

中天传播

世纪英才

高等职业教育 **课改** 系列规划教材

(电子信息类)

# 电路分析基础

陈卫 张红斌 主编  
高林 曾晓宏 主审

人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

世纪英才高等职业教育课改系列规划教材（电子信息类）

# 电路分析基础

陈 卫 张红斌 主 编

高 林 曾晓宏 主 审

人民邮电出版社

北 京

## 图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础 / 陈卫, 张红斌主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2010.8

(世纪英才高等职业教育课改系列规划教材. 电子信息类)

ISBN 978-7-115-22994-6

I. ①电… II. ①陈… ②张… III. ①电路分析—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TM133

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第090017号

## 内 容 简 介

本书依据高职高专电子信息类专业人才培养新理念、新成果, 结合电子信息行业企业职业岗位知识、能力需求, 以简化的电子产品局部电路为载体, 采用教、学、做一体化形式编写而成, 参考学时为 80~120 学时。主要内容包括安全用电与静电防护、测量分析电阻电路、测量分析等效变换电阻电路、测量分析线性电路、测量分析动态电路、测量分析正弦交流电路、测量分析互感电路和测量分析非正弦周期信号。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校及应用型本科院校电子信息类、通信类、计算机类、自动化类、机电设备类和汽车、摩托车类等相关专业的教材, 也可供中等专业技术学校的同类专业选用, 并可供相关工程技术人员和参加自学考试的人员参考。

世纪英才高等职业教育课改系列规划教材(电子信息类)

### 电路分析基础

- ◆ 主 编 陈 卫 张红斌  
主 审 高 林 曾晓宏  
责任编辑 丁金炎  
执行编辑 郑奎国
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
中国铁道出版社印刷厂印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 14.25  
字数: 328 千字  
印数: 1—3 500 册
- 2010 年 8 月第 1 版  
2010 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-22994-6

定价: 27.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223  
反盗版热线: (010)67171154

《电路分析基础》是高职高专电子信息类专业基本知识、理论平台的重要课程，其相关内容也是通信类、计算机类、自动化类、机电设备类和汽车、摩托车类的重要基本知识和技能，是后续课程以及毕业后从事相关领域工作的理论基础和实践基础。

为了适应 21 世纪高职高专人才培养课程的体系改革、教育教学内容和模式改革，编者进行了大量电子信息行业企业调研，通过校、企专家座谈会，根据课程基本内容，结合典型电子产品的基本电路，参考国内外相关的教材，选择、序化、组织和设计了本书内容，力求继承传统，体现理论实践一体化，突出实用性，反映先进性。

本书融合了电路基础、电子测量技术与仪器、模拟电子技术、电子工艺实训、小家电电路、常用电子电路及职业技能鉴定等相关内容，以“任务驱动、操作先行、教学做一体化”的模式进行构建。其模块结构如下：

<b>模块 N XXXXXXXX</b>
学习要求： .....
<b>任务 N XXXXXXXX</b>
任务描述 (知识、技能内容)
实训题
思考与练习
.....
内容小结

全书共分 8 个模块。模块 0 介绍安全用电与静电防护；模块 1 介绍测量分析电阻电路；模块 2 介绍测量分析等效变换电阻电路；模块 3 介绍测量分析线性电路；模块 4 介绍测量分析动态电路；模块 5 介绍测量分析正弦交流电路；模块 6 介绍测量分析互感电路；模块 7 介绍测量分析非正弦周期信号。模块 0 为电子信息行业企业的必备常识，模块 1~模块 4 为直流电部分，模块 5~模块 7 为交流电部分。各个模块通过具体的任务将连接与测量操作、元器件识别与使用、电路模型和理论分析有机结合，充分体现了“技能操作先行”、“做中学、学中做”的“工学交替”理念。为帮助读者学习、巩固和应用，每个模块都安排了一定的实训题（实际工作的简化版），以激发兴趣，调动积极性，感受成功喜悦。

本书由重庆电子工程职业学院陈卫、张红斌老师主编。其中，模块 0、1、5 和附录由陈卫老师编写，并参与其余模块的编写工作；模块 2 由陈鸿老师负责编写；模块 3 由邵有

为老师负责编写；模块 4 由张红斌老师负责编写；模块 6 由李仕旭老师负责编写；模块 7 由袁勇老师负责编写。全书由陈卫老师统稿，张红斌老师修改。北京联合大学高林教授担任第一主审，重庆电子工程职业学院通信技术系曾晓红老师担任第二主审。

本书在编写过程中借鉴和引用了不少同行编写的优秀教材内容，并从中受益匪浅，在此，向各位作者表示衷心的感谢。

在本书内容选择、序化、任务提取与设计、实验设计与实施过程中，重庆电子工程职业学院前任院长李传义教授、中国普天集团重庆普天普科通信技术有限公司电子产品制造中心总工刘显文高级工程师、重庆梅安森科技发展有限责任公司董事长马焰高级工程师、重庆电子工程职业学院实训中心主任唐云高级技师、浙江大学张伟副教授给予了倾心支持和大力帮助，重庆电子工程职业学院陈学昌老师主动进行了大量验证性试验；另外，本书的全部编写工作受“重庆市高等教育教学改革研究重大（重点、一般）项目资助”，立项编号为 09-3-151；在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中难免出现欠妥和考虑不周之处，恳切希望使用本书的读者多提宝贵意见和建议，使编者和读者实现双赢。（附本书中常用符号对照表）

编 者

模块 0 安全用电与静电防护 .....	1
任务一 认识电力系统 .....	1
0.1.1 电力系统的分类 .....	1
0.1.2 电力网与输电电压 .....	1
任务二 掌握安全用电知识 .....	2
0.2.1 电击与触电危险 .....	2
0.2.2 常见的触电类型 .....	4
0.2.3 安全用电原则 .....	5
任务三 掌握静电防护常识 .....	7
0.3.1 静电的产生及其危害 .....	7
0.3.2 静电源与人体静电放电 .....	10
0.3.3 静电防治 .....	12
模块 1 测量分析电阻电路 .....	18
任务一 识别导线和电阻器 .....	18
1.1.1 导线的识别和选择 .....	19
1.1.2 电阻器的识别和选择 .....	22
任务二 使用数字万用表和直流稳压电源 .....	28
任务三 测量与分析简单的电阻电路 .....	29
1.3.1 建立理想电路模型 .....	30
1.3.2 设定参考方向, 测量电流、电压 .....	31
1.3.3 计算电功率与电能 .....	34
1.3.4 建立理想电阻模型 .....	35
1.3.5 建立电源模型 .....	36
任务四 用基尔霍夫定律测量分析电路 .....	41
1.4.1 基尔霍夫电流定律 (KCL) .....	43
1.4.2 基尔霍夫电压定律 (KVL) .....	43
内容小结 .....	46
模块 2 测量分析等效变换电阻电路 .....	47
任务一 测量分析电阻的串、并、混联电路 .....	47
2.1.1 电阻的串联 .....	48
2.1.2 电阻的并联 .....	49
2.1.3 电阻的混联 .....	52
任务二 Y 形电路与 $\Delta$ 形电路 .....	54

任务三 电源模型的等效变换 .....	57
任务四 测量分析受控源 .....	58
2.4.1 受控源 .....	59
2.4.2 认识电流控电流源器件——晶体三极管 .....	60
2.4.3 认识电压控电压源器件——场效应管 .....	61
内容小结 .....	62
<b>模块 3 测量分析线性电路 .....</b>	<b>64</b>
任务一 支路电流的测量分析 .....	64
任务二 节点电位的测量分析 .....	67
任务三 叠加定理分析应用 .....	71
任务四 戴维南定理分析应用 .....	76
内容小结 .....	81
<b>模块 4 测量分析动态电路 .....</b>	<b>83</b>
任务一 认识电容器及串并联电路 .....	83
4.1.1 电容器的结构与分类 .....	84
4.1.2 电容器的主要特性参数 .....	86
4.1.3 电容器的标示与测量 .....	87
4.1.4 电容器的串并联 .....	88
任务二 RC 充放电过程测量分析 .....	90
4.2.1 换路定律与初始值 .....	92
4.2.2 RC 时间常数与充放电曲线 .....	94
4.2.3 RC 充放电路分析* .....	96
任务三 认识电感器与充放电实验 .....	101
4.3.1 电感器的结构与分类 .....	102
4.3.2 电感线圈的主要特性参数与标示 .....	104
4.3.3 电感器的标示与常用线圈的应用 .....	105
4.3.4 RL 电路分析* .....	106
任务四 一阶电路三要素法应用 .....	109
4.4.1 一阶电路的全响应 .....	110
4.4.2 一阶电路的三要素法 .....	113
内容小结 .....	117
<b>模块 5 测量分析正弦交流电路 .....</b>	<b>119</b>
任务一 使用示波器观测交流电波形 .....	119
任务二 使用示波器测量交流电的正弦量 .....	120
5.2.1 测量正弦交流电的三要素 .....	121
5.2.2 测量相位差 .....	124
5.2.3 测量计算正弦量的有效值 .....	124

5.2.4	正弦量的相量表示	125
5.2.5	同频率正弦量的相量运算*	126
任务三	测量分析 R、L、C 元件的交流特性	128
5.3.1	测量分析电阻元件	129
5.3.2	测量分析电感元件	130
5.3.3	测量分析电容元件	132
任务四	用 KVL 定律测量分析 RLC 串联电路的交流特性	134
5.4.1	KVL 定律的相量形式	135
5.4.2	RLC 串联电路电压与电流的关系	136
5.4.3	RLC 串联电路的 3 种性质	136
任务五	用 KCL 定律测量分析 RLC 并联电路的交流特性	138
5.5.1	KCL 定律的相量形式	139
5.5.2	RLC 并联电路电压与电流的关系	140
5.5.3	RLC 并联电路的 3 种性质	141
5.5.4	复阻抗和复导纳的等效互换	141
任务六	测量分析交流供电电器的功率	144
5.6.1	有功分量和无功分量的分析	144
5.6.2	有功功率、无功功率、视在功率	145
5.6.3	提高功率因数	146
任务七	用示波器测量信号发生器的正弦信号	148
任务八	测量分析谐振电路*	149
5.8.1	测量分析串联谐振频率	150
5.8.2	串联谐振的特点	150
5.8.3	分析计算并联谐振频率	152
5.8.4	并联谐振的特点	152
内容小结		154
<b>模块 6</b>	<b>测量分析互感电路</b>	<b>156</b>
任务一	测量分析耦合电感元件	156
6.1.1	认识耦合电感元件	157
6.1.2	耦合系数与互感系数	157
6.1.3	耦合电感元件的静态检测	159
任务二	测量标记同名端	160
6.2.1	建立同名端的概念	160
6.2.2	测量标记同名端	161
6.2.3	同名端的应用	163
任务三	测量分析变压器	166
6.3.1	认识变压器	167
6.3.2	变压器的变比系数	167
6.3.3	变压器的阻抗变换	168



内容小结 .....	171
<b>模块 7 测量分析非正弦周期信号</b> .....	173
任务一 测量分析半波整流信号 .....	173
7.1.1 认识晶体二极管 .....	174
7.1.2 认识非正弦周期信号 .....	175
7.1.3 非正弦周期信号的分解* .....	177
任务二 测量分析梯形波信号 .....	181
7.2.1 认识稳压二极管 .....	182
7.2.2 非正弦周期信号的频谱 .....	182
任务三 测量分析半整流滤波信号 .....	184
7.3.1 非正弦周期信号的有效值 .....	185
7.3.2 非正弦周期信号的平均值 .....	186
7.3.3 非正弦周期信号的平均功率 .....	187
任务四 测量分析全桥滤波电路 .....	189
内容小结 .....	193
<b>附录 A 实验用仪器仪表</b> .....	195
A.1 DT9203 数字万用表的使用 .....	195
A.2 TPR3002 高精度直流稳压电源的使用 .....	197
A.3 YB4320G 示波器的使用 .....	199
A.4 TFG2003G DDS 函数信号发生器的使用 .....	205
<b>附录 B 基本电路分析实验报告</b> .....	210
一、实验目的 .....	210
二、实验器材 .....	210
三、实验内容与步骤 .....	210
四、结果分析 .....	210
<b>案例 1 基本电路分析实验报告</b> .....	211
一、实验目的 .....	211
二、实验器材 .....	211
三、实验内容与步骤 .....	211
四、结果分析 .....	213
<b>案例 2 基本电路分析实验报告</b> .....	213
一、实验目的 .....	213
二、实验器材 .....	213
三、实验内容与步骤 .....	213
四、结果分析 .....	214
<b>附录 C 复数、矢量与相量</b> .....	215
<b>常用符号对照表</b> .....	218
<b>参考文献</b> .....	219

# 模块0 安全用电与静电防护

### 学习要求:

本模块将通过讲座、互动讨论、企业参观学习获取如下效果:

- (1) 帮学生初步认识电力系统,能够区分强电系统和弱电系统;
- (2) 帮学生掌握安全用电的知识和安全用电原则,面对意外触电事故具备紧急处置能力;
- (3) 帮学生掌握静电防护常识,树立静电防护意识,了解并认识各种静电防护设备及仪器。

## 任务一 认识电力系统

### 0.1.1 电力系统的分类

整个电力系统可分为强电系统和弱电系统。在通常情况下,把电力、照明用的电能称为强电;与电力、照明用电相对而言,把传播信号、进行信息交换的电能称为弱电。

强电的处理对象是能源(电力),其特点是电压高、电流大、功耗大、频率低,主要考虑的问题是减小损耗、提高效率。弱电的处理对象主要是信息,即信息的传送与控制,其特点是电压低、电流小、功率小、频率高,主要考虑的问题是信息传送的效果,如保真度、速度、广度和可靠性等。

### 0.1.2 电力网与输电电压

#### 1. 电力网

发电机、配电装置、变压器、电力线路及各种用电设备连接在一起组成的统一整体通常称为电力系统。电力系统中由各级电压等级的输配电线路及升降压变电所组成的部分,称为电力网。

通常可将电力网分为地方电网和区域电网。电压在 110kV 及以上,供电范围较广,输送功率较大的电力网,称为区域电网;电压在 110kV 以下,供电距离较短,输电功率较小的电力网,称为地方电网。

#### 2. 输电电压

输电技术是伴随着城市的发展和大工业的出现而兴起的。根据电压等级的高低,电力网还可分为低压、高压、超高压 3 段。通常把输送电压为 1kV 以下的电力网称为低压电网,输送电压为 1~220kV 的电力网称高压电网(如图 0.1 所示的高压输电铁塔),输送电压为



330kV 及以上称超高压电网。

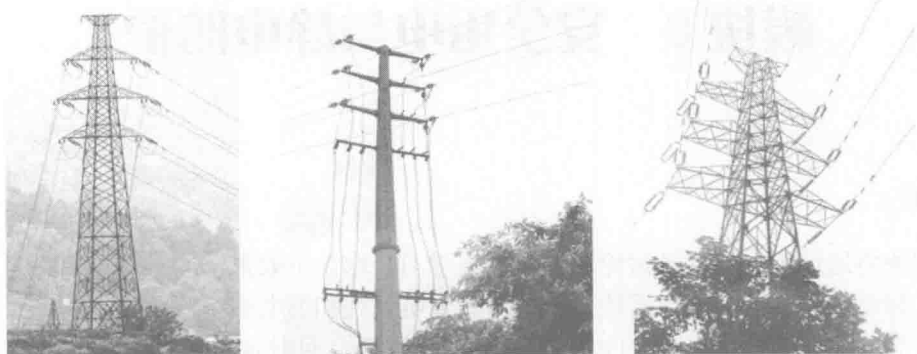


图 0.1 高压输电铁塔

我国的国家标准《GB 156 额定电压》是统一电力企业、电力设备制造行业以及用电工业和用户之间电压系列的强制性技术标准。电压标准以系统额定电压表示，有关输电与配电电压等级包括（括号内为设备最高电压）：220/380 (230/400) V，3 (3.5) kV，10 (11.5) kV，35 (40.5) kV，63 (69) kV，110 (126) kV，220 (252) kV，330 (363) kV，500 (550) kV，750kV。我们日常生活工作中使用的是 220/380 V 50Hz 的交流电。

## 任务二 掌握安全用电知识

安全是在工作和生活用电时首要考虑的问题，在用电过程中，发生短路、电击和烧伤的可能性始终存在。电路在非正常的工作条件下，如闪电雷击、电流电压突变、潮湿、绝缘层老化等，容易出现电路短路而引发火灾。当电压加在人体上的不同部位时，人体便提供了一条电流通路，产生的触电电流会对人体造成电击伤害；有些电气元件通常在高温下工作，意外接触便会造成皮肤灼伤。因此，在用电时必须树立安全意识。

### 0.2.1 电击与触电危险

#### 1. 人体与电击

人体内的血管和血液构成了很好的导体（就像粗细不同的导线），当人体的不同部位加上电压时，就会有电流沿血管流过人体，通过人体的电流是产生电击的原因。电流路径与人体上加电的部位有关，流过人体的电流通路决定了哪些组织和器官将会受到影响，而电击的伤害程度与电压高低、电流大小、电流通过人体的路径、时间长短和人的体质状况等都有直接关系。

#### 2. 触电危险

当通过人体的电流超过人体所能忍受的安全数值时，会导致肌肉痉挛，使肺部停止工作，心肌失去收缩跳动的功能，从而导致心室颤动，“血泵”不起作用，全身血液循环停止。血液循环停止之后，将引起细胞组织缺氧，在 10~15s 内，人便会失去知觉；再过几分钟，

人的神经细胞便开始麻痹，继而导致死亡。

人体电阻一般为  $10 \sim 50\text{k}\Omega$ ，与测量部位有关。如果在出汗或手脚湿水时，人体电阻可能降到  $400\Omega$  左右，此时触电会很危险。

触电时间越长，危险性越大。当触电者无法摆脱电源时，触电电流会导致肌肉收缩力迅速下降，进而引起心力衰竭、窒息、昏迷、休克，乃至死亡。经验证明，对于一般低压触电者的抢救，如果耽误的时间超过  $15\text{min}$ ，人便很难救活。特别是患有心脏病、肺病或精神病的人触电，其危险性更大，也难以救治。

### 3. 电流对人体的影响

电流导致人体产生的生理效应与电流的大小关系密切。当通过人体的电流非常小时，人体感觉轻微或没有感觉；若通过人体的电流稍大，人就会有“麻电”的感觉；当电流达到  $8 \sim 10\text{mA}$  时，便可形成危险的触电事故；当电流超过  $75\text{mA}$  时，在很短时间内就会使人窒息、心跳停止。表 0.1 详细列举了不同电流值对人体的影响。

当加在人体上的电压大到一定数值时，就会发生触电事故。因此，我国规定  $36\text{V}$  及以下的电压为安全电压。超过  $36\text{V}$ ，就有使人触电死亡的危险。

表 0.1 不同电击电流导致的人体生理效应

电流 (mA)	人体生理效应
0.4	轻微感觉
1.1	感觉阈值，有针刺感觉
1.8	无害电击，有“麻电”的感觉，未失去肌肉控制感
9.0	有害电击，感到不能忍受，但还没有失去肌肉控制感
16.0	有害电击，摆脱阈值
23.0	有害电击，肌肉收缩，呼吸困难
75.0	心脏纤维性颤动，致颤阈值， $10 \sim 15\text{s}$ 内会危及生命
235.0	心脏纤维性颤动，通常在 $5\text{s}$ 或更短时间内就能致人死亡
4000.0	心脏停止跳动（没有心脏纤维性颤动）
5000.0	内部组织严重烧伤

### 4. 电流通过人体的路径

触电时，电流在人体内将会选择电阻最小的路径，人体内血管和血液构成的电流通路电阻最小，如图 0.2 (a) 所示，因此电流在人体内会沿大小动脉、静脉血管流过人体。人触电的身体部位通常是手和脚，发生电击的基本电流通路如图 0.2 (b) ~ (e) 所示。

如果是双手同时触电，电流路径是由一只手经胸部心肺到另一只手的，如图 0.2 (b) 所示，这也是非常危险的。如果人站在地上单手触电，电流就通过心肺再经双脚入地，如图 0.2 (c) ~ (d) 所示，这是最危险的情况。如果是单脚触电形成跨步电位差，电流通路如图 0.2 (e) 所示，由一只脚流入，再由另一只脚流出，危险性同样有，但短时间内对人体的伤害比前两种情况轻一些；如果电击电流大、时间长，会出现腿部肌肉痉挛，进而会

摔倒转变为前两种情况。

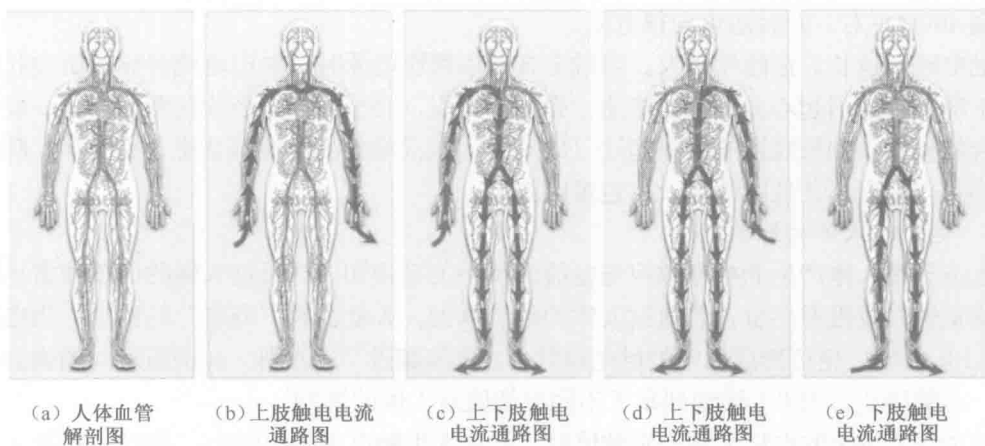


图 0.2 人体触电电流通路示意图

因此，无论是哪种触电情况都是危险的，都会造成人身伤亡事故，必须坚决杜绝。

## 0.2.2 常见的触电类型

触电导致人身伤亡的事例很多，原因各有不同，但可归纳为以下 4 个方面。

### 1. 缺乏安全用电知识

对安全用电缺乏认识，对电击产生的危险性缺乏认识；不能正确判断物体是否带电，不能正确区分导电材料和绝缘材料，不能正确选择绝缘的安全操作方法和处置措施；未牢固树立用电故障必须请专业电工检修的意识等。

由于不知道哪些地方带电，什么东西导电，误用湿的抹布擦抹带电的家用电器，或随意摆弄灯头、开关、电线等，未按安装操作规程使用电气等，往往会造成触电。

#### (1) 误与火线接触。

- 电线绝缘层老化破裂，其裸露处直接接触人体或通过其他导体间接接触人体。
- 潮湿的空气、受潮的物品、盐水溶液等导电，如湿手触摸电流开关或潮湿环境中使用电气工具。

- 电器外壳未按要求接地，其内部火线漏电使外壳带电。

- 零线断开后，与电器连接的原零线部分通过电器与火线连通转化成了火线。

#### (2) 未做好绝缘保护。

- 人站在绝缘物体上，却用手扶墙或接触其他导体，或与非绝缘人体接触。

- 人站在木桌、木椅上，而木桌、木椅却因潮湿等原因转化成为导体。

### 2. 电源插座未连接地线

用电仪器设备安装使用时机壳必须接地，通常采用三芯插头通过电源插座连接地线。如果电源插座未连接地线，如某些电风扇、电冰箱、空调、仪器仪表等金属外壳未连接地线，电器长时间工作时会产生感应电流或发生漏电现象，人体接触设备的外壳就会发生

触电，引起人身伤害事故。

### 3. 用电设备未及时检修

如果开关、插座、灯头等日久失修，胶木、塑料外壳老化破裂，电线绝缘层老化脱裂，各种电器或电动机受潮，蓄电池腐蚀漏液等，极易引起触电电击。农村和乡镇企业往往是触电事故的高发区，其原因大致有如下几种类型。

- 安装修理电灯、电线时，似懂非懂，私拉乱接，造成触电。
- 私设低压电网，用电捕鱼和捉老鼠，造成触电。
- 用“一线一地”安装电灯，极易造成触电事故。因为“一线一地”制的电流是一相电源，电流通过电灯后直接入地形成回路，若关灯时拔起了接地电极就会引起触电，触电时全部电流会流经人体入地。这种触电形式十有八九会导致死亡。
- 误拾断落电线触电，若同伴用手去拉触电者，便会造成多人受伤或死亡。
- 电灯安装的位置过低，碰撞打碎灯泡时，人手触及灯丝引起触电。
- 在供电线路下或变压器旁边盲目施工，因碰撞电线或变压器而引起触电。
- 儿童在电线或电器附近追逐玩耍，误触电线而酿成大祸。

### 4. 高压触电

高压带电体不但不能接触，而且不能靠近。高压触电有电弧触电和跨步电压触电两种。

- 电弧触电：人与高压带电体距离近到一定值时，高压带电体与人体之间会发生放电现象，导致放电电击。
- 跨步电压触电：高压电线断落到地面上时，在距高压线不同距离的点之间存在不同电压，电流也从地面向大地深处逐步扩散，当人的双脚前后同时踩在带有不同电位的地表面两点时，就会引起跨步电压触电。此时必须以单腿跳跃移动避免造成事故。

高压触电的危险性比 220V 电压的触电危险性更高，所以看到“高压危险”的标志时，一定不能靠近它。另外须注意，室外天线必须远离高压线，决不可在高压线附近放风筝、捉蜻蜓、爬电杆等。

## 0.2.3 安全用电原则

在使用或操作电气装置和电子设备时，必须遵循安全用电原则，坚持按规程操作和使用，预防发生触电伤亡事故。在具体的执行中，要把握如下原则。

### 1. 线路、设备必须是合格产品

线路、电气、设备产品合格是保障安全用电的根本性措施，因此必须选择有安全认证标志的产品。特别是新设立的用电部门和企业，必须向当地供电部门申报；安装时，应由持证的合格电工按照供电部门的规划设计和标准施工。修理时也必须找合格的电工。

### 2. 树立安全用电意识

普及安全用电知识，思想上建立安全用电观念，行动上须严格做到如下几点。

- 禁止私设电网、私拉乱接、带电连接火线。
- 禁止带电移动、安装、检修电气设备。
- 禁止接触高于 36V 的带电体，禁止靠近高压带电体。
- 禁止损坏电器设备中的绝缘体。

- 开关接在火线上，各种电器一定要按要求接地。
- 安装螺纹灯的灯头时，火线接中心、零线接金属的螺纹端。
- 铺设室内电线时不要与其他金属导体接触，电线老化与破损时要及时更换修复。
- 不要用湿手插拔插头、拨动开关或操作仪器，不站在金属或潮湿的地面上接触火线。
- 检修线路前，先把总电闸断开；在必须带电操作时，要注意与大地绝缘。
- 检修电器设备前，先用测电笔检测接触点是否带电，并尽可能用单手操作。
- 正确使用各种电工工具，确保金属工具手柄的绝缘性良好。
- 连接电路时，一定要最后连接最高电压点。

### 3. 安装合格的漏电保护器和空气开关

在配电系统中应分级安装新型的电气安全装置——漏电保护器和空气开关，实行分级保护。漏电保护和空气开关可以及时切断电源，对预防各类事故的发生，保护设备和人身安全，提供了可靠而有效的技术手段。

空气开关是一种限流控制开关，当电路中的电流超过额定值时会自动跳闸切断电路。即电路短路或用电设备功率增加引起电流过大时，自动跳闸切断电路，起到防护作用。

漏电保护器是通过检测电路中零线和火线电流大小的微小差异以实现防护的开关控制装置。当火线有漏电时，如人单线触电，通过进户火线的电流有微量通过人体流到大地，使通过进户零线的电流减小，引起绕在漏电保护器铁芯上磁通变化，从而控制开关瞬间自动跳闸，切断电路，实现在电路（或电器）绝缘受损发生对地短路或人体触电时的安全保护。

漏电保护器和空气开关通常组合使用，如图 0.3 所示，安装于用户配电箱的进户回路、楼层分配电箱的电源进线和全楼总配电箱的电源进线上，实现末端保护、支线保护和总保护。

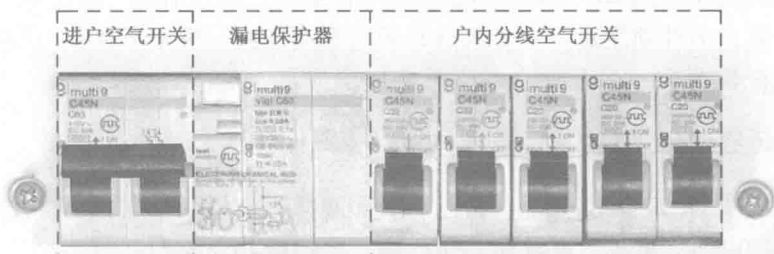


图 0.3 用户配电箱中的空气开关和漏电保护器安装实物图

漏电保护器用于人身安全保护时，漏电电流小于 30mA 视为安全；如大于 30mA，则视为不安全，将产生保护动作。漏电保护器和空气开关的适用情况为交流 50Hz 额定电压 220/380 V，额定电流为 10~250A。

### 4. 触电者的急救

意外事件总是难免的，面对意外触电事件必须有紧急处置预案，实施对触电者的急救。

- 触电事故突发时，救助者应立即切断电源开关。如果做不到，应尽量使用一切可用的非导电材料（如干燥的木棒）将人体与带电接触体分离。
- 拨打 120 急救电话，通知医疗机构派医护人员赶赴现场实施急救。

- 将电击受伤者移动到阴凉通风处平躺，对呼吸困难者实施人工呼吸，延长其生命，为医护人员赢得时间。

- 确认事故现场，等待医护人员急救处置。

### 思考与练习

0.2-1 如果发现有人触电，下列哪些措施是正确的？

- A 迅速用手拉触电人，使他离开带电体。
- B 用铁棒把人和电源分开。
- C 用干木棒将人和电源分开。
- D 迅速拉开电闸，切断电源。

0.2-2 如果因电线短路而失火，能否立即用水去灭火？为什么？

## 任务三 掌握静电防护常识

静电是一种常见的自然现象，具有特定的规律，既有有利的方面，也存在严重的危害。例如，广泛应用的激光打印机和静电复印机都是静电技术的典型应用，在仪器仪表工业和汽摩工业中运用静电喷涂技术可得到外观精美的产品，静电纺织、静电分选等技术也在相关领域得到有效应用。同时，静电也在许多领域会带来重大危害和损失。例如，静电放电（Electro Static Discharge, ESD）可能会导致加油站火灾、化工厂管道爆炸、烟花厂火药爆炸等严重事故；在电子工业中，每年因静电导致的产品损失极大。据资料统计，全世界每年因静电造成的经济损失约为 500 亿美元，潜在的损失还不计其数，电子行业的产品故障 49% 为静电所致。

静电放电是影响各类电子设备和电子元器件稳定性与可靠性的主要因素。因此，我们必须充分认识静电的特性，趋利避害，有效地进行静电的防护与控制。

### 0.3.1 静电的产生及其危害

#### 1. 静电的产生

静电是一种电能，它存留于物体表面，是正负电荷在局部范围内失去平衡的结果，是通过电子或离子的转换而形成的。静电现象是电荷在产生和消失过程中产生的电现象的总称。通常物体带有的正、负电荷是等量的，当其发生运动（摩擦、接触、冷冻、电解、温差等）时，一种物体会积聚正电荷，另一物体积聚负电荷，从而在物体上产生了静电。

在电子产品的生产、运输、储存和转运等过程中都会产生静电，产生静电的主要原因为摩擦、感应和传导。

(1) 摩擦起电：当两种不同的材料发生摩擦时，由于电子的转移产生静电电荷，得到电子的物体带负电，失去电子的物体带正电。这一过程称为摩擦起电。

研究表明，不同物质的摩擦起电按如下顺序排列：

空气→人手→石棉→兔毛→玻璃→云母→人发→尼龙→羊毛→铅→丝绸→铝→纸→棉花→钢铁→木→琥珀→蜡→硬橡胶→镍/铜→黄铜/银→金/铂→硫磺→人造丝→聚酯→赛璐



珞→奥纶→聚氨酯→聚乙烯→聚丙烯→聚氯乙烯→二氧化硅→聚四氟乙烯。

当两种物质发生摩擦后，位于较前的物质一般带正电，而位于较后的则带负电。起电的结果除取决于物质本身外，还与材料表面的清洁度、湿度、接触压力、光洁度、表面积、摩擦速度和分离速度等有关。另外，任何两种不同物质接触后再分离，也能产生静电。

在没有进行防静电防治的生产环境中，电子企业员工在不同的湿度条件下工作，也会产生摩擦起电，其静电强度如表 0.2 所示。由表 0.2 可知，增加环境湿度能降低静电电压。

(2) 感应起电：对导电材料而言，因电子能在它的表面自由流动，如果将其置于电场中，由于同性相斥，异性相吸，正负电子就会转移，从而便会产生感应电。

(3) 传导：对于导电材料而言，因电子能在它的表面自由流动，如果与带电物体接触，将发生电荷转移的传导现象。

表 0.2 电子企业员工在不同湿度条件下活动产生的静电强度

人的活动情形	静电电压/V		备 注
	10%~20%RH	65%~90%RH	
走过化纤地毯	35000	1500	RH (Relative Humidity) 为相对湿度
拿 TEFLON 硅片架	30000	1200	
走过塑胶地板	12000	250	
坐在椅子上工作	6000	100	
翻阅塑面说明书等文件	7000	600	
拿起普通聚乙烯袋	20000	1000	
从垫有聚氨酯甲酸泡沫的工作椅上站起	18000	1500	

## 2. 静电的危害

### (1) 静电危害的形式。

静电在电子企业生产中是不可避免的，其危害形式有如下几种。

- 静电吸附尘埃，产生短路现象，导致电器损坏。
- 静电放电造成电磁干扰，引起电子设备故障或误动作。

如果受损的芯片属于一些重要的控制系统，如网络中心控制系统、自动播出控制系统、生产调度控制中心、电子作战指挥系统、自动导航系统或火箭发射控制系统等，其造成的危害有时是难以预料的。

- 静电放电击穿集成电路和精密电子元件，形成软击穿或硬击穿故障。

硬击穿是一次性造成器件的永久性损坏或性能完全丧失，例如器件的输出与输入开路或短路。当静电放电能量达到一定值时，足以引起塑型集成电路的爆炸，使其芯片完全烧毁裸露，进而造成人身伤害、设备故障、耗费增加。硬击的穿特征明显，一般可以在器件、组装件或插件板出厂交货之前检查出来。

软击穿可使器件的性能劣化，并使其指标参数降低而造成故障隐患。软击穿可使电路时好时坏，且不易被发现，给整机运行和故障查找造成很大麻烦。软击穿时设备仍能“带