



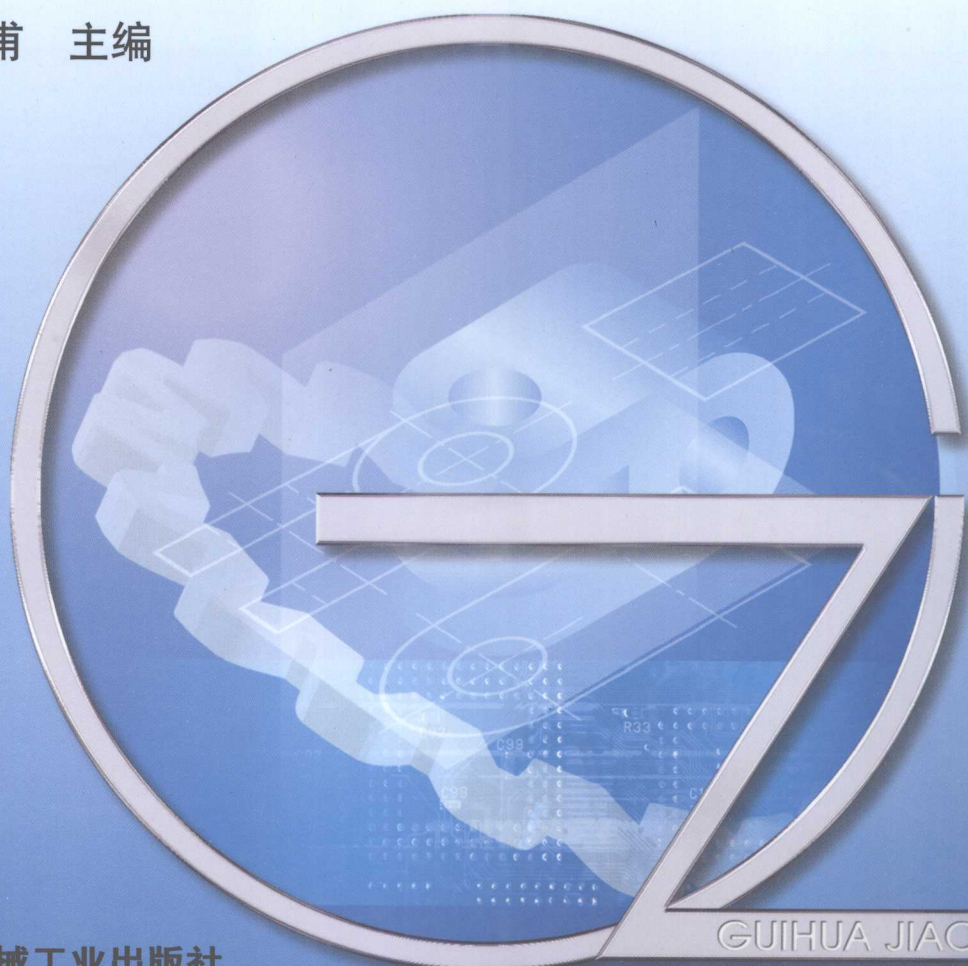
教育部职业教育与成人教育司推荐教材
专业基础课教学用书

电工电子技术基础

(实验与实训)

教育部机械职业教育教学指导委员会 组编
中国机械工业教育协会

李怀甫 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

GUIHUA JIAOCAI

gjz





清华大学出版社
Tsinghua University Press

电工电子技术基础

（第2版）

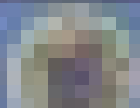
王兆安 主编

清华大学出版社

ISBN 7-302-11111-1



清华大学出版社



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
专业基础课教学用书

电工电子技术基础

(实验与实训)

教育部机械职业教育教学指导委员会 组编
中国机械工业教育协会

主 编 李怀甫

副主编 刘玉娟

参 编 范凤兰 陈慧琴 母中旭

主 审 邱 敏



机械工业出版社

本书着重介绍电工电子技术中的基本实验,常用仪器仪表的使用,电子产品的设计、安装、调试与制作等技能训练方法。主要内容有:安全用电知识;常用仪器仪表的使用方法与操作规程;电工技术基本实验;电子技术基本实验;电工实训专题;电子产品装配工艺;电子产品设计与电子制作专题等。

本书将传统的电工电子技术实践内容与现代电工电子新技术、新工艺等融为一体,既可作为高职高专数控技术应用、机电技术等专业学生的教学用书、自学用书,也可作为电工电子实用技术操作培训教材,还可作为电类专业学生和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术基础. (实验与实训)/李怀甫主编. —北京:机械工业出版社, 2005.1

专业基础课教学用书
ISBN 7-111-16001-0

I. 电… II. 李… III. ①电工技术—高等学校:技术学校—教材②电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第002469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:王世刚 于奇慧

责任编辑:于奇慧 版式设计:霍永明 责任校对:张玉琴

封面设计:姚毅 责任印制:洪汉军

原创阳光印业有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005年3月第1版 第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·13印张·315千字

定价:18元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

机电类高等职业技术教育教材建设 领导小组人员名单

顾问：郝广发

组长：杨黎明

成员：刘亚琴 李超群 惠新才 王世刚

姜立增 李向东 刘大康 鲍风雨

储克森 薛涛

专业基础课教材编审委员会名单

苏群荣 胡家秀 薛涛 刘魁敏 杜伟明

邱敏 夏奇兵 李怀甫 柴鹏飞 田鸣

许文茂 赵建彬 王世刚

志 毅

11月14日

前言

李怀甫 刘玉娟 范凤兰 陈慧琴 母中旭 邱敏

为了加强高等职业技术教育的教学改革,推进素质教育,培养面向生产、管理、服务第一线的应用型高级技术人才,根据教育部高职高专培养目标的要求,我们认真分析、研讨了五年制高等职业技术教育机电类专业教学计划,根据机电类专业对电工电子技术的基本要求,编写了《电工电子技术基础》教材。本套教材分上册、下册及实验与实训三部分,本书为实验与实训部分。

根据高职高专教育的特点和要求,突出以能力为本位和学以致用原则,在编写过程中,基本操作注重基础性、实用性和可操作性;技术性较强的实训项目,注重突出方法、逻辑性、操作规程和技术规范等;在内容的编排方面,注重以人为本的教学理念,以易学、易懂和易会为出发点,操作上从简单到复杂,技术上从传统技术到新技术与新工艺。在内容上充分考虑了满足教学需要、自学需要、专题培训需要和从事实际工作的需要。做到了理论联系实际,用理论指导实践的教学原则。在问题的阐述方面,力求简明扼要,通俗易懂,突出实际应用。

本书共分七个单元,主要内容包括:第1单元 安全用电知识,第2单元 常用电子仪器仪表,第3单元 电工技术实验,第4单元 电子技术实验,第5单元 电工实训专周,第6单元 电子技术实训专周,第7单元 综合实训专周(课程设计或电子制作)。另外,附录中还提供了常用的半导体二极管、晶体管的类型及其主要参数。

本书由四川信息职业技术学院李怀甫任主编,北京市仪器仪表学校刘玉娟任副主编,太原理工大学长治学院范凤兰、山西机电职业技术学院陈慧琴、四川信息职业技术学院母中旭参编。其中第1、3单元主要由刘玉娟编写,第4单元由范凤兰编写,第5单元由母中旭编写,第6单元由陈慧琴编写,第2、7单元由李怀甫编写。

本书由辽宁机电职业技术学院邱敏副教授主审,她对全书进行了认真、仔细的审阅,提出了许多具体、宝贵的意见,谨在此表示诚挚的感谢。

由于我们水平有限,编写时间仓促,书中难免有错误和不当之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2004年4月

目 录

前言	
第 1 单元 安全用电常识	1
1.1 触电	1
1.2 安全用电技术措施	7
1.3 事故应急处理措施	10
本单元小结	14
第 2 单元 常用电子仪器仪表	15
2.1 常用模拟电子仪器仪表	15
2.2 常用数字式仪表	30
2.3 虚拟仪表	37
2.4 电子测量的基本知识	46
本单元小结	51
第 3 单元 电工技术实验	52
3.1 电工实验概述	52
3.2 电工实验	53
本单元小结	68
第 4 单元 电子技术实验	69
4.1 电子技术实验概述	69
4.2 电子实验	70
本单元小结	98
第 5 单元 电工实训专周	99
5.1 复杂电路的连接	99
5.2 内线电工设计与安装	100
5.3 电动机的连接与运行控制	112
5.4 步进电动机过程控制实验	120
5.5 供电设备参观	123
本单元小结	123
第 6 单元 电子技术实训专周	124
6.1 元器件识别与判断	124
实训课题一 常用阻容元件的识别和检测	132
实训课题二 半导体器件的识别和检测	139
实训课题三 集成电路器件的识别和检测	148
6.2 焊接技术实训	149
实训课题四 电子电路的安装焊接	152
6.3 小型电子整机安装与调试	154
实训课题五 集成电路收音机的装配与调试	162
本单元小结	163
第 7 单元 综合实训专周	164
7.1 电子电路课程设计专周	164
7.2 电子制作专周	176
本单元小结	190
附录 部分常用二极管、晶体管参数	191
参考文献	199

第 1 单元 安全用电常识

人们在工作、生活当中处处接触各种电气设备，因此，重视安全用电、防止电气事故的发生是我们不可忽视的问题。

本单元着重分析人身触电事故的因素和危害，以及防止触电的保护措施，并对安全用电和触电急救的常识做简单的介绍。

1.1 触电

触电是指人身接触到电气设备的带电部位而引起局部受伤或死亡的现象。触电对人身伤害的程度主要由通过人体的电流决定。

1.1.1 电流对人体的危害

国际电工委员会 (IEC) 于 1980 年提出的人体触电时间和通过人体电流 (50Hz) 对人身机体反应的曲线，如图 1-1 所示。该曲线分为四个区，通常将①、②、③区视为人身“安全区”，③区与④区间的一条曲线，称为“安全曲线”。但③区也不是绝对安全的，这一点必须注意。

安全电流是人体触电后的最大摆脱电流。安全电流值，各国规定不完全一致。我国规定为 30mA (50Hz 交流)，但触电时间按不超过 1s (即 1000ms) 计，因此这个安全电流值也称为 30mA·s。由图 1-1 所示的安全曲线也可以看出，如果通过人体的电流不超过 30mA·s，对人身机体不会有损伤，不致引起心室纤维性颤动和器质性损伤，如果通过人体的电流达到 50mA·s 时，对人就有致命危险，而达到 100mA·s 时，一般要致人死命。这 100mA·s 即为“致命电流”。

(1) 触电时间 由图 1-1 中的安全曲线可知，触电时间在 0.2s 上下对人体的危害程度差别很大。触电时间超过 0.2s，致颤电流值急剧降低。

(2) 电流性质 试验表明，直流、交流和高频电流通过人体时对人体的危害程度是不一样的，通常以 50~60Hz 的工频电流对人体的危害最为严重。

(3) 电流路径 电流对人体的伤害程度主要取决于心脏受损的程度。试验表明，不同路

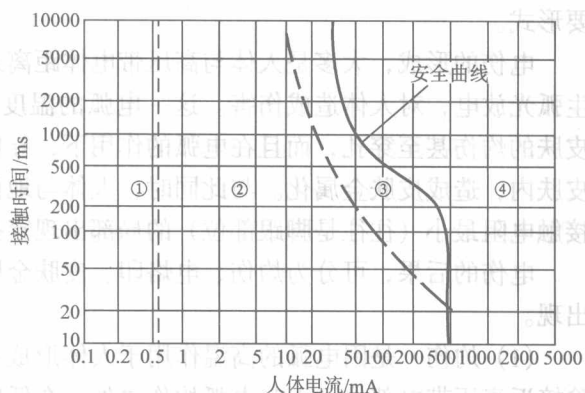


图 1-1 人体触电时间和通过人体电流

对人体机体反应的曲线

- ①—人体无反应区
- ②—人体一般无病理生理性反应区
- ③—人体一般无心室纤维性颤动和器质性损伤区
- ④—人体可能发生心室纤维性颤动区

径的电流对心脏有不同程度的损害，而以电流从手到脚特别是从一手到另一手对人最为危险。

此外，体重和健康状况也使电流对人的危害程度有所差异。

1.1.2 电流对人体伤害的形式

电流对人体伤害的形式可分为电击与电伤两类。伤害的形式不同，后果也往往各异。

1. 电击

电击是电流通过人体，直接对人体的器官和神经系统造成的伤害。它是低压触电造成伤害的主要形式。轻者有麻木感，重一些的可造成呼吸困难，严重些可造成神经麻痹、呼吸停止，最严重时可能引起心室发生纤维性颤动进而导致死亡。

电击触电的形式有：直接接触电击和意外接触电击。

(1) 直接接触电击 是人体直接接触及带电导体（或人体经由其他导体触及了带电导体）造成的电击。

(2) 意外接触电击 是人体（或经由其他导体）触及了在正常运行时不带电、而在意外情况下带电的金属部分（通常是电气设备的金属外壳或金属架构）所造成的电击。

防止造成直接接触电击的方法是使导电部分不外露——即“防护式”的结构。

防止造成意外接触电击的方法是，使电气设备的金属外壳或金属架构作接地或接零保护。

2. 电伤

电伤是电能转化为其他形式的能作用于人体所造成的伤害。它是高压触电造成伤害的主要形式。

电伤的形成，大多是人体与高压带电体距离近到一定程度，使这个间隙中的空气电离产生弧光放电，对人体造成伤害。这一电弧的温度可达 3000°C ，直接作用于人体不仅可造成皮肤的灼伤甚至穿孔，而且在电弧的作用下，导体金属也可蒸发并附着在皮肤上甚至渗透到皮肤内，造成皮肤金属化。与此同时，人体与地面接触的部分（无论是否穿鞋），在与地面接触电阻最小（往往是脚跟部位）的局部出现穿孔。

电伤的后果，可分为灼伤、电烙印、皮肤金属化三种。这三种有可能在一次触电后同时出现。

(1) 灼伤 是因电弧的高温作用于人体形成的。它可在局部或较大面积的皮肤上形成。除接近高压带电部位可引起电弧灼伤之外，在低压系统中，使用无灭弧装置的开关操作大电流时，可能形成弧光短路，对操作人可形成较大面积的灼伤，同时弧光对眼睛的强烈作用，造成电光性眼炎。严重的灼伤可致人死亡，严重的电弧伤眼可引起失明。电灼伤的伤口部位不易愈合，治疗所起的作用也不明显，有的需几年后才结痂。

(2) 电烙印 往往是在人体触及带电体前先引起电弧，后又与带电部位接触。这时出现的情况是，电弧击穿了皮肤的角质层，然后电流又直接通过没有角质层保护的皮肤。这时既有电流的热效应，又有电流的化学效应对人体综合起作用，使皮肤表面形成黄色至深灰色的肿块，局部神经也可能坏死，所以，一般不会有痛感，该部位也可能不发炎化脓。严重时可能造成触电部位肌肉和神经坏死，有时需要截肢。

(3) 皮肤金属化 是因电弧的高温，使导体的金属材料蒸发后渗入皮肤内造成的。可使

皮肤局部变为黄色至褐色，伤害部位粗糙、坚硬，不易痊愈。

1.1.3 触电的几种形式

通过人体电流的大小决定于触电电压和人体电阻的大小。人体电阻一般取下限值 1700Ω (平均值为 2000Ω)。在安全电流取 30mA ，人体电阻取值 1700Ω 时，人体允许持续接触的安全电压为

$$U_{\text{saf}} = 30\text{mA} \times 1700\Omega \approx 50\text{V}$$

这 50V (50Hz 交流有效值) 称为一般正常环境条件下允许持续接触的“安全特低电压”。

可见，决定触电危险性的关键因素是触电电压，而触电电压又与触电方式有关。绝大多数触电事故发生在低压电力系统，常见的触电方式如图 1-2 所示。

1. 两相触电

两相触电是人体的不同部位，分别触及了带有不同电位的两条导线，最常见的是在低压中性点接地的配电系统中，分别触及了两条相线。这时，人如果是站于地面（或与大地有良好接触的金属部件上），不仅在所接触部位之间形成通过人体的电流，而且该两条相线分别有可能通过人体→大地→电源中性点的接地装置→电源中性点的电流。可见这种形式的触电是十分危险的。不论中性点是否接地，也不论人与大地之间是否绝缘，都会有流过人体的电流，这是我们在工作中必须十分注意的。

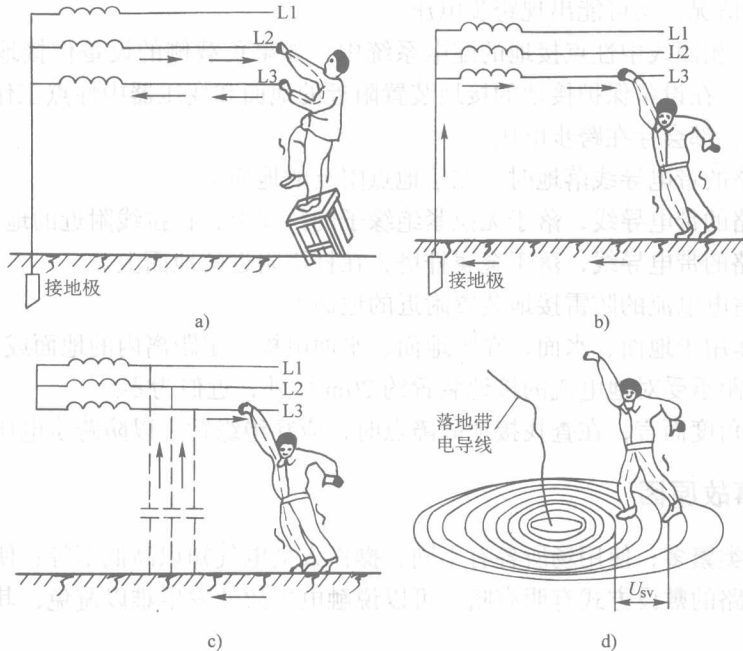


图 1-2 四种触电方式

a) 两相触电 b) 中性点接地的单相触电 c) 中性点不接地的单相触电 d) 跨步电压触电

2. 单相触电

单相触电大多发生在中性点直接接地的低压配电系统中。当人站在地面（或站在与大地有良好接触的金属部件上）触及了相线，这时流过人体的电流是：相线→人体与相线的接触

部位→人体→大地→电源中性点的接地装置→中性点，就形成了回路，使人触电。个别情况下也有因触及了带有一定电位的零线（如电源侧零线断线后，三相四线的负荷侧的零线，其电位可不为零）造成触电。

在电源中性点不接地系统中（例如 10kV 及 35kV 系统），如果人站于地面（或站在与地面有良好接触的金属部件上）触及相线，这时流过人体的电流是：相线→人体触及相线的部位→人体→大地→另两条相线与大地之间的电容→另两相电源。另一电流通路是人体→大地→变压器外壳→外壳与绕组间电容→电源。虽然相线对地电容及变压器外壳与绕组间电容均不十分大，但是由于电压等级高，流过人体的电流仍能致死或致伤。更何况在触及相线之前就可能已经先有弧光放电，使人产生电伤。

从安全防护角度而言，设法提高人与大地之间的电阻，以限制流过人体的电流是有效的，例如站在绝缘台、垫上工作。但是最可靠的办法是不使人触及带电体，例如使用基本安全用具进行操作（低压作业使用有绝缘柄的工具，戴绝缘手套等）。

3. 跨步电压电击

在出现“地电流”的地面上，沿地电流方向不同两点间，必然存在电位差。显然这个电位差的大小与两点间的距离及其和承受对地电流的接地极的距离有关，为便于相互比较，常以 0.8m 距离上的电位差的大小，作为比较的值。这个值就叫作跨步电压 U_{sv} （因为 0.8m 相当于成人正常行走时的步距），如图 1-2d 所示。

以下的几种情况，均可能出现跨步电压。

1) 在低压三相四线中性点接地的配电系统中，如果负载侧的设备作接地保护，当设备出现接地故障时，在设备保护接地的接地装置附近的地面和变压器中性点工作接地的接地装置附近的地面上，都会存在跨步电压。

2) 架空线路的带电导线落地时，在落地点附近的地面上。

3) 架空线路的带电导线，落于无拉紧绝缘子的拉线上，在拉线附近的地面上。

4) 架空线路的带电导线，落于金属杆塔，在杆塔附近的地面上。

5) 正承受雷电流的防雷接地装置附近的地面上。

6) 以电能作用于地面、水面，在距地面、水面电极一定距离内的地面或水域内。

跨步电压在距承受对地电流的接地装置约 20m 以外，近似为零。

从安全防护角度而言，在查找接地故障点时，应穿绝缘靴，以防跨步电压电击。

1.1.4 触电事故原因

电气设备种类繁多；使用场所各有不同；操作人员电气知识高低不等；使用环境条件千差万别；配电线路的敷设方式有明有暗。可以说触电事故的发生难以避免，其触电原因大致有以下几方面。

1. 违反安全操作规程或安全技术规程

在低压系统中发生的触电情况常常是：

1) 错接线。

2) 停电后，不经验电即进行操作。

3) 不按规程要求敷设临时接地线。

4) 不按规程要求穿戴防护用品。

在高压系统中发生的触电情况常常是：

1) 在电气设备停电检修试验时，没有采取完善的组织措施，例如：

- ①对停送电联系指挥不明确，造成弄错停送电时间或停送电范围。
- ②未停电就开始检修或试验，以及工作尚未终结设备就已受电。
- ③误入带电间隔。
- ④指派技术水平低的工人担任复杂的技术工作。
- ⑤应派人监护的工作，未指派监护人。

2) 在电气设备停电检修或试验时，未采取可靠的安全技术措施。例如：

- ①切断电源不彻底，未考虑有反送电的可能。
- ②切断电源后，在应挂地线处未挂临时接地线。
- ③切断电源后，对应先放电后操作的设备，未经放电验电，即开始操作或试验。
- ④对于刚作完耐压试验或绝缘试验的设备，应先放电后操作的，未经放电即开始操作。

3) 无操作标志进行倒闸操作造成事故。例如：

- ①带负荷拉、合隔离开关。
- ②未拆除临时接地线或未拉开接地隔离开关即送电。
- ③不经验电即挂临时接地线，误挂到带电部位。

2. 缺乏电气知识

因缺乏电气知识而发生的触电事故，相当一部分是非电工，在低压系统中发生的触电原因常常是：

- 1) 接临时线不按要求做，甚至不知道做临时线在规程中有明确的要求。
- 2) 不切断电源即移动电气设备。
- 3) 在未熟悉电气设备的情况下，冒险通电试运行。
- 4) 在未熟悉设备内部原理及结构的情况下，进行带电修理或检测。
- 5) 对不能确知是否安全可靠的电动工具通电使用。
- 6) 同时剪断两条（或更多的）带电导线。

高压系统中发生的触电原因常常是：

- 1) 因缺乏安全标志或不懂安全标志，造成过分接近带电体，而引发电弧触电。
- 2) 检测过程中，自行扩大检测范围，造成误入带电间隔或过于接近高压带电体而触电。
- 3) 因地下施工，使直埋电缆上的覆盖物露出后仍无警觉，继续向下施工，造成事故。
- 4) 带电灭火时，使用了不应使用的灭火器材或用水。
- 5) 吊装货物时，触及高压线路。

3. 维护不良

此类事故常发生在低压系统中，常见的有：

- 1) 人可能触及部位的导线出现裸露的部分，未及时包敷或换线。
- 2) 架空线路的导线垂度过大，未及时紧线，造成对地距离不足。
- 3) 保护接地的设备，其接地装置长期不检测，接地装置的接地电阻值过大，甚至失去作用，一旦设备出现接地故障，使设备外壳带电可能造成严重事故。
- 4) 保护接零或保护接地的保护线断开而未发觉。
- 5) 线路经维修后，相线、零线接错，会使原正常运行的设备外壳带电。

6) 维修后,原设备的防护件(如防护用的壳罩、灭弧罩等)未装回原位。

4. 设备的质量不良

常发生在一些低压电器及手动工具上,常见的有:

- 1) 绝缘不良。
- 2) 应设保护接线端的设备,未设此接线端。
- 3) 应使用护套线作为电源线的,未使用护套线。
- 4) 应使用耐热导线的部分,未使用耐热导线。
- 5) 电气设备内部接线不良,导致裸露的部分碰了金属外壳。
- 6) 电气设备因内部遗留有金属物件(如螺钉、螺母、垫圈、导线头、焊锡珠等),使用中可能造成短路或使外壳带电。

5. 意外因素

常见的意外因素主要有:

- 1) 触及断落于地的带电导线。
- 2) 车辆超高,触及带电架空线路。
- 3) 人工扛抬过高或过长的金属物件,碰到带电导体。
- 4) 触及了意外带电的零线。

1.1.5 触电事故的规律

触电事故是突发性的,往往在很短的时间内出现很严重的后果。根据对已发生过的触电事故分析,大致有下述的一些规律,我们应借鉴,作为预防事故的参考。

1. 触电事故的季节性

一般夏季发生的触电事故明显多于其他季节发生的触电事故。据我国的统计,在6~9月份发生的触电事故中,低压触电事故占全年的80%;高压触电事故占全年的46%。在高、低压触电事故中,均以八月份为全年的最高月。之所以有季节性,主要原因有以下几点:

- 1) 夏季气温高,工作人员所穿的衣服单薄,人体皮肤外露的面积大,有衣服遮护的部分,由于人体出汗而潮湿,或因空气湿度大使衣服潮湿,都会使触电的机会增大,后果也较严重。
- 2) 因夏季晚间休息不好——由于炎热或蚊虫影响等因素,造成工作中精神不集中或操作失误导致触电。
- 3) 夏季也是电气设备故障率较高的季节,往往因高温、潮湿、大雨、雷电、冰雹等因素的影响,设备及线路等出现故障,使得维修的工作量加大,也使触电的机会增加。

2. 低压触电事故多于高压触电事故

低压触电事故多于高压触电事故的原因有以下几点:

- 1) 低压设备大大多于高压设备。
- 2) 使用以低电压为动力的机器设备的人员,大多是非电工;而掌握高压设备的大多是专业电工。
- 3) 使用低压设备的人往往对安全防护工作重视不够,因此触电机也会增加。

3. 非电工的触电事故多于电工的触电事故

非电工的触电事故多于电工的触电事故,原因主要是:

- 1) 直接操作电设备的大多是非电工，因其人数的众多触电机机会也就越多。
- 2) 家用电器设备的增多与普及，无知儿童好奇触摸造成触电机机会多。
- 3) 非电工的电气知识，安全意识相对不足使触电的后果就更趋严重。

另外，使用手持式电动工具及移动式电气设备时发生的触电事故率多于使用固定式电气设备，农村的触电事故多于城市，主要是因中国农村经济和文化落后而造成的。

1.2 安全用电技术措施

要防止各种触电事故，首先要重视安全用电，掌握安全用电常识，同时要采取各种安全措施。

1.2.1 安全用电常识

- 1) 严格执行规章制度。
- 2) 正确安装用电设备。
- 3) 用电设备的工作不要超过额定值，保护电器的规格要合适，发现用电设备工作不正常要及时查明原因，排除故障。
- 4) 电气设备停止使用时，要切断电源，并挂上停电通告牌。
- 5) 建立定期检查制度。

1.2.2 采取安全措施

1. 使用安全电压

根据安全电流和人体电阻，我国国家标准 GB/T 3805—1993《特低电压限值》规定的安全电压等级如表 1-1 所示。

表 1-1 安全电压 (据 GB/T 3805—1993)

安全电压 (交流有效值) /V		选 用 举 例
额定值	空载上限值	
42	50	在有触电危险的场所使用的手持式电动工具
36	43	在矿井、多导电粉尘等场所使用的行灯
24	29	可供某些具有人体可能偶然触及的带电体设备选用
12	15	
6	8	

2. 采用绝缘保护

常用绝缘保护措施有：①外壳绝缘；②场地绝缘；③使用隔离变压器。

3. 接地或接零

(1) 保护接零 如图 1-3 所示，将电气设备的金属外壳与供电线路的零线（中性线）相连接，宜用于供电变压器二次侧中性点接地（称为工作接地）的低压系统。为了确保中性线接地的可靠，常采取重复接地的措施，即将中性线相隔一定距离多处进行接地。

(2) 保护接地 如图 1-4 所示,在中性点不接地(或经 1000Ω 阻抗接地)的系统中(少数地区)宜采用保护接地,即把电气设备的金属外壳通过导体和接地极与大地可靠地连接起来。

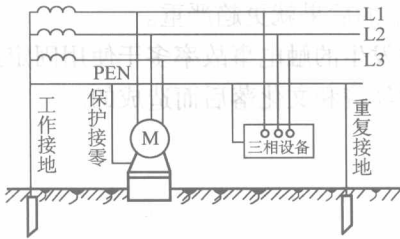


图 1-3 保护接零

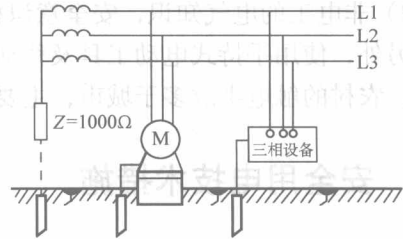


图 1-4 保护接地

要特别注意的是:同一低压系统中,不能有的采取保护接地,有的又采取保护接零,否则当采取保护接地的设备发生单相接地故障时,采取保护接零的设备外露可导电部分将带上危险的电压。

4. 避雷和过电压保护技术

(1) 雷电过电压 雷电是大自然中的一种放电现象,不同电荷的雷云之间,雷云与地面之间的电位差达到相当高的程度时,就进行急剧的放电,放电时间很短(仅若干微秒),而放电电流极大,这就产生强烈的闪电和雷鸣。雷电时其过电压产生的雷电冲击波,电压幅值可高达 10^8V ,电流幅值可高达几十万安。

过电压是电气线路或电气设备上出现超过正常工作要求的电压。在电力系统中,对电力线路、电气设备绝缘威胁最大的是遭受大气中的雷击或雷电感应而引起的过电压。

雷电过电压一般有三种基本形式。由雷电直接击中电气设备、线路或建筑物,因其引起强大的雷电流通过这些物体放电而人地遭到毁坏称为直接雷击。由雷电对设备、线路或其他物体的静电感应或电磁感应而遭受的间接雷击,称为感应过电压(感应雷)。此外由直接雷击或间接雷击沿线路侵入设备或建筑物造成的雷害事故,称为雷电波侵入。因此,雷电对供电系统和建筑物危害极大,必须加以防护。

(2) 防雷设备 防雷设备主要有接闪器和避雷器。它们的作用分别是:

1) 接闪器:为防止直接雷击,常使用接闪器。接闪器是专门用来接受直接雷击(雷闪)的金属物体,有避雷针、避雷线、避雷带和避雷网。常用避雷针一般采用镀锌圆钢(针长 1m 以下时直径不小于 12mm ,针长 $1\sim 2\text{m}$ 时直径不小于 16mm)或镀锌钢管(针长 1m 以内时直径不小于 20mm ,针长 $1\sim 2\text{m}$ 时直径不小于 25mm)制成。它通常安装在电线杆(支柱)或构架、建筑物上。它的下端要经符合规定宽度的引下线与接地装置连接。

避雷针的功能实质上是引雷作用,它能对雷电场产生一个附加电场(这附加电场是由于雷云对避雷针产生静电感应引起的),使雷电场畸变,从而将雷云放电的通道由原来可能向被保护物体发展的方向,吸引到避雷针本身,然后经与避雷针相连的引下线和接地装置将雷电流泄放到大地中去,使被保护物体免受直接雷击。所以避雷针实质是引雷针,它把雷电流引入地下,从而保护了线路、设备及建筑物等。

避雷带主要用来保护高层建筑物免遭直击雷和感应雷。避雷带宜采用圆钢和扁钢,优先采用圆钢。圆钢直径应不小于 8mm ,扁钢截面应不小于 48mm^2 ,其厚度应不小于 4mm 。

如图 1-5 所示为单支避雷针的保护范围,其中 h 为避雷针高度, h_r 为滚球半径; h_x 为

被保护物高度； r_x 为避雷针在被保护物高度的 xx' 平面上的保护半径。

2) 避雷器：为了防止雷电过电压波沿线路侵入变电所或其他建筑物而损坏设备绝缘，常采用避雷器。避雷器应与被保护设备并联，装在被保护设备电源侧，如图 1-6 所示。当线路上出现危及设备的过电压时，避雷器的火花间隙就被击穿，或由高阻变为低阻，使过电压对大地放电，从而保护了设备的绝缘。避雷器的型式，主要有阀式和排气式等。

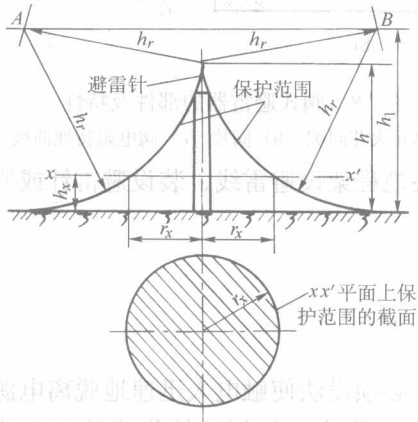


图 1-5 单支避雷针的保护范围

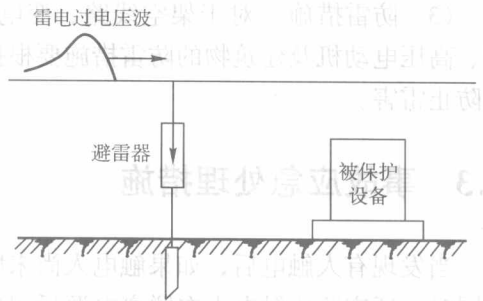


图 1-6 避雷器的连接

① 阀式避雷器。高、低压阀式避雷器如图 1-7 所示，其部件与特性如图 1-8 所示。阀式避雷器由火花间隙和阀片组成，装在密封的瓷套管内。火花间隙用铜片冲制而成，每对间隙用厚 0.5 ~ 1mm 的云母垫圈隔开。正常情况下火花间隙阻断工频电流通过，但在雷电过电压作用下，火花间隙被击穿放电。阀片是用陶料粘固的电工用金刚砂（碳化硅）颗粒制成的。正常电压时，阀片电阻很大，超过一定电压时，阀片电阻突然变小。因此阀型避雷器在线路上出现雷电过电压时，其火花间隙击穿，阀片能使雷电流顺畅地向大地泄放。当雷电过电压消失、线路上恢复工频电压时，阀片呈现很大的电阻，使火花间隙绝缘迅速恢复而切断工频续流，从而保证线路恢复正常运行。

② 金属氧化物避雷器。金属氧化物避雷器又称压敏避雷器。它是一种没有火花间隙只有压敏电阻片的阀型避雷器。压敏电阻片是由氧化锌或氧化铋等金属氧化物烧结而成的多晶半导体陶瓷元件，具有理想的阀特

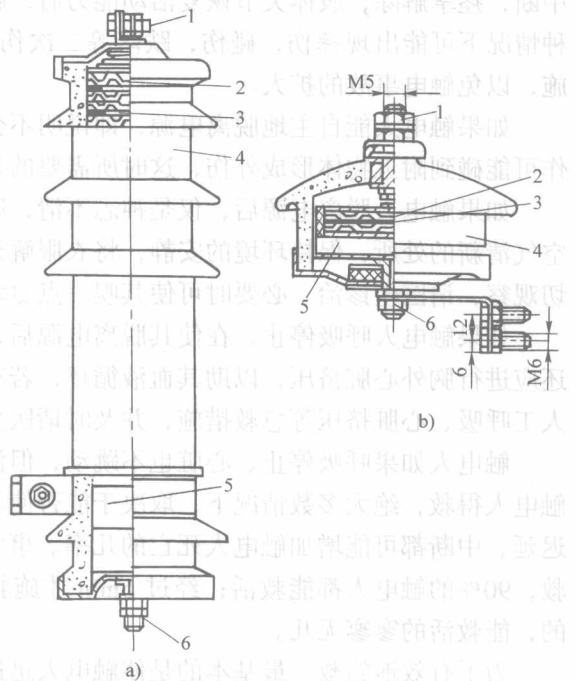


图 1-7 高、低压阀式避雷器

a) FS4-10 型 b) FS-0.38 型

1—上接线端 2—火花间隙 3—云母垫圈
4—瓷套管 5—阀片 6—下接线端

性。在工频电压下，它呈现极大的电阻，能迅速有效地阻断工频续流。因此无须火花间隙来熄灭工频续流引起的电弧，而且在雷电过电压作用下，其电阻又变得很小，能很好地泄放雷电流。目前金属氧化物避雷器已广泛应用于低压设备的防雷保护。随着其制造成本的降低，它在高压系统中也开始获得推广应用。

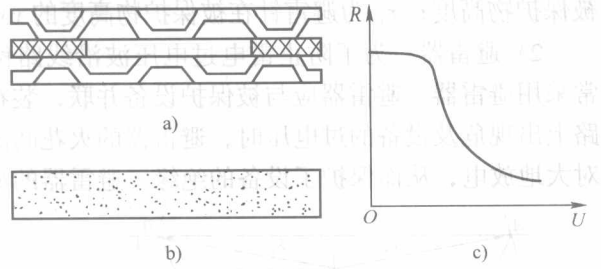


图 1-8 阀式避雷器的部件及特性

a) 单元火花间隙 b) 阀片 c) 阀电阻特性曲线

(3) 防雷措施 对于架空线路、变电所、高压电动机及建筑物的防雷措施要根据国家有关规程架设避雷线，装设避雷针或避雷器来防止雷害。

1.3 事故应急处理措施

当发现有人触电后，如果触电人尚未脱离电源，必须设法使触电人迅速地脱离电源。与此同时，还应防止触电人在脱离电源后可能造成的二次伤害（如倒地摔伤或从高空落下）。因为人在电流作用下，可能造成痉挛，出现身体僵直等情况，关节失去活动能力，一旦电流中断，痉挛解除，肢体关节恢复活动能力后，触电人神志尚未恢复，无自主控制能力。在这种情况下可能出现摔伤，碰伤，跌落等二次伤害，对此我们应预见到，采取有效的预防措施，以免触电事故的扩大。

如果触电人能自主地脱离电源，即说明不会有生理伤害，但是在摆脱电源时，因摆脱动作可能碰到附近物体形成外伤，这时所需要的是治疗可能出现的外伤。

如果触电人脱离电源后，仅是神志不清，呼吸及心脏无异常，应使其平躺在环境较好，空气清新的处所，保持环境的安静，将衣服解开，使呼吸通畅及血液循环不发生障碍，并密切观察，请医生诊治。必要时可使其嗅一点氨水。

如果触电人呼吸停止，在使其脱离电源后，要立即进行人工呼吸，若心脏也停止跳动，还应进行胸外心脏挤压，以助其血液循环，若有外伤也应及时予以治疗。但首要的仍是采取人工呼吸、心脏挤压等急救措施，并及时请医生，以利救护工作的进行。

触电人如果呼吸停止、心脏也不跳动，但没有致命的外伤，只能认为是假死。对假死的触电人得救，绝大多数情况下，取决于能否使其脱离电源并及时正确地施救。这期间的任何迟延、中断都可能增加触电人死亡的几率。事实证明，触电人在脱离电源 1min 内即开始施救，90% 的触电人都能救活；经过 6min 才施救时，只有 10% 的人能救活，6min 后才施救的，能救活的寥寥无几。

为了有效地施救，最基本的是使触电人迅速脱离电源并及时施救，施救的操作方法是否正确也是很关键的因素。

1.3.1 触电人脱离电源的方法

当触电人失去摆脱电源的能力时，如得不到及时救护，可导致死亡。及时救护的第一步就是设法使触电人迅速脱离电源。在使触电人脱离电源时，救护人应采取安全可靠的方法，