

直流电桥测量电阻 实验报告

蔡丹杨

(北京大学化学与分子工程学院 1700011774)

1 数据处理

允差数据: 电阻箱内阻为 $(12 \pm 5)\text{m}\Omega$, 其 1Ω 档允差为 $\pm 0.5\%$, 0.1Ω 档允差为 $\pm 2\%$, 其他档允差为 $\pm 0.1\%$ 。电流表允差为 $\pm(0.5\% + 4 \text{ 个字})$, 电压表允差为 $\pm(0.05\% + 3 \text{ 个字})$ 。

实验电路如图 1 所示。

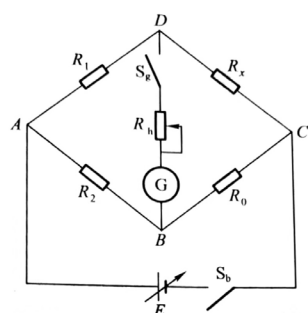


图 1 自组电桥电路图

(1) 平衡电桥测量未知电阻阻值及电桥灵敏度

首先用万用表粗测待测电阻阻值, 得 $R_{x1} \approx 54.1\Omega$, $R_{x2} \approx 375\Omega$, $R_{x3} \approx 4.64\text{k}\Omega$ 。然后搭建电桥电路, 控制电路参数为 $E=4\text{V}$ 、 $R_b=0\Omega$ 进行测量, 结果如表 1 所示。对 R_{x2} 还进行了交换桥臂测量, 结果如表 2 所示。

待测电阻	R_0/Ω	R'_0/Ω	Δn	$R_0 \frac{R_1}{R_2} = R_x/\Omega$	$\Delta R_0/\Omega$	$S_{exp} = \frac{\Delta n}{\frac{\Delta R_0}{R_0}}$	$\delta_{R_x} = \frac{0.2R_x}{S}/\Omega$
R_{x1}	47.6	47.7	4.8	47.60	0.1	2.3×10^3	0.004
R_{x2}	3693.4	3672.8	-3.0	369.3	-20.6	5.4×10^2	0.14
R_{x3}	4644.5	4700.5	4.0	4645	56.0	3.3×10^2	3

表 1 平衡电桥测量未知电阻实验结果

测量方式	R_0/Ω	R'_0/Ω	Δn	R_x/Ω	$\Delta R_0/\Omega$	S_{exp}	δ_{R_x}
$R_1:R_2 = 500.0\Omega:500.0\Omega$	369.7	370.5	4.2	369.7	0.8	1.9×10^3	0.04
$R_2:R_1 = 500.0\Omega:500.0\Omega$	369.7	369.0	-3.7	369.7	-0.7	2.0×10^3	0.04

表 2 交换桥臂测量未知电阻实验结果

(注: “分析与讨论” 中会解释这里有效数字的取法。) 则对电阻 R_{x1} , 有:

$$e_{R_0} = (0.001 \times 40 + 0.005 \times 7 + 0.02 \times 0.6 + 0.005)\Omega \approx 0.09\Omega$$

$$e_{R_1} = e_{R_2} = (0.001 \times 500 + 0.005)\Omega \approx 0.5\Omega$$

$$\begin{aligned} \sigma_{R_{x1}} &= R_{x1} \sqrt{\left(\frac{\delta_{R_{x1}}}{R_{x1}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{R_0}}{R_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{R_1}}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{R_2}}{R_2}\right)^2} \\ &\approx 47.60 \times \sqrt{\left(\frac{0.004}{47.60}\right)^2 + \frac{1}{3}\left(\frac{0.09}{47.6}\right)^2 + \frac{1}{3}\left(\frac{0.5}{500}\right)^2 + \frac{1}{3}\left(\frac{0.5}{500}\right)^2} \Omega \approx 0.11\Omega \end{aligned}$$

$$R_{x1} \pm \sigma_{R_{x1}} = (47.60 \pm 0.11)\Omega$$

对电阻 R_{x2} 、 R_{x3} , 计算过程完全一样, 此处省略过程, 仅给出结果为: $R_{x2} \pm \sigma_{R_{x2}} = (369.3 \pm 0.4)\Omega$, $R_{x3} \pm \sigma_{R_{x3}} = (4645 \pm 5)\Omega$ 。

对于交换桥臂法，有：

$$R_{x2} = \sqrt{R'_{x2} \cdot R''_{x2}} \approx 369.7\Omega$$

$$\sigma_{R'_{x2}} = R'_{x2} \sqrt{\left(\frac{\delta R'_{x2}}{R'_{x2}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{R_0}}{R_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{R_1}}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{R_2}}{R_2}\right)^2} \approx 0.4\Omega$$

$$\sigma_{R''_{x2}} = R''_{x2} \sqrt{\left(\frac{\delta R''_{x2}}{R''_{x2}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{R_0}}{R_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{R_1}}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{R_2}}{R_2}\right)^2} \approx 0.4\Omega$$

$$\sigma_{R_{x2}} = \frac{R_{x2}}{2} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{R'_{x2}}}{R'_{x2}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{R''_{x2}}}{R''_{x2}}\right)^2} \approx 0.3\Omega$$

$$R_{x2} \pm \sigma_{R_{x2}} = (369.7 \pm 0.3)\Omega$$



(2) 探究影响电桥灵敏度的因素

随后，通过控制变量法做了探究影响电桥灵敏度的因素实验，结果如表 3 所示。另外，按照教材中给出的公式，取电流计常数为 $1.6 \times 10^{-6} \text{A/格}$ ，算得的灵敏度列于最右边一栏（具体讨论见“分析与讨论”）。

E/V	R_1/R_2	R_h/Ω	R_0/Ω	R'_0/Ω	Δn	R_x/Ω	$\Delta R_0/\Omega$	S_{exp}	S_{calc}
4.0	500.0 Ω /500.0 Ω	0	369.7	370.7	5.3	369.7	1.0	2.0×10^3	1.3×10^3
2.0	500.0 Ω /500.0 Ω	0	369.7	368.2	-3.9	369.7	-1.5	9.6×10^2	6.3×10^2
4.0	500.0 Ω /5000.0 Ω	0	3696.6	3667.0	-3.0	369.7	-29.6	3.7×10^2	2.4×10^3
4.0	500.0 Ω /500.0 Ω	3005	369.7	374.8	3.5	369.7	5.1	2.5×10^2	1.8×10^3

表 3 探究影响电桥灵敏度的因素实验结果

2 思考题

(1) 下列因素是否会加大测量误差？

- ①电源电压大幅下降；
- ②电源电压稍有波动；
- ③在测量较低电阻时导线电阻不可忽略；
- ④检流计零点未调准；
- ⑤检流计灵敏度不够高。

答：①由于平衡电桥的原理是平衡时电位相等，即电压降在两臂分配比例相等，故电源电压对最终测得阻值无影响，但由于灵敏度下降会造成测量不确定度加大；②同上，不会造成测量结果的系统误差，但会增大测量不确定度；③会造成系统误差，偏大或偏小与检流计在电路中的接法有关；④会造成系统误差，具体与指针偏向哪一边有关，但对基本不影响灵敏度测量；⑤增大测量不确定度，但不影响系统误差。

3 分析与讨论

(1) 比较电阻不确定度中各成分的贡献，讨论如何提高电桥法测电阻的精度。

只需比较相对不确定度即可。经计算（过程略），不同的未知电阻中不确定度的主要来源不同：对于 R_{x1} 等小电阻，主要贡献来源是电阻箱低档位的较大的相对不确定度；对于 R_{x2} 等中等电阻，低档位部分电阻占总电阻的比例不高，相对不确定度近似等于电阻箱高档位的 0.5%；对于 R_{x3} 等大电阻，灵敏度下降造成的灵敏阈增大不可忽略，灵敏阈是相对不确定度的主要因素。

因此，为提高电桥法测电阻的精度，需要根据待测电阻的阻值范围合理选择仪器的量程，以使各仪器的不确定度分布较为均匀。

(2) 分析灵敏度与各个参数间的依赖关系。

按照教材中推导，灵敏度的理论值为

$$S = \frac{S_i \cdot E}{R_1 + R_2 + R_0 + R_x + R_g(2 + R_1/R_x + R_0/R_2)}$$

则灵敏度与检流计自身灵敏度和电源电动势成正比，与 R_g 负相关，与其他电阻关系较复杂。而由表 3 可见，与对照组相比，减小电源电动势或增大检流计内阻可降低灵敏度，而增大某一臂电阻也会降低灵敏度。推测是由于实验条件下， R_g 的值使得调节臂电阻时处于对勾函数的单调部分，观察不到灵敏度先上升后下降。至于两组数据的差别，观察到数据之间有更好的比例关系，推测是检流计灵敏度比书中记载的数值大导致的。

（3）其他

两种不同方法算得的 R_{x2} 的误差范围互相重叠，故测量精度较好。

本实验多次遇到有效数字位数问题。按照实验要求， R_0 应记录到不使检流计指针发生偏转的位数为止，实验中通常仍记录到最后一位。计算灵敏度时，有时 ΔR_0 只有一位有效数字，但这时可算出 R_0 的不确定度在百分位上，故 ΔR_0 运算时也应保留到百分位，从而灵敏度的有效数字为两位。灵敏阈实际是不确定度的一种，故只保留了一位有效数字。

4 收获与感想

通过本次实验，我进一步理解了直流电桥的构造和使用原理，并了解了影响直流电桥灵敏度的主要因素，为以后的电学实验打下了基础。

感谢廖老师对实验过程的指导，以及孙思原同学对操作仪器的帮助。