

电子电工

经典畅销

图书专辑

# 电子技术 自学宝典

基础知识完美展现

实用技能轻松掌握

沈长生 编著

重塑精品，  
再造经典！

尽显大师风范



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

电子电工

经典畅销

图书专辑

# 电子技术 自学宝典

■ 沈长生 编著

重塑  
再造经典!

尽显大师风范

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目(CIP)数据

电子技术自学宝典 / 沈长生编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2010.6  
(电子电工经典畅销图书专辑)  
ISBN 978-7-115-22827-7

I. ①电… II. ①沈… III. ①电子技术—自学参考资料 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第067844号

## 内 容 提 要

本书是一本电子技术入门读物。书中从电的基础知识谈起,较全面地介绍了常用电子元器件的基本知识及使用方法,晶体管的工作原理及使用方法,读电子电路图的方法,并对晶体管电路、广播接收机电路进行了通俗而细腻的分析。另外,本书还对目前比较热门的集成电路、常用传感器进行了深入浅出的介绍。同时,结合业余电子制作的特点,介绍了进行电子电路实验的方法和10种经典电子小制作的具体制作方法。

本书的特点是:零起点、多适应、深入浅出、知识全面、要点突出,特别适合起点低的电子爱好者自学,也可作为全国少年电子技师认定活动的教材以及电子技术小组、中小学科技选修课的教材。

电子电工经典畅销图书专辑

### 电子技术自学宝典

- 
- ◆ 编 著 沈长生  
责任编辑 申 苹
  - ◆ 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>  
三河市海波印务有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 18.75  
字数: 441千字  
印数: 1—4 000册
  - 2010年6月第1版  
2010年6月河北第1次印刷

---

ISBN 978-7-115-22827-7

定价: 35.00元

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

# 丛书前言

现代社会，科学技术高速发展，电子技术、电工技术得到了越来越广泛的应用，社会对电子技术、电工技术人才的需求也日益迫切。电子技术和电工技术同属于电类技术，而且是知识性、实践性和专业性都很强的实用技术，学习起来有一定的难度，初学者普遍感到入门难。如何轻轻松松上手，如何学以致用，成为广大初学者最为关注的问题。

人民邮电出版社一直致力于为广大电类技术初学者提供实用的入门读物，出版了大量高品质的图书，其中《无线电爱好者丛书》包括数十个品种，累计发行上千万册；《电工实用线路 300 例》重印了数十次，累计发行 43 万册。这些图书以准确的定位、实用的内容和通俗易懂的表述方式受到了广大读者的青睐，成为同类书中的经典畅销书，影响了一代又一代的电类技术爱好者。

近年来，电类技术基础读物出版量暴增，大量图书充斥市场，使得读者选购起来感到很困惑。为了满足广大初学者“读一本好书、学一门技术”的需求，人民邮电出版社下大力气，组织了一批知名作者，精心策划并出版了这套《电子电工经典畅销图书专辑》。

本专辑图书的策划思想是“重塑精品，再造经典”。我们精选了久经市场考验，深受读者欢迎的作品，根据最新技术的发展，对其进行内容整合、优化完善，既保留这些经典作品的精华，又与时俱进，融入最新的技术，提高图书的科学性和实用性。同时创新图书的表现形式，力争降低读者的阅读难度，轻松引领初学者迈入电类技术的殿堂。希望这批读者“看得懂、学得会”的“精品”读物，再次成为受读者欢迎的经典流传之作。

本专辑图书涉及了电子技术和电工技术基础领域的方方面面，所讲授的内容都是初学者必须掌握的基础知识和基本技能。这些图书具有以下共同的特点。

## 📖 起点低，适合初学者选用

本专辑图书在内容的编排上遵循初学者的认知规律，由浅入深、循序渐进地讲解知识点，入门级读者也能轻松看懂。

## 📖 内容实用，可操作性强

本专辑图书注重内容的实用性，强调动手实践能力的培养，读者在阅读后即可学以致用，解决生活中、工作中遇到的实际问题。

## 📖 图文并茂，通俗易懂

本专辑图书大量采用“图解”的表述风格，以降低初学者的阅读难度，使其真正能够“一看就懂、一学就会”。

希望本专辑图书的出版能对广大初学者学习电类技术和走向就业岗位有所帮助。

# 前言

电子技术是一门实用的技术，应用十分广泛，大到载人飞船的自动控制，小到青少年进行的电子制作都要用到电子技术。

电子技术又是一门实践性很强的技术，掌握起来有一定的难度，要想学好电子技术必须理论联系实际。

爱好电子技术的青少年朋友，希望尽快掌握电子技术基础知识和基本操作技能，但他们普遍感到入门难。为了帮助广大初学者解决入门难的问题，笔者根据 40 多年从事电子技术科普工作的实践经验精心编写了此书，为广大初学者提供一本通俗易懂、快速上手的电子技术自学教材。

本书在编写时力图做到零起点、多适应、通俗易懂、要点突出，避开烦琐的数学公式和难度较大的基础理论，而多运用通俗的解释和比喻来说明各知识点，力争使起点低的初学者一看就懂，一读就通。另外，本书将理论（入门的基础知识）和实践（电子制作的方法和经典电路）统一起来，读者可以用理论指导实践，再通过实践加深对理论知识的理解，全面而深入地掌握电子技术基础知识。

由于编写时间紧和作者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者多提宝贵意见，以便摸索出一条帮助初学者轻松入门的“捷径”。

编者

# 目录

第

## 1

章

### 电的基础知识

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 1.1 电的起源                | 1  |
| 1.1.1 从摩擦起电谈起           | 1  |
| 1.1.2 摩擦起电的原因           | 2  |
| 1.2 “电学三兄弟”——电流、电压与电阻   | 3  |
| 1.2.1 电流                | 3  |
| 1.2.2 电压                | 6  |
| 1.2.3 电阻                | 7  |
| 1.3 电路和电路图              | 8  |
| 1.3.1 什么是电路             | 8  |
| 1.3.2 电路的三种状态——通路、断路和短路 | 9  |
| 1.3.3 什么是电路图            | 9  |
| 1.3.4 串联电路和并联电路         | 11 |
| 1.4 什么是欧姆定律             | 12 |
| 1.4.1 欧姆定律的基本公式         | 13 |
| 1.4.2 电阻上的电压降           | 13 |
| 1.4.3 根据欧姆定律算出导体的电阻     | 14 |
| 1.5 电功与电功率              | 14 |
| 1.5.1 电功                | 14 |
| 1.5.2 电功率               | 14 |
| 1.5.3 电能表               | 15 |
| 1.6 密不可分的电和磁            | 16 |
| 1.6.1 磁铁的性质             | 16 |
| 1.6.2 奇妙的曲线             | 17 |
| 1.6.3 磁力的作用范围——磁场       | 17 |
| 1.6.4 电生磁               | 18 |
| 1.6.5 围绕通电导线的磁场         | 18 |
| 1.6.6 通电螺线管的磁场          | 19 |
| 1.6.7 电能转换成机械能——电磁力     | 19 |
| 1.6.8 “磁生电”的秘密——电磁感应    | 21 |
| 1.7 交流电的基本知识            | 22 |
| 1.7.1 什么是交流电            | 22 |
| 1.7.2 交流电的周期和频率         | 23 |
| 1.7.3 交流电的最大值和有效值       | 23 |
| 1.8 日常生活安全用电            | 24 |
| 1.8.1 人为什么会触电           | 24 |

|                        |    |
|------------------------|----|
| 1.8.2 触电是怎样发生的         | 24 |
| 1.8.3 电气设备的金属外壳为什么必须接地 | 26 |
| 1.8.4 安全用电应注意的一些问题     | 27 |
| 1.9 万用表的使用方法           | 30 |
| 1.9.1 如何使用指针式万用表       | 30 |
| 1.9.2 如何使用数字万用表        | 34 |

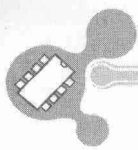
第

## 2

章

### 常用电子元器件及其使用

|                        |    |
|------------------------|----|
| 2.1 电阻器                | 41 |
| 2.1.1 什么叫电阻器           | 41 |
| 2.1.2 电阻器的主要指标         | 41 |
| 2.1.3 各种电阻器的简单介绍       | 43 |
| 2.1.4 电阻器的类别和型号        | 44 |
| 2.1.5 色标阻值识别法(色环标示法)   | 45 |
| 2.1.6 电阻器的使用常识         | 46 |
| 2.1.7 如何用万用表测试电位器的好坏   | 47 |
| 2.2 电容器                | 48 |
| 2.2.1 什么叫电容器           | 48 |
| 2.2.2 电容器的指标           | 48 |
| 2.2.3 电容器的种类           | 49 |
| 2.2.4 固定电容器电容量的系列和标示方法 | 50 |
| 2.2.5 电容器的使用常识         | 51 |
| 2.2.6 电容器性能的简易测试       | 52 |
| 2.2.7 电容器为什么能够“通过”交流电  | 53 |
| 2.3 电感器                | 54 |
| 2.3.1 什么是电感器           | 54 |
| 2.3.2 电感器的自感           | 54 |
| 2.3.3 电感器的电感量          | 54 |
| 2.3.4 电感器的互感           | 55 |
| 2.3.5 常用线圈的种类和用途       | 55 |
| 2.3.6 电感器的使用常识         | 57 |
| 2.3.7 电感器断路或短路的简易测试    | 57 |
| 2.4 变压器                | 58 |
| 2.4.1 什么叫变压器           | 58 |
| 2.4.2 变压器的损耗           | 58 |
| 2.4.3 变压器的构造和分类        | 59 |
| 2.4.4 变压器的使用常识         | 60 |
| 2.5 电声器件               | 61 |
| 2.5.1 耳机               | 61 |



|                        |    |
|------------------------|----|
| 2.5.2 扬声器              | 61 |
| 2.5.3 拾音器              | 63 |
| 2.5.4 传声器              | 63 |
| 2.6 导线及插接元件            | 64 |
| 2.6.1 导线               | 64 |
| 2.6.2 开关               | 65 |
| 2.6.3 插头、插座            | 69 |
| 2.6.4 熔断器              | 72 |
| 2.6.5 接线柱、印制电路板插座及多芯插座 | 73 |
| 2.6.6 继电器              | 74 |
| 2.6.7 分线器(程控开关)        | 76 |
| 2.6.8 天线、地线            | 77 |
| 2.6.9 屏蔽及接机壳           | 77 |
| 2.7 电源                 | 78 |
| 2.7.1 交流电              | 78 |
| 2.7.2 直流电(电池)          | 79 |

第

### 3

#### 晶体管及其使用

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 3.1 半导体的奇妙特性          | 80 |
| 3.1.1 半导体对温度的变化反应灵敏   | 80 |
| 3.1.2 光照可以改变半导体的电阻率   | 80 |
| 3.1.3 “杂质”赋予半导体强大的生命力 | 81 |
| 3.2 晶体二极管             | 81 |
| 3.2.1 晶体二极管的图形符号和特性   | 81 |
| 3.2.2 晶体二极管的种类        | 82 |
| 3.3 晶体三极管及其放大原理       | 84 |
| 3.3.1 晶体三极管的基本结构      | 84 |
| 3.3.2 晶体三极管的放大作用      | 85 |
| 3.3.3 国产晶体管命名法        | 87 |
| 3.3.4 晶体管的极性及质量判别     | 88 |
| 3.4 常用特殊晶体管           | 91 |
| 3.4.1 单结晶体管(简称单结管)    | 91 |
| 3.4.2 场效应半导体管         | 94 |
| 3.4.3 晶体闸流管(俗称可控硅)    | 97 |

第

### 4

#### 怎样看电子电路图

|              |     |
|--------------|-----|
| 4.1 电路图的几种类型 | 101 |
| 4.1.1 方框图    | 101 |
| 4.1.2 电原理图   | 101 |
| 4.1.3 实体图    | 101 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 4.1.4 接线图              | 102 |
| 4.1.5 印制电路板图           | 103 |
| 4.1.6 逻辑图              | 103 |
| 4.2 怎样看电子电路图           | 104 |
| 4.3 看电路图的经验和应注意的问题     | 105 |
| 4.3.1 看电路图的几点经验        | 105 |
| 4.3.2 看电路图应注意的几个问题     | 106 |
| 4.4 如何看印制电路板图          | 107 |
| 4.5 电子电路图中常用的文字符号及数值读法 | 108 |
| 4.5.1 电子电路图中常用的文字符号    | 108 |
| 4.5.2 元件数值读法           | 109 |
| 4.5.3 无线电元件数值计量单位的换算   | 109 |

第

### 5

#### 常用晶体管电路分析

章

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 5.1 交流电路的基本知识      | 112 |
| 5.1.1 交流电的产生       | 112 |
| 5.1.2 交流电的相位和相位差   | 113 |
| 5.1.3 纯电阻负载的交流电路   | 113 |
| 5.2 晶体管放大电路        | 122 |
| 5.2.1 晶体管的三种基本放大电路 | 123 |
| 5.2.2 晶体三极管的特性曲线   | 124 |
| 5.2.3 晶体三极管的主要参数   | 127 |
| 5.2.4 晶体三极管偏置电路    | 128 |
| 5.3 整流与滤波电路        | 130 |
| 5.3.1 半波整流电路       | 130 |
| 5.3.2 全波整流         | 130 |
| 5.3.3 桥式整流         | 131 |
| 5.3.4 滤波电路         | 131 |
| 5.4 稳压电源电路         | 133 |
| 5.4.1 稳压管稳压电源电路    | 133 |
| 5.4.2 串联型负反馈稳压电源电路 | 136 |
| 5.5 晶体管振荡电路        | 140 |
| 5.5.1 LC型振荡器的基本电路  | 140 |
| 5.5.2 常用的LC型振荡电路   | 141 |
| 5.5.3 RC移相振荡器      | 142 |
| 5.5.4 晶体振荡器        | 144 |

第

### 6

#### 广播接收机电路分析

章

|                |     |
|----------------|-----|
| 6.1 无线电波的发射与接收 | 147 |
|----------------|-----|

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 6.1.1 什么是无线电波            | 147 |
| 6.1.2 无线电波的波形            | 148 |
| 6.1.3 无线电波的“家族”          | 149 |
| 6.1.4 无线电波是怎样传播的         | 151 |
| 6.1.5 无线电波的发送与接收         | 153 |
| 6.2 直放式收音机(A901)电路       | 154 |
| 6.2.1 调谐电路               | 155 |
| 6.2.2 检波器                | 155 |
| 6.2.3 直放式收音机(A901)电路分析   | 156 |
| 6.3 超外差式收音机电路            | 158 |
| 6.3.1 收音机的主要性能指标         | 158 |
| 6.3.2 什么是超外差式收音机         | 159 |
| 6.3.3 超外差式收音机单元电路分析      | 161 |
| 6.3.4 超外差式收音机整机电路分析与制作方法 | 166 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>第 7 章</b>                  |     |
| <b>集成电路及其使用</b>               |     |
| 7.1 集成电路简介                    | 175 |
| 7.1.1 集成电路的分类                 | 175 |
| 7.1.2 集成电路的封装及引脚识别            | 176 |
| 7.2 模拟集成电路                    | 178 |
| 7.2.1 模拟集成电路的特点和种类            | 178 |
| 7.2.2 功率放大集成电路                | 178 |
| 7.2.3 稳压集成电路                  | 179 |
| 7.2.4 收音机用集成电路                | 183 |
| 7.2.5 运算放大集成电路                | 184 |
| 7.2.6 音乐集成电路                  | 186 |
| 7.3 数字集成电路                    | 188 |
| 7.3.1 数字集成电路实验板               | 189 |
| 7.3.2 门电路                     | 190 |
| 7.3.3 RS 触发器                  | 196 |
| 7.3.4 BCD 计数器                 | 198 |
| 7.3.5 数码显示器                   | 201 |
| 7.4 使用集成电路的注意事项               | 203 |
| 7.4.1 集成电路的命名及生产厂家            | 203 |
| 7.4.2 集成电路使用注意事项              | 207 |
| 7.4.3 TTL 型集成电路与 CMOS 集成电路的特点 | 207 |
| 7.4.4 使用 CMOS 集成电路注意事项        | 208 |
| 7.4.5 TTL 与 CMOS 集成电路之间的连接    | 209 |
| 7.5 555 时基集成电路                | 211 |
| 7.5.1 555 时基集成电路的结构与          |     |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 特点                    | 211 |
| 7.5.2 555 时基集成电路的典型应用 | 212 |

第 8 章

# 8

## 常用传感器及其使用

第 8 章

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 8.1 光传感器               | 214 |
| 8.1.1 光敏电阻             | 214 |
| 8.1.2 光电开关             | 216 |
| 8.1.3 抗干扰光电开关          | 217 |
| 8.1.4 硅光电池             | 218 |
| 8.1.5 光敏二极管和光敏三极管      | 219 |
| 8.2 声音传感器              | 222 |
| 8.2.1 压电陶瓷片            | 222 |
| 8.2.2 驻极体话筒            | 224 |
| 8.3 温度传感器              | 226 |
| 8.3.1 热敏电阻             | 226 |
| 8.3.2 PN 结温度传感器        | 229 |
| 8.3.3 集成温度传感器          | 230 |
| 8.4 磁传感器               | 231 |
| 8.4.1 干簧管              | 231 |
| 8.4.2 霍尔传感器            | 232 |
| 8.5 湿度传感器              | 236 |
| 8.6 气体传感器              | 239 |
| 8.6.1 气体传感器的工作原理       | 239 |
| 8.6.2 几种常用气体传感器的性能和外结构 | 240 |
| 8.6.3 气体传感器的测试与应用      | 243 |
| 8.7 热释电传感器             | 244 |
| 8.7.1 热释电传感器的结构和特点     | 244 |
| 8.7.2 热释电传感器的测试与应用     | 246 |
| 8.8 力学传感器              | 247 |
| 8.8.1 电阻应变片            | 247 |
| 8.8.2 称重传感器            | 248 |

第 9 章

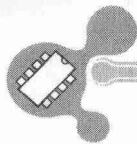
# 9

## 怎样进行电子电路实验

第 9 章

|                  |     |
|------------------|-----|
| 9.1 怎样使用电烙铁      | 250 |
| 9.1.1 电烙铁的种类与结构  | 250 |
| 9.1.2 电烙铁的选用     | 251 |
| 9.1.3 使用电烙铁的注意事项 | 251 |
| 9.1.4 电烙铁的维护     | 252 |





|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 9.2 怎样做好焊接工作 .....        | 253 |
| 9.2.1 焊接原理 .....          | 253 |
| 9.2.2 焊料的选用 .....         | 253 |
| 9.2.3 焊剂的选用 .....         | 253 |
| 9.2.4 焊接基本操作要领 .....      | 254 |
| 9.2.5 拆焊 .....            | 258 |
| 9.3 怎样设计与制作印制电路板 .....    | 259 |
| 9.3.1 印制电路基板——敷铜板 .....   | 259 |
| 9.3.2 常用的几种印制电路板 .....    | 259 |
| 9.3.3 印制电路板的设计与制作方法 ..... | 260 |

第

# 10

## 几款经典的电子小制作

章

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 10.1 多谐振荡器 .....          | 263 |
| 10.1.1 工作原理 .....         | 263 |
| 10.1.2 元器件的选择 .....       | 264 |
| 10.1.3 制作与调试 .....        | 264 |
| 10.2 光控变音器 .....          | 265 |
| 10.2.1 工作原理 .....         | 265 |
| 10.2.2 元器件选择 .....        | 266 |
| 10.2.3 制作与调试 .....        | 266 |
| 10.3 调频无线话筒 .....         | 267 |
| 10.3.1 工作原理 .....         | 267 |
| 10.3.2 元器件的选择 .....       | 268 |
| 10.3.3 制作中应注意的问题及调试 ..... | 268 |
| 10.4 高性能稳压电源 .....        | 268 |
| 10.4.1 工作原理 .....         | 268 |
| 10.4.2 元器件的选择 .....       | 269 |
| 10.4.3 制作与调试 .....        | 270 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 10.5 变色发光管循环灯 .....    | 270 |
| 10.5.1 工作原理 .....      | 270 |
| 10.5.2 元器件的选择 .....    | 271 |
| 10.5.3 制作与调试 .....     | 271 |
| 10.6 多用途控制器 .....      | 272 |
| 10.6.1 工作原理 .....      | 272 |
| 10.6.2 元器件的选择 .....    | 272 |
| 10.6.3 制作与调试 .....     | 273 |
| 10.7 晶闸管调光灯 .....      | 273 |
| 10.7.1 工作原理 .....      | 274 |
| 10.7.2 元器件的选择 .....    | 274 |
| 10.7.3 制作与调试 .....     | 274 |
| 10.8 小功率集成电路放大器 .....  | 275 |
| 10.8.1 工作原理 .....      | 275 |
| 10.8.2 元器件的选择 .....    | 275 |
| 10.8.3 制作与调试 .....     | 275 |
| 10.9 八路数字集成电路抢答器 ..... | 277 |
| 10.9.1 工作原理 .....      | 277 |
| 10.9.2 元器件的选择 .....    | 277 |
| 10.9.3 制作与调试 .....     | 278 |
| 10.10 20秒固体录音机 .....   | 279 |
| 10.10.1 工作原理 .....     | 279 |
| 10.10.2 元器件的选择 .....   | 280 |
| 10.10.3 制作与调试 .....    | 280 |

### 附录

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 附录 A 常用电气图用图形符号及<br>文字符号 ..... | 281 |
|--------------------------------|-----|

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 附录 B 部分新旧电气图图形符号对照 ..... | 287 |
|--------------------------|-----|

|            |     |
|------------|-----|
| 参考文献 ..... | 289 |
|------------|-----|

# 第1章 电的基础知识

电是大家非常熟悉的现象，比如雨天空中的闪电；干燥的冬天，脱下衣服时听到的劈劈啪啪的打火声，都是电的现象。

电也是人们日常生活、生产中不可缺少的。夜晚，电点燃了电灯，发出了明亮的光辉；在电视机的荧光屏上，电把绚丽多彩的画面展现在我们面前；在钢铁厂里，电流通过炼钢炉发出极高的热量；在航天科学中，是电操纵着神舟号飞船在太空中遨游并准确地返回到预定地点。说到电的现象、电的用途恐怕大家都能说上几十条、几百条甚至更多。

“电”到底是什么？它是怎样得来的呢？下面就让我们来揭开“电”的奥秘。

## 1.1 电的起源

### 1.1.1 从摩擦起电谈起

用梳子梳理干燥的头发时，常常会听到劈劈啪啪的响声，如果在黑暗中，还会看到一些细小的火花。你也许不会想到，这些小小的火花却是雨夜闪电的“姊妹”，那种勉强才能听到的劈啪声，正是隆隆雷声的“亲戚”。你也许做过实验，把这把梳子拿到一小撮纸屑旁，纸屑就会被梳子吸起来。

公元前 600 年左右，古希腊正处在文化昌盛时期，妇女出门都喜欢穿柔软的丝绸衣服，胸前佩戴着琥珀做的首饰。琥珀是一种树脂化石，把它磨光，就呈现出黄色或红色的鲜艳光泽。人们总是想把琥珀首饰擦拭得干净漂亮。可是不管擦得多么洁净，很快它就会吸上一层灰尘，让人感到不可思议。当时，希腊有个叫塞利斯的人，在研究这个神奇的现象时注意到挂在颈项上的琥珀不断晃动，频繁地摩擦绸子衣服，他猜想这里面一定有奥秘。后来，他发现用丝绸摩擦过的琥珀能够吸引绒毛、麦秆和一些别的小东西（图 1-1），于是就把这种不可理解的力量叫做“电”。

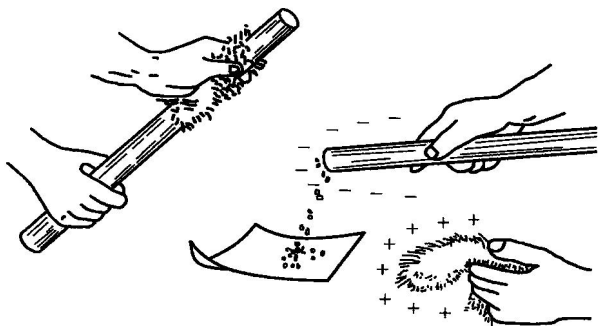


图 1-1 摩擦起电

可以给电下一个定义：即物体有了吸引轻小物体的性质，就说它带了电，或者说带了电荷。

公元前 1 世纪末，即我国西汉年间，有人发现玳瑁经过摩擦可以吸引细小的物体。公元 3 年，又有人发现金属矛尖端的放电现象。古书上称以上这两种现象为“玳瑁拾芥”、“矛端生火”。

自古希腊人第一次发现电以后的 2000 年中，人们对电的研究一直没有新的进展。直到

1600 年左右,英国女皇的侍医吉尔伯对摩擦起电现象做了实验,进一步证实除琥珀外,还有硫磺、树脂、玻璃、水晶、金刚石等,摩擦之后也能吸引又轻又小的物体,于是摩擦就被公认为物体带电的原因。距今 200 多年以前,美国著名科学家富兰克林经过实验研究又进一步指出,经过摩擦的物体所带的电有两种,分别称作正电和负电。玻璃、宝石和丝绸摩擦时,在玻璃、宝石上呈现的电叫正电;而胶木、琥珀和毛皮摩擦后呈现在胶木、琥珀上的电称为负电。有趣的是,带有正电的物体,能把另外一种带有正电的物体推开 [图 1-2 (a)];相反,它又能吸引带负电的物体 [图 1-2 (b)]。

于是,人们总结出电的一个重要特性:  
同种电荷互相排斥,异种电荷互相吸引。

电荷的多少叫做电荷量,单位是库仑,简称库,符号是 C。电子是带有最小负电荷的粒子,其电荷量为  $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ ,并把它称作元电荷,常用符号  $e$  来表示。一根摩擦过的橡胶棒上所带的电荷量,大约是  $10^{-7} \text{C}$ ,一片带电的云上所带的电荷量,有几十库。

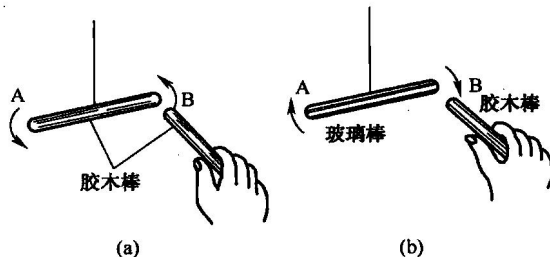


图 1-2 电的相互作用

### 1.1.2 摩擦起电的原因

为什么摩擦能起电呢?这要从物质本身的结构谈起。

#### 1. 原子结构

我们的周围是一个物质的世界。人们吃的、用的、住的、穿的都是由物质组成的。一切物质又都是由分子、原子构成的。例如,水是由水分子构成的,水分子又是由两个氢原子和一个氧原子构成的。

原子虽然极其微小,其结构却非常复杂,读者暂时可以不去探讨原子的细微结构,而仅需要了解和掌握:每一种原子都包含一个处在中心的原子核,在核外面是沿一定轨道围绕原子核做高速旋转运动的若干电子,就好像地球和行星围绕太阳旋转一样(图 1-3)。原子的直径只有  $10^{-9} \text{cm}$ ,也就是在  $1 \text{cm}$  长度上可以排下一亿个原子,而原子核的直径只相当于原子直径的几万分之一。如果把原子核放大,看作直径  $1 \text{cm}$  的小球,那么,离原子核最近的电子轨道的半径也有  $50 \text{m}$  长!可以说,在原子内部,许多电子在沿着各自的轨道围绕原子核旋转,这一现象仿佛是广漠宇宙的缩影。

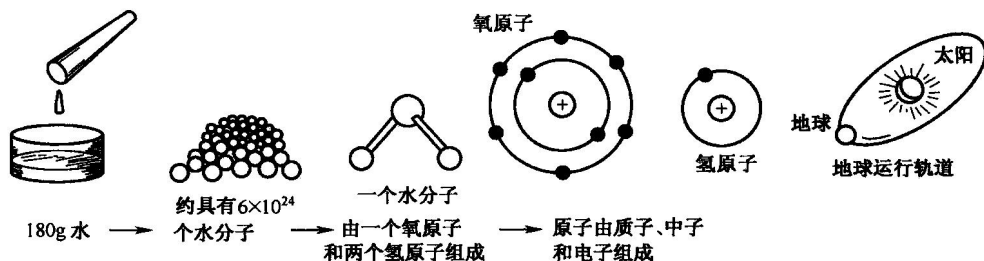


图 1-3 原子的构成

## 2. 电荷是怎样产生的

一切原子的原子核都带电，而且带的是同种电——正电荷。至于环绕原子核旋转的电子也都带有同种的电——负电荷。一切电子的大小、质量和电荷都是完全一样的。

不同的化学元素，原子的结构也不同。首先，各元素的原子核在大小、质量和电荷数量上都不一样。其次，环绕原子核旋转的电子数目也不相同。最简单的原子要数氢原子了，它由具有一个正电荷的原子核和一个环绕核运动的带负电的电子组成。氧原子则比较复杂，其原子核内有八个正电荷，外围有八个电子沿着不同轨道环绕着核运动，如图 1-4 所示。

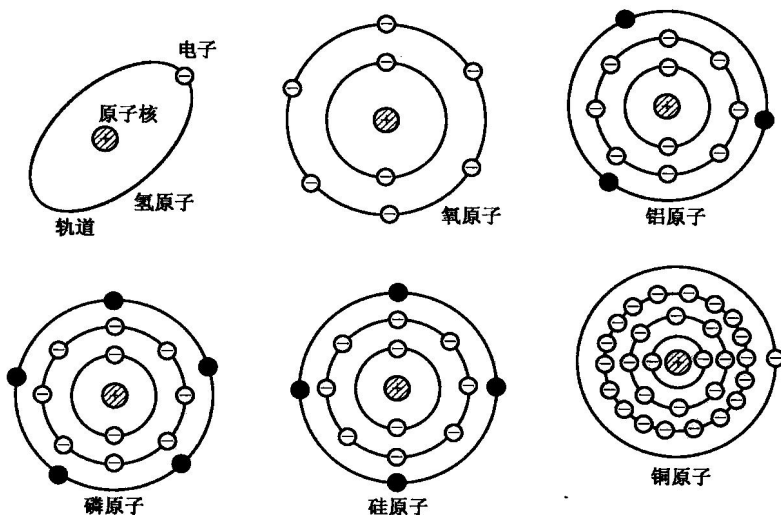


图 1-4 几种原子的结构示意图

是什么力量把电子束缚在原子核里面呢？为什么它们要环绕着原子核运动，而不会从原子中飞逸出去呢？这是因为带正电的原子核与带负电的电子之间有电的吸引力在作用着。

在通常情况下，原子是中性的，因此，由原子组成的物质也呈中性。而当两个物体相互摩擦时，由于不同物质的原子核束缚电子的本领不同，哪个物体的原子核束缚电子的本领弱，它的一些电子就会转移到另一个物体上，失去电子的物体因缺少电子而带正电，得到电子的物体因为有了多余电子而带等量的负电。这些带有电荷的物体，叫做带电体。它们所带的电荷是静止不动的，所以称为静电。

可见，摩擦起电并不是创造了电荷，只是电荷从一个物体转移到另一个物体，使正、负电荷分开。

## 1.2

## “电学三兄弟”——电流、电压与电阻

### 1.2.1 电流

#### 1. 电流是怎样形成的

原子是构成万物的基础，90 多种化学元素的原子，构成了地球上形形色色的物质。最

简单的原子是氢原子，它只有 1 个电子；而铜的原子却有 29 个电子（图 1-4），它们分布在四层轨道上。像铜这类金属元素的原子，最外层轨道上的电子，距离原子核较远，很容易从轨道上挣脱出来成为自由电子。所以，在金属导体中存在着大量的自由电子。例如，每  $1\text{cm}^3$  的铜中，包含着  $6 \times 100 \text{万} \times 100 \text{万} \times 100 \text{万} \times 100 \text{万个}$  自由电子。这些自由电子不再受原子的束缚，在金属导体内做着紊乱的没有规则的运动（图 1-5），称为热运动。

当把金属导体和一个干电池（像干电池这样能够提供持续电流的装置，叫做电源。电源有两个极，一个正极，一个负极，电源的作用是用化学的方法在电源内部不断地使正极聚集正电荷，负极聚集负电荷）接成闭合电路时（理论上的说法，实际实验时导体应有足够的长度，或接通时间要极短，否则会损坏干电池），导体中的自由电子（负电荷）就会受到电池负极的排斥和电池正极的吸引，驱使它们朝着电池正极运动，如图 1-6 所示。自由电子这种有秩序的运动，就形成了金属导体中的电流。

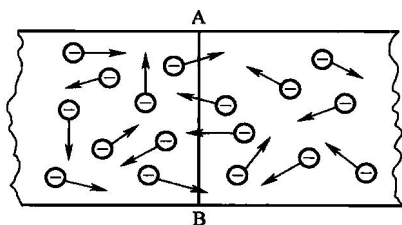


图 1-5 金属中自由电子的热运动

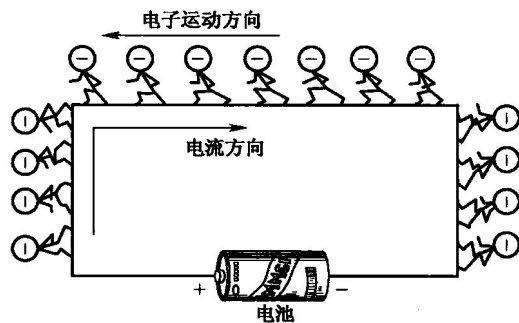


图 1-6 电流的形成

可以给电流下一个定义：即电荷的定向移动形成电流。电流用英文字母  $I$  表示。在电子学中，把电子这类能够运载电荷的粒子，又称为载流子。

## 2. 电流的方向

通过导体的电流好比管道中的水流一样，具有一定的方向。照理说电流的方向与电子流动的方向应该是一致的，可是人们长期以来沿用的电流方向却恰好与此相反，如图 1-7 所示。这是因为从前人们对电流缺乏本质的认识，认为电流总是从电源的正极流向负极的。后来人们了解了物质的电结构，发觉这种电流方向与电子流动的实际方向刚好相反，只是由于已经习惯于长期沿用的概念，因此人为地确认了电流的正方向：在电源外部，电流的方向是从电源的正极流向负极。

## 3. 电流的单位

流过管道的水流大小，可以用单位时间内通过管道任一横截面上的水量表示。流过导体的电流大小也用单位时间（用字母  $t$  表示）内通过导体任一横截面的电荷量（用字母  $Q$  表示）来计量，称为电流（用字母  $I$  表示），即

$$I = \frac{Q}{t}$$

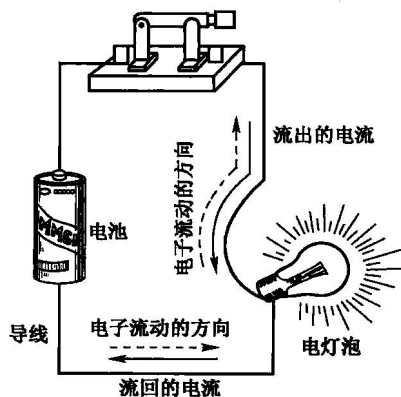


图 1-7 电流的方向

在导体中，每单位时间内通过导体任一横截面的电荷量越多，电流就越大。国际上统一规定，在 1 秒 (s) 内通过导体横截面上的电荷量为 1C，则电流为 1 安培 (简称安，用字母 A 表示)，即

$$1\text{A} = \frac{1\text{C}}{1\text{s}}$$

这就是说，如果有 1A 电流通过导体，则在 1s 内就会有  $6.242 \times 100 \text{万} \times 100 \text{万} \times 100 \text{万}$  ( $6.242 \times 10^{18}$ ) 个电子通过导体的横截面。在电子技术中，电路中的电流往往比 1A 小得多，常采用毫安 (mA) 和微安 ( $\mu\text{A}$ ) 来度量，它们的进位关系是：

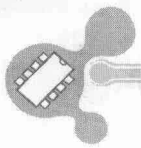
$$1\text{A} = 1000\text{mA}$$

$$1\text{mA} = 1000\mu\text{A}$$

从以上进位关系中，可以看出，毫 (如毫安) 和基本单位 (如安) 之间的进位为 1000，而微 (如微安) 和基本单位 (如安) 之间的进位为 100 万。这种进位关系在以后的各种物理量中都是一样的规律。为了更好地掌握这种进位规律可参考表 1-1。

▼ 表 1-1 国际单位制的词头

| 因 数        | 词 头 名 称 |        | 符 号   |
|------------|---------|--------|-------|
|            | 英 文     | 中 文    |       |
| $10^{24}$  | yotta   | 尧 [它]  | Y     |
| $10^{21}$  | zetta   | 泽 [它]  | Z     |
| $10^{18}$  | exa     | 艾 [可萨] | E     |
| $10^{15}$  | peta    | 拍 [它]  | P     |
| $10^{12}$  | tera    | 太 [拉]  | T     |
| $10^9$     | giga    | 吉 [伽]  | G     |
| $10^6$     | mega    | 兆      | M     |
| $10^3$     | kilo    | 千      | k     |
| $10^2$     | hecto   | 百      | h     |
| $10^1$     | deca    | 十      | da    |
| $10^{-1}$  | deci    | 分      | d     |
| $10^{-2}$  | centi   | 厘      | c     |
| $10^{-3}$  | milli   | 毫      | m     |
| $10^{-6}$  | micro   | 微      | $\mu$ |
| $10^{-9}$  | nano    | 纳 [诺]  | n     |
| $10^{-12}$ | pico    | 皮 [可]  | p     |
| $10^{-15}$ | femto   | 飞 [母托] | f     |
| $10^{-18}$ | atto    | 阿 [托]  | a     |
| $10^{-21}$ | zepto   | 仄 [普托] | z     |
| $10^{-24}$ | yocto   | 幺 [科托] | y     |



## 1.2.2 电压

### 1. 电位差与水位差

俗话说：“千条江河归大海”，这是因为江河上游的水位比下游水位高。长江和黄河都是从青藏高原滚滚东流，汹涌澎湃地归入大海。我们在分析电路里的电流时，常常拿它与水流的现象相比拟。例如有 A、B 两个水槽（见图 1-8），水槽之间用管子连通，如果两个水槽中的水面一样高，水管中就不会有水的流动。只有当两个水槽的水位一个高一个低时，水才会从水位高的水槽通过管子流向水位低的水槽。这就是说，有了水位差，就有了使水流动的压力，所以水位差也叫水压。水压越大，水流就越急。

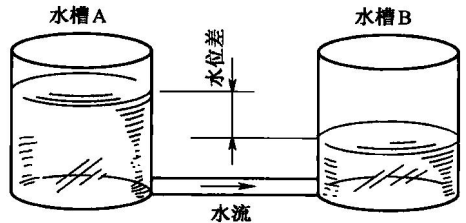


图 1-8 水位差产生水流

同样，为了产生电流也需要有电位差。当一段电路的两端有了电位差，电流就会从高电位点流向低电位点，这两点之间就像有一种推动电荷流动的“压力”一样，这种压力叫做电压。也许有人会问：“高电位和低电位是按照什么标准来规定的呢？”其实，电位的高低是一个相对的数值，是与一个参考电位相比较所得的结果。这正如人们说一座山的高度是海拔多少米时，是把海平面的高度作为零来衡量的一样。为了比较电路中各点电位的高低，也要规定一个参考点作为零电位点。在实际工作中常取大地作为零电位点，在电路图中以符号“ $\perp$ ”或“ $\perp$ ”表示。电路中某一点与零电位点之间的电位差（电压），也就是这一点的电位，比零电位点高的是正电位，比零电位点低的是负电位。

### 2. 电压的单位

电压用字母  $U$  来表示，电压的基本单位是伏特，简称伏，用  $V$  来表示。电压很高时，常用千伏（ $kV$ ）作单位，电压很低时，则用毫伏（ $mV$ ）或微伏（ $\mu V$ ）作单位。它们之间的换算关系是：

$$1kV=1000V$$

$$1mV=1/1000V$$

$$1\mu V=1/1000000V$$

再来看一下电压与电位的关系：以一节干电池（图 1-9）为例，电池两端的电压是  $1.5V$ ，是指电池正极的电位  $V_A$  与负极的电位  $V_B$  之差， $V_A - V_B = 1.5V$ 。在电子电路中，常将负极接地（或公共参考点），接地点作为零电位点，这时负极的电位  $V_B = 0$ ，正极的电位  $V_A = 1.5V$ 。正极与负极之间的电位差（电压）正好是  $1.5V$ 。零电位点原则上可以任意选定，零电位点不同，各点的电位数值也就不一样，但任意两点之间的电位差却不会改变。

不是带正电的物体都具有高电位，也不是带负电的物体都具有低电位。图 1-10 (b) 中的 A、B 两个物体都带正电，虽然它们的电位都比大地的高，但 A 的电位比 B 的更高，所以在 A、B 之间接通负载，电流就从 A 流向 B。同样，图 1-10 (c) 中的两个物体 A、B 都带负电，虽然它们的电位都比大地要低，但 B 的电位比 A 的更低，所以，如果 A、B 之间接通负载，仍然有电流从 A 向 B 流动。

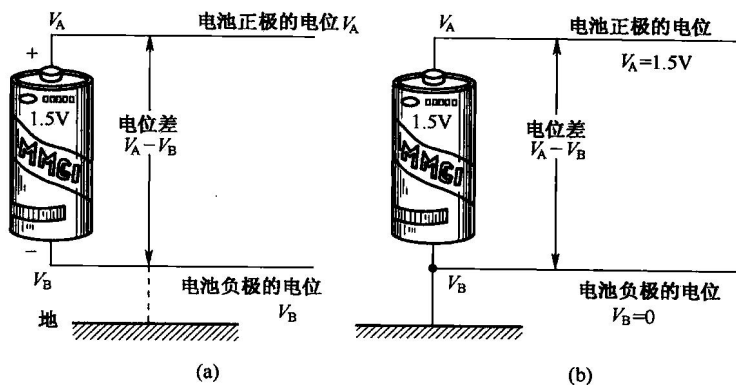


图 1-9 电压与电位的关系示例

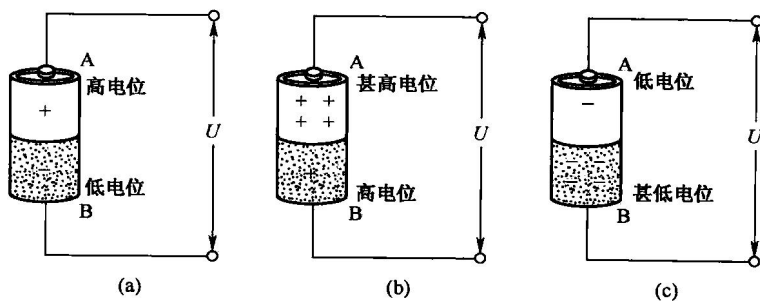


图 1-10 电位高低与带正电或负电无关

## 1.2.3 电阻

### 1. 什么是电阻

上面已经介绍过，在一段电路的两端加上电压，就会产生电流，而电流流过这段电路时，不可避免地会遇到电阻。显然，如果电压不变，电路的电阻越大，电流就越小。物体对电流的阻碍作用叫做电阻。

### 2. 电阻的单位

电阻用符号  $R$  来表示，其基本单位是欧姆，简称欧，用希腊字母  $\Omega$  表示。1 $\Omega$  有多大呢？如果在导体两端加上 1V 电压，流过导体的电流为 1A，导体的电阻就是 1 $\Omega$ ，如图 1-11 所示。

在电子电路中使用着各种阻值的电阻器，它们常用较大的单位千欧 ( $k\Omega$ ) 和兆欧 ( $M\Omega$ ) 来计量，即

$$1k\Omega = 1000\Omega$$

$$1M\Omega = 1000k\Omega$$

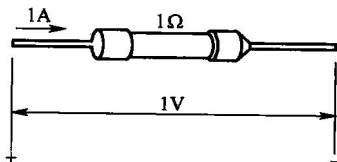


图 1-11 1 $\Omega$ 电阻的确定

### 3. 决定电阻大小的因素

#### (1) 导体、绝缘体和半导体

容易导电的物体叫做导体，金属、石墨、人体，以及酸、碱、盐的水溶液等都是导体。



不容易导电的物体叫做绝缘体，橡胶、陶瓷、常温下的玻璃、塑料、胶木、云母、干燥的木头等都是绝缘体。

除了导体和绝缘体之外，还有一类物质，它们既不能像导体那样很好地传导电流，又不能像绝缘体那样可靠地隔断电流，也即它们的导电性能介于导体和绝缘体之间，这类物质叫做半导体，如锗、硅、硒等。

(2) 决定电阻大小的三要素

导体的电阻大小决定于导体的材料、长度和截面积。

用一个公式表示就是：

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

式中， $R$  表示电阻值的大小； $\rho$  是电阻率，表示材料导电性能的好坏，单位为  $\Omega \cdot \text{m}$ ； $L$  为导体的长度； $S$  为导体的截面积。

同种导体长度 ( $L$ ) 越长，阻力越大；截面积 ( $S$ ) 越大 (即越粗)，阻力越小。同样长短和粗细的不同导体，其电阻大小决定于它们的电阻率 ( $\rho$ )。表 1-2 列出了常用导体的电阻率。

▼ 表 1-2 常用导体的电阻率

| 导 体 | 电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$ | 导 体 | 电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$ |
|-----|------------------------------|-----|------------------------------|
| 银   | $1.62 \times 10^{-8}$        | 锡   | $11.4 \times 10^{-8}$        |
| 铜   | $1.69 \times 10^{-8}$        | 铁   | $10.0 \times 10^{-8}$        |
| 铝   | $2.83 \times 10^{-8}$        | 铅   | $21.9 \times 10^{-8}$        |
| 金   | $2.4 \times 10^{-8}$         | 汞   | $95.8 \times 10^{-8}$        |
| 钨   | $5.51 \times 10^{-8}$        | 碳   | $3500 \times 10^{-8}$        |

(3) 电阻也会随温度变化

任何一种物体的电阻都会随温度的变化而发生变化。对于金属来说，温度每升高  $1^\circ\text{C}$ ，电阻大约增加 0.5%。例如，电炉的镍铬合金线和白炽灯的钨丝，在工作时温度很高，所以在冷态时测出的电阻值，比热态时所测得的电阻值要低得多。许多半导体材料，当温度升高时，电阻反而明显减小。半导体对温度变化十分敏感的特性，往往成为晶体二极管和晶体三极管工作不稳定的主要因素。

通常情况下，电路两端有了电压，电路中就会产生电流，电流在流动时就一定会遇到导体的阻力，所以电压、电流、电阻是密不可分的。因此，人们往往把它们比喻为“电学三兄弟”。

## 1.3

## 电路和电路图

### 1.3.1 什么是电路

图 1-12 画出的是大家比较熟悉的手电筒的电路结构：它有一个电灯泡，通过金属导体和开关与干电池相连接。把开关闭合，灯泡有电流通过就会发光，把开关断开，灯泡便熄灭。这种把电源 (电池)、用电器 (电灯泡)、开关用导线连接起来组成的电流的路径叫做电路。