

## 【实验目的】

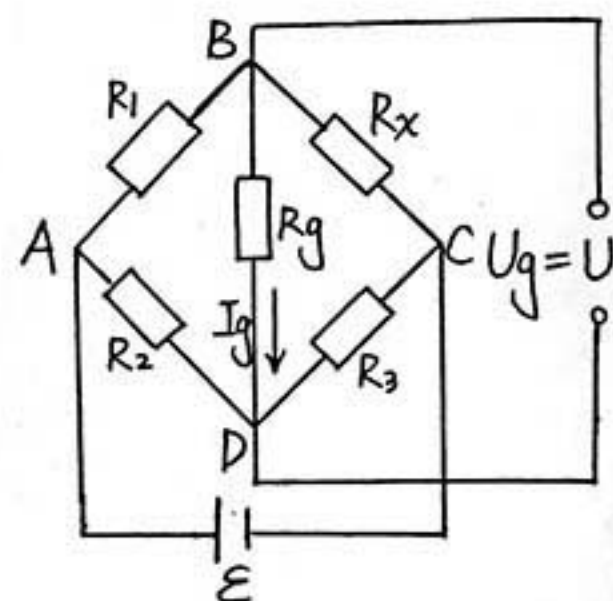
1. 掌握非平衡直流电桥的工作原理和测量方法。
2. 应用非平衡电桥测量变阻金属电阻温度系数。

## 【实验原理】（电学、光学画出原理图）

### 1. 非平衡电桥工作原理

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， $I_g=0$ ，此时只有电压值 $U_g$ ，用 $U$ 表示则输出电压为

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



调节四个桥臂电阻使 $R_2 R_x = R_3 R_1$ ，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，这样可以使输出电压只与某一臂电阻有关。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状态， $R_x$ 也由平衡状态变为 $R_x + \Delta R_x$ ，此时B、D端输出的非平衡电压为 $U = \frac{R_2 R_x + R_2 \Delta R_x - R_1 R_3}{(R_1 + R_x + \Delta R_x)(R_2 + R_3)} \varepsilon$

根据 $U$ 的大小变化可知桥路中电阻的变化情况待测物理量的变化。

### 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 $R_t = R_0 (1 + \alpha t)$ ， $R_0$ 为变温电阻 $0^\circ\text{C}$ 时的阻值， $\alpha$ 为电阻的温度系数。当B、D处于开路状态，变温电阻从 $0^\circ\text{C}$ 变为 $t$ 时，令 $R_x = R_t$ ， $R_1 = R_2 = R_3 = R_0$ 代入 $U = U_g = \frac{R_2 R_x - R_1 R_3}{(R_1 + R_x)(R_2 + R_3)} \varepsilon$ 整理得 $U = \frac{\alpha t}{4 + 2\alpha t} \varepsilon$ ， $\alpha = \frac{4U}{t(\varepsilon - 2U)}$ ，因电源 $\varepsilon = 1.3$ ，只需测出 $U, t$ 即可求出变温电阻的温度系数 $\alpha$ 。



## 【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连好线后将  $R_a, R_b, R_c$  分别接至  $R_1, R_2, R_3$ .
- (2) 铜电阻 Cu50 在  $0^\circ\text{C}$  时阻值约为  $50\Omega$ , 分别将  $R_a, R_b, R_c$  设为  $50\Omega$   
先在  $0^\circ\text{C}$  以下对电桥预调平衡: 将“功能、电压选择”开关置于“非平衡—电压”挡, 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  $50\Omega$  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  $t=0^\circ\text{C}$  时,  $U=0$ .
- (3) 将“功能、电压选择”开关置于“非平衡—电压”挡, 按下 B.G 按钮, 测得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  $5^\circ\text{C}$  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  $\alpha = \frac{4U}{t(50)}$  求出  $\alpha$ , 再求平均值  $\bar{\alpha}$  与理论值比较, 求相对误差.

### 2. 描绘铜电阻 Cu50 电阻温度特性曲线

- (1) 将“功能、电压选择”开关置于“平衡—5V”挡, 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  $R_2 R_x = R_1 R_3$  即  $R_x = \frac{R_2}{R_1} R_3$ , 若  $\frac{R_2}{R_1} = 1$ , 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  $5^\circ\text{C}$  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  $\alpha$ , 与理论值相比较, 计算相对误差.

## 【实验器材及注意事项】

### 1. 实验器材: FQJ 型非平衡直流电桥、非平衡直流电桥加热实验装置

(由加热炉和温度控制仪组成)

2. 注意事项: (1) 实验开始前, 所有导线, 特别是加热炉与控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、铜电阻耐高温的局限, 设定的加温的上限值不能超过  $120^\circ\text{C}$ .

## 【数据处理与结果】

1. 测量铜电阻 Cu50 温度系数  $\alpha = \frac{4 V_{BD}}{t(E-2V_{BD})}$   $E=1.3V$ 

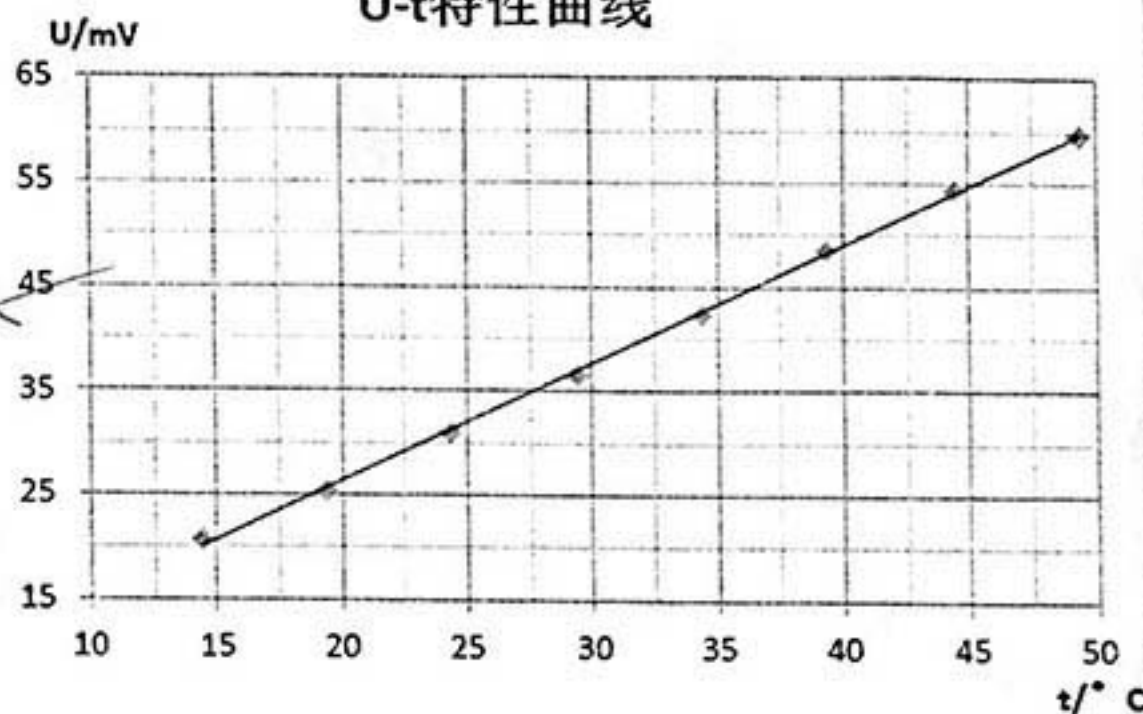
温度 $t/^{\circ}C$	14.4	19.4	24.4	29.4	34.4	39.4	44.4	49.4
$U/mV$	20.7	25.4	31.1	36.6	42.4	48.5	54.3	59.6
$\alpha /^{\circ}C^{-1}$	$4.57 \times 10^{-3}$	$4.19 \times 10^{-3}$	$4.12 \times 10^{-3}$	$4.06 \times 10^{-3}$	$4.06 \times 10^{-3}$	$4.09 \times 10^{-3}$	$4.11 \times 10^{-3}$	$4.09 \times 10^{-3}$

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \alpha_i = 4.16 \times 10^{-3} / ^{\circ}C$$

$$\alpha_{理论} = 0.004280 / ^{\circ}C$$

$$E_{\alpha} = \frac{|\bar{\alpha} - \alpha_{理论}|}{\alpha_{理论}} \times 100\% = 3\%$$

U-t 特性曲线

2. 描绘铜电阻 Cu50 电阻温度特性曲线  $R_t-t$ 

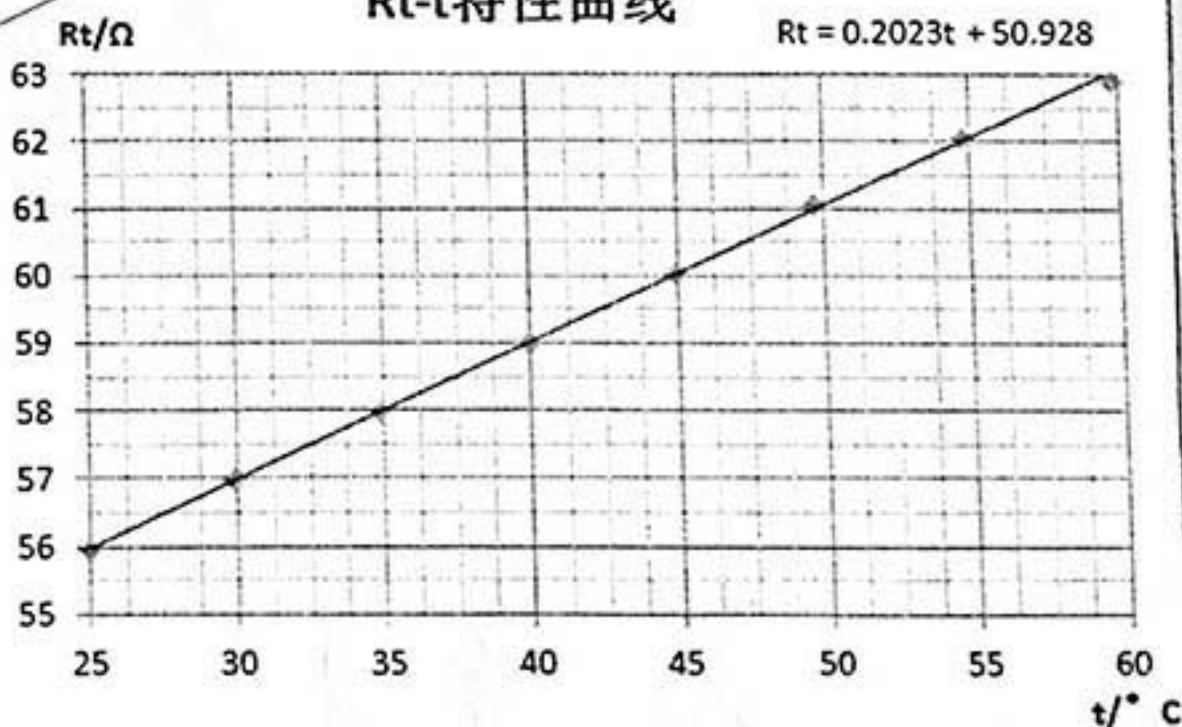
温度 $t/^{\circ}C$	59.8	54.7	49.7	44.9	40.0	34.9	29.9	25.0
$R_t/\Omega$	62.91	62.06	61.05	60.04	59.01	57.97	56.99	55.95

由  $R_t-t$  特性曲线得

$$R_t = 0.2023t + 50.928$$

$$\alpha = \frac{0.2023}{50.928} = 3.97 \times 10^{-3} / ^{\circ}C$$

$$E_{\alpha} = \frac{|\alpha - \alpha_{理论}|}{\alpha_{理论}} \times 100\% = 7\%$$

 $R_t-t$  特性曲线



## 【误差分析】

1. 电桥中导线电阻的存在、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  可调电阻的精度等因素都可能影响到最终结果的测量, 给实验带来一定的误差。
2. 求  $\alpha$  的公式  $\alpha = \frac{4U}{t(E-2U)}$  是在  $R_t = R_0(1+\alpha t)$  的条件下得出的式中  $R_0$  是变温电阻在  $0^\circ\text{C}$  时的阻值。但是由于实验室条件的限制, 电桥未能在  $0^\circ\text{C}$  的条件下预调平衡, 有可能会使实验产生一定的误差。
3. 本实验中电阻温度处于持续上升或下降的<sup>变化</sup>动态状态, 读得的电压数值或电阻数值无法与该状态下的温度达到完全同步, 会导致读数时延迟或超前, 这也会带来一定的误差。
4. 按下 B、G 按钮时可能会有抖动, 导致一定的实验误差。

## 【实验心得及思考题】

思考题 1. 平衡电桥与非平衡电桥之间的区别:

平衡电桥在平衡条件下工作, 在电路图 B、D 两点间接的是负载检流计 G; 通过调节 B、D 两点电势差为 0 测量电阻阻值。

非平衡电桥在不平衡的状态下工作, 在电路图 B、D 两点间接的是负载电阻  $R_g$ ; 通过测量 B、D 两点的电势差求其他引起物理量。

2. 非平衡电桥在工程中的应用: 可利用非平衡电桥原理, 用热敏电阻制温度计; 还可利用弹性电阻应变片制来测量物体的质量。非平衡电桥可将非电量转化为电量进行测量, 因此与各类传感元件配合使用测量各种变化物理量。

实验心得 1. 本实验总体操来说, 操作难度不算很大, 但是有些小技巧能使实验事半功倍。比如, 在完成测量铜电阻  $\text{Cu50}$  温度系数后, 将进行下一个实验操作前, 应考虑到, 在接下来的降温过程中, 较难降到室温。因此, 在进行第二个实验前可适当将温度再升高  $10^\circ\text{C}$  左右, 可节省时间。

2. 在第二个实验中降温过程中, 开始时降温较快, 所以读数时应先记下此时温度再记阻值, 这样能获取较为准确的数据。当温度降到  $30^\circ\text{C}$  以下时降温所需时间变长, 可适当扇扇风, 加快电阻热量散失的速度, 节省时间。

【数据记录及草表】

1. 测量铜电阻  $Cu50$  温度系数  $\bar{\alpha} = 4.16 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}^{-1}$   $E = 2.8\%$

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
温度 $t/^{\circ}\text{C}$	14.4	19.4	24.4	29.4	34.4	39.4	44.4	49.4
$U/\text{mV}$	20.7	25.4	31.1	36.6	42.4	48.5	54.3	59.6
$\alpha/^{\circ}\text{C}^{-1}$	$4.57 \times 10^{-3}$	$4.19 \times 10^{-3}$	$4.12 \times 10^{-3}$	$4.06 \times 10^{-3}$	$4.06 \times 10^{-3}$	$4.09 \times 10^{-3}$	$4.11 \times 10^{-3}$	$4.09 \times 10^{-3}$

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
温度 $t/^{\circ}\text{C}$	59.8	54.7	49.7	44.9	40.0	34.9	29.9	25.0
$R_t/\Omega$	62.91	62.06	61.05	60.04	59.01	57.97	56.99	55.95

教师签字:

90  
12.30