

## 实验题目: 双臂电桥测量低值电阻

学号

姓名: J

实验日期、时间

级: 10

成绩: 10

日 一 时 分

教师签名: 耿6.2.1

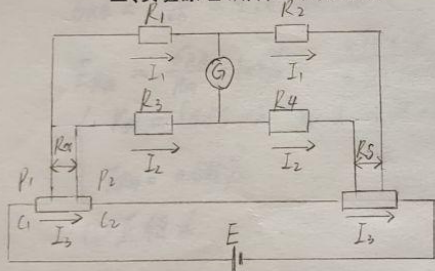
## 一、实验目的与要求

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. 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、液芯变压器组池、四端电阻、温度计、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, 在电路中作两处改进, 如图一
  - ① 被测电阻  $R_x$  和比较电阻  $R_s$  均采用四端接法
  - ② 在线路中增加两个精密  $R_3, R_4$ , 其阻值较小
- $R_x$  和  $R_s$  之间的电流端用粗导线连接, 并设其引线电阻与接触电阻总和为  $r$ , 调整  $R_2, R_3, R_4$  和  $R_s$ ,  $G$  中电流为 0 时, 电桥平衡。

图一

根据基尔霍夫定理得

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

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

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

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

双臂电桥中  $R_x$  量微到  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$  且  $r$  尽可能小, 则得  $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s$

## 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

多数金属的电阻值随温度升高而增大, 有如下关系

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

$$\text{或 } R_t = \alpha R_0 t + R_0 = bt + a$$

式中,  $R_t$  和  $R_0$  分别为温度  $t$  时和  $0^\circ\text{C}$  时的金属阻值,  $a$  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, 即  $R_t$  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

1. 测量铜棒电阻率

① 将待测铜棒按图端接法接入，并根据其大约阻值预置比率调节灵敏度的位置② 接通标准电阻电源开关  $B_1$ ，经稍许预热，然后将灵敏度旋钮沿逆时针方向旋到最小，调节电位器零位。测量时先从低灵敏度开始，比较调节比较粗调盘与细调盘，使电桥平衡，逐步将灵敏度调到最大，复检零位，并调节电桥平衡③ 记录比率盘，步进粗调读数值，滑线调读数值，游标盘读数值，从而得到  $R_x$  的大小④ 用螺旋测微计测铜棒直径  $d$ ，测量4次⑤ 用米尺测量电压端铜棒的长度  $L$ ，测量4次⑥ 计算铜棒电阻率⑦ 计算不确定度。

2. 测量铜丝温度系数

① 将待测铜丝接成两端形式并放在油池中

② 测出室温下的电阻  $R_t$ ，并读出温度  $t$

③ 加热油池，温度每升  $3 \sim 4^\circ\text{C}$  测量一次电阻阻值，共测 7~8 个点

④ 以温度  $t$  为横轴，电阻  $R_t$  为纵轴作图，求出斜率  $b$  截距  $a$ ，根据  $b = \alpha R_0$ ，计算  $\alpha = b/a$

⑤ 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

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

⑥ 应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 $k$	步进读数值	盘读数值	滑线读数值	盘读数值	$R_x / \Omega$
铜	0.01	0.05		0.0055		0.00055
铝	0.1	0.01		0.0039		0.00139

表2 测棒直径  $d$ 、长度  $L$

种类	次数	1	2	3	4	平均值
铜	直径 $d/\text{mm}$	3.978	3.962	3.968	3.970	3.9695
铝	直径 $d/\text{mm}$	3.898	3.896	3.900	3.898	3.898
铝	长度 $L/\text{mm}$			400 mm		



六、数据处理(要有详细过程,包括不确定度计算等)

①  $R_A$

$$\Delta = \frac{\Delta}{100} (CR_s + \frac{C}{100}) = \frac{1}{100} (0.01 \times \frac{0.0555}{0.00555} + \frac{0.01}{100}) = 6.65 \times 10^{-6} \Omega$$

$$G_{RB} = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = 3.78 \times 10^{-6} \Omega$$

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

$$R_A = (5.55 \times 10^{-4} \pm 3.78 \times 10^{-6}) \Omega$$

$$E_{RM} = 0.681\%$$

② 直径  $d$

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

$$G_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = 1.20 \times \sqrt{\frac{(3.978-3.970)^2 + (3.962-3.970)^2 + (3.968-3.970)^2 + \dots}{4 \times 3}} = 0.0040 \text{ mm}$$

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

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

$$E_d = \frac{G_d}{\bar{d}} \times 100\% = \frac{0.005}{3.970} \times 100\% = 0.126\%$$

$$d = (3.970 \pm 0.005) \text{ mm}$$

$$E_d = 0.126\%$$

② 长度  $L$

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

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

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

$$L = (400.0 \pm 0.6) \text{ mm}$$

$$E_L = 0.15\%$$

③ 电阻率

$$E_p = \sqrt{4\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_M}{R_M}\right)^2} = \sqrt{4\left(\frac{0.005}{5.970}\right)^2 + \left(\frac{0.6}{400}\right)^2 + \left(\frac{1.78 \times 10^{-6}}{5.95 \times 10^{-4}}\right)^2} = 0.0074 = 0.74\%$$

$$\rho = \frac{\pi d^2}{4L} R_M = \frac{\pi \times (3.970 \times 10^{-3})^2}{4 \times 400 \times 10^{-3}} \times 5.95 \times 10^{-4} = 1.717 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

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

$$\rho = (1.717 \times 10^{-8} \pm 1.27 \times 10^{-10}) \Omega \cdot m$$

$$E_p = 0.74\%$$

二 铝

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

七、实验分析  
该实验实际上存在诸多因素可能造成误差的因素

1. 十分尺的系统误差
2. 铜棒与铝棒表面有氧化膜, 导致读数不准
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, 而开始未正确调零, 由于人为因素影响, 也使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互换电流头和电压头互换, 等效电路有何变化?  
互换后结构变化较大。因为电流表内阻很小, 同  $R_0$  的值相差不大, 并联测出得电流值不能表示通过  $R_0$  的电流大小, 因而不能用来计算  $K_0$
2. 在测量时, 如果被测低电阻的电压头接线电阻较大, 对测量准确度有何影响?  
有影响, 当  $K_0$  及  $R_0$  较大时, 将导致  $K_1 - K_2$  理论值偏差较大, 一方面不能使第二项为零, 另一方面使第一项  $R$  比实际值偏小



计 2003 第一册  
班级: 计  
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

种类	比率 $k$	步进读数盘读数 $(n)$	滑线读数盘读数 $(n)$	$R_{00}(n)$
铜棒	0.01	0.05	0.0055	<del>0.000555</del> 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	<del>3.9695</del> 3.970
长度 $L/mm$	3.898	400mm			

表2 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				

表 6.2-1