物破坏或爆炸。此外，同性电荷之间的静电斥力、电流拐弯处的电磁推力也有很强的破坏作用，导致变压器线圈散架等。此外，雷击时的气浪也有一定的破坏作用。

（三）建筑物和构筑物的防雷分类

对于工业建筑物和构筑物，按其生产性质以及遭受雷击的可能性和后果，可分为以下三类：

1. 第一类工业建筑物和构筑物 这类建筑物和构筑物中，由

于使用或贮存大量爆炸性危险物质（如火药、炸药、起爆药等），电火花会引起强烈爆炸，造成巨大破坏和人身伤亡。如制造火药的建筑物、乙炔站、电石库和汽油提炼车间等。

凡划为 0 级区和 10 级区爆炸危险场所者，均属于这类建筑物和构筑物。

2. 第二类工业建筑物和构筑物 这类建筑物和构筑物中，虽然使用和贮存爆炸性危险物质，但火花不易引起爆炸或不致造成巨大破坏和人身伤亡，如油漆制造车间、氧气站、易燃品库等。

凡划为 1 区和 11 区爆炸危险场所者，均属于这类建筑物和构筑物。

3. 第三类工业建筑物和构筑物 这类建筑物和构筑物系指除以上两类以外，凡属需要防雷的工业建筑物和构筑物，大体包括以下几种：

- (1) 根据受雷击的可能性和遭雷击后影响生产的程度，确定需要防雷的爆炸危险场所和火灾危险场所的建筑物和构筑物。
- (2) 多雷地区较重要的建筑物和构筑物。
- (3) 高度超过 15m~20m 的烟囱、水塔等建筑物和构筑物。
- (4) 年计算雷击系数超过 0.01 的建筑物。

上述年计算雷击系数，对于建筑物和构筑物，可按以下经验公式确定，即

$$N=0.015TK(L+mh)(b+mh)\times 10^{-5}$$

式中 N ——年计算雷击次数；

T ——年平均雷暴日；

L 、 b 、 h ——建筑物长、宽、高（m）；

K ——落雷不均系数。一般情况下，取 $K=1$ ；对于易受雷击的建筑物和构筑物，取 $K=1.5\sim 2.0$ ；对煤矿、铝矾土矿及其它金属矿区的建筑物和构筑物，以及对于发电厂和变电所，取 $K=8\sim 12$ ；

m ——吸雷系数。对于一般建筑物和构筑物，取 $m=5$ ；对于有金属屋面或钢筋混凝土屋面的建筑物和

构筑物及其它易受雷击的建筑物和构筑物，以及对于发电厂和变电所，取 $m=10$ 。

对于烟囱、高塔、瞭望台等旷野孤立高耸的建筑物和构筑物，年计算雷击系数可按式确定，即

$$N=0.015TKnh^2 \times 10^{-4}$$

式中 h ——建筑物或构筑物高度 (m)；

n ——建筑物或构筑物的材料影响系数，对金属材料 $n=1.5$ ；对非金属材料 $n=0.15$ 。

上述易受雷击的建筑物和构筑物，往往是指电场分布不均匀，或具有较好导电性容易感应出电荷的，或雷云容易接近处的建筑物和构筑物。例如，旷野孤立的或高于 20m 的建筑物和构筑物；金属屋面、砖木结构的建筑物和构筑物；河边、湖边、土山顶部的建筑物和构筑物；地下水露头处、特别潮湿处、地下有导电矿藏处或土壤电阻率较小处的建筑物和构筑物；山谷风口处的建筑物和构筑物；建筑物群中高于 25m 的建筑物和构筑物等。

对于民用建筑物和构筑物，按照其重要性和使用性质，分为以下两类：

(1) 第一类民用建筑物 系指具有重大政治意义的建筑物，如国家重要机关办公楼、迎宾馆、国际机场、大会堂、大型火车站、大型体育馆和大型展览馆等。

(2) 第二类民用建筑物和构筑物 主要指重要的公共建筑物（如大型百货公司、大型影剧院等）及与第三类工业建筑物和构筑物相当的民用建筑物和构筑物。

二、防雷装置

避雷针、避雷线、避雷网、避雷带、避雷器都是经常采用的防雷装置。一套完整的防雷装置包括接闪器（或避雷器）、引下线和接地装置。上述针、线、网、带实际上都只是接闪器，而避雷器是一种专门的防雷设备。避雷针主要用来保护露天变配电设备、建筑物和构筑物；避雷线主要用来保护电力线路；避雷网和避雷带主要用来保护建筑物；避雷器主要用来保护电力设备等。

(一) 接闪器

除避雷针、避雷线、避雷网、避雷带可作为接闪器外，建筑物的金属屋面可作为除第一类工业建筑物以外的建筑物接闪器。接闪器是利用其高出被保护物的地位，把雷电引向自身，并通过引下线和接地装置，把雷电流泄入大地，以此保护被保护物免遭雷击，免受雷害。

接闪器的保护范围可根据模拟实验及运行经验确定。由于雷电放电受很多因素的影响，要想保证被保护物绝对不遭受电击是很困难的。一般要求保护范围内被击中的概率在 0.1% 以下即可，确定接闪器保护范围的方法可参阅有关设计规范。

接闪器所用材料的尺寸应能满足机械强度和耐腐蚀的要求，还要有足够的热稳定性，以能承受雷电流的热破坏作用。

避雷针一般用镀锌圆钢或钢管制成，针长 1m 以下者，圆钢直径不得小于 12mm，钢管直径不得小于 20mm；针长 1m~2m 的，圆钢直径不得小于 16mm，钢管直径不得小于 25mm。装设在烟囱上方时，由于烟气有腐蚀作用，宜采用直径 20mm 以上的圆钢。

避雷线一般采用截面积不小于 35mm^2 的镀锌钢绞线。

避雷网和避雷带采用镀锌圆钢或扁钢，圆钢直径不得小于 8mm，扁钢厚度不得小于 4mm，截面不得小于 48mm^2 ；装设在烟囱上方时，圆钢真径不得小于 12mm，扁钢厚度仍不得小于 4mm，但截面积不得小于 100mm^2 。接闪器截面积锈蚀 30% 以上时应更换。

(二) 避雷器

避雷器有阀型避雷器、管型避雷器和保护间隙结构之分，主要用来保护电力设备，也用作防止高压冲击波侵入室内的安全措施。

避雷器的保护原理如图 3-25 所示，它装设在被保护物的引入端，其上端接在线路上，下端接地。正常时，避雷器的间隙保持在绝缘状态，不影响系统运行。当遭受雷击有高压冲击波沿线路传来时，避雷器间隙击穿而接地，从而强行切断冲击波。这时候，

能够进入被保护物的电压仅是雷电流通过避雷器及其引下线和接地装置产生的所谓残电压。雷电流通过以后，避雷器间隙又恢复绝缘状态，以便系统正常运行。

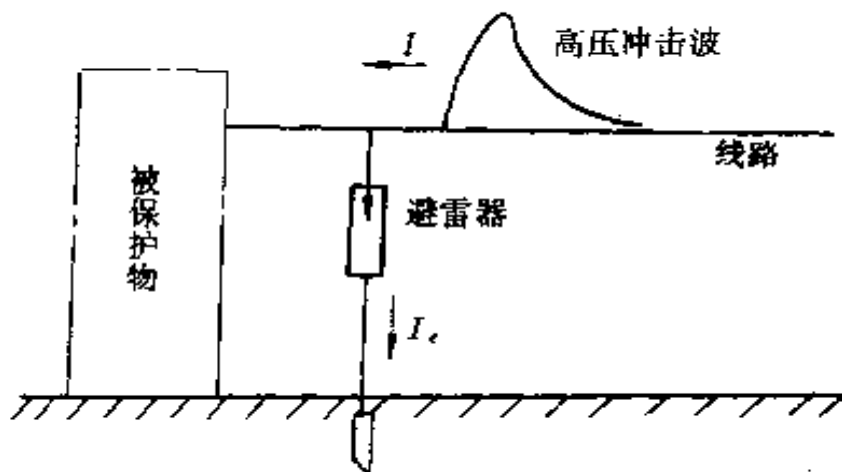


图 3-25 避雷器保护原理图

阀型避雷器主要由非线性电阻和火花间隙组成，间隙击穿后，能将雷电波泄入大地。雷电流通过后，非线性电阻的阻值迅速变大，间隙里的电弧很快熄灭，从而恢复正常状态。阀型避雷器有良好的保护性能，主要用来保护变配电设备。

管型避雷器和保护间隙的结构都比较简单，其保护性能不如阀型避雷器，可用于要求不太高的场合，或者作为辅助防雷装置。

(三) 引下线

引下线应满足机械强度、耐腐蚀和热稳定的要求。

引下线一般采用圆钢或扁钢制成，其尺寸和防腐蚀要求与避雷网和避雷带相同。如用钢绞线作引下线，其截面积应不小于 25mm^2 。

引下线应沿建筑物和构筑外墙敷设，并经最短路径接地。建筑艺术要求较高者，可以暗设，但截面积应加大一级。建筑物和构筑物的金属构件（如消防梯等），可用作引下线，但所有金属构件之间均应连成电气通路。

采用多根引下线时，为了便于测量接地电阻和检验引下线、接地线的连接状况，宜在各引下线距地面高约 1.8m 处设置断接卡。

在最易受机械损坏的地方,地面上约 1.7m 到地面下 0.3m 的一段引下线 and 接地线应加竹管、角钢或钢管保护。采用角钢或钢管保护时,应与引下线连接起来,以减小通过雷电流时的电抗。

互相连接的避雷针、避雷网、避雷带或金属屋面所需的接地引下线,一般应不少于两根,其间距应不大于表 3-6 所列数值。

表 3-6 避雷器间最大距离 (m)

建筑物和构筑物类别	工业第一类	工业第二类	工业第三类	民用第一类	民用第二类
最大距离	18 ^①	24	30 ^②	24	-

① 用于防止直击雷者为 18m; 用于防止雷电感应者为 18~24m。

② 有困难时,可放宽为 40m,建筑物周长和高度不超过 40m 时,可只设一根引下线。

但应注意,不得采用铝线作防雷引下线,引下线截面锈蚀 30% 以上者,应及时予以更换。

(四) 接地装置

接地装置是防雷装置的重要组成部分,它可使雷电流得以向大地泄放,并使防雷装置对地电压不致过高。

防雷接地装置与一般接地装置的要求大体相同,但其所有材料的最小尺寸应稍大于其他接地装置的最小尺寸。采用圆钢最小直径为 10mm (一般接地装置为 8mm); 扁钢最小厚度为 4mm,最小截面积为 100mm² (一般接地装置为 48mm²); 角钢最小厚度为 4mm; 钢管最小壁厚为 3.5mm。

除独立避雷针外,在接地电阻满足要求的前提下,防雷接地装置可以和其他装置共用。

为了防止跨步电压伤人,防直击雷接地装置距建筑物出入口和人行道的距离不应小于 3m。当小于 3m 时,应采取接地体局部深埋或铺设沥青隔离层,或敷设地下均压条等安全措施。

防雷接地电阻一般是指冲击接地电阻,冲击接地电阻一般都小于工频接地电阻。冲击接地电阻可按表 3-7 计算。独立避雷针的接地电阻不应大于 10Ω,阀型避雷器的接地电阻不应大于 5Ω~10Ω。

表 3-7 冲击接地电阻

土壤电阻率 / $\Omega \cdot \text{cm}$		$\leq 1 \times 10^4$	5×10^4	1×10^5	$\geq 2 \times 10^5$
一般接地装置		1.0	1.5	2.0	3.0
环绕房屋的 接地装置	/M Ω	1.0			

(五) 电离防雷装置

电离防雷装置是一种新技术，它是由顶部的电离装置、地下的地电流收集装置及其中间的连接线组成。

电离防雷装置与上面讲的避雷针的防雷原理完全不同。电离防雷装置不是通过控制雷击点来防止雷击事故，而是利用雷云的感应作用或采取专门的措施在电离装置附近形成强电场，使空气电离；或者采用放射性元素使空气电离，以产生向雷云移动的离子流，使雷云所带电荷得以缓慢中和。这样可保持空间电场强度不超过空气的击穿强度，消除落雷条件，抑制雷击发生。

电离防雷装置可以做成不同的形状（如圆盘形、圆锥形），但都必须有放电的尖部。地电流收集装置应采用浅埋平面延伸式装置，以利于收集地电流。因为雷云电量一般不超过数库仑，电离防雷装置工作时，连接线只通过 mA 级的小电流，因此所用导线满足机械强度的要求即可。

电离防雷装置原则上应装在被保护物的上方。

三、防雷措施

根据不同的保护对象，对于直击雷、雷电感应、雷电侵入波均应采取相应的防雷措施。

(一) 防直击雷

下列场合应采取直击雷防护措施：

- (1) 第一类工业、第二类工业和第一类民用建筑物和构筑物。
- (2) 第三类工业、第二类民用及其他建筑物和构筑物中的易受雷击的建筑物和构筑物，及其易受雷击部位。
- (3) 有爆炸和火灾危险的露天设备（如贮气罐、贮油罐等）。

(4) 发电厂和变配电站。

(5) 高压架空电力线路。

装设避雷针、避雷网、避雷线、避雷带是直击雷防护的主要措施。

避雷针分独立避雷针和附设避雷针。独立避雷针是离开建筑物单独装设的，其接地装置应当单设，接地电阻不得超过 10Ω ，并严禁在装有避雷针、避雷线的构筑物上架设通信、广播等无关的线路。利用照明灯塔作独立避雷针的支柱时，为了防止将雷电冲击电压引进室内，照明电源必须采用铅皮电缆或穿入钢管，并将铅皮电缆或穿线钢管直接埋入地下， 10m 以上才能引进室内。独立避雷针不应设在人经常通行的地方，应注意防止其接地装置附近可能的跨步电压的危险。

附设避雷针是装设在建筑物顶部的避雷针，它应与建筑物顶部的各种接闪器（包括金属屋面）互相连接起来，并与建筑物的金属结构连接成一个整体。其接地装置可以与其他接地装置共用，并沿建筑物四周敷设接地体，其接地电阻不应超过 $1\Omega\sim 2\Omega$ ，如利用自然接地体，为了可靠起见，还应该装设人工接地体，且人工接地体的流散电阻不宜超过 5Ω 。露天装设的有爆炸危险的金属封闭贮罐和工艺装置，当其壁厚不小于 4mm 时，一般不另装接闪器，但必须良好接地，且接地点不应少于两处，其间距不应大于 30m ，冲击接地电阻不应大于 30Ω 。

防雷装置承受雷击时，其接闪器、引下线和接地装置都呈现很高的冲击电压，可能击穿与邻近导体之间的绝缘，发生剧烈放电，这就叫反击。由于反击，可能酿成火灾或爆炸，也可能引起人身事故，为防止反击，必须保持接闪器、引下线、接地装置与邻近导体之间有足够的距离。如空气中的距离一般不得小于 5m ，地下的距离一般不得小于 3m 。对于防雷装置不能保证最小距离时，为防止反击，可以把邻近不带电的金属导体与防雷装置连接起来，等化其间电位；也可以在可能发生反击的地方加装避雷器或保护间隙，以限制带电导体上可能产生的高压；此外，降低

防雷装置的接地装置，也有利于防止反击。

对于各种建管物和构筑物防直击雷的基本要求见表 3-8。

表 3-8 各类建筑物和构筑物防直击雷要求

类别	基本要求
第一类工业建筑物和构筑物	<p>1. 装设独立避雷针或架设避雷线，使被保护建筑物和构筑物及突出屋面的物体（如风帽、放散管等）均处于保护范围内</p> <p>对排放有爆炸危险气体、蒸气或粉尘的管道，保护范围应高出管顶 2m 以上</p> <p>2. 难以装设独立避雷针或架空避雷线时，可在建筑物或构筑物上装设避雷针或沿整个屋面装设网格不大于 6m×6m 的避雷网</p> <p>装设均压环，环间垂直距离不应大于 12m，并应与建筑物和构筑物内的金属结构和金属设备相连，可利用电力设备的接零干线或接地下线作均压环</p> <p>对排放有爆炸危险气体、蒸气或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管等，管顶或其附近避雷针针尖应高出管顶 3m 以上，保护范围应高出管顶 2m 以上</p>
第二类工业建筑物和构筑物	<p>在建筑物和构筑物上装设避雷网或避雷针，避雷网应沿屋角、屋脊、屋檐和檐角等易受雷击部位在整个屋面敷设，网格不应大于 10m</p>
第二类工业建筑物和构筑物	<p>对排放有爆炸危险气体、蒸气或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管等，管顶或其附近避雷针针尖宜高出管顶 3m 以上，保护范围宜高出管顶 1m 以上</p> <p>其他屋面保护范围之外的金属物体可不装设接闪器而直接同屋面防雷装置相连，其他屋面保护范围之外的非金属物体应装设接闪器，并同屋面防雷装置相连</p>
第三类工业建筑物和构筑物	<p>易受雷击部位装设避雷带或避雷针</p> <p>采用避雷带时，避雷带与屋面上任何一点的距离不应大于 10m</p> <p>采用避雷针时，单支避雷针的保护范围可按 60°保护角确定，两支避雷针之间的距离不宜大于 30m，且不超过避雷针有效高度的 15 倍</p> <p>其他屋面保护范围之外的物体的保护同第二类工业建筑物和构筑物要求砖砌烟囱、钢筋混凝土烟囱宜在烟囱上装设避雷针或避雷环</p>

(续)

类 别	基 本 要 求
第一类民用建筑物和构筑物	<p>在建筑物上装设避雷网或避雷带，并应沿屋角、屋脊、檐角和屋檐等易受雷击部位敷设</p> <p>避雷网网格不应大于10m，避雷带与屋面上任何一点的距离不应超过5m，其他突出屋面物体的保护同第二类工业建筑物和构筑物要求</p>
第二类民用建筑物和构筑物	同第三类工业建筑物和构筑物要求

(二) 防雷电感应

雷电感应（特别是静电感应）也能产生很高的冲击电压，在电力系统中应与其它过电压同样考虑；在建筑物和构筑物中，主要应考虑由反击引起的爆炸和火灾事故。第一类、第二类工业建筑物和构筑物，其防雷电感应要求如表3-9所示。第三类工业防雷建筑物一般不考虑雷电感应的保护。

表 3-9 第一、二类工业建筑物和构筑物防雷电感应的基本要求

类 别	基 本 要 求
第一类工业建筑物和构筑物	<ol style="list-style-type: none"> 1. 为防止静电感应产生火花，建筑物内的金属物（如设备、管道、构架、电缆护套、钢屋架、钢窗等较大金属构件）和突出屋面的金属物（如放散管、顶管等）均应接地，金属屋面和钢筋混凝土屋面（其中钢筋宜绑扎或焊接成电气闭合回路）沿周边每隔18~24m应用引下线接地一次； 2. 为防止电磁感应产生火花，平行敷设的长金属物如管道、构架和电缆护套等，其相互净距小于100mm，应每隔20~30m用金属线跨接，净距小于100mm的交叉处及管道连接处（如弯头、阀门、法兰盘等），应用金属线跨接，用丝扣相紧密连接的$\phi 25\text{mm}$及以上的管道接头及法兰盘，在非腐蚀环境中可不跨接； 3. 防雷电感应的接地装置，其接地电阻应不小于10Ω，并应与电气设备接地装置共用（有特殊要求的电力、电力设备除外），屋内接地干线与接地装置的连接不应少于两处。

(续)

类 别	基 本 要 求
第 二 类 工 业 建 筑 物 和 构 筑 物	1. 建筑物内的主要金属物，如设备、管道、构架等，应与接地装置连接； 2. 平行敷设的长金属物，要求同第一类工业建筑物，用丝扣和法兰盘连接的金属管道，连接处可不跨接； 3. 屋内接地干线与接地装置的连接不应少于两处。

(三) 防雷电侵入波

防雷电侵入波主要采用避雷器进行保护。

1. 电力设备防雷电侵入波 柱上油开关及隔离开关应采用阀型避雷器、管型避雷器或保护间隙之一作为保护装置，对于经常闭路运行的开关，可只在电源侧安装避雷器，对于经常开路运行的开关，则应在两侧都安装避雷器；配电变压器应在高压侧装设阀型避雷器或保护间隙进行保护，对于多雷区的配电变压器，除在高压侧安装阀型避雷器或保护间隙以外，还应在低压侧装设低压阀型避雷器或者击雷保险器，对于低压中性点不接地的配电变压器，其低压中性点也应经击雷保险器接地；电力电容器应装设阀型避雷器或保护间隙保护。

2. 建筑物和构筑物防雷电侵入波 其基本要求见表 3-10。

表 3-10 建筑物和构筑物防雷电侵入波要求

类 别	供 电 线 路	金 属 管 道
第 一 类 工 业 建 筑 物 和 构 筑 物	1. 全长采用直接埋地电缆，入户处电缆金属护套与防雷电感应接地装置相连 2. 采用长度不小于 50m 的金属铠装直接埋地电缆，入户处电缆金属护套与防雷电感应接地装置相连，电缆与架空线连接处装设阀型避雷器，并与电缆金属护套和绝缘子铁脚一起接地，冲击接地电阻不应大于 10Ω	入户处与防雷电感应接地装置相连 邻近 100m 内，每 25m 左右接地一次，各冲击接地电阻均不应大于 20Ω

(续)

类 别	供 电 线 路	金 属 管 道
第二类工业建筑物和构筑物	<p>1. 采用长度不小于 50m 的金属铠装直接埋地电缆, 与第一类工业建筑物和构筑物第 2 项相同</p> <p>2. 采用架空线, 入户处装设阀型避雷器或 2mm~3mm 保护间隙, 并与绝缘子铁脚一起接到防雷接地装置上, 冲击接地电阻不应大于 5Ω</p> <p>邻近的二基电杆绝缘子铁脚应接地, 由近至远, 第一处冲击接地电阻不应大于 10Ω, 其他二处均不应大于 20Ω</p>	<p>入户处与防雷接地装置相连</p> <p>邻近 25m 左右接地一次, 冲击接地电阻不应大于 10Ω</p>
第三类工业建筑物和构筑物	<p>入户处绝缘子铁脚与防雷及电气设备接地装置相连</p>	<p>入户处与防雷及电气设备接地装置相连</p>
第一类民用建筑物	<p>1. 全长采用直接埋地电缆, 入户处电缆金属护套与接地装置相连</p> <p>2. 采用架空线转直接埋地电缆, 与第二类工业建筑物和构筑物第 2 项相同</p> <p>3. 采用架空线, 入户处装设避雷器, 并同绝缘子铁脚一起接到接地装置上; 邻近两基电杆绝缘子铁脚应接地, 冲击接地电阻均不应大于 30Ω</p>	<p>入户处与接地装置相连</p>
第二类民用建筑物和构筑物	<p>入户处绝缘子铁脚接地, 冲击接地电阻不应大于 30Ω</p>	<p>入户处接地, 冲击接地电阻不应大于 30Ω</p>

(四) 特殊建筑物和构筑物的防雷

1. 露天可燃气体贮气柜的防雷 贮气柜壁厚大于 4mm 时, 一般不装设接闪器, 但应接地, 柜壁上接地点应不少于两处, 其间距不宜大于 30m, 冲击接地电阻应不大于 30Ω。对放散管和呼吸阀, 宜在管口或其附近装设避雷针, 高出管顶应不小于 3m, 管

口上方 1m 应在保护范围内。活动的金属柜顶，用可挠的跨接线（ 25mm^2 软铜线或钢绞线）与金属柜体相连，接地装置离开闸门室宜大于 5m。

2. 露天油罐的防雷 易燃液体，闪点低于或等于环境温度的可燃液体的开式贮罐和建筑物，应设独立避雷针，保护范围按开敞面向外水平距离 20m，高 3m 进行计算。对露天的注送站，保护范围按送口以外 20m 以内的空间进行计算，独立避雷针距开敞面不小于 23m，冲击接地电阻不大于 10Ω 。带有呼吸阀的易燃液体贮罐，罐顶钢板厚度不小于 4mm，可在罐顶直接安装避雷针，但与呼吸阀的水平距离不得小于 3m，保护范围高出呼吸阀不得小于 2m，冲击接地电阻不大于 10Ω ，罐上接地点应不少于两处，两接地点间不宜大于 24m。可燃液体贮罐，壁厚不小于 4mm，可不装设避雷针，只要接地即可，但冲击接地电阻不宜大于 30Ω 。浮顶油罐，球形液体气贮罐壁厚大于 4mm 时，只作接地，但浮顶与罐体应用 25mm^2 软铜线或钢绞线作可靠接地。埋地式油罐，覆土在 0.5m 以上者可不考虑防雷设施，但如有呼吸阀引出地面者，则在呼吸阀处需作局部防雷处理。

3. 水塔的防雷 利用水塔顶上周围铁栅栏作为接闪器，或装设环形避雷带保护水塔边缘，并在塔顶中心装一支 1.5m 高的避雷针，冲击接地电阻不大于 30Ω ，引下线一般不少于两根，间距不大于 30m。若水塔周长和高度均不超过 40m，只可设一根引下线。为此，可利用铁爬梯作引下线。

4. 烟囱的防雷 砖砌烟囱和钢筋混凝土烟囱，用装设在烟囱上的避雷针或环形避雷带保护，多根避雷针应用避雷带连接成闭合环，冲击接地电阻不大于 $20\Omega\sim 30\Omega$ 。

当烟囱直径为 1.2m 以下，高度 $\leq 35\text{m}$ 时采用一根 2.2m 高的避雷针；当烟囱直径 $\leq 1.7\text{m}$ ，高度 $\leq 50\text{m}$ 时，用两根 2.2m 高的避雷针；当烟囱直径 $> 1.7\text{m}$ ，高度 $\geq 60\text{m}$ 时，用环形避雷带保护。烟囱顶口装设的环形避雷带和烟囱各抱箍，应与引下线连接；高 100m 以上的烟囱，在高地面 30m 处及以上每隔 12m 加装一个

均压环，并与引下线连接。

烟囱高度不超过 40m 时，只设一根引下线，40m 以上应设两根引下线，可利用铁扶梯作引下线，钢筋混凝土烟囱应用两根以上主筋作引下线，在烟囱顶部和底部与铁扶梯相连。

5. 微波站、电视台的防雷

(1) 天线塔防雷，防直击雷的避雷针可固定在天线塔上，塔的金属结构也可作接闪器的引下线，塔的接地电阻一般不小于 5Ω ，可利用塔基基坑的四角埋设垂直接地体，水平接地体应围绕塔基做成闭合环形并与垂直接地体相联。塔上的所有金属件（如航空障碍信号灯具、天线的支杆或框架、反射器的安装框架等）都必须和铁塔的金属结构用螺栓连接或焊接。波导管或同轴传输线的金属护套和敷设电缆用的金属管道，应在塔的上下两端及每隔 12m 处与塔身金属结构相连，在机房内应与接地网相连。塔上的照明电源线应采用金属护套电缆，或将导线穿入金属管。电缆金属护套或金属管道至少应在上下两端与塔身相连，并应水平埋入地中，埋地长度应在 10m 以上才允许引入机房（或引至配电装置和配电变压器）。

(2) 机房防雷 机房一般应位于天线塔避雷针的保护范围内，如不在其保护范围内，则沿房顶四周应敷设闭合形避雷带，钢筋混凝土屋面板和柱子的钢筋可作引下线。在机房地下应围绕机房敷设闭合环形水平接地体。在机房内沿墙壁敷设环形接地母线（用铜带 $120\text{mm} \times 0.45\text{mm}$ ）。机房内各种电缆的金属护套、设备外壳和不带电的金属部分、各种金属管道等，均应以最短的距离与环形接地母线相连；室内的环形接地母线与室外的闭合接地带和房顶的环形避雷带之间，至少应用四个对称布置的连接线互相连接，相邻连接线间的距离不宜超过 18m。在多雷区、在室内距地高 1.7m 处沿墙一周应敷设均压环，并与引下线相连。机房的接地网与塔体的接地网之间，至少应有两根水平接地体连接，连接地电阻不大于 1Ω 。引向机房内的电力线、通信线、应有金属护套或金属屏蔽层，或敷设在金属管内，并要求埋地敷设。由机房引出

的金属管、线也应埋地，在机房外埋地长度均不应小于 10m。

6. 卫星地面站的防雷 卫星地面站天线的防雷，可用独立避雷针或在天线反射体抛物面骨架顶端，及副面调整器顶端预留的安装避雷针处，分别安装避雷针，引下线可利用钢筋混凝土构件的钢筋。防雷接地、电子设备接地、保护接地可共用接地装置。接地体围绕建筑物四周敷成闭合环形，接地电阻不大于 1Ω 。机房防雷与微波站防雷相同。

7. 广播发射台的防雷 中波无线电广播的天线对地是绝缘的，一般在塔基多装设球形或针板形间隙，接地装置采用放射形低电阻水平接地体，接地电阻不大于 0.5Ω 。发射机房采用避雷针或避雷网防止直击雷。接地装置采用水平接地体围绕建筑物敷成闭合环形，接地电阻 $\leq 10\Omega$ 。发射机房内高频、低频工作接地母线用 $120\text{mm} \times 0.35\text{mm}$ 的紫铜带，机架用 $40\text{mm} \times 4\text{mm}$ 的扁钢接到环形接地体上。短波广播发射台在天线塔上装设壁雷针，并将塔体接地，接地电阻不大于 10Ω ，机房防雷同中波机房相同。

四、人身防雷

(一) 危害方式

雷电对人身体的危害方式大体可分为三种：

(1) 雷云对人体直击放电，即人体受直击雷的雷击，常发生致命伤亡。

(2) 雷电流入地导致跨步电压或接触电压，引起触电事故。

(3) 电感应和雷电侵入波导致对人体的二次反击，引起电击事故。

(二) 预防措施

(1) 雷雨时，非工作必要，应尽量少在户外或野外逗留。如有可能，可进入有防雷设施的建筑物及有宽大金属构架的汽车和船只内。

(2) 在户外或野外无上述条件时，则应注意以下几点：

1) 在户外或野外最好穿塑料等不浸水的雨衣。

2) 应尽量离开小山、小丘、海滨、河边、池旁、旗杆、烟

3) 靠近建筑物屏蔽的街道或向人树木屏蔽的街道躲避时，应离开墙壁或树干 8m 以上。

(3) 在户内要注意雷电波的侵入，为此应注意以下几点：

1) 应离开照明线、动力线、电话线、广播收音机和电视机电源线、收音机和电视机的天线，以及与其相连的各种设备，以防止这些线路或设备对人体的二次放电。

调查资料表明，户内 70% 以上的对人体二次放电事故，是发生在相距 1m 以内的场合，相距 1.5m 以上尚未发现死亡事故。由此可见，在雷暴时，人体最好离开可能传来雷电侵入波的线路和设备 1.5m 以上。

2) 应当指出，仅仅拉断开关对防止雷击仍不起多大作用，还应保持上述 1.5m 以上的距离。

3) 应关闭门、窗，防止球形雷进入室内造成危害。

第五节 漏电保护装置

漏电保护装置（又称漏电开关、漏电继电器、触电保护器）的作用是为了防止由漏电而引起的触电、火灾事故以及监视或切除一相接地故障。此外，有的漏电保护装置还能切除三相电动机单相运行的故障。

对 1kV 以下的低压系统，凡有可能触及带电部件或在潮湿场所装有电气设备时，都应装设漏电保护装置，以保证人身安全。

一、漏电保护装置的工作原理、分类和参数选择

(一) 工作原理

如图 3-26 所示，设备漏电时，出现两种异常现象：一是三相电流的平衡状态遭到破坏，出现零序电流，即 $I_0 = I_U + I_V + I_W$ ；二是设备正常运行时不应带电的金属部分出现对地电压，即 $U_d = I_0 R_d$ 。漏电保护装置就是通过检测机构取得这两种异常信号，经过中间机构的转换和传递，使执行机构动作，并通过开关装置断开电源。有时，异常信号很微弱时，中间还需要增设放大环节。

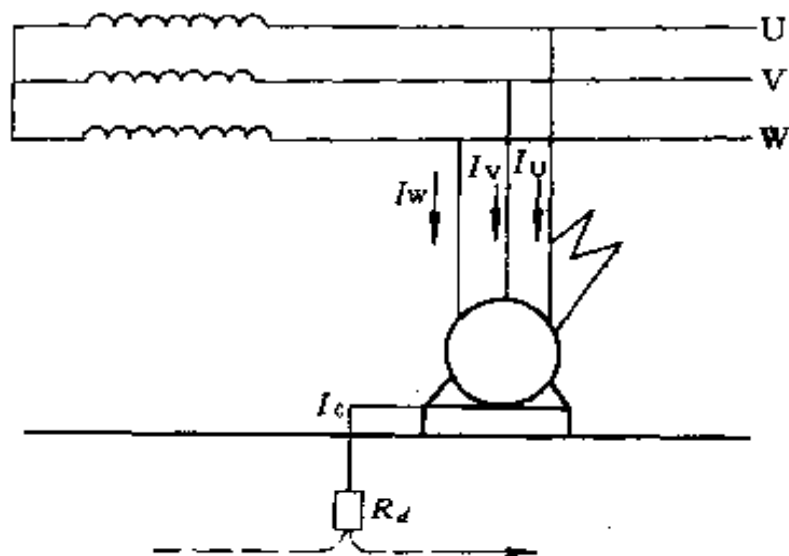


图 3-26 设备漏电图

(二) 分类

按照检测信号分类，可分为电流型和电压型。电流型漏电保护装置的检测信号为零序电流或泄漏电流；电压型漏电保护装置的检测是设备在正常情况，不应带电的金属外壳在故障情况下出现的对地电压。

(三) 参数的选择

电压型漏电保护装置的主要参数是动作电压和动作时间；电流型漏电保护装置的主要参数是动作电流和动作时间。

1. 额定漏电动作电压值 电压型漏电保护装置的额定动作电压值最好不要超过安全电压。

2. 额定漏电动作电流值 电流型漏电保护装置的额定漏电动作电流值，以及有关漏电保护装置的额定动作时间，目前我国尚未订出标准，现将国外有关标准介绍如下：

电流型漏电保护装置的额定动作电流一般为 0.006, 0.01, 0.03, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 3, 5, 10, 20A 等 11 个等级。其中，0.03A 及以下的属高灵敏度；0.03A 以上、1A 及以下的属中灵敏度；1A 以上的属低灵敏度。

为避免误动作，要求漏电保护装置的不动作电流不低于动作

电流的 $1/2$ 。

3. 漏电动作时间 漏电保护装置的動作时间决定于保护要求，可分为三种类型：

(1) 快速型：動作时间不超过 $0.1s$ ；

(2) 延时型：動作时间不超过 $0.1\sim 2s$ ；

(3) 反时限型：在额定漏电动作电流值时，漏电动作时间不超过 $1s$ ；在 2 倍额定動作电流值时，漏电动作时间不超过 $0.2s$ ；在 5 倍额定動作电流值时，漏电动作时间不超过 $0.03s$ （对于被保护的线路额定电流单相 $40A$ 以上，三相 $60A$ 以上的大型漏电保护装置，其漏电动作时间要求不超过 $0.15s$ ）。

以防止触电为目的的漏电保护装置，宜采用高灵敏度快速型漏电保护装置。一般来说，漏电动作时间在 $1s$ 以上者，漏电动作电流不应超过 $30mA$ ；漏电动作时间在 $1s$ 以下者，漏电动作时间和漏电动作电流的乘积不超过 $30mA \cdot s$ 。

漏电保护装置的動作时间应符合表 3-11 的要求。对此表需要作以下说明：

BB₁——干燥、无汗的皮肤，电流途径为单手至双足；

BB₂——潮湿的皮肤，电流途径为单手至双足；

BB₃——润湿的皮肤，电流途径为双手至双足；

BB₄——相当于浸入水中的皮肤，只考虑体内电阻。

表 3-11 漏电保护装置的動作时间

最大持续时间 /s	流经人体的 电流 /mA	可能的接触电压/V			
		皮肤情况			
		BB ₁	BB ₂	BB ₃	BB ₄
>5	25	80	50	25	12
5	25	80	50	25	12
1	43	115	75	10	20
0.5	56	130	90	50	27

(续)

最大持续时间 时间 /s	流经人体的 电流 /mA	可能的接触电压/V			
		皮肤情况			
		BB ₁	BB ₂	BB ₃	BB ₄
0.2	77	170	110	65	37
0.1	120	230	150	90	55
0.05	210	320	220	145	82
0.03	300	400	280	190	110

二、电压型漏电保护装置

电压型漏电保护装置以设备外壳对地电压作为信号，其基本接线如图 3-27 所示。

作为检测机构的电压继电器 KA 一端接地；另一端在使用时直接与设备的外壳相连接。当发生漏电、设备对地电压达到动作数值时，继电器迅速动作，切断作为执行机构的接触器 KM 的控制回路，从而断开设备的电源。图中

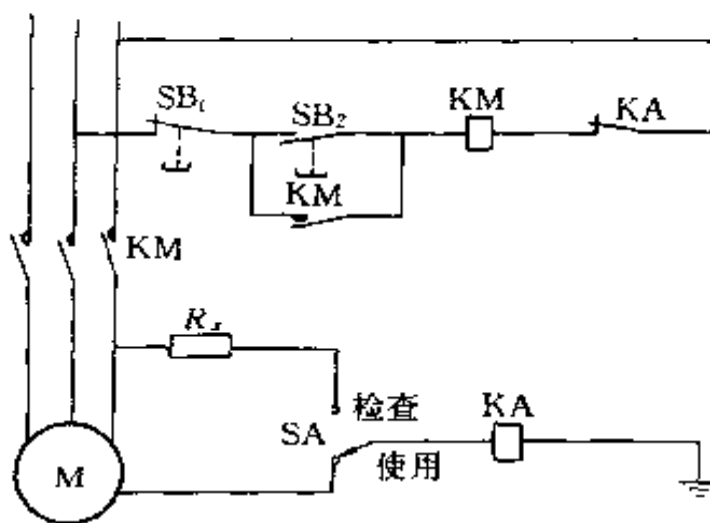


图 3-27 电压型漏电保护装置

R_f 是限流电阻，相控开关 SA 是检查用的，也可用复式按钮代替。为了灵敏可靠，继电器应有很高的阻抗。

电压型漏电保护装置结构简单，适用于设备的漏电保护。可以用于接地系统，也可以用于不接地系统。但是，这种装置只能防止间接电击，而不能防止直接电击。其继电器的接地端必须与设备重复接地或保护接地线和接地体分开，否则保护装置失效。

三、零序电流型漏电保护装置

这种漏电保护装置以零序电流互感器作为检测器，以极化电磁铁作为中间机构，其原理如图 3-28 所示，三相电源线为互感器的一次绕组，与极化电磁铁 YA 连接的线圈为互感器的二次。正常时，互感器一次绕组三相电流在其铁心中产生的磁场互相抵消，互感器二次绕组不产生感应电动势，也没有电流，极化电磁铁的吸引力克服反作用弹簧的拉力，使衔铁保持在闭合位置，线路开关不动作；设备漏电时，出现零序电流，互感器二次绕组产生感应电动势，继电器线圈中有电流流过，并产生变磁通，这个磁通与永久磁铁的磁通叠加，由于其去磁作用使吸引力小，衔铁被弹簧的反作用力拉开，脱扣机构 Y 动作，并通过开关设备断开电源，图中，SB、 R_c 是检查支路，SB 是检查按钮， R_c 是限流电阻。

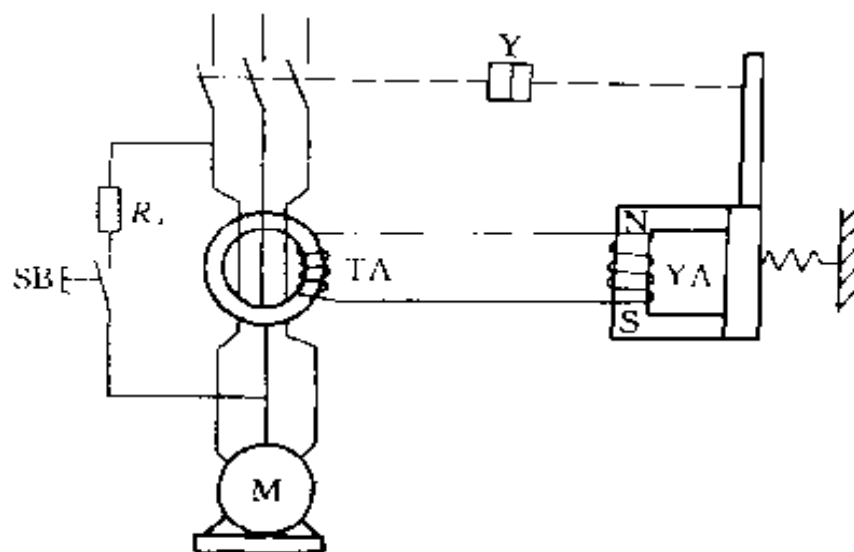


图 3-28 零序电流型漏电保护装置

零序电流型漏电保护装置可用于设备，也可用于线路；可用于不接地系统，也可用于接地系统。在三相四线制系统中，如果设备同时采用了保护接零，零线不应作为互感器原边，以便互感器能反映漏电引起的零序电流。这对于发现漏电故障，切除漏电设备是有利的。但是，如果用于小容量线路，由于线路上可能有不平衡的单相负荷，零线应该与三条相线一起作为互感器的一次绕组，否则只要负荷不平衡，漏电保护装置就可能误动作。

四、中性点型漏电保护装置

中性点型漏电保护装置的原理如图 3-29 所示，灵敏电流继电器的线圈并联在击穿保险器 F 的两端，正常时，零序电流很小，断电器不动作；当设备漏电、或有人单相触电、或一相及两相对地绝缘降低到一定程度时，继电器迅速动作，通过接触器 KM 切断电源。图中 R_r 、SB 是检查支路。

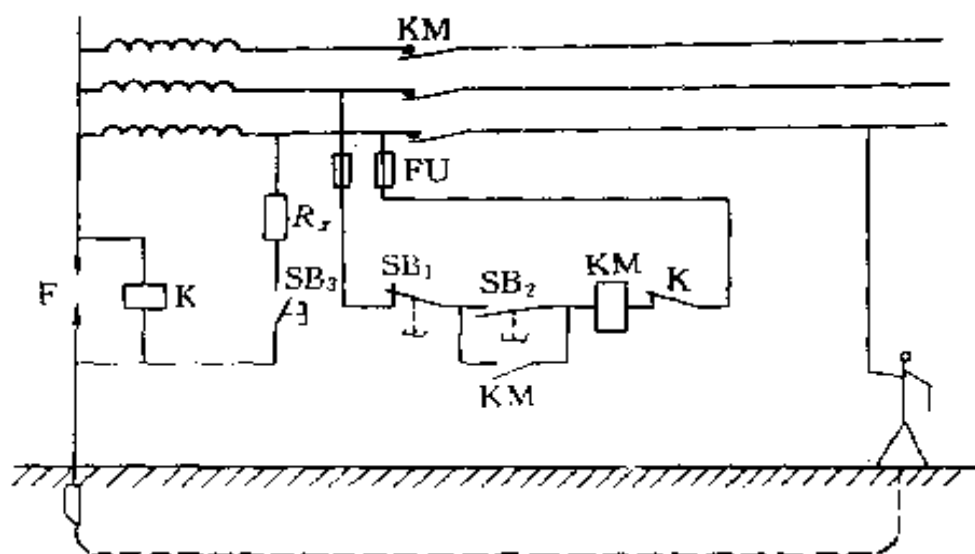


图 3-29 中性点型漏电保护装置

这种漏电保护装置只能用于不接地电网的总体保护，而不宜用于线路；用于三相四线制电网时，中性点和中性线均不得接地。

五、漏电保护装置的选用

漏电保护装置的选用，应根据系统保护方式、使用目的、安装场所、电压等级、被控制回路的泄漏电流以及用电设备的接地电阻数值等因素来确定。

(一) 根据使用目的来选择

用于防止人身触电事故的漏电保护装置，一般根据直接接触保护和间接接触保护两种不同的要求进行选用，在选择动作特性时也有所区别。

如果重点是进行人身保护，应选用漏电动作电流 30mA 以下

的漏电保护装置较为安全。如果重点是保安防火,可考虑选用 50~100mA 的漏电保护装置。

(二) 根据使用场所来选择

一般在 380/220V 的低压线路中,如果用电设备的金属外壳等金属部件容易被人触及时,同时这些用电设备又不能按照我国用电规程要求,使其接地电阻小于 4Ω 或 10Ω 时,则宜于在用电设备的供电回路中,安装漏电保护装置,同时还应根据不同的使用场所,合理地选取不同的动作电流。

如果在潮湿场所,如在工厂的电镀车间、清洗工场、建筑工地,以及可能会受到雨水影响的露天或充满水蒸气的地方,因为人体容易沾湿或出汗,使皮肤的绝缘性能降低,人体电阻有明显的下降,当发生触电事故时,通过人体的电流必然会比干燥的场所大,危险性也高,因此适宜安装 $15\text{mA}\sim 30\text{mA}$,并能在 0.1s 内动作的漏电保护装置。当使用用电设备的场所在水中,人体的大部分要浸没在水中时,如游泳池的照明电路,因为触电后不仅有引起心室颤动的危险,而且还有溺死的危险,所以即使在工作电压很低,如 36V 时,也适宜安装漏电保护装置,并且应安装动作电流为 15mA 以下和在 0.1s 以内动作,或动作电流为 $6\text{mA}\sim 10\text{mA}$ 的反时限特性的漏电开关。

(三) 根据电路和用电设备的正常泄漏电流来选择

漏电保护装置的动作电流选择得越低,当然可以提高开关的灵敏度。但是任何供电回路和用电设备,绝缘电阻不可能无穷大,都有一定的泄漏电流存在。当漏电保护装置的动作电流低于电路正常泄漏电流时,漏电保护装置就不能投入运行,或者由于经常动作而破坏供电可靠性。所以从保证电路的稳定运行和提供不间断的供电来讲,漏电保护装置的动作电流选择要受到电路正常泄漏电流的制约,不能无限制地提高灵敏度。

低压电路的泄漏电流,随着电路的绝缘电阻、对地静电电容、湿度、温度等因素而变化,即使是同一电路,接入的用电设备相同,在不同的季节,甚至同一天的早、中、晚不同时刻,测得的

泄漏电流也不会相同。下面提供一些实测数据供选用时参考。

根据实测结果，一般额定电流为 25A 的各种用电设备，在正常状态下，其泄漏电流为 0.1mA 以下，电动机在起动的瞬间，泄漏电流约为正常运行的 3 倍左右。我国一般用电量较低的家庭供电电路，如果使用 3A 电度表的用户，正常情况下每户约为 1mA 左右。用电量较大的家庭用户，使用 25A 电度表和用电设备较多的南方地区的用户，在阴雨天正常情况下，也有达到 6mA 的。原则上，在家用单相电路中的泄漏电流超过电路最大供电电流的 1/3000 时，应对电路进行检修。

我国农村低压电网的绝缘水平，目前平均比城市和工厂低，因此泄漏电流也较大，从农村低压线路的泄漏电流测量结果表明，泄漏电流的数值和配电变压器容量大小关系不显著，但和低压电网中生活用电的居民户数有明显的关系，也就是说，不管变压器容量是多少，其中供给生活用电的户数越多，泄漏电流也越多。因此，农村电网中装置漏电开关时，应考虑到这一点。

在选择漏电保护装置灵敏度时，必须考虑到线路正常的泄漏电流，要避免由于正常泄漏电流所引起的不必要动作而影响正常供电。

一般对单机配用的漏电保护装置，选用的动作电流应大于正常运行中实测泄漏电流最大值的 4 倍；对分支电路的漏电保护装置，选用的动作电流应大于正常运行中实测最大泄漏电流的 2.5 倍，同时还应满足于其中泄漏电流最大一台用电设备正常运行时，泄漏电流实测最大值的 4 倍。对于主干线或用来进行全网总保护的漏电开关，选用的动作电流应大于实测泄漏电流的 2 倍。最大泄漏电流，一般可选阴雨潮湿的天气，在早、中、晚设备投入运行后 15min 进行测量，选用其中最大的数值。对分支电路主干线或全电网的测量，应在最大供电负荷状态下进行。

由于测定电流的泄漏电流，必须有较复杂的测试方法或使用专用测试设备进行测量，为选用方便，推荐参照下列简化后的经验公式选用，设漏电保护装置动作电流是 $I_{\Delta n}$ ，电路的实际最大供

电电流为 I_H ，则对照电路和居民生活用电的单相电路可按下式选用：

$$I_{\Delta n} \geq I_H / 2000$$

对三相三线制或三相四线制的动力线路及动力和照明混合线路可按下式选用：

$$I_{\Delta n} \geq I_H / 1000$$

六、漏电保护装置的安装

安装漏电保护装置必须先检查其铭牌标志和使用说明书，特别要注意以下几点：

(1) 检验额定电压，漏电保护装置的额定电压是否和电路工作电压一致。对电子式漏电保护装置，如把 220V 的装置到 380V 电路中去，可能会烧毁电子电路，相反把 380V 的漏电保护装置接到 220V 电路中去，又可能使保护装置不动作而丧失保护性能，而且按下试验按钮时，漏电保护装置因电压低而不动作，如果继续长时间按下试验按钮，还会导致内部线圈或试验电阻烧毁。

采用辅助电源的漏电保护装置，如果主回路工作电压和辅助电源电压不同，也要加以注意。

(2) 检查额定工作电流，对漏电保护专用的开关，其额定工作电流必须大于电路最大工作电流，否则将因温升过高而烧毁开关。对有过电流保护的漏电保护装置，其过电流脱扣器整定电流，需和电路最大工作电流相匹配，过电流脱扣器整定电流过小，过电流脱扣器要动作，电路不能正常工作。过大，过电流保护装置不能起到保护电路的作用。

(3) 检查漏电保护装置极限通断能力或短路电流是否和工作电路的短路电流相匹配，带短路保护的漏电保护装置的极限通断能力必须大于电路短路时可能产生的最大短路电流，否则应当采用一个具有更大短路保护能力的短路保护装置作为后备保护。不带短路保护的漏电保护装置，因为不具备短路分断能力，所以在电路中应有短路保护装置，如熔断器等作为过电流保护。有的产品在产品说明书中规定了配用的短路保护装置的性能、规格。对

没有规定短路保护装置及规格的产品，选用的短路保护装置，应保证回路的短路电流不大于漏电保护装置的短时耐受电流。

(4) 正确判断辅助电源和主回路的接线端，特别是漏电断路器的主回路、辅助电源、辅助触点等，不同的接线端，必须加以判别。

(5) 明确手柄、按钮的标志，弄清漏电保护装置操作手柄对应于主触点开、闭的位置。有些产品当动作以后，有漏电、触电指示，要经过复位以后才能使漏电保护装置重新投入运行。

(6) 检验漏电保护装置动作电流和动作时间，是否和电路中安装设备的动作电流和动作时间相符。

(7) 接入额定电压电源，在空载状态下按动试验按钮，检查漏电保护装置是否能正常动作。

安装漏电保护器的施工要求如下：

1) 漏电保护器标有负载侧和电源时，应按规定安装接线，不得反接。

2) 安装带有短路保护的漏电保护器，必须保证在电弧喷出方向有足够的飞弧距离，飞弧距离大小按漏电保护器生产厂的规定。

3) 组合式漏电保护器外部连接的控制回路，应使用铜导线，其截面积不应小于 1.5mm^2 。

4) 安装漏电保护器后，不能撤掉低压供电线路和电气设备的接地保护措施，但应按有关规程进行检查和调整。

5) 漏电保护器安装后应操作试验按钮，检验漏电保护器的工作特性，确认能正常动作后才允许投入使用。

6) 漏电保护器安装后进行检验，用试验按钮试验三次，应正确动作；按带负荷分合开关三次，均不应有误动作。

7) 安装时必须严格区分中性线和保护线，三相四线式或四极式漏电保护器的中性线应接入漏电保护器。经过漏电保护器的中性线不得作为保护线，不得重复接地或接设备外露可导电部分，保护线不得接入漏电保护装置。

七、漏电保护装置投入运行后的管理

漏电保护器投入运行后的管理工作一般有以下几个方面：

(1) 漏电保护器在投入运行后，应建立运行记录并建立相应的管理制度。

(2) 每月需在通电状态下，按动试验按钮，检查漏电保护器动作是否可靠，雷雨季节应增加试验次数。

(3) 雷击或其他不明原因使漏电保护器动作后，应作检查。

(4) 为检验漏电保护器在运行中的动作特性及其变化，应定期进行动作特性试验。特性试验项目有测试漏电动作电流值、测试漏电不动作电流值、测试分、断时间。

(5) 退出运行的漏电保护器再次使用前，应按有关规定的项目进行动作特性试验。

(6) 漏电保护器进行动作特性试验时，应使用经国家有关部门检测合格的专用测试仪器，严禁利用相线直接接触接地装置的试验方法。

(7) 漏电保护装置动作后，经检查未发现事故原因时，允许试送电一次，如果再次动作，应查明原因找出故障，必要时对其进行动作特性试验，不得连续强行送电；除经检查确认为漏电保护器本身发生故障外，严禁私自撤除漏电保护器强行送电。

(8) 定期分析漏电保护器的运行情况，及时更换有故障的漏电保护器。

(9) 漏电保护器的动作特性由制造厂整定，按产品说明书使用，使用中不得随意变动。

(10) 漏电保护器的维修应由专业人员进行，运行中遇有异常现象应找电工处理，以免扩大事故范围。

(11) 在漏电保护器的保护范围内发生电击伤亡事故，应检查漏电保护器的动作情况，分析未能起到保护作用的原因。在未调查前应保护好现场，不得拆动漏电保护器。

(12) 使用的漏电保护器除按漏电保护特性进行定期试验外，对断路器部分应按低压电器有关要求定期检查维护。

第六节 静电保护

与流电相比，静电是相对静止的电荷。静电现象是一种常见的带电现象，如雷电、电容器残留电荷、摩擦带电等。近几十年来，人们对于静电现象、静电的利用以及静电的危害有了较多的研究。下面分静电的产生、静电的危害、消除静电危害的措施等几方面加以介绍。

一、静电的产生

物质摩擦起电，这是人们早就知道的，但是摩擦只是产生静电的一种方式，而不是唯一的方式。例如，固体的接触、液体的流动、粉体的传输都可以产生静电而使物体带电。

(一) 固体起电

在生产工艺中，如纤维织物与棍轴的摩擦；塑料和橡胶的碾制；某些物质的挤出、粉碎、过滤、研磨过程中，均可产生静电。上述这些固体物质产生静电的主要方式是接触起电。

接触起电，是两种不同材料的固体物质紧密接触，当它们之间的距离达到或小于 $25 \times 10^{-8} \text{cm}$ 时，一种物质中的电子就会传给另一种物质，即发生电子转移，在接触面上出现双电荷层，并产生接触电位差；这时失去电子的物质带正电，得到电子的物质带负电。当这两种物质分离时，其部分电荷回流，但仍然残留有符号相反的电荷而使物体带电，其物理过程见图 3-30。

由此可见，所有固体物质，不论是金属或非金属，在一定条件下，都可以发生电子转移，产生静电。金属之间的紧密接触虽然也可以产生双电荷层，但当两金属分开时各接触点不可能做到同时分开，因而接触面两边将通过尚未分开的那些接触点构成导电通道而相互中和，因而金属分开后不会带电。只有在绝缘状态下的金属与绝缘材料或者两种不同的绝缘材料紧密接触时，两者都有可能带电。实践证明由橡胶带、皮革或合成材料制成的传动带与传动带轮发生摩擦或接触、分离时，不论传动带轮是用金属材料制成还是用非金属材料制成，都会在带和轮上产生等量异性

的静电电荷。在橡胶、塑料、造纸、纤维、制革行业生产中，产生的静电有时可高达数万至十几万伏。固体材料除了接触起电方式外，还有因材料的破断而带电、电解起电、感应起电等。

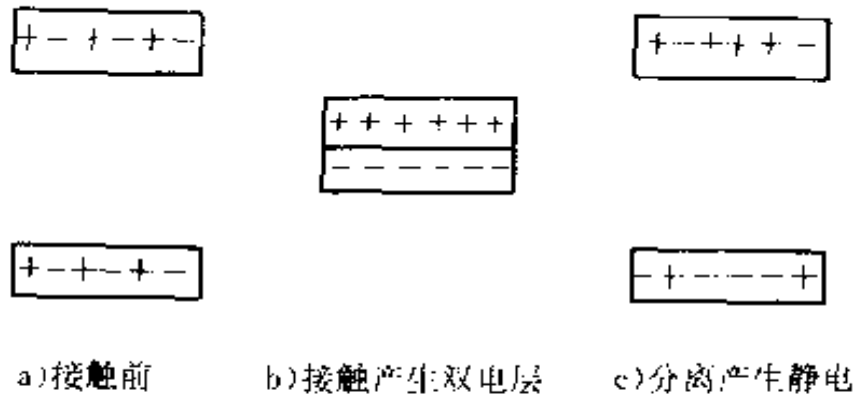


图 3-30 固体接触起电

a) 接触前 b) 接触产生双电层 c) 分离产生静电

(二) 粉体起电

粉体，是指由固体物质研碎而成的细小颗粒。粉体是特殊形态下的固体，所以从理论上讲，粉体产生静电也是由于接触电位差和双电荷层固体起电的缘故。当粉体与管壁、容器壁或其他工具摩擦和碰撞时，粉体即可带上静电。粉体的颗粒与颗粒之间的摩擦和碰撞也能产生静电，因而在生产工艺过程中，如在研磨、搅拌、筛选、过滤和料管中气流输送等工序中，经常有静电产生。粉体静电电压可高达数千伏至数万伏。在粉体输送和粉体搅拌过程中，粉体静电与粉体材料的性质、粉体颗粒的大小、管道或搅拌材料的时间长短、运转速度等因素有关。

(三) 液体起电

高电阻液体在管道中流动，容器的晃动，液体喷射的管口，液体注入容器中与容器壁或挡板发生的冲击、冲刷、飞溅，以及液体的搅拌、沉降、过滤等过程都容易产生静电。

液体起电与液体的电离现象有关（电离现象是指液体本身能离解为正离子和负离子）。分析液体在管道中流动的情况，其静电电荷分布情况如图 3-31 所示。

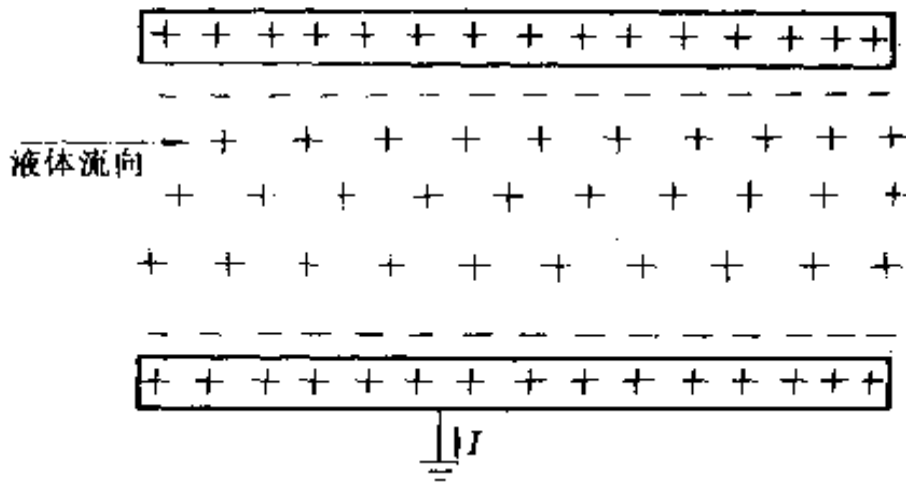


图 3-31 液体在管道内流动时的静电

当液体在管道内流动时，与管道内壁表面接触的极薄的一层（厚度约为一个分子直径），是由一种电性离子组成且不随液体流动，是一个固定的电荷层；与这层相邻的较厚一层（厚度达上百个分子直径或更大），由另一种电性的离子组成，这是随液体流动的滑移电荷层。因此，在液体沿管道内表面流动过程中，其两端积累起不同符号的电荷，便产生静电。影响液体静电产生的因素有：液体密度、粘度和电阻率，液体内的杂质和水分，管道的材料、内壁状况、直径大小，管头的几何形状，容器的直径，液体流速等。大量的事故案例表明，石油制品经管道向储油罐装卸过程中，由于静电放电火花引起的油罐爆炸事故最为严重。通过对石油制品管道流动爆炸事故的分析 and 模拟试验得出：油泵、过滤器、管道是主要静电产生源，起电量的大小取决于其结构和材料性质。

（四）人体带静电

当人在地毯或工业橡胶板上行走时，就会因鞋底和物体表面之间不断地紧密接触与分离而发生接触起电。当人穿塑料底鞋在橡胶地面行走时，人体电位可达到 2kV~3kV。如一个人坐在椅子上活动起立时，由于衣服与椅面间的接触、分离，也可使人体带电。有人曾做过如下试验：当人穿着尼龙羊毛混纺衣服从人造革面的椅子上起立时，人体便可产生高达近万伏的静电电压。

人体起电，除上述的接触、分离带电外还有人体感应起电、吸附带电。

二、静电的危害

静电危害是由于静电放电和静电场力而引起的。静电有如下三种类型的危害。

(一) 爆炸和火灾

静电的电量虽然不大，但因其电压很高，很容易发生放电，出现静电火花，从而引起火灾和爆炸，这是静电危险最严重的情况。

静电火花是带电体附近电介质击穿时产生的。不同的电介质，其击穿电场强度也不同，而且相差很大。而同一种电介质的击穿电场强度，还会受到电介质的温度、压力、湿度、试验电压波形、试验电极极性、电场均匀程度、电场作用时间等因素的影响。所以，静电火花的产生也受到这些因素的影响。一些电介质在冲击电压下的击穿强度（击穿电场强度）见表 3-12。

表 3 12 电介质的击穿强度 (kV/cm)

气 体	击穿强度	液 体	击穿强度	固 体	击穿强度
空气	35.5	醇	700~800	云母	50~150
氢	15.5	四氯化碳	1600	铅玻璃	5~20
氧	29.1	二硫化碳	1400	长石电瓷	30~35
氮	38.0	丙酮	640	电缆纸	6
二氧化碳	26.2	苯	1500	纤维	1~10
一氧化碳	45.5	硝基苯	1300	蜡	7~12
氨	56.7	二甲苯	1300	橡胶	20~25
甲烷	22.3	三甲苯	1500	聚乙烯	18~24
丙烷	37.2	氯仿	1000	聚氯乙烯	12~16
乙炔	75.2	变压器油	100	电木	3~30

如果静电火花（包括人体与其他物体之间的放电火花）能量超过周围介质的最小引燃能量（最小引爆能量），就会引起火灾和爆炸。爆炸性气体或蒸气的最小引燃能量一般都在 1mJ 以下，只

有很少在 2mJ 以上的。爆炸性粉尘的最小引燃能量要大些，一般都在 10mJ 以上。一些爆炸性气体和蒸气的最小引燃能量及爆炸性粉尘的最小引燃能量见“电气防火和防爆”一章。同一介质的击穿强度相似，最小引燃能量也受温度、压力、湿度、浓度、粉尘颗粒等因素的影响。

总之，要构成静电爆炸和火灾事故，必须同时具备以下几个条件：

- (1) 有产生危害静电电荷的条件。
- (2) 有产生火花放电的条件。
- (3) 发生的火花要有足够的能量。
- (4) 在放电间隙及周围环境中，存在有易被引燃、引爆的混合物。

(二) 电击

静电对人体造成电击，一般在以下两种情况下发生：

- (1) 当人体接近带静电物体的时候。
- (2) 带静电荷的人体接近接地体的时候。

电击程度与静电场能量大小有关，能量愈大，电击愈严重。因为静电场能量 $W = CU^2/2$ ，所以带静电物体的电容愈大或电压愈高，则电击程度愈严重。

人体对地电容因人体位置、姿势、地面情况等因素而有所不同，通常在数十至数百 pF 之间，其变动范围很大。站立在地面的人体，其对地电容可见表 3-13 所列数值。

当人体电容为 90pF 时，不同电压下静电电击的程度可见表 3-14。由表可知，当静电电压为 3kV 左右时，人体即有明显的电击感觉。

表 3-13 人体对地电容 (pF)

地面情况		水泥	红橡胶	木板	铁板
人体对地电容	解放鞋	450	200	60	1000
	棉胶鞋	1100	220	53	3500

表 3-14 静电电击对人体的反应

电压 /kV	能量/mJ	电 击 程 度	备 注
1	0.045	没有感觉	
2	0.18	手指外侧有感觉，但不疼痛	发出微弱的放电响声（能感觉电压）
2.5	0.281	放电部位有针刺感，轻微冲击感，但不疼痛	
3	0.405	有轻微和中等针刺痛感	可看到放电时的发光
4	0.72	手指轻微疼痛，有较强的针刺痛感	
5	1.125	手掌乃至手腕前部有电击疼痛感	由指尖延伸出放电的光
6	1.62	手指、手掌剧痛，有麻木感	
7	2.205	手指剧痛，手腕后部有强烈电击感	
8	2.88	手掌乃至手腕前部有麻木感	
9	3.645	手腕剧痛，手部严重麻木	
10	4.5	整个手剧痛，有电流通过感	
11	5.415	手指剧烈麻木，整个手有强烈电击感	
12	6.48	由于强烈电击，整个手有强烈打击感	

由于生产工艺过程中产生的静电，其能量较小，所以由此而引起的电击一般不致直接使人致命。但是，不能排除由静电电击导致严重后果的可能性。例如，人体可能因静电电击坠落或摔倒，造成二次事故；静电电击还可能引起工作人员精神紧张，妨碍工作等。

应当指出，雷电和电力电容器残留电荷虽然也属于静电，但因其电压极高或电容很大，它的能量比生产工艺过程中产生的静电大得多，以致由雷电放电和电力电容放电造成的人身伤亡事故亦不少。

（三）对生产的影响

由于物体带上静电后，在其附近空间会产生静电场，从而使

轻物被吸引或排斥，即产生静电场力的力学现象。在某些生产过程中，如不消除静电，将会妨碍生产或降低产品质量。例如，静电使粉体吸附于设备，将会影响粉体的过滤和输送；在纺织行业，静电使纤维缠结、吸附尘土，会降低纺织品质量；在印刷行业，静电使纸张不齐、不能分开，会影响印刷速度和降低印刷质量等。

由于物体带上静电而发生火花，在某些生产过程中就会出现各种故障。例如，使感光胶片感光，从而降低胶片质量；在电子行业中，MOS型等半导体元件受到破坏，以及使用这些元件的电子装置、计算机等产生误动作和故障，还可能对无线电通信设备、磁带录音机产生干扰。

总之，静电产生的危害可见表 3-15。

表 3-15 静电危害

危害原因	危害种类	危害内容	危害举例
放电作用	爆炸及 火灾	引起可燃、易燃性液体爆炸或起火	输送汽油的设备不接地可能引起汽油着火
		引起某些粉尘爆炸或起火	静电可使面粉、铝粉爆炸
		引起某些气体爆炸或起火	高速气流，如氢气喷出时，可能引起爆炸
	人体伤害	使人遭受电击	橡胶厂压延机静电很高，容易发生电击
		因电击引起二次伤害	意外的电击，可能引起跌倒等
	妨碍生产	引起电气元件误动作	影响电子计算机正常工作
静电火花使胶片感光		影响胶片的质量	
力学作用	妨碍生产	纤维发生缠结、吸附尘埃等	影响纺织品的质量
		使粉体吸附于设备	影响粉体的过滤和输送
		印刷纸张不齐，不能分开	影响印刷速度和质量

三、静电危害的预防

消除静电危害的主要途径是：限制静电积聚、加强静电的泄漏或中和；控制工艺过程、限制静电产生。接地，增湿，加入抗

静电剂等属于泄漏法；装设中和装置消除静电危害属于中和法；从材料选择、工艺设计、设备结构等方面采取措施限制静电的产生是工艺控制法。

(一) 接地

接地是消除静电危害最简单、最常用的方法。接地是将带电物体上的静电荷通过接地导线引入大地，消除物体对地的电位差，避免出现高电位。为了防止孤立导体因接触或感应带电，产生瞬间放电，必须要牢固地接地。静电的接地电阻一般取 $10^2\Omega\sim 10^6\Omega$ 。为此，应采取下列措施：

(1) 凡是用来加工、贮存、运输各种易燃液体、气体和粉状易燃品的设备、容器、过滤器、管道、阀门等，应采用金属或导电性良好的材料，并应良好地接地。如果过滤器由纺织材料制成，应用金属丝穿缝并予以接地；如用非导电材料制成的管道，应在管内或管外绕以金属丝并且接地。

(2) 设备之间、设备与管道之间、管道之间、管道与容器之间，当其距离小于 100mm 时应用金属丝跨接。例如，平行管道相距 100mm 以内，每隔 20m 应用金属连线跨接。

(3) 装载油槽的汽车在行驶时，由于汽车轮胎与地面摩擦，汽车底盘上可能产生静电。为了使油槽汽车上的静电电荷释放，必须使油槽车带上金属链条并拖于地面。油槽车在装卸油料之前，应同贮油设备跨接和接地。装卸油料时要遵循先接地后接油管；装卸完毕要先拆油管后拆接地线的规定。

(4) 对易燃易爆场所，要防止人体静电的放电。工作人员不能带金属戒指、手镯，对于车间内门的把手和门栓应接地。在此场合不要穿尼龙或化纤衣服，要穿防静电工作服、工作鞋，此工作场所的地面要具备导电性。

(二) 增湿

增湿，就是为了提高空气湿度、提高静电放泄速度，限制静电积累。增湿主要是加强静电沿绝缘体表面的泄漏，仅适用于表面易被水润湿的绝缘体，如纸张、橡胶等。对表面不易被水润湿

的绝缘体是无效的，如纯涤纶、聚氯乙烯等。

从消除静电危害的角度来考虑，空气的相对湿度应保持在70%以上较为适宜。

（三）加抗静电添加剂

抗静电添加剂是化学试剂，具有较好的导电性和较强的吸湿性。加抗静电添加剂，是从根本上消除静电危险的措施。在容易产生静电的高绝缘材料中，加入微量的抗静电剂后，能增加材料的吸湿性或导电性，降低材料的体积电阻或表面电阻，加速静电泄漏，消除静电危险。例如，橡胶制品中加入炭黑、铵盐；在石油制品中加入油酸盐、铬盐、合成脂肪酸盐等抗静电剂；在化纤制品中采用季铵盐油剂为添加剂；粉体制品中加入石墨为抗静电剂。但是，对于悬浮状粉尘和蒸气，任何抗静电剂都不起作用。

（四）静电中和法

静电中和法是消除静电的主要措施，它可以消除绝缘体上的静电。其方法，就是在产生静电荷物体的表面10mm~20mm的地方，装设中和器，它能将其附近的气体分子电离，使与带电物体极性相反的离子向带电体移动，并和带电物体的电荷进行中和，从而达到消除静电的目的。静电中和器具有使用方便、不影响产品质量的优点，现已广泛应用于橡胶、薄膜、纸、布、粉体等产品的生产中。目前，主要使用的静电中和器有以下几种类型：1) 自感式静电中和器；2) 外接电源式静电中和器；3) 放射线式静电中和器；4) 组合式静电中和器。

（五）工艺控制法

工艺控制法是指从工艺上采取适当方法，限制静电的产生和积累，或降低爆炸性混合物的浓度。

1. 选用适当的材料 人们可以使用生产物料与不同材料制成的设备发生摩擦，使其与一种材料在摩擦时带正电，而与另一种材料在摩擦时带负电，达到物料上的电中和而消除静电。必须注意，在选用材料时，应使其适应工艺要求，并有一定的导电性，以防设备本身积累危险的电荷。还要注意由于其它因素影响而可能

改变带电的极性，这样不但不起消除静电的作用，反而会增加静电。

根据生产上的现有条件，可采用导电性工具，加快静电泄漏。为了减轻火花放电和感应起电的危险，可采用电阻为 $10^7\Omega\sim 10^9\Omega$ 左右的工具。在易燃易爆场所，为防止产生金属撞击火花，应采用镀铜工具进行操作。

2. 清除杂质 当油罐或管道内混有杂质时，要注意及时清除，如在装油前应将油罐底部的积水或杂质清除干净。

3. 降低爆炸性混合物的浓度 降低爆炸性混合物的浓度，可采用通风装置（包括抽风），及时地排除易燃性气体；也可以在危险空间充填氮和二氧化碳，以隔绝空气与易燃、易爆气体的混合，或稀释爆炸性混合物，来达到防火防爆的目的。

第七节 电磁场防护

电磁场对人体有伤害作用，随着高频技术愈来愈多的应用于生产实践，电磁场防护就愈来愈被人们重视。

一、电磁场对人体的伤害

（一）电磁场对人体伤害的机理

人体在电磁场作用下，会吸收辐射能量，而发生生物学作用，这对人体将造成不同程度的伤害。人体内的这种生物学作用，主要是由电磁场能量转化的热能引起的。

人体内有极性分子，也有非极性分子。非极性分子在电场作用下，正、负电荷会向相反方向运动而被极化。而极性分子在电场作用下，则发生重新排列（取向），重新排列时，由于分子碰撞和摩擦将产生热量。同时，机体内还有电介质溶液，其中离子在电场作用下的移动或振动也能形成电流，产生热量。此外，磁场还会在机体内感应出涡流，产生热量。

由于这些多余的热量，人体一些器官的功能就会受到不同程度的伤害，电磁场的频率不同，其伤害程度也不同。

（二）电磁场对人体伤害的特征

1. 中枢神经系统功能失调 在一定程度的中、短波电磁场照射下，人体所受到的伤害主要是中枢神经系统功能失调，其表现有神经衰弱症，如头晕、头痛、乏力、记忆力减退、睡眠不良（白天嗜睡、夜间失眠、多梦）等症状。在超短波和微波电磁场的照射下，以及在 330kV 以上超高压的高强度工频电磁场作用下，也会发生中枢神经系统功能失调的现象。

2. 植物神经功能失调 在超短波、微波电磁场的照射下，人体除神经衰弱症状加重外，主要表现为植物神经功能严重失调，心血管系统症状比较明显，如心动过缓或心动过速、血压降低或血压升高、心悸、心区有压迫感、心区疼痛等。这时，心电图、脑电图、脑血流图也有某些异常反应。

3. 其它症状 在一定的中、短波电磁场照射下，人体还表现有：脱发、伸直手臂时手指轻微颤抖、皮肤划痕异常、视力减退、男性性功能减退、女性月经失调等。微波电磁场则有可能损伤眼睛，导致白内障等。

电磁场对人体的作用主要是功能性改变，具有可恢复性特征。所产生的症状，一般在脱离接触后数周之内就可消失，但在高强度、长时间的电磁场作用下，个别人可能持续较久，不易恢复正常。

二、影响伤害程度的因素

（一）电磁场强度

电磁场的强度愈高，人体吸收的磁能量愈多，伤害就愈重。发射源功率愈大，电磁场强度就愈高；距离发射源愈近，电磁场强度也愈高；反之就低。经有关测量表明：在某操作台附近测量，电场强度为 170V/m~240V/m 时，在距操作台 0.5m 处测量，电场强度为 53V/m~65V/m；在距操作台 1m 处测量，电场强度为 24V/m~31V/m；在距 2m 处测量，电场强度几乎接近于零。

（二）电磁波频率

在一般情况下，电磁波频率愈高，人体内偶极子的激励程度就加剧，伤害也就严重。同时，随着频率的增高，电磁波衰减变

慢，也加剧其危害性。

（二）电磁波波形

在其他参数相同的情况下，脉冲波比连续波对人体的伤害严重。

（四）电磁波照射时间

电磁波连续照射时间愈长或照射过程中的间歇时间愈短，以及累积照射时间愈长，对人体的伤害愈重。

（五）照射面积和部位

对人体照射面积愈大，人体吸收的能量愈多，伤害愈严重。就照射部位而言，血管分布较少的部位其传热能力较差，由吸收的能量转化成的热量就容易积累，造成的伤害也较大。

（六）环境影响

温度太高和湿度太大，都不利于机体的散热，而会加重电磁场的伤害程度。

（七）人体情况

不同的人，遭受电磁场的伤害程度也不相同，如女性比男性为重，儿童较成人为重。

三、电磁场的安全标准参考值

电磁场的安全标准，是一个有待进一步探讨的问题。国外关于电磁场安全标准的规定，由于所考虑的工作条件和测量方式的不同，有的数值相差甚为悬殊。我国自1963年开展高频电磁场劳动防护以来，做了不少调研工作，已提出了初步的建议性标准，以供参考。

对于0.1MHz~30MHz的电磁波，电场强度不得超过20V/m，磁场强度不得超过5A/m；对于30MHz~300MHz的电磁波，电场强度不得超过5V/m；磁场强度很弱时，不再做规定。电磁场的安全标准也可用功率密度规定，即用每平方厘米面积获得的辐射功率来规定。对于10MHz以上的电磁波，功率密度不得超过10mW/cm²，对于300MHz以上的电磁波，功率密度不得超过0.01mW/cm²~1mW/cm²。测量电磁场强度时，仪表探头距离高

频设备的距离，在短波及其以下时，可取 5cm，在超短波以上可取 10cm。

对于微波，国家卫生部和电子工业工业部曾颁发《微波辐射暂行卫生标准》，并从 1979 年 5 月 1 日起试行。其有关内容可简述如下：一日 8h 连续辐射时，不应超过 $38\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，但一日总计量不得超过 $300\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ；如需要在大于 $1\text{mW}/\text{cm}^2$ 的环境下工作时，必须使用防护用品，但日剂量不得超过 $300\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，一般不容许在超过 $5\text{mW}/\text{cm}^2$ 辐射环境下工作。

微波设备出厂前，生产部门必须进行漏能鉴定，在距设备 5cm 处测量，漏能值不得超过 $1\text{mW}/\text{cm}^2$ 。

四、电磁场的防护

(一) 防护措施

为了防止电磁场的危害，应采取以下两条防护措施：

(1) 根据现场特点，可采用不同结构形式和不同材料的屏蔽装置。

(2) 改善高频设备的工艺结构和高频设备的配置，以降低现场的电磁场强度。

(二) 电磁场的屏蔽原理

(1) 电场屏蔽的基本原理，电场屏蔽的基本原理就是“静电感应”原理。电场屏蔽如图 3-32 所示，为了提高屏蔽效果，屏蔽体要求接地，接地后其内侧感应出异性电荷，外侧感应的电荷通过地线流入大地，起到了屏蔽的效果，对于交变电荷，地线上的电流也是交变的。

(2) 磁场屏蔽的基本原理，磁场屏蔽的基本原理就是“电磁感应”原理，如图

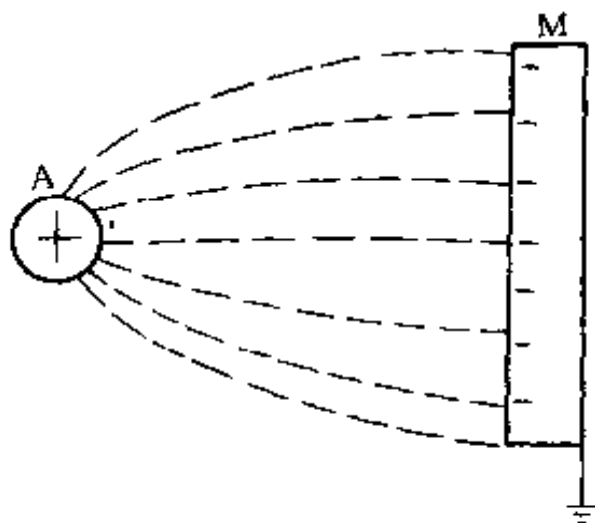


图 3-32 电场屏蔽原理
A 电场源 M 金属屏蔽体

3-33 所示，磁场源 A 是一个通高频电的线圈，若通电时，将在其周围产生高频磁场，线圈中的高频电流 I_A 在其周围产生高频磁场（交变磁场），就在其外面的筒形屏蔽体 K 上感应出高频交流电势 E_K 。由电磁感应定律可知， E_K 在圆筒中形成电流 I_K ， I_K 的方向是与 I_A 正好相反，所以 E_K 产生的磁通 Φ_K 的方向与 I_A 产生的磁通 Φ_A 的方向也相反。因此在屏蔽体以外的磁力线相互抵消，则起到了屏蔽磁场的作用。但因筒形磁屏蔽体在圆周方向上应是连续的，即不得在圆筒上开以纵缝，应保持感应电流的畅通，充分发挥屏蔽作用。

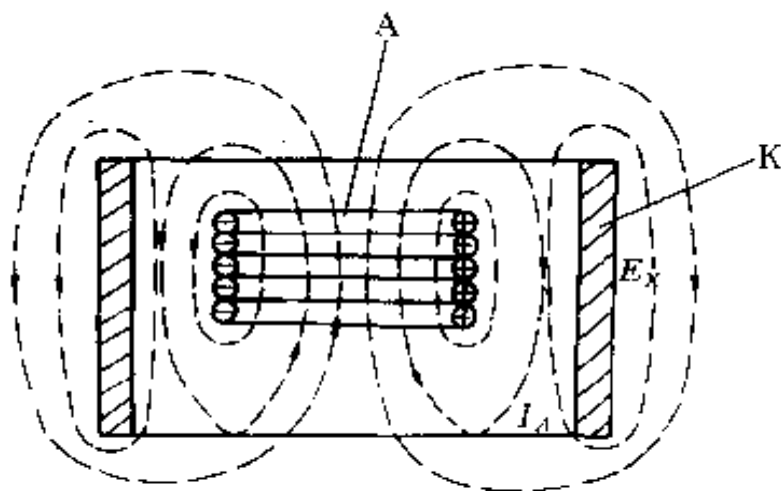


图 3-33 磁场屏蔽原理图

A 线圈 K—屏蔽圆筒

交变的电磁场会在屏蔽体内产生功率损耗，屏蔽体本身也吸收一定的能量。另外，电磁波传播到屏蔽体表面时，由于反射，有部分能量被反射回去。

(三) 对屏蔽体的要求

- (1) 用板状或网状屏蔽。
- (2) 材料用铜、铝、铁均可，对磁场屏蔽用铁磁材料效果较好。
- (3) 屏蔽板材厚度用 1mm 即可，对网状屏蔽，金属丝愈多愈粗屏蔽效果愈好。

(4) 当工作需要不得不在屏蔽体上开孔、开缝时，孔洞直线尺寸不宜超过电磁波波长的 $1/5$ ，缝宽不宜超过电磁波波长的 $1/10$ 。

(5) 屏蔽体的边界要圆滑，避免尖端效应。

(四) 高频接地

高频接地包括高频设备外壳接地和屏蔽体的接地，接地要牢靠。

高频接地除应符合一般电气设备接地的要求外，特别是屏蔽体的接地还必须符合高频接地的特殊要求，这样就可以大大地提高电磁场的屏蔽效果。

对高频接地的要求：

(1) 接地线长度应在波长的 $1/4$ 之内，不宜太长。

(2) 接地线要用多股铜线或多层铜皮制成，以减小接地线的电感和其中的损耗。

(3) 对于屏蔽体的接地，只宜在屏蔽体的一点与接地体相联，否则会产生有害的不平衡电流。

(4) 高频接地体宜采用铜材料制成，宜于豎埋，板形接地体的面积取 $1.5\text{m}^2 \sim 2\text{m}^2$ 即可。

第四章 预防性试验

电气设备的预防性试验是判断设备能否继续投入运行,预防设备损坏及保证安全的重要措施。因此,电力系统的设备必须按中华人民共和国电力行业标准 DL/T596 - 1996《电力设备预防性试验规程》的要求进行预防性试验。预防性试验的项目种类很多,而且不同的设备需要进行的预防性试验的项目也有差别。本章只涉及用于判断电气绝缘是否良好四个基本试验即绝缘电阻的测量,泄漏电流的测量,介质损失角正切($\text{tg}\delta$)的测量和耐压试验。在实际工作中有关电气绝缘的试验除了这四项基本试验外还有局部放电测量,绝缘油的气相色谱分析和微水分析,变压器的操作波试验,绝缘老化等等的试验。预防性试验按其对被试绝缘的危险性可分为非破坏性试验和破坏性试验两类。非破坏性试验在较低的电压下进行,故不会损伤设备的绝缘。如测量绝缘电阻,泄漏电流和介质损失角正切($\text{tg}\delta$)是非破坏性试验。破坏性试验是在高于工作电压下进行,有可能给被试品的绝缘造成损伤。交流耐压、直流耐压都为破坏性试验。在进行预防性试验时应先做非破坏性试验,只有在非破坏性试验结果没有问题时,方可进行破坏性试验。

第一节 绝缘材料的电气性能

绝缘材料的电气性能是指在电场的作用下,材料的导电性能、介电性能以及绝缘强度。它们分别以绝缘电阻率或电导率,相对介电系数,介质耗角正切以及击穿场强四个基本参数来表示。

一、介质电导和绝缘电阻率

绝缘材料并不是绝对不导电,只是导电能力很小而已,工程应用的绝缘材料的电阻率一般不低于 $10^{14}\Omega \cdot \text{m}$ 只有在某些特殊的场合,如为了改善电场分布,有时采用一定电阻值的材料组成分阶

绝缘；有时涂以不同电阻率的导电漆或挤包一层导电层（如电机线棒的槽口部分和电缆绝缘的内、外层）以改善电场强度和分布。

尽管绝缘材料绝缘电阻很高，它还是有很小的导电能力的，即电导。绝缘材料的电导在很大程度上来自离子电导，它可能是来自强极性原子的本征电离，而多数是由于杂质离解而形成的。如来自各种添加剂，加工过程中混入的杂质以及吸收的水分。绝缘材料的绝缘性能的好坏，可以用绝缘材料的电阻率来表征。

绝缘材料的绝缘电阻率 ρ 是绝缘材料所在的电场强度 E 与通过绝缘材料的电流密度 J 之比，即

$$\rho = E/J$$

电导率 γ 为电阻率的倒数，即

$$\gamma = 1/\rho$$

绝缘电阻率包括体电阻和表面电阻率，体电阻率是在体积电流方向的直流电场强度与稳态时的电流密度之比，即

$$\rho_v = E_v/\sigma_v$$

式中 E_v ——直流电场强度 (V/m)；

σ_v ——稳态电流密度 (A/m²)；

ρ_v ——体积电阻率 ($\Omega \cdot m$)。

表面电阻率是沿绝缘材料表面电流方向的直流电场强度与在规定的加压时间终了时测得的单位宽度通过的表面电流之比，即

$$\rho_s = E_s/\sigma_s$$

式中 E_s ——直流电场强度 (V/m)；

σ_s ——单位宽度的电流密度 (A/m)；

ρ_s ——表面电阻率 (Ω)。

表面电阻率在很大程度上决定于材料表面附着的导电杂质和水分，而且在测量表面电流时，很难完全避免不把部分体积电流也测量在内。因此，通常都以体电阻率作为衡量绝缘材料的电性能参数。

应当指出，设备（或绝缘体）的绝缘电阻是由体积电阻 R 和表

面电阻 R 并联组成,即

$$R = R_V R_S / (R_V + R_S)$$

它不但与绝缘材料的性能有关,而且还取决于绝缘结构的形状和尺寸,因此它是被用来衡量绝缘结构的电性能参数之一,而不作为绝缘材料的电性能参数。

二、相对介电常数

介电系数是处理各种电场问题的基本参量之一。在绝缘技术中,不论是设计合理的绝缘结构,或是计算储能力,都需要掌握绝缘材料的介电常数。

我们知道一个平板电容器的电容 C 与平板电极的面积 S 、电极之间的距离 d 和电介质的介电常数 ϵ 之间有如下关系:

$$C = \epsilon S / d$$

式中 ϵ 为介电常数。

设电极系统处于真空中的电容量为 C_0 ,则有

$$C_0 = \epsilon_0 S / d$$

式中 C_0 为几何电容, ϵ_0 为真空介电系数,其数值为

$$\begin{aligned} \epsilon_0 &= 1 / (4\pi \times 9 \times 10^9) \\ &= 8.84 \times 10^{-12} \end{aligned}$$

如果在电极的面和极间的距离不变时,只在电极间改填不同介电常数的介质,则会得到不同的电容值 C_r ,即

$$C_r = \epsilon_r S / d$$

式中 ϵ_r 为介质的介电常数。

介质的相对介电系数是充满介质时电容器的电容量与同一电极系统在真空中时电容器的电容量之比,即

$$\epsilon_r = C_r / C_0 = \epsilon_r / \epsilon_0$$

或 $\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$

式中 ϵ_r 为介质的相对介电常数。

将上式改写得 $C_r = C_0 \epsilon_r$ 它表示在同一电极系统中,当以相对介电常数为 ϵ_r 的介质填充电容器时,电容量增大了 ϵ_r 倍。

在对介质施加一正弦交流电压时,由于介质的电导和其它损耗的原因,流过介质的电流 I_C 不是超前电压 $\pi/2$,而是 φ 角,如图 4-1b 所示, φ 角的余角为 δ 角,称此角为介质损失角,而 δ 角的正切则被称为介质损失角的正切,记为 $\text{tg}\delta$ 。

介质损耗角的正切等于电介质中的电流的有功分量 I_R 与无功分量 I_C 之比。把电介质材料看作一个电阻和一个理想的电容器并联的等值电路,如图 4-1a 所示。

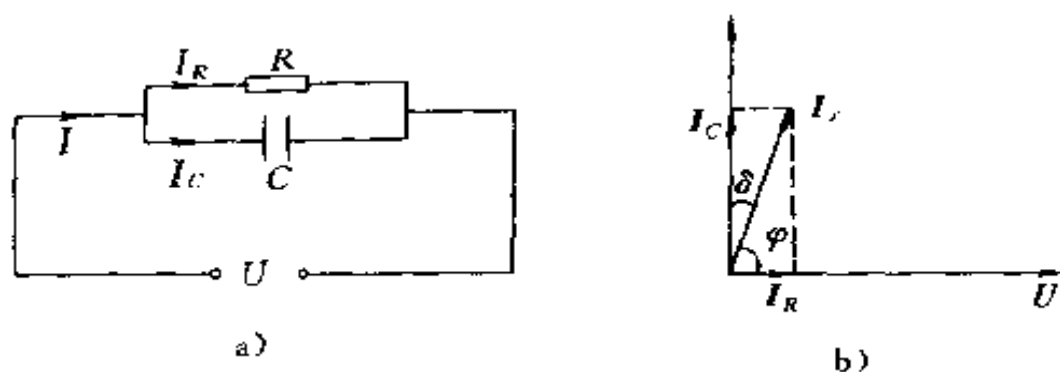


图 4-1 介质损耗的等效电路图

a) 等效电路 b) 相量图

$$\text{tg}\delta = I_R/I_C = \frac{U/R}{U\omega C} = 1/R\omega C$$

$$P = UI_R = UI_C \text{tg}\delta = U^2 \omega C \text{tg}\delta$$

由此可见当电介质一定,外加电压及频率一定时,介质损耗功率 P 与 $\text{tg}\delta$ 成正比,换言之,可以用 $\text{tg}\delta$ 来表征介质损耗的大小。良好的电介质中的损耗是很小的,可以认为 $\text{tg}\delta \approx \sin\delta \approx \delta$ 。所以介质损失角正切的测量也可称为介质损失角测量。

四、介质的击穿强度

当电场的强度超过某一极限值时,通过介质的电流与施加给介质的电压的关系不在符合欧姆定律,而是电流猛增。这时绝缘材料被破坏而失去了绝缘性能,这种现象就叫做电介质的击穿。发生击穿时的电压称为击穿电压,此时的电场称为击穿场强。通常绝缘材料的绝缘强度就是用它的平均击穿场强来表征的,即

$$E_B=U_B/d$$

式中 E ——平均击穿场强(V/m);

U ——击穿电压(V);

d ——击穿处的绝缘厚度(m)。

第二节 绝缘电阻的测量

测量电气设备的绝缘电阻,可以检出设备的绝缘是否有贯通的集中性的缺陷,整体受潮等缺陷。是鉴定设备绝缘好坏的有效手段之一。同时,因测量所用的设备简单而被广泛的采用。

一、测量原理

在绝缘体上加直流电时,就有三个电流存在绝缘体内,即:电容电流、吸收电流和电导电流。

电容电流是电源向几何电容充电形成的电流,这个过程进行的很快,是瞬间完成的,难以测量到。

吸收电流是由偶极式极化、离子松弛极化,夹层极化和高压极化等形成的。吸收电流是随时间逐渐衰减的并可以用仪器测量的。其衰减过程符合 $i=I_{max}e^{-\frac{t}{RC}}$ 这里 $RC=\tau$ 是时间常数,它决定了吸收电流衰减的快慢。 R 越大、 C 越大则时间常数 τ 就越大,电流衰减的越慢。这就是一些大型设备需要很长的时间(十几分钟到甚至几个小时)电流才达到稳定,而一些小设备的电流很快就衰减到稳定值的原因。

电导电流 因为没有绝对不导电的物质,因此,在加上电压之后,在绝缘体内就有一定的电流流过,它的大小由绝缘材料的电导率,绝缘体的厚度和面积决定的。

在工程上通常用 60s 的电阻 R_{60} 作为设备的绝缘电阻。设备的绝缘电阻是它的绝缘状态的反映。绝缘电阻大,绝缘就好。而当设备的绝缘受潮时或存在缺陷时绝缘电阻显著降低。

应当指出绝缘电阻对温度变化非常敏感,对不同的产品分散性也很大,有时可达数十倍,还有绝缘结构可能处于悬浮电位或屏蔽状态。因此用绝缘电阻 R_{60} 来判断绝缘状态不是十分科学的。

R_{60} 与 R_{15} 之比称为吸收比。实践证明用吸收比来检测变压器的绝缘质量比用绝缘电阻更为可靠,其数值的分散性也小。

二、绝缘电阻的测量步骤

(1) 断开被测设备的电源,并使设备短路接地充分放电。

(2) 拆除被试设备的一切对外连线,用干燥清洁的布擦去表面的污垢(必要时可用汽油擦洗)。

(3) 校验兆欧表的零和满度,放平兆欧表,空摇到额定转速,兆欧表应指 ∞ ,短接火线(L)与地线(E),则兆欧表应指零,应注意此时要轻摇,以免打坏兆欧表。电动系兆欧表试验前还应检查电池是否合格。

(4) 将兆欧表的接地端与被试品的地牢固的接在一起,带引线空摇到额定转速,将火线接到被试品上,同时开始计时。读取 15s 和 60s 时的绝缘电阻 R_{15} 和 R_{60} 。如果只测绝缘电阻,则只需读出 60s 的绝缘电阻 R_{60} 。注意在整个测量过程中都应以 120r/min 的均匀速度摇动兆欧表。测试完毕后先从被试物上取下火线,再停止转动兆欧表。取下火线后应立即将被试品对地放电。

(5) 记录被试设备的温度,气象情况和试验日期。

三、注意事项

(1) 兆欧表的火线及地线不要靠在一起。如果引出线必须经其它支持物才能和被试设备接触时,则支持物必须是良好的绝缘体。

(2) 测量电容较大的试品的绝缘电阻时,如电机,长电缆等,充电电流很大,因而兆欧表开始指示数值很小,这并不表示被试物的绝缘电阻不好,必须经过较长时间才能得到正确的结果。

(3) 如果所测的绝缘电阻过低,应一段(部分)一段的测量,找出绝缘电阻最低的部分。

(4) 测量绝缘电阻时,测量出来的是它的体电阻和表面电阻的并联值,如果绝缘子表面有水分(或空气湿度大时),使得绝缘体表面电导大大增加,表面电阻大幅度的下降,引起整体的绝缘电阻大大下降,以至造成误判断。因此,在绝缘子表面有水分或空气湿度太大时,不要进行绝缘电阻的测量。

(5) 试验用的兆欧表的输出电压应符合《电气设备预防性试验规程》等规定的电压。因为不同的电压,会得出不同的测量结果。

(6) 试品上的残余电荷会对测量结果带来很大的误差。因此,在测量不同的相或重复测量时,一定要将被试品中的残余电荷放尽。

第三节 介质损耗测量

介质损失角的正切值是交流电压的作用下,电介质中电流的有功分量与无功分量之比值,它反映了在一定电压和频率下,电介质单位体积中能量损耗的大小,是绝缘强度,含湿量,老化等性能的综合反映。因此,能直接从介质损失角的正切($\text{tg}\delta$)值来了解绝缘状况。

测量正切值通用的方法是用交流电桥测量。电桥法的测量原理是把被测试样作为一个桥臂其它三个桥臂已知,调节电桥达到电桥平衡,根据平衡条件,求出被试品的电容和阻抗,从而计算损耗角,电桥的种类很多,本节主要介绍两种在预防性试验中常用的电桥。

一、QS3型西林电桥

(一) QS3型西林电桥的工作原理

QS3型西林电桥多在到试验室内使用,它是国产精确度较高的高压西林电桥,电桥的测量工作原理见图4-2,在图4-2中, C_x 、 R_x 表

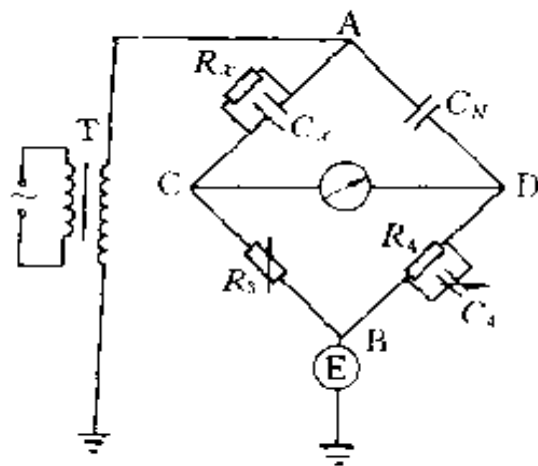


图4-2 西林电桥测量原理

示被测试样等值并联电容和电阻, R_3, R_4 表示电阻比例臂, C_N 为平衡试样电容的标准电容器, C_4 为平衡试样损耗角的正切的可变电容, 据电桥平衡原理有

$$Z_1 Z_4 = Z_N Z_3$$

式中 Z_1, Z_N, Z_3, Z_4 分别为电桥的试样、标准电容和桥臂的阻抗。

从图 4-2 可以得到:

$$1/Z_1 = 1/R_x + j\omega C_x$$

$$Z_N = 1/j\omega C_N$$

$$Z_3 = R_3$$

$$1/Z_4 = 1/R_4 + j\omega C_4$$

把这些结果代入上面的等式, 再把虚部和实部分别列成等式, 然后解所得的方程式得到:

$$C_x = (R_4/R_3)C_N / (1 + \text{tg}^2 \delta_x)$$

$$\text{tg} \delta_x = \omega C_4 R_4$$

式中, $\text{tg} \delta_x$ 为试样的损耗角的正切, $\text{tg} \delta_x = 1/\omega C_x R_x$

当 $\text{tg} \delta_x < 0.1$ 时, C_x 可以近似计算为 $C_x = C_N R_4 / R_3$, 此时误差不超过 1%。

同时, 图 4-2 也是高压工频正接西林电桥的接线原理图, 试验变压器 T 供给试验用高压, 高压连接到电桥顶端 A。因为试验变压器一端接地, 而试品不接地。因此, 采用 R_3, R_4 的连接点 B 接地。由于标准电容器处于高压下, 调节不方便, 也不安全, 而且把高压标准电容器作成可调也十分困难。因此, 不是调节 C_N , 而调节 R_3, C_4 达到电桥平衡。因为试样电容和标准电容器的阻抗远远高于桥臂的阻抗, 施加于电桥的电压极大部分降落于 C_N, C_x 上, 并且 B 点接地, 故 C、D 点的电位略高于地电位, 操作是安全的。此外由于测量频率低, 杂散电容和残余电感的影响小, 用十进电阻箱作可调电阻 R_3 , 不会对 $\text{tg} \delta_x$ 的测量准确度影响太大, 用这种结构时, R_4 是固定的, 所以损耗角正切是直读的, 在高压工频西林电桥中, 时常采用 $R_4 = 10^4/\pi$ 或 $10^3/\pi \Omega$, 当 $R = 10^4/\pi$ 时, 则

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta_r &= \omega C_1 R_1 \\ &= 2\pi \times 50 \times (10^4 / \pi) \times C_1 \times 10^{-6} \\ &= C_1 \end{aligned}$$

当 $R = 10^3 / \pi$ 时, 则

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta_r &= \omega C_4 R_4 \\ &= 2\pi \times 50 \times (10^3 / \pi) \times C_4 \times 10^{-6} \\ &= 0.1 C_4 \end{aligned}$$

以上两式中, C_4 以微法计算, 因此 C_4 可以直接刻成 $\operatorname{tg} \delta_r$ 的读数。

图 4-2 中的 E 为电桥的保护电源。由于 C、D 两点存在着对地电容和泄漏电阻, 见图 4-3, 它们会对测量带来误差的。 E 的作用就是专门设计来消除这种误差的, 通过调节 E 的大小和相位, 使得 C、D 两点的电位的大小和相位完全相同,

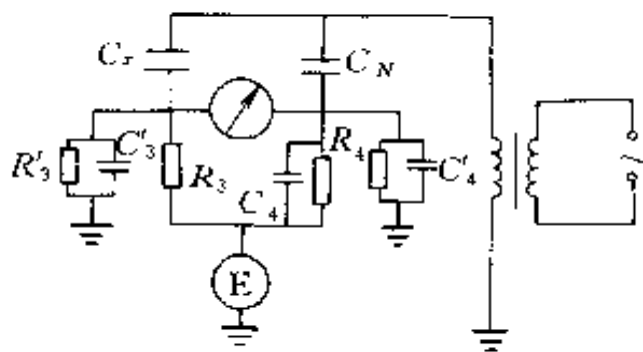


图 4-3 西林电桥的误差产生及消除原理图

这时 C、D 两点的对地电容和泄漏电阻中没有电流流过, 从而避免了它们对测量带来的误差。

(二) QS3 型西林电桥的结构和测量方法

1. QS3 型西林电桥的结构 图 4-4 是我国制造的高压 QS3 型西林电桥的线路, 中间部分为桥体, 包括桥臂 R_1 、 R_4 、 C_1 、 C_x 为被试品, C_N 为标准电容器。T₁ 为高压试验变压器, E、F 接到放大器的输入端。下部分是保护电源, 其大小用电位器 R_5 、 R_6 来调节, 相位由 R_7 、 R_8 、 R_9 、 R_{10} 来调节。

当设备安装好时, 首先要调节 C_x , 其操作步骤如下:

(1) 将开关 S_1 合向对称 1 (图 4-4 中的 S_1 向上合), 这时桥内的两个 1000Ω 的电阻代替了电桥的试品和标准电容支路。

(2) 让 $C_4 = 0$, $R_4 = R_3 = 10^4 / \pi \Omega$, 合上桥体的电源。

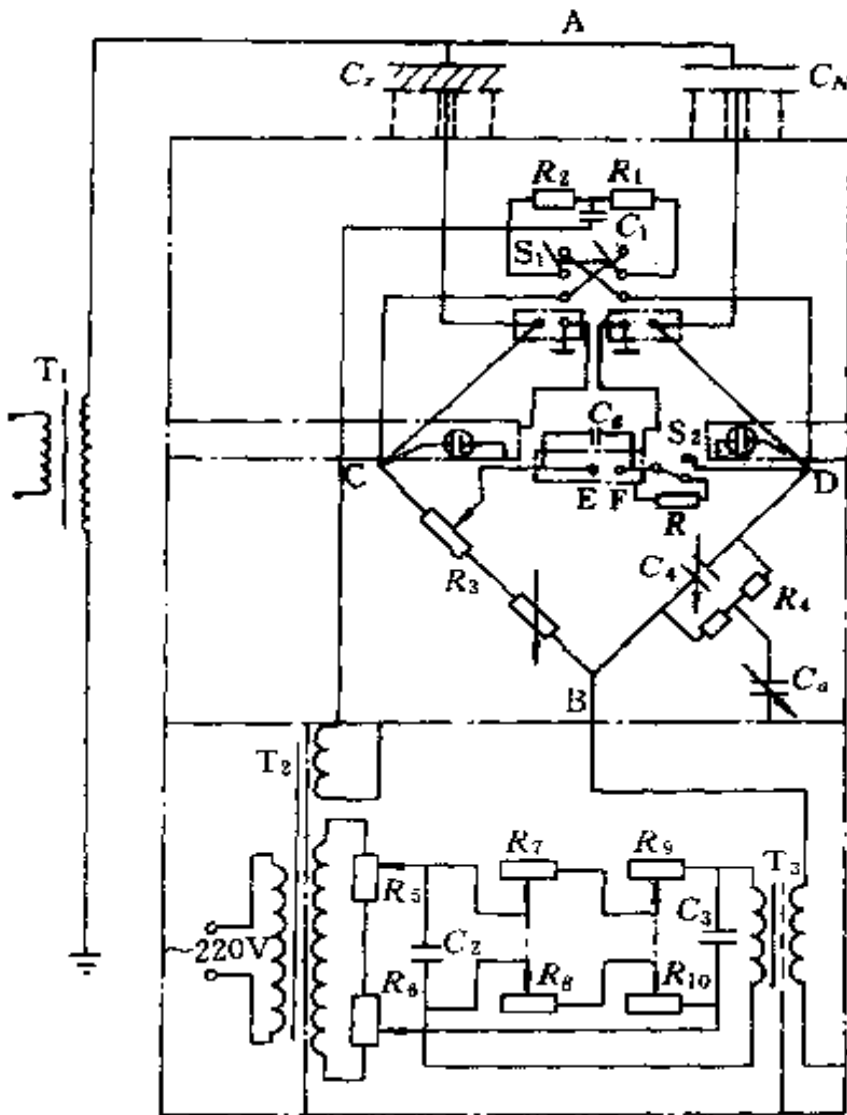


图 4-4 QS3 型西林电桥的结构图

(3) 把检流计开关交替打到“屏”和“桥体”(仪表盘上), 调节辅助电源的大小和相位及 C_a , 直到电桥平衡。若只调节 C_a 不能使电桥平衡时, 可适当的调节 R_3 , 使电桥平衡, 即可得到 C_{a1} 的值。

(4) 将开关 S_1 合向对称 2(向下), 重复(2)、(3)的操作, 可以得到 C_{a2} , 而 $C_a = (C_{a1} + C_{a2})/2$ 。

(5) 在以后的测量中, C_a 固定下来不再变动, 除非对 C_a 的值有所怀疑, 才重新测量它的数值。

2. $\text{tg}\delta_x$ 的测量方法 接好试验接线(当 C_x 在桥体外时, 要用屏蔽线给试品加电压), 对称开关 S_1 置于测量位置, 试验开始。

(1) 把灵敏度开关放在较低的位置, 将电桥的检流计开关打

到桥体,反复调节 R_3 和 C_4 使电桥平衡。调节电桥平衡时,应注意先调节 R_3 。因为,电容变化对电桥的平衡比损耗角正切的变化对电桥平衡的影响大,只有电容平衡到一定的程度,调节 $C_4(\text{tg}\delta_r)$ 才起作用。

(2) 加大电桥的灵敏,重复上述操作,使电桥平衡,直到电桥灵敏度放在最大位置时电桥平衡。

(3) 减小电桥灵敏度,将检流计开关 S_2 扳到“屏”的位置,调节辅助电源的相位和大小使电桥平衡。

(4) 增加电桥的灵敏度,调节辅助电源的相位和大小,直到电桥的灵敏度最大时电桥平衡。

(5) 反复把电桥检流计开关打向桥体和屏蔽,调节 R_3 、 C_4 及辅助电源的大小和相位,直到电桥灵敏度放在最大位置时,检流计开关在桥体和屏蔽位置,光带均为最小。

(三) 测量中经常遇到的问题的处理

(1) R_3 越小越接近平衡,但必须趋近于零电桥才能趋于平衡,原因是标准电容器支路断开或接触不良。

(2) R_3 越大越接近平衡,但即使调到最大值电桥仍不能平衡,原因是试样支路断开。

(3) 试样或标准电容器的保护极和被保护极相碰,这时调节 R_3 ,不平衡电流没有多大变化。

(4) 放大器坏了,去掉放大器,直接把振动式检流计接到电桥输出端,电桥可以平衡,但灵敏度却下降。

(5) C_4 越小越接近平衡,但 $C_4=0$,电桥仍不能完成平衡,这是标准电容器的损耗大于被测试品的损耗。可把标准电容器和试品对调位置,如果是上述原因引起时,对换以后电桥可以平衡。

(6) 如果调节数值大小,不起作用,可能是由于辅助电源没有接通或断路,可处理后再调平衡。如果调节相位找不到平衡的最佳位置,可能是辅助电源的相位错了,可把辅助电源反相,重新平衡电桥。

(7) 试品电容或损耗角正切超出电桥量程。高压西林电桥的

电容量程为 $40\text{pF} \sim 20000\text{pF}$, $\text{tg}\delta$ 的量程为 $0 \sim 1$, 如果 C_x 小于电容最小量程值, 而 $C_x < C_N R_4 / R_{3\text{max}}$, 电桥就不能平衡, 这时出现的现象与 C_x 支路断开一样, R_3 越大越接近平衡, 但 R_3 达到最大值时, 电桥仍不能平衡。试品的 $\text{tg}\delta$ 大于 1 时, 出现 C_4 越大电桥越趋于平衡, 但最终不能平衡。

二、QS1 型高压西林电桥

QS1 型压西林电桥是现场使用最广泛的电桥, 它具有体积小, 操作简便, 携带方便, 能反接测一端接地设备的 $\text{tg}\delta$ 等优点。QS1 电桥的基本原理与 QS3 型的原理基本一样, 只是采取的屏蔽措施差一些, 准确度低一些。当然它的最大优点是能测一端接地(打不开)的设备的 $\text{tg}\delta$ 。

QS1 型西林桥的试验接线有三种, 正接法、反接法和低压测量接线。低压测量接线测量电容量较大且承受电压较低试品。除了必须使用反接法测量的高压设备外, 其余均用正接法, 正接法精确度较高, 因此在试验中只要能用正接线的, 就不要采用反接线。正接线, 反接线和低压测量的接线如图 4-5 所示。

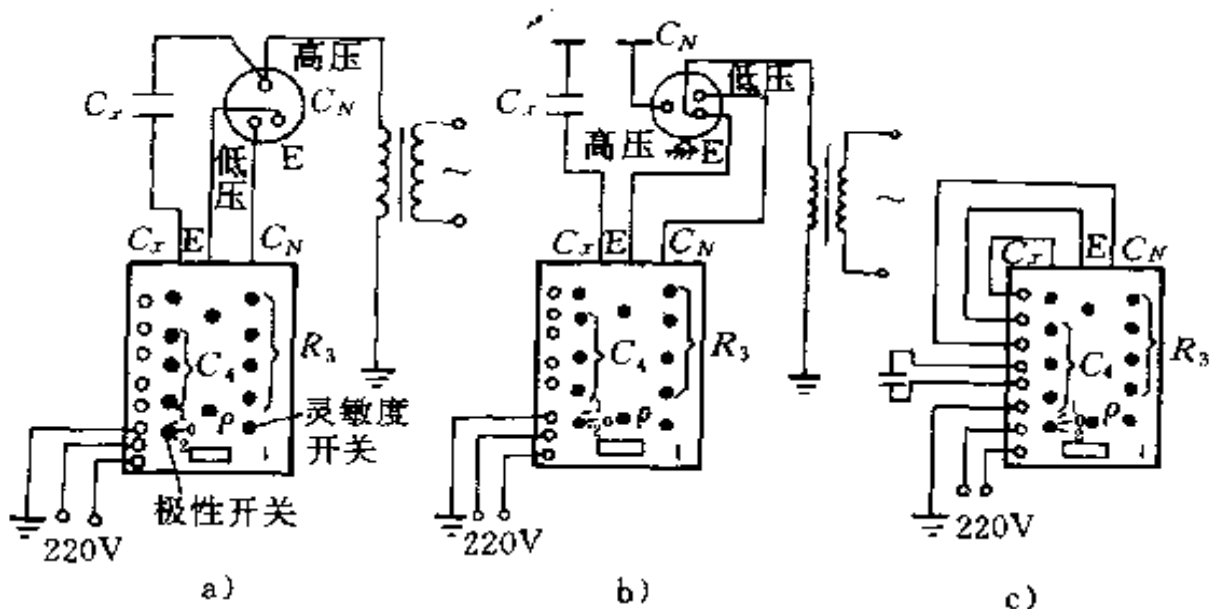


图 4-5 QS1 型西林电桥接线图

a) 正接线 b) 反接线 c) 低压测量接线

(一) QS1 型电桥的测量方法

(1) 按要求选择正接线或反接线。

(2) 将 R_3 、 $C_1(\text{tg}\delta)$ 及检流计灵敏度旋钮均放在零位, 极性切换开关放在的中间断开位置。

(3) 根据被试品的电容大小, 按表 4-1 选择适当的分流器位置。

表 4-1 分流器位置选取表

分流器位置	0.01	0.025	0.06	0.15	1.25
试品电容量/pF	3000	8000	19400	18000	400000

(4) 合上电桥电源开关, 检查光带是否正常和在零位。

(5) 给被试品加上额定试验电压, 并把极性开关接到接通 1 (图 4-5 中 1 的位置)。

(6) 调节检流计灵敏度旋钮, 使光带扩大, 然后旋转检流计频率调节旋钮, 使光带达到最大宽度, 应注意当光带达到刻度边界时, 要适当降低灵敏度。

(7) 从最高一档起, 调节 R_3 的值, 使光带缩小到最小宽度, 提高灵敏度再调节 R_3 , 当调节 R_3 光带变化不明显时, 可调节 $C_1(\text{tg}\delta_r)$ 使光带缩小。反复调节 R_3 、 $C_1(\text{tg}\delta_r)$, 最后达到灵敏度在最大位置时, 光带缩小到和在“0”时一样, 可认为电桥平衡, 记下 $\text{tg}\delta_r$ 的数值。

(8) 把灵敏度退到“0”, 切换极性开关到接通 2 (图 4-5 中 2 的位置), 将检流计灵敏度增大, 调节 R_3 、 $C_1(\text{tg}\delta_r)$ 使电桥平衡, 记下 $\text{tg}\delta_r$ 的数值。

(9) 试品的 $\text{tg}\delta_r$ 可取两次测量的平均值, C_r 值按下式计算, 即

$$C_r = \frac{C_N R_1 \times (100 + R_3)}{n(R_3 + \rho)}$$

式中, n 的值可由表 4-2 查出。

表 4-2 n 值取值表

分流器的位置	0.01	0.025	0.06	0.15	1.25
n	$100 + R_3$	60	25	10	4

(二) 现场 $\text{tg}\delta$ 测量中的抗干扰

1. 电场干扰 在现场测量 $\text{tg}\delta$ 时, 常常是在部分停电(周围

有带电部分存在)的情况下进行的,这样测量回路将受到电场干扰。电场干扰是由于干扰电流通过带电设备与被试设备之间的电容耦合造成的。它导致不能进行准确的测量被试设备的损耗角的正切值,强电场的干扰如图 4-6 所示,干扰电流 I_g 通过耦合电容器 C_0 叠加到被试物 C_x 上,则流过 C_x 的电流不单是 I_x ,而是干扰电流 I_g 和 I_x 的组合成的电流 I'_x 。由于干扰电流 I_g 影响,试样的损耗角 δ 将会改变为 δ' ,如图 4-7 所示,这样造成了测量误差。

实际上,当干扰电流的大小不变时,则干扰电流的轨迹是以被试设备电流 I 的末端为圆心以 I 为半径的一个圆,如图 4-8 所示。

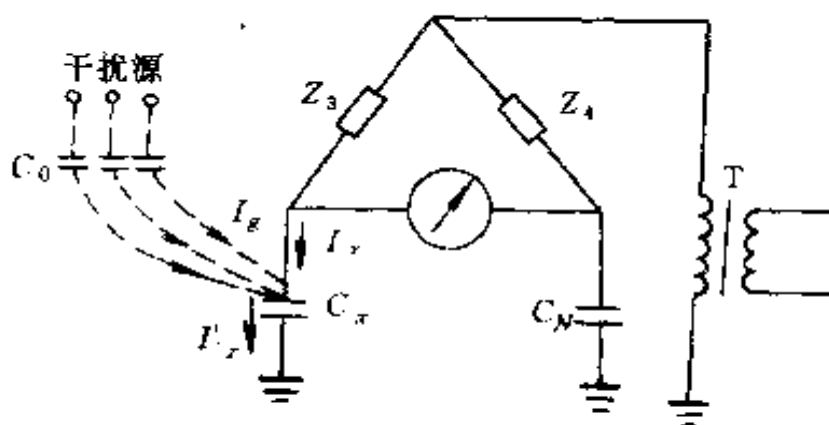


图 4-6 电场干扰示意图

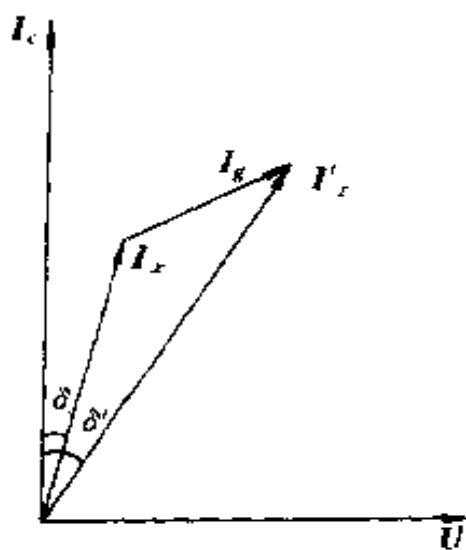


图 4-7 干扰电流 I_g 对 $\text{tg}\delta$ 测量影响相量图

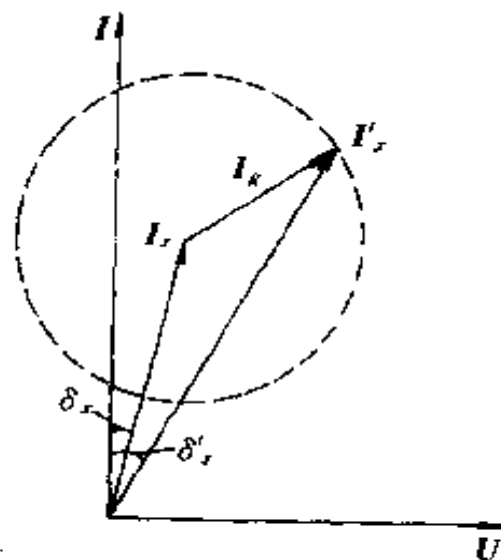
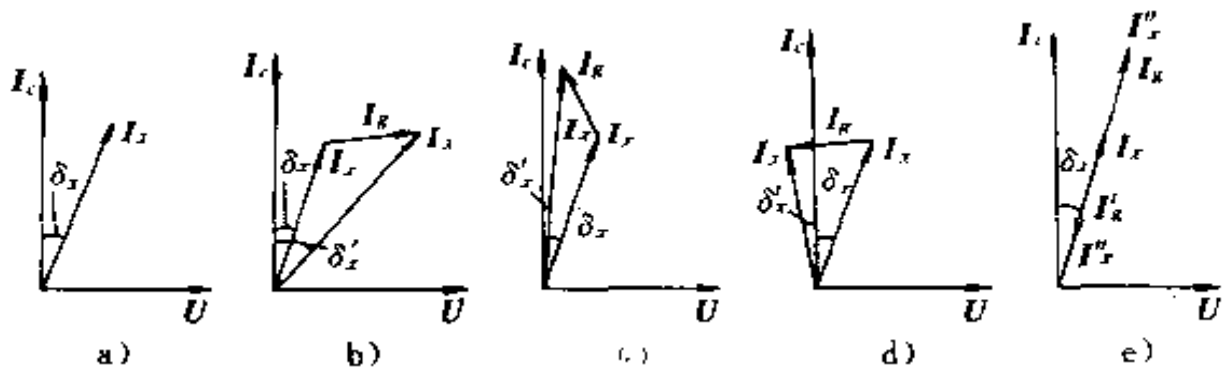


图 4-8 干扰电流变化时 I_g 与 I_x 合成 I'_x 的轨迹图

当 I 在 $0 \sim 360^\circ$ 以内变化时, I_g 和 I_x 合成不同的 I_r , 就得到不同的 $\text{tg}\delta_r$, 如图 4-9 所示。



(无干扰)

图 4-9 干扰对 $\text{tg}\delta_r$ 测量结果影响的典型相量图

- a) $\text{tg}\delta'_x = \text{tg}\delta_x$ b) $\text{tg}\delta'_x > \text{tg}\delta_x$ c) $\text{tg}\delta'_x < \text{tg}\delta_x$
 d) $\text{tg}\delta'_x < 0$ e) $\text{tg}\delta'_x = \text{tg}\delta_x$

消除电场干扰引起的误差可以采用屏蔽法、移相法和倒相法。

(1) 屏蔽法 在干扰电流和被试品间设置全屏蔽, 使测试回路不受干扰电场的影响。但一般不能完全消除干扰的影响, 其效果取决于屏蔽的大小, 位置和结构, 采用屏蔽法时, 必须专门制造金属屏, 携带和安装均不方便。此外, 金属屏蔽靠近被试品时, 改变被试品的电场分布, 造成新的误差。

(2) 移相法 如果干扰电流 I_g 与被测电流 I_x 同相或反相时, 则被试品的 δ 角不变, I_g 不影响测量结果。干扰电流相位无法改变, 但试样电流的相位是可以改变试验电压的相位来改变的。移相法就是在测试前, 用移相器改变试样的电流 I_x 的相位, 达到 I_g 与 I_x 同相位或反相位, 以消除 I_g 对测量造成的影响。图 4-10 为移相法电桥线路, E_g 为干扰电源, C_0 为偶合杂散电容, I_g 为干扰电源通过杂散电容来的干扰电流。测量前先将 Z_4 短路, 将 R_3 的阻值放到最大位置。因为检流计的电阻很小, 则 I_g 全部电流将通过检流计。在测试线路上加上试验电压, 使 I_x 的大小约等于 I_g 。改变移相器的相位, 直到检流计放在最大灵敏度下光带最窄, 这时认为 I_x 与 I_g 反相位, 即有相同的损耗角。然后除去 Z_4 的短接线, 施加

试验电压,在电源电压正反相的两种情况下,进行试品的 $\text{tg}\delta_r$ 测量,若测的结果相同,认为移相结果良好,可以进行正式测量,如果两次测得结果相差很大,必须重新进行移相。

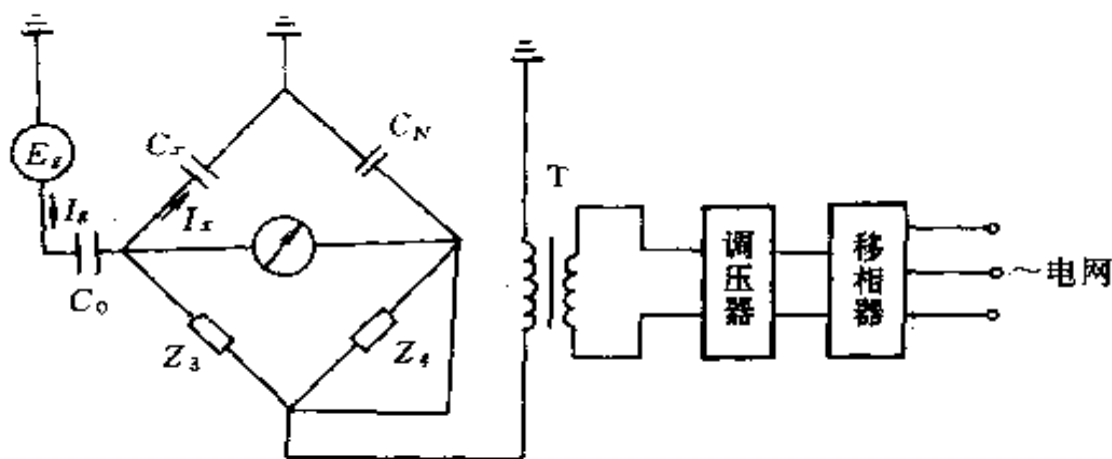


图 4-10 移相法消除电场干扰的接线图

(3) 倒相法 倒相法是在电源电压正、反相的情况下进行 C_r 和 $\text{tg}\delta_r$ 的两次测量,测到两组 C_r 和 $\text{tg}\delta_r$ 值,即 C_{r1} 、 $\text{tg}\delta_{r1}$ 和 C_{r2} 和 $\text{tg}\delta_{r2}$,然后计算出 C_r 的值。计算公式如下:

$$C_r = (C_{r1} + C_{r2}) / 2$$

$$\text{tg}\delta_r = (C_{r1}\text{tg}\delta_{r1} + C_{r2}\text{tg}\delta_{r2}) / (C_{r1} + C_{r2})$$

2. 分布电容造成测量误差 在测量 C_r 和 $\text{tg}\delta_r$ 时,如被试品的高压引线用绝缘不好的支持物支撑或者试品周围堆放杂物,如设备在检修后,手角架没有拆除等。这就在试品周围形成分布电容,影响原来的电场分布,而改变了试品的电容,产生了量测误差,特别是对小电容的试品影响较显著。如果在测量现场存在绝缘电阻不高或损耗较大的物体或材料时,甚至会出现为 $\text{tg}\delta_r$ 为负值的现象。因此测量现场一定要尽量清理干净,不要用绝缘不好的物体做高压导线的支撑物,不要将被试品放在绝缘不好的物品上(比如木头)。

3. 湿度造成 $\text{tg}\delta_r$ 的测量误差 测量有瓷外套高压电器的 $\text{tg}\delta_r$ 时,如空气中的相对湿度太大,如阴雨天、雾天,绝缘子表面会积水并形成水膜,使得绝缘子表面电导大大增加,造成测量的 $\text{tg}\delta_r$

大大增加,对小电容试品尤其如此,因此测量最好在晴天,相对湿度不大于5%的情况下进行。

(二) 注意事项

(1) 无论采用何种接线方式,电桥本体必须良好接地。

(2) 反接时三根线都处于高压,必须悬空,并对周围接地体保持足够的绝缘距离。

(3) 反接时,标准电容器外壳带高压电,因此应放在平坦的地面上,不应有接地的物体与外壳相碰。

(4) 为了防止检流计的损坏,应在检流计灵敏度最低时,接通或断开电源,在灵敏较高时,调节 R_3 和 C_4 要避免数值急剧变化。

第四节 直流泄漏电流测量及直流耐压试验

一、直流泄漏电流测量的原理及特点

绝缘体的泄漏电流测量与它的绝缘电阻测量的原理在本质上是完全相同的,其检出的绝缘缺陷也是基本相同的,所不同的是直流泄漏电测量中所加的高压是由与电源相接的高压整流设备供给的,可以随意调节,能在不同的电压下进行测量。同时它的试验电压高,能使绝缘本身的弱点暴露出来。而在作绝缘电阻测量时,作不到这一点。在测量直流泄漏的线路里,接入了微安表,可以随时监视电流的变化,灵敏度高,测量的重复性也好,并且可根据泄漏电流值计算出绝缘电阻值,也可以绘制出泄漏电流随时间的变化的曲线。根据泄漏电流计算吸收比(吸收比等于15s时泄漏电流除以60s时的泄漏电流)来判断绝缘缺陷。

二、泄漏电流测量方法

本节主要介绍由试验变压器和高压整流硅堆组成的半波整流电路,其接线原理图如4-11所示。

(一) 直流高压产生电路

1. 自耦调压器 直流高压的调节是通过调节调压器的输出电压来完成的。一般绝缘良好的设备,其泄漏电流很小,因此,调压器的容量只要满足升压变压器的励磁容量要求即可。一般情况下,

自耦调压器与保护回路一起装在同一个操作箱内,同时完成调压和保持作用。

2. 升压变压器 升压变压器用来供给整流前的交流高压。其额定输出电压,应在大于试验电压。当一级升压变压不够时,例如作氧化锌避雷器试验时,需要较高的电压,可用多级变压器串联升压来解决。

由于试验所需要的电流较小,一般不会超过 1mA,故升压变压器的容量问题可不予以考虑。

3. 高压整流硅堆 高压整流硅堆是由多个二极管串联而成,并用环氧树脂浇注成棒形,环氧树脂起绝缘和固定作用。硅堆是通过二极管的单向导电性把交流电变成直流的。由于它具有体积小,重量轻,机械强度高,使用方便,无辐射等优点故被广泛地应用于高压直流设备中。高压硅堆选用时,要注意它的反向击穿电压应大于 2 倍的交流峰值电压。

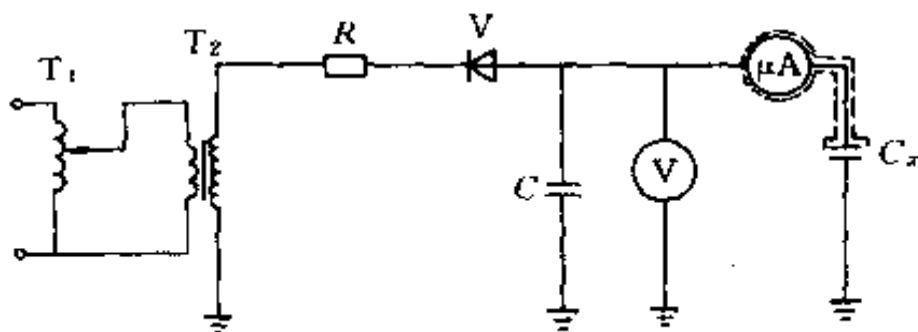


图 4-11 直流泄漏测量及半波整流电路接线图

T_1 —调压器 T_2 —升压变压器 V —整流二极管 R —保护电阻 C —稳压电容
 Ⓧ —静电电压表 μA —直流微安表 C_x —被试品

调压器、升压变压器和高压整流硅堆是在直流高压装置的基本组成部分。近年生产的试验变压器,多是交直流两用变压器。它是在变压器的出口增加了一组硅堆。在作交流使用时,插入铜棒将硅堆短路,输出即为交流,当需要直流时拨出短接铜棒,则输出即为直流。当两级变压器串联作直流用时,只取出第二级短接铜棒,并在第二级的出口处串联一个硅堆,并注意使用负极性,不能把极

性搞错。

(二) 稳压电容器

稳压电容器也叫滤波电容,它的作用是减小输出整流电压的脉冲。滤波电容越大,加于被试设备上的电压愈平稳,而且电压的数值愈接近交流电压峰值。一般现场常采取的最小电容值如下:

当试验电压为 3kV~10kV 时,电容取 $0.06\mu\text{F}$;

当试验电压为 15kV~20kV 时,电容取 $0.015\mu\text{F}$;

当试验电压为 30kV,电容取 $0.01\mu\text{F}$ 。

在作大型发电机,大型变压器和较长电缆试验时,因这些试品本身有较大的电容量,故可以不用滤波电容器。

(三) 高压保护电阻

保护电阻也叫限流电阻,它的作用是万一试品被击穿时限制短路电流,以保护高压变压器,硅堆及微安表。其电阻值可按硅堆的短时最大允许电流来选择。保护电阻的计算公式如下:

$$R=U/I_M$$

式中 U ——试验时所加的直流电压(V);

I_M ——硅堆短时最大允许电流(A);

R ——保护电阻(Ω)。

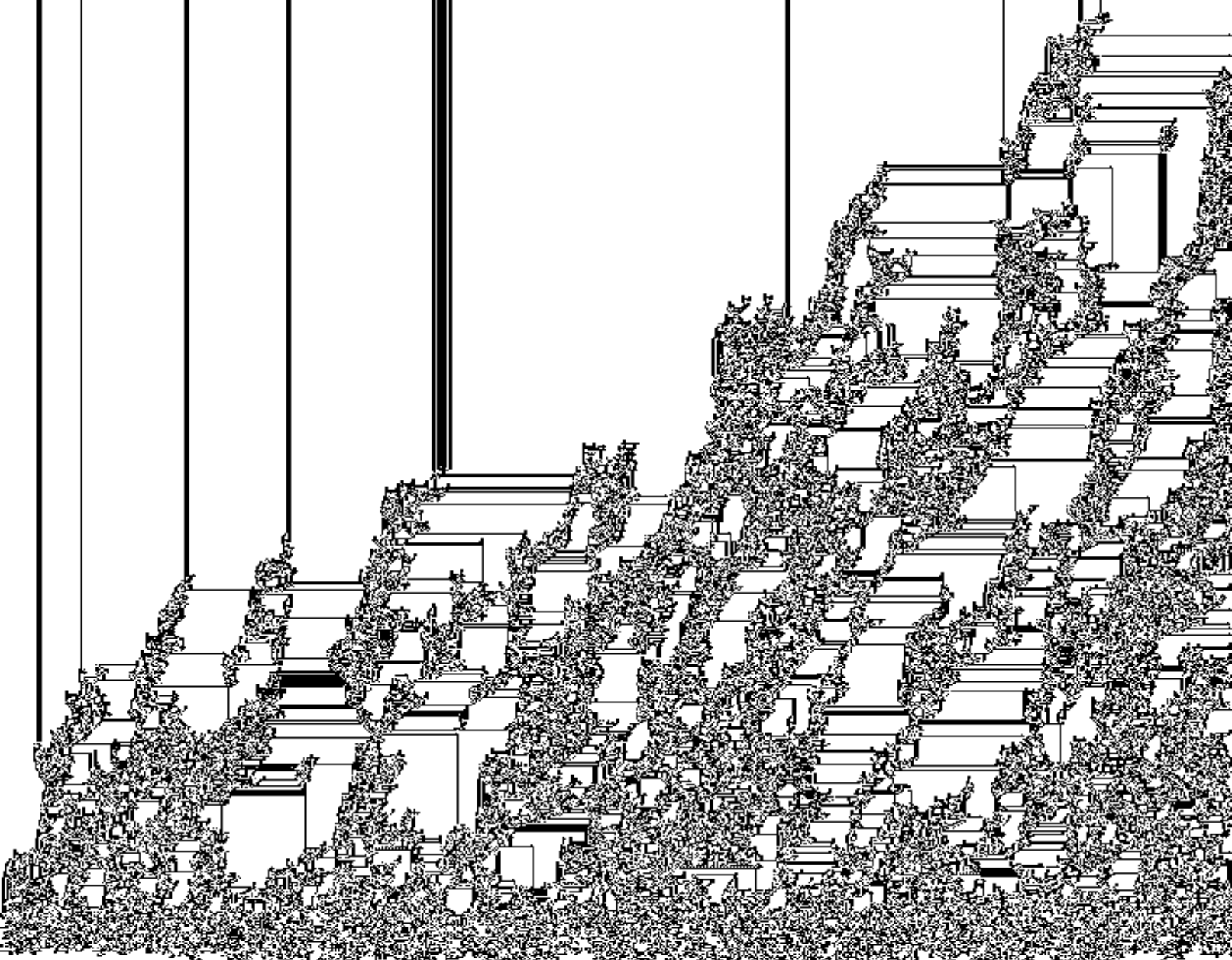
试验中,保护电阻经常用是在有机玻璃管内装入蒸馏水,再加盐配制而成,其步骤是先将玻璃管内加入蒸馏水,再向水中慢慢加盐,并不时的用万用表测量电阻值,直到满意为止。

(四) 高压的测量

测量直流高压的方法常用的有三种,即静电电压表法;高压电阻串联微安表法;二次折算法。

1. 静电电压表法 如图 4-11 中所示,将静电电压表并接于被试品,即能直接测量出被试品上所加的电压。目前常用的静电电压表有 Q_3-V 、 Q_4-V 、 Q_8-V 。在使用静电电压表时应注意以下几点。 Q_3-V 测量范围为 30kV, Q_4-V 测量范围为 100kV, Q_8-V 的测量范围为 200kV。在强光和有风的现场, Q_4-V 和 Q_8-V 无法使用。

2. 高电阻串联微安表测量法 将图 4-11 中的静电电压表换



测量泄漏电流的仪表是直流微安表,接线时应在总微安表的极性。由于微安表所接的地方不同,就产生了三种测量方法

1. 微安表在高压侧 如图 4-11 所示,这是最常用的测量方

法,其优点是变压器只需一个引出套管,由于微安表在高压侧,且靠近被试品,故受杂散电流的影响较少,因而测出的泄漏电流的误差较小。消除杂散电流影响的方法,是加屏蔽保护,如图 4-11 中的虚线。保护是用软金属线制成,它的一端和微安表的屏蔽联接,并接在试验变压器的高压输出线上,另一端延伸到被试品处。这样从微安表到被试品的一段接线完全被屏蔽起来,在线芯和屏蔽之间电压极低,其大小只有试品的泄漏电流流过微安表时产生的一点电压。因此,它们之间没有可能产生电流,而杂散电流和电晕电流只在屏蔽上产生,而不通过微安表。

这种接线的缺点是微安表对地需要良好的绝缘支撑,并且必须屏蔽。微安表距人较远,读数时不易看清楚,有时需要用望远镜读数,不太方便。

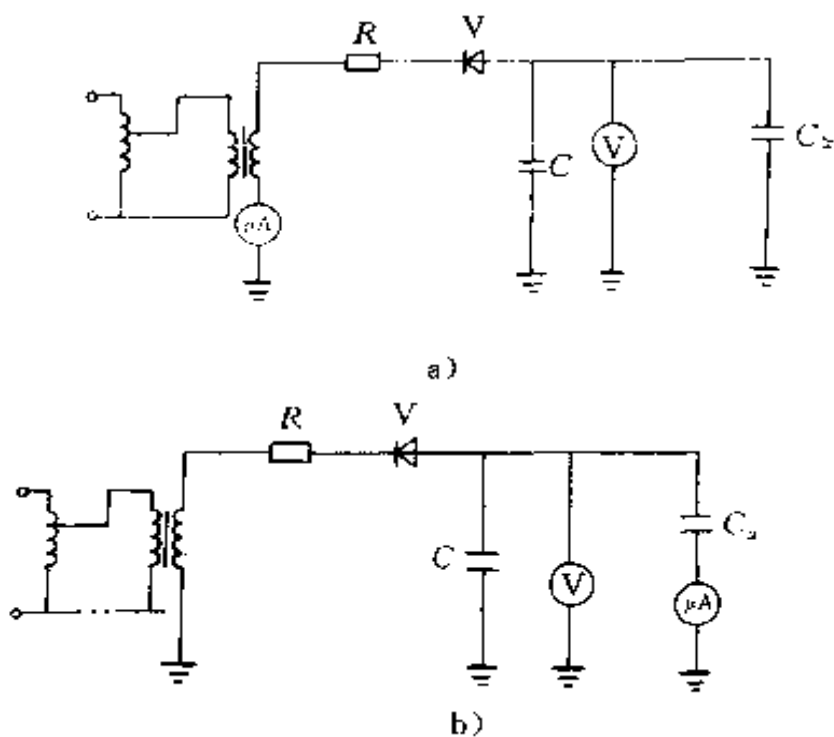


图 4-13 微安表在低压侧的接线

a) 微安表在低压侧 b) 微安表在试品的接地侧

2. 微安表在低压侧 如图 4-13 所示,微安表在低压侧克服了微安表在高压侧所产生的接线困难和读数不便的缺点,但又产生新的问题。如图 4-13a 所示的接线中,试验变压的高低电压侧都需

要有套管将线引出,而且高压导线对地的杂散电流和电晕电流及滤波电容器泄漏电流及升压变压器高低压侧泄漏电流都要流过微安表,会严重的影响到测量结果。图 b 的接线克服了上述两接线的缺点,但这种接线只有在被试设备的接地端与地能分开时才能使用。

三、试验的注意事项

(1) 按试验接线图接好线,所有的表的量程和档位应符合测量要求,调压器位置应在零位。并经专人检查,确定无误时,可以开始试验。

(2) 试验切忌在雨雾等空气湿度大的条件中进行,试验前被试物表面应擦干净,防止表面泄漏过大造成试验失败。同时,试验前还要对被试品充分放电,以减少残余电荷对测试造成的误差。

(3) 对被试设备加压之前,须先测量试验设备和接线的泄漏电流(空升泄漏)并记录下来。然后再给被试品加压,测量泄漏电流,并减去空升泄漏得到被试品的实际泄漏电流。

(4) 对被试品进行试验过程中,应按规定分段进行,每阶段要停留 1min,以避免吸收电流。

(5) 在试验过程中,应密切监视被试设备,试验回路及有关表计,若出现击穿,闪络等异常现象,应马上降压,断开电流,并查明原因,等妥善处理后再继续测量。

(6) 试验完毕,切断电源,必须将被试品经电阻对地充分放电。此外还应将被试品周围的物品经电阻对地放电,以防静电感应电苛打人。

要强调指出的是,每次升压后,无论试验是否作完,只要停电,就必须先放电才能接触被试设备。

四、异常现象分析

(1) 指针抖动,可能是微安表有交流分量通过,若影响读出数值,则应检查微安表保护回路及整流管是否良好。

(2) 指针周期性摆动,可能是被试品绝缘不良,产生周期性放电。应查明原因,并加消除。

(3) 指针突然冲击,若向减少方向,可能是电流回路引起,向增大方向可能是试验回路或试品出现闪路,或者是内部断续放电引起的。

(4) 泄漏电流随加压时间逐渐上升,可能是被试品的绝缘老化引起的。

(5) 泄漏电流电流过大,引起泄漏电流过大的原因可能有以下几点原因。

1) 试验回路引起的,例如试验引线过长,屏蔽不完全,高压对地的泄漏电流和电晕电流流过微安表。

2) 被试品表面脏物引起表面泄漏过大。

3) 潮湿空气引起表面泄漏电流过大,因被试品表面脏物易于吸潮,使表面泄漏电流增加。

4) 设备本身绝缘不好。

5) 泄漏电流过小,应检查接线是否正确,微安表保护部分有无分流和断线。

五、直流耐压试验

直流耐试验和直流泄漏的试验原理、接线和方法完全相同,差别只在于直流耐压试验的试验电压较高。它除了发现设备受潮劣化外,对发现绝缘的某些局部缺陷具有特殊的作用,这些局部缺陷在交流耐压试验中是不能被发现的。例如发电机线圈端部的绝缘缺陷。在交流耐压试验时由于分布电容的作用,大部分电压降落在槽口部分,槽口附近的电场非常大,而端部承受的电压很小,故在进行交流耐压时,易发现电机槽部和槽口的缺陷。而在直流耐压时,由于直流电压是按电阻分布的,槽口和端部的电压基本上相等,即端部承受较高的电压,当端部有缺陷时,进行直流耐压试验就容易被发现。

直流耐试验还有其它特点,试验设备较轻便,当进行直流耐压时试验变压器的容量可不考虑,其次绝缘无介质极化损失。因此,不致使绝缘发热,从而避免因热击穿而损坏绝缘。

在一般的情况下,作直流耐压试验时,都兼做泄漏电流测量,

由于两者的试验原理接线方法完全相同,这里就不在重复,而直流耐试验分析判断,请参考交流耐试验分析。

综上所述,直流耐压能发现某些交流耐压所不能发现的缺陷,但交流耐压试验对绝缘的作用更近于运行状况,因而能检出绝缘在正常运行时的弱点,因此这两种试验不能互相代替的,必须同时应用于预防性试验中。特别是电机、电缆等更应做直流试验,另外对 110kV 及以上的变电设备,由于试验条件限制,目前《电力设备预防性试验规程》还没有要求做交流耐压试验,而只作直流试验。

第五节 工频交流耐压试验

一、交流耐压的作用和目的

工频交流耐压试验(以下简称交流耐压)是考验被试的电气设备(被试品)承受各种过电压能力的有效方法,它对判断电气设备能否继续参加运行具有决定性的意义,也是保证设备绝缘水平,避免在运行中发生绝缘事故的重要手段。

应当指出,交流耐压试验属于破坏性试验,特别对于固体绝缘,它会使原来的绝缘弱点进一步发展,使绝缘能力逐渐减弱,同时在高电场的作用下必然会产生分子链断裂、降解等破坏绝缘的现象,并形成新的弱点。由于固体绝缘是不可恢复的,这些旧的、新的弱点就永远存在于绝缘之中,并随着再次耐压发展,使绝缘材料的性能进一步劣化,这就是耐压试验的破坏和累积作用。因此,在作此项试验前,其他各项绝缘试验的结果应当完全合格。对于在其他试验中发现的问题,应查明原因,设法消除,并在重新试验合格后方能进行交流耐压试验。同时交流耐压试验的试验电压和加压时间应严格按照有关《交接验收标准》或《预防性试验规程》的规定进行。即不能降低电压或缩短时间,因为电压低或减少时间可能发现不了缺陷,达不到试验目的;也不能提高电压或延长加压时间,避免因此造成严重的绝缘损伤或被试品的击穿。

二、交流耐压试验方法

(一) 基本试验方法

交流耐压的试验接线是根据被试品的要求和现场设备的具体条件来决定的,交流耐压试验的基本试验接线如图 4-14 所示。

试验回路可以大体分为五大部分:1) 高压交流电源;2) 调压部分;3) 电压测量部分;4) 控制部分;5) 保护部分。

(二) 试验回路分析和试验设备简介

在交流耐压试验时,选择好试验设备是非常重要的,它关系到试验能否顺利进行的步骤。

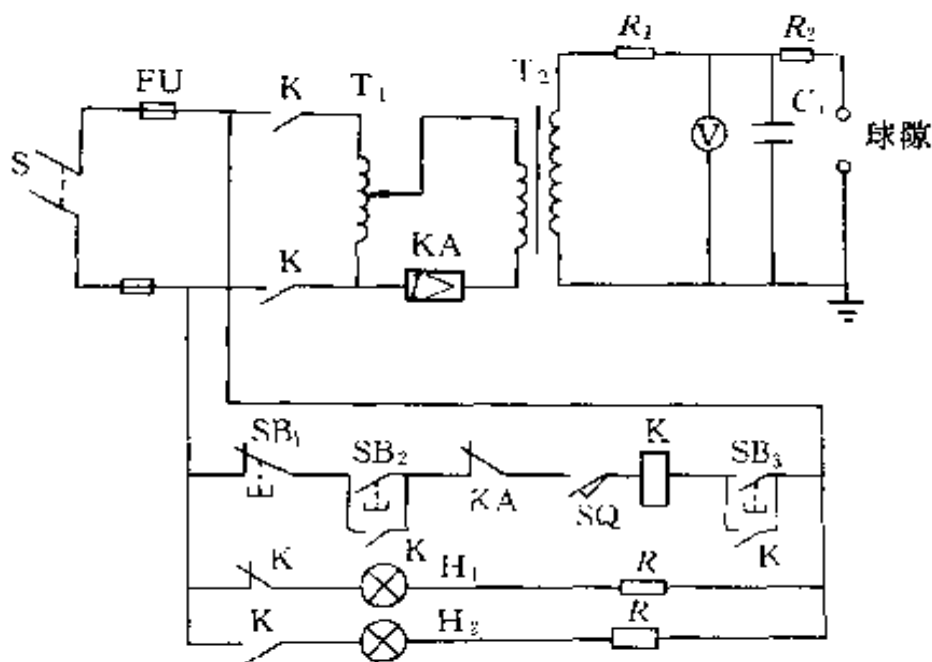


图 4-14 交流耐压试验接线图

T_1 —调压器 T_2 —试验变压器 KA—过电流继电器 K—接触器
 R_1 、 R_2 —保护电阻 SQ—限位开关 SB_1 、 SB_2 、 SB_3 —按钮

1. 试验变压器 用于交流耐压的高压试验变压器一般按下述原则选择。

(1) 电压选择 根据被试品对试验电压的要求,选择试验变压器的额定电压 U_n 大于被试品的试验电压 U_t ,即($U_n > U_t$)。同时还应考虑试验变压器低压侧电压是否和试验现场的电源和调压器相符合。

(2) 变压器输出电流的选择,试验变压器的输出电流 I_n 应能满足流过被试品的电容电流和杂散电容电流 I_c (总称电容电流)

的要求, (即 $I_c > I_C$), 电容电流 I_C 可按下式计算:

$$I_C = \omega C_x U_s$$

式中 I_C ——电容电流(mA);

ω ——电源的角频率(rad/s);

C_x ——被试品的电容(包括杂散电容)(μF);

U_s ——试验电压(kV)。

C_x 可以用交流电桥测得。

(3) 试验变压器的容量, 试验变压器的容量为试验电压和电容电流的乘积, 即 $P = U_s I_C$ 。我国常见的试验变压器的电压等级有 5、10、25、50、100、150、300kV, 容量等级有 3、5、10、25、50、100、150、200kV·A 等。选择时根据计算结果, 选择额定容量大于计算容量的变压器。

试验变压器的选择主要是以据前两个原则进行, 即 $U_s > U_c$ 和 $I_c > I_C$, 在满足这两个条件后试验变压器的容量也就满足了。

2. 调压器 试验电压的调节是通过接在试验变压器和电源之间的调压器来实现的, 常用的调压器有自耦调压器, 移卷调压器和感应调压器, 各种调压器各有优缺点, 但无论使用什么样的调压器都应满足:

(1) 调压器应能从零开始平滑地调节电压。

(2) 调压器的输出电压波形尽可能地接近正弦波。

(3) 容量满足试验变压器的要求, 通常与变压器的容量相同。

3. 交流高压的测量 工频高电压测量在耐压试验中是一个关键的环节, 只有保证测量准确, 才能保证试验的准确性和有效性, 高压测量的方法有很多种, 各种测量方法各有所长, 试验时应根据实际需要合理选用。下面分别介绍这几种测量方法:

(1) 在试验变压器低压侧测量 测量的方法是测取试验变压器低压侧的电压, 再通过变比换算到高压侧。测量时可以测试验变压器的输入电压, 也可测变压器的测量端上的电压。但要注意的是这两个绕组与高压绕组的变化是不同的, 计算时不要弄错, 具体的变比可以从铭牌上查出。

此种测量方法在被试品的电容量较大时,误差较大,其误差的原因是容升造成的。图 4-15 是工频耐压试验时的等值电路图和相量图,由图 4-15a 可以得到:

$$U = U_L + U_C$$

$$U_C = U - U_L = U + (-U_L)$$

将上式用相量图表示出来,如图 4-20b 所示。由此可见 U_C 高于根据变比计算出来

U 的大小。因此,这种测量方法只适用于像一般瓷质绝缘,绝缘工具等等的负荷容量比电源容量小的多的,测量准确度要求不高的试验。

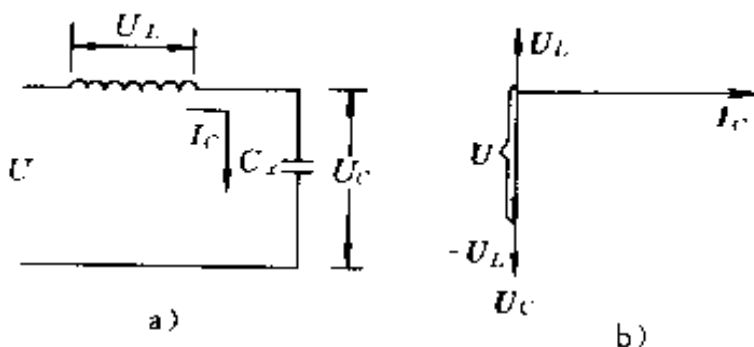


图 4-15 工频耐压试验的等值电路图与相量图

a) 等值电路图 b) 相量图

(2) 用高压静电

电压表测量 用高压静电电压表可以直接测出被试品上的试验电压值(有效值),目前国产的有 30、100 及 200kV 的静电电压表。静电电压表的结构主要是两个电极(一个是固定电极;另一个是可动电极),它是利用两个电极之间的电场力使可动电极偏转来测量的。它的两电极间的电容量约为 $10\mu\text{F} \sim 30\mu\text{F}$ 显然内阻极大,因此测量时不会改变被试物上的电压。它的缺点是携带不便,不能在有风的环境里使用和受外界电磁场的影响较大。

(3) 用电压互感器测量 在被试设备上并联一只准确度较高(0.5 级)的电压互感器,在电压互感器的低压侧用电压表测量电压,然后再乘上互感器的变比,就能算出高压侧的电压。

这种方法比较简单,准确度也高,一般能测到 250kV 电压,是现场常用的测量方法。

(4) 用电容分压器测量 电容分压器测量线路如图 4-16 所示,由高压臂电容器 C_1 与低压臂电容器 C_2 串联组成了电容分压器。只要用静电电压表测出 C_2 上的电压 U_2 ,然后按分压比计算出

高压侧电压 U_1 , 即

$$U_1 = U_2(C_2 + C_1)/C_1$$

因为 $C_2 \gg C_1$, 则 $U_1 \approx U_2 C_2 / C_1$

图中的电阻 r 是为了消除 C_2 的残余电荷, 使测量系统有良好的升降特性, $r \gg 1/\omega C_2$ 。

4. 控制回路 控制回路也是交流耐压试验的一个主要组成部分, 对控制回路的基本要求是:

(1) 只有在试验人员全部离开高压危险区并关也安全门, 才能加上电加。

(2) 从零起升压。

(3) 当被试设备被击穿时, 应能自动切断电源。

(4) 在自动升压装置中, 还要能控制升压、降压及停止等。

图 4-14 是最简单的手动升压装置的控制线路图, 图中 SQ 是装在安全门上的限位开关, 只有试验人员接线完毕并离开高压危险区, 关上安全门后 SQ 才能闭合。SB₁ 是装在调压器底部的限位开关, 只有当调压器底部到零位置时 SB₁ 才闭合。SB₁ 为断开控制回路的“动断”开关, SB₂ 为接通控制回路的“动合”开关。试验时接通电源, 绿灯亮说明电源有电, 然后按下 SB₂, 红灯亮说明调压器接通电源, 可以进行试验。一旦试样被击穿, 过电流继电器 KA 动作, 打开常闭触点, 于是控制回路断开, 切断调压器上的电源。如果在升压过程中发生意外情况, 需要立即切断变压器电源时, 只需要按下按钮 SB₁ 就可实现。

自动升压装置的线路见图 4-17, 图中调压器是由电动机 M 来拖动, 电动机正转时电压上升, 反转时电压下降。“SQ₁”和“SQ₂”都是装在调压器内的常闭触点, 分别在试验变压器输出电压达到额定值和零值时使电机停止。如果开始时调压器不在“零”位置, 只要

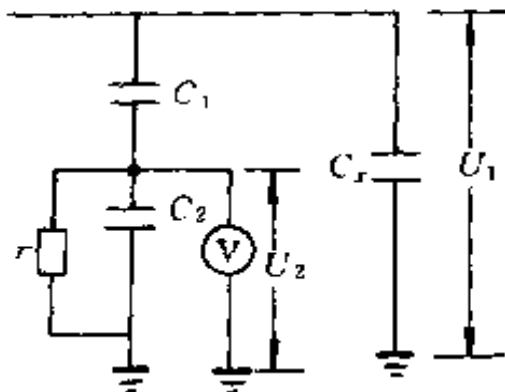


图 4-16 电容分压器测量接线图

控制线路一通电源,电机就首先反转,使调压器退到零位置。一般操作程序如下:接好试样,关好安全门,接通电源,按“合”开关,则 K_2 触点动作,电动机正转,试验电压逐步上升。一旦发生击穿,过电流继电器KA动作,于是 K_1 的触点都复位,调压器电源被切断,电动机反转直到调压器到“零”位置,将“SQ₂”的触点打开为止。如果作耐压试验,只要当电压上升到试验电压时,按下“停”开关,电动机停转,电压就是试验电压值,待到试验完毕,再按“降”开关,使调压器退到“零”位置。

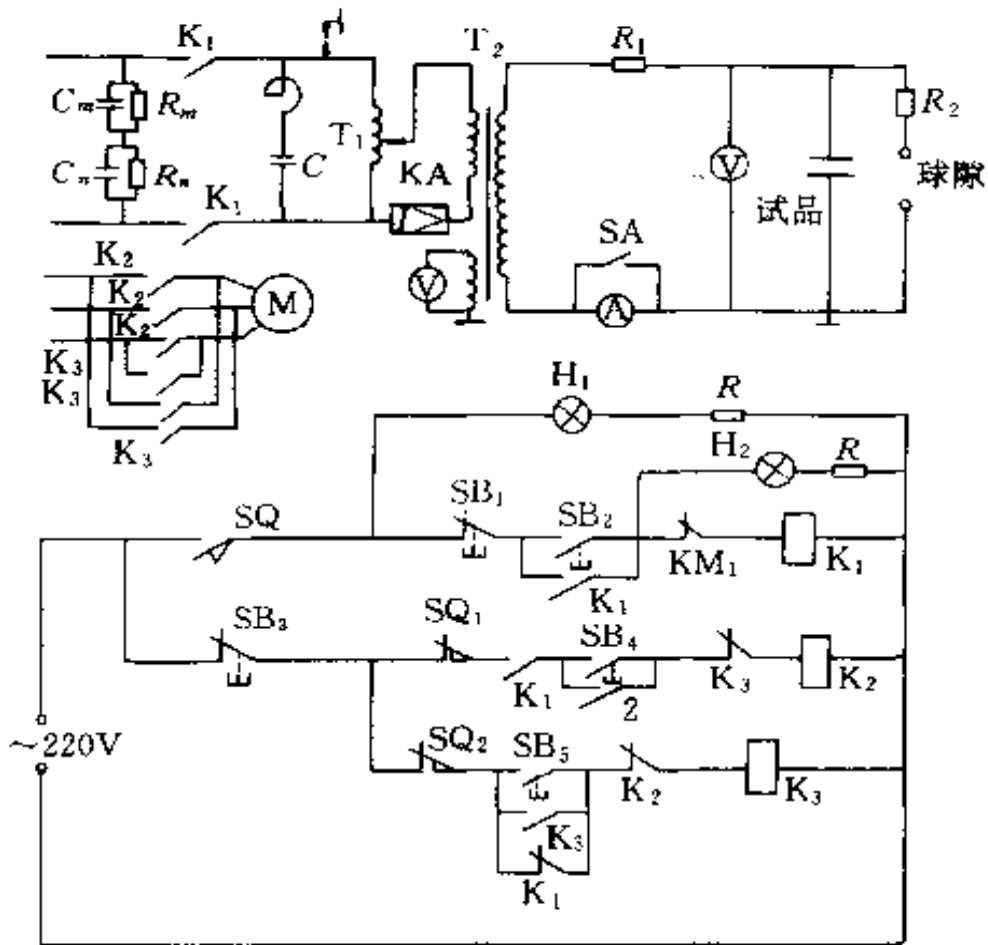


图 4-17 自动升压装置线路图

5. 保护 绝缘强度试验要用比较高的电压,因此必须重视人身及设备安全。除了在控制回路中已采用的过电流继电器、安全门开关、调压器限位开关等外,在试验回路的低压部分有可能出现高压的地方,都接上保护放电器,在调压器的进线端接上 C_n 、 C_m 、 R_n 、 R_m 以防止过电压的袭击。

R_1 可限制当被试品被击穿时,流过试验变压器或被试设备中的电流,以免故障扩大。另一方面也要避免在试验时,在电阻上产生过大的电压降。一般 R_1 的数值推荐为 $0.1\Omega/V\sim 0.5\Omega/V$,在选用 R_1 时还要注意它的功率,即 R_1 的有效功率应大于电容电流流过电阻所产生的功率。

R_2 可防止球隙击穿后与被试设备电容引起振荡,产生的过电压损坏设备的绝缘,还可以保护球面不致被短路电流烧坏,其阻值可按 $1\Omega/V$ 选取。

球隙可以防止意外把高压加到被试设备上,引起被试设备的无故击穿。因此,在给被试设备加压前应先调好球隙,球隙的 50% 放电电压,一般为试验电压的 110%~115%。

另外还要注意的是:

(1) 由于试验电压很高,当试样击穿或球隙放电时,将有很大的电流通过接地线,如果接地电阻比较大,就会显著升高接地线的电位而造成危险。因此必须有良好的接地。高压试验回中各接地点与接地体的连线应尽量短,以减小线路电感和电阻。

(2) 由于试验所需要的电流较大,特别是试验较大容量的设备时尤其如此。因此,在试验接线时,要考虑所选择的电源能否提供所需要的电流。另外熔断器和电源引线应有足够的通流容量。

(三) 几种常见的试验方法

1. 串级试验变压器 前文介绍了以单变压器作耐压试验的接线和设备情况,但有时为了满足研究和特殊试验的需要,要求得到更高的试验电压。单台变压器往往不能满足要求,因为单台变压器额定电压要做的很高,不但在技术上有困难而且在经济上效果也不好。这时采用变压器串级的方法来解决。

图 4-18 为两台变压器串接的接线图,第一台试验变压器的高压绕组 W_2 的一端接地;另一端串联一绕组 W_3 ,供给第二台变压器的一次绕组 W_4 ;第二台变压器的低、高压绕组 W_4 、 W_5 各有一端与变压器的外壳连接,它们都处于第一台变压器的高压端电位,因此第二台变压器的外壳应对地绝缘,这样第二台变压器高压绕组

W_5 的对地电压即为两台变压器高压端输出电压之和。

从图 4-18 可以看出,通过试样的电流 I 同时流过两台变压器的高压绕组 W_2 、 W_5 。第二台变压器的容量 $P_2=UI$,而第一台变压器除了本身直接输出功率 UI 之外,还要供给第二台变压器功率 UI ,因此第一台变压器的容量 $P_1=2UI$ 。两台串接之后,输出的视在功率为 $2UI$,而两台变压器的总容量为 $3UI$,两者之比为

$$2UI/3UI=2/3$$

同样,如果用三台变压器串联起来,则输出电压为 $3U$,输出的视在功率为 $3UI$ 。而变压器的容量第一台为 $3UI$,第二台为 $2UI$,第三台为 UI ,总容量为 $6UI$ 。输出的视在功率与总容量之比为

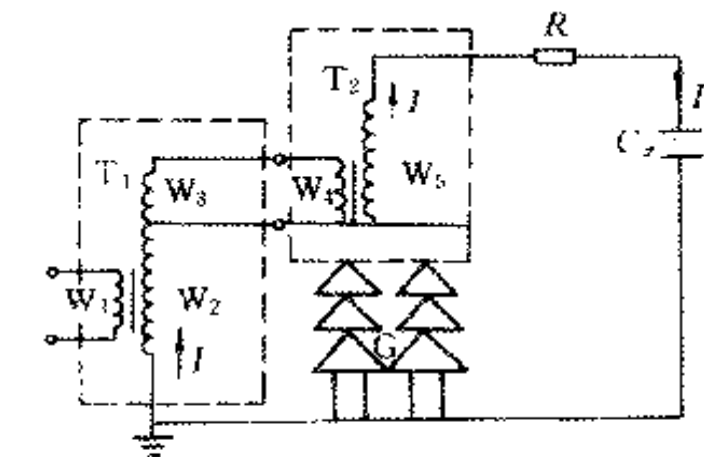


图 4-18 两台变压器串联接线图

$$3UI/6UI=1/2$$

依次类推,串接的级数越多,得到的电压越高,但利用率越低。而且整个装置的短路阻抗将大为增加。因此一般串接变压器不多于 3 级。

2. 串联谐振(电压谐振)当试验变压器的额定电压不能满足所需要的试验电压,但电流容量能满足试验电流的情况下,可用串联谐振的方法解决。

图 4-19a 是串联谐振装置的工作原理图,图中 T 为励磁变压器, L 为调谐电感, C 为负荷电容,它包括被试品电容、高压试验回路电容和电容分压器电容。图 b 为其等值电路, R 为整个高压试验回路中损耗的等值电阻, L 包括可调电抗器的电感及励磁变压器绕组的漏感, U_c 为 T 空载时的输出电压,由图 b 可以得到

$$U_c = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} X_C$$

当串联谐振时, $X_L = X_C$, 则有

$$U_C = U_0 X_C / R = X_L U_0 / R$$

设谐振回路的品质因素为 Q , 则有

$$Q = \omega L / R = 1 / \omega C R$$

则 $U_C = Q U_0$

式中 U_0 —— 变压器的输入电压。

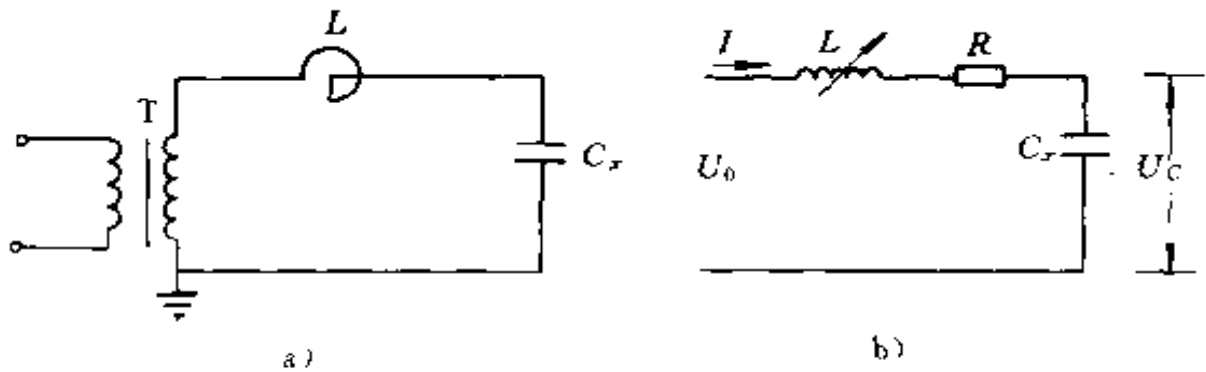


图 4-19 串联谐振装置工作原理图

a) 接线图 b) 等值电路

在这个试验回路中一般 $Q \gg 1$, 则被试品上的电压 $U_C = Q U_0$, 换句话说利用额定电压较低的试验变压器, 可以得到较高的输出电压。

由于输入功率 $P_0 = I U_0 \cos \varphi$, 谐振时负荷为纯电阻性, 即 $\cos \varphi = 1, P_0 = U_0 I$, 而加在被试品上的容量 P_c 是施加电压 U_C 和电流的乘积, 即

$$P_c = U_C I = Q U_0 I = Q P_0$$

可见被试品上得到的容量为试验电源容量的 Q 倍。

利用串联谐振作耐压有两个优点: 1) 若被试品被击穿, 则谐振终止, 高压消失; 2) 击穿后电流下降不致造成被试品击穿点扩大。

3. 并联谐振法(电流谐振法) 当试验变压器的额定电压能满足试验电压的要求, 但电流达不到被试品所需要的试验电流时, 可采用并联谐振对电流加以补偿, 以解决容量不足的问题。

图 4-20 所示为电流谐振的原理接线图, 并联回路两支路的感抗和容抗分别为 X_L 和 X_C , 当 $X_L = X_C$ 时, 回路产生谐振。这时虽然两个支路中的电流很大, 但回路的总电流 $I \approx 0$, C_L 上的电压等于电源电压。实际上因回路中有电阻和铁心损耗存在, 回路电流不可能完全等于零, 如图 4-20b 所示。由图 4-20a 可知:

$$I_L = \frac{U}{R + j\omega L} = \frac{RU}{R^2 + (\omega L)^2} - j \frac{\omega L}{R^2 + (\omega L)^2} U$$

$$I_C = j\omega C U$$

因谐振时电容支路的电流与电感支路电流的无功分量相等, 所以应有

$$\omega L / (R^2 + \omega^2 L^2) = \omega C$$

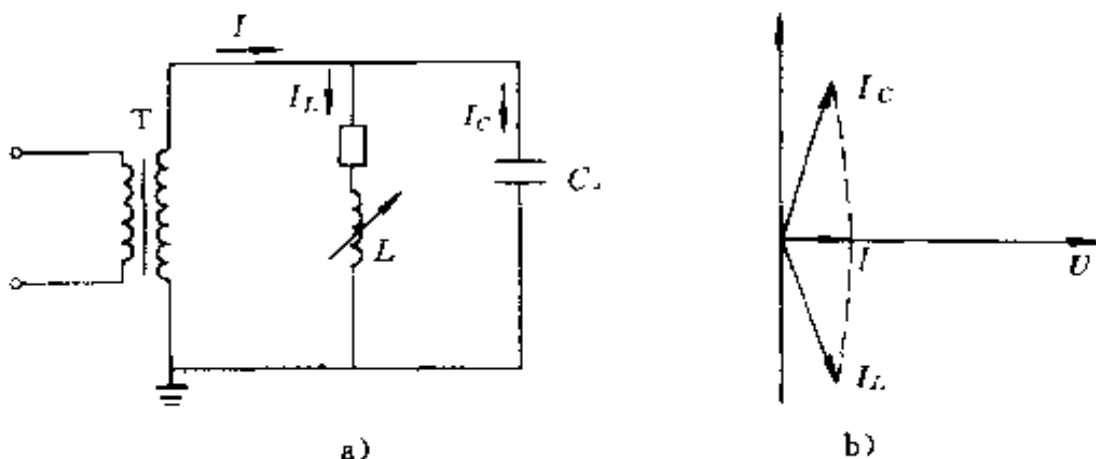


图 4-20 并联谐振原理接线图

a) 接线图 b) 相量图

通常 $R \ll \omega^2 L^2$, 因此有 $\omega L = 1/\omega C$, 即是并联谐振的条件。

此时

$$I = I_L + I_C = \frac{R}{R^2 + \omega^2 L^2} U - j \frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} U + j\omega C U$$

$$= \frac{RU}{R^2 + \omega^2 L^2}$$

即电压与电流同相。

这样, 并联谐振时的电容支路电流和电感支路电流的无功分量可以写为

$$I_C = U\omega C = I\omega C \frac{R^2 + \omega^2 L^2}{R} \approx \frac{\omega^2 L^2 \omega C}{R} I = \frac{\omega L}{R} I = QI$$

$$I_L = \frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} U = \frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} I \frac{R^2 + \omega^2 L^2}{R}$$

$$= \frac{\omega L}{R} I = QI$$

式中, $Q = \omega L/R$ 称为线路的品质因数。即并联时, 电感支路的电流与电容支路的电流均为电源的 Q 倍。

若被试品的试验电压为 U , 被试品中流过的电流 $I_s = I_C = U\omega C$, 这时试验变压器的高压线圈的电流 I 只有 I_C/Q , 即

$$I = I_C/Q = U\omega C/Q$$

这时试验变压器的容量为

$$P_b = UI = U^2 \omega C/Q = P_s/Q$$

式中 P_b ——试验变压器的容量;

P_s ——被试品得到试验容量。

即试验变压器的容量只为被试品的试验容量的 $1/Q$ 。因此, 将这种耐压方法称为减容耐压法。

三、试验操作

(1) 按拟定好的接线图进行现场布置接线, 高压部分需保持足够的安全距离, 被试品和试验设备应妥善接地, 高压引线应有足够的机械强度, 所有支撑或牵引的绝缘物, 也应有足够的绝缘距离和机械强度, 通电前应做全面的检查。

(2) 正式试验前先拆去由高压试验变压器引向被试物的连线, 检查调压器是否在零位, 合上电源开关慢慢升压, 看看试验回路接线是否正确, 仪表、试验设备是否完好恰当。然后升到试验电压值, 持续 1min 再将电压降到零, 切除电源。

(3) 接上被试品, 合上电源开关, 开始升压进行试验。对于重要设备, 试验电压升到 40% 以前, 可以是任意的, 其后的升压, 必须是均匀的, 约为每秒升 3% 试验电压。

(4) 升至规定的试验电压时开始记时, 试验时间应严格按规

程的规定进行。耐压结束,应迅速将电压降到零,然后切除电源。

(5) 测量耐压后的绝缘电阻。

四、试验的注意事项

(1) 在作交流耐压试验前,首先应检查其他各项试验是否合格,只有其他绝缘试验都全部合格了才能进行耐压试验。若认为设备存在问题时,应先查明原因,并加以消除,否则不应轻率决定做交流耐压试验,以防不必要的试坏设备。

(2) 被试品的安置应符合实际使用情况,如油开关套管试验时,其下部应浸在绝缘液中。对充油设备,应在绝缘油内无气泡并处于静止状态下,才能加压试验。

(3) 高压试验不得少于两个人,在试验中,应密切监视有关仪表,监听高压回路和被试品。在升压和耐压试验过程中如发现异常现象,如电压表指针摆动很大,毫安表的指示急剧地上升,绝缘有焦味感或发现冒烟,被试设备发生不正常的响声等情况,应立即降压,断开电源并接地线后检查原因。

(4) 在试验过程中,若由于空气湿度,温度和表面脏污等影响,引起被试品表面滑闪放电或空气放电,不应认为被试品不合格,须经清洁、干燥处理后,再进行试验。

第五章 安全用具与常用工具

第一节 绝缘安全用具

在电气操作过程中,多数人身伤亡事故是由于作业人员接触带电体或与带电体的安全距离不够导致电击造成的。绝缘安全用具就是保证作业人员安全操作带电体及人体与带电体安全距离不够所采取的绝缘防护工具。

一、绝缘安全用具的分类

绝缘安全用具通常有以下两种分类法。

(一) 按用具的绝缘性能分类

1. 基本安全用具 所谓基本安全用具是指那些绝缘强度足以承受电气设备的工作电压的安全用具,该类用具能够保证作业人员在带电体不停电状态下方便地进行作业。

2. 辅助安全用具 此类用具是其本身的绝缘性能不足以保证安全,主要用来进一步加强基本安全用具绝缘强度的用具,故仅能作为辅助基本安全用具之用。

实践告诉我们,绝缘安全用具能否承受电气设备的工作电压不仅取决于工具的绝缘性能,还取决于所使用的工作场合。例如,作为基本安全用具用的 35kV 绝缘棒,使用在更高电压等级的电气设备上,就变得不能承受电气设备的运行电压了。反之,作为辅助安全用具的 10kV 绝缘手套,当使用在 380V 的低压设备的场合时,就足以承受设备的运行电压了。由此可见,基本绝缘用具和辅助绝缘用具是可以相互转换的,故上述分类法是不够确切的。因此,现在我们大多采用以下分类法。

(二) 按使用功能分类

1. 绝缘操作用具 此类用具主要用来进行带电操作、测量和

其他需要直接接触电气设备的特定工作，正确使用绝缘操作用具。应注意以下两点：

- (1) 绝缘操作用具本身必须具备合格的绝缘性能和机械强度。
- (2) 只能在和其绝缘性能相适应的电气设备上使用。

由以上两点可看出，当使用绝缘操作用具时，必须做到首先应使用合格的绝缘用具，并应掌握正确的使用方法。

2. 绝缘防护用具 此类用具则用于对可能发生的有关电气伤害起到防护作用。主要用于对泄漏电流、接触电压、跨步电压和其他接近电气设备存在的危险等进行防护。因此，绝缘防护用具当它的绝缘强度足以承受设备的运行电压时，才可用来直接接触运行的电气设备，一般不直接接触及带电设备。使用绝缘防护用具时，也必须做到使用合格的绝缘用具，并应掌握其正确的使用方法。

二、绝缘操作用具

经常使用的绝缘操作用具，一般有绝缘操作杆、绝缘夹钳等，如图 5-1、图 5-2 所示。这些操作用具均由绝缘材料制成。

(一) 绝缘操作用具的组成

1. 工作部分

起到完成特定操作功能的作用，大多由金属材料制作，也有采用绝缘材料制作，式样因功能的不同而异，并均安装在绝缘部分的上面。

2. 绝缘部分

起到绝缘隔离作用。一般采用胶木、纸箔

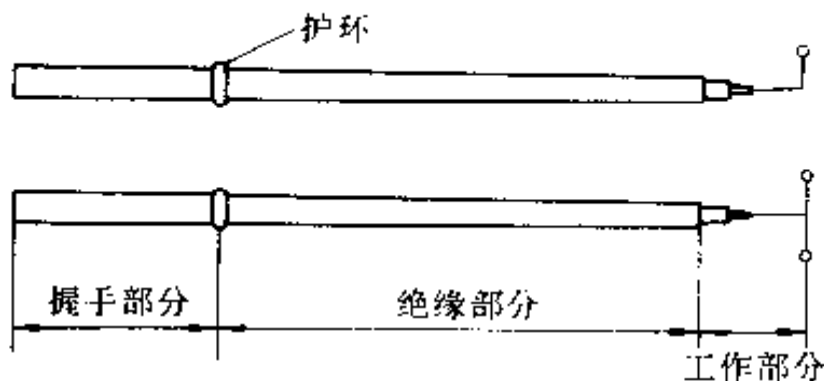


图 5-1 绝缘操作杆

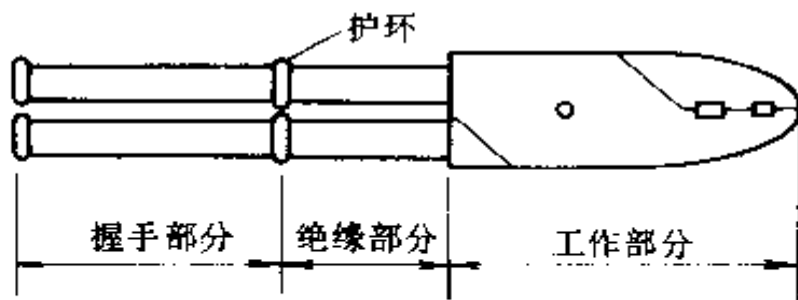


图 5-2 绝缘夹钳

管、塑料管、电木、环氧玻璃布管等绝缘材料制作。绝缘部分与握手部分交接处设有绝缘罩护环,其作用是使绝缘部分与握手部分有明显的隔离,提示操作人员正确把握用具。

3. 握手部分 操作人员手握的部位,大多采用与绝缘部分相同的材料制成。为了保证人体与带电体之间有一定的绝缘距离,操作人员在操作时,握手部位只能握在此处,不得越过护环把握绝缘部分。

为保证足够的绝缘安全距离,绝缘操作用具的绝缘部分长度不得小于表 5-1 所列数值。

表 5-1 绝缘操作杆和绝缘工具、绳索的有效长度

电压等级 /kV	绝缘操作杆有效长度 /m	绝缘工具、绳索有效长度 /m
10 以下	0.70	0.40
35	0.90	0.60
60	1.00	0.70
110	1.30	1.00
154	1.70	1.40
220	2.10	1.80
330	3.00	3.00

(二) 使用绝缘操作杆注意事项

绝缘操作杆是间接带电作业的主要工具,用它可以取递绝缘子,拔递弹簧销子,解、绑扎线等,它在电气操作中使用率很高,作用也很大,使用绝缘操作杆时应注意以下事项和技术要求:

(1) 绝缘操作杆做得不宜太重,应能满足单人操作的要求。

(2) 制作绝缘杆,应尽量减少金属接头,因金属接头周围电场集中,场强大,容易引起绝缘杆放电。一般对 110kV 及以下者不得有金属接头,对 220kV 及以上者允许有一个金属接头。

(3) 操作杆端部和金属接头处必须做成圆弧形,以减少电场集中。

(4) 操作杆管内必须清洗干净并封堵,防止潮气浸入。堵头可采用环氧酚醛玻璃布板,堵头与管内壁用环氧树脂粘牢密封。

(5) 在使用绝缘操作杆之前,应仔细检查是否有损坏、裂纹等缺陷,并用清洁干燥的毛巾擦净,以消除使用时引起的泄漏电流。

(6) 手握操作杆进行操作时,不得超过手握范围,以免减少绝缘有效长度,而引起闪络放电故障。

(7) 操作者应戴干净的线手套或绝缘手套,以防止手出汗降低绝缘杆的表面电阻,使泄漏电流增加,危及操作者的人身安全。

另外,雨天室外使用的绝缘操作杆,为隔阻水流和保持一定的干燥表面,需加装适量的喇叭形防雨罩,防雨罩宜安装在绝缘部分的中部,罩的上口必须和绝缘部分紧密结合,防止有渗漏现象,下口和杆身保持 20mm~30mm 为宜,防雨罩的长度约为 100mm~150mm 左右,每个防雨罩之间的距离可取 50mm~100mm,防雨罩的装设数量应符合表 5-2 的规定。

表 5-2 雨天操作杆防雨罩配置数量

额定工作电压 /kV	10 及以下	35	60	110	154	220
最少雨罩数 /只	2	4	6	8	12	16

雨天操作杆的绝缘部分长度应按表 5-3 所列出的数值选择。

表 5-3 雨天绝缘操作杆的绝缘有效长度

电压等级/kV	绝缘有效长度/m	电压等级/kV	绝缘有效长度/m
60 以下	1.5	154~220	2.5
110	2.0	330	3.5

(三) 使用绝缘夹钳的注意事项

绝缘夹钳是用来安装和拆卸高压熔断器或执行其他类似工作的工具,主要适用于 35kV 及以下电力系统,作为基本安全用具。在 35kV 以上的电力设备中,不准使用。

绝缘夹钳由三部分组成,即工作部分(钳口),绝缘部分和握手部分,如图 5-2 所示,各部分所用材料与绝缘棒相同。它的工作部分是一个强固的夹钳,并有一个或两个管形的钳口,用以夹持高压

熔断器的绝缘管。

绝缘夹钳的长度要求要满足表 5-4 所列数值。

表 5-4 绝缘夹的最小长度

电气设备的额定电压/kV	户内设备		户外设备	
	绝缘部分长度/m	握手部分长度/m	绝缘部分长度/m	握手部分长度/m
10	0.45	0.15	0.75	0.20
35	0.75	0.20	1.20	0.20

绝缘夹钳使用和保管注意事项：

(1) 绝缘夹钳不允许装接地线，以免操作时，由于接地线在空中游荡，造成接地短路和触电事故。

(2) 在潮湿天气，只能使用专用的防雨绝缘夹钳。

(3) 绝缘夹钳要保存在特制的箱子里，以防受潮。

(4) 工作时，应戴护目眼镜、绝缘手套和穿绝缘靴或站在绝缘台(垫)上，手握绝缘夹钳要保持平衡和精神集中。

(5) 绝缘夹钳要定期试验，试验周期为一年，试验标准见本章第四节。

三、绝缘防护用具

常用的绝缘防护用具具有绝缘手套、绝缘靴、绝缘隔板、绝缘垫、绝缘站台等，如图 5-3 所示。

(一) 绝缘手套

触电事故主要是由于人手直接接触危及人身安全的带电体时，电流通过人体所引起的危害。因此，为防止此类事故的发生，电气作业时，增大手与电器间的绝缘程度是极其重要的，故在带电操作时，需戴用特制橡胶制成的绝缘手套。绝缘手套可防止泄漏电流对人体的伤害，还可防止接触电压和感应电压的伤害，它也可直接在低压设备上进行带电作业。使用绝缘手套时，应根据作业电压的高低选择其绝缘强度。

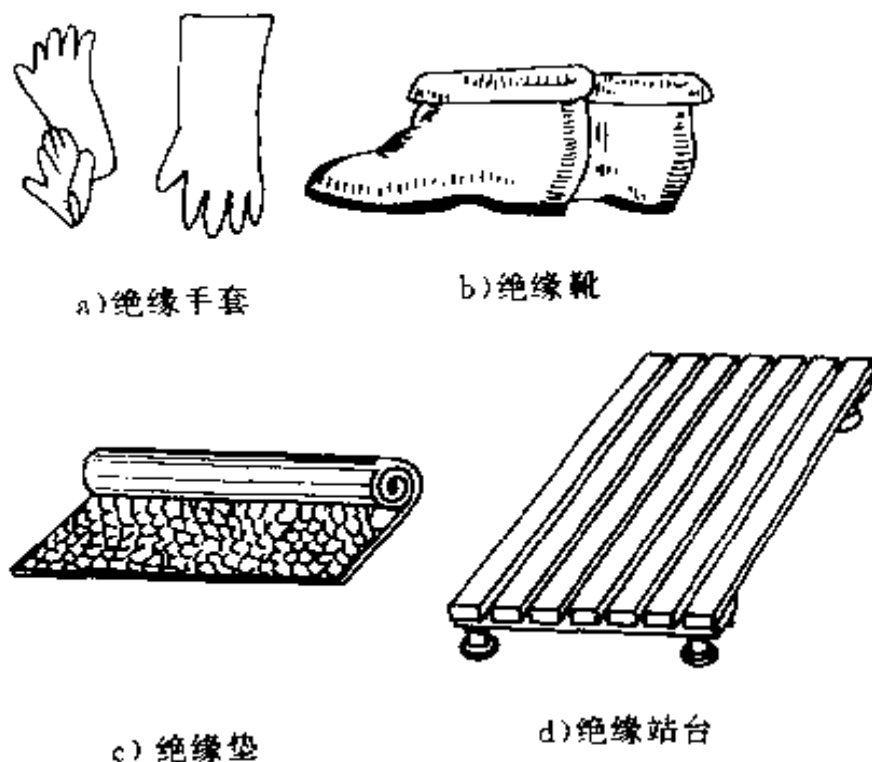


图 5 3 绝缘防护用具

绝缘手套应有足够的长度,戴上后,应超过手腕 100mm,另外对绝缘手套有严格的电气要求,因此普通的或医疗、化学用的手套不能代替绝缘手套。

绝缘手套在使用前应进行外观检查,不该有粘胶、破损。通常还采用压气法检查绝缘手套有无漏气现象,若有微小漏气,该手套也不得继续使用。戴上绝缘手套后,手容易出汗,因此,应该在手套里衬上吸汗的手套,增加手与带电体的绝缘强度。

手套平时宜放在干燥、阴凉处,现场应放在特制的木架上。

(二) 绝缘靴

绝缘靴的作用在于把触电危害降低到最小程度。因为在电气作业中,触电事故多为一是由于电流通过人体造成的,二是由于跨步电压伤害造成的。故雨天操作室外高压设备时,除应戴绝缘手套外,还应穿绝缘靴。同时也提倡平时穿绝缘靴,因配电装置的接地网不一定能达到设计要求。

绝缘靴是由特种橡胶制成,绝缘靴通常不上漆,这和涂以有光泽黑漆的橡胶水靴,在外观上所不同的。

绝缘靴不得当作雨靴或作其他用,同时,其他非绝缘靴也不能代替绝缘靴使用。

绝缘靴应经常检查和维护,如发现受潮或磨损严重,应禁止使用。特别注意切不可将绝缘靴作耐酸、耐碱和耐油靴使用。

(三) 绝缘隔板

绝缘隔板是防止工作人员,在带电设备发生危险时接近的一种防护工具,它也可装设在断开的 6kV~10kV 及以下电压等级设备刀闸的动、静触点之间,作为防止设备突然来电的保安用具。

绝缘隔板一般用环氧玻璃布或聚氯乙烯塑料制作。它的尺寸应满足一定的保安要求。

绝缘隔板的安装方法一般有以下两种,一种是和带电体保持一定的安全距离(见表 5-5 中的规定),此时绝缘隔板的大小应视带电体的尺寸和工作人员在工作中的活动范围而定。总之必须保证工作人员在工作中不致造成对带电体的危险接近。

另一种方法是和带电体直接接触,但这只局限于在 35kV 及以下的情况下使用,且应注意工作中工作人员不得和绝缘隔板相接触。另外,在装设绝缘隔板时,

表 5-5 带电体到绝缘隔板边缘的最小距离

电压等级/kV	最小有效距离/m
10 及以下	0.70
35	0.90

还要做到带电体到绝缘隔板边缘距离不得小于 200mm。特殊情况下,如工作人员必须接触绝缘隔板时,要求隔板的绝缘水平必须和带电体的工作电压相适应,而且仍要满足带电体到绝缘隔板边缘的距离不小于表 5-5 中规定的要求。

绝缘隔板应保持表面光滑,不允许有裂缝、气泡、砂眼、孔洞和其他表面污渍,凹坑深度不得超过 0.1mm,绝缘隔板的厚度不得小于 3mm。

绝缘隔板应存放在干燥通风的室内,不得着地和靠墙放置。使用前应擦净尘土并检查外观是否良好。

(四) 绝缘垫

绝缘垫又称绝缘胶板,一般铺在配电装置室等地面上,以便带

电操作开关时,增强操作人员的对地绝缘,同时可以用来防止接触电压和跨步电压对人体的伤害。由此可见其保安作用与绝缘靴相同,因此可视它为一种固定的绝缘靴。在主控屏、保护屏、变电所配电屏和发电机、调相机的励磁机等处放置绝缘垫,可起到良好的保安效果。绝缘垫通常还用来作为高压试验电气设备时的辅助安全用具。

绝缘垫是特种橡胶制成的,为防滑,常在其表面制有条纹。绝缘垫的规格有厚为4,6,8,10,12mm的五种,尺寸都大于750mm×750mm,也有较大规格的,例1000mm×5000mm的。

绝缘垫不得与酸、碱、油类和化学药品等接触,并要保持清洁、干燥,不允许阳光照射和与热源接触或距热源太近,避免锐利物品刺划,还应做到每隔一段时间用低温水清洗一次。

绝缘垫一般每2年~3年试验一次。

(五) 绝缘站台

绝缘站台是工作人员带电操作断路器、隔离开关、安装临时接地线用的辅助保安用具,它可代替绝缘垫和绝缘靴。绝缘台的台面是用极干燥而漆过绝缘漆的直纹无节的木材做成的条形栅板,四脚用绝缘瓷瓶作台脚。

绝缘站台的最小尺寸是750mm×750mm。为便于移动、打扫和检查,它的最大尺寸不应超过1500mm×1000mm。台面板条间距不得大于25mm,以避免人站立其上时鞋跟陷入板条间。台面的边缘不得伸出支持绝缘瓷瓶的边缘以外,以避免工作人员立在台面的边缘时可能发生的倾跌。绝缘瓷瓶的高度,从地面到站台面,不应小于100mm。

绝缘站台必须放置在干燥、坚硬的地方,如无条件,站台下应垫加硬实的垫板,以免放置在松软的地面或泥草中引起站台绝缘瓷瓶四脚下陷降低其绝缘性能。

绝缘站台的台脚绝缘瓷瓶应无裂纹、破损。

绝缘站台也应作电气试验,一般每三年一次,试验电压为交流40kV,加压时间为2min。

第二节 验 电 器

验电器又称测电器、试电器或电压指示器,它是检验电气设备是否带电即有无电压的一种安全用具。因其所验证的电压等级不同,可将其分为低压验电器和高压验电器两种。

验电器一般利用电容电流经氖气灯泡发光的原理制成,故称其为发光型验电器。此型验电器在我国使用已有多年历史,就其特性而言,低压验电器使用比较方便,而高压验电器使用则较为困难,因其发光部分离人较远以满足安全距离的需要,所以人观察颇为费劲,特别是光线较明处更是如此。近年来,科研和有关部门积极开发研制了几种新型验电器,如声光验电器和风车验电器等,投放市场经使用验证效果不错,给验电工作带来了很大方便。下面分别作一介绍。

一、低压验电器

低压验电器用在检验对地电压 250V 及以下的电气设备上。我们常将低压验电器称为低压试电笔或低压验电笔。它是广大电工常用和必备的电气安全工具,是用来检验低压电气设备和线路是否带电的一种专用工具。其外型分为笔型、改锥型和组合型等多种。低压验电器是由工作触头、降压电阻、氖泡、弹簧等部件组成,如图 5-4 所示。

(一) 低压验电笔的使用

验电时,手握顶部金属部分,笔尖或锥尖触及电气设备,观察氖泡是否发光或根据其明暗程度来判断电气设备是否带电或电压的强弱。

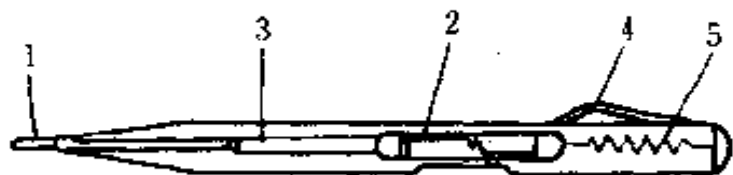


图 5-4 低压验电器

1—工作触头 2—氖灯 3—碳精电阻

4—握柄 5—接地弹簧

验电笔的工作原理是:当手持验电笔测试带电设备时,经降压电阻后形成的微小电流通过验电笔、人体到大地形成回路,从验电

笔的小窗孔可以看到氖泡发光。即使操作人员穿上了绝缘靴或站到绝缘台上,其漏电电流也足以使氖泡起辉发光。只要带电体和大地之间的电位差超过一定数值,验电笔就会发出辉光,低于这个数值(一般多为 36V),就不会发光。根据发光程度可粗略判断电压的高低。在使用验电笔前,应首先在有电的设备或线路上验证一下,检查一下验电笔是否完好,防止因氖泡或电阻损坏而造成的误判断,引起触电事故。

(二) 低压验电器的其他用途

低压验电器除主要用来检查、判断低压电气设备或线路是否带电外,还有以下用途:

1. 区分火线和地线 接触时氖泡发光的线是火线(相线),氖泡不亮的线则是地线(中性线或零线)。

2. 区分交流电和直流电 交流电通过氖泡时,氖泡两极都发光;而直流电通过时氖泡只有一极发光。靠笔尖的一极灯丝发光则可判定此线为直流负极,反之为正极。

3. 判断电压的高低 如氖泡灯光发亮至黄红色,则电压较高;如氖泡发暗微亮至暗红,则电压较低。

二、高压验电器

高压验电器用来检验对地电压在 250V 以上的电气设备,我们常用的一般为 10kV 及 35kV 两种。

高压验电器的种类较多,原理也各不相同,下面分别加以介绍。

(一) 发光型高压验电器

发光型高压验电器,如图 5-5 所示,它一般由以下部分组成。

1. 指示器部分
由金属接触端、压紧弹簧、氖气管、电容

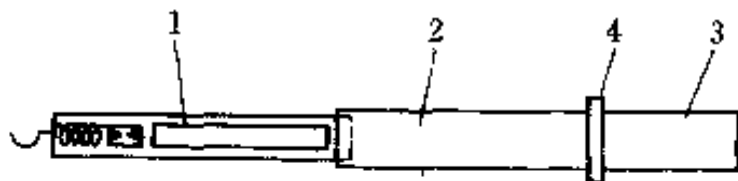


图 5-5 高压验电器

1—指示器部分 2—绝缘部分
3—手握部分 4—护环

纸箔管或电子元件等组成。外部套有电木粉压制或聚氯乙烯制成的硬质绝缘管。

2. 绝缘部分 绝缘部分指的是自指示器下部的金属衔接螺钉起至罩护环止的部分,绝缘部分长度不得小于以下数值:

10kV 及以下 0.4m

35kV 0.6m

110kV 1.0m

3. 握手部分 指罩护环以下的部分,其长度应符合表 5-6 的规定。

表 5-6 高压验电器的最小尺寸

高压验电器 额定电压 /kV	上部接触端至 罩护环的长度 /mm	握手部分 的长度 /mm	总长度 (包括指示器部分) /mm
10 及以下	580	120	700
35	900	200	1100
110	1950	400	2350

4. 罩护环 它是绝缘部分和握手部分的分界点,罩护环的直径要比握手部分大 20mm~30mm。

(二) 风车型验电器

风车型验电器是一种新型高压验电设备,它是通过带电导体尖端放电产生的电晕风,驱动金属叶片旋转,来检测设备是否带电的,故称之为风车型验电器。

风车型验电器由风车指示器和绝缘操作杆等组成。使用时只要将风车指示器逐渐靠近被测的电气设备,设备如带电,则风车旋转;反之,则风车不转动。

风车型验电器具有灵敏度高、选择性强、信号指示鲜明、操作方便等优点。不论在线路、搭杆或变电所内都能正确、明显地指示电力设备有无电压,该验电器是一种较为理想的新型验电用具。

(三) 有源声光报警验电器

这种验电器目前应用范围也较广,根据其工作原理的不同,可

分为接触型和感应型两大类。接触型验电器只有其金属触头触及带电体时才会发出声光报警,其准确可靠性较好。感应型验电器不与带电体接触,通过感应电场信号报警,但其抗干扰能力、方向性等指标较差,特别是在密集带电体(如变电所、三相多回路等)条件下,常发生误报警,因此感应型报警器宜在带电体稀疏的特定条件下使用。

(四) 高压验电器的试验

高压验电器一般要求六个月做绝缘试验一次。在试验前应仔细检查绝缘管和支持器的绝缘是否良好,氖灯的玻璃罩是否完好。绝缘试验一般在验电器的接触端和电容器之间加压。试验分发光试验和耐压试验两部分,试验标准参照表 5-7 中的规定。凡试验合格的应贴有合格标记,试验不合格的则不能继续使用。

表 5-7 验电器的试验标准

验电器额定电压 /kV	发光电压试验		耐压试验			
	氖气管起辉电压 /kV	氖气管清晰电压 /kV	接触端和电容器引出端之间		电容器引出端和护环边界之间	
			试验电压 kV	试验时间 /min	试验电压 kV	试验时间 /min
10 及以下	2.0	2.5	25	1	40	5
35 及以下	8.0	10	35	1	105	5

支持器(包括绝缘部分和握手部分)单独分开做耐压试验,试验时在电容器引出端和护环边界之间加电压,试验标准参考表 5-7 中规定,在加压过程中没有闪络放电现象即算合格。

对于声光验电器,还须做发响最低电压的试验。10kV 及以下发响时最低电压不得超过 1000V;35kV~110kV 发响时的最低电压不得超过 6000V。

在定期试验时,还应做到氖灯的“清晰发光”电压试验,试验方法和要求如下:先将验电器的接触端接在试验变压器的一端,变压器的另一端接地,然后将变压器升压。当氖灯开始放电,灯光逐渐清晰达到稳定时,电压表所指示的数值就是氖灯的“清晰发光”电

压,此电压不应高于设备工作电压的 25%。

验电器还不应该受邻近有电设备的影响而发光、发声。检验不受邻近有电设备影响的距离如下:

6kV 及以下 150mm

10kV 250mm

35kV 500mm

110kV 1000mm

(五) 高压验电器的使用

使用验电器时必须注意其额定电压和被检验电气设备的电压等级相适应,否则可能会危及验电操作人员的人身安全或造成误判断。验电时操作人员应戴绝缘手套,手握在罩护环以下的握手部位,先在有电设备上进行检查,检查时应渐渐将验电器移近带电设备至发光或发声时止,以确认验电器性能完好,有自检系统的验电器应先掀动自检按钮确认验电器完好,然后再在需要进行验电的设备上检测,检测时也应渐渐将验电器移近待测设备,直至触及设备导电部位,此过程若一直无声、光指示,则可判定该设备不带电。反之,如在移近过程中突然发光或发声,即认为该设备带电,即可停止移近,结束验电。

另外,风车型验电器只适用于户内或户外良好天气下使用,凡雨、雪等环境条件下,禁止使用。

第三节 其他安全用具

电气安全用具除以上介绍的,还有很多,如携带型三相短路接地线、标示牌、隔离板、临时遮栏、安全帽、安全绳、登高用具及防御灼伤的安全用具等。下面我们将分别加以介绍。

一、携带型三相短路接地线

使用携带型三相短路接地线,是一种防护设备突然来电造成设备损坏及人身伤害所采取的三相短路接地的保安措施,它还可以防止邻近高压带电设备对停电设备所产生的感应电压对人体的危害。实践证明,接地线对保证人身安全十分重要,现场工人们将

其称之为“保命线”。

(一) 携带型接地线的构造

1. 夹头部分 夹头部分大多采用铝合金铸造抛光后制成,夹头部分是携带型接地线和设备导电部分的连接部件,因此对它的要求是和导电部分的连接必须紧密,接触良好,并保证具有足够的接触面积。根据夹头部分的形状不同,可分为悬挂式、平口式、螺旋式、弹力式等几种型式。

2. 绝缘棒或操作杆部分 其作用是保持一定的安全距离和起到操作手柄的作用,因此要求绝缘棒或操作杆应由绝缘材料制成,并保持一定的长度。绝缘棒或操作杆的长度在除去握手长度(握手长度可取 200mm~400mm)以外,宜保持以下有效绝缘距离:

10kV 以下 0.4m

35kV~66kV 0.7m

110kV 1.0m

154kV 1.4m

220kV 1.8m

330kV 3.0m

接地线根据操作手柄的型式不同可分为:

(1) 绝缘棒固定安装在夹头上,其特点是接地线带有固定的绝缘操作手柄,它是目前使用较多的一种。其特点是使用方便,但每组接地线均需配置三个绝缘棒,故不经济。

(2) 夹头未安装固定操作手柄,而是采用特制操作杆将夹头悬挂在设备上,其优点是节省绝缘材料,故较经济。缺点是操作不便。因此一般只适用于发电厂、变电所。

3. 三相短路接地线部分 系采用多股软铜绞线制成,其截面应能满足短路时热稳定的要求,即在大量的短路电流通过时,导线不会因产生的高热而熔化。为了保证有足够的机械强度,多股铜绞线的截面积应不小于 25mm^2 。因此,短路各相用的导线,其截面积应根据该接地线所处的电力系统而定。当然,绞线也应保证一定的

机械强度。

4. 接地端 接地端是携带型接地线和接地网或大地的连接部件,要求接地必须可靠,故接地端应采用固定夹具和接地网相连接,或用铜钎插入地中,不得用缠绕方法和接地网相连,因在短路电流的作用下导线易烧断,而且可能在巨大电动力作用下接地端被甩开,失去保护作用。

(二) 携带型接地线的管理

有了合格的携带型接地线,若没有一个严密的管理制度,也不能充分发挥其作用,甚至起相反的效果,造成事故。

在接线复杂的系统中进行部分停电检修时,往往需要装设几组、十几组,甚至更多的接地线。与此同时,可能还有其他设备进行停电检修,也需要装设许多接地线。由于工作互相交错进行,当某设备工作结束恢复送电时,若没有严密的记录和管理办法,可能有的接地线忘记拆除就送电,以致造成带地线合闸的事故。也可能误拆了其他正在检修设备上的接地线,以致造成误送电事故。所以,对携带型短路接地线的管理应予以特别的注意。

一般要求携带型短路接地线有统一编号,有固定的存放位置。在存放接地线的位置上也要有编号,将接地线按照相对应的编号放在固定的位置,即所谓的“对号入座”。在每组接地线上除了编号外,还要标明该接地线的短路容量和许可使用的设备系统。使用中的接地线应有详细的记录,并在系统模拟盘上作出相应的标志(也要标明所用接地线的编号),以便在恢复送电时,可以按照记录对照号码逐个拆除。这样就可将工作失误减小到最小程度,保证人身和设备的安全。

二、标示牌

标示牌又叫警告牌,用来警告工作人员不得接近设备的带电部分或禁止操作设备,标示牌还用来指示工作人员何处可以工作及提醒工作时必须注意的其他安全事项。

标示牌根据其用途可分为警告类、提示类等两种,标准化的标示牌有:“止步,高压危险!”、“禁止攀登,高压危险!”、“禁止合闸,

有人工作!”、“禁止合闸,线路有人工作!”、“在此工作!”、“从此上下!”等。

标示牌的悬挂和拆除应按《电业安全工作规程》及其他有关规范进行,标示牌的数目和布置地点应根据具体条件和安全工作的要求来决定。

三、隔离板和临时遮栏

在高压电气设备进行部分停电工作时,为了防止工作人员走错位置,误进入带电间隔或临近带电设备至危险的距离,一般采用隔离板、临时遮栏或其他隔离装置进行防护。

隔离板一般须采用干燥的木板做成,其高度一般不小于 1.8m,下部边沿离地面不超过 100mm,其形状无具体要求,但制做要牢固、稳定,不易倾倒,而且轻便,可做成栅栏状或板面形状,板上应有明显的警告标志“止步,高压危险!”,如图 5-6 所示。

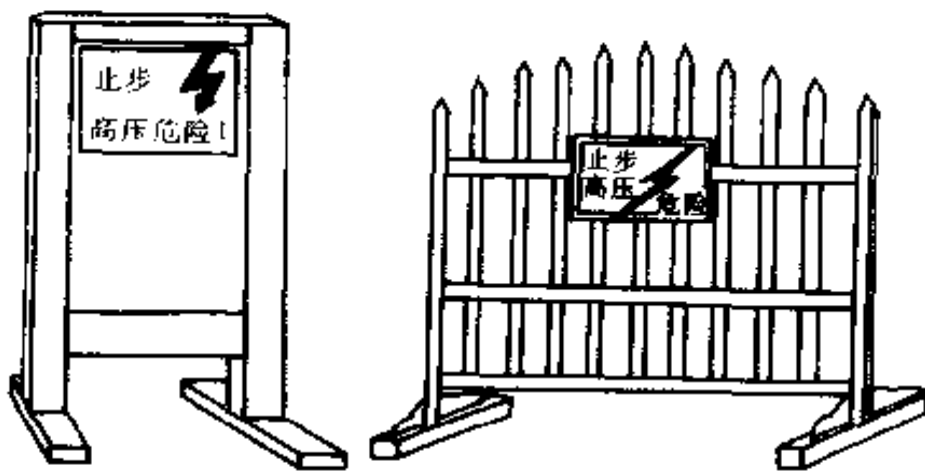


图 5-6 隔离板

临时遮栏:在室外进行高压设备部分停电作业时,用线网或绳子拉成遮栏。一般可在停电设备的周围插上铁棍,将线网或绳子挂在铁棍或特制的架子上,这种遮栏要求对地距离不小于 1m。

临时遮栏也可根据工作需要做成各种不同的形式,在 6kV~35kV 设备上,若工作人员需要在距离带电设备很近的地方工作时,遮栏可用绝缘材料做成。这种遮栏可以与带电设备的导电部分

接触,如将导电部分罩住等,这就要求遮栏有良好的绝缘性能。在安装临时遮栏时要特别小心,操作人员应戴绝缘手套,站在绝缘台上,并有专人监护。起绝缘性能作用的临时遮栏也应同其他绝缘工具一样,进行定期绝缘试验,一般每半年试验一次。用于 35kV 设备上的临时遮栏或挡板,交流耐压为 80kV,用于 6kV~10kV 设备上的为 30kV,加压时间都为 5min,无击穿或闪络放电现象即认为合格。用橡胶做成的遮栏加压到 15kV,这种遮栏只允许在 1000V 及以下设备上使用。

四、安全帽

安全帽是用来防护高空落物打击头部,减轻头部冲击伤害的一种防护用具。

在架空线路检修、杆塔施工作业、变电构件等处工作时,为防止在杆塔上工作的人员因和工具器材、构架相互碰撞而受伤,或杆塔、构架上工作人员失落工具和器材时,击伤地面人员,因此,要求高处作业人员及地面上人员必须配戴安全帽,保证人身安全。

(一) 安全帽的保护原理

安全帽对头部的保护作用主要基于以下两点:

1. 作用力分散 将载荷由帽传递分布在头盖骨的整个面积上,避免集中打击一点。

2. 缓冲吸收能量 由于安全帽的结构特点,能使头与帽顶之间的空间能吸收能量,起到缓冲作用,因此可减轻或避免伤害。

(二) 安全帽的基本要求

1. 冲击吸收性能 安全帽为了达到充分保护头部的目的,它应有足够的强度和弹性,为此须对其进行必要的打击试验。用三顶安全帽,分别在 $(50 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ (矿井下用的取 $(40 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, $(-10 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 及浸水三种情况下处理,然后用 5kg 重钢锤自 1m 高处落下进行冲击试验,测得试验用头模所受的冲击力最大值不应超过 4900N。

2. 耐穿透性 安全帽在上述三种冲击吸收试验中,选择头模受力最大的一种情况进行试验,用 3kg 钢锥自 1m 高处落下进行冲击,要求钢锥不与头模接触者为合格。

（三）安全帽的其他要求

1. 耐低温性能 在低于 -10°C 温度的条件下,按上述方式进行冲击吸收和耐穿透试验。

2. 耐燃烧性能 用 2kg 汽油喷灯火焰燃烧帽壳较薄处(以帽顶为圆心,直径 100mm 以外部分)10s,当喷灯火焰移开后,帽壳火焰应能在 5s 内自灭。

3. 电绝缘性能 用交流 1200V 试验 1min,泄漏电流不应超过 1.2mA。

4. 侧向刚性 在帽的两侧加压力 430N 后,帽壳的横向最大变形不应超过 40mm,卸载后变形不应超过 15mm。

（四）安全帽的标记要求

每顶安全帽应有以下永久性标记:

- (1) 制造厂名称及商标型号;
- (2) 制造年月;
- (3) 许可证编号。

其他标记:

- 1) 具有耐低温性能的安全帽标记为“ -20°C ”和“ 30°C ”等字样;
- 2) 通过电绝缘性能试验的安全帽标记为“R”;
- 3) 通过侧向刚性试验的安全帽应标记“CG”记号。

上面我们介绍的是多年来现场工人常用的普通型安全帽,现在应用范围仍然很广,近几年我国自行研制了一种新型安全帽——电报警安全帽,其特点除具有普通型安全帽的所有作用外,还兼备近电报警功能。

（五）电报警安全帽

电报警安全帽的作用是电业工人在有触电危险环境下,进行维修高、低压供电线路或在电气设备检修、安装作业时,接近带电设备至安全距离时,安全帽会自动报警,避免人身伤亡事故的发生。通过现场使用证实,此安全帽在报警距离内报警正确可靠,除具有普通型安全帽的优点外,还具有非接触性检验高、低压线路是

否断电和断线等功能。

1. 主要技术数据

- (1) 报警电流 0.3mA~1.5mA;
- (2) 电源电压 3VCR2032 锂电池,寿命一年以上;
- (3) 使用环境温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$;
- (4) 使用环境相对湿度 $<90\%$
- (5) 380V、220V 报警距离 $>0.2\text{m}$ 。

2. 使用范围 安全帽的报警电压等级由 380V~220kV。一般 380V~35kV 等级是一种类型安全帽;10kV~220kV 等级为另一类安全帽,现场使用根据现场条件选择。

3. 使用方法

(1) 每次使用前,把选择灵敏开关置于高或低档,然后按一下安全帽的自检开关,若能发出音响信号,即可使用。

(2) 头戴或手持电报警安全帽接近检修架空电力线路和用电设备时,在报警距离范围内,若发出报警声音,表明设备或线路带电,否则不带电。

(3) 低感应电压类型的安全帽接近电器设备外壳时,若发出报警信号。表明机壳带电或漏电。

4. 注意事项

(1) 在接近高压报警距离范围时,必须再按一下帽内自检开关,若能发出自检声音,方可进入高压区域作业。

(2) 当发现自检音调明显降低时,表明电池已快耗尽,可换新的电池,更换时应注意极性。

(3) 安全帽应放置在室内干燥、通风并远离电源线 500mm 不漏电的地方。

(4) 环境湿度 $>90\%$ 时,报警距离准确度受影响。

五、安全带和安全腰绳

安全带和安全腰绳是防止发生高空摔跌的主要安全用具。安全带一般有皮的和尼龙的两种,安全绳则有棕绳、尼龙绳、钢丝绳、合股棉绳和锦纶绳等多种。

安全带和安全腰绳应保持良好的机械强度,并应定期进行机械性能试验,试验标准见表 5-8。

安全带由大、小两根组成,小带用在围束工作人员的腰部偏下处,作为束紧用;大带则系在电杆或牢固的构架上。

表 5-8 安全带和安全腰绳试验标准

名 称	试验静拉力 /N	试荷时间 /min	试验周期	外观检查周期
安全带 大号	2205	5	半年 1 次	每月 1 次
安全带 小号	1470	5	半年 1 次	每月 1 次
安全腰绳	2205	5	半年 1 次	每月 1 次

安全带使用一年后,要作全面检查,并抽 1% 做抽样试验。抽样试验的静拉力标准为 6370N,试荷时间 5min,各部件无破损或重大变形者为合格,如发现其中有不合格者,应再抽 1% 重复试验,如继续发现不合格的,则该批安全带应停止使用,其中即使是抽检试验合格的也不得继续使用。

六、登高用具

架空线路施工、检修都离不开登高作业,因此必须使用合格的登高用具,方能保证登高作业人员的安全。常用的登高工具有脚扣、踏板、梯子等。在这里我们主要谈脚扣和踏板。

(一) 脚扣

脚扣是攀登电杆的主要工具之一,它是由铁或铝合金制成的呈圆环形、带皮带扣环和脚登板的轻便登杆用具,可分为木杆和水泥杆用两种型式,如图 5-7 所示。

木杆脚扣根部带

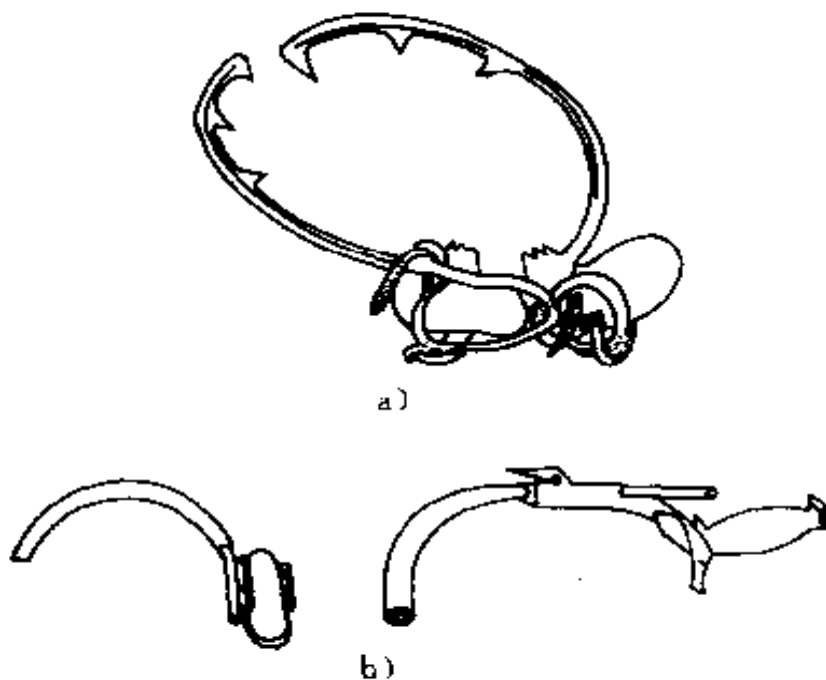


图 5-7 脚扣

a) 木杆脚扣 b) 水泥杆脚扣

有三个短铁牙,以便刺入木杆而达到防滑作用。水泥杆脚扣在根部和半圆上安有橡胶垫片或胶管来防滑。使用脚扣较方便,攀登速度快、易学会,但易于疲劳,适用于短时间作业。

(二) 踏板

踏板也称升降板、登高板、站脚板、踩板等,由于用它登高作业较灵活又舒适,因此是一种常用的攀登电杆的工具。它由板和绳两部分组成的,板采用 630mm×75mm×25mm 硬质木材制作,上面刻有防滑纹路,吊绳采用 $\phi 16\text{mm}$ 的优质棕绳或锦纶绳做成,吊绳呈三角状,底端两头固定在踏板上,顶端上固定有金属挂钩,吊绳高度一般为成人的一手臂长度。

具有良好的机械强度是升降板和脚扣必须具备的主要性能,因此必须随时进行检查和定期进行机械试验。

(三) 脚扣与踏板的检查与试验

对登高用具的检验方法是脚扣系于钢筋混凝土杆或木杆上,离地 0.5m 左右,借人体重量猛力向下踩蹬,要求脚扣(包括脚套)无变形及任何损坏方准使用。

踏板的检验方法同样可系于钢筋混凝土杆上离地 0.5m 左右处,人站在脚踏板上,双手抱杆,双脚腾空猛踩冲击,绳索应不发生断股,脚踏板不应折裂,否则应停止使用。

登高用具还应定期进行机械性能试验,试验标准见表 5-9 中的规定。

表 5-9 登高用具试验标准

名 称	试验静拉力 /N	试验时间 /min	试验周期	外观检查周期
升降板	2205	5	半年 1 次	每月 1 次
脚 扣	980	5	半年 1 次	每月 1 次

七、防御灼伤的安全用具

在操作或维护检修电气设备时(如更换熔断器、进行电焊或浇灌电缆接头盒、调配或补充蓄电池的电解液等),有可能发生电弧或有高温的绝缘胶或腐蚀性的酸、碱液溅出,使工作人员的眼睛或

其他部位遭到伤害。所以,在进行这些工作时,需要采取必要的防护措施,一般可使用以下用具。

(一) 护目镜

护目镜主要用来保护工作人员的眼睛不受电弧的伤害,防止灼伤或异物进入眼内。

装卸高压熔丝、锯断电缆及打开运行中的电缆盒时,戴护目镜主要是防止弧光对眼睛的刺激,因此这类护目镜应为有色护目镜。

浇灌电缆混合剂,向蓄电池内注入电解液等工作时,戴护目镜是为了防止化学剂溅入眼内,故这类护目镜应为封闭式,眼罩的玻璃应使用无色玻璃。

护目镜一般为封闭型的,采用耐热、耐机械力和透明无瑕疵的化学玻璃做成。要求达到遇热不熔化,受到打击或碰撞时不易破碎,镜架一般可用金属制成。为了使眼镜戴稳便于工作,应有松紧带和带扣子的布带和皮带,使带子系上后有一定的伸缩作用。

(二) 防护手套

当熔化电缆绝缘胶或焊锡时,为了防止工作人员手臂部烫伤,应戴上用不易着火的纺织物(如亚麻帆布等)做成的手套。此种手套的长度应能达到工作人员的肘部,以便在使用时可以套在外衣袖口上,防止熔化了的金属或绝缘胶溅到袖口的缝隙中去。

第四节 安全用具试验

所有的绝缘安全用具必须保持良好的绝缘性能,因此绝缘安全用具应定期进行电气试验。

一、试验要求

(一) 对试验人员的要求

(1) 绝缘安全用具的电气试验,须由经过专业训练的试验人员进行。

(2) 电气试验时必须有两人以上参予,不可一人独立试验。

(二) 对试验合格标记的要求

安全用具试验后,应有试验合格标记,标记中除标明试验合格

字样外,还应标明试验日期和试验人员。

(三) 对安全用具的外观检查要求

未进行电气试验前,安全用具先要经过外观检查,如绝缘部分有无裂缝、老化、外表漆层脱落等;固定连接部分有无松动、锈蚀、断裂等,如有上述之一者,须经处理后再进行试验。

(四) 对安全用具耐压的升压要求

在进行交流耐压试验时,电压应逐渐上升至试验值。在试验橡胶制品时,每秒钟的增压值不得超过 1000V;试验电木、胶木等材料时则不得超过 3000V/s 的增压率。开始升压时不得超过规定值的 50%,各种绝缘用具在规定的试验电压下,进行试验的时间不得超过规定,以上时间应从加压到规定的试验电压值时开始计算。

试验时所施加的电压应遍及绝缘安全用具的整个绝缘体。

二、各类安全用具的试验

(一) 绝缘棒和操作杆

试验绝缘棒、操作杆时,电压的一极接于棒、杆的接触端;另一极电压加在握柄处的金属环上,若无金属环,须用锡箔线、带临时包绕代替之。

施加试验电压时应注意被试品有无放电、击穿、发弧等现象,若有上述现象之一者,该用具不准使用。试验后用干燥的手触摸该用具,若感觉有局部微热,该用具也不准继续使用。

绝缘棒、操作杆的试验标准见表 5-10。

表 5-10 绝缘棒、操作杆试验标准

数值 /kV 种类	电压 /kV	额定工作 电压	10及 以下	35	66	110	154	220	330	500	时间 /min
		最高工作 电压	11.5	40.5	72.5		174	250	363		
出厂试验	干试电压	50	115	205	260	345	500	715	—	—	5
	湿试电压	40	90	165	210	275	400	—	—	—	5
预防试验	干试电压	44	三倍线 电 压	三倍线 电 压	三倍相 电 压	三倍相 电 压	三倍相 电 压	三倍相 电 压	三倍线 电 压	三倍线 电 压	5
	湿试电压	34	78	140	180	235	340				5

若受试验条件的限制,绝缘棒、操作杆可以分段试验,其试验电压应取上表规定值大 20% 的值进行分配。但 110kV~220kV 分段不得超过四段,330kV~500kV 分段不得超过六段。

绝缘棒和操作杆的试验周期应为每年试验一次。

(二) 绝缘手套和绝缘靴

绝缘手套、绝缘靴等橡胶制品的安全用具,须进行泄漏电流和交流耐压试验。在试验中,若电流表异常摆动,超过规定的最高值或发生击穿时,该安全用具应禁止使用。试验时,升压速度不得超过 1000V/s,加压时间为 1min。

试验绝缘手套、绝缘靴时,应将该用具装满水,并浸于水中(非蒸馏水),用具内、外水面须在绝缘手套的绝缘口下 50mm 处。试验绝缘靴时,靴须平放,水面应在靴下 50mm。被试品的上端露出水面,必须保持干燥,试验电压的一极须垂直于被试用具内部,另一极经串接毫安表后,垂直置于盛水的缸内,具体接线如图 5-8 所示。

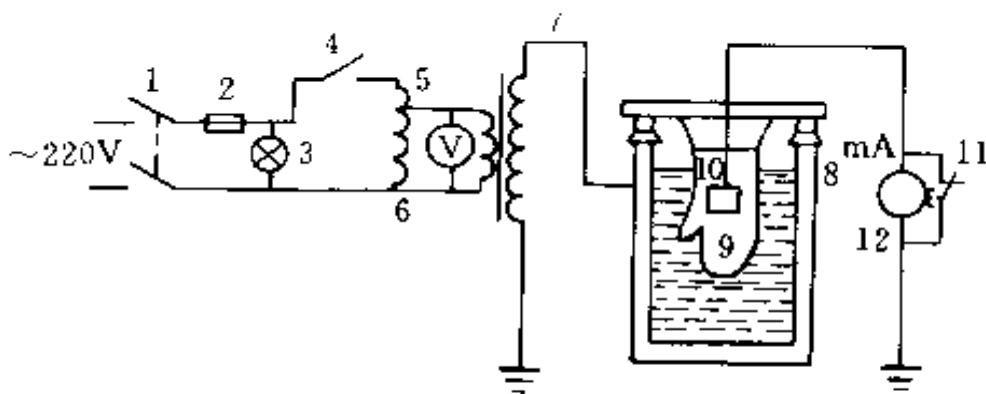


图 5-8 绝缘手套、绝缘靴试验接线图

- 1 刀开关 2—熔断器 3—电源指示灯 4—过负荷开关 5—调压器
6 电压表 7—升压变压器 8—盛水金属容器 9—被试品 10 电
极 11—毫安表短接开关 12—毫安表

若同时试验很多手套或靴,如其中一只击穿,应立即切断电源,将试验变压器接地线,取出被击穿的手套(或靴)后方可继续加压试验,两次试验时间共 1min,若击穿时间不到 10s,则第一次的

10s 不计入,须重新加压试验 1min。试验完后,对橡胶制的安全用具应用清水洗净,用 40°C~50°C 的热风进行干燥后方准使用。具体试验标准见表 5-11 中的规定。

表 5-11 绝缘手套、绝缘靴试验标准

试验项目	高压绝缘手套		低压绝缘手套		绝缘靴		绝缘鞋	
	出厂标准	使用中试验标准	出厂标准	使用中试验标准	出厂标准	使用中试验标准	出厂标准	使用中试验标准
交流耐压/V	12000	8000	5000	2500	20000	15000	5000	2500
泄漏电流/mA/kV	1mA/kV	9mA	5mA	不超过 2.5mA	0.5 mA/kV	7.5mA	0.5 mA/kV	0.5 mA/kV
持续时间/min	1	1	1	1	2	1	2	1

(三) 绝缘隔板

绝缘隔板应每年进行一次电气试验,试验方法和标准如下:

绝缘隔板上下铺金属电极,电极大小应小于绝缘隔板各边 100mm~150mm。电极和绝缘隔板必须接触良好,按以下标准加电压 5min 后不发生击穿为合格:

6kV~10(13.8)kV,30kV

35(44)kV,80kV

(四) 绝缘垫

绝缘垫每两年进行一次交流耐压和泄漏试验,加压时间为 1min,以 1000V/s 速率加至规定试验电压值,试验的标准见表 5-12。

表 5-12 绝缘垫试验标准

试验项目	1000V 以下		1000V 以上		1000V 以上	
	4mm		6mm~8mm		10mm	
	出厂标准	使用中标准	出厂标准	使用中标准	出厂标准	使用中标准
交流耐压/V	7500	5000	20000	15000	30000	20000
泄漏电流/mA	7.5 以下	5 以下	20 以下	15 以下	30 以下	20 以下
持续时间	1min 不击穿					

试验时,先将被试品的绝缘垫上下铺上湿布(大小与正负极板相同),再在湿布上铺好试验电极,试验电极的尺寸应小于被试绝缘垫各边 100mm~150mm。

以上介绍了部分安全用具的试验要求和标准,我们应当严格按照要求执行,安全用具的试验是操作人员人身不受伤害的一个重要保证。

其他安全用具的试验都在本章前几节详细介绍过,这里不再多叙。

第五节 常用工具的使用注意事项

绝缘安全用具的使用要根据工作的内容,工作环境和对象合理选用,它是保障人身安全的首要条件。在工作过程中,应根据现场情况,正确地选择安全用具。例如,操作 10kV 跌落式熔断器,必须使用 10kV 以上的绝缘操作杆,并戴干燥的线手套或绝缘手套。雷雨天气户外操作,必须戴绝缘手套,穿绝缘靴。高空作业时,应使用合格的登高工具,安全腰带、安全帽等。

使用安全用具还应注意以下事项。

一、对使用安全用具的要求

(一) 使用前的检查

绝缘安全用具每次使用前,必须认真检查,如检查安全用具表面有无损伤,绝缘手套、绝缘靴有无裂缝,绝缘垫有无破洞,安全用具上的瓷件有无裂缝和损坏等。

使用前还应将安全用具擦拭干净,验电器使用前要做检查,以免使用中得出错误结论,造成事故。

(二) 使用后的处理

使用完的安全用具,要擦拭干净,放到固定位置,不可随意乱扔乱放,也不准另作他用,更不能用其他工具来代替安全用具,如不能用短路线代替接地线;接地线与导线连接必须使用专用的夹钳头;不能用普通绳带代替安全带等。

(三) 安全用具的管理

安全用具应有专人负责妥善保管,防止受潮、脏污和损坏。绝缘操作杆应放在固定的木架上,不得贴墙放置或横放在墙根。绝缘靴、绝缘手套应放在箱、柜内,不应放在阳光下曝晒,或有酸、碱、油的地方。验电器应放在盒内,置于通风干燥处。

二、各种安全用具使用注意事项

(一) 绝缘操作杆

(1) 使用绝缘操作杆时,工作人员应戴绝缘手套和穿绝缘靴,以加强绝缘操作杆的保护作用。

(2) 在下雨、下雪或潮湿天气,在室外使用绝缘棒时,应装设防雨的伞形罩,以便伞下部分的绝缘棒保持干燥。

(3) 使用绝缘棒时要注意防止碰撞,以免损坏表面的绝缘层。

(4) 绝缘棒应存放在干燥的地方,以防受潮;一般应放在特制的架子上或垂直悬挂在专用挂架上,以防变形弯曲。

(二) 绝缘手套和绝缘靴

(1) 绝缘手套和绝缘靴每次使用前应进行外部检查,要求表面无损伤、磨损或划痕、破漏等,有砂眼漏气的禁止使用。

(2) 绝缘靴的使用期限应以大底磨光为限,即当大底露出黄色面胶(绝缘层)时,就不能再穿用了。

(3) 绝缘手套和绝缘靴使用后应擦净、晾干,绝缘手套还应洒上一些滑石粉,保持干燥和避免粘连。

(4) 手套和靴不得与石油类的油脂接触,合格的与不合格的绝缘手套、绝缘靴不能混放在一起,以免使用时拿错。

(三) 绝缘垫

(1) 绝缘垫在使用过程中,要保持干燥、清洁,注意防止与酸、碱及各种油类物质接触,以免受腐蚀后老化、龟裂或变粘,降低其绝缘性能。

(2) 应避免与热源接触(如采暖炉等)或距热源太近,以防止其急剧老化变质,破坏其绝缘性能。

(四) 绝缘站台

(1) 绝缘站台多用于变电所或配电室内,用于户外时,应将其

置于坚硬的地面,不应放在松软的地面或泥草中,以防陷入地面而降低其绝缘性能。

(2) 绝缘台的台脚绝缘瓷瓶应无裂纹、破损,木质台面要保持干燥清洁。

(五) 携带型三相短路接地线

(1) 使用时,接地线的连接器(线夹或线卡)装上后接触应良好,并有足够的夹持力,以防止短路电流幅值较大时,由于接触不良而熔断或因电动力作用而脱落。

(2) 应检查接地铜线和短路铜线的连接是否牢固,一般应用螺栓紧固后,再加焊锡,以防熔断。

(3) 接地线有统一编号,存放在固定位置,以免在较复杂的系统中进行部分停电检修时,发生误拆或忘拆接地线而造成事故。

(4) 接地线的装设和拆除应进行登记,并在模拟盘上标记。

(六) 安全帽

戴安全帽时先要进行外观检查,如发现裂纹、变形、孔洞应禁止使用。

要根据自己头的大小调整帽的松紧,不可太紧或太松,下颌带一定要系好。

报警安全帽进入现场时要自检报警装置,听到报警音后方可使用。

(七) 安全带和腰绳

(1) 使用前,必须作一次外观检查,如发现破损、变质及金属配件有断裂,禁止使用。平时也应一个月作一次检查。

(2) 安全带应高挂低用或水平拴挂,切忌低挂高用,并应将活梁卡子系紧。

(3) 安全带使用和存放时,应避免接触 120°C 以上的高温、明火和酸类物质,以及有锐角的坚硬物体和化学药物。

(4) 安全带和腰绳可放入低温水内,用肥皂轻轻擦洗,再用清水漂干净,然后晾干,不允许浸入热水中清洗,以及在日光下曝晒或用火烤。

(八) 脚扣和踏板

(1) 脚扣和踏板在使用前应作外观检查,看各部分是否有裂纹、腐蚀、断裂现象,若有应禁止使用。

(2) 登杆前,应对脚扣和踏板作人体冲击试登以检验其强度。应按电杆的规格选择脚扣,并且不得用绳子或电线代替脚扣系脚皮带。

(3) 使用踏板时,应保持正确的站立姿势,人体应平稳不摇晃。

(4) 未曾使用过脚扣和踏板的操作人员第一次使用前,应当在有经验的师傅指点下多次摸索试验,熟悉其性能后才能利用其上杆。

(5) 脚扣和踏板不能随意从杆上往下摔扔,作业前后应轻拿轻放,并妥善保管,存放在工具柜里,并放置整齐。

(九) 高压验电器

(1) 必须使用和被验设备电压等级相一致的合格验电器。验电前,应先在有电的设备上进行试验,以验证验电器是否良好。

(2) 验电时,应戴绝缘手套,手必须握在绝缘棒护环以下的部位,不准超过护环。

(3) 对于发光型高压验电器,验电时,一般不装设接地线,除非在木梯、木杆上验电,不接地不能指示时,才可装接地线。

(4) 风车型验电器,使用前应观察回转指示器叶片有无脱轴现象,脱轴者不得使用。轻轻摇晃验电器,其叶片应稍有晃动。

(5) 在使用风车型验电器时,应逐渐靠近被测设备,一旦指示器叶片开始正常回转,即说明该设备有电,应随即离开被测设备,不要使叶片长期回转,以保证验电器的使用寿命。

(6) 风车型验电器只适用户内或户外良好天气时使用,雨、雪天禁止使用。

(7) 风车型验电器不得强烈振动或受冲击,应妥善保管,不准自行调整拆装。

(8) 每次使用完验电器后,应将验电器擦拭干净放置盒内,并存放在干燥通风处,避免受潮。

(9) 为保证使用安全,验电器应按规定周期进行试验。

第六章 电气安全措施

造成电气设备和人身事故的原因很多,有的是由于设备不合格,有的是由于错误或违章操作,有的是由于安装不合格,有的是由于绝缘损坏漏电,有的是由于缺少安全技术措施,有的是由于制度不严或违章指挥,有的是由于现场混乱等。归纳起来事故的共同原因是,安全组织措施不健全和安全技术措施不完善,其中安全组织措施是安全技术措施实施的保证。因此,加强电气安全管理,必须认真抓好安全组织措施与安全技术措施的贯彻执行。

第一节 电气安全工作的基本要求

一、电工作业人员必须具备的条件

电工作业,是指发电、送电、变电、配电和电气设备的安装、运行、检修、试验等作业。

国标 GB5306—85《特种作业人员安全技术考核管理规则》,对从事电工作业人员的条件,培训考核做了明确规定。

(一) 电工作业人员的条件

年满十八周岁以上;工作认真负责,身体健康,没有妨碍从事本作业的疾病和生理缺陷;具有本种作业所需的文化程度和安全、专业技术知识及实践经验。

(二) 培训考核

对从事电工作业的人员(包括工人、工程技术人员和管理人员),必须进行安全教育和安全技术培训。培训的时间和内容,根据国家(或部)颁发的电工作业《安全技术考核标准》和有关规定而定。

电工作业人员经安全技术培训后,必须进行考核。经考核合格取得操作证者,方准独立作业。考核的内容,由发证部门根据国家(或部)颁发的电工作业《安全技术考核标准》和有关规定确定。考

核分为安全技术理论和实际操作两部分,理论考核和实际操作都必须达到合格要求。考核不合格者,可进行补考,补考仍不合格者,须重新培训。

电工作业人员的考核发证工作,由地、市级以上劳动行政部门负责;电业系统的电工作业人员,由电业部门考核发证。对无证人员严禁进行电工作业。

对新从事电工作业的人员,必须在持证人员的现场指导下进行作业。见习或学徒期满后,方可准许考核取证。取得操作证的电工作业人员,必须定期(二年)进行复审。未经复审或复审不及格者,不得继续独立作业。

二、停送电联系安全要求

(1)企业内部应制定停、送电联系制度并严格执行。

(2)停送电应由专门指定的人来进行联系,联系的方式可采用停送电申请单、停送电联系牌以及电话联系等。停送电联系的时间、内容及联系人应做详细记录。

(3)执行工作票的停送电,应按保证安全的组织措施的有关规定办理工作许可、工作转移、工作终结手续。

(4)停电单位得到确已停电及许可工作后,必须进行验电并装设短路接地线,在做好安全技术措施后方可工作。

(5)工作结束待设备或线路恢复正常,工作人员全部撤出工作现场后,再由停电联系人与变配电站联系送电。严禁约时停送电。

(6)在送电联系后,应认为线路或设备已带电,严禁进行任何工作。

(7)遇有人身触电危险的情况,值班人员可不经上级批准先行停电,但事后必须向上级报告并将详细情况记录在值班日记上。

三、临时线

对临时线应有一套严格的管理制度,并应有专人负责。

因工作需要架设临时线路时,应由使用单位填写“临时线路安装申请单”,经动力、安技部门批准后方可架设。

临时线的使用期限一般不应超过三个月,使用完毕应立即拆除。严禁在有爆炸火灾危险场所架设临时线。

临时线的架设应满足线路安装基本的安全要求。户内临时线应采用四芯或三芯的橡套电缆软线,线路布置应当整齐,架设长度一般不宜超过 10m,离地面高度不应低于 2.5m,有关设备应采取保护接零或保护接地等安全措施。

户外临时线路应采用绝缘良好的导线,其截面应满足用电负荷和机械强度的需要。应用电杆或沿墙用合格瓷瓶固定架设,导线距地面高度不应低于 4.5m,与道路交叉跨越时不低于 6m,严禁在各种支架、管线或树木上挂线。户外临时线应设有总开关控制,各分路应有保护措施。装在户外的开关、熔断器等电气设备应有防雨措施。户外临时架空线长度不得超过 500m,与建筑物、树木的距离不得小于 2m。

四、电气事故处理

(1) 电气事故处理的原则是:尽快消除事故点,限制事故的扩大,解除人身危险和使国家财产少受损失,尽快恢复送电。

(2) 发生触电事故应立即断开电源,抢救触电者;同时应保护事故现场,报告有关领导和地方有关部门及上级主管部门。

(3) 供电系统发生事故时,值班员必须坚守岗位,及时报告主管领导,并积极处理事故。在事故未分析、处理完毕或未得到主管领导同意,不得离开事故现场。

交接班时发生事故,交班人应留在工作岗位上,并以交班人为主处理事故。

高压系统发生重大事故,还应尽快报告电管部门。

(4) 要按照“三不放过”的原则,认真地、实事求是地分析处理事故,找出事故原因,吸取教训,制定出防止事故的对策。对事故责任者根据情节轻重给予批评教育、纪律处分,直至追究法律责任。

第二节 电气安全的组织措施

在电业安全工作规程中,把安全措施分为安全技术措施和安

全组织措施两大类。保证安全的组织措施是指工作票制度、工作许可制度、工作监护制度、工作间断、转移和终结制度。

一、工作票制度

在电气设备上工作，必须得到许可或按命令进行。工作票就是准许在电气设备上工作的书面命令，通过工作票可以明确安全职责、履行工作许可、工作间断、转移和终结手续，以及作为完成其他安全措施的依据。因此，除一些特定的工作外，凡在电气设备上进行工作的，均必须填工作票。

(一) 工作票的种类

工作票分为第一种工作票和第二种工作票两种，见表 6-1 和表 6-2。凡是在高压设备上或在其他电气回路上工作，需要将高压设备停电或装设遮栏，均应填写第一种工作票；进行带电作业，在高压设备外壳和带电线路杆塔上工作，在运行中的配电变压器台架上工作和在其他电气回路上工作而无需将高压设备停电或装设遮栏的，则可填用第二种工作票。

表 6-1 变电所第一种工作票 第 ____ 号

1. 工作负责人(监护人) _____ 班组 _____	
2. 工作班人员 _____ 共 _____ 人	
3. 工作内容和工作地点 _____	
4. 计划工作时间 自 年 月 日 时 分 至 年 月 日 时 分	
5. 安全措施	
下列由工作票签发人填写	下列由工作许可人填写(值班员)
应拉开关和刀开关,包括填写前已拉 开关和刀开关 (注编写 月 日)	已拉开关和刀开关 (注明编号)
应装接地 (注明确实地点)	已装接地线 (注明接地线编号和装设地点)
应设遮栏,应挂标示牌	已设遮栏,已挂标示牌 (注明地点)

(续)

下列由工作票签发人填写	下列由工作许可人填写(值班员)
工作票签发人签名: 收到工作票时间 年 月 日 时 分 值班负责人签名:	工作地点保留带电部分和补充安全措施 工作许可人签名: 值班负责人签名:

- 变电所值班长签名:
6. 许可开始工作时间 年 月 日 时 分,工作许可人签名 工作负责人签名: 。
7. 工作负责人变动
原工作负责人 离去,变更 工作负责人。
变动时间 年 月 日 时 分,工作票签发人签名 。
8. 工作票延期有效期到 年 月 日 时 分工作。
负责人签名 ,值班长或值班负责人签名 。
9. 工作终结
工作班人员已全部撤离,现场已清理完毕。
全部工作于 年 月 日 时 分结束,
工作负责人签名 工作许可人签名 接地线共 组已拆除。值班负责人签名 。
10. 备注

表 6-2 变电所第二种工作票 编号:

1. 工作负责人(监护人): 班组:

工作班人员:

2. 工作任务:

3. 计划工作时间 自 年 月 日 时 分 至 年 月 日 时 分

4. 工作条件(停电或不停电):

工作票签发人签名

5. 许可开始工作时间 年 月 日 时 分

工作许可人(值班员)签名 工作负责人签名

6. 工作结束时间 年 月 日 时 分

工作负责人(值班员)签名 工作许可人签名

(二) 工作票的签发与执行

发电厂、变电所电气值班员按现场规程规定所进行的工作,可根据口头或电话命令执行;电气检修人员在低压电动机和照明回路上工作可用口头联系,凡无需登杆而又不会发生高压带电危险的接触线路作业以及进行低压带电工作和单一电源低压分支线的停电工作等均可按口头命令或电话命令执行。

第一种工作票,每张只限用于一个电气连接部分或同一条线路。所谓一个电气连接部分,指的是配电装置的一个电气单元,其中间用刀开关和其他电气部分作截然分开的部分。该部分无论引伸到发电厂、变电所的其他什么地方,均标为一个电气连接部分。其特点是,在一个电气连接部分的两端或各侧施以适当的安全措施后,就不可能有其他电源窜入的危险。

如果施工设备属于同一电压、同时停送电且不会与附近带电设备造成危险时,也允许在几个电气连接部分共用一张第一种工作票。对连接在同一母线上的几个电气连接部分同时工作,如果母线不停电,则几个电气连接部分上的工作应分别填写工作票。反之,如果母线同时停电,则包括母线和几个电气连接部分同时工作,可共用一张第一种工作票。但开工前工作票内的全部安全措施应一次做完。

如果一台主变压器停电检修(包括各侧开关也同时检修),能同时停送电,虽然不属于同一电压的,也可共用一张第一种工作票。但开工前也应将安全措施一次做完。

当一个配电装置全部停电时,则所有不同地点和不同电气连接部分的工作,可以发给一张工作票。配电装置虽然非全部停电(指配电装置其他设备全部停电,仅个别引入线带电),但对带电的引入线间隔已采取可靠的安全措施者(如对可能合闸来电的刀开关已加锁并对有电的引入线间隔已装上牢固遮栏等),则对所有不同地点的工作也可填用一张工作票。

同杆架设且停送电时间相同的几条线路,也可共用一张第一种工作票。

在几个电气连结部分上,或同一电压的数条线路上,依次进行不停电的同一类型工作,可以共用一张第二种工作票。

当设备在运行中发生了故障或严重缺陷需要进行紧急事故抢修时,可不使用工作票,但应同样认真履行许可手续和做好安全措施。设备已转入正常事故检修,则仍应按要求填写工作票。

签发工作票应一式两份,其中一份交工作负责人保存,作为进行工作的凭证。为了避免工作负责人发生混淆,一个工作负责人手中的工作票不得超过一张。

对发电厂、变电所电气部分的检修,另一张工作票应由执班员收执,按时移交,作为许可工作的书面依据。

对线路检修工作,另一张工作票可由工作许可人或工作票签发人保存。

工作票须用钢笔或圆珠笔填写,内容要正确,字迹要清楚,不得任意涂改。

口头命令和电话命令,必须发令清楚、正确,受令人应将命令记入操作记录本内,并向发令人复诵一遍。

为使值班员能有充分时间审查工作票所列安全措施是否正确完备,是否符合现场条件,故规定了除临时性工作外,第一种工作票均应在工作前一日交给值班员。

在填写工作票时,应根据系统情况和工作内容,认真考虑安全措施。在拟定安全措施时,必须认真核对系统模拟图板或系统图,认真了解当时系统实际运行方式或接线方式,必要时还应到现场进行察看,核实情况。工作许可人应认真对工作票上所写明的安全措施进行审核,审核无误后则应根据工作票的要求认真做好(或检查)安全措施。工作负责人必须熟悉工作票的内容,并向全体工作人员传达和交底。工作班组必须按照工作票中规定的地点进行工作,并须在工作中始终严格执行有关的安全措施和注意事项。实践证明,认真执行工作票制度,是防止人身触电事故的基本措施,是确保检修安全的重要环节。

因此,为了做到严格的执行工作票制度,在工作票中还有一个

明确责任的栏目,栏目的主要内容包括工作任务和安全措施。

工作票必须由专人签发,工作票签发人应由电气负责人、生产领导人以及有实践经验的负责技术的人员担任。

签发工作票时应重点检查的内容如下:

(1) 工作的必要性。

(2) 工作是否安全。

(3) 工作票上所填安全措施是否正确。

(4) 工作票所划停电范围是否正确,有无其他电源返回的可能。

(5) 所指派的工作负责人和工作人员的技术水平是否能满足工作需要,能否在规定的停电时间内完成工作任务。

(6) 所准备的工具,材料以及安全用具是否齐全。

进行下列电气工作时,可不填写工作票:

(1) 事故紧急抢修工作。

(2) 用绝缘工具做低压测试工作,如用钳型电流表进行的测试工作等。

(3) 线路运行人员在巡视工作中,需登杆检查或捅鸟巢等。

(4) 从运行的设备中取油样的工作。

(5) 路灯维修工作(只限于更换路灯灯泡,修理路灯立线、保险、灯头等)。

二、工作许可制度

在电气设备上进行工作,必须事先征得工作许可人的许可,未经许可,不准擅自进行工作。

在电气设备上进行的工作,包括不停电工作和停电工作两种,不停电工作中还包括带电作业在内。进行不停电工作,主要是使值班人员知道在何处进行工作,进行什么工作,这样当发生异常情况时,能迅速及时地妥善进行处理,不致于造成事态的恶化或进一步扩大。当进行带电作业等不停电工作时,必须办理许可手续,同时做好各项安全措施。

在电气设备上进行停电工作,必须事先办理停电申请,并在工

作前征得工作许可人的许可,方准开始工作。

工作许可人是发出许可工作命令的指令人。在发电厂可由电气班长或值班长担任;变电所可由值班负责人(正值班员或主值班员)担任;线路工作许可人由正值班调度员或工区值班负责人担任。

工作许可人必须确知设备已按要求转入检修状态,才允许发出许可工作的命令,严禁约时停送电。

工作许可手续,应通过一定的书面形式进行。发电厂、变电所的停电工作可以通过工作票履行工作许可手续。对线路工作,调度部门可设置工作许可单或停送电联系单等办理许可手续。

工作许可单上应写明工作起止时间、工作地点、工作内容、工作班组等名称,以及各工作班组停送电联系人姓名等。

工作许可手续还应逐级进行,即工作负责人从工作许可人那里得到工作许可,而每一个工作人员只有在得到工作负责人的许可工作的命令后方准开始工作。

对配合停电工作来说,也应该同样地履行许可工作手续,并在工作许可单上作好详细登记。

除履行工作许可手续外,停电工作事先还应该办理停电申请,停电申请实际上就是工作许可手续的开始。如果停电申请出现差错,显然会给安全生产带来隐患。另外,在进行停电申请的时候,应特别注意申请停电的设备的名称。

工作许可人(值班人)在完成工作现场的准备工作后,应会同工作负责人再次检查必要的接地、短路、遮栏和标示牌是否装设齐备,然后才许可工作班开始工作。工作许可手续包括下列各项:

(1) 值班员应在工作地点对工作班人员当面用手触试已停电并已接地和短路的导电部分,证明已无电压;

(2) 值班员应对工作人员指明带电设备所在的位置;

(3) 值班员应在两份工作票上签名,然后交给工作负责人签收。工作开始后,无关人员不得进入工作现场。

三、工作监护制度

工作监护制度是保证人身安全及操作正确的主要措施。

(一) 工作监护制度的主要内容

执行工作监护制度,可使工作人员受到监护人的指导与监督,以及时纠正不安全的和其他错误的做法。完成工作许可手续后,工作负责人(监护人)应向工作班人员交待现场安全措施、带电部位和其他注意事项。工作负责人(监护人)必须始终在工作现场,对工作班人员的安全认真监护,及时纠正违反安全规章的动作。在全部停电时,可以参加工作班工作。在部分停电时,只有在安全措施可靠、人员集中在一个工作地点、不致误碰导电部分的情况下,方能参加工作。工作负责人(监护人)除对有触电危险的情况进行监护外,还应对施工复杂,容易发生其他事故的情况进行监护,做到尽可能地纠正和制止一切违章作业和错误做法。对特殊危险的工作,还可增设专职监护人。

(二) 监护人的职责范围

监护人的职责是保证工作人员在工作中的安全。所监护的主要内容如下:

(1) 部分停电时,监护人应时刻注意工作人员的活动范围,使其与带电设备保持规定的安全距离。

(2) 带电作业时,除应监护工作人员的活动范围外,还应注意工作人员是否正确使用工具、工作位置是否安全以及操作方法是否正确等。

(3) 工作中,监护人如因故离开时,必须另指定监护人并告知工作人员。

(4) 监护人发现工作人员中有不正确的动作或违反规程的作法时,应及时提出纠正,必要时可令其停止工作,并立即向上级报告。

监护人在执行监护时,不应兼做其他工作。在下列情况下,监护人可参加班组的工作。

1) 全部停电时。

2) 在变电所内部分停电时,只有在安全措施可靠,工作人员集中在一个工作地点,工作人员连同监护人不超过三人时。

3) 所有室内、外带电部分,均有可靠的安全遮栏,完全可以做到防止触电的可能时。

四、工作间断、转移和终结制度

(一) 正确执行工作间断、转移和终结制度

工作间断和转移制度是对在工作间断和转移后,是否需要另行履行工作许可手续而作的规定,因此,实际上它属于工作许可制度的一个方面,该制度规定了当天内的工作间断后继续工作无需再次征得许可,而对隔日的工作间断,次日复工,则应重新履行工作许可手续。对线路工作来说,如果经调度允许的连续停电线路(夜间不送电),工作地点的接地线又不拆除的,次日复工应派人检查地线,但可不重新履行工作许可手续。

在同一电气连接部分填用同一张工作票的工作,且安全措施由值班员在开工前一次做完的,在进行工作转移时可不再办理转移手续,但工作负责人在转移工作地点时,应向工作人员交待带电范围、安全措施和注意事项等。

工作终结制度是为了防止向有人工作的设备错误地合闸送电的制约措施,它是工作许可制度的结束,因此两者之间有密切关系。也就是只有在执行好工作许可制度的情况下,才能正确无误地履行工作终结手续。

对发电厂、变电所的电气工作,还可将工作终结和工作票终结区分开来。在全部工作完毕后,工作负责人应先作周密的检查,撤离工作人员,并会同值班人员共同对设备状况、现场清洁卫生工作以及有无遗留物件等进行检查,然后双方在工作票上签字,即认为工作终结,但这并不是工作票终结。工作票应是在值班员拆除工作地点的全部接地线,并经值班负责人签字后方告终结。

(二) 工作终结、送电前的安全检查

工作终结送电前,进行的安全检查的内容如下:

(1) 工作负责人应会同值班员对设备进行检查,特别要核对断路器、隔离开关的分、合位置是否符合工作票所填的实际情况,核对无误后,双方在工作票上签字。

(2) 拆除临时遮栏、临时接地线和标示牌,恢复常设遮栏,换挂“标示牌”等。

(3) 清点现场工具和材料,不应有遗漏。

(4) 工作负责人对工作范围进行全面检查,认为无问题后宣布工作终结,待全体工作人员撤离工作地点之后,方可办理送电手续。

(5) 送电后,工作负责人应检查设备情况,运行正常后才可离开现场。

工作票终结后,一份由值班员保存,另一份交回工作票签发人保管。已终结的工作票,在一定时期内应妥善保存。

第三节 电气安全的技术措施

在全部停电或部分停电的电气设备上工作,保证安全的技术措施有:停电、验电、装设接地线、悬挂标示牌和装设遮栏。

上述安全措施,应由管理该设备的值班电气人员或断开电源的人执行,并应有监护人在场。

一、停电

在施工设备上断开电源,必须将全部设备或部分设备各方面的电源完全断开,必须拉开刀开关,使各方面至少有一个明显的断开点,该工作人员处于停电设备的范围内工作,并与带电部分保持规定的安全距离,见表 6-3。

为了防止反送电源,应与停电设备有关的变压器和电压互感器从高、低两侧断开。对柱上变压器等,应把高压熔断器的熔丝管取下。

表 6-3 电气作业安全距离

电压等级/kV	安全距离/m	电压等级/kV	安全距离/m
低压部分	0.20 以上	60~110	1.50 以上
10 以下	0.70 以上	220	3 以上
25~35	1.00 以上	330	4 以上

二、验电

对拟施工或检修设备的进出线的各相进行校验,确认设备无电。

(一) 验电的目的

验电可验证停电设备是否确无电压,也是检验停电措施的制定和执行是否正确、完善的重要手段之一。因为有很多种因素可能会导致误认为已经停电的设备,实际上却是带电的。这是由于:

(1) 停电措施不周或由于操作人员失误而未能将各方面的电源完全断开或错停了设备。

(2) 进行工作的地点和实际停电范围不符。

(3) 设备停电后,可能出于种种原因而造成突然来电。

认为已无电但实际上却带电的情况还有很多,很多意想不到的情况都可能发生,因此必须用验电来确定设备有无电压。也就是说,在装设接地线前必须先进行验电。

(二) 验电应注意的事项

(1) 验电必须采用电压等级合适且合格的验电器,用低于设备额定电压的验电器进行验电时对人体将产生危险。反之,用高于设备额定电压的验电器进行验电,有可能造成误判断,同样会对人身安全造成威胁。

验电应采用合格的验电器,验证验电器是否合格完好,应先在有电设备上进行试验,以确证验电器指示良好。

(2) 验电应分相逐相进行,对在断开位置的开关或刀开关进行验电时,还应同时对两侧各相验电。

(3) 当对停电的电缆线路进行验电时,如线路上未连接有能构成放电回路的三相负载,由于电缆的电容量较大,剩余电荷较多,一时不易将电荷泄放完,因此刚停电后即进行验电,验电器仍会发亮,出现这种情况,必须过几分钟再进行验电,直至验电器指示无电为止。切记决不能凭经验办事,当验电器指示有电时,想当然认为系剩余电荷作用所致,就盲目进行接地操作,这是十分危险的。

(4) 35kV 以上的电气设备,通常采用绝缘棒或零值绝缘子检测器进行验电。但使用绝缘子检测器进行验电时,不能光凭一片或几片瓷瓶无放电声即认为无电,而必须对整串瓷瓶进行检验后才能确认无电,以防被测瓷瓶原系零值瓷瓶而造成误判断。同时在验电前同样应在有电设备瓷瓶上进行检测,以证明绝缘子检测器的间隙距离是合适的。

(5) 信号和表计等通常可能因失灵而错误指示,因此不能光凭信号或表计的指示来判断设备是否带电。但如果信号和表计指示有电,在未查明原因、排除异常的情况下,即使验电器检测无电,也应禁止在该设备上工作。

三、装设接地线

对于可能送电至停电设备的各方面(包括线路的各支线)或停电设备可能产生感应电压的各部位,都应装设接地线,并应装设在工作地点可以看得见的地方。

(一) 装设接地线的目的与作用

当电力网的一部分断开电源,工作人员在上面维修作业时,为防止突然来电伤害人员,采取的主要措施就是装设接地线。装设接地线包括合上接地刀开关和悬挂临时接地线(临时接地线又称携带型接地线,简称接地线)。接地刀开关和接地线均有两部分组成,即三相短接部分和集中接地部分,在装设接地线的时候,应先在停电设备上实现三相短接后再集中统一接地。

装设接地线的保安作用是:首先可以将停电设备上的剩余电荷泄放入大地;同时当出现突然来电时(除小接地电流系统的单相突然来电外),可促使电源开关迅速跳开,消除突然来电。因此,装设接地线后可使突然来电的持续时间尽可能地缩短。限制发生突然来电时设备对地电位的升高。在某些情况下,还可以将工作地点的对地电位限制在“地电位”,因此,装设接地线可以保护工作人员免遭突然来电的伤害,或使得遭受伤害的程度得到较大的限制和减轻。

(二) 装设接地线的规定

(1) 装设接地线应当遵循一定的原则,对于可能送电至停电设备的各个电源侧,均应装设接地线,以做到从电源侧看过去,工作人员均在接地线的后面,即在接地线的保护之下进行工作。在线路工作时,除了要遵循以上的有关原则以外,至少应该在每个工作班组的工作地段两侧悬挂接地线,即使是单端有电源的受电线路,也应该在工作地段的两端分别挂接地线。线路停电一般应该在发电厂、变电所内装设接地线。

(2) 当检修发电厂、变电所的 10m 及以下的母线时,可以只装设一组接地线;而当检修 10m 以上的母线时,则应该根据连接在母线上的电源的进线多少和分布的情况,以及感应电压的大小,适当增设接地线的数量。在门型构架的线路侧进行停电检修的时候,如果工作地点到接地线的距离小于 10m 时,允许不再另行装设接地线。检修部分如果分为几个在电气上不相连接的部分(而分段连接有电源进线时),则各段应该分别验电并按照规定分别悬挂接地线。反之,虽然在工作中可能分为几个在电气上不相连接的部分,但并不是每段都有来电的可能(包括感应电),则只要在各个可能来电的部分装设接地线即可,而不需要在每段分别悬挂接地线。但在工作之前各段应该分别验电并对地泄放剩余电荷。

(3) 所装设的接地线与带电部分不得小于规定的允许距离。否则,会威胁带电设备的安全运行,并将可能使停电设备引入高电位而危及工作人员的安全。

(4) 接地线和设备导体之间,以及接地端和“地”之间接触应当良好,否则接地电阻增大,由于电流流经时产生炽热而使接地线烧毁。因此,悬挂在线路上的接地线的接地端采用插入式接地棒时,接地棒在地中的插入深度不得小于 0.6m。装设接地线时严禁用缠绕的方法进行短路和接地。

(5) 在装、拆接地线的过程中,还应该始终保证接地线趋于良好的接地状态,以保证在装、拆的过程中出现突然来电时,能有效地限制接地线上的对地电位升高而保证操作人员的人身安全。因此,在装接地线时,必须先接接地端,后接导体端;而在拆接地线

时,顺序应与以上顺序相反。

四、悬挂标示牌和装设临时遮栏

根据现场工作的实际情况,确定应挂的标示牌的种类,并应该认真执行调度员的命令和工作票上规定的悬挂地点和拆除的手续。

悬挂标示牌可以提醒有关人员及时纠正将要进行的错误操作。如防止向有人工作的设备合闸送电,要求在一经合闸即可以送电到工作地点的开关和刀开关的操作把手上,均应悬挂“禁止合闸,有人工作!”的标示牌。如果停电的设备有两个断开点串联的时候,标示牌应该悬挂在靠近电源的刀开关把手上。对于远方操作的开关和刀开关,标示牌应该悬挂在控制盘上的操作把手上;对于同时能够进行远方和就地操作的刀开关,则还应该在刀开关操作的把手上悬挂标示牌。

当线路有人员工作时,则应该在线路开关和母线侧刀开关的把手上悬挂“禁止合闸,线路有人工作!”的标示牌。

标示牌应该特别注明线路上有人工作的字样,这是考虑到发电厂、变电所值班员无法直观掌握线路上是否有人员工作等情况,故在标示牌上加以注明以提醒值班员引起注意。因此,当发电厂、变电所的电气设备以及相应的线路上均有人工作时,工作地点的开关和刀开关的把手上,应该悬挂两种标示牌,一种是“禁止合闸,有人工作!”;另一种是“禁止合闸,线路有人工作!”。有关线路工作标示牌的悬挂和拆除,必须按照调度员的命令进行。

在发电厂、变电所的室内高压设备上工作,应该在工作地点两旁间隔、对面间隔的遮栏上以及禁止通行的过道上悬挂“止步,高压危险!”的标示牌,以警告检修人员不要误入有电间隔或接近带电部分。

发电厂、变电所的室外配电装置,大多没有固定的围栏,布置的也比较分散,因此在室外配电装置上进行部分停电工作时,应该在工作地点四周用绳子做好围栏,以限制检修人员的活动范围,防止误登邻近有电设备和构架。围栏上还应该悬挂适当数量的“止

步,高压危险!”标示牌,并在围栏内侧方向悬挂。

发电厂、变电所部分设备停电时,还必须在工作地点或者工作设备上悬挂“在此工作!”标示牌。

有时,为了防止人身接近带电设备的危险,必须在停电部分和带电设备之间加装临时遮栏。当考虑了正常的活动范围以后,接近距离小于规定设备不停电时的安全距离时,应装设临时安全遮栏,并悬挂“止步,高压危险!”的标示牌。临时遮栏到带电部分之间的距离不得小于允许距离。

装设在 35kV 及以下电压等级的临时遮栏,如因工作特殊需要,允许绝缘挡板与带电部分直接接触,但该绝缘挡板必须经耐压试验合格,并安装牢固。在工作中,工作人员应注意不得碰触绝缘挡板。

装设的临时遮栏,应考虑如果在邻近间隔发生短路、爆炸等危险情况时,不致妨碍工作人员迅速退出危险区。

工作中,禁止工作人员移动或拆除临时遮栏、接地线和标示牌。

第四节 各类设备的安全运行

一、单相设备的安全运行

照明设备、日用电器、电动工具及其他小型电气设备广泛采用单相电源。据统计表明,在单相设备上的触电事故是比较多的。为此,要特别重视单相设备的安全措施,以减少单相设备上的触电事故的发生。

(一) 单相设备的特点

从安全角度考虑,单相设备有如下特点:

1. 数量大、分布广。单相设备不仅在民用方面,而且在生产方面的数量也很大,分布也是很广的。如照明设备,不但生活间、办公室有,厂区和车间也有,而且有些生产场所还要求有局部照明等。由于单相设备数量大、分布广,使得单相设备与人接触的机会很多,以致在单相设备上触电事故的机率较大。

2. 移动性大 单相电动工具、手提照明灯等单相设备,需要经常移动,工作环境不固定,运行条件较差,其电气绝缘容易损坏;加之这些设备往往又是在操作人员手中工作的,以致触电危险性较大。

3. 有工作零线 额定电压 220V 的单相设备,由一根相线和一根零线供电,即这种单相设备要求有工作零线。因此,其保护接零的做法与三相设备有所不同。

4. 不便管理 由于单相设备分布广、移动性大,以及很多单相设备如手电钻、手提照明灯、小电炉等,都不是专用设备,通用性很强。也就是说,各工种、各行业、各部门都要用到一些不同类型的单相设备,以致单相设备不便管理,容易产生不安全的漏洞和事故。

(二) 单相设备的配电

单相设备一般由一条相线和一条中性线(或零线)供电。其中,有的有保护接地或保护接零的要求,有的没有保护接地或保护接零的要求。

单相设备的保护接地与一般设备的保护接地做法相同,而单相设备的保护接零与一般设备的保护接零不完全相同。

1. 中性点不接地系统 在中性点不接地系统中,应采用保护接地,而不必采用保护接零。此时,中性线仅起工作作用,为了减轻短路或过载造成火灾的危险,在单相电路的相线和中性线上应当装设开关或熔断器。对于三相四线制线路,为了避免一相负载过大或短路而影响其他两相的工作,在中性线上不允许装设熔断器,可以装设开关。

2. 中性点接地系统 对于中性点接地系统,应当采用保护接零,而不应采用保护接地。在这种系统中,如果设备有接零要求,必须保持零线的可靠,但在零线上不允许装设开关和熔断器。而且照明设备的接零线应接向接零干线,而不应接向零支线,以免由于工作零线断线而导致设备外壳带电。

在有爆炸和火灾危险的环境中,为了减轻过载的危险,相线和

零线上都装有熔断器。此时这根零线称为工作零线,另外再设置保护零线,照明设备外壳应接向保护零线。

如果现场没有接零要求,则相线上都应装有熔断器和双极开关,以免相、零线搞错造成事故,并有利于在出现短路时,增加熔断的机会,以减小火灾的危险。

(三) 手持式电动工具的安全运行

随着国民经济的发展,各行各业使用手持式电动工具的数量越来越多,使用频率也日益增长。但是,由于手持式电动工具需要经常携带移动,使用时直接与操作者接触,加上使用条件复杂多变,一些单位在使用方面又缺乏安全管理方面的规定,因此比固定式电气设备更容易发生触电伤亡事故。

为了防止手持式电动工具在使用中引起的人身伤亡事故,国家标准局 1983 年 6 月 25 日发布了(GB3787—83)《手持式电动工具的管理、使用、检查和维修安全技术规程》,并于 1984 年 3 月 1 日起实施。

1. 手持式电动工具的分类 手持式电动工具根据其触电保护方式的不同分为三类:Ⅰ类工具、Ⅱ类工具和Ⅲ类工具。

(1) Ⅰ类工具 指工具在防止触电的保护方面不仅依靠本身绝缘,而且还包括一个附加的安全预防措施。其方法是将可触及的导电的零件与已安装的固定线路中的保护(接地)导线连接起来,以这样的方法来使可触及的可导电的零件,在基本绝缘损坏的情况下不成为带电体。

可以看出,Ⅰ类工具除上述本身的绝缘和接地装置完好外,还得依靠使用现场有良好的保护接地(接零)系统来保证。但目前不少工矿企业的使用现场的接地系统还不够完善。因此,这类工具在触电保护方面还需采取保护措施,如漏电保护器、安全隔离变压器以及戴上绝缘手套和穿着绝缘鞋等。

(2) Ⅱ类工具 指在防止触电的保护方面,不仅依靠基本绝缘,而且它还提供双重绝缘或加强绝缘的附加安全预防措施和设有保护接地或依赖安装保护措施。

Ⅱ类工具分为绝缘外壳Ⅱ类工具和金属外壳Ⅱ类工具,在工具的明显部位标有Ⅱ类结构符号——□。

(3) Ⅲ类工具 指在防止触电的保护方面,依靠由安全特低电压供电和在工具内部不会产生比安全特低电压高的电压的工具。

这里要指出的是Ⅲ类工具采用安全电压,如果工具内部有增压线路而产生比安全电压高的电压,就不属于Ⅲ类工具。

便携式电动工具由于在使用中经常移动,比较容易发生碰壳事故。在移动中,电源线的绝缘由于拉、磨和其他机械原因,容易遭到破坏,而操作人员又往往是在紧握工具的情况下工作,容易发生触电事故以及由此而引起的二次事故,而二次事故往往是更危险的。例如,在高空使用手持电动工具,当因漏电发生触电事故后,由于操作者失去自我保护能力,极可能继而产生高处坠落的恶性事故。

2. 手持式电动工具的合理选用 首先在选购时,应检查其是否附有详细的产品使用说明书。说明书中应着重说明工具使用时的安全要求,必须注意的事项,可能出现的危险和相应的预防措施等。工具上是否有清晰的参数、标志。电动工具标志的内容应包括:工具型号、额定电压或额定电压范围、电源种类、额定频率或额定频率范围、额定输入功率或额定电流、制造厂名或商标、出厂批量代号。对于Ⅱ类工具应标有Ⅱ类结构符号,而对于有防潮要求的工具应标有防潮程度符号等

在选购电动工具时,还应注意工具的结构和机壳是否足以防止与带电零件的意外接触。工具的外壳上除了在使用工具时必须的孔洞外,不应有可通达带电零件的孔洞。同时注意Ⅰ类工具的电源线必须采用三芯或四芯的多股铜芯橡皮护套软电缆或护套软线,且其中应有一根绿/黄双色芯线,它只允许用作保护接地或接零线。Ⅱ类工具的电源线的固定装置应用绝缘材料制成,如果用金属材料制成,则应由符合附加绝缘要求的绝缘材料与可触及的金属零件隔开。Ⅱ类和Ⅲ类工具不应有接地装置。

(1) 在一般场所,为保证使用的安全,应选用Ⅱ类工具。如果使用Ⅰ类工具,必须采取其他安全措施,如漏电保护器、安全隔离变压器等。否则,使用者必须戴上绝缘手套,穿着绝缘鞋或站在绝缘垫上。

(2) 在潮湿的场所或金属构架之类导电性能良好的作业场所,如建筑工地等,必须使用Ⅱ类或Ⅲ类工具。如果使用Ⅲ类工具,必须装设额定漏电动作电流不大于30mA、动作时间不大于0.1s的漏电保护器。

(3) 在狭窄场所,如锅炉、金属容器、管道内等,应使用Ⅲ类工具。如果使用Ⅱ类工具,必须装设额定漏电动作电流不大于15mA、动作时间不大于0.1s的漏电保护器。

Ⅲ类工具的安全隔离变压器,Ⅱ类工具的漏电保护器及Ⅱ、Ⅲ类工具的控制箱和电源联接器等,必须放在外面,同时应有人员在外监护。

鉴于目前某些工具的品种还没有Ⅱ类或Ⅲ类结构,Ⅰ类工具还是工具的主要形式,近期内还不可能淘汰,因此也允许使用Ⅰ类工具,但必须采取上述的安全措施。

3. 软电缆或软线的安全要求 Ⅰ类工具的电源线,必须采用三芯(对单相工具)或四芯(对三相工具)的多股铜芯橡皮护套软线。其中,黄绿双色线在任何情况下只能用作保护接地线或接零线(原以黑色线作为保护接地线或接零线的软电缆或软线应逐步被调换)。工具上的软线电缆或软线不得任意接长或拆换,当电源离工作地点较远而电源线长度不够时,应采用耦合器进行连接。

4. 插头插座和保护接地电阻的安全要求 工具所用的插头、插座必须符合相应的国家标准;带有接地插脚的插头、插座,在插入时应符合规定的接触顺序,防止误插;工具软电缆或软线上的插头不得任意拆或调换;三极插座的接地插孔应单独用导线接至接地线(采用保护接地时),或单独用导线接至接零线(采用保护接零时),而不得在插座内用导线直接将接零线与接地线连接起来。

使用场所的保护接地线阻值必须大于或等于4Ω。

5. 安全操作规程的内容 必须按照有关标准和工具出厂使

用说明书的要求,并结合实际使用条件,制订出相应的安全操作规程,其内容至少包括:

- (1) 工具的允许使用范围。
- (2) 工具的正确使用方法和操作程序。
- (3) 工具使用前应着重检查的项目和部位,以及使用中可能出现的危险和相应的防护措施。
- (4) 工具的存放和保养方法。
- (5) 操作者的注意事项。

6. 检查和维修 工具在发借或回收时,必须由保管人员进行日常检查;工具还必须由专职人员进行定期检查。

(1) 日常检查项目 日常检查的项目有以下几点:

- 1) 外壳、手柄有否裂缝和破损。
- 2) 保护接地或接零线的连接是否正确、牢固可靠。
- 3) 软电缆或软线是否完好无损。
- 4) 插头是否完整无损。
- 5) 开关动作是否完好、灵活,有无缺陷、破裂。
- 6) 电气保护装置是否完好。
- 7) 工具的转动部分是不是转动灵活并且无障碍。

(2) 定期检查的时间 每季度应该至少对工具进行一次全面的检查(在湿热和温差变化较大的地区应当相应缩短检查的周期);在霉雨季节前应及时进行检查。

(3) 定期检查的项目 除日常规定的检查项目外,还必须测量工具的带电零件与外壳之间的绝缘电阻。绝缘电阻应用 500V 的兆欧表测量,其方法是把约为 500V 的直流电压施加于工具 1min,其绝缘电阻值不得低于表 6-4 的规定值。

(4) 维修 在什么情况下进行维修以及维修工作中的注意事项如下:

1) 长期搁置不用的电动工具,在使用前必须测量绝缘电阻值。如果测量的绝缘电阻小于表 6-4 的规定值,必须进行干燥处理,并进行维修,然后经检查合格后,方可使用。

2) 电动工具如有绝缘损坏,软电缆或软线护套破裂,保护接地或接零脱落,插头、插座裂开或有损于安全的机械损伤等故障时,应立即进行修理。在未经修复前,不得允许继续使用。

表 6-4 测量绝缘电阻值 (MΩ)

测 量 部 位	绝 缘 电 阻		
	I 类工具	II 类工具	III 类工具
配电零件与外壳之间	2	7	1

3) 非专职人员不得擅自拆卸和修理电动工具。

4) 使用单位和维修部门不得任意改变电动工具的原设计参数,不得采用低于原用材料性能的代用材料和与原有规格不符的零部件。在维修时,电动工具内的绝缘衬垫、套管等不得任意拆除、调换和漏装。

5) 电动工具的电气绝缘部分经修理后,必须进行绝缘电阻的测量,并应符合表 6-4 的规定。此外,还应进行耐压试验。

绝缘耐压试验的作法是:给工具施加波形为正弦波、频率为 50Hz 的试验电压 1min,不出现绝缘击穿和闪络,施加电压值应符合表 6-5 的规定。

表 6-5 耐压试验施加电压 (V)

试验电压的施加部位	试 验 电 压		
	II 类工具	III 类工具	I 类工具
带电零件与壳体零件之间:			
仅由基本绝缘与带电零件隔离	380		950
由加强绝缘与带电零件隔离	—	2800	—

试验时,施加的电压从不超过试验电压全值的一半开始,然后迅速增加至全值。增至全值电压试验时间应维持 1min,然后迅速降低至半值以下,再断开电源。试验电压的电源由试验变压器供给,试验变压器应设计成:在输出电压调到适当的试验电压值后,在输出端短路时,输出电流至少为 200mA。

应当指出,如果电动工具确实无法修复或虽经修复,但不能达到国家标准规定的安全技术要求时,则必须作报废处理,不允许再行使

用。

二、电热设备的安全运行

电热设备是把电能转换为热能,利用热能进行各种加工的设备。电热设备除用于焊接、加热、熔炼、照明等工作以外,还可用于金属加工。

电热设备还包括直接加热或间接加热的电阻炉和电弧炉、各种熔矿炉、各种感应加热炉(化铁炉、间接式加热炉)和电子加热炉等。

就供电的可靠性要求来讲,电热设备属于一级或二级负荷的用电设备。

(一) 电焊

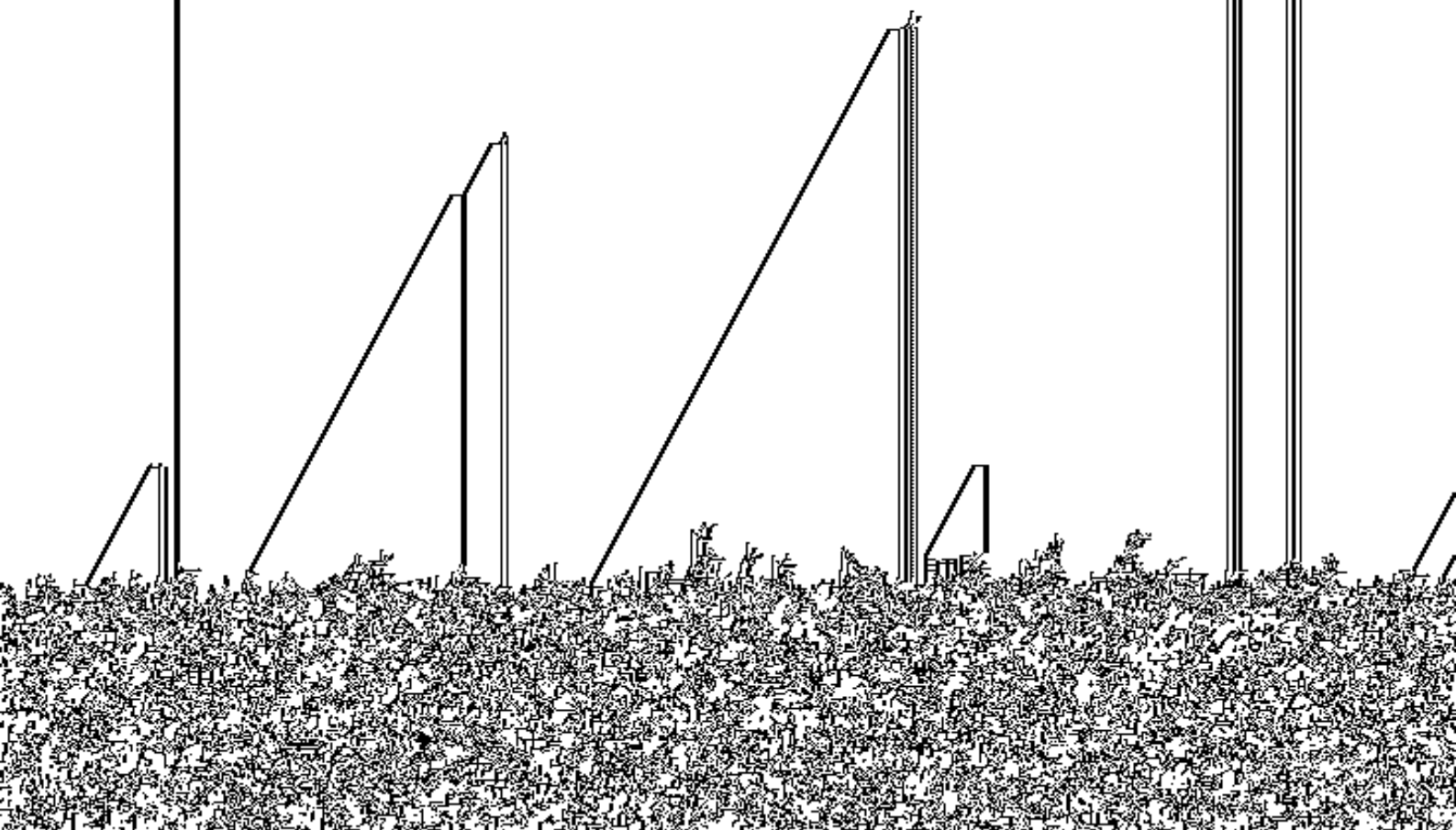
电焊是利用电极与焊件之间所产生的电弧热量来熔化金属进行焊接的加工,是应用最广泛的焊接方法。

电焊操作时接触电的机会较多,在整个工作过程中需经常接触电气装置。在更换焊条时,焊工的手直接接触及电源,有时还要站在焊件上操作。电焊机的空载电压,一般都超过安全电压(空载电压一般为 $60V\sim 90V$)。而且焊接电源是与 $380/220V$ 的电力网连接的,一旦设备发生故障或绝缘损坏,高压就会出现在焊接设备和焊具、焊件上。同时,为适应各种焊接工艺的要求,需要随时调节焊机电流的大小。焊接作业直接与金属材料打交道,特别是在管道、设备和容器内进行焊接,四周都是金属导体,很容易发生触电事故。因此,触电是电焊操作的主要危险之一。

1. 发生焊接触电事故的原因 焊接触电事故,根据所触及的带电体的带电情况,可分为直接电击和间接电击两种。

所谓直接电击,是指人体触及正常运行的带电体,所发生的电击。焊接发生直接电击的原因有:

(1) 在更换焊条和操作过程中,手或身体某部位触及到电焊条、焊钳、焊枪的带电部分。焊接时,焊工是站在地面或金属结构上作业,如果脚和身体其他部分对地和构件绝缘不好,当手和其他部分触及到焊钳、焊枪或焊条,立即形成回路,发生电击。特别是在阴



漏给料、管道、抗道、大平带网或其他金属物碰撞接作为焊接电弧；焊机线圈受雨淋或长时间受潮；焊接工作频繁、持续时间过长；采用粗大焊条长时间选用大电流焊接；二次线短路或焊条与焊件长时间频繁的短路；导致电焊机长期超负荷使用或内部短路发热；电焊机安装地点和方法不符合安全要求，遭受振动、碰击而使线圈或引线的绝缘造成机械性损伤；电缆靠近炽热焊件，受高温或熔溶金属液滴飞溅的烧烤等都可以造成绝缘或保护装置损坏，造成不带电体意外带电。

2. 防止焊接触电事故的安全措施 焊接作业有发生触电事故的危險，但是，只要我们认真对待，采取切实可靠的安全措施，做到不发生触电事故是完全可能的。

(1) 防止焊接触电事故的一般措施，主要有以下几个方面：

1) 准备好焊接工作场地 焊接工作场地要能满足安全要求，工作面积应不小于 4m^2 ，地面应基本干燥平整，并要保持必要的通道，方便操作，一旦发生事故后能紧急撤离和抢救。应移去场地附近的杂物和导体，以防设备意外漏电，造成意外带电的扩延，采用遮栏、护罩、护盖、箱匣等把电焊设备、工具和配电路的不便包

以绝缘或绝缘不足的带电体同外界隔绝开来,以保证安全。屏护装置不直接与带电体接触,对所用材料的电性能要有严格要求,凡用金属材料制作的屏护装置必须接地或接零,以防止其意外带电造成触电事故。在带电体与地面之间、带电体与其他设备之间,带电体与带电体之间要保持一定的安全距离,以防止人体触及焊机、电线等带电体,避免车辆及其他器具碰撞带电体。电缆线应避免焊件、熔渣烧损或机械损伤,导致绝缘损坏而漏电。

2) 对焊接设备、工艺和绝缘工具的性能进行检查,防止设备或工具漏电 焊工在工作前,应先检查焊机、设备和工具是否安全可靠,如焊机外壳的接地,焊机各接线点接触是否良好,焊接电缆的绝缘是否损坏等。不允许未进行安全检查就开始操作,不符合安全要求的不能使用。

3) 布置安全的二次回路 二次回路应用磁性跨接片直接接触焊件,在任何情况下,都不得使自身、机械设备的传动部分和动物成为焊接电路,严禁利用厂房的金属结构、管道、轨道或其他金属物搭接起来,作为导线使用,以防焊接电流造成人身伤害或设备事故。

例如,某建筑工地有位焊工,坐在金属构件上休息,弧焊变压器二次回路的一端连结着构件,他手拿焊钳,用烧红的焊条头点烟,电流通过人体遭电击。又如某厂有位焊工,在补焊水泵的管子时,把二次回路的一端接到电动机的地线上,大约 400A 的电流通过电动机的底座、齿轮、泵体和水管,再传到焊条上,致使齿轮被焊住。再如某养牛场,在一根铁管上用铁链拴着 120 头奶牛,焊工在补焊铁管时,把焊机二次回路一端接到水管龙头上,焊接时电流通过铁管、铁链、牛的身体、水泥地板和水管形成一个闭合的焊接电路,焊接电流击毙全部奶牛。

4) 防止身体触及二次回路 焊工的手和身体不得随便接触二次回路的带电体,更换焊条时,应戴上绝缘手套。焊工身上大量出汗,衣服湿透的情况下,不能依靠在工作台、焊件等带电体上。在容积小的舱室(如油槽、气柜、管道和锅炉等),金属结构以及其他狭小潮湿的工作场所焊接时,触及二次回路带电体的危险性更大,必

须采用专门的防护措施,如采用橡皮垫、戴皮手套、穿绝缘鞋等,以保障焊工身体与焊件间绝缘,严禁使用简单无绝缘外壳的电焊钳。在特别危险的场合焊接,应实行监护制度或采用两个人轮换作业制,以便随时掌握焊工的安全动态,遇有危险现象时,可立即切断电源,进行抢救。在容器、管道内焊接,行灯必须采用安全电压供电。

5) 断电搬动或调整焊接设备和二次回路 改变焊机接头,更换焊件,需要改接二次回路转移工作地点,更换熔断器,以及焊机发生故障需检修排除时,必须在切断电源后才能进行。

6) 加强个人防护 焊接工人必须按规定穿戴好防护用品,方能进行操作。

7) 由电工对电焊设备进行检查和修理 焊工不得擅自拆修设备或更换熔断器等。临时施工点应由电工接通电源,焊工不得自行处理。

(2) 安全供电 焊接电源是由电焊机提供的,安全供电,一是焊机本身符合安全要求,不漏电;二是采取接地保护措施,使得在万一绝缘被损坏,发生漏电的情况下,不发生人身触电事故或电气火灾事故。

1) 焊机带电体的绝缘和隔离防护 焊机的线圈和线路带电部分对外壳和对地之间,弧焊变压器的一次线圈与二次线圈之间,相与相及线与线之间都必须符合绝缘标准要求,其电阻值均不得小于 $1M\Omega$ 。

焊机的所有外露带电部分,必须有完好的隔离防护装置。焊机的接线柱、极板和接线端应有防护罩,使用插销孔接头的焊机,插销孔的接线端应用绝缘板隔离,并装在绝缘板平面内。

2) 焊机的保护性接地和接零装置 交流焊机的线圈以及直流焊机的线包和引线绝缘损坏时,电流就会窜到焊机外壳上。人体如接触到漏电的焊机外壳,就会发生触电危险。为了保证不发生触电事故,所有旋转式直流焊机、交流焊机、硅整流式直流焊机及其他电焊设备的机壳,都必须接地。在电网为三相三线制或单相制系统中,应安设保护接地线。在电网为三相四线制中性点接地系统

中,应安设保护性接零线。

焊机的接地电阻应根据允许的对地电压来确定。在 1000V 以下的非接地系统中,单相接地电流一般不会超过数安(在对地绝缘的 380V 低压电网中,单相接地电流一般不超过 1A),如果对地电压按 36V 考虑,接地电流按 9A 考虑,则接地电阻 $R_s = U_d / I_d = 36 / 9 = 4\Omega$ 。所以在 380V 低压系统中,焊机的接地电阻规定不得大于 4Ω 。

焊机的接地装置可用打入地深度不小于 1m,接地电阻小于 4Ω 的铜棒或无缝钢管作接地体。由于电焊工作的流动性大,焊机的接地装置可以广泛利用自然接地体,例如敷设于地下的属于本单位独立系统的自来水管,或与大地有可靠连接的建筑物的金属结构等。必须指出,氧气和乙炔管道及其可燃易爆物品的容器和管道,严禁作为自然接地体。自然接地体电阻超过 4Ω 时,应采用人工接地体。否则除可能发生触电危险外,还可能引起火灾爆炸事故。例如,某厂的焊工在电焊时,选用车间的避雷针作为接地极,由于避雷针日久陈旧,其接地电阻很大,结果高温引燃了车间的木结构,大火烧毁了车间。又如某厂的焊工,选用新安装的脱附罐作接地极(罐里有 2t 多活性炭),电焊时由于导线连接处的局部发热,引燃了罐里的活性炭,结果将 2t 多活性炭全部烧光。

弧焊变压器的二次线圈与焊件相接的一端也必须接地或接零。当一次线圈与二次线圈的绝缘击穿,高压窜到二次回路时这种接地(或接零)装置就能保证焊工及其助手的安全。但必须指出,二次线圈一端接地或接零时,则焊件不应接地或接零。否则,一旦二次回路接触不良,大地焊接工作电流可能将接地线或接零线熔断,不但使人身安全受到威胁,而且易引起火灾。为此,规定凡是在有接地或接零装置的焊件上(如机床的部件)进行电焊时,应将焊件的接地线(或接零线)暂时拆除,焊完后再恢复。在焊接与大地紧密相联的焊件(如自来水管路、房屋的金属立柱等)时,如果焊件的接地电阻小于 4Ω ,则应将焊机二次线圈一端的接地线或接零线暂时解开,焊完后再恢复。总之,变压器二次端与焊件不应同时存在接地或接零装置。

用于焊机接地或接零的导线,要有足够的截面积。接地线截面积一般为相线截面积的 $1/2 \sim 1/3$;接零线截面积的大小,应保证其容量(短路电流)大于离电焊机最近处的熔断器额定电流的 2.5 倍,或者大于相应的自动开关跳闸电流的 1.2 倍。采用铝线、铜线和钢丝的最小截面,分别不得小于 10、6 和 4mm^2 。接地或接零线必须用整根的,中间不得有接头。与焊机及接地体的联接必须牢靠,应用螺栓拧紧。在有振动的地方,应当用弹簧垫圈、防松螺帽等防止松动。固定安装的电焊机,上述连接采用焊接。

所有电焊设备的接地(或接零)线,不得串联接入接地体或接零线干线。

连接接地线或接零线时,应首先将导线接到接地体上或零线干线上,然后将另一端接到电焊设备外壳上;拆除接地线或接零线的顺序则恰好与此相反,应先将接地(或接零)线从设备外壳上拆下,然后再解除与接地体或零线干线的连接,不得颠倒顺序。

(3) 焊机空载自动断电保护装置 凡是在高空、水下、容器、管道内或船仓等处的焊接作业,焊机必须安装空载自动断电装置。对一般工作环境来说,焊机亦应安装这种安全装置。其目的是使焊机空载电压降至安全范围内,既能防止更换焊条时发生电击,又能大幅度降低焊机空载损耗,具有安全和节电双重意义。为达到上述安全和节电的目的,焊机空载自动断电装置应能满足以下基本要求:

- 1) 对焊机引弧无明显影响。
- 2) 保证焊机空载电压在安全电压以内。
- 3) 装置的最短断电延时为 $1 \pm 0.3\text{s}$ 。
- 4) 降低空载损耗。

(4) 防止焊钳、焊枪和电缆漏电 焊钳、焊枪和电缆漏电是造成焊接触电事故的又一重要原因。防止焊接工具及电缆漏电,一是要选用符合焊接安全要求的焊钳和电缆;二是防止焊钳、焊枪、电缆在使用过程中意外漏电。

焊钳和焊枪是用来夹焊条和传导电流的,是手工弧焊、气电焊、等离子弧焊的主要工具,它与焊工操作的安全有直接关系,必

须符合下列安全要求：

- 1) 结构轻便,易于操作,手弧焊钳的重量不应超过 600g。
- 2) 有良好的绝缘性能和隔热能力,由于电阻发热,特别是使用较大电流的手工电弧焊时,焊把往往发热烫手,因此手柄要有良好的绝热层,气体保护焊的焊枪头,应用隔热材料包复保护。
- 3) 焊钳应在任何斜度下都能夹紧焊条,而且更换焊条方便,且保证焊工不必接触带电体部分即可迅速更换焊条。
- 4) 焊钳和焊枪与电缆的连接必须简便并且牢靠。
- 5) 等离子焊枪应保证水冷系统密封,不漏气,不漏水。

焊接电缆是连接电源、焊机、焊具、焊件的绝缘导体,应具有下列安全要求：

①焊接电缆应具有良好的导电性能和绝缘外层。一般是用紫铜做芯线,外包胶皮绝缘套,绝缘电阻不得小于 $1M\Omega$ 。

②要轻便柔软,能任意弯曲和扭转,使用方便。

③电缆应具有较好的抗机械损伤能力,有耐油、耐热和耐腐蚀性能,适应在焊接作业场所使用的需要。

④要有适当的截面积,电缆最大许用电线决定于导线的截面大小,电缆截面过小,会造成过度超载而发热,这是绝缘损坏的重要原因之一。因此,应根据焊接电流的大小和所需导线的长度,适当选用合适的电缆。电缆最大许用电流见表 6-6。

表 6-6 电缆截面与最大许用电流

导线截面 /mm ²	单股	25	50	70	95
	双股	--		2×16	2×25
最大许用电流/A		200	300	450	600

防止焊钳、焊枪、电缆在使用过程中意外漏电的要求：

1) 焊枪与配电盘连接的电源线长度不宜过长。由于此导线电源的电压较高,危险性较大,电缆除应该保证有良好的绝缘外,长度以不超过 3m 为宜。如果焊接场所确无电源,需要使用较长的导线时,应采取间隔的安全措施,即应用瓷瓶沿墙布设,导线距地面的高度应该大于 2.5m。在这里需要特别注意的是,严禁将电源线

拖在工作现场地面上。

2) 焊接引线一般以 20m~30m 为宜,太长会增大电压降,太短则不便于操作。焊接用电缆应用整根,如果需要用短线接长时,则接头不宜超过 2 个,接头要用铜导体,并连接牢固,接触良好,同时还要保证绝缘性能。

3) 焊钳与焊枪和电缆连接处不得裸露,应将电缆绝缘外套深入至握柄内部,并有一定的深度,以保证导体不外露。使用简易焊钳,手柄与钳口之间应设置护手遮板。

4) 焊接电缆的绝缘性能应定期进行检验,一般为每半年检查一次。每次工作前应检查其绝缘外套是否损坏。

5) 防止电缆被机械碾压,物体刺割,熔渣或炽热焊件、焊条头烧伤或意外磨损造成绝缘损坏。

(二) 电炉

电炉在工业上应用很广,按电能转换为热能的方式,可分为电阻炉、电弧炉和感应炉等几大类。用得较多的以及安全问题也比较突出的是直接加热式电弧炉。

直接加热式电弧炉的电弧发生在专用的电极棒和被熔化的炉料之间,炉料受到电弧的直接加热。这种电弧炉主要用于炼钢,即炼钢电弧炉,炼钢电弧炉是应用最多的一种电弧炉。

炼钢电弧炉主要由炉体、炉盖、电极和电极升降装置,以及倾炉机构等几部分组成。

通入电弧炉的电流非常大,以我国 10t 电炉为例,通过每根电极的电流就达到 15000A。因此,要求电极有良好的导电性。同时,电极应能耐很高的温度,并且有一定的机械强度,目前以石墨电极用得最多。在熔炼过程中,由于电极同炉料的接触短路、炉料的崩塌、炉料成分的气化等原因,会引起电弧电流和电弧电压很大的波动,因此要求快速调节电极的位置,使电压和电流保持在一定的范围以内。电极调节装置一般都是自动的,它主要是由电流、电压的测量比较部分和其后的执行部分组成的。过去都采用功率扩大机——直流电动机系统,以后部分改用晶闸管——直流电动机系统,

现在则多采用灵敏度更高,更快速的晶闸管——转差离合器系统和电动液压调节系统。

电弧炉通过短网络、电炉变压器、电抗器、断路器和隔离开关接到高压电网上。

短网路是指从电弧炉的电极夹持器到电炉变压器的二次侧线端之间的一段三相线路,它包括三个部分,即布置在炉顶上的铜管、电炉本体和变压器室隔墙之间的软电缆及其后接到变压器上去的铜排(或铜管)。这三部分一般都通水冷却。短网路中通过几千至几万安的大电流,因此,合理设计短网路对于减少电炉设备的功率损失、提高其功率因数、以及平衡三相电功率都有重要作用。

电弧炉变压器的一次电压一般在10kV以上,二次电压一般为200V左右,二次侧电流高达数千至数万安。变压器的负荷很不规则,工作很繁重,因此它应有较高的机械强度和电气绝缘强度、较大的过载能力、较好的冷却系统。包括短网路在内,电弧炉其他电气设备的工作也很繁重。

电弧炉变压器的低压侧是不接地的,因此炉壳及其他不带电金属部分均应采取接地措施。电弧炉的辅助电气设备系由其他方面供电,也应根据供电系统的特点采取接零或接地措施。

从用电安全角度看,电炉操作人员经常站在铁板上,而且满身是汗,比较容易触电;同时,在操作和维修过程中,工作人员可能意外触及带电部分。因此,接地接零措施必须完善。例如,搅拌钢液时,铁钎可能触及电极,为了安全,应使铁钎与接地金属构件相连,保持接地。电弧炉接地线应采用截面积不小于 16mm^2 的钢绞线。

电弧炉应当装有必要的联锁装置和信号装置。例如,电极提升和电炉倾斜时,应当自动断电;转换电压时,开关与开关之间应有可靠的联锁装置,防止发生短路爆炸事故;电炉及其控制室,均应装设有音响和灯光的双重信号装置等。

应当注意:必须在停电的情况下进行装料、出钢、装置电极、检查电炉等工作。一般情况下,应当在空载时操作电源断路器。

变压器的高压部分和控制部分应与电炉隔开单独安装,但距

离不宜过大,变压器二次侧短网路不宜太长,短网路宜用软铜线编织,外用石棉绝缘,并在两侧设置遮栏,挂牌警告。

综上所述,电弧炉的安全要求比较高,安全措施概括起来有以下几点:

(1) 因漏电的可能性大,故要求变压器具有高的机械强度和绝缘强度,要求有较大的过载能力和完善的冷却系统,其高压部分及控制部分要与电弧炉隔开单独安装。

(2) 二次网络应尽量短,以减小电能损失,短网络要由软铜线编成,外包石棉绝缘。

(3) 所有导线与电极间的连接均须保持良好可靠接触,以防使用中松动而引起较大接触电阻甚至造成断路。

(4) 因变压器二次侧不接地,故炉壳及其他不带电金属部分均应采取保护接地措施。为避免搅拌钢液时铁钎可能触及电极,应使铁钎与接地金属构件连接,保持良好接地,接地导线应采用不小于 16mm^2 的钢绞线。

(5) 由其他电源供电的电弧炉辅助电气设备,应根据电气系统具体情况采取接地保护或接零保护措施。

(6) 电弧炉倾斜倒料和提升电极时,应设有自动断电的保护措施。

(7) 转换电压时,要断开断路器与隔离开关,隔离开关与断路器之间应有可靠的联锁装置,以防发生短路引起爆炸事故。

(8) 电弧炉及控制室应装有专门音响信号和灯光信号的双重指示,并保持线路设备完好、信号动作正确。

(9) 应在空载时操作电源断路器,在切断电源的情况下进行装料、出钢、装置电极、检查电炉等工作。

另外,电弧炉在维护时应当注意以下几个方面:

1) 由于控制变压器电流的高压断路器操作频繁,需经常进行检查,一般在连续工作 $10\sim 20$ 个班次后要检查一次,元件损坏应及时修复或更换。

2) 变压器在运行中经常处于短路状态,二次电流很大,需严

密监视其负荷与温升的变化,除经常进行外观检查外,每年应对变压器油质进行2次~4次化验分析。

3) 电弧炉变压器应有完整准确的运行与检修记录,一般每年进行小修四次,五年进行大修一次。

4) 应尽量利用停炉时间,对电弧炉的自控线路每月进行一次检查测试,对其他开关电器及交磁放大机、拖动用直流电动机等,也应根据检修规范与有关规定进行检修。

5) 经常检查接地装置的地上部分,地下部分通过测试接地电阻来进行检查,每年不得少于两次。

三、直流电化学设备的安全运行

精炼金属、电镀、电成形、电解加工、充电等生产工艺是利用电解原理进行工作的,应用直流电化学设备。

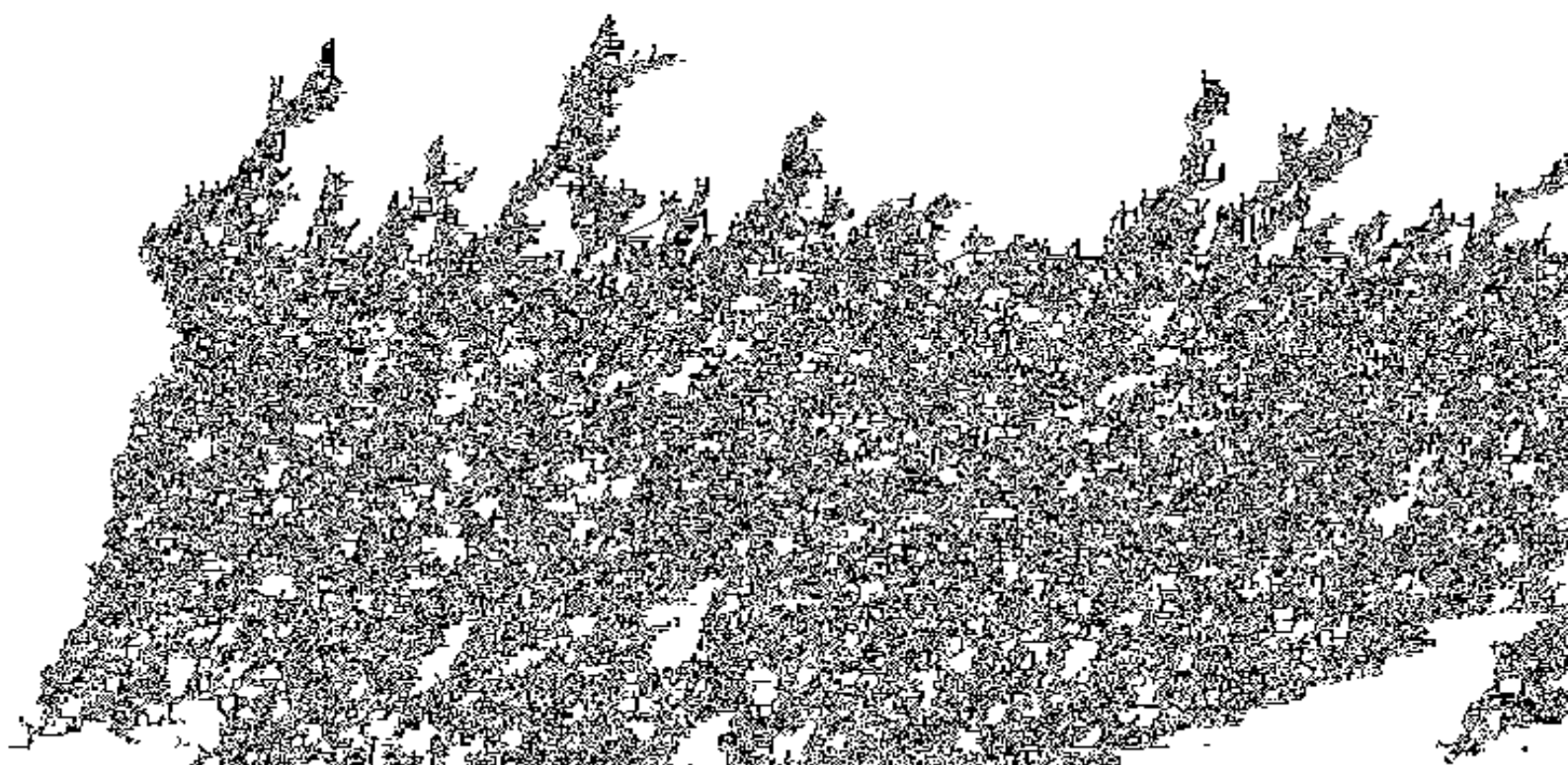
直流电化学设备的安全技术要求主要有以下几个方面:

(1) 供电点应尽量靠近镀槽,合理的输电距离不宜超过10m。车间通风良好时,可采用裸铝直流母线,整流器引至镀槽的直流干线。在一般情况下尽量采用铝母线,连接宜用焊接;在有碱性气体直接浸人的场合,应采用铜母线。绝缘导线一般应穿塑料管或聚氯乙烯绝缘护套线,沿墙用支柱明敷设,也可用金属支架沿房架吊装,耐酸地面下一律不允许采用暗管埋地敷设。

(2) 母线一般立放,采用经变压器油浸渍的硬桦木制成线夹敷设,也可采用瓷瓶紧固。线间间距为0.8m,敷设标高一般距地面2.2m~2.4m,母线交叉处相距为100mm~200mm。涂刷防腐的彩色油漆,正极为红色,负极为蓝色。

(3) 极杆应根据电流密度和机械抗弯强度来选择,一般都按机械强度而选用直径为25mm的铜杆,也可用铜管。极杆过长时,为减小极杆的截面,可以两端供电。固定极杆的夹具可用橡皮、塑料及聚氯乙烯制品。

(4) 充电室的母线一般采用圆钢,当采用圆钢截面太大而不宜安装时,可改用圆形裸铜母线。直流屏上的母线应选用截面为矩形的铝线,截面应按发热条件选择,一般不校验电压降。



电气设备应有较大的容量,并加强保护措施和维修。

(11) 对电解、电镀、蓄电池充电等直接工作室,还应注意及时排出有害气体,因其中有的会对电气设备和设施起腐蚀作用,有的(如氢气)还可能带来爆炸的危险。

(12) 直流设备维修时,首先应将其放电,除用固定装置放电外,还要有携带式放电装置,在接近时先行放电。

四、起重机电气设备的安全运行

电动起重机是工业企业中的常用设备之一,对于实行自动化、减轻繁重体力劳动,提高劳动生产率有着重要的作用,起重机是通过各种电气设备来完成工作的。同时,为了保证起重机安全地工

作,应有完善的行程限制、过电流保护等保护装置,这些保护装置也都是用电气的方法来实现的。由此可见,电气设备是起重机的一个重要组成部分。

(一) 主要电气设备及其安全要求

1. 主要电气设备组成 一般起重机电气设备的组成如图 6-1 所示,由电动机、制动电磁铁、控制电器和保护电器等组成。电动机把电能转换为机械能,带动大车、小车、主钩和副钩工作。制动电磁铁是配合电动机工作的,通电时,电磁铁吸合而松闸;断电时,电磁铁释放而上紧。控制电器主要起开关作用,操作和控制电动机。保护电器是根据运行安全要求通过控制电器发挥作用的,信号和照明装置是辅助电气设备。

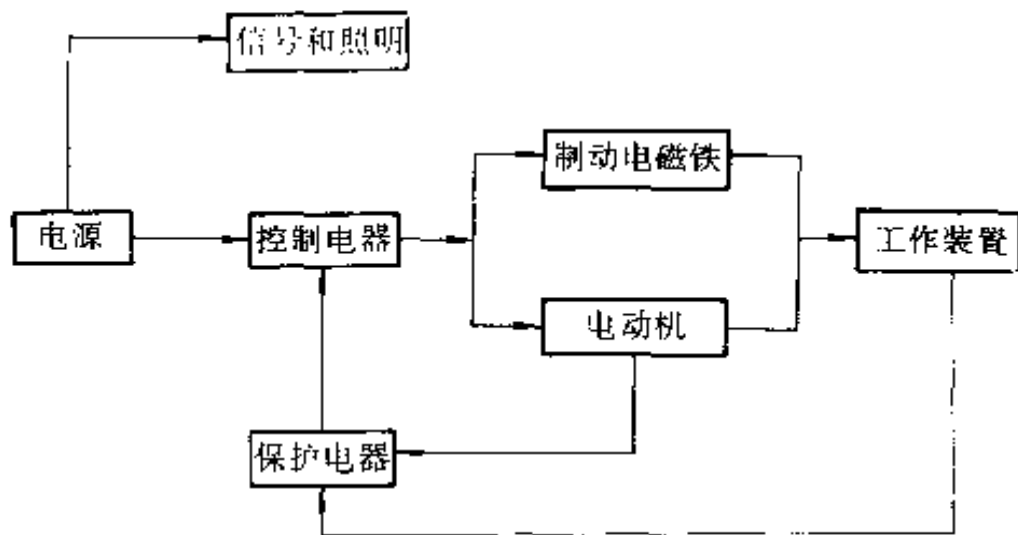


图 6-1 起重机电气设备组成图

2. 电气设备特点 起重机电气设备工作的特点是:工作繁重,控制要求多、在移动中工作、工作环境较差等。起重机是重复短时工作的,其电气设备也是重复短时工作的。因此,电气设备要短时承受过载,且操作频繁,工作繁重。起重机属多电动机拖动,启动、反转、制动要求较高,保护种类较多,使得控制比较复杂。起重机电气设备随起重机在移动中工作,又有滑动接触,要求可靠性较高。起重电气设备在空中工作,灰尘、烟尘多、温度变化大,在室外工作的还有日晒雨淋之危害,也要求电气设备可靠性较高。

3. 起重电动机 起重电动机应有较高的机械强度和过载能力,并能适应频繁启动、反转、制动等要求。用得最多的是绕线转子异步电动机;在要求高、容量大的场合,也用到直流电动机;小型起重机电也用到有深槽或双鼠笼的感应电动机。

起重用电动机的过载能力,即最大转矩与额定转矩之比,一般为3左右。

起重电动机重复短时工作的额定暂载率与实际工作的暂载率不符合时,实际功率应按下列式计算:

$$P_1 = P_n \sqrt{\frac{K_n}{K_1}}$$

式中 P_1 ——经过折算的实际功率;

P_n ——额定功率;

K_n ——额定暂载率;

K_1 ——实际暂载率。

JZ、JZR 系列起重用电动机的额定暂载率 $K_n = 25\%$ 。

由于感应电动机启动电流高达额定电流的5~7倍,电流冲击很大,因此,起重电动机多采用绕线式电动机,并采用转子外接电阻启动,这样既能限制启动电流,又能提供足够的启动转矩。起重用电动机是分级启动的,即其转子外接电阻在启动过程中是分级切除的。从感应电动机的转矩、转差率表达式

$$M = K \frac{SR_2}{R_2^2 + (SX_{20})^2}$$

$$M_d = K \frac{1}{2X_{20}}$$

$$M_n = K \frac{R_2}{R_2^2 + X_{20}^2}$$

$$S_f = \frac{R_2}{X_{20}}$$

式中 M ——电动机电磁转矩;

M_d ——电动机最大转矩;

M_q ——电动机起动转矩；

S ——电动机转差率；

S_j ——临界转差率；

R_2 ——电动机转子电阻；

X_{20} ——电动机转子电抗。

可以知道,随着转子外接电阻的减小,最大转矩 M_d 保持不变,临

界转差率减小(或临

界转速增大),转矩特

性上移。如图 6-2 所

示,相应第 1 条曲线

的特性外接电阻最

大;随着外接电阻逐

级减小,特性相应于

曲线 2、3、4 逐渐

上移;至曲线 5 时,外

接电阻全部切除。电

机

起动过程中,转速是

沿图中箭头所指折线方向上升的。

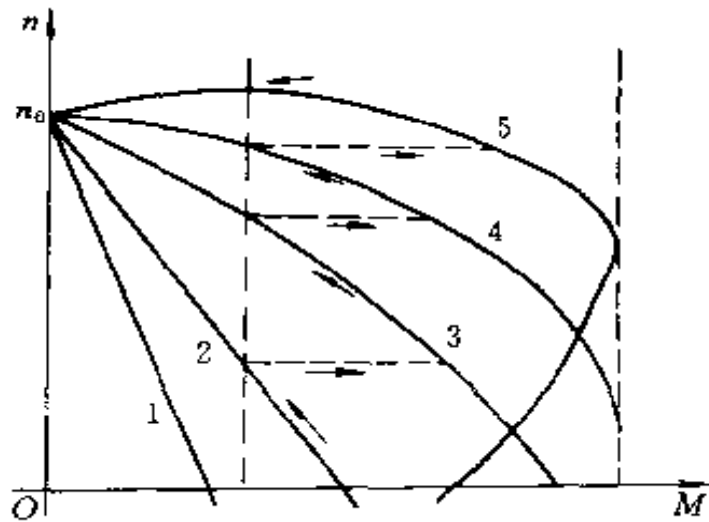


图 6-2 绕线式电动机转矩曲线

此外,重物下降时,适当选配转子外接电阻,能取得良好的制

动下降特性。
在运行中,起重用电动机主要不考虑过载保护,但温升不得超

过允许值,绝缘电阻一般不应低于 $0.5M\Omega$;电压波动不应超过

$-5\% \sim +10\%$;滑环和电刷接触处只允许有微弱的不连续的火

花;还应防止水、油等异物侵入,并保持清洁。
4. 制动电磁铁 制动电磁铁与电动机配合工作,作制动停车

之用,即供电气机械制动之用,按其结构分为长行程电磁铁和短行

触器、控制器等电气设备。这些电气设备应有足够的容量；应能承受繁重的工作，应有足够的开闭能力；触点部分应保持接触良好而紧密，灭弧罩应完好无损，操作机构应灵活、可靠等。

电阻器也属于控制电器，电阻器应有足够的导电能力，各部分连接必须可靠。应当注意，起动电阻器是按照短时工作设计的，不允许长时间连接使用，否则，可能烧断电阻元件。

6. 起重电磁铁 有些场合，为了提高工效，起重机的吊具不是吊钩，而是起重电磁铁（电磁吸盘）。这是一种直流电磁铁，线圈浸在绝缘油里，并由带散热筋的铸铁外壳和非磁性钢保护板密闭起来，下方有内、外极靴。起重电磁铁运行中，供电必须可靠，被吊运物温度一般不得超过 200°C ，应有去磁装置消除剩磁，应有放电装置防止产生冲击。起重电磁铁的起重量与被吊运物形状有关，例如，对钢板可吊运 1600kg ，对碎铁只能吊运 500kg ，而对铁屑只能吊运 200kg 。

（二）保护电器及保护方式

起重机应有过电流保护、零压保护、限位保护、零位保护等保护方式。

1. 过电流保护 过电流保护包括短路保护和过载保护。过电流保护主要采用熔断器和电磁式过电流继电器。

电源线路和控制线路中的熔断器均作短路保护之用。

起重用电磁式过电流继电器，也兼短路保护的作用。线圈串联在主线路中，监测主线路中的电流，触点串联在控制线路中，实现过电流控制，即当主线路电流过大时，衔铁被吸起向上运动，撞开触点，控制电路中断，主接触器掉闸停车。

用于每一台电动机的过电流继电器的动作电流不应超过电动机额定电流的 $2.25\sim 2.5$ 倍。用于几台电动机公用线上的过电流继电器的动作电流不应超过几台电动机额定电流之和的 1.5 倍。在不影响电动机正常工作的情况下，应尽量把动作电流整定得小一些。

2. 零压保护 零压保护包括欠电压保护。前者的含义是遇到

停电机停止工作后,再来电时不至突然起动;后者的含义是电压过低时,自动停车。零压保护和欠电压保护是依靠主接触器本身来实现的,当接触器线圈失去电压或电压太低时,铁心吸力消失或太低,掉闸而断电。

3. 限位保护 限位保护是限制起重机各运动部件的行程,当运动部分达到极限位置时,自动停车。停车后不能重新向前进方向起动,而只能向相反方向起动。

限位保护需要用到行程限制器,行程限制器也叫限位开关或行程开关。行程开关类似一个手动的转换开关,其操作臂相当于转换开关的操作手柄,当操作顶杆与开关操作臂相遇时,操作臂被推向一边,开关动作,其常闭触点打开。行程开关的常闭触点串联在控制线路中,触点打开时,主接触器断电,起重机停车。

大车和小车的行程开关都装在大车上,不用滑触线连接;提升机构的行程开关装在小车上,随小车一起运动,同控制线路需经滑触线连接。

行程开关和操作顶杆的安装位置,应能保证提升机构离极限位置 0.1m,平移机构离极限位置 0.2m,两台起重机相互间的距离为 0.4m 时断电停车。行程开关的种类很多,除有触点的行程开关外,近来还发展了无触点行程开关。

4. 零位保护 零位保护是指各控制器不在零位时,不能起动电动机开始工作的保护。这种保护能防止电动机突然起动,防止起动时产生强烈的电气冲击和机械冲击。零位保护是借控制器串联在控制线路中的专用的零位触点来实现的。

5. 安全开关 为了防止起重机主要电气设备带电时有人从驾驶室进入大车桥架或从大车两头跨入大车桥架而发生危险,在驾驶室上方舱门及大车两头栏杆门上装有安全开关,其触点串联在控制线路中,门打开时,触点也打开,防止接通电源。

6. 紧急开关 为了在紧急情况下实现停车,在驾驶室便于操作的地方装有紧急开关,其触点也串联在控制线路中。搬下开关即可切断接触器控制线路,实现停车。正常时不应使用紧急开关作停

车之用。

(三) 起重机电气线路安全要求

由于起重机上电气设备较多,控制和保护要求也比较高,使得起重机电气线路比较复杂。

起重机电气线路主要包括主线路、转子线路和控制线路。其中,主线路和控制线路可以从装有电源总闸的保护盘的接线中反映出来。主线路中接有主闸刀开关、主接触器触点、过电流继电器的电流线圈、以及电动机定子绕组等元件。转子线路主要由电动机转子绕组以及外接电阻器等元件组成。控制线路系指主接触器线圈控制线路。控制线路中接有起动按钮、控制器的零位保护触点、安全开关、紧急开关、过电流继电器的常闭触点、控制器的限位保护触点、限位开关等元件。当任一过电流继电器动作,或任一安全开关未闭合,或紧急开关断开,或行程开关动作时,主接触器均因其线圈断开电源而掉闸,切断主线路。

对于容量较大的起重电动机,常采用主令控制器并通过磁力控制屏控制,所用接触器较多,控制线路也比较复杂一些。

除以上线路以外,起重机还有照明线路和信号线路。

从安全角度考虑,起重机电气线路应注意以下几点:

(1) 滑线应平直、光滑而无锈蚀,并保持良好的导电性能;集电器要有足够的压力,以保证接触良好。

(2) 为了防止偶然触及主滑线,必要时应装设屏护装置。

(3) 滑线与地面或其他设施应保持必要的安全距离,如对地面为 3.5m,对汽车通道为 6m,对一般管道为 1m,对一般设备为 1.5m,对煤气管道和乙炔管道为 3m,对氧气管道为 1.5m 等。

(4) 户外起重机配线一律采用管配线,户内宜采用保护式配线,无损害的地方可采用明敷绝缘线。采用管配线者,同一管内只能穿设同一电动机的导线。

(5) 起重机配线宜采用 500V 绝缘铜线,其截面不宜小于 $1.5\text{mm}^2 \sim 2.5\text{mm}^2$ 。

(6) 起重机照明电源应接向动力总闸前面,以便起重机动力

部分切断电源时,仍保持照明供电。

(7) 修理用照明插座电源电压应为安全电压。

(8) 起重机轨道两端应当接零(或接地),各电气设备与车身应有可靠的电气连接。

(四) 电气故障分析和处理

起重机运行过程中,电气线路、电动机、控制器、接触器、制动电磁铁等都有可能发生故障。

起重机电气故障可能是内部原因造成的,也可能是外部原因造成的。例如,主接触器不能接通电源,可能是由于电源电压太低或电源缺相,也可能是由于过电流继电器动作或控制线路熔断器熔断等原因造成的;再如限位开关已动作,而电动机不断电可能是限位开关短路,也可能是限位开关引到控制器的接线错了等原因造成的。

起重机电气设备故障的分析和处理可参考表 6-7。

表 6-7 起重机电气设备常见故障及排除方法

故障现象	故障检查方法	故障产生的可能原因	故障排除方法
一、电 动 机			
1. 电线发热	1. 用手摸 2. 用温度计测量 3. 是否有焦味	1. 电动机超载 2. 线圈绝缘太低 3. 定子绝缘破损,有短路之处 4. 电压不平衡 5. 通风不良	1. 避免超载 2. 电动机进行干燥 3. 检查定子绝缘 4. 测量电路电压 5. 改善通风条件
2. 不转动有嗡嗡的声音	听声音	电动机断了一根电源线	找出断线并要牢固接好
3. 转向不对	观看	电动机接线错误	调换电动机接线
4. 全负荷时达不到全速	用转速表测量	1. 转子线圈有断线之处 2. 转子电路中接触不良	拆卸电动机,检查断线处,并予以焊接

(续)

故障现象	故障检查方法	故障产生的可能原因	故障排除方法
5. 起动时电动机不稳、急动,在控制最后位置上,有时速度降低		<ol style="list-style-type: none"> 1. 电动机转子被切断 2. 控制器转动部分有毛病 3. 控制器和电阻间的配线错误,电阻器坏了 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 检查转子回路 2. 检查控制器,调正确头 3. 根据系统图和接线端子应重新连接或检查电阻片
6. 限位开关已动作而电动机不断电		<ol style="list-style-type: none"> 1. 限位开关短路 2. 限位开关到控制器的接线错了 	检修布线
7. 电动机停不住		控制器触点焊接住	检查控制器的触点间隙,清洗或更换触点
8. 电动机输出功率太小	转动沉重	<ol style="list-style-type: none"> 1. 制动器没有完全松开 2. 机械卡住了 3. 转子电路中的电阻没有完全切除 4. 线路电压降低 5. 转子或定子回路中接触不良,一相切断 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 检查制动器 2. 消除卡住现象 3. 用电压表检查线路电压 4. 检查接触器和连接处,用电流表测每相电流值

二、控 制 器

1. 推动手轮后触点合不上,电机不运转,或达不到全速	推动控制器	控制器触头松弛或脱落	修理或更换触点
2. 触点合上后电动机不转或不加速		<ol style="list-style-type: none"> 1. 触点接触不良 2. 电阻或导线断线 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 更换触点 2. 找出断线处,进行修理
3. 只能单方向转动		<ol style="list-style-type: none"> 1. 反向控制器触点接触不良 2. 控制器中机械机构有毛病 	修理触点,修整机械机构
4. 控制器接电时过电流继电器发生动作		<ol style="list-style-type: none"> 1. 继电器的整定值不够 2. 定子回路接地或短路 3. 机械部分卡住 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 调整继电器的动作电流 2. 寻找故障 3. 消除卡住现象

(续)

故障现象	故障检查方法	故障产生的可能原因	故障排除方法
5. 主接触器不吸合		1. 紧急安全开关没有接通 2. 控制器的操纵手柄和操作手轮没有转至零位 3. 线路无电压 4. 过电流继电器的动作触点断开 5. 控制回路熔断器烧掉 6. 接触器的机械部分有毛病 7. 接触器的线圈烧坏了	

三、线路

1. 起重机械一个也不动作	用仪表试验	1. 线路没有电压 2. 引入线断线 3. 熔断器烧断	1. 检查布线 2. 修理或更换
2. 保护盘上的刀开关接通时操作回路中的熔丝烧断	用兆欧表试验	保护电器回路的线路接地	检查绝缘电阻和消除接地
3. 线路接触器合不上	用仪表、试验灯检查	1. 刀开关没有接通 2. 控制器在工作位置 3. 线路无电压 4. 接触器的机械部分有毛病 5. 接触器线圈烧坏了	1. 接通刀开关 2. 恢复零位 3. 用仪器、试验灯检查 4. 检查和调整各个环节 5. 更换线圈
4. 主接触器接通时熔断器熔件烧坏		通该熔断器的一相短路	寻找短路处
5. 过电流继电器发生动作接触器跳开	用兆欧表试验	控制回路接地	将保护盘引到控制器的控制导线切断,然后合上线路接触器,根据过电流继电器的动作,确定接地地点

(续)

故障现象	故障检查方法	故障产生的可能原因	故障排除方法
6. 控制器接电时电动机不转动		<ol style="list-style-type: none"> 1. 转子、定子回路断线 2. 电动机两相供电 3. 定子绕组短路 4. 电刷接触不良 5. 控制器的触点没有接触 6. 控制器不能松开,电机被卡住 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 修整 2. 恢复三相供电 3. 检查和消除短路 4. 调整压力 5. 检查控制器 6. 手动试验制动装置,使制动器发生动作,消除卡住
7. 起动时电动机转动不平稳	用钳形电流表检查	<ol style="list-style-type: none"> 1. 转子回路被切断 2. 控制器转动部分有毛病 3. 控制器和电阻器间的配线接错 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 检查电阻器,更换元件,检查转子回路配线 2. 修理和调整控制器 3. 根据系统图和标号进行检查,重新连接
8. 限位开关正向作用于杠杆上时,电动机不断电,反向作用则断电		限位开关到控制器的接线错了	<ol style="list-style-type: none"> 1. 检查布线 2. 恢复正确的接线
9. 起重机运行时接触器经常断电		辅助触点的压力不足或接触不良	检查和调节触点
10. 照明供电集电环接触不好	用兆欧表检查	<ol style="list-style-type: none"> 1. 电刷弹簧压力不足 2. 电刷与集电环接触面不够 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 旋紧弹簧螺钉 2. 研磨电刷接触面

第五节 带电作业安全

带电作业是指采用绝缘操作杆、等电位、水冲洗等操作方法在带电设备上进行的工作。带电作业应在天气良好条件下进行。雷雨时,应停止工作。

带电作业的工作负责人应经工区领导批准,由有带电作业实

践经验的人员担任。带电作业应设专人监护,监护人应由有带电作业实践经验的人员担任。

一、用绝缘操作杆工作

绝缘工具在使用前应详细检查有否损坏,并用清洁干燥的毛巾擦净。如发生疑问时,应用 2500V 兆欧表进行测定,其有效长度的绝缘电阻值应不低于 10000M Ω 或分段测定(电极宽 20mm),绝缘电阻值不得低于 700M Ω 。

带电作业人员应熟悉工具的使用方法、使用范围以及最大允许工作荷重,不准使用不合格的和其他非专用的工具。带电作业人员应戴手套、安全帽和使用绝缘安全带。

带电更换耐张瓷瓶串的工作,当导线未脱离瓷瓶串前,必须将横担第一个瓷瓶短路后,才能用手操作第一个瓷瓶。

拆、搭过线应遵守下列规定:

- (1) 严禁带负荷拆、搭过线。
- (2) 拆、接空载线路时,应采取消弧措施,并戴护目眼镜。
- (3) 严禁用接过线的方法,并列两个电源。
- (4) 未确定相位前,不得接过线。
- (5) 带电接上第一条过线后,其他两相均不得直接接触。
- (6) 开关或两个分路拆、搭过线时,应暂停保护,并将开关跳闸机构顶死。

二、等电位工作

等电位工作时,工作人员必须穿合格的均压服、均压袜,戴均压手套和均压帽,并保证其连接部分接触良好。均压服主要是起屏蔽作用,不能以均压服作为接地保护。等电位人身对地距离,不得小于第二章表 2-6 的规定。

挂绝缘软梯的等电位工作,所挂的导线、地线不应小于下列截面:

钢芯铝绞线	120mm ²
铜绞线	70mm ²
钢绞线	50mm ²

等电位断开或接通空载线路前,应查明线路确无接地,并将受电端变电站的线路刀开关拉开,才能进行操作。消弧工具必须与线路电容电流相适应,在联接或断开时,等电位工作人员必须离开2m以外,待联接好后方可接近,进行搭接工作。断接引线时,必须选用有足够载流能力的分流线,并保证接触良好。严禁同时接触未接通或已解开的两个接头。

在220、330kV设备上,沿瓷瓶串进入强电场工作时,必须同时满足下列条件:

(1) 扣除人体短接的瓷瓶及零值瓷瓶后,良好瓷瓶片数:220kV应不少于9片;330kV应不少于16片。

(2) 应采取安全技术措施,如保护间隙,如果耐张瓷瓶原来片数少,以及良好瓷瓶个数不能满足上述规定,则不得采取此种带电作业方法,应该使用绝缘工具更换瓷瓶。

使用绝缘高架斗臂车进行带电作业时,等电位操作人员与接地部件或相邻导体的距离不得小于第二章表2-6的规定。

带电架线及移动导线跨越其他导线和弱电流线时,应有可靠的安全措施,其交叉、垂直、平行距离不得小于表6-8的规定。

表6-8 跨越其他导线、弱电流线的距离

电压等级/kV	距离/m	电压等级/kV	距离/m
10以下	1.0	145~220	4.0
35(20~44)	2.5	330	5.0
60~110	3.0		

一切非绝缘绳索(棉纱绳、白棕绳、钢丝绳等)对导电部件距离不得小于表6-8的规定。等电位工作必须禁止重合闸,严禁用棉纱、汽油、稀料、酒精等擦拭带电体及绝缘部分,防止起火。

三、带电水冲洗

冲洗用水的水电阻率要求一般不低于 $1500\Omega \cdot \text{cm}$,如果小于 $1500\Omega \cdot \text{cm}$,但大于 $1000\Omega \cdot \text{cm}$ 时,喷嘴与导电部件应按表6-9规定的距离加大0.2m。冲洗110kV及以上电压等级设备时,水电阻率应不小于 $3000\Omega \cdot \text{cm}$ 。

表 6-9 喷嘴与带电体的安全距离

电压等级/kV	大型水冲/m	小型水冲/m
10 以下		0.4
20~110	—	0.5
60	2.0	0.6
110	3.0	0.7
154	3.0	0.8
220	4.0	1.0

大水量喷嘴内径应为 8mm~12mm, 水压应为 500kPa~1000kPa。小水量喷嘴应不小于 2.5mm, 水压应为 300kPa~500kPa。

大型水冲洗喷嘴和水泵应装设可靠的接地线。小型水冲洗操作杆的绝缘有效长度应符合表 6-10 的规定。

表 6-10 小型水冲洗操作杆的绝缘有效长度

电压等级/kV	绝缘有效长度/m	电压等级/kV	绝缘有效长度/m
60 以下	1.5	154~200	2.5
110	2.0	330	3.0

采用不接地操作杆, 除绝缘长度应按表 6-10 规定以外, 其进入水管的接头与护环间的绝缘部分还应满足下列要求:

(1) 湿闪电压 非接地系统的操作杆应大于 3 倍线电压; 直接接地系统的操作杆应大于 3 倍相电压, 持续时间 5min。

(2) 泄漏电流不大于 1mA 不能满足上述要求的操作杆, 护环前必须接地。在水压不足时, 不得将喷水口对向导线。不接地操作杆的引水管, 在接头下 1.5m 范围内严格禁止触及人体。水冲洗瓷瓶必须从导线侧的第一片由下而上的开始循序冲洗, 防止污秽闪络事故。在水冲洗瓷瓶前, 瓷瓶绝缘必须良好。

四、低压带电工作

低压带电工作的安全要求如下:

(1) 工作中应有专人监护, 使用的工具必须带绝缘柄, 严禁使

用锉刀、金属尺和带有金属物的毛刷、毛掸等工具。

(2) 工作时应站在干燥的绝缘物上进行,并戴手套和安全帽,必须穿长袖衣。

(3) 低压接户线工作时,应随身携带低压试电笔。

(4) 高、低压线路同杆架设,应采取防止误碰带电高压线路的措施。

(5) 上杆前应分清火、地线、路灯线,选好工作位置。断开导线时,应先断火线,后断地线。搭设导线时的顺序与上述相反,人体不得同时接触两根线头。

(6) 在变压器台或装有闭式刀开关的杆上拆、搭接户线,应指定熟练的工人进行操作,并且应该与高压带电部分,保持规定的安全距离。

(7) 在带电的低压配电装置上工作,应当采取防止相间短路和单相接地的隔离措施。

(8) 在带电的电度表和继电保护的二次回路上进行工作时,要检查电压互感器和电流互感器的二次绕组原接地点应该可靠。当断开电流回路的时候,应该事先将电流互感器二次侧的专用端子短路,绝对不允许带负荷进行拆、接表尾线。

(9) 在带电的电流互感器二次回路上工作时,应采取下列安全措施:

1) 严禁将变流器二次侧开路。

2) 短路变流器二次绕组,必须使用短路片或短路线。短路应妥善可靠,严禁使用导线缠绕。

3) 严禁在电流互感器与短路端子之间的回路和导线上进行任何工作。

4) 工作必须认真、谨慎,不得将回路的永久接地点断开。

5) 工作时,必须有专人监护,使用绝缘工具,并站在绝缘垫上。

(10) 在带电的电压互感器二次回路上工作时,应采取下列安全措施:

1) 严格防止短路或接地,应使用绝缘工具、戴手套。必要时,工作前停用有关保护装置。

2) 接临时负载,必须装有专用的刀开关和熔断器。

第六节 触电急救

一、触电的形式和特点

(一) 直接接触

直接接触是指电气设备在完全正常的运行条件下,人体的任何部位触及运行中的带电导体(包括中性导体)所造成的触电。因为直接接触时,人体的接触电压为系统相地间的电压,所以其危险性最高,是触电形式中后果最严重的一种。

(二) 间接接触

间接接触是指电气设备在故障的情况下,如绝缘损坏、失效,人体的任何部位接触设备的带电外露部分和外界可导电部分,所造成的触电。外露可导电部分是电气设备和装置中能够触及的部分,正常条件下不应带电,故障条件下可能带电。外界可导电部分不是电气设备或装置的组成部分,故障条件下也可能带电。

间接触电是由电气设备故障条件下的接触电压或跨步电压形成的,其后果严重程度决定于接触电压或跨步电压的大小。

(三) 感应电压电击

感应电压电击是由于带电设备的电磁感应和静电感应作用,将在附近的停电设备上感应出一定电位,发生电击事故,甚至造成死亡。超高压双回路以及多回路网杆架设的线路都要特别重视此类触电问题。

(四) 雷电电击

雷电是自然界的一种放电现象,多数放电发生在雷云之间,也有一小部分放电发生在雷云对地或地面物体上,当人体处于或靠近雷电放电的途径,可能遭到雷电电击。

(五) 残余电荷电击

由于电气设备的电容效应,使设备在刚断开电源后,尚保留一

定的残余电荷。当人体接触时,残余电荷会通过人体而放电,形成电击。

(六) 静电电击

由于物体在空气中经摩擦而带有静电电荷,静电电荷大量积累会形成高电压,一旦放电也会对人身造成危害。

二、触电急救

触电急救的要点是要动作迅速,救护得法,切不可惊慌失措、束手无策。发现有人触电,首先要尽快地使触电者脱离电源,然后根据触电者的具体情况,进行相应的救治。对急救方法,要经常练习,做到动作熟练,操之有素,只凭单纯学习条文是不够的。

人触电以后,会出现神经麻痹、呼吸中断、心脏停止跳动等征象,外表上呈现昏迷不醒的状态。但不应该认为是死亡,而应该看作是假死,并且迅速而持久的进行抢救,有触电者经过 4h 甚至更长时间的紧急抢救而得救的事例。有个统计材料介绍:从触电后 1min 开始救治者,90% 有良好效果;从触电后 6min 开始救治者,10% 有良好效果;而从触电后 12min 开始救治者,救活的可能性很小。由此可知,动作迅速是非常重要的。

(一) 脱离电源

人触电以后,可能由于痉挛或失去知觉等原因而紧抓带电体,不能自行摆脱电源。这时,使触电者尽快脱离电源是救活触电者的首要因素。

1. 低压触电事故 对于低压触电事故,可采用下列方法使触电者脱离电源。

(1) 如果触电地点附近有电源开关或电源插销,可立即拉开开关或拔出插销,断开电源。但应注意到拉线开关和平开关只能控制一根线,有可能只切断零线,而火线并未切断,没有达到真正切断电源的目的。

(2) 如果触电地点附近没有电源开关或电源插销,可用有绝缘柄的电工钳或有干燥木柄的斧头切断电线,断开电源;或用于木板等绝缘物插入触电者身下,以隔断电流。

(3) 当电线搭落在触电者身上或被压在身下时,可用干燥的衣服、手套、绳索、木板、木棒等绝缘物作为工具,拉开触电者或挑开电线,使触电者脱离电源。

(4) 如果触电者的衣服是干燥的,又没有紧缠在身体上,可以用一只手抓住他的衣服,拉离电源。但是,因为触电者的身体是带电的,其鞋子的绝缘也可能遭到破坏,救护人员不得接触触电者的皮肤,也不能够触摸触电者的鞋子。

2. 高压触电事故 对于高压触电事故,可以采用下列方法使触电者脱离电源:

(1) 立即通知有关部门停电。

(2) 戴上绝缘手套,穿上绝缘靴,用相应电压等级的绝缘工具拉开开关。

(3) 抛掷裸金属线使线路短路接地,迫使保护装置动作,断开电源。抛掷金属线前,应当注意先将金属线的一端可靠接地,然后抛掷另一端,抛掷的一端应注意不可触及触电者和其他人。

上述使触电者脱离电源的办法,应当根据具体情况,以快为原则,选择采用。在实践过程中,要遵循下列注意事项:

1) 救护人员不可以直接用手或其他金属及潮湿的物件作为救护工具,而必须使用适当的绝缘工具。救护人员最好用一只手操作,以防自己触电。

2) 防止触电者脱离电源后,可能造成的摔伤。特别是当触电者在高处的情况之下,应当考虑防止摔伤的措施。即使触电者是在平地上,也一定要注意触电者倒下的方向,以防止摔伤。

3) 如果触电事故是发生在夜间,应当迅速解决临时照明的问题,以利于抢救,并避免扩大事故。

(二) 现场急救方法

当触电者脱离电源以后,应当根据触电者的具体情况,迅速地对症进行救护。现场应用的主要救护方法是人工呼吸法和胸外心脏挤压法。

1. 对症进行救护 触电者需要救治时,大体上按照以下三种

情况分别处理：

(1) 如果触电者伤势不重，神志清醒，但是有些心慌、四肢发麻、全身无力；或者是触电者在触电的过程中曾经一度昏迷，但是已经恢复清醒。在这种情况下，应当使触电者安静休息，不要走动，严密观察，并请医生前来诊治或送往医院。

(2) 如果触电者伤势比较严重，已经失去知觉，但是心脏跳动和呼吸还存在，这时应当使触电者舒适、安静地平卧，周围不要围人，以保持空气流通。同时要解开他的衣服，以利于呼吸，如果天气寒冷，要注意保温，并要立即请医生诊治或送往医院。如果发现触电者呼吸困难、稀少、或发生痉挛，则应该准备一旦在心脏停止跳动或呼吸停止以后，立即作进一步的抢救。

(3) 如果触电者伤势严重，呼吸停止或心脏跳动停止或两者都已经停止时，则应该立即施行人工呼吸和胸外挤压，并迅速请医生诊治或送往医院。

应当注意，急救要尽快地进行，不能等候医生的到来，在送往医院的途中，也不能够中止急救。

2. 人工呼吸法 人工呼吸是在触电者呼吸停止后应用的急救方法。

在各种人工呼吸法中，以口对口(鼻)人工呼吸法的效果最好，而且简单易学，容易掌握。

施行人工呼吸前，应当迅速将触电者身上妨碍呼吸的衣领、上衣、裤带等解开，并且迅速取出触电者口腔内妨碍呼吸的食物、脱落的假牙、血块、粘液等，以尽量避免堵塞呼吸道。

作口对口(鼻)人工呼吸的时候，应当使触电者仰卧，并且要使触电者的头部充分后仰(最好的方法是用一支手托在触电者的颈后)，直至鼻孔朝上，以利于触电者的呼吸道畅通。

口对口(鼻)人工呼吸法的操作步骤如下：

(1) 使触电者的鼻孔(或口)紧闭，救护人员深吸一口气后，紧贴触电者的口(或鼻)向内吹气，为时约 2s。

(2) 吹气完毕后，救护人的口应立即离开触电者的口(或鼻)，

并且要松开触电者的鼻孔(或嘴唇),让触电者自行呼吸,为时约3s。

触电者如果是儿童,救护人员只可小口吹气,以免肺泡破裂。如果发现触电者的胃部充气膨胀,可以一面用手轻轻加压于触电者上腹部,一面继续吹气和换气。如果无法使触电者把口张开,则可以改用口对鼻人工呼吸法进行救治。

除口对口(鼻)人工呼吸法以外,以前还用两种人工呼吸法,也就是俯卧压背法和仰卧牵臂法。这两种人工呼吸法与口对口(鼻)人工呼吸法相比,显然是两种比较落后的方法。口对口(鼻)人工呼吸法不仅简单易做、便于和胸外心脏挤压同时进行,而且换气量也比其他人工呼吸法大得多。口对口(鼻)人工呼吸法每次的换气量约为1000mL~1500mL,仰卧牵臂法每次的换气量约为800mL,俯卧压背法每次的换气量则约为400mL。由此可以知道,在现场应当优先考虑采用口对口(鼻)人工呼吸法。

3. 胸外心脏挤压法 胸外心脏挤压法是触电者心脏跳动停止后的急救方法。

作胸外心脏挤压时,应当使触电者仰卧在比较坚实的地方,姿势与口对口(鼻)人工呼吸法相同。操作方法如下:

(1) 救护人员双膝跪在触电者的一侧,或者跪在其腰部两侧,两手相叠,手掌根部放在触电者的心窝上方、胸骨下1/3~1/2处。

(2) 救护人员掌根用力垂直向下(脊背方向)挤压,压出触电者心脏里面的血液。对成年人应压陷30mm~40mm。以每秒钟挤压一次,每分钟挤压60次为宜。

(3) 救护人员挤压后掌根应迅速全部放松,以使触电者的胸部自动恢复原状,血液充满心脏。在这里需要注意的是,放松时掌根不必完全离开胸部。

触电者如果是儿童,救护人员可以只用一只手进行挤压,同时注意用力要轻一些,以免损伤儿童的胸骨,并且每分钟宜挤压100次左右。

在这里应当特别指出,人的心脏跳动和呼吸是互相联系的。

般心脏跳动停止了,呼吸很快也就会停止;反之,如果呼吸停止了,心脏跳动也维持不了多久。因此,触电者一旦呼吸和心脏跳动都停止了,则应当同时进行口对口(鼻)人工呼吸和胸外心脏挤压。如果救治现场仅一个人进行抢救,两种方法应该交替进行,即每吹气2次~3次,再挤压心脏10次~15次,而且吹气和挤压的速度都应该比一般情况下提高一些,以降低抢救的效果。

施行人工呼吸和胸外心脏挤压抢救要坚持不断,切不可轻率中止而半途而废。在运送医院的途中,也不能中止抢救。

在抢救过程中,如果发现触电者皮肤由紫变红,瞳孔由大变小,则说明抢救收到了效果;如果发现触电者嘴唇稍有开合,或眼皮活动,或喉嚨间有咽东西的动作,则应当注意触电者是否有自动心脏跳动和自动呼吸。当触电者能够自己开始呼吸时,即可以停止人工呼吸。如果人工呼吸停止后,触电者仍然不能自己维持呼吸,则应当立即再作人工呼吸。

在急救过程中,如果触电者的身上出现尸斑或身体僵冷,经医生作出无法救活的诊断以后,方可停止抢救。

(三) 急救用药

触电急救用药应当十分慎重,具体要注意以下两点:

1. 任何药物都不能代替人工呼吸和胸外心脏挤压 人工呼吸和胸外心脏挤压是两种基本的急救方法。

2. 要慎重使用肾上腺素 肾上腺素有使停止跳动的的心脏恢复跳动的作用;既使出现心室颤动,肾上腺素也可以使细的颤动变成粗的颤动而有利于除颤。另一方面,肾上腺素可以使心脏的跳动不好变成为心室颤动,并且由此导致心脏停止跳动而死亡。因此,使用肾上腺素要特别慎重。

对于有心脏跳动的触电者不能使用肾上腺素,只有经过心电图仪鉴定心脏确实已经停止跳动时,才允许使用肾上腺素。注意使用肾上腺素要掌握好时机,在触电者心脏停止跳动时,应首先进行人工呼吸和胸外心脏挤压,待心脏和全身缺氧改善后再用。

(四) 外伤处理

对于与触电同时发生的外伤,应分别情况酌情处理。

对于不危及生命的轻度外伤,可以放在触电急救之后处理;对于危及生命的严重外伤,应当与人工呼吸和胸外心脏挤压等触电急救措施同时进行处理。

为了减轻触电者的伤口被细菌感染,可以采用食盐水或温开水冲洗伤口,再使用干净的绷带、布类予以包扎。如果伤口出血,应设法止血。

高压触电时,由于电弧温度高达数千摄氏度,往往会造成严重的烧伤。为了减少伤口感染和便于及时治疗,最好能用酒精擦洗后予以包扎。

第七章 电气防火和防爆

电气火灾爆炸事故主要包括两个方面：一是由电气原因引起周围环境危险物品燃烧爆炸；二是某些电气装置如变压器、油断路器等，装有可燃物的密闭容器，在故障情况下可导致自身的火灾、爆炸事故。电气火灾爆炸事故具有发生几率大、蔓延速度快、损失严重等特点，所以搞好电气安全，是做好防火防爆工作的重要环节。

第一节 防火和防爆的基础

一、燃烧和燃烧条件

燃烧是一种放热发光的化学反应，反应是否具有放热、发光和生成新物质等三个特征，是区别燃烧和非燃烧现象的根据。只有放热、发光，而没有化学反应的，不能称作燃烧。如电灯在照明时放出光和热，只是物理现象而没有发生化学反应，不能称为燃烧。而不放热或不发光的化学反应，如金属生锈、生石灰遇水放热等现象也不能称做燃烧。

燃烧一般需同时具备以下三个条件：

（一）有可燃物质存在

凡能与空气中的氧或其他氧化剂起剧烈氧化反应的物质都属于可燃物质。如木材、汽油和氢等都是可燃物质。可燃物质必须达到一定的浓度，也就是达到与氧气混合时占一定的比例才会发生燃烧。例如，在 20℃ 时，用火柴可立刻点燃汽油，但不能点燃煤油，这是因为煤油在 20℃ 时产生的蒸气很少，蒸气浓度还达不到燃烧程度。

（二）有助燃物质存在

凡能帮助燃烧的物质称为助燃物质，如氧、氯、氯化钾和高

锰酸钾等都属于助燃物质,助燃物质数量不够也不会发生燃烧。例如,正常空气中的含氧量为21%左右,但当空气中含氧量降低到14%~18%以下时,一般燃烧着的可燃物质会停止燃烧。

(三) 有着火源存在

凡能引起可燃物质燃烧的热能源称为着火源。例如,明火、电火花和灼热的物体等都是着火源。着火源需具备足够的温度和足够的热量,才能引起可燃物质的燃烧。例如,一根火柴是不能点燃一大块木材的,就是因为火柴的热量太小的缘故。

二、爆炸

物质由一种状态迅速转变为另一种状态,并在瞬间放出大量能量的现象称为爆炸。

爆炸可分为物理性爆炸和化学性爆炸两类。

(一) 物理性爆炸

物质因状态或压力发生突变而形成的爆炸现象称为物理性爆炸。在这种爆炸的前后,物质及化学成分均未发生改变,纯属物理变化而引起的。例如,蒸汽锅炉、压缩气瓶等爆炸,都属于物理性爆炸。

(二) 化学性爆炸

物质发生极迅速的化学反应,产生高温高压而引起的爆炸称为化学爆炸。在化学性爆炸后,物质及化学成分均将发生根本性的变化。例如,乙炔在压力下的分解爆炸、炸药爆炸、粉尘混合物的爆炸等,都属于化学性爆炸。

三、危险物品

(一) 危险物品的分类

凡有火灾和爆炸危险的物品统称为危险物品。从防火防爆的角度,按其物理、化学性的不同,可分为以下七类:

1. 爆炸性物品 这类物品有强烈的爆炸性,在常温下就有缓慢分解的趋向,当其受热、摩擦、冲击作用时或与某些物质接触后,能发生剧烈化学反应而爆炸,如导火索、雷管、炸药和爆竹等。这类物品的爆炸压力、爆炸温度和爆炸速度都很高。

2. 易燃和可燃液体 这类物品容易挥发，能引起火灾和爆炸。其中，闪点为 45℃ 及以下的为易燃液体，如汽油、煤油、酒精和苯等；闪点为 45℃ 以上的为可燃液体，如柴油和润滑油等。

3. 易燃和助燃气体 这类物品受热、冲击或遇到火花能发生燃烧和爆炸，当处在压缩状态时危险性更大。氢、煤气和乙炔等属易燃气体，氧和氯等属助燃气体。

4. 自燃物品 这类物品不需要外来着火源，在一定条件下，能自身产生热量而燃烧。如黄磷、硝化纤维胶片、油布和油纸等。

5. 遇水燃烧物品 这类物品遇水能分解产生可燃气体，放出热量，从而可引起燃烧和爆炸。如金属钠、磷化钙（电石）、锌粉和金属钙等。

6. 易燃固体 这类物品受热、冲击、摩擦，或与氧化剂接触能引起燃烧或爆炸，其燃点均在 300℃ 以下，如红磷、硝化纤维素、硫黄和樟脑等。

7. 氧化剂 这类物品有较强的氧化性能，分解温度在 500℃ 以下，遇酸碱、强热、摩擦、冲击，或与易燃物和还原剂等接触时，能分解并引起燃烧或爆炸。如氯酸钾、高锰酸钾和过氧化钠等。

易燃气体和易燃液体的蒸气混合后，能形成爆炸性混合物；爆炸物品和易燃固体等危险物品的粉尘或纤维，在与空气混合后也能形成爆炸性混合物。

（二）危险物品的性能参数

闪点、燃点、自燃点、爆炸极限、最小引爆电流（最小引燃能量）和传爆能力，是表征危险物品和爆炸性混合物危险性能的重要参数。

1. 闪点 闪点是指易燃和可燃液体所挥发的蒸气与空气混合后，当有火源与之接近时，能发生闪电状燃烧的最低温度。在这个温度下，液体挥发很慢，一经闪火即燃尽空气中的可燃蒸气，不会继续燃烧。当温度超过闪点愈多，火灾危险性愈大，物质闪

点愈低，火灾危险性也愈大。一般认为，闪点是可能引起火灾的最低温度。

2. 燃点 物品在空气中达到某一温度时，接触火源即会发生燃烧，而在火源移去后仍能继续燃烧，这种现象叫做着火。能引起着火的最低温度叫做燃点或着火点。燃点虽高于闪点，但对于易燃液体来说，燃点比闪点仅高 1C~5C，因此从安全角度来说，一般只考虑闪点，而不考虑燃点。对于闪点较高的可燃液体（燃点比闪点高出 30C 以上）和易燃固体来说，燃点才有实用的价值。

3. 自燃温度 自燃温度（引燃温度）是指可燃物不需要外来火源就能自己引起燃烧的最低温度。自燃温度除和物质本身的成分有关外，还与外界压力和空气中的含氧量等有关。外界压力愈高，自燃温度愈低；空气中含氧量越高，自燃温度也越低。

按照自燃温度的高低，爆炸性混合物可分为 T1、T2、T3、T4、T5、T6 六组，其温度范围见表 7-1。

表 7-1 爆炸性混合物按自燃温度分组

组别	T1	T2	T3	T4	T5	T6
自燃温度 t /C	$450 < t$	$300 < t \leq 450$	$200 < t \leq 300$	$135 < t \leq 200$	$100 < t \leq 135$	$85 < t \leq 100$

4. 爆炸极限 气体或蒸气与空气的混合物，以及粉尘与空气的混合物，其浓度都必须在一定范围内遇到火源时才能发生爆炸。能发生爆炸的最低浓度叫爆炸下限，能发生爆炸的最高浓度叫爆炸上限。这个能发生爆炸的浓度范围叫做爆炸浓度极限，简称爆炸极限。例如，汽油的爆炸极限为 1%~6%，在该范围内，遇火就会爆炸，如低于 1% 或高于 6%，都不会爆炸。这是因为当混合物浓度低于爆炸下限时，因含有过量的空气，空气的冷却作用会阻止火焰的蔓延而不能引爆；当混合物浓度高于爆炸上限时，空气非常不足，火焰也不能传播。所以当浓度在爆炸极限范围以外时，混合物就不会爆炸。爆炸下限愈低或爆炸极限范围愈大，爆

炸危险性就愈大。

影响爆炸极限范围的因素很多，主要因素有以下几点：

(1) 原始温度 混合物的原始温度越高，则爆炸极限范围越大，即下限降低，上限升高。

(2) 原始压力 原始压力增大，爆炸范围也扩大。压力对爆炸上限的影响十分显著，而对下限的影响较小。

(3) 惰性气体的影响 混合物中所含的惰性气体量增加，爆炸范围就缩小，惰性气体的浓度提高到某一数值，混合物就不能爆炸。混合物中惰性气体量增加，对上限影响较之对下限的影响更为显著。因为惰性气体浓度增加，表示氧的浓度相对减小，而在上限时氧的浓度本来已经很小，故惰性气体浓度稍微增加一点，就产生很大影响，使爆炸上限急剧下降。

(4) 容器的尺寸和材质 容器的尺寸和材质等对混合物的爆炸极限均有影响。

容器、管子直径越小，则爆炸范围越小。这是因为火焰经过管道冷表面时被冷却，管道尺寸越小，则单位体积火焰所对应的固体冷却表面积就越大，传出热量也越多。当管道直径（或火焰通道）小到一定程度时，火焰即不能通过，这一间距叫临界直径，也称最大灭火间距，干式阻火器即是利用此原理制成。

容器的材质对爆炸极限也有影响，如氢和氟在玻璃容器中混合，甚至在液态空气的温度下，于黑暗中也会发生爆炸；而在银制容器中，在一般温度下才能发生反应。

(5) 能源 火源的能量、热表面的面积、火源与混合物的接触时间等，对爆炸极限均有影响。以甲烷为例，对电压为 100V、电流强度为 1A 的电火花，无论在什么浓度下都不会爆炸。若电流强度为 2A 的电火花则可能引起爆炸，其爆炸极限为 5.9%~13.6%。若电流强度为 3A 的电火花，其爆炸极限为 5.85%~14.8%。

易燃固体颗粒直径小于 0.01mm 时，成为粉尘悬浮在空气中，或易燃固体的细小纤维悬浮在空气中，也能形成爆炸性混合

物，也有爆炸上限和爆炸下限，其爆炸下限的粉尘浓度已很高，至于爆炸上限，其浓度之高，一般不能达到，故没有实际意义。

易燃与可燃液体的爆炸极限有两种表示形式：一是爆炸浓度极限，以体积百分数表示；二是爆炸温度极限，以 $^{\circ}\text{C}$ 表示。由于液体的蒸气的爆炸浓度是在一定温度下形成的，因此液体的爆炸浓度极限就体现着一定的温度极限，它们两者在本质上是一致的，只是表示单位不同。例如，酒精的爆炸浓度极限是 $3.3\% \sim 18\%$ ，这个浓度是在 $11^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 时形成的，所以 $11^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 就是酒精的爆炸温度极限。很明显，爆炸温度下限也就是液体的闪点。利用液体的爆炸温度极限，来测定它们在贮槽或设备中蒸气的浓度是否有爆炸危险，这样可简单得多，因为液体的温度随时都可以测定出来。

5. 最小引爆电流（或最小引燃热量） 最小引爆电流是指引起爆炸性混合物发生爆炸的最小电火花所具有的电流。随着爆炸性混合物特征和电路特征等因素的不同，最小引爆电流在很大范围内变化。

在不便确定最小引爆电流的场合，可以采用最小引燃能量（最小引爆能量）。最小引燃能量，是指引起爆炸性混合物发生爆炸的最小火花所具有的能量。

6. 传爆能力 传爆能力是爆炸性混合物传播爆炸的能力，传爆能力用最小传爆间隙来衡量。

四、危险场所分类

爆炸和火灾危险场所的等级，按其危险物品状态的不同和发生事故的可能性、危险程度，划分为三类八级：

第一类：可燃气、易燃或可燃液体的蒸气与空气形成爆炸性混合物的场所，可分为三级：

0区 连续地出现爆炸性气体的环境或会长期出现爆炸性气体环境的区域。

1区 在长期运行中，可能出现爆炸性气体环境的区域。

2区 在正常运行中，不可能出现爆炸性气体环境或即使出

现也仅是短时存在的区域。

第二类：有火灾危险的场所，可划分为三级：

H-1级 可燃性液体的闪点高于其生产、使用、加工、贮存的温度或环境温度，在数量和配置上，能引起火灾危险的场所。

H-2级 可燃悬浮状、堆积状的粉尘或纤维，不可能与空气形成爆炸性混合物，而在数量上能引起火灾危险的场所。

H-3级 可燃的固体状物质（如煤、木、布和纸等），在数量和配置上能引起火灾危险的场所。

第三类：悬浮状可燃的粉尘和纤维与空气形成爆炸性混合物的场所，可划分为两级：

10区 爆炸性粉尘混合物环境连续出现或长期出现的地区。

11区 有时会将积留下的粉尘扬起而偶然出现爆炸性粉尘混合物环境的地区。

上述各条中的“正常情况”是指装置或设备正常的开车、运转、停车等（如敞开的装料、卸料等）。“不正常情况”是指装置或设备有事故损坏、误操作、维护不当及装置的拆卸、检修等。

应当指出，在划分场地的危险等级时，应充分考虑到爆炸性混合物持续存在的时间和产生的频繁程度；危险物品的种类和数量、场所的空间范围、作业的种类、设备的配置、通风设施，以及由于通风而形成的聚积和扩散；危险气体或蒸气的密度、数量、产生速度和放出方向、压力等因素。

第二节 电气火灾和爆炸的原因

为了防止电气火灾和爆炸，首先应当了解电气火灾和爆炸的原因。从发电→配电→用电的整个系统中，因为所用电气设备不同，即使是同一类型的设备，其结构、运行方式也各有特点，所以火灾和爆炸的危险性和原因也各不相同。但总的来看，除设备缺陷、安装不当等设计和施工方面的原因外，在运行中，由电流产生的热量、电火花或电弧则是引起电气火灾和爆炸的直接原因。

一、危险温度

危险温度是因电气设备过热所引起的，而电气设备过热主要由电流产生的热量所造成。导体的电阻虽然很小，但总有一定的电阻（超导体在一定条件下，电阻等于零）。因此，当电流通过导体时要消耗一定的电能，这部分电能产生的热量会使导体温度升高，并加热其周围的其他介质。

对于电机和变压器等带有铁磁材料的电气设备，除电流通过导体产生的热量外，交变电流的交变磁场还会在铁磁材料中产生热量。这部分热量是由于交变磁场在铁磁材料中产生的涡流损耗和磁滞损耗而造成的。一般电工硅钢片在运行中单位重量的功率损耗约在 $1\text{W/kg}\sim 2\text{W/kg}$ 之间。可见这类电气设备的铁心也是一个重要的热源。

一些有机械运动的电气设备，工作中也会由于轴承摩擦、电刷摩擦等引起发热，致使温度升高。

此外，当电气设备的绝缘质量降低时，通过绝缘材料的泄漏电流增加，也会导致绝缘材料温度升高。

由以上介绍可以知道，电气设备运行时总会发出热量。但是，正确设计、施工和正常运行的电气设备，其最高温度与周围环境温度之差（即最高温升）不会超过某一允许范围。但当电气设备的正常运行遭到破坏时，则发热量增加，温度升高，在一定条件下会引起火灾。

引起电气设备过度发热的不正常运行大体可归纳为以下几种情况：

（一）短路

发生短路时，线路中的电流增加为正常时的几倍甚至几十倍，而产生的热量又和电流平方成正比，使得温度急剧上升，而大大超过允许范围。如果温度达到自燃物的自燃点或可燃物的燃点，即会引起燃烧，导致火灾。

容易发生短路的情况如下：

（1）电气设备的绝缘老化变质，受机械损伤，在高温、潮湿

或腐蚀的作用下使绝缘破坏。

(2) 由雷击等过电压的作用，使绝缘击穿。

(3) 安装和检修工作中，由于接线和操作的错误。

(4) 由于管理不严或维修不及时，有污物聚积、小动物钻入等。

此外，雷电放电电流极大，此短路电流大得多，以致可能引起火灾和爆炸。

(二) 过载

过载也会引起电气设备发热，造成过载的原因大体上有如下三种情况：

(1) 设计、选用的线路或设备不合理，以致在额定负载下出现过热。

(2) 使用不合理，如超载运行、连续使用时间过长、超过线路或设备的设计能力，造成过热。

(3) 设备故障运行造成设备和线路过载，如三相电动机断相运行，三相变压器不对称运行，均可造成过热。

(三) 接触不良

电路相互连接的接触处是电路中的薄弱环节，是发生过热的一个重点部位。

(1) 不可拆卸的接头连接不牢、焊接不良，或接头处混有杂质，都会增加接触电阻而导致接头过热。

(2) 可拆卸的接头连接不紧密，或由于振动而松动，也会导致过热。

(3) 活动触点，如刀开关的触点、接触器的触点、插入式熔断器的触点、插销的触点等活动触点，如没有足够的接触压力或接触表面粗糙不平，都会导致过热。

(4) 电刷的滑动接触处没有足够的压力或接触表面脏污、不光滑，也会导致过热。

(5) 对于铜铝接头，由于铜和铝的性质不同，接头处易受电解作用而腐蚀，从而导致过热。

(四) 散热不良

各种电气设备在设计和安装时都考虑有一定的散热或通风措施，如果这些措施受到破坏，可造成设备过热。

除上述各点外，电灯和电炉等直接利用电流产生的热能进行工作的电气设备，工作温度都比较高，如安置或使用不当，均可能引起火灾。

白炽灯泡表面温度随灯泡功率大小的不同和生产厂家不同而差别很大，大体如表 7-2 所示。200W 的灯泡紧贴纸张时，十几分钟即可将纸点燃。

表 7-2 灯泡表面温度

灯泡功率/W	40	75	100	150	200
灯泡表面温度/℃	50~60	140~200	170~220	150~230	160~300

高压汞灯的表面温度和白炽灯差不多，约为 150℃~250℃。但是，与白炽灯相比，它的火灾危险性更大些，这是因为它的功率比较大，发热量多，在散热条件不好时，温度升高得很快。

碘钨灯灯管表面温度较高，1000W 碘钨灯灯管表面温度可达 500℃~800℃。把纸、布、棉花等放在碘钨灯上，很快就会着火。

总之，散热条件不好时，功率越大的灯具，温度升高得越快。灯具与可燃物质的距离愈近，愈容易烤燃起火。

电热器具的电流都比较大，容易引起线路过载。电阻炉的热元件由镍铬合金等材料制成，工作时温度可高达 800℃，能点燃附近的易燃物品。

二、电火花和电弧

电火花是由电极间击穿放电而形成的，电弧是由大量密集的电火花汇集而成的。

一般电火花的温度都很高，特别是电弧，其温度可高达 3000℃~6000℃。因此，电火花和电弧不仅能引起可燃物燃烧，还能使金属熔化、飞溅，构成危险的火源。在有爆炸性危险的场所，

电火花和电弧更是一个十分危险的因素。

电火花大体包括工作电火花和事故电火花两类。

(一) 工作电火花

工作电火花是指电气设备正常工作时或正常操作过程中产生的火花，如直流电机电刷与换向器滑动接触处，交流电机电刷与集电环滑动接触处电刷后方的微小火花；开关或接触器开合时的火花；插销拔出或插入时的火花等。

(二) 事故电火花

事故电火花是线路或设备发生故障时出现的火花。如发生短路或接地时出现的火花；绝缘损坏时出现的闪络及导电连接松脱时的火花；熔体熔断时的火花；过电压放电火花；静电火花；感应电火花以及修理工作中错误操作引起的火花等。

(三) 机械碰撞火花

电动机转子和定子发生摩擦（扫膛）或风扇与其他部件相碰都会产生火花，这就是由碰撞引起的机械性质的火花。

除上所述，灯泡破碎时，炽热的灯丝会产生类似火花的作用。

应当指出，电气设备本身事故一般不会出现爆炸事故。但在以下场合可能引起空间爆炸：周围空间有爆炸性混合物，在危险温度或电火花作用下引起空间爆炸；充油设备（如多油断路器、电力变压器、电力电容器和充油套管）的绝缘油在电弧作用下分解和汽化，喷出大量油雾和可燃气体，引起空间爆炸；发电机氢冷装置漏气、铅蓄电池排出氢气等，都会形成爆炸性混合物而引起空间爆炸。

第三节 防火和防爆措施

根据电气火灾和爆炸原因而采取的防范措施，大体上包括：选用合适的电气设备及保护装置，并使其正常运行；保持必要的防火间距；保持良好的通风和接地等。

一、合理选用电气设备

(一) 防爆电气设备依其结构和防爆性能的不同，分为以下九

种类型：

1. 隔爆型（标志 d） 能承受内部爆炸性气体混合物的爆炸压力，并阻止内部爆炸向外壳周围爆炸混合物传播。

2. 增安型（标志 e） 在正常运行条件下不会产生电弧、火花或可能产生点燃爆炸混合物的设备结构上，采取措施提高安全程度，以避免在正常和认可的过载条件下出现这些现象。

3. 本质安全型（标志 i） 在规定的试验条件下，正常工作或规定的故障状态下产生的电火花热效应均不能点燃规定的爆炸性混合物。

4. 正压型（标志 p） 保持内部保护气体的压力高于周围爆炸性环境的压力，阻止内部混合物进入内壳。

5. 充油型（标志 o） 全部或部分部件浸在油内，使设备不能点燃油面以上的或外壳以外的爆炸性混合物。

6. 充砂型（标志 q） 外壳内充填砂粒材料，使之在规定的条件下，壳内产生的电弧、传播的火焰、外壳壁或砂粒材料表面的过热均不能点燃周围爆炸性混合物。

7. 无火花型（标志 n） 在正常运行条件下，不会点燃周围爆炸性混合物，且一般不会有有点燃作用的故障。

其余二种型式是：浇封型（标志 m）；气密型（标志 h）。

防爆电气设备标志见表 7-3。

表 7-3 防爆电气设备标志

类 型	标 志	类 型	标 志	类 型	标 志
增安型	e	正压型	p	本质安全型	i
隔爆型	d	充砂型	q	浇封型	m
充油型	o	无火花型	n	气密型	h

除防爆电气设备以外，防尘型、防水型、密封型、保护型（包括封闭式、防溅式和防滴式）电气设备也都具有不同程度的防护性能。

（二）电气设备的选用

1. 电气设备按爆炸性混合物的选用原则 在有爆炸性混合物的爆炸危险场所内，选用的防爆电气设备，其所适用的级别和组别应不低于场所内爆炸性混合物的级别和组别。当场内存在两种或两种以上爆炸性混合物时，应按危险程度较高的级别和组别选定。

2. 按危险场所的类别和等级选用电气设备 它分两种情况：

(1) 对有爆炸性危险的场所选用电气设备时，要经过调查研究，从实际情况出发，根据爆炸危险场所的类别、等级和电火花形成的条件等，选用相应的电气设备。

(2) 对有火灾危险的场所选用电气设备时，应根据场所的等级、电气设备的种类和使用条件，选用相应的电气设备。

(三) 危险场所的电气线路导线的选择

在火灾和爆炸危险场所，电气线路应符合防火防爆的要求。其导线可参照表 7-4 进行选择。

表 7-4 电气线路导线的选择

场所类别	导线及安装方式
干燥无生	绝缘导线暗敷设或明敷设
潮湿或特殊潮湿	有保护的绝缘导线明敷设或绝缘导线穿管敷设
高温	耐热绝缘导线穿瓷管、石棉管或沿低压绝缘子敷设
腐蚀性	耐腐蚀的绝缘导线（铅包导线）明敷设或耐腐蚀的穿管敷设

在爆炸危险场所，导线的允许载流量应不小于：熔断器额定电流的 1.25 倍；自动开关长延时过电流脱扣器整定电流的 1.25 倍；笼型异步电动机（1200V 以下）额定电流的 1.25 倍。1200V 以上的线路，导线的允许载流量应按短路电流进行热稳定校验。

在有气体或蒸气爆炸性混合物的爆炸危险场所内，电气设备的极限温度和极限温升应符合要求。而在有粉尘或纤维爆炸性混合物的场所，电气设备外壳表面温度应不超过 125℃。必要时，要求可以放宽，但不得超过爆炸性混合物自燃温度的 2/3，或至少比

自燃温度低 75℃。

总之，选用爆炸危险场所的电气设备（包括电气线路）时，应根据实际情况，做到既安全可靠，又经济合理。为此，通常可尽量将电气设备（包括电气线路），特别是正常运行时产生火花的设备，装设在爆炸危险场所以外；如必须装设在危险场所内时，则应布置在危险性较小的地点。也就是说，首先应尽可能地降低电气设备所处的危险等级，然后选择电气设备。

二、合理选用保护装置

合理选用保护装置是防火防爆重要措施，也是提高防火防爆自动化程度的重要措施。

除接地（或接零）装置以外，火灾和爆炸危险场所应有比较完善的短路、过载等保护装置。过电流保护装置的动作电流在不影响电气设备正常工作的情况下，其整定值应尽量小些。在 0 区、10 区爆炸危险场所内，单相线路和工作零线均应装设短路保护装置。

遇突然停电有爆炸危险的场所，应有两路电源供电，并装有自动切换的联锁装置。

正常运行时产生火花或电弧的隔爆型电气设备，其电气联锁装置必须可靠，即电源接通时壳盖不能打开，壳盖打开后电源则不能接通。

对于正压型防爆电气设备，应装设必须的联锁装置或其他保护装置。

此外，还可装设自动检测装置，如当场所内爆炸性混合物达到危险浓度时，能发出信号或警报，以便工作人员采取措施，消除危险。

三、保持设备正常运行

除要合理选用电气设备及其保护装置外，还必须保持它们正常的运行，方能达到防火和防爆目的。为保证电气设备能正常运行，主要应注意以下四个方面：

(1) 为了防止电气设备过热，必须保持电压、电流和温升等

不超过允许值。

(2) 必须保持电气设备绝缘良好，否则，除可能造成人身事故外，还可能由于泄漏电流、短路火花或短路电流造成火灾或其他设备事故。

(3) 在运行中，应保持各导电部分连接可靠，接触良好。

(4) 保持设备清洁，为保持设备正常运行，必须保持设备清洁。如设备脏污或灰尘堆积，既会降低设备的绝缘，又将妨碍通风和冷却，特别是正常运行时有火花产生的电气设备，很可能由于过分脏污而引起火灾。因此，从防火的角度，也要求定期或经常地清扫电气设备，以保持清洁。

四、保持防火间距

选择合理的安装位置，保持必要的防火间距，也是防火防爆的一项重要措施。

(一) 选择合理的安装位置

对于爆炸危险场所，应该考虑把电气设备安装在爆炸危险场所以外或爆炸危险性较小的部位。这样能比较经济地满足防爆安全要求。当场所与爆炸危险场所相邻，且其间有隔墙隔开时，该场所的防爆等级应当降低。具体划分方法可参见表 7-5。从该表中可以看出，只要与爆炸危险场所隔开，就可以选用较低等级的防爆电气设备，甚至可以选择一般的电气设备。

为了防止电火花或危险温度引起火灾，开关、插座、熔断器、电热器具、透明器、电焊设备和电动机等均应根据需要，尽量避开易燃物或易燃建筑构件。起重机滑触线下方，不应堆放易燃品。露天变、配电装置，不应设置在易于沉积可燃性粉尘或纤维的地方。10kV 及以下的变、配电所，不应设在爆炸危险场所的正上方或正下方，也不宜设在火灾危险场所的正上方或正下方。10kV 及以下的架空线路，严禁跨越火灾和爆炸危险场所等。

(二) 保持必要防火间距

(1) 屋外变、配电装置，与建筑物、堆场之间的防火间距应不小于表 7-6 的规定。

表 7-5 与爆炸危险场所相邻场所的防爆等级

爆炸危险场所等级	用有门的墙隔开的相邻场所的等级	
	相隔一道有门的墙	经过走廊或套间相隔两道有门的墙
0区	划作1区	无爆炸和火灾危险
1区	划作2区	
2区	无爆炸和火灾危险	
10区	划作11区	无爆炸危险
11区	无爆炸危险	

注：1. 隔墙应是非燃料的实体；门应是难燃烧的，且有密闭措施和自动关闭装置（如弹簧等）；隔墙上如有窗应是难燃烧的、密闭的。

2. 与0区、1区、10区场所相邻场所间，其两道隔墙上门框之间的净距应不小于2m。

3. 与爆炸危险场所相邻的地下场所的等级划分，应根据具体情况考虑，如送、排风系统的配置，能使相邻场所的风压高于爆炸危险场所；或采取相应措施，使爆炸性混合物不能侵入相邻场所时，可按本表划定，否则不能降低相邻场所的等级。

根据以上原则，可以把某些电气设备（特别是正常运行时发生火花的设备）安装在爆炸危险场所之外或危险程度较低的场所。例如，把电动机安装在墙外，而采用隔墙机械传动（传动轴有填料密封），又如把照明灯具安装在危险场所外面，让光线通过玻璃透射入室内等等。

表 7-6 屋外变、配电装置与建筑、堆场的防火间距

建筑物、堆场名称	变压器总油量/t		
	<10	10~50	>50
民用建筑/m	15~25	20~30	25~35
丙、丁、戊类生产厂房和库房/m	12~20	15~25	20~30
甲、乙类生产厂房/m	25		
甲类库房/m	25~40		
稻草、麦秸、芦苇等易燃材料堆物/m	50		
易燃液体贮罐/m	25~50		

(续)

建筑物、堆场名称	变压器总油量/t		
	<10	10~50	>50
可燃液体贮罐/m	25~50		
液化石油气贮罐/m	40~90		
水槽式可燃气体贮罐/m	25~40		

注：1. 防火间距应从距建筑物、堆场最近的变压器外壁算起，但屋外变、配电构架距堆物、贮罐和甲、乙类厂房、库房不宜小于 25m，距其他建筑物不宜小于 10m。

2. 干式可燃气体贮罐的防火间距，应按本表增加 25%。

3. 发电厂的主变压器，其油量可按单台考虑。

4. 本表内屋外变、配电装置，是指电压为 35kV~330kV，且每台变压器容量在 5000kV·A 以上的屋外变、配电所，以及工业企业屋外总降压变电所的配电装置。

(2) 10kV 及以下的变、配电所与建筑物相毗邻时，隔墙应是非燃烧体的，隔墙面数应根据场所危险程度而定。这种变、配电所的门、窗应向外开启，并通向无火灾和无爆炸危险的场所。

(3) 10kV 及以下的架空线路，与火灾和爆炸危险场所接近时，其间的水平距离一般应不小于杆柱高度的 1.5 倍，以防止发生倒杆断线事故时，电线甩出，产生火花和电弧引起燃烧或爆炸。在特殊情况下，采取有效措施后，允许适当减小距离。

(4) 铅蓄电池室的入口最好有套间或门斗，避免一般房间与蓄电池室直接毗连，外套间及蓄电池室的门都应向外开启。

五、通风

(一) 爆炸危险场所的通风

在爆炸危险场所，如有良好的通风装置，能降低爆炸性混合物的浓度，场所危险等级可以考虑降低。例如，对于气流良好的敞开式、局部敞开式建筑物和构筑物或露天区域或系气体或蒸气爆炸性混合物的场所，一般可降低一级考虑，但不应划为无爆炸危险的场所；如系粉尘或纤维爆炸性混合物的场所，一般可划为

无爆炸危险的场所。又如，当装有经常运转的通风机，能保证场所有足够的换气次数和适当的均匀程度，且当其中一台机组故障时，仍有必要的通风量，或能自动接入备用机组的爆炸危险场所，可降低一级考虑。

应当注意，爆炸危险场所内的事故排风用电机的控制设备，应设在事故情况下便于操作的地方。

(二) 变压器室的通风

变压器室一般采用自然通风，当采用机械通风时，其送风系统不应与爆炸危险场所的送风系统相连，且供给的空气不应含有爆炸性混合物或其他有害物质。

(三) 蓄电池室的通风

蓄电池室可能有氢气排出，故应有良好的通风。通风方式一般可采用轴流式抽风设备或自然通风，但室内空气不可再参加循环。

(四) 电气设备的通风、充气系统

正压防爆型电气设备的通风、充气系统，应符合下列要求：

(1) 通风、充气系统必须采用非燃烧性材料制作，结构应坚固、连接应紧密。

(2) 通风、充气系统内不应有阻碍气流的死角。

(3) 电气设备应与通风、充气系统联锁，运行前必须先通风，而且通过的气体量不小于系统容积的 5 倍时，才能接通电气设备的电源。

(4) 进入电气设备及其通风、充气系统内的气体不应含有爆炸危险物质或其他有害物质。

(5) 通风系统排出的废气，一般不应排入爆炸危险场所。

(6) 在运行中，电气设备及其通风、充气系统内的正压应不低于 0.2kPa，当低于 0.1kPa 时，应自动断开电气设备的主电源或发出信号。

(7) 对于闭路通风的防爆通风型电气设备及其通风系统，应供给清洁气体以补充漏损，并保持系统内的正压。

(8) 电气设备外壳及其通风、充气系统的门或盖子上，应有

警告标志或联锁装置，以防止运行中错误打开。

六、接地

爆炸场所的接地（或接零）要求，较一般场所为高。为此，应注意以下事项：

(1) 除生产上有特殊要求以外，在一般场所不要求接地（或接零）的部分，在爆炸场所则仍应接地（或接零）。例如，额定电压为 110V 及以下的电气设备仍须接地（或接零）。

(2) 为了保持电流途中不中断，防止出现电火花，必须将所有设备的金属部分、金属管道以及建筑物的金属结构全部接地（或接零），并连接成连续整体。

(3) 0 区、10 区场所内的所有电气设备（包括仪表、照明灯具等）和 1 区场所内除照明灯具以外的其他设备，应使用专用地（零）线，而金属管道或电缆的金属护套等只能作辅助接地（零）线；1 区场所内的照明灯具和 2 区、11 区场所内的所有电气设备，允许利用连接可靠的金属管或金属桁架作为接地（零）线（输送爆炸危险物质的管道除外）。

(4) 单相设备的工作零线应与保护零线分开，相线和工作零线均应装设短路保护装置，并装设双极刀开关、同时操作相线和工作零线。

(5) 在爆炸危险场所，如是由不接地系统供电，必须装设能发出信号的绝缘监视装置。

(6) 在爆炸危险场所，如果采用变压器低压中性点接地的保护接零系统，则为了提高可靠性，缩短短路故障持续时间，系统的单相短路电流应当大一些，最小单相短路电流不小于该段线路熔断器额定电流的 5 倍或断路器瞬时（或短延时）动作过电流脱扣器整定电流的 1.5 倍。

七、其他防火防爆措施

以上六项都是防火防爆的重要措施，但并非是完全防火防爆措施。为了防火防爆，必须采取以下包括组织措施在内的综合措施。

（一）注意堵塞危险漏洞

为了避免产生火花,在爆炸危险场所更换灯泡时应停电操作;基于同样理由,在爆炸危险场所内一般不应进行测量工作。又如,建筑物通向油区的出入沟道和孔洞,应预堵死或加装挡油设备为了防止火势蔓延,室内贮油量在 600kg 以上的变压器或其他电气设备,以及室外、贮油量在 1000kg 以上的电气设备,应有适当的贮油设施和挡油设施等。

(二) 采用耐火防火设施

变配电室、铅蓄电池室和电容器室应为耐火建筑;临近室外变配电装置的建筑物外墙也应为耐火建筑。又如,电热器具应有耐热垫等。

(三) 采用密封防爆措施

密封有两种方法:一是把危险物质尽量装在密闭容器内,限制爆炸性物质的产生和逸散;另一是把电气设备或电气设备可能引爆的部件加以密封,消除引爆的原因。密封措施在防爆电气设备上已得到了应用。

第四节 电气灭火常识

从灭火角度考虑,电气火灾有如下两个特点:一个特点是着火后电气设备可能是带电的,如不注意可能会引起触电事故;另一个特点是有些电气设备(如电力变压器、多油断路器等)本身充有大量的油,可能会发生喷油甚至爆炸事故,而造成火焰蔓延,扩大火灾范围,这些都必须加以注意。

一、切断电源以防触电

电气设备或电气线路发生火灾,如果没有及时切断电源,在下列情况下可能触电:

(1) 扑救人员身体或所持器械可能触及带电部分,造成触电事故。

(2) 使用导电灭火剂,如水枪射出的直流水柱、泡沫灭火机射出的泡沫等射至带电部分,也可能引起触电事故。

(3) 火灾发生后,电气设备可能因绝缘损坏而碰壳短路,电

气线路也可能因电线断落而接地短路，使正常时不带电的金属框架、地面等部位带电，也可能导致因接触电压或跨步电压而触电的危险。

因此，发生火灾后，首先要设法切断电源，切断电源时应注意以下事项：

(1) 火灾发生后，由于受潮或烟熏，开关设备的绝缘性能会降低，因此拉闸时最好用绝缘工具操作。

(2) 高压应先操作油断路器，而不应先操作隔离开关切断电源；低压应先操作电磁起动器，而不应先操作刀开关切断电源，以免引来弧光短路。

(3) 切断电源的范围要选择适当，防止断电后影响灭火工作和扩大停电范围。

(4) 剪断电线时，对三相线路的非同相电线应在不同部位剪断，以免造成短路；剪断空中电线时，剪断位置应选择在电源方向的支持物附近，以防止电线剪断后掉落造成接地短路或触电事故。

电气设备和线路在切断电源后的灭火方法，与一般火灾的灭火方法相同。

二、带电灭火安全要求

有时为了争取灭火时间，来不及断电，或因生产需要或其他原因，不允许断电，则需带电灭火。带电灭火需注意以下几点：

(1) 选择适当的灭火器。各类灭火器的主要性能列于表 7-7 中。二氧化碳、四氯化碳、二氟-氯-溴甲烷 (1211)、二氟二溴甲烷或干粉灭火器的灭火剂都是不导电的，可用于带电灭火。泡沫灭火器的灭火剂（水溶液）有一定的导电性，而且对电气设备的绝缘有影响，不宜用于带电灭火。

(2) 用水枪灭火器时宜采用喷雾水枪，这种水枪通过水柱的泄漏电流较小，带电灭火比较安全；用普通直流水枪灭火时，为防止通过水柱的泄漏电流流过人体，可将水枪喷嘴接地（即将水枪喷嘴接向埋入接地体，或接向粗铜线网格接地板，或接向粗铜

线网格鞋套);也可让灭火人员穿戴绝缘手套或绝缘靴或穿戴均压服工作。

表 7-7 灭火机的主要性能

种类	二氧化碳	四氯化碳	干粉	1211	泡沫
规格	2kg 以下 2kg~3kg 5kg~7kg	2kg 以下 2kg~3kg 5kg~8kg	8kg 50kg	1kg 2kg 3kg	10L 65L~130L
药剂	瓶内装有压缩成液态的二氧化碳	瓶内装有四氯化碳液体,并加有一定压力	钢筒内装有钾盐或钠盐干粉,并备有盛装压缩气体的小钢瓶	钢筒内装有二氟-氯-溴甲烷,并充填压缩氮	筒内装有碳酸氢钠、发泡剂和硫酸铝溶液
用途	不导电,扑救电气设备、精密仪器、油类和酸类火灾,不能扑救钾、钠、镁、铝等物质火灾	不导电,扑救电气设备火灾,不能扑救钾、钠、铝、镁、乙炔、二硫化碳等火灾	不导电,可扑救电气设备火灾,但不宜扑救旋转电机火灾,可扑救石油产品、油漆、有机溶剂、天然气和天然气设备火灾	不导电,扑救油类、电气设备、化工、化纤原料等初起火灾	扑救油类或其他易燃液体火灾,不能扑救忌水和带电物体火灾
效能	接近着火点,保持 3m 距离	3kg 喷射时间 30s,射程 7m	8kg 喷射时间 14s~18s,射程 4.5m; 50kg 喷射时间 50s~55s,射程 6m~8m	1kg 喷射时间 6s~8s,射程 2m~3m	10L 喷射时间 60s,射程 8m; 65L 喷射时间 170s,射程 13.5m
使用方法	一手拿好喇叭筒对着火源;另一手打开开关即可	只要打开开关,液体就可喷出	提起压环,干粉即可喷出	拔下铅封或横销,用力压下压把即可	倒过来稍加摇动或打开开关,药剂即喷出

(续)

种类	二氧化碳、四氯化碳	干粉	1211	泡沫
保养和检查方法	<p>保管：</p> <p>1) 置于取用方便的地方</p> <p>2) 注意使用期限</p> <p>3) 防止喷嘴堵塞</p> <p>4) 冬季防冻，夏季防晒</p> <p>检查：</p> <p>1) 对于二氧化碳灭火器，每月测量一次，重量减少 1/10 时，应充气</p> <p>2) 对于四氯化碳灭火器，应检查压力情况，低于规定压力时，应充气</p>	<p>置于干燥通风处，防受潮、日晒，每月检查一次干粉是否受潮或结块，小钢瓶内的气压压力，每半年检查一次，如重量减少 1/10，应换气</p>	<p>置于干燥处，勿摔碰，每年检查一次重量</p>	<p>一年检查一次，泡沫发生倍数低于 4 倍时，应换药</p>

(3) 人体和带电体之间保持必要的安全距离。用水灭火时，水枪喷嘴至带电体的距离：电压为 110kV 以下者应不小于 3m；电压为 220kV 及以上者应不小于 5m。用二氧化碳等不导电灭火剂的灭火器灭火时，机体喷嘴至带电体的最小距离见表 7-8。

表 7-8 带电灭火时接地体对带电体的最小距离

电压/kV	10	35	66	110	159	220	330
距离/m	0.4	0.6	0.7	1.0	1.4	1.8	2.4

(4) 对架空线路等空中设备进行灭火时，人体位置与带电体之间的仰角应不超过 45°，以防导线断落危及灭火人员的安全。

(5) 如遇带电导线断落地面，要划出一定的警戒区，若有人处在警戒区内，绝不能跨步奔走，应采用单足或并足跳离危险区，以防跨步电压伤人。

三、充油设备和旋转电机的灭火要求

(一) 充油设备的灭火要求

充油设备的油，闪点多在 13C~140C 之间，有较大的危险

性。如果只在设备外部起火，可用二氧化碳、四氯化碳、二氟-氯-溴甲烷、干粉等灭火器带电灭火。如果火势较大，对附近的电气设备有威胁时，应切断起火设备和受威胁设备的电源，并可用水灭火。如果油箱破坏，喷油燃烧，火势很大时，除切断电源外，如设有事故贮油坑的，应设法将油放进贮油坑，而坑内和地上的油火可用泡沫扑灭。同时要防止燃烧着的油流入电缆沟而顺沟蔓延（若电缆沟内已有油火，则只能用泡沫覆盖扑灭）。

（二）旋转电机的灭火要求

发电机和电动机等旋转电机着火时，为防止轴承变形，可令其慢慢转动，用喷雾水灭火，并使其均匀冷却；也可用二氧化碳、四氯化碳、二氟-氯-溴甲烷或蒸气灭火，但不宜用干粉、砂子、泥土灭火，以免损伤电气设备的绝缘。

必须指出，用四氯化碳灭火时，灭火人员应站在上风侧，防止中毒，灭火后要及时注意通风。

第八章 电气设备倒闸操作

第一节 倒闸操作的基本原则和要求

电气设备倒闸操作是指拉开或合上某些断路器和隔离开关，拉开合上直流操作回路，切除或投入某些继电保护装置和自动装置，拆开或装设临时接地线及检查设备的绝缘。

当电气设备由一种状态转换到另一种状态或改变系统的运行方式时，需要一系列的倒闸操作才能完成。

在发电厂、变电所电气设备倒闸操作的主要工作内容有：1. 电力线路的停、送电操作；2. 电力变压器的停、送电操作；3. 发电机的起动、并列和解列操作；4. 网络的合环与解环；5. 母线接线方式的改变（即倒换母线操作）；6. 中性点接地方式的改变和消弧线圈的调整；7. 继电保护和自动装置使用状态改变；8. 接地线的安装与拆装等。

电气倒闸操作是直接改变电气设备的运行方式和运行状态，是一项即重要又复杂的工作，如若发生误操作事故，就可能造成设备的损坏、人身的伤亡及大面积停电，给国民经济造成重大损失。因此，对于倒闸操作中可能发生的误操作，应遵循一定的原则和要求。

一、倒闸操作的基本原则

在电气设备中，断路器具有接通及断开电流和切断短路电流的能力，可以用它接通和断开有负荷的电路。而隔离开关（通称刀闸）通常是不能切断负荷电流的。所以在执行倒闸操作时，操作的基本原则是围绕着不能带负荷拉、合隔离开关这一关键。因此，在倒闸操作时，应遵守下列基本原则：

(1) 在拉闸时，必须用断路器断开负荷电流或短路电流；在

合闸时，亦必须用断路器接通负荷电流，绝对禁止用隔离开关接通或断开负荷电流。

(2) 为了防止带负荷拉（合）刀闸，缩小事故范围，在进行倒闸操作时要求遵循下列顺序：

1) 在停电拉闸时必须先用断路器切断电路，在检查断路器确在断开位置后，先拉开负荷侧刀闸，后拉母线侧刀闸，以造成一个明显的断开点，如图 8-1 所示。

2) 在送电合闸时则应先合上母线刀闸，后合负荷侧刀闸，最后合上开关将电路接通。但当发生误合刀闸时，切记严禁盲目将刀闸接着又拉开，以防发生带负荷拉刀闸。

3) 在进行两侧刀闸操作时，也应遵循操作顺序，即停电操作先操作负荷侧刀闸，后操作母线侧刀闸；送电操作则反之，先操作母线侧刀闸后操作负荷侧刀闸。

遵循上述操作顺序，是考虑在意外情况下，即或开关实际上未断开时，万一发生带负荷拉刀闸或带负荷合刀闸，使得因此而引起的故障点始终保持在开关的负荷侧，这样可使开关保护动作切除故障，把事故影响缩小在最小的范围。反之，故障点如出现在母线侧刀闸，将可能导致整段母线的全停。另外，母线侧刀闸损坏后的检修往往比负荷侧刀闸损坏后的检修影响大。

4) 有雷电活动时禁止进行倒闸操作，因为有雷电活动时，雷电进行波会通过母线在线路之间馈散。雷电流是相当大的，而高压断路器的遮断容量相比是很有限的，如果恰好在操作中遇上那一瞬间有雷电流，就会发生严重后果。有雷电活动时，输电线路及其他电气设备发生故障的几率也高，操作条件恶劣，对人身

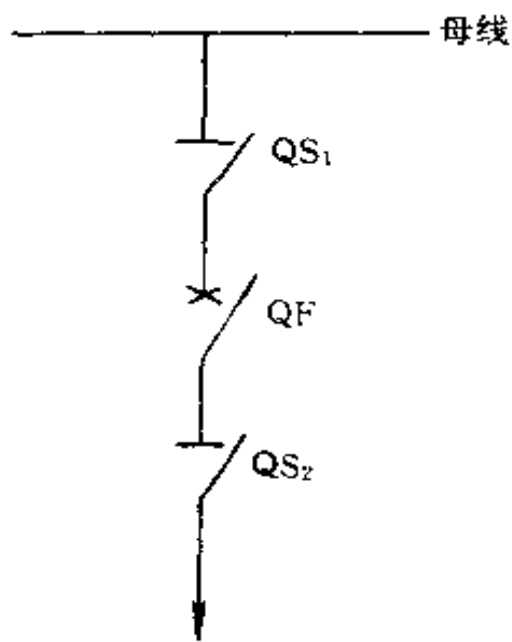


图 8-1 电气接线图

和设备风险都大，安全工作无保障，所以，在雷电活动上空或附近，应禁止进行倒闸操作。

二、倒闸操作的基本要求

(一) 对运行操作人员的要求

(1) 要有考核合格并经工区领导批准公布的操作人和监护人。

(2) 不能单凭记忆，而应在仔细地检查操作地点及该设备的名称编号后，才能进行操作。

(3) 不要仅依赖监护人，而应对操作内容做到心中有数。否则，操作中会出问题。

(4) 在进行操作期间，不要做与操作无关的交谈或工作。

(5) 处理事故时，不要惊慌失措。否则，会扩大事故或发生人身伤亡事故。

(6) 在装设地线之前，必须认真检查该设备是否确已无电。在验明设备确无电压后，应立即装设携带式接地线，以确保人身和设备的安全。

(7) 送电范围内的设备在投入前，必须检查其上有无接地线、工具、擦布等物。

(8) 当闭锁装置拒绝动作时，不要随意作出装置出故障的结论，而应对设备进行检查，并分析原因。

(二) 对电气设备的要求

(1) 现场一次、二次设备要有明显的标志，包括命名、编号、铭牌、转动方向、切换位置的指示以及区别电气相别的颜色。

(2) 要有与现场设备标志和运行方式相符合的一次系统模拟图，继电保护和二次设备还应有二次回路原理图和展开图。

(3) 在倒闸操作前，必须要了解系统的运行方式、继电保护及自动装置等情况，并应考虑电源及负荷的合理分布及系统运行方式的调整情况。

(4) 在操作前应检查隔离开关和断路器的实际位置，防止误操作事故发生。

(5) 在进行倒闸操作中，应做好安全措施。如在用绝缘棒拉合隔离开关或经传动机构拉合隔离开关和断路器时，均应戴绝缘手套。必要时使用绝缘夹钳，并站在绝缘垫或绝缘台上。

(6) 操作中应用合格的安全工、器具，以防止因安全工、器具耐压不合格而在工作时造成人身和设备事故。在电气设备停电装设地线时，需进行验电，装设地线时应按先接接地端，后接导线端的顺序进行。送电时必须在拆除地线后进行，严禁带地线合闸送电。

第二节 保证倒闸操作安全的措施

电气设备的倒闸操作是一项十分严谨的工作，调度员和发电厂值班人员应按照操作任务完成倒闸操作，在操作过程中不应发生任何事故和异常现象，操作完毕后系统的运行方式应该符合安全、经济的要求。

一、倒闸操作的基本出发点

- (1) 安全地完成倒闸操作任务。
- (2) 保证运行方式的正确合理。
- (3) 保证用户，特别是重要用户和发电厂用电的供电可靠性。
- (4) 要保证系统有功、无功功率的合理分布，并使发电厂及电力系统各部分都具有一定的备用容量。
- (5) 要保持继电保护和自动装置的配合、协调和使用的合理。
- (6) 要考虑中性点直接接地点的合理分布和消弧线圈的合理使用。
- (7) 要注意线路相位的正确性，特别是由于检修、扩建或该设备投入有可能造成相位混乱时，必须进行相位的测定。
- (8) 根据改变后的运行方式，重新确定新方式下事故处理方法。

为了保证在倒闸操作过程中的安全性和可靠性，各级人员必

须严格贯彻执行行之有效的组织措施和技术措施。

二、倒闸操作的组织措施

倒闸操作的组织措施一般包括操作命令和命令复诵制度、操作票和操作监护制度，以及操作票的管理制度。

（一）操作命令和命令复诵制度

操作命令和命令复诵制度是保证能否正确操作的前提。操作命令分为单项命令和综合命令两种方式，单项命令是由发令人逐项下达操作命令，一项操作完成后，再由发令人下达下一项。综合命令是指发令人只下达操作任务，由值班人员按现场有关规定自行操作。

不管是那种方式的命令，在发令人发令后，必须由受令人重复命令的内容，发令人认为受令人确已听清，再下达正式操作命令。

（二）操作票制度和操作监护制度

在电气系统和设备运行中，倒闸操作种类繁多，内容较广，操作路径也各有不同，易发生误操作事故。因此在倒闸操作前，必须由操作人填写操作票。操作票应填写清楚，不得随意涂改。填写人和审核人应对操作票的正确性负责，每张操作票只能填写一个操作任务。

在操作中执行监护制度，能及时纠正操作人在操作中可能出现的错误操作，同时当在操作中万一发生意外时，监护人可及时对其进行救护。因此，除单人值班的变电所外，倒闸操作必须由两人执行，即一人担任操作，另一个对设备较为熟悉者进行监护，以防疏忽大意造成误操作事故。

（三）操作票管理制度

操作票的管理制度包括以下内容：操作票应编号并按顺序使用，操作票执行过程中的实际抽查，操作票执行后的保管与检查，操作票合格率的统计及错误操作票的分析等。这是保证操作票及操作监护制度认真执行的一项重要措施。

三、倒闸操作的技术措施

（1）各发电厂、变电所的模拟图板或接线图必须和实际运行

状况相符，设备编号应采用双重编号，即设备的名称和编号，操作票填写设备名称和编号的作用有两个，一是使操作票简单、明了，避免某些语句在书写和复诵上过于沉繁，二是通过使用双重名称，可以避免发令和受令时在听觉上出错，特别对同一变电所内同音或近音的设备尤其必要。因此，发令人在下达倒闸操作任务时应下达双重编号，在填写操作票时也应填写设备的双重编号，以确保操作的正确性。并要求各发电厂、变电所内的设备编号必须能明显区分，不得有重复编号。

(2) 在断路器和隔离开关之间装设机械或电气闭锁装置。闭锁装置的作用是断路器在未断开前，该电路的隔离开关拉不开；反之，当断路器断开时，该电路的隔离开关合不上，这样，可防止带负荷拉合刀闸。

第三节 断路器操作的安全技术

一、断路器的作用和分类

(一) 断路器的作用

1. 控制作用 根据电力系统运行的需要，将部分或全部电气设备，以及部分或全部线路投入或退出运行。

2. 保护作用 当电力系统某一部分发生故障时，将该故障部分从系统中迅速切除，防止事故扩大，保护系统中各类电气设备不受损坏，保证系统安全运行。

(二) 断路器的分类

根据不同灭弧介质和工作原理，断路器可分为以下几种主要类型：

1. 油断路器 利用变压器油作为灭弧介质，分多油和少油两种类型。

2. SF₆ 断路器 采用惰性气体六氟化硫来灭弧，并利用它所具有的很高的绝缘性能来增强触头间的绝缘。

3. 真空断路器 触头密封在高真空度的灭弧室内，利用真空的高绝缘性能来灭弧。

4. 空气断路器 利用高速流动的压缩空气来灭弧。

5. 固体产气断路器 利用固体产气物质，在电弧高温作用下分解出来的气体来灭弧。

6. 磁吹断路器 断路时，利用本身流过的大电流产生的电磁力，将电弧迅速拉长而吸入磁性灭弧室内冷却熄灭。

二、高压断路器的主要技术参数

(一) 额定电压

指断路器所工作的某一等级的额定电压，在三相系统中指的是线间电压，在单相系统中则为相电压。它表明了断路器所具有的绝缘水平和灭弧能力。

(二) 额定电流

指断路器可以长时期通过的最大工作电流，此时导体部分的温升不超过规定的允许值。

(三) 额定开断电流

指断路器在额定电压下，能正常开断的最大短路电流，它表示了断路器的开断能力。

(四) 额定断流容量

是断路器开断能力的另一个综合表示值，它和额定电压值、开断电流值这两个因素密切相关。

三相断路器的断流容量 = $\sqrt{3} \times$ 额定线电压 \times 额定开断电流。

(五) 热稳定电流

指断路器在承受短路电流时的热稳定能力，即在规定的时间内通过此短路电流时，触头不因过热而被熔焊。

(六) 动稳定电流

指断路器的导电部分在短路电流通过时所产生的电动力冲击下，仍能保持机械的稳定性，不致发生损坏或变形。电动力与电流的峰值有关，所以这个参数是以峰值来表示，一般以额定开断电流（有效值）的 2.5 倍来计算。

(七) 全开断时间

指断路器操作机构的合闸线圈从开始通电时起，到断路器各相中电弧全部熄灭时为止的这段时间，这段时间应越短越好。

(八) 合闸时间

是断路器操作机构的合闸线圈从通电时起，到断路器主电路触头刚接触时为止的这段时间。

三、断路器操作的安全技术

断路器具有灭弧能力，能切断负荷电流和短路电流，是进行倒闸操作的主要工具，断路器的正确动作对保证系统安全和操作的顺利进行有着重大意义。因此，在进行断路器操作时，应满足下列安全技术要求：

(1) 用断路器拉、合闸时，值班人员应从各方面检查判断断路器的触头位置是否真正与外部指示相符合。当不能从信号灯及测量仪表的指示来判断断路器的实际开、合位置，应到现场检查断路器的机械位置来确定实际开、合位置。

(2) 一般情况下，断路器不允许带电手动合闸，这是因为手动合闸速度慢，易产生电弧。但特殊需要例外。

(3) 遥控操作断路器时，不得用力过猛，以防止损坏控制开关，也不要返回太快，以防断路器来不及合闸。

(4) 在改变系统接线时，应检查有关断路器的开断容量能否满足要求，断路器的开断容量应大于最严重情况下，通过该断路器的短路容量。

(5) 在断路器合闸前，应检查断路器是否达到允许事故开断次数。一般情况下，禁止将超过开断次数的断路器继续投入运行。

(6) 油断路器缺油或无油时，应取下断路器直流操作熔断器，以防止系统发生故障而跳开该断路器时，造成断路器爆炸，这是因为断路器缺油时其灭弧能力减弱，不能切断故障电流。

(7) 断路器操作的一般要求

1) 断路器经检修恢复运行，操作前应检查检修中为保证人身

安全所设置的措施（如接地等）是否全部拆除，防误闭锁装置是否正常。

2) 长期停运的断路器在正式执行操作前，应通过远方控制方式进行操作 2~3 次，无异常后，方能按操作票指定的方式操作。

3) 操作前应检查控制回路、辅助回路、控制电源（气源）或液压回路均正常，储能机构已储能，即具备运行操作条件。

4) 操作中应同时监视有关电压、电流、功率等表计的指示及红绿灯的变化，操作把手不宜返回太快。

(8) 运行中断路器几种异常操作的规定

1) 电磁机构严禁用手力杠杆或千斤顶的方法带电进行合闸操作。

2) 无自由脱扣的机构严禁就地操作。

3) 以硅整流作合闸的电磁操作机构，如合闸电源不符合要求，不允许就地操作。

4) 液压（气压）操动机构，如因压力异常导致断路器分、合闸闭锁时，不能擅自解除闭锁进行操作。

(9) 断路器故障状态下的操作规定

1) 断路器运行中，由于某种原因造成油断路器严重缺油，空气和 SF₆ 断路器气体压力异常（如突然降到零等），严禁对断路器进行停、送电操作，应立即断开故障断路器的控制电源，及时采取措施，断开上一级断路器将故障断路器退出运行。

2) 断路器的实际短路开断容量低于或接近于运行地点的短路容量时，在短路故障断开后禁止强行合闸送电，并应停用自动重合闸。因为断路器开断容量不够，再进行合闸会引起断路器故障。

3) 分相操作的断路器操作时，发生非全合闸，应立即将已合上相拉开，重新操作合闸一次，如仍不正常，则应拉开合上相并切断该断路器的控制电源，查明原因。

4) 分相操作的断路器操作的发生非全相分闸时，应立即切断

控制电源，就地手动操作将拒动相分闸断开，并查明断路器拒动分闸的原因。

第四节 隔离开关的安全操作技术

一、隔离开关的作用

由于断路器触头位置的外部指示器缺乏直观，又在有些情况下不能保证它的指示与触头的位置相一致，所以用隔离开关把有电与无电部分明显地隔离开是必要的，此外，隔离开关具有一定的自然灭弧能力，常用在电压互感器和避雷器等电流很小的设备投入和断开上，以及一个断路器与几个设备的连接处，使断路器经过隔离开关的倒换（这种倒换是只需要切断很小的电流或切断无恢复电压的环流）更为灵活方便。

二、隔离开关的自然灭弧

使用隔离开关拉、合电流超过 0.5A 或切断电压高于 30V 的电路时，都有可能产生电弧。电弧长度与极间电压成正比，所谓极间电压是指电弧熄灭后两极间的电压。例如，两相之间发生的电弧，极间电压为线电压；断开三相负荷时，极间电压为相电压；解环操作时，极间电压为环网解环后解环处的电压差。若操作所产生的电弧，其长度小于隔离开关相间（或对地）的最小距离时，并在足以防止重燃的条件下，通常电弧是可以自行熄灭的。

三、隔离开关操作的基本要领

(1) 在手动合隔离开关时必须迅速果断，但在合到底时不能用力过猛，以防合过头及损坏支持瓷瓶。在合隔离开关时如发生弧光或误合时，则应将隔离开关迅速合上。隔离开关一经合上，不得再行拉开，因为带负荷拉开隔离开关会使弧光扩大，使设备损坏更加严重。这时只能用断路器切断该回路后，才允许将误合的隔离开关拉开。

(2) 手动拉开隔离开关时应缓慢而谨慎，特别是闸刀刚离开静触头而发生电弧时，应立即合上，停止操作。但在切断小容量变压器的空载电流、一定长度架空线路和电缆线路的充电电流、少

量负荷电流以及用隔离开关解环操作时均有电弧产生，此时应迅速地将隔离开关断开，以便于消弧。

(3) 隔离开关经操作后，必须检查其开、合的位置。因为有时由于操作机构有毛病或调整得不好，可能出现操作后未全拉开或未全合上的现象。

四、允许用隔离开关进行操作

当回路中未设置断路器时，允许用隔离开关进行以下操作：

- (1) 拉、合无故障的电压互感器和避雷器。
- (2) 拉、合母线和直接连接在母线上设备的电容电流。
- (3) 拉、合变压器中性点的接地隔离开关，但当中性点上接有消弧线圈时，只有在系统没有接地故障时方可进行。
- (4) 与断路器并联的旁路隔离开关，当断路器在合闸位置时，可拉、合断路器的旁路电流。
- (5) 拉、合励磁电流不超过 2A 的空载变压器和电容电流不超过 5A 的无负荷线路。
- (6) 拉、合电压在 10kV 以下，电流在 70A 以下的环路均衡电流。

第五节 变压器和电源的并列操作

一、变压器操作的一般原则

变压器操作通常包括向变压器充电、带负荷、并列、解列、切断空载变压器等项。变压器操作的一般原则为：

(1) 变压器投入运行时，应先按照倒闸操作的步骤，合上各侧隔离开关、操作电源、投入保护装置和冷却装置等，使变压器处于热备用状态。

(2) 变压器的高低电压侧都有电源时，为避免变压器充电时产生较大的励磁涌流，一般应采用离负荷较远的高压侧充电，低压侧并列的操作方法；停用时相反。

(3) 当有几个电源可供选择时，宜于由小电源侧充电。

(4) 当变压器为单电源，送电时应先合电源侧断路器，后合

负荷侧断路器；停电顺序与此相反。

(5) 当变压器仅一侧装有保护装置时，则应先合装有保护装置侧断路器送电，以便在变压器内部有故障时，可由保护装置切除故障。

(6) 如未装设断路器时，可用隔离开关切断或接通空载电流不超过 2A 的空载变压器。

(7) 对于发电机-变压器组接线的变压器，尽可能安排由零起升压到额定值，再与系统并列；停用时相反。

(8) 无论将变压器投入或停用，均应先合上各侧中性点接地隔离开关，以防止过电压损坏变压器的绕组绝缘。在中性点直接接地系统内，仅一台变压器中性点接地运行时，若要停用此台变压器，则必须先合上另一台运行变压器的接地隔离开关，方可操作。否则将会使这个系统短时变成中性点绝缘的系统。

(9) 当带有消弧线圈的变压器停运时，应该先将消弧线圈切断，然后将消弧线圈连接在其他变压器上，再进行停电操作，不允许用中性点隔离开关并列的方法切换，以防止线路发生接地故障的同时，母联断路器跳闸，致使没有接地的系统产生虚幻接地现象。

二、电源的并列操作

电力系统内的电源是由很多发电机组成的，每台发电机必须经过“并列”操作才能加入到系统中去。随着电力系统的发展和系统间联络线的建立，各电力系统要进行互联，小系统要合并为大电力系统，也需要进行并列操作。此外，在日常运行中，发电机、联络线要进行检修，要按系统负荷的变化增减电源容量，这都需要进行“并列”和“解列”的操作。由于发电机并列时会产生暂态过程，因此电源并列也是比较重大的操作。

电源并列操作的方法有三种：即准同期、自同期和非同期法，而目前广泛采用准同期并列法。

(一) 利用准同期并列条件

(1) 待并电源电压与系统电压相等；

- (2) 待并电源频率与系统频率相等；
- (3) 待并电源电压的相位与系统电压的相位相同。

(二) 电源并列注意事项

- (1) 如果同期表的指针摆动过快时，不可合闸。
- (2) 同期表的指针走过零位时，不是很平稳而是有跳动时不准合闸。
- (3) 若系统有情况或仪表存在误差时，不得勉强操作。

(三) 同步并列操作的具体问题

并列操作时，首先要选择合适的并列断路器，断路器两侧应有电压互感器以便两部分电压能接入同步表，对于发电机，都是用其断路器进行并列；而对于两系统间的并列则常使用母联断路器。并列操作可以采取自动或手动，并列前要调整电压及频率，在频率差较小时（一般在 1Hz 以内），将同步表投入，这时表的指针开始旋转。若继续调整频率，使频率和相位完全相等，即同步表停止旋转并停留在中间位置，这时断路器合闸最为合适。但实际上，两电源的频率很难调整到完全相等，断路器合闸时，同步表指针总是转动的，尽管它可能转动得很慢。另外，断路器的合闸操作，自发出合闸命令到断路器触头刚好合上要经过一定时间（断路器的合闸时间）。如果在同步表指针过零时操作合闸，当断路器触头真正合上时，两电源的相位差已变的不为零值，这会造成不必要的冲击。所以必须在同步表指针没有到零时就提前操作，使断路器触头刚好合上时相位差基本为零。值班人员在手动并列操作时，必须掌握并列断路器的合闸时间，计算好合闸时角度提前量。

同步表指针旋转速度与电源间频率成正比，当频率为 1Hz 时，其指针每秒旋转一周即 $360^\circ/\text{s}$ 。频率与指针旋转周期的关系为

$$\Delta f = \frac{1}{T}$$

式中 Δf ——频率差 (Hz)；

T ——同步表指针旋转的周期。

若断路器的合闸时间为 t_h ，则由上式可得提前合闸角为

$$\delta_h = \frac{360^\circ t_h}{T}$$

(四) 频率相等的调整

空载发电机并列时，自然都是调整发电机的频率使其与系统相同。两个电源系统的并列，通常是增加频率低的系统的发电机出力，减少频率高的发电机出力，使频率相等。若其中一个系统频率低于正常值，而出力已达最大值无法调整时，可采用下列方法：

(1) 将频率高的系统的频率适当降低，其最低的允许值，由机组安全与按频率减载装置的整定值决定，一般应至少较按频率减载的最高整定值高出 0.5Hz。

(2) 将频率高的系统的发电机解列，并在频率低的系统。

(3) 将频率低的系统的部分负荷停电切换到频率高的系统受电。

(4) 频率低的系统拉闸限电。

(5) 迅速起动备用机组，并入频率低的系统。

第六节 母线和电力线路的操作

母线的操作指母线的投入和使用，以及母线上的设备在两条母线间的倒换等等。母线是设备的汇合场所，连接元件多，操作工作量大，操作前必须做好充分准备，操作时要严格按次序进行。

一、母线的操作

(一) 母线的操作方法和应注意的问题

(1) 在双母线接线中进行倒母线操作的顺序：应先合母联隔离开关及母联断路器，并将断路器改为非自动的；然后操作线路隔离开关，即先逐一合上备用母线上的隔离开关，再逐一拉开工作母线上的隔离开关。在操作过程中应注意潮流分布，防止母联

断路器过负荷。

(2) 热备用设备进行倒母线操作时，应先拉、后合，以防止发生通过两组母线隔离开关合环的误操作事故。

(3) 当运行中的双母线需停一组时，要防止电压互感器低压侧倒充电。母线送电操作如有母差保护，须用装有母差保护的母线充电合闸。

(4) 线路倒母线后，要注意将线路所用的电压互感器电源做相应的切换。有母差保护的线路按母差保护的有关规定执行。

(5) 若母线上已经有一组电容器在运行时，另一组电容器不允许合上，以防止倒充电。

(二) 母线正常运行和运行时的巡视检查

母线是变电所内集中或分配电能的装置，母线在通过短路电流后，不应发生明显的弯曲变形和损坏。母线及其联接点在通过其允许的电流时，温度不应超过 70℃，对户外的母线瓷瓶应定期进行绝缘检查和清扫。

在日常巡视检查时，应注意以下问题：

(1) 母线的在支持绝缘子及套管是否清洁，有无裂纹及放电声。

(2) 检查所有联结点的示温片是否熔化，特别是铜铝接头应严格检查。在高峰负荷期间或对接点有怀疑时，应进行温度测量。

(3) 检查母线连结处有无松动、脱落现象。

(三) 母线的故障处理

变电所母线发生故障，影响很大，严重时会使整个变电所停电。母线故障的原因多数是由于运行人员误操作时设备损坏造成的，也有外部原因（如小动物、长草等）和线路断路器的继电保护拒绝动作而越级跳闸造成的。

对双母线接线，可装设按固定方式连接的母差保护。若发生故障时，母差保护有选择性的切除故障母线，因而可减少母线全部停电的机会，并缩小了事故范围。

当母线断路器跳闸时，一般应先检查母线，只有在消除故障后才能送电，严禁用母联断路器对母线强行送电，以防事故扩大。当母线因后备保护动作而跳闸（一般因线路故障而线路的继电保护拒绝动作发生越级跳闸）时，此时应该判明故障元件并消除故障后，再恢复母线送电。若母线断路器装有重合闸装置，在重合闸失败后，应立即倒换至备用母线供电。如果跳闸前在母线上曾有人工作过时，更应对该母线进行详细检查，以防误送电而威胁人身与设备的安全。

二、电力线路操作

（一）电力线路操作的技术原则

电力线路的操作通常指线路停电和送电。而电力线路操作的具体内容要根据工作任务及当时的运行方式而定，并应遵守运行——热备用——冷备用——检修几种状态之间转变规律，同时电力线路的操作应遵守以下技术原则：

（1）装有断路器和隔离开关的线路，应使用断路器拉合闸，禁止使用隔离开关切断负荷电流。

（2）电力线路若需停电时，应先拉开断路器，然后拉开线路侧隔离开关，最后拉开母线侧隔离开关；送电时操作顺序与此相反。

（3）在电力线路停电前，应先通知用户，然后进行切除负荷或转移负荷至其他电源上工作，尽可能使线路处于空载状态，这时该线路的电流、功率等表计指示零，可防止值班人员误拉其他有负荷线路。

（4）操作中性点经消弧线圈接地系统的电力线路，应按避开谐振过电压的原则安排线路断路器的拉、合顺序。

（5）电力线路停电操作时，应按规定填写倒闸操作票。操作完毕以后，值班人员应根据工作票的具体要求，在检修设备上悬挂“在此工作”的指示牌，在控制开关、隔离开关把手上悬挂“不许合闸，有人工作”的标示牌，在邻近带电设备间隔悬挂“高压危险”的警告牌，并安装必要的遮栏，以保证检修人员能够安

全的工作。

(二) 电力线路故障及预防措施

1. 架空导线的故障及其预防措施

(1) 在配电线路中，由于线路通常是水平排列，而且线路距离较小，如果同一档距内的导线弛度不相同，刮大风时各个导线的摆动也不相同，这就可能引起相间导线相碰而短路，所以，必须严格注意导线的张力，使三相导线的弛度相等，并且在规定的标准范围内。

(2) 大风刮断树枝掉落在线路上，或向导线上一抛金属物体，也会引起导线相间短路，甚至断线。此外，吊车在线路下面吊装物体时，吊臂碰到线路，也会引起线路短路或断线故障，因此，在交叉、跨越的线路上应留有一定的间隔距离。

(3) 导线由于制造上的缺陷和架设中的操作，造成导线断股，运行一段时间后，断股散开，散开处的线头碰到邻近导线会引起短路。因此，发现断股导线后，应及时用绑线将断股线头绑好绕好。

(4) 导线长期受水分，大气及有害气体的影响，氧化侵蚀而损坏，钢导线和避雷线最容易锈蚀。因此，巡视时发现导线严重腐蚀，应进行更换。

2. 瓷绝缘的故障原因和预防措施

(1) 线路上的瓷质绝缘子由于受空气中所含酸、碱、盐类有关部分的影响，瓷质部分污秽，遇到潮湿天气，污秽层吸收水分，使其导电性能加强，易发生绝缘子表面放电闪络事故。

为防止架空线路由于污秽而引起的闪络事故，目前行之有效的技术措施是采用防污瓷瓶或增加绝缘子的泄漏距离，以及采用高一级电压等级的瓷瓶。

(2) 线路上误装不合格的瓷瓶，或因绝缘子老化，在线路电压作用下发生闪络击穿。巡线时，线路有闪络痕迹的瓷瓶应及时更换，而且新更换上的瓷瓶必须经过电气试验，合格才能使用。

(3) 瓷绝缘部分受外力破坏, 发生裂纹或破损, 如果打掉了大块瓷或是从边缘到顶部有裂纹时应迅速更换, 否则会引起绝缘降低而发生闪络。

3. 电杆及金具的故障原因及预防措施

(1) 线路受力不匀, 使杆塔倾斜, 应加打拉线或调整线路走向或导线拉力。

(2) 在导线振动较强的地方, 易发生金具螺钉受振动自行脱出事故。因此, 清扫时应仔细检查金具各部件的紧固是否良好。

4. 线路运行中突然停电的处理 电力线路在运行中, 如突然停电时, 可按不同情况分别处理:

(1) 当进线没有电压时, 说明是电力系统方面暂时停电。这时总开关不必拉开, 但出线开关应该全部拉开, 以免突然来电时, 用电设备同时起动的, 造成过负荷和电压骤降, 影响正常用电。

(2) 当两条进线中的一条进线停电时, 应立即进行切换操作, 将负荷特别是其中重要负荷转移给另一条进线供电。

(3) 厂内配电线路发生故障使开关跳闸时, 如开关的断流容量允许, 可以试合一次, 争取尽快恢复供电。由于架空线路故障多数属暂时性的, 所以多数情况下可能试合成功。如果试合不成功, 开关再次跳闸, 说明线路上的故障未消除, 这时应该对故障线路进行停电隔离检修。

第七节 操作制度

电气设备的倒闸操作, 是一项十分严谨的工作, 调度员和发电厂值班人员应以“安全工作规程”为行为准则, 严格执行倒闸操作的操作制度。

一、操作票制度

1000V 以上的电气设备, 在正常运行情况下进行任何操作时, 均应填写操作票。

(一) 操作票填写的内容

应拉合的开关和刀闸, 检查开关和刀闸的位置, 检查接地线

是否拆除，检查负荷分配，装拆接地线，安装或拆除控制回路或电压互感器回路的熔断器，切换保护回路和检验是否确无电压等。

（二）操作票填写的注意事项

（1）操作票填写应做到明了、简单，操作票的操作任务栏中应填写设备的双重名称，即填写设备的名称和编号。

（2）为了保证操作正确无误地进行，要求在操作中必须进行必要的检查，故应将此做为一个单独的操作项目填入操作票内。

（3）操作票上还应填明应拉、合接地刀闸的编号和应装、拆每一组接地线的编号和地点，以及在接地前检查相应刀闸确在断开位置和进行验电等，以防发生带电合接地刀闸及带电挂地线，以及带接地线送电等恶性事故的发生。

（4）为了防止电压互感器发生返送电和设备误动作，对必须拆除的控制回路或电压互感器回路的熔断器的名称，以及检修结束后将其恢复等，均应填入操作票内。

（5）在操作中，如因系统运行方式变更而可能出现潮流分布变化时，操作票中还应详细填入继电保护运行方式和整定值的变更情况。以防漏停、漏投而造成保护误动、拒动等酿成事故。

（三）倒闸操作时不用操作票的范围

（1）处理事故时，为了能迅速断开故障点，缩小故障范围，以限制事故的发展，及时恢复供电，故不需填写操作票。

（2）拉合开关的单一操作。

（3）拉开接地刀闸或拆除全厂（所）仅有的一组接地线。

（四）操作票的考核内容

对操作票本身，凡属下列任一情形的，均属不合格操作票。

（1）无编号或编号混乱者。

（2）无操作命令号，发令人代号或命令代号字样的。

（3）一张票填写了两个及以上操作任务且违反（现场运行规程）规定的。

（4）操作任务与操作项目不符者。

- (5) 操作票漏项。
- (6) 操作顺序颠倒。
- (7) 填写字迹不清, 任意涂改者。
- (8) 有同上或省略号者。
- (9) 有并项者。
- (10) 所使用的操作票非部颁规定的标准格式。
- (11) 非操作人填写的操作票, 有代签号、模仿签名者。
- (12) 操作术语不符合规定且语义重复或含义不清者。
- (13) 有续页而未按规定填写转接承前号和签名的。
- (14) 操作设备双重号称混写或名称错误者。
- (15) 所余空格未按规定打终止符号者。
- (16) 操作票中有错字、白字、丢字, 形成内容错误的。

操作票在执行中出现的合格情况如下:

- 1) 操作票虽然填写正确但执行错误者。
- 2) 现场操作未执行监护复诵制者 (主要表现在签名、时间、打勾, 字迹颜色同、异上, 或留有事后补填痕迹)。
- 3) 操作中未按规定打钩或一项在两行打钩者。
- 4) 监护人, 值班负责人未按规定签名, 续页无签名者。
- 5) 操作时间填写错误, 不勾改, 或续页时间未按规定填写者。
- 6) 操作完毕后, 未按规定盖上已执行字样章的。
- 7) 据票操作时发生任何人身或设备责任事故的。

规定以上考核内容的原因是, 出现其中任何一点或一条、一种情形的差错, 都潜在着安全操作与生产运行管理中的某些问题, 反映出违章、违反操作制度以及操作纪律方面的现象。

二、操作监护制度

在操作中执行监护制度, 能够有效地防止误操作事故。在进行倒闸操作前, 操作人和监护人应根据模拟图板或接线图, 核对所填写的操作项目, 或操作前在模拟图板上进行模拟操作, 对操作票的正确性进行验证, 以防止误操作。为了防止走错间隔, 站

错位置，或拉错开关操作把手等，监护人和操作人在执行每项操作前，应核对设备名称是否与操作任务相符。核对开关、刀闸的编号是否与操作票相符，检查开关、刀闸所处的运行状态与所要进行的操作内容是否相符。若发现有疑问，应立即停止操作，并查清情况，并防患于未然。

在操作中，应认真执行监护复诵制，即由监护人根据操作票的顺序逐项发出命令，操作人在接令后核对设备名称、编号与位置相符后，将命令复诵一遍并做好操作准备。监护人最后检查设备名称、编号和设备位置确认无误后，即发出执行命令。操作人在接到执行命令后，即进行操作。这就是监护、唱票、复诵、对号的操作方法。

为了确保按操作票的顺序进行操作，在每操作完一项后监护人应在该项上做一个记号“√”，全部操作完毕后进行复查，以防漏项。

第八节 倒闸操作程序

一、倒闸操作的顺序

（一）发布和接受任务

当值班负责人在操作前，应先布置操作任务，并讲清目的和操作设备的状况。操作人接到操作命令后，应复诵一遍后，将此任务记入操作本内，并做好操作前的准备工作，待接到正式操作命令后再进行操作。

（二）填写操作票

在进行操作前，应由操作人填写操作票。操作人员应根据操作任务，查对模拟系统图，在操作票上逐项填写操作项目，并由操作人和监护人核准后共同签名。

（三）审核批准

操作人填写好操作票后，由班长及值班长逐级审核确认无误后签名批准，将操作票交还给操作人。

（四）发布操作命令

当值班长或班长接到操作人“已做好执行任务的准备”后，发布正式操作命令，并且在操作票上填入发令时间。

（五）核对模拟系统图板

在发布操作命令后及正式操作前，由监护人按操作票的项目顺序唱票，由操作人翻正模拟图板，以核对其操作票的正确性。

（六）核对实物

应先核对被操作设备的双重名称是否相符，即核对设备编号和设备名称应与操作票相同。此外，核对断路器和隔离开关的实际位置及校验有关辅助设施的状况，如信号灯的指示、表计的指示、继电器和连锁装置等的状况。在核实完全正确后，操作人可做好必要的安全措施，如戴好绝缘手套等。

（七）高声唱票及逐项勾票

监护人按操作顺序及内容高声唱读，由操作人复诵一遍，监护人认为复诵无误后应答“对，执行”，操作人方可进行操作。监护人在操作开始时，应记录操作开始时间，并将已执行的操作项目立即在操作票上作一“√”记号，然后再读下一操作项目，以防止误操作及漏项等。

（八）检查设备

操作人在监护人的监护下检查操作结果，包括表计的指示，连锁装置及各项信号指示是否正常。

（九）汇报

操作票上全部项目操作完成后，监护人向操作发令人汇报操作结束及起终时间，发令人认可后，由操作人在操作票上盖“已执行”图章。

（十）记录入簿

监护人将操作任务及起终时间记入操作记录簿中。

二、倒闸操作中注意事项

（一）执行调度命令操作中发生疑问

操作中发生疑问往往是不安全因素的显露和预发的事故信

完整的统一。如果缺乏统一，对于同一问题，操作人员在做决策时就容易出现偏差，导致不安全事件发生。因此，对操作中的疑问，不管是发令人的问题还是操作者本身在执行操作中存在的问题，或是现场情况出现了新的变化，都要严肃认真地对待，直至澄清为止，绝不能擅自更改操作票或解锁操作。

（二）倒闸操作使用绝缘棒要戴绝缘手套

这是从全面周密的安全角度来着想的。首先，绝缘棒的绝缘并不绝对，当它保管不当受潮时，绝缘能力将会降低，表现为泄漏电流增大，假如使用这样的绝缘棒操作，绝缘棒上就会产生电压降，如果操作人不戴绝缘手套，则其两手之间的接触电压将对人身安全造成威胁；其次，如果操作中出现错误引起设备接地，那么地电位升高，操作人两手之间同样要产生接触电压而被伤害。因此，倒闸操作必须使用安全用具，基本安全用具还须辅助安全用具配合，戴手套是必须的。

（三）绝缘棒加装防雨罩

下雨天对倒闸操作来说必须有针对性地采取措施，绝缘棒的绝缘部分要加装喇叭型的防雨罩是，使用时注意，罩的上口必须和绝缘部分紧密接触，无渗漏。这样的话，它就可以把绝缘棒上顺流下来的雨水阻断，保持一定的耐压，而不至于形成对地闪络。增加防雨罩，还可以保证绝缘棒上的一部分不被淋湿，大大提高它的湿闪电压。

（四）倒闸操作中在哪些情况下应穿绝缘靴

穿绝缘靴是为了防止设备外壳带有较高电位时，操作人员受到跨步电压的危害。当雨天操作室外高压设备时，绝缘棒应有防雨罩，还应穿绝缘靴。接地网电阻不符合要求的，晴天也应穿绝

缘靴。在实际操作中应严格遵守有关规定，并注意在出现以下情况时穿好绝缘靴：

(1) 电气设备出现异常的检查巡视中，包括小电流接地系统接地查处时。

(2) 在雨天，有雷电活动对设备巡视和用绝缘棒进行操作时。

(3) 发生人身触电，前往解救时。

(4) 对接地网电阻不合格的配电装置进行倒闸操作和巡视时。

第九节 倒闸操作举例

一、变压器操作实例

变压器因计划检修或变压器运行中发生异常时，需要进行停电操作，即将变压器由运行状态转为检修状态。当检修工作结束后，即将变压器由检修状态转为运行状态。

现以图 8-2 所示为例，填写一份双绕组变压器送电的操作票。

变压器的停用操作步骤与上述相反。

对于三绕组变压器的运行和停用，其操作原则与双绕组变压器相同，例如，投入时，通常应先合电源侧断路器，后合负荷侧断路器。如三绕组升压变压器在送电时，应先合低、中、高压各侧隔离开关，再合低、中、高压各侧断路器；停电时则相反。

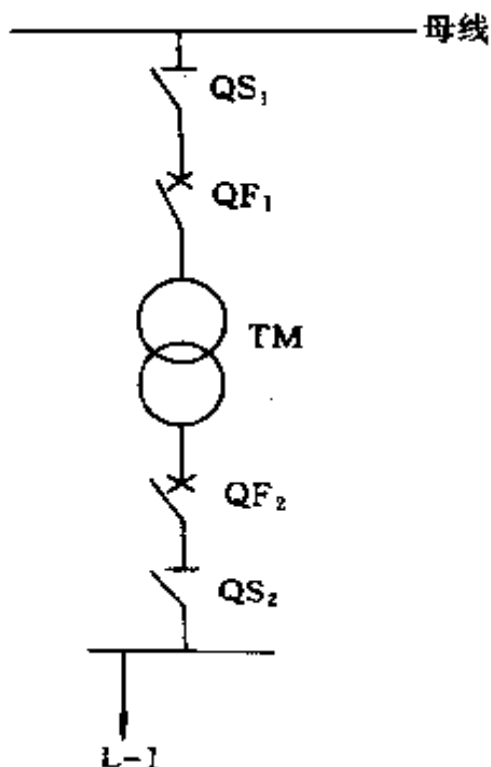


图 8-2 双绕组变压器接线图

发电厂（变电所）倒闸操作票

编号

操作开始时间： 年 月 日 时 分 终止时间： 日 时 分

操作任务：1[#]变压器送电投入运行

V	顺序	操 作 项 目
	1	收回检修工作票，拆除所有安全措施
	2	对变压器系统进行全面检查，测量绝缘电阻合格，了解修后试验情况
	3	在模拟图板上进行模拟操作
	4	投入变压器冷却装置
	5	给1 [#] 变压器 TM 高压侧操作熔断器
	6	给1 [#] 变压器 TM 低压侧操作熔断器
	7	投入变压器的保护连片
	8	检查1 [#] 变压器母线侧断路器 QF ₁ 在断开位置
	9	合上母线侧隔离开关 QS ₁ ，并检查合好
	10	给母线侧断路器 QF ₁ 合闸熔断器
	11	检查线路侧断路器 QF ₂ 在断开位置
	12	合上线路侧隔离开关 QS ₂ ，并检查合好
	13	给线路侧断路器 QF ₂ 合闸熔断器
	14	校对以上隔离开关位置指示器在合闸位置
	15	合上母线侧断路器 QF ₁
	16	经同期操作合上线路侧断路器 QF ₂
	17	检查和核对所操作的项目和设备
	18	报告发令人，操作完毕

操作人 _____ 监护人 _____ 值班负责人 _____ 值长 _____

二、线路的停送电操作举例

为了对线路断路器进行定期检修或故障检修时，需进行停电操作及修好后的送电操作。在送电前，必须检查接地开关在断开位置或临时接地线已拆除，再检查断路器和隔离开关确在断开位置，然后按图 8-3 进行倒闸操作，先合上母线侧隔离开关 QS_1 ，后合上线路侧隔离开关 QS_2 ，最后合上线路断路器 QF ，并投入线路自动重合闸及有关连锁跳闸压板；线路的停电操作步骤与送电操作相反。

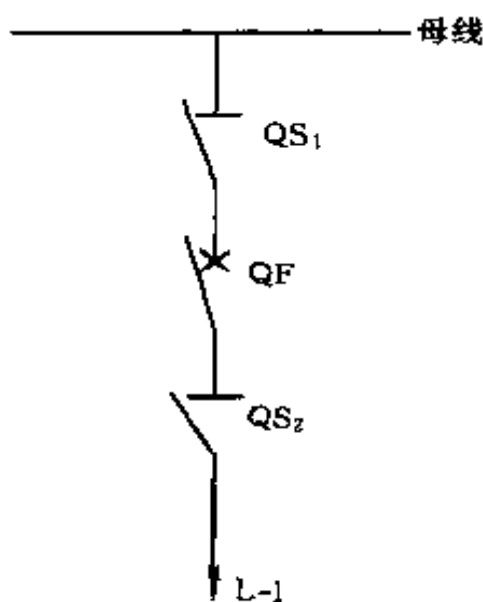


图 8-3 电力线路接线图

现以图 8-3 为例，填写线路送电操作票如下：

发电厂（变电所）倒闸操作票

编号

操作开始时间： 年 月 日 时 分		终止时间： 日 时 分
操作任务： L-1 线路送电		
V	顺序	操 作 项 目
	1	接调度命令后，复诵无误，检修工作票已注销，收回
	2	检修、试验人员离开现场，收回标示牌，拆除安全措施（注明地线编号），恢复常设遮栏、警告牌，场地清洁无杂物
	3	对所要操作的设备进行全面检查，所有刀闸、开关均在“断开”位置，保护压板连片均投入
	4	按操作程序，在模拟屏上进行模拟操作
	5	给上线路断路器 QF 操作、信号及电压回路熔断器
	6	检查线路断路器 QF 在“断开”位置
	7	检查线路断路器 QF，合闸熔断器取掉

(续)

操作开始时间： 年 月 日 时 分		终止时间： 日 时 分
操作任务：L-I 线路送电		
V	顺序	操 作 项 目
	8	合上母线侧刀闸 QS_1 (检查刀闸触头, 辅助接点合好)
	9	合上负荷侧刀闸 QS_2 (检查刀闸触头, 辅助接点合好)
	10	给线路开关合闸熔断器
	11	校对以上刀闸位置, 指示器有“合闸”位置
	12	按调度命令, 合上线路开关 QF (检查表计指示正常, 红灯亮)
	13	投入自动重合闸装置
	14	报告发令人, 操作完毕
操作人_____ 监护人_____ 值班负责人_____ 值长_____		

三、母线操作举例

为了对母线进行定期检修及清扫, 或在运行中发生母线或母线隔离开关故障而需要检修时, 须将备用母线投入工作, 将工作或故障母线停电, 需进行倒闸操作。

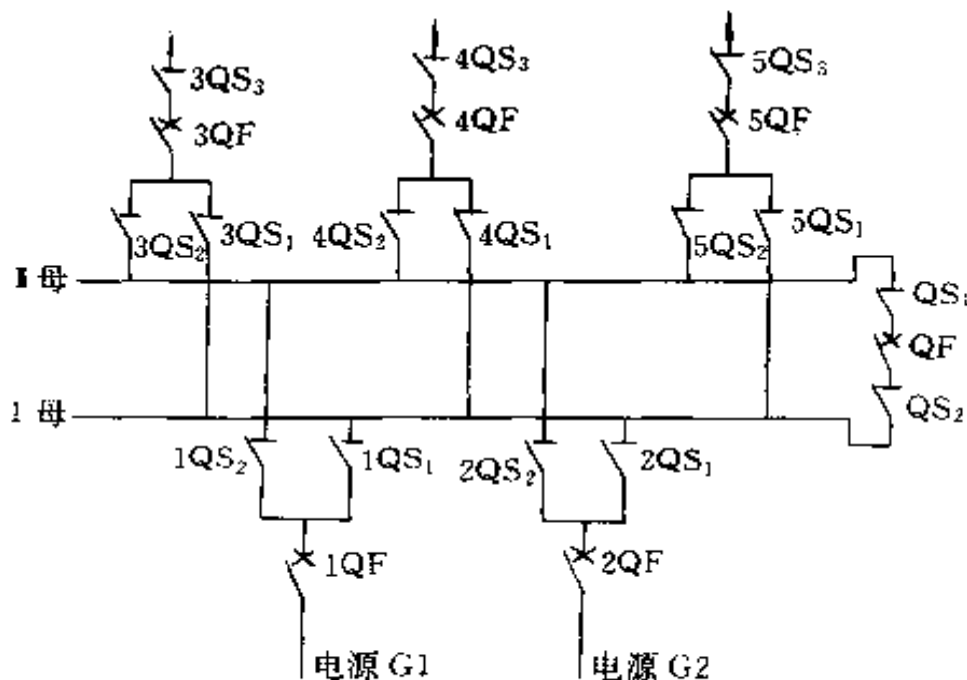


图 8-4 双母线电气接线图

如图 8-4 所示, 接线采用双母线制, I 母线运行, II 母线热备用。现需检修 I 母线时, 要将所有电源和线路切换到 II 母线上, 并填写操作票如下:

发电厂 (变电所) 倒闸操作票

编号

操作开始时间: 年 月 日 时 分		终止时间: 日 时 分
操作任务: 110kV I 母停电检修, 将电源和负荷倒至 II 母上运行		
V	顺序	操 作 项 目
	1	接 I 母停电命令后, 复诵无误, 进行全面检查
	2	对 II 母进行外部检查
	3	合母联断路器 两侧刀闸
	4	合上母联断路器
	5	检查母联断路器 在合闸位置, 电流指示正常
	6	取下母联断路器 操作熔断器
	7	依次全部合上 II 母侧隔离开关
	8	依次全部拉开 I 母侧隔离开关
	9	检查 I 母无负荷
	10	断开 I 母电压互感器低压开关
	11	给上母联断路器 操作熔断器
	12	断开母联断路器
	13	检查母联断路器 在断开位置
	14	取掉母联断路器 合闸熔断器
	15	拉开母联断路器 两侧隔离开关
	16	拉开 I 母电压互感器刀闸
	17	取掉母联断路器 操作、信号熔断器
	18	检查 I 母所有刀闸均在拉开位置

(续)

操作开始时间： 年 月 日 时 分		终止时间： 日 时 分
操作任务：110kV I 母停电检修，将电源和负荷倒至 II 母上运行		
V	顺序	操 作 项 目
	19	检查 I 母，进行验、放电，确证母线无电压
	20	按工作票要求做好安全措施
	21	全面检查、核对所操作过的项目和设备
	22	校正模拟图与实际运行相符
	23	报告发令人，操作完毕
操作人_____ 监护人_____ 值班负责人_____ 值长_____		

以上举了三种类型的倒闸操作实例，在电气设备运行中有多种倒闸操作，不一一举例。只要掌握倒闸操作的原则和要求，结合现场实际情况，灵活掌握，就可以达到安全操作的目的。

第九章 发 电 机

第一节 概 述

一、同步发电机的结构

同步发电机是由定子和转子两个基本部分组成，产生交流电动势的三相电枢绕组放置在定子铁心内壁的槽中，转子上装有磁极和励磁绕组，如图 9-1 所示。

汽轮发电机的转子由汽轮机或其他原动机驱动，他把原动机的机械能转化为电能。

当转子的励磁绕组通以直流电流后，在转子中就会产生磁动势，在电机内部就产生磁场，当转子转动时，磁场也跟着旋转，使磁场以一定速度切割定子绕组的导线，因而在定子导体中感应出交流电。交流电的频率与转子的转速有关，与极对数有关，其关系为

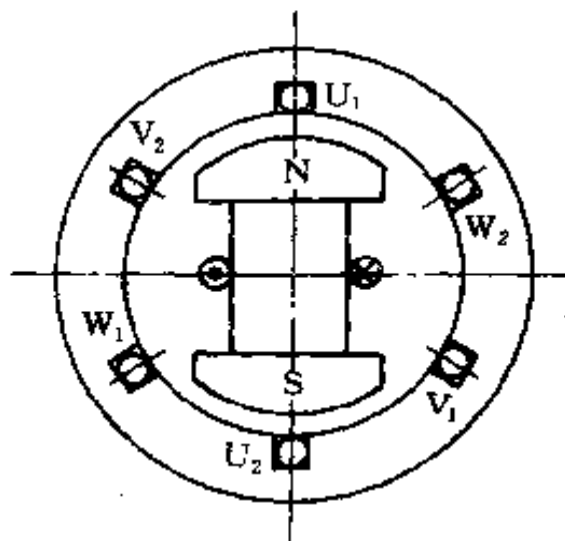


图 9-1 同步发电机结构原理图

$$f = pn/60$$

式中 f —— 频率；

n —— 发电机转子转速；

p —— 转子极对数。

我国规定的汽轮机额定转速为 3000r/min。西方国家规定为 3600r/min，发电机的极对数 $2p=2$ ，所以我国电网的额定频率为 50Hz。

根据转子结构的不同，同步发电机的转子分为凸极式和隐极式，汽轮发电机是卧式的高速隐极发电机，极对数 $p=1$ ，水轮发电机多数为立式的低速发电机，它的极对数是多极的。

二、同步发电机的感应电动势

当转子励磁绕组通入直流电流后便产生磁场，转子的磁极产生沿气隙正弦分部的磁密，当转子由原动机拖动顺时针方向以角速度 ω 旋转时，随着转子的旋转形成旋转磁场，这一旋转磁场依次切割嵌放在定子槽中的三相绕组，在这些绕组上产生正弦感应电动势。

为了更清晰的说明问题，我们先以单相绕组为例加以说明，如图 9-2 所示，当转子绕组中通入直流电流以后，在转子绕组中产生主磁通 Φ 。主磁通从转子磁极 N 极发出经气隙进入定子铁心和线圈，再经过气隙回到转子 S 极而形成闭合回路。当转子旋转时，磁通就和定子绕组产生相对运动，定子绕组导线切割气隙中磁通就产生感应电动势。

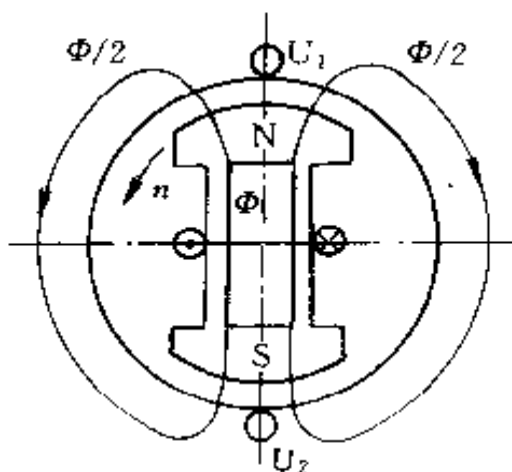


图 9-2 单相绕组磁场。

由转子绕组产生的气隙磁通是沿圆周是正弦分布的。该正弦分布的磁通以线速度 v 在定向旋转，则定子上某根导线感应的电动势可表示为

$$E = BLv$$

式中 B ——导线所在处的磁通密度；

L ——导线长度；

v ——磁通对被切割的定子绕组导线的线速度。

对于多匝线圈，其感应电动势为

$$E = 4.44NK_w\Phi$$

式中 N ——串联的匝数；

K_w —— 绕组系数；

Φ —— 气隙磁通。

三相电枢绕组的轴线分布在空间互差 120° (见图 9-1)；若以 U 相绕组的感应电势为基准，初相角为零度，将 V、W 两相感应电动势的几何位置差转化为时间差，则分相绕组中感应电动势瞬时值可表示为

$$E_U = E_m \sin \omega t$$

$$E_V = E_m \sin (\omega t - 120^\circ)$$

$$E_W = E_m \sin (\omega t - 240^\circ)$$

式中 E_m —— 交流电动势的幅值；

ω —— 交流电动势的角速度。

三、发电机的铭牌

发电机铭牌是制造厂向使用单位介绍该台电机的特点和额定运行数据用的。以供用户选择电机时的参考，其所标的容量、电压、电流、温升等都是该台电机的额定值，所谓额定值就是能保证电机正常连续运行的最大限制值，即在额定数据下运行时，发电机的寿命可以达到设计的年限。

铭牌上的主要项目有：

(1) 额定电流，代表该台电机正常连续运行的最大工作电流。

(2) 额定电压，该台电机长期安全工作的最高电压。

(3) 额定容量，指该台电机长期安全运行的最大输出功率。有的发电机用有功功率 (kW) 来表示，也有发电机用视在功率 (kV·A) 来表示。

(4) 额定功率因数 $\cos \varphi$ 是额定有功功率和额定视在功率的比值。

(5) 额定温升，是该台发电机允许的最高温度与冷却介质额定入口温度的差值，在技术规程中不采用允许温度而采用温升，这是因为温升更便于说明电机本身的运行状况。

(6) 电机的型号，电机的型号是表示该台电机的类型和特点

的。我国现行电机型号的采用汉语拼音法标注，一般用拼音字母的第一个字母来表示。

第二节 发电机的起动与检查

发电机的起动、并列、解列、停机对发电厂来说是司空见惯的，在发电机起停中，发电机大修后的起动是最有典型性的，本文以大修后发电机为例加以说明。

一、发电机开机前的检查

(1) 发电机在检修后，在起动前应将所有工作票全部收回。

(2) 详细检查发电机各部分，各有关部分必须完整好用。

(3) 接地线和短路线必须撤除（用于发电机开机试验封装的短路线除外）。

(4) 起动前的各种试验（开关拉合，联锁动作、保护动作试验等）已进行。

(5) 测量发电机定子及励磁回路绝缘合格，并作好记录。测量发电机定子线圈和转子线圈绝缘的目的主要是判断定、转子绝缘的状况，通常用兆欧表进行测量，根据测得的发电机在 1min 内的绝缘阻值的大小及变化，可以检测出绝缘是否有贯通的集中性缺陷，整体受潮或贯通性受潮及脏污等绝缘缺陷。

测量发电机定子线圈的吸收比，主要是判断绝缘受潮的程度，当绝缘受潮时，绝缘电阻剧烈下降，所以测量吸收比对发现绝缘受潮是较为灵敏的，发电机定子线圈的绝缘电阻受多方面因素的影响，主要有测量电压、测量时间、温度、湿度、绝缘材料的质量、尺寸等，由于这些因素的影响，使绝缘电阻的测量数值比较分散，因此通常用在相近试验条件（电压测量时间、温度）下，测得的绝缘阻值与交接或大修时测得的绝缘值进行比较，若绝缘阻值降低到原来的 $1/3 \sim 1/5$ 时，应查明原因，设法消除。

运行人员测量发电机的绝缘阻值时必须注意以下几点：

1) 正确选用兆欧表的电压等级，额定电压为 1000V 以上的定子线圈，选用 2500V 兆欧表，量程不得低于 10000M Ω ；额定电压

在 1000V 以下的定子线圈用 1000V 兆欧表；额定电压为 200V 以上的转子线圈，用 2500V 兆欧表测量。额定电压为 200V 及以下的转子线圈，用 1000V 兆欧表测量。

2) 试验接线必须正确，被试设备接 L 端子，E 端子接地。为保证测量的准确性，将屏蔽端子（直接与兆欧表发电机负极相接）接被试设备绝缘的外表面以屏蔽表面漏电，使表面漏电不经过电流线圈直接回到负极，其接线见图 9-3。

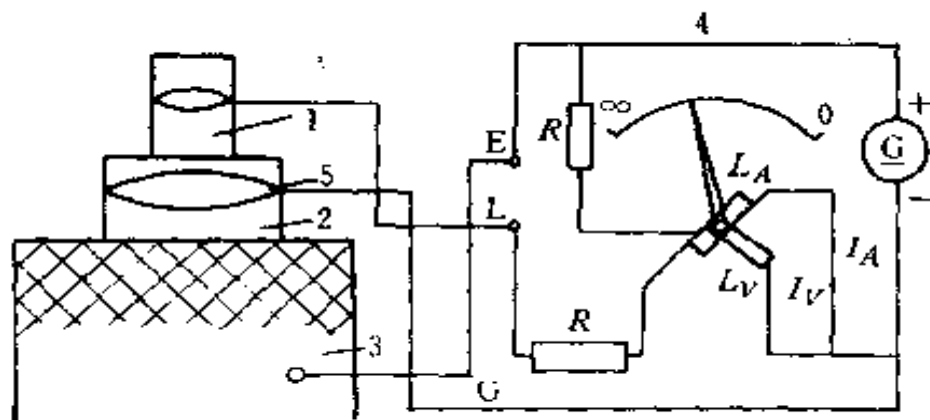


图 9-3 兆欧表的接线

1—电缆心 2—电缆绝缘 3—电缆外皮 4—兆欧表 5—屏蔽电极

3) 测试前后都应对测试物充分放电，以保证测试数据的准确性，一般放电时间不应小于 5min。

4) 用手摇式兆欧表测试时，兆欧表的转速必须均匀，转速为 120r/min，并且必须等到兆欧表指示稳定时才能读数。

5) 温度换算，温度升高使发电机定、转子绝缘阻值明显下降，一般情况下，温度每上升 10°C，绝缘电阻值就下降一半。所以每次测量的电阻值都应换算到同一温度下才能比较，通常采用 75°C 作为计算发电机线圈热态下绝缘电阻的标准，温度换算的经验公式为

$$R_{75} = \frac{R_t}{2^{\frac{75-t}{10}}}$$

式中 R_{75} ——温度在 75°C 时的绝缘电阻 (MΩ)；

R_t 温度在 $t^{\circ}\text{C}$ 时测得的绝缘电阻 ($\text{M}\Omega$);

t —— 测试时的温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

测定绝缘合格, 检查所有准备工作完好就绪后, 方可由值长下令“机组启动”。

二、大修后机组的特性试验

(一) 励磁机空载特性的试验

空载特性是指励磁机在额定转速下空载状态时, 其励磁电流与端电压之间的关系。

1. 试验目的 进行试验的目的, 首先是检查励磁机工作是否正常, 且为励磁系统计算和自动励磁装置的整定提供特性参数。

为了安全, 这一试验最好在励磁机现场进行, 这样既可以进行试验, 又可以照料励磁机的安全。

2. 试验步骤

(1) 断开励磁开关。

(2) 断开励磁, 读取剩磁感应电压。

(3) 接通励磁回路, 调节可变电阻值。

(4) 读取 12 点左右的励磁电流和相应的电枢电压值。

(5) 在调节可变电阻值时, 必须缓慢、均匀、平稳, 只能向单一方向调节。

(6) 分别作出上升和下降特性曲线。

(二) 发电机空载特性试验

1. 试验目的 空载特性是发电机的基本特性之一, 它是发电机在空载和额定转速下, 测得定子电压与转子电流关系的试验, 其目的是:

(1) 测定发电机的空载特性曲线。发电机的空载特性是发电机的基本特性之一, 利用它可以求出电压变化率 $\Delta U\%$; 纵轴同步电抗 X_d ; 短路比; 负载特性等。

(2) 测定三相 (利用三个电压表) 电压, 判断三相电压的对称性。

(3) 将发电机端电压升至额定电压的 130%, 进行定子线圈层

间耐压试验。

(4) 将测量结果与出厂特性曲线或历年试验曲线进行比较, 可以作为分析转子是否有层间短路的参考。

(5) 记录发电机在空载额定电压下的转子电压和电流表读数, 作为以后开机试验的参考。

2. 注意事项

(1) 维持发电机在额定转速或某一稳定转速下进行。如试验时机组转速不是额定值, 则应按下式进行换算, 即

$$\text{电压} = \frac{\text{实测电压} \times \text{额定转速 (或频率)}}{\text{实测转速 (或频率)}}$$

(2) 转子电流调节应缓慢进行, 调到一定数值时, 待表计指针稳定后再读数, 并要求所有表计同时读取。

(3) 在升压 (或降压) 过程中, 磁场变阻器只可以向一个方向调节, 不能随意变动方向, 以防产生小磁滞环, 影响试验准确度。

(4) 空载试验前应将电压调节器, 强行励磁和强行减磁装置退出, 但发电机的保护如纵差、横差、负序电流、过流等保护投入。

(5) 比较、分析试验结果, 确认发电机状况。

(6) 当用磁场变阻器将定子电压从零起升压时, 每经过 10%~15% 记录一次表计读数, 当升压至 1/2 额定电压, 应派人巡视发电机其母线设备, 同时注意观察机组振动、电刷的工作情况以及有无不正常的杂音等, 然后升至额定电压, 记录各表计数据后, 再升至 1.3 倍额定电压 (一般空载试验与层间耐压一起进行)。并在此电压下停留 5min, 再逐渐降低电压, 测量下降特性曲线, 电压降至近于零时, 再切断励磁电流, 并记录残余电压值。

(三) 短路特性

1. 试验目的 短路特性试验是发电机在三相短路、额定转速下运转时, 测量定子电流和转子电流关系的试验。试验目的与空载特性试验基本相同, 它可以检查定子三相电流对称性, 为分析

定子是否有匝间短路提供参数，结合空载特性试验可以决定电机参数和主要特性。

2. 注意事项

(1) 试验时尽可能将三相临时短接线装在发电机出口，如果装在断路器内侧受条件限制时，也可装在断路器外侧，但应有防止断路器跳闸而使发电机电压升高的措施。将直流控制电源切断，用手插直流合闸接触器，将断路器合上，用楔子将断路器脱机构楔住。

(2) 当短路线封存断路器外侧，在变压器差动保护区内时，应将变压器差动保护短时退出，以防在升短路电流时，造成变压器差动保护误动。

(3) 三相短路线要有足够的短路容量，接触必须良好，防止由于接触不良造成发热。

(4) 在试验中，当励磁电流升至 15%~20% 时，应检查三相电流的平衡。如不平衡，应立即减小励磁电流，断开励磁开关，查明原因，排除异常现象后，方可继续试验。

(5) 当电流升至额定后，可测量差动保护差压、差流和励磁装置电流。

(6) 测得的数值与出厂试验值比较，应在允许的误差范围内，否则说明转子线圈内有匝间短路。

空载试验和短路试验通过后，说明发电机状况良好，基本具备投入运行条件。

三、发电机的起动、升压与并列

发电机开始转动后，即应认为发电机及其全部设备均已带电。

(1) 对安装和检修后第一次起动的机组，应缓慢的升速并监听发电机的声音，汽机值班人员应检查轴承给油情况，当汽轮机转速超过 1000r/min 时，还应测量机组各部振动以及观察随着转数上升，机组各部分振动的变化。

(2) 当发电机转速达到额定转速一半左右时，电气值班人员

应检查整流子和集电环上的磁刷是否有跳动、卡涩或接触不良的现象，如有上述现象，应设法消除。

(3) 在转速达到额定值时，应检查：

1) 轴承油温度和轴瓦温度。

2) 对空冷发电机应检查发电机和冷却系统漏风情况，对漏风处应作标记，以便停机加以堵塞。

3) 对水内冷发电机，应检查水压、流量、检漏计等均应正常。

4) 对于氢内冷发电机，应检查氢压“密封”油压等均应正常。

(4) 当发电机转数到额定转速时，应对发电机进行零起升压，具体操作如下：

1) 逆时针方向转动励磁机手轮（即使磁场电阻值在最大位置）。

2) 合上励磁开关。

3) 用主励手轮缓慢均匀升压，升压时应密切注视转子电压、电流表以及定子电压值、电流值。到发电机电压达额定值时为止。

注意在升压过程中必须同时注视上述三块表，千万不能仅依发电机定子电压表为依据，某厂过去在升压过程中仅依发电机定子电压表为依据，由于电压互感器低压侧熔断器熔断或刀闸辅助接点接触不好，造成发电机在升压过程中几次超压。事实上严密监视发电机转子电压，电流表指示比监视发电机电压表更可靠。因为在转子电压表、电流表回路没有刀闸、熔断器之类的元件。所以在升压过程监视发电机转子电压表、电流表的指示与发电机空载特性中定子电压在额定值时的转子电压值和电流值比较，当其接近时，再观察定子电压表并进行适当的微调，更具有实用价值。所以运行人员必须记住发电机空载时的定子电压值、转子电压、电流值。在升压过程中，严防超压。

(5) 发电机电压达额定后，投入自动调整励磁装置。在发电

机空载时并列前投入自动调整励磁装置，可使主励在运行中承担的基本励磁负载，也为投入自动励磁装置找到最佳静态工作点，使自动励磁装置处于最佳工作状态。

(6) 强励装置亦应在并列前投入，因为当在并列时，如果系统同时出现故障或者在并列时发生非同期并列，强励装置动作，可以保证保护装置有足够的灵敏度，故应在并列前投入。

(7) 发电机升压至额定后，应对其绝缘回路进行检查，此项检查主要通过观察零序电压表指示来判断，如果电压指示超过15V时，说明发电机电压回路接地或者三相回路绝缘严重不对称，必须降压查明原因。

一般情况下，电压表指示为零，但有时在有些机组出现零序电压十几伏的指示，这种情况可能由下述原因造成：

- 1) 个别相回路绝缘脏污。
- 2) 设计时局部三相对地电容不对称。

3) 由于在待并列发电机系统电感参数与电容参数配合不当，有轻微铁磁微振。如属2)、3)条原因造成的话，不属于异常情况。在发电机并入系统后，上述现象会自动消失。

四、发电机的同期并列

现代电力系统中的发电机组都是并网运行的，因为并网运行可提高整个电力系统运行的可靠性和经济性。

将一台发电机和另一台发电机并联运行或者将一台发电机和电力系统并网，这一操作过程称为发电机的并列（或称整步）。并列操作是发电机经常需要进行的一项重要操作，如果操作不当或者误操作，冲击电流产生的强大电动力和热效应，将会损坏机组；冲击电流将使系统发生振荡以致瓦解。所以必须认真对待。并列操作的基本要求是：

(1) 并列操作时，冲击电流不超过允许值，对电机和系统无不良影响。

(2) 发电机投入系统后，应能迅速投入同步。目前在电力系统中采用的并列方法有准同期并列和自同期并列两大类。在准同

期并列中又分为：手动准同期；自动准同期。

准同期并列的方法是，并列操作前，先使发电机励磁，建立电压后，再按一定的准同期条件，手动合上或者自动合上断路器。这种并列方式的特点是冲击电流小，并列后能迅速投入同步，安全可靠。当前这种并列方式获得了广泛应用。但是用这种方法并列操作时间较长。

出现事故时，为了迅速把机组并入系统，采用自同期并列方式，它是将发电机投入系统后迅速自动合上励磁开关，然后再加上励磁电流将发电机拖入同步。这种并列方式，操作迅速简单，但有一定的电流冲击，发电机拖入同步的时间较长，因此系统没有足够的容量和经过自同期并列试验，而不能采用这种同期方式。

(一) 准同期并列

为了满足上述并列操作两点基本要求，根据准同期的定义，在断路器触头闭合瞬间，必须满足下述准同期条件：

- (1) 发电机电压和并列点的系统侧的电压相等。
- (2) 发电机电压和系统侧电压相位相同。
- (3) 发电机频率和系统频率应该相等。

要绝对符合上述条件是不可能的。因为发电机的转速是（频率）靠调速汽门开度调节；发电机的端电压由励磁电流调节；电压相位是由合闸瞬时，测量发电机和系统电压的相角差来比较，在并列时总是存在一定差别的，只是差别应在允许的范围内。故规定：

$$\Delta U = (U_s - U_f) / U_e \leq 5\% \sim 10\%$$

$$\Delta f = (f_s - f_f) / 50 \leq 0.2\% \sim 0.5\%$$

$$\Delta \Phi = (\angle U_s - \angle U_f) \leq 10^\circ$$

式中 ΔU ——电压差的百分值；

Δf ——频率差的百分值；

$\Delta \Phi$ ——相角差；

U_s 、 U_f 、 U_e ——并列点系统电压、发电机实际电压及发电机额定电压；

f_s 、 f_g ——系统频率、发电机频率；

$\angle U_s$ 、 $\angle U_g$ ——并列点系统电压相位和发电机电压相位。

监视和实现上述条件如下：

1. 手动准同期并列 在人工操作的手动准同期中，由表计检测并列条件，人工调节电压及转速，并于适当时刻合上待并机组的断路器。

在发电厂的同期屏上配有两个电压表，两个频率表，其中一只电压表和一只频率表用于检查待并机组，另外一只电压表和频率表用于检查系统的电压和频率。在同期屏上还有一只整步表，用于显示待并机组与系统的频率（转差），频差愈小，整步表转动愈慢。

手动准同期并列可按下述步骤进行：

(1) 待汽轮机转速至额定值附近时，合上直流励磁开关，接通励磁回路。

(2) 手动调节汽轮发电机转速，使其频率指示与系统频率相等。

(3) 调节主励手轮，升发电机电压与系统电压相等，检查三相电压应对称，三相电流应为零，或接近于零。

(4) 投入整步表，观察整步表的旋转速度，进行细调，务使整步表以均匀、缓慢的速度稳定向一个方向旋转。

(5) 在整步表指示 0 前，提前一个时刻，合上发电机断路器，将发电机并入系统。

提前合闸时间的确定，取决于断路器本身合闸时间，在操作开关发出合闸指令到最终闭合需要有一定的时间，此时间应是二次回路传动部件的时间与断路器合闸时间之和，但主要是断路器合闸时间，称为断路器固有合闸时间。这一时间可由试验人员在开关大修后测出，一般与断路器铭牌上的时间相近。我们要使断路器触头刚好合上时的相位差基本为零，必须计算好角度时间的提前量，在此角度下发出合闸命令，这就要求值班人员在使用手动并列时，必须掌握并列断路器的合闸时间。

整步表指针旋转速度与两电源间频率差成正比，当发电机的频率与系统频率相差 1Hz 时（规程规定不允许超过 1Hz），其指针每秒旋转一周，即 360° 。频差与指针旋转周期间的关系为

$$\Delta f = 1/T$$

式中 Δf ——频率差 (Hz)；

T ——同步表指针旋转的周期。

若断路器合闸时间为 t_h ，由上式可得出提前合闸角为

$$\delta_h = \frac{360^\circ}{T} t_h$$

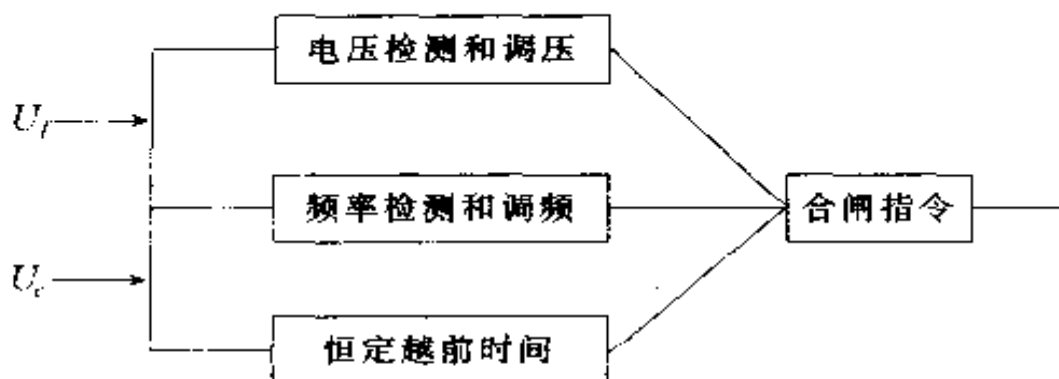
例如，某台发电机与系统进行同期并列，由整步表可看到表针转动均匀，其转动一周为 5s，断路器合闸时间为 0.65s，求应在整步表上提前多少角度发出合闸命令。

解 由上述公式可得：

$$\begin{aligned} \delta_h &= \frac{360^\circ}{T} t_h \approx \frac{360^\circ}{5} \times 0.65 \\ &= 46.8^\circ \end{aligned}$$

即应提前 46.8° 发出合闸命令。

2. 自动准同期并列 自动准同期并列是由自动准同期装置实现的并列，自动准同期装置的基本框图如下：



装置的输入为发电机端电压 U_f 和系统电压 U_c ，输出指令是合闸脉冲。

(1) 电压检测和调压 检测发电机和系统电压当电压差不满

足要求时，自动发出调频指令，调节发电机电压。

(2) 频率检测和调频 检测发电机和系统频率，当频率不满足要求时，自动发出调频指令，调节发电机转速。

(3) 恒定越前时间 根据断路器固有动作时间整定，在相角差过零前一时刻发出指令。

(4) 合闸指令 当上述三个条件满足后，自动发出合闸指令。发电机在并列时，由于发电机电压和系统电压在频率，电压差以及相角都不完全相等。

在准同期并列操作回路中，为了防止人员失误或装置缺陷造成误并列，在同期回路中增设了同期闭锁回路，即只有当滑差电压小于某一电压 U_d （整定电压）时，才能接通合闸脉冲回路，当 $|U_s| > U_d$ 时合闸脉冲回路不通，不会发生合闸命令，这样防止了发生非同期并列，损坏发电机或对系统冲击太大。

（二）自同期并列

自同期并列的方法是将未励磁的同步发电机升速到接近同步转速，在不超过允许滑差下，先将断路器合上，把发电机并入系统，随即加上励磁电流。经过 $1s \sim 2s$ 后将发电机拖入同步。自同期并列对于相角和电压条件均无要求，而转速条件也可放宽。通常的允许滑差，在正常时为 $2\% \sim 3\%$ ，事故情况下可达 10% 。

应用自同期并列方式使发电机投入系统时，相当于系统电压经过线路变压器及发电机次暂态电抗 X_d 而短路，其冲击电流和同期分量可写成：

$$I_p = U_c / (X_d + X_c)$$

式中 X_d ——发电机纵轴次暂态电抗；

X_c ——系统电抗（包括线路、变压器等）。

这个冲击电流会引起有关母线电压的明显降低，因此对系统会产生不良影响，同时冲击电流对发电机是一个很大的冲击，一般需对自同期发电机组进行冲击电动力校对，对系统需经试验考核后才能采用。遵照我国电力规程规定：只有在事故情况下，为加速故障处理，对水轮发电机可采用自同期并列方式。

五、发电机接带负荷及其调整

发电机一经并列,就可以向电网输送电能。由于电能是发、送、用同时进行的,功率必须随时保持平衡。为此,发电机输出的功率要根据电力系统的需要不断进行调节。同步发电机的运行方式分为两类,即单机接带负载,这种运行方式较少,只在油田钻井,偏僻的山区等小型发电机供电时才出现,故不予详细论述。另一类是并网运行,即发电机联接在电力系统中运行,在电力事业比较发达的今天绝大多数发电机属于这类运行方式。

发电机一经与系统并列,即可接带负荷。在调节负荷时应注意:

(1) 应使发电机电率不要大于迟相 0.95,因为送出的有功越大,功角 δ 就越接近 90° 。这样就容易失去稳定。

(2) 增加负荷要缓慢、均匀,这是应锅炉、汽机汽温、汽压、水位的要求,并且使各部金属部件膨胀均匀。

(3) 增加无功不要太快,这是因为转子线圈和铁心的材料不同,线圈铜受热膨胀较快,而转子铁心膨胀较慢,当增加负荷较快时,转子线圈必然受到挤压,容易使线圈变形和线圈绝缘受到损坏。

由于现代大型电力系统的容量常达到几百万 kW 到上千万 kW。1 台 20 万 kW 及以下的机组并入系统,其容量相对比系统小得多。可以把发电机看成与无穷大系统并联运行,由于无穷大系统容量很大,所以并上去的发电机可以看成与无穷大系统并联运行。由于无穷大系统容量很大,所以并上网的发电机对电网电压和频率影响甚微。因而在分析发电机的功率调节时,可以认为电网电压 $U=C$, $f=C$ 。所以简单的说,无穷大电网就是电压和频率不变的电网。

第三节 发电机的运行监视与检查

一、同步发电机的运行方式

发电机电压、电流、容量、功率因数、转子电流和长期容许

温度、冷却介质温度等均参照制造厂铭牌运行，称额定运行方式。

在实际运行中，冷却介质温度、功率因数、工作电压和频率额定值常有偏差，因此发电机的出力应根据上述参数的变化而作出相应的改变。

(一) 进风温度变化时的运行方式

发电机的额定容量与额定环境温度相对应，我国规定的额定入口风温为 40°C 。对于表面冷却的发电机当进风温度超过额定值时，如果转子和定子绕组及铁心的温度未超过由发电机温升试验所确定的温度时，可以不降低发电机的容量；如果发电机尚未进行温升试验，则当进风温度高于额定值时，当额定风温在 $40^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$ 范围内，进风温度每升高 1°C ，定子电流较额定值降低 1.5% ，当进口风温在 $45^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 范围内时，进口风温每升高 1°C 定子电流较额定值降低 2.0% ，当进口风温在 $50^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$ 范围内，进口风温每升高 1°C 定子电流较额定值降低 3.0% ，发电机进口风温最高不允许超过 55°C 。

当发电机的入口风温变化时，必须查明原因，及时处理。

例如，某台双星形绕组发电机励侧入口风温突然增加未引起警惕，最后导致 W 相并联的一分支引线彻底烧断，导致事故停机的严重后果。

当进口风温低于额定值时，允许定子和转子电流有所增加，其增加值应根据发电机温升试验所确定的定子、转子线圈及铁心温度来确定。对于尚未进行温升试验的发电机，当进风温度低于额定值时，每降低 1°C ，允许定子电流升高额定值的 0.5% ，此时转子电流也允许有相应的增加，理论上允许容量在 $18000\text{kV}\cdot\text{A}$ 及以下的发电机，允许增加至进风温度较额定值低 15°C 为止；对于容量在 $18000\text{kV}\cdot\text{A}$ 以上的发电机，则允许增加至进口风温较额定值低 10°C 为上。

最低入口风温应以空气冷却器不结露为原则，一般不应低于 20°C 。

规程中对于冷却风温差没有做出具体规定，但与以前相应负荷时的风温差进行比较，如果风温差变大，说明是发电机的内部损耗增加，可能是定子绕组某处一个并联支路断开（如焊头断开），股间绝缘损坏，这些都可通过定子电流表反映出来，有时严重者可能造成铁心局部发热，空气量减少也可导致冷热风温差增大。空气量减少可能是由于冷却器或风道被脏物堵塞等原因所致。一般进出口风温差超过 30℃ 时，应对发电机各部分进行全面检查。

（二）端电压不同于额定值时发电机运行方式

发电机运行电压的变动范围在额定电压的 ±5% 以内，而功率因数为额定值时，其额定容量不变。当定子电压降低 5% 时，定子电流可增加 5%，当电压升高 5% 时，电流也可降低 5%。在这样的变化范围内，定子绕组和转子绕组的温度不会超过容许值。

当电压低于 95% 以下运行时，定子电流值不应超过额定值 5%，此时发电机要降低出力，否则定子绕组温度要超过容许值。

发电机运行电压的下限，应根据系统稳定要求确定。因为电压低于额定值时，对电机及系统将有如下的影响

1. 降低运行稳定性 当电压降低时，功率极限幅值降低，要保持系统稳定，就必须增大功角 δ ，而功角越接近 90° ，就越不稳定。因为此时系统产生一个扰动，如电压的波动等，很容易使发电机功角 $\delta > 90^\circ$ ，造成发电机进入不稳定运行区。使发电机失步。另外励磁电流稍有变化就会使发电机电压有较大变化，所以给调节带来了困难。

2. 定子绕组温度可能升高 当电压降低时要保持发电机功率不变，则必须增加定子电流，而电流值增大，会使定子温度升高。此外当电压降低时将影响厂用电动机的起动，出力和安全运行，厂用系统运行状况的恶化，又威胁系统的稳定性，将引起恶性循环。

发电机运行的最高容许电压，应遵照制造厂的规定，最高值

不得超过额定电压的 110%。因为现代发电机都是按相当饱和程度设计的，当运行电压超过 5%~10% 时，就会由于过度饱和，铁心内磁通密度增加，损耗也就增加，因为损耗近似与磁通的平方成正比，所以磁通的增加引起损耗的快速增加。因此电压高，铁心损耗会明显增加，温度迅速上升，对定子绕组绝缘产生严重威胁。另外更严重的是，由于磁通严重饱和，使定子旋转磁场的漏磁部分大大增加，使较多的磁通溢出轭部并穿过某些物体，如支持箱、机座，齿压板等。在定子本体架回路感应出很大电流（有时可达上万安），在机架的一些接缝处造成局部发热，甚至引起火化，使机架损坏。

（三）运行频率不同于额定值时发电机运行方式

规程规定，发电机运行频率的允许变动范围是 $\pm 0.5\text{Hz}$ ，频率升高的极限主要取决于发电机转子和汽轮机转子的机械强度。由于频率高，转子上的离心力就增大，这就易使转子上的构件损坏。

运行频率降低，也有很多不利因素：

（1）运行频率降低，也就是使转速下降，使两端风扇鼓进的风量降低，其后果使发电机的冷却条件变坏，各部分温度升高。

（2）由于发电机电动势（或端电压）和频率、磁通成正比，若频率降低，必须增加磁通才能保持电动势不变，这就要增加励磁电流，维持电动势不变，励磁电流的增加，致使转子线圈的温度增加，否则就得降低出力。

（3）频率降低时，为了维持额定电压不变，就得增加磁通，这和电压增大时的情况一样，由于磁通增加，磁路饱和，而使漏磁通增大，使定子构件出现局部高温，甚至造成有的部位冒火星。

（4）频率降低还可能使汽轮机叶片损坏，由于频率低，也就是转速低，当该转速引起叶片振动的频率接近等于叶片的固有振动频率时，可能因共振而使叶片折断。

（5）频率降低，使厂用机械出力受到严重影响，引起厂用电动机的转速降低，如给水泵的压力不足，可能导致锅炉流量不足；

循环水泵的打水不够，冷凝器入水温度升高，同时由于频率低，使凝结水泵抽水变慢，这些都影响汽轮机真空，汽轮机真空的降低又迫使汽轮机减少出力，又进一步降低系统频率，这就造成一系列恶性循环，直接威胁着发电机甚至整个电厂系统的安全运行。

(6) 发电机产生的电动势和频率成正比，频率低使发电机电动势降低。同时，发电机的转速低使同轴励磁的出力减少，这些都影响无功的输出。

(7) 频率降低对电力系统的影响，频率变化时，电网电压、网络参数都随之相应变化，线损增大；变压器在低频率运行时，磁通密度增加，空载损耗增加，涌流大大增加，引起系统无功损耗增加，其结果引起系统电压的下降，而电压的下降将影响电机转矩下降，出现恶性循环。

(8) 频率降低对用户的影响，频率降低时，机械出力降低，生产率降低，废品、次品增加，如自来水厂的水泵压力降低，影响城市供水，纺织厂和造纸厂的纺织品和纸张疏密不匀，印刷厂的印刷品颜色深浅不一致，严重影响了电子技术装置和仪表的精确度，使电子计算机出错，广播电视信号失真，因此频率低对人民生活、工业生产，国防和科学技术都带来了巨大的损失。

电压和频率是衡量电能质量的主要指标。为保证电力系统电能质量，要求电厂的值班长、班长、值班人员服从调度命令，将系统频率应保持在 50Hz，频率偏移不得超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ ，容量较大的系统及有条件的应努力使偏差不超过 $\pm 0.2\text{Hz}$ ，使系统电压尽可能按照系统电压曲线运行，以保证系统枢纽点的电压偏差不要超过 $\pm 5\%$ 。

二、运行中的发电机的维护和监视

(一) 发电机的检查

(1) 运行人员应严密监视发电机表计指示情况，发电机的电压、电流、各部温升及频率参数，必须指示在铭牌规定的参数或参数以内。

(2) 按值长命令调整有功和无功负荷，有功负荷由电气值班员调整，发电机无功负荷及定子电压的调整，一般由自动励磁调节装置来完成，为保证电网的稳定，发电机所带的有功无功负荷的比例必须合理。

(3) 应定期测量励磁回路绝缘，正常运行中测得的正对地、负对地电压指示应对称，最大为 $1/2$ 励磁电压。

(4) 每班应检查发电机定子回路是否有接地现象，即按下按钮，接通发电机互感器开口三角上的电压表，其指示应小于 $15V$ ，则认为绝缘良好。

(5) 每班值班人员应用“电阻法”测量分析运行中发电机的转子温度，并调整转子电流，使转子最高温度不超过规程允许值。

(6) 对运行中的发电机还应进行下列检查

1) 通过窥视孔观察，机内应无火花、冒烟及异物，线圈绝缘无过热现象。

2) 发电机附近一旦闻到焦味，应立即查明原因及时处理。

3) 发电机引出线，各接头无过热变色现象。

4) 发电机各部温度、温升及进出口风温不超过规程允许值，如铁心温度明显上升，应及时查明原因，抓紧处理，防止铁心损坏。

5) 发电机内线圈上无油渍，严防向发电机内漏油，以免线圈绝缘和半导体漆因受到油的侵蚀、溶解而使绝缘性能降低。

6) 对定子线圈温度应经常进行监视和分析（最好定期作温升试验），对温升有明显上升的线圈，应结合检修进行处理。

7) 发电机的空气冷却器是否结露，如有结露现象应适当提高冷却水温度和冷却风温。

8) 运行中应采取措施，严防因误操作、自动装置误动、非同期并列，以及小动物、金属物体、漏水等外界因素影响，使发电机出口处遭受突然短路冲击。

(二) 励磁系统的维护与检查

励磁系统对于发电机和电力系统运行的可靠性有很重要的意义，它直接影响发电机在事故情况下的变化状态。根据 1982—1985 年统计，在发电机系统中以励磁系统故障停机次数为最多，约占总停机次数的 35.76%，因此在运行中必须加强对励磁回路的检查和维护。

1. 检查

(1) 检查励磁机的整流和发电机滑环，应实现无火花运行，运行中出现小火花，应及时查找原因加以消除。

(2) 电刷无火花，压力均匀，无过热现象。

(3) 电刷在刷握内无跳动、无碎边、损坏、无过短、弹簧弹性好，刷辫完整，无断股，过热现象。

(4) 集电环清洁，电刷应活动自如，刷握和刷架清洁，无短路接地现象。

(5) 励磁机的振动不超过规定值。

2. 对励磁系统的维护

(1) 运行中的发电机集电环及励磁机的换向器应定期进行清扫并检查各部工作情况良好。

(2) 运行中出现整流火花，用清扫换向器，更换、调整电刷等方法处理无效果时，如确认冒火花系电机原因时，可用无火花区检查和调整补极的强弱。

(3) 更换发电机转子集电环及励磁机电刷时，应注意对电刷牌号、质量、刷握内壁表面粗糙度、压指弹簧质量、压力等应有严格要求，尽可能使用该机使用过的适用本机电刷。

(4) 运行中，发电机和汽轮机之间的大轴接地电刷一定要接地。

(三) 双水内冷发电机运行中注意事项

双水内冷发电机在运行中除遵守在一般空冷发电机运行中应注意的事项外，还应特别注意以下几项：

1. 起动及解列过程中需特殊注意的事项

(1) 发电机安装和检修后，在起动前应起动冷却水泵，通水

循环。

(2) 从窥视孔内检查线圈引水管和线圈绑扎的情况，应无引水管渗水和漏水，引水管折瘪，绑线断裂，焦枯黄粉，垫块松动等异常情况。

(3) 双水内冷发电机的检漏装置应保证完好。巡回测温表应正常。

(4) 核对定子、转子、铁心温度表指示正常。

(5) 发电机内的冲洗情况应正常，水质化检应符合标准，冷水泵相互自启动和低水压自启动校验情况应正常。

(6) 发电机断水跳闸以及低水压、发电机断水、漏水信号等校验均应正常。

(7) 在启动冷却水泵前，首先关闭定、转子进水截门，随后启动冷却水泵。在冷却水进入电机前，应先作一段时间的排污，然后开起定、转子线圈冷却水截门，控制定子水压在 $0.2\text{MPa} \sim 0.3\text{MPa}$ （制造厂另有规定者除外），并根据流量给予调整，转子水压约 0.2MPa 定子端部冷却元件水压为 $0.2\text{MPa} \sim 0.3\text{MPa}$ 。在未带负荷前冷水器的二次循环水暂不投入。

(8) 转子转动后，转子进水处的压力会因转速升高，流量增大而逐渐降低，这时应及时调整以保持正压，直至 3000r/min ，这时转子的进水压力一般为 $0.1\text{MPa} \sim 0.3\text{MPa}$ ，流量与制造厂规定值相近似。

(9) 发电机未通水前，任何情况下都不得加励磁和带负荷。

(10) 发电机并列后，升负荷的速度除考虑汽轮机因素外，还要考虑水冷发电机各部分发热膨胀应均匀；定子端部振动的周期性振动应慢慢增加，以保证水接头及绝缘水管逐渐适应，避免突然产生振动而使接头的焊缝开裂；由于水冷发电机的电磁负荷较高，负荷上升过快便会使定子端部造成过大的冲击力，所以要求并机后，应在一小时内逐渐将负荷上升到额定值，且上升速度要均匀。

(11) 发电机解列后，定、转子冷却系统及外加通风系统应继

续运行，直到原动机停下来后方可停止。此时转子的进口水压随转速下降而升高，应注意调整。

2. 运行中需特殊注意的事项

(1) 严密监视定、转子冷却水的流量、进出水温度、水质导电率以及进出水压力和进出风温应符合正常值，如发现异常应查明原因。

(2) 双水内冷发电机的检漏装置应保证完好。通过窥视孔应经常注意监视定子端部有无漏水、渗水、流胶、焦枯黄粉、零部件松动、塑料引水管破损、弯瘪、局部过热、结露等情况发生。

(3) 经常通过窥视孔观察端部有否漏水，绝缘引水管折裂或折漏、部件松动，局部过热，结露等情况发生。

(4) 应严格监视定、转子绕组冷却水不能中断，断水时间只允许 30s，故需注意断水保护的运行。

(5) 加强各部分温度的监视。水冷发电机的定子线棒及铁心的测温点较多，要随时注意高温点及各点温度的变化情况。

(6) 对于检漏计和自动测温装置进行测量，指示应在正常范围，否则应查明原因。

(7) 运行中水冷器投入切换时，均应注意将内部空气经顶部放气门排净，以免发生断水现象。

(8) 应定期测量测温元件的对地电位，定子端部冷却元件进出水温差，并对其结果进行分析。

(四) 发电机转子温度的监视

发电机转子是发电机运行中温度比较高的部分，需要定时测量分析。有些发电机装有专用的转子温度计，监视很方便；但大多数发电机特别是中、小型发电机，都是用计算方法得到转子温度的。

计算转子温度的理论根据是利用铜的电阻随温度而变化的特性关系，在一定范围内铜的电阻与温度是成正比例关系变化的。在电机内部温度的变化也正在此范围内，所以我们可以根据转子绕组电阻的变化来计算绕组温度，只是我们需要知道在此温度下的

电阻值，根据电阻值计算出温度。

假定 r_1, t_1 为冷态绕组的电阻和温度； r_2, t_2 为热态绕组的电阻和温度，则有

$$r_1 = r_{15} [1 + \alpha(t_1 - 15)]$$

$$r_2 = r_{15} [1 + \alpha(t_2 - 15)]$$

式中 r_{15} ——换算到温度为 15℃ 时的绕组电阻；

α ——电阻温度系数，铜为 1/250

以 r_1 除 r_2 得到：

$$\begin{aligned} r_2/r_1 &= 1 + \alpha(t_2 - 15) / 1 + \alpha(t_1 - 15) = \\ & [(t_2 + 1/\alpha) - 15] / [(t_1 + 1/\alpha) - 15] \end{aligned}$$

由于绕组为铜线，则

$$t_2 = r_2/r_1 (235 + t_1) - 235$$

为了计算上的精确，这里 r_1 是在发电机大修时（或出厂或安装移交时）通过试验测得在 t_1 温度下的 r_1 ，一般将它归算到标准温度下。

转子在运行中的电阻可以利用集电环上的电压 U_1 除以转子电流求得。集电环上的电压等于正负电刷刷辫之间的电压减去电刷压降 ΔU ，即

$$\begin{aligned} r_2 &= \frac{U_1 - \Delta U}{I_1} \\ t_2 &= \frac{U_1 - \Delta U}{I_1} \times \frac{235 + t_1}{r_1} - 235 \end{aligned}$$

根据已知的 r_1 及 t_1 ，可将 $(235 + t_1) / r_1$ 看成常数 K ， ΔU 选用 5V，则可得出：

$$t_2 = \frac{K(U_1 - 5)}{I_1} - 235$$

运行规程规定转子绕组最高温度不得超过 130℃。一般发电厂规定，发电机各转子温度每天晚高峰负荷期间由运行人员计算一次，定期由试验人员测量一次，作为监督性校核。

（五）对励磁回路绝缘电阻的监视

在整个励磁回路中，发电机的转子绝缘是最薄弱的部分，这是因为：

(1) 转子在运行中转速很高，绕组绝缘受着很高的离心力，同时也承受着较强的机械振动，因此绝缘很容易受损（绝缘垫块松动、脱出等）。

(2) 转子在运行中温度很高，所以用冷却气体冷却，冷却空气通过它的通风孔时，空气中的灰尘会积聚在通风孔、道里，造成通风道堵塞，会使转子冷却恶化，温度升高，灰尘和高温都会造成转子绝缘降低。

(3) 转子集电环和电刷间的磨擦，使电刷磨损很大，磨下来的石墨粉积聚在集电环引线及集电环下的大轴上，造成转子接地，影响安全发电。所以在运行中每班必须对励磁回路绝缘电阻进行测量，其值不得低于 $0.5M\Omega$ 。

运行中转子的绝缘电阻，先用直流电压表测量各极对地的电压后，然后计算出绝缘阻值，在发电机负荷不变时，分别测量三个电压数值：正集电环对地电压 U_+ ；负集电环对地电压 U_- ；正、负集电环间的电压 $U_{+,-}$ 。

将测量结果代入下式进行计算，即

$$R = R_v (U_{+,-} / U_+ + U_- - 1) \times 10^{-6}$$

式中 R_v ——电压表的内阻 (Ω)。

测量时须注意：

1) 测量 U_+ 、 U_- 时，须用同一个电压表，以免表计误差，影响测量值。

2) 测量 U_+ 及 U_- 时，应记录电压 $U_{+,-}$ 。

3) 所测 U_+ 及 U_- 均为零时，说明励磁回路绝缘良好。

4) 若 U_+ 或 U_- 等于 $U_{+,-}$ 时，说明金属接地。

第四节 发电机的励磁系统

发电机是将旋转形式的机械功率转换成三相交流电功率的特定的设备。为完成这一转换，它本身需要一个直流磁场，产生这

个磁场的直流电流称为发电机的励磁电流。在电力系统的运行中，发电机的励磁电流是电力系统无功功率的主要来源，有时甚至是唯一的来源，所以发电机励磁系统的特性对电力系统运行的作用，无论在正常情况，或是在事故情况下，都是十分重要的。为了改善励磁系统的运行特性，提高其反事故能力，必须在励磁系统中增设必要的自动控制与自动调节的设备，具有自动调节励磁系统特性的装置，称为自动调节励磁装置。

所以归纳起来，励磁系统由两部分组成，第一部分是励磁功率单元，它向同步发电机的励磁绕组提供直流励磁电流；第二部分是励磁调节器，它根据电力系统及发电机的运行要求，自动调节功率单元输出的励磁电流。

在电力系统发展初期，发电机的容量不大，励磁电流由与发电机组同轴的直流发电机供给，即所谓直流励磁系统。随着发电机容量的提高，所需励磁电流也相应增大，机械换向器在换向方面遇到了困难，而大功率半导体整流元件制造工艺又日益成熟，于是大容量机组的励磁功率单元就采用了交流发电机和半导体整流元件组成的交流励磁系统，以及自励和自复励全静止的励磁系统。

发电机的励磁系统，其种类繁多，按接线方式可分以下几种：

一、直流励磁系统

专门用来供给发电机的直流发电机系统称为直流励磁系统。

直流励磁系统又分为自励磁系统与他励磁系统。

1. 自励直流励磁机系统 自励直流励原理图见图 9-4，发电机 G 的转子绕组由自励直流励磁机 G_1 供电，所谓自励是指励磁机的励磁绕组（其铁心具有剩磁），由其电枢并联供电，RP 为励磁机磁场的调节电阻，手动调节时，靠调节 RP 的阻值来改变励磁机的磁场电流；自动调节时，由自动励磁调节器调整励磁机的磁场电流。这种励磁机接线简单可靠，当外部电网发生事故，不影响励磁机工作。

2. 他励直流励磁机系统 他励是指主励磁的励磁绕组电流由副励磁机的电枢供给，而对励磁机的励磁电流则由本身的电枢并联供电，见图 9-5。

主励磁机 G_1 具有两个线圈，其中一个是由副励磁机 G_2 的电枢供电，手动改变副励磁机磁场电阻就可改变主励磁机磁电流，另一个由自动励磁调节器的输出直接

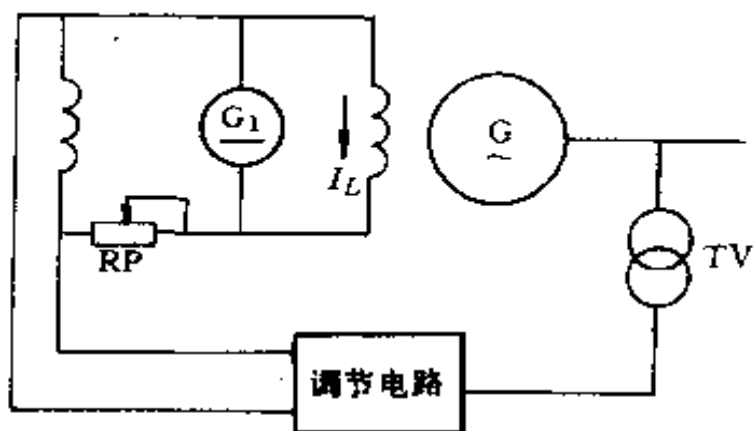


图 9-4 自动励磁直流励磁机原理图

控制。他励方式增大励磁的顶值，并提高励磁的上升速度。因此，改善了励磁特性。

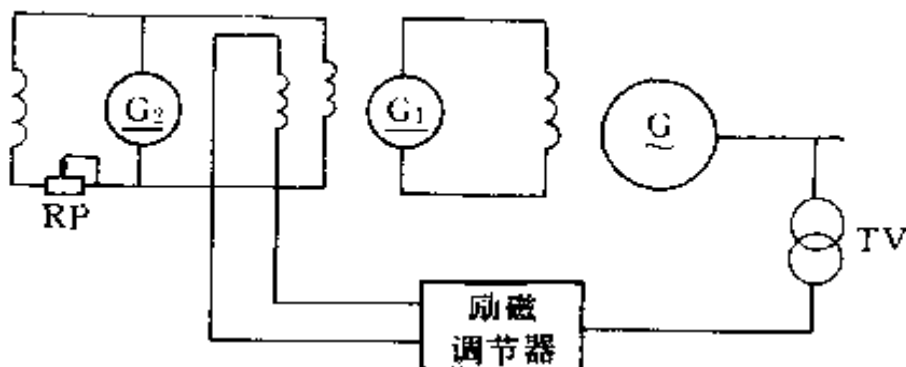


图 9-5 他励直流励磁机原理图

二、他励交流励磁系统

这种励磁机的特点是用同轴交流发电机作为励磁机，经整流后供给励磁绕组。励磁电源独立，不受电网运行的影响，其接线见图 9-6。

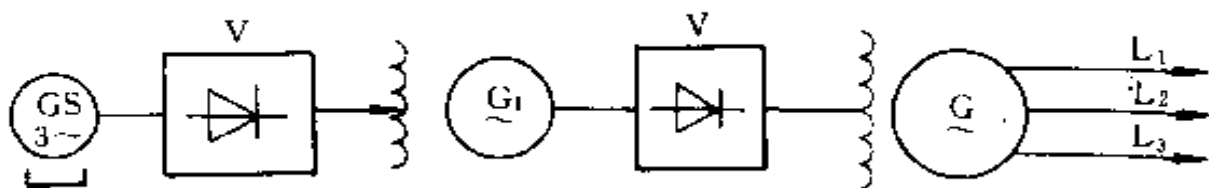


图 9-6 交流励磁系统

它是在主发电机G同轴上装一主励磁机 G_1 ，该机是一个交流同步发电机，它发出的交流电经整流器V整流，变交流为直流，供给主发电机G转子绕组。作为主发电机励磁。因主励磁机 G_1 是一同步发电机，它本身需要励磁，它的励磁是由装在与主发电机、主励磁机同一轴上的小的同步发电机产生。这一小发电机是一个水磁式同步发电机，称它为副励磁机，用GS表示，它的转子磁场由永久磁铁产生，因此处于恒定。GS发出的三相交流电，经V整流器整流变成直流供给主励磁机转子，作为主励磁机 G_1 的励磁。

发电机在不同工况下对励磁的要求不一样，当发电机正常运行时，要求励磁电流能自动调节其大小，以维持发电机端电压的恒定。而当系统发生短路或大负荷投入，致使系统电压大幅度降低时，能对发电机进行强励，以保证系统的动、静稳定，改善系统的运行条件。

三、无刷励磁系统

这种接线的特点是把励磁绕组组装在定子上，而交流绕组和硅整流器装在转子上，同时在定子磁场中旋转，交流绕组感应的交流电由整流器整流后，经通过空心大轴的引线将电流供给转子绕组，无刷励磁系统取消了电刷和集电环，所以不存在摩擦和更换电刷，也不会产生火花，有利于防火、防爆，便于运行维护，提高了运行的可靠性。

它的副励机是一个水磁式中频发电机，它的交流电经可控整流后供给交流励磁机的励磁绕组。晶闸管由自动励磁调节器控制。

无刷励磁系统革除了集电环和电刷，是其优点。但由于硅整流元件及快速熔断器是处在高速旋转，承受较大的离心力，所以对元件的质量有特殊要求，在巡视和维修上却有很大不便之处。由于与转子直接连接的元件都是旋转的，因而转子回路的电压、电流都不能用普通的直流电压表、电流表进行测量；转子绕组的绝缘情况也不便监视，二极管与晶闸管的运行状况、接线是否开脱、熔丝是否断开等等也都不便监视，因而还要装设特殊的装置。

四、自励静止励磁系统

自励方式是电源取自发电机端，经过变压器（或变流器）变压后，再经整流以获取励磁功率。

自励电源的取得有两种型式：一种是通过励磁变压器从发电机端取得交流功率，经整流后变为励磁功率；另一种是发电机定子励磁功率变流器取得功率，经过整流后变为励磁功率。

第五节 发电机的保护

发电机是电力系统最重要的设备之一，它的安全运行，对电力系统工作的稳定性，起着决定性的作用，发电机发生故障如不迅速切除，不仅可能破坏系统的稳定性，而且可能使发电机严重损坏。为了使发电机在故障时能快速地从系统中切除，而在不正常工作情况下，能发出相应的信号，必须针对各种不同的故障和不正常运行状态，装设性能完善的保护装置。

发电机的故障类型主要有：定子绕组相间短路；定子绕组一相匝间短路；定子绕组单相接地；转子绕组一点接地或两点接地；转子励磁回路电流消失。

发电机的不正常运行状态主要有：由于外部短路引起定子绕组过电流；由于负荷超过发电机额定容量而引起的三相对称过负荷；由于外部不对称短路或不对称负荷（如单相负荷，非全相运行等）而引起的发电机负序过电流和过负荷；由于突然甩负荷而引起的定子绕组过电压；由于励磁回路故障或强励时间过长而引起的转子绕组过负荷；由于汽轮机汽门突然关闭而引起的发电机逆功率。

针对上述故障类型及不正常运行状态，发电机应装设以下继电保护装置：

(1) 为保护发电机的定子绕组及其引出线的相间短路，因相间短路，短路电流大，对发电机危害严重，因此，应装设快速切除故障的纵联差动保护。

(2) 对定子绕组为双星形联结的发电机，当中性点侧每相有

两条引出的并联支路时，为保护定子绕组的匝间短路，应装设横差保护。

(3) 当发电机电压网络的接地电流等于或大于 5A 时，应装设作用于跳闸的零序电流保护，当接地电流小于 5A 时，应装设作用于信号的单相接地保护时。

(4) 为保护由于外部短路而引起定子绕组的过电流应装设延时过电流保护，并作用于跳闸。

(5) 为保护过负荷而引起的绕组过电流应装设作用于信号的过负荷保护。

(6) 应装设转子一点或两点接地保护，转子一点接地作用于信号，当转子绕组出现一点接地后，应投入转子两点接地保护，作用于跳闸。

(7) 为防止由于发电机失磁而从系统中吸收大量无功电流，或发电机不允许失磁运行时，应在自动灭磁开关断开时连锁断开发电机断路器；对于水轮发电机装设一点接地保护作用于跳闸，采用半导体励磁以及 100MW 及以上采用电机励磁的发电机应增强直接反应发电机失磁时电气参数变化的专用失磁保护。

(8) 对水轮发电机应装设防止定子绕组过电压的过电压保护

(9) 对于转子回路的过负荷，在 100MW 及以上并采用半导体励磁系统的发电机组可装设转子过负荷保护。

(10) 为保护发电机外部不对称短路，一般在 50MW 及以上发电机装设负序过电流及单相或低电压闭锁的过电流保护。

(11) 对于汽轮发电机主汽门突然关闭，为防止汽轮机遭到破坏，对大容量的发电机组可考虑逆功率保护。

为了快速消除发电机内部的故障，在保护动作与发电机断路器跳闸的同时，还必须动作于自动灭磁开关，断开发电机励磁回路，以使转子回路电流不会在定子绕组中再感应电动势，继续供给短路电流。

一、发电机的纵联差动保护和横差保护

发电机定子绕组短路及引出线的短路，不仅破坏了电力系统

的稳定运行，而且如不快速切除可能烧毁发电机的定子绕组和铁心，特别是铁心的烧损给发电机造成了永久性缺陷，因此，必须将故障发电机快速切除，发电机纵差保护是定子绕组及其引出线相间故障的主要保护。

(一) 纵联差动保护的原理

为实现发电机的纵差保护，应在发电机引出线侧和中性点侧装设特性和变比完全相同的电流互感器。两侧电流互感器一次回路的正极性（“·”号为正极性）分别置于母线侧和中性点侧，二次回路的同极性端子相联接，差动继电器则并联接在电流互感器的二次端子上，如图 9-7 所示。差动保护的保护区，就在组成差动保护交流臂出线侧电流互感器与中性点电流互感器之间，在此两组电流互感器之间的任何相间短路，差动保护均应动作，断开发电机油开关和励磁开关。

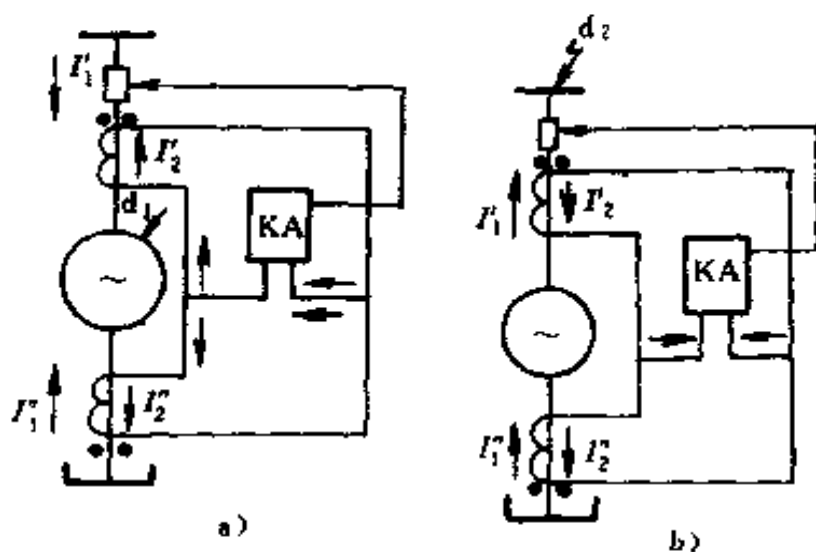


图 9-7 发电机纵差保护原理接线图

对发电机来讲，规定一次侧电流（ I_1' 和 I_1'' ）从母线和中性点流向发电机内时为电流正方向，那么电流互感器采用上述接线方式以后，流入继电器的电流即为各电流互感器二次电流之和，即

$$I_j = I_2' + I_2'' = 1/N_h (I_1' + I_1'')$$

式中 N_h ——电流互感器的变比。

当正常运行及保护区外短路时，如图 9-7b 所示，电流从中

性点流入，而从引出线侧流出，因此 $I_1' = -I_1''$ ，电流互感器在理想工作状态下， $I_2' = -I_2''$ ， $I_j = 0$ ，继电器不动作。

当保护范围内 d 点发生短路时，两侧均有电流流向短路点，此时短路点的单相电流为 $I_d = I_1' + I_2''$ ，因此流入继电器的电流为 $I_j = \frac{1}{N_A} I_d$ ，当 I_j 大于继电器额定值时，继电器即动作跳闸。

可见，纵联差动保护在保护范围内短路时，反应于短路点的总电流而动作。纵差保护按在正常情况下，二次侧电流在辅助导线中的流动，分为环流法差动保护和均压法接线方式。在正常情况下，二次侧电流在辅助导线中成环流，称环流法接线，环流法接线在运行状态下，流入差动继电器的电流接近于零，均压法接线是将异极性端子相联，电流互感器的线圈串联接于回路中，按照前述规定的正方向，流入继电器的电流为

$$I_j = (E_2' + E_2'') / Z$$

式中 E_2' 、 E_2'' ——电流互感器二次侧的感应电动势。

Z ——电流互感器二次回路的总阻抗。

正常运行方式及外部短路时，因电势 $E_2' = -E_2''$ ，因此 $I_j = 0$ ，继电器不动作。

当保护区内短路时，因 $E_2' = E_2''$ 所以流入继电器的电流 $I_j = E_2' + E_2'' / Z$ ，当 I_j 大于继电器整定值时，继电器动作跳闸，这种接线方式，相当于电流互感器处于开路状态运行，在二次侧出现相当高的电压，为了避免电流互感器二次侧过电压和铁心过热，在均压法差动保护中，应采用铁心中具有空气部分的互感器，所以均压法接线很少采用。

(二) 差动保护的不平衡电流

1. 稳态情况下的不平衡电流 在实际情况下，由于电流互感器具有励磁电流，且励磁特性不会完全相同，因此在正常运行中，差动保护的两侧电流互感器电流存在着差电流，当外部短路时由于电流互感器饱和，这个电流之差会更大，我们把这个差电流称为纵差保护的不平衡电流，它实际上是两个电流互感器励磁电流

之差,对已做成的电流互感器而言,影响其误差的主要因素如下

(1) 当一次侧电流一定时,二次侧的负载(即阻抗 Z_{20})越大,则要求二次侧的感应电动势越大,因而要求铁心中磁通密度越大,铁心就容易饱和。

(2) 当二次负载确定之后,则一次侧电流的升高也将引起铁心中磁通密度增大。因此,一次电流越大时,则二次电流误差也增大。为了保证差动保护的正确工作,实际上都是采用电流互感器的10%误差曲线(当电流互感器的容量满足10%曲线要求时,其二次电流的误差就一定小于10%,相应的角误差不大于 7°)。在差动保护范围外的近区发生短路时,在保护装置中的不平衡电流最大,其纵差保护中不平衡电流的稳态值按下式计算:

$$I_{\text{unb}} = 0.1K_{\text{er}}I_{\text{dmax}}/N$$

式中 K_{er} ——同型系数,一般采用0.5。

2. 暂态过程中的不平衡电流 由于差动保护是瞬间动作,因此还需要进一步考虑在外部短路的暂态过程中,差动保护中出现的不平衡电流。由于电流互感器及二次回路是电感性的,所以磁通不能突变,所以在短路的最初瞬间,在二次回路的非周期分量大大超过其稳态值,非周期分量将使电流互感器的磁通过分饱和,使二次电流的误差更加增大,因此差动保护的不平衡电流将大为增加。

当考虑其非周期分量的影响时,在前式中再引入一个非周期分量系数 K_{tr} ,如不考虑采取措施消除其影响。此时,最大不平衡电流为

$$I_{\text{unbmax}} = 0.1K_{\text{er}}K_{\text{tr}}I_{\text{dmax}}/N$$

式中 K_{tr} ——非周期分量系数。

为了保证差动保护的选择性,差动继电器的起动电流必须躲开上述最大不平衡电流。

因此, I_{unbmax} 越小,则保护的灵敏性就越好,如何减少不平衡电流就成为一切差动保护的中心问题。

3. 减小不平衡电流和提高差动保护灵敏度的措施

(1) 应选择采用型号和特性完全相同的 D 级电流互感器，并当外部最大短路电流流过时，能满足 10% 误差曲线的要求。

(2) 在差动回路中接入具有快速饱和特性的中间变流器 (BLH)，有时也可以采用接入电阻的方法。

(3) 采用具有制动特性的差动继电器。

4. 发电机纵联差动保护的整定计算

(1) 电流互感器二次回路发生断线时，保护不应动作。为了监视电流互感器二次侧断线时，设置断线监视继电器，其起动电流按躲过正常负荷电流。为防止外部短路时误发信号，它的动作时限应大于发电机后备保护的时限。

(2) 保护装置的起动电流按躲开外部故障时的最大不平衡电流整定，继电器的起动电流应为

$$I_{ds} = 0.1 K_k K_{L\sigma} K_{Lr} I_{dmax} / N_L$$

当差动保护采用具有速饱和铁心的差动继电器时， $K_{L\sigma} = 1$ ，当电流互感器型号相同时， $K_{Lr} = 0.5$ ，可靠系数一般取 $K_k = 1.3$ 。比较上述两种方法的整定值，取其大者作为差动保护的整定值。

(3) 灵敏度校验，纵差保护的灵敏度按下式校验，即

$$K_{lm} = I_{dmin} / I_{ds}$$

式中 K_{lm} ——灵敏系数，不小于 2；

I_{dmin} ——发电机孤立运行时机端两相短路电流。

(4) 纵联差动保护的构成，由 BCH-2 继电器构成的差动保护，能较好地躲开外部短路时的不平衡电流，因此在中小型发电机中得到了广泛采用，其原理接线如图 9-8 所示，其整定原理同上，这里不再赘述。

BCH-2 是带有速饱和变流器的电磁型差动继电器，利用不平衡电流中的非周期分量，使速饱和变流器迅速饱和，以防止外部短路时继是它使保护动作时间加长，在发电机内部故障时，影响差动保护动作速度，同时为了防止差动回路二次断线时保护装置

误动作,纵差保护的動作电流常按照大于发电机的额定电流整定,影响了保护的灵敏度。

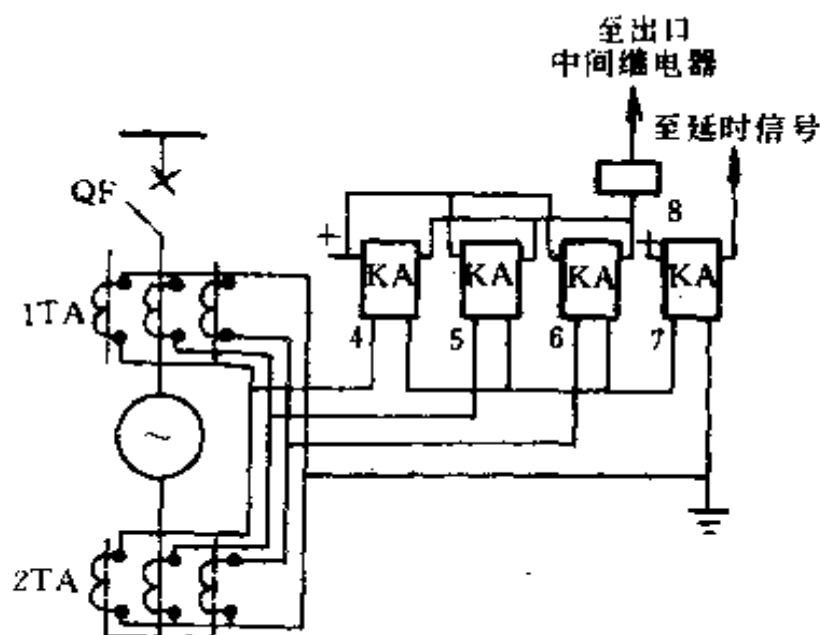


图 9-8 由 BCH-2 型继电器构成的差动保护

由于大型发电机组暂态阻抗增大,当机端发生短路时,与中、小型电机相比,短路电流倍数降低,考虑到过渡电阻的影响后,将使差动保护的死区增大,由于 BCH-2 型保护为了防止二次回路断线时误动而整定值必须大于额定电流,因而降低了灵敏度,而要求大容量发电机差动保护的動作电流小于额定电流,一般取为 $(0.2 \sim 0.5) I_{r1}$, 为防止正常负荷或区外短路时保护误动,要求保护带制动特性,这样使保护区内短路有较高的灵敏度,在区外短路时,利用其制动特性防止保护误动。

由于差动保护能快速切除保护范围的短路故障,因此,被广泛采用为元件的主保护。但是从差动保护正确动作正确率来看,差动保护的正确动作率并不高。有的在保护动作区外短路时误动,而在内部故障时拒动。究其原因大致可以分为两类,一类是继电器本身;另一类是保护接线错误,如果按这些接线错误分类的话,基本上分为盘外接线错误和盘内接线错误。

盘外接线包括极性错误、组别错误和盘外相别错误等,对于

这类错误我们可以通过负荷电流相量图来检验，但仅用负荷电流相量图有它的局限性，见图 9-9。

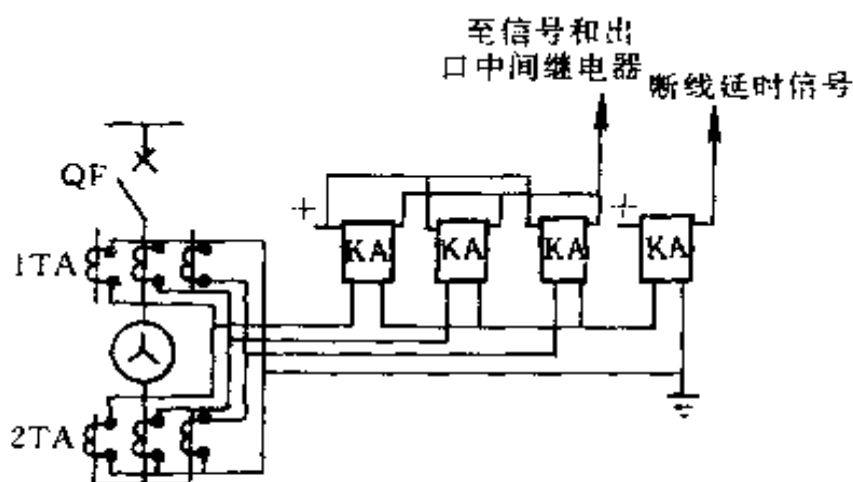


图 9-9 差动保护的错误接线

假如在二次引线 U 相与零线接反，且 U 相电流互感器开路，此时 $I_U = (I_V + I_W) = -(-I_V) = I_V$ ，这样作出的相量图三相对称，且两臂电流相差为 180° ，差压值也正常，因此发现不了这类错误，当然这是一个特例，但它说明仅以差动相量图判断二次接线的正确性是不够的，为了保证差动保护的准确性，现场必需做好以下几点：

1) 严格仔细的检查接线。

2) 用单相升流器对一次回路通电，进行模拟试验。上述错误通过查线或通一次电流模拟试验都可以发现。

3) 作差动相量图进行分析。

4) 测量执行元件的差电压或差电流，差电压一般不应超过 $0.2V \sim 0.3V$ ，差电流不大于 $200mA \sim 300mA$ 。3)，4) 仅作为判断保护接线正确与否的辅助手段，经过上述检测，确认接线准确后，方可投入差动保护装置。

(三) 横差保护

对于中性点有六根引出线的双星形接线的保护方案，定子一相匝间短路时，由于短路点电流很大，使故障处温度升高，如不及时处理，很可能导致对地或相间绝缘破坏，以致转变为接地或

相间短路,因此对于发电机的这类故障来说必须尽快作出反应,如图 9-10 所示。

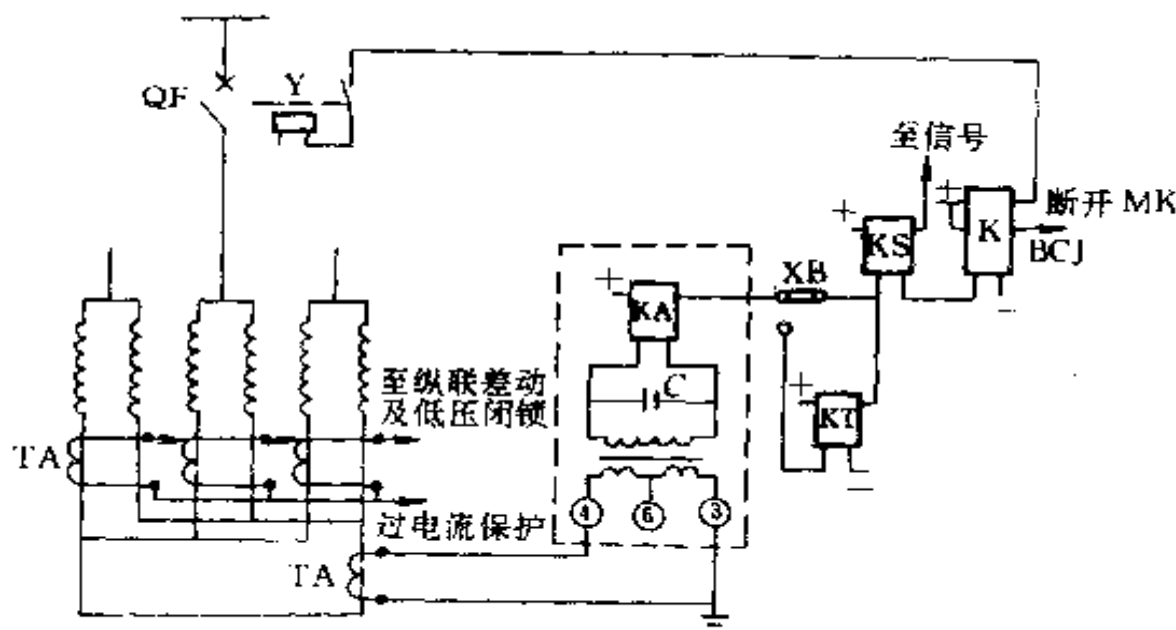


图 9-10 单继电器式横差动保护原理图

现代大容量的发电机每相都是由两个相同的并联绕组组成的,在正常情况下,两个绕组中的电动势相等,各供一半负荷电流。而当任一个绕组中发生匝间短路时,两个绕组中的电动势就不再相等,因而会由于出现电势差而产生一个均衡电流,在同相的两个分支绕组中环流。因此,利用在匝间短路时,两绕组电流之差原理形成的保护叫横差保护,只有发电机定子绕组为双星形接线时,才装设保护发电机定子绕组匝间短路的单继电器式横差保护,在两个双星绕组的中性点连接线上装设一个电流互感器,该电流互感器感应的电势接入 DL-11/b 横差动继电器,就实现了保护的功能。

DL-11/b 横差动继电器的返回系数为 0.8~0.85,中间变流器的一次线圈长期热稳定电流为 6.5A,一秒钟热稳定电流为 250A,DL-11/b 型横差保护在 1.25 倍动作电流下的动时间小于 0.25s,保护装置的起动电流,根据运行经验可采用发电机定子绕组额定电流的 20%~30%。

在双星形绕组的发电机中,定子的同一相的两个绕组并不是

完全位于同一定子槽中，在励磁回路发生两点接地时，由于发电机励磁磁动势的畸变而引起空气部分磁通发生较大的畸变，因而在同一相两个绕组中感应电势就不相等，也会产生环流，导致横差保护误动。如果运行中突然发生转子两点接地，这和匝间短路故障类型尽管不同，但都要作用于保护跳闸，所以正常情况下横差保护时限为零。为了防止在励磁回路中发生偶然性的瞬间两点接地时引起横联差动保护的误动作。因此，当励磁回路发生一点接地后，在投入两点接地保护的同时，也应将横联差动保护切换至带 0.5s~1.0s 的延时动作控制时间。

对采用双星接线的发电机必须注意保持同名相中性点的母排绝缘良好，否则如母排间绝缘发生击穿，在发生穿越性故障时，使流经横差保护的不平衡电流增大，有可能造成横差保护误动，如某 110kV 系统发生短路，某台机强励动作，主变压器 110kV 侧开关跳闸，但横差保护也动作，查其原因，是由于该机中性点侧 V 相两母排短路造成横差保护误动。

二、发电机定子绕组的接地保护

发电机的外壳根据安全的要求都是接地的，因此只要发电机定子绕组的绝缘遭到破坏，就可能导致单相接地，所以定子绕组单相接地是比较容易发生的。定子单相接地故障的危害是故障点流过的绕组的对地电容电流，由其产生的电弧能灼伤铁心，进一步烧损绝缘，如不及时处理，则可进一步发展成相间或匝间短路。

以往认为接地电容电流超过 5A 时铁心将严重烧伤，接地电容电流小于 5A 时，铁心损伤较轻并容易修复。因此规程规定，当接地电流大于 5A 时，必须装设作用于跳闸的接地保护；当接地电流小于 5A 时，只装设监视绝缘的信号装置。

运行实践证明，接地故障电流对定子铁心损坏的程度与电流的大小和持续时间有关。接地电流小于 5A，如不能及时处理，将使接地故障持续时间过长，铁心也会严重损伤。大型发电机铁心结构复杂，灼伤后修复工作困难，希望将大型机组定子接地故障

电流限制在以不检修定子铁心为依据，一般推荐为 $1\text{A}\sim 1.5\text{A}$ ，这个不产生电弧的接地电流称为发电机单相接地的安全电流。

对直接与主变压器连接的大型发电机要求其接地保护能够检测出发电机中性点附近的接地故障，即应有 100% 的保护区。对于水内冷发电机，还要求能够检测出靠近中性点处绕组的绝缘下降，即保护应具有较高的灵敏度。

单相接地故障在安全电流以下时，保护作用于信号，在安全电流以上时，保护作用于发电机变压器组，使其跳闸。

(一) 发电机基波零序电压接地保护

1. 零序电压保护 保护装置用一个过电压继电器接在发电机出口电压互感器 TV 的开口三角绕组上，如图 9-11 所示。

它反映发电机电压的基波零序电压，对发电机变压器组单元接线，由于接地故障电流较小，零序电压保护装置通常动作于信号。

发电机正常运行时，由于各种原因形成零序电压通常可达 $10\text{V}\sim 15\text{V}$ 。因此基波零序电压保护动作电压应躲开此不平衡电压整定。动作电压一般取 $15\text{V}\sim 30\text{V}$ ，这样定子接地保护将有 $15\%\sim 30\%$ 的动作死区，因此这种保护方式只适用于中、小型机组。

为了随时检查发电机的绝缘情况，在发电机电压互感器开口三角形接有电压表，按下按钮，即可通过零序电压了解发电机的绝缘情况。

2. 整流型零序过电压保护 如图 9-12 所示。

用于定子接地保护的低定值电压继电器，由变压器 TV、整流桥 VC、整定电位器 RP（细调）及执行元件 KP 等组成。由于继

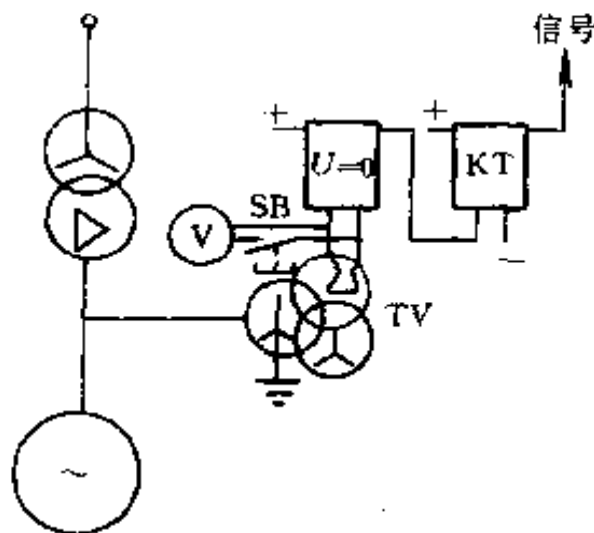


图 9-11 发电机零序电压
保护原理图

电器的整定值远低于额定电压值，执行元件采用高灵敏的极化继电器。中间变压器的二次侧有抽头以供整定值的分级调整。在极化继电器的触点上并联 R_1 、 C_1 ，用以保护继电器的触点。稳压管 V 起限幅作用，防止电压过高时极化继电器线圈过载而损坏。

3. 零序电压保护的整定原则 保护装置的整定值应按下述两个条件来考虑：

(1) 动作电压应躲过正常运行时的三次谐波电压。

(2) 动作电压应躲过正常运行时基波不平衡电压，对动作于信号的零序电压保护，动作电压整定值一般取为 $5V \sim 6V$ 。

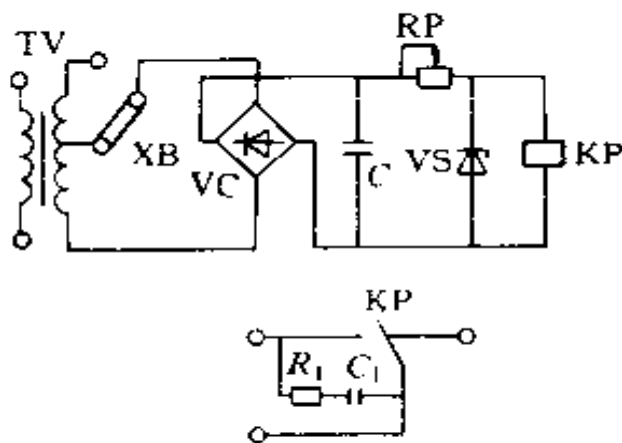


图 9-12 整流型零序过电压保护原理图

为了防止变压器高压侧故障时通过变压器绕组间的耦合电容，在发电机电压网络中产生的传递电压使保护误动作，应采取以下防止保护误动措施：

1) 变压器高压侧中性点接地时，其高压侧的接地故障应由该侧相应的零序电流保护切除。发电机的零序电压保护可用延时与零序电流保护配合。

2) 变压器中性点不接地时，可采用变压器高压侧接地保护闭锁发电机的零序电压保护。

3) 如果变压器高压侧易产生铁磁谐振过电压，由于传递过电压可能使发电机零序保护误动，可在高压侧电压互感器采取消谐措施。

三、发电机转子回路的接地保护

发电机在正常运行时，由于发电机转子高速运动，励磁回路要承受很大的离心力，因此励磁回路一点接地是常见的故障形式。

发电机转子回路发生一点接地故障时，由于不能构成电流的通路，没有电流通过故障点，因此继续运行对发电机并无直接危害，但发生一点接地后，作用在励磁绕组对地绝缘介质上的电压将有所增加，最不利的情况下将增加一倍。对于大型汽轮发电机，由于励磁电压高，在一点接地后，如果再有其他绝缘薄弱点，则出现第二点接地的可能性较大。

当转子回路发生两点接地时，由于励磁绕组部分地被短接，使转子磁场发生畸变，力矩不平衡，因而引起机组的强烈振动，严重的曾发生过接地固定螺钉折断现象。此外在故障点，由于通过很大的故障电流，并产生电弧，使转子绕组和铁心烧坏，同时接地电流还可能造成汽缸磁化。

近年来对于转子水内冷的大型汽轮发电机，鉴于转子回路接地故障的可能性增加，以及机组的重要性，开始采用一点接地保护装置代替一点接地检查装置，一点接地后发出信号，再人工投入两点接地保护装置。

1. 定期监视 用一个直流电压表定期测量励磁回路正、负极对地电压，根据电压表的指示可以确定励磁回路的绝缘状况，如图 9-13 所示。

由于泄漏电流存在，转子回路的对地电位由分布电阻 $r_1 \sim r_n$ 决定，当 $r_1 \sim r_n$ 为均匀分布时，则 D 点电位在转子的 $1/2$ 处，即电压表测得的正、负极对地 (D) 的电压数值相等，且为全部励磁电压的 $1/2$ 。当某一极的电阻 R_i 降低时，该极的对地电压降低。但当转子中部绝缘电阻降低甚至直接接地时，电压表读数不会发生变化，所以有死区。

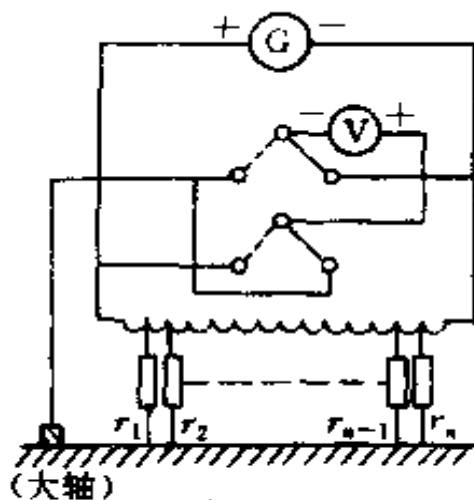


图 9-13 用电压表定期
监视绝缘原理图

2. 直流电桥式一点接地保护
利用直流电桥原理构成的一点

接地保护,如图 9-14 所示,励磁绕组对地的泄漏电阻为 $r_1 \sim r_n$,当对地绝缘完好时, $r_1 \sim r_n$ 沿励磁绕组均匀分布,使励磁绕组的中点部位呈现地电位,以中点为分界点,将励磁绕组的电阻分成两部分,从而构成了电桥的两个臂,外接电阻 R_1 和 R_2 构成电桥的另两个臂,在 N 点与地之间接入继电器 KA,即将电桥接在电桥的对角线上。

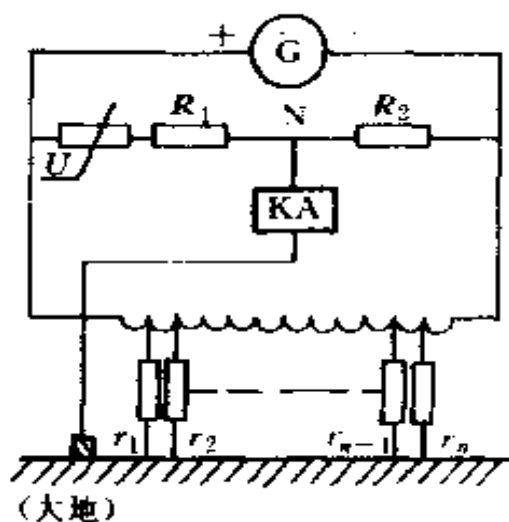


图 9-14 直流电桥一点接地保护原理图

正常时 N 点对地无电位差,当转子绝缘下降或一点接地后,电桥失去平衡, N 点与地之间出现电位差,其大小与励磁电压大小和故障点的位置有关,当电流达到继电器 KA 的动作值时,继电器 KA 动作,发出信号。

如果接地发生在励磁绕组的中点或其附近,则为保护装置的死区。

为了消除死区的缺陷,在电桥的 R_1 臂中串入一非线性电阻,其电阻值随着两端电压的大小而变化,当电压升高时,电流非线性地增加,电阻值降低,反之,则电阻值增大。因此,保护装置的死区位置随着励磁电压的变化而移动使接电点恰好位于死区的几率减小。

3. 发电机转子回路两点接地的的工作原理 发电机转子回路两点接地保护,是用电桥原理构成,当励磁回路发生一点接地后投入两点接地保护,如图 9-15 所示,当

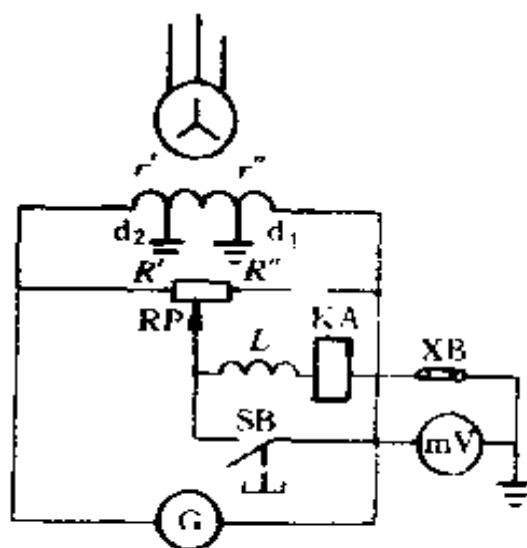


图 9-15 发电机转子两点接地保护

运行人员发现励磁回路一点 (d_1) 接地以后, 先打开连接片 XB, 断开继电器回路。然后按下按钮 SB, 表计有读数。调节 RP 的滑动触头, 滑动触头将电阻 RP 分为, 根据毫伏表的读数使得 $r'/r'' = R'/R''$, 电桥达到平衡, 表毫伏 mV 指示为零, 再放开按钮 SB, 接通 XB, 这时因电桥处于平衡, 继电器不动作, 在出现第二接地点 d_2 时, 电桥平衡被破坏, 在继电器 KA 中流过电流, 当流过的电流大于继电器的动作电流时, 则保护装置动作。第二接地点 d_2 距 d_1 点越远, 通过继电器 KA 中的电流就越大, d_2 点距 d_1 点越近通过继电器 KA 中的电流就越小, 当流过继电器的电流小于动作电流时, 则保护装置不动作。这个不动作范围就是保护装置的死区。

由于发电机定子和转子间的空气隙不均匀, 使穿过转子绕组的磁通发生脉动产生交流电动势, 当保护装置投入后, 电流继电器中便有交流电流流过, 该电流可能大于继电器的动作电流而使保护装置起动。为此在继电器 KA 回路串入一个电感 L, 以阻止交流电流通过。

该保护装置存在以下缺点:

(1) 该保护装置的主要缺点是有死区, 死区一般为 $\pm 10\%$ 左右。

(2) 当第一接地点发生在集电环附近时, 则不论第二点发生在什么地方, 保护装置都不会动作。

(3) 当第一接地点发生在励磁机回路时, 保护不能使用, 因为在改变磁场变阻器时, 保护可能误动作。

注意: 只有在第一点稳定性接地的情况下, 方可将两点接地保护装置投入, 因在不稳定接地时将保护投入, 在接地消失时, 电桥失去平衡, 保护将误动作。

四、发电机的失磁保护

四、四、四

发电机在运行过程中, 可能突然全部或部分地失去励磁。失磁保护的功能有二: 一是失磁后果危及发电机或系统安全运行时, 应及时动作切除发电机; 二是发电机虽然失磁, 但对发电机和系

使定子绕组发热，从而引起定子绕组绝缘老化。此外，负序电流在转子绕组与定子电流之间，正序气隙旋转磁场与定子负序电流之间所产生的100Hz交变电磁转矩，将同时作用在转子大轴和定子机座上，从而引起100Hz振动。

发电机短时间允许负序电流的大小与电流的持续时间有关，即转子表层发热量的大小与流经发电机负序电流的平方以及所持续的时间成正比。

六、发电机的过电流及过负载保护

在发电机上应装设防御外部短路的过电流保护，同时这种保护也可以作为发电机差动保护的后备保护，后备保护的范固包括升压变压器高（中）压侧母线，厂用变压器低压侧和发电机电压出线的末端。

由于发电机外部短路时流过发电机的稳态短路电流水平不高，有时甚至接近发电机负荷电流，所以采用简单的过电流保护，在许多情况下不能满足灵敏度的要求，因此过电流元件很少单独作为独立的保护，目前采用的过电流保护主要有三种：

- (1) 低电压起动的过电流保护。
- (2) 复合电压闭锁的过电流保护。
- (3) 负序电流保护。

第六节 继电保护的反事故措施

继电保护和自动装置是保证电网安全运行，保护电气设备的主要装置，是组成电力系统整体的不可缺少的重要组成部分，保

护装置配置使用不当或不正确动作,必将引起事故或事故的扩大,因此继电保护人员与电网调度及基层运行人员都必须重视继电保护装置的调试、维护及其正确操作,共同努力力争提高继电保护装置的正确动作率。

一、直流系统运行与继电保护

直流系统是继电保护直流回路的动作能源,直流系统的故障也多次导致继电保护的误动,所以直流系统的可靠正常运行是继电保护正确动作的根本保证,在正常情况下对直流系统电源电压的要求如下:

(1) 当采用蓄电池作直流电源时,电压波动范围应不大于额定电压的 $\pm 5\%$ 。放电末期直流母线电压下限不低于 85% ,充电后期直流母线电压上限不高于额定电压的 115% 。

(2) 由浮充电设备引起的波纹系数应不大于 0.5% 。

(3) 当采用交流整流电源作为保护用直流电源时,在最大负荷情况下,保护动作时,直流母线电压不应低于额定电压的 80% ,以保证继电保护和自动装置可靠动作。最高不应超过额定电压的 115% ,应采取限幅(电压波动不大于 5%)和滤波(纹波因数不大于 5%)措施。

(4) 当直流系统电压超过直流系统的 10% 以上时,应密切注视直流回路各元件的热稳定,特别是一些热稳定性能较差的元件。

二、保护装置操作的基本顺序

(1) 运行中的设备如确需退出其某一保护装置时,先退出该保护装置的出口连片,再取下该保护装置的操作熔断器。如需再恢复该套保护装置时,先上操作熔断器,再恢复出口连片。

(2) 寻找直流接地时,应将在断开所属设备直流熔断器之前,应先退出该保护装置。

(3) 当采用分区停电寻找直流接地时,当接地点在停电区内但需进一步确定直流接地支路前,需对该区恢复送电时,应先恢复非接地极熔断器,再恢复接地极熔断器。

(1) 规程规定，跳闸出口继电器电压不宜低于直流额定电压的 50%。

跳闸出口继电器整定电压过低，易于在直流系统一点接地时的过渡过程造成出口继电器误动，如某厂在运行中发现直流系统正极接地，当采用分区拔熔断器后，发现直流系统接地点在发电机盘，该区涉及四块屏（8 块发电机屏，每联屏和中央信号屏）因此班长恢复该区直流总熔断器时，先给上负极电源，再给上正极电源，当给上直流正熔断器时，听到“咋嗒”一声，紧接着 5 号机跳闸，事后对该机出口回路带接地点模拟送电源的过程，模拟试验四次均造成该台发电机跳闸，所以确认是由于直流支路带接地点送电时的过渡过程造成的。其后对保护出口继电器电压进行检查，其动作电压为 110V，因此出口继电器电压到底该整定为多少？

出口继电器应在直流系统最高电压（ $1.15U_N$ ）下运行，发生一点接地时，不应使出口继电器动作，当直流系统在最低电压（ $0.8U_N$ ）运行，发生系统故障时，保护不应拒动。

当直流系统电压为 $1.15U_N = 1.15 \times 220 = 253\text{V}$ 时，出口继电器定值应 $> 1/2 \times 253 = 120\text{V}$ ，而直流系统最低电压为 $0.8 \times 220 = 176\text{V}$ ，为了可靠，考虑可靠性系数为 1.3，即 $176/1.3 = 135\text{V}$ 。

所以出口继电器的动作电压应在 126~135V 之间。

第十章 变 压 器

第一节 概 述

变压器它是根据电磁感应原理将某一种电压、电流、相数的交流电能转变成另一种电压、电流、相数的交流电能的静止电气设备。

一、变压器的结构特征与用途

(一) 变压器的结构

主要包括铁心和绕组两大部分。

1. 铁心 它是变压器的基本部分，变压器的一次、二次线圈都是绕在铁心上的。它的作用是在交变的电磁转换中，提供一条畅通的磁路，所以变压器的铁心多采用硅钢片。

变压器的铁心按形式可分为铁心式变压器，它多用于高压的电力变压器；壳式变压器，它多用于大电流的特殊变压器或用于电子仪器、电视、收音机等电源变压器。

2. 绕组 是变压器的基本部件，在结构上分为筒式和盘式两种。

变压器按绕组形式可分为：自耦变压器，一般用于连接超高压、大容量的电力系统；双绕组变压器，一般用于连接两个电压等级的电力系统；三绕组变压器，一般用于连接三个电压等级的电力系统。

3. 变压器的冷却方式 按容量大小的不同分别采用空气冷却和油冷却方法散热。

变压器按冷却方式可分为：油浸式变压器、干式变压器、充气式变压器、蒸发冷却式变压器。

4. 变压器按相数分 单相式变压器，一般用于单相负荷；三

相变压器，一般用于三相系统的升压或降压。

5. 变压器按用途分 电力变压器，一般用于输、配电系统中的升压或降压，它是一种最普通的变压器；试验变压器，一般用于对高压电气设备进行耐压试验用；特殊变压器（如焊接用的电焊变压器，试验用的调压变压器、电解用的整流变压器等）；仪用变压器，一般用于继电保护装置和测量仪表（如电流继电器、电压继电器、电流互感器和电压互感器等）。

（二）变压器的用途

在生产和人们的日常生活中，我们经常会碰到各种不同的供电设备，它们所需的电源电压也是不同的。如在工厂中常用的三相异步电动机，其额定电压为 380V 或 220V，而日常生活中的照明电压一般为 220V，机床照明或低压电钻等只需要 36V、24V 甚至 12V 等。因发电厂所输出的电压一般为 6.3kV、10.5kV，最高不超过 20kV，而电能要经过很长的输电线路才能送到各用电单位。因为当输送一定功率的电能时，电压越低，电流就越大，大部分电能就会消耗在输电线路的电阻上。为了减少电能损失，就需要将电压升到 10kV、35kV、110kV、220kV 等级的电压或超高压才能输送出去，所以为了输配电和用电的需要，就要使用升压变压器或降压变压器，把同一交流的电压变换成频率相同的具有各种不同电压等级，以满足各类负荷的需要。因此电力变压器是电力系统和供用电系统中的一种重要的电气设备。

二、变压器的工作原理

变压器是根据“磁动生电”和“动电生磁”的电磁感应原理构成的。

它是由铁心（硅钢片）和绕在铁心上相互绝缘的两只绕组构成的，如图 10-1 所示，其中电源侧称为一次绕组，负载侧称为二次绕组，根据电磁感应原理，当交流电压 U_1 加到变压器一次侧绕组时，就会在一次侧产生交变电流 I_1 ，从而产生励磁作用，这个电流在铁心中产生交变磁通 Φ ，它不仅能够穿过一次绕组，同时也穿过二次绕组，分别在两个绕组中产生感应电动势 E_1 和 E_2 。当二

次侧绕组与外电路的负载 R 接通时，便有交流电流 I_2 流入负载，其端电压为 U_2 ，于是就有电能输出。

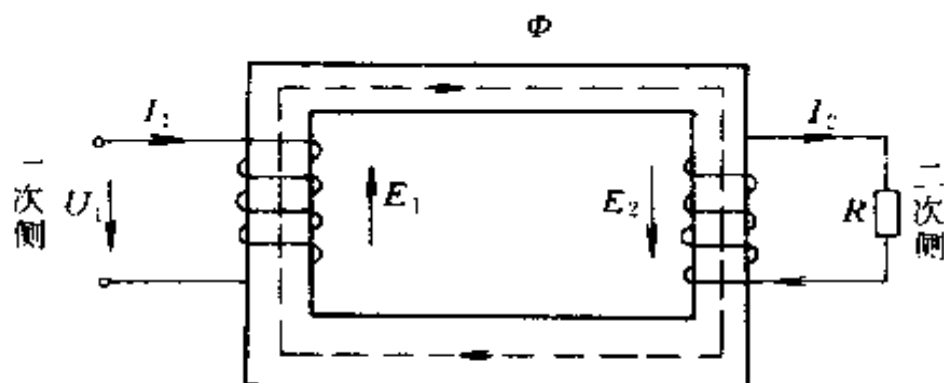


图 10-1 单相变压器原理图

根据电磁感应定律可以看出，感应电动势的大小与磁通所链的线圈匝数及频率之间的关系为：

一次侧感应电动势为

$$E_1 = 4.44fN_1B_mS \times 10^{-4}$$

二次侧感应电动势为

$$E_2 = 4.44fN_2B_mS \times 10^{-4}$$

式中 f —— 电源频率，工频为 50Hz；

S —— 铁心截面积 (cm^2)；

N_1 —— 一次侧绕组的匝数；

N_2 —— 二次侧绕组的匝数；

B_m —— 铁心中最大磁通密度 (T)。

上两式之比为

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

由此可知，变压器的一、二次侧电动势之比就等于变压器一、二次侧绕组的匝数之比。

因变压器一、二次侧绕组本身有阻抗压降，因而实际上变压器一次侧压降 U_1 略大于一次侧电动势 E_1 ；二次侧电动势 E_2 又略大于二次侧压降 U_2 ，但可以近似认为

$$U_1 \approx E_1$$

$$U_2 \approx E_2$$

整理后可得

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

式中， $K = \frac{N_1}{N_2}$ 叫做变压器的电压比（简称变比）。当变比 $K > 1$ 时，则 $N_1 > N_2$ ， $U_1 > U_2$ 这种变压器用于降压，即称为降压变压器；反之当变比 $K < 1$ 时，则 $N_1 < N_2$ ， $U_1 < U_2$ 这种变压器用于升压，即称为升压变压器。

变压器在正常的运行中是有一定损耗的；但它与输出功率相比是很小的，因此可以忽略不计，由此可以近似认为变压器的输出功率 $P_2 = U_2 I_2$ 等于电源的输入功率 $P_1 = U_1 I_1$ ，即

$$P_1 = P_2$$

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

所以

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

即变压器的一、二次侧电流之比等于变压器一、二次侧绕组匝数之反比。变压器匝数多的一侧电流小，变压器匝数少的一侧电流大，也就是说，变压器电压高的一侧电流小，而电压低的一侧电流大。

三、变压器不能用于直流变压

因为交流电压是交替变化的，当变压器的一次侧绕组通入交流电时，其铁心内产生的交变磁通也随之发生变化，于是在二次侧绕组内感应出交流电动势，感应电动势与绕组的匝数成正比，当变压器一次侧绕组匝数大于变压器二次侧绕组的匝数时，就为降压变压器，反之，变压器一次侧绕组匝数小于变压器二次侧绕组匝数时，就为升压变压器。因直流电的大小和方向是不随时间变化的，所以如果恒定的直流电通入一次侧绕组时，变压器的铁心内所产生的磁通也是恒定不变的，因此就不可能在变压器的二次侧绕组内产生感应电动势，所以也就不起变压的作用。

而变压器能够变压的条件是在变压器的一次侧绕组上，施以交流电动势而产生交变磁通，交变磁通又将在二次侧产生感应电动势，感应电势的大小与磁通的变化率成正比，当有直流电通入变压器时，因为直流电的大小和方向都是不变的，所以变压器铁心中就不能产生交变磁通，即磁通恒定为零，则感应电动势也为零。这时，所通入的直流电压全部加在具有很小电阻的绕组上，所以电流增大，造成了近似短路的现象，所以变压器是不能用于直流变压的。

四、不平衡电流对变压器的影响

变压器的不平衡电流是指三相电力变压器绕组之间的电流差，这种电流差主要是由于变压器的三相负载不平衡造成的。如照明用电、单相电焊机等负载，在三相上分配不均使变压器的三相负载不对称。负载不对称，流过变压器的三相电流就不对称，电流不对称，变压器的三相阻抗压降也不对称，因此导致变压器一次侧的三相电压也不对称，这对变压器和用电设备都是不利的。在Y/yn0接地的变压器中，零线将出现零序电流，而零序电流会产生零序磁通，使变压器绕组中感应出零序电动势，使中性点位移，这样就使电流大的一相电压下降，其他两相的电压上升，这对充分利用变压器的出力也是不利的。

又当变压器的运行电压接近其额定值时，因三相负载的不平衡使得电流的一相过负荷运行，而电流小的一相则负载又达不到额定值，所以规定变压器的零线电流不得超过其额定电流的25%。因此，我们对照明用电和带有单相动力负载的变压器，要经常进行三相负载平衡的测量工作，使变压器三相电流达到平衡。当零线电流超过额定电流的25%时，要及时对变压器的三相负载进行调整。

第二节 变压器的运行与维护

一、变压器的运行方式

(一) 变压器的允许温度和温升

1. 允许温度 变压器在正常运行中，要产生铁损和铜损，它们所产生的损耗将全部转换成热能，引起变压器各部位发热，致使绝缘老化，从而缩短了变压器的使用寿命，而温度对变压器油的老化起着主要的作用。

因此国家规定一般变压器的上层油温最高不得超过 95°C ，若变压器的温度常期超过允许温度，则变压器的绝缘就很容易被损坏，由此而引起电气设备被击穿而发生设备故障。

2. 温升 变压器在额定负荷下，各部分的温度与周围温度之差值叫做变压器的温升。

一般油浸式变压器的绝缘材料都采用 A 级绝缘，其变压器的绕组极限温度为 105°C ，当变压器的周围环境温度最高为 40°C 时，则绕组的最高允许温升为 $105 - 40 = 65^{\circ}\text{C}$ ，所以国家标准规定变压器绕组的温升为 65°C ，由于变压器油的温度一般比绕组的温度低 10°C ，所以变压器的上层油温的允许温升为 55°C ；绕组为 65°C ；铁心为 70°C 。当环境温度低于 40°C 时，变压器的温升可适当提高。

3. 怎样判断变压器的温度是否正常 运行中的变压器，其铁心和绕组的损耗将转化成热量，使温度升高而向周围扩散出去。当发热与散热达到平衡状态时，其变压器的各部位温度趋于稳定。在巡视检查变压器的过程中，要做好巡视记录，当发现在同一条件下的温度比平时高出 10°C 以上（在负荷不变的情况下），且温度又不断上升而冷却装置的运行又正常时，则可以确定是变压器的内部发生了故障。

4. 运行中变压器温升过高的原因

(1) 变压器分接开关接触不良 因为变压器分接开关的触点压力不足或触点上污秽等，使得接触电阻增大，致使接点发热。尤其是当倒换分接头后或变压器过负荷运行时，就更容易造成分接开关接触不良而引起变压器发热。

(2) 变压器线圈匝间短路 变压器匝间短路至使其线圈的匝数减少，并产生闭合的短路环形电流，在短路处将产生很高的温

严重的匝间短路将使变压器油温上升，短路处的油发出“咕啾、咕啾”的声音。

(3) 变压器铁心硅钢片片间的短路 由于外力损伤或绝缘老化等原因，使得变压器的硅钢片片间的绝缘损坏，漏流增大，造成变压器局部过热的现象。

所以在变压器正常运行过程中，每日要进行一次认真的巡视检查工作，如发现变压器温升过高，则要结合变压器的声音，气体继电器动作情况以及其他异常现象，判断出变压器的故障，以便及时处理。

(二) 变压器油的运行

油是流动的液体，变压器油充满在变压器的绕组、铁心和散热管内等各部件之间的空隙中，使其与空气隔离，从而避免变压器各部位与空气接触受潮而引起绝缘降低。

1. 变压器油的主要作用和要求 变压器油的主要作用是：

(1) 起绝缘作用 变压器油的绝缘强度要比空气的绝缘强度高得多。绝缘材料浸在油中，可以提高其绝缘强度，而且还可以免受潮气的侵蚀。

(2) 起散热作用 变压器在运行过程中要产生热量使铁心和绕组发热，而通过油的上下对流，则热量就能通过散热器散发出来，以确保变压器的正常运行。

(3) 起消弧作用 在油断路器和变压器的有载调压开关上，当有载调压触点切换时，就会产生电弧，而变压器油的导热性能是非常好的，且在电弧高温的作用下，能分解出大量气体产生压力，从而提高了介质的灭弧性能，使电弧很快熄灭。

对变压器油性能的要求：

1) 密度要小 以便于油中水分和杂质的沉淀。

2) 粘度要适当 粘度太小了会降低闪点，太大了会影响对流散热。

3) 闪点（也叫闪光点）要尽量高 规定闪点不得低于135℃，闪点越低，挥发性越大，就越不好。

1) 灰分和酸、碱、硫等杂质的含量要低。因为这些杂质对电气设备的绝缘体、线圈、导线和油箱等都有很大的腐蚀作用。一般灰分不能超过 $1/10000$ ，而水分、游离炭、活性硫和能溶于水中的酸、碱等混合物必须一点也不能有。

5) 氧化程度不能太高。

6) 安定性(也称安定度)要高。安定性能抗拒绝缘油的老化,保持其原有各种性质的能力,所以安定性能越高越好。

7) 不同型号的变压器油不能混合使用。如果将不同型号的变压器油混合使用,对油的安定性有很大的影响,所以禁止将不同型号的变压器油混合使用。

2. 变压器长期运行中油老化变质的原因。变压器在长期运行过程中经常处于高温(85°C 左右)下,油与大气接触就会发生氧化。而油中的某些物质(如铜等)又会加速这种氧化过程。当变压器油氧化时,又会不断分解出酸、灰分等杂质,从而使油的性能劣化,当油中的杂质到一定浓度时,就会产生油泥沉降。而油泥聚积在变压器绕组、铁心和散热管上,就会影响变压器散热。此外,变压器油还会从大气中吸收潮气,所以在上述因素的作用下,变压器油的质量就会逐渐老化,降低其绝缘强度,影响变压器的安全运行,因此要定期对变压器油进行油样化验,以便早日发现变压器的事故隐患。

3. 怎样鉴别变压器油的优劣

(1) 颜色。新的变压器油一般为淡黄色,长期运行中的变压器油是呈深黄色或浅红色,如果油的颜色变暗,则说明油质劣化,如果油色发黑,则说明油的碳化很严重,不得再继续使用。

(2) 透明度。将变压器油盛在玻璃试管中,在 -5°C 以上时它应是透明的,如果透明度降低了,说明其中有游离碳和其他杂质存在。

(3) 荧光。装在试管中的变压器油,迎着光线看时,两侧会呈现出乳绿或蓝紫色反光,称为荧光。如果使用中的油没有荧光,则说明油中已有杂质。

(4) 气味 合格的变压器油是无味的，如果发现有焦味就说明油不干燥；如油有酸味，则说明油已经老化了。

综上所述，变压器油在运行中，我们要经常检查其充油设备，检查设备的油枕、呼吸器的工作性能；检查设备的严密性；检查油色、油量是否正常；定期取油样或根据需要不定期的取油样进行油的色谱分析，从而预防变压器的潜伏性故障。

(三) 变压器的过负荷运行

变压器的过负荷运行是指它在较短的时间内所能输出的最大容量。

变压器的过负荷运行应符合下列规定：

(1) 主要是动力用电的，白天全部负荷开启后不得超过变压器容量的 8%，运行时间不得超过 10h，高峰时允许超过负荷 10%~15%。

(2) 主要用电是照明用电的变压器，允许在高峰负荷时间内超过 10%~15%，时间不能超过 3h，超过 15% 时按过负荷容量处理。

(3) 凡不符合 (1)、(2) 两项规定时均按事故过负荷处理，事故超过负荷的 30% 及以下者，允许运行 2h，超过 30% 但上层油温不超过 85℃ 时，允许运行 30min，30min 以后必须减负荷运行。

因此，对室外变压器的过负荷总数不得超过 30%，对室内变压器则不得超过 20%。

(四) 变压器的过电压

1. 什么是变压器的过电压 额定电压下运行的变压器，其电压幅值是一定的，如果由于某种原因，变压器的电压幅值超过了额定电压的幅值，这种现象则称为变压器过电压。

2. 变压器过电压的原因

(1) 大气过电压 如雷电直击输电线路或杆塔，由于大气中雷雨云放电而在输电线路路上感应的过电压。

(2) 操作过电压 操作电气设备的过程中，在断路器上合闸或拉闸所引起的过电压。

(3) 故障过电压 系统中发生的单相短路或间歇电弧接地而产生的过电压。

无论是上述哪种过电压，其作用的时间都很短，仅为几十微秒，操作过电压和故障过电压的数值一般为额定相电压的 2~4.5 倍，而大气过电压则可达到额定相电压的 8~12 倍。2.5 倍以下的过电压，一般变压器是能够承受的，而超过了 2.5 倍后，无论哪种过电压都可能使变压器绝缘受到严重的损坏。

3. 防止过电压损坏变压器的方法

(1) 在电力系统中常采用避雷器或避雷针来保护变压器。

(2) 对 35kV 以上的电力变压器，采用中性点接地系统来防止过电压造成的损坏。

(五) 变压器的并联运行和经济运行

变压器的并联运行是指将两台或多台变压器的一次侧以及二次侧同极性的端子之间，通过同一母线分别互相连接的运行方式，如图 10-2 所示，为变压器并联运行单线系统图。

1. 目的 一是提高变压器运行的经济性；二是提高供电的可靠性。

2. 变压器并联运行必须具备的条件

(1) 变压比要相同（抽头位置也要相同），其变压比间的差值不得超过 $\pm 0.5\%$ 。

如果变压比不相同，会在并联运行中的两台变压器内产生一个循环电流，从而降低变压器的输出容量，影响变压器的出力，甚至烧毁绕组。

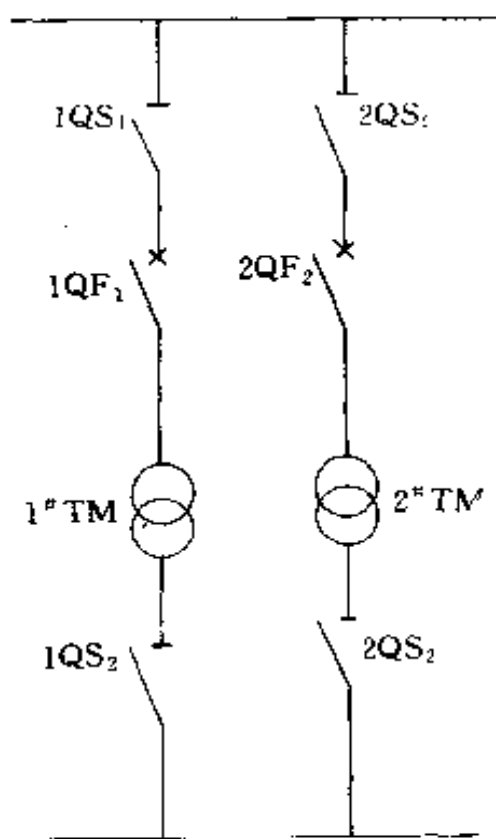


图 10-2 变压器并联运行单线系统图

(2) 绕组的接线组别必须相同

1) 任何奇数组别的变压器都不能和任何偶数组别的变压器并联运行。

2) 不同奇数组别间的变压器可通过改变其外部的接线方式来满足并联运行的要求。

当接线组别不同的变压器并联运行时，变压器的二次侧电压相位就不同，就会产生很大的电压差，在此电压差的作用下将会在绕组间产生很大的循环电流或造成短路故障，使变压器严重过热以致烧毁。

(3) 短路电压百分数（即短路阻抗的百分数），并联运行的变压器短路电压间差值应不超过其中一台变压器短路电压值的 $\pm 10\%$ 。

短路电压不同的变压器并联运行时，其变压器的负荷不能按其容量成比例地分配，负荷的分配和额定容量成正比，和短路电压成反比，也就是说短路电压百分数小的过负荷，短路电压百分数大的不能满负荷，因此影响变压器的出力。

(4) 两台并联运行的变压器，其容量比不得超过 3:1。

容量相差过大时，容易使负荷分配的不合理，而造成一台变压器过负荷运行，使另一台变压器不能满载运行。

(5) 两台变压器并联运行前，相序要对，否则将会造成相间短路。

3. 变压器的经济运行

(1) 变压器的损耗 它包括两部分，即铁损和铜损。

铁损是指当磁通交变时在铁心中所产生的涡流损耗和磁滞损耗。在电压一定的情况下，铁损是一个常数，它与负载电流无关，铜损则与负载系数有关。

变压器的空载试验可以测出铁损，它的空载损耗为

$$P_0 = I_0 R_1 + \Delta P_0$$

式中 P_0 变压器的空载损耗 (W)；

I_0 空载电流 (A)；

R —— 二次侧绕组电阻 (Ω);

ΔP —— 铁损 (W)

短路试验可测出铜损 ΔP_m

(2) 变压器的效率 是指变压器的输出功率与输入功率之比, 即

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

式中 η —— 变压器的效率;

P_1 —— 输入功率 (kW);

P_2 —— 输出功率 (kW)。

变压器的输入功率与输出功率之差就是变压器的功率损失, 也就是铁损和铜损之和, 即

$$P_1 - P_2 = \Delta P_e + \Delta P_m$$

$$\text{又} \quad P_1 = P_2 + \Delta P_e + \Delta P_m$$

$$\text{所以} \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_e + \Delta P_m} \times 100\%$$

$$\text{铜损} \quad \Delta P_m = I_1 R_1 + I_2 R_2$$

式中 I_1 —— 一次侧电流 (A);

I_2 —— 二次侧电流 (A);

R_1 —— 一次侧电阻 (Ω);

R_2 —— 二次侧电阻 (Ω)。

所以变压器的效率与负载大小和性质有关。而当变压器的输出功率为零时, 它的效率也为零; 当输出功率增大时, 效率也随之增大; 当效率达到最大值时, 还继续增大变压器的输出功率, 则效率就会下降。因为在一定的电压下, 其铁损是个常数, 当输出功率较小时, 因铁损不随负载而变化, 所以变压器效率就低。又因铜损与负载的电流平方成正比, 当负载电流增加到一定程度, 由于铜损增加很快, 故输出功率达到一定值时, 变压器的效率随负载的增加而降低。所以当变压器的铁损和铜损相等时, 其效率是最高, 这时变压器带的负载最经济, 因此它们是判别变压器经

济运行的依据。

变压器的容量应根据日负荷曲线和季节特点及时予以调整，以确保供电质量和经济运行的可靠性。

二、变压器的维护

(一) 变压器在运行前应作哪些检查

- (1) 检查有无出厂合格证书和绝缘试验合格证书。
- (2) 检查变压器本体有无缺陷，外表是否整洁，有无渗、漏油和油漆脱落等现象。
- (3) 检查变压器高、低压套管是否完整、有无损坏、裂纹等现象。
- (4) 高、低压引线接触是否牢固可靠、各处点是否符合要求。
- (5) 高低压引线与外壳及电杆的距离是否符合要求，油位是否正常。
- (6) 一、二次侧的保险容量是否符合要求。
- (7) 防雷保护是否齐全，而外壳要有良好的接地，接地电阻是否符合要求（即接地引线应采用不小于 25mm^2 的铜心皮线，并在距地面 0.5m 处用镀锌并勾线夹或螺钉连接，不准焊接。要求 $100\text{kV} \cdot \text{A}$ 以下接地电阻值不超过 4Ω ）。
- (8) 变压器底座的基础要牢固稳定，走轮要有可靠的止动装置。
- (9) 保护测量信号、继电器的接线和控制回路的接线均要正确。
- (10) 呼吸器装有合格的干燥剂，无堵塞现象。
- (11) 蓄油、排油设施是否符合要求。

(二) 变压器投运前要进行冲击合闸试验

(1) 在拉开空载变压器时，空载电流急剧下降，铁心中的磁场很快消失，线圈中会因磁场的迅速变化而产生很高的电压，从而击穿变压器的薄弱处。

(2) 在带电投入空载变压器时，会产生励磁涌流，其值可达

到 6~8 倍的额定电流,使线圈间受到很大的机械应力而造成线圈变形,绝缘损坏。

所以,对新装的变压器在投入运行前必须要进行 5 次冲击试验;对大修过的变压器也要进行 3 次冲击试验。

(三) 变压器的巡视检查

变压器在运行过程中,监察人员(或值班电工)要定期巡视检查变压器的运行情况,以便及时发现变压器所存在的故障。

对变压器的正常巡视检查的内容为:

(1) 变压器油位是否正常,有无渗油和漏油的现象。

(2) 在过负荷的情况下,油温和油位是否正常,上层油温最高不得超过 95℃。

(3) 变压器运行声音是否正常(一般正常运行变压器的声音为嗡嗡声),有无喇叭声或放电声。

(4) 在大风天气中,应注意变压器高压引线有无松动、摆动情况,以及引线上有无异物搭挂。

(5) 在雷雨天气中,检查变压器高、低压套管是否有放电闪络现象,避雷器的放电记录器动作情况。

(6) 在下大雪的天气中,根据积雪融化情况,检查变压器各部位接头是否发热,并及时处理积雪和冰凌。

(7) 检查变压器台是否倾斜,接地是否完善。

(8) 电压表和电流表的指示是否正常。

(9) 冷却装置的运行是否良好。

(10) 呼吸器是否畅通,油封呼吸器的油位是否正常,呼吸器中的硅胶是否已吸潮饱和。

(四) 变压器的异常检查

(1) 变压器内部油温升高超过所允许值。

(2) 变压器油位降低到所能允许的油位以下。

(3) 变压器油变色,油内含有碳粒,水分和其他杂质,随之绝缘强度降低。

(4) 变压器有严重的渗、漏油现象。

(5) 变压器接地线的电压增高。

(6) 变压器内部杂音很大，并加有喇叭声。

检查中如发现上述情况之一者，应迅速将变压器停止运行，查明原因，并对其故障原因作出分析，以便尽快地消除故障，恢复设备的正常运行。

(五) 变压器在运行中应注意的事项

(1) 变压器室的门上或室外变台上应悬挂警告牌“高压危险，禁止攀登”。

(2) 变压器的呼吸器应完整无损，与油枕的联接应紧密，内部的干燥剂应干燥。

(3) 变压器的油位指示应正常。

(4) 电压切换装置的传动机械应牢固可靠无松动现象。

(5) 两台以上的变压器并联运行时，应符合并联运行的条件。

(6) 变压器室内通风要良好。

(六) 变压器分接开关的作用及倒换要求

1. 变压器分接开关的作用 在人们的日常生活中，人们对电源电压的要求总希望能够是稳定的，而电压过高或过低，则对家用电器及其他电气设备都会造成不安全的影响。因为电力系统的电压是随着运行方式和负荷的增减而变化的。所以在变压器上要装分接开关，以便根据系统电压变化的大小进行适当调整，使送到用电设备上的电压保持相对稳性。

变压器的分接开关也叫调压开关，它有无载调压和有载调压两种，而分接开关多为三档，大型变压器有五档或者更多。

2. 倒换变压器分接开关的要求

(1) 倒换变压器分接开关时，必须将变压器停电进行。

(2) 由于分接开关的接触部分在运行中可能会烧伤，或长期浸入油中产生氧化膜造成接触不良，所以倒换分接开关后，必须测量直流电阻，而三相电阻值不得超过 $\pm 2\%$ 。

(3) 测量时，将连接导线的截面选大些，导线接触必须良好。

用单臂电桥时，测量结果必须减去测量导线的电阻，才能得到分接开关接触电阻的实际值。

(4) 测量结束后，要先检查检流计，再停电池开关，以防烧坏电桥。倒换测量导线时，必须将变压器线圈放电，以防人身触电。

(七) 对变压器器身干燥的处理

1. 变压器绝缘的吸收比 在检查和测试变压器的绝缘电阻时，需要测量其绝缘吸收比，它等于 60s 所测的绝缘电阻值与 15s 所测的绝缘电阻值之比，即 R_{60}/R_{15} 。用其吸收比可以判断出变压器的绝缘是否受潮，污秽或有无局部缺陷。

2. 怎样对变压器器身进行干燥处理

(1) 在变压器更换绝缘或更换绕组后。

(2) 变压器吊心检查后在空中暴露时间过长，或超过了规定的时间（即潮湿空气中为 12h；干燥空气中为 16h）。

(3) 当绝缘测定结果的吸收比 R_{60}/R_{15} 小于 1.2 时或绝缘电阻显著下降时。

变压器有上述情况之一的，都必须进行干燥处理。

(八) 变压器一、二次侧熔断器的选择和作用

变压器一次侧熔丝是对变压器内部起保护作用的；二次侧熔丝是对变压器过负荷，起保护用的。

(1) 对于 180kV·A 以下的变压器，高压熔丝按变压器的额定电流的 2~3 倍选择。

(2) 对于 180kV·A 以下的变压器，其高压熔丝按变压器额定电流的 1.5~2 倍选择，选择时要考虑熔丝的机械强度。

(3) 高压侧熔丝按额定电流选择，一般熔丝容量不得小于 10A。

(4) 低压侧熔丝按额定容量选择。

第三节 变压器的故障处理

变压器的故障主要分为电路故障和磁路故障两大类。

一、变压器的电路故障

变压器的电路故障是指线环和引线的故障等。常见的有线圈的绝缘老化、受潮、切换器接触不良，材料质量以及制造工艺不良；过电压冲击及二次系统短路引起的故障等。

（一）变压器的规格选择不当

（1）变压器的绝缘等级选择错误。

（2）所选变压器的电压等级和电压分接头选择不当。

（3）所选变压器容量太小，以至变压器过负荷运行而发生故障。

（4）所选用的变压器规格不能满足环境条件的要求（如在盐雾、有害气体、温度、湿度等环境中）。

（5）存在有未预计到的特殊条件（如有脉冲状态异常电压或短路频度高等）。

（二）制造质量不良

（1）变压器所选材料不好，如导电材料、磁性材料、绝缘材料等。

（2）变压器的设计和工艺质量不好。

（三）安装不良和保护设备选用不当

（1）变压器在安装中不符合要求。

（2）避雷器的规格选用不当。

（3）继电保护装置和断路器不完善。

（四）变压器运行维护不当

（1）变压器长期运行使之绝缘油老化。

（2）变压器过负荷运行或接线错误。

（3）变压器与外部导体连接处松动，发热。

（4）对各种继电器、二次接线、附件等维护检查不当。

（5）过电压冲击及二次侧系统发生短路而引起的故障等。

二、变压器的磁路故障

变压器的磁路故障一般是指铁心、轭铁及夹件间发生的故障。常见的有硅钢片短路、穿心钉及轭铁夹件与铁心间的绝缘损坏以

及铁心接地不良引起的放电等故障。

(一) 变压器的内部故障

1. 绕组故障 因绝缘老化而被击穿；层间或匝间短路；局部过热；绝缘受潮以及短路造成的机械损伤等。

2. 铁心故障 铁心叠片之间绝缘老化，穿心螺栓或轭铁碰接铁心；压铁松动引起振动或音响异常；接地不良引起间歇性放电。

3. 结构故障 电压分接开关接头接触不良引起局部过热；分接头之间因污物而造成相间短路或表面闪络；油箱有严重的漏油现象；油温度计失灵；防爆管发生故障使油受潮。

4. 变压器油的故障 长期高温下运行使绝缘油氧化；吸收空气中过多的水分使变压器油的性能下降，长期的运行使油泥沉积堵塞油道使散热性能变坏；油的绝缘性能降低而造成闪络等故障。

(二) 变压器的突发性故障

(1) 变压器外部短路事故而引起其绕组变形，层间断路等故障。

(2) 变压器铁心绝缘被击穿，它是由于外部过电压和内部过电压引起的。

(三) 长年累月逐渐扩展而形成的故障

(1) 铁心绝缘不良、铁心叠片之间绝缘不良；铁心穿心螺栓的绝缘不良等。

(2) 由于外界的反复短路而引起的绕组变形。

(3) 长期过负荷运行而引起的绝缘老化。

(4) 由于吸潮、游离放电引起的绝缘材料和绝缘油的老化。

三、变压器的异常现象及其原因与对策

(一) 温度

1. 异常现象的判断

(1) 温度计上的读数值超过标准化中所规定的允许限度。

(2) 即使温度在允许限度内，但从负荷率和环境温度来判断，

也应认为温度值是不正常的。

2. 原因

- (1) 因长期过负荷运行所致。
- (2) 当环境温度超过 40°C ，其油温超过 95°C （标准温升为 55°C ）时。
- (3) 当冷却风扇、输油泵出现故障。
- (4) 散热气的阀门忘记打开。
- (5) 长期的渗油或漏油而引起油量不足。
- (6) 温度计损坏。

3. 对策

- (1) 降低负荷或按油浸式变压器运行容量的要求来调整负荷。
- (2) 设置冷却风扇之类的设备强迫冷却。
- (3) 修理或更换有故障的设备。打开散热气的阀门。
- (4) 装有两种温度计时，可相互进行比较，可把棒状的温度计贴在变压器外壁上校核是否正常。

(二) 变压器的响声和振动

1. 异常现象判断

- (1) 记住正常时的励磁声音和振动情况，当发现有与正常状态下不同的异常声音或振动时，如励磁声音很高。
- (2) 当人的耳朵靠近变压器的油箱时，听到内部有不正常的声音。

(3) 有很大的电晕闪络放电声。

2. 原因

- (1) 由于严重的过电压或频率波动很大。
- (2) 变压器各部件的紧固有松动现象。
- (3) 接地线被破坏而造成接地不良，或未接地的金属部分静电放电。
- (4) 因铁心紧固不好而引起微振等。
- (5) 因晶闸管负荷而引起微高次谐波。

- (6) 发生偏磁，如直流偏磁。
- (7) 冷却风扇、输油泵的轴承被磨损，滚珠轴承有裂纹。
- (8) 油箱、散热器等附件共振、共鸣。
- (9) 瓷件，高、低压瓷套管表面粘附的灰尘、盐分而引起污损。
- (10) 分接开关的动作机构不正常。

3. 对策

- (1) 把电压分接开关转换到与负荷电压相适应的电压档位上。
- (2) 查清发生振动及异常声音的部位，以便加以紧固。
- (3) 检查外部的接地情况，如外部没有异常现象，则停电进行内部检查。
- (4) 吊出变压器的铁心，检查其各部件螺钉的紧固情况。
- (5) 按高次谐波的程度，有的可以照常使用，有的不准使用，要与制造厂商量。
- (6) 改变使用方法，使之不产生偏磁，选用偏磁小的变压器品种，进行更换。
- (7) 根据振动情况、电流数值等判断可否能运行，当不能运行时应降低负荷。
- (8) 紧固松动部位后，在一定负荷电流下会引起共振，需要重新紧固；电源频率波动引起共振、共鸣，检查频率。
- (9) 带电清洗或停电清洗和清扫。

(三) 臭气、变色

1. 异常现象判断

- (1) 导线部位即瓷套管端子上的过热引起变色或有异常气味。
- (2) 油箱各部分的局部过热引起变压器周围油漆变色。
- (3) 变压器有异常气味或温度升高；吸潮剂变成粉红色。

2. 原因

- (1) 紧固部分有松动的现象，使接触面发生氧化。

(2) 有漏磁通或涡流现象。

(3) 冷却风扇、输油泵烧毁；瓷套管污损产生电晕、闪络而引起臭氧味。超负荷运行或吸潮剂受潮。

3. 对策

(1) 将变压器个别部位的螺钉重新紧固，并研磨接触面。

(2) 定期对变压器内部进行仔细检查并定期进行耐压试验。

(3) 对烧坏的设备迅速换上备品。

(4) 降低用电负荷；换上新的吸潮剂或加热至 $100^{\circ}\text{C}\sim 140^{\circ}\text{C}$ 再生。

(四) 变压器的漏油现象

1. 异常现象判断 油位计的指示大大低于正常位置时。

2. 原因 变压器漏油（阀类、密封填圈、焊接不好），或因内部故障引起喷油。

3. 对策 检查漏油的部位并予以修理。

四、变压器的其他要求

(一) 变压器在运行中对高压熔断器熔断的处理要求

1. 当变压器的高压跌落熔断器相熔断时，可用同容量的熔断管再试合一次，如试合熔断，则立即将变压器停电，检查高低压线圈有无接地短路等现象。

2. 当变压器高压熔断器两相或三相同同时熔断

(1) 首先要检查线路上是否有人工作。

(2) 将变压器立即停电检查是否有冒烟、冒油、烧焦气味，接地线是否已烧断、烧伤、或有放电现象。

(3) 用 2500V 的兆欧表测试变压器有无接地短路现象，高、低压侧绝缘是否被击穿。

(4) 检查低压侧线路有无短路现象。

(5) 如变压器二、三相的熔断器同时熔断时，要首先检查变压器内部原因，然后根据变压器容量的大小选择适当的熔丝试合送电。

(二) 变压器油枕的作用

(1) 变压器油枕的主要作用是避免油箱中的油与空气接触，以防油氧化变质、渗入水分，降低变压器的绝缘性能。

(2) 小型变压器不装油枕，而大容量的变压器都要安装油枕。

因为大型变压器密封困难，当变压器油热胀冷缩时，必有水分进入油箱内。安装油枕后，当变压器油受热膨胀时，一部分油便进入到油枕里，而当变压器油冷却时，一部分油又从油枕里回到了油箱内，因此就可以避免绝缘油与空气接触，减少氧化和水分的渗入，而小型变压器因为油量少，膨缩程度小，密封容易，因此只要将箱盖盖紧就可以避免外界空气的进入，所以就不需要装设油枕。

(三) 变压器停送电的操作顺序

变压器停送电的操作顺序是：停电时应先停负荷侧电源，然后再停电源侧。送电时顺序相反。因为：

(1) 在多电源的情况下，先停负荷侧可防止变压器反送电。如果先停电源侧，当遇到故障时就可能造成保护装置误动或拒动，从而延长故障切除时间，而扩大故障范围。

(2) 当负荷侧的母线电压互感器带有低周减载装置而未装电流闭锁装置时，如果先停电源侧开关，由于负荷中型同步电动机的反馈，使得低周减载装置有可能误动。

(3) 从电源侧逐级向负荷侧送电时，如有故障发生，便能确定故障的范围，而及时作出判断和处理，避免故障扩大。

(四) 变压器有哪些严重缺陷时必须停电

(1) 变压器绝缘电阻值降到 $20\text{M}\Omega$ 以下时。

(2) 变压器油的耐压水平降低到 $6\sim 10\text{kV}$ ，变压器的绝缘油耐压水平降至 20kV 以下； 35kV 变压器绝缘油耐压水平降至 30kV 以下。

(3) 变压器严重漏油，油标计中无油或油面低于调压分接头。

(4) 变压器温升过高，如负荷在 5% 时，温升达到额定值；负

荷在 80% 以上时，温升超出额定值的 10% 以上。

(5) 变压器高、低压套管瓷瓶破裂，严重脏污结垢或出现放电现象。

(6) 变压器运行时发出异常声音。

(7) 30% 以上的散热管失效。

(8) 变压器外壳接地装置损坏，三相四线制变压器零线未接地。

(五) 运行电压过高或过低对变压器的影响

当变压器的运行电压高于其额定电压时，铁心的饱和程度将会随着电压的增高而增加，致使电压和磁通的波形发生严重的畸变，其空载电流也随之增大。铁心饱和后，电压波形中的高次谐波值也大大增加。

高次谐波的害处：

(1) 在系统中造成谐波共振，并导致过电压使绝缘损坏。

(2) 引起用户电流波形的畸变，从而导致了电机和线路上的能量损耗。

(3) 线路上的高次谐波对电力通信线路将产生干扰，而影响通信的正常工作。

当变压器运行电压低于其额定电压时，一般情况下对变压器是不会有影响的，但也不能太低，主要是由于用户的正常生产对电压质量有一定的要求。

所以，运行电压增高或过低都对变压器和用户不利。因此，不论电压分接头在任何位置，其变压器的外加一次电压都不应超过额定电压的 $\pm 105\%$ 。

(六) 怎样测量变压器的绝缘电阻

使用兆欧表测量变压器的绝缘电阻时，必须由两人担任，一人监护，一人测量。

测量绝缘电阻应在天气干燥时进行，并在停电后立即进行测量。测试前先将高、低压侧的瓷套管清扫干净，并将全部引线和接地零线拆除，验证无电压后，并证明设备附近无人工作，方可

开始测试工作。测量使用 2500V 的兆欧表以 120r/min 的速度测试高压线圈对地（外壳），低压线圈对地和高压线圈对低压线圈之间的绝缘电阻值。当测量所得的绝缘电阻值非常小时，还应测量吸收比 R_{15}/R_{60} 的数值，以便判断是绝缘损坏还是绝缘受潮。

在测量绝缘的过程中，禁止他人接近变压器，测量前后应对变压器进行放电，测量绝缘电阻值后，不应立即停止摇动兆欧表，应首先取下火线后再停止测量，否则变压器线圈的感应电压将会反过来损坏兆欧表。

（七）变压器缺油的原因、危害和造成突然喷油的原因

变压器缺油的主要原因为油箱严重漏油，油阀门关闭不严或因取油样化验后未能及时补油等；又由于呼吸器、油位计和防爆管通气孔的堵塞等原因造成假油面，而未能及时发现也会使变压器缺油。

变压器缺油后，因油面过低而造成瓦斯误动；使得线圈露出油面而造成绝缘下降。

变压器吸湿器或安全阀喷油的原因为：

- （1）由于出气孔被堵塞，而影响油的正常呼吸。
- （2）变压器二次短路后，使保护拒动。
- （3）因变压器内部的放电造成短路，从而产生大的电动力。

由于上述原因使变压器内部的温度升高，而导致油箱内的压力增大而喷油。

（八）根据声音判断变压器的运行情况

变压器在正常运行中应发出清晰而有规律的“嗡嗡”声。这是由于交流电通过变压器线圈时所产生的磁通，使变压器铁心振动而发出的声音。但当变压器的负荷发生变化或运行中发生故障时，将会产生异常的声音，所以根据声音可判断变压器的运行情况。

（1）当变压器发出很高而且沉重的“嗡嗡”声时，说明是变压器严重过负荷所致。

（2）当变压器内发出“哇哇”声时，说明有大的动力设备起

动。如电焊机、电弧炉等。

(3) 当变压器内发生很大的噪声时,是由于系统内的短路或接地。

(4) 当变压器内有强烈的“噪声”时,说明是变压器内部个别零件的松动所致。

(5) 当变压器发出放电声时,则是由于变压器接地不良或有击穿的地方。

(6) 当变压器发出粗、细不均的声音时,是由于铁磁谐振所致。

第四节 变压器的保护

在供用电系统中,电力变压器在人们的日常生活和工作中起着十分重要的作用。由于它的数量多,又是静止固定的电气设备,因此在实际运行中,它的故障将会对电力系统供电的可靠性和系统的正常运行、安全运行带来严重的危害。为了保证电力系统的安全、可靠运行必须根据电力变压器的容量和重要性装设性能良好、动作可靠的继电保护装置。

电力变压器的保护一般分为:过电流保护、差动保护、瓦斯保护、零序电流保护和过负荷保护等。

一、变压器的过电流保护

变压器的过电流保护主要是保护变压器外部相间短路而引起的过电流,并作为瓦斯保护和差动保护的后备保护。它用于降压变压器,其保护装置的整定值,为考虑事故状态下可能出现的过负荷电流。

变压器的过电流保护是根据电力变压器容量的大小和对保护装置的灵敏度要求分为:不带低电压起动的过电流保护,带低电压起动的过电流保护和复合电压起动的过电流保护。而对于大容量的电力变压器(一般用于发电厂、变电所和变压器容量在 $1000\text{kV}\cdot\text{A}$ 以上的厂矿企事业单位),则应装设负序过电流和单相式低电压起动的过电流保护。

(一) 不带低电压起动的过电流保护

一般用于小容量的降压变压器上，如图 10-3 所示，其保护装置的動作电流按躲过变压器所出现的最大负荷来整定。

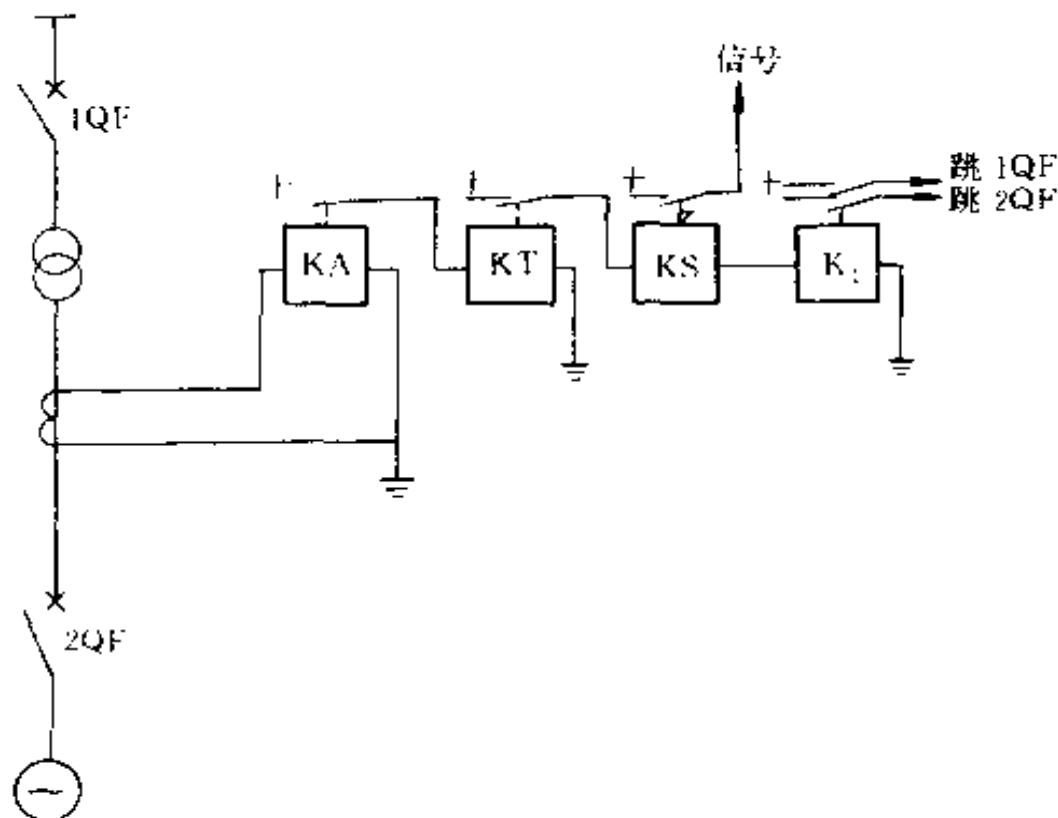


图 10-3 过电流保护单相原理接线图

1. 对于并列运行的变压器 对并列运行的变压器要考虑突然退出一台变压器所产生的过负荷。当各台变压器的容量相等时，则变压器的最大负荷电流 I_{fmax} 为

$$I_{fmax} = \frac{n}{n-1} I_e$$

式中 I_e ——变压器的额定电流；

n ——并列运行变压器的最少台数。

2. 对于降压变压器 要考虑变压器低压侧的负荷电动机自起动时的最大电流。

(二) 带低电压起动的过电流保护

对于升压变压器或容量较大的降压变压器，其过电流保护的灵敏度不能满足要求时，就要采用带低电压起动的过电流保护。

但在实际运行中，这种接线比较复杂，故目前已不采用这种接线。

(三) 复合电压起动的过电流保护

复合电压起动的过电流保护，用于升压变压器及过电流保护的灵敏性不能满足要求的降压变压器上。

复合电压起动的过电流保护装置的原理接线如图 10-4 所示，它是由三个电流继电器 1KA、2KA、3KA 分别接于相电流。K 为负序电压继电器，KV 为低电压继电器接于线电压上。

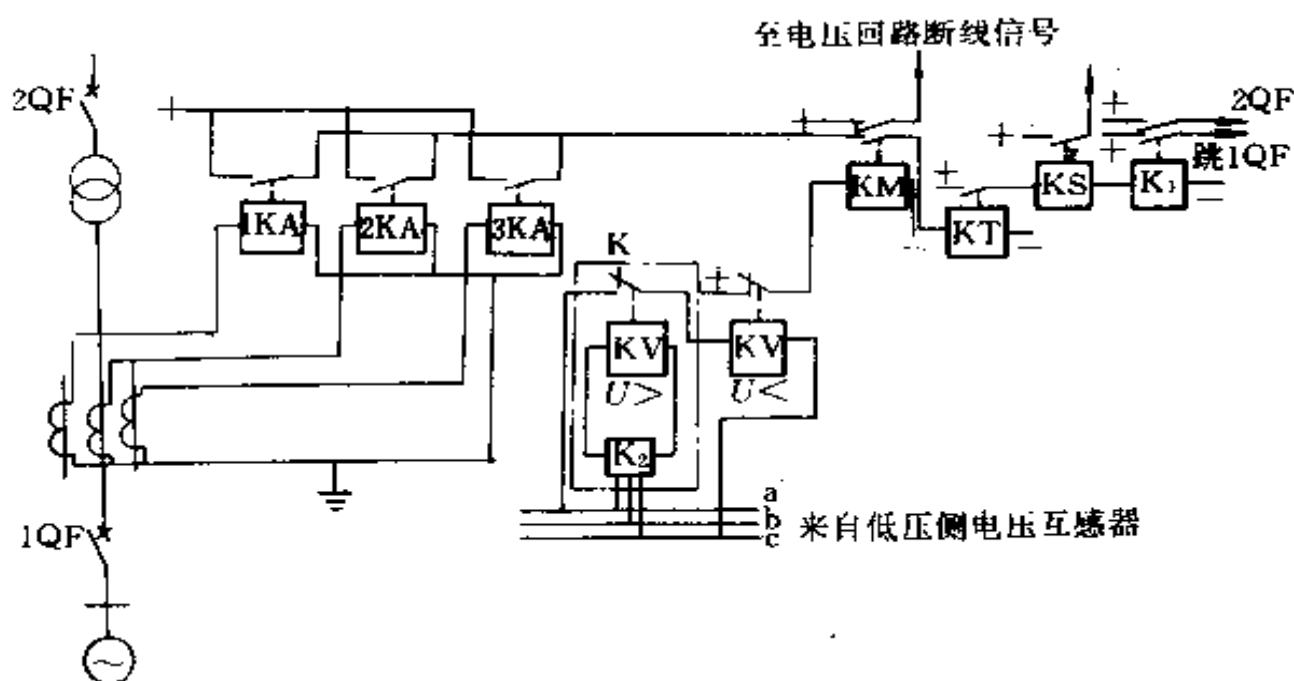


图 10-4 复合电压起动的过电流保护的原理接线图

变压器在正常运行时，由于没有负序电压的存在，则负序电压继电器上的常闭触点处于闭合状态，将线电压加入低电压继电器 KV 线圈上时，低电压继电器 KV 的触点打开，保护装置不动作。当变压器外部发生三相短路时，故障相电流起动 1KA、2KA、3KA 动作，负序电压继电器中的负序电压过滤器 K_2 输出负序电压，使得负序电压继电器 K 动作，其常闭触点断开，低电压继电器 KV 动作，常闭触点就闭合，从而起动闭锁中间继电器 KM，使时间继电器 KT 动作，经过整定时限后，时间继电器 KT 延时触点闭合，就将变压器两侧的断路器 1QF 和 2QF 跳闸。

复合电压起动过电流保护的优点：

(1) 由于负序电压继电器的整定值小，因此当变压器发生不对称三相短路故障时，它有一定的灵敏度。

(2) 当三相短路故障发生在变压器的高压侧时，复合电压起动元件的灵敏度与变压器所采用的接线方式无关。

(3) 由于电压起动元件只接于变压器的一侧，所以接线比较简单。

因此复合电压起动的过电流保护继电器在实际运行中得到广泛的应用。

(四) 负序电流和单相式低电压起动的过电流保护

负序电流和单相式低电压起动的过电流保护，用于大容量的升压变压器和系统联络变压器。一般主要用于发电厂和变电所中。

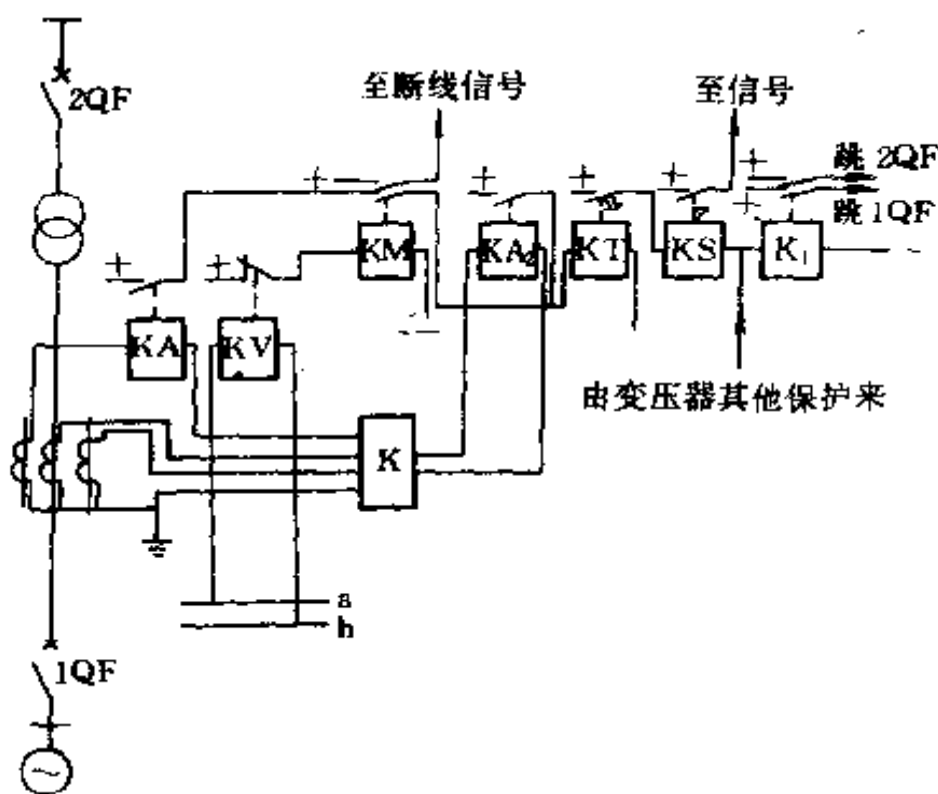


图 10-5 负序电流和单相式低电压起动过电流保护原理图

负序电流和单相式低电压起动的过电流保护装置的原理接线如图 10-5 所示，它是由负序电流元件和单相式低电压起动的过电流元件两部分组成。负序电流元件采用 DL-2 型负序电流继电器，

用于反应不对称短路。因为该元件不能反应对称三相短路故障，因此必须加装单相式低电压起动的过电流元件来反应三相对称故障，后者只由一个电流继电器 KA，一个低电压继电器 KV 和中间继电器 KM 组成。其接线中的时间继电器 KT 和出口中间继电器 K₁T 为整套保护的公用元件。

其优点：是有较高的灵敏度；保护装置的灵敏度与变压器的接线方式无关，接线比较简单。

二、变压器的差动保护

(一) 变压器差动保护的适用范围

(1) 变压器容量为 $6300\text{kV} \cdot \text{A}$ 以上的并列运行的变压器，一般采用三相三继电器的差动保护。

(2) 变压器容量为 $10000\text{kV} \cdot \text{A}$ 以上的单独运行的变压器，当无备用电源时，一般采用三相三继电器差动保护。

(3) 变压器容量为 $6300\text{kV} \cdot \text{A}$ 以上的发电厂和厂矿中用的变压器，一般采用两相三继电器接线；但对于 Y, d 接线的双线圈变压器，如灵敏度足够，则采用两相继电器差动保护。

变压器的差动保护是保护变压器的内部、套管和引出线各相的相间短路、大接地电流系统的接地短路及绕组匝间的各种短路故障，其保护接线如图 10-6 所示，变压器两侧装设了特性和变比完全相同的电流互感器 1TA 和 2TA，差动继电器则并联联接在电流互感器的二次端子上，其保护范围为 1QF 和 2QF 之间的变压器高、低压绕组、套管和引线及高压侧断路器。保护动作后，将变压

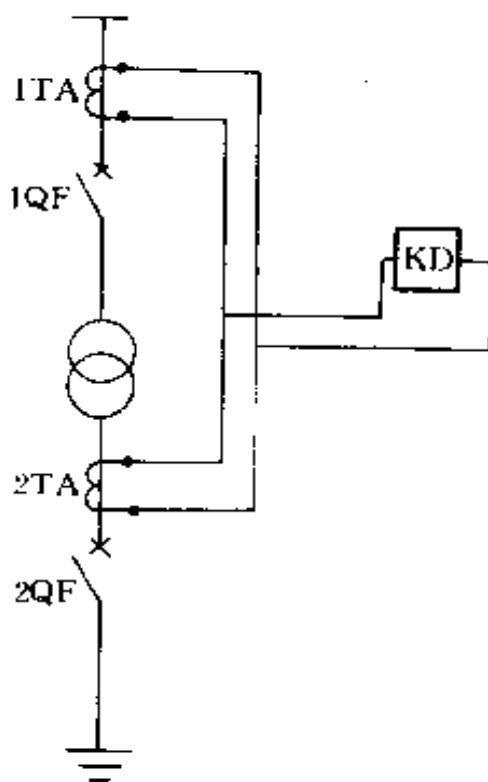


图 10-6 变压器差动保护
单线原理图

器两侧断路器 1QF 和 2QF 断开。

为提高纵差保护的灵敏度，根据励磁涌流的特点，在变压器的差动保护中，为防止励磁涌流的影响可采用下列方法：

- 1) 采用具有速饱和变压器的 BCH 型差动继电器。
- 2) 采用二次谐波制动原理构成的变压器差动保护。
- 3) 采用鉴别波形“间断角”原理构成的变压器差动保护。

(二) 变压器差动保护动作的原因及处理方法

1. 变压器差动保护动作跳闸的主要原因

- (1) 变压器套管及引出线上发生的三相短路故障。
- (2) 变压器的二次侧接线上所发生的故障。
- (3) 变压器内部，如铁心、匝间所发生的故障等。
- (4) 电流互感器因接线错误而引起短路或开路等故障。

2. 变压器差动保护动作的处理方法

(1) 检查变压器的外部套管及引出线上有无发生故障后的痕迹和异常现象。

(2) 检查差动保护跳闸回路和保护二次接线是否有短路现象，处理短路故障后，试送电。

(3) 检查高、低压电流互感器有无开路、短路或接触不良等故障，处理后，恢复送电。

(4) 如果上述 (1)、(2)、(3) 条都未发现异常和故障，则可以判断是变压器的内部故障，应立即对变压器进行耐压试验或吊心检查。

(5) 如果差动保护和气体保护同时动作跳闸，首先应判断是变压器内部的故障，则变压器必须要进行吊心检查。

(三) 变压器送电前要做冲击合闸试验差动保护动作掉闸的原因及处理方法

1. 变压器送电前所做冲击合闸试验及差动保护动作掉闸的主要原因

- (1) 因变压器的内部故障，而引起差动保护动作的掉闸。
- (2) 因高、低压侧电流互感器的开路或接线端子接触不良，引

起差动保护动作掉闸。

(3) 因保护侧的二次回路故障或接线不正确,引起差动保护动作掉闸。

(4) 因保护的整定值过小(没有考虑励磁涌流的影响),而引起差动保护动作掉闸。

(5) 因变压器引线而引起的故障,引起差动保护动作掉闸。

2. 差动保护动作跳闸后的处理方法

(1) 如果发现是变压器内部有明显的故障,应立即停止运行。

(2) 如果是操作机构上的问题,要及时给予排除。

(3) 如果故障不明显,则要进一步进行检查和试验,等故障全部排除后,方可将变压器再次投入运行。

三、变压器的气体保护

变压器的气体保护一般安装于 800kV·A 及以上的油浸式变压器和 400kV·A 及以上的车间内的油浸式变压器上。

其保护范围一般为:

(1) 变压器内部的多相短路故障。

(2) 高压绕组对地绝缘破坏而引起的单相接地故障。

(3) 变压器油面下降或有严重漏油现象。

(4) 变压器的分接开关接触不良或导线的焊接不良而引起的故障。

变压器气体保护的接线原理如图 10-7 所示,当变压器内部发生严重的相间短路故障时,产生的气体将聚集在气体继电器的上部,从而使油面降低引起气体继电器动作,同时将变压器两侧的断路器 1QF 和 2QF 跳闸,并借助于断路器的辅助触点 1QF、2QF 来解除出口回路的自保持。为防止气体保护在变压器换油或瓦斯继电器做保护试验时误动作,则在其出口回路上装设了切换片 XB,用以切换回路中的电阻 R 值,要求选择与串联信号继电器 KS 能可靠动作。气体继电器 KG 的上触点为轻气体,动作后发出延时信号。

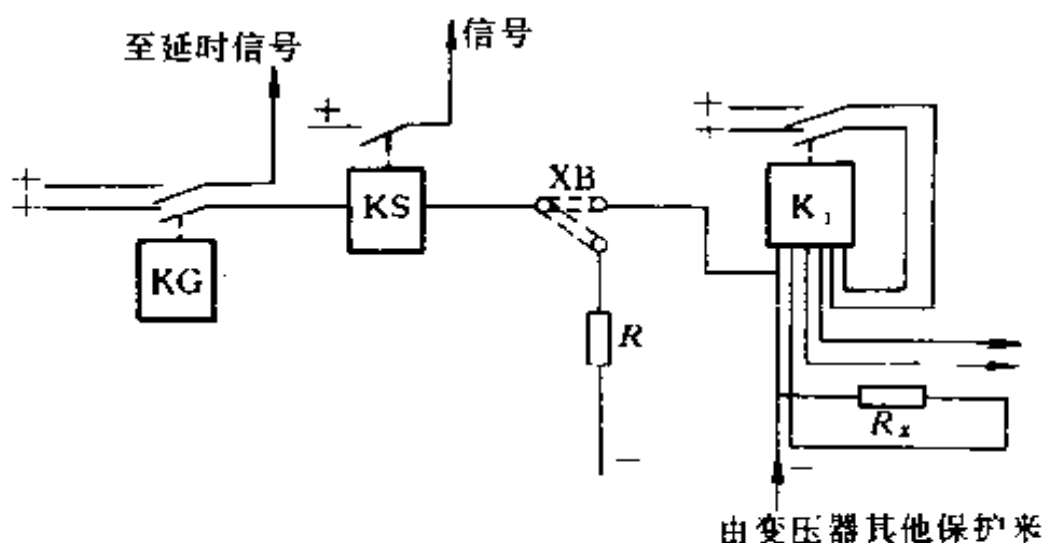


图 10-7 瓦斯保护的接线原理图

气体保护的优点：

- (1) 能反映变压器油箱内部各种故障。
- (2) 能反映差动保护所不能反映的不太严重的匝间短路和铁心故障。
- (3) 它的动作速度快、灵敏度高、接线和安装简单等。

气体保护的缺点是：不能反映变压器外部的套管和断路器之间连接上的故障；抵抗外部干扰的性能较差。

变压器在运行过程中气体继电器发出信号的原因和气体继电器动作掉闸的原因处理：

当变压器轻气体动作时，一般发出信号，用以表示变压器异常运行，其主要原因为：

- 1) 在变压器加油、滤油、换油或硅胶等过程中，有空气进入油箱内。
- 2) 由于温度下降或漏油、油面降低等。
- 3) 由于油箱的故障而产生少量气体时。
- 4) 轻气体回路发生接地，绝缘损坏等故障时。

变压器重气体保护动作跳闸的主要原因为：变压器内部发生严重故障；瓦斯回路中有故障发生；近区穿越性短路故障

等。

变压器内部某点发生故障时,故障点的局部发生高温过热,从而引起附近变压器油发生膨胀,油内分解出大量的气体将聚集在气体继电器的上部,使油面降低,当油面降低到某一程度之后,上浮筒便开始下沉,使水银触点接通、发出信号。

当变压器内部发生严重故障时,就会产生大量气体,从油箱的内部上升到油枕内,急速的油流冲击气体继电器的挡板,使之偏转,并且带动挡板后的连杆向上转动,挑动与水银触点的长环相连的连动环,使得水银触点分别向与油流垂直的两侧转动,两水银触点同时接通,使开关跳闸发出信号。

当气体继电器发生动作时,值班人员应立即对变压器的气体继电器进行认真检查,注意电压表和电流表的指示,变压器温度及声音的变化,并立即收集气体做点燃试验。如收集的气体是无色无味,且不能点燃,说明气体继电器的动作是因为油箱内排出的空气所致;如收集的气体是黄色,且又不易点燃,则说明是变压器的木质部分出现了故障;如收集到的气体是淡黄色且具有强烈的臭味,又可以燃烧,则说明是纸质部分的故障;如收集到的气体是灰色或黑色的易燃气体,说明是变压器绝缘油的故障。判断收集到的气体颜色时,动作必须迅速,否则颜色会在很短(几分钟)时间内消失,从而得不到正确的结论。

值班人员在未判明变压器的故障原因以前,不得随意送电,查清并消除故障后,才能将变压器投入运行。

四、变压器的过负荷保护

变压器的过负荷保护主要是为了防御变压器异常运行时,由于过负荷而引起的过电流保护,仅作用于信号装置。

在安装过程中选择过负荷保护装置时,应能够反应变压器内各线圈上的过负荷情况。

(1) 对双圈升压变压器,其过负荷保护应装设在发电机电压一侧。

(2) 对三圈升压变压器,当一侧无电源时,其过负荷保护装

置应安装在发电机电压侧和无电源的一侧。

(3) 对于三侧都有电源的三圈升压变压器，其过负保护装置应安装在所有三侧。

(4) 对双圈降压变压器，其过负荷保护装置应安装在高压侧。

(5) 对单侧电源的三圈降压变压器。当三侧线圈的容量都相同时，其过负荷电流保护装置应安装在电源侧。

(6) 当三侧线圈容量不同时，其过负荷保护装置应安装在电源侧和容量较小的一侧。

(7) 对于两侧电源的三圈降压变压器或联络变压器，其过负荷保护装置应安装在所有电源的三侧。

第五节 特种变压器

一、互感器

互感器是电力系统中的保护装置和仪表测量用的重要设备，它分为电压互感器和电流互感器两种。

电压互感器：它能将电力系统中的高电压转变成标准的低电压（一般为 100V 或 $100/\sqrt{3}\text{V}$ ）。

电流互感器：它能将电力系统中高电压系统中的大电流或低压系统中的大电流，变成低压标准的小电流（一般为 1.5A 或 1A ）。

电压互感器和电流互感器都是给测量仪表和继电器供给电压和电流用的。

互感器的作用：

(1) 它能与测量仪表配合，对线路上的电压、电流、电能进行测量监视，它与继电器配合，能对电力系统和设备进行过电压、过电流、过负荷和单相接地等保护。

(2) 它能将不同的电压和电流换成统一的标准值，以便于测量仪表和继电保护装置的标准化的。

(3) 它能使测量仪表、继电保护装置和线路侧的高电压隔开，

以保证操作人员和电气设备的安全运行。

(一) 电压互感器

电压互感器按其工作原理可分为电磁感应原理和电容分压原理两大类

1. 什么叫做电压互感器 电压互感器又称仪用变压器，它能够将系统中的高电压变换为标准的低电压并在相位上与原来保持一定关系的器件，所以它可以直接用于仪表和继电保护装置的测量。

2. 电压互感器的用途 电压互感器的工作原理、构造和接线方式都与变压器相同，只是容量比较小，通常只有几十到几百伏安。它的用途是把系统中的高电压按一定比例缩小，使低压线圈能够准确的反映高压量值的变化，使得各种测量仪表和继电保护装置不直接与高压相连接，从而保证了仪表测量和继电保护工作的安全可靠，也解决了高压测量的绝缘、制造工艺等困难。此外，电压互感器二次侧电压均为 100V，这样使得测量仪表和继电器电压线圈在制造上得以标准化，简化了工艺、降低了成本。

3. 电压互感器一、二次侧熔体的保护范围及熔体的选择 电压互感器一次侧熔体主要用来保护电压互感器当高压侧故障时免受破坏，而当互感器本身发生故障时，防止波及高压侧。

由于电压互感器的一次侧熔体电流为其额定电流的数倍以上，所以当其二次负载过电流时不易熔断，为了防止电压互感器二次回路发生过载或短路烧毁电压互感器，所以必须在其二次侧出口装设熔断器保护。

对于 110kV 以上的电压互感器，其一次侧不装熔断器；35kV 室外电压互感器一次侧一般装设带限流电阻的角形熔断器 RW₂-35，其限流电阻为 396Ω，也可装有防雨罩的充填石英砂的瓷管熔断器；35kV 和 10kV 室内电压互感器一次侧安装充填石英砂的瓷管熔断器 RN₂ 型和 RN₄ 型，熔断器的额定电流为 0.5A，熔断电流为 0.6A~2A (10kV 取 1.5A~2A)。熔断器熔体的额定电流应为最大负荷电流的 1.5 倍。

其保护范围是内部故障及与电网相连的连接线上的短路故障。

4. 电压互感器二次侧必须接地 因为电压互感器的一次侧线圈接于高压系统，如果在运行中电压互感器的一、二次间绝缘损坏或被击穿，使高压窜入二次回路上，而二次侧线圈所接的各种测量仪表和继电器的绝缘水平都很低，并经常和人接触，这样不但损坏了二次设备，还直接威胁到工作人员的安全，而电压互感器二次接地属于保护接地，其目的是为了防止一次侧的绝缘被击穿，高压窜入到低压侧，而危及人身和设备的安全。所以为了保证人身和设备的安全，除了将电压互感器的外壳接地外，还必须将二次线圈一点可靠的接地。

5. 电压互感器高压侧熔丝熔断与哪些因素有关 运行中的10kV电压互感器，除了其内部的线圈发生匝间、层间或相间及一相接地等故障，使一次侧熔丝熔断外，还有以下几个因素：

(1) 在二次侧回路上发生的故障 当电压互感器低压侧发生短路故障时，造成电压互感器过电流，当低压侧熔丝过粗没有熔断时，则使一次侧高压熔丝熔断。

(2) 在10kV系统中发生一相接地 在系统中发生单相间歇性电弧接地故障时，其他两相的对地电压就将升高 $\sqrt{3}$ 倍，在这个高电压的作用下，电压互感器的铁心很快趋于饱和状态，励磁电流急剧增加，使一次侧熔丝熔断。

(3) 在系统中发生铁磁谐振 由于近年来配电线路的大量增加和使用互感器的增加，使10kV配电系统的参数发生很大的变化，随之逐渐形成了谐振条件，在系统中发生谐振时，电路中的电流和电压发生突变，这时所引起的铁磁谐振将使电压互感器励磁电流增大几十倍，使高压一次侧熔丝熔断。

当发现电压互感器一次侧熔丝熔断后，应立即将电压互感器的隔离开关拉开，并取下二次侧熔丝进行检查，看是否熔断，在排除故障后，可重新更换合格的熔丝将电压互感器继续投入运行。

6. 电压互感器的巡视检查及运行中应注意的事项

(1) 电压互感器的巡视检查

- 1) 瓷套管是否清洁、有无裂纹、损坏或放电的现象。
- 2) 充油电压互感器的外部应清洁，油量应充足，无漏油现象。
- 3) 一次侧引线和二次回路的连接部分是否过热，熔断器是否完好。
- 4) 外壳及二次回路一点接地是否良好。
- 5) 有无强烈的振动和异常声音及异味。
- 6) 电压互感器是否过负荷运行。

(2) 电压互感器使用时应注意下列几点

- 1) 应根据电气设备的需要来选择电压互感器的型号、容量、变比、额定电压和准确度等级等参数。
- 2) 接入运行线路之前，应对电压互感器进行校验后，方能投入运行。
- 3) 接入运行线路之后，必须将二次侧线圈可靠的接地，以防一次侧间的绝缘被击穿时，高压危及人身和设备的安全。
- 4) 运行中的电压互感器其一、二次侧一定要安装熔断器，并在一次侧装设专用的隔离开关。
- 5) 在检修过程中，为防止其他电源的反送电，应将一次侧刀开关和一、二次侧熔断器都断开。
- 6) 运行中的电压互感器，每一年至二年要进行一次预防性试验。

7. 电压互感器在运行中严禁将二次侧短路 因为电压互感器在正常运行中，二次侧负载都是一些测量仪表和继电器的电压线圈，其阻抗均很大，相当于变压器处于空载状态，而电压互感器本身通过的电流很小，因此一般电压互感器的容量不大、绕组导线细、漏抗小，当二次侧发生短路时，其短路电流很大，极易烧毁电压互感器，所以电压互感器在运行中严禁将二次侧短路，应在二次回路上装设熔断器进行短路保护。

8. 在带电的电压互感器二次回路上工作时应采取下列安全措施

(1) 严格防止短路或接地, 应使用绝缘工具, 戴绝缘手套, 必要时, 工作前停用有关的保护装置。

(2) 接临时负载时, 必须装有专用的刀开关和熔断器。

(二) 电流互感器

1. 什么叫做电流互感器 电流互感器又称仪用变流器, 它是一种将高压电流和低压大电流变换成电压较低的小电流。

2. 电流互感器的用途 电流互感器是按照电磁感应原理工作的。其构造和变压器基本相似, 它的一次侧绕组的匝数很少, 而二次侧绕组的匝数较多。电流互感器将高压电流和低压大电流变换成电压较低的小电流, 以供给各种测量仪表和继电保护装置与高压电路隔开。由于电流互感器二次侧电流均为 5A, 这就增加了使用上的方便, 也使其在制造上可以标准化, 简化了制造工艺并降低了成本。所以电流互感器在电力系统中将得到广泛的应用。

3. 严禁电流互感器二次侧开路 实际运行中的电流互感器其二次回路中所串的负载均为测量仪表和继电保护装置等, 电流线圈的阻抗都非常小(接近于短路状态), 故在正常运行中电流互感器的铁心磁密度很低, 二次电压也很低。由于一次侧电流所产生的磁通和二次电流所产生的磁通互相去磁, 使铁心中的磁通密度维持在较低的水平, 当运行中的电流互感器二次线圈开路后, 一次侧电流不变, 而二次侧电流为零, 一次侧电流完全变成了励磁电流, 使电流互感器的铁心严重饱和, 磁通密度高达 1.5T 以上, 这样将产生下列危险:

(1) 由于磁通的饱和, 在电流互感器二次侧线圈中将产生很高的电压(峰值达几千伏, 甚至更高), 对电气设备和工作人员将造成很大的危险。

(2) 由于电流互感器二次侧线圈开路后, 使得铁心突然饱和铁心损耗增加, 发生严重过热, 以至烧毁电流互感器。

(3) 由于铁心饱和后产生了剩磁, 使电流互感器误差增大, 影

响计量装置的准确度。

所以在正常运行中严禁电流互感器二次回路开路，必须可靠地保持通路状态。电流互感器二次回路中使用的导线必须是 1.5mm^2 以上的绝缘铜线，不准使用钢线和铝线，更不允许使用熔丝。如果发现电流互感器二次侧开路时，应及时停电处理后，方可再投入运行。

4. 电流互感器长期过负荷运行的危害 电流互感器长期过负荷运行，将导致铁心中的磁通增加，引起磁路饱和或过饱和，使得铁心中的损耗增大，则误差也相应增大，表计指示不正确，就不能掌握实际负荷运行情况。又因为电流互感器长期过负荷运行，将使磁通密度增大，铁心饱和，而造成铁心严重过热，至使绝缘老化，甚至烧毁电流互感器。所以在实际运行中如发现电流互感器长期过负荷运行，应及时更换或将电流互感器换大。

5. 在运行中的电流互感器二次回路上工作时，必须按照“电业安全工作规程”的要求注意下列事项

(1) 无论在任何情况下，严禁将电流互感器的二次侧开路。

(2) 因工作需要必须对电流互感器二次回路短路时，必须使用短路片或短路线，短路要妥善可靠，严禁使用熔丝或一般导线缠绕。

(3) 严禁在电流互感器与短路端子之间的回路上进行任何工作。

(4) 工作时必须认真、谨慎、不得将回路中的永久接地点断开。

(5) 工作必须有专人监护，使用绝缘工具，并站在绝缘垫上。

(6) 清扫电流互感器二次接线时，应穿长袖衣，带绝缘手套，使用干燥的工具，工作人员必须小心谨慎，不得携带金属元件。

6. 更换电流互感器应注意的事项

(1) 如果只更换运行中的一相电流互感器时，必须选择变比相同，极性相同，电压等级相等，伏安特性一致，并经有关部门进行校验合格的电流互感器。

(2) 如果要更换一组电流互感器时,除遵照(1)外,还应满足保护的整定值及测量仪表倍率的要求来选择。

(3) 更换后要将电流互感器接地,以防一次侧绝缘击穿后高压窜入二次侧而危及人身安全和设备的损坏。

(4) 更换电流互感器时,必须停电进行。

7. 电流互感器在运行中的巡视检查和异常故障

(1) 电流互感器在运行中的巡视检查

- 1) 检查套管有无裂纹破损,渗油和漏油的现象。
- 2) 有无放电,过热现象和异声异味。
- 3) 一次侧引线,线卡及二次回路上各部件应接触良好,不得松弛。

4) 外壳接地及二次回路的一点接地要良好。

5) 定期对互感器进行耐压试验。

(2) 电流互感器在运行中常见的故障

- 1) 电流互感器二次侧开路。
- 2) 电流互感器二次侧线圈烧坏。
- 3) 电流互感器内部发热,冒烟或有异味、异音。
- 4) 线圈中的螺钉松动,匝间或层间出现短路故障。
- 5) 充油式电流互感器严重漏油或缺油。

如判断电流互感器是否发热,可用试温蜡片来检查;根据声音和表计指示来判断是否开路。若电流互感器声响近似变压器的声响,则为电流互感器二次开路所致;若电流为零或保护装置中电流回路无电流,则故障一般为电流互感器二次回路断线所致。一旦发生上述故障,应立即停电进行维修或更换后,方可再将电流互感器投入运行。

二、高压试验变压器

高压试验变压器可用于工频、冲击和直流高压试验。

(一) 高压试验变压器的用途

它主要利用其二次侧所感应的工频高电压,对各种电工产品(高压配电盘、瓷瓶、电流、电压互感器、避雷器等)绝缘材料进

行高压绝缘性试验。

(二) 高压试验变压器的特点

(1) 高压试验变压器的电压高、电流小，其二次侧额定电压根据被试设备所需要的试验电压来定。

(2) 高压试验变压器一般为单相、户内装置，油浸自冷式。

(3) 试验变压器除用于外绝缘污秽试验，线路电晕试验和电缆试验外，一般为 0.5h 或 1h 短时工作制。

(4) 由于工作电压很高，所以绝缘结构对试验变压器的整体尺寸有决定性的影响。

试验变压器的结构根据其内外绝缘的处理方式可分为：单套管式，双套管式和绝缘筒式三种。

三、调压变压器

(一) 什么叫调压变压器（调压器）

一般变压器的变化都是固定不变的，其二次侧的电压也不能随意调节，但是在某些情况下，我们还需要随时改变和调节我们所需要的电压，如试验用的电源就需要这种随意平滑地调节电压的变压器，这种变压器叫做调压变压器，也叫调压器。

(二) 调压器是怎样调压的

我们常用的小型调压器一般为自耦调压器，其结构基本与自耦变压器相同，不同的是它的铁心成环形，绕组就绕在其环形铁心上，二次绕组的分接头是一个能沿着绕组的裸露表面自由滑动的电刷触头，当移动其电刷触头的位置时，就能调节输出电压数值。调压器有单相也有三相的，其容量只有数百伏安到几千伏安，电压也只有几百伏。

第十一章 高压电器及配电装置

高压开关设备是用于开断与关合电压为 3kV 及以上线路的电器设备，在电力系统中广泛采用。根据电力系统安全、可靠和经济运行的需要，高压开关设备应能开关和关合正常线路与故障线路，隔离高压电源，起控制、保护和隔离的作用。高压开关设备应满足以下基本要求：

(1) 可靠性要求高 高压开关设备是电力系统的控制、保护设备。如果在线路发生故障时，不能正常动作，事故得不到控制，影响范围将会迅速扩大，造成大面积停电。因此，高压开关设备的正常运行，是电力系统安全供电的重要条件。

(2) 能承受很大的瞬时功率 电力系统中的故障电流往往几倍、几十倍于额定电流，持续时间达几秒，因此，高压开关设备应具有能承受、开断及关合故障电流的能力。

(3) 动作时间快 开断故障电流的时间慢，会影响电力系统传输功率的大小和运行的稳定性。为此，电力系统一般要求断路器接到继电器动作信号后，在百分之几秒开断故障电流；在合分操作中，触点短接时间在 0.1s 以内。

第一节 断 路 器

断路器是电力系统中最重要、最复杂的一种开关设备，不仅能切换正常负载，又能排除短路故障。大部分断路器能进行快速自动重合闸操作，在排除线路临时性故障后，能及时地恢复正常运行。它具有下列两种作用：

控制作用 根据电力系统运行的需要，将部分或全部电气设备，以及部分或全部线路投入或退出运行。

保护作用 当电力系统某一部分发生故障时，将该故障部分

从系统中迅速切除，防止事故扩大，保护系统中各类电气设备不受损坏，保证系统安全运行。

一、高压断路器的选择

- (1) 根据安装场合确定采用室内或室外式断路器。
- (2) 根据所控制的负荷性质，确定采用哪种灭弧方式。一般，对于需要频繁操作的负荷，应选用多油式、真空式或磁吹式断路器；对于非频繁操作的负荷，可选用少油式断路器。
- (3) 断路器的额定电压应与供电系统电压相符，而额定电流应略大于负荷的最大长期工作电流。
- (4) 断路器的额定开断电流，必须大于工作地点的最大短路故障电流，即开关设备必须有足够的断流容量。若不能满足时，可采用电抗器来限制短路电流或采用断流容量大一级的断路器。
- (5) 根据保护要求、负荷特点和是否需要遥控条件，合理选择断路器的操作机构和不同的操作电源。

二、使用操作

(一) 合闸送电前的检查

- (1) 在检修后合闸送电，在送电前应收回发出的所有工作票，拆除临时接地线，并对断路器进行全面检查。
- (2) 检查断路器两侧隔离开关均处于断开位置。
- (3) 使用 1000V~2500V 兆欧表测量断路器的绝缘电阻符合规定值。
- (4) 检查断路器的三相均处于断开位置，油位、油色均正常，并无渗漏油现象。
- (5) 分、合机械指示器处于“分的位置”。
- (6) 操作机构应清洁、完整，手动跳闸脱扣机构动作灵活。
- (7) 检查断路器的继电保护和自动装置是否已经置于使用位置，以便在意外情况下能切除故障。
- (8) 经检查确认无误后，对断路器进行一次拉、合闸试验，证实动作准确灵活后，才能投入运行。

(二) 操作

断路器都有很强的灭弧能力,能切断负荷电流和短路电流。但是,由于断路器有缺陷或操作不当,都可能造成事故,最为严重的事故是断路器的爆炸。

1. 送电操作,应按下列步骤进行

(1) 根据分、合闸机械指示器的指示,确认断路器处于断开状态,且操作熔断器未装上。

(2) 先合上电源侧隔离开关,后合上负荷侧隔离开关。

(3) 装上合闸熔断器和操作熔断器。

(4) 核对断路器编号和名称无误后,将操作手柄顺时针方向扭转 90° 至“预备合闸”位置。

(5) 待绿色指示灯闪光,将操作手柄顺时针方向扭转 45° 至合闸位置。当手脱离操作手柄后,手柄便自动逆时针方向返回 45° ,这时绿灯熄灭,红灯亮,说明断路器已合闸送电。

2. 停电操作步骤

(1) 核对断路器的编号和名称无误后,将操作手柄逆时针方向扭转 90° 至“预备分闸”位置。

(2) 待红灯闪光,将操作手柄逆时针方向扭转 45° 至“合闸位置”。当手脱离操作手柄后,手柄便自动顺时针方向返回 45° ,这时红灯熄灭,绿灯亮,说明断路器断开。

(3) 取下合闸熔断器。

(4) 根据分、合闸机械指示器的指示,确认断路器已处于断开位置。

(5) 先拉开负荷侧隔离开关,再拉开电源侧隔离开关。

3. 操作注意事项

(1) 断路器拉、合闸操作时,不论什么操作机构,动作都应当迅速、果断,将操作手柄扳到终点位置。

(2) 确认断路器断开后,才能拉开相应的隔离开关。

(3) 当操作电压过低时,得不到足够的合闸速度,可能会引起断路器爆炸。

(4) 合闸时,应注意观察有关指示仪表,如故障尚未排除,应

立即切断线路。

(5) 空气断路器若无足够的气压，其灭弧能力将会大大降低，分闸时也有可能造成断路器爆炸。

(6) 调节分闸辅助触点时，应将辅助触点调节在先投入、后切开的位置。当断路器的动、静触点尚未接通时，分闸辅助触点即先投入，接通了断路器的分闸回路，防止断路器万一发生带故障合闸时，能够保证迅速跳闸；而辅助触点后切开，其作用是保证断路器的动、静触点在分离之后，分闸辅助触点才断开分闸回路，使断路器可靠跳闸。

(7) 检修时将二次回路可能带电和来电的回路全部断开，取下有关熔体或断开控制刀开关，以防止断路器误动作，造成人身事故。

(8) 为了避免触点因三相不同时接触而造成烧伤或引起触点间电弧重燃而发生操作过电压，规定三相之间不同期接触误差应不超过 3mm，同相两个触点的不同期误差在 35kV 断路器上，不应超过 0.5mm。

(9) 检查分断容量能否满足系统要求，当系统的最大短路容量超过断路器的分断容量时，一旦发生短路，可能发生爆炸。因此，在分、合闸操作前，必须考虑断路器的分断容量能否满足系统要求，若不能满足时，必须采取降低短路容量的有效措施。

(10) 对电动操作的断路器应随时检查操作直流电压，有无过低现象，以免合闸功率不够使断路器合闸速度降低而发生爆炸事故和不同期并列的重大事故。

(11) 遇到以下情况时，操作电源必须断开

1) 停用检修或在有关二次线路及继电保护自动装置回路上工作时。

2) 当断路器的操作不在主控制室和配电装置室内，在断开操作电源的同时，应在断路器操作把手上悬挂“不可合闸”的警告牌，防止发生误合闸事故。

3) 当系统接线从一组母线切换到另一组母线时。

(12) 合闸送电前注意事项

1) 在合闸送电前, 检查与控制有关继电保护和自动装置, 是否处于使用位置, 以便万一在合闸后发生事故, 能正确动作切除故障。

2) 合闸时, 应监视有关表计指示情况, 尤其是电流表和电压表, 若有事故预兆, 必须立即切断。

3) 合闸后, 检查各相电流、电压是否平衡, 以便及时发现异常现象, 进行处理。

(13) 若油断路器配有电动合闸机构, 操作时的注意事项

1) 操作手柄必须拧到终点位置, 同时要监视合闸电流表指示的起动电流值是否在合闸电流正常范围之内。

2) 当合闸指示灯(红灯)亮时, 即可使手柄返回中间位置, 不得使其过早返回。否则合不上闸。

3) 若断路器已合闸, 手柄返回后, 合闸电流表指示应返回零位。否则, 可能由于合闸接触器打不开而烧坏合闸线圈。

4) 合闸操作完毕, 应仔细检查机械分、合指示装置, 传动连杆和支持瓷瓶等是否完好, 这时断路器应无异常响声。

(三) 使用

(1) 多油断路器的油主要起灭弧和绝缘作用, 而动、静触头均浸没在绝缘油里。通常情况下, 触头间的电弧很快熄灭。若选用不当或维修不及时, 可能由于油箱内部着火或压力过高而引起爆炸事故。因此, 必须保持排气管的完好, 以起到防爆作用。

(2) 少油断路器的油只起灭弧作用, 但外壳是带电的, 安装时必须保证足够的安全距离, 外壳应涂成红色引起注意安全。

(3) 油断路器的液面操作机构的加热应在 0°C 时投入运行, 10°C 时停止运行。

(4) 室外油断路器在气温降到 5°C 时, 应放水进行检查。

(5) 绝缘油一般使用 45 号或 25 号变压器油, 不宜使用 10 号油。

(6) 油面在周围空气温度为 20°C 时, 应保持在油位计 $1/2$ 处

(冬季约在 1/4 处, 夏季约在 3/4 处) 或在两条红线间; 套管油面约在 1/2 处。若漏油, 且油位计无油时, 禁止带负荷, 并停止使用。

(7) 在特殊情况下或事故条件下, 需要过负荷运行, 应报告领导批准, 并经常检查油断路器和各接头的温度。

(8) 油断路器开断故障次数超过允许值时, 应停用重合闸装置, 并向上级报告, 安排检修。

表 11-1 油断路器允许开断故障次数

母线短路容量为断路器 遮断容量的百分数	油 断 路 器	
	110、220kV	10、35kV
80%以上	3 次	3~4 次
50%~80%	5 次	5~6 次
小于 50%	8 次	8~11 次

(9) 拆接瓷套管上的引线注意以下几点

- 1) 拆接前, 应使断路器处于接地线保护范围之内。
- 2) 拆接时, 应松开螺母上的定位小螺钉, 旋松螺母时, 防止套管内导电螺杆转动。
- 3) 拆接时, 做好相位标记, 弓子线应临时固定。
- 4) 处理好接触部分的氧化层, 若是铜铝接触, 应采用专用的接线卡子。
- 5) 连接时, 核对相位标记、紧固螺母和定位小螺钉, 经检查无误后, 才能再次投入运行。

三、运行与维护

(一) 油断路器

1. 运行

(1) 要经常监视油面是否在上、下限之间, 并定期检查油样的耐压, 如低于允许值, 应及时更换, 若有渗水、积水等现象应及时处理。

(2) 经常注意是否有发烫、冒气、异常的响声, 不应有放电

等不正常现象。若发生异常现象，应及时停电检查，防止事故发生。

(3) 对液面操作机构在运行中失压后，必须采取防止缓慢分闸的措施后才能打压，经常检查压力是否在允许范围。

(4) 具有明确的拉合闸标志。

(5) 各相引线绝缘良好，并有防水弯。

(6) 瓷套管保持清洁、无裂纹、无破损、无渗漏油现象。

(7) 装设断路器的电杆稳固，脚钉完整无缺，支架可靠。

(8) 拉合断路器时使用绝缘杆或绝缘绳，操作人员与断路器带电部分保持足够的安全距离。

(9) 外壳接地要良好，经常开路的断路器两侧均装有避雷器。

2. 巡视

(1) 油断路器的油色有无变化，油量是否适当，有无渗漏油现象。

(2) 各部瓷件有无裂纹、破损，表面有无脏污和放电现象。

(3) 各个连接点有无过热现象。

(4) 操作机构的连杆有无裂纹，少油断路器的软连接铜片有无断裂。

(5) 操作机构的分、合闸指示与操作手把的位置，指示灯的显示与实际运行位置是否相符。

(6) 有无响声、气味、异常现象。

(7) 金属外皮的接地线是否完好。

(8) 室外断路器操作箱有无进水，冬季保温设施是否正常。

(9) 负荷电流是否在断路器或隔离开关的额定值范围内。

(10) 分、合闸电路是否完好，电源电压是否在正常范围内。

(11) 对气动、液压机构合闸的断路器，压力指示是否在正常范围内。

(12) 多油断路器的钢丝绳提升机构是否完好。

(13) 直流系统有无接地现象。

3. 维护

(1) 装配时必须注意各零部件的相互方向是否符合要求，各灭弧片的排列顺序及方向不能搞错。

(2) 装配时必须按规定要求，调整各部分的尺寸，特别是更换零件后，应校验是否需要加减调整垫。

(3) 零件的密封面精度及光洁度必须严格检查，拆卸中不得损伤。

(4) 必须保持触头接触良好，而三相应同时接触。

(5) 油断路器油位必须保持在适当高度，油位太低，将会给灭弧造成困难；油位太高，将会减少油箱上部的缓冲空间，增大断路时油箱内部的压力。

(二) 空气断路器

1. 运行

(1) 分、合闸信号指示器，三相一致，正确指示工作状态。

(2) 分、合闸位置指示器，三相一致，正确指示工作状态。

(3) 气压表指示在工作气压允许的变化范围内。

(4) 导电回路的刀开关与接线端子无异常状态，必要时用示温腊片或红外线测温仪检查温升。

(5) 均压电容器应无漏油或其他异常现象。

(6) 瓷件应无破损、裂纹和严重影响绝缘的污垢。

(7) 各充气部位，应无明显漏气。

(8) 通风指示器的小球悬浮位置应在规定的范围内。

(9) 加热器在环境温度低于 5℃ 时投入使用。

(10) 气源装置的高压罐中，气压应保持额定值，各级阀门位置正确。

2. 维护

(1) 检修前必须先将均压电容器放电，再放掉压缩空气，才能开始检修。

(2) 检修时，所有瓷件不准敲击猛撞，有机绝缘件不要雨淋

受潮，均压电容器不能倒置，密封件不允许长期弯折。

(3) 组装前，在操动系统的轴承和轴销上，在所有可动密封件和与之相摩擦的滑动面上以及在装配过程中有摩擦运动的所有零件上，都需涂敷润滑剂。

(4) 在充气状态下检查时，应有专人监护，人体不得靠近排气口。

(三) 操作机构的使用和维护

1. 手动机构

(1) 合闸操作迅速，手动分闸时手柄从上到下要连续运动。

(2) 运行人员应清楚了解高压断路器、手柄、掉牌的相互关系，切勿认为只要在上面就是合闸状态。

(3) 检查各部件是否完整，有无变形，若有损坏或缺，应及时修复或更换。

(4) 检查辅助触头有无损伤，对触头表面不平和有烧伤痕迹的应进行修整，并重新进行调整。

(5) 紧固各部位松动螺栓，并往机构的传动部位添加润滑油。

(6) 将手柄自上而下转动 10° ，检查断路器是否分断，如不能分断，将分断弹簧拧紧一些。

(7) 检修后，应进行数次分、合闸试验，检查机构动作是否灵活，有无卡涩现象。

2. 电动机构

(1) 在正常运行中，要经常检查油标内的油面和油色，听响声是否正常，检查外壳有无渗漏油现象，操作机构的信号牌是否正确，紧固件有无松动，绝缘瓷瓶有无裂纹、损坏，有无闪络痕迹。

(2) 操作机构各传动部分的动作是否灵活，有无卡涩及摩擦等不正常现象，应进行修整。

(3) 检修各部位有无磨损和变形情况，并消除发现的缺陷。

(4) 在各活动部分定期加润滑油，以便操作灵活。

(5) 辅助触头接触是否良好，切换是否正确无误，应进行清理和调整。

(6) 分、合闸线圈的绝缘有无受潮，如受潮应以烘干或重新进行绝缘处理。

(7) 各开口销有无切断，定位止钉位置有无变化，应进行更换或调整。

(8) 在未与开关连接时，将主轴转动数次，主轴应能依靠轴上的弹簧自由复位。

(9) 检修后，应在不同的电压（80%~110%的额定电压）下，各操作数次，检查操作机构的动作情况。

(四) 异常运行

1. 运行中发生短路崩烧事故 短路崩烧事故，不仅会造成供电中断，还可能导致火灾和威胁人身安全。为避免短路崩烧事故，应做到下列几点：

(1) 按线路负荷电流选择断路器，保证有足够的断流容量。

(2) 安装时使部位接触紧密，紧固全部螺栓，防止导体松动。

(3) 在导电杆的出、入口加装绝缘套管，防止小动物进入而造成短路。

(4) 经常检查灭弧室的情况，如灭弧片排列是否整齐，排列顺序是否正确；灭弧片和绝缘零件是否烧损，绝缘零件是否受潮；绝缘筒和灭弧片表面有无炭化或剥裂现象等。

(5) 雨雪天加强巡视，防止各绝缘部位受潮或进水而降低绝缘强度。

(6) 监视油箱内的油位，消除渗漏油现象。

(7) 定期对绝缘油进行耐压试验，防止因油质量差或进水而影响油的绝缘性能。

(8) 检修后，全面进行检查、测试，防止未拆接地线或短路线就合闸送电。

2. 合闸后，合闸接触器的触头打不开 当发现合闸接触器的

触头打不开，就应立即断开合闸电源，进行下列检查：

- (1) 合闸电磁铁控制回路的触头是否粘连或操作不灵。
- (2) 有关的闭锁触头是否灵活。
- (3) 合闸电磁铁上的主触头有无粘连。
- (4) 合闸线圈有无烧坏。

3. 运行中发生以下故障，禁止分闸，以免发生爆炸事故

- (1) 油断路器无油或严重缺油。
- (2) 少油断路器两相绝缘拉杆断裂。
- (3) 断路器灭弧室破裂或触头熔化。
- (4) 采用液压操作机构的断路器，当液压降低到零时，未采取防止慢分闸措施。

4. 运行中红灯或绿灯不亮 运行中红灯或绿灯不亮，会影响值班人员对断路器的监视，甚至发生故障时无法进行判断。一般由以下原因引起：

- (1) 灯泡损坏。
- (2) 灯泡回路接触不良，附加电阻损坏。
- (3) 断路器辅助触点接触不良，跳、合闸线圈断线。
- (4) 控制母线的熔体熔断。

5. 运行中油断路器自动跳闸 应进行以下检查和处理：

- (1) 检查保护装置的动作情况，并确认油断路器已断开。
- (2) 油色有无变化，如有喷油、冒烟现象，应停电检修。
- (3) 两侧母线连接处过热变色，瓷瓶或瓷套管断裂，应立即停电处理。

(4) 对有重合闸装置的油断路器自动跳闸，重合不良，应处理后恢复送电，不得强行送电。

(5) 对无重合闸装置的油断路器自动跳闸后，如未出现异常现象，可强行送电一次，若强行送电不良应处理后，才能恢复送电。对遮断容量不足的油断路器，禁止强行送电。

6. 运行中油断路器严重缺油或油标内无油 应立即进行以下处理：

- (1) 取下操作电源的断路器，以防止其自动跳闸。
- (2) 有条件时，将负荷通过母联断路器经旁路母线或使用备用断路器转移。
- (3) 使缺油断路器退出运行，做好安全措施后进行检修和添油。

7. 运行中掉相 由以下原因造成：

- (1) 少油断路器的分、合闸缓冲器的压缩行程调整不当或缓冲不良，造成振动过大，使某相瓷瓶断裂而缺相。
- (2) 多油断路器的分、合闸缓冲器的压缩行程调整不当。
- (3) 少油断路器某相导电杆上部调整触头同期性的螺钉脱扣或衔接部分太短，造成断路器掉相。

8. 运行中严重过热 由以下原因引起：

- (1) 断流容量选得偏小，在长期的过负荷运行中发热。
- (2) 触头表面氧化，动、静触头接触不良，造成触头的接触电阻增大。
- (3) 动触头插入静触头的深度太小，静触头的触针歪斜，压紧弹簧松弛和支持环裂开变形，造成动、静触头接触不紧密，使接触电阻增大。
- (4) 少油断路器静触头的引出导电杆上误垫了铁垫圈，造成涡流发热。

9. 运行中发现以下异常现象时，应立即停止运行

- (1) 严重漏油造成油面低下而看不到油面时。
- (2) 支架瓷瓶断裂或套管炸裂。
- (3) 内部发生放电响声。
- (4) 连接点处过热变色。
- (5) 瓷绝缘表面严重放电。
- (6) 故障掉闸后，断路器严重喷油冒烟。

在停止运行前，应根据所带负荷的重要程度和异常现象的严重程度，尽量采取有效措施将负荷转移。

(五) 常见故障与处理

1. 分、合闸速度不符合要求

(1) 分、合闸速度同时减慢，应重新装配或注入润滑油脂。

(2) 分、合闸速度减慢或加快，应调整分闸弹簧、触头压缩弹簧、合闸缓慢弹簧等。

2. 操作机构在电压偏低时不能分、合闸

(1) 不能分闸

1) 定位止钉位置太低，应调高止钉位置。

2) 脱扣器松动，可紧固脱扣器。

3) 脱扣器铁心动作不灵活，应调换脱扣器的方向，使铁心无卡住现象。

4) 分闸电压偏低，操作时若分闸线圈的电压不足 65%，应调到 65% 以上。

5) 各传动部分不灵活，应进行检查并加润滑剂。

(2) 不能合闸

1) 辅助开关切换太早，应调整辅助开关的连杆长度，使之在主触头接触后才能切换。

2) 合闸电压偏低，应加大电源容量或增大回路导线截面，以降低线路压降。

3) 各传动部分不灵活，应进行检查并加润滑剂。

3. 操作机构的分、合闸线圈烧毁

(1) 电压过高，应降低电源电压。

(2) 线圈绝缘老化或受潮，应更换线圈或进行烘干处理。

(3) 辅助开关的触头未断开，线圈长期通电，可调整辅助开关，保证准确无误地切换。

(4) 铁心卡住，应消除卡住现象，使铁心动作灵活。

4. 油断路器分、合闸失灵

(1) 合闸失灵

1) 操作机构控制回路中熔体熔断，应更换相同规格的熔体。

2) 直流操作电源电压低于合闸线圈的额定电压，应调高电源电压。

3) 操作频繁和温度过高, 合闸线圈烧毁, 应更换线圈或在操作中避免频繁操作。

4) 合闸线圈内部的铜套不圆、不光滑或铁心有毛刺, 使操作机构卡住, 应进行修整或除去铁心上的毛刺。

5) 合闸线圈内的套筒变形或安装不当, 影响合闸线圈铁心的冲击行程, 应更换或重新安装套筒, 并进行手动操作试验。

6) 合闸线圈铁心的顶杆太短和定位螺栓松动, 使铁心顶杆松动变形, 可调整顶杆或紧固定位螺栓。

7) 辅助开关触头接触不良, 应修复或更换触头。

8) 操作机构安装不当, 使机构卡住, 应重新进行安装调试。

(2) 分闸失灵

1) 无直流操作电源或电源电压过低, 应调高电源电压。

2) 辅助触头接触不良, 应修复或更换触头。

3) 分闸线圈的铁心被剩磁吸住, 操作机构不能动作, 可将铁心顶杆换成铜顶杆。

4) 分闸线圈的铁心挂在周围的凸缘上, 应修整凸缘上的棱角。

5) 连板轴孔磨损, 销子太大, 造成传动机构移位, 应更换连板或销子。

6) 分闸线圈烧毁或内部铜套不圆、不光滑, 铁心有毛刺, 应更换线圈或进行修整。

7) 轴销窜出, 连杆断裂或开焊, 应更换或焊接连杆。

8) 定位螺栓松动、移位, 使传动机构卡住, 应紧固螺栓或调整螺栓方向。

第二节 隔离开关

隔离开关是一种没有专门灭弧装置的开关设备, 在分闸状态有明显可见的断口, 在合闸状态可靠地通过正常工作电流和短路故障电流。主要用来隔离高压电流, 以保证其他电气设备的安全

检修。由于它未有专门的灭弧装置，严禁带负荷操作，以免造成严重的人身和设备事故。

一、使用和操作

(一) 使用注意事项

(1) 若隔离开关与断路器、接地开关配用，以及隔离开关本身具有接地开关，应有机械联锁或电气联锁，以保证正确的操作顺序。

(2) 底架上应有不小于 12mm 的接地螺栓，且接地铜软线的截面应不小于 50mm^2 。

(3) 摩擦部位应涂以润滑脂。

(4) 投入运行前，应检查隔离开关的接触状况和动作的同步性。

(5) 指示分闸信号，应在主刀开关分开达到 80% 断开距离时才发出，而指示合闸信号，应在主刀开关可靠接触后才发出。

(二) 正确操作注意事项

(1) 合闸时，在确认与隔离开关连接的断路器等开关设备处于分闸位置上，站好位置，果断地迅速合上隔离开关，但合闸动作快结束时用力不宜过大，以防止发生冲击。同时要保证主刀开关与静触头接触良好。

(2) 对单极隔离开关，合闸时先合两边相，后合中间相；拉闸时先拉中间相；后拉两边相，而必须使用绝缘钩棒（又称令克棒）来操作。三极隔离开关是用手动操作机构来操作的。

(3) 分闸时，在确认断路器等开关设备处于分闸状态，缓慢操作，待主刀开关离开静触头，迅速拉开。操作完毕后，应保证隔离开关处于断开位置，并使操作机构锁牢。

(4) 当用隔离开关来切断变压器空载电流，架空线路和电缆线路的充电电流，环路电流和小负荷电流时，应迅速进行分闸操作，以保证快速有效地灭弧。

(5) 送电时，应先合电源侧的隔离开关，后合负荷侧的隔离开关；断电时，先拉负荷侧的隔离开关，后拉电源侧的隔离开关。

(三) 允许进行以下直接操作

(1) 开、合电压互感器和避雷器回路。

(2) 电压 35kV, 长在 10km 以内的无负荷运行的架空线路。

(3) 电压 10kV, 在 5km 以内的无负荷运行的电缆线路。

(4) 电压 10kV 以下, 无负荷运行的变压器, 容量不超过 $320\text{kV}\cdot\text{A}$ 。

(5) 开、合母线和直接接在母线上的设备的电容电流。

(6) 开、合变压器中性点的接地线, 但中性线上接有消弧线圈时, 只有在系统未有短路故障时才可以操作。

(7) 与断路器并联的旁路隔离开关, 当断路器处于合闸位置时, 可开、合断路器的旁路电流。

(8) 开、合励磁电流不超过 2A 的空载变压器和电容电流不超过 5A 的无负荷线路, 当电压为 20kV 及以上时, 应使用三相联动隔离开关。

(9) 用室外三相联动隔离开关开、合电压为 10kV 及以下, 电流为 15A 以下的负荷电流。

(10) 拉、合 10kV 及以下, 不超过 70A 的环路均衡电流, 但严禁使用室内型三联刀开关拉、合系统环路电流。

(四) 带负荷拉、合隔离开关时, 应遵守以下紧急处理规定

(1) 如错拉隔离开关时, 在刀口发现电弧时应急速合上; 如已拉开, 不允许再合上; 如果是单极隔离开关, 操作一相后发现错拉, 而其他两相不应继续操作, 并将情况及时上报有关部门。

(2) 如错合隔离开关时, 无论是否造成事故, 均不许再拉开, 因带负荷拉开隔离开关, 将会造成三相弧光短路, 并迅速报告有关部门, 以采取必要措施。

二、运行与维修

(一) 发生以下异常运行时, 应采取紧急措施

(1) 接触部分过热, 当温度超过 $+75^{\circ}\text{C}$ 时。

(2) 绝缘子破裂, 接触子在胶合处脱落。

(3) 绝缘子表面严重放电。

遇到以上情况，应迅速减少负荷，利用适当的断路器或经旁路母线上的开关设备转移负荷，以减轻发热，并在停止运行后进行检修。

(二) 检修

隔离开关的检修，一般与断路器的检修同时进行，检修时应采取可靠的安全措施，仔细检查编号，尤其是室外双母线的隔离开关，往往相距不远，容易走错位置。

(1) 接触部分过热，压紧弹簧减弱，螺钉松动或接触表面氧化，应减少负荷或停电检修。

(2) 三相闭合不同期，检查三相联动开关的闭合同期性，误差不超过 3mm。

(3) 分合闸不灵活，开关或操作机构的转动部分生锈或在严重发热时触头熔接在一起，检修时应加润滑油或修复触头。

(4) 绝缘子裂缝或损坏，运转过程受损，操作时用力过猛或开关与母线的联接不好而造成，应立即更换。

(5) 连接隔离开关与母线的引线是否牢固，有无过热现象。

(6) 隔离开关的闭锁装置应正确、可靠。

(7) 辅助接点的切换是否正确，接触是否良好。

(三) 常见故障与处理

1. 不能分、合闸

(1) 不能分闸

1) 操作机构被冰冻结，可将操作机构轻轻摇动几次，使冻结的冰松动后，可进行拉闸操作。

2) 支持绝缘子和操作机构变形或移位，当故障点在接触部位，不能强行拉闸，以免绝缘子损坏，而造成严重事故。

(2) 不能合闸

1) 轴销脱落、楔栓退出和铸铁断裂，造成刀杆与操作机构脱节，应停电修整或更换零件。若不允許停电，可临时用绝缘棒操作。

2) 传动机构松动，动、静触头的接触面不在一条直线上，引

起隔离开关不能合闸，应重新调整，使三相触头合闸的同期性基本一致。以免动、静触头互相撞击。

2. 接触部分过热或触头表面发黑

(1) 动、静触头的接触太小，电流集中通过后又分散，产生很大斥力，使弹簧的压力减小，造成压紧弹簧或螺栓松动。操作时刀口合得不紧，导致接触表面氧化，造成接触部分发热，应紧固螺栓，并清理接触表面的氧化层。

(2) 拉合开关时产生的电弧烧伤动、静触头的接触面，或合上开关时用力不当使触头接触位置不正，造成接触不良，而使接触部分发热，应修整动、静触头接触面或更换触头，适当调整交叉连杆长度，并进行试合闸。

(3) 长期过负荷运行，应及时减轻负荷。

(4) 长期运行中，一旦发现触头表面发黑，应及时清理。

第三节 熔 断 器

高压熔断器是在电网中人为设置的一个最薄弱的元件，当过电流流过时，元件本身发热熔断，使电路断开，起到保护电力线路和电气设备的作用。熔断器在电压低于 35kV 的小容量电网中，广泛用于输配电线路及电力变压器的短路和过载保护。

一、种类和选用

(一) 种类

高压熔断器分为限流式和跌落式两种。

1. 限流式熔断器 它是充有石英砂填料的密闭管式熔断器，主要用于室内配电装置，具有以下特点：

(1) 熄弧能力强，分断容量大。

(2) 分断电路时无游离气体排出。

(3) 由于熄弧能力强，分断电路时产生截流过电压。

2. 跌落式熔断器 它是利用固体产气材料来灭弧的管式熔断器，适用于周围空间无导电粉尘和腐蚀性气体，以及无易燃、易爆物品和无剧烈振动的室外场所，不仅作为线路和变压器的短路、

过载保护，还能在一定的条件下直接用高压绝缘钩棒来操作熔管的分、合，以断开或接通小容量空载变压器、空载线路和小负荷电流，并具有以下特点。

(1) 熄弧能力较弱，分断容量小，特别是在分断小电流时，燃弧时间长，无限流作用。

(2) 熔断器熔断后，熔管会自动翻转跌落，形成明显可见的隔离间隙。

(3) 分断电路时不会出现截流现象。

(4) 熄弧时喷出大量炽热的游离气体，并产生很大的响声。

(二) 选用

1. 根据使用场所选择熔断器的型式 一般室内选用室内型(RN型)，而露天时选用室外型(RW型)。若电路的短路容量较大，对保护选择性的要求较高时，应选用RN型熔断器。

2. 根据负荷性质选择熔断器的型号 对用来保护电压互感器，可选用RN₂-10和RW₂-35H型；对用于作单独控制和保护，可选择RW型。

3. 为了有利于灭弧，熔体的额定容量不应大于熔管的额定容量 一般熔体容量为熔管容量的30%~100%。

4. 熔体的额定电流应与负荷电流配合 一般熔体的额定电流可为负荷电流的1.5~2.5倍。

二、跌落式熔断器的安装和操作

(一) 安装跌落式熔断器应符合以下要求

(1) 安装应牢固可靠，向下应有20°~30°的倾斜角，不得垂直或水平安装，使熔体熔断时熔管能靠自重自行跌落。

(2) 保险管长度应适当，合闸后被鸭嘴舌头扣住部分要在2/3以上，以防止运行中自掉，而保险管也不能顶住鸭嘴，以防止熔丝熔断后，保险管不能跌落。

(3) 重合保险的重合传动杆，不宜过高或过低，应与保险管保持45°角。

(4) 使用的熔丝，机械强度应不小于 150N，熔丝额定电流不得大于跌落保险管的额定电流。

(5) 6、10kV 用跌落熔断器相间安全距离应不小于 600mm，熔断器对地距离一般为 4.5m。

(6) 安装前检查熔管与绝缘支架触头间的配合尺寸，确保合闸状态下具有足够的接触压力，熔体应拉紧，以防止触头过热。

(二) 操作跌落式熔断器注意事项

(1) 一般情况下，不应带负荷操作，而对容量在 200kV·A 及以下的配电变压器，允许高压侧的熔断器分、合负荷电流。因此，应先切断负荷，再操作跌落式熔断器，以保证安全，防止事故发生。

(2) 分断操作时，若遇到风力较大，应先拉断中相，再拉下风相，最后拉剩下一相。合闸时顺序相反，先推上风相，最后推中相。

(3) 操作时不得用力过猛，以免熔断器损坏，操作者应戴绝缘手套和护目镜，以确保安全。

(三) 跌落熔断器熔体的选择

在 10kV 电网中，广泛使用跌落式熔断器作为分支线路和配电变压器的过电流保护，为了保证安全，选择熔体时应注意以下几点：

(1) 熔体的额定电流应小于变电所出线开关过电流保护的一次整定电流，以实现上下级保护装置之间的选择性。

(2) 熔体的熔断时间应短于变电所出线开关过电流保护装置的整定时间，以达到上下级保护装置之间的协调配合。

(3) 不得将多余小规格的熔体并接起来作为大规格熔体使用，以免造成停电事故。

三、常见故障与处理

(一) 熔管误跌落和熔体误熔断

(1) 熔管的长度与熔断器固定接触部位的尺寸配合不当，当遇到大风时熔管易被吹落，应重新调整熔管两端铜套的距离，使

熔管与固定部位的尺寸配合好

(2) 操作时疏忽大意使熔管未合紧, 造成动、静触头配合不良, 稍受振动熔管便自动脱落, 应试合数次, 观察配合情况, 并用绝缘棒端触及操作环轻微晃动几下, 检查确实合紧即可。

(3) 熔断器上部静触头的弹簧压力过小, 鸭帽(熔断器上盖)内舐舌有无烧坏或磨损, 使熔管由于未被挡住而跌落, 应更换熔断器。

(4) 若熔体多次更换后, 反复熔断, 是由于熔体容量太小或与下一级配合不当而发生越级熔断, 应重新选择合适的熔体。

(二) 熔体熔断后, 熔管不能迅速跌落

(1) 转动轴粗糙而转动不灵活, 或熔管安装时被异物堵塞而转动卡阻, 应将转动轴研磨光滑或清除熔管内的杂物。

(2) 上下转动轴安装不正和俯角不合适, 熔体熔断后, 熔管自重不足而不能迅速跌落, 应调整俯角, 使转动轴与垂直保持 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。

(3) 熔体配件选择不当, 出现卡住现象, 应更换配套的附件。

第四节 负荷开关

高压负荷开关是用于高压装置中接通和切断电压电路的专用开关电器, 由于它只能通断一定的负荷电流, 而断流能力不大, 因此, 不能用它切断短路电流, 但和高压熔断器配合使用, 因熔断器切断短路电流, 可代替油开关。线路的短路故障只能借助与它串联的高压熔断器来进行保护。

一、负荷开关的使用

(1) 当负荷开关与高压熔断器串联使用时, 继电保护应进行以下整定。

1) 当故障电流大于负荷开关的分断能力时, 必须保证熔断器先熔断, 然后负荷开关才能分闸。

2) 当故障电流小于负荷开关的分断能力时, 则负荷开关开

断，熔断器不动作。

(2) 断路时，具有明显可见的断开间隙，因此，它能起隔离电源的作用，并能够带负荷操作。

(3) 当负荷开关的刀开关断开时，在弧动触头与弧静触头间产生的电弧，由于受到气缸内压缩空气和喷嘴因电弧燃烧分解出来的气体强烈的气吹，使电弧迅速熄灭。

(4) 负荷开关只能切断和关合规定的负荷电流，一般不允许在短路情况下操作。

(5) 使用时应进行几次空载分、合闸操作，确认无误后，才能投入运行。

(6) 使用时检查负荷电流是否在额定值范围之内。

二、负荷开关的维护

(1) 负荷开关的操作一般比较频繁，在运行中要保持各部分的润滑良好，防止生锈。并经常检查紧固零件有无松动现象。

(2) 投入运行前，将绝缘子擦拭干净，检查有无裂纹和损坏，绝缘是否完好。

(3) 合闸时检查三相是否同时接触，中心有无偏移现象。

(4) 检查操作系统有无卡堵、呆滞现象。

(5) 灭弧装置工作是否正常，有无烧伤、漏气现象。

(6) 各部分有无过热现象，有无放电痕迹。

(7) 分闸时，刀开关张开角度应大于 58° ，负荷开关断开时应有明显可见的断开点。

(8) 当操作次数达到规定的限度时，应进行检修。

第五节 高压配电装置

高压配电装置是指 1kV 以上的电气设备，是按一定接线方案，将有关一、二次设备组合起来。用于发电厂和变配电所中作控制发电机、电力变压器和电力线路之用，也可作为大型交流高压电动机的起动和保护用。

高压配电装置是接受和分配电能的电气设备，包括开关设备、

监察测量仪表、保护电器、连接母线及其他辅助设备。

一、高压配电装置的选择

(一) 一般要求

(1) 保证工作的可靠性、维护方便和安全。

(2) 保证电气设备发生故障或火灾等事故时，能把其局限在一定范围，并宜于迅速消除。

(3) 保证运行经济合理、技术先进，安装和检修时能运送设备以及预留发展和扩建的余地。

(二) 安装和选择的一般规定

(1) 配电装置的布置和导体、电器、构架的选择应满足正常运行、短路和过电压的要求，并不应危及人身安全和周围设备。

(2) 绝缘等级应和电力系统的额定电压相同，3kV~10kV 的屋外重要变电所的支持绝缘子和穿墙套管应采用比受电电压高一级电压的产品。

(3) 各回路的相序排列应尽量一致，并涂色标明。

(4) 间隔内的硬母线及接地线，应留未涂漆的接触面和连接端子，以备装接携带式接地线。

(5) 隔离开关和相应的断路器之间，应装设机械或电磁联锁装置，以防误操作。

(6) 在污秽地区的屋外高压配电设备及绝缘子等，应有防尘、防腐等措施，并应便于清扫。

(7) 周围环境温度低于绝缘油、润滑油、仪表、继电器的允许温度时，应采取加热措施。

(8) 导线、悬式绝缘子和金具所采用的强度安全系数：在正常运行时不小于 4、安装检修时应不小于 2.5。

(9) 安装高度不超过海拔 1000m，环境温度为 +40℃~-20℃，室内相对湿度不超过 85%。

(10) 没有导电尘埃，没有破坏金属和绝缘的气体，没有爆炸危险的场所，没有剧烈振动的地方及倾斜不超过 5°的场所。

(11) 地震较强烈地区（烈度超过 7°时），应采取抗震措施，加

强基础和配电装置的耐震性能。

(三) 高压配电设备的选择

高压配电设备主要根据工作电压、工作电流、断流容量来选择

(1) 电气设备的额定电压应大于或等于回路的工作电压。

(2) 电气设备的额定电流应大于或等于回路最大长期工作电流。

(3) 对断路器和熔断器的选择，除满足以上两条外，还要使器件的额定断路容量大于或等于短路容量。

(4) 为了保证电气设备的安全运行，在通过最大可能的短路电流不致受到损坏，除按以上三条原则选择外，还应按短路电流所产生的电动效应和热效应来进行校验。

(5) 下列情况不必进行短路校验

1) 用熔断器保护的电气设备及导体。

2) 用限流电阻保护的电气设备及导体（如电压互感器的引线）。

3) 架空电力线路。

4) 本身已满足短路时通断能力要求的电气设备。

(6) 选择高压开关时，应根据变配电所一、二次接线图和运行维护的要求，确定开关柜的型式和方案及一、二次设备的型号规格。

二、高压配电装置的操作

高压配电装置的操作及注意事项是根据各种线路的具体情况不同而异，每种高压配电装置都有自己的特定操作程序和注意事项，现仅作一般性介绍。

(1) 高压电气设备的操作人员必须确切掌握变配电系统的接线情况，重要设备的性能及操作方法，事故照明的装置情况及使用操作方法。

(2) 送电前后都要按规定，检查某些电气设备，测量绝缘电阻。

(3) 高压电气设备的操作必须由两人进行，其中一人负责监护，操作完毕后应有相应的指示信号或悬挂标示牌。

(4) 操作人员不准口头约定停电或送电，必须有工作票，并严格按“工作票”的程序进行操作。

(5) 操作人员应按电气设备的电压等级穿戴好绝缘劳保用品，按操作要领进行操作。

(6) 雷雨或潮湿天气在室外操作时，若无特殊装置的绝缘棒和绝缘夹及必要的防护措施，不准工作。

(7) 使用 500V 以上验电器时，必须穿戴好绝缘防护用品。在强烈日光下验电时，验电器应装有特殊的管型灯罩。

(8) 高压设备不论是否带电，未经许可，任何人不准单独移开遮栏或越过遮栏及警戒线进行操作和巡视。

(9) 巡视和检查高压配电系统线路时，不能在未搞清的情况下，攀登电气设备或扳动操作机构。

(10) 若设备发生异常现象，值班人员应迅速判明情况，按规定程序切除有关电源，切勿乱拉闸，以免扩大事故范围。

三、高压配电装置的运行和维护

(一) 配电装置上母线的颜色标志

为了使人们易于识别相序，防止母线锈蚀，引起人们注意以防触电，将配电装置上的母线涂成不同颜色，一般有以下规定：

(1) 三相交流母线，U 相：黄色；V 相：绿色；W 相：红色。

(2) 单相交流母线与引出相颜色相同；单立的单相母线一相为黄色，一相为红色。

(3) 直流母线，正极：赭色；负极：蓝色。

(4) 直流均衡汇流母线和交流汇流母线，不接地者：紫色；接地者：紫色带黑色条纹。

(5) 封闭母线，母线外表面和外壳内表面：无光泽黑色；外壳表面：无光泽灰色。

(6) 接地线、零线：黑色；变配电设备构架：灰色。

(7) 模拟母线涂色，见表 11-2。

(8) 母线的下列各处不准涂漆

1) 母线的各部连接处及距离连接处 100mm 以内的地方。

2) 间隔内硬母线要留 50mm~70mm，便于停电挂接临时地线用。

3) 涂有温度漆的地方。

(二) 送电前对配电装置
的检查

(1) 对高压电气装置和绝缘油应做耐压试验。

(2) 测量各元件的绝缘电阻，核对定相是否正确。

(3) 触头固定是否牢靠，接触是否良好；各开关设备的接通和断开动作是否正确。

(4) 熔断器的熔体是否符合要求。

(5) 继电保护装置动作是否正常，联锁装置是否可靠。

(6) 接地装置是否符合要求。

(7) 信号和指示装置的显示是否正常，直流系统是否可靠。

(8) 安全用具和消防器材是否齐全。

(三) 运行中的检查

(1) 各种仪表、信号装置（信号灯、分、合指示牌等）指示是否正常，继电保护装置运行正常无掉牌。

(2) 开关柜装置无异常响声、异味。

(3) 二次回路有无接地和脱离电源，变流器二次回路有无开路。

(4) 断路器油色有无变化，油量是否适当，有无渗漏油现象。

表 11-2 模拟母线涂色的规定

电 压/kV		颜 色
直 流		褐
交 流	0.22	深灰
	0.38	黄褐
	3	深绿
	6	深蓝
	10	绛红
	35	鲜黄

- (5) 断路器拉杆软铜片有无断裂、掉相等。
- (6) 各部瓷件有无裂纹、破损、松动、表面有无脏污，放电现象。
- (7) 各部接点接触要紧密，有无发热现象，各部元件温度不得过高。
- (8) 刀开关刃口接触是否严密。
- (9) 电缆头、线有无渗漏油现象。
- (10) 接地线有无腐蚀、折断，接触要良好。

(四) 正常运行

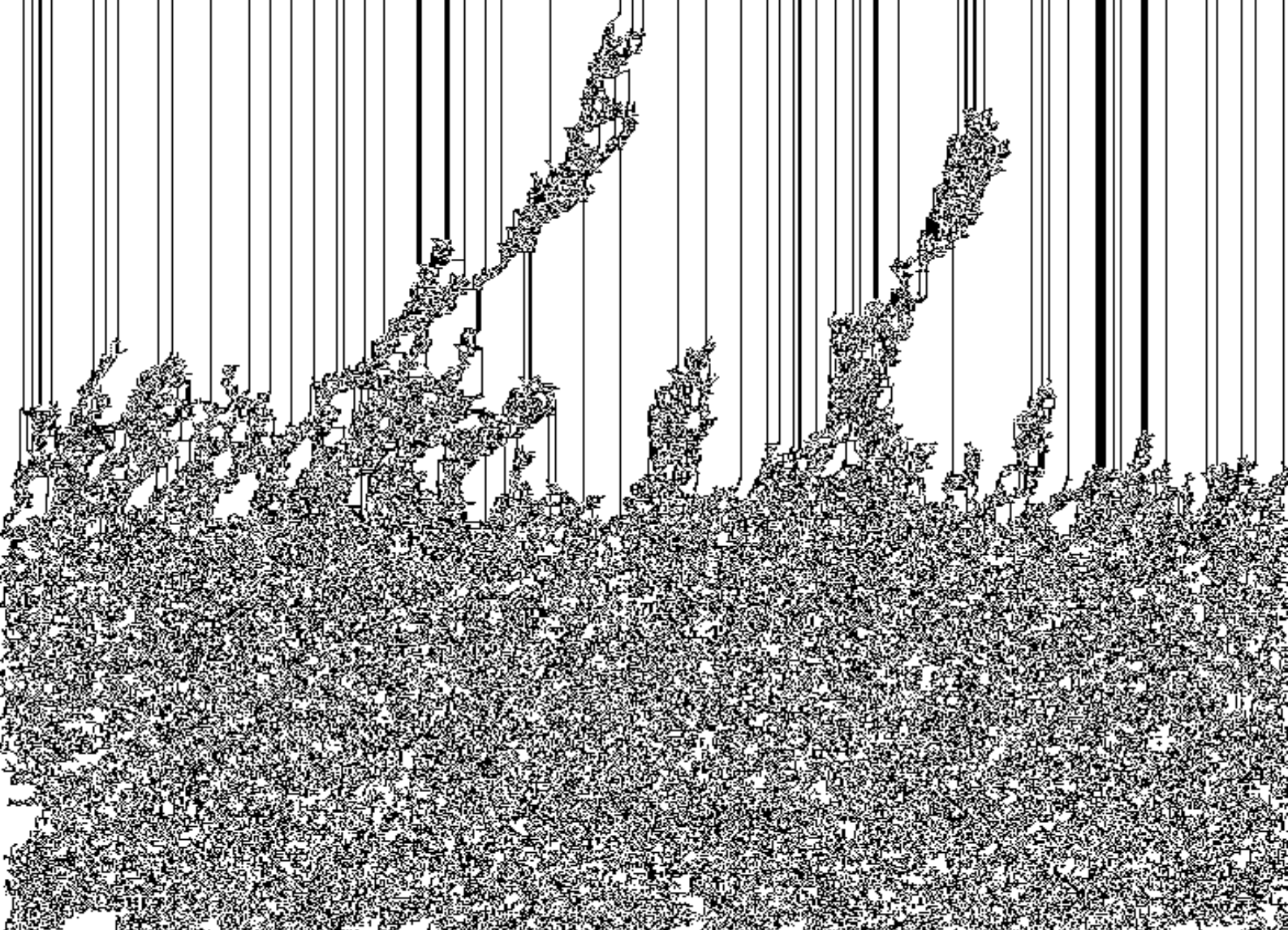
- (1) 高压开关柜的各项参数（电压、电流、断流容量）应在额定允许范围之内。
- (2) 各连接点温度不得超过 70°C 。
- (3) 各元件声音正常，瓷件无闪络放电。
- (4) 仪表和信号指示准确无误。

(五) 高压操作机构

高压开关设备操作机构可分为电磁操作机构、弹簧操作机构和手动操作机构，由于操作机构的型式较多，重点介绍 CD2 和 CDT 两种。

1. CDT10 型弹簧储能式电动操作机构 操作机构在全部调整结束后，在投入运行前应进行以下检查：

- (1) 在操动机构各传动部分加润滑油脂。
- (2) 用手动储能，手动快速分、合闸二次，检查调整情况。
- (3) 用电动自动操作时，应先动储能，电动合、分闸二次，后电动储能，电动合、分 10 次，在电动操作前还应仔细检查线路。
- (4) 当装有失压脱扣器时，应按要求进行操作试验，检查失压复位机构的调整是否正确。
- (5) 对要求脱扣功率较小的过电流脱扣器，应进行操作试验，检查脱扣功率的大小。
- (6) 需要重合闸保护时，应进行操作试验二次。



电磁的联锁装置。不论哪种联锁，都必须保证：开关在合闸位置时，只有先拉开断路器后才能拉开隔离开关；开关在分闸位置时，只有先合上隔离开关后才可能合上断路器。开关的操作机构连同其联锁装置必须动作灵活、准确可靠。

一、机械联锁装置

机械联锁装置，一般用钢丝绳或杠杆机构，以机械位置的变

动，来保证断路器拉开前隔离开关的操作手把不能动作。

隔离开关与断路器的机械联锁原理如图 11-1 所示，当断路器处于分闸状态时，如图 a 所示，操作机构联锁的挡块 1 离开锁住隔离开关操作机构的弹簧销钉 3，从而弹簧销钉 3 可被拉出，这时就可操作隔离开关。当断路器处于合闸状态时，如图 b 所示，而挡块阻碍弹簧销钉拉出，使得无法操作隔离开关。

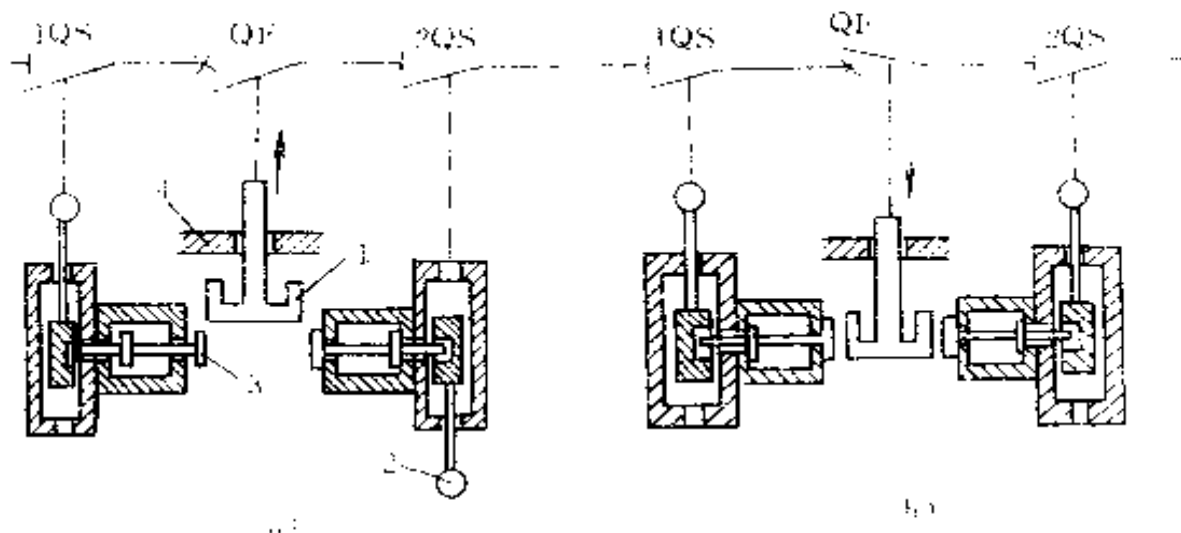


图 11-1 机械联锁示意图

(a) 少油断路器分闸后可操作隔离开关 (b) 少油断路器合闸后不可操作隔离开关

1QS—电源侧隔离开关 2QS—负荷侧隔离开关 QF—少油断路器

1—与少油断路器操作机构联动的挡块 2—隔离开关操作手柄

3—弹簧销钉 4—高压开关柜板面

二、电磁联锁装置

电磁联锁装置是通过操作机构上的联动辅助触点，去控制隔离开关的手把，当断路器未断开时，而隔离开关的操作手把不能动作。也可用隔离开关机构上的辅助触点，当一拉隔离开关手把时，联动辅助触点使断路器先动作切断电路，避免了带负荷拉隔离开关的事故。

隔离开关与断路器的电磁联锁原理如图 11-2 所示，电锁 1 由锁门 3 和插座 4 组成，电钥匙 2 由电磁铁 6 和插头 5 组成。

当断路器处于分断状态时，辅助触头闭合，需要操作隔离开关 1QS，可将电钥匙 2 插入电锁 1 中，插头 5 和插座 4 互相连接，

这时电磁铁 6 励磁线圈的电路接通，锁闩 3 被吸动，即隔离开关操作机构的销钉被吸动，这时可进行操作。若需要操作 2QS 时，只要将电钥匙 2 插入 2DS 即可。当断路器处于合闸状态时，辅助触头是分断，从而切断了电锁 1 的电源，才可能操作隔离开关。控制按钮 8 是以常闭方式接入电路，其作用是将电钥匙 2 插入电锁 1 后，如不再操作、可按下按钮，使电磁铁 6 励磁线圈失去励磁而把锁闩 3 释放，锁闩在复位弹簧的作用下，重新锁住隔离开关的操作机构，这时便取出电钥匙。

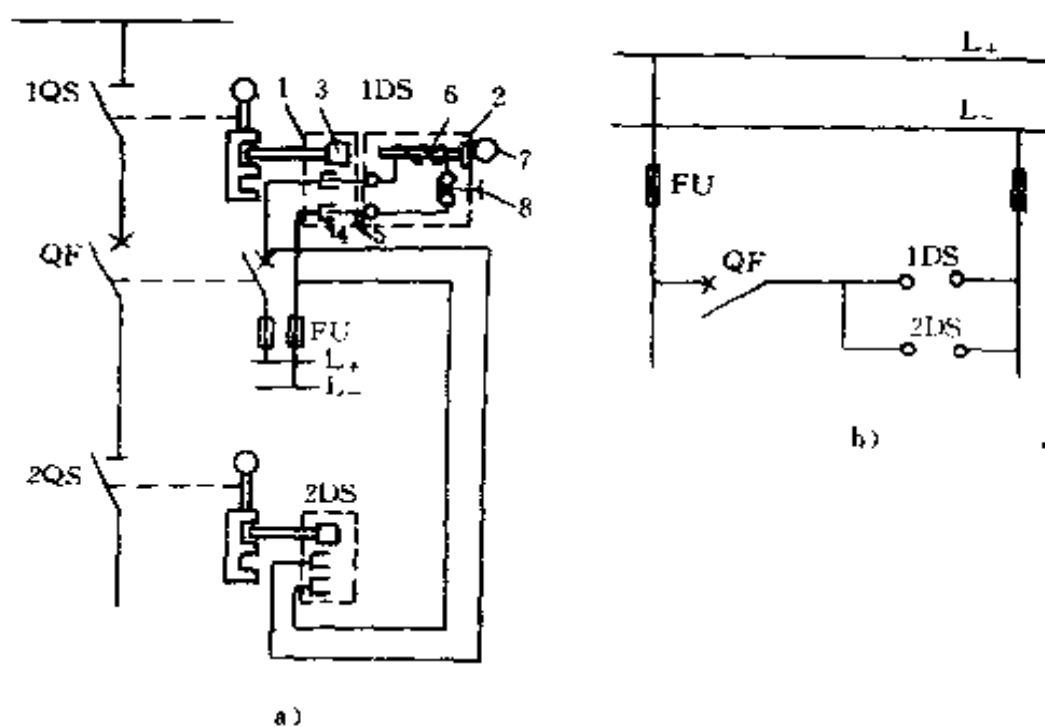


图 11-2 电磁联锁示意图

a) 原理图 b) 接线图

1DS、2DS—电磁锁 L—控制母线 FU—熔断器

1—电锁 2—电钥匙 3—锁闩 4—插座 5—插头 6—电磁铁

7—金属环 8—按钮

第七节 绝缘子

架空输电线路的导线、变电所的母线和各种电气设备的带电体，都需要用绝缘子支持，使之与大地或接地物绝缘，以保证电能安全可靠地输送到广大城乡用户。

一、母线绝缘子的选择

(一) 底座形式

常见底座有方形、圆形、椭圆形，一般用字母表示。

F —— 屋内方形（四个底脚螺钉，不常用）；

Y —— 屋内圆形（一个底脚螺钉）；

T —— 屋内椭圆形（两个底脚螺钉）。

(二) 头顶螺钉距离

有两种螺钉间距：一种是 120mm；另一种是 80mm。没有特殊标志，应在选择时加以说明。

(三) 根据母线大小考虑绝缘子本身承受的机械力（包括电动方）

绝缘子本身承受的机械力用 A、B、C、D 表示。

A 型：3500N

B 型：7500N

C 型：12500N

D 型：20000N

(四) 绝缘子型号全称

绝缘子型号全称为 ZB-10Y 型，其字母的含义为：

Z —— 支持式绝缘子

B —— 受力 7500N

10 —— 10kV

Y —— 圆形底座

二、高压瓷件的使用

在高压电器中，导电部分的绝缘支柱，引线套管和操作机构的隔电元件、避雷器的外壳等都是电瓷产品。电瓷性产品脆易碎，在使用中应注意以下事项：

(1) 瓷件不得存放在剧烈振动或易受撞击的地方。

(2) 日晒雨淋，温度变化太大，将会加速法兰浇装剂的老化，但只要瓷件与法兰之间不松动、位移，仍可使用。如发现浇装部位表面修饰层脱壳，可把脱壳部分清理干净，用 500 号水泥填满

空隙，刮平干固后，就能继续使用。

(3) 若瓷件表面仅有细小缺陷和碰损不严重，而不影响整体强度和绝缘效果，可不作处理；若有大块的瓷掉落，应用环氧树脂粘合修补。如果修补后不能保证原有的机械强度和绝缘强度，应更换瓷件。

三、高压穿墙套管的安装

高压穿墙套管适用于 6kV~35kV 变配电装置和电气设备中，是供导电部分穿过建筑物墙壁或电气设备箱壳，使导电部分与其绝缘并起支持作用。

(1) 穿墙时套管间中心距离，一般 10kV 为 450mm，35kV 为 600mm，在潮湿的地方应适当增大距离。

(2) 双回路进线穿套管，两回路套管间最近距离为 2m。

(3) 穿墙套管的高度，应使引线距地面保持 4.5m (10kV)。

(4) 穿墙套管引线应为倒人字接线，当用绝缘导线时，应在最低部位削一小口。

(5) 固定套管的安装板厚度，对铜排穿墙套管不得超过 40mm，铝排穿墙套管不得超过 60mm。

四、拆接 35kV 以上高压断路器瓷套管上的引接线

拆接时应注意以下事项：

(1) 拆接前，应使断路器处于接地线保护范围以内。

(2) 拆接时，注意松开螺母上的定位小螺钉，旋松螺母时，应防止套管内导电螺杆转动。

(3) 拆接时，做好相位标记，弓子线应临时固定。

(4) 处理好接触部分的氧化层，若为铜、铝接触，应采用专用接线卡子。

(5) 连接时，核对相位标记，紧固螺母和定位小螺钉，经检查无误后才能再次投入运行。

五、绝缘子的运行与维护

(一) 运行与维护

绝缘子的运行维护是保证安全可靠运行的必要条件之一。

(1) 观察和监视绝缘子的脏污情况，定期清扫，可进行水冲或擦拭等。

(2) 观察绝缘子是否有裂纹或破损，有无闪络痕迹或跳火现象，并及时处理。

(3) 对 10kV 及 35kV 穿墙套管产生“嗡嗡”声或中间法兰部分有电晕放电时，说明此部位均压涂层已脱落或内腔弹簧接触片接触不良，应进行检修或更换，以免导致闪络或击穿。

(4) 观察瓷套管导体接线端是否压紧，监视接触部分发热温度，若温度过高，可将螺母紧固或加大接线螺母直径。

(5) 铁附件要定期刷漆，镀锌铁附件缺锌时应用银粉漆涂补。

(6) 应定期检测绝缘子是否劣化或击穿，若发现有劣化迹象时应预更换，并进一步试验，判断是否损坏。

(二) 防污措施

绝缘子防污的根本措施是避开或减少污染源，其措施如下：

(1) 采用防污性能好的绝缘子，增加绝缘子串或柱的元件数。

(2) 带、停电或卸下清扫。

(3) 绝缘子表面涂有机硅脂、硅油、地蜡等憎水涂料。

(4) 合理布置绝缘子，尽量使绝缘子水平安装或采用 V 形布置等。

第八节 变电所的主接线图

主接线图表示电能由电源分配至用户的主要电路，在图上应表示出所有的电气设备。一般情况下，主电路图只表示电气装置的一相连接，用于三相交流电力装置中的所有三相连接方法都相同，所接的电气设备均一样，因此，这种图称为单线图。为了看图容易起见，图中只画出系统的主要电气设备，如发电机、变压器、断路器、隔离开关等，以及它们相互间的连接。单线图清晰易看，在设计和运行中得到了广泛的应用。

一、对变电所主接线图的要求

变电所的接线应考虑到安全、可靠、灵活、经济的原则。

(一) 安全

必须按照国家标准和有关规定，正确选择电气设备及正常情况下的监视系统和故障情况下的保护装置。采取各种保障人身安全措施，确保人身和设备安全。

(二) 可靠

变电所的接线必须满足不同类型负荷的不中断供电的要求，以达到电力装置的工作可靠。一般可将电力装置分成几部分，正常时并联工作，当电力装置的一部分发生事故时，便自动被切断，而电力装置的其余部分仍保持工作。为了使装置工作可靠，接线图应力争简单清晰。电器元件是电力装置中最薄弱环节，因此，不得不适当地增加电器元件的数量，以免引起事故。

(三) 灵活

利用最少的切换，能适应不同的运行方式，当负载不均衡时，能自由切除不需要的变压器。而在最大负荷时，又能方便地投入，以利于经济运行。检修时应操作简单，并不中断供电等。

(四) 经济

在满足上述要求条件下，使设计投资费用最少，但不要以电力设计投资最少就是最佳方案，而有时规定电力设计的投资限额可能会影响可靠性和灵活性，以致引起企业的停工，造成更大的损失。因此，核算企业故障停电而引起产量、质量、工艺加工过程中的损失，从而确定合理的供电方案。

二、主接线图

(一) 最简单的降压变电所接线图

如图 11-3 所示，电源进线只有一回，变压器只有一台，在供电系统中，除断路器 QF_1 、 QF_2 外，还有隔离开关 QS_1 、 QS_2 。在架空线的线路隔离开关上，通常带有接地开关 QS ，在检修时，线路通过它与地短接。但为了简单起见，一般接地开关不在接线图中表示。

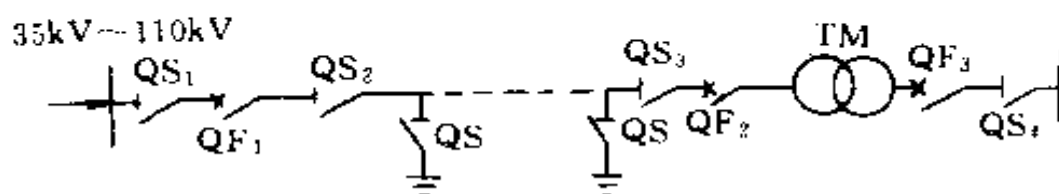


图 11-3 由一回进线供电至一台变压器的总降压变电所接线图

主要用来供给三级负荷的用电，但必须考虑具备以下条件：

- (1) 重要负荷要从变压器二次侧其他电源引入备用线路。
- (2) 系统中有可以用来迅速更换的备用变压器。

(二) 变压器一次侧只有隔离开关的接线图

如图 11-4 所示，在正常工作时，如需切除变压器，应先打开高压断路器 QF_2 ，再打开隔离开关 QS_3 ；当投入变压器时，应先合上 QS_3 ，再合上 QF_2 。隔离开关进行变压器的空载合闸或分闸，在容量上有一定限制。对于 35kV 电压，限制在 $1000\text{kV} \cdot \text{A}$ 以内，对 110kV 电压限制在 $3200\text{kV} \cdot \text{A}$ 以内，所以它的应用范围比较小。

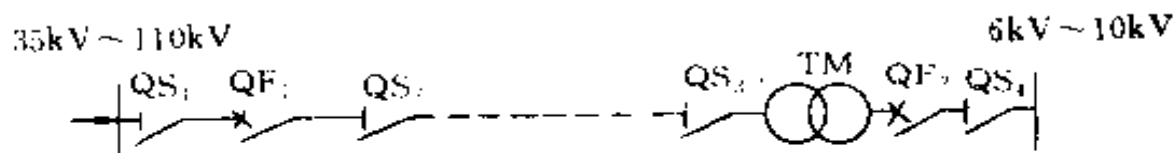


图 11-4 变压器一次侧只有隔离开关的接线图

在变压器发生故障时，跳闸依靠 QS_1 来实现，但应具备以下条件：

- (1) 工厂变电所为终端变电所，并有区域变电所专线供电。
- (2) 变压器容量小。
- (3) 区域变电所距离不超过 $2\text{km} \sim 3\text{km}$ 。
- (4) 该变压器未装设气体保护，利用首端断路器处的保护装置可取得对变压器的全部保护时，而不必在进线处设置断路器。

(三) 双回进线双变压器的总降压变电所接线图

如图 11-5 所示，当电源进线来自两个不同独立电源，二次侧设有自动备用投入装置时，可以满足任何用户的要求。

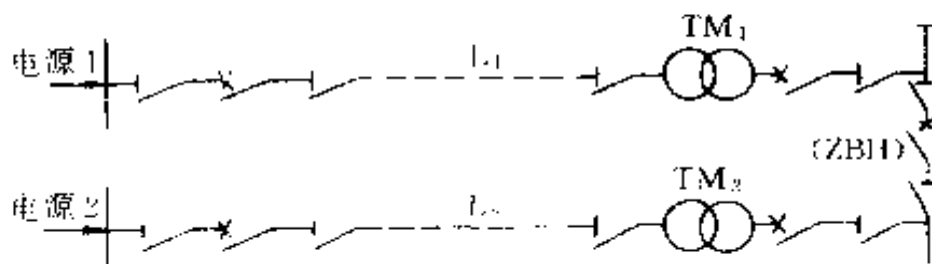


图 11-5 双回进线双变压器的总降压变电所接线图

双回进线，双变压器二次侧断路器可分别采用并联和单独运行，但应根据技术经济条件比较来确定，在工厂供电系统中，一般采用单独运行的办法。

在双回路，双变压器供电系统中，共有四个元件，即 L_1 、 TM_1 、 L_2 、 TM_2 ，若其中一个元件发生故障，另一个元件同时也不能投入工作。为了弥补这一缺陷，可采取桥形接线方法。

（四）桥形接线图

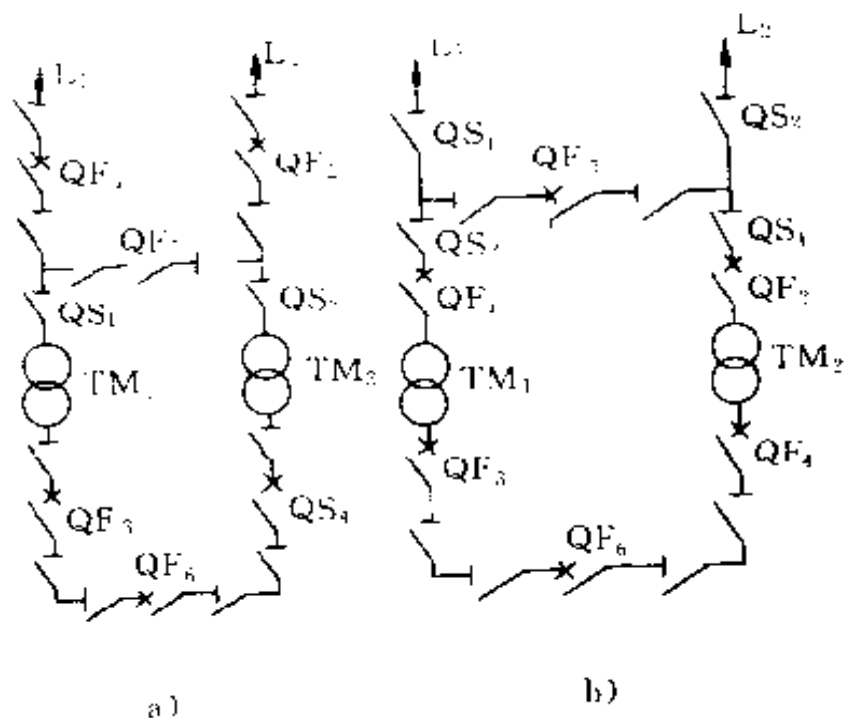


图 11-6 桥形接线

a) 内桥 b) 外桥

1. 内桥 如图 11-6a 所示，内桥用在并联工作时，某一元件发生故障以减轻电压损失，如 L_2 发生故障时， QF_2 切断， L_1 、 TM_1 、 TM_2 仍继续保持工作，电压损失的增加量由 L_2 上的电压损失来

决定。但 TM_2 发生故障时，应先打开 QF_1 、 QF_2 ，然后打开 QS_1 ，再合上 QF_3 、 QF_4 ，而恢复 L_1 、 L_2 、 TM_1 的工作，这一操作比较复杂，大约需要 30min。

2. 外桥 如图 11-6b 所示，如果变压器发生故障，采取这样的操作并不严重，而 30min 的操作时间并不算长，但如果由于工厂负荷极不平衡，而变压器需要经常切除和投入，应采用外桥接线比较方便，以减少功率及电能的损耗。

桥形接线需要大量的高压电器，运行、操作、维护、保护都比较复杂，因此，应用的现实意义已大大降低。

三、配电所接线图

在大中型工厂中设置配电所，应根据用户的可靠性要求和传送的功率大小来确定进出线回路数，如图 11-7 所示，母线分段上或进线上设自动备用合闸，必须采用断路器。

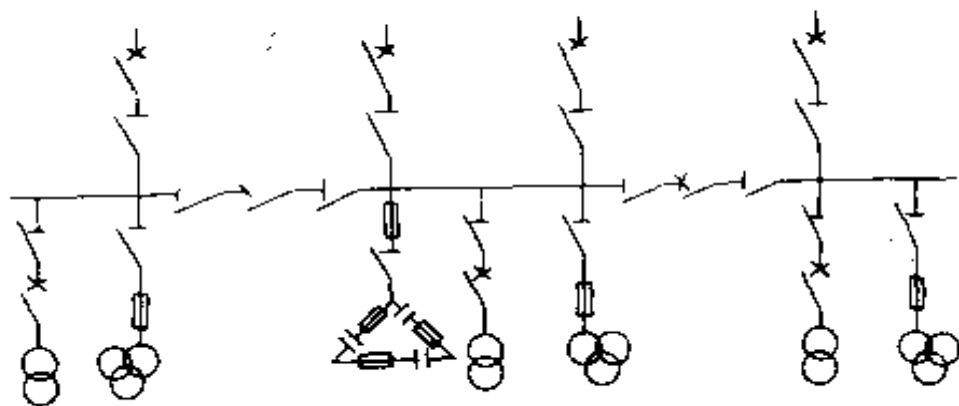


图 11-7 配电所接线图

若配电所进线的首端为断路器，而进线开关应考虑利用负荷开关或隔离开关，以减少继电保护动作时间级差配合上的困难。

配电所的引出线可根据用户类型采用熔断器、熔断器加负荷开关、断路器。而熔断器加负荷开关较断路器结构简单，可供 $560\text{kV}\cdot\text{A}$ 以内的变压器， 400kvar 以内的静电电容器，但它们切断容量小，不能实现供电系统的自动化，在运行中熔断器的观察及更换熔体都不方便。

对 $6\text{kV}\sim 10\text{kV}$ 端母线分段在正常工作时是否闭合，应根据下列情况考虑：

- (1) 若进线由不同电源来，进线电压是否相同。
- (2) 闭合后是否影响短路电流值，以致影响到开关设备的选择。
- (3) 利用什么分段开关，利用隔离开关分段；利用断路器分段；利用断路器加自动备用合闸分段。
- (4) 继电保护由于闭合而复杂的程度。
- (5) 负荷不能中断供电的程度。
- (6) 大型冲击负荷的功率及分布等。

四、车间变电所接线图

车间变电所的接线图如图 11-8 所示，它的接线方式应力求简化，放射式线路一般可以采用线路变压器连接成组，变压器高压端不设母线。

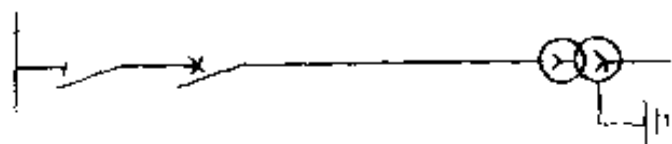


图 11-8 车间变电所接线图

在下列情况下高压端可设置开关电器：

- (1) 该变电所由另一运行单位供电。
- (2) 该变电所距离本厂电源较远。
- (3) 架空线引入，但应注意在满足技术条件的要求下，先从简单的开关电器来考虑，如熔断器、负荷开关、断路器。
- (4) 有时从保护要求出发，如重气体切断、低压单相接地保护等。

第九节 高压配电电路的接线方式

在确定了供电电压，变、配电所的位置和容量及变、配电所的主接线图后，需要进一步确定高压电路的配电方式。

一、放射式

(一) 优点

- (1) 本线路上的故障不影响其他用户。
- (2) 容易进行继电保护装置的整定，并易于实现自动化。

(3) 运行的可靠性较高。

(二) 接线方式

高压供电系统中放射式接线一般采用电缆，对中小型工厂高压配电只有一级放射，大型工厂可有两级放射。实际设计时应避免采取两级以上的高压放射式配电系统，以减少开关柜数量及继电保护的延时时限。

图 11-9 所示的放射式接线，运行简单，但缺少备用，因此，可靠性较差，当考虑备用时，接线方式如下：

(1) 采用两根电缆并联供电。

(2) 对数个车间采用一根备用线路供电。

(3) 对有较多大容量的一级负荷或要求可靠性较高的二级负荷，应采用母线分段供电或双电源供电的放射式供电系统。

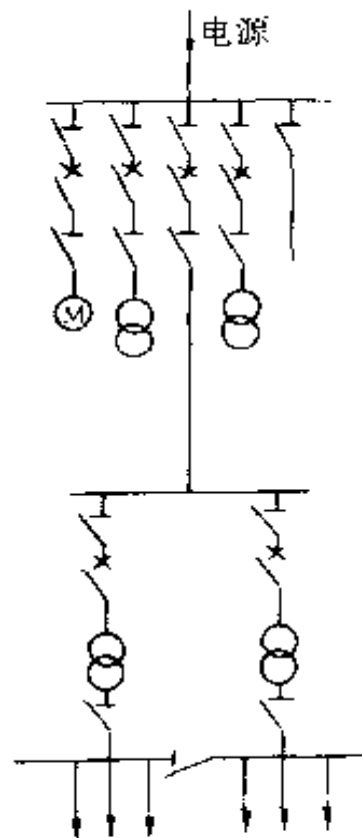


图 11-9 放射式供电线路

二、树干式

树干式配电系统有可能降低投资费用和有色金属消耗量，使变、配电所的馈出线路减少，结构简化，但车间变电所的位置必须恰当。图 11-10 为无备用的单树干式配电方式，这种单树干线的线路图只有一个电源，因此，干线上的任何故障必将引起用户的全部停电，要想恢复供电必须将线路上的故障排除，用架空线是比较容易满足以上要求。若采用电缆直接埋地，冬季检修不便，单树干式高压配电系统一般多用架空线。

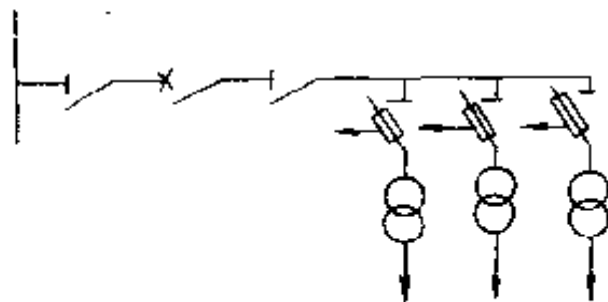


图 11-10 单树干式接线图

单树干式配电系统只能用于三级负荷，但是带有

备用线路和自动化装置的树干式配电系统也完全可以满足二级以上负荷配电要求。

双树干式供电线路，若低压系统再加自动切换的备用联络线，运行极为可靠，完全可满足一级负荷的配电要求。

双电源树干式供电线路，由电源母线引出的电缆和导体的首端，应选择其满足传送全部功率的要求。为了采用简单的保护系统，正常工作时，最好在电流分点（功率分点）断开处，尽量作到减少能耗。

三、环式

环式对工厂供电系统来讲，只不过是树干式的另一种形式。环式供电与树干式供电一样，正常时开环运行，可以用来供二级负荷，如图 11-11 所示。

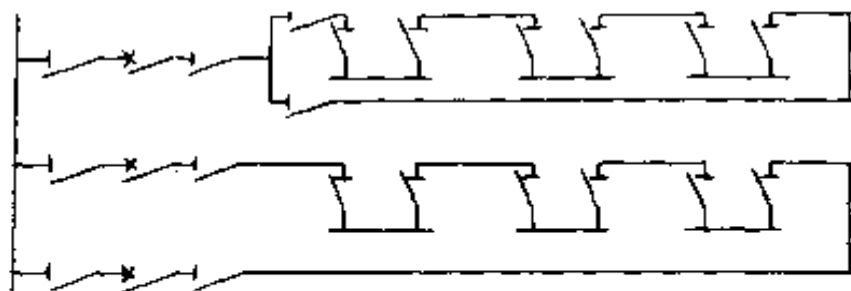


图 11-11 环式供电系统图

第十二章 低压电器及配电装置

第一节 低压电器安装和使用时的 一般安全要求

低压电器种类很多，在工矿企业得到了广泛应用，是用于额定电压交流 1200V 或直流 1500V 及以下，在有供电系统和用电设备等组成的电路中，起控制、转换、调节、保护、接通和断开线路的作用。

一、低压电器的安全要求

不同的低压电器各有自己的特点，安全要求也不完全一样，但相互之间有很多共同之处，其共同安全要求如下：

(1) 电压、电流、断流容量、操作频率，温升等运行参数应符合要求。

(2) 灭弧装置（如灭弧罩、灭弧触头和灭弧用绝缘板）完好。

(3) 防护完善，门或盖上的联锁装置可靠，外壳、手柄、漆层无变形和损伤。

(4) 触头接触面光洁，接触紧密，并有足够的接触压力；各级触头应同时动作。

(5) 安装合理、牢固；操作方便，并能防止自行合闸；通常电源线应接在固定触头上；500V 及以下者不同相间最小净距离为 10mm，500V~1200V 为 14mm。

(6) 正常时不带电金属部分接地（或接零）良好。

(7) 绝缘电阻符合要求。

二、安装和使用低压电器的一般原则

(1) 低压电器应垂直安装，特别是对油浸减压起动器，为防

止绝缘油溢出，油箱倾斜不得超过 5° ；应使用螺栓固定在支持物上，而不应采用焊接；安装位置应便于操作，而手柄与周围建筑物之间要保持一定距离，不易被碰坏。

(2) 低压电器应安装在未有剧烈振动的场所，距地面要有适当的高度。刀开关、负荷开关等电源线必须接在固定触头上，严禁在刀开关上挂接电源线。

(3) 低压电器的金属外壳或金属支架必须接地（或接零），电器的裸露部分应加防护罩，双投刀开关的分闸位置上应有防止自行合闸的装置。

(4) 在有易燃、易爆气体或粉尘的厂房，电器应密封安装在室外，且有防雨措施，对有爆炸危险的场所必须使用防爆电器。

(5) 使用时应保持电器触头表面的清洁。光滑，接触良好，触头应有足够的压力，各相触头的动作应一致，灭弧装置应保持完整。

(6) 使用前应清除各接触面上的保护油层，投入运行前应先操作几次，检查动作情况。

(7) 单极开关必须接在相线上。

三、电器保护箱的安装注意事项

(1) 在无尘、潮湿、室外、人身容易触碰的场所，若使用开启式电器，应安装在保护箱内。

(2) 室外要采取防雨措施，电源线及控制线均应从下面进出。

(3) 室内暗装外壁要涂防护漆，内壁要刷油漆。

(4) 柜板两面安装电器时应两侧开门。

(5) 铁皮保护箱应刷防腐漆，且可靠接地。

(6) 箱门上应标有红色“电”的符号，门内侧应有电气原理图。

(7) 保护箱宽度在 300mm 以上时，应做双扇门。

(8) 箱内应留有一定空间距离，满足电气设备的安装、维修的要求。

第二节 刀 开 关

刀开关主要用来作各种设备及供电线路的电源隔离开关，转换和接通、分断电路用，广泛应用于低压供电线路，额定电流在1500A以下的配电设备。

刀开关的主要类型有：负荷开关、隔离开关、熔断器式开关。

一、刀开关的选用

(一) 结构型式的选择

结构型式的选择，应根据它在线路中的作用及在成套配电装置中的安装位置分别选用。当必须用来分断负荷时，应选用带灭弧罩且用杠杆操作的开关；当只用来隔离电源时，应选用不带灭弧罩的开关；当需要正面操作时，可选用中央手柄操作式或中央正面杠杆操作式开关；当需要侧面操作时，应选用侧面手柄操作式或侧方正面杠杆操作式开关。

(二) 开关等级的选用

选用开关时不能只考虑电路正常工作电流；还应考虑电路中可能出现的最大短路电流，确保开关在通过瞬时值电流时具有必要的稳定性和热稳定度，或者选用人一级额定电流的开关。

刀开关的额定电压应等于或大于电路额定电压，其额定电流应等于或大于电路工作电流。若用刀开关来控制小型电动机，应考虑电动机的起动电流比较大，必须选用额定电流较大的开关。

刀开关的负载电流不得大于容许断开电流，一般不允许带负载操作，但装有灭弧室的开关，工作不频繁时可带负载操作。

二、刀开关安装注意事项

(1) 应垂直安装，最大倾斜度不应大于 5° ，并使插座位于上方，以免支座松动时由触刀在自身重量的作用下误动作造成事故发生。

(2) 将母线接在刀开关接线端子上时，应防止产生过大的扭

应力，并保证接触可靠。

(3) 刀片与固定触头的接触必须良好，对大电流触头或刀片可适当加润滑油。

(4) 刀开关有消弧触头时，各相的分闸动作应保持一致。

(5) 双投刀开关在分闸位置时，刀片应固定牢靠，使刀片不会自行分闸。

(6) 杠杆操作机构安装时，应调节好连杆长度，确保操作到位及操作灵活。

(7) 安装完毕后，要把该带的灭弧室装好。

三、刀开关的运行与维修

(1) 检查刀开关的负荷电流是否超过额定值。

(2) 检查刀开关的动、静触头连接是否不实，静触片闭合力是否不够或开关合闸不到位的现象。

(3) 检查刀开关的电源侧和负荷侧，进出线端子与连接处压接是否牢固，有无接触不实，过热变色等现象。

(4) 检查绝缘连杆和底座等绝缘部分有无损伤和放电现象。

(5) 检查动、静触头有无烧伤及缺损，灭弧罩是否清洁完整。

(6) 检查三相刀开关在合闸时，是否同时接触或分开，触头接触是否良好。

(7) 操作机构应完好，动作应灵活，分、合闸应准确到位。

(8) 开关触头过热或熔焊，主要是刀片与刀座接触不良而引起的，应及时修复。

(9) 开关与导线接触部位过热，大多数是由于导线连接螺钉松动，弹簧垫圈失效造成的，应及时更换失效的弹簧垫圈并紧固好。

四、负荷开关的选用及安装使用注意事项

(一) 选用

1. 与控制对象的配合 这类开关多用于电源切换，也可作小容量异步电动机不频繁起动用。而分断电流如在 60A 以上，可能会发生弧光烧伤现象，因此，短路电流超过 60A 时，不应使用负

荷开关。对于配用瓷插式熔断器的负荷开关，其分断能力不高，只能装在短路电流不大的线路末端，以免发生分断故障。

2. 额定电流的选择 用负荷开关来控制照明电路、电热设备及分支电路时，可按电路的额定电流选择。若用负荷开关来控制异步电动机，因为开关的分断能力为额定电流的 4 倍，而电动机的起动电流为额定电流的 6~7 倍，因此，开关的额定电流应为电动机额定电流的 1.5 倍。

（二）安装使用注意事项

（1）负荷开关虽有封闭式外壳及联锁装置，安装使用也应注意安全，不准随意放到地面上操作，应按规定垂直安装在一定高度。

（2）不准面对开关操作，以免发生故障而开关又不能分断时，铁壳爆炸伤人。

（3）开关外壳必须可靠接地（或接零）防止漏电时发生触电事故。

（4）严禁在开关外壳上边搁置金属物件，以免掉入开关内部发生短路事故。

（5）接线时，应将电源线接在静触座的接线端子上，负荷接在熔断器一端，若接反了，在维修时将可能出现不安全。

（6）被控制设备应在开关容量之内，所配熔体应满足负荷要求。

（三）日常维护

（1）检查接线有无松动现象，如发现松动，应重新连接并紧固。

（2）保持外壳内壁不积聚粉尘，确保绝缘良好；保持外壳完好无损，操作的绝缘连杆固定牢靠，可动触片接触良好。

（3）检查熔断器底座有无破裂，弹簧有无锈蚀、老化，一旦发现缺陷，应及时更换。

（4）如发现触头表面凹凸不平，可用什锦锉修整，使表面保持光洁；当触头接触压力不足时，应对触头系统进行适当调整。

(5) 检查机械联锁是否正确，速断弹簧有无锈蚀变形现象。

五、组合开关的选用与维修

(一) 选用

(1) 组合开关的电寿命虽然比普通刀开关长（如控制电动机时，组合开关的额定电流可比刀开关低一个等级），但操作频率每小时超过 300 次或功率因数低于规定值时，应降低容量使用。否则，将会缩短使用寿命，有时还可能因持续燃弧而造成事故。

(2) 组合开关虽有一定的通断能力，但不能用来分断故障电流。如用来控制电动机正反转时，应在电动机完全停止转动后，才允许反方向接通。

(3) 组合开关的接线方式较多，可根据需要选择相应规格及型号。

(4) 组合开关本身没有过载、短路、欠压等保护功能，可根据需要，另外装设相应的保护电器。

(二) 拆装与维修步骤

(1) 拧松紧固手柄的螺栓，将手柄取下。

(2) 拧松支架上的紧固螺母，将顶盖转轴弹簧和齿轮等操作机构取下来。

(3) 抽出绝缘杆，将绝缘垫板上盖取下来。

(4) 将动、静触头取下。

(5) 检查触头是否烧毛，如有烧毛现象，可用 0 号砂布修磨，无法修整时应更换。

(6) 检查转轴弹簧有无松脱，消弧垫磨损是否严重，若不能继续使用应及时更换。

(7) 装配时应按拆卸的相反顺序进行。

(8) 装配时应使活动触头和固定触头相互保持正确位置，叠片的连接要紧密。

(9) 拆装时要防止零件丢失，避免灭弧罩碰撞。

(10) 修复后应进行数次通电试验，若不合格应重新装配。

(三) 常见故障及处理

(1) 如开关的固定螺栓松动和旋转操作频繁, 导线压接处容易松动而引起外部连接点放电, 烧蚀或断路, 应紧固螺栓, 并适当减少操作次数。

(2) 转轴上的扭簧松软或断裂, 引起动触头无法转动, 使接点位置改变, 应及时更换弹簧。

(3) 动、静触头接触不良或额定电流小于负荷电流, 使接点起弧烧蚀, 应调整动、静触头或更换较大一级的开关。

(4) 若发生严重故障时, 应对开关检修或更换, 检修时必须停电, 防止发生触电事故。

六、隔离开关操作注意事项

(一) 操作注意事项

(1) 操作隔离开关之前, 应先检查断路器是否已经断开。

(2) 操作时应站好位置, 动作要果断。

(3) 对于单极隔离开关, 合闸时先合两边相, 后合中间相, 拉闸时顺序相反。

(4) 三极隔离开关在拉、合闸时, 应动作迅速, 拉、合后必须检查是否在适当位置。

(5) 合闸时, 在合闸终了的一段行程中, 不要用力过猛, 以免发生冲击而损伤瓷件。

(6) 严禁带负荷拉、合隔离开关。

(7) 停电时先拉负荷侧隔离开关, 后拉电源侧隔离开关; 送电时先合电源侧隔离开关, 后合负荷侧隔离开关。

(8) 带负荷拉、合隔离开关时, 应按下列规定处理:

1) 如错拉隔离开关时, 在刀口发现电弧时应急速合上; 如已拉开, 则不许再合上, 并及时报告有关部门。

2) 如错合隔离开关时, 无论是否造成事故, 均不许再拉开, 并迅速报告有关部门, 采取必要措施。

(二) 异常运行与处理

隔离开关发生下列异常现象时, 应采取紧急措施:

- (1) 接触部分过热，当温度超过 75°C 时。
- (2) 绝缘子破裂，接触子在胶合处脱落。
- (3) 绝缘子表面严重放电。

发生以上情况时，应及时采取措施，迅速减少负荷，可用旁路备用母线上的开关转移负荷，以减轻发热，在停止运行后应进行检修。

第三节 熔 断 器

熔断器是低压配电系统中的主要保护器件之一，对电气设备起短路保护作用。当通过熔断器的电流大于规定值时，以它自身产生的热量使熔体熔断而自动断开电路，在一定的短路电流范围内可以达到保护的日的。

一、熔断器选用

(一) 选用熔断器的一般原则

(1) 熔断器的保护特性与所保护对象的过载能力应相匹配，使保护对象在全范围内能可靠保护。

(2) 应防止越级熔断；以免扩大事故的停电范围；各级熔断器之间应协调配合，当发生故障时，下级熔断器应先熔断，而在下级熔断器熔断后，上级熔断器能自动复原。

(3) 在短路电流不大，故障率较高的配电系统中，应优先选用拆装熔体方便的熔断器。

(4) 在短路电流较大的配电系统中，应选用分断能力高的熔断器，必要时可选用限流作用较好的熔断器。但应特别注意，有限流作用的熔断器，也不是在任何情况下都能限流。

(5) 用于电动机过电流保护的熔断器，一般不要求有限流作用，可选用具有锌质熔体或铅锡合金熔体的熔断器。

(二) 熔体额定电流的确定

熔断器熔体在短路电流作用下应可靠熔断，起到保护作用。如果熔体选择偏大，负载长期过负荷熔体不能及时熔断；如果熔体选择偏小，在正常负载电流作用下就会熔断。为了保证设备的正

常运行，必须根据设备的性质合理选择熔体。

1. 照明电路

(1) 电灯支路 熔体额定电流 \geq 支路上所有电灯的工作电流之和。

(2) 电灯总路 装于电度表出线熔体额定电流 $= (0.9 \sim 1.0) \times$ 电度表额定电流 $>$ 全部电灯的工作电流。

2. 电动机

(1) 单台直接起动电动机 熔体额定电流 $= (1.5 \sim 2.5) \times$ 电动机额定电流。

(2) 多台直接起动电动机 总熔体额定电流 $= (1.5 \sim 2.5) \times$ 容量最大的电动机额定电流 $+ 其余电动机额定电流之和$ 。

(3) 降压起动电动机 熔体额定电流 $= (1.5 \sim 2) \times$ 电动机额定电流。

(4) 绕线电动机和直流电动机 熔体额定电流 $= (1.2 \sim 1.5) \times$ 电动机额定电流。

3. 配电变压器 熔体额定电流 $= (1 \sim 1.2) \times$ 变压器低压侧额定电流。

4. 电热设备 熔体额定电流 \geq 电热设备额定电流。

5. 并联电容器

(1) 单台时 熔体额定电流 $= (1.5 \sim 2.5) \times$ 电容器额定电流。

(2) 电容器组 熔体额定电流 $= (1.3 \sim 1.8) \times$ 电容器组额定电流。

6. 单台电焊机 熔体额定电流 $= (1.5 \sim 2.5) \times$ 负荷电流。

7. 快速熔断器与整流元件串联 熔体额定电流 $\geq 1.57 \times$ 整流元件额定电流

(三) 选用熔断器注意事项

(1) 熔断器的保护特性与被保护对象的过载特性应有良好配合。

(2) 按线路电压等级选用相应电压等级的熔断器，一般熔断

相应分断能力的熔断器。

(4) 各级熔断器应相应配合，一般要求前一级熔体比后一级熔体的额定电流大 2~3 倍，以免发生越级动作而扩大停电范围。

(5) 熔体额定电流应小于或等于熔断器的额定电流。

二、熔断器的使用与维修

(一) 巡视检查

(1) 检查熔体的额定电流是否与负荷情况相配合。

(2) 检查熔体管外观有无损伤、变形、开裂等现象，瓷绝缘部分有无破损或闪络放电痕迹。

(3) 熔体有氧化、腐蚀或破损时，应及时更换。

(4) 检查熔体管接触处有无过热现象，导电部分有无熔焊、烧损，影响接触的现象。

(5) 有熔断信号指示的熔断器，其指示是否保持正常状态。

(6) 熔断器上、下触头处的弹簧是否有足够的弹性，接触面是否紧密。

(7) 经常清理熔断器上及夹子上的灰尘和污垢，应用干净的布擦干净。

(二) 熔体更换

(1) 更换熔体时，不要使熔体受到机械损伤和扭拉，因熔体一般软而易断，容易发生裂痕或减小截面，将可能出现电气设备正常运行时熔体却熔断，造成停电影响设备正常运行。

(2) 更换熔体时必须根据熔体熔断的情况，分清是因短路电流，还是长期过负荷引起的，以便分析故障原因，过负荷电流比短路电流小得多，使熔体发热时间较长，熔体的小截面处过热，导致多在小截面处熔断，并熔断的部位较短；短路电流比过负荷电流大得多，熔体熔断较快，而熔断的部位较长，甚至大截面部位也会全部烧光。

(3) 更换熔体时，应注意熔体的电压值、电流值及熔体的片数，并使熔体与管子相配，不能将不相配的熔体硬拉硬弯装在不相配的管子中，更不能随便找一根铜线或熔丝配上凑合使用。

(4) 更换熔体时，要区分是过载电流熔断，还是在分断极限电流时熔断。若熔断时响声不大，熔体只在一两处熔断，且管子内壁未有烧焦现象，也未有大量的熔体蒸气附着在管壁上，一般认为是过载电流熔断；若熔断时响声特别大，有时看见两端有火花，管内熔体熔成很多小段（装有两片熔体时，将两片熔体熔在一起），管子内壁有大量的熔体蒸气附着，有时管壁有烧焦痕迹，甚至在接触装置上也有熔渣，将可能是分断极限电流熔断。

(5) 对于封闭管式熔断器，管子不能用其他绝缘管代替，否则易于炸裂管子，发生人身伤害事故，也不能在熔断器管子上钻孔，以免造成灭弧困难，可能会喷出高温金属和气体，对人身和周围设备是非常危险的。

(6) 一般应在不带电的情况下，取下熔断器管进行更换。有些熔断器允许在带电的情况下取下，但应将负载切断，以免发生危险。

(7) 检查熔断器与其他保护的配合关系是否正确，更换时要保证接触良好，如果接触不好将会使接触部分过热，而热量传至熔体，使熔体温度过高引起误动作。由于接触不良有时产生火花，将会干扰弱电装置。

(三) 常见故障

1. 熔体过早熔断

(1) 熔体选得太小，特别是电动机起动过程中发生过早熔断，使电动机不能正常起动。

(2) 熔体变形或变色，表明该熔体曾已过热。熔体的形状直接影响熔体的熔断特性，人为的改变其形状将使熔体过早熔断。

2. 熔体不能熔断 熔体选得过大，特别是更换熔体时，增大了熔体的电流等级或用其他金属丝（如铜丝）代替，当线路发生

短路时，熔体不能熔断，这样对线路或电动机起不到保护作用，严重时将会烧坏线路或电动机。

（四）使用维修注意事项

（1）正确选择熔体，应根据各种电器设备用电情况（电压等级、电流等级、负载变化情况等）来选择熔体，在更换熔体时，要按规定换上相同型号、尺寸、材料、电流等级的熔体。

（2）在安装和维修中，特别是在更换熔体时，装在熔管内熔体的额定电流不允许大于熔管的额定电流。

（3）熔体两端的固定螺钉应无滑扣现象，保证熔体接触良好。更换熔丝时，应按顺时针方向弯出熔丝，这样紧固螺钉时，熔丝不会被挤出来。安装熔丝时，不要划伤、碰伤熔丝，更不应随便改变熔丝的外形尺寸。

（4）安装熔断器时，应先放好弹簧垫或钢纸垫后再拧紧螺钉，不要用力太猛，以免损坏瓷底座。

（5）不应随意改变熔断器的工作方式，在熔体熔断后，应按熔管端头上所标明的熔管规格，换上相应的新熔管。而不准用一根熔丝搭在熔管的两端，装入熔断器内凑合使用。

（6）在安装螺旋熔断器时，应将连接插座底座触头的接线端安装在上方（上线），并与电源线连接；将连接瓷帽、螺纹壳的接线端安装到下方（下线），并与用电设备导线连接。这样在更换熔丝旋出瓷帽后，螺纹壳上不会带电，确保人身安全。

（7）更换熔体时，必须切断电源，不准带电特别是带负荷拔出熔体，以避免发生人身事故。

（8）在维修短路保护线路时，应注意下列几点：

1) 对变压器中点接地的三相三线制或三相四线制供电线路，电动机主回路必须采用短路保护。

2) 对不同性质的负载（如主回路、控制回路、照明回路、指示回路等）应分别保护，对小容量电动机的控制回路可用主回路的熔断器作短路保护。

3) 对容量较小且容量相差不大的二台或三台电动机可采用

一组共用的熔断器作短路保护；但对容量较大且容量相差较大的几台电动机的分支电路必须分别进行短路保护。

在共用一组熔断器作为一个末端支路的短路保护时应符合下列条件：

- ①给末端支路馈电线路的最大额定电流不大于 100A。
- ②每台电动机要有单独的过载保护装置。
- ③各个电动机线路的载流量应等于给末端支路馈电线路的载流量。
- ④在有分支电路中，熔体的熔断动作应有选择性，前一级熔体的额定电流必须大于分支电路的熔体额定电流。
- ⑤在以下线路中，不准接入熔断器；即①接地线路中；②三相四线制的中性线路中；③直流电动机的励磁回路。

第四节 断 路 器

断路器（又称自动开关）是一种不仅可以接通、分断电路，又能对负荷电路进行自动保护的开关电器。当负荷电路发生短路、过载、电压过低等故障时，能够自动切断电路，也可用来不频繁地起动电动机及操作或转换电路。

一、断路器的选用

（一）选择的一般原则

- （1）断路器的额定工作电压 \geq 线路额定电压。
- （2）断路器的额定电流 \geq 线路计算负荷电流。
- （3）断路器的额定短路通断电流 \geq 线路中可能出现的最大短路电流。
- （4）线路末端单相对地电流 ≥ 1.25 倍断路器瞬时（或短延时）脱扣器整定电流。
- （5）断路器欠电压脱扣器的额定电压=线路额定电压。
- （6）具有短延时的断路器，如带欠电压脱扣器，而脱扣器必须是延时的，其延时时间 \geq 短路延时时间。
- （7）断路器的分励脱扣器的额定电压=控制电源电压。

(8) 电动传动机构的额定工作电压=控制电源电压。

(9) 校核断路器的接线方向,若端子上标明或已规定只能上进线,而安装不可采用下进线,而母联开关必须选用下进线的断路器。

(二) 配电用断路器的选择

配电用断路器主要用作电源开关和负荷支路开关,选择时除应考虑以上原则外,还应满足把系统的故障限制在最小范围之内,以免发生故障扩大停电范围,因此还应考虑以下几点:

(1) 断路器的长延时动作电流整定值 \leq 导线允许载流量,一般可取导线、电缆允许载流量的80%。

(2) 3倍长延时动作电流整定值的可返回时间 \geq 线路中最大起动电流的电动机的起动时间。

(3) 短延时动作电流整定值 $\geq 1.1(I_{js} + 1.35KI_{ed})$

式中 I_{js} —— 线路计算负荷电流 (A);

I_{ed} —— 电动机额定电流 (A);

K —— 电动机起动电流倍数。

(4) 瞬时电流整定值 $\geq 1.1(I_{js} + K_1I_{edm})$

式中 K_1 —— 电动机起动电流的冲击系数,一般取 $K_1 = 1.7 \sim 2$;

I_{edm} —— 容量最大一台电动机的额定电流 (A)。

(5) 短延时时间阶梯,可随配电系统的分段而定,一般取2~3级,每级之间的短延时时差为0.1s~0.2s,随断路器短延时机构的动作准确度而定,其可返回时间应保证各级的选择性动作。选定短延时阶梯后,最好按保护对象的热稳定度加以校核。

(三) 电动机、导线保护用断路器的选择

(1) 长延时电流整定值=电动机额定电流。

(2) 瞬时整定电流,对笼型电动机,瞬时整定电流=(8~15)倍电动机额定电流;对绕线转子电动机,瞬时整定电流=(3~6)倍电动机额定电流。

(3) 6倍长延时电流整定值的可返回时间 \geq 电动机实际起动时间,按起动时负载轻重,可返回时间可选用1、3、5、8、15s中

的一档。

(4) 对室内配电系统中照明、生活用导线保护用断路器应满足下列要求:

- 1) 长延时整定值 \leq 线路计算负荷电流。
- 2) 瞬时动作电流整定值 $= (6\sim 20)$ 倍线路计算负荷电流。

二、断路器的安装使用

(一) 安装

断路器的正确安装,直接关系到使用性能和安全,安装时应注意下列事项:

(1) 安装前要检查断路器的规格是否符合使用要求,机构动作是否灵活、可靠。

(2) 安装前应测量断路器的绝缘电阻,其阻值不得小于 $10M\Omega$,否则应进行干燥处理。

(3) 应按规定的方向(如垂直)安装,否则将会影响脱扣器动作的准确性及通断能力。

(4) 安装要平稳,否则对塑料式断路器会影响脱扣动作,对抽屉式断路器可能影响二次回路连接的可靠性。

(5) 安装时应按规定在灭弧罩上部留有一定的飞弧空间,以免产生飞弧。对于塑料式断路器进线端的裸母线应包 $200mm$ 长的绝缘物,有时还应在进线端的各相间加装隔弧板。

(6) 电源进线应接在灭弧室一侧的接线端上(上母线上),接至负载的出线应接在脱扣器一侧的接线端上(下母线上),并选择合适的连接导线截面,以免影响过电流脱扣器的保护特性。

(7) 安装塑料式断路器,其操作机构在出厂时已调试好,而拆装盖子时操作机构不得串换。

(8) 带插入式端子的塑料式断路器,应装在金属箱内(只有操作手柄外露),以免操作人员触及接线端子而发生事故。

(9) 对设有接地螺钉的断路器,均应可靠接地。

(二) 使用

1. 与相邻电器的协调配合使用

(1) 断路器的长延时过电流脱扣器的特性应低于被保护对象（如导线、电缆、电动机、变压器等）的允许过载特性。

(2) 低压侧主开关短延时过电流脱扣器与高压侧过电流保护继电器的配合级差为 $0.4s \sim 0.7s$ ，随保护继电器而定。

(3) 低压侧主开关过电流脱扣器的保护特性应低于高压侧熔断器的熔化特性。

(4) 上级断路器的保护特性与下级断路器的保护特性不得相交。当为级联保护方式时，可以交叉，而交点短路电流应为下级断路器的 80%。

(5) 上级断路器的短延时整定电流 ≥ 1.2 倍下级断路器的短延时或瞬时整定电流。

(6) 上级断路器的瞬时整定电流 ≥ 1.1 倍下级断路器进线处的短路电流 $<$ 断路器的延时通断电流。

(7) 具有短路延时的断路器如果带欠电压脱扣器，但必须是有延时的，而延时时间 \geq 短路延时时间。

2. 与熔断器协调配合使用

(1) 如果将断路器与熔断器组合在一起配合使用，使断路器分断过载电流和较小的短路电流，使熔断器分断较大的短路电流，作为断路器的后备保护。

(2) 在出现较大的短路电流时，必须保证熔断器先于断路器分断。当断路器有一定的短延时，是能够实现的。

3. 接用

(1) 单独接用断路器 适用于从变压器二次侧引出的低压供电干线，在电源侧先接刀开关，再接断路器，最后接用电负荷，这样可以保证检修断路器时的安全。

(2) 断路器与接触器配合 适用操作频繁的控制电路，在电源侧先接断路器，后接接触器，再接热继电器，最后接用电负荷，这样可用断路器作短路保护，用接触器作电路控制，用热继电器作过载保护。

(3) 断路器与熔断器配合 适用于带热脱扣器的断路器，在

电源侧先装熔断器，再接断路器，最后接用电负荷，这样用熔断器作短路保护，用断路器作电路控制。

（三）维护

（1）使用前应扫清断路器上的尘土，擦去各电磁铁工作面的防锈油脂，并检查各紧固螺钉有无松动。

（2）使用时不应随意调整各脱扣器的整定电流、铁心气隙、活动部件间的距离和调整螺钉等，以免影响脱扣器的动作特性而引起误动作或发生事故。

（3）若断路器有双金属片脱扣器，工作场所的温度比较高时应降容使用；若脱扣器的工作电流与整定电流不符，应进行调整后才能使用。

（4）有双金属片脱扣器时，由于过载而分断后，不得立即“再扣”，一般在冷却 1min~3min，使双金属片复位后才能“再扣”。

（5）操作机构使用 1~2 年，应在传动机构部位添加润滑油

（6）定期检修，清除其粉尘和异物。

（7）检修时必须在不带电的情况下合、分闸数次，以检验动作的可靠性。

（8）检查触头接触面的状况，是否有污垢、烟灰、毛刺或磨损严重。

（9）检查各脱扣器的电流整定值和延时，对于半导体脱扣器应用试验按钮检查动作情况。

（10）对分断过短路电流或长期运行的灭弧室，应清除其内壁和栅片上的黑烟灰和金属颗粒。

三、断路器的运行和常见故障处理

（一）运行中巡视检查

断路器除了在投入运行前进行一般性的检查外，在运行一段时间后，还应经常巡视检查以保证正常工作状态。

（1）检查所带的正常最大负荷电流是否超过断路器的额定值。

(2) 检查触头系统和导线连接点处有无过热现象，对有热元件保护装置的更要特别注意。

(3) 检查电流分合闸状态、辅助触头与信号指示是否符合要求。

(4) 监听断路器在运行中是否有异常响声。

(5) 检查传动机构有无变形、锈蚀、销钉松脱现象，弹簧是否完好。

(6) 检查相间绝缘、主轴连杆有无裂痕，表面剥落和放电现象。

(7) 检查脱扣器工作状态，整定值指示位置与被保护负荷是否相符，有无变动，电磁铁表面及间隙是否正常、清洁，短路环有无损伤，弹簧有无腐蚀，脱扣线圈有无过热现象和异常响声。

(8) 检查灭弧室的工作位置有无受振动而移动，有无破裂和松动情况，外观是否完整，有无喷弧痕迹和受潮现象，是否有因触头接触不良而发出放电响声。

(9) 当灭弧室损坏时，无论是多相还是一相，都必须停止使用，以免在断开时造成飞弧现象，引起相间短路而扩大事故范围。

(10) 当发生长时间的负荷变动时，应相应调节过电流脱扣器的整定值，必要时可更换开关或附件。

(11) 检查绝缘外壳和操作手柄有无裂损现象。

(12) 检查电磁铁机构及电动机合闸机构的润滑情况，机件有无裂损现象。

(13) 在运行中发现过热，应立即设法减少负荷，停止运行并做好安全措施。

(二) 常见故障与处理

1. 手动操作断路器触头不能闭合

(1) 失压脱扣器无电压或脱扣线圈烧坏，应检查线路电压，如正常可更换线圈。

(2) 贮能弹簧变形，导致闭合力减小，应更换弹簧。

(3) 机构不能复位再扣，应调整再扣接触面至规定值

(4) 反作用弹簧力太大，应重新调整弹簧压力。

2. 电动操作断路器触头不能闭合

(1) 操作电源电压不符，应调整或更换电源。

(2) 电源容量不够，应增大操作电源容量。

(3) 电磁铁拉杆行程不够，应重新调整或更换拉杆。

(4) 电动机操作定位开关失灵，应重新调整开关。

(5) 控制器中整流管或电容器损坏，应更换元件。

3. 有一相触头不能闭合

(1) 一相连杆断裂，应更换连杆。

(2) 限流开关拆开机构的可拆连杆之间的角度变大，应调整到原来数值。

4. 分励脱扣器不能使断路器分断

(1) 线圈断路，应更换线圈

(2) 电源电压过低，应检查并调整电源电压

(3) 再扣接触面太大，应重新调整。

(4) 螺钉松动，应紧固螺钉

5. 失压脱扣器不能使断路器分断

(1) 反力弹簧力变小，应调整弹簧弹力。

(2) 机构卡住，应排除卡住故障。

(3) 如为贮能释放，是贮能弹簧断裂或弹簧力变小，应调整或更换弹簧。

6. 起动电动机时断路器立即分断

(1) 过电流脱扣器瞬时整定值太小，应调整过电流脱扣器瞬时整定弹簧。

(2) 脱扣器反力弹簧断裂或落下，应更换或重新安装弹簧。

(3) 脱扣器的某些零件损坏，应更换脱扣器或零件

7. 断路器闭合后一定时间自动分断

(1) 过电流脱扣器长延时整定值不对，应重新进行调整或更换。

(2) 热元件或半导体延时电路元件变质，应更换元件。

8. 失压脱扣器噪声

(1) 反力弹簧力过大，应重新调整弹簧。

(2) 铁心工作表面有污油，可清除污油。

(3) 短路环断裂，应更换衔铁或短路环。

9. 温升过高

(1) 触头压力过分降低，应调整触头压力或更换弹簧。

(2) 触头表面磨损严重或接触不良，应更换触头或断路器。

(3) 两个导电零件连接螺钉松动，应拧紧螺钉。

(4) 过负荷，应立即设法减轻负荷。

(5) 触头表面氧化或有污油，可清除氧化膜或污油。

第五节 漏电断路器

漏电断路器用于低压电路中作为防止人身触电和防止漏电引起的火灾、电气设备烧损及爆炸事故，主要功能是提供间接接触保护。

常用漏电断路器有电压型和电流型两类，而电流型又分为电磁式和电子式两种。

电压型漏电断路器用于变压器中性点不接地的低压电网，其特点是当人身触电时，零线对地出现一个较高的电压，使继电器动作，电源开关跳闸。

电流型漏电断路器主要用于变压器中性点接地的系统，其特点是当人身触电时，由零序电流互感器检测出一个漏电电流，使继电器动作，电源断路器跳闸。

常用的保护方式有在变压器二次侧进行总保护，在线路末端进行末端保护及多级保护。

一、漏电断路器的选用

(一) 根据使用目的及电气设备所在场所来选择

漏电断路器用于防止人身触电，应根据直接接触和间接接触两种触电防护的不同要求来选择

1. 直接接触触电防护 因直接接触触电的危害性较大,所以要选择灵敏度较高的快速动作漏电断路器,对电动工具、移动式电气设备和临时线路,应在回路中安装动作电流为 30mA,动作时间在 0.1s 之内的漏电断路器。对家用电器较多的居民住宅,最好在进户线电度表后安装动作电流为 30mA,动作时间在 0.1s 之内的小容量漏电断路器。若一旦触电容易引起二次伤害(如高空作业),应在供电回路中安装动作电流为 15mA,动作时间在 0.1s 之内的漏电断路器。对于医院中的电气医疗设备,应安装动作电流为 6mA 的快速动作漏电开关。

2. 间接接触触电防护 不同场所的间接接触触电,对人身造成不同程度的伤害,所以,不同场所的用电设备应安装不同的漏电断路器。对容易触电的危险性较大的场所,要求使用灵敏度高的快速动作漏电断路器。在潮湿场所触电的危险性比干燥场所要大得多,一般应安装动作电流为 15mA~30mA,动作时间在 0.1s 之内的漏电断路器。

对位于水中的电气设备,如游泳池的照明电路,人触电后会引起心室颤动或溺水的危险,应使用工作电压低于 36V 的电气设备,安装动作电流在 15mA 以下,动作时间在 0.1s 之内的漏电断路器,或安装动作电流在 6mA~10mA,带反时限特性的漏电断路器。

对于操作人员必须站在金属物体上(或在金属容器内)操作电气设备,只要电压高于 24V,就应安装动作电流在 15mA 以下的漏电断路器。

对露天和潮湿场所,应安装动作电流为 15mA~30mA,动作时间在 0.1s 之内的漏电断路器,或安装动作电流在 10mA 以下,带反时限特性的漏电断路器。

对电压为 220V 或 380V 的固定电气设备,当外壳接地电阻在 500Ω 以下时,单机可选用动作电流为 30mA,动作时间为 0.1s 的漏电断路器;对额定电流在 100A 以上的大型电气设备或带有多台用电设备的供电回路,可选用动作电流为 50mA~100mA 的漏

电断路器，对用电设备的接地电阻在 100Ω 以下时，可选用动作电流为 $200\text{mA} \sim 500\text{mA}$ 的漏电开关；对较重要的电气设备，可选用长延时漏电断路器。

(二) 根据电路和设备的正常泄漏电流来选择

为保证人身安全，希望漏电断路器的灵敏度越高越好，而无限制地提高其灵敏度也是不合适的。如漏电断路器的动作电流小于线路和设备的正常泄漏电流，会引起漏电断路器不能正常运行，还会造成经常误动作而影响供电的可靠性，因此，不同电气设备和不同线路所安装的漏电断路器，其动作电流应满足以下要求：

(1) 单机配用的漏电断路器，动作电流 $>$ 设备正常运行条件下，实测最大泄漏电流的 4 倍。

(2) 分支路的漏电断路器，动作电流 $>$ 线路正常运行条件下实测最大泄漏电流的 2.5 倍，同时，漏电断路器动作电流 $>$ 其中泄漏电流最大的一台用电设备的实测泄漏电流的 4 倍。

(3) 主干线或全网总保护的漏电断路器，动作电流 $>$ 电网正常运行条件下实测泄漏电流的 2.5 倍。

(4) 若不易测得线路和设备的泄漏电流数据，可按经验公式选择漏电断路器的动作电流。

三相三线制或三相四线制动力回路或动力、照明混合回路为

$$I_{\Delta n} \geq \frac{I_H}{1000}$$

照明回路和居民生活用电回路为

$$I_{\Delta n} \geq \frac{I_H}{2000}$$

式中 $I_{\Delta n}$ 漏电断路器的动作电流 (A)；

I_H 电路的最大实际供电电流 (A)。

(三) 动作特性的选择

电网的漏电保护，采用二级保护较好。第一级是全网保护，当电网发生接地漏电故障时，漏电断路器切除电源，消除触电隐患；第二级是线路末端或分支回路的保护，用来防止人身触电事

故。

全网保护用的漏电断路器，动作特性的选择必须考虑配电变压器的容量和电网电流。

(1) 100kV·A 以下配电变压器的总出口线上或 150A 以下的主干线上，应安装动作电流为 100mA～300mA 的漏电断路器。

(2) 100kV·A 以上配电变压器的总出口线上或 150A 以上主干线上，应安装动作电流为 300mA～500mA 的漏电断路器。

(3) 全网保护可用动作时间为 0.1s 的快速动作型漏电断路器，为避免电压干扰，应具有在冲击电压下不能引起误动作，或用延时为 0.2s 的短延时型漏电断路器。

二、安装和接线方法

(一) 安装注意事项

(1) 安装前应检查漏电断路器铭牌上的数据是否与使用要求相符，并操作数次，观察动作是否灵活，有无卡住现象。

(2) 漏电断路器不得安装在高温、潮湿和粉尘较多的场所，也不宜安装在受阳光直射、有剧烈振动或可能受到冲击的场所。

(3) 应按照漏电断路器的外壳上标有电源端和负载端进行接线，严禁将进、出线接反。

(4) 漏电断路器不得靠近大电流母线，距离交流接触器不应小于 200mm。

(5) 不应将设备的接地线穿入漏电断路器的零序互感器内。

(6) 漏电断路器动作电流大于 15mA 时，应将电气设备的外壳可靠接地。

(7) 安装完毕后，不得以人身作试验，以免发生触电事故，也不应用兆欧表测量负荷侧的端子间的绝缘电阻，以免将兆欧表的高电压加在漏电断路器上。

(二) 接线方法

使用中应根据电力系统的具体情况,正确选择漏电断路器。接线时应分清电路系统的保护方式,是接地保护还是接零保护。要了解所保护的用电设备是单相、两相还是三相,再根据选定的漏电断路器来选择正确的接线方法。

(1) 单相两线或两相两线漏电断路器的正确接线,如图 12-1a 所示。

(2) 三相三线漏电断路器的正确接线,如图 12-1b 所示。

(3) 三相四线漏电断路器用于直接接地系统时,正确接线如图 12-1c 所示。

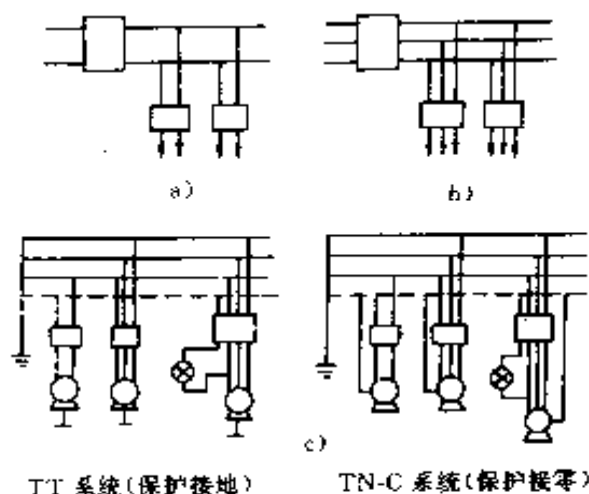


图 12-1 漏电保护器正确接线示意图

三、常见故障与排除

(一) 刚投入运行就动作跳闸

(1) 线路泄漏电流过大而引起误跳闸,应检查线路的绝缘电阻。

(2) 三相电源线(包括零线)未在同一方向穿过零序电流互感器,应改正接线。

(3) 装漏电断路器或未装漏电断路器的线路混接在一起,可将两种电路分开。

(4) 零线在漏电断路器后不适当的重复接地(尤其当零序电流互感器装在中性线上时)应取消重复接地。

(5) 线路上接有一线一地负荷,应拆除这种负荷。

(6) 漏电断路器本身有故障,应进行检修或更换漏电断路器。

(7) 用电设备外壳的接地线与工作零线相连引起误动作,可将接地线与工作零线断开。

(二) 误动作

(1) 接线错误，由于用电设备接线错误，相邻分支零线相互连接和漏电开关极数选择不对而引起误动作。在三相四线制电路中，照明和动力合用电路，错误地选用三极漏电断路器，单相负荷零线直接接到开关电源侧引起误动作。

(2) 接地不当，如零线重复接地，自耦变压器接地点分流，零序电流互感器回路中，有金属管电缆时其金属管接地不当，也会引起误动作。

(3) 过电压，如电路中发生雷击过电压和操作过电压，应换上延时型或冲击电压不动作型漏电断路器，或在触点之间并联电容、电阻以抑制过电压，也可在线路中接入过电压吸收装置。

(4) 电磁干扰，若附近有磁性设备接通或大功率电器开合，将安装位置远离上述设备。若零序电流互感器和脱扣线圈分开装两处，连接导线过长，又在强电场或强磁场附近，将连接导线尽可能缩短，并绞合在一起穿入铁管，或采用屏蔽导线，且屏蔽部分接地。

(5) 环流影响，若两台配电变压器并联运行，每台变压器的中性点各有接地线，因两台变压器的内阻不会完全相等，接地线中产生环流，应拆除一根接地线，使两台变压器共用一个接地极。

同一变压器通过两条并联回路对同一负载供电，由于两分支的电流不可能完全相同，在回路中也会出现环流，将负荷分成两组，分别由两支路供电，尽可能不要使两台漏电开关并联使用。

(6) 汞灯和荧光灯回路的影响，若汞灯或荧光灯与镇流器分开安装，而灯与镇流器的距离较大，对地电容较大，且灯管电压是高频波，对地容抗小，使充电电流增大。当回路中灯较多时，充电电流会使漏电开关误动作，应减少灯的数量，缩短灯与镇流器的距离，或采用一、二次侧绝缘的镇流器，而不要采用自耦式镇流器。

(7) 工作零线的绝缘电阻过低，如多个分支的零线对地绝缘电阻过低，当一负载三相不平衡时，在零线上有较大的工作电流，并经大地流向其他分支路，从而在各个漏电开关上都能测出漏电

电流，使开关误动作，应重视工作零线的绝缘水平。

(8) 过载或短路的影响，若漏电开关有过电流保护、短路保护，当过电流短路保护脱扣器的电流整定不合适而引起误动作，应重新调整动作电流与工作电流相匹配。

第六节 接 触 器

接触器是用来接通或断开电路，具有低电压释放保护作用，适用于频繁操作和远距离控制。主要控制对象是电动机和其他电力负载，如电热设备、电容器等。

一、接触器的选用

选择接触器应根据不同的使用条件，正确选择产品类型和容量等级，才能保证接触器在控制系统中长期可靠运行。接触器主触头的额定电流应大于或等于电动机的额定电流，在频繁操作时，或用于频繁正反转及反接制动时，决定接触器容量时必须考虑电动机的起动电流、通电持续率。为防止主触头的烧蚀和过早损坏，应将触头的额定电流降低使用，一般可降低一个电流等级或选大一档。

吸引线圈允许在额定电压的 85%~105% 范围内正常使用，其电压等级有 36、110、127、220、380V 等，可根据控制回路的电压等级来选择。

接触器使用在不同的工作电压时，一般按控制功率相等的原则计算工作电流。在较低的工作电压下的工作电流不得超过同一接触器的额定发热电流；最高工作电压不能超过接触器的额定绝缘电压；在较高的工作电压下，接触器的控制功率可能有所增加或降低，主要取决于其触头系统性能的好坏，可根据不同工作电压的控制功率来进行选择。

二、安装接触器注意事项

(一) 安装前

(1) 检查铭牌与线圈的技术数据，如额定电压、电流，操作频率和通电持续率等是否与实际使用要求相符。

(2) 检查外观有无损伤，并用手推动其活动部分，应动作灵活，无卡住现象。

(3) 对新买来或搁置时间较长的接触器，应用汽油擦净铁心极面上的防锈油脂，或清除粘结在极面上的锈垢。

(4) 检查与调整触头的开距、超程、初压力、终压力，并使各极触头动作同步，接触良好。

(5) 用兆欧表测量线圈的绝缘电阻，应不小于 $15\text{M}\Omega$ ，并测量线圈电阻。

(二) 安装时

(1) 按规定留有适当的飞弧空间，防止飞弧烧坏相邻元件，并要求在飞弧距离内，严禁有任何物体。

(2) 一般安装在垂直面时，其倾斜度不应大于 5° ，以免影响动作特性。

(3) 安装接线时，严禁将零件掉入电器内部，安装孔的螺钉应装有弹簧垫圈与平垫圈，且紧固防止松脱。

(4) 对于有接线极性要求的直流接触器，必须严格按照规定的极性连接。大额定电流接触器的直流操作线圈与电源的连接线若太长，应选用加大截面的导线，避免由于连接导线压降太大而影响可靠地吸合。

(三) 安装后

(1) 灭弧室应完整无缺并固定牢靠，不允许不带或带破损灭弧室运行。

(2) 检查接线正确无误后，应在主触头不带电的情况下试操作数次，观察动作正常后，才能投入实际运行。

(3) 对控制电动机正反转的接触器，检查机械和电气联锁是否可靠。

三、运行与维修

(一) 巡视检查

(1) 通过接触器的负荷电流应在额定电流值之内，可观察电流表或用钳形电流表测量。

(2) 接触器的分、合信号指示与电路所处状态是否一致。

(3) 灭弧室内有无接触不良, 让产生放电声, 灭弧室有无松动或裂损。

(4) 电磁线圈有无过热现象, 电磁铁上的短路环有无断裂或松脱。

(5) 与导线连接点有无过热现象。

(6) 辅助触头是否有烧蚀现象。

(7) 铁心吸合是否良好, 有无过大的噪声, 返回位置是否正常。

(8) 绝缘杆有无损伤或断裂。

(9) 周围环境有无不利于正常运行的情况, 如有无导电粉尘, 过大振动和通风是否良好。

(二) 定期检查

在接触器运行一段时间后, 应在主电路、线圈电路和辅助电路停电的情况下, 进行定期检查。

(1) 外观检查, 外壳有无裂损, 紧固件有无松动, 接地线是否完好, 应清除污物并擦拭干净。

(2) 主触头检查, 对于银或银基合金触头, 使用中出现氧化或硫化发黑属于正常现象, 如触头烧毛, 会影响接触, 应用细锉修整, 严禁用砂布研磨触头接触表面, 使砂粒嵌入而引起严重发热或损伤; 如触头严重开焊、脱落或磨损厚度达到原厚度的 $3/4$, 应予更换; 对于铜或铜基合金触头, 当发现严重氧化或烧毛, 可用细锉修整, 并检查和调整开距、超程、触头压力和三相的同步性。

(3) 辅助触头检查, 触头有无卡住或脱落, 弹簧和活动部件有无断裂, 并用万用表检查触头是否接触良好, 如有严重磨损, 应及时更换新触头。

(4) 灭弧罩检查, 摘下灭弧罩, 清除内部烟尘; 如内壁附有金属颗粒, 应予以铲除。对栅片式灭弧罩, 应检查栅片有无脱落, 如有金属颗粒将栅片短接, 应将其剔除; 如栅片严重烧损, 应及

时更换灭弧罩。

(5) 铁心检查, 当发现运行时噪声很大, 应检查短路环是否断裂或烧损。清理铁心磁极面上的污垢和锈斑, 检查铆钉是否切头, 叠片有无松开, 缓冲弹簧和橡胶件等是否完好, 安装位置是否正确。

(6) 线圈检查, 线圈温升是否过高, 表面是否有焦脆或发黑现象, 引出线是否完好, 若发现内部短路, 应更换线圈, 若有断线或接线端子开焊和虚焊, 应进行修复。

(三) 拆装与维护

(1) 拧松灭弧罩的固定螺钉, 摘下灭弧罩, 并检查有无炭化层, 如有, 可用锉刀刮掉, 并将内部清理干净。

(2) 用尖嘴钳拔出主触头的压力弹簧及动触头, 检查触头磨损情况。

(3) 拧松底盖的紧固螺钉, 取下盖板。

(4) 取出静铁心、铁皮支架、缓冲弹簧, 拔出线圈与接线桩之间的连接线。

(5) 从静铁心上取出线圈、反作用弹簧、动铁心和胶木支架。

(6) 检查动、静铁心接触是否紧密、短路环是否完好。

(7) 维护完后, 应将其擦拭干净。

(8) 按拆装的逆顺序进行装配。

(9) 对维修装配好的接触器, 应进行数次通断试验, 检查动作和接触情况。

(四) 试验和调整

(1) 检查接线正确后, 在主触头不带电的情况下, 通断数次检查动作是否可靠, 触头接触是否紧密。

(2) 接触器吸合后, 铁心不应发出噪声, 若铁心接触不良, 应进行调整, 将铁心找正, 并检查短路环是否完好, 弹簧松紧是否合适。

(3) 若有特殊要求, 应测量吸合和释放电压。

1) 测量吸合电压, 交流接触器的吸合电压为额定电压的 85%, 直流接触器为额定电压的 65% 时, 应可靠吸合。

2) 测量释放电压, 交流接触器的释放电压为额定电压的 30%~40%, 直流接触器为额定电压的 5%~10% 时, 应可靠释放。

(五) 常见故障与处理

1. 通电后不能吸合或吸不足

(1) 电源电压过低或波动过大, 应调高电源电压。

(2) 操作回路电源容量不足或断线、配线错误及控制触头接触不良, 可增加电源容量, 更改线路、修整控制触头。

(3) 线圈参数与实际使用条件不符, 应更换合适的线圈。

(4) 触头弹簧压力与超程过大, 按要求调整触头参数。

(5) 线圈断线或烧坏, 可动部分卡住, 转轴生锈或歪斜, 应更换线圈, 消除卡住现象, 检修受损零件。

2. 断电后不释放或释放缓慢

(1) 触头弹簧压力过小, 应调整弹簧压力或更换弹簧。

(2) 触头熔焊, 应减少拖动设备的负荷, 保证在额定状态下运行或重新选择大一级的接触器。

(3) 铁心极面上油污和粉尘过多, 应清理铁心极面的油污及粉尘。

(4) 可动部分卡住、转轴生锈或歪斜, 应排除卡住故障, 检修受损零件。

(5) 铁心接触面的防锈油未清除干净, 容易粘连, 擦净油污即可。

(6) 反力弹簧损坏, 应更换弹簧。

(7) E 形铁心的中间极面上的间隙逐渐消失, 剩磁增大, 使铁心不释放, 应更换铁心。

3. 触头熔焊

(1) 操作频率过高, 主触头频繁地受起动电流冲击, 应合理操作避免频繁起动, 或选择合适的接触器。

(2) 负载侧有短路点，吸合时有较大的短路电流通过主触头，应找出短路点，并排除故障。

(3) 触头弹簧压力过小，应调整弹簧压力。

(4) 触头表面有金属颗粒突起或异物，应清理触头表面。

(5) 主触头长期通过过负荷电流，应减小拖动设备的负荷，或重新选择合适的接触器。

(6) 操作回路电压过低，可提高操作电源电压。

(7) 可动部分卡住或有停滞现象，触头处于似接触非接触的位置上，应排除卡住现象，使接触器可靠吸合。

4. 触头过热或灼伤

(1) 操作频率过高或负荷过大，应减小负荷或选择合适的接触器。

(2) 触头的超程太小，可调整触头超程。

(3) 触头弹簧压力过小，可调高弹簧压力。

(4) 触头用于长期工作制，可将接触器降容使用。

(5) 触头上有油污，或表面凸凹不平，有金属颗粒突出。

(6) 三相触头动作不同步，应调整触头间隙使三相触头同步接触。

5. 触头严重磨损

(1) 三相触头动作不同步，应调整触头至同步。

(2) 负载侧短路，应找出故障处，消除故障。

(3) 在反接制动、操作频率过高或有多次密接操作的场合时，接触器选择不当，容量不足，应使接触器降容使用，选用繁重任务的接触器。

6. 线圈过热或烧坏

(1) 电源电压过高或过低，应调整电源电压。

(2) 操作频率过于频繁，应选择合适的接触器。

(3) 可动部分卡住，应消除卡住故障。

(4) 铁心极面不平或气隙过大，应修整极面或更换铁心。

(5) 使用环境温度过高或空气潮湿，含有腐蚀性气体，应选

用特殊设计线圈。

(6) 线圈质量不良或绝缘损坏，应更换线圈或排除损坏的故障。

(7) 线圈技术参数（如额定电压、频率、通电持续率或适用工作制等）与实际情况不符，应更换线圈或接触器。

7. 电磁铁噪声大

(1) 电源电压过低，电磁铁吸不住，应调高电源电压。

(2) 磁铁装配不当、歪斜或卡住，使电磁铁不能吸平，应进行调整，消除卡住现象。

(3) 极面生锈或粉尘、油污附着铁心极面，应清理铁心极面。

(4) 触头弹簧压力过大，应调整弹簧压力。

(5) 短路环断裂，应更换铁心或短路环。

(6) 线圈匝间短路，应更换线圈。

(7) 铁心极面磨损严重不平，应更换铁心。

8. 相间短路

(1) 尘埃堆积或粘有油污、水分、使绝缘变坏，应经常清理，保持干净。

(2) 灭弧罩等零件损坏，应及时调换损坏零件。

(3) 可逆转换时联锁不可靠，产生误动作，使两个接触器同时吸合，造成相间短路，应检查电气和机械联锁。

(4) 接触器动作过快，转换时间短，发生电弧短路，应更换动作时间较长的接触器，以延长可逆转换时间。

第七节 热继电器

热继电器是依靠电流通过发热元件所产生的热，使双金属片受热弯曲而推动机构动作的一种电器，主要用于电动机的过载保护。

一、热继电器的选用

热继电器主要用于电动机过载保护，因此在选用时必须了解电动机工作环境、起动情况、负载性质、工作制、允许过载能力。

其原则应使热继电器的安秒特性尽量与其接近，甚至重合电动机的过载特性，并在过载特性之下，电动机在短时过载和起动瞬间，热继电器不受影响。

（一）长期工作或间断工作的电动机

对于保护长期工作或间断工作的电动机时，一般情况下按电动机的额定电流来选取，使热继电器电流的整定值为 $0.95 \sim 1.05$ 倍电动机的额定电流；或选取热继电器整定电流范围的中值为电动机的额定电流，使用时可将旋钮调整到额定值即可。

（二）反复短时工作制电动机

对于保护反复短时工作制电动机时，热继电器仅有一定范围的适应性，当每小时的操作次数超过 40 次，可选用带速饱和电流互感器的热继电器。

（三）特殊工作制电动机

对正反转及通断频繁，特殊工作制电动机的保护，不宜采用热继电器作过载保护装置，可选用埋入电动机绕组的温度继电器或热敏电阻来保护。

二、安装、调试及维护

（一）安装注意事项

（1）热继电器安装的方向应与规定的方向相同，倾斜度不应超过 5° ，连接导线的截面积必须符合规定。

（2）当热继电器与其他电器装在一起使用时，应尽可能将它装在其他电器的下面，以免动作受发热的影响，热继电器的盖子要盖好。

（3）连接导线一般选用铜线，以免影响热元件的热状态。

（4）接线螺钉要拧紧，使触头接触良好，以免由于螺钉松动而使触头的接触电阻增大，造成热元件温升增高，引起保护特性不稳和发生误动作。

（5）安装完毕及投入运行前，应检查整定电流与实际要求是否相符。

（二）调试

(1) 安装前要检查热继电器的热元件的额定电流或调整旋钮电流的调节范围是否与电动机的额定电流相当, 若不相当, 应更换热元件, 重新进行调试或转动调整旋钮的刻度到符合要求。

(2) 动作机构应工作可靠, 一般可用手拨动几次进行观察, 再扣按钮应灵活。调整部件若有松动, 应予以紧固并重新进行调试。

(3) 多极继电器调整时, 先将刻度盘对准所需要整定的电流值, 再对各极分别进行快速调试, 并适当增大试验电流, 一般为 1.2 倍的额定电流, 持续时间约 30min, 最后将多极串联起来进行试验, 若动作时间不符合要求, 应同时对各极进行微调。

(4) 试验时, 将各相热元件串联, 向热继电器通入 1.05 倍额定电流, 待发热后, 再将电流增加到 1.2 倍额定电流, 约 2min~3min, 旋动电流调节凸轮使热继电器动作, 这时的动作电流即为热继电器的整定电流。

(二) 维护

(1) 应定期用布擦净尘埃和污垢; 使双金属片保持原有光泽, 若有锈迹, 可用布蘸汽油轻轻擦除, 但不应用砂纸磨光。

(2) 接线螺钉必须拧紧, 触头应接触良好, 盖板要盖好。

(3) 定期通电校验, 在设备发生事故而产生较大短路电流时, 应检查热元件和双金属片是否有明显变形, 如果变形应通电试验, 可进行调整, 但不准弯折双金属片。

(4) 检查热元件时, 不应将热元件取下, 只能打开盖子进行观察。

三、常见故障与处理

(一) 电动机烧坏, 热继电器不动作

(1) 热继电器的额定电流与电动机的额定电流不相符, 按电动机的容量来选用热继电器。

(2) 整定值偏大, 按要求合理调整整定电流值。

(3) 触头接触不良或触头失灵不能断开, 应清除触头表面的灰尘、油污或氧化物。

(4) 热元件烧断或脱焊, 应更换热元件或重新焊牢。

(5) 动作机构卡住，应进行调整，保证动作灵活。

(6) 可调整部件的固定松动，推杆或导板脱出，应紧固调整件，并重新调整试验。

(7) 双金属片已产生永久性变形，应更换双金属片，重新调整试验。

(二) 动作太快

(1) 整定电流值偏小，造成未过载就动作，按要求调整整定值。

(2) 电动机起动时间过长，在起动过程中动作，按起动时间要求，选用合适的热继电器，或在起动过程中将热继电器短接。

(3) 操作频率过高，应调整操作次数。

(4) 使用场所有强烈的冲击振动，应选择带防冲击振动的热继电器或采取防振措施。

(5) 环境温度相差太大，按温度相差的情况配置合适的热继电器，或将温度保持在 $+40^{\circ}\text{C}\sim-30^{\circ}\text{C}$ 。

(6) 连接导线太细，按要求选用导线。

(三) 动作不稳定、时快时慢

(1) 内部机构某些部件松动，应紧固各部件。

(2) 检修中弯折了双金属片，可用高倍电流预试几次，或将双金属片拆下来进行热处理，以去除内应力。

(3) 使用时电流波动太大，或接线螺钉松动，应加电压稳压器或紧固螺钉。

(四) 热元件烧断

(1) 负载侧短路，电流过大，应排除电路故障或更换热元件。

(2) 负载电流过大，应更换热继电器并重新调整整定电流。

(3) 操作频率过高，应合理选用热继电器。

(五) 主电路不通

(1) 热元件烧毁，应更换热元件。

(2) 接线螺钉松动，应拧紧接线螺钉。

(六) 控制电路不通

(1) 触头烧坏或动触片弹性消失，应更换触头或触片。

(2) 刻度盘或调整螺钉转不到合适的位置，将触头顶开，应调整刻度盘或调整螺钉。

第八节 电磁式控制继电器

继电器是按输入量的变化来转换执行机构的一种电器，广泛用于电力传动系统，起控制、放大、联锁、保护与调节的作用，以实现控制过程的自动化。

一、选用

电磁式控制继电器选用时，除线圈电压或线圈电流满足要求外，还要按被控制对象的电压、电流和负载性质及要求（如延时时间、脱扣电流倍数等）综合考虑来选择。如果控制电流超过继电器的额定值，可将触头并联使用，以提高长期允许通过电流。当需要提高分断能力时，可用触头串联方法，但触头有效数量减少。

二、安装使用和维护

为了保证继电器可靠运行和动作准确，除正确选用外，在安装使用、运行维护中应注意以下事项：

(一) 安装前的检查

(1) 校核继电器的铭牌数据，如线圈的额定电压、电流、整定值、延时等参数是否与实际使用要求相符。

(2) 检查活动部分是否动作灵活、可靠，外壳有无损坏或缺件等情况。

(3) 清除表面污垢、铁心极面的防锈油，使运行可靠。

(二) 安装接线检查

(1) 安装接线时，检查接线是否正确，导线是否合适，紧固螺钉，防止有松动现象。

(2) 在触头不带电的情况下，使吸引线圈通电试操作几次，观察动作是否可靠。

(3) 对时间控制要求较严时，要通电进行校准，并检查回路

系统所完成的程序是否达到要求。

(4) 对过电流、欠电压等保护用继电器应再次检查其整定值是否符合要求，待调整准确后，才能投入运行，以达到对电路和设备的可靠保护。

(三) 运行与维护

(1) 定期检查各零部件有无松动、破损、锈蚀；活动部分有无卡住现象，接线有无松脱，若有应及时处理或更换。

(2) 触头要保持清洁和接触可靠，如有较严重的烧损、出现毛刺等现象，应用小锉修整，且用四氯化碳或酒精擦净表面，还应调整好触头开距、超程、触头压力和反作用力等，当触头磨损 $1/3$ 厚度时，应予以更换。

(3) 整定值应在线圈额定温度下进行调整，以免冷态和热态下对动作值产生影响。

(4) 如发生温度的急剧变化，空气湿度增高、冲击振动增大及有害气体的侵害、粉尘突然增加等不符合使用环境要求时，都要有可靠的防护措施，以保证可靠工作。

(5) 经常监视运行情况，及时处理各种异常现象。

(6) 若触头磨损太快，应采用消火花电路。

三、调试

对无特殊规定的继电器，可参照交流接触器的方法进行调试，若有特殊要求，可单独调试继电器的吸合电压和释放电压，并按以下方法调整。

(1) 通过调整反力弹簧的松紧程度来调整吸合电压（或电流），一般反力弹簧压得越紧，吸合电压或电流越大；反之吸合电压或电流越小。

(2) 通过调整调节螺钉改变衔铁与铁心的初始气隙的大小来改变吸合电压或电流。一般气隙越大，吸合电压或电流越大，反之，吸合电压或电流越小。在反力弹簧和触头弹簧压力不变的情况下改变气隙，而释放电压（或电流）不变。在调整衔铁气隙和反力弹簧压力时，必须保证触头的超程，以免造成触头接触不良。

(3) 改变非磁性垫片的厚度来调整释放电压(或电流)。非磁性垫片越厚释放电压(或电流)及返回系数越大。反之,释放电压(或电流)及返回系数越小。在反力弹簧和触头弹簧压力不变的情况下,而调整非磁性垫片厚度,吸合电压(或电流)不变。非磁性垫片厚度在 0.1mm 以下时,最少要垫两片,而反力弹簧不应调得太松,以免铁心粘住。

第九节 起 动 器

起动器是用来控制电动机起动与停止的一种电器,由接触器、热继电器、按钮等按一定方式组合而成。具有过载、失压保护性能。

一、选用

三相异步电动机的起动问题是运行中的一个特殊问题。如起动方式选择不当,直接影响着被控制电动机负载的正常运行,又给电网带来不利的冲击。对于电动机的起动转矩小于负载阻力矩,使电动机无法起动,又会由于堵转而烧毁;若轻负载采用直接起动时,会因起动转矩过大而发生机械冲撞,造成设备事故。在大容量电动机起动或多台电动机同时起动,如电网容量较小,而起动电流将会给电网带来冲击,使线路压降增大,造成其他电气设备无法正常运行。因此,正确地选用电动机起动方式十分重要。

(1) 根据使用环境选择起动器的型式,开启式还是保护式。

(2) 根据线路要求选择起动方式,可逆式或不可逆式,有热保护或无热保护。

(3) 根据控制电动机的容量,选用哪一种起动器,如直接起动或降压起动。

(4) 起动器在长期工作制、间断工作制、反复短时工作制使用时,其操作频率却受到不同限制。对于带热继电器的起动器操作频率不应超过 60 次/h,不带热继电器的起动器,当通电持续率小于 40% 时,在额定负载下可达 600 次/h,如降容使用,可增加到 1200 次/h。

(5) 起动机有无断相保护作用，取决于所配用的热继电器是否具有断相保护功能。

二、安装使用注意事项

(一) 安装前检查

(1) 对起动机内各元件进行全面检查和调整，保证各参数符合要求。

(2) 清理元件上的灰尘及油污，并在可转动部分加上适量的润滑油，使各部分动作灵活，无卡住和损坏现象。

(3) 如果自装起动设备，要求各元件的布局合理，如热继电器宜放在其他元件下方，以免受其他元件的发热影响。

(4) 当采用开启式安装方式时，应留有足够的飞弧距离。

(5) 必须按规定的导线截面进行连接。

(二) 安装与调试

(1) 按规定的安装方式进行安装，必须紧固所有的安装与接线螺钉，防止零件脱落，导致短路或机械卡住事故。

(2) 起动机外壳应可靠接地，以免发生触电事故。

(3) 对自耦减压起动机，一般先接在 65% 抽头上，如发现起动困难、起动时间过长，可改接到 80% 抽头上。

(4) 按电动机实际起动时间调节时间继电器的动作时间，应保证在电动机起动完毕后及时地换接线路。

(5) 按电动机的额定电流调整热继电器电流的动作值，并作动作试验，应使电动机不仅能正常起动，又能最大限度地利用电动机的过载能力，还能防止电动机因超过极限容许过载能力而烧毁。

(6) 无触点起动机应安装在通风散热良好的场合，以保证冷却效果。

(三) 检修

(1) 检查负荷电流是否在允许范围之内，各导线连接点有无过热现象。

(2) 检查灭弧罩有无损伤，附件是否齐全，如有损坏，应及

时修复或更换。

(3) 主触头有无烧毛、熔焊或过热现象。

(4) 检查主触头的接触压力和三相触头接触是否同步。

(5) 触头压力弹簧长度是否一样，有无过热失效和氧化锈蚀现象。

(6) 检查并调整触头断开后的距离，不得超过 (10 ± 2) mm。

(7) 触头表面应光洁、平整、接触良好。

(8) 辅助触头应无氧化、烧毛、熔焊等现象。

(9) 磁铁应无过大噪声，铁心和线圈有无过热，短路环有无损坏。

(10) 磁铁接触面有无错位，固定螺钉是否有松动、位移等现象。

(11) 保护元件有无损伤、失灵现象。

(12) 检修后用兆欧表测量电磁线圈的绝缘电阻，不得低于 $1000\Omega/V$ 。

三、常见故障与处理

(一) 自耦减压起动器不能合闸，操作手柄无法停留在运转位置上。

(1) 热继电器的触头接触不良，停止按钮及连接线接头松动，可修整触头的接触面，紧固松动的导线接头。

(2) 热继电器的脱扣器动作，使起动器处于“停止”状态不能合闸，应检查脱扣器动作原因，重新合理调整脱扣器的动作电流。

(3) 失压脱扣器线圈开路，或电磁铁心，衔铁接触面脏污及短路环断裂，造成起动器不能吸合，应更换线圈或清洗修整电磁铁，更换短路环。

(4) 传动杠杆的调节螺钉松动或定位板上的压紧弹簧脱落，应紧固松动螺钉或装配好定位板上的压紧弹簧。

(5) 定位板上“运转”位置的缺口棱角磨损，造成手柄不能停留在“运转”位置上，应修整或更换定位板。

(二) 自耦减压起动器起动电动机后, 电动机运转太慢或正常运转前跳闸停转

(1) 自耦减压起动器上一般有两个或三个抽头, 通常用中间抽头或用电压低的抽头来降低起动电流。若电动机起动后运转太慢或根本不能起动, 可将抽头调换到电压最高档, 即抽头由 65% 调至 80% 位置。

(2) 开关触头行程超程和接触压力调整不当, 或三相触头动作不同步, 均有可能使起动器在电动机正常运转前跳闸, 应进行适当调整, 以免触头超程和三相触头不同步。

(3) 油箱内绝缘油变质、油量不够, 应更换或添加合格的绝缘油至油位线, 保证起动器触头的冷却和灭弧。

(4) 热继电器的工作电流调整偏小, 应重新调整热继电器的工作电流。

(三) 自耦减压起动器使电动机起动太快

(1) 自耦减压起动器的自耦变压器接在百分数较大的抽头位置上, 应将抽头从 80% 调到 65% 位置上。

(2) 自耦变压器绕组匝间短路, 可取下油箱上盖, 拆去电动机接线, 操作手柄合闸, 分别测量自耦变压器各相绕组的抽头电压, 电压低并过热的绕组即是短路绕组, 应更换绕组。

(3) 电路接线错误, 应检查电路接线。

(四) 自耦减压起动器运行中响声异常

(1) 自耦变压器铁心未夹紧, 硅钢片产生振动, 引起变压器发出“嗡嗡声”, 应将铁心夹紧。

(2) 自耦变压器绕组局部绝缘损坏, 也会发出“嗡嗡声”, 可用兆欧表测出绕组的绝缘损坏处, 修复绝缘或更换绕组。

(3) 开关触头接触不良, 使触头跳火产生“吱吱声”, 应修整或更换触头, 保证油箱有足够的绝缘油, 使触头得到正常的冷却和灭弧。

(4) 起动器绝缘损坏, 引起导电部分接地, 发生“爆炸声”, 并冒烟。故障发生后很容易发现短路点, 有弧光灼焦处, 应进行

绝缘处理，或更换起动器。

第十节 电 磁 铁

电磁铁是利用电磁吸力来操纵、牵引机械装置，以完成预期的动作，或用于钢铁零件的吸持固定，铁磁物的起重搬运等，是将电能转化为机械能的一种电器。

一、选用

- (1) 按控制系统电压来选择电磁铁的线圈电压。
- (2) 根据实际工作的要求选择型式，如拉杆式或推动式。
- (3) 按牵引对象的吸力和行程要求选择型号。
- (4) 要满足操作次数的要求。

二、使用和调整注意事项

(1) 安装前，应清除电磁铁的灰尘和脏物。对长期贮存未用的电磁铁要进行干燥处理。

(2) 有衔铁的电磁铁，应通电数次检查动作是否灵活，有无卡住现象，若有卡住应拆开衔铁，清除铁锈和污物，使衔铁与铁心完全吸合，以免交流线圈的电流增大，使线圈过热烧坏。

(3) 电磁铁应牢固地固定在底板上，而电磁铁推杆与制动器杠杆的连接可靠。

(4) 在配制新的制动器时，衔铁的行程应小于额定值，以免超程使吸引力大大减小。

(5) 要将衔铁的行程调整到规定行程之内，若行程过长，会使直流电磁铁的吸力大大减小，交流电磁铁线圈的电流增大，使线圈过热烧坏。

(6) 电磁铁的总负荷不得大于规定吸力，一般应小于 60% 的规定值。

(7) 通电前，应检查电流种类（交流或直流）、电压值、各线圈的连接极性和接线方式（并联或串联、三角形或星形接法），是否需要串接附加电阻。

三、检修注意事项

(一) 交流电磁铁

- (1) 铁心极面应清洁、光滑、中间铁心闭合时应有适当间隙。
- (2) 测量线圈的直流电阻是否符合铭牌数值，其误差不应超过 $\pm 5\%$ 。
- (3) 检查三相电磁铁的三个线圈的接线极性是否正确，接线是否符合要求。
- (4) 通电后，铁心与衔铁接触是否紧密吻合，有无歪斜、动作不灵活。
- (5) 三相电流、电压是否平衡，电流相差不得大于 15% 、电压相差不得大于 5% 。

- (6) 双抱闸的电磁铁，两个制动电磁铁的动作是否一致。
- (7) 电磁铁吸合时有无较大的异常响声。

(二) 制动电磁铁

- (1) 检查线圈电压是否正常，要求不得低于额定电压值 90% 。
- (2) 检查活动部分动作是否灵活，衔铁有无歪斜、卡住现象。
- (3) 要求铁心平整、无污垢，保证吸合时铁心到位并接触严密。
- (4) 螺栓连接是否牢固，短路环有无断裂。
- (5) 线圈有无烧坏，测量绝缘电阻和直流电阻，检查有无短路和接地现象。
- (6) 调整冲程，保持闸瓦与制动轮之间有合适的张开量。
- (7) 调整主弹簧的长度，保证制动器产生的制动力矩符合要求。
- (8) 检修后，应通电试验，核对是否符合要求。

(三) 电磁制动器

- (1) 在可动部位应经常添加润滑油。
- (2) 定期检查衔铁的行程长度，如果衔铁行程长度未达到正常值时，应进行调整，保证制动面与转盘之间的最小间隙。当衔铁行程长度大于正常值时，就有可能使吸力大大降低。
- (3) 更换制动面时，要重新调整制动面与转盘间的最小间隙。

(4) 经常检查各螺栓有无松动现象。

(5) 定期检查可动部分的磨损情况，并清除电磁铁表面的灰尘和污垢。

四、常见故障与处理

(一) 接通电源后衔铁不动作

(1) 电磁线圈断线，应修复或更换电磁线圈。

(2) 弹簧反作用力过大，应调整弹簧长度，装配时其长度不应超过规定值。

(3) 电磁铁冲程调整不当，可根据磁铁长、短冲程及不同型号的要求进行调整。

(二) 切断电源后衔铁不释放

(1) 电磁铁铁心中间极面铁心间隙被打平，产生较大的剩磁，使动、静铁心粘连，可用锉刀修整，使铁心中间极面保持少量的间隙。

(2) 可动部分有卡住现象，应排除卡住故障。

(3) 寒冷时铁心极面及活动部分积存过多冻结油脂而粘住，可清洗掉冻结的油脂，并涂适量的新油脂。

(三) 衔铁不能吸合或吸合不严

(1) 电源电压低于线圈额定电压的 85% 以下，造成电磁吸力不足，应调高电源电压达到线圈的额定电压。

(2) 气隙太大或衔铁行程过长，造成磁路磁阻过大而不能吸合，应调整气隙或衔铁行程长度。

(3) 线圈额定电压高于电源电压，使吸力不能达到额定值，应更换线圈。

(4) 弹簧反力过大或操作机构负荷太重，超过电磁吸力，应更换合适的弹簧。

(5) 衔铁动作不灵活，有卡住现象，应排除卡住故障，使衔铁动作灵活。

(6) 衔铁与铁心间有油垢、杂质堵塞，应清除油垢及杂质。

(四) 运行中噪声太大

(1) 电源电压过低，造成电磁吸力不足，使衔铁产生振动而发出噪声，应提高电源电压。

(2) 短路环断裂，应更换短路环。

(3) 电磁铁操作频繁，冲击力大，造成短路环损坏，应减少操作次数或更换合适的电磁铁。

(4) 弹簧反力过大，衔铁运动受阻，产生振动和噪声，应更换合适的弹簧。

(5) 磁极表面凹凸不平或磁极端面有杂质、锈层，使衔铁与铁心接触不良，产生振动和噪声，应修整磁极表面或清除端面杂质及锈层，保证衔铁与铁心接触良好。

(五) 线圈过热甚至烧坏

(1) 电源电压与线圈电压不符，当线圈电压低于电源电压时，使线圈温升增高而过热，可调整电源电压达到线圈额定电压。

(2) 线圈通电持续率与实际情况不符，应更换合适的线圈。

(3) 操作频率太高，使线圈受大电流冲击，应降低操作频率或更换合适的电磁铁。

(4) 衔铁吸不上（如卡住）或行程太长，使线圈严重发热，甚至烧坏，应调整行程或排除卡住故障。

(5) 线圈匝间短路，检查并排除短路故障

(6) 铁心老化，涡流增大，使铁心温度升高，造成线圈温度增高发热，应更换铁心或电磁铁。

第十一节 并联电容器

并联电容器是用来补偿电力系统感性负载的无功功率，提高功率因数，改善电压质量，降低线路损耗，与异步电动机定子绕组并联可实现就地分散补偿，在电力系统应用极为广泛。

一、安装使用注意事项

(一) 安装场合

(1) 安装场合应干燥、无爆炸和火灾危险。无剧烈冲击及振动，无腐蚀气体和粉尘污染，相对湿度不应高于 80%。

(2) 电容器室不受油、水、雨、雪侵袭，不受日光直射。

(3) 电容器室应有良好的通风，室内温度一般在 $-35^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$ 之间，每安装 100kvar 电容器应有 0.1m^2 以上的进风口（下孔）和 0.2m^2 以上的出风口（上孔），若自然通风不能满足要求，应采取有效地通风措施。

(二) 室内安装

(1) 1kV 以上高压电容器应安装在单独的电容器室内，不准与变压器、配电装置共用一室； 1kV 以下的电容器可安装在符合环境要求的厂房或低压配电室内。

(2) 电容器分层安装时，一般不得超过三层，层间不应加设隔板，电容器母线对上层构架的垂直距离不得小于 0.2m ，下层电容器的底部离地面应大于 0.3m ，上层电容器底部离地面应小于 2.5m ，带电部分离地面要大于 3m 。

(3) 电容器水平布置时，排与排之间的距离不应小于 0.5m ，同一行电容器之间距离不应小于 50mm 。

(4) 电容器铭牌应面向通道，电容器与通道之间应装设网状遮栏，以保证安全。

(5) 要求接地的电容器，而外壳与金属构架应共同接地。

(6) 在电容器适当的部位设置温度计或贴示温蜡片，以便监视运行温度。

(7) 电容器组应装设相间及内部元件故障保护装置或熔断器，高压电容器组容量超过 600kvar 时，可装差动保护或零序保护，也可以分台装专用熔断器保护。

(8) 电容器应有合格的放电装置。

(9) 电容器组的进线可采用电缆或硬母线；相母线采用铝线；单台电容器与母线的连接应采用软线，不应采用硬母线连接，以防止装配应力或电动力损坏瓷套管和引线杆，破坏密封。

(10) 电容器额定电压与电网电压相同时，应将电容器外壳和构架接地；电容器电压低于电网电压时，并采用星形接法或串联使用时，应将电容器外壳用绝缘子支承，对地绝缘，其绝缘水平

不应低于电网额定电压。

(三) 室外安装

(1) 电容器应尽量安装在台架上，其台架底部离地面不应小于 2.5m，带电部分(500V 以上)的电容器离地面不应小于 3.5m，500V 以下的电容器不应小于 3m。

(2) 对落地式安装的电容器，可直接装在水泥地面上，电容器底部离地面应不小于 0.4m，同时电容器组应装置高度不低于 1.7m 的固定的网状遮栏，并应采取防止小动物进入的可靠措施。

(3) 电容器的小面应朝向太阳经常照射的方向，以减小阳光照射的阴影。

(四) 使用注意事项

(1) 电容器在运输时，应直立放置，装卸时禁止搬拿套管。

(2) 环境温度，电容器安装处的环境温度一般不应超过 40℃，当超过规定温度时，要求采取通风降温措施。电容器最低温度，要根据绝缘剂的类型，如用矿物油作绝缘的电容器，其绝缘物在 -35℃ 以上时不会冻结，氯化联苯电容器最低温度为 -25℃，用五氯联苯作绝缘时，温度在 0℃ 左右就会冻结，而冻结后的电容器如再合闸，就容易击穿。

(3) 使用温度及允许温升，电容器外壳温度不应超过 50℃~60℃(温升 25℃)，测量方法可在外壳 2/3 高度处用桐油灰将温度计粘在外壳大面中间或用试温蜡片进行监视。

(4) 使用电压，电容器允许在 1.1 倍额定电压下短期运行，但不能和最高允许温度同时出现，当电容器在较高电压运行时，必须采取有效的降温措施。

(5) 允许使用电流，电容器允许在 1.3 倍额定电流下长期运行。

二、操作注意事项

(一) 正常运行时，停、送电的操作程序

(1) 全站停电操作时，先拉开电容器组的开关，后拉开各路出线开关。

(2) 全站恢复送电时, 先合各路出线开关, 后合电容器组开关。

(二) 事故情况下, 操作注意事项

(1) 全站无电后, 必须将电容器组的断路器拉开, 来电后应先将各配电线路送电后, 再根据电源电压的高低情况投入电容器。

(2) 运行中, 电容器组的断路器跳闸后不准强送。

(3) 运行中, 保护熔丝熔断后, 在未查明原因及排除故障之前, 不准更换熔丝送电。

(4) 电容器组禁止带电合闸, 如再次合闸送电, 必须在电容器组停电后, 应可靠放电 3min 后, 才能再次合闸送电。

(三) 具体操作时, 必须注意事项

(1) 任何额定电压的电容器组禁止带电合闸, 电容器组每次重新合闸必须在放电完毕后才可进行。

(2) 为了防止电容器组带电荷合闸和操作人员触电及带静电荷的电容器发生触电危险, 应在电容器断开电源时, 立即对电容器组进行放电, 必要时应用装于绝缘棒上的接地金属棒对电容器单独放电。

(3) 操作过电压是运行电容器断开时产生的, 它对电容器的使用寿命和安全运行影响很大。所以, 在未采取有效的降低操作过电压措施之前, 应尽量减少操作次数。

(4) 电容器投入电网或电容器发生外部短路时, 所产生幅值很大的高频暂态电流称为涌流。限制电容器合闸涌流的措施是在每相电容器组的断路器侧或中性点侧串接电抗器。在操作中为减少高压电容器组的合闸涌流, 应尽量避免在—组电容器运行的情况下, 将另一组电容器投入。若两组电容器分别接在两段母线上, 应采取解列两段母线的方法, 使另一组投入运行。

(5) 使用灯泡放电的电容器组, 应在放电回路中增装刀开关, 以节约用电。在拉开电容器组的断路器之前, 应先合上放电回路的刀开关以便可靠放电。

(6) 限制电容器组的操作过电压措施

1) 采用有并联电阻的断路器, 能将操作过电压限制在 2.5~3 倍相电压之内, 一般 35kV 以上的电容器组, 可采用带并联电阻的熔断器。

2) 采用不重燃的断路器, 若 10kV 电容器组可采用真空断路器来操作。

3) 使用避雷器来限制操作过电压。

4) 尽量减少电容器组的投入和切除次数。

(7) 抑制高次谐波对电容器组危害的措施

1) 一般可装设串联电抗器。

2) 若在电容器组安装处电压并不高, 而电容器组的过电流很严重, 高次谐波很可能是由用户产生的, 则要求用户采取技术措施来减少高次谐波分量。

3) 若电容器组安装处电压过高, 可降低电压。

4) 当电弧炉有 3 次谐波时, 接在其附近的并联电容器组可串联电抗器, 以免出现谐波。

5) 对电容器组含有 5 次谐波时, 其含有率在基波电流的 35% 以下, 其合成电流的有效值在额定电流的 120% 以下, 以限制高次谐波对串联电抗器的影响。

(8) 电容器组的放电

1) 对 1kV 以上的电容器组, 一般用三角形接线的电压互感器进行放电, 若一臂断线, 便成了 V 形连接, 仍能使各相的电容可靠放电。若有两臂同时断线, 便会有一相电容器无法放电。

2) 对于低压电容器组一般采用 220V 的白炽灯泡代替放电电阻, 并起运行指示灯的作用, 可将两个功率相同的灯泡串联后接成星形, 以延长灯泡使用寿命。

3) 放电电阻应直接接在电容器组上, 而放电电阻不得单独装设断路器或熔断器, 以保证停电时能可靠地自动放电。

4) 电容器组与电网断开后, 也可采用自动装置将放电电阻自动投入电路, 以减少放电电阻在运行中的电能损耗。

(9) 操作开关的选择

- 1) 应选用切断电容电流不重燃的断路器。
- 2) 断路器的额定电流应不小于电容器组额定电流的 1.43 倍。
- 3) 断路器的额定开断电流，应不小于断路器实际开断时间内，三相短路电流周期分量的有效值。
- 4) 断路器额定切合电流峰值不应小于短路电流最大值，且不小于电容器组投入时充电涌流的峰值。
- 5) 50kvar 以下的低压电容器组可采用负荷开关来控制，50kvar 以上的低压电容器组应选用断路器或交流接触器来操作。

(10) 绝缘电阻的测量

- 1) 低压电容器可采用 500V 或 1000V 兆欧表，高压电容器应采用 2500V 兆欧表进行测量。
- 2) 测量前后都应将电容器放电，以免发生触电事故。
- 3) 测量时先将兆欧表摇至规定转速，待指针平稳，再将兆欧表接线接到电容器的两极上，随后继续转动兆欧表。开始时由于对电容器充电，兆欧表指针会下降，然后再慢慢上升到稳定，这时的读数就是电容器的极间绝缘电阻。
- 4) 电容器两极对外壳的绝缘电阻一般为：交接试验时大于 2000M Ω ，预防试验时不低于 1000M Ω 。

三、运行与维修

(一) 运行前的检查

- (1) 电容器组投入运行前按交接试验项目检查，电容器是否完好，试验是否合格。
- (2) 电容器外观良好，外壳无凸出或渗、漏油现象，套管无裂纹。
- (3) 放电回路完整，放电装置的电阻值和容量均应符合要求。
- (4) 接线应正确无误，其电压与电网电压相符。
- (5) 三相电容器相间应保持平衡，误差不超过一相总容量的 5%。
- (6) 各部件连接牢靠，触点接触良好，外壳接地与接地网的

连接应牢固可靠。

(7) 电容器组的继电保护装置,其电流整定值正确,并将保护装置投入运行位置。监视回路应完善,温度计齐全。

(8) 开关设备应符合要求,投入运行前处于断开位置。

(9) 电容器室的建筑结构、通风设施应符合规程要求。

(二) 巡视检查

1. 日常巡视检查

(1) 电容器外壳有无膨胀变形现象。

(2) 油箱壁是否鼓肚、有无渗、漏油痕迹。

(3) 各种仪表(电压表、电流表、功率因数表、温度计)的指示是否正常。

(4) 电容器有无过热现象。

(5) 瓷套管是否松动和发热,有无放电痕迹。

(6) 熔体是否完好。

(7) 接地线是否牢靠,放电装置是否完好。

(8) 运行中线路接点有无火花。

(9) 电容器内部有无异常响声,放电回路有无异常现象。

(10) 放电指示灯是否熄灭。

2. 定期检查

(1) 用1000V或2500V兆欧表,逐个或全部检查电容器端头与箱身之间有无短路现象。两极对外壳绝缘电阻不应低于1000M Ω 。

(2) 电容器额定电压在1kV以上时,测量每台电容器电容值与标称值的误差不得超过 $\pm 1\%$ 。

(3) 检查各螺栓的松紧和接触情况,放电回路和熔体是否完好,风道有无积尘,并清扫电容器外壳、绝缘套管、油箱、仪表及支架等处的灰尘。

(4) 检查外壳的保护接地线、继电保护装置的動作情况,断路器及馈线等是否完好。

(三) 监视运行

(1) 运行电压不应超过电容器额定电压的 10%，三相电流不平衡值不应超过电容器额定电流的 5%，电容器电流不应超过额定电流的 1.3 倍。否则，应停止运行。

(2) 电容器安装在室内时，冬季室温不应低于 -25°C ，夏季室温不应高于 40°C 。否则，应采取有效的降温措施，并要求电容器的外壳温度不得超过规定值。

(3) 保护装置自动跳闸后，不得强送电，应查明原因、排除故障，方可将电容器重新投入运行。

(4) 电容器重新投入运行之前，必须充分放电，严禁电容器带电荷合闸。

(5) 一旦发现电容器外壳膨胀、漏电或出现火花等现象，应立即使该电容器退出运行，并检查处理。

(6) 电容器外壳应接地牢靠。

(四) 异常运行

(1) 外壳渗漏油，由于搬运不当或提拿瓷套管使焊接处产生裂缝；接线时拧螺钉用力太大，造成瓷套管焊接处损伤；运行时温度变化剧烈，内部压力增大；运行后外壳漆层剥落、铁皮锈蚀，都会造成渗漏油现象。一般情况下，可将渗漏处除锈、焊接、涂漆，严重时应更换电容器。电容器缺油，可对外壳侧壁敲击而发出的空声来判断。

(2) 外壳膨胀变形，在密封的外壳中，由于内部介质在电压的作用下，析出气体或部分元件击穿，使电极对外壳放电，使介质析出气体，这些气体将会引起压力增大，使外壳膨胀。电容器外壳膨胀是发生故障或故障前的征兆，运行中发现外壳膨胀应及时采取措施，当膨胀严重时，应停止使用，更换新的电容器。

(3) 瓷套管表面放电闪络，电容器在运行中，由于缺乏清扫和维护，其瓷绝缘表面因污秽可能会引起放电，应进行定期的清扫检查，在污秽严重地区，还应采取反污措施。

(4) 电容器爆破起火，当电容器内部元件发生极间或极对外壳击穿时，与它并联的其他电容器将会一起向故障电容器进行放

电。这时因释放能量极大，可能造成电容器爆炸，严重时因一个电容器起爆可能引起其余电容器的群爆、流油、燃烧起火，能导致电容器室发生火灾，而影响其他电气设备的正常运行。为了防止电容器的爆炸事故发生，除加强运行中的巡视检查外，最主要的是安装电容器内部元件的保护装置，将电容器在酿成爆炸事故前，及时从电网中切除。如已发生电容器爆炸事故，应查明原因，并采取防范措施，更换电容器，清理现场。

(5) 电容器内部有异常响声，在运行中发现电容器有吱吱声或咕咕声，这是电容器内部有局部的放电现象，是内部绝缘崩溃的先兆，应停止运行，找出故障电容器并更换。

(6) 运行中温升过高，由于电容器长期过电压运行，内部元件击穿，短路及介质老化，损耗不断增加，都会使电容器温升过高。应严格监视和控制其环境温度，如发现电容器运行温度过高，应改善通风散热条件，串入电抗器防止过电流以及淘汰绝缘老化的旧电容器。当不能有效地控制过高的运行温度时，应将电容器退出运行。

(7) 开关掉闸，电容器组的开关掉闸，不准强行试送，必须顺序检查电容器开关、电流互感器、电力电缆。检查电容器有无爆炸、严重发热、鼓肚或喷油，接头是否过热或熔化，套管有无放电痕迹。若无上述情况，是由外部故障造成的母线电压波动使开关掉闸，可以试送。否则应进一步对保护作全面通电试验，对电流互感器作特性试验。如果仍检查不出故障原因，就需拆开电容器逐台试验，未查明原因、排除故障前不得试送。

(五) 维修和更换

1. 维修

(1) 由于受真空净化条件的限制，不得在现场对电容器进行内部检修。

(2) 发现电容器有严重鼓肚、过热和绝缘老化等缺陷时，应退出运行，更换电容器。

(3) 对渗、漏油的电容器，应先进行测试，若绝缘良好，可

采用锡焊或涂环氧树脂等方法进行补漏。

(4) 定期进行清扫，主要清扫电容器构架及瓷绝缘部分、放电装置、通风装置和电容器回路中的电气元件。

2. 更换

(1) 对电容器进行人工放电。

(2) 将每台电容器逐个放电，也可使用装在绝缘棒上的金属接地棒与电容器出线端子接触放电。

(3) 检查出有严重缺陷的电容器应更换合格的电容器。

(4) 更换后应在额定电压下，试通电三次，在无故障的情况下再试运行 24h，才能投入运行。

(六) 处理故障时注意事项

(1) 要设专人监护。

(2) 要确认故障电容器已停电，并确保不会误送电。

(3) 必须对电容器做反复、充分的对地及极间的人工放电，保证确无残余电荷。

(4) 即使已经对电容器进行彻底放电，处理故障时仍需戴绝缘手套。

(5) 特别注意人体各部要始终保持对周围带电体的距离，不得小于安全距离。

(6) 处理故障时，应先拉开电容器组的断路器及上、下隔离开关。如采用熔断器保护，还应取下熔管。

(7) 处理以氯化联苯为浸渍介质电容器的故障时，必须戴防毒口罩和橡胶手套，工作时应注意避免氯化联苯液体沾污衣服和皮肤。

(8) 电容器如果是内部断线；熔管或引线接触不良，在两极间还可能有残余电荷，这样在自动放电或人工放电时，其残余电荷是不会被放掉的。因此，运行或检修人员在接触故障电容器前，还应戴好绝缘手套，用短路线短路故障电容器的两极，使其放电。对于串联接线的电容器也应单独进行放电。

(七) 常见故障与处理

1. 外壳渗漏油

(1) 搬运时提拿瓷套，使法兰焊接处产生裂缝，可用铅锡焊料补焊，要防止过热，以免瓷套上银层脱落。

(2) 接线时紧固螺钉用力过大，造成瓷套焊接处损伤，接线时不要扳摇瓷套，紧固时防止用力过猛。

(3) 产品质量缺陷，严格控制瓷套金属涂敷及焊接工艺、外壳焊接及成品试漏工艺。

(4) 日光曝晒，温度变化剧烈，应采取有效措施，尽量防止曝晒。

(5) 漆层剥落、外壳锈蚀，选用质量好的油漆，使用中应及时补漆。

2. 外壳膨胀

(1) 介质内产生局部放电，使介质分解析出气体。

(2) 部分元件击穿或极对地击穿，使介质析出气体，运行中应对电容器进行外观检查，发现外壳膨胀时应及时采取措施，膨胀严重时应停止使用。

3. 爆炸 电容器内部发生极间或极对外壳击穿，又无适当保护时，与它并联的电容器组对它放电能量极大，引起爆炸。对低压并联电容器用内部熔丝保护，一般可避免爆炸；高压并联电容器每台应采用快速熔断器保护或用继电器保护。

4. 温升过高

(1) 环境温度过高，电容器布置太密，应改善通风条件，增大电容器间的间隙。

(2) 高次谐波电流影响，可加装串联电抗器。

(3) 频繁切合，电容器反复过电压和涌流出现，应采取有效措施，限制操作过电压和涌流。

(4) 介质老化，应停止使用。

5. 瓷套破裂，外壳损伤 运输及装卸时不小心，有碰撞现象，在运输时应妥善包装，直立放置，搬放小心，防止碰撞瓷套，外壳损伤渗漏油时应补焊。

第十二节 机床电气设备

机床电气设备一般由电动机、操作机构、电气仪表、电气柜（包括接触器、继电器、自动调整装置、保护装置等）及连接导线组成。

一、概述

（一）机床的控制型式

用刀开关控制的简单机床；用带触点的电磁开关控制的一般机床；由电子器件、半导体器件组成的无触点开关控制的自动和半自动机床；利用接触器-继电器控制的机床具有如下特点：减轻劳动强度、提高生产效率；只要操作小电流的控制回路就能控制大电流的主回路，控制灵敏、操作安全可靠；可将操作按钮安装在便于操作的地方，能实现远距离控制。

接触器 继电器控制线路由输入、输出回路和执行机构组成。

（1）输入回路由主令电器和检测元件组成，并发出信号。主令电器主要有按钮、开关、控制器等元件，以实现开机、停机调整、紧急停车等控制。检测元件主要有行程开关、压力继电器、速度继电器、热继电器、时间继电器等，用来检测行程距离、压力、速度、热量、时间等在自动机械工作中的状态，使电气控制线路进行程序转换。

（2）输出回路是中间记忆机构，主要由中间继电器完成，用来记忆输入信号的变化，以达到各程序的互相区别。

（3）执行机构由执行元件组成，执行元件分为记忆和无记忆两种。有记忆功能的元件，如接触器、继电器等；无记忆功能的元件如电磁铁、电磁阀等。用来直接控制生产机械的运动部件按工艺要求进行移动、传动、升降等，以完成加工任务。

（二）机床的保护

机床在电气保护环节中常用短路保护、失压保护、过载保护、过电流和继电器联锁保护。根据工艺要求，还设有行程保护、限

位保护、压力保护、操作手柄零位保护等。

（三）机床照明

机床照明属于局部照明，并处于导电良好的工作场合，要求工作电压必须是在安全范围以内，一般采用24、36V，安全电压是经照明变压器变换而获得的，而变压器容量一定要满足局部照明负荷的要求。为保证供电安全，变压器一、二次两侧线路都装有熔断器作短路保护。

二、机床电路的设计及注意事项

（一）机床电路设计

在设计机床电路时，应先了解机床的工艺对电气的要求（如电动机容量、转速、转向、数目，各电动机工作的先后顺序，起动、停车方式、工作行程长短、控制时有何条件等），再根据这些工艺要求的需要，选用电气元器件间的互相连锁等各种方式来满足要求。

（1）设计主回路，应考虑到各种电气保护，如过负荷、短路、失压等。

（2）设计控制回路，应考虑到主回路的电气工作要求和机床的工艺要求，如电气间的连锁、自保、机床的定位、限位等。

（二）设计电路时注意事项

（1）要使线路尽量简单，工作要准确可靠。

（2）在线路中应尽量避免许多电气设备依次动作，才能接通另一个电气设备的控制线路。

（3）在一条控制电路中，不得串联两个电器的吸引线圈。

（4）要考虑到各个控制元件的实际接线，应尽量减少连接导线。

三、机床电气配线

（一）敷设机床的电线管

（1）引向机床、控制柜的电线管，应尽量沿最短路径敷设，且减少弯曲，以达到节省材料、穿线方便的目的。

（2）埋设的电线管与明设的电线管的连接处，应装设接线

盒。

(3) 电线管弯曲时,其弯曲半径不应小于电线管外径的 6 倍,若有一个弯曲时,可减至 4 倍。敷设在混凝土内的电线管,弯曲半径不应小于外径的 10 倍。管子弯曲后不得有裂缝,凹凸等缺陷,弯曲角度不应小于 90° ,椭圆度不应大于 10%。

(4) 电线管埋入混凝土内敷设时,管子外径不应超过混凝土厚度的 $1/2$,管子与混凝土模板间应有 20mm 间距,并列敷设在混凝土内的管子,应保证管子外皮相互间有 20mm 以上的间距。

(5) 明敷电线管时,布置应横平竖直、排列整齐美观,电线管的弯曲处及长管路,一般每隔 0.8m~1m 应用管夹固定,多排电线管弯曲度应保持一致。

(6) 金属软管只适用于电气设备与铁管之间的连接,或铁管施工有困难的个别线段。金属软管的两端应配置管接头,每隔 0.5m 处应有弧形管夹固定,而中间引线时应采用分线盒。

(7) 穿入控制柜的管子,在柜子内外处均应配装管垫固定,管头两端戴护帽。

(8) 所有电线管在电气上必须可靠连接,在管子之间,管子与接线盒之间,应用金属地线连接,而地线直径不得小于 mm。

(9) 所有电线管不得有裂口及脱开现象,电线管接头必须用管接头牢固连接,不可松动或脱节。

(10) 在机床外部和内部,而不在控制柜内的导线,均应在管内敷设。机床内部一般敷设塑料管或金属软管,也可用绝缘绑扎。机床外部可敷设金属软管,而在可能承受拉力的地方(如悬挂操纵箱的导线穿管等),应敷设软管电缆,对可能受机械损伤的地方,应敷设铁管。

(11) 金属管口不得有毛刺,在导线与管口接触处,应套上橡皮(塑料)管套,以防止导线绝缘损伤,管中导线不得有接头,并不得承受拉力。

(二) 电线管布线

(1) 穿进管内的绝缘导线,其型号、规格、根数应符合设计

要求。额定电压应不低于 500V，铜线截面积不应小于 0.75mm^2 ，铝线截面积不应小于 1mm^2 。

(2) 穿线前，应使用压力约为 0.25Pa 的压缩空气，将管内的残留水分和杂物吹净，也可在铁丝上绑以抹布，在管内来回拉动，使杂物和积水清除干净。然后向管内吹入滑石粉，便可顺利穿线。

(3) 同一交流回路的导线应穿于同一铜管内，应尽量避免不同回路的导线穿在同一管内。

(4) 导线在电线管内不应有接头和扭结，而接头必须在接线盒内连接。

(5) 导线穿进钢管后，在导线进出口处应装护圈保护导线，并将管口进行密封处理，以免擦伤导线。

(6) 较长的管路穿线时，应用铁丝作引线，送线时需两人配合，一人送线，一人拉铁丝，拉力不可过大。

(7) 放线时应量好长度，用手或放线架逆着导线在线轴上绕使线盘旋转，将导线放开，应防止导线扭动、打扣或互相缠绕。

(8) 在管内不准穿入单根导线。

(三) 机床配线

(1) 压接导线时，应先校线、套线号。校线可用万用表、试灯、蜂鸣器等。由两人配合，按电气原理图上标号测试，每选一线喊号并答号，随即将预先写好的线号套上，以免发生差错。

(2) 根据两端接线端子的要求，将削去绝缘的导线端煨成圆环或直接压上，多股导线的压头处应挂烫焊锡或用开口接线鼻子，采用冷压方式。

(3) 在同一接线端子压接两根以上不同截面的导线时，大截面放在下层，小截面放在上层。

(4) 电气柜内的线槽装线不要超过其容量的 70%，以便装配和维修。

(5) 导线至接线端子处应有两次以上削头重压的余量。备用导线应单独盘卷，而端头要保留绝缘。

(6) 套在导线上的线号,要用印刷体书写工整,以免读错。或直接用打号机在导线上将线号打上,而导线每端应不少于二处。防止剪导线时将一线号剪掉,一时查不出来,影响工作。

(7) 所有压接螺钉要配置平垫、弹簧垫,并牢固压紧,以免松动。

(8) 接线完毕,应根据电气原理图或接线图,仔细检查各元器件与接线端子之间以及相互之间的连接是否正确,并对主回路连线进行检查。当利用导通法检查线路时,应注意线路中电器的常闭触点和某些低阻值元件(如电流线圈、二极管等)的影响,必要时将接线的一端拆下来进行检查。

(9) 各导电部分对地绝缘电阻不应小于 $1M\Omega$ 。

(10) 压接螺钉和垫圈应尽量采用镀锌件。

四、机床电气设备的检查

(一) 外观检查

(1) 设备应可靠接地,地线应采用多股铜线,其截面积不得小于 $4mm^2$ 。

(2) 设备外表整洁,安装稳固可靠,并能方便拆卸、维修和调整。

(3) 所有电气设备、元件应按线路图要求完整无缺,若要代用,需查阅有关产品目录,应保证主要参数一致或接近。

(二) 外部配线

(1) 配线必须整洁,绝缘无破损现象,可用 $500V$ 兆欧表测量其绝缘电阻值应不低于 $0.5M\Omega$ 。

(2) 电线管应整齐,固定可靠,管子的连接采用管接头,管子终端应安装管扣保护圈。

(3) 为避免把电线管与油管或冷却液管混淆,不要把电线管与它们装设得很近。

(4) 电线可以敷设在机床底座内的导线通道里,但必须防止液体、铁屑和灰尘侵入。

(5) 导线端头上应有线号,线头弯曲方向应与螺帽拧紧方向

一致，多股线端头应压接或焊锡。

(6) 压接导线的螺钉要有平垫圈和弹簧垫圈。

(7) 主电路、控制电路，特别是接地线颜色应有区别。

(8) 敷设在易受机械损伤部位的导线，应采用铁管或金属软管保护；而在不可能遭受到机械损伤部位的导线，可采用塑料管保护；在发热体上方或旁边的导线，必须加耐热瓷管进行保护。

(9) 连接活动部分的导线（如箱门、刀架、溜板箱等），应采用多股软线。对多根导线可用线绳、螺旋管捆扎或用塑料管、金属软管保护，以免损伤。对活动线束，应留有一定的弯曲活动长度，保证线束在活动中不受拉力。

(三) 电气元件的检查

(1) 接触器和继电器应外观清洁，电木无烧伤痕迹；触头平整，接触可靠；衔铁动作灵活无粘卡现象；保证三相触头同步通断，在 85% 的额定电压下能可靠动作；灭弧装置无缺损，可逆接触器应有可靠的机械联锁。

(2) 电磁铁的行程不超过规定距离，工作衔铁动作灵活可靠，且无异常响声，在 85% 额定电压下能可靠动作。

(3) 各种行程开关 按钮等动作灵活，准确可靠。

(4) 电气仪表的表盘玻璃完好，表针动作灵活，计量准确。

(5) 导线颜色应符合规定。

(6) 各导电部分对地绝缘电阻不应小于 $1M\Omega$ 。

五、机床电气安全措施

(一) 保护接地

保护接地是将电气设备的金属外壳与接地极直接连接，使设备漏电时，在外壳上的对地电压限制在安全电压范围以内，免除人身电击的危险。

为预防机床电气设备漏电，免遭电击危险。保护接地电路的连续性必须得到保证，确保机床接地端子板和电气设备任何外露的金属导体之间的电阻值不得大于 0.1Ω ，而且接地装置的连接点要采取必要措施（如进行加工、使其金属面平整和采用梅花式

弹性垫圈), 确保有良好的导电性, 同时必须满足以下要求:

(1) 所有可拆卸的电器和箱体, 必须具备接地螺钉(端子)。

(2) 金属软管不准当作地线使用, 而且必须用管接头和金属管垫使其与机床有良好的导电接触。

(3) 必须设法使得拆掉机床上某一电器时, 不得把其他电器的保护接地线拆断, 如采用保护地线的树叉式接法。

(4) 机床电气设备紧固螺钉, 不得用作接地螺钉, 反之亦然。而且电器的金属底座不得用作接地母线。

(5) 一个接地端子只许接一根保护地线。

(二) 紧急停机

机床出现不正常的危急情况下, 必须采取措施立即停车, 以免事态扩大。紧急停车可以用电源开关来实现, 也可用急停按钮来实现, 对急停器件要求如下:

(1) 手柄或蘑菇头接头必须是红色的。

(2) 底盘或底面必须是黄色的, 其形状不作规定, 可以是圆形、正四方形或其他形状。

(3) 急停器件近旁不需要作任何样的形象化符号。

(4) 急停按钮的接头必须是圆形蘑菇式的, 不许用其他形状的、如矩形、方形等。

(5) 急停按钮的接头必须突出来。

(6) 急停按钮不得用带灯的接头。

(7) 急停按钮最好为自锁式的。

(三) 安全电压

当交流电压小于 50V 和直流电压小于 120V 时, 人们接触漏电设备时, 不会发生致命危险。

电气设备绝缘失效(损坏)而漏电时, 保护装置(如漏电保护断路器)应在规定的时间内切断电气设备的电源, 以免使事态扩大。发生伤财害命之事, 最长的触电持续时间如表 12-1 所示。

表 12-1 允许的最长的触电持续时间

最长的切断 时间/s	接 触 电 压/V		最长的切断 时间/s	接 触 电 压/V	
	交流电压	直流电压		交流电压	直流电压
∞	<50	<120	0.2	110	175
5	50	120	0.1	150	200
1	75	140	0.05	220	250
0.5	90	160	0.03	280	310

(四) 电源开关

当进行清扫机床，维修机床或电气设备，以及较长时间不使用时，使机床电气设备与电网隔离，以免发生人身及设备事故，对电源开关要求如下：

(1) 带电端子应加盖，电源开关断电后，仍然带电的部分，必须加绝缘防护，以防偶然触电，而盖上还必须贴上三角黑色闪电标志，提醒人们注意。电源开关进线端子必须加盖，如果进线不经电源进线板，而是直接接在电源开关端子上，其电源侧端子必须加绝缘盖板。

(2) 必须带锁住机构，以便不用机床时在断开位置上锁住主开关。有些大型机床还应有几把锁，每把锁都要有自己的钥匙，分别由需要者掌握。如果一个钳工和一个电工同时进行同一台机床的检修时，他们就得各自有一把锁将电源开关锁住。当两人各自分别完成任务后才把锁打开，这样有利于人身安全。

(3) 必须有手动手柄，机床电源开关必须有手动的操作件。

(4) 只许有一个接通位置和一个断开位置，不许有几个接通和断开位置，也不许有其他功能的位置，如倒顺开关就不准用作电源开关。

(5) 对手动器件、如按钮、选择开关等，在其附近或在元件上，都必须具有清楚、耐久的功能标志。

(五) 插销用作电源开关

只有在满足以下条件，才可用插销作为机床电气设备的电源

开关：

(1) 电动机总功率不超过 2kW，交流电流不超过 16A（不得用于直流电流）。

(2) 插销必须具备接地极，接地极应长于载流极。

(3) 机床电气设备必须具有切断负载的开关，即插销只能作为隔离开关用，绝对不许作为负荷开关用。

(4) 必须安装在从操作位置看得见和摸得着的位置上。

(5) 电路的电源侧必须连接在插销的插孔上。

(六) 大型机床可以有几个辅助电源开关

按规定以下电路不需经电源开关：

(1) 检修机床时照明电路。

(2) 维修用具的插销电路。

(3) 欠压脱扣电路。

(4) 与外边控制电路联锁的电路。

这些电路可以有自己主开关，以便不用时切断自己的电源。但这些开关必须连接在电源开关之前，当主电源开关切断后，这些分电源开关的端子上还有电压，要求必须遮盖。同时必须在其电源开关的旁边加一说明牌，说明那些电路在主电源开关切断后仍有电压，如：

注意：主电源开关切断后，此电路仍有电
这个电路可由某某开关来切断

(七) 电柜

(1) 电柜或壁龛上的所有通孔均应密封，应达到防护等级的要求，决不许与冷却、润滑或油槽（箱）之间有通孔，以防止有害于元器件的工作性能。

(2) 电柜或壁龛门的开度不应小于 90° ，从安全考虑，应有门的固定机构，门的宽度不得大于 0.9m，当门用螺钉紧闭时，螺栓头不得装有手柄，以防随便打开电柜的门。

(3) 门内和电柜内壁的颜色应为桔黄色。

(4) 门上仅能安装人工控制开关, 信号和测量器件。人工开关是指按钮开关、电键开关、选择开关, 不应为手动的电源开关。

(5) 对于右开门和双开门的电柜, 电源开关最好安装在电柜内右上方, 而开关上方最好不要安装其他电器, 如果安装有其他电器, 电源开关上方必须用绝缘盖板遮挡住, 以免意外发生电击危险。

(6) 装有电气元件的电柜、壁龛和任何地方, 当从电柜、壁龛等的外部不能辨别其中是否装有电气元件, 必须在门或盖板上装有黑边、黄底, 黑色闪电符号的三角形标记。

(7) 打开电柜必须用钥匙或工具, 打开门前必须先断电源, 打开门后, 门内所有高于 50V 的带电部分必须加以保护, 预防意外触电。

(8) 当电气设备断电后, 若有充了电的元件存在时, 应给它并联上放电电阻, 使其在 5s 内把电压降到 120V 以下, 否则在门上装有警告牌。如果危险电压延伸到电柜外面, 必须强制把电压在 5s 内降到 120V 以下。

(八) 布线色标

(1) 色标, 保护导线为黄绿双色线; 动力电路的中线、中间线为浅蓝色; 交流或直流动力电路为黑色; 交流控制电路为红色; 直流控制电路为蓝色; 与保护导线连接的控制电路为白色; 与电网直接相连的联锁电路为桔黄色或黄色。

(2) 关于桔黄色或黄色, 与电网直接连接的联锁电路, 在电源断开后, 仍然带电, 例如用断路器和分励线圈构成联锁电路, 当门打开, 电源开关断开后, 此电路仍带电, 就应采取桔黄色或黄色线。

(3) 关于白色, 白色导线用于控制电路与接地电路连接的导线(功能接地), 在正常工作期间有电流流过。例如, 控制变压器接保护导线一边, 各个接触器、继电器接保护导线的一边都必须使用白色线。

(4) 关于浅蓝色和蓝色，动力电路的浅蓝色与直流电路的蓝色线，在颜色深度上往往不易区分，此两种电路可用同一颜色的导线，但必须注意在用法上加以区别，如接线板的安排和不同的端子代号等。

(5) 关于电缆中芯线的颜色，电缆芯线颜色不受规定的约束，但当芯线有黄绿双色的线芯时，则必须用作保护接地，不准作其他用，对于其他颜色的线芯使用时一定要编号。

(九) 按钮的颜色

(1) 停止或急停按钮必须是红色，当按下红色按钮时，必须使设备停止工作或断电。

(2) 起动按钮是绿色。

(3) 起动与停止交替动作的按钮必须是黑色、白色或灰色，不得使用红色或绿色。

(4) 点动按钮必须是红色。

(5) 复位按钮必须是蓝色，当复位按钮还有停止作用时，则必须是红色。

(6) 按钮标记

起动按钮：I

停止按钮：0

起动与停止交替使用按钮：①

点动按钮：ⓐ

(十) 光标按钮颜色的各种含义

红色：危险或报警；

黄色：警告；

绿色：安全；

蓝色：按照情况需要赋予的特定含义；

白色：未赋予特定含义。

六、机床电气故障检查

由于机床电气设备的电气元件种类和规格繁多，不同的机床有不同的电气结构，而引起机床电气线路发生故障的因素也很多，

因此，机床电气线路往往发生多种难以预料的故障，处理这些故障存在很大难度。

电气设备在运行中经常会发生各种各样的故障，当遇到故障时切忌无目的地乱找，这样不仅不能迅速排除故障，反而会使故障扩大而引起严重事故。所以，如何熟练、准确、迅速、安全地查出故障，并予以排除，应按以下步骤检查：

（一）电气故障的调查

在处理故障前，应首先向机床操作者了解发生故障的情况，使维修人员能更准确地判断故障可能发生的部位；迅速排除故障。向操作者了解以下几点：

（1）故障发生在机床开动前，开动后，还是运行中；要运行中自动停止，还是在异常情况后被操作者停下来的。

（2）发生故障时，机床处于什么工作状态，按了哪个按钮，扳动了哪个开关。

（3）故障发生前后机床有何种异常情况（如声音、气臭、弧光等）。

（4）机床以前有无发生过类似故障，是怎样处理的

（5）在听取机床故障介绍时，要正确地分析判断是机械或液压的故障，还是电气故障，或者是综合故障。

（二）电路的分析

根据调查结果，参阅机床电气原理及有关技术说明书，结合故障现象，进行电路分析、判断，初步估计有可能产生故障的部位，是主电路还是控制电路，是交流电路还是直流电路，确定故障性质，逐步缩小故障范围，达到迅速查出故障点并加以排除。

对复杂的机床电气线路，可将复杂线路分成若干单元以便分析，并正确判断出故障点。

（三）断电检查

检查前先将机床电源断开，必要时取下动力配电箱内的熔断器，在保证安全的情况下，根据不同性质的故障及可能产生故障的部位，有所侧重地进行检查。

(1) 检查电线进口处，有无损伤而引起的电源接地、短路等现象。

(2) 熔断器有无烧损痕迹。

(3) 检查配线、电气元件有无明显变形损坏或过热，烧焦和变色而出现臭味。

(4) 限位开关、继电保护、热继电器是否动作。

(5) 断路器、接触器、继电器等的可动部分，动作是否灵活。

(6) 可调电阻的滑动触点，电刷支架是否有窜动离开原位。

(7) 导线连接是否良好，接头有无松动或脱落。

(8) 对故障部分导线、元件、电机等可用万用表进行通断检查。

(9) 用兆欧表检查电机。控制线路的绝缘电阻，一般应不小于 $0.5M\Omega$ 。

(四) 通电检查

如果断电检查，仍不能找到故障原因，可对电气设备进行通电检查。

(1) 切断电动机电源，向控制电路通电，操作按钮或开关，检查控制电路上的接触器、继电器等动作是否正常。如果动作正常，说明故障在主电路；如果不动作或动作不正常，说明故障在控制电路，应进一步找出原因，确定故障点，予以排除。

(2) 使用兆欧表、万用表、钳形电流表等测量电阻、电压、电流等工作参数，将测量结果与正常值进行比较，从中分析故障原因并进行排除。

(3) 对复杂的机床电气设备，应先将电路划分为若干单元，要仔细地检查每一个单元，以防故障点被漏掉。

(4) 断开全部开关，取下各熔断器，再按顺序逐一插入需要检查部位的熔断器，合上开关，观察有无冒烟、冒火、熔体熔断等现象。然后再观察各电气元件是否能按要求顺序动作，并需仔细地逐项检查，以免故障范围扩大。

(5) 机床的正常运行，是由电气线路和机械系统互相协调配合实现的，而机床出现停止运行，不一定是电气原因，有可能是机械系统问题所造成的，因此，必要时应与机修人员共同检修。

(五) 检查电路注意事项

(1) 用兆欧表测量绝缘电阻时，在低压系统中用 500V 兆欧表，而在测量前应将弱电系统的元件（晶体管、晶闸管、电容器等）断开，以免造成过电压而击穿，损坏元器件。

(2) 在检查时，若需拆开电机或电气元件接线端子，应在拆开处两端贴上标号，不要凭记忆记标号，以免出现差错。断开线头要作通电试验时，要检查有无接地、短路、或人体接触的可能，尽量用绝缘胶布临时包上，以防止发生意外事故。

(3) 更换熔体时，要按规格容量更换，不准用铜线或铁丝代替，在未处理故障前，尽可能临时换上规格较小的熔体，以防止故障范围扩大。

(4) 当电机、电机扩大机、磁放大器、各种继电器及继电保护装置需要作重新调整时，一定要熟悉调整方法、步骤，调整到规定的技术参数，并作好记录，供下次调整时参考。

(5) 检查完毕后，应先清理现场，恢复所有拆开的端子线头，检查一下熔断器、开关手把、行程开关的正常工作位置，再按规定的方法、步骤进行试车。

第十三节 电 梯

电梯是一种电力拖动的、用多根钢丝绳曳引轿厢升降的运输设备，用来提升人员和货物，广泛用于多层建筑楼房。目前电梯已成为客流和货物流通的一个重要运输环节，因此，电必须安全可靠地运行。为了保证电梯始终处于良好状态，必须正确地使用和维护电梯。

一、安全装置

电梯是一种高层建筑的垂直运输设备，必须有足够的安全性。

为了确保乘客的安全，电梯具有多种机械和电气安全装置。机械安全装置有限速器、安全钳、缓冲器等。电气安全装置有超速、供电系统断相、错相、超越上下极限工作位置时保护装置；层门锁与轿门电气联锁装置；停电或电气系统发生故障时，应有慢速移动轿厢的措施；电气设备的一切金属外壳，必须采取保护接地或保护接零措施。

（一）机械安全装置

1. 限速器 限速器是轿厢运行速度达到限定值时，能发出电信号并产生机械动作，而操纵安全钳动作的安全装置。

当轿厢运行速度超过额定速度的 115% 时，要求限速器动作，切断控制电路，实现紧急停车。

2. 安全钳装置 安全钳装置是由于限速器的作用而引起动作，由传动机构使安全钳楔块夹紧导轨，迫使轿厢或重装置停在导轨上，同时切断控制电路的装置，起到不使轿厢或重装置超过限速器动作速度向下运行的作用。

3. 缓冲器 缓冲器是电梯最后一道安全装置。当电梯失控时，而速度未达到限速器动作速度或虽达到限速器动作速度而限速器和安全钳失灵时，缓冲器吸收和消耗轿厢或重装置的动能，以免造成人员和设备的严重伤害。缓冲器还对轿厢冲顶起保护作用，当对重装置压在对重缓冲器上后，曳引系统失去作用，曳引绳在曳引轮上打滑，可避免轿厢冲顶层楼板事故的发生。

（二）电气安全保护装置

为了保证电梯的安全运行，防止发生意外事故，除设置各种机械安全装置外，还应根据各种不同的电梯要求，设置各种电气安全装置。

1. 电梯必须设置的电梯安全装置

- （1）超速保护装置。
- （2）供电系统断相、错相保护装置。
- （3）超程上、下极限工作位置的保护装置。
- （4）停电或电气系统出现故障时，应有慢速移动轿厢的措

施。

(5) 层门锁与轿门电气联锁装置。

(6) 电气设备的一切金属外壳，必须采取保护接地或保护接零措施。

2. 电气故障的防护 电梯可能发生的各种电气故障，而以下电气设备中的任何一种故障，不应成为电梯危险故障的原因。

(1) 无电压。

(2) 电压降低。

(3) 导线中断。

(4) 对地或对金属构件的绝缘损坏。

(5) 电气元件的短路或开路。

(6) 接触器或继电器的可动衔铁不断开，不吸合，或不完全吸合。

(7) 触点不断开或不吸合。

(8) 电源错相。

3. 对电气安全装置的要求

(1) 当电气安全装置动作时，应防止曳引机起动或立即使其停止，制动器的电源应被切除。电气安全装置应直接作用在控制曳引机供电的电源上；若是传递功率的原因，使用继电器接触器控制曳引机起动和停止，它们应作为直接控制曳引机供电的设备。

(2) 控制电气安全装置的部件，应能在连续正常操作产生机械应力的情况下，正确地起作用。

(3) 除允许的特殊情况外，电气装置不应与电气安全装置并联。

(4) 在内、外部电感或电容的作用下，不应引起电气安全装置失灵。

(5) 一个电气安全装置发出的信号不应被同一电路设置在其后的另一个电气装置发出的外来信号所改变，避免造成危险后果。

(6) 记录或延迟信号的电路，在发生故障的情况下，不应妨碍或明显延迟由电气安全装置作用而产生的曳引机停机。

(7) 内部动力电源装置，应能因转换作用而在电气安全装置输入输出端出现错误信号。

4. 电气安全装置的使用条件

(1) 检修门、安全门、检修活动门，只有全部处于关闭状态，并经电气安全装置验证，电梯才能正常运行。

(2) 层门、轿门应有电气联锁装置，只有层门、轿门都关闭，并经电气安全装置验证，电梯才能正常运行。

(3) 安全门、应急活动门应有电气联锁装置，只有处于闭合状态，并经电气安全装置验证，电梯才能正常运行。

(4) 若使两根曳引绳，在电气安全装置检测曳引绳有异常相对延伸时，电梯应停止运行。

(5) 当电梯速度超过额定速度 2.5m/s 时，应使用带张紧轮的补偿装置，并设置电气安全装置检查其工作情况。

(6) 当电梯速度超过额定速度 3.5m/s 时，除设置检查补偿绳张紧情况的电气安全装置外，还应增设防跳装置，并经电气安全装置检查其工作状态。

(7) 安全钳动作时，装在其上面的电气安全装置应在安全钳动作前或同时，使电机停止转动。

(8) 轿厢上行或下行达到限速器动作速度前，电气安全装置应使曳引机停止。

(9) 若安全钳释放，限速器未复位，电气安全装置应使电梯不能起动。

(10) 若限速器绳断裂或松弛，电气安全装置使电梯停止运行。

(11) 缓冲器动作后未复位，电气安全装置应使电梯不能运行。

(12) 电梯应设置极限开关，在缓冲器接触前切断电源。如果极限开关的控制装置的钢丝绳断裂或松弛，曳引机应停止，同时

制动器制动。

(13) 当轿厢下行遇到障碍物使钢丝绳松弛时，电气安全装置应能切除控制电路。

(14) 轿厢顶设检修运行开关和急停开关，当进入检修运行后，应取消正常运行，对接装卸运行。检修运行是由点动按钮连续控制，其速度应不超过 0.63m/s，在轿厢运行速度以内，而各安全保护装置仍起保护作用。

(15) 在人工盘车慢速移动轿厢时，紧急电动运行开关操作后，除紧急电动运行外，取消轿厢的其他运行。

(16) 在轿顶、底坑、滑轮间应设置不能自动复位的急停开关。

5. 一般电梯常用电气安全保护装置

(1) 在机房内，对每台电梯都装有一只只能切断电梯供电的主开关，具有切断电梯正常使用情况下的最大电流能力，但不应切断轿厢照明或通风、轿顶电源插座、滑轮间照明、井道照明、报警装置等供电电路。

(2) 曳引电动机的过载、短路保护，用热继电器及熔断器保护。

(3) 相序、断相保护，用相序及断相继电器保护。

(4) 端站减速安全保护，用行程开关切断高速或接入强迫减速装置。

(5) 端站限位安全保护，用行程开关切断方向接触器或方向继电器。

(6) 超载安全保护，采用压磁式或杠杆式称重装置。

(7) 轿厢自动门防夹，由门安全触板带动连锁开关或光电传感器带动开门电机，或用电子感应式近门检测器，防止轿门夹人或物。

(8) 直流电动机弱磁保护，采用弱磁继电器保护。

(9) 事故逆转保护，有故障时继电器动作切断控制电路。

(10) 保护接地，防止触电事故。

二、电梯的使用和安全操作

(一) 电梯的安全检查

1. 运行前的检查

(1) 司机进入轿厢前，要确认轿厢在本层后再进入轿厢，切勿盲目闯入造成跌入井道事故。

(2) 检查轿厢照明灯和操纵盘上各按钮、开关、指示灯是否完好。

(3) 检查层站呼梯按钮、呼梯铃、轿内层楼指示灯是否完好。

(4) 检查层轿门动作是否灵活，自动门装置动作是否正常，层轿门地坎槽内有无杂物。

(5) 检查曳引机、电磁制动器、电动机、极限开关、控制屏、选层器等外观是否正常，电气设备接线有无松动脱落、变色，机械结构是否有明显松动和漏油现象。

2. 试运行检查

(1) 检查门锁开关是否正常，如门未全部关闭，电梯不能启动运行；层门关闭后应不能从外面扒启；层门和轿厢门开闭无卡住和异常响声。

(2) 检查操纵盘上各开关、按钮功能是否正常，检查呼梯按钮、呼梯铃、信号指示、层楼指示等功能是否正常。如电梯有与外部通信联络装置的电话、警铃等也应正常。

(3) 运行时有无振动和异常响声及气味，轿厢平层应准确，而平层误差应在允许范围之内。

(4) 检查曳引机、电磁制动器、电动机、控制屏、选层器等工作是否正常。

(5) 经检查合格后，才能投入正式运行。

(二) 司机在驾驶电梯正常行驶前应做到

(1) 开启底层厅门，在进入轿厢前，必须注意轿厢是否停在该层。

(2) 用钥匙打开电锁，注意操纵盘上电源指示灯亮否。

(3) 开启轿厢内照明。

(4) 每日开始工作前，须将电梯上、下行驶数次，检查有无异常现象。如平层是否符合技术要求，而道内有无撞击声等。

(三) 电梯的正确使用方法

(1) 当选自动门的乘客电梯时，司机首先根据乘客的要求，在操纵盘上进行轿厢命令登记，当乘客全部进入轿厢后，司机按关门键，轿、厅门自动关闭，轿厢根据登记的轿厢命令，直驶最近的楼层。如果是手动门时，司机分别关闭厅、轿门后，按操纵盘止的选层按钮后，便能开梯。手动操作的电梯根据所需的停站位置，由司机接通-放开手柄进行控制。

(2) 操纵盘上的“应急”按钮能实现不关门开梯。这个按钮是在检修和事故状态时使用，不准用此按钮来作正常行驶。

(3) 操纵盘上的“慢上”按钮，能使电动机作最低速运转，而电动机长时间低速运转会造成绕组过热，因此，不准用此按钮作正常行驶，只能在检修与事故状态时用。

(4) 操纵盘上的“急停”按钮能使高速运转的电动机实现紧急停车，此按钮是电梯在突然发生事故时用，不准用此按钮作正常停车，手柄操纵电梯无“急停”按钮。

(5) 当电梯使用完毕后，司机应将轿厢停在基站，并将操纵盘上开关全部断开，关闭厅门。

(四) 司机在使用电梯时注意事项

(1) 电梯司机在服务时间内，如必须离开时，须将轿厢停于基站，切断操纵盘上电源开关，关闭层门，钥匙随身携带。

(2) 轿厢的载重应不超过额定载重量。

(3) 不允许乘客电梯经常作为载货电梯使用。

(4) 不允许装运易燃、易爆及腐蚀性物品，如遇特殊情况，需经有关部门批准，并采取安全保护措施。

(5) 严禁在厅、轿门开启情况下，用检修速度作正常行驶。

(6) 不允许开启轿厢顶安全窗及轿厢安全门来装运超越轿厢高度的长物件。

(7) 轿厢顶部，不得放置其他物件。

(8) 在个别情况下，平层准确度不能满足要求时，可以慢车点驶平层。

(9) 行驶时，不得突然换向，必要时应先将轿厢停止，再选层换向启动。

(10) 不允许以手动轿门的启闭来启动或停止轿厢。

(11) 载荷应尽量放置在轿厢中间，并应避免物件运行中倾斜。

(12) 电梯在运行中若发生停电，对于手柄开关控制的电梯，应将手柄开关回到中间位置。

(13) 任何人不得在层、轿门之间的骑跨位置逗留。

(14) 不允许用急停按钮，作正常行驶中的消除预选信号和呼梯信号。

(15) 乘客进入轿厢后，切勿用身体依靠轿厢门。

(五) 应立即停机进行维修

(1) 厅、轿门关闭后，手柄开关或轿内选层按钮不能使电梯正常启动时。

(2) 厅、轿门关闭后，未指令轿厢启动而轿厢自行行驶时。

(3) 运行速度有显著异常变化时。

(4) 行驶方向与指令方向相反时。

(5) 内选、平层、换速、召唤和标层信号失灵失控时。

(6) 有异常噪声，较大振动和冲击时。

(7) 超越端站位置而继续运行，电梯蹲底撞顶时。

(8) 安全钳误动作时。

(9) 接触到的任何金属部件有漏电现象时。

(10) 当电气元件因过热而散发出臭味时。

(11) 厅、轿门开启着，未按应急按钮而能启动行驶时。

(六) 乘客使用时注意事项

(1) 不允许手扒关闭着的厅门。

(2) 不允许依靠厅、轿门以确保安全。

(3) 乘客应根据去向,按呼梯按钮,不允许敲碰厅门。

(4) 当电梯发生故障时,乘客应听从司机指挥,不得擅自行动。

(七) 发生事故时应采取的措施

(1) 当电梯发生超速或溜车而安全钳尚未动作,突然失去控制时,司机应保持镇静,立即按急停和警铃按钮,关闭电源并劝阻乘客切勿企图跳出轿厢。

(2) 当电梯突然发生停车事故,而又未停在厅门口处时,司机可用轿内电话或从安全窗爬出报警。检修人员应切断主电源,用手轮盘车,将轿厢移至厅门口处,让乘客离去。如果是由于安全钳动作,检修人员可向上慢车点驶,直至厅门口处。

(3) 电梯运行中突然出现剧烈振动和尖叫声,应立即停车,改用慢速把电梯移到就近层站停车。

(4) 轿厢或机房内发生火灾时,应立即切断电源,用干粉灭火器、二氧化碳灭火器等进行补救,而不准用泡沫灭火器或水进行补救。

(八) 操作方法

电梯的种类繁多,控制方式也有所不同,而控制自动化程度越高,操作程序越简单。电梯的操纵装置集中装在操纵盘上,通过正确操作各种开关、按钮,可使电梯正常运行。

1. 轿内手柄开关控制手动开门自动平层电梯的操作 这种电梯一般只用于货梯,只用一只手柄开关控制电梯的运行。

(1) 正常运行操作

1) 用层门钥匙把基站层门打开,进入轿厢,打开照明开关。

2) 打开电源钥匙开关,指示灯亮表示控制系统有电。

3) 手动关好层门和轿厢门,并使层门、轿厢门开关接触良好。

4) 向外拉手柄,使定位销退出定位孔,把手柄扳到所需要运行方向位置(操纵盘上标有文字或箭头),这时电梯按预定方向行

驶，自动加速运行。在电梯运行过程中，司机不能松开手柄。

5) 当电梯运行到层前 1m 左右时，司机把手柄松开回到中间位置，这时电梯将自动从快速转换成慢速，到达平层位置后，自动停车。

6) 电梯自动停车后，手动开启轿厢门和层门，一次运行过程结束。

(2) 检修运行操作

1) 司机、检修人员进入轿厢，打开照明开关、电源开关、拨动检修开关，使电梯只能以检修速度运行。

2) 按下应急按钮，可短接门锁电路，电梯能在层门、轿门不关闭的情况下，以检修速度运行。

3) 检修运行时，司机要听从检修人员指挥，上、下呼应后，才允许起动电梯。

4) 根据维修人员的口令，在按应急按钮的同时把手柄开关扳向电梯行驶方向位置，这时以检修速度起动运行，当层、轿门都关闭好时，将手柄开关扳向行驶方向位置，即可以检修速度运行。

5) 根据维修人员口令，松开手柄开关，电梯停止运行。

6) 检修完毕后，将全部开关恢复到正常运行位置，并进行试运行。

(3) 使用注意事项

1) 轿门一般采用交栅门或有玻璃观察孔的封闭口，在井道及层门上标有层数文字，使司机随时可以观察电梯运行方向与位置，并掌握到站停车手柄松开时间，防止电梯运行过站再倒回来。

2) 在运行途中不准换向运行，若需要换向时，应先停止在某一层站后，再换向运行。

3) 一般无超载安全装置，要控制电梯实际载重量，使电梯不超过额定载重量。

4) 检修人员进入底坑或轿顶后，必须关闭层门，以免他们误坠入井道。严禁正常运行速度时不关闭层门、轿门按应急按钮起

动电梯。

5) 当有人按层门外的呼梯按钮时,轿厢内就有呼梯铃或呼梯信号灯呼应。而信号消除,自动时,只要电梯按呼梯信号顺序停车,信号自动消失;手动时可按消号按钮消除呼梯信号。

6) 在轿内手柄开关操作自动平层的基础上,增加自动门装置,便成了轿内手柄开关操作自动开门平层电梯。操作时,只是在电梯起动前,将手柄开关先扳到一半位置,开关门电机驱动轿门并带动层门关闭。层、轿门关好后,把手柄开关扳到底,电梯就按预定方向起动运行。电梯到层前 1m 左右,松开手柄开关,电梯自动平层,自动打开层、轿门。

2. 轿内按钮控制自动平层手动开门电梯的操作

(1) 正常运行操作

1) 司机进入轿厢,打开照明开关和电源开关,准备运行。

2) 手动关好层门、轿厢门。

3) 按所要的层站数按钮,电梯便能自动选择运行方向,自动起动运行。到达预选层站前,电梯自动减速,自动平层停车。

4) 手动打开轿厢门、层门,一次运行结束。

(2) 检修运行操作

1) 司机或检修人员进入轿厢,打开照明开关、电源开关、拨动检修开关,使电梯只能以检修速度运行。

2) 按应急按钮,便可短接门锁电路,电梯能在层门、轿门不关闭的情况下,以检修速度运行。

3) 司机应服从检修人员指挥,上、下呼应后,才允许起动电梯。

4) 根据检修人员口令,在按应急按钮的同时,按慢上或慢下按钮,电梯即慢速向上或向下运行。层、轿门均关闭时,不需按应急按钮。

5) 根据检修人员口令,松开慢上或慢下按钮,电梯停止运行。

6) 检修人员也可直接按轿顶检修箱上的慢上或慢下按钮来

控制。

7) 检修完毕后, 全部开关要恢复到正常运行位置, 并进行试运行。

8) 检修人员进入底坑或轿顶后, 应关闭层门, 以免他们误坠入井道。严禁正常运行速度不关闭层、轿门, 按应急按钮启动电梯。

9) 在轿内按钮控制自动平层的基础上增加了自动门装置, 便成了轿内按钮控制自动开门自动平层电梯。当按所需去楼层按钮后, 电梯自动定向, 起动运行。在运行到预选层前, 自动减速运行, 自动打开层、轿门, 自动平层停车。

三、电梯维修安全注意事项

(一) 维护操作安全规则

(1) 维护人员及司机应熟悉有关操作规则, 定期检查安全操作执行情况。

(2) 司机必须思想集中, 发现异常情况应及时通知维护人员检修, 确保人身和设备安全。

(3) 设备应按要求可靠接地, 检修时要严格执行有关安全操作规定, 带电作业必须使用绝缘防护工具。

(4) 非维护人员不允许擅自拆装设备, 以免损坏。

(二) 机房井道作业安全注意事项

(1) 检修时应由两人以上进行, 并穿戴好劳保防护用品, 确保人身和设备安全。

(2) 工作时如需司机配合, 司机应严格听从维护人员的指挥。

(3) 检修时, 应在层门处悬挂“检修停用”的标示牌, 在检修运行或调试时, 不得载乘客或载货。

(4) 若不需要轿厢运行时, 应断开相应位置的开关。

1) 机房检修时应将电源总开关断开, 悬挂“有人工作、禁止合闸”标示牌。

2) 轿顶检修时将轿顶检修箱的急停开关断开或安全钳连动

开关断开。

3) 轿厢内应将操作盘电源和急停开关断开。

4) 在底坑时将底坑检修开关和限位器张紧装置的安全开关断开。

(5) 在机房检修，需要电梯试运行时，司机发现异常立即按操纵盘急停按钮和切断电源开关；维护人员发现异常应立即切断电源总开关。

(6) 在轿顶检修时，需要以检修速度运行时，司机和维护人员密切配合，上、下呼应后才能起动电梯，并按维护人员口令随时停车。停车后，要随时切断操纵盘上的急停按钮和轿顶检修箱急停开关。

(7) 严禁层门敞开着，电梯驶离该层站，以免人员和物品坠入井道。

(8) 在底坑检修，需要以检修速度运行时，司机要随时服从维护人员口令停车，维护人员应注意运行的轿厢底部不要碰到头部。不需要轿厢运行时，应切断底坑检修箱急停开关。

(9) 不得在机房、轿顶、底坑同时进行检修，以防止轿厢失控或工具失手造成危险。

(10) 在传动的任何部件上工作时，必须将电梯停驶并切断控制电源。

(11) 手灯必须使用设有护罩的 36V 以下的安全电压。

(三) 其他安全注意事项

(1) 严格控制易燃品带人轿厢，使用时应注意防火。

(2) 高空作业应系好安全带，防止坠落。

(3) 电、气焊等明火作业应经安全部门同意并采取防火措施。

(4) 使用手电钻等移动电器时，要进行安全检查，并带好绝缘手套或站在绝缘垫上。

四、电梯事故和预防

(一) 层门事故

1. 层门事故的原因

(1) 层门敞开着，电梯用检修或应急方式运行到其他层，而敞开的层门处又无把守和遮标，乘客误以为层门开着轿厢就在该层而误踏入井道，跌落到井道底坑而造成事故。

(2) 层门敞开着，司机按应急按钮运行，剪切、碰撞由层门外伸头到井道内观看，呼叫电梯的人而造成事故。

(3) 层门锁坏后未及时修复，层门被扒后跌入井道而造成事故。

(4) 贯通门轿厢的电梯，平时违章当作过道使用，门锁坏后未及时修复而敞开门运行，人误踏入造成坠落事故。

(5) 打开层门后，未确认轿厢在本层就进入造成踏空坠落事故。

(6) 门锁坏后无备件修复而用导线将门锁短路，选层后电梯自动运行，正在进出轿厢的人被剪切而造成事故。

(7) 电梯发生故障，在机房用导线封线，强行操纵电梯运行，正在进出轿厢的人被剪切而造成事故。

(8) 层、轿门均敞开着，按应急按钮运行，有人从轿厢内探身到轿厢外被剪切、碰撞而造成事故。

2. 预防措施

(1) 严禁层门敞开着，按应急按钮使电梯作为正常运行。检修运行时，只要轿厢驶出开锁区，就应关闭层门。必须层门敞开着检修时，应设专人把守，设置防护遮栏并悬挂醒目的标示牌。

(2) 层门门锁坏后应及时修复，不得有从外部扒启的可能，不得用导线短路门锁开关。

(3) 贯通门轿厢平时不得当作通道使用。

(4) 司机打开层门进入轿厢前，必须确认轿厢在该层才能进入。

(5) 在机房检修电梯或排除故障时，必须采取措施，不得使任何人乘坐或进入轿厢。

（二）轿厢及轿顶事故

1. 事故原因

（1）层门关闭而轿门未关闭，运行时轿厢内人员身体伸出轿厢与井道内壁物体相撞而造成事故。

（2）由于制动器制动不良，曳引绳打滑，调试时对重过轻，超载等原因，造成轿厢运行平层后溜车，人从轿内向轿外跳被剪切而造成事故。

（3）维护人员在轿顶检修时与司机配合不好，未站稳而电梯突然起动，造成坠落井底事故。当轿厢向上运行，会使头部与顶层楼板下凸出构件相撞而造成事故。

（4）轿厢与对重平齐，维护人员一脚站在轿顶，另一脚站在对重上，这时电梯突然起动将人打入井道而造成事故。

（5）在轿顶检修时，身体探出轿厢垂线以外，当轿厢运行时与导轨架、对重装置相撞而造成事故。

2. 预防措施

（1）轿厢门锁损坏后要及时修复，不准敞开轿门运行，检修运行时，轿厢内人员不得将身体探出轿厢地坎之外。

（2）电梯失保失修，应加强预检预修。

（3）轿厢溜车时，应劝阻乘客切勿企图跳出轿厢，要等待电梯安全装置发生作用。

（4）轿顶检修时，司机要和维护人员配合，上、下呼应后方可起动电梯，要尽量使用轿顶检修箱按钮使电梯检修运行，轿厢不需要运行时，应切断检修急停开关或安全钳开关。

（5）轿顶应装设防护栏杆。

（6）不得将两脚分别站在可能相对运动的部位进行检修，以免轿厢突然起动而造成危险。

（三）机房事故

1. 事故原因

（1）不遵守电气安全操作规程而造成触电事故。

（2）电梯盘车使轿厢短程升降，未切除电源开关，电梯突然

起动。

(3) 调试检修时，有人乘坐电梯而造成事故。

(4) 接触转动部分，使手或衣物卷入而造成事故。

2. 预防措施

(1) 检修时必须切断电源总开关，带电作业时，必须在专人监护下进行。

(2) 盘车使轿厢短程升降，应切断电源总开关，防止电梯突然起动。

(3) 调试检修时，禁止乘客或载货。

(4) 不允许接触转动部分，在清洁、注油时应使电梯停驶，并切断控制电源后再进行。

(四) 底坑事故

1. 事故原因

(1) 维护人员在底坑工作时，司机与维护人员配合不好或违章指挥，使电梯向下运行时把维护人员撞伤。

(2) 底坑、轿顶、机房同时进行检修，工具、物品失手坠落将下方人员砸伤，或机房调整制动器，由于松闸使轿厢溜车，将底坑人员撞伤。

2. 预防措施

(1) 底坑检修时，司机与维护人员应配合好，上、下呼应后才能起动电梯，不需要检修运行时，应切断底坑检修箱急停开关。

(2) 检修底坑设施时，必须停止上方的一切作业。

(3) 维护人员在底坑工作，应随时注意上部的轿厢，如轿厢意外向下运行时，应关闭检修箱急停开关，趴到底坑或用较长的木方竖起支撑住轿厢。

五、电梯常见故障与处理

(一) 在基站打开钥匙开关后，电梯不开门

(1) 电源开关未接通，应接通电源开关。

(2) 控制电路的熔断器熔体熔断，应查找原因并更换熔体。

(3) 电锁开关触头接触不良，继电器线圈损坏或接线断，应修复或更换电锁。

(4) 钥匙开关损坏，应修复或更换。

(5) 开门电路的继电器，开关触点接触不良或断线，应依次查找开门电路中各继电器、开关触点和线路。

(6) 开门电动机励磁线圈未供电，短路或开路，应检查开门电动机励磁。

(7) 开门电动机电刷磨损严重，应检查电刷并进行更换。

(8) 电动机电枢线圈短路，应检查电枢线圈电压。

(二) 按各选层按钮，信号指示灯均不亮

(1) 选层（内指令、厅台唤）环节电源未接通，应查找与此环节电源有关的继电器触点和接线。

(2) 指示灯电源故障，应查找指示灯电源有关回路的电器工作情况。

(3) 对微机电梯 PIO 板故障，应检查 PIO 板或更换 PIO 芯片。

(三) 电梯不能起动运行

(1) 电源开关未接通，应检查开关并予以处理。

(2) 电源错相或缺相，应检查并纠正接线。

(3) 电源电压过低，可提高电源电压。

(4) 控制线路熔断器熔体熔断，应更换熔体并查找原因。

(5) 轿门或层门关闭不严或门锁触头接触不良或断线，应关好层、轿门，检查门锁开关。

(6) 急停（电压）继电器回路中所串联继电器、开关触头未接通或接触不良，应检查急停继电器回路中各开关、继电器的接触情况。

(7) 电动机故障，应检查电动机。

(8) 安全钳开关、安全窗开关或限速器开关等误动作，使误动作的开关复位。

(四) 电梯不能自动定向

(1) 定向电路中上或下方向继电器所串联触头接触不良，用万用表逐段检查后修复。

(2) 定向电路中二极管损坏，应更换二极管。

(3) 上或下方向继电器损坏或触头接触不良，应更换或修复。

(五) 按下门开关按钮后，不关门

(1) 关门按钮触头接触不良或损坏，应修复或更换。

(2) 轿顶的关门限位开关未复位或开门继电器的互锁触头闭合不好，使继电器不能动作，应及时修复或更换。

(3) 关门继电器线圈或触头故障，应修复或更换。

(4) 门电动机损坏或有关线路断线，应更换或修复。

(5) 门电动机传动带打滑，应张紧带或更换。

(6) 关门继电器线圈所串联继电器、开关触头接触不良，可检查调整。

(六) 层门未关闭，电梯能选层开车

(1) 门锁断电器卡住不释放，应修复或更换。

(2) 门锁开关接线短路、接地，可找出短路、接地点并修复。

(3) 门锁开关触头粘连，使门联锁继电器吸合，应修复或更换。

(七) 某层的内选或外台选不上层

(1) 该层按钮或信号灯接触不良或灯损坏，应修复或更换。

(2) 该层内选、外台继电器失灵、损坏或线路断路，可检查线路或修复、更换继电器。

(3) 微机电梯有关层输入/输出电路元件损坏，应更换元件。

(八) 能选层，但方箭头指示灯不亮

(1) 定向线路故障，继电器触头未闭合，可检查线路中有关接头及接线情况，或进行维修更换。

(2) 信号灯接触不良或烧坏，应维修或更换。

(3) 方向灯驱动回路继电器接头或有关线路断路, 应检查并修复。

(九) 电梯已接受选层信号, 但门关闭后不能起动

(1) 门未关到位或轿门、厅门开关未压合好, 使门联锁继电器未吸合, 应重新关门或检查调整有关部件的位置。

(2) 门联锁继电器线圈或触头故障, 应维修或更换。

(3) 开闸继电器中的干簧管损坏, 使开车继电器不能吸合, 会出现短时溜车现象, 应更换干簧管。

(十) 电梯起动困难, 运行速度降低

(1) 制动器未打开或松闸间隙小, 应检查调整制动器。

(2) 电源电压过低, 应提高电源电压。

(3) 三相电源中有一相接触不良或缺相, 应检查电源电压并紧固接线螺钉。

(4) 方向接触器触头接触不良, 应维修或更换。

(5) 电动机故障, 应检修电动机。

(6) 制动器的直流电磁线圈损坏或直流电压过低, 甚至直流电磁线圈回路断路, 应检修线路。

(7) 轿厢超重, 应减轻重量。

(8) 对全闭环微机电梯“D限幅”太低或“D偏压”负值太大, 使晶闸管不能充分导通, 应重新调整。

(十一) 电梯到预选层不换速

(1) 如是上、下各层均不换速, 是换速继电器的线圈、触头及有关线路故障, 应检查修复或更换。

(2) 如上行或下行不换速, 是换向回路方向继电器触头及接线问题, 应检查修复或更换。

(3) 如某一层不换速, 是该层的换速开关或楼层继电器触头或内选、外台继电器的有关触头及接线松动。

(十二) 电梯不换速, 没有慢速

(1) 换速距离太短或层楼选层器错位, 应将电梯调整到减速感应开关动作前, 层楼选层器相应触头已可靠接通并保持到减速

动作正确发生。

(2) 轿顶感应开关不动作,即感应板进入楼层感应开关后,干簧管的触点不能闭合,应更换干簧管。

(3) 楼层继电器和方向继电器未释放,造成慢速接触器不动作,应检修继电器及有关线路。

(4) 慢速接触器本身事故而造成慢速接触器不能动作,应检修慢速接触器及有关线路。

(十三) 电梯到站平层后,不能自动开门

(1) 开门电机回路熔断器熔体熔断,应更换熔体并查找原因。

(2) 开门限位开关未有复位或接点未闭合,应调整或更换。

(3) 开门继电器损坏或接线断路,应更换或检修线路。

(4) 开门感应器损坏,应更换干簧管。

(5) 平层器开门动、静滑块未接触或接触不良,应检查调整。

(6) 门电动机整流子电刷接触不良或回路中接点松动,应及时修复。

(7) 方向和运行继电器未动作,造成开门继电器不得电,应检查有关中间继电器、接触器及有关线路。

(8) 运行继电器没有释放,是停层感应开关没有断开。

(十四) 开关门速度变慢

(1) 电枢回路电位器动点移动,使回路电阻增加,应重新进行调整。

(2) 开门电动机传动带松、打滑,应张紧传动带或更换。

(十五) 电梯运行中突然停车

(1) 总熔断器熔断,应更换熔体并找出原因。

(2) 停电,可等待来电。

(3) 急停(电压)继电器线圈所串回路中继电器、开关动作(如安全钳开关、限速器开关、热继电器等),应检查急停继电器回路中各继电器、开关触头。

(4) 平层感应器干簧管触头烧死，电梯一换速就停车，应更换干簧管。

(5) 快速继电器、接触器线圈回路中所串继电器触点或继电器故障，应找出原因排除故障。

(6) 门刀碰门锁滚轮、门锁断开使门锁继电器释放，应调整门锁滚轮与门刀位置。

(十六) 电梯冲顶或蹲底

(1) 个别继电器，接触器卡死或有延时释放现象，电梯未换速，应更换有卡死、延时释放现象的继电器、接触器。

(2) 选层器换速动、静触头接触不良，应调整或更换。

(3) 闸松动，保护环节动作，也不能使电梯完全制动住，应进行调整，及时维修。

(4) 交流电梯在顶部端站由于调速系统故障或晶闸管回路故障，使换速后无制动电流，电梯仍快速运行，保护环节动作，施闸亦不能使电梯完全制动住，应查明原因，进行修复或更换元件。

(5) 停层感应开关的干簧管触头未断开，使控制的运行继电器、慢车接触器、方向接触器均未释放，应更换干簧管，并维修有关电气元件及线路。

(6) 强迫换速限位开关失灵，而控制的快速接触器未释放，应更换限位开关。

(7) 上、下方向限位开关与上、下越程开关失灵，应更换失灵的限位开关和越程开关。

(十七) 预选层站不停车

(1) 轿内选层继电器失灵，应维修或更换继电器。

(2) 选层器上滑块接触不良或未接触，应进行调整。

(十八) 未选层站停车

(1) 选层器上层间信号隔离二极管击穿，应更换二极管。

(2) 快速保持回路接触不良，应检查修复。

(十九) 门安全触板失灵，关门时夹人

(1) 安全触板微动开关不动作，应调整或更换开关。

(2) 安全触板微动开关短路，应找出短路点并排除故障。

(3) 安全触板传动机构损坏，应调整传动机构，使动作灵活，或更换零件。

(4) 开关的有关联线松开或断开，应及时维修。

(二十) 门电动机速度明显降低或跳动

(1) 门电动机励磁线圈所串电阻过小或折断，应调整或更换电阻。

(2) 低速开、关门行程开关未复位，应修复或更换行程开关。

(3) 开门电动机传动带打滑，应调整或更换传动带。

(4) 吊门滚轮损坏或有异物卡阻，应更换吊门滚轮，清除异物。

(5) 门导轨变形或松动、偏斜；应校正导轨，紧固连接螺栓。

(二十一) 开、关门速度过快，在行程末端无缓速

(1) 门电动机励磁线圈串接电阻值过大，应适当调小电阻值。

(2) 缓速开关接触不良，分流电阻抽头接触不良，应检修调整。

(3) 门电动机电枢回路所串电阻值过小，应适当调大电阻值。

(二十二) 直流电梯在运行中忽快忽慢

(1) 励磁柜上的晶闸管和脉冲插件的触头接触不良或元件损坏。

(2) 触发器插件触点接触不良或元件损坏。

(3) 放大器插件触点接触不良或有关元件损坏。

应将插件板触点轻轻擦拭干净或更换插件和损坏件。

(二十三) 直流电梯在运行中抖动

(1) 励磁柜上的反馈稳定调节器不合适，有零漂现象，应调整稳定电位器和运放调零。

(2) 测速发电机故障，磨损或传动带过松，应修复或更换测速发电机，张紧或更换传动带。

(3) 发电机或直流电动机的电刷磨损严重，并在行车时发出大的火花，应更换电刷，校正中心线。

(二十四) 交流电梯换速后无制动

(1) 半闭环交流电梯的制动接触器回路故障，使制动接触器不能吸合，应检查制动接触器回路，更换损坏件。

(2) 调速系统故障，如速度给定环节故障，给定曲线下降；测速反馈环节故障，没有实际速度电压；制动速度调节环节故障，没有正输出；制动触发器或脉冲变压器故障，无脉冲输出，可先用万用表、示波器检测各有关测试点缩小查找范围，再细查故障环节，进行修复或更换元件。

(3) 晶闸管损坏，不能导通，应更换晶闸管。

(二十五) 交流电梯在制动段抖动

(1) 反馈深度不够，应将反馈调强一点。

(2) 若有振动剧烈，调反馈电位器又不起作用，为稳速反馈输入电路有问题，应检查稳速反馈电路，可修复或更换元件。

(3) 测速发电机整流子积碳或严重磨损使测速反馈电压忽高忽低，应修复或更换测速发电机。

(4) 以触点滑块作为给定的电梯，其滑块上有油污，与触点接触不良，使给定曲线波动较大，可用酒精清擦触点、滑块。

(二十六) 交调双速、直流电梯不平层

(1) 如层层越层，可能是闸太松，应调紧抱闸。

(2) 如单方向越层，可能该方向平层感应器移位或干簧管动作迟缓或损坏，应调整感应器位置或更换干簧管。

(3) 如某层越位，是该层隔磁板移位，应调整该层隔磁板。

第十四节 电源开关联锁

一、带分励脱扣器的断路器

断路器加装了分励脱扣器后，可用于远距离切断电源，也可

用于机床电器箱开门断电等场合，在安装接线时，分励脱扣器线圈如不接在辅助开关的常闭触头上，其分励控制回路必须从开关的负载侧引出，以防止分励线圈因长期通电而烧坏。

分励脱扣器的外施电压为额定电压的 70%（热态）~110%（冷态）时，能可靠地分断开关。

辅助开关具有一常开，一常闭辅助触头，其约定发热电流为 3A，额定电压为 380V，寿命符合开关的要求。

如果将分励脱扣器和辅助开关的常闭触头配合使用，可达到由断路器电源侧或其他独立电源来控制断路器的分断。

二、电源开关联锁装置

（一）与断路器配套

DL₂ 电源开关联锁适用于与安装在电气安装板上的断路器配套，供各种机床电气控制柜作断开电源、接通电源及柜门与电源开关联锁使用，使得只能在切断电源后，才能打开门，将门关闭时才能接通电源，达到了开门断电，闭门能锁，且开门后不采取特殊措施，电源接不通等功能，起到安全保护作用。

电源开关联锁由手柄及锁住机构，联锁的连接机构及开门手柄的操作机构等组成。当柜门关上后，传动手柄，通过连接机构和操纵机构可合上电源，反转手柄可切断电源，再按箭头方向转动，便可打开柜门，保证了开门断电的功能。在断开位置可以锁住手柄，同时锁住开关和柜门。

手柄转到“1”位时，电源开关接通，这时应不可开门（工作状态），手柄转到“0”位时，开关断开，柜门仍不可开，手柄继续按箭头方向转动才可开门。开门后，不采取特殊措施，开关不能接通。柜门关闭后，手柄在“0”位时，转动钥匙，可锁住手柄，钥匙可取下，这时开关和柜门可同时锁住（下班状态）。若要闭合经自动脱扣的断路器，先将手柄向“0”位转动，使断路器“再扣”，再将手柄转到“1”，即可接通电源。

为便于维修，在带电情况下，电气维修人员用专用钥匙插入解锁轴，按箭头方向转动也应能开启柜门。

(二) 与组合开关配套

DL4A 型电源开关联锁适用于与组合开关配套，安装在电柜侧面，联控柜门，供各种机床电控柜作断开电源、接通电源及柜门与电源开关联锁使用，使得只能切断电源后，才能打开门，将门关闭后，才能接通开关，达到开门断电，闭门能锁，且开门后不采取特殊措施，电源接不通等功能，起到安全保护作用。

电源开关联锁由安装板、手柄、组合开关、搭扣板等组成，手柄带动开关闭合或断开。柜门关上后，手柄按顺时针方向旋转，即接通电源；按逆时针方向旋转，即切断电源。若继续同方向旋转，才能打开柜门，保证了开门断电功能。手柄在断开位置时，拔出钥匙，即可锁住开关，同时锁住柜门。

当手柄转到“1”位时，接通电源呈工作状态；转动到“0”位时，拔出钥匙，手柄应能锁住，同时锁住开关（呈下班状态）。插入钥匙，手柄按箭头方向旋转，即可开门。开门后不采取特殊措施，开关不能接通。

为便于维修，在带电情况下，电气维修人员用专用钥匙插入解锁轴，按箭头方向旋转，也应能开启柜门。

第十三章 电动机

第一节 三相异步电动机

三相异步电动机是依靠电磁感应原理将电能转换为机械能，广泛用于一般机械设备的驱动，具有结构简单、价格低廉、运行可靠、维修方便等优点，为广大厂矿企业所采用。

一、三相异步电动机的结构和原理

(一) 结构

三相异步电动机由定子和转子两大部分及端盖、轴承及风扇等部件组成。

1. 定子 定子包括定子铁心、定子绕组和机座。

定子铁心是磁路部分，一般由 0.35 或 0.5mm 的硅钢片叠成筒形，其内圆冲成均匀分布的槽，槽内嵌入三相定子绕组，而绕组与铁心间有良好的绝缘。

定子绕组是电路部分，由三相对称绕组组成，并按一定的空间角度依次嵌入定子槽内。三相绕组的首端分别为 U_1 、 V_1 、 W_1 ，尾端分别为 U_2 、 V_2 、 W_2 ，接线方式按电源电压的不同，可接成星形（Y）或三角形（ Δ ）。

机座一般由铸铁或铸钢制成，其作用是固定定子铁心和定子绕组，封闭式电动机外表面还有散热筋，以增加散热面积。

机座两端的端盖，用来支承转子轴，并在两端设有轴承座。

2. 转子 转子包括转子铁心、转子绕组和转轴。

转子铁心是由 0.35mm 或 0.5mm 的硅钢片叠成，压装在转轴上，在外圆周围冲有槽子，一般为斜槽，并嵌入转子导体。

转子绕组有笼型和线绕两种，对于中小型电机的笼型转子，一般用铝浇入转子铁心的槽内，并将两个端环与冷却用的风扇翼浇

铸在一起；而线绕型转子绕组和定子绕组相似，三相绕组一般接成星形，三个出线头通过转轴内孔分别接到三个铜制集电环上，而每个集电环上都有一组电刷，通过电刷使转子绕组与变阻器接通来改善电动机的起动性能或调节转速。

（二）工作原理

当异步电动机定子三相绕组中通入对称的三相交流电时，在定子和转子的气隙中形成一个旋转磁场，该磁场切割转子导体，在转子导体内产生感应电动势。由于转子导体通过端环相互联接形成闭合回路，所以在导体中便出现感应电流。在旋转磁场和转子感应电流的互相作用产生电磁力，因此，转子在电磁力的作用下，沿着磁场旋转的方向而转动。

二、异步电动机的选择、起动和制动

（一）电动机的选择

正确选择电动机的容量、种类、型式以及控制和保护电路，是保证生产过程顺利进行的重要条件。一般要从应用场合的实际情况综合考虑，选择合适的电动机。

1. 电动机容量选择 选择电动机容量时应在满足生产机械负荷要求的前提下，经济、合理地确定电动机功率大小。如果容量选大了，就会出现“大马拉小车”的现象。虽然保证了正常生产，但造成设备投资费用增加和电能的浪费，还会由于电动机不常在满载情况下运行，使效率和功率因数降低。如果容量选小了，就不能保证生产，并长期处于过载运行，使电动机温升过高、绝缘老化，造成电动机过早损坏。同时还可能出现起动困难，因此，在选择电动机的种类、型号时，首先要选择电动机的容量。

选择电动机功率的计算公式为

$$P_e = \frac{P}{\eta_e \eta}$$

式中 P_e ——电动机的额定功率 (kW)；

P ——负载的机械功率 (kW)；

η_e ——电动机的效率；

η ——生产机械的效率。

2. 电动机电压选择 选择电动机电压应根据生产场所供电电网的电压等级来决定，使电动机的额定电压必须与电源电压相符，允许工作电压变化 $+10\% \sim -5\%$ 。如果电压过高，将引起电动机绕组过载发热，而电压过低，使电动机出力下降，甚至带负载起动困难，可能过热烧坏。

常用电动机的额定电压为380V（Y接法）及220/380V（ Δ ，Y接法）两种，只有大容量电动机才采用3000V或6000V。

3. 电动机转速选择 电动机转速应根据所拖动生产机械的要求来选定，必要时可选用高速电动机或齿轮减速电动机，也可选用多速电动机。

4. 电动机结构型式选择 电动机的型式有卧式和立式两种，无特殊要求时，一般选用卧式，有时根据电动机使用场合可选用开启式、防护式、封闭式和防爆式等结构型式。

5. 电动机种类选择 根据机械设备对电动机的要求按以下原则来选择：

(1) 无特殊要求的一般生产机械，应选用笼型异步电动机。

(2) 要求起动性能好，在不大的范围内平滑调速的设备，可选用绕线式异步电动机。

(3) 有特殊要求的设备，必须选用特殊结构的电动机。

(二) 异步电动机的起动

异步电动机的起动方式，应根据负载的特性、电网的容量等因素来决定，一般应考虑以下几点：

(1) 应有足够大的起动力矩和适当的机械特性。

(2) 尽可能小的起动电流。

(3) 起动操作方便，所用设备尽可能简单、经济、可靠。

(4) 起动过程中，功率损耗尽可能少。

1. 直接起动 在电源许可的情况下，一般小容量笼型电动机可采用直接起动。起动时，用刀开关、自动开关、组合开关或交流接触器将电动机的定子绕组直接接到电网上，使电动机起动。它

具有起动设备简单、起动迅速，但起动电流大。

电动机能否直接起动，可用以下经验公式来确定，即

$$\frac{I_Q}{I_N} \leq \frac{3}{4} + \frac{S}{4P_N}$$

式中 I_Q ——电动机起动电流 (A)；

I_N ——电动机额定电流 (A)；

S ——电源变压器容量 (kV·A)；

P_N ——电动机额定功率 (kW)。

如计算结果不能满足上式要求时，应采用降压起动。一般情况下，10kW 以上的电动机不宜直接起动，应采用降压起动。

2. 降压起动 利用起动设备将电压降低后加到电动机定子绕组上进行起动，以限制电动机的起动电流，待电动机转速升高至接近额定转速后，再将电动机定子绕组上的电压恢复到额定值。因此，降压起动多用于笼型电动机的空载或轻载起动。

(1) 星形—三角形 (Y, Δ) 起动 Y, Δ 起动方法适用于正常运行时为三角形接法的较小容量的电动机的轻载起动，起动时先将定子绕组接成 Y 形，待转速升高到接近额定转速时，再改接成 Δ 形联结，可使每相定子绕组所受的电压在起动时降到电源电压的 $1/\sqrt{3}$ ，电流为直接起动的 $1/3$ 。

Y, Δ 起动控制电路如图 13-1 所示。

(2) 电阻或电抗器起动 在电动机定子绕组上串联电阻或电抗器，当起动电动机时，利用电阻 R 上的电压降使电动机的起动电流减少，待电动机达到一定转速后，再将电阻 R 短接，电动机定子绕组加上全压，使电动机投入正常运转。

串电阻起动的电路如图 13-2 所示。

(3) 自耦变压器起动 是利用自耦变压器来降低起动时加在电动机定子绕组上的电压，以达到限制起动电流。安装时，将自耦变压器的一次侧接到电网上，二次侧接到电动机定子绕组。自耦变压器一般有几个分接头，以供选择不同的电压，分别为一次侧电压的 60%、65%、80% 等。

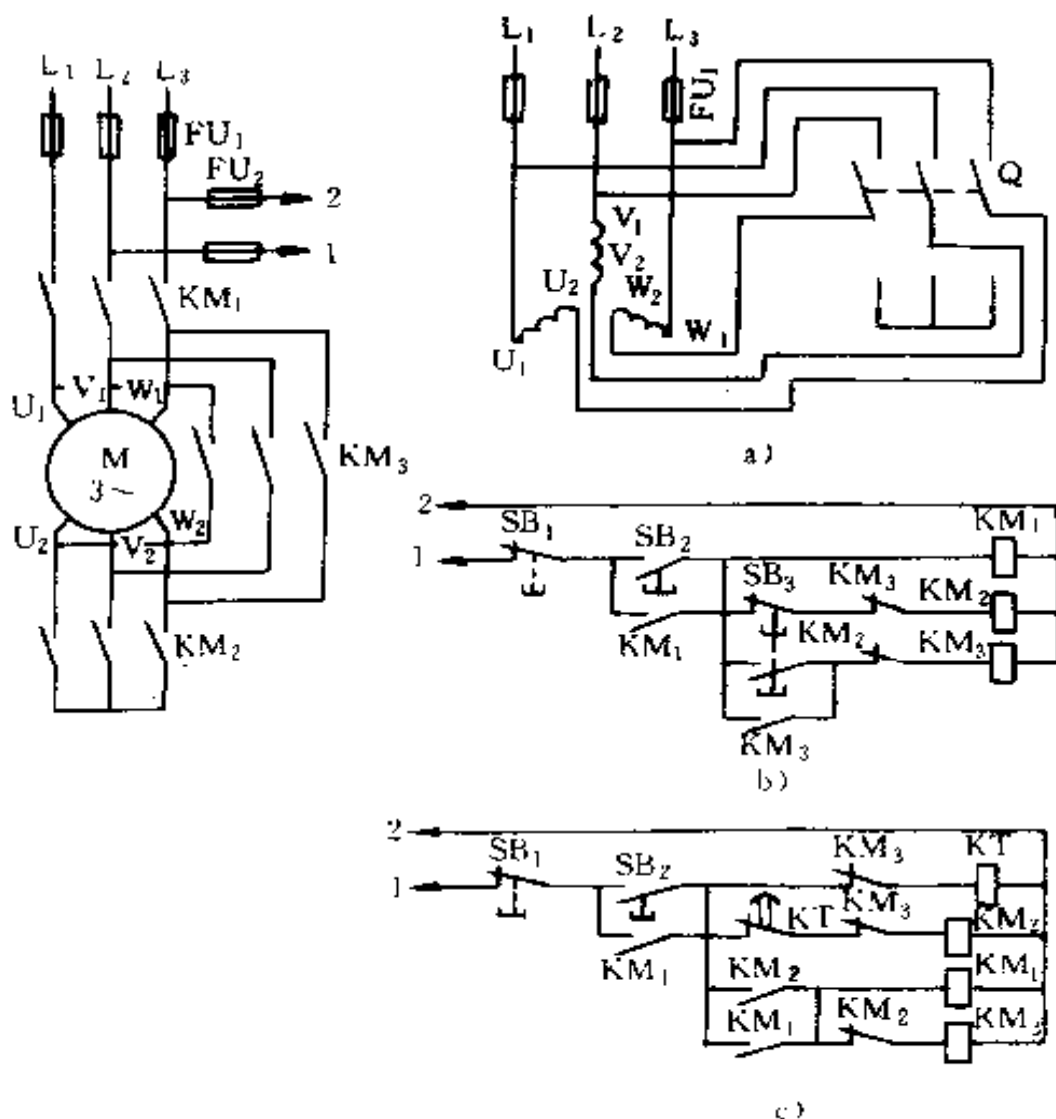


图 13-1 Y, Δ 起动控制电路

a) 手柄操作 b) 按钮操作 c) 时间继电器操作

控制电路如图 13-3 所示。

(4) 延边三角形起动 电动机起动时，定子绕组接成延边三角形以减小起动电流，待电动机转速升高接近额定转速时，再接成三角形，使电动机投入正常运行。适用于定子绕组有中间抽头的电动机。

控制电路如图 13-4 所示。

(三) 异步电动机的制动

三相异步电动机从切断电源到完全停止转动，由于惯性的关系总是要经过一段时间，这就不能满足某些生产工艺上的要求，因

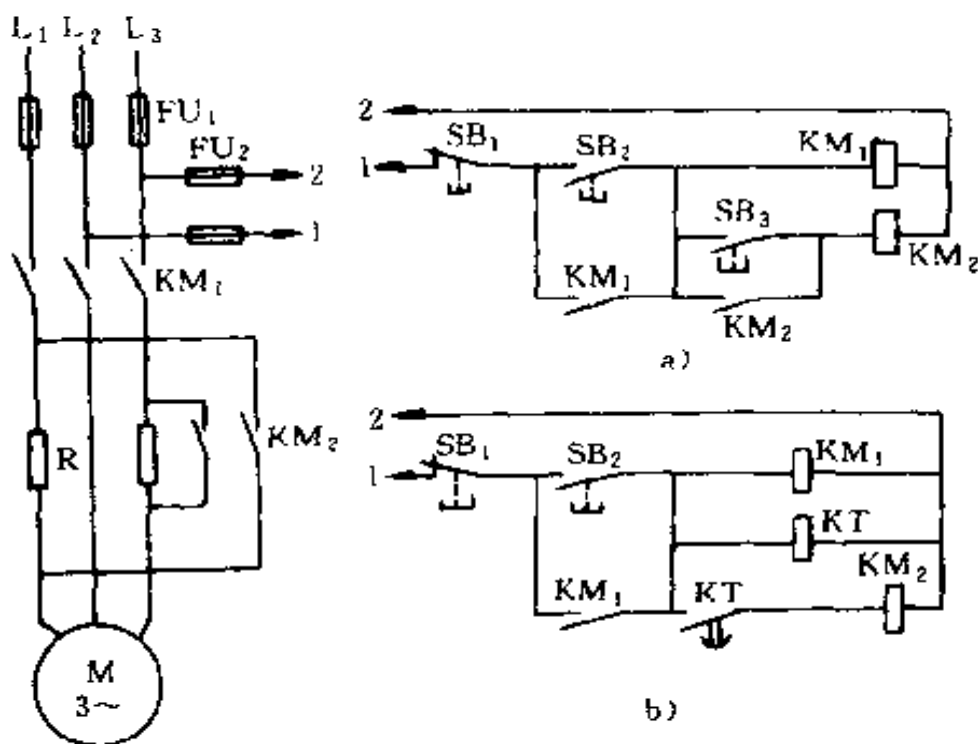


图 13-2 串联电阻的起动控制电路

a) 按钮操作 b) 时间继电器操作

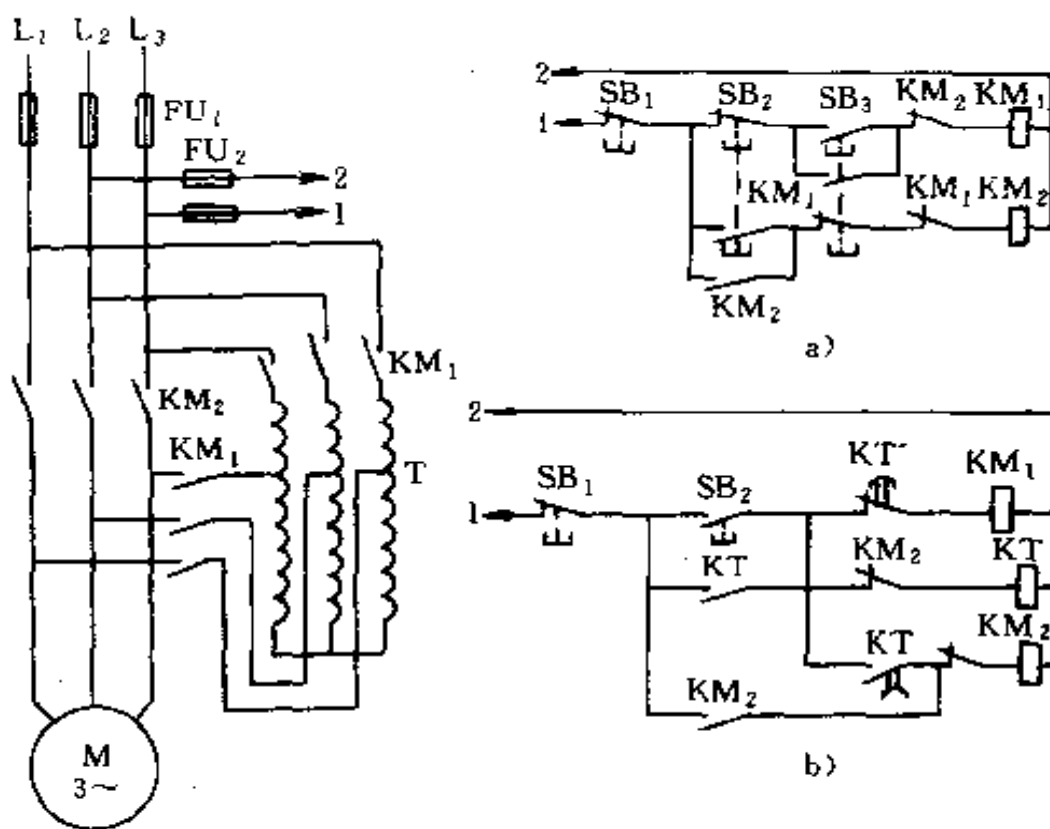


图 13-3 自耦变压器起动控制电路

a) 按钮操作 b) 时间继电器操作

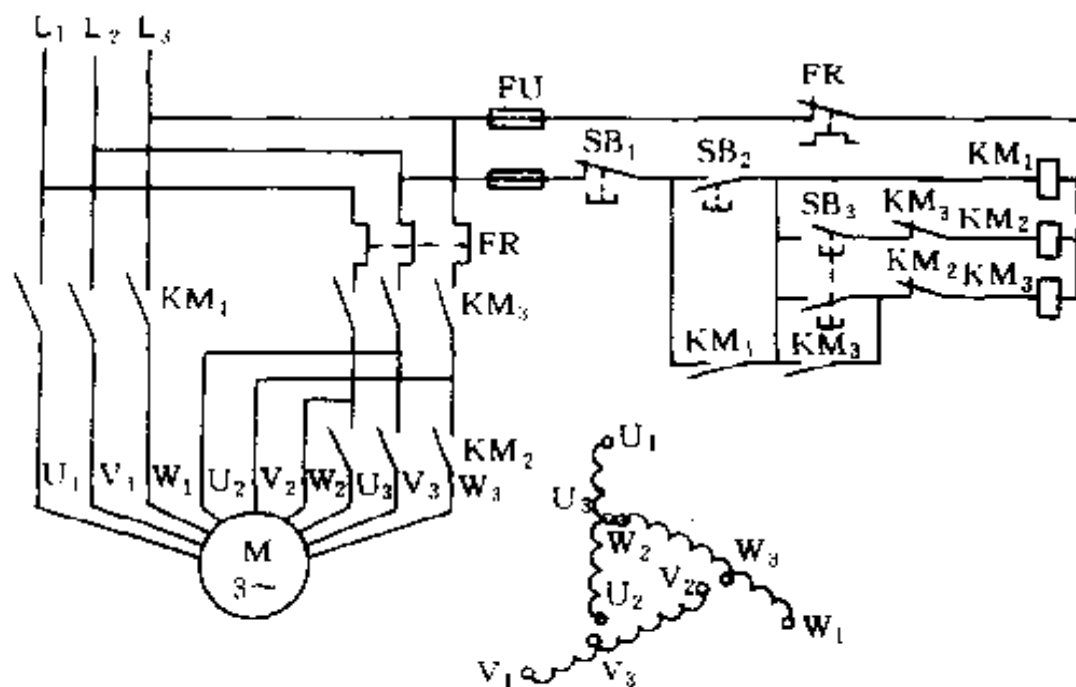


图 13-4 延边三角形起动控制电路

此要采用一些制动措施来使电动机的惯性旋转时间缩短。笼型异步电动机常用的制动方法有：反接制动、再生（发电）制动和能耗（动力）制动，其操作方法如下：

1. 反接制动 是在电动机断电的同时，将电源的相序变换一下，使电动机定子的旋转磁场反向，在产生一个转矩和原来的转矩方向相反。经过短暂的时刻，再将电源断开，电动机便迅速停止转动。

2. 能耗制动 在定子绕组断电后，立即使定子两相绕组通入直流电产生一个静止磁场，转子在这个磁场中旋转产生感应电动势，转子电流与固定磁场所产生的转矩阻碍转子继续旋转。因此，产生制动作用，使电动机迅速停止转动，而后切除直流电源。

三、异步电动机的操作运行与维护

（一）电动机的操作运行

1. 基本要求和规定

（1）电动机一般设计在海拔高度不超过 1000m，环境温度不超过 40℃ 的地点运行。

（2）电动机在额定电压变化 ±5% 以内时，可按额定功率连续

运行，当电压变化超过 $\pm 5\%$ ，应通过试验，确定电动机允许的负荷。

(3) 运行中电动机的各部位温升应符合表 13-1 的规定。

表 13-1 三相异步电动机的最高允许温升 (C)

电动机部位	A 级绝缘		E 级绝缘		B 级绝缘		F 级绝缘		H 级绝缘	
	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法
定子绕组	50	60	65	75	70	80	85	100	105	125
转子绕组 (绕线式)	50	60	65	75	70	80	85	100	105	125
定子铁心	60	—	70	—	80	—	100	—	125	—
集电环	60	—	70	—	80	—	90	—	100	—
滑动轴承	40	—	40	—	40	—	40	—	40	—
滚动轴承	55	—	55	—	55	—	55	—	55	—

(4) 对短时定额的电动机，各部位的温升限度允许比表 13-1 中规定的数值高出 10C 。

(5) 若电动机运行时的最高环境温度在 $40\text{C} \sim 60\text{C}$ 时，表 13-1 中规定的温升限度应减去环境温度超过 40C 的数值。

(6) 若电动机运行的环境温度为 $0 \sim 40\text{C}$ 时 (如 $t\text{C}$)，温升限度一般不增加。如果与制造厂取得协议后，允许增加 $(40-t)$ ，但最高为 30C 。

(7) 电动机在额定冷却空气温度 (一般为 35C) 时，可按制造厂规定的额定数据运行，当冷却温度与额定值不同时，可参照以下规定的负载功率运行：

1) 当冷却温度 t 低于 35C 时，电动机的功率可以比额定功率提高 $(35-t)\%$ ，但最多不得超过 $8\% \sim 10\%$ 。

2) 当冷却温度 t 高于 35C 时，电动机的功率比额定功率降低 $(t-35)\%$ 。

(8) 电动机在运行时的允许振动值(双振幅)应不大于表 13-2 中的规定。

表 13-2 电动机的允许振动值

同步转速/ $r \cdot \text{min}^{-1}$	3000	1500	1000	750 及以下
双振幅值/mm	0.05	0.085	0.1	0.12

(9) 电动机轴伸的径向偏摆最大允许值应不大于表 13-3 中的规定。

表 13-3 电动机轴伸径向偏摆允许值

轴伸公称直径/mm	最大允许偏摆/mm	轴伸公称直径/mm	最大允许偏摆/mm
10~18	0.03	50~80	0.06
18~30	0.04	80~120	0.08
30~50	0.05		

(10) 滑动轴承上电动机轴伸窜动间隙(轴向移动)的允许值见表 13-4。

表 13-4 滑动轴承上电动机轴伸窜动间隙允许值

电动机容量/kW	向一侧轴向移动量/mm	向两侧轴向移动量/mm
10 以下	0.5	1.0
10~20	0.75	1.5
30~70	1.0	2.0
70~125	1.5	3.0
125 以上	2.0	4.0
轴径大于 200mm	轴径直径的 2%	

(11) 电动机定子与转子间的气隙不均匀度不允许超过表 13-5 中的规定。

表 13-5 电动机定子与转子不同气隙的不均匀度

公称气隙/mm	不均匀度	公称气隙/mm	不均匀度
0.2~0.5	+25%	1.0~1.3	±15%
0.5~0.75	±20%	>1.4	±10%
0.75~1.0	+18%		

(12) 电动机的出线标志，异步电动机绕组初级线端用 U_1 、 V_1 、 W_1 表示，次级线端用 U_2 、 V_2 、 W_2 表示，N 表示中性端。

对于绕线转子异步电动机转子的三相绕组端标志，应根据定子线端进行如下更换：U 换成 K，V 换成 L，W 换成 M，N 换成 Q。

对于二相绕组线端标志，从三相绕组线端标志演化出来，将 W、M 二字去除即可。

(13) 电动机定子绕组相间及对地绝缘电阻，按每伏工作电压不低于 $1k\Omega$ ，转子绕组及集电环之间每伏工作电压不低于 500Ω 。

(14) 电动机轴承的润滑脂填满量不应超过轴承盒容积的 70%，但也不得少于容积的 50%。

2. 开关设备的正确操作

(1) 电动机直接起动的操作开关的选择和安装

1) 电动机直接起动的操作开关的选择

① 电动机容量在 $7kW$ 以下时，一般可采用瓷底胶盖刀开关，其额定电流应为电动机额定电流的 3 倍。

② 电动机容量在 $10kW \sim 14kW$ 时，宜采用负荷开关，其额定电流不小于电动机额定电流的 2 倍。

③ 采用空气断路器或起动机时，其额定功率不得小于电动机的额定功率。

2) 操作开关的安装注意事项

① 在操作开关的安装地点应能监视电动机的起动和所拖动机件的运转情况。

②各种机床的操作开关应安装在便于操作及人体和工件不易触碰而引起误动作的部位。

③开关安装在墙上时，宜装在电动机的右侧。

④如果需要将开关安装在远离电动机的地点，必须在电动机附近加装供紧急切除电源用的应急开关，同时还要加装在开关合闸前发出信号的报警装置，以便使处于电动机和所拖动物机械周围的人员事先得到警告。

⑤操作开关的安装应保证操作人员操作时的安全。

(2) 开关设备的正确操作 操作电动机的开关设备，应保持正确的操作姿势，操作者应站在开关手柄的右侧，面对电动机和被拖动的机械，双眼注视合闸后电动机的起动、传动装置的传动和被拖动物机械的转动情况，如发生异常现象，应立即拉闸停车，严禁推上合闸手柄就离开操作位置。

各种开关设备的操作：

1) 按钮 动作要快，要一按到底，不可作断续的点动，以免电磁开关产生误动作。

2) 瓷底胶盖刀开关 合闸时，要向上推足、果断迅速，使动触头刀片完全插入静触头中去。面部不要正对开关，特别是负荷大，熔体小，当熔体熔断时，发出强烈弧光灼伤面部；分闸时，要向下拉到底，不可把手柄停在刚离开静触头的位置处，以防止动、静触头太近而引起跳闸或误合闸事故。

3) 负荷开关 不可开盖进行分、合闸操作，在不拉开闸刀时不能打开铁壳，若开关联锁装置损坏时，未修复前可作为例外进行一次性的开盖分、合闸，严禁经常如此操作，以免受电弧灼伤。

4) 空气断路器 因操作机构为快速分、合闸结构，操作时动作不宜过快，用力不宜过大，以免折断操作手柄。

5) 组合开关 每旋一次，手柄位置变换 90° ， 360° 内分、合间隔各两次。手柄必须顺时针方向旋转，否则，手柄会被拧出轴柄。手柄每次变位到触头停止时，会发出“嗒”声。若手柄停住而未

发出声音，应注意触头是否确已停住，以防停位不当而误合闸。

6) 起动机 常见的操作机构是手柄操作合闸，按钮操作分闸。手柄的停位有三档：中间是空位，即分闸位，标有“停”字，说明停车；内档是“起动”位；外档是“运转”位。开车时，应将手柄推上“起动”位，但不可松手，并注视电动机起动情况，待转速稳定，声响均匀后，再将手柄拉到“运转”位置。变位时不可过快，应根据电动机的大小和起动情况而定，否则，就不能达到降压起动的目的。停车时，只要按一下“停车”按钮即可。

3. 电动机起动前的检查 为了保证设备和人身安全，防止电动机起动时发生故障，使电动机能够正常起动，在起动前应做以下检查：

(1) 检查电动机铭牌所示电压、频率与使用电源是否相符，接法是否正确，电源容量与电动机容量，起动方法是否合适。

(2) 使用的导线规格是否合适，电动机引出线与线路联接是否牢固，接线有无错误，接线端有无松动或脱落现象。

(3) 开关和接触器的容量是否合适，触头接触是否良好，装接是否牢固。

(4) 熔断器和热继电器的额定电流与电动机的容量是否匹配，热继电器是否复位。

(5) 用手扳动电动机转子和所拖动机械的转轴，转动是否均匀、灵活，有无摩擦和扫膛现象。

(6) 检查轴承是否缺油，油质是否符合标准，加油时应达到规定的油位，对强迫润滑的电动机油路有无阻塞，油温是否合适，循环油量是否符合要求。

(7) 检查传动装置有无缺陷，传动带是否过紧或过松，是否有断裂，联轴器连接是否可靠。

(8) 电动机和传动机械的基础是否牢固，电动机外壳有无裂纹，接地是否可靠。

(9) 起动器的开关或手柄是否在起动位置。

(10) 旋转装置的防护罩等安全措施是否完好。

(11) 电动机的通风系统、冷却系统、润滑系统是否正常。

(12) 检查电动机周围有无妨碍运行的杂物,以防止被卷入电动机内部。

(13) 新安装或停用三个月以上的电动机,应使用 500V 兆欧表测量绝缘电阻,其阻值应不低于 $0.5M\Omega$ 。

(14) 对绕线型转子电动机,还应检查电刷与换向器或集电环接触是否良好,电刷压力是否符合要求。

(15) 检查电源电压是否正常,电压的波动范围在 $\pm 10\%$,即允许起动。

4. 电动机起动时注意事项

(1) 电动机接通电源后,若发现电动机不能起动或起动时转速很低及声音不正常等异常现象,应立即切除电源检查原因。

(2) 起动多台电动机时,应按容量从大到小逐台起动,切不能同时起动,以防止起动电流过大,造成线路压降过大或引起断路器跳闸。

(3) 电动机应避免频繁起动或尽量减少电动机的起动次数,以免由于起动频繁而使电动机发热,影响电动机的使用寿命。

(4) 电动机起动时,注意附近是否有人或其他杂物,以免造成人身及设备事故。

(5) 起动装置的动作是否正常,是否逐级加速,电动机加速是否正常,起动时间有无超过规定。

5. 电动机起动后的检查

(1) 电动机起动后电流是否正常,在三相电源平衡时,三相电流中任一相与三相平衡值的偏差不应超过 10% 。

(2) 电动机的旋转方向有无错误。

(3) 电动机有无异常振动和响声。

(4) 有无异味及冒烟现象。

(5) 电流大小与负载是否相当,有无过载现象。

(6) 使用滚动轴承时,转动是否灵活、正常。

6. 电动机运行监视

(1) 电动机电流是否超过允许值。

(2) 轴承温度及润滑是否正常，对油环式润滑的轴承，应注意油环转动是否灵活，轴承箱内的油是否充满到油位，要防止假油位。对强力润滑的轴承，其油系统和冷却系统运行是否正常。

轴承的最高允许温度，可遵照以下标准：

1) 对滑动轴承不应超过 80℃。

2) 对滚动轴承不应超过 100℃。

(3) 电动机有无异常响声。

(4) 注意电动机及环境温度，并保持电动机附近的清洁，周围不应有煤灰、水汽、油污、金属导线、棉纱头等，以防止卷入电动机内部。

(5) 由外部用管道引入空气冷却的电动机，应保持管道畅通无阻，连接处要严密，闸门的位置应正确，对于大型密闭式冷却的电动机，其冷却系统运行是否正常。

(6) 三相电源电压是否平衡，有无异常变化。

(7) 电动机是否发出异常气味。

(8) 观察电动机运行时电刷工作情况。

(9) 按规定时间，记录电动机的读数，电动机起动、停止时间及原因，并记录所发现的一切异常现象。

7. 电动机运行中的事故停机 电动机在运行中若出现异常现象，除应加强监视，迅速查明原因外，并应报告有关人员。当发生下列情况之一者，应立即切除电源或去掉负荷，紧急停机。

(1) 在运行中发生人身事故。

(2) 电动机所拖动的机械发生故障。

(3) 电动机冒烟起火。

(4) 电动机轴承温度超过允许值，不停机将会造成损坏。

(5) 电动机电流超过铭牌规定值，或在运行中电流猛增，原因不明，无法消除。

(6) 电动机在发热和响声异常的同时，转速急剧下降。

(7) 电动机内部发生扫膛、窜轴。

(8) 传动装置失灵或损坏。

(9) 电动机出现剧烈振动。

(10) 电动机起动装置、保护装置、强迫润滑或冷却系统等附属设备发生故障，并影响电动机的正常运行。

切除电源后，必须认真检查发生上述现象的原因，并排除故障后，才能重新合闸运行。

(二) 电动机的维护

电动机保养、维护的周期及要求，应按电动机的容量大小、重要程度、使用状况、环境条件等因素来决定，并按现场规程进行维护。

1. 交接班时应进行检查

(1) 电动机各部位发热情况。

(2) 电动机和轴承运转的声音。

(3) 各主要连接处的情况，变阻器、控制设备等的工作情况。

(4) 润滑油的油面高度。

(5) 交流集电环式电动机的换向器、集电环和电刷的工作情况。

2. 每月应进行检查

(1) 擦拭电动机外部的油污及灰尘、吹扫内部的灰尘及电刷粉末等。

(2) 测定电动机的转速和振动情况。

(3) 拧紧各紧固螺钉。

(4) 检查接地装置。

3. 每半年应检查

(1) 清扫电动机内部和外部的灰尘，污物和电刷粉末等。

(2) 调整电刷压力，更换或研磨已损坏的电刷。

(3) 检查并擦拭刷架、刷握、集电环和换向器等。

(4) 检查并调整通风及冷却系统的工作情况。

(5) 检查润滑系统，补充润滑脂或更换润滑油。

(6) 检查并调整传动机构。

4. 每年应进行检查

(1) 解体清扫电动机绕组、通风沟和接线板。

(2) 测量绕组的绝缘电阻，必要时进行干燥。

(3) 检查集电环、换向器的不平度、偏摆度，超差时应进行修复。

(4) 调整刷握与滑环、换向器之间的距离。

(5) 清洗轴承及润滑系统，并检查其状况，测定轴承间隙，更换磨损超出规定的窜动轴承，对损坏严重的滑动轴承应重新挂锡。

(6) 更换已损坏的转子绑箍钢丝。

(7) 测定并调整电动机定、转子间的气隙。

(8) 清扫变阻器、起动器、控制设备、附属设备，更换已损坏的电阻、触头、元件、冷却油及零部件。

(9) 检修接地装置。

(10) 调整传动装置。

(11) 检查、校核测试和记录仪表。

(12) 检查开关、熔断器的完好情况。

四、电动机的安全使用

为了安全使用三相电动机，在三相四线制中性点接地的供电系统中，电动机一般采用保护接地装置；在三相四线制中性点不接地的系统中要采用保护接零装置。

(一) 保护接地

保护接地就是将电动机的金属外壳同大地牢固良好地连接起来，如图 13-5 所示，以保护人体安全。

在正常情况下电动机的外壳是不带电，如果电动

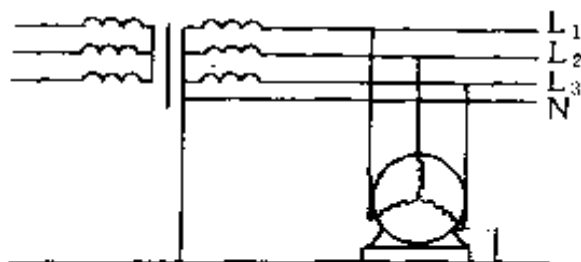


图 13-5 保护接地

机的绝缘损坏后，就会使电动机外壳对地电压升高。当人体与它接触，电流就会流过人体，大地回到电源网络中，使人身发生触电事故。若在电动机的外壳装接地线，电流就会通过接地线流入大地，所以大大降低了它对大地的电压。这时即使人体接触到它，流过人体的电流也很小，不会有很大的危险。

接地线一般使用长 1.5m，直径为 18mm 经过去锈或净化处理的铁棍做成，它与机壳连接处最好采用铜导线。对于运行电压为 380V 的电动机，要求接地电阻不应大于 4Ω 。

（二）保护接零

保护接零就是将电动机的金属外壳与零线（即中性点）牢固良好地连接起来，如图 13-6 所示。

这种方法一般使用于中性点不接地的三相四线制的供电系统中，其作用是当电动机的绕组，如有一相绝缘损坏而碰壳时，就会通过机壳与中性点形成单相短路。因中性线的电阻很

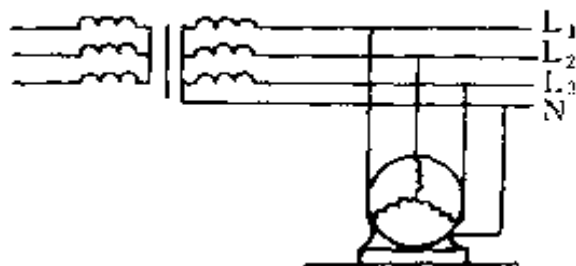


图 13-6 保护接零

小，就会产生较大的短路电流，使网络中熔断器的熔体熔断，使电动机与电源隔离，达到保护的目。

采用保护接零时应注意事项：

(1) 在同一供电系统中，不应将一部分电动机采用保护接地，而另一部分采用保护接零。

(2) 中性线上不应安装熔断器和断路设备。

(3) 接零连接线径不应小于电源线径的一半。

(4) 接零导线一律采用并联连接。

五、常见故障与处理

（一）电动机无响声又不转动

(1) 电源未接通，应检查电源电压、开关、线路及电动机引出线，找出原因后修复。

(2) 熔断器熔体烧断, 先检查熔体烧断的原因并排除故障, 再按电动机的容量, 重新安装熔体。

(3) 控制线路接线错误, 应根据原理图、接线图检查线路是否符合要求, 找出错误并改正。

(4) 定子或转子绕组断路, 可用万用表、兆欧表检查绕组, 找出断开点, 重新连接。

(5) 定子绕组相间短路或接地, 应检查三相电流是否平衡; 用兆欧表检查绕组有无接地, 找出故障, 进行修复。

(6) 负载过重或机械部分卡住, 应重新计算负载, 选择容量合适的电动机或减轻负载; 检查机械传动机构有无卡住, 并排除故障。

(7) 电动机三角形接法误接成星形接法, 使电动机重载时不能起动, 应按电动机铭牌重新接线。

(8) 定子绕组接线错误, 应重新检查绕组头尾端, 正确接线。

(9) 绕线转子电动机起动误操作, 应检查集电环短路装置及起动变阻器位置, 起动时要分开短路装置, 串入变阻器。

(二) 电动机发出嗡嗡声但不转动

(1) 电源电压过低, 应检查电源电压, 并调高电压。

(2) 电源缺相, 应检查电源电压、熔断器、接触器、开关、一相断线或假接, 应进行修复。

(3) 电动机引出线头尾接错或绕组内部接反, 应检查绕组极性, 判断绕组头尾是否正确。

(4) 三角形接法绕组, 误接成星形, 将星形接法改成三角形。

(5) 定子、转子绕组断路, 应检查断路处进行修复; 检查绕组转子电刷与集电环接触情况; 检查起动电阻有无断路或电阻过大。

(6) 负载过大或机械卡住, 应减轻负载, 排除机械故障或更换合适的电动机。

(7) 装配过紧或润滑脂太硬，应重新装配或更换油脂。

(8) 改极重绕时，槽配合选择不当，应选择合理绕组型式和节距；适当减小转子直径，重新计算绕组参数。

(三) 电动机通电后断路器立即分断

(1) 过电流脱扣器的瞬时整定值太小，应调整瞬时整定值。

(2) 脱扣器的某个零件（如半导体器件、橡皮膜等）损坏，应更换脱扣器及损坏零件。

(3) 脱扣器反力弹簧断裂或落下，应更换弹簧或重新装好弹簧。

(四) 电动机通电后熔断器很快熔断

(1) 熔断器的熔体额定电流太小，与电动机容量不匹配，应更换合适的熔体。

(2) 若电动机星形接法误接成三角形接法，电动机虽然能启动，但声音不正常，熔体很快就会熔断。

(3) 电源线有线间或对地短路，可用兆欧表检查电源线即可查明。

(4) 电动机绕组内部接错或引出线头尾接错，将接线或头尾改正即可。

(5) 定子绕组接地，用兆欧表检查各相定子绕组对地绝缘电阻，若绝缘已损坏，应找出接地点，垫上绝缘纸，涂上绝缘漆即可。

(6) 定子绕组相间短路，用兆欧表检查各相定子绕组的绝缘情况，找出短路点，进行处理。

(7) 电动机装配严重不合适或机械部分卡住，使电动机启动困难，甚至不能启动，应重新装配或排除卡住故障。

(8) 负载过重，启动电流过大，应减轻负载。

(9) 电源接线不牢，造成单相启动。

(10) 当绕线转子电动机启动时，提刷机构的手柄误放在运行位置而直接启动，或手柄虽放在启动位置，但由电刷到启动电阻间的接线有短路或启动电阻本身短路，应正确操作或检修启动装

置。

(五) 电动机异常响声

(1) 定子绕组接地或相间短路, 可用兆欧表检查线圈是否接地或短路。

(2) 绕组或部分线圈的极性接错, 应改正接线。

(3) 定子绕组匝间短路, 造成磁场不均匀, 应用电桥测定三相绕组的直流电阻并进行比较, 找出短路处。

(4) 一相突然断路, 造成电动机单相运行, 应立即停机, 找出断路点。

(5) 转子和转动部分不平衡, 应检查平衡块是否脱落, 风扇是否破损, 转轴是否弯曲等。

(6) 轴承磨损严重或滚珠损坏, 应更换轴承。

(7) 轴承内环与轴接触不牢或进入砂粒, 应对轴承进行清洗、检修。

(8) 笼型转子条脱焊或断条, 应及时检修或更换转子。

(六) 强烈振动

(1) 电动机基础强度不够或固定不紧。

(2) 风扇叶片损坏, 破坏了转子的机械平衡。

(3) 转子和转动部分不平衡, 应检查重块、风扇、转轴等是否正常。

(4) 传动胶带接头不平滑。

(5) 电动机单相运行, 应检查熔断器熔体是否熔断, 开关接触是否良好。

(6) 负载不平衡和安装不同心, 可松开联轴器, 检查是否还有振动。

(七) 外壳带电

(1) 电动机外壳未有可靠接地, 而带电部分一相对地绝缘损坏。

(2) 电动机引出线或接线盒的接头绝缘损伤而接地, 可检查接头绝缘情况。

(3) 槽口处绝缘损伤造成接地。

(4) 线圈端部顶碰端盖而接地。

(5) 电源线与接地线有无接错，应检查接线进行纠正。

(6) 绕组受潮，绝缘老化，应对受潮绕组进行烘干，或更换严重老化的绕组。

(7) 相线触及外壳，应检查接线盒桩头和保护钢管管口。

(八) 三相电流不平衡

(1) 三相电源电压不平衡，可用万用表检查电压。

(2) 各相定子绕组头尾端接错，应正确判断绕组头尾，并改正接线。

(3) 定子引出线极性接反，应予纠正。

(4) 个别绕组内部有匝间短路或接地，应找出故障点，予以排除。

(5) 电动机重修时，三相绕组匝数相差较大或线圈接线错误，应重新核对绕组匝数，或纠正接线。

(6) 绕组多路并联时，个别支路断线，应找出断线处，进行重焊，做好绝缘处理。

(九) 空载电流偏大或偏小

(1) 电源电压过高或过低，可调整电源电压，变化不超过 $\pm 5\%$ 。

(2) 定子绕组接线错误，将并联绕组误接成串联，应予纠正。

(3) 绕组内部有短路，断路或接地故障，应找出故障点，进行修复，并做好绝缘处理。

(4) 重绕定子绕组时，线径过小，应重新计算，更换电磁线。

(5) 重绕定子绕组时，匝数不够或内部极性接错，应重绕定子绕组且增加匝数或改正极性。

(6) 电动机气隙过大或定、转子铁心不齐，应测量转子外径，定子内径或对铁心进行调整。

(7) 装配不当，轴承润滑不良，应进行调整或更换润滑油。

(8) 接线错误，将三角形接线误接成星形，应纠正接线。

(十) 绝缘不良

(1) 潮气侵入或雨水滴入电动机，使绕组受潮，应对绕组烘干处理。

(2) 绕组上灰尘油垢太多，应清除灰尘油垢并进行干燥，浸渍处理。

(3) 电动机接线板老化，引出线绝缘老化，应更换接线板，重包引出线绝缘或更换引出线。

(4) 绕组绝缘老化，可重新浸渍处理继续使用或更换绝缘。

(5) 绝缘受机械损伤或化学腐蚀，造成绕组接地。

(6) 电刷粉末落入绕组内部，使转子绝缘电阻降低。

(十一) 温升过高

(1) 电动机负载过大，应减轻负载或更换大容量的电动机。

(2) 电源电压过低或过高，可调整电源电压，当电源电压波动超过 $-5\% \sim +10\%$ 时，应降低容量使用。

(3) 电动机频繁起动或正反转次数过多，应限制起动次数。

(4) 三相电压严重不平衡，应检查定子绕组相间或匝间短路或绕组接地，并进行处理。

(5) 电动机缺相运行，应检电源、熔断器和开关运行状况，并消除故障。

(6) 电动机外部接线错误，使星形与三角形接线相互接错，应纠正接线。

(7) 转子断条或存在缺陷，应找出故障处，重焊或更换转子。

(8) 环境温度过高，应改善通风及冷却条件。

(9) 定、转子铁心相擦或错位严重，应检查或校正铁心位置并设法消除。

(10) 绕组重绕时线径减小，匝数绕错或某极相组接线错误，发现后应予以纠正。

(11) 绕组焊接不良或脱焊，应重新焊接。

(十二) 转速下降

(1) 电源电压过低，可调整电源电压或更换截面大的输电线路。

(2) 电动机外部接线错误，将三角形误接成星形接线，应纠正接线。

(3) 笼型转子断条、断线或脱焊，应进行检查并作相应处理。

(4) 拖动机械轻微卡住，使电动机免强拖动负载。

(5) 重绕时线圈匝数过多，应重新绕制并减少匝数。

(6) 绕线转子某一相断相。

(7) 电动机负载过大，应设法减轻负载。

(8) 线路电压降过大，可换截面较大的导线，且尽量减小电动机与电源的距离。

(十三) 电流表指针不稳

(1) 电源电压不稳，同一电源上有频繁起动或正反转的电动机。

(2) 笼型转子断条或脱焊。

(3) 绕线转子电动机集电环短路、装置接触不良。

(4) 绕线转子电动机的转子绕组有一相断线或一相电刷接触不良。

(十四) 绕线转子集电环发热或冒火

(1) 电刷牌号不符，应正确选择电刷，更换电刷时，使电刷牌号与原来相同或性能接近的牌号代替。

(2) 电刷尺寸不合适，使电刷在刷握中太紧不能上下自由活动或电刷倾斜被卡住，应选用尺寸合适的电刷，保持电刷与刷盒间隙在 0.1mm 左右。

(3) 电刷压力不足或过大，应按规定正确调整弹簧压力，保证电刷与集电环接触良好。

(4) 集电极表面不平或不圆，可用砂纸将集电环磨平或将集

电环车圆。

(5) 电刷与集电环接触面有污油、脏物时，应清除污物。

第二节 直流电动机

由于直流电动机具有良好的调速特性，调速范围宽、调速平滑方便；可频繁快速起动、制动和反转；过载能力强，能够承受频繁冲击性负载；能满足生产过程自动化系统所需要的各种特殊运行的要求。因此，直流电动机在可逆转、可调速和高精度的传动领域内一直占垄断地位，应用极为广泛。但与交流电动机相比较，直流电动机也存在着一些弱点，结构复杂、制造成本高、运行维修较困难，而应用受到了一定的限制。随着交流变频调速技术的迅速发展，一个以交流调速替代直流调速，已成为大势所趋。

一、直流电动机的结构与基本原理

(一) 结构

1. 定子 定子的作用是产生主磁场和支承电动机。它由主磁极、换向器、补偿绕组、机座等组成。

(1) 主磁极 主磁极的主要作用是产生主磁场，它由铁心和线圈组成。主磁极铁心一般用 1mm~2mm 的薄钢板冲剪叠压而成，它的励磁绕组有他励、并励、串励和复励等。

(2) 换向极 换向极的主要作用是产生抵消换向元件中电抗电动势的换向磁场，用于改善换向，由铁心和换向线圈组成。

(3) 补偿绕组 补偿绕组的主要作用是消除横轴电枢反应所引起的气隙磁场畸变和改善换向、防止环火。它和换向极绕组和电枢绕组串联，而补偿绕组导体内电流的流向与电枢绕组的相反，从而抵消电枢的磁场。

(4) 机座 机座是构成磁路和支承主磁极、换向极和端盖的部件，机座应具有良好的导磁性能和足够的机械强度和刚度。

2. 转子 转子是实现机、电能量转换的旋转部件，由铁心、绕组、换向器、转轴和风扇等组成。

(1) 电枢铁心 电枢铁心是电动机磁路的一部分，由 0.35mm

~0.5mm 厚，两面涂有绝缘漆的硅钢片叠压而成，具有较高的磁导率和较小的损耗。

(2) 电枢绕组 电枢绕组是感应产生电动势、产生电磁转矩和实现能量转换的主要部件，由一些线圈单元均匀分布在电枢铁心的槽内，并按一定的规律和换向片连接而成。

(3) 换向器 换向器与电刷配合实现外部直流电与电枢绕组中交流电的相互转换，由梯形截面的铜排和绝缘板间隔围叠而成。

(4) 转轴 转轴是承担电枢的重量和传递转矩，具有足够的强度和刚性。由 45 号圆钢或合金钢锻制而成。

(5) 电枢支架 电枢支架是大、中型电动机电枢铁心的支撑件，有利于通风冷却和减轻重量，由铸钢件或钢板焊接而成。

(二) 基本原理

直流电动机是利用换向器和电刷的配合来实现外电路的直流电与电枢绕组中交流电之间的相互转换，同时借助励磁绕组和电枢绕组的合成磁动势，在气隙内形成静止气隙磁场。电枢绕组相对气隙磁场旋转感应电枢电动势，而载流电枢绕组与气隙磁场相互作用产生电磁转矩，使电动机旋转。而在转轴上输出机械能量，使电枢绕组中的交流电与转轴机械转矩之间相互变换。机械功率和电功分别通过转轴和电刷输入或输出，实现了机电能量的转换。电磁转矩的方向可根据左手定则由磁场和电流方向来决定，与电动机旋转方向一致，这就是直流电动机的基本原理，如图 13-7 所示。

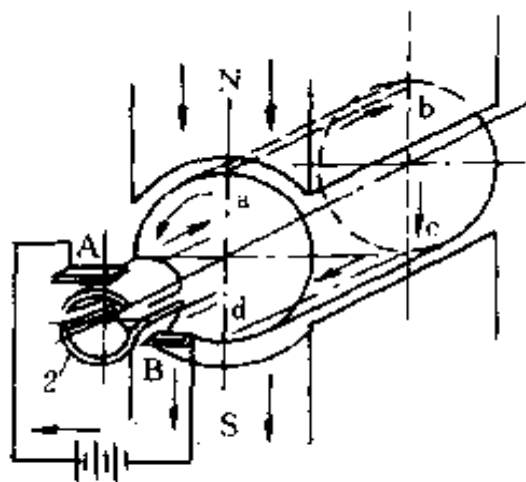


图 13-7 直流电动机
工作原理图

二、起动与制动操作

(一) 起动

1. 直接起动 直接起动

不需要附加起动设备，操作简单，由于起动电流很大，最大冲击电流可达到额定电流的 15~20 倍，使电网将受到电流冲击，所拖动的机组也受到机械冲击，电动机的换向不良，一般只适用于功率不大于 4kW 的直流电动机。

2. 电枢回路串联电阻起动 起动时，电枢回路中串入起动电阻，以限制起动电流，起动过程中可及时逐级短接起动电阻，该种起动广泛应用于各种中、小型直流电动机，起动过程中消耗能量很大，不宜用于经常起动的大、中型直流电动机。

3. 降压起动 用单独的电源供电，用降低电源电压来限制起动电流。降压起动时，起动电流将随电枢电压的降低而成正比减小。电动机起动后，随着转速的上升，可相应提高电压，以获得所需的加速转矩，该种起动多用于经常起动的直流电动机和大、中型直流电动机。

(二) 制动

1. 反接制动 在电动机正常运行时，不改变励磁回路的方向，而将电枢绕组电压极性经一限流电阻，突然反接。这时电枢端电压的极性改变，而在电枢回路中将产生较大的反接电流，从而产生与电动机旋转方向相反的制动转矩，以达到制动。但要求电动机的转速下降为零时，必须切除电源，否则，将会使电动机反向起动。

2. 能耗制动 将直流电动机的电枢回路从电源中切除后，接入一个制动电阻，利用电动机旋转的惯性使其发电。这时电动机作发电机运行，从而使电枢电流反向，将电磁转矩变为制动转矩，其旋转方向与电动机转向相反，以实现制动。

3. 发电制动 当励磁不变时，由于电动机的负载发生变化，使电动机的实际转速大于理想空载转速。当转速升高到一定程度时，电源电压小于电枢反电动势，使电流方向改变，电动机作为发电机运行，使电动机加速的位能转换为电能反回电网。这时电磁转矩变为制动转矩，旋转方向与电动机相反，以达到制动。

三、运行与维修

(一) 起动前的检查

(1) 用压缩空气吹扫电动机内部灰尘、电刷上的粉末，并清除电动机上的污垢、杂物。

(2) 用兆欧表检查电动机绕组对机壳的绝缘电阻，其阻值不得低于 $0.5\text{M}\Omega$ ，否则，应烘干处理。

(3) 检查换向器表面是否光洁，若受机械损伤或有火花烧焦痕迹，应对换向器进行保养处理。

(4) 检查电刷是否磨得太短，刷架压力是否正常，刷架位置是否在规定处。

(5) 检查电动机的接线是否牢靠，转动臂是否在断开位置，起动器的弹簧是否灵活，与测量仪表的连线是否正确。

(6) 对于变速电动机，应将调速器调到最低转速位置。

(二) 运行中监视

1. 温度的监视 温升是保证直流电动机安全运行的重要条件之一，温升过高，会引起绝缘加速老化，缩短电动机使用寿命。对于B级绝缘绕组，当温升超过允许值 10°C ，寿命将会降低一半。因此，在电动机运行中要经常监视温升，使温升不要超过绝缘等级的允许温升。

对绕组中埋有测温元件的电动机，要定期检查和记录电动机内各部位的温升。对没有埋设测温元件的电动机，应经常检查进、出口风温。一般直流电动机允许进、出口风温差为 $15^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。对较重要的电动机，在温升较高的部位，需埋设温度计并经常监视。对小型直流电动机，通常用手摸来检查，根据机座外表温度进行判断。

当电动机温度超过允许温升时应检查：

(1) 电动机是否过载，当过载较严重时，应适当减轻负载或使电动机空转冷却，以免绕组温升过高而烧毁。

(2) 冷却系统故障，如风机停转，冷却水管堵塞，冷却水温度过高，冷却风温度太高，过滤器灰尘过多使风阻增大等，均会

引起电动机温度升高，若发现故障，应立即检查冷却系统，排除故障。

(3) 散热情况，电动机由于过滤不好，灰尘和油污粘结在绕组表面上，造成电动机散热困难，甚至会堵塞通风沟，应及时清理。

2. 换向状况监视 良好的换向是保证直流电动机可靠运行的必要条件。直流电动机在正常运行时，应是无火花或电刷边缘大部分有轻微的无害火花，氧化膜的颜色要均匀并有光泽。

若换向火花加大，换向器表面状况发生变化，出现电弧烧痕或沟道，要分析原因，是电动机过载或换向不良，应认真检查，及时处理。

在电动机运行时，要使换向器的表面保持清洁，经常吹风清扫，并用干布擦换向器表面，避免引起火花加大和环火事故。

3. 润滑系统监视 直流电动机的润滑系统，特别是座式轴承的大型电动机，如润滑系统工作不正常，对电动机的安全运行有直接影响。

在电动机运行中，要经常检查油路是否正常，油环转动是否良好，轴瓦温度、油标指示及油面位置是否正常，有无严重渗漏油或甩油现象。

4. 绝缘电阻监视 直流电动机绕组的绝缘电阻，是确保电动机安全运行的重要因素之一。对较重要的电动机，每班都要检查和记录绝缘电阻，一般允许每千伏 $1M\Omega$ ，但不应低于 $0.5M\Omega$ 。由于受电动机运行温度和空气相对温度的影响，若停机时间较长时，使绕组温度下降和绝缘结构中气孔和裂纹的吸潮，绝缘电阻将会大幅度下降，甚至低于允许值，但经过烘干处理后，绝缘电阻很快就能恢复。

当绝缘电阻值经常波动，其趋势越来越低，即使干燥处理后，仍难于恢复时，要对绕组表面进行抹擦，并将碳粉、油雾等污染清扫干净。如经清扫和干燥处理仍不起作用时，应用洗涤剂清洗。

在电动机停机时间较长时，应使加热器通电加热，以免绝缘

电阻降低，一般只要使电动机温度高于室温 5℃时，就可防止绕组吸潮、绝缘电阻下降。

5. 异常现象监视 直流电动机在运行时，如发现异常现象，应立即分析原因，作出相应处理。

(1) 异常响声 一般在电动机运行时突然出现一种异常响声，这是电动机的故障信号，可能是轴承损坏，固定螺钉脱落，电动机内部件脱落刮碰，定、转子相擦等故障引起的，发现后应立即停机检查，排除故障。

(2) 异常气味 在电动机温度过高或绕组局部短路时，将会产生绝缘味，严重时由于绝缘焦化还伴有烟雾，这是事故的征兆，应立即检查，排除故障。如发现电动机冒烟或起火时，必须立即停机，紧急处理。

(3) 异常振动 电动机在运行时，振动突然加剧，由于共鸣而引起噪声增加，可能是转动部分平衡破坏，轴承损坏和励磁绕组匝间短路而引起过大的振动，都会使某些结构件疲劳损坏，影响换向性能，应及时处理。

(三) 定期检修

直流电动机运行一定时间后，要进行定期检查。主要是测量一些技术状态的数据，排除在运行中已发现的小故障，检查和记录一些可延期解决的故障，清理和擦净灰尘、油污，更换易损件等。为保证电动机的正常运行和积累电动机的检修资料，应进行如下工作。

(1) 对电动机外部和内部进行一次清扫，并对电动机外壳、端盖和其他部件等进行一次外观检查，有无损伤和锈蚀现象。

(2) 检查绕组表面有无变色、损伤、裂纹和剥离现象，定子绕组是否固定可靠，补偿绕组连接线是否有距离过近，焊接处有无脱焊现象，如发现问题，应及时进行处理。

(3) 检查绕组绝缘电阻、记录数据，并与前次检查的数据进行比较，如发现绝缘电阻降低，要分析原因，对绕组表面和铁心上的灰尘，应清理干净。

(4) 检查换向器和电刷工作状态，换向器有无变形，表面有无沟道，云母沟的下刻和倒棱是否符合规定，换向器表面有无出现烧伤现象，应及时进行处理。

检查电刷是否已磨损到使用寿命限度，镜面是否良好，电刷压力是否合适，电刷在刷握内活动是否灵活等。若发现问题，应进行调整。对于换向不良还应检查片间电阻、刷距和气隙是否正常。

(5) 检查转动部件和静止部件的紧固螺钉是否松动。

(6) 检查轴承的运行温度是否超过允许温度，对注入式换油滚动轴承，应注入适量润滑油，对轴承间隙较大或润滑油使用时间较长的轴承，应更换轴承或润滑油。

(四) 维护和保养

1. 换向器的维护和保养

(1) 正常运行的换向器，应具有平滑的圆柱形表面，且表面有一层紫红色的光亮氧化膜，可保护换向器和改善换向。

(2) 在不运行时，可用干净的毛刷或蘸酒精的布清除换向片间的污垢，擦净换向器的接触面，必要时可用压缩空气或“皮老虎”吹净电刷上的粉末。

(3) 由于正极电刷对换向器的磨损比负极严重，因此，要经常注意检查换向器的圆柱形表面磨损情况，按极性将电刷相互交替分开，以免表面磨损不均匀。

(4) 若换向器表面出现严重灼痕或粗糙，表面不圆或有局部凸凹等现象，应拆下电枢进行车削、修理。

(5) 定期测量换向器表面的偏心度，一般不应大于 0.1mm，若换向器表面灼伤或有熔渣，应磨平灼伤面，用 0 号砂布擦去熔渣，然后吹净表面粉尘。

(6) 换向器表面应很光洁，一般要求表面粗糙度为 $R_a1.60 \sim R_a0.80$ ，不应有机械损伤或光花灼痕。若有轻微的灼痕时，可用 0 号砂布在旋转着的换向器上细细研磨光洁。

2. 电刷的使用和研磨

(1) 电刷与换向器工作面应有良好的接触，正常的电刷压力为 $0.0015\text{MPa} \sim 0.0025\text{MPa}$ 。

(2) 电刷与刷握的配合不宜太紧，必须留有小于 0.15mm 左右的间隙。

(3) 当电刷磨损或破碎时，应按规定进行更换，如果只更换部分电刷，必须保证整台电动机的电刷牌号一致，如果不一样会引起各电刷间负荷分配不均匀。

(4) 电刷更换后，一定要将电刷与换向器的接触面用 0 号砂布研磨光滑，且达到良好的吻合，应注意不要用金钢砂布来研磨，由于脱落的金钢砂会附着在电刷上或落入换向器的沟缝中，使电刷和集电环损坏。

(五) 常见故障与处理

1. 电动机不能起动

(1) 负载过重，应减轻负载或换一台容量较大的电动机。

(2) 电刷不在中性线上，可用感应法调整电刷位置。

(3) 换向极线圈接反，应调换换向极线圈端子的位置。

(4) 励磁绕组或励磁回路变阻器断路，复励电动机的串励线圈接反，应修复绕组，调换串励线圈端子的位置。

(5) 电枢电源电压低于额定值，应提高电源电压到额定值。

(6) 电枢绕组或各连接线或接地有故障，应检查电枢绕组和各连接线，并进行处理。

(7) 电刷和换向器接触不良，应重新研磨或更换，如刷握弹簧太松，应调整或更换弹簧。

(8) 起动器接触不良，应更换合适的起动器。

(9) 熔断器熔体熔断，应更换合适的熔体。

2. 电动机振动

(1) 电枢不平衡或电枢两端平衡块移动或脱落，应对电动机重新进行平衡试验，并消除振动现象。

(2) 电动机的底座基础不平或强度不够，地脚螺栓松动，应增强基础并紧固螺栓。

(3) 转轴弯曲, 组装时气隙不均匀, 应调整转轴、气隙, 并作动平衡试验。

(4) 电动机轴线与联轴器不在同一条直线上, 应进行调整校正。

3. 转速不稳

(1) 电源电压波动或控制系统的参数调整不当, 应检查电源电压并排除故障或对调速系统的有关参数, 根据具体情况进行调整。

(2) 电刷不在中性线上, 用感应法重新调整电刷位置。

(3) 串励绕组或换向器绕组的极性接反, 应检查各绕组接线并纠正接线。

(4) 励磁电流太小或励磁电路有断路, 应增加励磁电流或找出断路处, 进行修复。

4. 环火

(1) 电枢绕组开路或短路, 应找出故障处并进行修复。

(2) 励磁绕组极性接反, 应改正接线。

(3) 电刷位置安装不正确, 应按要求重新安装。

(4) 换向器片间电压过高, 应防止过电压。

(5) 控制系统电压负反馈极性接错, 应纠正接线。

(6) 换向器表面状态不好, 换向不良, 应修整换向器表面, 改善换向。

(7) 冲击负载过大, 电刷振动, 应采取有效措施, 防止振动。

5. 电刷下冒火花, 换向器和电刷温度太高

(1) 电刷不在中性线上, 可用感应法调整电刷位置。

(2) 主磁极和换向极的顺序不对, 应调整换向极线圈两端接头或用指南针检查主磁极和换向极极性的顺序。

(3) 换向器表面不平、不圆、偏心、振动太大, 个别换向片或云母突出, 换向器表面失去光洁, 电刷与刷握配合不当, 刷握及联接件刚度不够等均会引起电刷跳动, 造成电刷下面有白色火

花。换向片短路或接地会使电刷产生蓝色火花，并使换向器温度太高。应修整换向器、下刻云母片，检查换向器短路或接地。

(4) 电刷牌号或尺寸不符，同一台电动机用不同牌号的电刷，应更换合适的电刷，一般一台电动机只能用同一牌号的电刷。

(5) 电刷质量不好，也会产生紫褐色火花，应更换质量合格的电刷。

(6) 电刷压力过大或过小，应调整各电刷压力，力求一致。

(7) 电刷架上各电刷臂之间的距离不等，或同一电刷臂上的各刷握不在同一条线上，应调整各电刷臂或各电刷位置。

(8) 电刷与换向器表面接触不良，换向器表面粗糙电蚀，磨损严重，电刷与换向器接触面不相吻合，刷握过紧，油污或电刷粉太多等，都可能产生红色火花。应用细砂纸打光电刷与换向器的接触面，使吻合面积达 80% 以上。

(9) 电枢线圈断线，换向器与电枢接头焊接不良，或脏物太多，使相邻两换向片短接，均会产生绿色火花，并可能使换向片烧黑出现严重灼痕。应找出断线或焊接不良处，焊好后并用细砂纸把换向器表面磨光，排除换向片的短接。

(10) 电枢线圈匝间短路和升压片、并头套开焊或接地都能使各支路的电流严重不平衡，产生换向火花，严重时会使与其相连的换向片产生灼痕。应在电枢线圈通入直流电，测量各相邻两换向片之间的电压降，检查是否短路，用兆欧表检查是否接地，并及时修复。

(11) 励磁绕组短路或接地，可测量励磁线圈的直流电阻和绝缘电阻。

(12) 复励电动机中某励磁绕组断路，应检查各并联回路的励磁线圈及连接线。

(13) 均压线与换向片焊接不良或断线，应重新焊接或更换均压线。

(14) 换向极极性接错，即使轻载也能产生剧烈火花，同时换向器灼黑，过热并伴有嘎嘎的强烈噪声，使电动机无法运行。应

调换与刷杆相连的两线头。

(15) 电枢绕组与换向器铜片连接错误，应检查电枢接线。

6. 电动机内部冒烟或火

(1) 电刷下火花太大。

(2) 电枢线圈短路，除有强烈的火花外，且有焦味。

(3) 换向器片间的绝缘片升高，或个别换向器片升高，在这些升高片之间及电枢线圈之间充满了电刷粉末和油污而引起燃烧。

(4) 电动机内部各引线的连接松动，甚至断路。

(5) 电动机过载。

处理方法可参照前述各条中同类原因的故障进行处理。

7. 换向片间隔烧黑

(1) 电刷位置不在中性线上。

(2) 换向极磁场强度不合适。

(3) 电枢线圈断路或与换向片焊接不良。

处理方法可参照前述相同原因的故障进行处理。

8. 电动机沿某方向转动时，电刷下的火花比反方向旋转时大

(1) 电刷不在中性线上，可用感应法调整电刷位置。

(2) 电刷架上各电刷臂之间距离不等，应调整各电刷臂或刷握位置。

(3) 电动机未有换向极或换向极匝数不够，应更换有换向极的电动机，或增加换向极的匝数，减少换向极与电枢的气隙长度。

第三节 同步电动机

同步电动机与异步电动机相比，它的转速恒定不变，并与负载大小无关，功率因数可以调节。同步电动机能在 $\cos\phi=1$ 的条件下运行，不需要从电网吸收无功功率。在运行中还可调节励磁电流，使它的功率因数超前，从而改善整个电网的功率因数。同步电动机具有空气隙大、制造安装方便、效率高、过载能力强等优

点，但结构复杂、需要直流励磁电源、造价高、起动和运行维护麻烦等。因此，对于某些大功率负载，转速不需要调节的场合，选用同步电动机比较合适，特别是需要提高电网功率因数，采用同步电动机为宜。

一、运行前的检查

(1) 电动机主体零部件应齐全完整，内外表面清洁。

(2) 电刷与滑环工作面应接触良好。

(3) 电动机的控制系统必须完好，符合起动要求。

(4) 油路系统应畅通无阻。

(5) 各部位振幅及轴向窜量应符合要求。

(6) 轴承不渗漏油。

(7) 带有强制通风设备的电动机，通风系统必须一切正常。

(8) 经电气试验，均应符合要求。

(9) 电动机在起动前，应先进行一次空载操作，无问题后再投入空载运行，经 1h~2h 检查电动机各部件运动情况是否正常，电动机的噪声和振动值均应符合要求。

(10) 轴瓦温度一般为 $50^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，最高不应超过 80°C ，而滚动轴承允许工作温度为 100°C 。

(11) 停机后，要全面检查电动机各部分情况，是否有不正常现象。

二、起动操作

首先按异步电动机的方法起动，在转子磁极的极掌上，安装与笼型转子相似的短路导体，利用异步电动机的起动原理使其自行起动。当转子转速接近旋转磁场的转速时，将给转子磁极的励磁绕组通入直流电，这时定子的旋转磁场吸引转子磁极，使转子以相同的转速旋转。当转子的转速与定子旋转磁场的转速相同时，定、转子磁场相对静止，产生单一方向的电磁转矩，起动绕组就不起作用，同步电动机被牵入同步运行。

三、常见故障与处理

(一) 电动机不能起动

(1) 电源电压过低，起动转矩太小，若是降压起动，可适当提高起动电压，以增大起动转矩，也可先空载或轻载起动后，再逐步加大负载。

(2) 定子绕组开路，应修复绕组。

(3) 转子起动绕组断裂或开焊，应检查起动绕组并进行修理。

(4) 电源线路或控制线路接线错误，应仔细检查线路，并改正接线。

(5) 所拖动机械转轴有卡住现象，应检修机械，使转轴运转灵活。

(6) 阻尼条开焊或断路，一般起动困难，严重时电动机不能起动，可用开口变压器检查处理。

(二) 电动机起动后达不到同步转速

(1) 转子中励磁绕组短路或接地，应测量励磁绕组的直流电阻和绝缘电阻。

(2) 励磁系统断线或接触不良，转子无法“牵入”同步，应检查励磁系统。

(3) 检修后励磁绕组匝数错误或极性接反，应检查匝数及接线。

(三) 电动机过热

(1) 电动机绕组短路，应用电桥测量各相绕组的直流电阻，查出短路处进行修理。

(2) 负载过大，应适当减轻负载。

(3) 转子励磁绕组的电流太大，使绕组铜耗增加，出现过热现象，应调整励磁电流。

(4) 通风冷却系统堵塞，应排除堵塞故障。

(四) 运行时振动

(1) 转子励磁绕组接地或匝间短路，造成磁场分布不均匀而产生振动，应检查励磁绕组是否接地或短路。

(2) 定、转子之间气隙不均匀，可按要求进行调整。

- (3) 励磁线圈松动或已移位，应进行调整并紧固。
- (4) 转子不平衡，应进行动平衡试验。
- (5) 轴承间隙过大，应调整轴承间隙或更换轴承。
- (6) 运行中电动机铁心松动，冲片产生振动和噪声，应紧固铁心。
- (7) 底脚螺钉松动，紧固即可。
- (8) 机座或轴承支座安装不良，应检查后纠正。
- (9) 检修后转子极性接反，应纠正接线。

(五) 集电环异常磨损

(1) 在滑动接触过程中，集电环表面常有一层水膜，使集电环与电刷接触传递电流过程中伴随发生电解现象，产生腐蚀，应清扫集电环。

(2) 滑动接触状态不良，如电刷压力过大，电刷在刷握内不灵活，集电环表面太脏，应分别情况进行处理。

(3) 集电环极性接错，应改变极性。

(4) 若用金属石墨电刷或铜电刷使集电环磨损较快时，应改用润滑性能较好，磨损寿命较长的电刷。

第四节 交流换向器电动机

交流换向器电动机是一种恒转矩交流无级调速电动机，具有调速范围广、能够实现无级调速、功率因数高、起动性能好、工作稳定、控制较简单等特点。

一、运行与检查

(一) 运行前的检查

(1) 由于这些电动机的使用场所环境恶劣，可用压缩空气经常清扫电动机绝缘和表面脏物。

(2) 保持良好的通风条件，应采取有效措施，降低环境温度，确保电动机不过热运行。

(3) 检查电动机的绝缘电阻、接地情况是否良好。

(4) 检查电刷装置、电刷压力是否正常，要求各电刷压力大

小一致。

(5) 检查电刷磨损情况，刷辫固定是否牢靠，更换新电刷时应空转 1h~2h，使刷面与换向器接触良好。

(6) 每次停车后应将电刷转盘置于最低转速位置，为下次起动作好准备。

(二) 运行中的检查

(1) 电动机运行时，要求周围的环境温度为 0~40℃。

(2) 电动机运行时检查次级电流是否过载，测量次级电流时要注意，当电动机运行在同步转速时，次级电流较低，这时用钳形电流表测量电流，表针指示不稳定。

(3) 使用时应防止电动机在高速位置上直接起动，因高速直接起动要比低速直接起动时电流大得多，使电刷下产生过大的火花现象。

(4) 如调节绕组调整的位置不合适，将会引起初级电流增大，使电动机不能正常运行，并对功率因数有影响。

(5) 绕组的相位不对，即使各套绕组的内部接线正确，电动机也不能正常运行。

(6) 定子绕组接线不能任意反向，内外电刷转盘不能装错，否则，电动机不能正常起动，造成电刷火花严重，电流超限，并不能调速。

二、常见故障与处理

(一) 电动机不能起动

(1) 集电环与电刷间接触不良或未接触，应检查集电环与电刷间接触情况，使其接触良好。

(2) 换向器与电刷间接触不良或未接触，应检查换向器与电刷间接触情况，使其接触良好。

(3) 电刷转盘未回复到最低速度位置，应检查电刷转盘位置。

(4) 馈电线路断线或单相供电，应检查线路有无断线，接线是否良好。

(5) 负载过重, 应减轻负载, 或选择较大容量电动机。

(6) 电源电压过低或三相电压严重不平衡, 应检查三相电源。

(7) 定子绕组和电刷引线未焊牢或接触不良, 应检查绕组和电刷是否接牢。

(二) 电动机转速不能调节

(1) 定子绕组与电刷引线间连线错误, 应按接头符号, 纠正接线。

(2) 两个电刷转盘相对位置不符合要求, 可在空载时检查电动机电流-转速曲线。

(3) 定子次级绕组与转子调节绕组间接线错误, 可按接线标志纠正接线。

(4) 内外两块电刷转盘装错, 应检查电刷转盘是否装错。

(5) 定子前后装反, 应检查定子装配位置, 定子绕组的接线头应在集电环一侧。

(三) 电动机过热

(1) 两块电刷转盘相对位置不符合要求, 应校验电动机空载电流-转速曲线。

(2) 转子绕组和定子次级绕组短路, 应校验转子绕组和定子次级绕组并进行相应处理。

(3) 任意改变电动机的转向, 应检查电动机转向, 调换任意两根电源线。

(4) 电动机低速运行时间过长, 应调至高速运行。

(5) 电源电压过高或过低, 应检查电源电压。

(6) 电动机在轻载时单相运行, 可检查三相电源电压和三相初级电流。

(7) 电动机过载, 应检查次级负载电流, 并减轻负载。

(8) 有些电刷未和换向器接触, 可检查电刷与换向器是否接触良好。

(9) 换向器上火花严重, 应消除火花。

(10) 电动机起动次数过多，应使起动次数每小时不超过两次。

(11) 周围环境温度过高，应采取降温措施。

(12) 轴承损坏或定、转子相擦，应更换轴承或检修电动机。

(13) 用速度继电器作反接制动时，次级外接电阻太小，应检查初、次级电流，并将外接电阻调至适当值。

(14) 通风机电源未接或风机转向不对，应检查电源，按规定方向旋转。

(15) 通风道严重堵塞，应清理通风道内异物。

(四) 换向器和电刷间火花过大

(1) 转子调节绕组与换向片焊接不良或脱焊，可用交流低量程电压表测量两相邻换向片间电压，找出脱焊处重新焊牢。

(2) 定子次级绕组或转子调节绕组短路或开路，对定子次级绕组可用短路侦察器检查是否短路，对转子调节绕组可用毫安表或试灯法检查。

(3) 两块电刷转盘相对位置不符合要求，应调整电刷转盘的相对位置。

(4) 电刷转盘上的电刷支杆分布不均匀，应检查各电刷支杆间分布距离并进行调整。

(5) 电刷不在中性线上，可用感应法调整电刷位置。

(6) 电刷压力过大或过小，应调整电刷压力，并力争一致。

(7) 换向器与电刷接触面未磨好，应磨光接触面。

(8) 电动机过载，应减轻负载。

(9) 换向器偏心、摆动、表面不平，应修整换向器。

(10) 电刷牌号和尺寸不符，应更换电刷。

(五) 换向器过热

(1) 电动机过载，应检查次级负载电流，并减轻负载。

(2) 换向器上火花太大，应消除火花。

(3) 两块电刷转盘的相对位置不符合要求，应检查电动机空

载电流-转速曲线。

(4) 刷握与换向器表面相擦，应检查刷握与换向器表面的距离。

(5) 换向片间云母槽内有电刷粉末或金属屑粘附，应消除换向片槽内异物。

(6) 电刷牌号不对或压力过大，应更换电刷或调整电刷压力。

(7) 换向器通风道堵塞，应清理通风道。

(六) 换向器上电刷磨损较快

(1) 换向器上火花太大，应清除火花。

(2) 换向片两侧有毛刺，应检查换向器表面光滑程度并去掉毛刺。

(3) 换向器表面粗糙不平，应处理换向器表面。

(4) 电刷牌号不对，应更换电刷。

(七) 集电环上跳火

(1) 电刷与刷辫线脱落，可检查连线的接触情况。

(2) 集电环表面粗糙有砂眼、缩孔或偏心，应检查集电环表面光滑程度及偏心率。

(3) 电刷在握内不灵活，应检查电刷在握内自由活动情况。

(4) 集电环表面有油污或油漆，应检查集电环表面并进行清理。

(5) 电刷压力过低或接触不良，应调整电刷压力，确保接触良好。

(八) 集电环间短路

(1) 集电环侧面粘附较多铜屑或电刷粉末，应用压缩空气清理积垢。

(2) 胶木垫圈或环氧树脂绝缘垫圈破裂，应检查集电环上各垫圈。

(3) 空气中含有大量水蒸气，应测定空气中水蒸气分量或改用管道通风。

(4) 空气中含有较多的酸碱，应测定空气中酸碱成分或改用管道通风。

第五节 电磁调速三相异步电动机

电磁调速三相异步电动机是一种交流恒转矩无级变速电动机。具有调速范围广、起动转矩大、起动平滑、速度负反馈自动调节系统、频繁起动时对电网无冲击、使用维护方便等优点。

一、运行中的检查

(1) 在电动机试运行前要校正转速表刻度，校验反馈量。运行中不允许经常作反转运行，防止烧坏绕组。

(2) 经常检查通风冷却系统有无堵塞现象，因电动机在运行中由于转差损耗所产生的热量较大，以涡流发热形式出现在电枢里，所以电枢温升比磁极和电枢端的轴承室较高，如有冒烟或有焦味应立即停机进行检查。

(3) 尽量缩短低速运行时间，由于滑差电动机在不同运行速度时，各部件发热很不均匀，温度相差很大。高速运行时转差损耗小，发热量少，而低速运行时损耗大，发热量多，引起电枢部分温度高，造成轴承过热。

(4) 要经常目视或手摸电动机有无振动现象，如振动大应立即停机，检查基础螺栓有无松动、过载运行、定、转子相擦及轴承磨损现象。

(5) 用起子顶住轴承室外壳，听是否有异常响声，如有尖叫声或打嘟噜等不正常怪声，应停机检查，排除故障。这种电动机运行时温度较高，尤其是电枢端部轴承受电枢涡流发热影响和电动机风扇把运行中的热量吹入电枢端部轴承室，所以电动机轴承要保持良好的润滑。

(6) 经常清除离合器内部灰尘，以免被吸进到内部粘附在电枢内孔的表面而影响电动机安全运行，甚至会使电枢磁极堵住，无法进行调速。

(7) 经常检查测速发电机的测速灵敏度，如失灵应及时检修，

特别是控制器、晶体管受环境温度影响参数变化大，会造成控制失灵，要定期检查和调整电位器阻值，当出现飞车或突然停转时，应认真检查。

(8) 在电动机高速运行时，有时会出现飞车或突然停车事故，大都是由于控制器中晶体管受温度影响发热，引起参数变化而造成的。

二、常见故障与处理

(一) 异步电动机运转正常，而调速电动机输出轴不转

(1) 轴上的机械负载过重，应减轻负载或更换容量较大的电动机。

(2) 调速电动机内部机械卡住，应拆开电动机进行检修。

(3) 未有励磁电流，应检查励磁绕组有无断线，励磁电压是否正常。

(二) 调速电动机运行时，输出轴转速突然上升至最高转速以上无法调节

(1) 测速发电机电路断路，应检查测速发电机电路，包括定子绕组。

(2) 调速控制器故障，使励磁电压升高，可用直流电压表检查励磁电压，并检修调速控制器。

(三) 调速电动机输出轴的转速与测速发电机测出的转速不一致

(1) 测速发电机定子绕组短路，应检查定子绕组。

(2) 测速发电机永磁式转子退磁，应检修永磁式转子。

(3) 调速控制器上转速表未校对，可用其他转速表或测速仪器校对。

(4) 调速控制器故障，应检修控制器。

(四) 调速电动机高速时振动较大

(1) 电动机安装不正确，应检查电动机的安装情况。

(2) 电枢或磁极不平衡，应认真校正平衡。

(五) 调速电动机运行时转速不稳定

- (1) 励磁电压极性接反，应纠正励磁电压极性。
- (2) 测速发电机转子装配不良，应检查转子装配情况。
- (3) 调速控制器故障，应检修控制器。
- (六) 调速电动机飞车或高速时突然停车
 - (1) 控制器中移相过头，可用万用表，调整电位器阻值。
 - (2) 电源电压过高，可调整电源电压至额定值。
 - (3) 控制器中触发移相环节的晶体管失灵或损坏，可用万用表检查，更换晶体管。
- (七) 调速电动机励磁绕组烧坏
 - (1) 励磁绕组有匝间短路或接地，应检查励磁绕组。
 - (2) 调速电动机停止运行时未切断励磁电流，应在每次停止运行时必须切除励磁电流。

第六节 防爆电动机

防爆电动机能在具有爆炸性气体或蒸气与空气的混合物的危险场合下安全可靠运行。具有起动力矩大、过载能力强、防爆、防腐等特性。适用于爆炸、易燃环境的特殊场合。

一、使用前的检查

- (1) 对新安装及长期搁置未用的电动机，用防爆兆欧表测量电动机绕组和对地绝缘电阻，应在 $1M\Omega$ 以上，当低于 $1M\Omega$ 时应进行烘干处理，接地应保持良好的。
- (2) 检查防爆面是否损伤和腐蚀，损伤较轻的要进行检修，损伤严重的不准安装使用。
- (3) 检查电缆型号规格、电源电压是否符合要求，不可随意改换电缆线。
- (4) 检查电动机引出线及连接线的接触是否良好，以免电动机振动时引起松动，造成电动机损坏。
- (5) 对通风充气型电动机，要认真检查通风是否畅通，出风口处风压或充气气压应在 $2.7Pa$ 以上，当低于 $1.3Pa$ 时，必须有保护装置及报警信号，或切断电源。电动机运行前应用保护气体

清扫内部后才能起动，并严防爆炸性气体混入保护气体进气口。

(6) 检查定、转子铁心有无相擦现象，风扇及轴承固定是否牢靠。

二、运行与维护

(1) 防爆电动机在运行时，要经常测量温升是否正常，对超过允许温升的不准运行。

(2) 检查电动机是否过载运行，即使短时过载也不准运行。

(3) 电动机有无异常响声、气味和振动。

(4) 定期检查轴承磨损情况，及时更换润滑油。

(5) 检查电动机外表有无裂纹，密封是否严紧，隔爆面接触、进出线是否良好，各紧固螺栓有无松动。

(6) 对通风型电动机还要检查出风口的风压是否正常。

(7) 对隔爆型电动机不允许反接逆转和反接制动，只能在电动机停稳后，才允许改变运行方向。

(8) 检查三相电流是否平衡。

(9) 在零度下气温运行时，要经常检测防爆间隙。

(10) 防爆面不准有锈蚀现象，接线盒要保持清洁。

(11) 电动机在运行中突然停转，允许延长时间为 5s~10s。

(12) 电动机起动时间应不超过 17s，一般为 8.5s。

(13) 电动机轴向窜量较大时，应根据具体情况加波浪式垫圈。

(14) 电动机引出线及电源线应采取多股铜线，一般不用铝导线直接连接。

三、常见故障与处理

(一) 电动机不能起动

(1) 电源电压过低，应检查电源，提高电压。

(2) 定子绕组断路，找出断路处并进行修理。

(3) 熔断器熔体熔断或线路断线，应更换熔体或检查线路。

(4) 起动器故障，应检修起动器。

(二) 电动机起动困难

- (1) 转子断条，应检修转子。
- (2) 定、转子铁心相擦，应检修定、转子铁心。
- (3) 轴承损坏，应更换轴承。

(三) 电动机带负载时过热

- (1) 电动机过载，应减轻负载。
- (2) 定子绕组匝间短路，应检修或更换定子绕组。
- (3) 定子绕组相间短路，应检修或更换定子绕组。
- (4) 电源电压过高或过低，应检查电源调节电压。
- (5) 通风系统堵塞，可清除风道异物。

(四) 电动机爆炸

- (1) 电动机未按要求选型，应更换合适的电动机。
- (2) 违反操作规程，任意过载，应严格执行操作规程或减轻负载。
- (3) 防爆面有严重腐蚀，维护不够，应经常清除腐蚀加强保养。
- (4) 防爆面有严重机械损伤或变形，应检修防爆面。
- (5) 电动机绕组接错或短路，电动机严重腐蚀而造成击穿，定、转子相擦，电动机过载，起动后单相运行使电动机过热而烧坏绕组，应改正接线，更换绕组，防止腐蚀，消除相擦现象，适当减轻负载，注意电动机单相运行。
- (6) 易燃场所不符合防爆要求，有引入明火，井下陷落，电源着火，应根据引起爆炸起燃原因分别进行处理，解除现场危险后更换新电动机。
- (7) 橡皮密封圈损坏不起作用，应更换合适的密封圈并正确紧固。
- (8) 配套控制设备选用非防爆起动器，控制器及照明灯具，应正确选型并更换。

第七节 制动异步电动机

制动异步电动机是在电动机内部安装一套制动器，而制动器是由直流电磁铁来实现制动，其直流电源由晶体管整流装置供给。具有在机械制动时无机械摩擦、发热量小、制动迅速可靠等优点。适用于起重运输、轧钢等机械设备，应用范围极为广泛。

一、运行与检查

(一) 运行前的检查

(1) 电动机运行前必须通入直流电，观察制动器吸合是否良好，并测量电压和电流是否正常。

(2) 在未通电时，用手动盘车来检查制动器释放装置是否灵活。

(3) 经常检查绕组转子制动电动机的电刷接触情况，电刷压力是否正常，集电环上有无伤痕和灰尘。

(4) 起动装置必须是全压起动，确保制动装置可靠脱开。

(5) 电动机接通三相交流电源后，认真检查制动装置能否立即松开。

(二) 运行中的检查

(1) 若发现制动失灵或制动时间较长，应立即停车，检查制动器衔铁吸合、释放是否正常。

(2) 电动机不能过载，如发现电动机过热或振动大，应调整定、转子的间隙。

(3) 电动机不能频繁起、制动，以免电动机温升过高，使绝缘老化，绕组烧毁。

(4) 防止电动机单相运行，特别是整流电源所需要那一相断电后，会引起制动器释放，造成电动机很快烧坏。

二、常见故障与处理

(一) 直流电磁铁吸合不上

(1) 电源未接通或熔断器熔体熔断，应检查电源或更换熔体。

- (2) 线圈断路，应检修或更换线圈。
- (3) 动铁心行程过大，应按要求重新调节行程。
- (4) 电磁铁铁心松散，应重新进行叠片，并紧固牢靠。
- (5) 控制开关故障，应查出原因，及时排除故障。
- (6) 重绕时线圈匝数不对，应重新计算或按要求重绕。

(二) 衔铁吸合和打开不灵活

- (1) 制动弹簧软、硬不合适，应更换压力合适的弹簧。
- (2) 摩擦副磨损较大，应检修或更换摩擦副并重新调整气隙。
- (3) 励磁线圈短路，应找出短路处后进行修复或更换线圈。
- (4) 励磁线圈引线头虚焊或接触不良，应重新焊牢。
- (5) 整流电路接线错误或整流二极管质量不好及损坏，可纠正错误接线或更换二极管。
- (6) 衔铁工作面灼伤或氧化，应对工作面进行修整。
- (7) 衔铁叠片松散，应重新叠片，并紧固好。
- (8) 摩擦片受热变形或灼伤，可抽出已损坏的摩擦片，更换新摩擦片。
- (9) 频繁起、制动超过极限，应遵守操作规程。
- (10) 重绕时励磁线圈匝数不对，应重新计算或按要求重绕。

(三) 直流电磁铁励磁线圈烧坏

- (1) 电动机起、制动频繁，应按要求进行操作。
- (2) 线圈错接在两相 380V 电源上，应改正接线。
- (3) 导线绝缘老化而引起短路，轻微短路可进行修复，严重时更换线圈。
- (4) 重绕时线圈匝数不对或线径太细，应重新选择线径，按要求重绕。
- (5) 铁心锈蚀或松散，应除锈后刷上绝缘漆，经烘干后紧固好。

第八节 潜水三相异步电动机

潜水电动机是抽吸地下水的动力机械，潜入在水中运行，靠着与电动机同轴的泵叶轮在旋转时产生的离心力，经过泵体的导流作用来提水。具有密封性好、绝缘性能好、耐压强度高，并防湿、防霉、防腐蚀性能好等特点。广泛用于石化、农业及人民生活之中。

一、运行与维护

(1) 电动机试运行时应注意电动机的起动及转向，若发现转向相反，要立即调换电动机转向。

(2) 各种潜水电动机不能脱水运转，如需在陆上试车或起动时，但运转时间不准超过 5min。

(3) 电动机运行中经常检查电泵出水是否正常，若不出水或少出水，可能是管路堵塞，电动机转子卡住，管路破裂，滤水网堵塞；若不出水、间歇出水或少出水，应检查电动机是否起动、运行是否正常。

(4) 使用时电动机不能过载，应检查流量、扬程是否合适。

(5) 使用时电泵不能潜入泥砂较多的水中运行，而浅水电泵不能作排吸深水用。

(6) 电泵运行时突然发现不转，应检查叶轮是否卡住，电源开关有无跳闸。

(7) 长期搁置不用的潜水电动机，不得浸泡在水中，并放出电动机内的积水，妥善保管。

(8) 对充油式潜水电动机，应经常检查油量，使油量在允许范围之内，过多过少对运行都是不利的。

(9) 经常检查电动机的绝缘电阻是否符合要求。

(10) 定期检查密封情况，密封是电动机能否长期安全运行的关键。

二、常见故障与处理

(一) 电动机起动不稳定

(1) 电动机端电压降低，应调高电源电压或核算电缆引线的最佳长度和截面积是否合适。

(2) 离心开关断开，转速降低引起电动机起动困难，应调整开关、转速整定值。

(3) 起动时水的阻力矩较大，造成电动机起动困难，可加装节流阀，控制起动流量。

(4) 叶轮卡住，阻力增大，使电动机起动困难，应进行检修。

(5) 根据水质不同，可选用不同堵转矩的电动机。

(二) 电动机运行时跳闸

(1) 电动机过载运行，应减轻负载。

(2) 电源电压过高或过低，应检查电源及线路电压降并调整电压。

(3) 电动机单相运行，可检查进线端是否缺相。

(4) 继电保护误动作，应调整继电器的动作电流。

(5) 水泵反转、叶轮卡住或磨损增大，应调换任意二相电源线使电动机正转，或检修叶轮。

(6) 电动机贫油跳闸，主要由电动机贫油或电动机进水引起，应及时给电动机内腔注入变压器油或更换新油。

(7) 电动机选型不对、绕组接线错误，应正确选择电动机，纠正接线。

(三) 电动机起动困难或不能起动

(1) 电源电压过低或缺相，应调整电源电压，防止电动机单相运行。

(2) 电动机绕组短路或烧坏，找出短路点进行修复或更换线圈。

(3) 电动机过载，应减轻负载。

(4) 水泵叶轮卡住，应清除杂物，消除卡住现象。

(5) 继电保护失灵或误动作，应修复或调节整定值。

(6) 油泵损坏，应检修或更换油泵。

(7) 重绕时, 电动机的线圈匝数不对或接线错误, 应改变匝数或纠正接线。

(四) 电动机温升过高

(1) 电动机过载运行或贫油, 应调整负载或补充新油。

(2) 电动机内腔注油过多, 应减少油量, 使机腔留有热胀余量。

(3) 叶轮反转, 可改变电动机转向。

(4) 电动机绕组短路, 接地或绝缘电阻降低, 应找出故障处, 修复后进行绝缘处理。

(5) 重绕时, 电动机绕组匝数不对或接线错误, 应改变匝数或改正接线。

第九节 牵引电动机

牵引电动机是驱动各种机车、车辆的电动机, 具有调速范围广、电气制动、起动转矩大、过载能力强、频繁正反双向运行等特点, 而交流牵引电动机又具有结构简单、运行可靠、维护方便等优点。广泛用于铁道、交通运输等部门。

一、电动机的起动和运行

(一) 电动机运行环境

(1) 能经常在露天运行, 电动机应能防止灰尘、雨雪进入内部, 对井下工作的牵引电动机应能防爆和密封, 以免受潮和爆炸。

(2) 有轨运输的冲击振动很大, 要求电动机零部件应有足够的机械强度。

(3) 外部供电的机车, 运行时受电器经常有脱开现象, 造成高压和大电流的瞬时冲击, 应加强电动机绕组的绝缘, 防止产生飞弧闪络现象。

(4) 钢轨有冰水及油污时, 个别车轮易打滑空载, 甚至飞速, 要求电动机应有空转保护装置。

(二) 电动机起动

(1) 起动手柄必须退到零位，才允许合闸启动，并要缓慢加速，电动机电流降低到一定值时，才能继续换档，防止冲击过大。

(2) 制动手柄应放到缓解位置才能启动，防止电动机过载启动。

(3) 如发现外施电压过高或过低时（电压波动为额定值的67%~120%），不得启动电动机，待电压恢复正常时再启动。

(三) 电动机运行

(1) 电动机不应超过最大速度运行。

(2) 电动机承受的最大过载电流为额定电流的1.5~2倍，换向火花不得超过2级。

(3) 经常检查电动机的温升，不得超过绝缘等级的允许温升。

(4) 电动机制动必须按规定在最高制动速度下进行，并严禁采用反接制动，防止烧坏电动机或发生其他机械事故。

(5) 若发现异常现象或响声，必须及时停机，排除故障后才能再投入运行。

二、常见故障与处理

(一) 电动机不能启动

(1) 电源电压过低或未接通，应调高电源电压，检查线路和三相电源。

(2) 电动机严重过载，应减轻负载。

(3) 电动机内部接线错误，应认真检查，改正接线。

(4) 引出线标号错误，可找出端头，纠正接线。

(5) 串励绕组断线，应找出断路处修复或更换线圈。

(6) 电刷与换向器接触不良或未接触，应重新研磨电刷弧面，检查刷握弹簧有无压上，电刷是否卡住。

(7) 刷辫线断裂或松脱，应更换电刷。

(二) 电动机转速偏低

(1) 电源电压过低，应调高电源电压。

- (2) 负载偏大，应减轻负载。
- (3) 电刷不在中性线上，应调整电刷位置。
- (4) 重绕时，串励绕组匝数增加，应减少绕组匝数。

(三) 电动机转速偏高

- (1) 电源电压过高，应降低电源电压。
- (2) 负载偏小，应增加负载。
- (3) 电刷不在中性线上，应调整电刷位置。
- (4) 串励绕组局部短路，应找出短路处，进行修复或更换线圈。
- (5) 励磁绕组极性接反或接头不良，应调换极性，检查接头有无接好。

(四) 火花过大

- (1) 换向极极性接错，应纠正极性。
- (2) 换向极绕组短路，应找出短路处，消除故障或更换绕组。
- (3) 电枢绕组断路或接地，应进行检修或更换线圈。
- (4) 电刷不在中性线位置，应调整电刷位置。
- (5) 换向极补偿过强或过弱，应检查后改变线圈匝数或气隙。
- (6) 电动机过载，应减轻负载。

第十四章 电气线路

第一节 10kV 线路的安装、运行及维护

10kV 线路是电力系统的重要组成部分，担负着输送和分配电能的重要任务。

一、10kV 架空线路的安装

10kV 线路由电杆、导线、横担、金具、绝缘子和拉线等组成。

(一) 10kV 线路的基本要求

1. 10kV 线路路径选择的要求

(1) 架空线路的路径尽量选择捷径，地形不复杂，投资较少。

(2) 应尽量少占农田，避开洼地、冲刷地带及易被车辆碰撞的地方。

(3) 应尽量避免避开爆炸物、易燃物和可燃液（气）体的生产厂房、仓库、贮罐等。

(4) 应尽可能把线路架设在公路、道路的两侧，便于运输、施工和以后的运行维护。

(5) 线路路径的选择既要照顾当前的需要，又要考虑到今后的发展，并要满足城市规划和电网规划，要有一定的裕度。

2. 架空电力线路应避免在下列处所架设

(1) 国家的纪念塔、碑及其类似处所或规划之地。

(2) 屋顶、庭园、林木丛生之地。

(3) 山洪、水灾较多之处。

(4) 生产、贮存易燃、易爆物的厂房、库房等处所。

(5) 产生腐蚀性气体、液体及污染严重之地。

(6) 不易通过的山河、湖泊及基础不稳固之地。

3. 架空电力线路的电杆应避免在下列处所埋设

(1) 妨碍交通的场所或妨碍交通信号视线的场所。

(2) 铁路路基取土处及路基斜坡面。

(3) 地下管道、暗渠、电力电缆、通信电缆及其他地下设施埋设之处。

(4) 建筑物及地道出入口。

(5) 车马通行频繁易受碰撞之处。

(6) 临河岸及接近水渠之处。

(7) 沙地、沼泽地及泉水地。

(二) 电杆

架空线路的各种电杆，按其作用可分为直线杆、耐张杆、转角杆、终端杆、分支杆、跨越杆。

1. 直线杆 位于线路的直线段上，在正常情况下承受导线重量和水平风力载荷，不考虑承受顺线路方向导线的拉力，稳定性较差。

2. 耐张杆 位于线路直线段上几个直线杆之间。在正常情况下除承受导线重量和水平风力载荷外，还要承受邻档导线拉力差所引起的顺线路方向的拉力。在断线事故和架线紧线情况下，还能承受一侧导线的拉力，稳定性比直线杆好。

3. 转角杆 位于线路改变方向的地方，在正常情况下除承受导线的垂直载荷和内角平分线方向风力水平载荷外，还要承受内角平分线方向导线全部拉力的合力，稳定性最好。

4. 终端杆 位于线路的首端和终端，在正常情况下除承受导线的垂直载荷和水平风力外，由于只有一侧有导线，所以顺线路方向要承受全部导线的拉力。

5. 分支杆 位于线路的分支处，在正常情况下除承受主线路所承受的载荷外，还要承受分支导线的垂直载荷和水平风载荷及顺分支线方向导线的全部拉力。这种电杆在主线路方向上有直线杆和耐张杆两种，在分支方向则为耐张杆。

6. 跨越杆 位于跨越铁路、通航河道、公路和电力线等大跨度需要特殊考虑的地方。

(三) 导线

用来传导电流的，导线架设在电杆顶部，绑扎固定在绝缘子上。

1. 对导线的要求

(1) 导电性能好，就是相应的电阻小，从而可减少线路的电压的损失和电能损耗。

(2) 机械强度大，导线悬挂在高空，除它本身重量外，还要受到风压、冰雪等机械力的作用，因此必须具有足够的机械强度以防断线事故。

(3) 抗化学腐蚀性强，架设在沿海或化工厂附近等污秽比较严重地区的线路，由于空气中有盐碱等腐蚀性物质存在，对导线有强烈的腐蚀作用。因此，导线必须具有很强的抗化学腐蚀能力，才能保证线路长期安全运行。

2. 导线的种类

(1) 铜绞线 (TJ)，铜是除银以外导电性能最好的金属，硬拉铜线的机械强度也较高，铜线容易接续，抗腐蚀性也较好。但是铜线密度大，价格高。大档距架设机械强度也不够。

(2) 铝绞线 (LJ)，电导率约为铜线的 60%，重量轻，价格低。但是铝线机械强度较低，接续工艺比较复杂，抗腐蚀性能较差。

(3) 钢芯铝绞线 (LGJ)，充分利用了铝的导电性能和钢的机械强度，取长补短，互相配合。但是接续工艺要求较高，也更复杂。

根据以上比较，铜绞线的电气性能和机械强度比较理想，但由于铜有更重要的用途，所以应用较少。目前钢芯铝绞线应用比较广泛。

3. 导线截面选择的基本方法

(1) 按导线的发热条件选择导线截面，就是在任何环境温度下，当导线连续通过最大负载时，其导线温度不大于 70°C ，这

时的负载电流称为安全电流。实际上按发热条件选择导线也就是按长期允许通过的安全电流选择导线。

(2) 根据机械强度的要求选择导线截面积导线应具备足够的机械强度，不要因为各种不利条件的组合而造成断线事故。对于10kV架空线路，铝绞线截面积不应小于 35mm^2 ；钢芯铝绞线截面积不应小于 25mm^2 ，对于城市的10kV架空线路，应考虑有一定的裕度。

(3) 根据经济电流密度选择导线截面积，经济电流密度是经过各种经济技术比较得出的最合理的导线单位截面积的电流值。也就是当电力线路导线单位截面积上通过这一电流时，使电力线路的建设投资、电能损耗和运行维护费用等综合起来将会最小、最经济。

(4) 按允许电压损失选择导线截面积，在10kV线路中，通常都按允许的电压损失值计算导线截面积。因为这类线路一般输送功率都不大，导线截面积较小，导线电阻较大，线路中的电压损失成为突出矛盾，所以，如果电压损失满足要求，其他技术条件一般也都能符合规定。

(四) 横担

装在电杆的上端，用来固定架设导线用的绝缘子。

1. 横担的种类 按横担原材料分木横担、铁横担、瓷横担。

(1) 木横担，用硬木制成，截面有圆形、矩形、正方形。由于易腐烂、使用年限短、木材资源也不足，极少使用。

(2) 铁横担，用等边角钢制成，要求热镀锌，因其坚固耐用，目前应用最广。

(3) 瓷横担，具有横担和绝缘子两个作用，是工厂生产的成品，在安装时用铁支架固定在电杆上。它的电气性能良好，能节约大量钢材，是目前较理想的一种横担。但存在冲击碰撞易碎的缺点，运输、施工时要特别注意。

2. 横担的安装

(1) 单横担在电杆上安装在负载侧面；承力杆单横担安装在

张力的反侧；直线杆、终端杆、耐张杆横担与线路方向垂直； 30° 以下转角杆的横担应与角平分线方向一致。

(2) 横担安装应平直，上、下歪斜或左右（前后）扭斜的最大偏差应不大于横担长度的1%。

(3) 同杆架设的双回线路，横担间的垂直距离应符合规定的要求。

(五) 金具

用来紧固横担、绝缘子、导线的。有耐张线夹、联结金具、接续金具、防护金具、紧固金具等。

1. 耐张线夹 用于把导线固定在耐张、转角、终端杆悬式绝缘子串上。

2. 联结金具 有球头挂环、单联碗头、直角挂板、挂环、联板等。

(1) 球头挂环，用来联结球型悬式绝缘子上端铁碗头的，属专用联结金具。

(2) 单联碗头，用来联结球型悬式绝缘子下端球头的，属专用联结金具。

(3) 直角挂板，用来联结球头挂环和横担联板的。

(4) 挂环，又叫延长环或平行环。

(5) 联板，有二眼联板、三眼联板、五眼联板。

(6) 其他设备用联结金具，有杆顶支架、撑铁、各种支架等。

3. 接续金具 用来把导线的两个端头接续起来和修补导线的。有压接管、修补管、并沟线夹等。

4. 防护金具 用于在悬垂线夹中减少导线弯曲应力和导线断股的修补。有护线条、补修条、铝带等。

5. 紧固金具 有拉线拖箍、U型拖箍、紧固件（螺栓、螺母、垫圈、开口销、弹簧销等）。

(六) 绝缘子

用来紧固导线，保持导线对地的绝缘。按外形分，有针式绝

缘子、悬式绝缘子、作拉线用的拉紧绝缘子。安装前，应将每个绝缘子的表面污垢擦净，以防止送电后发生闪烁和击穿。

(七) 拉线

1. 拉线的作用

(1) 电杆架设后，发生了受力不平衡的现象，拉线可以平衡导线张力，保持电杆稳固。

(2) 电杆基础不牢，不能保持电杆稳固，用拉线可进行基础补强。

(3) 因载荷超过电杆的安全强度，利用拉线减少电杆所受的弯曲力矩。

2. 拉线的种类 按拉线用途和作用的不同，可分为以下几种。

(1) 普通拉线，主要用来平衡固定性的不平衡拉力。

(2) 人字拉线（又叫防风拉线），用于基础不坚固和交叉跨越加高杆或较长耐张段中间的直线杆上，加强防风倾倒。

(3) 水平拉线（又叫高桩拉线），用于跨越公路、渠道和交通要道处。

(4) 自身拉线（又叫弓形拉线），用于受地形限制，不能采用一般拉线处。

(5) V形拉线，用于电杆较高、横担较多、架空多条线路，因而受力不均匀，可在上、下两处各安装一条拉线。

(6) 共用拉线、十字拉线、撑杆等。

二、10kV 线路的运行及维护

(一) 10kV 线路的巡视与检查

10kV 线路的巡视与检查，是为了经常掌握线路的运行状况，以便及时发现和消除设备缺陷，预防事故，并确定检修内容，确保线路的安全运行。

1. 巡视检查的周期 巡视检查的周期，要根据线路的电压等级、季节特点及周围环境来确定。对于 10kV 线路，市区线路每月一次；郊区线路每季度不少于一次，如遇自然灾害或发生故障等

特殊情况时，需临时增加巡视检查的次数。

2. 巡视检查的种类 电力线路的巡视检查有定期性巡视、特殊性巡视、故障性巡视、夜间巡视、监察性巡视、预防性检查和登杆检查等。

(1) 定期性巡视，是线路运行人员日常工作的主要内容之一。通过定期性巡视可及时掌握电力线路各部件的运行状况和沿线情况。

(2) 特殊性巡视，是在导线结冰、大雪、大雾、冰雹、洪水泛滥和解冻、沿线起火、地震及狂风暴雨之后，对电力线路全线或某几段某些部件进行详细查看，以发现线路设备遭受的变形或损坏。

(3) 故障性巡视，是为了查明线路的接地、跳闸等原因，找出故障地点及情况。重合闸装置无论是否重合良好，均应在事故跳闸或发现有接地故障后立即进行巡视检查。

故障性巡视时应遵守下列规定：

1) 巡视时应详细进行检查，不得中断或遗漏杆塔。

2) 夜间巡视时应特别注意导线落地，对线路交叉跨越处，应用手电查看清楚后再通过。

3) 巡视中如果发现断线，不论停电与否，均应视为有电。在未取得联系与采取安全措施之前，不得接触导线或登上杆塔。

4) 巡视检查人员全部巡视检查完负责线段后，无论是否发现故障，都应及时汇报，听取指示。

5) 在故障巡视检查中，发现一切可能造成故障的物件或可疑物品均应收集带回，作为事故分析的依据。

(4) 夜间巡视是为了检查线路导线连接处、绝缘子、柱上开关套管和跌落式熔断器等的异常情况。

(5) 监察性巡视，由主管领导或技术负责人进行。目的在于了解线路及设备状况，并检查、指导运行人员的工作。

(6) 预防性检查，是用专用的工具或仪器对绝缘子、导线连接器、导线接头和线夹连接部分进行专门的检查和试验。

(7) 登杆检查, 是为了检查杆塔上部各部件连接、腐朽、断裂及绝缘子裂纹、闪络等情况。带电进行检查时应注意与带电设备的安全距离。

3. 巡视检查的内容

(1) 沿线情况

1) 沿线有无易燃、易爆物品和腐蚀性液气体。

2) 在线路附近新建的化工厂、水泥厂、打靶场、道路、高压线路、管道工程、地下电缆、新建的采石场、林带和倒下足以损伤导线的天线、树木、烟筒和建筑脚手架等。

3) 在线路下或防护区内有无违章跨越、违章建筑、柴草堆或可能被风刮起的草蓆、塑料布、锡箔纸等。

4) 有无威胁线路安全的施工工程(爆破、开挖取土等)。

5) 查明线路防护区内植树及导线对树木的安全距离是否符合规定。

6) 线路附近有无射击、放风筝、抛扔外物、飘洒金属和在杆塔、拉线上拴牲畜等。

7) 查明沿线污秽情况。

8) 其他不正常现象, 如洪水期巡视检修用的道路及桥梁损坏情况。线路设备被盗被破坏及威胁线路安全运行等情况。

9) 有无违反《电力设施保护条例》的建筑。

(2) 电杆

1) 杆塔是否倾斜, 混凝土杆有无裂纹、酥松、钢筋外露, 焊接处有无开裂、锈蚀, 木杆有无腐朽、烧焦、开裂, 绑桩有无松动。

2) 基础有无损坏、下沉或上拔, 周围土壤有无挖掘或冲刷沉陷, 寒冷地区电杆有无冻鼓现象。

3) 杆塔位置是否合适, 有无被车撞的可能, 保护设施是否完好, 标志是否清晰。

4) 杆塔有无被水冲、水淹的可能, 防洪设施有无损坏、坍塌。

5) 杆塔标志(杆号、线路名称、相位标志等)是否齐全、明显。

6) 杆塔周围有无杂草和蔓藤类植物附生,有无危及安全的鸟巢、风筝及杂物。

(3) 导线

1) 导线上有无铁丝等悬挂物,导线有无断股、损伤、背花、锈蚀、闪络烧伤。接头连接是否完好,有无过热现象。

2) 导线压接是否良好,绞接长度是否符合规定。不同规格、型号的导线连接应在弓子线处连接,跨越档内不允许有接头。

3) 导线三相弛度是否平衡,有无过紧、过松现象。

4) 弓子线、引线有无损伤、断股、歪扭,与杆塔、构件及其他引线间距离是否符合规定。

5) 导线对地面、城市道路和公路、铁路以及建筑物的距离是否符合规定。

架空电力线路导线对地面、城市道路和公路、铁路的最小垂直距离应符合表 14-1 的规定。导线对建筑物的最小间隔距离应符合表 11.2 的规定。

表 14-1 导线对地面、城市道路和公路、铁路的最小垂直距离

经过地区或跨越项目	线路额定电压/kV	
	1 以下	1~10
1. 对地面/m		
(1) 居民区	6	6.5
(2) 非居民区	5	5.5
(3) 居民密度很小,交通困难的地区	4	4.5
2. 城市道路、公路/m	6	7
3. 铁路/m		
(1) 公用非公用标准轨至轨顶	7.5	7.5
(2) 非标准轨至轨顶	6	6

表 14-2 导线对建筑物的最小间隔距离

与建筑物距离/m	线路额定电压/kV	
	1 以下	1~10
在最大弧垂时的垂直距离	2.5	3
在最大风偏时接近部分的水平距离	1	1.5(3)

注：括号内数字为导线在接近建筑物的部分为窗户或阳台时的水平距离。

6) 架空电力线路的其他交叉跨越应遵守部颁《架空配电线路设计技术规程》的规定，并遵守下列几点：

① 凡交叉跨越要有正式协议。

② 新增的交叉跨越要取得供电部门的同意，并签订正式协议。

③ 在交叉跨越处，电压高的电力线位于电压低的电力线的上方；电力线应位于弱电线路的上方。

电力线路与弱电线路的距离和交叉角应符合表 14-3 和表 14-4 的规定。

表 14-3 导线对弱电线路的最小间隔距离

与弱电线路的距离		线路额定电压/kV	
		1 以下	1~10
水平距离/m		1	2
垂直距离/m	有防雷保护	1	2
	无防雷保护	2	4

表 14-4 电力线路与弱电线路的交叉角

弱电线路等级	I 级	II 级	III 级
交叉角	$\geq 45^\circ$	$\geq 30^\circ$	不限制

(4) 横担和金具

1) 木横担有无腐朽、烧损、开裂、变形。

2) 铁横担有无锈蚀、歪斜、变形。

3) 瓷横担有无裂纹、损坏, 绑线有无开脱。

4) 金具有无锈蚀、变形; 螺栓是否紧固, 有无缺帽; 开口销有无锈蚀、断裂、脱落。

(5) 绝缘子

1) 瓷件有无碎裂、脏污、闪络、烧伤等痕迹。

2) 绝缘子歪斜, 铁脚、铁帽有无锈蚀、松动、弯曲。

3) 固定导线用绝缘子上的绑线有无松弛或开断现象。

4) 吊瓶缺弹簧销子, 开口销子未分开或小于 60° 。

(6) 拉线、地锚、保护桩

1) 拉线有无锈蚀、松弛、断股和张力分配不均等现象。

2) 水平拉线对地距离是否符合要求。

3) 拉线是否妨碍交通或被车碰撞。

4) 拉线固定是否牢固, 地锚有无缺土、下沉等现象。

5) 拉线杆、顶(撑)杆、保护桩等有无损坏、开裂、腐朽或位置角度不当等现象。

(7) 防雷设备和接地装置

1) 避雷器固定是否牢固, 磁体有无裂纹、损伤、闪络痕迹。引线连接是否良好, 是否按规定时间投入或退出。

2) 接地引下线有无丢失、断股、损伤。

3) 接头接触是否良好, 连接螺栓有无松动、锈蚀。

4) 接地体有无外露、严重腐蚀, 在埋设范围内有无土方工程。

(8) 柱上油开关

1) 外壳有无渗漏油和锈蚀现象。

2) 套管有无破损、裂纹、严重脏污和闪络放电痕迹。

3) 开关的固定是否牢固, 引线接头是否良好, 线间和对地距离是否符合规定要求。

4) 油位是否正常。

5) 开关分、合位置指示是否正确、清晰。

6) 开关的名称编号、标志是否清楚、正确。

(9) 跌落熔断器

1) 瓷件有无裂纹、闪络、破损或脏污。

2) 熔丝管有无弯曲、变形、烧损。

3) 触头间接触是否良好，有无过热、烧损、熔化现象。

4) 各部件组装是否良好，有无松动、脱落。

5) 引线接头连接是否良好，与各部件距离是否符合要求。

6) 安装是否牢固，相间距离、倾斜角度是否符合规定。

7) 操作机构是否灵活，有无锈蚀现象。

(二) 10kV 线路的检修

10kV 线路的检修是根据巡线报告和检查与测量的结果，进行正规的预防性修理工作。其目的是为了消除在线路的巡视和检查及测量中所发现的各种缺陷，以预防事故的发生，保证安全供电。

1. 缺陷管理 目的是为了掌握运行设备存在的问题，以便按轻、重、缓、急消除缺陷，提高设备的使用寿命，保障设备的安全运行。另一方面对缺陷进行全面的分析，总结变化规律，为大修、更新改造设备提供依据。

缺陷一般按下列原则分类：

1) 一般缺陷，是指对近期安全运行影响不大的缺陷。可列入年、季、月检修计划或日常维护工作中去消除。

2) 重大缺陷，是指缺陷比较严重，但设备仍可在短期内坚持运行。该缺陷应在短期内消除，消除前应加强监视。

3) 紧急缺陷，是指严重程度已使设备不能继续安全运行，随时可能导致发生事故或危及人身安全的缺陷。这种缺陷必须尽快消除或采取必要的安全、技术措施，进行临时处理。

线路运行人员应将发现的缺陷(包括其他人员发现的缺陷)详细记入缺陷记录本中，并提出处理意见，紧急缺陷应立即向主管领导汇报，及时处理。

2. 线路的检修 一般分为小修、大修两种。

(1) 小修 为了保持线路及附属设备的安全运行和必须的供电可靠性而进行的修理。

小修的项目包括：

- 1) 局部更换、清扫、检查绝缘子和绑线。
- 2) 更换电杆附件并进行防腐处理。
- 3) 检查、修补导线连接器和接地装置。
- 4) 更换、增添和修补拉线、地锚和绑桩、保护桩。
- 5) 加固电杆基础，扶正电杆及变压器台。
- 6) 砍伐或修剪线路走廊的树木，拆除鸟巢。
- 7) 编写杆塔号和悬挂警牌。

(2) 大修 为了提高设备的使用寿命，恢复线路及其附属设备至原设计的电气性能或机械性能而进行的修理。

大修的项目包括：

- 1) 更换或补强线路杆塔及其部件。
- 2) 更换和扶正横担。
- 3) 更换或修补导线，调整导线弛度。
 - 1) 更换绝缘子或为提高线路绝缘水平而增装绝缘子。
- 5) 改善接地装置。
- 6) 检查更换柱上油开关、跌落熔断器及其附件。
- 7) 处理不符合规范的交叉跨越。

第二节 低压线路的安装、运行及维护

一、低压线路的安装

(一) 低压线路的档距

应根据导线最低点对地面最小垂直距离、导线弧垂、导线允许应力、杆塔高度及地形特点等来确定。其档距一般采用下列数值：

城市：40m~50m

郊区：40m~60m

高、低压同杆架设的线路，档距的选择应满足低压线路的技

术要求。

(二) 低压线路的供电半径

应根据负载密度来确定,为了保证电压质量,减少线路损耗,供电半径不宜过大。低压线路的供电半径一般为

市区: 150m~300m

郊区: 不宜大于 500m

(三) 低压线路的导线排列

一般多为水平方式,当低压线路为带有零线的三相四线线路时,零线要靠近电杆。如果线路的附近有建筑物,如沿街道架设的低压线路,则零线应尽量设在建筑物一侧。通常零线不应高于相线,并且同一地区的零线,其位置应该统一,以便于运行维护和检修。

低压线路的导线其相序排列一般规定如下:

(1) 市区沿街道架设的低压线路,导线在横担上排列是由建筑物侧向外依次为 U、N、V、W 相。

(2) 郊区沿人行道架设的低压线路,导线在横担上排列是由人行道中心方向依次为 U、N、V、W 相。

(3) 在野外架设的低压线路,导线在横担上排列是面向负载侧由左到右为 U、N、V、W 相。

(4) 单相两线架设的低压线路,导线在横担上排列是零线靠近建筑物侧。

(四) 同杆架设的低压线路

横担之间的最小垂直距离应符合表 14-5 的规定。

表 14-5 同杆架设的线路横担之间的最小垂直距离 (m)

架设方式	直线杆	分支或转角杆
1kV~10kV 与 1kV 以下	1.20	1.00
0.1kV 以下与 0.1kV 以下	0.60	0.30

(五) 低压线路导线之间的距离

该距离与档距有关，一般不应小于表 14-6 的规定。同时，靠近电杆两导线间的水平距离，不应小于 0.5m。

表 14-6 低压线路导线最小线间距离 (m)

线路档距	40 及以下	50	60
线间距离	0.3	0.4	0.45

(六) 低压线路导线截面积的选择

(1) 导线截面积的选择要满足经济电流和保证末端电压质量的要求，还要有足够的机械强度（即允许导线最小截面积）。

(2) 低压线路零线导线截面积的选择，应按下列要求确定：

- 1) 单相或三相线路的零线截面积必须与相线截面相同。
- 2) 三相四线制线路的零线截面积一般与相线截面积相同，也允许使用较小截面积，但不得小于相线截面积的 1/2。

3) 多回线路公用同一条零线时，零线所用材料、截面积与负载最大的一回线路相线截面积相同。

(七) 接户线

从架空低压线路的电杆到用电单位建筑物外墙第一支持点之间的一段线路，称为接户线。

1. 接户线装设要考虑以下几个原则

- (1) 有利于电网的安全运行；
- (2) 对用户能保证安全供电；
- (3) 便于今后的运行维护和检修；
- (4) 节约材料、资金，做到经济合理。

对永久性的单相设备的计算负载，其电流在 25A 及以下时，采用单相两线进户；若计算负载电流超过 25A 时，应用两相三线或三相四线进户，并尽可能将负载平均分配在各相上。仅有三相设备的用户，则以三相三线制供电；若同时还装有单相设备的，应以三相四线制供电。

临时装置的计算负载电流在 50A 以下时，可采用单相两线进

户；超过 50A 时，应采用三相四线进户，并尽可能将负载平均分配在各相上。

2. 选择进户点应注意以下几点

(1) 进户点应尽量靠近供电线路和用电负荷中心，与邻近房屋的进户点尽可能求得整齐。

(2) 同一个单位的一个建筑物内部相连通的房屋、多层住宅的每一个单元、同一围墙内、同一用户的所有相邻独立的建筑物，只应有一个进户点。

(3) 进户点的房屋应牢固，不得漏水。

(4) 进户点的位置应明显易见，便于施工安装和今后的运行维修。

3. 接户线的规范要求

(1) 接户线应采用绝缘良好的铜芯 铝芯导线，不得使用软导线或裸导线，中间不应有接头。

(2) 接户线导线截面应根据允许载流量选择，但不应小于表 14-7 的规定。

表 14-7 低压接户线的最小允许截面

架设方式	档距/m	绝缘铜线/mm ²	绝缘铝线/mm ²
自电杆上引下	10 以下	2.5	4.0
	10~25	4.0	6.0
沿墙敷设	6 及以下	2.5	4.0

(3) 接户线导线线间距离不应小于表 14-8 的规定。

表 14-8 低压接户线的线间距离

架设方式	档距/m	线间距离/mm
自电杆上引下	25 及以下	150
	25 以上	200
沿墙敷设	6 及以下	100
	6 以上	150

(4) 接户线的长度一般不得超过 25m，超过 25m 时，应加设接户杆，必要时可加装拉线，不得利用树木支持接户线。沿墙敷设的接户线，档距不应大于 6m；对住宅大楼沿墙敷设时，距离可酌情加大，但应用角铁铁板。

(5) 低压接户线在进线处的高度不应小于 2.5m，跨越人行道和重要街道时，最低高度为 3m，一般不应小于 3.5m。跨越通车街道时，高度不应小于 6m，在不适宜采用明线的场所，可考虑用电缆。

(6) 低压接户线与上方窗户或阳台的垂直距离不应小于 0.8m；与下方窗户的垂直距离不应小于 0.3m；与下方阳台的垂直距离不应小于 2.5m；与窗户或阳台的水平距离不应小于 0.75m；与墙壁、构架的距离不应小于 0.05m。

(7) 低压接户线与架空线弧垂最低处之间的距离，在任何情况下不得小于 0.1m，与铁板、电杆、拉线等接地部分的净空距离不得小于 0.05m。

(8) 低压接户线不应从 1kV~10kV 引下线间穿过。接户线不应跨越铁路，并应尽量避免跨越房屋，如必须跨越时，与房屋的垂直距离不应小于 2.5m，跨越易燃屋面，如草房的接户线，禁止在易燃屋面上空装设羊角熔断器。

(9) 低压接户线和广播线（或电话线）的交叉距离应不小于下列数值：接户线在上面时，应不小于 0.6m；接户线在下面时，应不小于 0.3m。

(10) 导线水平排列时，零线要靠墙敷设；导线垂直排列时，零线应敷设在最下方。两个电源引入的接户线不宜同杆架设。

(11) 不同规格、不同金属的接户线，不应在档距内连接。跨越通车道路的接户线不宜有接头，绝缘导线的接头必须用绝缘布包扎。

(12) 接户线如遇有铜铝连接时，应有可靠的过渡措施，接头处应不承受拉力。

(13) 在雷电活动较多的地区，应把接户线绝缘子的铁脚接

地，当绝缘子被雷电击穿时，可把雷电流引入地中，防止雷电过电压沿接户线侵入屋内，以致造成人身与设备事故。

二、低压线路的运行及维护

为了确保低压线路的安全运行，应经常对低压线路进行巡视、检查。

(1) 电杆的位置是否合适，有无被车撞的可能，保护桩是否完好，标志是否清晰。

(2) 横担有无锈蚀、歪斜、扭曲变形。

(3) 导线线间距离和对地、对建筑物等交叉跨越距离是否符合规定。

(4) 导线绝缘层是否老化、损坏。

(5) 导线接头连接是否良好，有否电化学腐蚀现象。

(6) 绝缘子有无歪斜、破损，绑线有无松脱现象。

(7) 进户线支持物是否牢固，有无腐朽、锈蚀、损坏等现象。

(8) 导线的弛度是否合适，有无混线、碰线、烧伤等现象。

对于在巡视检查中发现的缺陷和故障，应及时地安排处理和维修，以确保低压线路能始终在正常的状况下运行。

第三节 电力电缆线路的安装、运行及维护

电力电缆同架空线路一样，也是输送和分配电能的。在城镇居民密集的地方，在高层建筑内及工厂厂区内，或在其他有腐蚀性气体和易燃、易爆的场所，考虑到安全和市容美观的问题以及受地理位置的限制，不宜架设甚至有些场所规定不准架设架空线路时，就需要使用电力电缆。

电力电缆与架空线路相比有以下优点：

(1) 运行可靠，不受外界影响，不会像架空线路那样，因风害、雷击、鸟害等造成断线、短路与接地等故障，机械碰撞的机会也较小。

(2) 不占地面和空间，电力电缆一般都敷设在地下，不受路

面、建筑物的影响，适合城市与工厂使用。

(3) 供电安全，地下敷设，不会对人身造成各种危害。

(4) 运行维护工作量小，节省线路维护费用。

(5) 不使用电杆，节约木材、钢材、水泥，同时使市容美观整齐，交通方便。

(6) 电力电缆的充电功率为电容性功率，有助于提高线路功率因数。

电力电缆虽然有以上优点，但它成本高，投资费用较大；敷设后不易变动，运行也不够灵活；发生故障后，测寻和修复都比较困难；电缆头的制作工艺比较复杂，要求也较高，所以目前只适用于特定的场所。

一、电力电缆的安装敷设

(一) 电力电缆线路路径的选择

一条电力电缆线路在正常条件下运行，其寿命为40年~50年，且投资又大。因而电力电缆线路路径的选择就极为重要。其路径的选择不仅与敷设时投资的大小、施工的方便与否有关，而且与今后几十年电力电缆能否安全、经济运行关系极大，决不可掉以轻心。

电力电缆线路路径的选择，主要从安全、经济和便于施工三个方面考虑。

1. 安全运行

(1) 必须考虑电力电缆在投入运行后不致遭到各种损坏，如机械外力、振动、摩擦、化学腐蚀、杂散电流和热影响等。

(2) 电力电缆路径的选择应与未来的规划相结合，避免与规划发生冲突，运行后再迁移，还要考虑今后的发展和负载的增长。

(3) 在选择电力电缆线路路径时，应尽可能让电力电缆水平敷设，以减少电力电缆的高度差。

(4) 选择电力电缆线路路径时，还应考虑便于今后的运行维护和检修。

2. 经济

(1) 尽可能选择最短距离, 节约投资, 减少线路损耗和发生事故的几率。

(2) 还应结合未来规划及发展情况考虑路径, 以减少总投资。

3. 便于施工

(1) 应尽量减少穿越各种管道、铁路、公路等设施 and 拐弯、迂回, 以便于敷设。

(2) 应考虑便于电缆的运输。

(3) 当电力电缆线路采用隧道或排管敷设方式时, 还应考虑以下几个方面:

1) 应选择土质较好、地下水位低的路径, 以免土质松软增加施工的困难或在运行中地基下沉损坏管道。

2) 应选择已定型的道路, 与市政规划一致, 以免日后迁移造成浪费。

3) 应选择的车行道的一侧或慢车道上, 有较宽的人行道或绿化带时, 力争在人行道或绿化带下, 这样可降低管道所承受的载荷和少穿越马路。

4) 应选择比较直的路径, 避免建设在迂回曲折的道路上, 以利于少占道路的断面和便于电缆的敷设。

5) 应避免与其他管线的主干线在同一马路上, 以减少交叉或相互干扰。

6) 应结合电力系统的长远规划以及有利于架空线路的逐步转入地下, 应按该地区的最终容量考虑, 一次投资、一次建成, 不宜日后再进行扩建。

(二) 电力电缆线路的敷设方式及其要求

1. 电力电缆线路的敷设方式

(1) 直接埋设在地下, 这是最通行和最经济的敷设方法。

(2) 敷设在电缆沟内, 用于多条电缆的敷设。

电缆沟虽然当时投资比直埋较大, 但其便于进行温度监视和

采取通风降温措施，改善其散热条件。另外，电缆沟还具有便于电缆检修、新设、更换以及有利于防止外力损伤和故障测寻、修复等优点。

(3) 安装在电缆隧道内，当在发电厂或变电站出线电缆很多或并列敷设条数较多（如 20~40 条以上时）的地区敷设电缆时，应考虑建造电缆隧道。

建造电缆隧道虽然建设时投资大、工期长、建筑材料耗费多，而且带来通风、防火、防漏水等大量问题，但是它具有以下优点：

- 1) 大量地减少了电缆线路所占道路断面（走廊）。
- 2) 减少对电缆的外力破坏和机械损伤。
- 3) 消除因土壤中有有害物质引起的保护层化学腐蚀。
- 4) 检修或更换电缆迅速方便。
- 5) 随时可以增放新电缆，而且不必掘开路面。

(4) 敷设在电缆排管内，当较多电缆通过市区街道时，直埋对电缆压力大，又不适宜建造电缆沟和隧道，可建造电缆排管，造价低于隧道，但又具有许多隧道的优点，还不必考虑防火问题。

(5) 敷设在电缆托架上，是厂区内电缆安装的新形式，厂区内（尤其是发电厂或化工厂内）管线很多，建造电缆沟已很困难，又常常因为热管道的跑汽、跑水而损伤电缆，因而在厂区内采取电缆托架架空安装来代替电缆沟。

(6) 架空安装，由于近年塑料电缆的发展，电缆的重量减轻，把电缆吊挂在吊线上（或固定在杆塔上）的方式逐渐得到应用。架空电缆和埋在地下的电缆相比，易受外界的影响，不够美观，但建设费用较低。

2. 电力电缆线路敷设的安全技术要求

(1) 电缆直接敷设在地下安全技术要求

1) 电缆的埋设深度不应小于 0.7m，通过农田时埋设深度不小于 1.2m。电缆周围应铺以 100mm 的细土，在电缆上方 100mm 处盖土水泥保护板，其宽度应超出电缆直径两侧各 50mm。

2) 电缆敷设在建筑物附近时, 电缆外皮与建筑物基础的距离不应小于 0.6m (原则是考虑电缆施工时不受建筑物的阻碍, 也不影响建筑物的结构)。

3) 多条电缆同沟敷设或相互交叉时, 电缆外皮间的距离应符合以下要求:

① 电力电缆相互间或与控制电缆间的最小净距 10kV 及以下为 0.1m, 10kV 以上为 0.25m; 不同部门使用的电缆 (包括通信电缆) 相互间为 0.5m, 如用电缆隔板隔开时, 可降为 0.1m, 穿入管中不作规定。

② 电缆相互交叉时的最小净距为 0.5m。电缆在交叉点前后 1m 范围内, 如用隔板隔开时, 上述距离可降为 0.25m, 穿入管内时不作规定。

③ 电缆平行或交叉时要保持一定距离是考虑以下几个原因:

检修电缆时, 若邻近电缆距离太近容易造成机械外伤。为了防止电缆在运行时发生故障而将临近电缆烧坏, 因此电缆间应保持适当的距离; 电缆间距离太近不容易散热, 因而影响电缆的载流量; 若电缆相互靠近或交叉不能保持一定距离而相互接触时, 则容易产生“交流电蚀”。

4) 电缆与地下管道接近和交叉时, 电缆与管道间的净距不应小于以下规定:

① 电缆与热力管道接近时的最小净距为 2m, 如用隔板隔开时为 1m。

② 电缆与可燃气体和易燃液体管道接近时的最小净距为 1m

③ 电缆与其他管道接近时的最小净距为 0.5m。

④ 电缆与各种管道交叉时的最小净距为 0.5m。

⑤ 禁止将电缆平行敷设在管道的上方或下方。

5) 电缆与城市街道、公路或铁路交叉时应敷设于管中。管的内径不应小于电缆外径的 1.5 倍, 且不得小于 100mm; 管顶距路

轨底或公路路面的深度不应小于 1m；距排水沟不应小于 0.5m；距城市街道路面的深度不应小于 0.7m；管长除跨越公路或轨道宽度外，一般应在两端各伸出 2m；在城市街道，管长应伸出车道路面。

6) 电缆与铁道平行敷设时，电缆与铁轨的最小净距为 3m。这是为了减少火车通过时引起的振动对电缆铅包产生的损害；另一方面也考虑了便于维修。当电缆与电气化铁道平行敷设时，为了防止自轨道漏至地下的杂散电流引起电缆保护层发生电化学腐蚀，电缆与轨道的净距不应小于 10m。

7) 直埋电缆引进隧道、人井及建筑物时，应穿在管中，并在管口加以堵塞，以防渗水。

管口的堵塞方法：可以在管内填以油麻，然后在管口内浇注沥青，或用水泥、白灰等将管口堵严。

8) 电缆从地下或电缆沟引出地面时，为了防止机械损伤，地面以上 2m 一段应用金属管或罩加以保护，其根部应伸入地面下 0.1m。

9) 地下并列敷设的电缆，其中间接头盒位置应相互错开，其净距不应小于 0.5m，以便于接头施工，也有利于缩小电缆线路的走廊。中间接头盒外应有防止机械损伤的保护盒。

10) 敷设在郊区及空旷地带的电缆线路，由于无建筑物等固定标志，给电缆图样的绘制和日后的运行维护工作带来很多困难。因此需要在线路转弯处、接头处和直线部分每隔 50m~100m 处埋设电缆标桩一个，标明电缆具体位置，并在电缆平面图上标明标桩位置和编号，以便运行维护。

11) 直接埋在地下的电缆一般应用铠装电缆，以防止在敷设时或运行中遭受机械损伤。

(2) 电缆敷设在沟内和隧道内的安全技术要求

1) 电缆沟一般由砖砌而成，少数由混凝土浇铸而成。沟的大小视沟内电缆的多少而定，沟内各部位允许的最小距离应符合表 14-9 的规定。

表 14-9 电缆沟和电缆隧道内的最小允许距离 (mm)

类 别		电缆隧道	电缆沟
高 度		1900	不作规定
两边有电缆架时, 架间水平净距 (通道宽)		1000	500
一边有电缆架时, 架与壁间水平净距 (通道宽)		900	450
电缆架各层间垂直净距	10kV 及以下电力电缆	200	150
	控制电缆	100	100
电力电缆间水平净距		35	35

电缆沟要保持干燥, 不应潮湿, 更不应成为“水沟”。应当防止雨水或地下水流入电缆沟内, 并应在沟内设置适当数量的蓄水坑 (一般每隔 50m 左右设蓄水坑一个), 及时将水排出。

2) 电缆隧道一般由钢筋混凝土筑成, 也可用砖砌成。隧道一般高度为 1.9m~2.0m, 宽度为 1.8m~2.0m, 以便在内部安装电缆支架和工作人员通行。

电缆隧道应有两个以上的人孔, 长距离隧道一般每隔 100m~200m 应装设一个。不仅是为了便于进行维护、检修, 还考虑到隧道内电缆发生故障或火灾时, 工作人员能迅速、顺利地进入或撤出隧道。

为了便于巡视检查和检修, 隧道内应有良好的电气照明, 且应能在两端或出入口进行控制, 以便节约用电和避免走回头路。

3) 电缆固定于电缆沟和隧道的墙上, 水平装置时, 当电缆外径等于或大于 50mm 时, 应每隔 1m 加一支撑; 外径小于 50mm 的电缆和控制电缆, 应每隔 0.6m 加一支撑; 排成正三角形的单芯电缆, 每隔 1m 应用绑带扎牢。

4) 电缆沟和隧道中的电缆, 因通过电流而产生的热量, 只有极少部分热量 (约 10%) 是靠墙壁散发出去的, 主要还是靠空气流动将热量带走。因此每隔一定距离要留有进气和排气口, 使进气口较低, 排气口较高, 产生压力差驱使空气流通

5) 电缆隧道和沟的全长应装设有连续的接地线, 接地线应和所有电缆支架相连, 两头和接地极连通。

6) 从防火的角度考虑, 敷设在电缆沟和隧道内的电缆, 应采用裸护套、裸铠装或阻燃性材料的外护层的电缆。

(3) 电缆敷设在排管内的安全技术要求, 排管的结构是将预先制好的管子按需要的孔数排成一定的形式, 再用水泥浇铸成一个整体, 管子的数目一般为 6 根~20 根。

排管应使用对电缆金属护套无腐蚀作用的材料制成, 如陶瓷的、石棉水泥或硬塑料等。管的内径不应小于电缆外径的 1.5 倍, 且不得小于 100mm; 管的内壁应光滑, 应每隔 150m~200m 以及排管的转弯处和分支处建筑一个人井, 排管应有 0.1%~0.4% 的倾斜度, 以便管中的水能流向人井。

二、电力电缆的运行及维护

为了保持电缆设备的良好状态和电缆线路的安全、可靠运行, 首先应全面了解电缆的敷设方式、结构布置、走线方向及电缆中间接头的位置等。

电力电缆线路的运行维护工作主要包括线路巡视、维护、预防性试验、负载温度测量及缺陷处理等。

(一) 电缆线路的巡视检查

电缆线路内部故障虽不能通过巡视直接发现, 但对电缆敷设环境条件的巡视、检查、分析, 仍能发现缺陷和其他影响安全运行的问题。因此加强巡视检查对电缆安全运行有着重要意义。

1. 巡视检查的周期

(1) 敷设在土中、隧道中以及沿桥梁架设的电缆, 每 3 个月至少巡视检查 1 次。根据季节及基建工程特点, 应增加巡查次数。

(2) 电缆竖井内的电缆, 每半年至少巡查 1 次。

(3) 水底电缆线路, 由现场根据具体需要规定, 如水底电缆直接敷于河床上, 可每年检查一次水底线路情况, 在潜水条件允许下, 应派遣潜水员检查电缆情况, 当潜水条件不允许时, 可测

量河床的变化情况。

(4) 发电厂、变电所的电缆沟、隧道、电缆井、电缆架及电缆线路段等的巡查，至少每 3 个月 1 次。

(5) 对挖掘暴露的电缆，按工程情况，酌情加强巡视。

(6) 电缆终端头，由现场根据运行情况每 1~3 年停电检查一次，污秽地区的电缆终端头的巡视与清扫的期限，可根据当地的污秽程度予以决定。

2. 巡视检查的内容

(1) 对敷设在地下的每一电缆线路，应查看路面是否正常，有无挖掘痕迹及路线标桩是否完整无缺等。

(2) 电缆线路上不应堆置瓦砾、矿渣、建筑材料、笨重物件、酸碱性排泄物或砌堆石灰坑等。

(3) 对于通过桥梁的电缆，应检查桥墩两端电缆是否拖拉过紧，保护管或槽有无脱开或锈烂现象。

(4) 对于备用排管应该用专用工具疏通，检查其有无断裂现象。

(5) 人井内电缆铅包在排管口及挂钩处，不应有磨损现象，需检查衬铅是否失落。

(6) 对户外与架空线路连接的电缆和终端头应检查终端头是否完整，引出线的接点有无发热现象和电缆铅包有无龟裂漏油，靠近地面一段电缆是否被车辆撞碰等。

(7) 多根并列电缆要检查电流分配和电缆外皮的温度情况，防止因接点不良而引起电缆过载或烧坏接点。

(8) 隧道内的电缆要检查电缆位置是否正常，接头有无变形漏油，温度是否异常，构件是否失落，通风、排水、照明等设施是否完整。

(9) 充油电缆线路不论其投入运行与否，都要检查油压是否正常。油压系统的压力箱、管道、阀门、压力表是否完善。并注意与构架绝缘部分的零件，有无放电现象。

(10) 应经常检查临近河岸两侧的水底电缆是否有受潮水冲

刷现象，电缆盖板有否露出水面或移位。同时检查河岸两端的警告牌是否完好，了望是否清楚。

(11) 查看电缆是否过载，电缆线路原则上不允许过载运行。

(12) 敷设在房屋内、隧道内和不填土的电 缆沟内的电缆，要特别检查防火设施是否完善。

(二) 电缆线路的维护工作

检查出来的缺陷及电缆在运行中发生的故障，以及在预防性试验中发现的问题，都要采取对策予以及时消除。

(1) 电缆线路发生故障（包括做电缆预防性试验时击穿的故障）后，必须立即进行修理工作，以免水分大量侵入，扩大损坏的范围。处理步骤主要包括故障测寻、故障情况的检查及原因分析、故障的修理和修理后的试验等。消除故障务必做到彻底，电缆受潮气侵入的部分应予以割除，绝缘剂有炭化现象者应全部更换。否则，修复后虽可投入使用，但过些日子故障又会重现。

(2) 为防止在电缆线路上面挖掘损伤电缆，挖掘时必须由电缆专业人员在现场守护，并告知施工人员有关施工的注意事项。特别是在揭开电缆保护板后，就不应再用镐、钢钎等工具，应使用较为迟钝的工具将表面土层轻轻挖去。用铲车挖土时更应随时提醒司机注意，以防损伤电缆。

(3) 防止电缆腐蚀

1) 当电缆线路上的局部土壤含有损害电缆铅包的化学物质时，应将该段电缆装于管子内，并用中性的土壤作电缆的衬垫及覆盖，且在电缆上涂以沥青等。

2) 当发现土壤中有腐蚀电缆铅包的溶液时，应即调查附近工厂排出废水情况并采取适当改善措施和防护办法。

3) 为了防止电缆的化学腐蚀，必须对电缆线路上的土壤作化学分析，并有专档记载腐蚀物及土壤等的化学分析资料。

(4) 户内电缆终端头的维护 装置在户内的电缆头，结构比较简单，运行条件也较好，一般的维护工作有：

1) 清扫终端头, 检查有无电晕放电痕迹及漏油现象。对漏油的终端头应找出原因, 采取相应措施, 消除漏油现象。

2) 检查终端头引出线接触是否良好。

3) 核对线路名称及相位颜色。

4) 检查支架及电缆铠装, 涂刷油漆以防腐蚀。

5) 检查接地情况是否符合要求。

(5) 户外电缆终端头的维护 装置在户外的电缆终端头, 结构比较复杂, 运行条件较差, 一般维护工作有:

1) 清扫终端头及瓷套管, 检查盒体及瓷套管有无裂纹, 瓷套管表面有无放电痕迹。

2) 检查终端头引出线接触是否良好, 特别是铜、铝接头有无腐蚀现象。

3) 核对线路名称及相位颜色。

4) 修理保护管及油漆锈烂铠装, 更换锈烂支架。

5) 检查铅包龟裂和铝包腐蚀情况。

6) 检查接地情况是否符合要求。

7) 检查终端头有无漏胶、漏油现象, 盒内绝缘胶(油)有无水分。绝缘胶(油)不满者应用同样的绝缘胶(油)予以补充。

(6) 隧道、电缆沟、人井、排管的维护

1) 检查门锁是否开闭正常, 门缝是否严密, 各进出口、通风口、防小动物进入的设施是否齐全, 出入通道是否畅通。

2) 检查隧道、人井内有无渗水、积水。有积水要排除, 并将渗漏处修复。

3) 检查隧道、人井电缆在支架上有没有搁伤或蛇行擦伤, 支架有没有脱落现象。

4) 检查隧道、人井内电缆及接头情况, 应特别注意电缆和接头有无漏油, 接地是否良好。必要时应测量接地电阻和电缆的电位, 防止电蚀。

5) 清扫电缆沟和隧道, 抽除井内积水, 清除污泥。

6) 检查人井井盖和井内通风情况, 井体有无沉降和裂缝

7) 检查隧道内防水设备、通风设备是否完善正常,并记录室温。

8) 检查电缆隧道照明。

9) 疏通备用电缆排管,核对线路名称。

(三) 电缆线路的预防性试验

为了预防电缆在供电运行中发生故障,造成停电事故,必须对电缆进行定期的预防性试验。

由于电缆线路的绝大部分是隐蔽的,有些在制造、安装中存在的缺陷,运行维护中存在的问题,电缆线路绝缘特性的变化、老化等,都无法直接观察,只有通过试验手段才能判断和发现。

通过试验发现电缆缺陷后,除了避免停电事故,减少经济损失外,还可及时进行修理,其修理费用比故障后的维修费用小得多。因此预防性试验是一项保证安全供电和降低供电成本的有力措施。

电缆的试验一般可分为交接、预防性试验和工厂试验,这里只介绍交接与预防性试验。

1. 预防性试验的周期

(1) 对于无压力的重要电缆,至少每年应试验一次;对于无压力的其他电缆,至少每三年试验一次;对于保持压力的电缆,试验不作规定,但失压修复后,应进行试验;与机组连接的电缆,应在机组大修时进行试验。

(2) 新敷设的有中间接头的电缆线路,在加入运行3个月后,应试验一次,以后按一般周期试验。

(3) 已存在缺陷,如有外力损伤或对制造上有疑问的电缆,应根据具体情况缩短试验周期。

(4) 根据试验结果被列为不合格,但经过综合判断允许在监视条件下投入运行的电缆,其试验周期应较标准规定缩短。如果在不少于6个月的时期内,经过三次以上试验,其缺陷特性没有变化,则可以按规定周期试验。

2. 预防性试验的操作步骤

(1) 试验前工作负责人应根据《电业安全工作规程》的规定，办理工作许可手续，并进行验电、接地，保证电缆无电。

(2) 在试验场地设好围栏。并在电缆的另一端挂好警告牌或派人看守，以防外人接近。

(3) 先将电缆两端与所连接的设备拆开，试验时应尽量不附带其他设备，并应将两端电缆头绝缘表面擦干净，尽量减少表面泄漏电流引起的误差。

(4) 分别测量每项电缆的绝缘电阻（1kV 以下电缆时用 250V~1000V 的兆欧表；1kV 以上电缆时用 1000V~2500V 的兆欧表；一般用 2500V 兆欧表进行测量），在测一相时应将另外两相接地。应分别读取 15s 和 60s 的绝缘电阻值，测量完毕时应先进行放电，再停止转动兆欧表，防止因反充电而损坏兆欧表。

(5) 根据每套试验设备的特点进行接线，并绘制接线图，根据其特点制定核对、检查接线是否正确的内容。由两人共同进行核对，核对接线的内容主要有以下几点：

1) 电源电压是否正确。

2) 各项接线是否正确，尤其应注意调压器的输入与输出是否正确；试验变压器的电源是否正确；高压引线对地绝缘有无问题。

3) 检查接地线、放电棒是否接好。

4) 调压器是否回零，微安表量程是否合适。

(6) 在检查所有安全措施已做好，接线无误后，由工作负责人通知试验人员合闸给电进行试验。

(7) 试验时应先试空载，以检查接线是否正确，并记录 1/4、1/2、3/4 及全电压下的空载电流。然后将电压退回，用放电棒放电后再将电缆接入试验回路进行试验。

(8) 在每相试验给电前，应检查地线是否拆除，给电时应互相呼应，升压时速度不应太快，约为 $(1\sim 2)\text{kV/s}$ 。

(9) 随电压逐级上升，分别在 1/4、1/2、3/4 及全电压下读取相应的泄漏电流值（应在每次升压后约 1min 时读取泄漏电流值）。并在耐压试验终了时，读取耐压后的泄漏电流。将所得泄漏

电流值减去同电压时的空载电流，即为本身的泄漏电流。

(10) 每相试验完毕，应先将调压器回零，然后切断电源，用放电棒放电。当微安表在高压侧时，放电应在微安表的电缆侧放电，防止放电电流通过微安表时将表烧坏。此时也应用短路开关将微安表短路。

(11) 每试一相时，应将另外两相接地。分相屏蔽型电缆也应将未试相接地。因试验电压较高，未试相将会产生感应电压，危及人身安全。

(12) 试验时应随时监视泄漏电流的变化情况，当泄漏值过大时应找原因（如系表面泄漏的影响，应将电缆套管表面擦净，必要时应作屏蔽），尽力排除外界因素对泄漏电流的影响。

(13) 全部试验完毕并放电后，应先切断电源，然后拆除试验设备、围栏等，最后再拆地线，应防止电缆未放尽的电荷电人。

(14) 撤回电缆另一端的警告牌或看守人员，按《电业安全操作规程》的规定，办理工作终结手续。

3. 预防性试验结果的判断

(1) 绝缘电阻测量结果的判断

1) 各种电缆的绝缘电阻在长度为 1000m、温度为 20℃ 时不应小于下列数值：

① 对于电压为 3kV 及以下的油浸纸绝缘电缆，不小于 50MΩ；

② 对于电压为 6kV 及以上的油浸纸绝缘电缆，不小于 100MΩ；

③ 对于电压为 3kV 及以下的干绝缘电缆，不小于 100MΩ；

④ 对于电压为 6kV~10kV 的干绝缘电缆，不小于 200MΩ；

⑤ 对于电压为 0.5kV 的聚氯乙烯绝缘电缆，不小于 30MΩ；

⑥ 对于电压为 6kV~10kV 的交联聚乙烯绝缘电缆，不小于 1000MΩ。

2) 电缆的绝缘电阻随温度变化而变化，且因绝缘材料不同，其变化也不同。粘性浸渍纸绝缘电缆在 0~40℃ 间的温度系数如

表 14-10 所示。

表 14-10 油浸纸绝缘电缆的绝缘电阻温度系数

温度/ $^{\circ}\text{C}$	0	5	10	15	20	25	30	35	40
绝缘电阻温度系数/ $^{\circ}\text{C}^{-1}$	0.48	0.57	0.70	0.85	1.00	1.13	1.41	1.66	1.92

3) 当发现绝缘电阻低或相间绝缘电阻不平衡时,应仔细地进行分析,判断是否因绝缘表面泄漏大而引起的,必要时应作屏蔽,消除表面泄漏的影响。

4) 吸收比是判断电缆绝缘好坏的一个主要因素,吸收比越大(在加压后 15s 和 60s 的绝缘电阻数值之比 R_{60}/R_{15}),电缆绝缘越好。如果电缆没有吸收现象,则说明电缆绝缘受潮不合格。

5) 同一条电缆三相之间绝缘电阻应平衡,一般不应相差太大。因为三相电缆的运行条件完全一样,绝缘电阻也应基本上相同。

6) 运行中的电缆其线芯的温度除受周围环境的影响以外,还与因停止运行进行试验前,电缆的载流量和停电时间的长短有关,因此很难准确地按温度系数进行换算,或通过与过去所测绝缘电阻值进行比较来判断电缆的好坏和绝缘性能的变化情况。因此,绝缘电阻的数值,只用来作为判断电缆绝缘状态的参考数据,不能作为鉴定及淘汰电缆的依据。

(2) 直流耐压试验结果的判断 直流耐压试验是判断电缆能否投入运行的主要依据,电缆直流耐压试验的电压和时间应符合表 14-11 的规定。

表 14-11 电缆的直流耐压试验电压和时间

电缆类型	电压等级/kV	交接试验		预防性试验	
		电压/kV	时间/min	电压/kV	时间/min
油浸纸绝缘	2~10	50%	10	50%	5
	15~35	50%	10	40%	5
橡塑绝缘	2~35			2.5U ₀	5

1) 若电缆直流耐压试验合格, 在试验中无闪络或击穿现象, 即可投入运行。

但耐压试验合格也不能完全证明电缆质量就是好的。因为电缆的绝缘裕度较高, 很多缺陷在萌芽状态时, 无法通过试验发现, 因而有些电缆往往出现在耐压试验后不久 (如一周或一个月) 即发生事故。因此在制定试验计划时, 还要根据电缆本身的施工和运行情况制定试验周期。

2) 在耐压试验中若发现闪络现象时, 则应将试验时间延长, 或将试验电压提高至交接试验电压, 若仍不断发生闪络, 则应停止运行, 进行故障测寻; 若闪络后又自行封闭, 不再发生闪络 (经耐压 10min), 则可投入运行, 在 3 个月~6 个月内再进行监视性试验, 经两次试验无闪络现象时, 可按正常试验周期安排预防性试验。

(3) 泄漏电流测量结果的判断 油浸纸绝缘电缆长度为 250m 及以下的泄漏电流值见表 14-12。

表 14-12 油浸纸绝缘电缆长度为 250m 及以下泄漏电流值

电缆型式	工作电压/kV	试验电压/kV	泄漏电流/ μA
三芯电缆	35	140	85
	10	50	50
	6	30	30
单芯电缆	10	50	70
	6	30	45

注: 电缆长度超过 250m 时, 泄漏电流可按长度适当增加。

1) 三相的泄漏电流应基本平衡, 三相不平衡系数: 对于新电缆, 不应大于 1.5; 对于运行中的电缆, 不应大于 2。

泄漏电流三相不平衡系数, 系指电缆三相中泄漏电流最大一相的泄漏值与最小一相泄漏值的比值。

如果在试验中发现某一相的泄漏电流特别大时, 则应首先分析泄漏电流大的原因, 消除外界因素的影响。当确实证明是电缆

内部绝缘不好而泄漏电流过大时,可将耐压时间延长至10min,若泄漏电流无上升现象,则应根据泄漏值过大的情况,决定3个月或半年再作一次监视性试验。

如果泄漏电流的绝对值很小,即最大一相的泄漏电流:对于10kV及以上的电纜,小于 $20\mu\text{A}$;对于6kV及以下的电纜,小于 $10\mu\text{A}$ 时,则可按试验合格论,不必再作监视性试验。

2) 泄漏电流值,耐压后比耐压前降低,一条绝缘良好的电纜线路,耐压前的泄漏电流值与耐压后的泄漏电流值之比为1.3~1.5,甚至比值超过2倍;对于短段电纜,往往由于现场条件的限制,其比值约为1.1~1.2,甚至比值等于1。

若在试验中发现泄漏电流值不但没有吸收现象,反而升高时,则应分析检查是否有外界因素影响。若确系电纜本身泄漏电流上升,则应采取以下步骤:

① 提高试验电压或延长耐压时间,任其泄漏电流继续上升,直至击穿。

② 在提高试验电压或延长耐压时间后,泄漏电流不再继续上升,稳定在某一数值;未发生击穿现象时,则可先投入运行,根据其泄漏值上升的情况,在2个月至6个月内,再进行一次监视性试验。

③ 电纜的泄漏电流应稳定,不应有周期性的摆动。

如发现泄漏电流有周期性的摆动,则首先应分析是否外界因素的影响(如试验电源电压的波动;试验引线的晃动,甚至树枝随风摇动等都可引起泄漏电流周期性摆动)。如确系电纜本身绝缘问题,则说明电纜有局部空隙性缺陷,在一定电压作用下,空隙被击穿,使泄漏电流突然增大。这时电纜电容经被击穿的空隙放电,使电压下降,直到空隙绝缘恢复后,泄漏电流又减小。电纜被重新充电到一定电压时,空隙再次被击穿,这样就造成泄漏电流的周期性摆动。对于这种情况,电纜可投入运行,但应在半年内再作一次试验。

4. 电纜线路交接时电气验收项目和要求 电纜线路送电前

应进行的电气验收项目，除应按原水电部《电气设备预防性试验规程》的规定进行试验外，还应按下列项目进行检查验收：

(1) 电缆各芯导体必须完整连续，无断线情况。

(2) 电缆芯线对地及各芯线之间的绝缘电阻应符合有关规定。

(3) 测量电容、交直流电阻及阻抗等。

(4) 电缆两端终端头各相的相序应与电力系统的相序相符合。

(5) 三相单芯电缆的排列方式及保护性接地方式，应使铅包内涡流损耗最小，感应电流分布均匀。

(6) 电缆终端头及铅包接地电阻，不应大于 10Ω 。

第四节 照明线路的安装、运行及维护

照明线路即对照明灯具等用电设备供电和控制的线路。供电电源电压，一般为单相 220V 二线制，负荷大时，用 220/380V 三相四线制。

一、照明线路的安装

(一) 照明线路的一般技术要求

照明线路的各种布线方式，均应满足使用、安全、合理、可靠的要求。

(1) 室内、室外配线，应采用电压不低于 500V 的绝缘导线。单相或二相三线供电时，零线与相线截面相同；三相四线供电的零线截面应不小于相线截面的 $1/2$ 。

(2) 除花灯及壁灯等线路外，一般照明每一支路的最大负荷电流不应超过 15A，插座数一般不超过 20 只；电热线每一支路的最大负荷电流不应超过 30A；装接插座数一般不超过 6 只。

(3) 布线过程中，应尽量减少导线间的连接，以减少故障点。凡在管内、木槽板内的导线，一律不准有接头的分支处。导线连接和分支处不应受到机械力的作用。

(4) 线路应尽可能避开热源和不在发热的表面敷设。

(5) 导线与电器端子的连接要紧密压实，力求减少接触电阻和防止脱落。

(6) 各种明配线的位置，应便于检查和维修。线路水平敷设时，距离地面高度不应低于 2.5m，垂直敷设时不应低于 1.8m。个别线段水平敷设低于 2.5m 时，垂直敷设低于 1.8m 时，应穿管或采取其他保护措施。

(7) 每个分支路导线间及对地的绝缘电阻值应不小于 0.5MΩ，小于 0.5MΩ 时，应做交流 1000V 的耐压试验。

(8) 下列场所应采用金属管配线

- 1) 重要活动场所。
- 2) 有易燃、易爆危险的场所。
- 3) 重要仓库。

(9) 腐蚀性场所配线，应采用全塑制品，所有接头处应密封。

(10) 冷藏库配线，宜采用护套线明配，采用的照明电压不应超过 36V，所有控制设备设在库外。

(11) 下列场所的室内、外配线应采用铜线

- 1) 重要活动场所。
- 2) 重要控制回路及二次线。
- 3) 移动用的导线。
- 4) 特别潮湿场所和有严重腐蚀性场所。
- 5) 与剧烈振动的用电设备相联的线路。
- 6) 有特殊规定的其他场所。

(二) 安装照明设备应注意的事项

(1) 一般照明应采用不超过 250V 的对地电压。

(2) 厂房的照明灯距地面高度不得低于 2.5m，低于此高度时，应加保护。同时除安全电压外，不得使用带开关的灯口，并且不准将电线直接焊在灯泡的接点上，使用螺丝灯头时，铜口不得外露。

(3) 行灯及机床工作台使用的局部照明灯，其电压不得超过

42V, 在特别潮湿的地点或在金属容器内工作时, 其电压不得大于 12V。

(4) 在易燃、易爆、多尘、潮湿以及产生腐蚀性气体的场所使用的照明装置, 应符合其特殊的要求。

(5) 照明灯须用安全电压时, 应采用一、二次绕组分开的变压器, 不许用自耦变压器。

(6) 行灯必须带有绝缘手柄及保护网罩, 禁止采用一般灯口, 手柄处的导线应加绝缘套管保护。

(7) 各种照明灯, 根据工作需要应有一定形式的聚光设备, 不得用纸片、铁片等代替, 更不准用金属丝在灯口处捆绑。

(8) 安装户外照明灯时, 如其高度低于 3m 时, 应加保护装置, 同时应尽量防止风吹而引起摇动。

(三) 照明线路的敷设方式

常用的线路敷设方式, 有用瓷夹板、瓷珠、绝缘子、木槽板、钢管、塑料管和铝片卡等布线。

选用哪种器件布线, 应根据线路的用途、布线场所的环境条件、安装与维修条件以及安全要求等因素而定。做到安全适用、经济美观和便于检修。

(1) 瓷夹板布线, 用于负荷较小的干燥场所, 如办公室、住宅等。

(2) 瓷珠布线, 用于负荷较大的干燥或较潮湿场所, 如公共场所、生产车间、厨房等。

(3) 绝缘子布线, 用于负荷较大、线路较长的干燥或潮湿场所, 如生产厂房、浴室、洗衣房等。

(4) 木槽板布线, 用于负荷较小、要求美观整洁的干燥场所。此外, 还常用短段木槽板作为瓷夹板线路的沿墙垂直敷设时的保护装置。

(5) 钢管布线, 用于容易损伤导线、发生火灾或有爆炸危险的场所。钢管暗配用于要求洁净和美观的场所, 地面用电设备的线路也常使用钢管线路埋设在地面下。

(6) 塑料管布线,用于有腐蚀性但没有爆炸及机械损伤的场所,如化工车间等。

(7) 铝片卡布线,用于负荷较小的干燥无腐蚀性气体的场所,一般常用作弱电线路的布线,当线路电压为 220V 和 380V 时,必须使用带护套的绝缘导线。

(四) 照明线路敷设方式的要求

1. 瓷夹板布线的敷设要求

(1) 导线与建筑物应横平竖直,不得与建筑物接触。线路水平敷设时,导线距地高度一般不低于 2.5m;垂直敷设的线路,如距地面高度低于 1.8m 的线段,应加防护装置。

(2) 在线路中接装的开关、灯座和吊线盒等电气器具两侧各 50mm 以内,应安装夹板,以固定导线。

(3) 瓷夹板不能拧在不坚固的底子上,如抹灰、苇箔等

(4) 瓷夹板,不得在顶棚内及其他隐蔽处敷设。

(5) 直线段瓷夹板的间距与瓷夹板的规格有关:40mm 长两线式和 64mm 长三线式的瓷夹板间距,不得大于 600mm;51mm 长两线式和 76mm 长三线式的瓷夹板间距,不得大于 800mm。

(6) 导线穿墙时必须用瓷管(或其他绝缘管)加以保护,在线路分支、交叉和转角处,导线不应受机械力的作用,并且应加装瓷夹板,导线与导线间应套绝缘管隔离。

2. 瓷珠布线的敷设要求

(1) 导线要横平竖直,不得与建筑物接触。线路水平敷设时,导线距地高度不得低于 2.5m,垂直敷设的线路,在距地低于 1.8m 的线段,应加防护装置。

(2) 根据导线截面的大小,配用相应的瓷珠和绑线。

(3) 导线须用纱包铁心绑线(不得用裸铅丝)牢固地绑在瓷珠上。受力瓷珠用双绑法;加档瓷珠用单绑法;终端瓷珠把导线绑回头,导线应绑在瓷珠的同侧。

(4) 线路在分支、交叉和转角处,导线与导线之间应加装瓷套管或其他绝缘管隔离。

(5) 线路中接装的开关、插座和灯具附近约 100mm 处，都应安装瓷珠，以固定导线。

(6) 打瓷珠的位置，若是砖墙或混凝土底子，应预留木砖；若是抹灰吊顶，应加木龙骨。线路在穿墙处需打好过墙眼、下套管或在砌墙时预留套管。

(7) 用瓷珠暗布线时，线路应便于检修和更换。

3. 绝缘子布线的敷设要求

(1) 导线要敷设得整齐，且不得与建筑物接触（内侧导线距墙一般为 10mm~15mm）。线路一般均为水平敷设，导线距地高度不应低于 3m。

(2) 从导线至接地物体之间的距离，不得小于 30mm。

(3) 绝缘子上敷设的绝缘导线，铜芯线截面不得小于 1.5mm^2 ，铝芯线不得小于 2.5mm^2 。

(4) 导线必须用纱包铁心绑线牢固地绑在绝缘子上。导线水平敷设绑扎在绝缘子靠墙侧颈槽内；导线垂直敷设绑扎在绝缘子上面顶槽内；线路在转角地方导线应绑扎在张力的反侧；终端绝缘子用“回头绑扎法”。

(5) 绝缘子应牢固地安装在支架和建筑物上。如固定在本结构上，可将直脚螺旋直接旋入；如固定在金属结构上，可先打孔用铁担直脚绝缘子穿孔固定。

(6) 导线由绝缘子线路引下对用电设备供电时，一般均采用塑料管或钢管明配，导线如需连接，应在绝缘子附近进行。

4. 木槽板布线的敷设要求

(1) 木槽板需用干燥木材制成，槽内应涂刷绝缘油，和建筑物接触的底面要涂防腐油，槽板的外表面应刷带色的油漆。

(2) 应使用耐压 500V 的绝缘导线，其截面不得超过 4mm^2 。

(3) 每个线槽内，只能敷设一条导线。槽内所装导线不准有接头，如必须接头时，要用接线盒扣在槽板上。

(4) 木槽板要装设得横平竖直、整齐美观、固定牢靠，并按建筑物的形态弯曲和贴近。

(5) 木槽板的直线连接处，底与盖的接口不能在一起，要错开 30mm，接头处做成斜口，在“丁”字和转角的连接处成 45°角接合，终端要封口。

(6) 木槽板与开关、插座或灯具所用的木台相连接时，要用空心木台，先把木台边挖一豁口，然后扣在木槽板上。

(7) 木槽板可用木螺钉或钉子固定在木结构或天花板上，如沿砖或混凝土墙上固定时，可先将木楔固定在墙上，然后再把木槽板钉在木楔上。

木槽板的固定要求：

底板固定距离：端部 30mm；中间 600mm

盖板固定距离：端部 60mm；中间 450mm

5. 钢管布线的敷设要求

(1) 钢管及其附件应能防腐，明敷设时刷防腐漆，暗敷设时用混凝土保护。

(2) 钢管之间的连接处与接线盒之间均需连接成一个导电整体焊接地线，即用直径 4mm 的镀锌铁线电焊焊接或用两根直径 2mm 的镀锌铁线在每支钢管上缠 5 圈后锡焊焊接。

(3) 钢管的内径要圆滑，无堵塞、无漏洞，其接头须紧密。

(4) 钢管弯曲处的弯曲半径，不得小于该管直径的 6 倍；埋入混凝土中的暗敷设为 10 倍；每个弯曲处角度不能小于 90°。当管线经过建筑物伸缩缝时，为防止基础下沉不均，损坏管子和导线，须在伸缩缝处装设补偿盒。

(5) 管内所穿导线（包括导线的绝缘层）的总截面积，不应大于线管内径截面积的 40%；管内导线不准有接头和扭拧现象，以便于检查换线。

(6) 钢管暗敷设埋入钢筋混凝土板内时，钢管直径不得超过混凝土板厚的 1/3；埋入焦渣垫层内，应在钢管敷设完毕、地线焊好后，先用水泥砂浆保护好，然后再铺焦渣层；埋入地下土层内必须使用厚壁钢管，管外壁及焊接地线处需刷沥青防腐。

(7) 导线穿管，同一回路的各相导线，不论根数多少，应穿

入一根管内；不同回路和不同电压的线路导线，不允许穿在一根管内；交流和直流线路导线不得穿在同一管里，一根相线导线不准单独穿入钢管。

(8) 钢管在墙上的固定，当钢管直径在 20mm 以下时，管卡与管卡之间的距离不应大于 1.5m；钢管直径在 40mm 以下时，管卡的距离不应大于 2.5m；管径超过 40mm 时，可增大到 3.5m。

(9) 钢管连成一体后，应接地或接零。

(10) 钢管敷设超过下列长度时，其中间应装设分线盒或接线盒：

- 1) 管子全长超过 30m 且无弯曲时；
- 2) 管子全长超过 20m 而有一个弯曲时；
- 3) 管子全长超过 12m 而有二个弯曲时；
- 4) 管子全长超过 8m 而有三个弯曲时。

6. 塑料管布线的敷设要求

(1) 塑料管布线基本上和钢管布线相同。所用的附件也应是塑料制品，又因塑料管机械强度较低，埋入墙内时应用水泥砂浆保护，在地面下时，应用混凝土保护。

(2) 塑料管的连接可以用承插法，承插法是将一支塑料管的端头用炉火烘烤加热软化（注意不要离炉火太近，以免烧焦管子），然后把另一支塑料管插入约 30mm 即可。

(3) 塑料管弯曲时，可在炉火上烘烤加热，软化后慢慢弯曲，若管径较大时可在管内先填充加热过的砂子，然后加热塑料管进行弯曲，弯曲半径不得小于管径的 6 倍，弯曲处管子不要被弯扁，以免影响穿过导线。

(4) 当塑料管沿墙明敷设时，其固定点之间，管径在 20mm 以下时，管卡间距不应大于 1m；管径在 40mm 以下时，不得大于 1.5m，管径在 50mm 及以上时，可增大到 2m。

7. 铝片卡布线的敷设要求

(1) 导线要横平竖直，并且和建筑物贴平。

(2) 供电电压为 220V 或 380V 的线路，水平敷设时距地高度

一般不低于 2.5m；垂直敷设时不低于 1.8m，低于 1.8m 的线段，应加防护装置（如塑料管等）。

(3) 线路穿墙时，应装设套管保护。

(4) 220V 和 380V 线路的接头，应在铝制的接线盒内进行。

(5) 铝卡片的间距一般不得大于 300mm。开关、插座、灯具或接线盒等处，都应钉一支铝卡片。同时，开关、插座、灯具和接线盒等处，均应留出线头，以便连接。

二、照明线路的运行及维护

照明线路在投入运行前，应进行认真地检查验收，并建立设备技术管理档案，标明规范及负荷名称，在运行维护后及时填写有关检查项目，如负荷情况、绝缘情况、存在缺陷等，以便经常掌握线路的运行情况。对顶棚内的照明线路每年应巡视检查维修一次；线路停电时间超过一个月以上重新送电前，应作巡视检查，并测绝缘电阻。照明线路巡视检查的内容有：

(1) 检查导线与建筑物等是否有摩擦和相蹭之处，绝缘是否破损，绝缘支持物有无脱落。

(2) 车间裸导线各相的弛度和线间距离是否相同，裸导线的防护网（板）与裸导线的距离是否符合要求，必要时调整导线间和导线与地面的距离。

(3) 明敷设电线管及木槽板等是否有开裂、砸伤处，钢管的接地是否良好。检查绝缘子、瓷珠、导线横担、金属槽板的支撑状态，必要时予以修理。

(4) 钢管和塑料管的防水弯头有无脱落或导线蹭管口的现象。

(5) 地面上敷设的塑料管线路上方有无重物积压或冲撞。

(6) 导线是否有长期过负荷现象，导线的各连接点接触是否良好，有无过热现象。

(7) 应经常检查零线回路各连接点的接触情况是否良好，有无腐蚀或脱开。

(8) 线路上是否接用不合格的或不允许的其他电气设备，有

无私拉乱接的临时线路。

(9) 测量线路绝缘电阻, 在潮湿车间, 有腐蚀性蒸气、气体的房屋, 每年测二次以上, 每伏工作电压的绝缘值不得低于 500Ω ; 干燥车间, 每年测一次, 每伏工作电压绝缘电阻值不得低于 1000Ω 。

(10) 检查各种标示牌和警告牌是否齐全, 检查熔断器等是否合适和完整。

第五节 线路保护

当电力线路发生故障或异常现象时, 利用一些电气自动装置将故障部分从线路中迅速切除, 或在发生异常时及时发出信号, 以达到缩小故障范围、减少故障损失、保证线路安全运行的目的。

一、配电线路的短路

高、低压配电线路短路时的短路电流, 会产生很大的机械应力和热量。电气设备机械强度不足, 不能承受短路电流产生的机械力(电动力)的冲击, 叫做动稳定不足; 耐热性能不足, 导致设备绝缘过热损坏或物理性能变化, 不能满足正常运行的要求, 叫做热稳定不足。为了正确选择电气设备, 必须计算短路电流, 校验电气设备的动、热稳定性。此外, 在设计继电保护与选择限制短路电流的设备时, 也需要计算短路电流, 即使低压配电线路, 为正确选择自动开关, 整定开关动作电流以及选择熔丝容量、计算短路电流也是必要的。

(一) 配电线路短路电流计算

如果某一个电源系统上的小功率电路发生短路时, 电源系统母线上的电压能保持不变, 这个电源系统就叫做无限大功率电源系统, 阻抗为零。实际的低压配电网就接近如此, 电源系统的阻抗一般不到低压配电网阻抗的 5%, 可以认为是零, 按无限大功率电源系统计算短路电流。由于高、低压配电网都有电阻, 不是纯感抗电路, 非周期分量衰减极快, 可以只算周期分量的次暂态电流。

1. 高压配电线路 在计算高压配电线路三相短路电流周期分量的次暂态过程时，首先需要知道给高压配电线路供电的高压变电站二次侧母线的短路容量 W_d (MV·A)，从而得出母线的三相短路电流 I_d (kA)，即

$$I_d = \frac{W_d}{\sqrt{3}U}$$

式中 U ——高压变电站二次侧母线的额定线电压 (kV)。

系统阻抗中的电阻很小，可以忽略不计，只算电抗，即

$$X_x = \frac{U}{\sqrt{3}I_d}$$

其次需要知道高压配电线路短路点到给它供电的高压变电站的线路电阻 R_1 和电抗 X_1 。

线路短路点的短路电流 I_{1d} 为

$$I_{1d} = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{(X_x + X_1)^2 + R_1^2}}$$

两相短路时的短路电流一般是三相短路时短路电流的 87% 左右。

2. 低压配电线路 由于低压变电站配电变压器的容量比高压变电站变压器的容量小得很多，可以认为配电变压器二次侧短路时，一次侧电压不变，是前面说的无限大功率电源系统，电源系统阻抗为零。由于低压配电网电阻数值较大，短路电流的非周期分量衰减很快，可以不计。

(1) 三相短路，计算低压配电线路三相短路电流 I_d ，即

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\Sigma R^2 + \Sigma X^2}}$$

式中 U ——低压配电线路的额定电压 (V)；

ΣR ——每相的总电阻 (Ω)；

ΣX ——每相的总电抗 (Ω)。

电阻与电抗主要由配电变压器与配电线路两部分构成。

其中配电变压器电阻 R_b 为

$$R_b = \frac{P_d}{3I_2^2}$$

式中 P_d ——配电变压器的额定短路损耗 (W);

I_2 ——配电变压器二次额定电流 (A)。

配电变压器的电抗 X_b 为

$$X_b = \sqrt{Z_b^2 - R_b^2}$$

而配电变压器的短路阻抗 Z_b 为

$$Z_b = \frac{\Delta U_b \%}{\sqrt{3} \times 100} \frac{U_2}{I_2}$$

式中 $\Delta U_b \%$ ——配电变压器的阻抗百分数;

U_2 ——配电变压器的二次额定电压 (V);

I_2 ——配电变压器的二次额定电流 (A)。

低压配电线路每公里的电阻、电抗可以查表求得。

两相短路时短路电流同样是三相短路时短路电流的 87%。

(2) 单相短路, 计算低压配电线路单相短路电流 I_d 的近似公式为

$$I_d = \frac{U_{rg}}{Z_b + Z_1}$$

式中 U_{rg} ——配电变压器二次额定电压 (V);

Z_b ——配电变压器正序、负序、零序阻抗的平均值 (Ω), 并假定 Y, yn0 联结配电变压器的零序阻抗等于正序阻抗, 所以公式是近似的;

Z_1 ——相线阻抗与零线阻抗之和 (Ω)。

(二) 短路电流效应

线路短路时, 流过很大的短路电流, 这个短路电流可以产生很大的电动力和很高的温度, 叫做短路电流的力效应和热效应。

1. 力效应 平行载流导体间的作用力与电流集中在导体轴

线上时的作用力相同，可根据电工基础中的毕奥-萨伐尔定律求得。平行载流导体中电流方向相同时，电动力相吸；电流方向相反时，电动力排斥。

三相系统发生短路时，作用于每相导线上的作用力是该相电流与另两相电流作用力之和。由于三相电流是时间的函数，短路时的短路电流是随时间变化的，因而导线所受的力也是随时间变化的，而且三相所受的力也不完全一样。三相短路时，受力最大的相所受到的最大作用力和导线长度成正比、导线间的中心距离成反比，而和三相短路时短路电流的最大瞬时值，即冲击电流的平方成正比。

在同一地点两相短路时的最大电动力比三相短路时小 13%。因此，一般用三相短路来校验电器和载流导体的动稳定。

2. 热效应 均匀载流导体的热效应可以分为长期和突发短路时的发热两种。

(1) 均匀载流导体的长期发热，架空导线和电缆线芯均可视为均匀导体，未通电流时，温度与周围介质温度相等。通电流后，导体产生热量，其中一部分使导体温度升高；另一部分散失到周围介质中。在稳定发热状态下，经过一段时间，导体温度不再升高，导体中产生的热量全部都散发到周围介质中。

(2) 均匀载流导体突发短路时的发热，由于短路电流大而持续时间短，导体短时内所产生的很大热量，来不及向周围介质放热，可以认为全部用来使导体温度升高。短路时导体温度变化范围很大，电阻和比热都不能再视为常数而是温度的函数。

因为通过导体的短路电流、导体的电阻、比热在短路过程中都是变量，所以导体突发短路时发热的精确计算非常复杂。但在实际应用中，可以采取一些近似的简便算法。

计算短路时电动力和导线发热的目的是按动、热稳定的要求来设计线路和校验已有线路。动稳定主要是检查在短路电动力的作用下，导线是否会碰撞混线，从而造成新的短路点，将导线烧损。热稳定主要是检查在短路电流的作用下，是否会造成导线过

热，降低导线的机械强度，增大导线弛度，或损坏电缆的绝缘。

(三) 提高高压配电线路动、热稳定的措施

1. 提高动稳定措施 可根据需要和具体情况采取以下措施的一部分。

(1) 缩小档距，城市高压配电线路档距不应大于 40m~50m，高压变电站出口一段线路，当短路容量超过 20MV·A 而又采用水平排列时，应缩小到 35m 或采用一段电缆。缩小档距，减小弛度对防止短路混线，效果十分明显。

(2) 改变导线排列方式，采用单回三角排列或双回垂直排列很容易将线间距离加大到 1m 以上，尤其是双回垂直排列，值得推广。

(3) 加大水平排列的线间距离，水平排列可采用 2500mm 以上的横担，但防止短路混线的效果不如缩小档距、减小弛度明显。另外，横担长度在 2500mm 以上时，会给施工和运行维护工作带来不便。

(4) 加大主干线导线截面，根据线路负荷情况，可采取适当加大导线截面的办法。

(5) 主干线采用绝缘导线，对已有线路进行改造增加回路时，可采用绝缘导线水平排列或利用钢绞线三角吊架的架设形式。

(6) 延长重合闸时间。

(7) 采取限流措施，高压变电站二次母线容量最高不应超过 300MV·A，即短路电流最大不应超过 17.3kA。容量一般最好不要超过 200MV·A，电流为 11.5kA。

2. 提高热稳定措施

(1) 采用快速保护和开关，缩短短路持续时间。

(2) 加大导线截面。

(3) 采取限热措施。

二、配电线路的过电流保护

这里主要介绍高压配电线路和低压配电线路的过流保护。而高压配电线路则重点介绍线路出口断路器与线路跌落式熔断器、

用户低压变电站入口跌落式熔断器、分支线路跌落式熔断器的相互配合问题。

(一) 高压变电站线路出口断路器与跌落式熔断器的配合

1. 高压配电线路跌落式熔断器 高压变电站 10kV 高压配电线路的保护应尽量简单, 采取速断与定限时过流保护。高压配电线路中跌落式熔断器熔丝的熔断时间必须小于高压变电站线路出口断路器的开断时间, 以保证高压配电系统过流保护的相互配合。

2. 用户低压变电站入口跌落式熔断器 采用跌落式熔断器作为用户低压变电站的人口保护, 安装地点的短路容量应在跌落式熔断器规定的上、下限之内, 保证在一定时限内熔断并与上级保护相配合。一般情况下, 熔丝额定电流可按用户受端变压器额定电流的 1.5~2 倍选取。如果熔丝额定电流过高, 不能满足与上级保护互相配合的要求时, 则应适当降低熔丝额定电流, 例如, 改按用户受端变压器额定电流的 1~1.3 倍或可能发生的最大负荷电流的 1.3 倍选取。这样, 除负荷较大和距高压变电站较远的用户外, 一般将均可以使用跌落式熔断器作为人口保护, 有助于用户低压变电站的简化和标准化。

3. 分支线路跌落式熔断器 分支线路采用跌落式熔断器作为保护, 和用户低压变电站入口跌落式熔断器一样, 安装地点的短路容量应在跌落式熔断器规定的上、下限之内, 速断保护区内的熔丝额定电流应小于短路电流的 1/40 (最大 1/30), 定限时保护区内应小于 1/10。如果安装地点所需熔丝额定电流过大不能保证保护的选择性时, 必须根据具体情况分别采用下述方法来降低熔丝额定电流。

(1) 化整为零法, 对于大分支线路, 可不在 1 号杆上安装跌落式熔断器, 而在该分支的支线及中、下段分别安装跌落式熔断器, 装小额定电流熔丝。由于在 1 号杆上安装大额定电流熔丝时, 只有在该分支线路前段很短一段发生故障时能起保护作用, 对后部中、下段的故障不起保护作用。而在支线及中、下段分别安装

虑设置过流保护。保护定值的整定，首先应躲开正常工作电流与电动机起动电流，其次线路末端的单相短路电流应达到熔丝额定电流的 4 倍，或低压自动空气开关动作电流整定值的 1.3 倍。

第六节 降低线路损耗的措施

由于电网线路和变压器中存在着电阻，所以当电流沿线路输送时，就会在线路和变压器中产生电能损耗，这部分损耗完全用于提高导线和变压器的温度，引起发热，这就是所谓的线路损耗，简称线损。

线损率是供电系统的重要经济技术指标，它表示线路上所损失的电能占线路首端输出电能的百分数。线损率不仅可以综合反应一个单位或一个区域的供电经济性，而且也可间接反应供电的技术条件和管理水平。

线损率 $\Delta P\%$ 可按式计算，即

$$\Delta P\% = \frac{\text{供电量} - \text{售电量}}{\text{供电量}} \times 100$$

式中的供电量和售电量均以供、受电端电能表的抄见电量数为准。

有时也可以按线路的计算损失功率与首端输送功率来计算线损率，即

$$\Delta P\% = \frac{\Delta P}{P} \times 100$$

式中 ΔP ——线路的损失功率 (kW);

P ——首端输出功率 (kW)。

根据电能表计量的供电量和售电量的差额计算出来的线损电量,有一部分是电能 在输送过程中不可避免的损耗,称为理论线损;另一部分是由于管理上的原因造成的损耗,它包括计量的各种误差、漏抄、错抄、漏算、错算,抄表不同时以及用户违章窃电等,一般称为管理线损。

为了降低线损,首先必须作好供电的技术管理、计量管理和用电管理等工作,不断提高线路的管理运行水平,其次还必须采取一些技术措施来降低线损。

一、降低线路损耗的管理措施

(一) 分压、分线计算线损率

健全计量表计,尤其是高、低压配电网的计量表计,使线损指标分压计算,分为送电网、配电网计算。并且还应该分高压配电路、分配电变压器台区进行计算,这样便于比较,便于查明电能损耗增降原因,有针对性地开展 工作。

(二) 互供线路分界点安装计量箱

在供电局之间的互供高压配电路分界点处安装高压计量箱,正确结算各供电局之间的互供电量。

(三) 配电变压器台安装电能表

在抄录每一高压配电路高压受电用户电能表的同一天,同时抄录这条高压配电路出口和所带配电变压器台的电能表,据此计算这条高压配电路的线损。在抄录每一配电变压器台区低压受电用户电能表的同一天,同时抄录这一配电变压器的电能表,据以计算这一台区的线损。

(四) 进行理论计算

根据变电站提供的一条高压配电路的典型日负荷曲线以及这条高压配电路所带高压用户、配电变压器台的有关数据,如电量、典型日负荷曲线等,组织有关人员进行一条高压配电路、一个配电变压器台区的电能损耗理论计算。

二、降低线路损耗的技术措施

降低线损的技术措施主要是对电力网的建设,要合理的规划;调整现有电网的运行方式,使其运行经济合理;提高现有电网的运行电压;增加无功补偿装置和采用同步电机以提高电网功率因数。

(一) 合理确定供电中心

无论 110kV、35kV 的变电所或是配电变压器,均应尽量设置在用电负荷中心。这样可将较大的电流通过较短的导线送到用户处,以使线路损耗为最小。

随着城市和工业负荷的不断增长,原有 35kV 或 10kV 电网的负荷愈来愈重,从而使线损也随着增加。因此,近年来有的城市采用 110kV 电压的线路,向工业负荷中心供电。这样,不但提高了供电能力,减少了线损,而且改善了电压质量。

(二) 配电网开式网改为闭式网运行

城市高压配电网,常采用环形供电方式,环形供电有两种不同的运行方式,一种为开式运行,另一种为闭式运行。闭式运行的电力网在正常时,可以从两个或更多的方向受电,它不仅能提高供电的可靠性和改善电能质量,也减少了备用容量,并降低了线损。

(三) 提高电力网负荷的功率因数

对于电力网来讲,提高功率因数对于充分利用供电设备,减少功率损失是有很影响的。当电力网负荷的功率因数增加时,电能损耗就减少。提高电力网的功率因数,就是要减少电力网中的无功功率,通常采取的措施有:

(1) 合理地选择调整异步电动机和变压器的运行

1) 合理选择电动机和变压器的容量,避免电动机和变压器长期轻载运行。

2) 提高电动机的负荷率。

3) 合理使用变压器,并限制变压器空载运行的时间。

4) 为了减少通过电力网的无功功率,在有条件的工厂企业

中，可用同步电动机代替异步电动机。

(2) 利用并联补偿装置提高用户功率因数。

(四) 提高电力网运行电压水平

提高电力网运行的电压水平，也是降低电力网功率损耗与电能损耗的措施之一。电力网运行时，线路和变压器等电气设备的绝缘所容许的最高工作电压，一般不超过额定电压的10%，因此，电力网在运行时，在不违反上述规定的条件下，应尽量提高运行电压水平，以降低功率损耗和电能损耗。

除以上几种措施外，还有在线路设计时，导线截面按远期负荷选择，根据负荷增长情况，及时更换已有配电线路的小截面导线；采用低损耗配电变压器；低压配电线路采用两回或四回线路供电，负荷比较均匀，导线截面比较富裕；做好调荷工作，提高日负荷率等。

第七节 电气线路常见故障

一、架空线路常见故障

由于架空线路分布很广，又长期处于露天之下运行，所以经常会受到周围环境和大自然变化的影响，从而使架空线路在运行中发生各种各样的故障。例如，化工厂或沿海区域的线路，容易发生污闪；河道附近的线路，易遭受冲刷；路边和采石场附近的线路，易受外力破坏等。

季节性气候的变化，也会对架空线路的安全运行造成很大的危害。例如，大雾季节，容易造成瓷件闪烁放电；雷雨季节，易发生雷击事故；其他如大风、雨、高温、严寒等季节，都会从不同的方面给架空线路造成威胁。

环境和季节的影响，是密切相联系的，如化工厂附近的线路，常在大雾季节或雨季发生故障；河道附近的线路，也只有在雨汛季节，才能受到洪水损害。

根据事故统计，架空线路所发生的事故，绝大部分都是由于上述原因所引起的。因此，为了防止线路在不同季节发生故障，就

应有针对性地采取相应的反事故措施，以确保线路的安全运行。

(一) 架空线路可能发生故障的季节性

正确设计架设的线路，一般都能保证正常运行。然而，在运行的线路上总会因季节和环境的影响而发生各种各样的故障。这些故障，有时会引起事故，使架空线路的安全运行遭到破坏。造成架空线路故障的主要原因有：

1. 风力过大

(1) 风力超过了杆塔的机械强度，杆塔会发生倾斜或歪倒而造成损坏事故。

(2) 由于风力过大，会使导线承受过大的风压，因而产生摆动。又由于空气涡流作用，就可能使这种摆动成为不同期摆动，而引起导线之间互相碰撞造成短路事故。

(3) 因大风将树木刮断，把草席、天线、铁皮等杂物刮到导线上，也会造成停电事故。

各种不同风力对线路的影响：

1) 当风速为 $0.5\text{m/s} \sim 4\text{m/s}$ 时（相当于 1~3 级风），容易引起导线或避雷线振动而发生断股甚至断线。

2) 在中等风速（ $5\text{m/s} \sim 20\text{m/s}$ ，相当于 4~8 级风），导线有时会发生跳跃现象，易引起碰线或断绑线故障。

3) 大风时（8 级风以上），各导线摆动不一，就会发生碰线事故或线间放电闪络故障，杆塔发生歪斜、倾倒或折断。

2. 雨水影响 毛毛细雨能使脏污绝缘子发生污闪，甚至损坏绝缘子，从而造成停电事故；汛期季节，在架空线路经过的各种地域内，有可能因暴雨或洪水而发生事故。这种危害主要表现在：

1) 杆塔基础土壤受洪水冲刷而流失，从而破坏了基础的稳固性，造成杆塔倾倒。

2) 基础被洪水淹没，水中漂浮的树枝、杂草等挂到杆塔和拉线上，增大洪水对杆塔的冲击力，若杆塔稳定强度不够，易造成倒杆事故。

3) 位于土堆、边坡等处的杆塔, 由于雨水的浸泡和冲刷引起塌方或溜坡时, 连同杆塔一起倾倒。

3. 环境污染

(1) 在工业区, 特别是化工厂或其他有污染源地区, 所产生的尘污或有害气体, 会使绝缘子的绝缘水平显著降低, 以致发生闪络事故。

(2) 在木杆线路上, 因绝缘子表面污秽, 泄漏电流增大, 会引起木横担、木杆的燃烧事故。

(3) 有些氧化作用很强的气体, 则会腐蚀金属杆塔、导线和金具等。

4. 冰雪过多

(1) 当线路导线上出现严重覆冰时, 加重了导线和杆塔的机械负荷, 使导线弧垂过大, 从而造成混线或断线。

(2) 当导线上的覆冰脱落时, 又会使导线发生跳跃现象, 而引起碰线事故。

(3) 由于绝缘子或横担上积聚冰雪过多, 进而引起绝缘子闪络事故。

(4) 冰雪压弯或压折线路附近树枝, 碰在导线上造成短路事故。

5. 气温变化 空气温度变化时, 导线的张力也随之变化。

(1) 在炎热的夏季, 由于导线的伸长, 使弧垂变大, 可能会造成交叉跨越处放电事故。

(2) 在寒冷的冬季, 由于导线收缩, 应力增加, 又可能造成断线事故。

6. 树木影响 在线路下面或附近有高大树木, 就有可能碰触导线。另外, 在大风、雨雪天气时, 也会发生倒树、断枝和树木搭在导线上而造成短路事故。

7. 外力影响 电力工作人员以外的其他人员造成的对线路安全运行的危害。如汽车撞杆、吊车碰线, 在线路附近施工吊物、爆破、放风筝、砍树等。

8. 雷电影响 雷击线路时,不仅有可能使绝缘子发生闪络或击穿,有时还会引起断线或劈裂木杆和木横担等事故。

9. 鸟害 鸟在杆塔上筑巢或在杆塔上停落,有时大鸟穿过导线飞翔,均可能造成线路接地或短路事故。

(二) 架空线路的事故预防

架空线路的事故,虽然大部分是由于自然灾害所引起的,但是这些事故并非是不可避免的。只要电气工作人员严格执行有关运行和检修规程,切实做好日常的巡视、维护和检修工作,架空线路的安全运行就会有可靠的保证。

1. 污闪事故 在架空线路经过的地区,由于工厂的排烟,海风带来的盐雾,空气中飘浮的尘埃和大风刮起的灰尘等,逐渐积累附在绝缘子的表面上,形成污秽层。这些粉尘污物中大部分含有酸碱或盐的成分,干燥时导电不好,遇水后具有较高的导电率。所以,当下毛毛雨、积雪融化、遇雾结露等潮湿天气时,污秽绝缘子的绝缘水平大大降低,从而引起绝缘子闪络,甚至造成大面积停电,称为线路的污闪事故。

为了防止污闪事故的发生,一般采取下列措施:

(1) 坚持作好定期清扫绝缘子的工作,每年在污闪事故季节到来之前,必须对线路绝缘子进行一次普遍清扫。还应根据线路所在地段绝缘子受污情况及对污样的分析,适当增加清扫次数。清扫的方法有停电清扫、带电清扫和带电水冲洗等。

(2) 增加爬电距离,提高绝缘水平。对处在污秽地区的线路,应考虑适当增加爬电距离,如增加绝缘子的片数;针式绝缘子采用电压等级高一级的等。此外,还可采用防污型的绝缘子。运行经验证明,在污秽严重地段,防污绝缘子的效果是比较理想的。

(3) 采用防尘涂料,对于已经运行的架空线路,当污秽严重时,可以采取在绝缘子上涂刷防尘涂料的办法来增强抗污能力,如地蜡、石蜡、有机硅等。有条件的也可采用半导体釉绝缘子。

绝缘子表面涂有这种防尘涂料后,当雨水和它接触时,会形成水球顺着绝缘子表面滚下,不易使绝缘子表面湿润,使绝缘子

绝缘水平降低而造成闪络。此外，防尘涂料还有包围污秽微粒的作用，使其与雨水隔离，从而能有效地提高绝缘子的绝缘性能。

(4) 加强巡视检查，定期对绝缘子进行测试，并及时更换不良绝缘子。

2. 雷击事故 雷电会给架空线路的安全运行带来很大的威胁，为了防止雷击事故，必须提高线路的耐雷水平。架空线路的防雷措施主要有：

(1) 装设避雷线或避雷针，防止导线被直接雷击。

(2) 可采用避雷器保护，对架空线路在变电所的进出线处和个别的绝缘弱点，为限制沿线路传来的雷电波对各种电气设备的危害，可用避雷器保护。

(3) 采用自动重合闸装置，采用自动重合闸后，可在雷击跳闸之后立即自动恢复送电。运行经验证明，在架空线路上，大部分雷击闪络故障是瞬时性的，因此，可借助自动重合闸来消除。

(4) 在中性点处装设消弧线圈，雷雨季节中，系统单相接地的机会较多。在中性点经消弧线圈接地的系统中，由于消弧线圈的作用，不但可以消灭单相接地跳闸事故，同时亦会减少两相之间发生短路造成线路跳闸的机会。另一方面，还可限制系统弧光接地的过电压数值。

3. 大风事故 在设计架空线路时，一般都按当地最大风力作了测算，并采取了适当的措施。但是，自然界情况是复杂的、变化的。因此，气象情况仍然有可能超过设计条件，或由于设计时的考虑不周、日常维护工作的疏忽等，而发生事故。防风工作应注意作好以下几点：

(1) 定期检查杆塔基础，发现杆塔基础被雨水冲刷发生杆基下沉或杆塔倾斜时，应及时扶正杆塔。并将杆基土壤夯实或培土加高。

(2) 定期检查线路导线，发现导线断股和弧垂过大时，应及

时进行处理和检修。

(3) 在易遭受大风袭击的地方，直线杆可加防风拉线，还要考虑顺线路方向的风力，并验算杆塔强度。

(4) 对锈蚀严重的拉线应及时更换，发现失窃的螺钉和螺帽要及时补上。并调整拉线装置使杆塔正直，拉线受力正常，对转角杆、承力杆必须特别注意使拉线受力均匀。

(5) 木质杆塔应定期检查杆根腐朽情况，发现腐朽严重者，应及时加绑桩或更换。

4. 洪水灾害事故 洪水造成的事故，往往是由于杆塔倾斜引起的。而且在水中进行抢修比较困难，有时甚至不能马上进行抢修，故会影响正常供电。因此，防洪必须以预防为主，事先摸清水情，了解洪水的规律，对有被洪水冲击可能的杆塔，应在汛期前认真检查，及时采取防洪措施。

(1) 采取预防措施，避免洪水冲袭。根据线路杆塔所在位置的地形地貌和水流情况，有可能遭受洪水冲刷时，要构筑防护堤、导洪或分流坝等，避免洪水直接冲刷杆塔基础。

(2) 采取加固措施，增大杆塔的稳定性。对于易被洪水浸泡的杆塔，可在基础周围构筑土石坝、木围桩、增添支撑杆或增加拉线等，增强稳定性，避免杆塔倾倒。

(3) 如果采取上述措施，经过经济技术比较不尽合理，在地形条件许可时，也可采取杆塔移位或线路改道的措施加以解决。

(4) 作好防洪抢险的准备工作，以便在万一发生事故或出现险情后，能及时进行抢修，防止造成重大损失。在春夏汛期期间，应把防洪设施的巡视列为重点项目。

5. 外力破坏事故 指人们有意或无意而造成的线路事故，而大量的外力破坏是由于人们的疏忽大意或对电的知识了解不够而引起的，这就需要我们加强对电气知识和安全用电的宣传，加强与有关部门的联系，作好各方面的工作，以防止外力破坏事故的发生。

(1) 大力宣传《电力法》和《电力设施保护条例》。并与当地

政府和公安部门取得联系，抓牢典型事例，对破坏电力设施要依法处理，这样能收到较好的效果。

(2) 对于容易被汽车碰撞的线路杆塔，在有条件的情况下进行迁移，无法迁移的增设保护设施或醒目的标志。

(3) 当发现在线路防护区域内，有人开山放炮，或在线路下违章建房、堆土、栽树、伐树等作业时，应及时制止。

(4) 线路运行人员要定期对线路进行巡视，随时掌握沿线附近施工建筑的动向，并采取有效的安全措施。

(5) 组织好群众护线工作是各基层电力部门行之有效的办法，大家要在实践上不断总结经验，大力推广。

6. 树木造成事故 春夏两季，树木生长速度较快，在线路下面或附近的树木就有可能碰触导线。在大风天气里，树木摇摆，有时会发生断枝、倒树，砸断导线事故。因为树木本身水分较大，特别是雨雪天气，当树木触及架空线路导线时，也会造成接地、短路、烧坏导线等事故。

为了防止树木引起线路事故，就必须适当进行树木的修剪和砍伐工作，使树木与线路之间能保持一定的安全距离。

(1) 架空线路建设需穿过林区时，应砍伐出通道，通道内不得再种植树木。通道宽度为拟建架空电力线路两边线间的距离和林区主要树种自然生成最终高度两倍之和。

(2) 架空线路穿过林区时，对不妨碍线路进行巡视的检修树木或果林、经济作物林，可不砍伐，但树木自然生长最终高度与导线之间的距离应符合安全距离的要求。

(3) 对影响架空线路安全运行的树木，应按兼顾线路安全运行和树木正常生长的原则，进行定期的修剪。并保持树木自然生长最终高度和导线之间的距离符合安全距离的要求。

(4) 架空线路建设时应尽量避免穿过城市公园绿地，必须穿过时，应经当地城市规划部门批准。对于不能修剪树木地段的架空线路，考虑可采用架空绝缘导线的方式，以避免因树木造成事故。

除上述事故外，架空线路还有鸟害、冰雪以及其他外因造成的事故。

为了防止鸟害事故，运行人员在鸟害多发季节，应增加巡线次数，随时拆毁鸟巢；在杆塔上安装惊鸟装置，使鸟不敢接近；另外在杆塔上和横担上装设防鸟针板，可以使鸟类在上面无法站立，无法筑巢和栖息。

为了防止线路覆冰事故，应在覆冰季节加强观察气候的变化。当导线覆冰之后，如有条件时，可以采取增大负荷电流的办法来进行融冰，也可采用棍棒敲打、抛击或其他机械除冰的措施。

二、电缆线路常见故障

电缆线路的故障按其供电要求来分，可分为运行中故障和试验中故障两大类。前者是指电缆在运行中因绝缘击穿或导线烧断而引起突然断电的故障；后者是指在预防性试验中绝缘被击穿或绝缘不良，须检修后才能恢复供电的故障。

电缆线路常见的故障，按其故障部位可分为：电缆本身、中接头、户外终端头、户内终端头。

造成电缆故障的因素很多，如按事故责任来分，可以分为以下几类：

(1) 人员的直接过失，如电缆选择不当，中接头及终端头设计有缺陷；运行不当，施工、检修、维护不良等。

(2) 设备不完善，如电缆制造有缺陷，绝缘材料不合规格，旧设备改造遗留缺陷等。

(3) 自然灾害，如雷击、冰雹、台风袭击、鸟害、虫害、地沉、地震等。

(4) 正常衰老，如一般电缆已运行 30 年以上，绝缘确已严重老化的；垂直部分电缆运行 20 年以上绝缘干枯的；户外终端头运行 20 年以上受潮的。

(5) 其他，如外力破坏、化学腐蚀和电解腐蚀、用户过失及新设备、新技术试用等。

(一) 电缆线路常见故障的原因

1. 电缆本身常见故障

(1) 外力损伤，这类故障比较容易识别，在电缆事故的次数中占很大的比例，一般约占电缆事故总数的 50% 左右。

1) 直接受外力损伤，主要是市政建设、交通运输或进行各种地下管线工程的挖土、打桩、起重、搬运中误伤电缆。

2) 在安装过程中损伤，如机械牵引力过大而拉伤电缆，电缆穿越管道时挤伤、划破，或因电缆弯曲过度而损伤金属护套、绝缘层或屏蔽层，在搬运或施工中碰伤电缆等。

3) 自然现象造成的损伤，如因地基下沉、地震等引起的过大拉力，拉断电缆。地基振动使铅包疲劳龟裂等，但这类事故很少发生。

(2) 制造质量不良，目前这类故障在电缆事故中也占有相当大的比例。

1) 铅包损伤，铅包损伤引起的故障为数最多。主要是钢甲接头不当，在制造和敷设的弯曲过程中，钢甲的接头将铅包挤伤，引起绝缘受潮。

2) 绝缘材料的处理与包缠不当，铅包防腐层处理不当，含有腐蚀物质等。

(3) 绝缘老化变质，电缆绝缘长期在电和热的双重作用下运行，其物理性能将发生变化，导致绝缘强度降低或介质损耗增大，最终引起绝缘崩溃发生事故。这类事故多发生在运行 20 年、30 年以上的老电缆或长期过电压、过电流和超过允许工作温度运行的电缆上。

(4) 腐蚀，电缆腐蚀可分为化学腐蚀和电解腐蚀两大类。

化学腐蚀：主要是土壤中含有酸、碱的溶液、氯化物、有机腐蚀质等，会使电缆铅包产生腐蚀。

电解腐蚀：主要是由于直流电车轨道和电气化铁道流入大地的杂散电流引起。

(5) 绝缘枯干，电缆垂直部分绝缘枯干的事故，主要发生在户外头下或安装在楼上的户内头下 1m 以内，一般在电缆运行 10

年或 20 年后发生。

(6) 铅包龟裂，铅包龟裂将导致绝缘受潮发生故障，铅包龟裂除制造质量不良将引起龟裂外，在运行中长期温度过高，长期受振动，或垂直敷设长期承受拉力都容易引起铅包龟裂。

2. 户外电缆终端头常见故障 户外终端头的故障，在电缆事故中居第二位，约占 25% 左右，大部分发生在 10kV 及以下电缆线路上。

(1) 设计、制造不良

1) 防水密封性能不好，这是引起终端头进水受潮发生事故的最主要因素。

2) 出线铜梗接触不良，主要是盒体外部的接触设计不合理或制造不良。

3) 铸铁质量不良，盒体有砂眼或细小裂痕，引起水分侵入盒内。

(2) 施工质量不良

1) 终端头各部接合处密封垫未垫好，各部件螺钉未上紧，以致密封不严、受潮，发生故障。

2) 绝缘胶灌注方法不当，绝缘胶未灌满，尤其套管的绝缘胶不满，呼吸作用大，最易引起绝缘纸受潮，发生故障。

3) 引出线部分焊接或连接不好。

4) 施工中损伤线芯绝缘或铅包。

(3) 绝缘材料不良，主要是沥青绝缘胶冻裂点不合格，在北方寒冷地区，冬季绝缘胶冻裂；极易引起绝缘线芯受潮。

(4) 运行维护不良

1) 终端头瓷套管表面污秽未及时清扫，引起表面闪络。

2) 未按期检查终端头内有无水分和对绝缘胶（油）不满者未进行补灌。

3) 未及时检查及发现引出线的接触不良。

4) 未及时发现和处理瓷套管或终端头的裂纹。

3. 户内电缆终端头常见故障 户内电缆终端头很少发生故

障，一般还不到电缆故障的 1%。

(1) 施工不良，在户内端头的安装过程中，将线芯的绝缘层弯伤。

(2) 绝缘枯干，主要是安装在地势较高或在楼上的终端头，运行多年后，因绝缘枯干而引起的事故。

(3) 维护不当，户内漏雨，终端头被雨水淋湿，吸潮而引起的事故。

4. 中间接头常见故障

(1) 设计不良

- 1) 密封不严，接头盒进水，是接头故障的主要原因。
- 2) 导体与铅包间闪络距离不够，使绝缘纸表面发生闪络放电。

(2) 材料质量不良

- 1) 接头盒或铅套，铜套有砂眼、裂痕。
- 2) 绝缘带日久变质发脆，绝缘强度降低。
- 3) 压接管质量不好，不合规格，压接后产生裂纹。

(3) 施工质量不良

1) 铅封质量不良，漏水进潮，特别是铅包电缆，更容易发生封焊不良的进潮事故。

2) 统包型电缆接头内三芯长短不一，接头不能保持在盒子中心，造成线芯碰盒子内壁，绝缘水平降低。

3) 导线的压接或焊接质量不良，接触电阻增大，因过热导致击穿事故。

4) 连接管表面处理不好，有尖刺，造成绝缘击穿。

5) 线芯弯曲过度，绝缘纸损伤。

6) 电缆或绝缘材料有潮气未排除。

7) 绝缘胶灌注不满。

(二) 电缆线路的事故预防

为了确保电缆线路的安全运行，首先要做好运行技术管理，加强巡视和监护，严格控制电缆的负荷电流及其温度。其次应严格

执行有关工艺规程，确保检修质量。作好这些工作，电缆线路绝大部分故障是完全可以杜绝的。

1. 防外力破坏事故

(1) 电缆线路的巡视应有专人负责，并根据具体情况制定巡视周期和检查项目。

(2) 管理电缆线路运行的单位，可根据“保护地下电力电缆的规定”，重点通知城市建设单位和各公用事业单位遵照执行。

(3) 电缆运行部门应与市政建设有关单位建立正常的联系制度。

(4) 电缆进入或穿越工厂、机关、学校等单位时，要向该单位提供图纸并签订维护协议书。

(5) 对于被挖掘而全部露出的电缆，应加保护罩及悬吊。

悬吊点间的距离应不大于 1.5m，挖土工作完毕后，守护人员应检查电缆外部情况是否完好无损，放置是否正确，待回填土并盖好保护板后，方可离开。

(6) 加强电缆技术资料的管理工作，要求电缆的原始资料必须准确，并不断提高巡线人员的技术业务水平。

(7) 加强对广大群众的宣传教育工作，通过各种渠道和方法进行宣传，说明保护地下电力电缆的重要性，以及损伤电缆的危险性和危害性，引起广大群众的重视。

2. 防终端头污闪事故

(1) 定期对电缆终端头进行巡视检查，并做好清扫工作。

(2) 在电缆终端头套管表面，涂一层有机硅防污涂料，以提高套管的抗污能力。

(3) 对于严重污秽地区，可将较高电压等级的套管用于低电压系统上。

3. 防电缆腐蚀事故

(1) 防化学腐蚀的措施

1) 对于敷设在含有酸碱等化学物质土壤附近的电缆，应加外层保护，将电缆穿在耐腐蚀的管道中。

2) 在已运行的电缆线路上, 较难随时了解电缆的腐蚀程度, 只能在已发现电缆有腐蚀的地区或在电缆线路上堆有化学物品并有渗漏现象时, 掘开泥土检查电缆并对土壤作化学分析, 确定其损害程度, 见表 14-13。

表 14-13 土壤的化学成分对电缆侵蚀程度

土壤和地下水的侵蚀程度		不侵蚀	中等侵蚀	侵蚀
侵蚀指标	氢离子浓度 /pH	6.8~7.2	6.8~6 和 7.2~8 之间	6 以下和 8 以上
	一般酸性和碱性/mg·L	0.05 以下	0.05~1	1 以上
	土壤里有机物 (%)	2 以下	2~5	5 以上
	一般硬度 (用硬度度数表示)	15 以上	14~9	8 以下
	硫酸离子数量/mg·L	100 以上	60~100	60 以下
	碳酸气体数量/mg·L	20 以下	30~60	80 以上
	硝酸离子数量/mg·L	不计算	0.05 以下	0.05 以上

注: 1. pH 用 pH 计来确定。

2. 有机物的数量, 用燃烧试样 (约 50g) 的方法来确定。

(2) 防电解腐蚀的措施

1) 提高电车轨道与大地间的绝缘, 以限制钢轨漏电。

2) 减少流向电缆的杂散电流, 在任何情况下装置电缆线路, 电缆的金属外皮和巨大金属物件相接近的地方, 都必须有电气绝缘。电缆和电车轨道并行敷设时, 两者距离不得小于 2m, 如不能保持这一距离时, 电缆应穿在绝缘的管里。

3) 杂散电流密集的地方应安装排流设备, 并使电缆上任何部位的电位不超过周围土壤的电位 1V 以上。

4. 防虫害事故 在某些地区昆虫也会损坏电缆, 白蚁就是其中之一。我国南方地区处于亚热带, 气候潮湿, 白蚁较多。白蚁会破坏电缆铅皮, 造成铅皮穿孔, 绝缘受潮击穿。

防蚁、火蚁的化学药剂配方较多，一般在电缆线路上采用的有以下几种：

- (1) 轻柴油+狄氏剂 浓度为 0.5%~2%；
- (2) 轻柴油+氯丹原油 浓度为 2%~5%；
- (3) 轻柴油+林丹 浓度为 2%~5%。

将配制好的药物，喷洒在电缆四周，使电缆四周 50mm 土壤渗湿即可。

第十五章 电工仪表及其测量

第一节 测量仪表的一般知识

一、测量的概念

测量是人类认识物质世界和改造物质世界的一个重要手段。通过测量，人们对客观事物获得了数量上的概念。

所谓“测量”就是通过物理实验的方法，对被研究对象进行定量分析与研究的过程。测量概念的本身包含两层含义：一是要有一个便于与之进行比较的单位；二是要得到与已经定义过的单位进行比较所得到的数量概念。

例如，有了安培这个电流强度大小的单位，通过比较就可以轻易的用电流表测量出回路中的电流大小，即数量大小。

由于测量能够给人们提供准确可靠的数量概念，这就使人类认识自然和改造自然方面必然发生质的飞跃。因而，测量技术是发展科学技术，促使生产发展的一项重要的技术基础工作。

二、电气测量的方法与分类

电气测量有多种方法，它取决于被测物理量的性质及特点，一般情况下，可根据其性质进行分类。

根据获得测量结果的不同方法，可以将电气测量简单的分为两类：

（一）直接测量

在直接测量时，测量结果是从实际测量数据中得到的，即用测量仪器直接从实际量比较得出被测量数值大小。如用电压表测电压，用电流表测电流。

（二）间接测量

在间接测量时，测量结果是通过其他的直接测量结果进行运

算后得到的。如测出导体两端电压及通过导体的电流，即可算出该段导体的电阻值，即

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

式中 R ——导体电阻 (Ω)；

U ——导体两端电压 (V)；

I ——导体通过的电流 (A)。

在测量中，还有许多分类方法，如从测量的精密程度来分，可以分为精密电气测量与工程数据测量等，这里就不过多介绍。

三、电工仪表的介绍

(一) 电工仪表的分类

电工仪表的种类繁多，分类的方法多种多样，常见的有以下几种：

1. 按结构工作原理分

(1) 磁电系仪表 根据通电导体在磁场中产生电磁力的原理制成，主要用于直流量的测量。如直流电压表和直流电流表。

(2) 电磁系仪表 根据铁磁物质在电磁场中产生电磁力的原理制成，用于测量交流电流和电压。

(3) 电动系仪表 根据两通电线圈之间产生电动力的原理制成，用于测量功率、相位。

(4) 感应系仪表 根据通有交流电的固定线圈与在转动铝盘中感应的涡流相互作用而产生转动力矩的原理制成，用于测量交流电能。

(5) 热电系仪表 由磁电系测量机构与热电变换器按一定线路组合起来的，用于测量高频交流电流、电压和频率。

(6) 静电系仪表 根据两个金属叶片上电荷同性相斥、异性相吸而产生转动力矩的原理制成，用于高压的测量。

2. 按测量用途分

(1) 电流表；

(2) 电压表；

- (3) 功率表；
- (4) 欧姆表；
- (5) 兆欧表；
- (6) 电能表；
- (7) 相位表；
- (8) 万用表。

3. 按使用方式分

(1) 安装式仪表 这种仪表通常安装在配电盘上和各种仪器的面板上,精度一般为 0.5 级以下,安装式电子表精度可达 0.2 级。

(2) 便携式仪表 这种仪表一般为实验室所用,为标准仪表,精度为 0.5 级以上,电子表精度可达 0.02 级。

4. 按仪表工作电流性质分

- (1) 直流仪表；
- (2) 交流仪表；
- (3) 交流直流两用仪表。

(二) 电工仪表刻度盘面标记

在电工仪表的刻度盘面上有许多标记符号,表示电工仪表的各项基本特征及技术参数。如结构形式、工作电流种类、准确度等级、绝缘强度、耐压试验、工作位置、端钮极性、抗磁场等级及电场屏蔽等相应的标志符号。这些标志符号可以帮助我们熟悉和记忆各种仪表的各项基本特征和表示方法。

第二节 电流和电压的测量

电流和电压的测量是电力系统电磁测量中最基本的测量,这两个物理量也是衡量电力系统安全,经济运行的技术指标,应用很广泛。下面我们就从电工仪表的原理及测量方法上讨论电流和电压的测量。

一、磁电系仪表

(一) 磁电系仪表的工作原理

磁电系仪表的结构可简化如图 15-1 所示,永久磁铁所产生的

磁力线由 N 极经气隙和圆柱形铁心进入 S 极，在磁极和铁心之间的空气隙中形成均匀的辐射状磁场。当动圈中有电流流过且方向如图中所示，载流线圈在磁场的作用下发生偏转并带动指针一块偏转，偏转方向可用左手定则来判断。指针在对应的刻度盘停下的位置，即为通过线圈电流的大小。

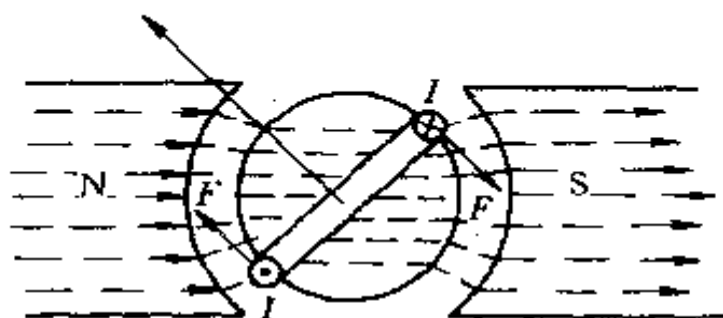


图 15-1 磁电系仪表结构简图

下面我们给出可动部分偏转角 α 与动圈中流过的电流之间的关系式，即

$$\alpha = \frac{BNA}{D}I$$

由上式可知，动圈即指针偏转角 α 与动圈的有效面积 A 、匝数 N 、磁感应强度 B 和通过动圈的电流强度 I 成正比，与游丝的反作用系数 D 成反比。

当仪表已经制成，则 B 、 A 、 N 和 D 都是固定值。因此，动圈的偏转角 α 仅与动圈中流过的电流 I 成正比，它们之间是线性关系。因而磁电系仪表的刻度是均匀的。

由上式可知，动圈偏转角不仅与被测电流的大小有关，而且与它的方向有关。当此电流方向改变时，动圈偏转方向也要随之改变。若将这种仪表直接通入交流电流，由于活动部分转动惯量较大，可动部分来不及随电流方向的改变而改变。所以，仪表没有指示。因此，要特别注意，不要在交流电路中直接使用磁电系仪表。

（二）磁电系仪表的特点

- （1）准确度和灵敏度高；
- （2）功率损耗小；
- （3）磁场影响小；

- (4) 温度影响小；
- (5) 刻度均匀；
- (6) 阻尼良好；
- (7) 只能直接测量直流电；
- (8) 过载能力低；
- (9) 结构比较复杂且成本高。

(三) 磁电系电流表

磁电系测量机构可直接做成电流表，当通入电流达到一定数值时，仪表指针就会

偏转直至满刻度。因为磁电系仪表的动圈是用很细的导线绕制的，仪表通入的电流是由游丝导入的。所以直接使用的磁电系仪表只能做成微安表或毫安表。但是，如果采用分流器的方法，

便可组成测较大电流的电流表。因此，磁电系电流表通常都由测量机构和分流电阻两部分并联构成。

图 15-2 为单量程电流表的线路图，假定某磁电系仪表直接测量时能测的电流最大值为 I_0 ，其内阻为 R_0 。若使该表并联一个分流电阻 R_s 后，能测的电流最大值为 I_x ，根据欧姆定律可知

$$R_s(I_x - I_0) = R_0 I_0$$

整理得

$$R_s = \frac{I_0}{I_x - I_0} R_0$$

由于 R_0 、 I_0 都是已知数，根据所需扩展电流量限 I_x ，就可以求出应加的分流电阻 R_s 的大小。一般假设被测电流量限要扩大 n 倍，则有 $I_x = nI_0$ 。代入上式得

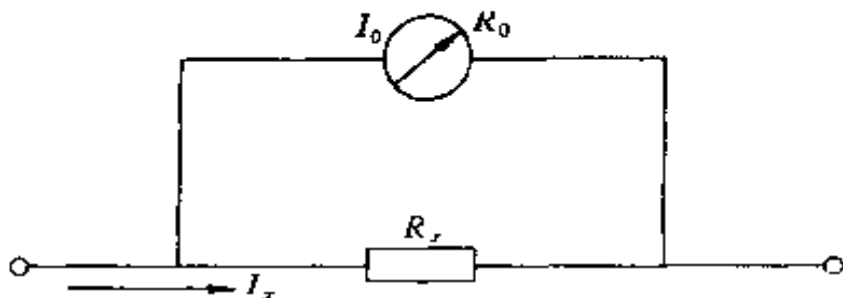


图 15-2 单量程电流表线路图

R_0 - 表头内阻 I_0 - 表头满刻度电流

R_s - 分流电阻 I_x - 被测电流

$$R_x = \frac{R_0}{n - 1}$$

此式即为磁电系电流表扩展量限时，所需并联分流电阻的求法通式，式中的 n 称为分流系数。

例 $R_0 = 1000\Omega$ ，满刻度电流为 $50\mu\text{A}$ ，若使仪表满刻度电流为 2.5A ，分流电阻 R_x 应选多大。

解 先求分流系数，即

$$n = \frac{I_x}{I_0} = \frac{2.5}{50 \times 10^{-6}} = 50000$$

根据公式则有

$$R_x = \frac{R_0}{n - 1} = \frac{1000}{50000 - 1} \approx 0.02\Omega$$

这说明如果把 $50\mu\text{A}$ 的磁电系电流表扩大至 2.5A ，应并联一个 0.02Ω 的分流电阻。

(四) 磁电系电压表

磁电系测量机构只能通过很小的电流，所以它两端也只能加很小的电压，若测量较高的电压，表头的电流又不能过大，就必须串联一个电阻，使被测电压大部分降在电阻上，而使测量机构只降落它们能允许的电压，通过这种方法就可以测量较高的电压。磁电系电压表就是根据这种原理制成的。一块表要测量多个电压，就必须分段串联多个附加电阻。这样就构成了单量程和多量程电压表，现介绍如下：

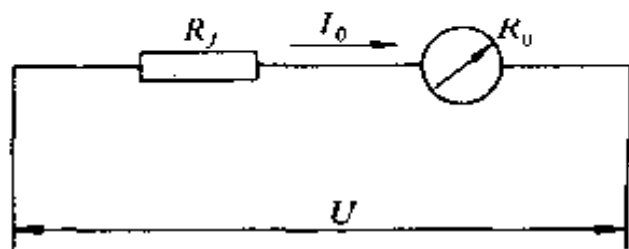


图 15-3 单量程电压表线路图

R_f —附加电阻 U —电压量程

I_0 —表头电流 R_0 —表头内阻

1. 单量程电压表 图 15-3 所示为单量程电压表线路图，表头压降 $U_0 = I_0 R_0$ ，如果要将表头的量程扩大 m 倍，则有

$$m = \frac{U}{U_0}$$

根据欧姆定律则有

$U = I_0(R_0 + R_f)$, 将上式代入则得

$$mI_0R_0 = I_0(R_0 + R_f)$$

整理后得

$$R_f = (m - 1)R_0$$

从式中可知, 如果要將表头的电压量程扩大 m 倍, 则需串联的附加电阻应等于表头内阻 R_0 的 $(m-1)$ 倍。

例 有一 50mA 表头, 其本身量限为 100V , 若將它的量程改制为 500V 时, 附加电阻应取多大。

根据以上公式则有

$$m = \frac{U}{U_0} = \frac{500}{100} = 5$$

$$R_0 = \frac{U_0}{I_0} = \frac{100}{0.05} = 2000\Omega$$

$$R_f = (m - 1)R_0 = 4 \times 2000 = 8000\Omega$$

由结果可知, 若將原表改制为 500V 时, 須串联一个 8000Ω 的附加电阻。

2. 多量程电压表 磁电式电压表可以制成多量程的, 其附加电阻的计算方法与单量程略有区别。举例如下:

例 设表头的满刻度电流 I_0 等于 $500\mu\text{A}$, 内阻 $R_0 = 200\Omega$, 要把它改装成 75V 、 150V 和 300V 三量程电压表, 如图 15-4 所示。试求附加电阻 R_{F1} 、 R_{F2} 和 R_{F3} 。

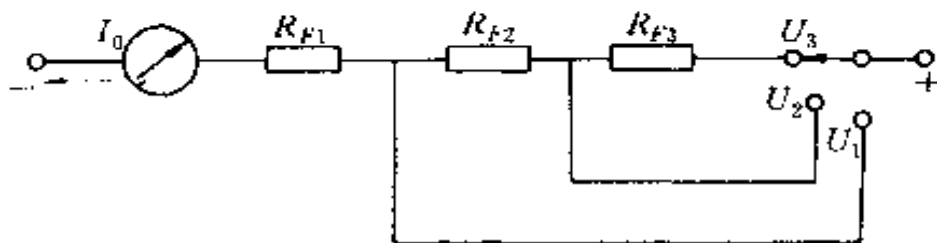


图 15-4 多量程电压表线路图

设 $U_1 = 75\text{V}$, $U_2 = 150\text{V}$, $U_3 = 300\text{V}$, 表头压降 $U_0 = I_0R_0 = 500 \times 10^{-6} \times 200 = 0.1\text{V}$ 。

量程扩大倍数 m_1 、 m_2 和 m_3 倍后分别为

$$m_1 = \frac{U_1}{U_0} = \frac{75}{0.1} = 750$$

$$m_2 = \frac{U_2}{U_0} = \frac{150}{0.1} = 1500$$

$$m_3 = \frac{U_3}{U_0} = \frac{300}{0.1} = 3000$$

附加电阻为

$$R_{F1} = (m_1 - 1)R_0 = (750 - 1) \times 200 = 749 \times 200 = 149.8\text{k}\Omega$$

$$R_{F2} = (m_2 - 1)R_0 - R_{F1} = (1500 - 1) \times 200 - 149.8 = 299.8 - 149.8 = 150\text{k}\Omega$$

$$R_{F3} = (m_3 - 1)R_0 - (R_{F1} + R_{F2}) = (3000 - 1) \times 200 - 299.8 = 599.8 - 299.8 = 300\text{k}\Omega$$

电压表由于在测量机构中串入一个大电阻，所以一般对于被测电路的分流作用较小，表头消耗的功率也就越小。

二、电磁系仪表

由于磁电系仪表只能测量直流模拟量，而无法测量交流量，因此这里我们介绍电磁系仪表。

(一) 电磁系仪表的工作原理

电磁系仪表产生力矩的机构由固定线圈和可动的软磁片所构成。它有以下两种结构型式，即扁线圈吸引形和圆线圈排斥形。

扁线圈电磁系仪表工作原理如图 15-5 所示，当被测电流通过固定线圈时，在它周围便会产生磁场。根据右手螺旋定则将产生图 15-5 所示磁场。处在磁场中的可动铁片被磁化，可动铁片被吸引至线圈的窄缝里，产生力矩发生偏转。当转动

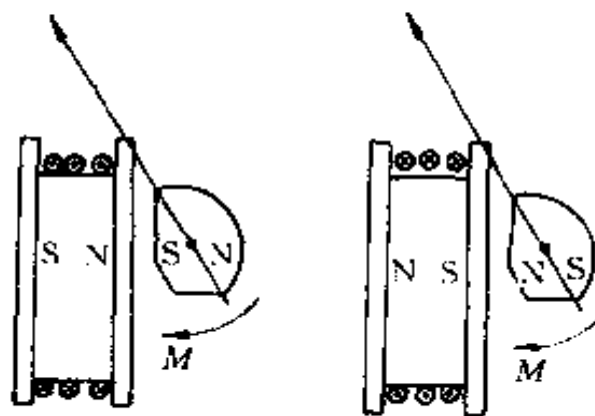


图 15-5 扁线圈电磁系仪表工作原理图

力矩与游丝的反作用力矩平衡时，指针停在某个位置。当线圈中电流方向改变时，磁场极性及铁心被磁化极性都同时改变。因此，指针仍向原来的方向偏转。所以，电磁系测量机构不仅可以用来测量直流电，还可以用来测量交流电。

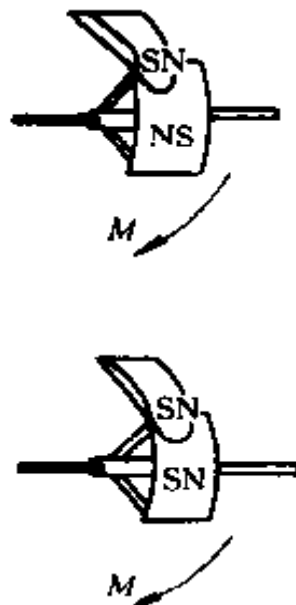


图 15-6 圆线圈电磁系仪表工作原理图

圆线圈电磁系仪表工作原理如图 15-6 所示，圆线圈的工作原理与扁线圈相似，只是它产生的电磁力是排斥力。当载流线圈有电流通过时，在线圈中产生磁场，固定铁心和可动铁心同时被磁化且对应部分极性相同，从而产生排斥力使可动铁心偏转，当偏转到与游丝产生的反作用力矩平衡时，指针就稳定在某一位置，在标度尺上指出被测量的数值。当电流方向改变时，两铁心磁化极性同时改变，指针偏转方向仍然不变，因此同样可作交流测量。

电磁系仪表的转矩与被测电流 I 有下列关系，即

$$M = k(IN)^2$$

式中 I ——直流电流或交流电流的有效值；

N ——固定线圈的匝数；

k ——与偏转角有关的系数。

仪表的反作用力矩是由游丝产生的，如果指针偏转的角度为 α ，则游丝产生的力矩 M_f 为

$$M_f = D\alpha$$

当可动部分达到平衡时， $M = M_f$ ，即得

$$\alpha = \frac{M}{D} = \frac{k}{D} (IN)^2 = K(IN)^2$$

式中 K ——为一系数；

D ——游丝（或张丝）的弹性系数。

由此式可知，电磁系仪表的偏转角和电流的平方成正比，因

此它的刻度是不均匀的，即平方标尺前面密后面疏，利用铁心形态的改变和它的线圈相对位置的不同，可以在一定程度上改善标尺特性。

电磁系仪表由于具有不用把电流引入可动部分这一特点，因此可以制成直接接入大电流电路的仪表。

（二）电磁系仪表的特点

（1）结构简单，价格低廉。

（2）交直流两用，当电流方向改变时，线圈的磁极和铁片的磁极同时改变，故作用力矩的方向不变，也就是说可动部分的偏转方向与电流方向无关。

（3）可直接测量较大电流，过载能力强，由于电流不通过可动部分，而是通过固定线圈，因此可通过较大的电流。

（4）刻度线分度不均匀，因为偏转角 α 与电流 I 成平方的关系，所以刻度线分度前密后疏。

（5）受外磁场影响比较大。

（6）灵敏度较低，由于是电磁场，故磁场较弱。为了使可动部分获得足够大的转动力矩，必须使固定线圈有足够大的安匝数。因此，电磁系仪表的灵敏度较磁电系仪表低得多。

（7）用于直流测量时有磁滞误差，限制了准确度的提高。

（三）电磁系电流表和电压表

1. 电磁系电流表 在电磁系电流表中，我们主要介绍安装式电流表，它可以直接串接在被测回路中，由于电流仅通过固定线圈，故其测量线路非常简单。只要加粗固定线圈导线，就允许通过较大的电流。因此，电磁系电流表可以直接用电磁系测量机构做成，不必并联分流器。

安装式电流表的铁片是电工钢制成，材料较差，磁滞误差较大，所以只适用于交流电的测量。

2. 电磁系电压表 把电磁系测量机构与附加电阻串联，就可以很简单的组成电磁系电压表。由于固定线圈的允许电流较小，为了保证必需的励磁安匝数，以获得足够的转矩，所以固定线圈的

匝数较多（几百至几千匝）。

为了使电磁系电流表和电压表能测量高电压和大电流，可将仪表与电压、电流互感器配合使用，根据互感器的变化，电压表电流表的刻度可直接刻度为互感器一次侧的电流、电压值。

三、技术要求及安全运行

（一）安装电气测量仪表的原则

安装电气测量仪表的原则是：必须符合电力设备运行监督的要求及仪表本身的安装地点、温度、湿度和安装方法的要求。安装可参照仪表说明书。

（二）电气仪表选择的基本要求

（1）用于发电机和调相机上的交流仪表应不低于 1.5 级，用于其他设备和线路上的交流仪表应不低于 2.5 级；直流仪表应不低于 1.5 级。

（2）与仪表连接的分流器、附加电阻和互感器的准确度等级，应不低于 0.5 级。但仅作电流和电压测量用的 1.5 级和 2.5 级仪表，允许使用 1.0 级互感器。对非重要回路的 2.5 级电流表允许使用 3.0 级电流互感器。

（3）选择互感器和仪表的测量范围，应保证电力设备（例如发电机、变压器等）在正常运行时，仪表指示在标度尺工作部分上量限的 2/3 以上；并应考虑过负荷运行时，能有适当的指示。

（4）在有可能出现短时冲击电流的回路中（例如变压器、异步电机等），宜装设过负荷标度尺的电流表。

（5）对于有可能出现两个方向电流的直流回路，应装设双向标度尺的电流表。

（6）在 500V 及以下的直流回路中，允许使用直接接入和经分流器或附加电阻接入的电流表或电压表。

（三）电压和电流的正确测量

所谓正确测量，就是要求选用适当的仪表、采用正确的接线，有足够精确度的反映出电路中被测量的实际值。

（1）仪表的接线应正确，测量电压和电流的接线必须保证电

流表串联在被测电路，电压表并联在被测电路。

(2) 正确估量被测量的数值范围，选择适当量程的仪表。最好使仪表对被测量的指示大于仪表最大量程的 $2/3$ ，而又不超过仪表的最大量程。

(3) 测量电压时，应选用内阻尽可能大的电压表；测量电流时，应选用内阻尽可能小的电流表，以减小测量误差。

(4) 测量直流电压和电流时，应注意极性，仪表的极性与被测量的极性应一致。

(5) 测量高电压或大电流时，必须采用适当变比的电压互感器和电流互感器。

(6) 为扩大仪表的量程，选用带外附分压器或分流器的仪表测量电压或电流时，其外附分压器或分流器的准确度应与仪表的准确度相符。

(四) 电流表、电压表在实际测量中一些问题

(1) 为便于监视设备的运行状况，通常用红线在电流表、电压表上标出设备的额定值或允许范围，以便在运行中电流、电压值达到红线时能提醒注意，加强监视、及时处理。

红线可根据实际运行需要来划。例如，对于变压器可划出额定电流或允许过负荷电流值。

(2) 为了使仪表有较高的测量准确度，在仪表标度盘上用一黑点来区别标度盘的工作部分和非有效工作部分。一般黑点以上（在标度盘的 $20\% \sim 100\%$ 范围内）为工作部分，它应符合该仪表的准确度等级要求。黑点以下（标度盘的 20% 以下）为非有效工作部分，在仪表制造上它满足不了该仪表准确度等级要求。因此，如果变电站某些仪表经常指示在黑点以下，其数字是不够准确，按要求应更换合适的仪表或互感器，以保证测量的准确。

(3) 交流电压表一般不应用于测量直流电压，因为交流电压表出厂前的校验是按照其规定的交流电技术标准进行的，因此用交流电压表测量直流电压时，不能保证测量的准确度。有些交直流两用的电压表，在出厂前按照交、直流两种被测电压为条件进

行过校验。因此，用它们测量交、直流电压均能满足准确度的要求。

(4) 选择仪表量限时应该注意，被测值比仪表量限小得愈多时误差愈大。所以在测量时，一般应使被测值超过仪表量限的 $1/2$ 或 $2/3$ 以上。还要注意，也不能用较小的量程去测量较大的被测量，这样可能将仪表的指针打弯或烧毁仪表。

(5) 使用完电流计、微安表或毫伏表后，要用导线把仪表的正负极短接起来，因为这类仪表是磁电式精密仪表，它们的线圈、轴和指针都非常脆弱，在搬动时可能因摆动太厉害而损坏。若将它们的两个接线柱短接，则当线圈受到外力影响摆动时，线圈就会切割磁场产生感应电流，而电流又会在磁场中产生制动力矩，使线圈不再迅速摆动，就可以防止仪表损坏。

(6) 仪表冒烟的处理，仪表冒烟一般是过负荷、绝缘降低、电压过高、电阻变质、电流接头松动而造成虚接开路等原因。当发现后，应迅速将表计电流回路短路，电压回路断开。在操作中应注意，勿使电压线圈短路和电流线圈开路，避免出现保护误动作及误碰接等人为事故。

(7) 在互感器二次回路工作时，要特别注意电流互感器二次回路任何时候都不允许开路。因为通常电流互感器系短路情况下运行，一旦开路，其一次电流全部用于励磁，铁心磁通密度增大，使铁心饱和而致磁通波形平坦，结果在电流互感器的二次侧产生波形尖锐峰值相当高的电压，对人身及仪器设备造成极大的威胁。因此若需在运行中的电流互感器二次回路上工作，必须按照有关安全工作规程规定，将工作部分的电源侧予以妥善短路后，再行工作。

(五) 电气测量仪表在运行中的检查

电气测量仪表在运行中的重点检查项目如下：

- (1) 仪表的外壳是否完好；
- (2) 仪表的指针摆动范围是否超过它的量程，指针是否回零；
- (3) 仪表的运行声音是否正常；

(4) 仪表的连接导线及接点是否牢固，有无接触不良和过热的现象；

(5) 带有切换开关的仪表，应经常进行切换，以检查仪表指示及转换开关是否正常。

第三节 功率的测量

一、电动系仪表

(一) 电动系仪表的工作原理

电动系仪表的工作原理如图15-7所示，当在定线圈1中通入方向如图所示的电流 I_1 时，在线圈中将建立磁场，且磁场方向如图 B_1 所示。如果在活动线圈2中通入方向如图所示的电流 I_2 ，活动线圈将受方向如图所示的力 F 的作用而发生偏转。此时游丝产生反作用力矩 M_a ，当 $M=M_a$ 时，仪表的指针平衡在某一确定位置，指示出被测的电气量。如果 I_1 和 I_2 的方向同时改变，则力的方向不变，转矩的方向也不变，因此电动系仪表可用于直流的测量也可以用于交流的测量。

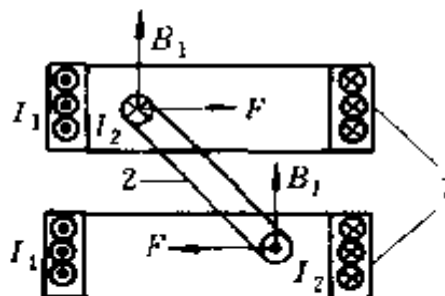


图 15-7 电动系仪表结构简图

1—定圈 2—动圈

(二) 电动系仪表的特点

(1) 电动系仪表的测量机构没有铁磁物质，因此没有磁滞误差，其准确度可以做的很高，达到0.1级，常作交流标准表用。

(2) 可以交直流两用，测量交流电压电流时，反映其有效值，频率范围较宽。

(3) 当作为电流表或电压表时，刻度不均匀，因为偏转角与两个线圈中的电流乘积成正比。但当作为功率表时，功率表可动部分的偏转角与被测功率成正比，故标尺刻度是均匀的。

(4) 可动线圈中的电流要靠游丝来导引，所以仪表的过载能力较差。

(5) 仪表本身功耗较大, 成本较高, 易受外磁场影响。

(三) 电动系功率表

交流电路的功率 $P=UI\cos\varphi$, 显然要用一块表去测功率, 必须能反映出电压和电流的乘积, 对于交流功率还必须反映出两者的相位差。而电动系测量机构恰能满足这个要求, 所以目前的功率表大多数为电动系仪表。

电动系仪表在作为功率表使用时, 其固定线圈和可动线圈各构成自己的回路, 分别与负载串联和并联, 如图 15-8 所示。

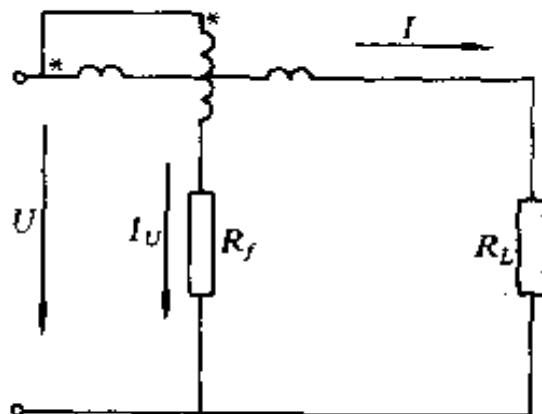


图 15-8 电动系功率表线路图

其固定线圈串联接在负载电路, 它所通过的电流即是负载电流, 所以也叫做电流线圈。而可动线圈和附加电阻 R_f 串联后并联在负载两端, 可动线圈两端的电压就是负载电压, 因此可动线圈也叫电压线圈。

当测量直流时, 由电动系仪表工作原理可知其偏转角为

$$\alpha = K_a I_1 I_2$$

在功率表中, 固定线圈通入电流 I , 可动线圈的电流 $I_c = U / (R_f + R_0)$ (R_0 是可动部分的直流电阻), 所以

$$\alpha = \frac{K_a}{R_f + R_0} I U$$

即和负载的功率 $P=UI$ 成正比。

当用于交流测量时则为

$$\alpha = K_a I_1 I_2 \cos\varphi$$

这时固定线圈中流过的是负载电流 I , 可动线圈中流过的电流 $I_c = U/Z$, 其中 Z 为电压支路的总阻抗。一般可动线圈的电感相对于附加电阻而言是很小的。所以在测量交流功率时, 偏转角 α 正比于 U 、 I 和 $\cos\varphi$ 的乘积, 即

$$\alpha = \frac{K_a}{Z} U I \cos\varphi = K_p U I \cos\varphi = K_p P$$

从上式可以看出，在交流电路中，可动部分的偏转角与负载所消耗的功率成正比。

以上两式表明，电动系功率表可测量直流或交流电路的功率，仪表的偏转角与被测电路的功率成正比。为了使仪表刻度均匀，只要适当选择定、动圈的尺寸就可达到这个要求，故功率表的刻度是均匀的。

功率表的量限是指电压量限和电流量限。电压量限指仪表的并联电路所能承受的最高工作电压，又称额定电压；电流量限则指仪表串联电路所容许通过的最大工作电流，又称额定电流。

安装式功率表都做成单量限的（100V，5A），与电压互感器及电流互感器配套使用。

可携式功率表一般都做成多量限的，功率表电流量限的改变，一般是通过改变电流线圈连接方式来达到。而电压量限的改变，是通过串联不同的附加电阻来实现。

二、功率的测量及安全注意事项

（一）功率表的正确接线及使用

（1）由前面讲过的功率表偏转角 α 的公式可知，当功率表所加电压和电流有一个反接以后，表针将向反方向指示，不能读数甚至打坏指针。为了保证功率表在使用中正向指示，在功率表的接线端钮上都标有“*”号或“±”号，一般叫做“发电机端”。功率表接线时应使电流和电压线圈的发电机端接到电源的同一极性的端子上，以保证两个线圈的电流方向都从发电机端流入。

根据这一原则，功率表的正确接线有两种方式，两种电路的共同特点是两个线圈的电流均从发电机端流入。不同点是电压线圈有前接和后接之区别。如图 15-9a, b 所示。这两种不同的接线在特殊条件下，有一定的测量误差。在图 15-9a 中，电压线圈接在电流线圈之前，电流线圈流过的电流 I 等于负载电流 I_L 。但电压回路端电压却是负载电压和电流线圈压降 I_r 之和（ r 为电流线圈内阻），于是功率表的读数将是负载功率和电流线圈消耗的功率 $I^2 r$ 之和，若负载功率不是比电流线圈消耗的功率大很多的情况下，就

会造成测量误差。故这种接线方式适用于负载电阻比电流线圈电阻大得多的情况。

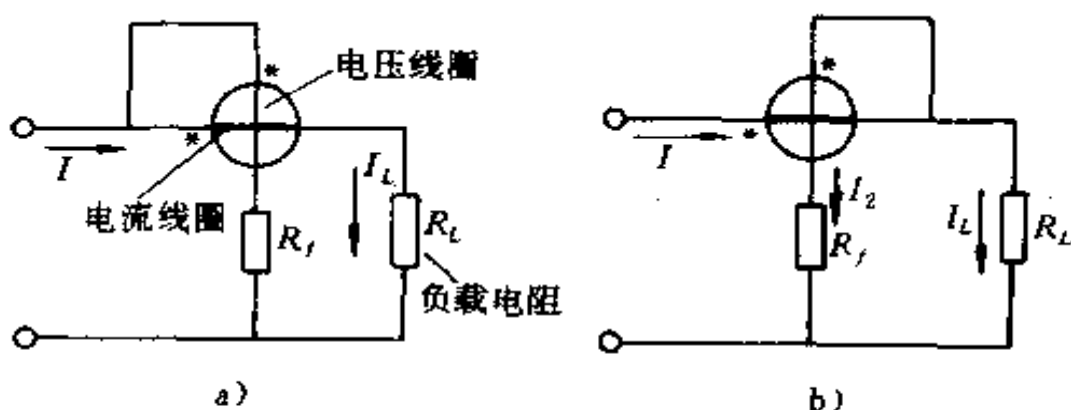


图 15-9 功率表正确接线

a) 电压线圈前接 b) 电压线圈后接

图 15-9b 所示线路是电压线圈后接，这时电流线圈通过的电流 I 是负载电流 I_L 与电压回路电流 I_2 之和。这样，功率表的读数将是负载功率与电压回路损耗的功率之和。若负载功率不是比电压回路损耗的功率大很多的情况下，就会产生测量误差。故这种接线方式适用于负载电阻远小于仪表电压回路电阻的情况。以上的两种方式告诉我们，在测量时要注意测量采用的接线型式，同时在一定范围内尽可能采用电流线圈内阻较小，电压线圈内阻较大的功率表，这样可获得较为准确的测量结果。

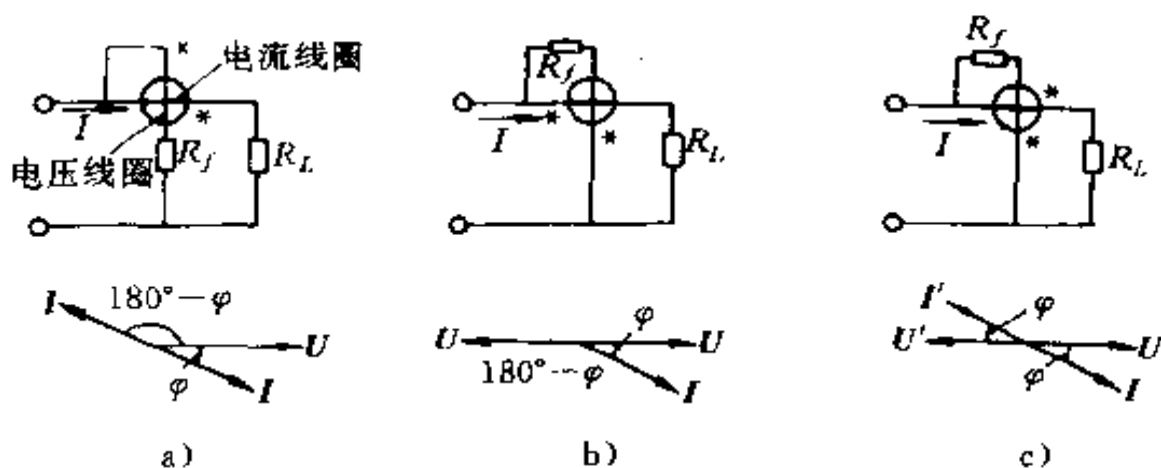


图 15-10 功率表的错误接线及相量图

(2) 功率表经常出现的错误接线，图 15-10a 的情况为电流线圈反接，这时从相量图可以看出，电流和电压之间的相位角由 φ 变

为 $(180^\circ - \varphi)$ 。因为 $\cos(180^\circ - \varphi) = -\cos\varphi$ ，所以这时功率表的指针将向反方向指示。这样将不能读数，甚至打坏指针。

图 15-10b 所示的情况为电压线圈反接，它和上一种情况一样，只不过是电压线圈反接而造成了电流和电压之间的相位角由 φ 变成了 $(180^\circ - \varphi)$ ，所以功率表也是向反方向指示，不能读数并容易打坏指针。这时电流线圈与电压线圈间的电位差接近于电源电压。

图 15-10c 所示的情况为电流线圈和电压线圈同时反接。这时相量图表明，电流和电压之间的相位角仍为 φ ，此时表针是向正方向指示的。但因附加电阻 R_f 比电压线圈电阻大的多，而电流线圈内阻很小，所以电源电压几乎全部降在 R_f 上，这就会造成电流线圈和电压线圈之间存在接近于电源电压的电位差。这不仅会使测量结果产生静电误差，而且可能使电流线圈和电压线圈之间的绝缘击穿而烧坏仪表。所以这种接法从表面上看仍似乎是正确的，实际上是错误的，而且产生的后果会更严重。

(3) 如果功率表接线正确，但仪表指针反方向偏转，这表明负载端有电源，功率输送的方向和预期的相反，即负载不是消耗功率而是发出功率。此时， $\varphi > 90^\circ$ ，功率为负值。为了读取读数，应改变其中一个线圈电流的方向，并将测量结果加上负号。对于只能在端钮上进行外部倒线的功率表，应将电流端钮反接，而不宜将电压端钮反接，否则会产生较大的静电误差以至损坏仪表。对于装有换向开关的可携式功率表，则可直接利用换向开关改变电压线圈的电流方向，而且不改变电压线圈和附加电阻 R_f 的相对位置，因此，不会在电流线圈和电压线圈之间形成很大的电位差。

(4) 改变电流量限的转换开关、连接片或插塞时，应接触良好，保持接触电阻稳定，以免引起误差。

(5) 功率表的量限选择，应按被测电路的电压和电流的大小来选择电压量限和电流量限。在实际测量中，为了保护功率表，使电流和电压不超过功率表所允许的数值，在电路中接入电流表和电压表，以监视负载电流和电压。

(6) 多量限功率表常共同使用一条标尺刻度，故功率表的标度尺不标瓦数，而只标注分格数。读数时，可直接读出分格数，而后乘以每格瓦数，就可得到被测功率值。功率表某一量限下的每格瓦数可由下式算出，即

$$C = \frac{UI}{a}$$

式中 C ——所接量限下的每格瓦数 (W)；

U ——所接电压量限 (V)；

I ——所接电流量限 (A)；

a ——标度尺的满偏分格数。

(二) 有功功率和无功功率的测量

有功功率和无功功率可用专用的功率表来进行测量，只要按照规定选择仪表量限和接线就可准确可靠的测量出有功功率或无功功率。但有时没有三相功率表或无功表，在这种情况下，介绍一下用电流表、电压表、单相功率表测量功率的 4 种方法。

1. 用电流电压法测功率 电流电压法一般用于直流功率的测量，大家知道，直流功率的数学表达式为

$$P = UI$$

即一个负载上的功率为流过负载的电流与该负载两端电压的乘积。所谓电流电压法测量功率就是根据这个公式进行的。

如图 15-11 所示，只要在回路中串联接入一只电流表，并联接入一只电压表即可进行测量。功率的值就是电流表读数与电压表读数的乘积，即

$$P = UI$$

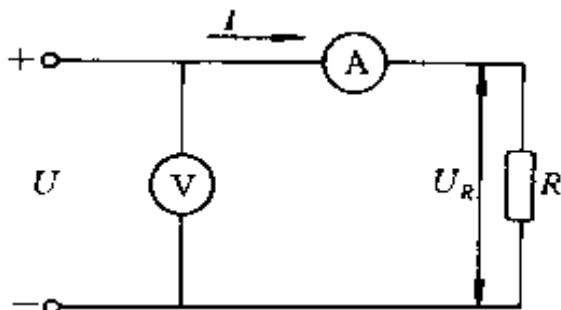


图 15-11 电流电压法测量功率

2. 用单相功率表测量无功功率 功率表不仅能测量有功功率，改变它的接线方式也可以测量无功功率。单相交流电路中的无功功率为

$$Q = UI \sin \varphi = UI \cos (90^\circ - \varphi)$$

根据上式，如果改变接线方式，使功率表在电压支路上的电压 U 与电流线圈上的电流 I 之间的相位差成 $(90^\circ - \varphi)$ ，这时功率表的读数就是无功功率了。从图 15-12 的相量图中可以看出，如果测量有功功率时，加在功率表电压支路上的电压为 U ，那么在测量无功功率时，就应该加上与 U 相差 90° 的电压 U' 。

因此，只要按图 15-13 的接法，即把 U_{vw} 加到功率表的电压支路上，电流线圈接在 U 相电路中，这时功率表的读数为

$$Q' = U_{vw} I_U \cos(90^\circ - \varphi) = U_{vw} I_U \sin \varphi$$

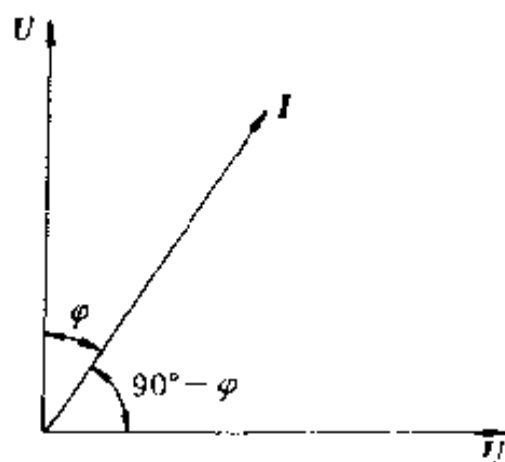


图 15-12 无功功率测量原理图

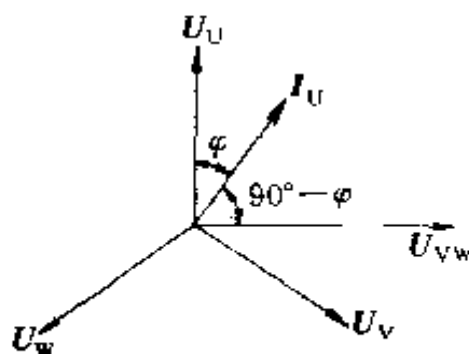
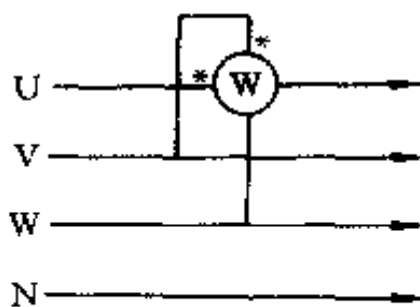


图 15-13 测量无功功率的接线和相量

由此可见，只要三相对称，功率表测量的就是无功功率，但由于线电压是相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，所以单相无功功率为 $Q' / \sqrt{3} = \sqrt{3} Q'$ 。

3. 用三只功率表测量三相无功功率 根据上面所讲，在三相负载完全平衡的电路中，只用一只功率表就可以测量出三相无功功率，因为三相无功功率 $Q = 3Q' / \sqrt{3} = \sqrt{3} Q'$ 。

但在实际电路中，许多三相负载是不平衡的，如按上述方法测量是不能正确计量的，则需要三只功率表测量，其接线图如图 15-14a 所示。

率的数学表达式为 $P = U_U I_U + U_V I_V + U_W I_W$, $I_U + I_V + I_W = 0$ 。根据节点电流定律可知:

$$I_V = -(I_U + I_W)$$

代入三相功率表达式,则为

$$\begin{aligned} P &= U_U I_U + U_V (-I_U + I_W) + U_W I_W \\ &= U_U I_U - U_V I_U + U_W I_W - U_V I_W \\ &= (U_U - U_V) I_U + (U_W - U_V) I_W \end{aligned}$$

又根据电位差原理 $U_U - U_V = U_{UV}$, $U_W - U_V = U_{WV}$, 得

$$P = U_{UV}I_U + U_{WV}I_W$$

从上面的结果可知, 用一块功率表取 UV 线电压、U 相电流; 另一块功率表取 WV 线电压, W 相电流, 就可以测量三相有功功率, 如图 15-15 所示。

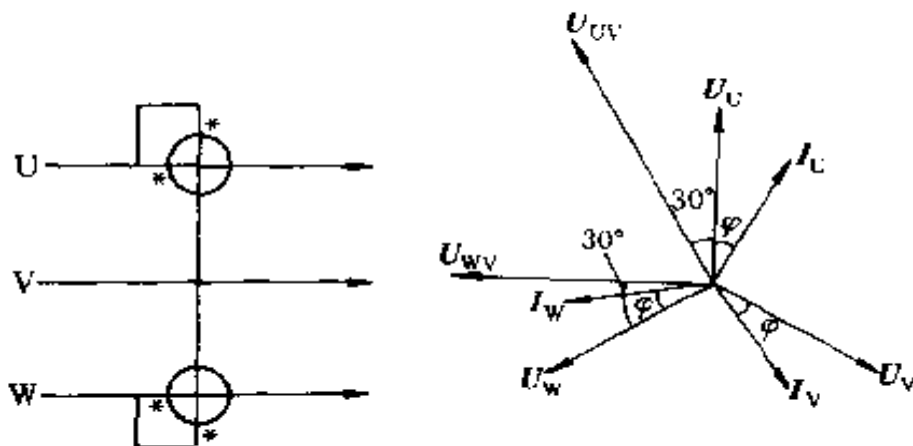


图 15-15 测三相功率接线和相量图

根据所示相量关系, 则有

$$P_1 = U_{UV}I_U \cos(30^\circ + \varphi)$$

$$P_2 = U_{WV}I_W \cos(30^\circ - \varphi)$$

$$P = P_1 + P_2 = \sqrt{3}U_l I_l \cos\varphi$$

式中 U_l ——线电压;

I_l ——线电流。

(三) 测量功率的安全注意事项

前一章我们已介绍了电气仪表的选择、在运行中的检查以及电气仪表与互感器联用的注意事项。这里我们主要针对功率表的特点来介绍一下安全注意事项。

(1) 功率表的使用要注意仪表量程的选择, 即功率表的电压额定值和电流额定值, 若量程选择不当, 可能因功率表过载能力差而烧坏仪表。

(2) 功率表的接线不同于电压表、电流表的接线。它不但要遵照电压线圈并联、电流线圈串联的原则。还要考虑电源的方向

及电流的流向，否则将会错误接线而损坏仪表。

(3) 由于实际测量中，功率表测量的的大都是高压侧的功率，所以必须和互感器配用。这就要求我们在互感器二次回路上工作要特别注意，电流互感器二次回路严禁开路，电压互感器二次回路严禁短路，否则将造成设备损坏及人身伤亡的事故。

(4) 对有可能出现两个方向功率的交流回路，应装设双向标度的功率表。

第四节 电能的测量

一、感应系电能表

(一) 感应系电能表的结构

感应系电能表作为测量电能的专用仪表，在发电、供电、用电的各个环节中，得到广泛应用。感应系电能表的种类、型号尽管很多，但它们的基本结构都是相似的。即都是由测量机构（驱动元件、转动元件、制动元件、轴承、计度器）、补偿调整装置和辅助部件（表盖、底座、基架、端钮盒和铭牌）所组成。这里我们主要介绍感应系电能表的测量机构。

1. 驱动元件 它由电压元件和电流元件组成，其作用是接受被测电路的电流和电压，建立交变磁通，与其在圆盘内产生的感应电流相互作用，进而产生驱动转矩，使圆盘转动。

2. 转动元件 它由圆盘和转轴组成，其作用是在驱动元件建立的交变磁场作用下，在圆盘上产生驱动转矩使圆盘连续转动，并把转动的圈数传递给计度器。

3. 制动元件 它由永久磁铁及其调整装置组成。它的作用是产生与驱动转矩相反的制动力矩，以便使圆盘的转动速度与被测电路功率成正比。

(二) 感应系电能表的工作原理

感应系电能表的电路和磁路如图 15-16 所示，当电流线圈中通有负载电流 I 时，它在电流铁心中产生磁通 Φ_I ，它是沿电流铁心的左边柱经空气隙，穿过圆盘，又经电压铁心再次穿过圆盘，然

后回到电流铁心的右边柱而闭合。当电压线圈加以交变电压 u 并在其中有电流 i_u 通过时，则 i_u 在电压线圈中产生磁通 Φ_u ，它是从电压铁心的中柱，到上部磁轭，再沿两边柱经回磁极及回磁板与电压铁心间的空气隙穿过圆盘又回到电压铁心中柱。如上所述，电流工作磁通从不同位置两次穿过圆盘，对圆盘而言，相当有大小相等、方向相反的两束磁通 Φ_I 和 Φ'_I 。再加上 Φ_u 一次穿过圆盘，相当于有三束磁通作用在圆盘上，它们的相互作用产生驱动转矩，使圆盘转动，经传动元件带动计度器的传动轮和字轮，达到计量的目的。

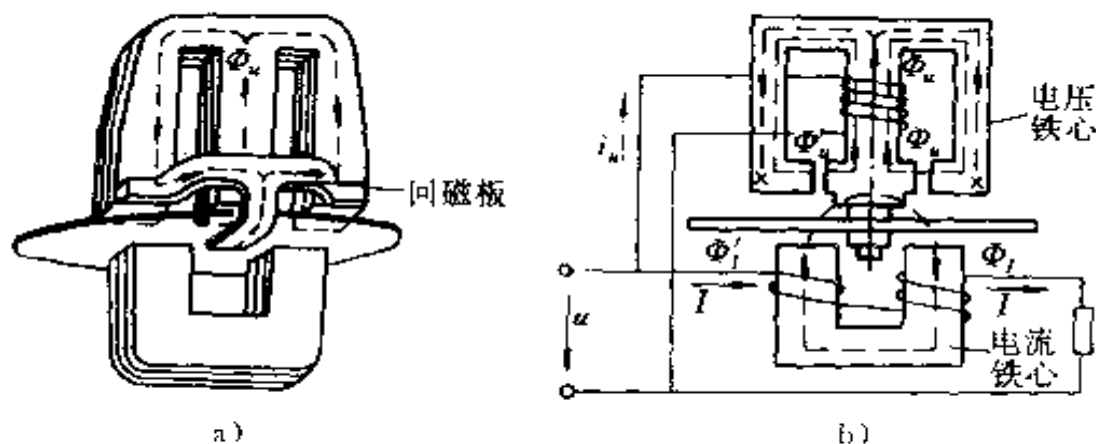


图 15-16 电能表的电路和磁路

a) 铁心结构 b) 电流和磁通

二、电能的计量方式

电能计量方式即接线方式，它包括单相、三相三线、三相四线电路有功及无功电能的测量。

(一) 有功电能的测量

1. 单相电路有功电能的测量 使用一只单相有功电能表可以计量单相电路有功电能。单相有功电能表有单进单出和双进双出两种，如图 15-17 所示。

单相电能表的功率表达式为 $P = UI \cos \varphi$ ，由于功率与电能的表达式只差一个时间项，因此后面所介绍的电能都用功率来表达。

电能表计量功率总是等于电压线圈上加的电压乘以电流线圈中流过的电流再乘以两者相位差角的余弦。以后推导各种计量方

式的功率表达式，都根据这个原则。

2. 三相四线电路有功电能的测量 三相四线电路可看成由三个单相电路组成，其总功率为各相功率之和，即

$$P = U_U I_U \cos\varphi_U + U_V I_V \cos\varphi_V + U_W I_W \cos\varphi_W$$

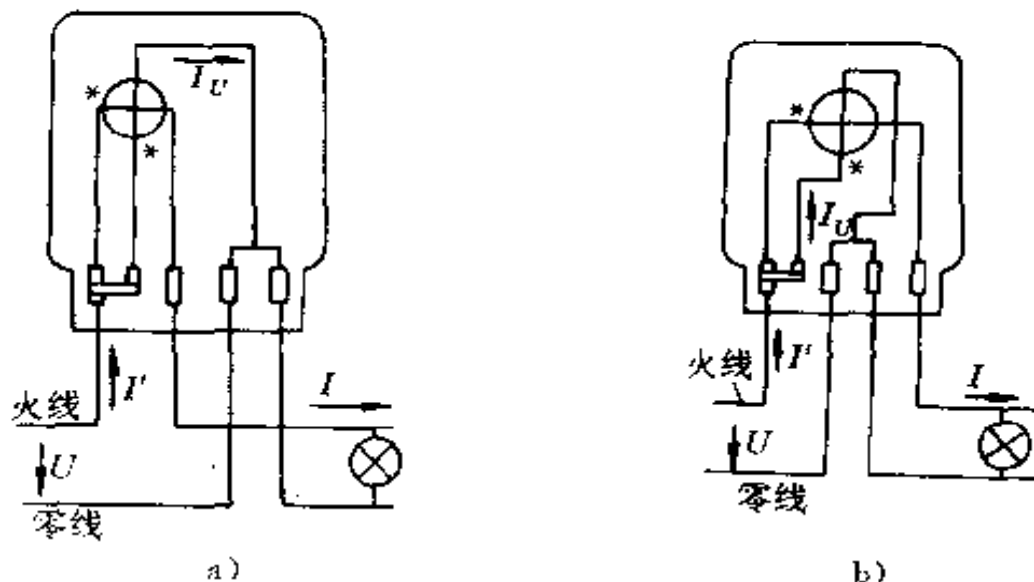


图 15-17 单相电能表接线图

a) 单进单出 b) 双进双出

所以可以用三只单相电能表或一只三相四线有功电能表进行测量。三相四线有功电能表如图 15-18 所示，第一元件接 U_U 、 I_U ，第二元件接 U_V 、 I_V ，第三元件接 U_W 、 I_W 。

这种计量方式不管三相电压、电流是否对称都能正确计量。但在两种情况下会产生线路附加误差。

(1) 电压线圈的公共线 N 没有连接或因某种原因断线时，三个电压线圈形成三相三线对称负载星形接线，相电压中没有零序

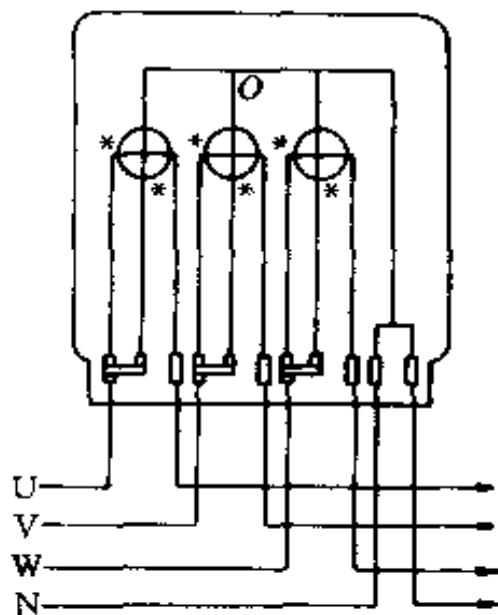


图 15-18 三相四线有功电能表接线图

分量，所以表计功率不包括零序功率，这样便引起线路附加误差。

(2) 当电流互感器接到表不是 6 根导线而是 4 根，当公共电流回路断线时，零序电流没有通路，故表计功率中不包括零序功率，在三相四线电路负载不对称，有中线电流 I_N 的情况下，也会引起线路附加误差。

3. 三相三线电路有功电能的测量 用两只单相有功电能表或一只三相三线有功电能表可以测量三相三线电路有功电能。

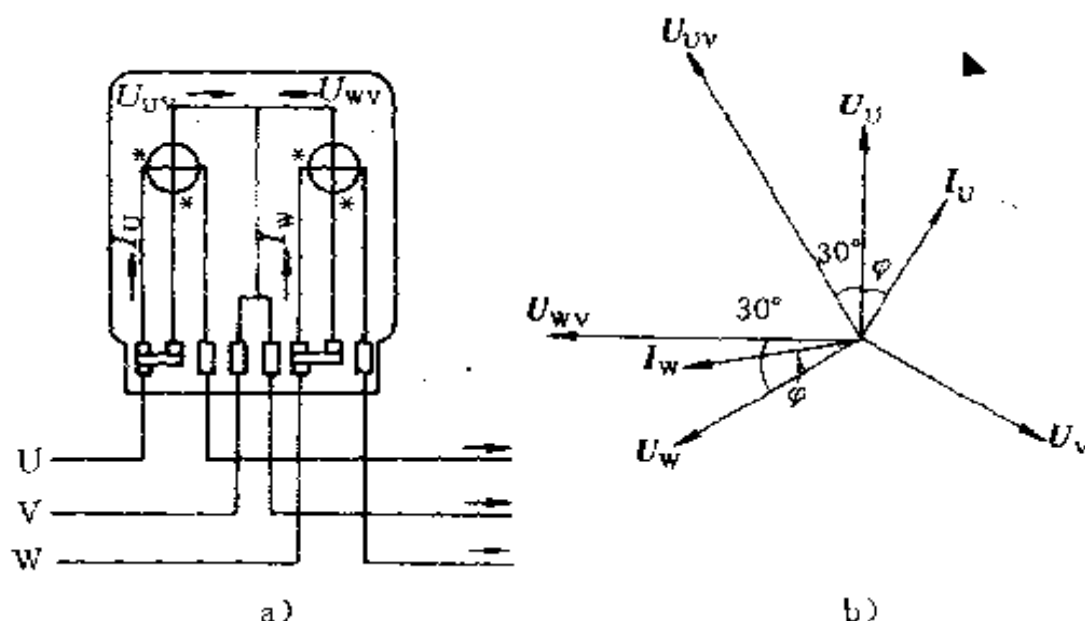


图 15-19 三相三线有功电能表接线相量图

三相三线有功电能表的接线如图 15-19a 所示，第一元件电流为 I_U ，电压为 U_{UV} ，第二元件电流为 I_W ，电压为 U_{WV} 。因为三相三线电路中，各线电流的代数和为零，即

$$I_U + I_V + I_W = 0$$

$$I_V = -(I_U + I_W)$$

三相三线电路的功率为

$$\begin{aligned} P &= U_U I_U + U_V I_V + U_W I_W \\ &= U_U I_U + U_V (-I_U - I_W) + U_W I_W \\ &= (U_U - U_V) I_U + (U_W - U_V) I_W \\ &= U_{UV} I_U + U_{WV} I_W \end{aligned}$$

则三相三线电路对称时，电路的功率和表计的功率为

$$P = U_{UV}I_U \cos(30^\circ + \varphi) + U_{WV}I_W \cos(30^\circ - \varphi)$$

夹角关系见图 15-19b 相量图。

不论三相电路是否对称，这种计量方式均能正确计量三相三线电路的有功电能。但三相三线有功电能表不能用来测量三相四线不平衡电路的有功电能。

(二) 无功电能的测量

测量三相四线电路无功电能，可采用三相三元件正弦无功电能表；测量三相三线电路无功电能可采用 60° 型三相两元件无功电能表，这些都是专用的无功电能表。下面我们介绍一种用改制的三相四线有功电能表测量三相四线无功的方法，它的接线图如图 15-20 所示，实质上这就是普通三相四线有功电能表改制而成的。只要把相电压的电压线圈改为承受线电压的，再相应地改变一下计度器和电流线圈的有关参数即可。第一元件电压为 U_{VW} ，电流为 I_U ，第二元件电压为 U_{WU} ，电流为 I_V ，第三元件电压为 U_{UV} ，电流为 I_W ，根据相量图我们可得出仪表所测的三相无功功率为

$$Q = U_{VW}I_U \cos(90^\circ - \varphi_U) + U_{WU}I_V \cos(90^\circ - \varphi_V) + U_{UV}I_W \cos(90^\circ - \varphi_W) = U_{VW}I_U \sin\varphi_U + U_{WU}I_V \sin\varphi_V + U_{UV}I_W \sin\varphi_W$$

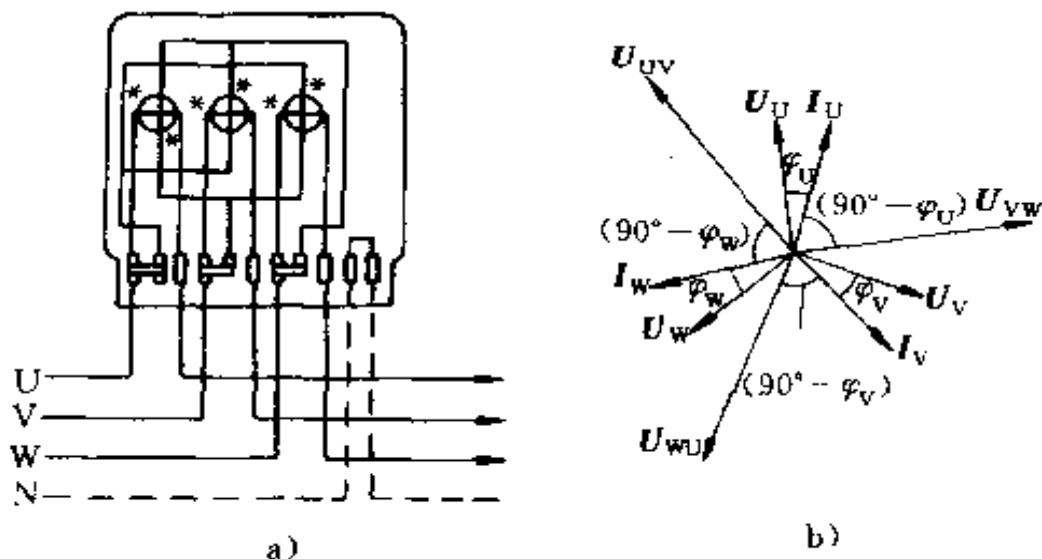


图 15-20 三元件跨相连接无功表

假定三相电路对称，则表计功率为

$$Q = 3U_l I_l \sin\varphi = \sqrt{3} U_l I_l \sin\varphi$$

式中 U_l ——线电压；

I_l ——线电流。

以上表明，这种跨相接线的无功电能表可以测量三相三线或三相四线电路的无功电能。

(三) 电能表的联合接线

同时需要测量三相电路的有功和无功电能时，要进行联合接线。

下面介绍两种联合接线的典型线路，图 15-21 是低压三相四线测量有功和无功电能的联合接线，采用一只三相四线有功电能表和一只三元件跨相连接的无功电能表。

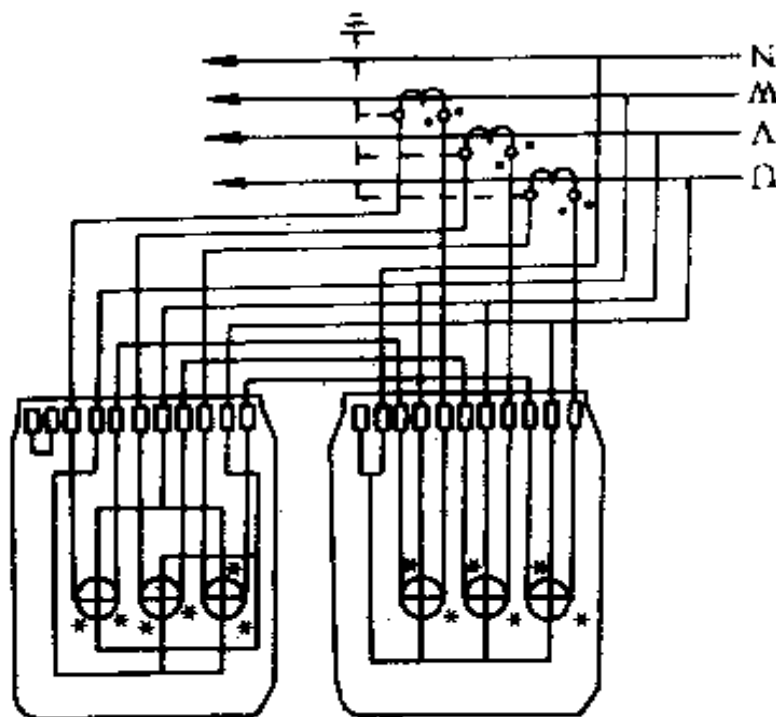


图 15-21 低压三相四线电路联合接线图

图 15-22 是高压三相三线电路测量有功和无功电能的联合接线图，采用一只三相三线有功电能表和一只 60° 型无功电能表。

联合接线的原则是：

(1) 联合接线时，必须按照各种相应接线方式，使电压线圈并联，电流线圈串联。

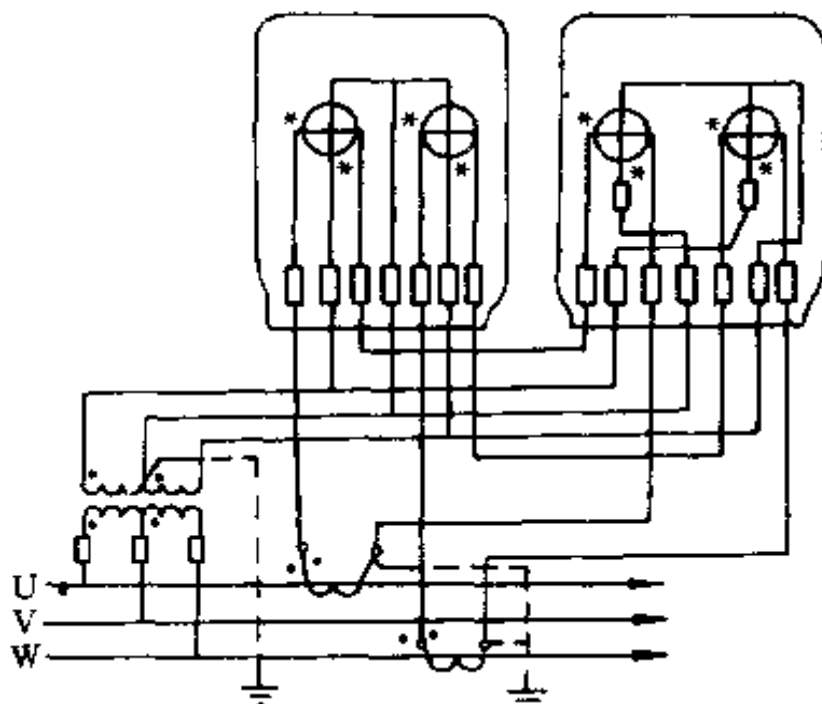


图 15-22 高压三相三线电路联合接线

(2) 互感器二次回路中应安装接线盒，以便在带电状态下拆表、装表，作到操作安全。

(3) 电流回路串联后的总负荷不超过电流互感器额定容量。

(4) 电压回路并联后的总负荷应在电压互感器 0.5 级时额定容量的 25%~100% 范围内。

(5) 高压计量点的互感器二次回路必须有保护接地；低压计量点的互感器二次回路可不接地。

(6) 电压互感器应装在电流互感器的电源侧，如装在负荷侧，则电压互感器消耗的电能也计入电能表内，容易引起表正向潜动。

(7) 电流互感器必须安装在变压器的同一侧。

(8) 未并列运行的两个及两个以上线路，不许共用一组电压互感器。

三、电能的测量和 safety 注意事项

(一) 用电能表测量电能应注意的事项

(1) 选择准确度合适的电能表，一般电能表的准确度为 2.0 级，但对于用电量较大的计量点应选用 1.0 级电能表及 0.5 级电流、电压互感器。

(2) 直通表的选用应注意所测负载的大小，一般选择是不宜使电能表的负载小于它的最小使用负载或大于它的最大使用负载。

(3) 电能表必须在额定的电压下使用，电压波动的范围不宜超过额定电压的 $\pm 10\%$ ，否则将产生较大误差。

(4) 在适当的环境温度下工作，电能表的正常工作一般应在 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$ 之间，距热力系统的距离不得小于 0.5m ，太冷太热都会使电能表产生附加误差。

(5) 接线前要仔细阅读电表说明书及接线图，经互感器接入式的要特别注意电流互感器的极性和电压互感器的极性。

(6) 电能表要安装在稳固的地方，垂直倾斜应不大于 1° ，否则会引起附加误差。因为这时转盘与电磁铁相对位置发生变化，造成不对称而引起附加误差，同时由于转盘对上下轴承的侧压力随着电能表的倾斜而增大，使摩擦转矩增加而引起负误差。

(7) 装设电能表的地方应清洁、干燥，附近应无强磁场存在，并尽量设在明亮的地方，以便于读数和监视。

(二) 测量电能的安全注意事项

(1) 用直通电能表测量电能时，要注意进出线的相别和极性，稍有人意，就可能接错线或相线短路，造成少计电量和电表的损坏。

(2) 经电流、电压互感器接入的电能表测量时，一定要注意电流互感器回路严禁开路；电压互感器回路严禁短路。

(3) 经高压互感器接入的二次回路必须装设保安接地，否则当高压互感器绝缘损坏被击穿时，一次的高电压可能对二次回路所接电能表及其他设备造成毁坏，并有可能直接危害人身安全。

(4) 电能表及前面介绍过的电流表、功率表与继电保护装置应尽量分别使用电流互感器的不同次级线圈。因为电能及其他电气测量对电流互感器的准确度等级要求高，而保护级铁心在短路时不应饱和，以适应保护灵敏度要求。为了防止错漏接线，造成保护误动、拒动、设备损坏和测量错误等，应尽量使保护回路和

测量回路分别使用电流互感器的不同次级线圈。当受条件限制,保护和仪表回路不能分开时,也应将仪表回路通过电流端子与保护端子连接且放在保护回路后边。

(5) 电能表在运行中可能会出现冒烟的情况,一般是过负荷、绝缘降低、电压过高、电流接头松动而造成虚接开路等原因造成。当发现后,应迅速将电能表电流回路短路,电压回路断开。在操作中应注意,勿使电压线圈短路和电流线圈开路,避免出现保护误动作及误碰接等人为事故。

第五节 电阻的测量

一、直流电桥测量电阻的原理

电桥是一种比较式仪器,将被测量与已知量进行比较从而获得测量结果,所以测量准确度比较高。在电测技术中,电桥广泛地用来测量电阻等参数,下面我们主要针对直流电阻的测量进行介绍。

(一) 单臂电桥

1. 单臂电桥的结构及工作原理 单臂电桥也叫做惠斯登电桥,其线路是桥式电路中最简单的一种,其原理线路图如图 15-23 所示,由图可见,单臂电桥实质上是一个封闭环形的四端网络,在它的 a 与 c 两个接点接上供电电源 E ,在它的 b 与 d 两个接点接上作平衡指示用的检流计 G ,这就构成了单电桥的完整电路。单电桥中的 4 个接点 a、b、c、d 称之为桥顶。电阻元件 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 称为桥臂。 R_1 代表被测电阻 R_x , R_2

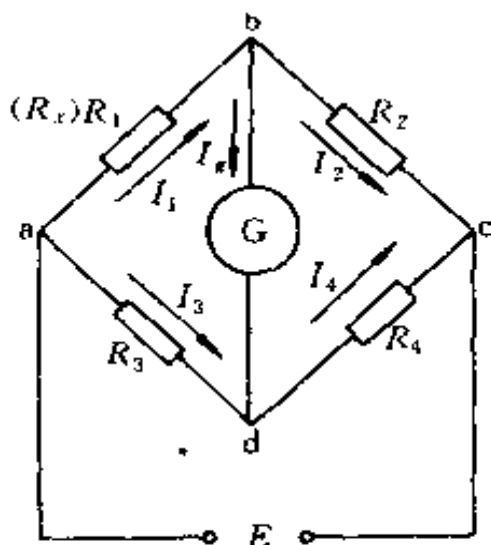


图 15-23 单臂电桥原理线路

是一套阻值可以调节的已知电阻, R_3 与 R_4 是阻值固定的已知电阻。当接通电源 E 与检流计 G 以后,依靠调节 R_2 阻值的大小,可

以使检流计实现指零，达到平衡。

当电桥线路达到平衡时，检流计 G 指零位，即 $I_g = 0$ ，则说明桥顶 b 与 d 之间是等电位的，因此可得

$$\begin{cases} I_1 R_1 = I_3 R_3 \\ I_2 R_2 = I_4 R_4 \end{cases}$$

由于 $I_g = 0$ ，又有 $I_1 = I_2$ 与 $I_3 = I_4$ ，代入上式得

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

从而导出：

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

一般将此式称为单臂电桥的平衡方程式。

由单臂电桥的平衡方程式可以看出，只要桥臂中有三个参数为已知量，便可计算出第四个未知量，这就是单臂电桥的基本工作原理。

2. 单臂电桥的主要部件 桥臂电阻 R_3 、 R_4 在上式中是比例关系，称为比例臂。把电阻 R_3 与 R_4 的比值 K ，做成 n 个 10^n 的固定值，通过一个转换盘或者通过两个转换盘来调节比值 K ，如 10^{-3} 、 10^{-2} 、 10^0 、 10^1 、 10^2 等，调节变化是跳跃式的，故又称其为阶梯调节臂。

电桥平衡时，上式中 R_2 的值乘以比例臂的比值 K ，即得出被测电阻 R_x 的值，称 R_2 为比较臂。实际上，将 R_2 做成几个十进读数调节盘，组成若干位读数，调节变化是平滑的，故又称 R_2 为平滑调节臂。

3. 单臂电桥的特点

(1) 用电桥测量电阻，准确度可高达 0.01% 以上，测量结果稳定可靠，测量范围一般在 $10\Omega \sim 10^6\Omega$ 之内。

(2) 当用单臂电桥测量小于 10Ω 以下的电阻时，测量结果误差较大。

(二) 双臂电桥

1. 双臂电桥的结构及工作原理 双臂电桥又称开尔文电桥，它是在单电桥的基础上，在一些线路上采取了措施，消除和减少了引线电阻和接触电阻对测量结果的影响，以适用于低电阻的测量。其原理线路图如图 15-24 所示，图中 R_3 与 R_1 构成外比例臂， R'_3 与 R'_1 构成内比例臂。 R_3 与 R'_3 ， R_4 与 R'_1 是同轴联动， R_x 是待测的未知电阻， R_N 为已知的标准电阻， R_x 与 R_N 都是四端钮型式的电阻结构。 R_x 与 R_N 相靠近的两个电流端钮之间，用低阻粗铜导线短接起来，该支路的等值电阻用 r 来表示，一般称之为跨线电阻。

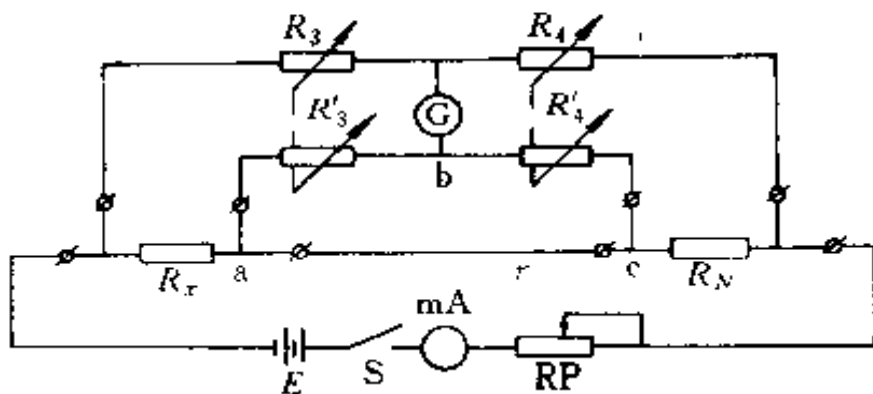


图 15-24 双臂电桥原理线路

利用双电桥将未知电阻 R_x 与已知电阻 R_N 进行比较时，可以有两种平衡调节方式：一种是调节 R_N 使电桥实现平衡；另一种是调节比例臂的比例系数使电桥实现平衡。无论采用哪一种调节方式，当测量电路达到平衡时，被测电阻由下式求得

$$R_x = R_N \frac{R_3}{R_1} + \frac{rR'_1}{r + R'_3 + R'_1} \left(\frac{R_3}{R_1} - \frac{R'_3}{R'_1} \right)$$

$$\text{令 } d = \frac{rR'_1}{r + R'_3 + R'_1} \left(\frac{R_3}{R_1} - \frac{R'_3}{R'_1} \right)$$

$$\text{则 } R_x = R_N \frac{R_3}{R_1} + d$$

令 $\frac{R_3}{R_1} = \frac{R'_3}{R'_1}$ ，当 $d=0$ 时，可得

$$R_x = R_N \frac{R_3}{R_1}$$

由此可见，双电桥的平衡方程式与单臂电桥相同，同样遵守对臂乘积相等的原则。

2. 双电桥的特点

(1) 适用于 1Ω 以下的电阻，测量准确度可达到 0.01% 以上，测量范围为 $10\Omega \sim 10^{-4}\Omega$ 。

(2) 测量小阻值电阻，误差较小。

二、直流电桥的使用方法

(一) 电桥的选择

对电桥的选择，根据被测电阻准确度的要求，选用适合准确度等级的电桥。还要根据被测电阻的大小，选用不同类型的电桥。测量 $10^6\Omega$ 以上的电阻时选用高阻电桥；测量 $10^5\Omega \sim 100\Omega$ 之间的电阻时选用一般单臂电桥；测量 $10\Omega \sim 10^{-4}\Omega$ 的电阻时选用双臂电桥或单双臂电桥。在测量时，要保证比较臂的第 1 个十进盘有读数。

(二) 测量电阻接线方法

引线电阻和接触电阻对测量结果的影响很大。应采取以下措施减少其对测量结果的影响。

(1) 尽量缩短引线的长度，把引线电阻限制在最低范围之内。因此，以选用短而粗的导线为宜。

(2) 用定值导线，或将两条引线的一端拧在一起，测量出引线的电阻值，并将它从测量结果中减去。

(3) 把引线电阻和接触电阻引入电源支路和检流计支路，使其电阻不参与测量结果。

(4) 把引线电阻和接触电阻引入大电阻支路，使其电阻在总电阻中所占的比例减小，以减少对测量结果的影响。

(三) 电桥的使用方法及注意事项

直流电桥是测量直流电阻的精密仪器，使用时要特别注意，如果使用不当，不仅达不到应有的测量准确度，反而会使电桥受到损坏。直流电桥的使用方法如下：

(1) 电桥面板上一般都有外接电源端钮（标有 B_1 、 B ）和外

接检流计端钮（标有 G_1 、 G_2 ），如果需要外接电源或外接检流计时，要根据电桥使用说明书进行接线。

(2) 使用电桥时，先将检流计锁扣打开，检流计指针可以自由摆动。若指针和光点不在零位，则应调节到零位。

(3) 将被测电阻 R_x 接到标有 R_x 的接线柱上。如果外接电源，则电源正极应接电桥的“+”端钮，电源负极接电源的“-”端钮。

(4) 根据被测电阻阻值的估算，选择适当的桥臂比率。使得比较臂可调电阻各档都能充分地利用。例如，用 QJ-23 型单臂电桥测量电阻，若 R_x 为几欧姆，这时桥臂比率就应选 0.001，这样当电桥平衡时，比较臂电阻可读到 4 位数。假定读数为 7567Ω ，则 $R_x = 0.001 \times 7567 = 7.567\Omega$ ，这样精确度大大提高了。

(5) 测量时，将电源按钮按下并锁住，然后按下检流计按钮，若此时指针按正方向偏转，则应加大比较臂电阻，反之则应减小，如此反复调节，直到检流计指到零位为止。在调节电阻过程中，电桥还未接近平衡状态时，通过检流计的电流可能很大，因此这时不应使检流计按钮旋紧，只能在每一次调节时，短时按下按钮，观察平衡情况，当检流计偏转不大时，便可旋转按钮进行反复调节。

(6) 在测量电感性线圈的电阻时，应注意接通电源按键后，稍停一段时间再按下检流计按键，同时特别注意测量中间不得断开电源按键，待调节电桥达到平衡以后，应先断开检流计按键并闭合检流计的锁扣，再断开电源按键，否则，由于被测线圈电感较大，会产生较大的感应电动势反冲检流计，使检流计烧毁。

(7) 使用完后应将检流计锁住，防止机械振动损坏检流计。

(8) 对具有电容的设备进行测量时，应先放电再测量。

(9) 双臂电桥有四个被测端钮，即电阻电位端钮 P_1 、 P_2 和电流端钮 C_1 、 C_2 。连接被测电阻 R_x 有四根导线，电位端钮与电流端钮应连接无误，并且要求使用的连接导线截面足够大，接触应良好。



直流电压表、多量限直流电流表、多量限整流式交流电压表和多量限欧姆表等仪表的总和，通过转换开关实现各功能选择，并在表盘上刻有各功能的相应刻度尺。因此，总的来说，它还是属于磁电系仪表的种类。

(二) 万用表的使用

1. 万用表电阻档的正确使用

(1) 选择倍率档 测量电阻可使用不同的倍率档。当测量电阻时，仪表的指针越靠近标度尺的中心部分，读数越准确。读数对应于 $1/10 \sim 10$ 倍的中值电阻值，若被测电阻超过了这范围，读数就不准确了。因此，知道了某一档的中值电阻值，就知道了该档的测量范围。如欧姆中心值是 12Ω ，则该档测量电阻的范围约为 $1.2\Omega \sim 120\Omega$ ，超出此范围就应该换档。

(2) 调零 在测量电阻之前，选择适当的倍率后，首先将两表笔短接使指针指在零位。如果表针不在零位时，应调节“调零”旋钮，使指针指在零位，若指针不在零位则说明电池的电压

太低了，应更换新电池后再使用。若换挡后，也应及时的调零，因为变换各档位的阻值，表头的端电压就会改变，使流过表头的电流也相应改变，表针将不再指欧姆零位，这将造成很大的测量误差。

(3) 不能带电测电阻 在测量某一电路的电阻时，必须切断被测电路的电源，不能带电进行测量。因为电阻档是由于电池供电的，带电测量相当于接入一个外加电压，不但会使测量结果不准确，而且可能烧坏表头，这一点必须特别注意。

(4) 注意节省干电池 在使用电阻档间歇中，不要让两根表笔短接，以免浪费电池。另外，不可用万用表的电阻档去直接测量微安表头、检流计、标准电池等类的仪器仪表的内阻；在使用万用表电阻档去判别仪表的正负端钮或整流元件的极性时，应当特别注意：万用表的内附干电池的负极是和面板上的红色端钮（或“+”的插孔）相连的，如果不注意这一点，就往往容易发生错误。

(5) 被测电阻不能有并联支路 有并联支路的被测电阻应将并联支路断开，然后再进行测量。否则测量结果将是这两个电阻支路并联后的等效电阻。

决不能人为的造成被测电阻的并联支路，假如用两手分别握住表笔的金属部分，然后将表笔接触被测电阻两端。这样，使人体电阻并联到被测电阻上，给测量结果带来很大误差，因此应特别注意手不要接触表笔的金属部分。

2. 交流电压档的正确使用 交流电压的测量除在第二节使用中应注意的各点之外，还要注意以下几点。

(1) 测量交流电压时，产生波形误差，这是因为万用表是按正弦波刻度的，而它的测量机构响应于平均值。若被测电压波形失真或者是非正弦波时，其测量结果引起波形误差。

(2) 一般万用表只适用于 1000Hz 以下的交流电压（或电流）的测量。频率高于此数，将会使测量误差增大。使用前应注意标牌上的频率范围。

(3) 测量电压时，由于表的内阻并联到电路上，所以这个阻值的大小就会左右测量值的准确性。

3. 万用表使用的注意事项

(1) 测量前应检查表笔位置，红色表笔应接在标有“+”号的接线柱上，黑色表笔应接在标有“-”号的接线柱上。在测量直流电流和直流电压时，红色表笔应该接正极，黑色表笔应该接负极，以避免因极性接反而烧坏表头或撞坏指针。有的万用表有交、直流 2500V 测量端钮，专门用来测量较高的电压，使用时，黑表笔仍接在“-”接线柱上，而将红色表笔接到 2500V 接线柱上。

(2) 根据测量对象，将转换开关拨到需要的位置，如测量直流电压，就把转换开关拨到标有“V”标记的地方。有的万用表有两个转换开关，一个选择测量种类，一个改变量程，使用时，先选择测量种类，然后选择量程。测量种类一定要选择准确，如果误用电流或电阻档去测电压，就很容易烧坏表头。选择量程时，应尽可能使被测值达到量程的 1/2 或 2/3 以上，这时误差较小。若事先不知道被测量的大小，应先选用最大的量程测量，再逐步换用适当的量程。

(3) 测量直流电压前一定要事先了解正负极，如果预先不知道时，要先用高于待测电压几倍的测量范围，将两表笔快接快离。如果指针顺时指偏转，则说明假定极性正确，反之极性相反。

(4) 在测量 1000V 以上的电压时，必须用专用测高压的表笔和引线，先将接地表笔接于负极，然后再将另一表笔接在高压测量点。为安全起见，最好两人进行测量。测量时不要两手同时持两表笔，不要接触铁架等接地物。表笔、鞋底应保持干燥，必要时应使用橡皮绝缘手套和绝缘垫。

(5) 在测量高电压或大电流时，不允许带电旋转开关，以防止转换开关触点间产生电弧，烧坏开关。

(6) 万用表的刻度盘上有许多条标度尺，分别用于不同的测量种类，测量时要在相应的标度尺上读取数据。标有“DC”或“-”的标度尺为测量直流时用的；标有“AC”或“~”的标度尺

为测量交流时用的。交流和直流的标度尺合用读数时，就得另用一些斜线将交流标度尺与直流标度尺相对应的刻度连起来，读数时要注意。测量低压交流的标度尺一般位于标度盘的下方，读数比较准确。

(7) 严禁用电阻档或电流档去测量电压，否则将会烧坏仪表，甚至危害人身安全。

(8) 使用完毕，将转换开关扳到 OFF 的位置，没有这个位置的万用表，则扳在交流电压的最大量程，这样即使下次使用出了错，也不会损坏仪表。

二、钳形表

(一) 钳形表简介

钳形电流表是利用电流互感器原理制成的一种便携式电表，这种仪表前端的钳形电流互感器钳入通有交流电流的导线，由于电磁感应作用产生的感应电动势用整流式仪表指示读数，这样不需停电就能测量电路中的电流，有的钳形表还附有测量电压及电阻的端钮，在端钮上接上导线也可以测量电压或电阻。

(二) 钳形表的使用及安全注意事项

(1) 一般的钳形电流表只适于用来测量交流电路的电流，被测电路的电压不可超过钳形表上所标明的数值，否则容易造成接地和触电危险。

(2) 钳形电流表一般通过转换开关来改变量程，也有通过更换表头的方式来改变量程的。测量前，应对被测电流进行粗略的估计，选择适当的量程。如果被测电流无法估计时，应先把钳形电流表的量程放在最大档位，然后根据被测电流指示值，由大变小，转换到合适的档位。倒换量程档位时，应在不带电的情况下进行，以免损坏仪表。

(3) 每次只能测量一根导线电流，被测导线应置于钳口中央，不可将多根载流导线都放入钳口测量。

(4) 在读取电流读数困难的场所，测量时若利用制动器锁住指针，然后到读数方便的地方，读出原来的指示值。

(5) 钳口在测量时闭合要紧密，合钳后如有杂音，可打开钳口重合一次，若杂音仍不能消除时，应检查磁路上各接合面是否光洁，有尘污时，要擦拭干净。钳臂弹簧损坏时，应及时修换。

(6) 每次测量后，要把调节电流量程的切换开关放在最高档位，以免下次使用时，因未经选择量程就进行测量而损坏仪表。

(7) 测量 5A 以下电流时，为得到较为准确的读数，在条件许可时，可将导线多绕几圈放进钳口进行测量，其实际电流数值应为仪表读数除以放进钳口内的导线根数。

(8) 钳形表附近有其他载流导线时，它将受此电流所产生的感应电动势的影响，尤其要注意将钳口的开口部分放在没有这种导线的方向上，并离开一定的距离。

(9) 进行测量时，应注意操作人员对带电部分的安全距离，以免发生触电危险。

三、兆欧表

(一) 兆欧表简介

兆欧表又叫绝缘摇表，是测量电气设备绝缘电阻的一种仪表。最常见的兆欧表是由磁电系比率表、电压较高的手摇发电机及适当的测量电路所组成。一般兆欧表的分类是以发电机发出的最高电压来决定，电压越高，测量绝缘电阻的范围就越大。常见的有 0~500M Ω 、0~2500M Ω 等。

兆欧表的接线柱有三个，一个为“线路”(L)，另一个为“接地”(E)，还有一个为“屏蔽”(G)。测量电力线路或照明线路的绝缘电阻时，“L”接被测线路上，“E”接地线。测量电缆的绝缘电阻，为使测量结果准确，消除线芯绝缘层表面漏电所引起的测量误差，还应将“G”接线柱引线接到电缆的绝缘纸上。

(二) 兆欧表的选用

兆欧表的选用，主要考虑仪表的额定电压和测量范围是否与被测的电气设备相适应。一般来说，额定电压为 500V 以下的电气设备，一般选用 500V 或 1000V 的兆欧表；额定电压为 500V 以上的设备，则选用 1000V 或 2500V 的兆欧表。通常对于何种电力设

备选用何种兆欧表都有具体规定，可按规定选用兆欧表。选用中，为了设备的安全，切不可选用电压过高的兆欧表，以免将被测设备的绝缘击穿。同样不能选用电压太低的兆欧表，因为这样测量的结果，不能反映出被测对象在额定工作电压下的绝缘电阻。兆欧表的选择举例见表 15-1。

表 15-1 兆欧表的选择举例

被 测 对 象	被测设备的额定电压/V	所选兆欧表的电压/V
线圈的绝缘电阻	500 以下	500
线圈的绝缘电阻	500 以上	1000
发电机线圈的绝缘电阻	380 以下	1000
电力变压器、发电机、电动机线圈的绝缘电阻	500 以上	1000~2500
电气设备绝缘	500 以下	500~1000
电气设备绝缘	500 以上	2500
绝缘子	—	2500~5000

在选用兆欧表时还应注意，有些兆欧表的标尺，不是从零开始，而是从 $1M\Omega$ 或 $2M\Omega$ 开始，这种兆欧表不适宜测量潮湿环境中低压电气设备的绝缘电阻，因为电气设备的绝缘电阻低于 $1M\Omega$ 时，将得不到正确的读数。

(三) 兆欧表的使用及安全注意事项

(1) 兆欧表使用时，要放置平稳，以免摇动发电机手柄时，表身摇动而影响读数。有水平调节的兆欧表，要先调好水平位置。

(2) 应使用表计专用的测量线，或绝缘强度较高的两根单芯多股软线，不应使用绞型绝缘软线。

(3) 测量前，应对兆欧表进行开路试验和短路试验，即使“L”、“E”端开路，摇动发电机手柄达到额定转速，指针应指在“ ∞ ”的位置。然后再将“L”、“E”短接起来，摇动手柄，这时指针应指在“0”的位置。

(4) 被测的电气设备必须与电源断开，在测量中禁止他人接近被测设备。

(5) 测量前必须将被测设备对地短路放电，特别是电容性的电气设备，如电缆、大容量的电机、变压器以及电容器等，如不放电，可能发生触电事故。

(6) 接线时，“接地”(E)端钮应接到电气设备外壳或地线上，“L”与被测导体连接。测量电缆的绝缘电阻时，应将电缆的绝缘层接到保护环“G”上。如果在潮湿的天气里测量设备的绝缘电阻，也应使用保护环，把它连在绝缘支持物上，以消除绝缘物表面的泄漏电流对所测绝缘电阻的影响。

(7) 测量前，应先了解周围的温度和湿度，测量时记录下来，以便于事后对绝缘电阻的分析。

(8) 测量时，仪表放置地点应远离载有大电流的导体和有外磁场的场所，以免影响测量结果。

(9) 测量时，顺时针摇动手柄，应使兆欧表保持额定转速，一般为 120r/min。当被测物电容量较大时，为了避免指针摆动，可适当提高转速。

(10) 测量电容器、电缆、大容量变压器和电机时，要有一定的充电时间，电容量越大，充电时间越长，一般以兆欧表转动 1min 后的读数为准。

(11) 在测量完电容性电气设备的绝缘电阻后，应对被测电气设备进行放电，以免造成危险。

(12) 不能全部停电的双回架空线路和母线，在被测回路的感应电压超过 12V 时，或当雷雨发生时的架空线路及与架空线路相连接的电气设备，禁止进行测量。

(13) 测量前，应将被测设备表面擦拭清洁，以免漏电影响测量结果。

(14) 在兆欧表没有停止摇动和设备未放电以前，切勿用手去触及测量部分和兆欧表的接线柱，以免触电。

第十六章 电气照明

照明，有些人认为只要灯亮了就行，没有什么安全可注意的，因此安全往往被忽视，这就会造成一些不必要的损失，甚至影响人身和生产安全。因此，要引起我们的足够重视，认真执行“电业安全操作规程”，掌握照明设计和安装要求，防止事故的发生。

电气照明广泛应用于生产和生活的各个领域，是工厂供电的一个重要组成部分。良好的照明是保证安全生产，提高产品质量及工作效率，保护工作人员视力健康的必要条件，所以，合理的照明设计应符合适用、安全、经济、美观和保护视力的基本要求。

第一节 电气照明的设计和计算

一、照明种类

(一) 工作照明

工作照明是用来保证被照明场所正常工作时的照明。

(二) 事故照明

事故照明是在工作照明因电气事故而中断时，供暂时继续工作或疏散人员用的照明。

在下列场所应有事故照明：

(1) 由于工作中断或误操作会引起爆炸、火灾、人身伤亡或生产秩序长期混乱等严重事故的场所。

(2) 由于照明中断，可能使发电厂、变电所、供水站、供热站等停止正常工作时。

在下列场所应有供人员疏散用的事故照明：

- 1) 照明中断后会发生工伤事故的生产车间或露天工作场地。
- 2) 人员密集的公共建筑（如影剧院、会场等）及楼梯通道。
- 3) 无天然采光的大型生产厂房。

4) 工作人员超过 50 人的生产车间内或当工作照明熄灭后, 由于生产设备继续运行或人员通行容易发生危险的地点。

5) 供 50 人以上工作的生产建筑物往外疏散人员用的通行房间内、消防通道、走廊及楼梯。

在同一场所, 当局部照明与一般照明由不同回路供电时, 不必另设人员疏散用的事故照明。事故照明一般采用白炽灯, 当事故照明作为工作照明的一部分时, 可采用其他光源。

二、照明方式

(一) 一般照明

一般照明是在整个场所或场所的某部分照度基本均匀的照明。对于工作位置密度很大而对光照方向又无特殊要求, 或工艺上不宜装设局部照明的场所, 宜单独使用一般照明。

(二) 局部照明

局限于工作部位的固定或移动的照明, 对于局部地点需要高照度且对照射方向有要求时, 宜采用局部照明。

(三) 混合照明

混合照明是由一般照明与局部照明同时使用的照明。对于工作位置需要较高照度且对照射方向有特殊要求的场所, 宜采用混合照明。

三、供电方式

(一) 单相供电

线路上电气设备工作电流 $\leq 30\text{A}$ 时, 可采用单相供电。

(二) 三相四线制供电

线路上电气设备工作电流 $> 30\text{A}$ 时, 一般采用 380/220V 三相四线制供电系统, 应力求每相负荷均衡。

灯数较多的荧光灯, 可采用两相或三相供电方式, 并将荧光灯分别接于各相, 以减小频闪现象。除医院手术室和某些特殊要求的场所外, 同一室的灯具和插座均需由同一电源供电, 以免发生事故。

室内小型动力设备和仪器等专用插座, 应由单独的线路供电,

并在线路上装设控制开关。应急照明、值班照明、太平灯和路灯等应接在工作照明分开的线路上。

四、一般照明线路的设计和计算

(一) 照明线路的设计

(1) 支路的最大负荷电流不应超过 15A。

(2) 各支路的灯头数（一个插座也按一个灯头计算）一般在 20 个以内，最大负荷电流在 10A 以下时，可增加到 25 个。

(3) 各支路供电半径不易超过 30m。

(4) 重要房间和一般房间可由不同的独立支路供电，若插座较多而电路中装有漏电保护器时，可用一条单独支路供电。

(5) 电热器具应由单独的支路供电，当发生故障时，以缩小事故范围，若电热设备的负荷电流在 15A 以上，插座应加装熔断器。

(6) 当配电盘由三相电源供电时，各支路的负载应尽量保持三相平衡。

(7) 各支路的路径应最短，应尽量避免沿凸出的梁和柱子敷设，且减少穿墙次数，并与设备与水、暖管道等保持规定距离。

(8) 干线布置可按放射式或树干式敷设。

(二) 支路和干线的电流计算

1. 白炽灯电流计算

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

式中 I ——电流 (A)；

P ——功率 (W)；

U ——电压 (V)。

2. 荧光灯电流计算

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi}$$

式中 $\cos \varphi$ ——功率因数。

也可按白炽灯电流计算后，再乘以 1.2。

3. 照明干线的电流计算 还应考虑利用系数,其值在电工手册中可查到。

4. 采用三相电源供电 应尽量使三相负载分配均匀,并根据最大一相的负载来计算干线的电流。

5. 对电灯或电阻性电器设备的熔丝电流计算

$$I_r = 1.1I_{Dk}$$

式中 I_r ——熔丝的额定电流 (A);

I_{Dk} ——电气设备额定电流 (A)。

五、照明线路的一般要求

(一) 室内、外配线

应采用电压不低于 500V 的绝缘导线。

(二) 下列场所应采用金属管配线

- (1) 重要政治活动场所。
- (2) 有易燃、易爆危险的场所。
- (3) 重要仓库。

(三) 腐蚀性场所配线

应采用全塑制品,所有接头处应密封。

(四) 冷藏库配线

应采用护套线明配,电压不应超过 36V,控制设备应设在库外。

(五) 下列场所的室内、外配线应采用铜线

- (1) 重要政治活动场所。
- (2) 重要控制回路及二次线。
- (3) 移动用的导线。
- (4) 特别潮湿场所和有严重腐蚀性场所。
- (5) 有剧烈振动的电气设备的线路。
- (6) 有特殊规定的其他场所。

(六) 绝缘电阻

各支路导线线间及对地的绝缘电阻值,应不小于 $0.5M\Omega$,当小于 $0.5M\Omega$ 时,应做交流 1000V 的耐压试验。

（七）各种照明配线的位置

线路水平敷设时，距地面高度不应低于 2.5m；垂直敷设时，不应低于 1.8m，个别线段低于 1.8m 时，应穿管或采取其他保护措施。

第二节 照明灯具的选择和安装

一、灯具的分类

（一）开启式灯具

无封闭灯罩，光源与外界直接接触，用于一般场所照明。

（二）闭合式灯具

透明罩将光源包合起来，但内外空气仍能自由流通。

（三）封闭式灯具

封闭罩，与外界隔绝比较可靠，但内外空气仍可有限流通。

（四）密闭式灯具

空气不能进入灯罩，用于有腐蚀性气体及特别潮湿的场所。

（五）防爆式灯具

密封良好，能防爆，且有坚固的金属网罩进行保护，用于易燃、易爆的场所。

二、灯具的选择和接线

（一）选择灯具注意事项

（1）首先需要观察设备的场所，根据具体情况来进行选择，当要求室内整个空间的光线都柔合的场所，应选用上半球有光通分布的灯具。

（2）在有可能遭受机械损伤的场所，应选用带铁丝防护罩的灯具；生产中有较大振动的场所，应选用加强保护的特制灯具。

（3）选择灯具时，应考虑保持灯泡光线中心的正确位置和保护角，灯具尺寸应与灯泡容量相适应。

（4）在通风散热不良的场所，应选用有散热孔的灯罩。

（二）选择灯具的一般原则

（1）应具有维修方便、使用安全的灯具。

(2) 在有爆炸性气体或粉尘的车间内，应选用防尘、防尘防水或防爆式灯具，控制开关不应装在同一场所，需要装在同一场所时应采用防爆式开关。

(3) 潮湿的室内外场外，应选用具有结晶水出口的封闭式灯具或带有防水灯口的敞开式灯具。

(4) 灼热、多尘的场所，应选用投光灯。

(5) 有腐蚀性气体和特别潮湿的室内，应选用密封式灯具，灯具的各部件要做防腐处理，开关设备需加保护装置。

(6) 有粉尘的室内，按粉尘的排出量及性质，可采用完全封闭式或密封式灯具。

(7) 在可能受到机械损伤的车间内，可采用有保护网的灯具；振动场所，可采用带防振装置的灯具。

(8) 在密封式灯具内和大于 150W 的灯泡，都不得采用胶木灯头，而采用瓷灯头。

(9) 住宅室内灯具应根据室内条件（家具多少和摆设位置等）和具体要求（主人格调和个性等）而选择，其原则是室内照明光线应柔和，色调要统一。

（三）灯具的接线

(1) 在三相四线制系统中，应采用一根接相线和一根接工作中性线。若工作中性线上没有装设熔断器时，工作中性线可以当作零线使用，灯具可直接接到工作中性线上。当工作中性线上装有熔断器时，必须敷设专用零线，以防一旦熔断器熔断时造成零线断线，而专用零线应接到熔断器前面接地的中性线上。照明灯的单极开关或拉线开关接在相线上与照明灯串联，使照明灯经过开关与线路并联。

(2) 当使用旋入式熔断器时，电源线接在熔断器的接触触点部分的接点上，负荷线接在熔断器的套筒螺纹部分的接点上。

(3) 在灯头接线时，将中性线（零线）或已接地的一线接在灯头螺纹部分的接点上，将相线（火线）或未接地的一线接在灯头的接触部分的接点上。

(4) 使用金属外壳的灯具、开关或插座时，应有专用的接点给予接地或接零。当线路采用明敷时，利用可挠导线从距灯具最近的工作中性线引出接到灯具外壳的接地端钮上，但不能将灯具外壳与支线的工作中性线相连。否则，当工作中性线断线时，在灯具的外壳上就有可能出现危险电压。每个金属外壳的灯具都应有单独的接地支线与工作中性线相连，而不能把几个灯具的外壳接地支线相互串联，以免在其中一个灯具接地支线断线或发生事故时，其后面的照明设备都将失去接地保护而造成危险。当线路采用暗敷，而导线经过专门的线孔穿入灯具的外壳时，可利用支线的工作中性线作接地支线。

(5) 当单相三孔插座准备供外壳接地或接零的电器使用时，而接地线或零线的插孔较其他两个稍高稍大一些，以防止插错位置。

(6) 在带电的情况下更换灯泡，尤其是更换螺口灯泡，特别是当站在接地良好的设备上或站在能够导电的地面上把灯泡装入时，若灯座绝缘不良或接线错误，会使灯头或灯座的金属外壳带电，人体一旦接触就有触电的危险。所以应将电源切除，再更换灯泡，才能确保安全。

三、安装照明灯具的注意事项

(1) 一般照明的对地电压不应超过 250V。

(2) 厂房的照明灯距离地面高度不应低于 2.5m，若低于此高度时，应采取保护措施。除安全电压外，不准使用带开关的灯口，且不得将电线直接焊在灯泡的接点上。当使用螺口灯头时，铜口不准外露。

(3) 行灯及机床工作灯，其电压不得高于 42V，在特别潮湿地点或在金属容器内工作时，其电压不准超过 12V。

(4) 易燃、易爆、多尘、潮湿以及产生腐蚀性气体的场所，应使用符合专门要求的照明装置。

(5) 在使用 42V 以下照明灯时，要求变压器的一、二次线圈分开，不准使用自耦变压器。

(6) 行灯必须带有绝缘手柄及保护网罩, 严禁用一般灯口代替, 手柄处的导线应采用绝缘套管加以保护。

(7) 各种照明灯, 根据工作需要都有一定的聚光设备, 不准使用纸片、铁片等代替。更不准用金属丝在灯口处捆绑。

(8) 安装户外照明灯时, 其高度不得低于 3m, 低于此值时应加保护措施, 还应尽量避免风吹而引起的晃动。

四、几种常用照明灯具的安装

(一) 安装普通照明灯具注意事项

(1) 灯具安装必须牢固 (特别是吊灯), 重量在 3kg 以上时, 应固定在预埋的吊钩或螺栓上。

(2) 普通吊线灯, 重量在 1kg 以下时, 可直接用胶导线吊装; 1kg 以上时应用铁吊链吊装, 软导线宜编插在铁链内, 以免导线承受拉力。

(3) 采用钢管作吊杆时, 其内径不得小于 10mm, 且导线在管内不应有接头。

(4) 采用圆钢吊钩花灯时, 圆钢直径不得小于 6mm, 并应不小于灯具吊挂销钉的直径。

(5) 软线吊灯, 在吊线盒和灯头内均应做结扣。

(6) 灯具内的导线不应有接头; 灯具的金属外壳应可靠接地, 接地螺栓应与接地网相连。

(7) 螺口灯头的相线应接灯头顶心, 零线接螺口, 开关应能切断相线。

(8) 当灯具装在易燃结构部位或暗装在木制吊顶内时, 在灯具周围应设防火隔热装置。

(9) 固定灯具的螺钉不得少于两个, 木台直径在 75mm 以下时, 可用一个螺钉固定。

(二) 安装固定局部照明灯具注意事项

(1) 当电压超过 36V 时, 导线应采取保护措施, 以免机械损伤而发生事故。

(2) 使用的导线截面应不小于 0.75mm^2 , 绝缘不低于 500V

的软线。

(3) 导线在活动连接处不得受到拉力和磨损。

(4) 导线在穿孔处应加绝缘套管进行保护。

(三) 安装吊灯注意事项

(1) 在天棚上，准备装挂线盒的位置塞入木枕。

(2) 在木台上钻三个孔，中间孔是螺钉孔，两边孔是穿线孔，而这两个孔应对准挂线盒底座上的两个穿线孔，再在木台的一边开两个进线槽。

(3) 将零线线头和灯头与开关连接线的线头对准位置穿入木台上的两个孔内，用木螺钉将木台连同底板固定在枕木上。

(4) 将两个线头分别穿入挂线盒底板上的两个穿线孔内，并用木螺钉把底板固定到木台上。

(5) 将线头接到底板上穿线孔旁边的接线桩上。

(6) 用两根绞合软线，在上端打结，作为挂线盒与灯头的连接线，并承受吊灯重量，然后将两个线头接到接线桩上。

(7) 将软线的下端打结，两个线头分别接到灯头的接线桩上。

(8) 装上灯罩和灯泡。

(四) 安装吸顶灯注意事项

(1) 将木台固定在混凝土天花板的预埋木砖上或木质天花板上，有时也可将灯具直接固定到天花板上。

(2) 在灯具与木台或木天花板之间必须铺垫石棉板等隔热材料，以防灯具烘烤而引起火灾。

(3) 灯具与安装面的连接必须牢固可靠，连接处应能承受相当于灯具重量 4 倍的悬挂重量而不会变形。

(五) 安装壁灯注意事项

(1) 当壁灯要装在砖墙上时，一般在砌墙时应预留木砖，不宜用木楔来代替木砖，也可在墙上预埋金属构件。

(2) 当壁灯装在柱上时，可在柱上预埋金属构件或用包箍将金属构件固定在柱上。

(3) 将壁灯底座固定在木砖或金属构件上，如果是坚固厚实

的墙和柱子，可用射钉枪将射钉螺栓射入墙或柱内，再将金属构件和灯具底座用螺母加以固定。

(4) 壁灯一般装在距地面 1.8m~2m 的墙上，室内四面的壁灯安装高度可以各不相同，而同一墙面上的壁灯高度应一致。

(六) 安装嵌入顶棚内的装饰灯具注意事项

(1) 灯具应固定在专设的框架上，电源线不准贴近灯具外壳，灯线要留有余量，固定灯罩的边框边缘应紧贴在顶棚面上。

(2) 矩形灯具的边缘应与顶棚面的装修直线平行。如果灯具安装对称，而纵横中心轴线应在同一条直线上，偏斜应不大于 5mm。

(3) 对荧光灯管组合的开启式灯具，灯管应排列整齐，而金属间隔片不得有弯曲扭斜等缺陷。

第三节 导线的选择和安装

一、导线和敷设方式的选择

照明线路所采用的导线型号及敷设方式的选择应根据环境特征而决定，见表 16-1。

表 16-1 根据环境条件选择导线型号及敷设方式

导线型号及 敷设方式 环境特征	BLV 导线在 瓷(塑料)夹或 瓷柱上敷设	BLV 导线在 绝缘子上敷设	BLV 导线穿 钢(塑料)管 明敷或暗敷	BLVV 用卡 子固定明敷	
正常	○ ^①	+ ^①	+	○	
潮湿	×	○	+	○	
多尘	×	+	+	○	
高温	×	○ ^②	+ ^③	×	
有腐蚀性	×	+	○	○	
有火灾危险	H-1	×	+ ^④	+	○
	H-2	×	×	+	○
	H-3	×	+ ^⑤	+	○

(续)

导线型号及 敷设方式		BLV 导线在 瓷(塑料)夹或 瓷柱上敷设	BLV 导线在 绝缘子上敷设	BLV 导线穿 钢(塑料)管 明敷或暗敷	BLVV 用卡 子固定明敷
环境特征	Q-1	×	×	○ ^⑤	×
	Q-2	×	×	○ ^⑥	+
	Q-3	×	×	○ ^⑦	+
	G-1	×	×	○ ^⑧	×
	G-2	×	×	○ ^⑨	+
室外布线		+ ^⑩	○	+	+ ^⑪

注：表中○为推荐采用，+为允许采用，×为禁止采用。

- ① 线路远离可燃物，且不应敷设在未抹灰的木质天棚或墙壁上。
- ② 无曝晒。
- ③ 无水淋。
- ④ 用焊接钢管，宜用 2.5mm 以上导线。
- ⑤ 铜线穿焊接钢管。
- ⑥ 可用 BLX 导线。
- ⑦ 除天棚内。

二、导线的安装要求

(一) 瓷夹板、绝缘子(珠)配线的安装要求

(1) 瓷(塑料)夹板配线一般适用于正常环境的室内场所和排檐下的屋外场所，绝缘子配线一般适用于室内外场所。

(2) 导线之间交叉时，而交叉点应套绝缘管，并加支持物。

(3) 瓷夹板、绝缘子配线距地面最低距离及瓷夹板、绝缘子配线的支持点间距离线间的距离及线与建筑物的距离见有关规定。

(4) 导线的过墙管，应从干燥房间向潮湿房间倾斜，潮湿房间向潮湿程度较大的房间倾斜，过墙管应密封。

(5) 绝缘子用吊架或支架安装时，一般使用不小于 $\angle 30\text{mm} \times 30\text{mm} \times 3\text{mm}$ 的角铁或不小于 $40\text{mm} \times 4\text{mm}$ 的扁铁。

(二) 室外配线的安装要求

(1) 室外配线跨越大于 3m 的人行道时,应采用绝缘子、木勾瓶或铁板瓶固定。导线被水滴直接冲击的部位,应加保护管。

(2) 室外绝缘导线距建筑物各部位的距离应不小于表 16 2 所规定值。

表 16-2 导线对建筑物各部位最小距离

配线方式	最小允许距离/mm	配线方式	最小允许距离/mm
水平敷设时的垂直距离 距阳台、平台、屋顶	2500	距窗户上口	300
		垂直敷设时水平距离 距阳台、窗户	750
距窗户下口	800		

(3) 潮湿和粉尘场所应采用绝缘子敷设导线,潮湿场所的导线接头应包以橡皮胶布后再缠黑胶布。

(三) 铁管配线的安装要求

(1) 在严重腐蚀的场所(如酸、碱和具有腐蚀性气体),不宜采用铁管配线。

(2) 铁管和其支持物等附件,应做防腐处理。

(3) 明敷于潮湿场所和暗敷的管路,应采用厚壁钢管;明敷于干燥场所的管路应采用电线管。

(4) 管路敷设应沿最短的路径,并尽量减少弯曲次数。

(5) 铁管在敷设前,管内应无毛刺、杂物。外部无凹陷,管口应打磨光滑。

(6) 管路垂直敷设时,导线在接线盒内应固定。

(7) 管路引出地面时,高出地面应不小于 200mm,室外应采用防水弯头,室内管口应包扎严密。

(8) 不同电压、不同回路、不同频率的导线,不应穿在同一管内,但下列情况除外:

- 1) 电压在 36V 以下。
- 2) 同一设备,同一流水线的动力控制回路。
- 3) 照明花线的所有回路。
- 4) 三相四线制的照明回路。

(9) 金属管或硬塑料管内的导线不得有接头，铜线截面不得小于 1.5mm^2 ，铝线不得小于 2.5mm^2 。

(四) 线管联接的安装要求

(1) 线管切口应垂直、光滑、无毛刺、无破裂。

(2) 联接时应用管箍，管头抹铅油，埋在地下的管头应缠麻丝，采用焊接时应加套筒。

(3) 铁管的联接处和与金属盒的联接处，应采用导线焊成一整体接地。

(五) 明线的安装要求

(1) 在有侵蚀性、易燃易爆气体及特别潮湿的场所，严禁装设明线。

(2) 明敷配电线距地面 2.5m 以下时，应使用木槽板线或金属管线及硬塑料管线，经过走廊或进入厨房、厕所等潮湿场所的配线，应以鼓型绝缘子支持。

(3) 在墙壁或天棚表面布线，线间及支持物间距离见表 16-3。

表 16-3 线间及支持物间距离

导线截面 / mm^2	距离 / mm		
	1~2.5	4~10	16~25
线间距离	50	70	70
绝缘子、瓷夹板	25	25	
圆形线夹	25	25	—
支持物间距离	1000~1500	1000~1500	1000~1500
绝缘子、瓷夹板	600~800	600~800	—
圆形线夹	500~600	500~600	

(4) 配电线路应垂直，分路要清楚，分支点与连接点不应承受拉力。

(5) 配电线应在交叉、过梁穿墙及地板处，以硬性绝缘的长度应长出间隔物以外。

(六) 木槽板线的安装要求

(1) 木槽板只准用屋内及雨水侵湿不到的地方，木槽大小的选用，应以绝缘导线在槽内不受挤压为准。

(2) 以下地方不准使用木槽板线。

- 1) 有腐蚀性气体或特别潮湿的屋内。
- 2) 易发生火灾、易爆炸及其他危险的场所。

(3) 装设时注意事项

- 1) 木槽内的导线不能有接头及分支线。
- 2) 不许用木槽板当绝缘管穿越墙壁、天棚及地板等。
- 3) 钉木槽板时，底板与盖板必须分别钉牢，以防止钉着槽内导线。

4) 木槽板线不许靠近暖气管、烟筒及其他高温处。

(七) 顶棚线的安装要求

(1) 天棚内不许装设进户线，布线时不能使用瓷夹板，应采用绝缘子支持，且不得立装。

(2) 在天棚上布线应离开烟筒的距离不小于 500mm。

第四节 开关和插座的安装要求

一、照明开关的安装及使用要求

(1) 拉线开关距地面高度一般为 2.2m~2.8m，距门框为 150mm~200mm，拉线开关相邻间距不得小于 20mm，拉线的出口应向下。

(2) 扳动式开关距地面高度一般为 1.2m~1.4m，距门框为 150mm~200mm。

(3) 成排安装的开关，其高度应一致，高度相差不得大于 2mm。

(4) 开关位置应与灯位相对应；同一室内开关的开、闭方向应一致；开关操作应灵活，接点应接触可靠。

(5) 暗装开关的盖板应端正、严密，且与墙面齐平。

(6) 多尘、潮湿场所和户外应用防水瓷质拉线开关，若采用

普通开关应加装保护箱。

(7) 易燃、易爆和特别潮湿的场所，应分别采用防爆型、密闭型开关，或将开关安装在其他处进行控制。

(8) 明线敷设的开关，应加装在厚度不小于 15mm 的木台上。

(9) 电器、灯具的相线应经开关控制，住户室内禁止装设床头开关。

(10) 安装扳把开关时，其开关方向应一致，一般扳把向上为电路接通，向下为电路切断。

二、插座的安装及使用要求

(1) 不同电压等级的插座应有明显标志，以免混淆弄错。

(2) 明装插座距地面高度不低于 1.8m，暗装插座距地面高度不低于 0.3m，儿童活动场所的插座应采用安全插座，或高度不低于 1.8m。

(3) 凡为携带式或移动式电器所用的插座，单相应采用三孔插座，三相应采用四孔插座，其接地孔应与接地线或零线接牢。

(4) 单相两孔插座，在两孔垂直排列时，相线在上孔，零线在下孔；在水平排列时，相线在右孔，零线在左孔。

(5) 单相三孔插座，保护接地在上孔，相线在右孔，零线在左孔。

(6) 三相四孔插座，保护接地在上孔，其余三孔按左、下、右分别为 L_1 、 L_2 、 L_3 的三相线。

(7) 圆形单相三孔等距插座均已淘汰，由于不具备必要的安全性，一律禁止使用。

(8) 不能使两个或几个电器合用一个插头，或两副插头共同插在一个插座内，以免发生短路或烧坏电器。

(9) 严禁将电器的两根电源引线的线头直接插在插座的插孔内，以防止发生短路或触电。

(10) 插销损坏后，应及时更换，不能凑合使用。

(11) 插头插入插座要插到底，不能外露，以防止触电。

(12) 经常检查插销是否完好,插头或插座接线端的接头有无松动现象。

三、多用插座使用时注意事项

(1) 对于不经常移动的用电设备,多联插座可固定安装在墙上,离地面高度一般不低于 1.3m。


(2) 供移动设备使用或为临时提供电源用的多联插座,可装在插座板上,应配以电源开关、指示灯和熔断器。

(3) 对功率较大的用电设备,应使用单独安装的专用插座,不能与其他电器共用一个多联插座。

(4) 不准吊挂使用多联插座,以免导线受到拉力或摆动,造成压接螺钉松动,插头与插座接触不良。

(5) 不准将多联插座长期置于地面、金属物品或桌上使用,以免金属粉末或杂物掉入插孔而造成短路事故。

四、接线注意事项

(1) 单相三孔插座的插孔标志,L表示相(或火)线,N表示零(或中)线,E表示保护接地(或保护接零),为接地符号。

(2) 用交替的黄、绿双色线,作为安全接地线的颜色,过去生产的低压用电设备,以黑色线作为保护接地线,仍在用这类接地线维修时应加以注意,以免由于接地线的颜色不同而接错,导致触电事故发生。

(3) 接线时,相线和零线要严格区分,应将零线直接接在灯头上,相线必须经过开关再接到灯头上;双股紫花线其带白点的一根线接相线,不准将电线直接焊在灯泡的接点上。

(4) 拆除部分照明线路和个别灯头时,首先应断开电源,按以下要求操作:

1) 拆除从干线上分出的支线路时,应将干线上分支处的绝缘带解开,拆下导线线头,且将干线上绝缘带仍旧包好,禁止直接将要拆除的导线剪断。

2) 拆除个别灯头时,若是吊灯灯头,应先将挂线盒内的软线拆下,再将挂线盒的盖子盖好;若是矮脚灯头,应掀起木台,将

两个导线线头用绝缘带包好，塞入木台内，再把木台装至原处，严禁将包头的线头露在木台外面。

3) 拆除线路和灯头时，应将不用的导线和零件全部拆下，以防止成为事故隐患。

第五节 光电源的使用与维修

一、选择光电源的一般原则

(1) 一般室内照明，宜采用荧光灯代替白炽灯，最好使用三基色荧光灯。

(2) 处理有色物品的场所，宜用显色性好的光源或三基色荧光灯。

(3) 灯具吊挂较低的场所，宜用荧光灯或高压钠灯。

(4) 安装高度在 4m 以上的室内光源，宜用金属卤化物灯。也可选用高压钠灯、金属卤化物灯和荧光灯混合使用。

(5) 高大厂房和露天场所一般选用高压钠灯、金属卤化物灯或外镇流高压汞灯，不宜采用管形卤钨灯和大功率白炽灯。

(6) 生产场所应尽量不用自镇流式高压汞灯和大功率白炽灯，但在要求照度不高和开关频繁时才用白炽灯。

(7) 在 $1^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C}$ 的低温场所，宜选用与快速启动镇流器配套的荧光灯。

(8) 厂区和居民的道路照明，宜用高压钠灯和外镇流式高压汞灯。

二、白炽灯的使用与维修

(一) 安装使用注意事项

(1) 相线和零线应严格区分，将零线直接接到灯座上，相线经过开关再接到灯头上。对于螺口灯座，零线接在螺口的接线端上，而相线应接在螺口灯座中心的接线端上，否则将容易发生触电事故。

(2) 使用双股棉织绝缘软线时，有花色的一根接相线，未有花色的接零线。

(3) 导线与接线螺钉连接时, 应先将导线绝缘层剥去合适的长度, 然后将导线拧紧以防止松动, 再环成圆扣, 且圆扣的方向应与螺钉拧紧的方向一致, 否则旋紧螺钉时, 圆扣容易解体松开。

(4) 若灯具需要接地(零)时, 应采用单独的接地用导线(如黄、绿双色)接到电网的零线上, 以保证人身安全。

(二) 常见故障和处理方法

1. 灯泡不亮

(1) 灯丝烧断, 应调换灯泡。

(2) 电源熔断器熔体熔断, 应查明并排除熔断原因, 更换熔体。

(3) 灯座或开关接线松动或接触不良, 应检查并紧固灯座或开关的接线。

(4) 线路断线, 应检查且排除断路点。

(5) 电源无电, 应检查电源电压。

(6) 灯泡与电源电压不相符, 应选用与电源电压相符的灯泡。

2. 合上开关熔断器的熔体立即熔断

(1) 灯座内两根线头短路, 应检查并排除短路故障。

(2) 线路发生短路, 应检查导线有无老化或损坏, 更换或修复线路。

(3) 电器发生短路, 应查明并排除短路现象。

(4) 负荷过大, 应减轻负荷或更换熔断器。

(5) 螺口灯座内铜片与螺旋铜圈相碰, 应检查灯座, 扳开中间铜片。

(6) 多股导线未拧紧, 未涮锡引起短路, 应消除短路现象。

3. 灯泡忽亮忽暗或忽亮忽熄

(1) 灯丝烧断而晃动后忽接忽断, 应调换灯泡。

(2) 熔断器熔体接触不良, 应修复熔断器。

(3) 灯座或开关接线松动或触点接触不良, 应重新接线或修复灯座或开关。

(4) 电源电压不稳或有大容量设备启动, 应检查电源电压或调整负荷。

4. 灯光暗淡

(1) 电源电压过低, 应提高电源电压。

(2) 灯泡寿命已到, 应调换灯泡。

(3) 灯泡额定电压高于电源电压, 应选用与电源电压相符的灯泡。

(4) 线路绝缘老化, 有漏电现象, 应检查线路, 更换导线。

5. 灯泡发出强烈白光, 灯丝瞬时或短时烧断

(1) 灯丝有搭丝, 使电流增大, 应调换灯泡。

(2) 电源电压过高, 应降低电源电压。

(3) 灯泡的额定电压低于电源电压, 应换上与电源电压相符的灯泡。

6. 冒白烟, 灯丝烧断 灯泡漏气, 应调换灯泡。

三、荧光灯的使用与维修

(一) 使用注意事项

(1) 荧光灯必须与镇流器、启辉器的规格相符配套。不同功率不能互相混用, 否则会缩短使用寿命或造成启动困难。

(2) 使用时尽量减少开关次数, 以延长灯管寿命。

(3) 使用荧光灯必须按规定正确接线, 否则灯管会烧坏或不亮。

(4) 接线时应使相线通过开关, 经镇流器到灯管, 为提高功率因数, 在荧光灯的电源两端并接一个电容器, 对常用 40、30、20W 荧光灯配用的电容器的电容值分别为 4.75、3.75、2 μ F。

(5) 电源电压的变化不得超过额定电压的 $\pm 5\%$, 电压变化过大, 将会影响荧光灯的发光效率和寿命。

(6) 目前配套灯座设有弹簧, 灯管不易掉落, 但对老式灯座应采取相应措施, 防止灯管掉落, 可在灯管两端加设管卡或用绳线扎牢。

(7) 荧光灯最适宜的环境温度为 18 $^{\circ}$ C~25 $^{\circ}$ C, 环境温度过高

或过低都会造成启动困难和发光效率降低。

(8) 破碎的灯管要妥善处理，防止汞造成污染环境和损害人身健康。

(二) 常见故障和处理方法

1. 灯管不亮

(1) 灯丝烧断，可用万用表检查，调换灯管。

(2) 电源电压过低，应提高电源电压，或更换截面较大的导线。

(3) 启辉器接触不良，可转动启辉器，使电极与底座接触牢固。

(4) 灯脚与灯座接触不良，可转动灯管压紧灯管电极与灯座电极之间接触。

(5) 镇流器线圈断路或短路，应检修或更换镇流器。

(6) 新装荧光灯接线错误，应改正接线。

(7) 电源无电或熔断器熔体烧断，可检查电源电压或更换熔体。

(8) 启辉器损坏，应更换启辉器。

2. 灯管两端发光

(1) 电源电压过低，应检查电源电压，并提高电压。

(2) 灯管陈旧，可调换灯管。

(3) 启辉器损坏，可取下启辉器，用尖嘴钳两金属尖同时触及启辉器底座两块铜片，并立即分开，如灯管能跳亮，说明启辉器损坏，应更换启辉器。

(4) 环境温度过低，应提高环境温度或加保护罩。

(5) 灯管慢性漏气，应更换灯管。

3. 灯管“跳”而不亮

(1) 电源电压过低，应提高电源电压。

(2) 环境温度过低，可提高环境温度或加保温措施。

(3) 灯管老化，应调换灯管。

(4) 镇流器与灯管不配套，应更换镇流器。

(5) 启辉器有毛病，应修复或更换启辉器。

4. 灯管两端发黑

(1) 灯管陈旧，寿命将终，应调换灯管。

(2) 电源电压过高，可降低电源电压。

(3) 镇流器配用规格不符，应更换合适的镇流器。

(4) 灯管内水银凝结，灯管工作后可能蒸发消除，或将灯管旋转 180°。

(5) 新灯管时，可能是启辉器损坏，应调换启辉器。

5. 灯光闪烁

(1) 接触不良，可检查线路接触情况。

(2) 启辉器损坏，应调换启辉器。

(3) 灯管质量不佳，可调换灯管试看。

(4) 镇流器质量不佳，应调换镇流器。

6. 灯管内出现螺旋形光带

(1) 新灯管是暂时现象，可开用几次或将灯管两端对调。

(2) 镇流器规格不符，可调换镇流器试看。

(3) 灯管质量不佳，可调换灯管。

7. 灯管亮度降低或彩色变差

(1) 电源电压过低，应调整电源电压。

(2) 环境温度过低，应加防护罩或采取有效措施。

(3) 灯管陈旧，可更换灯管。

(4) 灯管上积垢太多，应清理灯管积垢。

8. 灯管寿命短或发光后立即熄灭

(1) 镇流器规格不符或内部线圈短路，可更换或修复镇流器。

(2) 受剧烈振动，灯丝断开，应调换安装地方，更换灯管。

(3) 新装灯管接线错误，可纠正接线。

9. 关断后，灯管仍有微光

(1) 开关接在零线上，应将开关改接在相线上。

(2) 开关漏电，应修复或调换开关。

(3) 新灯管为暂时现象，开几次即可消除。

10. 镇流器响声较大

- (1) 镇流器质量不佳，铁心未夹紧，应调换镇流器。
- (2) 电源电压过高，可降低电源电压。
- (3) 镇流器过载或内部短路，应调换镇流器。
- (4) 启辉器质量不佳，开启时产生辉光杂音，应调换启辉器。
- (5) 安装位置不当，引起周围物质共振，可改变安装位置。
- (6) 镇流器发热过度，应排除发热故障。

11. 镇流器过热或冒烟

- (1) 电源电压过高，可降低电源电压。
- (2) 镇流器线圈短路，应修复或调换镇流器。
- (3) 灯管闪烁时间长，应及时消除闪烁现象。
- (4) 启辉器中的电容器短路，应及时消除启辉器故障。

四、高压汞灯的使用与维修

(一) 使用注意事项

(1) 安装接线时一定分清楚，高压汞灯是外接镇流器，还是自镇流。而带镇流器的高压汞灯必须使镇流器与汞灯相匹配，否则，灯泡将立即烧毁，或启动困难。

(2) 当电源中断，高压汞灯熄灭后，灯内汞蒸气压力很高，在灯未冷却前，不能立即再接入电源，一般需要间隔 10min~15min，等灯管冷却，灯内汞蒸气凝结后，方能再启动。

(3) 保持电源电压稳定，若电压降低 5%，汞灯就可能自行熄灭。

(4) 汞灯水平点燃时，高度将减少 7%，并容易自行熄灭，所以应尽量使汞灯垂直安装。

(5) 由于汞灯玻璃外壳温度较高，应配用散热良好的灯具，以免影响灯的性能及使用寿命。

(6) 由于汞灯再启动时间长，对要求迅速点燃的场所不宜采用。

(7) 当玻璃外壳破碎后，高压汞灯仍能发光，但大量紫外线辐射对人身有害，将灼伤人眼和皮肤。因此，高压汞灯的玻璃外

壳破碎后，应立即更换，并及时妥善处理，防止发生汞害。

(二) 常见故障和处理方法

1. 灯不启辉（不发光）

- (1) 电源无电，应等待来电。
- (2) 电源电压过低，可提高电源电压。
- (3) 镇流器选用不合适，应更换合适的镇流器。
- (4) 接线松动，应重新紧固接线。
- (5) 灯泡损坏，可更换灯泡。
- (6) 安装不正确，应重新正确安装。

2. 灯光不亮

- (1) 电源电压过低，可提高电源电压。
- (2) 镇流器选用不合适，应更换合适的镇流器。
- (3) 接线错误，应改正接线。
- (4) 灯泡老化，可调换灯泡。

3. 灯一亮即突然熄灭

- (1) 电源电压过低，可提高电源电压。
- (2) 灯座、镇流器、开关的接线松动，应重新紧固接线。
- (3) 灯泡损坏，可调换灯泡。
- (4) 线路断线，应检查并排除断路点。

4. 灯忽亮忽灭

(1) 电源电压波动于启辉电压的临界值，应检查电源电压，必要时采用稳压型镇流器。

- (2) 灯泡螺口松动或镇流器故障，应调换灯泡或镇流器。
- (3) 连接线头松动，应重新紧固接线。
- (4) 灯座接触不良，应修复或更换灯座。

5. 发光不正常不久灯光即昏暗

- (1) 电源负荷增大，应降低电源负荷。
- (2) 灯泡电流过大，使用寿命即将结束，可调整电源电压或采用较高电压的镇流器，并更换灯泡。
- (3) 镇流器的沥青流出，绝缘降低，应更换镇流器。

(4) 灯泡连接线头松动，可重新紧固接线。

(5) 由于振动，灯泡损伤或接触松弛，应消除振动现象或采用耐振型灯具。

6. 灯熄灭后，立即接通开关，灯长时间不亮

(1) 汞灯有碍工作时，可与白炽灯或荧光灯混合使用。

(2) 灯泡损坏，可调换灯泡。

(3) 电源电压下降，再起启动时间延长，可提高电源电压或用适合电源电压的镇流器。

(4) 灯罩过小或通风不良，应更换合适的灯具或更换小功率的灯泡和镇流器。

7. 灯泡有闪烁

(1) 电源电压下降，可提高电源电压。

(2) 灯泡损伤，可调换灯泡。

(3) 镇流器选用不当，可调换合适的镇流器。

(4) 接线错误，应改正接线。

8. 只亮灯芯 灯泡漏气或破碎，应调换灯泡。

五、高压钠灯的使用注意事项

(1) 电源电压的变化不宜大于 $\pm 5\%$ ，由于高压钠灯的管压、功率、光通量随电源电压的变化而引起的变化比其他气体放电灯大。电压升高时，管压降的增大，容易引起灯自灭；电压降低时，而光通量减少，将使光色变差。

(2) 高压钠灯在任何位置启动时，光电参数基本保持不变。

(3) 高压钠灯必须与镇流器配套使用，否则，将会使灯的寿命缩短或启动困难。

(4) 配套的灯具应专门设计，不仅要具有良好的散热性能，而且还要求反射光不宜通过放电管，以免放电管由于吸热而温度升高，破坏密封，影响寿命，并容易自灭。

(5) 再启动的时间长，不适用于要求迅速点燃的场所。

(6) 破碎灯管要及时妥善处理，防止有害物质伤害人体。

六、金属卤化物灯的使用注意事项

(1) 电源电压的变化不宜大于 $\pm 5\%$ ，电源电压变化，不仅会引起光效、管压等的变化，还会影响光色变化。

(2) 无玻璃外壳的金属卤化物灯，有较强的紫外线辐射，将会灼伤人眼和皮肤。要求灯具必须加玻璃罩，如无玻璃罩，悬挂高度不宜低于 14m。

(3) 管形镝灯使用时的置放方向有水平点燃、垂直点燃，灯头在上；垂直点燃，灯头在下三种结构型式。使用时必须分清方向标记，而灯轴中心的偏离角度不得大于 15° 。要求垂直点燃的灯，如水平安装使用时灯管会发生爆裂；如灯头方向调错，而灯的光色会变绿。

(4) 灯的玻璃外壳温度较高，要求灯具必须有良好的散热性能。

(5) 灯管与镇流器必须配套使用，否则，引起启动困难，寿命缩短。

(6) 再启动时间长，不适用于要求迅速点燃的场所。

(7) 破碎灯管要及时妥善处理，以防对人体毒害。

七、碘钨灯的使用注意事项

(1) 灯管必须保持水平位置，其倾斜角不得大于 4° ，否则会破坏碘钨循环，缩短使用寿命。

(2) 电源电压应与灯管额定电压相符，电源电压变化一般不应超过 $\pm 2.5\%$ ，当电源电压超过额定值的 5% 时，使用寿命将缩短一半。

(3) 灯管要配用相应规格的灯罩，在室外工作时，应采用防雨措施。

(4) 不允许采用任何人工冷却措施（如吹风、水淋等），以保证在正常高温下的碘钨循环。

(5) 灯管必须装在专用的隔热装置的金属灯架上，严禁装在易燃的木质灯架上，且周围不得有易燃物品，以免发生火灾。

(6) 灯管两端的电极与灯座的接触应保持良好的，如发现锈蚀

现象，应用细砂布打磨光滑，以免烧坏接点。

(7) 使用前要用酒精擦去灯管外壁的油污，以免在高温下形成污点而影响亮度。

(8) 功率在 1000W 以上，不得使用一般电灯开关，应安装胶盖瓷座刀开关。

(9) 灯管灯丝较脆，耐振性较差，不适用于振动较强的场所，也不应作移动光源使用。

(10) 灯脚引线必须采用耐高温的导线，电源线与灯线的连接应用良好的瓷接头，靠近灯座的导线应套耐高温的瓷套管或玻璃纤维管，连接处必须接触良好，以免灯脚在高温下氧化而引起灯管封接处炸裂，使用中一旦发现灯脚松动，应立即更换。

八、氙灯的使用与维修

(一) 使用注意事项

(1) 氙灯有较强紫外线辐射，安装高度不得低于 20m。

(2) 电源电压变化不宜大于 $\pm 5\%$ ，否则容易自灭。

(3) 灯管温度很高，灯座和灯头的引线应采用耐高温导线。

(4) 灯管应水平安装，触发器应尽量靠近灯管安装，其高频输出线长度不宜超过 3m，且不得与任何金属和绝缘差的导体相接触，应保持 40mm 距离，防止高频损耗。由于触发器工作瞬间将产生数万伏脉冲高压，使用时特别注意安全。

(5) 使用时应保持灯管清洁，防止高温下形成污斑，使灯管透明度降低。

(二) 常见故障和处理方法

1. 不能触发，火花放电器不放电

(1) 电源变压器二次侧开路，应更换变压器。

(2) 升降变压器二次侧严重短路，应更换变压器。

(3) 高频扼流圈开路，可暂时将扼流圈短路，先使用，再调换。

(4) 火花间隙接触不良或间隙闭合，应调整火花间隙距离。

2. 不能触发，火花放电器不正常

- (1) 脉冲变压器胶木筒击穿，应更换变压器。
- (2) 高压输出端绝缘子击穿，应更换绝缘子或调整铜排位置。
- (3) 脉冲变压器输出处与外壳击穿，使变压器离开外壳40mm。

3. 不能触发，火花放电器放电很小

- (1) 电源变压器二次侧短路，应更换变压器。
- (2) 储能电容未有容量或内部开路，应更换电容。
- (3) 线路断开，应检查并接通线路。

4. 触发正常，灯管不亮

- (1) 灯管漏气，应更换灯管。
- (2) 高压输出线对地严重短路，应找出短路点并消除故障。

5. 触发正常，但电弧不能导通

- (1) 电源电压过低，应提高电源电压。
- (2) 升降变压器无输出，应检查或更换变压器。
- (3) 交流接触器开路，应检查并排除故障。

6. 灯管电弧闪烁不停，不能及时引燃

- (1) 线路接触不良，应检查并排除接触不良现象。
- (2) 灯管质量不好，应更换灯管。

九、行灯的使用注意事项

- (1) 灯体和手柄必须坚固、耐热、耐潮、绝缘良好。
- (2) 灯泡外部应有保护网、金属网、反光罩及悬吊挂钩均应固定在灯具的绝缘部分上。
- (3) 灯体与灯头应接触良好，灯头上应无开关。
- (4) 行灯应由双线圈行灯变压器供电，严禁使用自耦变压器降压的方法来取得安全电压。
- (5) 行灯变压器的一、二次侧均应装设熔断器，其熔体额定电流不得大于变压器额定电流，外壳、铁心和低压一侧均应可靠接地。
- (6) 行灯电压不应超过36V，在特别潮湿场所、狭小工作场地或金属容器内工作时，电压不应超过12V。

(7) 一次侧电源线长度一般不应超过 3m，并采用护套线。灯体引线不得过紧，以免损伤导线。

(8) 至少每月检查一次绝缘电阻，其阻值不得低于 $0.5\text{M}\Omega$ 。

十、节日彩灯的使用注意事项

(1) 彩灯线路敷设应采用绝缘软铜线，干线和分支线的截面不应小于 2.5mm^2 ，灯头线截面不应小于 1.0mm^2 ，每一分支线的工作电流不得超过 10A。

(2) 彩灯电源除统一控制外，每一分支路线都应有单独控制开关和熔断器。

(3) 彩灯线路的支持物应安装牢固，导线不应承受拉力。

(4) 彩灯线路水平敷设在人能触及处时，应悬挂“电气危险”标示牌，线路垂直敷设时，离地面高度不得小于 3m。

(5) 节日牌楼彩灯与地面距离小于 2.5m 时，应采用安全电压。

十一、霓虹灯的使用注意事项

(1) 霓虹灯应与变压器配套使用，不应与其他电源共用一回路。

(2) 灯管的高压导线应采用高压绝缘线或套有玻璃管的裸铜线；穿墙导线应套在双层玻璃套管内，套管应露出墙面 50mm~80mm；高压线之间、高压线与敷设面之间不应小于 50mm，而支持物之间的距离当水平敷设时不应小于 500mm，垂直敷设时不应小于 750mm。

(3) 导线连接处应错开位置，连接点套有玻璃管的长度不应小于 100mm。

(4) 吊灯距地面高度不应小于 2.5m，否则应可靠遮护。

(5) 灯管距地面高度不应小于 4m，距阳台、窗口、架空线的高度不应小于 1m。

(6) 灯管与易燃物体、管道、其他线路等的距离不得小于 300mm，室外霓虹灯的铁架及拉线到高压架空线的距离不得小于 2m。

(7) 每一分支路上的霓虹灯变压器的负荷电流一般不应大于 15A。

(8) 变压器的一次侧电压为 220V，二次侧电压不应超过 15kV，且二次侧短路电流应不大于 50mA。

(9) 变压器应尽量装在霓虹管附近，并应有可靠接地，离地面高度不得低于 2.5m，否则应采取保护措施。

十二、黑光灯的使用注意事项

(1) 黑光灯距地面高度不应小于 1.4m，防护栅栏高度不应低于 1.2m。

(2) 高压电源应由专用的单相变压器供电，二次侧高压电流不宜大于 20mA，变压器容量一般在 60V·A 左右。在一次侧低压回路中可串联一个与变压器容量相适应的灯泡，在高压侧发生短路时，对低压侧起限流作用，同时发出灯光信号。

(3) 高压栅网可用直径为 4mm 的镀锌铁丝做成，栅网分成两组，隔挡交错形成两个电极。当昆虫触碰电网时，两档铁丝间便发生高压短路，使昆虫被电击杀死。

(4) 因栅网电压高达 3kV~4kV，在灯周围应加设防护栅栏，并在 1m 之内人蓄不能接近，还应悬挂“高压危险”的警告牌。

(5) 移动或检修灯具时必须断开电源，灯具的金属外壳必须接零。

(6) 3W 黑色荧光灯外壳玻璃破碎后，由于内管带电，严禁触及。

(7) 灯管有强紫外线辐射，不能长时间近距离直视灯管，以免伤害眼睛。

(8) 灯管必须与镇流器、启辉器、变换器配套使用，否则造成启动困难，使用寿命缩短。

(9) 灯管破碎后要及时妥善处理，以免毒害物质伤害人体。

十三、临时照明使用注意事项

(1) 工地照明可由附近低压配电干线供电，接线时应从干线的电杆上分出支路，先进入主配电箱，再分配给照明路，若工地

面积较大，照明器数量较多，应设分配电箱。

(2) 配电箱内的低压控制电器和保护电器应配齐，并设有防雨防尘装置。

(3) 各支线的负荷电流不应超过 15A（较大工地可适当放宽到 30A），而照明器和插座不得超过 20 个，可防止一处短路造成大面积停电。

(4) 电源线应采用绝缘导线，必要时可采用橡套电缆，且尽量架空敷设或穿管敷设，不准将导线拖在地上，不得已将导线拖在地面时，应采取防护措施。

(5) 绝缘导线架空敷设时，应采用绝缘子或瓷珠固定，不能用绳索捆绑，更不准捆绑在金属物体上，导线接头要牢靠，还应包好绝缘。

(6) 工作棚、场地应采用分路控制，但应使用双极开关，灯具距地面高度不应小于 2.5m。

(7) 露天应采用防水灯头，使灯头与干线连接其接点应错开位置 50mm 以上。

(8) 灯头与易燃物的净距一般不小于 300mm，聚光灯、碘钨灯等高热灯具与易燃物的净距一般不小于 500mm。

第十七章 家用电器

第一节 家用电器的一般安全要求

一、概述

随着广大人民生活水平的逐步提高，家用电器已走进千家万户。如何正确使用家用电器，保证人身安全，是广大家电使用者的迫切要求。为此，就如何安全使用家用电器及维修注意事项做如下简要介绍。

(1) 不论哪种家用电器都离不开电，首先在使用家用电器前先看电压要求，不要插错电源。

(2) 对需要接地线的家用电器，在使用前一定要接好地线。

(3) 在使用之前要认真阅读使用说明书。

二、家用电器的接地要求

我国家用电器大部分都是采用 220V 或 380V 交流电作为供电电源。在使用过程中因某种原因，如潮湿、绝缘程度不好等引起漏电，至使家电的外壳带电，如果人站在地上操作就会引起触电，轻者则稍麻一下，重者会引起人身伤亡。

据有关资料表明 1mA~5mA 的 50Hz 交流电通过人体时还不会造成生命危险，但 10mA 的 50Hz 交流电通过人体时就会造成生命危险了。

我们所说的接地保护是为了解决家用电器漏电对人体危害这一问题。所谓接地是把家电的外壳与地之间连接一条导线，接地电阻应小于 5Ω 以下。因此，为了确保安全使用家用电器，避免在使用过程中出触电现象，家用电器一定要接好地线。

三、电视机、收录机等设备不接地

这类家用电器的外壳一般都用非金属制成，除高压漏电外，没

有外壳带电现象。它们外露的金属元件，如拉杆天线、功能开关、旋钮和插头等大多与机内地线直接或通过电容连接。而且这类设备内部大多数采用电源变压器。因此只要电源部分的消噪电容不击穿，或电源变压器一次绕组与地之间的绝缘不损坏是不会漏电的。况且电源一次绕组都装有额定的熔丝，一旦短路会立即熔断。至于高压部分漏电，因为电流小，对人体不会有生命危险，所以接地就没有多大的必要了。对于像彩电这些不用电源变压器的家用电器，其外露金属元件设计时是不允许与机内地线直接相连的。都用小电容或变压器予以隔离，其隔离电容和变压器都具有良好的耐压击穿性能，如彩电中就采用了耐压 1000V~4000V 的电容作为隔离电容。

四、电冰箱、洗衣机、电风扇必须接地

这类家用电器要求接地的原因有：一是直接采用 220V 交流电供电；二是金属外壳一旦漏电外壳就会带电；三是操作比较频繁、人接触的机会比较多，造成漏电的原因也较多。如电源线老化、破损，电容器老化击穿等；电冰箱的温控器、洗衣机的电动机、电风扇的调速器等部件都会因性能下降或损坏引起漏电，特别是洗衣机和水打交道，虽然设计时采取了绝缘措施，但稍有不慎，将水溅到有关部件，就会引起漏电。因此，上述电器必须安装可靠的接地线。

五、接地时应注意的事项

(一) 非金属自来水管不能作为接地体

有些自来水管是真正接地的，将它作为接地体是可以的。而有些自来水管，特别是楼房建筑的自来水管，采用了非金属管、接头或垫片，并没有真正接地。如果误认为接地，把它们作为家电接地体，家电电器一旦漏电，其危害极大，会使相通的金属管都带电。因此，在没有把握确认水管可靠接地的情况下，绝对不要用它作为接地体。

(二) 煤气管不能作为接地体

煤气管道即使可靠接地，也不能作为接地体。因为它的危险

性很大，容易引起爆炸，因此，它绝对不能作为家用电器的接地体。

（三）避雷针不能作为接地体

避雷针虽然是接地了，但同样不能作为家用电器的接地体。因为避雷针实际上是采用雷入地的原理，所以打雷时，有强大的电流通过避雷针引入大地，在接电阻上就会产生电压降。如果它作为地线，就有把雷电引到家用电器上的危险，那可真是“祸从天降了”。

（四）其他一些不标准的接地法

有些人对地线的要求不了解，对地线的重要性认识不足，误认为接地只要用一根导线与大地连接就可以了，简单地用一根铁丝往地下一插，或用铁钉往墙缝里一插，甚至用导线往地上一丢就算接地，这些简单的接地法是很不可靠的，危险性很大。

（五）怎样才算正确地接地

要保证接地安全，必须有良好地接地体，它要求接地电阻小于 0.4Ω 以下，因此接地体安装是比较严格的。常用的方法是选用一块面积不小于 1m^2 的钢板（铜板更佳），也可用角钢焊一个长方形的架子，越大效果越好，一般在 $2\text{m}\times 4\text{m}$ 以上，然后将它埋入地表以下 2m 左右的深处，并用导线引出就可以了。为了增强接地效果，埋接地体时，还可以在接地体的周围撒一些食盐。至于家用电器怎样接地呢，有些家用电器在外壳上有接地符号，只要将接地体与它接上就可以了。大部分需要接地的家用电器都使用三线插头，其中就有一根为接地线，可以将地线安装在电源插座内即可。

六、安全用电的注意事项

（1）在家用电器使用之前，首先阅读其使用说明书，掌握产品的额定电压是否与当地电压、电源频率、额定功率、熔断器、电度表、导线负荷能力等是否相符，方可安装通电。

（2）安装使用环境的要求，不要把家用电器安装在潮湿、有热源、灰尘多、有易燃和腐蚀性气体环境中。

(3) 在敷设电源线路时,相线、零线的标志应清楚,以便于识别,并与家电连接相一致不得接错,必须装有开关和接头,禁止用单相双孔插座代替单相三孔插座,以防插错,发生触电事故。

(4) 接地线、零线在正常情况下是不带电的,但为了安全,不得在地线和零线上接开关或熔断器。也禁止将地线接到自来水、暖气、煤气或其他管道上。

(5) 家用电器使用通电前,按说明书的要求将开关、手柄置于原始停机位置,按说明书开、关顺序操作。有运动的部件要事先考虑留有足够的运动空间,如通电后发生异常,应立即关机并断开电源,请内行人检修。

(6) 家用电器在使用过程中,不得用湿手触开关或金属外壳,更不能用湿手摸电器元件或灯泡,对于手拿电器如电吹风、电烙铁等,不要将地线绕在手上。移动电器时要断开电源,禁止用手接触导线拔电源插头。人经常接触的电热器具,安装过热保护装置。在使用过程中如有异味和异常噪声,立即断开电源并及时检修。

(7) 所有家用电器源引线,不得有裸露处,如有应用电工胶布包扎,不得用一般胶布或伤湿止痛膏之类代替。

(8) 经常使用的家用电器,应保持干燥和清洁,对供电线路和设备定期进行检查,发现破损及时用电工胶布包扎。在雨季前和长时间不用而又重新启用的家用电器,应用500V兆欧表测量其绝缘电阻,当绝缘电阻不低于 $1M\Omega$ 时,方可使用。

(9) 家用电器使用完毕,随手切断电源。紧急情况切断导线时,必须用绝缘钳,或带绝缘柄的刀具,千万不可用手去硬拉电源线。

(10) 家用电器或导线发生失火,在切断电源之前,不得用水去扑灭。因为水能导电,往往可能发生触电事故。

第二节 电 热 毯

一、电热毯的安全要求

电热毯是一种比较理想的电热取暖器具,在使用中,由于人

们对它的特性缺乏了解，不懂防火安全常识，以致每年都发生一些因使用不当引起火灾的事故。

现在，市场上的电热毯主要有二极管半波整流的调温型、改变发热元件电阻的调温型、具有变压器降压的调温安全型和普通型四种。通过大量的火灾案例看，引起火灾事故最多的是普通型电热毯。

普通型电热毯直接采用 220V 交流电源，用手动开关控制表面温度。引起火灾的主要原因有两种情况。

(1) 在使用过程中，电热毯上下面用棉织品紧紧裹着，使用后又忘记切断电源，长时间通电热量不能散发，致使电热毯周围局部过热而燃烧。

试验表明，使用 220V 电压的普通型电热毯在长时间通电情况下，电热丝发热，温度逐渐上升，其上升温度主要与电热毯的质量、干湿程度、电压影响、放置状态及通风散热条件等因素有关。当温度上升到 134℃ 左右时出现糊味；上升 180℃ 时，毯料发黄开始焦化；上升到 200℃ 上时，毯面开始冒烟；250℃ 时冒出浓烟，并出现火焰。

(2) 将普通型电热毯折叠使用，使热量集中过热起火。因此，电热毯，特别是直线型电热毯，在使用中要尽量减少在同一位置上反复折叠存放，避免电热毯疲劳断裂。普通型电热毯不宜在沙发床、钢丝床或棕床上使用，以免使电热线受伸拉、揉搓、集堆、打褶或断裂造成电阻过大而局部过热，或因断裂而产生火花及电弧引起火灾。

另外，普通型电热毯也不要与其他热源，如火炕、热水袋等共同使用，这样使用局部过热情况更为严重，容易引起燃烧。

因此，为保证电热毯使用安全，使用时要严格按说明书要求操作，以防万一，在不使用或在人离开时，应将电热毯电源插头拔下来。

二、电热毯使用注意事项

使用电热毯，舒服、暖和解乏，犹如北方人睡传统火炕，并

对慢性关节炎、风湿症、腰腿痛患者有医疗使用。但对某些人会产生副作用，甚至会造成危害，则不宜使用电热毯。

(1) 生活不能自理的生病老人不宜使用电热毯以免排尿后发生短路和漏电事故。

(2) 为防皮肤干燥，皮炎患者不宜使用电热毯。

(3) 婴幼儿不宜使用电热毯，这是因为婴幼儿正处在长身体时期，需要较多水分，使用电热毯水分蒸发较多，不利儿童发育。

(4) 孕妇不宜使用电热毯，以免胎儿受电磁波的影响造成流产或使出生后的孩子智能低下。

若确系天冷床凉，以上不宜使用者需要使用电热毯时，可以在入睡前半个多小时预热被褥，睡觉时将电热毯电源引线插头从电源座上拔下，彻底切断电源，则就不会产生副作用和造成危害了。

三、电热毯的维修

(一) 电热毯的电热丝的维修

电热毯出现不发热的故障，一般是电源引线或电热毯内电热丝断开，可以自己连接。具体方法是：先设法找到断点处，区分是电源线与电热丝的连接处断开，还是电热丝之间断开。前者可采用压接法的方法连接，即把电热丝与电源线绞接后再用金属片做一个卡箍将接头处卡紧，再用塑料套管热封即可。如果是后者的话，接法又不同。因为电热丝一般是采用双重绝缘结构，即在电热丝表面上包裹了一层绝缘材料。同时，电热丝像钢丝一样比较刚硬且富有弹性，对接时容易松动，因此连接电热丝时，先要用锋利的坚硬物把断处的绝缘层刮掉，露出约 10mm 的两根裸露电热丝断头，把两端并行绞接在一起，然后涂一层锡，再把两头彼此缠绕 5~9 圈，用焊锡焊牢，然后在对接头处涂上一层绝缘漆，用绝缘带包扎好即可。

(二) 电热毯漏电的维修

电热毯漏电故障的原因有：一是电热毯受潮严重而漏电，这时只要对电热毯进行除潮就可解决电热毯漏电，除潮可用凉晒法，也可在不使用电热毯的情况下通电加热 2h~3h，利用电热除潮；

二是由于某种原因使电热丝的绝缘层破损而引起漏电，可用绝缘布对破损处进行包扎；三是电热丝绝缘层老化而漏电，说明电热毯的使用寿命即将结束，应及时停止使用，以免发生意外。

(三) 改进电热毯通电指示器

电热毯多带有调温开关，采用发光二极管来指示电热毯的工作状态，其实这个发光二极管通过阻流电阻后是并联在电热毯的两端，因此它不能指示电热毯是否能通电工作。即使电热毯断丝后，它仍能发光，而且一般电热毯要通电半小时后，才能觉察到被褥温度升高。如何迅速知道电热毯是否通电工作，现介绍一种方法，使调温开关真正指示电热毯的通电情况，改进后的电路如图 17-1 所示，用三个二极管（1N4004）和发光二极管并联，取消原来阻流电阻，然后与电热毯串联，一旦电热毯断丝 V_5 就不再发光， V_5 是调温开关里原有的。三个二极管是新增的，原有的限流电阻废弃不用。当 S 拨向低温档，即 S 与二极管 V_1 相连，流过电热毯的半波交流电，其电压峰值并未下降， V_5 仍能发光指示。当 S 拨向空档， V_5 才熄灭。通过这样的改进，其安全性和稳定性却大大增加了。这种指示电路也可以安装在普通的家用小型开关盒内，做为家用电器电源开关状态的指示。

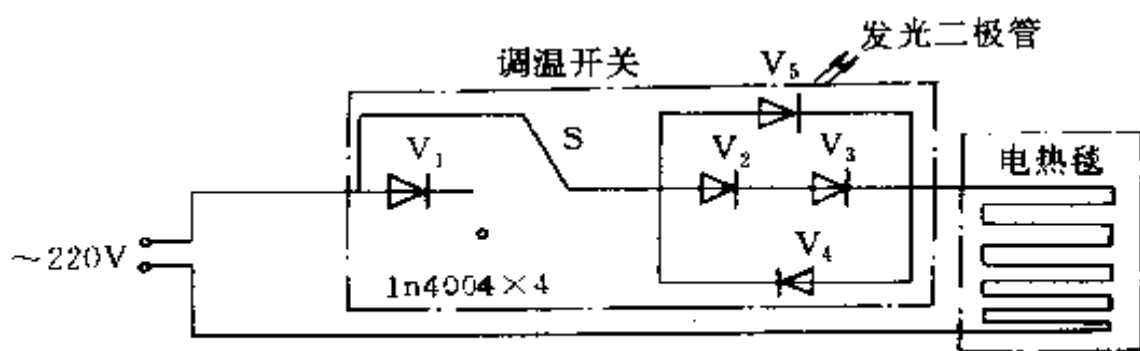


图 17-1 电热毯改进后的指示器电路

第三节 电 熨 斗

电熨斗是利用电热元件发出的热量来熨烫各类织物的电器。

目前生产出售的电熨斗主要有三种类型：即普通型、自动调

温型和蒸气型。其功率有 200、300、500、750、800、1000W 等。

一、电熨斗的使用与安全要求

普通型电熨斗无调温装置；自动调湿型的温度可控制在 $60^{\circ}\text{C}\sim 230^{\circ}\text{C}$ 之间，这种电熨斗使用方便，熨烫质量好，而且省电，可根据不同织物的需要，用旋钮随意调节湿度；蒸气喷雾电熨斗的底板能代替人工自动喷雾，以保证熨烫质量。

选择电熨斗应注意是电气性能，可用试电笔检查电熨斗外壳和底板，当接通电源时，若试电笔不亮，说明绝缘性能良好。若手头没有试电笔可用手背轻轻碰触金属部分，如果没有麻电感觉，说明电熨斗不漏电。如带电，说明电源线接错，或内部漏电，一定要查明原因。如果通电几分钟，底板就发烫，说明电熨斗的电路是完好的。

电熨斗的铭牌所规定的电压应与电源电压相符合，带有接地线的电熨斗，其中三芯线中的一根（一般为黑色或绿黄双色线）是接地线切勿接错。自配线时，长度不宜过长，以 2m 为宜。如果过长，让电源线拖在地上，人走动时可能绊到以致摔倒或烫焦熨烫的衣料。

电熨斗第一次使用时，应用棉纱或软布擦去表面所涂的防锈油脂，在熨烫中如果湿度太大（指不调湿型）应断开电源慢慢降低湿度，严禁用冷水洒泼降温。对自动调温型电熨斗，在使用前应根据所熨烫衣物的性能，将旋钮对准合适温度标志。用完后要把调湿旋钮复位到“关”或“冷”上。

蒸汽喷雾型电熨斗是在调温型电熨斗的基础上，增加喷射蒸汽和水雾功能的新型电熨斗。使用时一定要加水通电，试验喷雾和喷蒸汽功能是否良好，检查各旋钮是否灵敏可靠。使用蒸气喷雾电熨斗需要格外注意的是，喷汽喷雾用水必须是蒸馏水或煮沸过的冷开水，以防止水垢堵塞汽孔。使用中若发现滴水孔堵塞，应及时用尼龙丝或钢丝畅通，也可用自行车打气筒对准汽孔打气，使喷汽孔畅通。在熨烫间歇暂不使用时，应将电熨斗竖起放置，不要平放在工作台上。及时清除电熨斗外壳表面的污物，为了避免

该类污物的产生，在烫熨化纤织物时，可垫一块干净的湿布。如出现黑斑，不能用小刀等利器刮，这样会破坏电镀层。最方便有效的方法是先一块湿布沾上牙粉或牙膏，慢慢擦试锈斑处，待擦净后，再涂上一层蜡，接上电源，将蜡熔化再擦。如果锈斑部位在电熨斗的底面上，可用一块废布作垫，稍用些力来回多熨几次，用此方法除污物，不但不会破坏电熨斗电镀层，而且有使其恢复原有光泽和平整度。熨烫完毕后应断开电源，等底板温度降至室温后时，再将导线绕好，把电熨斗装盒放在干燥通风处保存，不得使电熨斗受潮。

以上三种类型的电熨斗，相比较来讲，普通型电熨斗危险性更大一些，这种电熨斗无调温装置，不能调节温度。当加热到一定温度时，需要人工将电源断开，否则电熨斗的温度会不断上升，导致事故的发生。一般来讲 300W 的电熨斗的温度为 520℃ 左右；500W 的为 600℃ 左右；700W 的为 620℃ 左右；1000W 的为 700℃ 左右，这些温度足以引起一些可燃物质燃烧。因为在通常环境中一般的棉织品、纸制品以及木制品等的燃烧点在 200℃~300℃。试验表明，把一只 700W 的普通型电熨斗插入插座，通电 1h 后，熨斗表面温度为 620℃，将其放在一个悬空 10mm 厚的松木台板上，过 15min，木板就开始冒烟，25min 后，烟的扩散半径可达 2m，35min 后，木板炭化，并有火星的炭火向下及四周延烧，90min 后台板就被烧穿，电熨斗从洞内坠下，电熨斗导线也开始着火。

自动调温型电熨斗和蒸气型电熨斗虽然比普遍型电熨斗的危险性小一些。但在使用中不注意，同样是会引起火灾的。比如自动调温型电熨斗的指示灯发生故障，不亮了，双金属片失去了作用或导线短路，蒸气型电熨斗里头没有了水，如果通电时间过长就会引起火灾，因此在使用时也必须注意。

二、全塑蒸气电熨斗的维修

(一) 指示灯不亮的维修

在电源正常的情况下，指示灯不亮是由于发光二极管或限流电阻损坏造成的，发光指示电路是将发光二极管和限流电阻串联

起来接在电源端，由于电阻阻值较大，损坏的可能性较小，故发光二极管损坏的可能性较大。检测时可用万用表进行判断，也可用两节一号电池试验，如果测定发光二极管坏了，换一只新的就可以了。

（二）蒸汽较少的调整

蒸汽熨斗射出的蒸汽量少，要首先检查喷气孔是否堵塞，若不是堵塞，可再检查储腔中清水是否足够，若水少了，加一些自来水就可以了。

（三）指示灯发光但无蒸汽喷出的维修

指示灯发光说明电源正常，如果通电很长时间还没有蒸汽喷出，则说明是加热电极断线。这种现象一般不常见，如果出现这种现象，可在底板上方约 10mm 处用锯锯开，这样便可拆下底板。底板拆下后检查左右两电极引线是否断裂，如果有断线可重新焊接，焊好后可用环氧树脂或其他不溶于水，耐高温粘合剂将底板与熨斗体粘接起来，粘接处应无漏水现象。

（四）全塑电熨斗电板的修理

全塑电熨斗的工作原理是采用两个硅钢片电极，电解加热水使水汽化进行熨烫。由于电极板工作在高温下与水接触，故很容易被氧化生锈，这样就延长了水的汽化时间和缩短使用寿命。现将改进方法介绍如下：把底座沿边打开，把电极板取下用细砂纸除锈，然后在极板上钻上几个小孔，再用焊锡在孔的两面点牢，这样即使极板锈蚀，由于锡点之间仍可通电工作，其使用寿命可大大延长。注意在粘接底座时，要用能耐温 100℃ 的粘合剂粘合。

（五）电熨斗发热元件断头的修复

电熨斗发热元件系扁平线，被绕制在云母片上，等距排列成圈匝状。当电熨斗跌落触地引起热元件断头，断头常在云母片的侧面处，当断一匝或两匝，这时可取二只大头针，用手工钳把大头端剪齐，并从靠近断头圈匝左右两侧的一匝中，分别对称楔入圈匝里，使其紧密搭接，增大接触面，减少接触电阻，从而使断头圈匝处在中间位置，与左右侧的各一圈匝直接搭通构成回路，采

用路接修复的方法，然后垫好云母片压紧压平垫铁，再用万用表测试所垫元件的直流电阻值，小于原电阻值的 1%~2%，电流略有增大，但不影响其正常使用，再用 500V 兆欧表来测试相线对地绝缘电阻值，不少于 1mΩ 为合格。

(六) 电熨斗发热元件电阻值增大的处理

电熨斗心子的发热元件直流电阻值增大，一般产生在它的电源接线柱头上。原因有二：其一是在使用过程中，电源插头与接线柱的接触面松动而生热，在热的作用下，加速接线柱氧化使电阻增大；其二是由于保管不善，暴露在空气中，天长日久，与氧化合生成氧化铜，会增大直流电阻值。以 300W 电阻丝自制电熨斗心子为例，正常电阻值约为 130Ω，若氧化厉害，其值可达 2300Ω 以上，不仅耗电明显增加而且还会影响正常使用。

处理方法是用手工锯条，锯片中间在砂轮上磨成半圆形，利用半圆形刀口刮掉接线柱上的氧化铜层，直至露出本色金属为止，而后用表测试电熨斗心子的直流电阻值，约 130Ω 为合格。

(七) 电熨斗调温器的检修

为适应不同织物不同熨烫温度的需要，调温型电熨斗可在 60℃~230℃ 范围内任意调节温度，使用很方便。但由于使用久远或调温器性能下降，调温器的实际控制温度和显示温度往往有很大差别，温度偏高或偏低，甚至完全不能调温，遇到这类故障可作如下检修：

(1) 温度偏高或偏低，遇有这情况，应卸下电熨斗罩壳，用小改锥旋转调节小螺钉，温度偏高，逆时针旋转小螺钉；温度偏低，顺时针旋转小螺钉。一般来说，每顺时针旋转小螺钉半圈，温度升高 25℃，若逆时针旋转小螺钉半圈，温度降低 25℃。标准的时候，最好用较高温度的温度计测量底板温度，具体检修方法是：先把调温旋钮逆时针旋转到最低温度档，插上电源插头，指示灯亮，底板温度上升，调温器上的双金属片变曲。当调温器的动触点和静触点分离，指示灯熄灭时，温度计的温度应当在 60℃~80℃ 之间，如果温度偏高或偏低，就要拔下电源插头，根据旋转小螺钉

温度变化的原则，适当旋转调节小螺钉。

其次是把调温旋钮顺时针旋到最高温度档，插上电源插头，温度逐渐上升，此时测得的最高温度应当在 220°C 左右，同样如果温度偏高偏低，适当旋转调节小螺钉，使最高温度稳定在 220°C 就可以了。当其最低和最高温度准确了，处于 $60^{\circ}\text{C}\sim 230^{\circ}\text{C}$ 之间的各档温度，应基本和调节旋钮时显示温度相符。

(2) 调温性能失灵，调温性能失灵，有两种情况，一是电熨斗不发热，这是因调温器动静触点严重氧化，造成电路不通；另一种是电熨斗温度无限升高，这是由于电弧使动静触点烧死而粘合在一起不能断电造成的，这两种情况都要拆开电熨斗，用油石或细砂布对触点表面仔细修整，使动静触点分离，并能灵活接触和分离。

第四节 电 冰 箱

一、电冰箱的性能和贮存能力

电冰箱是一种小型冷冻冷藏设备，各国设计制造的电冰箱种类、结构、用途多种多样，冷冻室的温度也各有不同。国际上都采用 ISO 标准的“星式”表示法，来表达电冰箱的冷冻贮存能力。☆表示冷冻室温度低于 -6°C ，食品可存放一星期；☆☆表示冷冻室温度低于 -12°C ，食品可存放一个月；☆☆☆表示冷冻室温度低于 -18°C ，食品可存放三个月。

二、电冰箱的分类

电冰箱的分类方法很多，现介绍常用的分类方法如下：

按电冰箱外形分类有立式、卧式、壁式、手提式等。

按电冰箱门型式可分为单门、双门、三门等。

按制冷方法分类有蒸发沸腾制冷的机械压缩式电冰箱，用吸收扩散制冷的吸收式电冰箱，用半导体制冷的半导体式电冰箱。

(一) 压缩式电冰箱

压缩式电冰箱包括活塞压缩式、旋转压缩式、磁振荡压缩式三种。活塞压缩式又根据其安装结构分为开启式、半封闭式和封

闭式，它们区别主要在于压缩结构的型式不同。

1. 开启压缩式电冰箱 开启压缩式电冰箱的压缩机与电动机是分立的，中间用传动带传动。这种结构是早期电冰箱普遍采用的主要型式。它的缺点是噪声大、体积大、效率低、制冷剂容易泄漏。为了克服这些缺点，后来生产了半封闭和封闭式压缩机。

2. 半封闭压缩式电冰箱 这种压缩机是将电动机垂直装在一个钢板制的可拆卸的外壳里，电动机用四个吊簧吊在壳子里，壳内装有润滑油，电动机轴直接带动压缩机。

3. 封闭压缩式电冰箱 这种压缩机与半封闭压缩机基本一样，只是压缩机的封闭壳上下两部分焊接密封成一体，成为全封闭压缩机。

现生产的封闭式压缩机，将曲轴连杆改为简单的曲柄滑管结构。这样可以省电，使用安全可靠，使用寿命达 50000h，连续使用 10~15 年。由于封闭压缩式电冰箱具有以上这些优点，成为各国生产电冰箱采用的主要型式。

4. 旋转压缩式电冰箱 这种旋转压缩机和旋片真空泵结构相似，旋转压缩机主要由主轴、转子、柱塞、排气阀和缸体组成。由电动机带动主轴、转子旋转，柱塞把缸内分隔为低压区和高压区。当转子贴近高压排气口时，低压区容积最大，吸满了气体，随着转子旋转，低压区容积由最大变为最小，气体压力逐渐升高，低压区变为高压区。当转子贴近高压区排气口时，高压容积为零，高压气体全部被压缩到机外。经过转子连续旋转，不断产生压缩气体。由于有柱塞的分隔，在低压吸气口不需要装低压阀，为防止高压气体回泄，在高压排气口装有高压阀。

把旋转压缩机直接装在电动机轴的一端，然后一起装在密封的金属机壳内做成封闭式。这种压缩机具有结构简单、噪声小、效率高的优点。但旋转压缩机的零件加工精度要求高，要求有很高的耐磨性，而且要有可靠的润滑系统。因此制造成本高，目前这种电冰箱生产数量很少。

5. 电磁振荡式电冰箱 这种电冰箱采用电磁振荡压缩机，这

种压缩机是由电磁铁直接驱动活塞进行压缩。当电磁线圈接通交流电后，电磁线圈产生与交流电频率相同的交变磁场，使永久磁铁带动活塞往复压缩。这种压缩机结构简单、体积小、成本低，压缩机的排气量、制冷量可以调节。缺点是功率小，活塞行程短，排气量、制冷量小、弹簧易疲劳。因此，这种压缩机只适用于制做小型电冰箱。

(二) 吸收式电冰箱

吸收式电冰箱采用连续吸收-扩散制冷系统。在制冷系统中灌注制冷剂——氨，吸收剂——水，扩散剂——氢。

吸收式电冰箱没有机械传动部分，故没有噪声，可以使用多种热源，如煤气、天然气、锅炉余热、电热和太阳能等。吸收式电冰箱特别适用于没有电源的地区，它的缺点是效率低。

(三) 半导体式电冰箱

半导体电冰箱采用半导体温差电效应制冷。把一个P型半导体元件和一个N型半导体元件用金属连接起来，组成一个半导体电偶，如图17-2，当接通直流电时，半导体电偶的一端变热，另一端变冷。改变电源的极性，可使电偶的冷端变成热端，热端变成冷端。

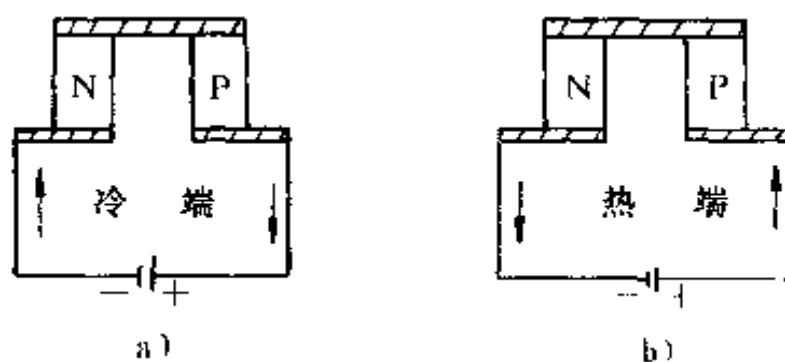


图 17-2 半导体电偶制冷原理图

每个半导体电偶产热量很小，只有 $2.09\text{J/h} \sim 4.18\text{J/h}$ （视元件大小而异）。为了满足实用要求，常将若干个半导体电偶串联起来使用，把串联后的半导体电偶的冷端与氧化铝粘合在一起，构成吸热器，使其伸入箱内吸热制冷，热端用冷水循环冷却，如图

17-3 在使用时，应注意电源极性，不能接反，否则冷端变成热端，热端变成冷端。

半导体式电冰箱的优点是没有机械传动部分、不需制冷剂、无噪声、结构简单，改变电流大小即可改变制冷量，改变箱内温度。缺点是制冷量小、耗电量大、效率低、价格昂贵。

三、电冰箱的修理技术

（一）电冰箱的正常工作状态

要想正确使用、维护、修理电冰箱，弄清电冰箱的制冷原理及正常工作状态是非常必要的。

一般来说，一台完好的电冰箱在接通电源时，可以听到电冰箱轻微“嗒”的一声，这是启动继电器开关闭合的声音。随着压缩机启动运转，电冰箱微微颤动，噪声很小。电冰箱工作半小时后，用手摸电冰箱背的冷凝器应发热，压缩机上端的低压吸气管就冰凉。打开箱门蒸发器已结成一薄层均匀的霜，用手指蘸水去摸蒸发器，手指会有被粘住的感觉，说明蒸发器工作正常。把耳朵靠近蒸发器，会听到像气流和流水似的声音。把温度控制器的旋钮调到中间位置，关闭箱门，电冰箱工作一段时间后，箱内温度下降到温度控制器所控制的温度，温度控制器的开关断开，压缩机停止工作。过一段时间，箱内温度升高，温度控制器的开关接通，压缩机又启动工作，箱内温度下降。压缩机开机，停机受温度控制器控制。第一次停机后停机时间应不少于 10min，开机时间应不超过 10min，停机时间始终应大于开机时间。一般来说，压缩机停机时间越长和开机时间越短越好。停机时间长说明箱体保温好，开车时间短说明压缩机效率高。制冷量大，降温快。

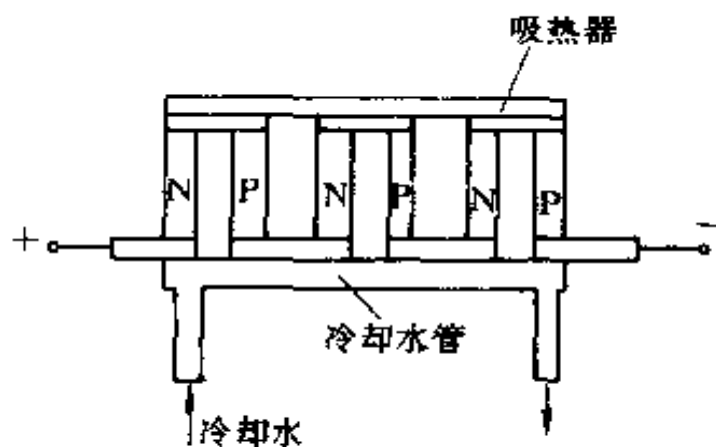


图 17-3 半导体电冰箱制冷示意图

在电冰箱工作时（环境温度为 $15^{\circ}\text{C}\sim 43^{\circ}\text{C}$ ）箱内冷藏室的温度应能控制在 $0\sim 8^{\circ}\text{C}$ 范围内，压缩机工作电流应在额定数值之内。压缩机每次启动时间不应超过 2s 。在电冰箱连续工作时，压缩机温升最高不超过 80°C ，工作时噪声不应大于 70dB ，质量高的压缩机噪声在 45dB 以下，在室内安静的情况下，可以听到压缩机的“嗡嗡”声。

（二）修理电冰箱使用的工具

修理电冰箱时，常用主要工具如下：

（1）自耦调压器一个，其功率为 $1\text{kV}\cdot\text{A}$ ，电压调节范围为 $0\sim 250\text{V}$ 。

（2）小型配电盘一个，配电盘上装有 $0\sim 250\text{V}$ 交流电压表一块（指示电源电压高低） $0\sim 14\text{A}$ 交流电流表一块（指示压缩机的启动电流和运转电流大小）， $10\text{A}/250\text{V}$ 单相安全电源插座三个， $10\text{A}/250\text{V}$ 双刀单掷开关一个， $10\text{A}/250\text{V}$ 单相电源插座一个。

（3）钳型交流电流表一块，量程应为 $0\sim 10\text{A}$ ，钳型交流电流表使用方便，可用于外出修理电冰箱和使用配电盘不方便的情况。

（4）万用表一块。

（5）各种规格的旋具（螺丝刀）。

（6）组合工具一套（俗称灌气工具），它包括直角阀一个，真空压力表一块（量程为 $0\sim 1600\text{kPa}$ ）以及连接用的铜管和锁母。直角阀关闭时不能有渗漏，使用前必须对直角阀进行打压及定压检查。用组合工具对制冷系统进行检漏，干燥抽空，充灌制冷剂。

（三）电冰箱故障的判断与修理

（1）用摸、听、看的方法检查电冰箱的故障。在电冰箱工作的时候，根据制冷剂在制冷系统中循环发生的相态变化，用手摸、耳听、眼看的方法，就可找出电冰箱存在的故障。

1) 手摸，电冰箱在正常工作时，其制冷系统各零部件的温度一定，而各不相同，根据各部分的温度变化就可以判断电冰箱是否存在故障。

一台完好的电冰箱在连续工作时，冷凝器的温度为 55°C 左右，其上部最热，中间稍热，下部接近室温。冷凝器的温度和环境温度有关，冬天气温低，冷凝器温度低一些，发热部位小一些；夏天气温高，冷凝器的温度也高一些，发热部位大一些。高压排气管温度很高，用手摸时，夏天烫手，冬天很热。低压吸气管温度低，夏天管壁结满露水，用手摸发凉，冬天用手摸冰凉。蒸发器的温度达到 -15°C 左右，用手指蘸水摸时，立刻被粘住（冻住）。在电冰箱内存放物品较多，进行第一次降温时，因压缩机长时间连续运转，用手摸密封机壳感觉很热，平时，压缩机能自停自开，用手摸压缩机密封壳感觉稍热。如果用手摸以上部位，感觉与正常工作温度相差较大时，则判断电冰箱发生了故障。

2) 耳听，电冰箱在正常工作时，高压氟里昂制冷剂通过毛细管进入低压的蒸发器里，迅速蒸发沸腾，同时发出气流声和流水声，只要把耳朵贴近蒸发器就可以听到这种声音。如果听不到这种声音，或时有时无，或很微弱，就说明制冷系统工作不正常。

此外，当压缩机发出“当当”的撞击声时，这是因为压缩机内吊簧折断，压缩机倾斜运转发出的声音。当压缩机发出“嗡嗡”声时，这是电动机不能启动的声音。

3) 眼看，电冰箱在正常工作时，液态制冷剂在一定压力下，在蒸发器内蒸发吸热制冷，可达摄氏零下十几度低温，在蒸发器表面上应有一层均匀的薄霜。如果发现蒸发器无霜，或上部结霜下部无霜，或结霜不实都说明制冷系统工作不正常。

除观察蒸发器的结霜情况外，还可以从以下几个方面着手检查：

为了判断电冰箱是否存在故障，可将手摸、耳听、眼看三种方法结合起来进行检查。例如，冻堵故障：接通电源，电冰箱工作。一开始，蒸发器结霜很好，用手摸冷凝器发热，低压吸气管发凉，把耳朵贴在蒸发器能听到气流声和流水声。过一会，蒸发器结霜溶化，只在毛细管与蒸发器的结合部有少量结霜，用手摸冷凝器不热，低压吸气管也不凉，把耳朵贴近蒸发器听不到声音，

(四) 电冰箱漏电故障的处理

电冰箱漏电是由于电冰箱的电器部件对箱体的绝缘电阻变小造成的。电冰箱与电器部件的绝缘电阻一般大于 $1M\Omega$ ，若小于 $1M\Omega$ 就有可能出现漏电现象。摸电冰箱时有麻手的感觉，这时可检查箱体是否接地，如果接通地线后，电冰箱仍然麻手，说明电冰箱漏电严重，这时就需要对电冰箱的电器部分进行检查。在着手检查前，应将电源插头，压缩机电线插头拔下，拆开温控器触点上的接线，并将每个电线头悬空，使电动机、启动继电器、温度控制器、电源插头分开，然后分别进行检查。

1. 检查电动机部分 用兆欧表测量电动机插头与压缩机密封壳的绝缘电阻，若绝缘电阻小于 $1M\Omega$ ，则说明其漏电。此时首先应清除插头上的污物，可用酒精或汽油刷洗，擦干，然后再测量其绝缘电阻，若此时绝缘电阻大于 $1M\Omega$ ，说明漏电就发生在插头上；若绝缘电阻值仍然小，则说明是电动机漏电，此时应拆开压缩机密封壳，更换电动机绕组。

2. 检查温度控制器部分 用酒精或汽油刷去温度控制器触点周围的污物，擦干，然后测触点与箱体的绝缘电阻，若绝缘电阻小于 $1M\Omega$ ，说明是温度控制器内部过于潮湿所造成的，此时将温度控制器放入干燥箱内烘干，其绝缘电阻值即可恢复正常。

3. 检查启动继电器 启动继电器的检查和修理同温度控制器。

4. 检查电源插头 用兆欧表测量每个插头对箱体的绝缘电阻，如阻值小于 $1M\Omega$ ，说明电源线有裂纹，且导线过于潮湿，此时应更换导线或导线加装塑料套管，这样处理后的绝缘电阻阻值应大于 $1M\Omega$ 。

为了人身安全，使用电冰箱一定要按规定接地。

第五节 洗 衣 机

洗衣机是应用较广的家用电器，因此洗衣的安全使用就成了使用人员非常关心的问题。

一、洗衣机的分类

目前，国产洗衣机的种类很多，按结构原理大致可分为：搅拌式、喷流式、滚筒式、波轮式，其中以波轮式应用最普遍，但近几年来国内也出现了滚筒式。

按洗衣机性能又分为：普通型洗衣机、半自动型洗衣机、全自动型洗衣机。

（一）普通型洗衣机

它具有结构简单、价格便宜、使用方便、占地少、搬运容易等特点。这类洗衣机多数装有定时开关，它能在洗涤过程中控制波轮间歇正转和反转，并可以根据衣服脏污程度选定洗涤或漂洗时间，预定时间終了，即可自动停机。

（二）半自动型洗衣机

一般由洗衣机和脱水机两部分组成，结合成为一整体。它可自动完成洗涤，又可以自动进行洗涤、漂水和脱水，进水和排水也是自动进行。有些机还装有排水泵，特别适宜室内没有地面下水的房间使用。

二、防触电保护

洗衣机的结构应能防止使用者触及带电部件，为了作到这一点而设计的保护装置必须足够牢固，不使用工具就不能拆卸。

带电部件必须有防蚀措施，且最低的带电部件离地面的高度也不应少于 60mm；带电部件的金属外壳和人有可能触及的非带电金属部分之间，应采用可靠的绝缘材料进行隔离。

洗衣机的内部布线应加以适当保护，不应松散地放在锐边或锐角上；两条以上的同一方向的导线应捆在一起；导线的连接处和导线与电器零件的连接端，应有可靠的绝缘保护或封闭绝缘；导线安装后不应有张力；导线安装端子所用螺钉不得兼作它用。

三、洗衣机的检修步骤和方法

洗衣机出现故障以后，首先应查明故障原因，然后方可动手对症修理。切不可在不明原因的情况下，乱拆乱卸，以免出现更大的故障。

检修洗衣机的步骤大体可分为观察（故障现象）、分析（判断故障现象和原因）、检查（对判断结果加以验证）、修理（修复或更换零件）四个步骤。在实际运用时，有时需要打破上述程序、步骤，交叉进行，相互验证，下面介绍一下具体检修方法：

（一）外观检查法

外观检查即指修理人员因条件所限，在无测试仪表、工具的情况下，对洗衣机采用的一种外观检查法。应用此法检查，可以发现洗衣机漏水、漏电、损衣严重、排水缓慢、定时不准、电源不通等故障和原因。例如，掀开洗衣桶上盖，用手拨动波轮，若手感沉重，即说明波轮轴系统传动不良，电动机不仅会有发热现象，波轮也会有转速下降的故障。

外观检查法实际上是一种经验检查法，它的优点是不用仪器就可以尽快了解洗衣机发生故障的程度，为检修提供线索。

（二）感官检查法

是洗衣机检修人员靠耳、眼、鼻、手等感觉器官对洗衣机进行的一种检查方法，这种方法比外观检查法更加深入。如用耳朵可以听出机器是否有噪声，机器运转是否正常；用眼睛可以观察到零件是否有松动脱落，电机是否冒烟，洗衣机筒是否漏水、渗水；传动是否正常；用鼻子可以闻出机器中是否有特殊气味；用手触摸机器可以发现振动严重、电机发热，传动不良，部件松动等故障。

（三）万用表检查法

可用万用表对洗衣机中所怀疑的电器元件进行检查的一种方法。例如，怀疑某部分电路不通（断路），就可以使万用表电阻档测量电路两端的电阻值来验证，若测得结果电阻值很小，则说明电路通路；若测得结果电阻值很大或无穷大，则说明电路断路。又

如洗衣机不能工作时，其原因很多，要判断是电动机不良引起还是电源断线引起，可用万用表交流电压 250V 档进行测量检查，先测插座电源，如电压正常，则说明电动机不良，如果无电压则说明电路不通。还有电压高低、电阻大小、电路短路、断路、接触不良、元件是否损坏等都可以用万用表来检查。

万用表检查方法是一种比较科学的方法，测量直观、判断准确，被广泛地采用。