

一、预习报告

1. 实验综述

实验原理：测量较低电阻时，连接线的电阻、接头的接触电阻数量级较大，对低值电阻的测量误差大。通过双臂电桥可以消除或者减小电阻导致的测量误差影响。由比例臂、标准电阻臂和待测电阻臂组成双臂电桥，用双臂电桥通过四端接法将导线电阻和接触电阻转移到电流回路中来消除对测量结果的干扰，从而消除对 测量结果的干扰。通过调节比例臂 $\frac{R_1}{R_2}$ 的比值使电桥初步平衡，再调节标准电阻 R_s 使电桥完全平衡，最终可以算出待测电阻 $R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_s$

实验方法：首先打开双臂电桥电源，调节灵敏度逆时针到底，调零使检流器指示为 0。接着连接被测电阻，选择合适的倍率，依次按下 B 键和 G 键以后，粗调和细调测定臂使电桥平衡，逐渐调高灵敏度并反复调节。最高灵敏度时读数并计算出被测电阻大小。

实验现象：调节倍率和灵敏度可以观察到检流器示数发生变化，调整测定臂电阻可以使其读数为 0

2. 实验重点

- (1) 了解双桥电臂测量未知小电阻大小的原理，并能够推导计算公式
- (2) 熟悉 QJ44 双臂电桥和加热实验装置的结构、原理、操作规范和注意事项
- (3) 通过实验数据拟合曲线，计算相对误差等，探究电阻与温度之间的关系

3. 实验难点

- (1) 温度波动、电磁干扰或电源电压不稳都会影响电阻值和电桥稳定性
- (2) 若检流计灵敏度不足，可能无法检测微弱电流，从而导致误差较大
- (3) 低电阻测量灵敏度高，需反复调节比例臂和标准电阻至检流计完全指零

二、原始数据

1. 测导体电阻率

L/cm	d/mm	R _x /Ω
30.00	4.02	6.580×10^{-4}
30.00	4.02	6.583×10^{-4}
30.00	4.04	6.586×10^{-4}
30.00	4.02	6.587×10^{-4}
30.00	4.02	6.589×10^{-4}
30.00	4.00	6.611×10^{-4}

13

2. 测电阻温度系数

t / °C	R _x / Ω
30.2	4.831×10^{-3}
35.6	4.930×10^{-3}
40.5	5.020×10^{-3}
45.6	5.105×10^{-3}
50.0	5.185×10^{-3}
55.3	5.275×10^{-3}

物理3-20

三、结果与分析

1. 数据处理与结果

(1)、测量金属导体的电阻率

根据导体长度、截面直径和电阻等数据记录，列出数据表（表一）。

	1	2	3	4	5	6
长度 L/cm	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
直径 d/mm	4.02	4.02	4.04	4.02	4.02	4.00
电阻 R_x/Ω	6.580×10^{-4}	6.583×10^{-4}	6.586×10^{-4}	6.587×10^{-4}	6.589×10^{-4}	6.611×10^{-4}

表一

根据测量数据可以算出各测量值不确定度： $u(L) = \frac{0.5}{\sqrt{3}} mm = 0.29 mm = 0.029 cm$, $u(d) = \frac{0.02}{\sqrt{3}} mm = 0.012 mm$, $u(R_x) = \frac{0.1 \times 0.01 \times 0.2\%}{\sqrt{3}} \Omega = 1.2 \times 10^{-6} \Omega$

各数据平均值： $\bar{L} = 30.00 cm$, $\bar{d} = 4.02 mm$, $\bar{R}_x = 6.589 \times 10^{-4} \Omega$

由 $\rho = R \cdot \frac{s}{L} = R \cdot \frac{\pi d^2}{4L}$ 可知， $\bar{\rho} = \bar{R}_x \cdot \frac{\pi \bar{d}^2}{4\bar{L}} = 2.788 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, 带入不确定度传递公式：

$$u(\rho) = \bar{\rho} \sqrt{\left(\frac{u(R_x)}{\bar{R}_x}\right)^2 + 4\left(\frac{u(d)}{\bar{d}}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{\bar{L}}\right)^2} = 0.018 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

因此电阻率的测量结果为： $\rho = (2.788 \pm 0.018) \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

(2)、测量金属导体的电阻温度系数

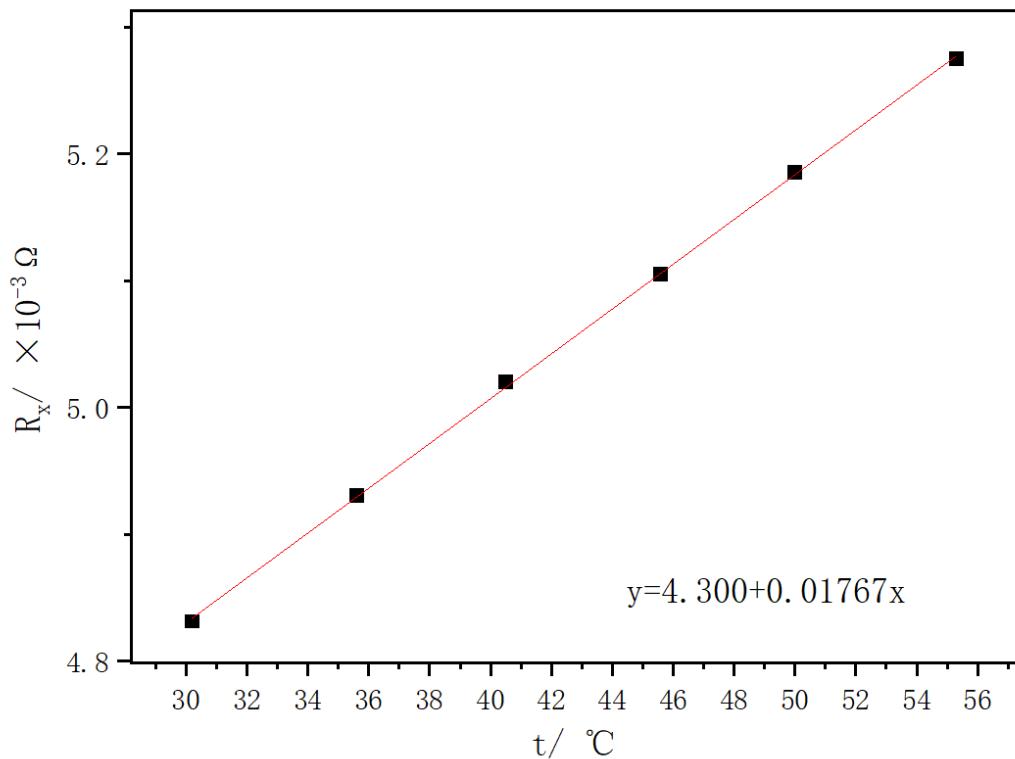
根据温度和电阻数据记录，列出数据表（表二）。对电阻温度系数结果分析如下：

温度 t/°C	30.2	35.6	40.5	45.6	50.0	55.3
电阻 R_x/Ω	4.831×10^{-3}	4.930×10^{-3}	5.020×10^{-3}	5.105×10^{-3}	5.185×10^{-3}	5.275×10^{-3}

表二

法一：通过拟合温度与电阻的线性关系，作出线性图（图一）

拟合曲线的斜率为 0.01767，截距为 4.300，根据电阻与温度关系 $R = R_0(1 + \alpha t)$ 可计算出电阻温度系数 $\alpha = \frac{\alpha R_0}{R_0} = \frac{0.01767}{4.300} = 411 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ C^{-1}$ ，铜的温度系数为 $430 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ C^{-1}$ ，相对误差为 $E_a = \frac{|\alpha - \alpha_0|}{\alpha_0} \times 100\% = 4.42\%$



图一

法二：通过对任意两点温度下电阻温度系数分析 $\alpha_i = \frac{R_{x(i+1)} - R_{x_i}}{R_{x_i}t_{(i+1)} - R_{x(i+1)}t_i}$ 列出表如下（表三）

i	1	2	3	4	5
$\alpha_i / ^\circ C$	429×10^{-5}	430×10^{-5}	384×10^{-5}	425×10^{-5}	392×10^{-5}

表三

由此可知，平均电阻温度系数 $\bar{\alpha}_i = 412 \times 10^{-5}$ ，相对误差为 $E_a = \frac{|\bar{\alpha}_i - \alpha_0|}{\alpha_0} \times 100\% = 4.19\%$

2. 误差分析

(1)、测量金属导体的电阻率

- 1) 随着测量仪器的使用，仪器自身内部电子元件由于发热而导致测量存在一定误差
- 2) 导体棒部分位置的直径存在略微差别，并非完全相同，因此计算电阻率公式存在误差
- 3) 测量仪器自身老化，导致细调电阻时存在一定的波动都满足检流计指针指向 0
- 4) 电阻接头两端刻度读取粗略，且接头处有松动，接入的电阻长度也存在偏差

(2)、测量金属导体的电阻温度系数

- 1) 控制加热时由于机油热传导存在一定的延迟，因此在调节电阻大小时温度处于波动状

态，检流计调整难以保持在 0 处，且测出的电阻对应温度略高。

2) 等待升温时温度的变化可能会导致检流计指针偏转而没有正确调零

3. 实验探讨

本次实验通过直流双臂电桥对低电阻的测量，让我对电桥的应用有了更深刻的理解。通过双臂电桥将难以直接测量的小电阻转化到电桥上，再根据比值相等和转化，可以间接测量出小电阻的值。此外，间接测量也让我在分析间接不确定度时将所学知识直接运用到分析中，帮助我熟悉了计算不确定度的思维。

四、思考题

1. 双臂电桥与惠斯登电桥由哪些异同？

答：同：双臂电桥和惠斯登电桥都是基于电桥平衡原理工作的。通过调节电桥中各个电阻的阻值，使电桥达到平衡状态，使电桥对角线上的电流为零，进而可以计算出电阻值。

异：双臂电桥由电流端和电压端四端接入，可以达到消除接线电阻和接触电阻影响的目的，测量时精度比惠斯登电桥高。而惠斯登电桥由四个电阻组成一个四边形，在四边形的一条对角线上接入电源，另一条对角线上接入检流计。常适用于测量中值电阻。

2. 为什么双臂电桥测量低电阻时能消除（或减小）附加电阻对测量结果的影响？

答：双臂电桥的四端接入法“转移”了附加电阻相对与待测电阻的位置，连接导线的电阻和接触电阻只影响电流回路，而不会影响电压测量回路。而电压测量回路的电阻远大于电流回路的电阻，附加电阻产生的分压可以忽略不计，进而减小了附加电阻对测量结果的影响。同时，在平衡状态下，电桥的平衡条件与被测电阻和标准电阻的比值有关，而与连接导线的电阻和接触电阻无关，消除了附加电阻对测量结果的影响。

3. 如果四端电阻的电流端和电位端接反了，对测量结果有什么影响？

答：当电流端和电位端接反时，测量结果会产生极大的偏差。接反后的电桥难以达到平衡，测量得到的电压值会包含附加电阻上的电压，而附加电阻比被测电阻大且不能忽略，从而导致计算出的电阻值比实际值偏大，测量误差增大。

