

XINSHIJI DIANGONG DIANZI SHIYAN XILIE GUIHUA JIAOCAI

新世纪电工电子实验系列规划教材

DIANGONG DIANZI SHIXI JIAOCHENG

电工电子实习教程 (第2版)

主 编◎巢 云

副主编◎刘 义 肖顺梅



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

新世纪电工电子实验系列规划教材

电工电子实习教程

(第2版)

主 编 巢 云

副主编 刘 义 肖顺梅

东南大学出版社

· 南 京 ·

内 容 简 介

《电工电子实习教程(第2版)》是根据普通高等院校教学计划中“电工电子实习”课程的基本教学要求编写的。

本书以简要的理论原理为基础,着重培养学生的动手能力,培养工程观念和团队协作精神。全书共分为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、万用表和电子产品安装实训。

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的本、专科学生的电工电子实习教材,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 / 巢云主编. —2版. —南京:
东南大学出版社, 2014. 11

新世纪电工电子实验系列规划教材

ISBN 978-7-5641-5285-7

I. ①电… II. ①巢… 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(2014)第 248833 号

电工电子实习教程(第2版)

出版发行 东南大学出版社
出 版 人 江建中
社 址 南京市四牌楼2号
邮 编 210096

经 销 全国新华书店
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 2014年11月第2版
印 次 2014年11月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5641-5285-7
印 数 1—3500册
定 价 32.00元

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830)

第2版前言

为适应21世纪高等学校培养应用型人才的战略,加强学生实践能力和创新能力的培养,我校电类各专业统一开设了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。从培养应用型人才的目标为出发点,通过电工电子实习,达到提高学生动手能力、分析问题和解决问题的能力。考虑到电类学科的发展和实际的教学需要,第2版在内容上做了如下的更新与调整:

(1) 第1章安全用电部分作了适当的增加和删减,增加了家庭安全用电的内容,减少了部分触电急救的内容。使得整个安全用电的内容更加重点突出。

(2) 第2章电子元器件部分增加了一些常用元器件的实物图形,并加以比较,使得学生能更直观地进行了解和学习,另外对一些元器件的特性和检测方法也加以图形和文字结合的方法进行介绍,使学生能更深入地了解相应的电子元器件。

(3) 第5章万用表部分对万用表的设计方法作了较大改动,使用了我们在教学过程中的常用方法进行描述,使得学生在学习的时候能够更好地参考;在介绍数字万用表的部分重点介绍了数字万用表的使用方法,对数字万用表的电路原理的介绍有所删减,这样可以帮助学生更加有效地熟悉数字万用表的使用。

在第2版的改版过程中,电工电子实验中心的其他教师也给予了很大的支持与帮助,在此表示诚挚的感谢

由于时间仓促以及编者水平所限,本书中难免有疏误之处,恳请广大读者提出宝贵的批评与改进意见。

编者

2014年9月于三江学院

目 录

1	安全用电	(1)
1.1	电力系统	(1)
1.1.1	电力系统组成	(1)
1.1.2	发电厂	(2)
1.1.3	输电线路	(3)
1.1.4	配电系统	(3)
1.2	人体安全用电	(3)
1.2.1	触电类型	(3)
1.2.2	触电方式	(4)
1.2.3	影响触电伤害大小的因素	(6)
1.3	设备安全用电	(8)
1.3.1	接电前检查	(8)
1.3.2	仪器设备的接地保护和接零保护	(9)
1.3.3	漏电保护开关	(11)
1.4	家庭安全用电	(11)
1.4.1	家庭安全用电的组成	(11)
1.4.2	家庭安全用电的注意事项	(14)
1.5	触电急救	(14)
2	电子元器件	(16)
2.1	电阻器	(16)
2.1.1	电阻器的符号与命名	(16)
2.1.2	电阻器的分类	(17)
2.1.3	电阻器的参数	(18)
2.1.4	电阻器的规格标注方法	(19)
2.1.5	电阻器的性能测试及注意事项	(20)
2.2	电位器	(21)
2.2.1	电位器的符号与规格标注	(21)
2.2.2	电位器的分类	(22)
2.2.3	电位器的主要参数	(24)

2.2.4	电位器的检测、选用及焊装	(25)
2.3	电容器	(26)
2.3.1	电容器的符号与命名	(26)
2.3.2	电容器的分类	(27)
2.3.3	电容器的参数	(29)
2.3.4	电容器的规格标注	(29)
2.3.5	电容器的作用	(30)
2.3.6	电容器的检测、选用及注意事项	(31)
2.4	电感器	(33)
2.4.1	电感器的符号与命名	(33)
2.4.2	电感器的分类与结构	(34)
2.4.3	电感线圈的主要参数	(35)
2.4.4	电感器的规格标注	(37)
2.4.5	电感器的检测及意事项	(37)
2.5	二极管	(38)
2.5.1	二极管的符号及特性	(38)
2.5.2	二极管的型号命名及分类	(40)
2.5.3	二极管的参数	(43)
2.5.4	二极管的检测	(44)
2.6	晶体三极管	(45)
2.6.1	三极管的结构与型号命名	(45)
2.6.2	三极管的分类及参数	(47)
2.6.3	三极管的特性曲线和放大作用	(48)
2.6.3	三极管的判别	(50)
2.7	场效应管	(52)
2.7.1	场效应管的分类、特点与型号命名	(52)
2.7.2	场效应管的参数及特性	(55)
2.7.3	场效应管的检测与使用注意事项	(56)
2.8	晶闸管	(58)
2.8.1	晶闸管的型号命名与结构	(58)
2.8.2	晶闸管的工作状态	(59)
2.8.3	晶闸管的识别与检测	(61)
2.9	集成电路	(61)
2.9.1	半导体集成电路的命名和分类	(61)
2.9.2	集成电路的封装和引脚识别	(63)
2.9.3	集成电路的主要参数和检测常识	(64)

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)
4	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)
5	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	万用表的测量电路	(158)
5.1.4	万用表的使用注意事项	(164)
5.1.5	万用表的检验	(165)
5.1.6	实习型万用表组装校验	(166)
5.2	数字万用表	(168)

5.2.1	数字万用表的特点	(168)
5.2.2	数字万用表的工作原理	(168)
5.2.3	数字万用表的使用方法	(170)
6	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,电被越来越广泛的运用在了我们生活和工作中,是现代物质文明的基础,它在我们的生活当中起到了巨大的作用。

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地努力。在长期的实践当中,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,掌握必要的知识,防患于未然。

1.1 电力系统

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量。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。电能的生产、输送、分配和使用的全过程实际上是在同一时间完成的,是由发电厂、供电局、变电所、配电变压器和用户紧密联系的一个整体。

1.1.1 电力系统组成

我们把发电厂、电力网以及用户组成的一个整体称为电力系统。图 1.1.1 为电力系统的示意图。

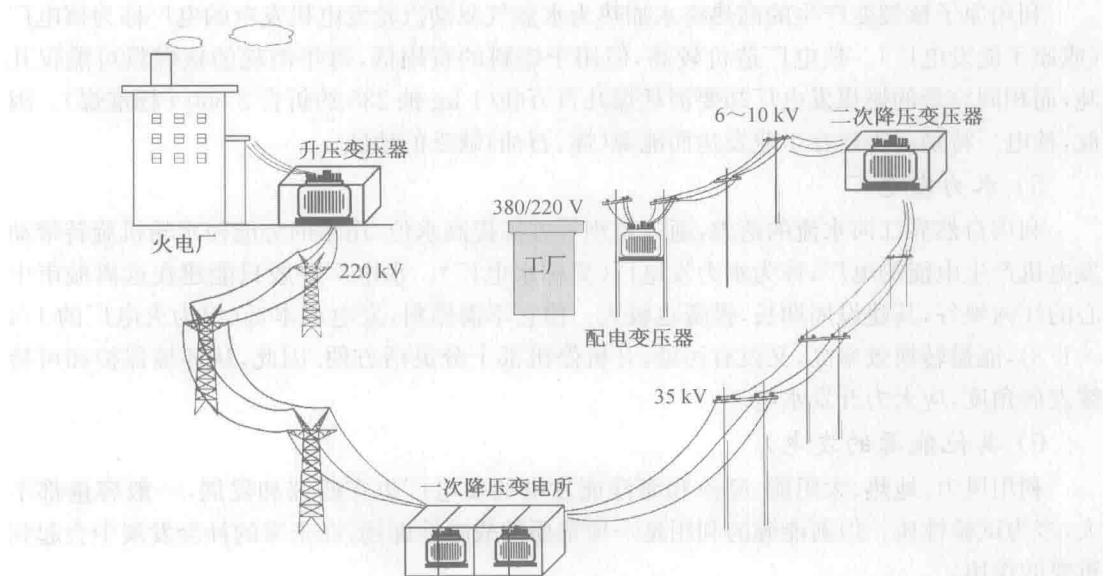


图 1.1.1 电力系统示意图

1.1.2 发电厂

生产电能的工厂称为发电厂。按使用能源种类的不同,发电厂分为许多种:

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,通过获得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,利用蒸汽驱动汽轮机旋转发电的火力发电占主流,一般的火力发电都是指这种火力发电形式。

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中抽取出来,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,这样的火力发电厂称为热电厂。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工质,而是燃料(油或天然气)燃烧所产生的高温气体直接冲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能源(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,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。

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量。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。

1.1.3 输电线路

输电是用变压器将发电机发出的电能升压后,再经断路器等控制设备接入输电线路来实现。按结构形式,输电线路分为架空输电线路和地下输电线路。

1) 架空输电线路

由于建造的初期费用较低而被广泛使用。基本上由于采用绝缘瓷器或玻璃做为绝缘体(电力业者称之为绝缘碍子,即输电铁塔上所见一串串之绝缘体),所以高压架空导线本身并不需要特别的绝缘被覆处理,一般为了重量与导电性和机械强度考量,是使用钢芯铝线(ACSR)。架空输电线路受到天候的影响,强风、台风、雷击,都有可能导致线路供电中断。

2) 地下输电线路

由于经济增长,导致人口密集与都市化的产生,传统的“架空输电线路”在人口密集的地区并不合适。因此,具有美化市容、比较安全、使用年限较长等优点的“地下输电线路”应运而生。地下输电线路采用电力电缆,早期的电力电缆多采用充油电缆,现今在 161kV 以下之输电电缆多采用交连电缆(XLPE)。

与架空输电线路相比,电缆线路的主要优点是不占用线路走廊。又由于电缆埋设在地下,不受大气环境等自然条件的影响,运行比较安全。但投资费用高,电缆在运行中会受到大地电流的电磁感应,还会发生化学腐蚀,不易判断故障位置等,对此均需采取相应的技术措施。

1.1.4 配电系统

由于电能一经产生之后无法保存,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(负载)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。

在我国,配电系统可划分为高压配电系统、中压配电系统和低压配电系统三部分。

由于配电系统作为电力系统的最后一个环节直接面向终端用户,它的完善与否直接关系到广大用户的用电可靠性和用电质量,因而在电力系统中具有重要的地位。

1.2 人体安全用电

1.2.1 触电类型

触电,就是当人体接触带电体时,电流会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: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,且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、肌肉甚至神经产生的伤害,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,但由于小于了安全距离,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→系统中性点接电装置,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。

当人体处在中性点接地电网单相触电时,流经人体的电流为:

$$I = \frac{U}{R_0 + R} = \frac{220 \text{ V}}{4 \Omega + 1\,000 \Omega} = 219 \text{ mA}$$

式中: U ——电源相电压(220 V);

R_0 ——接地电阻 $\leq 4 \Omega$;

R ——人体电阻 $1\,000 \Omega$ 。

(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。

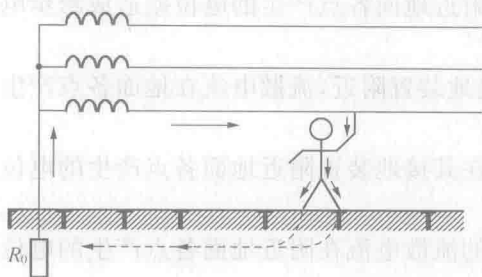


图 1.2.1 中性点直接接地单相触电

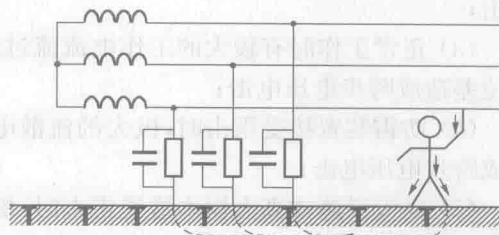


图 1.2.2 中性点不直接接地单相触电

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,比单相触电危险性更大,如图 1.2.3 所示。

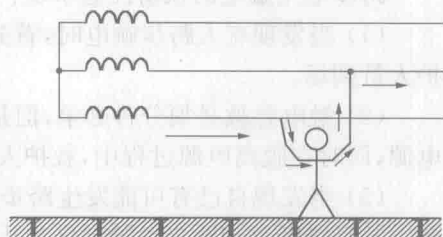


图 1.2.3 两相触电

当人体处于两相触电时,流经人体的电流为:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{380 \text{ V}}{1000 \Omega} = 0.38 \text{ A}$$

式中: U ——线电压 380 V;

R ——人体电阻 1 000 Ω 。

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;

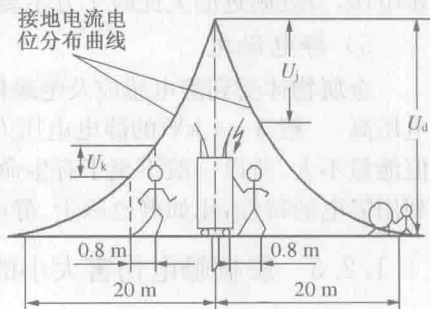


图 1.2.4 跨步电压触电

(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;

(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。

跨步电压触电的预防注意事项:

(1) 当发现有人跨步触电时,首先应设法将短路点切断,再靠近进行救治,直到专业救护人员到场。

(2) 触电急救必须分秒必争,但是不能盲目乱救。触电急救,首先要使触电者迅速脱离电源,同时在脱离电源过程中,救护人员既要救人,也要保护自己。

(3) 当发现自己有可能发生跨步触电可能时,应单脚或双脚并立跳动位移,或者穿绝缘靴。并且跳跃直到跳出危险地区为止(距电源接地点 20 m 以外)。

(4) 加强工作人员安全技术知识培训的同时,还应加强操作技能和事故预想的培训。

4) 雷击触电

雷雨云对地面突出物产生放电现象,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。

(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的感觉,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。

1.2.3 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目的的,但如果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,触电者将因肌肉收缩,发生痉挛而紧抓带电体,不能自行摆脱电源。人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

电流对人体的伤害同作用时间密切相关,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愈严重,我们可以用电流与时间乘积(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。并且通电时间愈长,愈容易引起心室颤动,电击伤害程度就愈大。

3) 电流流经人体的途径

电流流过人体途径,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。电流通过背脊椎或中枢神经,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、从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，对人体电阻起主要作用。有关研究表明，人体电阻一般在 $1\,000\sim3\,000\,\Omega$ 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 $k\Omega$ ，而潮湿的皮肤，其电阻可能在 $1\,000\,\Omega$ 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 $40\sim100\text{ Hz}$ 交流电对人体最危险。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。因为交流电主要是麻痹破坏神经系统，往往难以自主摆脱。

随着频率的增加，危险性将降低。当电源频率大于 $2\,000\text{ Hz}$ 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。一般地说，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就更大。

1.3 设备安全用电

1.3.1 接电前检查

将用电设备接入电源，这个问题似乎很简单，其实不然。有的数十万元昂贵设备，接上电源一瞬间变成废物；有的设备本身若有故障会引起整个供电网异常，造成难以挽回的损失。因此，设备接电前应进行“三查”。

(1) 查设备铭牌。

(2) 查电源。检查电压、容量是否与设备吻合。

(3) 查设备本身。检查电源线是否完好，外壳是否可能带电。

所有使用交流电源的电器设备均存在绝缘损坏而漏电的问题。按电工标准将电器设备分为四类，各类电器设备特征及安全防护见表 1.3.1。