

预习	操作记录	实验报告	总评成绩

《大学物理实验》课程实验报告

学院：

专业：

年级：

实验人姓名(学号)：

参加人姓名：

日期： 年 月 日

室温：

相对湿度：

实验 电阻温度特性的测量

[实验前思考题]

1. 什么是平衡电桥，什么是非平衡电桥，如何判断需采用哪种电桥测量电阻？
2. 根据图 3，推导用非平衡电桥测量电阻 R_T 的计算公式（式 8）。

[实验目的]

1. 掌握平衡电桥、非平衡电桥的工作原理；
2. 掌握 LCR 表（数字电桥）、数字万用表的使用方法；
3. 了解金属导体的电阻随温度变化的规律；
4. 了解热敏电阻的电阻值与温度的关系；

[仪器用具]

编号	仪器名称	数量	主要参数（型号，测量范围，精度）
1	直流电桥		
2	数字电桥		
3	数字万用表		
4	控温实验仪		
5	NTC 热敏电阻		
6	PTC 热敏电阻		
7	铜电阻		

[原理概述]

1. 金属导体电阻

金属导体的电阻值 R_t 随温度 t 的升高而增加，其关系常用以下经验公式表示

$$R_t = R_0(1 + at + bt^2 + ct^3 + K) \quad (1)$$

其中 R_0 为 $t = 0^\circ\text{C}$ 时的电阻， a, b, c 为常数。在很多情况下，可只取前三项。又由于常数 b 比 a 小很多，故在不太大的温度范围内， b 也可省略，式（1）可近似写成

$$R_t = R_0(1 + at) \quad (2)$$

其中 a 称为该金属电阻的温度系数。严格地说， a 与温度有关，但在 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ 范围内， a 的变化很小，可看作常数。故实验测得金属的 $R_t \sim t$ 关系曲线近似为一条直线，如图 1 所示，斜率为 $R_0 a$ ，截距为 R_0 。利用电阻与温度的这种关系可做成金属电阻温度计，如铂电阻温度计等，把温度的测量转换成电阻的测量。

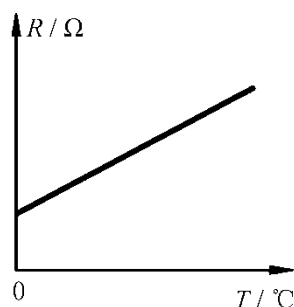


图 1 金属电阻温度关系

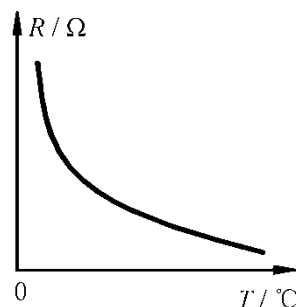


图 2 NTC 热敏电阻温度关系

2. 半导体热敏电阻

热敏电阻由半导体材料制成，是一种敏感元件。其特点是在一定的温度范围内，电阻率 ρ_T 随温度 t 显著变化，故电阻 R 随温度常呈非线性变化。

若电阻率 ρ_T 随温度升高而下降，则称为负温度系数（NTC, Negative temperature coefficient）热敏电阻，反之则称为正温度系数（PTC, Positive temperature coefficient）热敏电阻。

（1）负温度系数（NTC）热敏电阻

NTC 热敏电阻的 ρ_T 随热力学温度 T 变化的关系为

$$\rho_T = A_0 e^{B/T} \quad (3)$$

式中 A_0 与 B 为常数，由材料的物理性质决定， $B = E/k$ ， E 为半导体材料的激活能， $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ 为玻耳兹曼常数。对于截面均匀的“NTC”元件，阻值 R_T 可表示为

$$R_T = \rho_T \frac{L}{S} = A_0 \frac{L}{S} e^{B/T} \quad (4)$$

其中 L 为热敏电阻两电极间的距离， s 为热敏电阻横截面积，令 $A = A_0 L/S$ ，则有

$$R_T = A e^{B/T} \quad (5)$$

上式说明 NTC 热敏电阻的阻值随温度升高快速下降，如图 2 所示，且阻值对温度的敏感性比金属电阻要高，因此被广泛应用于精密测温 and 自动控温等领域。

对（5）式两边取对数，得

$$\ln R_T = B \frac{1}{T} + \ln A \quad (6)$$

可见 $\ln R_T$ 与 T^{-1} 成线性，易用作图法或最小二乘法求出 A 和 B 值，进而求出激活能 E 。

根据电阻温度系数的定义 $\alpha = (d\rho_T/dT)/\rho_T$ 和式（5）可得

$$\alpha = \frac{1}{\rho_T} \frac{d\rho_T}{dT} = \frac{1}{R_T} \frac{dR_T}{dT} = -\frac{B}{T^2} \quad (7)$$

可见，对于给定的 NTC 热敏电阻， α 并非常数，会随着温度变化。

(2) 正温度系数 (PTC) 热敏电阻

有些热敏电阻在温度升高到某特定范围时，电阻率会急剧上升，称为正温度系数热敏电阻。其电阻率的温度特性为：

$$\rho_T = A' e^{B_p/T} \quad (8)$$

式中 A' 、 B_p 为常数，由材料物理性质决定。对于截面均匀的“PTC”元件，阻值 R_T 可表示为

$$R_T = \rho_T \frac{L}{S} = A' \frac{L}{S} e^{B_p/T} \quad (9)$$

其中 L 为热敏电阻两电极间的距离， S 为热敏电阻横截面积。式 (9) 两边取对数，得：

$$\ln R_T = \ln(A' \cdot L/S) + B_p/T \quad (10)$$

可见 $\ln R_T$ 与 T 成线性，易求出 A' 和 B_p 值。其电阻温度系数 $\alpha = B_p/T^2$ 。

3. 电桥

如图 3 所示电路称为电桥，被测电阻 R_T 和已知电阻 R_2 、 R_3 、 R_4 称为电桥的桥臂。流过微安表 G 的电流 I_g 由桥臂的比值决定。设图 3 中微安表 G 的内阻为 R_g ，电源内阻忽略不计，根据基尔霍夫定律，可得

$$I_g = \frac{(R_2 R_3 - R_T R_4) U_E}{R_T R_2 R_3 + R_2 R_3 R_4 + R_3 R_4 R_T + R_4 R_T R_2 + R_g (R_T + R_2)(R_3 + R_4)} \quad (11)$$

其中 U_E 为电源电压。

(1) 平衡电桥（也称为惠斯通电桥）

测量电阻时，若阻值变化较慢，则可调节桥臂电阻使 $I_g = 0$ ，称电桥达到平衡状态。根据式 (11) 可知，此时 $R_2 R_3 = R_T R_4$ ，则

$$R_T = R_2 R_3 / R_4 \quad (12)$$

(2) 非平衡电桥

被测电阻阻值 R_T 变化很快时(如热敏电阻)，电桥很难调节平衡，需采用非平衡电桥。电桥不平衡时， $I_g \neq 0$ ，由式 (11) 整理后可得

$$R_T = \frac{R_2 R_3 U_E - I_g (R_2 R_3 R_4 + R_g R_2 R_3 + R_g R_2 R_4)}{I_g (R_2 R_3 + R_3 R_4 + R_4 R_2 + R_g R_3 + R_g R_4) + R_4 U_E} \quad (13)$$

可见，当 R_2 、 R_3 、 R_4 保持不变时， I_g 与 R_T 、 R_T 与 T 都是一一对应的，故 I_g 与 T 也一一对应。若用微安表测量 I_g ，并将微安表刻度盘的电流分度值改为温度，就可直接测量温度，称为半导体温度计。

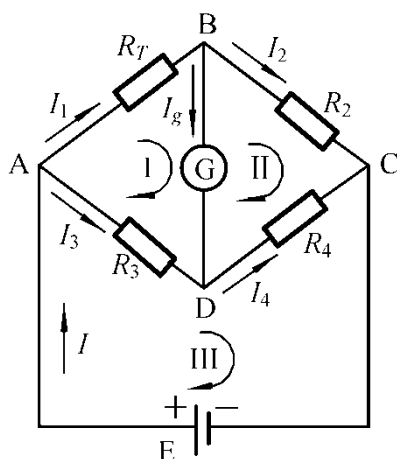


图3 电桥原理图

4. 实验仪器

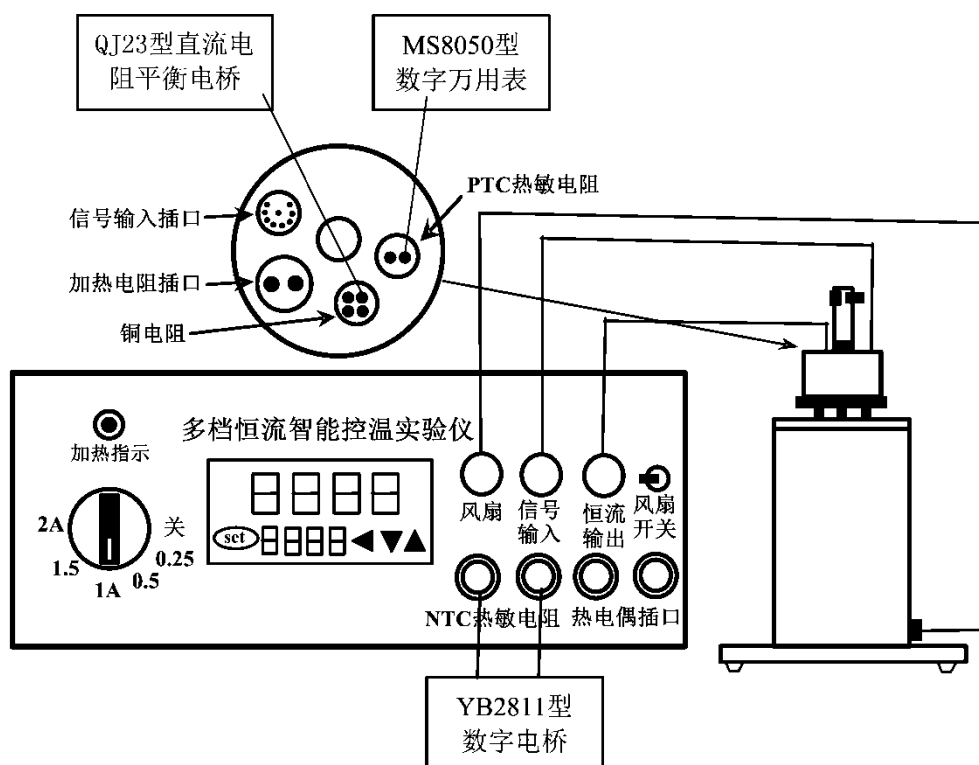


图4 实验仪器和接线

[实验内容及步骤]

1. 测量铜电阻、NTC 热敏电阻和 PTC 热敏电阻的阻值

在室温至 100°C 范围内, 每隔 5°C 采用直流电阻平衡电桥 (QJ23 型)、LCR 数字电桥 (YB2811 型)、台式数字万用表 (MS8050 型) 三种设备, 分别测量铜电阻 R_{Cu} 、PTC 热敏电阻 R_{PTC} 、负温度系数热敏电阻 R_{NTC} 三种电阻的阻值。升温过程和降温过程各测一组, 取平均值作为被测电阻的阻值。

三种电阻的温度由 FB203 型多档恒流智能控温实验仪控制。两人合作完成实验时, 可以将温度直接设置为 100°C 连续升温, 但要注意数据的记录, 以免升温过快漏记数据。一人单独完成实验时, 在连续升温过程中, 要在每个温度点同时完成电桥平衡的调节和三个电阻阻值的记录难度较大, 此时应每隔 5°C 设置一次温度, 控温仪可在设定的温度下长时间稳定, 方便测量。

注意: (1) 升温过程中加热器工作电流根据升温快慢调节, 开始时用 0.25A , 升温速率变慢时再加大电流, 但最大不超过 1A 。 (2) 温度达到 100°C 后开始降温初期, 不要打开风扇。当温度下降速率较慢时才打开风扇辅助降温。

2. 分析铜电阻的温度特性

作铜丝电阻的 $R_{Cu} \sim T$ 关系曲线, 用作图法求铜丝电阻的电阻温度系数 α 。

3. 分析 NTC 热敏电阻的温度特性

- (1) 作 $R_{NTC} \sim T$ 关系曲线。
- (2) 计算 T^{-1} (T 为热力学温度) 及 $\ln R_{NTC}$, 根据式 (6) 用最小二乘法求 B 和 A 。
- (3) 写出 NTC 热敏电阻的 $R_T \sim T$ 关系式, 计算各温度下的电阻温度系数 α_T , 并计算被测 NTC 材料的激活能。
- (4) 作 $\ln R_{NTC} \sim 1/T$ 关系曲线。

4. 分析 PTC 热敏电阻的温度特性

- (1) 作 $R_{PTC} \sim T$ 关系曲线。
- (2) 计算 T (T 为热力学温度) 及 $\ln R_{PTC}$, 计算 R_{PTC} 的温度系数。
- (3) 作 $\ln R_{PTC} \sim T$ 关系曲线。

1. 测量不同温度下铜电阻、NTC 热敏电阻和 PTC 热敏电阻的阻值

[illegible]

[数据处理与分析]

1. 分析铜电阻的温度特性
2. 分析 NTC 热敏电阻的温度特性
3. 分析 PTC 热敏电阻的温度特性

[实验后思考题]

1. 为什么采用从曲线上任取两点的方法求铜丝电阻的电阻温度系数 a ，而不采用由延长线找 R_0 求 a 的方法？
2. 利用最小二乘法拟合铜电阻的 $R_t \sim t$ 曲线来求出电阻温度系数 a ，与作图法得到的 a 值作比较，并说明哪种方法得到的 a 值更合理。