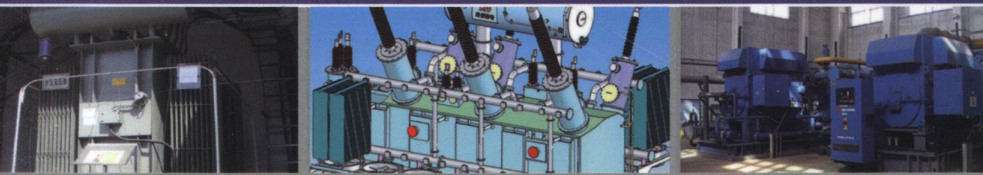


冶金动力职业技能培训系列教材

电气运行维检安全



河北钢铁股份有限公司邯郸分公司动力厂 编
李秋明 张卫 主编

DIANQI YUNXING WEIJIAN ANQUAN



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

冶金动力职业技能培训系列教材

电气运行维检安全

河北钢铁股份

有限公司邯郸分公司动力厂 编

主 编 李秋明 张 卫

参 编 卢朝晖 刘立灿 冯 雷 刘文廷

脱子林 李 壮 张建伟 邢 立

高丽平 路海周 刘明明 路志雷



机械工业出版社

本书为《冶金动力职业技能培训系列教材》中的一本,其主要内容包括:电气安全基础知识、直接接触电击防护、间接接触电击防护、低压保护电器、高压配电装置、电气测量、变压器和电机的安全运行与维护、电缆运行维护与电力线路工作安全、变电站与电缆隧道的消防管理、雷电与防雷、电气安全管理、安全心理浅析、急救与逃生等。

本书主要作为提高冶金企业电力系统的电气运行与维检人员安全操作技术的岗前和在岗培训教材,也可以作为系统内专业技术人员、电气管理人员的技术参考资料,并在工作实践中加以应用。读者应具备高中以上文化知识,具备电气基本理论和电气实践工作经验。

图书在版编目(CIP)数据

电气运行维检安全/李秋明,张卫主编. —北京:机械工业出版社, 2011.5

冶金动力职业技能培训系列教材

ISBN 978-7-111-34418-6

I. ①电… II. ①李… ②张… III. ①电力系统
运行—安全技术—技术培训—教材 IV. ①TM732

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第079237号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:吕德齐 责任编辑:吕德齐 郑 铨

版式设计:张世琴 责任校对:樊钟英

封面设计:陈 沛 责任印制:乔 宇

三河市国英印务有限公司印刷

2011年7月第1版第1次印刷

140mm×203mm·6.875印张·181千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-34418-6

定价:26.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑(010)88379772

社服务中心:(010)88361066 网络服务

销 售 一 部:(010)68326294 门户网:<http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部:(010)88379649 教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

丛 书 序

河北钢铁集团邯郸分公司（原邯钢）始建于1958年，属下的动力厂长期从事氧气、氮气、氩气、氢气和压缩空气的生产输送工作，以及高炉煤气余压发电，220kV、110kV、35kV输变电、继电保护试验，电机、变压器的修理试验等工作。长期的工作实践，使邯钢动力厂积累了雄厚的技术力量和丰富的实践经验。

近年来，伴随着分公司的产业结构调整、生产规模扩大、装备更新换代，动力厂以实现企业的可持续发展为目标，一手抓装备的更新改造，一手抓员工素质的提高。2002年以来，动力厂始终把员工职业技能的培训和提高作为本单位最重要的工作之一，常抓不懈。本套培训教材就是动力厂70多位工程技术人员和老技师自己编写的，并在动力厂作为长期使用的操作岗位员工职业技能培训专用教材。

本套教材以操作岗位员工为对象，以提高员工的操作技能、安全生产能力和应急处理能力为重点。全套书共有10册，分别是《气体压缩机运行与维护》、《气体深冷分离操作指南》、《气体吸附制取操作指南》、《制氧站辅助系统运行与维护》、《气体生产系统安全》、《余压发电站运行与维护》、《变电站运行与维护》、《常用电气设备的维修》、《实用电气试验技术》、《电气运行维检安全》。衷心希望本套培训教材能够给同行们提供一定的帮助和借鉴，共同为冶金动力事业做出贡献。

张卫

前 言

随着冶金企业的不断发展，冶金企业电力系统的电气设备呈现大型化、现代化、集成化的趋势。这些设备中新型设备和进口设备的大量应用对职工的知识结构和技术水平提出了新的要求，同时，也对电工这一特种作业人员安全操作技术提出了新的要求。

职工是企业稳定和快速发展最主要的源泉力量，所以重视职工的岗前培训，特别是面向现代化、大型化电气设备的岗位技术培训对企业和职工都非常重要。

本书是《冶金动力职业技能培训系列教材》中的一本，主要讲述冶金企业电力系统中常用电气设备运行、维护与修理的安全操作技术。其主要作者都是来自现场的工程技术人员，他们在实践中积累了丰富的经验。

本书由李秋明、张卫主编，参加编写的人员有卢朝晖、刘立灿、冯雷、刘文廷、脱子林、李壮、张建伟、邢立、高丽平、路海周、刘明明、路志雷。全书由刘立灿统稿。

编写本书时，作者查阅了大量工程技术资料，对新技术、新装备进行消化、吸收和总结，同时还参考了电力安全工作规程、高低压配电装置设计规范等大量相关书籍，在此对给以帮助的人员表示衷心感谢。

由于我们的技术视野和技术积累有限，编写技术教材的经验不足，我们的这些观点和总结可能比较肤浅，内容可能有所疏漏，欢迎读者探讨、指正；也希望广大学员能够本着“扬弃”的态度，学习教材、认真实践，提高技术水平，适应岗位要求。

编 者

目 录

丛书序

前言

第一章 电气安全基础知识	1
第一节 电气事故的类型.....	1
第二节 电流对人体的作用和人体阻抗.....	8
第二章 直接接触电击防护	19
第一节 触电事故	19
第二节 绝缘隔离	21
第三节 围栏防护	26
第四节 保持安全距离	27
第三章 间接接触电击防护	30
第一节 概述	30
第二节 保护接地	31
第三节 TN 配电系统的概念.....	36
第四节 保护接零	37
第五节 接地和接零的比较	44
第六节 接地装置和接零装置	44
第七节 接地和接零的检查与测量	48
第四章 低压保护电器	50
第一节 概述	50
第二节 漏电保护器	51
第三节 其他保护电器	61
第四节 熔断器与其他保护电器的配合	72
第五章 高压配电装置	75

第一节	高压开关柜	75
第二节	高压隔离开关	79
第三节	高压断路器	83
第六章	电气测量	89
第一节	电工仪表的基本知识	89
第二节	常用仪表的使用与维护	91
第三节	电流和电压的测量	96
第七章	变压器和电机的安全运行与维护	98
第一节	变压器的安全运行与维护	98
第二节	电机的安全运行与维护	113
第八章	电缆运行维护与电力线路工作安全	121
第一节	电缆运行维护	121
第二节	电力线路工作安全	125
第九章	变电站与电缆隧道的消防管理	131
第一节	变电站的消防管理	131
第二节	电缆隧道的消防管理	134
第十章	雷电与防雷	135
第一节	雷电现象与危害	135
第二节	防雷装置	139
第三节	防雷措施	151
第十一章	电气安全管理	157
第一节	电气安全组织管理	157
第二节	电工安全用具	160
第三节	检修安全措施	165
第十二章	安全心理浅析	181
第十三章	急救与逃生	191
附录		202

附录 A	第一种工作票格式	202
附录 B	第二种工作票格式	204
附录 C	系统接地的形式 (参考件)	205
附录 D	漏电保护器的额定值 (参考件)	208
附录 E	漏电保护器运行记录 (格式)	210

第一章 电气安全基础知识

本章主要介绍电气事故的特点、触电事故的发生规律、电气事故的类型、电流对人体的作用和人体阻抗，最后重点讨论防触电策略。

第一节 电气事故的类型

了解电气事故的特点、触电事故的发生规律、电气事故，对减少电气事故的发生具有重要意义。

一、电气事故的特点

随着电能在工农业生产和人民生活等领域的广泛应用，大大改变了人类的生存面貌，促进了社会的文明与进步。同时在电能的传递、转换和使用过程中会发生一些异常情况，造成财产损失和人员伤亡等电气事故，人们通过对大量电气事故的统计分析，总结出电气事故具有以下特点：

1. 电气事故危害大

电气事故发生时常伴随着人员的伤害和财产的损失。严重的电气事故不仅造成重大的经济损失，甚至还能造成人员的伤亡。同时电气事故也是造成火灾、爆炸等恶性事故的重要起因。

2. 电气事故发生前的危险状态识别难

由于电能在传输和使用过程中，导体过电流、连接点发热、绝缘老化等电气事故前兆不易直观识别，最终酿成电气事故，让人们感到猝不及防。

3. 电气事故涉及领域广

一方面，电能的使用场所极其广泛，不论生产还是生活，也

不论是工业还是农业都在广泛使用电能。在哪里用电，哪里就有发生电气事故的可能。另一方面，几乎所有人都是电能的使用者，稍有不慎就有可能造成电气事故，伤及人员或损失财产。这需要全社会共同努力普及安全用电常识来减少电气事故的发生，减少由电气事故引发的火灾、爆炸等恶性事故。

4. 电气事故的预防需要综合全社会的力量

要减少或避免电气事故的发生，必须充分发挥家庭、学校、用人单位等全社会各方面的力量来普及安全用电知识，进而养成安全用电习惯，避免电气伤害的发生。

在电气事故中，大多事故都具有重复性、频发性。无法预料、不可抗拒的事故是极少数的。可以说电气事故是有规律的，其规律是可以被人们认识和掌握的。人们在长期的生产生活实践中，已经积累了同电气事故作斗争的丰富经验。保证安全的组织措施、技术措施以及电气安全规程都是与电气事故作斗争的经验总结，只要按照客观规律使用电能，电气事故是可以避免的。

二、触电事故的发生规律

对某一个体而言，触电事故的发生是偶然的。但通过对大量触电事故的统计分析表明，触电事故的发生是有规律的。了解这些规律有助于有针对性地提出安全建议、要求，最大限度地减少事故的发生率。

1. 炎热潮湿季节触电事故多

据统计，每年4~9月份触电事故多于其他时间段，尤其是6~9月份事故最为集中。原因之一是这段时间天气炎热潮湿，人员穿着单薄且皮肤多汗，从而大大降低了人体电阻，增加了触电的危险性；原因之二是这段时间多雨潮湿，地面导电性增强，容易构成电击电流的回路；原因之三是由于炎热潮湿，电气设备的绝缘电阻降低，甚至在电场的作用下劣化击穿造成漏电；原因之四是这段时间我国大部分农村都是农忙时节，用电量增加，触电事故增多。在这个季节进行电气操作、电气维护检修等工作，

一定要穿合格的绝缘鞋，穿长袖工作服。

2. 低压触电事故多

国内外统计资料表明，低压触电事故远多于高压触电事故，其原因是低压设备远多于高压设备，与低压设备接触的人比与高压设备接触的人多，且很多缺乏安全用电常识。另外，由于高压电气设备电压高，人们对高压电气设备警惕性较高，不会触碰高压电气设备，因此，高压电气安全事故数量小于低压设备。

3. 携带式设备和移动式设备触电事故多

原因之一是这些设备经常移动，工作条件差，设备容易发生故障，电源线易折断漏电；原因之二是这些设备一般是在人手紧握的条件下使用，与人体的接触面积大，接触电阻就小，一旦漏电很难摆脱电源；原因之三是携带式和移动式设备多为单相，设备保护零线与工作零线容易接错，易造成触电事故。

随着塑料工业的发展，携带式和移动式设备外壳现在多为塑料材质，所以由于外壳带电而发生的触电事故大幅减少，加之漏电保护装置的广泛使用也使这类事故明显减少。不过携带式和移动式设备的电源线是一个值得注意的薄弱环节，在使用中经常有绝缘皮损坏漏电的情形发生。

4. 电气连接部位触电事故多

很多触电事故发生在电气连接部位，如接线端子、绕接接头、压接接头、焊接接头、电缆头、灯座、插头、插座、控制开关、接触器、熔断器、断路器、隔离开关、分支线、接户线等处。主要是由于这些连接部位牢固性较差，有较大的接触电阻，易发热，进而使绝缘劣化或击穿而漏电。

5. 冶金、矿业、建筑、机械行业触电事故多

由于这些行业生产现场经常处于潮湿、高温下；现场混乱，临时电源多，移动式设备和携带式设备使用频繁；存在金属导电环境、空间狭小等不安全因素，使触电事故多于其他行业。

6. 农村触电事故多

因为农村用电条件较差、设备简陋、专业电气人员少、安全用电知识缺乏、安全用电的规章制度不健全等原因造成农村触电事故多于城镇。

7. 中青年工人、非专业电工和临时工触电事故多

主要原因是这些人是生产一线的操作者，经常接触电气设备，然而却经验不足，缺乏电气安全知识。

8. 误操作事故和违章作业造成的事故多

主要原因是防误操作的技术措施和管理措施不完善。

9. 维检电工触电事故多于值班电工

主要原因是维检电工的作业场所不固定，所维护检修的对象设备不确定，经常使用临时检修电源及经常使用携带式设备和移动式设备。他们常常既接触高压设备又大量接触使用低压设备，经常在电气连接部位作业。

10. 大多触电事故不是单一原因造成的

大多数触电事故都不是单一原因而是由两个以上原因造成的。由事故致因理论可知，事故的发生不外乎是人的不安全行为和物的不安全状态两大原因共同作用的结果。所以要控制触电事故的发生，要么通过约束人的不安全行为杜绝违章，要么消除物的不安全状态，排除隐患，消除漏电现象。

三、电气事故的类型

按照能量转移的观点，电气事故是由于电能意外地作用于人体或系统造成的。按电能的不同作用形式，电气事故可分为触电事故、静电危害事故、雷电灾害事故、电磁场危害和电气系统故障危害事故等。

（一）触电事故

1. 电击

电击是电流通过人体刺激机体组织，使肌肉非自主地发生痉挛性收缩，严重时破坏心脏、肺部、中枢神经的正常工作，形成危及生命的伤害。

电击电流对人体的伤害程度与通过人体电流的强度、种类、持续时间、路径和人体状况等多种因素有关。

按人体接触带电体的方式，电击可分为三种情况。

1) 单相触电：是指人体接触到地面或接地导体的同时，人体另一部位触及某一相带电体所引起的电击。电击发生时，人体所触及的带电体为正常运行的带电体时，称为直接接触电击；人体触及意外带电体所发生的电击称为间接接触电击。国内外的统计结果表明，单相触电事故占全部触电事故的 70% 以上，所以预防触电事故的重点应放在单相触电上面。目前大量使用的漏电保护装置就是为了减轻单相触电伤害程度的，它对下面谈及的两相触电形式是不起任何作用的，所以两相触电的危险性更大。

2) 两相触电：是指人体的两个部位同时触及两相带电体所引起的电击。此时人体承受的电压为线电压，比单相触电的相电压要高 1.732 倍，所以危险性更大。

3) 跨步电压触电：是指站立或行走的人体，受到出现于两脚之间的电压作用所引起的电击。两脚之间的电压又称跨步电压。跨步电压是当带电体接地，电流自接地的带电体流入地下时，在接地点周围的土壤中产生的电压降形成的。当人意外处于跨步电压地面时，不能大步走，只能采取单腿着地蹦出险境。

2. 电伤

电伤是电流的热效应、化学效应和机械效应等对人体所造成的伤害。能够造成电伤的电流往往比较大。

电伤包括电烧伤、电烙印、皮肤炭化、机械损伤和电光眼等伤害。其中电烧伤是最常见的，大部分触电事故都含有电烧伤成分。电烧伤可分为电流灼伤和电弧烧伤。

1) 电流灼伤是人体同带电体接触，电流经过人体时，因电能转换成热能引起的伤害。

2) 电弧烧伤是由于弧光放电造成的烧伤。电弧发生在带电体与人体之间。有电流通过人体的烧伤称为直接电弧烧伤。电弧

发生在人体附近对人体形成的烧伤，以及被熔化金属溅落的烫伤称为间接电弧烧伤。

值得注意的是：当带负荷拉开隔离开关时，会产生强烈的电弧，能对人体造成电弧烧伤。另外当人体过分接近高压带电体，且间距小于放电距离时，直接产生强烈的电弧，造成电弧烧伤，严重时 would 因电弧烧伤而死亡。据统计，大部分电弧烧伤事故发生在电气维修人员身上，所以电气维修人员进行检修作业时一定要穿长袖衣服，系上袖口、领口，戴上手套、安全帽，最好还要戴上护目镜。

3) 电烙印是电流通过人体后，在接触部位留下与所接触带电体形状吻合的斑痕，如同烙印，该处皮肤呈现硬变坏死而失去知觉。

4) 皮肤炭化是由高温电弧中的气化金属渗透到皮肤表层内部所造成的，受伤部位呈现粗糙、张紧状态。

5) 机械损伤是由于电流作用于人体后肌肉产生非自主的剧烈收缩所造成的，损伤包括肌腱、皮肤、血管、神经组织断裂及关节脱位和骨折等。

6) 电光眼的表现为角膜和结膜发炎。弧光放电时产生的红外线、可见光和紫外线都会损伤眼睛。

(二) 静电危害事故

静电危害事故是由静电电荷或静电场能量引起的。在生产工艺过程中以及操作人员的操作过程中，一些材料的相对运动、接触与分离等原因导致了正负电荷的积累，产生了静电。其电压可高达数十千伏至数百千伏，但其能量一般不大，不会直接使人致命。静电危害事故主要有以下三个方面：

1) 有可燃性混合气体的场所，静电放电火花会成为点火源，造成爆炸和火灾事故。

2) 人体因受到静电电击的刺激，可能引发二次事故，如高处坠落等。

3) 某些生产过程中，静电会妨碍正常生产，影响产品质

量，损坏电子设备。在干燥的环境中最容易产生静电。穿着化纤服装时快速的肢体动作容易产生静电。增加湿度、穿着纯棉服装是减少静电的有效办法。

（三）雷电灾害事故

雷电是大气中不同云层电荷的强烈放电现象。雷电具有电流大、电压高的特点。雷电所释放的能量具有极大的破坏力。其破坏作用主要有以下几个方面：

1) 直击雷放电、二次放电、雷电流的热量会引起火灾和爆炸。

2) 雷电的直接击中，金属导体的二次放电，跨步电压的作用及火灾与爆炸的间接作用，均会造成人员的伤亡。

3) 强大的雷电流、高电压可导致电气设备击穿或烧毁。发电机、变压器、电力线路等遭受雷击，可导致大规模停电事故。雷击可直接毁坏建筑物、构筑物。

（四）射频电磁场危害

射频指无线电波的频率或者相应的电磁振荡频率，泛指100kHz以上的频率。射频伤害是由电磁场的能量造成的，其危害主要有：

1) 在射频电磁场作用下，人体因吸收辐射能量会受到不同程度的伤害。过量的辐射可引起中枢神经系统的机能障碍，出现神经衰弱、植物神经紊乱、心率血压异常等，可引起眼睛损伤、睾丸功能失常、皮肤灼伤等。

2) 在高强度的射频电磁场作用下，可能产生感应放电，会造成电引爆器件发生意外引爆。感应放电对具有爆炸，火灾危险的场所来说是一个不容忽视的危险因素。此外，当受电磁场作用感应出的感应电压较高时，会给人以明显的电击。

（五）电气系统故障危害

电气系统故障危害是由于电能输送、分配、转换过程中失去控制而产生的，诸如断线、短路、异常接地、漏电、误合闸、误掉闸、电气设备或电气元件损坏、电子设备误动等都属于电路

故障。系统中的电气线路或电气设备故障，也会导致人员伤亡及重大财产损失。电气系统故障危害主要体现在以下几方面：

1. 引起火灾和爆炸

线路、开关、熔断器、插座、照明器具、电热器具均可造成火灾，电气变压器、多油断路器等设备不仅有火灾危险，还有爆炸危险。就引起火灾的原因而言，电气原因仅次于一般明火而位居第二。

2. 异常带电

在电气系统中，原本不带电的部分因电路故障而意外带电，可导致触电事故发生。例如：电气设备因绝缘不良而漏电，使其金属外壳带电；高压线路故障接地时，在接地处附近呈现出较高的跨步电压，形成触电的危险条件。

3. 异常停电

在某些重要场合，异常停电会造成设备损坏和人员伤亡。例如：正在浇注钢液的起重机因突然停电而失控会造成设备损坏；医院手术室因异常停电而无法进行手术，危及病人生命；矿井通风设备异常停电会造成瓦斯气体聚集，引发瓦斯爆炸；公共场所异常停电会引发公共安全事故；异常停电还可能引起计算机系统故障，造成不可估量的损失。

第二节 电流对人体的作用 and 人体阻抗

触电事故就是电流对人体作用的结果，了解电流对人体的作用规律，可以为触电事故科学分析提供依据，为防触电措施、设施的有效性进行科学评价。

一、电流对人体的作用

仅有一至十几毫安的工频电流通过人体，人体就会有发麻、刺痛、压迫、打击、痉挛等症状，达到 50mA 左右就有可能引起心室颤动而导致死亡。工频电流通过人体的实验资料见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 左手-右手电流途径的实验资料

感 觉 情 况	电 流/mA		
	被试者百分数		
	5%	50%	95%
手表面有感觉	0.7	1.2	1.7
手表面有麻痹似的连续针刺感	1.0	2.0	3.0
手关节有连续针刺感	1.5	2.5	3.5
手有轻微颤动, 关节有受压迫感	2.0	3.2	4.4
上肢有强力压迫的轻度痉挛	2.5	4.0	5.5
手硬且有痉挛, 但能伸开, 有轻度疼痛	4.2	6.2	8.2
手的肌肉直到肩部全面痉挛, 还可能摆脱带电体	7.0	11.0	15.0

表 1-2 单手-双脚电流途径的实验资料

感 觉 情 况	电 流/mA		
	被试者百分数		
	5%	50%	95%
手表面有感觉	0.9	2.2	3.5
手表面有麻痹似的针刺感	1.8	3.4	5.0
手关节有轻度的压迫感、连续的针刺感	2.9	4.8	6.7
前肢有压迫感, 足掌有连续针刺感	5.3	7.6	10.0
手关节有轻度痉挛, 手动作困难	5.5	8.5	11.5
上肢有连续针刺感, 腕部、手关节有强度痉挛	6.5	9.5	12.5
肩部以下有强烈连续针刺感, 肘部以下僵直, 还可以摆脱带电体	7.5	11.0	14.5
手指关节、踝骨、足跟有压迫感, 手大拇指痉挛	8.8	12.3	15.8
只有尽最大努力才能摆脱带电体	10.0	14.0	18.0

从表 1-1、表 1-2 可以看出, 随着通过人体电流的增大, 人体的生理反应在加强, 直至不能自主支配肢体来摆脱带电体。

电流对人体的伤害程度不仅仅与通过人体电流大小有关，还与电流通过人体的持续时间、电流的种类和人体自身状态等多种因素有关。

1. 电流对人体的作用与电流大小的关系

从表 1-1、表 1-2 的实验数据看出，通过人体的电流越大，危险性也越高。为分析问题方便，一般把通过人体的电流分为三个级别：

(1) 感知电流 感知电流是指电流流过人体时可引起感觉的最小电流。不同的人感知电流是不同的，成年男子平均感知电流均为 1.1mA，成年女子约为 0.7mA。感知电流因为很小，一般不会对人造成伤害。但可能因为不自主的过度反应而导致磕碰、高处坠落等二次事故。

(2) 摆脱电流 摆脱电流是指人在触电后能够自行摆脱带电体的最大电流。不同的人其摆脱电流是不一样的，成年男子的平均摆脱电流为 16mA，成年女子的平均摆脱电流为 10.5mA。一般地，身强力壮、肌肉发达的人，其摆脱电流会高于平均值；而身体瘦弱无力的人，其摆脱电流会低于平均值很多，达到 6mA 左右。也就是说身强力壮的人比瘦弱无力的人在摆脱带电体的能力上要强很多，触电后安全脱身的可能性更大。

(3) 室颤电流 室颤电流是指引起心室颤动的最小电流。发生心室颤动时心脏失去原有的正常搏动频率，而是以很高的频率颤动不能输送血液，数分钟之内即可导致死亡。可以认为室颤电流就是致命电流。

实验表明，室颤电流与电流持续时间关系密切。当电流持续时间超过心脏搏动周期时，室颤电流约为 50mA 左右；当电流持续时间短于心脏搏动周期时，室颤电流约为数百毫安；当电流持续时间小于 0.1s 时，只有电击发生在心脏易损期，且电击电流在 500mA 以上，甚至数安，才能够引起心室颤动。可以这样理解：当电击持续时间小于 0.1s 时不易引起心室颤动。也就是说，电击持续时间越短，电击电流对人的伤害就越小，越不易伤及生

命。所以发生触电时应以最快的速度脱离带电体。

2. 电流对人体的作用与电流持续时间关系

从前面的分析可知，通过人体的电流持续时间越长越容易引起心室颤动，危险性就越大，其原因如下：

1) 随着电击电流流过人体时间的增加，体内积累的能量也在增加，电流的热效应、化学效应充分显现，更为严重的是导致心室颤动的电流减小，危险性增大。

2) 电击电流流过人体的时间越长，越容易与心脏易损期重合，电击的危险性变大。

3) 电击电流流过人体的时间越长，人体电阻会随之下降，进而使流过人体的电流增加，使电击的危险性增加。人体电阻下降的原因主要是出汗、电阻较大的皮肤被击穿等。

4) 随着电击时间的延长，中枢神经的反射也变得强烈起来，中枢神经的强烈反射会导致心脏骤停、呼吸停止的严重后果。

以上结论更进一步说明尽快使触电者脱离电源有多么重要。

3. 电流对人体的作用与电流途径关系

凡是能使电击电流流经心脏、大脑和中枢神经的电流途径都是极其危险的。电击电流流经心脏会引起心室颤动直至停止跳动。例如：左手至右手、左手至单（双）脚等常见的触电方式，电击电流都有可能流经心脏。电击电流流经中枢神经会导致中枢神经的强烈反射，神经失调而导致死亡。例如：头至单手、双手及头至单手、双脚等的触电方式中，电击电流流经中枢神经的可能性大，会使人昏迷或对脑组织产生损伤，严重时会导致死亡。

在人体所有组织、器官中，心脏对电流的承受能力最差，所以，流经心脏的电流大、路径短的途径是电击危险性最大的途径。胸至左手是最危险的电流途径；胸至右手次之；左手至双脚也很危险，但不及前两者；左手至右手的电击电流途径是所有常见电流途径中危险性最小的，其危险性仅为左手至双脚的一半。当然局部肢体电击电流途径的危险性更小，例如单手的拇指与食指之间的电击电流不会流经心脏，生命危险较小，但可能引起中

枢神经强烈反射而导致严重后果或造成二次事故。

4. 电流对人体的作用与电流种类的关系

几乎所有种类的电流都对人体具有伤害作用，但工频电流（50~60Hz）对人体的伤害作用和致命危险最大。

直流电与交流电相比较容易摆脱，其室颤电流也较高，加之直流电均为不接地系统，所以直流电电击伤亡事故很少。

另外，当直流电通过人体时脚部为负极的室颤电流是脚部为正极的2倍，当直流电是从左手到右手的途径时，不大可能发生心室颤动。

对非工频交流电而言，其频率偏离工频越远，电击电流对人的生命威胁越小。

5. 电流对人体的作用与个体身体状态的关系

手脚爱出汗、手脚皮肤细嫩而角质层薄的人（如妇女和儿童）接触带电体遭受电击的危险性较大；患有心脏病、中枢神经系统疾病、肺部疾病的人遭受电击的危险性会增大；体弱多病、身体无力的人，由于受电击后摆脱能力差而使危险性增大。

二、人体阻抗

当带电体的电压一定时，流过人体的电流大小就只决定于人体的阻抗了。人体阻抗越大遭受电击时流过人体的电流就越小，危险性也就越小。可见，电击伤害程度与人体阻抗密切相关。人体阻抗是包括皮肤、血液、肌肉、骨骼、细胞组织及其结合部等构成的含有电阻和电容的阻抗。为分析问题方便，将人体阻抗分为皮肤阻抗和体内阻抗，其等效电路如图1-1所示。

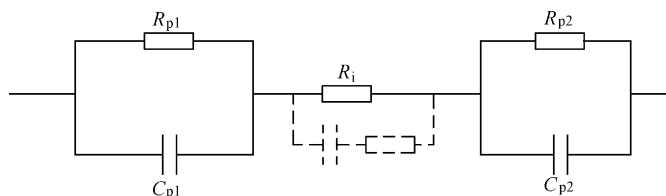


图 1-1 人体阻抗等效电路图

图中 R_{p1} 、 C_{p1} 是与带电体接触点处的皮肤电阻和皮肤电容，二者并联组成了该点皮肤的等效阻抗 Z_{p1} ；同理 R_{p2} 、 C_{p2} 是另一处与带电体（或接地体）接触点的皮肤电阻和皮肤电容，二者并联组成了这一点皮肤的等效阻抗 Z_{p2} ； R_i 及与其并联的虚线支路是体内阻抗，体内阻抗是除去表皮之后的人体阻抗，因为电容成分很小可以忽略不计，因此，体内阻抗可以视为纯电阻，所以人体总阻抗 Z_T 就等于与带电体接触的两处皮肤阻抗之和再加上体内电阻。

值得高度注意的是，人体总阻抗与金属导体的电阻是不同的。金属导体的电阻不随所加电压、电流的变化而变化，而人体电阻则不然，会随着电压的升高而急剧下降。

表 1-3 列出了不同电压下的人体总阻抗。表中数据是在干燥、较大接触面积（ $50 \sim 100\text{cm}^2$ ）、电流路径为左手 - 右手的条件下得出的。

表 1-3 人体总阻抗

接触电压/V	总阻抗/ Ω		
	被试者最低百分数		
	5%	50%	95%
25	1750	3250	6100
50	1450	2625	4375
75	1250	2200	3500
100	1200	1875	3200
125	1125	1625	2875
220	1000	1350	2125
700	750	1100	1550
1000	700	1050	1500
渐近值	650	750	850

人体阻抗除随接触电压的升高而降低之外，还有一些因素影

响人体阻抗，如人体皮肤沾水、出汗、皮肤损伤、沾有导电性粉尘（如石墨粉）都会使人体阻抗下降。如果皮肤被导电性溶液浸湿，阻抗会减少为干燥条件下的 $1/2$ ；如果皮肤长时间浸湿使角质层变得松软且饱含水分，则皮肤阻抗几乎完全消失；增加与带电体之间的压力、接触面积也会降低人体阻抗；电流流过人体时间越长，人体阻抗会因为出汗等原因而下降。所有这些能使人体阻抗下降的因素都会使在相同电压条件下流过人体更大的电流，因而会大大地增加电击的危险性。所以在操作电器、维护使用电器时，尽量避免上述因素的存在。

三、防触电策略

从宏观上讲，严格按照保证安全的组织措施和保证安全的技术措施去作业，就能保证在电气设备上安全工作。在实际的工作中，电力行业各单位以及大型用电企业，在高、低压电气设备上的工作，都能够按照保证安全的组织措施和技术措施去做，去落实各项安全措施和工作程序。但是小型企业、农村、居民用户在电气作业时经常忽视安全措施，甚至蛮干，非常容易引发安全事故。这主要是由于人们对电气安全知识的缺乏造成的。有鉴于此，以下从微观层面和个体防护层面提供一些低压电防触电策略。

1. 养成安全作业习惯

了解、学习一些安全的作业方法，并在日常的工作中不断重复、加强，最终固化为作业习惯。例如：①单手作业习惯。一只手作业时，另一只手和身体的其他部位不去触及设备其他任何部位，这时如果人站在干燥的木板上或绝缘橡胶垫上，或穿着绝缘鞋，作业的那只手即使触碰到带电体（指工频 220/380V 低电压，下同），也不会有电流流过人体，所以也就没有遭到电击的危险。②只要参与电气作业、操作电气设备就必穿绝缘鞋。简而言之，把①、②结合在一起就是“单手作业成习惯，干活必穿绝缘鞋”，这样就永远不会遭到电击的伤害。

2. 不带电作业

不带电作业是从根本上防止电击的手段，但还应做好以下几项工作。

(1) 防护隔离好相邻带电设备 这包括锁好相邻带电设备的房门，悬挂“有电危险”警告牌，有条件的可在周围围网。其目的主要是防止误入带电区域。尤其是在工作刚开始时和工作间断后又重新开始时，最容易发生误入带电区域的事情。若虽然作业对象不带电，但在同一区域内有带电部分、带电元件时，应做好隔离防护措施，并加强监护。工作中尽量减小动作幅度，不使用细长的金属工具。若与带电体之间距离很近并有触碰而短路的危险时，最好戴上手套，系好袖口、领口。

(2) 防止意外送电 尤其是作业地点与电源控制开关不在一处的情形，防止意外送电显得尤为重要。正确的做法是：拉开刀开关或拔下熔断器，悬挂“禁止合闸，线路有人工作”的警示牌，并派人看守。如不能派人看守，可将拔下的熔断器带走，锁住操作机构，同时在工作地点将可能意外来电的三相引线短接并接地。

(3) 验电确认无电 用验电笔验电时应先在有电的带电体上测试发光正常方可使用，在强光或太阳光下使用氖泡式电笔时往往看不清氖泡是否发光，所以必须再用万用表的电压挡进一步确认。值得高度注意的是，用万用表来确认三相四线制的相线是否带电时，只测量三相之间没有电压就认为没电是错误的。这也是容易被大多数人忽视的。试想：如果三相之中有一相带电，用万用表分别测量 AB、AC、BC 三相之间的电压均为零，但确有一相还带着电。正确的做法是分别测量三相相对地电压均为零时才可视三相均无电压。

3. 加强监护

心理学研究成果告诉我们：每个身心正常的人在认真投入地思考问题、学习、工作时都不以人的意志为转移地被过滤效应影响着、支配着。什么是过滤效应，简单地说，就是当人们认真地做某事时，其他与此事无关的事情统统地被过滤掉。例如，

如果一台重要的设备因故障而临时停机，需要检修人员尽快查找故障原因，并排除故障送电开机，此时检修人员会因时间紧迫、工作重要而全身心地投入到寻找故障原因当中去，而将周围的其他情况包括危险因素几乎全部过滤掉，极易发生诸如误入带电区域（即“钻错柜”），误触碰可能是事前已知的带电体，这样造成的损失可能是付出生命的代价。防止电气作业过程中因过滤效应造成人员伤害的最有效手段就是加强监护。当然监护人不是随便什么人都能当的，首先监护人应该知道有过滤效应这么回事，还应该知道被监护人何时容易产生过滤效应，及时地、不厌其烦地、不止一遍地提醒、告知被监护人危险点所在。所以，规程规定由技术水平高的人、有经验的人担任监护人，但在实际操作过程中很少有人能做到。一些大的冶金企业伤亡事故统计资料表明，很多伤亡事故涉及班长、组长，说明监护人与操作人关系倒置的现象很严重。

4. 使用漏电保护器或隔离变压器

据统计，随着漏电保护器的广泛使用，因电击造成伤亡的事故明显下降，这足以证明漏电保护器的有效性，但有些问题需引起使用者的注意。

1) 正确地安装使用了完好的漏电保护器也能使人触电。按照人体接触带电体的方式，电击可分为：单相触电、两相触电和跨步电压触电。漏电保护器只能在发生单相触电时跳闸而切断电源使触电者脱离电源，在漏电保护器跳闸之前，电流已经流过人体而被电击，仅是时间较短而已。当人体同时接触两根相线或一零一相的触电方式时，漏电保护器会把人体当成正常负荷而不动作。

2) 绝对不能用手触碰带电体的方式来试验漏电保护器的好坏。国家标准规定漏电保护装置的额定漏电动作电流值分别为：6mA、10mA、30mA、100mA、300mA、500mA、1000mA、3000mA、5000mA、10000mA、20000mA……共15个等级。如果被试的漏电保护器的额定漏电动作电流是30~1000mA中等灵敏

度的，人体会遭到严重的电击，甚至有生命危险。

3) 使用隔离变压器。隔离变压器就是输入电压与输出电压相同的变压器，一次侧和二次侧之间有良好的绝缘和屏蔽。使用隔离变压器的目的是为了形成中性点不接地的供电方式，在这种供电方式下，人体的一部分接触带电体，而另一部分接触接地体时，不会有电流流过人体，从而能较好地防止单相触电的发生。

它与漏电保护器的相同点是都只有保护常见的单相触电方式而不能保护两相触电，所不同的是当人体一部分接触带电体而另一部分同时接触接地体时，经过漏电保护装置回路的人体有电击电流流过而经过隔离变压器回路的人体没有电流流过，所以不需跳闸来切断电源，从而不影响该回路上其他电器的正常使用。隔离变压器与漏电保护装置相比最大的不足是成本高且体积大，所以影响了隔离变压器的推广普及。

5. 使用安全电压

在金属容器内、金属构架上、潮湿环境中、窄小空间里或在有积水的地面等高危险环境内的电气作业，使用漏电保护器已不足以保护人员的安全。为最大限度地保护人员安全，规定在上述高危触电环境内使用行灯、手持电动工具等电器时需选用安全电压。

国家标准将安全电压额定值的等级规定为：42V、36V、24V、12V 和 6V。具体选用时，应根据使用环境、使用人员和使用方式等因素确定。特别危险环境中使用的手持电动工具应采用 42V 安全电压；有电击危险环境中使用的手持照明灯和局部照明灯应采用 36V 或 24V 安全电压；金属容器内，特别潮湿处等特别危险环境中使用的手持照明灯应采用 12V 安全电压；水下作业等场所应采用 6V 安全电压。当电气设备采取 24V 以上安全电压时，必须采取预防直接接触电击的措施。

6. 检查核对安全措施

在工作开始或工作间断又重新开始时，在工作地点转移和工作快结束时等几个危险时段上，一定要确认好柜号、核实安全措

施、验电和必要时放电、检查接地情况、明确周围带电设备及带电体的位置，做好防触碰措施。

7. 严格按照操作规程操作

在工作结束、电气设备试送电前，应检查所涉及设备内有无遗留物，是否有该接而未接的线、临时加的地线，短路线是否已全部拆除。

用绝缘电阻表测量设备及线路的绝缘电阻，绝缘电阻不合格不能贸然送电。

严格按照操作程序进行倒闸操作，送电时按照“先合母线侧隔离开关，再合线路侧隔离开关，最后合断路器”的顺序操作，停电时与此相反。严禁带负荷分、合隔离开关。

分、合隔离开关要戴绝缘手套，站在绝缘垫上。

试送电设备最好采用远距离操作方式启动，对于没有远距离操作功能的，合闸送电时应使身体尤其是脸部远离开关和设备，例如分、合低压刀开关时应侧身进行，系好袖口、领口，并戴手套，不能让脸部面对刀开关或设备。

第二章 直接接触电击防护

第一节 触 电 事 故

触电事故是指人体触及带电体，电流通过人体的电气事故。电流通过人体内部的触电叫电击。电流的热效应、化学效应和机械效应，对人体的局部伤害叫电伤。电伤也属于触电事故，但与电击比起来严重程度要轻一些。

一、电流对人体的伤害

在生产实践中电击是常见的一种触电形式。电击指电流通过人体内部，破坏人体的心脏、肺部以及神经系统的正常功能以致危及人的生命。在通电电流较小、通电时间不长时，引起心室颤动是电击致死的主要原因。在通电电流更小的情况下，通电时间较长也会成为电击致死。因此，绝大部分触电死亡事故都是电击造成的。通常所说的触电事故，基本上是指电击而言的。

触电的形式基本上可分为三种情况。

1. 单相触电

如图 2-1，单相触电是指人体站立于地面或其他接地导体上，身体某部位触及某一相带电体的触电事故。单相触电事故的危险程度与电网的结构和运行方式有关。在一般情况下，接地电网里的单相触电比不接地电网里的单相触电，其危险性大些。

2. 两相触电

如图 2-2，两相触电是指人体两处同时触及两相带电体的触电事故，危险性较大。

3. 跨步电压触电

如图 2-3，跨步电压触电是指人在接地点附近，由两脚之

间的跨步电压引起的触电事故。高压电线、电器故障接地处，都可能出现较高的跨步电压。

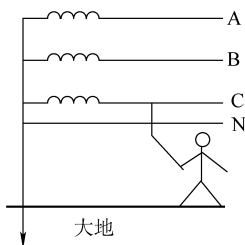


图 2-1 单相触电

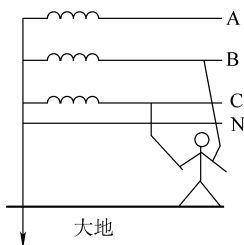


图 2-2 两相触电

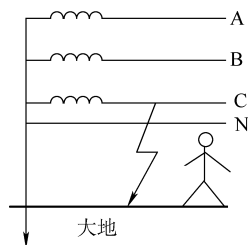


图 2-3 跨步电压触电

二、安全技术措施

任何电气设备、电器装置或供电线路，都必须采用可靠的保护措施。为了有效地防止人身触及带电体或过分接近带电的电气设备，常用的保护人身的安全技术措施如下。

1. 绝缘隔离

绝缘是用绝缘材料或物质把导电的部分包住，并封闭起来，保证人身部位避免触及带电的导体而发生触电事故。因此，电气设备或电气线路的绝缘材料，不能随意拆除。在电器产品的设计、制造、安装等试验规程中必须满足其基本的要求，保证达到可靠的绝缘水平。这些绝缘的部件要能经受电气、机械、化学和发热等的影响。

2. 围栏防护

围栏防护就是用围栏防止人员接近、触及带电体。它除能防止无意触及带电体外，还能使人意识到超越围栏会遇到危险而警惕起来，不去过分接近带电体。

3. 保持安全距离

保证人体和带电体有一定的安全距离，防止无意的接触或过分接近带电体。凡易于接近的带电体，应保持其在手臂所能触及的范围之外，具有一定距离。

4. 使用安全电压

根据作业场所特点,采用相应等级的安全额定电压值。

5. 使用漏电保护装置

当上述几种基本保护措施因发生故障或因使用者粗心大意而失效时,安装动作电流小于 30mA 灵敏度的电流动作型漏电保护器,可以作为其补充保护办法。这只是附加的或称为辅助的保护,而不能用来替代上述直接接触的基本保护,所以要和基本保护之中的一种保护措施同时应用。实践证明,漏电保护器是提高安全用电水平,防止人身触电伤亡的后备保护手段。

第二节 绝缘隔离

一、绝缘材料

良好的绝缘是电气设备和供电线路运行的必要条件,也是防止触电事故的首要条件。设备和供电线路的绝缘必须符合所处电网的标称电压,必须与周围环境和运行条件相适应。

电工绝缘材料的电阻率一般在 $109\Omega \cdot \text{cm}$ 以上,常用的绝缘材料有:瓷、云母、木材、玻璃、橡胶、胶木、塑料、布、纸、矿物油等。

1. 绝缘的技术指标与检测方法

为了防止因电气设备或线路的绝缘损坏造成事故,应该按照规定检查绝缘性能。绝缘性能用绝缘电阻、耐压强度、泄漏电流和介质损耗等指标来测量。绝缘电阻是最基本的绝缘性能指标。足够的绝缘电阻值,能把电气设备或供电线路的泄漏电流限制在很小的范围内,防止由于泄漏引起的触电事故发生。

绝缘电阻用绝缘电阻表(也称兆欧表、摇表)测定,实际上就是给被测物体加上一直流电压,测定通过它的泄漏电流,表盘面上指示出的数值,是经过换算得到的绝缘电阻数值。绝缘电阻表是一种测量高电阻的仪表,常用于测量电缆、电机、变压器和线路的绝缘电阻,有手摇式和电子式两种类型。

绝缘电阻表主要是由提供电源的发电机和指示读数的双动线

圈流比计组成的。绝缘电阻表上有分别标有接地 E、线路 L 和屏蔽 G 三个接线端子。其结构如图 2-4 所示。用 E、L 两端分别接于被测物体的两端。E 端通常接地或接于电气设备的外壳。

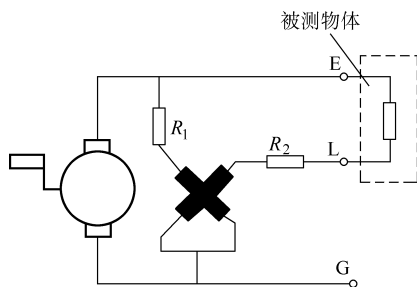


图 2-4 绝缘电阻表结构

1) 在测量线路对地绝缘电阻时，将 E 接地、L 端接导线，如图 2-5a 所示。

2) 测量电动机对地绝缘电阻时，应将 E 端接电动机外壳、L 端接电动机出线端子，如图 2-5b 所示。

3) 测量电缆芯线对外皮绝缘电阻时，除将 E 端接电缆外皮，L 端接电缆芯线外。为了消除芯线绝缘层表面漏电引起的误差，还应将 G 端接于电缆外皮内的内层绝缘上，如图 2-5c 所示。

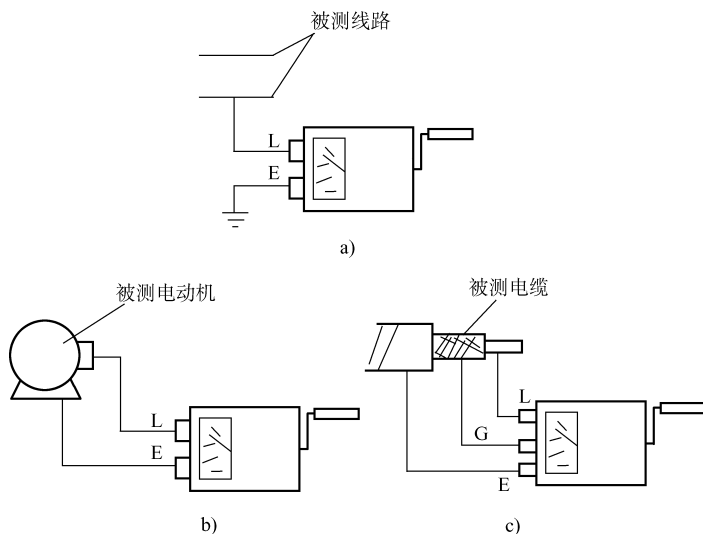


图 2-5 绝缘测量方法

a) 测线路绝缘 b) 测电动机对地绝缘 c) 测电缆芯对外皮绝缘

电子式绝缘电阻表是新一代绝缘测试设备，其性能优于指针式绝缘电阻表。电子绝缘电阻表的各种电路设计和测量方法与指针式绝缘电阻表相比较有着较强的优势。

电子绝缘电阻表的工作原理：是机内电池电源经 DC/DC 变换产生的直流电压由 E 极输出，经被测试品到达 L 极，从而产生一个从 E 极到 L 极的电流，经过 I/V 变换，经除法器完成运算直接将被测件的绝缘电阻数值由双重刻度或是 LCD 显示出来。它用于测量各种绝缘材料的电阻值及变压器、电机、电缆及电器设备等的绝缘电阻。图 2-6 所示是常用的 M-3121、M-3122、M-3123 便携电子式高压绝缘电阻表。

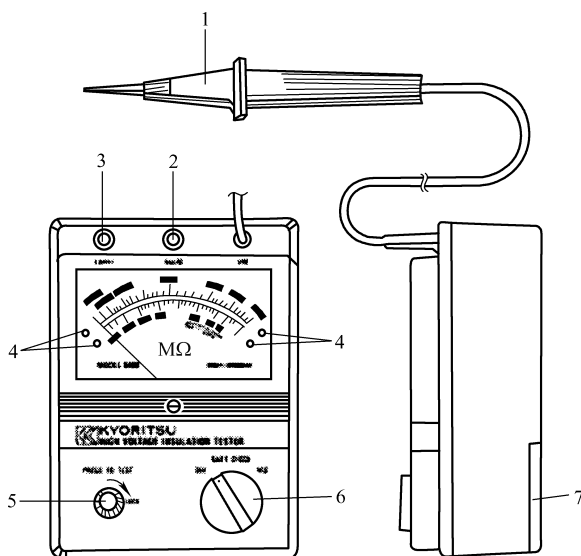


图 2-6 数字式绝缘电阻表

- 1—LINE 探棒 2—保护端口 3—接地端口 4—高、低量程 LED 指示灯
5—测试开关 6—功能开关 7—电池盒

2. 电子式绝缘电阻表的特点

- 1) 输出功率大、带载能力强，抗干扰能力强。
- 2) 电子式绝缘电阻表机内设有等电位保护环和有源低通滤波

波器，对外界工频及强电磁场可起到有效的屏蔽作用。对容性试品测量时，由于输出短路电流大于 1.6mA，很容易使测试电压迅速上升到输出电压的额定值。对于低阻值测量，由于采用比例法设计，故电压下落并不影响测试精度。

3) 电子式绝缘电阻表不需人力做功，由电池供电，量程可转换，使得测量十分方便和迅捷。

3. M-3121、M-3122、M-3123 便携电子式高压绝缘电阻表的使用方法

(1) 调零功能 将功能选择开关设置为“OFF”，调整前面板中央的调零钮，使指针位于“ ∞ ”刻度。

(2) 检查电池 将功能选择开关调节至 BATT. CHECK 位置，按下测试开关。若指针停留于 BATT. GOOD 区域或此区域右侧，表示电池状况良好。否则，请更换电池。注意：测试时，请勿长时间按或锁定测试开关。若电池充足，则会造成大于绝缘电阻测量时的电流消耗。

(3) 绝缘电阻测量 将功能选择开关设置为 OFF 位置，并将被测回路接地。将测试线连接到仪器的接地端和被测回路的接地端。M-3121 或 M-3122 功能开关调节至 $M\Omega$ ，M-3123 调节至 $G\Omega$ 。将测试棒接触被测回路后按下测试开关。绿色 LED 灯亮时，请读取外圈（高量程）刻度上的绝缘电阻值，若红色 LED 灯亮，请读取内圈（低量程）刻度值。进行 5000V 和 10000V 的绝缘测试时，请分别读取黑色及红色刻度值（M-3123）。测试结束后，解除“PRESS TO TEST”测试开关并等待几秒后再将测试棒与被测回路断开。这是为了释放被测回路上存储的电量。

(4) 导通测量 确认被测回路已接地且仪器接地端的测试线连接被测回路的接地端。按下“PRESS TO TEST”测试开关并沿顺时针方向旋转锁定后进行导通测量。测量时，由于仪器测试线及接地端存在高电压。注意：请确认被测回路上未连接易受高压损坏的组件。

4. 用绝缘电阻表检测绝缘电阻时应注意的事项

1) 在检测绝缘时, 绝缘电阻表摇把转速应均匀稳定, 表盘上的指针方能稳定。转速摇至 120r/min 左右。摇测前, 应对绝缘电阻表进行必要的检查, 达到要求后方可使用。

2) 根据被测设备的对象情况, 应选用不同电压的绝缘电阻表。一般对 $100 \sim 1000\text{V}$ 的电气设备或电气回路, 应选用 500V 或 1000V 的绝缘电阻表; 1000V 以上的电气设备或回路, 选用 2500V 或 5000V 的绝缘电阻表。

3) 测量时, 与绝缘电阻表接线柱连接的导线不能用双绞绝缘线, 应当用分开的导线连接, 以免双绞线引起测量的误差。

4) 测量的过程中应注意, 如果表指针指向“0”时, 表明被测设备的绝缘已经存在问题, 应停止检测, 以防损坏绝缘电阻表。

5) 存放保管电子式兆欧表时, 应注意环境温度和湿度, 放在干燥通风的地方为宜, 要防潮、防尘、防爆、防酸碱及腐蚀性气体。

6) 被测物体为正常带电体时, 必须先断开电源, 然后测量, 否则会危及人身设备安全! 绝缘电阻表 E、L 端子之间开启高压后有较高的直流电压, 在进行测量操作时人体各部分不可触及。

二、绝缘电阻值

1. 电力电缆

通常良好的电力电缆的绝缘电阻值很高, 其最低绝缘电阻值可参照按制造厂家规定, 吸收比不小于 1.3。

2. 交流电动机

额定电压为 1000V 以下者, 常温 ($10 \sim 30^\circ\text{C}$) 绝缘电阻应不低于 $0.5\text{M}\Omega$; 额定电压为 1000V 以上者, 接近运行温度时 (75°C), 定子绕组的绝缘电阻值应不低于 $1\text{M}\Omega/\text{kV}$, 转子绕组的绝缘电阻值应不低于 $0.5\text{M}\Omega/\text{kV}$, 吸收比一般不小于 $1.25 \sim 1.3$ 。

3. 手持电动工具

手持电动工具的绝缘电阻的允许值，最小不低于应在 $1\text{M}\Omega$ 。

第三节 围栏防护

配电线路和电气设备的带电部分，如果不便于包扎绝缘或者绝缘不足以保证安全时，就可以采用屏护措施。

屏护采用围栏、护罩、箱盖等把带电体同外界绝缘开，除起防止触电的作用外，有的屏护装置还能起防止电弧伤人并便于检修工作的作用。

变配电设备应有完善的屏护装置。10kV 以下露天或半露天变电所的变压器周围，应设固定围栏。变压器外廓与围栏或建筑物外墙的距离不应小于 0.8m。

室外配电装置电气设备的套管和绝缘子，最低绝缘部位距地面小于 2.5m 时，应装设固定围栏；室内配电装置电力设备的套管和绝缘部位距地面小于 2.3m 时，应装设固定围栏。1kV 及以上的配电装置中，电气设备的栅栏的高度不应低于 1.2m，栅条间距离不应大于 0.2m。网状围栏不应低于 1.7m，网孔不应大于 $40 \times 40\text{mm}^2$ 。

围栏装置不直接与带电体接触，对所用材料的电性能没有严格的要求，但围护装置所用材料应有足够的力学强度和良好的耐火性能。屏护装置应与以下安全措施配合使用：

1) 屏护装置应有足够的尺寸，与带电体之间应保持必要的距离。

2) 被屏护的带电部分应有明显的标志，标明规定的符号或涂上规定颜色。

3) 围栏等屏护装置上，应根据被屏护的对象挂上“止步，高压危险”、“禁止攀登，高压危险”、“当心触电”等标示牌或安全标志。

第四节 保持安全距离

为了防止人体触及或过分接近带电体，或防止其他物体碰撞，以致过分接近带电体，以及避免火灾和短路事故，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都必须保持一定的安全距离，即间距。安全间距的大小取决于电压的高低、电气设备的类型等。

一、变配电设备的安全间距

变配电设备包含许多高压电气设备和大量裸露带电体。为了防止触及或过分接近带电体造成事故，必须保证变配电设备的安全距离。

1. 室内配电设备的各项安全净距（表 2-1）

表 2-1 室内配电设备的各项安全净距（单位：mm）

额定电压/kV	1~3	6	10	20	35	60	110
不同相的带电部分之间 和带电部分至接地部分	75	100	125	180	300	460	800
带电部分至无孔围栏	105	130	155	210	320	490	830
带电部分与网状围栏	175	200	225	280	390	560	900
带电部分至栅栏	500	500	500	700	800	1000	1300

2. 室外高压配电设备的主要安全净距（表 2-2）

表 2-2 室外高压配电设备的主要安全净距（单位：mm）

额定电压/kV	3~10	20	35	60	110	220
不同相的导体间及带电部 分至接地部分间	200	300	400	600	1000	2000
带电部分与网状围栏	250	300	400	600	1000	2000
带电部分至栅栏	1000	1000	1000	1250	1750	2500
无遮拦裸导体至地面高度	3000	3000	3000	3250	3750	4500

3. 高压配电室内通道的最小宽度（表 2-3）

表 2-3 高压配电室内通道的最小宽度（单位：mm）

布 置 方 式	通 道 分 类	
	维护通道	操作通道
一面开关设备布置	800	1500
两面开关设备布置	1000	2000

4. 变压器外离与变压器室墙壁和门的最小净距（表 2-4）

表 2-4 变压器外离与变压器室墙壁和门的最小净距（单位：mm）

变压器容量	100 ~ 1000kV · A	1250kV · A 以上
变压器与后壁、侧壁的净距	600	800
变压器与门的净距	800	1000

配电装置的布置，应考虑电气设备的搬运、安装、操作和试验的方便，同时也要考虑作业人员的安全，因此，必须保持安全通道。高压配电装置宜与低压配电装置分室安装，当高压开关柜数量较少时，也可以和低压柜装设在同一室内。当高压开关柜与低压配电屏为单列布置时，两者的净距不得小于 2m。配电柜或控制屏的排列长度超过 6m 时，其屏后应有两个通向本室或其他房间的出口，如果两个出口间的距离超过 15m 时，应增加出口。

二、用电设备的安全间距

用电设备的安全应考虑到防震、防尘、防潮、防触电等安全要求，同时也要符合安全距离的要求。车间低压配电箱距地高度：暗装的为 1.4m，明装的为 1.2m。常用低压操作手柄中心，距离地面一般为 1.2 ~ 1.5m；侧面操作的手柄与建筑或其他电气设备的距离不宜小于 200mm。

三、检修安全间距

为了防止人体接近带电体，必须保证有足够的检修距离。在

低压操作中，人体或其所使用的工具与带电体之间的最小距离不应小于 0.1m。在高压无遮护操作中，人体或其所使用的工具与带电体之间的最小距离不应小于表 2-5 的数值。

表 2-5 在高压无遮护操作中，人体或其所使用的工具与带电体之间的安全距离

电压/kV	安全距离/m
≤10	0.7
20 ~ 35	1.0
110	1.5
220	3.0

当不足上述距离时，应装设临时围栏或其他防护措施，并应符合有关间距的要求。

第三章 间接接触电击防护

第一节 概 述

在故障状态下，设备外壳、构架可能带电，人体与其接触造成触电，称为间接接触。即在正常工作情况下，不带电的外露金属部分，如金属外壳、护罩、构架等，发生漏电、碰壳等金属性接地短路时，就会呈现危险的接触电压，当人触及这些外露的金属部件时，就会构成间接接触。

因此，间接接触防护的目的，是要防止电气设备、线路等，在产生故障的情况下，发生人身触电伤亡事故。当然在一般情况下，同时也可以防止故障扩大为更严重的电气设备事故。间接接触保护可以采用以下一些措施。

1. 自动地切断电源和接地保护

根据低压配电网的运行方式和安全需要，采用适当的自动化远程连接方法，使所发生的故障，能在规定的时间内自动断开电源，防止接触电压的危险。可采用漏电保护装置、接地保护、绝缘监视等保护措施。

保护接地带有故障电压保护的性质，保护接地的基本原理，是通过电气设备外壳与大地的直接连接，限制设备漏电时的对地电压，以消除触电的危险。没有装设过电流保护器或漏电开关相配合的保护接地和接零，不能提供可靠的间接接触保护。

2. 采用Ⅱ类绝缘的电气设备

采用双重绝缘结构。在防止触电的保护方面，不仅依靠基本绝缘，而且还采用双重绝缘或加强绝缘的附加安全预防措施，可

以在工作绝缘损坏以后，在直接接触部分出现危险的对地电压时，防止触电事故。所谓双重绝缘，是指电气设备除工作绝缘外，还采取了保护绝缘。

因此，带有双重绝缘结构的电气设备，是一种新型的、安全性能较高的电气设备，目前得到广泛的应用。如手持式（携带式）电动工具，在特别潮湿、易腐蚀的环境中，设备上所使用的电动机，大多采用了双重绝缘。

3. 采用电气隔离措施

这种措施是用隔离电源，把分支电路和整个系统隔离开来，使在电气上被隔离的系统成为一个独立的不接地的安全系统，以防止裸露导体故障带电的触电危险。电气隔离也要满足以下几个条件：

1) 电路的电源是一台隔离变压器，这种隔离变压器的耐压试验电压比普通变压器的高，应符合Ⅱ类电气设备的要求。被分隔的电路电压不超过 500V。

2) 被隔离的电路和其他线路不能有任何连接，特别要强调的是必须和大地绝缘。

第二节 保 护 接 地

保护接地是一种技术上的安全措施。所谓保护接地，就是在故障情况下，可能呈现危险的对地电压的金属部分，同大地紧密地联系起来。这时如发生电气设备碰壳接地故障，其单相接地电流可通过接地装置导流入大地，从而把对地电压限制在安全范围之内，以免发生触电伤亡事故。

保护接地应用很广，不论是动电或静电、交流电或直流电、高压电或低压电，也不论是一般环境或特殊环境，都经常采用保护接地措施，以保证工作安全。

一、对地电压、接触电压、跨步电压的概念

图 3-1 所示，电流 I_d 通过接地体向大地做半球形流散，其

中面积与半径的平方成正比例，所以，半球形面积随着远离接地体而迅速增大。因此，与半球形面积对应的土壤电阻，也随着远离接地体而迅速减小，至离开接地体 20m 处时，半球面积已达 2500m^2 ，土壤电阻已小到可以忽略不计。这就是说可以认为在远离接地体 20m 以外，电流不再产生电压降了或者说，电压已降为零。

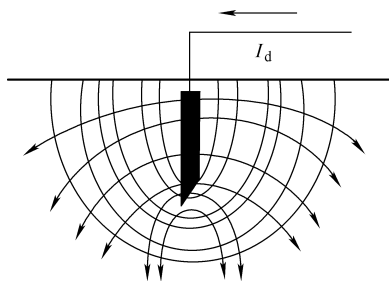


图 3-1 大地中接地电流流散示意图

电工上通常所说的“地”，就是这里的地，而不是接地体周围 20m 以内的地；通常说的对地电压，即带电体同大地之间的电压差，也是指远离接地体 20m 以外的大地而言的。

当电流通过接地体流入大地时，接地体具有最高的电压，离开接地体时，电压逐渐下降，至离开接地体 20m 处，电压降至零。从最高电压降至零，中间究竟是什么变化规律呢？由于离接地体越远，半球面积越大，因此同样厚度的半球壳体离接地体越远，其电阻越小，其上电压降越小，这就是说，离开接地体后，电压降落的速度逐渐降低。

如果用曲线来表示接地体与周围多点的对地电压，这种曲线就叫做对地电压曲线。显然，随着离开接地体，土壤电阻逐渐减小，根据理论分析，接地体的对地电压曲线，应当具有双曲线的特点。

试验表明，大约有 68% 的电压降，在接地体 1m 以内；大约有 24% 的电压降，在 2m 到第 10m 的范围内；又大约 8% 的电压降，在第 11m 到 20m 的范围内。

如图 3-2 所示是单一接地体的对地电压曲线。有了这样的曲线，就可以比较方便地讨论接触电压和跨步电压了。

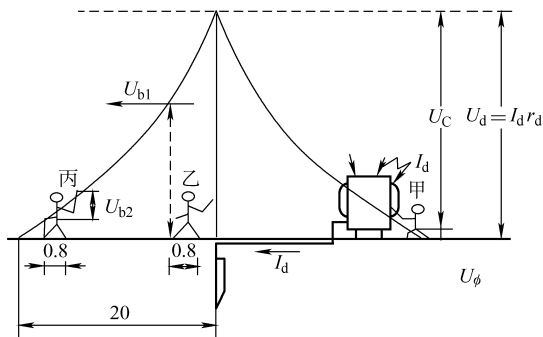


图 3-2 接地体的对地电压曲线

如果人体同时接触具有不同电压的两处，则在人体内有电流通过，人体将构成电流回路的一部分，这时加在人体两点之间的电压差，即称为接触电压。

图 3-2 中，人甲站在地上，其手部以触及漏电的变压器上，手足之间出现电压差，其大小等于漏电设备对地电压 U_d 与他所站立地点对地电压差，即图中上指出的 U_c ，或者说 U_c 就是人体承受的接触电压。跨步电压就是指人站在地上具有不同对地电压的两点，在人的两脚之间所承受的电压差。跨步电压与跨步大小有关，人的跨距一般按 0.8m 考虑，牲畜的跨距可按 1.0 ~ 1.4m 考虑。

如图 3-2 中：乙、丙两人，都承受了跨步电压。乙正处在接地体位置，承受最大的跨步电压 U_{b1} ；丙离开接地体有一定的距离，承受的跨步电压为 U_{b2} ， U_{b2} 比 U_{b1} 要小得多。当然离开接地体 20m 以外，就不用考虑跨步电压的问题了。

二、保护接地的原理

如图 3-3 所示：在不接地的低压系统中，当一相碰壳时，接地电流 I_d 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，运用电工学的原理，可求得漏电设备对地电压为

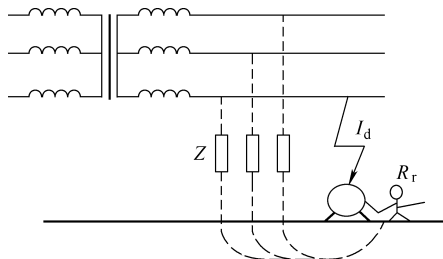


图 3-3 无接地保护等效电路

$$U_d = \frac{3UR_r}{3R_r + Z}$$

式中 U ——电网相电压；

R_r ——人体电阻；

Z ——电网每相对地绝缘电阻。

电网对地绝缘电阻 Z 由电网对地分布电容和对地绝缘电阻组成，并可看作是二者的并联。在一般情况下，绝缘电阻大于分布电容的阻抗，如果把绝缘电阻看作是无量大，则对地电压为

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

式中 U ——电网相电压；

R_r ——人体电阻；

C ——每相对地分布电容；

$\frac{1}{\omega C}$ ——每相对地电容。

当电网对地绝缘良好，且低压系统规模不大时 I_d 很小，漏电时设备对地电压很低；但当电网绝缘性能显著下降，或电网分布规模大时 I_d 很大，对地电压可能上升到危险程度。这就必须采取如图 3-4 所示的保护接地措施。

有了保护接地以后，漏电设备的对地电压主要决定于保护接地电阻 R_b 的大小，由于 R_b 与 R_r 并联，且 $R_b < R_r$ ，可以近似地

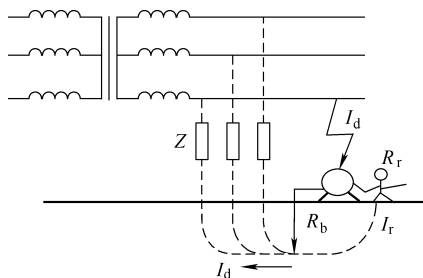


图 3-4 有接地保护的等效电路

认为：当电网对地绝缘良好，且低压系统规模不大时， I_d 很小，漏电时设备对地电压

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

只要适当控制 R_b 的大小，即可以限制漏电设备对地电压到安全范围以内。如：对于长度 1km 的 380V 电缆电网，如果人体电阻为 1500Ω ，当发生漏电且人体触及电气设备时，人体承受的电压为 127V，通过人体的电流约为 84.5mA，这时人是很危险的。

在这种情况下，如果加上保护接地，且接地电阻 $R_b = 4\Omega$ ，则人承受的电压降低为 0.415V，通过人体的电流降低为 0.277mA，对人就没有危险了。

三、保护接地的应用范围

保护接地适用于不接地电网，在这种电网中，不论环境如何，凡是由于绝缘损坏或其他原因，而可能呈现危险电压的金属部分，除另有规定外，都应采取保护接地措施。其主要包括：

- 1) 电机、变压器、携带式或移动式用电设备等的底座和外壳。
- 2) 电气设备的传动装置。
- 3) 互感器的二次线圈。

4) 配电屏、控制台、保护屏及配电柜(箱)的金属或外壳。

5) 电缆支架等。

四、低压电气设备的保护接地电阻

从保护接地的原理可知,保护接地是通过降低接地的电阻值,将漏电设备外壳对地电压限制在安全范围以内,各种保护接地的接地电阻值,就是根据这个原理来确定的。

为使电气设备漏电时外壳对地的电压限制在安全范围内,要求保护接地电阻 $R_b \leq 4\Omega$ 。当配电变压器的容量不超过 100kVA 时,由于电网容量较小,单相接地电流更小,可以放宽对地电阻的要求,可取 $R_b \leq 10\Omega$ 。

第三节 TN 配电系统的概念

目前,我国在低压配电网系统中绝大多数是采用中性点直接接地的三相四线制。因此在这种配电网中,TN 系统是应用最广泛的。

TN 配电系统的电源系统有一点是直接接地,负载设备的外露导电部分是通过保护导体连接到该接地点的系统上,成为保护接零的系统。TN 字母的意义是:T 表示配电网中性点直接接地;N 表示该电器设备金属外壳接零。

典型的 TN 系统的接线方式如图 3-5 所示。在 TN 系统中,当某一相线直接与设备的金属外壳相连接时,就形成了单相短路。造成单相短路将使线路上的保护装置元件迅速动作切断电源,消除触电的危险。

如图 3-5 所示,TN 配电系统有三种类型的接地方式。即:TN-C 系统,TN-S 系统,TN-C-S 系统。其中,TN-C 系统是保护零线与工作零线完全共用的系统,此接线主要应用于爆炸危险小和安全条件较好的工作场所。TN-S 系统是有专用的保护零线 PE,保护零线与工作零线分开的系统应用于爆炸危险性较

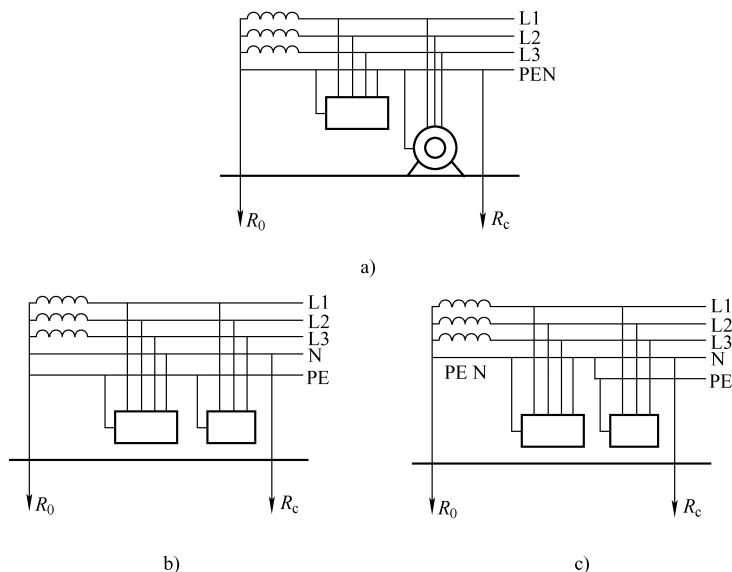


图 3-5 TN 系统的接线方式

a) TN-C 系统 b) TN-S 系统 c) TN-C-S 系统

大或安全要求较高的工作场所。TN-C-S 系统是保护零线与工作零线前部分共用 PEN 线，而后部分是分开。应用于厂区低压进线的车间以及民用建筑的场所。

第四节 保护接零

保护接零就是在正常情况下把电气设备不带电的金属外壳与电网的零线紧密连接起来。在中性点直接接地、电压为 380/220V 的三相四线制配电网中，它是防止在故障带电体上发生触电事故的安全措施。

一、保护接零的原理和应用范围

在中性点直接接地的电网中，如果在用电设备上不采用任何安全措施，当电气设备故障漏电时，触及设备的人体将承受

220V 的电压，这是很危险的。这就需要采取保护接零的安全措施。保护接零的原理如图 3-6 所示。

当某相带电部分碰连电气设备外壳时，经过设备外壳形成该相线对零线的单相短路，短路电流 I_d 促使线路上的保护装置（如熔断器等）迅速动作，从而断开故障部分的电源，消除触电的危险。

应当注意，在这样接地的配电电网中，单纯采取保护接地是不能保证安全的，如图 3-7 所示。

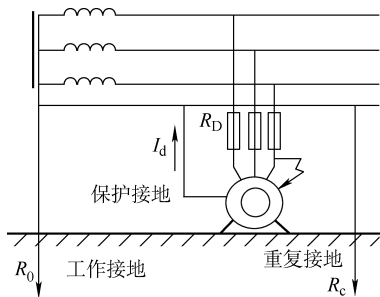


图 3-6 保护接零的原理示意图

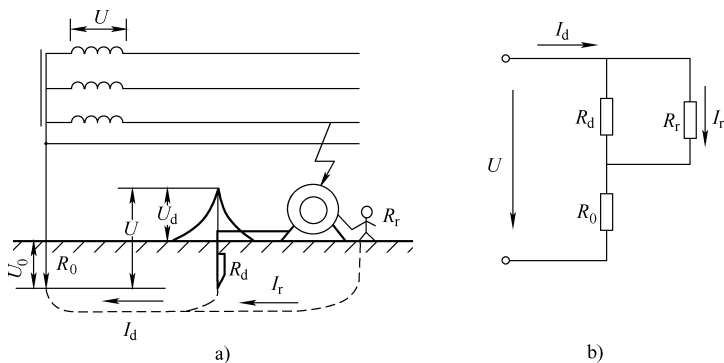


图 3-7 保护接地

a) 接地电网采取保护接地的危险 b) 采取保护接地的简化电路

如果电动机仅有保护接地装置，当某相发生碰壳短路时，人体处在与保护接地装置并联的状态。从其简化电路图分析可知，图 3-7 中 U 为电网相电压， R_d 、 R_0 和 R_r 分别为保护接地装置的接地电阻、变压器中性点的接地电阻和人体的电阻。这时人体承受的电压 U_r 是降落在接地电阻 R_d 上的电压，此电压为

$$U_r = \frac{R_d R_r}{R_d R_0 + R_0 R_r + R_d R_r} U$$

在一般情况下, $R_0 \leq R_r$, $R_d \leq R_r$ 则上式可简化为

$$U_r \approx \frac{R_d}{R_0 + R_d} U$$

通常 R_0 、 R_d 一般不超过 4Ω , 如果都按 4Ω 考虑, 可以得到

$$U_r \approx \frac{4}{4+4} 220V = 110V$$

可见这个电压对人体仍是很危险的。这就是说, 在接地电网中, 单纯采用保护接地, 虽然比不采用任何安全措施好一些, 但并没有彻底地将漏电电压限制在安全范围以内, 危险仍然是存在的。另一方面, 还应该看到, 在上述同等条件下, 可得到以接地相短路电流 I_d 为

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

这个接地的短路电流, 不足以引起线路上的保护装置动作, 电气设备上的危险电压会较长时间存在。一般采用断路器做保护线路的装置, 要求故障电流大于其额定电流的 1.5 倍; 采用熔断器做保护装置, 要求故障电流大于其额定电流的 4 倍。这样才能迅速可靠地切断故障。

这就是说, 在中性点接地的电网中, 如果用电设备采用保护接地, 虽然能够减轻电气设备漏电时的危险, 但不能彻底消除危险性。因此, 在中性点接地的电网中, 不能采用保护接地, 而只能采用保护接零作为安全措施。在变压器中性点直接接地, 电压为 380/220V 的三相四线制电网中, 不论环境如何, 凡因绝缘损坏可能呈现危险对地电压的金属部分, 均应接零, 要求接零和不要求接零的电气设备部分, 与保护接地的要求大致相同。

二、工作接地

变压器低压侧中性点与接地装置直接连接, 即为中性点接

地，称为工作接地。工作接地在减轻故障触电的危险、稳定电网的电位等方面起着重要的作用。

(一) 减轻一相接地的危险

如图 3-8 所示，电网中性点不接地，当有一相碰地时，接地电流并不大，电气设备仍能运行，故障可能长期存在。但这时电流通过设备和人体回到零线而构成回路，这是很危险的。应当看到，当发生上述故障时，不只是某一接零电气设备处在危险状态，而是由该变压器供电的所有接零电气设备都处在危险状态。

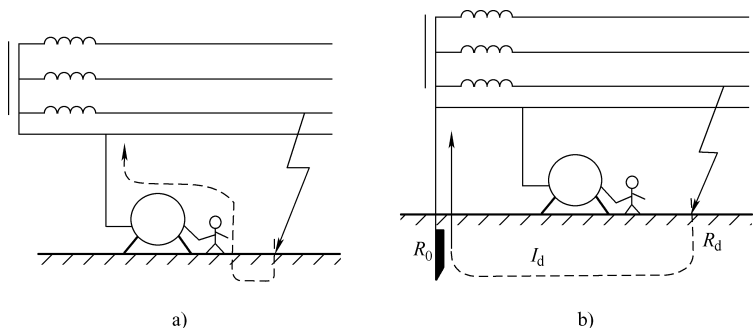


图 3-8 工作接地示意图

a) 中性点不接地系统 b) 中性点接地系统

当变压器中性点直接接地，即变压器有工作接地，上述危险就可以减轻或基本消除。如图 3-8 所示，这时的接地电流 I_d ，主要通过碰地处的接地电阻 R_d 和工作接地电阻 R_0 形成回路，接零电气设备的对地电压 U_0 为

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

从上式可以看出，可以限制 U_0 在某一安全范围以内，如工作接地电阻按 4Ω 考虑，接地时的接地电阻按 10Ω 考虑，则零线对地电压为

$$U_0 = \frac{4}{10 + 4} 220\text{V} = 63\text{V}$$

这样触电的危险性就减小多了。

(二) 减轻高压串入低压侧的危险性

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, 可以减轻高压串入低压的危险。

如图 3-9 所示, 当变压器的绝缘损坏引起高压串入

低压侧时, 由于变压器有工作接地, 低压零线对地电压升高为

$$U_0 = I_d \times R_0$$

如减小 R_0 同样可以限制 U_0 在某一安全范围之内。根据规定, U_0 不得超过 120V, 这就要求变压器工作接地电阻为

$$R_0 \leq \frac{120}{I_d}$$

对于不接地的高压电网, 接地电流一般不超过 30A, 因此 $R_0 \leq 4\Omega$ 是能满足要求的。

三、重复接地

将零线的一处或多处, 通过接地装置与大地再次连接, 称为重复接地。如图 3-10 所示, R_c 即为重复接地点。

(一) 重复接地的安全作用

重复接地是保护接零电网中不可缺少安全措施, 起着降低漏电设备的对地电压、减轻零线断线触电的危险性的作用。

1. 降低漏电设备对地电压

图 3-11 所示是没有装设重复接地的保护接零系统。当

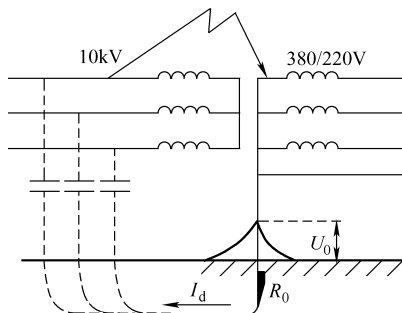


图 3-9 高压串入低压示意图

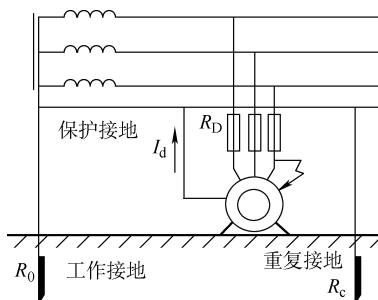


图 3-10 重复接地

发生金属性碰壳短路时, 保护开关在短路电流 I_d 的作用下将迅速动作, 切断电源。但分析可知, 从发生碰壳故障起一直到保护装置动作完毕为止的短时间内, 电气设备外壳还是带电的。其对地电压相应的单相短路电流在零线部分产生了电压降, 电压降 U 与零线阻抗、相线阻

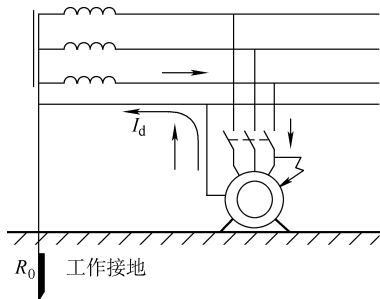


图 3-11 无重复接地的保护接零

抗成正比, 即: 零线阻抗越大电气设备对地电压越高。通常这个电压对人身是有危险的。

对上述情况, 在系统中加上重复接地, 则电气设备的电压降可以降低, 人身触电的危险程度也相对降低了。

2. 减轻零线断线后的危险性

图 3-12 所示是没有重复接地的接零电网的情况。当零线断开时, 断线处的后面的电气设备碰壳时, 接地电流将通过触及设备的人体和work接地形成回路, 由于人体电阻比工作接地电阻大得多, 因此在断裂处的后面, 人体触及任一台接零设备都将承受几乎全部的相电压。

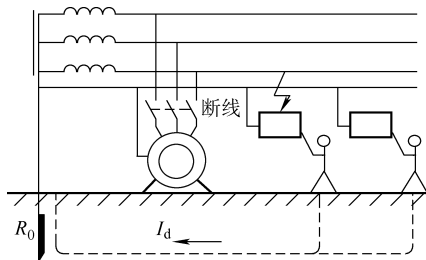


图 3-12 无重复接地时零线断线

图 3-13 所示是在零线上接有重复接地情况, 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 形成回路, 在断裂

处的后面接零设备的对地电压小于相电压的数值，所以危险程度减轻了一些。

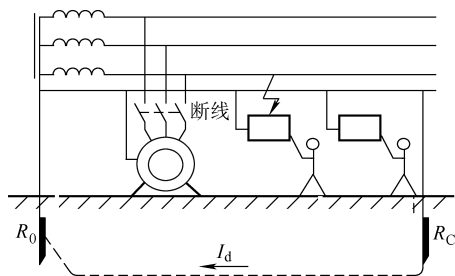


图 3-13 有重复接地时零线断线

因此在保护接零电网中，当零线断线时即使没有设备碰壳的现象，而只是出现三相负荷不平衡，零线上也有可能出现危险的电压。在这种情况下，重复接地也有减轻或消除危险的作用的。

3. 缩短故障持续时间

由于重复接地和工作接地通过大地构成零线的并联分路，当发生短路时能增加短路电流，加速了线路保护装置的动作，缩短了故障的持续时间。线路越长其效果越将显著。

4. 改善防雷性能

重复接地能够改善防雷性能。

(二) 重复接地装置的一般要求

1) 重复接地可以从零线上直接接地，也可以从接零电气设备外壳上接地。

2) 架空线路的干线分支线终端及其沿线路，每隔一公里处应重复接地。

3) 电缆和架空线在引入车间或大型建筑物处应将零线重复接地，或在室内将零线与配电屏、控制屏的接地装置相连。以金属外皮作为零线的低压电缆，也要求重复接地。

4) 车间内部宜采用环路或重复接地，接地装置至少有两处

连接，除进线处一点外，其对角处最近点也要连接。

第五节 接地和接零的比较

一、保护接地和保护接零的不同点

(1) 保护原理不同 保护接地在低压电网中，是限制漏电气设备的对地电压，使其不超过安全范围。而保护接零，是借助于接零线路电气设备漏电形成的单相短路，使线路上的保护装置迅速动作，以及切除故障漏电设备的电源。

(2) 使用范围不同 保护接地适用于一般低压不接地电网以及采用了其他安全措施的低电压接地电网，它也能用于高压不接地电网。保护接零适用于中性点直接接地的低压电网。

(3) 线路的结构不同 保护接地电网除相线外只有保护接地线。保护接零电网除相线外必须有零线，必要时保护零线要与工作零线分开。

二、保护接地和保护接零的相同点

- 1) 在低压电网中，它们都是间接接触的防护措施。
- 2) 需要采取接地措施和接零措施的电气装置的部位相同。
- 3) 接地和接零都要求有一定的接地装置，如保护接地装置、工作接地装置和重复接地装置，而且各接地装置的接地体和接地线，其施工方法、连接方式都基本相同。

第六节 接地装置和接零装置

接地装置由接地体和接地线组成；接零装置由接地装置和零线网组成。

一、自然接地体和人工接地体

为达到接地目的而有计划地埋入地中的金属件称为人工接地体。兼做接地体用的直接与大地接触的各种金属构件、金属井管、钢筋混凝土建筑的基础金属管道和设备等称为自然接地体。

利用自然接地体，不但可以节省钢材和施工费用，还可以降低接地电阻，如有条件，应当优先利用自然接地体。当自然接地体不能满足要求时，再装设人工接地体。在变电所处都要求设计有人工接地体。凡与大地有可能接触的金属导体，除有规定外，均可作为自然接地体。例如：

1) 埋设在地下的金属管道（但不包括易燃、易爆介质的管道）。

2) 金属井管。

3) 与大地有可靠连接的建筑物的金属结构。

4) 水工构筑物及其类似的构筑物的金属管、桩。

二、接地装置和接零装置的安全要求

保持接地装置和接零装置达到安全可靠、良好的运行，对于保障人身安全有着十分重要的意义。对接地装置和接零装置，要具有如下安全要求。

1. 导电的连续性

必须保证电气设备至接地体之间、电气设备至变压器中性点之间具有导电的连续性，不得有断裂、接触不良等现象。采用以建筑物的钢结构、行车轨道、工业管道等自然导电体作接地线时，在其伸缩缝或接头处，应另加跨接线，以保证接地线连续可靠。不得利用蛇皮管、管道保温层的金属外皮或金属网以及电缆金属护层作接地线。所以，自然接地体与人工接地体之间必须可靠，以保证接地装置导电的连续性。

2. 连接的可靠性

接地装置之间的连接，一般采用焊接。扁钢搭接长度应为宽度的2倍，且至少有三个棱边进行焊接。圆钢焊接长度应为直径的6倍；扁钢与钢管、扁钢与角钢焊接时，为了连接可靠，除应在其接触面部位两侧进行焊接外，并应焊接由钢带弯成的弧形卡子，或直接用钢带本身弯成弧形与钢管焊接。利用串联的金属构件、金属管道作接地线时，应在其串联部位焊接金属跨接线。

3. 足够的力学强度

为了保证接地体有足够的力学强度，并考虑到防腐蚀的要求，钢材接地装置的导体截面应符合力学强度的要求，但不应小于表 3-1 所示规格。大中型发电厂、110kV 及以上变电所或腐蚀性较强的场所的接地装置应采用热镀锌钢材，或适当增大截面。

表 3-1 钢接地体和接地线的最小规格

种类规格	地上		地下	
	室内	室外	交流电流回路	直流电流回路
圆钢直径/mm	6	8	10	12
扁钢	截面/mm ²	60	100	100
	厚度/mm	3	4	6
角钢厚度/mm	2	2.5	4	6
钢管管壁厚度/mm	2.5	2.5	3.5	4.5

低压电气设备地面上外露的铜和铝接地线的最小截面应符合表 3-2 所示的规格。

表 3-2 低压电气设备地面上外露的铜和铝接地线的最小截面

名称	铜	铝
明设的裸导体截面/mm ²	4	6
绝缘导体截面/mm ²	1.5	2.5
电缆的接地芯或与相线包在同一保护外壳内的多芯导线的接地芯截面/mm ²	1	1.5

携带式电气设备的接地线应采用软铜绞线，其截面不小于 1.5mm²。

4. 足够的导电能力和热稳定性

采用保护接零时，为了达到促进保护装置迅速动作的单相短路电流值，零线应有足够的导电能力，在不利用自然导体零线的情况下，保护零线导电能力不应低于相线的二分之一。

大接地短路电流电网的接地装置，应校验其发生单相短路接地时的热稳定性，即校验其是否能承受单相接地短路电流转换出来的大量热能，而保持稳定。

5. 防止机械损伤

接地线或接零线应尽量安装在人不宜接触的地方，但又必须在明显处，以便于检修。

6. 防腐蚀措施

为了防止腐蚀，钢制接地装置最好采用镀锌元件制成，焊缝处涂沥青防腐，明设的接地线和接零线可以涂漆防腐。在有强烈腐蚀性的土壤中，接地体应采用镀锌元件制成，并适当的加大其截面积。

7. 合理的地下安装距离

接地体与建筑的距离，不宜小于 1.5m，与独立避雷针的接地体之间的距离，不应小于 3m。同时还要考虑接地体与接地零线对流经易燃易爆管道的距离，以防止火灾或爆炸事故的发生。

8. 接地支线不得串联

为了提高接地的可靠性，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）或接地体连接，不应串联。接地干线（接零干线）应有两处同接地体直接相连，以提高可靠性。

一般厂矿企业单位变电所的接地，即是变压器的工作接地，又是高压电气设备的保护接地，也还是低压配电装置的重复接地，有时还是防雷装置的防雷接地，各部分应单独与接地体相连。

9. 适当的埋设深度

为减少自然因素对接地电阻的影响，接地体顶端埋设深度，一般不应小于 0.6m，并在冻土层以下。

10. 接地电阻和线路保护装置符合要求

接地装置的接地电阻不得超过规定值。在接零电网中，线路上的熔断器或断路器的动作电流，应符合接零保护的要求。

第七节 接地和接零的检查与测量

对接地和接零的检查 and 测量，主要是外观检查，以及对接地电阻和相邻回路的测量。检查和测量周期，可按水利电力部《电气设备预防性试验规定》进行，一般一年一次为宜。因此接地电阻宜在每年3~4月份或其土壤电阻率较高的季节测量。

一、接地线（或接零线）的外观检查

1) 检查绝缘损坏，检查可能呈现对地电压的金属部分是否已经接地（或接零），尤其是对新安装的、临时性的、移动式或携带式的电气设备，要特别注意这一点。

2) 检查接地（或接零线）与电气设备和接地干线（或接零干线）的连接是否牢固和接触良好，当用螺栓连接时，应检查是否有弹簧垫圈或有无松动现象。

3) 检查接地（或接零线）相互间是否焊接良好，搭焊长度与焊缝是否符合要求。当利用电线管、封闭式母线外壳或行车轨道等自然金属作接地线（或接零线）时，各段之间是否有良好的焊接，有无脱焊现象。

4) 检查接地（或接零线）穿过建筑墙壁，经过建筑物伸缩缝时，是否采取了适当的保护措施。

5) 对明设的接地线和接零线，应检查腐蚀情况，尤其是在有腐蚀性物质环境中的零线、接地线表面，检查其是否涂有防腐涂漆。

6) 除进行专门的检查外，其外观检查还应当与电气设备大修、小修等计划检修同时进行，发现问题及时处理。

二、接地电阻的测量

测量接地装置的接地电阻，一般使用接地电阻测量仪进行测量。接地电阻测量仪分为手摇式接地电阻测试仪和钳形接地电阻测试仪。手摇式接地电阻测量仪本身都能产生交变的接地电流，不需要外加电源，使用简单、携带方便，而且抗干扰能力好，应

用十分广泛。如图 3-14 所示, 它有 E、P、C 三个接线端子, 测量时分别接于被测接地体、电压极、电流极, 以大约 120r/min 的速度转动手柄时, 即可产生适当的交变电流, 沿被测接地体和电流极构成回路, 稳定后可直接得出被测接地电阻值。

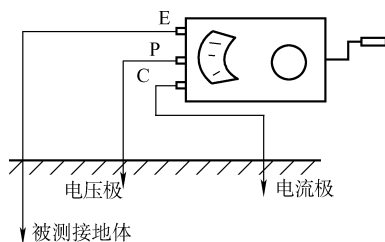


图 3-14 接地电阻的测量

在测量接地电阻时, 应将被测接地体同其他接地体分开, 以保证测量的准确性。同时, 还应把被测接地体同电网分开, 这有利于测量的安全, 而且能避免在测量时, 将测量电压反馈到与被测接地体相连的其他导体上, 还能避免在正常时可能经接地体流散的杂散电流引起的误差。

第四章 低压保护电器

第一节 概 述

低压保护电器主要包括低压断路器的热脱扣器、电磁式过电流脱扣器和失压（欠压）脱扣器、磁力起动器的热继电器、电磁式过电流继电器和失压（欠压）脱扣器以及各种熔断器。

低压电器保护一般分为短路保护、过负荷保护、失压（欠压）保护和触/漏电保护（即触电保护、接地保护）。

短路保护是指输电线路或电气设备发生短路时，迅速切断电源的保护。熔断器、电磁式过电流继电器和低压断路器的电磁脱扣器都是常用的短路保护装置。需要特别指出的是，在中性点直接接地的三相四线制系统中，一旦出现设备外壳带电时，接零保护系统能将漏电电流上升为短路电流。这时短路保护装置应该迅速切断电源，从而保护人身安全和设备安全。

过载保护是指当输电线路或设备的载荷超过允许范围时，能按照设定的时间延时切断电源的保护。热继电器和过电流继电器或低压断路器中的热脱扣器就是常用的过载保护装置。熔断器常用作照明线路和其他没有冲击性载荷线路或设备的保护。很多案例告诉我们，设备损坏往往造成人身事故，所以过载保护对人身安全有很大意义。

失压（欠压）保护是指当电源电压消失或低于某一值时，能自动切断电源的保护。失压（欠压）保护的作用是当电源电压恢复时，用电设备不会突然起动，造成人身或设备事故，同时也可以避免用电设备在低于额定电压下勉强运行而损坏。

第二节 漏电保护器

低压配电系统中装设漏电保护器（剩余电流动作保护器）是防止电击事故的有效措施之一，也是防止因漏电而引起电气火灾和电气设备损坏事故的技术措施。但安装漏电保护器后，仍应以预防为主，并应同时采取其他各项防止电击和电气设备损坏事故的技术措施。漏电保护器适用于工作电压为交流 50Hz、220/380V 电源中性点直接接地的供用电系统。

一、漏电保护器的工作原理

触/漏电保护器是在规定的条件下，当漏电电流达到或超过给定值时能自动断开电路或报警的机械开关电器或组合电器。包括各类漏电断路器、带漏电保护的插头（座）、漏电保护继电器、漏电火灾报警器、带漏电保护功能的组合电器等。

漏电保护器主要包括检测元件（零序电流互感器）、中间环节（包括放大器、比较器、脱扣器等）、执行元件（主断路器）以及试验元件等几个部分。

图 4-1 是三相四线制供电系统的漏电保护器工作原理示意图。TA 为零序电流互感器，QF 为主断路器，TL 为主断路器的分励脱扣器线圈。

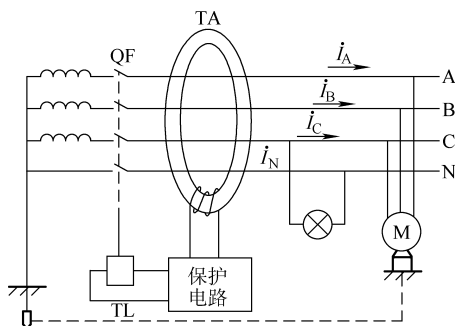


图 4-1 漏电保护器工作原理图

在被保护电路工作正常，没有发生漏电或触电的情况下，由基尔霍夫定律可知，通过 TA 一次侧的电流相量和等于零，即

$$I_{L_1} + I_{L_2} + I_{L_3} + I_N = 0$$

这使得 TA 铁芯中的磁通的向量和也为零，即

$$\Phi_{L_1} + \Phi_{L_2} + \Phi_{L_3} + \Phi_N = 0$$

这样 TA 的二次侧不产生感应电动势，漏电保护器不动作，系统保持正常供电。

当被保护电路发生漏电或有人触电时，由于漏电电流的存在，通过 TA 一次侧各相电流的相和不再等于零，产生了漏电电流 I_k ，在铁心中出现了交变磁通。在交变磁通作用下，TA 二次侧线圈就有感应电动势产生。此漏电信号经中间环节进行处理和比较，当达到预定值时，使主断路器分励脱扣器线圈通电，驱动主断路器 QF 自动跳闸，切断故障电路，从而实现保护。

二、装设漏电保护器的范围

1. 对直接接触的防护

1) 漏电保护器只作为直接接触防护中基本保护措施附加保护。

2) 用于直接接触电击防护时，应选用高灵敏度、快速动作型的漏电保护器。动作电流不超过 30mA。

2. 对间接接触的防护

1) 间接接触电击防护主要是采用自动切断电源的保护方式，以防止发生接地故障电气设备的外露可导电部分持续带有危险电压而产生电击的危险。

2) 在间接接触防护中，采用自动切断电源的漏电保护器时，应正确地与电网的接地形式相配合。

3) 用于间接接触电击防护时，漏电保护器在各类系统接地形式（参见附录 C）中的正确使用。

① 在 TN 系统中，当电路发生绝缘损坏故障，其故障电流值小于过电流保护装置的動作电流值时，需装漏电保护器。

② 在采用漏电保护器的 TN 系统中,使用的电气设备外露可导电部分可根据电击防护措施具体情况,采用单独接地,形成局部 TT 系统。

③ TT 系统的电气线路或电气设备,应优先考虑装设漏电保护器,作为防电击的保护措施。

3. 对电气火灾的防护

1) 为防止电气设备与线路因绝缘损坏引起的电气火灾,宜装设当漏电电流超过预定值时,能发出声光信号报警或自动切断电源的漏电保护器。

2) 为防止电气火灾而安装的漏电保护器、漏电继电器或报警装置,与末端保护的关系宜形成分级保护。

4. 分级保护

1) 为了缩小发生人身电击及接地故障切断电源时引起的停电范围,漏电保护器的分级保护一般分为两极。两级漏电保护器的额定漏电动作电流和动作时间应协调配合。

2) 安装在电源端的漏电保护器应采用低灵敏度延时型的漏电保护器。

5. 必须装漏电保护器(漏电开关)的设备和场所

1) 属于 I 类的移动式电气设备及手持式电动工具^①。

2) 安装在潮湿、强腐蚀性等恶劣场所的电气设备。

3) 建筑施工工地的电气施工机械设备。

4) 暂设临时用电的电器设备。

5) 宾馆、饭店及招待所的客房内插座回路。

6) 机关、学校、企业、住宅等建筑物内的插座回路。

7) 游泳池、喷水池、浴池的水中照明设备。

8) 安装在水中的供电线路和设备。

① 电气产品按防电击保护绝缘等级可分为 0、I、II、III 四类。I 类为产品的防电击防护不仅依靠设备的基本绝缘,而且还包含一个附加的安全预防措施。如产品外壳接地,其方法是将可能触及的可导电的零件与已安装的固定线路中的保护线连接起来,以使可触及的可导电的零件在基本绝缘损坏的事故中不成为带电体。

9) 医院中直接接触人体的电气医用设备[⊖]。

10) 其他需要安装漏电保护器的场所。

6. 报警式漏电保护器的应用

对一旦发生漏电切断电源时，会造成事故或重大经济损失的电气装置或场所，应安装报警式漏电保护器，如：

1) 公共场所的通道照明、应急照明。

2) 消防用电梯及确保公共场所安全的设备。

3) 用于消防设备的电源，如火灾报警装置、消防水泵、消防通道照明等。

4) 用于防盗报警的电源。

5) 不允许停电的特殊设备和场所。

7. 可不装设漏电保护器的设备

1) 使用安全电压供电的电气设备。

2) 一般环境条件下使用的具有双重绝缘或加强绝缘的电气设备。

3) 使用隔离变压器供电的电气设备。

4) 在采用了不接地的局部等电位连接安全措施的场所中使用的电气设备。

5) 在没有间接接触电击危险场所的电气设备。

三、漏电保护器的选择

正确合理地选择漏电保护器的额定漏电动作电流非常重要：一方面在发生触电或泄漏电流超过允许值时，漏电保护器可选择地动作；另一方面，漏电保护器在正常泄漏电流作用下不应动作，防止供电中断而造成不必要的经济损失。

1. 漏电保护器的技术条件应符合 GB 6829 的有关规定，并具有国家认证标志，其技术额定值应与被保护线路或设备的技术参数相配合（参见附录 D）。

2. 根据电气设备的供电方式选用漏电保护器

⊖ 根据 GB 9706.1 指 H 类的医用设备。

1) 单相 220V 电源供电的电气设备应选用二极二线式或单极二线式漏电保护器。

2) 三相三线式 380V 电源供电的电气设备, 应选用三级式漏电保护器。

3) 三相四线式 380V 电源供电的电气设备, 或单相设备与三相设备共用的电路, 应选用三极四线式, 四极四线式漏电保护器。

3. 根据电气线路的正常泄漏电流, 选择漏电保护器的额定漏电动作电流

1) 选择漏电保护器的额定漏电动作电流值时, 应充分考虑到被保护线路和设备可能发生的正常泄漏电流值, 必要时可通过实际测量取得被保护线路或设备的泄漏电流值。

2) 选用的漏电保护器的额定漏电不动作电流, 应不小于电气线路和设备的正常泄漏电流的最大值的 2 倍。

4. 根据电气设备的环境要求选用漏电保护器

1) 漏电保护器的防护等级应与使用环境条件相适应。

2) 对电源电压偏差较大的电气设备应优先选用电磁式漏电保护器。

3) 在高温或特低温环境中的电气设备应优先选用电磁式漏电保护器。

4) 雷电活动频繁地区的电气设备选用冲击电压不动作型漏电保护器。

5) 安装在易燃、易爆、潮湿或有腐蚀性气体等恶劣环境中的漏电保护器, 应根据有关标准选用特殊防护条件的漏电保护器, 否则应采取相应的防护措施。

5. 对漏电保护器动作参数的选择

1) 手持式电动工具、移动电器、家用电器插座回路的设备应优先选用额定漏电动作电流不大于 30mA 快速动作的漏电保护器。

2) 单台电机设备可选用额定漏电动作电流为 30mA 及以上、

100mA 以下快速动作的漏电保护器。

3) 有多台设备的总保护应选用额定漏电动作电流为 100mA 及以上快速动作的漏电保护器。

6. 对特殊负荷和场所应按其特点选用漏电保护器

1) 医院中的医疗电气设备安装漏电保护器时, 应选用额定漏电动作电流为 10mA、快速动作的漏电保护器。

2) 安装在潮湿场所的电气设备应选用额定漏电动作电流为 15 ~ 30mA、快速动作的漏电保护器。

3) 安装于游泳池、喷水池、水上游乐场、浴室的照明线路, 应选用额定漏电动作电流为 10mA、快速动作的漏电保护器。

4) 在金属物体上工作, 操作手持式电动工具或行灯时, 应选用额定漏电动作电流为 10mA、快速动作的漏电保护器。

5) 连接室外架空线路的电气设备应选用冲击电压不动作型漏电保护器。

6) 带有架空线路的总保护应选择中、低灵敏度及延时动作的漏电保护器。

四、漏电保护器的安装

1. 漏电保护器的安装要求

1) 漏电保护器的安装应符合生产厂产品说明书的要求。

2) 漏电保护器的安装应充分考虑供电线路、供电方式、供电电压及系统接地形式。

3) 漏电保护器的额定电压、额定电流、短路分断能力、额定漏电动作电流、分断时间应满足被保护供电线路和电气设备的要求。

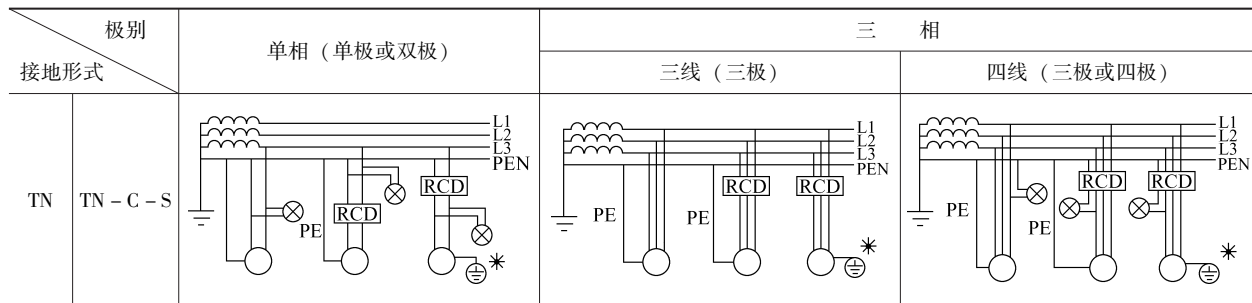
4) 漏电保护器的安装接线应正确, 在不同的系统接地形式的单相、三相三线、三相四线供电系统中漏电保护器的正确接线方式见表 4-1。应注意以下问题:

① 三相三极式漏电保护器因其电流互感器线圈内仅穿过三根相线, 从而适用于对 N 线无要求的负载, 如电动机类负载。

表 4-1 漏电保护器连接方式

极别 接地形式	单相（单极或双极）	三 相	
		三线（三极）	四线（三极或四极）
TT			
TN			

(续)



- 注：1. L1、L2、L3 为相线；N 为中性线；PE 为有保护线；PEN 为中性线和保护线合一；○为单相或三相电气设备；⊗为相照明设备；**RCD**为漏电保护器；⊕为不与系统中性接地点相连的单独接地装置，作保护接地用。
2. 单相负载或三相负载在不同的接地保护系统的接线方式图中，左侧设备为未装有漏电保护器，中间和右侧为装用漏电保护器的接线图。
3. 在 TN 系统中使用漏电保护器的电气设备，其外露可导电部分的保护线可接在 PEN 线，也可接在单独接地装置上而形成局部 TT 系统，如 TN 系统接线方式图中的右侧设备的接线。

② 三相四极式漏电保护器适用于三相四线制供电系统中,如果系统采用保护接零方式,则从漏电保护器安装地点起,三相四线制供电系统就应改为三相五线制供电系统。即将工作零线 N 线与保护线 PE 线分开,且 N 线不管是 TT 系统还是 TN 系统都不可重复接地。在接线时必须注意不得将 PE 线穿过漏电保护器的电流互感器线圈。

2. 漏电保护器对低压电网的要求

1) 漏电保护器负载侧的中性线不得与其他回路共用。

2) 当电气设备装有高灵敏度的漏电保护器时,则电气设备单独接地装置的接地电阻最大可放宽到 500Ω ,但预期接触电压必须限制在允许的范围内。

3) 装有漏电保护器保护的线路及电气设备,其泄漏电流必须控制在允许范围内,同时应满足本节中的三、3.2) 的规定。当其泄漏电流大于允许值时,必须更换绝缘良好的供电线路。

4) 安装漏电保护器的电动机及其他电气设备在正常运行时的绝缘电阻值不应小于 $0.5M\Omega$ 。

3. 安装漏电保护器的施工要求

1) 漏电保护器标有负载侧和电源侧时,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,但应按本节中的四、1.4) 及四、2.1) 中的要求进行检查和调整。

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) 漏电保护器安装后的检验项目

- ① 用试验按钮试验 3 次，应正确动作。
- ② 带负荷分合开关 3 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，三极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。

8) 漏电保护器的安装必须由经技术培训考核合格的电工负责进行。

五、漏电保护器的运行和管理

1) 漏电保护器在投入运行后，使用单位应建立运行记录（运行记录样式参见附录 E）并建立相应的管理制度。

2) 漏电保护器投入运行后，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：

- ① 测试漏电动作电流值。
- ② 测试漏电不动作电流值。
- ③ 测试分断时间。

5) 退出运行的漏电保护器再次使用前，应按上条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) 漏电保护器动作后，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。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。

第三节 其他保护电器

一、低压熔断器

低压熔断器是一种简单而有效的保护电器,它是一种根据电流超过规定值一定时间后,以其自身产生的热量使熔体熔化,从而使电路断开的原理制成的电流保护器。熔断器广泛应用于低压配电系统和控制系统及用电设备中,作为短路和过电流保护,是应用最普遍的保护器件之一。使用时,将熔断器串联于被保护电路中,当被保护电路发生短路故障时,电路的电流增大并超过规定值,经过一定时间后,由熔体自身产生的热量熔断熔体,使电路断开,起到保护作用。

(一) 熔断器的结构和特性

熔断器主要由熔体、外壳和支座3部分组成,其中熔体是控制熔断特性的关键元件。熔体的材料、尺寸和形状决定了熔断特性。熔体材料分为低熔点和高熔点两类。低熔点材料如铅和铅合金,其熔点低,容易熔断,由于其电阻率较大,故制成熔体的截面尺寸较大,熔断时产生的金属蒸汽较多,只适用于低分断能力的熔断器。高熔点材料如铜、银,其熔点高,不容易熔断,但由

于其电阻率较低,可制成比低熔点熔体较小的截面尺寸,熔断时产生的金属蒸汽少,适用于高分断能力的熔断器。熔体的形状分为丝状和带状两种。改变截面的形状可显著改变熔断器的熔断特性。低压熔断器的熔体常做成丝状、栅状或片状。熔体材料具有相对熔点低、特性稳定、易于熔断的特点。一般采用铅锡合金、镀银铜片、锌、银等金属制成。

熔断器具有反时延特性,即过载电流小时,熔断时间长;过载电流大时,熔断时间短。所以,在一定过载电流范围内,当电流恢复正常时,熔断器不会熔断,可继续使用。

(二) 低压熔断器的分类

1. 插入式熔断器

如图 4-2 所示,它常用于 380V 及以下电压等级的线路末端,作为配电支线或电气设备的短路保护作用。

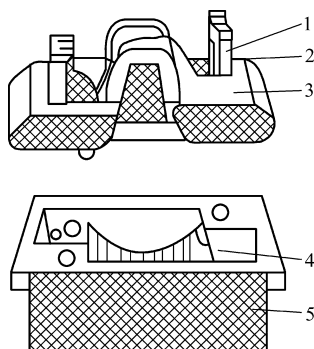


图 4-2 插入式熔断器

1—动触头 2—熔体 3—瓷插件
4—静触头 5—瓷座

2. 螺旋式熔断器 (RL)

如图 4-3 所示,在熔断管中装有石英砂,熔体埋于其中,熔体熔断时,电弧喷向石英砂及其缝隙,可迅速降温而熄灭。为了便于监视,熔断器一端装有色点,不同的颜色表示不同的熔体

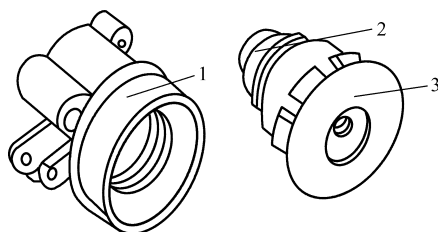


图 4-3 螺旋式熔断器

1—底座 2—熔体 3—瓷帽

电流，一旦熔体熔断，指示器动作，色点马上跳出，示意熔体已熔断，并可透过瓷帽上的玻璃孔清楚地观察到。螺旋式熔断器额定电流为 $5 \sim 200\text{A}$ ，分断电流较大，可用作短路保护，主要用于电压等级 500V 及以下、电流等级 200A 以下的电路中，多用于短路电流大的分支电路或有易燃气体的场所，它常用于机床电气控制设备中。

3. 无填料管式熔断器 (RM)

如图 4-4 所示，无填料管式熔断器的熔丝管是由纤维物制成。使用的熔体为变截面的锌合金片。熔体熔断时，纤维熔管的部分纤维物因受热而分解，产生高压气体，使电弧很快熄灭。无填料管式熔断器具有结构简单、保护性能好、使用方便等特点，一般均与刀开关组成熔断器刀开关组合使用。因分断能力稍小，常用于 500V 以下、 600A 以下电力网或配电设备中。

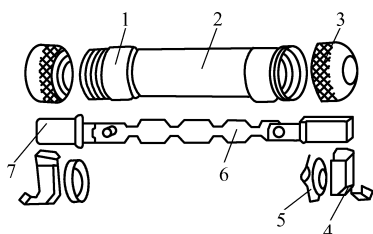


图 4-4 无填料密闭管式熔断器

1—铜圈 2—熔断管 3—管帽 4—插座
5—特殊垫圈 6—熔体 7—熔片

4. 有填料管式熔断器 (RT)

如图 4-5 所示，有填料管式熔断器是一种有限流作用的熔断器。由填有石英砂的瓷熔管、触头和镀银铜栅状熔体组成。填料管式熔断器装在特别的底座上，如带隔离刀的底座或以熔断器为隔离刀的底座上，通过手动机构操作，分断能力强。填料管式熔断器额定电流为 $50 \sim 1000\text{A}$ ，主要用于电压等级 500V 以下、短路电流大的电路或有易燃气体的场所。

5. 有填料封闭式快速熔断器 (RS)

有填料封闭式快速熔断器是一种快速动作型的熔断器。它的结构和有填料封闭式熔断器基本相同，都是由熔断管、触头底座、动作指示器和熔体组成。但熔体材料和形状不同。熔体为银质窄截面或网状形式，一次性使用，不能自行更换。由于其具有

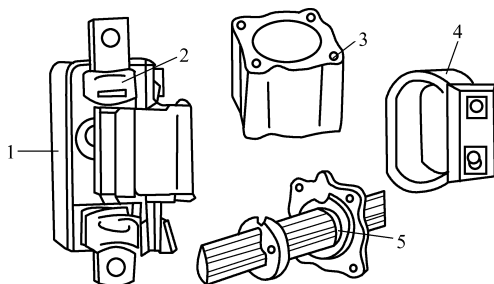


图 4-5 有填料封闭管式熔断器

1—瓷底座 2—弹簧片 3—管体 4—绝缘手柄 5—熔体

快速动作性，一般作为半导体整流元件或整流装置的短路保护。由于半导体元件的过载能力很低，只能在极短时间内承受较大的过载电流，因此要求短路保护具有快速熔断的能力。

6. 自复熔断器

采用金属钠作熔体，在常温下具有高电导率。当电路发生短路故障时，短路电流产生高温使钠迅速汽化，气态钠呈现高阻态，从而限制了短路电流。当短路电流消失后，温度下降，金属钠恢复原来的良好导电性能。自复熔断器只能限制短路电流，不能真正分断电路。其优点是不必更换熔体，能重复使用。

此外，熔断器根据分断电流范围还可分为一般用途熔断器、后备熔断器和全范围熔断器。一般用途熔断器的分断电流范围指从过载电流大于额定电流 1.6 ~ 2 倍起，到最大分断电流的范围。这种熔断器主要用于保护电力变压器和一般电气设备。后备熔断器的分断电流范围指从过载电流大于额定电流 4 ~ 7 倍起，至最大分断电流的范围。这种熔断器常与接触器串联使用，在过载电流小于额定电流 4 ~ 7 倍的范围时，由接触器来实现分断保护，主要用于保护电动机。

随着工业发展的需要，还制造出适于各种不同要求的特殊熔断器，如电子熔断器和热熔熔断器等。

(三) 低压熔断器的应用与熔丝选择

由于各种电气设备都具有一定的过载能力,允许在一定条件下较长时间运行;而当负载超过允许值时,就要求保护熔体在一定时间内熔断。还有一些设备起动电流很大,但起动时间很短,所以要求这些设备的保护特性要适应设备运行的需要,要求熔断器在电动机起动时不熔断,在短路电流作用下和超过允许过负荷电流时,能可靠熔断,起到保护作用。熔体额定电流选择偏大,负载在短路或长期过负荷时不能及时熔断;选择过小,可能在正常负载电流作用下就会熔断,影响正常运行。为保证设备正常运行,必须根据负载性质合理地选择熔体额定电流。

(1) 照明电路 熔体额定电流 $\geq$ 被保护电路上所有照明电器工作电流之和。

(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: 总保护熔体额定电流 $= (1.5 \sim 2.5) \times$ 各台电动机电流之和。

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) 绕线式电动机: 熔体额定电流 $= (1.2 \sim 1.5) \times$ 电动机额定电流。

(3) 配电变压器低压侧 熔体额定电流 $= (1.0 \sim 1.5) \times$ 变压器低压侧额定电流。

(4) 并联电容器组 熔体额定电流 $= (1.43 \sim 1.55) \times$ 电容器组额定电流。

(5) 电焊机 熔体额定电流 $= (1.5 \sim 2.5) \times$ 负荷电流。

(6) 电子整流元件 熔体额定电流 $\geq 1.57 \times$ 整流元件额定电流。

说明: 熔体额定电流的数值范围是为了适应熔体的标准件额定值。

(四) 熔断器使用注意事项

1) 熔断器的保护特性应该与被保护对象的过载特性相适应,考虑到可能出现的短路电流,选用相应分断能力的熔断器。

2) 熔断器的额定电压要适应线路电压等级,熔断器的额定电流要大于或等于熔体额定电流。

3) 线路中各级熔断器熔体额定电流要相应配合,保持前一级熔体额定电流必须大于下一级熔体额定电流。

4) 熔断器的熔体要按要求使用相配合的熔体,不允许随意加大熔体或用其他导体代替熔体。

二、热继电器

继电器作为电动机的过载保护元件,以其体积小、结构简单、成本低等优点在生产中得到了广泛应用。

(一) 热继电器的工作原理

热继电器的工作原理如图 4-6 所示。

热继电器是由流入热元件的电流产生热量,使有不同膨胀系数的双金属片发生变形,当变形达到一定程度时,就推动连杆动作,使控制电路断开,从而使接触器失电,主电路断开,实现电动机的过载保护。

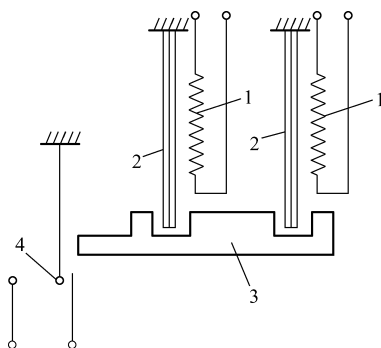


图 4-6 热继电器的工作原理

1—热元件 2—双金属片 3—导板 4—触头

热继电器的结构如图 4-7 所示。

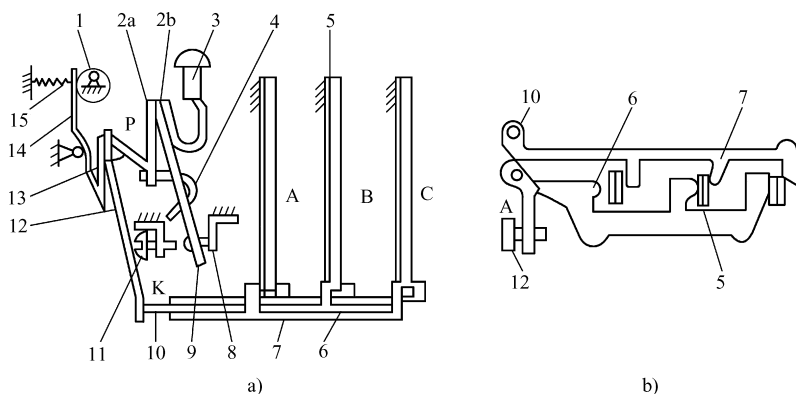


图 4-7 热继电器的结构

a) 结构示意图 b) 差动式断相保护示意图

- 1—电流调节凸轮 2—片簧 (2a, 2b) 3—手动复位按钮 4—弓簧片
5—主金属片 6—外导板 7—内导板 8—常闭静触头 9—动触头
10—杠杆 11—常开静触头 (复位调节螺钉) 12—补偿双金属片
13—推杆 14—连杆 15—压簧

使用热继电器对设备保护时，将热元件与设备串联，将热继电器的常闭触头串联在交流接触器的电磁线圈的控制电路中，并调节整定电流调节旋钮，使补偿双金属片与推杆相距一定的距离。当设备正常工作时，通过热元件的电流即为设备的额定电流，热元件发热，双金属片受热后弯曲，使推杆刚好与补偿双金属片接触，而又不能推动补偿双金属片。常闭触头处于闭合状态，交流接触器保持吸合状态，设备正常运行。若设备出现过载情况，设备电流增大，通过热继电器元件中的电流增大使双金属片温度升得更高，弯曲程度加大，推动补偿双金属片，补偿双金属片推动常闭触头，使触头断开而断开交流接触器线圈电路，使接触器释放、切断设备的电源，设备停车而得到保护。

(二) 热继电器的应用与整定

热继电器主要用于保护设备的过载，因此选用时必须了解设

备的情况，如工作环境、启动电流、负载性质、工作制、允许过载能力等。

1) 原则上应使热继电器的安秒特性尽可能接近甚至重合设备的过载特性，或者在设备的过载特性之下，同时在设备短时过载和启动的瞬间，热继电器应不受影响（不动作）。

2) 当热继电器用于保护长期工作制或间断长期工作制的设备时，一般按设备的额定电流来选用。例如，热继电器的整定值可等于 $0.95 \sim 1.05$ 倍设备的额定电流。

三、电磁式继电器

（一）电磁继电器的工作原理

电磁式继电器一般由铁心、线圈、衔铁、触头簧片等组成的。只要在线圈两端加上一定的电压，线圈中就会流过一定的电流，从而产生电磁效应，衔铁就会在电磁力吸引的作用下克服返回弹簧的拉力吸向铁心，从而带动衔铁的动触头与静触头（常开触头）吸合。当线圈断电后，电磁的吸力也随之消失，衔铁就会在弹簧的反作用力作用下返回原来的位置，使动触头与原来的静触头（常闭触头）吸合。这样吸合、释放，从而达到了在电路中的导通、切断的目的。对于继电器的“常开、常闭”触点，可以这样来区分：继电器线圈未通电时处于断开状态的静触头，称为“常开触头”；处于接通状态的静触头称为“常闭触头”。

（二）电磁式继电器的测试

1. 测触头电阻

用万能表的电阻挡，测量常闭触头与动触头电阻，其阻值应为 0；而常开触头与动触头的阻值就为无穷大。由此可以区别出那个是常闭触头，那个是常开触头。

2. 测线圈电阻

可用万能表 $R \times 10\Omega$ 挡测量继电器线圈的阻值，从而判断该线圈是否存在开路现象。

3. 测量吸合电压和吸合电流

找来可调稳压电源和电流表，给继电器输入一组电压，且在供电回路中串入电流表进行监测。慢慢调高电源电压，听到继电器吸合声时，记下该吸合电压和吸合电流。为求准确，可以多试几次而求平均值。

4. 测量释放电压和释放电流

也是像上述那样连接测试，当继电器发生吸合后，再逐渐降低供电电压，当听到继电器再次发生释放声音时，记下此时的电压和电流，亦可尝试多次而取得平均的释放电压和释放电流。在一般情况下，继电器的释放电压约为吸合电压的 10% ~ 50%，如果释放电压太小（小于 1/10 的吸合电压），则不能正常使用了，因为这样会对电路的稳定性造成威胁，工作不可靠。

（三）继电器的选用

1. 先了解必要的条件

- 1) 控制电路的电源电压，能提供的最大电流。
- 2) 被控制电路中的电压和电流。
- 3) 被控电路需要几组、什么形式的触头。选用继电器时，一般控制电路的电源电压可作为选用的依据。控制电路应能给继电器提供足够的工作电流，否则继电器吸合是不稳定的。

2. 型号和规格

查阅有关资料，确定使用条件，找出需要的继电器的型号和规格号。

四、交流接触器

在各种低压电力系统中，交流接触器被用来频繁接通和断开各种大容量的控制电路或带有负荷的主电路，以便实现远距离的自动控制。

1. 交流接触器的结构

如图 4-8 所示，交流接触器主要由触头部分、电磁部分和弹簧部分组成。

（1）触头系统 采用双断点桥式触头结构，一般有三对常开主触头。主触头接于主电路中。

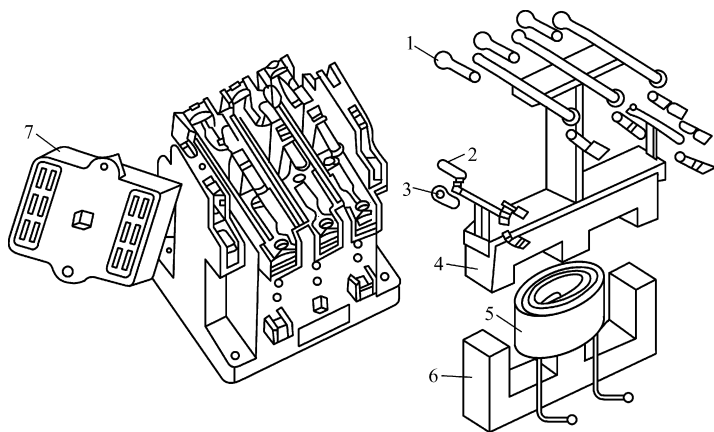


图 4-8 交流接触器的结构示意图

- 1—常开主触头 2—常闭辅助触头 3—常开辅助触头
4—衔铁 5—吸引线圈 6—铁心 7—灭弧罩

(2) 电磁系统 包括动、静铁心，吸引线圈和反作用弹簧。各等级交流接触器的电磁系统是通用的，电磁铁工作可靠、损耗小、噪声小，具有很高的机械强度。吸引线圈接于控制电路中，线圈的接线端装有按电压等级不同标着特定颜色的标志牌，清晰醒目、接线方便，可有效避免因接错电压导致线圈烧毁现象的发生。

(3) 灭弧系统 大容量的接触器 (20A 以上) 采用缝隙灭弧罩及灭弧栅片灭弧，小容量接触器采用双断口触头灭弧、电力灭弧、相间弧板隔弧及陶土灭弧罩灭弧。

2. 交流接触器的工作原理

当吸引线圈两端加上额定电压时，动、静铁心间产生大于反作用弹簧弹力的电磁吸力，动、静铁心吸合，带动动铁心上的动触头动作，与静触头闭合，即常闭触头断开，常开触头闭合，主电路接通；当吸引线圈端电压消失后，线圈的电磁吸力消失，触头在反弹力作用下，动静触头打开，切断主电路，恢复常态。

3. 短路环的作用

当吸引线圈两端加上额定电压时,由于交流电的周期性变化,导致线圈吸力也随之变化,造成衔铁的震动,产生噪声。为防止这种现象的发生,在铁心极面下安装一个短路环。这样,当磁通发生变化时,在短路环中将产生感应电流,而此电流产生的磁通将滞后原磁通 90° ,从而使整个铁心磁场发生变化,使其吸力也发生变化,减小铁心震动,减小噪声。

五、低压断路器

低压断路器是低压配电网络和电力拖动系统中非常重要的一种电器。它集控制和多种保护功能于一身,除了能完成接触和分断电路外,尚能对电路或电气设备发生的短路、严重过载及欠电压等进行保护,同时也可以用于不频繁起动的电动机。

1. 低压断路器结构

低压断路器由操作机构、触头、保护装置(各种脱扣器)、灭弧系统等组成。

2. 低压断路器原理

低压断路器的主触头是靠手动操作或电动合闸的。主触头闭合后,自由脱扣机构将主触头锁在合闸位置上。过电流脱扣器的线圈和热脱扣器的热元件与主电路串联,欠电压脱扣器的线圈和电源并联。当电路发生短路或严重过载时,过电流脱扣器的衔铁吸合,使自由脱扣机构动作,主触头断开主电路。当电路过载时,热脱扣器的热元件发热使双金属片上弯曲,推动自由脱扣机构动作。当电路欠电压时,欠电压脱扣器的衔铁释放,也使自由脱扣机构动作。分励脱扣器则作为远距离控制用,在正常工作时,其线圈是断电的,在需要距离控制时,按下起动按钮,使线圈通电,衔铁带动自由脱扣机构动作,使主触头断开。

低压断路器按结构形式分为有塑壳式、框架式、限流式、直流快速式、灭磁式和漏电保护式;按极数分为单极、两极和三级;按保护形式分为电磁脱扣器式、热脱扣器式、复合脱扣器式(常用)和无脱扣器式;按全分断时间分为一般式和快速式(先于脱扣机构动作,脱扣时间在 0.02s 以内)。

低压断路器具有操作安全、使用方便、工作可靠、安装简单、动作后（如短路故障排除后）不需要更换元件（如熔体）等优点。它的功能相当于刀开关、过电流继电器、失压继电器、热继电器及漏电保护器等电器部分或全部的功能总和，是低压配电网中一种重要的保护电器。

3. 低压断路器的一般选用原则

- 1) 额定电压必须大于或等于电网的额定电压。
- 2) 额定电流及其过电流脱扣器的额定电流必须大于其所控制、保护电网中计算的最大负荷电流值。
- 3) 低压断路器在故障（短路）情况下的最大分断容量必须大于其所控制、保护电网中计算的最大短路电流值。
- 4) 失压脱扣器线圈的额定电压必须与所接入电网的额定电压一致。
- 5) 专门用于控制和保护电动机的低压断路器，其动作电流、动作时间应以躲过电动机最大起动电流、起动时间为原则。当该低压断路器过负荷电流值达到 7 倍的电动机额定电流时，其延时动作时间应大于该电动机的实际起动时间。当电动机采用降压起动时，其起动电流远小于全压起动的电流值，所以低压断路器不会在起动过程中动作。当线路发生故障（短路）使故障（短路）电流增加至电动机额定电流的 8 倍以上时，低压断路器应瞬时跳闸，以保护电动机。

第四节 熔断器与其他保护电器的配合

熔断器根据使用电压可分为高压熔断器和低压熔断器；根据保护对象可分为保护变压器用和一般电气设备用的熔断器、保护电压互感器的熔断器、保护电力电容器的熔断器、保护半导体元件的熔断器、保护电动机的熔断器和保护家用电器的熔断器等；根据结构可分为敞开式、半封闭式、管式和喷射式熔断器。

敞开式熔断器结构简单，熔体完全暴露于空气中，由瓷柱作支撑，没有支座，适于低压户外使用，分断电流时在大气中产生较大的声光。

半封闭式熔断器的熔体装在瓷架上，插入两端带有金属插座的瓷盒中，适于低压户内使用，分断电流时，所产生的声光被瓷盒挡住。

管式熔断器的熔体装在熔断体内，然后插在支座或直接连在电路上使用。熔断体是两端套有金属帽或带有触刀的完全密封的绝缘管。这种熔断器的绝缘管内若充以石英砂，则分断电流时具有限流作用，可大大提高分断能力，故又称为高分断能力熔断器；若管内抽真空，则称作真空熔断器；若管内充以 SF_6 气体，则称作 SF_6 熔断器，其目的是改善灭弧性能。由于石英砂、真空和 SF_6 气体均具有较好的绝缘性能，故这种熔断器不但适用于低压也适用于高压。

喷射式熔断器是将熔体装在由固体产气材料制成的绝缘管内。固体产气材料可采用电工反白纸板或有机玻璃材料等。当短路电流通过熔体时，熔体随即熔断产生电弧，高温电弧使固体产气材料迅速分解产生大量高压气体，从而将电离的气体带电弧在管子两端喷出，发出极大的声光，并在交流电流过零时熄灭电弧而分断电流。绝缘管通常是装在一个绝缘支架上，组成熔断器整体。有时绝缘管上端做成活动式，在分断电流后随即脱开而跌落，此种喷射式熔断器俗称跌落熔断器，一般适用于电压高于 6kV 的户外场合。

短路保护由熔断器或低压断路器的电磁脱扣器来实现。

过负荷保护一般由热继电器、过流继电器或低压断路器中的热脱扣器来实现。

漏电保护一般由漏电继电器或低压断路器中的漏电脱扣器来实现。为防止短路或因长期过负荷而烧毁配电变压器及其他设备，短路保护要求在发生短路故障时迅速动作。过负荷保护是根据过负荷的严重程度进行延时动作，过负荷越严重，要求的动作

时间越短。对于漏电保护，就整个低压电网来讲，一般采取三级保护方案，即动作低压电网总开关的漏电保护为第一级保护；分支保护或分路保护为第二级保护；单台用电设备和家庭用电的漏电保护为第三级保护。

第五章 高压配电装置

第一节 高压开关柜

开关柜（又称成套开关或成套配电装置）是以断路器为主的电气设备，指生产厂家根据电气一次主接线图的要求，将有关的高、低压电器（包括控制电器、保护电器、测量电器）以及母线、载流导体、绝缘子等装配在封闭的或敞开的金属柜体内，作为电力系统中接受和分配电能的装置，并将真空断路器装入金属柜内，构成高压开关柜。开关柜中除了断路器之外，还要安装起隔离电路作用的隔离开关、起安全保障作用的接地开关、起测量或保护作用的电流互感器和电压互感器、起过电压保护作用的避雷器或RC吸收器，而且还要安装继电保护用的二次回路元件和线路，引接电缆或架空线都可以进入柜内，使开关柜成为一个有相对独立组合功能的配电装置。在发电厂的开关站、输电线路的变电站、接受电能的用户终端变电所中，都大量采用各种开关柜。

一、高压开关柜的类型

高压开关柜有三种分类方式，每一类又有若干个基本类型。它们各有自己的特点。

1. 按断路器安装方式分类

按断路器安装方式，高压开关柜分为固定式、移开式。

(1) 固定式高压开关柜的特点

- 1) 断路器固定安装。
- 2) 柜内装有隔离开关，柜内空间较宽敞，检修容易。
- 3) 易于制造，成本较低。
- 4) 安全性差。

(2) 移开式高压开关柜的特点

- 1) 断路器移出柜外，更换、维修方便。
- 2) 省去隔离开关。
- 3) 结构紧凑。
- 4) 加工精度较高，价格较贵。

半封闭型开关柜〔如 GG-1A (F) Z 型〕和箱式开关柜都属于固定式；而间隔式开关柜（如 JYN 型）和铠装式开关柜（如 KYN 型）都属于移开式。在移开式开关柜中，近年来从国外引进一种称作中置柜的，其移开部件（俗称手车）更加小巧，高度降低，几乎是将真空断路器的底座添些部件就作为手车。

2. 按开关柜的主接线形式分类

按开关柜的主接线形式，高压开关柜可分为桥式接线开关柜、单母线开关柜、双母线开关柜、单母线分段开关柜、双母线带旁路母线开关柜、单母线分段带旁路母线开关柜。

3. 按柜体结构分类

按柜体结构可分为金属封闭间隔式开关柜、金属封闭铠装式开关柜、金属封闭箱式开关柜。

二、高压开关柜柜内母线位置与相序对应关系（表 5-1）

表 5-1 母线位置与相序对应关系

相 别	漆 色	母线安装相互位置		
		垂直	水平	引下线
A 相	黄	上	远	左
B 相	绿	中	中	中
C 相	红	下	近	右

三、开关柜的主要特点

1) 有一、二次方案。这是开关柜具体的功能标志，包括电能汇集、分配、计量和保护功能电气线路方案。一个开关柜有一个确定的主回路（一次回路）方案和一个辅助回路（二次回路）

方案，当一个开关柜的主方案不能实现时可以用几个单元方案来组合而成。

2) 开关柜具有一定的操作程序及机械或电气联锁机构。实践证明：无“五防”功能或“五防功能不全”是造成电力事故的主要原因。“五防”指：防误分、合断路器，防带负荷分、合隔离开关，防带电挂接地线，防带接地线送电，防误入带电间隔。

3) 具有接地的金属外壳。其外壳有支撑和防护作用，因此要求它应具有足够的机械强度和刚度，保证装置的稳固性；当柜内产生故障时，不会出现变形、折断等外部效应；同时也可以防止人体接近带电部分和触及运动部件，防止外界因素对内部设施的影响，以及防止设备受到意外的冲击。

4) 具有抑制内部故障的功能。“内部故障”是指开关柜内部电弧短路引起的故障，一旦发生内部故障，要求把电弧故障限制在隔室以内。

四、内部构造

1) 柜体内部用钢板分成几个室，上部后方是隔离开关室，前方是继电器室，中部是断路器室。中部由电流互感器安装板将其分成前后两部分，后方是出线电缆室，面板左中部有机械闭锁和指示灯。

2) 断路器室内装有电压互感器，前方是避雷器，下方装有电流互感器，后方是零序电流互感器。在柜门上装有断路器观察窗，室内有检修用照明灯，以便观测。继电器室内装有过电流继电器、电流互感器、电压继电器及控制用中间继电器，柜门上装有电压表、电流表和掉电保护的电容、电阻等。

3) 利用机械传动连杆来实现“五防”，即防误分、合断路器，防带负荷误分、合隔离开关，防带电挂接地线，防带接地线送电，防误入带电间隔。便于检修、安装和生产，同时能可靠地防止电器误操作，从而保证设备运行和人身安全。

4) 高压开关柜采用金属封闭式结构。柜体骨架由角钢焊接而成，内部用钢板严密分隔成母线室、断路器室、进出线电缆

室、机电保护仪表室及控制小室五个独立的间隔室，两室之间用3mm厚的铝板封闭，主母线用套管贯穿于各柜室。断路器室在骨架的前方，电缆室在骨架后下方，两室间用接地的金属封板间隔，母线室位于骨架的后上部，机电保护仪表室位于骨架的上前方，母线室和机电保护仪表室之间留有排气通道。这种结构可将任何设备、母线故障均限制在局部范围之内，可避免事故扩大，提高了高压开关柜运行的可靠性。

五、高压开关柜常见故障的分析

高压开关柜的故障多发生在绝缘、导电和机械方面。

1. 拒动、误动故障

这种故障是高压开关柜最主要的故障。其原因可分为两类：一类是因操动机构及传动系统的机械故障造成，具体表现为机构卡涩，部件变形、位移或损坏，分合闸铁心松动、卡涩，轴销松断、脱扣失灵等；另一类是因电气控制和辅助回路造成，表现为二次接线接触不良，端子松动，接线错误，分合闸线圈因机构卡涩或转换开关不良而烧损，辅助开关切换不灵，以及操作电源、合闸接触器、微动开关等的故障。

2. 开断与关合故障

这类故障是由断路器本体造成的，对少油断路器而言，主要表现为喷油短路、灭弧室烧损、开断能力不足、关合时爆炸等。对于真空断路器而言，表现为灭弧室及波纹管漏气、真空度降低、电容器组重燃、陶瓷管破裂等。

3. 绝缘故障

绝缘水平是要正确处理作用在绝缘质上的电压（包括运行电压和各种过电压）、限压措施、绝缘强度三者之间的关系，力求使产品做到既安全又经济。绝缘方面的故障主要表现为外绝缘对地闪络击穿，内绝缘对地闪络击穿，相间绝缘闪络击穿，雷电过电压闪络击穿，瓷瓶套管、电容套管闪络、污闪、击穿、爆炸，提升杆闪络，CT（电流互感器）闪络、击穿、爆炸，瓷瓶断裂等。

4. 载流故障

12 ~ 72kV 电压等级发生的载流故障主要原因是开关柜隔离插头接触不良导致触头烧熔。

5. 外力及其他故障

包括异物撞击、自然灾害、小动物短路等引发的意外故障。

六、运行与维护

1) 要保证电气回路良好的连通性,合、分闸线圈、辅助开关等元件的性能可靠。因为是串联回路,回路中的各个开关、熔断器以及各个连接处要始终处于完好状态,直流操作电源也要始终处于正常状态。如果直流回路绝缘不良,发生一点接地或多点接地,就可能使开关发生误动,如果直流回路导通不好或电源不正常,就会发生拒动事故。

2) 电压等级越高,越需要关注绝缘水平的选取。对于中压等级,往往希望通过增加不多的费用,将绝缘水平取得略为偏高一点,使得运行更安全。

3) 投运初期,加强监视是十分必要的。在高峰负荷以及夏季环境温度较高时,监视设备的运行状态尤其重要。例如可采用红外测温等方法来监视设备的发热情况,及时发现潜伏的不正常发热现象。

4) 配电间应防潮、防尘、防止小动物钻入。

5) 所有金属器件应防锈蚀(涂上清漆或色漆),运动部件应注意润滑,检查螺钉有否松动,积灰需及时清除。

6) 观察各器件的状态,是否有过热变色、发出响声、接触不良等现象。

第二节 高压隔离开关

一、概述

高压隔离开关是发电厂和变电站电气系统中重要的开关电器,需与高压断路器配套使用。按安装地点不同分为室内式和室

外式；按绝缘支柱数目的不同分为单柱式、双柱式和三柱式。各电压等级都有可选设备。

隔离开关是一种没有灭弧装置的开关设备，主要用来断开无负荷电流的电路，隔离电源，在分闸状态时有明显的断开点，以保证其他电气设备的安全检修。在合闸状态时能可靠地通过正常负荷电流及短路故障电流。因为没有专门的灭弧装置，不能切断负荷电流及短路电流，因此，隔离开关只能在电路已被断路器断开的情况下才能进行操作，严禁带负荷操作，以免造成严重的设备和人身事故。只有电压互感器、避雷器、励磁电流不超过 2A 的空载变压器，电流不超过 5A 的空载线路，才能用隔离开关进行直接操作。

高压隔离开关在合闸时，应先合隔离开关，再合油断路器。按规程规定，隔离开关允许进行下面各项操作。

- 1) 拉、合电压互感器和避雷器。
- 2) 拉、合闭路开关的旁路电流。
- 3) 拉、合连接在空载母线上的设备的电容电流。
- 4) 拉、合变压器中性的接地线，但当中性点上接有消弧线圈时，只有系统无故障时方可操作。
- 5) 可以操作下列容量无负荷空载运行的变压器：
 - ① 电压在 10kV 以下，变压器容量不超过 320kVA。
 - ② 电压在 35kV 以下，变压器容量不超过 1000kVA。
- 6) 可以操作电压为 35kV 以下，长度在 5km 以内的空载线路。
- 7) 可操作电压在 10kV，长度在 5km 以内的空载线路，但应使用三联刀开关。

二、户外隔离开关在安装和运行中应注意的问题

户外高压隔离开关是变电所中运用较多的设备，因其没有消弧装置，所以不能正常地开断负荷电流，只起到电源明显断开的作用，或能切断小电流，如空载变压器等。在变电所的安装和运行中，往往只注重于其他高压设备（如断路器）的安装、检修

和维护，而忽视了结构比较简单、维护比较容易的户外高压隔离开关。为了确保隔离开关的正常运行，对于户外隔离开关在安装和运行中应注意以下几个问题：

1) 在安装、调整的操作过程中，不要用力过大，否则会产生机构内齿轮吻合不当，造成三相不同期，这样会延长找到最佳配合点的时间。

2) 在安装、调整触头的过程中，调整不仔细可能造成动、静触头接触不当，插入深度不够，触头未全部接触，出现发热现象，所以在安装、调整中要注意检查触头的接触情况。

3) 在运行中由于接地刀的连杆长，操作时相对主刀开关要费力些，所以要注意同期调整。同时要给动、静触头涂固体润滑剂，减少摩擦，防止卡涩的现象使其合、分困难。

4) 触头上的油脂在长期运行中易粘上尘土、砂粒，磨损接触面，使接触不良，易出现电弧、过热现象，所以在维修时对触头部位应注意检查，并认真清除触头表面的污垢，遇有触头表面磨损时要打磨平整。

5) 隔离开关的三相联动合闸同期性数值为：35kV 不大于 5mm；110kV 不大于 9mm。

三、操作隔离开关时的注意事项

在操作隔离开关时，应该注意操作顺序：停电时先拉线路侧隔离开关，送电时先合母线侧隔离开关，而且在操作隔离开关前，先注意检查断路器确实在断路位置后才能操作隔离开关。

1. 合上隔离开关时的操作

无论用手动传动装置或用绝缘操作杆操作，均必须迅速而果断，但在合闸终了时用力不可过猛，以免损坏设备，使机构变形，瓷绝缘子破裂等。

隔离开关操作完毕后，应检查是否合上。合好后该隔离开关应完全进入固定触头，并检查接触的严密性。

2. 拉开隔离开关时的操作

1) 拉开时应该慢而谨慎，当刀片刚要离开固定触头时应迅

速，特别是切断变压器的空载电流、架空线路和电缆的充电电流、架空线路小负载电流以及环路电流时，更应迅速果断，以便能迅速消弧。

2) 拉开隔离开关后，应检查隔离开关每相确实已在断开位置，并应使刀片尽量拉到头。

3. 在操作中误拉、误合隔离开关时的注意事项

1) 操作中误合隔离开关时，即使合错，甚至在合闸过程中产生电弧，也不准将隔离开关再拉开，因为带负荷隔离开关将造成三相弧光短路事故。

2) 误拉隔离开关，在刀片刚要离开静触头时，便发生电弧，这时，应立即合上，可以消灭电弧，避免事故。如果隔离开关已经全部拉开，则绝不允许将误拉的隔离开关再合上。如果是单极隔离开关，操作一相后发现误拉，对其他两相则不允许继续操作。

四、隔离开关的运行与维护

1. 隔离开关的运行

隔离开关应与配电装置同时进行正常巡视。

1) 检查隔离开关接触部分的温度是否过热。

2) 检查绝缘子有无破损、裂纹及放电痕迹，绝缘子在胶合处有无脱落迹象。

3) 检查 10kV 架空线路用单相隔离开关刀片锁紧装置是否完好。

2. 隔离开关的维护项目

1) 清扫瓷件表面的尘土，检查瓷件表面是否掉釉和破损，有无裂纹和闪络痕迹，绝缘子的铁、瓷结合部位是否牢固，若破损严重，应进行更换。

2) 用汽油擦净刀片、触头或触指上的油污，检查接触表面是否清洁和有无机械损伤、氧化、过热痕迹及扭曲、变形等现象。

3) 检查触头或刀片上的附件是否齐全，有无损坏。

4) 检查连接隔离开关和母线、断路器的引线是否牢固, 有无过热现象。

5) 检查软连接部件有无折损、断股等现象。

6) 检查并清扫操作机构和传动部分, 并加入适量的润滑油脂。

7) 检查传动部分与带电部分的距离是否符合要求, 定位器和制动装置是否牢固, 动作是否正确。

8) 检查隔离开关的底座是否良好, 接地是否可靠。

3. 防止隔离开关错误操作

1) 在隔离开关和断路器之间应装设机械联锁, 通常采用连杆机构来保证在断路器处于合闸位置时, 使隔离开关无法分闸。

2) 利用油断路器操作机构上的辅助触头来控制电磁锁, 使电磁锁能锁住隔离开关的操作把手, 保证断路器未断开之前, 隔离开关的操作把手不能操作。

3) 在隔离开关与断路器距离较远而采用机械联锁有困难时, 可将隔离开关的锁用钥匙存放在断路器处或存放在该断路器的控制开关操作把手上, 只能在断路器分闸后, 才能将钥匙取出打开与之相应的隔离开关, 避免带负荷拉闸。

4) 在隔离开关操作机构处加装接地线的机械联锁装置, 在接地线未拆除前, 隔离开关无法进行合闸操作。

5) 检修时应仔细检查带有接地刀的隔离开关, 确保主刀片与接地刀的机械联锁装置完好, 在主刀片闭合时接地刀应先打开。

第三节 高压断路器

一、概述

(一) 高压断路器的作用

1) 能切断或闭合高压线路的空载电流。

2) 能切断与闭合高压线路的负荷电流。

3) 能切断与闭合高压线路的故障电流。

4) 与继电保护配合,可快速切除故障,保证系统安全运行。

吹弧熄弧的原理主要是冷却电弧、减弱热游离,另一方面通过吹弧拉长电弧,加强带电粒子的复合和扩散,同时把弧隙中的带电粒子吹散,迅速恢复介质的绝缘强度。

断路器必须按正常的工作条件进行选择,并且按断路情况校验其热稳定性和动稳定性。此外,还应考虑电器安装地点的环境条件,当气温、风速、温度、污秽等级、海拔、地震烈度和覆冰厚度等环境条件超过一般电器使用条件时,应采取有效措施。

(二) 高压断路器的要求

1) 断路器在额定条件下(额定电压、额定电流)可以长期工作。

2) 应有足够的开断能力,并保证有足够的热稳定性和动稳定性(开断电流、额定关合电流、极限通过电流、热稳定电流)。

3) 具有尽可能短的开断时间,这对减少电网的故障时间、减轻故障设备的损害、提高系统稳定性都是有利的。

4) 结构简单、价格低廉、体积小、重量轻、便于安装和检修。

(三) 高压断路器类型

根据断路器安装地点,可分为户内和户外两种。

根据断路器使用的灭弧介质,可分为以下几种类型:

(1) 油断路器 油断路器是以绝缘油为灭弧介质,可分为多油断路器和少油断路器。目前,油断路器正在逐渐被其他新型断路器取代,用量越来越少。

(2) 空气断路器 空气断路器是以压缩空气作为灭弧介质,靠压缩空气吹动电弧使之冷却,在电弧达到零值时,迅速将弧道中的离子吹走或使之复合而实现灭弧。空气断路器结构复杂、工艺要求高、有色金属消耗多,也逐渐被新型断路器取代。

(3) 六氟化硫 (SF_6) 断路器 SF_6 断路器采用具有优良灭弧能力和绝缘能力的 SF_6 气体作为灭弧介质, 具有开断能力强、动作快、体积小等优点, 但金属消耗多、价格较贵。近年来 SF_6 断路器发展很快, 尤其以 SF_6 断路器为主体的封闭式组合电器, 在供配电系统中得到广泛应用。

(4) 真空断路器 真空断路器是在高度真空中灭弧。真空中的电弧是在触头分离时电极蒸发出来的金属蒸气中形成的, 电弧中的离子和电子迅速向周围空间扩散。当电弧电流到达零值时, 触头间的粒子因扩散而消失的数量超过产生的数量时, 电弧即不能维持而熄灭。真空断路器开断能力强、开断时间短、占用面积小、无噪声、无污染、寿命长, 可以频繁操作, 检修周期长。在我国真空断路器中低压供配电系统中得到广泛应用。

(四) 高压断路器的组成

高压断路器由以下五个部分组成: 通断器件、中间传动机构、操动机构、绝缘支撑件和基座。

(五) 高压断路器的主要技术参数

通常用下列参数表征高压断路器的基本工作性能。

(1) 额定电压 (标称电压) 它是表征断路器绝缘强度的参数, 是断路器长期工作的标准电压。

(2) 额定电流 它是表征断路器通过长期电流能力的参数, 即断路器允许连续长期通过的最大电流。

(3) 额定开断电流 它是表征断路器开断能力的参数。在额定电压下, 断路器能保证可靠开断的最大电流, 称为额定开断电流。

(4) 动稳定电流 它是表征断路器通过短时电流能力的参数, 反映断路器承受短路电流电动力效应的能力。断路器在合闸状态下或关合瞬间, 允许通过的电流最大峰值, 称为动稳定电流, 又称为极限通过电流。断路器通过动稳定电流时, 不能因电动力作用而损坏。

(5) 关合电流 它是表征断路器关合电流能力的参数。因

为在断路器接通电路前，电路中可能预伏有短路故障，此时若断路器接通，将关合很大的短路电流。这样，一方面由于短路电流的电动力减弱了合闸的操作力，另一方面由于触头尚未接触前发生击穿而产生电弧，可能使触头熔焊，从而损伤断路器。断路器能够可靠关合的电流最大峰值，称为额定关合电流。额定关合电流和动稳定电流在数值上是相等的，两者都等于额定开断电流的2.55倍。

二、真空断路器

真空具有很强的绝缘特性。在真空断路器中，气体非常稀薄，气体分子的自由行程相对较大，发生相互碰撞的几率很小，因此，碰撞游离不是真空间隙击穿的主要原因。而在高强电场作用下由于真空间隙在较小的距离间隙（2~3mm）情况下，有比高压力空气与SF₆气体高的绝缘特性，这就是真空断路器的触头开距一般不大的原因。所以，要保持真空灭弧室的绝缘强度，其真空度应不低于4~10Pa。

（一）真空断路器的结构和工作原理

真空断路器的生产厂家比较多，型号也较繁杂。真空断路器按使用条件分为户内（ZN×—××）和户外（ZW×—××）两种类型，主要由框架部分、灭弧室部分（真空泡）和操动机构部分组成。

真空断路器利用高真空中电流流过零点时，等离子体迅速扩散而熄灭电弧，完成切断电流的目的。

（二）运行维护与检修试验

真空断路器的燃弧时间短，绝缘强度高，电气寿命也较高，触头的开距与行程小，操作的能量小，因此，机械寿命也较高。在日常的运行中，维护工作量很小，主要检查机构的运动部件磨损情况，紧固件有无松动，清除绝缘表面的灰尘，在活动部位注入一些润滑脂等。

在预防性试验中，对开关的直流电阻测试要与历史数据进行比较，发现问题及时处理更换；对断口的工频耐压试验，是检验

真空泡是否漏气的有效方法；户内真空断路器可以借鉴断开负荷时真空泡内闪光的颜色来初步判断真空泡的真空度，颜色暗红时表明真空度降低，颜色淡蓝时，表明真空度良好；保护定值校验时，对断路器做低电压分、合闸试验，检验开关在母线故障状态，电压降低时动作是否可靠。

三、SF₆ 断路器

（一）SF₆ 断路器结构及原理

一般来说，SF₆ 断路器主要由三部分组成：三个垂直瓷瓶单元，每一单元有一个气吹式灭弧室；弹簧操作机构及其单箱控制设备；一个支架及支持结构。每个灭弧室通过与三个灭弧室共连的管子填充 SF₆ 气体。

该断路器具有优越的开断能力；它将 SF₆ 气体与空气隔开，具有可靠的绝缘能力；弹簧操作机构不需压缩空气，检修工作大大减少；不排放气体，操作噪声极低，可在居民区采用这种断路器；结构极为简单，重量较轻，具有优良的抗振能力。该断路器对结构的密封性、元件加工精度及 SF₆ 气体质量的要求很高，因而造价较高，维护较困难。

六氟化硫（SF₆）气体具有很高的介电强度和很好的灭弧性能，它是一种惰性气体，不燃、无毒、无味、性能稳定。SF₆ 气体的密度约为空气的 5 倍，介电强度为空气的 2~3 倍。特别是 SF₆ 气体在电弧中能捕捉自由电子而形成负离子，负离子行动迟缓，有利于再结合的进行，使介质迅速去游离，从而加速了弧隙介质强度的恢复，电弧易于熄灭。它的灭弧能力比空气强 100 倍，也优于压缩空气。用 SF₆ 气体灭弧也可做成各种气吹的方式。

SF₆ 气体灭弧还有一个优点，就是在正常情况下开关断开时会产生电弧，由于灭弧室的特殊结构，SF₆ 气体被电弧分解成离子基和原子团（基）后，会在极短时间内迅速复合还原为 SF₆ 气体，复合率在 99.9% 以上，只产生极少的低氟裂解产物。但是由于电弧或电晕的高温作用及其低氟化物与微量 H₂O 的作用

会生成 SO_2 、 SF_2 、 HF 、 H_2SO_4 等酸性物质，还由于触头的烧蚀会产生 CuF_2 、 WF_6 等金属化合物。这些电弧生成的化合物具有很高的电阻率，有的直接对某些金属体及绝缘体产生腐蚀作用，有的以粉末状漂浮，有的粘附于绝缘体表面。当 SF_6 气体中有水分时，将分解出腐蚀性气体，它们将严重降低 SF_6 断路器的耐压水平。当 SF_6 气体中湿度 $\text{RH} = 30\%$ 以上时，沿面放电电压开始明显下降；而当水分以液态凝结于绝缘表面时（特别是附有杂质时），沿面放电电压开始明显下降到干燥时的 $60\% \sim 80\%$ ；水分严重时甚至出现因断口绝缘能力不足而造成开断失败。因此， SF_6 断路器中要严格控制水分。

（二） SF_6 断路器的运行维护

1) SF_6 断路器在运行、检修过程中，一定要遵守《DL/T 639—1997 六氟化硫电气设备运行、试验及检修人员安全防护细则》。

2) SF_6 断路器运行中的巡视检查：

① 检查断路器的外绝缘部分（瓷套）应完好，无损坏、脏污及闪络放电现象。

② 对照温度—压力曲线，观察压力表（或带指示密度控制器）指示值应在规定的范围内，并定期记录压力、温度值。报警压力为 0.6MPa ，闭锁压力为 0.58MPa 。室外 SF_6 断路器压力通过温度曲线与指针交汇点所在区域判读：红区：闭锁；绿区：正常；黄区：报警。

③ 分、合闸位置指示器应指示正确；分、合闸应到位。

④ 整体紧固件应无松动、脱落。

⑤ 储能发电机及断路器内部应无异常声响。

⑥ 断路器的分、合闸线圈应无焦味、冒烟及烧伤现象。

⑦ 断路器接地外壳或支架接地应良好。

⑧ 断路器外壳或操动机构箱应完整、无锈蚀。

⑨ 断路器应无破损、变形、锈蚀等现象。

第六章 电 气 测 量

本章将重点介绍专业电工应该掌握的基本电气测量原理和技能以及在电气测量工作中的安全注意事项。

第一节 电工仪表的基本知识

一、电气测量仪表的分类

1) 按被测物理量的不同分为：电流表、电压表、功率表、电能表、相位表、频率表、电阻表（欧姆计、兆欧表、单臂电桥、双臂电桥）。

2) 按测量仪表工作原理的不同分为：磁电式、电磁式、整流式和电动式仪表。

3) 按照所测电流种类的不同分为：直流仪表、交流仪表和交、直流两用表。

4) 按照仪表的准确度等级分为：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 七级，这些数字就是表示仪表的相对额定误差的百分数。

5) 按照读数方式分为：直读式仪表和比较式仪表。例如：电流表、电压表、万用表、兆欧表都是根据指针所指位置从刻度盘上直接读数；电桥、接地电阻测量仪等是将被测量与已知的标准量进行比较来测量的。

6) 按照读数指示方式分为：指针式、光标式、数字式等仪表。

7) 按使用方式分为携带式和固定安装式仪表。

二、使用仪表的一般知识

1. 根据被测物理量正确地选择仪表

在仪表使用过程中，要根据被测物理量的性质（如电压、电流、交流、直流等）选择合适的仪表类型，根据被测物理量的大小选择不同量程的仪表，根据测量精度的要求选择不同等级的仪表。

2. 仪表的量程选择

一般地，仪表在量程内不同刻度处的误差值是不同的，且在刻度较小处的误差最大。因此，最好使被测物理量的指示值超过量程的二分之一以上。

3. 注意仪表的规定使用条件

使用中要注意仪表的使用要求，如摆放位置、环境温度、耐压程度、防磁条件、环境振动条件、环境电磁条件等的要求。

4. 正确接线

仪表有直接接入形式和经互感器、分流器间接接入等形式。直接接入电路的电压表与被测电路并联，直接接入电路的电流表与被测电路串联。交流电流表附有电流互感器时，电流互感器的变比应与电流表表盘标明的比值一致；接线时，电流互感器的一次侧与被测电路串联，二次侧接电流表；电流互感器的二次侧严禁开路，否则会产生高压；为减小二次侧窜入高压或产生高压，二次侧的其中一端应接地。交流电压表附有电压互感器时，电压互感器的电压比应与电压表表盘标注比值一致；接线时互感器的一次侧与被测电路并联，二次侧接电压表，且二次侧严禁短路；为防止一次侧的高压窜入二次侧伤人或击穿二次设备，二次侧的一端应接地。另外，直流仪表都有正、负极性的要求。

5. 正确读数

读数时应使眼睛与刻度之间的连线垂直于表盘。有的仪表，特别是多量程表和万用表，其读数的刻度指示值与实际值之间有一个换算关系。

第二节 常用仪表的使用与维护

一、安装式仪表的使用与维护

安装式仪表一般是指在用电单位常见的在盘面或柜面上安装的固定式电流表、电压表等。安装式仪表在使用维护时应注意：

1) 根据有关规定定期对仪表进行校验、调试，保证指示的准确性。

2) 在装卸和搬运仪表时应轻拿轻放，不使仪表受到强烈的振动或撞击，以防损坏表内部零件，特别是顶尖和游丝。

3) 在安装和拆卸仪表时，应先切断电源，以免发生人身伤害事故或损坏仪表。特别是拆卸带电流互感器的电流表和电度表时，一定要将它们的电流线短接后再拆卸。

4) 安装仪表的位置要清洁、干燥、无振动、无强磁场。

5) 根据表盘上注明的工作位置符号的要求安装仪表，且不能过高或过低，以方便读数。

6) 要选择合适截面的测量导线。电流线不能发热或产生较大的电压降，同时还要有一定强度，防止意外开路。

7) 要注意校正仪表指针零位，并经常擦拭，保持清洁。

二、便携式仪表的使用与维护

1. 万用表的使用与维护

万用表是能测量交流和直流电流、交流和直流电压、电阻、电感、电容等多种物理量的便携式仪表。它主要由表头、测量电路和转换开关等组成。表头是一个灵敏电流表用以指示被测量的数值；测量电路是指各种被测量转换成适合表头要求的直流微小电流；转换开关则是依据被测量选择电路的开关。

具体的使用与维护方法如下：

1) 接线柱的选择。很多万用表都有多个接线柱，如“+”、“-”、“*”、“2500”、“5A”等。在测量电流、电压和电阻时，将红表笔插入“+”接线柱中作为表的正极性测量端，将黑表

笔插入“-”或“*”接线柱中作为表的负极性测量端。有“2500”接线柱的万用表，是为测量高电压使用的，测量时，将红表笔插入“2500”接线柱中，黑表笔不动，且一定要将万用表置于绝缘良好的物体上，同时操作者要做好防电击措施。

2) 物理量性质的选择。按照被测物理量的性质，将转换开关拨放在相应的挡位上。在实际测量之前一定要先确认转换开关所在位置是否与被测物理量一致。

3) 量程的选择。按被测物理量的大小选择合适的量程。同一个被测物理量在不同的量程中可能得到不同的读数，这是由于在不同的量程中电流表内部电阻值不同且指针偏转角也不同而引起的。对交、直流应使选择的量程略大于被测物理量。

4) 表笔的连接。用万用表测量电压时，万用表与被测电路并接；测量电流时，万用表与被测电路串联。如果在测量时万用表在电流挡或电阻挡位上，而误测了电压，很可能烧坏万用表。

5) 测量电压。如果被测电压的大小不能预先知道范围，应先将量程选至最大进行粗测，然后再改换成合适的量程。如果被测量是直流且不能确定极性时，先将万用表拨到直流电压最大量程，然后用表笔点触，同时观察表针偏转方向。若表针正打，则表明红表笔所触一端为正极；若表针反转，则表明红表笔所触一端为负极。若不能预知是交流还是直流，应先用交流档测试，然后改用直流挡测试。用直流挡测试时，如果万用表没有读数则为交流量。

6) 测量电阻。测量电阻时必须切断被测电路的电源，并将被测电阻断开一端。每选择一个挡位，都要先短接表笔调零。在测量孤立的电阻时，不能用两只手同时捏着电阻两端进行测量，这样会把人体电阻并联其中而增大测量误差。另外因为在万用表电阻挡上表内接有电池，会在被测元件中流过电流，有些元件是经不起这个电流的。例如微安表表头，耐压低、电流小的半导体元件等，会因测量而损坏。

7) 根据不同用途选择不同内阻的万用表。用万用表测量小

功率、高电阻电路的电压时，万用表成了并联分流电路。这个分流作用会造成测量误差或电路不能正常工作，此时，尤其是在测量电子线路时万用表的内阻越高越好。

8) 万用表使用完毕后，应将挡位开关拨至交流电压最高挡或空挡上。

2. 绝缘电阻表的使用与维护

绝缘电阻表又称兆欧表，用它可以测量电气设备或配电线路的绝缘电阻和吸收比，根据所得数据定性判断电气设备或线路的绝缘性能，进而作出可否投运的决定。

由于绝缘体的电阻与所施加的电压有关，用万用表 9V 低压测量出来的电阻值不能反映出在高压工作条件下真正的绝缘电阻值。为了真实地反映绝缘体在所使用电压下的绝缘电阻值，绝缘电阻表所输出的电压一般都在 500 ~ 2500V，所测电阻值更接近正常使用条件。

绝缘电阻表的测量机构一般为磁电系比率表，高压电源由手摇直流发电机提供，输出的直流电压一般在 2500V 以下。现在广泛使用的电子式高压绝缘电阻表使用化学电池通过倍压整流装置输出 5000V 或 10000V 直流高压。

下面介绍手摇式绝缘电阻表的正确使用与维护方法：

1) 接线方法。手摇式绝缘电阻表有三个接线柱，分别是接地柱“E”、电路柱“L”、保护环柱“G”（也叫屏蔽端子）。其接线方法依被测设备而定。当测量设备对地绝缘时，被测设备线路接于“L”柱上，接地柱“E”接于地线上；当测量电气设备对外壳的绝缘时，将绕组接于“L”柱上，外壳接“E”柱上；当测量电机的相间绝缘时，“L”柱与“E”柱分别接于欲测的两相绕组上；当测量电缆芯线的绝缘电阻时，将芯线接于“L”柱上，电缆外皮接于“E”柱上，绝缘包扎物接于“G”柱上。

2) 绝缘电阻表的选择。一般额定电压在 500V 以下的设备选用 500V 或 1000V 的绝缘电阻表，如果所选绝缘电阻表的电压过高，在测试过程中会击穿设备的绝缘；额定电压在 500V 以上

的设备选用 1000V 或 2500V 的绝缘电阻表。

3) 测量前的检查。测量前先使绝缘电阻表开路, 摇动手柄时, 表针应指向“ ∞ ”, 再瞬间用测试线短接一下绝缘电阻表, 表针指示应为“0”。

4) 安全事项。为保证安全, 不能在设备带电的情况下测量绝缘电阻。对于具有电容的高压设备(如高压电缆、长的高压架空线、电力电容器等), 停电后还要进行充分放电, 才能进行测量工作, 测量完毕后还要对被测设备充分放电。对于设备两端不在一处的设备如电缆, 在测量绝缘电阻时, 电缆的另一侧要闭锁柜门或派专人看守。

5) 测量要领。在摇动手柄前先将接地柱“E”接于地线上或设备外壳上, 然后摇动手柄使其接近额定转速(约120r/min), 这时再将电路柱“L”接于被测导体上, 待表针稳定后再读数。读数后继续摇动手柄, 直到将测量导线离开被测导体后再停止摇动手柄, 这是为了防止电路储存的电能反击绝缘电阻表。值得注意的是, 被测设备的电容值越大(如较长的高压电缆), 表针稳定所需时间越长, 在表针没有稳定之前不能停止摇动手柄, 一旦由于失误而停摇, 请迅速将测量导线离开被测导体, 并充分对地放电后重新摇测。

3. 电子式高压绝缘电阻表使用维护

测量前要先切断被测设备的电源, 并将设备的导电部分与大地接通, 进行充分放电, 以保证安全。用电子式绝缘电阻表测量过的电气设备, 要及时接地放电, 方可进行其他操作或再次测量。测量前要先检查绝缘电阻表是否完好, 未接被测物之前, 打开绝缘电阻表的电源开头, 检测电池情况, 如果绝缘电阻表电池欠压应及时更换电池, 否则测量数据不可取。将测试线插入接线柱“线(L)和地(E)”, 将测试线开路, 按下测试按键, 绝缘电阻应显示为无穷大; 将测试线短接, 按下测试按键, 绝缘电阻应显示为零。绝缘电阻表上一般有三个接线柱, 分别标有“L”(线路)、“E”(接地)和“G”(屏蔽)。其中 L 接在被测设备

的导体部分，E 接被测设备的外壳或大地，G 接在被测物的屏蔽上或不需要测量的部分。接线柱 G 是用来屏蔽表面电流的。例如测量电缆的绝缘电阻时，由于绝缘材料表面存在漏电电流，使测量结果不准确，尤其是在湿度很大的场合及电缆绝缘表面又不干净的情况下，测量误差会很大。为避免表面漏电电流的影响，在被测物绝缘材料的表面加一个金属屏蔽环，与绝缘电阻表的“屏蔽”接线柱相连。这样可消除表面漏电电流的影响。接线柱与被测设备间连接的导线不能用双股绝缘线或绞线，应该用单股线分开单独连接，避免因绞线绝缘不良而引起误差。为获得正确的测量结果，被测设备的表面应用干燥的布擦拭干净。测量容性设备的绝缘电阻时，读数后不能立即关闭绝缘电阻表电源，否则已被充电的容性设备将对绝缘电阻表放电，有可能烧坏绝缘电阻表，应在读数后先断开测试线，然后再关闭绝缘电阻表，在被测物充分放电以前，不能用身体触及被测设备的导电部分。测量设备的绝缘电阻时，还应记下测量时的温度、湿度、被试物的有关状况等，以便对测量结果进行分析比较。

4. 钳形电流表的使用与维护

钳形电流表又叫卡表。是一种不用断开电路串接电流表就能测量线路电流的仪表。它是由铁心可以开口的电流互感器与一个电流表组成的。被测导线放在可开口的铁心中作为互感器的一次线圈（线圈的匝数为一匝），互感器的二次线圈（很多匝）接在电流表上。

具体使用维护方法如下：

1) 测量前要做好防短路、防触电措施，不能使用钳口绝缘已损坏的卡表。测量人员要穿戴好劳保用品尤其是穿好绝缘鞋，并有专人监护。

2) 测量时先用较大量程进行预测，再逐步换到合适的量程，使读数在满量程的三分之二以上处。

3) 为使读数准确，钳口接合面要对严、对齐；如钳形电流表有杂声，可开合几次钳口；若不能消除，可检查钳口接合面是

否有污垢或间隙过大，必要时予以清洁或修理。

4) 测量 5A 以下电流时，可将被测导线在铁心上多绕几圈，读出的电流数值除以所绕的圈数得到的值就是实际电流值。由于现场空间所限，如果有某三相平衡负荷的某一相无法插入钳形电流表钳口时，可将另外两根导线同时放入钳口内，所得读数即为另一相的电流值。

5) 测量完毕应将转换开关拨放在最大量程的位置上。

第三节 电流和电压的测量

电流和电压的测量是电工测量中最基本、最经常的测量工作。随着生产的发展、科学的进步，用于测量电流和电压的仪表已经专业化、标准化，因而成本和售价已经很低了，像万用表、钳形表等仪表已经很普及了，除科学试验和教学以外已经没有人通过计算并联小电阻来扩大电流表的量程或串联大电阻来扩大电压表的量程了，所以本节只重点介绍测量电流、电压时仪表的选择和安全事项。

一、电流的测量

1. 电流表的选择

测量直流电流时可选择磁电式、电磁式或电动式仪表；测量交流电流时可选择电磁式、电动式或感应式仪表；一般的电子设备维修测量、工矿企业电气维修测量选择质量好一点的万用表即可。在仪表精度选择方面，从技术角度考虑当然是精度越高越好，但从经济实用角度考虑精度越高成本越高。一般地，计量校验单位和科研单位所用精度级别是最高的，如 0.1、0.2、0.5 级；工矿企业电气试验一般选 1.0、1.5 级；电子设备维修测量、工矿企业电气维修测量用的万用表一般为 1.5、2.5 级。

2. 电流表的接线

测量直流电流时应将量程合适的直流电流表与负载串联接入电路，接线时要注意电流表的极性；测量交流电流时应选择量程

合适的交流电流表与负载串联接入交流电路，接线时没有极性要求。在测量大的交流电流时用电流互感器来扩大电流表的量程。

二、电压的测量

1. 电压表的选择

电压表实质上是串联了很大电阻的电流表，所以电压表的选择与电流表的选择原则基本相同。值得注意的是，用于维修测量电子线路的万用表，其内阻越大越好，这样在测量时对电子线路运行参数的影响越小，测量结果也越准确。

2. 电压表的接线

用电压表测量电压时，电压表应与电源或负载并联，如所测的电压是直流还要考虑电压表的极性。工矿企业内低压配电装置上的电压表可直接并联于 380/220V 电源上。用小量程电压表测量交流高压时应配用电压互感器，测量直流高压时应配用分压器。

三、测量电流、电压的安全事项

1) 用便携式仪表（如万用表、钳形电流表）测量很低电流、电压时，由于都是带电进行的，首先要做好防止人员触电的安全措施。例如：用绝缘物隔离相邻的带电体；人员站立处有绝缘垫；操作人员穿绝缘鞋，戴干燥的线手套或绝缘手套，穿长袖工作服系好袖口、领口；测量时还要有专人监护；尽量用一只手执两只表笔，另一只手和身体其他部分不要触摸配电柜或设备金属外壳部分；测量前要检查仪表的外壳，表笔及表笔线应完好、无破损，表笔线插头应插接牢固；测量时要认真仔细，动作要轻、要慢，防止将被测线路、设备短路。

2) 使用固定于配电盘或电气设备上的接有电流互感器、电压互感器的、用于测量高压电流、电压的电流表、电压表，要防止电流表回路开路、电压表回路短路。高压电气设备正常运行时，如其电流表回路开路，电流互感器二次会产生很高的电压，这个高电压对二次回路中的电气设备和工作人员有很大危险，同时电流互感器会由于铁心过热而烧毁。如果电压表回路短路，会将电压互感器二次熔丝熔断进而影响正常的计量和保护。

第七章 变压器和电机的安全运行与维护

第一节 变压器的安全运行与维护

变压器是一种静止的电气设备，在电力系统中，变压器是一个很重要的设备。它在电力的经济传输、合理分配、安全使用方面起核心作用。另外变压器也广泛应用于电能的测试、控制及特殊用电设备上。因此变压器的安全稳定运行是整个生产系统安全运行的前提条件。

一、变压器的工作原理及主要结构

(一) 变压器的基本工作原理和分类

变压器的工作原理基于电磁感应原理，变压器也是以磁场为媒介的。两个或两个以上互相绝缘的线圈套在一个共同的铁心上，它们之间有磁的耦合，但没有电的直接联系。通常两个线圈中一个接到交流电源，称一次侧线圈，旧称原边线圈；另一个接到负载，称为二次侧线圈，旧称副边线圈（如果是三线圈变压器会有两个二次侧线圈）。当一次侧线圈接到交流电源时，在外施电压作用下，原线圈中有交流电流流过，并在铁心中产生交变磁通，其频率和外施电压的频率一样。这个交变磁通同时交链一次侧、二次侧线圈，根据电磁感应定律，便在一次侧、二次侧线圈内感应出电动势，二次侧线圈感应出电动势便可向负载供电，这样就实现了能量传递。变压器两侧电压之比决定于两侧线圈匝数之比，只要改变两侧线圈的匝数，便可达到改变电压的目的。这就是变压器利用电磁感应作用，把一种电压的交流电能转换成频率相同的另一种电压的交流电能的基本工作原理。因此利用变压器可以实现经济地输送电能、方便地分配电能、安全地应用电能。

变压器按用途可分为电力变压器（电力变压器又分为升压变压器、降压变压器、配电变压器等）、特种变压器（特种变压器又可分电炉变压器、整流变压器、矿用变压器等）、控制仪用互感器、试验用高压试验变压器和调压器等。

变压器按线圈数目多少可分为两线圈、三线圈和多线圈变压器及自耦变压器；按相数又可分为单相、三相变压器等。

用途最广的是降压、三相电力变压器，小容量（几百千伏安至几千千伏安）的电力变压器采用两线圈形式，目前厂矿最常用的就是 10kV/0.4kV 的降压，电力电源变压器。较大容量变压器即变电站主变压器采用三线圈的较多。

（二）变压器的主要参数

变压器的主要参数包括：

1) 额定容量：指变压器的额定视在功率，以伏安、千伏安或兆伏安为单位，由于变压器效率高，通常把变压器两侧的额定容量设计得相等。

2) 额定电压包括额定一次、二次侧电压，以伏或千伏为单位，按规定，二次侧额定电压是当变压器一次侧施加额定电压时的二次侧空载电压。对三相变压器，额定电压是指线电压。

3) 额定电流是指变压器的一、二次侧线电流。

此外，变压器的铭牌上还标有变压器的阻抗电压、接线方式、分接开关挡位及电压、相数、接线图等。

（三）变压器的主要结构

变压器由于其形式、容量、电压等级和线圈数的不同，他们的外形和附件也有一定的差异，但其主要部件都大同小异。变压器的结构主要由铁心、线圈、油箱、绝缘套管、冷却装置、控制保护装置等部件组成。铁心和线圈是变压器进行电磁感应的基本部分，称为器身。油箱起机械支撑、冷却散热和保护作用。油箱内充满变压器油，油起冷却、绝缘、灭弧作用。套管主要起绝缘作用。下面将主要部件做一简单介绍。

1. 铁心

铁心是变压器的磁路部分，分为铁心柱和铁轭两部分，通常用表面涂绝缘漆的硅钢片制成。铁心柱上套有线圈。铁轭将铁心柱连接起来，形成闭环回路。铁心既是变压器的磁路，也是器身的骨架。为了防止变压器运行时因静电感应铁心及其他金属构件上产生电动势，造成对地放电，除夹紧装置外，铁心和其他金属构件都要可靠地接地。但铁心上只允许有一点接地。如果有两点及以上的接地点，则接地点之间就可能形成闭合回路，产生环流，发生局部过热现象。

2. 线圈

线圈是变压器的电路部分。线圈置于铁心柱之外，当铁心柱内的磁通交变时便产生感应电动势。线圈是用具有高强度绝缘纸包的铜线绕成的。配电变压器的线圈多为圆筒形，按同心式方式排列。低压线圈靠近铁心柱，高压线圈套在低压线圈的外面。高、低压线圈之间以及低压线圈与铁心柱之间都用绝缘套筒绝缘。为了便于散热，在线圈之间还留有油道。为了调压，常常在高压线圈上抽若干个分接头，从线圈上端引出。

3. 套管

变压器的引出线从油箱内穿过油箱盖时，必须经过绝缘套管，以使带电的引线和接地的油箱绝缘。绝缘套管一般是瓷质的，它的结构取决于电压等级。1kV 以下的采用实心瓷套管，10~35kV 采用空心充气或充油式套管。110kV 以上时采用电容式套管。为了增加表面放电距离，套管外形做出多级伞形，电压越高级数越多。在比较恶劣的环境下使用的套管还可涂防污闪涂料。

4. 油箱与冷却装置

油箱是变压器的外壳，由钢板焊成。在油箱内盛装器身（包括铁心和线圈）和变压器油。为了加强冷却，一般在油箱四周装有散热器，以扩大变压器的散热面积。20kVA 及以下变压器的油箱，一般不装散热片。油箱内的变压器油起着绝缘和散热作用。在变压器运行中铁心和线圈产生热量，使油加热，密度减

小，升至油箱上部并进入散热器的上部；在散热管中散热冷却后，油温下降，密度增加，进入油箱下部，形成油的自然循环，不断地把线圈和铁心产生的热量带走。容量较大的变压器在散热器下部装有冷却风扇，对散热器上部进行风冷，以加快散热器上部油的冷却，可使油的自然循环速度加快，更有效地把热量散发到空气中去。

5. 保护装置

(1) 储油柜 油枕在油箱的顶端，其容积为油箱容积的8%~10%，储油柜和油箱之间有油管连通。储油柜的作用是：减少油和空气的接触，减少变压器油受潮和氧化的机会；变压器油的体积随温度变化而膨胀或缩小时，储油柜起着储油和补油的作用，使油面的升降限在储油柜内。储油柜装有呼吸器，使储油柜上部空间和大气相通。油枕的侧面装有油标，指示变压器在运行时油量是否充足，同时也能判别油色是否正常。

(2) 压力释放阀 变压器的压力释放阀是用来保护油浸电气设备的装置。在变压器油箱内部发生故障时，油箱内的油被分解、汽化，产生大量气体，油箱内压力急剧升高，此压力如不及时释放，将造成变压器油箱变形、甚至爆裂。当变压器在油箱内部发生故障、压力升高至压力释放阀的开启压力时，变压器压力释放阀在2ms内迅速开启，使变压器油箱内的压力很快降低。当压力降到关闭压力值时，压力释放阀便可靠地关闭，使变压器油箱内永远保持正压，有效地防止外部空气、水分及其他杂项进入油箱。顶部的防爆膜为一定厚度的玻璃或酚醛纸板。当变压器内部发生严重故障时，箱内油的压力骤增，可以冲破顶部的玻璃或酚醛纸板，使油和气体向外喷出，以防止油箱破裂。

(3) 温度计 温度计安装在油箱上盖的测温筒内，用来测量油箱内上层油温，监视变压器运行温度，保证变压器的安全运行。35kV电压等级的变压器，常用的是信号温度计和水银温度计。在容量较大的变压器上装有信号温度计，测温管固定在油箱顶盖上的一个口套筒内，套筒内注满绝缘油。表盘内的气压弹簧

管内灌注氯甲烷。当油温发生变化时，氯甲烷液体的饱和蒸汽压力也随之改变，导致表计的指针偏转，指示出相应的温度。在指针的轴上固定一个接触板，它沿着两个带有触头的扇形片滑动，两个扇形片分别接在黄色和红色的示位指针上。

当温度上升到示位指针所整定的数值时，两对触头分别导通发出信号，告知值班人员或者起动冷却系统的自动控制装置，进行降温处理。

(4) 气体继电器 气体继电器（俗称瓦斯继电器）是油浸变压器及油浸式有载分接开关所用的一种保护装置，装在油箱或油枕的连管中间，在变压器内部发生故障而使油分解产生气体或造成油流冲动时，使气体继电器的接点动作，以接通制定的控制回路，并及时发出信号或自动切除变压器。

在一般情况下，当变压器检修补充油后有时会有气体产生，轻瓦斯保护动作发出信号。此时需要检查放气。当变压器内部发生严重故障时，重瓦斯保护动作接通断路器的跳闸回路，切除电源。另外，利用气体继电器还可以观察故障时分解出的气体颜色及数量，以分析判断变压器内部故障的情况。

(5) 呼吸器 它的作用是使大气与储油器内连通，并排除进入储油器内的空气中的水分及杂质。呼吸器下端有一个油封装置，使空气不能直接进入储油器内，以减少变压器油的受潮和氧化。吸湿器内装有硅胶，用以吸收进入储油器中空气的潮气。当硅胶吸潮后颜色由蓝（或白）色变为淡红色，此时表明硅胶已失去吸潮能力，需及时更换新硅胶。

(6) 调压装置 变压器的调压一般是通过分接开关来实现的。调整分接开关挡位可改变线圈匝数，达到调压的目的。调压方式分为无载调压和有载调压两类。

无载调压是在变压器一、二次侧都脱离电源的情况下，变换高压侧分接头来改变其线圈匝数进行调压的。6~10kV 双线圈电力变压器多用高压三相中性点调压方式，电压的调节范围为额定电压的 $\pm 5\%$ 。一般小型电力变压器都采用无载开关。

当一次侧电压偏高时,可将分接开关换接到+5%的分接头(Ⅰ挡),当一次侧电压偏低时,可将分接开关换接到-5%的分接头(Ⅲ挡),当一次侧电压接近额定电压时,分接开关接到额定挡位(Ⅱ挡),二次侧均可获得额定电压值。应该注意的是,在调挡前后,应在引线处进行直流电阻测量并进行比较,调整前后的直流电阻不应有变化。

有载调压利用有载分接开关,在保证不切断负载电流的情况下,变换高压线圈分接头,来改变其匝数进行调压。有载调压变压器的抽头较多,调压范围较广。有载调压还有利于提高供电质量,还可用于网络之间负载分配的合理调整。一般变电站的主变压器上都采用有载开关。

二、变压器的安全运行

(一) 变压器安装现场的安全要求

1) 大、中型变压器应有永久或临时性吊钟罩设施及场地。释压装置应保证事故喷油畅通,并且不致喷入电缆沟、母线及其他设备上。

2) 安装在变压器室内或台上、柱上的配电变压器应编号并挂警示牌。

3) 变压器在运行情况下,应能安全地查看油位、顶层油温、气体继电器工作情况,并能安全地进行气体取样,必要时应装设固定梯子。

4) 室内安装的变压器应有足够的通风设施,避免变压器周围环境温度过高而影响变压器的散热。装有机机械通风装置的变压器室,在机械通风停止时,应能发出远方信号。变压器的通风系统一般不应与其他设备的通风系统联通。

5) 变压器室的门应采用阻燃或不燃材料,并上锁。门上应标明变压器的名称和负载设备编号,门外应挂“止步,高压危险”警示牌。

6) 安装油浸电力变压器的场所,应按有关设计规定设置消防设施和事故储油设施,所有设施应保持完好状态。

7) 防震烈度为七级以上的变压器的应考虑下列防震措施: 将变压器底盘固定于轨道上; 变压器套管与软导线连接时应适当放松; 与硬导线连接时应将过渡软连接适当加长; 气体继电器应为防震型。

8) 对运行中的变压器应采用限制短路电流的措施。变压器保护动作的时间应小于承受短路耐热能力的持续时间。

(二) 变压器的安全运行要求

厂矿用电力变压器主要是将电网的高电压降低为可以直接使用的 10kV、6kV 或 380/220V 电压, 给用电设备供电。如果变压器内部发生过载或短路, 绝缘材料或绝缘油就会因高温或电火花作用而分解, 膨胀以至气化, 使变压器内部压力急剧增加, 可能引起变压器外壳爆炸, 大量绝缘油喷出燃烧, 油流又会进一步扩大火灾危险。因此变压器的安全运行直接影响到整个生产系统的安全, 必须结合安全工作制定变压器的安全运行方式、维护、检修项目。

1. 变压器安全运行时温度与温升的要求

(1) 允许温度 运行中的变压器, 由于绕组中有电流流过产生铜损耗, 另外还有铁耗和附加损耗, 这些损耗转变成热量, 使变压器的有关部分温度升高。因此变压器的温度空载时比停运时高, 带负载时比空载时高, 过载时比轻载时高, 短路时的温升更高而且是突然猛升的。变压器的铁损基本不变, 而铜损是与电流的平方成正比的。变压器温度对变压器最主要的是影响变压器绝缘材料的绝缘强度。由于出厂运行的变压器绝缘是一定的, 其绝缘材料的绝缘强度 (包括机械强度) 也是一定的。随着时间的推移, 特别是长期在高温的作用下, 变压器绝缘材料的绝缘性能将会不断降低, 这一过程, 叫做变压器的绝缘老化。温度越高, 其绝缘老化越快, 同时变脆而碎裂, 绕组绝缘层的保护也会失去。经认证, 当变压器绝缘材料的工作温度超过其允许的长期工作最高温度时, 每升高 8°C , 其使用寿命将减少一半。这就是变压器运行的 8°C 原则 (干式变压器是 10°C)。

变压器的油箱和散热器表面主要靠辐射和对流两种方式进行散热，但热量从绕组或铁心内部传到表面则依靠传导方式传热。通常油浸变压器的散热过程如下：首先靠传导作用将线圈和铁心内部的热量传到表面，然后通过变压器油的对流不断地将热量带到油箱壁和散热器表面，再通过油箱壁和散热器壁的传导作用把热量从内表面传到外表面，之后通过辐射和对流将热量散发到周围空气中。因此油浸式变压器的最高温度到最低温度的秩序是：绕组→铁心→上层油温→下层油温。变压器绕组热点温度的额定值（长期工作的允许最高温度）为正常寿命温度，绕组热点温度的最高允许值（非长期）为安全温度。油浸式变压器一般通过监测上层油温来监视变压器绕组的温度，其油温允许值见表 7-1。

变压器绝缘材料的耐热温度与绝缘材料等级有关，A 级绝缘材料的耐热温度为 105℃；B 级绝缘材料的耐热温度为 130℃。

表 7-1 油浸式变压器上层油温允许值

冷却方式	环境温度/℃	长期运行上层油温度/℃	最高上层油温度/℃
自然循环冷却、风冷	40	85	95
强迫油循环冷却、风冷	40	75	85
强迫油循环冷却、水冷	40	75	85

变压器运行上层油温一般为 75℃，最高上层油温不超过 85℃。

为了监视和保证变压器不超温运行，变压器装有温度继电器和温度计。温度计用于就地监视变压器的上层油温，其允许值见表 7-1。温度继电器的作用是：当变压器上层油温超过允许值，发出报警信号；根据上层油温的范围，自动地启、停辅助冷却器；当变压器冷却器全停，上层油温超过允许值时，延时将变压器从系统中切除。

(2) 允许温升 变压器运行时各种损耗转变成热量,使变压器有关部分温度升高。由于各部件与周围介质之间存在温差,热量就散发到周围介质中去。当发热量与散热量相等时,变压器各部分的温度就达到了稳定值。这时变压器中某部分的温度与周围冷却介质温度之差称为该部分的温升。允许温度是反映变压器绝缘材料耐受温度破坏的能力;允许温升是反映变压器绝缘材料承受对应热损坏的允许空间。绝缘材料一定,其承受热损坏的空间温度就不允许超过对应要求值。

变压器上层油温与周围环境温度的差值称为上层油温升。温升的极限值(允许值),称为允许温升。A级绝缘的油浸变压器,周围环境温度为 $+40^{\circ}\text{C}$ 时,上层油的允许温升值规定如下:

油浸自冷或风冷变压器,在额定负荷下,上层油温升不超过 55°C 。

强迫油循环风冷变压器,在额定负荷下,上层油温升不超过 45°C 。

强迫油循环水冷却变压器,冷却介质最高温度为 $+30^{\circ}\text{C}$ 时,在额定负荷下运行,上层油温升不超过 40°C 。

运行中的变压器,不仅要监视上层油温,而且还要监视上层油的温升。

2. 变压器对安全保护、冷却、测量装置的要求

1) 变压器用熔断器保护时,熔断器性能必须满足系统短路容量、灵敏度和选择性的要求。

2) 装有气体继电器的油浸变压器,无升高坡度者,安装时应使顶盖沿气体继电器方向有 $1\% \sim 1.5\%$ 的升高坡度。

3) 变压器应按制造厂的规定安装全部冷却器,强迫油循环的冷却系统必须有两个独立的工作电源并能自动切换。当工作电源发生故障时,应能自动投入备用电源并发出信号。

4) 强迫油循环的变压器应能按温度控制投切冷却器。当切除故障冷却器时应自动投入备用冷却器。

5) 变压器应按如下规定装设温度测量装置:变压器应装有

测量上层油温的温度计；1000kVA 及以下、800kVA 及以下的油浸变压器应将信号温度计接远方信号；测温时温度计管座内应充满变压器油。

3. 变压器安全运行的允许电压及过电压保护

在电力系统中运行的变压器，因系统的电压波动及升压变压器绕组的特点，决定了变压器绕组不可能处在额定电压值下运行。变压器电源电压低于额定值，对变压器运行无任何危害；电源电压高于额定值，则对变压器运行有不良影响。因此规定：运行中的变压器的正常电压不得高于该运行分接头额定电压的 5%。在特殊的运行状态下最高不得超过额定电压的 10%。

变压器运行时，由于某种原因使得其电压超过它的最大允许工作电压称为过电压。在实际生产中很难杜绝过电压。过电压往往会对变压器的绝缘造成很大的危害，甚至使绝缘击穿，给安全生产造成极大的影响。变压器的过电压形式有大气过电压和操作过电压两类。输电线直接遭受雷击或雷云放电时，电磁场的剧烈变化所引起的过电压称为大气过电压。当变压器线路上的开关合闸或拉闸时，因系统中电磁能量震荡和积聚而产生的过电压称为操作过电压，也可称为内部过电压。不管哪种过电压，其作用时间都很短促，仅有几十微秒，但数值很大。操作过电压一般为额定电压的 3.0 ~ 4.5 倍，大气过电压可达额定电压的 8 ~ 12 倍，并且在线圈中电压的分布极不均匀，端头部分线匝受到很高的电压。因此必须采取有效措施，防止过电压的发生或进行有效的保护。

过电压保护一般采用下列措施：

避雷器保护：避雷器是在雷击过电压时能够很快地对地放电的一种电器。它装在变压器的出线端。当雷电波从输电线侵入时，先将保护间隙击穿，然后过电压波经过避雷器对地放电。这样雷电波就不会侵入变压器，从而保护了变压器的绝缘。一般较重要的变压器及变电站的主变压器必须装避雷器。

加强绝缘：在变压器的设计及制造工艺上，除了加强高压线

圈对地绝缘外，还要加强首端及末端附近部分线匝的绝缘。但这种方法在加厚绝缘的同时，对线匝散热不利，一般仅用于 35kV 级以下变压器中。

在变压器线圈的设计、制造采用纠结式分布来增加线圈的匝间电容，改善起始电压的分布，提高过电压能力。

变压器的过电压保护在变压器的订货及安装过程中就要考虑，和厂家要及时沟通，采取有效措施，确保变压器的安全运行。

4. 变压器三相不平衡运行的规定

变压器实际运行时，三相负载可能出现不对称的情况。例如变压器二次侧接有单相电炉或电焊机等单相负载，或照明负载三相分配不平衡，此外当某相断电检修另两相继续供电时，都可能出现变压器不对称运行情况。当变压器采用 YNd、Yd、YNy、Yy 接法时，变压器可以在三相不平衡状态下运行。但接线方式为 YNyn0 的大、中型变压器三相不平衡运行时会出现中性点偏移现象，因此该接法的变压器不能带单相负载，中性线电流允许值应按制造厂的有关规定。一般中性线电流的允许值不得超过额定电流的 25%。

5. 变压器允许的负荷状态规定

在正常冷却条件下，变压器负荷的变化，即电流的变化，是导致变压器温度波动的主要原因。过负荷电流或短路电流是导致变压器温度突变而影响寿命的根本原因。变压器的负荷变化，根据对变压器的影响及与时间的关系，把变压器的负荷划分为三种，即正常周期性负荷、长期急救周期性负荷和短期急救性负荷三类。

正常周期性负载是指变压器在某段时间环境温度较高，或超过额定电流，但可以同其他时间内环境温度较低，或低于额定电流所补偿。从热老化的观点出发，它与设计采用的环境温度下施加额定负载是等效的。变压器在额定运行使用条件下，全年可按额定电流运行；变压器允许在平均相对老化率小于或等于 1 的情

况下，可以周期性地超额定电流运行；当变压器有缺陷（如冷却系统工作不正常、严重漏油、局部过热、油分析气体成分异常等）或绝缘有缺陷时，不宜超额定电流运行。

长期急救周期性负载运行是指变压器长时间在环境温度较高，或超过额定电流下运行，一般在以下情况中出现：系统中部分变压器因故障或检修退出运行；系统运行方式改变，使个别变压器负荷增大；用户负载增大，而新变压器没同时投入运行。这种运行方式可能持续几星期或几个月，将导致变压器的老化加速，但不直接危及绝缘的安全。但是它将在不同程度上缩短变压器的寿命，应尽量减少出现这种运行状态，必须采用时，应尽量减少超额定电流运行时间，降低超额定电流的倍数，有条件时投入备用冷却器；当变压器有缺陷（如冷却系统工作不正常、严重漏油、局部过热、油分析气体成分异常等）或绝缘有缺陷时，不宜超额定电流运行；在长期急救性周期性负载下运行期间，应有负载电流记录，并计算该运行期间的平均相对老化率。从变压器安全运行的角度考虑，应尽量减少或避免这种运行方式。

短期急救负载运行是指变压器短时间大幅度超额定电流运行。这种负载可能导致绕组热点温度达到危险的程度，使绝缘强度暂时下降。在该状态下相对老化率远大于1，绕组局部温度可能高到危险程度。在这种情况下应投入备用的全部冷却器，并尽量压缩负载、缩短运行时间，一般不能超过0.5h；当变压器有严重缺陷时不得超额定电流运行；在短期急救负载运行期间，应进行详细的负载电流记录，并计算该运行期间的相对老化率。

6. 冷却装置的安全运行方式

冷却方式与变压器容量的大小有关。油浸自冷适用小型变压器；油浸风冷适用于中型变压器；强迫油循环冷却适用于大型变压器；强迫油循环导向冷却适用于巨型变压器；干式变压器是用风机冷却的。

油浸风冷变压器在风扇停止工作时允许的负载和运行时间应

遵守制造厂规定。油浸风冷变压器当上层油温不超过 65°C 时, 允许不开风扇带额定负载运行。

强迫油循环变压器运行时, 必须投入冷却器, 并根据负载情况决定投入冷却器的台数; 在空载和轻载时不应投入过多的冷却器; 按温度或负载投切的辅助冷却器及备用冷却器各置 1 组并启用。变压器停运时应先停变压器, 冷却装置需继续运行一段时间, 待油温不再上升后再停运。

强迫油循环冷却器必须有两路电源, 且可自动切换, 同时, 当工作电源故障时, 自动启动备用电源并发出音响及灯光信号。为提高风冷自动装置的运行可靠性, 要求对风冷电源及冷却器的自动切换功能定期进行试验。

风扇、水泵及油泵的附属电动机应有过负荷、短路及断相保护, 应有监视油泵电动机旋转方向的装置。

水冷却器的油泵应装在冷却器的进油侧, 并保证在任何情况下冷却器中的油压大于水压 0.05MPa , 以防止万一产生泄漏时, 水不致进入变压器内。冷却器出水侧应装放水旋塞, 在变压器停运时, 将水放掉, 防止冬天水结成冰胀破油管。

在强迫油循环风冷式变压器运行中, 当冷却系统(指油泵、风扇、电源等)发生故障, 冷却器全部停止工作时, 允许在额定负荷下运行 20min 。 20min 后上层油温尚未达到 75°C , 则允许继续运行到上层油温上升到 75°C 。但切除全部冷却装置后变压器的最长运行时间在任何情况下不得超过 1h 。

7. 变压器并列运行的条件

变压器并列运行的条件有三个, 分别是: 联结组标号相同(相位和相序相同)、电压比相同和阻抗电压值相同。

阻抗电压不同的变压器, 可适当提高阻抗电压高的变压器的二次电压, 使并列运行变压器的容量均能充分利用。新装或变动过内外连接接线的变压器, 并列运行前必须核定相位和相序。发电厂升压变压器高压侧跳闸时, 应防止厂用变压器严重超过额定电流运行。厂用电倒换操作时应防止非同期。

三、变压器的巡检维护

1. 变压器的日常巡检规定

变压器每天每班至少巡检两次；每周至少进行一次夜间巡视。无人值守变电站的变压器每周至少巡检一次。

以下情况时应应对变压器进行特殊巡视：新设备投运或变压器检修；改造后在投运 72h 内；变压器油有严重缺陷时；大风、大雾、大雪、冰雹、寒潮天气时；雷雨季节特别是雷雨后；高温季节；高峰负载期间；变压器急救负载运行时。

2. 变压器的巡检内容

1) 变压器的油温和温度计工作正常，储油柜的油位应与温度相对应，各部位无渗油、漏油现象。

2) 套管油面显示清晰，油位正常，套管外部无破损裂纹、无严重油污、无放电痕迹及其他异常现象。

3) 变压器运行声音正常为均匀嗡嗡声，没有杂音。

4) 冷却器工作正常。

5) 呼吸器工作正常，硅胶颜色没有变色。

6) 引线接头、母线、电缆无发热迹象，软导线没有松股、断股。

7) 压力释放阀应完好。

8) 有载开关的分接位置及电源指示应正常。

9) 气体继电器内无气体。

10) 各控制箱和二次端子箱应关严，未受潮。

11) 变压器室的门、窗、照明应完好，房屋不漏水，通风良好，温度正常。

3. 变压器的定期检查

变压器除了日常巡检外还应定期做如下检查：

1) 外壳及箱沿应无异常发热。

2) 各部位的接地良好，必要时测量铁心和夹件的接地电流。

3) 强迫油循环冷却变压器应作冷却装置的自动切换试验。

- 4) 有载调压装置的动作情况应正常。
- 5) 各种标志齐全；各种保护装置齐全良好。
- 6) 消防设施应齐全、良好。

4. 变压器的投运和停运

1) 在投运变压器之前，值班人员应仔细检查，确认变压器及其保护装置在良好状态，具备带电运行条件。注意外部有无异物，临时接地线是否已拆除，分接开关位置是否正确，各阀门开闭是否正确。变压器在低温投运时，应防止呼吸器因结冰被堵。

2) 热备用变压器应随时可以投入运行。长期停运者应定期充电，同时投入冷却装置，如系强迫油循环变压器，送电后不带负载运行时，应轮流投入部分冷却器，其数量不超过制造厂规定空载时的运行台数。

3) 变压器投运和停运的程序应遵守下列各项要求：

强迫油循环变压器投运时应逐台投入冷却器，并按负载情况控制投入冷却器的台数；水冷却器应先启动油泵，再开启水系统；停电操作先停水、后停油泵；冬季停运时将冷却器中的水放尽。

变压器的送电应在有保护装置的电源侧用断路器操作，停运时应先停负载侧，后停电源侧。

在无断路器时，可用隔离开关投切 110kV 及以下且电流不超过 2A 的空载变压器；用于切断 20kVA 及以上变压器的隔离开关，必须三相联动且装有消弧角；装在室内的隔离开关必须在各相之间安装耐弧的绝缘隔板。

允许用熔断器投切空载配电变压器和 66kV 的站用变压器。

更换绕组后的变压器其冲击合闸次数为 3 次。

新装、大修、事故检修或换油后的变压器，在施加电压前静止时间不应少于以下规定：

110kV 及以下静止 24h

220kV 及以下静止 48h

装有储油柜的变压器，带电前应排尽套管升高座、散热器及

净油器等上部的残留空气，对强迫油循环变压器，应开启油泵，使油循环在一定时间后将气排尽。开泵时变压器各侧均应接地，防止油流电危及操作人员的安全。

在 110kV 及以上中性点有效接地系统中，投运或停运变压器的操作中，中性点必先接地，投入后可按系统需要决定中性点是否断开。

干式变压器在停运和保管期间，应防止绝缘受潮。

消弧线圈投入运行前，应使其分接位置与系统运行情况相符，且导通良好。消弧线圈应在系统无接地现象时投切。在系统中性点位移电压高于 0.5 倍相电压时，不得用隔离开关切除消弧线圈。

消弧线圈中一台变压器的中性点切换到另一台时，必须先将消弧线圈断开后再切换，不得将两台变压器的中性点同时接到一台消弧线圈上。

长期不动用的分接位置的有载分接开关，应在有停电机时，在最高和最低分接挡位间操作几个循环。

为防止开关在严重过负载或系统短路时进行切换，宜在有载分接开关控制回路中加装电流闭锁装置，其整定值不超过变压器额定电流的 1.5 倍。

第二节 电机的安全运行与维护

电机包括电动机和发电机，广泛应用于我们日常生产、生活中。电机是与电能的生产、使用密切相关的能量转换机械。在电力工业中，发电机是发电厂的主要设备。在机械、冶金、石油、煤炭、化工及日常生活中，广泛应用各种电动机。如各种机床、起重设备都由电动机拖动，钢铁企业的风机、水泵、轧机都离不开电动机。随着二次能源的开发利用，大型发电机在钢铁行业的各种发电项目中安装运行。随着工业自动化程度的不断提高，各种各样的控制用电动机应用在自动化系统控制部分。因此电机的

安全使用及安全运行是我们安全工作的重要组成部分。

一、电机分类及用途

电机的分类方法很多，按其功能可分为发电机、电动机。按电源性质又可分为直流电机和交流电机。交流电机又分为同步电机和异步电机。异步电机又分为三相异步电机和单相异步电机。三相异步电机又可分为笼型异步电机和绕线转子异步电机。同步电机又分为同步电动机和同步发电机。下面对钢铁行业常用的电动机进行简单介绍。

（一）三相低压异步电动机

三相低压异步电动机是应用最广、需求量最大的一种电动机。具有结构简单、运行可靠、维护方便和成本较低等优点。笼型电动机（Y、Y2 系列）在工厂中应用最普遍，一般水泵、风机及无特殊要求的机械设备都由笼型电动机拖动。绕线型异步电动机（YZR 系列）启动性能好，可平滑调节，但其结构、维护较复杂，费用较高，一般在起重设备中才应用。另外电动机的防护等级在实际生产中也要清楚。一般环境下电动机的防护等级采用 IP44，对于较重要的岗位或露天、煤气区域可采用防护等级较高的 IP54、IP55。在易燃、易爆区应选择防爆电动机（YB 系列电动机）。

（二）三相高压电动机

三相高压异步电动机：（Y、YR、YKK、YKOS 等系列）适用于各厂的较大风机、大功率水泵、制氧系统的空气压缩机、氧气压缩机、氮气压缩机等。

（三）三相高压同步电动机

用于轧机、制氧系统的空气压缩机等。

（四）三相高压同步发电机

主要用于各种发电设备中。

（五）直流电动机

使用用于频繁调速、正反转运行设备，例线材、板材轧机系统。

二、电机的主要结构

电机的形式虽然多种多样，但其工作原理都基于电磁感应定律和电磁力定律。因此其构造的一般原则是，用导电和导磁材料构成能相互进行电磁感应的磁路和电路，以产生电磁功率和电磁转矩，达到能量转换的目的。旋转电机都是由定子及转子组成。但是随着电机类型的变化，定、转子的具体结构也随之变化。下面介绍几种常用电动机的基本构造。

（一）三相低压异步电动机

电动机主要有两大部分组成，固定部分称为定子，旋转部分称为转子。定子由铁心、绕组、端盖和机座组成，其作用是产生旋转磁场和作电动机的机械支撑。转子由铁心、绕组、轴组成，转子绕组有笼型和绕线型两种。转子的作用是感应电势、流过电流和产生转矩并输出。

（二）三相高压异步电动机

高压交流电动机分为异步和同步电动机，二者最大的区别是同步电动机的转子转速 n 与定子电流频率 f 、电动机极对数 p 间维持严格不变的关系。这个转速称为同步转速。而异步电动机的转子的转速总是低于同步转速。异步电动机也是因此而得名的。但无论是异步电动机还是同步电动机，高压电动机的基本结构和低压电动机一样由定子、转子组成，只是随着电压、功率的增高，其制造工艺发生了变化，和低压电动机的主要区别是大型电动机的机壳是由钢板焊接而成。异步、同步电动机的定子绕组由于绝缘加强制成了成形硬绕组；同步电动机的励磁绕组做成集中绕组。励磁绕组需要供给直流电源作为励磁用，同步电动机的气隙较大。

（三）直流电动机的主要结构

直流电动机和交流电动机的结构有较大的区别。其定子内分布有好几种绕组；转子上也增加了部分装置。电动机的主要部件包括：定子、转子（电枢）、气隙。辅助部件包括：底座、端盖、电刷装置。

1. 定子主要由以下部件组成

(1) 主磁极 由铁心、线圈、绝缘层组成。线圈导线截面较小，匝数较多。

(2) 换向极 同样由铁心、线圈、绝缘层组成，装在两相邻主磁极的中间。

(3) 补偿绕组 一般大型电动机以及对负荷有特殊要求时才安装，该绕组按一定规律镶嵌在主磁极铁心上的槽中。

以上绕组是由圆的或扁的高强度漆包线、玻璃丝包线绕制而成，大中型电动机的换向极绕组、补偿绕组通常是由裸扁铜线绕制后加装绝缘再装在铁心上。无论是主磁极还是换向极，两个相邻极包的极性都相反。一般电动机励磁方式都是他励，励磁回路是一独立回路。换向绕组、补偿绕组和电枢绕组通过电刷装置串联在一起。

2. 转子的组成

1) 铁心 和普通交流电机的一样，由带槽的硅钢片叠压而成。

2) 轴 固定铁心输出能量。

3) 绕组 一般是双层绕组，有单匝、有多匝。绕组按一定规律分布在槽中。绕组常用形式主要有波绕组、叠绕组、蛙绕组。其头、尾和换向器的升高片连接在一起。

3. 换向器（铜头）

主要由换向片、升高片、绝缘套筒、片间云母箔等组成。换向器表面必须与轴同心，表面光滑。换向片及云母表面不得有凹、凸。

三、电机的安全运行要求

（一）电机的基本运行条件

1) 运行中三相交流电动机的标准电压，高压电机为 10kV 或 6kV，低压电机为 380V。

2) 电机一般可在额定电压变动 -5% 至 10% 的范围内运行。

3) 电机在额定出力运行时，其三相不平衡电压差不得超过

额定电压的 5%；三相不平衡电流差不得超过额定电流的 10%，并且任一相电流不得超过额定值。

4) 电机运行时，各部的允许温度与温升，应按电机铭牌上标注的绝缘等级要求规定执行：B 级绝缘电机的线圈温度极限是 120℃；F 级绝缘等级电机的绕组温度极限是 140℃；滑环的温度极限是 105℃；直流电机换向器的温度极限是 120℃；滑动轴承的温度极限是 80℃，在此提醒一下，80℃ 是指轴承的最热点，根据现场经验，如果用测温枪在现场测量轴承外部时最高温度不应超过 65℃；滚动轴承的极限温度是 95℃；以上数值是电机运行时在正常环境温度（40℃ 以下）时电机各部位的最高温度。一般情况下电机的温度会低于该值。检查测量电机温度时不仅要其绝对值不超标，最重要的是电机在环境温度无大变化时各部位的温度不得有突变。电机某部位温度突然波动时要及时检查、分析找出原因、采取措施。

5) 电机运行时轴承两端振动值应平稳，当振速有突变时应查明原因并进行处理。

6) 直流电机运行时换向火花等级应小于 1 级，在短时过电流时应小于 2 级，电机在起动时允许短时处于 3 级状态。值得注意的是电机的火花在正常运行条件下不应有大的变化，如有变化应及时查明原因并消除。

7) 滑动轴承中的润滑油应每半年进行一次油质化验分析，根据化验结果换油或滤油。滚动轴承的润滑脂应半年补充一次。

（二）电机起动的工作要求

新投入或大修后投入运行的电机安全运行工作要求：

1) 电机试验报告、检修数据齐全合格。电机起动前测量电机的绝缘电阻应符合规程要求。

2) 电机送电前应收回全部工作票，拆除所有临时接地线、标示牌、围栏等。

3) 测定电机电缆、轴承及油管路绝缘垫等绝缘电阻应合格。

4) 检查电机各部标志齐全、正确，电机电缆头及电缆接地

线完好。

5) 检查电机本体无异常, 机械部分无人工作, 电机接线完毕。

6) 电机开关各部良好, 开关机构动作灵活无卡涩现象。刀闸及熔断器插座接触良好。熔断器应选择适当、三相一致、无断相现象、接触良好。

7) 保护回路良好, 保护装置运行正常, 跳闸出口压板投入。

8) 电机风扇、对轮的护罩及基础各部螺栓牢固。

9) 电机所带机械完好, 并在起动准备状态。

10) 转子盘车正常, 机械部分无卡涩现象。

11) 设有冷却器的电动机, 冷却器工作正常, 通风道清洁无杂物。

12) 对直流电机和绕线式电机, 整流子、滑环、电刷接触良好, 起动变阻器短路把手在起动位置, 调整电阻无卡涩现象。

13) 电机起动、停止由岗位运行人员操作。在正常情况下, 高压电机的起动、调速油泵的起动、直流油泵的启停, 应事先通知电气值班人员, 以便监视电压及光字牌。

14) 笼型电机在正常情况下, 在冷状态下(铁心温度 50°C 以下) 允许连续起动两次, 但每次间隔时间不得小于 5min , 在热状态下(铁心温度 50°C 以上) 只允许起动一次。只有在处理事故时, 以及起动时间不超过 $2 \sim 3\text{s}$ 的电机, 允许多次起动一次。当进行动平衡试验时, 起动时间间隔为:

200kW 以下的电机: 不应小于 0.5h

200 ~ 500kW 的电机: 不应小于 1h

500kW 以上的电机: 不应小于 2h

注: 热态: 带负荷运行半小时以上

冷态: 100kW 以上的电动机停运 1h 或 100kW 及以下的电机停运半小时。

15) 电机原则上不允许带负荷起动, 特殊情况除外。

16) 一次起动跳闸, 要对电机及所属机械部分进行检查, 并测量电机绝缘, 确认良好后在专人监护下起动, 如出现异常现象, 则应立即按事故按钮停机, 通知有关人员检查。

17) 起动电机时, 值班人员应根据电流表或转速声音, 监视起动过程, 发现异常立即停止运行。

18) 电机起动后, 应由机械值班人员检查下列各项:

- ① 转动正常, 无异声; 振动与串动不应超过规定值;
- ② 润滑油温、油压正常, 油环带油, 轴承温度正常;
- ③ 电机出入口风温及本体温度正常;
- ④ 检修后的电机应检查转向是否正确;
- ⑤ 有外部引入空气冷却的电机应保持风道清洁、畅通, 对密闭式冷却电机应检查冷却水系统运行是否正常;
- ⑥ 对有碳刷、滑环、整流子的电动机应检查各部正常;
- ⑦ 直流电机火花在合格范围内。

四、电机安全运行监视及维护内容

岗位值班人员、点检人员、检修人员应规定定期对电机进行状态监视、趋势分析、缺陷处理、定期维护保养。值班人员每小时对电机进行监视记录。点检人员每周对电机进行精密检修, 变化趋势分析。电机修理人员每半年在现场对电机进行一次检查、吹扫、轴承加油等。有条件的可将电机运回电修厂房进行完善性修复。监护人员按以下内容进行巡检, 发现问题及时向车间、主管科室、精密点检人员汇报, 由电机修理人员及时修复, 保证电机各参数、性能处于良好状态。

(一) 监护及维护内容

- 1) 电机的电压、电流是否在正常范围。
- 2) 轴承运行的声音、温度是否正常。
- 3) 电机运行声音、温度是否正常。
- 4) 直流电机、绕线型电机的电刷装置工作是否正常。
- 5) 电机周围环境应保持清洁, 不应有煤灰、水汽、破布等杂物, 防止异物进入电机内部。

6) 电机的测量保护装置工作良好。

7) 电机的润滑、冷却系统工作良好。

电机性能、参数有变化时要及时安排维护性修理，保证各参数在正常范围内，设备性能良好。

(二) 电机运行、巡检时事故处理工作要求

电机运行时，如出现异常现象，除了加强监视外应及时向有关人员汇报，迅速查明原因并处理；但如果出现下列情况之一，应立即停机。

1) 电动机所拖动的机械设备发生故障需要停机时。

2) 发生人身事故和运行的电机有关。

3) 电机冒烟起火。

4) 电机轴承温度不正常地快速上升。

5) 电机电流不正常地增长并超过额定值。

6) 电机有不正常的发热、声音异常的同时，转速不正常。

7) 电机强烈振动。

8) 电机的起动装置、润滑系统、冷却系统、保护装置等附属设备出现问题并影响电机的安全运行。

第八章 电缆运行维护与电力 线路工作安全

第一节 电缆运行维护

电缆线路的运行维护工作主要包括线路巡视检查、负荷监测、温度测量、预防腐蚀、预防性试验等。

一、对维护人员的基本要求

1) 维护人员工作的好坏关系到电缆线路是否能安全运行，因此，要求每个人员必须树立高度的责任感，认真负责，扎扎实实地做好运行维护工作。

2) 维护人员应做到“三熟三能”：熟悉所管辖线路的设备情况，如基本参数，型号等；熟悉缺陷情况及事故规律；熟悉规程及有关制度。能正确判断缺陷和事故隐患；能掌握一般的测试技能；能积累和建立运行技术资料。

3) 必须按规定的周期、项目、标准对电缆线路定期或不定期地进行巡视、检查和测试，并认真做好记录。

4) 定期巡视要认真，要特别注意周围环境的变化，不得在线路远处一望而过。

5) 不断积累和整理运行技术资料，要求设备台账及缺陷记录等各种资料正确无误，缺陷上报及时，台账与实际情况相符。

6) 参加新建和大修改进工程的质量监督以及工程竣工后的验收工作。

7) 负责电缆线路的故障巡查，并参加事故处理和调查分析。

二、电缆的巡视检查

1) 电缆线路应每周巡视一次,对挖掘暴露的电缆,应派人看护,采取专项措施。

2) 对于电缆终端头,根据现场情况,35kV 以上电缆线路每年停电清扫检查一次,10kV 电缆线路每年停电检查清扫两次。

3) 对敷设在地下的每条电缆线路,应查看路面是否正常,有无挖掘痕迹及线路路标是否完整无缺。

4) 电缆线路上不应堆置瓦砾、矿渣、建筑材料、笨重物件、酸性排泄物,或砌石灰坑等。

5) 对于通过桥梁的电缆,应检查桥梁两端电缆是否拖拉得过紧,保护管或槽有无脱开或锈蚀现象。

6) 井内电缆在排管及挂钩处不应有磨损现象。

7) 安装有保护器的单芯电缆,每月检测护层电流,每年至少检查一次阀片或间隙有无击穿或烧熔现象。

8) 对户外与架线连接的电缆和终端头应检查终端是否完整,引出线的接头有无发热现象,靠近地面的电缆保护管是否损坏等。

9) 隧道内的电缆要检查电缆位置是否正常,接头温度是否正常,构件是否失落。

10) 巡视人员应将巡视线路的情况记入巡视记录簿。根据缺陷严重程度,安排消除缺陷的处理工作。

11) 交联电缆表面及雨罩有无积灰、绝缘老化现象。

12) 节日前夕、恶劣天气、负荷高峰时应特别加强巡视。

13) 电缆导体长期允许工作温度及载流量在允许范围之内。

14) 测量直埋电缆温度时,应测量同地段的土壤温度。测量土壤温度的热偶温度计装置点与电缆沟间的距离不小于 3m,在测量 3m 半径范围内应无其他热源。

15) 电缆的温度应在夏季或电缆最大负荷时,选择电缆排列最密处或散热情况最差处进行检查。

三、电缆试验

用电单位经常用到的是交接试验和预防性试验。交接试验是检查电缆敷设安装质量，以决定电缆能否正常投入运行的试验。预防性试验是指电缆线路投入运行后，为检查它的绝缘状况所定期进行的电气试验。

交联聚乙烯电缆的试验项目和标准如下：

1. 相位检查

试验标准：用核相杆校核电缆的相位与电网相位一致。

试验时机：交接时；必要时。

2. 电缆主绝缘的绝缘电阻测量

试验方法：用 2500V 绝缘电阻表测量，读取 1min 以后的数据。运行中的电缆要充分放电后测量，每次测量完都要采用绝缘工具进行充分放电，以防止电击。

试验标准：绝缘电阻与上次试验数据比较没有明显变化，如若变化明显，应检查处理。

试验时机：交接时；耐压试验前；必要时。

3. 电缆外护套、内衬层绝缘电阻测量

试验方法：测量钢铠对地、铜屏蔽层对钢铠的绝缘电阻值，主要检查电缆的外护套、内衬层有无破损，采用 500V 绝缘电阻表测量。

试验标准：每千米绝缘电阻值最低不低于 $0.5\text{M}\Omega$ 。

试验时机：交接时；耐压试验前；必要时。

4. 铜屏蔽电阻和导体电阻比试验

试验方法：用双臂电桥测量在相同温度下的铜屏蔽层和导体的直流电阻。

试验标准：当铜屏蔽层电阻与导体的电阻之比数据与投入运行前数据相比增加时，表明铜屏蔽层的直流电阻增大，铜屏蔽层有可能被腐蚀；当该比值与投入运行前数据相比减少时，表明附件中的导体连接点的接触电阻有增加的可能。数据自行规定。

试验时机：交接时；新做终端或中直接头后；必要时。

5. 电缆主绝缘交流耐压试验

试验方法：对于装有护层过电压保护器的单芯电缆主绝缘作交流耐压试验时，必须将护层保护器短接，使这一端的电缆金属屏蔽或金属套临时接地。

交接试验：0.1Hz 耐压试验（35kV 及以下）， $3U_0$ ，60min；
20 ~ 300Hz 谐振耐压试验（110kV）， $2U_0$ ，60min。

预防试验：0.1Hz 耐压试验（35kV 及以下） $2.1U_0$ ，5min；
20 ~ 300Hz 谐振耐压试验（35kV 及以下）， $1.6U_0$ ，5min；
20 ~ 300Hz 谐振耐压试验（35kV 以上）， $1.36U_0$ ，5min。

试验时机：交接时；新做终端或中间接头后；3 ~ 6 年。

6. 交叉互联系统试验

（1）电缆外护套、绝缘接头外护套及其绝缘夹板对地直流耐压试验

1）试验方法：将护层保护器断开，在互联箱中应将另一侧的所有电缆金属套都接地。在每段电缆金属屏蔽或金属护套与地之间加 5kV，加压 1min 不应击穿。

2）试验时机：交接时；3 年；互联系统出现故障时。

（2）护层过电压保护器试验

1）试验方法：用 1000V 绝缘电阻表测量，护层保护器及其引线对地的绝缘电阻不应低于 $10M\Omega$ 。

2）试验时机：交接时；3 年。

（3）互联箱试验

1）试验方法：检查连接片的位置应正确，用双臂电桥测量连接片的接触电阻不应大于 $20M\Omega$ 。

2）试验时机：交接时；3 年；互联系统出现故障时。

四、技术资料的管理

1）电缆在敷设过程中，要经常进行监督和分段验收，施工单位应移交的资料有：设计说明书；路径平面图；厂家试验合格

证；特殊电缆应附的技术文件；建筑工程和隐蔽工程图样资料；敷设后的试验资料。

2) 竣工验收还需进行如下项目的电气试验：电缆各芯导体必须完整连续，无断线情况；电缆终端头的相位；单芯电缆的护层绝缘电阻及保护器的试验；电缆应按《电气设备交接预防性试验标准》的规定进行试验。

3) 具备的资料有：电缆网络系统接线图；电缆线路图；电缆断面图；电缆线路规范；电缆线路档案（设计说明书、安装资料、验收文件、协议书、更改记录、运行维护表、检修工作记录、预防性试验报告、故障测试记录、负荷和温度记录、巡视记录。

第二节 电力线路工作安全

一、基本要求

1. 工作现场的基本条件

1) 现场的生产条件和安全设施等应符合有关标准、规范的要求。

2) 现场使用的安全工具、器具应合格并符合有关要求。

3) 工作人员的劳动防护用品应合格、齐备。

4) 工作人员应当被告之其工作现场存在的危险因素、防范措施和事故紧急处理措施。

5) 在试验和推广新技术、新工艺、新设备、新材料的同时，应制定相应的安全措施，经过上级领导批准后执行。

6) 电气设备可以分为高压和低压两种。电压等级为 1kV 及以上者为高压电气设备；电压等级为 1kV 以下者为低压电气设备。

2. 工作人员的基本要求

1) 工作人员必须具备必要的电气知识和业务技能，经过安全生产教育和岗位技能培训，熟悉现场作业规程，并经过严格

考试。

2) 具备必要的安全生产知识,懂得紧急救护法,懂得触电急救。

3) 任何人发现有违反规程的情况,都应当立即制止,经过纠正后才能恢复作业。任何人有权拒绝违章指挥和强令冒险作业。在发现直接危及人身、设备安全的紧急情况时,有权停止作业或者采取可能的紧急措施后撤离作业现场,并立即报告。

二、保证安全的组织措施

在电力线路上工作,保证安全的组织措施有:现场勘察制度、工作票制度、工作监护制度、工作间断制度、工作终结和恢复送电制度。

1. 现场勘察制度

1) 电力线路施工前,工作单位应根据工作任务组织现场勘察。

2) 现场勘察应查看现场施工(检修)作业需要停电的范围、保留的带电部位,勘察作业现场的条件、环境及其他危险点等。

3) 根据勘察结果,对危险性、复杂性和困难程度较大的作业项目,应编制组织措施、技术措施、安全措施,经上级领导批准后执行。

2. 工作票制度

1) 在电力线路上工作,应填写工作票。工作票分别为电力线路第一种工作票、电力电缆第一种工作票、电力线路第二种工作票、电力电缆第二种工作票、电力线路带电作业工作票、电力线路事故应急抢修单。

2) 填写第一种工作票的工作为:

① 在停电的线路或同杆(塔)架设多回线路中的部分停电线路上的工作。

② 在全部或部分停电的配电设备上的工作。

③ 高压电力电缆需要停电的工作。

3) 填写第二种工作票的工作为:

① 带电线路杆塔上且满足最小安全距离的工作。

② 在运行中的配电设备上的工作。

③ 电力电缆不需要停电的工作。

4) 填写带电作业工作票的工作为带电作业或与相邻带电设备的距离小于最小安全距离的工作。

5) 需填用事故应急抢修单的工作为:

① 事故应急抢修可不用工作票, 但应使用事故应急抢修单。

② 事故应急抢修工作是指电气设备发生故障被迫紧急停止运行且需短时间内恢复的抢修和排除故障的工作。

③ 非连续进行的事故修复工作, 应使用工作票。

3. 工作许可制度

1) 填用第一种工作票进行工作, 工作负责人应在得到全部工作许可人的许可后, 方可开始工作。

2) 线路停电检修, 工作许可人应在线路可能受电的各方面都拉闸停电, 并挂好接地线后, 方能发出许可工作的命令。

3) 禁止约时停、送电。

4) 填用电力线路第二种工作票时, 不需要履行工作许可手续。

4. 工作监护制度

1) 工作许可手续完成后, 工作负责人、专责监护人应向工作班成员交代工作内容、现场安全措施、工作危险点, 并履行确认手续, 装完工作接地线后, 工作班方可开始工作。

2) 工作负责人、专责监护人应始终在工作现场, 对工作班人员的安全进行认真监护, 及时纠正不安全的行为。专责负责人不准兼做其他工作。

3) 专责监护人需要离开现场时, 由工作负责人变更专责监护人, 并履行变更手续; 工作负责人需要离开现场时, 由工作票签发人变更工作负责人, 并履行变更手续。

5. 工作间断制度

1) 在工作中遇到雷雨大风或其他情况威胁到工作人生的安全时, 工作负责人或专责监护人可根据情况, 临时停止工作。

2) 白天工作间断时, 工作地点的全部接地线仍保留不动。恢复工作前, 应检查接地线等各项安全措施的完整性。

3) 填用数日内工作有效的第一种工作票, 每日收工时如果将工作地点所装的接地线拆除, 次日恢复工作前应重新挂接地线。

6. 工作终结和恢复送电制度

1) 完工后, 工作负责人应检查检修地段的状况, 确认在杆塔上、导线上、绝缘子串上及其他辅助设备上没有遗留的个人保安线、工具、材料等, 查明全部工作人员确实已由杆塔上撤下后, 再命令拆除工作地段所挂的接地线。接地线拆除后, 应即认为线路带电, 不准任何人再登杆进行工作。

2) 工作终结后, 工作负责人应及时报告工作许可人。

3) 工作许可人在接到所有工作负责人的完工报告, 并确认全部工作已经完毕, 所有工作人员已由线路上撤离, 接地线已经全部拆除, 与记录簿核对无误并做好记录后, 方可下令拆除各侧安全设施, 向线路恢复送电。

4) 已经终结的工作票、事故应急抢修单、工作任务单应保存一年。

三、保证安全的技术措施

在电力线路上工作, 保证安全的技术措施有: 停电; 验电; 装设接地线; 使用个人保安线; 悬挂标示牌和装设围栏。

1. 停电

进行线路停电作业前, 应做好下列安全措施:

1) 断开线路侧开关;

2) 断开有可能返回低压电源的开关;

3) 停电设备的各端, 应有明显的断开点, 若无法观察到停电设备的断开点, 应有能够反映设备运行状态的电气和机械等指示。

4) 可在地面操作的开关机构应加锁, 不能直接在地面操作的开关应悬挂标示牌。

2. 验电

1) 在停电线路工作地段装设接地线前, 应先验电, 验明线路确无电压。验电时, 应使用相等电压等级、合格的接触式验电器。

2) 验电前, 应先在有电设备上进行试验, 确认验电器良好; 无法在有电设备上进行试验时, 可用工频高压发生器等确认验电器良好。

3) 验电时人体与被验电设备保持安全距离, 并设有专人监护, 使用伸缩式验电器时应保证绝缘的有效长度。

4) 对无法进行直接验电的设备、高压直流输电设备和雨雪天气时的户外设备, 可以进行间接验电。即通过设备的机械指示位置、电气指示、带电显示装置、仪表和各种遥测信号的变化来判断。判断时, 应有两个及以上的指示, 且所有指示均已同时发生对应变化, 才能确认该设备已无电。

5) 对同杆架设的多层电力线路进行验电时, 应先验低压, 后验高压; 先验下层, 后验上层; 先验近侧, 后验远侧。线路的验电应逐相进行。

3. 装设接地线

1) 线路经验明确无电压后, 应立即装设接地线并三相短路。各工作班工作地段的各端和有可能送电到停电线路工作地段的分支线都要验电、装设工作接地线。配合停电的线路可以只在工作地点附近装设一处工作接地线。装拆接地线应在监护下进行。工作接地线应全部列入工作票, 工作负责人应确认所有工作接地线均已挂设完成后, 方可宣布开工。

2) 禁止工作人员擅自变更工作票中指定的接地线位置。如需变更, 应由工作负责人征得工作票签发人同意, 并在工作票上注明变更情况。

3) 同杆架设的多层电力线路挂接地线时, 应先挂低压, 后挂高压; 先挂下层, 后挂上层; 先挂近侧, 后挂远侧。拆除时,

顺序相反。

4) 成套接地线应由有透明护套的多股软铜线组成，其截面不准小于 25mm^2 。禁止使用其他导线作为接地线或短路线。接地线应使用专用的线夹固定在导体上，禁止用缠绕的方法进行接地或短路。

5) 装设接地线时，应先接接地端，后接导体端；拆接地线的顺序与此相反。接地线应接触良好、连接应可靠。装拆接地线均应使用绝缘棒或专用的绝缘绳。人体不准碰触未接地的导线。

6) 电缆线路在接地前，应逐相分别放电。

4. 使用个人保安线

1) 工作地段如有邻近、平行、交叉跨越及同杆塔架设线路时，为防止停电检修线路上感应电压伤人，在需要接触或接近导线工作时，应使用个人保安线。

2) 个人保安线应在杆塔上接触或接近导线的作业开始前挂接，且接触良好，连接可靠。作业结束脱离导线后拆除。装设时，应先接接地端，后接导线端；拆除个人保安线的顺序与此相反。个人保安线有作业人员负责自行装拆。

3) 个人保安线应使用有透明护套的多股软铜线，截面积不准小于 16mm^2 ，且应带有绝缘手柄或绝缘部件。禁止用个人保安线代替接地线。

5. 悬挂标示牌和装设围栏

1) 在一经合闸即可送电到工作地点的开关操作手柄处，均应悬挂“禁止合闸，线路有人工作”的标示牌。

2) 进行地面配电设备部分停电的工作，应增设临时围栏，并悬挂“止步，高压危险”的标示牌。

3) 在人员较多的地段或道路上施工时，工作场所周围应装设围栏，并在相应部位装设标示牌，必要时派专人看管。

4) 高压配电设备做耐压试验时应在周围设围栏，围栏上应向外悬挂适当数量的“止步，高压危险”的标示牌。禁止工作人员在工作中移动或拆除围栏和标示牌。

第九章 变电站与电缆隧道的消防管理

第一节 变电站的消防管理

一、基本规定

1) 在变电站（电气室）大门处悬挂醒目的由当地消防管理部门颁发的防火警告标志。站内防火重点部位应有明显标志，并在指定地点悬挂特定的标志牌。其内容包括：防火重点部位名称、场所负责人及防火责任人。

2) 对变电站（电气室）运行人员、值守人员、门卫人员进行消防知识教育，使其掌握“三懂三会”，即懂火灾危险性、懂预防措施、懂扑救方法，会使用消防器材、会扑灭初期火灾、会报火警。建立消防预案、防火检查制度和防火岗位责任制，落实消防措施。即该防火重点部位有专人负责，有灭火方案，有计划、有组织、有记录地进行防火检查，发现火险隐患应立案限期整改。

3) 变电站（电气室）应按规程规定配置消防设施，现场应有相应的消防设施配置图。消防设施周围不得堆放杂物和其他设备，现场消防设施不得移做他用，室外的消防器材放置在专用的消防箱内。

4) 变电站（电气室）生产现场严禁存放易爆物品。变电站内需用火工作时，必须严格执行用火工作票制度。

5) 消防黄沙应确保充足、干燥，消防箱、消防桶、消防锹、安全斧把柄应涂红漆，以起警示提醒作用。每月对消防黄沙翻晒一次，确保其干燥充足。

6) 每季度由消防专职人员对各种灭火器材进行一次检查，确保其符合使用范围，并及时更换检查标签；每周对消防自动报

警装置进行检查试验一次，确保其可靠动作。

7) 发现火灾，立即报警，及时切断有关电源，按消防预案进行初期灭火。

二、消防器材的配备及管理

根据消防重点部位有可能产生燃烧介质的不同和火灾扑救保护物的特性，变电站（电气室）应配备有以下几种灭火器和灭火设施。

1) 用于扑灭有机溶剂等易燃液体、可燃气体和电气设备初起火灾的干粉灭火器。

2) 用于扑救贵重设备、档案资料、仪器仪表、600V 以下电气设备以及油类等初起火灾的二氧化碳灭火器。

3) 消防员使用的个人装备（专用服装、安全带、安全钩、安全绳、破拆工具）。

4) 主控室、库房应按国家《建筑灭火器配置设计规范》及有关规定配置消防设施和配备消防器材，保证消防供水。

5) 各种消防器材分布合理，摆放在便于取用、通风良好的地方。室外消防器材应摆放在防雨的箱、架、柜内，严禁与油类、酸、碱等有腐蚀性的化学物品接触。消防设备、器材应指定专人管理，维护、保养和更换并挂牌管理，任何人不得挪作他用，确保完好能用。

三、消防检查

1) 每月由变电部组织有关消防主管部门到变电站进行消防检查工作，对检查出来的问题（缺陷）由变电部将情况向有关部门反映解决。

2) 逢元旦、五一、国庆节、中秋节、春节或市里有重要活动的日子，消防主管部门组织变电部对变电站进行节前检查，务求保证节日安全供电，杜绝火灾发生。

3) 站内自检由站长组织，每一个班根据自己负责的分区进行分散检查，或进行集中检查。站长将情况汇总，有问题的要及时报告，并及时处理。每次检查的结果及处理情况列入交班内容

及消防记录簿，以便加强检查。

4) 消防器材的检查主要是设置地点是否方便恰当，以及移动、遗失情况，使用及损坏情况等，使变电站保证足够数量而且有效期合格的消防器材，以防备火险的突然发生。凡需换药、填药、更换或增设消防器材的均要及时汇报，由安监部安排处理。有消防池、消防栓、消防水泵房的变电站要每月定期检查这些消防设施是否良好、水路是否畅通，检查水压，试验消防泵电源切换是否正常、试开阀门。

5) 高压设备以及高压场所的检查按有关规定进行检查。火险主要是由高压设备引发，故对高压设备的巡查要认真，根据各类设备的巡查项目逐一对照检查；同时对高压室、蓄电池室以及低压室的巡查还需特别检查防鼠的钢丝网等是否破损，有无其他漏洞，大门是否关严等；一定要将防鼠工作列入日程，作为一项重要的安全活动开展。

6) 对进入站内临时工作的外来人员（指非电力行业人员）要先进行教育，交代有关注意事项，并相应及采取设标志，增设围栏等预防措施；对违章用电、电焊、用火等行为要及时制止，严肃批评，以防发生触电等人身和设备事故，引发火险。

7) 对站内的低压用电（380V/220V）亦要加强检查，布线要安全合理，使用有关电器要按说明书使用；熔断器要配合恰当，严禁用铜丝代替熔丝，预防因低压线路短路引起火灾。

8) 一旦发生火灾，要按《安规》使用正确的灭火器材和灭火方法，所以检查时要注意不同的设备配置不同类型的器材。

9) 检查消防器材档案和消防情况记录。

10) 对认真履行义务消防员职责、热爱消防工作、模范贯彻执行消防制度、及时发现和消除火灾隐患、扑救火灾避免了重大损失、积极参加防火训练成绩突出的班组、个人将给予表彰、奖励。对违反消防制度、玩忽职守造成失火事故的班组及个人视情节轻重由本所和上级主管部门给予行政处分或经济处罚，构成严重后果的，由司法部门予以追究刑事责任。

第二节 电缆隧道的消防管理

严格执行电缆隧道的巡视检查、维护作业制度，发现问题及时整改。电缆隧道通风、排水、照明、报警设施应完善。

1) 电缆隧道应设消防分隔和采取防火阻燃措施；消防报警应在每层电缆桥架上按弦波形式布置多极线型感温探测器，设置温度自动报警系统；应设水喷雾封堵和通风系统；在危险性大、重要性强的区域应设水喷雾灭火系统；电缆隧道出入口设置红外线监视系统。

2) 电缆沟、排水沟等沟内不应有积油、杂物、易燃物，各类废油严禁随意乱倒，应按规定倒入专用的容器内。

3) 穿越电缆沟、墙壁、楼板进入控制室、电缆夹层、控制屏、保护屏、仪表屏等处的洞、井应采用耐火泥等防火材料严密封堵。通过充油设备的电缆沟设置防火墙进行阻燃，盖板应封堵完好。

4) 电缆夹层内、电缆沟内通往室内的电缆应涂防火材料；在已采取防火措施的电缆层上敷设新电缆，应及时补做相应的防火措施；在电缆接头两侧及相邻电缆 2 ~ 3m 长的区段使用防火涂料或防火包带。

5) 在隧道两侧敷设电缆的位置按每间隔一定距离设置一道耐火墙，岩棉材料；在紧靠阻火墙的两侧涂加防火材料或阻燃包、带。

6) 在电缆竖井中，每隔 7m 设阻火、隔火层，用阻火腻子 and 无机型防火堵料等防火材料对电缆贯穿的孔洞予以防火封堵。

7) 在隧道内还可以采用诸如防火枕、防火槽盒和防火门等封堵措施。

8) 采用难燃型或阻燃电缆，使用预制式电缆接头，采取有效的防火延燃的措施。继电保护措施保证在过负荷或电网故障时能将故障线路快速切除，隧道内电缆线路不采用重合闸。

第十章 雷电与防雷

第一节 雷电现象与危害

一、雷电产生的原因

雷电，是伴随有闪电和雷鸣的一种恐怖而雄伟壮观的自然现象。雷电现象比较复杂，它是由于地面湿气受热上升或空中不同冷、热气团相遇凝成水滴或冰晶形成积云，在运动时使电荷发生分离，当电荷积聚到足够数量时，就在带有不同电荷的云间或由于静电感应而产生不同电荷的云与大地间发生的放电现象。雷云中可能同时存在着几个电荷聚集中心，所以经常出现多次重复性的放电现象，常见的为 2~3 次。当第一个电荷聚集中心完成放电过程后，其电位迅速下降，第二个电荷聚集中心立即向着前一个放电位置移动，瞬间重复放电。每次间隔时间从几百微秒到几百毫秒不等，但其放电电流将逐次递减。雷电以其巨大的破坏力给人类社会带来了惨重的灾难。尤其是近几年来，雷电灾害频繁发生，对国民经济造成的危害日趋严重。我们应当加强防雷意识，与气象部门积极合作，做好预防工作，将雷害损失降到最低限度。

二、雷电种类

1. 直击雷

带有电荷的雷云与地面凸出物之间电场强度达到空气击穿强度时，就发生放电现象，这种放电现象称为直击雷。它的能量巨大，直接危险也最大。一次直击雷击，其热效应可在雷击点局部范围内产生高达 $6000^{\circ}\text{C} \sim 10000^{\circ}\text{C}$ 的高温（太阳表面温度为 6000°C ），和 $5000 \sim 6000\text{N}$ 的强大冲击力。由于热效应、机械

力、强电流等，极易使遭雷击的建筑受到破损，甚至引起火灾，也极易导致人因雷击身亡。

2. 静电感应雷

带电积云接近地面凸出物时，在其顶部感应出大量异性电荷，当带电积云与其他部位或其他积云放电后，凸出物顶部的电荷失去束缚，高速传播形成高压冲击波。此冲击波由静电感应产生，具有雷电特征，称为静电感应雷。

3. 电磁感应雷

雷电流在周围空间产生迅速变化的强磁场，在邻近的导体上感应出很高的电动势，该电动势具有雷电特征，称为电磁感应雷。

4. 球形雷

是一种特殊的雷电现象，一般是橙色或红色或似红色火焰的发光球体（也有带黄色、绿色、蓝色或紫色的），沿建筑物的孔洞或开着的门窗进入室内，有的由烟囱或通气管道滚进楼房，多数沿带电体消失。其直径一般约为 10 ~ 20cm，最大的直径可达 1m，存在的时间一般是 3 ~ 5s。其下降时，有的无声，有的发出嘶嘶声，一旦遇到物体或电气设备时会产生燃烧或爆炸。球形雷可能造成多种危害。

三、雷电参数

雷电参数的主要内容有以下各项：

1. 雷电流的极性

云中带负电荷，它对地的放电称为负闪电；云中带正电荷它对地的放电称为正闪电。负闪电时，雷电流由地向云，这时的雷电流是负极性的。据统计，雷电流大约有 75% ~ 90% 为负极性的，而感应过电压则多数是正极性的。

2. 电荷量

雷云积聚的电荷量越大，则雷电的能量越大，破坏性也就越大。

3. 雷电流幅值

雷云的电荷击中物体，在放电流入大地时的最大雷电流幅值可达数十至数百千伏根据统计，雷电流幅值的概率（雷电流出现的百分数）如图 10-1 所示。

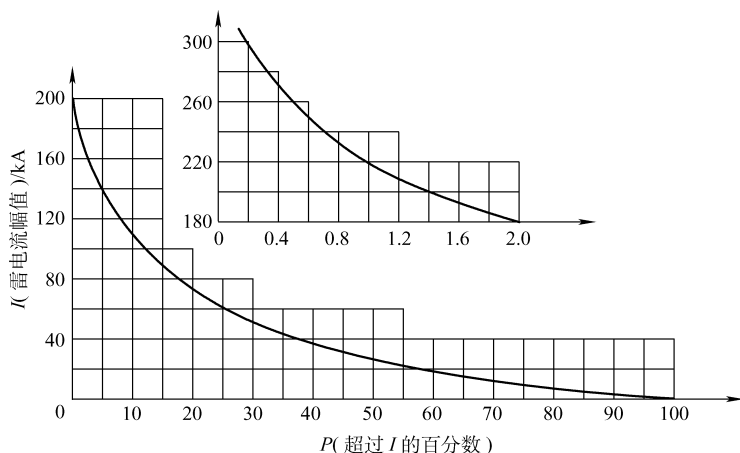


图 10-1 雷电流幅值的概率

4. 雷电流陡度

它是指雷电流在单位时间内上升的数值，表示雷电流增长的速度。据统计，雷电流陡度可高达 $50\text{kA}/\mu\text{s}$ ，平均陡度约为 $30\text{kA}/\mu\text{s}$ 。

5. 雷电流的波形

波头时间越短，则陡度越大，对电感元件的危害越大；波尾持续的时间越长，雷电流的能量越大，破坏力越强。据统计，通常直击雷雷电流的波头为 $1 \sim 4\mu\text{s}$ ，波尾时间为 $10 \sim 200\mu\text{s}$ 。

6. 雷电过电压

直击雷过电压主要决定于雷电流陡度和雷电流通道的阻抗，它的大小可按下式来计算：

$$U = IR + L$$

式中 I ——雷电流幅值 (kA)；

i ——随时间变化的雷电流 (kA)；

R——接地电阻 (Ω);

L——雷电流通道的电感 (H)。

四、哪些地方最容易发生雷害

- 1) 旷野孤立的或高于 20m 的建筑物和构筑物, 如凉亭、大树等。
- 2) 金属屋面、砖木结构的建筑物和构筑物。
- 3) 河边、湖边、土山顶部的建筑物和构筑物。
- 4) 低洼地区、地下水出口处、特别潮湿处、山坡与稻田水面交界处、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。
- 5) 山谷风口处的建筑物和构筑物。
- 6) 城市里的烟囱及地面上有较高尖顶的建设物或铁塔。

五、雷电的危害

1. 直接雷击的危害

地面上的人、畜、建筑物、电气设备等直接被雷电击中, 叫做直接雷击。发生直接雷击时, 特大的雷电流 (几十至几百千安) 通过被击物, 在被击物内部产生高达几万度的温度, 使被击物燃烧, 使架空导线熔化。

2. 感应雷的危害

雷云对地放电时, 在雷击点全放电的过程中, 位于雷击点附近的导线上将产生感应过电压, 过电压幅值一般可达几百万伏至几千万伏, 它能使电力设备绝缘发生闪络或击穿, 造成电力系统停电事故、电力设备的绝缘损坏, 使高压电串入低压系统, 威胁低压用电设备和人员的安全, 还可能发生火灾和爆炸事故。

3. 雷电侵入波的危害

雷电侵入波是指落在架空线路上的雷电, 沿着线路侵入到变电所 (站) 或配电室内, 致使设备或人遭受雷击。

六、雷电的破坏机理

雷电放电时, 它的破坏作用是综合性的, 包括电磁力、热效应和机械效应引起的破坏力是相当严重的。

(1) 电磁力的破坏作用 主要表现为毁坏电气设备绝缘,烧断电线或劈裂电杆,还可能造成严重的触电事故。

(2) 热效应的破坏作用 主要表现为几万度的高温,不仅能使金属熔化,还能引燃易燃、易爆的物质,造成火灾或爆炸。

(3) 机械力的破坏作用 主要表现为使被击物扭曲、变形甚至爆裂或粉碎。

第二节 防雷装置

常用的防雷装置有很多,如避雷器、避雷线、避雷网、避雷带、避雷针。一套完整的防雷装置由接闪器或避雷器、引下线和接地装置组成。避雷器主要是用来保护电力设备;避雷线主要是用来保护电力线路;避雷网和避雷带主要是用来保护建筑物;避雷针主要用来保护露天变、配电设备、建筑物和构筑物。

一、接闪器

接闪器位于防雷装置的顶部,其作用是利用其高出被保护物的突出地位把雷电引向自身,承接直击雷放电。

除避雷针、避雷线、避雷网、避雷带可作为接闪器外,建筑物的金属屋面和金属构件可用作第一类防雷建筑物以外的建筑物的接闪器。

接闪器所用材料应能满足机械强度、耐腐蚀和热稳定性的要求。

接闪器应镀锌,焊接处应涂防腐漆,接闪器截面锈蚀 30% 以上时应予以更换。

需要特别指出的是,为了降低雷电通过避雷针放电时感应过电压的影响,避雷针或避雷线与被保护物之间必须有一定的安全距离,一般应大于 5m。

(一) 避雷针

避雷针实际上是引雷针,它的保护作用是拦截雷电打在自己身上,让雷电电流沿着引下线安全地导入地中,从而使建筑物或

设备避免遭受直接雷击。它不能阻止雷电的行进，也不能消除雷电。

（二）避雷线

避雷线又称架空地线，架设在杆塔顶部，架设一根或两根，用于防雷，110 ~ 220kV 线路一般沿全线架设。架空送电线遇雷时，可能打在导线上，也可能打在杆塔上。雷击导线时，在导线上将产生远高于线路额定电压的所谓“过电压”，有时达几百万伏。它超过线路绝缘子串的抗电强度时，绝缘子将“闪络”，往往引起线路跳闸，甚至造成停电事故。避雷线可以遮住导线，使雷尽量落在避雷线本身上，并通过杆塔上的金属部分和埋设在地下的接地装置，使雷电流流入大地。雷击杆塔或避雷线时，在杆塔和导线间的电压超过绝缘子串的抗电强度时，绝缘子串也将闪络，而造成雷击事故。通常用降低杆塔接地电阻的办法，来减少这类事故。

（三）避雷带

在房屋建筑雷电保护上，用扁平的金属带代替钢线接闪的方法称之为避雷带，它是由避雷线改进而来。在城市高大楼房上，使用避雷带比避雷针有较多的优点。它可以与楼房顶的装饰结合起来，可以与房屋的外形较好地配合，既美观防雷效果又好，特别是对于大面积的建筑，它的保护范围大而有效，这是避雷针所无法相比的。避雷带的制作，采用扁钢，截面积不小于 48mm^2 ，其厚度不应小于 4mm 。

（四）避雷网

建筑物顶上往往有许多突出物，如金属旗杆、透气管、钢爬梯、金属烟囱、风窗、金属天沟等，都必须与避雷网焊成一体构成接闪装置。在非混凝土结构的建筑物上，可采用明装避雷网。做法是首先在屋脊、屋檐等到顶的突出边缘部分装设避雷带主网，再在主网上加搭辅助网。

避雷带和避雷网一般采用圆钢或扁钢，其尺寸不应小于下列数值：圆钢直径为 8mm ，扁钢截面积为 48mm^2 ，扁钢厚度为 4mm 。

避雷线一般采用截面积不小于 35mm^2 的镀锌钢绞线架设。

(五) 安装避雷带和避雷网的注意事项

1) 避雷带及其连接线经过沉降沟（沉降沟：一座较长的多层建筑物，往往在横向上把建筑物分成几段，段与段之间留有一段空隙，防止各段下沉不一致，引起建筑物损坏）时，应备有 $10\sim 20\text{cm}$ 以上的伸缩余裕的跨越线。

2) 有女儿墙的平顶房屋，其宽度小于 24m 时，只需沿女儿墙上部敷设避雷带；宽度大于 24m 时，须在房面上两条避雷带之间加装明装连接条。连接条的间距不大于 20m 时，只在屋檐上装避雷带；间距大于 20m 时，需在屋面上加装明装连接条。

3) 瓦顶房屋面坡度为 $27^\circ\sim 35^\circ$ 、长度不超过 75m 时，只沿屋脊敷设避雷带。四坡顶房屋，应在各坡脊上装上避雷带。为使檐角得到保护，应在屋角上装短避雷针或将避雷带的引下线从檐角上绕下来。如果屋檐高度高于 12m ，且长度大于 75m 时，要在屋脊和房檐上都敷设避雷带。

4) 当屋顶面积非常大时，应敷设金属网格，即避雷网。避雷网分明网和暗网。网格越密，可靠性越好，网格的密度视建筑物重要程度而定。

5) 在非混凝土结构的建筑物上，可采用明装避雷网。做法是首先在屋脊、房檐等到顶的突出边缘部分装设避雷带主网，再在主网上加搭辅助网，避雷网格大小按上述要求确定。采用避雷带和避雷网保护时，屋顶上的烟囱、混凝土女儿墙、排气楼、天窗及建筑装饰等突出于屋顶上部的结构物和其他突出部分，都要装设短避雷针或避雷带保护，或暗装防护线，并连接到就近避雷带或避雷网上。对金属旗杆、金属烟囱、钢爬梯、风帽、透气管等必须与就近的避雷带、避雷网焊接。

6) 采用避雷带和避雷网保护时，每一座房屋至少有两根引下线（投影面积小于 50m^2 的建筑物可只用一根）。避雷引下线最好对称布置。例如：两根引下线成“一”字或“Z”字形，四根引下线要做成“工”字形。引下线间距离不应大于 20m ，当

大于 20m 时，应在中间多引一根引下线（见《雷电与避雷工程的避雷带和避雷网的结构设计》）。

二、避雷器

避雷器的作用是用来保护电力系统中各种电器设备免受雷电过电压、操作过电压、工频暂态过电压冲击而损坏的一个电器。当沿线路传入变电站的雷电冲击波超过避雷器保护水平时，避雷器首先放电，并将雷电流经过良导体安全地引入大地，利用接地装置使雷电压幅值限制在被保护设备雷电冲击水平以下，使电气设备受到保护。

图 10-2 是常见的中低压避雷器外形图。

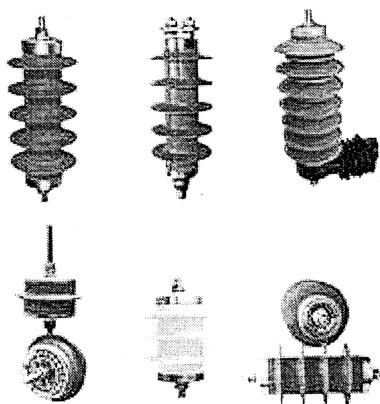


图 10-2 常见的中低压避雷器外形

（一）阀型避雷器

阀型避雷器是由火花间隙和非线性电阻组成的，如图 10-3 所示。

非线性电阻具有饱和特征，即电流越大，电阻越小；电流越小，电阻越大。当线路正常输电时，火花间隙将非线性电阻与线路隔开；而当雷电侵入波过电压沿线路袭来时，火花间隙首先击穿，过电压作用产生的过电流经非线性电阻流入大地。由于非线性电阻的非线性饱和特性，其电阻在流过大电流时将变得很小，

所以过电流在非线性电阻上产生的压降将不会高，这一压降称为残压。残压低于被保护设备的耐受电压水平，设备便得到避雷器的保护。当过电压消失后，火花间隙中由于受线路正常输电工频电压的作用而仍将流过工频续流。此工频续流由于受到非线性电阻的限制，其值甚小，而此时的非线性电阻则变大，这样就进一步限制了工频续流，使之在第一次过零时就能够将电弧熄灭，恢复线路的正常输电。

实际的阀型避雷器中火花间隙是由一系列单个平板型间隙组成的，单个平板型间隙结构如图 10-4 所示。间隙的电极由黄铜材料冲压成小圆盘形状，隙中可以云母垫圈隔开，间隙之间的距离为 $0.5 \sim 1.0\text{mm}$ 。由于间隙之间的电场接近于均匀场，而且在过电压作用下云母垫圈与电极之间的空气缝隙还会发生局部预游离，因此间隙的放电分散性较小，伏秒特性较为平坦。将阀型避雷器中的火花间隙做成由多个短间隙串联而成的串联体，将有助于切断工频续流。因为工频续流电弧被短间隙电极分割成许多段短弧，靠电极的复合与散热作用使去游离的程度提高，并使短弧能在工频续流过零后不易重燃，而被熄灭。所以这就在很大程度上改善了阀型避雷器的伏秒特性。实际阀型避雷器中的非线性电阻也是由多个圆形非线性电阻片串联而成的。每片非线性电阻称为阀片。阀片常由碳化硅（SiC）添加一部分氧化铝（ Al_2O_3 ）用黏合剂压制后经高温焙烧而成。阀片的电阻值随流过电流的变化而呈现出非线性变化。

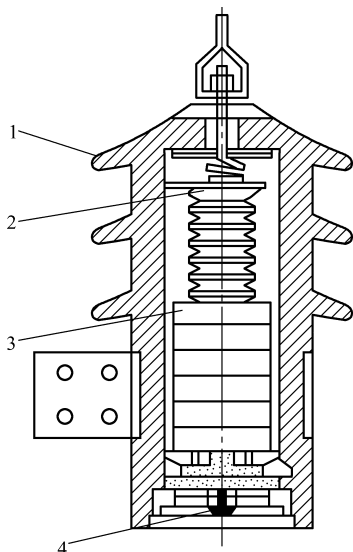


图 10-3 FS-6 型阀型避雷器

- 1—套管 2—火花间隙
3—非线性电阻片 4—接地螺钉

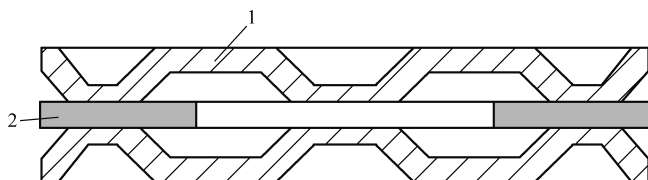


图 10-4 单个平板型间隙

1—黄铜电极 2—云母片

为了进一步改善阀型避雷器的保护性能，在普通阀型避雷器的基础上，发展了一种磁吹避雷器。这种避雷器的基本原理和结构与普通阀型避雷器大致相同，其区别仅在于采用了灭弧性能较强的磁吹火花间隙和通流容量较大的高温阀片电阻。所以它也称为磁吹阀型避雷器。磁吹火花间隙是利用磁场对电弧的电动力作用来迫使间隙中的电弧加快旋转运动或延伸的，使间隙的去游离作用增强，从而提高灭弧能力。磁吹火花间隙通常有电弧旋转式和电弧拉长式两种。

电弧旋转式磁吹间隙常用于额定电压较低（2 ~ 15kV）的避雷器中。其间隙为由内、外两个同心圆电极构成；磁场由外加永久磁铁产生。电弧在外磁场作用下沿圆形间隙旋转运动，使弧道冷却，以加速去游离过程，因而灭弧能力可以提高。电弧旋转式磁吹间隙能可靠切断幅值为 300A 的工频续流。

电弧拉长式磁吹间隙常用于额定电压较高（大于 35kV）的磁吹避雷器，其间隙为一对羊角形电极。羊角形间隙装在由陶瓷或云母玻璃材料制成的灭弧盒内，盒的内周边做成锯齿形的灭弧栅。磁场由工频续流通过线圈来产生，工频续流电弧在电磁力作用下被拉长并进入灭弧盒的狭缝及其灭弧栅中。被拉长后的电弧可达起始时弧长的数十倍。被拉长的电弧受冷却后发生强烈的去游离而灭弧，使间隙的绝缘强度迅速恢复而不致发生电弧的重燃。在这种间隙上采用线圈是为了使磁场方向随工频续流方向的改变而电弧的运动方向不变。单个电弧拉长式间隙可切断 450A

的工频续流，约为普通间隙的4倍。

（二）管型避雷器

管型避雷器是在保护间隙的基础上发展起来的一种具有较强灭弧能力的避雷器，其结构如图10-5所示。

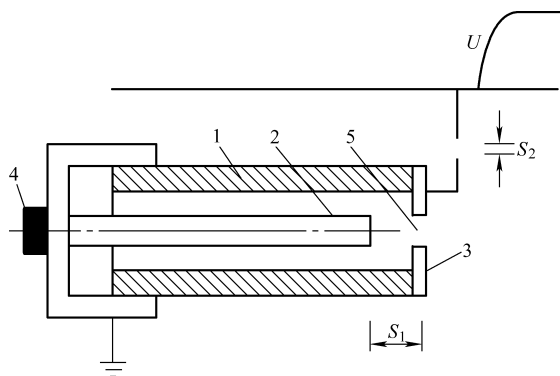


图 10-5 管型避雷器的示意图

1—产生气体的管子 2—棒形电极 3—环形电极 4—接地螺母

5—喷弧管口 S_1 —内部火花间隙 S_2 —外部火花间隙

管型避雷器由两个间隙串联而成，一个间隙在产气管内，称为内间隙；另一个间隙装于产气管外，称为外间隙。外间隙的作用是使产气管在线路正常输电时与工频隔离。产气管用纤维、塑料或橡胶等在电弧高温下易于气化的有机材料制成。当雷电侵入波过电压沿线路袭来时，内、外两个间隙均被击穿，使过电压作用下产生的过电流流入大地。在过电压消失后，间隙中流过工频续流。在工频续流电弧的高温作用下，产气管内分解出大量气体，形成数十至上百个大气压的压力。高压气体从环形外部电极孔口急速喷出，猛烈地从纵向吹动续流电弧，使工频续流在第一次过零时即熄灭。管型避雷器的灭弧能力与工频续流的大小有关。续流太大则产气过多，会使管子发生爆炸；续流过小，则产气不足，不能熄灭电弧。因此，管型避雷器灭弧电流有上限值和下限值。这些限值通常在它的型号中标出，例如：管型避雷器的

型号通常记为

$$GXS \frac{U_N}{I_{\max} - I_{\min}}$$

在这一记号中, U_N (有效值) 是额定电压, $I_{\max}$ 和 $I_{\min}$ 分别是灭弧电流的上、下限值。使用时要根据安装点的线路运行条件, 使单相接地短路电流不超过避雷器灭弧电流值的允许范围。

管型避雷器有几个明显的缺点: 一是其伏秒特性陡, 难以和被保护设备实现配合; 二是运行维护较为麻烦; 三是动作时会产生高幅值的冲击载波, 容易危害被保护设备 (如变压器的绝缘)。因此, 管型避雷器现在只用于输电线路的个别区段的保护, 例如在线路交叉挡距或大跨距处以及变电所的进线段。

管型避雷器外间隙的数值见表 10-1 所示。

表 10-1 管型避雷器外间隙的数值

额定电压/kV	3	6	10	20	35
外间隙最小数据/mm	8	10	15	60	100
GB1 外间隙最大数据/mm	—	—	—	150 ~ 200	250 ~ 300

注: GB1 指用于变电所进线段首端的管型避雷器。

(三) 氧化锌避雷器

氧化锌避雷器又称金属氧化物避雷器, 是 20 世纪 70 年代初期出现的一种新型避雷器。它主要由具有良好非线性伏安特性的氧化锌电阻阀片构成。这种电阻阀片是以氧化锌 (ZnO) 为主要材料, 掺进少量的氧化铋 (Bi_2O_3)、氧化钴 (Co_2O_3)、氧化锰 (MnO_2) 和氧化锑 (Sb_2O_3) 等金属氧化物添加成分, 经成形高温烧结处理工艺而制成的。氧化锌电阻阀片的伏安特性如图 10-6 所示。

在图 10-6 中, 同时还给出了碳化硅电阻阀片的伏安特性。在正常线路电压下, 氧化锌电阻阀片特性曲线对应的电流为 $10 \sim 50 \mu A$, 而碳化硅电阻阀片特性曲线对应的电流为 $200 \sim 400 A$ 。

因此，在正常线路电压的作用下，氧化锌电阻阀片中的电流很小，可以忽略不计。此时它实际上相当于一个绝缘体。所以氧化锌避雷器可以通过其阀片自身在线路正常电压下所呈现出的高电阻来有效地抑制工频续流，而不必像使用碳化硅阀片的阀型避雷器那样需要串联火花间隙。图 10-7 所示为低压氧化锌避雷器的结构。

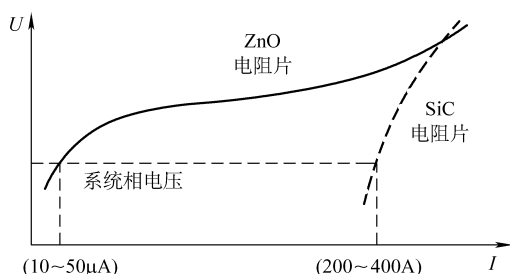


图 10-6 氧化锌电阻阀片的伏安特性

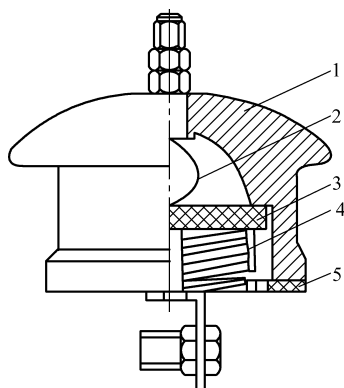


图 10-7 低压氧化锌避雷器的结构

1—瓷套 2—熔丝 3—氧化锌 4—弹簧 5—密封垫

与阀型避雷器相比，氧化锌避雷器具有以下优点：

1) 由于不串入火花间隙，氧化锌避雷器结构简单，其体积可以缩小，而且能完全避免火花间隙放电受温度、湿度、气压和

污秽等环境条件影响的缺点，所以其性能是稳定的。

2) 在氧化锌避雷器中省去了火花间隙，也就避开了火花间隙放电需要一定时延的弊端，从而大大改善了避雷器的动作限压响应特性，特别是对波头陡度大的雷电侵入波过电压的抑制效果，提高了对设备保护的可靠性。

3) 氧化锌避雷器在雷电侵入波过电压消失后，实际上没有工频续流流过，这就使得它所泄放的能量大为减少，从而可以承受多次雷击，并可延长工作寿命。

4) 氧化锌避雷器通流容量较大，由于没有串联火花间隙，其允许吸收能量不像阀型避雷器那样受间隙烧伤的制约，而仅与氧化锌电阻本身的强度有关。氧化锌阀片单位面积的通流能力可达碳化硅阀片的 4~5 倍，其残压约为碳化硅阀片的 $1/3$ ，且电流分布特性均匀，可以通过并联氧化锌阀片或整只氧化锌避雷器并联的方式来提高避雷器的通流容量。

5) 氧化锌避雷器的制造工艺简单，元件单一通用，造价低廉，适合于大批量生产。

(四) 保护间隙

保护间隙是一种最简单的避雷器，如图 10-8 所示。它由主间隙和辅助间隙串联而成。辅助间隙是为了防止主间隙被外物（如小鸟）短路而设置的，以防止误动作。主间隙的两个电极做成角形，可以使工频续流电弧在自身电动力和热气流作用下上升拉长而变得易于熄灭。当遇到雷电侵入波过电压时，间隙首先放电击穿，线路被短路接地，这就避免了后面被保护设备受到过电压的作用。在过电压消失后，间隙中仍可能有工频电压作用所产生的工频续流，由于保护间隙没有专门的灭弧措施，其灭弧能力是比较差的，所以会引起线路的跳闸事故，这是保护间隙的主要缺点。为了保证线路的可靠供电，需要将保护间隙与自动重合闸装置配合使用。由于保护间隙存在着灭弧能力差的缺点，它一般只使用于一些不太重要的场合或缺乏合适避雷器的场合。

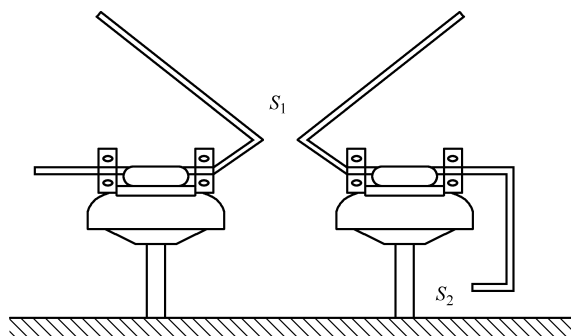


图 10-8 保护间隙

保护间隙的主间隙不应小于表 10-2 所列数值。辅助间隙可采用表 10-3 所列数值。

表 10-2 保护间隙的主间隙最小值

额定电压/kV	3	6~10	20	35
辅助间隙数值/mm	5	10	15	20

表 10-3 辅助间隙的数值

额定电压/kV	3	6	10	20	35
间隙数值/mm	8	15	25	100	210

三、引下线

防雷装置的引下线宜采用圆钢或扁钢，宜优先采用圆钢，圆钢直径不应小于 8mm。扁钢截面不应小于 48mm²，其厚度不应小于 4mm。当烟囱上的引下线采用圆钢时，其直径不应小于 12mm；采用扁钢时，其截面不应小于 100mm²，厚度不应小于 4mm。防腐措施应与避雷带相同。

引下线应沿建筑物外墙明敷，并经最短路径接地；建筑艺术要求较高者可暗敷，但其圆钢直径不应小于 10mm，扁钢截面不应小于 80mm²。建筑物的消防梯、钢柱等金属构件宜作为引下

线，但其各部件之间均应做电气通路连接（金属性连接）。采用多根引下线时，宜在各引下线上于距地面 0.3m 至 1.8m 之间装设断接卡。

当利用混凝土内钢筋、钢柱作为自然引下线并同时采用基础接地体时，可不设断接卡。利用钢筋作引下线时应在室内外的适当地点设若干连接板，该连接板可供测量、人工接地和作等电位连接用。当仅利用钢筋作引下线并采用埋于土壤中的人工接地体时，应在每根引下线上于距地面不低于 0.3m 处设接地体连接板。采用埋于土壤中的人工接地体时应设断接卡，其上端应与连接板或钢柱焊接。连接板处宜有明显标志。

在易受机械损坏和防人身接触的地方，地面上 1.7m 至地下 0.3m 的一段接地线应采取暗敷或镀锌角钢、改性塑料管或胶管等保护措施。

四、接地装置

防雷接地装置是防雷装置的地下部分，与一般接地装置的要求大体相同，但其所用材料的最小尺寸应稍大于一般接地装置的最小尺寸。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接地装置共用。

1) 防雷接地装置材料埋于土壤中的人工垂直接地体宜采用角钢、钢管或圆钢；埋于土壤中的人工水平接地体宜采用扁钢或圆钢。圆钢直径不应小于 10mm；扁钢截面不应小于 100mm^2 ，其厚度不应小于 4mm；角钢厚度不应小于 4mm；钢管壁厚不应小于 3.5mm。埋在土壤中的接地装置，其连接应采用焊接，并在焊接处作防腐处理。

2) 在腐蚀性较强的土壤中，应采取热镀锌等防腐措施或加大截面。接地线应与水平接地体的截面相同。

3) 人工垂直接地体的长度宜为 2.5m。人工垂直接地体间的距离及人工水平接地体间的距离宜为 5m，当受地方限制时可适当减小。人工接地体在土壤中的埋设深度不应小于 0.5m。接地体应远离由于砖窑、烟道等高温影响使土壤电阻率升高的

地方。

4) 在高土壤电阻率地区,降低防直击雷接地装置的接地电阻宜采用下列方法:

① 采用多支线外引接地装置,外引长度不应大于有效长度。有效长度应符合有关规定。

② 接地体埋于较深的低电阻率土壤中。

③ 采用降阻剂。

④ 换土。

5) 防直击雷的人工接地体距建筑物出入口或人行道不应小于3m。当小于3m时应采取下列的任一措施:

① 水平接地体局部深埋不应小于1m。

② 水平接地体局部应包绝缘物,可采用50~80mm厚的沥青层。

③ 采用沥青碎石地面或在接地体上面敷设50~80mm厚的沥青层,其宽度应超过接地体2m。

防雷接地电阻一般指冲击接地电阻。防直击雷的接地电阻、独立避雷针的冲击接地电阻一般应不大于 10Ω ;防感应雷的接地电阻应不大于 $5\sim 10\Omega$;但对于不太重要的第三类建筑物可放宽至 30Ω 。防雷电侵入波的接地电阻视其类别和防雷级别,冲击接地电阻应不大于 $5\sim 30\Omega$ 。

第三节 防雷措施

一、架空线路的防雷措施

(一) 架设避雷线

架设避雷线是输电线路防雷保护的最基本和最有效的措施。通常来说,架空线路电压愈高,采用避雷线的效果愈好,而且避雷线在架空线路造价中所占的比率也愈低。标准规定,220kV及以上电压等级的架空线路应全线架设避雷线,110kV架空线路一般也应全线架设避雷线,35kV及以下架空线路不宜全线架设避

雷线，一般在变电所的进线段架设 $1 \sim 2\text{km}$ 的避雷线，同时按照要求做好杆塔的接地。避雷线的主要作用是防止雷直击导线，同时还具有以下作用：

1) 分流作用，以减小流经杆塔的雷电流，从而降低塔顶电位。

2) 通过对导线的耦合作用可以减小线路绝缘子的电压。

3) 对导线的屏蔽作用还可以降低导线上的感应过电压。

为了提高避雷线对导线的屏蔽效果，减小绕击率，避雷线对边导线的保护角尽量做得小一些，一般采用 $20^\circ \sim 30^\circ$ 。为了降低接地电阻，一般把避雷线在每基杆塔处进行接地。

（二）提高架空线路本身的绝缘水平

由于架空线路个别地段需采用大跨越杆塔，这就增加了架空线路的落雷机会。高塔落雷时塔顶电位高，感应过电压大，而且受绕击的概率也就越大。为了降低架空线路的跳闸率，可在高杆塔上增加绝缘子串的片数，加大大跨越挡线路与地线之间的距离，以加强线路的绝缘。

（三）降低杆塔接地电阻

降低杆塔接地电阻可以减小雷击杆塔时的电位升高，这是配合架设避雷线所采取的一项有效措施。

在土壤电阻率低的地区，应充分利用杆塔的自然接地电阻；在高土壤电阻率地区降低杆塔的接地电阻比较困难时，可采用多根放射形接地体，或连续伸长接地体，或配合使用降阻剂降低接地电阻。

（四）采用中性点非有效接地方式

电力系统采用中性点不接地或经消弧线圈接地的方式，可以使由雷击引起的大多数单相接地故障能够自动消除，不至于引起相间短路和跳闸。而在二相或三相落雷时，由于先对地闪络的一相相当于一根避雷线，增加了分流和对未闪络相的耦合作用，使未闪络相绝缘上的电压下降，从而提高了线路的耐雷水平。

（五）装设避雷器和保护间隙

安装线路避雷器可以使由于雷击所产生的过电压超过一定的幅值时动作，给雷电流提供一个低阻抗的通路，使其泄放到大地，从而限制了电压的升高，用来保护架空线路上个别绝缘最薄弱的部分，如个别特别高杆塔、带拉线的杆塔以及架空线路的交叉跨越处等。

（六）装设自动重合闸装置

架空线路上因雷击放电而产生的短路时由电弧引起线路断路器跳闸，跳闸后电弧就熄灭了。如果安装一次自动重合闸装置，使断路器经 0.5s 或者更长点时间自动合闸，电弧一般不会复燃，因此，安装一次自动重合闸装置对尽快恢复供电具有较好的效果。据统计，我国 110kV 及以上的高压线路重合闸成功率达 75% ~ 95%，35kV 及以下的线路成功率约为 50% ~ 80%。

二、变、配电所的防雷措施

（一）装设避雷针

避雷针用来保护整个变、配电所建（构）筑物，使之免遭直接雷击。35kV 及以下的变电所，因其绝缘水平较低，必须装设独立的避雷针，并满足不发生反击的要求；110kV 以上的变电所，由于此类电压等级配电装置的绝缘水平较高，可以将避雷针直接装设在配电装置的构架上，因而雷击避雷针所产生的高电位不会造成电气设备的反击事故。装设避雷针的配电构架，应装设辅助接地装置。该接地装置与变电所接地网的连接点，距主变压器的接地装置与变电所的接地网的连接点的电气距离不应小于 15m。其作用是使雷击避雷器时，在避雷器接地装置上产生的高电位，沿接地网向变压器接地点传播的过程中逐渐衰减，使侵入的雷电波在达到变压器接地点时，不会造成变压器的反击事故。由于变压器的绝缘较弱，同时变压器又是变电所的重要设备，故不应在变压器的门形构架上装设避雷针。由于变电所的配电装置至变电所出线的第一杆塔之间的距离可能比较大，如果允许将杆塔上的避雷线引至变电所的构架上，这段导线将受到保护，比用避雷针保护经济。由于避雷线两端的分流作用，当雷击时，要比

避雷针引起的电位升高小一些。因此, 110kV 及以上的配电装置, 可将线路避雷线引接至出线门形构架上, 但土壤电阻率大于 $1000\Omega \cdot \text{m}$ 的地区, 应装设集中接地装置。对于 35 ~ 60kV 配电装置, 土壤电阻率不大于 $500\Omega \cdot \text{m}$ 的地区, 允许将线路的避雷线引接至出线门形构架上, 但应装设集中接地装置。当土壤电阻率大于 $500\Omega \cdot \text{m}$ 时, 避雷线应终止于线路终端杆塔, 进变电所的一档线路保护可用避雷针保护。

(二) 安装避雷器或保护间隙

变电站对侵入波防护的主要措施是在其进线上装设阀型避雷器或保护间隙。阀型避雷器的基本元件为火花间隙和非线性电阻。目前, FS 系列阀型避雷器为火花间隙和非线性电阻, 是用来保护小容量的配电装置; SFZ 系列阀型避雷器是用来保护中等及大容量变电站的电气设备; FCZ1 系列磁吹阀型避雷器, 是用来保护变电站的高压电气设备。

对变电站进线实施防雷保护, 其目的就是限制流经避雷器的雷电电流幅值和雷电波的陡度。当线路上出现过电压时, 将有行波沿导线向变电站行进, 其幅值为线路绝缘的 50% 冲击闪络电压。线路的冲击耐压比变电站设备的冲击耐压要高很多。因此, 在靠近变电站的进线上加装避雷线是防雷的主要措施。如果没架设避雷线, 当靠近变电站的进线上遭受雷击时, 流经避雷器的雷电电流幅值可超过 5kA, 且其陡度也会超过允许值, 势必会对线路造成破坏。

变压器的基本保护措施是靠近变压器安装避雷器, 这样可以防止线路侵入的雷电波损坏绝缘。装设避雷器时, 要尽量靠近变压器, 并尽量减少连线的长度, 以便减少雷电电流在连接线上的压降。同时, 避雷器的接线应与变压器的金属外壳及低压侧中性点连接在一起, 这样, 当侵入波使避雷器动作时, 作用在高压侧主绝缘上的电压就只剩下避雷器的残压了 (不包括接地电阻上的电压降), 就减少了雷电对变压器破坏的机会。

变电站防雷保护满足要求以后, 还要根据安全和工作接地的

要求敷设一个统一的接地网，然后避雷针和避雷器下面增加接地体以满足防雷的要求，或者在防雷装置下敷设单独的接地体。

三、建筑物的防雷措施

鉴于国家有专门的建筑物防雷设计规范，在此不在复述。

四、人身防雷措施

雷电发生时，除非工作需要，应尽量不要到室外活动或在野外逗留。大多数雷击死亡的事故都发生在户外，所以在遇到乌云密布，狂风暴雨即将来临时，要尽快躲到室内。如果躲避不及，在室外遇到雷雨天气时，可以采取以下几种防护措施。

1) 由于云与大地之间发生的雷电，是有选择性的。一般情况下，高大的物体以及物体的尖端是容易被雷击的。所以在室外不要靠近铁塔、烟囱、电线杆等高大物体，更不要躲在大树下或者到孤立的棚子和小屋里避雨。这是为了减少或避免受到接触电压和旁侧闪击以及跨步电压的伤害。

2) 有些建筑物或构筑物为了防止直击雷的袭击，都安装了避雷针或避雷带等接闪器。当雷电发生时，往往这些防雷装置起到的是引雷的效果，雷电电流由接闪器通过引下线导入地下，它可以保护周围设施不遭直击雷的袭击。所以如果在室外万一无处躲藏，可以躲在以避雷装置为顶的 45° 锥角的圆锥范围内，这是一个避雷针安全保护的区域，但不要靠近这些建筑物或构筑物。

3) 不要站在高处，也不要开阔地带逗留，更不要撑着雨伞或坚持任何长柄工具，因为这样可能会遭到直接雷击的袭击。要找一块地势低的地方，站在干燥的，最好是有绝缘功能的物体上，蹲下且两脚并拢，使两腿之间不会产生电位差。

4) 为了防止接触电压的影响，在室外千万不要接触任何金属的东西，像电线、钢管、铁轨等导电的物体。身上最好也不要带金属物件，因为这也会感应到雷电而灼伤人的皮肤。另外，在雷雨中也别几个人挨在一起或牵着手跑，相互之间要保持一定的距离，这也是避免在遭受直接雷击后，传导给他人的重要措施。

5) 在雷雨天气时,千万不要在水池边去活动。因为水的导电性能好。有人统计过,人在水中和水边被雷电击死、击伤事故发生的概率特别高。

6) 雷电来临时,躲到室内是相对安全的,但这也只是相对室外而言。在室内除了会遭受直击雷侵袭外,雷击电磁脉冲也会通过引入室内的电源线、信号线、无线天线的馈线等通道,进入到室内。所以在室内如果不注意采取措施,也可能遭受雷电的袭击。下面就来介绍几种室内防止雷电灾害的措施。

① 发生雷雨时,在房间内一定要关闭好门窗,目的是为了阻止直接雷击和球形雷的入侵。同时还要尽量远离门窗、阳台和外墙壁,这是为了预防一旦雷击到你所处的房屋,你可能会受接触电压和旁侧闪击的伤害,成为雷电电流的泄放通道。

② 在室内不要靠近更不要触摸水管、暖气管、煤气管等任何金属管线。特别要提醒的是在雷雨天气不要洗澡,尤其是不要使用太阳能热水器洗澡。另外,室内随意拉一些铁丝等金属线,也是非常危险的。在一些雷击灾害调查中,很多人员伤亡事件都是由于在上述情况下,受到接触电压和旁侧闪击造成的。

③ 不要使用任何家用电器,包括:电视、电脑、电话、电冰箱、洗衣机、微波炉等。这些电器除了都有电源线外,电视机还会有由天线引入的馈线,电脑和电话还会有信号线,雷击电磁脉冲产生的过电压,会通过电源线、天线的馈线和信号线将设备烧毁,有的还会酿成火灾,人若接触或靠近设备也会被击伤、烧伤。最好的办法是不要使用这些电器,拔掉所有的电源线和信号线。

④ 要保持室内地面的干燥,以及各种电器和金属管线的良好接地。如果室内的地板或电气线路潮湿,就有可能发生雷电电流的漏电伤及人员。室内的金属管线接地不好,接地电阻很大,雷电电流不能很通畅地泄放到大地上,就会击穿空气的间隙,向人体放电,造成人员伤亡。

第十一章 电气安全管理

第一节 电气安全组织管理

一、管理机构 and 人员

从事电工作业，是既特殊又危险的工种。电工作业过程和工作质量不仅关联着电工本身的安全，而且关联着他人和设备、设施的安全；电工工作点多、面广，工作分工还不相同，安全监督管理难度较大。以上这些都反映了电气安全管理工作的重要性。所以，应当根据本部门电气设备的构成和状态、本部门电气专业人员的组成和素质以及本部门的用电特点和操作特点，建立相应的管理机构，并确定管理人员和管理方式。专职管理人员应具备一定的电气知识和电气安全知识。各个部门必须互相配合，共同做好电气安全管理工作。

二、规章制度

1) 合理的规章制度是保证安全、促进安全生产的有效手段。电力安全工作规程、运行维护 and 操作规程、电力安全管理制度等规程制度都与整个企业的安全生产有直接关系。

2) 企业必须执行国家、主管部门 and 所在地区制定的标准、规程 and 规范，并根据这些标准、规程 and 规范制定本部门、本企业、本单位的标准、规程、规范及实施细则。

3) 应根据不同工种的特点，建立相应的安全操作规程。非电工工种的安全操作规程中，不能忽略电气方面的内容，应根据企业性质 and 环境特点，建立相适应的电气设备运行管理规程 and 电气设备安装规程。

4) 对于重要设备，应建立专人管理的责任制。对控制范围

较宽或控制回路多元化的开关设备、临时线路和临时性设备等比较容易发生事故的装置，都应建立专人管理的责任制。特别是临时线路和临时性设备，应当结合具体情况，明确地规定其允许长度、使用期限、安装要求等项目。

5) 为了保证检修工作的安全，特别是高压检修工作的安全，必须坚持执行必要的安全工作制度，如工作票制度、工作监护制度、工作许可制度等。

三、安全检查

电气安全检查的内容包括：

1) 电气设备的绝缘是否老化、是否受潮或破损，绝缘电阻是否合格。

2) 电气设备裸露带电部分是否有防护，屏护装置是否符合安全要求。

3) 安全间距是否足够。

4) 保护接地或保护接零是否正确和可靠；保护装置是否符合安全要求。

5) 携带式照明灯和局部照明灯是否采用了安全电压或其他安全措施。

6) 安全用具和防火器材是否齐全。

7) 电气设备选型是否正确，安装是否合格，安装位置是否合理。

8) 电气连接部位是否完好，电气设备和电气线路温度是否适宜。

9) 熔断器熔体的选用及其他过流保护的整定值是否正确。

10) 各项维修制度和管理制度是否健全，电工是否经过专业培训并取得相应资格证。

11) 对主变压器等重要的电气设备应建立巡视检查制度，坚持巡视检查，并做好必要的记录。

12) 对于使用中的电气设备，应定期测定其绝缘电阻；对于各种接地装置，应定期测定其接地电阻，检查是否连接可靠，

是否腐蚀锈蚀。

13) 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。

14) 对于新安装的电气设备,检查验收工作更应坚持原则,一丝不苟。

四、安全教育

1) 安全教育的目的是提高工作人员的安全意识,充分认识安全用电的重要性;同时,使工作人员懂得用电的基本知识,掌握安全用电的基本方法,从而能安全地、有效地进行工作。

2) 新入厂的工作人员应接受厂、车间(工段)、生产班组等三级的安全教育并考试合格。

3) 对普通职工,应当要求懂得关于安全用电的一般知识;对于使用电气设备的生产工人,除应懂得一般性知识外,还应当懂得与安全用电相关联的安全规程。

4) 对于独立工作的电气专业工作人员,更应当懂得电气装置在安装、使用、维护、检修过程中的安全要求,应当熟知电气安全操作规程及其他相关联的规程。应当学会触电急救和电气灭火的方法,并通过培训和考试,取得操作合格证。

5) 新参加电气工作的人员、实习人员和临时参加劳动的人员,都必须经过安全知识教育后方可到现场在负责人的监护下参加指定的工作,不得单独工作。

6) 对外单位派来支援的电气工作人员,工作前应介绍现场电气设备和接线情况,以及有关安全措施。

五、安全资料

1) 安全资料是做好电气安全工作的重要依据。很多技术性资料对于安全工作也是十分必要的,应当注意收集和保存。

2) 为了工作方便和便于检查,应当绘制和保存高压系统图、厂区内架空线路和电缆线路配置电路图、配电平面安装图及其他图纸资料。

3) 对重要设备应单独建立资料档案。每次检修和试验记录应作为资料保存。设备事故和人身事故的记录也应当作为资料保存。

4) 应当注意收集各种安全标准、规范和法规并及时更新,应当注意收集国内外电气安全信息并予分类,作为资料保存。

5) 应当注意各种资料的完整性和连续性,凡有条件的,应将各种资料输入计算机,并编制适当的应用程序。

第二节 电工安全用具

一、高压安全用具的种类

(一) 绝缘安全用具

包括绝缘杆、绝缘夹钳、绝缘靴、绝缘手套、绝缘垫和绝缘站台。绝缘安全用具分为基本安全用具和辅助安全用具,前者的绝缘强度能长时间承受电气设备的工作电压,能直接用来操作带电设备,后者的绝缘强度不足以承受电气设备的工作电压,只能加强基本安全用具的保安作用。

(二) 绝缘安全用具的用途及注意事项

1. 绝缘杆和绝缘夹钳

绝缘杆和绝缘夹钳都是绝缘基本安全用具。绝缘夹钳只用于35kV以下的电气操作。绝缘杆和绝缘夹钳都由工作部分、绝缘部分和握手部分组成。握手部分和绝缘部分用浸过绝缘漆的木材、硬塑料、胶木或玻璃钢制成,其间有护环分开。配备不同工作部分的绝缘杆,可用来操作高压隔离开关,操作跌落式熔断器,安装和拆除临时接地线,安装和拆除避雷器,以及进行测量和试验等工作。绝缘夹钳主要用来拆除和安装熔断器及其他类似工作。考虑到电力系统内部过电压的可能性,绝缘杆和绝缘夹钳的绝缘部分和握手部分的最小长度应符合要求。绝缘杆工作部分金属钩的长度,在满足工作要的情况下,不宜超过5~8cm,以免操作时造成相间短路或接地短路。

2. 绝缘手套和绝缘靴

绝缘手套和绝缘靴用橡胶制成。二者都作为辅助安全用具，但绝缘手套可作为低压工作的基本安全用具，绝缘靴可作为防护跨步电压的基本安全用具。绝缘手套的长度至少应超过手腕 10cm。

3. 绝缘垫和绝缘站台

绝缘垫和绝缘站台只作为辅助安全用具。绝缘垫用厚度 5mm 以上、表面有防滑条纹的橡胶制成，其最小尺寸不宜小于 $0.8 \times 0.8\text{m}$ 。绝缘站台用木板或木条制成。相邻板条之间的距离不得大于 2.5cm，以免鞋跟陷入；站台不得有金属零件；台面板用支持绝缘子与地面绝缘，支持绝缘子高度不得小于 10cm；台面板边缘不得伸出绝缘子之外，以免站台翻倾，人员摔倒。绝缘站台最小尺寸不宜小于 $0.8 \times 0.8\text{m}$ ，但为了便于移动和检查，最大尺寸也不宜超过 $1.5 \times 1.0\text{m}$ 。

4. 电工安全用具

绝缘安全用具（基本安全用具，辅助安全绝缘用具）有：登高作业安全用具、携带式电压及电流指示器、检修用的接地线、围栏、标志牌以及带电用的等电位屏蔽分流均压服等。

5. 电气安全警示牌

警示牌有警告类、禁止类、准许类、提醒类四种。警告类是警告人们不得接近或触及有电部分；禁止类是禁止操作某开关，防止在停电的线路或设备上工作的人员触电；准许类是允许工作人员在某处工作；提醒类是提醒工作人员在送电时拆除临时接地线。

6. 悬挂临时接地线安全注意事项

1) 对于可能送电至停电设备的各方面（包括线路的各支路）或停电设备可能产生感应电压的，都要装设接地线。接地线应装设在工作地点可以看见的地方。接地线与带电部分的距离符合安全距离的规定。

2) 检修部分若分成几个在电气上不相连的部位（如分段母

线以隔离开关或开关隔开), 则各段分别验电并接地。降压变电所全部停电时, 应将各个可能来电侧的部位悬挂接地线, 其余部分不必每段都设接地线。

3) 在室内配电装置上, 接地线应装在未涂相色漆的地方。

4) 接地线与检修部分之间不应连接有开关或熔断器。

5) 装设接地线必须先接地端后接导体端; 拆地线的顺序与此相反。装拆接地线均应使用绝缘棒或戴绝缘手套。

6) 接地线必须使用专用的线夹固定在导体上, 禁止用缠绕方法进行接地或短路。

7) 接地线应用多股软裸铜导线, 其截面应符合短路电流稳定的要求, 但最小截面不应小于 25mm。接地线每次使用前应进行检查。禁止使用不符合规定的导线做接地线。

8) 变(配)电所内, 每组接地线均应编号, 并存放在固定地点。存放位置亦应编号, 接地线号码与存放位置号码必须一致。拆装接地线, 应做好记录, 交接班时, 应交代清楚。

9) 带有电容的设备, 悬挂接地线之前, 应先用放电棒放电。

10) 装接地线工作必须由两个人进行, 若变电所为单人值班时, 只允许使用接地隔离开关接地。

二、安全用具使用和管理规定

(一) 变电站(所)的安全用具使用和管理规定

1) 变电站安全用具属于高压设备专用工具, 禁止作为其他工具使用。安全用具应放在安全工具柜内或固定地点。

2) 绝缘用具应编号, 按《电力安全工作规程》的规定定期做试验。

3) 各种标示牌, 围栏应排列整齐, 根据所需数量备足。

4) 接地线均应编号并对号存放。

(二) 变电站(所)的消防器具使用和管理规定

1) 消防器具是消防专用工具, 应存放在消防专用工具箱处或指定地点, 由消防员统一管理, 任何人不得做其他使用。

2) 消防器材应保持完好, 如有过期、失效或损坏, 应报主管卫部门处理。

3) 值班人员平时不得随意检查、打开灭火器。

(三) 标志牌的悬挂地点

1) “禁止合闸, 有人工作!” 的标示牌应挂在为防止因误操作而错误地向有人工作的设备合闸送电, 要求悬挂在一经合闸即可送电到工作地点的开关(刀开关)的操作把手上。

2) 在变(配)电所外线路上的工作时, 则应在控制线路的开关或隔离开关操作把手上悬挂“禁止合闸, 线路有人工作!”的标示牌。

3) “止步, 高压危险!” 的标示牌, 应挂在变(配)电所室内的工作地点旁间隔、对面间隔的围栏上, 以及在禁止通行的过道上, 均应悬挂“止步, 高压危险!” 的标示牌, 以警告检修人员不要误入带电间隔或接近带电的部分。

4) 在变(配)电所的室外配电装置处大多设有固定的围栏, 以限制检修人员的活动范围, 防止误蹬邻近有电设备和构架; 围栏上应悬挂适当数量的“止步, 高压危险!” 标示牌, 并在围栏内侧方向悬挂, 字必须朝向围栏里面。

(四) 安全用具的试验周期

1. 绝缘棒

电压等级 6 ~ 10kV, 试验周期是每年 1 次, 标准是交流耐压 44kV, 时间 5min;

电压等级 35 ~ 154kV, 试验周期是每年 1 次, 标准是交流耐压 4 倍相电压, 时间 5min;

电压等级 220kV, 试验周期是每年 1 次, 标准是交流耐压 2 倍相电压, 时间 5min。

2. 绝缘挡板

电压等级 6 ~ 10kV, 试验周期是每年 1 次, 标准是交流耐压 30kV, 时间 5min;

电压等级 35 (20 ~ 44) kV, 试验周期是每年 1 次, 交流耐

压 80kV, 时间 5min。

3. 绝缘罩

电压等级 35 (20 ~ 40) kV, 试验周期是每年 1 次, 标准是交流耐压 80kV, 时间 5min;

电压等级 110kV, 试验周期是每年 1 次, 标准是交流耐压 260kV, 时间 5min;

电压等级 220kV, 试验周期是每年 1 次, 标准是交流耐压 400kV, 时间 5min。

4. 验电笔

电压等级 6 ~ 10kV, 试验周期是每 6 个月 1 次, 标准是交流耐压 40kV, 时间 5min;

电压等级 20 ~ 35kV, 试验周期是每 6 个月 1 次, 标准是交流耐压 105kV, 时间 5min。

5. 绝缘手套

电压等级高压, 试验周期是每 6 个月 1 次, 标准是交流耐压 8kV, 时间 1min, 泄漏电流不大于 9mA。

电压等级低压, 试验周期是每 6 个月 1 次, 标准是交流耐压 2.5kV, 时间 1min, 泄漏电流不大于 2.5mA。

6. 橡胶绝缘靴

电压等级高压, 试验周期是每 6 个月 1 次, 标准是交流耐压 15kV, 时间 1min, 泄漏电流不大于 7.5mA。

7. 核相器电阻管

电压等级 5kV, 试验周期是每 6 个月 1 次, 标准是交流耐压 6kV, 时间 1min, 泄漏电流 1.7 ~ 2.4mA;

电压等级 10kV, 试验周期是每 6 个月 1 次, 标准是交流耐压 10kV, 时间 1min, 泄漏电流 1.4 ~ 1.7mA。

8. 绝缘绳

电压等级高压, 试验周期是每 6 个月 1 次, 标准是交流耐压 105/0.5m, 时间 5min。

第三节 检修安全措施

一、保证安全的组织措施

电气设备上安全工作的组织措施有：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

1. 工作票的形式

在电气设备上的工作，应填用工作票，其形式有两种：

变电站（发电厂）第一种工作票；

变电站（发电厂）第二种工作票。

（1）第一种工作票的适用范围

1) 高压设备上工作需要全部停电或部分停电。

2) 二次系统和照明等回路上的工作，需要将高压设备停电或执行安全措施。

3) 高压电力电缆需停电。

4) 其他工作需要将高压设备停电或要执行安全措施。

（2）第二种工作票的工作范围

1) 控制盘和低压配电盘、配电箱、电源干线上的工作。

2) 二次系统和照明等回路上的工作，无需将高压设备停电者或执行安全措施的工作。

3) 转动中的发电机、同期调相机的励磁回路或高压电动机转子电阻回路上的工作。

4) 非运行人员用绝缘棒和电压互感器定相或用钳型电流表测量高压回路的电流。

5) 大于表 11-1 距离的相关场所和带电设备外壳上的工作以及无可能触及带电设备导电部分的工作。

6) 高压电力电缆不需停电的工作。

表 11-1 设备不停电时的安全距离

电压等级/kV	安全距离/m
10 及以下	0.70
20, 35	1.00
63 (66), 110	1.5
220	3.0

2. 工作票的填写与签发

1) 工作票应使用钢笔或圆珠笔填写与签发，一式两份，内容应正确、清楚，不得任意涂改。如有个别错、漏字需要修改，应使用规范的符号，字迹应清楚。

在填写操作工作票时，不可以用“开”、“关”作为断路器和隔离开关的操作指令，（因为“开”、“关”二字的意义不严谨，如“开”可以表示“分断”，也可以表示“闭合”，如：开灯），应当使用“分”、“合”作为操作指令。

2) 用计算机生成或打印的工作票应使用统一的票面格式，由工作票签发人审核无误，手工或电子签名后方可执行。

3) 工作票一份应保存在工作地点，由工作负责人收执；另一份由工作许可人收执，按值移交。工作许可人应将工作票的编号、工作任务、许可及终结时间记入登记簿。

4) 一张工作票中，工作票签发人、工作负责人和工作许可人三者不得互相兼任。工作负责人可以填写工作票。

5) 工作票由设备运行管理单位签发，也可由经设备运行管理单位审核且经批准的检修、试验及基建单位签发。检修、试验及基建单位的工作票签发人及工作负责人名单应事先送主管部门备案。第一种工作票在工作票签发人认为必要时可采用总工作票、分工作票，并同时签发。总工作票、分工作票的填写、许可等有关规定由单位主管生产的领导（总工程师）批准后执行。

6) 供电单位或施工单位到用户变电站内施工时，工作票应

由变电站签发。

3. 工作票的使用

1) 一个工作负责人只能发给一张工作票, 工作票上所列的工作地点, 以一个电气连接部分为限。

如施工设备属于同一电压、位于同一楼层、同时停送电, 且不会触及带电导体时, 则允许在几个电气连接部分使用一张工作票。

开工前工作票内的全部安全措施应一次完成。

2) 若一个电气连接部分或一个配电装置全部停电, 则所有不同地点的工作, 可以发给一张工作票, 但要详细填明主要工作内容。几个班同时进行工作时, 工作票可发给一个总的负责人, 在工作班成员栏内, 只填明各班的负责人, 不必填写全部工作人员名单。

若到预定时间, 一部分工作尚未完成, 需继续工作而不妨碍送电者, 在送电前, 应按照送电后现场设备带电情况, 办理新的工作票, 布置好安全措施后, 方可继续工作。

3) 在几个电气连接部分上依次进行不停电的同一类型的工作, 可以使用一张第二种工作票。

4) 在同一变电站或电气室内, 依次进行的同一类型的带电作业可以使用一张带电作业工作票。

5) 持线路或电缆工作票进入变电站或发电厂升压站进行架空线路、电缆等工作, 应增填工作票份数, 工作负责人应将其中一份工作票交变电站或发电厂工作许可人许可工作。

上述单位的工作票签发人和工作负责人名单应事先送有关运行单位备案。

6) 需要变更工作班成员时, 须经工作负责人同意, 在对新工作人员进行安全交底手续后, 方可进行工作。非特殊情况不得变更工作负责人; 如确需变更工作负责人, 应由工作票签发人同意并通知工作许可人, 工作许可人将变动情况记录在工作票上。工作负责人允许变更一次。原、现工作负责人应对工作任务和安

全措施进行交接。

7) 在原工作票的停电范围内增加工作任务时, 应由工作负责人征得工作票签发人和工作许可人同意, 并在工作票上增加工作项目; 若需变更或增设安全措施, 应填用新的工作票, 并重新履行工作许可手续。

8) 变更工作负责人或增加工作任务, 如果工作票签发人无法当面办理, 应通过电话联系, 并在工作票登记簿和工作票上注明。

9) 第一种工作票应在工作前一日预先送达运行人员, 可直接送达或通过传真、局域网传送, 但传真的工作票许可应待正式工作票到达后履行。临时工作可在工作开始前直接交给工作许可人。

第二种工作票和带电作业工作票可在进行工作的当天预先交给工作许可人。

10) 工作票有破损不能继续使用时, 应补填新的工作票。

4. 工作票的有效期与延期

1) 第一、二种工作票和带电作业工作票的有效时间, 以批准的检修期为限。

2) 第一、二种工作票需办理延期手续, 应在工期尚未结束以前由工作负责人向运行值班负责人提出申请 (属于调度管辖、许可的检修设备, 还应通过值班调度员批准), 由运行值班负责人通知工作许可人给予办理。第一、二种工作票只能延期一次。

5. 工作票所列人员的基本条件

工作票的签发人应是熟悉人员技术水平、熟悉设备情况、熟悉本规程, 并具有相关工作经验的生产领导人、技术人员或经本单位主管生产领导批准的人员。工作票签发人员名单应书面公布。

工作负责人应是具有相关工作经验、熟悉设备情况、熟悉工作班人员工作能力和电力安全工作规程, 经工区 (所、公司) 生产领导书面批准的人员。

工作许可人应是经工区（所、公司）生产领导书面批准的有一定工作经验的运行人员或经批准的检修单位的操作人员（进行该工作任务操作及执行安全措施的人员）；用户变、配电站的工作许可人应是持有效资格证书的高压电工。

专责监护人应是具有相关工作经验、熟悉设备情况和电力安全工作规程的人员。

6. 工作票所列人员的安全责任

(1) 工作票签发人的安全责任

- 1) 确认工作的必要性和安全性。
- 2) 工作票上所填安全措施正确完备。
- 3) 所派工作负责人和工作班人员适当和充足。

(2) 工作负责人的安全责任

- 1) 正确安全地组织工作。
- 2) 负责检查工作票所列安全措施是否正确完备和工作许可人所做的安全措施是否符合现场实际条件，必要时予以补充。

3) 工作前对工作班成员进行危险点告知，交代安全措施和技术措施，并确认每一个工作班成员都已知晓。

4) 严格执行工作票所列安全措施。

5) 督促、监护工作班成员遵守规程，正确使用劳动防护用品和执行现场安全措施。

6) 审视工作班成员精神状态是否良好，变动是否合适。

(3) 工作许可人的安全责任

1) 负责审查工作票所列安全措施是否正确完备，是否符合现场条件；

2) 工作现场布置的安全措施是否完善，必要时予以补充；

3) 负责检查检修设备有无突然来电的危险；

4) 对工作票所列内容即使发生很小疑问，也应向工作票签发人询问清楚，必要时要求作详细补充。

(4) 专责监护人的安全责任

- 1) 明确被监护人员和监护范围；

2) 工作前对被监护人员交代安全措施,告知危险点和安全注意事项;

3) 监督被监护人员遵守规程和现场安全措施,及时纠正不安全行为。

(5) 工作班成员的安全责任

1) 熟悉工作内容、工作流程,掌握安全措施,明确工作中的危险点,并履行确认手续;

2) 严格遵守安全规章制度、技术规程和劳动纪律,对自己在工作中的行为负责,互相关心工作安全,并监督本规程的执行和现场安全措施的实施;

3) 正确使用安全器具和劳动防护用品。

(二) 工作许可制度

工作许可人在完成现场的安全措施后,还应完成以下手续后工作班方可开始工作。

1) 会同工作负责人到现场再次检查所执行的安全措施,对具体的设备指明实际的隔离措施,证明检修设备确无电压。

2) 对工作负责人指明带电设备的位置和工作过程中的注意事项。

3) 和工作负责人在工作票上分别确认、签名。

运行人员不得变更有关检修设备的运行接线方式。工作负责人、工作许可人任何一方不得擅自变更安全措施,工作中如有特殊情况需要变更时,应先取得对方的同意。变更情况及时记录在值班日志内。

(三) 工作监护制度

1) 工作票许可手续完成后,工作负责人、专责监护人应向工作班成员交代工作内容、人员分工、带电部位和现场安全措施,进行危险点告知,并履行确认手续,此后工作班方可开始工作。工作负责人、专责监护人应始终在工作现场,对工作班人员的安全认真监护,及时纠正不安全的行为。

2) 所有工作人员(包括工作负责人)不许单独进入、滞留

在高压室内和室外高压设备区内。

若工作需要（如测量极性、回路导通试验等）而且现场设备允许时，可以准许工作班中有实际经验的一个人或几人同时在其他配电室进行工作，但工作负责人应在事前详尽地告知有关的安全注意事项。

3) 工作负责人在全部停电时，可以参加工作班工作。在部分停电时，只有在安全措施可靠、人员集中在一个工作地点不致误碰有电部分的情况下，方能参加工作。

工作票签发人或工作负责人，应根据现场的安全条件、施工范围、工作需要等具体情况，增设专责监护人和确定被监护的人员。

专责监护人不得兼做其他工作。专责监护人临时离开时，应通知被监护人员停止工作或离开工作现场，待专责监护人回来后后方可恢复工作。

4) 工作期间，工作负责人若因故暂时离开工作现场时，应指定能胜任的人员临时代替，离开前应将工作现场交代清楚，并告知工作班成员。原工作负责人返回工作现场时，也应履行同样的交接手续。

若工作负责人应长时间离开工作的现场时，应由原工作票签发人变更工作负责人，履行变更手续，并告知全体工作人员及工作许可人。原、现工作负责人应做好必要的交接。

（四）工作间断、转移和终结制度

1) 工作间断时，工作班人员应从工作现场撤出，所有安全措施保持不动，工作票仍由工作负责人执存，间断后继续工作，无需通过工作许可人。每日收工，应清扫工作地点，开放已封闭的通路，并将工作票交回运行人员。次日复工时，应得到工作许可人的许可，取回工作票，工作负责人应重新认真检查安全措施是否符合工作票的要求，并在召开现场站班会后方可工作。若无工作负责人或专责监护人带领，工作人员不得进入工作地点。

2) 在未办理工作票终结手续以前，任何人员不准将停电设

备合闸送电。在工作间断期间，若有紧急需要，运行人员可在工作票未交回的情况下合闸送电，但应先通知工作负责人，在得到工作班全体人员已经离开工作地点可以送电的答复后方可执行，并应采取下列措施：

① 拆除临时围栏、接地线和标示牌，恢复常设围栏，换挂“止步，高压危险！”的标示牌；

② 应在所有道路派专人守候，以便告诉工作班人员“设备已经合闸送电，不得继续工作”，守候人员在工作票未交回以前，不得离开守候地点。

3) 检修工作结束以前，若需将设备试加工作电压，应按下列条件进行：

① 全体工作人员撤离工作地点；

② 将该系统的所有工作票收回，拆除临时围栏、接地线和标示牌，恢复常设围栏；

③ 应在工作负责人和运行人员进行全面检查无误后，由运行人员进行加压试验。

工作班若需继续工作时，应重新履行工作许可手续。

4) 在同一电气连接部分用同一工作票依次在几个工作地点转移工作时，全部安全措施由运行人员在开工前一次做完，不需再办理转移手续。但工作负责人在转移工作地点时，应向工作人员交代带电范围、安全措施和注意事项。

5) 全部工作完毕后，工作班应清扫、整理现场。工作负责人应先周密地检查，待全体工作人员撤离工作地点后，再向运行人员交代所修项目、发现的问题、试验结果和存在问题等，并与运行人员共同检查设备状况和状态、有无遗留物件、是否清洁等，然后在工作票上填明工作结束时间，经双方签名后，表示工作终结。

待工作票上规定的临时围栏已拆除，标示牌已取下，已恢复常设围栏，未拉开的接地线、接地刀闸已汇报调度，工作票方告终结。

6) 只有在同一停电系统的所有工作票都已终结, 并得到值班调度员或运行值班负责人的许可指令后, 方可合闸送电。

7) 已终结的工作票、事故应急抢修单应保存一年。

二、保证安全的技术措施

电气设备上安全工作的技术措施有: 停电、验电、接地、悬挂标示牌和装设围栏。这些措施由运行人员或有权执行操作的人员执行。

(一) 停电

工作地点, 应停电的设备如下:

1) 检修的设备。

2) 与工作人员在进行工作中正常活动范围的距离小于表 11-2 规定的设备。

表 11-2 工作人员工作中正常活动范围与带电设备的安全距离

电压等级/kV	10 及以下 (13.8)	20、35	63 (66)、110	220	330	500
安全距离/m	0.35	0.60	1.50	3.00	4.00	5.00

注: 表中未列电压按高一档电压等级的安全距离执行。

3) 在 35kV 及以下的设备处工作, 安全距离虽大于表 11-2 规定, 但小于表 11-1 规定, 同时又无绝缘挡板、安全围栏措施的设备。

4) 带电部分在工作人员后面、两侧、上下, 且无可靠安全措施的设备。

5) 其他需要停电的设备。

检修设备停电, 应把各方面的电源完全断开 (任何运用中的星形接线设备的中性点, 应视为带电设备)。禁止在只经断路器 (开关) 断开电源的设备上工作。应拉开隔离开关 (刀开关), 手车开关应拉至试验或检修位置, 应使各方面有一个明显的断开点 (对于有些设备无法观察到明显断开点的除外)。与停电设备有关的变压器和电压互感器, 应将设备各侧断开, 防止向

停电检修设备反送电。

检修设备和可能来电侧的断路器（开关）、隔离开关（刀开关）应断开控制电源和合闸电源，隔离开关（刀开关）操作把手应锁住，确保不会误送电。

对难以做到与电源完全断开的检修设备，可以拆除设备与电源之间的电气连接。

（二）验电

1）验电时，应使用相应电压等级而且试验合格的接触式验电器，在装设接地线或合接地刀闸处对各相分别验电。验电前，应先在有电设备上进行试验，确证验电器良好；无法在有电设备上进行试验时可用高压发生器等确证验电器良好。如果在木杆、木梯或木架上验电，不接地线不能指示者，可在验电器绝缘杆尾部接上接地线，但应经运行值班负责人或工作负责人许可。

2）高压验电应戴绝缘手套。验电器的伸缩式绝缘棒长度应拉足，验电时手握在手柄处不得超过护环，人体应与验电设备保持安全距离。雨雪天气时不得进行室外直接验电。

3）对无法进行直接验电的设备，可以进行间接验电，即检查隔离开关（刀开关）的机械指示位置、电气指示、仪表及带电显示装置指示的变化，且至少应有两个及以上指示已同时发生对应变化；若进行遥控操作，则应同时检查隔离开关（刀开关）的状态指示、远程测量信号、远程状态信号及带电显示装置的指示进行间接验电。

（三）接地

1）装设接地线应由两人进行（经批准可以单人装设接地线的项目及运行人员除外）。

2）当验明设备确已无电压后，应立即将检修设备接地并三相短路。电缆及电容器接地前应逐相充分放电；星形接线电容器的中性点应接地；串联电容器及与整组电容器脱离的电容器应逐个放电；装在绝缘支架上的电容器外壳也应放电。

3）对于可能送电至停电设备的各方面都应装设接地线或合

上接地刀闸，所装接地线与带电部分应考虑接地线摆动时仍符合安全距离的规定。

4) 对于因平行或邻近带电设备导致检修设备可能产生感应电压时，应加装接地线或工作人员使用个人保安线。加装的接地线应登录在工作票上；个人保安接地线由工作人员自装自拆。

5) 在门形架构的线路侧进行停电检修，如工作地点与所装接地线的距离小于 10m，工作地点虽在接地线外侧，也可不另装接地线。

6) 检修部分若分为几个在电气上不连接的部分 [例如分段母线以隔离开关（刀开关）或断路器（开关）隔开分成几段]，则各段应分别验电接地短路。降压变电站全部停电时，应将各个可能来电侧的部分接地短路，其余部分不必每段都装设接地线或合上接地刀开关。

7) 接地线、接地刀开关与检修设备之间不得连有断路器（开关）或熔断器。若由于设备原因，接地刀开关与检修设备之间连有断路器（开关），在接地刀开关和断路器（开关）合上后，应有保证断路器（开关）不会分闸的措施。

8) 在配电装置上，接地线应装在该装置导电部分的规定地点，这些地点的油漆应刮去，并划有黑色标记。所有配电装置的适当地点，均应设有与接地网相连的接地端，接地电阻应合格。接地线应采用三相短路式接地线，若使用分相式接地线时，应设置三相合一的接地端。

9) 装设接地线应先接接地端，后接导体端。接地线应接触良好，连接应可靠。拆接地线的顺序与此相反。装、拆接地线均应使用绝缘棒和戴绝缘手套。人体不得碰触接地线或未接地的导线，以防止感应电触电。

10) 成套接地线应用有透明护套的多股软铜线组成，其截面不得小于 25mm^2 ，同时应满足装设地点短路电流的要求。

禁止使用其他导线作接地线或短路线。

接地线应使用专用的线夹固定在导体上，严禁用缠绕的方法

进行接地或短路。

11) 严禁工作人员擅自移动或拆除接地线。高压回路上的工作, 需要拆除全部或一部分接地线后始能进行工作者 [例如测量母线和电缆的绝缘电阻, 测量线路参数, 检查断路器 (开关) 触头是否同时接触], 如:

- ① 拆除一相接地线。
- ② 拆除接地线, 保留短路线。
- ③ 将接地线全部拆除或拉开接地刀开关。

上述工作应征得运行人员的许可 (根据调度员指令装设的接地线, 应征得调度员的许可) 方可进行, 工作完毕后立即恢复。

12) 每组接地线均应编号, 并存放在安全器具室内的固定位置。存放位置亦应编号。接地线号码与存放位置号码应一致。

13) 装、拆接地线, 应做好记录, 交接班时应交代清楚。

(四) 悬挂标示牌和装设围栏

在一经合闸即可送电到工作地点的断路器 (开关) 和隔离开关 (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。

如果线路上有人工作, 应在线路断路器 (开关) 和隔离开关 (刀开关) 操作把手上悬挂 “禁止合闸, 线路有人工作!” 的标示牌。

由于设备原因, 接地刀开关与检修设备之间连有断路器 (开关), 在接地刀开关和断路器 (开关) 合上后, 在断路器 (开关) 操作把手上, 应悬挂 “禁止分闸!” 的标示牌。

在显示屏上进行操作的断路器 (开关) 和隔离开关 (刀开关) 的操作处均应相应设置 “禁止合闸, 有人工作!” 或 “禁止合闸, 线路有人工作!” 以及 “禁止分闸!” 的标记。

部分停电的工作, 安全距离小于表 11-1 规定距离以内的未停电设备, 应装设临时围栏, 临时围栏与带电部分的距离, 不得小于表 11-2 的规定数值, 临时围栏可用于干燥木材、橡胶或其他

坚韧绝缘材料制成，装设应牢固，并悬挂“止步，高压危险！”的标示牌。

35kV 及以下设备的临时围栏，如因工作特殊需要，可用绝缘挡板与带电部分直接接触。但此种挡板应具有高度的绝缘性能。

在室内高压设备上工作，应在工作地点两旁及对面运行设备间隔的围栏上和禁止通行的过道围栏上悬挂“止步，高压危险！”的标示牌。

高压开关柜内手车开关拉出后，隔离带电部位的挡板封闭后禁止开启，并设置“止步，高压危险！”的标示牌。

在室外高压设备上工作，应在工作地点四周装设围栏。其出入口要围至临近道路旁边，并设有“从此进出！”的标示牌。工作地点四周围栏上悬挂适当数量的“止步，高压危险！”标示牌。标示牌应朝向围栏里面。若室外配电装置的大部分设备停电，只有个别地点保留有带电设备而其他设备无触及带电导体的可能时，可以在带电设备四周装设全封闭围栏。围栏上悬挂适当数量的“止步，高压危险！”标示牌。标示牌应朝向围栏外面。严禁越过围栏。

在工作地点设置“在此工作！”的标示牌。

在室外构架上工作，则应在工作地点邻近带电部分的横梁上，悬挂“止步，高压危险！”的标示牌。在工作人员上下铁架或梯子上，应悬挂“从此上下！”的标示牌。在邻近其他可能误登的带电架构上，应悬挂“禁止攀登，高压危险！”的标示牌。

严禁工作人员擅自移动或拆除围栏、标示牌。

三、线路作业时变电站和发电厂的安全措施

1) 线路的停、送电，均应按照值班调度员或线路工作许可人的指令执行；严禁约时停、送电；停电时，应先将该线路可能来电的所有断路器（开关）、线路隔离开关（刀开关）、母线隔离开关（刀开关）全部拉开，手车开关应拉至试验或检修位置；验明确无电压后，在线路上所有可能来电的各端装设接地线或合

上接地刀开关；在线路断路器（开关）和隔离开关（刀开关）操作把手上均应悬挂“禁止合闸，线路有人工作！”的标示牌，在控制屏上断路器（开关）和隔离开关（刀开关）的操作处均应设置“禁止合闸，线路有人工作！”的标记。

2) 值班调度员或线路工作许可人应将线路停电检修的工作班组数目、工作负责人姓名、工作地点和工作任务记入记录簿。

工作结束时，应得到工作负责人（包括用户）的工作结束报告，确认所有工作班组均已竣工，接地线已拆除，工作人员已全部撤离线路，并与记录簿核对无误后，方可下令拆除变电站或发电厂内的安全措施，向线路送电。

3) 当用户管辖的线路要求停电时，应得到用户停送电联系人的书面申请，经批准后方可停电，并做好安全措施。恢复送电，应接到原申请人的工作结束报告，做好录音并记录后方可进行。用户停送电联系人的名单应在调度和有关部门备案。

四、在六氟化硫电气设备上的工作

1) 装有 SF_6 设备的配电装置室和 SF_6 气体实验室，应装设强力通风装置，风口应设置在室内底部，排风口不应朝向居民住宅或行人。

2) 在室内，设备充装 SF_6 气体时，周围环境相对湿度应不大于 80%，同时应开启通风系统，并避免 SF_6 气体泄漏到工作区。工作区空气中 SF_6 气体含量不得超过 1mL/L。

3) 主控制室与 SF_6 配电装置室间要采取气密性隔离措施。 SF_6 配电装置室与其下方电缆层、电缆隧道相通的孔洞都应封堵。 SF_6 配电装置室及下方电缆层隧道的门上，应设置“注意通风”的标志。

4) SF_6 配电装置室、电缆层（隧道）的排风机电源开关应设置在门外。

5) 在 SF_6 配电装置室低位区应安装能报警的氧量仪或 SF_6 气体泄漏报警仪，在工作人员入口处也要装设显示器。这些仪器应定期试验，保证完好。

6) 工作人员进入 SF₆ 配电装置室, 入口处若无 SF₆ 气体含量显示器, 应先通风 15min, 并用检漏仪测量 SF₆ 气体含量合格。尽量避免一人进入 SF₆ 配电装置室进行巡视, 不准一人进入从事检修工作。

7) 工作人员不准在 SF₆ 设备防爆膜附近停留。若在巡视中发现异常情况, 应立即报告, 查明原因, 采取有效措施进行处理。

8) 进入 SF₆ 配电装置低位区或电缆沟进行工作, 应先检测含氧量 (不低于 21%) 和气体含量是否合格。

9) 在打开的 SF₆ 电气设备上工作的人员, 应经专门的安全技术知识培训, 配置和使用必要的安全防护用具。

10) 设备解体检修前, 应对 SF₆ 气体进行检验。根据有毒气体的含量, 采取安全防护措施。检修人员需穿着防护服并根据需要佩戴防毒面具。打开设备封盖后, 现场所有人员应暂离现场 30min。取出吸附剂和清除粉尘时, 检修人员应戴防毒面具和防护手套。

11) 设备内的 SF₆ 气体不得向大气排放, 应采取净化装置回收, 经处理合格后方准使用。回收时作业人员应站在上风侧。

设备抽真空后, 用高纯度氮气冲洗 3 次 [压力为 $10.1 \times 10^4 \text{ Pa}$]。将清出的吸附剂、金属粉末等废物放入 20% 氢氧化钠水溶液中浸泡 12h 后深埋。

12) 从 SF₆ 气体钢瓶引出气体时, 应使用减压阀降压。当瓶内压力降至 $10.1 \times 10^4 \text{ Pa}$ 时, 即停止引出气体, 并关紧气瓶阀门, 戴上瓶帽。

13) SF₆ 配电装置发生大量泄漏等紧急情况时, 人员应迅速撤出现场, 开启所有排风机进行排风。未佩戴隔离式防毒面具人员禁止入内。只有经过充分的自然排风或恢复排风后, 人员才准进入。发生设备防爆膜破裂时, 应停电处理, 并用汽油或丙酮擦拭干净。

14) 进行气体采样和处理一般渗漏时, 要戴防毒面具并进

行通风。

15) SF₆ 断路器 (开关) 进行操作时, 禁止检修人员在其外壳上进行工作。

16) 检修结束后, 检修人员应洗澡, 把用过的工器具、防护用品清洗干净。

17) SF₆ 气瓶应放置在阴凉干燥、通风良好、敞开的专门场所, 直立保存, 并应远离热源和油污的地方; 防潮、防阳光曝晒, 并不得有水分或油污粘在阀门上; 搬运时, 应轻装轻卸。

五、在停电的低压配电装置和低压导线上的工作

1) 在低压配电盘、配电箱和电源干线上的工作, 应填用变电站 (发电厂) 第二种工作票。在低压电动机和在照明回路上的工作可不填用工作票, 应做好相应记录, 该工作至少由两人进行一人工作, 一人监护。

2) 低压回路停电的安全措施:

① 将检修设备的各方面电源断开取下熔断器, 在开关 (刀开关) 操作把手上挂 “禁止合闸, 有人工作!” 的标示牌。

② 工作前应验电。

③ 根据需要采取其他安全措施例如穿绝缘鞋, 站在绝缘垫上等。

3) 停电更换熔断器后, 恢复操作时, 应戴手套和护目眼镜。

第十二章 安全心理浅析

一、概述

所谓安全，顾名思义，无危则安、无缺则全，但世界上没有绝对安全的事情。人们从事生产、经营和参加各种活动，说不定在什么时间、什么地点会遇到这样或那样的不安全问题。因而我们的主要任务，就是采取各种预防措施以便在生产过程中不发生人身伤害和职业病。现代安全的概念已不仅仅是预防伤亡事故或职业病，也并非仅仅存在于企业生产经营过程之中，安全科学关注的领域已经涉及人类生活、生产和生存的各个方面。

安全问题是伴随着社会生产而产生和发展的，我国古代在生产中就积累了一些安全防护的经验。隋代医学家巢元方所著《病源诸候论》一书中就记载了凡进古井深洞，必须先放入羽毛，若观察到它旋转，说明有毒气上浮，便不能入内。明代科学家宋应星所著《天工开物》中记述了采煤时防止瓦斯中毒的方法，“深至丈许，方始得煤，初见煤时，毒气灼人，有将巨竹凿去中节，尖锐其末，插入炭中，其毒烟从竹中透上”就有着安全技术的雏形。

而安全管理的发展是随着生产的发展和人们对安全需要的逐步提高而发展的。初期阶段的安全管理，可以说是纯粹的事后管理，即完全被动地面对事故，无奈地承受事故造成的损失；在积累了一定的经验和教训后，管理者采取了条例管理的方式，即事故后总结经验和教训，制定出一系列的规章制度来约束人的行为，或采取一定的安全技术措施控制系统或设备的状态，避免事故的再发生这时已经有了事故预防的概念。而职业安全卫生管理体系的诞生则成为现代化安全管理的重要标志。

在人类社会生活中，安全是人们在满足生理需要之后的最基

本、最重要的需要。按照美国心理学家马斯洛的“需求层次论”，人的需要可以归纳为：生理、安全、社交、尊重、求知、审美和自我价值的实现，共七种需求，见图 12-1。

生理需求又称生存需求，如摄食、饮水、睡眠、求偶等属于人类生存的最基本、最原始的需求。当生理需要获得适当满足之后，就有安全需要，包括生命安全、财产安全、身体健康和生活条件稳定等；此后，就有感情和归属上的需求，如人际交往、友谊为群体和社会所接受等，即社交需求；再次是尊重需求，包括自我尊重和受人尊重；为了获得尊重，就有求知需求和审美需求；最后，达到自我实现，即能够发挥自己能力和实现自身价值或理想，就是到了最高层次的需求。

由于安全需求位于第二层次，所以可以看出，当人们的生理需求尚未得到相当满足的条件下，是不会很好地关注安全的。发展中国家人们的安全意识低于发达国家，基本原因就在于此。

我国安全科学专家罗云教授曾经统计过一组数字：我国的职业工伤千人死亡率、道路万车死亡率、百万吨煤死亡率等指标均大大高于发达国家，每年因事故造成的经济损失可以再造 10 个新广州，相当于每天从天上掉下 3 架波音 747。而 80% 以上事故的发生都是由于违章操作造成的。如果大家都能按照安全规章制度去操作，那么这些事故就不应该发生。所以我们要树立事故可预防的观念，强化安全生产和安全生存意识。

虽然人的因素在生产经营中起主导作用，但人总有疲惫、失误和疏忽大意的时候，所以提高机械化、自动化水平，完善防范装备，改善工作环境，实现本质安全化是预防事故的根本。提高本质安全化水平，这在很大程度上能防止人为失误造成的事故，但这会增大经济投入，也受技术水平的限制，因而加强管理是目前情况下重要、必要而且有效的措施。这叫“硬件不足软件

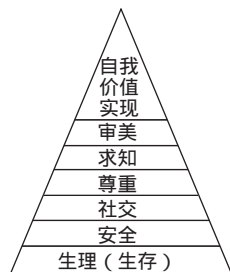


图 12-1 马斯洛
“需求层次论”

补”。人是世上万物中最可宝贵的因素。生命对于任何人只有一次。人人需要珍惜生命、关注健康。

由于时间紧促，个人能力有限，笔者在编写教材过程中请教了多位专家，并借鉴参考了大量文献资料，旨在给大家多一些安全知识和参考。唐代诗人杜荀鹤著有《泾溪》一诗，这首诗的大致意思是说那些水流湍急，礁石丛生的地方之所以很少听说有人遇难，是因为其危险性显而易见，人们已经意识到了危险，引起了高度重视并加以防范；反倒是那些平流无石的地方，潜流暗礁不易被发现，人们认为平安无事，放松了防范意识，这种地方却时有船毁人亡的事故发生。这首诗的真谛，是告诉人们要居安思危！它阐述了一个亘古不变的安全真理——知其危则安，忘其危则危！希望这首诗能够伴随大家一生平安。

《泾溪》

唐 杜荀鹤

泾溪石险入兢慎，
终岁不闻倾覆人。
却是平流无石处，
时时闻说有沉沦。

二、海因里希法则

海因里希法则又称“海因里希安全法则”或“海因里希事故法则”，是美国著名安全工程师海因里希提出的 300:29:1 法则。这个法则意思是说，当一个企业有 300 个隐患或违章，必然要发生 29 起轻伤或故障，在这 29 起轻伤事故或故障当中，必然包含有一起重伤、死亡或重大事故。“海因里希法则”是美国人海因里希通过分析工伤事故的发生概率，为保险公司的经营提出的法则。这一法则完全可以用于企业的安全管理上。即在一件重大的事故背后必有 29 件“轻度”的事故，还有 300 件潜在的隐患。可怕的是对潜在性事故毫无觉察，或是麻木不仁，结果导致无法挽回的损失。了解“海因里希法则”的目的，是通过对事故成因的分析，让人们少走弯路，把事故消灭在萌芽状态。

这个法则是 1941 年美国的海因里希从统计许多灾害开始得出的。当时，海因里希统计了 55 万件机械事故，其中死亡、重伤事故 1666 件，轻伤 48334 件，其余则为无伤害事故。从而得出一个重要结论，即在机械事故

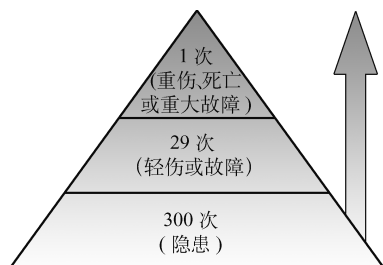


图 12-2 海因里希法则

中，死亡、重伤、轻伤和无伤害事故的比例为 1:29:300，国际上把这一法则叫事故法则。这个法则说明，在机械生产过程中，每发生 330 起意外事件，有 300 件未产生人员伤害，29 件造成人员轻伤，1 件导致重伤或死亡。

对于不同的生产过程，不同类型事故，上述比例关系不一定完全相同。但这个统计规律说明了在进行同一项活动中，无数次意外事件，必然导致重大伤亡事故的发生。而要避免重大事故的发生必须减少和消除无伤害事故，要重视事故的苗头和未遂事故，否则终会酿成大祸。例如，某机械师企图用手把传动带挂到正在旋转的带轮上，因未使用拨带的杆，且站在摇晃的梯板上，又穿了一件宽大长袖的工作服，结果被带轮绞入碾死。事故调查结果表明，他这种上传动带的方法使用已有数年之久。查阅四年病志（急救上药记录），发现他有 33 次手臂擦伤治疗处理记录。他手下工人均佩服他手段高明，结果还是导致死亡。这一事例说明，重伤和死亡事故虽有偶然性，但是不安全因素或动作在事故发生之前已暴露过许多次。如果在事故发生之前，抓住时机，及时消除不安全因素，许多重大伤亡事故是完全可以避免的。

所以，有效预防事故的着眼点应该放在轻微、未遂、无伤害事故以及事故隐患和违章的治理上。

三、违章操作心理分析

（一）侥幸心理

侥幸心理是许多违章人员在行动前的一种重要心态，把出事

的偶然性绝对化。在现实工作中，对发生侥幸心理的人时有所见。

1) 不是不懂安全操作规程，并不缺乏安全知识，技术水平也不低，而是“明知故犯”。

2) 认为违章不一定出事，出事不一定伤人，伤人不一定伤己。

其表现特征是：碰运气，认为违章操作不一定会发生事故；往往认为“动机是好的”不会受到责备；自信心很强，相信自己有能力避免事故发生；认为别人不一定发现。

由于侥幸心理导致的事故是很常见的。职工产生侥幸心理的原因，一是错误经验，二是认识上的错误。虽然事故不是经常发生的，发生了不一定会造成伤害，但是随着不安全行为形成习惯，必然会导致事故的发生。为此，必须从第一次违章，就要坚决制止予以纠正，决不允许形成不安全的行为习惯。

（二）惰性心理

也称为“节能心理”，是指在作业中尽量减少力量支出，能省事便省事，能省力便省力，能将就凑合就将就凑合的一种心理状态。嫌麻烦，得过且过，也是懒惰行为的心理依据。

（三）麻痹心理

麻痹大意是造成事故的主要心理因素之一。

1) 盲目自信，认为技术过得硬，保准出不了问题（以老同仁居多）。

2) 是以往成功经验或习惯的强化，多次做也无问题，我行我素。

麻痹心理是精神疲劳；是个性因素，具有一贯松松垮垮，马马虎虎，大大咧咧，不求甚解的性格特征，自以为绝对安全。

其表现特征是：由于经常干的工作，所以习以为常，并不感觉到有什么危险，因此满不在乎，久而久之，后患无穷。在这种心理支配下，沿用习惯的作业方式，凭经验行事，放松对危险的警惕，终会造成事故的发生。

（四）逆反心理

是一种无视社会规范或管理制度的对抗性心理状态。一般在行为上表现为“你让我这样，我偏要那样；越不许干，我越要干”等特征。

1) 显现对抗：当面顶撞，不但不改正，反而发脾气，或骂骂咧咧，继续违章。

2) 隐性对抗：表面接受，心理反抗；阳奉阴违，口是心非。

其表现特征是：不接受正确的规劝和批评，坚持其错误行为。因此，在进行安全教育时，要注意方式、方法，注意对方的情绪变化，防止产生逆反心理，以免使教育效果适得其反。

（五）逞能心理

争强好胜本来是一种积极的心理品质，但如果它和炫耀心理结合起来，且发展到不恰当的地步，就会走向反面。

1) 争强好胜，积极表现自己，能力不强但自信心过强，不思后果、蛮干冒险作业。

2) 长时间做相同冒险的事，无任何防护，终有一失。

（六）凑趣心理

也称凑兴心理，是在社会群体成员之间人际关系在个体心理上的反映。

1) 个体为了能获得心理上的满足，喜欢凑热闹，寻开心，忘乎所以。

2) 过火的玩笑，伤害成员之间的感情，产生误会和矛盾。

凑趣心里是职工在日常工作中产生的一种人际关系的反应，有增进职工团结的积极作用，但也可以造成一些不理智的行为。例如：工作时间打闹、乱动设备信号等，都是发生事故的隐患。因此，要经常对职工加强操作规程的学习和教育，以控制无节制的凑趣行为发生。

（七）冒险心理

冒险也是引起违章操作的重要心理原因之一。

1) 理智性冒险,明知山有虎,偏向虎山行。

2) 非理智性冒险,受激情的驱使,有强烈的虚荣心,怕丢面子,硬充大胆。

其表现特征是:争强好胜,喜欢逞能;有违章行为而没有造成事故的经历;为争取时间,不按规定作业;只顾眼前一时得失、而不顾事后后果;盲目行动、蛮干且不听劝阻,把冒险作业当做英雄行为。这种心理以刚入厂时间不长的青工为主,应引起特别注意。

侥幸心理和冒险心理的结合体——捷径心理

其表现特征是:把必要的安全规定、安全措施、安全设备认为是其实现目标的障碍。这种图省事走捷径的心理是职工长期工作中养成的一种心理习惯。例如:安全帽不系带,图省事不走安全桥、安全通道,不执行工作票制度等。这种心理造成的事故举不胜举。

(八) 从众心理

是指个人在群体中由于实际存在的或头脑中想象到的社会压力与群体压力,而在知觉、判断、信念以及行为上表现出追随与群体中大多数人一致的现象。

1) 是自觉从众,心悦诚服、甘心情愿与大家一致违章。

2) 是被迫从众,表面上跟着走,心理反感。

从众心理是职工在适应班组生活中产生的一种反映。由于从众心理,不安全行为或行动很容易被他人仿效。如果这些人不遵守安全操作规程并未发生事故,那么同班组的其他人也就跟着不按规程操作。这种从众心理严重地威胁着安全生产,因此,要及时指出违章作业可能造成的危害性,营造人人遵章守纪的良好习惯。

(九) 无所谓心理

表现为遵章或违章心不在焉,满不在乎。

1) 是本人根本没意识到危险的存在,认为章程是领导用来卡人的。

2) 是对安全问题谈起来重要,干起来次要,比起来不要,不把安全规定放眼里。

3) 认为违章是必要的,不违章就干不成活。

(十) 好奇心心理

好奇心人皆有之。是对外界新异刺激的一种反应。以前未见过,感觉很新鲜,乱摸乱动,使一些设备处于不安全状态,而影响自身或他人的安全。

因对周围发生的事好奇影响正常操作,造成违章事故。

(十一) 情绪波动 思想不集中

情绪是心境变化的一种状态,表现为:顾此失彼、手忙脚乱、高度兴奋导致不安全行为。

(十二) 技术不熟练遇险惊慌

技术不熟练导致对突如其来的异常情况惊慌失措,甚至茫然,无法进行应急处理,难断方向。

(十三) 工作枯燥厌倦心理

从事单调、重复工作的人员,容易产生心理疲劳和厌倦感。对重复工作缺乏自主性,感觉不到有意义和重要性。

(十四) 错觉下意识心理

这是个别人的特殊心态,一旦出现,后果极为严重。错觉是在有刺激物的情况下发生的,一般不会消失(不同于幻觉)。

(十五) 心理幻觉近似差错

莫名其妙的“违章”,其实是人体心理幻觉所致。

(十六) 环境干扰判断失误

在作业环境中,温度、色彩、声响、照明等因素,超出人们的感官功能的限度时,会干扰人的思维判断,导致判断失误和操作失误。

结合安全工作实际,在安全管理中,要时刻抓住“人”这个因素,根据不同的工作任务、时间、地点、环境、人物,采取“对症下药”的安全措施,消除人为事故。要重点提高下列人员的安全生产意识:一是违章作业的、冒险蛮干的“危险人”;二

是盲目听从指挥、凑合生产的“糊涂人”；三是满不在乎、盲目侥幸的“麻痹人”；四是急于求成的、手忙脚乱的“急性人”；五是重生产、轻安全的“效益人”；六是休息不好、身体欠佳的“疲惫人”；七是改变工种、对设备不熟悉的“改行人”。

四、生理周期

生理周期是一门科学，目前已是很多大学里的必修课。它可以使我们更好地了解自己，从而有意识地加以防范，避免事故的发生。如：目前日本有很多企业将本单位员工的出生日期输入电脑档案，计算出职工的生理低潮期，并在该职工低潮期的当天给职工放假或进行提醒警示。

（一）人可以分为四种类型

1. 胆汁性类型

又称黄胆质类型。该类型的人暴躁、易怒，对于情绪的刺激非常敏感，易忽冷忽热、没有耐心、意志力容易动摇。这类人喜欢参加各种活动，但想法经常改变，喜怒哀乐的表现也非常强烈。不过他们不像抑郁性的人那样长时间地持续某种心情，不论悲伤愤怒来得也快去得也快。一般说来，这种人既热心又有爱心，容易见义勇为，做起事情有爆发力。

2. 多血质类型

这类人聪明、敏捷、活泼、好事，愿意主动与人交往，面对困难不容易退缩，而且不记仇，他可能很爽快地答应别人事情，也很容易忘掉约定。他可能拥有面对困难的勇气，但看事情不妙，也会反悔。他能够调整自己的喜怒哀乐，随时保持心理平衡和往前冲刺的状态但也容易见异思迁。

3. 黏液性类型

多安静，黏液性的人对刺激的反应相对比较冷淡，行动缓慢；但通常待人诚恳值得信任。个性平淡，不容易紧张，散漫、漫不经心、好饮食。

4. 抑郁性类型

这类型的人比较稳重，但抑郁，神经质、易钻牛角尖，多半

会避免迎来送往的交际活动，也不喜欢和外向活泼的多血质人相处。这类人一旦遇到困难，心理常常失去平衡，心情不高兴，需要很长时间才能恢复。

（二）生理周期分类

生理周期分为三类，分别是：体力周期、情绪周期和智力周期。

1. 体力周期

23 天为一个体力周期。

从出生之日至今总天数/23 = 商 + 余数。

余数 < 11 时，为体力高潮期（共十天）。

余数 = 11. 12. 13 时，为临界期（共三天，体力临界期容易生病）。

余数 > 13 时，为体力低潮期（共十天）。

2. 情绪周期

28 天为一个情绪周期。

从出生之日至今总天数/28 = 商 + 余数。

余数 < 14 时，为情绪高潮期（共十三天）。

余数 = 14、15 时，为临界期（共两天，易情绪波动）。

余数 > 15 时，为情绪低潮期（共十三天）。

3. 智力周期

33 天为一个智力周期。

从出生之日至今总天数/33 = 商 + 余数。

余数 < 16 时，为智力高潮期（共十五天）。

余数 = 16. 17. 18 时，为临界期（共三天）。

余数 > 18 时，为智力低潮期（共十五天）。

第十三章 急救与逃生

一、触电伤亡

在较短时间内危及生命的电流称为致命电流。电击致死的原因是比较复杂的。通过人体数十毫安以上的工频交流电流，既可能引起心室颤动或心脏停止跳动，也可能导致呼吸中止。但是，由于心室颤动的出现比呼吸中止早得多，因此，引起心室颤动是主要的。如果通过人体的电流只有 $20 \sim 25\text{mA}$ ，一般不能直接引起心室颤动或心脏停止跳动，但如时间较长，仍可导致心脏停止跳动。这时，心室颤动或心脏停止跳动主要是由呼吸中止导致肌体缺氧引起的。但当通过人体的电流超过数安时，由于刺激强烈，也可能先使呼吸中止。数安的电流通过人体，还可能导致严重烧伤甚至死亡。在电流不超过数百毫安的情况下，电击致命的主要原因是电流引起心室颤动造成的。因此，可以认为室颤电流是最小致命电流。

室颤电流即通过人体引起心室发生纤维性颤动的电流。室颤电流除决定于电流持续时间、电流途径、电流种类等电气参数外，还决定于机体组织、心脏功能等人体生理特征。室颤电流与电流持续时间有很大关系。实验和统计资料表明，如果电流持续时间超过心脏跳动周期，室颤电流大大下降。当电流持续时间超过心脏搏动周期时，室颤电流为 50mA 左右；当电流持续时间短于心脏搏动周期时，室颤电流为数百毫安；当电流持续时间在 0.1s 以下时，只有电击发生在心脏易损期， 500mA 以上乃至数安的电流才可能引起心室颤动；在同样电流下，如电流持续时间超过心脏搏动周期，可能导致心脏停止跳动。

当通过人体的电流较小时，仅产生麻感，对机体影响不大。当通过人体的电流增大，但小于摆脱电流时，虽可能受到强烈打

击，但尚能自己摆脱电源，伤害可能不严重。当通过人体的电流进一步增大，至接近或达到致命电流时，触电人会出现神经麻痹、呼吸中断、心脏跳动停止等征象，外表上呈现昏迷不醒的状态。这时，不应该认为是死亡，而应该看做是假死，应迅速而持久地进行抢救。有触电者经 4h 或更长时间的人工呼吸而得救的事例。有资料指出，从触电后 3min 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。

二、急救

1. 切断电源

如发生高压设备触电，应迅速拉开开关（刀开关）或拉负荷开关，隔离电源点，使触电者脱离电源；若开关不在附近，应使用绝缘物体推、拉触电者，使其脱离电源；如发生低压设备触电，则应迅速就近分断电源开关或用绝缘物挑开带电体或用钳子等有绝缘柄的工具切断导线，使触电者脱离电源；然后根据触电者呼吸和心跳情况，实施人工呼吸或胸外心脏按压救援。

2. 人工呼吸

施行人工呼吸和胸外心脏按压的抢救工作要坚持不断，切不可轻率停止，运送触电者去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，或喉嗓门有咽东西的动作，则应注意其是否有自主心脏跳动和自主呼吸。触电者能自主呼吸时，即可停止人工呼吸。如果人工呼吸停止后，触电者仍不能自主呼吸，则应立即再作人工呼吸。急救过程中，如果触电者身上出现尸斑或身体僵冷，经医生作出无法救活的诊断后方可停止抢救。特别应当注意，当触电者的的心脏还在跳动时，不得注射肾上腺素。

（1）人工呼吸的做法

1) 迅速使伤者仰卧（在开展救援之前，伤者应侧卧，以防

止呕吐物堵塞气管)。

2) 托起伤者的后颈部,使伤者下颏和下耳垂外廓所成的这条直线与地面垂直成 90° ,迅速找来衣服、书本等物垫于伤者后颈处,解开伤者皮带、袖口等束缚物(这是为了使伤者的呼吸道保持畅通)。

3) 打开伤者口腔;如伤者牙关紧闭,则立即用物品撬开伤者牙齿;清理口腔内杂物,例如痰液、血块、泥沙、义齿(假牙)等;并将伤者舌头平展前伸。

4) 翻开伤者口唇,深吸一口气,同时捏住伤者鼻子,迅速用力向伤者口内吹气。吹气时斜眼看伤者胸部,胸向上鼓起 $3.5 \sim 5\text{cm}$ 为宜。

5) 松开伤者鼻子,使其自然呼气(如呼不出,则立即按压伤者胸部,帮助其呼气)。从对伤者吹出气,到伤者呼出气为一个循环,此每 5s 反复一次,直到伤者恢复自主呼吸。

(2) 胸外心脏按压的做法 如检查伤者有呼吸但心跳停止,则立即展开胸外心脏按压。方法是:施救者以一手掌根部置胸骨剑突上两指,双手重叠,手掌根部与胸骨长轴平行,双肩及上身压力置于手掌根部,垂直地向胸骨按压,压力大小使胸骨压下 $3.5 \sim 5\text{cm}$ 为宜,然后迅速放松压力,但手掌根要保持在原位。按压有节奏、压力均匀且不中断,直到伤者恢复自主心跳。

注意事项:

1) 挤压力要合适,切勿过猛。

2) 按压频率和心跳频率基本一致,每分钟约 $60 \sim 80$ 次。

3) 挤压与放松时间大致相等。

(3) 心肺复苏术的做法 如检查伤者呼吸、心跳全部停止,则立即展开心肺复苏术。心肺复苏术即是将人工呼吸和胸外心脏按压循环起来做。挤压次数与人工呼吸次数比例为 $5:1$,即按压胸部五次,停一下,口对口吹气一次,直到伤者恢复自主呼吸。

不管是人工呼吸还是胸外心脏按压都非常地消耗体力,所以一定要建立起人工循环机制,即一个人抢救了 $5 \sim 10\text{min}$,另一

个人立即将施救者替换下来，这样才能有高质量的救援，伤者获救的希望才会更大。

3. 机械伤害急救的做法

1) 对出血多的伤口应加压包扎；有搏动性或喷涌状动脉出血不止时，暂时可用指压法止血，或在出血肢体伤口的近端扎止血带。上止血带者应有标记，注明时间，并且每 20min 放松一次，以防肢体的缺血坏死。

2) 就地取材固定骨折的肢体，防止骨折的再损伤。

3) 遇有开放性颅脑或开放性腹部伤，脑组织或腹腔内脏脱出者，不应将污染的组织塞入，可用干净碗覆盖，然后包扎；避免进食、饮水或用止痛剂，速送往医院诊治。

4) 当有木桩等物刺入体腔或肢体，不宜拔出，宜锯断刺入物的体外部分（近体表的保留一段），等到达医院后，准备手术进再拔出。有时戳入的物体正好刺破血管，暂时尚起填塞止血作用，一旦现场拔除，会招致大出血而不及抢救。

5) 若有胸壁浮动，应立即用衣物、棉垫等充填后适当加压包扎，以限制浮动；无法充填包扎时，使伤员卧向浮动壁，也可起到限制反常呼吸的效果。

6) 若有开放性胸部伤，立即取半卧位，对胸壁伤口应行严密封闭包扎，使开放性气胸改变成闭合性气胸，速送医院。救护人员中若能断定张力性气胸者，有条件时可行穿刺排气或在上胸部置引流管。

三、逃生常识

1. 逃生通道

一般来说，建筑物中的逃生通道由三个方面组成：

1) 由楼层内自己所处位置到楼梯的通道。

2) 下楼梯的通道。

3) 从楼梯底到外界，离开建筑物的通道。

2. 防火门

防火门的主要功能是在发生火灾时，减缓火势的蔓延，从而

给逃生创造条件。因此，防火门必须是防火的。防火门还有在火灾初起时防止烟及热空气传播的功能。

3. 逃生门

顾名思义，逃生门即具有逃生功能的门，通俗地讲，逃生门具备以下特点：

- 1) 门的开启方向与逃生方向一致，一般为向外开启。
- 2) 门能够随时打开，用钥匙或电动遥控方能开启的门不是逃生门。
- 3) 不应是旋转门，应有足够的宽度和使人散开的空间。

4. 电梯

高层建筑倘若发生火灾或遇到强烈的雷雨天气时，切记不要坐电梯下楼！高层建筑发生火灾，烧死在电梯里的大有人在。

原因有三：

- 1) 因为电梯机房通常是在楼顶的最高处，如果防雷装置有欠缺，容易招引雷电。
- 2) 一旦电梯电路或机械装置遭受火灾或雷击破坏，电梯会发生故障，引发高空坠落事故。
- 3) 电梯通道由于烟筒效应容易聚集烟气，对电梯内的乘客造成生命威胁。

另外，在日常生活中，携带汽油、酒精、鞭炮等易燃易爆物品的人也不应该坐电梯上下楼。

四、火灾救援和逃生

1. 火灾救援注意事项

发生火灾，应采用正确的灭火方法并选用适当的灭火工具积极扑救。当密闭的房间内起火，未准备好充足的灭火器材前，不要打开门窗；同时拨打“119”报警，说清地点、火势、报警人姓名及电话号码，并派人去街道路口迎候消防车。如果被困在火场内生命受到威胁，在等待消防员救助的时间里，可以利用地形和身边的物体采取积极有效的自救措施。

2. 火灾逃生注意事项

人们往往有一个误区，认为火灾事故致死人群中大部分是被烧死的，实则不然。火灾事故中致死原因最多的不是被烧死，而是被火焰产生的 CO 等有毒烟气窒息或中毒死亡，其次才是烧死，当然还有踩踏致死，高空坠落致死等。因此要牢记以下注意事项。

1) 要树立消防意识，养成良好的安全习惯。只有靠平时对消防常识的学习、掌握和储备，危难关头才能应对自如，从容逃离险境。比如：进入陌生场所应先了解安全出口、疏散通道、楼梯间的位置及是否上锁，查看消防栓等各项灭火、避难器具的位置。

2) 发生火灾时保持镇静，迅速判断危险区域和安全区域，尽快朝与火相反的方向，通过楼层的逃生门、应急楼道或者从建筑物的外部逃离到地面。

3) 如在室外遇到火灾，应根据火灾发生时的风向来确定疏散方向，迅速逃到火场上风处躲避火焰和烟气，即俗话说说的顶风跑，不能顺风跑。

4) 由于烟气的密度比空气小，必须穿过火区时，应尽量用浸湿的衣物披裹身体，捂住口鼻，贴近地面跑。逃生时不可蜂拥而出或留恋财物。

5) 如果身上着火，千万别奔跑，可就地打滚，将身上的火苗压灭，或跳入就近的水池、水缸、小河等，或用厚重衣物覆盖压灭火苗。

6) 如果身处楼上，寻找逃生路一般向下不向上。进入楼梯间后，确定楼下未着火时再向下逃生，不要往上跑。当楼梯或门口被大火封堵，楼层不高时，可利用布匹、床单、地毯、窗帘等制成绳索，通过窗口、阳台、下水管等滑下逃生。如楼层高，其他出路被封堵，应退到室内，关闭通往着火区的门、窗，有条件的用湿布料、毛巾等封堵着火区方向的门窗，并用水不断地浇湿，同时靠近没有火的一方的门窗呼救。晚上可用手电筒、白布摆动发出求救信号，决不可乘坐电梯，也不可贸然跳楼。

3. 火灾逃生方法

(1) 绳索自救法 岗位上有绳索的,可直接将其一端拴在门、窗档或重物上沿另一端爬下,在此过程中要注意手脚并用,脚成绞状夹紧绳子,双手交替一上一下往下爬,并尽量采用手套、毛巾将手保护好,防止顺势滑下时脱手或将手磨伤。因此建议大家在岗位上和家里备上安全绳。

(2) 匍匐前进法 由于火灾发生时烟气大多聚集在上部空间,因此在逃生过程中,应尽量将身体贴近地面匍匐或弯腰前进。

(3) 毛巾扣鼻法 火灾烟气具有温度高、毒性大的特点,一旦吸入后很容易引起呼吸系统烫伤或中毒,因此疏散中应把毛巾弄湿后扣住口鼻,以起到降温及过滤的作用。

(4) 棉被护身法 用浸泡过的棉被或毛毯、棉大衣盖在身上,确定逃生路线后用最快的速度通过火场到安全区域,但千万不可用塑料雨衣作保护物。

(5) 隔火法 将毛毯等织物钉在或夹在门上,并不断往上浇水冷却,防止外部火焰及烟气侵入,从而达到抑制火势蔓延速度、延长逃生时间的目的。该方法适用于处于高楼层且无法逃生,只能等待救援时。

(6) 被单拧结法 把床单、被罩和窗帘等撕成条并拧成麻花状,如果长度不够可将数条床单、被罩等连接在一起,按绳索逃生的方法沿外墙爬下。但要切实将床单、被罩等扎紧扎实,避免其断裂或结头脱落。

(7) 跳楼求生法 火场上切勿轻易跳楼!在万不得已的情况下,住在低楼层的居民可采取跳楼的方法逃生。但首先要根据周围地形选择高度差较小的地面作为落地点,然后将席梦思床垫、沙发垫、厚棉被等抛下做缓冲物,并使身体重心尽量放低,做好准备以后再跳。

(8) 管线下滑法 当建筑物外墙或阳台上有漏水管、电线杆、避雷针引线等竖直管线时,可借助其下滑至地面。注意一次

下滑的人数不宜过多，以防止逃生途中因管线损坏而致人坠落。

(9) 楼梯转移法 当火势自下而上迅速蔓延而将楼梯封死时，住在上部楼层的居民可通过老虎窗，天窗等迅速爬到屋顶，转移到另一人家成另一单元的楼梯进行疏散。

(10) 卫生间避难法 当实在无路可逃时，可利用卫生间进行避难，用毛巾紧塞门缝，把水泼在地下降温，也可躺在放满水的浴缸里躲避。但千万不钻到床底下、阁楼上、大橱中等处避难，因为这些地方可燃物多，且容易聚集烟气。

4. 拥挤踩踏逃生注意事项

1) 在拥挤的人群中，不要被好奇心理所驱使而前往。

2) 已被裹挟至拥挤的人群中时，要听从指挥人员口令。切记与大多数人的前进方面保持一致，不要试图超过别人，更不能逆行，千万要避免被绊倒。

3) 发现有人摔倒，要马上停下脚步，同时大声呼救，告知后面的人不要靠近。

4) 若被推倒，要设法靠近墙壁，身体面壁蜷成球状，双手在颈后紧扣保护头部，双腿紧蜷保护胸部，然后向墙根或人群的两边移动。

五、洪水逃生注意事项

1) 不要惊慌，冷静观察水势和地势，然后迅速向附近的高地、楼房转移。如洪水来势很猛，就近无高地、楼房可避，可抓住有浮力的物品如木盆、木椅、木板等。必要时爬上高树也可暂避。

2) 切记不要爬到不坚固的屋顶，这些房屋浸水后容易倒塌。

3) 为防止洪水涌入室内，最好用装满沙子、泥土和碎石的沙袋堵住大门下面的所有空隙。如预料洪水还要上涨，窗台外也要堆上沙袋。

4) 如洪水持续上涨，应注意在自己暂时栖身的地方储备一些食物、饮用水、保暖衣物和烧水用具。

5) 如水灾严重, 所在之处已不安全, 应考虑自制木筏逃生。床板、门板、箱子等都可用来制作木筏, 划桨也必不可少。也可考虑使用一些废弃轮胎的内胎制成简易救生圈。逃生前要多收集些食物、发信号用具 (如哨子、手电筒、颜色鲜艳的旗帜或床单等)。

6) 如洪水没有漫过头顶, 且周边树木比较密集, 可考虑用绳子逃生。找一根比较结实且足够长的绳子 (也可用床单、被单等撕开替代), 先把绳子的一端拴在屋内较牢固的地方, 然后牵着绳子走向最近的一棵树, 把绳子在树上绕若干圈后再走向下一棵树, 如此重复, 逐渐转移到地势较高的地方。

7) 离开房屋逃生前, 多吃些高热量食物, 如巧克力、糖、甜点等, 并喝些热饮料, 以增强体力; 注意关掉煤气阀、电源总开关。

六、有毒气体泄漏逃生

迅速采用常备或就便的防护器材保护自己并及时报警; 可迅速向上风方向或侧风方向转移, 不要在低洼处滞留; 有条件的也可转移到有滤毒通风装置的人防工事内; 来不及撤离, 可躲在结构较好的多层建筑物内, 堵住明显的缝隙, 关闭空调机、通风机等, 熄灭火种, 人员尽可能在背风无门窗的地方。要明确专人引导和护送疏散人员到安全区, 并在疏散或撤离的路线上设立哨位, 指明方向; 要查清是否有人留在污染区内。离开染毒区域后, 要脱去污染衣物, 及时进行消毒, 必要时应到医务部门检查诊治。化学事故中, 可用湿手巾、湿口罩、防毒面具保护呼吸道, 保护皮肤可用雨衣、手套、雨靴, 保护眼睛可用防毒眼镜、游泳潜水镜。

七、地震被埋自救

地震一旦发生, 首先要保持清醒、冷静的头脑, 及时判别震动状况, 千万不可在慌乱中跳楼, 这一点极为重要。破坏性地震从人感觉振动到建筑物被破坏平均只有 12s, 在这短短的时间内你千万不要惊慌, 应根据所处环境迅速作出保障安全的抉择。

1) 如果地震发生在平房里,且离门很近,那么你可以迅速跑到门外;如果在楼房里,千万不要跳楼,应立即关闭煤气和电闸,并打开大门确保出口畅通;然后躲进跨度较小的房间,如承重墙较多、开间小的房间,也可以躲在重心较低、且结实牢固的桌子下面,并紧紧抓牢桌子腿;要注意保护头部,以防异物砸伤;不要上阳台,不要去乘电梯,不要下楼梯,不要到处跑;不要随人流拥挤,这些地方容易崩塌、发生挤压踩踏。

2) 如果你在岗位上,可以躲在车、机床及较高大设备下,不可惊慌乱跑;特殊岗位上的工人要首先关闭易燃、易爆、有毒气体阀门,及时降低高温、高压管道的温度和压力,关闭运转设备。大部分人员可撤离工作现场,在有安全防护的前提下,少部分人员留在现场随时监视险情,及时处理可能发生的意外事件,防止次生灾害的发生。

3) 所有室内人员在初震过后,都要尽快撤出到开阔地,以避免余震,但应注意碎玻璃、屋顶上的砖瓦、宣传牌、灯架、玻璃窗等掉下来砸在身上是很危险的;此外,水泥预制板墙等也有倒塌的危险,不要靠近这些物体;撤离时最好将身边的皮包或柔软的物品顶在头上,无物品时也可用手护在头上,尽可能作好自我防御的准备,要镇静,应该迅速离开电线杆和围墙,跑向比较开阔的地区躲避。

4) 如果被埋在废墟下,首先要了解自身生存的极限条件。人类生存的基本条件主要是空气、饮水、食品和基本生存空间。其中空气是第一位的,没有空气,人只能存活几分钟;没有水,一般可以存活 7 天;没有食品,靠自身的营养储备,只要有空气、饮水,可以存活 15 天左右。人们为了生存,至少应有能让头和手脚自由活动的空间,否则人也无法生存下去。

如果地震时被埋压在废墟下,周围又是一片漆黑,只有极小的空间,在这种极不利的环境下,首先要保护呼吸畅通,挪开头部、胸部的杂物,清理口鼻、面部的泥沙,慢慢活动头和四肢,闻到煤气、毒气时,用湿衣服等物捂住口、鼻;避开身体上方不

结实的倒塌物和其他容易引起掉落的物体；扩大和稳定生存空间，用砖块、木棍等支撑残垣断壁，进行加固，以防余震发生后，环境进一步恶化，免遭新的伤害；如感觉憋气时，可寻找周围缝隙，贴近呼吸，注意有光的缝隙，一般是较好的空气来源通道；如果找不到脱离险境的通道，尽量保存体力，用石块敲击能发出声响的物体，向外发出呼救信号；不要哭喊、急躁和盲目行动，这样会大量消耗精力和体力，尽可能控制自己的情绪或闭目休息，等待救援人员到来；如果受伤，要想法包扎，避免流血过多。

八、求救信号的种类与方法

总体说来，求救信号与方式主要有点燃火堆、使用光照、镜面反光、摆放物品、发出声音等求救信号方式。应根据不同情况，选用适当的求救方式。如在发生火灾时，可在窗口、阳台或屋顶处向外大声呼叫、敲击金属物品或投掷软物品，白天应挥动鲜艳布条发出求救信号，晚上可挥动手电筒或白布引起救援人员的注意。

(1) 火堆信号 点燃距离相等的三堆火，晚上以光为主，白天可放些青草形成浓烟。

(2) 光照信号 利用手电或灯，每分钟闪光 6 次，反复多次。

(3) 色彩信号 穿颜色鲜艳的衣服或戴颜色鲜艳的帽子，站到突出的地方引人注意，或在高处挂鲜艳的衣服或被子等物。

(4) 反光镜子信号 利用太阳光反射信号，可引人注意，一般每分钟 6 次，重复反射。材料有玻璃片、罐头皮、眼镜片、回光仪等。

(5) 物品信号 利用树枝、石块、衣物等摆放“SOS”信号，每字尽可能大一些。在雪地上可直接写出“SOS”。

(6) 声音信号 如距离不远，可发声求救，或借助打击声发出求救信号。

附录

附录 A 第一种工作票格式

发电厂（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：

由工作票签发人填写

由工作许可人（值班员）填写

应拉断路器（开关）和隔离开关（刀开关），包括填写前已拉断路器（开关）和隔离开关（刀开关）（注明编号）	已拉断路器（开关）和隔离开关（刀开关）（注明编号）
应装接的线（注明确实地点）	已装接地线（注明接地线编号和装设地点）
应设围栏、应挂标示牌	已设围栏、已挂标示牌（注明地点）
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：	工作许可人签名： 值班负责人签名：

（发电厂值长签名：_____）

-
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____为工作负责人
变动时间：____年____月____日____时____分
工作票签发人签名：____
8. 工作票延期，有效期延长到：____年____月____日____时____分
工作负责人签名：____值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：_____

附录 B 第二种工作票格式

发电厂（变电所）第二种工作票 编号：

1. 工作负责人（监护人）：_____ 班组 _____ 工作班人员：_____
2. 工作任务：_____
3. 计划工作时间：自 _____ 年 _____ 月 _____ 日 _____ 时 _____ 分至 _____ 年 _____ 月 _____ 日 _____ 时 _____ 分
4. 工作条件（停电或不停电）：_____

5. 注意事项（安全措施）：_____

工作票签发人签名：_____

6. 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：_____
7. 工作结束时间：_____ 年 _____ 月 _____ 日 _____ 时 _____ 分
工作负责人签名：_____ 工作许可人（值班员）签名：_____
8. 备注：_____

附录 C 系统接地的形式（参考件）

一、TN 系统

电力系统有一点直接接地，电气装置的外露可导电部分通过保护线与该接地点相连接。

TN 系统有以下 3 种。

(1) TN—S 系统 整个系统的中性线与保护线是分开的（图 C-1）。

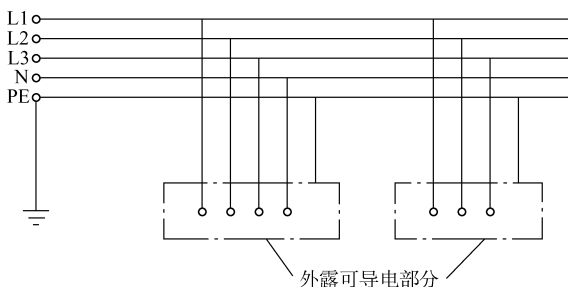


图 C-1 TN—S 系统

(2) TN—C 系统 整个系统的中性线与保护线是合一的（图 C-2）。

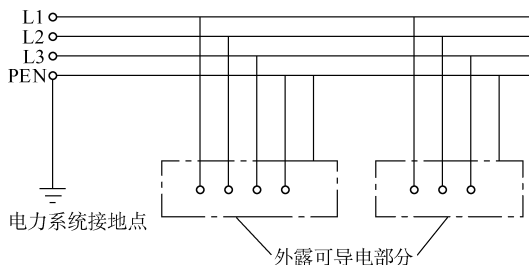


图 C-2 TN—C 系统

(3) TN—C—S 系统 系统中有一部分线路的中性线与保护线是合一的（图 C-3）。

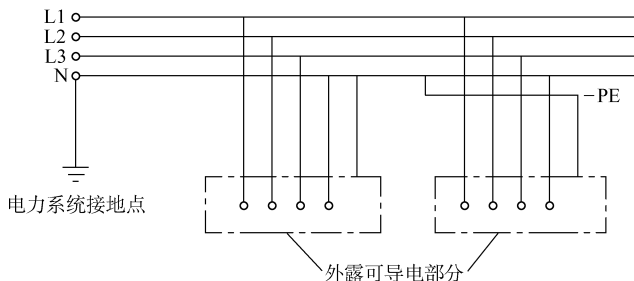


图 C-3 TN—C—S 系统

二、TT 系统

电力系统有一点直接接地，电气设备的外露可导电部分通过保护接地线至与电力系统接地点无关的接地极（图 C-4）。

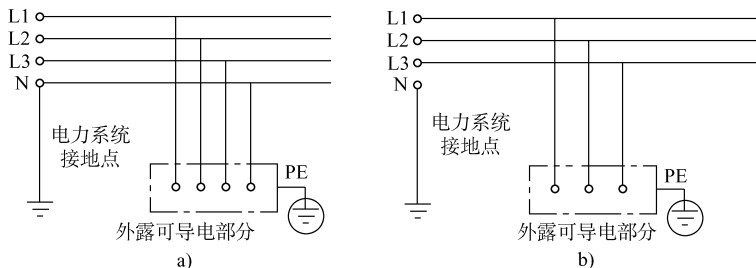


图 C-4 TT 系统

三、IT 系统

电力系统与大地间不直接连接，电气装置的外露可导电部分，通过保护接地线与接地极连接（图 C-5）。

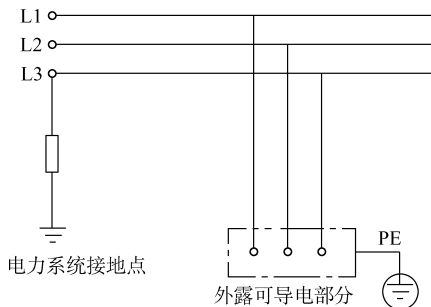


图 C-5 IT 系统

四、接地保护系统形式的文字代号意义

第一个字母表示电力系统的对地关系：

T—直接接地；

I—所有带电部分与地绝缘，或一点经阻抗接地。

第二个字母表示装置的外露可导电部分对地关系：

T—外露可导电部分对地直接作电气连接，此接地点与电力系统的接地点无直接关联；

N—外露可导电部分通过保护线与电力系统的接地点直接作电气连接。

如果后面还有字母时，这些字母表示中性线与保护线的组合：

S—中性线和保护线是分开的；

C—中性线和保护线是合一的。

附录 D 漏电保护器的额定值 (参考件)

(1) 额定频率 额定频率应为 50Hz。

(2) 额定电压 U_n 额定电压为 220V、380V。

(3) 辅助电源额定电压 U_{sn} 辅助电源额定电压的优选值为：

1) 直流：12V，24V，40V，60V，110V，220V。

2) 交流：12V，48V，220V，380V。

(4) 额定电流 I_n 额定电流值为：6A，10A，16A，20A，25A，32A，40A，50A，(60A)，63A，100A，(125A)，160A，200A，250A。带括号的值不优先推荐采用。

(5) 额定漏电动作电流 $I_{\Delta n}$ 额定漏电动作电流值为：0.006A，0.01A，(0.015A)，0.03A，(0.05A)，(0.075A)，0.1A，(0.2A)，0.3A，0.5A，1A，3A，5A，10A，20A。带括号的值不优先推荐采用。

(6) 额定漏电不动作电流 $I_{\Delta no}$ 额定漏电不动作电流的优选值为 $0.5I_{\Delta n}$ 。

(7) 漏电保护器的分断时间 直接接触补充保护用的漏电保护器的最大分断时间见表 D-1。

表 D-1 直接接触补充保护用的漏电保护器的其最大分断时间

$I_{\Delta n}/A$	I_n/A	最大分断时间/s		
		$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	0.25A
≤ 0.03	任何值	0.2	0.1	0.04

间接接触保护用漏电保护器的最大分断时间见表 D-2。

表 D-2 间接接触保护用漏电保护器的最大分断时间

$I_{\Delta n}/A$	I_n/A	最大分断时间/s		
		$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$5I_{\Delta n}$
≥ 0.03	任何值	0.2	0.1	0.04
	> 40 ①	0.2	—	0.15

① 适用于漏电保护组合器。

延时型漏电保护器只适用于间接接触保护， $I_{\Delta n} > 0.03\text{A}$ 。

延时型漏电保护器延时时间的优选值为：0.2s，0.4s，0.8s，1s，1.5s，2s。

(8) 额定短路接通分断能力

1) 带短路保护的漏电保护器的接通分断能力应符合 GB 14048.2 的要求。

2) 不带短路保护的漏电保护器的额定接通分断能力的优选值如表 D-3。不带短路保护的漏电保护器的额定短路接通分断能力的最小值如表 D-4。

表 D-3 额定接通分断能力的优选值

I_n/A	300	500	1000	1500	(2000)	3000	4500	6000	20000	50000
$\cos\phi$	0.95	0.95	0.95	0.95	0.9	0.9, 0.8	0.7	0.5	0.3	0.25

表 D-4 额定短路接通分断能力的最小值

I_n/A	I_m/A
$I_n \leq 10$	300
$10 < I_n \leq 50$	500
$50 < I_n \leq 100$	1000
$100 < I_n \leq 150$	1500
$150 < I_n \leq 200$	2000
$200 < I_n \leq 250$	3000

(9) 额定漏电接通分断能力 $I_{\Delta m}$ 额定漏电接通分断能力的优选值同表 D-3。额定漏电接通分断能力的最小值同表 D-4。

附录 E 漏电保护器运行记录（格式）

漏电保护器运行记录（参考件）

安装地点				安装日期		
型 号		相 线 极	额定动作电流		mA	
制造厂		出厂日期		额定电流		
试验情况				动作电流		
运行情况	日期	试验项目及情况	试验人	日期	动作情况	调查人

专责管理人：

冶金动力职业技能培训系列教材

气体压缩机运行与维护

气体深冷分离操作指南

气体吸附制取操作指南

制氧站辅助系统运行与维护

气体生产系统安全

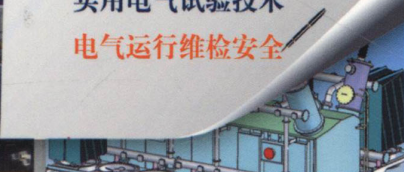
余压发电站运行与维护

变电站运行与维护

常用电气设备的维修

实用电气试验技术

电气运行维检安全



本书特色:

★ 主要介绍冶金企业电力系统中常用电气设备运行、维护与修理的安全操作技术。

★ 作者都是现场的工程技术人员，在实践中积累了丰富的经验。

★ 注重实际操作培训，理论、计算以够用为原则。

★ 以操作岗位员工为对象，以提高员工的操作技能、安全生产能力和应急处理能力为重点。

上架指导：工业技术/电气工程/电工技术

◎ ISBN 978-7-111-34418-6

◎ 策划：吕德齐 / 封面设计：陈沛

地址：北京市百万庄大街22号

电话服务

社服务中心：(010)88361066

销售一部：(010)68326294

销售二部：(010)88379649

读者购书热线：(010)88379203

邮政编码：100037

网络服务

门户网：<http://www.cmpbook.com>

教材网：<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

ISBN 978-7-111-34418-6



定价：26.00元

9 787111 344186 >