

# 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：36

36



## 【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

电桥的原理用如图1所示。电桥由桥臂(待测电阻  $R_x$  和三个已知电阻  $R_1, R_2, R_3$ )、桥路(检流计  $G$  和开关  $S$ ) 和工作电源  $\mathcal{E}$  组成。当通过检流计  $G$  的电流  $I_g$  等于零时,  $B, D$  两点电位相同, 电桥平衡, 此时流过电阻  $R_1$  和  $R_x$  的电流同为  $I_1$ , 流过电阻  $R_2$  和  $R_3$  的电流同为  $I_2$ , 即:

$$U_{AB} = U_{AD} \quad \text{即} \quad I_1 R_1 = I_2 R_2$$

$$U_{BC} = U_{DC} \quad \text{即} \quad I_1 R_x = I_2 R_3$$

则有  $\frac{R_x}{R_2} = \frac{R_1}{R_3}$ , 即

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_3 \quad \text{--- ①}$$

① 式为电桥的平衡条件。  $R_1$  为电桥比率臂,  $R_3$  为电桥比较臂, 若  $R_1, R_2$  已知, 只要调节  $R_3$ , 使检流计  $G$  无电流通过并记下  $R_3$  数值, 则可利用①式求得  $R_x$  值。

### 2. 交换法减小自组电桥系统误差.

若① 图所示电桥的灵敏度足够高, 则系统误差主要由  $R_1, R_2, R_3$  自身的误差来决定, 此时相对不确定度为

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_3}{R_3}\right)^2}$$

其中  $\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta R_3$  分别为  $R_1, R_2, R_3$  的不确定度。为尽量减小系统误差, 可在电桥调节平衡后, 将  $R_x$  和  $R_2$  位置互换, 设  $R_2$  变为  $R_2'$  时电桥重新达到平衡, 则有  $R_x = \frac{R_1}{R_2'} \cdot R_3$  --- ② 将①、②式相乘得

$$R_x = \sqrt{R_1 \cdot R_3} \quad \text{--- ③}$$

由此消除了  $R_1, R_3$  自身的误差对测量误差的影响。由③得  $R_x$  的相对不确定度为

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_3}{R_3}\right)^2} \approx \frac{\Delta R_2}{R_2}$$

它只与  $R_2$  的仪器误差有关, 而  $R_2$  可选用具有一定精度的标准电阻箱, 这样  $R_x$  的系统误差就可减小。实验时  $R_2$  常用十进位转盘直流电阻箱, 其仪器误差为  $\frac{\Delta R_2}{R_2} = \pm (a + b \frac{m}{R_2}) \%$ , 其中  $R_2$  是电阻箱的读数,  $a$  是电阻箱的精度等级,  $b$  是与精确度有关的系数,  $m$  为所用电阻箱的总转数。一般用的 0.1 级十进位转盘电阻箱

$a = 0.1, b = 0.2$ , 则有

$$\Delta R_2 = \pm (0.001 R_2 + 0.002 m)$$

### 3. 电桥灵敏度

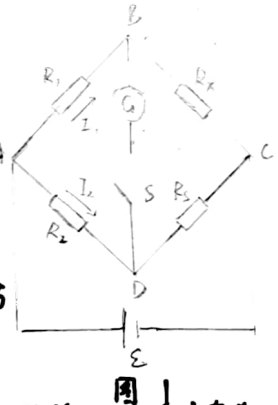
电桥平衡后, 变动  $R_3$  或  $R_2$ , 电桥失去平衡, 则有电流  $I_g$  流过检流计。如果  $I_g$  较小, 则检流计没有因此发生偏转。电桥未反映电阻的误差, 则  $R_x = \frac{R_1}{R_2} (R_3 + \Delta R_3)$ , 其中  $(\frac{R_1}{R_2} \Delta R_3)$  就是电桥不灵敏而引入的误差  $\Delta R_x$ 。引入电桥灵敏度的概念:

$$S = \frac{\Delta R_x / R_x}{\Delta R_3 / R_3} = \frac{\Delta R_x}{\Delta R_3} \cdot \frac{R_3}{R_x}, \quad \text{其中 } \Delta R_3 \text{ 为电阻箱的误差量, } \Delta R_x \text{ 为待测电阻而}$$

相对误差量引起的检流计  $G$  中的偏转格数。电桥灵敏度  $S$  越大, 对电桥平衡判断越容易, 结果越准确。

当电桥达到平衡时, 略微改变  $R_3$  使检流计偏离零点 0.2 小格, 这时可以求得  $\Delta S = \frac{0.2 R_3}{S}$ 。因此, 最终待测电阻  $R_x$  的相对不确定计算公式应为:

$$\bar{E} = \frac{\Delta R_x}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta S}{S}\right)^2} = \sqrt{(0.001 + \frac{0.002 m}{R_2})^2 + \left(\frac{0.2}{S}\right)^2}$$



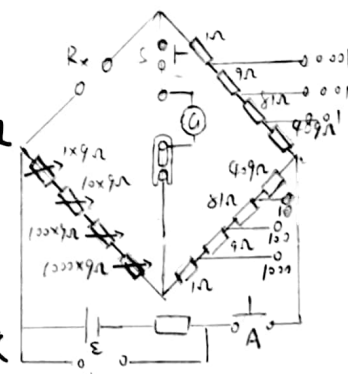
## 【实验内容】（重点说明）

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 $R_1, R_2$ 选用四旋钮电阻箱， $R_3$ 选用大旋钮电阻箱
  - (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 $\Delta R_x$ ，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) 根据待测电阻盘上8个待测电阻 $R_{n1}, R_{n2}, \dots, R_{n8}$ 的数值，选取适当的比率臂，确保测量结果有四位有效数字
  - (3) 先按B键，后按G键以接通电路（注意：每断开电路时，应先放开G键，再放开B键，这样可防止在测量电感元件阻值时损坏检流计）。调节 $R_3$ 的4个旋钮，使电桥达到平衡，此时 $R_3$ 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】

### 1. 实验器材

QJ-23型盒式惠斯登电桥原理图如图方图所示。其结构是待阻值准确的电阻 $R_1, R_2, R_3$ 和检流计封装在一个盒子内



### 2. 注意事项：

- ① 为确保测量结果的精确度，测量时应使比较臂 $R_3$ 中的“ $\times 1000$ ”档示数不为零，即 $R_3$ 应确保四位有效数字。
- ② 检流计上的“电计”与“短路”按钮都具有锁定功能，测量时要确保“短路”按钮未锁定，否则检流计不会偏转。
- ③ 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。
- ④ 实验结束，关闭检流计和盒式惠斯登电桥。
- ⑤ 做实验时人不要来回走动，以减少对电桥检流计的干扰。



## 【数据处理与结果】

## 1. 自组电桥测未知电阻

自组电桥测量值			$R_{x1} = \frac{R_1}{R_2} R_3 (Ω)$	$R_{x2} = \frac{R_2}{R_1} R_3' (Ω)$	$R_x = \sqrt{R_{x1} R_{x2}} (Ω)$	$\Delta R_x (Ω)$
$R_1: R_2 (Ω)$	$R_3$	$R_3'$				
1000:1000	224.1	224.0	224.1	224.0	224.0	$\pm 0.2361$
2000:2000	224.1	224.2	224.1	224.2	224.1	$\pm 0.2361$
3000:3000	224.2	224.0	224.2	224.0	224.1	$\pm 0.2362$
4000:4000	224.0	224.0	224.0	224.0	224.0	$\pm 0.2360$
5000:5000	224.1	224.2	224.1	224.2	224.1	$\pm 0.2361$

经实验测得的数据如上表所示。其中待测电阻标称值为  $220Ω$ ，检流计灵敏度为  $4 \times 10^{-5} A/格$ 。

$$\Delta R_s = \pm (0.001/R_s + 0.002m), m=6$$

$$\text{由此得 } \bar{R}_x = \frac{\sum_{i=1}^5 R_{xi}}{5} = 224.1 \Omega; \quad \bar{R}_s = \frac{\sum_{i=1}^5 R_{si}}{5} = 224.1 \Omega \quad \Delta \bar{R}_s = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta R_{si}}{5} = \pm 0.2361 \Omega$$

2. 在  $R_1: R_2 = 1000Ω:1000Ω$  的条件下测电桥灵敏度

测得  $R_s = 224.0 \Omega$   $\Delta R_s = 0.1 \Omega$   $\Delta d = \pm 0.4 格$

$$\text{则电桥灵敏度为 } S = \frac{\Delta d}{\Delta R_x / R_x} = \frac{\Delta d}{\Delta R_s / R_s} = \frac{0.4}{0.1/224.0} = 896 (格/\Omega)$$

## 3. 待测电阻的不确定度

$$E = \frac{\Delta R_x}{R_x} = \sqrt{(0.001 + \frac{0.002m}{R_s})^2 + (\frac{\Delta d}{S})^2} \approx 1.08 \times 10^{-3} \text{ 记为 } 1.1 \times 10^{-3}$$

$$\Delta R_x = \bar{R}_x E = 0.24 \Omega \text{ 记为 } 0.3 \Omega$$

$$U_{R_x} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_{xi} - \bar{R}_x)^2} = 0.032 \Omega \text{ 记为 } 0.04 \Omega$$

$$\Delta = \sqrt{(0.001)^2 + (0.002)^2} = 0.242 \Omega \text{ 记为 } 0.3 \Omega$$

$$\text{则结果 } R_x = (224.1 \pm 0.3) \Omega$$

## 4. 盒式惠斯登电桥测电阻

实验组数	1	2	3	4	5	6	7	8
测得阻值	698.1	682.4	688.2	674.4	681.9	685.8	686.8	674.9

其中倍率选为  $10^{-1}$ ，待测电阻标称值为  $680 \Omega$ 。

$$\bar{R}_x = \frac{1}{8} (R_{x1} + R_{x2} + \dots + R_{x8}) = 684.1 \Omega$$

$$\text{标准偏差 } S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_{xi} - \bar{R}_x)^2} = 7.65 \Omega \text{ 记为 } 8 \Omega$$

$$\text{离散度} = \frac{S}{\bar{R}_x} \times 100\% = 0.12\%$$

$$U_a = \frac{S}{\sqrt{n}} = 2.7 \Omega \text{ 记为 } 3 \Omega$$

$$\text{则 } R_x = \bar{R}_x \pm U_a = (684 \pm 3) \Omega$$

$$(684.1 \pm 2.7) \Omega$$

$$\sqrt{U_a^2 + U_b^2} = \Delta R_x$$

首位为1或2可保留2位。



## 【误差分析】

1. 周围环境对检流计平衡的影响会导致误差,如人群的聚集等.
2. 待测电阻本身会随温度变化而变化,从而会对实验结果产生影响
3. 测电流的检流计的灵敏度不够,从而会导致偶然误差.
4. 导线本身存在电阻,在一定程度上会影响电阻的测量,属于系统误差
5. 在检流计调零时,由于人的肉眼判断,存在偶然误差.
6. 电路中的接触电阻会对待测电阻的结果产生影响.
7. 对于实验1中  $R_x$  的测量结果与标称值不符,很可能是电阻的标称值与其真值不符
8. 对于实验2中可以看出,其不确定度较大,主要是1号电阻阻值偏差较大引入了较多的误差.

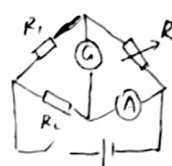
## 【实验心得及思考题】

## 实验心得:

本次实验相对较简单,通过本次实验,掌握了惠斯登电桥测量方法和测量原理,同时也知道了如何选取适当的比例臂,使测量结果的有効数字最大化,也学会了通过交换  $R_x$  和  $R_s$  来消除  $R_1$  与  $R_2$  本身的误差对测量误差的影响,以及一些减小实验误差的方法.同时,在本实验中,我也知道了检流计的灵敏度并不是越高越好,灵敏度过高会增加电桥平衡的难度.本次实验虽然相对简单,但其测量方法和测量思路在以后其它的电路中很可能会用到,所以我们在完成实验本身的同时,更应该理解其本质和原理.

## 思考题:

1. 伏安法测量时会用到电流表和电压表,其均有电表内阻,无法消除,会对测量结果造成影响,而惠斯登电桥法测量时,电表内阻对回路无影响,主要误差因素为不等臂电阻和检流计的灵敏度大小
2. 用更高灵敏度的检流计,提高测量灵敏度,减小实验误差;也可增加电源电压,适当增加电源电压,使电路中的电流变大,则检流计对电阻变化带来的反应更明显,增大测量准确度
3. 若检流计指针总往一个方向偏转,则是电桥量程没有选好,或者是被测电阻不在电桥的范围内,若检流计不发生偏转可能是检流计的电路没有接通.
4. 选取原则应是使比率臂电阻旋钮能尽量多地使用,以获得最多的有効数字,提高测量的精度.一般情况下倍率的选取要能使读取回信有効数字.
5. 如右图所示,调节  $R$  使检流计示数为0,记录下  $R$  的值为  $R_{s1}$ ,交换  $R_1$  与  $R_2$ ,再次调节  $R$  使检流计示数为0,记录下此时的  $R$  的值为  $R_{s2}$ ,则电表内阻  $R = \sqrt{R_{s1} R_{s2}}$ .  
注意实验过程中电流的方向以及在被测电表中的电流不能超过其最大值,以免损坏电表.  
不能,因为检流计可双向偏转,而电流表的指针只能单方向偏转,在调节时会损坏电表.同时电流表灵敏度过低,而检流计的灵敏度较高,用电流表替代检流计会造成较大误差.



# 【数据记录及草表】

$R_i: R_e(N)$	1000:1000	2000:2000	3000:3000	4000:4000	5000:5000
$R_s(N)$	224.1	224.1	224.2	224.0	224.1
$R_s'(N)$	224.0	224.02	224.0	224.0	224.2

测量 序号	1	2	3	4	5	6	7	8
$R(N)$	678.1	682.4	688.2	674.4	681.9	685.8	686.8	674.9

教师签字:

*Qing*

