

浙江大学

物理实验报告

实验名称: 惠斯登电桥

指导教师: 王立刚

信 箱 号: _____

专 业: _____

班 级: _____

姓 名: _____

学 号: _____

实验日期: 9月26日 星期四 上/下午



【实验目的】

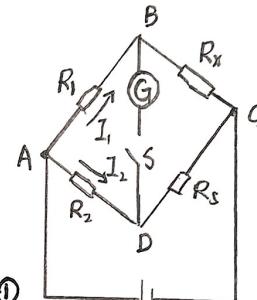
- 掌握惠斯登电桥工作原理及其特点，学会自组电桥测量未知电阻
- 掌握正确使用QJ-23型盒式惠斯登电桥测量电阻的方法
- 学习如何对测量结果进行误差分析

【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

右图为惠斯登电桥的原理图， R_1, R_2, R_s, R_x 组成“桥臂”，G 和 S 组成“桥路”，当通过检流计 G 的电流 $I_g = 0$ 时，B、D 电位相同，电桥达到平衡。此时流通电阻 R_1 和 R_x 电流同为 I_1 ，流过电阻 R_2 和 R_s 的电流同为 I_2 ，即：

$$\begin{cases} U_{AB} = I_1 R_1 = U_{AD} = I_2 R_2 \\ U_{BC} = I_1 R_x = U_{BD} = I_2 R_s \end{cases} \Rightarrow \frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_s} \Rightarrow R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_s \quad ①$$



① 式即为电桥的平衡条件，只要调节 R_s ，使检流计 G 无电流，记下 R_s 即可求出 R_x 。

2. 交换法减小自组电桥系统误差

如图所示的自组电桥中，若电桥的灵敏度足够高，则系统误差主要由 R_1, R_2, R_s 自身的误差来决定，此时相对不确定度为 $\frac{\Delta R_x}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_s}{R_s}\right)^2}$ ，为尽量减小系统误差，可在电桥调节平衡后，互换 R_x 和 R_s 。设 R_s 变为 R_s' 后电桥重新达到平衡，这时有 $R_x = \frac{R_2}{R_1} R_s'$ ，又有 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s$ ， $\sqrt{② \times ③}$ 有 $R_x = \sqrt{R_s' R_s}$ ，这样就消除了 R_1, R_2 自身误差的影响，这样 R_x 的不确定度为 $\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{\Delta R_s}{R_s}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_s'}{R_s'}\right)^2} \approx \frac{\Delta R_s}{R_s}$ ，只与 R_s 的仪器误差有关，而 R_s 可以选用具有一定精度的标准电阻箱，从而减小 R_x 系统误差。实验时 R_s 常用十进位转盘直流电阻箱，其仪器允差为 $\frac{\Delta R_s}{R_s} = \pm(a + b \frac{m}{R_s})\%$ ，一般 0.1 级十进位转盘电阻箱 $a=0.1, b=0.2$ ，因此 $\Delta R_s = \pm(0.001 R_s + 0.002 m)$ ， m 为电阻箱总转盘数。

3. 电桥灵敏度

在电桥平衡后，若比较臂变动 ΔR ，但 I_g 较小，电表未偏转，此时 $R_x = \frac{R_1}{R_2} (R_s + \Delta R)$ 。
 $\frac{R_1}{R_2} \Delta R$ 是电表不够灵敏引入的误差 ΔR_x ，为定量地确定电桥灵敏度，将其定义为 $S = \frac{\Delta d}{\Delta R_x / R_x} = \frac{\Delta d}{\Delta R_s / R_s}$ ，其中 ΔR_s 为 R_s 的改变量， Δd 为待测电阻相对改变量引起的 G 的偏转格数。S 越大，测量结果越准确。在实验中由于电桥灵敏度引入了不确定度 ΔS ，可用以下方法估测：当电桥达到平衡时，略微改变 R_s ，使 G 表偏转 0.2 小格，这时可求得 $\Delta S = \frac{0.2 R_s}{S}$ 。最终 R_x 的不确定度计算公式为：

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



【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、待测电阻及电源等组装电桥，其中 R_1, R_2 用四旋钮电阻箱， R_3 选用六旋钮电阻箱
- (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，并用变换法进行系统误差分析。估算出测量误差 ΔR_x ，写出测量结果表达式。

2. 用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测量未知电阻

- (1) 打开开关并调零，B 接 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) 根据 8 个待测电阻 $R_{n1}, R_{n2} \dots R_{n8}$ 的数值，选取合适比率臂，使有四位有效
- (3) 先按 B 键后按 G 键接通电路，调节 R_s 的四个旋钮使电桥达到平衡，此时 R_s 的 4 个旋钮所示数值乘以比率盘读数即为待测电阻阻值
- (4) 测量 8 个待测电阻，写出结果表达式，并确定这批电阻的离散程度。

【实验器材及注意事项】

实验器材：QJ-23 型盒式惠斯登电桥，其结构是将阻值准确的电阻 R_1, R_2, R_s 和检流计封装在一个盒子内，倍率盘上的示数相当于 $\frac{R_1}{R_2}$ ，B 端口接电源，“G”与“外接”短接时，用盒内检流计指示平衡，“G”与“内接”短接时，用外接检流计指示平衡，四旋钮刻度之和即为比较臂 R_s 值， R_x 端接待测电阻

$$R_x = \text{倍率} \times \text{比较臂}$$

- 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，否则检流计不会偏转
 2. 电桥未平衡时 G 键只能瞬间按下，待指针一偏转立即放开 G 键
 3. 为确保测量结果的精确度，测量时使比较臂中的“ $\times 1000$ ”指示数不为零
 4. 测量结束要关闭电源和电桥。



【数据处理与结果】

表1：自组电桥测量未知电阻

次数	R_1/Ω	R_2/Ω	R_S/Ω	R'_S/Ω	$\Delta d_1/\text{格}$	$\Delta d_2/\text{格}$
1	500	500	221.6	221.6	21	20
2	600	600	221.6	221.6	18	19
3	700	700	221.6	221.6	16	17
4	900	900	221.6	221.6	14	13
5	2000	2000	221.5	221.6	7	7
6	3000	3000	221.5	221.6	4	5

$$\bar{R}_S = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 R_{Si} = 221.6 \Omega \quad \bar{R}'_S = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 R'_{Si} = 221.6 \Omega$$

$$\bar{R}_x = \sqrt{\bar{R}_S \cdot \bar{R}'_S} = 221.6 \Omega$$

取 Δd 最大的一组： $\Delta R_S = 0.1 \Omega$, $\Delta d = 21 \text{ 格}$, $R_S = 221.6 \Omega$.

$$\text{电桥灵敏度 } S = \frac{\Delta d}{\Delta R_S / R_S} = 4.6 \times 10^4 \text{ 格}$$

$$E = \frac{\Delta R_x}{R_x} = \sqrt{\left(0.001 + \frac{0.002 \times 6}{221.6}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{4.6 \times 10^4}\right)^2} = 0.001$$

$$\Delta R_x = E \cdot \bar{R}_x = 0.2 \Omega$$

$$\therefore R_x = (221.6 \pm 0.2) \Omega.$$

表2：QJ-23型盒式惠斯登电桥测量未知电阻

被测电阻	R_{x1}	R_{x2}	R_{x3}	R_{x4}	R_{x5}	R_{x6}	R_{x7}	R_{x8}
测量值	686.2Ω	685.7Ω	688.2Ω	677.1Ω	677.6Ω	687.4Ω	678.6Ω	681.0Ω

倍率： 10^{-1}

$$\text{均值 } \bar{R}_x = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_{xi} = 683.0 \Omega$$

$$\text{标准偏差 } S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^8 (R_{xi} - \bar{R}_x)^2} = \sqrt{\frac{1}{8-1} \sum_{i=1}^8 (R_{xi} - \bar{R}_x)^2} = 4.6 \Omega$$

$$\text{离散度} = \frac{S}{\bar{R}_x} \times 100\% = 0.6\%$$

$$R_x = \bar{R}_x \pm S = (683.0 \pm 4.6) \Omega$$



【误差分析】

1. 自组电桥实验中，电阻箱 R_s 的精度不够，我们认为的 $R_s=R$ 时，电流计指针并不能完全指在电流计表盘中心，如在左侧，但增加 0.1Ω 时，指针又偏右了。即 R_s 的精度限制了测量精度。
2. 自组电桥实验中，检流计的初始调零较困难，且有时按下“电计”后再松开后原来已调零的检流计又发生微小偏转。
3. 惠斯登电桥中盒内检流计精度较低。
4. 通电时间变久，电阻温度发生微小变化，影响阻值。

【实验心得及思考题】

1. 为什么用惠斯登电桥测电阻比伏安法测量的准确度高？用电桥法测电阻产生误差的主要因素是什么？
 - ① 伏安法的依据是欧姆定律 $R = \frac{U}{I}$ ，电流计、电压表的内接外接，其内阻会对结果产生较大影响。而电桥法的误差仅来自 R_1, R_2, R_s, R, R_x 的误差，又可通过交换法消除， R_s 精度也相对较高。
 - ② 主要误差有 R_1, R_2 ，电源稳定性， R_s 精度，电阻温度变化，电桥灵敏度。
 2. 为提高电桥测量灵敏度，应采取哪些措施？为什么？
 - ① 选取合适的比率臂，增加有效数字。
 - ② 选用灵敏度更高的检流计和分度更小的电阻箱 R_s 。
 3. 用电桥测电阻时，若线路接通后检流计指针总是往一个方向偏转或总不偏转，试分析是什么原因？
 - ① 总往一个方向偏：未调好 R_s ；比率臂设置不合适，连接错误。
 - ② 不偏转：电路未接好，有断点；电流计损坏。
 4. 惠斯登电桥比率臂选取的原则是什么？为什么要这样选取？
字数
在不超过 R_s 最大阻值的情况下尽可能多地使用 R_s 的位数，为了增加有效数。
 5. 如何使用自组电桥测量电表内阻？可否将桥路中的检流计去掉，换成行测电表判别电桥的平衡？
 - ① 将 R_x 换成电流表即可，但要选择合适的电压和 R_s ，使 $I = \frac{E}{R_s + R_A}$ 不超量程。
 - ② 可以判断，但行测电表的精度不如检流计，误差较大。
- 心得：本次实验学习了惠斯登电桥的原理与搭建方法，也学会了用这种电桥较为精确地测量一个电阻的阻值，收获颇丰。



【数据记录及草表】

自组电桥

次数	R_1	R_2	R_s	R_s'	Δd_1	Δd_2
1	500	500	221.6	221.6	21	20
2	600	600	221.6	221.6	18	19
3	700	700	221.6	221.6	16	17
4	900	900	221.6	221.6	14	13
5	2000	2000	220.6	221.6	7	7
6	3000	3000	221.5	221.6	4	5

QJ-23

 $\times 0.1$ 倍

R_{x_1}	R_{x_2}	R_{x_3}	R_{x_4}	R_{x_5}	R_{x_6}	R_{x_7}	R_{x_8}
688.2	685.7	688.2	677.1	677.6	687.4	678.6	681.0

