

---

# 直流电桥测量电阻

## 一、实验简介

直流电桥是一种用比较法测量电阻的仪器，主要由比例臂、比较臂、检流计等构成桥式线路。测量时将被测量量与已知量进行比较而得到测量结果，因而测量精度高，加上方法巧妙，使用方便，所以得到了广泛的应用。

电桥的种类繁多，但直流电桥是最基本的一种，它是学习其它电桥的基础。早在 1833 年就有人提出基本的电桥网络，但一直未引起注意，直至 1843 年惠斯通才加以应用，后人就称之为惠斯通电桥。单臂电桥电路是电学中很基本的一种电路连接方式，可测电阻范围为  $1 \sim 10^6 \Omega$ 。

通过传感器，利用电桥电路还可以测量一些非电量，例如温度、湿度、应变等，在非电量的电测法中有着广泛的应用。本实验是用电阻箱和检流计等仪器组成惠斯通电桥电路，以加深对直流单臂电桥测量电阻原理的理解。本实验的目的是通过用惠斯通电桥测量电阻，掌握调节电桥平衡的方法，并要求了解电桥灵敏度与元件参数之间的关系，从而正确选择这些元件，以达到所要求的测量精度。

## 二、实验原理

电阻按其阻值可分为高、中、低三大类， $R \leq 1 \Omega$  的电阻为低值电阻， $R > 1M \Omega$  的称高值电阻，介于两者之间的电阻是中值电阻，通常用惠斯通电桥测中值电阻。

### 1、惠斯通电桥的工作原理

惠斯通电桥原理，如图 1 所示。

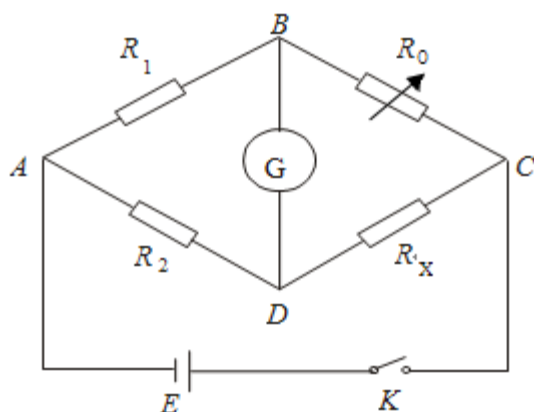


图 1 惠斯通电桥原理图

## 2、电桥的灵敏度

电桥是否平衡，是由检流计有无偏转来判断的，而检流计的灵敏度总是有限的，假设电桥在  $R_1/R_2=1$  时调到平衡，则有  $R_x=R_0$ ，这时若把  $R_0$  改变一个微小量  $\Delta R_0$ ，则电桥失去平衡，从而有电流  $I_G$  流过检流计。如果  $I_G$  小到检流计觉察不出来，那么人们会认为电桥是平衡的，因而得到  $R_x=R_0+\Delta R_0$ ， $\Delta R_0$  就是由于检流计灵敏度不够高而带来的测量误差  $\Delta R_x$ 。引入电桥的灵敏度，定义为

$$S = \Delta n / (\Delta R_x / R_x)$$

式中的  $\Delta R_x$  是在电桥平衡后  $R_x$  的微小改变量（实际上若是待测电阻  $R_x$  不能改变时，可通过改变标准电阻  $R_0$  的微小变化  $\Delta R_0$  来测电桥灵敏度）， $\Delta n$  是由于  $\Delta R_x$  引起电桥偏离平衡时检流计的偏转格数， $\Delta n$  越大，说明电桥灵敏度越高，带来的测量误差就越小。S 的表达式可变换为

$$S = \Delta n / (\Delta R_0 / R_0) = \frac{\Delta n}{\Delta I_G} (\Delta I_G / (\Delta R_0 / R_0)) = S_1 S_2$$

其中  $S_1$  是检流计自身的灵敏度， $S_2 = \Delta I_G / (\Delta R_0 / R_0)$  由线路结构决定，故称电桥线路灵敏度，理论上可以证明  $S_2$  与电源电压、检流计的内阻及桥臂电阻等有关。

## 3、交换法（互易法）减小和修正自搭电桥的系统误差

自搭一个电桥，不考虑灵敏度，则  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_0$  引起的误差为

$$\Delta R_x / R_x = \Delta R_1 / R_1 + \Delta R_2 / R_2 + \Delta R_0 / R_0$$

为减小误差，把图 1 电桥平衡中的  $R_1$ 、 $R_2$  互换，调节  $R_0$  使  $I_G=0$ ，此时的  $R_0$  记为  $R_0'$ ，则有

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R'_0$$

$$R = \sqrt{R_0 R'_0}$$

这样就消除了  $R_1$ 、 $R_2$  造成的误差。这种方法称为交换法，由此方法测量  $R_x$  的误差为

$$\Delta R_x / R_x = \frac{1}{2} (\Delta R_0 / R_0 + \Delta R'_0 / R'_0)$$

即仅与电阻箱  $R_0$  的仪器误差有关。若  $R_0$  选用具有一定精度的标准电阻箱，则系统误差可以大大减小。

### 三、实验内容

#### 1. 自组直流电桥

- 1) 按下图所示实验电路图正确连线。

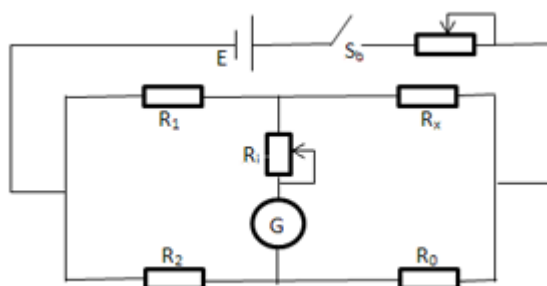


图 2 直流电桥实验电路图

- 2) 线路连接好以后，检流计调零。
- 3) 调节直流电桥平衡。
- 4) 测量并计算出待测电阻值  $R_x$ ，微调电路中的电阻箱，测量并根据电桥灵敏度公式： $S = \Delta n / (\Delta R_x / R_x)$  或  $S = \Delta n / (\Delta R_0 / R_0)$  计算出直流电桥的电桥灵敏度。
- 5) 记录数据，并计算出待测电阻值。

#### 2. 箱式直流电桥

- 1) 使用内接电源和内接检流计，按照实验电路图连线。
- 2) 线路连接好以后，检流计调零。
- 3) 调节直流电桥平衡。
- 4) 测量并计算出待测电阻值  $R_x$ ，微调电路中的电阻箱，测量并根据电桥灵敏度公式： $S = \Delta n / (\Delta R_x / R_x)$  或  $S = \Delta n / (\Delta R_0 / R_0)$  计算出直流电桥的电桥灵敏度。记录数据，并计算出待测电阻值。

#### 四、实验仪器

本实验用到的实验仪器有：电压源、滑线变阻器（2 个）、四线电阻箱（3 个）、检流计、待测电阻、电源开关、电桥箱，实验场景如下图组所示：



自组直流电桥



箱式直流电桥

电压源:



电源开关：

鼠标点击，打开或关闭电源。

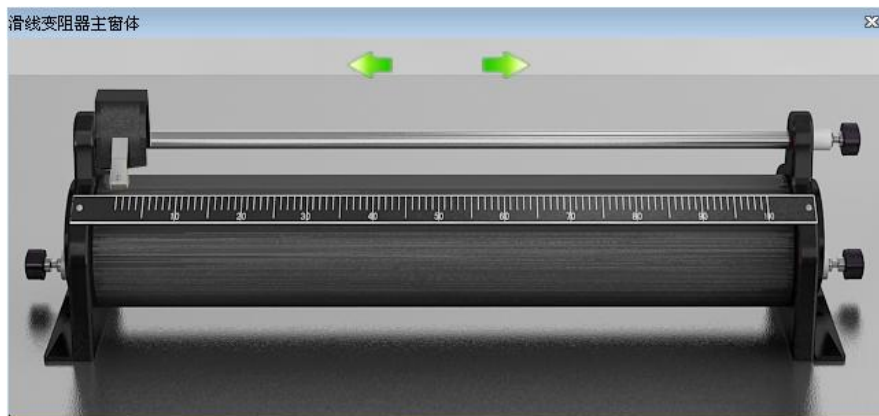
电源指示灯：

打开电源时，指示灯变亮；关闭时，指示灯变暗；

调节电压值旋钮：

左击或右击、按下鼠标左键或右键可以改变电源电压大小。

滑线变阻器：



滑动片：

可以左右拖动滑动片，粗调滑线变阻器在线路中的电阻值。

微调按钮：

点击或按下微调按钮，微调滑线变阻器在电路中的电阻值。

电阻箱：



为电路提供一定大小的电阻，同时有分压的功能，电阻箱上有六个不同档位的旋钮，依次对应  $0.1\Omega$  档、 $1\Omega$  档、 $10\Omega$  档、 $100\Omega$  档、 $1000\Omega$  档、 $10000\Omega$  档。每个旋钮有 0—9，共 10 个刻度值。左击电阻箱上的旋钮，旋钮顺时针旋转；右击，旋钮逆时针旋转。

#### 检流计：

检流计在电路中充当平衡指示器的作用，它主要由两个接线柱、一个调零旋钮、一个档位旋钮、一个短路按钮和一个电计按钮组成。如下图所示：



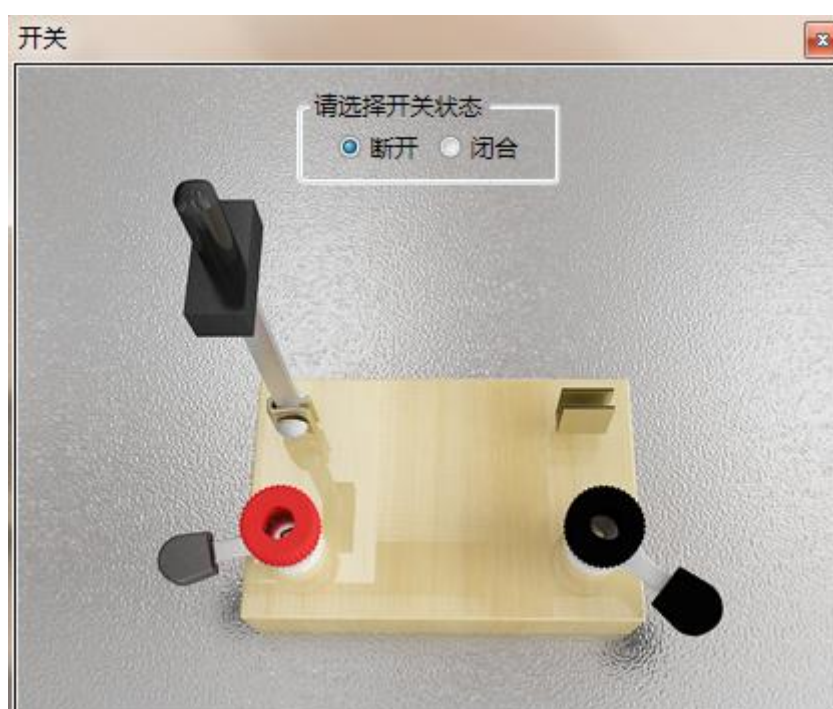
调零旋钮：进行检流计调零工作时用到，给检流计调零。

档位旋钮：打到红点所在位置，检流计处于短路状态；打到白点位置检流计处于直接状态，也就是工作状态。

短路按钮：短路按钮按下，检流计处于短路状态。

电计按钮：电计按钮按下，检流计处于工作状态。

### 电源开关:



电源开关，控制电路的闭合。界面中有两个开关状态按钮，一个是闭合，一个是断开。点击闭合，开关闭合，显示闭合图片；点击断开，开关断开，显示断开图片。

### 待测电阻:

待测电阻，为电路提供一定大小的电阻，在实验中不需要调整，是实验中需要被测量的量，没有调节界面，场景图如下图所示：



### 箱式直流电桥:



箱式电桥是把电阻箱、检流计、电池、开关及电路都装在箱内，以便于携带。

下面介绍箱式电桥各部件的作用及特点：

- (1) 刻度盘示值  $C=R_2/R_1$ ，分为 0.001, 0.01, 0.1, 1, 10, 100, 1000 共七档。
- (2) 测量臂 R: 由四个十进位电阻盘组成  $\times 1000$ ,  $\times 100$ ,  $\times 10$ ,  $\times 1$ 。
- (3) 端钮 X1 和 X2 接被测电阻。
- (4) 电流计 G 用作平衡指示器。电桥箱使用内部检流计时，需按下按钮 G。
- (5) 电源 B。电桥箱使用内带电池时，需按下按钮 B。

## 五、实验指导

### 1. 自组直流电桥实验

#### (1) 主窗口介绍

成功进入实验场景窗体，实验场景的主窗体如下图组所示：





直流电桥（散装版）

在实验场景主窗体的右上角有“工具箱”和“帮助”两个菜单项。工具箱提供实验中可能用到的工具；点击帮助菜单项，弹出帮助文档。

在场景的下方，从左到右，依次是“实验仪器栏”、“实验提示栏”和“实验内容栏”。实验仪器栏里放置着实验用到的仪器，点击拖动，可以把相应的仪器拖到实验场景中去，供实验使用。实验提示栏，即时提示实验信息或相关的操作信息。实验内容栏，是相关实验名称的列表，点击实验名称可以重新开始实验和进行实验的切换。

实验大场景主要由一张桌子组成，本实验中，实验仪器都放在桌子上面。在实验场景中，可以在一定范围内拖动指定仪器。把鼠标放在仪器上面，按下 Delete 键，可以删除指定仪器到仪器栏。双击场景中的仪器可以进入仪器的调节窗体。

注（实验刚开始时，实验仪器就被初始化到实验桌上。直流电桥（散装版）的实验仪器较多，所以它实验仪器不允许拖动和删除。）

## (2) 连线

当鼠标移动到实验仪器接线柱的上方，拖动鼠标，便会产生“导线”，当鼠

标移动到另一个接线柱的时候，松开鼠标，两个接线柱之间便产生一条导线，连线成功；如果松开鼠标的时候，鼠标不是在某个接线柱上，画出的导线将会被自动销毁，此次连线失败。根据实验电路图正确连线，连线操作完成，如下图所示：



### (3) 检流计调零

线路连接完毕后，断开电源开关，打开检流计调节界面，按下检流计的电计按钮，旋转检流计的档位旋钮至直接挡（白点所在位置），旋转调零旋钮，并观察检流计的指针，当检流计的指针指向零点，调零成功。如下图所示：



#### (4) 根据实验内容调节电路

- 1) 滑线变阻器调节。实验刚开始时，电桥一般处于不平衡状态，为了防止过大的电流通过检流计，应将与检流计串联的滑线变阻器的阻值调到最大，随着电桥逐渐平衡，再逐渐减小滑线变阻器的阻值，以提高检测的灵敏度。
- 2) 根据直流电桥电路图连接好电路，然后在数据表格中点击“连线”模块下的“确定状态”按钮，保存连线状态。
- 3) 测量未知电阻，电路连接好以后，选取合适的比例臂，调节电桥平衡，在数据表格的相应位置，记录下电阻箱  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  (即  $R_0$  处) 的电阻值。然后互换电路中的电阻箱  $R_1$ 、 $R_2$ ，并保持它们的电阻值不变，调节  $R_3$  使电桥平衡，并在列表的相应位置记下  $R_3$  的值 (即  $R_0'$  处)，根据互换法测电阻公式，计算出未知电阻  $R_x$ 。测量三次，最后计算出电阻待测电阻的平均值，填入数据表格的相应位置。
- 4) 测量电桥灵敏度。根据待测电阻值，调节并设定电阻箱  $R_1$ 、 $R_2$ 、电压源、和滑线变阻器的值，在这个环境下测量电桥灵敏度，设定以后在数据表格中点击“测量并计算出电桥的灵敏度”模块下的“确定状态”按钮，保存状态。

- 5) 确定测量灵敏度的环境以后, 调节电阻箱  $R_3$  使电桥平衡, 记下电桥平衡时电阻箱  $R_3$  的值 (即下面列表中的  $R_0$ ), 然后在小范围内改变电阻箱  $R_3$  的电阻值, 记下电阻箱相对平衡位置改变的值, 即  $\Delta R_0$ , 和检流计指针相对平衡位置偏转的格数, 即  $\Delta n_0$ , 测量三次, 记录实验数据, 根据计算电桥灵敏度公式计算出电桥灵敏度的平均值, 填入数据表格的相应位置。
- 6) 直流电桥灵敏度研究。确定测量灵敏度的环境以后, 依次把电压表的电压打到 0.5V、1.0V、1.5V、2.0V、2.5V、3.0V, 分别在这些电压下调节电阻箱  $R_3$  使电桥平衡, 记下电桥平衡时电阻箱  $R_3$  的值, 然后在小范围内改变电阻箱  $R_3$  的电阻值, 记下电阻箱相对平衡位置改变的值, 即  $\Delta R_0$ , 和检流计指针相对平衡位置偏转的格数, 即  $\Delta n_0$ , 记录测量数据, 并根据测量数据计算出相应电桥环境下的电桥灵敏度。
- 7) 记录数据程序提供记录数据表格, 在做实验的过程中, 可以把测量数据和计算数据填到数据表格中去。点击场景右上角的记录数据按钮, 可弹出记录数据窗体, 如下图所示:

实验数据表格

直流电桥实验。

(1) 按直流电桥实验的实验电路图, 正确连线。

(2) 线路链接好以后, 检流计调零。

(3) 调节直流电桥平衡。

(4) 测量并计算出待测电阻值  $R_x$ , 微调电路中的电阻箱, 测量并根据电桥灵敏度公式:  $S = \Delta n / (\Delta R_x / R_x)$  或  $S = \Delta n / (\Delta R_0 / R_0)$  计算出直流电桥的电桥灵敏度。

(5) 记录实验数据

连线

保存正确的电路连接状态

完成操作请点击按钮确认

测量并计算待测电阻的电阻值。

待测电阻的电阻值  $R_x$  ( $\Omega$ ) = \_\_\_\_\_

测量并计算直流电桥的灵敏度。

直流电桥的灵敏度  $S$  = \_\_\_\_\_

关闭

把测量和计算出来的数据, 填入相应的位置, 实验结束。

## 2. 箱式直流电桥实验

## (1) 主窗口介绍

成功进入实验场景窗体，实验场景的主窗体如下图组所示



在实验场景主窗体的右上角有“工具箱”和“帮助”两个菜单项。工具箱提供实验中可能用到的工具；点击帮助菜单项，弹出帮助文档。

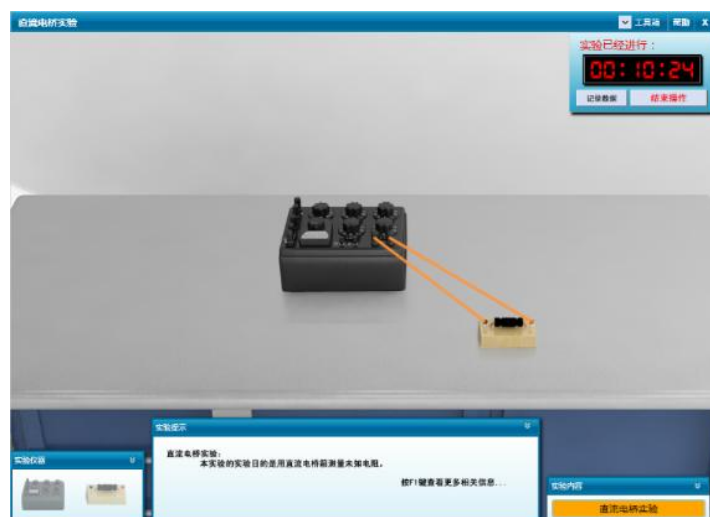
在场景的下方，从左到右，依次是“实验仪器栏”、“实验提示栏”和“实验内容栏”。实验仪器栏里放置着实验用到的仪器，点击拖动，可以把相应的仪器拖到实验场景中去，供实验使用。实验提示栏，即时提示实验信息或相关的操作信息。实验内容栏，是相关实验名称的列表，点击实验名称可以重新开始实验和进行实验的切换。

实验大场景主要由一张桌子组成，本实验中，实验仪器都放在桌子上面。在实验场景中，可以在一定范围内拖动指定仪器。把鼠标放在仪器上面，按下 Delete 键，可以删除指定仪器到仪器栏。双击场景中的仪器可以进入仪器的调节窗体。

## (2) 连线

当鼠标移动到实验仪器接线柱的上方，拖动鼠标，便会产生“导线”，当鼠标移动到另一个接线柱的时候，松开鼠标，两个接线柱之间便产生一条导线，连线成功；如果松开鼠标的时候，鼠标不是在某个接线柱上，画出的导线将会被自动销毁，此次连线失败。根据实验电路图正确连线，连线操作完成，如下图所示：





### (3) 检流计调零

线路连接完毕后，断开电源开关，打开检流计调节界面，按下检流计的电计按钮，旋转电桥箱检流计部分的调零旋钮，并观察检流计的指针，当检流计的指针指向零点，调零成功。如下图所示：



### (4) 根据实验内容调节电路

- 1) 根据直流电桥电路图链接好电路，然后在数据表格中点击“连线”模块下的“确定状态”按钮，保存连线状态。
- 2) 用箱式电桥测量几个未知电阻。
  - i. 按下电源按钮，一边调节比例臂和电阻臂，一边左击电计按钮，看检流计指针的偏转情况，如果检流计指针缓慢的在一个很小范围内偏转，则右击电计按钮，然后微调电阻臂，观察检流计指针偏转情况，直至

电桥平衡。记下此时的电桥臂、比例臂的值，并计算出待测电阻的电阻值，填入表格中。

ii. 重复步骤 (i)，测量三次，把数据填入表格，最后计算出待测电阻的平均值。

3) 测量选定比例臂下的电桥灵敏度。

i. 选定好比例臂以后，点击“确定状态按钮”。

ii. 调节电阻臂，使电桥平衡，记录下电桥平衡时电阻臂的电阻值，然后改变电阻臂的值，记下改变的电阻值和改变电阻值后检流计的偏转格数，然后利用检流计灵敏度计算公式，计算出电桥的灵敏度，并把计算结果填入表格。

iii. 重复步骤 (ii)，测量三次，把数据填入表格，最后计算出当前比例臂下电桥灵敏度的平均值。

4) 记录数据

程序提供记录数据表格，在做实验的过程中，可以把测量数据和计算数据填到数据表格中去。点击场景右上角的记录数据按钮，可弹出记录数据窗体，如下图所示：

实验数据表格

完成操作请点击按钮确认

确定状态

将测量数据填入下列表格内

选取合适的比例臂，调节电路平衡，测量三次，记录实验数据：

内容	1	2	3
比例臂			
电阻臂 $R_0(\Omega)$			
待测电阻值 $R_x(\Omega)$			

待测电阻的电阻值 $R_x(\Omega) =$  \_\_\_\_\_

测量并计算出电桥的灵敏度。

根据待测电阻值，选择合适的比例臂，然后点击按钮保存选定的比例臂，在这个比例臂下测量电桥的灵敏度。

完成操作请点击按钮确认

确定状态

选定一个合适的比例臂，调节电桥平衡，记下电桥平衡时电阻臂的电阻值 $R_0$ ，然后在小范围内改变电阻臂的电阻值，记下电阻臂相对平衡位置改变的值，即 $\Delta R_0$ ，和指针相对平衡位置偏转的格数，即 $\Delta n_0$ ，测量三次，记录实验数据：

内容	1	2	3
电阻臂 $R_0(\Omega)$			
变化量 $\Delta R_0(\Omega)$			
偏转格数 $\Delta n_0$			
电桥灵敏度			

关闭

---

把测量和计算出来的数据，填入相应的位置，实验结束。

## 六、思考题：

1. 如果取桥臂电阻  $R_1 = R_2$ ，调节  $R_0$  从 0 到最大，检流计指针始终偏在零点的一侧，这说明什么问题？应作怎样的调整，才能使电桥达到平衡？

## 七、参考资料

1. 《电磁学》，赵凯华，陈熙谋，高等教育出版社
2. 《物理学教程》，马文蔚等，高等教育出版社
3. 《大学物理实验》，谢行恕，康士秀，霍剑青，高等教育出版社
4. 《物理实验教程》，陆廷济，胡德敬，陈铭南，同济大学出版社

# 5.1 热敏电阻温度特性研究实验

## 一、实验简介

热敏电阻是由对温度非常敏感的半导体陶瓷质工作体构成的元件。与一般常用的金属电阻相比，它有大得多的电阻温度系数值。热敏电阻作为温度传感器具有用料省、成本低、体积小等优点，可以简便灵敏地测量微小温度的变化，在很多科学研究领域都有广泛的应用。本实验的目的是了解热敏电阻的电阻—温度特性及测温原理，学习惠斯通电桥的原理及使用方法，学习坐标变换、曲线改直的技巧。

## 二、实验原理

1. 半导体热敏电阻的电阻—温度特性

热敏电阻的电阻值与温度的关系为：

$$R = Ae^{B/T} \quad (1)$$

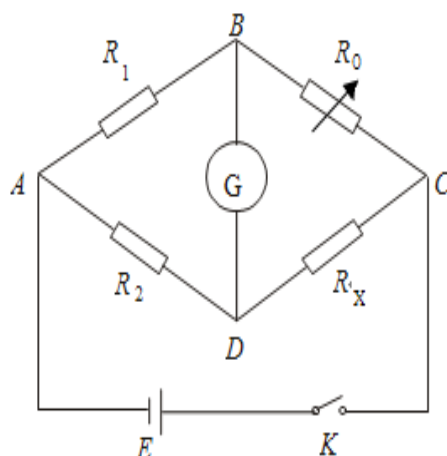
A, B 是与半导体材料有关的常数，T 为绝对温度，根据定义，电阻温度系数为：

$$\alpha = \frac{1}{R_t} \frac{dR}{dT} \quad (2)$$

$R_t$  是在温度为 t 时的电阻值。

2. 惠斯通电桥的工作原理，如图所示：





惠斯通电桥原理图

四个电阻  $R_0$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_x$  组成一个四边形, 即电桥的四个臂, 其中  $R_x$  就是待测热敏电阻。在四边形的一对对角  $A$  和  $C$  之间连接电源, 而在另一对对角  $B$  和  $D$  之间接入检流计  $G$ 。当  $B$  和  $D$  两点电位相等时,  $G$  中无电流通过, 电桥便达到了平衡。平衡时必有  $R_x = (R_1/R_2) \cdot R_0$ , ( $R_1/R_2$ ) 和  $R_0$  都已知,  $R_x$  即可求出。

电桥灵敏度的定义为:

$$S = \frac{\Delta n}{\Delta R_x / R_x} \quad (3)$$

式中  $\Delta R_x$  指的是在电桥平衡后  $R_x$  的微小改变量,  $\Delta n$  越大, 说明电桥灵敏度越高。

### 三、实验内容

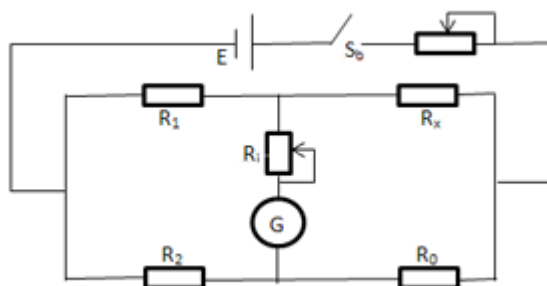
#### 1. 用箱式电桥研究热敏电阻温度特性

- 5) 使用内接电源和内接检流计, 按照实验电路图连线。
- 6) 线路连接好以后, 检流计调零。
- 7) 调节直流电桥平衡。
- 8) 测量并计算出室温时待测热敏电阻值  $R_x$ , 微调电路中的电阻箱, 测量并根据电桥灵敏度公式:  $S = \Delta n / (\Delta R_x / R_x)$  或  $S = \Delta n / (\Delta R_0 / R_0)$ , 计算出室温时直流电桥的电桥灵敏度。
- 9) 调节适当的自耦调压器输出电压值, 使烧杯中的水温从  $20^\circ\text{C}$  升高到  $85^\circ\text{C}$  以上, 每隔  $5^\circ\text{C}$  测量一次热敏电阻值  $R_t$ ; 再将自耦调压器输出电压值调为  $0\text{V}$ , 使水慢慢冷却, 降温过程中每隔  $5^\circ\text{C}$  测量一次热敏电阻值  $R_t$ , 最终求取升降温的平均电阻值, 并作出热敏电阻阻值与温度对应关系曲线。

- 10) 根据测量结果, 利用公式  $R = R_{\infty} e^{B/T}$  和  $\alpha = \frac{1}{R_t} \frac{dR}{dT}$ , 分别求取温度  $T$  趋于无穷时的热敏电阻阻值  $R_{\infty}$ 、热敏电阻的材料常数  $B$  以及  $50^{\circ}\text{C}$  时的电阻温度系数  $\alpha$ 。

## 2. 用自组式电桥研究热敏电阻温度特性

- 6) 按下图所示实验电路图正确连线。



直流电桥测电阻电路图

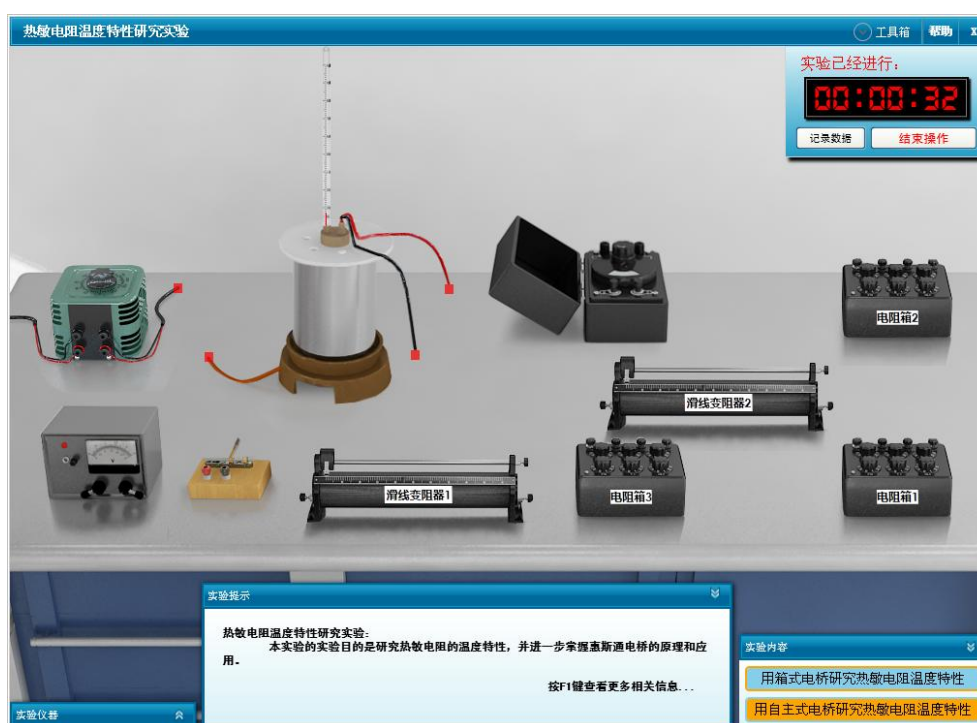
- 7) 线路连接好以后, 检流计调零。
- 8) 调节直流电桥平衡。
- 9) 测量并计算出室温时待测热敏电阻值  $R_x$ , 微调电路中的电阻箱, 测量并根据电桥灵敏度公式:  $S = \Delta n / (\Delta R_x / R_x)$  或  $S = \Delta n / (\Delta R_0 / R_0)$ , 计算出室温时直流电桥的电桥灵敏度。
- 10) 选择合适的自耦调压器输出电压值, 使烧杯中的水温从  $20^{\circ}\text{C}$  升高到  $85^{\circ}\text{C}$  以上, 每隔  $5^{\circ}\text{C}$  测量一次热敏电阻阻值; 再将自耦调压器输出电压值调为  $0\text{V}$ , 在水温的从  $85^{\circ}\text{C}$  下降到室温的过程中, 每隔  $5^{\circ}\text{C}$  测量一次热敏电阻阻值, 最终求取升降温的平均电阻值, 并作出热敏电阻阻值与温度对应关系曲线。
- 11) 根据测量结果, 求取温度  $T$  趋于无穷时的热敏电阻阻值  $R_{\infty}$ 、热敏电阻的材料常数  $B$  以及  $50^{\circ}\text{C}$  时的电阻温度系数  $\alpha$ 。

## 四、实验仪器

热敏电阻测温实验装置包括: 自耦调压器、待测热敏电阻和温度计、直流单臂电桥、电压源、滑线变阻器 (2 个)、四线电阻箱 (3 个)、检流计、单刀开关, 实验场景如下图所示:



用箱式电桥研究热敏电阻温度特性实验主场景图



用自组式电桥研究热敏电阻温度特性实验主场景图

自耦调压器:

实际照片和程序中的显示



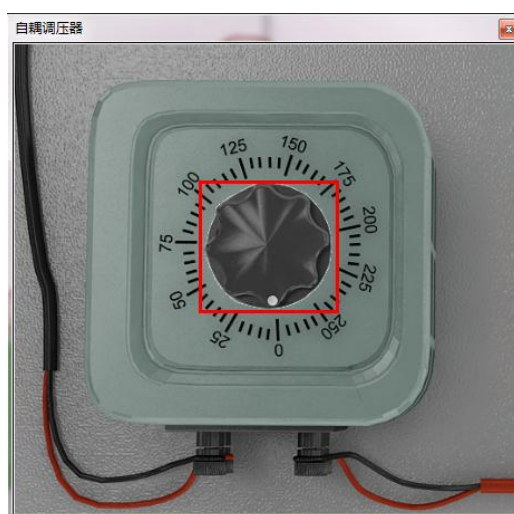
实际仪器



仿真仪器

操作提示：

鼠标左键或右键点击调压旋钮，调节输出电压。

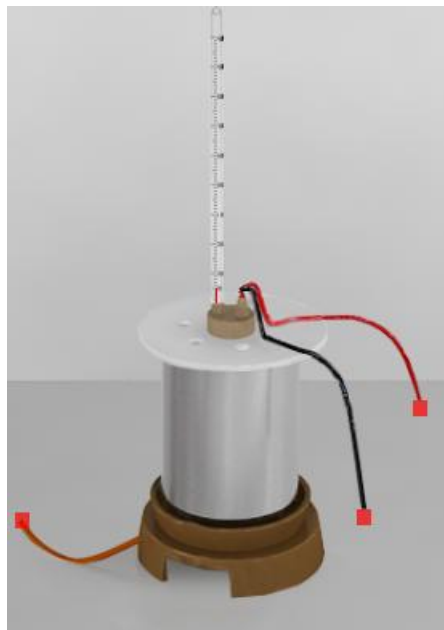


控制加热电炉电压。实验开始时，加热电压不宜太高。因为实验过程中，既要观察温度的变化，又要调节电桥平衡，操作有一定难度。待操作熟练后，可适当加大电压，让温度升高的快些。

待测热敏电阻和温度计：



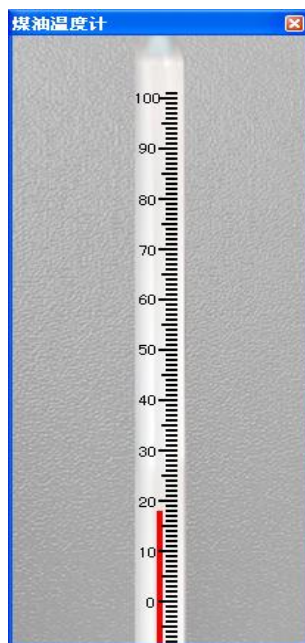
实际仪器



仿真仪器

点击接线柱可以进行连线操作；

在主场景中双击温度计，弹出煤油温度计读数窗体，显示的温度值为当前烧杯中的水温值。



煤油温度计

直流单臂电桥：



实际仪器



仿真仪器



电桥箱视图

箱式电桥是把电阻箱、检流计、电池、开关及电路都装在箱内，以便于携带。下面介绍箱式电桥各部件的作用及特点：

- (1) 刻度盘示值  $C=R_2/R_1$ ，分为 0.001, 0.01, 0.1, 1, 10, 100, 1000 共七档。
- (2) 测量臂 R: 由四个十进位电阻盘组成  $\times 1000$ ,  $\times 100$ ,  $\times 10$ ,  $\times 1$ 。
- (3) 端钮 X1 和 X2 接被测电阻。
- (4) 电流计 G 用作平衡指示器。电桥箱使用内部检流计时，需按下按钮 G。
- (5) 电源 B。电桥箱使用内带电池时，需按下按钮 B。

实验过程中要注意电池按钮和接通检流计按钮的使用。实验完成后，一定要将电池按钮开。当电桥达到平衡时，检流中电流为零。在使用检流计时，要注意保护检流计，不要让大电流通过检流计。

**电压源：**





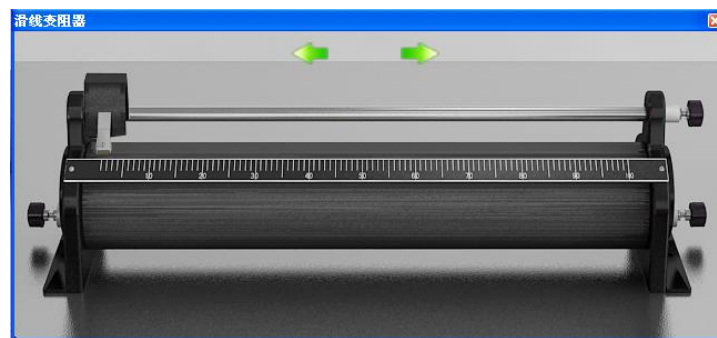
电压源视图

电源开关：鼠标点击，打开或关闭电源。

电源指示灯：打开电源时，指示灯变亮；关闭时，指示灯变暗；

调节电压值旋钮：左击或右击、按下鼠标左键或右键可以改变电源电压大小。

**滑线变阻器：**



滑动变阻器视图

滑动片：可以用鼠标左右拖动滑动片，粗调滑线变阻器在线路中的电阻值。

微调按钮：鼠标点击或按下微调按钮，微调滑线变阻器在电路中的电阻值。

**四线电阻箱：**



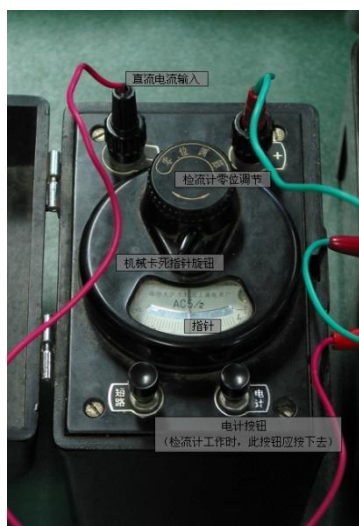
电阻箱视图

为电路提供一定大小的电阻，同时有分压的功能，电阻箱上有六个不同档位的旋钮，依次对应  $0.1\Omega$  档、 $1\Omega$  档、 $10\Omega$  档、 $100\Omega$  档、 $1000\Omega$  档、 $10000\Omega$  档。

$\Omega$  档。每个旋钮有 0—9，共 10 个刻度值。左击电阻箱上的旋钮，旋钮顺时针旋转；右击，旋钮逆时针旋转。

### 检流计：

检流计在电路中充当平衡指示器的作用，它主要由两个接线柱、一个调零旋钮、一个档位旋钮、一个短路按钮和一个电计按钮组成。如下图所示：



实际仪器



仿真仪器



检流计

调零旋钮：进行检流计调零工作时用到，给检流计调零。

档位旋钮：打到红点所在位置，检流计处于短路状态；打到白点位置检流计处于直接状态，也就是工作状态。

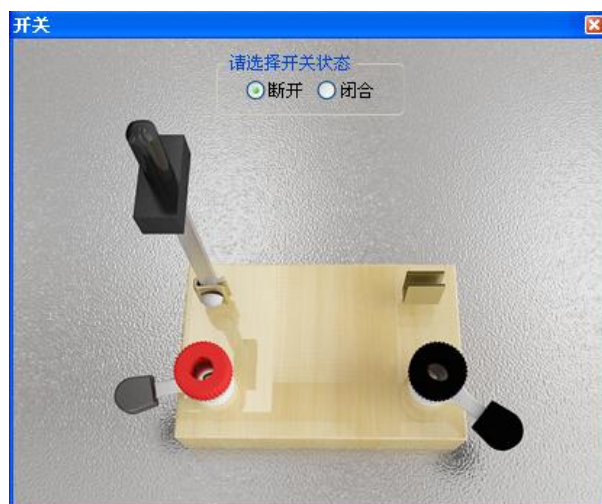
短路按钮：短路按钮按下，检流计处于短路状态。

电计按钮：电计按钮按下，检流计处于工作状态。

实验完毕后，为了保护检流计，请松开“电计”和“短路”按钮，并将档位旋钮打到“红点”位置。

### 单刀开关：





单刀开关视图

单刀开关,控制电路的闭合。界面中有两个开关状态按钮,一个是闭合,一个是断开。点击闭合,开关闭合,显示闭合图片;点击断开,开关断开,显示断开图片。

## 五、实验指导

### 实验重点:

在升温时要尽量慢,即调压器输出要小些。升温过程中,电桥要跟踪,始终在平衡点附近。

### 实验难点:

1. 惠斯通电桥的原理及使用。
2. 电桥灵敏度的测量及对测量的影响。
3. 用两种方法求热敏电阻的温度系数。

### 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下,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。

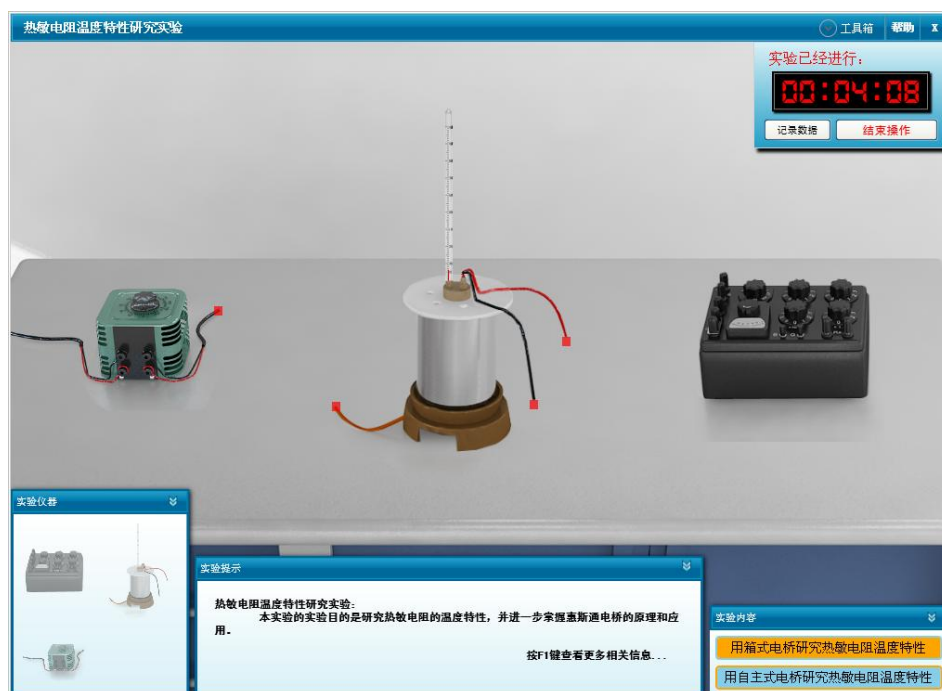
实验状态辅助栏:显示实验名称和实验内容信息(多个实验内容依次列出),当前实验内容显示为红色,其他实验内容为蓝色;可以通过单击实验内容进行实验内容之间的切换。切换至新的实验内容后,实验桌上的仪器会重新按照当前实验内容进行初始化。

## 实验操作方法：

### 1. 用箱式电桥研究热敏电阻温度特性

#### (1) 主窗口介绍

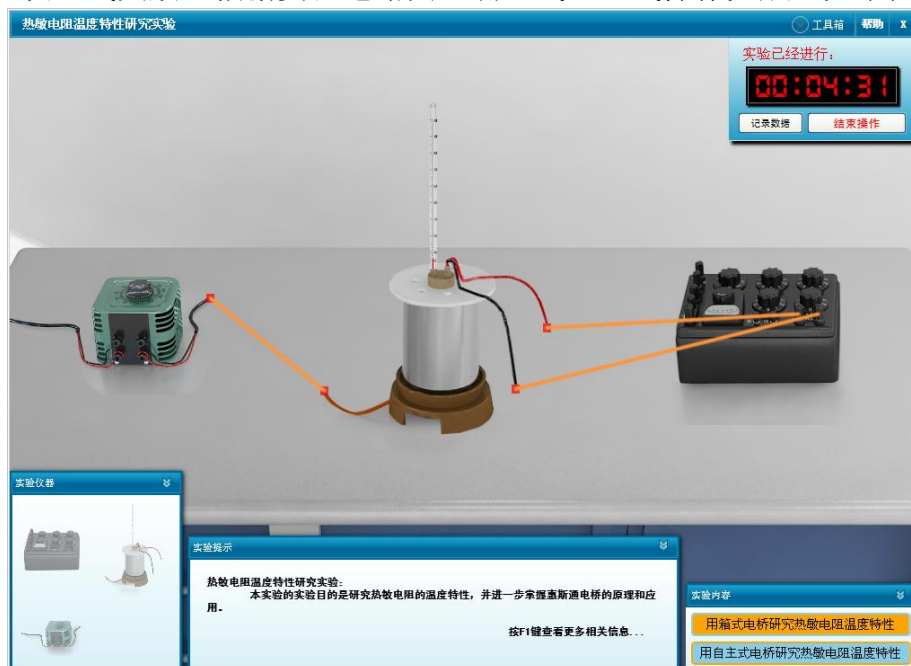
成功进入实验场景窗体，实验场景的主窗体如下图组所示：



热敏电阻温度特性研究实验内容 场景图

#### (2) 实验连线

当鼠标移动到实验仪器接线柱的上方，拖动鼠标，便会产生“导线”，当鼠标移动到另一个接线柱的时候，松开鼠标，两个接线柱之间便产生一条导线，连线成功；如果松开鼠标的时候，鼠标不是在某个接线柱上，画出的导线将会被自动销毁，此次连线失败。根据实验电路图正确连线，连线操作完成，如下图所示：



根据电路图连接好电路，然后在数据表格中点击“连线”模块下的“确定状态”

按钮，保存连线状态。

### (3) 调节电桥箱初始状态

双击主场景中电桥箱视图，在弹出的电桥箱窗体中选择合适的比例臂，并将电桥箱的电阻旋钮调节为  $4000\Omega$  左右；通过鼠标左击或右击调零旋钮，将电桥箱的检流计进行调零。



### (4) 调节电桥平衡

先按下 B 按钮，打开电桥箱内部电源，再左键按下检流计开关 G 按钮；如果弹出电流过大的提示，则调节电桥箱上的电阻值  $R_0$ ，然后再左键按下检流计开关 G 按钮，直到按下 G 按钮时无提示时，则右键按下检流计开关 G 按钮；此时再微调电桥箱上的电阻值  $R_0$  使电桥达到平衡。

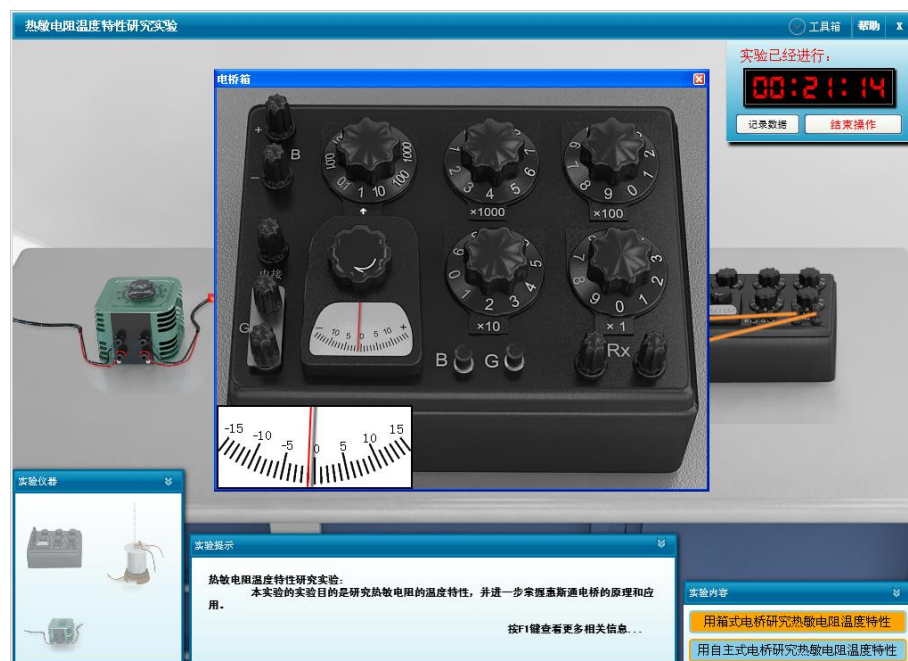


### (5) 测量电桥灵敏度

根据所选择的比例臂，点击保存状态按钮，在此比例臂下测量电桥的灵敏度；

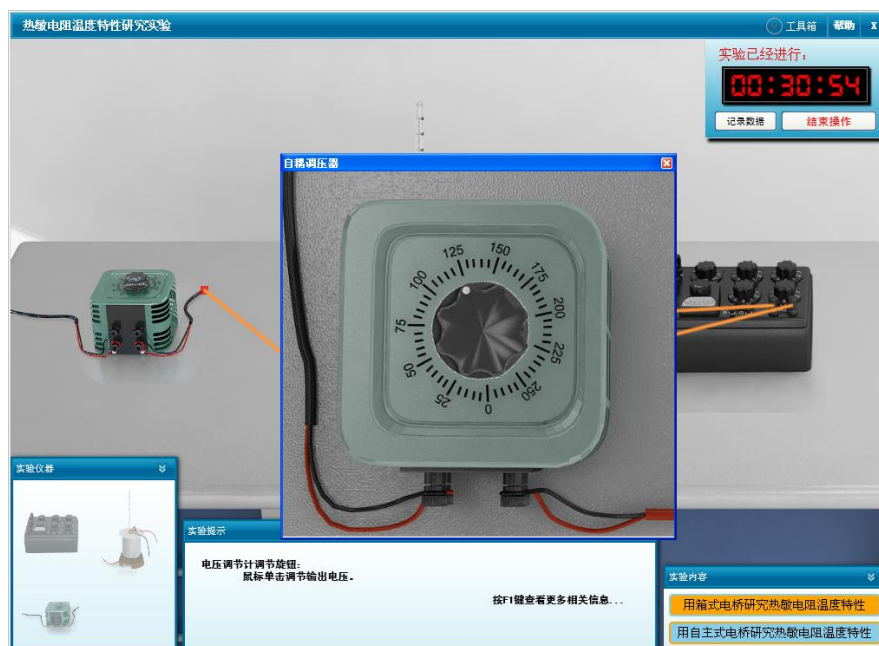


调节电桥箱上的电阻值 $R_0$ ，使检流计指针发生偏转，记下电阻值的相对变化量和指针偏转格数，并根据公式计算出电桥此时的灵敏度 $S$ ，重复测量三次，求取平均值。



(6) 测量升温时，热敏电阻各温度点对应的 $R_t$   
双击打开自耦调压器，选择合适的电压值进行加热。





双击打开温度计读数窗体以及电桥箱窗体，一边观察温度计读数，一边调节电桥箱上的电阻值 $R_0$ 使电桥不断地处于平衡状态，同时分别记下  $20^{\circ}\text{C}$ 、 $25^{\circ}\text{C}$ 、 $30^{\circ}\text{C}$ 、 $35^{\circ}\text{C}$ 、 $40^{\circ}\text{C}$ 、 $45^{\circ}\text{C}$ 、 $50^{\circ}\text{C}$ 、 $55^{\circ}\text{C}$ 、 $60^{\circ}\text{C}$ 、 $65^{\circ}\text{C}$ 、 $70^{\circ}\text{C}$ 、 $75^{\circ}\text{C}$ 、 $80^{\circ}\text{C}$ 、 $85^{\circ}\text{C}$  时对应的热敏电阻值，填到数据表格中相应的位置。



(7) 测量降温时，热敏电阻各温度点对应的 $R_t$

将自耦调压器电压调为  $0\text{V}$ ，让烧杯中的水自然冷却，随着水温值的下降，依次再记下  $20^{\circ}\text{C}$ 、 $25^{\circ}\text{C}$ 、 $30^{\circ}\text{C}$ 、 $35^{\circ}\text{C}$ 、 $40^{\circ}\text{C}$ 、 $45^{\circ}\text{C}$ 、 $50^{\circ}\text{C}$ 、 $55^{\circ}\text{C}$ 、 $60^{\circ}\text{C}$ 、 $65^{\circ}\text{C}$ 、 $70^{\circ}\text{C}$ 、 $75^{\circ}\text{C}$ 、 $80^{\circ}\text{C}$ 、 $85^{\circ}\text{C}$  时对应的热敏电阻值，填到数据表格中相应的位置；并求取各温度点升降温过程中对应的热敏电阻平均值。



(8) 根据测量结果，计算温度  $T$  趋于无穷时的热敏电阻阻值  $R_\infty$ 、热敏电阻的材料常数  $B$  以及  $50^\circ\text{C}$  时的电阻温度系数  $\alpha$ 。

**实验数据表格**

选定一个合适的比例臂，调节电桥平衡，记下电桥平衡时电阻臂的电阻值  $R_0$ ，然后在小范围内改变电阻臂的电阻值，记下电阻臂相对平衡位置改变的值，即  $\Delta R_0$ ，和指针相对平衡位置偏转的格数，即  $\Delta n_0$ ，测量三次，记录实验数据：

内容	1	2	3
电阻臂 $R_0 (\Omega)$			
变化量 $\Delta R_0 (\Omega)$			
偏转格数 $\Delta n_0$			
电桥灵敏度			

电桥灵敏度  $S = \underline{\hspace{2cm}}$

**将测量数据填入下列表格内。**

选取合适的比例臂，测量  $20^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$ （每隔  $5^\circ\text{C}$ ）不同温度点对应的热敏电阻值，升降温各测一次求取平均值，记录实验数据：

温度值（单位 $^\circ\text{C}$ ）（ $\Omega$ ）	20	25	30	35	40
升温时热敏电阻值（ $\Omega$ ）					
降温时热敏电阻值（ $\Omega$ ）					
热敏电阻平均值（ $\Omega$ ）					

根据  $\ln(R_t) \sim (-1/T)$  曲线，确定  $T$  趋于无穷时热敏电阻的阻值  $R_\infty$ （单位： $\Omega$ ）=  $\underline{\hspace{2cm}}$

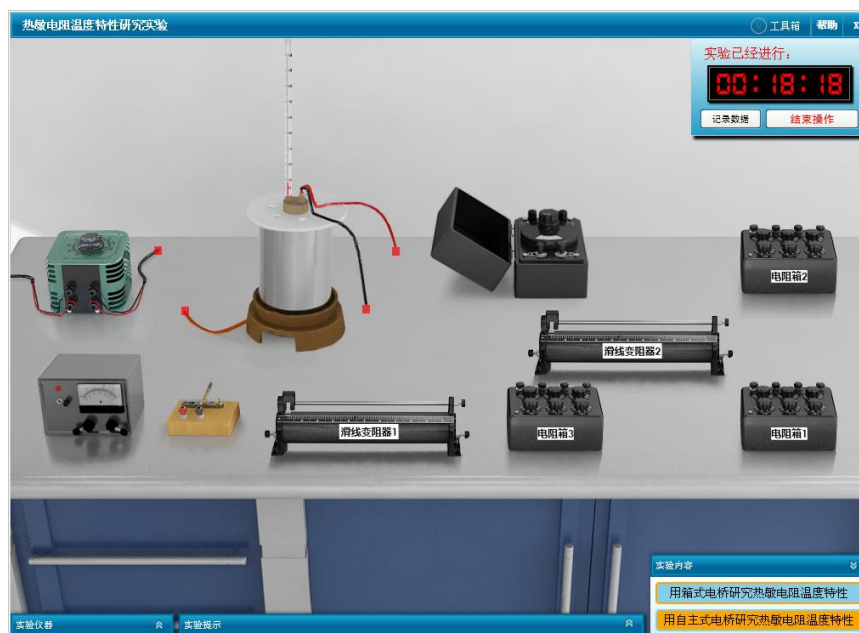
热敏电阻的材料常数  $B$ （单位： $\text{K}$ ）=  $\underline{\hspace{2cm}}$

$50^\circ\text{C}$  时的电阻温度系数  $\alpha$ （单位： $1/\text{K}$ ）=  $\underline{\hspace{2cm}}$

## 2. 用自组式电桥研究热敏电阻温度特性

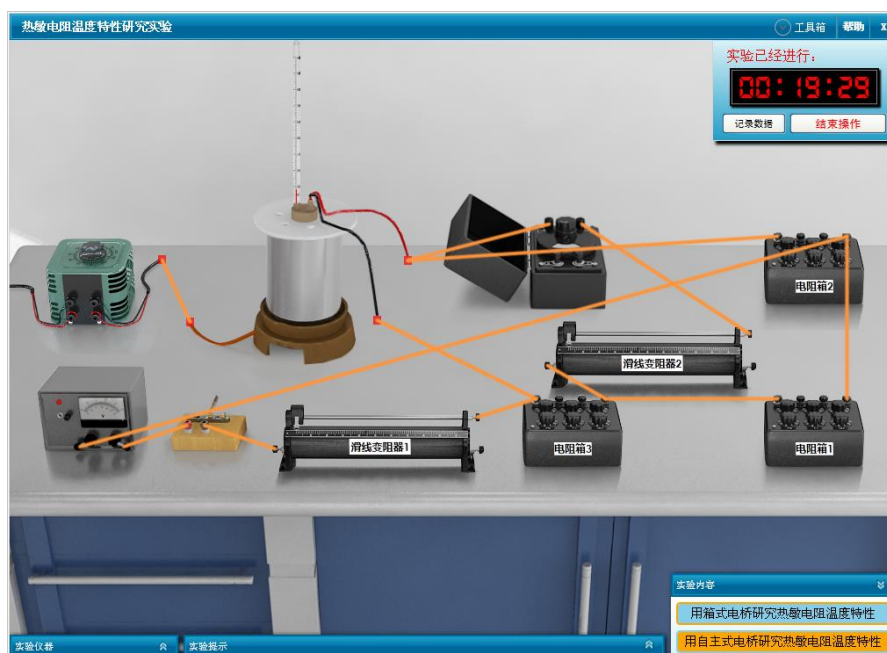
### (1) 主窗口介绍

成功进入实验场景窗体，实验场景的主窗体如下图组所示：



## (2) 实验连线

当鼠标移动到实验仪器接线柱的上方，拖动鼠标，便会产生“导线”，当鼠标移动到另一个接线柱的时候，松开鼠标，两个接线柱之间便产生一条导线，连线成功；如果松开鼠标的时候，鼠标不是在某个接线柱上，画出的导线将会被自动销毁，此次连线失败。根据实验电路图正确连线，连线操作完成，如下图所示：



根据直流电桥电路图连接好电路，然后在数据表格中点击“连线”模块下的“确定状态”按钮，保存连线状态。

## (3) 检流计调零

线路连接完毕后，断开电源开关，打开检流计调节界面，按下检流计的电计按钮，旋转检流计的档位旋钮至直接当（白点所在位置），旋转调零旋钮，并观察检流计的指针，当检流计的指针指向零点，调零成功。如下图所示：





#### (4) 调节电桥平衡

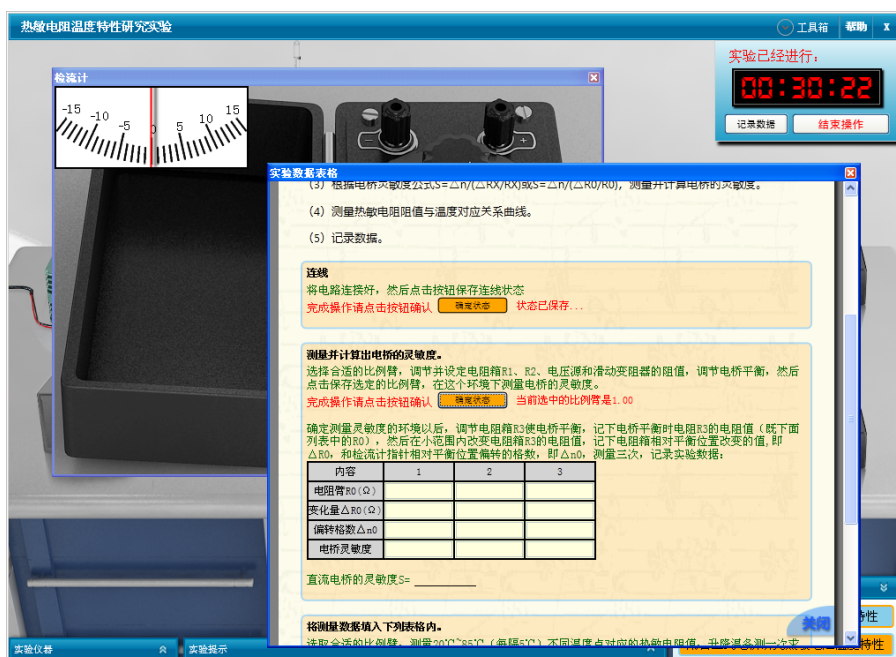
为了防止过大的电流通过检流计，初始时应将与检流计串联的滑线变阻器的阻值调到最大，随着电桥逐渐平衡，再逐渐减小滑线变阻器的阻值，以提高检测的灵敏度；调节电阻箱 $R_1$ 、 $R_2$ 的值，选取合适的比例臂；调节电阻箱 $R_3$ 使电桥平衡，如图所示：



#### (5) 测量电桥灵敏度

根据所选择的比例臂，点击保存状态按钮，在此比例臂下测量电桥的灵敏度；



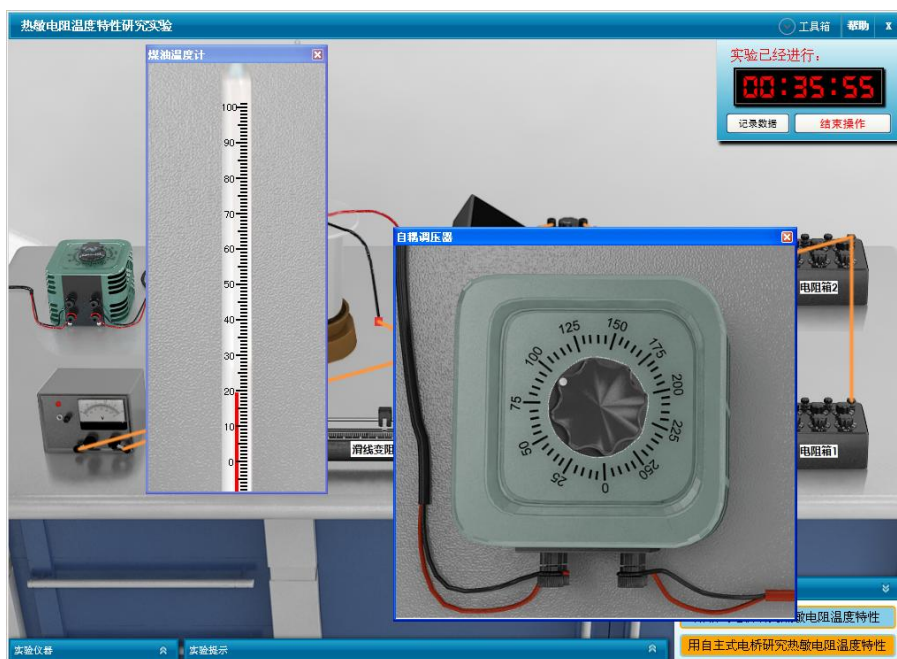


调节电阻箱 $R_3$ 上的电阻值, 使检流计指针发生偏转, 记下电阻值的相对变化量和检流计的指针偏转格数, 并根据公式计算出电桥此时的灵敏度 $S$ , 重复测量三次, 求取平均值。



(6) 测量升温时, 热敏电阻各温度点对应的 $R_t$

双击打开自耦调压器, 选择合适的电压值进行加热, 由于此电桥较为灵敏, 建议采用稍低一点的加热电压;



双击打开温度计读数窗体以及电桥箱窗体，一边观察温度计读数，一边调节电桥箱上的电阻值 $R_0$ 使电桥不断地处于平衡状态，同时分别记下 20℃、25℃、30℃、35℃、40℃、45℃、50℃、55℃、60℃、65℃、70℃、75℃、80℃、85℃ 时对应的热敏电阻值，填到数据表格中相应的位置。



(7) 测量降温时，热敏电阻各温度点对应的 $R_t$

将自耦调压器电压调为 0V，让烧杯中的水自然冷却，随着水温值的下降，依次再记下 20℃、25℃、30℃、35℃、40℃、45℃、50℃、55℃、60℃、65℃、70℃、75℃、80℃、85℃ 时对应的热敏电阻值，填到数据表格中相应的位置；并求取各温度点升降温过程中对应的热敏电阻平均值。



(8) 根据测量结果，计算温度  $T$  趋于无穷时的热敏电阻阻值  $R_\infty$ 、热敏电阻的材料常数  $B$  以及  $50^\circ\text{C}$  时的电阻温度系数  $\alpha$ 。

**实验数据表格**

确定测量灵敏度的环境以后，调节电阻箱  $R_3$  使电桥平衡，记下电桥平衡时电阻  $R_3$  的电阻值（既下面列表中的  $R_0$ ），然后在小范围内改变电阻箱  $R_3$  的电阻值，记下电阻箱相对平衡位置改变的值，即  $\Delta R_0$ ，和检流计指针相对平衡位置偏转的格数，即  $\Delta n_0$ ，测量三次，记录实验数据：

内容	1	2	3
电阻箱 $R_0 (\Omega)$			
变化量 $\Delta R_0 (\Omega)$			
偏转格数 $\Delta n_0$			
电桥灵敏度			

直流电桥的灵敏度  $S =$  \_\_\_\_\_

**将测量数据填入下列表格内。**

选取合适的比例臂，测量  $20^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$ （每隔  $5^\circ\text{C}$ ）不同温度点对应的热敏电阻值，升降温各测一次求取平均值，记录实验数据：

温度值（单位 $^\circ\text{C}$ ）（ $\Omega$ ）	20	25	30	35	40	
升温时热敏电阻值（ $\Omega$ ）						
降温时热敏电阻值（ $\Omega$ ）						
热敏电阻平均值（ $\Omega$ ）						

根据  $\ln(R_t) \sim (-1/T)$  曲线，确定  $T$  趋于无穷时热敏电阻的阻值  $R_\infty$ （单位： $\Omega$ ）= \_\_\_\_\_

热敏电阻的材料常数  $B$ （单位： $\text{K}$ ）= \_\_\_\_\_

$50^\circ\text{C}$  时的电阻温度系数  $\alpha$ （单位： $1/\text{K}$ ）= \_\_\_\_\_

## 六、思考题

1. 如何提高电桥的灵敏度？
2. 电桥选择不同量程时，对结果的准确度（有效数字）有何影响？

---

## 七、参考资料

1. 大学物理实验（第一册）。高等教育出版社，吴泳华，霍剑青等主编。