

# 实验报告

上午第二  
大节

课程名称:

实验名称: 直流双臂电桥实验

实验日期: 2023 年 4 月 1 日

班 级:

教学班级: 郑守君老师班

## 一、实验目的

预习报告

学习并掌握低电阻测量的原理与方法

## 二、实验仪器

QJ-44 双臂电桥, 双路稳压恒流电源, 电阻四端接口架, 铜棒, 铝棒, 铁棒, 导线

## 三、实验原理

### 1. "四端接口"方法

为了解决高精度测量电阻的过程中接触电阻和引线电阻的干扰前人发明了"四端接口"方法。这种方法可以彻底排除接触电阻对待测电阻测量的干扰, 其基本思想是把电流接头和电压接头分开, 把电流接头处的接触电阻归入到电源回路中, 不对电压测量造成影响, 内接的电压接头处的接触电阻则和高电阻的测量桥臂相串联, 使引线电阻和接触电阻对测量的影响大为减少。

### 2. 惠斯顿电桥

用 3 个已知电阻和一个待测电阻  $R_x$  可以构成如图 4-2 所示的惠斯顿电桥。当检流计  $G$  中没有电流流过时电桥达到平衡状态, 由此可得  $R_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_3$ 。惠斯顿电桥的测量范围是  $10 \sim 10^8$ 。当待测电阻与引线电阻和接触电阻 (约  $10^{-3} \sim 10^{-4} \Omega$ ) 在同一数量级上时, 惠斯顿电桥对于低电阻的测量遇到的困难。

### 3. 开尔文双臂电桥

开尔文双臂电桥是"四端接口"法与惠斯顿电桥的结合, 是专门设计用来测量低电阻的。它的原理图如图所示。图中  $R_{J1}, R_{J2}$  为电流接头处的接触电阻,  $R_{Y1}, R_{Y2}$  为测量臂到电压接头的引线电阻和接触电阻之和,  $R_k$  为可调高精度标准电阻,  $r$  为连接两个臂间的导线电阻。此导线把  $R_k$  和  $R_x$  连接起来。图中  $R_{J3}, R_{J4}$  为  $R_k$  两端的电流接头处的接触电阻,  $R_{Y3}, R_{Y4}$  为  $R_k$  两端的电压接头到测量臂的引线电阻和接触电阻之和。

当检流计  $G$  中电流为零时, 因四个臂的电阻始终满足  $R_3/R_1 = R_4/R_2$ , 这时待测电阻  $R_x$  的计算公式可推得为:  $R_x = \frac{R_3}{R_1} \cdot R_k$ , 双臂电桥具有较大的测量范围 ( $10 \sim 10^5 \Omega$ )。

## 四、实验内容和步骤

### 1. 熟悉实验系统

本实验中所用的 QJ-44 开尔文双臂电桥的面板如图 4-5 所示, 调节  $R_s$  即可得式 (4-4) 中  $R_3/R_1$  的值。调节  $R_v$  和  $R_T$  可以改变  $R_k$ ,  $R_k = R_v + R_T$ 。直径约为

联系方式:

指导教师签字:



# 实验报告

课程名称: \_\_\_\_\_ 实验名称: \_\_\_\_\_ 实验日期: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日  
班 级: \_\_\_\_\_ 教学班级: \_\_\_\_\_ 学 号: \_\_\_\_\_ 姓 名: \_\_\_\_\_

4mm的金属棒作为待测电阻被置于图4-4中的测量座中。

## 2. 求铜棒的电阻及其电阻率

### (1) 连线

接好测量线路,测试架上的电压接头和电流接头与电桥上的电压接头和电流接头一一对应相接,电桥上外接电源的一对接线柱与稳压稳流电源的正负极相接。把电源开关B<sub>1</sub>接通。旋转“调零”旋钮,使检流计指针指“0”。顺时针旋转“灵敏度”旋钮使检流计处于不太灵敏的状态。打开稳压稳流开关,按下QJ-44电桥上的“B”按键,旋转“电流调节”旋钮,使输出电流为2.0A,然后放下“B”按键。由双臂电桥测量原理可知: $R_x = \frac{R_s}{R_N} R_k = R_s \frac{R_N}{R_k}$

### (2) 确定 $R_s$ , $R_N$ , $R_T$

① 确定 $R_s$ 。把 $R_N$ 置于0.01,把 $R_T$ 置于最小处,先把 $R_s$ 置于“0.01”挡。然后同时点击“B”、“G”按键,如检流计指针不转,则逆时针方向稍转动一点灵敏度按钮。如指针打向右边,这表示现在的 $[R_s \times (R_N + R_T)]$ 值小于正确值,因此把比率按钮 $R_N$ 进到0.1挡,再点击“B”、“G”按键,观察检流计指针偏转方向。如检流计指针仍打向右边,这表示现在的 $R_N$ 仍小于正确值,继续增大比率按钮 $R_N$ ,依此下去,直到 $R_N$ 进到某一挡时,检流计指针开始打向左边,这表示 $R_N$ 大于正确值了。再把 $R_N$ 倒退回一挡,这一挡正好是我们所求之 $R_s$ 值。

② 确定 $R_N$ 。把 $R_s$ 置于上面找到合适的值后,把步进式按钮 $R_N$ 置于0.01挡,通过观察检流计偏转方向来确定 $R_N$ 的合适值,方法与确定 $R_s$ 的过程完全相同。

③ 确定 $R_T$ 。同时按下按键“B”和“G”键,将 $R_T$ 按钮从最小开始缓缓增大直到检流计的指针正好置于“0”处。再把检流计的灵敏度调到最大。再调节 $R_T$ ,使检流计指针再次指向“0”位置,放下按键“B”和“G”键,此时确定的 $R_T$ 和之前得到的 $R_s$ 、 $R_N$ 即是所求。

(3) 按下键“B”,改变电源输出电流为2.5A,重复以上步骤测量

(4) 测量铜棒直径、电压接头间和电流接头间的距离。

用螺旋测微尺测量铜棒三个不同位置处的直径,并求平均值

### (5) 实验数据处理

写出电阻率 $\rho$ 的不确定度 $U(\rho)$ 的表达式。写出直径的不确定度 $U(d)$ 表达式,并同时求出它的值。写出长度 $L$ 的不确定度 $U(L)$ 表达式,并同时求出它的值。写出电阻 $R$ 的不确定度 $U(R)$ 表达式,并同时求出它的值。写出电阻率的测量结果 $\rho(U(\rho))$

联系方式: \_\_\_\_\_

指导教师签字: \_\_\_\_\_



# 实验报告

课程名称: \_\_\_\_\_ 实验名称: \_\_\_\_\_ 实验日期: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

班 级: \_\_\_\_\_ 教学班级: \_\_\_\_\_ 学 号: \_\_\_\_\_ 姓 名: \_\_\_\_\_

## (6) 测量铜棒与接线端的接触电阻

把铜棒每端上的两根接线同时接到电压接头或电流接头上, 按与上面同样的方法, 分别测量电流为 2.0A 和 2.5A 时的电流值。

分别写出电压接头和电流接头的接触电阻的计算公式和结果。

## 3. 用同样的方法分别测量一根铁棒和一根铝棒的电阻及其电阻率

注意: 实验完毕后, 别忘了把开关 B 断开

## 五. 思考题

1. 为什么在测量时要把比率旋钮  $R_s$  尽量置于小挡? 为什么测量中一般不允许把  $R_N$  置于“0”挡?

2. 在双臂电桥测量时, 为什么要用较大的电流? 应如何选择

答: 1. 双臂电桥的允许误差的极限  $\Delta_{ins}$  为

$$\Delta_{ins} = A\% \times \text{量程} = A\% \times [R_s \times (R_N + R_T)_{\max}]$$

$$R_s = 0.1 \text{ 时, } A = 0.5$$

$$R_s = 1 \text{ 时, } A = 0.2$$

$$R_s = 0.01 \text{ 时, } A = 1$$

$$R_s = 10, R_s = 100 \text{ 时, } A = 0.12 \Rightarrow \text{随 } R_s \text{ 增大, } \Delta_{ins} \text{ 增大}$$

故  $R_s$  置于小挡时,  $\Delta_{ins}$  更小,  $R_x$  的不确定度更小, 能够提高测量精度

(2) 将  $R_N$  置于零挡, 此时  $R_x = R_s \cdot R_T$ , 而  $R_T$  很小, 要想让指针向左偏需要  
将  $R_s$  调到很大, 由 (1) 可知  $R_s$  很大时,  $R_x$  不确定度大, 测量不精准。  
而将  $R_N$  置于 0, 会导到回路总电阻过小, 总电流过大, 在刚开始调节时,  
过大的电流容易将双臂电桥仪器烧毁。

2. 因为双臂电桥可以消除接线电阻和接触电阻对测量的影响, 常用于精密测量  $1\Omega$  以下的电阻。

联系方式: \_\_\_\_\_

指导教师签字: \_\_\_\_\_



# 实验报告

数据处理

课程名称: \_\_\_\_\_ 实验名称: \_\_\_\_\_ 实验日期: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

班级: \_\_\_\_\_ 教学班级: \_\_\_\_\_ 学号: \_\_\_\_\_ 姓名: \_\_\_\_\_

不确定度的计算 (只算B类不确定度)

1. 铜棒电阻率

$$\bar{d}_{\text{铜}} = \frac{1}{3}(3.956 + 3.947 + 3.961) = 3.9547$$

$$R_{\text{铜}} = R_s(R_N + R_T) = 0.002364 \Omega$$

$$\textcircled{1} R_{\text{铜}}: \Delta_{\text{ins}} = A\% \times [R_s \times (R_N + R_T)] = 0.5\% \times [0.1 \times 10.1 + 0.01] = 0.00006 \Omega$$

$$u(R) = \frac{\Delta_{\text{ins}}}{k} = 0.00003 \Omega$$

$$\textcircled{2} \text{直径 } d: u(d) = \frac{\Delta_{\text{ins}}}{k} = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.0023 \text{ mm}$$

$$\textcircled{3} \text{长度 } L: u(L) = \frac{\Delta_{\text{ins}}}{k} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.6 \text{ mm}$$

$$\textcircled{4} \text{电阻率 } \rho: R_{\text{铜}} = \rho \cdot \frac{L}{S}, S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \Rightarrow \rho = \frac{\pi R d^2}{4L} = 6.45 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

$$u(\rho) = \sqrt{\left[\frac{\partial \rho}{\partial R} u(R)\right]^2 + \left[\frac{\partial \rho}{\partial d} u(d)\right]^2 + \left[\frac{\partial \rho}{\partial L} u(L)\right]^2}$$

将上式代入数据得:  $u(\rho) = 0.09 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$   $R_{\text{铜}} = 6.45(0.09) \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

2. 铝棒电阻率

$$\bar{d}_{\text{铝}} = \frac{1}{3}(3.946 + 3.950 + 3.947) = 3.9477 \text{ mm}$$

$$\textcircled{1} R_{\text{铝}}: \Delta_{\text{ins}} = A\% \times [R_s \times (R_N + R_T)] = 0.00006 \Omega. \quad u(R) = \frac{\Delta_{\text{ins}}}{k} = 0.00003 \Omega$$

$$\textcircled{2} \text{直径 } d: u(d) = \frac{\Delta_{\text{ins}}}{k} = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.0023 \text{ mm}$$

$$\textcircled{3} \text{长度 } L: u(L) = \frac{\Delta_{\text{ins}}}{k} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.6 \text{ mm}$$

$$\textcircled{4} \text{电阻率 } \rho: R_{\text{铝}} = \rho \cdot \frac{L}{S}, S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \Rightarrow \rho = \frac{\pi R d^2}{4L} = 5.82 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

$$u(\rho) = \sqrt{\left[\frac{\partial \rho}{\partial R} u(R)\right]^2 + \left[\frac{\partial \rho}{\partial d} u(d)\right]^2 + \left[\frac{\partial \rho}{\partial L} u(L)\right]^2}$$

将上式代入数据得:  $u(\rho) = 0.09 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$   $R_{\text{铝}} = 5.82(0.09) \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

3. 电压接头和电流接头的接触电阻

$$R_{\text{电压接头接触电阻}} = R_x - R_{\text{铜}} = 0.02047 - 0.002364 = 0.01811 \Omega$$

$$R_{\text{电流接头接触电阻}} = R_x - \rho \cdot \frac{L}{S} = R_x - \frac{4 \rho L}{\pi d^2} = 0.01254 - 6.45 \times \frac{51.5 \times 10^{-2}}{(3.9547 \times 10^{-3})^2} \times \frac{4}{\pi}$$

$$= 0.00983 \Omega$$

联系方式: \_\_\_\_\_

指导教师签字: \_\_\_\_\_



# 实验报告

黑笔为原始数据  
蓝笔为计算数据

课程名称: \_\_\_\_\_ 实验名称: \_\_\_\_\_ 实验日期: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日  
班 级: \_\_\_\_\_ 教学班级: \_\_\_\_\_ 学 号: \_\_\_\_\_

	$R_s$	$R_N$	$R_T$	$R_x = R_s(R_N + R_T)$	$\rho$
铜棒	0.1	0.02	0.00364	$R_{铜} = 0.002364$	$6.45(0.09) \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

	$R_s$	$R_N$	$R_T$	$R_x = R_s(R_N + R_T)$
电压接头	1	0.02	0.00047	0.02047
电流接头	1	0.01	0.00254	0.01254

铜棒直径: 3.9547 mm 铜棒电流 51.50(0.06) cm 铝棒直径 3.9477 mm  
 ① 3.956 mm  
 ② 3.947 mm  
 ③ 3.961 mm  
 (3.946 mm  
 3.950 mm  
 3.947 mm)

	$R_s$	$R_N$	$R_T$	$R_x = R_s(R_N + R_T)$	$\rho$
铝棒	0.1	0.02	0.00139	0.002139	$5.82(0.09) \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

铜棒电阻率

不确定度的计算:

$$U_{B1} = \frac{\Delta_{ins}}{K} = \frac{0.004}{\sqrt{3}} \quad (\text{直径 } d)$$

$$U_{B2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (\text{长度 } L)$$

计算解得:

$$U_c = \sqrt{U_{B1}^2 + U_{B2}^2 + U_{B3}^2} = 0.09$$

$$\Delta_{ins} = A\% \times \text{量程} = 1\% \times [R_s \times (R_N + R_T)]$$

$$= 0.5\% \times [0.1 \times (0.1 + 0.01)]$$

$$= 0.000055$$

联系方式:

$$\rho = 6.45(0.09) \times 10^{-8} \Omega \cdot m \quad U_{B3} = \frac{\Delta_{ins}}{K} = \frac{0.000055}{\sqrt{3}}$$

北京理工大学仪器中心处监制

电话: 81382088