

# 浙江大学

## 物理实验报告

实验名称: 非平衡电桥

实验桌号: 16

指导教师: 郑远

班级: \_\_\_\_\_

姓名: \_\_\_\_\_

学号: \_\_\_\_\_

实验日期: 2026 年 1 月 6 日 星期 三 下午

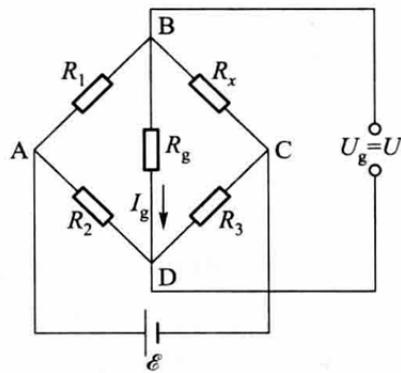
# 一、预习报告（10 分）

## 1. 实验综述（5 分）

（自述实验现象、实验原理和实验方法，包括必要的光路图、电路图、公式等。不超过 500 字。）

### 1. 非平衡电桥工作原理

如图 1 所示，通过计算可以得到输出电压  $U = U_g = \frac{R_2 R_x - R_1 R_3}{(R_1 + R_x)(R_2 + R_3)} \varepsilon$ 。



调节桥臂电阻使得  $R_2 R_x = R_1 R_3$ ，此时电桥平衡。在测量起始点，电桥必须调至平衡，称为预调平衡。若  $R_1, R_2, R_3$  固定， $R_x$  因待测物理量变化至  $R_x + \Delta R_x$  时，电桥进入非平衡状态，BD 端输出非平衡电压为：

$$U = \frac{R_2 R_x + R_2 \Delta R_x - R_1 R_3}{(R_1 + R_x + \Delta R_x)(R_2 + R_3)} \varepsilon$$

根据  $U$  的变化，可以知道桥路中电阻的变化，从而测得待测物理量，这就是非平衡电桥工作原理。

### 2. 变温金属电阻温度系数测量原理

变温金属电阻阻值随温度的变化关系近似为：

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

$R_0$  为  $0^\circ\text{C}$  时的电阻值， $\alpha$  为温度系数。当 B、D 处于开路状态，变温电阻由  $0^\circ\text{C}$  变到  $t$  时，令  $R_x = R_t, R_1 = R_2 = R_3 = R_0$ ，代入公式得到：

$$U = \frac{\alpha t}{4 + 2\alpha t} \varepsilon, \alpha = \frac{4U}{t(\varepsilon - 2U)}$$

## 2. 实验重点（3 分）

（简述本实验的学习重点，不超过 100 字。）

本实验的学习重点在于理解非平衡电桥的工作原理及其在测量物理量变化中的应用，掌握通过调节桥臂电阻实现预调平衡的方法，并学会利用非平衡电压变化来测量变温金属电阻的温度系数。

### 3. 实验难点 (2 分)

(简述本实验的实现难点，不超过 100 字。)

本实验的学习难点在于准确调节桥臂电阻以实现预调平衡，以及精确测量非平衡电压的变化。此外，理解温度系数的计算方法及其在实际测量中的应用也是一个挑战。

## 二、原始数据 (20 分)

(将有老师签名的“自备数据记录草稿纸”的扫描或手机拍摄图粘贴在下方，完整保留姓名，学号，教师签字和日期。)

## 三、结果与分析 (60 分)

### 1. 数据处理与结果 (30 分)

(列出数据表格、选择适合的数据处理方法、写出测量或计算结果。)

1. 测量铜电阻  $Cu50$  的温度系数

实验中电桥工作电压  $\varepsilon = 1.3V$

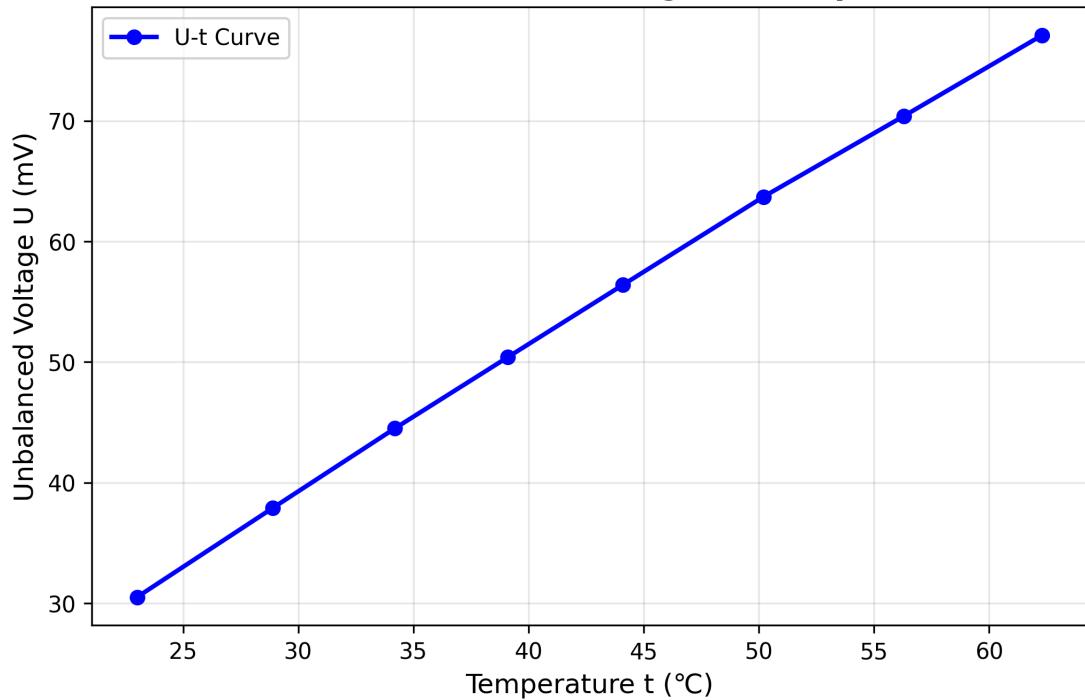
对铜电阻进行加温，记录温度  $t$  和对应的非平衡电压  $U$ ，并利用  $\alpha = \frac{4U}{t(\varepsilon - 2U)}$  计算温度系数，得到下表：

| 次数 <i>i</i>                          | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 温度 $t/^\circ C$                      | 23.0 | 28.9 | 34.2 | 39.1 | 44.1 | 50.2 | 56.3 | 62.3 |
| 非平衡电压 $U/mV$                         | 30.5 | 37.9 | 44.5 | 50.4 | 56.4 | 63.7 | 70.4 | 77.1 |
| 温度系数 $\alpha_i/10^{-3}^\circ C^{-1}$ | 4.18 | 4.16 | 4.15 | 4.13 | 4.11 | 4.11 | 4.07 | 4.05 |

$$\alpha = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \alpha_i = 4.12 \times 10^{-3}^\circ C^{-1}$$

利用 Python 绘制  $U - t$  曲线如下图：

**Curve of Unbalanced Voltage vs Temperature**

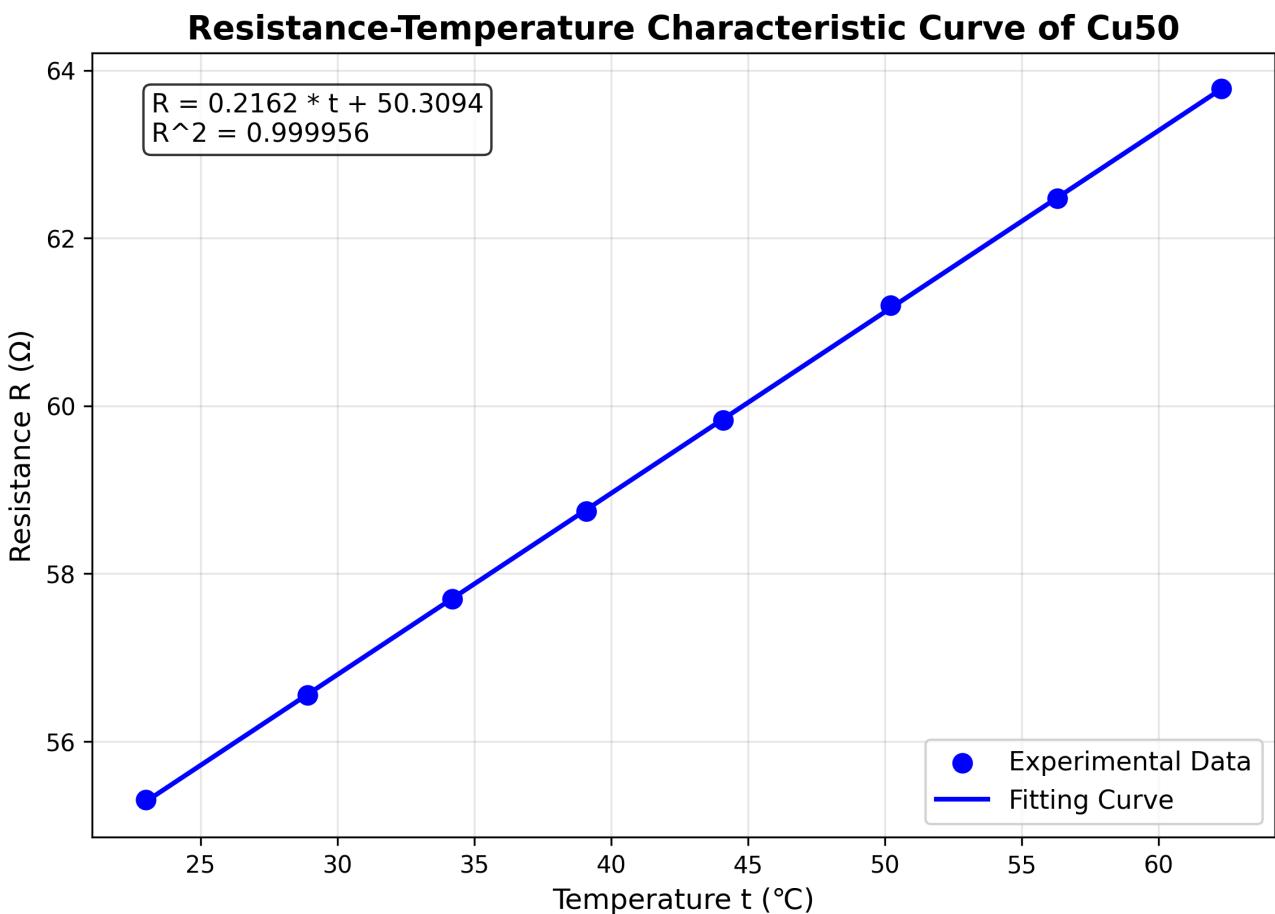


2. 描绘铜电阻Cu50电阻温度特性曲线 $R_t - t$

对铜电阻进行加温，测量不同温度下的电阻值，数据记录如下表：

| 次数              | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 温度 $t/^\circ C$ | 23.0  | 28.9  | 34.2  | 39.1  | 44.1  | 50.2  | 56.3  | 62.3  |
| 电阻 $R/\Omega$   | 55.30 | 56.55 | 57.70 | 58.74 | 59.83 | 61.20 | 62.47 | 63.78 |

利用 Python 进行拟合，绘制曲线如下：



得到拟合结果:  $R = 0.2162t + 50.3094$ , 决定系数  $R^2 = 0.999956$ , 说明  $R$  与  $t$  有良好的线性关系。

由  $R = R_0(1 + \alpha t)$  得:  $\alpha = \frac{0.2162}{50.3094} = 4.30 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

## 2. 误差分析 (20 分)

(运用测量误差、相对误差或不确定度等分析实验结果, 写出完整的结果表达式, 并分析误差原因。)

### (1) 实验结果分析

查询得铜电阻 Cu50 温度系数理论值:  $\alpha_0 = 4.28 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

实验 1 测得温度系数  $\alpha_1 = 4.12 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

$$\text{相对误差 } E_1 = \left| \frac{\alpha_1 - \alpha_0}{\alpha_0} \right| = 3.7\%$$

实验 2 测得温度系数  $\alpha_2 = 4.30 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

$$\text{相对误差 } E_2 = \left| \frac{\alpha_2 - \alpha_0}{\alpha_0} \right| = 0.4\%$$

### (2) 误差原因分析

1. 温度显示与实际电阻温度可能存在一定的滞后, 造成一定误差。
2. 在进行读数测量和记录的过程中, 温度可能会波动, 影响结果。
3. 电桥工作电压、电阻等器材的精度有限, 可能引入系统误差。

4. 电阻升到较高温度后，温度变化较快，读取的数据可能与温度不同步造成一定误差。
5. 接线可能存在接触电阻，影响测量结果。

### 3. 实验探讨（10 分）

（对实验内容、现象和过程的小结，不超过 100 字。）

本次实验通过非平衡电桥测量了铜电阻的温度系数，并描绘了其电阻温度特性曲线。实验结果与理论值较为接近，验证了非平衡电桥在测量物理量变化中的有效性。实验较为顺利，加深了对电桥原理及其应用的理解。

## 四、思考题（10 分）

（解答教材或讲义或老师布置的思考题，请先写题干，再作答。）

1. 非平衡电桥与平衡电桥的主要区别是什么？非平衡电桥的优点是什么？

非平衡电桥与平衡电桥的主要区别在于，平衡电桥在测量过程中需要调节桥臂电阻使得输出电压为零，而非平衡电桥则允许输出电压不为零，从而直接测量物理量的变化。非平衡电桥的优点包括测量速度快、操作简便，且能够连续监测物理量的变化，适用于动态测量。

2. 能否通过实验推测 $0^{\circ}\text{C}$ 时 Cu50 电阻？

可以。根据实验中测得的电阻温度特性曲线  $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ ，可以通过线性拟合得到  $R_0$  的值，即在  $t = 0^{\circ}\text{C}$  时的电阻值。具体方法是将实验数据进行线性回归，得到截距即为  $R_0$ 。

3. 什么是非平衡电桥的灵敏度？如何提高灵敏度？

非平衡电桥的灵敏度是指电桥对待测物理量变化的响应能力，通常定义为输出电压变化与待测物理量变化的比值。提高灵敏度的方法包括增加电桥的工作电压、选择合适的桥臂电阻比例、使用高灵敏度的检测器件（如电子放大器）以及优化电路设计以减少噪声干扰。

- 注意事项：

1. 用 PDF 格式上传“实验报告”，文件名：学生姓名+学号+实验名称+周次。
2. “实验报告”必须递交在“学在浙大”本课程内对应实验项目的“作业”模块内。
3. “实验报告”成绩必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” – “选课系统”内查询。
4. 教学评价必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” – “选课系统”内进行，学生必须进行教学评价，才能看到实验报告成绩，教学评价须在本次实验结束后 3 天内进行。