

实验名称 双臂电桥测量低电阻

实验目的:

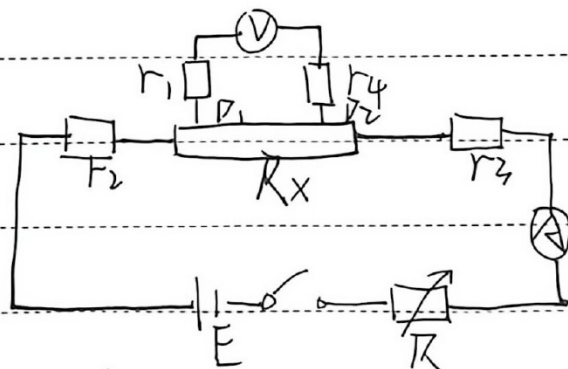
- ① 了解四端引线法的基本原理
- ② 了解双臂电桥测量低电阻的原理和方法
- ③ 用双臂电桥测量导体的电阻并计算其电阻率

实验仪器:

QJ-19 型单双臂电桥、待测电阻、螺帽测件散器、检流计、标准电阻 2 个、双刀双掷换向开关、导线等

实验原理:

1. 四端引线法: 用惠斯通电桥测量低电阻时, 由于存在引线电阻和接点的接触电阻, 为了减小误差, 对惠斯通电桥加以改造而成双臂电桥, 就可以解决。如图 1-1, P_1 和 P_2 两端连接电表, C_1 和 C_2 两端连接供电电路及电流表, 电路则测量的是 P_1 和 P_2 之间的电阻值, 而 r_1 和 r_2 就被排除在测量回路之外, 大大减少了电路中引线电阻和接触电阻对待测电阻的影响。



2. 双臂电桥测量低电阻

双臂电桥是把四端引线法和电桥的平衡比较法结合起来精密测量低电阻的一种电桥。如图1-2, R, R', R_1, R_2 为桥臂电阻, R_s 标准电阻, R_x 待测电阻, R_s 与 R_x 用四端引线法。

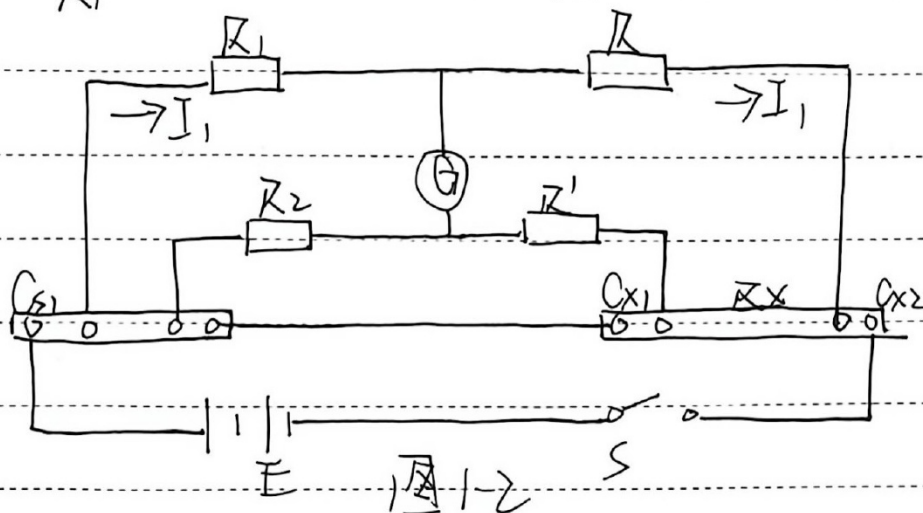
调节各桥臂电阻值, 使检流计指示为零, 即 $I_g = 0$, 电桥达到平衡状态, 根据基尔霍夫定律可写出以下三个回路方程

$$\textcircled{1} I_1 R_1 = I_s R_s + I_2 R_2 \quad \textcircled{2} I_1 R = I_s R_x + I_2 R' \quad \textcircled{3} (I_s - I_2) r = I_2 R_2 + I_1 R$$

$$\text{联立} \textcircled{1} \textcircled{2} \textcircled{3} \text{ 可得: } R_x = \frac{R}{R_1} R_s + \frac{r R_2}{r + R_2 R_1} \left(\frac{R}{R_1} - \frac{R'}{R_2} \right)$$

其中, r 是 P_{s2} 到 R_{x1} 之间电阻, 包含这段线路所涉及的接触电阻和导线电阻, 为了避免 r 对电阻测量的影响, 可提前设置使 $\frac{R}{R_1} = \frac{R'}{R_2}$, 使后一项修正为零, 则式可变为:

$$R_x = \frac{R}{R_1} R_s \quad \text{在实验中 } R_1 = R_2, R = R'$$



实验步骤:

① 将 J2-19 型电桥面板上的电源拨钮打到“双桥”档设置桥臂电阻 $R_1 = R_2 = 10^4 \Omega$

② 打开检流计电源, 将档位开关置于“调零”档调节调零旋钮使指针归零, 再将挡位调至最大量程 (10 mV) 待用

③ 按电路图将 R_s 接入标准 (双端) 阻, R_x 接入未知 (双端) 阻

④ 用螺线调节微差在全量程不同五个位置测量, 读入并记录

⑤ 调节面板上 R 阻值旋钮, 使检流计示数趋于零

⑥ 逐步减小检流计挡位, 细调 R , 直至指针为零, 记录此时 R 值 R_{R_s}

⑦ 换同开关反同, 重复上述步骤记录

⑧ 改变金属棒长度更换铁、铝棒重复 ③-⑦

实验数据表格及数据处理:

次数	1	2	3	4	5	$\bar{d}/\text{mm}$	$d = \bar{d} - d_0/\text{mm}$
铜棒 d_0/mm	2.7712	2.7684	2.7764	2.7728	2.7718	2.7721	2.7891

测量不同棒铁电阻:

金属棒	l/mm	R_1/Ω	R_2/Ω	R_s/Ω	R_1/Ω	R_2/Ω	$\bar{R}/\Omega$	R_x/Ω
铜	200	10^4	10^4	0.01	587.74	592.02	589.88	
	400	10^4	10^4	0.1	118.73	111.43	115.08	

$$d_0 = -0.017\text{mm}$$

$$\text{由表得 } \bar{d} = \frac{2.7712 + 2.7684 + 2.7764 + 2.7728 + 2.7718}{5} = 2.7721\text{mm}$$

$$d = \bar{d} - d_0 = 2.7891\text{mm}$$

 $l = 200\text{mm}$ 时:

$$\text{由 } R_x = \frac{R}{R_1} R_s, \quad R_{x1} = \frac{0.01}{10^4} \times 589.88 = 5.8988 \times 10^{-4} \Omega$$

$$\text{由 } \rho_1 = \frac{\pi d R_x}{4l}, \quad \rho_1 = \frac{3.14 \times 2.7891^2 \times 5.8988 \times 10^{-4} \times 10^{-6}}{4 \times 200 \times 10^{-3}} \\ = 1.8011 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

 $l = 400\text{mm}$ 时:

$$\text{由 } R_x = \frac{R}{R_1} R_s, \quad R_{x2} = \frac{0.1}{10^4} \times 115.08 = 1.1508 \times 10^{-3} \Omega$$

$$\text{由 } \rho_2 = \frac{\pi d R_x}{4l}, \quad \rho_2 = \frac{3.14 \times 2.7891^2 \times 1.1508 \times 10^{-3} \times 10^{-6}}{4 \times 400 \times 10^{-3}} \\ = 1.7569 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} = 1.7790 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

$$\begin{aligned}
 U_{\bar{d}} &: U_A = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 1.24 \times \sqrt{\frac{1}{4} \sum [d_i - (\bar{d} - d_0)]^2} \\
 &= 1.24 \times \frac{1}{2} \times \sqrt{(2.772 - 2.781)^2 + (2.764 - 2.781)^2 + (2.764 - 2.781)^2} \\
 &\quad + (2.728 - 2.781)^2 + (2.718 - 2.781)^2} \\
 &= 1.24 \times \frac{1}{2} \times \sqrt{0.019^2 + 0.020^2 + 0.027^2 + 0.063^2 + 0.073^2} \\
 &= 2.62 \times 0.0384 \\
 &= 0.0238 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$U_{\bar{d}} = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = \sqrt{0.0238^2 + 0.01^2} = 0.0258$$

$$\begin{aligned}
 \frac{U_{Rx}}{R_x} &= 0.1\% \quad \therefore U_{\bar{\rho}} = \bar{\rho} \sqrt{\left(\frac{U_{Rx}}{R_x}\right)^2 + 4\left(\frac{U_{\bar{d}}}{\bar{d}}\right)^2 + \left(\frac{U_L}{L}\right)^2} \\
 &= 1.7790 \sqrt{(2.1 \times 10^{-2})^2 + 4\left(\frac{0.0238}{2.781}\right)^2 + (2.60)^2} \times 10^{-8} \\
 &= 3.17 \times 10^{-10} \text{ m} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\therefore \rho = \bar{\rho} \pm U_{\bar{\rho}} = (1.78 \pm 2.03) \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{m}$$

实验结果及讨论：

① 读数时要仔细，多次测量，电阻丝线圈上四个紧固螺钉要与金属棒紧密接触。

② 尽量选用短而粗的导线，减少电阻对结果反的影响。

实验原始数据记录

实验名称：双臂电桥测量低电阻

实验者姓名：

实验日期：____年__月__日

测量铜棒电阻

次数	1	2	3	4	5	$\bar{d}/\text{mm}$	$d = \bar{d} - d_0$
	2.7712	2.7684	2.7764	2.7728	2.7718	2.7721	2.7891

测量不同金属棒的电阻

金属棒	L/mm	R_1/Ω	R_2/Ω	R_3/Ω	R_4/Ω	R_5/Ω	R_6/Ω	R_7/Ω
铜	200	10^4	10^4	0.01	587.74	192.02	589.88	
	400	10^4	10^4	0.1	118.73	111.43	115.8	

教师签名：