

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】

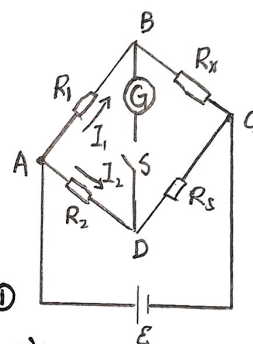
1. 掌握惠斯登电桥工作原理及其特点, 学会自组电桥测量未知电阻
2. 掌握正确使用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测量电阻的方法
3. 学习如何对测量结果进行误差分析

【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 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_S'$ ② 又有 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_S$ ③, $\sqrt{② \times ③}$ 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 $\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{\Delta R_S}{R_S}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_S'}{R_S'}\right)^2} \approx \frac{\Delta R_S}{R_S}$, 只有 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:

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



【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，并用交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} ... R_{n8} 的数值，选取合适比率臂，使有四位有效数字

(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_3 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，待指针一偏转应立即放开 G 键

3. 为确保测量结果的精确度，测量时使比较臂中的“ $\times 1000$ ”挡示数不为零

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_3/Ω	R_3'/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

$$\overline{R_s} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 R_{si} = 221.6 \Omega \quad \overline{R_s'} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 R_{si}' = 221.6 \Omega$$

$$\overline{R_x} = \sqrt{\overline{R_s} \cdot \overline{R_s'}} = 221.6 \Omega$$

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

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

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

$$\Delta R_x = E \cdot \overline{R_x} = 0.2 \Omega$$

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

表2：QJ-23型盒式惠斯登电桥测量未知电阻

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

倍率： 10^{-1}

均值 $\overline{R_x} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_{xi} = 683.0 \Omega$

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

离散度 $= \frac{S}{\overline{R_x}} \times 100\% = 0.6 \%$

$$R_x = \overline{R_x} \pm S = (683.0 \pm 4.6) \Omega$$



【误差分析】

1. 自组电桥实验中, 电阻箱 R_s 的精度不够, 我们以为的 $R_s = R_0$ 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_1 、 R_2 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, 电阻温度变化等, 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 R_2 : 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? 字位数

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_s 换成电流表即可, 但要选择合适的电压和 R_1 , 使 $I = \frac{E}{R_1 + R_A}$ 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_{x1}	R_{x2}	R_{x3}	R_{x4}	R_{x5}	R_{x6}	R_{x7}	R_{x8}
688.2	685.7	688.2	677.1	677.6	687.4	678.6	681.0

教师签字:

(Handwritten signature)

