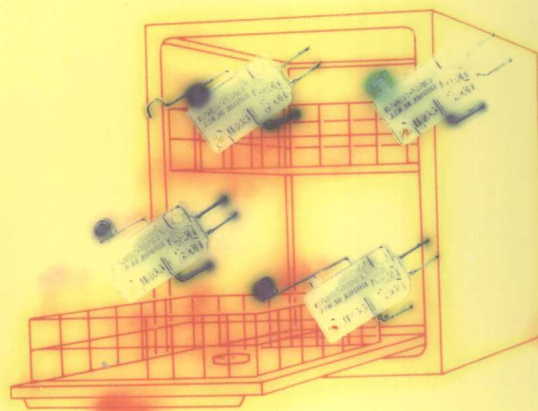
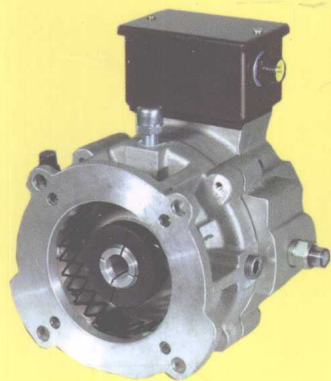


高职高专**机电类**专业规划教材

# 电工技术**及** 机床电气

DIANGONGJISHUJIJICHUANGDIANQI

© 韩全立 韩金玲 / 主编



武汉理工大学出版社  
WUTP Wuhan University of Technology Press

高职高专机电类专业规划教材

# 电工技术及机床电气

主编 韩全立 韩金玲

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

## 图书在版编目(CIP)数据

电工技术及机床电气/韩全立,韩金玲主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2009.1  
ISBN 978-7-5629-2877-5

I. 电…

II. ① 韩… ② 韩…

III. ① 电工技术-高等学校-教材 ② 数控机床-电气设备-高等学校-教材

IV. TM TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 003047 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮编 430070)

<http://www.techbook.com.cn> 理工图书网

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:荆州市鸿盛印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:13.5

字 数:337 千字

版 次:2009 年 1 月第 1 版

印 次:2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1—3000 册

定 价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87394412 87383695 87384729

版权所有,盗版必究。

## 前 言

本书是作者在总结了多年从事机械类专业原电工电子技术课程教学改革成功经验的基础上,广泛吸取与借鉴了兄弟院校机械类专业开设同类课程的经验,按照教育部对高职高专人才培养工作的指导思想,组织相关人员对机械类专业开设电工技术课程的教学内容及体系结构进行了充分研讨,本着以培养学生实践能力为主,以及够用、适用的原则编写的。

本书主要内容包括直流电路、正弦交流电路、三相电路、室内电气线路、变压器与电动机、安全用电与节约用电、机床电气控制的基本环节、常用机床的电气控制和可编程控制器等。

本书共9章,由河南工业职业技术学院韩全立、韩金玲担任主编。其中,第1章由李玉华同志编写,第2章由党丽辉同志编写,第3章和第6章由袁贵民同志(天津电子信息职业技术学院)编写,第4章、第8章和附录由韩金玲同志编写,第5章由韩全立同志编写,第7章由胡雪梅同志编写,第9章由孙旭松同志编写。

本书与国内同类书相比,改革力度较大、内容涉及面较广,但这些知识是高职高专机械类专业学生所必须掌握的。真诚希望各位同仁在使用本书过程中能给我们提出宝贵的意见。

本书可供高职高专机械类各专业学生使用,也可供其他非电类专业和成人教育、职业培训等学生选用。

编 者

2008.7

# 目 录

|                              |      |
|------------------------------|------|
| <b>1 直流电路</b>                | (1)  |
| 1.1 电的基本概念                   | (1)  |
| 1.1.1 静电与动电                  | (1)  |
| 1.1.2 电流                     | (1)  |
| 1.1.3 电位、电压与电动势              | (2)  |
| 1.1.4 电功率和电能                 | (3)  |
| 1.1.5 电流的热效应与电气设备的额定值        | (4)  |
| 1.1.6 电路与电路图                 | (5)  |
| 1.1.7 电路的三种状态                | (5)  |
| 1.2 电阻和欧姆定律                  | (6)  |
| 1.2.1 导体、绝缘体和半导体             | (6)  |
| 1.2.2 电阻、电阻率和电阻温度系数          | (7)  |
| 1.2.3 欧姆定律(OL)               | (8)  |
| 1.3 基尔霍夫定律                   | (9)  |
| 1.3.1 电路名词                   | (9)  |
| 1.3.2 基尔霍夫电流定律(KCL)          | (10) |
| 1.3.3 基尔霍夫电压定律(KVL)          | (10) |
| 1.4 电阻的连接                    | (11) |
| 1.4.1 电阻串联                   | (12) |
| 1.4.2 电阻并联                   | (12) |
| 1.4.3 电阻混联                   | (14) |
| 1.4.4 电阻 Y 形连接和 $\Delta$ 形连接 | (14) |
| 1.5 直流电路的分析方法                | (15) |
| 1.5.1 支路电流法                  | (15) |
| 1.5.2 叠加原理                   | (16) |
| 1.5.3 戴维南定理                  | (17) |
| 小结                           | (18) |
| 习题                           | (19) |
| <b>2 正弦交流电路</b>              | (21) |
| 2.1 正弦交流电路的基本概念              | (21) |
| 2.1.1 正弦量的三要素                | (21) |
| 2.1.2 相位差与相位关系               | (22) |
| 2.1.3 正弦量的相量表示法              | (23) |
| 2.2 交流电路中的基本元件               | (26) |

|       |                      |      |
|-------|----------------------|------|
| 2.2.1 | 电阻元件                 | (26) |
| 2.2.2 | 电感元件                 | (27) |
| 2.2.3 | 电容元件                 | (29) |
| 2.3   | $R$ 、 $L$ 、 $C$ 串联电路 | (31) |
| 2.3.1 | 电压与电流关系              | (31) |
| 2.3.2 | 复阻抗与电路性质             | (32) |
| 2.3.3 | 功率                   | (33) |
| 2.4   | 功率因数的提高              | (34) |
| 2.4.1 | 提高功率因数的意义            | (34) |
| 2.4.2 | 提高功率因数的方法            | (34) |
| 2.4.3 | 电容器容量的计算             | (35) |
|       | 小结                   | (36) |
|       | 习题                   | (36) |
| 3     | 三相电路                 | (38) |
| 3.1   | 三相交流电源               | (38) |
| 3.1.1 | 三相交流电的产生             | (38) |
| 3.1.2 | 三相电源的连接              | (39) |
| 3.2   | 三相负载                 | (41) |
| 3.2.1 | 三相负载的星形连接            | (42) |
| 3.2.2 | 三相负载的三角形连接           | (44) |
| 3.3   | 三相交流电路的功率            | (45) |
| 3.3.1 | 有功功率                 | (45) |
| 3.3.2 | 无功功率                 | (46) |
| 3.3.3 | 视在功率                 | (46) |
|       | 小结                   | (47) |
|       | 习题                   | (47) |
| 4     | 室内电气线路               | (49) |
| 4.1   | 常用电工工具及使用            | (49) |
| 4.1.1 | 试电笔                  | (49) |
| 4.1.2 | 电工工具套                | (50) |
| 4.1.3 | 螺丝刀                  | (50) |
| 4.1.4 | 电工钳                  | (50) |
| 4.1.5 | 电烙铁                  | (51) |
| 4.1.6 | 电工刀                  | (52) |
| 4.1.7 | 手电钻                  | (52) |
| 4.1.8 | 扳手                   | (52) |
| 4.2   | 室内照明                 | (53) |
| 4.2.1 | 常用照明灯                | (53) |
| 4.2.2 | 灯具                   | (57) |

|                            |             |
|----------------------------|-------------|
| 4.2.3 常见故障及检修方法·····       | (57)        |
| 4.3 插座·····                | (59)        |
| 4.3.1 插座的选择·····           | (59)        |
| 4.3.2 插座的布置与安装·····        | (60)        |
| 4.3.3 插座及插头的常见故障及检修方法····· | (61)        |
| 4.4 照明开关·····              | (62)        |
| 4.4.1 开关的选择·····           | (63)        |
| 4.4.2 开关的安装·····           | (63)        |
| 4.4.3 开关的常见故障及检修方法·····    | (64)        |
| 4.5 电风扇·····               | (65)        |
| 4.5.1 电风扇的类型·····          | (65)        |
| 4.5.2 电风扇的结构与原理·····       | (65)        |
| 4.5.3 电风扇的调速方法·····        | (67)        |
| 4.6 导线的选择和连接·····          | (68)        |
| 4.6.1 导线的选择·····           | (68)        |
| 4.6.2 线路电流的计算·····         | (70)        |
| 4.6.3 导线的连接·····           | (71)        |
| 4.7 室内布线·····              | (76)        |
| 4.7.1 室内布线的一般工序·····       | (76)        |
| 4.7.2 塑料护套线布线·····         | (77)        |
| 4.7.3 槽板布线·····            | (80)        |
| 小结·····                    | (81)        |
| 习题·····                    | (81)        |
| <b>5 变压器与电动机·····</b>      | <b>(82)</b> |
| 5.1 互感与同名端·····            | (82)        |
| 5.1.1 自感与互感·····           | (82)        |
| 5.1.2 互感线圈的同名端及判定·····     | (83)        |
| 5.1.3 涡流、涡流的危害及用途·····     | (84)        |
| 5.2 变压器·····               | (85)        |
| 5.2.1 变压器的用途和基本结构·····     | (85)        |
| 5.2.2 变压器的工作原理·····        | (85)        |
| 5.2.3 变压器的额定值·····         | (87)        |
| 5.2.4 变压器的损耗和效率·····       | (88)        |
| 5.2.5 变压器的串、并联·····        | (88)        |
| 5.2.6 仪用互感器·····           | (89)        |
| 5.3 三相异步电动机的结构与工作原理·····   | (90)        |
| 5.3.1 三相异步电动机的结构·····      | (90)        |
| 5.3.2 三相异步电动机的工作原理·····    | (91)        |
| 5.4 三相异步电动机的使用·····        | (93)        |

|       |                |       |
|-------|----------------|-------|
| 5.4.1 | 接线             | (93)  |
| 5.4.2 | 启动             | (94)  |
| 5.4.3 | 反转             | (95)  |
| 5.4.4 | 调速             | (95)  |
| 5.4.5 | 制动             | (96)  |
| 5.4.6 | 铭牌数据           | (97)  |
| 5.5   | 其他电动机          | (97)  |
| 5.5.1 | 单相异步电动机        | (97)  |
| 5.5.2 | 步进电动机          | (99)  |
| 5.5.3 | 直流电动机          | (101) |
|       | 小结             | (104) |
|       | 习题             | (104) |
| 6     | 安全用电与节约用电      | (106) |
| 6.1   | 安全用电           | (106) |
| 6.1.1 | 人体触电           | (106) |
| 6.1.2 | 触电的形式          | (107) |
| 6.1.3 | 触电急救           | (108) |
| 6.1.4 | 防触电的安全技术       | (109) |
| 6.1.5 | 安全用电的注意事项      | (110) |
| 6.2   | 节约用电           | (110) |
| 6.2.1 | 节约用电的意义        | (111) |
| 6.2.2 | 节约用电的主要途径      | (111) |
|       | 小结             | (111) |
|       | 习题             | (112) |
| 7     | 机床电气控制的基本环节    | (113) |
| 7.1   | 常用低压电器         | (113) |
| 7.1.1 | 非自动电器          | (113) |
| 7.1.2 | 自动电器           | (115) |
| 7.2   | 三相异步电动机的启动控制线路 | (121) |
| 7.2.1 | 直接启动控制         | (121) |
| 7.2.2 | 降压启动控制         | (124) |
| 7.3   | 三相异步电动机的运行控制线路 | (125) |
| 7.3.1 | 正反转控制          | (125) |
| 7.3.2 | 双速电动机高、低速控制    | (127) |
| 7.4   | 制动控制线路         | (129) |
| 7.4.1 | 机械制动           | (129) |
| 7.4.2 | 电气制动           | (130) |
| 7.5   | 电气控制保护环节       | (131) |
| 7.5.1 | 短路保护           | (131) |



|       |                          |       |
|-------|--------------------------|-------|
| 7.5.2 | 过载保护 .....               | (131) |
| 7.5.3 | 失压保护 .....               | (132) |
| 7.5.4 | 欠压保护 .....               | (132) |
| 7.5.5 | 限位保护 .....               | (132) |
| 小结    | .....                    | (132) |
| 习题    | .....                    | (133) |
| 8     | 常用机床的电气控制 .....          | (135) |
| 8.1   | 机床电气原理图的画法规则及识读方法 .....  | (135) |
| 8.1.1 | 机床电气原理图的组成 .....         | (135) |
| 8.1.2 | 机床电气原理图中的图形符号和文字符号 ..... | (136) |
| 8.1.3 | 机床电气原理图的画法规则 .....       | (136) |
| 8.1.4 | 机床电气原理图的识读方法及步骤 .....    | (137) |
| 8.2   | 机床电气故障分析与检修 .....        | (137) |
| 8.2.1 | 机床电气故障的分类 .....          | (138) |
| 8.2.2 | 机床电气故障的检修步骤 .....        | (139) |
| 8.2.3 | 机床电气故障的检修方法 .....        | (140) |
| 8.3   | CM6132 型车床电气控制 .....     | (143) |
| 8.3.1 | 主要结构及运动形式 .....          | (143) |
| 8.3.2 | 电力拖动的特点和要求 .....         | (143) |
| 8.3.3 | CM6132 型车床的电气控制 .....    | (144) |
| 8.3.4 | 常见故障分析 .....             | (147) |
| 8.4   | Z3040 型摇臂钻床电气控制 .....    | (148) |
| 8.4.1 | 主要结构及运动形式 .....          | (148) |
| 8.4.2 | 电力拖动的特点和要求 .....         | (148) |
| 8.4.3 | Z3040 型摇臂钻床的电气控制 .....   | (149) |
| 8.4.4 | 常见故障分析 .....             | (153) |
| 8.5   | X62W 型卧式万能铣床电气控制 .....   | (153) |
| 8.5.1 | 主要结构及运动形式 .....          | (153) |
| 8.5.2 | 电力拖动的特点和要求 .....         | (154) |
| 8.5.3 | X62W 型卧式万能铣床的电气控制 .....  | (155) |
| 8.5.4 | 常见故障分析 .....             | (160) |
| 8.6   | T68 型卧式镗床电气控制 .....      | (161) |
| 8.6.1 | 主要结构及运动形式 .....          | (161) |
| 8.6.2 | 电力拖动的特点和要求 .....         | (162) |
| 8.6.3 | T68 型卧式镗床的电气控制 .....     | (162) |
| 8.6.4 | 常见故障分析 .....             | (165) |
| 小结    | .....                    | (166) |
| 习题    | .....                    | (166) |
| 9     | 可编程控制器 .....             | (168) |

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 9.1 PLC 概述 .....               | (168) |
| 9.1.1 PLC 的产生 .....            | (168) |
| 9.1.2 PLC 的特点 .....            | (168) |
| 9.1.3 PLC 的系统构成 .....          | (169) |
| 9.1.4 PLC 的等效电路和工作原理 .....     | (171) |
| 9.1.5 PLC 的分类 .....            | (172) |
| 9.1.6 PLC 的发展趋势 .....          | (173) |
| 9.2 PLC 的常用编程语言及软继电器 .....     | (173) |
| 9.2.1 PLC 的常用编程语言 .....        | (173) |
| 9.2.2 PLC 的软继电器 .....          | (174) |
| 9.3 PLC 的基本逻辑指令 .....          | (179) |
| 9.3.1 输入输出指令 .....             | (179) |
| 9.3.2 “与”指令(触点串联指令) .....      | (180) |
| 9.3.3 “或”指令(触点并联指令) .....      | (181) |
| 9.3.4 块电路“或”指令 .....           | (182) |
| 9.3.5 块电路“与”指令 .....           | (182) |
| 9.3.6 复位指令 .....               | (183) |
| 9.3.7 移位指令 .....               | (183) |
| 9.3.8 脉冲指令 .....               | (184) |
| 9.3.9 条件跳转指令 .....             | (185) |
| 9.3.10 保持指令 .....              | (186) |
| 9.3.11 主控指令 .....              | (186) |
| 9.3.12 空操作指令 .....             | (187) |
| 9.3.13 结束指令 .....              | (188) |
| 9.4 梯形图的特点和编程规则 .....          | (188) |
| 9.4.1 梯形图的特点 .....             | (188) |
| 9.4.2 梯形图的编程规则 .....           | (189) |
| 9.5 继电器控制系统的 PLC 改造 .....      | (191) |
| 9.5.1 改造的一般步骤 .....            | (191) |
| 9.5.2 应用实例——限位控制的 PLC 改造 ..... | (191) |
| 9.5.3 常闭触点输入的处理 .....          | (193) |
| 小结 .....                       | (193) |
| 习题 .....                       | (195) |
| 附录 .....                       | (197) |
| 附录 1 电工安全操作规程 .....            | (197) |
| 附录 2 安全用电规程 .....              | (198) |
| 附录 3 电气图常用文字符号表 .....          | (200) |
| 附录 4 电气图常用图形符号表 .....          | (203) |
| 参考文献 .....                     | (206) |

# 1 直流电路

根据取用电源的不同,电路可分为直流电路和交流电路。本章先从直流电路入手,介绍电的基本概念、电路的基本定律,以及分析与计算直流电路的几种方法。

## 1.1 电的基本概念

### 1.1.1 静电与动电

#### (1) 静电

在空气干燥的情况下,脱毛衣的时候我们会听到噼里啪啦的声音,接触门把手的瞬间我们会感到手被刺了一样的麻痛,这是因为有静电的缘故。那么,什么是静电呢?静电就是静止的电荷。物体之间只要有接触、摩擦、冲撞等行为存在,物体就会失去或得到电荷,于是就会产生静电。

#### (2) 动电

静电对于观察者而言,处于静止或缓慢变化的相对稳定状态,而动电现象则与此相反。动电就是流动的电荷。如电视机或吹风机等电器在使用中,流过导线的电荷是变动着的,此时的电荷就称为动电荷。静电不会形成电流,对人体不会造成伤害,而动电却可以形成很大的电流,对人体造成伤害。

### 1.1.2 电流

#### (1) 电流的形成

金属导体中有大量的自由电子,平时它们处于自由活动状态,运动的方向是杂乱无章的;而接上电源后,在外电场的作用下,这些自由电子开始往同一个方向流动,于是就形成了电流。也就是说,电荷的定向移动形成电流。

#### (2) 电流的方向

电流跟水流一样,也是有流动方向的。通常将正电荷定向移动的方向规定为电流的实际方向。电流的实际方向有时不易确定,有时还是变化的,所以在分析电路时可以任意选定某一方向作为电流的参考方向。因为参考方向的选择是任意的,所以它并不一定与实际方向一致。当电流的参考方向与实际方向一致时,规定电流为正值(即  $I > 0$ ),反之为负值(即  $I < 0$ )。只有确定了电流的参考方向后,电流的正、负才有意义。在选定的参考方向下,根据电流的正负值,就可以确定电流的实际方向,如图 1.1 所示。

#### (3) 电流的大小

电流的大小即电流强度,在数值上等于单位时间内

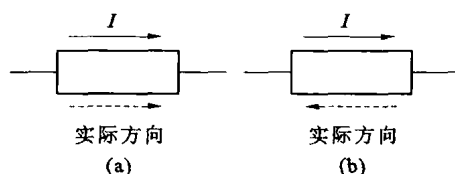


图 1.1 电流的参考方向与实际方向

(a)  $I > 0$ ; (b)  $I < 0$

通过导体横截面的电荷量。如果电流的大小和方向都不随时间而变化,则这种电流称为直流(DC)电流,常用大写字母  $I$  表示,即

$$I = \frac{Q}{T} \quad (1.1)$$

如果电流在导体中流动的方向和大小是随时间变化的,则称为交流(AC)电流,用小写字母  $i$  表示。设在极短时间  $dt$  内,通过横截面的微小电荷量为  $dq$ ,则

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2)$$

#### (4) 电流的单位

在国际单位制中,每秒通过导体截面的电荷量为 1 库仑(C)时,电流为 1 安培(A)。常用单位还有毫安(mA)和微安( $\mu A$ ),  $1 A = 10^3 mA$ ,  $1 mA = 10^3 \mu A$ 。

### 1.1.3 电位、电压与电动势

#### (1) 电位

地球上每一点都有一定的海拔高度,而电路中每一点的“海拔高度”就是电位。某一点的电位在数值上等于电场力把单位正电荷从该点移到参考点所做的功。电位是相对的,电路中某点电位的大小,与参考点(即零电位点)的选择有关。零电位点可以选电路上的任意点,习惯上规定大地或多个元器件会聚的公共点为参考点。一旦选定参考点,电路中的各点就具有确定的电位了。如任意选一点  $o$  作为零电位点,则  $a$  点与零电位点  $o$  之间的电位差即为  $a$  点的电位  $V_a$ 。

#### (2) 电压

水流从高处流向低处,电流从高电位点流向低电位点。两点之间电位的差值称为电位差或电压,如  $a, b$  两点的电压与两点的电位之间的关系为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.3)$$

如果参考点选得不同,则各点电位也随之不同,但任何两点间的电压值是不变的。

电压的实际方向规定为由高电位端指向低电位端,即为电位降低的方向。如果一段电路中电压和电流的参考方向一致,则称电压电流取关联参考方向;如果一段电路中电压和电流的参考方向相反,则称电压电流取非关联参考方向。电压的表示方法有箭头表示法、正负极性法和双下标法(如  $U_{ab}$ )等。在电路中,电压常用  $U$  表示,单位是伏(V),也常用毫伏(mV)或者微伏( $\mu V$ )做单位。  $1 V = 10^3 mV$ ,  $1 mV = 10^3 \mu V$ 。

#### (3) 电动势

从水的例子可知,当左右水位相同时,水就不流了。为了让水不停地流,就得用水泵通过环路将水打上去,让左右两边始终保持水位差。电流的流动与此同理,为了让电流从  $A$  端向

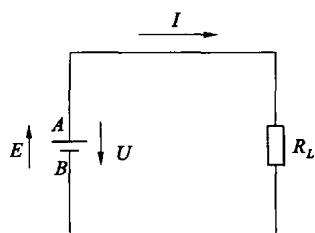


图 1.2 参考方向标注

$B$  端持续流动,需要有一个类似于水泵作用的电动势  $E$  来保持电位差。电源,如干电池或发电机就能产生这个电动势。 $E$  与外电路的性质和电路是否接通无关。电源的电动势  $E_{BA}$  就是电源力将单位正电荷从电源的负极  $B$  经过电源内部移到正极  $A$  所做的功。电动势的实际方向在电源内部由低电位端指向高电位端,即为电位升高的方向。

分析电路时应标明电压和电动势的参考方向。简单电路中

电流、电压和电动势的参考方向标注如图 1.2 所示。

**【例 1.1】** 如图 1.3(a)所示某电路元件:① 流过 1 A 的电流,实际方向为由  $a$  点至  $b$  点,试为该电流设参考方向,并写出相应的表达式;②  $a$  点为高电位, $b$  点为低电位,实际电压方向为从  $a$  点指向  $b$  点,试为该 2 V 的电压设参考方向,并写出相应的表达式;③ 若设  $b$  点为参考点,则  $a$  点的电位为多少? 若设  $a$  点为参考点,则  $b$  点的电位为多少?

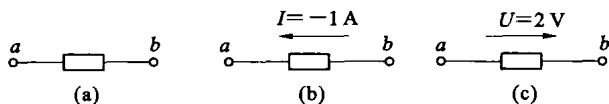


图 1.3 例 1.1 图

**【解】** ① 设电流参考方向与实际方向相反,则有  $I = -1$  A,如图 1.3(b)所示。

② 设电压参考方向与实际电压方向相同,则有  $U = U_{ab} = 2$  V,如图 1.3(c)所示。

③ 若  $b$  点为参考点,则  $V_b = 0$  V,则有  $V_a = U_{ab} = 2$  V;

若  $a$  点为参考点,则  $V_a = 0$  V,则有  $V_b = U_{ba} = -U_{ab} = -2$  V。

#### 1.1.4 电功率和电能

##### (1) 电功率

电能使灯泡发亮,但一节干电池只能使小灯泡发亮而无法使大灯泡发亮,则说明干电池和交流电源这两种电源的工作能力不同。为了表示各种不同电源工作能力的大小,需要有一个统一的比较标准,这个标准就是电功率。电功率是对电做功能力的度量,它既用于表示电的工作能力,也用于表示电气设备对电源的要求,且与电流和电压密切相关。

电功率是用电压和电流的乘积来表示的,即

$$P = UI \quad (1.4)$$

电功率的单位是瓦特(W),表征电在 1 s 里所做功的多少。在 1 V 电压作用下,电流为 1 A 时电源在 1 s 时间里所做的功就是 1 W。

##### (2) 电能

电能是衡量电源输出或电气设备消耗的能量。电能是指电在一定时间里所做功的总量,或者是电气设备在一定时间里所消耗的电的总量,因而它与时间长短有关。

电能等于电功率与实际工作时间的乘积,即

$$W = Pt \quad (1.5)$$

电能的单位是焦耳(J),若电能大,则常用千瓦时(kW·h)表示,也称为度。1000 W 的用电器正常使用 1 h,它所消耗的电能就是 1 kW·h,即日常生活中所说的 1 度电。

**【例 1.2】** 有一个“800 W/220 V”的电暖器,接在 220 V 的电源上,求通过电暖器的电流是多少? 若电暖器工作了 5 h,它的耗电量为多少?

**【解】** 因  $P = UI$ , 则

$$I = \frac{P}{U} = 3.64 \text{ A}$$

耗电量为

$$W = Pt = 0.8 \times 5 = 4 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

即 4 度电。

### 1.1.5 电流的热效应与电气设备的额定值

#### (1) 电流的热效应

当电流通过电阻时,电流做功而消耗电能,产生了热量,这种现象称为电流的热效应。凡是有电流流动的地方,都会有热量产生,这是因为电子在导体内移动时必然会撞击到原子从而产生了摩擦热。

电流与它流过导体时产生的热量之间的关系可用下式表示

$$Q = I^2 R t \quad (1.6)$$

热量(能量)的单位是焦耳(J),它表示使用了多大的能量(做的功)。但做功所需要的时间因电气设备不同而不同。

利用焦耳热可以制成发热体,典型的发热体有碳化硅棒和铠装电热管。碳化硅棒多用于电暖器和电烤箱等,这种发热体在发热时能放射出红外线,直接对被加热体进行烘烤;而铠装电热管的发热体不外露且有金属管保护,多用于电气灶、电热水器等家用电器当中。

#### (2) 电气设备的额定值

各种电气设备在工作时,其电压、电流和功率有一定的限额,这些限额是用来表示它们的正常工作条件和工作能力的,称为电气设备的额定值。额定值就是电气设备在正常运行时的规定使用值。通常当实际值都等于额定值时,电气设备的工作状态称为额定状态。使用时应尽可能地使电气设备工作在额定状态,以保证它们的正常运行及使用寿命。

各种电气设备的额定值常常标在铭牌上,或写在说明书中,并用下标  $N$  来表示。如  $U_N$ 、 $I_N$ 、 $P_N$  分别表示电压、电流和功率的额定值。电气设备的额定值并不全部都标出。例如,某白炽灯上有“100 W/220 V”的字样,即表示该白炽灯的  $P_N=100$  W,  $U_N=220$  V。

在使用电气设备时必须遵守电气设备的额定值。例如,一盏日光灯,标有“220 V/60 W”的字样,表示该灯应在 220 V 电压下使用,且消耗功率为 60 W。若将该灯泡接在 380 V 的电源上,则会因电流过大将灯丝烧毁;若电源电压低于额定值,灯泡虽能发光,但灯光暗淡。

对于电阻性负载而言

$$P_N = U_N I_N \quad (1.7)$$

**【例 1.3】** 一只 100  $\Omega$ 、1 W 的碳膜电阻的工作电压最大是多少? 所允许的最大电流是多少?

**【解】** 由式(1.7)可知

$$U_N = \frac{P_N}{I_N} = \frac{P_N}{U_N/R}$$

故

$$U_N = \sqrt{P_N R} = \sqrt{100} = 10 \text{ V}$$

即其工作电压最大为 10 V。

$$I_N = \sqrt{\frac{P_N}{R}} = \sqrt{0.01} = 0.1 \text{ A}$$

则允许的最大电流为 0.1 A。

### 1.1.6 电路与电路图

#### (1) 电路的组成

电路是电流的通路,是为了某种需要由电工设备或电路元件按一定方式组合而成的。一个完整的电路由电源、负载和中间环节三部分组成。

电源是提供电能的装置,可将其他形式的能量转换成电能,如发电机、蓄电池、干电池等。负载是取用电能的装置,它将电能转换成其他形式的能量,如白炽灯、日光灯、电动机等。中间环节是连接电源和负载的中间部分,起着传递、分配和控制电能的作用,如导线和开关等。

实际电路种类繁多,但就其功能来说可概括为两个方面:(1) 电路能实现电能的传输、分配与转换,如动力供电电路、照明电路;(2) 还能实现信号的传递与处理,如收音机、电视机电路。

#### (2) 电路图

在设计、安装、修理各种实际电路的时候,常常需要画出表示电路连接情况的图。用规定的电路元件符号代表电路中的实物来表示电路连接情况的图叫电路图。为了便于分析电路,一般要将实际电路模型化,用足以反映其电磁性质的理想电路元件或其组合来模拟实际电路中的器件,从而构成与实际电路相对应的电路模型。本书后面章节所分析的都是指电路模型,简称电路。

在电路图中,各种电路元件都用规定的图形符号表示。理想电路元件主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等。图 1.4 中列举出了常用的几种理想电路元件及其图形符号。画电路图时,应注意完整地反映电路的组成、规范地使用电气元件符号、合理地安排电气元件符号的位置。

现以图 1.5 所示的手电筒电路图为例来进一步说明电路的组成以及电路图理想元件。电池是电源元件,其参数为电动势  $E$  和内阻  $R_0$ ;灯泡为负载,主要具有消耗电能的性质,是电阻元件,其参数为电阻  $R$ ;筒体用来连接电池和灯泡,其电阻忽略不计,认为是无电阻的理想导体,属于中间环节;开关用来控制电路的通断。

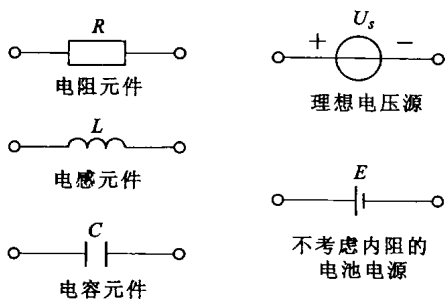


图 1.4 常用的电路元件

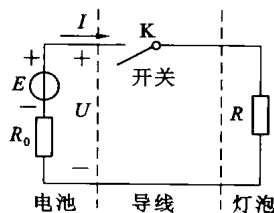


图 1.5 手电筒电路

### 1.1.7 电路的三种状态

根据电流在电路中流通的情况,电路有三种状态,即通路、断路和短路。

#### (1) 通路

以图 1.5 所示的直流电路为例来分析电路的三种状态。当开关  $K$  闭合时为通路状态,如图 1.6(a)所示。在通路中,导线连接完好,电路中有电流通过,  $I \neq 0$ , 负载上的电压  $U = IR$ 。

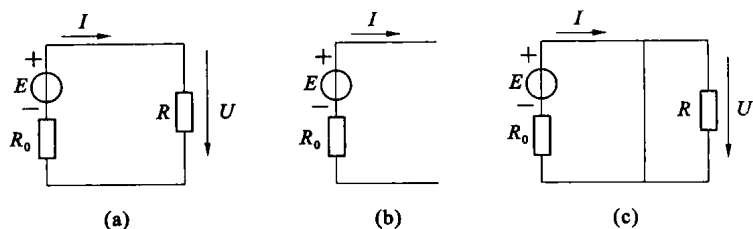


图 1.6 电路的三种状态

(a) 通路; (b) 断路; (c) 短路

### (2) 断路

在某处断开的电路称为断路,或称开路。当电路处于断路状态时电路中的电流无法通过。图 1.6(b) 所示为开关断开时的开路状态,电阻  $R$  上无电流通过,故无法工作,此时  $I=0, U=0$ 。

### (3) 短路

电路中的电流不流经负载而直接从电源的一端流到另一端上,称为短路,如图 1.6(c) 所示。短路时,电路里的电流称为短路电流  $I_{SC}$ ,且有  $I_{SC} = E/R_0$ 。因为电源内阻  $R_0$  一般都很小,所以短路电流  $I_{SC}$  总是很大。如果电源短路事故未迅速排除,很大的短路电流将会烧毁电源、导线及电气设备。为了防止发生短路事故,以免损坏电源,常在电路中串接熔断器。

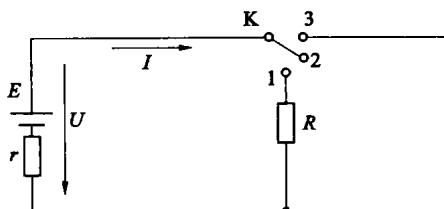


图 1.7 例 1.4 图

**【例 1.4】** 如图 1.7 所示电路,当开关  $K$  在位置 1、2、3 时分别对应哪种状态? 电流分别为多少?

**【解】** 当开关  $K$  置于位置 1 时,电路处于通路状态,电流  $I = E/(R+r)$ ;

当开关  $K$  置于位置 2 时,电路处于开路状态,电流  $I=0$ ;

当开关  $K$  置于位置 3 时,电路处于短路状态,电流  $I = E/r$ 。

## 1.2 电阻和欧姆定律

### 1.2.1 导体、绝缘体和半导体

#### (1) 导体

当电流通过各种物体时,不同的物体对电流的通过有着不同的阻止能力。有的物体可使电流顺利通过,也有的物体不让电流通过,或者在一定的阻力下让电流通过。物体通过电流的能力常用导电性能来描述。各种物体均有着不同的导电性能,凡是导电性能很好的物体叫做导体。如金属、酸、碱、盐类的水溶液等都是良好导体。

#### (2) 绝缘体

导电能力很差的物体叫做绝缘体。电工中常用的绝缘材料有橡胶、塑料、云母、陶瓷、石棉等。绝缘体中的电子受到原子核很强的束缚,在一般情况下,几乎没有可以自由移动的带电粒子,所以不能导电。绝缘材料长时间受温度、湿度和灰尘的影响后,绝缘性能要下降,这种现象



叫做绝缘老化。绝缘材料老化后,由于绝缘强度的下降,会影响设备的正常工作。如电机、变压器外壳的带电现象,就是由于绝缘强度降低造成的。所以,电气设备都要定期检查绝缘强度,以保证运行安全。

(3) 半导体

导电性能介于导体和绝缘体之间的物体称为半导体,如常用的晶体管材料硅、锗等。半导体中杂质的含量以及外界条件的改变(例如光照、温度或压力、电磁场的改变等),都会使它的导电性能发生显著的变化。有些半导体的导电性能随温度升高电阻迅速减小,这一特性称为半导体的热敏特性,利用热敏特性可以制成热敏电阻或对温度敏感的传感器。有些半导体在光照条件下电阻大大减小,这一特性称为半导体的光敏特性。利用光敏特性可以做成各种光敏元件,如光敏电阻、光电管等。在纯净的半导体中掺入微量的杂质,会使半导体的导电性能大大增强,这一特性称为半导体的掺杂特性。利用这一特性,可以制成晶体二极管、晶体三极管和集成电路等。

1.2.2 电阻、电阻率和电阻温度系数

(1) 电阻

导体对电流的阻碍作用称为导体的电阻。电阻是电工电子电路中使用最多的元件。电阻的主要物理特征是能将电能转换为热能,也可以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。

电阻都有一定的阻值,它代表这个电阻对电流阻挡能力的大小。在电路图中,电阻的符号为  $R$ ,单位是欧姆,用符号“ $\Omega$ ”表示。当在一个电阻器的两端加上  $1\text{ V}$  的电压时,如果在这个电阻器中有  $1\text{ A}$  的电流通过,则这个电阻器的阻值为  $1\ \Omega$ 。除了欧姆外,电阻的常用单位还有千欧( $\text{k}\Omega$ )、兆欧( $\text{M}\Omega$ )等。 $1\text{ k}\Omega=10^3\ \Omega$ ,  $1\text{ M}\Omega=10^6\ \Omega$ 。

电阻可以分为线性电阻和非线性电阻。线性电阻的阻值不随所加电压和通过的电流而改变,即在一定的温度下其阻值是常数。在温度一定的条件下,把加在电阻两端的电压与通过电阻的电流之间的关系称为伏安特性。线性电阻的伏安特性是一条经过原点的直线,如图 1.8(a)所示。非线性电阻其电阻值随电压和电流的变化而变化,其电压与电流的比值不是常数。半导体二极管的正向电阻就是非线性的,它的正向伏安特性如图 1.8(b)所示。

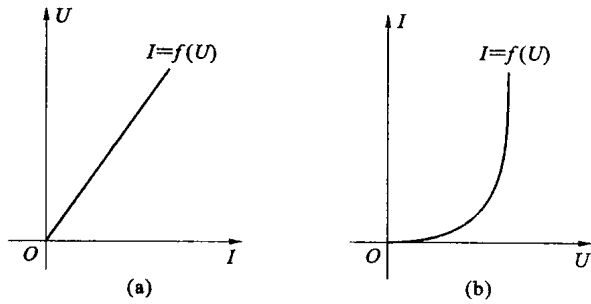


图 1.8 电阻的伏安特性

(a) 线性电阻的伏安特性;(b) 二极管的正向伏安特性

(2) 电阻率

电阻率  $\rho$  是用来表示各种物质导电性能的物理量。电阻率越小,导电能力越强。某种材