

物理实验报告

实验名称：_____用双臂电桥测低电阻_____

实验桌号：_____

指导教师：_____王鲲_____

班级：_____

姓名：_____

学号：_____

实验日期: 2025 年 5 月 15 日 星期四上午

浙江大学物理实验教学中心

一、预习报告

1. 实验综述

实验现象：

使用直流双臂电桥可精准测量低值电阻（ $10^{-5} \sim 1\Omega$ ），避免单臂电桥因接线电阻和接触电阻（ $10^{-4} \sim 10^{-2}\Omega$ 量级）引入显著误差。正确操作时，测得电阻值稳定，误差显著降低。

实验原理：

双臂电桥（开尔文电桥）采用四线连接法，将电流端与电压端分离，消除接触电阻影响。通过双十进制电阻箱保持比率臂（ R_1/R_2 与 R_3/R_4 ）严格相等，并使用极低电阻（ $< 0.001\Omega$ ）粗导线连接待测电阻（ R_x ）和标准电阻（ R_s ），确保比例平衡条件成立，实现高精度测量。

实验方法：

- (1) 电阻率测量：用 QJ-44 型双臂电桥测金属棒电阻，结合几何参数计算电阻率 ρ 及不确定度。
- (2) 温度特性分析：记录不同温度下电阻值，绘制 R_t-t 曲线，通过线性拟合或公式计算温度系数 α ，与理论值对比求相对误差。
- (3) 操作规范：加温时实时记录温度变化，降温时先关加热再开风扇，避免设备干烧，实验后整理仪器。

2. 实验重点

熟悉双臂电桥测量低电阻的原理；了解单臂电桥与双臂电桥的关系和区别；学会 QJ-44 型双臂电桥测量低电阻的方法。

3. 实验难点

精准消除接触电阻和接线电阻干扰，需严格四线连接；保持比率臂平衡（ $R_1/R_2 = R_3/R_4$ ）需细致调节；温度控制与同步测量易受环境波动影响；操作需规范（如防干烧、正确降温），数据拟合与误差分析要求严谨。

二、原始数据

学号: _____
日期: _____
地点: _____

课程名称: _____ 指导老师: _____ 成绩: _____
实验名称: _____ 实验类型: _____ 同组学生姓名: _____

一、实验目的和要求 (必填) 二、实验内容和原理 (必填)
三、主要仪器设备 (必填) 四、操作方法与实验步骤
五、实验数据记录和处理 六、实验结果与分析 (必填)
七、讨论、心得

1. 测量金属导体的电阻率

$R = 0.0603 \pm 0.01 \Omega = 6.03 \times 10^{-4} \Omega$
 $d = 4.12 \text{ mm} = 4.12 \times 10^{-3} \text{ m} = 0.412 \text{ mm} \text{ cm}$
 $l = 27.00 \text{ cm} = 27.00 \times 10^{-2} \text{ m}$
 $\rho = \frac{\pi R d^2}{4l} = 2.98 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$

王 强

2. 测量金属导体的电阻温度系数

次数	温度/°C	电阻/Ω
1	28.5	0.0044030
2	33.0	0.004490
3	38.3	0.0045710
4	42.9	0.004649
5		0.004722
6		
7		
8		
9		
10		

次数	温度/°C	电阻/Ω (×10 ⁻⁵ Ω)
1	35.0	458.5
2	41.0	465.0
3	44.9	471.0
4	49.2	479.0
5	54.6	487.5
6	60.1	496.7
7	64.9	505.0
8	70.2	514.0
9	75.0	522.7
10	80.0	530.7

$\alpha_1 = 376 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
 $\alpha_2 = 422 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
 $\alpha_3 = 431 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
 $\alpha_4 = 428 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
 $\alpha_5 = 431 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

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

在本次实验中，比率臂为0.01。

则有： $R = 0.06030 \times 0.01 \Omega = 6.030 \times 10^{-4} \Omega$, $d = 4.12 \text{mm} = 0.412 \text{cm}$, $l = 27.00 \text{cm}$ 。

则可计算出：

$$\rho = \frac{\pi R d^2}{4l} = 2.98 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$$

其不确定度的计算过程如下：

$$u(R) = 0.01 \times \frac{0.11 \times 0.2\%}{\sqrt{3}} \Omega = 1.3 \times 10^{-6} \Omega$$

$$u(d) = \frac{0.02}{\sqrt{3}} \text{mm} = 0.012 \text{mm} = 1.2 \times 10^{-3} \text{cm}$$

$$u(l) = \frac{0.5}{\sqrt{3}} \text{mm} = 0.3 \text{mm} = 3 \times 10^{-2} \text{cm}$$

则相对不确定度计算如下：

$$\frac{u(\rho)}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{u(R)}{R}\right)^2 + \left(\frac{2u(d)}{d}\right)^2 + \left(\frac{u(l)}{l}\right)^2} = 0.007$$

$$u(\rho) = 0.007 \times 2.98 \times 10^{-6} \Omega = 0.02 \times 10^{-6} \Omega$$

即

$$\rho = (2.98 \pm 0.02) \times 10^{-6} \Omega$$

(2) 测量金属导体的电阻温度系数

数据表格如图所示：

次数	温度/ $^{\circ}\text{C}$	电阻/ $(\times 10^{-5} \Omega)$
1	35.0	458.5
2	41.0	465.0
3	44.9	471.0
4	49.2	479.0
5	54.6	487.5
6	60.1	496.7
7	64.9	505.0
8	70.2	514.0
9	75.0	522.7
10	80.0	530.7

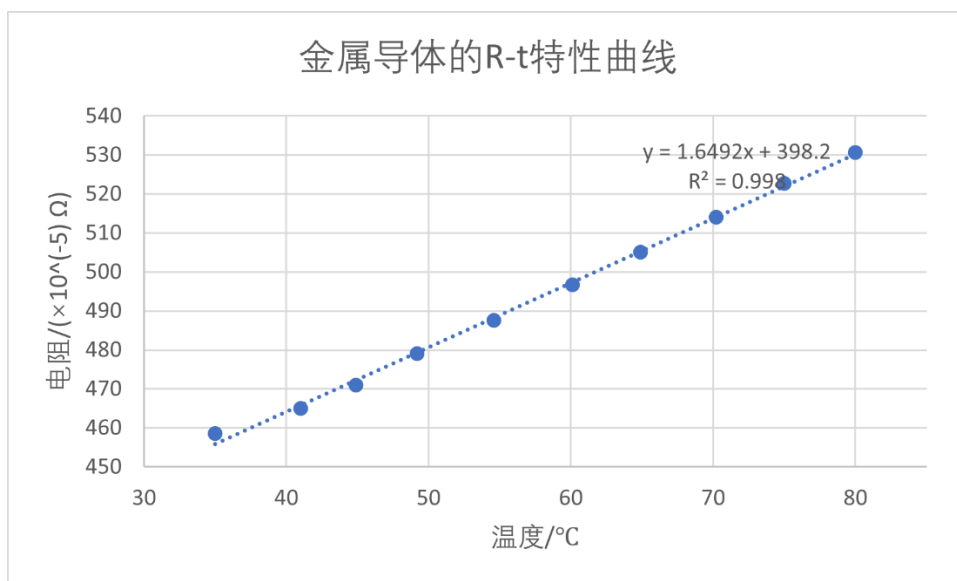
逐差法计算可得 $\alpha_1 = 376 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$, $\alpha_2 = 422 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$, $\alpha_3 = 431 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$, $\alpha_4 =$

$428 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$, $\alpha_5 = 431 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$, 其中 $\alpha_i = \frac{R_{i+5} - R_i}{R_i t_{i+5} - R_{i+5} t_i}$ 。由于 α_1 与其余四组数据偏离较

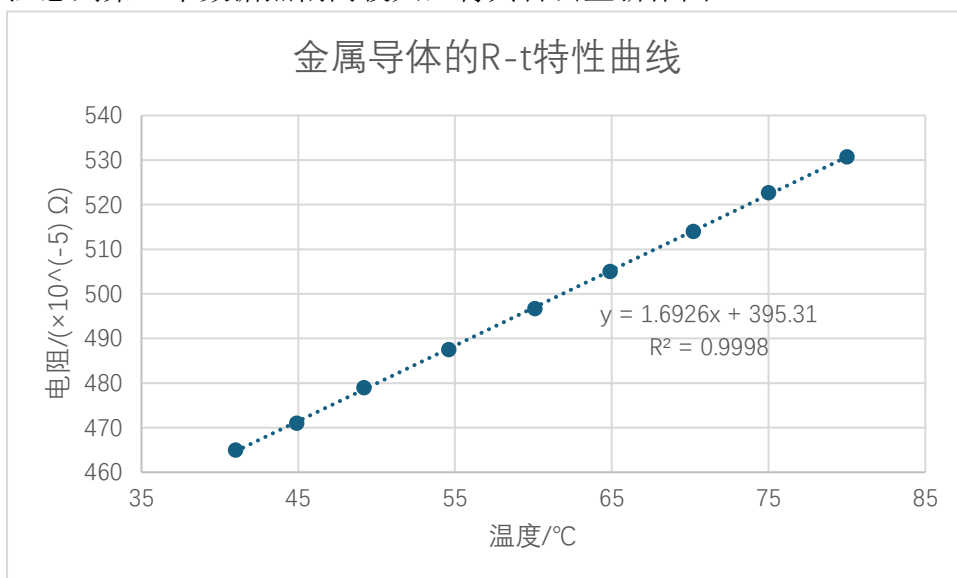
大，故将其舍去，得到 $\alpha = 428 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$ ，与标准值 $\alpha_0 = 433 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$ 的相对误差为

$$E_r = \frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha_0} \times 100\% = 1.2\%$$

再使用作图法进行计算，原始数据作图如下：



注意到第一个数据点偏离较大，将其舍去重新作图：



其拟合效果显著优于删去第一个数据点前的，由 $R = R_0(1 + \alpha t)$ 可知， $k = \alpha R_0, b = R_0$ ，则

$$\alpha = \frac{k}{b} = 428.17 \times 10^{-5} \text{°C}^{-1}$$

与标准值 $\alpha_0 = 433 \times 10^{-5} \text{°C}^{-1}$ 的相对误差为

$$E_r = \frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha_0} \times 100\% = 1.1\%$$

略小于逐差法。

2. 误差分析

(1) 测量金属导体的电阻率

由于金属导体的电阻率计算公式为 $\rho = \frac{\pi R d^2}{4l}$ ，则其误差来源为 R, d, l 读数上带来的偶然误差，可通过多次测量来减少该实验的误差

(2) 测量金属导体的电阻温度系数

在该实验中，测量装置不易调零（稍微动一下调零，指针就会偏转很多），会带来一定误差。

同时，本人使用的测量仪器每过一段时间都需要重新调零，而该实验中测量电流是连续的，导致测量期间会因为调零误差的累计而影响实验结果（事实上，本人因为其调零误差而在测到一半时重新进行测量，从 50℃ 降到 35℃ 这一过程花了不少时间），这可能导致本人测得的所有关于电阻温度系数的数据都稳定比标准值小。

此外，由于加热/冷却装置上显示的温度与金属导体的实际温度并不等同，具有滞后性，导致在降温至 35℃ 后立刻测量的数据误差较大，而需要舍去该数据点。

3. 实验探讨

本次实验中我学习了使用双臂电桥测低电阻的方法，并由此进行了金属导体电阻率以及温度系数的测量，进一步对双臂电桥进行应用。同时，对于后一实验，采用了两种方法进行计算，进一步熟悉了数据处理的方法。

四、思考题

- 相同点：(1) 都通过改变桥臂上的电阻调节电桥平衡；(2) 都利用平衡调节间接测量电阻
不同点：(1) 双臂电桥有两个桥臂接上待测电阻，而惠斯登电桥为单臂电桥，仅有一个桥臂接入了待测电阻；(2) 惠斯登电桥实验中导线和低电阻对电桥平衡影响较大，由此，惠斯登电桥不适用于低电阻的测量，而双臂电桥适合测量低电阻。
- 由于 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s + \frac{R_4 r}{R_3 + R_4 + r} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right)$ ，为了消除附加电阻的影响，需要使 $\frac{R_4 r}{R_3 + R_4 + r} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right)$ 一项尽可能小，我们令 $r < 0.001\Omega$ ，且 $R_1, R_2 > 10\Omega$ ，这样这一项就极小，对测量结果影响小；此外， R_x, R_s 和 $C_{x1}, C_{x2}, C_{s1}, C_{s2}$ 间附加电阻不影响平衡，从而减小乃至消除了附加电阻的影响。
- 若接反，则不能减小乃至消除附加电阻对电桥平衡的影响，与此相反，会对测量产生更大的影响。