

(15)

## 实验题目：双臂电桥测量低值电阻

10

学  
同姓名：  
金日期、时间级：  
日 一 司权成绩：  
教师签名：耿6.2.1

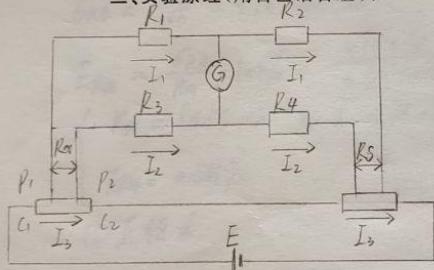
## 一、实验目的与要求

1. 了解双臂电桥测小电阻的方法和原理
2. 用双臂电桥测量导体的电阻率和电阻的温度系数
3. 用作图法求  $R_0, \alpha$
4. 学习使用简单线性函数的最小二乘法处理实验数据，求  $R_0, \alpha$

## 二、实验仪器

QJ44型双臂电桥、螺旋测微计、米尺、液态氮低温池  
因端光阻、温湿度计、稳压电源

## 三、实验原理(用自己语言组织)



## 1. 双臂电桥测小电阻

为减小附加电阻的影响，在完路中作两处改进，如图一。

- ①被测电阻  $R_A$  和比较电阻  $R_S$  均采用四端接法
- ②在完路中增加两个臂  $R_3, R_4$ ，其阻值很小。  
 $R_A$  和  $R_S$  之间的电流端用粗导线连接，并取其引线电阻与接触电阻总和为  $r$ ，调整  $R_1, R_2, R_3, R_4$  和  $R_S$ ， $G$  中电流为 0 时，完路平衡。

图一

根据基尔霍夫定律得

$$\begin{aligned} I_1 R_1 &= I_3 R_A + I_2 R_S + R_3 \\ I_1 R_2 &= I_3 R_S + I_2 R_4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} | I_2 (R_3 + R_4) &= (I_3 - I_2) r \end{aligned}$$

$$\text{解得 } R_A = \frac{R_1 R_4}{R_2} R_S + \frac{r R_4}{R_3 + R_4 + r} \left( \frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right)$$

双臂电桥中尽量做到  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ ，且  $r$  尽可能小，则得  $R_A = \frac{R_1}{R_2} R_S$

2. 电阻率测量  
圆柱形导体的电阻  $R$  与电阻率  $\rho$  有如下关系

$$\rho = \frac{\pi d^2}{4L} R$$

式中,  $L$  为待测圆柱体导体的长度,  $d$  为直径. 测出  $R$ ,  $L$ ,  $d$  可得  $\rho$

3. 测量铜丝的电阻温度系数

各金属的电阻值随温度升高而增大, 有如下关系

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

或  $R_t = \alpha R_0 t + R_0 = bt + a$

式中,  $R_t$  和  $R_0$  分别为温度为  $t$  时和  $0^\circ\text{C}$  时的金属阻值,  $\alpha$  是温度系数, 单位  $^\circ\text{C}^{-1}$ , 斜率  $b = \alpha R_0$ , 截距  $a = R_0$ .

对本实验所用的纯铜材料来说, 在  $-50^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$  范围内  $\alpha$  变化很小, 可看作常量, 那  $R_t$  与  $t$  呈线性关系, 于是

$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t}$$

#### 四、实验内容与步骤

四、实验内容与步骤

1. 测量铜棒电阻率

① 将待测铜棒按图示位置放置，将滑动变阻器逆时针方向旋到最大，调节电表开关，使指针偏转，接线柱接法接通电源，并根据其短路电流值，估算出待测铜棒的横截面积，将滑动变阻器调到最小，调节滑动变阻器，使电流表读数稳定，记录此时的电流值，再将滑动变阻器调到最大，调节滑动变阻器，使电流表读数再次稳定，记录此时的电流值，用米尺量出待测铜棒的长度，用螺旋测微器测出待测铜棒的直径，计算出待测铜棒的横截面积，将待测铜棒与已知长度的铜丝串联，接在电池组上，闭合开关，记录下待测铜棒两端的电压和通过它的电流，计算出待测铜棒的电阻，重复以上操作，取多次测量的平均值，计算出待测铜棒的电阻率。

2. 测量铜丝连接成四数组

① 将待测铜丝接成闭端热式电桥，测出室温下的电阻  $R_t$ ，并读出温度计  
 ② 测出室温下的电阻  $R_t$ ，并读出温度计，共测  $7\sim 8$  个点  
 ③ 加热升温，温度每升  $3\sim 4^{\circ}\text{C}$  测量一次电阻值，求出斜率  $b$  截距  $a$ ，根据  $b = \alpha R_0$   
 ④ 以温度  $t$  的横轴，电阻  $R_t$  的纵轴作图，求出斜率  $b$  截距  $a$   
 ⑤ 由  $R_t = a + bt$ ，计算  $\lambda = b/a$   
 ⑥ 在铜丝的  $R_t - t$  图上取相距较远的两点  $(t_1, R_1)$  和  $(t_2, R_2)$  联立求解  

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

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

⑥或用最小二乘法处理数据,求出  $R_0$  和  $\alpha$

## 五、数据记录(数据表格自拟)

### 表 1 测铜棒电阻

种类	比率K	表1 测得阻尼比		$R_m / \omega$
		步进读数差值	滑线读数差值	
铜	0.01	0.05	0.0055	0.00055
铝	0.1	0.01	0.0039	0.00139

表 2 调棒的直径  $d$ 、长度  $L$

种类	次数	1	2	3	4	平均值
铜	直径 d/mm	3.978	3.962	3.968	3.970	3.9685 3.970
铝	长直径 d/mm	3.898	3.896	3.900	3.898	3.898
丝	长度 L/mm			400 mm		

六、数据处理(要有详细过程,包括不确定度计算等)

一、① Ra

$$\Delta = \frac{\Delta}{l} (CR_s + \frac{C}{100}) = \frac{l}{100} (0.01 \times \frac{0.0555}{0.02525} + \frac{0.01}{100}) = 6.55 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$G_{Ra} = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = 3.78 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$E_{Ra} = \frac{G_{Ra}}{Ra} \times 100\% = \frac{3.78 \times 10^{-6}}{5.55 \times 10^{-4}} \times 100\% = 0.681\%$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Ra = (5.55 \times 10^{-4}) \pm 3.78 \times 10^{-6} \text{ m} \\ E_{Ra} = 0.681\% \end{array} \right.$$

② 直径 d

$$d = 3.970 \text{ mm}$$

$$G_A = t_p \sqrt{\frac{4}{n(n-1)} (d_i - d_j)^2} = 1.20 \times \sqrt{\frac{(3.978 - 3.970)^2 + (3.962 - 3.970)^2 + (3.968 - 3.970)^2 + 0.004}{4 \times 3}} = 0.0040 \text{ mm}$$

$$G_B = \frac{\Delta d}{\sqrt{3}} = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.0023 \text{ mm}$$

$$G_d = \sqrt{G_A^2 + G_B^2} = \sqrt{(0.0040)^2 + (0.0023)^2} = 0.005 \text{ mm}$$

$$Ed = \frac{Ed}{d} \times 100\% = \frac{0.005}{3.970} \times 100\% = 0.126\% \quad \left\{ \begin{array}{l} d = (3.970 \pm 0.005) \text{ mm} \\ Ed = 0.126\% \end{array} \right.$$

② 长度 L

$$L = 400.0 \text{ mm}$$

$$\delta L = \frac{\Delta L}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.6 \text{ mm}$$

$$E_L = \frac{\delta L}{L} = \frac{0.6}{400} = 0.15\%$$

$$\left. \begin{array}{l} L_2(400.0 \pm 0.6) \text{ mm} \\ E_L = 0.15\% \end{array} \right\}$$

③ 比阻率

$$E_p = \sqrt{4 \left( \frac{\delta d}{d} \right)^2 + \left( \frac{\delta L}{L} \right)^2 + \left( \frac{G_{Rn}}{Rn} \right)^2} = \sqrt{4 \left( \frac{0.005}{3.970} \right)^2 + \left( \frac{0.6}{400} \right)^2 + \left( \frac{3.78 \times 10^{-6}}{5.35 \times 10^{-6}} \right)^2} = 0.0074 = 0.74\%$$

$$\rho = \frac{\pi d^2}{4L} Rn = \frac{\pi \times (3.970 \times 10^{-3})^2}{4 \times 400 \times 10^{-3}} \times 5.35 \times 10^{-4} = 1.717 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

$$\delta \rho = E_p \cdot \rho = 1.27 \times 10^{-10} \Omega$$

$$\left. \begin{array}{l} \rho = (1.717 \times 10^{-8} \pm 1.27 \times 10^{-10}) \Omega \cdot \text{m} \\ E_p = 0.74\% \end{array} \right.$$

二组

$$\rho_{组} = \frac{\pi d^2}{4L} Rn = \frac{\pi \times (3.898 \times 10^{-3})^2}{4 \times 400 \times 10^{-3}} \times 0.00139 = 4.15 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

七、实验分析  
该实验在实际上存在诸多因素可造成误差的因素

1. 千分尺的系统误差
2. 铜棒与铝棒表面有氧化膜，导致数据不准
3. 调节接入电路的金属棒长度时读数误差很大，同时导体与刀片接触不良也会导致结果与实际不符
4. 检流计十分敏感，有微小的震动就会导致其偏转，以致测量结果发生变化，而开始未准确调整，由于人为因素影响，也在判断指针是否在正中有一定误差。

思考题与思维拓展：

1. 如果将标准电阻和待测电阻位置头和电压头互换，等效电路有何变化？  
互换后结构变化很大。因为电流表内阻很小，同  $R_A$  的值相差不大，并联测出的电流值不能表示通过  $R_A$  的电流大小，因而不能用来计算  $K_A$
2. 在测量时，如果被测低电阻的电压头接线尾阻较大，对测量准确度有何影响？  
有影响，在  $K_A \ll R_A$  很大时，将导致  $K_1 - K_2$  理论值偏差很大，一方面不能使第二项为零，另一方面使第一项  $K$  值读数值偏小

计2003 钢一班  
班级: 二十  
月 26 日

**河北工业大学 课程作业用纸**

课程	系	专业	班 姓名	日期
表1 测铜棒直径				
种类	比率 k	步进读数 直读数(n)	滑线读数 直读数(n)	$R_a(n)$
铜棒	0.01	0.05	0.0055	0.000555 0.000555
铝	0.1	0.01	0.0039	0.00139

表2 测铜棒直径 d、长度 L

次数	1	2	3	4	平均值
直径 d/mm	3.978	3.962	3.968	3.970	3.9695 3.970
长度 L/mm	3.978	400mm			

表3 测铝棒直径 d、长度 L

次数	1	2	3	4	平均值
直径 d/mm	3.898	3.896	3.900	3.898	3.898
长度 L/mm		400mm			

2003.6.2.1