

【实验目的】

1. 掌握惠斯登电桥工作原理及特点, 学会自组电桥测量未知电阻;
2. 掌握正确使用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测量电阻的方法;
3. 学习如何对测量结果进行误差分析。

【实验原理】 (电学、光学画出原理图)

1. 惠斯登电桥测量电阻的原理

右图是惠斯登电桥的原理图。

R_1, R_2, R_3, R_x 组成“桥臂”, G 和 S 组成“桥路”。

当 S 接通, 通过检流计 G 的电流 I_g 为 0 时, B, D 电位相同, 电桥达到平衡。此时通过 R_1, R_x 的电流均为 I_1 , 通过 R_2, R_3 的电流均为 I_2 , 故有

$$\begin{cases} U_{AB} = I_1 R_1 = U_{AD} = I_2 R_2 \\ U_{BC} = I_1 R_x = U_{BD} = I_2 R_3 \end{cases}$$

因此有 $\frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_3}$, 即 $R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_3$ 。该式称为电桥的平衡条件。 ①

上式中, $\frac{R_1}{R_2}$ 称为电桥比率臂, R_3 称为电桥比较臂。

2. 交换法减小自组电桥系统误差

图 1 所示的电路中, 若 G 灵敏度较高, 则系统误差主要由 R_1, R_2, R_3 的误差决定。

我们在 (1) 的基础上, 交换 R_3 与 R_x 的位置, 调节 R_3 至 R_3' 时电桥再次平衡。

此时有: $R_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_3'$ 。 ②

由 ①② 得 $R_x = \sqrt{R_3 \cdot R_3'}$, 这样就消除了 R_1, R_2 自身误差的影响。 ③

3. 电桥灵敏度

定义电桥灵敏度 $S = \frac{\Delta d}{\Delta R_3 / R_3}$, 其中 ΔR_3 为 R_3 的改变量, Δd 是 G 偏转的格数。 ④

4. R_x 的相对不确定度:

(1) R_3 的不确定度 $U_{R_3} = \pm (0.001 R_3 + 0.002 m)$, m 是电阻箱的转盘数 ⑤

(2) 电桥灵敏度引入的不确定度 $U_S = \frac{0.2 R_3}{S}$ ⑥

$$\therefore E = \frac{\Delta R_x}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_3}{R_3}\right)^2 + \left(\frac{\Delta S}{S}\right)^2} = \sqrt{\left(0.001 + \frac{0.002m}{R_3}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{S}\right)^2} \quad \text{⑦}$$

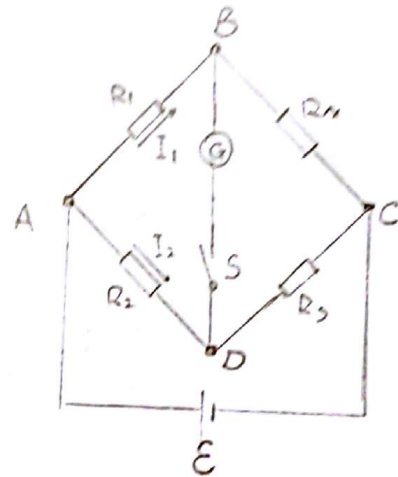


图 1

【实验内容】（重点说明）

1. 自组电桥测未知电阻

- (1) 利用检流计、电阻箱 (R_1, R_2 : 四旋钮; R_s : 六旋钮)、待测电阻、电源等组装电桥;
- (2) 选取适当的比率臂, 使测量结果的有效数字最大化;
- (3) 按下检流计“电计”按钮, 测量待测电阻 R_x , 并测出该状态下电桥的灵敏度; 用交换法进行系统误差分析, 估算出测量误差 ΔR_x .

2. 用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测量未知电阻

- (1) 打开盒式惠斯登电桥开关并调零。把 B 接上 4.5V 直流稳压电源, “G”和“外接”短接, 然后将待测电阻接入 R_x 接线端;
- (2) 视待测电阻盘上待测电阻 $R_{n1} \sim R_{n8}$ 的数值, 选取适当的比率臂, 确保测量结果有 4 位有效数字;
- (3) 先按 B, 再按 G 以接通电路; 调节 R_s 使电桥平衡, 此时 R_s 示数 \times 比率盘读数即为待测电阻阻值
- (4) 测量 8 个待测电阻, 并确定其离散程度。

【实验器材及注意事项】

实验装置:

QJ-23 型盒式惠斯登电桥: 将阻值准确的电阻 R_1, R_2, R_s 和检流计封装在一个盒子内。

面板上有:

“倍率盘”: R_s 的比值;

B 端口: 接电源; G 端口: 与“外接”短接时用盒内检流计; 与“内接”短接时用外接检流计指示平衡;

四个刻度盘旋钮组成一个电阻箱, 四旋钮所示读数之和即为比较臂 R_s 值, 则待测电阻 $R_x = \text{倍率} \times \text{比较臂}$ 。

注意事项:

1. 检流计上的“电计”和“短路”按钮都具有锁定功能, 测量时要确保“短路”按钮未锁定, 否则检流计不会有偏转。
 2. 使用盒式惠斯登电桥, 在电桥未平衡时, G 键只能瞬间按下, 待指针一偏转应立即放开 G 键。
 3. 实验结束, 关闭检流计和盒式惠斯登电桥。
- (补) 检流计调零时应将“电计”按钮断开。

【数据处理与结果】

1. 自组电桥测未知电阻 ($\frac{R_1}{R_2} = 1$)

(1) 交换前 $R_s = 221.5 \Omega$ 交换后 $R_s' = 221.4 \Omega$

$$\text{因此 } \bar{R}_x = \sqrt{R_s \cdot R_s'} = 221.4 \Omega$$

(推导见[实验原理]③)

(2) 电桥灵敏度:

将 R_s 调节 $\Delta R_s = 0.3 \Omega$ (原来为 $R_s = 221.5 \Omega$),
观察到检流计偏转 $\Delta d = 8.2$ 格.

$$\text{因此电桥灵敏度 } S = \frac{\Delta d}{\Delta R_s / R_s} = 6.1 \times 10^3 \text{ (格)}$$

(定义, 见[实验原理]④)

(3) 待测电阻总相对不确定度 (待测电阻 $m = 6$)

$$E = \frac{\Delta R_x}{R_x} = \sqrt{(0.001 + \frac{0.002m}{R_s})^2 + (\frac{0.2}{S})^2}$$

(推导见[实验原理]⑦)

$$= 0.11\%$$

(4) 测量结果

$$R_x \text{ 的不确定度 } \Delta R_x = \bar{R}_x \cdot E = 0.3 \Omega$$

$$\text{因此 } R_x \text{ 的测量结果 } R_x = (221.4 \pm 0.3) \Omega$$

2. 用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测量未知电阻

待测电阻 R_{ni}	R_{n1}	R_{n2}	R_{n3}	R_{n4}	R_{n5}	R_{n6}	R_{n7}	R_{n8}
测得阻值 R_{ni}/Ω	690.5	687.6	683.2	679.0	677.8	689.3	680.7	679.4

$$\bar{R}_n = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_{ni} = 683.4 \Omega$$

$$\text{标准偏差 } S = \sqrt{\frac{1}{8-1} \sum_{i=1}^8 (R_{ni} - \bar{R}_n)^2} = 5.0 \Omega$$

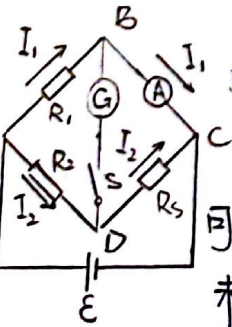
$$\text{离散度} = \frac{S}{\bar{R}_n} \times 100\% = 0.8\%$$

【误差分析】

1. 注意到[实验1]中的检流计很难准确调零,且有时按下“电计”按钮再松开后原本已调零的检流计又发生小的偏转。这会给 R_s 的测量结果引入误差。
2. [实验1]中电阻箱 R_s 的最小分度值为 0.1Ω ,但是在测量中, $R_s = R_0$ 时检流计左偏, $R_s = R_0 + 0.1\Omega$ 时检流计右偏,均未确切达到零偏。这表示 R_s 电阻箱的精度限制了测量结果的精确性。
3. [实验2]中,由于检流计(盒中内置)精度较低,调节电阻 $\pm 3 \times 0.1\Omega$ 很难确定哪个阻值时 \textcircled{G} 确切零偏。这会引入一定误差。
4. 其他设备存在的误差、环境因素、操作、状态引起的误差。

【实验心得及思考题】

- 思考题:
1. 伏安法测电阻是根据 $R = \frac{U}{I}$,但由于 \textcircled{V} 和 \textcircled{A} 的内阻,会引起较大误差;而电桥法不会引入检流计内阻带来的误差;其误差仅来自 R_1, R_2, R_3 的误差;又可用交换法消除 R_1, R_2 带来的误差,因此准确度较高。
 2. $\textcircled{1}$ 更改电桥比率臂 $\frac{R_2}{R_3}$. 例如量程为 9999Ω 的电阻箱用来测一几百欧的电阻, (最大阻值)
如果 $\frac{R_2}{R_3} = 1$ 则只有3位有效数字;而 $\frac{R_2}{R_3} = 0.1$ 则有4位有效数字。
 - $\textcircled{2}$ 选用灵敏度更高的检流计
 - $\textcircled{3}$ 选用最小分度值更小的电阻箱。
 3. 总是往一个方向偏转:可能是档位,电桥比率臂不合理,导致偏差过大或电路连接有误,出现短路或断路
总不偏转:可能是电路连接有误,如出现断路或检流计被短路;也可能是电源未接通或仪器故障。
 4. 如思考题2. $\textcircled{1}$ 中所述,保证使得电阻箱不超过最大阻值的前提下尽可能多地使用其位数,从而提高结果的有效位数。
也应使比率臂为10的整数次幂,这样可以避免复杂计算导致的舍入。



5. 如图,原理与前实验相同,但应首先根据待测电表量程估算,由于 $I_A = I_1 = \frac{E}{R_1 + r_A}$,因此应选取合适的 E 与 R_1 以防 \textcircled{A} 超出量程。
可以。如果去掉检流计,仅通过 \textcircled{A} 也可判断电桥平衡。只要接通 S 前后 \textcircled{A} 的示数未发生改变,说明 B, D 等势,电桥平衡。但相应的,由于 \textcircled{A} 精度不高,因此误差可能较大。