

HuoXueQiaoLian
桂壮红皮书系列
●丛书主编/陈桂壮



活学巧练



名师讲义 权威学案

第2次修订

全国名校特高级教师联合编写

高二物理 下

(含高三物理)



北京大学出版社

桂壮红了



桂壮红皮书系列

全国名校特高级教师联合编写

活学巧练

高二物理(下) (含高三物理)

第2次修订

丛书主编 陈桂壮
本册主编 吴华才
编委 吴华才 程开封 王 玉



北京大学出版社

HUOXUEQIAOLIAN

图书在版编目(CIP)数据

活学巧练. 高二物理(下)/吴华才主编. —北京:北京大学出版社, 2005. 9

(桂壮红皮书系列)

ISBN 7-301-06733-X

I. 活… II. 吴… III. 物理课—高中—解题 IV. G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 102224 号

书 名: 活学巧练·高二物理(下)

著作责任者: 吴华才 主编

策 划: 刘建华

责任编辑: 沈艳国

标准书号: ISBN 7-301-06733-X/G · 0944

出版发行者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区中关村北京大学校内 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn> <http://www.hps365.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 51893513 编辑部 51893283

电 子 信 箱: zpup@pup.pku.edu.cn gz@hps365.com

排 版 者: 北京科文恒信书业文化有限公司

印 刷 者: 北京一鑫印务有限公司

经 销 者: 新华书店

880 毫米×1230 毫米 大 16 开 14.25 印张 399 千字

2005 年 9 月第 3 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 19.80 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 翻版必究

Contents

目



录

第十四章 恒定电流 (1)

第一节 欧姆定律	(1)
第二节 电阻定律 电阻率	(3)
第三节 半导体及其应用	(3)
第四节 超导及其应用	(3)
第五节 电功和电功率	(6)
第六节 闭合电路欧姆定律	(9)
第七节 电压表和电流表 伏安法测电阻	(13)
第八节 实验:描绘小灯泡的伏安特性曲线	(18)
第九节 实验:测定金属的电阻率	(21)
第十节 实验:把电流表改装为电压表	(24)
第十一节 实验:测定电源电动势和内阻	(27)
第十二节 实验:练习使用示波器	(30)
第十三节 实验:用多用电表探索黑箱内的电学元件	(33)
第十四节 实验:传感器的简单应用	(37)

本章回顾 (39)

第十五章 磁场 (43)

第一节 磁场 磁感线	(43)
第二节 安培力 磁感应强度	(46)
第三节 电流表的工作原理	(51)
第四节 磁场对运动电荷的作用	(54)
第五节 带电粒子在磁场中的运动 质谱仪	(58)
第六节 回旋加速器	(62)

本章回顾 (67)

第十六章 电磁感应 (71)

第一节 电磁感应现象	(71)
第二节 法拉第电磁感应定律——感应电动势的大小	(74)
第三节 楞次定律——感应电流的方向	(78)
第四节 楞次定律的应用	(82)
第五节 自感现象	(85)
第六节 日光灯原理	(85)

本章回顾 (89)

第十七章 交变电流 (93)

第一节 交变电流的产生和变化规律	(93)
第二节 表征交变电流的物理量	(96)
第三节 电感和电容对交变电流的影响	(99)
第四节 变压器	(102)
第五节 电能的输送	(105)
第六节 三相交变电流(略)	(105)

第十八章 电磁场和电磁波 (108)

第一节 电磁振荡	(108)
第二节 电磁振荡的周期和频率	(108)
第三节 电磁场	(111)
第四节 电磁波	(111)
第五节 无线电波的发射和接收	(114)

第六节 电视 雷达.....	(114)
第十七章、第十八章回顾	(117)
期中测试题	(121)
第十九章 光的传播	(123)
第一节 光的直线传播.....	(123)
第二节 光的折射.....	(126)
第三节 全反射.....	(128)
第四节 光的色散.....	(131)
第五节 实验:测定玻璃的折射率	(134)
本章回顾.....	(138)
第二十章 光的波动性	(140)
第一节 光的干涉.....	(140)
第二节 光的衍射.....	(142)
第三节 光的电磁说.....	(144)
第四节 光的偏振.....	(147)
第五节 激光.....	(147)
第六节 实验:用双缝干涉测光的波长	(149)
本章回顾.....	(152)
第二十一章 量子论初步	(155)
第一节 光电效应 光子.....	(155)
第二节 光的波粒二象性.....	(158)
第三节 能 级.....	(160)
第四节 物质波.....	(163)
第五节 不确定关系(略).....	(163)
本章回顾.....	(164)
第二十二章 原子核	(167)
第一节 原子的核式结构 原子核.....	(167)
第二节 天然放射现象 衰变.....	(169)
第三节 探测射线的方法(略).....	(172)
第四节 放射性的应用与防护.....	(172)
第五节 核反应 核能.....	(174)
第六节 裂 变.....	(177)
第七节 轻核的聚变.....	(177)
本章回顾.....	(180)
期末测试题	(183)
学年综合测试题	(185)
答案与导解	(187)
附:高二物理(下)教材习题答案	(203)



第十四章

恒定电流



第一节 欧姆定律



学习目标要求

目标 1: 理解电流的概念和定义式 $I = \frac{q}{t}$, 并能进行有关的计算。知道公式 $I = nqSv$ 。

目标 2: 理解欧姆定律, 并能用来解决有关电路的问题。

目标 3: 知道导体的伏安特性, 知道什么是线性元件和非线性元件。



重点难点突破

一、电流强度的定义和决定式

1. 电流强度的定义式为 $I = \frac{q}{t}$ (其中 t 表示时间, q 表示这段时间内通过某截面的电荷量)。

电解液导电时正负离子在电场力作用下同时定向运动, 则 Δt 时间内通过某一截面的电荷量应是正负离子电荷量的绝对值之和。规定正电荷定向移动的方向为电流的方向, 负离子通过某一截面可等效成正离子反向通过该截面。

2. 电流强度的决定式, 也就是微观表达式为 $I = nqSv$ (其中 n 是单位体积中的自由电荷数, S 是导体的横截面积, q 是自由电荷电量, v 是电荷定向移动速率)。

注意区分电子热运动平均速率和定向移动速率。

点拨: ①形成电流的条件: a. 有导体——即有自由电荷; b. 导体两端存在电压。②从电场的观点看, 电流的方向是从电势高的一端流向电势低的一端, 即在电源外部的电路中, 电流的方向是从电源的正极流向负极。

例 1 某电解池中, 如果 1 s 内有 5×10^{16} 个二价正离子和 1.0×10^{18} 个一价负离子通过面积为 0.1 m^2 的某截面, 那么通过这个截面的电流强度是 ()

A. 0 B. 0.8 A C. 1.6 A D. 3.2 A

分析: 在电解池中, 正、负离子定向运动, 通过截面的电荷量值为 $q = 5 \times 10^{16} \times 2 \times 1.6 \times 10^{-19} + 1.0 \times 10^{18} \times 1.6 \times 10^{-19} = 3.2 \text{ (C)}$, 所以电流强度 $I = \frac{q}{t} = 3.2 \text{ (A)}$ 。

答案: D

拓展延伸 当正、负离子反向通过某截面时, 电荷量应理解为正、负离子电荷量绝对值之和。记住元电荷 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。

二、欧姆定律及导体的伏安特性曲线

1. 欧姆定律

利用欧姆定律 $I = \frac{U}{R}$, 可以得到另外两个变形公式 $R = \frac{U}{I}$

和 $U = IR$ 。 $R = \frac{U}{I}$ 是电阻的定义式, 虽然它提供了一个测量导体电阻的方法 (测出 U 和 I , 计算出 R), 但决不能认为导体的电阻跟导体两端的电压成正比, 跟通过导体的电流成反比。实际上, 导体的电阻是由导体本身的属性决定的, 与导体两端的电压和通过的电流无关。 $U = IR$ 提供了一个计算导体两端电压的方法, 即导体两端的电压在数值上等于通过导体的电流与导体的电阻的乘积。

点拨: (1) 欧姆定律是实验定律, 使用时 I 、 U 、 R 都是对同一段导体而言, 对同一状态而言, 即注意“同体性”、“同时性”。(2) 欧姆定律适用于金属导体导电和电解液导电, 不适用于气体导体。

2. 导体的伏安特性曲线

导体的伏安特性曲线是通过坐标原点的直线, 如图 14-1-1 所示表示电流与电压成正比, 其斜率等于电阻的倒数, 即 $\frac{\Delta I}{\Delta U} = \frac{1}{R}$ 。

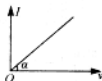


图 14-1-1

注意: 若用横轴表示 I , 纵轴表示 U , 其斜率等于电阻值。

$$\text{即 } \frac{\Delta U}{\Delta I} = R$$

例 2 如图 14-1-2 所示, 图像所对应的两个导体:

(1) 二者电阻关系 $R_1 : R_2$ 为

(2) 若两个导体中的电流相等 (不为零), 则二者电压之比 $U_1 : U_2$ 为

(3) 若两个导体的电压相等 (不为零), 则二者电流强度之比为 $I_1 : I_2 =$

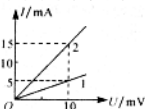


图 14-1-2

分析: (1) $R_1 = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} = \frac{10 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-3}} = 2 \text{ (}\Omega\text{)}$,

$$R_2 = \frac{\Delta U_2}{\Delta I_2} = \frac{10 \times 10^{-3}}{15 \times 10^{-3}} = \frac{2}{3} \text{ (}\Omega\text{)},$$

故 $R_1 : R_2 = 3 : 1$ 。

(2) 由欧姆定律得 $U_1 = IR_1$, $U_2 = IR_2$,

故 $U_1 : U_2 = R_1 : R_2 = 3 : 1$ 。

(3) 由欧姆定律得 $I_1 = \frac{U}{R_1}$, $I_2 = \frac{U}{R_2}$,

故 $I_1 : I_2 = R_2 : R_1 = 1 : 3$ 。

答案: (1) 3 : 1 (2) 3 : 1 (3) 1 : 3

拓展 本题源于教材中金属导体的伏安特性曲线, 纵轴表示通过导体的电流强度, 横轴表示导体两端的电压, 它的 $I-U$ 图像是一条过原点的直线, 直线的斜率等于导体电阻的倒数。



思维能力拓展

对电流强度的理解

例 3 (2004 年南京一模) 如图 14-1-3 所示电解池内有一价离子的电解液, 在时间 t (s) 通过溶液截面 S 的正离子数为 n_1 , 负离子数为 n_2 , 设元电荷电量为 e , 则以下说法正确的是 ()

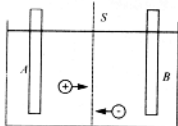


图 14-1-3



- A. 溶液内电流方向从A到B, 电流强度为 $\frac{n_1 e}{t}$
 B. 溶液内电流方向从B到A, 电流强度为 $\frac{n_2 e}{t}$
 C. 溶液内正、负离子反方向移动, 产生的电流相互抵消
 D. 溶液内电流方向从A到B, 电流强度为 $\frac{(n_1 + n_2) e}{t}$

分析: 由于正、负离子沿相反方向移动形成电流的方向是相同的, 所以通过截面的电量 $Q = (n_1 + n_2)e$, 所以 $I = \frac{(n_1 + n_2)e}{t}$

答案: D

拓展延伸 电流的方向规定与正电荷定向移动方向相同, 与负电荷定向移动方向相反, 因此沿相反方向定向移动的正、负电荷, 形成的电流是加强的. 对于 $I = neSv$ 公式中 v 是指自由电荷的定向移动速度, 数量级约 10^{-5} m/s, 不同于自由电荷无规则热运动的平均速率 (数量级约 10^5 m/s), 也不同于电流的传播速率 (即电场的传播速率 $c = 3.0 \times 10^8$ m/s).

跟踪练习 ① 电子绕核运动可等效为一环形电流, 设氢原子中的电子以速率 v 在半径为 r 的轨道上运动, 用 e 表示电子的电荷量, 则其等效电流等于_____.



综合探究创新

欧姆定律在部分电路计算时的应用

- (例4) (2005年黄冈一模) 如图14-1-4所示的部分电路中, 已知 $R_1 = 3 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$, $I = 10 \text{ mA}$, $I_1 = 6 \text{ mA}$, 则 a, b 两点电势的高低和通过电阻 R_2 的电流分别为 ()
 A. a 比 b 高, 7 mA
 B. a 比 b 高, 2 mA
 C. a 比 b 低, 7 mA
 D. a 比 b 低, 2 mA

分析: 由部分电路欧姆定律, R_1 两端电压:

$$U_1 = I_1 R_1 = 6 \times 10^{-3} \times 3 \times 10^3 = 18 \text{ (V)},$$

R_3 两端电压:

$$U_3 = I_3 R_3 = (I - I_1) R_3 = 4 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^3 = 4 \text{ (V)}.$$

故从 c 点经 R_1 电势降低 18 V 到 a , 经 R_3 电势降低 4 V 到 b , 故 a 点电势比 b 点低, 且 a, b 间电势差为 14 V , 即 R_2 两端电压为 $U_2 = 14 \text{ V}$.

故通过 R_2 的电流强度:



图14-1-4



优化题型展示

- (基础题) 欧姆定律适用于 ()
 A. 金属导电 B. 电解液导电 C. 稀薄气体导电 D. 气体导电
- (应用题) (2003年上海物理竞赛) 传感器可将非电学量转化为电学量, 起自动控制作用. 如计算机鼠标中有位移传感器, 电饭煲中有温度传感器, 电视机、录像机、影碟机、空调机中有光电传感器……演示位移传感器的工作原理如图14-1-5所示. 物体 M 在导轨上平移时, 带动滑动变阻器的金属滑杆 P , 通过电压表显示的数据, 来反映物体位移的大小 x . 假设电压表是理想的, 则下列说法正确的是 ()
 A. 物体 M 运动时, 电源内的电流会发生变化
 B. 物体 M 运动时, 电压表的示数会发生变化
 C. 物体 M 不动时, 电路中没有电流
 D. 物体 M 不动时, 电压表没有示数
- (基础题) 在示波管中, 电子枪两秒内发射了 6×10^{15} 个电子, 则示波管中电流强度的大小为 ()
 A. $4.8 \times 10^{-6} \text{ A}$ B. $3 \times 10^{-12} \text{ A}$ C. $9.6 \times 10^{-6} \text{ A}$ D. $3 \times 10^{-6} \text{ A}$
- (基础题) 有 a, b, c, d 四只电阻, 它们的 $U-I$ 关系如图14-1-6所示, 则图中电阻最大的是 ()

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{14}{2 \times 10^3} = 7 \times 10^{-3} = 7 \text{ (mA)}.$$

答案: C

提醒 注意欧姆定律的“同体性”和“同时性”.

跟踪练习 ② A, B 两地间铺有通讯电缆, 长为 L , 它是由两条并在一起彼此绝缘的均为导线组成的, 通常称为双绞电缆. 在一次事故中经检查断定是电缆上某处的绝缘保护层损坏, 导致两导线之间漏电, 相当于该处电缆的两导线之间接入一个电阻. 检查人员经过下面的测量可以确定损坏处的位置: (1) 令 B 端双绞线断开, 在 A 处测出双绞线两端间的电阻 R_A ; (2) A 端的双绞线断开, 在 B 处测出双绞线两端的电阻 R_B ; (3) 在 A 端的双绞线间加一已知电压 U_A , 在 B 端用内阻很大的电压表测出两线间电压 U_B .

试由以上测量结果确定损坏处的位置.



误区障碍跨越

障碍点1 对电流的认识

电流是标量, 但电流是有方向的. 电流是有方向的, 但电流的大小即电流强度是没有方向的. 有方向的量不一定是矢量, 是否为矢量关键看满不满足平行四边形定则, 而电流间的运算不符合平行四边形定则, 故电流属于标量. 导体是提供自由电荷移动的“路”, 电源是保护导体两端电压的“源头”, 只有满足了这两个条件, 导体中才会有持续的电流.

障碍点2 对欧姆定律的认识

欧姆定律公式中的 U, I, R 是对应于同一段电路的, 而且是瞬时对应的, 决不允许“张冠李戴”. 另外, 部分电路的欧姆定律只适用于线性元件和纯电阻电路. 所谓线性元件就是电路中元件的阻值不随两端电压和通过它的电流的变化而变化.



方法规律总结

认识电流一定要全面, 要从电流的形成原因、形成条件、物理意义、定义式、微观表达式、方向的规定、单位、标量等方面全方位认识.



跟踪练习答案

1. $\frac{eU}{2\pi r}$ 2. 漏电处距 A 端为 $\frac{R_A L (U_A - U_B)}{(R_A + R_B) U_A - 2 R_A U_B}$.

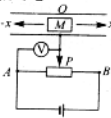


图14-1-5

考查目标

← 考查欧姆定律.

← 考查欧姆定律.

← 考查电流强度.

← 考查导体的伏安



A. a

B. b

C. c

D. d

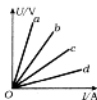


图 14-1-6

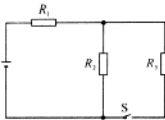


图 14-1-7

5. (基础题) (2004 年高考全国卷) 如图 14-1-7 所示, 电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 的阻值相等, 电池的内阻不计. 开关 S 接通后流过 R_2 的电流是 S 接通前的 ()

A. $\frac{1}{2}$ B. $\frac{2}{3}$ C. $\frac{1}{3}$ D. $\frac{1}{4}$

6. (基础题) 关于电流, 下列说法中正确的是 ()

- A. 导线中自由电荷定向移动速率等于电流的传导速率 (即光速)
B. 要产生恒定电流, 导体两端必须保持恒定的电势差
C. 电流强度是一个矢量, 其方向就是正电荷定向移动方向
D. 在国际单位制中, 电流强度是一个基本物理量, 其单位安培是一个基本单位

7. (提高题) 如图 14-1-8 所示, 在一价离子的电解质溶液内插有两根碳棒 A 和 B, 作为电极, 将它们接在直流电源上, 于是在溶液内有电流通过. 若 t 秒内, 通过溶液内截面 S 的一价正离子数为 n_1 , 通过一价负离子数为 n_2 , 设基元电量为 e , 则以下说法正确的是 ()

- A. 正离子定向移动形成的电流方向是 $A \rightarrow B$, 负离子定向移动形成的电流方向是从 $B \rightarrow A$
B. 溶液内由于正负离子向相反方向移动, 溶液中的电流抵消, 电流强度等于 0
C. 溶液中的电流方向从 $A \rightarrow B$, 电流强度 $I = \frac{n_2 e}{t}$
D. 溶液中的电流方向从 $A \rightarrow B$, 电流强度 $I = \frac{(n_1 + n_2) e}{t}$

8. (能力题) 如图 14-1-9 所示, A、B 两端电压 U_{AB} 为 20 V, R_1 为 10 Ω , R_2 为 30 Ω , 当开关 S 断开时, CD 两端电压 U_{CD} 为 ()

A. 20 V

B. 15 V

C. 5 V

D. 0

9. (提高题) 如图 14-1-10 所示, 电源电压 U 不变, 将电流表 (A_1) 、 (A_2) 接入电路中, 在图 (a) 中 (A_1) 示数为 2 A, (A_2) 示数为 3 A. 在图 (b) 中, (A_1) 、 (A_2) 示数均为 4 A, 试求电路中不接入电流表时的电流强度. (提示: 由图 (a) 可知电流表为非理想电表, 考虑其内阻)

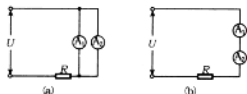


图 14-1-10

特性曲线.

← 考查欧姆定律.

← 考查电流强度.

← 考查电流强度.

← 考查欧姆定律.

← 考查电流强度.

图 14-1-8

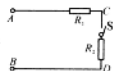


图 14-1-9

第二节 电阻定律 电阻率

第三节 半导体及其应用

第四节 超导及其应用



学习目标要求

目标 1: 理解电阻定律和电阻率, 能用电阻定律进行有关的计算.

目标 2: 知道半导体、超导体及其应用.



重点难点突破

一、电阻定律和电阻率

1. 电阻定律: 导体的电阻跟它的长度成正比, 跟它的横截面积成反比.

用数学式表达为 $R = \rho \frac{L}{S}$ (式中 ρ 为材料的电阻率)

2. 电阻率 (ρ): 反映了材料对电流阻碍作用的大小.



(1) 数学表达式为 $\rho = \frac{RS}{l}$, SI 单位制: 欧·米 ($\Omega \cdot m$).

(2) 电阻率与温度的关系: 各种材料的电阻率都随温度而变化.

① 金属的电阻率随温度的升高而增大.

② 半导体材料的电阻率随温度的升高而减小.

③ 有些合金如锰铜合金和镍铜合金的电阻率几乎不受温度变化的影响, 常用来制作标准电阻.

点拨: ① 公式 $R = \rho \frac{l}{S}$ 是电阻的决定式, 它表示了决定导体电阻的因素有 ρ 、 S 三个.
② 电阻率决定于导体的材料和温度, 与导体的形状、大小和导体是否通过电流无关. 导体的电阻率越小, 导电本领越强.

例 1 有一根长为 10 m, 横截面积为 12 mm^2 的导线, 该导线的材料的电阻率为 $3.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, 那么该导线的电阻为 Ω . 如果将该导线均匀拉伸为原来长度的 2 倍, 该导线的电阻变为 Ω .

分析: 未拉伸前:

$$R = \rho \frac{l}{S} = 3.0 \times 10^{-8} \times \frac{10}{12 \times 10^{-6}} = 2.5 \times 10^{-2} (\Omega).$$

拉伸后, 由于长度变为原来的 2 倍, 横截面积变为原来的 $\frac{1}{2}$.

$$\text{故 } R' = \rho \frac{l'}{S'} = \rho \frac{2l}{\frac{1}{2}S} = 4R = 0.1 (\Omega).$$

答案: 2.5×10^{-2} 0.1

提醒: 第一问由 $R = \rho \frac{l}{S}$ 可直接求解. 对于第二问, 应注意某一段导线在拉伸或折弯过程中, 导线的总体积不变是隐含条件, 导线的横截面积随长度而发生变化是解题的关键点.

二、半导体材料的特性及应用

半导体材料有许多与导体完全不同的特性, 下面主要介绍三方面的特性:

1. 热敏特性: 许多半导体的电阻都随温度的变化而有显著的变化, 有的半导体, 在温度升高时电阻减小得非常迅速, 而金属导体的电阻率是随温度升高而增大的, 造成这种现象的原因是导体与半导体微观结构不同使产生电流的原理不同. 人们用半导体做成的热敏电阻, 当温度升高时, 由于电阻减小使电流急剧增大, 通常用在温控电路中.

2. 光敏特性: 有的半导体, 在光照下电阻大小减小, 利用这种半导体材料可以做成体积很小的光敏电阻. 光敏电阻可以起到开关的作用, 在需要对光照有灵敏反应的自动控制设备中有广泛应用.

3. 掺杂特性: 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, 这种特性被称为掺杂特性. 利用半导体这一特性, 再加上特殊的制作工艺, 人们制成了晶体二极管和晶体三极管. 将晶体管、电阻、电容等电子元件及相应的连线同时制作在一块面积很小的半导体晶片上, 使之成为具有一定功能的电路, 这就是集成电路. 集成电路的制成, 开辟了微电子技术的时代.

点拨: (1) 半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间, 它的应用前景十分广泛.
(2) 在室温下, 金属导体的电阻率一般为 $10^{-8} \Omega \cdot m \sim 10^{-7} \Omega \cdot m$, 绝缘体的电阻率一般为 $10^8 \Omega \cdot m \sim 10^{10} \Omega \cdot m$, 而半导体的电阻率约为 $10^{-5} \Omega \cdot m \sim 10^{-2} \Omega \cdot m$.

例 2 下列电子器件中, 由半导体材料制成的是 ()

- A. 电容器 B. 镇流器
C. 晶体管 D. 滑动变阻器

分析: 电容器是在两导体间充有电介质; 镇流器内部是一电感线圈; 滑动变阻器是由电阻线绕制而成的; 利用半导体的掺杂特性可制成晶体管.

答案: C

提醒: 要知道半导体的应用.

三、超导体的特性及其应用

1. 零电阻特性: 超导体不存在可测量的直流电阻, 一旦超导体中有了电流, 它将持续地在其中无阻碍地流动, 即使在外场情况下, 也不可能觉察到任何电流衰减现象.

2. 完全抗磁性: 将置于磁场中的导体冷却到超导态, 结果发现, 在温度降到临界温度时, 磁场分布发生变化, 导体内原有的磁通量被完全排斥于导体外, 并且在撤去外磁场后磁场完全消失, 即磁感线不能进入超导体内.

点拨: 由于超导体的零电阻特性, 电流在超导体内传输不发热, 可用来制作大型电磁铁或电机线圈, 这样不需冷却措施, 能耗将大大降低; 超导电缆损耗低, 有利于节约能量; 超导的应用广泛, 例如输电方面有测量、计算机、磁悬浮; 强电方面有输电、交通运输、热核聚变发电等. 室温区的超导体的发现则是目前超导研究的一个重要的课题.

例 3 超导材料电阻为零的温度称为临界温度, 1987 年我国科学家制成了临界温度为 90 K 的高温超导材料.

(1) 上述临界温度对应的摄氏温度为 ()

- A. 100 °C B. -100 °C C. -183 °C D. 183 °C

(2) 利用超导材料零电阻的性质, 可实现无损耗输电. 现有一直流电路, 输电线的总电阻为 0.4Ω , 它提供给用电器的电功率为 40 kW, 电压为 800 V. 如果用临界温度以下的超导电缆替代原来的输电线, 保持供给用电器的功率和电压不变, 那么节约的电功率为多少?

分析: (1) 由 $T = 273 + t$, $T = 90 \text{ K}$, 所以 $t = -183 \text{ °C}$, 故选 D.

(2) 由 $P = UI$ 可得导线上的电流强度为: $I = \frac{P}{U} = \frac{40000}{800} \text{ A} = 50 \text{ A}$, 故节约的电功率为 $P_2 = I^2 R_0 = 50^2 \times 0.4 \text{ W} = 1000 \text{ W}$.

答案: (1) D (2) 1000 W

提醒: 因供给用电器的功率和电压不变, 故节约的电功率即为输电线上损耗的功率.



思维能力拓展

滑动变阻器在电路中的作用

例 4 如图 14-2-1 所示, 滑动变阻器 P 接在电压 U 为 10 V 的电路, 当滑片 P 在最右端时, 电路中的电流为 1 A. 那么当滑片 P 在正中央时, 电路中的电流为 A . 如果整个滑动变阻器由 100 匝均匀的电阻丝绕制而成, 那么滑片 P 移动的过程中, 电流的最小变化量为 A .

图 14-2-1

分析: 当 P 在滑动变阻器的最右端时, 整个滑动变阻器的电阻都连在电路中, 由此可以得出滑动变阻器的总阻值 $R = \frac{U}{I} = 10 \Omega$. 当滑片 P 在正中央时, 连入电路中的电阻为 $\frac{1}{2} R =$

5Ω , 所以此时电路中的电流 $I' = \frac{U}{\frac{1}{2} R} = 2 \text{ A}$.

由于滑动变阻器由 100 匝线圈绕成, 所以每匝的电阻为 $r = \frac{R}{100} = 0.1 \Omega$, 设滑动变阻器接入电路的电阻为 R_0 .

当接入电路的电阻改变 r (最小改变量为 r), 电流变化量



$$\text{为: } \Delta I = \frac{U}{R_0 - r} - \frac{U}{R_0}$$

$$\text{当 } R_0 = R \text{ 时, } \Delta I \text{ 最小, 即 } \Delta I_{\min} = \frac{10}{10-0.1} - \frac{10}{10} = \frac{1}{99} (\text{A}).$$

答案: 2 $\frac{1}{99}$

例注 注意分析滑动变阻器在电路中的状态, 搞清楚一部分连入电路中, 是怎样的连接关系。

题源 1 在图 14-2-2 所示电路中 E 为电

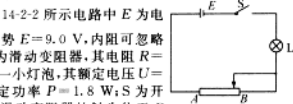


图 14-2-2

源, 其电动势 $E = 9.0 \text{ V}$, 内阻可忽略不计; AB 为滑动变阻器, 其电阻 $R = 30 \Omega$; L 为一小灯泡, 其额定电压 $U = 6.0 \text{ V}$, 额定功率 $P = 1.8 \text{ W}$; S 为开关, 开始时滑动变阻器的触头位于 B 端, 现在接通开关 S , 然后将触头缓慢地向 A 方滑动, 当到达某一位置 C 处时, 小灯泡刚好正常发光, 则 CB 之间的电阻应为 ()

A. 10Ω B. 20Ω C. 15Ω D. 5Ω



综合探究创新

对电阻率的理解

例 5 (2003 年高考全国卷) 一个标有“220 V, 60 W”的白炽灯泡, 加上电压 U 由零逐渐增大到 220 V, 在此过程中, 电压 U 和电流 I 的关系可用如图 14-2-3 图线表示, 题中给出图中肯定不符合实际的是 ()

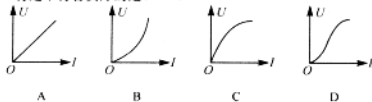


图 14-2-3

分析: 图线的斜率等于电阻值, 斜率越大, 电阻越大, 如果是曲线, 表示电阻在不同的电压、电流时它的电阻是变化的, 这时的电阻可以用该点切线的斜率来表示, 温度越高, 电阻率越大, 电阻也就越大, 灯泡在电压增大过程中, 灯丝中的电流增大, 温度升高, 电阻变大, 故 B 正确, A 图表示电阻不变, C 表示电阻变小, D 表示先变大后变小, 故应选 ACD.

答案: ACD

拓展延伸 若将该题中的图像改为 $I-U$ 图像, 则结果如何?



优化题型展示

1. (基础题) 下面关于电阻率的正确说法是 ()

- A. 材料的电阻率与导体的长度、横截面积有关
- B. 电阻率表示导体导电能力的强弱, 与温度有关
- C. 常用的导线是用电阻率较小的铝、铜材料做成的
- D. 金属的电阻率在任何温度下都不可能为零

2. (能力题) 金属铂的电阻率对温度的变化非常敏感, 随着温度的升高, 其电阻率将增大, 如把加在一段铂丝两端的电压和流过这段铂丝的电流分别用 U 和 I 来表示, 则图 14-2-5 中的哪一幅能比较客观地反映 $I-U$ 间的关系 ()

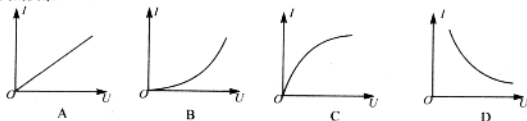


图 14-2-5

题源 2

如图 14-2-4 为一个盛满水银的长方体水银槽, 左右两侧是导电板, 电阻不计, 其他侧面均为绝缘板, 槽的各边尺寸如图, 已知 AB 间的电压为 U 时, 电流表的示数为 I , 则水银的电阻率 ρ 为多少?



图 14-2-4



误区障碍跨越

障碍点 1 对公式 $R = \frac{U}{I}$ 和 $R = \rho \frac{l}{S}$ 的认识

$R = \frac{U}{I}$ 是电阻的测量式 (定义式), 如果测出导体两端的电压为 U 时, 通过导体的电流为 I , 可以根据此式计算出导体的电阻; 但是导体的电阻 R 跟 U 和 I 无关, 即使导体两端没有电压, 也没有电流通过, 导体的电阻仍保持其固有的数值. 电阻定律公式 $R = \rho \frac{l}{S}$ 是导体电阻的决定式, 它表明导体电阻的数值决定于材料的电阻率、导体的长度和横截面积, 一般温度变化不大的情况下, 不考虑温度对电阻的影响.

障碍点 2 对电阻率和电阻的认识

电阻率是描述材料的导电性能好坏的物理量, 不同材料有不同的电阻率; 电阻是一个反映导体对电流的阻碍作用大小的物理量, 一般地说, 不同的导体有不同的电阻. 所以说“电阻率”是材料的电阻率, 而“电阻”是导体的电阻. 一个导体电阻的大小并非仅仅决定于材料的电阻率, 还跟它的长度和横截面积的大小有关.



方法规律总结

在处理金属导体拉伸后的电阻值是拉伸前电阻值的几倍时, 应判断拉伸后的长度是拉伸前的几倍, 拉伸后的截面积是拉伸前的几分之一, 在拉伸前后, 金属导体的电阻率及体积不变, 然后应用公式 $R = \rho \frac{l}{S}$ 分析求解即可.



跟踪练习答案

I. B 2. $\rho = \frac{Ubc}{aI}$

考查目标

← 考查电阻率.

← 考查电阻率.



3. (综合题) 电线总长为 $2L$, 线路上的电流强度为 I , 为使在线路上的电压降不超过 U , 已知输电线的电阻率为 ρ , 那么输电线的横截面积的最小值是()
- A. $\frac{\rho L}{R}$ B. $\frac{2\rho L I}{U}$ C. $\frac{U}{\rho L I}$ D. $\frac{2UL}{I\rho}$ ←考查电阻定律.
4. (应用题) 街道旁的路灯、江海里的航标灯都要求夜晚亮、白天熄, 利用半导体的电学特性制成了自动点亮、熄灭的装置, 实行了自动控制, 这利用半导体的()
- A. 压敏性 B. 光敏性 C. 热敏性 D. 三种特性都利用了 ←考查半导体.
5. (综合题) 截面直径为 d 、长为 L 的导线, 两端电压为 U , 当这三个量中的一个改变时, 对自由电子定向运动平均速率的影响是()
- A. 电压加倍时速率不变 B. 长度加倍时速率不变
C. 截面直径加倍时速率不变 D. 截面直径加倍时速率加倍 ←考查电阻定律.
6. (基础题) 热敏电阻在温度升高时, 其阻值将()
- A. 增大 B. 减小 C. 不变 D. 先减小后增大 ←考查半导体.
7. (基础题) 关于超导现象, 下列说法正确的是()
- A. 超导现象只有在温度降到绝对零度才会出现
B. 任何物质都可能变为超导体
C. 超导体电阻为零
D. 我国科学家制成了温度为 90 K 的超导材料 ←考查超导现象.
8. (综合题) 在截面积为 S 的均匀铜导体中流过恒定电流 I , 铜的电阻率为 ρ , 电子电量为 e , 则电子在铜导体中运动时受到的电场力为()
- A. 0 B. $\frac{I\rho e}{S}$ C. $\frac{IS}{\rho e}$ D. $\frac{Ie}{\rho S}$ ←考查电阻率.
9. (综合题) 一根粗细均匀的导线, 两端加上电压 U 时, 通过导线中的电流强度为 I , 导线中自由电子定向移动的平均速率为 v . 若将导线均匀拉长, 使它的横截面半径变为原来的 $\frac{1}{2}$, 再给它两端加上电压 U , 则()
- A. 通过导线的电流为 $\frac{1}{4}I$ B. 通过导线的电流为 $\frac{1}{16}I$
C. 导线中自由电子定向移动的平均速率为 $\frac{v}{4}$ D. 导线中自由电子定向移动的平均速率为 $\frac{v}{2}$ ←考查电阻定律.
10. (能力题) 某导线的伏安特性曲线如图 14-2-6, 如果将此导线截成两等分, 然后将这两段理齐并捆扎在一起, 此时导线的电阻将变成_____.
11. (综合题) 两根材料相同的均匀导线 x 和 y , x 长为 L , y 长为 $2L$, 串联在电路上时, 沿长度方向电势变化如图 14-2-7 所示, 则 x 、 y 两导线的横截面积之比是_____.



图 14-2-6

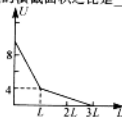


图 14-2-7

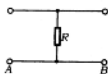


图 14-2-8

12. (综合题) 如图 14-2-8 相距 11 km 的 A、B 两地用两根导线连接, 由于受到暴风雨的影响, 在两地之间某处一棵树倒在两根电线上造成故障, 为查明故障地点, 先在 A 处加 12 V 电压, 在 B 处测得电压为 10 V , 再在 B 处加 12 V 电压, 则 A 处测得的电压为 4 V , 求故障处距 A 多远? ←考查电阻定律.

第五节 电功和电功率



学习目标要求

- 目标 1: 理解电功的概念, 知道电功是指电场力对自由电荷所做的功, 理解电功的公式, 能进行有关的计算.
- 目标 2: 理解电功率的概念和公式, 能进行有关的计算.
- 目标 3: 知道电功率和热功率的区别和联系.
- 目标 4: 知道电场力对自由电荷做功的过程是电能转化为其他形式能量的过程.



重点难点突破

一、电功

1. 定义: 电路中电场力做的功(亦称电流做的功)叫做电功.

2. 公式: $W = Uq = UI t$

3. 单位: 焦耳(J), 常用单位还有千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$), 也称“度”, $1\text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6\text{ J}$.

点拨: 电流做功的实质.

在一段电路两端加电压时, 正电荷从电势高处流向电



势低处(或负电荷从电势高处流向电势低处),电场力对电荷做正功,电荷的电势能减小,在这个过程中,电荷的电势能转化成其他形式的能。如果该电路是电阻,电势能全部转化为热能;如果用电器是电解池或电动机,那么电势能除了一部分转化成热能外,另一部分转化成化学能或机械能。也就是说,电流通过用电器做功的过程,实际上是电能转化为其他形式的能的过程。如图 14-5-1 所示,电流做了多少功,就有多少电能转化为其他形式的能。

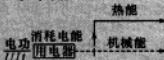


图 14-5-1

例 1 以下说法中,正确的是()

- A. 电流做功的过程就是电能转化为其他形式的能的过程
- B. 电能转化为机械能的过程,是能量转移的过程
- C. 电池灯泡发光,是化学能转化为电能,电能的一部分转化为光能
- D. 电路发热,实质上是自由电荷的定向移动速度加快

分析:根据电流做功的实质,A、C 正确,B 错误,据分子动理论,电路发热,实际上电路中分子无规则热运动加剧,自由电荷定向速度与分子无规则热运动速率是两个概念,故 D 错。

答案:AC

拓展延伸 注意理解电流做功的实质,电路中的能量转化关系。

二、电功和电热的区别与联系

从能量转化的角度看,电功与电热之间的数量关系是: $W \geq Q$, 即 $IUt \geq FRt$ 。具体地说:①在纯电阻电路中,如由白炽灯、电炉丝等构成的电路,电流做功将电能全部转化为内能,此时有 $W=Q$, 即 $IUt=FRt$ 。显然 $U=IR$, 则计算电功或电热时,可采用公式 $W=Q=IUt=FRt=\frac{U^2}{R}t=Pt$ 中的任一形式进行计算。②在非纯电阻电路中,如含有电动机、电解槽等的电路,电流做功除将电能转化为内能外,还转化为机械能、化学能等,此时有 $W>Q$, 即 $IUt>FRt$ 。显然 $U>IR$, 因此在这种情况下,电功 W 只能用公式 $W=IUt$ 进行计算,电热 Q 只能用公式 $Q=FRt$ 进行计算。

点拨:在纯电阻电路中,电流做功把电能转化为内能,即 $IUt=FRt$, 所以 $U=IR$; 在非纯电阻电路中,电流做功把电能的一部分转化为内能,另一部分转化为机械能或化学能等,即 $IUt>FRt$, 此时 $U>IR$; 如含有电动机电路等,故在纯电阻电路中欧姆定律适用,而在非纯电阻电路中欧姆定律就不适用了。如例 2 中将风扇正常工作就不能用 $I=\frac{U}{R}$ 求电流,而扇叶被卡住后,又可将风扇视作一纯电阻。

例 2 规格为“220 V, 36 W”的排气扇,线圈电阻为 40 Ω 。求接上 220 V 电压后,排气扇转化为机械能的功率和发热的功率。如果接上电源后,扇叶被卡住,不能转动,求电动机消耗的功率和发热的功率。

分析:排气扇在 220 V 电压下正常工作的电流

$$I = \frac{P}{U} = \frac{36}{220} = 0.16 \text{ (A)}$$

发热功率 $P_{\text{热}} = I^2 R = (0.16)^2 \times 40 = 1 \text{ (W)}$ 。

转化为机械能的功率 $P_{\text{机}} = P - P_{\text{热}} = 36 - 1 = 35 \text{ (W)}$ 。

扇叶被卡住不能转动后,电机相当于纯电阻,电能全部转化为热能,此时通过排气扇电流

$$I' = \frac{U}{R} = \frac{220}{40} = 5.5 \text{ (A)}$$

电机消耗的功率等于发热功率

$$P' = P_{\text{热}} = I'^2 R = 5.5^2 \times 40 = 1210 \text{ (W)}$$

由于发热量很大,将很快烧坏电动机线圈。

答案:35 W; 1210 W; 1210 W

评注:对含有电动机、电解槽等元件的非纯电阻电路,要区分电功与电热。



思维能力拓展

非纯电阻电路电功率的计算

例 3 有一台电动起重机,其两端的电压为 380 V,通过它的电流为 10 A 时,起重机刚好能提起 100 kg 的物体以 3 m/s 的速度匀速上升,不考虑其他机械损失,试求电动机的电阻。

分析:电动机消耗的电功率为

$$P_{\text{电}} = UI = 380 \times 10 = 3800 \text{ (W)}$$

而电动机输出的机械功率为

$$P_{\text{机}} = Fv = mgv = 3000 \text{ W}$$

可见有 $P_{\text{电}} - P_{\text{机}} = 800 \text{ W}$ 的电功率被电动机的电阻转化为内能,即 $Q = FR = 800 \text{ W}$ 。

所以 $R = 8 \Omega$ 。

答案:8 Ω

评注:抓住电功率 $P = UI = FR + \text{其他}$, 在此题中, FR 是电能转化为内能,“其他”是电能转化为机械能。

例 4 1 微型吸尘器的直流电动机内阻一定,当加上 0.3 V 的电压后,通过的电流为 0.3 A,此时电动机不转,当加在电动机两端电压为 2.0 V 时,电流为 0.8 A,这时电动机正常工作,则吸尘器的效率为多少?



综合探究创新

网络电路问题的计算

例 4 (2005 年路一模拟)如图 14-5-2 所示,一网络电路,每个电阻均为 $R=100 \Omega$,问 CD 间应连入多大电阻才能使 A、B 间的总电阻与格子数目无关?若该电路接上 380 V 恒定电源,则电源输出功率为多少?

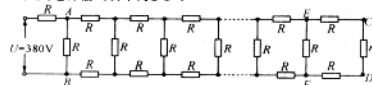


图 14-5-2

分析:首先应明确电路特点,再求出需接入的电阻值,然后写出电路总电阻的表达式,据电功率公式求出总功率。

设 CD 间接入电阻 r ,若格子“CDEF”的有效电阻(即 EF 间电阻)也是 r ,则表示向左跨过一格后的有效电阻的阻值还是 r ,这样依次类推, A、B 间的总电阻为 r ,与“格子”数无关,简化电路如图 14-5-3 所示,由 $\frac{1}{r} + \frac{1}{2R+r} = \frac{1}{r}$ 得

$$r = (\sqrt{3}-1)R,$$

$$\text{电源输出功率 } P = \frac{U^2}{R+r} = \frac{380^2}{\sqrt{3} \times 100} \text{ W} = 834 \text{ W}.$$

答案:834 W

方法总结 本题看似一复杂电路,据总电阻与“格子数”无关,先画出等效电路图,这是解决这类问题的关键所在。

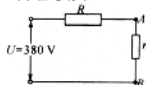


图 14-5-3



例题

如图 14-5-4 所示电路由 8 个不同的电阻组成,已知 $R_1=12\ \Omega$,其余电阻阻值未知,测得 A、B 间的总电阻为 $4\ \Omega$,今将 R_1 换成 $6\ \Omega$ 的电阻,则 A、B 间的总电阻变为 $_____\Omega$ 。

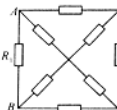


图 14-5-4



误区障碍跨越

障碍点 1 计算电功和电热时的公式选择

在计算电功和电热时一定要正确判断电路是纯电阻电路还是非纯电阻电路,选择合适的公式求解,切不可乱用公式。

障碍点 2 对几个功率的认识



优化题型展示

1. (能力题) 在如图 14-5-5 所示电路中,当合上开关 S 后,发现两个小灯泡(均标有“3 V, 1 W”)均不亮,用电压表测得 $U_a=U_b=6\text{ V}$,如果电路中的各段导线及连接处均无问题,这说明()
- A. 灯泡 L_1 的灯丝断了
B. 灯泡 L_2 的灯丝断了
C. 可变电阻器 R 的电阻断了
D. 开关 S 未接通好

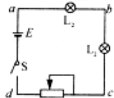


图 14-5-5

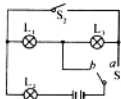


图 14-5-6

2. (基础题) 某实验小组用三只相同的小灯泡,连线如图 14-5-6 所示电路,研究串并联电路特点,实验中观察到的现象是()
- A. S_1 断开, S_2 与 a 连接,三只灯泡都熄灭
B. S_1 断开, S_2 与 b 连接,三只灯泡亮度相同
C. S_1 闭合, S_2 与 a 连接,三只灯泡都发光, L_1 亮度相同
D. S_1 闭合, S_2 与 b 连接,三只灯泡都发光, L_1 亮度小于 L_2 的亮度
3. (能力题) 理发用的电吹风机中有电动机和电热丝,电动机带动风叶转动,电热丝给空气加热,得到热风将头发吹干。设电动机线圈的电阻为 R_1 ,它与电阻为 R_2 的电热丝相串联,接到直流电源上,电吹风机两端电压为 U ,电流为 I ,消耗的电功率为 P ,则有()
- A. $IU > P$
B. $P = F(R_1 + R_2)$
C. $IU = P$
D. $P > F(R_1 + R_2)$
4. (能力题) 一只电炉的电炉丝和一台电动机线圈电阻相同,都为 R ,设通过的电流强度相同,则在相同时间内)下列说法正确的是(电动机正常工作)()
- A. 电炉和电动机的电热相等
B. 电动机消耗功率大于电炉功率
C. 电炉两端电压小于电动机两端电压
D. 电炉和电动机两端电压相等
5. (综合题) 一辆质量为 500 kg 的电瓶车,由内阻不计的蓄电池组向直流电动机提供 24 V 的电压,当电瓶车在水平地面上以 0.8 m/s 的速度匀速行驶时,通过电动机的电流为 5 A ;设电瓶车所受的阻力是车重的 0.02 倍, $g=10\text{ m/s}^2$,则车上直流电动机的内阻是()
- A. $4.8\ \Omega$
B. $3.2\ \Omega$
C. $1.6\ \Omega$
D. $0.4\ \Omega$
6. (能力题) 一根粗细均匀的导线,在其两端加上稳定的电压 U 时,(设散热损失不计)经过一段时间后,导线升高温度应与()
- A. 导线长度成正比
B. 导线长度平方成正比
C. 导线横截面积成正比
D. 导线横截面积平方成正比
7. (能力题) 一台额定电压为 220 V ,额定功率为 11 kW 的电动机,其电阻为 $0.4\ \Omega$,该电动机接在 220 V 电源上工作 1 h ,则()
- A. 电动机消耗电能 11度
B. 有 $3.6 \times 10^7\text{ J}$ 的电能转化为机械能
C. 产生的热量为 $3.6 \times 10^6\text{ J}$
D. 产生的热量为 $3.6 \times 10^7\text{ J}$
8. (基础题) 一个蓄电池输出电压为 12 V ,若输出的电能为 $4.3 \times 10^4\text{ J}$,则它放出的电量为 $_____\text{C}$ 。
9. (能力题) 某商场安装了一台倾角为 30° 的自动扶梯,该扶梯在电压为 380 V 的电动机带动下以 0.4 m/s 的恒定速率向斜上方移动,电动机最大输出功率为 4.9 kW ,不载人时测得电动机中的电流为 5 A ,若载人时扶梯的移动速率和不载人时相同,则这台自动扶梯可同时乘载的最多人数为 $_____\text{人}$ 。(设人的平均质量是 60 kg , $g=10\text{ m/s}^2$)
10. (综合题) 有一个直流电动机,把它接入 0.2 V 电压的电路中,电动机不转,测得流过电动机的电流是

本节涉及电功率、热功率、额定功率和实际功率,每种功率的物理意义不同,解题时一定要审清条件中所指的功率种类,避免出错。



方法规律总结

电功与电热

计算电功和电功率的公式为 $W=UIt$ $P=UI$ 。

计算焦耳热和产热功率的公式分别为 $Q=FRt$, $P'=FR$ 。在纯电阻电路中,电功=电热,两者可通用,但在非纯电阻电路中,电功>电热, $U>IR$,两者不能再通用。因此在平时做题时,一定要分清电路是纯电阻电路还是非纯电阻电路。



跟踪练习答案

1. 60% 2. 3 Ω

查目标

←考查电功率、电路故障判断。

←考查电功率。

←考查电功率、热功率。

←考查电热、电功率。

←考查电功率。

←考查电热。

←考查电功、电热。

←考查电功。

←考查电功。

←考查电功率、热



0.4 A,若把电动机接入2.0 V电压的电路中,电动机正常工作,工作电流是1.0 A,求电动机正常工作时的输出功率多大?如果在电动机正常工作时,转子突然被卡住,电动机的发热功率是多少?

功率。

11. (拔高题) 图14-5-7是利用电动机提升重物的示意图,其中D是直流电动机,P是一个质量为m的重物,它用细绳拴在电动机的轴上.闭合开关S,重物P以速度v匀速上升,这时电流表和电压表的示数分别是 $I=5.0$ A,和 $U=110$ V,重物P上升的速度 $v=0.7$ m/s.已知该装置机械部分的机械效率为70%,重物的质量 $m=45$ kg(g 取 10 m/s²).求:

- (1)电动机消耗的电功率 P_e 及绳对重物做功的机械功率 P_m 各多大?
(2)电动机线圈的电阻 R 多大?

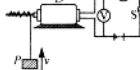


图14-5-7

←考查电功率。

第六节 闭合电路欧姆定律



学习目标要求

- 目标1:知道电源的电动势等于电源没有接入电路时两极间的电压.
目标2:知道电源的电动势等于内、外电路上电势降落之和.
目标3:理解闭合电路欧姆定律及其公式,并能熟练地用来解决有关的电路问题.
目标4:理解路端电压与电流(或外电阻)的关系,知道这种关系的公式表达和图像表达,并能用来分析、计算有关问题.
目标5:理解闭合电路的功率表达式,知道闭合电路中能量的转化.



重点难点突破

一、电动势、路端电压与负载的关系

电动势是表征电源特征的物理量,在数值上等于电源没有接入电路时两极间的电压,用 E 表示,单位为V.

由 $I = \frac{E}{R+r}$ 可得 $E = IR + Ir$ 或 $E = U + Ir$,式中 U 称为外电压(路端电压), Ir 称为内电压.上式表明:电源的电动势等于外电压和内电压之和.同时,由 $I = \frac{E}{R+r}$ 可知:①外电路的电阻增大时, I 减小,内压降减小,则路端电压升高;②外电路断开时, $R = \infty$,路端电压 $U = E$;③外电路短路时, $R = 0$, $U = 0$, $I = \frac{E}{r}$ (短路电流),短路电流由电源电动势和内阻共同决定,由于 r 一般很小,短路电流往往很大,所以电源短路时极易烧坏电源或线路而引起火灾.

- 要点:①电动势是描述电源把其他形式的能转化为电能本领大小的物理量.
②电动势的大小由电源本身的性质决定,与外电路无关.
③电动势在数值上等于电源没有接入电路时两极间的电压,还等于接入电路时内、外电压之和.
④电动势是标量.通常为了叙述问题的方便,规定在内电路中,从电源负极指向正极的方向为电动势的方向.

- 例1 (2005年高考江苏卷)如图14-6-1所示, R 为电阻箱, V 为理想电压表,当电阻箱读数为 $R_1 = 2 \Omega$ 时,电压表读数为 $U_1 = 4$ V;当电阻箱读数为 $R_2 = 5 \Omega$ 时,电压表读数为 $U_2 = 5$ V,求:

- (1)电源的电动势 E 和内阻 r .

- (2)当电阻箱 R 读数为多少时,电源的输出功率最大?最大值 P_m 为多少?

分析:(1)由闭合电路欧姆定律 $E = U_1 + \frac{U_1}{R_1} r$ ①

$$E = U_2 + \frac{U_2}{R_2} r \quad ②$$

联立①②并代入数据得 $E = 6$ V, $r = 1 \Omega$

- (2)由电功率表达式 $P = \frac{E^2}{(R+r)^2} R$ ③

$$\text{将③式变形为 } P = \frac{E^2}{\frac{(R-r)^2}{R} + 4r} \quad ④$$

由④式知, $R = r = 1 \Omega$ 时, P 有最大值 $P_m = \frac{E^2}{4r} = 9$ W.

答案:(1) $E = 6$ V, $r = 1 \Omega$

(2) $R = 1 \Omega$, $P_m = 9$ W

评述:在应用闭合电路欧姆定律时,把握电源电动势与路端电压及内电压关系十分重要.

二、闭合电路中路端电压 U 与电流 I 的关系图线的物理意义

据 $U = E - Ir$ 画出电源的 $U-I$ 图像,如图14-6-2所示.

- (1)当外电路开路时, R 变为无穷大, I 为零,此时 $U = E$,即纵轴截距表示电源电动势.

- (2)当外电路短路时, $R = 0$, $U = 0$,此时 $I_0 = \frac{E}{r}$,即横轴截距表示短路电流.

- (3)图线斜率的大小表示电源的内阻.

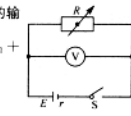


图14-6-1

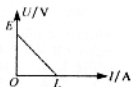


图14-6-2

要点:如图14-6-3所示,是电阻的伏安特性曲线,二者的区别:

- (1)图14-6-3是对某一定电阻而言的,纵坐标和横坐标分别表示该电阻两端的电压 U 和通过该电阻的电流 I ,反映了 $U = IR$ 的正比例关系;而图14-6-2是对闭合电路整体而言的, U 表示路端电压, I 表示通过电源的电流,图线反映了 $U = E - Ir$ 的关系.

- (2)图14-6-3表示导体的性质,图线斜率表示导体的电阻;图14-6-2表示电源的性质,图线反映了某确定电源(E, r 一定)对变化外电阻供电时,路端电压 U 与通过电源电流 I 的变化关系.

图14-6-3



例② 如图 14-6-4(a)所示,已知 $R_1 = 2 \Omega$, R_2 两端的电压与流过 R_2 的电流的关系图线如图 14-6-4(b)所示,试根据图线确定电池的电动势及内阻.

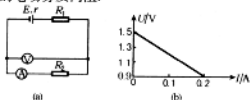


图 14-6-4

分析:将 R_1 与 r 一起视为电源的内阻,设为 r' ,则可将该电路视为 (E, r') 电源与 R_2 串联,图(b)反映了等效电源的路端电压和通过电源的电流之间的关系.则

$$E = 1.5 \text{ V}, r' = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{1.5 - 0.9}{0.2} = 3(\Omega).$$

而 $r' = R_1 + r$,故 $r = 1 \Omega$.

答案: $E = 1.5 \text{ V}, r = 1 \Omega$.

提醒 注意电源输出特性曲线的物理意义,等效思想是解决本题的关键.

三、闭合电路中的能量转化关系

由路端电压 $U = E - Ir$ 得 $UI = EI - I^2r$,式中,

(1)电源向外电路输出的功率,简称电源的输出功率; $P_{\text{出}} = UI$;

(2)内阻上消耗的功率,也叫电源损耗的功率; $P_{\text{内}} = I^2r$;

(3)单位时间内电源提供的电能,即电源的功率; $P_{\text{总}} = EI$.可见电源提供的电能,一部分消耗在内阻上,其余部分输出到外电路中.电源提供电能的功率也等于电源消耗其他形式的能的功率.

注意:若外电路是纯电阻电路,部分欧姆定律适用; $P = FR = \frac{U^2}{R}$,电源的输出功率 $P_{\text{出}} = UI = FR = \frac{U^2}{R}$,同样能量守恒的方程也有; $EI = UI + I^2r$,或 $EI = FR + I^2r$ 或 $EI = \frac{U^2}{R} + I^2r$.若外电路是非纯电阻电路,能量守恒方程只有; $EI = IU + P_r$.

例③ 如图 14-6-5 所示,直线 OAC 为某一直流电源的总功率 $P_{\text{总}}$ 随电流 I 变化的图线,抛物线 OBC 为同一直流电源内部热功率 $P_{\text{内}}$ 随电流 I 变化的图线.若 A、B 对应的横坐标为 2 A,那么线段 AB 表示的功率及 $I = 2 \text{ A}$ 对应的外电阻是 ()

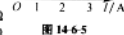


图 14-6-5

分析:两图线在 C 点相交,表明电源总功率与内部热功率相等,意味着电源短路.

所以 $r = \frac{P_{\text{总}}}{I^2} = \frac{9}{3^2} = 1 \Omega$,电源电动势 $E = Ir = 3 \text{ V}$,因 AB

对应的电流 $I = 2 \text{ A}$,根据闭合电路欧姆定律可得 $R + r = \frac{E}{I} = 1.5 \Omega$,所以 $R = (1.5 - 1) \Omega = 0.5 \Omega$,其功率 $P = FR = 2^2 \times 0.5 \text{ W} = 2 \text{ W}$.

答案:A

提醒 本题通过图像信息,考查对闭合电路中不同功率变化规律的理解能力以及对图像的识别能力、隐含信息挖掘能力等.



思维能力拓展

等效电源法在求解电源输出功率的应用

例④ 电路如图 14-6-6 所示,电源电动势 $E = 15 \text{ V}$,内阻 $r = 10 \Omega$,定值电阻 $R = 90 \Omega$, R_0 为可变电阻, R_0 的阻值由零增

大到 400Ω 的过程中,求:

- (1)可变电阻 R_0 上消耗的电功率最大的条件和最大功率;
- (2)定值电阻 R 和电源内阻 r 上消耗功率之和的最小值;
- (3)定值电阻 R 上消耗最大功率的条件及最大值.

分析:(1)把定值电阻和电源作为一个等效电源,其电动势为 $E = 15 \text{ V}$,内阻则变为 $r_1 = r + R = 100 \Omega$,即等效电源的内阻 $r_1 = 100 \Omega$ 则可变电阻 R_0 上消耗的电功率 P 为

$$P = FR_0 = \frac{E^2}{(R_0 + r_1)^2} R_0 = \frac{E^2}{(R_0 - r_1)^2 + 4r_1}.$$

当 $R_0 = r_1 = 100 \Omega$ 时, $R_0 = r_1$ 上消耗的功率有最大值,最大值为

$$R_{\text{max}} = \frac{E^2}{4r_1} = \frac{15^2}{4 \times 100} \text{ W} = 0.56 \text{ W}.$$

(2)因 R 和电源内阻 r 的阻值都是固定的,所以这两部分电阻上消耗功率的大小决定于通过它们电流的大小,电流越大,它们消耗功率也越大;电流越小,它们消耗的功率也越小.

当 R_0 取最大值 400Ω 时,电路中的电流有最小值 I_{min} ,且 $I_{\text{min}} = \frac{E}{R_0 + R + r}$,这时 R 和 r 消耗的功率之和有最小值,最小值为

$$P_{\text{min}} = \left(\frac{E}{R_0 + R + r} \right)^2 (R + r) = \left(\frac{15}{400 + 90 + 10} \right)^2 \times (90 + 10) \text{ W} = 0.09 \text{ W}.$$

(3)当 $R_0 = 0$ 时,电流有最大值,此时 R 消耗的功率有最大值,最大值为

$$P_{\text{max}} = I^2 R = \left(\frac{E}{R + r} \right)^2 R = \left(\frac{15}{90 + 10} \right)^2 \times 90 \text{ W} = 2.0 \text{ W}.$$

答案:(1) $R_0 = 100 \Omega$, $P_{\text{max}} = 0.56 \text{ W}$.

(2) $P_{\text{min}} = 0.09 \text{ W}$.

(3) $R_0 = 0$, $P_{\text{max}} = 2.0 \text{ W}$.

提醒 该题的解答采用了等效电源法,即将含有电源的某一部分电路等效为一个新的电源,这个等效电源的电动势等于其接入电路两端开路时的电压,等效电源的内电阻等于这部分电路的电阻与实际电源内阻的总电阻.

跟踪练习

1 如图 14-6-7 所示的电路中,电池组的内阻 $r = 4 \Omega$,外电阻 $R_1 = 2 \Omega$,当滑动变阻器 R_2 的电阻调为 4Ω 时,电源内部的热功率是 4 W ,则电源的最大输出功率是 ,欲使 R_2 的电功率达到最大值,则 R_2 应调为

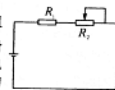


图 14-6-7



综合探究创新

简单电路的动态分析

例⑤ (2002 年上海高考)如图 14-6-8 所示电路中,当变阻器 R_2 的滑动头 P 向 b 端移动时 ()

- 电压表示数变大,电流表示数变小
- 电压表示数变小,电流表示数变大
- 电压表示数变大,电流表示数变大
- 电压表示数变小,电流表示数变小

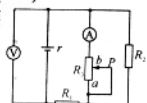


图 14-6-8

分析:首先将电压表、电流表理想化处理,简化电路, R_2 与 R_1



并接后与 R_1 串联,当滑动头 P 向 b 端移动时, R_2 阻值变小, R_2 、 R_3 并联部分总电阻变小,外电阻 $R_{\text{外}}$ 减小,由闭合电路欧姆定律知总电流增大,内电压增大,从而使路端电压减小,即电压表示数减小,由于通过 R_1 的电流增大,电压升高,从而使 R_2 上的电压降低,通过 R_2 的电流减小,但干路中电流变大,因此 R_3 中电流变大,电流表示数变大,正确选项为 B。

答案: B

例 2 电路动态变化问题的分析思路是某个电阻的变化 $\rightarrow$ 电路总电阻的变化 $\rightarrow$ 电路总电流的变化 $\rightarrow$ 内电压的变化 $\rightarrow$ 路端电压的变化 $\rightarrow$ 各支路电压、电流的变化。

例 3 (2002 年高考全国卷) 在如图 14-6-9 所示的电路中,

R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 皆为定值电阻, R_5 为可变电阻,电源的电动势为 E ,内阻为 r 。设电流表 A 的读数为 I ,电压表 V 的读数为 U 。当 R_5 的滑动触点向图中 a 端移动时 ()

- A. I 变大, U 变小
B. I 变大, U 变大
C. I 变小, U 变大
D. I 变小, U 变小

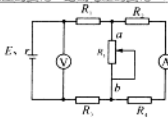


图 14-6-9



误区障碍跨越

易错点 对 $U-I$ 图像的理解

应正确理解其物理意义,在理解的基础上,通过分析揭示图像上各点的内涵,不能死记硬背,生搬硬套,否则容易出错。



优化题型展示

- (基础题) 下面对电源电动势概念的认识正确的是 ()
A. 电源电动势等于电源两极间的电压
B. 在闭合电路中,电动势等于内、外电压之和
C. 电源电动势表征了电源把其他形式的能转化为电能的本领,电源把其他形式的能转化为电能越多,电动势就越大
D. 电动势、电压和电势差虽名称不同,但物理意义相同,所以单位也相同
- (综合题) 如图 14-6-10 所示是电解硫酸铜溶液的装置示意图,图中电压表的示数为 U ,电流表示数为 I ,通电时间是 t ,则下面说法正确的是 ()
A. It 是这段时间内流到铜板上的阳离子所带的总电量
B. UI 是这段过程中所产生的总焦耳热
C. IUt 是这段过程中该电路消耗的总电能
D. UI 是电能转化为化学能的功率
- (能力题) 把一个“10 V, 2 W”的小灯泡 A 接到电动势和内阻均不变的电源上,小灯泡 A 的实际消耗的功率为 2.0 W,换上另一个“10 V, 5 W”的小灯泡 B 接到这一电源上,小灯泡 B 的实际功率 ()
A. 一定大于 2.0 W
B. 一定小于 2.0 W
C. 可能大于 2.0 W
D. 可能小于 2.0 W
- (能力题) 有三个电池 a 、 b 、 c ,电动势分别为 E_a 、 E_b 、 E_c ,且 $E_a = E_b = E_c$,内阻分别为 r_a 、 r_b 、 r_c ,且 $r_a < r_b < r_c$ 。现分别用这三个电池与一定值电阻 $R (R = r_a)$ 连接,则哪个电池的输出功率最大 ()
A. a
B. b
C. c
D. 条件不足,无法确定
- (综合题) 如图 14-6-11 所示,直线 A 为电源 a 的路端电压与电流关系图像,直线 B 为电源 b 的路端电压与电流的关系图像,直线 C 为一电阻 R 两端电压与电流关系图像。将这个电阻 R 分别接到 a 、 b 两个电源上,由图可知这两次相比 ()
A. R 接到电源 a 上,电源效率较高
B. R 接到电源 b 上,电源输出功率较大
C. R 接到电源 a 上,电源输出功率较大,但效率较低
D. R 接到电源 b 上,电源内阻发热功率较小
- (能力题) 手电筒里的两节电池,已经用过较长时间,灯泡只发出很微弱的光,把它们取出来,用电压表测电压,电压表示数很接近 3 V,再把它作为一个台式电子钟的电源,电子钟能正常工作,下列说法正确的是 ()
A. 这两节干电池的电动势减小了很多

尤其要注意纵轴 U 起始坐标不是零的情况,可将横轴向下平移,此时图线与纵轴相交的示数仍等于 E ,而延长图线与横轴的交点才是 $U=0$ 点。



方法规律总结

1. 简单电路的动态分析

由于电流、电压、电功率都与电阻相联系,当电阻变化时,上述物理量也会发生变化,而对于确定连接关系的电路,它们的对应关系也确定,故采取局部(引起变化的部分) $\rightarrow$ 整体 $\rightarrow$ 局部(需要得出结论的部分)的分析思路。

闭合电路中,外电路任一处的电阻增大。

- (1) 总电阻增大,总电流减小,路端电压增大。
- (2) 所在支路电流减小,与它并联的支路电流增大,总结为“串反并同”。

2. 电路检测方法

(1) 断路故障的检测:用电压表逐段与电路并联,若电压表指针偏转,则该段电路有断点。

(2) 短路故障的检测:用电压表与电源并联,若电压表示数为零,则该电路被短路,若电压表示数不为零,则该电路不被短路,或不完全被短路。



跟踪练习答案

1. $\frac{25}{4}$ W 6 Ω 2. D

考查目标

$\leftarrow$ 考查电动势。

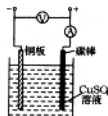


图 14-6-10

$\leftarrow$ 考查电源、路端电压。

$\leftarrow$ 考查电源输出功率。

$\leftarrow$ 考查电源输出功率。

$\leftarrow$ 考查电源 $U-I$ 图像。

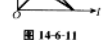


图 14-6-11

$\leftarrow$ 考查电源电动势、内电阻。



- B. 这两节干电池的内电阻增大较大
C. 这台电子钟的额定电压一定比手电筒里的小灯泡额定电压小
D. 这台电子钟正常工作时电流一定比小灯泡正常工作时电流小

7. (能力题)如图 14-6-12 所示电路,电源的电动势为 E , 内电阻为 r , 串联一可变电阻 R 向电容器充电, 电容器的电容为 C , 第一次充电时, 可变电阻调为零, 测得电源所做的功为 W_1 ; 第二次充电时, 可变电阻调至 $R=R_0$, 测得电源所做的功为 W_2 ; 第三次充电时, 可变电阻调至 $R=2R_0$, 测得电源所做的功为 W_3 , 则()
A. $W_2 > W_1$, $W_3 > W_1$
B. $W_2 < W_1$, $W_3 < W_1$
C. $W_1 = W_2 = W_3$
D. $W_1 = CE^2$

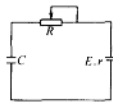


图 14-6-12

←考查电源的功

8. (能力题)如图 14-6-13 所示电路, 开关 S 原来是闭合的, 当 S 打开时, 电流表的示数变化情况是(电池内阻符号为 r)()
A. $r=0$ 时示数不变, $r \neq 0$ 时示数变大
B. $r=0$ 时示数变大, $r \neq 0$ 时示数都变大
C. $r=0$ 时示数变小, $r \neq 0$ 时示数变大
D. $r=0$ 时示数变大, $r \neq 0$ 时示数变小

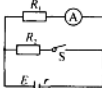


图 14-6-13

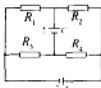


图 14-6-14

←考查闭合电路欧姆定律

9. (能力题)在如图 14-6-14 所示的电路中, 电容器 C 的上极板带正电, 为了使该极板仍带正电且电荷量增大, 下列办法中可采用的是()
A. 增大 R_1 , 其他电阻不变
B. 增大 R_2 , 其他电阻不变
C. 增大 R_3 , 其他电阻不变
D. 增大 R_4 , 其他电阻不变

←考查闭合电路欧姆定律

10. (能力题)如图 14-6-15 所示的电路中, 电源的电动势为 E , 内阻可忽略不计, 从刚闭合开关 S 接通电路起, 到电流最后达到稳定值的时间里, 关于各电流 I 和电压 U 的变化情况, 正确的叙述是()
A. I_0 由大变小, I_1 由小变大, I_2 由大变小, 最后 $I_0 = I_1$, $I_2 = 0$
B. I_0 , I_1 和 I_2 都由大变小, 最后 $I_0 = I_1$, $I_2 = 0$
C. U_a 由大变小, U_b 由小变大, U_b 最后达到的值取决于 R 和 R_1
D. U_a 不随时间变化, U_b 由小变大, U_b 最后达到的值取决于 C

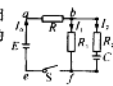


图 14-6-15

←考查闭合电路欧姆定律

11. (能力题)一太阳能电池板, 测得它的开路电压为 800 mV , 短路电流为 40 mA . 若将该电池板与一阻值为 20Ω 的电阻器连成一闭合电路, 则它的路端电压是()
A. $0, 10 \text{ V}$
B. $0, 20 \text{ V}$
C. $0, 30 \text{ V}$
D. $0, 40 \text{ V}$

←考查路端电压

12. (能力题)如图 14-6-16 所示的电路中, R_1, R_2, R_3 和 R_4 皆为定值电阻, R_5 为可变电阻, 电源的电动势为 E , 内阻为 r . 设电流表 A 的读数为 I , 电压表 V 的读数为 U . 当 R_5 的滑动触点向图中 a 端移动时()
A. I 变大, U 变小
B. I 变大, U 变大
C. I 变小, U 变大
D. I 变小, U 变小

←考查闭合电路欧姆定律

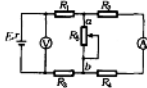


图 14-6-16

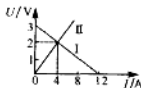


图 14-6-17

13. (能力题)如图 14-6-17 所示, 直线 I 为一直流电源与滑动变阻器 R 构成串联回路后电源输出电压 U 和电流 I 的关系图像, 直线 II 为一定值电阻 R_0 两端电压 U 和通过它的电流 I 的关系图像, 若将该直流电源与电阻 R_0 组成闭合电路, 则电源的输出功率为 _____, 电源的输出效率为 _____.

←考查电源输出功率、输出效率

14. (应用题)图 14-6-18 是两个电池外壳上的说明文字.

←考查电动势

某型号进口电池	某型号国产电池
RECHARGEABLE 1.2 V 500 mAh STANDARD CHARGE 15 h at 50 mA	GNV0.6(KR-AA) 1.2 V 600 mAh RECHARGEABLE STANDARD CHARGE 15 h at 60 mA

图 14-6-18

上述进口电池的电动势是 _____ V. 上述国产电池最多可放出 _____ $\text{mA} \cdot \text{h}$ 的电量; 若该电池平均工作电流为 0.03 A , 则最多可使用 _____ h.