



北京航空航天大学 实验报告

学
班
姓
同
组

日期: _____

评分: _____

实验名称: 双桥法测电阻

一. 实验重点:

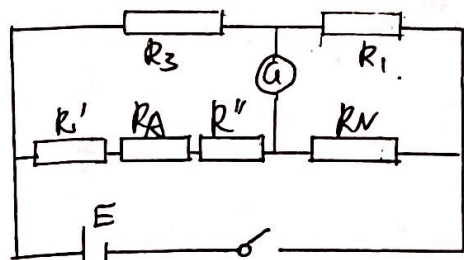
1. 掌握平衡电桥的不理零示法与电压比较法.
2. 学习用交换测量法消除系统误差.
3. 学习灵敏度的概念, 了解影响电桥灵敏度的因素.
4. 掌握电学实验操作规范, 严格规范操作.
5. 学习测量电阻常用电学仪器仪表的正确使用.
6. 掌握测量电阻的基本方法, 了解不同测量方法各自的适用范围, 学习设计实验电路.

二. 实验仪器: 电阻箱, 指针式检流计, 固定电阻两个, 直流稳压电源, 滑线变阻器, 待测低电阻, 游标卡尺, 拨自开关, UJ19型单双电桥.

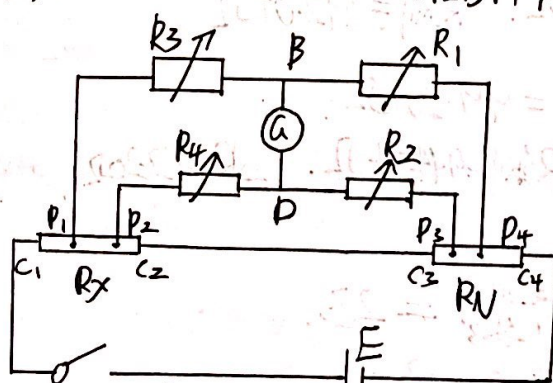
三. 实验原理:

(一). 双桥法测低电阻

1. 开尔文电桥是惠斯通电桥的变形, 测量小阻值电阻时有相当高的精度, 称文电桥有两点改进: (i) 增加一个由 R_2 和 R_4 构成的桥臂. (ii) R_X 和 R_N 两端接法改为四端接法, 其中 P_1, P_2 构成被测电阻 R_X , R_2, R_4 是标准低电阻 R_N , P_1, P_2, P_3, P_4 常称为电压接点, C_1, C_2, C_3, C_4 称为电流接点.

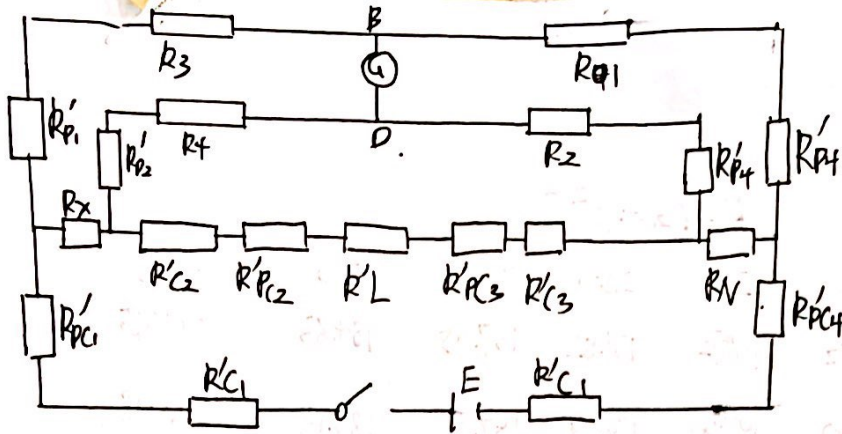


单电桥附加电阻的影响



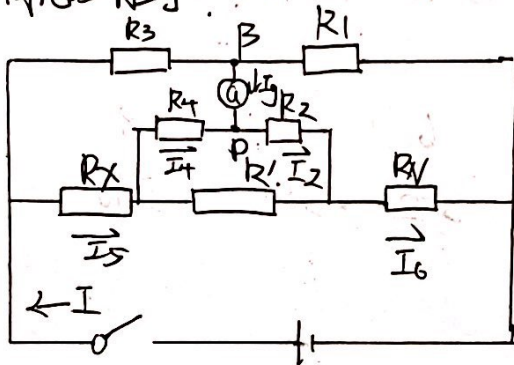
开尔文电桥原理图

2. 测低电阻时, R_N 和 R_X 都很小, 所以与 P_1, P_4, C_1, C_4 相连的导线电阻 $R_{P1}, R_{P4}, R_{C1}, R_{C4}$, R_N 和 R_X 间导线电阻 R_{C2} , P_1 间的电阻 R_{P1C2} , P_2, C_2 间的电阻 R_{P2C2} , P_3, C_3 间的电阻 R_{P3C3} , P_4, C_4 间的电阻 R_{P4C4} 均应给予考虑, 故电路图为:



其中, $R'p1 \ll R3$, $R'p2 \ll R4$
 $R'p3 \ll R2$, $R'4 \ll R1$ 可忽略
 $R'c1$, $R'c2$, $R'c3$, $R'c4$ 可以并入电源内阻
 不影响测量, 也可以不接, 需考虑内
 阻有 $R' = R'c2 + R'p2 + R'c3 + R'4$

简化后得到:



调节 $R1$, $R2$, $R3$, $R4$ 使电桥平衡, 此时 $I5 = 0$, $I1 = I3$,
 $I2 = I4$, $I5 = I6$, $V_B = V_D$

且有

$$\begin{cases} I3R3 = I4R4 + I5Rx \\ I1R1 = I2R2 + R'c1I6 \\ I2R2 + I4R4 = (I5 - I4)R' \end{cases}$$

联立得到 $R_x = \frac{R3}{R1} R' + \frac{R'c1R2}{R2 + R4 + R'c1} \left(\frac{R3}{R1} - \frac{R4}{R2} \right)$

3. 为保证平衡有两种方法:

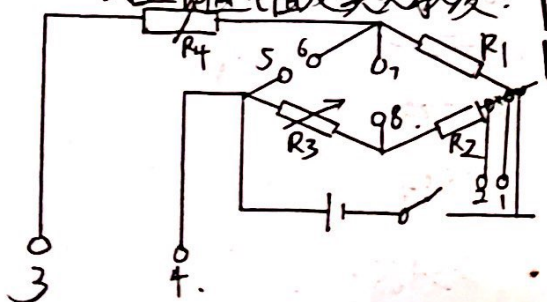
- ①. 这两组桥臂之比为 $M = \frac{R3}{R1} = \frac{R4}{R2}$, 将 $R4$ 做成可变的标准电阻, 2 组桥臂电桥平衡, 则计算 R_x 变为 $R_x = R'c1 M$. 其中 $R'c1$ 为比较臂电阻, 1 组电桥倍率系数
- ②. 选定 $R4$ 为某固定阻值的标准电阻并选定 $R1 = R2$ 为某一值, 联调 $R3$ 与 $R4$ 使电桥平衡, 则计算 R_x 变为 $R_x = R3 \frac{R'c1}{R1}$ 或 $R4 \frac{R'c1}{R2}$. 此时 $R3$ 或 $R4$ 是比較臂电阻, $\frac{R'c1}{R1}$ 或 $\frac{R'c1}{R2}$ 为电桥倍率系数.

4. 用一元线性回归法计算电阻率

$$\rho = \frac{SR_x}{L} = \frac{\pi d^2 R_x}{4L}$$

(二). 双电桥改单电桥测中电阻

测量中值电阻及其灵敏度:



四. 数据处理:

实验一: 双桥法测电阻.

(1) 原始数据:

$$R_1 = R_2 = 10^3 \Omega$$

$$R_1 = R_2 = 10^2 \Omega$$

长度/mm	50	100	150	200	250	300	350	400
$R_{正}(\Omega)$	253.44	537.13	781.72	1077.2	131.82	157.05	184.83	209.15
$R_{反}(\Omega)$	257.11	516.32	795.02	1053.0	131.19	157.88	183.13	210.08
$R_{测}(\Omega)$	255.44	526.87	788.37	1050.1	131.50	157.46	183.98	209.61

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
直径(mm)	3.82	3.81	3.84	3.91	3.91	3.92	3.91	3.90

$$\bar{d} = 3.88 \text{ mm}$$

(2) 数据处理:

$$R_x = \frac{R_N}{R_1} \cdot R_3$$

$$R_x = \rho \frac{l}{S} = \frac{4\rho l}{\pi d^2} \quad \therefore \rho = \frac{\pi d^2 R_x}{4l} \quad \text{令: } x=l, y=R_x$$

$$y = a + bx \quad \text{则 } b = \frac{4\rho}{\pi d^2} \quad \rho = \frac{b\pi d^2}{4} \quad b = \frac{\bar{x}\bar{y} - \bar{x}\bar{y}}{\bar{x}^2 - \bar{x}^2} \quad r = \frac{\bar{x}\bar{y} - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\bar{x}^2 - \bar{x}^2)(\bar{y}^2 - \bar{y}^2)}}$$

	x_i/m	x_i^2/m^2	$y_i/\times 10^4 \Omega$	$y_i^2/\times 10^8 \Omega$	$x_i y_i/\times 10^{-4} \text{ m}\Omega$
1	0.05	0.0025	2.5544	6.5250	0.1277
2	0.10	0.0100	5.2687	27.7592	0.5269
3	0.15	0.0225	7.8837	62.1527	1.1826
4	0.20	0.0400	10.501	110.2710	2.1002
5	0.25	0.0625	13.150	172.9225	3.2875
6	0.30	0.0900	15.746	247.9365	4.7238
7	0.35	0.1225	18.398	338.4864	6.4393
8	0.40	0.1600	20.961	439.3635	8.3844
均值:	0.23	0.0638	11.8079	175.6771	3.3466

$$b = \frac{\bar{x}\bar{y} - \bar{x}\bar{y}}{\bar{x}^2 - \bar{x}^2} = \frac{0.23 \times 11.807 \times 10^{-4} - 3.3466 \times 10^{-4}}{0.23^2 - 0.0638} = 5.7870 \times 10^{-3}$$

$$a = \frac{\bar{x}\bar{y} - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\bar{x} - \bar{x})(\bar{y} - \bar{y})}} = \frac{3.3466 \times 10^{-4} - 0.23 \times 11.807 \times 10^{-4}}{\sqrt{(0.0638 - 0.23^2)(15.671 \times 10^{-3} - 11.807 \times 10^{-3})}} = 0.9611605$$

∴ 线性关系良好

$$\text{电阻率 } \rho = \frac{\pi b d^2}{4} = 6.8424 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

(3). 不确定度:

$$U(b) = S(b) = b \cdot \sqrt{\frac{1}{k^2} \left(\frac{1}{k^2} - 1 \right)} = 6.7838 \times 10^{-4} \Omega/m$$

$$U_a(d) = \sqrt{\frac{2(d_i - \bar{d})^2}{k(k-1)}} = 0.01626 \text{ mm}$$

$$U_b(d) = \frac{0.03}{\sqrt{3}} = 0.01732 \text{ mm}$$

$$U(d) = \sqrt{U_a(d)^2 + U_b(d)^2} = 0.02376 \text{ mm}$$

$$\frac{U(\rho)}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{2U_a(d)}{d} \right)^2 + \left(\frac{U_b(d)}{d} \right)^2} \Rightarrow U(\rho) = \rho \cdot \sqrt{\left(\frac{2U_a(d)}{d} \right)^2 + \left(\frac{U_b(d)}{d} \right)^2} = 8.06 \times 10^{-9} \Omega \cdot m$$

$$\text{电阻率 } \rho \pm U(\rho) = (6.8 \pm 0.8) \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

实验二: 双桥改单桥

(1). 原始数据

$$R_1 = 10 \Omega \quad R_2 = 100 \Omega \quad R_{测} = 992.04 \Omega$$

$$\therefore R_x = \frac{R_1}{R_2} R_{测} = 99.204 \Omega$$

$$\Delta n = 5 \text{ div 时, } R_{测} = 994.24 \Omega \quad \Delta R_3 = 220 \Omega$$

(2). 数据处理

$$S = \frac{\Delta n}{\Delta R_x} = \frac{R_2 \Delta n}{R_1 \Delta R_3} = 23$$

$$\Delta x = \frac{0.2}{S} = 9 \times 10^{-3}$$

(3). 不确定度:

$$\Delta x = 0.1\% \left(R_x + \frac{R_0}{10} \right) = 0.05\% \left(99.204 + \frac{1}{10} \right) = 4.96 \times 10^{-2}$$

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta x}{99.204} = 2.86 \times 10^{-2} \quad U_x = \frac{\Delta x}{\sqrt{3}} = 5.20 \times 10^{-3}$$

$$U(R_x) = \sqrt{U_x^2 + U_{R_2}^2} = 0.0291 \Omega = 0.03\% \therefore R_x \pm U(R_x) = (99.20 \pm 0.03) \Omega$$

8-8.

10-15V

1A.



北京航空航天大学 实验报告

学
班
姓
同

日期: _____
评分: _____

实验名称: 双桥法测电阻

实验一: $R_1 = R_2 = 10^3 \Omega$

$R_1 = R_2 = 10^3 \Omega$

待测电阻长度:	50	100	150	200	250	300	350	400
l/mm								
$R_H(\Omega)$	253.44	537.43	781.72	104.72	131.82	157.05	184.83	209.15
$R_x(\Omega)$	257.44	516.32	795.02	105.30	131.14	157.88	183.13	210.08

铜杆直径: 1 2 3 4 5 6 7 8
 d : 直径/mm 3.82 3.81 3.84 3.91 3.91 3.92 3.91 3.90

$$\bar{d} = 3.88$$

实验二: $R_1 = 10 \Omega$ $R_2 = 100 \Omega$ $\frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{10}$ ~~$R_{测} = 992.75 \Omega$~~

~~$\Delta R_x = 1 \Omega$ $\Delta n = 5 \text{ div}$ $\Delta R_x = 5 \Omega$~~

~~$R_{测} = 99.207 \Omega$~~

~~$\Delta n = 5 \text{ div}$ $\Delta R_x = 0$~~

$$R_{测} = 992.04 \Omega \quad \therefore R_x = \frac{1}{10} R_{测} = 99.204 \Omega$$

~~$\Delta R_x = 5 \text{ div}$~~ $\Delta n = 5 \text{ div}$

~~ΔR_x~~

~~ΔR_x~~

$$R_{测} = 994.24 \Omega \quad \therefore R_x = 220 \Omega$$

20.18
10.18