

直流双臂电桥实验报告

专业 工科试验班 姓名 史峰源 学号 2412526
分组及座号 H-12 实验日期 周二上午

双臂电桥实验报告

1 实验目的

- 1. 了解低电阻的结构特点
- 2. 掌握双臂电桥测量低电阻的原理和方法

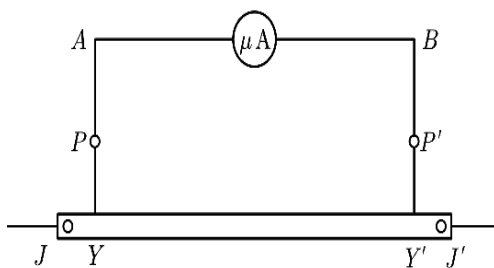
2 仪器用具

R_1, R'_1 (1000 Ω , 0.1), 六旋钮电阻箱两只 (0.1 级), 标准低阻 (0.001 Ω , 准确到 0.05%), 待测黄铜棍, 不锈钢棍和 Al 棍各一条, 限流电阻, 直流稳压电源, 电流计, 压触开关, 螺旋测微器。

FB3081 型电流数显微电流计, 比例臂电阻四个 (10 Ω , 100 Ω , 100 Ω , 1000 Ω), 电阻箱, 待测电阻两个, 直流电源

3 实验原理

- 1. 适用范围: 直流双臂电桥适用于测量较小的电阻, 如 QJ44 型直流双臂的测量范围: (0.1m Ω - 11 Ω)
- 2. 四端法:



可以看出, 使用图 1 的电路进行测量, 在电阻体上 Y, Y' 两个点焊出两个接头再与微安表相连接, 这样可以保证微安表所连接两点之间的阻值正好为 Y, Y' 之间的阻值, 又 A, B, P, P' 四个点的接触电阻和的 AY, BY' 接线电阻都分给了微安表, 保证了分流的精确。由于电阻被做成了四个接头, 故称作“四端结构”。

- 3. 推导测量公式: 在电路中, 由基尔霍夫定律, 可以得到:

$$I_1 R_1 = I_0 R_0 + I'_1 R'_1 \quad (1)$$

$$I_1 R_2 = I_0 R_x + I'_1 R'_2 \quad (2)$$

$$(I_0 - I'_1) R_r = I'_1 (R'_1 + R'_2) \quad (3)$$

$$(4)$$

整理可得:

$$R_1 R_x = R_2 R_0 + (R_2 R'_1 - R_1 R'_2) \frac{r}{R_r + R'_1 + R'_2} \quad (5)$$

当电桥的平衡保证是在 $R_2 R'_1 - R_1 R'_2 = 0$ 的情况下, 则上式可化简为:

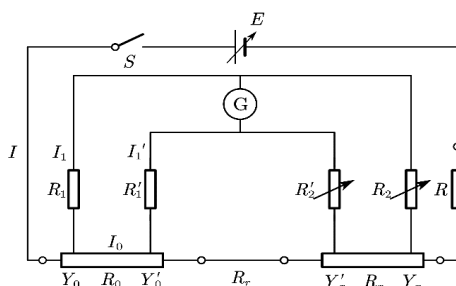
$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_0 \quad (6)$$

由此可知双臂电桥测量的平衡条件为:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R'_2}{R'_1} = \frac{R_x}{R_0} \quad (7)$$

本次实验使用同步调节比例臂电阻 R_2, R'_2 的方法使电流计示数为零

- 4. 画出实验电路图



- 5. 双臂电桥灵敏度

电路平衡后可将 R_2, R'_2 同步调整 $\Delta R_2 = \Delta R'_2$, 电流计示数改变为 ΔI 电桥灵敏度为:

$$S = \frac{\Delta I}{\Delta R_2 / R_2} \quad (8)$$

$$S = \frac{\Delta I}{\Delta R_2 / R_2} = \frac{\Delta I}{\Delta R_x / R_x} \quad (9)$$

可以引入相对误差:

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta I}{S} \quad (10)$$

4 数据处理

4.1 铜棍电阻率的测量

- 1. 铜棍长度(两个电阻接头之间) $l = 461.5 \pm 0.3mm$

$$u_l = u_{bl} = \frac{\Delta l}{\sqrt{3}} \approx 0.3mm$$

- 2. 铜棍直径的测量

测量次数	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
测量数据(mm)	5.45	5.44	5.43	5.44	5.44	5.44

铜棍直径:

先计算不确定度:

$$U_{Ad} = \sigma_d = t_{(0.683,4)} s_d = 0.0095mm \quad (11)$$

$$U_{Bd} = \frac{\sigma_d}{\sqrt{3}} = 0.0058mm \quad (12)$$

$$U_d = \sqrt{U_{Ad}^2 + U_{Bd}^2} = 0.0111mm \quad (13)$$

因此铜棍的直径为 $d = (5.44 \pm 0.01)mm$

• 3. 调节电桥平衡

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_0 \quad (14)$$

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad (15)$$

计算并填表得:

电桥状态	$R_2 = R'_2$	R_x	ΔR_2	Δl	S
数据	390.3	0.0004	20	3.0	23.24

R_x 的不确定度为:

$$\rho_x = \sqrt{(1+k^2)(\rho_1^2 + \rho_2^2) + k^2(\rho_2'^2 + \rho_1'^2) + \rho_0^2 + (\frac{\delta}{S})^2} \approx 0.0019 \quad (16)$$

R_x 的电阻为: $R_x = (3.9000 \pm 0.0077) \times 10^{-4} \Omega$

• 4. 计算电阻率

$$\rho = \frac{R_x S}{l} = \frac{R_x \pi d^2}{4l} \approx 1.965 \times 10^{-8} \quad (17)$$

计算不确定度:

$$\frac{U_\rho}{\rho} = \sqrt{(\frac{U_R}{R})^2 + (2\frac{U_D}{D})^2 + (\frac{U_l}{l})^2} \quad (18)$$

$$E = \frac{U_\rho}{\rho} \quad (19)$$

解得 $E = 0.28\%$

最后计算得到: 铜棍的电阻率为 $(1.965 \pm 0.005) \times 10^{-8}$

4.2 铝棍电阻率的测量

• 1. 棍长度(两个电阻接头之间) $l = 461.0 \pm 0.3mm$

$$u_l = u_{bl} = \frac{\Delta l}{\sqrt{3}} \approx 0.3mm$$

• 2. 铝棍直径的测量

测量次数	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
测量数据(mm)	5.39	5.40	5.41	5.41	5.39	5.40

铝棍直径:

先计算不确定度:

$$U_{Ad} = \sigma_d = t_{(0.683,4)} s_d = 0.005098mm \quad (20)$$

$$U_{Bd} = \frac{\delta_d}{\sqrt{3}} = 0.0058mm \quad (21)$$

$$U_d = \sqrt{U_{Ad}^2 + U_{Bd}^2} = 0.0077mm \quad (22)$$

因此铝棍的直径为 $d = (5.40 \pm 0.01)mm$

• 3. 调节电桥平衡

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_0 \quad (23)$$

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad (24)$$

计算并填表得:

电桥状态	$R_2 = R'_2$	R_x	ΔR_2	Δl	S
数据	939	0.0010	50	6.5	22.90

R_x 的不确定度为:

$$\rho_x = \sqrt{(1+k^2)(\rho_1^2 + \rho_2^2) + k^2(\rho_2'^2 + \rho_1'^2) + \rho_0^2 + (\frac{\delta}{S})^2} \approx 0.0019 \quad (25)$$

R_x 的电阻为: $R_x = (10.00 \pm 0.02) \times 10^{-4} \Omega$

• 4. 计算电阻率

$$\rho = \frac{R_x S}{l} = \frac{R_x \pi d^2}{4l} \approx 4.96 \times 10^{-8} \quad (26)$$

计算不确定度:

$$\frac{U_\rho}{\rho} = \sqrt{(\frac{U_R}{R})^2 + (2\frac{U_D}{D})^2 + (\frac{U_l}{l})^2} \quad (27)$$

$$E = \frac{U_\rho}{\rho} \quad (28)$$

解得 $E = 1.57\%$

最后计算得到: 铝棍的电阻率为 $(4.96 \pm 0.08) \times 10^{-8}$

4.3 铁棍电阻率的测量

• 1. 铁棍长度(两个电阻接头之间) $l = 461.0 \pm 0.3mm$

$$u_l = u_{bl} = \frac{\Delta l}{\sqrt{3}} \approx 0.3mm$$

• 2. 铁棍直径的测量

测量次数	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
测量数据(mm)	5.44	5.445	5.45	5.46	5.46	5.45

铁棍直径:

先计算不确定度:

$$U_{Ad} = \sigma_d = t_{(0.683,4)} s_d = 0.0045mm \quad (29)$$

$$U_{Bd} = \frac{\sigma_d}{\sqrt{3}} = 0.0058mm \quad (30)$$

$$U_d = \sqrt{U_{Ad}^2 + U_{Bd}^2} = 0.0073mm \quad (31)$$

因此铁棍的直径为 $d = (5.45 \pm 0.01)mm$

• 3. 调节电桥平衡

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_0 \quad (32)$$

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad (33)$$

计算并填表得：

电桥状态	$R_2 = R'_2$	R_x	ΔR_2	Δl	S
数据	15900	0.0159	300	3.8	23.24

R_x 的不确定度为：

$$\rho_x = \sqrt{(1+k^2)(\rho_1^2 + \rho_2^2) + k^2(\rho_2'^2 + \rho_1'^2) + \rho_0^2 + (\frac{\delta}{S})^2} \approx 0.0019 \quad (34)$$

R_x 的电阻为： $R_x = (159.0 \pm 0.3) \times 10^{-4} \Omega$

• 4. 计算电阻率

$$\rho = \frac{R_x S}{l} = \frac{R_x \pi d^2}{4l} \approx 80.45 \times 10^{-8} \quad (35)$$

计算不确定度：

$$\frac{U_\rho}{\rho} = \sqrt{(\frac{U_R}{R})^2 + (2\frac{U_D}{D})^2 + (\frac{U_l}{l})^2} \quad (36)$$

$$E = \frac{U_\rho}{\rho} \quad (37)$$

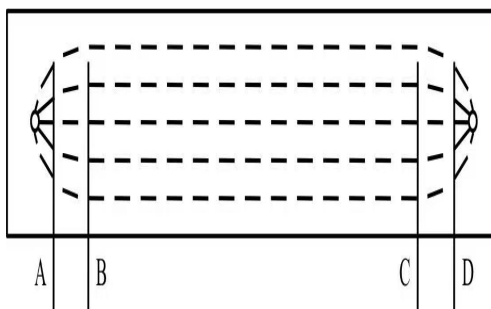
解得 $E = 0.29\%$

最后计算得到：铁棍的电阻率为 $(80.45 \pm 0.23) \times 10^{-8}$

5 实验分析谈论及思考题

在本实验中，我们利用直流双臂电桥（Kelvin 双臂电桥）测量低值电阻。实验过程中，影响测量精度的因素包括：电桥的平衡条件、接触电阻、以及仪器误差。本实验增强了对双臂电桥的理解，同时进一步提升了分析误差能力。

若均匀板状低阻上电流线的分布如图所示，那么在测低阻材料的电阻率时，应该测哪两条线之间的电阻？如选择不当，测出的电阻率偏大还是偏小？



答：应该测 BC 之间的电阻；若选择不当，测出的电阻率偏小。

6 分析总结

通过本次实验,我深入理解了直流双臂电桥测量电阻的基本原理和应用,并在实际操作过程中体会到该方法的优势与局限性。

此次的电路连接速度较快,但更大的问题在于误差分析,计算以及实验时如何分析处理不合理数据
在未来的实验中,我需要进行理论分析与实际实践的结合,更好地完成实验