

实验报告

课程名称: 物理实验 BI 实验名称: 直流双臂电桥实验 实验日期: 2024 年 3 月 14 日 晚

班级: 钟李祥班

教学班级: _____

页数: 1/6

座号: 11

序号:	<u>钟李祥</u>		
时间:	年	月	日
	上午	下午	晚上

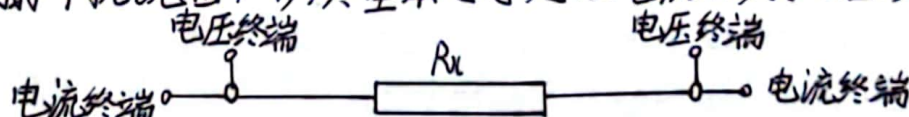
一、实验名称: 直流双臂电桥实验

二、实验目的: 学习和掌握低电阻测量的原理与方法。

三、实验仪器: QJ-44双臂电桥, 双路稳压稳流电源, 电阻四端接口架, 铜棒, 铝棒, 铁棒等, 导线若干。

四、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的干扰(见图4-1), 其基本思想是把电流接头与电压接头分开来, 把



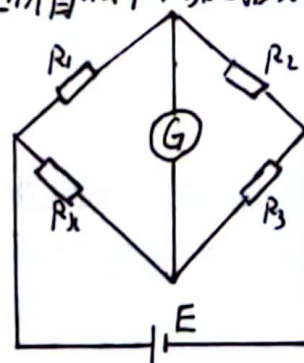
(图4-1)

电流接头处的接触电阻归入到电源回路中, 不对电压值的测量造成影响, 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小。

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, 由此得:

$$R_x = \frac{R_3}{R_2} \cdot R_1 \quad (4-1)$$



(图4-2)

惠斯顿电桥的测量范围是 $10^{-1} \sim 10^8$ 。当待测电阻与引线电阻和接触电阻(约 $10^{-1} \sim 10^{-4} \Omega$)在同一数量级上的时候, 惠更斯电桥对于低电阻的测量遇到了困难。

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: 物理实验BI 实验名称: 直流双臂电桥实验 实验日期: 2024 年 3 月 14 日 晚

班 级: 钟李祥班 教学班级: _____

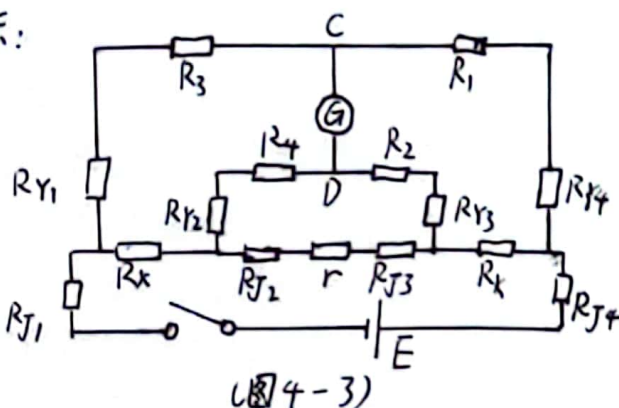
页 数: 2/6

座 号: 11

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。它的电原理图如图4-3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 为跨接两个臂间的导线电阻, R_{J3}, R_{J4} 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,且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:

$$R_X = \frac{R_3}{R_1} \cdot R_K \quad (4-2)$$

双臂电桥具有较大的测量范围($10 \sim 10^{-5} \Omega$)

五. 实验内容与主要步骤:

1. 熟悉实验系统:

本实验中所用的QJ-44开尔文双臂电桥面板如图4-5(书上)所示。调节 R_S 即可得式(4-2)中 R_3/R_1 的比值。调节 R_N 和 R_T 可以改变 R_K , $R_K = R_N + R_T$ 。直径约为4mm的金属棒作为待测电阻被置于图4-4(书上)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”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状态。打开稳压稳流电源开关, 按下QJ-44电桥上的“B”按键, 旋转“电流调节”旋钮, 使

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: 物理实验BI 实验名称: 直流双臂电桥 实验日期: 2024 年 3 月 14 日晚

班级: 钟李祥班 教学班级:

页数: 3/6

座号: 11

输出电流为2.0A, 然后放开“B”按键。

由双臂电桥测量原理可知:

$$R_x = \frac{R_3}{R_1} R_k = R_s (R_N + R_T)$$

(2) 确定 R_s, R_N, R_T : 下面的步骤是为了迅速确定这三个旋钮的位置。

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旋钮。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。因此把比率旋钮 R_s 进到 0.1 挡, 再点击 “B”、“G” 按键, 观察检流计指针偏转方向。重复数次, 直到 R_s 进到某一挡时, 检流计指针开始打向左边, 这表示 R_x 大于正确值了。这时再把 R_s 倒退回一挡, 这一挡正是我们所求之 R_s 值。

② 确定 R_N : 把 R_s 置于上面找到的合适值后, 把步进式旋钮 R_N 置于 0.0 挡, 通过观察检流计指针偏转方向来确定 R_N 合适值, 方法与确定 R_s 过程相同。

③ 确定 R_T : 同时按下按键 “B”、“G” 键, 将 R_T 旋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节到最大。再调节 R_T , 使检流计指针再次指向 “0”。放开按键 “B”、“G”, 此时确定的 R_T 和之前 R_s, R_N 即为所求。

(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 ρ 的不确定度 $u(\rho)$ 的表达式。写出直径 d 的不确定度表达式 $u(d)$, 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 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: $\rho(u(\rho))$ 。

(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上或电流接头上, 按与上面同样的方法, 分别测量电流 2.0A 与 2.5A 时的电阻值。(后续见下页)

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: 物理实验 BI 实验名称: 直流双臂电桥实验 实验日期: 2024 年 3 月 14 日 晚

班级: 钟李祥班 教学班级: 001

页数: 4/6

座号: 11

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铜棒的电阻及其电阻率。

注意: 实验完毕后, 记得把开关 B₃ 断开!

时间: 年 月 日
上午 下午 晚上

六、实验数据处理:

1. 数据表: (原始数据)

表1 电阻测量

	R_S (Ω)	R_N (Ω)	R_T (Ω)	$R_x = R_S \times (R_N + R_T)$ (Ω)	ρ (μ) ($\times 10^{-8} \Omega \cdot m$)
铝棒	0.1	0.02	0.00135	$2.14(0.03) \times 10^{-3}$	$5.82(0.09)$
铜棒	0.1	0.02	0.00555	$2.56(0.03) \times 10^{-3}$	$6.90(0.09)$

注释:
黑笔为原始数据
蓝笔为计算数据

(不确定度: $A=0.5$)

铝棒 $d_1 = 3.961 \text{ mm}$

直径: $d_2 = 3.959 \text{ mm}$

$d_3 = 3.962 \text{ mm}$

平均值 $\bar{d} = 3.9507(0.0023) \text{ mm}$

铜棒 $d_1 = 3.958 \text{ mm}$

直径: $d_2 = 3.940 \text{ mm}$

$d_3 = 3.932 \text{ mm}$

平均值 $\bar{d} = 3.9333(0.0023) \text{ mm}$

千分尺的零误差

$d_0 = -0.010 \text{ mm}$

用卷尺测量电流接头之间的距离: $L_1 = 517.1 \text{ mm}$

电压接头之间的距离: $L_2 = 450.0 \text{ mm}$

表2 (铜棒) 电压接头和电流接头的接触电阻测量

	R_S (Ω)	R_N (Ω)	R_T (Ω)	$R_x = R_S \times (R_N + R_T)$ (Ω)
电压接头	1	0.02	0.00832	$0.02832(0.000013)$
电流接头	1	0.01	0.00765	$0.01765(0.000013)$

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。

$R_{\text{电压接头接触电阻}} = 0.025765 \Omega$

$R_{\text{电流接头接触电阻}} = 0.015095 \Omega$

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: 物理实验BI 实验名称: 直流双臂电桥实验 实验日期: 2024 年 3 月 14 日 晚

班级: 钟李祥班

教学班级:

页数: 5/6

座号: 11

2. 计算过程:

铝棒: $\bar{d} = \frac{(d_1+d_0)+(d_2+d_0)+(d_3+d_0)}{3} = \frac{3.9507}{3} = 3.951 \text{ mm}$, $u_B = \frac{\Delta \text{ins}}{\sqrt{3}} = 0.0023$, 故 $\bar{d} = 3.9507(0.0023) \text{ mm}$

$R_x = R_S \times (R_N + R_T) = \frac{2.135 \times 10^{-3}}{3.35 \times 10^{-4}} \Omega$, $u_B = \frac{\Delta \text{ins}}{\sqrt{3}} = \frac{A\% \times [R_S \times (R_N + R_T)_{\text{max}}]}{\sqrt{3}} = \frac{0.5\% \times [0.1 \times (0.1 + 0.1)]}{\sqrt{3}}$

故 $R_x = \frac{3.35(0.32) \times 10^{-4} \Omega}{2.135(0.032) \times 10^{-3} \Omega} = \frac{2.14(0.03) \times 10^{-3} \Omega}{2.14(0.03) \times 10^{-3} \Omega} = 3.2 \times 10^{-5}$

$\rho(u) = \frac{R_x \cdot S}{L_2} = \frac{\pi R_x \bar{d}^2}{4 L_2} = 5.81548599 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

$u_B = \sqrt{\left(\frac{\pi \bar{d}^2}{4 L_2} \cdot 3.2 \times 10^{-5}\right)^2 + \left(\frac{\pi R_x \bar{d}}{2 L_2} \cdot \frac{4 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(-\frac{\pi R_x \bar{d}^2}{4 L_2^2} \cdot \frac{10^{-3}}{\sqrt{3}}\right)^2} = 8.775429745 \times 10^{-10}$

故 $\rho(u) = 5.82(0.09) \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

铜棒: $\bar{d} = \frac{(d_1+d_0)+(d_2+d_0)+(d_3+d_0)}{3} = \frac{3.9333}{3} = 3.94 \text{ mm}$, $u_B = \frac{\Delta \text{ins}}{\sqrt{3}} = 0.0023$, 故 $\bar{d} = 3.9333(0.0023) \text{ mm}$

$R_x = R_S \times (R_N + R_T) = 2.555 \times 10^{-3} \Omega$, $u_B = 3.2 \times 10^{-5}$, 故 $R_x = 2.56(0.03) \times 10^{-3} \Omega$

$\rho(u) = \frac{\pi R_x \bar{d}^2}{4 L_2} = 6.898940768 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

$u = \sqrt{\left(\frac{\pi \bar{d}^2}{4 L_2} \cdot 3.2 \times 10^{-5}\right)^2 + \left(\frac{\pi R_x \bar{d}}{2 L_2} \cdot \frac{4 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(-\frac{\pi R_x \bar{d}^2}{4 L_2^2} \cdot \frac{10^{-3}}{\sqrt{3}}\right)^2} = 8.723469105 \times 10^{-10}$

故 $\rho(u) = 6.90(0.09) \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

电压接头接触电阻: $R = R_S \times (R_N + R_T) - R_{\text{修正}} = 0.0257165 \Omega - 0.02832 \Omega$

电流接头接触电阻: $R = R_S \times (R_N + R_T) - R_{\text{修正}} = 0.015095 \Omega - 0.01765 \Omega$

$u_B = \frac{\Delta \text{ins}}{\sqrt{3}} = \frac{A\% \times [R_S \times (R_N + R_T)_{\text{max}}]}{\sqrt{3}} = \frac{0.2\% \times [0.1 \times (0.1 + 0.01)]}{\sqrt{3}} = 1.27 \times 10^{-5}$

故 $R_{\text{电压}} = 0.02832(0.000013) \Omega$, $R_{\text{电流}} = 0.01765(0.000013) \Omega$

$R_{\text{电压接头接触电阻}} = 0.02832 \Omega - 2.555 \times 10^{-3} \Omega = 0.025765 \Omega$

$R_{\text{电流接头接触电阻}} = 0.01765 \Omega - 2.555 \times 10^{-3} \Omega = 0.015095 \Omega$

$u = \sqrt{1.27 \times 10^{-5} + \dots}$

联系方式:

指导教师签字:

实验报告

课程名称: 物理实验B1 实验名称: 直流双臂电桥实验 实验日期: 2024 年 3 月 14 日 晚

班 级：钟李祥班 教学班级：_____

页数: 6/6

座号: 11

七、思考题:

(1) 为什么在测量时要把比率旋钮R尽量置小挡?

答:观察仪器上信息,会发现级数 A 随着 R_s 的增大而增大。(eg. $R_s=0.1$ 时, $A=0.5$, $R_s \geq 1$ 时, $A=1$)

由允许误差极限 $\Delta_{\text{ins}} = A\% \times \text{量程}$ 这一公式可以看出,将 R_n 尽量置于小挡,可降低 A 的值,进而减小 Δ_{ins} 与B类不确定度,从而提高测量精度。

62) 为什么测量中一般不允许把 R_N 置于“0”挡?

答: 分析仪器给出的电路图可知, 若将 R_0 置于“0”挡, 电路中的电阻将会较小。若此时电桥不平衡, 电路中电流会很大, 易烧毁仪器, 产生不必要的损失。

(3) 在双臂电桥测量时,为什么要用较大的电流?应如何选择?

答:双臂电桥主要用于测量较小的电阻,选用较大的电流时,若电桥不平衡,则检流计偏转更明显,利于我们调节 R_T 的值,从而提高测量的精度。

应当选择尽可能大但不会轻易烧毁仪器的电流。

联系方式: _____

指导教师签字：_____