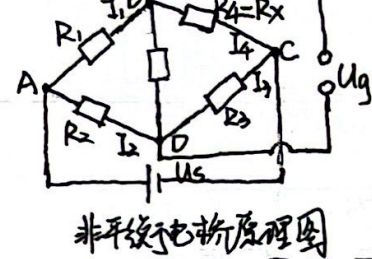


【实验目的】

掌握以下内容：

1. 直流单臂电桥(惠斯登电桥)测量电阻的基本原理和操作方法。
2. 非平衡直流电桥电压输出方法测量电阻的基本原理和操作方法。
3. 根据不同待测电阻选择不同桥式和桥臂电阻的初步方法及非平衡电桥功率输出法测电阻。
4. 单臂电桥采用“三端”法测量电阻的意义。

【实验原理】(电学、光学画出原理图)



非平衡电桥原理图

① 非平衡电桥工作原理

如图,当负载电阻 $R_g \rightarrow \infty$ 时, $I_g = 0$, 仅有电压输出, 根据分压原理有:

$$U_{BC} = \frac{R_x}{R_1 + R_x} \cdot U_s, \quad U_{DC} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot U_s \quad (1)$$

$$\text{则输出电压 } U_g = U_{BD} = U_{BC} - U_{DC} = \frac{R_2 R_x - R_1 R_3}{(R_1 + R_x)(R_2 + R_3)} U_s \quad (2)$$

当 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_3}$ 时, 则电桥输出电压 $U_g = 0$ 此时电桥处于平衡状态。

为了测量的准确, 在测量的起始点, 电桥必须调至平衡, 称为预调平衡。这样可使输出只与某一臂的电阻变化有关。若 R_1, R_2, R_3 固定, R_x 作为传感器随待测物理量的改变而变化时, B、D 两点电位不等, 电桥进入非平衡态, $R_x \rightarrow R_x + \Delta x$, 此时 B、D 端输出电压为:

$$U_g = \frac{R_2 R_x + R_2 \Delta x - R_1 R_3}{(R_1 + R_x + \Delta x)(R_2 + R_3)} \cdot U_s \quad (3)$$

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 变温金属的电阻温度系数测量原理

变温电阻阻值 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: $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ (4)

R_0 为变温电阻 0°C 时的阻值, 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, 令 $R_x = R_t, R_1 = R_2 = R_3 = R_0$, 代入 (2) 得

$$U_g = \frac{\alpha t}{1 + 2\alpha t} \cdot U_s, \quad \text{即 } \alpha = \frac{4 U_g}{t(U_s - 2 U_g)} \quad (5) \quad (6)$$

其中当 $t = 0^\circ\text{C}$ 时 $R_2 R_x = R_1 R_3$, 因此 (6) 式即为 $t = 0^\circ\text{C}$ 升温到 t 过程中满足的关系, 又因 U_s 已知, 因此只需测出 U_g 和 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，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°C 时阻值约为 50Ω ，因此分别将 R_a, R_b, R_c 设为 50Ω 。
(如有条件可先在 0°C 下的电桥预调平衡。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 0，此时电桥平衡，实现 $t=0^\circ\text{C}$ 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°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，求 α 及其平均值，与理论值比较，计算相对误差。

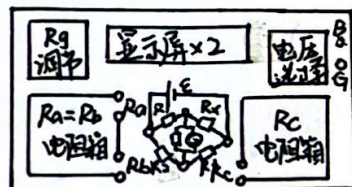
② 描绘铜电阻 $Cu50$ 的 R_t-t 特性曲线

- (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工作状态。
- (2) 因电桥平衡时 $R_x R_3 = R_1 R_2$ ，即 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3$ ，若 $\frac{R_1}{R_2} = 1$ ，则 $R_x = R_3$ 。将 R_a, R_b, R_c 接入 R_3 。
- (3) 对铜电阻进行加热，以 5°C 为间隔，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 的阻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 。
- (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 ，与理论值比较，计算相对误差。

【实验器材及注意事项】

① 实验器材

- (1) FQJ-1 型非平衡直流电桥
- (2) FQJ-1 型非平衡直流电桥加热装置



实验器材简图

② 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，不应用力过猛，以防损坏电位器。
- (4) 由于热敏电阻，铜电阻而加温的局限，设定加温的上限值不能超过 20°C 。
- (5) 实验完毕后，应切断电源，整理导线，并将实验仪器摆放整齐。



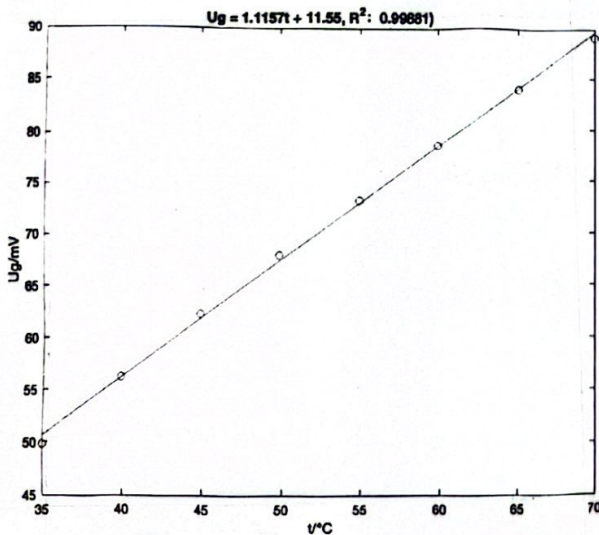
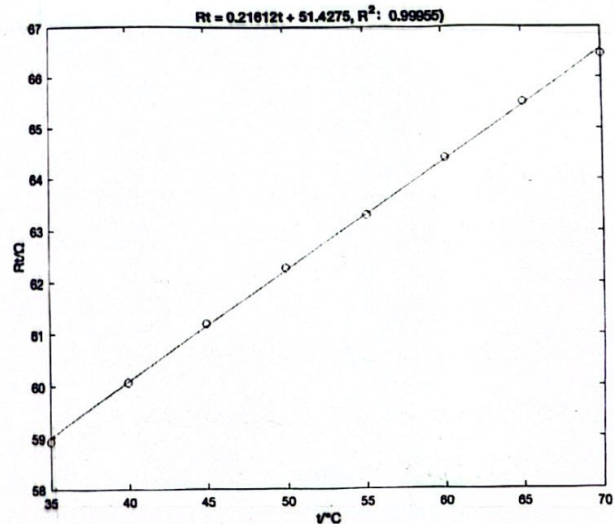
【数据处理与结果】

① 测量铜电阻Cu50温度系数。

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
t/°C	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0
U _g /mV	49.8	56.2	62.2	67.9	73.2	78.6	84.0	89.1
$\alpha/10^{-3}/^{\circ}\text{C}^{-1}$	4.74	4.73	4.70	4.67	4.61	4.59	4.57	4.54

由[实验原理]可得 $\alpha = \frac{4U_g}{t(U_5 - 2U_g)}$, 其中 $U_5 = 1.3\text{V}$, U_g 单位转换为V对于以上8组数据我们有 $\bar{\alpha} = 4.64 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ 与理论值 $\alpha = 4.28 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ 相比, 相对误差 = $\frac{|\Delta\alpha|}{\alpha} \times 100\% = 8.4\%$ ② 插装铜电阻Cu50电阻温度特性曲线 $R_t - t$

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
t/°C	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0
R _t /Ω	58.93	60.06	61.20	62.28	63.30	64.43	65.53	66.46

由 $R_t - t$ 图像拟合, 可得斜率 $k = 0.216$ 又由 $k = \alpha R_0$ 可得 $\alpha = 4.32 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ 与理论值 $\alpha = 4.28 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ 相比, 相对误差 = $\frac{|\Delta\alpha|}{\alpha} \times 100\% = 0.9\%$  $U_g - t$ 图像拟合. $R_t - t$ 图像拟合

【误差分析】

实验一、二相对误差为8.4%与0.9%，误差在合理范围内，导致误差的因素可能有：

- ①电阻温度不稳定，热量交换时刻都在发生，从而引发读数不稳定。
- ②电阻温度时刻变动，而温度计读数也存在滞后性。
- ③在调整电路连接时会发现显示屏发生一定变动，因此此处若连接不良可能引入较大误差。
- ④在加热实验装置示数稳定的前提下，电压显示仍会有0.2mV左右的波动。
- ⑤铜电阻本身发生氧化、生锈等变化，使得电阻温度系数与标准值不符。

【实验心得及思考题】

①实验心得。

经过本次实验，我初步了解了非平衡电桥的工作原理及其应用，能利用其测量变温金属电阻温度系数。本次实验还是比较容易上手的，唯一的难点在于如何将温度控制在自己想要的数字。在高温段降温较快数据难以保持稳定，这也造成实验一的相对误差比较大。总体来说作为大物第一个实验还算是很成功的。

②思考题

(1)简述非平衡电桥与平衡电桥之间的区别。

- 1) 平衡电桥是通过调节电桥平衡，把待测电阻与已知电阻进行比较，从而测得电阻值，它只能用于测量具有相对稳定状态的物理量。
- 2) 非平衡电桥是通过测量桥式电路中的不平衡电压，再进行运算处理最终得到电阻值，进而得到某个物理量的变化信息，如压力、温度、形变等。

(2)非平衡电桥在工程中有哪些应用？举例说明。

- 1) 测量电机或变压器内部温度的电阻温度计。
- 2) 作为各类传感器的组成部分(光敏传感器、热敏传感器...)



【数据记录及草表】

①测量铜电阻Cu50温度系数

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
$t/^\circ\text{C}$	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0
U/mV	49.8	56.2	62.2	67.9	73.2	78.6	84.0	89.1
$\alpha/10^{-2}/^\circ\text{C}$	4.74	4.73	4.70	4.67	4.61	4.59	4.57	4.54

②描绘铜电阻Cu50电阻温度特性曲线 R_t-t .

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
$t/^\circ\text{C}$	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0
R_t/Ω	58.93	60.06	61.20	62.28	63.30	64.43	65.53	66.46

教师签字: 邓欣雨

