



职业技能培训系列教材

# 初级电梯安装 维修工 技能实战训练

CHUJI DIANTI ANZHUANG  
WEIXIUGONG JINENG  
SHIZHAN XUNLIAN

王跃军 主编



- ✓ 模块形式编写
  - ✓ 理论必需够用
  - ✓ 先进实用适用
- 理论技能一体  
技能训练强化  
成就初级技工



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



职业技能培训系列教材

# 初级电梯安装维修工 技能实战训练

主 编 王跃军  
参 编 汪世斌  
主 审 岳庆来



机械工业出版社

本书是根据中华人民共和国职业技能鉴定规范,并参考深圳市电梯安装维修工技能职业标准及深圳市质量技术监督局特种作业人员标准编写。本书以实际操作为重点,理论讲解围绕实际操作进行。全书分6个模块将初级电梯安装维修工必备的专业知识和专业技能呈现给读者。每个模块先介绍“必需够用”的理论知识,再给出若干与技能考核密切相关的实训项目及详尽的操作步骤、考核要求,以及应用实例。主要内容包括:电梯的基础知识,电梯维修常用仪表、量具、工具,电梯的构造,电力拖动及控制,交流双速货梯原理图的理解分析及故障排查,电梯维修安全技术。

本书可供技工学校、中职院校电梯安装维修类专业使用,也可作为初级电梯安装维修工培训、考核的实际操作技能训练指导用书,还可作为电梯应用技术爱好者的参考用书。

#### 图书在版编目(CIP)数据

初级电梯安装维修工技能实战训练/王跃军主编. —北京:机械工业出版社,2010.4

(职业技能培训系列教材)

ISBN 978-7-111-30226-1

I. ①初… II. ①王… III. ①电梯—安装—技术培训—教材②电梯—维修—技术培训—教材 IV. ①TU857

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 053849 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:何月秋 陈玉芝 责任编辑:王振国

版式设计:霍永明 责任校对:刘怡丹

封面设计:马精明 责任印制:李妍

北京富生印刷厂印刷

2010年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11.5印张·279千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-30226-1

定价:22.00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

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

# 职业技能培训系列教材

## 编委会名单

主任 黎德良

副主任 王 德 彭旭昀 何月秋

委员 乔建伟 岳庆来 张大明 涂爱云 郭昕文

吴启红 邵 纯 陈 芸 胡 洪 王跃军

谭 斌 黄太平 鄂永雄

# 序

随着我国经济的不断发展和产业结构的转型升级以及经济的全球化发展，我国已逐步成为世界的“制造中心”，而制造业的主力军——技能人才却严重匮乏，成为影响我国经济进一步发展的瓶颈。为此，国家提出了新的人才发展战略目标，全面推进技能振兴计划和技能人才培养工程。

在技能人才培养的教学过程中，教材处于基础地位，是课程体系设计的核心。为加快技能人才的培养，我们精心策划了这套“职业技能培训系列教材”。本系列丛书的编写特色体现在以下几个方面：

一是书中内容突出一个“新”字，做到结合当前企业的生产实际，力求教学内容能反映本工种新技术、新标准、新工艺和新设备的应用。

二是根据《国家职业标准》和职业技能鉴定规范，同时结合深圳市电工、电梯、制冷等专业工种的职业技能标准，力求教学内容能覆盖相应工种、相应层次的技能鉴定要求。

三是教学中注重培养学员的职业能力，把相关知识点的学习与专业技能的训练有机地结合起来，摒弃以往“就知识讲知识”的做法，坚持技能人才的培养方向。

四是内容安排上符合认知规律，由浅及深，由易到难，做到理论知识以够用为度，侧重实践操作。

本系列教材的编者来自深圳技师学院从事培训教学的一线教师和企业的一部分专家，书中内容基本反映了深圳技能培训教学和社会化考核的方向。相信本书会受到中、高职类院校广大师生和广大青年读者的欢迎。

编委会主任 黎德良

# 前 言

随着我国工业生产的发展和人民生活水平的提高，高层建筑不断增加，电梯作为高层建筑中必不可少的垂直运输工具，应用十分广泛。

由于电梯是一种特殊设备。同时，它又广泛应用于生产、生活、医疗、办公等场所，在投入使用前必须经过现场组装、调试。在这一特殊过程中，从事电梯安装、维修保养人员的技术水平的高低，安装维修质量的好坏，将直接关系到电梯运行中的安全可靠。当今电梯的技术要求不断提高，控制技术日益自动化、信息化，为了确保电梯的正常运行，保障工业生产的顺利进行和人民生命财产的安全，必须将电梯安装维修保养人员的安全技术培训放在十分重要的位置上。因此，我国劳动部门、质量技术监督部门针对此工种完善了培训大纲及考核标准。

本教材根据初级电梯安装维修工实际操作技能标准及质量技术监督局特种作业人员实际操作标准考核项目编写。主要内容包括：电梯基础知识，电梯维修常用仪表、量具、工具，电梯的构造，电力拖动及控制，交流双速货梯原理图的理解分析及故障排查，电梯维修安全技术等内容。

本教材在编写过程中得到了彭旭昀、乔建伟、郭昕文、涂爱云、岳庆来、张大明等同志的大力支持，在此表示感谢。由于编写时间仓促，书中难免存在不足之处，敬请读者给予谅解和批评指正。

编 者

# 目 录

序

前言

<b>模块 1 电梯的基础知识</b> .....	1
1.1 电路、电磁知识 .....	1
1.1.1 电路、电路组成、电路图 .....	1
1.1.2 欧姆定律 .....	3
1.1.3 电路的 3 种状态 .....	4
1.1.4 电功、电功率、电流的热效应 .....	4
1.1.5 基尔霍夫定律 .....	5
1.1.6 简单直流电路的计算 .....	5
1.1.7 电磁与电磁感应 .....	7
1.2 单相正弦交流电 .....	12
1.2.1 正弦交流电的基本概念 .....	12
1.2.2 正弦交流电的表示方法及分析方法 .....	14
1.2.3 单一元件正弦交流电路 .....	15
1.2.4 简单正弦交流电路 .....	19
1.3 三相交流电路 .....	22
1.3.1 三相交流电 .....	22
1.3.2 三相电源的联结 .....	23
1.3.3 三相交流电路的功率 .....	24
1.4 电气控制常用电器元件 .....	25
1.4.1 低压断路器 .....	25
1.4.2 接触器 .....	26
1.4.3 低压熔断器 .....	26
1.4.4 热继电器 .....	27
1.4.5 时间继电器 .....	27
1.4.6 按钮 .....	27
1.4.7 行程开关（位置开关） .....	28
1.5 电子基础知识 .....	28
1.5.1 半导体和 PN 结 .....	28
1.5.2 二极管 .....	29
1.5.3 整流电路 .....	30
1.5.4 滤波电路 .....	33
1.5.5 晶体管 .....	34
1.6 电气控制电路安装测量技能实训 .....	38
实训 照明电路的安装及测量 .....	38
<b>模块 2 电梯维修常用仪表、量具、工具</b> .....	41



2.1 电气测量仪器仪表 .....	41
2.1.1 万用表 .....	41
2.1.2 钳形电流表 .....	44
2.1.3 携带式绝缘电阻表 .....	44
2.1.4 半导体点温计 .....	45
2.1.5 手持式转速表 .....	46
2.1.6 声级计 .....	47
2.1.7 接地电阻测量仪 .....	47
2.1.8 电流表 .....	48
2.1.9 电压表 .....	49
2.1.10 电能表 .....	50
2.2 电梯常用量具 .....	50
2.2.1 游标卡尺 .....	50
2.2.2 螺旋测微计 .....	51
2.2.3 塞尺 .....	52
2.2.4 水平尺 .....	53
2.2.5 电梯导轨卡尺 .....	53
2.3 电梯安装维修常用工具 .....	54
2.4 电气控制电路安装测量技能实训 .....	55
实训 三相异步电动机正反转控制电路的安装 .....	55
<b>模块3 电梯的构造</b> .....	<b>58</b>
3.1 电梯的基础知识 .....	58
3.1.1 电梯的定义 .....	58
3.1.2 按用途分类 .....	58
3.1.3 按拖动方式分类 .....	59
3.1.4 按电梯速度分类 .....	59
3.1.5 按控制方式分类 .....	59
3.1.6 按有无减速装置分类 .....	60
3.1.7 按操作方式和驱动方式分类 .....	60
3.1.8 电梯的型号 .....	60
3.1.9 电梯的主要参数 .....	62
3.1.10 电梯常用技术术语 .....	63
3.2 机房设备 .....	64
3.2.1 曳引机 .....	64
3.2.2 控制柜 .....	67
3.2.3 选层器 .....	67
3.2.4 限速器 .....	68
3.2.5 极限开关 .....	70
3.2.6 供电系统 .....	71
3.3 井道内设备 .....	71
3.3.1 轿厢系统 .....	71
3.3.2 对重装置 .....	80
3.3.3 随行电缆 .....	80





3.3.4	曳引钢丝绳 .....	81
3.3.5	钢带 .....	83
3.3.6	主要安全开关和装置 .....	83
3.4	底坑设备 .....	86
3.4.1	缓冲器 .....	86
3.4.2	底坑开关 .....	87
3.5	电梯建筑结构 .....	87
3.5.1	机房 .....	87
3.5.2	井道、底坑 .....	87
3.5.3	机房、井道的形式与尺寸 .....	88
3.6	电梯的运行及部件的确认实训 .....	91
	实训 现场观摩与查找电梯系统及部件 .....	91
<b>模块4</b>	<b>电力拖动及控制 .....</b>	<b>93</b>
4.1	交流电动机的结构及原理 .....	93
4.1.1	三相异步电动机的结构 .....	93
4.1.2	三相异步电动机的原理及运行 .....	93
4.1.3	三相异步电动机的分类 .....	94
4.1.4	电动机的铭牌 .....	95
4.1.5	电动机的选择 .....	96
4.1.6	三相异步电动机的起动 .....	96
4.1.7	三相异步电动机的制动 .....	98
4.1.8	三相异步电动机的调速 .....	99
4.1.9	三相异步电动机的故障及处理方法 .....	101
4.2	直流电动机的结构及原理 .....	102
4.3	电动机控制操作技能实训 .....	104
	实训1 带测量仪表的单相运行控制电路及其测量 .....	105
	实训2 带电测量的两地控制电路及其测量 .....	107
	实训3 异步电动机自动顺序控制电路的安装 .....	110
	实训4 星形—三角形起动控制电路的安装 .....	112
	实训5 三相异步电动机行程控制与测量 .....	115
	实训6 半波整流能耗制动电路 .....	117
	实训7 异步电动机手动顺序控制电路 .....	120
	实训8 仪表联合接线 .....	122
<b>模块5</b>	<b>交流双速货梯原理图的理解分析及故障排查 .....</b>	<b>125</b>
5.1	电梯电路的构成 .....	125
5.2	信号控制电梯电路 .....	125
5.2.1	主电路 .....	125
5.2.2	直流控制电源与门锁继电器电路 .....	128
5.2.3	电压继电器电路 .....	128
5.2.4	门电动机控制电路 .....	129
5.2.5	制动器线圈电路 .....	130
5.2.6	运行继电器电路 .....	131
5.2.7	厅外召唤指令的登记与消除电路 .....	131

5.2.8	自平层感应电路	132
5.2.9	轿厢位置感应电路	132
5.2.10	层楼指令继电器电路	133
5.2.11	指令控制电路	133
5.2.12	上、下定向运行控制电路	134
5.2.13	起动继电器电路	134
5.2.14	拖动控制电路	135
5.2.15	换速与停车保持继电器电路	136
5.2.16	信号系统	136
5.3	电梯电路故障排除实训	137
实训	电梯故障查找与排除	137
<b>模块6</b>	<b>电梯维修安全技术</b>	<b>142</b>
6.1	电梯机械设备维修安全技术	142
6.1.1	安全钳	142
6.1.2	直吊式钢带轮的维修保养	146
6.1.3	EL04 张绳轮的检修	146
6.1.4	电动机与减速器轴同轴度的测量	147
6.1.5	制动器的检修	148
6.1.6	电梯轧车的检修	148
6.1.7	曳引钢丝绳的调整与保养	149
6.1.8	曳引机轴漏油的检修	149
6.2	电梯电气设备维修安全技术	150
6.2.1	接触器、继电器的检修	150
6.2.2	直流开门电动机的检修	150
6.2.3	交流双速电动机的检修	151
6.2.4	电梯常见故障的判断和维修	153
附录	特种设备安全监察条例	156
参考文献		171

# 模块 1 电梯的基础知识

本章是学习电梯技术的基础。主要介绍直流电路、单相交流电路、三相交流电路的基本概念、基本定律，以及简单电路的分析与计算方法和电磁、电子的基本知识。

## 1.1 电路、电磁知识

### 1.1.1 电路、电路组成、电路图

电路就是电流流通的路径。它的作用是传递和分配电能，并使电能和其他形式的能量相互转换。

最简单的电路如图 1-1 所示。当开关 S 闭合后，电路中就有电流流过，电池将自身的化学能转变为电能，灯泡则发光放热而消耗电能，这就实现了电能与热能、光能的转换。当开关 S 断开后，电路便切断，电流不能流通，灯泡就不亮。

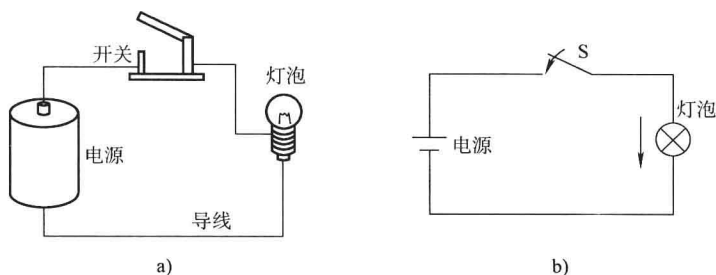


图 1-1 最简单的电路

a) 实物图 b) 电路图

从上面的例子可以看到，电路主要由下面 3 个部分组成：

1. 电源 它是电路中输出电能的装置，如发电机、蓄电池、光电池等。在工作时，它们分别将机械能、化学能等其他形式的能量转化为电能。
2. 负载 它是使用或消耗电能的装置，又称为用电设备，如电灯、电炉、电动机等，它们分别将电源所产生的电能转化为光能、热能、机械能等。
3. 连接导线 它是用来传输和分配电能的。

实际电路中，还装有附属设备，如开关、熔丝、仪表等，以作为控制、保护、测量之用。

#### 1.1.1.1 电流

物质中带电粒子（电荷）的定向移动叫电流，习惯上把正电荷移动的方向规定为电流的正方向，电流的单位是安（A）。

1. 形成 物质中带电粒子在电场力的作用下定向、有规则的移动，形成电流。
2. 大小 单位时间内通过导体横截面的电量，即电流，可用公式表示为

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-1)$$

式中  $q$ ——电量（C）；



$t$ ——时间 (s);

$I$ ——电流 (A),  $1\text{A} = 1000\text{mA}$ ,  $1\text{mA} = 1000\mu\text{A}$ 。

电流通常用  $I$  表示, 可分为直流和交流两种。电流的大小和方向不随时间变化的叫做直流电流; 电流的大小和方向随时间变化的叫做交流电流。

电流可以用电流表测量。测量的时候, 应把电流表串联在电路中, 要选择电流表指针接近满偏转的量程, 这样可以防止电流过大而损坏电流表。

### 1.1.1.2 电压和电位

#### 1. 电压

(1) 定义 1: 电场力将单位正电荷沿电路中的某一点移动到另一点所做的功即为电压, 可用公式表示为

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} \quad (1-2)$$

式中  $W_{AB}$ ——功 (J);

$q$ ——电荷 (C);

$U_{AB}$ ——电压 (V),  $1\text{V} = 1000\text{mV}$ ,  $1\text{mV} = 1000\mu\text{V}$ 。

(2) 定义 2: 电路中某两点间的电压等于这两点间的电位差, 即

$$U_{AB} = U_A - U_B \quad (1-3)$$

(3) 方向: 电压的方向如图 1-2 所示。

① 实际方向: 从高电位指向低电位, 即正方向。

② 参考方向: 也就是假设方向。通过计算, 电压为负值, 电压实际方向与假设方向相反; 计算电压为正值, 实际方向与假设方向相同。

(4) 种类:

① 直流 ( $U$ ): 电流方向不随时间变化。

② 交流 ( $u$ ): 电流大小和方向都随时间变化。

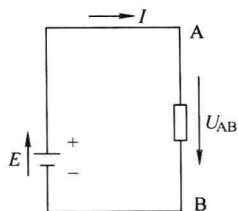


图 1-2 电压的方向

2. 电位 电场中单位正电荷所具有的电位能即为该点的电位。与参考点间的电位差为电压。

一般规定: 参考点的电位为零。

3. 电压与电位的区别 电压是两个点间的电位差; 电位是一个点相对零电位的值, 随参考点的改变而变化。

例如: 在图 1-2 所示电路中, 若下端接地, 则有 B 点电位  $U_B = 0\text{V}$ 。

而 A 点电位  $U_A = 1.5\text{V}$  (因  $E = 1.5\text{V}$ ), 则 A、B 两点间电压即电位差为

$$U_{AB} = U_A - U_B = (1.5 - 0)\text{V} = 1.5\text{V}$$

若 A 端接地, 则有

$$\text{A 点电位 } U_A = 0\text{V}$$

$$\text{B 点电位 } U_B = -1.5\text{V}$$

$$\text{A 到 B 两点间电压 } U_{AB} = 0\text{V} - (-1.5)\text{V} = 1.5\text{V}$$

$$\text{B 到 A 两点间电压 } U_{BA} = (-1.5)\text{V} - 0\text{V} = -1.5\text{V}$$



### 1.1.1.3 电动势 (E)

1. 定义 电源力克服电场力将单位正电荷从电源负极移动到正极所做的功即为电动势, 用公式表示为

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-4)$$

2. 方向 从负极指向正极或从低电位指向高电位 (与电压方向相反), 如图 1-3 所示。

电压与电动势的区别: 电动势指的是电源内部, 电源力做功。电压指的是电源外部, 电场力做功。

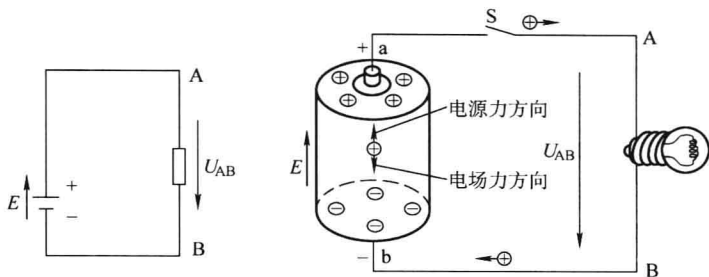


图 1-3 电动势的方向

### 1.1.1.4 电阻与电导

1. 电阻 自由电子在导体中定向移动时, 受到了阻碍, 把导体对电流的阻碍作用称为电阻, 用  $R$  表示。电阻的大小与导体的电阻率、长度、横截面积有关, 电阻的大小与长度成正比, 与横截面积成反比, 即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-5)$$

式中  $L$ ——长度 (m);

$S$ ——面积 ( $\text{mm}^2$ );

$R$ ——电阻 ( $\Omega$ ),  $1000\Omega = 1\text{k}\Omega$ ,  $1000\text{k}\Omega = 1\text{M}\Omega$ ;

$\rho$ ——电阻率 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )。

电阻率  $\rho$  的大小由材质决定, 各种材质  $\rho$  有所不同。另外, 电阻率  $\rho$  的大小与温度有关。一般情况下, 金属的电阻率  $\rho$  将随温度升高而增大。

对于电阻的分类, 按导电性能的优劣, 即电阻率  $\rho$  的大小可分为以下 3 种:

(1) 导体:  $\rho = 10^{-2} \sim 10\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ , 导电性能好。

(2) 半导体:  $\rho = 10 \sim 10^{12}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ , 导电性介于导体和绝缘体之间。

(3) 绝缘体:  $\rho = 10^{12} \sim 10^{24}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ , 几乎不导电。

#### 2. 电导及电阻率

(1) 电导: 电导即为电阻的倒数, 用  $G$  表示。单位为西门子 (S) 或  $\frac{1}{\Omega}$ , 计算公式为

$$G = \frac{1}{R}$$

(2) 电阻率: 电阻率的倒数称为电导率 ( $\gamma$ ), 即

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

电导越大导电性越好, 电阻越小导电性越好。

### 1.1.2 欧姆定律

如图 1-4 所示, 电压 (电动势)、电流、电阻三者之间的关系。



### 1.1.2.1 部分电路欧姆定律

即一段电路的电流  $I$  与这段电路两端的电压  $U$  成正比，而与这段电路的电阻  $R$  成反比，这就是部分电路欧姆定律，用公式表示为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-6)$$

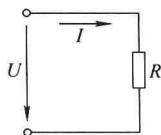


图 1-4 电路中的电压、电流和电阻

式中，电流单位为 A，电阻单位为  $\Omega$ ，电压单位为 V。

注意：在  $R = U/I$  中不能说导体的电阻（电阻本身的大小）与电压成正比，与电流成反比。因为电阻  $R$  的大小只取决于  $R = \rho L/S$ 。

### 1.1.2.2 全电路欧姆定律

一个由电池作为电源向负载供电的电路如图 1-5 所示，电路中的电流可表示为

$$I = \frac{E}{r_0 + R} \quad (1-7)$$

电源内电阻用  $r_0$  表示。

电压  $U = E - Ir_0$

电动势  $E = U + Ir_0$  ( $E > U$ ，即电压小于电动势，这是因为  $r_0$  损失部分电压)

当  $r_0 = 0$  时， $E = U$ （恒压源，即理想电压源）。

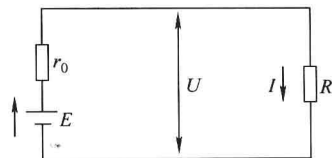


图 1-5 全电路欧姆定律电路

### 1.1.3 电路的 3 种状态

电路如图 1-6 所示。

1. 通路 当开关 S 接到 a 点时，a 点的电压为

$$U = E - Ir_0 \quad \text{则} \quad I = \frac{E}{r_0 + R}$$

2. 断路 当 S 接到 b 点时， $I = 0$ ， $U = E$ ， $R = \infty$ 。

3. 短路 当 S 接到 c 点时， $U \approx 0$ ， $R = 0$ ， $I = E/r_0$ （短路时  $r_0$  很小，电流很大，将可能烧坏电源）。

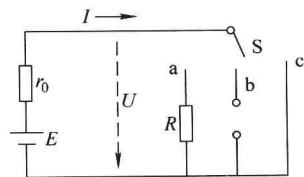


图 1-6 电路的通、断

### 1.1.4 电功、电功率、电流的热效应

1. 电功 ( $W$ ) 电流所做的功叫电功。

电能转换为其他能，例如：热能、电磁能等，是通过电流做功来实现的，电流做功多少，就是能量转换的度量，可用公式表示为

$$W = UIt \quad (1-8)$$

式中  $W$ ——电功 (J)；

$t$ ——电能做功的时间 (s)。

电功在实际应用中常用“kW·h”来表示，即  $1\text{kW} \cdot \text{h} = 1\text{kW} \times 1\text{h}$ 。

对电功的计量仪表用电能表。

2. 电功率 单位时间内电流所做的功称为电功率，其单位为瓦特 (W)， $1000\text{W} = 1\text{kW}$ ， $1\text{hp} = 0.736\text{kW}$ 。电功率可用  $P$  表示为

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-9)$$



电功率  $P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t} = UI$ , 即

$$P = UI$$

将  $I = U/R$  或  $U = IR$  代入  $P = UI$ , 可得

$$P = \frac{U^2}{R} \quad \text{或} \quad P = I^2 R$$

### 3. 电流的热效应

(1) 电流通过导体时会产生热量, 即电能转换为热能, 产生热量的大小用焦耳-楞次定律来判定: 电流通过导体所产生的热量与电流的二次方、导体的电阻以及电流通过的时间成正比, 即

$$Q = I^2 R t \quad (1-10)$$

热量的单位为焦耳 (J)。在实际工作中热量单位常用“卡”,  $1\text{J} = 0.24\text{cal}$ , 即

$$Q = 0.24 I^2 R t$$

(2) 电流热效的应用: 电灯泡可实现发光发热、电炉可实现发热、熔断器可实现电流较大发热到一定值熔断器熔断等。不利因素为: 导体发热而使导体的载流量下降。

为使电器正常工作, 电器上通常标有: 额定电压、额定电流、额定功率。例如: 照明电器上标有额定电压、额定功率, 电阻上标有额定阻值、额定功率。

## 1.1.5 基尔霍夫定律

1. 基尔霍夫电流定律 电路中任一节点, 任一时刻, 流进节点的电流等于流出节点的电流, 即

$$\sum I = 0 \quad (1-11)$$

2. 基尔霍夫电压定律 电路中任一回路, 任一时刻, 沿任一绕行方向, 闭合回路电压的代数和恒等于零, 即

$$\sum U = 0 \quad (1-12)$$

## 1.1.6 简单直流电路的计算

电路的串联和并联是最基本的连接方式。

1. 串联电路 电阻头、尾相连, 如图 1-7 所示。

电阻串联时电路总电阻等于各电阻之和, 即

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1-13)$$

1) 各电阻的电流相同, 即

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

2) 电压与电阻成正比 (正比分配), 即

$$U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$$

3) 功率与电阻成正比 (正比分配), 即

$$P_1 : P_2 : P_3 = R_1 : R_2 : R_3$$

在串联电路中总电阻  $R$  不变, 分电阻越大, 它获得的电压越大, 功率也越大。

4) 总电压等于各段分电压之和, 即

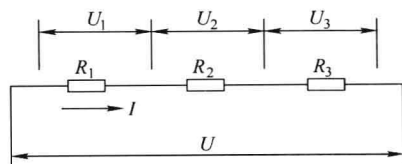


图 1-7 电阻串联电路



$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

因为  $I = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3}$ ，将其代入  $U_1 = IR_1$  中，则有

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} U$$

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} U$$

$$U_3 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U$$

5) 电源的串联。当一个电源的电动势不够时，可采用多个电源串联的方式，以增加电压，但电流不变。

$$E = \sum_{n=1}^n E_n \quad r = \sum_{n=1}^n r_n$$

2. 并联电路 连接时，头头相连、尾尾相连，如图 1-8 所示。

1) 总电阻的倒数等于各支路电阻倒数之和，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1-14)$$

2) 电压相等，即

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

3) 电流与电阻成反比（反比分配），即

$$I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$$

4) 功率与电阻成反比（反比分配），即

$$P_1 : P_2 : P_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$$

在并联电路中总电阻  $R$  不变，分电阻越小，它获得的电流越大，功率也越大。

5) 电流等于各支路电流之和，即

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

当  $n$  个相同电阻并联时  $R_1 = R_2 = \dots = R_n$ ，则有

$$R = \frac{R_1}{n} = \frac{R_2}{n} = \dots = \frac{R_n}{n}$$

当两个电阻并联时，则有

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

因为  $I_1 = \frac{U}{R_1}$ ，将其代入  $U = IR = I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$  中，则有

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad \text{或} \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1-15)$$

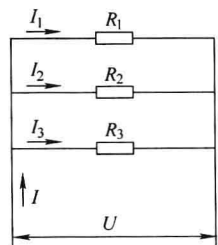


图 1-8 电阻并联电路

6) 电压源的并联。当负载需要的电流大于电源可提供的电流时，可采用多个电源并联的公式，以增大电流，电压不变。 $m$  个电源并联，并联条件为：电动势相等、内阻相等。





总电动势为

$$E = E_1 = E_2 = \dots = E_m$$

总内阻为

$$r = r_0 / m$$

3. 复联电路（混联电路）既有串联，又有并联，称为混联电路，如图 1-9 所示。

一般计算中首先要看清电路各部分电阻的串、并联关系，再运用串、并联的运算方式将电路进行化简，然后用欧姆定律计算出电路的电流、电压。最后根据要求可求出总电阻、总电流（或总电压）、各支路电流、电压。

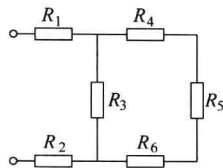


图 1-9 混联电路

### 1.1.7 电磁与电磁感应

#### 1.1.7.1 电流的磁场

##### 1. 磁铁

(1) 自然界中能够吸引铁、钴、镍等物质的物体称为磁铁。磁铁周围空间存在着一种特殊的物质，称为磁场。它能表现出一种力的作用。磁场的大小、方向可以用假想的磁力线来表示。

(2) 磁力线有以下性质：铁磁物质内部有许多微小的磁铁，在磁场作用下统一排列，如图 1-10 所示。

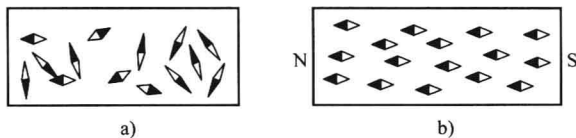


图 1-10 铁与磁铁

a) 无磁场作用 b) 有磁场作用

(3) 在磁铁内部磁力线从 S 极（南极）出发，回到 N 极（北极）。在磁铁外部磁力线从 N 极（北极）出发，回到 S 极（南极）。

(4) 磁力线的疏密表示了磁场的强弱。某点磁场的方向为该点的切线方向。磁感应强度为矢量（矢量——有大小、有方向的量；标量——有大小、无方向的量）。

(5) 磁力线总是闭合的。

(6) 磁力线互不相交，且互相排斥。

##### 2. 电流磁场的产生

(1) 导体有电流流动时，在电流周围也能产生磁场。电流越大，磁场越强。

(2) 电能生磁的现象称电流的磁效应。

(3) 磁场的方向：用右手螺旋法则来判定。对于通电直导线，用右手握住直导线，拇指为电流的方向，四指即为磁力线的方向，如图 1-11a 所示。

对于通电螺线管，用手握住螺线管，四指为电流的方向，拇指即为磁力线的方向。

#### 1.1.7.2 描述磁场的基本物理量

1. 磁感应强度 反映磁场强弱的物理量叫磁感应强度（磁通密度），用  $B$  表示，如图 1-12 所示。在磁场中垂直于磁场方向的带电导体受到磁场的作用力与电流和导体长度乘积的比值是  $B$  的大小，表达式为