



# 基础物理实验报告

## 直流平衡电桥测量电阻

姓 名:	赵启渊
学 院:	工学院
学 号:	2000011153
分 组:	第 1 组 7 号
日 期:	2022 年 4 月 6 日
指导教师:	刘春玲 杨丽敏



实验十四

直流平衡电桥测量电阻

赵启渊 2000011153

1 数据及处理

1.1 使用平衡电桥测量电阻值及电桥灵敏度

先粗测三个未知电阻。按要求电路图连接电路，在输出电压  $E = 4.0V$  的条件下，将保护电阻调到最大，然后调平衡，然后不断减小保护电阻，调平衡，直到保护电阻为 0。测量得到下面数值

表 1: 粗测  $R_{x1}, R_{x2}, R_{x3}$  的阻值数据表

项目	$R_{x1}/\Omega$	$R_{x2}/k\Omega$	$R_{x3}/k\Omega$
读数	47.3	0.370	4.10

表 2: 测量电阻值及电桥灵敏度  $S$  的数据表

项目	$R_x/\Omega$	$\frac{R_1}{R_2}/$	$R_0/\Omega$	$R'_0/\Omega$	$\Delta n/$	$R_x/\Omega$	$\Delta R_0/\Omega$	$S/$
参数	$R_{x1}$	500/500	47.1	47.0	3.6	47.1	0.1	1695.6
参数	$R_{x2}$	50/500	3710.0	3740.0	4.8	371.00	30.0	593.6
参数	$R_{x3}$	500/500	4100.0	4160.0	4.3	4100.0	60.0	293.83

下面采用对调  $R_1, R_2$ ，先后实验的方法以尽量减小误差，测量  $R_{x2}$  的值，还有相关参数



表 3: 测量电阻值及电桥灵敏度  $S$  的数据表

项目	$R_x/\Omega$	$\frac{R_1}{R_2}/$	$R_0/\Omega$	$R'_0/\Omega$	$\Delta n/$	$R_x/\Omega$	$\Delta R_0/\Omega$	$S/$
参数	$R_{x2}$	500/500	371.2	372.2	4.0	371.2	1.0	1484.8
参数	$R_{x2}$	500/500	371.2	372.2	4.0	371.2	1.0	1484.8

此时  $R_{x2}$  的计算如下

$$R_{x2} = \sqrt{R_0^1 * R_0^2}$$

$$R_{x2} = 371.2\Omega$$

上面的计算都有

$$\begin{aligned} S &= \frac{\Delta n}{\Delta R_x / R_x} \\ &= \frac{\Delta n}{\Delta R_0 / R_0} \end{aligned}$$

计算第二种方法的不确定度

$$\begin{aligned} \sigma_{R_{x2}} &= \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial R_0^1} * \sigma_{R_0^1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial R_0^2} * \sigma_{R_0^2}\right)^2} \\ &= \frac{1}{2} * \frac{1}{\sqrt{R_0^1 * R_0^2}} * \sqrt{(R_0^2 * \sigma_{R_0^1})^2 + (R_0^1 * \sigma_{R_0^2})^2} \end{aligned}$$

又因为

$$\begin{aligned} \delta_{R_x^1} &= \frac{0.2 * \Delta R_0^1}{\Delta n} \\ \delta_{R_x^1} &= 0.050 \end{aligned}$$

$$e_1 = e_2 = 300 \times 0.1\% + 70 \times 0.1\% + 1 \times 0.5\% + 0.2 \times 2\% + 0.012 = 0.391$$

同理

$$\delta_{R_x^2} = 0.050$$

所以有

$$\begin{aligned} \sigma_{R_0^1} &= \sqrt{(\delta_{R_x^1})^2 + \left(\frac{e_1}{\sqrt{3}}\right)^2} \\ &= 0.23 \\ \sigma_{R_0^2} &= \sqrt{(\delta_{R_x^2})^2 + \left(\frac{e_2}{\sqrt{3}}\right)^2} \end{aligned}$$



$$= 0.23$$

最后有

$$\sigma_{R_{x2}} = 0.16$$

## 1.2 测量不同条件下的电桥灵敏度

改变实验电路的参数, 分别测量这些参数下的电桥灵敏度, 以探究不同条件对电桥灵敏度的影响大小, 本实验中粗测  $R_x = 0.370k\Omega$ 。

表 4: 测量不同条件下的电桥灵敏度的数据表

E / V	$R_h/k\Omega$	$\frac{R_1}{R_2}/$	$R_0/\Omega$	$R'_0/\Omega$	$\Delta n/$	$R_x/\Omega$	$\Delta R_0/\Omega$	S /
4.0	0	$\frac{500}{500}$	371.3	372.3	4.2	371.3	1.0	1559.46
2.0	0	$\frac{500}{500}$	371.1	373.3	3.8	371.1	2.0	705.09
4.0	0	$\frac{500}{5000}$	3710.0	3760.0	4.1	371.00	50.0	304.22
4.0	3.171	$\frac{500}{500}$	370.8	377.8	3.9	370.8	7.0	206.59

上面的计算都有

$$S = \frac{\Delta n}{\Delta R_x / R_x}$$

$$= \frac{\Delta n}{\Delta R_0 / R_0}$$

## 2 思考题:

1.

(1) 会加大误差

理由

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



当  $E$  减小时,  $S$  随着减小, 又有关系

$$\frac{\delta_{R_x}}{R_x} = \frac{0.2}{S}$$

因此  $S$  减小, 相对误差  $\frac{\delta_{R_x}}{R_x}$  增大, 总的误差也增大。

(2) 不会加大误差

理由: 即使电源电压有波动, 各个电桥臂电压的比值并不会改变, 仍然有关系

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_0}$$

成立, 此时按这个等式计算不会加大误差。

(3) 会加大误差

理由: 将  $AB$  路、 $AD$  路、 $DC$  路、 $BC$  路的导线电阻抽象为  $r_{AB}$ 、 $r_{AD}$ 、 $r_{DC}$ 、 $r_{BC}$ , 那么有关系

$$\frac{R_1 + r_{AD}}{R_2 + r_{AB}} = \frac{R_x + r_{DC}}{R_0 + r_{BC}}$$

在这里  $r_{AB}$ 、 $r_{AD}$ 、 $r_{DC}$ 、 $r_{BC}$  的阻值无法控制, 我们不知道这些导线电阻的值, 会造成很大的误差。

(4) 会加大误差

理由: 在检流计没有调零的情况下测量, 检流计示数为 0 时, 电桥并不平衡, 关系

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_0}$$

不能看作成立, 此时按这个等式计算会有很大误差。

(5) 会加大误差

理由

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

当  $S_i$  减小时,  $S$  随着减小, 又有关系

$$\frac{\delta_{R_x}}{R_x} = \frac{0.2}{S}$$

因此  $S$  减小, 相对误差  $\frac{\delta_{R_x}}{R_x}$  增大, 总的误差也增大。



### 3 分析与讨论

#### 3.1 分析比较电阻不确定度中各主要成分的贡献

电阻的不确定度关系有

$$\frac{\sigma_{R_x}}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{R_0}}{R_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{R_1}}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{R_2}}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{\delta R_x}{R_x}\right)^2}$$

有

$$\sigma_{R_0} = \frac{e_0}{\sqrt{3}}$$

$$\sigma_{R_1} = \frac{e_1}{\sqrt{3}}$$

$$\sigma_{R_2} = \frac{e_2}{\sqrt{3}}$$

$$\frac{\delta R_x}{R_x} = \frac{0.2}{S}$$

从上面的分析可以看出, 当  $R_0$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  较大时, 使用的电阻箱的极限误差较小, 综合有  $\frac{\sigma_{R_0}}{R_0}$ 、 $\frac{\sigma_{R_1}}{R_1}$ 、 $\frac{\sigma_{R_2}}{R_2}$  较小。除此之外选用电桥灵敏度  $S$  更大的验流计能使  $\frac{\delta R_x}{R_x}$  变小, 也能提高测量的精准度。提高电桥法测电阻精度的方法:

1. 使用交换电桥臂法, 抵消  $\frac{\sigma_{R_1}}{R_1}$ 、 $\frac{\sigma_{R_2}}{R_2}$  的影响。
2. 在选择  $R_0$  时, 尽量选择能不使用电阻箱极限误差较大的挡位的阻值, 这种情况下电阻箱的极限误差较小。
3. 在连接电路时, 尽量设计电路, 以提高电桥灵敏度  $S$  的值, 比如在合理范围内增加电源电压等。
4. 选用更加精密的仪器, 比如选择更加精密的检流计, 选择更加精密的电阻箱等等

#### 3.2 比较分析灵敏度测量值与理论计算值

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

$$R_g = 47\Omega$$

$$S_i = 0.77 * 10^6 A_{-1}$$

从这个公式可以得到电桥灵敏度的理论值, 选取实验第二步的四种情况, 与测量值共同列表, 得到下面表 5:



表 5: 电桥灵敏度的理论值和测量值的数据表

组数	$S_0/$	$S/$
1	$1.6 * 10^3$	1559.46
2	$8.0 * 10^2$	705.09
3	$3.2 * 10^2$	304.22
4	$2.1 * 10^2$	206.59

从表中可以看出, 测量值都略小于理论计算值。主要原因可能是在读取  $\Delta n$  时, 存在较大的随机误差。并且检流计本身就存在一定的系统误差, 不可能将其消除。下面分析各个参数对电桥灵敏度的影响:

1.  $S$  与  $S_i$ 、 $E$  成正相关。
2.  $S$  与  $R_0$ 、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_x$  成负相关。
3.  $S$  与  $R_g$  成负相关。
4. 因为  $\frac{R_1}{R_x} * \frac{R_0}{R_2} = 1$ , 所以比值的大小对  $S$  的相关性和下面对勾函数的相关性相同:

$$y = -t - \frac{1}{t} \text{ and } t = \frac{R_1}{R_x}$$

## 4 收获与感想

1. 在做电学实验时, 一定要预先检查电路, 避免短路, 在连接过程中, 保持开关打开, 在第一次合上开关时, 要进行试触, 避免仪器的损失, 尤其是对于验流计这种精密仪器。
2. 选择测量方案时, 往往可以通过巧妙的设计来抵消一些误差的影响。平时应该积累类似交换电桥臂法这样的实验思路。
3. 平衡电桥测量电阻是一种相对简单并精确的方法, 在以后的有关实验中可以作为测量参量的一种方法。