

实验 24 用开尔文双电桥测低电阻

单电桥桥臂上的导线电阻和接点处的接触电阻约为 $10^{-3}\ \Omega$ 量级。由于这些附加电阻与桥臂电阻相比小得多，故可忽略其影响。但若用它测 $1\ \Omega$ 以下的电阻时，这些附加电阻对测量结果的影响就突出了。开尔文双电桥可用于测量 $10^{-6}\ \Omega\sim 10\ \Omega$ 的电阻，有效地消减了附加电阻的影响。

【预习重点】

- (1) 四端电阻的电流端和电压端的含义及其在电路中避免附加电阻影响的原理。
- (2) 双电桥测低电阻的原理和方法。
- (3) AC15/2 型直流复射式检流计的使用（参阅本实验附录）。

【实验目的】

- (1) 了解开尔文电桥与惠斯通电桥的区别与联系。
- (2) 掌握用开尔文电桥测低电阻的原理和方法。

【实验仪器】

开尔文双电桥、直流稳定电源、检流计、标准电阻、待测电阻等。

【实验原理】

1) 双电桥线路结构及消减附加电阻影响的原理

图 24-1 (a)、(b) 为双电桥线路结构及其等效电路。双电桥在线路结构上与单电桥有两点显著不同：①待测电阻 R_x 和桥臂电阻 R_N （标准电阻）均为四端接法；②增加两个高阻值电阻 R_3 、 R_4 ，构成双电桥的“内臂”。

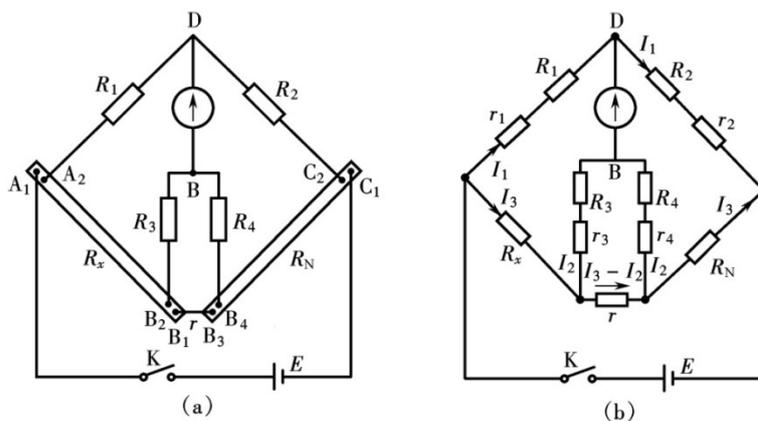


图 24-1 双电桥及其等效电路

四端电阻外侧的两个接点称为电流端，通常接电源回路，从而将电流端的附加电阻折合到电源回路的电阻中。图 24-1 中， A_1 、 C_1 两接点的附加电阻折入了电源内阻。 B_1 、 B_3 两接点用短粗导线相连，设 B_1 、 B_3 间附加电阻为 r 。后面将证明，若 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 及 R_N 满足一定条件，即可消减 r 对测量结果的影响。

四端电阻内侧的两个接点称为电压端，通常接高电阻回路或电流为零的补偿回路。图 24-1 中， A_2 、 C_2 端接触电阻分别并入 R_1 、 R_2 ； B_2 、 B_4 端接触电阻分别并入 R_3 、 R_4 。

由于 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 本身电阻很高，所以这些附加电阻对它们的影响甚微。此外，电压端之间的部分即为低电阻本身，无另外的连接导线，故有效地消除了导线电阻的影响。

2) 双电桥的平衡条件

调节平衡，就是调节电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 和 R_N ，使 B、D 两处等电位，检流计电流 $I_g = 0$ 。由图 24-1 (b) 中所示电流方向，考虑到 $R_1 \gg r_1$ ， $R_2 \gg r_2$ ， $R_3 \gg r_3$ ， $R_4 \gg r_4$ ，可列出方程

$$\begin{cases} I_1 R_1 = I_3 R_x + I_2 R_3 \\ I_1 R_2 = I_3 R_N + I_2 R_4 \\ I_2 (R_3 + R_4) = (I_3 - I_2) r \end{cases}$$

联立求解得

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_N + \frac{r R_4}{R_3 + R_4 + r} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right) \quad (24-1)$$

双电桥在结构上尽量做到使上式第二项满足 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ ，故

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_N \quad (24-2)$$

式 (24-2) 就是双电桥的平衡条件。只要待测低电阻按四端接法接入测量，就可像单电桥那样用式 (24-2) 计算 R_x 了。

3) QJ32 型直流单、双电桥的结构及使用

双电桥形式、结构及使用虽多种多样，但其原理是一样的。图 24-2 和图 24-3 分别为 QJ32 型单双电桥的线路及其作为双电桥使用时的面板接线图。电桥等级：0.05；量程：双桥为 $\Omega \sim \Omega$ ，单桥为 $50 \Omega \sim \Omega$ ；保证准确度等级的测量范围： $\Omega \sim \Omega$ 。外接标准电阻 Ω 和 Ω ，0.01 级。示零器为外接 AC15/2 型检流计。

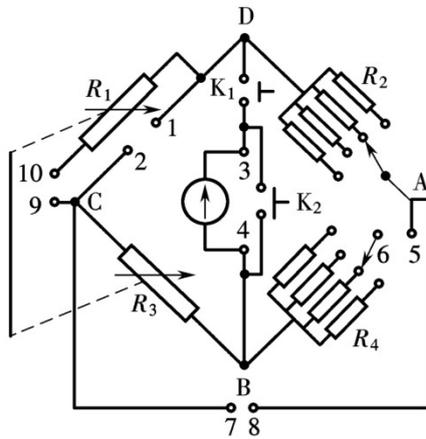


图 24-2 QJ32 型电桥电路

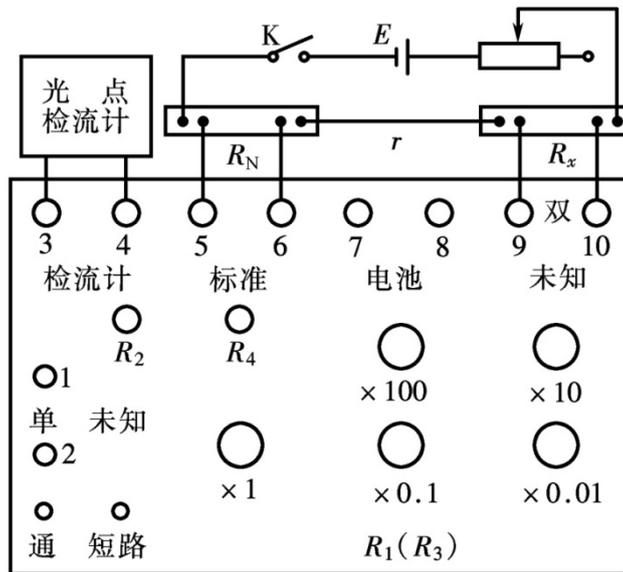


图 24-3 双电桥面板接线

图 24-2 中可变电阻 R_1 、 R_3 采用同轴调节的两个相同的 5 位 ($\times 0.01$ 、 $\times 0.1$ 、 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$) 十进电阻箱，这样无论转盘位于何处，都能保证 $R_1 = R_3$ 。 R_2 、 R_4 是两个可独立调节的 10 进 4 档 (10 、 10^2 、 10^3 、 $10^4 \Omega$) 电阻箱，调节 $R_2 = R_4$ ，从而保证 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ 在使
用过程中始终成立。

使用时应首先根据 R_x 的粗估值设定 R_1 、 R_2 的初值。将式 (24-2) 改写为 $R_x = \frac{R_N}{R_2} R_1$,

可知 $\frac{R_N}{R_2}$ 相当于单电桥的倍率, R_1 相当于测量盘的示值。与单电桥一样, 根据 R_x 的数量级

选定的 $\frac{R_N}{R_2}$, 应保证 R_1 的 5 个旋钮都用上 (即保证 5 位有效数字)。

QJ32 型电桥作为双电桥使用时, 其示值误差限

$$\Delta = a\% \left(CR_1 + \frac{C \times 1000\Omega}{10} \right)$$

其中: $C = \frac{R_N}{R_2}$; a 为等级指数; 1000Ω 为基准值。

图 24-4 是 QJ32 型电桥作为单电桥使用时的接线图。注意, “标准” 接线端要用短路片短路。调节 R_1 (R_3) 使电桥平衡, 则

$$R_x = \frac{R_2}{R_4} R_1$$

倍率 $\frac{R_2}{R_4}$ 的选择原则也是要保证 R_1 (R_3) 的 5 个旋钮都用上。

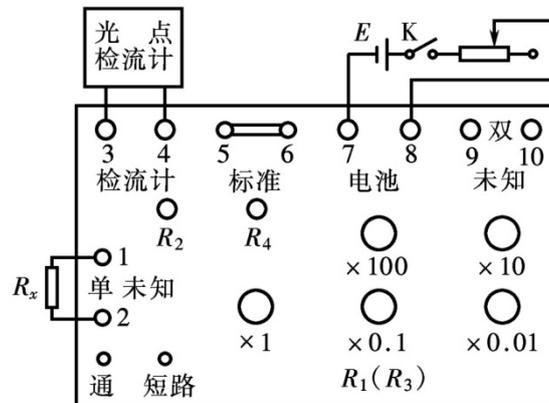


图 24-4 单电桥面板接线

使用中应注意两点：①初值选定后，应采用“跃接”法启闭面板上的“通”键来观察光标的偏转情况；②注意 AC15/2 型检流计的正确使用。调节电桥平衡应从检流计最不灵敏的 $\times 0.01$ 档开始，逐步过渡到 $\times 1$ 档。

【实验内容及要求】

1) 用双电桥测紫铜棒电阻。

(1) 按图 24-3 接线。经检查后接通电。电源要按恒流源使用，电流调节为 0.8 A。

(2) 根据实验室提供的粗估值选定 R_1 、 $\frac{R_2}{R_4}$ 值。

(3) 依次测量黄铜片长为 40cm、30cm、20cm、10cm 时的电阻。

2) 用双电桥测铁棒电阻。（方法同上）。

3) 用螺旋测微器测量铜、铁棒的几何尺寸并求出各自横截面积 S 。

4) 用坐标纸画 $R_x \sim l$ 图。依据电阻率公式 $R_x = \rho \frac{l}{S}$ ，和图线斜率 $\frac{\Delta R}{\Delta l} = \frac{\rho}{S}$ ，分别求出铜、

铁棒的电阻率，并估算 $l = 40$ cm 时铜棒电阻率 ρ 的测量不确定度。

【拓展与设计】

设计“四端法”测低电阻的电路图，并用此方法的测量结果与“伏安法（非四端法）”测量结果相比较，分析测量的准确度。