

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

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)

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 $R_1 R_3 = R_2 R_x$ 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°C 时的电阻值, α 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°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 α :

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

实验方法:

1. **测量温度系数 α (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 50Ω)。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 α 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 α 。

实验电路图:

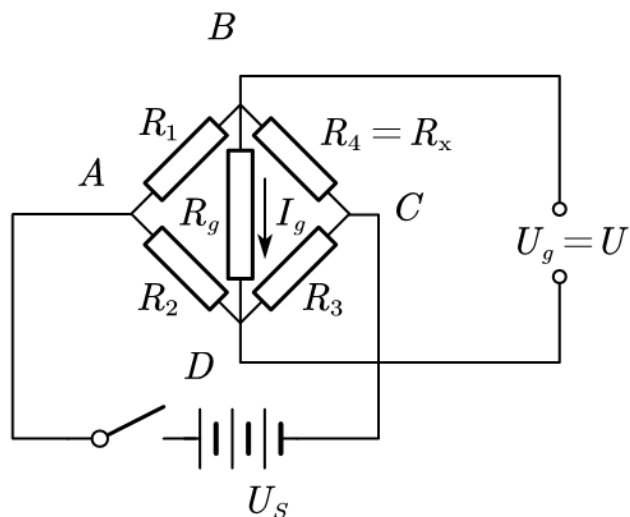


Figure 1: 非平衡电桥电路图

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 α 。

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 第号 8

11.17

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

实验一 $R_1 = R_2 = R_3 = 50\Omega$ 非平衡

温度/ $^\circ\text{C}$	27.2	34.2	39.3	44.4	49.2	54.2	59.2
电压/mV	40.8	46.7	53.7	59.6	65.1	70.8	

$T/^\circ\text{C}$	59.2	64.5
电压/mV	75.6	81.5

实验二 $R_1 = R_2$ 平衡 5V

温度/ $^\circ\text{C}$	32.7	34.7	39.7	44.5	49.1	54.3
电阻/ Ω	57.46	58.52	59.52	60.57	61.71	62.65

	59.2	64.2
	63.73	64.61

谭琳

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°C 电阻 $R_0 \approx 50\Omega$

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

序号	温度 t ($^\circ\text{C}$)	电压 U (mV)	温度系数 α ($\times 10^{-3}()$ $^\circ\text{C}^{-1}$)
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 $\bar{\alpha} = \frac{1}{8} \sum \alpha_i = 4.521 \times 10^{-3}()$ $^\circ\text{C}^{-1}$
- 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 ($^\circ\text{C}$)	电阻 R_t (Ω)
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 $R_t = R_0(1 + \alpha t) = R_0\alpha c \cdot t + R_0$ 。

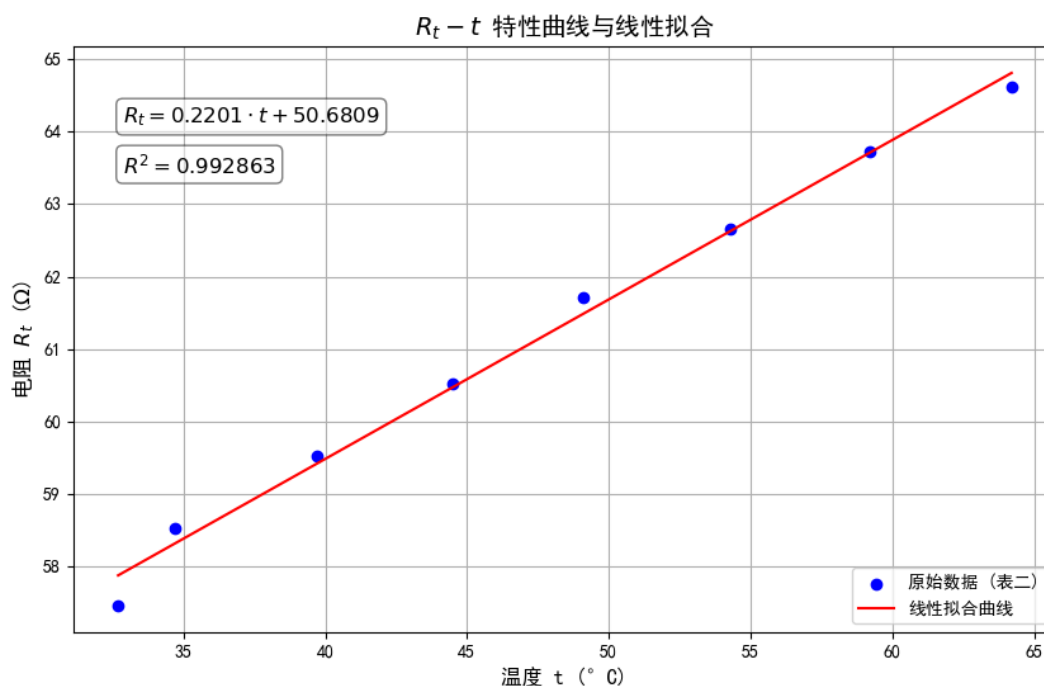


Figure 2: $R_t - t$ 特性曲线图

- ▶ 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 $k = R_0\alpha = 0.2201\Omega^{\circ}\text{C}$
 - ▶ 计算温度系数:
 - $\alpha = \frac{k}{R_0} = \frac{0.2201}{50.68} = 4.343 \times 10^{-3} (^{\circ}\text{C})^{-1}$
- 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
 1. 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
 2. 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
 3. 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):
 1. 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
 1. 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。