

# 双臂电桥测低电阻实验

## 一、实验简介

电阻按照阻值大小可分为高电阻( $100\text{K}\Omega$ 以上)、中电阻( $1\Omega \sim 100\text{K}\Omega$ )和低电阻( $1\Omega$ 以下)三种。一般说导线本身以及和接点处引起的电路中附加电阻约为 $>0.1\Omega$ ，这样在测低电阻时就不能把它忽略掉。对惠斯通电桥加以改进而成的双臂电桥(又称开尔文电桥)消除了附加电阻的影响，适用于  $10^{-5}\sim 10^2\Omega$  电阻的测量。本实验要求在掌握双臂电桥工作原理的基础上，用双臂电桥测金属材料的电阻率。

## 二、实验原理

我们考察接线电阻和接触电阻是怎样对低值电阻测量结果产生影响的。例如用安培表和毫伏表按欧姆定律  $R=V/I$  测量电阻  $R_x$ ，电路图如图 1 所示，

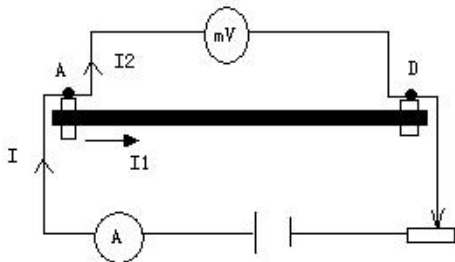


图 1 测量电阻的电路图

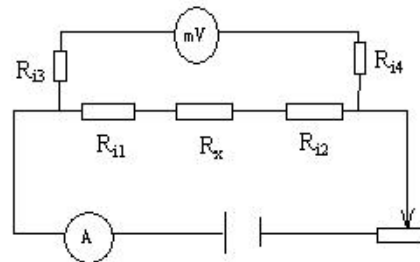


图 2 等效电路

考虑到电流表、毫伏表与测量电阻的接触电阻后，等效电路图如图 2 所示。

由于毫伏表内阻  $R_g$  远大于接触电阻  $R_{i3}$  和  $R_{i4}$ ，因此他们对于毫伏表的测量影响可忽略不计，此时按照欧姆定律  $R=V/I$  得到的电阻是  $(R_x+R_{i1}+R_{i2})$ 。当待测电阻  $R_x$  小于  $1\Omega$  时，就不能忽略接触电阻  $R_{i1}$  和  $R_{i2}$  对测量的影响了。

因此，为了消除接触电阻对于测量结果的影响，需要将接线方式改成下图 3 方式，将低电阻  $R_x$  以四端接法方式连接，等效电路如图 4。此时毫伏表上测得电压为  $R_x$  的电压降，由  $R_x = V/I$  即可准确计算出  $R_x$ 。接于电流测量回路中成为电流头的两端(A、D)，与接于电压测量回路中称电压接头的两端(B、C)是各自分开的，许多低电阻的标准电阻都做成四端钮方式。

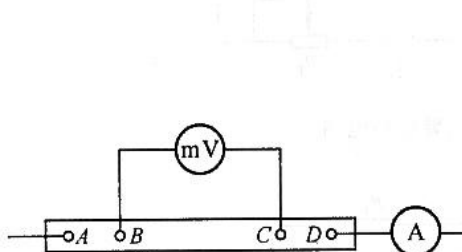


图 3 四端接法电路图

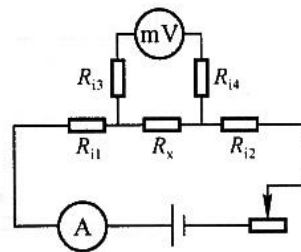


图 4 四端接法等效电路

根据这个结论，就发展成双臂电桥，线路图和等效电路图 5 和图 6 所示。标准电阻  $R_n$  电流头接触电阻为  $R_{in1}$ 、 $R_{in2}$ ，待测电阻  $R_x$  的电流头接触电阻为  $R_{ix1}$ 、 $R_{ix2}$ ，都连接到双臂电桥测量回路的电路回路内。标准电阻电压头接触电阻为  $R_{n1}$ 、 $R_{n2}$ ，待测电阻  $R_x$  电压头接触电阻为  $R_{x1}$ 、 $R_{x2}$ ，连接到双臂电桥电压测量回路中，因为它们与较大电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R$  相串连，故其影响可忽略。

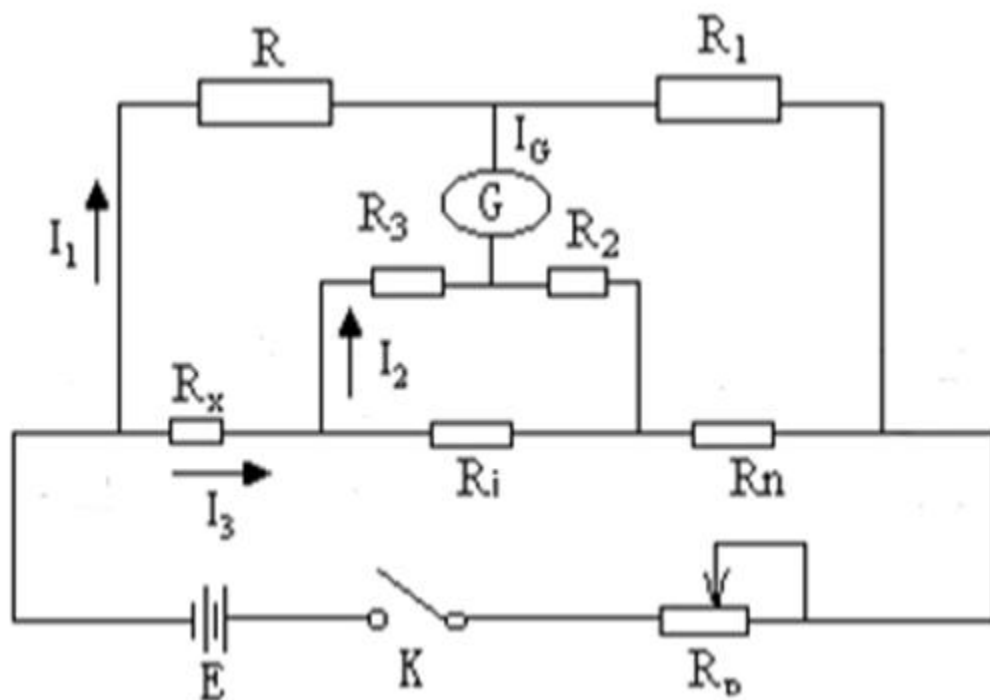


图 5 双臂电桥电路

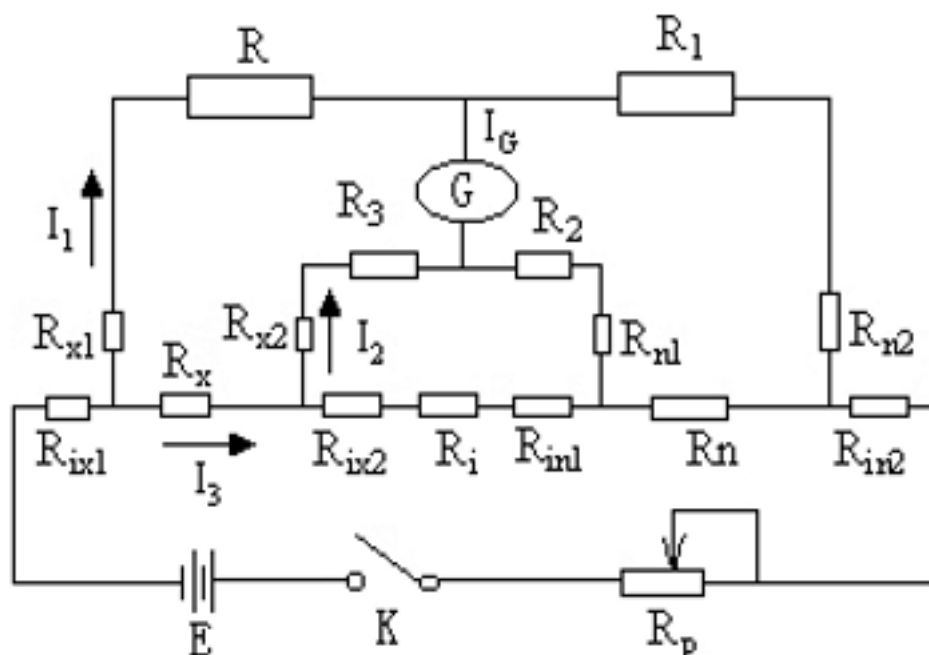


图 6 双臂电桥电路等效电路

由图 5 和图 6，当电桥平衡时，通过检流计  $G$  的电流  $I_g = 0$ ， $C$  和  $D$  两点电位相等，根据基尔霍夫定律，可得方程组 (1)

$$\begin{cases} I_1 R = I_3 R_x + I_2 R_3 \\ I_1 R_1 = I_3 R_n + I_2 R_2 \\ (I_3 - I_2) R_i = I_2 (R_3 + R_2) \end{cases} \quad (1)$$

解方程组得

$$R_x = \frac{R}{R_1} R_n + \frac{R \cdot R_i}{R_3 + R_2 + R_i} \left( \frac{R_2}{R_1} - \frac{R_3}{R} \right) \quad (2)$$

通过联动转换开关，同时调节  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R$ ，使得

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R} \quad (3)$$

成立，则(2)式中第二项为零，待测电阻  $R_x$  和标准电阻  $R_n$  的接触电阻  $R_{in1}$ 、 $R_{in2}$  均包括在低电阻导线  $R_i$  内，则有

$$R_x = \frac{R}{R_1} R_n \quad (4)$$

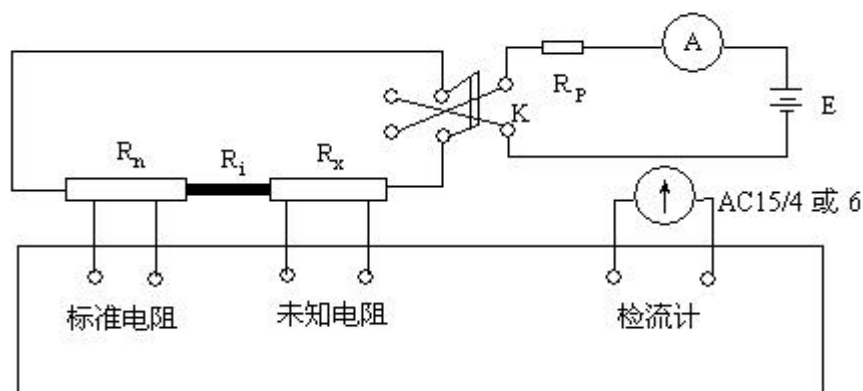
实际上即使用了联动转换开关，也很难完全做到(3)式成立。

为了减小(2)式中第二项的影响，使用尽量粗的导线以减小电阻  $R_i$  的阻值 ( $R_i < 0.001$  )，使(2)式第二项尽量小，与第一项比较可以忽略，以满足(4)式。

### 三、实验内容

用双臂电桥测量金属材料（铜棒、铝棒）的电阻率  $\rho$ ，先用(3)式测量  $R_x$ ，再用  $\rho = S/L \cdot R_x$  求  $\rho$ 。

1. 将铜棒安装在测试架上，按实验电路图接线。选择长度为 50cm，调节  $R_1$ ， $R_2$  为  $1000\Omega$ ，调节  $R$  使得检流计指示为 0，读出此时  $R$  的电阻值。利用双刀开关换向，正反方向各测量 3 组数据。
2. 选取长度 40cm，重复步骤 1。
3. 在 3 个不同的未知测量铜棒直径并求  $D$  的平均值。
4. 计算 2 种长度的  $\overline{R_x}$  和  $\rho$ ，再求  $\bar{\rho}$ 。
5. 取 40cm 长度，计算测量值  $\rho$  的标准偏差。
6. 将铜棒换成铝棒，重复步骤 1 至 5。



实验电路图

## 四、实验仪器

本实验所使用仪器有 QJ36 型双臂电桥（0.02 级）、JWY 型直流稳压电源（5A15V）、电流表（5A）、 $R_p$  电阻、双刀双掷换向开关、 $0.001\Omega$  标准电阻（0.01 级）、超低电阻（小于  $0.001\Omega$ ）连接线、低电阻测试架（待测铜、铝棒各一根）、直流复射式检流计（AC15/4 或 6 型）、千分尺、导线等。



连线方法：

- (1)鼠标移动到仪器的接线柱上，按下鼠标左键不放；
- (2)移动鼠标到目标接线柱上；
- (3)松开鼠标左键，即完成一条连线。

**QJ36 型双臂电桥（0.02 级）：**



实物照片

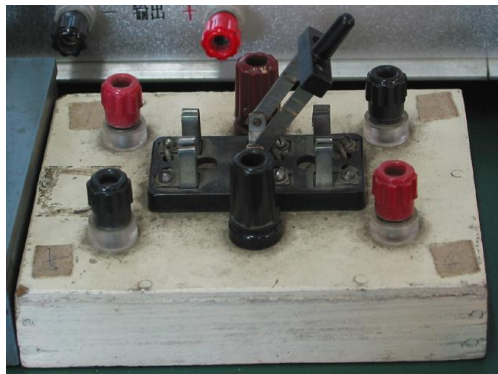


仿真实验中的仪器

操作方法：

鼠标左键或右键点击各旋钮来转动旋钮；  
鼠标点击“粗”“细”按钮来切换粗调和细调。

双刀双掷开关：



实物照片



仿真实验中的仪器

操作方法：鼠标点击单选按钮选择开关状态。

直流复射式检流计：



实物照片



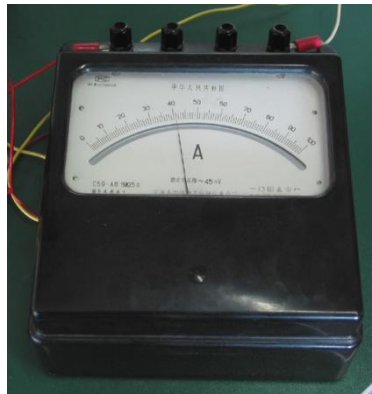
仿真实验中的仪器

操作方法：

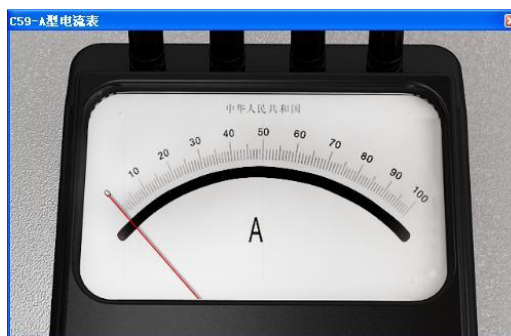
鼠标左键或右键点击旋钮可以向左或者向右转动旋钮；

鼠标左键点击电源模式开关来改变电源模式。

电流表：



实物照片



仿真实验中的仪器

直流稳压电源：



实物照片



仿真实验中的仪器

操作方法：

鼠标左键或右键点击旋钮，可以转动旋钮。鼠标键按下不松开，旋钮会一直旋转。

鼠标左键点击开关，可以打开或关闭电源。

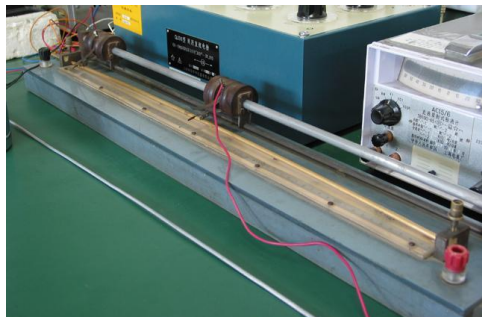
标准电阻：



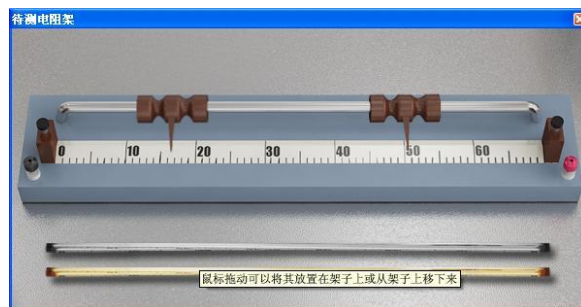
实际仪器图片（阻值  $0.001\Omega$ ）

程序中该仪器没有调节界面，只能直接在桌面上进行连线操作。

待测电阻架：



实物照片



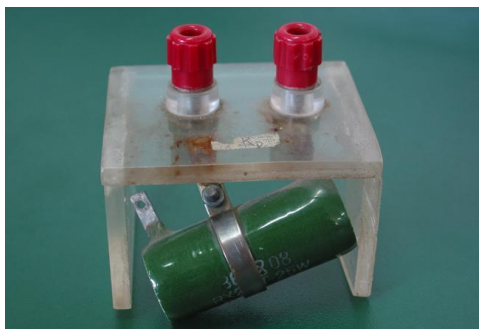
仿真实验中的仪器

操作方法：

鼠标拖动金属棒可以将其放置在架子上，或者将其从架子上拖下来。



鼠标拖动左右两个滑块可以改变它们的位置。  
**限流电阻：**



实际仪器图片（5.1Ω）

程序中该仪器没有调节界面，只能在桌面上进行连线操作。

**普通电路开关：**



仿真实验中仪器界面

操作方法：鼠标点击单选按钮选择开关状态。

## 五、实验指导

**辅助功能介绍：**

界面的右上角的功能显示框：当在普通做实验状态线，显示实验实际用时、记录数据按钮、结束实验按钮、注意事项按钮；在考试状态下，显示考试所剩时间的倒计时、记录数据按钮、结束考试按钮、显示试卷按钮（考试状态下显示）、注意事项按钮。

右上角工具箱：各种使用工具，如计算器等。

右上角help和关闭按钮：help可以打开帮助文件，关闭按钮功能就是关闭实验。

实验仪器栏：存放实验所需的仪器，可以点击其中的仪器拖放至桌面，鼠标触及到仪器，实验仪器栏会显示仪器的相关信息；仪器使用完后，则不允许拖动仪器栏中的仪器了。

提示信息栏：显示实验过程中的仪器信息，实验内容信息，仪器功能按钮信息等相关信息，按F1键可以获得更多帮助信息。

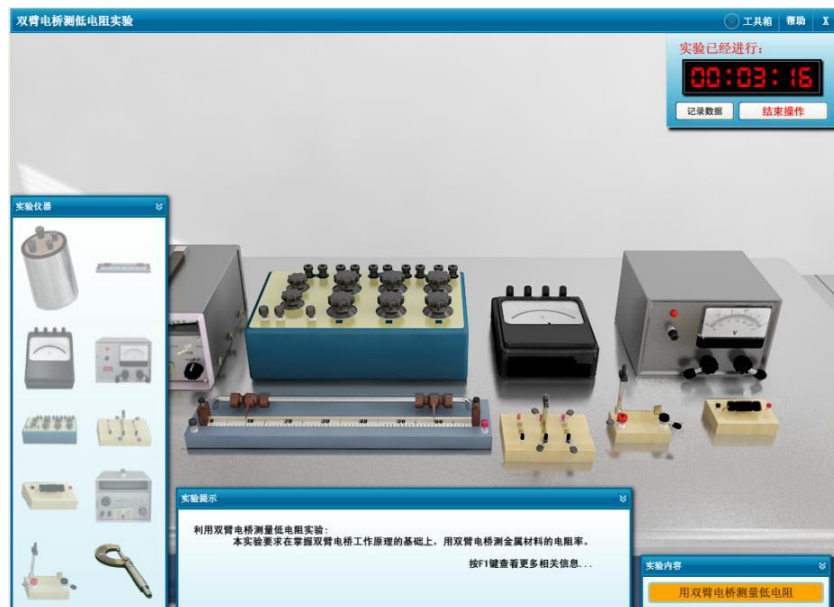
实验状态辅助栏：显示实验名称和实验内容信息(多个实验内容依次列出)，



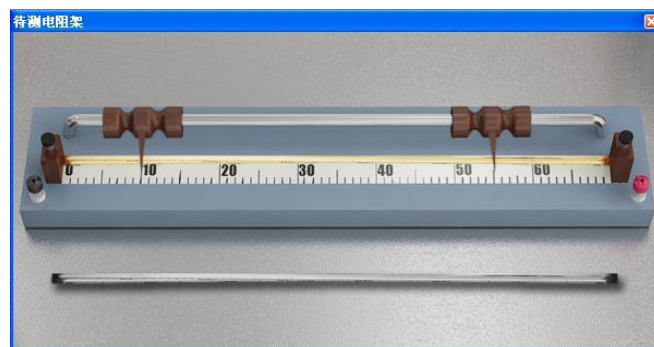
当前实验内容显示为红色，其他实验内容为蓝色；可以通过单击实验内容进行实验内容之间的切换。切换至新的实验内容后，实验桌上的仪器会重新按照当前实验内容进行初始化。

### 实验操作方法：

1.启动实验程序，进入实验窗口，如下图所示。（**注意，本实验中的电路仪器不允许按 DEL 键移除**）



2.双击打开待测电阻架的界面，将铜棒拖入测试架上。并调节滑块间距离为 50cm。



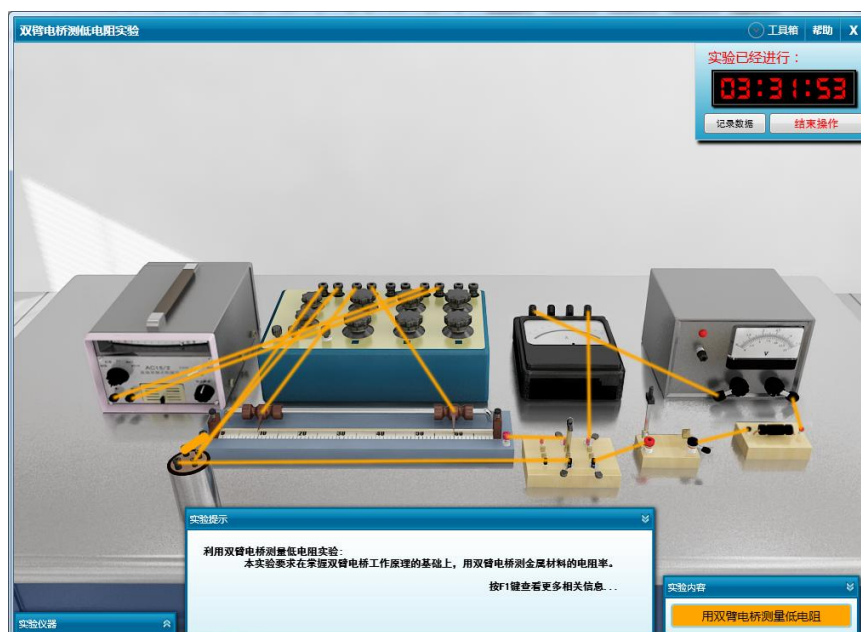
3.调节双臂电桥的 R1R2 电阻为 1000 欧姆，并将确认“粗”“细”按钮弹起。



4.确认检流计在测量档(x1,x0.1,x0.01), 接通电源对检流计调零。不允许在短路档调零。



5.按实验电路图连线。(连线操作方法见仪器说明)。连线完成如下图所示。



6.闭合开关, 打开电压源的电源开关, 闭合双刀双掷开关, 按下双臂电桥的“粗”按钮。这时检流计示数发生偏转, 调节双臂电桥的  $R$ , 是电桥平衡, 记录  $R$  的值。



7. 利用双刀开关换向，正反方向各测量 3 组数据。
8. 将测试架上两滑块距离调为 40cm，重复测量。将铜棒换成铝棒，重复测量。
9. 使用螺旋测微器测量金属棒的直径，根据测量的数据计算两个金属棒的电阻率。

## 六、思考题

1. 如果将标准电阻和待测电阻电流头和电压头互换，等效电路有何变化，有什么不好？
2. 在测量时，如果被测低电阻的电压头接线电阻较大（例如被测电阻远离电桥，所用引线过细过长等），对测量准确度有无影响？

## 七、设计性内容

自行设计一种简单易行的测量低电阻方法。将测量结果与双臂电桥测量结果进行比较与评价。

## 八、参考资料

1. 谢行恕，康世秀，霍剑青主编. 大学物理实验 第二册. 高等教育出版社. 2001.