

物理实验报告

实验名称： 惠斯登电桥

实验桌号： _____

指导教师： 王鲲

班级： _____

姓名： _____

学号： _____

实验日期: 2025 年 5 月 8 日 星期四上午

浙江大学物理实验教学中心

一、预习报告

1. 实验综述

实验现象：

对待测电阻阻值进行估测后，随着电阻箱阻值越来越接近平衡点，电流计的摆动越来越小，最终在 0 刻度附近，此时可以根据公式计算出待测电阻的阻值。

实验原理：

R_1 、 R_2 、 R_s 和 R_x 联成一四边形 ACBD，每条边为电桥的一个桥臂。在测量过程中调节 R_1 、 R_2 和 R_s 使检流计中没有电流通过，即“桥”的两端 C 和 D 两点电位相等，这时称为电桥平衡。此

时 $R_2 R_x = R_s R_1$ ，即 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s$ 。

当电表平衡后，若微小改变被测电阻值，检流计的指针并不发生偏转，而改变多大的阻值时它才能使检流计示数发生变化取决于电桥的灵敏度，为了定量的确定电桥灵敏度，其定义

为： $S = \frac{\frac{\Delta N}{\Delta R_x}}{\frac{\Delta N}{\Delta R}} = \frac{\Delta N}{\Delta R} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta N}$ ，其中 ΔN 为检流计偏转的格数。

而当电桥的灵敏度足够高时，考虑到 R_1 、 R_2 、 R_s 自身的误差，可以采用交换法消去 R_1 、 R_2 带来的误差，进一步提高实验精度。

实验方法：

- (1) 对惠斯登电桥进行组装
- (2) 估测待测电阻（如用万用表进行粗测），选择比率臂 R_1/R_2 ，使待测电阻测量具有四位有效数字。
- (3) 测定该组装电桥的灵敏度。根据测得的电桥灵敏度，确定测量误差，写出结果表达式。

2. 实验重点

掌握直流平衡单臂电桥的原理和特点；掌握正确使用 QJ-23 型盒式电桥测量电阻的方法；学习对测量结果的误差分析。

3. 实验难点

电路的组装；估测待测电阻后对比率臂的控制；对灵敏电流计的校准；对灵敏电流计示数的观察。

二、原始数据

1. 交换法转移系统误差

$$R_1 = R_2 = 2000 \Omega$$

$$R_s = 222.0 \Omega$$

$$R_s' = 222.1 \Omega$$

$$\bar{R}_x = \sqrt{R_{x1} \cdot R_{x2}} = \sqrt{R_s \cdot R_s'} = 222.0 \Omega$$

$$\Delta R_s = \pm(0.001 R_s + 0.002 m) = \pm(0.001 \times 222.0 + 0.002 \times 6) \Omega = \pm 0.224 \Omega$$

2. 电桥灵敏度

$$R_s = 222.0 \Omega$$

$$\Delta R_s = 5.0 \Omega$$

$$\Delta d = 6.5 (4 \times 10^{-6} A / \text{格})$$

$$S = \frac{\Delta d}{\Delta R_s / R_s} = 2.9 \times 10^2$$

$$R_x \text{ 相对不确定度 } E = \frac{\Delta R_x}{R_x} = \sqrt{(0.001 + \frac{0.002 m}{R_s})^2 + (\frac{0.2}{S})^2} = \sqrt{(0.001 + \frac{0.012}{222.0})^2 + (\frac{0.2}{2.9 \times 10^2})^2} = 0.0013$$

3. 用盒式电桥测电阻离散度

$$n = 8$$

$$R_{x1} = 685.0 \Omega \quad R_{x2} = 688.2 \Omega \quad R_{x3} = 677.1 \Omega \quad R_{x4} = 681.1 \Omega \quad R_{x5} = 678.7 \Omega$$

$$R_{x6} = 679.3 \Omega \quad R_{x7} = 682.5 \Omega \quad R_{x8} = 679.1 \Omega$$

$$\bar{R}_x = \frac{R_{x1} + R_{x2} + R_{x3} + R_{x4} + R_{x5} + R_{x6} + R_{x7} + R_{x8}}{8} = 681.4 \Omega$$

$$\text{标准偏差 } S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_{xi} - \bar{R}_x)^2} = \sqrt{\frac{3.6^2 + 6.8^2 + 4.3^2 + 0.3^2 + 2.7^2 + 2.1^2 + 1.1^2 + 2.3^2}{7}} = 3.7 \Omega$$

$$\text{离散度} = \frac{S}{\bar{R}_x} \times 100\% = \frac{3.7}{681.4} \times 100\% = 0.54\%$$

张利

三、结果与分析

1. 数据处理与结果

任务一：交换法转移系统误差

本任务中， $R_1 = R_2 = 2000\Omega$ 。

组装好电路后，测得 $R_s = 222.0\Omega$ ；交换 R_1, R_2 ，测得 $R_s' = 222.1\Omega$ ，故

$$\overline{R_x} = \sqrt{R_{x1}R_{x2}} = \sqrt{R_sR_s'} = \sqrt{222.0 \times 222.1}\Omega = 222.0\Omega$$

$$\Delta R_s = \pm(0.001R_s + 0.002m) = \pm(0.001 \times 222.0 + 0.002 \times 6)\Omega = \pm 0.224\Omega$$

任务二：测量电桥灵敏度

本任务中， $R_s = 222.0\Omega, \Delta R_s = 5.0\Omega, \Delta d = 6.5$ ，且测量模式为 $4 \times 10^{-6}A/\text{格}$ ，则

$$S = \frac{\Delta d}{\Delta R_s/R_s} = \frac{6.5}{5.0/222.0} = 2.9 \times 10^2$$

R_x 的相对不确定度为：

$$E = \frac{\Delta R_x}{R_x} = \sqrt{\left(0.001 + \frac{0.002m}{R_s}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{S}\right)^2} = \sqrt{\left(0.001 + \frac{0.012}{222.0}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{2.9 \times 10^2}\right)^2} = 0.0013$$

任务三：用盒式电桥测电阻离散度

本任务中， $n = 8, R_{x1} = 685.0\Omega, R_{x2} = 688.2\Omega, R_{x3} = 677.1\Omega, R_{x4} = 681.1\Omega, R_{x5} = 678.7\Omega, R_{x6} = 679.3\Omega, R_{x7} = 682.5\Omega, R_{x8} = 679.1\Omega$ ，则

$$\overline{R_x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{xi} = 681.4\Omega$$

标准偏差：

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_{xi} - \overline{R_x})^2} = 3.7\Omega$$

$$\text{离散度} = \frac{S}{\overline{R_x}} \times 100\% = \frac{3.7}{681.4} \times 100\% = 0.54\%$$

2. 误差分析

本次实验的任务一中由于 R_1, R_2 存在系统误差，为消去系统误差，故需要交换 R_1, R_2 ，这将导致在测量模式为 $4 \times 10^{-8}A/\text{格}$ 时， R_s 变化 0.1Ω ，电表指针将直接跨过0刻度，只能用 $4 \times 10^{-6}A/\text{格}$ 这一测量模式，故电表灵敏度较低，使得相对不确定度增加。

同时，在任务三中，所有的电阻的标称值均为 680Ω ，而实际上每个电阻均有一定的偏差，说明这些电阻的标称值并不能代表实际的阻值。

3. 实验探讨

通过本次实验，我掌握了惠斯登电桥的原理，并学会使用惠斯登电桥测量未知电阻的阻值。同时，在数据处理上，我也进一步掌握了有效数字的修约以及不确定度的计算，提升了误差分析的能力。

四、思考题

1. 伏安法测电阻是根据 $R = \frac{U}{I}$ 来计算待测电阻的，但实际上电压表合电流表均存在内阻，会引起较大的误差。而电桥法并不会引入检流计内阻带来的误差，其误差仅来源于 R_1, R_2, R_s ，又可通过交换法消除 R_1, R_2 带来的误差，因此准确度高。
2. (1) 更改电桥比率臂 $\frac{R_1}{R_2}$ 以增加有效位数。
(2) 选用灵敏度更高的检流计以及分度值更小的电阻箱。
3. (1) 总是往一个方向偏转：挡位或比率臂设置不合理，导致偏差过大；电路连接有误，出现短路。
(2) 电表不偏转：电路连接有误，出现短路或断路；电源未接通；仪器故障。
4. 惠斯登电桥比率臂选取的原则是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，从而增加结果的有效数字位数。此外，应使比率为 10 的整数幂，以避免复杂的计算导致的四舍五入。
5. 将电表 A/V 充当 R_x ，即可使用自组电桥测量电表内阻，通过电表的电流 $I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_{A/V}}$ 来选取合适的 R_1 和 ε ，避免超出量程而损坏电表（主要是是电流表）。尽管理论上可将检流计替换为行测电表，但由于行测电表的灵敏度低于检流计，故实验误差较大，不应该替换。