

三、实验原理

惠斯通电桥的基本线路如图 2 所示。由四个电阻连接成一个四边形，其中 R_1 、 R_2 标准电阻， R_s 为可调的标准电阻箱， R_x 为待测电阻。四边形的每一条边，称为电桥的一个臂（桥臂）。电源、开关 K_1 跨接在对角点 A、C 之间。检流计 G、开关 K_2 跨接在对角点 B、D 之间。接有检流计的对角线 B、D 即所谓的“桥”，它的作用是将“桥”两端的电位直接进行比较。当“桥”两端的电位相等时，检流计中无电流通过，称为电桥达成平衡。可以证明，此时桥臂电阻值之间存在如下的关系：两对应边电阻的乘积相等，即

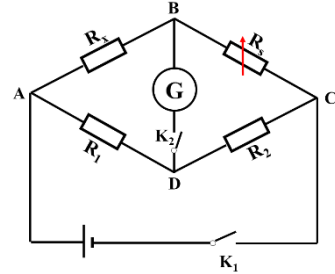


图 2 惠斯通电桥的基本线路

$$R_1 R_s = R_2 R_x$$

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s = K R_s \quad (1)$$

式 (1) 称为电桥平衡方程式。

$K=R_1/R_2$ 称为“倍率”。 R_s 为可变标准电阻，因而在电桥平衡时，便可利用式 (1) 求出未知电阻 R_x 。实际上， R_x 为标准电阻 R_s 的 K 倍，故称 R_s 为“比较臂”。由于 R_1 、 R_2 和 R_s 均为标准电阻，所以用电桥测量电阻准确度较高。

然而，电桥的准确度受到两方面因素的制约，一是桥臂电阻的准确度，二是电桥的灵敏度。显然，若灵敏度过低，桥臂电阻的改变不能引起检流计指针的明显偏转，就会使测量的准确度降低；反之，若灵敏度过高，达到平衡就需用精度更高（即分度值更小）的桥臂电阻，就会使引线电阻的影响变大，同样会使测量的准确度降低。

电桥的灵敏度 S_0 定义为电桥的桥臂电阻 R_s 改变一微量 ΔR_s 引起检流计指针的偏转格数 Δn ，即

$$S_0 = \frac{\Delta n}{\Delta R_s} (\text{格}/\Omega)$$

电桥的相对灵敏度 S 定义为电桥的桥臂电阻的相对变化 $\Delta R_s/R_s$ 引起检流计指针的偏转格数 Δn ，即

$$S = \frac{\Delta n}{\Delta R_s/R_s} = S_0 R_s (\text{格})$$

电桥的灵敏度或相对灵敏度与检流计本身灵敏度 S_i ($\Delta n/\Delta I_g$ ，即由桥臂电阻的改

变导致的桥路电流改变 ΔI_g 引起的检流计指针的偏转格数 Δn) 以及检流计的内阻 R_g 、电源电压、桥臂总电阻、桥臂电阻的比值都有关。

因此，平衡电桥法测电阻的误差由两方面因素决定：一是 R_1 、 R_2 、 R_s 本身的误差，二是电桥的灵敏度。

显然，当电桥有足够高的灵敏度时，由灵敏度引起的测量误差可以忽略。但当检流计的灵敏度过低或因电源电压较低，桥臂电阻过大导致电桥灵敏度较差的情况下，此时要将 R_s 改变较大 ΔR_s 才能观察出检流计有所偏转（一般取指针偏离零点 0.2 格为肉眼能观察的界限），这时必须考虑电桥灵敏度带来的误差。适当提高电桥的工作电压、减小桥臂的总电阻可提高电桥的灵敏度（但需注意不能超过元件的额定功率）。

四、实验步骤

1. 打开综合实验仪电源，将检流计与稳压输出源的开关拨至“断”的状态，将稳压输出源的电压量程选至“2v”，调节电压至 1.8v 左右。

2. 连接电桥电路，按图 1 把线路接好， R_1 、 R_2 ，选择面板上的“备用器件（精度 1%）”使 $R_1/R_2=1$ ， R_s 使用旋钮电阻箱，测量待测电阻 R_x (I) (几十 Ω)。

3. 将 R_s 调整为与 R_x (I) 同数量级最大电阻值，然后将稳压输出源开关拨至“通”，再将检流计开关 K_g 拨向“粗测”，当拨动 K_g 的瞬间观察检流计偏转情况，调节 R_s 使检流计偏转减小直至检流计指针趋向零位。将检流计开关 K_g 拨向“细测”（减小检流计保护电阻 R 的阻值）以提高检流计灵敏度，进一步调节 R_s ，使检流计无偏转，然后反复断合开关 K_g （跃接法），直到检流计指针无微小颤动为止，此时电桥达到平衡。

4. 记下 R_1 、 R_2 和电阻箱 R_s 的数值，算出 R_x (I)。

设电桥灵敏度足够高，主要考虑 R_1 、 R_2 、 R_s 引起的误差。此时由仪器误差传递公式有

$$\frac{U_{R_x}}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{U_{R_1}}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{U_{R_2}}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{U_{R_s}}{R_s}\right)^2}$$

式中， U_{R_1} 、 U_{R_2} 、 U_{R_s} 都是仪器误差。

5. 交换 R_1 、 R_2 的位置，再次调节 R_s 使电桥平衡，记下 R_s'

由公式 $R_x = \sqrt{R_s R'_s}$ 算出 R_x

根据误差传递公式有

$$\frac{U_{R_x}}{R_x} = \sqrt{\frac{1}{2^2} \left[\left(\frac{U_{R_s}}{R_s} \right)^2 + \left(\frac{U_{R'_s}}{R'_s} \right)^2 \right]}$$

由此可见使用了交换法电桥的误差只取决于 R_s 的误差。

6. 将待测电阻更换为 R_x (II) (几百 Ω)，选取比例臂 $R_1/R_2 = 1$ (0.1 和 10)，分别重复实验步骤 3、4，比较不同比例臂测量电阻时的精度与量程。

7. 将待测电阻更换为 R_x (III) (几百 $k\Omega$)，由 R_x (III) 标称数量级选取合适的比例臂 (R_s 在电阻箱的调节范围内)，重复实验步骤 3、4。

五、数据处理

表 1 用自搭电桥测电阻

电阻	R_1/R_2	R_s/Ω	$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_s / \Omega$	E_r	$(R_x \pm U_{R_x}) / \Omega$
R_x (I)	1				

表 1 的误差计算公式为

$$E = \frac{U_{R_x}}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{U_{R_1}}{R_1} \right)^2 + \left(\frac{U_{R_2}}{R_2} \right)^2 + \left(\frac{U_{R_s}}{R_s} \right)^2}$$

高精度电阻精度为 0.1%，备用器件精度为 1%，电阻箱按照设备自身精度等级（见图 3）计算。



图 3 电阻箱铭牌

表 2 用交换法研究电桥的误差

电阻	R_2/R_1	R_s/Ω	$R_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_s / \Omega$	$R_x = \sqrt{R_s R'_s} / \Omega$	E_r	U_{R_x}/Ω	$(R_x \pm U_{R_x}) / \Omega$
R_x (I)	1						

表 2 的误差计算公式为

$$E = \frac{U_{R_x}}{R_x} = \sqrt{\frac{1}{2^2} \left[\left(\frac{U_{R_s}}{R_s} \right)^2 + \left(\frac{U_{R'_s}}{R'_s} \right)^2 \right]}$$

表 3 使用不同比例臂测电阻

电阻	R_1/R_2	R_s/Ω	$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_s/\Omega$	测量量程
R_x (II)	1			
	0.1			
	10			

表 4 使用适当比例臂测电阻

电阻	R_1/R_2	R_s/Ω	$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_s/\Omega$	U_{R_x}/Ω	$(R_x \pm U_{R_x})/\Omega$
R_x (III)					

六、注意事项

1. 在惠斯通电桥实验区域内完成实验，禁止按压测力传感器以及铜棒铝棒；
2. 惠斯通电桥实验使用稳压输出源电压 $\leq 2V$ ；
3. 电桥按图接好线路检查无误后，再将稳压输出源与检流计开关接通；

七、思考题

1. 当电桥达到平衡后，若互换电源与检流计的位置，电桥是否仍保持平衡？试证明之。
2. 若被测电阻 $R_x \approx 30 k\Omega$ ，根据实验要求测得 R_x 为 4 位有效数字，比例臂 R_1/R_2 应选取多少？
3. 如何通过实验测定电桥的灵敏度？
4. 如果用电桥测电流表的内阻，往往电表电流过载。为了使电流不过载，应采取些什么措施？