

浙江大学

物理实验报告

实验名称: _____惠斯登电桥_____

实验桌号: _____

指导教师: _____宋斌_____

班级: _____

姓名: _____

学号: _____

实验日期: 25 年 9 月 28 日 星期日上午

(此处填实验选课系统内日期)

浙江大学物理实验教学中心

如有实验补做, 补做日期:

情况说明:

一、预习报告（10 分）

（注：将已经写好的“物理实验预习报告”内容拷贝过来）

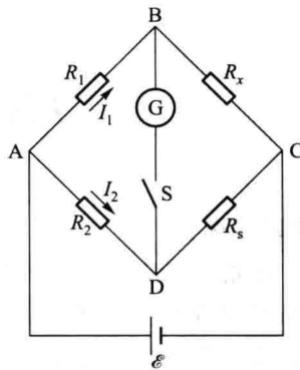
1. 实验综述（5 分）

（自述实验现象、实验原理和实验方法，包括必要的光路图、电路图、公式等。不超过 500 字。）

（1）惠登斯电桥测电阻的原理

如图，惠斯登电桥由桥臂（待测电阻 R_x 已知电阻 R_1 、 R_2 、 R_s ）、桥路（检流计 G 和开关 S）以及电源 E 组成。当检流计 G 中没有电流 ($I_g=0$) 时，B、D 两点电位相同，电桥就达到了平衡状态。此时：

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s.$$



若 R_1 、 R_2 已知，只要调节 R_s 使电桥平衡并记下 R_s 数值，便可求得 R_x

（2）交换法减小自组电桥系统误差

考虑到 R_1 、 R_2 、 R_s 自身的误差，相对不确定度为：

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

其中 ΔR_1 、 ΔR_2 、 ΔR_s 分别为 R_1 、 R_2 和 R_s 的不确定度。为了尽量减小系统误差，可将 R_1 和 R_2 互换位置， R_s 变为 R_s' 时电桥重新平衡，这时有

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_s'$$

$$\text{得 } R_x = \sqrt{R_s R_s'}$$

这样就消除了 R_1 、 R_2 引入的测量误差，此时的相对不确定度为

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{\Delta R_s}{R_s}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_s'}{R_s'}\right)^2} \approx \frac{\Delta R_s}{R_s}$$

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_s 常用十进位转盘直流电阻箱，其仪器允差为

$$\frac{\Delta R_s}{R_s} = \pm \left(a + b \frac{m}{R_s} \right) \%$$

其中 R_s 是电阻箱的指示值， a 是电阻箱的精确度等级， b 是与精确度等级有关的系数， m 为所使用电阻箱的总转盘数。一般常用的 0.1 级十进位转盘电阻箱 $a=0.1$, $b=0.2$, 则

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

(3) 电桥灵敏度

电桥灵敏度定义为:

$$S = \frac{\Delta d}{\Delta R_x / R_x} = \frac{\Delta d}{\Delta R_s / R_s}$$

Δd : 待测电阻相对改变量引起检流计偏转的格数。

S 越大, 说明电桥越灵敏, 测量误差越小。

最终不确定度的计算公式为:

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

2. 实验重点 (3 分)

(简述本实验的学习重点, 不超过 100 字。)

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 OJ-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。

3. 实验难点 (2 分)

(简述本实验的实现难点, 不超过 100 字。)

1. 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。

二、原始数据（20 分）

（将有老师签名的“自备数据记录草稿纸”的扫描或手机拍摄图粘贴在下方，完整保留姓名，学号，教师签字和日期。）

三、结果与分析 (60 分)

1. 数据处理与结果 (30 分)

(列出数据表格、选择适合的数据处理方法、写出测量或计算结果。)

(1) 自组电桥测量未知电阻

① 交换法转移系统误差

表一 交换法转移系统误差

| R_1 / Ω | R_2 / Ω | R_1/R_2 | R_s / Ω | R_s' / Ω |
|----------------|----------------|-----------|----------------|-----------------|
| 1000 | 1000 | 1 | 222.5 | 222.5 |

$$R_x = \sqrt{R_s R'_s} = 222.5 \Omega$$

$$\Delta R_s = \pm(0.001R_s + 0.002m) = \pm 0.2345 \Omega$$

② 电桥灵敏度

表二 电桥灵敏度

| R_s / Ω | Δd | $\Delta R_s / \Omega$ |
|----------------|------------|-----------------------|
| 222.5 | 13.0 | 0.1 |

检流计档位: $4 \times 10^{-8} A$

$$S = \frac{\Delta d}{\Delta R_s / R_s} = 2.9 \times 10^4$$

③ R_x 相对不确定度

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

(第二位有效数字为 0 舍去)

$$\text{则 } R_x = (\overline{R_x} \pm \Delta R_x) \Omega = (222.5 \pm 0.2) \Omega.$$

(2) 用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测量未知电阻

表 3 用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测量未知电阻

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R_x / Ω | 680.3 | 677.5 | 680.8 | 681.6 | 683.1 | 686.7 | 688.0 | 688.9 |

$$\overline{R_x} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_{xi} = 688.9 \Omega$$

$$\text{标准偏差} S = \sqrt{\frac{1}{8-1} \sum_{i=1}^8 (R_{xi} - \bar{R}_x)^2} = 4.1\Omega.$$

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

2. 误差分析 (20 分)

(运用测量误差、相对误差或不确定度等分析实验结果, 写出完整的结果表达式, 并分析误差原因。)

(1) 自组电桥测量未知电阻

R_x 相对不确定度

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

(第二位有效数字为 0 舍去)

$$\text{则 } R_x = (\bar{R}_x \pm \Delta R_x) \Omega = (222.5 \pm 0.2) \Omega.$$

1. 检流计调零误差: 实验中检流计难以完全调零, 有时按下“电计”按钮再松开后, 指针会发生微小偏转, 导致平衡点判断存在误差。
2. 电阻箱分度限制: 电阻箱的分度值有限, 在实际调节中, 当改变一个最小分度时, 检流计可能从左偏直接变为右偏, 难以判断真正的平衡点。
3. 检流计灵敏度不足: 盒式电桥中内置的检流计灵敏度较低, 调节电阻时难以准确确定零偏状态。

(2) 用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测量未知电阻

$$\text{标准偏差} S = \sqrt{\frac{1}{8-1} \sum_{i=1}^8 (R_{xi} - \bar{R}_x)^2} = 4.1\Omega.$$

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

1. 观察表 3 的数据可以发现, 测得电阻逐渐增大, 可能是导线附加电阻的影响。因为我在使用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测量时, 采用的测量顺序, 电阻在电阻板上到接点的距离逐渐增大, 电阻在电阻板上的引线较长, 可能导致附加导线电阻增大, 影响测量值。

3. 实验探讨 (10 分)

(对实验内容、现象和过程的小结，不超过 100 字。)

本实验利用自组电桥和 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测量未知电阻，通过观察检流计偏转判断电桥平衡，运用交换法减小系统误差，记录电阻箱读数并计算电阻值及不确定度，掌握电桥的测量原理、操作方法及误差分析技巧，加深了对电桥灵敏度和测量精度影响因素的理解。

四、思考题（10 分）

(解答教材或讲义或老师布置的思考题，请先写题干，再作答。)

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？

为什么惠斯登电桥准确度更高：惠斯登电桥测电阻比伏安法准确，是因为它属于比较法测量，在电桥平衡时检流计无电流，几乎不受电源波动、导线电阻及仪表内阻的影响，而伏安法要分别测电流和电压，电表内阻会引入附加误差。

电桥法测电阻的主要误差：电桥法的主要误差来源在于检流计难以完全调零、灵敏度有限，电阻箱精度不足，导线和接触电阻以及温度变化等因素。

2. 为了提高电桥测量灵敏度，应采取哪些措施？为什么？

增大检流计灵敏度：选择灵敏度更高的检流计，使其能对极小的电流变化做出明显反应。这样在电桥接近平衡时，检流计指针的微小偏转也能被清楚观察到，从而更容易准确判断电桥的平衡状态，减少人为读数误差

选用合适的比例臂电阻：比例臂电阻应根据被测电阻的大小进行合理搭配，一般让比率臂电阻与被测电阻的量级相近，这样电桥在平衡点附近对被测电阻的微小变化会更敏感，使测量结果更加精确

调节合适的电源电压：在允许范围内适当提高电源电压，可以使电桥中电流变化更明显，检流计偏转幅度更大，便于观察平衡状态。但电压不能过高，以免使检流计过载或电阻发热影响测量准确度

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？

检流计指针总是往一个方向偏转：说明电桥始终处于不平衡状态，可能是接线错误、某个电阻开路或短路、电源或检流计损坏

若指针总不偏转：可能是电源未接通、电桥断路或检流计本身损坏

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？

惠斯登电桥比率臂应选择使得标准电阻箱 R_s 的最高位不为零，这样可使用多个读数盘，从而使测量结果具有最多的有效数字，最终计算出的 R_x 精度也更高。

5. 如何使用自组电桥测量电表内阻（注意电表所能允许通过的最大电流）？根据电桥平衡的特点，可否将桥路中的检流计去掉，换成所测电表判别电桥的平衡？

首先，将被测电表接入电桥的一个桥臂，作为未知电阻 R_x 。实验时要重点保护电表，防止电流过大烧毁仪表。为此，应在电桥的电源回路中串联限流电阻在调节电桥平衡的过程中，需要随时观察被测电表的指针，确保流经电表的电流不超过其量程。随着电桥接近平衡，电流会逐渐减小。最终调到电桥平衡时，便可根据电桥平衡条件计算出电表的内阻。

不行。判断电桥平衡要看桥路中是否有电流，而被测电表只能反映它自己那一臂的电流，无法判断桥路是否还有电流流过。

此外，惠斯登电桥的平衡条件是检流计两端电势差为零、支路电流为零，而检流计是专门设计用来检测微小电流变化的“零点仪表”。相反，被测电表属于“偏转式”仪表，它的设计目的是测量电压或电流的具体数值。当电桥真正平衡时，支路电流为零，无论使用什么电表，指针都会停在零点，无法判断电桥是否“接近平衡”。因此，必须使用灵敏度高、响应快的检流计作为指示器，以便准确判定电桥的平衡状态。

注意事项：

1. 用 PDF 格式上传“实验报告”，文件名：学生姓名+学号+实验名称+周次。
2. “实验报告”必须递交在“学在浙大”本课程内对应实验项目的“作业”模块内。
3. “实验报告”成绩必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” – “选课系统”内查询。
4. 教学评价必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” – “选课系统”内进行，学生必须进行教学评价，才能看到实验报告成绩，教学评价须在本次实验结束后 3 天内进行。

浙江大学物理实验教学中心制