

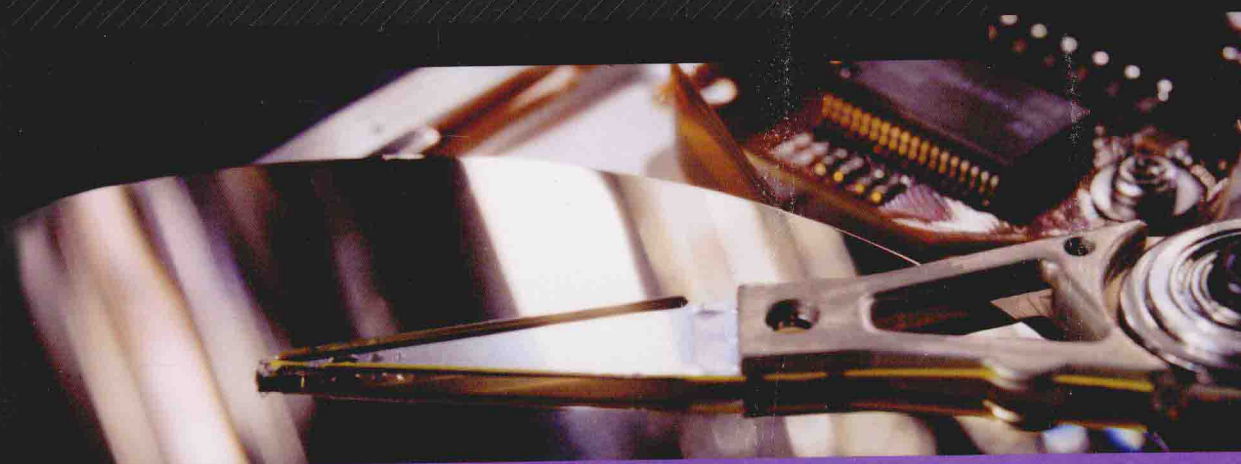


21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材
21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

Electrotechnics Practical Training

电工实训教程

夏菽兰 施敏敏 曹啸敏 王吉林 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

Electrotechnics Practical Training

电工实训教程

夏菽兰 施敏敏 曹啸敏 王吉林 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

电工实训教程 / 夏菽兰等编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2014. 8
21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材
ISBN 978-7-115-35609-3

I. ①电… II. ①夏… III. ①电工技术—高等学校—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第118158号

内 容 提 要

本书是根据教育部高教司组织编制的高等学校理工科本科指导性专业规范中的专业教学实践体系、大学生创新训练的相关要求及多所应用型工科院校电工实习课程的教学要求编写的,旨在增强当代工科大学生的工程意识、实践操作能力及创新精神。全书内容包括触电急救训练、电工常用工具及电工材料、常用电工仪器仪表的使用、常用导线连接训练、常用电路电子元器件、电子基本操作技能、电工应用识图、配电板的安装、室内线路的敷设与安装、灯具及电气照明电路的安装、接地接零与防雷、常用低压电器、三相鼠笼式异步电动机、单相异步电动机与小型变压器、三相异步电动机控制电路、机床电路 16 个实习项目,内容全面。

本书注重内容的实用性,通俗易懂,便于自学,可作为高等工科院校各专业电工实习、电工电子工艺实习等课程的实践性教学用书,也可供高等院校师生及相关工程技术人员参考。

◆ 编 著 夏菽兰 施敏敏 曹啸敏 王吉林

责任编辑 张孟玮

执行编辑 税梦玲

责任印制 彭志环 杨林杰

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京中新伟业印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 18.5

字数: 459 千字

2014 年 8 月第 1 版

2014 年 8 月北京第 1 次印刷

定价: 42.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315



本教材是为适应高等教育以培养应用型人才为目标的需要,以强化基础,突出能力培养,注重工程训练为目的而编写的。教材本着在学生掌握基本知识的基础上,强化操作技能和综合能力的培养,通过学习和实训,使学生既有看懂电路原理图的能力,又有正确选择合适的电路元器件,以实现某种功能的能力;既有安装简单电路的能力,又具有查找电路故障和维修的能力。本教材可供普通高等院校电气类及相关专业学生学习,也可供电气工程技术人员参考。

本教材包括 16 个实习项目,内容全面,具有以下特点。

1. 考虑课程的基础性和应用性,教材内容重点放在电工技术实训的基本知识和基本技能训练上,同时强化实训,介绍了一些基本电路及其控制与故障检修。

2. 教材内容以工程实践中常用的和推广应用的技术所需的理论基础为主,通过实训来了解实际应用,并在实训中介绍一些实用电路。

3. 随着机电一体化技术的发展,机和电已不可分割,而机电传动自动化都是由各种控制电机来实现的,因此,教材中加强了电动机及其控制电路的介绍,以满足工程生产中电气控制的实际需要。

4. 本教材以培养工程应用型人才目标为主线,侧重于培养学生解决实际问题的能力,在教材编写上以应用为目的,以必需够用为度,精选内容,强调概念,突出对学生能力的培养,同时保证全书有一定深度。

本课程是高等教育中重要的实践性教学环节之一,为了提高实训教学质量与效率,建议各位老师在教学过程中紧密联系实际,通过实物、图片、录像及参观生产工艺现场等方式来提高教学效果。

本书由盐城工学院夏菽兰、曹啸敏、施敏敏、王吉林共同编写,由夏菽兰担任主编,并负责总体规划及全书统稿工作。在编写过程中,我们得到了盐城工学院电气工程学院的领导与同事们的支持和帮助,还得到了盐城工学院教材出版基金的资助,在此一并表示衷心的感谢。

在本书编写过程中,我们参阅了多种同类教材和专著,在此向编者致谢。

由于编写时间仓促,加之作者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请广大读者和同仁给予批评指正。

编者

2014 年 4 月

目 录

实习项目 1 触电急救训练	1	一、冲击钻	17
1.1 触电的基本知识	1	二、塞尺	18
一、触电的类型	1	三、喷灯	19
二、常见的触电形式	2	2.3 常用导电材料	19
三、电流对人体的伤害作用	4	一、导电材料	19
1.2 触电的原因及预防	5	二、导线电缆的种类、特点及用途	21
一、常见的触电原因	5	2.4 常用绝缘材料	24
二、预防触电的措施	6	一、绝缘材料的分类	24
1.3 触电急救方法	7	二、绝缘材料的性能指标	25
一、触电急救	7	2.5 常用磁性材料	26
二、急救技术	9	一、常用磁性材料的分类及特点	26
1.4 电气消防安全知识	10	二、软磁材料	26
一、发生电气火灾的主要原因	10	三、硬磁材料	27
二、电气灭火常识	11	2.6 实习内容	28
1.5 实习内容	12	一、能正确认识各电工工具的名称及作用	28
一、口对口人工呼吸法	12	二、电工工具的使用	28
二、胸外心脏挤压法	12	三、考核标准	28
三、考核标准	12	实习项目 3 常用电工仪器仪表的使用	29
实习项目 2 电工常用工具及电工材料	13	3.1 常用电工测量仪表的基本知识	29
2.1 通用电工工具	13	一、常用电工仪表的分类	29
一、验电器	13	二、仪表的测量误差	30
二、螺丝刀	15	三、仪表符号的意义	31
三、克丝钳	16	四、电工测量的注意事项	32
四、尖嘴钳	17	3.2 电流表与电压表	32
五、断线钳	17	一、电流表与电压表的工作原理	32
六、剥线钳	17		
七、电工刀	17		
2.2 专用电工工具	17		

二、电流的测量	34	4.3 导线接头绝缘层的恢复	52
三、电压的测量	34	4.4 实习内容	53
3.3 万用表	35	一、剖削、去除导线绝缘层	53
一、万用表的结构	35	二、导线的连接	53
二、工作原理	36	三、恢复绝缘层	53
三、万用表的使用方法	37	四、考核标准	53
四、使用指针式万用表时的 注意事项	38	五、思考题	53
3.4 数字万用表	39	实习项目 5 常用电路、电子元器件	54
3.5 兆欧表	42	5.1 电路元件	54
一、兆欧表的选用	42	一、电阻器	54
二、兆欧表的使用	43	二、电容器	60
3.6 实习内容	44	三、电感器	66
一、万用表的使用训练	44	四、变压器	69
二、兆欧表的使用训练	44	5.2 半导体元件	72
三、考核标准	44	一、晶体二极管	72
实习项目 4 常用导线连接训练	45	二、半导体三极管的选择与测试	76
4.1 导线线头绝缘层的剖削	45	三、集成电路的选择与测试	80
一、塑料硬线绝缘层的剖削	45	5.3 表面安装元器件简介	86
二、塑料软线绝缘层的剖削	46	一、概述	86
三、塑料护套线绝缘层的剖削	46	二、表面安装元件	87
四、橡胶套软电缆绝缘层的剖削	47	三、表面安装半导体器件	88
五、铅包线护套层和绝缘层的 剖削	47	5.4 实习内容	91
4.2 导线的连接	47	一、电路元件识别和质量判别	91
一、单股铜芯线的直接连接	47	二、半导体元器件的识别和 质量判别	91
二、单股铜芯线的 T 型连接	48	三、考核标准	91
三、单股铜芯线与多股铜芯线的 T 形连接	48	实习项目 6 电子基本操作技能	92
四、多股铜芯线的直接连接	49	6.1 焊接基础知识	92
五、多股铜芯线的 T 形连接	50	一、焊接概念	92
六、导线与接线柱的连接	50	二、焊接技术	93
		6.2 焊接前的准备	93
		6.3 手工烙铁焊接技术	96

一、手工焊接基本要领	96	二、识读所给接线图并绘制电气原理图, 写出电路工作原理	139
二、电烙铁和焊料的握持方法	97	三、考核标准	139
三、焊接操作步骤	98	四、实习内容拓展	139
四、印制线路板的焊接	99	实习项目 8 配电板的安装	140
五、拆焊技术	100	8.1 电能表	140
6.4 实习内容	101	一、单相电能表的结构	141
一、内热式电烙铁拆装训练	101	二、电能表的工作原理	143
二、焊接技能训练	101	三、单相电能表的选用与安装	143
三、拆焊训练	102	四、三相电能表	144
四、考核标准	102	8.2 配电板的安装	145
6.5 实习内容拓展	102	8.3 实习内容	146
实习项目 7 电工应用识图	103	一、家用小型配电箱的安装	146
7.1 电气制图的基本知识	105	二、考核标准	146
一、电路图的文字符号	105	三、实习内容拓展	146
二、电路图中表示电气设备的文字符号	106	实习项目 9 室内线路的敷设与安装	147
三、图形符号	110	9.1 内线安装的基本知识	147
四、电气图其他方面的基本知识	119	一、内线工程的范围	147
7.2 电工识图的基本方法	122	二、室内配线的技术要求	148
7.3 电气设备接线图和配线图	129	三、配线的工序	149
一、电气设备接线图	129	9.2 瓷夹板配线	149
二、通用的电动机基本接线图	134	一、瓷夹板配线方法	149
三、看图分线配线与连接	135	二、瓷夹板配线的注意事项	149
四、外部设备的连接	135	9.3 绝缘子配线	149
五、接线图不同的表达方式	136	一、绝缘子配线的方法	150
7.4 电气测绘基本知识	138	二、绝缘子配线的注意事项	150
一、测绘前的准备	138	9.4 塑料护套线配线	151
二、电气测绘的一般要求	138	一、塑料护套线配线的方法	151
三、电气测绘注意事项	139	二、塑料护套线配线时的注意事项	152
7.5 实习内容	139	9.5 槽板配线	152
一、根据电动机控制电路绘制接线图	139	9.6 线管配线	153

一、钢管配线	154	一、工作接地	178
二、塑料管配线	156	二、保护接地	179
9.7 实习内容	157	11.3 保护接零	181
一、塑料护套线配线训练	157	一、保护接零原理	181
二、考核标准	158	二、重复接地	181
三、实习内容拓展	158	三、保护接零的应用范围	182
实习项目 10 灯具及电气照明电路的		11.4 接地装置	183
安装	159	一、自然接地体与自然接地线	183
10.1 电气照明的基本知识	159	二、人工接地体与人工接地线	184
一、电气照明的基本概念	159	三、接地电阻测量	185
二、电气照明的基本线路	160	11.5 防雷保护	186
三、照明灯具与照明灯安装要求	161	11.6 实习内容	187
10.2 常用照明灯具、开关和插座的		一、制作并安装接地装置	187
安装与维修	162	二、考核标准	187
一、白炽灯照明的安装	162	实习项目 12 常用低压电器	188
二、日光灯照明线路的安装	164	12.1 常用低压电器的分类及选用	188
三、照明开关的安装	167	一、低压电器的分类	188
四、插座的安装	169	二、低压电器选用原则	190
10.3 其他照明灯具的选用、安装	171	12.2 常用低压配电电器	190
一、高压汞灯照明线路	171	一、负荷开关	190
二、碘钨灯照明线路	173	二、低压断路器	193
三、霓虹灯	173	三、熔断器	196
10.4 实习内容	174	12.3 常用低压控制电器	200
一、白炽灯照明线路安装		一、交流接触器	200
技能训练	174	二、继电器	203
二、日光灯照明线路安装		三、电磁铁	212
技能训练	175	12.4 主令电器	213
三、考核标准	175	一、控制按钮	213
四、思考题	176	二、行程开关	214
实习项目 11 接地、接零与防雷	177	三、万能转换开关	216
11.1 接地、接零概述	177	四、信号灯	216
11.2 保护接地	178	12.5 实习内容	216

一、识别常用低压电器	216	14.2 单相异步电动机的故障与 处理	244
二、判别低压电器的好坏	217	14.3 单相异步电动机的故障检修	245
三、考核标准	217	一、定子绕组断路故障的检修	245
四、实习内容拓展	217	二、定子绕组接地故障的检修	246
实习项目 13 三相鼠笼式异步电动机	218	三、定子绕组匝间短路故障的 检修	246
13.1 概述	218	四、定子绕组绝缘不良故障的 检修	246
一、电动机的分类	218	五、转子笼型绕组断条故障的 检修	246
二、三相异步电动机的用途	219	14.4 变压器的基本知识	247
13.2 三相异步电动机的结构与 铭牌	219	一、变压器的分类	247
一、三相异步电动机的基本结构	219	二、变压器的基本结构	248
二、铭牌	221	三、变压器的工作原理	249
三、选型	223	四、变压器的技术指标	250
13.3 三相异步电动机的拆装与 维修	224	五、变压器的故障处理	251
一、三相异步电动机的拆卸	224	14.5 实习内容	253
二、三相异步电动机的装配	229	一、单相异步电动机的检修	253
三、三相异步电动机的维修	230	二、考核标准	253
四、异步电动机修理后的检查 试验	237	三、实习内容拓展	253
13.4 实习内容	239	实习项目 15 三相异步电动机 控制电路	254
一、三相异步电动机的拆装 训练	239	15.1 连接电动机控制线路的步骤	254
二、定子绕组首末端判别训练	240	一、正确识读电气原理图	254
三、考核标准	240	二、绘制安装接线图	254
四、实习内容拓展	240	三、检查电器元件	255
实习项目 14 单相异步电动机与 小型变压器	241	四、固定电器元件	255
14.1 单相异步电动机基本结构和工作 原理	241	五、按图接线	256
一、罩极式单相异步电动机	242	六、检查线路和试车	256
二、分相式单相异步电动机	242	15.2 三相异步电动机单向启动 控制线路	257
三、电容式单相异步电动机	243		

一、熟悉电气原理图	257	三、实习内容拓展	269
二、绘制安装接线图	258	实习项目 16 机床电路	270
三、检查电器元件	258	16.1 机床电气控制电路的一般	
四、固定电器元件	259	分析方法	270
五、按接线图接线	259	一、电气控制电路分析的内容	270
六、检查线路	260	二、电气原理图阅读分析的方法与	
七、试车	261	步骤	271
15.3 三相异步电动机正反转启动		三、机床电气设备常见的故障检修	
控制电路	261	方法	272
一、熟悉电气原理图	261	16.2 CA6140 型卧式车床控制线路	276
二、绘制安装接线图	262	一、电力拖动特点及控制要求	276
三、检查电器元件	262	二、电气控制线路分析	277
四、固定电器元件	262	三、常见电气故障分析	278
五、按接线图接线	263	16.3 Z3050 型摇臂钻床电气	
六、检查线路和试车	263	控制线路	279
15.4 三相异步电动机 Y-Δ启动		一、主要结构及运动形式	279
控制电路	264	二、摇臂钻床的电力拖动特点及控制	
一、熟悉电气原理图	265	要求	280
二、绘制安装接线图	266	三、电气控制线路分析	280
三、检查电器元件	267	四、电气线路常见故障分析	283
四、固定电器元件	267	16.4 实习内容	284
五、根据安装接线图连接电路	267	一、Z3050 摇臂钻床故障的分析与	
六、检查线路和试车	267	排除	284
15.5 实习内容	268	二、考核标准	285
一、完成给定的三相交流异步电动机		三、思考题	285
的控制电路的电路连接	268	参考文献	286
二、考核标准	268		

实习要求

- (1) 了解触电的原因及预防
- (2) 掌握触电急救的方法
- (3) 了解电气消防的有关知识

实习工具及材料

表 1-1

实习工具及材料

名称	型号或规格	数量	名称	型号或规格	数量
心肺复苏人体模型		1 个	医用酒精和棉球		若干

电能是现代化生产和生活中不可缺少的重要能源。若用电不慎，就可能造成电源中断、设备损坏、人身伤亡等事故，将给生产和生活造成很大的影响，因此安全用电具有特殊的重要意义。

通过本项目的实习，学生可以掌握日常生活中的有关安全用电的基本知识，包括触电后的及时抢救及电气消防知识。

1.1 触电的基本知识

一、触电的类型

触电是指人体触及带电体后，电流对人体造成伤害的事故。它有两种类型，即电击和电伤。

(一) 电击

电击是指电流通过人体内部，破坏人体内部组织，影响呼吸系统、心脏及神经系统的正常功能，甚至危及生命。电击致伤的部位主要在人体内部，它可以使肌肉抽搐，内部组织损伤，造成发热发麻、神经麻痹等，严重时将引起昏迷、窒息，甚至心脏停止跳动而死亡。触电死亡大部分事例是由电击造成的。人体触及带电的导线、漏电设备的外壳或其他带电体，以及由于雷击或电容放电，都可能导致电击。

电击的具体临床表现：轻者为恶心、心悸、头晕或短暂意识丧失，严重的为“假死”，即心跳停止仍能呼吸、呼吸停止但心跳脉搏极其微弱、心跳与呼吸都停止这三种情况。第三种情况最为严重，但第一和第二种情况如不及时抢救会转变成第三种情况，因为人体心跳停止，血液循环将会中断，呼吸系统也将失去功能，若呼吸停止，心脏也会因严重缺氧而停止跳动。

（二）电伤

电伤是指电流的热效应、化学效应、机械效应及电流本身作用造成的人体伤害。电伤多发生在高压带电体上，会在人体皮肤表面留下明显的伤痕，常见的有灼伤、烙伤和皮肤金属化等现象。它可以是电流通过人体直接引起，也可以是由电弧或电火花引起，包括电弧烧伤、烫伤、电烙印、皮肤金属化、电气机械性伤害、电光眼等不同形式的伤害（电工高空作业不小心坠落造成的骨折或跌伤也算作电伤）。其临床表现为头晕、心跳加剧、出冷汗或恶心、呕吐。

在触电事故中，电击和电伤经常会同时发生，但是绝大多数的触电死亡是由其中的电击造成的。

二、常见的触电形式

（一）单相触电

当人站在地面上或其他接地体上，人体的某部位触及三相导线中的任意一根相线时，电流就会从接触相通过人体流入大地，这种情形称为单相触电（或称单线触电），如图 1-1 所示。另外，当人体距离高压带电体（或中性线）小于规定的安全距离，高压带电体将对人体放电，造成触电事故，也称单相触电。单相触电的危险程度与电网运行的方式有关，在中性点直接接地系统中，当人触及一相带电体时，该相电流经人体流入大地再回到中性点，如图 1-1（a）所示，由于人体电阻远大于中性点接地电阻，电压几乎全部加在人体上；而在中性点不直接接地系统中，正常情况下电气设备对地绝缘电阻很大，当人体触及一相带电体，通过人体的电流较小，如图 1-1（b）所示。所以在一般情况下，中性点直接接地电网的单相触电比中性点不直接接地电网的单相触电危险性大。

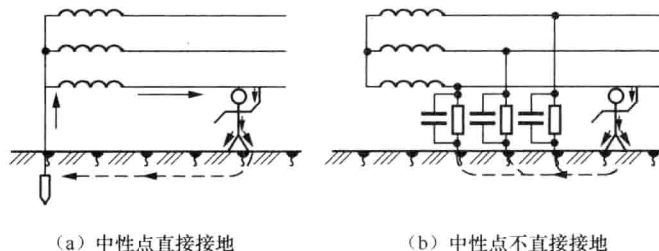


图 1-1 单相触电

（二）两相触电

两相触电是指人体两处同时触到两根不同的相线，或是人体同时接触电器的不同相的两个带电部分，就会有电流经过相线、人体到另一相线而形成通路，这种情况称为两相触电。如图 1-2 所示。在 220 V/380 V 的低压电网发生两相触电时，人体处在线电压（380 V）的作用下，所以不论电网的中性点是否接地，其触电的危险性更大。

在单相和两相触电情况中还可能发生电弧放电触电。主要指人体接近高压带电设备时的电弧伤害事故，一般人体直接接触高压电线或设备的可能性很小，电弧通常是当人体与高压

电线或设备的距离小于安全最小距离时，空气被击穿，高压对人体发生电弧闪络放电（也称飞弧放电）。高电压对人体放电造成单相接地而引起的触电属于单相触电；人体同时接近高压系统不同相带电体而发生电弧放电，致使电流从其中某相导体通过人体流入另一相导体构成一个回路的触电属于两相触电。

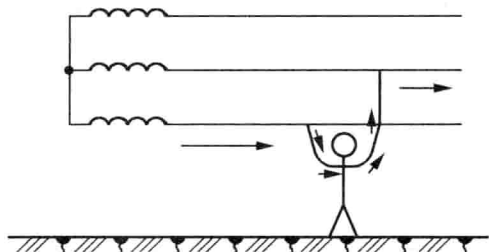


图 1-2 两相触电

（三）跨步电压和接触电压触电

当电气设备的绝缘体损坏或架空线路的一相断线落地时，落地点的电位就是导线的电位，其电位分布是以接地点为圆心向周围扩散，并逐步降低。根据实际测量，在离导线落地点 20m 以外的地方，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，这个电位差叫跨步电压。如图 1-3 所示。由此引起的触电事故称为跨步电压触电。由图可知，跨步电压的大小取决于人体站立点与接地点的距离，距离越小，其跨步电压越大。当距离超过 20m，可认为跨步电压为零，不会发生触电的危险。

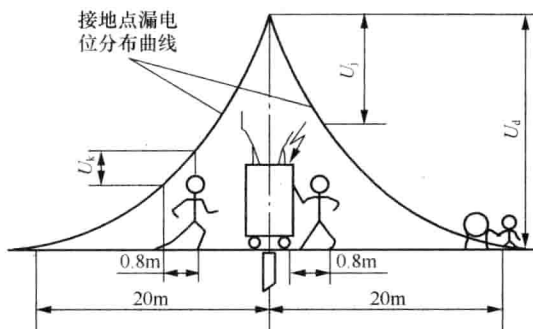


图 1-3 跨步电压和接触电压

导线接地后，不但会产生跨步电压触电，也会产生另一种形式的触电，即接触电压触电。当人触及漏电设备外壳时，电流通过人体和大地形成回路，这时加在人体手和脚之间的电位差即接触电压，如图 1-3 所示。在电气安全技术中接触电压是以站立在距漏电设备接地点水平距离为 0.8m 处的人，手触及的漏电设备外壳距地 1.8m 高时，手脚间的电位差作为衡量基准。由图 1-3 可知，接触电压值的大小取决于人体站立点的位置，若距离接地点越远，则接触电压值越大；当超过 20m 时，接触电压值为最大，等于漏电设备的对地电压；当人体站在接地点与漏电设备接触时，接触电压为零。

（四）感应电压触电

当人触及带有感应电压的设备和线路时所造成的触电事故称为感应电压触电。如一些不

带电的线路由于大气变化（如雷电活动），会产生感应电荷，此外，停电后一些可能感应电压的设备和线路未接临时地线，这些设备和线路对地均存在感应电压。

（五）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、电力变压器及大容量电动机等设备时，检修前后没有对其充分放电所造成的。此外，并联电容器因其电路发生故障而不能及时放电，退出运行后又未人工放电，也导致电容器的极板上带有大量的剩余电荷。

三、电流对人体的伤害作用

电流对人体的伤害是电气事故中最主要的事故之一。它的伤害是多方面的，其热效应会造成电灼伤、化学效应可造成电烙印和皮肤金属化，它产生的电磁场对人辐射会导致人头晕、乏力和神经衰弱等。电流对人体的伤害程度与通过人体电流的大小、种类、频率、持续时间、通过人体的路径及人体电阻的大小等因素有关。

（一）电流大小

通过人体的电流越大，人体的生理反应越明显，感觉越强烈，从而引起心室颤动所需的时间越短，致命的危险性就越大。对于工频交流电，按照通过人体的电流大小和人体呈现的不同状态，可将其划分为下列三种。

1. 感知电流

它是指引起人体感知的最小电流。实验表明，成年男性平均感知电流有效值约为 1.1mA ，成年女性约为 0.7mA 。感知电流一般不会对人体造成伤害，但是电流增大时，感知增强，反应变大，可能造成坠落等间接事故。

2. 摆脱电流

人触电后能自行摆脱电源的最大电流称为摆脱电流。一般男性的平均摆脱电流约为 16mA ，成年女性约为 10mA ，儿童的摆脱电流较成人小。摆脱电流是人体可以忍受而一般不会造成危险的电流。若通过人体的电流超过摆脱电流且时间过长，会造成昏迷、窒息，甚至死亡。因此，人摆脱电源的能力随时间的延长而降低。

3. 致命电流

是指在较短时间内危及人生命的最小电流。当电流达到 50mA 以上就会引起人的心室颤动，有生命危险；如果通过人体的工频电流超过 100mA 时，在极短的时间内人就会失去知觉而死亡。

（二）电源频率对人体的影响

经实验与分析，认为在电流频率为 25Hz 时，人体可忍受较大电流，在 $3\sim 10\text{Hz}$ 时能忍受更大电流，在雷击时能忍受几百安的大电流，但人们非常容易受到 $40\sim 60\text{Hz}$ 电流的伤害。因此，一般认为 $40\sim 60\text{Hz}$ 的交流电对人体最危险。随着频率的增高，电流对人体的危险性将降低（如高频 $20\,000\text{Hz}$ 电流不仅不伤害人体，还能用于理疗）。工频从设计电气设备的角度考虑，认为 50Hz 比较合理，但这个频率对人体可能造成严重伤害。

（三）人体电阻的影响

人体电阻是确定和限制人体容许安全电流的参数之一，在接触工频交流电与直流电的情况下，人体可用一个非感应电阻来代替，这个电阻是手足之间的电阻，它包括体内电阻和皮

皮肤电阻,人体组织的电阻从大到小依次是骨、脂肪、皮肤、肌肉、神经、血管。皮肤电阻在人体电阻中占有较大的比例,皮肤电阻会因角质层的厚薄和干湿程度而不同,角质层越厚,电阻越大;皮肤越干燥,电阻越大,当皮肤有水、皮肤扭伤、皮肤表面沾有导电性粉尘时会使人电阻急剧下降。在其他条件不变的情况下,人体触电时若皮肤电阻大,则产生的热量多,局部损伤较重;若皮肤电阻小,则电流在穿过皮肤后会沿电阻低的体液和血管运行,容易发生严重的全身性损伤。世界上普遍认为人体电阻为 $500\sim 1000\Omega$,一般情况下,人体电阻不低于 $1k\Omega$,在计算安全电压时,常取人体电阻为 800Ω 。一般的人体电阻,女子比男子小,儿童比成年人小,青年人比中年人小。

(四) 电压大小的影响

当人体电阻一定时,作用于人体的电压越高,通过人体的电流越大,但实际上通过人体的电流与作用于人体的电压并不成正比,这是因为随着作用于人体电压的升高,人体电阻急剧下降,致使电流迅速增加而对人体的伤害更为严重。

(五) 电流路径的影响

电流通过头部会使人昏迷而死亡;通过脊髓会导致截瘫及严重损伤;通过中枢神经可能会引起中枢相关部位神经系统强烈失调而导致残废;通过心脏会造成心跳停止而死亡;通过呼吸系统会造成窒息。实践证明,从左手至脚是最危险的电流路径,从右手到脚、从手到手也是很危险的路径,从脚到脚是危险较小的路径。

1.2 触电的原因及预防

一、常见的触电原因

(一) 电气设备安装不合理

为保证用电安全,电气设备安装必须符合安全用电的各项要求。很多触电事故发生在不符合安装要求的电气设备上。如照明电路的开关要接在相线上,如果没有按照规范而是将开关接在了零线上,虽然开关断开时灯也不亮,但灯头的相线仍是接通的,此时触及灯头容易碰到带电的部位,造成触电事故。

(二) 电气设备维护不及时

电气设备(包括线路、开关、插座、灯头等)使用久了,就会出现导线绝缘层老化、设备老化、开关失灵等现象,如不及时发现、维修,极易容易导致触电事故的发生。

(三) 不重视安全工作制度

电既能造福于人类,也可能因用电人的疏乎而危害人民的生命和国家的财产。所以在用电过程中,必须特别注意电气安全。要防止触电事故,应在思想上高度重视,严格遵守安全工作规章制度。

如检修线路或更换设备前,应先拉闸断电,而且在开关前挂上“禁止合闸,线路有人工作”的警告牌。

(四) 缺乏安全用电常识

缺乏安全用电常识也是造成触电事故的一个原因。如晒衣服的铁丝与低压线太近,在高压线附近放风筝,用手摸破损的开关等。

二、预防触电的措施

（一）组织措施

在电气设备的设计、制造、安装、运行、使用、维护以及专用保护装置的配置等环节中，要严格遵守国家规定的标准和法规。加强安全教育，普及安全用电知识。对从事电气工作的人员，应加强教育、培训和考核，以增强安全意识和防护技能，杜绝违章操作。建立健全安全规章制度，如安全操作规程、电气安装规程、运行管理规程、维护维修制度等，并在实际工作中严格执行。

（二）技术措施

1. 停电工作中的安全措施

当工作人员在线路上作业或检修设备时，应在停电后进行，并采取下列安全技术措施。

① 切断电源。工作地点必须停电的设备有：检修的设备与线路；与工作人员工作时正常活动范围的距离小于规定的安全距离的设备；无法制作必要的安全防护措施而又影响工作的带电设备。切断电源时必须按照停电操作顺序进行，来自各方面的电源都要断开，并保证各电源有一个明显断点。对多回路的线路，要防止从低电压侧反送电。严禁带负荷切断隔离开关，刀闸的操作把手要锁住。

② 验电。对线路和设备在停电后再确认其是否带电的过程称为验电。停电检修的设备或线路，必须验明电气设备或线路无电后，才能确认无电，否则应视为有电。验电时，应选用电压等级相符、经试验合格且在试验有效期内的验电器对检修设备的进出线两侧各相分别验电，确认无电后方可工作。对 6 kV 以上带电体验电时，禁止验电器接触带电体。高压验电时应带绝缘手套，穿绝缘靴。不许以电压表和信号灯的有无指示作为判断有无电压的依据。

③ 装设临时地线。对于可能送电到检修的设备或线路，以及可能产生感应电压的地方，都要装设临时地线。装设临时地线时，应先接好接地端，在验明电气设备或线路无电后，立即接到被检修的设备或线路上，拆除时与之相反。其操作人员应戴绝缘手套，穿绝缘鞋，人体不能触及临时接地线，并有人监护。

④ 悬挂警告牌和装设遮拦。该措施可使检修人员与带电设备保持一定的安全距离，又可隔绝不相关人员进入现场，标示牌可提醒人们有触电危险。停电工作时，对一经合闸即能送电到检修设备或线路开关和隔离开关的操作手柄，要在其上面悬挂“禁止合闸，线路有人工作”的警告牌，必要时派专人监护或加锁固定。

2. 带电工作中的安全措施

在一些特殊情况下必须带电工作时，应严格按照带电工作的安全规定进行。

在低压电气设备或线路上进行带电工作时，应使用合格的、有绝缘手柄的工具，穿绝缘鞋，戴绝缘手套，并站在干燥的绝缘物体上，同时派专人监护。

对工作中可能碰触到的其他带电体及接地物体，应使用绝缘物隔开，防止相间短路和接地短路。

检修带电线路时，应分清相线和地线。断开导线时，应先断开相线，后断开地线。

搭接导线时，应先接地线，后接相线；接相线时，应将两个线头搭实后再行缠接，切不可使人体或手指同时接触两根线。

此外对电气设备还应采取下列一些安全措施。

① 电气设备的金属外壳要采取保护接地或接零。

② 安装自动断电装置。自动断电装置有漏电保护、过流保护、过压或欠压保护、短路保护等功能。当带电线路、设备发生故障或触电事故时，自动断电装置能在规定时间内自动切除电源，起到保护人身和设备安全的作用。

③ 尽可能采用安全电压。为了保障操作人员的生命安全，各国都规定了安全操作电压。所谓安全操作电压是指人体较长时间接触带电体而不发生触电危险的电压，其数值与人体可承受的安全电流及人体电阻有关。国际电工委员会（IEC）规定安全电压限定值为 50V。我国安全电压规定：对 50~500Hz 的交流电压安全额定值（有效值）为 42V、36V、24V、12V、6V，共五个等级，供不同场合选用，还规定安全电压在任何情况下均不得超过 50V 有效值。当电器设备采用大于 24V 的安全电压时，必须有防止人体直接接触及带电体的保护措施，根据这一规定，凡手提式的照明灯，以及用于机床工作台局部照明、高度不超过 2.5m 的照明灯，要采用不大于 36V 的安全电压；在潮湿、易导电的地沟或金属容器内工作时，行灯采用 12V 电压；某些继电器保护回路、指示灯回路和控制回路也采用安全电压。

安全电压的电源必须采用双绕组的隔离变压器，严禁用自耦变压器提供低压。使用隔离变压器时，1、2 次侧绕组必须加装短路保护装置，并有明显标志。

④ 保证电气设备具有良好的绝缘性能。注意要用绝缘材料把带电体封闭起来。对一些携带式电气设备和电动工具（如电钻等）还须采用工作绝缘和保护绝缘的双重绝缘措施，以提高绝缘性能。电气设备具有良好的绝缘性能是保证电气设备和线路正常运行的必要条件，也是防止触电的主要措施。

⑤ 采用电气安全用具。电气安全用具分为基本安全用具和辅助安全用具，其作用是把人与大地或设备外壳隔离开来。基本安全用具是操作人员操作带电设备时必需的用具，其绝缘必须足以承受电气设备的工作电压。辅助安全用具的绝缘不足以完全承受电气设备的工作电压，但操作人员使用它，可使人身安全有进一步的保障，例如绝缘手套、绝缘靴、绝缘垫、绝缘站台、验电器、临时接地线及警告牌等。

⑥ 设立屏护装置。为了防止人体直接接触带电体，常采用一些屏护装置（如遮栏、护罩、护套和栅栏等）将带电体与外界隔开。屏护装置须有足够的机械强度和良好的耐热、耐火性能。若使用金属材料制作屏护装置，应妥善接地或接零。

⑦ 保证人或物与带电体的安全距离。为防止人或车辆等移动设备触及或过分接近带电体，在带电体与地面之间、带电体与带电体之间、带电体与其他设备之间应保持一定的安全距离。距离多少取决于电压的高低、设备类型、安装方式等因素。

⑧ 定期检查用电设备。为保证用电设备的正常运行和操作人员的安

1.3 触电急救方法

一、触电急救

一旦发生触电事故时，应立即组织人员急救。急救时必须做到沉着果断、动作迅速、方法正确。首先要尽快地使触电者脱离电源，然后根据触电者的具体情况，采取相应的急救措施。