

GAODENG ZHIYEJIAOYU
TONGYONGJIAOCAI

高等职业教育通用教材

技术物理 基础

下 册

黄伟民 吴伯善 编



高等教育出版社

高等职业教育通用教材

技术物理基础

下 册

黄伟民 吴伯善 编

高等教育出版社

内 容 提 要

本教材是根据全国五年制高等职业教育公共课开发指导委员会 2000 年审定的《〈技术物理基础〉课程基本要求》编写而成的。教材精选物理学的基本概念和规律,注意联系工程技术和社会生活实际,适当展示物理与高新技术及环境保护的关联,努力强调物理学所体现的科学精神和科学方法。

本教材的主要特点是宽而浅,教材中增加了不少密切联系技术应用的知识点,并充分注意了初中后学生的整体知识水平,降低了理论分析和练习题的难度。

全书分上、下两册,下册包括恒定电流,电场和磁场,电磁作用力,电磁感应,光的反射、折射和吸收,光的波动性,光的发射和激光,物理效应和等离子体,物理量的工程测量。

本书可作为五年制高等职业教育的物理教材,也可供中学教师以及初、中级技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

技术物理基础.下册/黄伟民,吴伯善编. —北京:
高等教育出版社,2001.7
五年制高职物理教材
ISBN 7-04-009597-1

I. 技… II. 黄… III. 工程物理学—高等学校:
技术学校—教材 IV. TB13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 030596 号

技术物理基础 下册
黄伟民 吴伯善 编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号
电 话 010-64054588
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

邮政编码 100009
传 真 010-64014048

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京机工印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 9
字 数 210 000
插 页 2

版 次 2001 年 7 月第 1 版
印 次 2001 年 10 月第 3 次印刷
定 价 8.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书的主要特点是“宽而浅”。“宽”指的是增加了不少密切联系技术应用的知识点,因总课时所限,相应地削减了一些传统上常见的知识点。“浅”指的是所选入的内容的表述和讨论,充分注意以切合初中后学生的整体水平为前提;所编入的练习题,大部分都是很基本的题目。

本教材强调物理概念和规律“有什么用”,包括可用于说明什么现象,可应用于工程技术实际中的哪些方面等。至于对这些物理概念和规律的引入,大体上只以定性分析为铺垫,而不着意于它们是“怎么来的”,因此有关的理论推导和演示实验的讨论,大部分从略。

本教材试图从物理原理的大处着眼,引导学生认识到 20 世纪巨大的科技进步,以及伴随而来的环境和资源的严重压力,学会正确地看待人和自然的关系。本教材的最后部分,从物理学与工程技术衔接的更广角度,较集中地讨论了物理效应、工程测量和传感器等内容,目的在于加强课程内容的综合性。

国际 21 世纪教育委员会,在 1996 年向联合国教科文组织提交的题为《学习的财富蕴藏在其中》的报告中指出:“教育应当促进每个人的全面发展,即分析、智力、敏感性、审美意识、个人责任感、精神价值等方面的发展”。如果赞同这一观点,那么它就应当是每部教科书共同追求,理工科教材也同样应当体现某种人文关怀。

编者希望,本教材中章首语录和“物理学家”栏目的设置,能对学生的个人责任感和价值取向有所启迪;正文中对科学精神和科学方法的强调,以及意在让学生亲自动手体验物理原理的小实验的安排,能对学生分析和感悟能力的培养有所助益。

厦门鹭江职业大学的黄伟民老师提出了本书的编写思路和内容构架,编写了上册及下册的 15.5 和 15.6 节、附录 E 和 F。集美轻工学校的吴伯善老师编写了下册的其余内容。黄伟民老师全书统稿。

编写本书时,参考了许多书刊,引用了其中的一些表述和数据。在此对有关资料的编著者一并致以深切的敬意和谢意。

诚挚地期盼着各种批评和指正。

编者

2001 年 2 月

目 录

第八章 恒定电流	(1)	12.5 光的色散	(72)
8.1 电阻定律 欧姆定律	(1)	12.6 介质对光的吸收	(74)
8.2 电阻的联接	(4)	第十三章 光的波动性	(77)
8.3 电功 电功率 焦耳定律	(8)	13.1 看不见的光	(77)
8.4 电源电动势	(10)	13.2 光的电磁本性	(78)
8.5 全电路欧姆定律	(11)	13.3 由双缝产生的光的干涉	(80)
第九章 电场和磁场	(15)	13.4 由薄膜引起的光的干涉	(83)
9.1 电场 电场强度	(15)	13.5 光的衍射和偏振	(85)
9.2 电容器 电容	(18)	第十四章 光的发射 激光	(90)
9.3 电介质	(20)	14.1 原子和原子核的构成 核能	(90)
9.4 磁场	(22)	14.2 放射性	(92)
9.5 电流的磁场	(25)	14.3 能级和跃迁	(95)
9.6 磁介质	(28)	·物理学家·玻尔(1885—1962)	(97)
第十章 电磁作用力	(30)	14.4 激光和激光器	(98)
10.1 电场对运动电荷的作用	(30)	14.5 激光的应用	(100)
10.2 磁场对通电直导线的作用	(32)	第十五章 物理效应 等离子体	(102)
·物理学家·安培(1775—1836)	(34)	15.1 压电效应 压磁效应	(102)
10.3 磁场对通电矩形线圈的作用	(35)	15.2 温差电效应	(104)
10.4 磁场对运动电荷的作用	(37)	15.3 霍尔效应	(106)
10.5 磁聚焦	(40)	15.4 光电效应	(107)
第十一章 电磁感应	(42)	15.5 等离子体	(109)
11.1 电磁感应	(42)	15.6 等离子体的技术应用	(111)
11.2 电磁感应定律	(46)	第十六章 物理量的工程测量	(114)
·物理学家·法拉第(1791—1867)	(49)	16.1 温度的测量	(114)
11.3 正弦交流电	(50)	16.2 压强的测量	(116)
11.4 互感和自感	(52)	16.3 转速的测量	(118)
11.5 电磁场和电磁波	(55)	16.4 流速和流量的测量	(120)
·物理学家·麦克斯韦(1831—1879)	(57)	16.5 传感器	(121)
11.6 无线电波的发射	(57)	附录	(126)
第十二章 光的反射、折射和吸收	(61)	附录 C 法定计量单位(Ⅱ)	(126)
12.1 光的反射和折射	(61)	附录 D 常用物理常量	(127)
12.2 全反射	(65)	附录 E 关于数据和习题的几点说明	(128)
12.3 凸透镜成像	(67)	附录 F 常用汉英技术物理名词	(129)
12.4 光学仪器	(70)		

真理,哪怕只见到一线,我们也不能让它的光辉变得暗淡。

——李四光

第八章 恒定电流

大量电荷的定向移动形成了电流,电流的形成伴随着电能向其他形式能量的转换,使电能造福于人类.本章要介绍的知识,有助于你掌握用电的规律.

8.1 电阻定律 欧姆定律

电流 合上开关,电灯撒下一片光明.你知道,这时有电流通过灯丝.电流的形成是由于导体两端有电压.

形成电流的现象叫做导电.金属导体中是电子导电.离子也会导电,比如,给插入电解液(酸、碱、盐水溶液等)的两个电极加上电压,正离子向阴极(负极)移动,负离子向阳极(正极)移动,它们共同形成了电流.电解液导电同时发生了电解:正离子在阴极上得到电子,发生了还原反应;负离子在阳极失去电子,发生了氧化反应.电解广泛用于电镀、电冶等工艺过程.气体通常不导电,但被加热或加电压而离解成电子和离子时,就兼有了电子和离子两种导电方式.气体导电又称为气体放电,它能发光.在气体放电中,闪电是最壮观的,霓虹无疑是最美丽的.

导电时电流有强有弱.衡量电流强弱的物理量叫做电流强度,简称**电流**(I).

在时间 t 内,通过导体某一横截面的电荷量 q 与这段时间的比值,叫做通过这一横截面的**电流**,即

$$I = \frac{q}{t} \quad (8.1)$$

电流的单位是 A,单位名称安培, $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$. 电流是标量,但为了分清电流的流向,人们把大量正电荷定向移动的方向规定为电流的方向.这样,金属导体导电时,大量电子定向移动的方向与电流的方向相反,如图 8.1 所示.

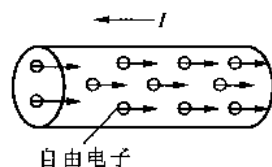


图 8.1 金属导体中的电流

方向不随时间而改变的电流叫做**直流**,方向和强弱不随时间而改变的电流叫做**恒定电流**.人们通常所说的“直流”,往往是指的恒定电流.

导体两端的电压必须是恒定的,才能形成恒定电流.如果电压随时间作周期性变化(这种电压叫做交变电压),导体中就形成了大小和方向随时间作周期性变化的**交变电流**,俗称交流电.

电阻和电阻定律 电荷在导体中定向移动时,沿途频繁地与离子、原子相碰撞,因此受到了阻碍.导体对电流的阻碍作用叫做导体的**电阻**(R),电阻的数值越大,表明阻碍作用越大.电阻的

数值叫做电阻值,也常被简称为阻值或电阻,电阻的单位是 Ω ,单位名称欧姆。

电阻是导体本身的属性,与电流的存在与否无关。实验表明,

由同一材料制成的粗细均匀的一段导体,在一定的温度下,它的电阻 R 与它的长度 L 成正比,与它的截面积 A 成反比。

这叫做电阻定律,可表示为

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (8.2)$$

式中,比例系数 ρ 叫做电阻率,单位是 $\Omega \cdot \text{m}$,单位名称欧姆米。电阻率反映各种物质不同的电阻特性;电阻率大的材料,导电性能差。电阻率的倒数叫做电导率(σ),单位是 S/m ,单位名称西门子每米, $1 \text{ S/m} = 1 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$;电导率大的材料,导电性能好。

通常, $\rho < 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ 的物体叫做导体, $\rho > 10^8 \Omega \cdot \text{m}$ 的物体叫做绝缘体(电介质),介于两者之间的叫做半导体。纯水的电阻率在 $10^4 \Omega \cdot \text{m}$ 左右。绝缘体若受潮,绝缘性能明显下降。氯化锂等物质对潮湿很敏感,把它们涂覆在绝缘板上,制成了电阻湿度计的感测元件,测出绝缘板电阻的变化,就可测出空气湿度的变化。

表 8.1 列出了一些材料的电阻率。

表 8.1 一些材料的电阻率(20℃时)

材 料	$\rho/(\Omega \cdot \text{m})$	材 料	$\rho/(\Omega \cdot \text{m})$
铜	1.7×10^{-8}	钨	5.5×10^{-8}
银	1.6×10^{-8}	锰铜	4.4×10^{-7}
铝	2.8×10^{-8}	康铜	4.8×10^{-7}
铁	1.0×10^{-7}	碳	3.5×10^{-5}

欧姆定律 通过一段导体的电流 I ,与导体两端的电压 U 成正比,与这段导体的电阻 R 成反比,这叫做欧姆定律:

$$I = \frac{U}{R} \quad (8.3)$$

根据上式, $U = IR$, $R = U/I$ 。可以看出, $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$ 。导体电阻不变时,电流与电压的正比关系可用图 8.2(a)的 $U-I$ 图象表示,它是通过原点的一条直线。欧姆定律适用于金属导体和电解液。如果物体的电阻会随电流和电压变化,即电阻不是一个常量,这时欧姆定律就不适用, $U-I$ 图象不是一条直线。图 8.2(b)是半导体晶体二极管导电的 $U-I$ 图象,它不是直线, $U-I$ 图象常被叫做伏安特性曲线。

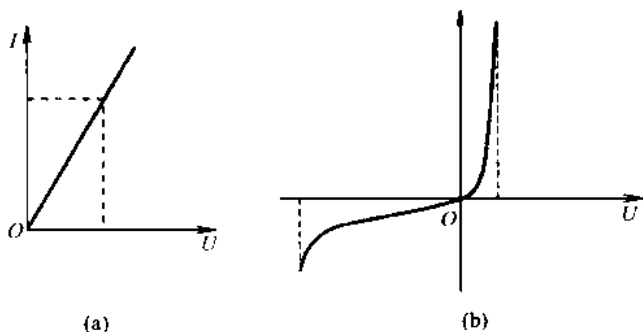


图 8.2 伏安特性曲线

半导体 导电性能介于金属和绝缘体之间的固体材料叫做半导体。在纯净的半导体中,掺入极微量的杂质,它的导电性能会上百万倍地增强。半导体中形成电流的带电粒子,叫做载流子。主要载流子是电子的叫做 N 型半导体,主要载流子是带正电的空穴的叫做 P 型半导体。

图 8.3 中,P 型半导体和 N 型半导体紧密地结合,构成了晶体二极管。在这两种材料结合处所形成的薄层,叫做 PN 结。把电池接到晶体二极管的电路中,如图 8.4(a)的接法叫做正向接法,

P区的空穴和N区的电子在电压驱动下(电场作用下),越过PN结,形成了正向电流.图8.4(b)的接法叫做反向接法,这时电场阻碍载流子流动,反向电流极小,晶体二极管不导通.这样,就形成了晶体二极管的单向导电性.

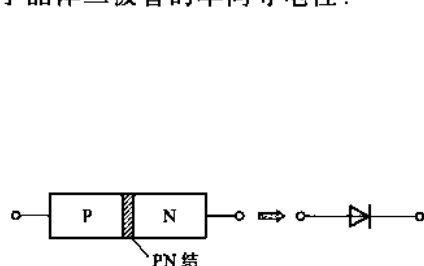


图 8.3

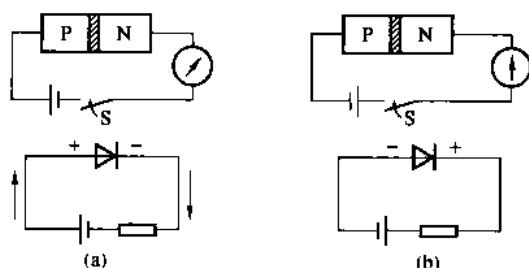


图 8.4 PN 结的单向导电性

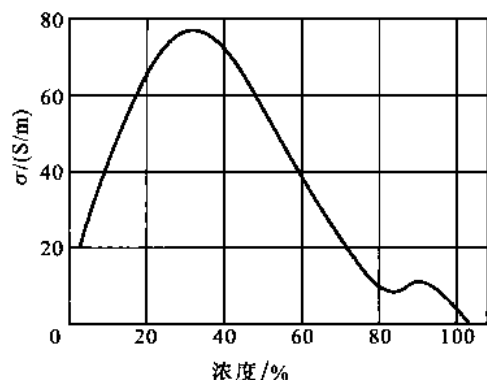
半导体应用十分广泛,制成了具有特殊功能的元器件,如晶体二极管和三极管,激光器和光电探测器等.各种半导体敏感电阻,如热敏、光敏、力敏、磁敏、气敏等电阻,大都用作自动控制的传感元件.

半导体器件是世界上人工制成的最小、最精致的固体功能器件,在一个指甲盖大小的硅片上,可以集成有几百万个晶体管,它们制成了功能强大的微处理器和电子计算机.不久前,我国科学家研制出主动式生物芯片,从而在这一新兴高技术领域走在了国际前列.一个小小的生物芯片,竟然储存着极为丰富的生物信息,能使生物分子分析过程全自动化,分析速度成千上万倍地提高,所需样品及化学试剂成千上万倍地减少.生物芯片技术,将给 21 世纪生命科学和医学研究带来一场革命.

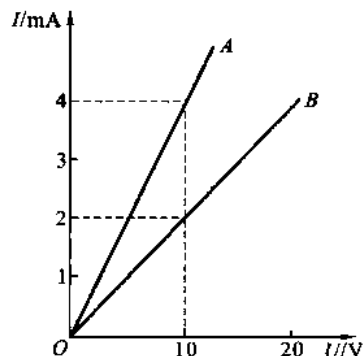
练 习 题

8.1 工业上的测温铜电阻,一般用直径 $d = 0.1 \text{ mm}$ 的漆包铜丝绕制,它在 0°C 时的电阻 $R_0 = 53 \Omega$,求铜丝在 0°C 时的长度.(铜在 0°C 时的电阻率 $\rho_0 = 1.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$)

8.2 一条粗细均匀的导线,电阻为 2Ω .现在要使它的电阻改变为 18Ω ,应把它的长度均匀地拉伸为原来的几倍?



题 8.3 图 硫酸浓度与其电导率的关系



题 8.5 图

8.3 电解液的导电性能与其浓度有关,题 8.3 图是硫酸浓度与其电导率的关系曲线。(1)硫酸浓度为多少时,溶液的导电性能最好?(2)若测出硫酸溶液的电导率为 40 S/m ,该溶液的浓度是多少?

8.4 有一段导线的电阻为 0.1Ω ,作出它的 $U-I$ 图象。

8.5 题 8.5 图中,两条 $U-I$ 图象分别与 A、B 两个电阻相对应。依次回答:(1)A、B 哪个电阻值大?(2)A、B 的电阻值各是多少?

8.6 人体通过 50 mA 电流时,会引起呼吸器官麻痹而导致生命危险。表皮破损后的人体最小电阻约为 800Ω ,问人体允许承受的电压是多大?(国家规定,照明用电的安全电压为 36 V)

8.2 电阻的联接

电阻的串联 图 8.5 是电阻串联电路,你已知道,通过串联电路各电阻的电流都等于 I ,串联电路的等效电阻(总电阻) R 等于各电阻之和($R = R_1 + R_2 + R_3$)。串联电路还有一个重要性质:它两端的总电压等于各电阻电压之和,即

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

各电阻分配到的电压分别是

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= IR_1 = \frac{R_1}{R} U \\ U_2 &= IR_2 = \frac{R_2}{R} U \\ U_3 &= IR_3 = \frac{R_3}{R} U \end{aligned} \right\} \quad (8.4)$$

串联电路的这种作用叫做分压作用。

串联电路中各个电阻的电压与它的电阻值成正比;电阻值越大,分到的电压就越大。

以上各式可推广到更多电阻的情况。

【例 8.1】 电压表和电流表是由电流计(也叫做表头)改装的,它们能测量的最大值叫做量程,也称为满偏值。图 8.6 中,电流计内阻 $R_g = 1.0 \times 10^3 \Omega$,满偏电流(允许通过的最大电流) $I_g = 1.0 \times 10^{-2} \mu\text{A}$,如何把它改装为量程为 10 V 的电压表?

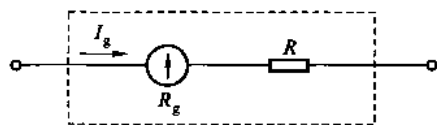


图 8.6

解 电流计允许承担的最大电压

$$U_g = I_g R_g = 1.0 \times 10^{-2} \times 10^{-6} \times 1.0 \times 10^3 \text{ V} = 0.10 \text{ V}$$

要使电压表量程 $U = 10 \text{ V}$,表头应串联一分压电阻 R ,让它分担的电压

$$U_R = U - U_g = (10 - 0.10) \text{ V} = 9.9 \text{ V}$$

由于串联电路中电阻的电压与电阻值成正比,由 $U_R/U_g = R/R_g$,得

$$R = \frac{U_R}{U} R_R = \frac{9.9}{0.10} \times 1.0 \times 10^3 \Omega = 9.9 \times 10^4 \Omega$$

电阻的并联 图 8.7 是电阻并联电路,你已知道,并联电路各支路的电压都等于 U ,并联电路等效电阻 R 的倒数,等于各支路电阻倒数之和($1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$).并联电路还有一个重要性质:干路电流(总电流)等于各支路电流之和,即

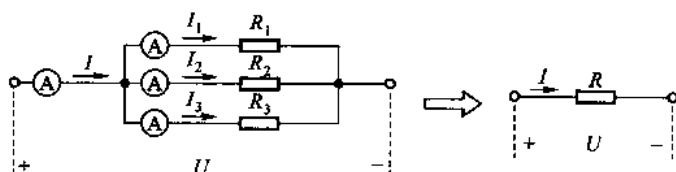


图 8.7 电阻的并联

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

各支路的电流

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} = \frac{R}{R_1} I \\ I_2 &= \frac{U}{R_2} = \frac{R}{R_2} I \\ I_3 &= \frac{U}{R_3} = \frac{R}{R_3} I \end{aligned} \right\} \quad (8.5)$$

并联电路的这种作用叫做分流作用。

并联电路各支路的电流,与它的电阻成反比;电阻越小的支路,电流就越大。

以上各式可推广到更多电阻的情况。

【例 8.2】 图 8.8 中,表头内阻 $R_g = 1.0 \times 10^3 \Omega$,满偏电流 $I_g = 1.0 \times 10^2 \mu A$ 。如何把它改装成量程为 $1.0 A$ 的电流表?

解 量程电流 $I = 1.0 A$,超过表头满偏电流,应并联一个分流电阻 R ,流过它的电流

$$I_R = I - I_g = (1.0 - 1.0 \times 10^2 \times 10^{-6}) A = 9.9 \times 10^{-4} A$$

由于并联电路各支路电流与它的电阻成反比,有 $I_g/I_R = R/R_g$,得

$$R = \frac{I_g}{I_R} R_g = \frac{1.0 \times 10^2 \times 10^{-6}}{9.9 \times 10^{-4}} \times 1.0 \times 10^3 \Omega = 0.10 \Omega$$

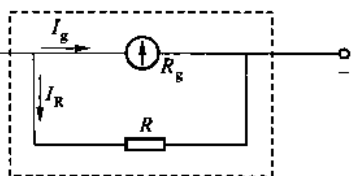


图 8.8

电阻的混联 实际电路中,往往有串联又有并联,这种电路叫做混联电路,计算混联电路的等效电阻,一般采用电阻逐步合并的方法。

【例 8.3】 图 8.9 是一个混联电路, $R_1 = 7 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$, $R_3 = 3 \Omega$, $R_4 = 9 \Omega$, A、B 两端电压 $U_{AB} = 20 V$ 。求电路的总电流 I 。

解 求出电路的等效电阻 R ,才能求出 I 。设 C、D 间的等效电阻为 R_{CD} ,因 R_3 与 R_4 串联后再与 R_2 并联,因此可得

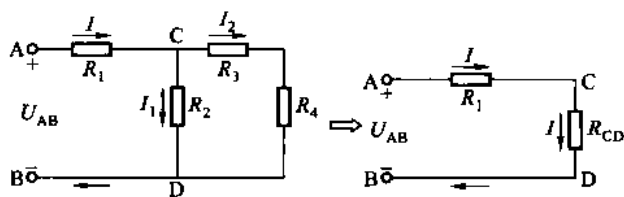


图 8.9

$$R_{CD} = \frac{R_2(R_3 + R_4)}{R_2 + (R_3 + R_4)} = \frac{4 \times (3 + 9)}{4 + (3 + 9)} \Omega = 3 \Omega$$

因 R_1 与 R_{CD} 串联, 因此

$$R = R_1 + R_{CD} = (7 + 3) \Omega = 10 \Omega$$

电路总电流

$$I = \frac{U_{AB}}{R} = \frac{20}{10} \text{ A} = 2 \text{ A}$$

图 8.10 中, 电阻 R 两端电压为 U_{AB} . 在这里, 电压也叫做电势差, 即 A、B 两点电势之差. 电流从 A 经 R 流向 B, 我们说 A 点的电势比 B 点的电势高, 犹如水流从地势高的地方流向地势低的地方. 在电路中, 电流从电源正极经 R 流向电源负极, 所以电源的正极电势比负极高. 如果开关 S 断开, 没有电流流过 R , R 两端电压为零, A、B 两点就没有电势差, 即 A、B 的电势相等.

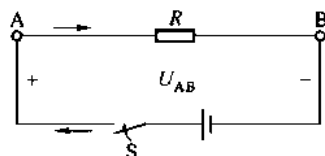


图 8.10

电桥 图 8.11 所示的电路叫做直流电桥. 电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 分别是电桥的一个臂. 合上开关, 若 B、D 间有电流, 检流计 G 的指针会偏转; 若 G 不偏转, 表明 $I_g = 0$, 这时我们说电桥平衡了. 满足什么条件, 电桥才会平衡呢? 电桥的平衡条件是

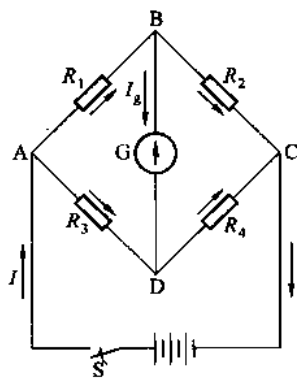


图 8.11 直流电桥

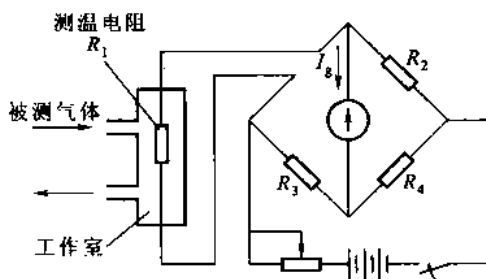


图 8.12 测爆仪示意图

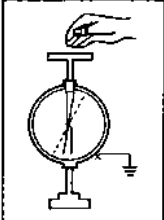
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (8.6)$$

此式常写成

$$R_1 = \frac{R_3}{R_4} R_2$$

已知 R_2 、 R_3 、 R_4 , 就可求得 R_1 , 因此, 电桥可用来精确地测量电阻。

电桥在工程量测量和自动控制中应用极为广泛。比如, 为了防止火灾和爆炸, 可用测爆仪测量空气中可燃气体(如乙炔、汽油蒸气、瓦斯等)的含量。图 8.12 中, 测温电阻 R_t 置于工作室中, 被测气体被导入后燃烧放出热量, R_t 的电阻值随着热量的多少(亦即温度的高低)作相应变化, 测出 I_g , 就可知气体的含量。工业生产中, 利用一些转换元件, 可以将被测的工程量转换为电阻值, 阻值的变化引起 I_g 的变化; 测量 I_g 就可知被测量的数值, 把 I_g 放大后还可以操纵执行机构, 实现生产自动控制。



用滑动变阻器控制一盏灯, 使变阻器触头向一个方向移动过程中, 电珠由亮变暗, 再变亮。所需器材: 2.5 V 电珠, 滑动变阻器(10 Ω /2 A), 干电池 4 节。请设计出方案并动手做一做。

小实验

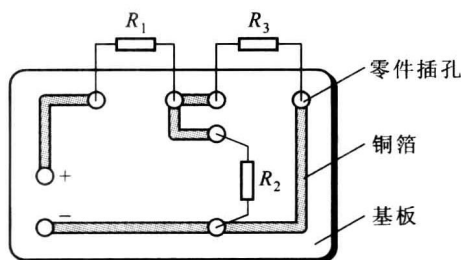
练 习 题

8.7 一根均匀导线的电阻值为 4 Ω , 将它对折后合并成一根导线, 电阻多大?

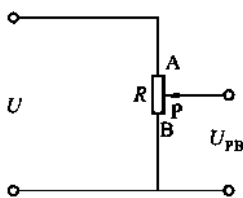
8.8 三只 6 Ω 的电阻, 可以有几种联接方式, 每种方式的等效电阻是多少?

8.9 电子仪器中常用的“印刷电路”, 是用腐蚀的方法在铜箔基板上留下需要的线路, 零件引出线穿过插孔焊接在铜箔上。请根据题 8.9 图所示的印刷电路板, 画出电阻联接图。

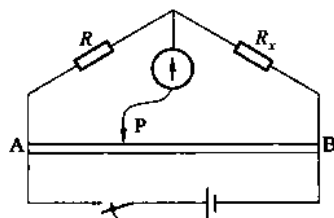
8.10 题 8.10 图是一种分压器电路图, 它可以输出连续变化的电压。在变阻器 R 的滑动触头 P 从 A 滑到 B 的过程中, 输出电压 U_{PB} 从 U 变为零。说一说它的工作原理。



题 8.9 图 印刷电路



题 8.10 图



题 8.14 图

8.11 直流电动机的线圈电阻很小, 起动时电流很大, 会产生不良后果。为了减小起动电流, 需给它串联一个起动电阻 R , 待电动机起动后再把 R 逐渐减小。如果电源电压为 220 V, 电动机线圈电阻为 2.0 Ω , 那么, (1) 不串联起动电阻时, 起动电流多大? (2) 为了使起动电流减小为 20 A, R 应多大?

8.12 一个量程 10 V、表头内阻为 5.0 k Ω 的电压表, 要把量程扩大到 50 V, 应如何改装?

8.13 一个量程 150 mA、表头内阻为 0.20 Ω 的电流表, 要把量程扩大到 450 mA, 应如何改装?

8.14 在题 8.14 图所示的电桥电路中, R_x 是被测电阻, $R = 40 \Omega$, AB 是一段均匀的滑线电阻, 当滑动触头 P 在 AB 的 $2/5$ 位置上时, 检流计指针不偏转, 求 R_x 。

8.3 电功 电功率 焦耳定律

电功 电流通过时, 电炉生热, 电动机驱动机器运转……在这里, 发生了电能向其他形式能量的转换。电能转换为其他形式能量的数量, 用电功 (W) 来量度。

图 8.13 所示的一段电路中, 负载 (电灯、电动机、电解槽等) 两端电压为 U , 流过的电流为 I , 在时间 t 内, 电流做的功 (电功)

$$W = UIt \quad (8.7)$$

不管负载把电能转换成什么形式的能量, 都可用上式计算电功。

图 8.13

特别地, 若负载是纯电阻性的, 如电阻器、电炉、电灯等, 根据欧姆定律, 还可用下面公式计算电功:

$$W = I^2 R t, W = \frac{U^2}{R} t \quad (8.8)$$

电功的单位是 J, $1 \text{ J} = 1 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}$ 。

电功率 电流做功的快慢, 用电功率 (P) 来描述, 它是电功 W 和做这些功所用时间 t 的比值, 即

$$P = \frac{W}{t}$$

根据式 (8.7), 有

$$P = UI \quad (8.9)$$

上式适用于各种负载。特别地, 若负载是纯电阻性的, 还可用下面公式来计算电功率:

$$P = I^2 R, P = \frac{U^2}{R} \quad (8.10)$$

电功率的单位是 W, $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot \text{A}$ 。

用电器上一般都标明它的额定电压和额定功率, 由此可计算出额定电流; 对纯电阻性的用电器, 还可以计算出它的电阻值。如果不在额定电压下工作, 用电器消耗的实际功率不等于额定功率。特别要防止工作电压超过额定电压, 因为这种情况容易发生事故。

在生产和生活中, 还采用 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 作为计算用电器耗能的单位, $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ 。

[例 8.4] 图 8.14 是一种电饭锅的加热、保温电路简图。开关 S 闭合时, 开始加热煮饭 (图 8.14(a)); 水煮干后, 电饭锅底温度升至 $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 时, 感热元件自动切断开关 S (图 8.14(b)), 处于焖饭保温状态。已知 $R_1 = 57 \Omega$, $R_2 = 520 \Omega$, 分别求加热和保温两个阶段电路消耗的电功率。

解 加热时, R_2 被短路, 此时消耗的电功率

$$P = \frac{U^2}{R_1} = \frac{220^2}{57} \text{ W} = 8.5 \times 10^2 \text{ W}$$

保温时, R_1 和 R_2 串联的等效电阻 $R = R_1 + R_2 = 577 \Omega$, 此时电路消耗的电功率

$$P' = \frac{U^2}{R} = \frac{220^2}{577} \text{ W} = 84 \text{ W}$$

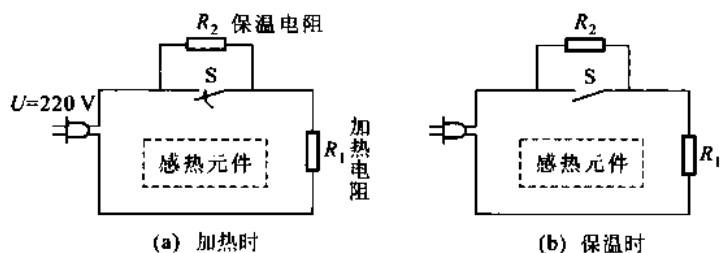


图 8.14

焦耳定律 电流通过导体(电阻)时,导体会发热,这叫做**电流的热效应**.1840年,焦耳根据精确的实验指出:

电流通过导体时产生的热量 Q ,与电流 I 的二次方、导体的电阻 R 及通电时间 t 的乘积成正比.

这叫做**焦耳定律**.采用 SI 单位时,焦耳定律可用下式表述:

$$Q = I^2 R t \quad (8.11)$$

根据欧姆定律,式(8.11)还可表述为

$$Q = U I t = \frac{U^2}{R} t \quad (8.12)$$

式中 Q 常被叫做**焦耳热**或**电热**,单位是 J.

焦耳定律是设计电照明、电热设备及计算各种电气设备温升的重要依据.输电线及各种用电设备、仪表和电子元件,由于焦耳热,不仅白白消耗电能,还会因温升而改变性能和参数,甚至造成故障和损坏.因此,通常要采取降温措施,如用水来冷却,配用电扇或空气调节器等.

请注意,只有在纯电阻电路中,电路消耗的全部电能才都转换为内能,此时焦耳热等于电功.如果电路中含有非纯电阻性负载(如电动机、电解槽等),电能只有一小部分转换成负载内部电阻的内能,大部分转换为其他形式的能量(如机械能、化学能等),这时用 $W = U I t$ 来计算电功(即所消耗的总电能),而用 $Q = I^2 R t$ 来计算负载内部电阻消耗的焦耳热.显然, $W > Q$.

【例 8.5】 输电线的电阻 $R = 1.0 \Omega$, 电站的输出功率 $P = 100 \text{ kW}$. 求下述两种情况下输电线上损失的热功率: (1) 用 10 kV 的电压输电; (2) 用 400 V 的电压输电.

解 输电方式如图 8.15 所示. 输电线的等效电阻 R 与负载串联, 负载不一定是纯电阻性的, 线路中的电流

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

(1) $U = 10 \text{ kV}$ 时, 输电线上发热损失的功率

$$P_Q = I^2 R = \left(\frac{1.0 \times 10^5}{1.0 \times 10^4} \right)^2 \times 1.0 \text{ W} = 1.0 \times 10^2 \text{ W}$$

(2) $U' = 400 \text{ V}$ 时, 输电线上发热损失的功率

$$P'_Q = \left(\frac{P}{U'} \right)^2 R = \left(\frac{1.0 \times 10^5}{400} \right)^2 \times 1.0 \text{ W} \approx 6.3 \times 10^4 \text{ W}$$

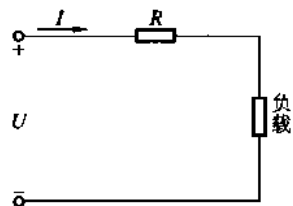


图 8.15

讨论 输电线上发热损失的功率, 用 10 kV 输电时比用 400 V 输电时小得多. 远距离输电必须使用高电压的道理, 你明白了吗?

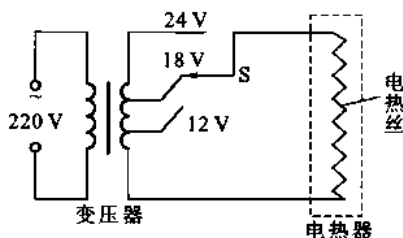
练习题

8.15 海中双鳍电鳐阵发性放电时,放电电流为 50 A,放电电压可达 80 V,问电鳐一次放电的功率可达多少?

8.16 电热驱蚊器采用了陶瓷电热元件(PTC),通电后自动维持在适当温度上,使驱蚊药受热挥发.驱蚊器平均功率 5 W,它连续正常工作 10 h,消耗多少 kW·h 电能?

8.17 一支金属壳电热管,额定电压 220 V,额定功率 800 W,求它的电阻和额定电流.

8.18 一台直流电动机,电阻为 $2.0\ \Omega$,工作电压为 220 V,通过电动机的电流为 4.0 A.求:(1)电动机从电源吸收能量的功率;(2)电动机发热的功率;(3)电动机把电能转换为机械能的功率.



题 8.19 图

8.19 题 8.19 图是一种国产调温型电热毯的电路图,220 V 交流电压经变压器降至安全电压.工作电压为 24 V 时,电热丝功率为 60 W.那么,电热丝在 18 V、12 V 电压下工作时,消耗的功率各是多少?

8.4 电源电动势

电源 负载工作时消耗电能.为了让负载持续工作,就要依靠电源不断向电路补充电能.电源是把其他形式能量转换为电能的装置.比如,利用化学作用,干电池、蓄电池把化学能转换为电能;依靠电磁感应作用,发电机把机械能转换为电能.

各种交、直流发电机是输出强大电力的电源,而电池则是一种便于携带的直流电源.

随着科技的进步和各个领域对电池的需求,除了碳-锌干电池和铅蓄电池外,各种新颖电池纷纷问世.

银-锌电池重量轻,能大电流放电,应用在宇宙航行、人造卫星和火箭上.电子表、助听器、通信设备中也能见到它的踪影.

燃料电池可以把燃料(如天然气、石油、氢等)的化学能直接转换为电能,能量利用率高,很少污染,在军用和民用的各个领域已展现出广阔的应用前景.

太阳电池把太阳光的能量转换为电能.目前用于人造卫星、宇宙航行的太阳电池是半导体制成的,主要是硅光电池.

数字式手机上所用的镍-氢电池和锂电池,已为人们所熟悉.它们轻巧,电力足,且可反复充电,使用寿命长.我国科学家应用纳米技术研制的新型锂电池,功能更加强大.

电池中的电解液及一些金属(如镉、汞)是有毒的,电池报废后你千万别乱扔,那样会长期、严重污染环境,应由有关部门统一回收处理.

电动势 测量未接入电路的电池两极间的电压,干电池是 1.5 V,铅蓄电池是 2.0 V.可见,电源两极间电压的大小,是由电源本身的性质决定的.人们用**电动势**(E)来表征电源的这种特性:

电源的电动势,等于电源没有接入电路时两极间的电压.

电动势的单位与电压的单位相同,也是 V.这样,干电池的电动势是 1.5 V,铅蓄电池的电动势是 2.0 V.

那么,电动势究竟表征电源的什么特性呢?人们发现,干电池能使每 1 C 电荷量具有 1.5 J 的电能,铅蓄电池能使每 1 C 电荷量具有 2.0 J 的电能.显然,把化学能转换为电能的本领,铅蓄电池比干电池大.

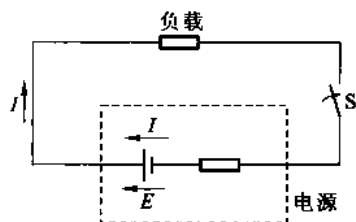


图 8.16 电动势的方向

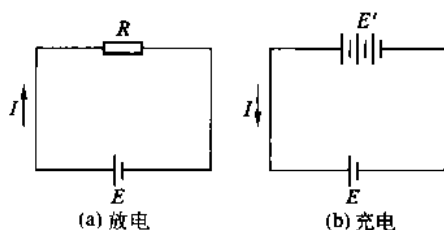
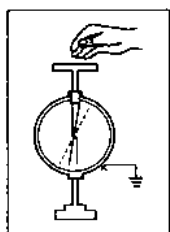


图 8.17 电池的放电和充电

电动势反映了电源把其他形式能量转换为电能的本领大小.

电动势是标量,与电流相似,它也规定有方向.如图 8.16 所示,电动势 E 的方向,与电源内部电流方向相同,即从负极经电源内部到正极.

电池的放电和充电 如图 8.17(a)所示,电动势为 E 的铅蓄电池通过电阻 R 放电,消耗了电池储存的化学能.经过一段时间,必须给铅蓄电池充电,以补充化学能.充电方法如图 8.17(b)所示,把一个电动势为 E' ($E' > E$) 的电源接到电池上,正极与正极相连,负极与负极相连.充电时,电源通过放电,把部分电能转换为化学能补充给电池,并在电池中储存起来.



小实验

把音乐贺卡的纽扣电池取下,原来接电池正极的一端接上铜线,接负极的一端接上锌条(可从废电池的外壳剪下来),然后把铜线和锌条插入浸透盐水的吸水纸团中,贺卡会奏出原有的乐曲.有时,插入柠檬、苹果等水果中,也有同样效果.

8.5 全电路欧姆定律

全电路欧姆定律 图 8.18 中含有电源的闭合回路,叫做全电路.

电流通过电源时,电源会发热,表明电源有电阻,这叫做电源的内阻(R_i).全电路由两部分组成:一是电源内部的电路,叫做内电路,内阻上的电压叫做内电压(U');一是电源外部的电路,叫做外电路,外电路两端的电压叫做外电压(U),通常称为路端电压.在闭合回路中,从电源两极测出的电压是路端电压(不是内电压).

实验表明,随着外电路等效电阻 R 的改变, U 、 U' 也会改变;但不管怎样改变, $U + U'$ 是一个常量,且等于 E 。

电源的电动势等于闭合回路的内、外电压之和,即

$$E = U + U' \quad (8.13)$$

由于 $U = IR$, $U' = IR_i$, 于是 $E = U + U' = I(R + R_i)$, 可得

$$I = \frac{E}{R + R_i} \quad (8.14)$$

这是全电路欧姆定律的数学表达式,它表明:

全电路的电流,与电源电动势成正比,与内、外电阻之和成反比。

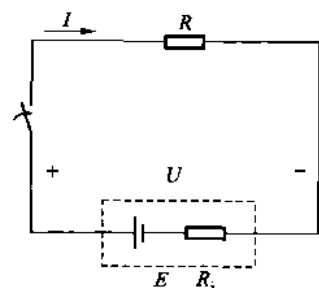


图 8.18 全电路

全电路欧姆定律是分析电路的重要依据。电源电动势和内阻,由电源本身性质所决定,分析电路时通常认为它们是不变的。

负载变化对路端电压的影响 根据式(8.13)和式(8.14),负载电阻 R 增大时, I 减小, U' ($= IR_i$) 也变小,路端电压 $U (= E - U')$ 增大; R 减小时,情况正相反。负载经常会变化(如电灯时开时关),路端电压随之变化,这使负载工作状态不稳定,问题在于电源有内阻。要减小这种不稳定性,应尽可能使用内阻小的电源(如撤换旧电池,改用新电池),也可以使用稳压电源。在一定范围内,稳压电源能减小负载变化对路端电压的影响,也能在电网电压波动(10%左右)时基本保持路端电压不变。

负载变化时,电源向负载输出的功率也随之变化。图 8.18 中,电源向负载 R 输出的功率

$$P = I^2 R = \frac{E^2 R}{(R + R_i)^2} = \frac{E^2}{\frac{(R - R_i)^2}{R} + 4R_i}$$

由于 E 、 R_i 是常量,当 $R = R_i$ 时,电源的输出功率达到最大,即 $P_m = E^2/(4R_i)$,这种情况叫做负载与电源匹配。匹配的方法在电子线路中常被用到。

开路 and 短路 外电路断开的情况叫做开路,此时电路中无电流,内电压为零。根据式(8.13),有 $E \approx U$,即

开路电压(开路时电源两端的电压)等于电源电动势。

因此,可以在开路的情况下,用电压表测量电源电动势。不过,这种测量不太精确,因为电压表本身构成了外电路,测出的电压值小于电源电动势。

用电时,特别要防止短路,也就是不让导线直接连接电源的两极。短路时,外电阻趋于零,电流(叫做短路电流) $I = E/R_i$ 。 R_i 一般很小,因此短路电流很大,极有可能烧毁电源,甚至酿成火灾。防止短路是安全用电的基本要求,照明电路和工厂的生产电路都要安装保险装置,在万一发生短路时快速切断电源(断开电路)。

【例 8.6】 如图 8.19 所示,变阻器的电阻 $R_1 = 5.0 \Omega$ 时,测得电流 $I_1 = 0.30 \text{ A}$;变阻器电阻 $R_2 = 8.0 \Omega$ 时, $I_2 = 0.20 \text{ A}$,求电源内阻 R_i 和电动势 E 。

解 本例给出了测量内阻和电动势的一种方法。根据全电路欧姆定律,有

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_i}, I_2 = \frac{E}{R_2 + R_i}$$