

浙江大学

物理实验报告

实验名称: 非平衡直流电桥

实验桌号:

指导教师:

班级:

姓名:

学号:

实验日期: 2025 年 9 月 23 日 星期二上午

(此处填实验选课系统内日期)

浙江大学物理实验教学中心

如有实验补做, 补做日期:

情况说明:

一、预习报告（10 分）

（注：将已经写好的“物理实验预习报告”内容拷贝过来）

1. 实验综述

（自述实验现象、实验原理和实验方法，不超过 300 字，5 分）

直流电桥是一种精密的电阻测量仪器，按测量方式可以分为平衡直流电桥和非平衡直流电桥。平衡直流电桥如惠斯登电桥、双臂电桥等，只能测量具有相对稳定状态的物理量，而在实际工程应用和科学实验中，很多物理量是连续变化的，因此，要使用非平衡直流电桥来测量。非平衡直流电桥是通过测量桥式电路中的不平衡电压，再进行运算处理，得到某个物理量的变化信息，如压力、形变等。

1. 非平衡电桥工作原理

如图 1 所示，与惠斯登电桥相比，非平衡电桥在 B、D 间加的不是检流计，而是负载电阻 R_g ，通过 I_g 和 U_g 的测量来换算 R_x 数值。当 B、D 处于开路状态， R_g 无穷大， $I_g = 0$ ，此时只有电压 U_g ，用 U 表示，则输出电压为：

$$U = U_g = \frac{R_2 R_x - R_1 R_3}{(R_1 + R_x)(R_2 + R_3)} E \quad (1)$$

调节四个桥臂电阻使 $R_2 R_x = R_1 R_3$ ，此时 B、D 两点电位相等， $U = 0$ ，电桥达到平衡状态。为了测量的准确性，在测量起始点，电桥必须调至平衡，称为预调平衡，这样可使输出电压只与某一臂电阻变化有关。若 R_1 、 R_2 、 R_3 固定， R_x 作为传感器随待测物理量（如温度、应力等）的改变而变化时，B、D 两点电位不等，电桥进入非平衡状态， R_x 也由平衡态变为 $R_x + \Delta R_x$ ，此时 B、D 端输出的非平衡电压为：

$$U = \frac{R_2 R_x + R_2 \Delta R_x - R_1 R_3}{(R_1 + R_x + \Delta R_x)(R_2 + R_3)} E \quad (2)$$

根据 U 的大小变化，可以知道桥路中电阻的变化情况，也就可以知道待测物理量的变化，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 R_t 随温度的改变而不同，其电阻随温度的变化关系近似为：

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

R_0 为变温电阻 0°C 时阻值， α 为电阻的温度系数。当 B、D 处于开路状态，变温电阻从 0°C 变到 $t^\circ\text{C}$ 时，如图 1 所示，令 $R_x = R_t$ ， $R_1 = R_2 = R_3 = R_0$ ，代入 (1) 式整理得

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

因此

$$\alpha = \frac{4U}{t(E - 2U)} \quad (5)$$

因电桥工作电源 $E=1.3\text{V}$ ，所以只需测出 U 、 t 即可求出变温电阻的温度系数 α 。

2. 实验重点

（简述本实验的学习重点，不超过 100 字，3 分）

1. 非平衡电桥通过不平衡电压反映电阻变化，从而测量物理量（温度、应力等）。

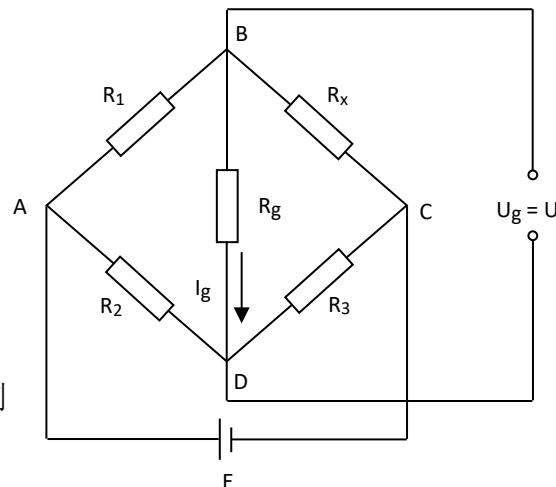


图 1

2. 测量前需预调平衡，使起始时电桥输出电压为零，保证结果只与传感器电阻变化有关。
3. 用公式通过电桥输出电压定量求出电阻变化。
4. 金属电阻温度系数测量中，利用 $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ ，只需测量输出电压 U 和温度 t 即可求 α 。

3. 实验难点

（简述本实验的实现难点，不超过 100 字，2 分）

1. 理解非平衡电桥与平衡电桥的区别，前者利用不平衡电压作为输出。
2. 实验误差来源多，温度稳定性和电压测量灵敏度要求高。

二、原始数据

（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

1. 数据处理与结果

(列出数据表格、选择数据处理方法、给定测量或计算结果, 30 分)

(1) 测算铜电阻 Cu50 温度系数

通过实验直接测得 U 与 t, 通过公式 $\alpha = \frac{4U}{t(E-2U)}$, $E = 1.3V$, 计算得到 α 值如下表。

表 1 测算铜电阻 Cu50 温度系数

计数	1	2	3	4	5	6	7	8
温度/°C	26.6	31.6	36.6	41.6	46.6	51.6	56.6	61.6
电压/mV	36.8	43.3	49.4	55.4	61.1	66.9	72.8	78.3
$\alpha / ^\circ C^{-1}$	4.51×10^{-3}	4.52×10^{-3}	4.49×10^{-3}	4.48×10^{-3}	4.45×10^{-3}	4.45×10^{-3}	4.46×10^{-3}	4.45×10^{-3}

平均值: $\alpha = \sum \sigma_i / 8 = 4.48 \times 10^{-3} ^\circ C^{-1}$

理论值为: $4.28 \times 10^{-3} ^\circ C^{-1}$

相对误差 $E1 = (|\alpha - \alpha_0| / \alpha_0) \times 100\% = 4.6\%$

结果小于 10%, 在合理的范围内。

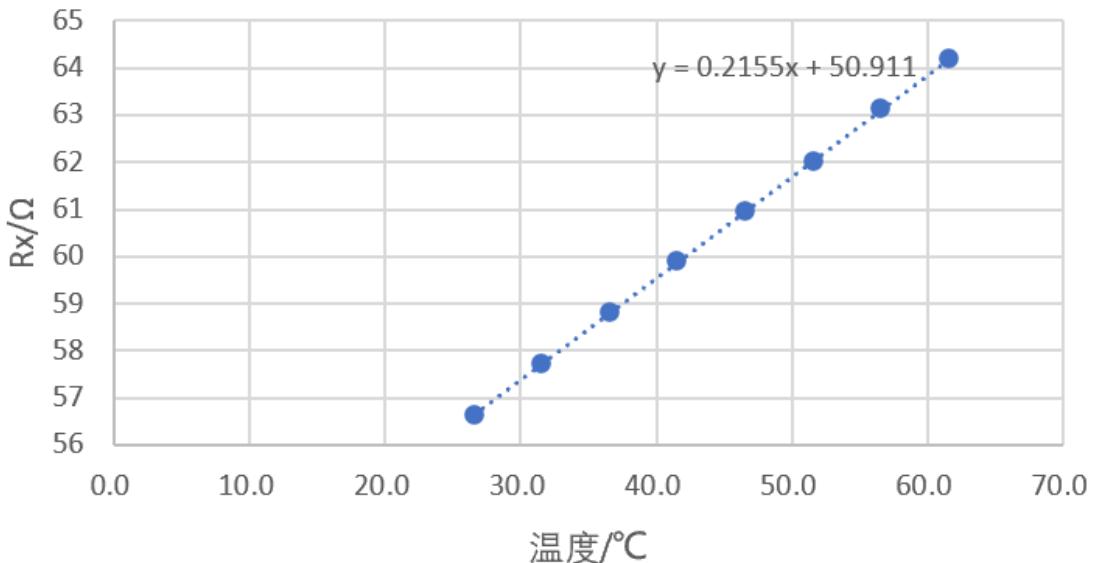
(2) 描绘铜电阻 Cu50 温度特性曲线

表 2 描绘铜电阻 Cu50 温度特性曲线

计数	1	2	3	4	5	6	7	8
温度/°C	26.6	31.6	36.6	41.6	46.6	51.6	56.6	61.6
R_t / Ω	56.63	57.72	58.82	59.89	60.95	62.01	63.13	64.18

由 $R_t = R_0(1 + \alpha t)$, $R_t = R_0 \alpha t + R_0$, 将数据导入 excel 得到 $R_t - t$ 曲线图像。

实验2



$$\text{斜率 } k = R_0 \alpha = 0.2155$$

$$\text{截距 } b = R_0 = 50.911$$

$$\text{则 } \alpha_{\text{测}} = \frac{k}{b} = 4.23 \times 10^{-3}$$

$$\text{相对误差 } E_i = (|\alpha - \alpha_0| / \alpha_0) \times 100\% = 1.1\%$$

2. 误差分析

(运用测量误差、相对误差、不确定度等分析实验结果, 20 分)

(1) 系统误差

实验 1:

实验 1 的系统误差相较实验 2 更为显著, 可能原因包括:

- a. 实验所采用的电源标称电压为 1.3V, 但实际输出电压可能低于该数值, 从而导致温度系数 α 的测量结果偏大。
- b. 在实验中假定 0°C 时电阻为 50Ω 以进行预调平衡, 然而实际电阻并不一定严格等于 50Ω, 因此会引入偏差。
- c. 电路中接线端等附加电阻未被计入, 亦可能造成误差。
- d. 加热过程中, 加热炉内部可能存在温度分布不均匀现象, 导致铜电阻的实际温度与温度计所示温度之间存在差异, 从而影响测量精度。

实验 2:

- a. 受限于电流表的读数分辨率, 当显示为 0 mA 时, 实际电流可能并未完全为零。
- b. 由于电阻箱的最小调节步长有限, 有时难以将电流精确调至零。
- c. 电路中接线端等附加电阻未被计入, 亦可能造成误差。
- d. 加热过程中, 加热炉内部可能存在温度分布不均匀现象, 导致铜电阻的实际温度与温度计所示温度之间存在差异, 从而影响测量精度。

(2) 测量误差

在实验 2 中，手动调节电阻值时温度处于连续变化过程，难以实现测量电压与温度的一一对应关系，因此在电压与电阻值的测定中存在一定的测量误差。

(3) 实验结果分析

通过对误差的分析可以得出，实验 1 与实验 2 的测量结果均具有较高的可靠性。其中，实验 2 采用线性拟合方法，有效提升了测量精度，其相对误差仅为 1.1%；实验 1 的相对误差为 4.6%，亦处于合理范围之内。

此外，实验 1 结果显示温度系数随温度升高而逐渐减小，这与金属电阻温度系数在高温区逐渐偏离线性、趋于减小的特性相符合。

综上，实验中的主要误差来源包括温度、电压与电阻测量的不确定性，以及电桥平衡调节和加热过程中的系统性偏差。通过提升测量仪器的精度并改善加热过程的均匀性，可进一步降低实验误差，提升结果的准确性。

3. 实验探讨

（对实验内容、现象和过程的小结，不超过 100 字，10 分）

我们利用非平衡直流电桥方法测量了铜电阻的温度系数。随着温度的升高，电阻值和输出电压都呈现出近似线性的增加趋势。得到的温度系数与理论值基本一致，偏差处于合理范围。实验中可能存在一些影响因素，例如温度分布不够均匀、加热与测量之间存在一定的时间差。

四、思考题

（解答教材或讲义或老师布置的思考题，10 分）

1. 从结构或原理角度简述非平衡电桥与平衡电桥之间的区别。

平衡电桥：平衡电桥在测量时通过调节电阻使电桥达到平衡状态，此时电桥输出端电压为零，未知电阻值可通过电桥条件直接计算，特点是测量精度较高、受电源波动影响小，但需要手动或自动调平衡。在平衡点附近灵敏度高。

非平衡电桥：非平衡电桥则不追求零电压平衡，而是通过测量电桥输出端的电压变化来反映待测电阻的变化量。它结构上通常不需反复调节，适合连续监测和动态测量，但测量精度受电源稳定性和电压测量精度影响更大，需校准输出信号与电阻变化的对应关系。

2. 非平衡电桥与平衡电桥，分别适用于哪些电学量的测量或仪器的应用？

(1) **平衡电桥：**常用于需要高精度、静态测量电阻值的场合。其优势是消除了电源波动和仪表零点漂移对结果的影响。

具体应用如：

精密电阻测量：在各种科学实验和工业生产中，惠斯通电桥被广泛用于精确测量未知电阻的阻值。电路由三个已知电阻和一个待测电阻组成，通过调节其中一个可变的标准电阻，使电桥达到平衡状态，此时中间的检流计示数为零。这种方法的精度远高于普通的电压表和电流表测量。

电阻标准器检定：在计量学领域，平衡电桥（如凯文电桥）用于校准和检定标准电阻。一个待检定的电阻与一个更高等级的标准电阻放置在电桥的不同桥臂中进行比对。通过精密调节电桥直至完全平衡，可以检测出两个电阻之间极其微小的差异，从而确定待检定电阻的精确值及其误差，确保量值传递的准确性。

(2) 非平衡电桥：常用于需要实时反映电阻变化的应用。由于其输出电压随待测电阻变化而改变，特别适合动态测量与连续监测，因此在传感器测量与自动检测装置中应用广泛。

具体应用如：

压力测量：在压力传感器中，非平衡电桥用于测量应变片的电阻变化。当压力作用在传感器上时，应变片的电阻发生变化，通过非平衡电桥测量输出电压的变化，可以推算出压力的大小。

温度测量：非平衡电桥常用于温度传感器的测量电路，如热敏电阻（NTC、PTC）和铂电阻（PT100）。通过测量电阻随温度的变化，可以实时监测温度变化，广泛应用于工业温度控制、环境监测等领域。

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。

浙江大学物理实验教学中心制