

高等院校规划教材

# 电子工艺与实训

吴建明 张红琴 主编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

高等院校规划教材

# 电子工艺与实训

主编 吴建明 张红琴  
参编 张建民 王云松



机械工业出版社

本书是作者在多年教学和科研的基础上为电子工艺实训教学而编写的。本书根据教学实践的要求,注重学生动手能力的训练,内容包括安全用电常识和触电预防与救护、电子元器件识别与检测、电子焊接工艺技术、计算机电路设计(Protel 99 SE)、印制电路板设计与制作、电子实训产品、调试工艺及电子产品的检修方法与检修经验、常用仪表仪器的使用方法等。

本书内容充实、详略得当、可读性强,兼具实用性、资料性和先进性,配有思考题和技能训练,并介绍了大量生产实践的经验。

本书既可作为各类理工科学生参加电子工艺实习的教材,也可作为电子科技创新实践、课程设计、毕业实践等的实用指导书,同时也可供职业教育、技术培训及相关技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电子工艺与实训/吴建明,张红琴主编. —北京:机械工业出版社, 2012. 1

ISBN 978-7-111-36417-7

I. ①电… II. ①吴…②张… III. ①电子技术 - 高等学校 - 教材  
IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 230590 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:王欢 责任编辑:王欢

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17.75 印张 · 440 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-36417-7

定价:44.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

# 前 言

创新精神和实践能力是对新时期高素质人才的基本要求，电子工艺实训是工程训练的一部分，也是电子信息类大专院校学生在校期间非常重要的实践环节之一。在实训过程中，学生可在电子元器件的识别与检测，电子元器件的焊接，电路的计算机辅助设计（Protel 99 SE）和印制电路板的设计与制作，电子测试仪器的使用，电子产品的调试与维修等方面得到训练。掌握这些技能不但会使学生在毕业设计获得帮助，而且也可以通过实际操作提高动手能力，从中激发学生的创新意识。

电子工艺与实训是以学生自己动手，掌握一定操作技能和制作一两种实际产品为特色的。它既不同于培养劳动观念的公益劳动，又不同于让学生自由发挥的科技创新活动；它既是基本技能和工艺知识的入门向导，又是创新实践的开始和创新精神的启蒙。要构筑这样一个基础扎实、充满活力的实践平台，仅靠课堂讲授和动手训练是不够的，需要有一本既能指导学生实习，又能开阔眼界；既是教学的参考书，又是指导实践的实用资料。本书编者就是立足于这个目标，付出了辛勤的劳动，努力使本书既成为电子工艺基础训练的教材，也成为从事电子技术实践和创新的实用指导书。

本书根据编者十几年的教学经验编写，可作为高等院校和其他学校的教材，供学生参加电子工艺实习或有关技术培训时参考使用。本书在内容编排上打破传统，主要考虑教学实践的要求，尽可能多提供一些实训项目，并介绍了一些新的知识。全书共分12章，第1章介绍了安全用电常识，第2~7章分类介绍了电子元器件识别与检测方面的知识，第8章介绍了电路焊接工艺，第9章主要介绍了利用 Protel 99 se 设计电路原理图和印制电路板，第10章介绍了印制电路板基础知识及制作，第11章介绍了电子实训产品（第11章结合实践，给出了大量的实训项目），第12章介绍了常用仪器仪表的使用。

本书的第1、8章由张建民编写，第2~7章由王云松编写，第11、12章由吴建明编写，第9、10章及其余部分由张红琴编写。张红琴负责全书的统稿工作。编者长期从事电子产品的研制、开发和生产及工艺实践教学，对电子工艺技术有较深刻的认识，对教学规律有深入的理解，将丰富的实践经验与严谨的教学要求进行有机的结合。

由于编者水平有限，加之时间仓促，不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第 1 章 安全用电 .....      | 1  |
| 1.1 触电及其对人体的危害 .....  | 1  |
| 1.1.1 触电的种类和方式 .....  | 1  |
| 1.1.2 电流伤害人体的因素 ..... | 2  |
| 1.2 安全防护 .....        | 3  |
| 1.2.1 触电的防护措施 .....   | 3  |
| 1.2.2 触电现场的救护 .....   | 3  |
| 1.3 安全常识 .....        | 5  |
| 1.3.1 用电安全注意事项 .....  | 5  |
| 1.3.2 其他伤害的防护 .....   | 5  |
| 1.4 文明生产 .....        | 5  |
| 思考题 .....             | 6  |
| 第 2 章 电阻器 .....       | 7  |
| 2.1 电阻器的命名和分类 .....   | 7  |
| 2.1.1 电阻器的命名 .....    | 7  |
| 2.1.2 电阻器的分类 .....    | 8  |
| 2.2 电阻器的功能和技术指标 ..... | 9  |
| 2.3 电阻器的选用与检测 .....   | 11 |
| 2.3.1 电阻器的选用 .....    | 12 |
| 2.3.2 电阻器的检测 .....    | 12 |
| 2.4 技能训练 .....        | 14 |
| 项目：安装电阻调压器 .....      | 14 |
| 思考题 .....             | 15 |
| 第 3 章 电容器 .....       | 16 |
| 3.1 电容器的命名和分类 .....   | 16 |
| 3.1.1 电容器的命名 .....    | 16 |
| 3.1.2 电容器的分类 .....    | 17 |
| 3.2 电容器的检测与识别 .....   | 19 |
| 3.2.1 电容器的检测 .....    | 19 |
| 3.2.2 电容器的识别 .....    | 20 |
| 3.3 电容器的功能和作用 .....   | 20 |
| 3.4 技能训练 .....        | 21 |
| 项目：电容器的识别与检测 .....    | 21 |
| 思考题 .....             | 22 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第 4 章 电感器 .....            | 23 |
| 4.1 电感器的命名、主要技术参数和分类 ..... | 23 |
| 4.1.1 电感器的命名 .....         | 23 |
| 4.1.2 电感器的主要技术参数 .....     | 23 |
| 4.1.3 电感器的分类 .....         | 24 |
| 4.2 电感器的检测与识别 .....        | 26 |
| 4.2.1 电感器的检测 .....         | 26 |
| 4.2.2 电源变压器的检测 .....       | 26 |
| 4.2.3 电感器的识别 .....         | 27 |
| 4.3 电感器的功能和作用 .....        | 28 |
| 4.4 技能训练 .....             | 29 |
| 项目：电感器、变压器的识别与检测 .....     | 29 |
| 思考题 .....                  | 30 |
| 第 5 章 半导体分立器件 .....        | 31 |
| 5.1 半导体分立器件的命名和分类 .....    | 31 |
| 5.1.1 国产半导体分立器件的命名 .....   | 31 |
| 5.1.2 半导体分立器件的分类 .....     | 32 |
| 5.1.3 进口半导体器件的命名 .....     | 32 |
| 5.2 二极管 .....              | 35 |
| 5.2.1 二极管的种类 .....         | 35 |
| 5.2.2 二极管的主要参数与简单测试 .....  | 36 |
| 5.3 晶体管 .....              | 37 |
| 5.3.1 晶体管种类与工作特性 .....     | 37 |
| 5.3.2 其他半导体器件 .....        | 39 |
| 5.3.3 常用光电器件 .....         | 40 |
| 5.4 技能训练 .....             | 42 |
| 项目：二极管、晶体管的识别与检测 .....     | 42 |
| 思考题 .....                  | 43 |
| 第 6 章 集成电路 .....           | 44 |
| 6.1 集成电路的命名和分类 .....       | 44 |
| 6.1.1 集成电路的命名 .....        | 44 |
| 6.1.2 集成电路的分类 .....        | 45 |
| 6.2 模拟集成电路 .....           | 45 |
| 6.3 数字集成电路 .....           | 46 |

|                                |           |                                  |            |
|--------------------------------|-----------|----------------------------------|------------|
| 6.4 可编程集成电路 .....              | 46        | 8.5.4 难熔金属焊 .....                | 89         |
| 6.5 封装和引脚 .....                | 47        | 8.6 表面组装技术概述 .....               | 90         |
| 6.5.1 集成电路的封装和引脚 .....         | 47        | 8.6.1 表面组装技术的组成 .....            | 90         |
| 6.5.2 集成电路的引脚识别和性能<br>检测 ..... | 49        | 8.6.2 表面组装工艺概要 .....             | 91         |
| 6.6 技能实训 .....                 | 50        | 8.6.3 表面组装设计 .....               | 93         |
| 项目：集成电路的识别和检测 .....            | 50        | 8.6.4 表面组装材料 .....               | 95         |
| 思考题 .....                      | 50        | 8.6.5 表面组装元器件的特点和种类 .....        | 98         |
| <b>第7章 其他元器件</b> .....         | <b>51</b> | 8.6.6 芯片封装简介 .....               | 100        |
| 7.1 电声器件 .....                 | 51        | 8.6.7 贴装技术及贴装胶涂敷技术 .....         | 101        |
| 7.1.1 传声器 .....                | 51        | 8.6.8 贴装机的结构和特征 .....            | 101        |
| 7.1.2 扬声器 .....                | 53        | 8.6.9 视觉系统 .....                 | 102        |
| 7.2 开关及继电器 .....               | 54        | 8.6.10 微组装技术的兴起和发展 .....         | 104        |
| 7.2.1 开关 .....                 | 54        | 思考题 .....                        | 104        |
| 7.2.2 继电器 .....                | 55        | <b>第9章 Protel 99 SE</b> .....    | <b>105</b> |
| 7.2.3 接插件 .....                | 57        | 9.1 Protel 99 SE 基础知识 .....      | 105        |
| 7.3 技能训练 .....                 | 59        | 9.1.1 Protel 99 SE 配置要求 .....    | 105        |
| 项目：常用电声器件的检测 .....             | 59        | 9.1.2 Protel 99 SE 简介 .....      | 105        |
| 思考题 .....                      | 60        | 9.1.3 Protel 99 SE 基本组成 .....    | 106        |
| <b>第8章 焊接技术</b> .....          | <b>61</b> | 9.1.4 Protel 99 SE 设计电路的流程 ..... | 106        |
| 8.1 焊接的分类与锡焊 .....             | 61        | 9.2 原理图绘制预处理 .....               | 108        |
| 8.1.1 焊接的分类 .....              | 61        | 9.3 原理图的设计 .....                 | 112        |
| 8.1.2 锡钎焊机理 .....              | 62        | 9.3.1 原理图的绘制 .....               | 112        |
| 8.1.3 焊接工具 .....               | 64        | 9.3.2 生成报表 .....                 | 117        |
| 8.1.4 焊接材料 .....               | 66        | 9.3.3 原理图的美化 .....               | 119        |
| 8.2 手工焊接技术 .....               | 71        | 9.3.4 原理图元件库制作 .....             | 119        |
| 8.2.1 焊接准备 .....               | 71        | 9.3.5 技能训练 .....                 | 120        |
| 8.2.2 焊接操作的基本步骤 .....          | 72        | 9.4 PCB 图的制作 .....               | 122        |
| 8.2.3 焊接操作手法 .....             | 73        | 9.4.1 印制电路板的设计思路和基础 .....        | 122        |
| 8.2.4 焊接技艺 .....               | 74        | 9.4.2 规划电路板 .....                | 126        |
| 8.3 焊接质量要求 .....               | 78        | 9.4.3 自动布线 .....                 | 132        |
| 8.3.1 焊点质量检查 .....             | 78        | 9.4.4 手动布线 .....                 | 135        |
| 8.3.2 常见焊点的缺陷与分析 .....         | 80        | 9.4.5 PCB 的高级设计 .....            | 136        |
| 8.3.3 拆焊 .....                 | 81        | 9.4.6 PCB 封装库的制作 .....           | 138        |
| 8.4 工业生产锡钎焊技术 .....            | 84        | 9.4.7 实训内容 .....                 | 142        |
| 8.4.1 波峰焊技术 .....              | 84        | 9.5 PCB 设计补充知识 .....             | 143        |
| 8.4.2 浸焊 .....                 | 84        | 9.5.1 Protel 99 SE 元件封装 .....    | 143        |
| 8.4.3 再流焊 .....                | 85        | 9.5.2 PCB 走线设计经验 .....           | 144        |
| 8.4.4 无锡焊接 .....               | 86        | 9.5.3 Protel 99 SE 常见错误 .....    | 146        |
| 8.5 特种焊接技术 .....               | 86        | 9.6 电路仿真 .....                   | 146        |
| 8.5.1 电子束焊接 .....              | 87        | 9.6.1 电路仿真的思路 .....              | 147        |
| 8.5.2 激光焊接 .....               | 88        | 9.6.2 SIM 99 仿真库中的激励源 .....      | 150        |
| 8.5.3 等离子弧焊 .....              | 88        | 9.6.3 仿真环境设置 .....               | 150        |
|                                |           | 9.6.4 实例仿真 .....                 | 150        |

|                                 |     |                                 |     |
|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| 思考题 .....                       | 153 | 11.4.1 实训目的、内容及要求 .....         | 214 |
| <b>第 10 章 印制电路板工艺及制作</b> .....  | 154 | 11.4.2 电路组成及基本工作原理 .....        | 214 |
| 10.1 印制电路板概述 .....              | 154 | 11.4.3 主要器件简介 .....             | 216 |
| 10.1.1 概述 .....                 | 154 | 11.4.4 实训器材 .....               | 219 |
| 10.1.2 印制电路板基板材料的分类 .....       | 155 | 11.4.5 实训步骤与方法 .....            | 220 |
| 10.1.3 印制电路板的发展方向 .....         | 157 | 11.5 MF50 型万用表 .....            | 220 |
| 10.2 设计印制电路板 .....              | 158 | 11.5.1 实训目的与要求 .....            | 220 |
| 10.2.1 设计印制电路板的准备工作 .....       | 158 | 11.5.2 电路组成及主要技术指标 .....        | 221 |
| 10.2.2 印制电路板的布局 .....           | 162 | 11.5.3 电路的设计与计算 .....           | 223 |
| 10.2.3 印制电路板上的焊盘及印制<br>导线 ..... | 167 | 11.5.4 实验设备及器件 .....            | 232 |
| 10.2.4 印制导线的干扰和屏蔽 .....         | 170 | 11.5.5 安装与调试 .....              | 232 |
| 10.3 制板工艺 .....                 | 172 | 11.6 晶体管外差式收音机 .....            | 234 |
| 印制板制作的步骤 .....                  | 172 | 11.6.1 电路组成及工作原理 .....          | 234 |
| 10.4 印制板的制造工艺 .....             | 175 | 11.6.2 焊接与装配 .....              | 237 |
| 10.4.1 印制电路板生产制造过程 .....        | 175 | 11.6.3 调试 .....                 | 239 |
| 10.4.2 印制板生产工艺 .....            | 179 | 11.6.4 检修方法 .....               | 245 |
| 10.5 手工制作印制电路板 .....            | 180 | 11.6.5 故障排除 .....               | 250 |
| 10.5.1 漆图法 .....                | 180 | 思考题 .....                       | 255 |
| 10.5.2 手工制板其他方法 .....           | 181 | <b>第 12 章 常用电子仪器仪表的使用</b> ..... | 256 |
| 10.6 刻制机制作印制电路板 .....           | 182 | 12.1 万用表 .....                  | 256 |
| 10.6.1 HW 系列电路板刻制机 .....        | 182 | 12.1.1 概述 .....                 | 256 |
| 10.6.2 刻制机的使用 .....             | 184 | 12.1.2 MF47 型指针式万用表 .....       | 256 |
| 10.7 技能训练 .....                 | 193 | 12.1.3 数字式万用表 .....             | 262 |
| 思考题 .....                       | 194 | 12.1.4 使用注意事项 .....             | 263 |
| <b>第 11 章 电子实训产品</b> .....      | 195 | 12.2 直流稳压电源 .....               | 263 |
| 11.1 直流稳压电源 .....               | 195 | 12.2.1 工作原理 .....               | 263 |
| 11.1.1 实训目的 .....               | 195 | 12.2.2 性能指标 .....               | 264 |
| 11.1.2 电路组成及工作原理 .....          | 195 | 12.2.3 使用方法 .....               | 264 |
| 11.1.3 元器件装配与调试 .....           | 198 | 12.2.4 使用注意事项 .....             | 265 |
| 11.1.4 性能指标及测试方法 .....          | 200 | 12.3 双踪示波器 .....                | 266 |
| 11.2 函数发生器 .....                | 201 | 12.3.1 简介 .....                 | 266 |
| 11.2.1 电路组成及工作原理 .....          | 201 | 12.3.2 主要技术指标 .....             | 266 |
| 11.2.2 装配与调试 .....              | 205 | 12.3.3 操作面板说明 .....             | 269 |
| 11.2.3 性能指标及测试分析 .....          | 206 | 12.3.4 使用说明 .....               | 271 |
| 11.3 低频功率放大器 .....              | 207 | 12.3.5 维护校正及注意事项 .....          | 272 |
| 11.3.1 电路组成及工作原理 .....          | 207 | 12.4 函数信号发生器/计数器 .....          | 272 |
| 11.3.2 仿真分析 .....               | 208 | 12.4.1 简述 .....                 | 273 |
| 11.3.3 制作 .....                 | 209 | 12.4.2 面板标志及功能、使用说明 .....       | 274 |
| 11.3.4 调试与检测 .....              | 213 | 12.4.3 主要技术参数 .....             | 276 |
| 11.3.5 常见故障及原因 .....            | 213 | 12.4.4 维护校正 .....               | 277 |
| 11.4 数字电压表 .....                | 214 | <b>参考文献</b> .....               | 278 |

# 第1章 安全用电

电是现代化生产和生活中不可缺少的重要能源。若用电不慎，就可能造成电源中断、设备损坏、人身伤亡，给生产和生活造成很大的影响，因此安全用电具有特殊重要的意义。对于电子产品的生产工人来说，经常接触的是用电安全问题。人体是导电的，一旦有电流流过将会受到不同程度的伤害。由于触电的种类、方式及条件不同，受伤害的后果也不一样。

## 1.1 触电及其对人体的危害

### 1.1.1 触电的种类和方式

#### 1. 人体触电的种类

触电是指人体触及带电体后，电流对人体造成的伤害。它有两种类型，即电击和电伤。

(1) 电击。它是指电流通过人体时所造成的内伤。它可使肌肉抽搐、内部组织损伤，造成发热、发麻、神经麻痹等。严重的会使人昏迷、窒息，甚至心脏停止跳动、血液循环终止等而导致死亡。100mA 的工频电流可使人遭到致命电击。人们通常所说的触电就是指电击，大部分触电死亡事故都是由电击造成的。

(2) 电伤。它是指在电流的热效应、化学效应、机械效应及电流本身作用下造成的人体外伤。常见的有灼伤、烙伤和皮肤金属化等现象。灼伤由电流的热效应引起，主要是电弧灼伤，造成皮肤红肿、烧焦或皮下组织损伤；烙伤是由电流热效应或力效应引起，使皮肤被电气发热部分烫伤或由人体与带电体紧密接触而留下肿块、硬块，使皮肤变色等；皮肤金属化是由于电流热效应和化学效应导致熔化金属微粒渗入皮肤表层，使受伤部位带金属色且留下硬块。

#### 2. 人体触电的方式

(1) 单相触电。人体的一部分接触带电体的同时，另一部分由于大地或零线（中性线）相接，电流经人体到达地或零线形成回路，这种触电叫做单相触电。在接触电气线路或设备时，若不采用防护措施，一旦电气线路或设备绝缘损坏漏电，将引起间接的单相触电。若站在地上误触带电体的裸露金属部分，将造成直接的单相触电（见图 1-1a）。

(2) 两相触电。人体不同部位同时接触两相电源带电体而引起的触电叫做两相触电。对于这种情况，无论电网中性点是否接地，人体所承受的线电压比单相触电时要高，危险性更大（见图 1.1b）。

(3) 悬浮电路上的触电。交流 220V 工频电压通过变压器相互隔离的一次、二次绕组后，从二次绕组输出的电压零线不接地，变压器绕组间不漏电时，即相对于大地处于悬浮状态。若人站在地上接触其中一根带电导线，不会构成电流回路，没有触电感觉。如果人体一

部分接触二次绕组的一根导线,另一部分接触该绕组的另一导线,则会造成触电。例如,部分彩色电视机的金属底板是悬浮电路的公共接地点,在接触或检修这类机器电路时,若一只手接触电路的高电位点,另一只手接触低电位点,则人体将电路连通造成触电,这就是悬浮电路触电。

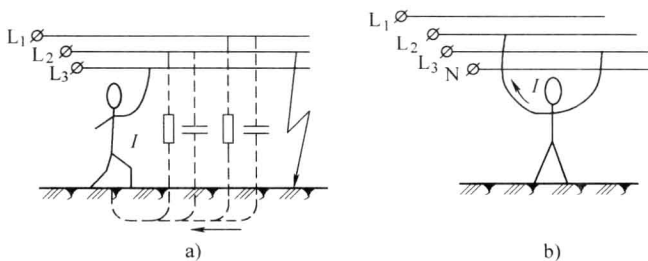


图 1-1 人体触电方式

a) 单相触电 b) 两相触电

### 1.1.2 电流伤害人体的因素

#### 1. 电流大小对人体的影响

通过人体的电流越大,人体的生理反应越明显,感觉越强烈,从而引起心室颤动所需的时间越短,致命的危险性就越大。对工频电流,按照通过人体的电流大小和人体呈现的不同状态,可划分为下列三种。

(1) 感知电流。它是指引起人体感知的最小电流。实验表明,成年男性的平均感知电流有效值约为  $1.1\text{mA}$ ,成年女性的约为  $0.7\text{mA}$ 。感知电流一般不会对人体造成伤害,但是电流增大时,感知增强反应变大,可能造成坠落等事故。

(2) 摆脱电流。人触电后能自行摆脱电源的最大电流称为摆脱电流。一般男性的平均摆脱电流约为  $16\text{mA}$ ,成年女性的约为  $10\text{mA}$ ,儿童的摆脱电流比成年人小。摆脱电流是人体可以忍受而一般不会造成危险的电流。若通过人体的电流超过摆脱电流且时间过长会造成昏迷、窒息,甚至死亡。因此人体承受摆脱电流的能力随时间的延长而降低。

(3) 致命电流。它是指在短时间内危及生命的最小电流。当电流达到  $50\text{mA}$  以上就会引起心室颤动,有生命危险;  $100\text{mA}$  以上,则足以致人于死亡;而  $30\text{mA}$  以下的电流通常不会有生命危险。

#### 2. 电源频率对人体的影响

常用的  $50\sim 60\text{Hz}$  的工频电源对人体的伤害程度最为严重。当电源的频率偏离工频越远,对人体的伤害程度越轻。在直流和高频情况下,人体可以承受更大的电流,但高压高频电流对人体依然是十分危险的。

1)  $50\sim 100\text{Hz}$  对人的伤害最大。

2)  $125\text{Hz}$  对人的伤害较大。

3)  $200\text{Hz}$  以上基本上消除了触电危险,有时还可以用于治疗疾病。

#### 3. 人体电阻的影响

人体电阻因人而异,基本上按表皮层电阻大小而定。影响人体电阻值的因素很多,皮肤状况(如皮肤厚薄、是否多汗、有无损伤、有无带电灰尘等)和触电时与带电体的接触情况(如皮肤与带电体的接触面积、压力大小等)均会影响到人体电阻值的大小。一般情况下人体电阻为  $1000\sim 2000\Omega$ ,但是变化很大。

#### 4. 电压大小的影响

当人体电阻一定时,作用于人体的电压越高,通过人体的电流越大。实际上,通过人体

的电流与作用于人体的电压并不成正比，这是因为随着作用于人体电压的升高，人体电阻急剧下降，致使电流迅速增加而对人体的伤害更为严重。

#### 5. 电流路径的影响

- 1) 头部触电电流流经脊髓使人昏迷，还可能导致人肢体瘫痪。
- 2) 电流流经心脏最易导致人死亡。

## 1.2 安全防护

### 1.2.1 触电的防护措施

(1) 组织措施。在电气设备的设计、制造、安装、运行、使用和维护及专用保护装置的配置等环节中，要严格遵守国家规定的标准和法规。

(2) 技术措施如下：

- 1) 电气设备的外壳要采取保护接地或接零。
- 2) 安装自动断电装置。在带电线路或设备上发生触电事故时，在规定的时间内能自动切断电源而起保护作用的措施。例如，漏电保护、过电流保护、过电压保护或欠电压保护等。
- 3) 尽可能采用安全电压。为了保障操作人员的安全，各国都规定了安全操作电压。所谓安全操作电压是指人体长时间接触带电体而不发生触电危险的电压，其数值与人体可承受的安全电流及人体电阻有关。
- 4) 保证电气设备具有良好的绝缘性能。
- 5) 采用电气安全用具。
- 6) 设立屏护装置。采用屏护装置将带电体与外界隔离，以杜绝不安全因素的措施。常用的屏护装置有护栏、护罩、护盖、栅栏等。
- 7) 保证人或物与带电体的安全距离。为防止人体或设备触及或过分接近带电体，防止火灾、过电压放电及短路事故且操作方便，在带电体与地面之间、带电体与带电体之间、带电体与其他设备之间，均应保持一定的安全间距。
- 8) 定期检查用电设备。为保证用电设备的正常运行和操作人员的安​​全，必须对用电设备进行定期检查。

### 1.2.2 触电现场的救护

1) 发生触电事故时，千万不要惊慌失措，必须以最快的速度使触电者脱离电源。这时最有效的措施是切断电源。在一时无法或来不及寻到电源的情况下，可用绝缘物（竹竿、木棒或塑料制品等）移开带电体。

2) 抢救中要记住触电者未脱离电源前，其本身是一带电体，抢救时会造成抢救者触电伤亡，所以要在保证自身不触电的前提下做到尽可能快（见图 1-2）。

3) 触电者脱离电源后，还有心跳和呼吸的应尽快送医院进行抢救。

4) 如果心跳已停止，应立即采用人工心脏按压法（见图 1-3），使患者维持血液循环。若呼吸已停止，应立即采用口对口人工呼吸方法施救（见图 1-4），并同时拨打急救电话。

5) 心跳、呼吸全停止时，应该同时采用上述两种方法施救，并且边急救边送医院做进

一步抢救。

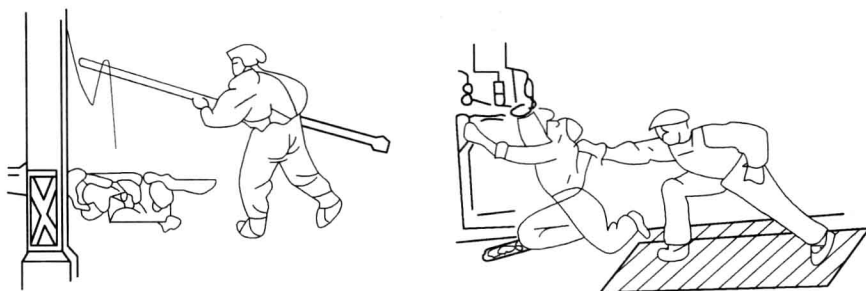


图 1-2 移开带电体

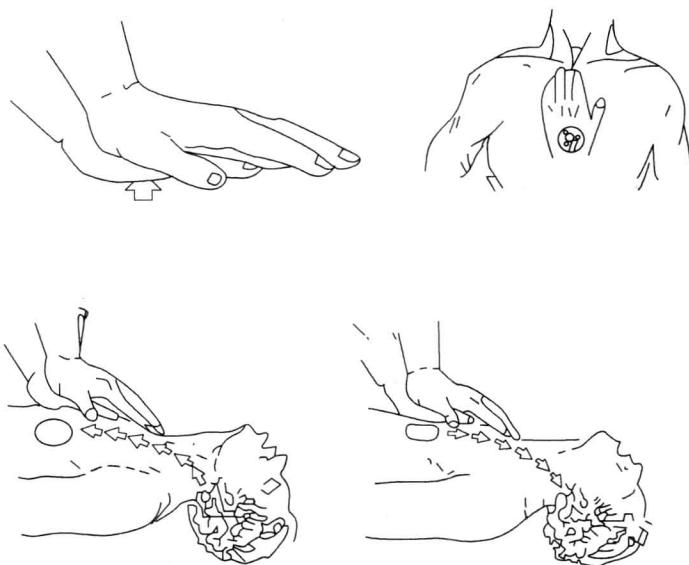


图 1-3 人工心脏按压法



图 1-4 口对口人工呼吸方法

## 1.3 安全常识

### 1.3.1 用电安全注意事项

- 1) 操作带电设备时, 注意不要触及非安全电压, 更不能用手直接接触及带电体来判断是否有电。在非安全电压下作业时, 应尽可能用单手操作, 脚应站在绝缘的物体上。
- 2) 无论永久性还是临时性的电气设备或电动工具, 都应接好安全保护地线。
- 3) 进行高压试验时, 实验场地周围应设有护栏, 非试机人员禁止入内, 护栏上挂“高压危险”的警告牌。操作者应穿绝缘鞋、戴绝缘手套。
- 4) 场地布线要合理。场地的电源符合国家电气安全标准, 并在总电源装有剩余电流断路器(俗称漏电开关); 不能乱拉临时线; 熔断器(俗称保险)要符合标准; 插头、插座要连接良好; 带电导体及线头不能裸露在外, 必须有良好的绝缘措施。
- 5) 注意防火, 易燃易爆的物品必须远离高温, 场地内必须有良好的消防设施。
- 6) 发现电气设备不正常时, 应立即断开开关, 进行检修。
- 7) 对有静电要求的产品, 应做到防静电, 例如操作人员戴防静电手环或安装离子风扇等。

### 1.3.2 其他伤害的防护

(1) 烫伤的预防。烫伤在电子装配操作中发生较为频繁, 这种烫伤一般都不会造成严重后果, 但会给操作者带来痛苦和伤害, 所以要注意下面几点操作规范:

- 1) 工作中应将电烙铁放置在烙铁架上, 并将烙铁架置于工作台右前方。
- 2) 观察电烙铁的温度, 应用电烙铁熔化松香, 千万不要用手触摸电烙铁头。
- 3) 在焊接工作中要防止被加热熔化的松香及焊锡溅落到皮肤上。
- 4) 通电调试、维修电子产品时, 要注意电路中发热电子元器件(散热片、功率器件、功耗电阻)可能造成的烫伤。

(2) 机械损伤的预防。机械损伤在电子装配操作中较为少见, 但违反安全操作规程仍会造成严重的伤害事故, 所以要注意下面几点操作规范:

- 1) 在钻床上给印制板钻孔时不可以披长发或戴手套操作。
- 2) 使用螺钉旋具(俗称螺丝刀、改锥)紧固螺钉时, 应正确使用该类型工具, 以免打滑伤及自己的手。
- 3) 剪断印制板上元器件的引脚时, 应正确使用剪切工具, 以免被剪断的引脚飞射并伤及眼睛。

## 1.4 文明生产

搞好文明生产是实现全面质量管理的重要条件。如果不重视文明生产, 即使有先进的技术设备, 也不能保证高质量的产品。文明生产, 就是创造一种正规、清洁明亮、安全、井然有序、有稳定人心作用、符合最佳布局的良好环境, 养成按标准秩序和良好工艺技术精心操

作的习惯。

电子产品的生产对场地环境的要求比较高。一般应做到室内照明灯光充足而不耀眼；墙壁、地面、仪器设备等的颜色要适合，对人眼不刺激；场地应有排气通风设备，使室内空气中有害气体不能超标；室内的噪声不能超过 85dB；严禁场地内吸烟、喧哗打闹。

为保证文明生产，必须具备一流的现场管理。只有这样，才能生产出一流的产品、向用户提供一流的服务。目前，起源于日本的 5S 现场管理体系最为适用，已被许多企业采用和发扬。有些企业在此基础上提出了 6S 和 7S，甚至 10S，但基础仍是 5S。

5S 的现场管理包括整理、整顿、清扫、清洁、修养。后来 6S 是在此基础上加了“安全”，7S 又在之基础上加了“服务”。现场管理的目的是对生产现场中的人员、机器、材料、方法、环境进行充分而有效的科学管理，其基本思想是“物有其位，物在其位”。

(1) 整理。整理就是将必需品与非必需品区分开。必需品摆在指定的位置上，有明显的标示；不要的物品坚决处理掉，在工作现场不放置必需品以外的物品，以免妨碍工作或有碍观瞻。这些被处理掉的物品可能包括原辅材料、半成品和成品、仪器设备、工装夹具、管理文件、表册单据、无关的书报、个人物品等。

(2) 整顿。整顿就是将整理好的物品明确地规划、定位并加以标示。这样，就可以达到快速、准确、安全地取用所需物品。其原则是“定位、定物、定量；易见、易取、易还”。

(3) 清扫。清扫就是将工作场所、机械设备、材料、工具等上面的灰尘、污垢、碎屑、泥沙等脏物清扫、擦拭干净，创造一个洁净的环境。其原则是划分每个人应负责的清洁区域、确定清扫频率。划分区域时必须界限清楚，不留下无人负责的区域。

(4) 清洁。清洁就是维持以上 3S（即整理、整顿、清扫），使之成为日常活动和习惯，即规范化、标准化，其原则是制定标准，定时检查。

(5) 修养。修养就是培养全体员工良好的工作习惯、组织纪律和敬业精神。这是 5S 活动的最终目的。通过持续进行“整理、整顿、清扫、清洁”活动，逐步使每一位员工都自觉养成遵守规章制度、工作纪律的习惯，并创造一个具有良好氛围的工作场所。

## 思 考 题

1. 触电对人体的危害主要有几种？绝大部分触电死亡事故是由哪一种造成的？
2. 直流电对人体一般造成什么危害？交流电对人体又造成什么危害？
3. 什么是直接电击？什么是间接电击？
4. 对人体危害最大的交流电的频率范围是多少？人们日常使用的工频市电频率是多少？
5. 触电的形式及防范救护措施有哪些？
6. 用电事故发生的原因是什么？
7. 触电时如何急救？

# 第 2 章电 阻 器

## 2.1 电阻器的命名和分类

电阻（Resistance）是物质对电流的阻碍作用，利用这种阻碍作用做成的元件称为电阻器。电阻器是电工电子元器件中应用最广泛的一种，在电子设备中约占元器件总数的 30% 以上，其质量的好坏对电路工作的稳定性有极大的影响。电阻器的主要用途是稳定和调节电路中的电流和电压，其次还可作为分流器、分压器和负载使用。

### 2.1.1 电阻器的命名

电阻器（Resistor），简称电阻，通常用  $R$  表示。它是指具有一定阻值，一定几何形状，一定技术性能的，在电路中起特定作用的元件。电阻的单位是欧姆，用希腊字母  $\Omega$  表示。在实际应用中，常常使用的单位有  $k\Omega$ （千欧）、 $M\Omega$ （兆欧）等。在电子设备中，电阻器主

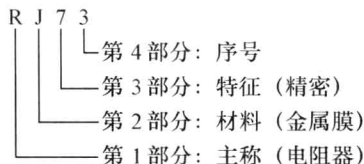
表 2-1 国产电阻器的型号命名

| 第 1 部分  |     | 第 2 部分  |        | 第 3 部分     |       |      | 第 4 部分                                                                                                          |
|---------|-----|---------|--------|------------|-------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 用字母表示主称 |     | 用字母表示材料 |        | 用数字或字母表示特征 |       |      |                                                                                                                 |
| 符号      | 意义  | 符号      | 意义     | 符号         | 意义    |      |                                                                                                                 |
|         |     |         |        |            | 电阻器   | 电位器  |                                                                                                                 |
| R       | 电阻器 | T       | 碳膜     | 1、2        | 普通    | 普通   | 用数字表示：额定功率阻值允许误差的精度等级<br><br>对主称、材料相同，仅性能指标、尺寸大小有差别，但基本不影响互换使用的产品，给予统一序号；若性能指标、尺寸大小明显影响互换使用时，则在序号后面用大小写字母作为区别代号 |
| W       | 电位器 | H       | 合成膜    |            |       |      |                                                                                                                 |
|         |     | S       | 有机实心   | 3          | 超高频   | —    |                                                                                                                 |
|         |     | N       | 无机实心   | 4          | 高阻    | —    |                                                                                                                 |
|         |     | J       | 金属膜（箔） | 5          | 高温    | —    |                                                                                                                 |
|         |     | Y       | 氧化膜    | 6          | —     | —    |                                                                                                                 |
|         |     | C       | 沉积膜    | 7          | 精密    | 精密   |                                                                                                                 |
|         |     | I       | 玻璃釉膜   | 8          | 高压    | 特殊函数 |                                                                                                                 |
|         |     | P       | 硼碳膜    | 9          | 特殊    | 特殊   |                                                                                                                 |
|         |     | U       | 硅碳膜    | G          | 高功率   | —    |                                                                                                                 |
|         |     | X       | 线绕     | T          | 可调    | —    |                                                                                                                 |
|         |     | M       | 压敏     | W          | —     | 微调   |                                                                                                                 |
|         |     | G       | 光敏     | D          | —     | 多圈   |                                                                                                                 |
|         |     | R       | 热敏     | B          | 温度补偿  | —    |                                                                                                                 |
|         |     |         |        | C          | 温度测量  | —    |                                                                                                                 |
|         |     |         |        | P          | 旁热式   | —    |                                                                                                                 |
|         |     |         |        | W          | 稳压式   | —    |                                                                                                                 |
|         |     |         |        | Z          | 正温度系数 | —    |                                                                                                                 |

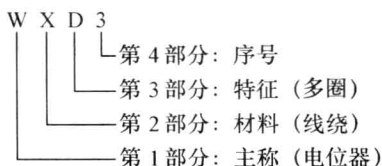
要用于稳压和调节电路中的电流和电压，其次还可作为消耗电能的负载，分流器、分压器、稳压电源中的取样电阻，晶体管电路中的偏置电阻等。常用国产电阻器的命名方法见表 2-1。

示例如下：

#### (1) 精密金属膜电阻器



#### (2) 多圈线绕电位器



### 2.1.2 电阻器的分类

电阻器按结构可分为固定电阻器和可调电阻器两大类。固定电阻器的阻值是固定的，一经制成后不再改变。可调电阻器的阻值可以在一定范围内调整。

#### 1. 固定电阻器

固定电阻器一般也简称为“电阻”，由于制作材料和工艺不同，固定电阻器又可分为实心电阻器、薄膜电阻器、线绕电阻器（RX）和特殊电阻器 4 种类型。

实心电阻器是由石墨和炭黑等导电材料及不良导电材料混合加入粘结剂后压制而成。其成本低，但阻值误差大，稳定性差。

薄膜电阻器是利用蒸镀的方法将具有一定电阻率的材料蒸镀在绝缘材料表面制成。常用的蒸镀材料是碳或某些金属合金，因而薄膜电阻器有碳膜电阻器（用“RT”标识）和金属膜电阻器（用“RJ”标识），最常用的是金属膜电阻器。碳膜电阻器的电压稳定性好，造价低，家电产品中大多采用碳膜电阻器。金属膜电阻器具有较高的耐高温性能、温度系数小、热稳定性好、噪声小等优点，但造价高。

线绕电阻器是用镍铬合金、锰铜合金等电阻丝在绝缘支架上制成，其外面涂有耐热的绝缘层。线绕电阻器主要用在额定功率需要较大的场合。

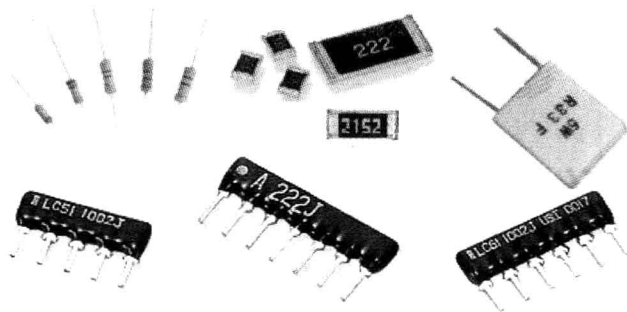


图 2-1 几种固定电阻器

图 2-1 给出了几种固定电阻器的实物照片，上面的分别是不同规格的色环电阻器、贴片电阻器、小功率绕线电阻器；下面是排阻，排阻是多个电阻器的组合，其带点的一端为公共端。图 2-1 所示的 3 个排阻分别有 5 个、6 个和 7 个引脚，它们内部分别由具有公共端的 4 个、5 个和 6 个电阻器组成。

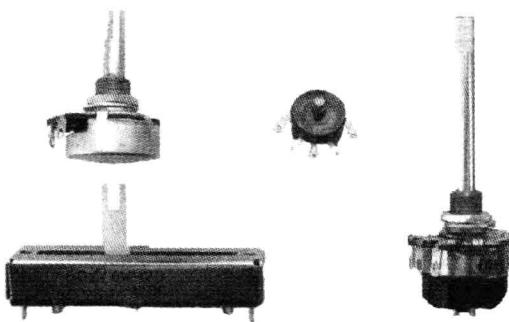


图 2-2 几种常见的可调电阻器

## 2. 可调电阻器

可调电阻器又称电位器，是一种阻值在一定范围内连续可调的电阻器。一般的可调电阻器有 3 个接头，它主要用在阻值需要调整的电路中。几种常见的可调电阻器如图 2-2 所示。

可调电阻器按阻值随转角变化的关系，可分为线性可调电阻器和非线性可调电阻器。非线性可调电阻器的阻值与转角的关系又分为指数型和对数型。

## 2.2 电阻器的功能和技术指标

电阻器的主要物理特性是将电能转变为热能，也就是说它是一个耗能元件，电流经过它就产生热能。电阻在电路中通常起分压、分流的作用。对信号来说，交流与直流信号都可以通过电阻器。电阻器是一个线性元件。在一定条件下，流经一个电阻器的电流和电阻器两端电压成正比。也就是说，它是符合欧姆定律的，即

$$I = U/R$$

电阻器的技术指标通常有标称值、允许偏差与额定功率。

### 1. 标称阻值

阻值是电阻器的主要参数之一，不同类型的电阻器，阻值范围不同，不同精度的电阻器其阻值系列亦不同。根据国家标准，常用的标称阻值系列见表 2-2。

E6、E12 和 E24 系列也适用于电位器和电容器。

表 2-2 系列电阻器标称阻值表

| 系列代号 | 允许偏差       | 标称阻值系列                                                                                                                                                                                          |
|------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E6   | $\pm 20\%$ | 1.0、1.5、2.2、3.3、4.7、6.8                                                                                                                                                                         |
| E12  | $\pm 10\%$ | 1.0、1.2、1.5、1.8、2.2、2.7、3.3、3.9、4.7、5.6、6.8、8.2                                                                                                                                                 |
| E24  | $\pm 5\%$  | 1.0、1.1、1.2、1.3、1.5、1.6、1.8、2.0、2.2、2.4、2.7、3.0、3.3、3.6、3.9、4.3、4.7、5.1、5.6、6.2、6.8、7.5、8.2、9.1                                                                                                 |
| E48  | $\pm 2\%$  | 100、105、110、115、121、127、133、140、147、154、162、169、178、187、196、205、215、226、237、249、261、274、287、301、316、332、348、365、383、402、422、442、464、487、511、536、562、590、619、649、681、715、750、787、825、866、909、953 |

(续)

| 系列代号 | 允许偏差        | 标称阻值系列                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E96  | $\pm 1\%$   | 100、102、105、107、110、113、115、118、121、124、127、130、133、137、140、143、147、150、154、158、162、165、169、174、178、182、187、191、196、200、205、210、215、221、226、232、237、243、249、255、261、267、274、280、287、294、301、309、316、324、332、340、348、357、365、374、383、392、402、412、422、432、442、453、464、475、478、499、511、523、536、549、562、576、590、604、619、634、649、665、681、698、517、732、750、768、787、806、825、845、866、887、909、931、953、976                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| E192 | $\pm 1.5\%$ | 110、101、102、104、105、106、107、109、110、111、113、114、115、117、118、120、121、123、124、126、127、129、130、132、133、135、137、138、140、142、143、145、147、149、150、152、154、156、158、160、162、164、166、167、169、172、174、176、178、180、182、184、187、189、191、193、196、198、200、203、205、208、210、213、215、218、221、223、226、229、232、234、237、240、243、246、249、252、255、258、261、264、267、271、274、277、280、284、287、291、294、298、301、305、309、312、316、320、324、328、332、336、340、344、348、352、357、361、365、370、374、379、383、388、392、397、402、407、412、417、422、427、432、437、442、448、453、459、464、470、475、481、487、493、499、505、511、517、523、530、536、542、549、556、562、569、576、583、590、597、604、612、619、626、634、642、649、657、665、673、681、690、698、706、715、723、732、741、750、759、768、777、787、796、806、816、825、835、845、856、866、876、887、898、909、920、931、942、953、965、976、988 |

任何固定电阻器的阻值都应符合表 2-2 所列数值乘以  $10^n \Omega$ ,  $n$  为整数。

对常用的阻容元件进行标注,一般省略其基本单位,采用实用单位或辅助单位。电阻的基本单位  $\Omega$  一般不出现在元件的标注中。如果出现表示单位的字符,则是用它代替小数点,如  $5\Omega 6$ 。

电阻器的实用单位有  $m\Omega$ 、 $\Omega$ 、 $k\Omega$ 、 $M\Omega$  和  $G\Omega$ 。

对于电阻器的阻值标注应当注意,  $0.56\Omega$ 、 $5.6\Omega$ 、 $56\Omega$ 、 $560\Omega$ 、 $5.6k\Omega$ 、 $56k\Omega$ 、 $560k\Omega$  和  $5.6M\Omega$  在型号中分别被标注为  $\Omega 56$ 、 $5\Omega 6$ 、 $56$ 、 $560$ 、 $5k6$ 、 $56k$ 、 $560k$  和  $5M6$ 。

## 2. 允许偏差

允许偏差是指电阻器或电位器的实际阻值对于标称阻值的最大允许偏差范围,其表示产品的精度。允许误差可从下式求得,即

$$\delta = \frac{R - R_R}{R_R} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中  $\delta$ ——允许偏差;

$R$ ——电阻器的实际阻值;

$R_R$ ——电阻器的标称阻值。

允许偏差等级见表 2-3。等级中的英文字母为国际通用偏差等级,括号中的数字为我国 20 世纪规定的偏差等级。线绕电位器的允许偏差一般小于  $\pm 10\%$ , 非线绕电位器的允许偏差一般小于  $\pm 20\%$ 。