

实验三 直流电桥与电阻测量

电阻的阻值范围一般很大，可以分为三大类型进行测量。惠斯登电桥法（Wheatstone Bridge Method）是测量中值电阻（ $10 \sim 10^6 \Omega$ ）的常用方法之一。它通过在平衡条件下，将待测电阻与标准电阻进行比较以确定其数值。电桥法具有测试灵敏、精确和使用方便等特点，已被广泛地应用于电工技术和非电量电测法中。

对于低值电阻（ 10Ω 以下），不能应用通常的惠斯登电桥测量，其主要矛盾是在接触处存在接触电阻（大小在 $10^{-2} \Omega$ 的数量级）。当待测电阻值在 $10^{-1} \Omega$ 甚至 $10^{-1} \Omega$ 以下时，显然接触电阻和引线电阻将使测量完全失去其正确性。因此，对于低值电阻，须采用可消除接触电阻和引线电阻的测量方法——四端法（Four Probe Method）进行测量（也可采用开尔文电桥法进行测量）。四端法是国际上通用的测量低值电阻的标准方法之一。它是通过测量待测电阻两端电压和流经的电流来确定其数值的。四端法具有直接，且克服触点电阻和引线电阻等特点，适用于各类电阻的测量，尤其是低值电阻的测量。

而对于高值电阻（ $>10^7 \Omega$ ）的测量，一般可用兆欧表和数字万用表。

【实验目的】

1. 掌握惠斯登电桥测量电阻的原理和方法；
2. 掌握四端法测量电阻的原理和方法。

【实验原理】

1. 惠斯登电桥的工作原理

惠斯登电桥的原理如图 1 所示，它是由电阻 R_1 、 R_2 、 R 和待测电阻 R_x 以及用导线连成的封闭四边形 ABCDA 组成，在对角线 AC 两端接电源，在对角线 BD 两端接电压表 V 。接入电压表的对角线称为“桥”，4 个电阻 R_1 、 R_2 、 R 和 R_x 就称为“桥臂”。在一般情况下，电压表上有电压显示。若适当调节 R_1 、 R_2 和 R 阻值，能使电压表的显示电压 V 恰好为零，这时叫做“电桥平衡”。

电桥平衡时（ $V=0$ ），表明 B、D 两点的电势相等，由此得到

$$U_{AB} = U_{AD}, \quad U_{BC} = U_{DC},$$

亦即

$$I_1 R_1 = I_2 R_2, \quad I_x R_x = I_R R \quad (1)$$

同时有

$$I_1 = I_x, \quad I_2 = I_R \quad (2)$$

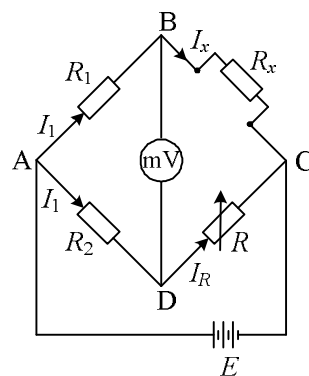


图 1 惠斯登电桥原理图

由 (1)、(2) 式得到

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R \quad (3)$$

由 (3) 式可看出，当知道 R_1/R_2 的比值及电阻 R 的数值后，就可算出 R_x 。

2. 四端法的工作原理

图 2 为四端法原理图，图中 R_x 是待测低值电阻， R_n 是标准电阻。四端法基本原理是：如果已知流过待测电阻的电流 I （可通过测量标准电阻 R_n 上的电压获得），当测量得到了待测电阻 R_x 上的电压 U_x ，则待测电阻 R_x 的值为

$$R_x = \frac{U_x}{I} \quad (4)$$

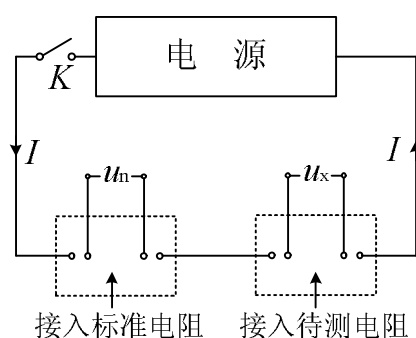


图 2 四端法测量电路原理图

四端法基本特点是恒流源通过两个电流引线极将电流供给待测低值电阻，而数字电压表则通过两个电压引线极来测量由恒流源所供电流而在待测低值电阻上所形成的电位差 U_x 。由于两个电流引线极在两个电压引线极之外，因此可排除电流引线极接触电阻和引线电阻对测量的影响；又由于数字电压表的输入阻抗很高，电压引线极接触电阻和引线电阻对测量的影响可忽略不计。

3. 电阻率的测量

电阻 R 与电阻率 ρ 有如下关系

$$R = \rho \cdot \frac{l}{s} \quad (5)$$

其中 l 为待测电阻的长度， s 为待测电阻的截面积。如果待测电阻的直径为 d ，则电阻率为

$$\rho = \frac{\pi d^2}{4l} \cdot R \quad (6)$$

通过 d 、 l 和 R ，可求得待测电阻材料的电阻率。

【实验内容】

1. 利用惠斯登电桥测量待测电阻

(1) 参照图 1，自搭电桥测量装置；

(2) 如何适当选用 R_1/R_2 的比值，以保证待测电阻得到要求的有效位数；

(3) 利用误差传递公式以及给定的精密电阻和可变电阻箱允差, 计算待测电阻的相对不确定度.

2. 利用四端法测量低值电阻

(1) 参照图 3, 自搭实验装置;

(2) 改变电源的输出值, 测量待测电阻 S-1、S-2 以及 S-3 上电压值, 每个电阻测量都应选取 15 个以上的数据点.

(4) 实验验证电压引线极接触电阻和引线电阻对测量的影响可忽略不计, 详细写出验证方法.

(5) 用作图法和最小二乘法求待测电阻阻值.

3. 求出各待测电阻材料的电阻率.

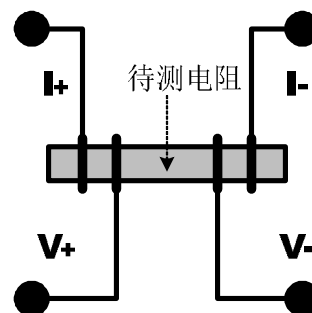


图 3 四端法测量电路接线图

【实验仪器】

1. 电阻

(1) 精密电阻: 100 Ω 、200 Ω 、1 k Ω 和 10 k Ω 各 2 个;

(2) 可变电阻箱;

(3) 待测电阻: R_A 、 R_B 、 R_C

S-1 (镍铬合金丝)、S-2 (镍铝合金丝)、S-3 (不锈钢丝).

2. 稳压源、恒流源和万用表.

3. 实验接线板、导线、短接桥和开关等.

【注意事项】

1. 测量时, 必须由粗到细地调节和测量.

(1) 调节测定臂 (即可变电阻箱 R) 时应该由高位到低位依次进行 (低位值应先置零), 当大阻值的旋钮转过一格, 且电压表显示电压变向时 (说明电桥平衡就在这一档数值内), 再调节下一档小阻值的旋钮.

(2) 调节测定臂 R 使电桥达到平衡时, 电压表必须按一定程序使用, 如电压表的量程档位必须由高向低逐步切换, 直至用最低量程档.

(3) 平衡状态是指电压表在最低量程位显示为零, 所以测量时, 应该用电路时断时通时的电压表在最低量程位显示是否都为零来判断.

(4) 在正式测量前, 首先观察改变测定臂时 (增大阻值或减小阻值) 电压表读数变化规律 (向 “+” 方向或向 “-” 方向趋于零), 这样在正式测量操作时能减少盲目性.

(5) 在测量过程中, 如果有效位读数的旋钮都旋到最小仍不能使电桥平衡, 则应增大比率臂后再进行测量; 如果只用后几个有效位旋钮达到了平衡, 则应减小比率臂后再进行测量. (为什么?)

2. 恒流源的供给电流不大于 100mA.

3. 恒流源应预热十分钟后, 方可进行测量.

4. 实验结束时, 应关闭电源开关, 整理实验仪器.

【预习题】

1. 什么是比较法？电桥测量中用哪两个物理量进行比较？此时的条件是什么？
2. 什么叫电桥达到平衡？在实验中如何判断电桥达到平衡？
3. 写出正确使用自搭电桥的测量步骤。

【思考题】

1. 如何适当选择 R_1 和 R_2 的比值？
2. 在自搭电桥测量电阻时，如何提高测量精度？
3. 用自搭电桥测量电阻时，测量的最多有效数字取决于什么？阻值的数值特性在什么范围，可以多一位有效数字？
4. 通过实验现象，分析说明为什么数字电压表的高输入阻抗，可消除电压引线极接触电阻和引线电阻对测量的影响？

【附录】

1. 可变电阻箱（ZX21 型）

可变电阻箱总的误差为各十进电阻盘的数值乘以相应的相对误差之和再加上残余电阻 R_0 。 $R_0 = 20 \text{ m}\Omega$ 。

各十进电阻盘的相对误差见下表：

十进电阻盘	$\times 10000$	$\times 1000$	$\times 100$	$\times 10$	$\times 1$	$\times 0.1$
相对误差	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	1%	5%

例如，若电阻箱输出的电阻值是 12345.6Ω ，则电阻箱的误差为
 $10000 \times 0.1\% + 2000 \times 0.1\% + 300 \times 0.1\% + 40 \times 0.1\% + 5 \times 1\% + 0.6 \times 5\% + 0.02 = 12.44 (\Omega)$

2. 精密电阻

精密电阻的误差取标称值的千分之一。