物理实验预习报告

实验名称： 用双臂电桥测低电阻

指导教师：

班级：

姓名：

学号：

实验日期： 2025 **年** 10 **月** 14 **日** **星期** 二 **下午**

浙江大学物理实验教学中心

一、预习报告（10 分）

1. 实验综述（5 分）

（自述实验现象、实验原理和实验方法，包括必要的光路图、电路图、公式等。不超过 500 字。）

(1) 实验现象

在实验中我们观察到，当闭合电源开关后，通过调节标准电阻箱 R_s 的阻值，电路中的检流计指针会发生偏转。继续细心调节，可以找到一个特定的阻值，使得检流计指针恰好指向中央零刻度位置，此时指针不再偏转，表明电桥达到了平衡状态。若待测对象为金属导体，我们还发现，随着导体温度的升高，需要调节 R_s 到一个更大的值才能使电桥重新平衡，这直观地显示了金属电阻值随温度升高而增大的现象。

(2) 实验原理

本次实验的核心是利用双臂电桥精确测量低电阻。

对于毫欧级别的低电阻，常规的测量方法会因为接触电阻和导线本身电阻（数量级通常为 $0.01 \sim 1\,\Omega$）的引入而产生巨大的误差。为了克服这一难题，我们采用了四端接入法。其原理如图1所示，在测量低电阻 R_x 时，额外引入了接触电阻 r_1 和导线电阻 r_2。传统的二端接法会将这些附加电阻也一并测量。而四端接入法则将电流端与电压端分离，通过测量 R_x 两端的电压 V_x 和流过 R_x 的电流 I，得到 $R_x = V_x/I$，从而有效消除 r_1 和 r_2 对测量结果的影响。

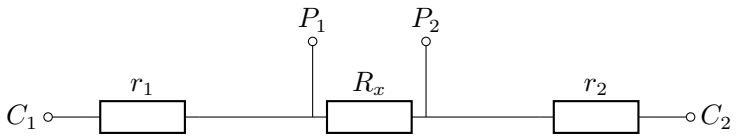


图 1: 四端接入法原理图

双臂电桥是在惠斯通电桥基础上，巧妙融合四端接入法原理演变而来的，其电路原理如图2所示。图中 R_x 为待测低电阻，R_s 为可调的标准低电阻。R_1, R_2, R_3, R_4 构成电桥的两个桥臂，通常被称为“比例臂”。r 是连接 R_x 与 R_s 的导线的电阻，其阻值也极低。

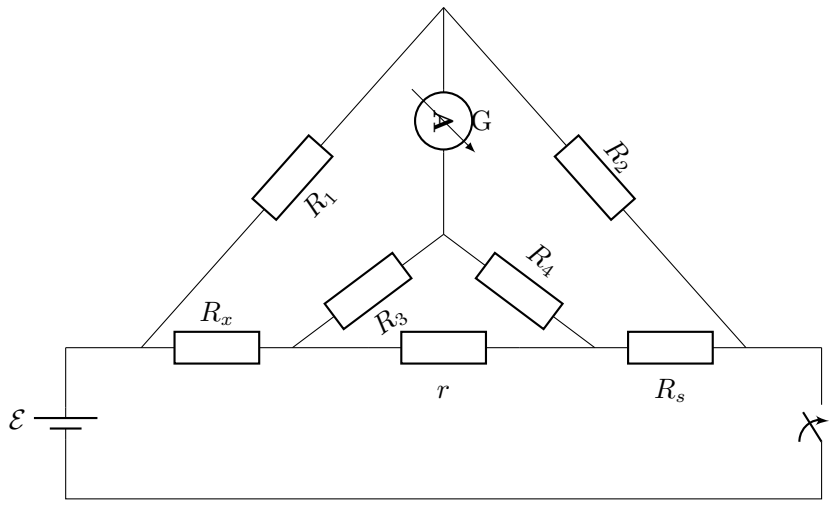


图 2: 双臂电桥电路原理图

当调节电桥使得检流计 G 中没有电流通过（$I_G = 0$）时，电桥达到平衡。此时 B 点与 D 点电势相等。设流过比例臂 R_1, R_2 的电流为 I_1，流过 R_3, R_4 的电流为 I_2，流过待测电阻 R_x 和标准电阻 R_s 的总电流为 I_3。根据基尔霍夫回路定律，可列出方程组：

$$I_1 R_1 = I_3 R_x + I_2 R_3 \tag{1}$$

$$I_1 R_2 = I_3 R_s + I_2 R_4 \tag{2}$$

$$(R_3 + R_4) I_2 = (I_3 - I_2) r \tag{3}$$

联立求解上述方程组，并消去电流项，便可推导出待测电阻的计算公式：

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s + \frac{R_4 \cdot r}{R_3 + R_4 + r} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right) \tag{4}$$

在实际应用中，我们通过使用“双联臂”或精密匹配的电阻，使比例臂始终满足条件 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$。这样一来，式 (4) 中的第二项便等于零，大大简化了计算，并消除了连接导线电阻 r 对测量结果的影响。最终的计算公式为：

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s \tag{5}$$

此外，金属电阻的阻值 R_t 与温度 t 的关系在室温附近可近似表示为线性关系：

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t) \tag{6}$$

其中 R_0 为 0°C 时的电阻值，α 为该金属的电阻温度系数。利用双臂电桥在不同温度下测出电阻值，便可求得 α。

(3) 实验方法

本实验采用零示法和比较法相结合的思想。实验中，我们通过调节已知标准电阻 R_s，使电桥达到平衡状态（即检流计示数为零）。在平衡条件下，待测电阻 R_x 的值与标准电阻 R_s 及比例臂 R_1/R_2 之间存在一个简单的比例关系。这种零示测量方法避免了对电流和电压的直接精确测量，而是通过判断“有无电流”来实现高精度测量，同时双臂电桥的设计巧妙地排除了接触电阻和连接导线电阻带来的系统误差。

2. 实验重点（3 分）

（简述本实验的学习重点，不超过 100 字。）

本实验的学习重点在于理解双臂电桥如何通过引入第二对比例臂来消除连接导线电阻的影响，并掌握四端接入法在低电阻测量中的核心作用。同时，熟悉电桥平衡条件的调节方法以及利用零示法进行高精度比较测量的思想也是关键。

3. 实验难点（2 分）

（简述本实验的实现难点，不超过 100 字。）

本实验的实现难点在于精确找到电桥的平衡点。由于检流计灵敏度高，调节阻值时需要非常细致，尤其是在接近平衡时。此外，如何正确接线，特别是保证四端接入法的电流端和电压端连接无误，以及如何选择合适的测量倍率以获得最佳灵敏度和准确度，是操作上的主要挑战。

注意事项：

1. 用 PDF 格式上传“实验报告”，文件名：学生姓名 + 学号 + 实验名称 + 周次。
2. “实验报告”必须递交在“学在浙大”本课程内对应实验项目的“作业”模块内。
3. “实验报告”成绩必须在“浙江大学物理实验教学中心网站”-“选课系统”内查询。
4. 教学评价必须在“浙江大学物理实验教学中心网站”-“选课系统”内进行，学生必须进行教学评价，才能看到实验报告成绩，教学评价须在本次实验结束后 3 天内进行。

浙江大学物理实验教学中心制