

实验 3.3 直流电桥测电阻

(包括补充材料：非平衡桥)

预习报告

水工 71 石健 2007010241

一. 实验目的

1. 了解单电桥测电阻的原理，初步掌握直流单电桥的使用方法；
2. 单电桥测量铜丝的电阻温度系数，学习用作图法和直线拟合法处理数据；
3. 了解双电桥测量低电阻的原理，初步掌握双电桥的使用方法。

二. 实验原理

2.1 惠斯通电桥测电阻

惠斯通电桥是最常用的直流电桥。其中 R_1 、 R_2 和 R 是已知阻值的标准电阻，他们和被测电阻 R_x 构成四个“臂”，对角 B 和 D 之间接有检流计 G ，它像桥一样。若调节 R 使测流计中电流为 0，则桥两端 B 和 D 点的电位相等，电桥达到平衡，这时可得：

$$I_1 R = I_2 R_x, I_1 R_1 = I_2 R_2$$

两式相除可得： $R_x = \frac{R_2}{R_1} R$

只要检流计足够灵敏，上式就能相当好地成立， R_x 就能用三个标准电阻的值来求得，而与电源电压无关。从而测量的准确度较高。

单电桥的实际电路如右图所示。将 R_2 和 R_1 做成比值为 C 的比率臂，则被测电阻为

$$R_x = CR$$

其中 $C = R_2/R_1$ ，共分 7 个档：0.001~1000，

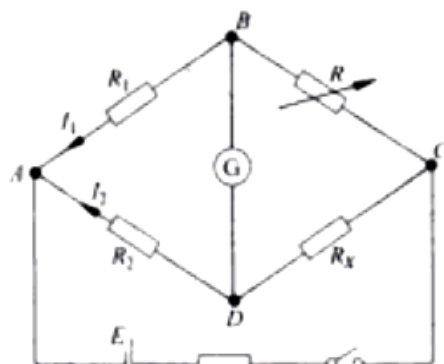


图 1 电桥原理简图

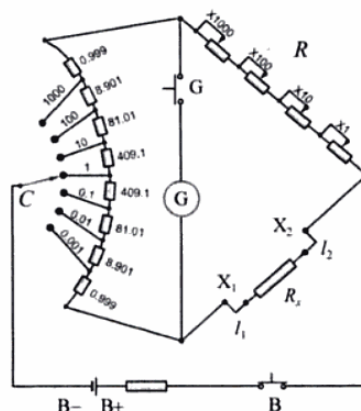


图 2 单电桥电路图

R 为测量臂，由 4 个十进位的电阻盘组成。图中电阻单位为 Ω 。

2.2 铜丝的电阻温度系数

任何物体的电阻都与温度有关。多数金属的电阻随温度升高而增大，有如下关系式

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

式中 R_t ， R_0 分别是 t 、 0°C 时金属的电阻值； α_R 是电阻温度系数，单位是 $(^\circ\text{C}^{-1})$ 。严格地说， α_R 一般与温度有关，但对本实验所用的纯铜材料来说，在 $-50^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 的范围内 α_R 的变化很小，可当作常数，即 R_t 与 t 呈线性关系。于是

$$\alpha_R = \frac{R_t - R_0}{R_0 t}$$

利用金属电阻随温度变化的性质，可制成电阻温度计来测温。例如铂电阻温度计不仅准确度高、稳定性好，而且从 $-263^\circ\text{C} \sim 1100^\circ\text{C}$ 都能使用。铜电阻温度计在 $-50^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 范围内因其线性性好，应用也较广泛。

2.3 双电桥测低电阻

用图 2 的电路测电阻时，被测臂上引线 l_1 、 l_2 和接点 X_1 、 X_2 等处都有一定的电阻，约为 $10^{-2}\Omega \sim 10^{-4}\Omega$ 量级。这些引线电阻和接触电阻与待测电阻 R_x 串联在一起，对低值电阻的测量影响很大。为减小他们的

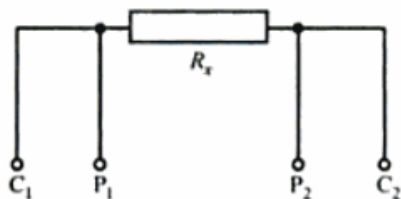


图 3 低电阻的四端接法

的影响，在双电桥中做了两处明显的改进：

(1) 被测电阻 R_x 和测量盘电阻 R 均采用四端接法。

(2) 如图 4 所示的双电桥中增设了两个臂 R'_1 和 R'_2 ，其阻值较高。流过检测流计 G 的电流为 0 时，电桥达到平衡，于是可以得到以下三个方程

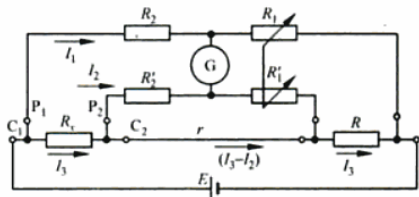


图 4 双电桥原理图

$$I_3 R_x + I_2 R'_2 = I_1 R_2$$

$$I_3 R + I_2 R'_1 = I_1 R_1$$

$$I_2 (R'_2 + R'_1) = (I_3 - I_2) r$$

上式中各量的意义见图 4。解上列方程可得

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R + \frac{R'_1 r}{R'_1 + R'_2 + r} \cdot \left(\frac{R_2}{R_1} - \frac{R'_2}{R'_1} \right)$$

双电桥在结构设计上尽量做到使 $R_2/R_1 = R'_2/R'_1$ ，并尽量减小电阻 r ，因此可得：

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R$$

同样，在仪器中将 $R_2/R_1 = C$ 做成比率臂，则 $R_x = CR$ 。这样，电阻 R 和 R_x 的电压端附加电阻（即两端的引线电阻和接触电阻）由于和高电阻串联，其影响减小了；两个外侧电流端的附加电阻串联在电源回路中，其影响可以忽略；两个内测电流端的附加电阻和小电阻 r 相传连，相当于增大了上式中的 r ，其影响通常也可以忽略。于是只要将被测低电阻按四端接法接入双电桥进行测量，就可像单电桥那样用 $R_x = CR$ 来计算了。

2.4 非平衡电桥

2.5 互易桥

2.6 线性化设计（组装数字温度计）

三. 实验任务及步骤

1. 惠斯通电桥测电阻

- (1) 熟悉电桥结构，预调检流计零位。
- (2) 测不同量级的待测电阻值（其中有一个感性电阻），根据被测电阻的标称值（即大约值），首先选定比率 C 并预置测量盘；接着调节电桥平衡而得到读数 C 和 R 的值，并注意总结操作规律；然后测出偏离平衡 Δd 分格所需的测量盘示值变化 ΔR ，以便计算灵敏阈。
- (3) 根据记录的数据计算测量值 CR ，分析误差，最后给出各电阻的测量结果。

2. 单电桥测铜丝的电阻温度系数

- (1) 测量加热前的水温及铜丝的电阻值
- (2) 从起始温度升温，每隔 $-5^{\circ}\text{C} \sim 6^{\circ}\text{C}$ 左右测一次温度 t 及相应的阻值 R_t 。
- (3) 注意摸索控制待测铜丝温度的方法。要求在大致热平衡（温度计示值基本不变）时进行测量。
- (4) 测量后用计算机进行直线拟合来检验数据。如果每次都在大致热平衡时测量，则

$\{t\}$ 和 $\{R\}$ 直线拟合的相关系数应该在 $r = 0.999$ 以上。

3. 非平衡桥

(1) 将 QJ-23 型惠斯通电桥改装成互易桥 (必须关掉电源后再操作)。电源 E 接到原电桥 G 的“外接端”(此时金属片必须将“内接”两端短路并拧紧), 将数字电压表接到原电桥的 B 端。

(2) 按所选的电桥参数组装数字温度计。即 $C = 0.01$, $R = \frac{R_0}{C}$, $E = \frac{(1+C)^2}{10C\alpha}$, 其中 α 和 R_0 在前面的实验中已测得。分析 α 、 R_0 不准确对实验结果的影响。

(3) 用实验检验组装的数字温度计

可在前面测铜丝电阻温度系数的实验的水桶中继续进行, 在余温度上每增加 $4\sim 5^\circ\text{C}$ 测 5~6 组实验点, (测温范围大于 20°C , 注意热平衡, $t < 80^\circ\text{C}$)。然后上计算机拟合, 检验 $U_t \sim t$ 线性关系 $U_t = a + bt$, 记录 a 、 b 、 r 等。

4. 双电桥测低电阻

测量一根金属丝的电阻或一根铜棒的电阻率。注意低电阻的四端接法。实验中要记下待测低阻的编号、双电桥的编号、测量范围和准确等级。

数据记录表格

1. 惠斯通电桥测电阻

仪器组号_____；电桥型号_____；编号_____。

电阻标称值/ Ω							
比率臂读数 C							
准确度等级指数 α							
平衡时测量盘读数 R/Ω							
平衡后将检流计 调偏 Δd /分格							
与 Δd 对应的测量盘 的示值变化 $\Delta R/\Omega$							
测量值 CR/Ω							
$[E_{\text{lim}} = (\alpha\%)(CR + 500C)]/\Omega$							
$(\Delta_s = 0.2C \cdot \Delta R/\Delta d)/\Omega$							
$\left(\Delta_{R_x} = \sqrt{E_{\text{lim}}^2 + \Delta_s^2}\right)/\Omega$							
$(R_x = CR \pm \Delta_{R_x})/\Omega$							

2. 单电桥测铜丝的电阻温度系数 α_R

起始温度 $t =$ _____°C; 比率臂 $C =$ _____ ; 测量盘读数 $R =$ _____ Ω ; 起始电阻为_____ Ω 。

	温度 $t/^{\circ}\text{C}$	比率臂 C	测量盘读数 R/Ω	$R_t = CR/\Omega$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

将原始数据输入计算机进行直线拟合：

$a =$ _____ ; $b =$ _____ ; $r =$ _____ 。 $\alpha_R =$ _____ Ω 。

3. 双电桥测电阻

仪器组号_____；电桥型号_____；编号_____。

电阻标称值/ Ω							
比率臂读数 C							
准确度等级指数 α							
平衡时测量盘读数 R/Ω							
测量值 CR/Ω							
$\left(\Delta_{R_x} = (\alpha\%)(CR + \frac{C}{100})\right)/\Omega$							
$(R_x = CR \pm \Delta_{R_x})/\Omega$							