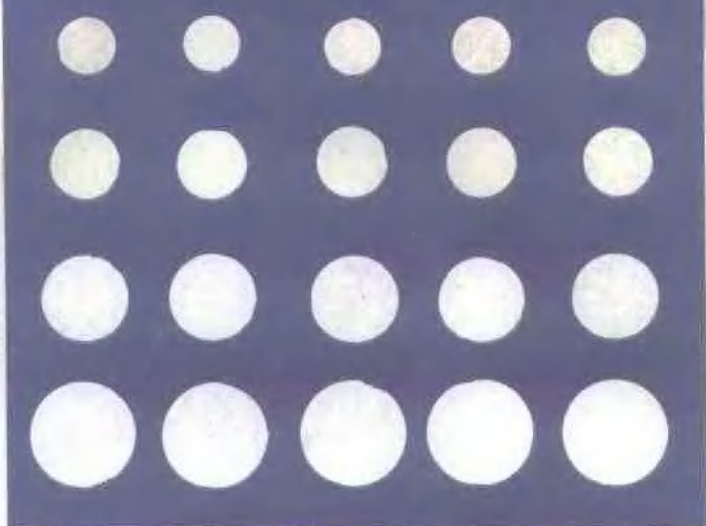


交通系统技工学校通用教材



# 船舶轮机电工

杨存华 主编

姜洲伟 主审



人民交通出版社

371237

交通系统技工学校通用教材

# 船舶轮机电工

Chuanbo Lunji Diangong

杨存华 主编

姜洲伟 主审



人民交通出版社

(京)新登字091号

### 内 容 提 要

本书共分四篇十六章。第一篇为电工基础；第二篇为电子技术基础；第三篇为电机、电器及控制；第四篇为船舶电站与电网。各章后有习题。书后有附录。

本书可作为水运系统技工学校轮机工教材，也可作为船舶电机员、船舶电工及轮机员的参考书。



### 船 舶 轮 机 电 工

杨存华 主编

姜洲伟 主审

插图设计：陈 竞 正文设计：刘晓方 责任校对：尹 静

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

北京顺义飞龙印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：18.75 字数：429千

1993年10月 第1版

1993年10月 第1版 第1次印刷

印数：0001—5000册 定价：17.00元

ISBN 7-114-01638-7

TM·00004

# 前 言

为了加强对交通系统技工学校教材建设和教学工作的领导,不断提高教材质量和教学质量,交通部于一九八七年成立“交通技工学校教材编审委员会”。编委会分五个专业教材编审组——汽车运输类、公路工程及机械类、海上运输类、内河运输类、港口和船舶修造类专业教材编审组。

编审委员会根据《交通部教材编审、出版试行办法》和《交通技工学校教材选题规划》组织教材编写和出版工作。在教材编审中注意贯彻教材的思想性、科学性、先进性和实践性,做到正确、适用,充分体现技工学校突出技能训练的特点。

一九八八年十月海上运输类专业教材编审组(简称航海编审组)在上海召开会议,就《1988~1992年交通技工学校教材选题规划》中航海专业31种教材的《教学大纲》进行修改,交通部教育司1989年5月下发了(89)教职字106号文件“关于印发船舶水手、船舶轮机工、船舶电工教学计划及教学大纲的通知”,各校已于1989~1990年度执行。

航海编审组所属船舶轮机工专业包括海上运输和内河运输两个工种,其中海运工种计划出版的教材有《船舶辅机拆装与检修》、《船舶辅机》、《轮机英语》、《船舶轮机电工》、《船舶轮机电工工艺》、《轮机自动化》、《热工》、《轮机机械基础》、《机舱管理》、《船舶柴油机》、《船舶柴油机拆装与检修》、《机械制图》、《车工》、《钳工》、《焊工》、《航行实习指导书》。

《船舶轮机电工》是船舶轮机工专业必要的电工技术基础课程。

为适应船舶生产实际和逐步推广新国标的要求,本教材的电路图和文字符号采用了新旧国标对照的方法。

本书能够使学生掌握必需的电工和电子技术基础知识,了解船舶电气设备的一般工作原理,获得船舶电气设备正确操作和维护保养的必要知识。本书亦可作为船舶电机员、船舶电工及轮机员的参考书。

本书由上海海运技工学校杨存华主编,威海水运学校姜洲伟主审。其中第一篇、第三篇由杨存华编写,第二篇由上海海运技工学校陈家梁编写,第四篇由天津海员学校唐旭东编写。

本书的分工编委为天津海员学校程豫曾。

限于水平和经验,教材中难免有错误和不足之处,恳请读者多提宝贵意见。

交通技工学校教材编审委员会

航海编审组

1991年4月

# 目 录

|    |   |
|----|---|
| 绪论 | 1 |
|----|---|

## 第一篇 电 工 基 础

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 直流电路                 | 2  |
| 第一节 电路、电路图               | 2  |
| 第二节 电路中的基本物理量            | 3  |
| 第三节 电阻、欧姆定律              | 5  |
| 第四节 电流的功和功率              | 8  |
| 第五节 简单直流电路的计算            | 9  |
| 第六节 基尔霍夫定律和支路电流法         | 13 |
| 第七节 叠加原理和戴维南定理           | 16 |
| 习 题                      | 19 |
| 第二章 电磁                   | 22 |
| 第一节 磁场                   | 22 |
| 第二节 磁场对载流导体的作用力、磁感应强度、磁通 | 23 |
| 第三节 磁导率和磁场强度、磁化          | 24 |
| 第四节 磁路及磁路欧姆定律            | 27 |
| 第五节 电磁感应                 | 28 |
| 第六节 涡流                   | 32 |
| 习 题                      | 32 |
| 第三章 单相正弦交流电路             | 35 |
| 第一节 正弦交流电的三要素            | 36 |
| 第二节 正弦交流电的有效值            | 39 |
| 第三节 正弦交流电的向量图表示法         | 39 |
| 第四节 纯电阻电路                | 42 |
| 第五节 纯电感电路                | 44 |
| 第六节 纯电容电路                | 46 |
| 第七节 电阻、电感、电容串联电路         | 49 |
| 第八节 电感性负载与电容并联电路         | 56 |
| 习 题                      | 58 |
| 第四章 三相对称正弦交流电路           | 60 |
| 第一节 三相电路的基本概念和三相电源的联接    | 61 |
| 第二节 三相对称负载的联接            | 64 |
| 第三节 三相电路的功率              | 67 |

|                        |    |
|------------------------|----|
| 习 题 .....              | 66 |
| 第五章 电工仪表与测量 .....      | 69 |
| 第一节 常用电工仪表的分类与等级 ..... | 69 |
| 第二节 磁电系仪表 .....        | 71 |
| 第三节 万用电表 .....         | 72 |
| 第四节 电磁系仪表 .....        | 77 |
| 第五节 电动系仪表 .....        | 78 |
| 第六节 功率的测量 .....        | 79 |
| 第七节 兆欧表 .....          | 81 |
| 习 题 .....              | 82 |

## 第二篇 电子技术基础

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第六章 晶体管整流电路 .....       | 84  |
| 第一节 半导体和PN结 .....       | 84  |
| 第二节 晶体二极管 .....         | 87  |
| 第三节 单相整流电路 .....        | 89  |
| 第四节 三相整流电路 .....        | 93  |
| 第五节 滤波电路 .....          | 96  |
| 习 题 .....               | 99  |
| 第七章 晶体管放大电路 .....       | 100 |
| 第一节 晶体三极管 .....         | 100 |
| 第二节 晶体三极管的特性曲线 .....    | 102 |
| 第三节 三极管的主要参数及简易测试 ..... | 104 |
| 第四节 放大电路的基本工作原理 .....   | 107 |
| 第五节 偏置电路和静态工作点的稳定 ..... | 113 |
| 第六节 功率放大器 .....         | 116 |
| 第七节 直流放大器 .....         | 119 |
| 第八节 晶体管直流稳压电源 .....     | 122 |
| 习 题 .....               | 126 |
| 第八章 脉冲与数字电路基础 .....     | 129 |
| 第一节 脉冲波形与参数 .....       | 129 |
| 第二节 RC电路和微分与积分电路 .....  | 130 |
| 第三节 晶体管的开关特性 .....      | 133 |
| 第四节 限幅器与反相器 .....       | 135 |
| 第五节 双稳态触发器 .....        | 138 |
| 第六节 单稳态触发器 .....        | 140 |
| 第七节 自励多谐振荡器 .....       | 143 |
| 第八节 数字电路基本知识 .....      | 145 |
| 习 题 .....               | 148 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第九章 可控硅及其应用 .....     | 149 |
| 第一节 可控硅的性能与主要参数 ..... | 149 |
| 第二节 可控硅整流及保护电路 .....  | 153 |
| 第三节 可控硅触发电路 .....     | 156 |
| 习 题 .....             | 159 |

### 第三篇 电机、电器及控制

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第十章 变压器 .....                | 161 |
| 第一节 变压器的结构和铭牌 .....          | 161 |
| 第二节 变压器的基本工作原理 .....         | 163 |
| 第三节 几种特殊用途的变压器 .....         | 166 |
| 习 题 .....                    | 168 |
| 第十一章 交流电机 .....              | 168 |
| 第一节 三相异步电动机的构造和铭牌 .....      | 168 |
| 第二节 三相异步电动机的工作原理 .....       | 171 |
| 第三节 三相异步电动机的起动、调速和制动 .....   | 176 |
| 第四节 单相异步电动机 .....            | 180 |
| 第五节 同步发电机 .....              | 182 |
| 习 题 .....                    | 185 |
| 第十二章 直流电动机 .....             | 186 |
| 第一节 直流电动机的结构、铭牌和基本工作原理 ..... | 186 |
| 第二节 直流电动机的起动、调速和制动 .....     | 192 |
| 习 题 .....                    | 194 |
| 第十三章 船舶常用电器设备与控制电路 .....     | 195 |
| 第一节 控制电器和保护电器 .....          | 195 |
| 第二节 交流电力拖动控制电路 .....         | 201 |
| 第三节 船舶制冷系统的自动调节 .....        | 207 |
| 第四节 船舶辅助锅炉的自动控制 .....        | 210 |
| 第五节 电动起锚机控制电路 .....          | 217 |
| 习 题 .....                    | 222 |
| 第十四章 控制电机 .....              | 224 |
| 第一节 自整角机及应用 .....            | 224 |
| 第二节 测速发电机 .....              | 227 |
| 习 题 .....                    | 228 |

### 第四篇 船舶电站与电网

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第十五章 船舶电力系统 .....            | 229 |
| 第一节 船舶电力系统的组成、特点、要求及参数 ..... | 229 |

|      |                       |     |
|------|-----------------------|-----|
| 第二节  | 船舶电源 .....            | 231 |
| 第三节  | 船舶配电装置 .....          | 235 |
| 第四节  | 船舶电力系统的保护 .....       | 238 |
| 第五节  | 船舶柴油机电系 .....         | 244 |
| 习 题  | .....                 | 246 |
| 第十六章 | 发电机的并联运行 .....        | 247 |
| 第一节  | 交流同步发电机并联运行条件 .....   | 247 |
| 第二节  | 同步发电机并车方法 .....       | 248 |
| 第三节  | 并联运行机组间功率的调节与分配 ..... | 250 |
| 习 题  | .....                 | 252 |
| 附录一  | 电工系统常用电器、电机符号 .....   | 253 |
| 附录二  | 半导体器件的型号 .....        | 255 |
| 附录三  | 常用晶体二极管的特性 .....      | 256 |
| 附录四  | 常用晶体三极管的特性 .....      | 259 |

# 绪 论

电能，是现代化社会中应用最广泛的一种能源。由于它效率高、控制方便，因而使电机、电器及各种电气化设备得到广泛的应用。随着科学技术的发展，电子技术已渗入到社会的各个领域。近年来，电子计算机系统也应用到船舶的运行管理中，目前最先进的船舶已实现了全船计算机集中控制，并将完成智能管理。微电子科学技术正在飞速地发展，它将对我国的水运事业起着无可限量的促进作用。

今天，船舶电气设备，电子系统已成为现代化船舶最基本的组成部分。无论是驾驶室的操舵仪、导航设备，还是机舱的船舶电站以及为主机服务的各种电气设备，对它们的正确使用和维护已成为保障船舶安全、经济运输的决定性因素。

作为水运轮机工，为适应当前船舶工作的需要和今后对日益复杂的现代化自动化船舶的管理，都必须具备一定程度的电工学、电子技术和电力拖动的基础知识和基本技能。本教材就是根据船舶轮机工的工作职责范围和特点而编写的。

全书包括电工基础、电子技术、电机电器与控制、船舶电站与电网共四篇内容，各篇内容相互联系，前篇是后篇的基础，各篇又具有相对的独立性。在学习本课程时，必须抓住重点，注重理论联系实际，应当掌握各篇、各章的基本概念和基本原理，应当掌握对基本的电气控制线路和简单电子线路的综合分析。

为提高我国船舶轮机工的专业基本素质，建立一支适应船舶运输需要的，具有中级技术工人业务水平的船舶轮机技工队伍，逐步实现高质量地、科学地管理船舶，保证船舶安全、可靠、经济地航行，有志献身于祖国水运事业的人都应该学好本课程。

# 第一篇 电工基础

## 第一章 直流电路

电路有直流电路和交流电路之分。所谓直流电路，就是电路中的电流、电压、电动势等物理量的大小和方向不随时间变化的电路。本章将介绍直流电路中的基本概念、基本物理量和基本定律及直流电路的分析计算方法。因为直流电路的规律具有普遍性，所以原则上也适用于其他电路，学好直流电路可为学好其他电路打基础。

### 第一节 电路、电路图

图1-1为最简单的直流电路。它由一个干电池、小灯泡、开关和联接导线组成。开关闭合后，就构成了电流通路，小灯泡便亮了。

上述简单电路可用于照明，它把电能转换为光能和热能。如果把小灯泡换成一台半导体收音机，那么电路则可将电能转换为声能。常见的电动机电路可将电能转换为机械能。可见，电路的一个重要作用是进行电能与其他形式能量的互换。在电子电路中，电路还有信号传递和处理的作用。因此，所谓电路可归纳为：有目的地使电能和其他形式的能量进行相互转换或进行信号传递和处理的设备的总称。

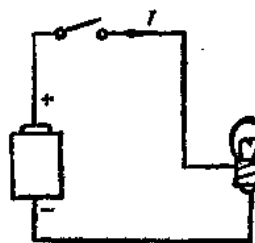


图1-1 最简单的直流电路

电路一般由下述四个部分组成：

电源：是把化学能、机械能，或其他形式的能量转换为电能的装置。如干电池、蓄电池、发电机等。

负载：将电能转换为光能、热能、机械能或其他形式能量，或进行信号传递处理的设备。如灯泡、电炉、电动机等。

导线：把电源与负载联接起来，组成通路，引导电流，传递能量。常用的导线用铜或铝制成。

控制设备：是为了达到不同目的和用电安全及使用方便，对电路进行控制而装置的设备。最常见的是开关。

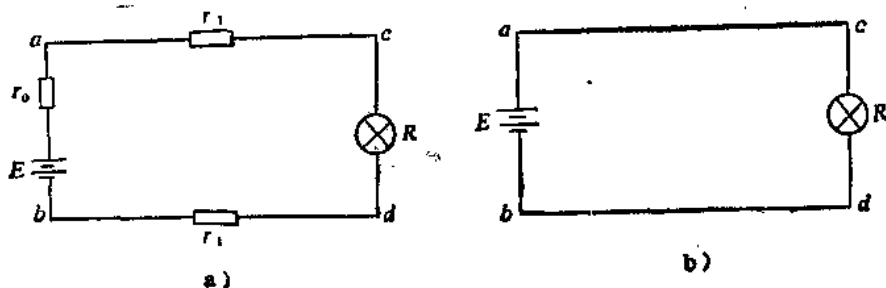


图1-2 灯泡电路图

图1-1是按各元件实物图形画出来的,虽然直观但比较麻烦,为此国家统一规定了各种电气元件的图形符号,见附录一。用这些图形符号画出的图叫电路图。电路图能正确地反映实际电路中各元件的联接关系,但并不反映实际电路中各元件的安装位置。图1-2 a)就是图1-1实际电路略去开关后的电路图。

$E$ 和 $r_0$ 表示干电池, $r_1$ 表示导线的电阻,灯泡的电阻用 $R$ 表示。如果忽略掉电池的内阻 $r_0$ 和导线的电阻(通常它们都很小),则电路图可简化成图1-2 b)的形式, $ac$ 和 $bd$ 可看成是两条没有电阻的导线。

## 第二节 电路中的基本物理量

用以描述电路状态的物理量主要有电流强度、电位和电位差(也叫电压)。

### 一、电 流

电荷有规则的运动,形成电流。

导体的电流是由于金属材料内部的自由电子在电场力作用下运动而形成的。在电解液中或电离后的气体中的电流是由于正、负离子受到电场力的作用沿相反方向运动而形成的。由于历史上的原因,人们把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。图1-3是导体中电流的示意图。

当自由电子在电场力作用下由 $B$ 向 $A$ 运动时,则导体中电流的实际方向为由 $A$ 指向 $B$ 。

电流的大小用电流强度来度量,电流强度习惯上简称电流,故电流一词不仅表示一种物理现象,而且也代表一个物理量。

电流的定义为单位时间通过导体横截面的电量。

若任何时候通过导体横截面的电量大小和方向不变,则形成直流电流。用大写字母 $I$ 表示,则有,

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

设在极短的时间 $dt$ 内,通过导体截面的电量为 $dq$ ,则电流的一般定义为:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

式中:  $q$ ——电量, C (库仑),

$t$ ——时间, s (秒),

$i$ ——电流, A (安培)。

对于较小的电流,可用mA(毫安)或 $\mu A$ (微安),它们与安培的关系为:

$$1A = 10^3mA = 10^6\mu A$$

$$1\mu A = 10^{-3}mA = 10^{-6}A$$

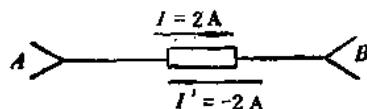


图1-4 电流的实际方向

电路中,电流的大小及其方向对电路的工作状态有很大影响,所以在简定或计算电流时,应包括电流的大小和方向。如图1-4所示,在导体附近标字母 $I$ 和箭头来表示电流及方向。

设此电路中电流的大小为2A,实际方向为由 $A$ 指向 $B$ ,则用数学式可表达为 $I = 2A$ ;如

果把标记电流方向的箭头反向, 改为由B指向A, 与电流实际方向相反, 则此时数学表达式应为  $I' = -2A$ 。

由此可见, 电路图中标记的电流方向, 并不一定与实际方向一致, 我们把它叫作电流的参考方向或叫正方向。电流的实际方向由标记的电流参考方向与电流数值的正负来决定。当数值为正时, 实际方向与参考方向一致, 反之, 若数值为负, 则实际方向与参考方向相反。对于电流方向的这种标记方法 (电压也有同样问题), 是分析复杂电路的必要条件。在标定了电流参考方向的前提下, 电流是一个代数量。

## 二、电压、电位

电场力推动电荷移动形成电流并做功, 衡量电场力作功能力大小的物理量为电压。定义为: 电场力驱使单位正电荷从电场中某点a沿任意路径移到另一点b所作的功, 称为ab两点间的电压。用大写字母  $U_{ab}$  表示直流电压 (小写字母  $u$  表示交变电压)。直流电压的数学表达式为:

$$U_{ab} = \frac{W}{q}$$

式中:  $W$  —— 电场力所作的功, J (焦耳);

$q$  —— 电量, C (库仑);

$U_{ab}$  —— a、b两点间电压, V (伏特)。

常用的电压单位还有: kV (千伏) 和 mV (毫伏) 或  $\mu V$  (微伏), 它们的关系为:

$$1kV = 10^3V$$

$$1mV = 10^{-3}V$$

$$1\mu V = 10^{-6}V$$

电压也是有大小和方向的量, 如图1-5所示。

电压的方向也可采用双下角标注法, 如  $U_{ab}$  就表示电压的参考方向为a指向b。如果a、b两点间电压的数值  $U_{ab} = 2V$ , 就表示a、b两点间的实际电压方向为a指向b。如果  $U_{ab} = -2V$ , 则表示实际电压方向为b指向a。可见, 电压的实际方向也是由参考方向及数值的正负确定的。

电路分析中常用到电位的概念, 电路中的电位是指单位正电荷在电路中某点所具有的能量。为了分析问题简便, 可以选定电路中某点的电位为零, 作为参考点。参考点选定后, 电路中其余各点的电位便有确定的数值, 这也叫作电位的单值性。电位实际上就是电压, 是电路中某点到参考点间的电压。

电位用  $\varphi$  表示, 电路中某点a的电位记为  $\varphi_a$ 。电位的单位也是伏特。

电路中任意两点间的电压等于这两点电位的差, 故电压也叫电位差。电压与电位关系的数学表达式为:

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$$

电压的实际方向是电位降落的方向, 即由高电位指向低电位。图1-5中, 如果  $U_{ab} = 2V$ , 就是说a点的电位比b点的电位高2V。

在图1-5中, 若  $U_{ac} = 5V$ 、 $U_{bc} = 3V$ , 设c为参考点, 则根据电位定义, 可得  $\varphi_c = 5V$ ,  $\varphi_b = 3V$ , 根据电压与电位的关系式可得  $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = 5 - 3 = 2(V)$ 。若设参考点为b点, 显然  $\varphi_b = 0V$ , 由于ab两点间的电位差不变, 因此  $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = 2V$ , 可得  $\varphi_a = 2V$ , 由于  $U_{bc} = \varphi_b - \varphi_c = 3V$ , 因此可得  $\varphi_c = -3V$ 。

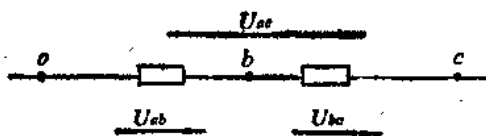


图1-5 两点间的电压

根据以上分析,可归纳为如下几点:

(1) 电路中两点间的电压即为两点的电位差,电压的大小与计算时两点间的路径无关,与参考点的选择无关,只取决于这两点的位置。

(2) 电压的实际方向为电位降落的方向,在电路中由参考方向和数值的正负确定,且有:

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = -U_{ba}$$

(3) 电位是该点到参考点的电压。电位的高低与参考点的选择有关,当参考点选定以后,电路中各点的电位具有确定的数值。

### 三、电 动 势

在电路中,正电荷在电场力作用下,从高电位流向低电位,在此过程中,电场的能量不断消耗。要维持电路中的电流,就必须不断补充电场的能量,也就是说,必须有非电场力存在,以克服电场力把正电荷从低电位推向高电位,具有这种性质的装置就是电源。在电源内部存在着非电场力,如电池中是化学作用力,发电机中是电磁效应,这些力能把正电荷从电源的负端移至正端,便把其他形式的能量转换为电能。

电源电动势为非电场力把单位正电荷在电源内部从负端移至正端所作的功,用 $E$ 来表示,单位也是伏特。由于在电源内部,从负端到正端,电位是升高的,因此电动势的实际方向是电位升的方向。

图1-6标记出了电源电动势及其端口电压的实际方向。由于电动势是指电位升,而电压是指电位降,因此两个箭头的方向恰恰相反,显然此时数值上应有 $U_{ab} = E$ 。

应当指出,当电源接通外电路后,电源内电流的方向为从低电位指向高电位,而外电路,则电流从高电位流向低电位。

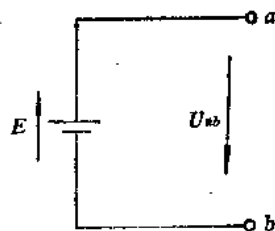


图1-6 电动势的正方向

## 第三节 电阻、欧姆定律

### 一、导体的电阻

电荷在导体中运动时要受到一定的阻力,我们把导体对电流的阻碍作用叫做导体的电阻,用 $R$ 表示。电阻的单位是 $\Omega$  (欧姆),常用的单位还有 $k\Omega$  (千欧)和 $M\Omega$  (兆欧),它们的关系是:

$$1M\Omega = 10^3k\Omega = 10^6\Omega$$

$$1k\Omega = 10^3\Omega$$

实验证明导体的电阻 $R$ 与导体长度 $l$ 成正比,而与导体的横截面积 $S$ 成反比,与导体的材料性质有关,即:

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

式中:  $l$ ——导体的长度, m;

$S$ ——导体的横截面积,  $mm^2$ ;

$\rho$ ——导体材料的电阻率,  $\Omega \cdot mm^2/m$  (欧姆·毫米<sup>2</sup>/米)。

表1-1列出了一些材料在20℃时的电阻率。

几种常用导电材料的电阻率及电阻温度系数

表 1-1

| 材 料 名 称 | 电阻率(20℃)<br>( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) | 电阻温度系数 $\alpha$<br>(0~100℃)(1/℃) | 用 途       |
|---------|-----------------------------------------------------|----------------------------------|-----------|
| 银       | 0.0155                                              | 0.0038                           | 导 线       |
| 铜       | 0.0175                                              | 0.0039                           | 导线,主要导电材料 |
| 铝       | 0.0283                                              | 0.0039                           | 导 线       |
| 铂       | 0.106                                               | 0.00398                          | 热电偶或电阻温度计 |
| 康 铜     | 0.44                                                | 0.000005                         | 标准电阻      |
| 锰 铜     | 0.42                                                | 0.000006                         | 标准电阻      |
| 镍铬铁合金   | 1.12                                                | 0.00013                          | 电炉丝       |
| 铜铬铁合金   | 1.3~1.4                                             | 0.00005                          | 电炉丝       |
| 碳       | 10                                                  | -0.00005                         | 电 刷       |

例1-1 从机舱配电盘到桅杆上照明灯的导线长度为150m,如要求导线电阻不超过2.2 $\Omega$ ,应选用截面积至少为多大的铜导线?

解: 已知 $l = 150 \times 2 = 300\text{m}$ ,  $R = 2.2\Omega$ , 查表知 $\rho_{\text{Cu}} = 0.0175\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

$$\therefore R = \rho \frac{l}{S}$$

$$\therefore S = \rho \frac{l}{R} = \frac{0.0175 \times 300}{2.2} = 2.39(\text{mm}^2)$$

可得至少应选用横截面积为2.39mm<sup>2</sup>的铜导线。

由于金属导体的电阻随温度的升高而增加,因此可利用这个规律测电机的温度,即:

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(T_2 - T_1)]$$

式中:  $R_1$ ——温度 $T_1$ 时的电阻;

$R_2$ ——温度 $T_2$ 时的电阻;

$\alpha$ ——材料的电阻温度系数, 1/℃。

例1-2 一电动机,在20℃时测得其铜线线圈的电阻为100 $\Omega$ ,运行一段时间后,测得其电阻120 $\Omega$ ,问此时电机线圈的温度为多少?

解: 已知 $T_1 = 20^\circ\text{C}$ ,  $R_1 = 100\Omega$ ,  $R_2 = 120\Omega$ , 查表知 $\alpha = 0.0039\text{ } 1/^\circ\text{C}$ 。

$$\therefore R_2 = R_1[1 + \alpha(T_2 - T_1)]$$

$$\therefore T_2 = T_1 + \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1} = 20 + \frac{120 - 100}{0.0039 \times 100} = 71.3(^\circ\text{C})$$

即此时电机线圈的温度为71℃左右。

## 二、几种常用的电阻器

利用电阻率大的金属材料可制成各种规格的电阻器,通常称电阻。

实际使用的电阻器,可分为固定电阻器和可变电阻器两类。按其材料和结构可分为碳膜电阻、金属膜电阻、金属氧化膜电阻及线绕电阻等。

在每个电阻器上均标有额定功率、标称阻值及允许误差等。电阻在使用时所消耗的功率

不可超过额定功率值，否则会被烧坏。电阻的允许误差代表电阻器的精密度，普通分为 $\pm 5\%$ （I级）、 $\pm 10\%$ （II级）和 $\pm 20\%$ （III级）。

目前国产电阻器还标有其他一些符号，其意义见表1-2。

表 1-2

| 顺 序   | 类 别     | 名 称                              | 简 称              | 符 号              |
|-------|---------|----------------------------------|------------------|------------------|
| 第 一 位 | 主 称     | 电 阻 器<br>电 位 器                   | 阻 位              | R<br>W           |
| 第 二 位 | 导 体 质 料 | 碳 膜<br>金 属 膜<br>金 属 氧 化 膜<br>线 绕 | 碳<br>金<br>氧<br>线 | T<br>J<br>Y<br>X |
| 第 三 位 | 形 状 性 能 | 大 小<br>精 密<br>测 量<br>高 功 率       | 小<br>精<br>最<br>高 | X<br>J<br>L<br>G |

例如RT表示碳膜电阻器，RJJ表示精密金属膜电阻器，RTL表示测量用碳膜电阻器。小型电阻器中有用色环表示阻值和精度的，各种颜色分别代表数字，详见表1-3。

表 1-3

| 颜 色 | 黑 | 棕 | 红 | 橙 | 黄 | 绿 | 蓝 | 紫 | 灰 | 白 |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 数 字 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

普通小型色环电阻上有四个色环，前二圈色环表示两位有效数字；第三圈色环表示倍率，即为 $(10^n)$ 次方数；第四圈色环则表示电阻的允许误差，一般有金、银、无色三种，分别表示I级、II级、III级，见图1-7。

例如色环电阻第一环为红色，第二环为绿色，第三环为黄色，第四环为金色，则表示阻值为 $25 \times 10^4 = 250k\Omega$ ，允许误差为5%。

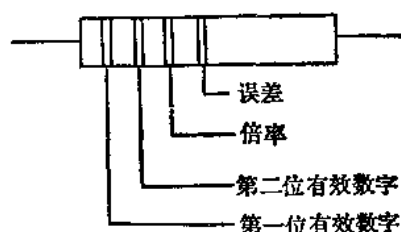


图1-7 电阻上的色环

### 三、欧 姆 定 律

欧姆定律是一条实验定律，它描述了一个电阻元件中的电流与其两端电压的关系。当流过电阻的电流与电阻两端电压正方向标定一致时，欧姆定律的数学表达式为：

$$I = \frac{U}{R}$$

上式表示电阻元件中电流的大小与其端电压成正比，与元件的电阻值成反比。当电压单位为伏特，电阻单位为欧姆时，电流的单位为安培。

若测得电阻元件两端电压数值和流过该电阻元件的电流数值，则应用欧姆定律可得其电阻值：

$$R = \frac{U}{I}$$

用此种方法测量电阻的值，称为伏安法。

电阻可分为线性电阻和非线性电阻。通常应用碳膜或金属膜，以及锰铜或康铜线绕成的电阻元件，其阻值基本不随电流大小而变，就是说其两端的电压与电流的比值始终是个常数，成线性关系，这种电阻称之为线性电阻。若电阻端电压与流过其电流两者的比值不是常数，称其为非线性电阻。非线性电阻具有重要用途，尤其在电子技术中应用广泛。一般说来，由线性电阻等线性元件构成的电路叫做线性电路。

#### 第四节 电流的功和功率

电路中电流流动，进行着能量的转换。人们需要的是通过电路获得某种能量，因此必须学习电流的功、功率和计算方法。

如图1-8所示，电压 $U$ 的物理本质是电场力把单位正电荷 $q$ 从 $a$ 点经过负载 $R$ 移到 $b$ 点所作的功，因此电场力所作的功应为：

$$A = Uq$$

根据功率的定义，电功率应为单位时间内所作的电功，故有：

$$P = \frac{A}{t} = \frac{Uq}{t} = U \frac{q}{t} = UI$$

即

$$P = UI$$

当电压和电流的单位分别采用伏和安时，则功率的单位为W（瓦特，简称瓦）。常用功率的单位还有kW（千瓦）和mW（毫瓦），其关系为：

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}$$

$$1\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$$

电功的实用计算公式如下：

$$A = UI t = Pt$$

当 $P$ 采用瓦， $t$ 采用秒，则功的单位为焦耳。工程上常采用千瓦·小时，也叫“度”，用kW·h表示。

当电压和电流的参考方向一致时，计算出功率若为正值，则说明电流做功，这段电路吸收或消耗电功率。当电压和电流参考方向一致，而计算得功率为负值时，则这段电路发出电功率，说明这段电路必有相当电源的元件存在。

电阻元件为功率消耗元件，应用欧姆定律，可以得到电阻元件消耗功率的另一计算公式：

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

电流通过导体（电阻元件）做功，导体要发热，说明电能转化为热能，这种现象叫电流的热效应。根据能量守恒定律，电流通过导体所做的功将全部转换为热能而释放。因此，释放的热能 $Q$ 的单位为焦耳时，计算式为：

$$Q = I^2 R t$$

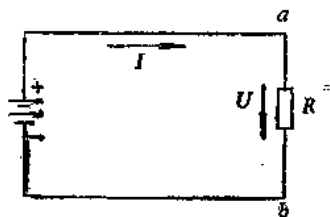


图1-8 电流的功和功率

电流的热效应在生产和生活中得到广泛应用，如电炉、电烙铁、电吹风等。但会使用电器由于热量的产生而温度升高，使绝缘老化，工作条件变坏，严重时还会烧毁用电器。为了防止用电设备因过热而损坏，各电器设备都在铭牌上标有正常工作的电压、电流值，电压、功率或电流、功率的数值。我们把电器设备正常工作时的电压、电流和电功率，分别称为额定电压、额定电流和额定功率。使用电器设备时务必注意额定值，才能保证使用安全。熔断器是利用电流热效应做成的，它的熔点较低，电流超过规定值时，就会因过热而熔断，使电路断开，保护用电设备。

## 第五节 简单直流电路的计算

在电路中，经常见到电阻的串联、并联和混联，这是最简单但又是最基本的电路联接形式，现把这些电路的特点分析如下。

### 一、电阻的串联

数个电阻之间首尾依次联接，中间无分岔，这样的联接方式叫串联，如图1-9 a) 所示。

串联电路具有以下特点：

1. 各串联电阻中流过同一电流。在图1-9 a) 中，流过电阻 $R_1$ 和 $R_2$ 的电流都是 $I$ 。
2. 总电压等于各个电阻两端电压（也叫分电压）之和。图1-9 a) 中：

$$U = U_1 + U_2$$

若有 $n$ 个电阻串联，则上式可推广为

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

3. 可用一个等效的总电阻来代替。根据串联电路上述第二特点以及欧姆定律，可得串联电路等效总电阻等于各串联电阻之和：

$$R_s = R_1 + R_2$$

若有 $n$ 个电阻串联，则

$$R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

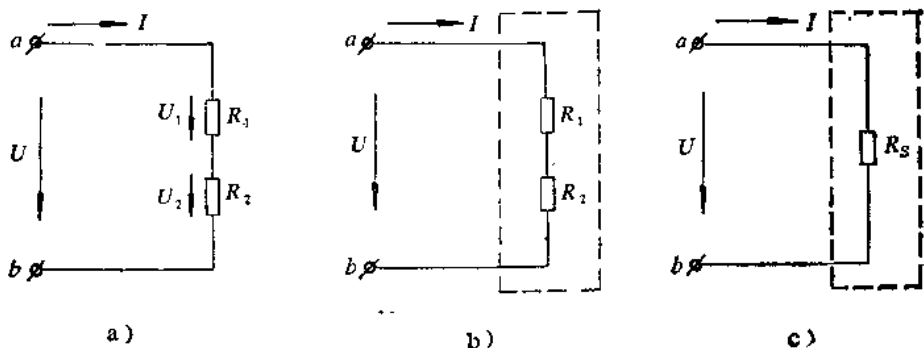


图1-9 电阻的串联

图1-9 a) 中 $R_1$ 、 $R_2$ 部分电路加以虚框，即为图1-9 b)。根据串联电路特点，图1-9 b) 虚框内电阻可等效为总电阻 $R_s$ ，即简化为图1-9 c)，且保证图1-9 b) 和c) 虚框外端口 $ab$ 间电压和端口电流均保持不变，我们称图1-9 b) 和c) 等效。电路的一部分代以另一电路后，电路