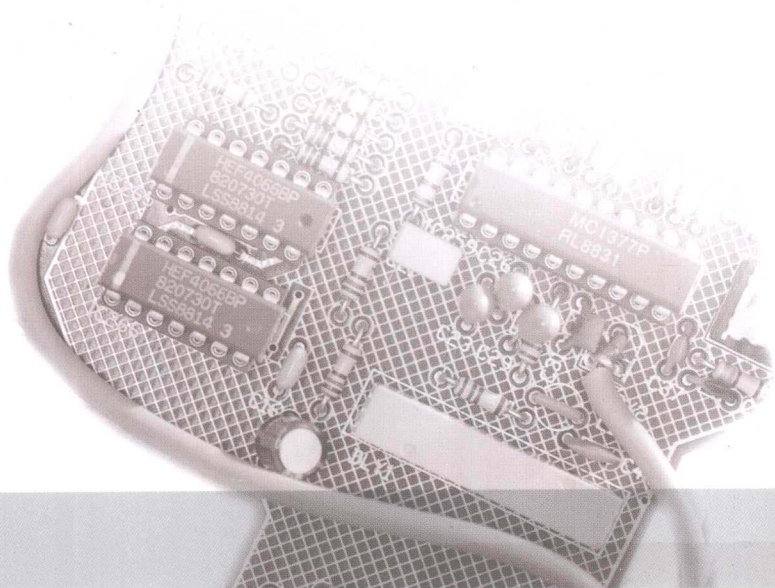


XINSHIJI DIANGONG DIANZI SHIJIAN XILIE GUIHUA JIAOCAI

新世纪电工电子实践系列规划教材



电工电子实习教程

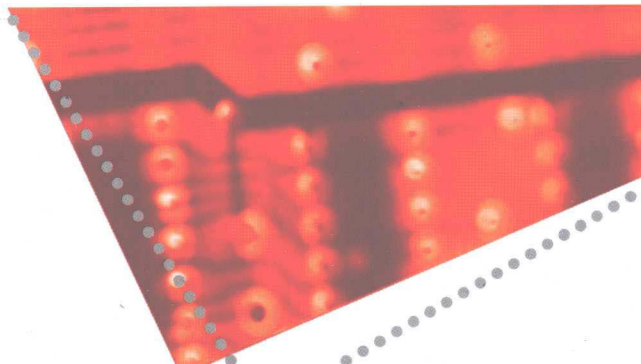
DIANGONG DIANZI

SHIXIJIAOCHENG

主编 / 肖顺梅

副主编 / 巢云 刘义

东南大学出版社



新世纪电工电子实践系列规划教材

电工电子实习教程

主 编 肖顺梅

副主编 巢 云 刘 义

东南大学出版社

• 南 京 •

内 容 简 介

本书是根据高等学校理工科本科生的电工电子实习基本教学要求编写的。

本书以简要的原理为基础,着重学生动手能力的训练。全书共6章,分别为安全用电、电子元器件、焊接技术、印制电路板的设计与制作、万用表、电子产品安装实训。

本书可作为高等院校电气类、电子信息类、计算机类和机电一体化等专业本、专科学生电工电子实习教材,也可供从事电子工程设计和研制的技术人员参考之用。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子实习教程 / 肖顺梅主编. —南京:东南大学出版社,2010.6

(新世纪电工电子实践系列规划教材)

ISBN 978-7-5641-2195-2

I. ①电… II. ①肖… III. ①电工技术—实习—高等学校—教材②电子技术—实习—高等学校—教材 IV.

①TM-45②TN-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 071532 号

电工电子实习教程

出版发行 东南大学出版社

出版人 江汉

社 址 南京市四牌楼2号

邮 编 210096

经 销 江苏省新华书店

印 刷 南京玉河印刷厂

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 13.25

字 数 330千字

版 次 2010年6月第1版

印 次 2010年6月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5641-2195-2

印 数 1—3500册

定 价 28.00元

(凡因印装质量问题,请与我社读者服务部联系。电话:025-83792328)

前 言

为适应 21 世纪高等学校培养应用型人才的战略,加强对 学生实践能力和创新能力的培养,电类各专业统一开设电工电子系列基础实践课程。该系列基础实践课程主要有“电工基础实验”、“电工电子实习”、“模拟电子技术实验”、“数字电子技术实验”四门课程组成,本书为第二门课程的教材,其内容包括“安全用电”、“电子元器件”、“焊接技术”、“印制电路板的设计与制作”、“万用表”以及“电子产品安装实训”。

本书的宗旨是提高学生的综合素质,以培养创新精神为目的,着力于实践能力的培养。从培养应用型人才为出发点,培养学生理论联系实际的能力,通过实践,达到提高学生动手能力、分析问题和解决问题的能力。本书具有以下几个特点:

(1) 广泛性

本书介绍电工电子实习主要知识:安全用电、电子元器件、焊接技术、印制电路板的设计与制作、万用表、电子产品安装实训。既是教学参考书,又是指导实践的实用资料;既是基本技能与工艺知识的入门向导,又是创新实践的启蒙。

(2) 实用性

本书最主要的特点就是实用性,也就是说通过对本书的学习,学生应能正确选用常用元器件;熟练掌握焊接、组装、调试等一系列设计和制作电子产品所需要的技术,并在实践中培养分析、解决实际问题的能力,为今后走上工作岗位奠定基础。

(3) 新颖性

增加了表面安装工艺、数字化电工仪表、手工制作电路板的实践教学环节。

(4) 独立性

尽管本书是电工电子系列的一部分,但它与传统的课堂教学有很大的区别,更侧重于实践动手能力的培养。包括安全用电,元器件的认识、选取,读懂电子电路原理图、工艺装配图,焊接、组装、调试,万用表使用等相关课程中没有的知识,这一整套内容与理论知识相独立自成体系。

本书由肖顺梅、巢云、刘义共同编写,其中肖顺梅编写第3章和第5章,巢云编写第4章和第6章,刘义编写第1章和第2章,全书由肖顺梅负责统编与定稿。电工电子实验中心的其他教师在本书编写过程中,给予了大力支持与帮助,并提出许多宝贵的意见,谨此表示诚挚的感谢。

由于时间仓促以及编者的水平所限,书中难免有疏误之处,恳请广大读者提出批评与改进意见。

编者
2009年12月

目 录

	安全用电	(1)
1.1	电力系统	(1)
1.1.1	电力系统简介	(1)
1.1.2	电力网	(1)
1.1.3	发电厂简介	(2)
1.2	人体安全用电	(3)
1.2.1	触电类型	(3)
1.2.2	触电方式	(3)
1.2.3	影响触电伤害大小的因素	(6)
1.2.4	触电急救	(8)
1.3	设备安全用电	(10)
1.3.1	接电前检查	(10)
1.3.2	仪器设备的接地和接零保护	(10)
1.3.3	漏电保护器	(11)
1.3.4	过限保护	(12)
1.3.5	设备使用异常处理	(13)
1.4	电气火灾与安全	(13)
1.4.1	电气火灾产生的原因	(13)
1.4.2	如何避免电气火灾	(14)
1.4.3	电气火灾的预防与急救	(15)
	电子元器件	(16)
2.1	电阻器	(16)
2.1.1	电阻器的命名与标示	(16)
2.1.2	电阻器的分类	(18)
2.1.3	电阻器的主要参数	(21)
2.1.4	电阻器的选用及注意事项	(22)
2.1.5	电阻器的检测	(23)
2.2	电位器	(23)
2.2.1	电位器的命名	(24)

2.2.2	电位器的分类	(25)
2.2.3	电位器的主要参数	(27)
2.2.4	电位器的选用及注意事项	(28)
2.2.5	电位器的检测	(29)
2.3	电容器	(29)
2.3.1	电容器的命名与标示	(30)
2.3.2	电容器的分类	(32)
2.3.3	电容器的主要参数	(34)
2.3.4	电容器的选用及注意事项	(35)
2.3.5	电容器的检测	(36)
2.4	电感器	(37)
2.4.1	电感器的命名与标示	(38)
2.4.2	电感线圈的分类	(38)
2.4.3	电感线圈的主要参数	(40)
2.4.4	电感器的选用及注意事项	(41)
2.4.5	电感器的检测	(41)
2.5	变压器	(42)
2.5.1	变压器的分类	(42)
2.5.2	变压器的主要参数	(43)
2.5.3	变压器的选用及注意事项	(43)
2.6	二极管	(44)
2.6.1	二极管的命名	(44)
2.6.2	二极管的分类	(44)
2.6.3	二极管的参数	(48)
2.6.4	二极管的检测	(49)
2.7	三极管	(50)
2.7.1	晶体三极管	(50)
2.7.2	场效应管	(55)
2.7.3	晶闸管	(57)
2.8	集成电路	(61)
2.8.1	集成电路的命名与标示	(61)
2.8.2	集成电路的分类	(64)
2.8.3	集成电路的主要参数	(66)
3	焊接技术	(67)
3.1	焊接基础知识	(67)
3.1.1	焊接的概念及分类	(67)

3.1.2	锡焊机理	(68)
3.2	焊接工具	(69)
3.2.1	电烙铁	(69)
3.2.2	其他工具	(73)
3.3	焊接材料	(74)
3.3.1	焊料	(74)
3.3.2	焊剂	(75)
3.3.3	阻焊剂	(76)
3.4	手工焊接技术	(77)
3.4.1	焊前准备	(77)
3.4.2	焊接操作姿势	(77)
3.4.3	焊接操作方法	(78)
3.4.4	焊接要领	(79)
3.4.5	焊接质量检查	(81)
3.4.6	拆焊	(84)
3.4.7	焊接后的清洗	(85)
3.5	电子工业中焊接技术简介	(85)
3.5.1	浸焊	(85)
3.5.2	波峰焊	(87)
3.5.3	再流焊	(87)
3.5.4	高频加热焊	(87)
3.5.5	脉冲加热焊	(87)
3.6	表面安装技术	(88)
3.6.1	表面安装技术的优点	(88)
3.6.2	表面安装技术中存在的一些问题	(89)
3.6.3	表面安装技术工艺流程	(89)
3.6.4	表面安装元器件	(91)
3.7	无锡焊接技术	(94)
3.7.1	接触焊接	(94)
3.7.2	熔焊	(95)
	印制电路板的设计与制作	(96)
4.1	印制电路板的基本知识	(96)
4.1.1	印制电路板的基本组成	(96)
4.1.2	敷铜板及其分类	(97)
4.1.3	印制电路板的分类	(97)
4.2	印制电路板的设计原则	(97)

4.2.1	元器件布局原则	(98)
4.2.2	布线原则	(99)
4.2.3	印制导线、焊盘的尺寸和形状要求	(99)
4.3	Protel 99 SE 使用基础	(100)
4.3.1	Protel 99 SE 软件介绍	(100)
4.3.2	Protel 99 SE 的界面	(102)
4.3.3	用 Protel 99 SE 设计印制电路板的一般步骤	(104)
4.4	设计电路原理图	(105)
4.4.1	设计电路原理图的准备工作	(105)
4.4.2	图纸设置	(107)
4.4.3	创建元件库	(111)
4.4.4	原理图绘制	(117)
4.4.5	电路原理图检查	(125)
4.5	生成各种电路原理图报表文件	(128)
4.5.1	生成网络表文件	(128)
4.5.2	生成元器件材料清单	(130)
4.5.3	生成层次原理图组织列表	(132)
4.5.4	生成层次原理图元器件参考列表	(132)
4.5.5	生成元器件引脚列表	(133)
4.6	设计印制电路板	(134)
4.6.1	元器件封装	(134)
4.6.2	设置 PCB 工作层面和工作参数	(137)
4.6.3	对 PCB 进行布线	(144)
4.6.4	生成各种 PCB 报表文件	(153)
	万用表	(155)
5.1	模拟万用表	(155)
5.1.1	万用表的组成结构	(155)
5.1.2	万用表表盘	(157)
5.1.3	万用表的测量原理	(157)
5.1.4	万用表的使用注意事项	(165)
5.1.5	万用表的校验	(166)
5.1.6	实习型万用表的组装及校验	(168)
5.2	数字万用表	(169)
5.2.1	数字万用表的特点	(169)
5.2.2	数字万用表的工作原理	(169)
5.2.3	数字万用表的使用方法	(170)

 电子产品安装实训	(174)
6.1 电子产品装配工艺	(174)
6.1.1 装配工艺技术基础	(174)
6.1.2 电子产品的装配工艺	(174)
6.2 电子产品的调试	(176)
6.2.1 调试的内容及特点	(176)
6.2.2 调试的一般程序	(177)
6.3 整机的故障检测	(178)
6.3.1 故障检测的一般步骤	(178)
6.3.2 故障检测的常用方法	(179)
6.4 电子产品装配实训	(180)
6.4.1 直流稳压电源和充电器的制作	(180)
6.4.2 MF47 万用表的安装与调试	(185)
6.4.3 DT830 数字万用表的安装	(191)
6.4.4 声光控延时开关	(194)
6.4.5 超外差式收音机的装调实训	(196)
参考文献	(202)

1

安全用电

随着社会的发展,电被越来越广泛地运用在了我们生活中的方方面面,从家庭到办公室,从游乐场到工矿企业,从学校到公司,几乎没有不用电的场所。电是现代物质文明的基础,它在我们生活当中起到了巨大的作用,但如果运用的不好,它同时也能成为危害人类的肇事者,电气事故就是现代社会中不可忽视的灾害之一。

自从电被发明以来,科技工作者就为减少、防止电气事故而不懈的努力。在长期的实践中,人们总结积累了大量安全用电的经验,我们应该牢记前人的经验教训,掌握必要的安全用电知识,防患于未然。

1.1 电力系统

1.1.1 电力系统简介

电由发电厂发出,通过输电和配电将其输给用户使用,输电和配电设施包括变电站、线路等设备,所有输电设备连接起来组成输电网,也称为输电系统。从输电网到用户之间的用电设备组成的网络称为配电网,也称配电系统。

输电系统和配电系统再加上发电厂和用电设备统称为电力系统,输电网和配电网统称为电网,是电力系统的重要组成部分。

电能是一种方便、清洁、容易转换与控制、效率高、又便于输送和分配的能源。它是由一次能源(如热能、位能、核能等)在发电厂经过加工转换后形成的,因此称为二次能源。

根据所用能源的不同,发电厂(站)又分为火力发电厂、水力发电站和核电站等。目前还有利用风力、沼气、地热、潮汐、太阳能等作为一次能源来发电的发电厂(站)。

发电厂是提供电能的基地,一般都建立在一次能源丰富的地方,而使用电能的用户却遍及各地,因此大、中型发电厂发出的电能都要经过变压器升压,经高压输电线(架空线或地下电缆)送到用户端,再经降压变压后接入用户。由于电能一经产生之后就无法保存,因此其生产、输送与消耗都在同一时间进行着。发电厂总是希望负载能保持额定情况不变,负载量(又称负荷)过轻时,发电设备自耗增加,这对发电设备的安全运行极为不利。但是用户电能的消费总是按照生产过程和时间的不同而变化的。为解决这种电能供需的矛盾,除合理调整负载外,还必须合理分配电能,这就是所谓的配电。配电所(站)就是将来自于各个不同发电厂的电能统一调配,根据负荷的变化情况进行合理输电。这样,由发电厂、输电线路、配电站和用户构成的系统称为电力系统。

1.1.2 电力网

在电力系统中,由变(配)电和各种不同电压等级的电力线路所构成的网络,简称电网。

电力网是连接发电厂和用户的中间环节。一般分成输电网和配电网两部分。

输电网一般是由 220 kV 及以上电压等级的输电线路和与之相连的变电所组成,是电力系统的主干部分。它的作用是将电能输送到距离较远的各地区配电网或直接输送给大型工业企业。目前,我国的几大电网已经初步建成了以 500 kV 超高压输电线路为骨干的主网架。

配电网是由 110 kV 及以下电压等级的配电线路(110 kV 和 35 kV 为高压配电,10 kV 为中压配电,380/220 V 为低压配电)和配电变压器组成,其作用是将电能分配到各类用户。

1.1.3 发电厂简介

生产电能的工厂称为发电厂(站)。按使用能源种类的不同,发电厂也分为许多种,如:

1) 火力发电厂

火力发电是利用煤、石油、天然气等燃料燃烧后获得的热能转换成机械能,再通过获得的机械能驱动发电机运转发电的方式。种类有火力发电、燃气涡轮发电及内燃机发电等。其中将热能转变成蒸汽能,利用蒸汽驱动汽轮机旋转发电的火力发电为主流,一般说来火力发电都是指这种火力发电。

2) 热电厂

如果在发电的同时,将一部分做过功的蒸汽从汽轮机抽出用管道输给附近需要热蒸汽的工厂(如纺织厂等)或居民使用,这样的发电厂称为热电厂。普通火力发电厂(也称凝汽式火电厂)热能利用率仅为 40% 左右,而热电厂的热能利用率则可提高到 69%~70% 以上。这种热电联产的综合效益可节约燃料 20%~25%,因此应在具备条件的地方优先采用。

3) 燃气轮机发电厂

燃气轮机发电厂也属于火力发电厂的一种,但它不是以水蒸气作为推动汽轮发电机组的,而是燃料(油或天然气)燃烧所产生的高温气体直接驱动燃气轮机的转子旋转。燃气轮机发电厂建设工期短,开停机灵活方便,便于电网调度控制,宜于承担高峰负荷而作为电力系统中的调峰电厂。

4) 核电厂

利用原子核裂变产生的高热将水加热为水蒸气驱动汽轮发电机发电的电厂称为核电厂(或原子能发电厂)。核电厂造价较高,但用于燃料的费用低,每年消耗的核燃料可能仅几吨,而相同容量的燃煤发电厂却要消耗煤几百万吨(1 kg 铀 235 约折合 2 860 t 标准煤)。因此,核电厂特别适于建在工业发达而资源(煤、石油)缺乏的地区。

5) 水力发电厂

利用自然界江河水流的落差,通过筑坝等方法提高水位,用水的势能使水轮机旋转带动发电机产生电能的电厂,称为水力发电厂(简称水电厂)。水电厂一般只能建在远离城市中心的江河峡谷,其建设周期长,投资也较大。但它不需燃料,发电成本低(仅为火电厂的 1/4~1/3),能量转换效率高,又没有污染,开机停机都十分灵活方便。因此,从环境保护和可持续发展角度,应大力开发水电。

6) 其他能源的发电厂

利用风力、地热、太阳能、潮汐和海洋能发电的发电厂也在研究和发展中,一般容量都不

大,多为试验性质。但新能源的利用是一项重要的战略性课题,在未来的社会发展中会起到重要的作用。

1.2 人体安全用电

1.2.1 触电类型

触电,就是指当人体接触带电体时,电流对人体造成的不同程度的伤害。一般来说,触电所造成的伤害主要分为电击和电伤两种。

1) 电击

所谓电击,就是指电流通过人体内部器官,使其受到伤害。它会破坏人的心脏、呼吸及神经系统的正常工作,使人出现痉挛、窒息、心颤、心脏骤停等症状,甚至危及生命。绝大部分的触电死亡事故都是由电击造成的,它属于人体触电较危险的一种情况。电击后通常会留下较明显的特征,如:电标、电纹、电流斑。

2) 电伤

所谓电伤,主要是指电流的热效应、化学效应或机械效应对人体造成的伤害。电伤可伤及人体内部,但多见于人体表面,常会在人体上留下伤痕。通常有以下几种:

(1) 电弧烧伤(又称为电灼伤):是电伤中最常见也是最严重的一种,多由电流的热效应引起,对人体皮肤、皮下组织、肌肉甚至神经产生伤害,会引起皮肤发红、起泡、烧焦、坏死。

(2) 电烙印:是指电流通过人体后在接触部位留下的斑痕。斑痕处皮肤变硬,失去原有的弹性和色泽,表层坏死,失去知觉。

(3) 皮肤金属化:是指由于电流或电弧作用产生的金属微粒渗入了人体皮肤造成的,受伤部位变得粗糙坚硬并呈青黑色或褐红色。与电弧烧伤相比,皮肤金属化并不是主要伤害。

(4) 电光眼:表现为角膜炎或结膜炎。在弧光放电时,紫外线、可见光、红外线均可能损伤眼睛。短暂的照射时,紫外线是引起电光眼的主要原因。

电伤是人体触电事故中较为轻微的一种情况。在触电事故中,电击和电伤常会同时发生。

1.2.2 触电方式

按照人体触及带电体的方式和电流流过人体的途径,触电方式可分为单相触电、两相触电、跨步电压触电等。

1) 单相触电

当人体直接碰触带电设备中的任意一相时,电流通过人体流入大地,这种触电现象称为单相触电。对于高压带电体,人体虽未直接接触,但由于小于安全距离,高电压电离空气后对人体放电,造成单相接地而引起的触电,也属于单相触电。这种触电的危害程度取决于电网中的中性点是否接地。

(1) 中性点接地电网的单相触电：当人体接触其中任一相导线时，人体承受 220 V 的相电压，电流通过人体→大地→系统中性点接地装置，形成闭合回路，如图 1.2.1 所示。因为中性点接地装置的接地电阻比人体电阻小得多，所以相电压几乎全部加在人体上，使人体触电，触电后果比较严重。一般我们工作和生活场所的供电系统均为 380 V/220 V 中性点接地系统。但是如果人体站在绝缘材料上，流经人体的电流会很小，人体不会触电。

(2) 中性点不接地电网的单相触电：当人体接触任一相导线时，触电电流经人体→大地→线路→对地绝缘电阻(空气)和分布电容形成两条闭合回路，如图 1.2.2 所示。如果线路绝缘良好，空气阻抗、容抗很大，人体承受的电流就比较小，一般不发生危险；反之，则危险性就增大。

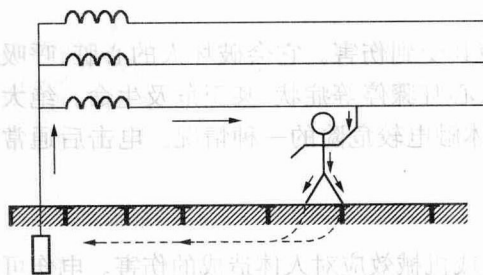


图 1.2.1 中性点直接接地

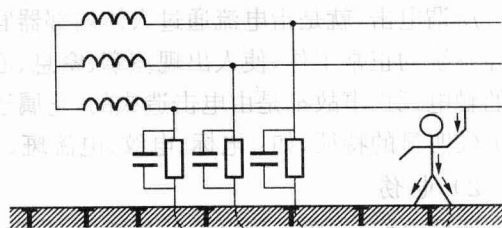


图 1.2.2 中性点不直接接地

2) 两相触电

人体的不同部位同时分别接触电网的两根不同相线发生触电，或在高压系统中，人体同时接近不同相的两相带电导体，而发生电弧放电，电流从一根相线通过人体流入另一根相线，构成一个闭合回路，这种触电方式称为两相触电。发生两相触电时，作用于人体上的电压等于全部工作电压(即线电压)，且此时电流将不经过大地，直接从一相经人体到达另一相，而构成了闭合回路。故不论中性点是否接地、人体对地是否绝缘，都会使人触电。这种触电是最危险的，比单相触电危险性更大，如图 1.2.3 所示。

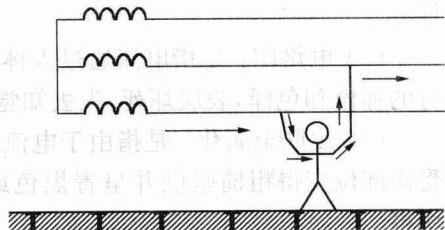


图 1.2.3 两相触电

3) 跨步电压触电

当电气设备发生接地故障时，接地电流通过接地体向大地流散，例如：高架电线断裂后一端接触地面，电流通过落地点流入大地；避雷装置遭受雷击时，其接地装置有很大的入地电流。这些入地电流在地面上就形成了高低不同的电位分布，若人在接地点周围行走，其两脚之间的电位差，就是跨步电压。而由跨步电压引起的人体触电，就称为跨步电压触电，如图 1.2.4 所示。一般来说，从接地点向外，电位的分布大致是按指数规律下降的，一般距离接地点 20 m 处基本可认为电位为 0，人的跨步距离按 0.8 m 考虑。跨步电压的大小受接地电流大小、鞋的绝缘性和地面潮湿情况、两脚之间的跨距、两脚的方位以及离接地点的远近等很多因素的影响。

下列情况和部位可能发生跨步电压电击：

(1) 带电导体,特别是高压导体故障接地处,流散电流在地面各点产生的电位差造成跨步电压电击;

(2) 接地装置流过故障电流时,流散电流在附近地面各点产生的电位差造成跨步电压电击;

(3) 正常工作时有较大的工作电流流过的接地装置附近,流散电流在地面各点产生的电位差造成跨步电压电击;

(4) 防雷装置接受雷击时,极大的流散电流在其接地装置附近地面各点产生的电位差造成跨步电压电击;

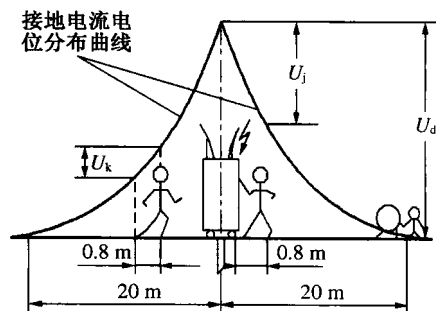


图 1.2.4 跨步电压触电

(5) 高大设施或高大树木遭受雷击时,极大的流散电流在附近地面各点产生的电位差造成跨步电压电击;

(6) 高架高压电线由于天气或人为原因断裂后,一端接触地面,在落地点会有极大的流散电流,在附近地面各点产生的电位差造成跨步电压电击。

4) 雷击触电

雷击是雷雨云对地面突出物产生的放电现象,它是一种特殊的触电方式。雷击感应电压高达几十至几百万伏,其能量可把建筑物摧毁,使可燃物燃烧,把电力线、用电设备击穿、烧毁,造成人身伤亡,危害性极大。目前,一般通过避雷设施将强大的电流引入地下以避免雷电的危害。避雷的常识:

(1) 在雷雨交加时,最好把室内家用电器的电源切断,并拔掉电话插头。(特别是电视和计算机)

(2) 不宜在雷电交加时用喷头冲凉,因为巨大的雷电会沿着水流袭击淋浴者。(特别是太阳能热水器用户)

(3) 雷雨天气时不要停留在高楼平台上,在户外空旷处不宜进入孤立的棚屋、岗亭等。

(4) 不宜在大树下躲避雷雨,如万不得已,则须与树干保持 3 米距离,下蹲并双腿靠拢。

(5) 如果在户外看到高压线遭雷击断裂,此时应提高警惕,因为高压线断点附近存在跨步电压,身处附近的人此时千万不要跑动,而应双脚并拢,跳离现场。

5) 静电触电

金属物体受到静电感应及绝缘体间的摩擦起电是产生静电的主要原因。静电的特点是电压高,一般 3~4 kV 的静电电压人便会有不同程度的电击感觉,有时甚至可达数万伏,但能量不大,所以一般不至于有生命危险,但有时静电会诱发心脏早搏。在某些行业则需要利用静电的特性,比如静电除尘、静电复印、静电喷涂(漆、塑等)、静电植绒等。

(1) 静电危害的两个方面

① 危及大型精密仪器的安全。由于现代化仪器中大量使用高性能元件,很多元件对静电放电敏感,造成器件损坏。

② 静电电击危害。静电电击和触电电击不同,静电电击是指由于静电放电时瞬间产生的冲击性电流通过人体时造成的伤害,它会使人摔倒、电子仪器失灵及放电的火花可引起易燃混合气体的燃烧爆炸,因此必须加以防护。

(2) 静电的防护措施

- ① 防静电区内不要使用绝缘性好的地面材料,可以铺设导电性地板。
- ② 在易燃易爆场所,应穿防静电工作服、防静电鞋(电阻应在 $150\text{ k}\Omega$ 以下)。
- ③ 高压带电体应有屏蔽措施,以防人体感应产生静电。
- ④ 进入实验室应徒手接触金属接地棒,以消除人体从外界带来的静电。
- ⑤ 提高环境空气中的相对湿度,当相对湿度超过 $65\%\sim 70\%$ 时,由于物体表面电阻降低,便于静电逸散。

1.2.3 影响触电伤害大小的因素

1) 电流的大小

人体内是存在生物电流的,一定限度的电流不会对人体造成损伤。一些电疗仪器就是利用电流刺激穴位来达到治疗的目的,但如果是超过一定大小的电流则会对人体造成一定的伤害,通过人体的电流越大,人体的生理反应越明显,引起心室颤动所需的时间越短,致命的危险就越大。不同的电流会引起人体不同的反应,如表 1.2.1 所示。根据人体对电流的反应程度,习惯上将触电电流分为:

(1) 感知电流:指在一定概率下,能引起人体有轻微发热或轻微刺痛感觉,但无有害生理反应的最小电流值。不同的人其感知电流是不相同的。对于工频电流(频率 50 Hz ,电压 220 V),成年男子和女子的感知电流依次分别为 1.1 mA 和 0.7 mA ;对于直流电,依次分别为 5.2 mA 和 3.5 mA 。

(2) 摆脱电流:电流大于感知电流时,发热、刺痛的感觉增强。电流大到一定程度,触电者因肌肉收缩,发生痉挛而紧抓带电体,不能自行摆脱电源。人体触电后能自主摆脱电源而无病理性危害的最大电流,称为摆脱电流。成年男子和成年女子的摆脱电流依次分别约为 16 mA 和 9 mA 。

(3) 致命电流:指在较短时间内危及生命的最小电流。在不超过数百毫安的小电流作用下,电击致死的主要原因是电流引起心室颤动,因此我们认为可以引起心室颤动的电流即是致命电流。当电流持续时间超过心脏搏动周期时,人的室颤电流约为 50 mA 。如通电时间小于心脏搏动周期,但超过 10 ms ,室颤电流约为数百毫安。通常将 100 mA 定为致命电流。

表 1.2.1 电流对人体的作用

电流(mA)	人体的感觉
<0.7	无感觉
1	有轻微感觉
1~3	有刺激感,一般电疗仪器取此电流
3~10	感到疼痛,但可以自行摆脱
10~30	引起肌肉痉挛,短时间内无危险,长时间有危险
30~50	强烈痉挛,时间超过 60 s 即有生命危险
50~250	产生心脏室性纤颤,丧失知觉,严重危害生命
>250	短时间内(1 s 以上)造成心脏骤停,体内造成电灼伤

2) 电流作用的时间

电流对人体的伤害程度同作用的时间密切相关,人体触电时间越长,电流对人体产生的热伤害、化学伤害及生理伤害越严重,我们可以用电流与时间的乘积(也称电击强度)来表示电流对人体的危害。一般情况下,工频电流 15~20 mA 以下及直流电流 50 mA 以下,对人体是安全的。但如果触电时间很长,即使工频电流小到 8~10 mA,也可能使人致命。并且通电时间越长,越容易引起心室颤动,电击伤害程度就越大。

3) 电流流经人体的途径

电流流经人体的途径,也是影响人体触电严重程度的重要因素之一。当电流通过人体心脏、脊椎或中枢神经系统时,危险性最大。电流通过人体心脏,引起心室颤动,甚至使心脏停止跳动。电流通过脊椎或中枢神经,会引起生理机能失调,造成窒息致死。电流通过脊髓,可能导致截瘫。电流通过人体头部,会造成昏迷等。因此,从左手到胸部是最危险的电流路径;从手到手、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。

4) 人体的电阻

在一定电压作用下,流过人体的电流与人体电阻成反比:人体电阻越小,流过人体的电流越大,也就越危险。人体是一个非线性电阻,随着电压升高,电阻值减小。表 1.2.2 给出了人体电阻值随电压的变化。所以,人体电阻是影响人体触电后果的另一重要因素。人体电阻由表面电阻和体积电阻构成。表面电阻即人体皮肤电阻,在人体电阻中起主要作用。有关研究表明,人体电阻一般在 1 000~3 000 Ω 范围。

人体皮肤电阻与皮肤状态有关,随条件不同在很大范围内变化。如皮肤在干燥、洁净、无破损的情况下,可高达几十千欧,而潮湿的皮肤,其电阻可能在 1 000 Ω 以下。同时,人体电阻还与皮肤的粗糙程度有关。

表 1.2.2 人体电阻随电压的变化情况

电压(V)	1.5	12	31	62	125	220	380	1 000
电阻(k Ω)	>100	16.5	11	6.24	3.5	2.2	1.47	0.64
电流(mA)	忽略	0.8	2.8	10	35	100	268	1 560

5) 电流的类型

经研究表明,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,而交流电则是电伤与电击同时发生,特别是频率在 40~100 Hz 的交流电对人体的危害最大。不幸的是人们日常使用的工频市电(我国为 50 Hz)正是在这个危险的频段。由于交流电主要是麻痹破坏神经系统,往往难以自主摆脱。

随着电流频率的增加,危险性将降低。当电流频率大于 2 kHz 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。当交流电频率达到 20 kHz 时对人体危害很小,目前医疗上采用 20 kHz 以上的高频电流对人体进行治疗。

除了以上各种影响触电伤害大小的因素外,电流对人体的伤害作用还与性别、年龄、身体及精神状态有很大的关系。一般的说,女性比男性对电流敏感;小孩比大人敏感。患有心脏病者,触电后的死亡可能性更大。