实验七　测定金属的电阻率

目录

课前预习·基础落实
课堂互动·考点突破

课前预习·基础落实

【实验目的】

1．掌握电流表、电压表和滑动变阻器的使用方法及电流表和电压表的读数方法。

2．掌握螺旋测微器及游标卡尺的原理及读数方法。

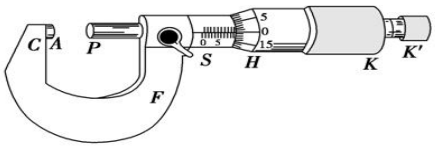
3．会用伏安法测电阻，并能测定金属的电阻率。

【实验原理】

1．螺旋测微器的构造、原理及读数

(1)螺旋测微器的构造

如图实Ⅶ－1 所示是常用的螺旋测微器。它的测砧 A 和固定刻度 S 固定在尺架 F 上。旋钮 K、微调旋钮 K′ 和可动刻度 H、测微螺杆 P 连在一起，通过精密螺纹套在 S 上。



图实Ⅶ－1

(2)螺旋测微器的原理

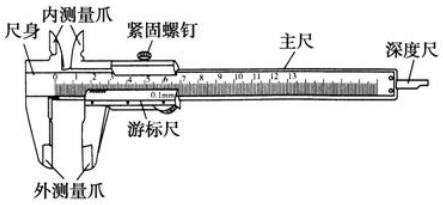
测微螺杆 P 与固定刻度 S 之间的精密螺纹的螺距为 0.5 mm，即旋钮 K 每旋转一周，P 前进或后退 0.5 mm，而可动刻度 H 上的刻度为 50 等份，每转动一小格，P 前进或后退 0.01 mm。即螺旋测微器的精确度为 0.01 mm。读数时估读到毫米的千分位上，因此，螺旋测微器又叫千分尺。

(3)读数：测量时被测物体长度的整数毫米数由固定刻度读出，小数部分由可动刻度读出。

测量值(毫米)＝固定刻度数(毫米)(注意半毫米刻线是否露出)＋可动刻度数(估读一位)×0.01(毫米)。

2．游标卡尺的构造原理及读数

(1)构造：主尺、游标尺(主尺和游标尺上各有一个内外测量爪)，游标尺上还有一个深度尺，尺身上还有一个紧固螺钉。



图实Ⅶ－2

(2)用途：测量厚度、长度、深度、内径、外径。

(3)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。

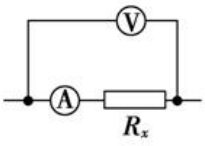
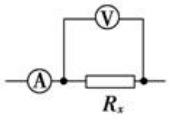
不管游标尺上有多少个小等分刻度，它的刻度部分的总长度比主尺上的同样多的小等分刻度少 1 mm。常见的游标卡尺的游标尺上小等分刻度有 10 个的、20 个的、50 个的，见下表：

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

(4)读数：若用 x 表示由主尺上读出的整毫米数，K 表示从游标尺上读出与主尺上某一刻线对齐的游标的格数，则记录结果表达为(x＋K×精确度) mm。

3．伏安法测电阻

(1)电流表的内接法和外接法的比较

	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	$R_{测}=\frac{U_{测}}{I_{测}}=\frac{R_xR_V}{R_x+R_V}<R_x$ 测量值小于真实值
适用条件	$R_A \ll R_x$	$R_V \gg R_x$
适用于测量	大电阻	小电阻

(2)两种电路的选择

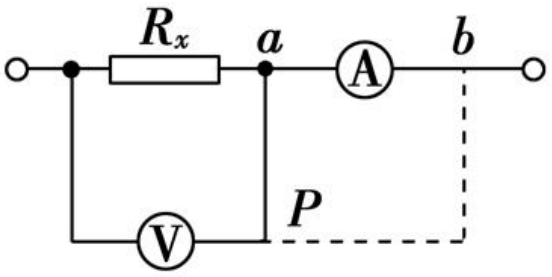
①阻值比较法：先将待测电阻的估计值与电压表、电流表内阻进行比较，若 R_x较小，宜采用电流表外接法；若 R_x较大，宜采用电流表内接法．简单概括为“大内，小外”。

②临界值计算法：

$R_x<\sqrt{R_VR_A}$时，用电流表外接法。

$R_x>\sqrt{R_VR_A}$时，用电流表内接法。

③实验试探法：按图实Ⅶ－3 所示接好电路，让电压表一根接线柱 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，则采用电流表内接法。

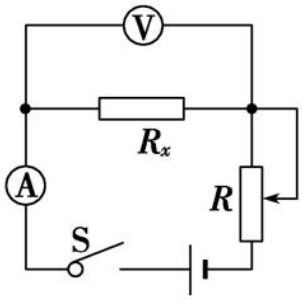


图实Ⅶ－3

4．电阻率的测定原理

由 $R=\rho\frac{l}{S}$得 $\rho=\frac{RS}{l}$，因此，只要测出金属丝的长度 l、横截面积 S 和金属丝的电阻 R，即可求出金属丝的电阻率 ρ。

(1)把金属丝接入电路中，用伏安法测金属丝的电阻 $R(R=\frac{U}{I})$。电路原理如图实Ⅶ－4 所示。



图实Ⅶ－4

(2)用毫米刻度尺测量金属丝的长度 l，用螺旋测微器量得金属丝的直径，算出横截面积 S。

(3)将测量的数据代入公式 $\rho=\frac{RS}{l}$求金属丝的电阻率。

5．电压表、电流表的读数

对于电压表和电流表的读数问题，首先要弄清电表量程，即指针指到最大刻度时电表允许通过的最大电压或电流值，然后根据表盘总的刻度数确定精确度，按照指针的实际位置进行读数即可。

(1)0～3 V 的电压表和 0～3 A 的电流表读数方法相同，此量程下的精确度是 0.1 V 或 0.1 A，看清楚指针的实际位置，读到小数点后面两位。

(2)对于 0～15 V 量程的电压表，精确度是 0.5 V，在读数时只要求读到小数点后面一位，即读到 0.1 V。

(3)对于 0～0.6 A 量程的电流表，精确度是 0.02 A，在读数时只要求读到小数点后面两位，这时要求“半格估读”，即读到最小刻度的一半 0.01 A。

【实验器材】

毫米刻度尺，螺旋测微器，直流电流表和直流电压表，滑动变阻器(阻值范围 0～50 Ω)，电池组，开关，被测金属丝，导线若干。

【实验过程】

一、实验步骤

1．求导线横截面积 S：在准备好的金属丝上三个不同位置用螺旋测微器各测一次直径，求出其平

均值 d，$S=\frac{\pi d^2}{4}$。

2．按图实Ⅶ－4 所示电路图连接好用伏安法测电阻的实验电路。

3．用毫米刻度尺测量接入电路中的被测金属导线的有效长度，反复测量 3 次，求出其平均值 l。

4．把滑动变阻器的滑片调节到使接入电路中的电阻值最大的位置，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，填入记录表格内，断开开关 S，求出导线电阻 R_x 的平均值。

5．整理仪器。

二、数据处理

1．在求 R_x 的平均值时可用两种方法

(1)第一种是用 $R_x=\frac{U}{I}$ 算出各次的数值，再取平均值。

(2)第二种是用 $U-I$ 图线的斜率求出。

2．计算电阻率：将记录的数据 R_x、l、d 的值，代入电阻率计算公式 $\rho=R_x\frac{S}{l}=\frac{\pi d^2U}{4lI}$。

【误差分析】

1．金属丝的横截面积是利用直径计算而得，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．由于金属丝通电后发热升温，会使金属丝的电阻率变大，造成测量误差。

【注意事项】

1．为了方便，测量直径应在导线连入电路前进行，为了准确测量金属丝的长度，应该在连入电路之后在拉直的情况下进行。

2．本实验中被测金属丝的电阻值较小，故须采用电流表外接法。

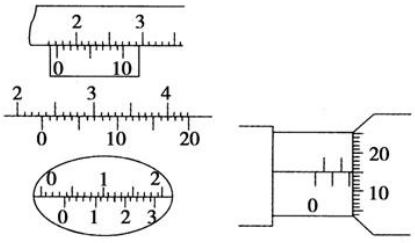
3．电流不宜太大(电流表用 0～0.6 A 量程)，通电时间不宜太长，以免金属丝温度升高，导致电阻率在实验过程中变大。

课堂互动·考点突破

考点一　基本仪器的读数

[例 1]　(1)如图实Ⅶ－5 所示的三把游标卡尺，它们的游标尺从上至下分别为 9 mm 长 10 等分、19 mm 长 20 等分、49 mm 长 50 等分，它们的读数依次为_____mm，_____mm，_____mm。

(2)使用螺旋测微器测量金属丝的直径，示数如图实Ⅶ－6 所示，则金属丝的直径是_____mm。



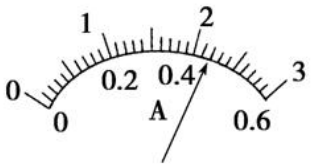
图实Ⅶ－5

图实Ⅶ－6

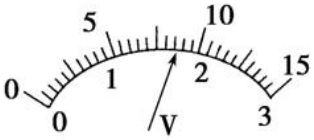
(3)①图实Ⅶ－7 使用 0.6 A 量程时，对应刻度盘上每一小格代表_____A，图中表针示数是

_____A；当使用 3 A 量程时，对应刻度盘上每一小格代表_____A，图中表针示数为_____A。

②图实Ⅶ－8 使用较小量程时，每小格表示_____V，图中表针的示数为_____V。若使用的是较大量程，则这时表盘刻度每小格表示_____V，图中表针示数为_____V。

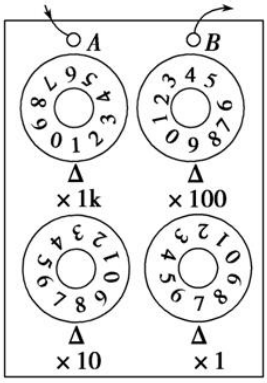


图实Ⅶ－7



图实Ⅶ－8

(4)旋钮式电阻箱如图实Ⅶ－9 所示，电流从接线柱 A 流入，从 B 流出，则接入电路的电阻为_____Ω。今欲将接入电路的电阻改为 2 087 Ω，最简单的操作方法是_____。若用两个这样的电阻箱，则可得到的电阻值范围为_____。



图实Ⅶ－9

[解析]

(1)最上面图读数：整毫米是 17，不足 1 毫米数是 7×0.1 mm＝0.7 mm，最后结果是 17 mm＋0.7 mm＝17.7 mm。

中间图读数：整毫米是 23，不足 1 毫米数是 17×0.05 mm＝0.85 mm，最后结果是 23 mm＋0.85 mm＝23.85 mm。

最下面图读数：整毫米是 3，不足 1 毫米数是 9×0.02 mm＝0.18 mm。最后结果是 3 mm＋0.18 mm＝3.18 mm。

(2)固定刻度示数为 2.0 mm，不足半毫米的从可动刻度上读，其示数为 15.0，最后的读数：2.0 mm＋15.0×0.01 mm＝2.150 mm。

(3)①使用 0.6 A 量程时，刻度盘上的每一小格为 0.02 A，表针示数为 0.44 A；当使用 3 A 量程时，每一小格为 0.1 A，表针示数为 2.20 A。

②电压表使用 3 V 量程时，每小格表示 0.1 V，表针示数为 1. 70 V；使用 15 V 量程时，每小格为 0.5 V，表针示数为 8.5 V。

(4)电阻为 1 987 Ω。最简单的操作方法是将“×1 k”旋钮调到 2，再将“×100”旋钮调到 0。每个电阻箱的最大阻值是 9 999 Ω，用这样的两个电阻箱串联可得到的最大电阻是 2×9 999 Ω＝19 998 Ω。故用两个这样的电阻箱，可得到的电阻值范围为 0～19 998 Ω。

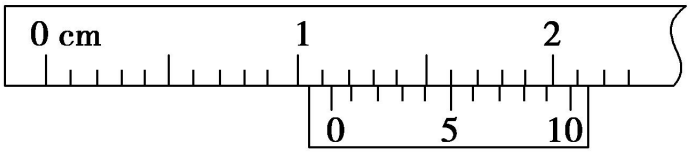
[答案] (1)17.7　23.85　3.18　(2)2.150

(3)①0.02　0.44　0.1　2.20　②0.1　1.70　0.5　8.5　(4)1 987　将“×1 k”旋钮调到 2，再将“×100”旋钮调到 0　0～19 998 Ω

规律总结

游标卡尺的读数应注意以下几点

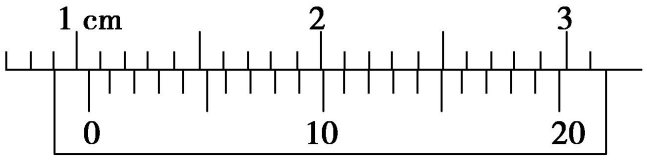
(1)看清精确度：例如



易错成(11＋4×0.1)mm＝11.40 mm

正确的应为 11.4 mm，游标卡尺不需估读，后面不能随意加零。

例如

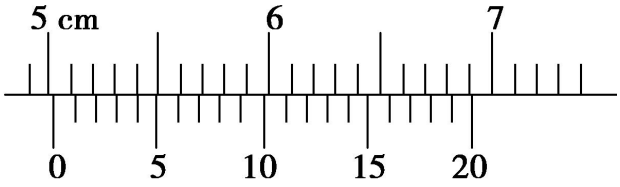


易错成(10＋12×0.05) mm＝10.6 mm，正确的应为 10.60 mm，游标卡尺的最后一位是精确的，不要随意把最后一位的零去掉。

(2)主尺上的单位应为厘米

主尺上标识的 1、2、3 等数字通常是指厘米，读数时应将毫米和厘米分清，游标卡尺主尺上的最小刻度是 1 mm。

例如

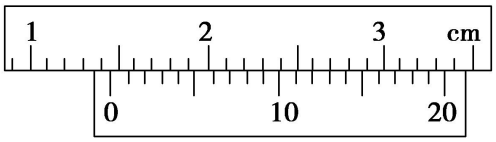


易错成(5＋4×0.05) mm＝5.20 mm

正确的应为(50＋4×0.05) mm＝50.20 mm

(3)区分零刻度与标尺最前端

例如



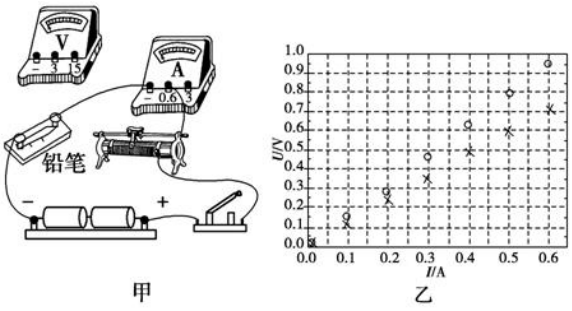
易错成(13＋9×0.05) mm＝13.45 mm

正确读数为(14＋9×0.05) mm＝14.45 mm。

考点二　实验原理与操作

[例 2]　(浙江理综)小明对 2B 铅笔芯的导电性能感兴趣，于是用伏安法测量其电阻值。

(1)图实Ⅶ－10 甲是部分连接好的实物电路图，请用电流表外接法完成接线并在图甲中画出。



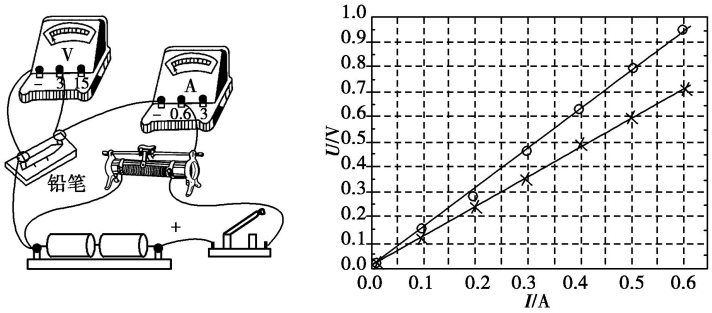
甲　　乙

图实Ⅶ－10

(2)小明用电流表内接法和外接法分别测量了一段 2B 铅笔芯的伏安特性，并将得到的电流、电压数据描到 U－I 图上，如图实Ⅶ－10 乙所示。在图中，由电流表外接法得到的数据点是用_____(填“○”或“×”)表示的。

(3)请你选择一组数据点，在图乙上用作图法作图，并求出这段铅笔芯的电阻为_____Ω。

[答案] (1)如图甲所示　(2)×　(3)如图乙所示；用“×”表示的数据连线时：1.2(1.1～1.3 均可)；用“○”表示的数据连线时：1.6(1.5～1.7 均可)



甲　　乙

规律总结

实物图连线注意事项

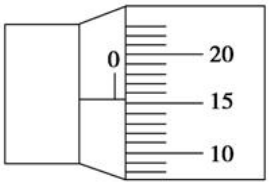
(1)总的原则：先串后并，接线到柱，注意量程和正负。

(2)对限流电路，只需用笔画线当做导线，从电源正极开始，把电源、开关、滑动变阻器、“伏安法”部分依次串联起来即可(注意电表的正负接线柱和量程，滑动变阻器应调到阻值最大处)。

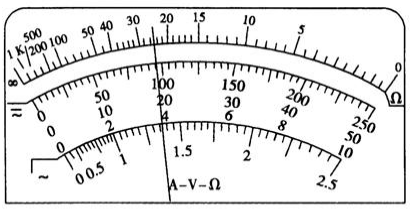
(3)对分压电路，应该先把电源、开关和滑动变阻器的全部电阻丝三部分用导线连接起来，然后在滑动变阻器电阻丝两端之中任选一个接头，比较该接头和滑动头的电势高低，根据“伏安法”部分电表正负接线柱的情况，将“伏安法”部分接入该两点间。(注意滑动变阻器应调到使“伏安法”部分所接两点间阻值最小处)

考点三　仪器的选择和数据处理

[例 3]　为测量某一玩具电动机 M 中导线圈导线的电阻率，某实验小组的部分实验方案如下：



图实Ⅶ－11



图实Ⅶ－12

(1)用螺旋测微器测得与导线圈导线同种规格的导线的直径 d 如图实Ⅶ－11 所示，则 d＝

_____mm；

(2)用多用电表测量电动机中导线圈的电阻 R_x：

选择“×1 Ω”欧姆挡，并按正确步骤操作后，指针的位置如图实Ⅶ－12 所示(此过程电动机不转动)，则 R_x＝ ___Ω。

(3)为了提高精度，他又用以下仪器再次测量导线圈的电阻 R_x：

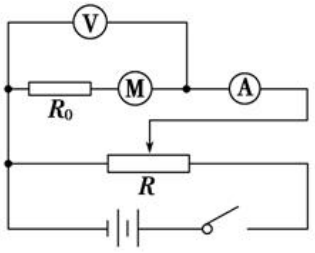
电流表 A_1(0～3 A、约 5 Ω)；滑动变阻器 R_1(0～1 kΩ)；

电流表 A_2(0～30 mA、约 10 Ω)；

滑动变阻器 R_2(0～50 Ω)；

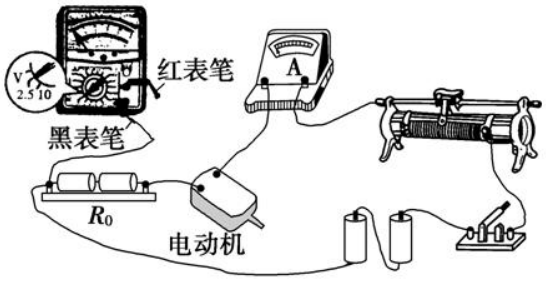
定值电阻 R_0＝60 Ω；电源(4 V、约 1 Ω)及开关等，导线若干。

①实验小组为使测量过程中电动机不转动而采用了如图实Ⅶ－13 所示的电路图，应选择的电流表是_____，滑动变阻器是_____；(填写符号)



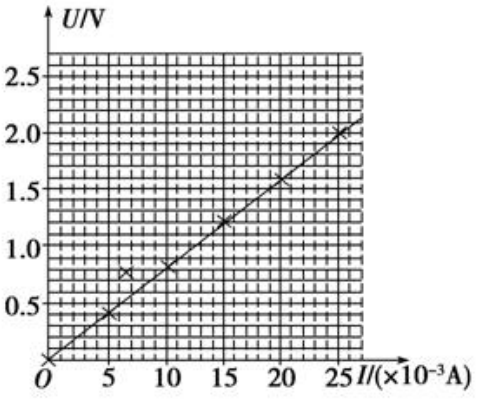
图实Ⅶ－13

②按照实验要求，多用电表已选择“直流电压 2.5 V”挡作为电压表使用，请依据图实Ⅶ－13 将图实Ⅶ－14 所示的实验电路中的实物图用笔画线代替导线将欠缺的两处补完整；



图实Ⅶ－14

③图实Ⅶ－15 是该实验小组用测得的数值描绘出的图象，其斜率表示的是_____(填选项)。



图实Ⅶ－15

A．导线圈的电阻

B．导线圈的电阻与 R_0 阻值之和

[解析]

(1)螺旋测微器的读数：

d＝0.01 mm×15.5＝0.155 mm。

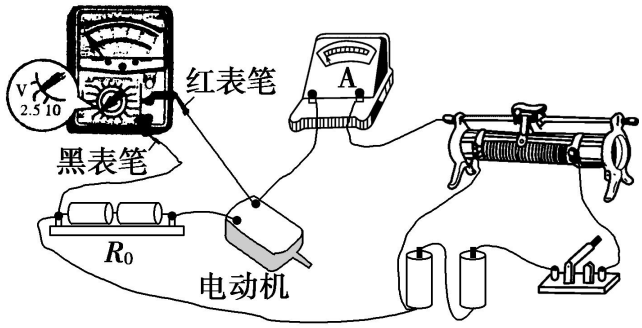
(2)多用电表的读数乘以倍率即为待测电阻的阻值，即 R_x＝25×1 Ω＝25 Ω。

(3)①选择电流表时需先估算电路中的电流，设电动机和定值电阻 R_0 串联的电压为电源电动势，则

$$I=\frac{4}{25.0+60}\ \text{A}\approx 0.047\ \text{A}=47\ \text{mA}$$

实际实验时可通过滑动变阻器调节电压使流过电流表的电流不超过 30 mA，所以电流表选 A_2。滑动变阻器应选择便于调节的 R_2。

②由于电流表 A_2 的电阻较大，为减小实验误差，应采用电流表外接法．为有效地控制电路中的电压和电流，应采用滑动变阻器分压电路，所以电路图连接如图所示。



[答案] (1)0.155(±0.003 范围内均可)

(2)25 (3)①A_2 R_2 ②见解析图 ③B

规律总结

仪器选择的基本思路

(1)优先考虑安全因素

各电表的实际读数不能超过其量程，电阻类元件中的实际电流(或电压)不能超过其允许的最大电流(或电压)。实际处理过程中，需要估算回路中的最大电流(一般按滑动变阻器采用限流接法进行估算)。如：用伏安法作出标有“6 V，0.6 W”字样的小灯泡的 U－I 图象，而实际加在小灯泡两端的电压不能超过 6 V。

(2)考虑读数误差因素

一般要求各电表的实际读数不小于其量程的 13，以减小读数误差。

(3)仪器选择的一般步骤

①首先选择唯一性的器材；

②粗画电路图(暂不接电流表和电压表)；

③估算回路中电流和电压的最大值，在电表的指针有较大幅度偏转但不超过其量程的情况下，结合已知器材的规格，确定实验电路和实验器材。

考点四 创新实验剖析(物理思想方法)

用替代法和比例法测电阻

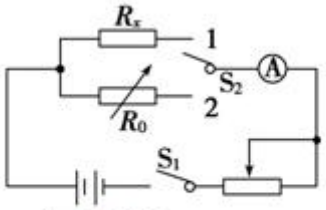
本实验的关键是电阻的测量。除用伏安法测电阻外，还可用替代法或比例法进行测量。

1．替代法

替代法的测量思路是等效的思想，可以是利用电流等效，也可以是利用电压等效。替代法测量电阻精度高，不需要计算，方法简单，但必须有可调的标准电阻(一般给定的仪器中要有电阻箱)。

替代法是用与被测量的某一物理性质等效，从而加以替代的方法。

如图实Ⅶ－16 所示，先把双刀双掷开关 S_2 扳到 1，闭合 S_1，调整滑动变阻器，使电流表指针指到某一位置，记下此时的示数 I(最好为一整数)。再把开关 S_2 扳到 2，调整电阻箱 R_0，使得电流表指针仍指到示数 I。读出此时电阻箱的阻值 r，则未知电阻 R_x 的阻值等于 r。

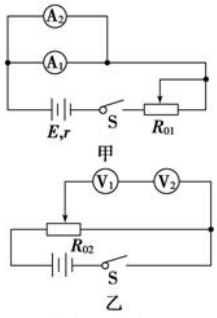


图实Ⅶ－16

2．比例法

如果有可以作为标准的已知电阻的电表。可以采用比例法测电表的电阻。用比例法测电表内阻时。两个电流表一般是并联(据并联分流原理)，两个电压表一般是串联(据串联分压原理)。

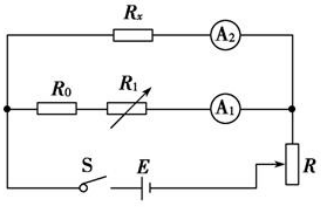
例如，测电流表和电压表的内阻，如果有可以作为标准的已知电阻的电表，都可以使用比例法，采用比例法测电阻的依据是：串联电路电压与电阻成正比，并联电路电流与电阻成反比，电压表可显示电阻两端的电压值，电流表可显示电阻中通过的电流，所以测电流表内阻应把两电流表并联。测电压表内阻应把两电压表串联，电路图分别如图实Ⅶ－17 甲、乙所示。



图实Ⅶ－17

假设 A_2 和 V_2 为待测电表。根据分压原理或分流原理计算出 A_2 和 V_2 的内阻分别为 $r_{A2}=\frac{I_1}{I_2}r_{A1}$，$r_{V2}=\frac{U_2}{U_1}r_{V1}$。

[例 4]　(四川理综)如图实Ⅶ－18 是测量阻值约几十欧的未知电阻 R_x 的原理图，图中 R_0 是保护电阻(10 Ω)，R_1 是电阻箱(0～99.9 Ω)，R 是滑动变阻器，A_1 和 A_2 是电流表，E 是电源(电动势 10 V，内阻很小)。



图实Ⅶ－18

在保证安全和满足要求的情况下，使测量范围尽可能大。

实验具体步骤如下：

(ⅰ)连接好电路，将滑动变阻器 R 调到最大；

（ii）闭合 S，从最大值开始调节电阻箱 R_1，先调 R_1 为适当值，再调节滑动变阻器 R，使 A_1 示数 $I_1=0.15$ A，记下此时电阻箱的阻值 R_1 和 A_2 的示数 I_2；

(iii)重复步骤(ii)，再测量 6 组 R_1 和 I_2 值；

(iv)将实验测得的 7 组数据在坐标纸上描点。

根据实验回答以下问题：

(1)现有四只供选用的电流表：

A．电流表(0～3 mA，内阻为 2.0 Ω)

B．电流表(0～3 mA，内阻未知)

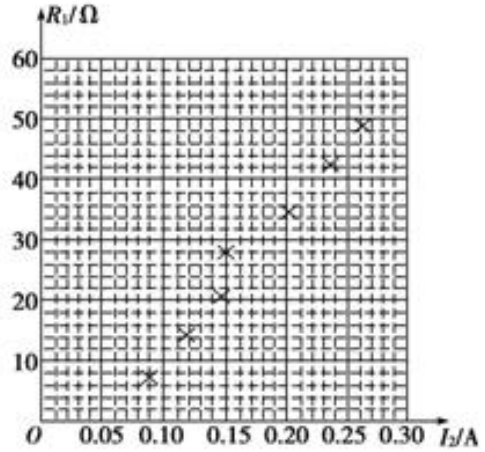
C．电流表(0～0.3 A，内阻为 5.0 Ω)

D．电流表(0～0.3 A，内阻未知)

A_1 应选用_____，A_2 应选用_____。

(2)测得一组 R_1 和 I_2 值后，调整电阻箱 R_1，使其阻值变小，要使 A_1 示数 $I_1=0.15$ A，应让滑动变阻器 R 接入电路的阻值_____(选填“不变”、“变大”或“变小”)。

(3)在坐标纸上画出 R_1 与 I_2 的关系图。



图实Ⅶ－19

(4)根据以上实验得出 R_x＝_____Ω。

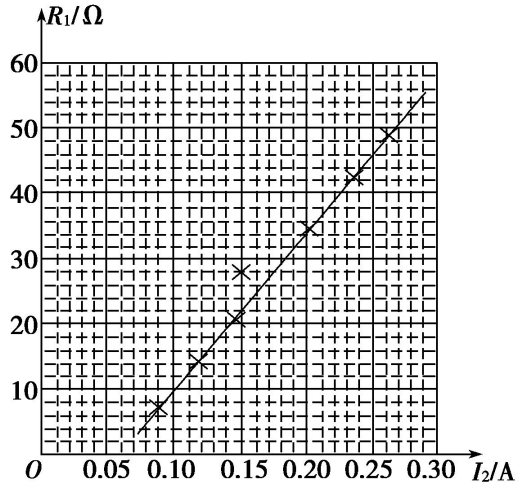
[解析]

(1)由电路图可知 $I_1(R_0+R_1+R_{A1})=I_2(R_x+R_{A2})$，即 $R_1=\frac{R_x+R_{A2}}{I_1}I_2-(R_0+R_{A1})$，在 $I_1=0.15$ A 保持不变时 R_1-I_2 图线是一条直线，当由其斜率 $k=\frac{R_x+R_{A2}}{I_1}$ 求 R_x 时 R_{A2} 必须是已知的。因两支路的阻值在同一数量级，则两支路中电流亦必在同一数量级，再结合 $I_1=0.15$ A，可知 A_1 只能选用 D，A_2 只能选用 C。

(2)要保持 $I_1=0.15$ A 不变，当 R_1 阻值减小时需减小并联支路两端的电压，即需增大滑动变阻器分得的电压，需增大滑动变阻器接入电路中的阻值。

(3)R_1 与 I_2 的关系曲线如图。

(4)由图线可求得斜率 $k=240$ Ω/A。结合 $k=\frac{R_x+R_{A2}}{I_1}$ 得 $R_x=kI_1-R_{A2}=31$ Ω。

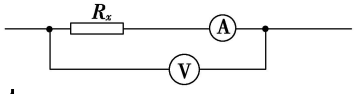


[答案] (1)D　C　(2)变大　(3)图见解析　(4)31

规律总结

电阻测量的五种方法

(1)伏安法



电路图 { 内接法：

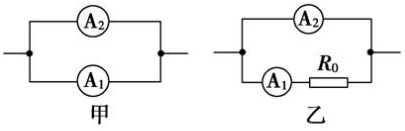
特点：大内小外(内接法测量值偏大，测大电阻时应用内接法测量，外接法测量值偏小，测小电阻时应用外接法测量)。

(2)安安法

若电流表内阻已知，则可将其当做电流表、电压表以及定值电阻来使用。

①如图实Ⅶ－20 甲所示，两电表的满偏电流接近时，若已知 A_1 的内阻 R_1，则可测出 A_2 的内阻 $R_2=\frac{I_1R_1}{I_2}$。

②如图乙所示，两电表的满偏电压 $U_{A2}\gg U_{A1}$ 时，A_1 串联一定值电阻 R_0 后，同样可得 A_2 的内阻 $R=\frac{I_1(R_1+R_0)}{I_2}$。



图实Ⅶ－20

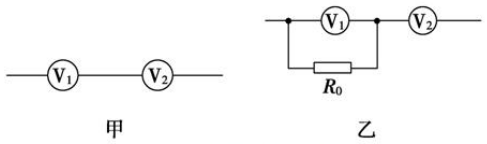
(3)伏伏法

若电压表内阻已知，则可将其当做电流表、电压表以及定值电阻来使用。

①如图实Ⅶ－21 甲所示，两电表的满偏电流接近时，若已知 V_1 的内阻 R_1，则可测出 V_2 的内阻 $R_2=\frac{U_2}{U_1}R_1$。

②如图乙所示，两电表的满偏电流 $I_{V2}\gg I_{V1}$ 时，V_1 并联一定值电阻 R_0 后，同样可得 V_2 的内阻 $R=$

$\frac{U_2}{\frac{U_1}{R_1}+\frac{U_1}{R_0}}$。

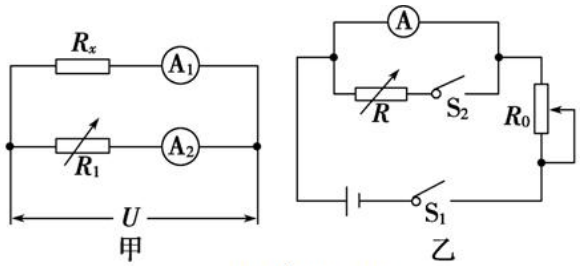


图实Ⅶ－21

(4)比较法测电阻

如图实Ⅶ－22 甲所示，读得电阻箱 R_1 的阻值及 A_1 表、A_2 表的示数 I_1、I_2，可得 $R_x=\frac{I_2R_1}{I_1}$。

如果考虑电表内阻的影响，则 $I_1(R_x+R_{A1})=I_2(R_1+R_{A2})$。



图实Ⅶ－22

(5)半偏法测电流表内阻

电路图如图实Ⅶ－22 乙所示

步骤：

①断开 S_2，闭合 S_1，调节 R_0，使 A 表满偏为 I_0；

②保持 R_0 不变，闭合 S_2，调节 R，使 A 表读数为 $\frac{I_0}{2}$；

③由上可得 $R_A=R$。

[特别提醒] 当 $R_0 \gg R_A$ 时，测量误差小，此方法比较适合测小阻值的电流表的内阻，且测量值偏小；电源电动势应选大些的，这样 A 表满偏时 R_0 才足够大，闭合 S_2 时总电流变化才足够小，误差才小。