

浙江大学

物理实验报告

实验名称： 这是一个实验名称

实验桌号： 14

指导教师： 指导教师姓名

班级： 机械 2402

姓名： 叶畅飞

学号： 3240103132

实验日期： 2025 年 10 月 14 日 星期 三 下午

浙江大学物理实验教学中心

一、预习报告（10 分）

1. 实验综述（5 分）

1. 非平衡电桥工作原理

非平衡电桥通过测量电桥两端的不平衡电压差来确定未知电阻的值。

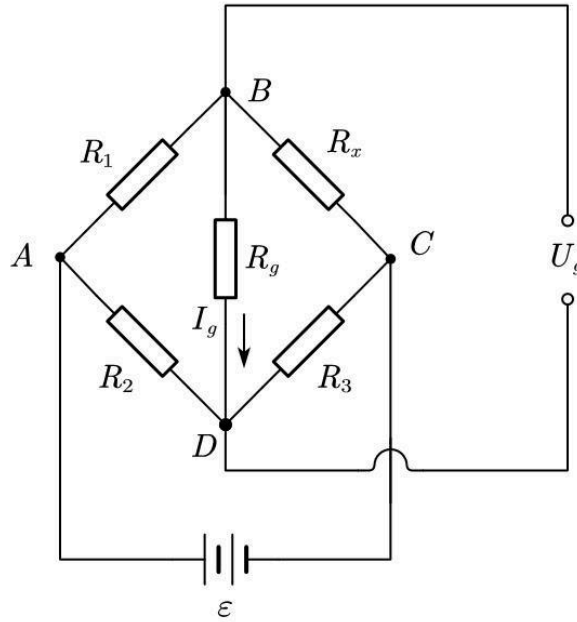


图 1 非平衡电桥电路图

如图 1 所示，电桥由五个电阻组成，分别为已知电阻 R_1 、 R_2 和可调电阻 R_3 以及未知电阻 R_x 和负载电阻 R_g 。电桥的两端连接一个电源 ε 和一个电压表。

当负载电阻 $R_g \rightarrow \infty$ 时，BD 处于开路状态，即 $I_g = 0$ 。根据分压原理，有：

$$\begin{aligned} U_g = U_{BD} &= U_{BC} - U_{DC} = \frac{R_x}{R_1 + R_x} \cdot \varepsilon - \frac{R_2}{R_2 + R_3} \cdot \varepsilon \\ &= \frac{R_2 R_x - R_1 R_3}{(R_1 + R_x)(R_2 + R_3)} \cdot \varepsilon \end{aligned} \quad (1)$$

测量起始点处，调节桥臂电阻使得 $R_2 R_x = R_1 R_3$ ，此时 $U_g = 0$ ，此时电桥达到平衡状态，称为预调平衡，使得输出电压只与 R_x 变化有关。当 R_x 发生变化时，电桥处于非平衡状态，此时输出电压为：

$$U_g = \frac{R_2 R_x + R_2 \Delta R_x - R_1 R_3}{(R_1 + R_x + \Delta R_x)(R_2 + R_3)} \cdot \varepsilon \quad (2)$$

由式(2)可知 R_x 的变化情况

2. 变温金属电阻温度系数测量原理

金属电阻的电阻值随温度变化而变化，其关系可近似表示为：

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (3)$$

其中, R_t 为摄氏温度 t 时的电阻值, R_0 为 0°C 时的电阻值, α 为金属的温度系数。

如图 1 所示, 当 BD 开路时, 令 $R_t = R_x$, $R_1 = R_2 = R_3 = R_0$, 使得 $t = 0^\circ\text{C}$ 时满足 $R_2 R_x = R_1 R_3$ 。代入式(1)可得:

$$U_g = \frac{R_0^2(1 + \alpha t) - R_0^2}{(R_0 + R_0(1 + \alpha t))(R_0 + R_0)} \cdot \varepsilon = \frac{\alpha t}{2(2 + \alpha t)} \cdot \varepsilon \quad (4)$$

化简得:

$$\alpha = \frac{4U_g}{t(\varepsilon - 2U_g)} \quad (5)$$

因此只需测量不同温度 t 下的输出电压 U_g , 即可计算出金属的温度系数 α 。

2. 实验重点 (3 分)

本实验的学习重点是掌握非平衡直流电桥的原理与应用。重点在于理解非平衡电桥的输出电压 U_g 与桥臂电阻变化 ΔR 的关系, 并能利用这两种电桥方法测量变温金属电阻的温度系数 α , 以及绘制 $R - t$ 特性曲线。

3. 实验难点 (2 分)

本实验的实现难点主要在于准确实现 0°C 下的电桥预调平衡, 这要求 0°C 环境稳定且 U_g 调零准确。此外, 精确控制和测量加热过程中的温度 (每隔 5°C 记录数据) 并等待热平衡需要耐心。最后, 利用非平衡法计算 α 时, 数据处理和曲线拟合的准确性也是一个难点。

二、原始数据 (20 分)

叶畅飞 6
3240103132

$t/^\circ\text{C}$	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0
U_{mV}	42.5	48.2	54.3	60.1	66.1	71.5	76.7	82.3
α								
t	65.0	60.0	55.0	50.0	45.0	40.0	35.0	30.0
R_t	65.14	64.08	62.94	61.88	60.82	59.74	58.62	57.54

谭琳

三、结果与分析（60 分）

1. 数据处理与结果（30 分）

1. 用非平衡电桥测量铜电阻 Cu_5O 的温度系数

表 1 铜电阻温度系数

	t ($^{\circ}\text{C}$)	U_g (V)	α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
1	42.5	30.0	0.00466
2	48.2	35.0	0.00458
3	54.1	40.0	0.00454
4	60.1	45.0	0.00453
5	66.1	50.0	0.00453
6	71.5	55.0	0.00449
7	76.7	60.0	0.00446
8	82.3	65.0	0.00446

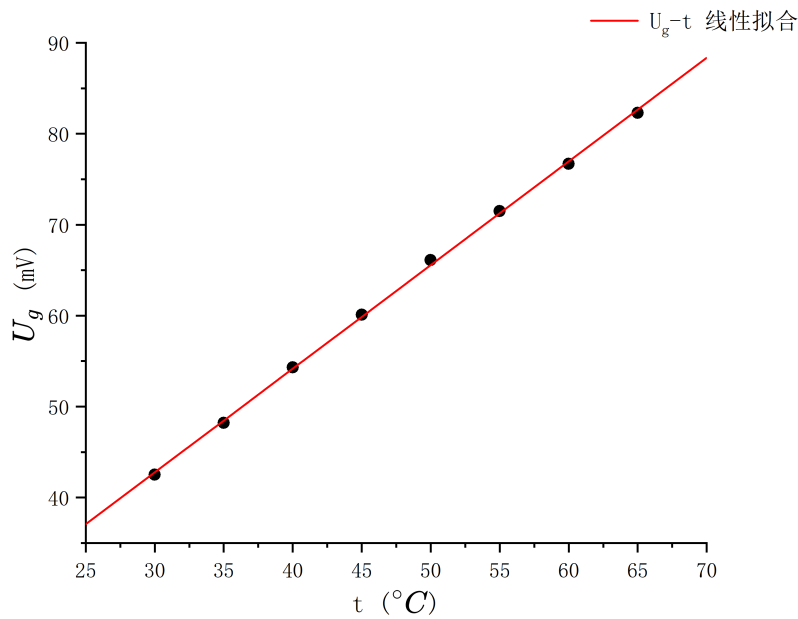


图 2 铜电阻 Cu_5O 的 $U_g - t$ 特性曲线

根据实验数据和公式(5)可得 Cu_5O 的温度系数 α 值如上表所示。由图中可见， $U_g - t$ 特性曲线近似为一条直线，说明铜电阻的电阻值与温度成线性关系，符合金属电阻的特性。

由资料温度系数理论值 $\alpha_0 = 0.00428^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，计算得实验平均值 $\bar{\alpha} = 0.00453^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。则相对误差为：

$$E = \frac{|\bar{\alpha} - \alpha_0|}{\alpha_0} \times 100\% = 5.84\%$$

2. 用平衡电桥描绘铜电阻 Cu_5O 的温度特性曲线

表 2 铜电阻温度特性曲线

	t ($^{\circ}C$)	R_t (Ω)
1	30	57.54
2	35	58.62
3	40	59.74
4	45	60.82
5	50	61.88
6	55	62.94
7	60	64.08
8	65	65.14

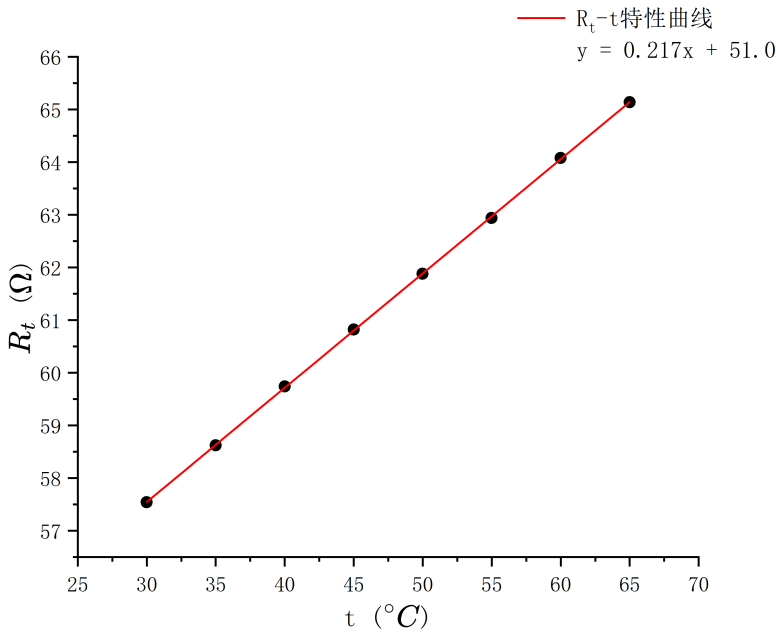


图 3 铜电阻 Cu_5O 的 $R_t - t$ 特性曲线

根据实验数据由 origin 拟合的铜电阻 Cu_5O 的 $R_t - t$ 特性曲线如上图所示。由图中可见， $R_t - t$ 特性曲线近似为一条直线，说明铜电阻的电阻值与温度成线性关系。

由

$$R_t = R_0(1 + \alpha t)$$
$$R_t = 0.217t + 51.0$$

可得

$$\alpha = \frac{0.217}{51.0} = 0.00425^{\circ}C^{-1} \qquad E = \frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha_0} \times 100\% = 0.701\%$$

2. 误差分析（20 分）

1. 在调整连接导线或接头接触时，显示屏读数出现波动。这表明接触电阻不稳定或接触不良，可能给电路带来较大的不确定电阻。
2. 由于铜电阻 Cu_5O 在加热或冷却过程中其温度变化较快，可能导致电阻体内各部分的温度不均匀，实际测量到的电阻值 R_t 或非平衡电压 U_g 不能准确反映其整体温度 t 。
3. 在加热装置设置稳定后，电桥输出电压 U_g 仍存在约 $0.1 \sim 0.2mV$ 左右的波动。这可能源于加热装置的精度有限，或环境电磁干扰、电源电压波动等系统噪声。由于这种波动电压不可控，该误差难以完全消除。
4. 在实验（2）（平衡电桥法）中调节 R_c 使电桥平衡时，出现连续几次调整，示数在 $0.0mV$ 或 $-0.0mV$ 附近波动。这表明仪器的最小读数精度限制了电桥的精确平衡。

3. 实验探讨（10 分）

该实验通过非平衡法和平衡法测量铜电阻 Cu_5O 的温度系数 α 。操作本身相对简单，但理解电桥原理及应用思路花费时间较多。温度的精细调节，需要等待设备达到热平衡，这是实验过程耗时最长的部分，操作时切忌心急。

四、思考题（10 分）

1. 简述平衡电桥和非平衡电桥的区别：

平衡电桥和非平衡电桥的主要区别在于其工作状态和应用目的。平衡电桥工作在平衡状态，通过调节已知电阻使检流表示数 G 为零，然后利用平衡条件进行精确的电阻测量。而非平衡电桥则工作在非平衡状态，它直接测量电桥输出的非零电压 U_g ，该电压通常与桥臂电阻的微小变化 ΔR 成近似线性关系，因此常用于动态、连续测量如温度、应变、压力等随时间变化的物理量，作为传感器的信号转换电路。

2. 非平衡电桥在工程中是否有哪些应用，请举例说明：

非平衡电桥在工程中有广泛的应用，主要用于测量物理量的变化。一个典型的例子是应变计测量。在结构健康监测中，应变计通常连接到非平衡电桥电路中，当结构受到力或压力时，应变计的电阻会发生微小变化，导致电桥输出电压 U_g 发生变化。通过测量 U_g ，可以精确计算出结构的应变，从而评估其安全性和性能。此外，非平衡电桥还常用于温度传感器（如本实验）、压力传感器等领域，用于实时监测环境变化。