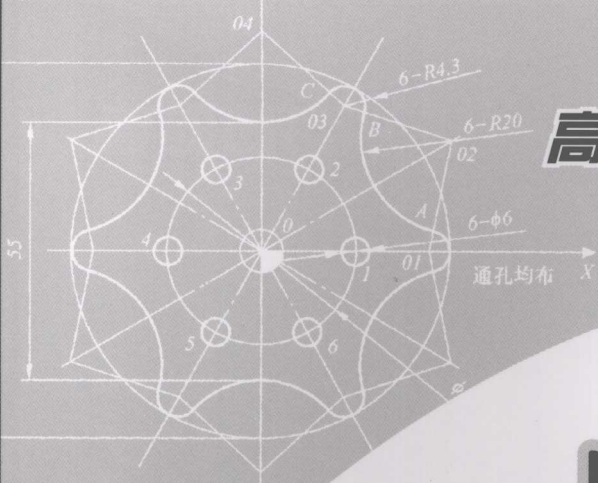
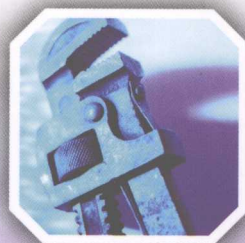
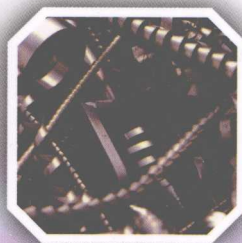


高职高专机电类规划教材



电工电子 基本操作技能实训

■ 叶水春 主编 ■ 蔡滨 戴花林 副主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高职高专机电类规划教材

电工电子基本操作技能实训

叶水春 主 编

蔡 滨 戴花林 副主编

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子基本操作技能实训 / 叶水春主编. —北京: 人民邮电出版社, 2008.10
高职高专机电类规划教材
ISBN 978-7-115-18621-8

I. 电… II. 叶… III. ①电工技术—高等学校: 技术学校—教材②电子技术—高等学校: 技术学校—教材
IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 119960 号

内 容 提 要

本书以电工电子技术的基本技能为主要内容, 力图通过教师的讲解、示范以及学生的练习、考核等环节, 来提高学生的操作技能并使其获得解决实际问题的能力。

本书共分 11 章, 其中第 1 章为安全用电基本知识; 第 2~7 章为电工基本技能, 包括常用电工工具与仪表的正确使用、电工基本技能训练、室内照明电路的安装、电动机与变压器的拆装与检修、常用低压电器与电动机基本控制线路的安装、PLC 编程与调试; 第 8~11 章为电子基本技能, 包括常用电子元器件的识别与简易测试、常用电子仪器仪表的使用、电子技术基本操作技能训练以及常用电子线路的安装。

本书可作为各级各类职业院校电气、电子、机电、自动化等专业进行实践性教学的指导用书, 也可作为其他培训机构用书和有关工程技术人员的参考用书。

高职高专机电类规划教材

电工电子基本操作技能实训

-
- ◆ 主 编 叶水春
 - 副 主 编 蔡 滨 戴花林
 - 责任编辑 潘春燕
 - 执行编辑 潘新文

 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷

 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 17
字数: 410 千字 2008 年 10 月第 1 版
印数: 1~3 000 册 2008 年 10 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18621-8/TN

定价: 28.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

丛书前言

目前, 高职高专教育已成为我国普通高等教育的重要组成部分。“十一五”期间, 国家将安排 20 亿元专项资金用来支持 100 所高水平示范院校的建设, 如此大规模的建设计划在我国职业教育发展历史上还是第一次, 这充分表明国家正在深化高职高专教育的深层次的重大改革, 加大力度推动生产、服务第一线真正需要的应用型人才的培养。

为适应当前我国高职高专教育如火如荼的发展形势, 配合高职高专院校的教学和教材改革, 进一步提高我国高职高专教育质量, 人民邮电出版社在相关教育、行政主管部门的大力支持下, 组织专家、高职高专院校的骨干教师及相关行业的工程师, 共同策划编写了一套符合当前职业教育改革精神的高质量实用型教材——“高职高专机电类规划教材”。

本系列教材充分体现了高职高专教育的特点, 突出了理论和实践的紧密结合, 本着“易学, 易用”的编写原则, 强调学生创造能力、创新精神和解决实际问题能力的培养, 使学生在 2~3 年的时间内充分掌握基本技术技能和必要的基本知识。

本系列教材按照如下的原则组织、策划和编写, 以尽可能地适应当今高职高专教育领域教学改革和教材建设的新需求和新特点。

1. 着重突出“实用”特色。概念理论取舍得当, 够用为度, 降低难度, 对概念和基本理论尽量用具体事物或案例自然引出。

2. 基本操作环节讲述具体详细, 可操作性强, 使学生很容易掌握基本技能。

3. 内容紧随新技术发展, 将新技术、新工艺、新设备、新材料引入教材。

4. 尽可能将实物图和原理图相结合, 便于学生将书本知识与生产实践紧密联系起来。

5. 每本书配备全面的教学服务内容, 包括电子教案、习题答案等。

本系列教材第一批共有 28 本, 涵盖了高职高专机电类各专业的专业基础课和数控、模具、CAD/CAM 专业的大部分专业课, 将在 2008 年年底出版。

为方便高职高专老师授课和学生学习, 本系列教材将提供完善的教学服务体系, 包括多媒体教学课件或电子教案、习题答案等教学辅助资料, 欢迎访问人民邮电出版社网站: <http://www.ptpress.com.cn/download/>, 进行资料下载。

我们期望, 通过本系列教材的编写和推广应用, 能够进一步推动我国机电类职业技术教育的教学模式、课程体系和教学方法的改革, 使我国机电类职业技术教育日臻成熟和完善。同时欢迎更多的老师参与到本系列教材的建设中来。如对本系列教材有任何意见和建议, 或有意向参与本系列教材后续的编审工作, 请与人民邮电出版社教材出版分社联系, 联系方式: 010-67145004, panxinwen@ptpress.com.cn。

“高职高专机电类规划教材”丛书编委会

2007 年 12 月

前 言

高等职业教育是以培养高级技术应用型人才为核心的教育。为适应高职高专教学要求,突出高职高专教育特色,有效提高高职高专学生的实践动手能力,满足高职高专学生就业的需求,本书作者根据多年来在生产和教学一线长期从事电工电子教学与实训的经验体会,在充分调研论证的基础上,遵循“学为所用,用即所学”的编写理念,尽心组织编写了本书。书中精选了大量的典型实例,这些典型实例都是作者多年来在职业教育领域教学经验的结晶,并辅以必要的理论补充讲解,使学生的动手操作能力通过实践性教学得到实质性的提高。技术在发展,设备在更新,本书除了讲解电工电子基本操作技能外,还结合现代工控领域的新技术,介绍了部分新的职业操作技能。

从专业角度考虑,高职高专学生必须具备的能力包括专业基本技能、专业核心技能和综合技能。本书所述电工电子技术操作技能,既有基本技能部分,也包括专业技能部分。在全书的编写顺序及内容安排上,力求方便学生的学与练,同时兼顾教师的评和考。在编写体例方面,力求简明扼要,在以简洁的语言介绍必需的理论知识的同时,尽量通过图例说明操作练习的内容,并指出实训和实际应用中必须注意的事项,其后配有适当的思考题及实训考核课题。

全书共分为两大部分,第一部分为电工基本技能操作实训,包括常用电工工具与仪表的正确使用、电工基本技能训练、室内照明电路的安装与常用配线方式、电动机与变压器的拆装与检修、低压电器与电动机控制线路的安装、可编程控制器以及安全用电的基本知识等。第二部分为电子基本技能操作实训,包括常用电子元器件的识别与测试、常用电子仪器仪表的使用、电子技术基本技能以及常见电子线路的安装等。

本书的参考学时范围为40~60学时,各个学校可以依具体的教学计划进行相应调整,在内容的安排取舍上,可结合本校的具体硬件环境和软件环境灵活掌握。与理论知识关联不大的内容,教学时间上可提前安排;与理论知识关联较密切的内容,可在相关课程讲述后再行安排;也可采用“学中做”——边学边做的模式,采用理论与实训相结合的模式是比较理想的模式。

本书可作为各级各类中、高等职业技术学院的电气、电子、机电、自动化、数控等专业进行实践性教学的指导用书,也可作为相关培训机构职业培训用书,并可供有关工程技术人员参考使用。

本书由江西机电职业技术学院叶水春主编,蔡滨、戴花林任副主编。其中叶水春编写第1、2、3、4、5、6章,蔡滨编写第8、9、10、11章,戴花林编写第7章。全书由叶水春进行统稿和审定。在本书的编写过程中,得到了江西机电职业技术学院机电教研室全体教师的鼎力支持,他们提出了许多宝贵意见与建议,在此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促,加之作者水平有限,书中定有不妥和错误之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

2008年6月

目 录

第 1 章 安全用电的基本知识1	2.2 电压表、电流表及万用表..... 24
1.1 电流对人体的危害.....1	2.2.1 电压表..... 24
1.1.1 电流对人体的危害形式.....1	2.2.2 电流表..... 24
1.1.2 电流对人体的危害程度.....1	2.2.3 万用表..... 24
1.1.3 触电原因.....3	思考题..... 27
1.1.4 人体触电方式.....3	2.3 钳形表与兆欧表..... 28
1.2 防止触电的安全措施.....4	2.3.1 钳形表..... 28
1.2.1 安全电压、安全距离、屏 护及安全标志.....5	2.3.2 兆欧表..... 29
1.2.2 保护接地和保护接零.....6	思考题..... 31
1.2.3 漏电保护.....8	实训考核课题 钳形表、兆欧表的 使用..... 31
1.2.4 其他防护措施.....9	2.4 功率表与电度表..... 32
1.3 触电急救.....10	2.4.1 功率表..... 32
1.3.1 触电解救.....10	2.4.2 电度表..... 35
1.3.2 紧急救护.....11	思考题..... 37
1.3.3 电火灾的紧急处理.....13	实训考核课题 电功率的测量..... 37
思考题.....13	实训考核课题 电度表的正确接线... 38
实训考核课题 安全用电知识.....13	第 3 章 电工基本技能的训练 39
第 2 章 常用电工工具及仪表的 使用14	3.1 导线的选型与连接..... 39
2.1 常用电工工具.....14	3.1.1 导线的选择与线径的 测量..... 39
2.1.1 验电器.....14	3.1.2 导线的连接..... 41
2.1.2 电工刀.....16	思考题..... 47
2.1.3 螺丝刀与扳手.....16	实训考核课题 导线的连接..... 48
2.1.4 钢丝钳、尖嘴钳、斜口钳 及剥线钳.....18	3.2 墙孔的凿打及木榫的削制与 安装..... 48
2.1.5 电烙铁.....19	3.2.1 墙孔的凿打..... 48
2.1.6 手电钻与冲击钻.....20	3.2.2 木榫的削制与安装..... 50
思考题.....21	思考题..... 50
实训考核课题 验电与剥线.....22	实训考核课题 木榫孔的凿打及木榫 的削制与安装..... 50
实训考核课题 钻孔与固定.....22	3.3 电工材料的识别与性能测试..... 51
实训考核课题 导线与元器件的焊接...23	3.3.1 导电材料..... 51

3.3.2 绝缘材料·····	55	安装·····	89
3.3.3 磁性材料·····	57	4.4 接地装置的安装与检修·····	90
思考题·····	60	4.4.1 接地装置的分类和技术	
3.4 电缆的连接与敷设·····	60	要求·····	90
3.4.1 电缆的种类、型号与		4.4.2 接地装置的安装·····	91
选用·····	60	4.4.3 接地电阻的测量·····	94
3.4.2 电缆的敷设方式·····	61	4.4.4 接地装置的检查与维护·····	96
3.4.3 电缆的敷设方法·····	62	思考题·····	96
3.4.4 电缆的连接·····	63	实训考核课题 接地电阻的测量·····	97
思考题·····	66	第5章 电动机、变压器的拆装与	
实训考核课题 制作户内电缆终		检修 ·····	98
端头·····	66	5.1 电动机的拆装·····	98
3.5 登高作业·····	66	5.1.1 电动机的拆卸·····	98
3.5.1 登高工具·····	67	5.1.2 电动机的安装·····	99
3.5.2 登高的基本操作·····	69	思考题·····	102
思考题·····	71	实训考核课题 三相鼠笼式异步	
第4章 室内照明电路的安装与		电动机的检修·····	102
检修 ·····	72	5.2 电动机绕组的绕制与嵌线·····	103
4.1 照明电路常用电器·····	72	思考题·····	108
4.1.1 开关·····	72	实训考核课题 绕组的绕制与	
4.1.2 灯座·····	73	嵌线·····	108
4.1.3 灯具·····	74	5.3 三相异步电动机的检测与	
思考题·····	78	试验·····	109
4.2 常用照明电路的安装·····	78	5.3.1 定子绕组首末端的	
4.2.1 白炽灯电路的安装·····	78	判别·····	109
4.2.2 日光灯电路的安装·····	79	5.3.2 绝缘电阻的测定·····	111
4.2.3 碘钨灯电路的安装·····	80	5.3.3 空载试验·····	111
4.2.4 高压水银荧光灯电路的		思考题·····	112
安装·····	80	实训考核课题 三相异步电动机的基	
4.2.5 高压钠灯电路的安装·····	81	本检测·····	112
思考题·····	81	5.4 小型变压器的拆卸与绕制·····	112
实训考核课题 照明电路的安装·····	81	5.4.1 小型变压器的拆卸·····	112
4.3 室内配线的基本操作·····	81	5.4.2 小型变压器绕组的	
4.3.1 室内配线的要求与主要		绕制·····	114
工序·····	82	5.4.3 变压器绕组的极性	
4.3.2 常见配线方式·····	82	判别·····	117
思考题·····	88	思考题·····	117
实训考核课题 小容量配电板的		实训考核课题 小型变压器的绕制·····	118

第6章 常用低压电器的拆装与电动机基本控制线路的安装119	WIN V4.0 的使用..... 143
6.1 常用低压电器.....119	7.2.1 STEP 7-Micro/WIN V4.0 编程软件的主界面..... 143
6.1.1 常用低压电器的识别.....119	7.2.2 项目..... 144
6.1.2 常用低压电器的选用.....120	7.2.3 使用 PC/PPI 电缆建立通 信连接及设置通信参数... 144
6.1.3 常用低压电器的拆装.....121	7.2.4 程序的编写与下载操作... 145
思考题.....127	实训考核课题 STEP 7-Micro/WIN V4.0 编程软件的使用..... 146
实训考核课题 检修交流接触器.....127	7.3 PLC 的指令..... 146
6.2 电动机基本控制线路的安装.....128	7.3.1 PLC 的基本指令..... 146
6.2.1 点动控制.....128	7.3.2 PLC 的功能指令..... 151
6.2.2 连动控制.....130	实训考核课题..... 156
6.2.3 正反转控制.....131	评分表..... 156
6.2.4 星形-三角形启动控制.....132	7.4 编程方法及举例..... 157
6.2.5 顺序启停控制.....133	7.4.1 编程方法..... 157
6.2.6 双速电动机的控制.....133	7.4.2 编程举例..... 158
思考题.....136	实训考核课题..... 163
实训考核课题 电动机基本控制线路 的安装.....136	第8章 常用电子元器件的识别与 简易测试 164
6.3 电气控制线路的故障检查.....137	8.1 线性元件..... 164
6.3.1 直观检查法.....137	8.1.1 电阻器..... 164
6.3.2 电阻检查法.....137	8.1.2 电位器..... 171
6.3.3 电压检查法.....138	8.1.3 电容器..... 175
6.3.4 其他检查法.....138	8.1.4 电感器..... 179
思考题.....140	思考题..... 185
实训考核课题.....140	实训考核课题 线性元件的测试..... 185
第7章 可编程序控制器的编程 与调试141	8.2 半导体分立器件及其检测 方法..... 186
7.1 S7-200 系列 PLC 的结构、接线 及安装.....141	8.2.1 二极管..... 186
7.1.1 S7-200 系列 PLC 的结构 组成.....141	8.2.2 三极管..... 190
7.1.2 S7-200 CPU224 系列 PLC 的端子连接图.....142	8.2.3 单结管..... 194
7.1.3 PLC 的安装.....142	8.2.4 晶闸管..... 196
实训考核课题 PLC 的安装和外部 端子的接线.....143	思考题..... 200
7.2 S7-200 编程软件 STEP 7-Micro/	实训考核课题 半导体分立器件的 测试..... 200
	8.3 集成电路..... 201
	8.3.1 集成电路的分类..... 201

8.3.2 集成电路的型号命名·····202	10.2 焊接····· 234
8.3.3 集成电路的封装与引脚 识别·····203	10.2.1 焊接材料····· 234
8.3.4 集成电路的使用常识·····204	10.2.2 焊接工具····· 237
思考题·····205	10.2.3 手工焊接技术····· 241
实训考核课题 集成电路的识别与简 易测试·····206	思考题····· 248
第 9 章 常用电子仪器仪表的 使用·····207	实训考核课题 手工焊接技术····· 249
9.1 常用电子仪器仪表的使用注意 事项·····207	第 11 章 常用电子线路的安装····· 250
9.2 低频信号发生器的使用·····209	11.1 晶体管放大电路的安装····· 250
9.3 交流毫伏表的使用·····212	实训考核课题 晶体管放大电路的 制作····· 251
9.4 示波器的使用·····213	11.2 直流稳压电源的安装····· 251
9.5 晶体管特性图示仪的使用·····217	实训考核课题 串联型稳压电源的 制作····· 253
思考题·····221	11.3 家用恒温控制器电路的安装·· 254
实训考核课题 常用电子仪器仪表的 使用·····221	实训考核课题 家用恒温控制器电路 的制作····· 256
第 10 章 电子技术基本操作技能 的训练·····222	11.4 用 NE555 制作的恒温控制器 电路的安装····· 256
10.1 印刷电路板的设计与制作·····222	实训考核课题 电子抢答器的 制作····· 258
10.1.1 印刷电路板的基本 知识·····222	11.5 红外线探测报警器电路的 安装····· 258
10.1.2 印刷电路板的设计·····225	实训考核课题 红外线探测报警器的 制作····· 260
10.1.3 印刷电路板的制作·····232	参考文献····· 262
思考题·····234	

第 1 章 安全用电的基本知识

电作为一种能量形式，被广泛地应用于人们的生产、生活、科研、交通运输、国防等各种场合，给人类带来便利。现代社会假若没了电，那将是无法想象的，其造成的损失是无法估计的。

但是，人们在用电的过程中，如若使用不当、违规操作或是缺乏安全用电的基本知识，其所造成的财产损失及生命危害，也将是巨大的。因而，了解安全用电的基本知识、遵守安全操作规程、采取安全用电技术措施，对每一个用电者来说都是必要的。

总之，思想上必须重视安全用电，技术上必须采取安全措施，制度上必须规范安全操作。

1.1 电流对人体的危害

1.1.1 电流对人体的危害形式

所谓触电，是指当人体接触或接近带电体，并有电流流过人体时，引起人体的局部受伤或死亡现象。电流对人体的伤害是多方面的，有生理的，也有病理的，可分为电击与电伤 2 种形式。

1. 电击

所谓电击，是指由于电流通过人体而造成人体内部组织的反应和病变破坏，使人出现刺疼、灼热、痉挛、麻痹、昏迷、心室颤动或停跳、呼吸困难或停止等现象。

2. 电伤

所谓电伤，是指电流对人体外部造成的局部伤害，包括电灼伤、电烙印、皮肤金属化等。

电灼伤：有接触灼伤和电弧灼伤 2 种情况。接触灼伤发生在高压触电时电流通过人体皮肤的进、出口处，伤及人体组织深层，伤口难以愈合。电弧灼伤发生在短路或高压电弧放电时，会像火焰一样把皮肤烧伤、烧坏，同时还会对眼睛造成严重损害。

电烙印：发生在人体与带电体有良好接触的情况下，在皮肤表面将留下和被接触带电体形状相似的肿块痕迹，往往会造成触电者局部麻木和失去知觉。

皮肤金属化：由于电弧的温度极高（中心温度可达 6 000℃ 以上），使得其周围的金属熔化、蒸发并飞溅到皮肤表层而使皮肤金属化。

在高压触电事故中，电击和电伤往往同时发生；日常生产、生活中的触电事故，绝大部分都是由电击造成的。同时，人体触电事故还往往会引起二次事故（如高空跌落、机械伤人等）。

1.1.2 电流对人体的危害程度

电流对人体的伤害程度与通过人体电流的大小、持续的时间、电流的频率、通过人体的

部位及触电者的身体状况等因素有关。

(1) 电流的大小

显然，触电电流越大，对人体的伤害也越大。

按照人体对电流的生理反应强弱和电流对人体的伤害程度的不同，可将电流大致分为感知电流、摆脱电流、致命电流。实验表明，成年男性的平均感知电流为 1mA（工频），摆脱电流为 10mA，致命电流为 50mA（持续时间 1s 以上）。一般场合下，人们取 30mA 为安全电流，即人体所能承受而又无致命危险的最大电流，但在高危场所应取 10mA 为安全电流，空中或水中的安全电流应取 5mA（因空中或水中人受电击后可能因痉挛而摔死或淹死）。

通过人体的电流大小与作用于人体的电压和人体电阻有关。人体电阻包括体内电阻和皮肤电阻。体内电阻较小（约 500Ω）且基本不变。皮肤电阻与接触电压，接触面积，接触压力，皮肤表面状况（干湿程度、有无损伤、是否出汗、有无导电粉尘、皮肤表层角质的厚薄）等有关，且为非线性，可在几十欧至几万欧之间。

实验表明，当接触电压为 220V 时，人体电阻的平均值约为 1900Ω；当接触电压为 380V 时，则降为 1200Ω。

当触电者因神经收缩而紧握带电体时，接触面积和接触压力都将增大，其触电危险也将增大。

(2) 电流通过人体的持续时间

显然，触电时间越长，触电危害也就越大。

一方面，触电时间越长，电流所积累的能量越多，引起心室颤动的可能性也就越大；另一方面，持续时间越长，电流的热效应和化学效应会使得人体出汗、组织电解，从而使得人体电阻逐渐减小，流过人体的电流逐渐增大，其危害也更加严重。

(3) 电流的频率

人体对不同频率的电流的生理敏感性是不同的，因而不同频率的电流对人体的伤害程度也是有区别的。直流电流对人体的伤害程度较轻（男性平均摆脱直流电流的大小为 76mA），高频电流还可用于临床医疗（但若电压过高、电流过大仍可致人死亡），工频电流对人体的伤害程度最为严重。冲击电流（如雷电、静电）对人体的伤害程度与其放电能量有关，因作用时间极短暂，一般数十毫安才能被人体感知。

(4) 电流通过人体的部位

电流通过人体的任何部位都可致人死亡，但以通过心脏、中枢神经（脑和脊髓）、呼吸系统最为危险。因此，电流流经左手至前胸最危险，因为这时心脏、肺部、脊髓等重要器官都处于电路内，极易引起触电者心室颤动、中枢神经失调而死亡。危害程度依次减小的其他电路径是：右手至脚、右手至左手、左脚至右脚。当触电电流流经脚部时，触电者可能因痉挛而摔倒，导致电流通过全身或发生二次事故。

(5) 人体的状况

实验表明，触电者的伤害程度还与其性别、年龄、健康状况、精神状态等有关。若触电者本人的精神状态不良、心情忧郁、人弱体衰、自身的抵抗力低下，则触电的伤害程度较之健康者一定更严重。另外，相对于男性青壮年来说，妇女、儿童、老人及体重较轻者耐受电流刺激的能力相对要弱一些。

1.1.3 触电原因

分析所发生的触电事故，归纳出引起触电的原因大致有以下3种。

(1) 缺乏安全用电知识

如把普通220V台灯移到浴室照明，并用湿手去开、关电灯；又如发现有人触电时，不是及时切断电源或用绝缘物使触电者脱离电源，而是用手去拉触电者。

(2) 思想麻痹、违章冒险

如明知在某些情况下不准带电操作，而冒险在无必要保护措施下带电操作，结果触电受伤或死亡。

(3) 意外触电

如输电线或用电设备的绝缘损坏，当人体无意触摸因绝缘损坏的通电导线或带电金属体时而发生触电事故。

实践表明，低压触电事故多于高压触电事故。这是因为对高压（一般指1kV以上电压，但从安全角度考虑，这里将对地电压在250V以上的电压称为高压，250V以下的电压称为低压）设备人们思想上较为重视，高压设备也有着较为完善的安全防范措施，同时人们与高压设备接触的机会也较少。

实践还表明，夏、秋季为触电事故的高发季节。这是因为夏季所使用的电器设备多，同时夏、秋季湿度大、气温高，人们穿着较少、体汗较多、人体电阻较小，所造成的触电机会较多、触电危害较大。

1.1.4 人体触电方式

1. 直接接触触电

直接接触触电是指人体触及或过分靠近带电体而发生的触电现象，包括单相触电、两相触电、电弧伤害等。

(1) 单相触电

所谓单相触电，是指人体站在地面或其他接地体上，人体的某一部位触及电气装置的任一相所引起的触电。图1-1所示为接地系统单相触电时电流的流向。单相触电的危险程度与电压的高低、绝缘的好坏、电网的中性点是否接地和每相对地电容的大小有关。

(2) 两相触电

所谓两相触电，是指人体同时触及任意两相带电体的触电方式，如图1-2所示。这时，人体上的电压为电源的线电压，电流从一相到另一相流经人体而形成回路。显然，同一系统中，两相触电的危害较之单相触电更大。

(3) 电弧伤害

电弧是气体间隙被强电场击穿时电流通过气体的一种现象。人体过分接近高压带电体而引起的电弧放电或带负荷操作开关时造成的弧光短路，都将对人体造成电击和电伤。被电弧熔化了了的金属微粒侵蚀皮肤（多见于手部、脸部，特别是眼睛）还会使皮肤组织金属化，且这种伤疤往往经久不愈。

2. 间接接触触电

(1) 接触电压触电

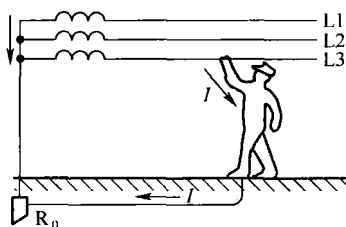


图 1-1 接地系统中的单相触电

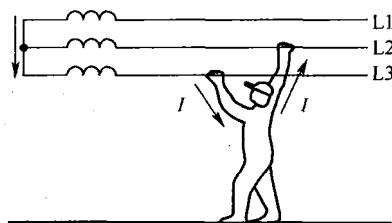


图 1-2 两相触电

当电气设备因绝缘损坏而发生接地故障时，如人体的 2 个部位（通常是手和脚）同时触及漏电设备的外壳和地面，人体该 2 部位便处于不同的电位，其间的电位差称为接触电压。因受接触电压作用而导致的触电现象称为接触电压触电。

(2) 跨步电压触电

当电源相线跌落地面或接地装置（如工作接地、防雷接地等）中有电流流过时，在其周围便会以触地点为中心形成强电场。离中心点越近，电位越高，如图 1-3 所示。当人体两脚跨入触地点附近时，在前、后两脚之间便存在电位差，此即跨步电压，由此造成的触电称为跨步电压触电。图 1-3 中，触地点的电位最高，离触地点约 20m 处电位衰减为零。显然，离触地点越近或跨步越大，跨步电压也越高，图中 $U_1 > U_2$ 。在跨步电压作用下，电流流经人体的下半身而形成回路。若跨步电压较高，或触电者跌倒在地，将会有触电死亡的危险。

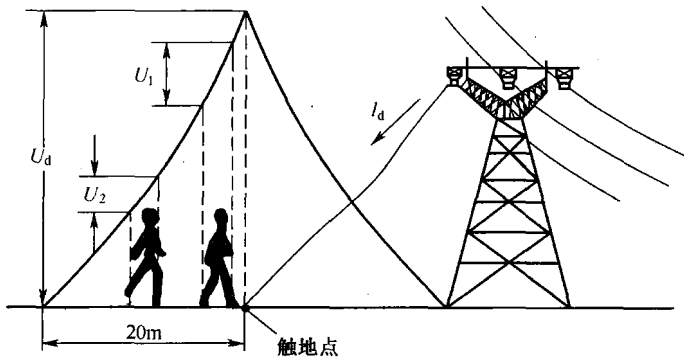


图 1-3 跨步电压触电

发生跨步电压触电时（如感觉腿发麻、抽筋等），应单腿或并步蹦离触地点，千万注意不可跌倒。

除上述触电方式外，高压电场、电磁感应电压、高频电磁场、静电、雷电等对人体也有着伤害，并可能造成触电危险。

1.2 防止触电的安全措施

安全用电的原则是：不接触低压带电体，不接近高压带电体。同时，还应采取必要的安全措施，以防触电事故的发生。

1.2.1 安全电压、安全距离、屏护及安全标志

1. 安全电压

人体持续接触而不会使人致死或致残的电压，称为安全电压。从保护人身安全出发，电气安全技术不但规定了安全电压的数值，同时还就安全电压的供电方式、不同环境选取的数值提出了具体要求。

我国及 IEC（国际电工委员会）都对安全电压的上限值进行了规定，即工频下安全电压的上限值为 50V，其电压等级有 42V、36V、24V、12V、6V。同时规定：高度不足 2.5m 的照明装置、机床局部照明灯具、移动行灯等，其安全电压可采用 36V；工作地点狭窄、工作人员活动困难、金属构架或容器内以及特别潮湿的场所，则应采用 12V 为安全电压。

安全电压必须由双绕组变压器获得，而不能取自自耦变压器；工作在安全电压下的电路，必须与其他系统隔离，不得同管敷设；安全变压器的铁芯、外壳均应接地。

2. 安全间距

为防止带电体之间、带电体与地面之间、带电体与其他设施之间、带电体与工作人员之间因距离不足而在其间发生电弧放电现象引起电击或电伤事故，应规定其间必须保持的最小间隙，此即安全距离或安全间距。

安全距离的项目甚多，其大小取决于电压高低、设备状况和安装方式等。当电压不超过 3kV 时，带电体与接地部分、不同相的带电部分之间的安全距离室内为 7.5cm，室外为 20cm；当电压在 3~10kV 时，人体与设备间的安全距离为 0.7m。0.4kV 架空线路通过居民区或工矿企业区时与地面或水面的安全距离为 6m；0.4~10kV 架空线时为 6.5m。室内水平明敷绝缘导线时与地面的安全距离为 2.5m，同样条件下裸导线为 3.5m；户内电缆与煤气管的安全距离为 0.5m；户内导线与弱电线路的安全距离为 0.3m（弱电线路在上方）或 0.6m（弱电线路在下方）。

3. 屏护

屏护即指将带电体间隔起来，以有效地防止人体触及或靠近带电体，特别是当带电体无明显标志时。常用的屏护方式有：遮栏（适用于室内高压配电装置，底部距地不应大于 0.1m，若是金属遮栏，还应接地）、栅栏（适用于室外配电装置，高度不应低于 1.5m）、围墙（不应低于 2.5m）、保护网。

设置屏护装置时，其本身与带电体间的距离应符合安全距离的要求并配以明显的标志；同时，还应符合防风、防火要求并具有足够的机械强度和稳定性。

4. 安全标志

安全标志是保证安全用电的一项重要防护措施。在有触电危险或容易产生误判断、误操作的地方，以及存在不安全因素的现场，都应设立醒目的文字或图形标志，以便人们识别并引起警惕。

安全标志的设置，要求简明扼要、色彩醒目、图形清晰、便于管理、标准统一或符合传统习惯。

安全标志可分为识别性和警戒性 2 大类，分别由文字、图形、颜色、编号等构成。

安全色标的意义见表 1-1，导体或极性的色标见表 1-2。

表 1-1 安全色标的意义

色 标	含 义	举 例
红色	停止、禁止、消防	如停止按钮、灭火器、仪表运行极限
黄色	注意、警告	如“当心触电”、“注意安全”
绿色	安全、通过、允许、工作	如“在此工作”、“已接地”
黑色	警告	多用于文字、图形、符号
蓝色	强制执行	如“必须带安全帽”

表 1-2 导体色标

类 别	交 流 电 路				直 流 电 路		接 地 线
	L1	L2	L3	N	正极	负极	
色 标	黄	绿	红	淡蓝	棕	蓝	绿/黄双色线

若因检修等原因将开关断开后，应在开关的操作把手上悬挂“禁止合闸，有人工作”的标示牌，以防发生误合闸事故；在高压带电体旁，应悬挂“止步，高压危险”的标示牌，以警示人们；在上下通道或工作场所的入口处，应悬挂“从此上下”的标示牌，以表示安全和允许。标示牌在使用过程中，严禁拆除、移动、变更。

1.2.2 保护接地和保护接零

1. 保护接地

电路中，根据不同的需要，经常进行接地操作，如工作接地、重复接地、防雷接地、防静电接地等。

保护接地是指将正常情况下不带电的电气设备的金属外壳或构架与大地作良好连接，如图 1-4 所示。

保护接地适用于各种不接地电网，其所构成的系统称为 IT 系统（I 表示配电网不接地，T 表示电气设备金属外壳接地）。

当人体触及漏电的电气设备的外壳时，因金属外壳已与大地作良好的连接，其接地电阻较之人体电阻小很多，则漏电电流几乎全部流经接地线，从而保证了人身安全。

所谓“良好连接”，是为保证防护效果而要求接地电阻不得超过一定的数值。在低压系统中，当电源容量小于 100kVA 时，接地电阻不应超过 10Ω；当电源容量大于 100kVA 时，接地电阻不应超过 4Ω。

2. 保护接零

在接地系统中，采用保护接地是不能起到防护作用的，必须采用保护接零，此时所构成的系统称为 TN 系统（T 表示电网中性点直接接地，N 表示电气设备的金属外壳接零线）。

保护接零是指将正常情况下不带电的电气设备的金属外壳或构架与零线作良好连接，如图 1-5 所示。

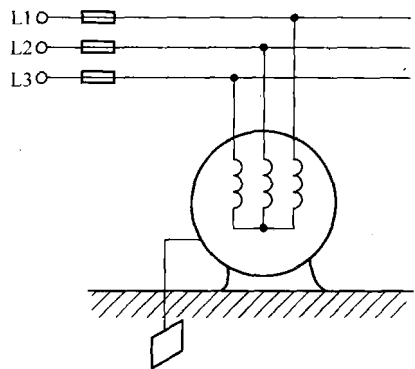


图 1-4 保护接地

当一相电源触及设备的外壳时，便引起该相短路；极大的短路电流使得系统中的保护装置动作（如熔断器熔断、空气开关跳闸等），从而切断电源，防止触电事故的发生。

图 1-6 所示为三脚插头和三孔插座的接线方法，图 1-7 所示为单相电气设备保护接零的正确接法，图 1-8 所示为保护接零的错误接法。

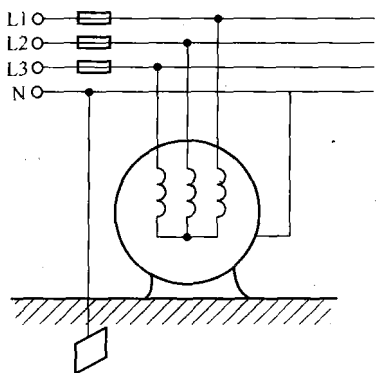


图 1-5 保护接零

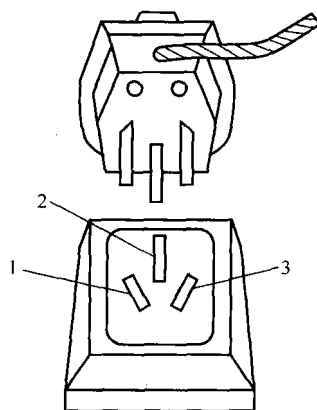
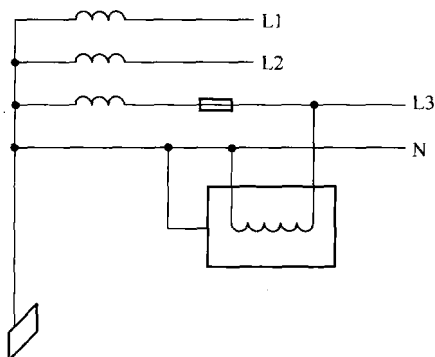
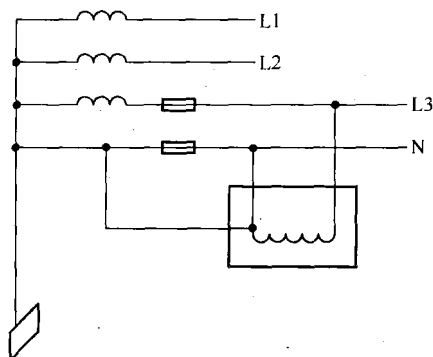


图 1-6 三脚插头和三孔插座

1—零线；2—保护零线或地线；3—火线



(a) 零线上无熔断器



(b) 零线上有熔断器

图 1-7 单相电气设备保护接零的正确接法

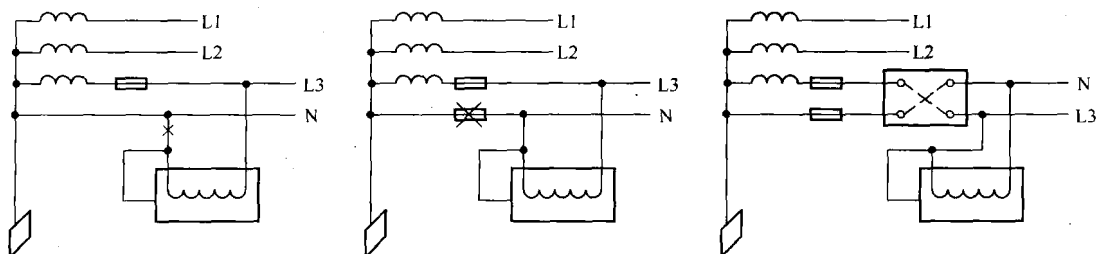


图 1-8 单相电气设备保护接零的错误接法

必须指出的是，在同一供电线路中，不允许一部分设备采用保护接地而另一部分设备采用保护接零。在图 1-9 所示系统中，当接地设备一相碰触外壳而其保护装置又没有动作时，

零线电位将升高到 $U_{\text{相}}/2$ ，从而使得与零线相连接的所有电气设备的金属外壳都带上危险的电压。

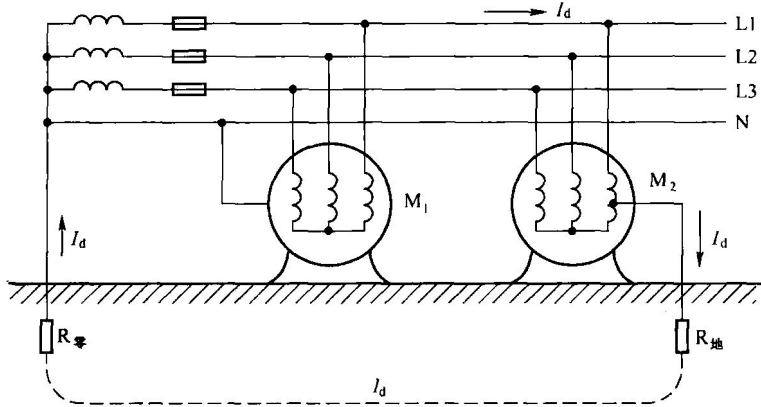
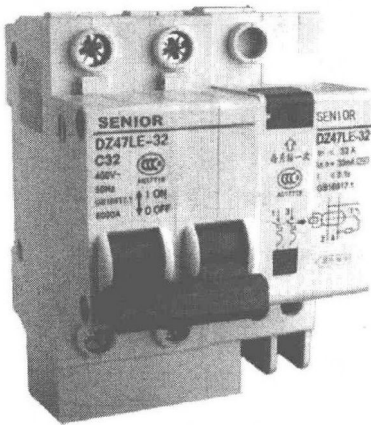


图 1-9 同一供电系统中同时采用保护接地和保护接零时的情况

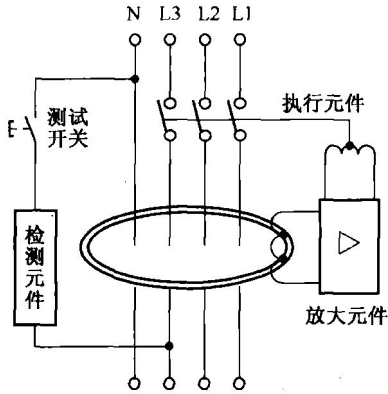
1.2.3 漏电保护

漏电保护的意义在于：当电气设备（或线路）发生漏电或接地故障时，能在人尚未触及之前就将电源切断；当人体触及带电体时，能在极短（0.1s）的时间内切断电源，从而减轻电流对人体的伤害程度。漏电保护已被广泛地应用于低压配电系统中。

漏电保护器有电压型和电流型 2 大类，其中以电流型应用最为广泛。图 1-10（a）所示为漏电保护器的外形，图 1-10（b）所示为漏电保护器的原理图。



(a) 外形



(b) 原理图

图 1-10 漏电保护器

漏电保护器的测量元件是一个高导磁电流互感器，相线和零线从中穿过。正常情况下，互感器铁芯中合成磁场为零，说明无漏电现象，执行机构不动作；当发生漏电现象时，合成磁场不为零并产生感应电压，感应电压经放大后驱动执行元件并使其快速动作，从而切断电源，确保安全。