

浙江大学

物理实验报告

实验名称：非平衡电桥

指导教师：王立刚

信箱号：36

96



【实验目的】

1. 掌握非平衡直流电桥的工作原理和测量方法
2. 应用非平衡直流电桥测量变温金属电阻温度系数

【实验原理】（电学、光学画出原理图）

1. 非平衡电桥的工作原理

如图1所示，非平衡电桥在B、D间加的不是检流计，而是负载电阻 R_3 ，通过 I_3 和 U_3 的测量来换算 R_x 数值。当B、D处于开路状态， R_3 无穷大， $I_3=0$ ，此时只有电压 U_0 ，用 U 表示，则输出电压为：

$$U = U_0 = \frac{R_2 R_x - R_1 R_3}{(R_1 + R_x)(R_2 + R_3)} \cdot \mathcal{E} \quad (1)$$

调节四个桥臂电阻使 $R_1 R_x = R_2 R_3$ ，此时B、D两点电位相等， $U=0$ ，电桥必须调至平衡达到平衡状态。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，这样可以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：

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

根据 U 的大小变化，可以知道桥路中电阻的变化情况，也就知道了待测物理量的变化

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 时，

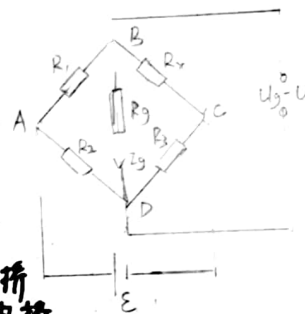
如图1所示，令 $R_x = R_t$ ， $R_1 = R_2 = R_3 = R_0$ ，代入①式整理可得

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

因此

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

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



【实验内容】（重点说明）

1. 测量铜电阻 $Cu50$ 温度系数
 - (1) 打开 FQJ 型非平衡直流电桥开关, 按图 1 接线, 将 R_a, R_b, R_c 分别接至 R_1, R_2, R_3 。
 - (2) 铜电阻 $Cu50$ 在 $0^\circ C$ 时阻值约为 50Ω , 因此分别将 R_a, R_b, R_c 设为 50Ω 。
 - 如果有条件可在 $0^\circ C$ 下对电桥预调平衡:
 - 将“功能、电压选择”开关置于“非平衡-电压”档, 将待测铜电阻 R_x 置于盛冰水混合物的液体槽中, R_a, R_b, R_c 均置为 50Ω 并接至 R_1, R_2, R_3 , 按下 B.G 按钮, 微调 R_3 , 使输出电压为零, 此时电桥平衡, 实现 $t=0^\circ C$ 时, $U=0$ 。
 - (3) 将“功能、电压选择”开关置于“非平衡-电压”档, 按下 B.G 按钮, 测量并记录非平衡电压值 U 和室温 t 。
 - (4) 利用非平衡电桥加热装置对铜电阻进行加热, 以 $5^\circ C$ 为间隔, 待温度达到相对稳定时按下 B.G 按钮, 测量并记录非平衡电压 U 及其对应的温度 t 。
 - (5) 利用实验数据作 $U-t$ 特性曲线, 将数据代入 (5) 式求出 α , 再求其平均值 $\bar{\alpha}$, 与理论值相比较, 计算相对误差, 填入表 1。
2. 描绘铜电阻 $Cu50$ 电阻温度特性曲线 R_t-t
 - (1) 将“功能、电压选择”开关置于“平衡-5V”档, 此时电桥进入平衡电桥(惠斯登电桥)工作状态。
 - (2) 因电桥平衡时 $R_x R_4 = R_1 R_3$, 即 $R_x = \frac{R_1}{R_4} R_3$, 若 $\frac{R_1}{R_4} = 1$, 则 $R_x = R_3$ 。将 R_a, R_b 接入 R_1, R_2, R_c 接入 R_3 。
 - (3) 对铜电阻进行加热, 以 $5^\circ C$ 为间隔(也可在实验内容 1 后, 接每隔 $5^\circ C$ 降温), 待温度达到相对稳定时按下 B.G 按钮, 并迅速调节 R_c 使电桥平衡, 此时 R_c 的值即为当前温度下铜电阻 $Cu50$ 的阻值。记录 R_c 及其对应的温度值 t , 完成表 2。
 - (4) 利用实验数据作 R_t-t 特性曲线, 由曲线求出电阻温度系数 α , 与理论值相比较, 计算相对误差。

【实验器材及注意事项】

实验器材:

1. FQJ 型非平衡直流电桥
2. 非平衡直流电桥加热实验装置

注意事项:

1. 实验开始前, 所有导线, 特别是加热炉与温控仪之间的信号输入线应连接可靠
2. 传热铜块与传感器组件出厂时已由厂家调节好, 不得随意拆卸
3. 转动“PID 调节”及“设定调节”旋钮时, 应轻微用力, 以免损坏电位器。
4. 实验完毕后, 切断电源, 整理导线, 并将实验仪器摆放整齐
5. 由于热敏电阻、铜电阻耐测温的局限, 设定加温的上限值不能超过 $120^\circ C$
6. 为了测量的准确性, 在测量起始点, 电桥必须调至平衡, ~~并~~
7. 在加热过程中根据实际升温要求, 选择合适档位, 以减小加热惯性。



【数据处理与结果】

1. 测量铜电阻 $Cu50$ 温度系数

表 1

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
温度 $t/^\circ\text{C}$	13.7	18.7	23.7	28.6	33.6	38.6	43.6	48.6	53.6	58.6
U/mV	18.3	25.0	31.3	37.4	43.6	49.9	55.4	61.5	67.1	72.7
$\alpha/^\circ\text{C}^{-1}$	4.23×10^{-3}	4.28×10^{-3}	4.27×10^{-3}	4.27×10^{-3}	4.28×10^{-3}	4.31×10^{-3}	4.27×10^{-3}	4.31×10^{-3}	4.30×10^{-3}	4.30×10^{-3}

将实验测得数据填入表中, 由 $\alpha = \frac{U}{t(E-U)}$ 算出各个 α_i 填入表中
 由此计算得 $\bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha_i}{10} = 4.28 \times 10^{-3} ^\circ\text{C}^{-1}$ 其相对于理论值的相对误差为 $E = \frac{|\bar{\alpha} - \alpha_0|}{\alpha_0} \times 100\% = 0.05\%$

$U_0 = \frac{U}{\alpha} = 0.06^\circ\text{C}$, $U_0 = \frac{U}{\alpha} = 0.06^\circ\text{C}$, 由不确定度传递公式得: $\Delta \alpha = \alpha \sqrt{\frac{1}{n}}$

由 $U_n = \frac{S(x_i)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 8 \times 10^{-6} ^\circ\text{C}^{-1}$

由于未给仪器误差, 所以 U_n 类不确定度可忽略不计. $\therefore \alpha = (4.28 \pm 0.008) \times 10^{-3} ^\circ\text{C}^{-1}$

由此表也可作图得 U 与 t 的曲线, 即 $\frac{U}{t} = \frac{U}{\alpha t} \cdot \frac{1}{t} + \frac{1}{\alpha}$, 如附页所示 $U-t$ 特性曲线.

得该直线斜率方程为 $y = 0.729x + 0.0012$. $\Rightarrow \frac{U}{\alpha t} = 0.729 \Rightarrow \alpha = 4.22 \times 10^{-3} ^\circ\text{C}^{-1}$

则由作图法所得 α 与理论值的相对误差为 $E = \frac{|\alpha - \alpha_0|}{\alpha_0} \times 100\% = 1.4\%$

2. 平衡电桥测量铜电阻的温度系数.

表 2

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
温度 $t/^\circ\text{C}$	13.7	19.4	23.9	28.4	33.3	39.2	43.5	48.4	53.6	58.4
R_t/Ω	52.93	54.14	55.14	56.12	57.17	58.42	59.34	60.46	61.53	62.57

将实验测得数据填入表中, 由公式 $R_x = R_0(1 + \alpha t)$ 作出 R_t-t 特性曲线如附页所示.

该直线的方程为 $y = 0.2157x + 49.976$. 由此得 $R_0 = 49.976\Omega$. $\alpha R_0 = k$

$\Rightarrow \alpha = 4.316 \times 10^{-3} ^\circ\text{C}^{-1}$. 由作图所得 α 与理论值的相对误差 $E = \frac{|\alpha - \alpha_0|}{\alpha_0} \times 100\% = 0.84\%$



【误差分析】

1. 仪器误差. 存在热惯性, 加热装置显示的温度不是铜的实际温度, 存在一定的误差.
2. 因为实验时不能控制温度完全平稳不变, 所以实验数据可能不能完全准确地反应当时的温度.
3. 由实验结果可知, 第一种方法的相对误差为 0.05%. 较作图法所得 α 与平衡电桥法测得的 α 小, 其原因在于作图法拟合曲线时存在误差, 同时其保留的有效数位对作图法也有很大的影响.
4. 在平衡电桥法测电阻温度系数时, 有时 0.01 几的电阻变化对实验测量结果不产生影响, 使得电阻值的测量存在误差.
5. 在第一种方法中, 电桥的工作电源实际值与理论值不同, 会对实验结果造成影响, 由作图法可得其 $\frac{E}{E_0} = 1.2 \Rightarrow E = 1.67 \text{ V}$. 与理论值 $E_0 = 1.5 \text{ V}$ 有较大偏差, 从而会引入误差.
6. 铜电阻 Cu50 本身发生化学反应, 使自身的电阻温度系数发生变化.

【实验心得及思考题】

实验心得:

本次实验相对较简单, 且实验结果与理论值相符合, 误差较小, 但在实验过程中还是有很多需要注意的地方, 比如: 要如何控制测量时的温度成为实验的难点, 若先升温后再开风扇降温, 从使铜电阻达到相应的温度, 这样不仅会花费更多的时间, 且由于铜金属的热惯性会引入较大的误差. 为此我们可以给升温的设定温度预留一点额度, 让其热惯性升温从而达到目标温度. 如要加热的目标温度比目前温度高 5°C 时, 可以将设定温度比目前温度高 4°C . 同时, 在将要达到所需的目標温度时, 我们可以减小其加热的档位以减小其热惯性, 保证加热测量的准确性. 从这之中可以感受到要做好一个实验并不是一件容易的事情, 需要我们在各个方面都仔细严谨.

思考题:

1. ① 相同点: 都是表示电桥中某两个特定的接点的电势情况, 相等时为平衡电桥, 不相等时为非平衡电桥.
② 不同点: 操作难易不同, 平衡电桥的操作繁琐, 测量时间长; 非平衡电桥的操作简便, 测量时间短, 易实现数字化测量.
③ 计算方法不同: 平衡电桥是利用其平衡状态分析和计算电桥线路; 非平衡电桥是根据电桥电路指示仪表非零的指示值来确定测量结果.
2. 利用非平衡电桥测量电阻.
研究半导体热敏电阻的阻值和温度的关系.



【数据记录及草表】

表 1

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
温度 $t/^\circ\text{C}$	13.7	18.7	23.7	28.6	33.6	38.6	43.6	48.6	53.6	58.6
U/mV	18.3	25.0	31.3	37.4	43.6	49.9	55.4	61.5	67.1	72.7
$\alpha/^\circ\text{C}^{-1}$										

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
温度 $t/^\circ\text{C}$	13.7	19.4	23.9	28.4	33.3	39.2	43.5	48.4	53.6	58.4
R_t/Ω	52.93	54.14	55.14	56.12	57.17	58.42	59.34	60.46	61.53	62.57

教师签字:





$\frac{1}{U} / \frac{1}{mV}$

$\frac{1}{U} - \frac{1}{t}$ 特性曲线

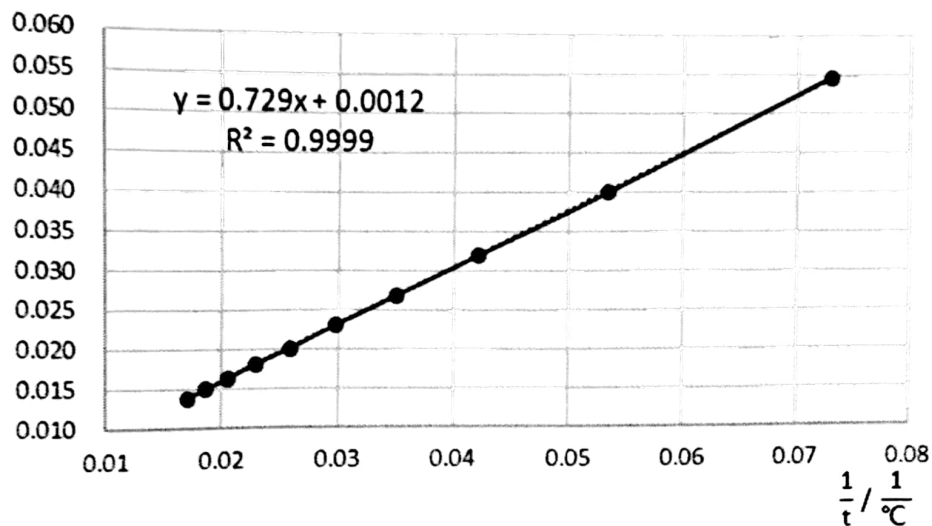


图 1

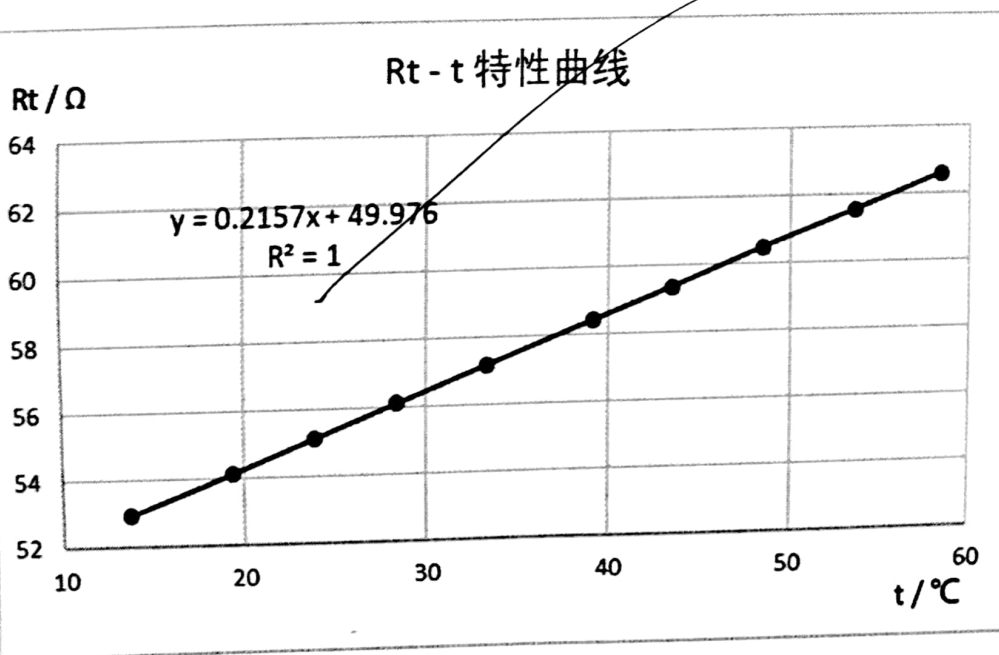


图 2



扫描全能王 创建