

7.

天津大学物理实验报告

机械学院 大二 年级 工 成绩

实验日期: 组实验者 元

实验题目: 用开尔文电桥测低电阻.

一. 实验名称

用开尔文双电桥测低电阻

二. 实验目的.

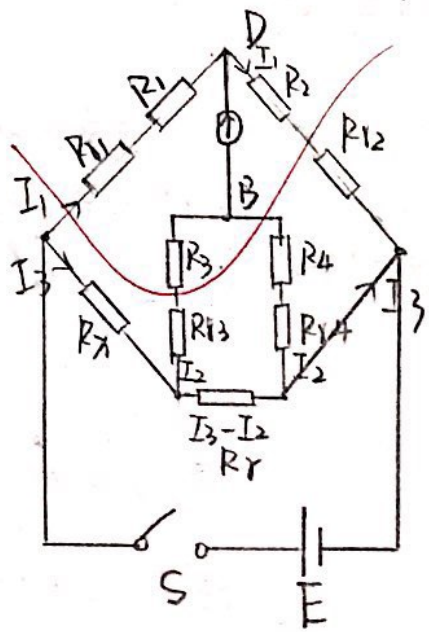
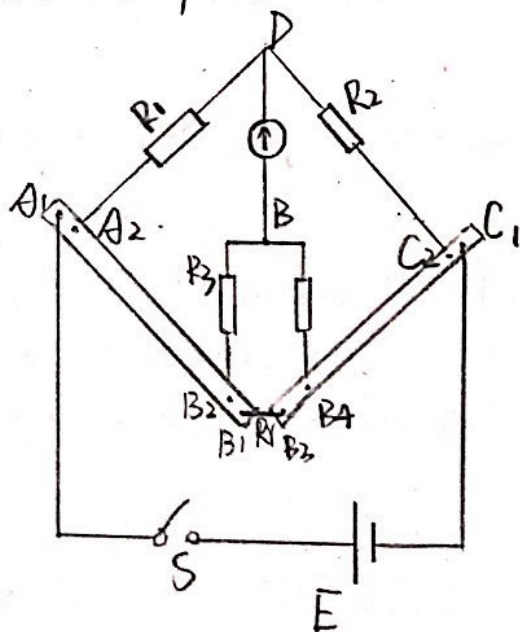
1. 了解开尔文电桥与惠斯通电桥的区别与联系.
2. 掌握用开尔文电桥测低电阻的原理和方法.

三. 实验仪器.

开尔文双电桥, 直流稳定电源, 检流计, 标准电阻, 待测电阻等.

四. 实验原理.

1. 双电桥线路结构及消减附加电阻影响的原理.



天津大学物理实验报告

附 页

上图为双电桥线路结构及其等效电路。双电桥在线路结构上与单电桥有两点显著不同 ①待测电阻 R_x 和桥臂电阻 R_N (标准电阻) 均为四端接法 ②增加两个高阻值电阻 R_3, R_4 构成双电桥的“内臂”。

四端电阻外侧的两个接点称为电流端，通常接电源回路。而将电流端的附加电阻折合到电源回路的电阻中。图中， A_1, D_1 两接点的附加电阻为 R_1 ，后面将证明。若 R_1, R_2, R_3, R_4 及 R_N 满足一定条件，即可消减 R_1 对测量结果的影响。

四端电阻内侧的两个接点称为电压端，通常接电阻回路或电流为零的补偿回路。图中， A_2, C_2 端接触电阻分别并入 R_1, R_2 ， B_2, D_2 端接触电阻分别并入 R_3, R_4 。由于 R_1, R_2, R_3, R_4 本身电阻很高，所以这些附加电阻对它们的影响甚微。此外，电压端之间的部分即为低电阻本身，另外的连接导线，则有效地消除了导线电阻的影响。

2. 双电桥的平衡条件。

调节平衡，就是调节电阻 R_1, R_2, R_3, R_4 和 R_N ，使 B, D 两处等电位，检流计电流 $I_g = 0$ 。由图2中所示电流方向，考虑到 $R_1 \gg R_{11}, R_2 \gg R_{12}, R_3 \gg R_{13}, R_4 \gg R_{14}$ 可列微方程。

$$\begin{cases} I_1 R_1 = I_3 R_x + I_2 R_3 \\ I_1 R_2 = I_3 R_N + I_2 R_4 \\ I_2 (R_3 + R_4) = (I_3 - I_1) R \end{cases}$$

联立求得 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_N + \frac{R_1 R_4}{R_3 + R_4 + R_1} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right)$

双电桥在结构上尽量做到使上式第二项满足 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ ，故

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

此式就是双电桥的平衡条件，只要将待测低电阻按四端接法接

实验题目:
入测量.就可像单电桥那样用式 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_N$ 计算 R_x .

3. QJ32型直流单、双电桥的结构及使用.

双电桥形式、结构及使用虽然多种多样,但其原理是一样的.图24-2和24-3分别为QJ32型单双电桥的线路及其作为双电桥使用时的面板接线图.电桥等级:0.05;量程:双桥为 $10^5 \sim 10^7 \Omega$,单桥为 $50 \sim 10^6 \Omega$,保证准确度等级的测量范围: $10^3 \sim 10^5 \Omega$.外接标准电阻 $R_N = 0.01 \Omega$ 和 $R_N = 0.001 \Omega$, 0.01级.示零器,外接AG15/2型检流计.

图2-24中可变电阻 R_1, R_2 采用同轴调节的两个相同的5位 ($\times 0.1, \times 0.1, \times 1, \times 10, \times 100$) 10进电阻箱,这样无论转盘位于何处,都能保证 $R_1 = R_2$. R_3, R_4 是两个独立调节的10进4档 ($10 \Omega, 10^2 \Omega, 10^3 \Omega, 10^4 \Omega$) 电阻箱,调节 $R_3 = R_4$,从而保证 $R_1/R_2 = R_3/R_4$ 在使用过程中始终成立.

使用时应首先根据 R_x 的粗估值设定 R_1, R_2 的值.将 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_N$ 改写为 $R_x = (R_N/R_2) R_1$,可知 R_N/R_2 相当于单电桥的倍率. R_1 相当于测量盘的示值,与单电桥一样,根据 R_x 的数量级选定 R_N/R_2 .应保证 R_1 的5个旋钮都用上.

QJ32型电桥作为双电桥使用时,其示值误差限

$$\Delta = a\% \left(CR_1 + \frac{C \times 1000 \Omega}{10} \right)$$

其中, $C = R_N/R_2$. a 为等级指数, 1000Ω 为基准值.

天津大学物理实验报告

附 页

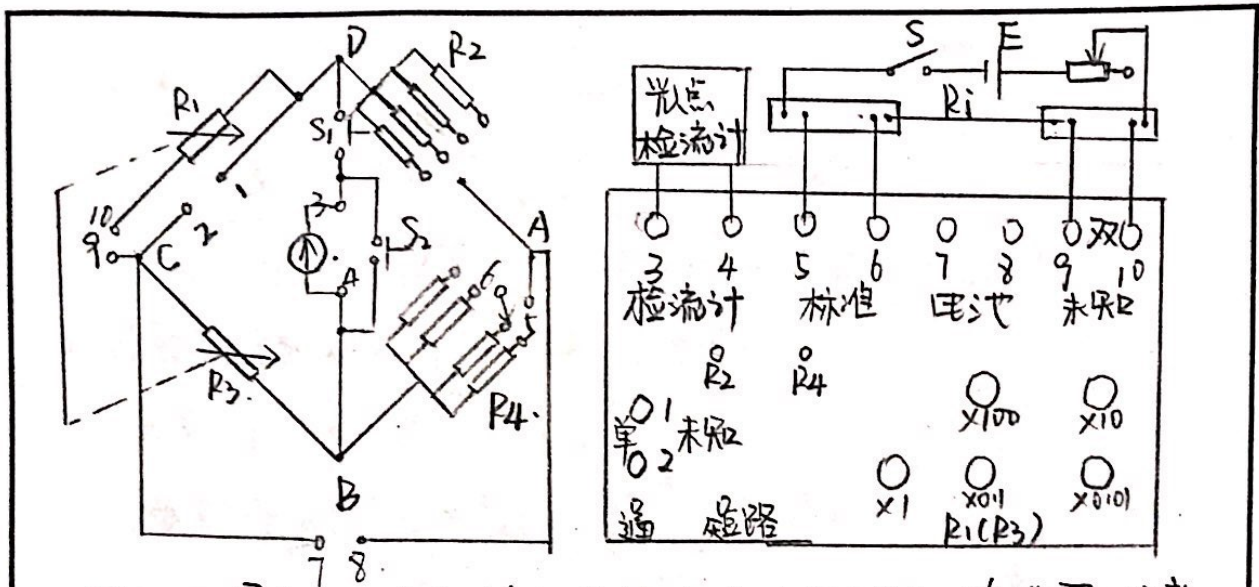
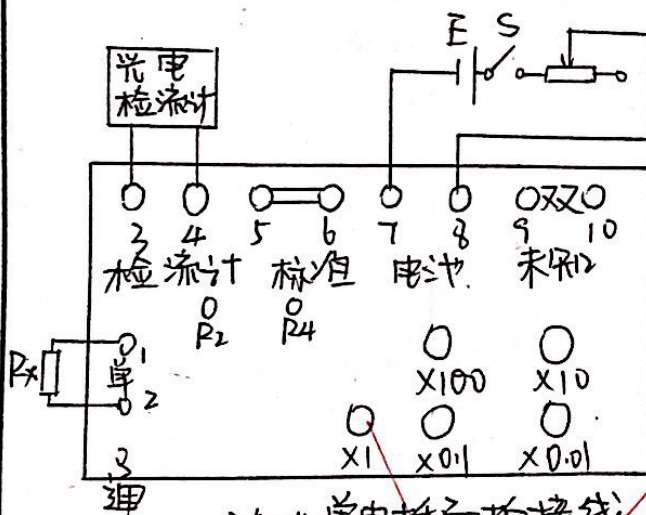


图24-3是QJ32型电桥作为单电桥使用时的接线图。注意，“标准”接线端要用短片短路，调节 $R_1(R_3)$ 使电桥平衡，则

$$R_x = \frac{R_2}{R_4} R_1$$

倍率 R_2/R_4 的选择原则也是要保证 $R_1(R_3)$ 的5个旋钮都用上。



24-4 单电桥面板接线

五、实验步骤

1. 用双电桥测紫铜棒电阻

(1) 按图24-3接线，经检查后接通电、电源按恒流源使用。电流调节为0.8A。

(2) 根据实验室提供的粗估值选定 $R_1, R_2/R_4$ 值。

实验题目:

1. 依次测量黄铜片长为40cm、30cm、20cm、10cm时的电阻。

2. 用双臂电桥测铁棒电阻(方法同上)。

3. 用螺旋测微器测量铜、铁棒的几何尺寸并求出各自横截面积 S 。

4. 用坐标纸画 R_x-l 图, 依据电阻率公式 $R_x = \frac{\rho l}{S}$, 和图线斜率 $\frac{\Delta R}{\Delta l} = \frac{\rho}{S}$, 分别求出铜、铁棒的电阻率, 并估算 $l=40\text{cm}$ 时铜棒电阻率 ρ 的测量不确定度。

六. 实验数据和数据处理。

1. 测量铜棒电阻。

实验参数设置: $R_2 = R_4 = 10^3 \Omega$, $R_N = 0.001 \Omega$ 。

恒流源电流 $I = 0.8\text{A}$ 。铜棒直径4.000mm。

$l(\text{mm})$	400	300	200	100
$R_{Cu}(\Omega)$	908.72	691.40	449.84	231.60
$R_x(\Omega)$	9.0872×10^{-4}	6.9140×10^{-4}	4.4984×10^{-4}	2.3160×10^{-4}

2. 测量铁棒电阻

实验参数设置: $R_2 = R_4 = 10 \Omega$, $R_N = 0.001 \Omega$ 。

恒流源电流 $I = 0.8\text{A}$ 。铁棒直径4.000mm

天津大学物理实验报告

附 页

$l(\text{mm})$	400	300	200	100
$R_{\text{Fe}}(\Omega)$	229.29	172.45	113.31	56.69
$R_x(\Omega)$	2.2929×10^{-2}	1.7245×10^{-2}	1.1331×10^{-2}	5.669×10^{-3}

3. 计算铁棒和铜棒的横截面积,

$$\text{直径 } d = d_{\text{Fe}} = d_{\text{Cu}} = 4 \times 10^{-3} \text{ m}.$$

$$\text{横截面积 } S_{\text{Fe}} = S_{\text{Cu}} = \frac{\pi d^2}{4} = 1.2577 \times 10^{-5} \text{ m}^2.$$

4. 根据实验数据绘制 $R_x - l$ 图, 并求铜、铁棒电阻率

① 铜棒电阻值 R_x 与长度 l 的关系, 如下图.



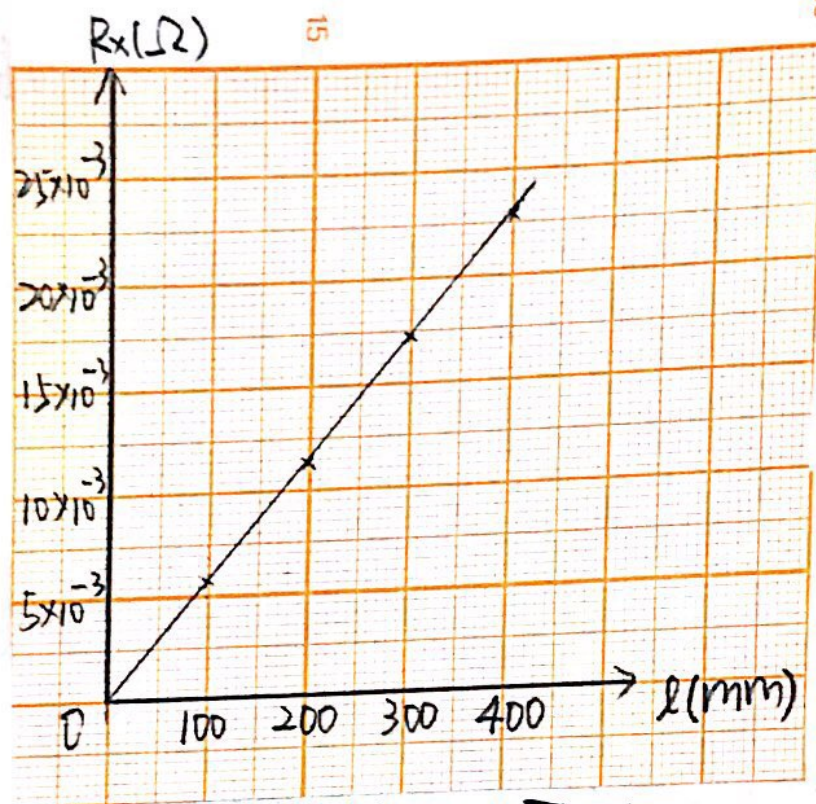
由铜棒电阻值 R_x 与长度关系图可知,

$$\text{图线斜率 } \frac{\Delta R}{\Delta l} = \frac{R}{S} = 2.2718 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}.$$

$$\therefore \text{铜棒的电阻率 } \rho_{\text{Cu}} = \frac{\Delta R}{\Delta l} \cdot S = 2.8572 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}.$$

实验题目:

2> 铁棒电阻值 R_x 与长度 l 的关系, 如下图.



由铁棒电阻值 R_x 与长度关系图可知,

图线斜率 $\frac{\Delta R}{\Delta l} = \frac{\rho}{S} = 5.7692 \times 10^{-2} \Omega/m$.

\therefore 铁棒的电阻率 $\rho_{Fe} = \frac{\Delta R}{\Delta l} \cdot S = 7.2560 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$.

5. $l = 400mm$ 时铜棒电阻率的不确定度

$U_d = \Delta d$, 由于 d 为已知常量, 则 $U_d = 0$.

$U_l = \Delta l$, 由米尺得 $\Delta l = 1 \times 10^{-3} m$.

$U_{R_x} = \Delta R$, 代入 $\Delta R = 0.1\% (CR_1 + \frac{C \times 1000}{10}) = 5.1095 \times 10^{-7}$

$$U_Y = \sqrt{\left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R_x}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{400}\right)^2 + \left(\frac{5.1095 \times 10^{-7}}{2.3160 \times 10^{-4}}\right)^2} = 0.2334\%$$

天津大学物理实验报告

附 页

$$\rho = \frac{\pi d^2 R_x}{4 l} = \frac{3.14 \times (4 \times 10^{-3})^2 \times 9.0872 \times 10^{-4}}{4 \times 400 \times 10^{-3}} = 2.8534 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

$$u = \rho \cdot u_r = 2.8534 \times 10^{-8} \times 0.3334\% = 9.5132 \times 10^{-11} \Omega \cdot m$$

$$\therefore \rho = (2.8534 \pm 0.0095132) \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

七. 实验结果分析.

1. 使用开尔文双电桥法测量低电阻有效的将导线电阻, 接触电阻等附加电阻归入外电路中, 有效的使测量结果更加精确. 使得所作 $R_x - l$ 图线如预期中为一条过原点的直线. 但由于仅测量四个点, 由误差引起的斜率变化会被扩大. 因此导致在计算电阻率 ρ 时精确度下降, 并且米尺接柱与待测铜棒铁棒不为点接触, 为面接触, 误差较大.

2. 在测量过程中, 由于铜电阻较小, 使 $C = \frac{R_1}{R_2} = 1 \times 10^{-6}$. 因此通过电流表电流极小. 在调整 R_1 为 $\times 1 \Omega$ 及更小档位时电流表指针偏转难以用肉眼观测, 因此导致测量精确度下降. 应采用更敏感的电表观测, 同时由于无法观测到的微小电流所导致的装置误差是开尔文双电桥及惠斯通电桥法难以避免的实验误差. 在测量和数据处理时应注意.

3. 由测量不确定度的计算在 400mm 处不确定度为 0.3334% 不到 1%, 由此说明实验数据误差限较小, 较为可靠.

实验题目:

用开尔文双电桥测低电阻

原始数据.

$l(\text{mm})$	400	300	200	100
$R_{\text{Cu}}(\Omega)$	908.72	691.40	449.84	231.60
$R_{\text{Fe}}(\Omega)$	229.29	172.45	113.31	56.69

实验参数设置: $R_2 = R_4 = 10^3 \Omega$, $R_N = 0.001 \Omega$.

测量Cu棒的电阻.

测量铁棒的电阻: $R_2 = R_4 = 10 \Omega$, $R_N = 0.001 \Omega$.

恒流源电流: $I = 0.8 \text{ A}$. 铜棒直径 4.000 mm .

横截面积: $S = \pi R^2 = \frac{\pi}{4} d^2 = 4 \pi \text{ mm}^2 = 1.256 \times 10^{-4} \text{ m}^2$.

234 } 30