

非平衡电桥测量铂电阻的温度系数 实验报告

蔡丹杨

(北京大学化学与分子工程学院1700011774)

1 数据处理

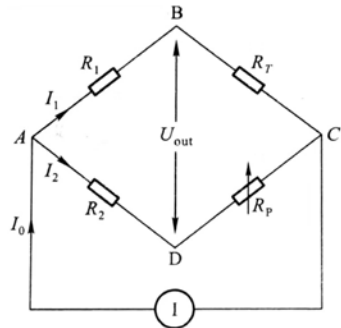


图 1 非平衡电桥电路图

按照图 1 连接电路后，调节恒流源电流为 4.000mA，先在冰水混合物中固定电阻 $R_P$ ，测得平衡时 $R_P = 100.1\Omega$ 。随后逐渐加热，边升温边记录输出电压，结果如表 1 所示。

$T_{理论}/^{\circ}\text{C}$	~0	室温	~40	~55	~70	~85	~100
$T_{读数}/^{\circ}\text{C}$	0.1	21.8	40.1	55.0	70.0	85.0	100.2
$U_{out}/\text{mV}$	00.00	16.69	30.19	41.75	53.10	64.37	75.98

表 1 铂电阻测温电路的响应特性测量结果

据此可作出散点图，如图 2 所示。相关系数较高，可见数据的线性性较好。截距的不确定度大于其本身的数值，说明实验条件下截距基本可忽略，即 0 $^{\circ}\text{C}$ 时调零做的较好。

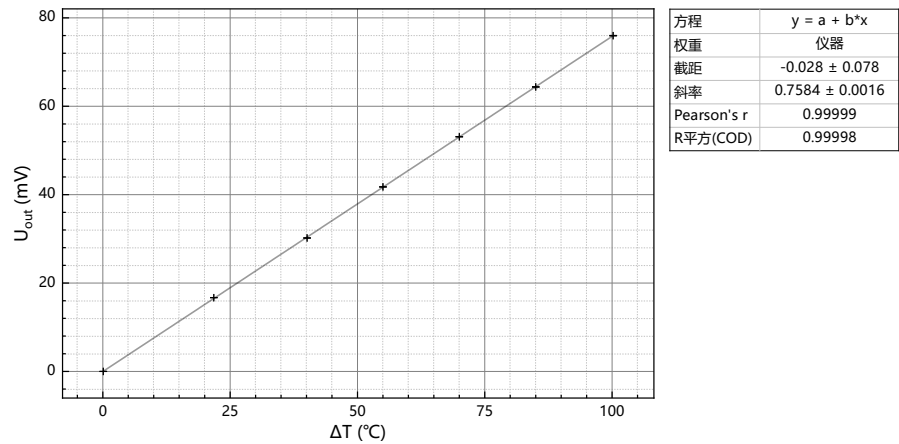


图 2 铂电阻测温电路的  $U_{out}-\Delta T$  响应曲线

由教材中公式 $U_{out} = \frac{I_0 R_0}{2} A_1 \Delta T$ ，得温度系数与该拟合曲线斜率的关系为 $A_1 = \frac{2k}{I_0 R_0}$ ，则：

$$A_1 = \frac{2k}{I_0 R_0} = \frac{2 \times 0.7584}{4.000 \times 100.1} ^{\circ}\text{C}^{-1} \approx 3.788 \times 10^{-3} ^{\circ}\text{C}^{-1}$$
$$e_{I_0} = (0.005 \times 4.000 + 0.004) \text{mA} = 0.024 \text{mA}$$
$$e_{R_0} = (0.001 \times 100 + 0.02 \times 0.1) \Omega \approx 0.10 \Omega$$
$$\sigma_{A_1} = A_1 \sqrt{\left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{e_{I_0}}{I_0}\right)^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{e_{R_0}}{R_0}\right)^2} \approx 1.6 \times 10^{-5} ^{\circ}\text{C}^{-1}$$
$$A_1 \pm \sigma_{A_1} = (3.788 \pm 0.016) \times 10^{-3} ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

## 2 思考题

(1) 实验中有哪些因素会引起输出-输入非线性误差？对测量的影响有多大？本实验采取了什么措施用以改善非平衡电桥的线性？

答：各处导线电阻随温度变化引发的非线性误差；铂电阻温度系数在测温范围内的非线性误差；使用的计算公式不严格造成的非线性误差。这些都属于系统误差，其中，温度系数的非线性部分在测温范围内约变化 1.5%，不是很大；使用的计算公式只要  $R_1 = R_2 \gg R_T \approx R_P$  就可认为近似正确，而实验中  $R_1=R_2=9k\Omega$ ，是铂电阻阻值的约 90 倍，故可近似处理；由于实验过程中铂热电阻导线温度和热电阻一起变化，故可能有高达 10% 的电阻变化，是最主要的误差来源。对此，实验中采用了三线接法进行抵消。

(2) 处理实验数据时，如果发现  $U_{out} - T$  拟合直线截距不为 0，是何原因？这是否会影响测温精度？

答：最有可能的原因是在  $0^\circ\text{C}$  标定时，未等探头完全热平衡就调电阻  $R_P$  并读数，造成起点误差；其次是因为温度计的测温精度比较低，从而读数  $T=0^\circ\text{C}$  对应的并不是实际温度为  $0^\circ\text{C}$ ；此外，还有可能是实验过程中恒流源输出不稳定造成的。虽然从理论上来说这不影响后续的斜率计算，但由于不平衡输出电压越大，由  $U_{out} = A_1 \Delta T \cdot I_0 R_0 / 2$  计算的系统误差越大，故测量的不确定度将增大。



## 3 分析与讨论

(1) 比较铂电阻温度系数的测量结果与理论值，并分析。

理论值为  $A_1 = 3.85 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 。此次测量结果即使考虑误差范围也偏小，说明存在系统误差，推测最主要的原因是测量采用的手续中未给探头充分的热交换时间。造成同时读取的输出电压与液体温度不对应（这里是电压偏小）。如果以沸水中电压表达达到过的最高示数 76.62mV 作粗略计算，则结果为  $3.823 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ，较接近理论值。

(2) 其他

实验中观察到，如果保持水烧沸，虽然温度计示数不再增加，但电压表示数仍在上升，这说明铂电阻升温的速度慢于温度计探头。（实际上，按照教材说法，铂电阻最多可需要几十秒才达到热平衡。）因此，正确的实验操作不应该是持续加热，而是达到要测的温度范围附近时暂停加热，充分搅拌至达到一个近似稳态的温度再读数；或者煮沸后自然冷却或注水，记录“返程”的电压表示数并求平均。

实验中要用到电热杯，故需要小心蒸汽烫伤，并避免开水飞溅。具体措施是：使用毛巾处理电热杯和搅拌器；加水时液面留出离杯口  $\sim 4\text{cm}$ ；等水温降低后再开盖倒水；等。

## 4 收获与感想

通过本次实验，我了解了电阻的三线接法，进一步掌握了电桥电路的测量方法，并通过测量铂电阻温度传感器电路的响应特性测定了铂电阻的温度系数，为后续的电学实验打下了基础。

感谢廖老师对实验过程的指导，以及孙思原同学对操作仪器的帮助。