

课程名称: 用开尔文双电桥测低电阻 姓名: 王苗苗

学号: 3016201023

学院: 机械工程学院 专业: 工程力学

年级: 16本

成绩:

一. 实验题目

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. 实验仪器设备

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

图24-1 a, b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”。

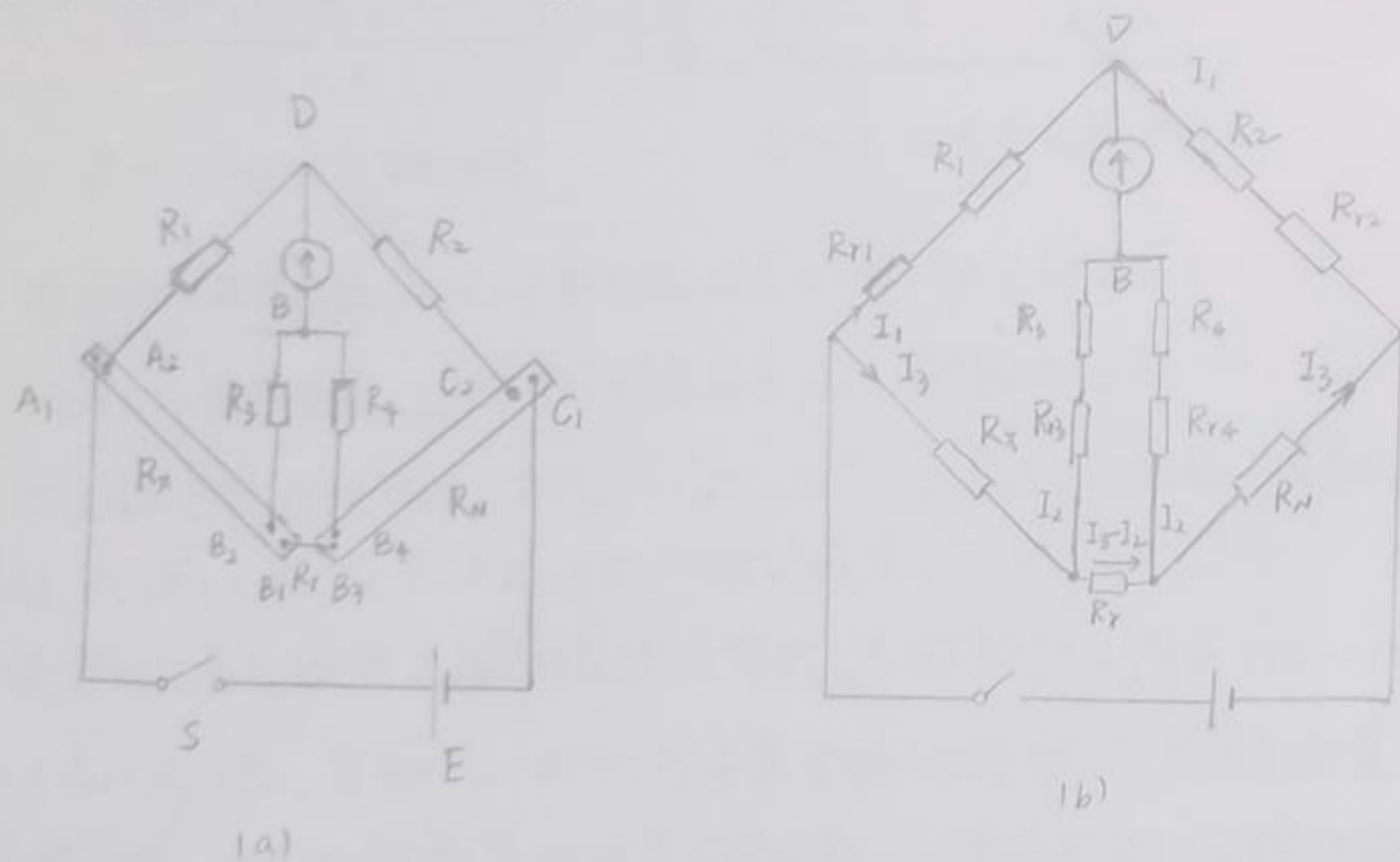


图24-1 双电桥及其等效电路

四端电阻外侧的两个接点称为电流端, 通常接电源回路, 从而将电流端的附加电阻折合到电阻回路的电阻中, 图24-1中, A_1, C_1 两接点的附加电阻折入了电源内阻, B_1, B_2 两接点用短粗导线相连, 设 B_1, B_2 间附加电阻为 R_r , 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_r 对测量结果的影响。

四端电阻内侧的两个接点称为电压端, 通常接高电阻回路或电流为零的补偿回路, 图24-1中, A_2, C_2 端接触电阻分别并入 R_1, R_2, B_2, B_4 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, 无另外的连接导线, 故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24-1b中所示电流方向, 考虑到 $R_1 \gg R_{r1}, R_2 \gg R_{r2}, R_3 \gg R_{r3}, R_4 \gg R_{r4}$ 可列出方程

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

联立求解得

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_N + \frac{R_r R_4}{R_3 + R_4 + R_r} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right) \quad (24-1)$$

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

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_N \quad (24-2)$$

式(24-2)就是双电桥的平衡条件。只要将待测低电阻按四端接法接入测量, 就可像单电桥那样用式(24-2)计算 R_x

3. QJ32型直流单、双电桥的结构及使用

教师签字:

年 5 月 9 日

天津大学本科生实验报告专用纸

课程名称:

姓名:

学号:

学院:

专业:

年级:

成绩:

双电桥形式、结构及使用虽多种多样,但其原理是一样的。图24-2和图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 $10^{-5} \sim 10^2 \Omega$, 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。示零器为外接AC15/2型检流计。

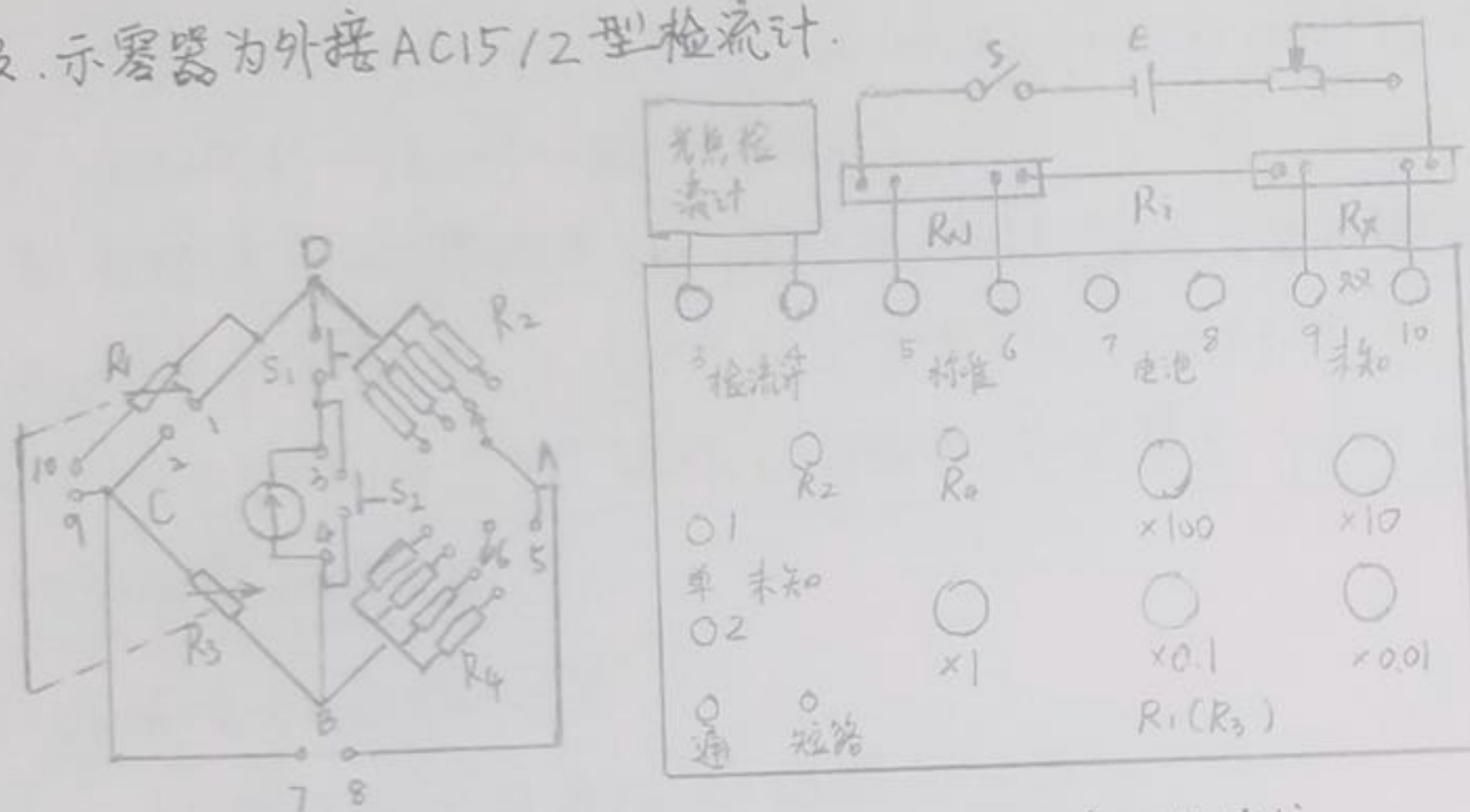


图24-2 QJ32型电桥电路

图24-3 双电桥面板接线

图24-2中可变电阻 R_1 、 R_3 采用同轴调节的两个相同的5位 ($\times 0.01$, $\times 0.1$, $\times 1$, $\times 10$, $\times 100$) 10进电阻箱, 这样无论转盘位于何处, 都能保证 $R_1 = R_3$ 。 R_2 、 R_4 是两个可独立调节的10进4挡 (10Ω , $10^2 \Omega$, $10^3 \Omega$, $10^4 \Omega$) 电阻箱, 调节 $R_2 = R_4$, 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 的粗略值设定 R_1 、 R_2 的初值。将式(24-2)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 的数量级选定的 R_N/R_2 , 应保证 R_1 的5个旋钮都用上(即保证5位有效数字)。

(QJ32型电桥作为双电桥使用时, 其示值误差限

$$\Delta = a \% \left(C R_1 + \frac{C \times 1000 \Omega}{10} \right)$$

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

图24-4是QJ32型电桥作为单电桥使用时的接线图。注意, “标准”接线端要用短路片短路, 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。

使用中应注意两点: ①初值选定后, 应采用“跃接”法启闭面板上的“通”键来观察光标的偏转情况; ②注意AC15/2型检流计的正确使用, 调节电桥平衡应从检流计最不灵敏的 $\times 0.01$ 挡开始, 逐步过渡到 $\times 1$ 挡。

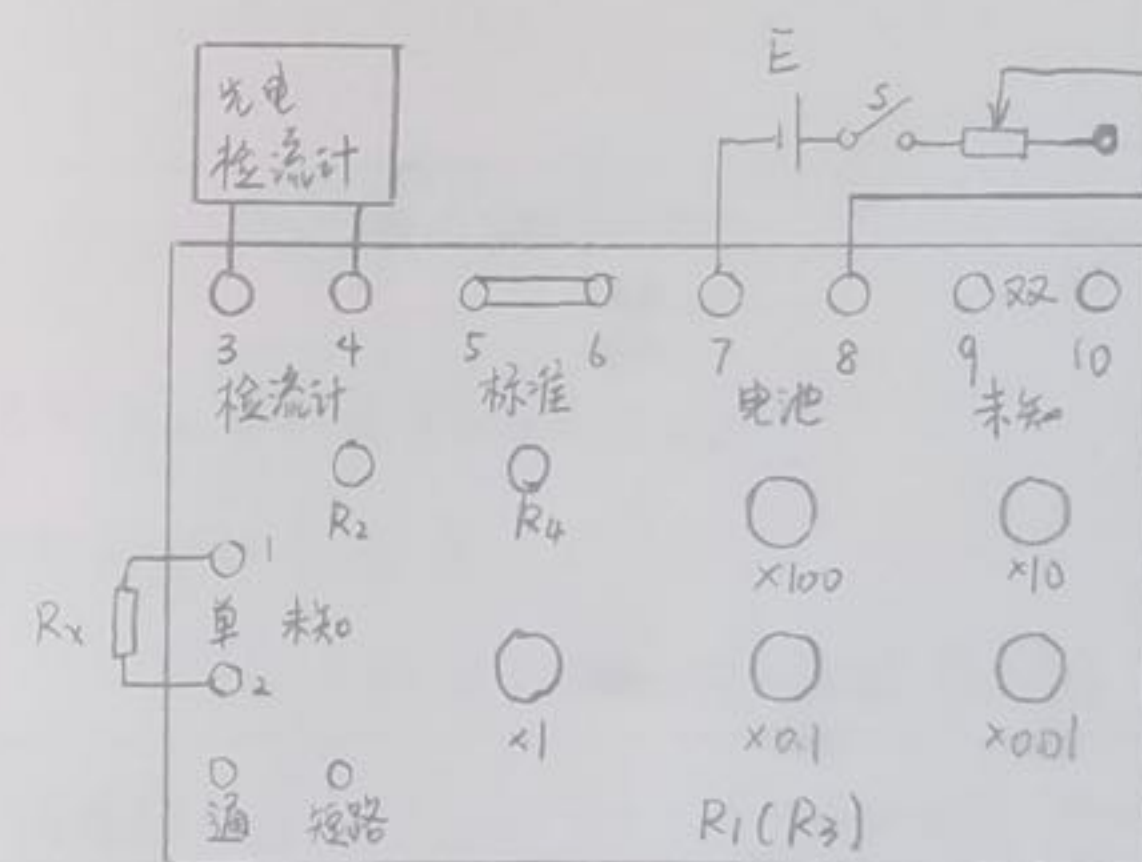


图24-4 单电桥面板接线

教师签字:

年 月 日

天津大学本科生实验报告专用纸

程名称:

姓名:

学号:

学院:

专业:

年级:

成绩:

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。

(3) 依次测量黄铜片长为40cm、30cm、20cm、10cm时的电阻,

2. 用双电桥测铁棒电阻(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的横截面积 S

4. 用坐标纸画 R_x-l 图, 依据电阻率公式 $R_x = \rho l / S$, 和图线斜率 $\Delta R / \Delta l = \rho / S$, 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. 数据表格和数据处理

1. 铁棒不同长度电阻和铁棒电阻率

双电桥测不同长度铁棒数据表

铁棒长度 l/mm	400	300	200	100
R_{Fe}/Ω	229.02	170.22	112.40	53.90
$R_{\text{Fe}}/10^{-4}\Omega$	229.02	170.22	112.40	53.90

已知 $R_2 = R_4 = 10\Omega$, $R_N = 0.001\Omega$

由电桥平衡有 $R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_N$, 计算得到

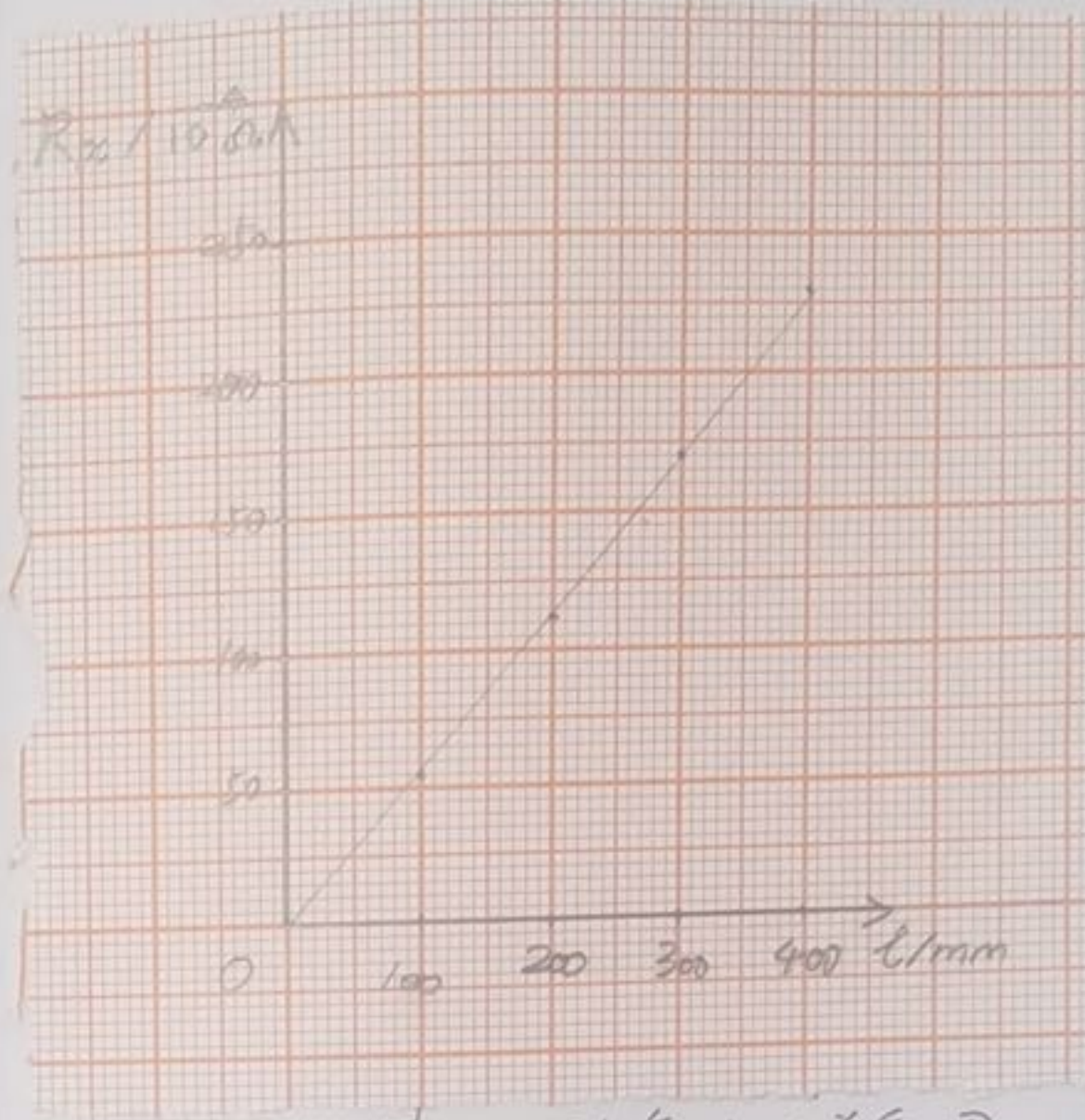
$R_{\text{Fe}} = \frac{R_{\text{Fe}}}{R_2} \cdot R_N$ 得到表中所列数据

$$\frac{229.02}{10} \times 0.001 = 229.02 \times 10^{-4} (\Omega), \frac{170.22}{10} \times 0.001 = 170.22 \times 10^{-4} (\Omega)$$

$$\frac{112.40}{10} \times 0.001 = 112.40 \times 10^{-4} (\Omega), \frac{53.90}{10} \times 0.001 = 53.90 \times 10^{-4} (\Omega)$$

铁棒直径 $d_{\text{Fe}} = 4\text{mm}$

$$S_{\text{Fe}} = \frac{\pi d^2}{4} = 1.2567 \times 10^{-5} \text{m}^2$$



铁棒 R_x 与长度 l 的关系图

$$\rho = \frac{\Delta R}{\Delta l} S = 7.19524 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$$

2. 铜棒电阻和电阻率

双电桥测不同长度铜棒数据表

铜棒长度 l/mm	400	300	200	100
R_{Cu}/Ω	900.01	665.41	442.64	209.80
$R_{\text{Cu}}/10^{-6}\Omega$	900.01	665.41	442.64	209.80

已知 $R_2 = R_4 = 10^3\Omega$, $R_N = 0.001\Omega$

由电桥平衡有 $R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_N$, 计算

$R_{\text{Cu}} = \frac{R_{\text{Cu}}}{R_2} \cdot R_N$ 得到表中数据

$$\frac{900.01}{10^3} \times 0.001 = 900.01 \times 10^{-6} \Omega$$

$$\frac{665.41}{10^3} \times 0.001 = 665.41 \times 10^{-6} \Omega$$

教师签字:

年 月 日

天津大学本科生实验报告专用纸

课程名称:

姓名:

学号:

学院:

专业:

年级:

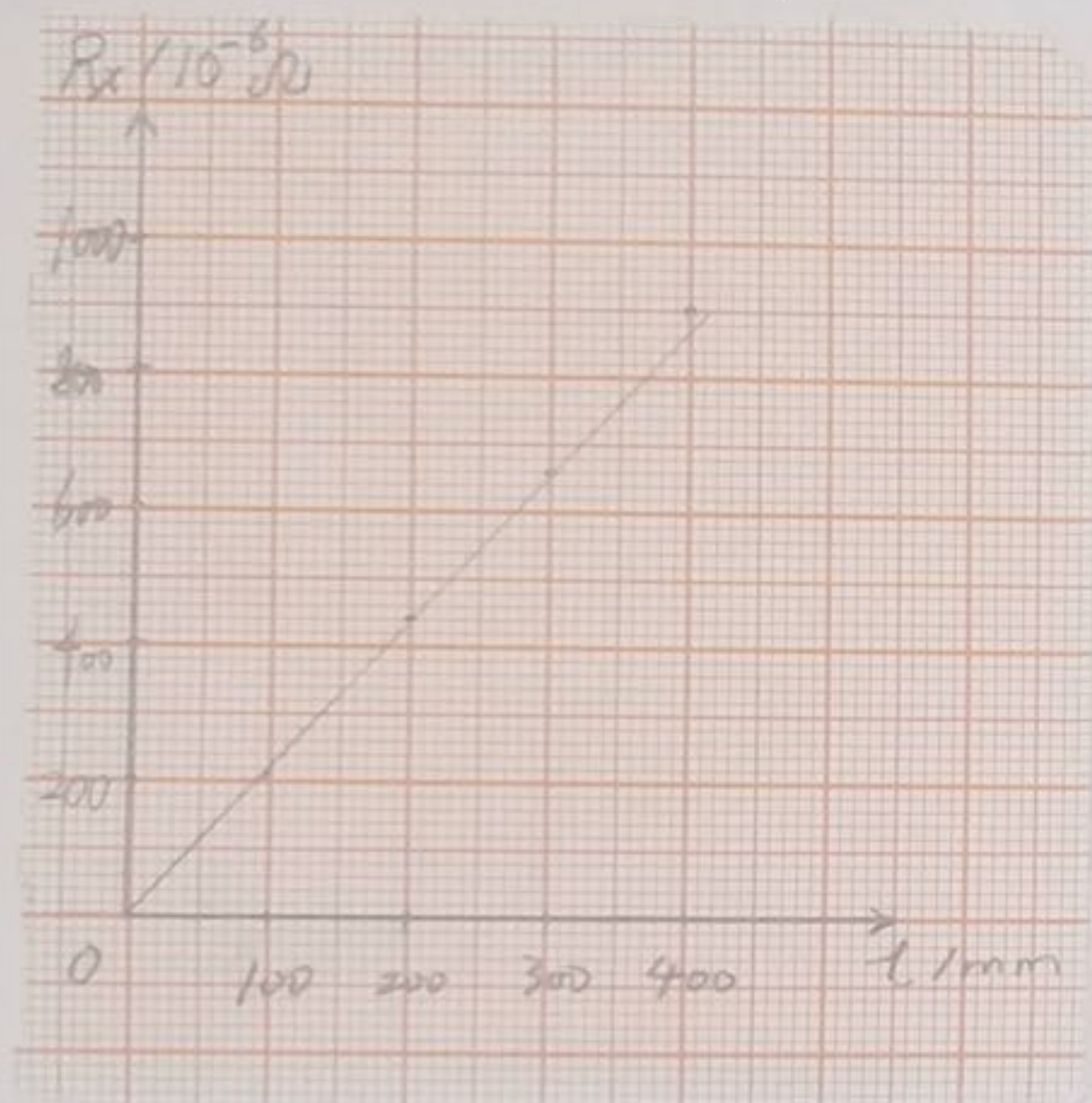
成绩:

$$\frac{442.64}{10^3} \times 0.001 = 442.64 \times 10^{-6} \Omega$$

$$\frac{209.80}{10^3} \times 0.001 = 209.80 \times 10^{-6} \Omega$$

铜棒直径 $d_{Cu} = 4 \text{ mm}$

$$S_{Fe} = \frac{\pi d^2}{4} = 1.2567 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$



$$\rho = \frac{\Delta R}{\Delta l} S$$

$$= 2.7874 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

铜棒 R_x 与长度 l 的关系图

3. 估算 $l=40 \text{ cm}$ 时铜棒电阻率 ρ 的测量不确定度

$$l=400 \text{ mm 时 } R_{ICu} = 900.01 \Omega$$

$$R_{xCu} = \frac{R_{ICu}}{R_z} \cdot R_N = 900.01 \times 10^{-6} \Omega$$

$$\rho = \frac{R_x}{l} S = \frac{900.01 \times 10^{-6}}{400 \times 10^{-3}} \times 1.2567 \times 10^{-5}$$

$$= 2.8276 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

$$\rho = \frac{R_x S}{l} = \frac{\pi D^2}{4} \frac{R_x}{l}$$

由于 D 为给出的值, 不考虑误差

$$U_r = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_x}{R_x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2}$$

$$\text{其中 } \Delta R = a\% (CR_1 + \frac{C \times 1000.0}{10})$$

$$\text{又 } C = \frac{R_N}{R_z} = \frac{0.001}{10^3} = 10^{-6}$$

$$a = 0.05$$

$$\text{得 } \Delta R = 0.05\% \times (10^{-6} \times 900.01 + \frac{10^{-6} \times 1000}{10})$$

$$= 5 \times 10^{-7} \Omega$$

$$\text{② } \Delta l$$

$\Delta l_x = 1.00 \text{ mm}$ 由于没有重复测量, 不存在 U_A

$$\Delta l = U_B = \Delta l_x / C = 0.3333 \text{ mm}$$

综上所述
得到

$$U_r = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{5 \times 10^{-7}}{900.01 \times 10^{-6}}\right)^2 + \left(\frac{0.3333}{400}\right)^2}$$

$$= 1.0015 \times 10^{-3}$$

$$\Delta \rho = \rho U_r$$

$$= 2.8319 \times 10^{-11} \Omega$$

教师签字:

年 月 日

天津大学本科生实验报告专用纸

课程名称:

姓名:

学号:

专业:

学院:

年级:

成绩:

七. 结果分析和讨论

铁棒、铜棒的电阻很小, 直接测量误差很大, 通过利用开尔文双电桥, 利用双电桥的平衡条件, 并使 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ 以化简方程, 得到了计算 R_x 的方式.

实验测得数据符合理论情况, 结果合理, 误差在允许范围内

教师签字:

年 月 日