第一次提交时数据分析部分出错，电阻率不确定度公式用错了。仅在数据分析处做了修改，其他的和上次一致。

南开大学 作业纸

2212266

系别 工科试验班 班级 电光5班 姓名 张恒硕 第 1 页

组别座号：43

日期：3月17日，星期五下午

电磁学实验报告：直流双臂（凯尔文）电桥

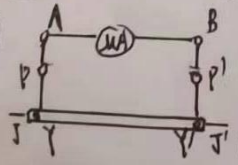
预习部分

目的要求：{了解低电阻的结构特点
掌握双臂电桥测量低阻的原理和方法

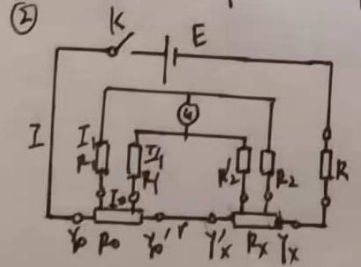
仪器用具：{R_1、R_1'（1000Ω，0.1级）
六旋钮电阻箱 X2（0.1级）
标准低阻 R_0（0.001Ω，准确确到0.05%）
待测铜棍、不锈钢棍、铝棒
限流电阻、直流稳压电源、电流计、压触开关、螺旋测微器

原理：将低阻做成四端结构，利用直流双臂电桥，形成三个回路，通过基尔霍夫定律可求解待测电阻与已知电阻的比例关系，消除了接触电阻和接线电阻对低阻测量造成的误差与影响。

① 四端结构



②



电桥平衡时 $\begin{cases} I_1R_1 = I_0R_0 + I_1'R_1' \\ I_1R_2 = I_0R_x + I_1'R_2' \\ (I_0 - I_1')r = I_1'(R_1' + R_2') \end{cases}$

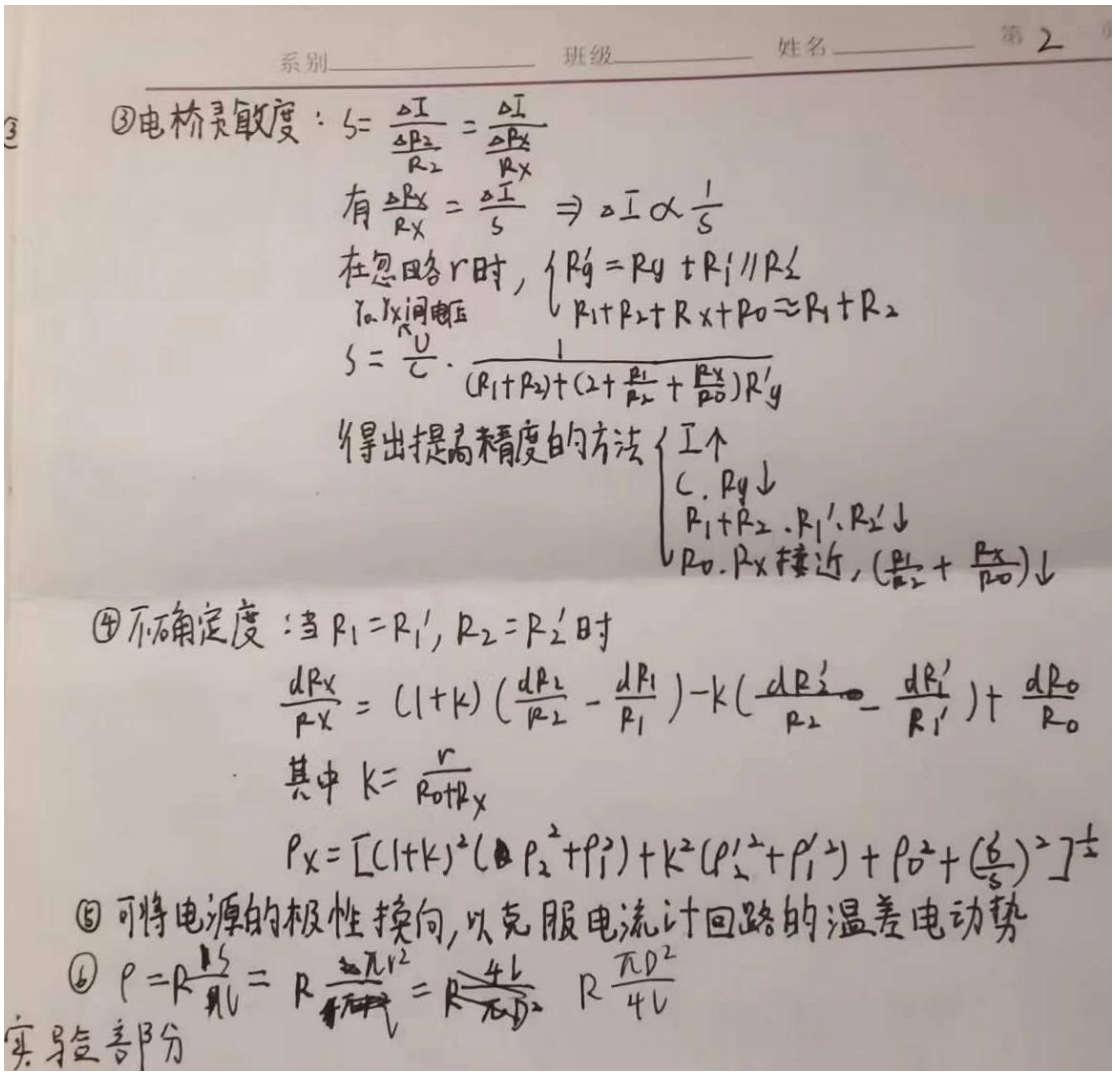
$\therefore R_1R_x = R_2R_0 + (R_2R_1' - R_1R_2')\dfrac{r}{r + R_1' + R_2'}$

预设 $R_2R_1' - R_1R_2' = 0$，即 $\dfrac{R_2}{R_1} = \dfrac{R_2'}{R_1'}$

$\therefore R_x = \dfrac{R_2}{R_1}R_0$

即平衡条件：$\dfrac{R_2}{R_1} = \dfrac{R_2'}{R_1'} = \dfrac{R_x}{R_0}$

调节方式：{调节 R_0
同步调节 R_2、R_2'



1. 铜棍电阻率的测量：

（1）铜棍长度（两个电压接头之间）：

$\Delta = 0.5\text{mm}, u_{bx} = \Delta/3$=0.17mm

$l = 41.30 - 3.69 = 376.1\text{mm}$

$l = 376.1 \pm 0.17\text{mm}$

（2）铜棍直径测量：

测量次数	1	2	3	4	5	平均值
直径/mm	5.005	5.001	4.991	4.998	4.996	4.9982

$s_{\bar{x}}=\frac{s_{x_i}}{\sqrt{n}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n(n-1)}}$=0.002354mm

$u_{ax}=t_{(0.683,k)}s_{\bar{x}}$=1.14*0.002354=0.002684mm

$\varepsilon_x=0.01\text{mm}, u_{bx}=\varepsilon_x/\sqrt{3}$=0.0058mm

$u_x=\sqrt{u_{ax}^2+u_{bx}^2}$=0.006391mm

d = 4.9982±0.006mm

（3）调节电桥平衡：

电桥状态	$R_2(=R_2^{'})$	R_x	$\Delta R_2(=\Delta R_2^{'})$	ΔI	S
数据记录	333.0Ω	$3.33\times10^{-4}\Omega$	20Ω	0.9nA	14.985nA

$$S=\frac{\Delta I}{\Delta R_2/R_2}=14.985\text{nA}$$

$$R_x=\frac{R_2}{R_1}R_0=\frac{333.0}{1000}0.001=3.33\times10^{-4}\Omega$$

$$\rho_x=\sqrt{(1+k)^2(\rho_1^2+\rho_2^2)+k^2(\rho_1^{'2}+\rho_2^{'2})+\rho_0^2+(0.1/S)^2}=0.692\%$$

其中：$\rho_0=\rho_1=\rho_1^{'}=\rho_2=\rho_2^{'}=0.1\%$，$k=0.1$

$$u_{R_x}=\rho_x R_x=0.023\times10^{-4}\Omega$$

$$R_x=(3.330\pm0.023)\times10^{-4}\Omega$$

（4）电阻率：

$$\rho_{Rx}=\frac{R_xS}{L}=\frac{\pi R_x d^2}{4L}=1.736\times10^{-8}\Omega\cdot\text{m},$$

$$u_\rho=\rho\sqrt{(u_{R_x}/R)^2+(2u_d/d)^2+(u_L/L)^2}=0.01281\times10^{-8}\Omega\cdot\text{m}$$

$$\rho=(1.736\pm0.013)\times10^{-8}\Omega\cdot\text{m}$$

2. 铝棍电阻率的测量：

（1） 铝棍长度：

$\Delta=0.5\text{mm},u_{bx}=\Delta/3$=0.17mm

$l=36.00-6.00=300.0\text{mm}$

$l=300.0\pm0.17\text{mm}$

（2）铝棍直径测量：

测量次数	1	2	3	4	5	平均值
直径/mm	4.945	4.947	4.943	4.952	4.941	4.9456

$$s_{\bar{x}}=\frac{s_{x_i}}{\sqrt{n}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n(n-1)}}$$=0.001887mm

$u_{ax}=t_{(0.683,k)}s_{\bar{x}}$=1.14*0.001887=0.002151mm

$\varepsilon_x=0.01\text{mm},u_{bx}=\varepsilon_x/\sqrt{3}$=0.0058mm

$u_x=\sqrt{u_{ax}^2+u_{bx}^2}$=0.006186mm

d = 4.9456±0.006mm

（3）调节电桥平衡：

电桥状态	$R_2(=R_2^{'})$	R_x	$\Delta R_2(=\Delta R_2^{'})$	ΔI	S
数据记录	642.0Ω	$6.42\times10^{-4}\Omega$	30Ω	1.1nA	23.54nA

$$S=\frac{\Delta I}{\Delta R_2/R_2}=23.54\text{nA}$$

$$R_x=\frac{R_2}{R_1}R_0=\frac{642.0}{1000}0.001=6.42\times10^{-4}\Omega$$

$$\rho_x = \sqrt{(1+k)^2(\rho_1^2+\rho_2^2)+k^2(\rho_1^{'2}+\rho_2^{'2})+\rho_0^2+(0.1/S)^2} = 0.464\%$$

其中：$\rho_0 = \rho_1 = \rho_1^{'} = \rho_2 = \rho_2^{'} = 0.1\%$，$k = 0.1$

$$u_{R_x} = \rho_x R_x = 0.02979\times 10^{-4}\Omega$$

$$R_x = (6.420 \pm 0.030)\times 10^{-4}\Omega$$

（4）电阻率：

$$\rho_{Rx} = \frac{R_x S}{L} = \frac{\pi R_x d^2}{4L} = 4.110\times 10^{-8}\Omega\cdot\mathrm{m},$$

$$u_\rho = \rho\sqrt{(u_{R_x}/R)^2+(2u_d/d)^2+(u_L/L)^2} = 0.02179\times 10^{-8}\Omega\cdot\mathrm{m}$$

$$\rho = (4.110 \pm 0.022)\times 10^{-8}\Omega\cdot\mathrm{m}$$

3．铁棍电阻率的测量

（1）铁铝棍长度：

$\Delta = 0.5\mathrm{mm}, u_{bx} = \Delta/3$=0.17mm

$l = 36.00 - 6.00 = 300.0\mathrm{mm}$

$l = 300.0 \pm 0.17\mathrm{mm}$

（2） 铁棍直径测量：

螺旋测微器零点读数：0.012mm

测量次数	1	2	3	4	5	平均值
直径/mm	5.003	4.998	4.995	5.000	5.002	4.9996

$s_{\bar{x}} = \frac{s_{x_i}}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n(n-1)}}$=0.001453mm

$u_{ax} = t_{(0.683,k)}s_{\bar{x}}$=1.14*0.001453=0.001656mm

$\varepsilon_x = 0.01\mathrm{mm}, u_{bx} = \varepsilon_x/\sqrt{3}$=0.0058mm

$u_x = \sqrt{u_{ax}^2+u_{bx}^2}$=0.006032mm

d = 5.000±0.006mm

（3）调节电桥平衡:

电桥状态	$R_2(=R_2^{'})$	R_x	$\Delta R_2(=\Delta R_2^{'})$	ΔI	S
数据记录	10972Ω	$1.0972\times 10^{-2}\Omega$	300Ω	1.3nA	47.55nA

$$\mathrm{S} = \frac{\Delta \mathrm{I}}{\Delta R_2/R_2} = 47.55\mathrm{nA}$$

$$R_x = \frac{R_2}{R_1}R_0 = \frac{10972}{1000}0.001 = 1.0972\times 10^{-2}\Omega$$

$$\rho_x = \sqrt{(1+k)^2(\rho_1^2+\rho_2^2)+k^2(\rho_1^{'2}+\rho_2^{'2})+\rho_0^2+(0.1/S)^2} = 0.2802\%$$

其中：$\rho_0 = \rho_1 = \rho_1^{'} = \rho_2 = \rho_2^{'} = 0.1\%$，$k = 0.1$

$u_{R_x} = \rho_x R_x = 3.0744 \times 10^{-5}\Omega$

$R_x = (1097.2 \pm 3.1) \times 10^{-5}\Omega$

（4）电阻率：

$\rho_{Rx} = \frac{R_x S}{L} = \frac{\pi R_x d^2}{4L} = 7.178 \times 10^{-8}\Omega\cdot\mathrm{m}$，

$u_\rho = \rho\sqrt{(u_{R_x}/R)^2 + (2u_d/d)^2 + (u_L/L)^2} = 0.02685 \times 10^{-8}\Omega\cdot\mathrm{m}$

$\rho = (7.178 \pm 0.027) \times 10^{-8}\Omega\cdot\mathrm{m}$