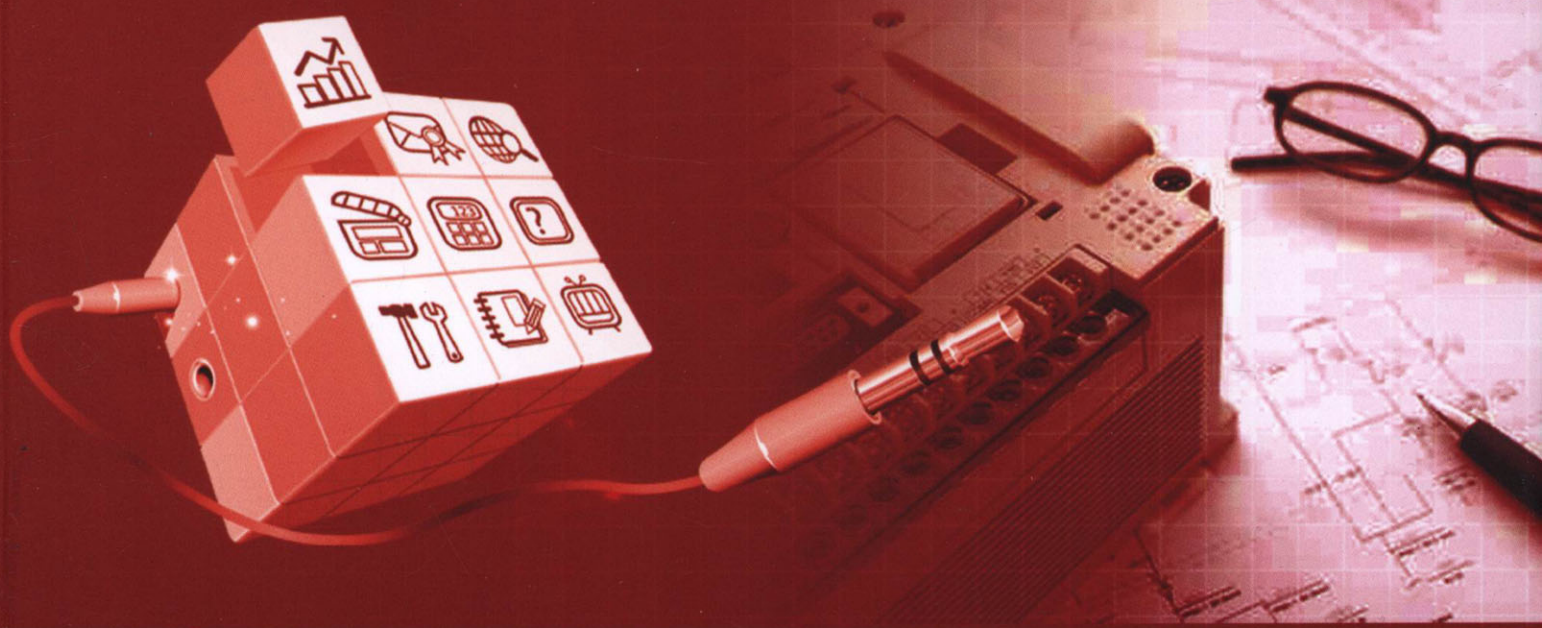


 北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目

电气控制与PLC技术

低压运行维修取证

全程指导



宁玉红 蒙娟  等编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目

电气控制与 PLC 技术 ——低压运行维修取证全程指导

宁玉红 蒙 娟 纪 娜 程晓辉 编著
李广军 万 捷 孔 杰 赵海静



机械工业出版社

本书包括低压运行维修、电气控制技术、PLC 技术三大部分内容,总计 14 个模块 47 个任务,并融入低压运行维修内容。具体包括电工安全及安全技术、测量、计量、线路、电动机单向直接起动控制、电动机的正反转控制、三相笼型异步电动机的减压起动控制、三相异步电动机的制动控制、异地控制与顺序控制、机床电气控制、三相异步电动机的调速、PLC 的认知实训、模拟实训、PLC 实物控制实训。通过相关知识的学习,能考取“低压运行维修”、“维修电工(中级)”、“维修电工(高级)”证书。

本书适合作为高职高专学校电气自动化、工业生产自动化、应用电子技术、电子信息工程技术、机电一体化、数控应用技术、仪表自动化等相关专业的教材和短期培训的教材,也可作为广大工程技术人员的学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC 技术: 低压运行维修取证全程指导/宁玉红等编著.
—北京: 机械工业出版社, 2013. 2 (2016. 7 重印)
ISBN 978 - 7 - 111 - 41343 - 1

I. ①电… II. ①宁… III. ①电气控制②plc 技术
IV. ①TM571. 2②TM571. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 020125 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: 罗莉 责任编辑: 罗莉
版式设计: 霍永明 责任校对: 陈秀丽
封面设计: 赵颖喆 责任印制: 常天培
北京京丰印刷厂印刷
2016 年 7 月第 1 版 · 第 2 次印刷
184mm × 260mm · 24. 75 印张 · 612 千字
3 001—4 000 册
标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 41343 - 1
定价: 60. 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

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前 言

本书为北京劳动保障职业学院国家高职骨干校建设资助教材。教材内容涉及了“低压运行维修”、“电气控制技术”与“PLC 技术”三部分的内容，实现了课证融合。前两部分以任务为驱动，在实践中学习理论，任务的设置从易到难，从简单到复杂，符合学生学习规律。“PLC 技术”除设置任务外，还设置了若干项目，有利于项目工程训练。编写中注意了三个部分的合理过渡和有机融合，并力求突出了以下特点：

一、与职业资格证书融合起来。目前低压运行维修取证的教材一般理论、实践、题库是相分离的，本书将电工特种作业——低压运行维修考试内容完全融入，在实践中学习理论，用理论指导实践，并用相关习题考核学习效果。

二、全书编写突破传统的理论课与实训课的界限。在编写中，以工作任务为中心，以相关实践知识和理论知识为背景，以拓展性知识为延伸，把学生需要掌握的知识分配到具体的任务和项目中，使学生在实践的过程中掌握知识，学会技能。编写内容特别注意选用一些结合生产实际的应用案例，并配有注重学生操作技能和创新意识的练习题。

三、考虑到学生职业可持续发展，本书特别编写了第三部分“PLC 技术”。介绍了可编程程序控制器的基础知识，并选取了市面上使用较多的西门子公司的 S7-200 系列小型 PLC 作为重点介绍。着重介绍了 S7-200 系列 PLC 的接线方式、指令系统、STEP7-Micro/WIN32 编程软件和控制系统设计方法。

本书由北京劳动保障职业学院机电工程系教师团队编著。机电工程系主任宁玉红编写了模块二、模块五、模块六；蒙娟编写了模块三、模块十二、模块十三；李广军编写了模块四、模块七、纪娜编写了模块八、模块九；程晓辉编写了模块十；万捷编写了模块一；孔杰编写了模块十一；赵海静编写了模块十四。

本书特别感谢北京劳动保障职业学院的资助。同时，还要感谢北京劳动保障职业学院的王伟民、王瑞莲、陈福海、方群老师，他们对本书进行了指导，提出了宝贵的意见和建议。

本书适合于高职高专学校电气自动化、工业生产现代化、应用电子技术、电子信息工程技术、机电一体化、数控应用技术、仪表自动化等相关专业的教材和短期培训的教材，也可作为广大工程技术人员的学习参考用书。

由于作者水平有限，疏漏之处在所难免，敬请读者不吝指教。

作者

目 录

前言

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 第一部分 低压运行维修 | 1 |
| 模块一 电工安全及安全技术 | 2 |
| 任务一 电工安全教育 | 2 |
| 任务二 触电急救 | 16 |
| 任务三 安全技术 | 21 |
| 任务四 手持式电动工具 | 32 |
| 模块二 测量 | 37 |
| 任务一 万用表的使用 | 37 |
| 任务二 用接地电阻测试仪测量接地装置的接地电阻值 | 49 |
| 任务三 并联电容器的绝缘测量 | 60 |
| 任务四 低压电力电缆的绝缘测量 | 74 |
| 任务五 电动机定子绕组的绝缘测量 | 83 |
| 任务六 使用电压表核相 | 98 |
| 任务七 三只电流表经电流互感器测三相线电流 | 111 |
| 任务八 用一只电压表经 LW2 转换开关测量三相线电压 | 126 |
| 任务九 钳形电流表的正确使用 | 130 |
| 模块三 计量 | 133 |
| 任务一 单相有功电度表的接线 | 133 |
| 任务二 直入式三相有功电度表的接线 | 139 |
| 任务三 三相有功电能表经电流互感器的接线 | 141 |
| 模块四 线路 | 144 |
| 任务一 导线的识别与选用 | 144 |
| 任务二 导线连接 | 149 |
| 任务三 灯具的接线 | 155 |
| 任务四 杆上作业 | 171 |
| 第二部分 电气控制技术 | 185 |
| 模块五 电动机单向直接起动控制 | 186 |
| 任务一 点动控制电路 | 186 |
| 任务二 电动机单向连续控制电路 | 214 |
| 模块六 电动机的正反转控制 | 236 |
| 任务一 正反转基本控制电路 | 236 |
| 任务二 接触器联锁的正反转控制电路 | 238 |
| 任务三 复合联锁的正、反转控制电路 | 240 |
| 任务四 自动往返正反转控制电路 | 242 |
| 模块七 三相笼型异步电动机的减压起动控制 | 249 |
| 任务一 定子绕组串接电阻或电抗器减压起动控制 | 249 |

| | |
|----------------------------|------------|
| 任务二 星形—三角形转换减压起动控制 | 260 |
| 任务三 自耦变压器减压起动控制 | 264 |
| 任务四 延边三角形减压起动控制 | 274 |
| 模块八 三相异步电动机的制动控制 | 277 |
| 任务一 反接制动控制 | 277 |
| 任务二 能耗制动（动力制动）控制 | 282 |
| 模块九 异地控制与顺序控制 | 284 |
| 任务一 多地点控制起、停的联锁控制 | 284 |
| 任务二 按顺序工作时的联锁控制 | 285 |
| 任务三 正常工作与点动的联锁控制 | 287 |
| 模块十 机床电气控制 | 289 |
| 任务一 CA6140 型车床电气控制线路 | 289 |
| 任务二 X62W 型万能铣床电气控制线路 | 296 |
| 模块十一 三相异步电动机的调速 | 302 |
| 任务一 变极调速 | 302 |
| 任务二 变转差率调速 | 305 |
| 任务三 变频调速 | 307 |
| 第三部分 PLC 技术 | 309 |
| 模块十二 PLC 的认知实训 | 310 |
| 任务一 PLC 的基础知识认知实训 | 310 |
| 任务二 S7-200 PLC 认知实训 | 325 |
| 模块十三 PLC 模拟实训 | 349 |
| 项目一 抢答器控制 | 349 |
| 项目二 霓虹灯控制 | 360 |
| 项目三 音乐喷泉控制 | 380 |
| 模块十四 PLC 实物控制实训 | 384 |
| 任务一 电动机正反转控制（电气互锁） | 384 |
| 任务二 电动机顺序起动控制 | 386 |
| 参考文献 | 389 |

第一部分

低压运行维修

模块一 电工安全及安全技术

任务一 电工安全教育

一、教学目标

- 1) 了解发配电概况；
- 2) 掌握安全用电方面相关法律、法规；
- 3) 了解电工作业的性质、电工作业人员条件、电工职业道德规范；
- 4) 了解安全用电和用电安全的概念；
- 5) 了解电气事故的种类、原因和规律；
- 6) 掌握电流对人体的伤害；
- 7) 掌握影响触电危险程度的因素；
- 8) 掌握安全电压的取值；
- 9) 掌握人体触电的方式；
- 10) 掌握停电检修作业时保证安全的技术措施；
- 11) 了解安全色；
- 12) 掌握电气火灾预防措施；
- 13) 掌握防雷措施；
- 14) 掌握防静电措施；
- 15) 掌握高压与低压的划分及等级；
- 16) 掌握实训室管理规定。

二、相关实践性知识介绍

(一) 发配电概况

1. 电力生产的基本环节

电力生产的过程，就是利用水能、煤、核能、风能等一次能源转化为效率高、易传输、适用面广的电能，由于电能是由一次能源经人类加工而得到的，因此把电能称为二次能源。

电能都是由发电厂的发电机产生的；电能向外输送时必须经过升压和变电；输送电能需用不同电压等级的输配电设备；最后由用户接收和使用电能。

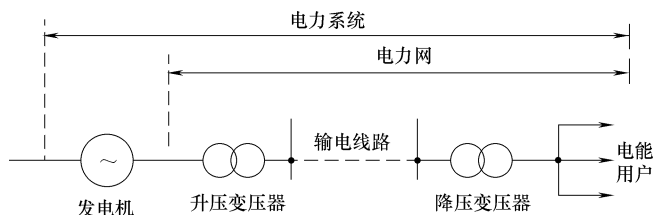


图 1-1-1 所示为电力系统简单

图 1-1-1 电力系统图

示意图。电力系统 = 发电厂 + 变电所 + 输电线路 + 用户。

电力系统中发电机、变压器、电力线路和用电设备等的投入和撤除都是在一瞬间完成的，所以电力系统中电能的生产、输送、分配和消费是同时进行的。

2. 电力系统与电力网（见图 1-1-2）

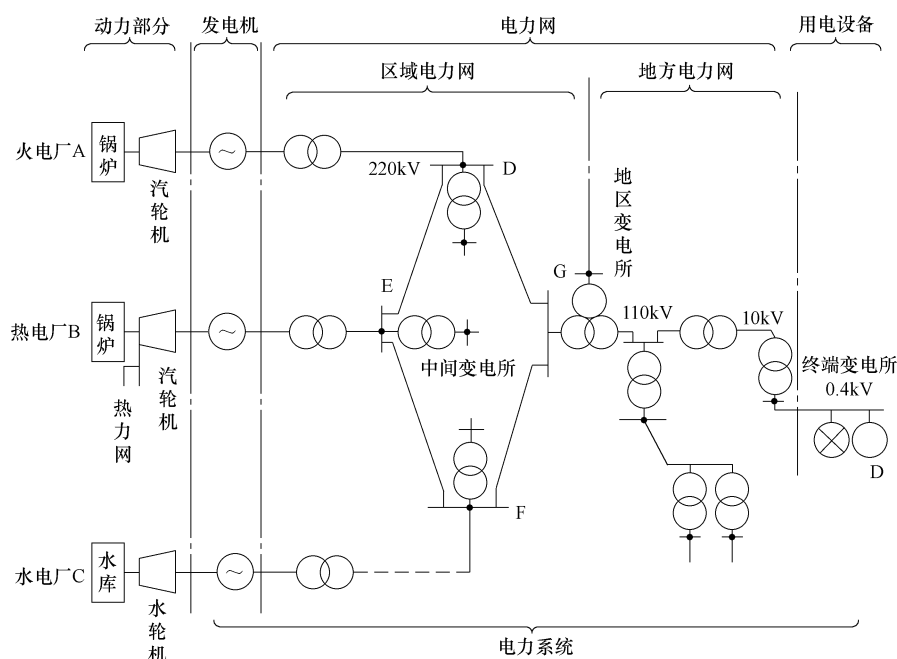


图 1-1-2 电力系统与电力网示意图

火电厂：利用锅炉中燃煤（或石油、天然气）燃烧而产生的蒸汽使汽轮机转动再由汽轮机带动汽轮发电机旋转发电。生产过程：化学能→热能→机械能→电能。

水电站：利用水的流量和落差使水轮机转动，再由水轮机带动水轮发电机旋转发电。生产过程：水能→机械能→电能。

核电站：利用核能在反应堆的核裂变使汽轮机转动再由汽轮机带动汽轮发电机旋转发电。生产过程：核能→机械能→电能。

风力发电站：利用风力带动风力机叶片旋转，再通过增速机将旋转的速度提升，来带动发电机发电。依据目前的风力机技术，大约是 3m/s 的微风速度，便可以开始发电。生产过程：风能→机械能→电能。

潮汐发电站：潮汐发电与水力发电的原理相似，它是利用潮水涨、落产生的水位差所具有势能来发电的，也就是把海水涨、落潮的能量变为机械能，再把机械能转变为电能发电的过程。具体地说，潮汐发电就是在海湾或有潮汐的河口建一拦水堤坝，将海湾或河口与海洋隔开构成水库，再在坝内或坝房安装水轮发电机组，然后利用潮汐涨落时水位的升降，使海水通过水轮机转动水轮发电机组发电。生产过程：潮汐能→机械能→电能。

变电所：可分为升压变电所、降压变电所、区域变电所、终端变电所等。

电力线路：电力线路分为输电线路和配电线路。由于发电厂一般都远离用电中心，所以必须用高压输电；为了确保用户安全用电，还必须降压配置为用户所需的各种电压。

（二）安全用电

1. 相关法律、法规

《中华人民共和国安全生产法》由中华人民共和国第九届全国人民代表大会常务委员会第二十八次会议于2002年6月29日通过，自2002年11月1日起实施，共七章九十七条，对生产经营单位的安全生产保障、从业人员的权利和义务、安全生产的监督管理、生产安全事故的应急救援与调查处理、法律责任等都有明确规定。其中：

第三条 安全生产管理，坚持安全第一，预防为主的方针。

第二十一条 生产经营单位应当对从业人员进行安全生产教育和培训，保证从业人员具备必要的安全生产知识，熟悉有关的安全生产规章制度和安全操作规程，掌握本岗位的安全操作技能。未经安全生产教育和培训合格的从业人员，不得上岗作业。

《北京市安全生产条例》规定，生产经营单位的安全生产责任制应当明确各岗位责任人员、责任内容和考核要求，形成包括全体人员和全部生产经营活动的责任体系。

2. 电工作业——特种作业

（1）特种作业定义

对操作者本人，并对他人和周围设施的安全有重大危害因素的作业。

（2）特种作业范围

《特种作业人员安全技术培训考核管理规定》（国家安全生产监督管理总局令第30号），2010年4月26日通过，2010年7月1日起实施。对特种作业明细化，包括11个大类51个工种。

（3）对于特种作业人员，必须进行专业的安全作业培训，经考试合格后，才能允许其上岗操作。

（4）电工作业人员条件

- 1) 经县级以上医疗机构鉴定，身体健康、无妨碍工作的病症；
- 2) 具备必要的电气知识，熟悉本规程及其有关规程、规定，并经考试合格；
- 3) 掌握紧急救护法；
- 4) 电气工作人员中断电气工作连续三个月以上者，必须重新学习有关规程，经考试合格后方能恢复工作；
- 5) 电气工作人员应熟悉所管辖的电气设备。

（5）电工职业道德规范

作为一名电工，其工作性质就是为生产、生活服务的。

- 1) 忠于职业责任；
- 2) 遵守职业纪律：警惕以电谋私；窃电或指导他人窃电；故意制造故障；以电击作为取笑手段或以电击作为某种防范措施；

3) 掌握交流电工专业技术和安全操作技术；

4) 团结协作。

（6）电工岗位安全职责

- 1) 严格遵守有关的规章制度，遵守劳动纪律；

- 2) 努力学习电工的专业技术和安全操作技术，提高预防事故和职业危害的能力；
- 3) 正确使用及保管好安全防护用具及劳动保护用品；
- 4) 善于采纳有利于安全作业的意见，对违章指挥作业及时予以指出，必要时应向有关领导部门报告；

5) 认真执行本单位、本部门为所在岗位制定的岗位职责。

(7) 关于实习人员参加电气工作的规定

1) 凡新参加电气工作的人员，在参加工作前，必须经过培训。培训内容：电气基本理论知识、电气工作安全知识、有关安全工作规程及相关的操作方法。

2) 凡新参加电气工作的人员，经过培训、考核合格后，在有经验的工作人员带领和指导下，进行工作实习。实习期间指导人员应固定。实习期至少三个月。

3) 实习人员在有电气工作经验人员的带领下，可以参加一些简单的技术工作和操作任务，但不能担任主要操作任务和监护人。实习人员进行的工作必须经过检查验收。

4) 在现场工作时，实习人员必须认真遵守安全工作规程，听从指导人员指挥，否则现场负责人有权停止其工作。

5) 实习人员在实习期满，应经过考试合格后，允许其正式参加电气工作，并可在停电范围内独立工作，但其工作质量应经专人检查。

3. 安全用电和用电安全

(1) 安全用电：就是要使一切电力设施处于良好的运行状态，避免电力系统发生事故。要求：

- 1) 按规程操作；
- 2) 定期巡检与维护；
- 3) 做好安全防护工作；
- 4) 消除事故隐患。

(2) 用电安全：采取一切必要的措施，避免发生人身触电事故。要求：

- 1) 按规程施工；
- 2) 正确使用电工工具；
- 3) 带电作业、停电作业按规程、规范要求，采取必要的技术措施和组织措施；
- 4) 普及用电常识。

4. 电气事故

(1) 定义

在电力系统中，由于电气原因而造成的人身伤亡和设备损坏的事故，叫电气事故。它包括人身事故和设备事故。

人身事故主要包括电流伤害、电磁伤害、静电伤害、雷电伤害、电气设备故障造成人身伤害等。

设备事故主要包括短路、漏电、操作事故等。

发生人身事故和设备事故，大多数是由于违反安全操作规程或安全技术规程造成的。

(2) 电气事故的原因

1) 违章操作。

违反“停电检修安全工作制度”，因误合闸造成维修人员触电。

违反“带电检修安全操作规程”，使操作人员触及电器的带电部分。

带电移动电气设备。

用水冲洗或用湿布擦拭电气设备。

违章救护他人触电，造成救护者一起触电。

对有高压电容的线路检修时未进行放电处理而导致触电。

2) 施工不规范。

误将电源保护接地与零线错误相接，且插座相线、零线位置接反使机壳带电。

插头接线不合理，造成电源线外露，导致触电。

照明电路的中性线接触不良或安装熔断器，造成中性线断开，导致家电损坏。

照明线路敷设不合规范造成搭接物带电。

随意加大熔体（包括熔丝或熔片）的规格，失去短路保护作用，导致电器损坏。

施工中未对电气设备进行接地保护处理。

3) 产品质量不合格。

电气设备缺少保护设施造成电气设备在正常情况下损坏和触电。

带电作业时，使用不合理的工具或绝缘设施造成维修人员触电。

产品使用劣质材料，使绝缘等级、抗老化能力很低，容易造成触电。

生产工艺粗制滥造。

电热器具使用塑料电源线。

4) 偶然条件。

电力线突然断裂使行人触电；狂风吹断树枝将电线砸断；雨水进入家用电器使机壳漏电等偶然事件均会造成触电事故。

5. 电流对人体的伤害

电流伤害事故俗称触电，即当人体触及带电体承受过高的电压而导致死亡或局部受伤的现象。触电依伤害程度不同，可分为电击和电伤两种。

电击：电流流过人体，直接对人体的器官和神经系统造成的伤害。它是最危险的触电事故。电击会使肌肉发生抽搐，如果不能立刻脱离电源，电流将伤害到神经中枢，引起呼吸困难，心脏麻痹，以致死亡。

电击多发生在对地电压为 220 V 的低压线路或带电设备上，因为这些带电体是人们日常工作和生活中易接触到的。调查表明，绝大部分的触电事故都是由电击造成的。

电伤：电伤是电能转化为其他形式的能对人体造成的伤害。由于电流的热效应、化学效应、机械效应以及在电流的作用下使熔化或蒸发的金属微粒等侵入人体皮肤，使皮肤局部发红、起泡、烧焦或组织破坏，严重时危及生命。电伤多发生在 1000V 及 1000V 以上的高压带电体上。如：电灼伤、电烙印、皮肤金属化，也可能一次触电后同时出现。

人体与高压带电体距离近到一定程度，使这个间隙空气电离，产生弧光放电对人体造成伤害，温度可达 3000℃，不仅直接作用于人体可造成皮肤灼伤甚至穿孔，而且在电弧的作用下，导体金属蒸发附着在皮肤上或渗透到皮肤内，造成皮肤金属化。

电灼伤是由电流的热效应引起的，主要是电弧灼伤，造成皮肤红肿、烧焦或皮下组织损伤；电烙印由电流热效应或力效应引起，是皮肤被电气发热部分烫伤或由于人体与带电体紧密接触而留下肿块、硬块，使皮肤变色等；皮肤金属化是由电流热效应和化学效应导致融化

的金属微粒渗入皮肤表层，使受伤部位皮肤带金属颜色且留下硬块。

电击与电伤的区别：

电击：低压触电时出现较多，是内伤，对人体器官、神经系统伤害。

电伤：高压触电时出现较多，是外伤，对人体皮肤上、皮肤内伤害。

触电事故伴随着高空坠落或摔跌等机械性创伤，这类创伤起因于触电，不属于电流对人体的直接伤害，称为触电的二次事故。

电击预防技术：

直接接触电击预防技术分为绝缘、屏护和间距 3 类。

绝缘是用绝缘物把带电体封闭起来。电气设备的绝缘应符合其相应的电压等级、环境条件和使用条件。电气设备的绝缘不得受潮，表面不得有粉尘、纤维或其他污物，不得有裂纹或放电痕迹，表面光泽不得减退，不得有脆裂、破损，弹性不得消失，运行时不得有异味。

绝缘的电气指标主要是绝缘电阻。绝缘电阻用绝缘电阻表测量。任何情况下，绝缘电阻不得低于每伏工作电压 1000Ω 。并应符合专业标准的规定。

屏护是采用遮栏、护罩、护盖、箱闸等将带电体同外界隔绝开来。屏护装置应有足够的尺寸。应与带电体保证足够的安全距离：遮栏与低压裸导体的距离不应小于 0.8m；网眼遮栏与裸导体之间的距离，低压设备不宜小于 0.15m，10kV 设备不宜小于 0.35m。屏护装置应安装牢固。由金属材料制成的屏护装置应可靠接地（或接零）。遮栏、栅栏应根据需要挂标示牌。遮栏出入口的门上应根据需要安装信号装置和联锁装置。

间距是将可能触及的带电体置于可能触及的范围之外。其安全作用与屏护的安全作用基本相同。带电体与地面之间、带电体与树木之间、带电体与其他设施和设备之间、带电体与带电体之间均应保持一定的安全距离。安全距离的大小决定于电压高低、设备类型、环境条件和安装方式等因素。架空线路的间距须考虑气温、风力、覆冰和环境条件的影响。

间接接触电击预防技术包括 IT 系统（保护接地）、TT 系统和 TN 系统（保护接零）。

6. 影响触电危险程度的因素

触电的危险程度与流过人体电流大小、电流种类、持续的时间、电流的频率、人体的状况（性别、健康、年龄）、电流通过人体的途径（胸部至左手的电流途径最危险）等因素有关。

（1）电流的大小

当人体触及直流电源时，感知电流平均约为 4mA，摆脱电流平均约为 60mA，引起心室颤动的电流，当持续时间为 30ms 时约为 1.3A，当持续时间为 3s 时约为 500mA。

工频 50 ~ 60Hz 时摆脱电流为最小，即危险性最大。摆脱电流为最小的频率范围是 20 ~ 200Hz，低于 20Hz 或高于 200Hz 时摆脱电流增大，在 2000Hz 以上时，触电死亡的危险性相对减小，但易造成皮肤的灼伤。

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

对于工频交流电，按照人体对所通过大小不同的电流所呈现的反应，通常可将电流划分为三级，见表 1-1-1。

表 1-1-1 工频交流电种类

| 名 称 | 定 义 | 电 流 | |
|------|------------------------|-------------------|-------|
| | | 男 子 | 女 子 |
| 感知电流 | 引起感觉的最小电流 | 1.1mA | 0.7mA |
| 摆脱电流 | 人触电后能自主摆脱电源的最大电流 | 9mA | 6mA |
| 致命电流 | 在较短时间内引起心室颤动、危及生命的最小电流 | 与通电时间有关, 平均为 50mA | |

(2) 电流的类型

工频交流电的危害性大于直流电, 因为交流电主要是麻痹破坏神经系统, 往往难以自主摆脱。一般认为 40 ~ 60Hz 的交流电对人最危险。随着频率的增加, 危险性将降低。当电源频率大于 2000Hz 时, 所产生的损害明显减小, 但高压高频电流对人体仍然是十分危险的。

电流的类型不同对人体的损伤也不同。直流电一般引起电伤, 而交流电则电伤与电击同时发生。

(3) 电流的作用时间

电流对人体的伤害与作用时间密切相关。可以用电流与时间乘积 (也称电击强度) 来表示电流对人体的危害。

人体触电, 当通过电流的时间越长, 越易造成心室颤动, 对生命的危险性就越大。另外, 由于人体电阻因出汗等原因会降低, 通电时间过长, 导致通过人体的电流增加, 电击的程度亦随之增加。

据统计, 触电 1 ~ 5min 内急救, 90% 有良好的效果, 10min 内 60% 救生率, 超过 15min 的救生希望甚微。

(4) 人体电阻

人体电阻是不确定的电阻, 皮肤干燥时一般为 100k Ω 左右, 而一旦潮湿可降到 1k Ω 。(冬季及皮肤干燥时, 人体电阻可达 1.5 ~ 7k Ω ; 皮肤裂开或破损时, 电阻可降至 300 ~ 500 Ω)。

人体不同, 对电流的敏感程度也不一样, 一般地说, 儿童较成年人敏感, 女性较男性敏感。患有心脏病者, 触电后的死亡可能性就更大。

身体越强健, 受电流伤害的程度越轻。因此, 触电时, 女性比男性受伤害更重; 儿童比成人更危险; 患病的人比健康的人遭受电击的危险性更大。

补充:

1) 人体并非纯电阻, 而是由电阻与电容组成的阻抗 (因人体为一有机体, 所以存在少量的电容分量)。人体电容只有数皮法至数微法, 工频条件下可以忽略不计, 将人体阻抗当做是纯电阻。

2) 人体电阻是皮肤电阻与体内电阻之和。皮肤由外层的表皮和表皮下面的真皮组成。表皮最外层的角质层是由鳞状死细胞紧密排列成的膜状物, 厚度一般不超过 0.05 ~ 0.2mm。在干燥和干净的状态下, 角质层的电阻率可达 $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6 \Omega \cdot m$, 表皮电阻高达数万欧。但表皮有很多微孔保持内外相通, 而且容易受到机械破坏和电击穿, 计算人体电阻时一般不予考虑。体内电阻约为数百欧。

3) 在通电瞬间, 人体各部分电容由于尚未充电而相当于短路状态。此时的人体电阻近似等于体内电阻。

人体阻抗主要由电流通过人体的路径、接触电压大小、电流持续时间、电源频率、皮肤潮湿程度、接触面积、施加的压力、温度等因素决定。

4) 接触电压在 50V 以下时, 人体总阻抗有很大的变化, 随着接触电压的增加, 人体总阻抗与皮肤阻抗的关系越来越小, 皮肤被击穿后, 人体总阻抗接近人体内阻抗。同样的条件下, 直流时人体所呈现的总阻抗高于交流时的总阻抗, 也就是说, 人体总阻抗会随着电流频率的上升而减小。

5) 在干燥条件下, 接触电压在 100 ~ 220V 的范围内, 人体电阻大约为 1000 ~ 3000Ω。人体体内电阻大约为数百欧姆。

(5) 电流通过人体的途径

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

电流由一手流入, 另一手或一足流出, 电流通过心脏, 即可立即引起心室颤动;

通过左手触电比通过右手触电严重, 因为这时心脏、肺部、脊髓等重要器官都处于电路内;

电流自一足流入经另一足流出, 不通过心脏, 仅造成局部烧伤, 对全身影响较轻;

电流通过中枢神经会引起中枢神经系统严重失调而导致死亡。

7. 安全电压

安全电压是指人体不戴任何防护设备时, 触及带电体不受电击或电伤的最低电压。这是用于小型电气设备或小容量电气线路的安全措施。根据欧姆定律, 电压越高, 电流也就越大。因此, 可以把可能加在人身上的电压限制在某一范围内, 使得在这种电压下, 通过人体的电流不会超过允许范围, 这一电压就叫做安全电压。安全电压的工频有效值不超过 50V, 直流不超过 120V。我国规定的安全电压工频有效值的等级为 42V、36V、24V、12V 和 6V。这些额定值指的是交流有效值。

补充:

有效值: 当一个交流电流和一个直流电流分别通过阻值相同的电阻, 经过相同的时间, 产生同样的热量。把这个直流电流值叫做这个交流电流的有效值。若无特殊说明, 交流电量的大小均指的是有效值, 如交流电压、交流电流。交流电压表和交流电流表的读数一般也是有效值, 交流电动机、变压器等设备的额定电压都是指有效值。

凡手提照明灯、高度不足 2.5m 的一般照明灯, 如果没有特殊安全结构或安全措施, 应采用 42V 或 36V 安全电压。42V 用于手持式电动工具。36V 和 24V 用于一般场所的安全灯或手提灯。

凡金属容器内、隧道内、矿井内等工作地点狭窄、行动不便, 以及周围有大面积接地导体的环境, 使用手提照明灯时应采用 12V 安全电压。12V 用于特别潮湿场所及在金属容器内使用的照明灯。6V 用于水下工作的照明灯。

8. 人体触电的方式

直接接触 (单线触电、两线触电) 和间接触电 (跨步电压触电、其他触电形式)。

直接接触指人体直接接触或过分靠近电气设备及线路的带电导体而发生的触电现象。

间接触电指人体触及了在正常运行时不带电, 而在意外情况下带电的金属部分。其他形式触电包括感应电压触电、剩余电荷触电、静电触电、雷电电击等。

(1) 接触正常带电体

1) 单线触电：是人体某一部分触及一相电源或接触到漏电的电气设备，电流通过人体流入大地造成触电。它分为电源中性点接地的单相触电和电源中性点不接地的单相触电。

在人体与大地之间互不绝缘情况下，人体的某一部分触及到三相电源线中的任意一根导线，电流从带电导线经过人体流入大地而造成的触电伤害。

①电源中性点接地的单相触电。这时人体处于相电压下，危险较大，如图 1-1-3 所示。通过人体的电流为

$$I_b = \frac{U_p}{R_0 + R_b} = 219\text{mA} \gg 50\text{mA}$$

式中 U_p ——电源相电压 (220V)；

R_0 ——接地电阻 $\leq 4\Omega$ ；

R_b ——人体电阻 1000Ω 。

②电源中性点不接地系统的单相触电如图 1-1-4 所示。

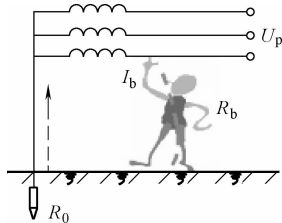


图 1-1-3 电源中性点接地的单相触电

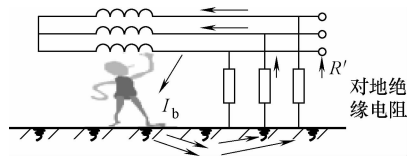


图 1-1-4 电源中性点不接地的单相触电

人体接触某一相时，通过人体的电流取决于人体电阻 R_b 与输电线对地绝缘电阻 R' 的大小。若输电线绝缘良好，绝缘电阻 R' 较大，对人体的危害性就减小。但导线与地面间的绝缘可能不良 (R' 较小)，甚至有一相接地，这时人体中就有电流通过。

从安全防护的角度而言，设法提高人与大地之间的电阻，以限制流过人体的电流是有效的。例如：站在绝缘台、绝缘垫上工作。但是最可靠的办法是不使人触及带电体，例如使用基本安全用具进行操作（低压时使用有绝缘手柄的工具、带绝缘手套等）。

2) 两线触电：两线触电，也叫相间触电，这是指在人体与大地绝缘的情况下，同时接触到两根不同的相线，或者人体同时触及到电气设备的两个不同相的带电部位时，电流由一根相线经过人体到另一根相线，形成闭合回路，如图 1-1-5 所示。

人体承受的线电压将比单相触电时高，危险性更大。因为此时加在人体心脏上的电压是线电压！

这时人体处于线电压下，通过人体的电流为

$$I_b = \frac{U_l}{R_b} = \frac{380\text{V}}{1000\Omega} = 0.38\text{A} = 380\text{mA} \gg 50\text{mA}$$

触电后果更为严重。

从安全防护的角度而言，为防止两线触电，在带电作业中，应穿绝缘靴、绝缘鞋并站在绝缘台、绝缘垫上工作（提高人体与大地间的电阻）；使用带绝缘柄的工具操作，还应戴手

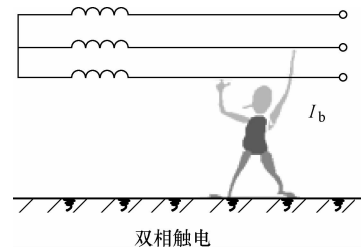


图 1-1-5 两线触电

套、穿长袖工作服，以不使人体有裸露的部位直接接触及带电体。

(2) 接触正常不带电的金属体

当电气设备内部绝缘损坏而与外壳接触，将使外壳带电。当人触及带电设备的外壳时，相当于单线触电。大多数触电事故都属于这一种。

(3) 跨步电压触电

是指高压电网接地点或防雷接地点及高压相线断落或绝缘损坏处，有电流流入地下时，强大的电流在接地点周围的土壤中产生电压降，如图 1-1-6 所示。

输电线路相线断线落地时，落地点的电位即导线电位，电流将从落地点流入地中。离落地点越远，电位越低。根据实际测量，在离导线落地点 20m 以外的地方，由于入地电流非常小，地面的电位近似等于零。如果有人走近导线落地点附近，由于人的两脚电位不同，则在两脚之间出现电位差，这个电位差叫做跨步电压。距离电流入地点越近，人体承受的跨步电压越高；反之，跨步电压越低；在 20m 以外，跨步电压很低，可以忽略它的作用。

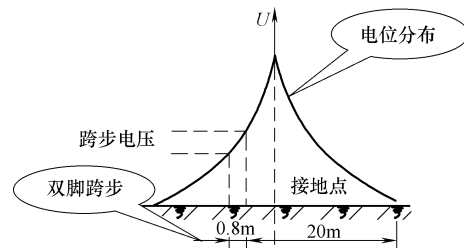


图 1-1-6 跨步电压

当人体接近接地点时，两脚之间承受跨步电压而触电。跨步电压的大小与人和接地点距离、两脚之间的跨距、接地电流大小等因素有关。如果误入接地点附近，应双脚并拢或单脚跳出危险区。

从安全防护的角度而言，在查找接地故障点时，应穿绝缘靴，以防跨步电压电击。

接触电压：人站在发生接地故障的电气设备附近 0.8m 处，用手触及电气设备外壳，这时手与脚之间所出现的电位差，称为接触电压。

人离接地体越近，跨步电压越高，但接触电压越低。

(4) 剩余电荷触电

剩余电荷触电是指当人触及带有剩余电荷的设备时，带有电荷的设备对人体放电造成的触电事故。设备带有剩余电荷，通常是由于检修人员在检修中摇表测量停电后的并联电容器、电力电缆、电力变压器及大功率电动机等设备时，检修前、后没有对其充分放电所造成的。

9. 停电检修作业时保证安全的技术措施

在检修工作中，工作人员应明确工作任务、工作范围、安全措施、带电部位等安全注意事项。工作负责人必须始终留在工作现场，对工作人员的安全认真监护，随时提醒工作人员注意安全。对需要进行监护的工作，如不停电检修工作和部分停电检修工作等，并指定专人监护。监护人应认真负责、精力集中，随时提醒工作人员应注意的事项，以防止可能发生的意外事故。全部停电和部分停电的检修工作应采取下列步骤，以保证安全。

(1) 停电

检修工作中，如人体与其他带电设备的间距较小，10kV 及以下者的距离小于 0.35m，20~35kV 者小于 0.6m 时，该设备应当停电，如距离大于上列数值，但分别小于 0.7m 和 1m 时，应设置遮拦，否则也应停电。停电时，应注意对所有能够给检修部分送电的线路，要全部切断，并采取防止误合闸的措施，而且每处至少要有个明显的断开点。对于多回路的线路，要注意防止其他方面突然来电，特别要注意防止低压方面的反送电。