



21 世纪高职高专电类系列规划教材

电工技术实训

主 编 刘积标 黄西平

副主编 梁鸿飞 欧阳恕

主 审 陈可中

华南理工大学出版社



21世纪高职高专电类系列规划教材

电工技术实训

主 编 刘积标 黄西平
副主编 梁鸿飞 欧阳恕
主 审 陈可中

华南理工大学出版社

·广州·

内 容 提 要

本书是根据高等职业教育的培养目标,按照与现场“零距离”接轨的教改思路编写的实训教程和技能训练的参考用书。

本书共分9章,包括电气安全技术基础、常用电工材料及电气元器件、电工基本操作技术、常用电工仪器仪表、电气制图与读图、内线安装技术、变压器与电机、低压电器、电气控制电路等。另外,各章均附有相关技能训练和思考题。

本书所述内容以电工应掌握的基本安全知识和主要技术能力为基础,内容浅显易懂,实用性强,既可作为高职高专电气、电子、自动化、机电和计算机类专业的基本技能训练用教材,也可作为特殊工种(电工)操作证及初、中、高级电工技术等级培训用书,还可作为一般工程技术人员学习、参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术实训/刘积标,黄西平主编. —广州:华南理工大学出版社,2007.8
(21世纪高职高专电类系列规划教材)
ISBN 978-7-5623-2600-7

I. 电… II. ①刘… ②黄… III. 电工技术—高等学校:技术学校—教材
IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 086365 号

总 发 行: 华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学 17 号楼,邮编 510640)

营销部电话: 020-87113487 87111048(传真)

E-mail: scutcl3@scut.edu.cn

<http://www.scutpress.com.cn>

责任编辑: 吴兆强

印 刷 者: 广州市穗彩印厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 21.25 字数: 538 千

版 次: 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 30.00 元

版权所有 盗版必究

21 世纪高职高专电类系列规划教材

编写委员会

顾问：陈可中（广西大学教授）

熊伟建（广西职业技术学院副院长）

主任：卢勇威（广西职业技术学院）

副主任：秦培林（广西机电职业技术学院）

葛仁华（桂林航天工业高等专科学校）

唐冬雷（柳州职业技术学院）

编委（按姓氏笔画）：

方明（邕江大学）

韦抒（广西电力职业技术学院）

李兴富（桂林航天工业高等专科学校）

李崇芬（柳州运输职业技术学院）

陈光会（广西水利电力职业技术学院）

陈铁军（玉林师范学院高职院）

林勇坚（广西机电职业技术学院）

周红锴（桂林工学院南宁分院）

姚旭明（广西电力职业技术学院）

诸小丽（南宁职业技术学院）

凌艺春（广西工业职业技术学院）

陶权（广西工业职业技术学院）

梁鸿飞（广西电力职业技术学院）

总策划：范家巧 潘宜玲

执行策划：毛润政 吴兆强

总序

随着科学技术的发展,电工电子技术的应用越来越广泛,并已渗透到人们日常生活的方方面面。掌握必要的电工电子知识已成为当代大学生特别是理工类大学生必备的素质之一。而电工电子技术的教学一直存在着学时少与内容多、基本内容与新技术、理论教学与实验教学三大矛盾。如何让学生在有限的时间内学到系统而扎实的电类知识,是摆在教育工作者面前的一个重要课题。

高职高专教育是以培养应用型、工艺型人才为目标的一种教育形式,目前正处于一个全新的发展时期,对它的研究也处于探索阶段。作为高职高专教育重要的一环——其教材的编写,需要认真对待和深入研究。

高职高专教材的编写,应在保证一定的理论教学的基础上,注重培养学生的实际动手能力,为社会培养出合格的应用型人才。但是,目前我国高职高专院校之间的教学条件、教学水平、学生层次、发展模式等均不平衡,硬性规定选用统一的“规划教材”、“精品教材”显然有悖科学规律,但每个学校的教材自成体系、“自编自用”则更不现实。那么,在教材的选用和编写过程中,如何既考虑学科的前瞻性,同时又兼顾各个学校发展水平不一的现实情况,是每一位教材编写者必须首先思考的问题。在基本相似的教学背景下,联合各种优秀的教学资源,在一定的地域范围内共同研究和探讨,共同编写有一定地域特色又富有创新性的教材,则不失为一种行之有效的方法。

出于以上考虑,在华南理工大学出版社的组织策划下,我们联合了广西、贵州两省10余所高职高专院校共同编写了“21世纪高职高专电类系列规划教材”。

为了出版一套高质量的“21世纪高职高专电类系列规划教材”,华南理工大学出版社做了大量的前期组织准备工作。他们邀请了各个参编院校中富有教学经验且负责教学管理的专家、学者担任本系列教材的编委,多次召开编

委会会议，就教材内容的定位、写作的要求、参编人员的要求及组成、主编的落实、写作大纲的确定等事项进行了具体而细致的商讨。在前期准备工作基本就绪的基础上，召开了全体参编人员出版研讨会，讨论每种教材的写作大纲和具体分工。参编人员均为从事高职高专教学工作多年的老师，他们熟知高职高专的教学现状，对未来高职高专的发展方向有深刻的认识和研究。

全体参编人员按照编委会提出的“理论适度、注重实操、切合实际”的编写原则，以高度负责的态度对待教材的出版工作。我相信，“天道酬勤”，经过华南理工大学出版社的精心策划，经过广大作者的辛勤劳动，该套教材会成为一套比较理想的、切合高职高专教学实际的教材。该套教材的出版，对推动高职高专电类专业的教学改革具有积极意义。

高职高专教育正处于一个探索和发展的阶段，我们编写的“21世纪高职高专电类系列规划教材”肯定还存在一些疏漏与不足，我们将依据高职高专发展的趋势，充分把握科学发展的最新动态，不断修订和完善本系列教材。同时，我们也衷心希望使用本套教材的同仁们不吝赐教，更欢迎加入到本系列教材的后续出版工作或修订再版的作者队伍中来，共同促进高职高专人才培养事业的发展。

衷心祝愿本系列教材出版成功。

广西大学教授 陈可中

2007年5月于南宁

前言

本书既可作为高职高专电气、电子、自动化、机电和计算机类专业的基本技能训练用教材,也可作为特殊工种(电工)操作证及初、中、高级电工技术等级培训用书。本书方便自学,可作为一般工程技术人员学习及参考用书。

本书内容包括电气安全技术基础、常用电工材料及电气元器件、电工基本操作技术、常用电工仪器仪表、电气制图与读图、内线安装技术、变压器与电机、低压电器、电气控制电路等。

本书是以培养应用型人才为目标,以技术技能培养为本位,以基本理论够用为度,以最新的国家标准、规范、规程为依据,结合编者多年的教学和工程实践,并参考了许多院校的有关试验、实训教材进行编写的。其目的是加强及规范实训要求和内容,提高实践性教学质量。本书各章节均包括实训内容、目的要求、实训步骤、实训题和复习思考题等,使学生在实训前便于预习、在实训中便于操作、在实训后便于写出实训报告和总结,从而收到良好的实训效果。

编写本书时力求做到基本概念准确、简捷清晰,避免过多的分析计算,避免与理论教学重复,在阐述传统的施工、安装工艺的同时,注重介绍新材料、新工艺、新设备、新技术及电气工程的最新成果。

本书共分9章。第1章由孙玉红编写;第2、5章由韦菊琛编写;第3、6章由刘积标编写;第4章由欧阳恕编写;第7章由梁鸿飞编写;第8章由莫桂强编写;第9章由黄西平编写。本书由刘积标统稿。

本书由陈可中教授主审,在编写过程中还得到姚旭明副教授的指导,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中错误和疏漏之处在所难免,恳请各位读者批评指正。

编者

2007年3月

目 录

第1章 电气安全技术基础	(1)
1.1 用电安全概述	(1)
1.1.1 人身安全	(1)
1.1.2 设备安全	(5)
1.1.3 电气防火与防爆	(6)
1.2 触电急救方法	(8)
1.2.1 触电原因	(9)
1.2.2 触电种类	(9)
1.2.3 触电方式	(9)
1.2.4 触电急救	(11)
1.2.5 现场触电急救方法举例	(16)
1.2.6 创伤急救	(18)
技能训练1-1 口对口人工呼吸法和胸外心脏挤压法技能训练	(20)
1.3 电气安全的基本措施及基本要求	(21)
1.3.1 保证安全的组织措施	(21)
1.3.2 保证安全的技术措施	(23)
1.3.3 保证安全的基本要素	(24)
1.3.4 电气安全的基本要求	(24)
1.4 接地和接零	(27)
1.4.1 基本概念	(27)
1.4.2 工作接地	(28)
1.4.3 保护接地	(29)
1.4.4 接零	(30)
1.4.5 重复接地	(31)
1.4.6 接地装置	(33)
技能训练1-2 接地装置的制作和安装技能训练	(37)
复习思考题	(38)
第2章 常用电工材料和电气元器件	(39)
2.1 常用电工材料	(39)
2.1.1 常用绝缘材料	(39)
2.1.2 常用导电材料	(42)
2.1.3 常用磁性材料	(47)
2.2 常用电气元器件	(48)

2.2.1 电阻器	(48)
2.2.2 电容器	(51)
2.2.3 电感器	(55)
技能训练 2-1 电路基本元件识别技能训练	(55)
复习思考题	(57)
第3章 电工基本操作技术	(58)
3.1 常用电工工具及其使用	(58)
3.1.1 通用工具	(58)
3.1.2 线路安装工具	(62)
3.1.3 设备装修工具	(65)
技能训练 3-1 常用电工工具的识别与使用技能训练	(68)
3.2 导线连接	(69)
3.2.1 导线绝缘层的剥削	(69)
3.2.2 导线的连接方法	(71)
3.2.3 导线绝缘层的恢复	(78)
技能训练 3-2 多股导线的连接技能训练	(79)
3.3 外线安装技术	(80)
3.3.1 架空线路的基本知识	(80)
3.3.2 登杆技术	(83)
3.3.3 架空电力线路施工	(88)
技能训练 3-3 登杆技能训练	(101)
技能训练 3-4 瓷瓶绑扎技能训练	(102)
技能训练 3-5 架空线路的安装技能训练	(103)
复习思考题	(104)
第4章 常用电工仪器仪表	(106)
4.1 电工仪表概述	(106)
4.1.1 电工仪表的分类	(106)
4.1.2 仪表的测量误差	(107)
4.1.3 仪表符号的意义	(107)
4.1.4 电工测量的注意事项	(107)
4.2 电流表	(109)
4.2.1 普通电流表	(109)
4.2.2 钳形电流表	(110)
技能训练 4-1 钳形电流表的使用技能训练	(112)
4.3 电压表	(113)
4.3.1 电压表的分类	(113)
4.3.2 电压表使用方法及注意事项	(114)
技能训练 4-2 电流表、电压表的安装技能训练	(114)
4.4 万用表	(115)

4.4.1 指针式万用表	(116)
4.4.2 数字万用表	(119)
技能训练 4-3 万用表转换开关的使用和读数技能训练	(122)
技能训练 4-4 电阻的测量技能训练	(124)
技能训练 4-5 交流电压、直流电压、直流电流的测量技能训练	(126)
4.5 瓦特表	(127)
4.5.1 瓦特表的工作原理	(127)
4.5.2 瓦特表的使用	(128)
4.6 兆欧表	(129)
4.6.1 指针式兆欧表	(129)
4.6.2 数字兆欧表	(132)
技能训练 4-6 兆欧表的使用技能训练	(133)
4.7 电能表	(134)
4.7.1 电能表分类	(134)
4.7.2 感应系单相电能表的基本结构	(134)
4.7.3 感应系单相电能表的工作原理	(136)
4.7.4 电能表的接线	(136)
4.7.5 电能表安装要求	(138)
复习思考题	(139)
第 5 章 电气制图与读图基本知识	(140)
5.1 电气图的制图	(140)
5.1.1 绘制简图的基本要求	(140)
5.1.2 功能表图	(142)
5.1.3 电气图的作用、分类及绘制方法	(145)
5.2 电气图的读图方法	(151)
5.2.1 读图要求和读图步骤	(151)
5.2.2 电力系统电气图读图基础	(153)
5.2.3 接线图和接线表	(156)
技能训练 5-1 电工识图技能训练	(162)
复习思考题	(163)
第 6 章 内线安装技术	(164)
6.1 室内布线的一般要求和方法	(164)
6.1.1 室内布线的技术要求	(164)
6.1.2 室内布线的方法	(164)
6.2 室内布线	(165)
6.2.1 线槽配线	(165)
6.2.2 塑料护套线配线	(168)
6.2.3 线管配线	(169)
技能训练 6-1 室内布线技能训练	(177)

6.3 室内照明安装	(178)
6.3.1 常用照明灯具、开关、插座的选用, 安装与检修	(178)
6.3.2 常用工矿照明灯具	(190)
技能训练 6-2 白炽灯照明安装技能训练	(194)
技能训练 6-3 日光灯照明安装技能训练	(195)
6.4 进户装置的安装	(196)
6.4.1 进户装置的组成	(196)
6.4.2 量电与配电装置的安装	(198)
技能训练 6-4 配电板安装技能训练	(200)
复习思考题	(201)
第7章 变压器与电机	(202)
7.1 变压器的基本知识	(202)
7.1.1 变压器的分类与作用	(202)
7.1.2 变压器的技术指标	(202)
7.2 特种变压器及变压器产品	(203)
7.2.1 电源变压器	(203)
7.2.2 自耦变压器	(205)
7.2.3 电焊变压器	(206)
7.2.4 脉冲变压器	(206)
7.2.5 仪用变压器	(207)
技能训练 7-1 单相变压器同名端测量技能训练	(208)
7.3 异步电动机的基本知识	(209)
7.3.1 异步电动机的类型	(209)
7.3.2 三相异步电动机的基本结构和接线	(209)
技能训练 7-2 低压三相异步电动机试验	(211)
复习思考题	(212)
第8章 低压电器	(213)
8.1 低压电器产品的分类、用途和产品型号及含义	(213)
8.2 常用低压电器	(216)
8.2.1 低压刀开关	(216)
8.2.2 低压熔断器	(221)
8.2.3 低压断路器	(228)
8.2.4 主令电器	(232)
8.2.5 交流接触器	(240)
8.2.6 继电器	(243)
技能训练 8-1 低压开关的拆装与维修技能训练	(251)
技能训练 8-2 交流接触器的拆装与检修技能训练	(252)
技能训练 8-3 热继电器的校验技能训练	(255)
技能训练 8-4 时间继电器的检修与校验训练	(257)

第9章 电气控制线路	(260)
9.1 异步电动机基本控制线路的安装与检修	(260)
9.1.1 三相异步电动机的正转控制线路	(260)
技能训练 9-1 点动正转控制线路的安装技能训练	(261)
技能训练 9-2 具有过载保护的接触器自锁正转控制线路的安装	(264)
9.1.2 三相异步电动机的正反转控制线路	(266)
技能训练 9-3 接触器按钮双重联锁的正反转控制线路的安装	(269)
9.1.3 三相异步电动机的降压启动控制线路	(271)
技能训练 9-4 时间继电器自动控制 Y- Δ 降压启动控制线路的安装	(273)
9.1.4 三相异步电动机的制动控制线路	(276)
技能训练 9-5 单向启动反接制动控制线路的安装	(278)
9.1.5 双速异步电动机双速控制线路	(280)
技能训练 9-6 按钮接触器控制双速电动机线路的安装与检修	(282)
9.1.6 位置控制与自动循环控制线路	(284)
技能训练 9-7 位置开关控制的工作台自动往返控制线路的安装	(285)
9.2 典型机械设备电气控制线路分析及故障处理	(286)
9.2.1 电气控制线路分析与故障处理	(287)
9.2.2 CA6140 车床控制线路分析及故障处理	(291)
技能训练 9-8 CA6140 型车床控制线路的检修	(295)
9.2.3 Z3040 型摇臂钻床电气控制线路	(296)
技能训练 9-9 Z3040 型摇臂钻床控制线路的检修	(301)
9.2.4 M7120 型平面磨床控制线路分析及故障处理	(301)
技能训练 9-10 M7120 型平面磨床电气控制线路的检修	(307)
9.2.5 X62W 万能铣床控制线路分析及故障处理	(307)
技能训练 9-11 X62W 万能铣床电气控制线路的检修	(314)
9.2.6 T68 型卧式镗床控制线路分析及故障处理	(315)
技能训练 9-12 T68 型卧式镗床电气控制线路的检修	(320)
复习思考题	(321)
参考文献	(324)

第1章 电气安全技术基础

电气安全是指电气产品本身的质量,以及它在安装、使用、维修过程中不发生任何电气事故。电气事故若按发生灾害的形式可以分为人身事故、设备事故、电气火灾和爆炸事故等;如果按发生事故的基本原因又可分为触电事故、雷电和静电事故、射频伤害事故、电路故障。其中以触电事故最为常见。

电气事故往往不是单一原因引起的,因此,电气安全工作是一项综合性的工作,包括工程技术方面和组织管理方面,且工程技术和组织管理要相辅相成。

1.1 用电安全概述

随着科学技术和经济水平的高度发展,人们接触电气设备的机会增多了。如果不了解安全用电知识,就很容易发生电气事故,从而影响生产和生活,危及生命。电气安全主要包括人身安全与设备安全两方面。电气设备分为高压设备(其对地电压在 250 V 以上)和低压设备(其对地电压在 250 V 以下)。运行设备指全部带电及部分带电或一经操作即可带电的设备。

1.1.1 人身安全

人身安全是指在从事电气工作和电气设备操作使用过程中人员的安全。以下主要从电气工作人员方面来考虑,介绍人身安全的基本常识。

1.1.1.1 成为电气工作人员的必备条件

电气工作是一特殊工种,所以从事电气工作人员应具备下列条件:

(1) 身体健康,经医生鉴定无妨碍工作的疾病。凡双目视力矫正后在 0.8 以下或色盲、听觉障碍、高血压和低血压病、心脏病、癭病、癫痫病、神经官能症、精神分裂症、严重口吃的患者不能从事电气工作。

(2) 具备必要的电气知识且能按其职务和工作性质熟悉国家的有关规程及规定,并经主管部门考试合格。

(3) 熟悉触电急救法和电气防火、救火方法。

1.1.1.2 电气工作人员人身安全知识

(1) 在进行电气运行和维修工作时,必须严格遵守各种安全操作规程和规定,不得玩忽失职。

(2) 进行电气维修操作时,要严格遵守停、送电操作规定,确实做好防突然断电的各项安全措施,或不准时送电。在一经合闸即可送电到工作地点的开关和刀闸的操作把手上,应悬挂“禁止合闸有人工作!”的标示牌;标示牌的悬挂和拆除应按操作票或工作票中相关规定执行。

(3) 在邻近带电部分进行电气操作时,一定要保持可靠的安全距离。为了保证电气工

工作人员在进行电气设备运行操作、维护检修时不致误碰带电体而引起电气事故,规定了工作人员离带电体的最小距离。电气工作人员在设备维修时与设备带电部分间的安全距离见表1-1。

表 1-1 工作人员与带电设备间的安全距离

设备额定电压/kV	10 以下	20~35	44	60	110	220	330
设备不停电时的安全距离/mm	700	1 000	1 200	1 500	1 500	3 000	4 000
工作人员工作时正常活动范围与带电设备的安全距离/mm	350	600	900	1 500	1 500	3 000	4 000
带电作业时人体与带电体之间的安全距离/mm	400	600	600	700	1 000	1 800	2 600

(4) 工作前,应检查电工工具的绝缘性能,以防工具绝缘损坏时带电操作而发生触电事故。在使用保证作业人员安全操作带电体及人体与带电体安全距离不够所采取的绝缘防护用具时,应注意用具本身必须具备合格的绝缘性能和机械强度,且只能在和其绝缘性能相适应的电气设备上使用。

(5) 登高作业者须受过登高训练。

(6) 若发现有人触电,要马上采取正确的方法进行抢救。

1.1.1.3 一般用电安全知识

作为电气工作人员应积极宣传安全用电知识,有权制止违章用电。

(1) 严禁采用一线一地、两线一地、三线一地(指大地)安装用电设备和器具。

(2) 严禁在一个插座或灯座上引接功率过大的用电器具或过多的用电器具。

(3) 严禁用金属丝(如铅丝)绑扎电源线。

(4) 不能用潮湿的手去触及开关、插座和灯座等用电装置,更不能用湿抹布去揩抹电气装置和用电器具。

(5) 在搬移可移动电器如电风扇、电视机等时,要先切断电源。

(6) 在潮湿环境中使用移动电器时,一定要采用 36 V 以下的安全低压电源。在金属容器内(如锅炉、蒸发器或管道等)使用移动电器时,必须采用 12 V 安全电源,并应有人在容器外进行监护。

(7) 雷雨天气在室外活动要防止跨步电压触电。打雷是大气中一种强烈的放电现象,打雷的时间短(一次雷击时间约 60 ms)、电流大(可高达几万至几十万安)、电压高(可高达数十万至数百万伏),所以打雷时不要接近避雷针、避雷器及其接地点;遇到有高低压线被打断刮落在地时,不能走进距断线地点 10 m 以内的地段(以防跨步电压触电),更不能用手去触摸断线。若人已进入上述地段,身体有麻电感时,不要惊慌,应立即双脚并拢或用一只脚跳出该地段。

1.1.1.4 电流对人体的危害

人身安全具体是指人在用电过程中避免发生触电事故及其他电气危害。触电主要是指电流能量对人体造成的伤害。电能可能对人体造成多种伤害,例如,电流通过人体直接接受电流能量而遭到的电击;电能转换为热能作用于人体,致使人体受到烧伤或灼伤;人体

在电磁波照射下,吸收电磁场的能量也会受到伤害等。在诸多伤害中,电流通过人体是导致人身伤亡的最基本原因。

有关电流人体效应的理论和数据对于制定防触电技术的标准、鉴定安全型电气设备、设计安全措施、分析电气事故、评价安全水平等是必不可少的。

1. 作用机理

电流流过人体时主要表现为生物学效应,同时还包含热效应、化学效应和机械效应。生物学效应主要是指使人体受到刺激产生兴奋行为,一些没有电流通过的部位也可能受到刺激而发生的强烈反应。

电流通过人体使人致命的最主要的原因是引起心室纤维性颤动(心室颤动),即心脏收缩舒张功能严重紊乱的心律失常,此时心脏呈蠕动状,没有收缩和扩张能力,血液实际上已中止循环,大脑和全身缺氧。心脏发生心室颤动持续时间不长(大约2 min),如不能及时抢救,心脏将很快停止跳动,导致死亡。

当人体遭受电击时,如果有电流通过心脏,电能直接作用于心肌,引起心室颤动;如果没有电流通过心脏,电能也可经中枢神经系统反射作用于心肌,引起心室颤动;如果电流作用于胸肌,胸肌将发生痉挛,使人感到呼吸困难(电流越大,感觉越明显),随着作用时间的延长,将会憋气、窒息直至呼吸中止,稍后,就会发生心室颤动或心脏停止跳动,导致死亡(在这种情况下肌体缺氧和中枢神经系统反射是引起心室颤动或心脏停止跳动的原因);如果是肌体受到电流强烈刺激产生强烈的神经系统反射,则会使血液循环、呼吸及其他新陈代谢都发生障碍而产生电休克(休克状态可以延续数十分钟到数天),后果可能是得到有效的治疗而痊愈,也可能是由于重要生命机能完全消失而死亡。

相比较而言,人体遭受电击时由于呼吸中枢麻痹而中止呼吸造成的危险性和由于电休克造成的危险性比由于心室颤动造成的危险性要小一些。

2. 影响电流对人体伤害的因素

电流对人体的伤害程度与电流通过人体的大小、频率、持续时间,电流通过人体的路径和种类等多种因素有关。而且,上述各个影响因素相互之间也存在一定的联系。

(1) 电流大小。通过人体的电流越大,人体的生理反应就越明显,感应越强烈,引起心室颤动所需的时间越短,致命的危险就越大。对于工频交流电,按照通过人体电流的大小和人体所呈现的不同状态,电流大致分为下列三种。

① 感觉电流:是指引起人体感觉的最小电流。实验表明,成年男性的平均感觉电流约为1.1 mA,成年女性为0.7 mA。感觉电流不会对人体造成伤害,但随着电流的增大,人体反应加剧,可能会造成坠落等间接事故。

② 摆脱电流:是指人体触电后能自主摆脱电源的最大电流。实验表明,成年男性的平均摆脱电流约为16 mA,成年女性约为10 mA。摆脱电流一般不会造成不良后果,但超过摆脱电流后会感到难以忍受,时间过长可能引起昏迷、窒息,甚至死亡。

③ 致命电流:是指在较短的时间内危及生命的最小电流。通过人体引起心室纤维性颤动的最小电流称为室颤电流。在小电流(不超过数百毫安)的作用下,电击致命的主要原因是电流引起心室颤动,则可认为室颤电流是短时间作用的最小致命电流。实验表明,室颤电流与通过人体电流持续时间有很大关系,当电流持续时间超过心脏搏动周期时,室颤电流约为50 mA;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,所以一般认为当

通过人体的电流达到 50 mA 以上时,心脏会停止跳动,可能导致死亡。我国对工频电流以 30 mA 作安全电流的容许值(即不危及人身安全的电流值),对于在高空、水面因电击有可能造成摔死、淹死的场所,通常以不引起强烈痉挛的 5 mA 为安全电流容许值。

(2) 电流频率。经实验与分析认为,在电流频率为 25 Hz 时,人体可忍受较大电流,在 3~10 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 40~60 Hz 电流的伤害。因此,一般认为 40~60 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 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 50 Hz 比较合理,但对人体可能造成严重伤害。

(3) 通电时间。通电时间越长,危害越大。因为随着电流持续时间延长,电能量积累愈多,引起心室颤动的电流值会随之减小;电流持续时间较长与心脏易损期(在心脏运动周期中某一特定时间段对电流最为敏感被称为易损期)重合的可能性也就愈大;电流持续时间延长会导致人体电阻降低,中枢神经反应越强烈,则对人体的危害性也随之增加。

(4) 电流路径。电流通过头部可使人昏迷;通过脊髓可能导致瘫痪;通过心脏可造成心跳停止、血液循环中断;通过呼吸系统可造成窒息。在上述伤害中,以心脏伤害的危险性最大,因此,流经心脏的电流多、电流路径短的途径是危险性最大的途径。从左手到胸部是最危险的电流路径,从手到手及从手到脚也是很危险的电流路径,比较而言,从脚到脚是危险性较小的电流路径。

(5) 电流种类。实验证明,交流电流、直流电流、特殊波形电流都对人体具有伤害作用,但其伤害程度以工频交流电流最为严重。

(6) 个体区别。因为人体的室颤电流与通过电流的心脏的质量有关,所以有心脏病、中枢神经系统疾病、肺病的人电击后的危险性较大;而身体健康、肌肉发达者的摆脱电流较大;女性的感知电流和摆脱电流仅是男性的 2/3,则危险性较大;儿童电击后的危险性比成年人大;人体当时的精神状态和心理因素对电击后果也有影响。

(7) 人体电阻。人体电阻是确定和限制人体容许安全电流的参数之一,在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肤电阻,人体组织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,当皮肤沾水、皮肤损伤、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。世界上普遍对人体电阻采用 500~1 000 Ω 计算,正常情况下我国取 1 500~1 700 Ω 。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。

(8) 电压影响。一般认为低电压触电致死的主要原因是心室颤动,而高电压触电致死的主要原因是呼吸中枢麻痹。由于影响电流变化的因素很多,而电力系统的电压是较恒定的,所以从安全方面看,确定人体触电的安全条件不宜采用安全电流而是用安全电压。表 1-1 即为允许人体接近的带电体最小安全距离。

1.1.2 设备安全

设备安全是指电气设备及其附属设备、设施的安全。设备安全主要从下列因素考虑。

1.1.2.1 设备运行安全知识

(1) 对电气设备要做好安全运行巡视、检查工作,并及时、准确地填写工作记录和规定的表格,对出现故障的电气设备和线路应及时维修,以免发生或扩大事故。

(2) 严格遵守送电、停电操作规定,送电时应先合隔离开关,再合负荷开关;断电时则先断负荷开关,再断隔离开关。

(3) 线路出现故障时,若必须停电,则停电范围以满足安全工作为限,不能随意扩大停电范围,要防止突然断电造成不良的后果。

(4) 电气设备一般不能受潮,在潮湿场所使用时,要有防雨、防潮措施。电气设备工作时发热,应有良好的通风散热条件和防火措施;对裸露设备及线路要防止小动物造成意外事故。

(5) 电气设备的金属外壳应有保护接地或保护接零措施。电气设备运行时可能会出现一些故障,所以应有短路保护、过载保护、欠压和失压保护等保护措施;在雷击高发区应有防雷措施。

1.1.2.2 电气设备的安装安全要求

所有电气设备的安装都应严格按照安装规定进行,不能随意变动。如配电电器开关绝不允许倒装,如闸刀开关若倒装就可能自动合闸,危及线路检修人员的安全;不能将开关插座或接线盒等直接安装在建筑物上,否则可能在受潮时造成漏电事故。

1.1.2.3 移动电气设备的安全要求

安全电压是指在各种不同工作使用环境中,正常情况下人体接触到该电压带电体后不发生损害。交流工频安全电压的上限值,在任何情况下,两导体间或任一导体与地之间都不得超过50V。我国工频电流的安全电压的额定值为42V、36V、24V、12V、6V。一般应根据作业场所、操作员条件、使用方式、供电方式、线路状况等因素选用相应的安全电压等级。安全电压有一定的局限性,它仅适用于小型电气设备,如手持电动工具等。

不同场所对电气设备的安装、维护、使用及检修有不同的要求。现按触电的危险程度将电气设备的工作场所分为以下几类。

(1) 无高度触电危险的建筑物(即一般场所)。其特点是室内干燥(相对湿度不大于75%,气温不低于5℃);空中无导电粉末,金属占有系数小于20%(占有系数指金属品所占面积与建筑物总面积之比),地面由非导电性材料(如干木材、沥青、瓷砖或塑料贴面)制成。如住宅、公共建筑物与生活建筑物;仪表装配楼、纺织车间、陶瓷制造车间、装有空调的实验室和控制室等工业建筑。在这种场所,各种易接触到的电器、携带型电气工具的使用电压不应超过220V。

(2) 有高度触电危险的建筑物(即危险场所)。其特点是室内环境潮湿(相对湿度大于75%),高温(气温高于30℃),室内含有导电粉末,有暂时性的蒸汽出现,金属占有系数大于20%,地面为泥、砖钢筋混凝土或金属等导电性地面,或地面虽铺有绝缘材料,但常处于潮湿状态。如金工车间、锻工车间、室内外配变电所、水泵房、压缩机站、成品库及无空调的办公室、实验室和食堂的厨房等。在此种场所各种易接触到的电器、携带型