

第十章 电路及其应用

第1讲 电路的基本概念和规律

课标要求

了解串、并联电路电阻的特点；理解电功、电功率及焦耳定律，能用焦耳定律解释生产生活中的热现象。

必备知识·强基固本

一、电流、欧姆定律

1. 电流

(1) 电流的形成：电荷的定向移动形成电流。

(2) 电流的方向：_____定向移动的方向规定为电流的方向。

(3) 三个公式：a.定义式 $I = \frac{q}{t}$ ；b.微观式 $I = \underline{\hspace{2cm}}$ ；c.决定式 $I = \frac{U}{R}$ 。

【答案】正电荷； $nqSv$

2. 欧姆定律

(1) 欧姆定律：导体中的电流 I 跟导体两端的电压 U 成正比，跟导体的电阻 R 成反比。表达式为_____。

(2) 欧姆定律的适用范围

a.金属导电和电解液导电（对气体导电和半导体元件导电不适用）。

b.纯电阻电路（不含电动机、电解槽等器件的电路）。

【答案】 $I = \frac{U}{R}$

二、电阻、电阻率、电阻定律

1. 电阻：反映了导体对电流的阻碍作用的大小， $R = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

【答案】 $\frac{U}{I}$

2. 电阻定律

(1) 内容：同种材料的导体，其电阻 R 与它的长度 l 成___，与它的横截面积 S 成___；导体电阻还与构成它的材料有关。

(2) 表达式： $R = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

【答案】正比；反比； $\rho \frac{l}{S}$

3. 电阻率

(1) 物理意义：反映制作导体的材料_____好坏的物理量，是导体材料本身的属性。

(2) 电阻率与温度的关系

a. 金属的电阻率随温度的升高而__。

b. 半导体的电阻率随温度的升高而减小。

c. 超导体：在温度特别低时，某些材料的电阻率突然减小为零成为超导体。

【答案】 导电性能； 增大

三、电功、电功率、焦耳定律

1. 电功公式： $W = qU =$ _____。

【答案】 UIt

2. 电功率

(1) 定义：电流在一段电路中所做的功与通电时间之比叫作电功率。表示电流做功的__。

(2) 公式： $P = \frac{W}{t} =$ _____。

【答案】 快慢； UI

3. 焦耳定律

(1) 内容：电流通过导体产生的热量跟电流的二次方成正比，跟导体的电阻及通电时间成正比。

(2) 公式： $Q =$ _____。

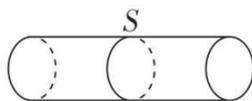
【答案】 I^2Rt

4. 热功率公式： $P = \frac{Q}{t} =$ _____。

【答案】 I^2R

教材挖掘。（人教版必修第三册第十一章第1节）

如图所示，设某导体的横截面积为 S ，导体中单位体积的自由电荷数为 n ，每个自由电荷的电荷量为 q ，自由电荷定向移动的速率为 v 。则 t 时间内穿过某一横截面的电荷量为多少？电流为多大？



提示： $nvtSq; nqSv$ 。

四、串、并联电路的特点

项	串联电路	并联电路
---	------	------

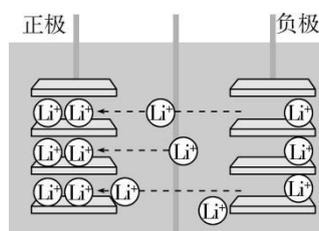
目		
电 流	$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$	$I = \underline{\hspace{2cm}}$
电 压	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$U = \underline{\hspace{2cm}}$
电 阻	$R_{\text{总}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	$\frac{1}{R_{\text{总}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

【答案】 $I_1 + I_2 + \dots + I_n$; $U_1 = U_2 = \dots = U_n$

自主评价

1. 依据下面小情境，判断下列说法对错。

（人教版必修第三册改编）锂离子电池主要依靠锂离子(Li^+)在正极和负极之间移动来工作。如图为锂离子电池放电过程，该过程中 Li^+ 从负极通过隔膜返回正极，已知该锂离子电池的电动势为 3.7V。



- (1) 非静电力做的功越多，电动势越大。 ()
- (2) 移动一个锂离子，需要消耗电能 3.7J。 ()
- (3) “毫安时” ($\text{mA} \cdot \text{h}$)是电池储存能量的单位。 ()
- (4) 锂离子电池放电时，电池内部静电力做负功，化学能转化为电能。 ()

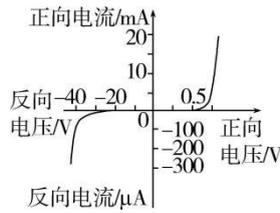
【答案】 (1) ×

(2) ×

(3) ×

(4) ✓

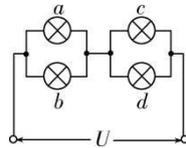
2. （人教版必修第三册改编）如图所示，是某晶体二极管的伏安特性曲线，下列说法正确的是 ()



- A. 加正向电压时，二极管电阻较小，且随着电压的增大而增大
- B. 加反向电压时，二极管电阻较大，无论加多大电压，电流都很小
- C. 无论是加正向电压还是加反向电压，电压和电流都不成正比，所以二极管是非线性元件
- D. 二极管加正向电压时，电流随电压变化是一条直线

【答案】C

3. (人教版必修第三册改编) 四盏灯泡接成如图所示的电路。 a 、 c 灯泡的规格为“220V40W”， b 、 d 灯泡的规格为“220V100W”，各个灯泡的实际功率分别为 P_a 、 P_b 、 P_c 、 P_d 且都没有超过它们的额定功率。则这四盏灯泡实际消耗功率大小关系是 ()



- A. $P_a = P_c < P_b = P_d$
- B. $P_a = P_c > P_b > P_d$
- C. $P_a < P_c < P_b < P_d$
- D. $P_a < P_c < P_b = P_d$

【答案】A

关键能力·核心突破

考点一 电流、电阻、电阻定律的理解及应用

1. [2024·山东淄博一模] 公式 $I = Q/t$ 的应用阿秒(as)光脉冲是一种发光持续时间极短的光脉冲，如同高速快门相机，可用以研究原子内部电子高速运动的过程。已知 $1\text{as} = 10^{-18}\text{s}$ ，电子所带电荷量为 $1.6 \times 10^{-19}\text{C}$ ，氢原子核外电子绕原子核做匀速圆周运动的等效电流约为 $1 \times 10^{-3}\text{A}$ 。目前阿秒光脉冲的最短时间为 43as ，电子绕氢原子核运动一周的时间约为该光脉冲时间的 ()

- A. 2.8 倍
- B. 3.7 倍
- C. 4.2 倍
- D. 5.5 倍

【答案】B

【解析】 根据电流的定义式得 $I = \frac{e}{T}$ ，可得电子绕氢原子核一周的时间为 $T = \frac{e}{I}$ ，

则有 $\frac{T}{t} = \frac{1.6 \times 10^{-19}}{1 \times 10^{-3} \times 43 \times 10^{-18}} \approx 3.7$ ，故选 B。

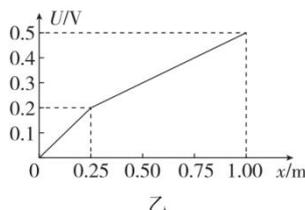
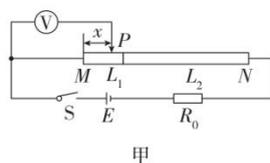
2. [2024·湖南长沙模拟]公式 $I = nqSv$ 的应用多选 金属导电是典型的导电模型，值得深入研究。一金属直导线电阻率为 ρ ，若其两端加电压，自由电子将在静电力作用下定向加速，但电子加速运动很短时间就会与晶格碰撞而发生散射，紧接着又定向加速，这个周而复始的过程可简化为电子以速度 v 沿导线方向做匀速运动。我们将导线中电流与导线横截面积的比值定义为电流密度，其大小用 j 表示，可以“精细”描述导线中各点电流的强弱。设该导线内电场强度为 E ，单位体积内有 n 个自由电子，电子电荷量为 e ，电子在导线中定向运动时受到的平均阻力为 F_f 。则下列表达式正确的是（ ）

- A. $\rho = nev$ B. $j = nev$ C. $E = \rho j$ D. $F_f = ne^2\rho v$

【答案】BCD

【解析】电流的微观表达式 $I = neSv$ ，电流密度为 $j = \frac{I}{S} = nev$ ，A 错误，B 正确；由欧姆定律得 $I = \frac{U}{R}$ ，而 $I = jS$ ， $R = \frac{\rho L}{S}$ ，所以 $E = \frac{U}{L} = \rho j$ ，C 正确；电子在导线中的运动简化为匀速运动，则 $F_f = eE = e\rho j = ne^2\rho v$ ，D 正确。

3. [2024·广西卷·6, 4分]电阻定律的应用将横截面相同、材料不同的两段导体 L_1 、 L_2 无缝连接成一段导体，总长度为 1.00m，接入图甲电路。闭合开关 S，滑片 P 从 M 端滑到 N 端，理想电压表读数 U 随滑片 P 的滑动距离 x 的变化关系如图乙，则导体 L_1 、 L_2 的电阻率之比约为（ ）



- A. 2:3 B. 2:1 C. 5:3 D. 1:3

【答案】B

【解析】根据电阻定律可知，电阻 $R = \rho \frac{x}{S}$ ，结合欧姆定律 $I = \frac{U}{R}$ 可得 $U = \frac{I\rho}{S}x$ ，则题图乙中 $U - x$ 图线的斜率 $k = \frac{I\rho}{S} \propto \rho$ ， $U - x$ 图线斜率在 $x = 0.25\text{m}$ 时发生变

化，说明此刻电阻率发生了变化，即导体 L_1 长度为 0.25m，导体 L_2 长度为

0.75m，可知导体 L_1 、 L_2 的电阻率之比 $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{\frac{0.2}{0.25}}{\frac{0.5-0.2}{1.00-0.25}} = \frac{2}{1}$ ，B 正确。

核心提炼

1.三个电流表达式的比较

	公式	适用范围	公式含义
定义式	$I = \frac{q}{t}$	一切电路	$\frac{q}{t}$ 反映了 I 的大小，但不能说 $I \propto q$ ， $I \propto \frac{1}{t}$
微观式	$I = nqSv$	一切电路	从微观上看， n 、 q 、 S 、 v 决定了 I 的大小
决定式	$I = \frac{U}{R}$	金属、 电解液	I 由 U 、 R 决定， $I \propto U$ 、 $I \propto \frac{1}{R}$

2.电阻定义式和决定式的比较

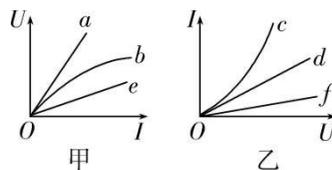
项目	定义式： $R = \frac{U}{I}$	决定式： $R = \rho \frac{l}{S}$
适用条件	(1) 金属、电解液 (2) 纯电阻电路	粗细均匀的金属导体和浓度均匀的电解液
公式含义	$\frac{U}{I}$ 反映了 R 的大小，不能说 $R \propto U$ 、 $R \propto \frac{1}{I}$	R 由 ρ 、 l 、 S 共同决定
注意	电阻大，电阻率不一定大；电阻率小，电阻不一定小	

考点二 欧姆定律与伏安特性曲线

1.欧姆定律的“二同”

- (1) 同体性： I 、 U 、 R 三个物理量必须对应同一段电路或同一段导体。
- (2) 同时性： U 和 I 必须是同一时刻的电压和电流。

2.对 $U-I$ 、 $I-U$ 图像的理解（如图甲、乙所示）



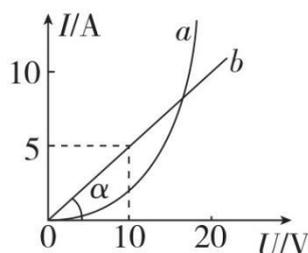
(1) 图线*a*、*e*、*d*、*f*表示线性元件，*b*、*c*表示非线性元件。

(2) 在图甲中，图线上的点与*O*点连线的斜率表示电阻，斜率越大，电阻越大， $R_a > R_e$ 。

在图乙中，图线上的点与*O*点连线的斜率表示电阻倒数，斜率越大，电阻越小， $R_d < R_f$ 。

(3) 随着*I*的增大，图线*b*上对应的点与*O*点连线的斜率变小，电阻变小；随着*U*的增大，图线*c*上对应的点与*O*点连线的斜率变大，电阻变小。

例 1 [2024·广东揭阳模拟]如图所示为*a*、*b*两电阻的伏安特性曲线，图中 $\alpha = 45^\circ$ ，关于两电阻的描述正确的是 ()



A. 电阻*a*的阻值随电流的增大而增大

B. 因*I* - *U*图线的斜率表示电阻的倒数，故电阻*b*的阻值 $R = \frac{1}{\tan\alpha} \Omega = 1.0 \Omega$

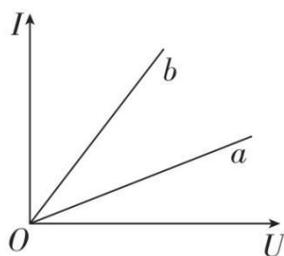
C. 在两图线交点处，电阻*a*的阻值等于电阻*b*的阻值

D. 在电阻*b*两端加 2V 电压时，流过电阻的电流是 4A

【答案】C

【解析】*I* - *U*图像上的点与坐标原点连线的斜率表示电阻的倒数，由题图可知，电阻*a*的阻值随电流的增大而减小，A 错误；由于横、纵坐标轴的长度单位不同，则不能由 $R = \frac{1}{\tan\alpha} \Omega = 1.0 \Omega$ 求解电阻*b*的阻值，只能通过 $R = \frac{U}{I} = \frac{10}{5} \Omega = 2 \Omega$ 求解，B 错误；根据 $R = \frac{U}{I}$ 可知在两图线交点处，电阻*a*的阻值等于电阻*b*的阻值，C 正确；由题图可知，在电阻*b*两端加 2V 电压时，流过电阻的电流是 1A，D 错误。

迁移应用 1. [2024·广西钦州模拟]如图所示，*a*、*b*分别表示由相同材料制成的两条长度相同、粗细均匀的电阻丝的伏安特性曲线，下列判断正确的是 ()



- A. a 代表的电阻丝较粗
- B. b 代表的电阻丝较粗
- C. a 电阻丝的阻值小于 b 电阻丝的阻值
- D. $I - U$ 图线表示电阻丝的阻值与电压成正比

【答案】 B

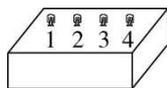
【解析】 $I - U$ 图线的斜率表示电阻的倒数，故 $R_a > R_b$ ，C 错误；由 $R = \rho \frac{L}{S}$ 知 a 的横截面积较小，A 错误，B 正确；由 $I - U$ 图线知电阻丝的阻值与电压无关，D 错误。

考点三 串、并联电路的特点及应用

关于串、并联电路的几个常用的推论

- (1) 串联电路的总电阻大于其中任一部分电路的总电阻。
- (2) 并联电路的总电阻小于其中任一支路的电阻。
- (3) 无论电路是串联还是并联，电路中任意一个电阻变大时，电路的总电阻都会变大。
- (4) 无论电阻怎样连接，每一段电路的总耗电功率 P 总是等于该段电路中各个电阻耗电功率之和。

例 2 [2023 · 全国乙卷 · 20, 6 分] **多选** 黑箱外有编号为 1、2、3、4 的四个接线柱，接线柱 1 和 2、2 和 3、3 和 4 之间各接有一个电阻，在接线柱间还接有另外一个电阻 R 和一个直流电源。测得接线柱之间的电压 $U_{12} = 3.0V$ ， $U_{23} = 2.5V$ ， $U_{34} = -1.5V$ 。符合上述测量结果的可能接法是 ()



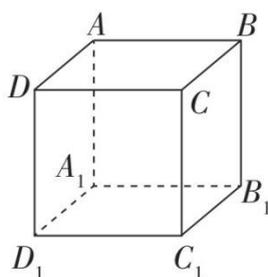
- A. 电源接在 1、4 之间， R 接在 1、3 之间
- B. 电源接在 1、4 之间， R 接在 2、4 之间
- C. 电源接在 1、3 之间， R 接在 1、4 之间
- D. 电源接在 1、3 之间， R 接在 2、4 之间

【答案】CD

【解析】若电源接在 1、4 之间，则编号为 1、2、3、4 的四个接线柱中相邻两个接线柱之间的电压可能都为正，也可能都为负，不可能出现题中有正有负的情况，A、B 错误；若电源接在 1、3 之间，则编号为 1、2、3、4 的四个接线柱中 1、2 之间的电压与 2、3 之间的电压可能均为正，则 3、4 之间的电压为负，C、D 正确。

迁移应用 2. [2024·湖北襄阳模拟]如图所示，立方体的每条边均由一定阻值的电阻组成，已知AB边的阻值为 24Ω ，A、B 两点间的总电阻为 8Ω ，现将AB边换成阻值为 12Ω 的电阻，其余边的电阻不变，则A、B 两点间的总电阻为

()



- A. 4Ω B. 6Ω C. 8Ω D. 12Ω

【答案】B

【解析】设AB边的阻值为 R_1 ，除AB边外其余边的总电阻为 R_2 ，可知 R_1 与 R_2 并联，当AB边的阻值为 24Ω 时，由 $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{8}\Omega^{-1}$ ，解得 $R_2 = 12\Omega$ ；当AB边换成阻值为 $R_3 = 12\Omega$ 的电阻时，设整个电路的总电阻为 R ，则有 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ ，解得 $R = 6\Omega$ ，故选 B。

考点四 电功、电热、电功率和热功率

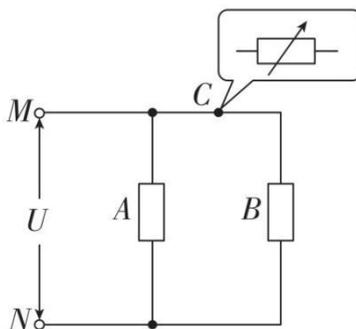
1. 电功和电热、电功率和热功率的区别与联系

项目	意义	公式	联系
电功	电流在一段电路中所做的功	$W = UIt$	对纯电阻电路，电功等于电热， $W = Q = UIt = I^2Rt$ ；对非纯电阻电路，电功大于电热， $W > Q$
电热	电流通过导体产生的热	$Q = I^2Rt$	

	量		
电功率	电流所做的功与所用时间之比	$P_{电} = UI$	对纯电阻电路，电功率等于热功率， $P_{电} = P_{热} = UI = I^2R$ ；对非纯电阻电路，电功率大于热功率， $P_{电} > P_{热}$
热功率	导体产生的热量与所用时间之比	$P_{热} = I^2R$	

2.常见的纯电阻用电器有电阻、电炉子、白炽灯等；常见的非纯电阻用电器有电风扇、电动机（电动机因故障或其他原因不转动时，相当于一个纯电阻元件）、电解槽等。

例3 [2024·海南卷·16, 10分]虚接是常见的电路故障，如图所示，电热器A与电热器B并联。电路中的C处由于某种原因形成了虚接，造成了该处接触电阻的阻值在 $0\sim 240\Omega$ 之间不稳定变化，可等效为电阻 R_C ，已知M、N两端电压 $U = 220V$ ，A与B的电阻 $R_A = R_B = 24\Omega$ ，求：



- (1) M、N间电阻 R 的变化范围；
- (2) 当 $R_C = 240\Omega$ ，电热器B消耗的功率（保留3位有效数字）。

【答案】 (1) $12\Omega \leq R \leq 22\Omega$

(2) $16.7W$

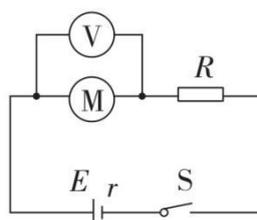
【解析】

(1) 根据串、并联电路的规律有 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B + R_C}$ 解得 $R = \frac{R_A(R_B + R_C)}{R_A + R_B + R_C} = \frac{R_A}{1 + \frac{R_A}{R_B + R_C}}$ 可

知当 $R_C = 0$ 时， R 最小，最小值为 12Ω 当 $R_C = 240\Omega$ 时， R 最大，最大值为 22Ω 所以M、N间电阻的变化范围为 $12\Omega \leq R \leq 22\Omega$ 。

(2) 当 $R_C = 240\Omega$ 时, 流过电热器 B 的电流 $I_B = \frac{U}{R_B + R_C}$ 电热器 B 消耗的功率 $P_B = I_B^2 R_B$ 代入数据解得 $P_B \approx 16.7W$ 。

迁移应用 3. 在如图所示的电路中, 电源电动势为 $6V$, 内阻为 2Ω , 定值电阻 R 的阻值为 10Ω , 电动机的线圈阻值为 2Ω 。闭合开关 S 后, 理想电压表的示数为 $3V$ 。下列说法正确的是 ()



- A. 电源的输出功率为 $4.5W$
- B. 电动机消耗的功率为 $0.75W$
- C. 电动机线圈在 1 分钟内产生的热量为 $0.125J$
- D. 如果电动机被卡住, 电压表的示数将变大

【答案】B

【解析】 假设电路中电流为 I , 根据闭合电路欧姆定律可得 $E = U + I(R + r)$, 解得 $I = \frac{E - U}{R + r} = \frac{6 - 3}{10 + 2} A = 0.25A$, 可知外电路电压为 $U_{外} = E - Ir = 5.5V$, 电源的输出功率为 $P_{出} = U_{外}I = 5.5 \times 0.25W = 1.375W$, A 错误; 电动机消耗的功率为 $P = UI = 3 \times 0.25W = 0.75W$, B 正确; 电动机线圈在 1 分钟内产生的热量为 $Q = I^2 R_{线} t = 0.25^2 \times 2 \times 60J = 7.5J$, C 错误; 如果电动机被卡住, 电动机变成纯电阻, 根据闭合电路欧姆定律可得 $E = I'(R_{线} + R + r)$, 解得 $I' = \frac{E}{R_{线} + R + r} = \frac{6}{2 + 10 + 2} A \approx 0.43A$, 电压表示数为 $U' = I'R_{线} \approx 0.86V$, 故电压表的示数将变小, D 错误。

总结归纳

非纯电阻电路的分析方法

(1) 抓住两个关键量: 确定电动机的电压 U_M 和电流 I_M 是解决所有问题的关键。若能求出 U_M 、 I_M , 就能确定电动机的电功率 $P = U_M I_M$, 根据电流 I_M 和电动机的电阻 r 可求出热功率 $P_r = I_M^2 r$, 最后求出输出功率 $P_{出} = P - P_r$ 。

(2) 坚持“躲着”求解 U_M 、 I_M ：首先，对其他纯电阻电路部分、电源的内电路部分，利用欧姆定律进行分析计算，确定相应的电压或电流。然后，利用电路的电压关系、电流关系间接确定非纯电阻电路部分的工作电压和电流。

(3) 应用能量守恒定律分析：要善于从能量转化的角度出发，紧紧围绕能量守恒定律，利用“电功=电热+其他能量”寻找等量关系求解。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 48

第 2 讲 闭合电路欧姆定律

课标要求

了解电动势的物理含义，理解闭合电路欧姆定律；掌握路端电压和电流的关系及电源的 $U-I$ 图像；掌握闭合电路中电功、电热及能量转化。

必备知识·强基固本

一、电源的电动势和内阻

1. 电动势

(1) 定义：非静电力所做的功与移动的电荷量之比叫作电动势；电动势在数值上等于非静电力把 1C 的_____在电源内从__移送到__所做的功。

(2) 表达式： $E = \frac{W}{q}$ 。

(3) 物理意义：反映电源把其他形式的能转化成电能的本领大小的物理量。

【答案】 正电荷； 负极； 正极； $\frac{W}{q}$

2. 内阻：通常电源内部也存在电阻，叫作内阻，它是电源的另一重要参数。

二、闭合电路欧姆定律

1. 内容：闭合电路的电流跟电源的电动势成__，跟内、外电路的电阻之和成__。

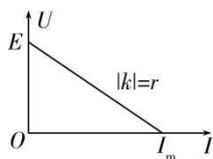
【答案】 正比； 反比

2. 公式
$$\begin{cases} I = \frac{E}{R+r} \text{ (只适用于纯电阻电路)} \\ E = U_{\text{外}} + U_{\text{内}} \text{ (适用于任何电路)} \end{cases}$$

3. 路端电压 U 与电流 I 的关系

(1) 关系式： $U = E - Ir$ 。

(2) 用图像表示如图所示，其中纵轴截距表示_____，横轴截距表示_____，图线斜率的绝对值表示_____。



【答案】 (1) $E - Ir$

(2) 电动势；短路电流；电源内阻

自主评价

1. 依据下面小情境，判断下列说法对错。

日常生活中我们经常接触到各种各样的电源，如图所示的干电池、手机电池，它们分别标有“1.5V”“3.7V”字样。



标有“1.5V”的干电池 标有“3.7V”的手机电池

- (1) 图中手机电池转化电能的本领比一节干电池的大。 ()
- (2) 电动势就是电源两极间的电压。 ()
- (3) 非静电力做的功越多，电动势就越大。 ()
- (4) 把 5C 的正电荷从 1.5V 干电池的负极移到正极，电荷的电势能增加了 7.5J。 ()
- (5) 非静电力做的功与移动的电荷量的比值可以反映非静电力做功的本领。 ()

【答案】 (1) \checkmark

(2) \times

(3) \times

(4) \checkmark

(5) \checkmark

2. (人教必修第三册改编) 一个电源接 8Ω 的电阻时，通过电源的电流为 0.15A，接 13Ω 的电阻时，通过电源的电流为 0.10A，则电源的电动势和内阻分别为 ()

- A. 2V1.5 Ω
- B. 1.5V2 Ω
- C. 2V2 Ω
- D. 1.5V1.5 Ω

【答案】 B

3. (人教版必修第三册改编) 将 5 节电动势为 1.5V、内阻为 1.0Ω 的干电池串联, 给一个 “6.0V0.6W” 的用电器供电。若要使该用电器在额定电压下工作, 电路中还需要串联一个电阻, 其阻值是 ()

- A. 5Ω B. 7Ω C. 10Ω D. 15Ω

【答案】C

关键能力·核心突破

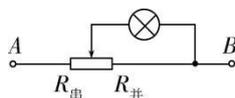
考点一 闭合电路的动态分析

1. 判定总电阻变化情况的规律

(1) 当外电路的任何一个电阻增大 (或减小) 时, 电路的总电阻一定增大 (或减小)。

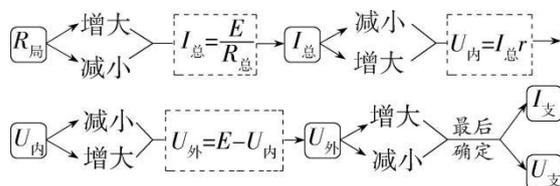
(2) 若开关的通、断使串联的用电器增多时, 电路的总电阻增大; 若开关的通、断使并联的支路增多时, 电路的总电阻减小。

(3) 在如图所示分压电路中, 滑动变阻器可视为由两段电阻构成, 其中一段 $R_{\#}$ 与用电器并联, 另一段 $R_{\#}$ 与并联部分串联。A、B 两端的总电阻与 $R_{\#}$ 的变化趋势一致。



2. 电路动态分析问题常用的 “三法”

(1) 程序判断法: 遵循 “局部 → 整体 → 部分” 的思路, 按以下步骤分析:



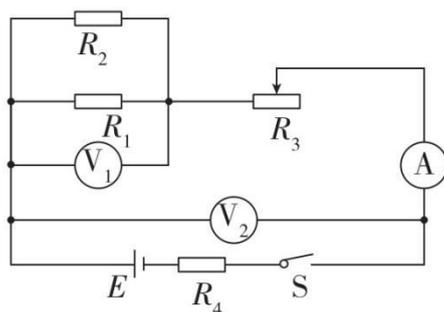
(2) “串反并同” 结论法 (应用条件: 电源内阻不为零)

① 所谓 “串反”, 即某一电阻增大时, 与它串联或间接串联的电阻中的电流、两端电压、电功率都将减小, 反之则增大。

② 所谓 “并同”, 即某一电阻增大时, 与它并联或间接并联的电阻中的电流、两端电压、电功率都将增大, 反之则减小。

(3) 极限法: 因滑动变阻器滑片滑动引起的电路变化问题, 可将滑动变阻器的滑片分别滑至两个极端去讨论。

例 1 多选 在如图所示的电路中, 电源的负极接地, 其电动势为 E 、内阻为 r , R_1 、 R_2 为定值电阻, R_3 为滑动变阻器, 电流表和电压表均为理想电表, C 为电



- A. 电流表 A 的示数变大 B. $\Delta U_1 < \Delta U_2$
 C. $\frac{\Delta U_1}{\Delta I}$ 变大 D. $\frac{\Delta U_2}{\Delta I}$ 不变

【答案】BD

【解析】滑动变阻器滑片向右滑动，接入回路中的滑动变阻器电阻变大，电路总电阻变大，根据闭合电路欧姆定律可知，干路电流减小，而电流表接在干路，则电流表示数减小，故 A 错误；设 $R_1 = R_2 = R_4 = R$ ，可知 R_1 与 R_2 并联，则其等效电阻 $R_{并} = \frac{R \cdot R}{R+R} = \frac{R}{2}$ ，而 $U_1 = IR_{并} = I \cdot \frac{R}{2}$ ，可知 $\frac{\Delta U_1}{\Delta I} = \frac{R}{2}$ ，大小不变，而由于电源内阻不计，根据闭合电路欧姆定律可得 $U_2 = E - IR_4 = E - IR$ ，可知 $\frac{\Delta U_2}{\Delta I} = R$ ，大小不变，则 $\Delta U_1 < \Delta U_2$ ，故 B、D 正确，C 错误。

考点二 电源的功率和效率问题

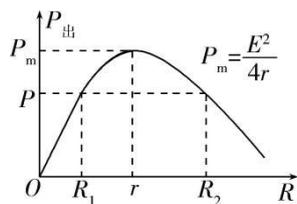
1. 电源的功率和效率

电源总功率	任意电路: $P_{总} = EI = P_{出} + P_{内}$
	纯电阻电路: $P_{总} = I^2(R+r) = \frac{E^2}{R+r}$
电源内部消耗的功率	$P_{内} = I^2r = P_{总} - P_{出}$
电源的输出功率	任意电路: $P_{出} = UI = P_{总} - P_{内}$
	纯电阻电路: $P_{出} = I^2R = \frac{E^2R}{(R+r)^2}$
电源的效率	任意电路: $\eta = \frac{P_{出}}{P_{总}} \times 100\% = \frac{U}{E} \times 100\%$
	纯电阻电路: $\eta = \frac{R}{R+r} \times 100\%$

2. 纯电阻电路中 $P_{出}$ 与外电阻 R 的关系

在纯电阻电路中，电源的输出功率 $P_{出} = I^2R = \frac{E^2R}{(R+r)^2} = \frac{E^2}{\frac{(R-r)^2}{R} + 4r}$ ，作出 $P_{出} - R$

图像，如图所示。

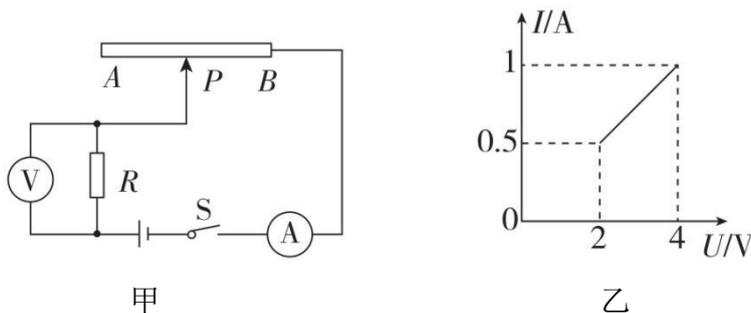


由 $P_{出}$ 与外电阻 R 的关系图像可知：

- (1) 当 $R = r$ 时，电源的输出功率最大，为 $P_m = \frac{E^2}{4r}$ 。
- (2) 当 $R > r$ 时，随着 R 的增大输出功率越来越小。
- (3) 当 $R < r$ 时，随着 R 的增大输出功率越来越大。
- (4) 当 $P_{出} < P_m$ 时，每个输出功率对应两个外电阻 R_1 和 R_2 ，且 $R_1 R_2 = r^2$ 。

例 2 [2025 · 广东广州模拟]如图甲是某同学设计的电路图，他将粗细均匀的电阻丝 AB 通过滑片 P 连入电路。闭合开关 S 后，滑片 P 从最左端 A 缓慢滑到最右端 B 的过程中，将电流表和电压表的示数绘制成如图乙所示的 $I - U$ 图像。已知电源电动势为 $10V$ ，电阻丝 AB 的阻值不随温度变化，且电表均为理想电表，则

()



- A. 电阻丝 AB 的电阻为 6Ω
- B. 电源的内阻为 4Ω
- C. 滑片 P 从 A 端缓慢滑到 B 端过程中，电阻丝 AB 消耗的电功率先增加后减少
- D. 滑片 P 从 A 端缓慢滑到 B 端过程中，电源的输出功率先增加后减少

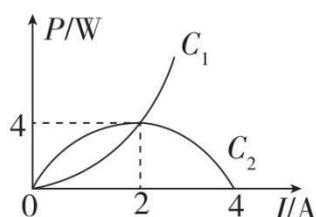
【答案】D

【解析】由 $I - U$ 图像知，定值电阻 $R = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{4-2}{1-0.5}\Omega = 4\Omega$ ，当滑片 P 位于 B 端时，干路电流最大，且 $I_{\max} = 1A$ ，由闭合电路欧姆定律可得 $I_{\max} = \frac{E}{R+r}$ ，解得电源的内阻 $r = 6\Omega$ ，故 B 错误；当滑片 P 位于 A 端时，干路电流最小，且 $I_{\min} = 0.5A$ ，根据 $I_{\min} = \frac{E}{R+r+R_{AB}}$ 可得电阻丝 AB 的电阻 $R_{AB} = 10\Omega$ ，故 A 错误；当电源

内阻和外电阻相等时，电源的输出功率最大，可知当 R_{AB} 接入 $+R = r$ ，即电阻丝 AB 接入电路的阻值 R_{AB} 接入 $= 2\Omega$ 时，电源的输出功率最大，因此，滑片 P 从 A 端缓慢滑到 B 端过程中，电源的输出功率先增加后减少，故 D 正确；若将定值电阻 R 与电源内阻 r 阻值之和视为电源的新内阻 r' ，则 $r' = R + r = 10\Omega$ ，此时电阻丝 AB 消耗的电功率为新电源的输出功率，同理，当内、外电阻相等时，新电源的输出功率最大，由 R_{AB} 接入 $\leq R_{AB} = r' = 10\Omega$ 可知，滑片 P 从 A 端缓慢滑到 B 端过程中，电阻丝 AB 消耗的电功率一直减少，故 C 错误。

迁移应用 2. [2024·广东河源模拟] 多选 如图所示，曲线 C_1 、 C_2 分别是纯电阻直流电路中内、外电路消耗的电功率随电流变化的图线。下列说法正确的是

()



- A. 电源的输出功率的最大值为 $8W$
- B. 电源的电动势为 $4V$
- C. 电源的内阻为 1Ω
- D. 电源被短路时，电源消耗的最大功率可达 $16W$

【答案】BCD

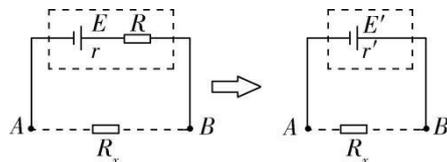
【解析】当电源内阻等于外电阻时，电源的输出功率最大，最大值为 $4W$ ， A 错误；根据 $P = UI$ 可得，当 $I = 2A$ 时，外电压为 $2V$ ，内电压也为 $2V$ ，电源的电动势为 $4V$ ， B 正确；电源的内阻 $r = \frac{U_{内}}{I} = 1\Omega$ ， C 正确；电源被短路时，电源消耗的最大功率可达 $P = \frac{E^2}{r} = 16W$ ， D 正确。

视野拓展

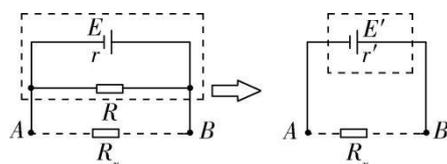
等效电源的应用

等效电源法是在保持电路结构不变的前提下，根据解决问题的需要，把电路中的某些定值电阻与电路中原有电源看成一个新的电源，从而使电路变得简单明了，易于分析，便于计算。等效电源法在解决电路的动态分析、变值电阻功率、测定电源电动势和内阻的系统误差分析等问题中具有明显的优势。

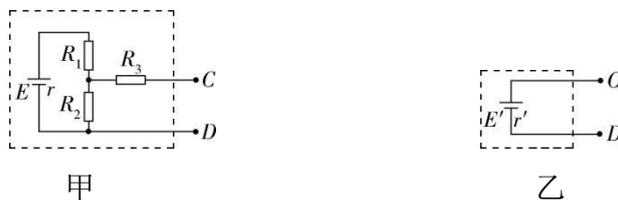
(1) 如图所示，把电源和定值电阻串联后看成一个等效电源，等效电源电动势与原电动势相等，等效电源内阻为原电源内阻与定值电阻阻值之和。



(2) 如图所示，把电源和定值电阻并联后看成一个等效电源，等效电源电动势为 $\frac{R}{r+R}E$ ，等效电源内阻为原电源内阻和定值电阻的并联值 $\frac{rR}{r+R}$ 。



例 3 如图甲所示电路中，电源电动势 $E = 12\text{V}$ ，内阻 $r = 2\Omega$ ， $R_1 = 4\Omega$ ， $R_2 = 6\Omega$ ， $R_3 = 3\Omega$ 。



- (1) 若在 C 、 D 间连一个理想电压表，其读数是多少？
- (2) 若在 C 、 D 间连一个理想电流表，其读数是多少？
- (3) 图甲中虚线框内的电路可等效为一个电源，即图甲可等效为图乙，其等效电动势 E' 等于 C 、 D 间未接入用电器时 C 、 D 间的电压；若用导线直接将 C 、 D 两点连接起来，通过该导线的电流等于等效电源的短路电流。则等效电源的内阻 r' 是多少？
- (4) 若在 C 、 D 间连一个阻值在 $0 \sim 10\Omega$ 范围的滑动变阻器，则滑动变阻器的最大功率是多少？

【答案】 (1) 6V

(2) 1A

(3) 6Ω

(4) 1.5W

【解析】

(1) C 、 D 之间连一个理想电压表, R_3 相当于导线, 电压表测量 R_2 两端电压。

根据闭合电路欧姆定律可得电路中的电流为 $I_1 = \frac{E}{R_1+R_2+r} = 1A$ 理想电压表读数为 $U_V = I_1 R_2 = 6V$

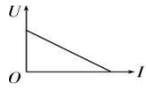
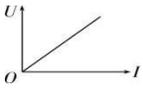
(2) 若在 C 、 D 间连一个理想电流表, 这时电阻 R_2 与 R_3 并联, 并联电阻大小为 $R = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 2\Omega$ 根据闭合电路欧姆定律, 有 $I_2 = \frac{E}{R_1+R+r} = 1.5A$ 通过 R_3 的电流 $I = \frac{I_2 R}{R_3} = 1A$

(3) 依题意得, 等效电源电动势 $E' = 6V$ 短路电流 $I' = 1A$ 等效电源的内阻 $r' = \frac{E'}{I'} = 6\Omega$

(4) 设外电阻为 R' , 可知当 $R' = 6\Omega$ 时等效电源的输出功率最大, 为 $P_{外} = (\frac{E'}{R'+r'})^2 R' = 1.5W$

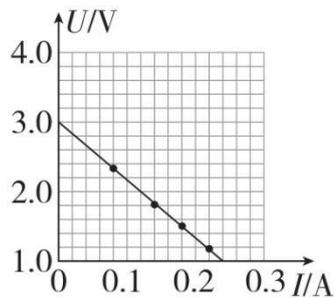
考点三 两类 $U-I$ 图像的比较与应用

两种图像的比较

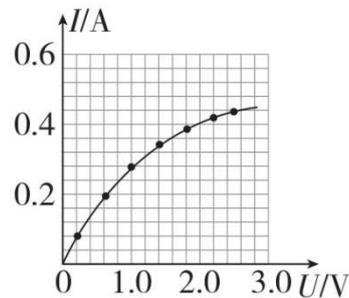
项目	电源 $U-I$ 图像	电阻 $U-I$ 图像
图形		
图像表示的物理量的关系	电源的路端电压与电路中电流的关系	电阻两端电压与电流的关系
图线与坐标轴交点	与纵轴交点表示电源电动势 E , 与横轴交点表示电源短路电流 $\frac{E}{r}$	过坐标轴原点, 表示没有电压时电流为零
图线上每一点对应的乘积 UI	表示电源的输出功率	表示电阻消耗的功率
图线上每一点对应的比值 $\frac{U}{I}$	表示外电阻的大小, 不同点对应的外电阻大小不同 (纯电阻电路)	表示此电阻的大小
图线的斜率的绝对值	电源内阻 r	电阻大小
联系	在同一坐标系中, 两图线交点坐标 (I_n, U_n) 既表示用该电源	

与该电阻组成回路时电路中的电流和路端电压，也表示电阻中的电流及其两端电压； $P = I_n U_n$ 既表示此时电源的输出功率，也表示此时电阻消耗的功率

例 4 [2024 · 湖北咸宁模拟] 多选 图甲是某实验小组的同学通过实验作出的电源 E 的路端电压 U 与电流 I 的关系图像，图乙是该实验小组的同学通过实验作出的小灯泡 L 的 $I - U$ 图像。下列说法中正确的是 ()



甲



乙

- A. 电源 E 的电动势约为 $3.0V$
- B. 电源 E 的内阻约为 12.5Ω
- C. 电源 E 的路端电压为 $2.0V$ 时，电源效率约为 50%
- D. 将小灯泡 L 接在电源 E 两端组成闭合回路，此时小灯泡消耗的功率约为 $0.23W$

技巧点拨

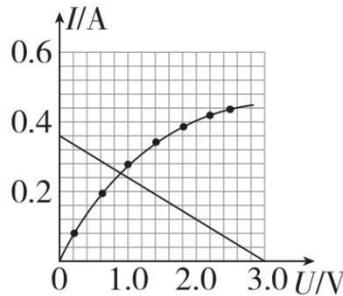
利用两种图像解题的基本方法

利用电源的 $U - I$ 图像和电阻的 $U - I$ 图像解题，无论电阻的 $U - I$ 图像是线性还是非线性，解决此类问题的基本方法是图解法，即把电源和电阻的 $U - I$ 图线画在同一坐标系中，图线的交点即电阻的“工作点”，电阻的电压和电流可求，其他的物理量也可求。

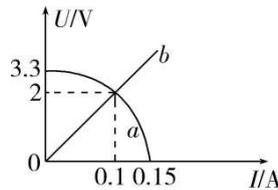
【答案】AD

【解析】由闭合电路欧姆定律可知 $U = E - Ir$ ，结合电源的 $U - I$ 图像可知，纵截距表示电源电动势，斜率表示电源内阻，可得 $E = 3.0V$ ， $r = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right| = \frac{3.0 - 1.0}{0.24} \Omega \approx 8.33\Omega$ ，故 A 正确，B 错误；电源的路端电压 $U = 2.0V$ 时，电源的效率为 $\eta = \frac{U}{E} \times 100\% = \frac{2}{3} \times 100\% \approx 66.7\%$ ，故 C 错误；在小灯泡的 $I - U$ 图像

上作出电源的 $I-U$ 图线，如图所示，两图线的交点为“工作点”，则小灯泡的实际功率为 $P = UI = 0.9 \times 0.25\text{W} \approx 0.23\text{W}$ ，故 D 正确。



迁移应用 3. 用某种材料做成的电池，其路端电压 U 和电流 I 的关系图线如图中曲线 a 所示（电池电动势一定，内阻可变），一电阻两端电压 U 和通过的电流 I 的关系图线如图中直线 b 所示，当用该电池只对该电阻供电时，电池的内阻为（ ）



- A. 13Ω B. 20Ω C. 22Ω D. 25Ω

【答案】A

【解析】由题图可知，用该电池给电阻供电时，电阻两端电压 $U = 2\text{V}$ ，电路中电流 $I = 0.1\text{A}$ ；由闭合电路欧姆定律得电池内阻 $r = \frac{E-U}{I} = \frac{3.3-2}{0.1}\Omega = 13\Omega$ ，故 A 正确，B、C、D 错误。

考点四 含容电路的分析

1. 电容器的简化处理：电路稳定后，可以把电容器所在支路作为断路，简化电路时可以将该支路去掉，求电荷量时再在相应位置补上。

2. 电阻的简化处理：电路稳定后，与电容器同支路的电阻相当于导线。

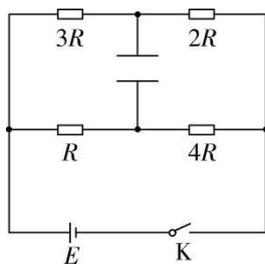
3. 电荷量变化的计算：电路中电流、电压的变化可能会引起电容器的充、放电。若电容器两端电压升高，电容器将充电；若电容器两端电压降低，电容器将通过与它连接的电路放电。

(1) 由 $\Delta Q = C\Delta U$ 计算电容器上电荷量的变化。

(2) 如果变化前后极板带电的电性相同，那么通过所连导线的电荷量等于初、末状态电容器所带电荷量之差。

(3) 如果变化前后极板带电的电性相反, 那么通过所连导线的电荷量等于初、末状态电容器所带电荷量之和。

例 5 [2023·海南卷·7, 3分] 如图所示电路, 已知电源电动势为 E , 内阻不计, 电容器电容为 C , 闭合开关 K , 待电路稳定后, 电容器上的电荷量为 ()

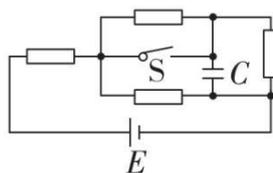


- A. CE B. $\frac{1}{2}CE$ C. $\frac{2}{5}CE$ D. $\frac{3}{5}CE$

【答案】C

【解析】 电路稳定后, 由于电源内阻不计, 则整个回路可看成 $3R$ 与 $2R$ 串联部分和 R 与 $4R$ 串联部分并联, 若取电源负极为零电势点, 则电容器上极板电势为 $\frac{2E}{5}$, 下极板电势为 $\frac{4E}{5}$, 电容器两极板间电势差为 $\frac{2E}{5}$, 则电容器上的电荷量为 $Q = CU = \frac{2}{5}CE$, C 正确。

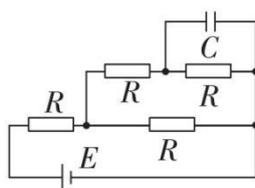
迁移应用 4. 阻值相等的四个电阻、电容器 C 及电池 E (内阻可忽略) 连接成如图所示电路。开关 S 断开且电流稳定时, C 所带的电荷量为 Q_1 ; 闭合开关 S , 电流再次稳定后, C 所带的电荷量为 Q_2 , Q_1 与 Q_2 的比值为 ()



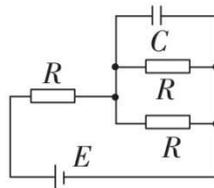
- A. $\frac{2}{5}$ B. $\frac{1}{2}$ C. $\frac{3}{5}$ D. $\frac{2}{3}$

【答案】C

【解析】 S 断开时等效电路图如图甲所示, 电容器两端电压为 $U_1 = \frac{E}{R+\frac{2}{3}R} \times \frac{2}{3}R \times \frac{1}{2} = \frac{1}{5}E$; S 闭合时等效电路图如图乙所示, 电容器两端电压为 $U_2 = \frac{E}{R+\frac{1}{2}R} \times \frac{1}{2}R = \frac{1}{3}E$, 由 $Q = CU$ 得 $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{3}{5}$, 故 C 正确。



甲



乙

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 49

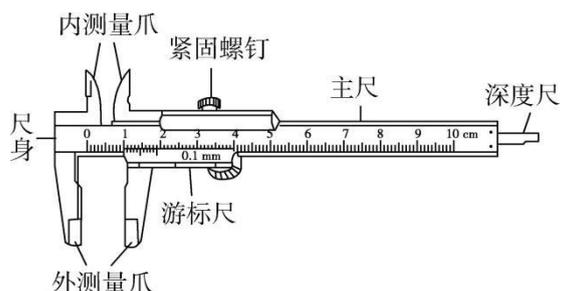
专题突破 14 电学实验基础

关键能力·核心突破

题型一 实验：长度的测量及测量工具的选用

1. 游标卡尺

(1) 构造：主尺、游标尺（主尺和游标尺上各有一个内、外测量爪），游标尺与深度尺是一个整体（如图所示）。



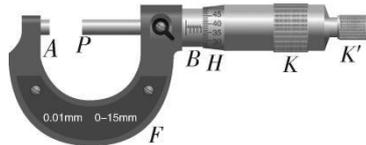
(2) 原理：利用主尺的最小分度与游标尺的最小分度的差值制成。不管游标尺上有多少个小等分刻度，它的刻度部分的总长度比主尺上的同样多的小等分刻度少 1mm。常见的游标卡尺的游标尺上小等分刻度有 10 格的、20 格的、50 格的，如表所示。

刻度格数（分度）	刻度总长度	每小格与 1mm 的差值	精度（可准确到）
10	9mm	0.1mm	0.1mm
20	19mm	0.05mm	0.05mm
50	49mm	0.02mm	0.02mm

(3) 读数：若用 x 表示从主尺上读出的整毫米数， K 表示从游标尺上读出的与主尺上某一时刻度线对齐的游标尺上的刻度线的序数，则记录结果为 $(x + K \times \text{精度}) \text{ mm}$ 。对于游标卡尺，无论哪种规格， K 值均不需要向后估读一位。

2. 螺旋测微器

(1) 构造：如图， B 为固定刻度， H 为可动刻度。



(2) 原理：可动刻度 H 上的刻度为 50 等分，则螺旋测微器的精度为 0.01mm 。

(3) 读数

①测量长度时，半毫米数由固定刻度读出，不足半毫米部分由可动刻度读出。

②测量值=固定刻度读数（注意半毫米刻度线是否露出）+可动刻度读数（估读一位，精度为 0.01mm ）。

3.电压表与电流表

(1) 量程选择 选择合适量程，使得测量时指针偏转角度要尽可能大，一般要求超过量程的 $\frac{1}{3}$ ，但又不能超过量程。

(2) 电表估读

①分度值是“1、0.1、0.01、…”时，估读到分度值的 $\frac{1}{10}$ （即估读到分度值的下一位）。

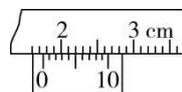
②分度值是“2、0.2、0.02、…”时，估读到分度值的 $\frac{1}{2}$ （即估读到分度值的本位）。

③分度值是“5、0.5、0.05、…”时，估读到分度值的 $\frac{1}{5}$ （即估读到分度值的本位）。

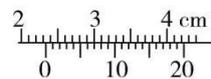
考向 1 游标卡尺与螺旋测微器读数与使用

例 1

(1) 如图甲、乙所示的两把游标卡尺，它们的游标尺分别为 9mm 长 10 等分、 19mm 长 20 等分，则读数依次为 mm 、 mm 。

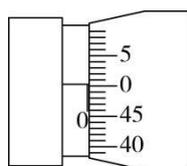


甲

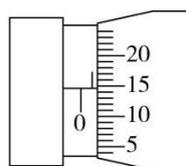


乙

(2) 在测定一根粗细均匀的合金丝电阻率的实验中，利用螺旋测微器测定合金丝直径的过程如图丙、丁所示，校零后的读数为 mm ，测得合金丝的直径为 mm 。



丙



丁

【答案】 (1) 17.5; 23.35

(2) 0.003; 0.644

【解析】

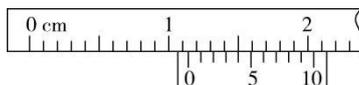
(1) 题图甲读数：主尺读数为 17mm，游标尺读数是 $5 \times 0.1\text{mm} = 0.5\text{mm}$ ，最后结果是 $17\text{mm} + 0.5\text{mm} = 17.5\text{mm}$ 。题图乙读数：主尺读数为 23mm，游标尺读数是 $7 \times 0.05\text{mm} = 0.35\text{mm}$ ，最后结果是 $23\text{mm} + 0.35\text{mm} = 23.35\text{mm}$ 。

(2) 由于螺旋测微器校零时有误差，估读为 0.003mm，测量后的读数为 $0.5\text{mm} + 14.7 \times 0.01\text{mm} = 0.647\text{mm}$ ，减去校零误差，可得合金丝的直径为 0.644mm。

总结归纳

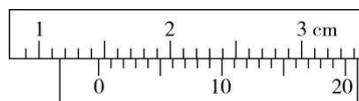
游标卡尺的读数要“三看”

(1) 第一看：精度。(如图所示)



易错读成 $11\text{mm} + 4.0 \times 0.1\text{mm} = 11.40\text{mm}$ ，正确读数为 11.4mm，游标卡尺不需要估读，后面不能随意加零，也不能随意去零。

(2) 第二看：游标尺上的 0 刻度线位置，区分 0 刻度线与游标尺最前端。(如图所示)



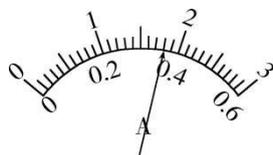
易错读成 $11\text{mm} + 9 \times 0.05\text{mm} = 11.45\text{mm}$ ，正确读数为 $14\text{mm} + 9 \times 0.05\text{mm} = 14.45\text{mm}$ 。

(3) 第三看：游标尺的哪条刻度线与主尺上的刻度线对齐。

考向 2 电压表与电流表的读数

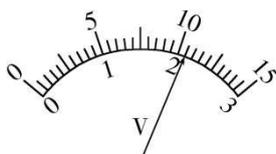
例 2

(1) 如图甲所示, 当电流表使用的量程为 $0\sim 0.6\text{A}$ 时, 对应刻度盘上每一小格代表__A, 图中表针所指位置的示数为__A; 当电流表使用的量程为 $0\sim 3\text{A}$ 时, 对应刻度盘上每一小格代表__A, 图中表针所指位置的示数为__A。



甲

(2) 如图乙所示, 当电压表使用的量程为 $0\sim 3\text{V}$ 时, 每一小格代表__V, 图中表针所指位置的示数为__V; 当电压表使用的量程为 $0\sim 15\text{V}$ 时, 每一小格代表__V, 图中表针所指位置的示数为__V。



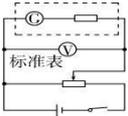
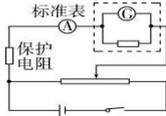
乙

【答案】 (1) 0.02; 0.36; 0.1; 1.80

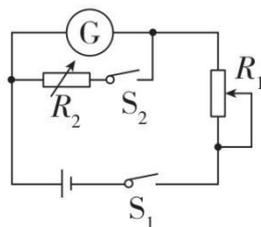
(2) 0.1; 2.10; 0.5; 10.5

题型二 电表的改装

项目	改装成电压表	改装成电流表
内部电路		
改装原理	串联分压	并联分流
改装后的量程	$U = I_g(R + R_g)$	$I = \frac{R + R_g}{R} I_g$
倍数关系	$n = \frac{U}{U_g}$	$n = \frac{I}{I_g}$
接入电阻的阻	$R = \frac{U}{I_g} - R_g = (n - 1)R_g$	$R = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{R_g}{n - 1}$

值		
改装后的总内阻	$R_V = R_g + R = nR_g$	$R_A = \frac{R \cdot R_g}{R + R_g} = \frac{R_g}{n}$
校对电路		

例3 某同学想把一个电流计（满偏电流为 1mA ）改装成一个量程为 5V 的电压表。为了先测量该电流计的内阻，该同学设计了如图甲所示的实验电路，该电路中电源电动势约为 6V ，滑动变阻器 R_1 的总阻值为 $20\text{k}\Omega$ 。连接好电路后，该同学进行了如下操作：



甲

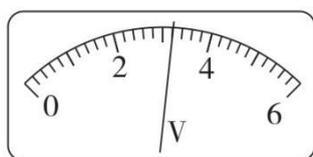
①先断开开关 S_2 ，闭合开关 S_1 ，将滑动变阻器 R_1 由最大阻值逐渐调小，使电流计的示数达到满偏电流 I_g ；

②保持滑动变阻器 R_1 的滑片位置不变，闭合开关 S_2 ，调节电阻箱 R_2 的阻值，使电流计的示数等于 $\frac{4}{9}I_g$ ，同时记录下此时电阻箱的阻值 $R_2 = 80\Omega$ 。

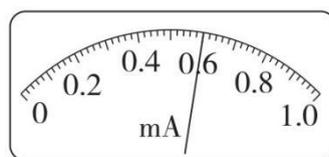
(1) 根据以上实验数据，在误差允许范围内，可得该电流计的内阻为 $\underline{\quad}\Omega$ 。

(2) 该同学用 (1) 中测量值作为该电流计的内阻，并将其改装成量程为 5V 的电压表，需要串联一个阻值 $R = \underline{\quad}\Omega$ 的定值电阻。

(3) 用一个量程为 6V 的标准电压表与 (2) 中改装后的电压表并联进行校准，发现标准电压表的示数如图乙所示，改装电压表的示数如图丙所示，则改装电压表的量程为 $\underline{\quad}\text{V}$ （保留 2 位有效数字）；改装电压表的量程发生偏差的可能原因是 R 的阻值计算有偏差，接入的电阻 $\underline{\quad}$ （选填“偏大”或“偏小”）。



乙



丙

(4) 要达到预期改装目的，无论测得的电流计的内阻是否正确，都不必重新测量，只需要将与其串联的 R 的阻值减少_____ Ω 。

【答案】 (1) 100

(2) 4 900

(3) 5.3；偏大

(4) $\frac{1000}{3}$

【解析】

(1) 设定①、②步骤中电路总电阻不变，干路电流不变，则 $\frac{4}{9}I_g R_g = (1 - \frac{4}{9})I_g R_2$ 解得 $R_g = \frac{5}{4}R_2 = 100\Omega$ 。

(2) 当 $R_g = 100\Omega$ 时，与其串联的电阻 $R = \frac{U}{I_g} - R_g = 4900\Omega$ 。

(3) 由图乙、丙可知，标准电压表的示数为3.2V，改装后的电压表通过电流为0.6mA，因此改装电压表的示数为3.0V，则改装电压表的量程为 $\frac{3.2}{3.0} \times 5V \approx 5.3V$ ，改装后的电压表量程发生偏差的可能原因是 R 的阻值计算有偏差，接入的电阻偏大。

(4) 设改装电压表的内阻为 R_V ，则 $R_V = \frac{3.2V}{0.6mA} = \frac{16000}{3}\Omega$ ，要达到预期改装目的，应使其电流变为 $I = \frac{3.2}{5} \times 1mA = 0.64mA$ ，因此只需要将 R 的阻值减少 ΔR ，则有 $0.64mA \times (R_V - \Delta R) = 3.2V$ ，解得 $\Delta R = (\frac{16000}{3} - \frac{3.2}{0.64 \times 10^{-3}})\Omega = \frac{1000}{3}\Omega$ 。

题型三 测量电路和控制电路设计

1. 电流表的内外接法

(1) 两种接法的比较

项目	内接法	外接法
电路图		

误差原因	电流表分压 $U_{测} = U_x + U_A$	电压表分流 $I_{测} = I_x + I_V$
电阻测量值	$R_{测} = \frac{U_{测}}{I_{测}} = R_x + R_A > R_x$ 测量值大于真实值	$R_{测} = \frac{U_{测}}{I_{测}} = \frac{R_x R_V}{R_x + R_V} < R_x$ 测量值小于真实值
适用条件	$\frac{R_V}{R_x} < \frac{R_x}{R_A}$	$\frac{R_V}{R_x} > \frac{R_x}{R_A}$
适用于测量	大电阻	小电阻

(2) 两种接法的选择

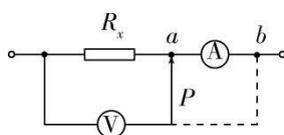
①阻值比较法：先将待测电阻的估计值与电压表、电流表内阻进行比较，若 R_x 较小，宜采用电流表外接法；若 R_x 较大，宜采用电流表内接法。简单概括为“大内偏大，小外偏小”。

②临界值计算法

$R_x < \sqrt{R_V R_A}$ 时，用电流表外接法；

$R_x > \sqrt{R_V R_A}$ 时，用电流表内接法。

③实验试探法：按图所示接好电路，让电压表的一根接线 P 先后与 a 、 b 处接触一下，如果电压表的示数有较大的变化，而电流表的示数变化不大，则可采用电流表外接法；如果电流表的示数有较大的变化，而电压表的示数变化不大，则可采用电流表内接法。



2. 滑动变阻器的限流式接法和分压式接法

(1) 两种接法的比较

项目	限流式接法	分压式接法	说明
电路图			串、并联关系不同

负载 R 上电压调节范围	$\frac{RE}{R+R_0} \leq U \leq E$	$0 \leq U \leq E$	分压电路调节范围大
负载 R 上电流调节范围	$\frac{E}{R+R_0} \leq I \leq \frac{E}{R}$	$0 \leq I \leq \frac{E}{R}$	分压电路调节范围大
闭合 S 前滑片 P 位置	b 端	a 端	都是为了保护电路元件

滑动变阻器的分压式接法，电压和电流的调节范围都很大；限流式接法较节能。

(2) 必须选用分压式接法的三种情况

①若采用限流式接法不能控制电流（或电压）满足实验要求，即若滑动变阻器阻值调到最大时，待测电阻中的电流（或两端电压）仍超过电流表（或电压表）的量程，或超过待测电阻的额定电流（或电压），则必须选用分压式接法。

②若待测电阻的阻值比滑动变阻器最大阻值大得多，导致在限流电路中，滑动变阻器的滑片从一端滑到另一端时，待测电阻中的电流或两端电压变化范围不够大，此时应改用分压式接法。

③若实验中要求电压从零开始调节，则必须采用分压式接法。

考向 1 电流表的内、外接法

例 4 [2023·全国甲卷·22, 5分]某同学用伏安法测绘一额定电压为 6V、额定功率为 3W 的小灯泡的伏安特性曲线，实验所用电压表内阻约为 $6\text{k}\Omega$ ，电流表内阻约为 1.5Ω 。实验中有图 (a) 和 (b) 两个电路图供选择。

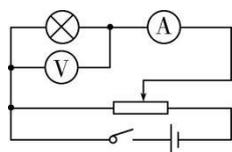


图 (a)

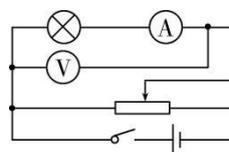


图 (b)

(1) 实验中得到的电流 I 和电压 U 的关系曲线如图 (c) 所示，该同学选择的电路图是图 (____) (选填“a”或“b”)。

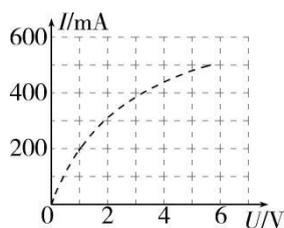


图 (c)

(2) 若选择另一个电路图进行实验，在图丙上用实线画出实验中应得到的 $I - U$ 关系曲线的示意图。

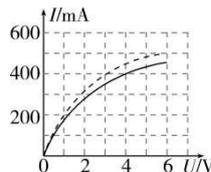
【答案】 (1) a

(2) 见解析

【解析】

(1) 小灯泡两端电压为额定电压时 $R_L = \frac{U^2}{P} = 12\Omega$ ，而从图 (c) 看出，当小灯泡两端电压为 $6V$ 时，电流大于 $500mA$ ，计算得到的阻值略小于 12Ω ，说明采用的是电流表外接法，即图 (a) 电路。

(2) 若选用另一个电路图即图 (b) 实验，即采用电流表内接法，会使得测得的电阻偏大，在图中画曲线时，同样的电压对应的电流都应偏小，因此图中画



出的实线应该在虚线下面，趋势相同，如图所示。

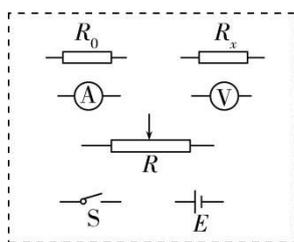
考向 2 滑动变阻器的应用

例 5 [2022 · 全国乙卷 · 23, 10 分] 一同学探究阻值约为 550Ω 的待测电阻 R_x 在

$0 \sim 5mA$ 范围内的伏安特性。可用器材有：电压表 \textcircled{V} (量程为 $3V$ ，内阻很

大)，电流表 \textcircled{A} (量程为 $1mA$ ，内阻为 300Ω)，电源 E (电动势约为 $4V$ ，内阻不计)，滑动变阻器 R (最大阻值可选 10Ω 或 $1.5k\Omega$)，定值电阻 R_0 (阻值可选 75Ω 或 150Ω)，开关 S ，导线若干。

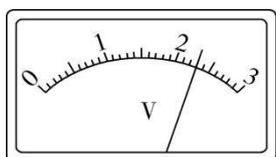
(1) 要求通过 R_x 的电流可在 $0 \sim 5mA$ 范围内连续可调，将图甲所示的器材符号连线，画出实验电路的原理图；



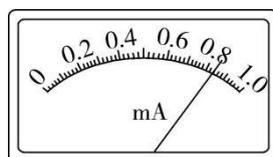
甲

(2) 实验时，图甲中的 R 应选最大阻值为_____（选填“ 10Ω ”或“ $1.5k\Omega$ ”）的滑动变阻器， R_0 应选阻值为_____（选填“ 75Ω ”或“ 150Ω ”）的定值电阻；

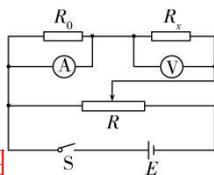
(3) 测量多组数据可得 R_x 的伏安特性曲线。若在某次测量中，电压表、电流表的示数分别如图乙和图丙所示，则此时 R_x 两端的电压为__V，流过 R_x 的电流为__mA，此组数据得到的 R_x 的阻值为__ Ω （保留3位有效数字）。



乙



丙



【答案】（1）电路如图

（2） 10Ω ； 75Ω

（3）2.30；4.20；548

【解析】

（1）（2）题目要求通过 R_x 的电流可在 $0\sim 5\text{mA}$ 范围内连续可调，而电流表最大测量值为 1mA ，则需要扩大电流表量程，故可将 R_0 与电流表并联，设并联后的电阻为 $R_{\text{并}}$ ，则 $R_{\text{并}} \times 5 \times 10^{-3}\text{A} = 300 \times 1 \times 10^{-3}\text{V}$ ，解得 $R_{\text{并}} = 60\Omega$ ，根据 $R_{\text{并}} = \frac{R_A R_0}{R_A + R_0}$ ，把 $R_A = 300\Omega$ 代入可求得 $R_0 = 75\Omega$ ；题目要求电流从零开始调节，则滑动变阻器应该用分压式接法，而分压式接法要求用最大阻值较小的滑动变阻器，因此需选用最大阻值为 10Ω 的滑动变阻器。

(3) 电压表读数为 2.30V，电流表读数为 0.84mA，则此时 R_x 两端电压为 2.30V，流过 R_x 的电流为 $5 \times 0.84\text{mA} = 4.20\text{mA}$ ，故 $R_x = \frac{2.30}{4.20 \times 10^{-3}} \Omega \approx 548 \Omega$ 。

题型四 实验器材的选取与实物图的连接

1. 仪器选择的技巧

(1) 电压表、电流表：不超过量程，且要超过满偏刻度的 $\frac{1}{3}$ 。有时也可以从测量数据来确定选择的电表。

(2) 滑动变阻器：分压电路选阻值小的且不超过其最大电流的滑动变阻器。

(3) 定值电阻：若用于电表改装，则阻值与改装后的量程匹配；若用于保护电路，则应使电流表、电压表的读数在满偏刻度的 $\frac{1}{3}$ 以上且不超量程。

2. 实物图连接的注意事项

(1) 画线连接各元件，一般先从电源正极开始，按照电路原理图依次到开关，再到滑动变阻器，按顺序以单线连接方式将主电路中串联的元件依次串联起来，再将要并联的元件并联到电路中去。

(2) 连线时要将导线接在接线柱上，两条导线不能交叉。

(3) 要注意电表的量程和正、负接线柱，要使电流从电表的正接线柱流入，从负接线柱流出。

(4) 滑动变阻器的接法：限流法，导线分别连接到上、下接线柱上（“一上一下”两个接线柱）；分压法，导线分别连接到上边一个接线柱和下边两个接线柱上（“一上两下”三个接线柱）。

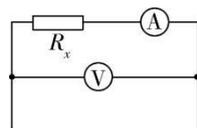
例 6 [2024·北京人大附中模拟] 从表中选出适当的实验器材设计一电路来测量电阻 R_x 的阻值，要求方法简捷，得到多组数据，又尽可能提高测量精度。

器材（代号）	规格
待测电阻(R_x)	阻值约 10k Ω
电流表(A_1)	0~300 μA ，内阻约 100 Ω
电流表(A_2)	0~0.6A，内阻约 0.125 Ω
电压表(V_1)	0~3V，内阻约 3k Ω
电压表(V_2)	0~15V，内阻约 15k Ω

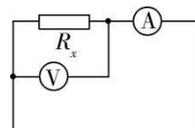
滑动变阻器(R)	总阻值约 50Ω
电源 (E)	电动势($3V$), 内阻很小
开关(S)	—
导线若干	—

(1) 电流表应选用_____，电压表应选用_____。

(2) 如果电压表、电流表选用图甲的接法，电阻的测量结果将__，如果选用图乙的接法，测量结果将__（以上两空均选填“偏大”“偏小”或“不变”），本题应该选用图（选填“甲”或“乙”）的接法。

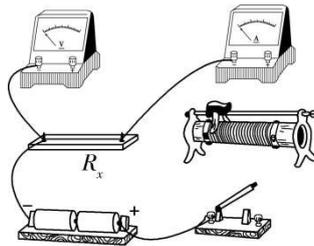


甲



乙

(3) 完成图丙中实物间的连线，并使闭合开关的瞬间，电压表或电流表不至于被烧坏。



丙

【答案】 (1) A_1 ; V_1

(2) 偏大; 偏小; 甲

(3) 见解析

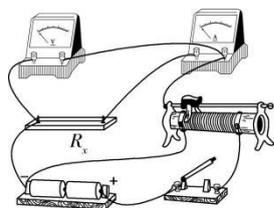
【解析】

(1) 根据题意可知，电源电动势为 $3V$ ，则电压表选 V_1 ，待测电阻(R_x)阻值约 $10k\Omega$ ，电路中最大电流约为 $I_m = \frac{E}{R_x} = 300\mu A$ ，则电流表选 A_1 。

(2) 如果电压表、电流表选用图甲的接法，电压的测量值偏大，则电阻的测量结果将偏大；如果选用图乙的接法，电流测量值偏大，则电阻的测量结果将

偏小。由于待测电阻的阻值较大，应采用电流表内接，本题应该选用图甲的接法。

(3) 待测电阻的阻值比滑动变阻器最大阻值大得多，滑动变阻器应采用分压式接法，结合上述分析，完成图丙中实物间的连线，如图所示。



温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 50

实验 11 测量金属的电阻率

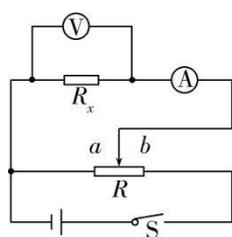
必备知识·强基固本

一、实验目的

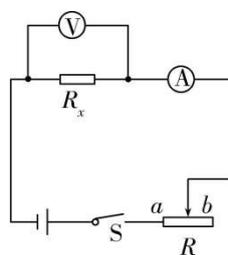
1. 熟悉“测量金属丝的电阻率”的基本原理及注意事项。
2. 掌握测电阻的电路图及误差分析。

二、实验原理

由电阻定律 $R = \rho \frac{l}{S}$ ，得 $\rho = \frac{R S}{l}$ ，可知需要测出金属电阻丝的长度 l 和直径 d ，并计算出横截面积 S ，用伏安法测出电阻 R_x ，即可计算出金属的电阻率。用伏安法测金属电阻丝的电阻的实验电路如图甲、乙所示。



甲



乙

【答案】 $R \frac{S}{l}$

三、实验器材

被测金属电阻丝、螺旋测微器、毫米刻度尺、电池组、电流表、电压表、滑动变阻器、开关、导线若干。

四、实验步骤

1. 直径测量：用螺旋测微器在被测金属电阻丝上的三个不同位置各测一次直径，求出其平均值 d ，计算出导线的横截面积 $S = \frac{\pi d^2}{4}$ 。

- 2.电路连接：按实验原理电路图甲或乙连接好电路。
- 3.长度测量：用毫米刻度尺测量接入电路中的被测金属电阻丝的有效长度，反复测量3次，求出其平均值 l 。
4. U 、 I 测量：若采用图甲电路，将滑动变阻器滑片滑至 a 端，若采用图乙电路，将滑动变阻器滑片滑至 b 端，电路经检查确认无误后，闭合开关 S ，改变滑动变阻器滑片的位置，读出几组相应的电流表、电压表的示数 I 和 U 的值，记入表格内，断开开关 S 。
- 5.拆除实验电路，整理好实验器材。

五、实验数据处理

- 1.在求 R_x 的平均值时可用两种方法

(1) 用 $R_x = \frac{U}{I}$ 分别算出各次的阻值，再取平均值。

(2) 用 $U - I$ 图线的斜率求出阻值。

2. 计算电阻率 将记录的数据 R_x 、 l 、 d 的值代入电阻率计算式

$$\rho = R_x \frac{S}{l} = \underline{\hspace{2cm}}。$$

【答案】 $\frac{\pi d^2 R_x}{4l}$

六、误差分析

- 1.金属电阻丝的横截面积是利用直径计算而得到的，直径的测量是产生误差的主要来源之一。
- 2.采用伏安法测量金属电阻丝的电阻时，由于采用的是电流表外接法，测量值小于真实值，使电阻率的测量值偏小。
- 3.金属电阻丝的长度测量、电流表和电压表的读数等会带来偶然误差。
- 4.由于金属电阻丝通电后发热升温，会使金属电阻丝的电阻率变大。

七、注意事项

1. 本实验中被测金属电阻丝的阻值较小，因此实验电路一般采用电流表__法。

【答案】 外接

- 2.测量被测金属电阻丝的有效长度，是指测量待测电阻丝接入电路的两个端点之间的长度，即电压表两端点间的待测电阻丝长度，测量时应将电阻丝拉直，反复测量三次，求其平均值。
- 3.测金属电阻丝直径一定要选三个不同部位进行测量，求其平均值。

- 4.采用图甲所示电路时，闭合开关 S 前，应将滑动变阻器的滑片置于最左端；若采用图乙所示电路，闭合开关 S 前，应将滑动变阻器滑片置于最右端。
- 5.在用伏安法测电阻时，通过待测电阻丝的电流 I 不宜过大（电流表用 $0\sim 0.6A$ 量程），通电时间不宜过长，以免金属电阻丝的温度明显升高，造成其电阻率在实验过程中明显增大。

关键能力·核心突破
探究点一 教材原型实验

例 1 [2024·山东卷·14, 8分]某学习小组对两种型号铅笔芯的电阻率进行测量。实验器材如下：

学生电源（输出电压 $0\sim 16V$ ）；

滑动变阻器（最大阻值 10Ω ，额定电流 $2A$ ）；

电压表 V（量程 $3V$ ，内阻未知）；

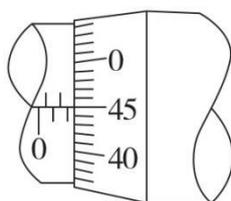
电流表 A（量程 $3A$ ，内阻未知）；

待测铅笔芯 R （X 型号、Y 型号）；

游标卡尺，螺旋测微器，开关 S，单刀双掷开关 K，导线若干。

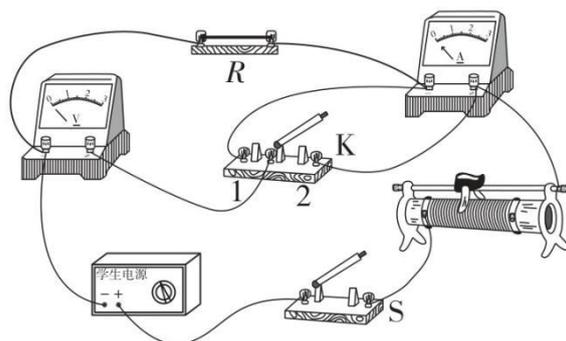
回答以下问题：

- (1) 使用螺旋测微器测量铅笔芯直径，某次测量结果如图甲所示，该读数为 _____ mm；



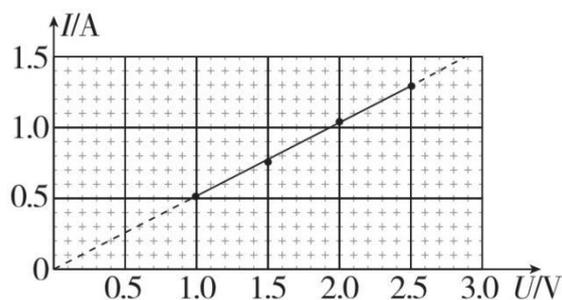
甲

- (2) 把待测铅笔芯接入图乙所示电路，闭合开关 S 后，将滑动变阻器滑片由最右端向左调节到合适位置，将单刀双掷开关 K 分别掷到 1、2 端，观察到电压表示数变化比电流表示数变化更明显，则测量铅笔芯电阻时应将 K 掷到 _____（选填“1”或“2”）端；



乙

(3) 正确连接电路，得到 Y 型号铅笔芯 $I-U$ 图像如图丙所示，求得电阻 $R_Y =$ _____ Ω (保留 3 位有效数字)；采用同样方法得到 X 型号铅笔芯的电阻为 1.70Ω ；



丙

(4) 使用游标卡尺测得 X、Y 型号铅笔芯的长度分别为 40.68mm 、 60.78mm ，使用螺旋测微器测得 X、Y 型号铅笔芯直径近似相等，则 X 型号铅笔芯的电阻率___ (选填“大于”或“小于”) Y 型号铅笔芯的电阻率。

【答案】 (1) 2.450

(2) 1

(3) 1.92 (1.90~1.95 均可)

(4) 大于

【解析】

(1) 读数为 $2\text{mm} + 45.0 \times 0.01\text{mm} = 2.450\text{mm}$ 。

(2) 电压表示数变化更明显，说明待测铅笔芯的电阻与电流表内阻相差较小，故应把电流表外接，即 K 应掷到 1 端。

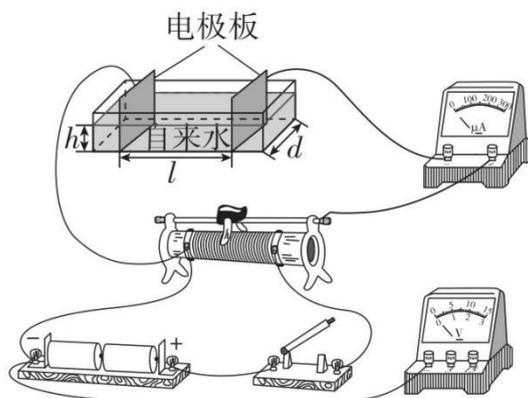
(3) 选图线上某点坐标 [如 $(2.50\text{V}, 1.30\text{A})$]，由欧姆定律可得电阻 $R_Y = \frac{2.50}{1.30}\Omega \approx 1.92\Omega$ 。

(4) 由电阻定律 $R = \rho \frac{L}{S}$ 得 $\frac{\rho_X}{\rho_Y} = \frac{R_X}{R_Y} \times \frac{L_Y}{L_X} = \frac{1.70\Omega}{1.92\Omega} \times \frac{60.78\text{mm}}{40.68\text{mm}} > 1$, 故 $\rho_X > \rho_Y$ 。

探究点二 创新拓展实验

例 2 [2024·江西卷·12, 7分]某小组欲设计一种电热水器防触电装置,其原理是:当电热管漏电时,利用自来水自身的电阻,可使漏电电流降至人体安全电流以下。为此,需先测量水的电阻率,再进行合理设计。

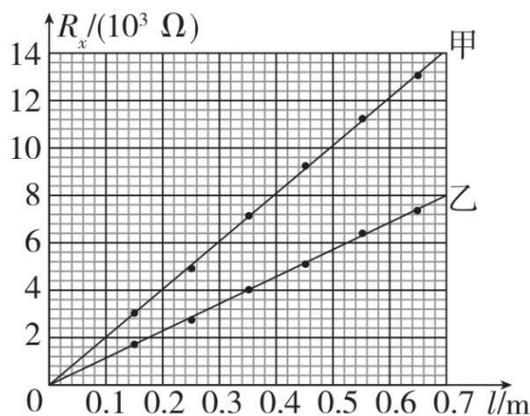
(1) 如图(a)所示,在绝缘长方体容器左右两侧安装可移动的薄金属板电极,将自来水倒入其中,测得水的截面宽 $d = 0.07\text{m}$ 和高 $h = 0.03\text{m}$ 。



图(a)

(2) 现有实验器材:电流表(量程 $300\mu\text{A}$, 内阻 $R_A = 2500\Omega$)、电压表(量程 3V 或 15V , 内阻未知)、直流电源(3V)、滑动变阻器、开关和导线。请在图(a)中画线完成电路实物连接。

(3) 连接好电路,测量 26°C 的水在不同长度 l 时的电阻值 R_x 。将水温升到 65°C , 重复测量。绘出 26°C 和 65°C 水的 $R_x - l$ 图线, 分别如图(b)中甲、乙所示。



图(b)

(4) 若 $R_x - l$ 图线的斜率为 k ，则水的电阻率表达式为 $\rho = \underline{\hspace{2cm}}$ (用 k 、 d 、 h 表示)。实验结果表明，温度 (选填“高”或“低”) 的水更容易导电。

(5) 测出电阻率后，拟将一段塑料水管安装于热水器出水口作为防触电装置。为保证出水量不变，选用内直径为 $8.0 \times 10^{-3} \text{m}$ 的水管。若人体的安全电流为 $1.0 \times 10^{-3} \text{A}$ ，热水器出水温度最高为 65°C ，忽略其他电阻的影响 (相当于热水器 220V 的工作电压直接加在水管两端)，则该水管的长度至少应设计为 $\underline{\hspace{1cm}} \text{m}$ 。(保留 2 位有效数字)

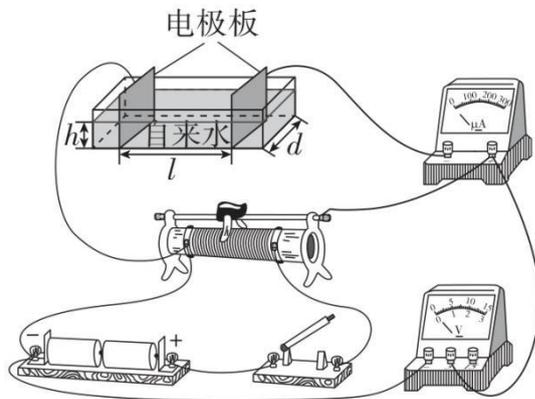
【答案】 (2) 见解析图

(4) kdh ; 高

(5) 0.46

【解析】

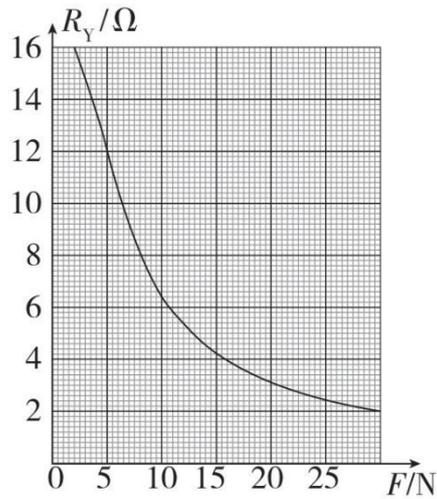
(2) 因电流表内阻已知，故采用电流表内接法，因直流电源电压为 3V ，故将电压表的“+3”接线柱与电流表的“+”接线柱连接，如图所示。



(4) 由电阻定律得 $R_x = \rho \frac{l}{dh}$ ，故 $R_x - l$ 图像中图线的斜率 $k = \frac{\rho}{dh}$ ，解得 $\rho = kdh$ 。由题图 (b) 可知，温度高时对应图线的斜率较小，故其电阻率较小，更容易导电。

(5) 水管内水的最小电阻 $R_{\min} = \frac{U}{I} = \frac{220\text{V}}{1.0 \times 10^{-3}\text{A}} = 2.2 \times 10^5 \Omega$ ，而 $R_{\min} = \rho \frac{l_{\min}}{\pi(\frac{d_0}{2})^2}$ ，其中 $\rho = kdh$ ，代入数据解得水管长度的最小值 $l_{\min} \approx 0.46\text{m}$ 。

例 3 [2024·河北衡水模拟] 某些固体材料受到压力作用后除了产生形变，其电阻率也要发生变化，这种由于受到压力作用而使材料电阻率发生变化的现象称为“压阻效应”，采用这种材料制成的电阻被称为压敏电阻。某压敏电阻 R_Y 在不同压力作用下的阻值如图甲所示。



甲

(1) 测量压力为 0 时压敏电阻的阻值。实验器材如下：

电池组 E ：电动势约为 3V，内阻小于 1.0Ω ；

电流表 A ：量程 $0\sim 100\text{mA}$ ，内阻 $R_A = 5.0\Omega$ ；

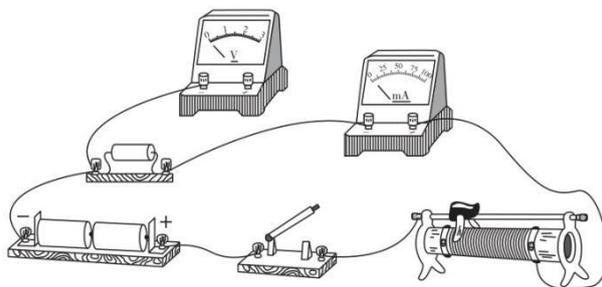
电压表 V ：量程 $0\sim 3\text{V}$ ，内阻未知；

压敏电阻 R_Y ；

滑动变阻器 R ：最大阻值为 30Ω ；

开关、导线若干。

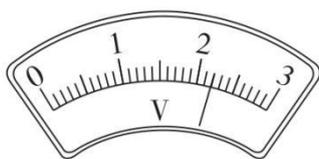
① 请用笔画线代替导线，把图乙中的实物电路连接完整。



乙

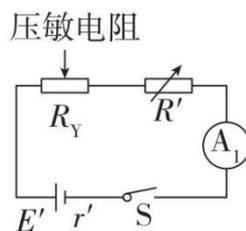
② 开关闭合前，滑动变阻器的滑片应调到_____（选填“最左端”或“最右端”）。

③ 若调节合适时，电流表读数为 I ，电压表示数如图丙所示，读数为 $U = \underline{\quad}\text{V}$ ，则压力为 0 时压敏电阻的阻值 $R_Y = \underline{\quad}$ （用题中所给的字母表示）。



丙

(2) 若测得压力为 0 时压敏电阻的阻值为 19.0Ω 。把压敏电阻改造成一个载物平台，设计一个测量竖直升降台加速度的装置，实验电路图如图丁所示。



丁

① 组装电路，平台上不放重物时，调节电阻箱 R' 的阻值为 $R_0 = 5.0\Omega$ 时，电流表 A_1 满偏。

② 平台上放置重物时，调节电阻箱阻值为 $R_1 = 12.0\Omega$ 时，电流表满偏。

③ 把装置放在升降台上，平台上放置的重物不变，升降台加速上升时，调节电阻箱阻值为 $R_2 = 17.6\Omega$ 时，电流表满偏。

已知重力加速度 $g = 9.8\text{m/s}^2$ ，则升降台的加速度 $a = \underline{\hspace{2cm}}\text{m/s}^2$ (结果保留 2 位有效数字)。

④ 电源的内阻对实验结果 (选填“有”或“无”) 影响。

【答案】 ① 见解析

② 最左端

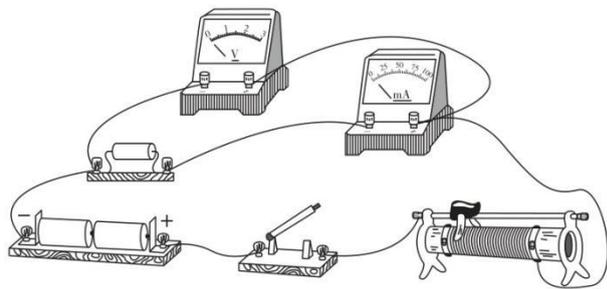
③ $2.20; \frac{U}{I} - R_A$

(2) ③ 9.8

④ 无

【解析】

① 由于电流表内阻已知，而电压表内阻未知，在用伏安法测电阻时，采用电流表内接法，这样不产生系统误差。实物连线如图所示。



② 开关闭合前，滑动变阻器的滑片应调到最左端，使回路中的电流从最小值开始调节，以免开关闭合时回路电流过大而损坏仪表。

③ 电压表的分度值为 $0.1V$ ，读数时要估读到 $0.01V$ ，电压表的读数为

$$U = 2.20V; \text{ 由欧姆定律有 } R_Y + R_A = \frac{U}{I}, \text{ 可得 } R_Y = \frac{U}{I} - R_A。$$

(2) ③ 设电流表 A_1 的内阻为 R_{A1} ，满偏电流为 I_g ，平台上不放重物时 $I_g = \frac{E'}{R_{Y0} + R_0 + R_{A1} + r'}$ ，平台上放置重物时 $I_g = \frac{E'}{R_{Y1} + R_1 + R_{A1} + r'}$ ，可知 $R_{Y0} + R_0 = R_{Y1} + R_1$ ，又 $R_{Y0} = 19.0\Omega$ ，则 $R_{Y1} = R_{Y0} + R_0 - R_1 = 12.0\Omega$ ，由 $R_Y - F$ 图像可知对应的压力 $N_1 = 5.0N$ ，设重物质量为 m ，由二力平衡，有 $mg = N'_1 = N_1$ ，升降台加速上升时 $I_g = \frac{E'}{R_{Y2} + R_2 + R_{A1} + r'}$ ，可知 $R_{Y0} + R_0 = R_{Y2} + R_2$ ，有 $R_{Y2} = R_{Y0} + R_0 - R_2 = 6.4\Omega$ ，由 $R_Y - F$ 图像可知对应的压力 $N_2 = 10.0N$ ，由牛顿第二定律，有 $N'_2 - mg = ma$ ，由牛顿第三定律得 $N'_2 = N_2$ ，解得 $a = (\frac{N_2}{N_1} - 1)g = 9.8m/s^2$ 。

④ 由实验原理可知，电源的内阻对实验结果无影响。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 51

专题突破 15 测量电阻的其他常见方法

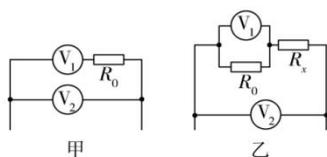
关键能力·核心突破

题型一 伏安法的变式

伏安法是测量电阻的最基本方法，在一定的实验条件下，由伏安法又衍生出了一些测量电阻的其他方法，如伏伏法、安安法等。

1. 伏伏法测电阻

伏伏法又称电压表差值法，是利用两个电压表的组合测量电压表的内阻或其他电阻的方法。常见电路如图甲、乙所示。



(1) 条件：电压表 V_2 的量程大于电压表 V_1 的量程且能搭配使用。

(2) 技巧：已知内阻的电压表可当作电流表使用。

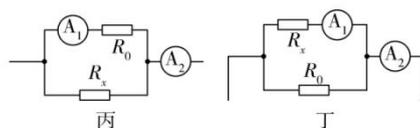
(3) 原理：①图甲中，电压表 V_1 、 V_2 的读数分别为 U_1 、 U_2 ，根据电路知识有 $U_2 = U_1 + \frac{U_1}{r_1}R_0$ ，如果 R_0 已知，可求出电压表 V_1 的内阻 $r_1 = \frac{U_1}{U_2 - U_1}R_0$ ；如果 r_1 已知，可以求出 $R_0 = \frac{U_2 - U_1}{U_1}r_1$ 。

②图乙中，如果电压表 V_1 的内阻 r_1 、电阻 R_0 已知，电压表 V_1 、 V_2 的读数分别为 U_1 、 U_2 ，根据电路知识可知流过被测电阻 R_x 的电流 $I = \frac{U_1}{r_1} + \frac{U_1}{R_0} = \frac{U_1(R_0 + r_1)}{R_0 r_1}$ ，则被测电阻 $R_x = \frac{U_2 - U_1}{I} = \frac{(U_2 - U_1)R_0 r_1}{U_1(R_0 + r_1)}$ 。

同理，如果 R_0 、 R_x 为已知，可以由上面的关系求出电压表 V_1 的内阻 r_1 。

2.安安法测电阻

安安法又称电流表差值法，是利用两个电流表的组合测量电流表的内阻或其他电阻的方法，常见电路如图丙、丁所示。



(1) 条件：电流表 A_2 的量程大于电流表 A_1 的量程且能搭配使用。

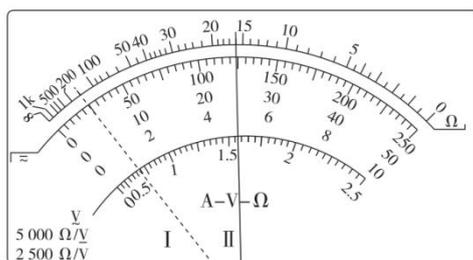
(2) 技巧：已知内阻的电流表可当作电压表使用。

(3) 原理：电流表 A_1 、 A_2 的读数分别为 I_1 、 I_2 ，电流表 A_1 的内阻为 r_1 。

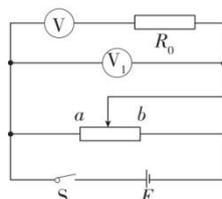
①图丙中，根据电路知识有 $I_1(r_1 + R_0) = (I_2 - I_1)R_x$ ，则如果 r_1 、 R_0 已知，可求出 R_x 的阻值；如果 R_0 、 R_x 已知，可以求出电流表 A_1 的内阻 r_1 。

②图丁中，根据电路知识有 $I_1(r_1 + R_x) = (I_2 - I_1)R_0$ ，则如果 r_1 、 R_0 已知，可求出 R_x 的阻值；如果 R_0 、 R_x 已知，可以求出电流表 A_1 的内阻 r_1 。

例 1 [2024 · 新课标卷 · 23, 12 分] 学生实验小组要测量量程为 3V 的电压表 V 的内阻 R_V 。可选用的器材有：多用电表，电源 E （电动势 5V），电压表 V_1 （量程 5V，内阻约 3k Ω ），定值电阻 R_0 （阻值为 800 Ω ），滑动变阻器 R_1 （最大阻值 50 Ω ），滑动变阻器 R_2 （最大阻值 5k Ω ），开关 S ，导线若干。



甲



乙

完成下列填空：

(1) 利用多用电表粗测待测电压表的内阻，首先应_____（把下列实验步骤前的字母按正确操作顺序排列）；

A.将红、黑表笔短接

B.调节欧姆调零旋钮，使指针指向零欧姆

C.将多用电表选择开关置于欧姆挡“ $\times 10$ ”位置

再将多用电表的红、黑表笔分别与待测电压表的_____（选填“正、负”或“负、正”）接线柱相连，欧姆表的指针位置如图甲中虚线 I 所示，为了减小测量误差，应将选择开关旋转到欧姆挡_____（选填“ $\times 1$ ”“ $\times 100$ ”或“ $\times 1k$ ”）位置，重新调节后，测量得到指针位置如图甲中实线 II 所示，则粗测得到的该电压表内阻为__ $k\Omega$ （结果保留 1 位小数）；

(2) 为了提高测量精度，他们设计了如图乙所示的电路，其中滑动变阻器应选_____（选填“ R_1 ”或“ R_2 ”），闭合开关 S 前，滑动变阻器的滑片应置于_____（选填“a”或“b”）端；

(3) 闭合开关 S，滑动变阻器滑片滑到某一位置时，电压表 V_1 、待测电压表的示数分别为 U_1 、 U ，则待测电压表内阻 $R_V =$ _____（用 U_1 、 U 和 R_0 表示）；

(4) 测量得到 $U_1 = 4.20V$ ， $U = 2.78V$ ，则待测电压表内阻 $R_V =$ __ $k\Omega$ （结果保留 3 位有效数字）。

【答案】 (1) CAB；负、正； $\times 100$ ；1.6

(2) R_1 ；a

$$(3) \frac{UR_0}{U_1-U}$$

$$(4) 1.57$$

【解析】

(1) 利用多用电表欧姆挡测电阻的步骤：选择适当倍率的欧姆挡，红、黑表笔短接，调节欧姆调零旋钮，使指针指向零欧姆，故正确的操作顺序为 C、A、B。多用电表在使用时，电流从红表笔流入，从黑表笔流出，即“红进黑出”；电压表在使用时，电流从正接线柱流入，从负接线柱流出，所以多用电表的红、黑表笔分别与电压表的负、正接线柱连接。虚线 I 所示指针偏角过小，被测电阻大于 1000Ω 而小于 2000Ω ，则应将选择开关置于“ $\times 100$ ”位置，使指针指在刻度盘的中间区域。多用电表欧姆挡的读数为 $16 \times 100\Omega = 1.6k\Omega$ 。

(2) 控制电路采用分压式接法，为了提高测量精度，滑动变阻器最大阻值应小一些，即滑动变阻器选择 R_1 。为使电压表示数从 0 开始变化及保护电表，开始时滑动变阻器滑片应置于 a 端。

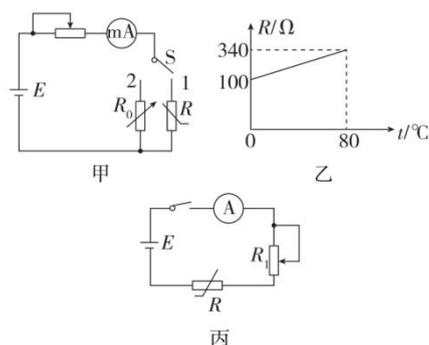
$$(3) \text{由欧姆定律可得 } R_V = \frac{U}{(U_1-U)/R_0} = \frac{UR_0}{U_1-U}。$$

$$(4) \text{由以上分析可得 } R_V = \frac{2.78 \times 800}{4.20 - 2.78} \Omega \approx 1.57k\Omega。$$

题型二 替代法测电阻

电路 图	
操作 步骤	如图甲（或乙）所示，先让待测电阻 R_x 接入电路，调节 R_2 ，使电流表（或电压表）指针指在适当位置，读出电流表（或电压表）示数；然后断开待测电阻，将电阻箱接入电路，保持 R_2 阻值不变，调节电阻箱的阻值，使电流表（或电压表）的示数仍为原来记录的数值
实验 原理	根据待测电阻与电阻箱对电路的效果相同（电流表或电压表示数相等），可知 $R_x = R_1$

例 2 [2024·辽宁沈阳三模]某高中学生在学习完传感器后，用金属热电阻制作了一个简易的测温装置。



(1) 由于该同学没有金属热电阻的详细参数，为了测量金属热电阻 R 阻值随温度变化的关系，该同学设计了如图甲所示的电路，实验步骤如下：

- ①先将单刀双掷开关 S 掷向1，调节金属热电阻温度 t_0 ，记下电流表的相应示数 I_0 ；
- ②然后将单刀双掷开关 S 掷向2，调节电阻箱 R_0 使电流表的读数为_____，记下电阻箱相应的示数；
- ③逐步升高温度，在不同温度下重复步骤①②；
- ④根据实验数据，作出金属热电阻 R 的阻值随温度 t 变化的图像如图乙所示。

(2) 该同学设计测温范围为 $0\sim 80^\circ\text{C}$ 的电子测温装置，实验室提供了如下器材：电动势为 3V 的电源、灵敏毫安表（量程为 $0\sim 10\text{mA}$ ，内阻为 10Ω ）、滑动变阻器 R_1 、开关、导线若干。设计电路如图丙所示，并进行了如下操作：

- ①调节金属热电阻温度为 0°C ，调节滑动变阻器 R_1 ，使毫安表满偏，然后保持 R_1 阻值不变；
- ②毫安表的电流值 $I(\text{A})$ 和温度 $t(^{\circ}\text{C})$ 的关系式为_____；
- ③根据关系式将毫安表刻度盘上的电流值改写为温度值。

(3) 若干电池用久了其电源电动势不变，而其内阻变大，但在使用它测量前，进行了(2)中的步骤①操作，测量结果将会___（选填“偏高”“偏低”或“不变”）。

(4) 若干电池用久了其电源电动势变小，内阻变大，保持 R_1 不变，测量结果将会___（选填“偏高”“偏低”或“不变”）。

【答案】 (1) I_0

(2) $I = \frac{1}{100+t}(\text{A})$

(3) 不变

(4) 偏高

【解析】

(1) 实验采用替代法，将开关 S 与 2 端闭合，调节电阻箱使电流表的读数为 I_0 。

(2) 由图乙可知 R 随温度 t 变化的关系为 $R = 100 + 3t(\Omega)$ ，金属热电阻的温度为 0°C 时，金属热电阻阻值为 100Ω ，电流表满偏，根据欧姆定律，则有 $I_{\text{满}} = \frac{E}{R' + R_A + R_1}$ ，代入数据解得 $R_1 = 190\Omega$ ，则 $I = \frac{E}{(100 + 3t) + R_A + R_1} = \frac{1}{100 + t}(\text{A})$ 。

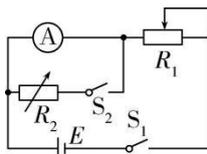
(3) 若干电池用久了其电源电动势不变，而其内阻变大，但在使用它测量前，进行了 (2) 中的步骤①操作，保持 R_1 不变，则在某温度下，根据闭合电路欧姆定律，电流测量值不变，对应测量的温度结果不变。

(4) 若干电池用久了其电源电动势变小，内阻变大，保持 R_1 不变，则在某温度下，根据闭合电路欧姆定律，电流测量值偏小，对应测量的温度结果偏高。

题型三 半偏法测电阻

1. 半偏法测电流表内阻

(1) 实验电路图，如图所示。



(2) 实验步骤

①按如图所示的电路图连接实验电路；

②断开 S_2 ，闭合 S_1 ，调节 R_1 ，使电流表读数等于其最大测量值 I_m ；

③保持 R_1 不变，闭合 S_2 ，调节 R_2 ，使电流表读数等于 $\frac{1}{2}I_m$ ，然后读出 R_2 的阻值，则 $R_A = R_2$ 。

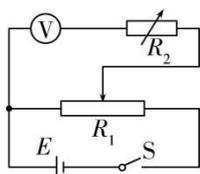
(3) 实验条件： $R_1 \gg R_A$ 。

(4) 测量结果： $R_{A\text{测}} = R_2 < R_{A\text{真}}$ 。

(5) 误差分析：当闭合 S_2 时，总电阻减小，总电流增大，大于电流表的满偏电流，而此时电流表半偏，所以流经 R_2 的电流比电流表所在支路的电流大， R_2 的阻值比电流表的内阻小，而我们把 R_2 的阻值当成电流表的内阻，故测得的电流表的内阻偏小。

2. 半偏法测电压表内阻

(1) 实验电路图，如图所示。



(2) 实验步骤

①按如图所示的电路图连接实验电路；

②将 R_2 的阻值调为零，闭合 S ，调节 R_1 的滑片，使电压表读数等于其最大测量值 U_m ；

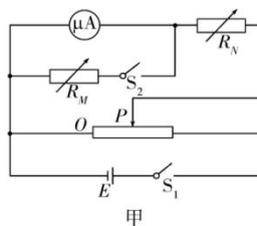
③保持 R_1 的滑片不动，调节 R_2 ，使电压表读数等于 $\frac{1}{2}U_m$ ，然后读出 R_2 的阻值，则 $R_V = R_2$ 。

(3) 实验条件： $R_1 \ll R_V$ 。

(4) 测量结果： $R_{V\text{测}} = R_2 > R_{V\text{真}}$ 。

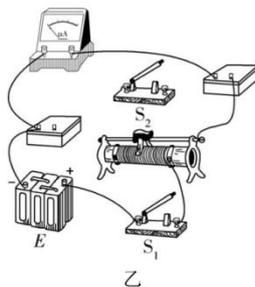
(5) 误差分析：当 R_2 的阻值由零逐渐增大时， R_2 与电压表两端的电压之和也将逐渐增大，因此电压表读数等于 $\frac{1}{2}U_m$ 时， R_2 两端的电压将大于 $\frac{1}{2}U_m$ ，则 $R_2 > R_V$ ，从而造成 R_V 的测量值偏大。

例 3 [2023·海南卷·15, 14分]用如图甲所示的电路测量一个量程为 $100\mu\text{A}$ 、内阻约为 2000Ω 的微安表头的内阻，所用电源的电动势约为 12V ，有两个电阻箱可选， $R_1(0\sim 9999.9\Omega)$ ， $R_2(0\sim 99999.9\Omega)$



(1) R_M 应选_____， R_N 应选_____。

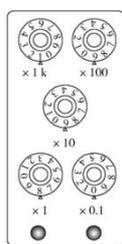
(2) 根据电路图甲，请把实物图乙连线补充完整。



(3) 下列操作顺序合理排列是__。

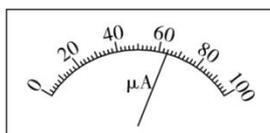
- ①将滑动变阻器滑片 P 移至最左端，将 R_N 调至最大值；
- ②闭合开关 S_2 ，调节 R_M ，使微安表半偏，并读出 R_M 的阻值；
- ③断开 S_2 ，闭合 S_1 ，调节滑片 P 至某位置再调节 R_N 使表头满偏；
- ④断开 S_1 、 S_2 ，拆除导线，整理好器材。

(4) 如图丙是 R_1 调节后的面板，则待测表头的内阻为_____，该测量值__（选填“大于”“小于”或“等于”）真实值。



丙

(5) 将该微安表改装成量程为 $2V$ 的电压表后，某次测量指针指在图丁所示位置，则待测电压为__V。



丁

(6) 某次半偏法测量表头内阻的实验中， S_2 断开，电表满偏时读出 R_N 的值，在滑片 P 不动的情况下， S_2 闭合后调节电阻箱 R_M ，使电表半偏时读出 R_M ，若认为 OP 间电压不变，则微安表内阻为_____（用 R_M 、 R_N 表示）。

【答案】 (1) R_1 ; R_2

(2) 见解析图

(3) ①③②④

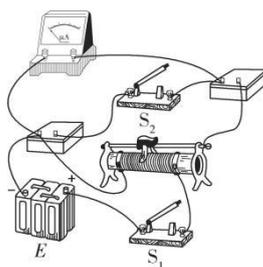
(4) 1998.0Ω ; 小于

(5) 1.28

(6) $\frac{R_N R_M}{R_N - R_M}$

【解析】

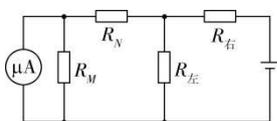
(1) 根据半偏法的测量原理可知，电路中 R_M 与 $R_{\mu A}$ 应相当，当闭合 S_2 之后，通过 R_N 的电流应基本不变，就需要 R_N 较大，以减小并联 R_M 对滑动变阻器滑片左方分得电压的影响。故 R_M 应选 R_1 ， R_N 应选 R_2 。



(2) 根据电路图连线，如图所示。

(3) 第一步：闭合开关 S_1 前，需要调节滑动变阻器滑片 P ，使微安表和 R_N 两端总电压为0，即滑片 P 移至最左端， R_N 调至最大值。第二步：只闭合 S_1 ，调节滑片 P 和 R_N 阻值，使微安表达到满偏。第三步：保证滑片 P 不动， R_N 阻值不变，闭合 S_2 ，调节 R_M ，使微安表半偏。最后一步：断开所有开关，拆导线，整理器材。正确的操作顺序是①③②④。

(4) 读出的 R_1 的阻值为微安表的内阻，大小为 1998.0Ω 。当闭合 S_2 后，电路示意图如图所示， R_M 和微安表并联后的阻值小于微安表内阻，则流过 R_N 的电流大于闭合前的电流，则流过 R_M 的电流大于 $\frac{I_{\mu A}}{2}$ ，故 $R_M < R_{\mu A}$ 。

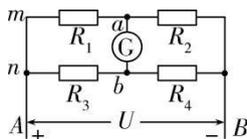


(5) 按读数规则可知， $I' = 64\mu A$ ，按换算关系 $\frac{2V}{100\mu A} = \frac{U}{64\mu A}$ ，可知电压为1.28V。

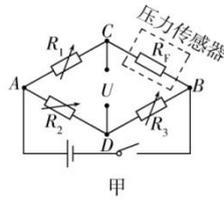
(6) 根据半偏法原理可得，闭合 S_2 前后可认为 OP 间电压不变，即有 $I(R_{\mu A} + R_N) = (\frac{I}{2} + \frac{\frac{I}{2}R_{\mu A}}{R_M})R_N + \frac{I}{2} \cdot R_{\mu A}$ ，解得 $R_{\mu A} = \frac{R_N R_M}{R_N - R_M}$ 。

题型四 电桥法测电阻

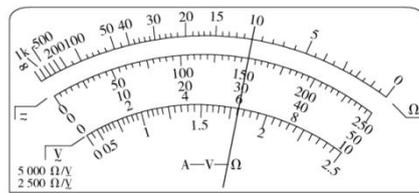
如图所示，在 a 、 b 间接一灵敏电流计，当其读数为零时，即 $U_{ab} = 0$ ，相当于 a 、 b 间断路，此时 $\varphi_a = \varphi_b$ ，则有 $IR_1 = I'R_3$ ， $IR_2 = I'R_4$ ，两式相除得 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ ，即 $R_1 R_4 = R_2 R_3$ ，此时交叉电阻的乘积相等，所以知道其中任意三个电阻的阻值就可以求出第四个电阻的阻值。



例 4 [2023·湖南卷·12, 9分]某探究小组利用半导体薄膜压力传感器等元件设计了一个测量微小压力的装置,其电路如图甲所示, R_1 、 R_2 、 R_3 为电阻箱, R_F 为半导体薄膜压力传感器, C 、 D 间连接电压传感器(内阻无穷大)。



(1) 先用欧姆表“ $\times 100$ ”挡粗测 R_F 的阻值,示数如图乙所示,对应的读数是 _____ Ω 。

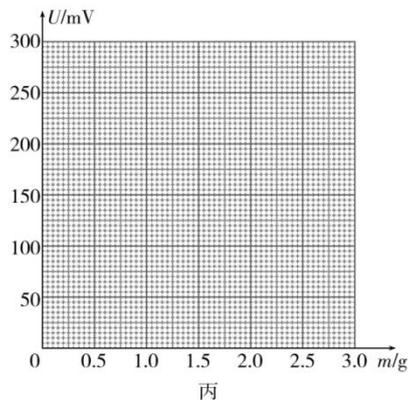


(2) 适当调节 R_1 、 R_2 、 R_3 , 使电压传感器示数为 0, 此时, R_F 的阻值为 _____ (用 R_1 、 R_2 、 R_3 表示)。

(3) 依次将 0.5g 的标准砝码加载到压力传感器上(压力传感器上所受压力大小等于砝码重力大小), 读出电压传感器示数 U , 所测数据如表所示:

次数	1	2	3	4	5	6
砝码质量 m/g	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
电压 U/mV	0	57	115	168	220	280

根据表中数据在图丙上描点, 绘制 $U - m$ 关系图线。



(4) 完成前面三步的实验工作后, 该测量微小压力的装置即可投入使用。在半导体薄膜压力传感器上施加微小压力 F_0 , 电压传感器示数为 200mV, 则 F_0 大小是_____N (重力加速度取 9.8m/s^2 , 保留 2 位有效数字)。

(5) 若在步骤 (4) 中换用非理想毫伏表测量 C、D 间电压, 在半导体薄膜压力传感器上施加微小压力 F_1 , 此时非理想毫伏表读数为 200mV, 则 F_1 ___ F_0 (选填“>”“=”或“<”)。

【答案】 (1) 1 000

(2) $\frac{R_1 R_3}{R_2}$

(3) 见解析

(4) 0.018

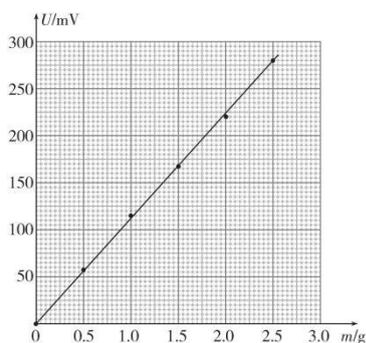
(5) >

【解析】

(1) 欧姆表选择“ $\times 100$ ”挡, 由题图乙可知读数为 1000Ω 。

(2) 由题图甲可知, 要使电压传感器示数为 0, 上、下两条支路中 R_1 和 R_2 的分压应相等, 即 $\frac{R_1}{R_1+R_F} = \frac{R_2}{R_2+R_3}$, 可得 $R_F = \frac{R_1 R_3}{R_2}$ 。

(3) 根据题表中数据描点作图, 注意使图线通过尽量多的点, 如图所示。



(4) 由图可得 200mV 的电压对应砝码的质量约为 1.8g, 则 $F_0 = mg \approx 0.018\text{N}$ 。

(5) 非理想毫伏表测得的电压偏小, 即要达到相同的电压, 所需压力会偏大, 则 $F_1 > F_0$ 。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 52

实验 12 测量电源的电动势和内阻

必备知识·强基固本

一、实验目的

1.掌握用电流表和电压表测定电源的电动势和内阻的方法。

2.掌握用图像处理实验数据的方法。

二、实验原理

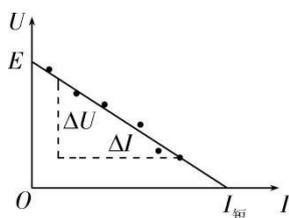
1. 实验依据：_____。

【答案】闭合电路欧姆定律

2. E 和 r 的求解：由 $U = E - Ir$ 得

$$\begin{cases} U_1 = E - I_1 r, \\ U_2 = E - I_2 r, \end{cases} \text{解得} \begin{cases} E = \frac{I_1 U_2 - I_2 U_1}{I_1 - I_2}, \\ r = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2}. \end{cases}$$

3. 用作图法处理数据，如图所示。



(1) 图线在纵轴上的截距为 E ;

(2) 图线在横轴的截距为 $I_{\text{短}} = \frac{E}{r}$;

(3) 图线的_____表示内阻，即 $r = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|$ 。

【答案】斜率的绝对值

三、实验器材

电池（被测电源）、电压表、电流表、滑动变阻器、开关、导线、坐标纸和刻度尺等。

四、实验步骤

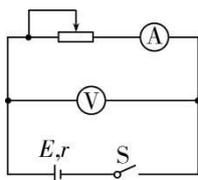
1.电流表用 $0 \sim 0.6\text{A}$ 量程，电压表用 $0 \sim 3\text{V}$ 量程，按实验原理图连接好电路。

2.把滑动变阻器的滑片移动到使其接入电路的阻值最大的一端。

3.闭合开关，调节滑动变阻器，使电流表有明显示数并记录一组数据 (I_1, U_1) 。

用同样的方法测量出几组 I 、 U 的值，填入表格中。

4.断开开关，拆除电路，整理好器材。



五、实验数据处理

1.公式法：取六组对应的 U 、 I 数据解得三组 E 、 r ，取其平均值作为电池的电动势 E 和内阻 r 。

2.图像法：在坐标纸上以路端电压 U 为纵轴、电流 I 为横轴建立坐标系，得到 $U-I$ 图线，直线与纵轴交点的纵坐标值即电池电动势的大小（一次函数的纵轴截距），图线斜率的绝对值即电池的内阻 r ，即 $r = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|$ 。

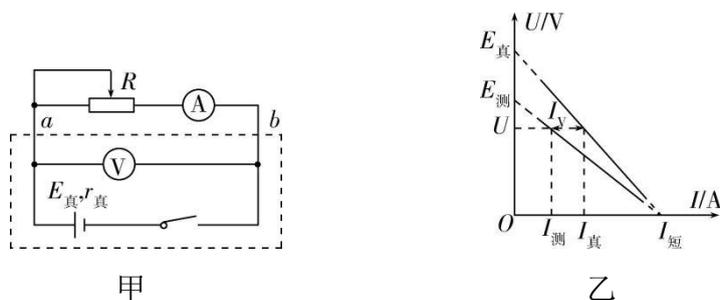
六、误差分析

1.偶然误差

- (1) 由于读数不准引起误差。
- (2) 用图像法求 E 和 r 时，由于作图不准确造成误差。
- (3) 测量过程中通电时间过长或电流过大，都会引起 E 、 r 变化造成误差。

2. **系统误差** 由于电压表和电流表内阻影响而导致的误差。

(1) 若采用如图甲所示的电路，在理论上 $E_{\text{真}} = \underline{\hspace{2cm}}$ ，其中电压表示数 U 是准确的电源两端电压，而实验中忽略了通过电压表的电流 I_V 而造成误差，而且电压表示数越大， I_V 越大。

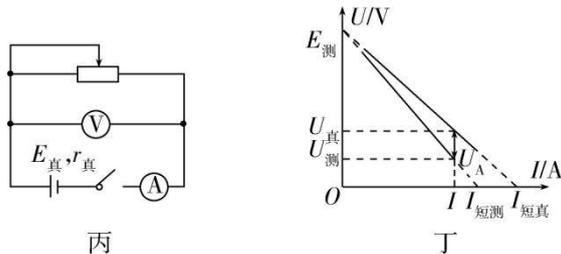


结论：①当电压表示数为零时， $I_V = 0$ ， $I_A = I_{\text{短}}$ ，短路电流测量值等于真实值；

② $E_{\text{测}} < E_{\text{真}}$ ；

③因为 $r_{\text{测}} = \frac{E_{\text{测}}}{I_{\text{测}}}$ ，所以 $r_{\text{测}} < r_{\text{真}}$ 。从电路的角度看，将电压表看成内电路的一部分，故实际测出的是电池和电压表这一整体的等效内阻 $r_{\text{测}}$ 和电动势 $E_{\text{测}}$ 。等效电源的内阻为电压表内阻和电源内阻的并联值，即 $r_{\text{测}} = \frac{R_V r_{\text{真}}}{R_V + r_{\text{真}}} < r_{\text{真}}$ 。等效电源的电动势为电压表和电源组成回路的路端电压，即 $E_{\text{测}} = \frac{R_V}{R_V + r_{\text{真}}} \cdot E_{\text{真}} < E_{\text{真}}$ 。

(2) 若采用如图丙所示的电路， I 为电源电流真实值，理论上 $E_{\text{真}} = \underline{\hspace{2cm}}$ ，实验中忽略 U_A 而造成误差，而且电流表示数越大， U_A 越大，当电流为零时， $U_A = 0$ ，电压为电动势准确值，等于 $E_{\text{真}}$ 。



结论：① $E_{测} = E_{真}$ ；

② $I_{短测} < I_{短真}$ ；

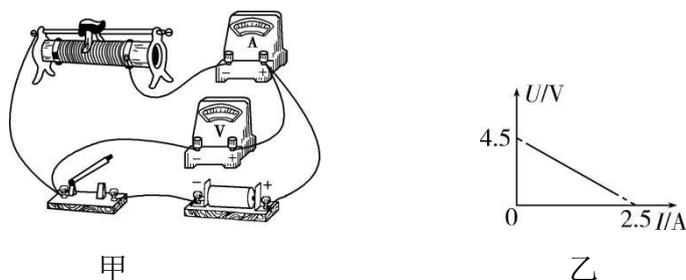
③ 因为 $r_{测} = \frac{E_{测}}{I_{短测}}$ ，所以 $r_{测} > r_{真}$ ， $r_{测}$ 为 $r_{真}$ 和 R_A 的串联值，由于通常情况下电池的内阻较小，所以这时 $r_{测}$ 的测量误差非常大。从电路的角度看，电流表应看成内电路的一部分，故实际测出的电源和电流表这一整体的等效内阻 $r_{测}$ 和电动势 $E_{测}$ 。等效电源的内阻为电流表内阻和电池内阻的串联值，所以 $r_{测} = r_{真} + R_A > r_{真}$ ，由于通常情况下电池的内阻较小，所以这时 $r_{测}$ 的测量误差非常大。

【答案】 (1) $U + (I_V + I_A)r_{真}$

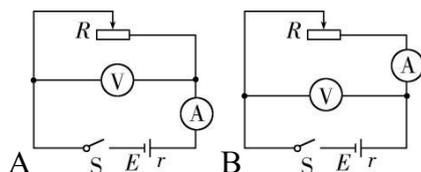
(2) $U + U_A + Ir_{真}$

关键能力·核心突破 探究点一 教材原型实验

例 1 [2022·天津卷·9(2)，8分] 实验小组测量某型号电池的电动势和内阻。用电流表、电压表、滑动变阻器、待测电池等器材组成如图甲所示实验电路，由测得的实验数据绘制成的 $U-I$ 图像如图乙所示。



① 图甲的电路图为图中的_____。（选填“A”或“B”）



② 如果实验中所用电表均视为理想电表，根据图乙得到该电池的电动势 $E = \underline{\quad\quad\quad}$ V，内阻 $r = \underline{\quad\quad}$ Ω 。

③ 实验后进行反思，发现上述实验方案存在系统误差。若考虑到电表内阻的影响，对测得的实验数据进行修正，在图乙中重新绘制 $U - I$ 图线，与原图线比较，新绘制的图线与横坐标轴交点的数值将 ，与纵坐标轴交点的数值将 。（两空均选填“变大”“变小”或“不变”）

【答案】① B

② 4.5； 1.8

③ 不变； 变大

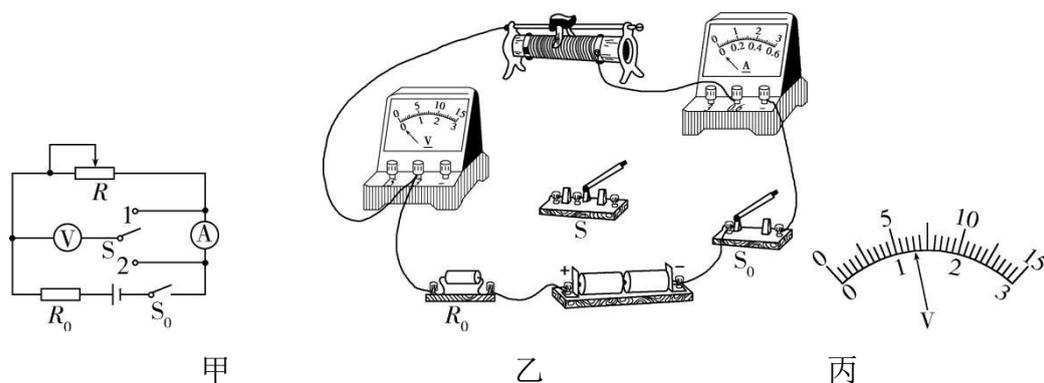
【解析】

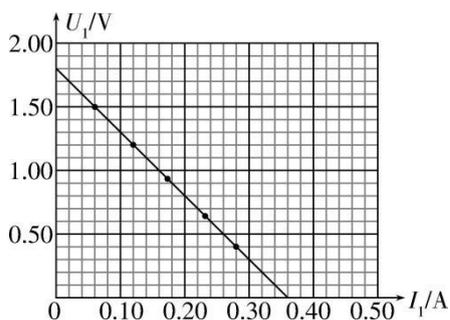
① 由题图甲中电路连接可知电流表没有置于干路，因此 B 项正确。

② 电表视为理想电表时，由闭合电路的欧姆定律得 $U = E - Ir$ ①，可知题图乙中纵截距为 E ，斜率的绝对值为 r ，代入数据可得 $E = 4.5\text{V}$ ， $r = 1.8\Omega$ 。

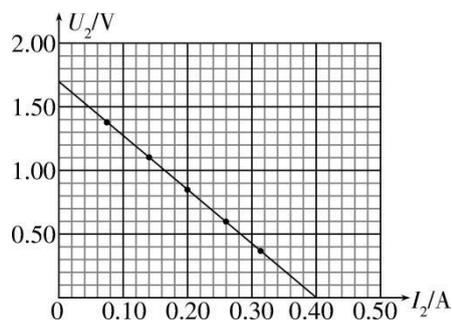
③ 考虑电压表分流，可知该闭合电路的实际情况为 $U = E - (I + \frac{U}{R_V})r$ ②，可知电压表所示路端电压准确，由于考虑电压表分流，真实的干路电流略大于电流表示数，因此在图像中，对应每一个准确的路端电压，真实的干路电流应略大于题图乙所示的电流值；而当 $U = 0$ 时，①式与②式等价，因此两图线相交于横轴，作图可知考虑电压表分流时，图线纵截距将略大于图乙中的纵截距，而横截距不变。

迁移应用。[2022·福建卷·12，7分]在测量某电源电动势和内阻时，因为电压表和电流表的影响，不论使用何种接法，都会产生系统误差，为了消除电表内阻造成的系统误差，某实验兴趣小组设计了如图甲实验电路进行测量。已知 $R_0 = 2\Omega$ 。





丁



戊

(1) 按照图甲所示的电路图，将图乙中的器材实物连线补充完整。

(2) 实验操作步骤如下：

①将滑动变阻器滑到最左端位置；

②接法 I：单刀双掷开关 S 与 1 接通，闭合开关 S_0 ，调节滑动变阻器 R ，记录下若干组数据 U_1 、 I_1 的值，断开开关 S_0 ；

③将滑动变阻器滑到最左端位置；

④接法 II：单刀双掷开关 S 与 2 闭合，闭合开关 S_0 ，调节滑动变阻器 R ，记录下若干组数据 U_2 、 I_2 的值，断开开关 S_0 ；

⑤分别作出两种情况所对应的 $U_1 - I_1$ 和 $U_2 - I_2$ 图像。

(3) 单刀双掷开关接 1 时，某次读取电表数据时，电压表指针如图丙所示，此时 $U_1 = \underline{\quad}$ V。

(4) 根据测得数据，作出 $U_1 - I_1$ 和 $U_2 - I_2$ 图像如图丁、图戊所示，根据图线求得电源电动势 $E = \underline{\quad}$ ，内阻 $r = \underline{\quad}$ 。（结果均保留 2 位小数）

(5) 由图丁、图戊可知 （选填“接法 I”或“接法 II”）测得的电源内阻更接近真实值。

(6) 综合考虑，若只能选择一种接法，应选择 （选填“接法 I”或“接法 II”）测量更合适。

【答案】 (1) 见解析

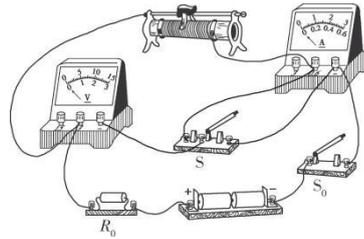
(3) 1.30

(4) 1.80V; 2.50Ω

(5) 接法 II

(6) 接法 II

【解析】



(1) 按照电路图补充开关的连线如图所示。

(3) 电压表选用的是 $0 \sim 3V$ 量程，分度值为 $0.1V$ ，需估读，示数为 $1.30V$ 。

(4) 在接法 I 中，若电流表示数为零，则通过电源的电流为零，此时电压表示数等于电源电动势的真实值，故 $U_1 - I_1$ 的纵截距为电源电动势，可得 $E = 1.80V$ 。由电压表示数为零即滑动变阻器接入电路的阻值为零可知 $E = I(R_0 + r + R_A)$ ，由于电流表内阻未知而无法求得电源内阻。再由接法 II 来看，当电压表示数为零时，电源与 R_0 之外的电路短路，此时电流表示数满足 $E = I(R_0 + r)$ ，再由 $U_2 - I_2$ 图像可知此时电路电流为 $0.40A$ ，则电源内阻为 $r = \frac{E}{I} - R_0 = \frac{1.80}{0.40} \Omega - 2\Omega = 2.50\Omega$ 。

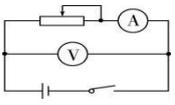
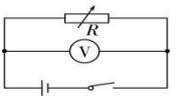
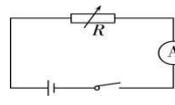
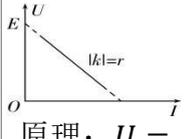
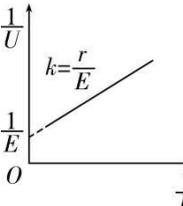
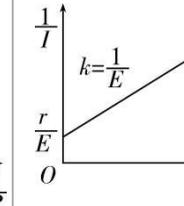
(5) 若直接由图线斜率求电源内阻，由 $U_1 - I_1$ 图线斜率的绝对值为 $k_1 = \frac{1.80-0}{0.36} \Omega = 5.0\Omega$ ，解得 $r_1 = k_1 - R_0 = 3.00\Omega$ ；由 $U_2 - I_2$ 图线斜率的绝对值为 $k_2 = \frac{1.70-0}{0.40} \Omega = 4.25\Omega$ ，解得 $r_2 = k_2 - R_0 = 2.25\Omega$ 。而 $\sigma_1 = \frac{r_1 - r}{r} \times 100\% = \frac{3.00 - 2.50}{2.50} \times 100\% = 20\%$ ， $\sigma_2 = \frac{r - r_2}{r} \times 100\% = \frac{2.50 - 2.25}{2.50} \times 100\% = 10\%$ ，可见接法 II 测得的电源内阻更接近真实值。

(6) 由电路图可知接法 I 的误差来源是电流表的分压，测得的内阻实际值为 $k_1 = r + R_0 + R_A$ ，故可得电流表内阻为 $R_A = k_1 - (r + R_0) = 0.5\Omega$ ；接法 II 的误差来源是电压表的分流，测得的内阻实际值为 $k_2 = \frac{R_V(r+R_0)}{R_V+r+R_0}$ ，故可得电压表内阻为 $R_V = \frac{k_2(r+R_0)}{(r+R_0)-k_2} = 76.5\Omega$ 。由临界值法可知 $r + R_0 = 4.5\Omega < \sqrt{R_A R_V} = \sqrt{0.5 \times 76.5} \approx 6.18\Omega$ ，电源属于小内阻电源，电流表的分压影响大于电压表的分流影响，即若只能选择一种接法，应选择接法 II。

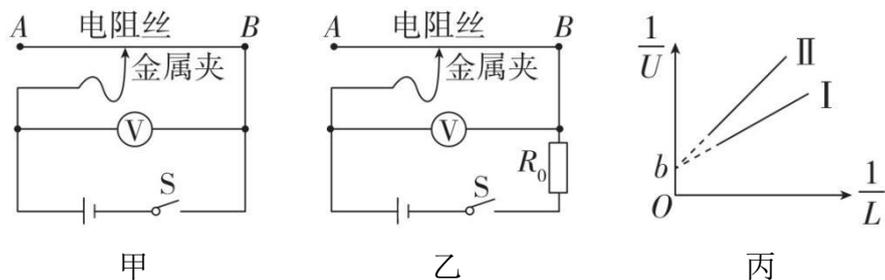
探究点二 实验探究拓展

除了用“伏安法”测量电源的电动势和内阻外，还可根据闭合电路欧姆定律得到电路的 $U - R$ 关系和 $I - R$ 关系，即还可用“伏阻法”和“安阻法”测量电源的电动势和内阻。

三种实验方案的对比如下：

项目	伏安法	伏阻法	安阻法
实验原理	$E = U + Ir$	$E = U + \frac{U}{R}r$	$E = IR + Ir$
实验电路			
数据处理	计算法 由 $\begin{cases} E = U_1 + I_1 r \\ E = U_2 + I_2 r \end{cases}$ 解得 E 、 r	由 $\begin{cases} E = U_1 + \frac{U_1}{R_1} r \\ E = U_2 + \frac{U_2}{R_2} r \end{cases}$ 解得 E 、 r	由 $\begin{cases} E = I_1 R_1 + I_1 r \\ E = I_2 R_2 + I_2 r \end{cases}$ 解得 E 、 r
	图像法  原理: $U = -rI + E$	 原理: $\frac{1}{U} = \frac{r}{E} \cdot \frac{1}{R} + \frac{1}{E}$	 原理: $\frac{1}{I} = \frac{1}{E} \cdot R + \frac{r}{E}$
误差来源	电压表的分流, $E_{测} < E_{真}$, $r_{测} < r_{真}$	电压表的分流, $E_{测} < E_{真}$, $r_{测} < r_{真}$	电流表的分压, $E_{测} = E_{真}$, $r_{测} > r_{真}$

例 2 [2024 · 黑吉辽卷 · 11, 6 分] 某探究小组要测量电池的电动势和内阻。可利用的器材有: 电压表、电阻丝、定值电阻 (阻值为 R_0)、金属夹、刻度尺、开关 S、导线若干。他们设计了如图所示的实验电路原理图。



(1) 实验步骤如下：

- ①将电阻丝拉直固定，按照图甲连接电路，金属夹置于电阻丝的_____（选填“*A*”或“*B*”）端；
- ②闭合开关*S*，快速滑动金属夹至适当位置并记录电压表示数*U*，断开开关*S*，记录金属夹与*B*端的距离*L*；
- ③多次重复步骤②，根据记录的若干组*U*、*L*的值，作出图丙中图线 I；
- ④按照图乙将定值电阻接入电路，多次重复步骤②，再根据记录的若干组*U*、*L*的值，作出图丙中图线 II。

(2) 由图线得出纵轴截距为*b*，则待测电池的电动势*E* = _____。

(3) 由图线求得 I、II 的斜率分别为*k*₁、*k*₂，若 $\frac{k_2}{k_1} = n$ ，则待测电池的内阻 *r* = _____（用*n*和*R*₀表示）。

【答案】 (1) *A*

(2) $\frac{1}{b}$

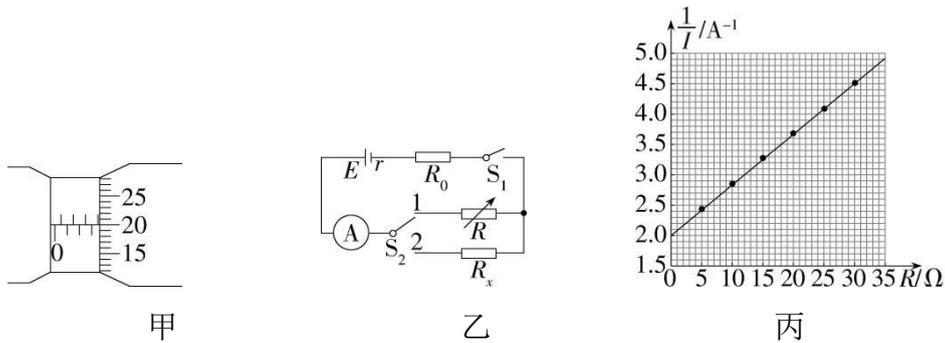
(3) $\frac{R_0}{n-1}$

【解析】

(1) ①金属夹应置于电阻丝的*A*端，此时接入电路中的阻值最大，起到保护电路的作用。

(2) (2) (3) 设电源的电动势为*E*，内阻为*r*，电阻丝横截面积为*S*，电阻率为*ρ*，电阻丝接入电路的电阻为*R*，长度为*L*，对于图线 I 可得 $U = E - \frac{U}{R}r$ ，对于图线 II 可得 $U = E - \frac{U}{R}(R_0 + r)$ ，其中 $R = \rho \frac{L}{S}$ ，对图线 I 表达式整理可得 $\frac{1}{U} = \frac{1}{E} + \frac{Sr}{\rho E} \cdot \frac{1}{L}$ ，对图线 II 表达式整理可得 $\frac{1}{U} = \frac{1}{E} + \frac{S(R_0+r)}{\rho E} \cdot \frac{1}{L}$ ，可得 $\frac{1}{E} = b$ ， $\frac{R_0+r}{r} = \frac{k_2}{k_1} = n$ ，解得 $E = \frac{1}{b}$ ， $r = \frac{R_0}{n-1}$ 。

例3 [2022·湖北卷·13, 9分]某探究小组学习了多用电表的工作原理和使用方法后,为测量一种新型材料制成的圆柱形电阻的电阻率,进行了如下实验探究。



(1) 该小组用螺旋测微器测量该圆柱形电阻的直径 D ,示数如图甲所示,其读数为_____mm。再用游标卡尺测得其长度 L 。

(2) 该小组用如图乙所示的电路测量该圆柱形电阻 R_x 的阻值。图中电流表量程为 0.6A ,内阻为 1.0Ω ,定值电阻 R_0 的阻值为 20.0Ω ,电阻箱 R 的最大阻值为 999.9Ω 。首先将 S_2 置于位置1,闭合 S_1 ,多次改变电阻箱 R 的阻值,记下电流表的对应读数 I ,实验数据见表。根据表中数据,在图丙中绘制出 $\frac{1}{I}-R$ 图像。再将 S_2 置于位置2,此时电流表读数为 0.400A 。根据图丙中的图像可得 $R_x = \underline{\quad}\Omega$

(结果保留2位有效数字)。最后可由表达式 $\rho = \underline{\hspace{2cm}}$ 得到该材料的电阻率(用 D 、 L 、 R_x 表示)。

R/Ω	I/A	$\frac{1}{I}/\text{A}^{-1}$
5.0	0.414	2.42
10.0	0.352	2.84
15.0	0.308	3.25
20.0	0.272	3.68
25.0	0.244	4.10
30.0	0.222	4.50

(3) 该小组根据图乙的电路和图丙的 $\frac{1}{I}-R$ 图像,还可以求得电源电动势 $E = \underline{\quad}\text{V}$,内阻 $r = \underline{\quad}\Omega$ 。(结果均保留2位有效数字)

(4) 持续使用后, 电源电动势降低、内阻变大。若该小组再次将此圆柱形电阻连入此装置, 测得电路的电流, 仍根据原来描绘的图丙的图像得到该电阻的测量值会___ (选填“偏大”“偏小”或“不变”)。

【答案】 (1) 3.700

(2) 6.0; $\frac{\pi R_x D^2}{4L}$

(3) 12; 3.1

(4) 偏大

【解析】

(1) 由题图甲可得读数为 $3.5\text{mm} + 20.0 \times 0.01\text{mm} = 3.700\text{mm}$ 。

(2) 电流表示数为 0.400A 时, $\frac{1}{I} = 2.50\text{A}^{-1}$, 由题图丙可读得对应横坐标为 6.0Ω 。由 $R_x = \rho \frac{L}{S}$ 、 $S = \pi(\frac{D}{2})^2$ 可得 $\rho = \frac{\pi R_x D^2}{4L}$ 。

(3) 由电路结构可得 $E = I(r + R_0 + R_A + R)$, 即 $\frac{1}{I} = \frac{r + R_0 + R_A}{E} + \frac{1}{E}R$, 可见 $\frac{1}{I} - R$ 图线的斜率 $k = \frac{1}{E}$ 、纵截距 $b = \frac{r + R_0 + R_A}{E}$, 再由题图丙可得 $b = 2.00\text{A}^{-1}$ 、 $k = \frac{4.90 - 2.00}{35}\text{A}^{-1} \cdot \Omega^{-1}$, 解得 $E \approx 12\text{V}$, $r \approx 3.1\Omega$ 。

(4) 由 $E = I(r + R_0 + R_A + R)$ 得 $R = \frac{E}{I} - (r + R_0 + R_A)$, 可知当电源的电动势降低、内阻增大后, 同一电流对应的电阻箱接入电路中阻值减小, 故按原来描绘的图像处理时所获得的 R_x 偏大。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 53

实验 13 使用多用电表测量电学中的物理量

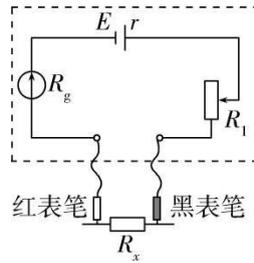
必备知识·强基固本

一、实验目的

1. 了解多用电表的构造和原理, 掌握多用电表的使用。
2. 会使用多用电表测电压、电流及电阻。
3. 会用多用电表探索黑箱中的电学元件。

二、实验原理

1. 欧姆表的原理



(1) 构造：欧姆表由电流表、电池、滑动变阻器 R_1 和红、黑表笔组成。

(2) 工作原理：由闭合电路欧姆定律得

$I_x = \frac{E}{R_g + R_1 + r + R_x}$ ，可知 R_x 与电流 I_x 一一对应。

(3) 刻度的标定：红、黑表笔直接接触时（相当于被测电阻 $R_x = 0$ ），调节 R_1 ，使 $I_x = I_g$ ，电流表的指针达到满偏。

a. 当 $I_x = I_g$ 时， $R_x = 0$ ，满偏电流 I_g 处标为“0”。

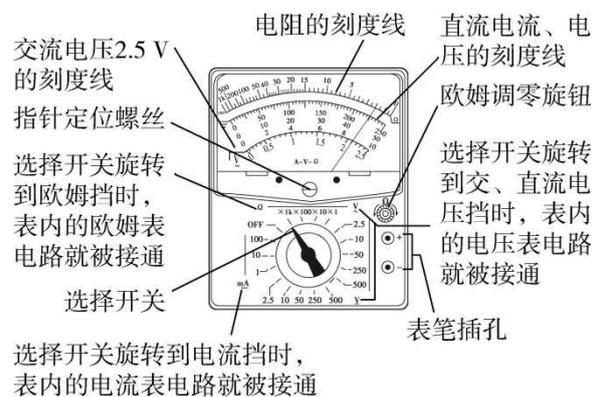
b. 当 $I_x = 0$ 时， $R_x \rightarrow \infty$ ， $I_x = 0$ 处标为“ ∞ ”。

c. 当 $I_x = \frac{I_g}{2}$ 时， $R_x = R_g + R_1 + r$ ，此电阻 R_x 等于欧姆表的内阻 R_Ω ，也叫中值电阻。

(4) 电源极性：红表笔接内部电源的__，黑表笔接内部电源的__。

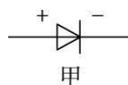
【答案】 $\frac{E}{R_g + R_1 + r + R_x}$ ； $R_g + R_1 + r$ ； 负极； 正极

2. 认识多用电表：如图所示是一种多用电表的外形图。表的上半部分为表盘，下半部分是选择开关，开关周围标有测量功能的区域及量程。

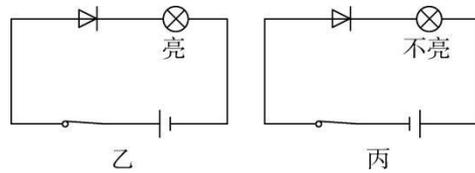


3. 二极管的单向导电性

(1) 晶体二极管：由半导体材料制成，它有两个极，即正极和负极，它的符号如图甲所示。



(2) 晶体二极管具有单向导电性：当给二极管加正向电压时，它的电阻很小，电路导通，如图乙所示；当给二极管加反向电压时，它的电阻很大，电路截止，如图丙所示。

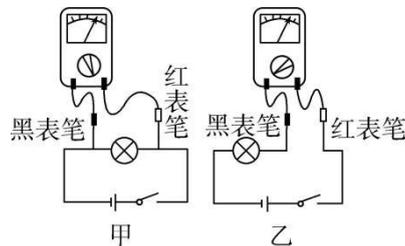


三、实验器材

多用电表、电学黑箱、直流电源、开关、导线若干、小灯泡、二极管、定值电阻（大、中、小）三个。

四、实验步骤

- 1.观察多用电表的外形，认识选择开关对应的测量项目及量程。
- 2.检查多用电表的指针是否停在表盘刻度左端的零刻度线位置。若不指零，则可用小螺丝刀进行机械调零。
- 3.将红、黑表笔分别插入“+”“-”插孔。
- 4.按如图甲所示连好电路，将选择开关置于直流电压挡，闭合开关，测小灯泡两端的电压。
- 5.按如图乙所示连好电路，将选择开关置于直流电流挡，闭合开关，测量通过小灯泡的电流。



6.用多用电表测电阻的步骤：

- (1) 调整指针定位螺丝，使指针指向电流的零刻度线。
- (2) 将选择开关置于“ Ω ”挡的“ $\times 1$ ”挡，短接红、黑表笔，调节欧姆调零旋钮使指针指向“ 0Ω ”，然后断开表笔，再使指针指向“ ∞ ”。
- (3) 将两表笔分别接触标定值为几十欧的电阻两端，读出指示的电阻值，然后断开表笔，与标定值进行比较。
- (4) 选择开关改置“ $\times 100$ ”挡，重新进行欧姆调零。

(5) 将两表笔分别接触标定值为几千欧的电阻两端，读出指示的电阻值，然后断开表笔，与标定值进行比较。

(6) 测量完毕，将选择开关置于交流电压最高挡或“OFF”位置。

7.探索黑箱内的电学元件

元件	应用挡位	现象
电源	电压挡	两接线柱正、反接时均无示数说明无电源
电阻	欧姆挡	两接线柱正、反接时示数相同
二极管	欧姆挡	正接时示数很小，反接时示数很大
电容器	欧姆挡	指针先指“0”后逐渐增大到“∞”，且越来越慢
电感线圈	欧姆挡	示数由“∞”逐渐减小到某一较小固定值

五、实验数据处理

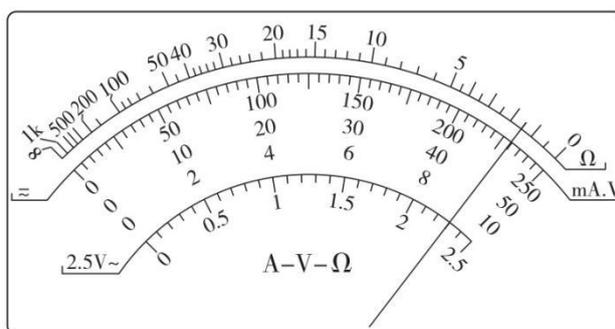
1.测电阻时，电阻的阻值等于指针的示数与倍率的乘积。

2.测电压和电流时，如果所读表盘的分度值为 1、0.1、0.01 等，读数时应读到分度值的下一位，若表盘的分度值为 0.2、0.02、0.5、0.05 等，读数时只读到与分度值数位相同即可。

关键能力·核心突破

探究点一 多用电表的使用与读数

例 1 [2024·广东惠州模拟]在“练习使用多用电表”的实验中，某同学进行了如下操作和思考。



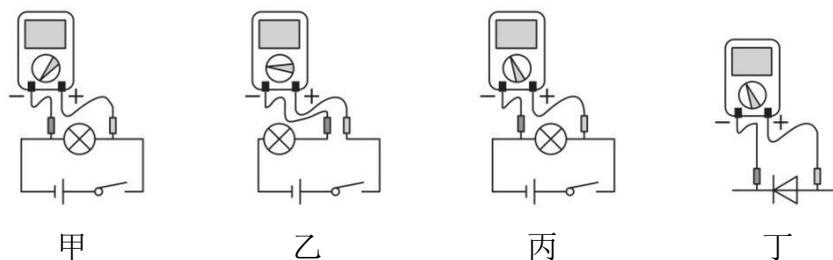
(1) 利用多用电表测量未知电阻，用欧姆挡“ $\times 100$ ”测量时发现指针示数如图所示，为了得到比较准确的测量结果，下列选项中合理的步骤为___（选填字母序号并按操作顺序排列）。

- A. 将选择开关旋转到欧姆挡“ $\times 1k$ ”的位置
- B. 将选择开关旋转到欧姆挡“ $\times 10$ ”的位置

C. 将两表笔分别与被测电阻的两根引线相接完成测量

D. 将两表笔短接，调节欧姆调零旋钮使指针指向“0”

(2) 该同学想进行如图所示的操作，下列说法正确的是（选填字母序号）。



A. 图甲中将选择开关旋转到直流电压挡，选择合适量程可测量小灯泡两端电压

B. 图乙中将选择开关旋转到直流电流挡，选择合适量程可测量流经小灯泡的电流

C. 图丙中将选择开关旋转到欧姆挡，选择合适量程可测量闭合电路中小灯泡的电阻

D. 图丁中将选择开关旋转到欧姆挡，选择合适量程可观察到此时欧姆表的示数很小

(3) 该同学在实验室找到一个 $10000\mu\text{F}$ 的电容器，他认为电容器是彼此绝缘的两个极板构成的，用欧姆表的两个表笔分别与电容器的两电极相连，欧姆表的指针不会发生偏转。该同学准备验证自己的想法，用欧姆表的“ $\times 10$ ”挡，将红、黑两表笔分别与该电容器的两电极相连。请你分析该同学会看到什么现象，并说明依据：_____。

【答案】 (1) BDC

(2) AB

(3) 见解析

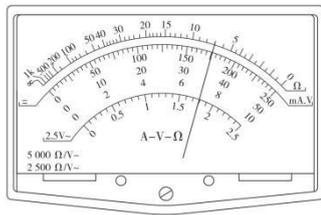
【解析】

(1) 欧姆挡测电阻时指针偏转角度过大，是由于挡位过大，需选取小挡位，进行欧姆调零后再测电阻阻值，故顺序为 BDC。

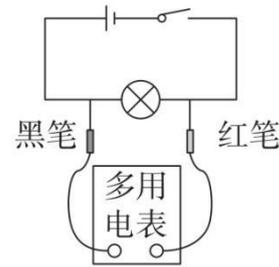
(2) 测量小灯泡电阻时，小灯泡必须与外部电路断开，故 C 错误；由题图结合欧姆表的内部电路可知，二极管两端为负向电压，此时二极管电阻无穷大，可观察到此时欧姆表的示数很大，故 D 错误。

(3) 会看到欧姆表的指针先向右偏转，然后缓慢回到最左端。现象解释：①多用电表欧姆挡电路中有电源，与电容器连接时，电源给电容器充电，回路中有电流，指针向右偏转；②电容器充电过程中，电流逐渐减小至 0，指针缓慢回到最左端。

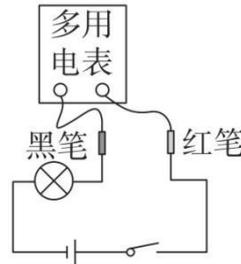
迁移应用. 在“练习使用多用电表”实验中：



甲



乙



丙

(1) 图甲为一正在测量中的多用电表表盘，如果用欧姆挡“ $\times 100$ ”测量，则读数为__ Ω ；如果用“直流 5V”挡测量，则读数为__V。

(2) 利用多用电表测量图乙、丙所示电路中小灯泡正常工作时的有关物理量，以下操作正确的是_____。

- A. 将选择开关旋转到合适的电压挡，闭合开关，利用图乙的电路测量小灯泡两端的电压
- B. 将选择开关旋转到合适的欧姆挡，闭合开关，利用图乙的电路测量小灯泡的电阻
- C. 将选择开关旋转到合适的电流挡，闭合开关，利用图丙的电路测量通过小灯泡的电流

【答案】 (1) 700; 3.51

(2) C

【解析】

(1) 欧姆表读数为 700Ω ；如果用“直流 5V”挡测量，读数为 3.51V。

(2) 测小灯泡两端的电压时，应将电压表与小灯泡并联，红表笔接高电势点，故 A 错误；测小灯泡的电阻时，应将小灯泡与电路断开，故 B 错误；测通过小灯泡的电流时，应将电流表与小灯泡串联，红表笔接高电势点，故 C 正确。

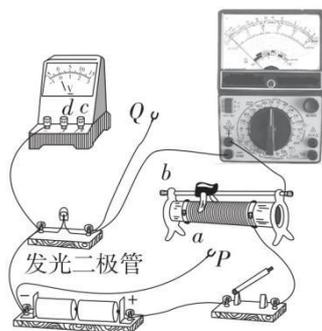
探究点二 元件探测和故障检测

例 2 [2024·浙江 6 月选考卷·16-II 节选] 在测绘发光二极管在导通状态下的伏安特性曲线实验中，

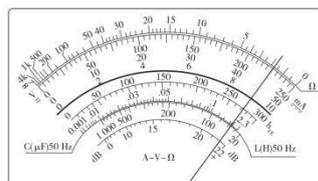
(1) 用多用电表欧姆挡判断发光二极管的正负极，选用 $\times 100$ 挡时，变换表笔与二极管两极的连接方式，发现电表指针均不偏转，选用_____挡（选填“ $\times 10$ ”或“ $\times 1k$ ”）重新测试，指针仍不偏转，更换二极管极性后，发现指针偏转，此时与多用电表红色表笔相连的是二极管___（选填“正极”或“负极”）。

(2) 图甲是已完成部分连线的实物图，为实现电压可从零开始调节，并完成实验， P 应连接_____接线柱（选填“ a ”“ b ”“ c ”或“ d ”）， Q 应连接_____接线柱（选填“ a ”“ b ”“ c ”或“ d ”）。某次选用多用电表量程为 50mA 挡测量，指针如图乙所示，则电流 $I = \underline{\quad}$ mA 。

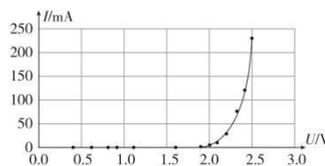
(3) 根据测得数据，绘出伏安特性曲线如图丙所示，则说明该二极管是_____元件（选填“线性”或“非线性”）。



甲



乙



丙

【答案】 (1) $\times 1k$ ；负极

(2) a ； d ； 45.0

(3) 非线性

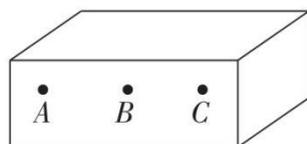
【解析】

(1) 多用电表指针不偏转，可能是电阻阻值过大，故选用更大的倍率进行测量。电流由多用电表的黑表笔流出、红表笔流入；发光二极管具有单向导电性，当多用电表的黑表笔接二极管正极，红表笔接二极管负极时才会正向导通，反之二极管被反接，电阻非常大，指针不偏转；所以指针偏转时多用电表的红表笔接二极管负极。

(2) 为实现电压从零开始调节，需要使用分压式电路，所以 P 应接 a ；实验电源为两节干电池，电路中电压不超过 $3V$ ，所以 Q 应接 d 。 $50mA$ 挡的分度值为 $1mA$ ，需估读到 $1mA$ 的下一位，故电流 $I = 45.0mA$ 。

(3) 题图丙中二极管的 $I - U$ 图线不是一条直线，说明该二极管是非线性元件。

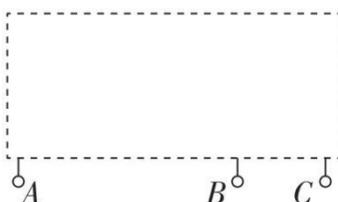
例3 [2024·河南信阳模拟]如图甲所示，电学实验室的“黑盒子”表面有 A 、 B 、 C 三个接线柱，盒内总共有两个电学元件（一只定值电阻和一只半导体二极管），为了探明盒内元件的连接方式，小华同学用多用电表进行了如下探测：用多用电表欧姆挡进行测量，把红、黑表笔分别与接线柱 A 、 B 、 C 连接，测量结果如表。



甲

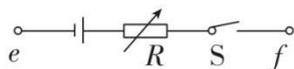
红表笔	A	B	B	C	A	C
黑表笔	B	A	C	B	C	A
阻值	有阻值	与 AB 间测量值相同	很大	很小	很大	略大于 AB 间测量值

(1) 在图乙虚线框中画出黑箱内的电路结构图。



乙

(2) 小华为了精确测量黑箱内二极管正向电阻的阻值和定值电阻的阻值，又进行了实验。将电源（电动势未知，内阻不计）、电阻箱、开关连接如图丙所示，将 e 、 f 按照正确方式与 A 、 B 相连，并在 A 、 B 之间再接入一个电压表，闭合开关，改变电阻箱 R 的大小，读出多组对应的电压表读数，记录为 U_1 。



丙

(3) 将 e 、 f 按照正确方式与 A 、 C 相连，电压表改接入 A 、 C 间，闭合开关，改变电阻箱 R 的大小，读出对应的电压表读数，记录为 U_2 。

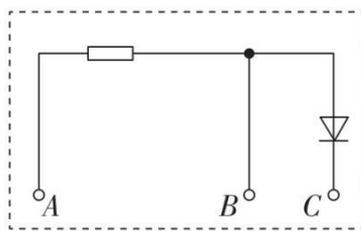
(4) 分别作 $\frac{1}{U_1} - R$ 和 $\frac{1}{U_2} - R$ 图像，发现两图像均为直线，若直线纵截距均为 a ，斜率分别为 k_1 、 k_2 ，则电源电动势为_____，黑箱内定值电阻的阻值为_____，二极管正向电阻的阻值为_____。

【答案】 (1) 见解析

(4) $\frac{1}{a}$; $\frac{a}{k_1}$; $\frac{a}{k_2} - \frac{a}{k_1}$

【解析】

(1) A 、 B 与 B 、 A 间阻值相同，说明 A 、 B 间是定值电阻，在测量 B 、 C 之间电阻时，黑表笔接 B 时电阻很小，接 C 时电阻很大，说明 B 、 C 之间有二极管，而且



B 接二极管的正极，则电路如图所示。

(4) 将 e 、 f 按照正确方式与 A 、 B 相连时，设电源电动势为 E ，定值电阻的阻值为 R_0 ，则 $U_1 = \frac{E}{R+R_0} R_0$ ，即 $\frac{1}{U_1} = \frac{1}{ER_0} R + \frac{1}{E}$ ，则 $a = \frac{1}{E}$ ， $k_1 = \frac{1}{ER_0}$ ；将 e 、 f 按照正确方式与 A 、 C 相连，此时 A 、 C 之间的电压表测的是二极管和定值电阻的总电压，设电源电动势为 E ，二极管正向电阻的阻值为 R_D ，定值电阻的阻值为 R_0 ，则由题意得 $U_2 = \frac{E}{R+R_0+R_D} \cdot (R_0 + R_D)$ ， $\frac{1}{U_2} = \frac{1}{E(R_0+R_D)} R + \frac{1}{E}$ ，则 $a = \frac{1}{E}$ ， $k_2 = \frac{1}{E(R_0+R_D)}$ ，故电源电动势为 $E = \frac{1}{a}$ ，定值电阻阻值为 $R_0 = \frac{a}{k_1}$ ，二极管正向电阻阻值为 $R_D = \frac{a}{k_2} - \frac{a}{k_1}$ 。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 54