



南開大學
Nankai University

直流单臂电桥 实验报告单

学 号：2012604

姓 名：苏可铮

年 级：2020 级

学 院：数学科学学院

完成日期：2021 年 6 月 6 日

目录

实验目的	1
实验器材	2
实验原理	3
实验内容	6
数据记录与处理	7
思考题	10

实验目的

- 学习使用比较法（直流单臂电桥法）测定中电阻；
- 了解电桥灵敏度；
- 理解并掌握提高电桥测量精度；
- 掌握电桥不确定度分析的方法；

实验器材

- JK01 型高精度直流稳压电源
- FB3081 型直流数显显微电流计
- QJ21 型直流单臂电桥实验装置

实验原理

- 直流单臂电桥测量电阻

i 电桥平衡时，有：

$$R_a I_a = R_b I_b \quad I_a = I_b$$

$$R_x I_x = R_0 I_0 \quad I_b = I_0$$

ii 整理上式得：

$$R_x = \frac{R_a}{R_b} R_0$$

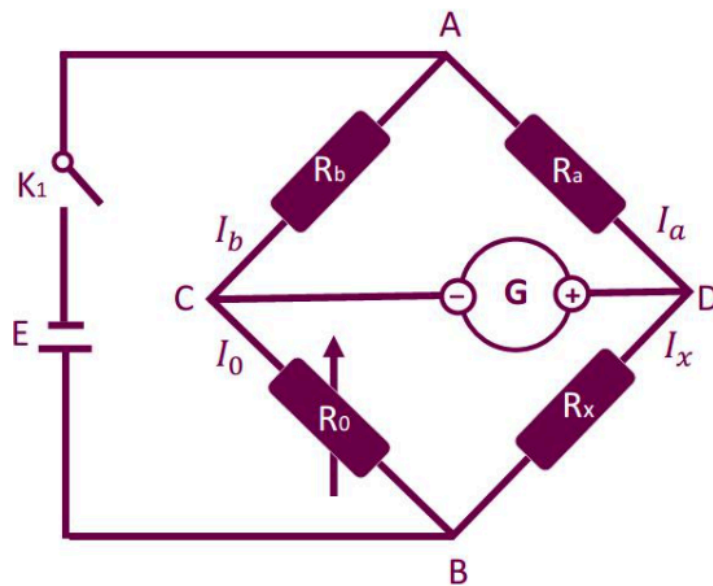


图 1: 直流单臂电桥测量电阻电路图

通常令 $C = \frac{R_a}{R_b}$ ，可由电桥平衡时，由已知的 R_a, R_b, R_0 值，便可以算出 R_x 。把 R_a, R_b 称为比例臂， C 为比例臂的倍率， R_0 称为比较臂， R_x 称为待测臂。单臂电桥测量电阻避免了电源电压波动的影响，因此误差更小，精度更高，测量更可靠。

- 倍率 C 的选取与测量精度

- 电桥由非平衡到平衡过程中，需要调节比较臂 R_0 的阻值。显然 R_0 调节位数越多，对电桥的平衡调节越精细，由此给测量的误差越小。为此要选取恰当的比率 C ，使 R_0 调节有效位数尽量多。
- 本实验中是一个四组电阻，调节范围为 $1 - 9999\Omega$ ，最小调节为 1Ω ，待测电阻 R_x 为 1200Ω 左右。由此可知只有选取 $C = 1$ 时， R_0 的四个旋钮才都能用上，使电桥的平衡精细到四位有效数字。

- 电桥灵敏度与测量精度

- 实验中电桥平衡是通过检流计示数变化进行判断的。对此我们引入电桥灵敏度概念，定义为：

$$S = \frac{\Delta I}{\frac{\Delta R_x}{R_x}} \quad Or \quad S = \frac{\Delta I}{\frac{\Delta R_0}{R_0}}$$

其中 R_0 是电桥平衡时比较臂的阻值； ΔR_0 是在电桥平衡后 R_0 的微小改变量； ΔI 是电桥偏离平衡而引起的检流计示数的变化值。

- 本实验中检流计单位是 nA ， ΔR_0 可选 1Ω 或者 2Ω ， S 保留到 2 到 3 位有效位数。
- 根据基尔霍夫定律可以得到电桥灵敏度为：

$$S = \frac{E}{K[(R_a + R_b + R_0 + R_x) + (2 + \frac{R_b}{R_0} + \frac{R_x}{R_a})R_g]}$$

- 换臂法 ($C = 1$)

- 当比率 $C = 1$ 时，可以采用换臂的方法消除比率对测量结果的影响。

交换前：

$$R_x = \frac{R_a}{R_b} R_0$$

交换后：

$$R'_x = \frac{R_a}{R_b} R'_0$$

则：

$$R_x = \sqrt{R_0 \times R'_0} \approx \frac{R_0 + R'_0}{2}$$

- 测量不确定度分析

- 测量完毕，计算 R_x 的不确定度时，要考虑桥臂误差 ρ_c 和 ρ_0 外，还应考虑到对电桥平衡的误差判断。

则 R_x 的总相对不确定度为：

$$\rho_x = \sqrt{\rho_c^2 + \rho_0^2 + \left(\frac{\delta}{S}\right)^2} \quad (\delta = 0.1nA)$$

相应的，换臂后 R_x 的总相对不确定度为：

$$\rho_x = \sqrt{\rho_0^2 + \left(\frac{\delta}{S}\right)^2}$$

最后可以得到：

$$R'_x = R_x \pm \Delta R_x \quad (\Delta R_x = \rho_x \times R_x)$$

实验内容

- 换臂法测 R_x 阻值
 - I 测量未知电阻 R_{x1} 的阻值和电桥灵敏度，并采用换臂测量法。
 - II $R_a = R_b = 100\Omega$ $R_{x1} \approx 1200\Omega$
- 探究电压与电桥灵敏度关系
 - I 测量电桥灵敏度与电源电压的关系，并作图。
 - II $R_a = R_b = 100\Omega$ $R_{x1} \approx 1200\Omega$ $E = 0.5 - 3.5V$
- 测量 R_x 阻值
 - I 测量未知电阻 R_{x2} 的阻值和电桥灵敏度。
 - II $R_{x1} \approx 50\Omega$

数据记录与处理

换臂法测量未知电阻 R_{x1} 的阻值和电桥灵敏度

选取 $R_a = 100\Omega$, $R_b = 100\Omega$, 比例臂的倍率 $C = 1$ 。

表 1: 换臂法测量未知电阻 R_{x1}

电桥状态	R_0	R_x	ΔR_0	ΔI	S_1
换臂前	1192 Ω	1192 Ω	1 Ω	5.7nA	6.79×10^{-6}
换臂后	1191 Ω	1191 Ω	1 Ω	5.9nA	7.03×10^{-6}

利用换臂前数据计算 R_{x1} :

$$R_{x1} = (1192 \pm 1.03)\Omega$$

计算不确定度:

$$\Delta R_{x1} = \rho_{x1} R_{x1} = \sqrt{\rho_0^2 + \rho_c^2 + \left(\frac{\delta}{S_{x1}}\right)^2} R_{x1} = \sqrt{\rho_0^2 + \rho_a^2 + \rho_b^2 + \left(\frac{\delta}{S_{x1}}\right)^2} R_{x1} = 1.03$$

利用换臂前后两次数据计算 R_{x1} :

$$R_{x1} = (1191 \pm 0.60)\Omega$$

计算不确定度:

$$\Delta R_{x2} = \rho_{x2} R_{x2} = \sqrt{\rho_0^2 + \left(\frac{\delta}{S_{x1}}\right)^2} R_{x1} = \sqrt{\rho_0^2 + \left(\frac{\delta}{S_{x1}}\right)^2} R_{x1} = 0.60$$

探究电压与电桥灵敏度关系

选取 $R_a = 100\Omega$, $R_b = 100\Omega$, $R_x = R_{x1} = 1200\Omega$, 改变电源电压 E , 测量不同电压下电桥的灵敏度并作 $S - E$ 关系图。

表 2: 探究电压与电桥灵敏度关系

电压 E	0.5V	1.0V	1.5V	2.0V	2.5V	3.0V	3.5V
ΔR_0	1 Ω	1 Ω	1 Ω	1 Ω	1 Ω	1 Ω	1 Ω
ΔI	2.8nA	5.7nA	8.8nA	11.6nA	14.5nA	17.9nA	18.8nA
S	3.36×10^{-6}	6.84×10^{-6}	1.056×10^{-5}	1.392×10^{-5}	1.74×10^{-5}	2.148×10^{-5}	2.256×10^{-5}

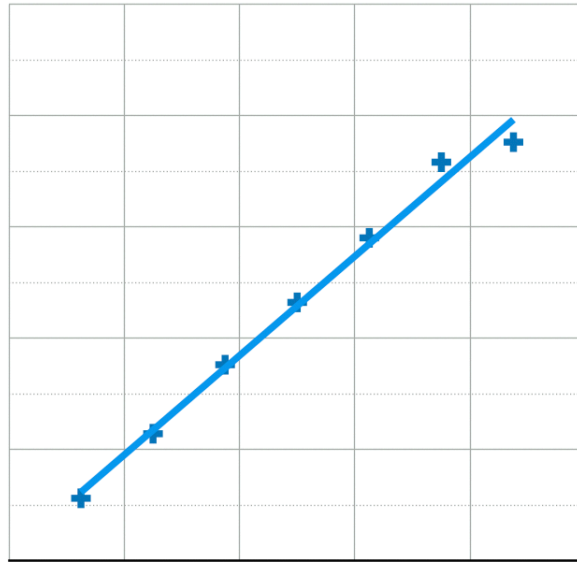


图 2: S-E 关系图

换臂法测量未知电阻 R_{x2} 的阻值和电桥灵敏度

选取 $R_a = 10\Omega$, $R_b = 1000\Omega$, 比例臂的倍率 $C = 0.01$ 。

表 3: 换臂法测量未知电阻 R_{x2}

电桥状态	R_0	R_x	ΔR_0	ΔI	S_2
数据记录	5046 Ω	50.46 Ω	1 Ω	2.1nA	1.06×10^{-5}

计算不确定度:

$$\Delta R_{x2} = \rho_{x2} R_{x2} = \sqrt{\rho_0^2 + \rho_c^2 + \left(\frac{\delta}{S_{x2}}\right)^2} R_{x2} = \sqrt{\rho_0^2 + \rho_a^2 + \rho_b^2 + \left(\frac{\delta}{S_{x2}}\right)^2} R_{x2} = 0.06$$

利用换臂前数据计算 R_{x2} :

$$R_{x2} = (50.46 \pm 0.06)\Omega$$

思考题

1. 在用电桥测量电阻时恰当选取倍率 C 的目的何在?

解 1. 电桥由非平衡到平衡过程中, 需要调节比较臂 R_0 的阻值。显然 R_0 调节位数越多, 对电桥的平衡调节越精细, 由此给测量的误差越小。为此要选取恰当的比率 C , 使 R_0 调节有效位数尽量多。

2. 电源电压不太稳定是否影响测量的准确度? 电源电压太低为什么影响测量准确度?

解 2. 会导致检流计示数不稳定, 从而导致电阻调节有偏差。

电压太低导致电流过小, 当小到小于检流计最小检测限度, 导致电路是否平衡无法判断, 导致电阻调节出现偏差。