

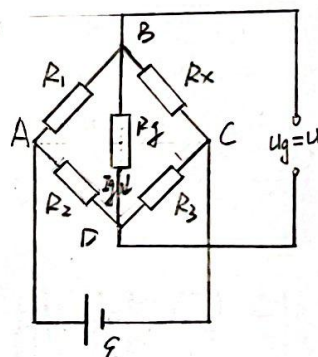
【实验目的】

1. 掌握非平衡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. 非平衡电桥工作原理

非平衡电桥通过 I_g , 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 U_g , 用 U 表示, 则输出电压为



$$U = U_g = \frac{R_2 R_x - R_1 R_3}{(R_1 + R_2)(R_2 + R_3)} \varepsilon \quad (\text{相应符号已在右图中标识})$$

调节 $R_2 R_x = R_1 R_3$, 此时 B、D 电位相等, 电桥处于平衡状态。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 也变为 $R_x + \Delta R_x$, 此时 B、D 端输出非平衡电压为

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

根据 U 的变化, 可以推得桥路中电阻及相应物理量的变化。

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 随温度的改变关系接近

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

R_0 为变温电阻 0°C 阻值, α 为电阻温度系数。当 B、D 处于开路状态, 变温电阻从 0°C 变到 t 时, 令 $R_x = R_1$, $R_1 = R_2 = R_3 = R_0$, 则可得

$$U = \frac{\alpha t}{4 + 2\alpha t} \varepsilon$$

$$\therefore \alpha = \frac{4U}{t(\varepsilon - 2U)}$$

\therefore 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 FJ 型非平衡直流电桥开关，连线，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 ，将 R_a, R_b, R_c 设为 50Ω 。

③ 将“功能、电压选择”开关置于“非平衡-电压”挡，将铜电阻 R_x 置于冰水混合物中， R_a, R_b, R_c 均置 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。

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，待温度相对稳定时按下 B.G 按钮，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，将数据分别代入求出 α ，再取平均值 α ，计算相对误差。

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- $5V$ ”挡，此时电桥进入平衡电桥工作状态。

② 因电桥平衡时 $R_x R_2 = R_1 R_3$ 即 $R_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_3$ ，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°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。

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 ，与理论值比较并计算相对误差。

【实验器材及注意事项】

实验器材：FJ 型非平衡直流电桥。

注意事项：① 为测量的准确性，在测量起始点，电桥必须调至平衡，称为预调平衡。

② 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。

③ 传热铜块与传感器组件出厂时由厂家调节好，不得随意拆卸。

④ 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。

⑤ 实验完毕后，切断电源，整理导线，并将实验仪器摆放整齐。

⑥ 由于热敏电阻、铜电阻耐高温的局限，设定加温的上限值不能超过 120°C 。

【数据处理与结果】

1. 测量铜电阻 Cu_{50} 的温度系数

测量值：温度 t 与之相对映的非平衡电压。（已知 $\varepsilon = 1.3V$ ）

计算电阻温度系数 $\alpha = \frac{\Delta U}{t(\varepsilon - 2U)}$

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
温度 $t/^\circ C$	70.1	65.1	60.5	55.6	50.5	45.6	40.6	35.5
U / mV	87.6	82.5	77.4	72.5	66.4	61.0	55.2	49.3
$\alpha / ^\circ C^{-1}$	0.004444	0.004466	0.004469	0.004516	0.004506	0.004542	0.004572	0.004624

由资料可得 $\alpha_{理论} = 0.004280^\circ C^{-1}$

由上表可得

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^8 \alpha_i}{8} = 0.004514^\circ C^{-1} \quad \therefore E = \frac{|\bar{\alpha} - \alpha_0|}{\alpha_0} = 5.5\%$$

A类不确定度

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2} = 0.000022$$

$$\therefore \bar{\alpha} = (0.004514 \pm 0.000022)^\circ C^{-1}$$

2. 描绘铜电阻 Cu_{50} 电阻温度特性曲线 $R_t - t$

测量值：温度 t ，电桥平衡时 R_t 相映阻值

根据 $R_t - t$ 曲线，依照 $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ 公式计算 α 值（ R_0 为 $0^\circ C$ 时 R_t 阻值）

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
温度 $t/^\circ C$	69.9	64.2	59.9	55.0	50.2	45.4	40.4	35.4
R_t / Ω	66.01	64.87	63.94	62.90	61.85	60.81	59.76	58.69

经线性图像拟合，可得 $R_t = 0.2133t + 51.142$

$$\text{由此 } \alpha = \frac{0.2133}{50} \approx 0.004266^\circ C^{-1}$$

$$E = \frac{|\alpha - \alpha_0|}{\alpha_0} = 0.3\%$$

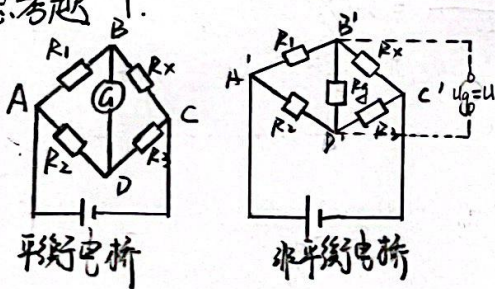
由此可得，用线性图像拟合可以获得更精确的 α 温度系数数据。

【误差分析】

1. 对于 FQJ 型非平衡直流电桥本身而言, 因精度显示限度所限, 电压表自测量时, 存在 0.00 mV 与 -0.00 mV 的情况; 虽然在实验过程统一取 0.00 mV 为标准测量量, 但依旧存在 $0.00 \sim 0.00449$ 的读数误差。
2. 因加热装置存在热惯性, 所以难以使温度稳定停止设定值; 虽可使用降温法排除热惯性干扰, 但在实际操作与读数时, 因自然冷却, 也会造成电压视数波动与偏差, 从而代入误差。
3. 电阻箱调节单位最小刻度值为 0.01Ω , 对于调节其使电压表视数为 0 的过程, 受调节精度影响难以精确调零。(受电流表视数无法显示影响, 可以电压表调零等价为电流表调零)。
4. 本实验中“铜电阻”预先连接至“ R_x ”端, 在未进行任何操作时, 电压表视数也会产生较小的波动, 可能因外部环境干扰或接触不良等原因代入较大实验误差。

【实验心得及思考题】

思考题



当 BD 两接点等势时, 为平衡电桥。

当 BD 两接点不等势时, 为非平衡电桥。

在实验中, 平衡电桥通过调整 R_3 使电表为 0, 从而根据 $R_1 R_3 = R_2 R_x$ 的表达式得出 R_x 值。基于平衡状态分析和电路线路计算, 操作繁琐而测量时间长。

而非平衡电桥则只需在按下 R.G 键时进行读数, 易实现数字化测量, 仅基于电路指示仪表非零指示值来确定测量结果。

思考题 2.

1. 如本实验所测, 在非平衡状态下测得电阻的阻值, 进而分析相映的温度系数。
2. 运用于测量电机或变压器内部温度的电阻温度计。

非平衡电桥往往和一些传感器元件配合使用, 某些传感器元件受外界环境 (压力、光源、温度等) 变化而引起其内阻的变化, 通过非平衡电桥可将阻值转化为电压输出, 从而达到观察、测量和控制环境变化的目的。

实验心得:

实验器材的缺陷, 都是可以克服的, 不幸于电流表显示屏的罢工, 但仍然可相信电压表的视数来进行实验, 甚者, 更减少两个不同值不同波动的干扰。

这次又是一次快速的实验体验, 我选择了降温法测量, 虽然两个实验的同时推进全在一些时间节点上变得操作忙乱, 但降温的较迅速大可排除热惯性的干扰, 使温度在短瞬易稳定于设定值。

当然, 此法还可进步, 可在升温过程完成实验 (可温度稳定依赖性小), 再用降温法一次性完结实验。