

# 感测技术实验指导书

吴爱平 编

电子信息学院  
二〇〇九年五月

# 实 验 目 录

## (必 做)

实验一	转速测量实验.....	1
实验二	重量测量实验.....	4
实验三	温度测量实验.....	9

## (选 做)

实验四	位移测量实验.....	13
实验五	振动测量实验.....	19
实验六	热电偶冷端温度补偿实验.....	25
实验七	气敏传感器实验.....	27
实验八	压力测量实验.....	29
附录一	实验台使用说明.....	32
附录二	调节仪使用说明.....	34

# 实验一 转速测量实验

## 一、实验目的：

1. 熟悉和掌握霍尔转速传感器、磁电式、光电转速传感器的工作原理。
2. 了解转速的测量方法。

## 二、基本原理：

1. 利用霍尔效应表达式： $U_H = K_H IB$ ，当被测圆盘上装上  $N$  只磁性体时，圆盘每转一周磁场就变化  $N$  次。每转一周霍尔电势就同频率相应变化，输出电势通过放大、整形和计数电路就可以测量被测旋转物的转速。

2. 基于电磁感应原理， $N$  匝线圈所在磁场的磁通变化时，线圈中感应电势：  

$$e = -N \frac{d\phi}{dt}$$
 发生变化，因此当转盘上嵌入  $N$  个磁棒时，每转一周线圈感应电势产生  $N$  次的变化，通过放大、整形和计数等电路即可以测量转速。

3. 光电式转速传感器有反射型和直射型二种，本实验装置是反射型的，传感器端部有发光管和光电池，发光管发出的光源在转盘上反射后由光电池接受转换成电信号，由于转盘上有黑白相间的 12 个间隔，转动时将获得与转速及黑白间隔数有关的脉冲，将电脉计数处理即可得到转速值。

**三、实验所需部件：** 霍尔转速传感器、磁电传感器、光电转速传感器、直流电源+5V、转动源 2—12V、数显单元、导线若干。

## 四、实验步骤：

- 1、根据图 1-1，将霍尔转速传感器装于传感器支架上,探头对准反射面内的磁钢。

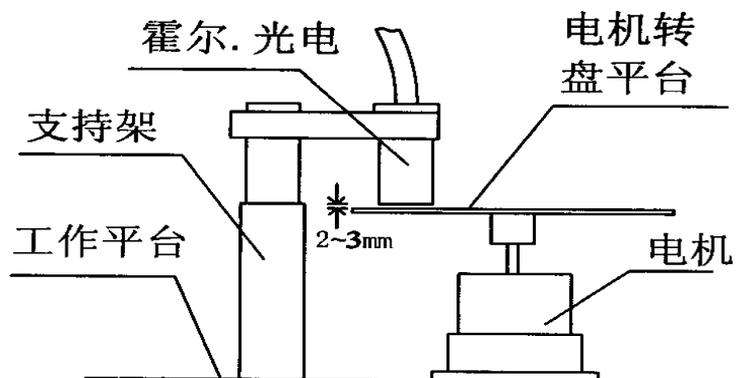


图 1-1 霍尔、光电、磁电转速传感器安装示意图

- 2、将 5V 直流源加于霍尔转速传感器的电源端（1 号接线端）。
- 3、将霍尔转速传感器输出端（2 号接线端）插入数显单元 Fin 端，3 号接线端接地。
- 4、将转速源+2V—12V 输出旋至最小，接入三源板的转速电源孔中。
- 5、将数显单元上的开关拨到转速档，合上主控箱电源开关。
- 6、调节转速电压，可改变电机转速，观察并记录电压每增加 1V 时数显表转速显示的值，填入表 1-1 中。
- 7、关闭主控箱电源开关，取下霍尔转速传感器，进行光电转速测量，光电转速传感器已安装在三源板上，把三源板上的+5V、接地、V<sub>O</sub> 与主控箱上的+5V、地、数显表的 Fin 相连。
- 8、将转速源 2—12V 输出旋到最小，接到三源板的转速电源插孔中。
- 9、合上主控箱电源开关，调节转速源 2—12V，观察并记录电压每增加 1V 时数显表转速显示的值，填入表 1-2 中。
- 10、关闭主控箱电源开关，取下光电传感器的相关连线，进行磁电式转速测量。
- 11、磁电式转速传感器按图 1-1 安装传感器端面离转动盘面 2mm 左右，并且将磁电式转速传感器中心对准磁钢中心。将磁电式转速传感器输出端插入数显单元 Fin 孔。（磁电式转速传感器两输出插头插入台面板上二个插孔）
- 12、将转速源 2—12V 输出旋到最小，接到三源板的转速电源插孔中，合上主控箱电源开关，调节转速源 2—12V，记录数显表转速显示为 0 时的电压最大值。继续观察并记录电压每增加 1V 时数显表转速显示的值，填入表 1-3 中。

表 1-1 电压与转速（霍尔转速传感器）

电 压 (V)										
转 速 (r/min)										

表 1-2 电压与转速（光电转速传感器）

电 压										
转 速 (r/min)										

表 1-3 电压与转速（磁电转速传感器）

电 压										
转 速 (r/min)										

### 五、思考题：

- 1、 本实验装置上用了六只磁钢，能否用一只磁钢？
- 2、 本实验中用了多种传感器测量转速，试分析比较一下哪种方法最简单、方便？
- 3、 为什么说磁电式转速传感器不能测很低速的转动，能说明理由吗？
- 4、 如何利用光电传感器和调节仪自动控制电机转速？

## 实验二 重量测量实验

### 一、实验目的:

1. 了解金属箔式应变片的应变效应, 电桥的工作原理。
2. 了解单臂电桥、半桥、全桥的性能, 并比较其灵敏度和非线性度。
3. 通过实验后能够设计信号放大电路。

### 二、基本原理:

电阻丝在外力作用下发生机械变形时, 其电阻值发生变化, 这就是电阻应变效应, 描述电阻应变效应的关系式为:

$$\Delta R / R = K \varepsilon$$

式中  $\Delta R / R$  为电阻丝电阻相对变化,  $K$  为应变灵敏系数,  $\varepsilon = \Delta l / l$  为电阻丝长度相对变化, 金属箔式应变片就是通过光刻、腐蚀等工艺制成的应变敏感元件, 通过它转换被测部位受力状态变化、电桥的作用完成电阻到电压的比例变化, 电桥的输出电压反映了相应的受力状态。对单臂电桥输出电压  $U_{O1} = EK \varepsilon / 4$ 。对于半桥不同受力方向的两只应变片接入电桥作为邻边, 电桥输出灵敏度提高, 非线性得到改善。当应变片阻值和应变变量相同时, 其桥路输出电压  $U_{O2} = EK \varepsilon / 2$ 。全桥测量电路中, 将受力性相同的两应变片接入电桥对边, 当应变片初始阻值:  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ , 其变化值  $\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4$  时, 其桥路输出电压  $U_{O3} = KE \varepsilon$ 。其输出灵敏度比半桥又提高了一倍, 非线性误差得到改善。

**三、实验所需部件:** 应变式传感器实验模板、应变式传感器、托盘、砝码、数显表、 $\pm 15V$  电源、 $\pm 4V$  电源、万用表、导线若干。

### 四、实验步骤:

- 1、 根据图 2-1 可知应变式传感器已装于应变传感器模板上。各应变片已接入模板的左上方的  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 。加热丝也接于模板上, 可用万用表进行判别,  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 350 \Omega$ , 加热丝阻值为  $50 \Omega$  左右。
- 2、 接入模板电源  $\pm 15V$  (从主控台引入), 检查无误后, 合上主控箱电源开关, 将实验模

板调节增益电位器  $R_{W3}$  顺时针调节大致到中间位置，再进行差动放大器调零，方法为将差放的正负输入端与地短接，输出端与主控箱面板上数显表电压输入端  $V_i$  相连，调节实验模板上的调零电位器  $R_{W4}$ ，使数显表显示为零(数显表的量程切换开关打到 2V 档)。关闭主控箱电源。

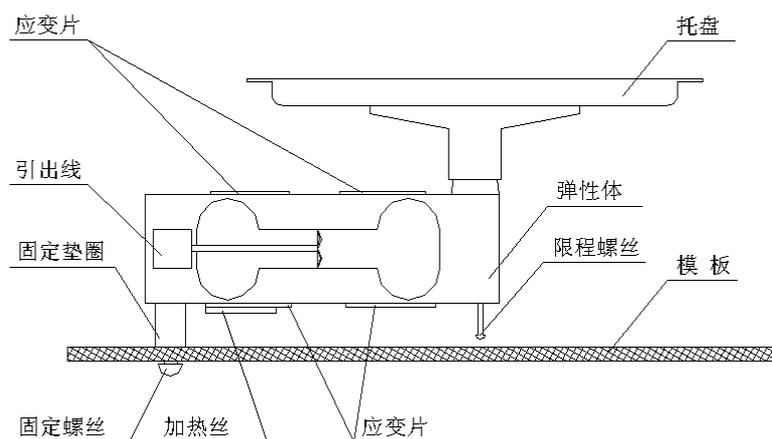


图 2-1 应变式传感器安装示意图

- 3、将应变式传感器的其中一个电阻应变片  $R_1$ (即模块左上方的  $R_1$ )接入电桥作为一个桥臂与  $R_5$ 、 $R_6$ 、 $R_7$  接成直流电桥 ( $R_5$ 、 $R_6$ 、 $R_7$ 、模块内已连接好)，接好电桥调零电位器  $R_{W1}$ ，接上桥路电源  $\pm 4V$ ，此时应将  $\pm 4V$  地与  $\pm 15V$  地短接(因为不共地)，如图 2-2 所示，检查无误后，合上主控箱电源开关。调节  $R_{W1}$ ，在托盘上不加砝码时，使桥路输出为零。

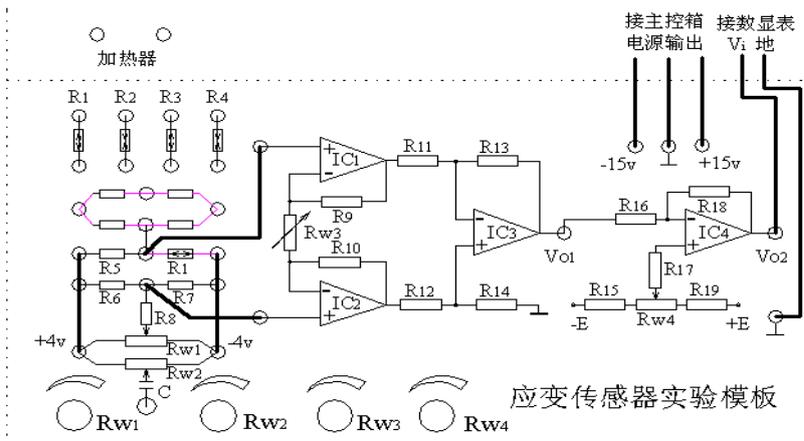


图 2-2 应变式传感器实验模板电原理图

- 4、 为便于读取数据，将 10 只砝码全部置于传感器秤托盘上，调节电位器 RW3 使  $V_{O2}$  输出为 50 的整数倍值。在传感器托盘上放置一只砝码，读取数显表数值，依次增加砝码和读取相应的数显表值，直到 500g 砝码加完。记下实验结果填入表 2-1。计算系统灵敏度  $S$ ，非线性误差  $\delta$ 。

表 2-1 单臂电桥输出电压与加负载重量值

重量(g)									
电压(mv)									

- 5、 将图 2-2 电桥中的 R5 改接成 R2 或 R4，即将传感器中两片受力相反（一片受拉、一片受压）的电阻应变片作为电桥的相邻边进行半桥实验，见图 2-3，接入桥路电源  $\pm 4V$ ，进行桥路调零，重复步骤 2、3、4，将实验数据记入表 2-2，计算灵敏度  $S$ ，非线性误差  $\delta$ 。

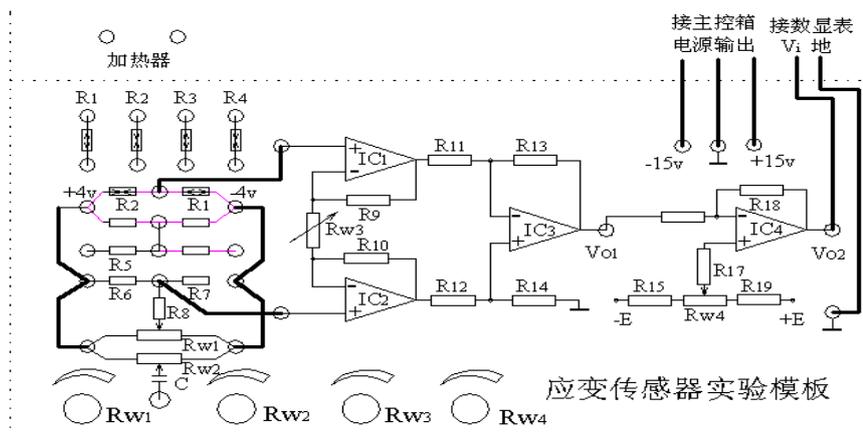


图 2-3 应变式传感器半桥实验接线图

表 2-2 半桥测量时，输出电压与加负载重量值

重量(g)										
电压(mv)										

6、将传感器四片应变片接成全桥电路，见图 2-4。重复步骤 2、3、4，将实验结果填入表 2-3；进行灵敏度和非线性误差计算。

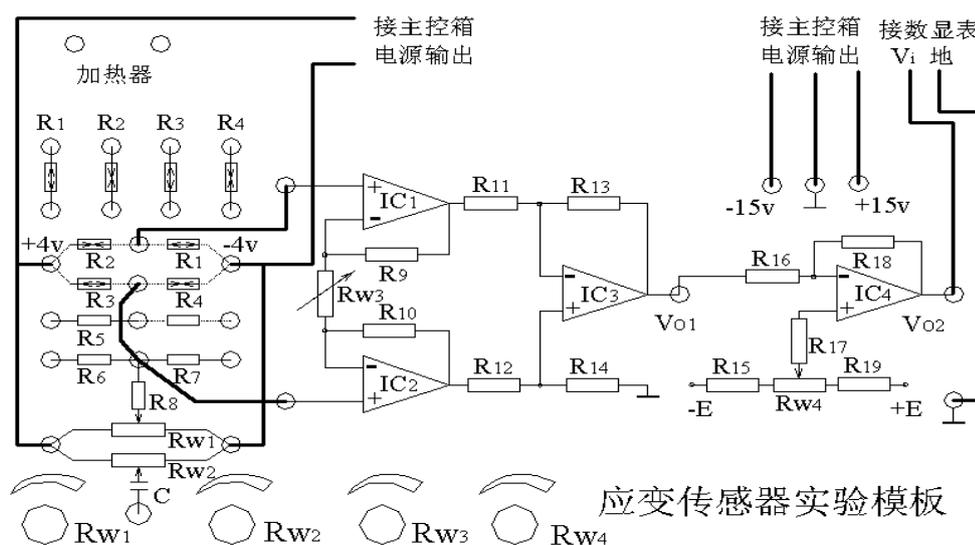


图 2-4 全桥性能实验接线图

表 2-3 全桥输出电压与加负载重量值

重量(g)										
电压(mv)										

### 五、思考题：

- 1、单臂电桥时，作为桥臂电阻应变片应选用：（1）正（受拉）应变片（2）负（受压）应变片（3）正、负应变片均可以。
- 2、电桥测量时两片不同受力状态的电阻应变片接入电桥时，应放在：（1）对边（2）邻边。
- 3、桥路（差动电桥）测量时存在非线性误差，是因为：（1）电桥测量原理上存在非线性（2）应变片应变效应是非线性的（3）调零值不是真正为零。
- 4、电桥测量中，当两组对边（ $R_1$ 、 $R_3$  为对边）值  $R$  相同时，即  $R_1=R_3$ ， $R_2=R_4$ ，而  $R_1 \neq R_2$  时，是否可以组成全桥：（1）可以（2）不可以。
- 5、实验中的重量测量与超市的电子称测量有什么区别？试画出超市的电子称实现的原理框图。

## 实验三 温度测量实验

### 一、实验目的:

1. 了解热电阻的特性与应用和 K 型热电偶测量温度的性能与应用范围
2. 了解常用的集成温度传感器基本原理、性能与应用

### 二、基本原理:

1. 用导体电阻随温度变化这一特性,热电阻用于测量时,要求其材料电阻温度系数大,而稳定,电阻率高,电阻与温度之间最好有线性关系。常用铂电阻和铜电阻。铂电阻在 0—630.74℃ 以内,电阻  $R_t$  与温度  $t$  的关系为:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

$R_0$  是温度为 0℃ 时的电阻。本实验  $R_0 = 100 \Omega$ 。 $A = 3.9684 \times 10^{-2} / ^\circ\text{C}$ ,  $B = -5.847 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}^2$ , 铂电阻现是三线连接,其中一端接二根引线主要为消除引线电阻对测量的影响。

2. 当两种不同的金属组成回路,产生的二个接点有温度差,会产生热电势,这就是热电效应。温度高的接点就是工作端,将其置于被测温度场配以相应电路就可间接测得被测温度值。

3. 集成温度传感器将温敏晶体管与相应的辅助电路集成在同一芯片上,它能直接给出正比于绝对温度的理想线性输出,一般用于  $-50^\circ\text{C} - +150^\circ\text{C}$  之间温度测量,温敏晶体管是利用管子的集电极电流恒定时,晶体管的基极—发射极电压与温度成线性关系。为克服温敏晶体管  $U_b$  电压生产时的离散性、均采用了特殊的差分电路。集成温度传感器有电压型和电流型二种,电流输出型集成温度传感器,在一定温度下,它相当于一个恒流源。因此它具有不易受接触电阻、引线电阻、电压噪声的干扰。具有很好的线性特性。本实验采用的是国产的 AD590。它只需要一种电源 ( $+4\text{V} - +30\text{V}$ )。即可实现温度到电流的线性变换,然后在终端使用一只取样电阻 (本实验中为  $R_2$  见图 3-2) 即可实现电流到电压的转换。它使用方便且电流型比电压型的测量精度更高。

**三、实验所需部件:** 加热源、K 型热电偶、集成温度传感器(AD590)、 $P_{t100}$  热电阻 (两个)、温度控制单元(调节仪)、温度传感器实验模板、数显单元、万用表、导线若干。

### 四、实验步骤:

- 1、将两个  $P_{t100}$  传感器插入三源板的两个测试孔中,其中一个作为调节仪的标准输入传感器,将其三根线插入主控箱上标  $P_{t100}$  的插孔中。

- 2、将 R5、R6 短路接地，加 ±15V 运放电源，进行差动调零。调 RW<sub>3</sub> 使 V<sub>O2</sub>=0，接上数显单元，拨 2V 电压显示档，使数显为零。
- 3、用万用表欧姆档测出另一个 Pt100 三根线中其中短接的二根线，（本实验室的即为颜色相同的两根）将一根接 b 端，另一根 R5 端。将 P<sub>t100</sub> 的第三根线接 a 端。这样 R<sub>t</sub> 与 R3、R1、Rw1、R4 组成直流电桥，是一种单臂电桥工作形式。Rw1 中心活动点与 R6 相接，见图 3-1。Rw<sub>2</sub> 左旋到底（增益最小）。
- 4、在端点 a 与地之间加直流源 2V，调 RW1 使电桥平衡，即 V<sub>O2</sub>=0。
- 5、在常温基础上，将加热器的 220V 电源插头插入主控箱面板上的电源插座上，按 Δt=5℃ 读取数显表值。将结果填入下表 3-1。关闭主控箱电源开关。
- 6、将风扇电源 24V（+、地）接入主控箱面板转速调节电源，并将转速调节电源旋钮顺时针旋到 24V（可用数显表测量），直到数显表为零，将和温度传感器实验模板相连的 P<sub>t100</sub> 铂电阻从测试孔中取出。

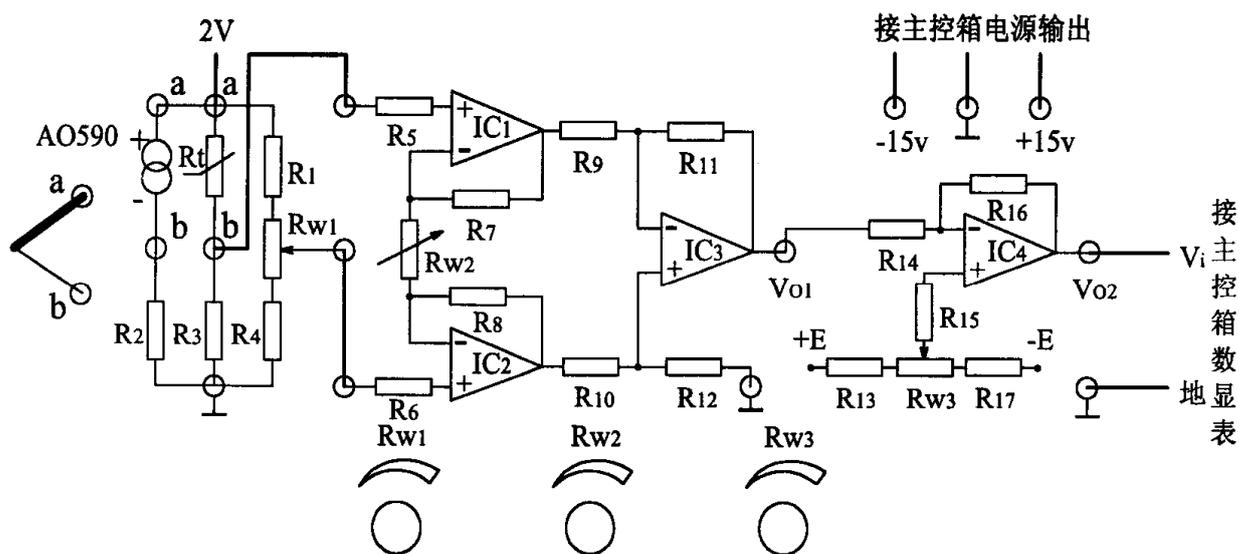


图 3-1 铂电阻、热电偶测温特性实验

- 7、待冷却到常温时将 K 型热电偶插入测试孔中用于温度测量。
- 8、将 K 型热电偶两根引线插入温度传感器实验模板标有热电偶符号的 a、b 孔上，热电偶自由端连线中带红色套管或红色斜线的一条为正端。
- 9、将 R5、R6 短路接地，接入电源，打开主控箱电源开关，调节 RW<sub>3</sub> 使 U<sub>O2</sub> 为零（见图 3-1），将 U<sub>O2</sub> 与数显表 V<sub>i</sub> 相接。调 RW<sub>3</sub> 使数显表显示零位，主控箱波段开关拨到 2V 档。

- 10、去掉 R5、R6 短路接线,将 a、b 端与放大器 R5、R6 相接,调 RW<sub>2</sub> 至最大。
- 11、按  $\Delta t=10^{\circ}\text{C}$  读出数显表头输出电势与温度值,并记入表 3-2。
- 12、将 AD590 插入测试孔中进行一段时间加热以便用于降温测量。
- 13、将主控箱上显示选择切换开关打到 2V,实验模板的输出 V<sub>02</sub> 端、 $\perp$  端分别与主控箱电压表输入 V<sub>in</sub> 端、 $\perp$  端相连,再将实验模板-15V、 $\perp$ 、+15V 端分别与主控箱稳压电源 V<sub>0</sub> 中的 -15V、 $\perp$ 、+15V 端相连。将 R5、R6 短路接地,接入电源,打开主控箱电源开关,调节 RW<sub>3</sub> 使 U<sub>02</sub> 为零。
- 14、关闭主控箱电源,将主控箱上显示选择切换开关打到 4V。去掉 R5、R6 短路接线,把 AD590 的引线接入模板 a、b 端,再将 a、 $\perp$  端分别连接到主控箱的  $\pm 2\text{V} \sim \pm 10\text{V}$  稳压电源输出 +V<sub>OUT</sub> 和  $\perp$  端,此时电压表的显示值为 AD590 在当前温度的输出值,见图 3-2。

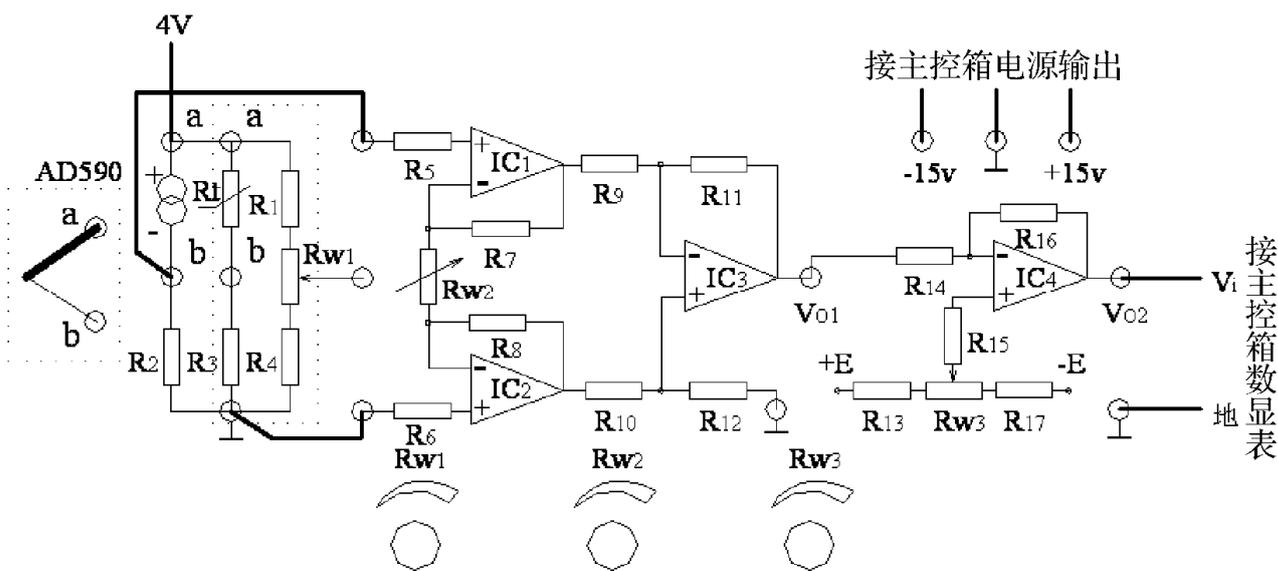


图 3-2 集成温度传感器实验原理图

- 15、加热器的 220V 电源插头从主控箱面板上的电源插座上拔出,按  $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$  读取数显表值并记入表 3-3 中。

表 3-1 铂电阻热电势与温度值

t(°C)										
V(mv)										

表 3-2 K 型热电偶热电势与温度数据

t(°C)										
V(mv)										

表 3-3 AD590 与温度数据

t(°C)										
V(mv)										

根据表 3-1 3-2 3-3 值计算其非线性误差。

**五、思考题：**

- 1、Pt100 三根线中有二根线短接，短接的作用是什么？
- 2、做 AD590 降温实验时，为什么要先加热一段时间后再进行降温实验？

## 实验四 位移测量实验

### 一、实验目的:

1. 了解电容式传感器结构及其特点
2. 了解霍尔式传感器原理与应用
3. 了解电涡流传感器的工作原理和性能
4. 了解光纤位移传感器的工作原理和性能。

### 二、基本原理:

利用平板电容  $C = \epsilon A / d$  和其它结构的关系式通过相应的结构和测量电路可以选择  $\epsilon$ 、 $A$ 、 $d$  中三个参数中，保持二个参数不变，而只改变其中一个参数，则可以有测谷物干燥度（ $\epsilon$  变）、测微小位移（变  $d$ ）和测量液位（变  $A$ ）等多种电容传感器。

根据霍尔效应，霍尔电势  $U_H = K_H IB$ ，当霍尔元件处在梯度磁场中运动时，它可以进行位移测量。

通以高频电流的线圈产生磁场，当有导体接近时，因导体涡流效应产生涡流损耗，而涡流损耗与导体离线圈的距离有关，因此可以进行位移测量。

传光型光纤，它由两束光纤混合后，组成 Y 型光纤，半圆分布即双 D 型一束光纤端部与光源相接发射光束，另一束端部与光电转换器相接接收光束。两光束混合后的端部是工作端亦称探头，它与被测体相距  $X$ ，由光源发出的光纤传到端部出射后再经被测体反射回来，另一束光纤接收光信号由光电转换器转换成电量，而光电转换器转换的电量大小与间距  $X$  有关，因此可用于测量位移。

**三、实验所需部件:** 电容传感器、电容传感器实验模板、霍尔传感器实验模板、霍尔传感器、电涡流传感器实验模板、电涡流传感器、光纤传感器、光纤传感器实

验模板、测微头、数显单元、直流稳压源、导线若干。

四、实验步骤:

- 1、 按图 1-1 安装示意图将测微头和电容传感器装于电容传感器模板上。将传感器引线插头插入实验模板的插座中。
- 2、 将电容传感器实验模板的输出端 Vo1 与数显表单元 Vi 相接(插入主控箱 Vi 孔),Rw 调节到中间位置。

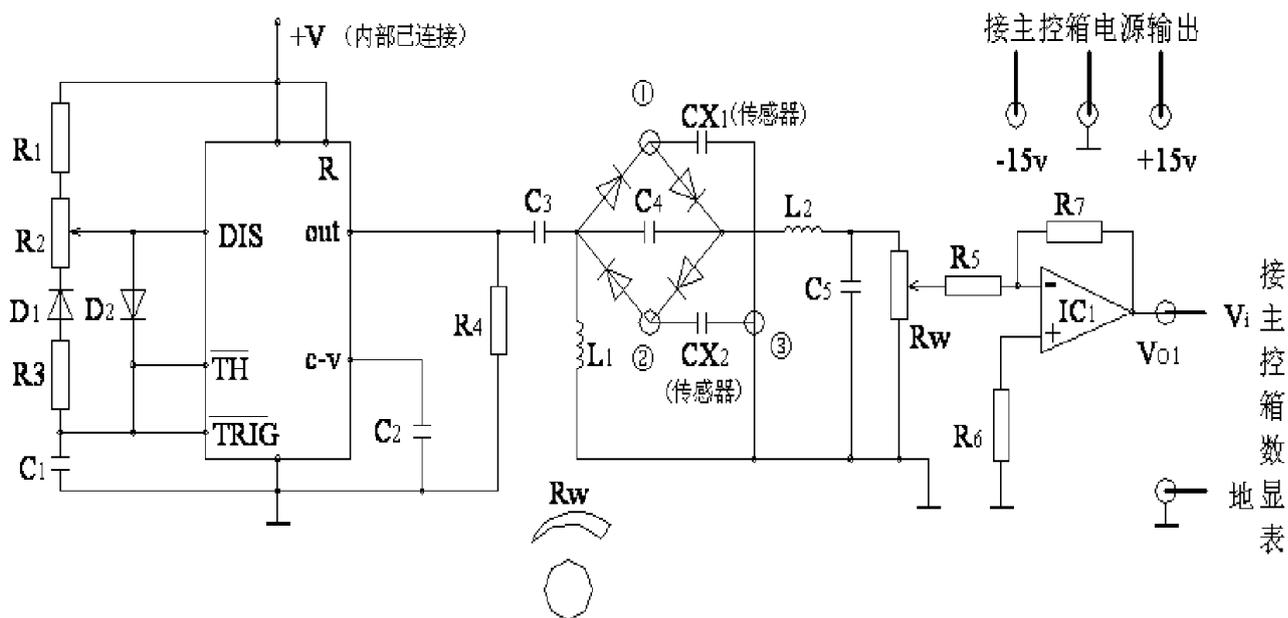


图 1-1 电容传感器位移实验接线图

- 3、 接入±15V 电源旋动测微头推进电容器传感器动极板位置，每间隔 0.2mm 记下位移 X 与输出电压值 V，填入表 1-1。

表 1-1 电容式传感器位移 X 与输出电压 V

X(mm)										
V(mv)										

根据表 (1-1) 数据，计算电容传感器的系统灵敏度 S 和非线性误差  $\delta_f$ 。

- 4、 霍尔传感器按图 1-2 安装。将传感器引线插头插入实验模板的插座中,实验模板的连接按图 1-3 进行连接。1、3 为电源±4V,2、4 为输出。

- 5、 开启电源，调节测微头使霍尔片在磁钢中间位置，再调节  $R_{W1}$  使数显表指示为零。
- 6、 测微头向轴向方向推进，每转动 0.2mm 记下一个读数，直到读数近似不变，将读数填入表 1-2。

表 1-2 霍尔传感器位移 X 与输出电压 V

X (mm)										
V(mv)										

作出 V-X 曲线，计算不同线性范围时的灵敏度和非线性误差。

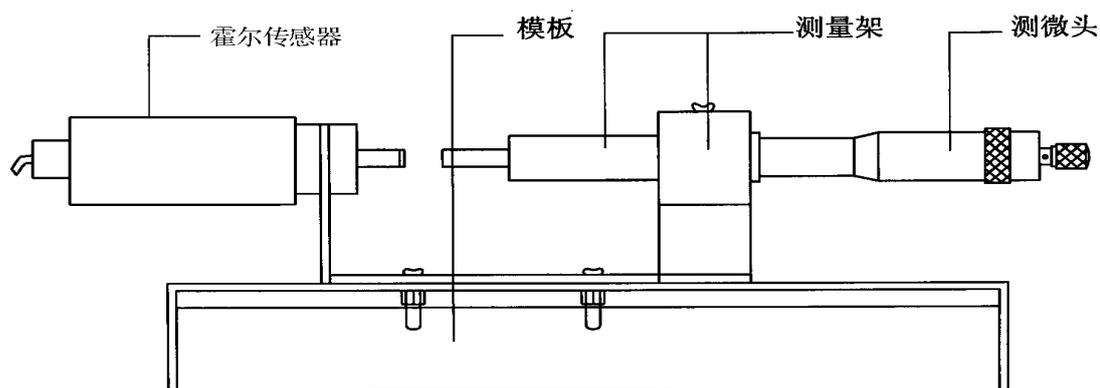


图 1-2 霍尔传感器安装示意图

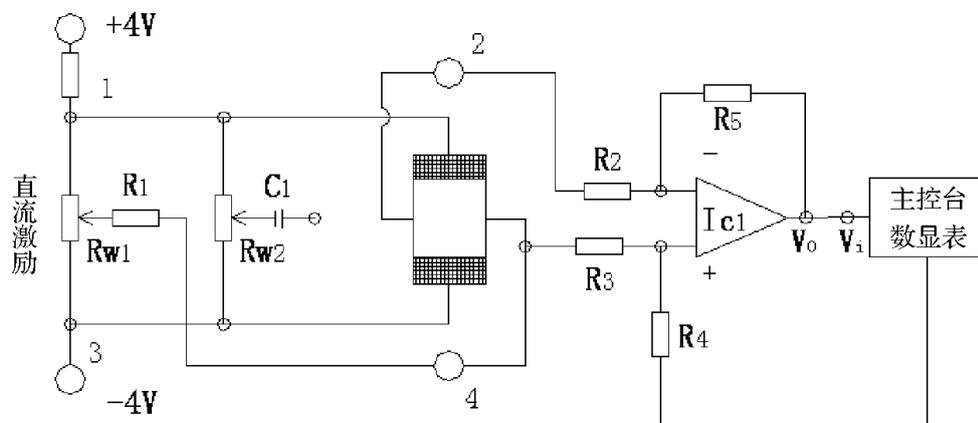


图 1-3 霍尔传感器位移—直流激励实验接线图

- 7、根据图 1-4 安装电涡流传感器。
- 8、观察传感器结构，这是一个平绕线圈。
- 9、将电涡流传感器输出线接入实验模板上标有 L 的两端插孔中，作为振荡器的一个元件，见图 1-5。
- 10、在测微头端部装上铁质金属圆片,作为电涡流传感器的被测体。

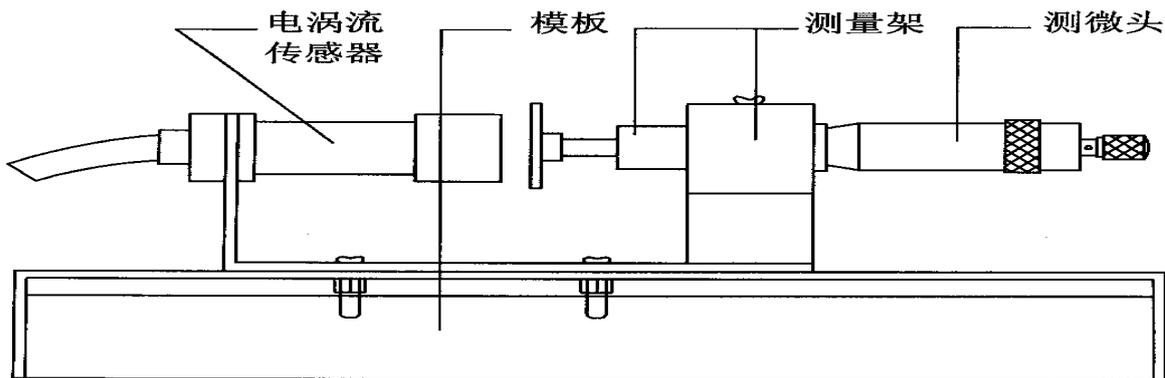


图 1-4 电涡流传感器安装示意图

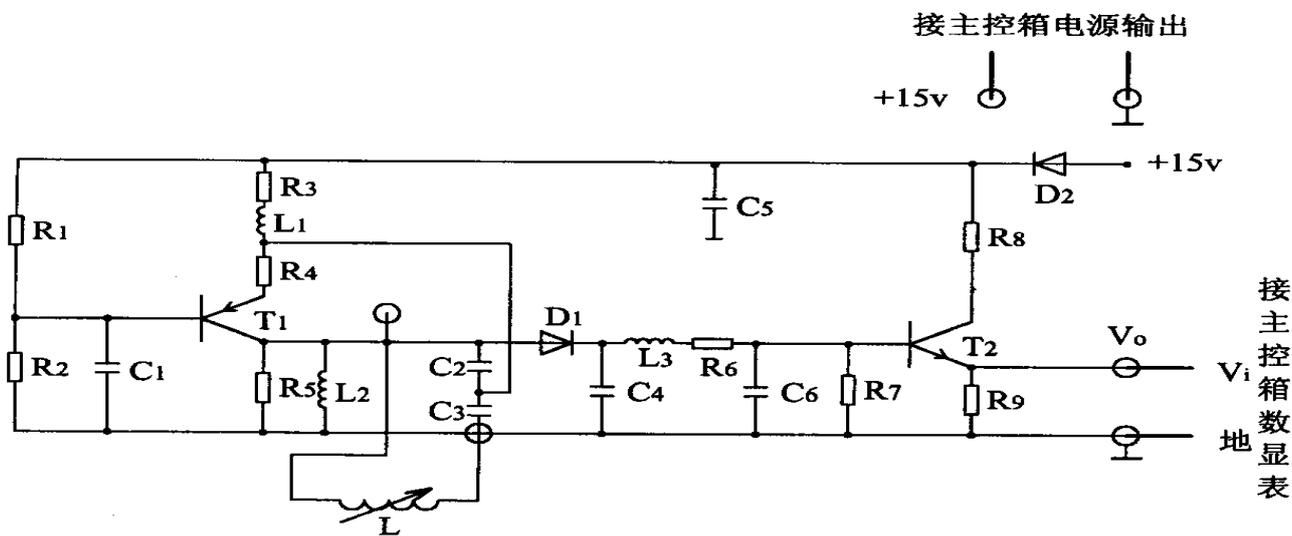


图 1-5 电涡流传感器位移实验接线图

- 11、将实验模板输出端  $V_o$  与数显单元输入端  $V_i$  相接。数显表量程切换开关选择电压 20V。
- 12、从主控台接入+15V 直流电源到实验模板上标有+15V 的插孔中。
- 13、使测微头与传感器线圈端部接触，开启主控箱电源开关,记下数显表读数，然后每隔 0.2mm 读一个数，直到输出几乎不变为止。将结果列入表 1-3。

表 1-3 电涡流传感器位移 X 与输出电压 V

X (mm)										
V(v)										

14、将原铁圆片换成铜圆片，重复上述步骤，进行被测体为铜圆片时的位移特性测试，记入表 1-4。

表 1-4 被测体为铜圆片时的位移与输出电压数据

X (mm)										
V(v)										

15、据表 1-3、1-4 数据，画出 V-X 曲线，根据曲线找出线性区域及进行正、负位移测量时的最佳工作点，试计算量程为 1mm、3 mm 及 5mm 时的灵敏度和线性度。

16、根据图 1-6 安装光纤位移传感器，二束光纤插入实验板上的座孔上。其内部已和发光管 D 及光电转换管 T 相接。

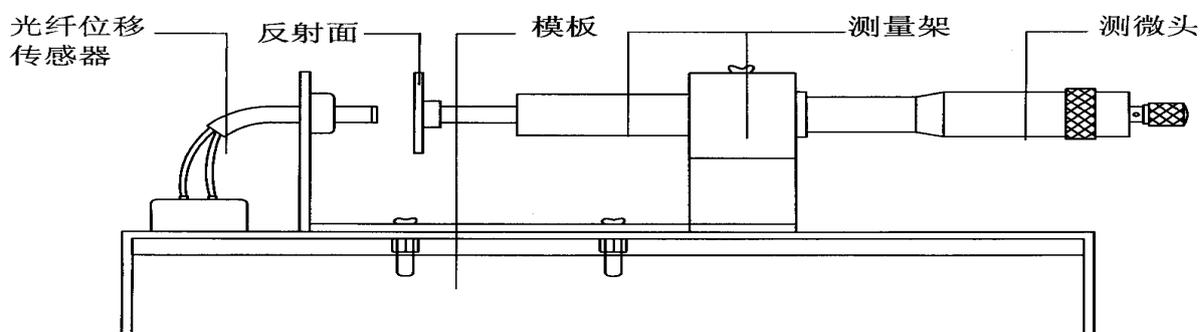


图 1-6 光纤传感器安装示意图

17、将光纤实验模板输出端  $V_{O1}$  与数显单元相连，见图 1-7。

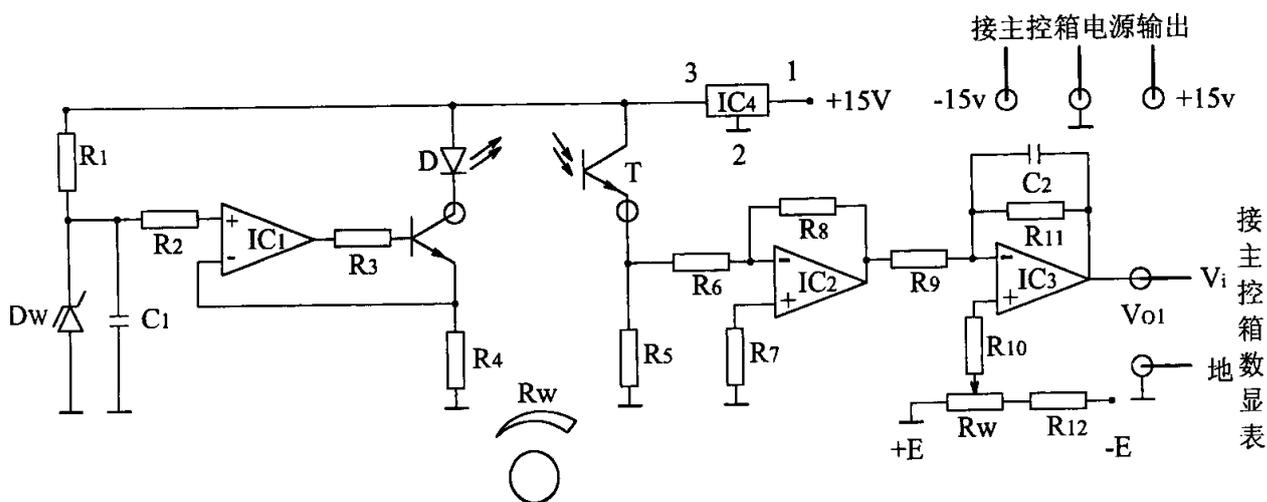


图 1-7 光纤传感器位移实验接线图

- 18、调节测微头，使探头与反射面圆平板接触。
- 19、实验模板接入±15V 电源，合上主控箱电源开关，调  $R_w$  使数显表显示为零。
- 20、旋转测微头，被测体离开探头，每隔 0.1mm 读出数显表值，将其填入表 1-5。

表 1-5 光纤位移传感器输出电压与位移数据

X (mm)										
V(v)										

根据表 1-5 数据，作光纤位移传感器的位移特性，计算在量程 1mm 时灵敏度和非线性误差。

### 五、思考题：

- 1、本实验中霍尔元件位移的线性度实际上反映的是什么量的变化？
- 2、当被测体为非金属材料如何利用电涡流传感器进行测试？
- 3、在电涡流传感器测位移的实验中如果将铜圆片换成铝圆片，在相同的条件下输出的电压与原来相比是 1)偏大 2)偏小 3)一样大
- 4、在相同条件下金属圆片面积的大小与输出电压有无关系？

## 实验五 振动测量实验

### 一、实验目的：

1. 了解差动变压器的工作原理和特性。
2. 了解差动变压器零点残余电压补偿方法。
3. 了解差动变压器测量振动的原理和方法
4. 了解压电传感器测量振动的原理和方法

### 二、基本原理：

1. 变压器由一只初级线圈和二只次级线圈及铁芯组成，根据内外层排列不同，有二段式和三段式，本实验采用三段式结构。当传感器随着被测体移动时，由于初级线圈和次级线圈之间的互感发生变化促使次级线圈感应电势产生变化，一只次级感应电势增加，另一只感应电势则减少，将两只次级反向串接，就引出差动输出。其输出电势则反映出被测体的移动量。

2. 由于差动变压器二只次级线圈的等效参数不对称，初级线圈的纵向排列的不均匀性，二次级的不均匀、不一致，铁芯  $B-H$  特性的非线性等，因此在铁芯处于差动线圈中间位置时其输出电压并不为零。称其为零点残余电压。

3. 压电式传感器由惯性质量块和受压的压电片等组成。(观察实验用压电加速度结构)工作时传感器感受与试件相同频率的振动，质量块便有正比于加速度的交变力作用在晶片上，由于压电效应，压电晶片上产生正比于运动加速度的表面电荷。

### 三、实验所需部件：

音频振荡器、差动放大器模板、压电式传感器、压电式传感器实验模块、移相器、相敏检波器、滤波模板、数显单元、低频振荡器、示波器、直流稳压电源。

### 四、实验步骤：

- 1、根据图 2-1，将差动变压器装在差动变压器实验模板上。

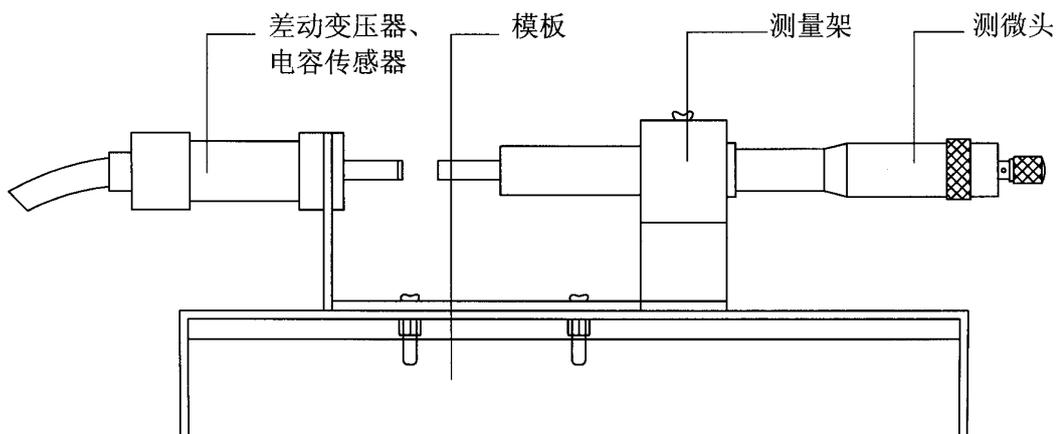


图 2-1 差动变压器电容传感器安装示意图

- 2、在模块上按图 2-2 接线，音频振荡器信号必须从主控箱中的  $L_v$  端子输出，调节音频振荡器的频率，输出频率为 4—5KHz（可用主控箱的频率表输入  $F_{in}$  来监测）。调节输出幅度为峰—峰值  $V_{p-p}=2V$ （可用示波器监测：X 轴为 0.2ms/div）。图中 1、2、3、4、5、6 为连接线插座的编号。接线时，航空插头上的号码与之对应。当然不看插孔号码，也可以判别初次级线圈及次级同名端。判别初次线图及次级线圈同名端方法如下：设任一线圈为初级线圈，并设另外两个线圈的任一端为同名端，按图 2-2 接线。当铁芯左、右移动时，观察示波器中显示的初级线圈波形，次级线圈波形，当次级波形输出幅度值变化很大，基本上能过零点，而且相应与初级线圈波形（ $L_v$  音频信号  $V_{p-p}=2v$  波形比较能同相或反相变化，说明已连接的初、次级线圈及同名端是正确的，否则继续改变连接再判别直到正确为止。图中（1）、（2）、（3）、（4）为实验模块中的插孔编号。
- 3、旋动测微头，使示波器第二通道显示的波形峰—峰值  $V_{p-p}$  为最小，这时可以左右位移，假设其中一个方向为正位移，另一个方向位称为负，从  $V_{p-p}$  最小开始旋动测微头，每隔 0.2mm 从示波器上读出输出电压  $V_{p-p}$  值，填入下表 2-1，再入  $V_{p-p}$  最小处反向位移做实验，在实验过程中，注意左、右位移时，初、次级波形的相位关系。

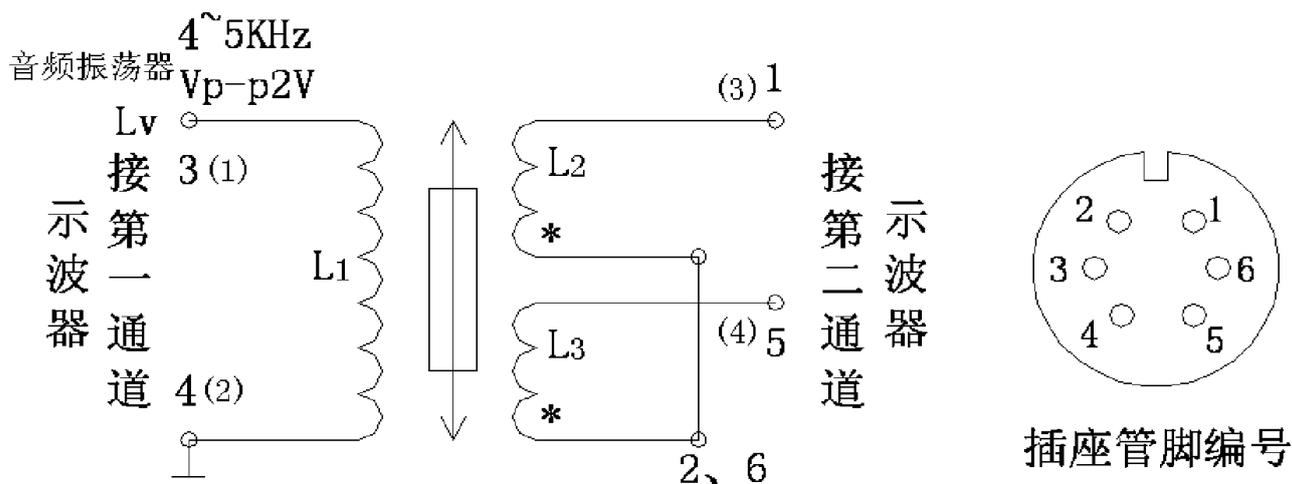


图 2-2 双踪示波器与差动变压器联结示意图

4、实验过程中注意差动变压器输出的最小值即为差动变压器的零点残余电压大小。根据

表 2-1 画出  $V_{op-p}-X$  曲线，作出量程为  $\pm 1mm$ 、 $\pm 3mm$  灵敏度和非线性误差。

表 2-1 差动变压器位移 X 值与输出电压数据表

V(mv)										
X(mm)										

5、按图 2-3 接线进行零点残余电压补偿实验。音频信号源从  $L_v$  插口输出，实验模板

$R_1$ 、 $C_1$ 、 $R_{w1}$ 、 $R_{w2}$  为电桥单元中调平衡网络。

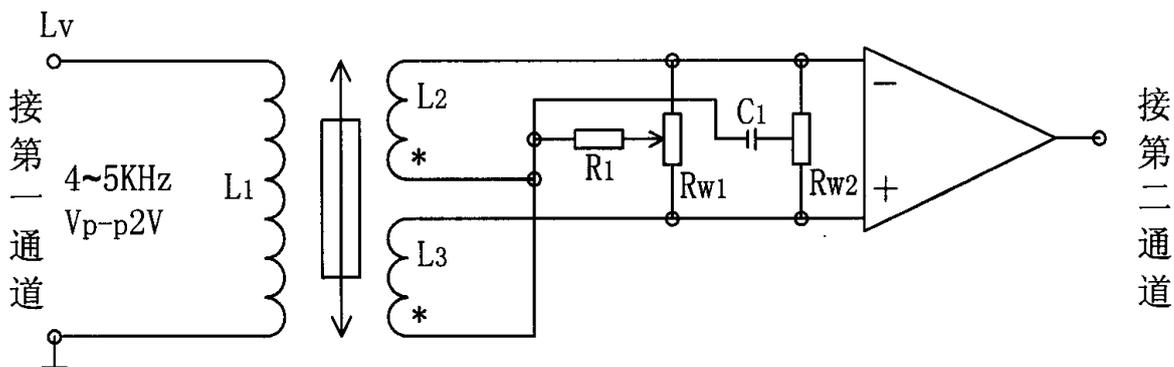


图 2-3 零点残余电压补偿电路

- 6、利用示波器调整音频振荡器输出为 2V 峰-峰值。
- 7、调整测微头，使差动放大器输出电压最小。
- 8、依次调整  $R_{W1}$ 、 $R_{W2}$ ，使输出电压降至最小。
- 9、将第二通道的灵敏度提高，观察零点残余电压的波形，注意与激励电压相比较。
- 10、从示波器上观察，差动变压器的零点残余电压值（峰-峰值）。（注：这时的零点残余电压经放大后的零点残余电压= $V_{\text{零点 p-p}} / K$ ， $K$  为放大倍数）
- 11、将差动变压器按图 2-4，安装在台面三源板的振动源单元上，进行振动测量实验。

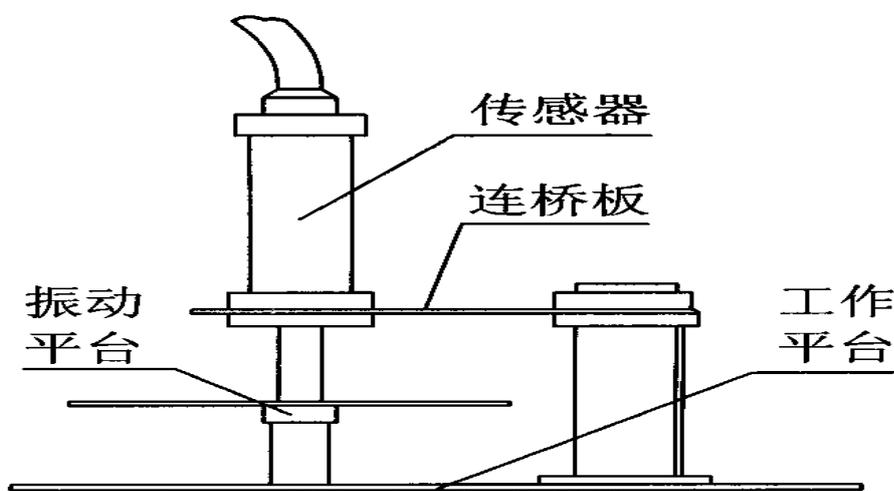


图 2-4 差动变压器振动测量安装图

- 12、按图 2-5 接线，并调整好有关部分。调整如下：（1）检查接线无误后，合上主控台电源开关，用示波器观察 LV 峰-峰值，调整音频振荡器幅度旋钮使  $V=2V$ ，（2）利用示波器观察相敏检波器输出，调整传感器连接高度，使示波器显示的波形幅度为最小。（3）仔细调节  $R_{W1}$  和  $R_{W2}$  使示波器（相敏检波器）显示的波形幅度更小，基本为零点。（4）用手按住振动平台（让传感器产生一个大位移）仔细调节移相器和相敏检波器的旋钮，使示波器显示的波形为一个接近全波整流波形。（5）松手，整流波形消失为一条接近零点线。（否则再调节  $R_{W1}$  和  $R_{W2}$ ）。将低频振荡器输出接入振动源的低频输入端，调节低频振荡器的幅度旋钮和频率旋钮，使振动平台振荡较为明显。用示波器观察放大器  $V_O$  相敏检波器的  $V_O$  及低通滤波器的  $V_O$  波形。

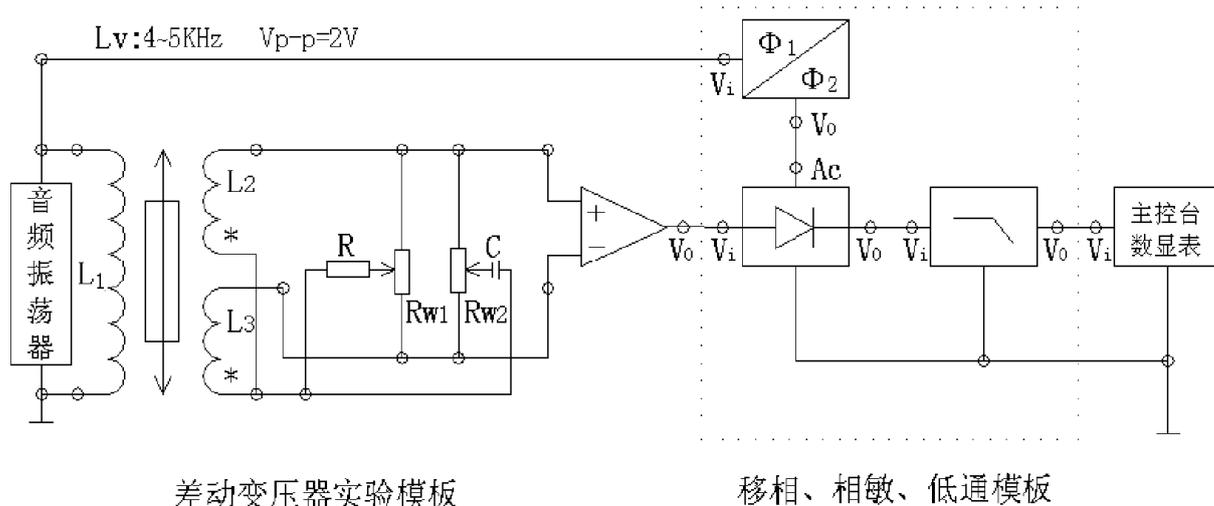


图 2-5 差动变压器测振幅系统原理图

- 13、保持低频振荡器的幅度不变，改变振荡频率用示波器观察低通滤波器的输出，读出峰-峰电压值，记下实验数据。填入下表 2-2
- 14、保持低频振荡器的频率不变，改变振荡幅度，用示波器观察低通滤波器的输出，读出峰-峰电压值，记下实验数据，得到振幅与电压峰值曲线(定性)。

表 2-2 振荡频率与输出电压

f(Hz)										
Vp-p (V)										

- 15、取走差动变压器实验模块，将低频振荡器信号接入到台面三源板振动源的激励源插孔。
- 16、将压电传感器输出两端插入到压电传感器实验模块两输入端，见图 2-6，与传感器外壳相连的接线端接地，另一端接 R<sub>1</sub>。将压电传感器实验模块电路输出端 V<sub>O1</sub>接 R<sub>6</sub>。将压电传感器实验模块电路输出端 V<sub>O2</sub>接入低通滤波器输入端 V<sub>i</sub>，低通滤波器输出 V<sub>O</sub>与示波器相连。

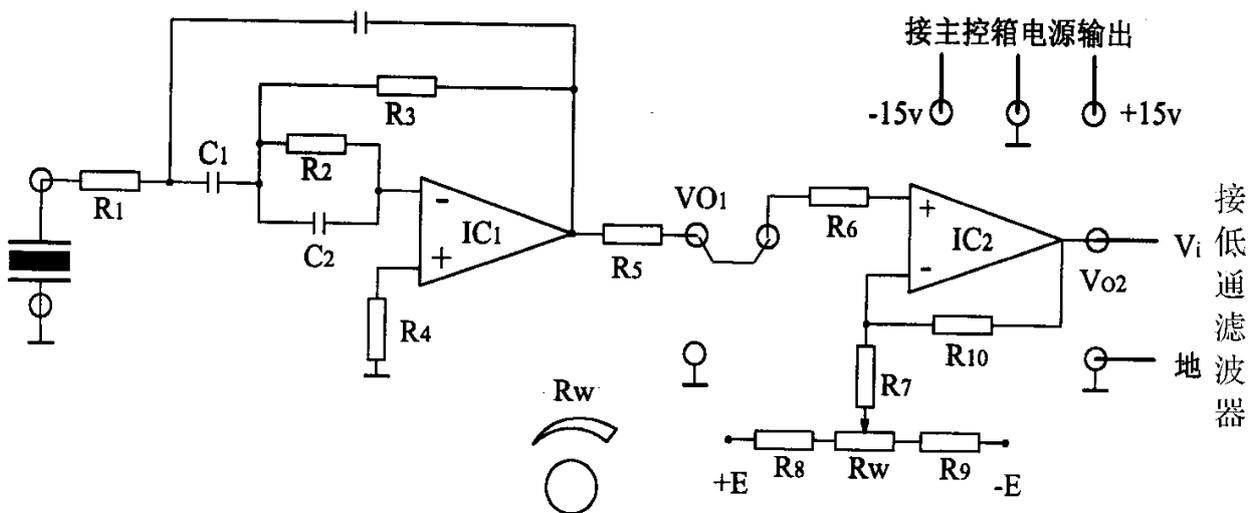


图 2-6 压电式传感器性能实验接线图

17、合上主控箱电源开关,调节低频振荡器的频率和幅度旋钮使振动台振动,观察示波器波形。

18、改变低频振荡器的频率,观察输出波形变化。

19、用示波器的两个通道同时观察低通滤波器输入端和输出端波形。

20、根据实验结果作出梁的振幅—频率特性曲线,指出自振频率的大致值

注意事项:选择低频激振电压幅值不要过大,以免梁在自振频率附近振幅过大。

### 五、思考题:

- 1、 如何用电涡流传感器进行振动测量实验?
- 2、 如何用磁电传感器进行振动测量实验?

## 实验六 热电偶冷端温度补偿实验

一、实验目的：了解热电偶冷端温度补偿的原理与方法。

二、基本原理：

热电偶冷端温度补偿的方法有：冰水法、恒温槽法和自动补偿法（图 3-1），电桥法常用，它是在热电偶和测温仪表之间接入一个直流电桥，称冷端温度补偿器，补偿器电桥在  $0^{\circ}\text{C}$  时达到平衡（亦有  $20^{\circ}\text{C}$  平衡）。当热电偶自由端温度升高时（ $>0^{\circ}\text{C}$ ）热电偶回路电势  $U_{ab}$  下降，由于补偿器中，PN 呈负温度系数，其正向压降随温度升高而下降，促使  $U_{ab}$  上升，其值正好补偿热电偶因自由端温度升高而降低的电势，达到补偿目的。

三、实验所需部件：

温度传感器实验模板、热电偶、冷端温度补偿器、直流源  $+5\text{V}$ 、 $\pm 15\text{V}$ 。

四、实验步骤：

- 1、温度控制仪表设定温度值  $50^{\circ}\text{C}$ 。
- 2、接入  $\pm 15\text{V}$  电源，合上主控箱电源开关，调  $R_{W3}$  使温度传感器实验模板输出  $V_{o2}$  为零，并使实验模板输出端  $U_{o2}$  与数显表  $V_1$  相接 此时数显表显示零位，电压显示用  $200\text{mV}$  档。
- 3、将 K 型热电偶置于加热器插孔中，输出端与实验模板输入端  $R_5$ 、 $R_6$  插孔相接，合上主控箱加热源开关，使温度达到  $50^{\circ}\text{C}$ ，放大器增益  $R_{W2}$  置最小读取数显表上数据  $V_1$ 。

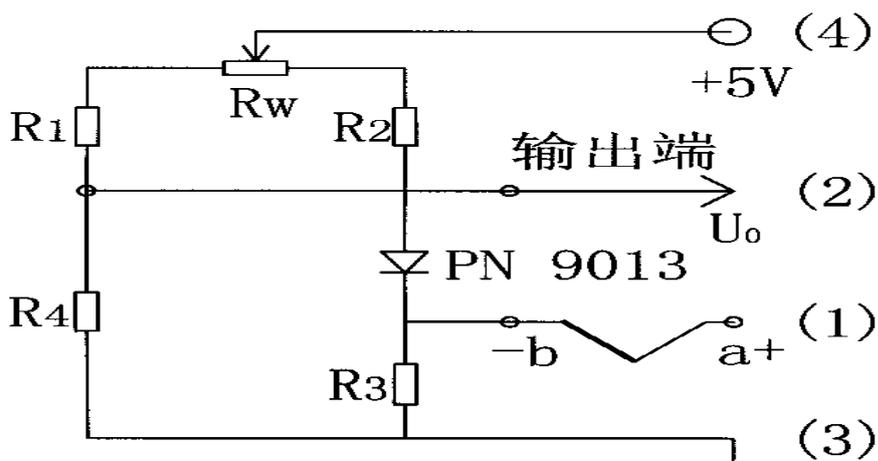


图 3-1 冷端温度补偿原理图

- 4、保持工作温度  $50^{\circ}\text{C}$  不变， $R_{W2}$ 、 $R_{W3}$  不变，冷端温度补偿器上的热电偶插入加热器

另一插孔中，在补偿器 4 端加补偿器电源 +5V，使冷端补偿器工作，读取数显表上数据  $V_2$ 。

- 5、比较  $V_1$ 、 $V_2$  二个数据，根据实验时的室温和二输出值，计算因自由端温度上升而产生的温度差。

#### 五、思考题：

此温度差值代表什么含义？

## 实验七 气敏传感器实验

一、实验目的：了解气敏传感器原理及应用。

二、基本原理：

本实验所采用的  $\text{SnO}_2$ （氧化锡）本导体气敏传感器属电阻型气敏元件；它是利用气体在半导体表面的氯化还原反应导致敏感元件阻值变化；若气浓度发生，其阻值又将变化，根据这一特性，可以从阻值的变化得知，吸附气体的种类和浓度。

三、实验所需部件：

气敏传感器、直流稳压电源、酒精、棉球、数显单元、差动变压器实验模板。

四、实验步骤：

- 1、将气敏传感器夹持在差动变压器实验模板上传感器固定支架上。
- 2、根据图 4-1 接线，将气敏传感器，色线（加热线）接+4V 电压，红色线 A 端接 10V 电压、黑线接地，色线（B 端）接入差动变压板 R1 的插孔内，RW1 下端接地。

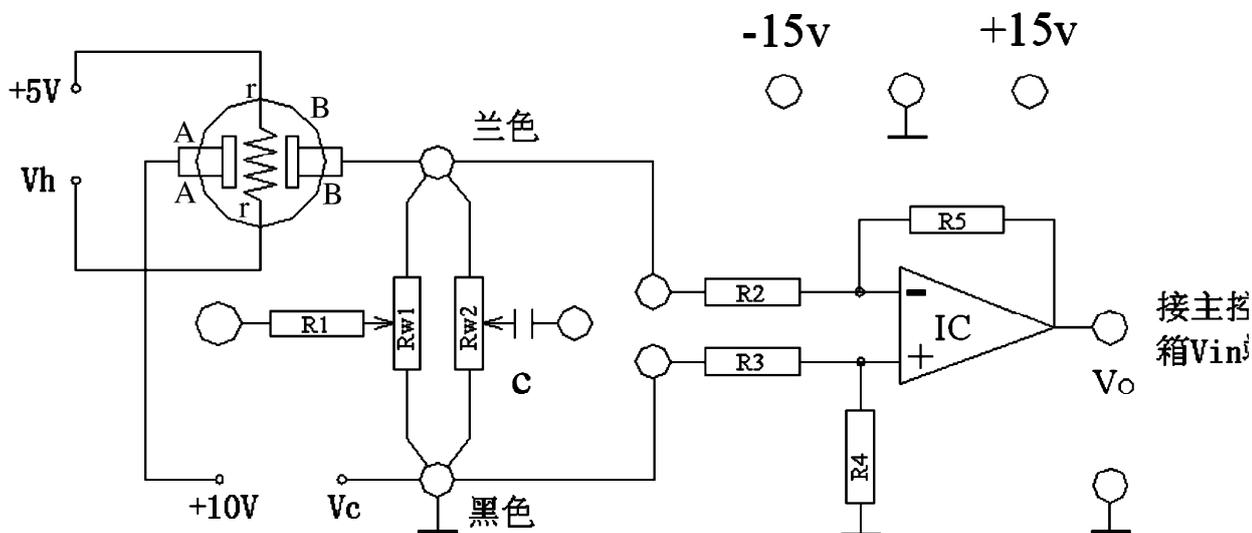


图 4-1 气敏元件结构和工作原理

- 3、将 R1 插孔与实验模板上的 R2 的输入孔相接。输出  $U_0$  与数显单元  $V_i$  相接，电压拨 2V 档。
- 4、接上  $\pm 15V$  电源使运放工作，预热 5 分钟。

- 5、用浸透酒精的小棉球，靠近传感器，并吹 2 次气，使酒精挥发进入传感器金属网内，观察电压表读数变化。

### 五、思考题：

酒精检测报警常用于交通警察检查司机是否是酒后开车，若要使用这样一种传感器还需考虑哪些环节与因素？

## 实验八 压力测量实验

一、实验目的：了解扩散硅压阻式压力传感器测量压力的原理和方法。

二、基本原理：扩散硅压阻式压力传感器在单晶硅的基片上扩散出 P 型或 N 型电阻条，接成电桥。在压力作用下根据半导体的压阻效应，基片产生应力，电阻条的电阻率产生很大变化，引起电阻的变化，我们把这一变化引入测量电路，则其输出电压的变化反映了所受到的压力变化。

三、实验所需部件：压力源（已在主控箱）、压力表、压阻式压力传感器、压力传感器实验模板、流量计、三通连接导管、数显单元、直流稳压源 $\pm 4V$ 、 $\pm 15V$ 。

四、实验步骤：

- 1、根据图 5-1 连接管路和电路，主控箱内的气源部分，压缩泵、贮气箱、流量计已接好。将标准压力表放置传感器支架上，三通连接管中硬管一端插入主控板上的气源快速插座中（注意管子拉出时请用双指按住气源插座边缘往内压，则可轻松拉出）。其余两根黑色导管分别与标准表和压力传感器接通。这里选用的差压传感器两只气咀中，一只为高压咀，另一只为低压咀。当高压咀接入正压力时，输出为正，反之为负，若输出负时可调换气咀。本实验模板连接见图 5-2，压力传感器有 4 端：1 端线接地线，2 端为  $U_{0+}$ ，3 端接  $+4V$  电源，4 端为  $U_{0-}$ 。1、2、3、4 端顺序排列见图 5-2。

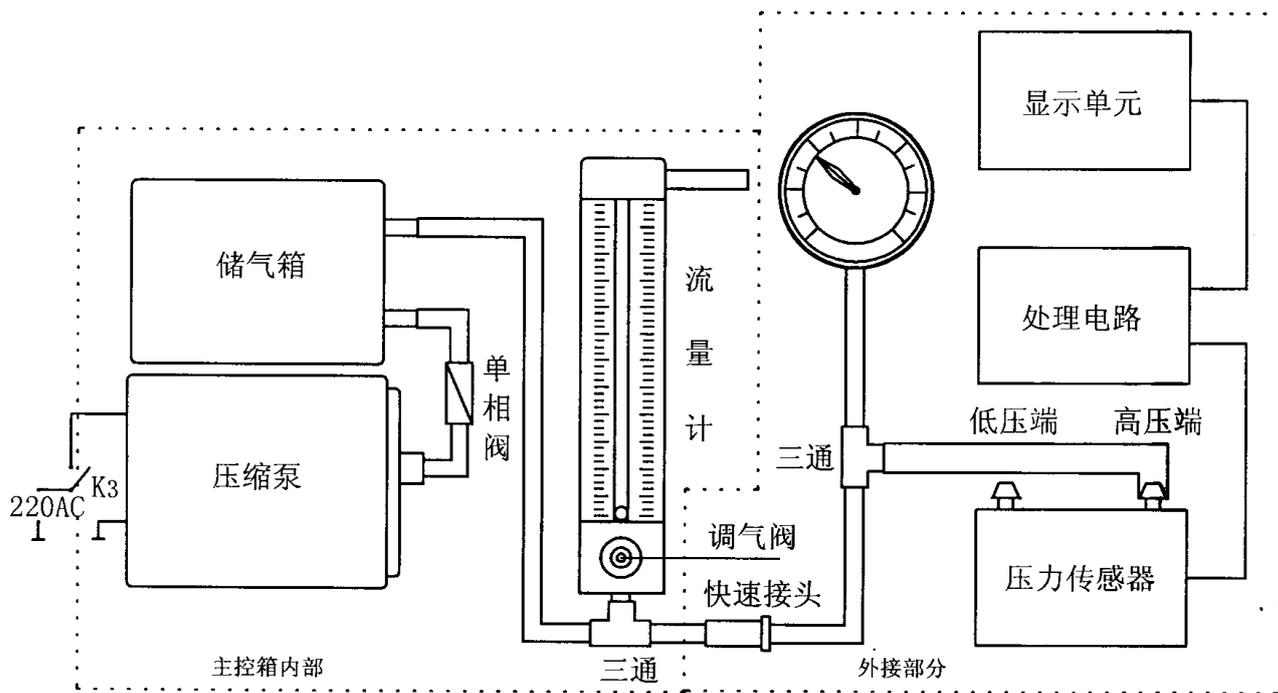


图 5-1 压阻式压力传感器测量系统

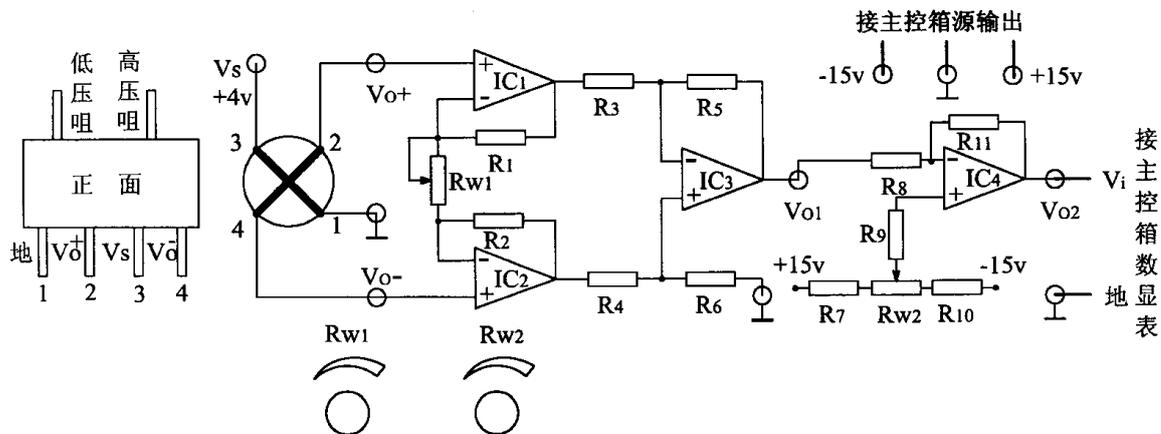


图 5-2 压力传感器压力实验接线图

- 2、实验模板上  $R_{w2}$  用于调节零位， $R_{w1}$  可调放大倍数，按图 5-2 接线，模板的放大器输出  $V_o$  引到主控箱数显表的  $V_i$  插座。将显示选择开关拨到 2V 档，反复调节  $R_{w2}$  ( $R_{w1}$  旋到满度的确 1 / 3) 使数显表显示为零。
- 3、先松开流量计下端进气口调气阀的旋钮，开通流量计。
- 4、合上主控箱上的气源开关  $K_3$ ，启动压缩泵，此时可看到流量计中的滚珠浮子在向上浮起悬于玻璃管中。

- 5、逐步关小流量计旋钮，使标准压力表指示某一刻度，观察数显表显示电压的正、负，若为负值则对调传感器气咀接法。
- 6、仔细地逐步由小到大调节流量计旋钮，使压力显示在 4—14KP 之间每上升 1KP 分别读取压力表读数，记下相应的数显表值列于表（5—1）

表（5—1）压力传感器输出电压与输入压力值

P(KP)										
Vo(p-p)										

- 7、计算本系统的灵敏度和非线性误差。

### 五、思考题：

如果本实验装置要成为一个压力计，则必须对电路进行标定，请问如何标定？

## 附录一 实验台使用说明

CSY2000 系列传感器与检测技术实验台，主要用于各大专院校开设的“自动检测技术”“传感器原理与技术”“工业自动化控制”“非电量电测技术”等课程的教学实验。CSY2000 系列传感器与检测技术实验台上是采用最新推出的模块化结构的产品。希望通过实验能让学生加强对书本知识的理解，并在实验进行的过程中，通过信号的拾取、转换、分析掌握作为一个科技工作者应具备的基本的操作技能与动手能力。

### 一. 实验台的组成

CSY2000 系列传感器与检测技术实验台由主控台、三源板（温度源、转动源、振动源）、传感器（基本型 18 个、增强型 23 个）、相应的实验模板、数据采集卡及处理软件、实验台桌等六部分组成。

- (1) 主控台部分，提供高稳定的  $\pm 15V$ 、 $+5V$ 、 $\pm 2V \pm 4V \pm 6V \pm 8V \pm 10V$ 、及  $+2V \sim +24V$  可调四种直流稳压电源；主控台面板上还装有电压、气压、频率、转速的 3 位半数显表 及计时表。音频信号源（音频振荡器） $1KHZ \sim 10KHZ$ （可调）；低频信号源（低频振荡器） $1HZ \sim 30HZ$ （可调）；气压源  $0 \sim 20kpa$  可调；高精度温度转速两用仪表；RS232 计算机串行接口；流量计；漏电保护器；其中电源、音频、低频均具有断路保护功能。 $\pm 2V \sim \pm 10V$  电源与其他电源、信号  $F_{in}$ 、 $V_{in}$  部分，不共地。如果与其他电源同时使用时应将其共地。因断路无输出重新开机即可回复正常。调节仪置内为温度调节、置外为转速调节。
- (2) 三源板：装有振动台  $1HZ \sim 30HZ$ （可调）；旋转源  $0 \sim 2400$  转/分（可调）；加热源常温  $\sim 150^{\circ}C$ （可调）。
- (3) 传感器：基本型传感器包括：电阻应变式传感器、扩散硅压力传感器、差动变压器、电容式传感器、霍尔式传感器、霍尔式转速传感器、磁电式传感器、压电式传感器、电涡流传感器、光纤传感器、光电转速传感器、集成温度传感器、K 型热电偶、E 型热电偶、Pt100 铂电阻、Cu 铜电阻、湿敏传感器、气敏传感器共十八个。
- (4) 实验模块部分：普通型有应变式、压力、差动变压器、电容式、霍尔式、压电式、电涡流、光纤位移、温度、移相/相敏检波/滤波十个模块。

### 二. 电路原理

传感器模块电路原理图见模块正面。

### 三. 使用方法

- (1) 开机前将转速调节旋钮调到中间位置，显示选择旋钮打到 2V 档，电压选择旋钮打到  $\pm 2V$  档，其余旋钮均打到中间位置，计时复位按钮在松开状态。
- (2) 将 220V 的电源线插头插入市电插座，接通开关，电源指示灯亮，计时器指示为 4 个零，数字表显示 0.000 或 -0.000，电压指示灯亮，表示实验台电源工作正常。
- (3) 每个实验前先阅读实验指导书，每个实验均应在断开电源的状态下按实验线路接好连接线，检查无误后方可接通主电源。
- (4) 打开调节仪电源开关，调节仪表头 PV 显示测量值，SV 显示设置值。

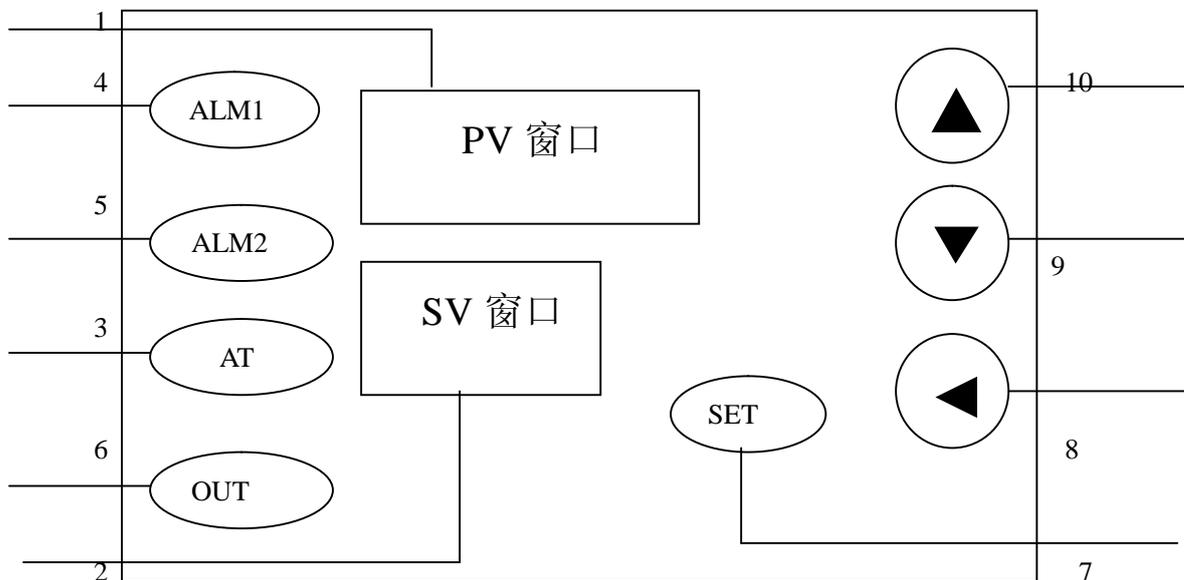
### 四. 注意事项

- (1) 在更换接线时，应断开电源，只有在确保接线无误后方可接通电源。
- (2) 严禁将电源、信号源输出插座和地短接，时间长易造成电路元件损坏。

- (3) 严禁将主控箱上 $\pm 15\text{V}$ 电源引入模块时接错。
- (4) 本实验台电源 $\pm 2\text{V} \sim \pm 10\text{V}$ 与电源 $\pm 15\text{V}$ 不共地,所以在同时使用时应将共地。
- (5) 差动变压器的原边不能接直流电压。
- (6) 三源板上的电机电源不能超过 $12\text{V}$ 。
- (7) 做振动实验时振动面板不要碰到传感器。
- (8) 本实验台应采用Pt100做温度标准值与主控箱面板相连(见色标)。
- (9) 打开调节仪电源开关后等其完成自启动后再做按键操作。
- (10) 实验完毕后,请将传感器以及电路模块放回原位。
- (11) 本实验台的各个部分是相配套使用的,请勿调换。
- (12) 在做实验前务必仔细阅读实验指导书。

## 附录二 调节仪使用说明

### 一) 仪表面板说明



- 1、PV —— 测量值显示窗
- 2、SV —— 给定值显示窗
- 3、AT —— 自整定工作指示灯
- 4、ALM1 —— 报警指示灯
- 5、ALM2 —— 手动指示灯
- 6、OUT —— 调节输出指示灯
- 7、SET —— 功能键
- 8、◀ —— 数据移位(兼 A/M 切换)键
- 9、▼ —— 数据减少键
- 10、▲ —— 数据增加键

### 二) 温度实验仪表操作

1. 将  $P_{t100}$  传感器接入主控箱调节仪单元的  $P_{t100}$  输入端口(传感器引线相同的二根接入  $P_{t100}$  输入上方二端口,传感器另外一根引线接入  $P_{t100}$  输入下方一个端口);合上主控箱的漏电保护开关为 ON,再合上调节仪单元中的温度开

关为开,合上控制方式开关为内。

2. 仪表参数设置: 按住 SET 键(功能键)并保持 2 秒钟,进入参数设置状态,PV 显示菜单(功能),SV 显示相应 PV 菜单(功能)的参数值。再按一下 SET 键..... 仪表依次显示菜单及各参数值。此时,分别按▲▼◀键可以进行参数修改。按◀键并保持不放,再按▼键可返回显示上一个参数。先按住◀键不放手接着按 SET 键可退出设置参数状态。如果没有按键操作,约 30 秒钟后仪表会自动退出设置参数状态。

3. 参数设置表:

菜单	参数含义	说明	设置值
HIAL	上限报警	必须设置(根据实验经常改动)	设置在实验温度值
LOAL	下限报警	必须设置(跟随 HIAL 改动)	设置在实验温度值
dHAL	正偏差报警	取消报警	9999
dLAL	负偏差报警	取消报警	9999
dF	回差	可设 0~0.3	设 0
ctrl	控制方式	允许从面板启动(AT)自整定功能	设置 1
M50	保持参数	可不人为设定,由 AT 设置	设 107
P	速率参数	可不人为设定,由 AT 设置	设 364
t	滞后时间	可不人为设定,由 AT 设置	设 113
Ct1	输出周期	0.5~2	设 10
Sn	输入规格	K 设 0 P <sub>t100</sub> 设 21	设 21
dIP	小数点位置	小数点位数(分辨率)	设 1(分辨率 0.1°C)
dIL	输入下限显示值	无效	不设(默认值)
dIH	输入上限显示值	无效	不设(默认值)
CJC	热电偶冷端补	P <sub>t100</sub> 无效	不设(默认值)

	偿		
SC	主输入平移修正	可修正仪表的显示误差	设 0
OPI	输出方式	时间比例输出方式必须设 2	设 2
OPL	输出下限	无效	设 0
OPH	输出上限	无效	设 100
CF	系统功能选择	调节输出正负作用	设 2
bAud	兼报警定义	上限报警继电器输出	设 17
Addr	地址	无效	设 0
dL	输入滤波	0~20	设 1
run	运作状态	自动; 手动	设 2
LOC	参数修改级别	808, 不准修改	(默认值 808)
EPI EP8	现场参数定义	不改动	不设(默认值)

4. 根据以上参数设定表设定经常改动的参数。如假设仪表已根据参数设定表设定好。现如果要做温度实验温度值为 50℃。则只要进行以下参数改动:

- 1) 按住 SET 键约 2 秒钟,进入参数设置状态。PV 显示 HIAL,按住▼或▲键使 SV 显示为 50.0。
- 2) 按一下 SET 键,PV 显示 LOAL, 按住▼或▲键使 SV 显示为 50.0。
- 3) 按一下 SET 键,....重复按 SET 到 PV 显示 ctrl 时,按住▼或▲键使 SV 显示为 1。
- 4) 先按住◀键不放接着按 SET 键退出设置参数状态,或不按住任何键等待约 30 秒钟后自动退出设置参数状态,返回到仪表正常工作状态。此时按住▼或▲键使 SV 显示为需要做实验的温度值(温度实验设定值)。
- 5) 按住◀键并保持约 2 秒钟,此时仪表 AT 指示灯亮,启动自整定工作状态,自动设置 M50、P、t 参数进行自动调节温度。

### 三) 转速控制实验仪表操作

1. 将主控箱的+5V 电源,接到转动源的光电转速传感器的+5V 输入;
2. 将光电转速传感器的信号输出,接到主控箱上的控制输入;

3. 将主控箱上的控制输出与转动电源相连接;
4. 将调节仪的控制方式打在外,合上主控箱的电源开关,打开调节仪的电源开关;
5. 参数设定

按住 SET 键(功能键) 并保持 2 秒钟,进入参数设置状态,PV 显示菜单(功能),SV 显示相应 PV 菜单(功能)的参数值。再按一下 SET 键.....仪表依次显示菜单及各参数值。此时,分别按▲▼◀键可以进行参数修改。按◀键并保持不放,再按▼键可返回显示上一个参数。先按住◀键不放接着按 SET 键可退出设置参数状态。如果没有按键操作,约 30 秒钟后仪表会自动退出设置参数状态。

参数设定表

菜单	参数含义	设置值
HIAL	上限报警	9999
LOAL	下限报警	-1999
dHAL	正偏差报警	9999
dLAL	负偏差报警	9999
dF	回差	设 0
ctrl	控制方式	设 1
M50	保持参数	设 5170
P	速率参数	设 0
t	滞后时间	设 30
Ct1	输出周期	设 11
Sn	输入规格	设 33
dIP	小数点位置	设 0
dIL	输入下限显示值	设 250
dIH	输入上限显示值	设 2500
CJC	热电偶冷端补偿	不设(默认值)
SC	主输入平移修正	设 0
OPI	输出方式	设 1

OPL	输出下限	设 0
OPH	输出上限	设 100
CF	系统功能选择	设 0
bAud	兼报警定义	设 17
Addr	地址	不设(默认值)
dL	输入滤波	设 1
run	运作状态	设 2
LOC	参数修改级别	(默认值 808)
EPI EP8	现场参数定义	不设(默认值)

6.假如仪表已根据参数设定好。现如果要使转速控制实验稳定在 1500r/min。则只需对设定值进行修改即可。即:按▼或▲键,将SV窗口的值改为1500。经过一段时间的仪表调整,转速就稳定在设定值。