

实验报告

84 11下

课程名称: 物理实验B 实验名称: 直流双臂电桥实验 实验日期: 2024.3.11 3月11日

班级: 63012315 教学班级: 学号: 12023332 姓名: 陈墨菲

实验: 直流双臂电桥实验

一. 实验目的

学习和掌握低电阻测量的原理和方法

二. 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,

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与引线电阻的干扰, 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(见图4-1), 其基本思想是把电流接头与电压接头分开来, 把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归入到电源回路中, 不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。

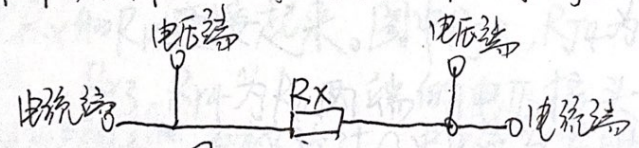


图4-1 四端连接方式

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:

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

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: _____

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 $10^{-2} \sim 10^{-4} \Omega$)在同一数量级上时,惠斯顿电桥对于低电阻的测量就遇到了困难。

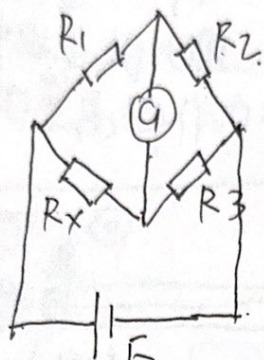


图4-2 惠斯顿电桥电路图

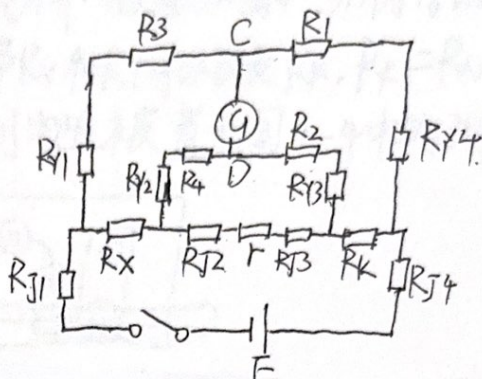


图4-3 开尔文双臂电桥电路图

3. 开尔文双臂电桥

开尔文双臂电桥是“回路接法”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RJ1, RJ2为电流接头处的接触电阻, RJ1, RJ2为测量臂到电压接头的引线电阻和接触电阻之和, RJk为可调高精度标准电阻, r为跨接两个臂间的导线电阻, 此导线把Rx和RJk连接起来。图中RJ3, RJ4为RJk两端的电流接头处的接触电阻, RJ3, RJ4为RJk两端的电压接头到测量臂的引线电阻与接触电阻之和。当检流计G中电流为零时, 且四个臂的电阻始终满足 $R3/R1 = R4/R2$, 这时待测电阻Rx的计算公式可推得为

$$R_x = \frac{R_3}{R_1} R_k \quad (4-2)$$

双臂电桥具有较大的测量范围($10 \sim 10^{-7} \Omega$)。

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: _____

四、实验内容和步骤

1. 熟悉实验系统

本实验所用的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(4-2)中 R_x/R 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中的测量座中。

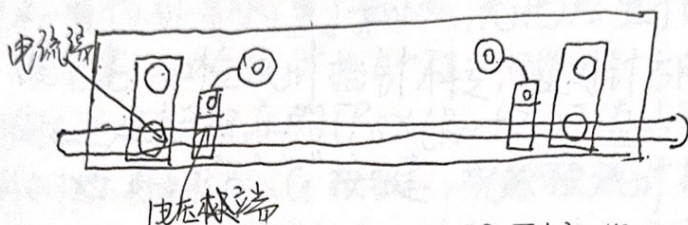


图4-4 四端法测量用金属棒架

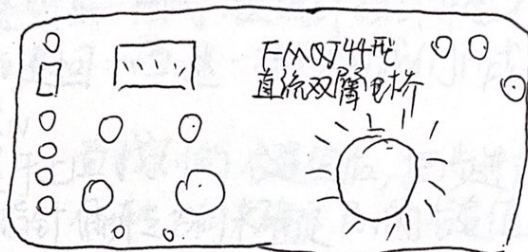


图4-5 QJ-44型开尔文双臂电桥面板

2. 求铜棒电阻及其电阻率

(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”按健, 旋转“电流调节”按钮使输出电流为2.0A, 然后放开“B”按健。

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: _____

由双臂电桥测量原理可知:

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_k = R_s (R_N + R_T)$$

(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" 档。然后同时点击 "B"、"C" 按钮, 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 档, 再点击 "B"、"C" 按钮, 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_x 仍小于正确值。继续增大比率旋钮 R_s , 依此下去, 直到 R_s 进到某一档时, 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 倒退回一档, 这一档正是我们所需之 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 0.01 档, 通过观察检流计指针偏转方向来确定 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

同时按下按钮 "B" 和 "C" 按钮, 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" 位置。放开按钮 "B" 和 "C", 此时确定的 R_T 和之前得到的 R_s , R_N 即是所求。

(3) 按下按钮 "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。

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

物 11下

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: _____

(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 $u(d)$ 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: $\rho(u(\rho))$

(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, 按与上面同样的办法, 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 K_1 断开!

原始数据

| | R_s/Ω | R_v/Ω | R_i/Ω | L/mm | d/mm |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------|---|
| 铝 | 0.1 | 0.02 | 0.00139 | 450 | $d_1=3.980$ $d_2=3.993$ $d_3=3.963$ |
| 铜 | 0.1 | 0.02 | 0.00376 | 450 | $d_1=3.961$ $d_2=3.939$ $d_3=3.951$ |
| 铜电压接头 | 10 | 0.01 | 0.00270 | / | / |
| 铜电流接头 | 1 | 0.02 | 0.01004 | / | / |

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: _____

| | R_S | R_N | R_T | $R_x = R_S \times (R_N + R_T)$ | ρ |
|----|-------|-------|---------|---------------------------------------|--------|
| 铝棒 | 0.1 | 0.02 | 0.00139 | $R_{\text{铝}} = 2.139 \times 10^{-3}$ | |

$d_1 = 3.980 \text{ mm}$
 $d_2 = 3.943 \text{ mm}$
 $d_3 = 3.963 \text{ mm}$
 $\bar{d} = 3.962 \text{ mm}$
 $L = 450 \text{ mm}$

| | R_S | R_N | R_T | $R_x = R_S \times (R_N + R_T)$ | ρ |
|----|-------|-------|---------|---------------------------------------|--------|
| 铜棒 | 0.1 | 0.02 | 0.00376 | $R_{\text{铜}} = 2.376 \times 10^{-3}$ | |

$d_1 = 3.969 \text{ mm}$
 $d_2 = 3.939 \text{ mm}$
 $d_3 = 3.951 \text{ mm}$
 $\bar{d} = 3.953 \text{ mm}$
 $L = 450 \text{ mm}$

| | R_S | R_N | R_T | $R_x = R_S (R_N + R_T)$ |
|------|-------|-------|---------|---------------------------------------|
| 电压接头 | 10 | 0.01 | 0.00270 | $R_E = 1.270 \times 10^{-1}$ |
| 电流接头 | 1 | 0.02 | 0.01004 | $R_{\text{流}} = 3.004 \times 10^{-2}$ |

计算: $u(d) = u_B(d) = \frac{\Delta \text{ins}}{K} = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.0023 \text{ mm}$

$u(L) = u_B(L) = \frac{\Delta \text{ins}}{K} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.58 \text{ mm}$

$u(R) = u_B(R) = \frac{\Delta \text{ins}}{K} = \frac{A\% \times [R_S \times (R_N + R_T)_{\text{max}}] 0.5\% \times [0.1 \times (0.1 + 0.1)]}{K} = \frac{\sqrt{3}}{3.2}$

$\rho = R \frac{S}{L} = \frac{\pi R d^2}{4L} = 5.8602 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m} = 3.2 \times 10^{-5} \Omega$

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

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

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

联系方式: _____

指导教师签字: _____

(接下页)

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: _____

$$(接上页) = \sqrt{\left(\frac{3.2 \times 10^{-5}}{2.376 \times 10^{-3}}\right)^2 + \left(\frac{2 \times 0.0023 \times 10^{-3}}{3.953 \times 10^{-3}}\right)^2 + \left(\frac{0.58 \times 10^{-3}}{0.45}\right)^2}$$

$$= 1.36\%$$

$$U(p) = \rho \cdot E = 0.08 \times 10^{-8} \sqrt{2} \cdot m.$$

$$\therefore \rho(U(p)) = 5.86 (0.08) \times 10^{-8} \sqrt{2} \cdot m.$$

思考题:

1. 为什么在测量时要把比率旋钮 R 尽量置于小档? 为什么测量中一般不将把 R_N 置于 "0" 档?

(1). 根据实验考虑的不确定度仅包含 U_b 部分, $U_b = \frac{\Delta \text{ins}}{\sqrt{3}}$. 同时, $\Delta \text{ins} = A\% \times [R_s \times (R_N + R_T)]$, R_s 尽量小, 可以使得 Δins 值较小, 进而使得测量不确定度较小, 提高测量精度.

(2) ① R_N 置于 0 时电路电阻很小; 若此时接通电源, 且电桥处于非平衡态, 会造成电流过大烧坏仪器的情况.

② R_N 置于 $R_T < R_N$, 若 $R_x = R_s \times (R_N + R_T)$ 中 $R_N + R_T$ 项仅乘 R_T , 会使得 R_s 的相应值出现数十倍乃至数百倍的变化, 不利于测量精度的提高.

2. 在双臂电桥测量时, 为什么要用较大的电流? 应如何选择?

(1) 双臂电桥测量的是小电阻, 在精细调整 R_T 使电桥平衡的阶段, 较大的电流能使检流计产生更明显的偏转, 从而有利于更精密的调整电阻, 提高测量精度.

联系方式: _____

指导教师签字: _____

(2) 可根据情况选择较大电流, 但同时注意不要使电流过大, 导致损坏电路元件.