

9

# 浙 江 大 学

## 物 理 实 验 报 告

实验名称：用双臂电桥测低电阻

指导教师：\_\_\_\_\_

信 箱 号：\_\_\_\_\_

专 业：\_\_\_\_\_

班 级：\_\_\_\_\_

姓 名：\_\_\_\_\_

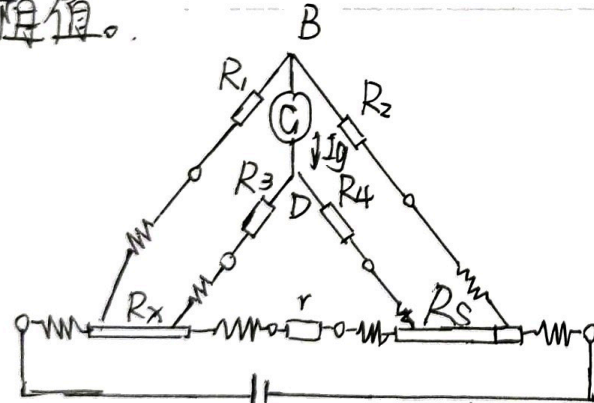
学 号：\_\_\_\_\_

实验日期：\_\_\_\_月\_\_\_\_日 星期\_\_①\_\_下午

- 【实验目的】
1. 掌握双臂电桥测量低电阻的原理和使用方法
  2. 了解单臂电桥与双臂电桥的关系和区别

【实验原理】（电学、光学画出原理图）

$C_1, P_1, C_2, P_2$  是一个完整的低值电阻，其中  $C_1, C_2$  称为电流接头，而  $P_1, P_2$  称为电位接头，介于电位接头间的电阻才是被测电阻  $R_x$ ， $r_1, r_2$  已移到电阻之外， $r_3, r_4$  不会改变  $R_x$  的阻值。



采用四端接入法的低电阻接入原单臂电桥。为了消除附加电阻的影响，分别接入了阻值均大于  $10\Omega$  的标准电阻  $R_3$  和  $R_4$ ，且用阻值小于  $0.001\Omega$  的粗导线  $r$  来连接电阻  $R_3$  和  $R_4$ 。电路中加接一放大电路，用以增加灵敏度，使  $I_0$  通过放大后由检流计指示。

当电桥达到平衡时，根据基尔霍夫定律有：

$$I_1 R_1 = I_3 R_3 + I_2 R_3$$

$$I_1 R_2 = I_3 R_4 + I_2 R_4$$

$$I_2 (R_3 + R_4) = (I_3 - I_2) r$$

$$\Rightarrow R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3 + \frac{R_4 \cdot r}{R_3 + R_4 + r} \left( \frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right)$$

$$\Rightarrow R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3$$

当双臂电桥调节平衡时，比较臂电阻  $R_3$  和比率臂  $R_2$  的乘积，便可求得待测低电阻  $R_x$  的值。

为了确保附加电阻对测量结果的影响越小：

(1) 使用小于  $0.001\Omega$  的粗导线

线  $r$  将  $R_3$  与  $R_4$  相连。

(2) 保证  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$

(3) 选择  $R_1, R_2, R_3, R_4$  都大于  $10\Omega$

(4) 电流接头与电位接头正确连接。



【实验内容】(重点说明)

1. 测量金属导体的电阻率

- (1) 将金属导体接入双臂电桥, 测出电阻  $R$ , 利用游标卡尺测出待测导体直径  $d$  并读出电位计大圆的长度  $l$ , 利用  $\rho = R \frac{\pi d^2}{4l}$  计算电阻率。
- (2) 求  $R, d, l$  的不确定度, 计算电阻率的相对不确定度  $\frac{U(\rho)}{\rho}$ 。
- (3)  $\rho = \bar{\rho} \pm U(\rho)$ 。

2. 测量电阻温度系数

$R = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3 + \dots)$   
当温度不高时有关系式:

$$R = R_0(1 + \alpha t)$$

可由两式相减得到  $\alpha$  值。

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1}$$

式中  $t_1, t_2$  由温度计测得,

$R_{x1}, R_{x2}$  用双臂电桥测得。

- (1) 待测电阻放入加热炉内。
- (2) 升温片, 根据实验需要, 设定加热温度上限, 根据环境温度和所需升温的上限及升温速度来设定温控仪面板上开关位置。
- (3) 在加热过程中, 调节双臂电阻, 进行电阻测量, 每隔  $5^\circ\text{C}$  左右记录一次阻值及其对应的温度值。
- (4) 降温片: 先将待测电阻加热至一定温度, 然后关闭加热开关, 开启风扇, 在降温过程中, 调节双臂电桥, 每隔  $5^\circ\text{C}$  左右记录一次阻值及其对应的温度值。

【实验器材及注意事项】

QJ-44 型双臂电桥:

C1 A B C<sub>2</sub> 为待测电阻的四个端接入端口 B<sub>1</sub> 为电流计电源开关。使用时打开电桥电源开关, B<sub>1</sub> 开关拨至“通”档, 利用“调零”旋钮将指针调零, 并将“灵敏度”旋钮逆时针旋到底, 此时电桥灵敏度最低。

注意事项:

1. 实验开始前, 待测低值电阻与双臂电桥, 加热炉与温控仪之间的信号输入线应可靠连接。

2. 转动“PID 调节”及“设定调节”旋钮时应轻微用力, 以免损坏电位器。

3. 加热或降温过程中, 不要将加热炉体升起, 避免机内溅出。

4. 出于低值电阻耐高温, 有限及保护仪器的目的, 设定加温的上限值不能超过  $100^\circ\text{C}$ 。



## 【数据处理与结果】

## 1. 测量金属导体的电导率

$$l = 30.00 \text{ cm} \quad d = 4.26 \text{ mm}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = 0.01 \quad R_S = 0.0662 \, \Omega$$

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_S = 0.000662 \, \Omega$$

$$= 6.62 \times 10^{-4} \, \Omega$$

$$U_R = \frac{0.00005 \times 0.01 \times 0.2\%}{\sqrt{3}}$$

$$U_R = \frac{0.01 \times 0.01 \times 0.2\%}{\sqrt{3}} \, \Omega$$

$$= 1.2 \times 10^{-7} \, \Omega$$

$$U_d = \frac{0.02 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 1.2 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$U_l = \frac{0.5 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 0.3 \text{ mm}$$

$$\text{由 } \rho = R \frac{\pi d^2}{4l}$$

$$\ln \rho = \ln R + 2 \ln d - \ln l + \ln \frac{\pi}{4}$$

$$\frac{\partial \ln \rho}{\partial R} = \frac{1}{R}, \quad \frac{\partial \ln \rho}{\partial d} = \frac{2}{d}, \quad \frac{\partial \ln \rho}{\partial l} = -\frac{1}{l}$$

$$\text{则相对不确定度 } \frac{U_\rho}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{U_R}{R}\right)^2 + 4\left(\frac{U_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{U_l}{l}\right)^2}$$

$$\frac{U_\rho}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{U_R}{R}\right)^2 + 4\left(\frac{U_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{U_l}{l}\right)^2}$$

$$= 0.6\%$$

$$\rho = R \frac{\pi d^2}{4l} = 3.145 \times 10^{-8} \, \Omega \cdot \text{m}$$

$$U_\rho = 0.6\% \cdot \rho = 1.9 \times 10^{-10} \, \Omega \cdot \text{m}$$

$$= 0.019 \times 10^{-8} \, \Omega \cdot \text{m}$$

$$\therefore \rho = (3.145 \pm 0.019) \times 10^{-8} \, \Omega \cdot \text{m}$$

2. 测量金属导体的电阻温度系数  $R_1/R_2 = 0.1$ 

$t/^\circ\text{C}$	20	25	30
$R_x/\Omega$	0.004625	0.00471	0.00481

	35	40	45	50
	0.004895	0.004985	0.005075	0.005165

	55	60	65
	0.00526	0.00535	0.005445

处理方式1:

$$\alpha_i = \frac{R_x(i+5) - R_x(i)}{R_x(i) t(i+5) - R_x(i+5) t_i}$$

$$(i = 1, 2, 3, 4, 5)$$

有:

$i$	1	2	3	4	5
$\alpha/10^{-5} \, ^\circ\text{C}^{-1}$	422	428	422	427	433

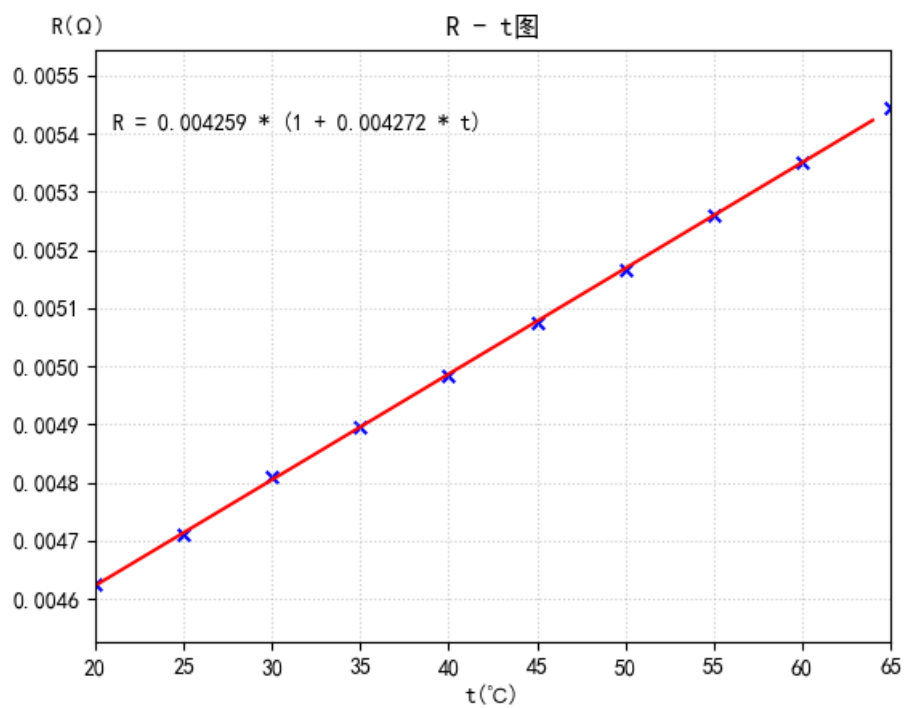
$$\bar{\alpha} = 426 \times 10^{-5} \, ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\text{相对误差 } \frac{|\bar{\alpha} - \alpha_0|}{\alpha_0} \times 100\% = 1.62\%$$

$$(\alpha_0 = 433 \times 10^{-5} \, ^\circ\text{C}^{-1})$$

处理方式2:

见附页.



$$\alpha = 427 \times 10^{-5} {}^{\circ}\text{C}$$

相对误差:  $\frac{|\alpha - \alpha_0|}{\alpha_0} = 1.39\%$

【误差分析】

1. 测量金属导体的电阻率

- (1) 在调零电流计时稍微旋转调零旋钮，指针移动幅度很大，因此调零时存在一定误差。
- (2) 金属导体棒不是完美的圆柱体，不同地方的直径不同，实验中直径只测量了一次，会为数据处理带来一定误差。

2. 测量导体温度系数

温度上升，电流计的指针也在移动偏转，在调节电阻值的过程中，由于人的反应时间可能带来误差。

【实验心得及思考题】

思考题1:

相同点: ①两者都是利用平衡电桥的原理来工作的，利用已知电阻间接测量未知电阻。

②均由各桥臂上电阻改变电桥平衡。

不同点: ①双臂电桥有2个桥臂接入电阻，惠斯登电桥只有一个接入电阻。

②双臂电桥适合测量低值电阻，惠斯登电桥适合测量中值电阻。

③双臂电桥测量低值电阻时，导线电阻对测量结果有影响，而惠斯登电桥测量中值电阻时，导线电阻对测量结果影响较小。

思考题2:

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s + \frac{R_4 \cdot r}{R_3 + R_4 + r} \left( \frac{R_1}{R_2} - \frac{R_4}{R_3} \right)$$

在实际电桥中，很难做到  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$ ，为了减小误差，要使式中第二项尽可能小，因此有:

①  $R_1$  与  $R_2$  同用  $r < 0.001 \Omega$  的粗导线连接。

② 附加电阻  $r_1, r_2, r_3, r_4$  对电桥平衡无影响，对测量结果没有影响。

③  $R_1, R_2, R_3, R_4$  均大于  $100 \Omega$ ，对测量结果影响较小。

思考题3:

若接反，则无法减减小消除。除思考题2②中所说的对测量结果的影响。

实验心得:

通过本次实验，理解了双臂电桥的基本原理，与其他电桥的区别，掌握了利用双臂电桥测量低值电阻的方法。



【数据记录及草表】

$l = 30.00 \text{ cm}$   $d = 4.26 \text{ mm}$  ~~表~~

$R_1 = 0.01$   $R_s = \cancel{0.06595 \Omega} 0.06620 \Omega$

$R_2 = \cancel{0.0006620 \Omega} 0.0006620 \Omega$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t/^\circ\text{C}$	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
$R_s/\Omega$	0.04625		0.04810		0.04985		0.05165		0.05350	
<del><math>R_s/\Omega</math></del>		0.04710		0.04895		0.05075		0.05260		0.05445

$\frac{R_1}{R_2} = 0.1$

$R_x/\Omega$	0.004625	0.00481		0.004985		0.005165		0.00535		
		0.00471		0.004895		0.005075		0.005260		0.005445