

浙江大学

物理实验报告

实验名称： 惠斯登电桥

实验桌号： 11

指导教师： 郑昕颖老师

班级： -

姓名： -

学号： -

实验日期： 2025 年 11 月 17 日 星期 一 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。）

惠斯登电桥的实验旨在通过自组惠斯登电桥和使用盒式惠斯登电桥，测量未知电阻并进行误差分析，从而掌握惠斯登电桥的工作原理和特点。惠斯登电桥是一种经典的直流平衡单臂电桥，广泛应用于中等数值电阻（ $10^1 - 10^6 \Omega$ ）的精确测量。它通过比较法在平衡条件下确定待测电阻的阻值，是众多电学实验的基础。

实验现象：

在自组电桥的实验中，当电桥接近平衡时，检流计的指针偏转会逐渐减小，直至指示为零。通过调节比较臂电阻 R_s 和比率臂 R_1/R_2 ，可以观察到电桥的灵敏度对平衡判断的影响。在交换法测量中，互换待测电阻和比较臂电阻的位置后，需要重新调节以达到平衡，这消除了 R_1 、 R_2 自身的误差对测量结果的影响。使用盒式惠斯登电桥时，通过旋钮的调节，可以快速实现电桥平衡，并且可以观察到在不同的倍率设置下，测量的范围和精度会有所不同。

实验原理：

1. 惠斯登电桥测量电阻的原理

下图是惠斯登电桥的原理图。

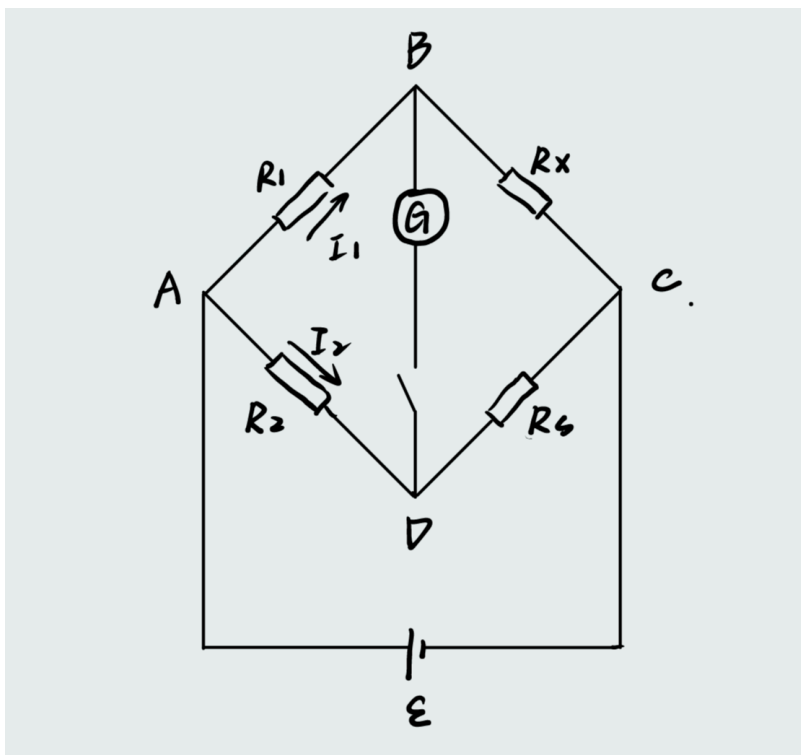


图 1: 惠斯登电桥原理图

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 ，满足：

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

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

两式相除，得到电桥的平衡条件：

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_s} \quad \text{即} \quad R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_s$$

式中 $\frac{R_1}{R_2}$ 称为电桥的比率臂， R_s 称为电桥的比较臂。通过调节 R_s 使检流计 G 无电流通过，即可求得 R_x 值。

2. 交换法减小自组电桥系统误差

为了尽量减小自组电桥的系统误差，可采用交换法。在电桥平衡后，将 R_x 和 R_s 位置互换，重新调节 R_s 达到平衡，得到 R'_s 。此时有：

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

因此我们可得：

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

这样可以消除比率臂 R_1, R_2 自身误差对测量结果的影响。

3. 电桥灵敏度与不确定度

电桥灵敏度 S 定义为检流计偏转格数 Δd 与比较臂电阻相对改变量 $\Delta R_s / R_s$ 之比：

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

灵敏度越高，电桥对电阻变化的响应越明显，测量结果越准确。待测电阻 R_x 的相对不确定度 E 可表示为：

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

其中 $\frac{\Delta R_s}{R_s} = \pm \left(a + b \frac{m}{R_s}\right) \%$ 是电阻箱的不确定度，而电桥灵敏度引入的不确定度

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

最终测量结果表示为

$$R_x = \bar{R}_x \pm \Delta R_x$$

其中 $\Delta R_x = E \cdot \bar{R}_x$ 。

实验装置与方法：

实验器材包括检流计、电阻箱（四旋钮和六旋钮）、待测电阻、直流稳压电源和盒式惠斯登电桥（QJ-23 型）。

自组电桥测量未知电阻：

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_s 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，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。

使用 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。将 B 接上 4.5 V 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 $R_{x1}, R_{x2}, \dots, R_{x8}$ 的数值，选取适当的倍率臂，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，调节 R_s 的 4 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。

2. 实验重点（3 分）

（简述本实验的学习重点，不超过 100 字。）

1. 掌握惠斯登电桥的工作原理、平衡条件及灵敏度。
2. 学会自组电桥并运用交换法测量未知电阻，并对结果进行误差分析。
3. 掌握 QJ-23 型盒式惠斯登电桥的使用方法，并评估测量结果的离散程度。

3. 实验难点（2 分）

（简述本实验的实现难点，不超过 100 字。）

本实验的难点在于精确判断电桥的平衡点，尤其是在自组电桥中，需细致观察检流计指针的微小偏转。同时，准确选择比率臂以确保测量精度和有效数字，以及对系统误差和随机误差进行合理的分析与处理，也是实验成功的关键挑战。

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。）

一、自组电桥	电压 4.54V			
	R_1	R_2	R_s	R'_s
交换前	200	200	219.8	-
交换后	200	200	-	220.0

⇒ 灵敏度 ⇒ $\Delta R_s = 0.1\Omega$ 偏转 6.4 格

二、金代惠斯登电桥.

待测电阻:	R_{n1}	R_{n2}	R_{n3}	R_{n4}	R_{n5}	R_{n6}	R_{n7}	R_{n8}
测得阻值	686.6	688.2	680.1	676.6	681.1	682.5	676.6	680.2

郑斯颖

图 2: original data

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。)

实验一：自组电桥测未知电阻

表 1: 自组电桥测未知电阻

	R_1	R_2	R_s	R'_s
交换前	200	200	219.8	-
交换后	200	200	-	220.0

利用交换法消除桥臂误差，待测电阻 R_x 为：

$$R_x = \sqrt{R_s \cdot R'_s} = \sqrt{219.8 \times 220.0} \approx 219.9\Omega \quad (1)$$

当将 R_s 调节 $\Delta R_s = 0.1\Omega$ ，此时检流计指针偏转 $\Delta d = 6.4$ 格，因此电桥灵敏度 S 为：

$$S = \frac{\Delta d}{\Delta R_s / R_s} = \frac{6.4}{0.1/219.9} = 14073.6 \approx 1.41 \times 10^4 \text{ 格} \quad (2)$$

R_x 的相对不确定度 E 由仪器误差项和灵敏度误差项组成（取 $m = 6$ 为电阻箱转盘数）：

$$E = \sqrt{\left(0.001 + \frac{0.002m}{R_s}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{S}\right)^2} = \sqrt{\left(0.001 + \frac{0.002 \times 6}{219.9}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{14074}\right)^2} \approx 0.11\% \quad (3)$$

待测电阻的绝对不确定度 ΔR_x 为：

$$\Delta R_x = R_x \times E = 219.9 \times 0.001055 \approx 0.23\Omega \quad (4)$$

因此修正后的测量结果为：

$$R_x = (219.9 \pm 0.2) \Omega \quad (5)$$

实验二：用 QJ-23 型盒式惠斯登电桥测电阻离散度

表 2: 盒式惠斯登电桥测量结果

待测电阻 R_{ni}	R_{n1}	R_{n2}	R_{n3}	R_{n4}	R_{n5}	R_{n6}	R_{n7}	R_{n8}
测得阻值 R_{ni}/Ω	686.6	688.2	680.1	676.6	681.1	682.5	676.6	680.2

$$\text{测得电阻的平均值 } \overline{R_n} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_{ni} = \frac{5451.9}{8} \approx 681.5 \Omega \quad (6)$$

标准偏差 S 为：

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{ni} - \overline{R_n})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{123.71}{7}} \approx 4.2 \Omega \quad (7)$$

因此该批电阻的离散度 D 为：

$$D = \frac{S}{\overline{R_n}} \times 100\% = \frac{4.2}{681.5} \times 100\% \approx 0.62\% \quad (8)$$

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。）

自组惠斯登电桥测电阻（ R_x ）的误差分析：

1. **仪器误差：**本次实验中，电阻箱 R_s 的精度等级直接决定了测量的不确定度。电阻箱内部电阻丝的老化、接触点的氧化都可能导致示数与实际阻值存在一定的偏差，同时电阻箱的精度不够也导致了无法完全找到指针不偏转的点，只能根据偏转幅度进行一定的估测，这也会对结果产生一定的影响。
2. **电桥灵敏度引入的误差：**当电桥趋于平衡时，微小的电流不足以克服检流计线圈的摩擦力矩，导致指针虽然指零，但实际上电桥并未绝对平衡。
3. **接触电阻：**导线接头、电阻箱旋钮接触不良会引入附加电阻，影响测量结果的准确性。
4. **检流计较难调零，**且有时按下“电计”按钮再松开后指针会有轻微的偏转，从而给测量结果带来一定的误差。

QJ-23 型盒式电桥测电阻离散度

1. **仪器本身的精度等级：**QJ-23 是便携式电桥，其内部电阻（比率臂和比较臂）的精度等级通常低于实验室用的高精度电阻箱，这会给每一个电阻盘的测量值带来系统误差。
2. **接线电阻的影响：**盒式电桥采用两端接线法，待测电阻接入“ R_x ”端钮时的接触电阻以及连接导线的电阻都会直接计入测量结果中，从而影响测量的准确性。
3. **读数与估读误差：**在判断检流计指针是否回零时，存在视差或人为判断的偏差。

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。）

本次实验分别采用自组惠斯登电桥和 QJ-23 型盒式电桥完成了电阻测量任务。在自组电桥实验中，通过引入“交换法”，有效消除了比率臂不对称引入的系统误差，测得待测电阻 $R_x \approx 219.9 \Omega$ 。实验结果表明电桥灵

敏度较高，验证了该方法的合理性。在随后进行的电阻离散度测量中，我利用盒式电桥测得该批电阻的离散度约为 0.62%。

通过本次实验，我直观地观察了检流计偏转与电阻微小变化之间的关系，熟练掌握了电桥平衡的调节技巧，深刻理解了“零示法”测量的基本原理，达到了预期的实验目的。

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。）

思考题一：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？

伏安法测量时，电压表的分流或电流表的分压会引入不可避免的系统误差。而惠斯登电桥采用的是“零示法”，当电桥平衡时，检流计中无电流通过，因此不存在电表内阻带来的接入误差，检流计的测量准确度主要取决于标准电阻的精度和检流计的灵敏度（ R_1, R_2 的误差可以通过交换法消除）。

主要误差因素：

1. 测量 R_s 的电阻箱引入的误差，同时电阻箱精度不够导致无法完全平衡；
2. 检流计灵敏度不够导致的“死区”误差，即无法准确判断绝对平衡点；
3. 电路中的接触电阻和导线电阻；
4. 环境因素如温度变化对电阻值的影响。

思考题二：为了提高电桥测量灵敏度，应采取哪些措施？为什么？

为了提高电桥测量灵敏度，可以采取以下措施：

1. 选择高灵敏度的检流计：灵敏度越高，能够检测到的电流变化越小，从而更容易判断电桥的平衡状态。
2. 适当提高电源电压 E （在电阻允许功率范围内）：增加电源电压可以增大电桥两臂的电压差，使得微小的电阻变化能引起更明显的检流计偏转。
3. 尽可能选用低内阻的电源和检流计，并调整比率臂至合适的值：这样可以减少电路中的能量损耗，提高测量的灵敏度。

思考题三：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？

总是往一个方向偏转，说明电桥无法达到平衡。可能的原因有：

1. 比率臂（倍率）选择不当，导致待测电阻超出 R_s 的调节范围；
2. 桥臂电路存在断路（如待测电阻没接好）或短路；
3. 待测电阻 R_x 的阻值过大或过小，超出了电桥测量范围。

总不偏转：说明检流计回路不通或无电源。可能的原因有：

1. 检流计或其连接导线内部断路；
2. 电源未接通或电压过低；
3. 桥臂电路断路，导致无电流通过检流计。

思考题四：惠斯登电桥比率臂选取的原则是什么？为什么要这样选取？

选取原则：应选择合适的比率 $K = R_1/R_2$ ，使得比较臂电阻箱 R_s 的读数尽可能大，一般要求 R_s 的四个刻度盘（千、百、十、个位）都有示数（即保持 4 位有效数字）。

原因：为了保证测量结果的有效数字位数。如果 R_s 读数过小（例如只有几十欧姆），电阻箱自身的相对误差会变大，且读数精度降低，从而严重影响 R_x 测量的准确度。

思考题五：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，换成待测电表判别电桥的平衡？

测量方法：

1. 将待测电表（如微安表）接入电桥的 R_x 臂位置
2. 注意为防止烧坏电表，应先根据欧姆定律估算电路电流，必要时串联保护电阻或降低电源电压。

可以去掉检流计。将待测电表接入 R_x 臂后，原检流计位置（B、D 两点间）直接用导线串联一个开关 S 连接。调节 R_s ，观察开关 S 闭合前后，待测电表的示数是否发生变化。若闭合 S 后待测电表示数不变，说明 B、D 两点电位相同（无电流流过支路），此时电桥达到平衡，即可计算内阻。

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