

★★★ 中等职业教育通用教材



zhongdengzhiyejiaoyu

电工基础

DIANGONGJICHU

主编 曹丽英

兰州大学出版社



图书在版编目(CIP)数据

电工基础/曹丽英主编. —兰州: 兰州大学出版社,
2009. 8

中等职业教育通用教材

ISBN 978-7-311-03119-0

I. 电… II. 曹… III. 电工学—专业学校—教材
IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009) 第 134961 号

策划编辑 张国梁

责任编辑 张 仁

封面设计 张友乾

书 名 电工基础

主 编 曹丽英

出版发行 兰州大学出版社 (地址: 兰州市天水南路 222 号 730000)

电 话 0931-8912613(总编办公室) 0931-8617156(营销中心)
0931-8914298(读者服务部)

网 址 <http://www.onbook.com.cn>

电子信箱 press@onbook.com.cn

印 刷 天水新华印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 13

字 数 284 千

版 次 2009 年 8 月第 1 版

印 次 2009 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN978-7-311-03119-0

定 价 21.00 元

(图书若有破损、缺页、掉页可随时与本社联系)

前 言

根据教育部最新颁布的中等职业学校《电工基础教学大纲》的要求,参考有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准,我们编写了这本教材。

本教材以使学生具备高素质劳动者和中初级专门人才所必需的电工技术基础知识和基本技能为目标,理论和实践相结合,既要满足社会的发展和技术的更新,还要贴近中职教育的实际状况,最终使学生初步形成解决实际问题的能力,为学习专业知识和职业技能打下基础。

本书主要突出了以下几个特点:

1. 通俗易懂。本教材根据中职学生的实际状况,力求用简单、准确的语言去阐述深奥的理论,使学生学得懂,从而产生兴趣,而“兴趣又是最好的老师”,这样良性循环,就会化枯燥为生动,化抽象为具体,化难涩为简易,进而更好地掌握概念、规律,逐步培养分析问题、解决问题的能力,为今后为学习《电机及拖动基础》、《电子技术基础》、《机械设备及其电气控制技术》及《工厂供电》等课程准备必要的基础知识及思维能力。

2. 理论精炼、够用,突出应用性和实践性。本教材用定性的说明代替理论的推导,定理、公式注重应用,学生不必清楚理论的来龙去脉,只要会应用这些理论就行,着重培养学生的动手操作能力,实验观察能力,科学探究能力,获取信息、传递信息、处理信息的能力,分析和判断的能力及团结协作的能力。

3. 内容全面。本教材主要内容有:电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法、磁场、正弦交流电路的分析与计算、三相电路的分析与计算、一阶动态电路、常用电工工具和仪表、安全用电。在各部分内容末都附有练习题。同时还附有六个实验、五个实训。这些教学内容的设置从不同学校、不同专业的教学需要出发,有必学内容和选学内容,与同类教材相比,更具灵活性。

4. 与时俱进。本教材注重与新技术、新知识、新工艺接轨,以拓宽学生的视野,培养学生的创新能力,使学生能适应新技术发展的需求。

本课程建议总学时为 112 左右。各部分内容的学时分配建议如下表:

学时分配建议

章节	课 程 内 容	学 时 数			
		合 计	讲 授	实 践	复习与评价
1	电路的基础知识	12	8	2	2
2	直流电路的分析和计算	26	18	4	4
3	磁场	10	8		2
4	正弦交流电路	22	18	2	2
5	三相交流电路	12	8	2	2
6	* 一阶动态电路	选学 8	6		2
7	常用电工工具和仪表	8	4	4	
8	* 安全用电	选学 8	6	2	
9	机动	6			6
总 计		112	76	16	20

本教材由曹丽英主编,樊桂红、周蓉、王培、张海仓、吴健、郑昊祖、李永杰、王志虎、陈彦、尹晓峰参编。这是一本融汇了长期在教学一线辛勤工作的教师们多年教学经验和先进教学理念的教材。

由于编者水平有限,书中错漏不足之处难免。“玉不琢,不成器”,恳请读者批评指正。

编者
2009 年 5 月

目 录

第一章 电路的基本概念	1
第一节 电路	1
第二节 电路的基本物理量	4
第三节 欧姆定律	13
第二章 直流电路	20
第一节 电阻的串联电路	20
第二节 电阻的并联电路	23
第三节 混联电路的电阻	25
第四节 基尔霍夫定律	29
第五节 支路电流法	33
第六节 电压源和电流源的等效变换	34
第七节 受控源	38
第八节 叠加定理	40
第九节 戴维南定理	42
第十节 电路中电位的计算	44
第三章 磁场	54
第一节 磁场	54
第二节 磁通与磁感应强度	57
第三节 磁场对电流的作用	60
第四节 磁化与磁性材料	62
第五节 磁路	65
第六节 电磁感应	67
第七节 自感电势与自感系数	69

第八节	互感现象与互感系数	72
第四章	单相正弦交流电路	78
第一节	正弦交流电的概念	78
第二节	正弦交流电的三要素	79
第三节	正弦交流电的表示法	83
第四节	纯电阻电路	86
第五节	纯电感电路	88
第六节	纯电容电路	92
第七节	RLC 串联电路	98
第八节	谐振电路	102
第九节	功率因数的提高	104
第五章	三相正弦交流电路	108
第一节	三相交流电源	108
第二节	三相负载的连接	112
第三节	三相电路的功率	116
第四节	电力系统概述	119
第六章	一阶动态电路	125
第一节	过渡过程和换路定理	125
第二节	初始值和稳态值的计算	126
第三节	零输入响应	129
第四节	零状态响应	133
第五节	全响应及三要素法	137
第七章	常用电工工具及仪表	143
第一节	常用电工工具	143
第二节	万用表	147
第八章	安全用电	152
第一节	触电与救护	152
第二节	电气安全用具与安全标志	159
第三节	电气安全措施	161
实验 1	万用表的使用	170
实验 2	直流电阻电路测量及故障检查	171
实验 3	验证基尔霍夫定律	173

实验 4	常用电子仪器的使用	174
实验 5	单相交流电路	176
实验 6	三相交流电路	177
实训一	常用电工工具的认识与使用	180
实训二	导线的基本连接方法	184
实训三	数字万用表(DT9205) 的基本使用方法	188
实训四	常用照明灯具白炽灯的安装	191
实训五	常用照明灯具日光灯的安装	193

第一章 电路的基本概念

电工基础是研究电路功能和电磁现象的基本规律及分析方法的一门技术基础课,是学习电工专业知识必要的理论基础。

本章主要介绍电路的基本知识,电流、电压、电位、电动势、电阻、电功率、电能等基本物理量,以及一些基本定律。

第一节 电 路

学习目标

通过本节的学习,你应该:

- ◇ 清楚电路的概念和作用
- ◇ 掌握电路的组成及电路图常用符号
- ◇ 知道电路的工作状态

一、电路的概念及作用

电路是由各种元器件(或电工设备)按一定方式连接起来的总体,为电流的流通提供了路径。换句话说,电流流经的闭合路径称为电路。例如:(1)输配电电路,用来向居民区、工厂、农村提供电能,如图1-1所示;(2)扩音机电路,用来把声音信号转变成电信号,经放大后通过喇叭传送出去,如图1-2所示;计算机电路,可以对数据进行运算和处理。

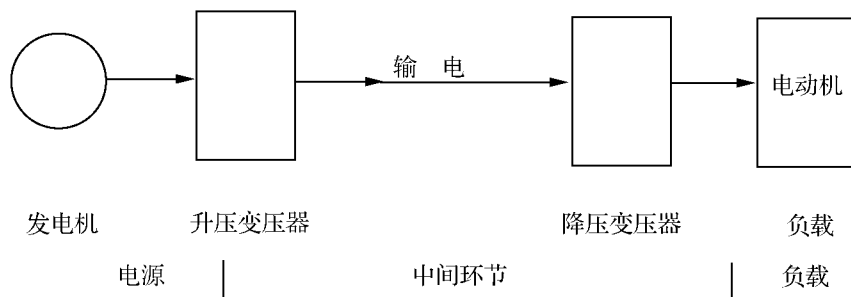


图 1-1 输配电电路

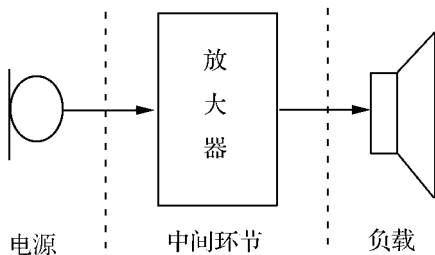


图 1-2 扩音机电路

电路的作用: 1. 进行能量的转换、传输和分配

2. 实现传递、存储和处理信号

前者多侧重于传输效率的提高,是电工技术所研究的;后者多侧重于信息在传递过程中的保真、运算的速度和抗除干扰等,是电子技术所研究的。

二、电路的组成

电路通常主要由电源、中间环节和负载三部分组成,如图 1-3(a) 所示。

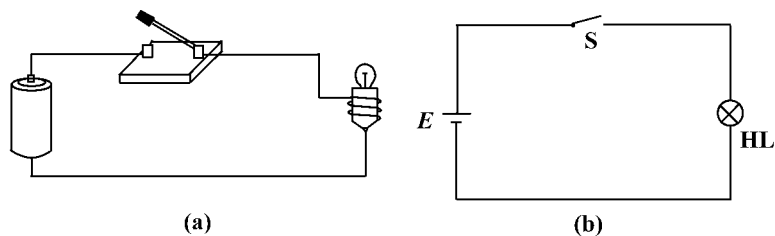


图 1-3 电路的组成

1. 电源: 是把其他形式能转换成电能并向外提供电能的装置。常见的电源有干电池、蓄电池、交流发电机等。

2. 负载: 是电路中用电器的总称,它将电能转换成其他形式的能。

电路中有三种理想负载: 理想电阻元件、理想电感元件、理想电容元件。实际的电路负

载总可以通过理想元件的适当组合来分析。为了简单,后续内容将省略理想二字,元件都指理想元件。

1) 电阻: 这种负载工作时将电能转换成其他形式的能量,而且这种转换是不可逆的。如: 电灯把电能转换成光能,电烙铁把电能转换成热能,电动机把电能转换成机械能。

电阻分线性电阻和非线性电阻两种。线性电阻的特点是元件的电阻值是一常数,与通过它的电流或作用于其两端电压的大小无关。非线性电阻的电阻值不是常数,与通过它的电流或作用于其两端的电压有关。

2) 电感: 这种负载将电能转换为磁场能,这种转换通常是可逆的,如电感线圈等负载就属于这种情况。

3) 电容: 这种负载将电能转换成为电场能,这种转换也是可逆的,如电容器。

3. 中间环节: 包括开关和连接导线等。

开关属于控制电器,用于控制电路的接通或断开。

连接导线将电源和负载连接起来,担负着电能的传输和分配任务。

三、电路图

用电气设备的实物图形表示的实际电路很直观,但画起来很复杂,不便于分析和研究。因此,在分析和研究电路时,把这些实际设备抽象成一些理想化的模型,用规定的图形符号表示,可画出电路模型图,如图 1-3(b) 所示。这种用统一规定的图形符号画出的电路模型图称为电路图。

也就是说,电路都可以用电路图来表示,统一用国家规定的图形符号来代替实物,表示电路的各个组成部分。这样在绘制电路时就会非常方便,而且还便于我们对电路进行分析和研究。电路图中常用的部分器件图形符号如表 1-1 所示。

表 1-1 部分电工图形符号(摘自 GB4728-85)

图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号	名称
	开关		电阻器		接机壳
	电池		电位器		接地
	发电机		电容器		端子
	线圈		电流表		连接导线 不连接导线
	铁心线圈		电压表		熔断器
	抽头线圈		二极管		灯泡

四、电路的工作状态

电路有三种状态: 通路、开路、短路。

1. 通路: 是指电路处处接通。通路也称为闭合电路, 简称闭路。只有在通路的情况下, 负载才能正常工作。

2. 开路: 电路中某处断开, 没有形成通路的电路。开路也称为断路, 此时电路中没有电流。

3. 短路: 是指电源或负载两端被导线连接在一起, 分别称为电源短路或负载短路。电源短路时电源提供的电流要比通路时提供的电流大很多倍, 通常是有害的, 也是非常危险的, 所以一般不允许电源短路。

任务探索

看一看: 家里手电筒的电路是由哪几部分的组成的?

想一想: 家里用的电褥子和洗衣机里的电动机分别是什么负载的?

找一找: 你身边哪些是能产生电能的装置?

第二节 电路的基本物理量

学习目标

通过本节的学习, 你应该:

- ◇ 理解电流的形成, 掌握电流的方向、参考方向和大小
- ◇ 理解电压、电位、电动势的概念, 掌握电压、电位、电动势之间的关系
- ◇ 理解电阻的概念, 会应用电阻定律
- ◇ 理解电功、电功率的概念, 能应用电功、电功率、焦耳定律解决实际问题

一、电流

1. 电流的形成

我们知道, 任何物质都是由分子组成的, 分子是由原子组成的, 而原子又是由带正电的原子核和带负电的电子组成的。当给予一定外加条件时(如接上电源), 就能迫使金属或某些液体、气体中的正电荷或负电荷在电场力作用下发生有规则的运动, 如图 1-4 所示。

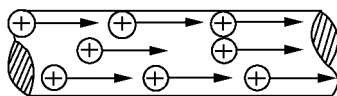


图 1-4 正电荷的定向移动

经研究分析, 形成电流必须具备两个条件:

①要有可以自由运动的电荷。在金属中是自由电子,在酸、碱、盐溶液里是可以自由运动的正离子和负离子,它们都带有电荷。因此,金属和酸、碱、盐溶液都可以形成电流。

②对自由运动的电荷必须外加电场力,电场由电压形成。保证有电压的装置就是电源,如电池等。

电荷的定向运动形成电流。电流是一种物理现象,是一个表示带电粒子定向运动强弱的物理量。

2. 电流的方向

电流可以是自由电子在电场力作用下的定向运动(如金属导体中),也可以是正、负离子在电场力作用下向着相反方向的运动(如电解液中)。我们规定正电荷定向运动的方向为电流方向。在金属导体中,电流的方向与自由电子的运动方向相反。

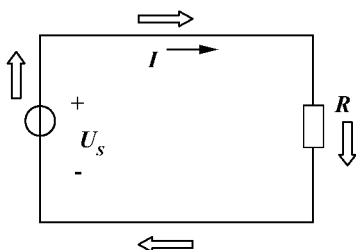


图 1-5 电流的方向

电流是一个标量,电流方向只表明电荷的定向运动方向。凡大小和方向不随时间变化的电流就称为稳恒电流,如图 1-6(a) 所示,简称直流。一般电池输出的是直流电流。大小随时间变化但方向不随时间变化的电流叫脉动电流,如图 1-6(b) 所示。凡大小和方向都随时间变化的电流称为交变电流,如图 1-6(c) 所示,简称交流,一般变电站送出的电流都是交流电流。

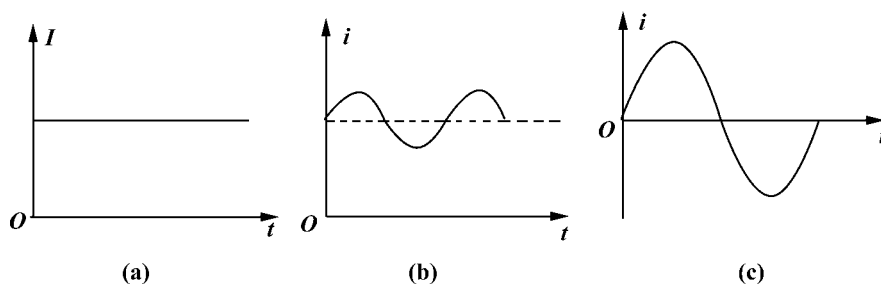


图 1-6 直流电流、脉动电流、交变电流

3. 电流的大小

电流的大小等于通过导体横截面的电荷量 q 与通过这些电荷量所用时间 t 的比值,称为电流强度(简称为电流),以字母 I 表示。其数学表达为:

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

式中 q —通过导体横截面的电荷量,单位是库仑,符号为 C;

t —通过电荷量 q 所用的时间,单位是秒,符号为 s;

I —电流,单位是安培,符号为 A.

若在 1s 内通过导体横截面的电量是 1C,则电流强度就是 1A.

在国际单位制中,电流的常用单位还有毫安(mA) 和微安(μA).

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

二、电压、电位、电动势

1. 电压

带电体的周围存在着电场,电场对处在电场中的电荷有力的作用。当电荷在电场中受到电场力作用而移动时,就说电场力对电荷做功了。在图 1-7 所示匀强电场中,正电荷 q 在电场力 F 的作用下,由 a 移动到 b ,如果电荷 q 移动的距离是 L_{ab} ,那么,电场力对电荷做的功 W_{ab} 为:

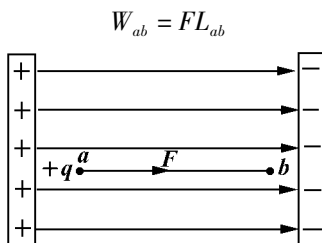


图 1-7 电荷在均匀电场中受到的电场力

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

U_{ab} —— a 、 b 间的电压,单位为伏特(V);

W_{ab} ——电场力移动正电荷做的功,单位为焦耳(J);

q ——电场力移动电荷的电荷量,单位为库仑(C).

如果电场力把 1C 电量的正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功为 1J,那么 a 、 b 间的电压就是 1V.

在国际单位制中,电压的单位为伏特,简称伏(V),也可用千伏(kV)、毫伏(mV) 表示。

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{V} = 10^3\text{mV}$$

我们规定电压的方向由高电位指向低电位,即电位降低的方向。电压的方向可以用高电位指向低电位的箭头表示,也可以高电位用“+”、低电位用“-”号的方式表示。

电压有正负。如果 $U_{ab} > 0$,说明 a 点的电位比 b 点的电位高; $U_{ab} = 0$,说明 a 点的电位与 b 点的电位相等; $U_{ab} < 0$,说明 a 点的电位比 b 点的电位低。

2. 电位

由于电压是对电路中某两点而言的,在分析较复杂的电路时,特别是在分析电子电路

时,要一一说明每两点间的电压往往很繁琐,但是,若利用电位的概念进行分析就比较方便了。如果在电路中任选一点为参考点,那么电路中某一点到参考点之间的电压称作该点的电位,用符号 U 表示。电路中任何一点的电位值是与参考点相比较而得出的,规定参考点的电位为零。参考点可以任意选取,但一个电路只能选取一个参考点,习惯上选大地为参考点。在实际电路中通常选取公共点或机壳为参考点,比其高者为正,比其低者为负。

电位的单位与电压相同,为伏特(V)。

电路中两点间的电压也可用这两点间的电位差来表示,即:

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-3)$$

电路中任意两点间的电压是不变的,与参考点的选择无关,但电位是一个相对量,其值随参考点选择的不同而不同。

3. 电压与电位的关系

电压和电位的单位都是伏特,但电压和电位是两个不同的概念。电压是衡量电场力做功能力大小的物理量,其方向为高电位指向低电位,电源内、外部电路均有电压,电压与参考点的选择无关;而电位是电路中某一点到参考点之间的电压,它是相对值,与参考点的选择有关。

例 1-1 如图 1-8 所示的电路中,以 O 为参考点, $U_A = 8V$, $U_B = 5V$, $U_C = -3V$ 。求

1) U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{AC} ;

2) 若以 B 点为参考点,求各点的电位。

解

$$1) U_{AB} = U_A - U_B = 8 - 5 = 3V$$

$$U_{BC} = U_B - U_C = 5 - (-3) = 8V$$

$$U_{AC} = U_A - U_C = 8 - (-3) = 11V$$

2) 若以 B 点为参考点,则 $U_B = 0$

$$U_A = U_{AB} = 3V$$

$$U_B = 0$$

$$U_C = -U_{BC} = -8V$$

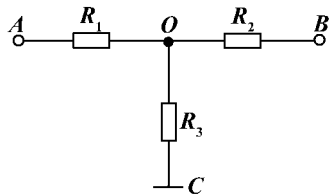


图 1-8

4. 电源电动势

如图 1-9 所示,电源外部电路中,在电场力的作用下,正电荷由电源正极(高电位)沿导线和灯泡移动到电源负极(低电位)。即正电荷从高电位端 A 沿着导线和负载向低电位端 B 移动,电极 A 因正电荷的减少而使电位逐渐降低,电极 B 因正电荷的增多而使电位逐渐升高,其结果是 A 和 B 两电极间的电位差逐渐减小到零。与此同时,导线中的电流也会相应减小到零。

为了维持导线中的电流连续并保持恒定,必须使 A 、 B 间的电压保持恒定,即必须有一种非电场力去克服电场力使得电极 B 上的正电荷通过电源内部移向电极 A 。我们就把这种在电源内部,由于其他形式能量的作用而产生的一种对电荷的作用力称为电源力。

由于电源力对电荷的作用,使电源两端产生电位差。不同的电源中,电源力的来源不同。例如:电池中的电源力是电解液和极板间的化学作用产生的,发电机的电源力则是电磁

作用产生的。

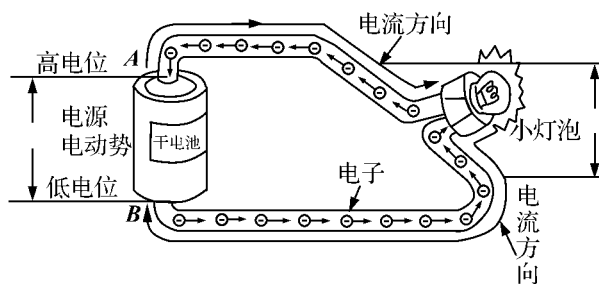


图 1-9

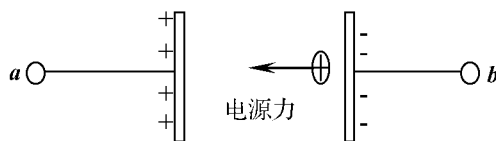


图 1-10 电源力做功

因此,在电源内部,电源力不断地把正电荷从低电位移到高电位。如图 1-10 所示,在这个过程中,电源力要反抗电场力做功,这个做功过程就是电源将其他形式的能转换成电能的过程。对于不同的电源,电源力做功的性质和大小不同,我们把这种衡量电源力做功能力大小的物理量叫做电源电动势。用 E 表示。

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

E ——电源电动势,单位为伏特(V);

W ——电源力移动正电荷做的功,单位为焦耳(J);

q ——电源力移动电荷的电荷量,单位为库仑(C)。

在发电机中,电源力由原动机(内燃机、水轮机、汽轮机)提供。在电池中,电源力由电极与电解液接触处的化学反应产生。电源力克服电场力所做的功使电荷得到能量,把非电能转化为电能。

电动势的实际方向与电压的实际方向相反,规定为在电源内部由低电位端指向高电位端,即电位升高的方向。

5. 电压与电源电动势的区别

电压是衡量电场力做功能力的物理量,方向为高电位指向低电位;电动势是衡量电源力做功能力的物理量,方向为低电位指向高电位。

三、电阻

1. 电阻的概念

自然界的物质都存在着电阻,导体的电阻小,非导体的电阻大。金属是很好的导体,导体中的自由电子在电场力的作用下定向运动,形成电流,作定向运动的自由电子会与金属中

的原子核及电子发生碰撞,使电流受到阻碍。我们就把反映导体对电流起阻碍作用大小的物理量称为导体的电阻。用字母 R 表示。任何物体都有电阻,当有电流流过时,都要消耗一定的能量。

2. 电阻定律

导体电阻的大小不仅和导体的材料有关,还和导体的尺寸有关。经实验证明:在温度不变时,一定材料制成的导体的电阻跟它的长度成正比,跟它的截面积成反比。这个实验规律叫做电阻定律。

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

式中 ρ —电阻率,其值由导体材料的性质决定,单位是欧[姆]米,符号为 $\Omega \cdot \text{m}$;

L —导体的长度,单位是米,符号为 m ;

S —导体的截面积,单位是平方米,符号为 m^2 ;

R —导体的电阻,单位是欧[姆],符号为 Ω 。

在国际单位制中,电阻的常用单位还有千欧($\text{k}\Omega$)和兆欧($\text{M}\Omega$)。

导体的电阻不仅和材料、尺寸有关,还和温度有关,金属的温度升高,电阻增大。电阻是导体的固有属性,不随导体的端电压而变。没有电压,导体的电阻仍然存在。

3. 常用电阻器

电阻器有时也简称电阻,它分为固定电阻器和可变电阻器两类。常用的固定电阻器有线绕电阻、薄膜电阻、实心电阻三种。可变电阻器的阻值可在一定范围内变化,具有三个引出端的常称为电位器。常用电阻器的外形如图 1-11 所示。

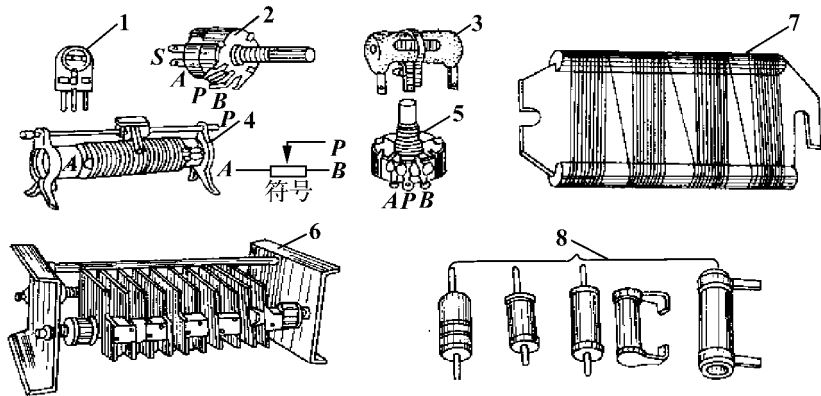


图 1-11 常见电阻器的外形

1—微调硬膜电位器,2—绕线电位器(带开关),3—绕线电阻器,4—滑线式变阻器,5—硬膜电位器,6—实心电位器(带散热器),7—绕线电阻器(带散热器),8—硬质电阻器和薄膜电阻器

4. 色环电阻标值识别法

较小的碳膜电阻阻值及误差,一般用色环来表示。即在电阻的一端上画有三道或四道

色环,如图 1-12 所示。

紧靠电阻端的为第一色环,其余依次为第二、三、四色环。第一色环表示阻值的第一位数字,第二色环表示阻值的第二位数字,第三色环表示阻值末尾有几个零,第四色环表示阻值的误差。色环的颜色所表示数字的意义如表 1-2 所示。

表 1-2 色环所代表数及数字意义

色别	第一色环 第一位数	第二色环 第二位数	第三色环 应乘位数	第四色环 误 差
棕	1	1	10	—
红	2	2	100	—
橙	3	3	1000	—
黄	4	4	10000	—
绿	5	5	100000	—
蓝	6	6	1000000	—
紫	7	7	10000000	—
灰	8	8	100000000	—
白	9	9	1000000000	—
黑	0	0	1	—
金	—	—	0.1	±5%
银	—	—	0.01	±10%
无色	—	—	—	±20%

例如,有一只电阻有四个色环,其顺序为棕、绿、黄、银。这个电阻的阻值就是 150000Ω ,误差为 $\pm 10\%$ 。另一只电阻只有红、紫、黑 3 道色环,其阻值则为 27Ω ,误差为 $\pm 20\%$ 。

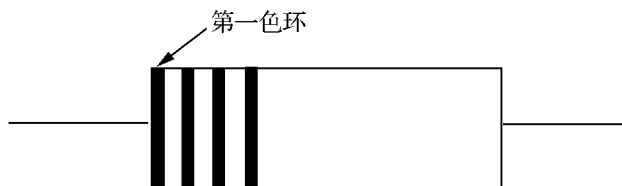


图 1-12 色环电阻标值法

例 1-2 一根铜导线长 $L = 1000\text{m}$, 截面积 $S = 1\text{mm}^2$, 已知铜的电阻率 $\rho = 1.75 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, 导线的电阻是多少?

解 根据 $R = \rho \frac{L}{S}$

得 $1.75 \times 10^{-8} \times \frac{1000}{1 \times 10^{-6}} = 17.5 (\Omega)$