

# 浙江大学

## 物理实验报告

实验名称: 非平衡电桥

实验桌号: 8

指导教师: 谭艾林

班级: 计科 2404

姓名: 李宇晗

学号: 3240106155

实验日期: 2025 年 11 月 17 日 星期 二 上午

# 一、预习报告（10 分）

## 1. 实验综述（5 分）

平衡电桥通常用于测量相对稳定的物理量，但在实际工程和科学实验中，物理量（如温度、压力、形变）往往是连续变化的。这些变化的物理量可由非平衡电桥来测量。

实验原理：非平衡电桥基于电桥电路的不平衡特性。当电桥的四个桥臂电阻满足平衡条件  $R_1R_3 = R_2R_x$  时，电桥平衡，输出电压  $U$  为零。当某个桥臂的电阻（如作为传感器的  $R_x$ ）随被测物理量（如温度）发生变化时，电桥失去平衡，B、D 两点间会产生一个非零的“不平衡电压”  $U$ 。

在负载电阻  $R_g \rightarrow \infty$ （即检流计内阻极大，或使用高阻抗电压表测量）时，输出电压  $U$  为：

$$U = U_{BD} = U_B - U_D = \left( \frac{R_x}{R_1 + R_x} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) E$$

其中  $E$  为电桥的工作电源电压。

对于金属电阻，在室温附近，其电阻率与温度  $t$ （摄氏度）呈良好的线性关系：

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

其中  $R_0$  是  $0^\circ C$  时的电阻值， $\alpha$  是该金属的电阻温度系数。

本实验中，设置  $R_1 = R_2 = R_3 = R_0$ （即待测电阻  $R_x$  在  $0^\circ C$  时的阻值），则  $R_x = R_t = R_0(1 + \alpha t)$ 。代入不平衡电压公式可得：

$$U = \frac{\alpha t}{4 + 2\alpha t} E$$

通过测量不同温度  $t$  下的不平衡电压  $U$ ，即可计算出电阻温度系数  $\alpha$ ：

$$\alpha = \frac{4U}{t(E - 2U)}$$

实验方法：

1. 测量温度系数  $\alpha$ （非平衡法）：搭建非平衡电桥，设置  $R_1 = R_2 = R_3$  为待测铜电阻的  $R_0$  值（Cu50 约为  $50\Omega$ ）。打开温控装置，记录一系列不同温度  $t$  对应的非平衡电压  $U$ ，代入公式计算  $\alpha$  值，最后求平均值。
2. 描绘  $R_t - t$  曲线（平衡法）：搭建平衡电桥，设置  $R_1 = R_2$ （即比例臂  $k = 1$ ）。逐点改变温度  $t$ ，同时调节比较臂  $R_s$ （即  $R_3$ ），使电桥始终保持平衡（ $U = 0$ ）。此时  $R_x = R_s$ 。记录多组  $(t, R_s)$  数据，绘制  $R_t - t$  特性曲线，通过线性拟合得到斜率，进而求出  $R_0$  和  $\alpha$ 。

实验电路图：

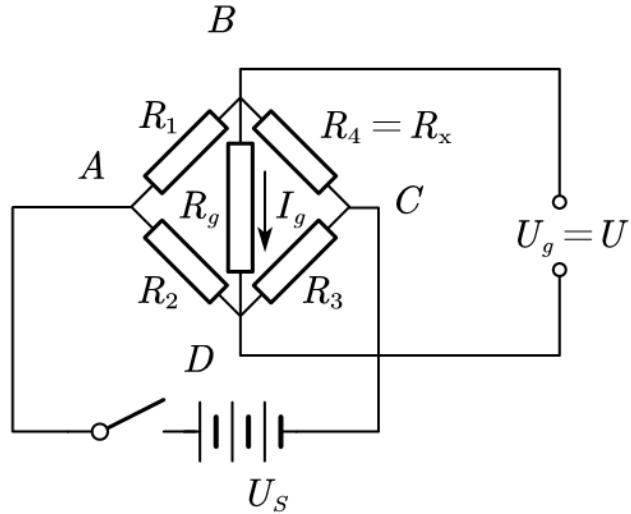


Figure 1: 非平衡电桥电路图

## 2. 实验重点 (3 分)

本实验的学习重点是理解非平衡直流电桥的工作原理, 即不平衡电压与桥臂电阻变化之间的定量关系。掌握利用非平衡电桥测量连续变化的物理量(如温度)的方法, 以及如何通过实验数据( $U - t$  关系)计算金属的电阻温度系数  $\alpha$ 。

## 3. 实验难点 (2 分)

本实验的难点在于:

1. 在测量过程中, 需要等待加热装置和待测电阻的温度达到稳定后才能准确读数, 否则温度  $t$  和电压  $U$  的对应关系不准。
  2. 使用平衡电桥法时, 调节  $R_s$  使电桥完全平衡( $U = 0$ )的操作需要仔细和耐心, 尤其是在温度仍在缓慢变化时。
-

## 二、原始数据 (20 分)

3240106155 李宇晗 班号 8

11.17

$$E = 1.3V \quad \alpha = 0.00428^{\circ}\text{C}^{-1}$$

实验一  $R_1 = R_2 = R_3 = 50\Omega$  非平衡

温度 / °C	29.2	34.2	39.3	44.4	49.2	54.2	59.2
电压 / mV	46.8	46.7	53.7	59.6	65.1	70.8	

$$\begin{array}{ll} T^{\circ}\text{C} & 59.2 \quad 64.5 \\ \text{电压 / mV} & 75.6 \quad 81.5 \end{array}$$

实验二  $R_1 = R_2$  平衡 5V

温度 / °C	32.7	34.7	39.7	44.5	49.1	54.3
阻值 / Ω	57.46	58.52	59.52	60.59	61.71	62.65

$$\begin{array}{ll} 59.2 & 64.2 \\ 63.73 & 64.61 \end{array}$$

误差

## 三、结果与分析 (60 分)

### 1. 数据处理与结果 (30 分)

1.1 实验一：用非平衡电桥测铜电阻 (Cu50) 温度系数

- 实验条件： $R_1 = R_2 = R_3 = 50.0\Omega$
- 工作电源电压： $E = 1.3V$
- 温度系数计算公式： $\alpha = \frac{4U}{t(E-2U)}$
- 铜电阻 (Cu50)  $0^{\circ}\text{C}$  电阻  $R_0 \approx 50\Omega$

- 铜的电阻温度系数理论值:  $\alpha_0 = 4.28 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ C^{-1}$

序号	温度 $t$ ( $^\circ C$ )	电压 $U$ (mV)	温度系数 $\alpha$ ( $\times 10^{-3} (\text{ } ^\circ C^{-1})$ )
1	29.2	40.8	4.587
2	34.2	46.7	4.527
3	39.3	53.7	4.582
4	44.4	59.6	4.547
5	49.2	65.1	4.524
6	54.2	70.8	4.511
7	59.2	75.6	4.446
8	64.5	81.5	4.445

- 计算结果:

► 温度系数平均值  $\bar{\alpha} = \frac{1}{8} \sum \alpha_i = 4.521 \times 10^{-3} (\text{ } ^\circ C^{-1})$

- 与理论值比较:

► 相对误差  $E_r = \frac{|\bar{\alpha} - \alpha_0|}{\alpha_0} \times 100\% = \frac{|4.521 - 4.28|}{4.28} \times 100\% = 5.63\%$

## 1.2 实验二: 用平衡电桥描绘铜电阻(Cu50)温度特性曲线

- 实验条件:  $R_1 = R_2$  (比例臂  $k = 1$ ), 测量值为  $R_t = R_s$ 。

序号	温度 $t$ ( $^\circ C$ )	电阻 $R_t$ ( $\Omega$ )
1	32.7	57.46
2	34.7	58.52
3	39.7	59.52
4	44.5	60.53
5	49.1	61.71
6	54.3	62.65
7	59.2	63.73
8	64.2	64.61

- 数据处理 (作  $R_t - t$  特性曲线): 使用软件 (如 Python, Origin) 对表 2 数据进行线性拟合, 得到  $R_t = R_0(1 + \alpha t) = R_0 \alpha c \cdot t + R_0$ 。

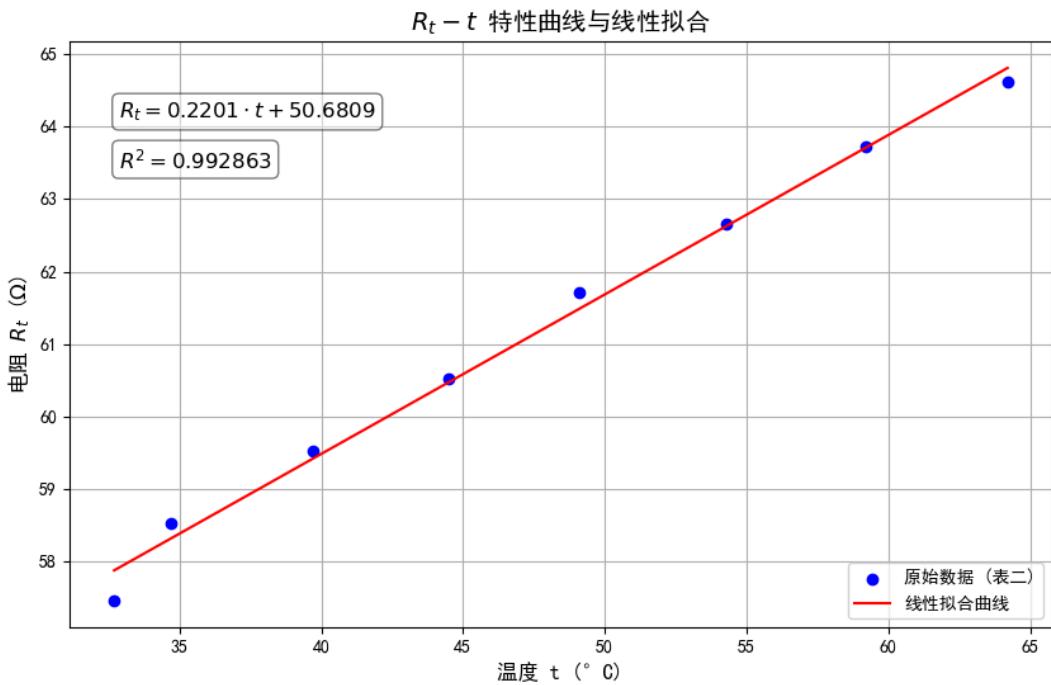


Figure 2:  $R_t - t$  特性曲线图

- 拟合直线方程为:  $R_t = 0.2201t + 50.68$

- 拟合优度  $R^2 = 0.9929$

- 计算结果:

- 根据拟合方程:

- 截距  $R_0 = 50.68\Omega$

- 斜率  $k = R_0\alpha = 0.2201 \frac{\Omega}{\text{°C}}$

- 计算温度系数:

- $\alpha = \frac{k}{R_0} = \frac{0.2201}{50.68} = 4.343 \times 10^{-3} (\text{°C})^{-1}$

- 与理论值比较:

- 相对误差  $E_r = \frac{|\alpha - \alpha_0|}{\alpha_0} \times 100\% = \frac{|4.343 - 4.28|}{4.28} \times 100\% = 1.47\%$

## 2. 误差分析 (20 分)

### 1. 误差原因分析

实验一温度系数计算公式为  $\alpha = \frac{4V_{BD}}{t(E-2U)}$ ，实验二由线性拟合的斜率得到

- 系统误差

- 实验一假定的总电压为 1.3V，但没经过实际测量，可能因为使用时间等因素出现偏差，从而导致系统误差

- 实验一假定 0°C 电阻为 50Ω，但是实际同样没有条件进行测量，也带来了误差

- 以及实际电路中存在的电阻和电源内阻、电极本身可能产生的氧化等都可能产生误差

- 测量误差 (随机误差):

- 在调整温度后再进行测量时，温度可能没有完全稳定下来或者存在滞后，导致测量的电压值存在误差

- 尤其是实验二，调整精确的电阻需要一定时间，温度波动的影响更大

2. 除此之外还有仪器本身的精度限制

---

## 四、思考题（10分）

1. 简述非平衡电桥和平衡电桥的区别。

• 工作原理:

- **平衡电桥:** 调节比较臂使电桥平衡 ( $U = 0$ )，利用电阻比值计算未知电阻。
- **非平衡电桥:** 固定桥臂电阻，通过测量输出的不平衡电压  $U$  来推算阻值变化。

• 特点与应用:

- **平衡电桥:** 精度高，与电源无关，适合精密测量静态电阻。
- **非平衡电桥:** 精度受电源影响，但可直接输出模拟电信号，适合动态测量和制作传感器（如电子温度计、应变片）。

2. 非平衡电桥在工程中有哪些应用？

非平衡电桥广泛应用于非电量的电测技术中：

1. **温度传感器:** 热敏电阻电桥，用于空调控制、体温计等。
2. **电阻应变片传感器:** 测量机械结构的应力、应变，广泛用于电子秤（称重传感器）、桥梁健康监测、加速度计等。
3. **气敏/湿敏传感器:** 检测气体浓度或环境湿度，将其转换为电压信号报警。

• 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。