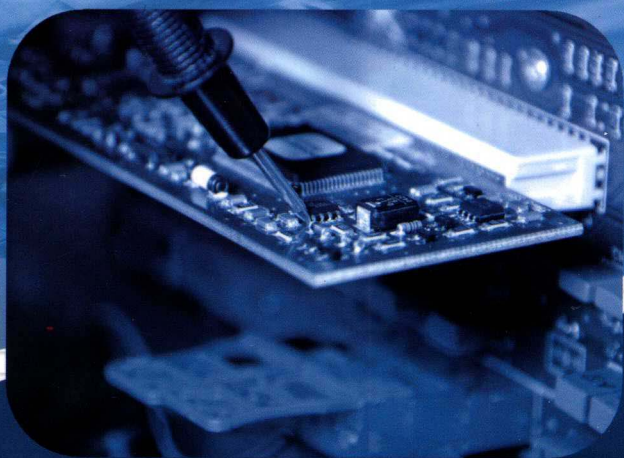


双证融通系列丛书

电工电子技术 简明教程

李亚峰 李方园 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

双证融通系列丛书

免费电子资源下载

电工电子技术简明教程

李亚峰 李方园 编著



机械工业出版社

电工电子技术是高职高专工科电类相关专业的一门技术基础课程，也是维修电工培训必须掌握的一门课程。本书作为双证融通系列丛书中的一门主干课，具有基础性、应用性和先进性。本书系统地介绍了电工电子技术的基本内容，把培养学生（或学员）的职业能力作为首要目标，内容系统连贯，深入浅出；案例通俗易懂，典型生动；书中插入电工电子元件实物图片，直观形象。

本书共分为12讲，涵盖了安全用电与电工测量、直流电路的分析与实践、正弦交流电路的分析与实践、常用半导体器件、放大电路等。

本书可作为高职高专电气自动化、机电一体化、楼宇智能化等专业的课程教材，也可作为广大电工技术爱好者、求职者、下岗再就业者、职业培训人员的教材。

图书在版编目（CIP）数据

电工电子技术简明教程/李亚峰等编著. —北京：机械工业出版社，
2013.2（2016.7重印）
（双证融通系列丛书）
ISBN 978-7-111-41525-1

I. ①电… II. ①李… III. ①电工技术—高等职业教育—教材
②电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 031254 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：林春泉 责任编辑：李振标 版式设计：霍永明

责任校对：刘雅娜 封面设计：路恩中 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·16.25 印张·401 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-41525-1

定价：39.00 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：010-88361066 机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294 机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版 教育服务网：www.cmpedu.com

序

本套“维修电工培训与电类人才培养”双证融通系列丛书是在全社会大力推进“工学结合、产学合作”的大环境下推出的。丛书以服务为宗旨，以就业为导向，以提高学生（学员）素质为核心，以培养学生（学员）职业能力为本位，全方位推行产学合作，强调学校（培训机构）与社会的联系，注重理论与实践的结合，将分层化国家职业标准的理念融入课程体系，将国家职业资格标准、行业标准，融入课程标准。

目前，在很多高职院校、应用型本科中都有“电气自动化技术”专业，其对应的第一岗位就是电气设备及其相关产品的设计与维护，对应的考证是维修电工（中高级）。因此，本丛书以目前在各类高校中针对国家职业标准重新修订的“电类人才培养”教学计划为基础，将职业标准融入到课程标准中，并力求使各课程的理论教学、实操训练与国家职业标准的应知、应会相衔接对应，力求做到毕业后零距离上岗。

电类人才的培养目标定位于培养具有良好思想品德和职业道德，具备较为坚实的文化基础知识和电专业基础知识，要求学生能适应电气自动化行业发展的需要，成为电气控制设备和自动化设备的安装、调试与维护的高素质高技能的专门人才。根据这一培养目标制订的教学计划，除了能够做到学历教育与职业资格标准的完全融合外，还具有一定的前瞻性、拓展性，既满足当前岗位要求，又体现未来岗位发展要求；既确保当前就业能力，又为学生后续可持续发展提供基础和保障；既包含职业资格证书的内容，又保证学历教育的教学内容；既符合教育部门对电气自动化技术毕业生的学历培养要求，又符合人力资源社会保障部对“维修电工中（高）级”职业技能鉴定的要求。

本丛书推出7门“双证融通”课程，每门课程均有电子版资料可免费下载，它们分别是：

- (1) 电工电子技术简明教程
- (2) 数控机床电气控制简明教程
- (3) AutoCAD 工程绘图简明教程
- (4) 电力电子技术简明教程
- (5) 三菱 PLC 应用简明教程
- (6) 西门子 PLC 应用简明教程
- (7) 变频器应用简明教程

丛书特别感谢宁波市服务型教育重点专业建设项目（电子电气专业）的出版资助，同时也感谢机械工业出版社电工电子分社、浙江工商职业技术学院为丛书的策划与推广提供了必不可少的帮助。

丛书主编：李方园

前言

电工电子技术是高职高专工科电类相关专业的一门技术基础课程，也是研究电工技术和电子技术理论和应用技术的基础课程。而对于维修电工培训人员来说，电工电子技术也是一门必须掌握的培训课程。

本书作为双证融通系列教程中的一门主干课，具有基础性、应用性和先进性。基础性是指电工电子技术的基本理论、知识和技能；应用性是指电类相关专业学生学习电工电子技术重在应用；先进性是指电工电子技术要反映现代电工技术和电子技术的发展水平。

本书系统地介绍了电工电子技术的基本内容，把培养学生（或学员）的职业能力作为首要目标，内容系统连贯，深入浅出；案例通俗易懂，典型生动；插入了电工电子元器件实物图片，直观形象。

本书共分12讲，内容涵盖了安全用电与电工测量，直流电路的分析与实践，正弦交流电路的分析与实践，三相交流电路的分析与实践，交直流电动机、低压电器及应用，常用半导体器件、放大电路、直流稳压电源、门电路与组合逻辑电路、数-模和模-数转换电路等。

本书主要由李亚峰和李方园编著。杨帆、钟晓强、胡焕啸、肖敏强、熊巧珍、张东升、叶明、陈亚玲、陈贤富、李伟庄、章富科、吴於等参与了相关章节的编写工作。

在编写过程中，曾参考和引用了国内外许多专家、学者主编的教材，浙江天煌和亚龙等教仪公司也为本书提供了最新的实验指导书，在此一并致谢！

作者

目 录

序	
前言	
第1讲 安全用电与电工测量	1
1.1 安全用电	2
1.1.1 电气安全操作技术	2
1.1.2 触电急救技术	4
1.1.3 电器灭火常识	5
1.1.4 电工安全操作规程	6
1.2 电工测量与仪表	8
1.2.1 电工测量的意义	8
1.2.2 测量方式和测量方法的分类	8
1.2.3 电工指示仪表的基本原理及组成	10
1.2.4 电工指示仪表的误差和准确度	11
1.2.5 电气测量指示仪表的选择	12
1.2.6 万用表	13
1.2.7 示波器	14
1.2.8 绝缘电阻表	15
1.3 思考与练习	16
第2讲 直流电路的分析与实践	18
2.1 电路的组成及主要物理量	19
2.1.1 实际电路及其作用	19
2.1.2 电路模型	19
2.1.3 电路的基本物理量	20
2.2 电路的工作状态	24
2.2.1 开路状态(空载状态)	24
2.2.2 短路状态	24
2.2.3 负载状态(通路状态)	24
2.3 电压源与电流源及其等效变换	25
2.3.1 电压源和电流源	25
2.3.2 实际电源的模型	26
2.4 基尔霍夫定律	26
2.4.1 几个相关的电路名词	27
2.4.2 基尔霍夫电流定律	27
2.4.3 基尔霍夫电压定律	27
2.5 支路电流法	29
2.6 叠加定理	30
2.7 戴维南定理	31
2.7.1 戴维南定理简述	31
2.7.2 戴维南定理的应用	32
2.8 直流电路的操作实践	33
2.8.1 万用表的使用	33
2.8.2 叠加原理的验证	34
2.8.3 戴维南定理的验证	35
2.9 思考与练习	37
第3讲 正弦交流电路的分析与实践	39
3.1 正弦交流电路的基本概念	40
3.1.1 正弦电流及其三要素	40
3.1.2 相位差	41
3.1.3 有效值	41
3.2 正弦量的表示法	42
3.2.1 复数及其表示形式	42
3.2.2 复数运算	42
3.2.3 正弦量的相量表示法	43
3.3 电阻、电感、电容元件的正弦交流电路	44
3.3.1 电阻元件	44
3.3.2 电感元件	46
3.3.3 电容元件	48
3.4 阻抗的串联与并联	50
3.4.1 阻抗的串联	50
3.4.2 阻抗的并联	51
3.4.3 阻抗混联电路	52
3.5 正弦交流电路中的功率及功率因数的提高	52
3.5.1 有功功率、无功功率、视在功率和功率因数	52
3.5.2 功率因数的提高	53
3.5.3 正弦交流电路负载获得最大功率的条件	55
3.6 谐振电路	56
3.6.1 串联谐振	56
3.6.2 并联谐振	57
3.6.3 电压谐振和电流谐振	58
3.7 正弦交流电路的操作实践	59
3.7.1 单相交流并联电路	59

3.7.2 正弦稳态交流电路相量的研究	60	6.3.1 三相异步电动机的直接起动 控制	114
3.8 思考与练习	62	6.3.2 三相异步电动机的正、反转 控制	115
第4讲 三相交流电路的分析与实践	64	6.3.3 三相异步电动机Y- Δ 减压起动 控制	117
4.1 三相电源	65	6.4 思考与练习	119
4.2 三相电源的联结	66	第7讲 常用半导体器件	122
4.3 对称三相电路	67	7.1 半导体的基本知识	123
4.4 不对称三相电路	72	7.1.1 本征半导体	123
4.5 三相电路的功率	74	7.1.2 掺杂半导体	123
4.6 三相电路的操作实践	75	7.1.3 PN结	124
4.6.1 三相交流电路电压、电流的 测量	75	7.2 半导体二极管	125
4.6.2 三相电路功率的测量	77	7.2.1 半导体二极管的结构及类型	125
4.7 思考与练习	78	7.2.2 半导体二极管的伏安特性	126
第5讲 交直流电动机	80	7.2.3 半导体二极管的主要参数	127
5.1 直流电动机	81	7.2.4 半导体二极管的应用及测试	127
5.1.1 直流电动机的基本结构和工作 原理	81	7.2.5 特殊二极管	128
5.1.2 直流电动机的功率与效率	82	7.3 半导体晶体管	130
5.1.3 他励直流电动机的起动、调速与 制动	83	7.3.1 半导体晶体管的基本结构和 类型	130
5.2 交流异步电动机	84	7.3.2 半导体晶体管的电流分配关系和 放大作用	131
5.2.1 交流异步电动机的基本结构	84	7.3.3 半导体晶体管的特性曲线	131
5.2.2 三相异步电动机的工作原理	86	7.3.4 半导体晶体管的主要参数	133
5.3 电动机的拆装与维修	89	7.3.5 半导体晶体管的测试及应用	135
5.3.1 电动机故障判断及维修案例	89	7.3.6 晶体管的型号命名	135
5.3.2 直流电动机的拆装与维修	90	7.4 晶闸管	136
5.3.3 三相异步电动机常见故障分析	91	7.4.1 晶闸管	136
5.3.4 三相异步电动机定子绕组首尾端 的判别方法	93	7.4.2 普通晶闸管的结构和工作原理	136
5.4 思考与练习	94	7.4.3 晶闸管的伏安特性	137
第6讲 低压电器及应用	95	7.4.4 晶闸管的主要参数	138
6.1 常见低压电器	96	7.4.5 晶闸管的判别	139
6.1.1 常用低压电器的用途	96	7.5 场效应晶体管	139
6.1.2 按钮	97	7.5.1 结型场效应晶体管	139
6.1.3 接触器	98	7.5.2 绝缘栅场效应晶体管	141
6.1.4 继电器	100	7.5.3 场效应晶体管的特点、参数及 使用注意事项	143
6.1.5 热继电器	101	7.6 思考与练习	144
6.1.6 行程开关(限位开关)	101	第8讲 放大电路	146
6.1.7 自动空气断路器(自动开关)	103	8.1 基本放大电路	147
6.2 电气图形符号与电气图	103	8.1.1 基本放大电路的组成和工作 原理	147
6.2.1 电气图的定义与特点	103	8.1.2 放大电路的分析方法	147
6.2.2 电气图用图形符号	104		
6.2.3 常用的电气图	111		
6.3 常见电气控制电路	114		

8.1.3 静态工作点稳定的放大电路	151	10.2.3 非门	188
8.2 多级放大电路	152	10.2.4 复合门电路	189
8.3 集成运算放大电路	152	10.3 组合逻辑电路的分析与设计	191
8.3.1 集成运算放大器的分析	152	10.3.1 组合逻辑电路的分析	191
8.3.2 集成运算放大电路的线性应用	153	10.3.2 组合逻辑电路的设计	192
8.3.3 集成运放电路的非线性应用	155	10.4 常用的组合逻辑电路	193
8.3.4 例题分析	156	10.4.1 编码器	194
8.4 放大电路的反馈	158	10.4.2 译码器	195
8.4.1 反馈放大电路的组成及基本 关系式	158	10.5 思考与练习	198
8.4.2 反馈的类型	159	第 11 讲 触发器与时序逻辑电路	201
8.4.3 负反馈放大电路的基本类型及 判断	160	11.1 触发器	202
8.4.4 负反馈放大电路分析	160	11.1.1 基本 RS 触发器	202
8.5 放大电路的操作实践	162	11.1.2 门控触发器	203
8.5.1 单级晶体管放大电路	162	11.1.3 主从触发器	205
8.5.2 集成功率放大器的测试	163	11.1.4 边沿触发器	206
8.6 思考与练习	166	11.1.5 集成触发器	207
第 9 讲 直流稳压电源	168	11.1.6 触发器的触发方式及使用中的 注意问题	208
9.1 单相桥式整流电路	169	11.2 寄存器	209
9.1.1 直流稳压电源的组成	169	11.2.1 普通寄存器	209
9.1.2 整流电路	169	11.2.2 移位寄存器	211
9.1.3 滤波电路	172	11.3 计数器	213
9.2 硅稳压管稳压电路	172	11.3.1 同步计数器	214
9.2.1 稳压电路的性能指标	172	11.3.2 异步计数器	218
9.2.2 稳压二极管稳压原理	173	11.3.3 使用集成计数器构成 N 进制 计数器	222
9.3 串联稳压电路	173	11.4 555 集成定时器及其应用	225
9.3.1 线性稳压电路概述	173	11.4.1 555 定时器的基本电路结构及 其工作原理	225
9.3.2 串联型稳压电路的组成与工作 原理	174	11.4.2 555 定时器应用	227
9.4 集成稳压电源	174	11.5 思考与练习	233
9.4.1 三端固定(线性)集成稳压器	174	第 12 讲 数-模和模-数转换电路	236
9.4.2 三端可调(线性)集成稳压器	176	12.1 数-模转换器(DAC)	237
9.4.3 集成稳压器典型应用实例	178	12.1.1 数-模转换器的基本概念	237
9.4.4 开关稳压电源概述	179	12.1.2 权电阻网络 D-A 转换器	237
9.5 思考与练习	180	12.1.3 D-A 转换器的主要技术指标	238
第 10 讲 门电路与组合逻辑电路	182	12.1.4 常用集成 DAC 转换器简介	239
10.1 数字电路基础知识	183	12.2 模-数转换器(ADC)	240
10.1.1 数字信号与数字电路	183	12.2.1 ADC 基本概念	240
10.1.2 数值与码	184	12.3 ADC 和 DAC 的应用	247
10.2 逻辑门电路	185	12.4 思考与练习	250
10.2.1 与门	186	参考文献	252
10.2.2 或门	187		

成单相触电。在图 1-1a 所示的中性点接地系统中，通过人体的电流达到 $220\text{V}/(1 \times 10^3 \Omega) = 220\text{mA}$ ，远远超过人体的摆脱电流。人体若发生单相触电，将产生严重后果。图 1-1b 所示的中性点不接地系统，当人体发生单相触电时，流过人体的电流相应增大，增加了人体触电的危险性。

第 1 讲 安全用电与电工测量

本讲主要介绍安全用电 1.1.1

【导读】本讲主要介绍“安全第一”立国方针，第一要务是安全生产，安全生产是第一位的。

为防止各类用电事故的发生，保护电气作业人员自身的安全与健康，安全用电始终是一个必须时刻引起高度重视的课题。本讲从人体触电的原理及其影响因素出发，详细介绍了人体触电的方式和触电急救技术，以及电器灭火常识，从而得出了用电安全操作规范。电工测量与仪表是维修电工必须要掌握的基本技能之一，因此本讲还介绍了相关人员在生产实践中应掌握的电工测量用仪器仪表的分类、特点、结构、工作原理和使用方法。



应
知

- ※了解人体触电及其影响因素
- ※熟悉电器灭火常识和规范
- ※掌握电工测量的意义
- ※掌握电工指示仪表的误差和准确度

- ☆能对触电的人员进行急救
- ☆能正确地使用灭火器救火
- ☆能选择并使用基本电气测量指示仪表
- ☆能区分各类常见的电工仪器仪表



应
会

图 1-2 单相触电

图 1-3 三相触电

单相触电是指人体触及带电体，电流通过人体流入大地或中性线。三相触电是指人体同时触及三相带电体，电流通过人体流入大地。单相触电的危险性较大，因为电流通过人体的路径较长，容易引起严重后果。三相触电的危险性更大，因为电流通过人体的路径更短，电流更大，容易引起严重后果。在图 1-2 所示的单相触电中，人体触及带电体，电流通过人体流入大地。在图 1-3 所示的三相触电中，人体同时触及三相带电体，电流通过人体流入大地。这两种触电方式都是极其危险的，必须采取有效的防护措施，防止触电事故的发生。

1.1 安全用电

1.1.1 电气安全操作技术

安全教育是维修电工岗位教育的第一课，因此树立“安全第一，预防为主”的方针对于维修电工的日常作业来说是非常重要的。

1. 人体触电及其影响因素

(1) 电击和电伤 人体触电有电击和电伤两种。所谓电击，是指电流通过人体内部器官，使其受到伤害。当电流作用于人体中枢神经，使心脏和呼吸器官的正常功能受到破坏，血液循环减弱，人体发生抽搐、痉挛、失去知觉甚至假死，若救护不及时，则会造成死亡。

电伤是指电流的热效应、化学效应和机械效应对人体外部器官造成的局部伤害，包括电弧引起的灼伤。电流长时间作用于人体，由其化学效应及机械效应在接触电流的皮肤表面形成肿块、电烙印及在电弧的高温作用下熔化的金属渗入人体皮肤表层，造成皮肤金属化等。电伤是人体触电事故中危害较轻的一种。

(2) 电流对人体的伤害 电流对人体的伤害程度与电流的强弱、流经的途径、电流的频率、触电的持续时间、触电者健康状况及人体的电阻等因素有关，见表 1-1。

表 1-1 电流对人体的伤害

项目	成年男性	成年女性
感知电流/mA	1.1	0.7
摆脱电流/mA	9~16	6~10
致命电流/mA	直流 30~300, 交流 30 左右	直流 30~200, 交流 <30
危及生命的 触电持续时间/s	1	0.7
电流流经路径	流经人体胸腔,则心脏机能紊乱;流经中枢神经,则神经中枢严重失调而造成死亡	
人体健康状况	女性比男性对电流的敏感性高,承受能力为男性的 2/3;小孩比成年人受电击的伤害程度严重;过度疲劳,心情差的人比有思想准备的人受伤程度高;病人受害程度比健康人严重	
电流频率	40~60Hz 的交流电对人体伤害最严重,直流电与较高频率的交流电的危害性则小一些	
人体电阻	皮肤在干燥、洁净、无破损的情况下电阻可达数十千欧,潮湿破损的皮肤可降至 800Ω 以下,通常为 1~2kΩ	

2. 人体触电的方式

(1) 直接接触 人体任何部位直接接触及处于正常运行条件下的电气设备的带电部分(包括中性导体)而形成的触电，称为直接接触触电。它又分为单相触电和两相触电两种情况。

1) 单相触电。如图 1-1 所示。当人体站在大地或其他接地体上不绝缘的情况下，身体的某一部分直接接触到带电体的一相而形成的触电，称单相触电。单相触电的危险程度与电压的高低、电网中性点的接地情况及每相对地绝缘阻抗的大小等因素有关。在高电压系统中，人体虽然未直接接触带电体，但因安全距离不够，高压系统经电弧对人体放电，也会形

成单相触电。在图 1-1a 所示的中性点接地系统中,通过人体的电流达到 $220\text{V}/(1 \times 10^3 \Omega) = 220\text{mA}$,远远超过人体的摆脱电流。人体若发生单相触电,将产生严重后果。在图 1-1b 所示的中性点不接地系统中,若线路绝缘不良,则绝缘阻抗降低,触电时流过人体的电流相应增大,增加了人体触电的危险性。

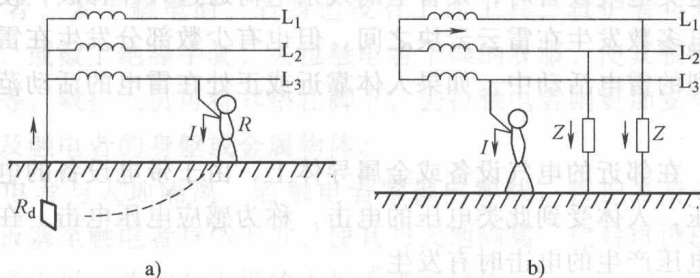


图 1-1 单相触电

a) 中性点接地系统的单相触电 b) 中性点不接地系统的单相触电

2) 两相触电。人体同时触及带电设备或线路不同电位的两个带电体所形成的触电,称为两相触电,如图 1-2 所示。当发生两相触电时,人体承受电网的线电压为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍,故两相触电为单相触电时流过人体电流的 $\sqrt{3}$ 倍,比单相触电有更大的危险性。

(2) 间接触电 电气设备在故障情况下,使正常工作时本来不带电的金属外壳处于带电状态,当人体任何部位触及带电的设备外壳时所造成的触电,称为间接触电。

1) 跨步电压触电。当电气设备绝缘损坏而发生接地故障或线路一相带电导线断落于地面时,地面各点会出现如图 1-3 所示的电位分布,当人体进入到上述具有电位分布的区域时,两脚间(人的跨步距离按 0.8m 考虑)就会因为地面电位不同而承受电压作用,这一电压称为跨步电压。由跨步电压引起的触电,称为跨步电压触电。

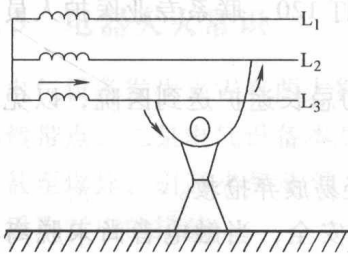


图 1-2 两相触电

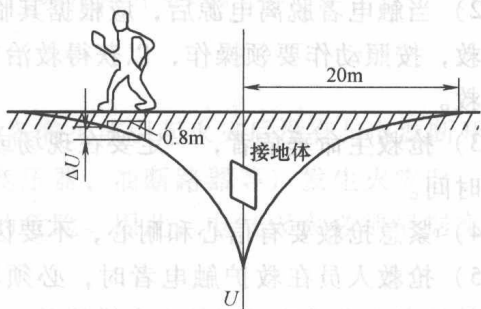


图 1-3 跨步电压触电

2) 接触电压触电。用电设备因一相电源线绝缘损坏碰触设备外壳时,接地电流自设备金属外壳通过接地体向四周大地形成半球状流散。其电位分布以接地体为中心向周围扩散,距接地体 20m 左右处的电位为零。此时,当人体触及漏电设备外壳时,因人体与脚处于不同的电位点,就会承受电压,此电压称为接触电压。人体因接触电压而引起的触电,称为接触电压触电。

接触电压和跨步电压与接地电流、土壤电阻率、设备接地电阻及人体位置有关。接地电流较大时,就会产生较大的接触电压和跨步电压,发生触电事故。

(3) 其他类型触电 静电电击：当物体在空气中运动时，因摩擦而使物体带有一定数量的静止电荷，静止电荷的堆积会形成电压很高的静电场，当人体接触此类物体时，静电场通过人体放电，使人体受到电击。

残余电荷电击：由于电气设备电容效应，在刚断开电源的一段时间里，还可能残留一些电荷，当人体接触这类电气设备时，设备上的残余电荷通过人体释放，使人体受到电击。

雷电电击：雷电多数发生在雷云云块之间，但也有少数部分发生在雷云与大地或与建筑物之间。在这种剧烈的雷电活动中，如果人体靠近或正处在雷电的活动范围内，将会受到雷电的电击。

感应电压电击：在邻近的电气设备或金属导体上，由于带电设备的电磁感应或静电感应而感应出一定的电压，人体受到此类电压的电击，称为感应电压电击。在超高压双回路及多回路线路中，感应电压产生的电击时有发生。

1.1.2 触电急救技术

人体触电后，由于痉挛或失去知觉等原因而本能抓紧带电体，不能自行拜托电源，使触电者成为一个带电体。触电事故瞬间发生，情况危急，必须实行紧急救护。统计资料表明，触电急救心脏复苏成功率与开始急救的时间有关，两者关系见表 1-2。因此，发现有人触电，务必争分夺秒地进行紧急抢救。

表 1-2 触电急救心脏复苏成功率与开始急救的时间表

施救开始时间/min	<1	1~2	2~4	6	>6
心脏复苏成功率(%)	60~90	45	27	10~20	<10

1. 急救处理的基本原则

1) 发现有人触电，尽快断开与触电人接触的导体，使触电人脱离电源，这是减轻电伤害和实施救护的关键和首要工作。

2) 当触电者脱离电源后，应根据其临床表现，实行人工呼吸或在胸腔处施行心脏按压法急救，按照动作要领操作，以获得救治效果。同时迅速拨打 120，联系专业医护人员来现场抢救。

3) 抢救生命垂危者，一定要在现场或附近就地进行，切忌长途护送到医院，以免延误抢救时间。

4) 紧急抢救要有信心和耐心，不要因一时抢救无效而轻易放弃抢救。

5) 抢救人员在救护触电者时，必须注意自身和周围的安全，当触电者尚未脱离电源，救护者也未采取必要的安全措施前，严禁直接接触触电者。

6) 当触电者所处位置较高时，应采取相应措施，以防触电者脱离电源时从高处落下摔伤。

7) 当触电事故发生在夜间时，应该考虑好临时照明，以方便切断电源时保持临时照明，便于救护。

2. 触电者脱离低压电源的方法

(1) 切断电源 若电源开关或插座就在触电者附近，救护人员应尽快拉下开关或拔掉插头。

(2) 割断电源线 若电源线为明线，且电源开关或插座离触电者较远时，则可用带绝

缘柄的电工钳剪断电线或用带有干燥木柄的斧头、锄头等利器砍断电线。注意割断的电线位置，不能造成其他人触电。

(3) 挑、拉开电源线 如电线断落在触电者身上，且电源开关又远离触电地点，救护人员可用干燥的木棒、竹竿等将掉下的电源线挑开。

(4) 拉开触电者 发生触电时，若身边没有上述工具，救护者可用干燥衣服、帽子、围巾等把手包扎好，或戴上绝缘手套，去拉触电者干燥的衣服，使其脱离电源。若附近有干燥的木板或木板凳等，救护人员可将其垫在脚下，去拉触电者则更加安全。注意救护时只用一只手拉，切勿触及触电者的身躯或金属物体。

(5) 设法使触电者与大地隔离 若触电者紧握电源线，救护者身边又无合适的工具，则可以用干燥的木板塞至触电者身体下方，使其与大地隔离，然后再设法将电源线断开。在救护过程中，救护者应尽可能站在干燥的木板上进行操作。

3. 使触电者脱离高压电源的方法

1) 当发现有人在高压带电设备上触电时，救护人员应戴上绝缘手套，穿上绝缘靴，拉开电源开关，或用相应电压等级的绝缘工具拉开高压跌落熔断器，以切断电源。在操作过程中，救护人员必须保持自身与周围带电体的安全距离。

2) 当有人在架空线路上触电时，救护人员应尽快用电话通知当地电力部门迅速停电，以利抢救。若不能迅速与变电站联系，可采用应急措施，即抛掷具有足够截面、适当长度的金属软导线，使电源线短路，迫使保护装置动作，断开电源开关。抛掷导线前，应先将导线一端牢牢固定在铁塔或接地引线上，另一端系上重物。抛掷时，应防止电弧伤人或断线危及他人安全。抛掷点应距离触电现场尽可能远一点。

3) 若触电者触及落在地面的高压导线，当尚未确认断落导线无电时，在未采取安全措施前，救护人员不得接近断线点8~10m的范围内，以防跨步电压伤人。此时，救护人员必须戴好手套，穿好绝缘靴后，用与触电电压相符的绝缘杆挑开电线。

1.1.3 电器灭火常识

电气设备发生火灾有两大特点：一是当电气设备着火或引起火灾后没有与电源断开，设备仍然带电；二是电气设备本身充油（例如电力变压器、油断路器等）发生火灾时，可能喷油甚至爆炸，引起火势蔓延，有扩大火灾范围的危险。因此，电气灭火必须根据实际情况，采取对应的措施。

1. 切断电源

当发生火灾时，若现场尚未停电，首先应想办法切断电源，这是防止火灾范围扩大和避免触电事故的重要措施，切断电源要注意五个方面。

- 1) 若线路带有负荷，应先断开负荷，再切断火场电源。
- 2) 切断电源的地点要选择合适的，防止切断电源后，影响灭火工作。
- 3) 切断电源时，必须应用可靠的绝缘工具，防止操作发生触电事故。
- 4) 剪断导线时，非同相导线应在不同部位剪断，以免造成人为短路。
- 5) 剪断电源线时，剪断位置应选择在电源方向的绝缘瓷瓶附近，以免造成断线头下落时发生接地断路或触电伤人的事故。

2. 带电灭火注意事项

- 1) 人员与带电体应保持一定的安全距离。
- 2) 带电导线断电时, 为防止跨步电压伤人, 要画出一定的警戒区。
- 3) 对架空线路等高空设备灭火时, 人体位置与带电体间的仰角不得超过 45° , 以防止导线断落时危及灭火人员的安全。
- 4) 当用水枪灭火时, 以采用喷雾水枪, 因为这种水枪通过水柱的泄漏电流比较小, 带电灭火比较安全。用水枪灭火时, 水枪嘴与带电体间的距离是: 电压为 110kV 以下者, 应大于 3m ; 220kV 以上者, 应大于 5m 。用 1211 灭火器等不导电灭火器灭火时, 应大于 2m 的距离。
- 5) 泡沫灭火器的泡沫既可能损害电气设备绝缘, 又具有一定的导电性, 故不能用于带电灭火。

3. 充油电气设备的灭火

- 1) 充油设备外部着火时, 可用 CO_2 、1211 (二氟一氯溴甲烷)、干粉等灭火器灭火; 若火势较大, 务必立即切断电源, 用水灭火。
- 2) 若充油设备内部着火, 除应立即切断电源外, 有事故储油坑的应设法放入储油坑, 灭火可用喷雾水枪, 也可用沙子、泥土等。地上流出的油可用泡沫灭火器灭火。
- 3) 电动机、发电机等旋转设备着火时, 可让其慢慢转动, 以防止轴和轴承变形, 用喷雾水枪灭火, 并帮助其冷却, 也可以用 CO_2 、 CCl_4 、1211 和蒸气等灭火, 但不宜用于干粉、沙子、泥土等灭火, 以免损坏电机内绝缘。

1.1.4 电工安全操作规程

1. 工作之前

- 1) 电气操作人员应思想集中; 电器线路在未经测电笔确定无电前, 应一律视为“有电”, 不可用手触摸, 不可绝对相信绝缘体, 应认为有电操作。
- 2) 应详细了解工作地点、工作内容、周围环境, 再选安全位置进行工作。
- 3) 工作前应详细检查自己所用工具是否安全可靠, 穿戴好必需的安全防护用品, 以防工作时发生意外。
- 4) 维修线路要采取必要的措施, 在开关手柄上或线路上悬挂“有人工作切勿合闸”的警告牌, 防止他人中途送电。
- 5) 使用测电笔时, 要注意测试电压范围, 禁止超出范围使用, 电工人员一般使用试电笔只许测试五百伏及以下的电压。
- 6) 在线路进行检修时, 事先可通知用电单位停电时间, 再到配电室填好停电表后然后进行, 并要注意安全操作。
- 7) 在架空线路进行检修前, 应首先停电、试电, 并挂好临时接地线, 以防发生意外。

2. 工作之中

- 1) 凡 400V 至 1000V 内的线路上, 禁止带电操作, 如必须带电作业时, 要有可靠的安全操作措施, 经主管领导同意后, 在有人监护下方可进行。
- 2) 电工人员工作时, 必须头脑清醒、思想集中、不得酒醉、打闹、神志不清。身体不适者禁止工作。

- 3) 工作中所拆除的电线要整理好,带电的线头应包好,以防发生触电。
- 4) 安装灯头时,开关必须控制相线,灯口处必须接在“0”线。
- 5) 所用之导线及熔丝,其容量大小必须合乎规定标准,选择开关时必须大于所控制之设备的总容量。

6) 如工作中途因停止,当重新工作时,必须详细检查各项设备之变化,待充分了解后方可进行工作。

- 7) 严格遵守劳动纪律,服从工作地带班者指挥,不得任意离开工作岗位。
- 8) 在一切金属器件外壳上,都必须施行接地;接地电阻不得大于 4Ω ,地线截面要大于相线截面 $1/3$ 。

9) 设备安装时,要进行详细检查,电器的绝缘电阻不得小于 $0.5M\Omega$,并按机床说明书的各项要求,进行调整、试验。

3. 工作结束后

1) 工作结束后必须使全部工作人员撤离操作地段,拆除警告牌,所有材料、工具、仪表等随之撤离,原有的防护装置,随时安装好。

2) 操作地段清理后,操作人员要亲自检查,如要送电试验,一定要和有关人员联系好,以免发生意外。

4. 登高操作

1) 登高使用的工具(梯子、铁鞋、安全带、绳子、紧线工具等),必须经常检查,切实保护好,如发现损坏,不合安全规定应立即停止使用。

2) 使用梯子进行工作时,梯子角度以 60° 为宜,禁止两人同时上、下梯子,操作时需有人在地面监护。

3) 登杆工作一定要使用安全带和安全帽。安全带不准拴束在横担上。

4) 使用的工具及材料必须装入工具袋内吊送,不准随便乱抛,以免砸伤人;有人在电杆上工作时,任何人不可站在电杆下。

5) 数人同登一杆工作时,必须戴安全帽,先登者不得先作业,待各人选择好自己的位置后,才能开始工作。

6) 登杆之后,必须检查无电时才可开始工作。为了防止中途送电,线路上需挂临时地线。

7) 如遇雷雨及大风天气时,严禁在架空线路上进行工作。

8) 工作完毕后必须拆除临时地线,并检查是否有工具等物漏忘在电杆上。

9) 新建线路或检修完工后,送电前必须认真检查,看是否合乎要求,并和有关人员联系好,方能送电。

5. 其他方面

1) 弯管时注意安全,防止烧伤烫伤。

2) 电气安装打墙眼时,要思想集中,互相注意防止锤头伤人。

3) 发生事故或重大设备、人身事故和发现严重事故因素时,应立即向上级报告,迅速排除。

4) 发生触电时,不要慌乱,应先立即拉开电源,如急切找不到电源时,可用木杆或干净棉布使触电者脱离电源;脱离电源后,立即施行人工呼吸,并通知医院。

5) 发生火警时,应立即切断电源,用四氯化碳粉质灭火器或黄砂扑救,严禁用水扑救。

6) 在电气安装、调试或检修等相关作业,请在合适位置悬挂相应安全牌(如图1-4所示)。



禁止开动 禁止通行 禁止烟火



当心触电 注意头上吊装 注意下落物 注意安全

图 1-4 电工作业安全牌

1.2 电工测量与仪表

1.2.1 电工测量的意义

一个完整的测量过程,通常包含如下两个方面:

1. 测量对象

电工测量的对象主要是反映电和磁特征的物理量,如电流(I)、电压(V)、电功率(P)、电能(W)以及磁感应强度(B)等;反映电路特征的物理量,如电阻(R)、电容(C)、电感(L)等;反映电和磁变化规律的非电量,如频率(f)、相位(ϕ)、功率因数($\cos\varphi$)等。

根据测量的目的和被测量的性质,可选择不同的测量方式和不同的测量方法。

2. 测量设备

对被测量与标准量进行比较的测量设备,包括测量仪器和作为测量单位参与测量的度量器。进行电量或磁量测量所需的仪器仪表,统称电工仪表。电工仪表是根据被测电量或磁量的性质,按照一定原理构成的。电工测量中使用的标准电量或磁量是电量或磁量测量单位的复制体,称为电学度量器。电学度量器是电气测量设备的重要组成部分,它不仅作为标准量参与测量过程,而且是维持电磁学单位统一、保证量值准确传递的器具。电工测量中常用的电学度量器有标准电池、标准电阻、标准电容和标准电感等。

除以上主要方面外,测量过程中还必须建立测量设备所必需的工作条件;慎重地进行操作,认真记录测量数据;并考虑测量条件的实际情况进行数据处理,以确定测量结果和测量误差。

1.2.2 测量方式和测量方法的分类

1. 测量方式的分类

主要测量方式如下:

(1) 直接测量 在测量过程中,能够直接将被测测量与同类标准量进行比较,或能够直接用事先刻度好的测量仪器对被测量进行测量,从而直接获得被测量数值的测量方式称为直接测量。例如,用电压表测量电压、用电度表测量电能以及用直流电桥测量电阻等都是直接测量。直接测量方式广泛应用于工程测量中。

(2) 间接测量 当被测量由于某种原因不能直接测量时,可以通过直接测量与被测量有一定函数关系的物理量,然后按函数关系计算出被测量的数值,这种间接获得测量结果的方式称为间接测量。例如,用伏安法测量电阻,是利用电压表和电流表分别测量出电阻两端的电压和通过该电阻的电流,然后根据欧姆定律 $R = U/I$ 计算出被测电阻 R 的大小。间接测量方式广泛应用于科研、实验室及工程测量中。

2. 测量方法的分类

在测量过程中,作为测量单位的度量器可以直接参与也可以间接参与。根据度量器参与测量过程的方式,可以把测量方法分为直读法和比较法。

(1) 直读法 用直接指示被测量大小的指示仪表进行测量,能够直接从仪表刻度盘上读取被测量数值的测量方法,称为直读法。直读法测量时,度量器不直接参与测量过程,而是间接地参与测量过程。例如,用欧姆表测量电阻时,从指针在刻度尺上指示的刻度可以直接读出被测电阻的数值。这一读数被认为是可信的,因为欧姆表刻度尺的刻度事先用标准电阻进行了校验,标准电阻已将它的量值和单位传递给欧姆表,间接地参与了测量过程。直读法测量的过程简单,操作容易,读数迅速,但其测量的准确度不高。

(2) 比较法 将被测量与度量器在比较仪器中直接比较,从而获得被测量数值的方法称为比较法。例如,用天平测量物体质量时,作为质量度量器的砝码始终都直接参与了测量过程。在电工测量中,比较法具有很高的测量准确度,可以达到 $\pm 0.001\%$,但测量时操作比较麻烦,相应的测量设备也比较昂贵。

根据被测量与度量器进行比较时的不同特点又可将比较法分为零值法、较差法和替代法三种。

1) 零值法又称平衡法,它是利用被测量对仪器的作用,与标准量对仪器的作用相互抵消,由指零仪表做出判断的方法。即当指零仪表指示为零时,表示两者的作用相等,仪器达到平衡状态;此时按一定的关系可计算出被测量的数值。显然,零值法测量的准确度主要取决于度量器的准确度和指零仪表的灵敏度。例如,用天平测量物体质量,用电位差计测量电势都是零值法测量方法。

2) 较差法是通过测量被测量与标准量的差值,或正比于该差值的量,根据标准量来确定被测量的数值的方法。较差法可以达到较高的测量准确度。例如,用不平衡电桥测量电阻就是较差法测量。

3) 替代法是分别把被测量和标准量接入同一测量仪器,在标准量替代被测量时,调节标准量,使仪器的工作状态在替代前后保持一致,然后根据标准量来确定被测量的数值。用替代法测量时,由于替代前后仪器的工作状态是一样的,因此仪器本身性能和外界因素对替代前后的影响几乎是相同的,有效地克服了所有外界因素对测量结果的影响。替代法测量的准确度主要取决于度量器的准确度和仪器的灵敏度。例如,用玻璃管水银温度计测量温度时,可直接由水银柱高度读取温度数值。