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：

班级：

姓名：

学号：

实验日期： 2025 年 9 月 30 日　　**星期** 二 **下午**

（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) 实验现象

惠斯登电桥实验的现象是：

当电桥处于平衡状态时，通过检流计的电流为零，检流计指针不偏转。此时，两个对臂电阻的比值相等（$\frac{R_1}{R_2}=\frac{R_3}{R_4}$）。通过调节可变电阻，可以使检流计指针回到零位，从而准确测定未知电阻的阻值。

(2) 实验原理

1. **惠斯登电桥测电阻的原理**

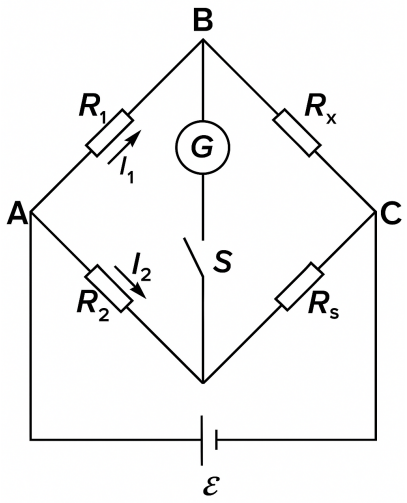


图 1: 惠斯登电桥示意图

如图1所示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 为 0 时, B, D 电位相同, 电桥达到平衡。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_S 的电流同为 I_2, 即:

$$\begin{cases} U_{AB}=I_1R_1=U_{AD}=I_2R_2 \\ U_{BC}=I_1R_x=U_{BD}=I_2R_S \end{cases}$$

因此有

$$\frac{R_1}{R_x}=\frac{R_2}{R_s}\Rightarrow R_x=\frac{R_1}{R_2}\cdot R_s \tag{1}$$

该式称为电桥的平衡条件。

$\frac{R_1}{R_2}$ 称为电桥比率臂，R_s 称为电桥比较臂。调节 R_s，使检流计 G 无电流通过并记下 R_s 值，即可求得 R_x。

2. **交换法减小自组电桥系统系统误差**

如图1, 若 G 灵敏度较高，则系统误差主要由 R_1、R_2、R_s 的误差决定。我们在1的基础上，交换 R_s 与 R_x 的位置，调节 R_s 至 R'_s 时电桥再次平衡。此时有：

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot R'_s \tag{2}$$

由公式1和2得

$$R_x = \sqrt{R_s \cdot R'_s} \tag{3}$$

从而就消除了 R_1、R_2 自身误差的影响。

3. **电桥灵敏度**

定义电桥灵敏度

$$S = \frac{\Delta d}{\Delta R_s / R_s} \tag{4}$$

其中 ΔR_s 为 R_s 的改变量，Δd 是 G 偏转的格数。

4. textbfR_x 的相对不确定度

在实验中由于电桥灵敏度而引入的不确定度 ΔS 可用下述方法估测：当电桥达到平衡时，略微改变 R_s 使检流计指针偏离零点 0.2 小格（人眼察觉的界限），这时可以求得：

$$S = \frac{0.2}{\Delta R_s / R_s} \Rightarrow \Delta R_s = \frac{0.2 R_s}{S}$$

最终得到

$$E = \frac{\Delta R_x}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_s}{R_s}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_s}{R_s}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R'_s}{R'_s}\right)^2} = \sqrt{\left(0.001 + \frac{0.002m}{R_s}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{S}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{S'}\right)^2} \tag{5}$$

(3) 实验方法

本方法利用相对测量的原理，避免了对电流和电压的直接精确测量，因此能够高精度地测定未知电阻的阻值。

2. 实验重点（3 分）

（简述本实验的学习重点，不超过 100 字。）

惠斯登电桥实验的重点在于测量电阻。它利用电桥平衡条件（即检流计无电流通过）来精确比较未知电阻与已知标准电阻的值。通过调节标准电阻，使电桥达到平衡，然后利用公式计算出未知电阻的大小。

3. 实验难点（2 分）

（简述本实验的实现难点，不超过 100 字。）

惠斯登电桥实验的难点主要在于如何保证测量的准确性。这要求实验中必须确保电源的稳定性，正确操作和调零灵敏检流计以排除其自身影响，更关键的是需要精准判断电桥的平衡点（即检流计指针恰好归零），这直接考验实验者的细心程度，并决定了最终电阻读数的精度。

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。）

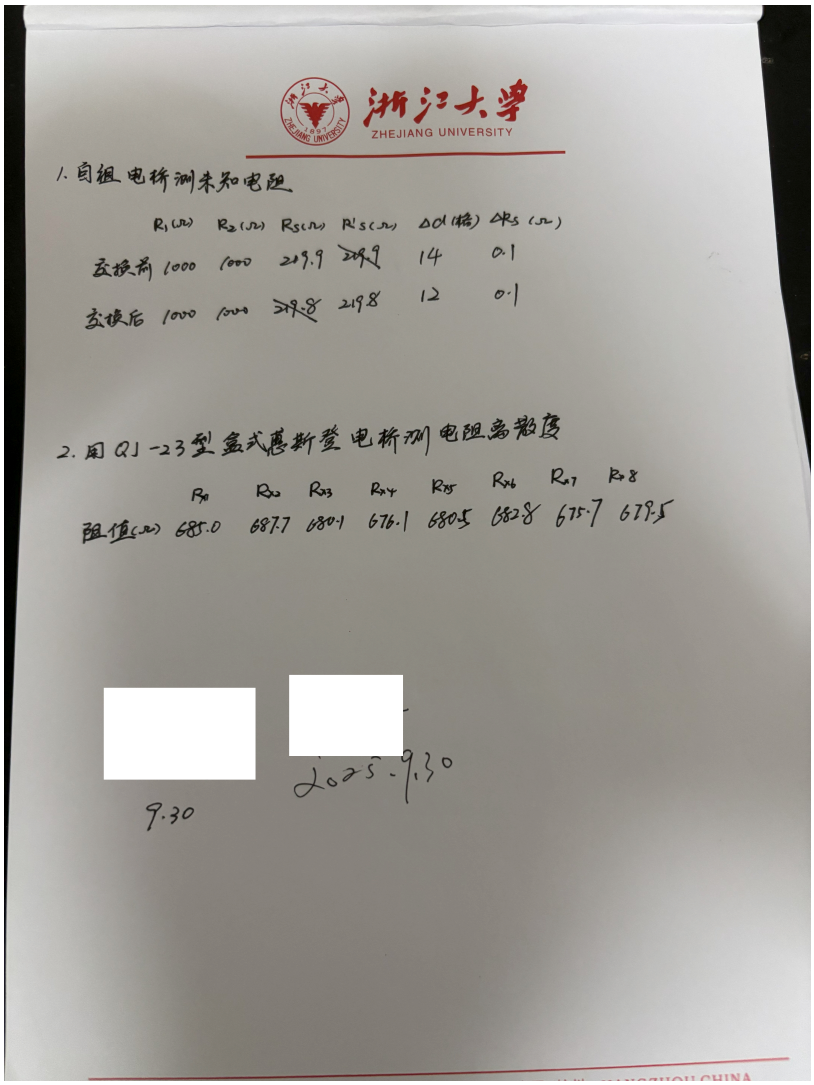


图 2: 惠斯登电桥示意图

原始数据如图2所示

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) 自组电桥测未知电阻

表 1: 自组电桥测未知电阻

	$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$	$R_3(\Omega)$	$R_4(\Omega)$	θ_1(格)	$\Delta R(\Omega)$
交换前	1000	1000	219.9	无	14	0.1
交换后	1000	1000	无	219.8	12	0.1

交换前 $R_s = 219.9$, 交换后 $R_s' = 219.8$
从而 $\overline{R_x} = \sqrt{R_s \cdot R_s'} = 219.8$
下面计算电桥灵敏度：
当 $\Delta R_s = 0.1\Omega$, $\Delta d = 14$
从而得到电桥灵敏度 (原理见公式4)：

$$S = \frac{\Delta d}{\Delta R_s / R_s} = 3.1 \times 10^4$$

接下来计算待测电阻总相对不确定度 (原理见公式5)：

$$E = \frac{\Delta R_x}{R_x} = \sqrt{\left(0.001 + \frac{0.002m}{R_s}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{S}\right)^2} = 0.11\%$$

则 $\Delta R_x = R_x \cdot E = 0.2\Omega$
故 R_x 的最终测量结果为 $R_x = \overline{R_x} \pm \Delta R_x = (219.8 \pm 0.2)\,\Omega$

(2) 用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测量未知电阻

表 2: QJ-23 型盒式惠斯登电桥测电阻灵敏度

测量项目	$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$	$R_3(\Omega)$	$R_4(\Omega)$	$R_5(\Omega)$	$R_6(\Omega)$	$R_7(\Omega)$	$R_8(\Omega)$
测得值	685.0	687.7	680.1	676.1	680.5	682.8	675.7	679.5

$$\overline{R_x} = \frac{\sum_{i=1}^{8} R_i}{8} = 680.9\Omega$$

标准偏差：

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(R_i - \overline{R_x}\right)}{n-1}} = 4.1\Omega$$

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

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) 仪器误差

电桥比率臂电阻 R_1、R_2 以及标准电阻 R_s 本身存在制造误差和标称值偏差，即使标称为精密电阻，其阻值仍可能随温度变化而略有漂移。此外，电源电压不稳定或检流计零点偏移，也会对平衡判断造成系统误差。虽然通过交换法（公式1与2）可以有效抵消 R_1、R_2 的比例误差，但仍可能存在微小残差。

(2) 操作误差

检流计的灵敏度有限，在调节标准电阻使指针“恰好归零”时，往往只能凭肉眼判断，存在一定主观性。尤其当电桥接近平衡状态时，指针偏转幅度很小，稍有不慎就会造成平衡点判断偏差，从而导致 R_x 计算值略有偏高或偏低。

(3) 灵敏度因素

由公式4可知，灵敏度越高，检流计偏转对阻值变化的反应越明显，测量越精确。本实验测得灵敏度约为 3.1×10^4 格，说明系统响应较好，但仍受限于最小可分辨格数（0.2 格）的人眼识别极限。

3. 实验探讨（10 分）

通过本实验，我掌握了惠斯登电桥的工作原理与平衡条件，熟悉了检流计调零和比率臂选择的方法。实验表明，采用交换法可以有效减小系统误差，而电桥灵敏度直接影响测量精度。通过多次测量与比较，进一步理解了平衡法测量的优点及误差来源。

四、思考题（10 分)

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？

惠斯登电桥采用平衡比较法测量电阻，在平衡时检流计电流为零，不需要直接测量电流和电压，因此避免了电表内阻等因素的影响，测量精度更高。其误差主要来源于比率臂与标准电阻的标称误差、检流计灵敏度的限制、电源不稳或接触不良等操作因素。

2. 为了提高电桥测量灵敏度，应采取哪些措施？为什么？

提高电桥灵敏度可以通过增大电源电压、提高检流计灵敏度以及选取合适的比率臂来实现。这样可以使检流计对电阻变化更加敏感，指针偏转更明显，从而更容易判断平衡位置，提高测量精度。

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？

若指针总往一个方向偏转，说明电桥远离平衡状态或接线错误；若指针不偏转，可能是电源断路、导线接触不良或检流计损坏所致，应检查电路连通情况和电源状态。

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？

比率臂应选取使被测电阻与标准电阻处于同一数量级的比值，这样可以保证电桥容易平衡，检流计灵敏度较高，从而得到有效数字较多、误差较小的测量结果。

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, 换成行测电表判别电桥的平衡？

测量电表内阻时，可将电表接入电桥作为待测电阻，并确保通过的电流不超过电表允许值，通过调节标准电阻使检流计指针归零即可求出电表内阻。由于电桥平衡的判断依赖于检流计电流为零，普通行测电表灵敏度不足，不能准确反映平衡状态，因此不能替代检流计使用。

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