

化 工 仪 表 及 自 动 化 实 验 讲 义

西北师范大学化学化工学院
二零一六

目 录

传感器部分

实验一	金属箔式应变片性能实验.....	4
实验二	扩散硅压阻式压力传感器的压力测量实验.....	8
实验三	差动变压器的性能实验.....	10
实验四	电容式传感器的位移特性实验.....	13
实验五	霍尔式传感器的特性实验.....	15
实验六	电涡流传感器的特性实验#	19
实验七	光纤传感器的位移特性实验*.....	22
实验八	热电阻测温特性实验.....	24
实验九	热电偶测温特性实验.....	25
实验十	热电偶冷端温度补偿实验*.....	26
观察实验	气敏传感器实验、湿敏传感器实验	28

过程控制部分

实验一	位式控制实验*.....	33
实验二	单容液位的仪表控制实验.....	35
实验三	双容液位的仪表控制实验.....	37
实验四	串级仪表控制实验.....	39
实验五	温度 PID 连续控制实验*.....	43
实验六	PLC 控制的单容液位 PID 控制实验.....	45
实验七	PLC 控制的双容液位 PID 控制实验.....	49
实验八	单容液位的特性实验*.....	53

Csy2000 系列传感器与检测技术实验台说明

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”等课程的教学实验。Csy2000 系列传感器与检测技术实验台是采用最新推出的模块化结构的产品。实验台上采用的大部分传感器虽然是教学传感器（透明结构便于教学），但其结构与线路是工业应用的基础。希望通过实验帮助广大学生加强对书本知识的理解，并在实验的进行过程中，通过信号的拾取、转换、分析，掌握作为一个科技工作者应具有的基本操作技能与动手能力。

一、实验台组成

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、控台部分：提供高稳定的 $\pm 15\text{v}$ 、 $+5\text{v}$ 、 $\pm 2\text{v}$ 、 $\pm 4\text{v}$ 、 $\pm 6\text{v}$ 、 $\pm 8\text{v}$ 、 $\pm 10\text{v}$ 及 $+2\text{v} \sim +24\text{v}$ 可调四种直流稳压电源，面板上装有电压、气压、频率、转速的 3 位半数显表以及计时表。音频信号源（音频音频振动器） $1\text{KHz} \sim 10\text{KHz}$ (可调)；低频信号源（低频振荡器） $1\text{Hz} \sim 30\text{Hz}$ （可调）；气压源 $0 \sim 20\text{kpa}$ 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。 $\pm 2 \sim \pm 10\text{V}$ 电源与其它电源，信号 Fin 、 Vin 部分不共地。如果与其它电源同时使用，应将其共地。因断路无输出重新开机即回复正常。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 $1\text{Hz} \sim 30\text{Hz}$ （可调）；旋转源 $0 \sim 2400$ 转/分（可调）；加热源常温 $\sim 150^\circ\text{C}$ (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、磁电转速传感器、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、Cu50 铜电阻、湿敏传感器、气敏传感器共十八个。

4、试验模块部分：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

各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±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、每个实验前应先阅读实验指导书，每个实验均应在断开电源的状态下按实验线路接好连线（实验中用到可调直流电源时，应在该电源调到实验值时再接到实验线路中），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 显示设定值。
- 5、打开气源开关，气源口有响声，说明气泵工作正常。

四、仪器维护及故障排除

1、维护

- （1）防止硬物撞击划伤实验台面及防止试验模块跌落。
- （2）做完实验后要将模块、传感器、配件及连线全部整理好。
- （3）搭接线路时，应断开电源，以防误操作损坏器件。
- （4）避免在过潮或温度过高的环境中使用仪器。

2、故障排除

- (1) 开机无指示、无数显、应查电源是否接通，保险丝是否烧断。
- (2) 转动源不转，应查转速调节电源是否有输出，如有输出更换转动电机，如无输出更换电源板。
- (3) 振动源如无振动，先查低频振荡器是否有输出，如无输出应更换低频振荡器信号板，如有输出更换振荡线圈。

五、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器件损坏。
- 3、严禁将主控箱上 $\pm 15\text{V}$ 电源引入模块时接错。
- 4、严禁用酒精或其他具有腐蚀性物质擦洗面板，以防示意图擦掉。
- 5、本实验台的各个部分都是相配套使用的，请勿调换。
- 6、实验完毕后，请将传感器以及电路模板放回原位。
- 7、本实验台电源 $\pm 2 \sim \pm 10\text{V}$ 与电源 $\pm 15\text{V}$ 不共地，所以在同时使用时应将共地。
- 8、如果本仪器长期未通电使用，在使用前应先预热，建议做实验前按一次漏电保护按钮。
- 9、实验台为 2000 基型时应采用大型热电偶做温度标准值与主控箱面板 $E_1 (+, -)$ 相连，
实验台为 2000D 形时应采用 Pt100 做温度标准值与主控箱面板相连（见色标）。
- 10、在做实验前务必详细阅读实验指南。

实验一 金属箔式应变片性能实验

内容一 金属箔式应变片——单臂电桥性能实验

一、实验目的：

1. 理解金属箔式应变片的应变效应。
2. 熟悉单臂电桥工作原理和性能。

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，然后通过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 $U_{01} = EK \varepsilon / 4$ 。

三、需用器件与单元：应变式传感器实验模板、应变式传感器—电子秤、砝码、数显表、 $\pm 15V$ 电源、 $\pm 4V$ 电源、万用表（自备）。

四、实验步骤：

- 1、根据图 1—1 应变式传感器（电子秤）已装于应变传感器模板上。传感器中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，可用万用表进行测量判别， $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 350 \Omega$ ，加热丝阻值为 50Ω 左右

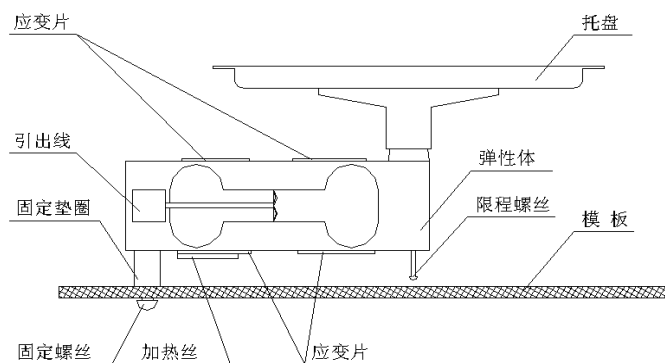


图 1—1 应变式传感器安装示意图

- 2、接入模板电源 $\pm 15\text{V}$ （从主控台引入），检查无误后，合上主控台电源开关，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，输出端与主控台面板上数显表输入端 V_i 相连，调节实验模板上调零电位器 R_{W4} ，使数显表显示为零（数显表的切换开关打到 2V 档）。关闭主控箱电源（注意：当 R_{W3} 、 R_{W4} 的位置一旦确定，就不能改变，一直到做完实验三为止）。
- 3、将应变式传感器的其中一个电阻应变片 R_1 （即模板左上方的 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 模块内已接好），接好电桥调零电位器 R_{W1} ，接上桥路电源 $\pm 4\text{V}$ （从主控台引入）如图 1-2 所示。检查接线无误后，合上主控台电源开关。调节 R_{W1} ，使数显表显示为零。

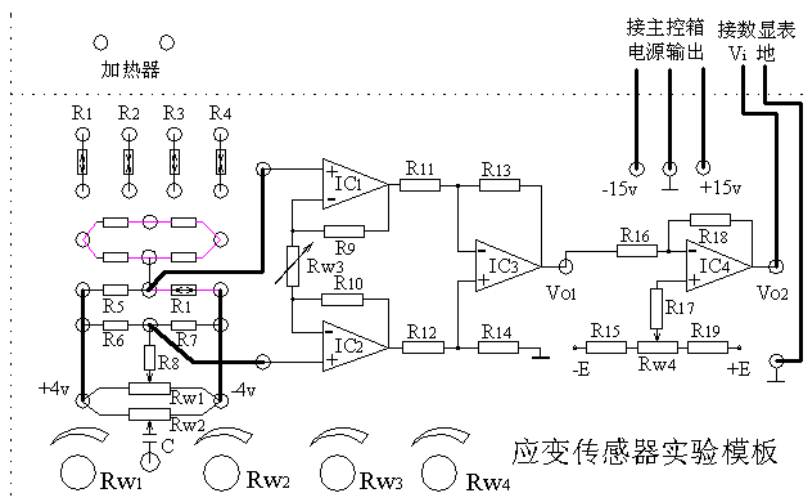


图 1-2 应变式传感器单臂电桥实验接线图

- 4、在电子称上放置一只砝码，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 200g （或 500g ）砝码加完。记下实验结果填入表 1-1，关闭电源。

重量(g)										
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

电压(mv)										
--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

5、根据表 1-1 计算系统灵敏度 $S = \Delta U / \Delta W$ (ΔU 输出电压变化量, ΔW 重量变化量)

和非线性误差 $\delta_{fl} = \Delta m / y_{F.S} \times 100\%$ 式中 Δm 为输出值 (多次测量时为平均值) 与

拟合直线的最大偏差: $y_F \cdot S$ 满量程输出平均值, 此处为 200g (或 500g)。

五、考核题

- 进行单臂电桥实验时, 作为桥臂电阻应变片应选用 ()。
 - 正 (受拉) 应变片
 - 负 (受压) 应变片
 - 正、负应变片均可以
 - 都要用到
- 下列产生测量误差的原因不应包括 ()。
 - 测量工具不可靠
 - 测量者的主观差异
 - 周围环境的影响
 - 物理定律测不准原理
- 以下哪项不是衡量仪表优劣的指标? ()
 - 精度
 - 灵敏度
 - 变差
 - 量程
- 常见的应变片材料是 ()。
 - 磁性材料
 - 高分子材料
 - 压电材料
 - 金属, 半导体
- 实验时, 正确的操作步骤应该是 ()。
 - 先接线再开电源
 - 先开电源再接线
 - 接线时应先连接成桥路
 - 接线时应先连接模板和主控台
- 应变片产生拉伸应变时, 其电阻 ()。
 - 增大
 - 减小
 - 不变
 - 无法判断

内容二 金属箔式应变片——半桥性能实验

一、实验目的:

- 熟悉半桥工作原理和性能。
- 掌握半桥电路接线方法。
- 比较半桥与单臂电桥的不同性能, 了解其特点。

二、基本原理：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。当两片应变片阻值和应变变量相同时，其桥路输出电压 $U_{O2}=EK \varepsilon / 2$ 。

三、需用器件与单元： 同内容一。

四、实验步骤：

- 1、传感器安装同内容一。做内容一的步骤 2，实验模板差动放大器调零。
- 2、根据图 1—3 接线。 R_1 、 R_2 为实验模板左上方的应变片，注意 R_2 应和 R_1 受力状态相反，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。接入桥路电源±4V，调节电桥调零电位器 R_{w1} 进行桥路调零。

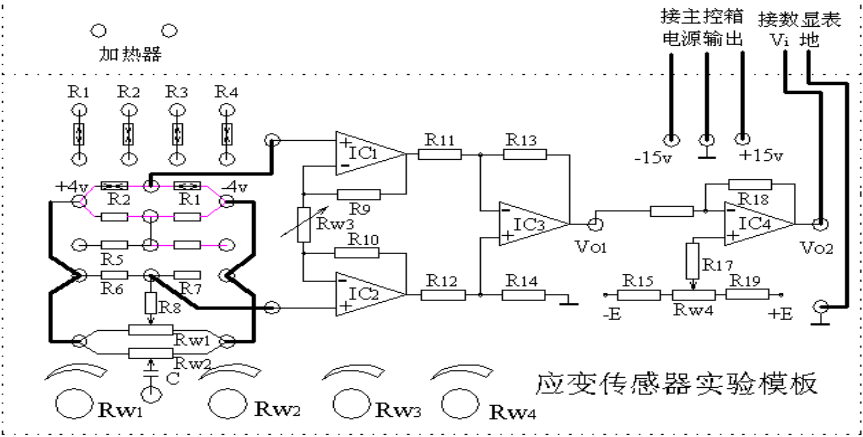


图 1—3 应变式传感器半桥实验接线图

- 3、实验步骤 3、4 同内容一中 4、5 的步骤，将实验数据记入表 1—2，计算灵敏度 $S_2 = \Delta U / \Delta W$ ，非线性误差 δ_{Ω} 。若实验时无数值显示说明 R_2 与 R_1 为相同受力状态应变片，应更换另一个应变片。

表 1—2 半桥测量时，输出电压与加负载重量值

重量										
电压										

五、考核题

1. 半桥测量时，两片不同受力状态的电阻应变片接入电桥时，应放在（ ）。

- (A) 对边 (B) 邻边 (C) 随机 (D) 以上皆错
2. 对自动化仪表, 目前比较常用的是 ()。
- (A) 气动仪表 (B) 电动仪表 (C) 液动仪表 (D) 以上都不是
3. 应变片式压力传感器的构成原理是 ()。
- (A) 电阻应变 (B) 霍尔效应 (C) 电势应变 (D) 压阻效应
4. 桥式电阻按其作用属于 () 的一部分。
- (A) 检测仪表 (B) 显示仪表 (C) 控制仪表 (D) 执行器
5. 电动仪表的优点是 ()。
- (A) 防火 (B) 防爆 (C) 使用能源方便 (D) 结构简单耐用

内容三 金属箔式应变片——全桥性能实验*

一、实验目的:

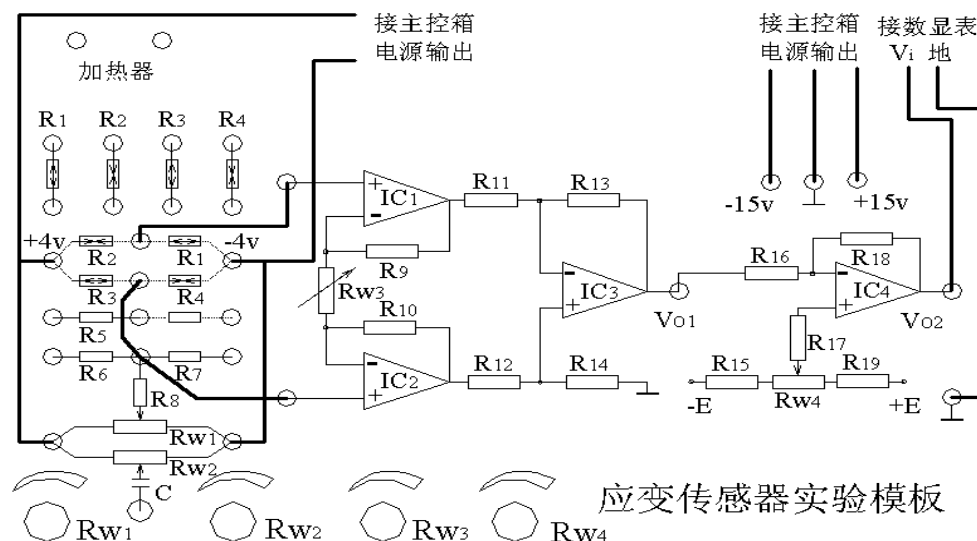
1. 熟悉全桥工作原理和性能。
2. 掌握全桥电路接线方法。
3. 了解全桥测量电路的优点。

二、基本原理: 全桥测量电路中, 将受力性质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 $U_{03}=KE \varepsilon$ 。其输出灵敏度比半桥又提高了一倍, 非线性误差和温度误差均得到改善。

三、需用器件和单元: 同内容一

四、实验步骤:

- 1、传感器安装同内容一。
- 2、根据图 1—4 接线, 实验方法与内容二相同。将实验结果填入表 1—3; 进行灵敏度和非线性误差计算。



1-4 全桥性能实验接线图

表 1-3 全桥输出电压与加负载重量值

重量										
电压										

五、考核题

- 比较单臂、半桥、全桥输出的灵敏度，灵敏度最大的是（ ）。
 (A) 单臂电桥 (B) 半桥 (C) 全桥 (D) 一样大
- 全桥实验中，受力性质相同的应变片应该接入（ ）。
 (A) 邻边 (B) 对边 (C) 随便接入 (D) 视情况而定
- 实验模板上的 $Rw1$ 是（ ）。
 (A) 应变电阻 (B) 运放电路调零电阻
 (C) 桥路调零电阻 (D) 调节增益电阻
- 进行实验时，模板上电路的输出电压 V_{02} 应与主控台的（ ）相连。
 (A) V_i (B) F_{in} (C) $+15V$ (D) $+5V$
- 本实验的应变片采用的材料是（ ）。
 (A) 铂丝 (B) 康铜丝 (C) 不锈钢 (D) 硅片

实验二 压阻式压力传感器的压力测量实验（2000 型）

一、实验目的：

1. 熟悉扩散硅压阻式压力传感器测量压力的原理和方法。
2. 理解压力计的测量原理。

二、基本原理：扩散硅压阻式压力传感器是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、需用器件与单元：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 2—1 连接管路和电路，主控箱内的气源部分，压缩机、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 2—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 2—2。

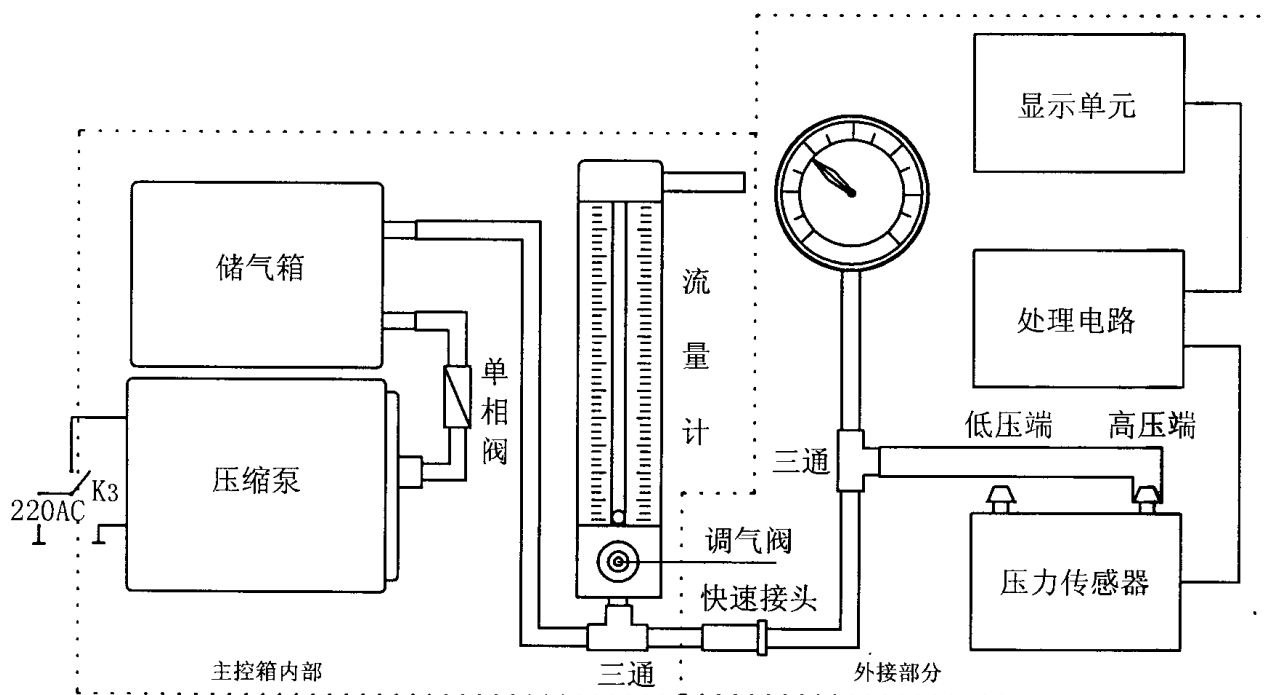


图 2-1 压阻式压力传感器测量系统

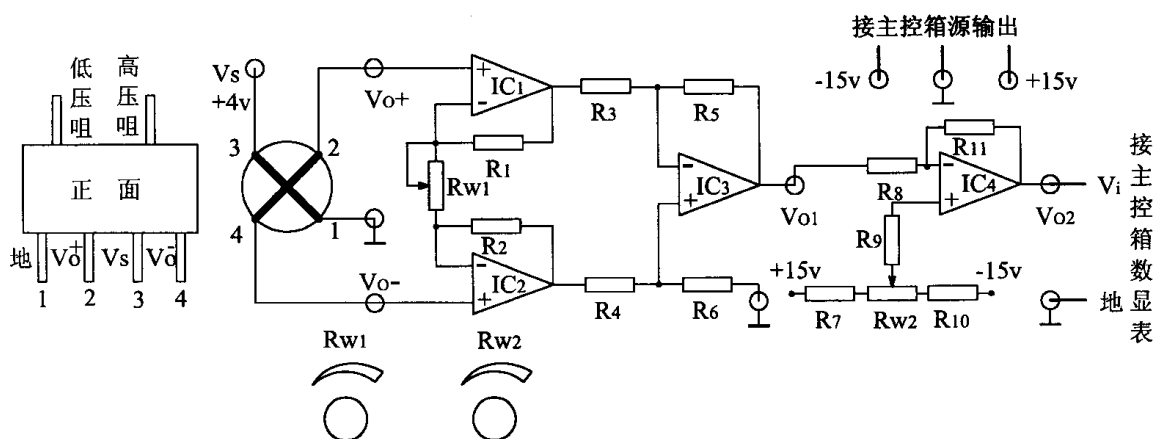


图 2-2 压力传感器压力实验接线图

- 2、实验模板上 R_{w2} 用于调节零位， R_{w1} 可调放大倍数，按图 2-2 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（2—1）

表（2—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。

8、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，方法如下：输入 4KPa 气

压，调节 Rw2（低限调节），使数显表显示 0.400V，当输入 12KPa 气压，调节 Rw1

（高限调节）使数显表显示 1.200V 这个过程反复调节直到足够的精度即可。

五、考核题

1. 压阻式压力传感器是利用（ ）的压阻效应构成。
(A) 应变片 (B) 单晶硅 (C) 霍尔片 (D) 电容器
2. 实验模板上的 Rw1 是（ ）。
(A) 压阻 (B) 运放电路调零电阻
(C) 桥路调零电阻 (D) 调节增益电阻
3. 本实验在构成压力计的过程中，对应低压时应调节（ ）。
(A) Rw1 (B) Rw2
(C) 主控台电压选择开关 (D) 主控台电压选择旋钮
4. 以下哪个选项不是扩散硅压阻式传感器的特点？（ ）
(A) 精度高 (B) 响应迅速 (C) 响应频率高 (D) 结构复杂
5. 压阻式传感器可以用来测量（ ）。
(A) 压力 (B) 高度 (C) 加速度 (D) 以上均可
6. 本实验压力来自（ ）。
(A) 砝码压力 (B) 气体压力 (C) 大气压力 (D) 没有要求

实验三 差动变压器的性能实验

一、实验目的：

1. 了解差动变压器的工作原理和特性。
2. 熟悉测量仪器、仪表的使用。

二、**基本原理：**差动变压器由一只初级线圈和二只次级线圈及一个铁芯组成，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（同名端连接），就引出差动输出。其输出电势反映出被测体的移动量。

三、**需用器件与单元：**差动变压器实验模板、测微头、双踪示波器、差动变压器、音频信号源、直流电源（音频振荡器）、万用表。

四、 实验步骤：

- 1、根据图 3—1，将差动变压器装在差动变压器实验模板上。

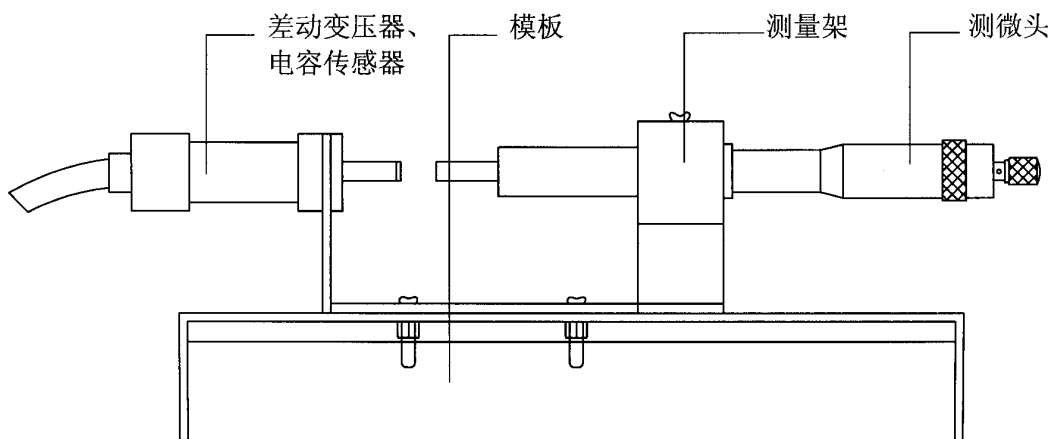


图 3—1 差动变压器、电容传感器安装示意图

- 2、在模块上按图 3—2 接线，音频振荡器信号必须从主控箱中的 Lv 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 $0.2ms/div$ ；Y 轴 CH_1 为 $1V/div$ ， CH_2 为 $20mv/div$ ）。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、次级线圈及次级同名端的方法如下：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 3—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 3—1，再从 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。

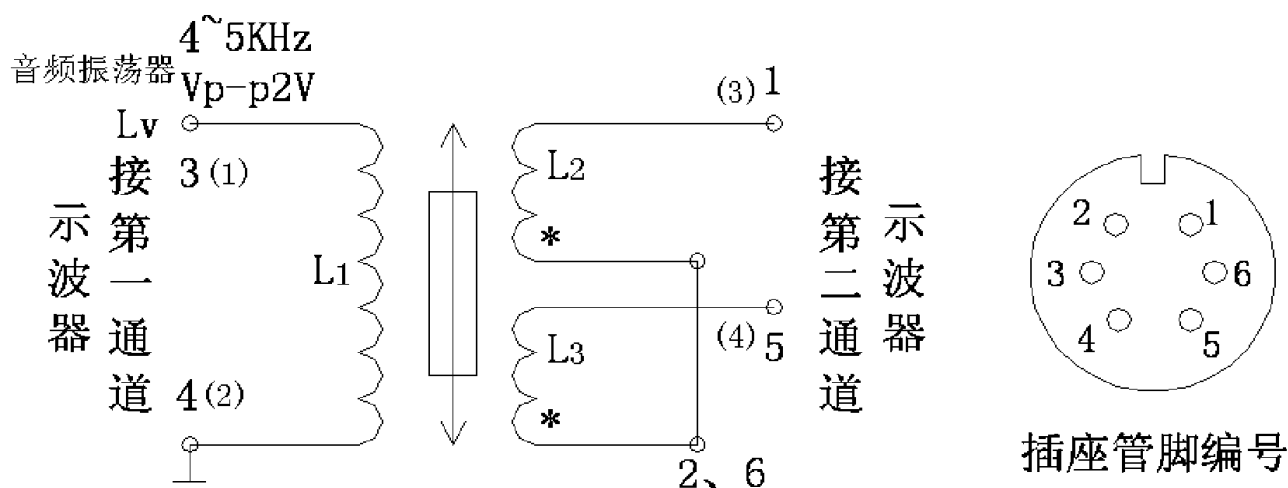


图 3—2 双踪示波器与差动变压器连结示意图

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 3—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（3—1）差动变压器位移 X 值与输出电压数据表

V(mv)										
X(mm)										

五、考核题

1. 属于差动变压器的组成部分的是（ ）。
- (A) 初级线圈 (B) 次级线圈 (C) 铁芯 (D) 以上都是
2. 差动变压器的两个次级线圈是（ ）。
- (A) 并联 (B) 同向串联 (C) 反向串联 (D) 组成桥路
3. 差动变压器进气压力传感器的检测与转换过程是（ ）
- (A) 压力-位移-电信号 (B) 位移-压力- 电信号
- (C) 电信号-压力-电信号 (D) 电信号-压力-位移

实验四 电容式传感器的位移特性实验

一、实验目的：

1. 了解电容式传感器的结构及其特点。
2. 理解电容式传感器的测量原理。

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 ϵ 、 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（ ϵ 变）、测微小位移（变 d ）和测量液位（变 A ）等多种电容传感器。

三、**需用器件与单元：**电容传感器、电容传感器实验模板、测微头、相敏检波、滤波模板、数显单元、直流稳压源。

四、 实验步骤：

- 1、 按图 3—1 安装示意图将电容传感器装于电容传感器实验模板上，判别 C_{x1} 和 C_{x2} 时，注意动极板接地，接法正确则动极板左右移动时，有正、负输出。不然得调换接头。一般接线：二个静片分别是 1 号和 2 号引线，动极板为 3 号引线。
- 2、 将电容传感器电容 C_1 和 C_2 的静片接线分别插入电容传感器实验模板 C_{x1} 、 C_{x2} 插孔上，动极板连接地插孔（见图 4—1）。

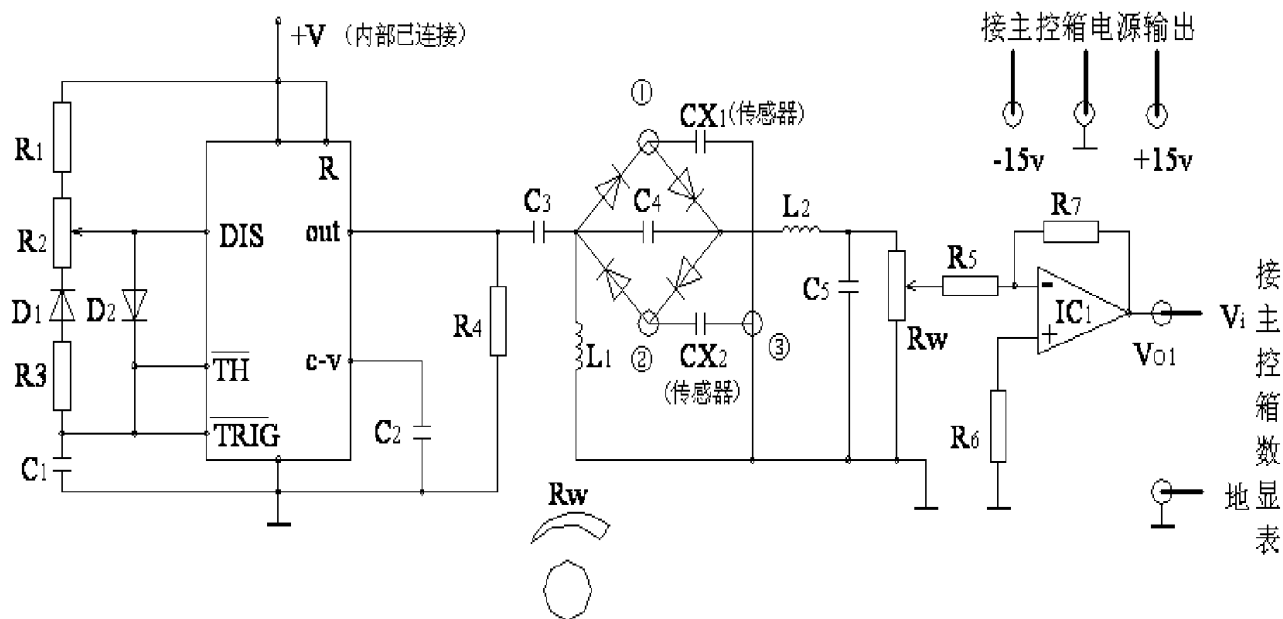


图 4-1 电容传感器位移实验接线图

- 3、 将电容传感器实验模板的输出端 V_{o1} 与数显表单元 V_i 相接（插入主控箱 V_i 孔）， R_w 调节到中间位置。
- 4、 接入 $\pm 15V$ 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，填入表 4-1。

表 4-1 电容传感器位移与输出电压值

X(mm)										
V(mv)										

- 5、 根据表 4-1 数据计算电容传感器的系统灵敏度 S 和非线性误差 δ_f 。

五、考核题

1. 与电容器电容量的大小有关的参数是（ ）。
 - (A) 两极板正对面积
 - (B) 两极板间距离
 - (C) 介电系数
 - (D) 以上都有关系
2. 电容式压力传感器的测量原理是（ ）。
 - (A) 改变正对面积
 - (B) 改变两极板间距离
 - (C) 改变介电常数
 - (D) 改变中间介质
3. 电容式液位传感器的测量原理是（ ）。

- (A) 改变正对面积 (B) 改变两极板间距离
(C) 改变介电常数 (D) 其它
4. 本实验测量位移时, 是通过改变电容传感器的 () 。
- (A) 正对面积 (B) 两极板间距离
(C) 介电常数 (D) 中间介质
5. 下面那类电容传感器输出是非线性变化的? ()
- (A) 变面积型 (B) 变间隙型
(C) 变介电常数型 (D) 变中间介质型
6. 电容式压力传感器具有的特点是 () 。
- (A) 尺寸小 (B) 允许压差大 (C) 测量精度高 (D) 以上均是

实验五 霍尔式传感器的特性实验

内容一 直流激励时霍尔式传感器位移特性实验

一、 实验目的：

1. 了解霍尔式传感器原理与应用。
2. 理解测量位移的原理。

二、 **基本原理：**根据霍尔效应，霍尔电势 $U_H = R_H IB$ ，当霍尔元件处在梯度磁场中运动时，它就可以进行位移测量。

三、 **需用器件与单元：**霍尔传感器实验模板、霍尔传感器、直流源、测微头、数显单元。

四、 实验步骤：

- 1、 将霍尔传感器按图 5-1 安装。霍尔传感器与实验模板的连接按图 5-2 进行。1、3 为电源 $\pm 4V$ ，2、4 为输出。
- 2、 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。

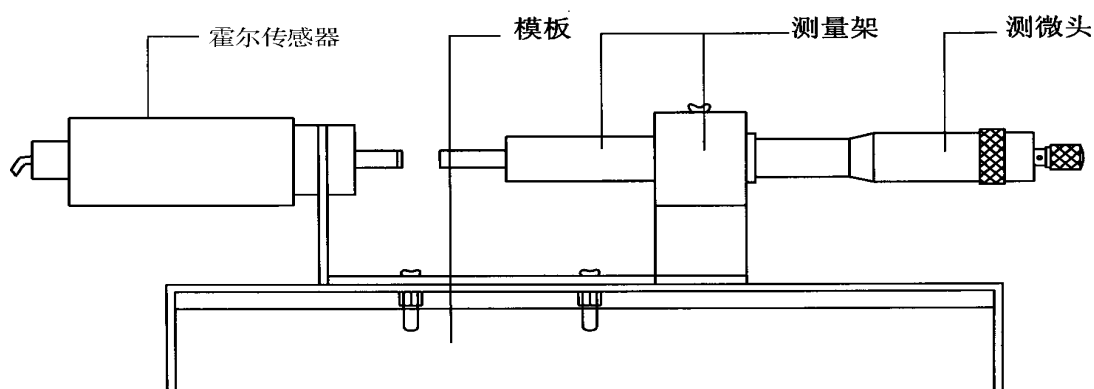


图 5-1 霍尔传感器安装示意图

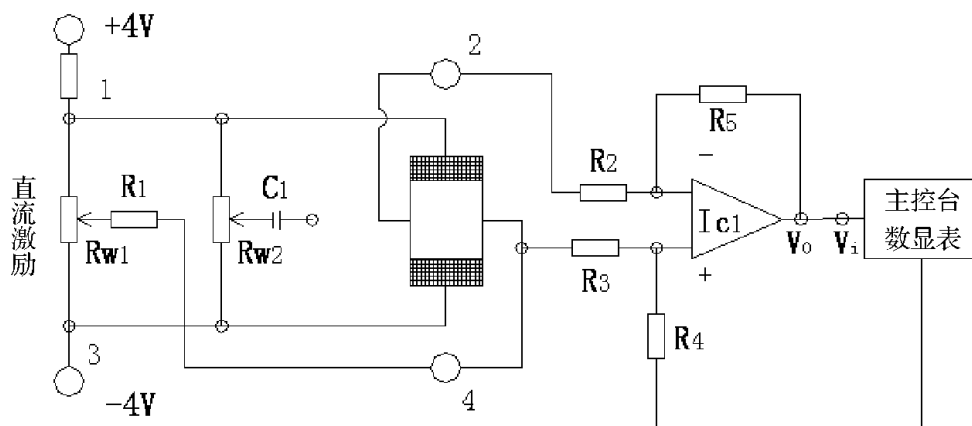


图 5-2 霍尔传感器位移特性直流激励实验接线图

- 1、使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 5-1。

表 5-1

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。

内容二 交流激励时霍尔式传感器的位移实验*

- 一、实验目的：了解交流激励时霍尔式传感器的特性。
- 二、基本原理：交流激励时霍尔式传感器与直流激励一样，基本工作原理相同，不同之处是测量电路。
- 三、需用器件与单元：在内容一基础上加相敏检波、移相、滤波模板、双线示波器。
- 四、实验步骤：

- 1、传感器安装同内容一，实验模板上连线见图 5-3。

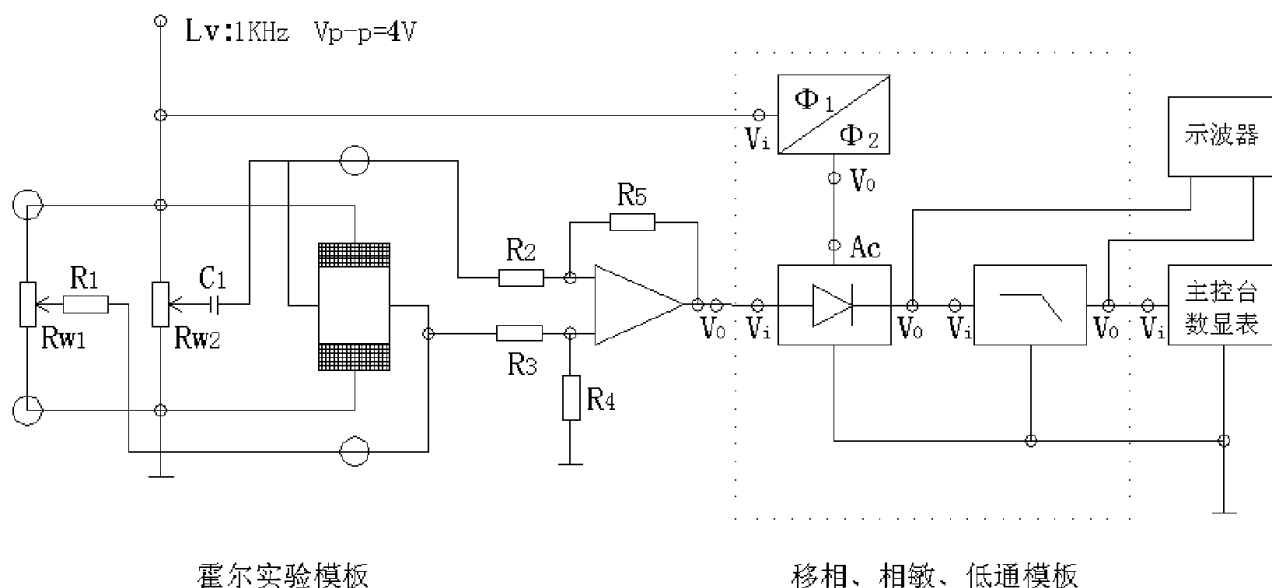


图 5-3 交流激励时霍尔传感器位移实验接线图

- 2、调节音频振荡器频率和幅度旋钮，从 L_v 输出，用示波器测量使电压输出频率为 1KHz，电压峰—峰值为接上交流电源，激励电压从音频输出端 L_v 输出频率 1KHz，幅值为 4V 峰—峰值（注意电压过大会烧坏霍尔元件）。
- 3、调节测微头使霍尔传感器处于磁钢中点，先用示波器观察使霍尔元件不等位电势为最小，然后从数显表上观察，调节电位器 R_{w1} 、 R_{w2} 使显示为零。
- 4、调节测微头使霍尔传感器产生一个较大位移，利用示波器观察相敏检波器输出，旋转移相单元电位器 R_W 和相敏检波电位器 R_W ，使示波器显示全波整流波形，且数显表显示相对值。
- 5、使数显表显示为零，然后旋动测微头记下每转动 0.2mm 时表头读数，填入表 5-2。

表 5-2 交流激励时输出电压和位移数据

X (mm)										
V(mv)										

- 6、根据表 5-2 作出 $V-X$ 曲线，计算不同量程时的非线性误差。

内容三 霍尔测速实验

一、实验目的：

1. 了解霍尔转速传感器的应用。
2. 理解霍尔测速原理。

二、**基本原理：**利用霍尔效应表达式： $U_H = R_H IB$ ，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。

三、**用器件与单元：**霍尔转速传感器、直流源+5V、转动源 2—24V、转动源单元、数显单元的转速显示部分。

四、实验步骤：

- 1、根据图 5—4，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。

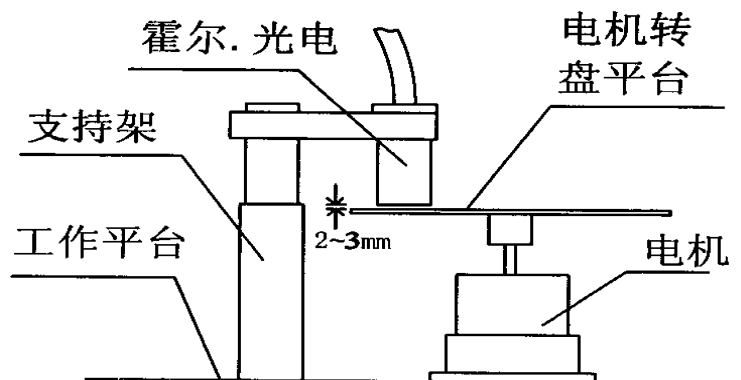


图 5—4 霍尔、光电、磁电转速传感器安装示意图

- 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、将转速调节中的 +2V—24V 转速电源接入三源板的转动电源插孔中。
- 5、将数显单元上的开关拨到转速档。
- 6、调节转速调节电压使转动速度变化。观察数显表转速显示的变化。

思考题：

内容四 磁电式转速传感器测速实验*

一、实验目的：了解磁电式测量转速的原理。

二、基本原理：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。

三、需用器件与单元：磁电式传感器、数显单元测转速档、直流源 2—24V。

四、实验步骤：

- 1、磁电式转速传感器按图 5—4 安装传感器端面离转动盘面 2mm 左右，将磁电式传感器输出端插入数显单元 Fin 孔。（磁电式传感器两输出插头插入台面板上二个插孔）
- 2、将显示开关选择转速测量档。
- 3、将转速电源 2—24V 用引线引入到台面上 2—24V 插孔，合上主控箱电源开关。使转速电机带动转盘旋转，逐步增加电源电压观察转速变化情况。

五、考核题

1. 霍尔效应在（ ）中比金属中更明显。
(A) 高分子 (B) 玻璃 (C) 半导体 (D) 陶瓷
2. 霍尔电势大小与（ ）有关。
(A) 控制电流 (B) 磁感应强度 (C) 霍尔片尺寸 (D) 以上均是
3. 霍尔电势与磁感应强度成（ ）。
(A) 正比 (B) 反比 (C) 无明显关系 (D) 非线性
4. 霍尔元件须工作在（ ）中。
(A) 均匀磁场 (B) 均匀电场 (C) 非均匀磁场 (D) 非均匀电场
5. 在利用霍尔传感器测量转速时，主控台上用到的电源是（ ）。
(A) +5V (B) $\pm 4v$ (C) +15V (D) -15
6. 转动源的最高电压为 24V，进行本实验时不能超过（ ）。
(A) 10V (B) 15V (C) 20V (D) 24V
7. 霍尔传感器可用于测量（ ）。
(A) 压力 (B) 位移 (C) 转速 (D) 以上均可

实验六 电涡流传感器的特性实验[#]

内容一 电涡流传感器位移实验

- 一、实验目的：了解电涡流传感器测量位移的工作原理和特性。
- 二、基本原理：通过高频电流的线圈产生磁场，当有导电体接近时，因导电体涡流效应产生涡流损耗，而涡流损耗与导电体离线圈的距离有关，因此可以进行位移测量。
- 三、需用器件与单元：电涡流传感器实验模板、电涡流传感器、直流电源、数显单元、测微头、铁圆片。
- 四、实验步骤：
- 1、根据图 6-1 安装电涡流传感器。

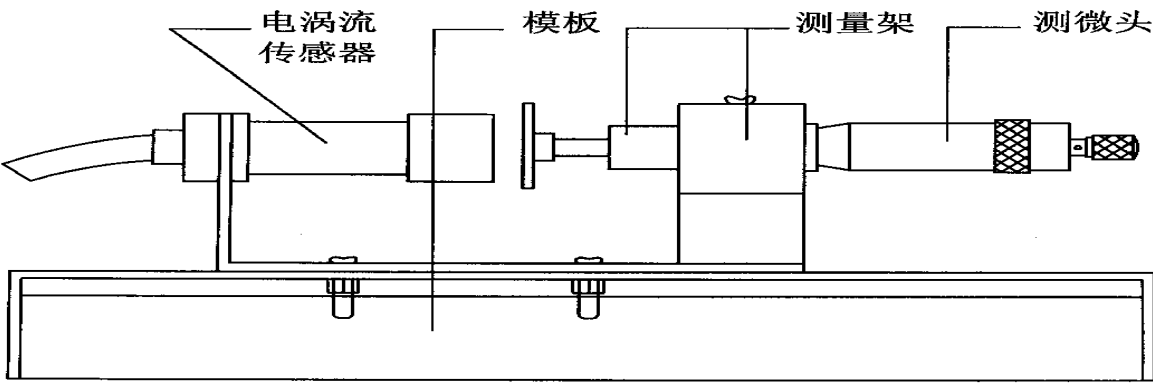


图 6-1 电涡流传感器安装示意图

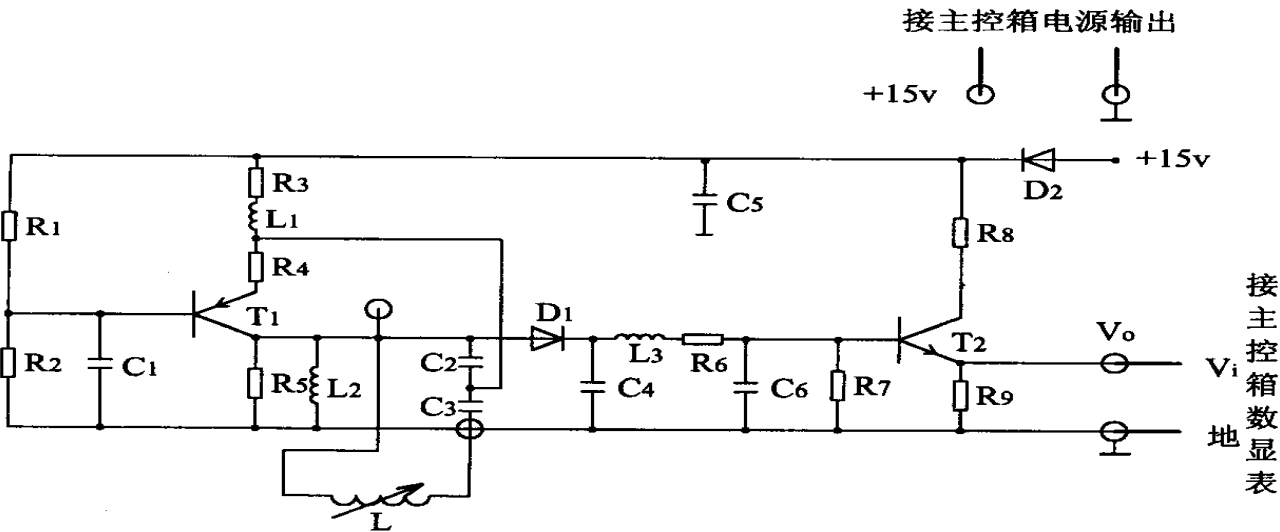


图 6-2 电涡流传感器位移实验接线图

- 2、观察传感器结构，这是一个平绕线圈。
- 3、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。
- 4、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。
- 5、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 档。
- 6、用连结导线从主控台接入+15V 直流电源接到模板上标有+15V 的插孔中。
- 7、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 6—1。

表 6—1 电涡流传感器位移 X 与输出电压数据

X（mm）										
V(v)										

- 8、根据表 6—1 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（可以用端基法或其它拟合直线）。

内容二 被测体材质对电涡流传感器特性的影响

- 一、**实验目的：**了解不同的被测体材料对电涡流传感器性能的影响。
- 二、**基本原理：**涡流效应与金属导体本身的电阻率和磁导率有关，因此不同的材料就会有不同的性能。
- 三、**需用器件与单元：**除与内容一相同外，另加铜和铝被测体圆片。
- 四、 **实验步骤：**
 - 1、传感器安装与内容一相同。
 - 2、将原铁圆片换成铝和铜圆片。
 - 3、重复内容一步骤，进行被测体为铝圆片和铜圆片时的位移特性测试，分别记入表 6—2 和表 6—3。

表 6-2 被测体为铝圆片时的位移与输出电压数据

X (mm)										
V(v)										

表 6-3 被测体为铜圆片时的位移与输出电压数据

X (mm)										
V(v)										

4、根据表 6-2 和表 6-3 分别计算量程为 1mm 和 3mm 时的灵敏度和非线性误差（线性度）。

5、分别比较内容一和内容二所得结果进行小结。

内容三 被测体面积大小对电涡流传感器特性的影响实验

一、实验目的：了解电涡流传感器在实际应用中其位移特性与被测体的形状和尺寸有关。

二、基本原理：电涡流传感器在实际应用中，由于被测体的形状，大小不同会导致被测体上涡流效应的不充分，会减弱甚至不产生涡流效应，因此影响电涡流传感器的静态特性，所以在实际测量中，往往必须针对具体的被测体进行静态特性标定。

三、需用器件与单元：直流电源、电涡流传感器、测微头、电涡流传感器实验模板、不同形状铝被测体二个、数显单元。

四、实验步骤：

- 1、传感器安装见图 6-1，与前面静态特性实验相同。
- 2、按照测静态特性实验要求连接好测量线路。
- 3、在测微头上分别用两种不同的被测铝圆片进行位移特性测定，分别记入表 6-4。

表 6-4 不同尺寸时的被测体特性数据

X (mm)										
被测体 1										
被测体 2										

4、根据表 6-4 数据计算目前范围内两种被测体 1 号、2 号的灵敏度，并说明理由。

实验七 光纤传感器的位移特性实验*

- 一、实验目的：了解光纤位移传感器的工作原理和性能。
- 二、基本原理：本实验采用的是传光型光纤，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、需用器件与单元：光纤传感器、光纤传感器实验模板、数显单元、测微头、直流源、反射面。
- 四、实验步骤：
- 1、根据图 7-1 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。

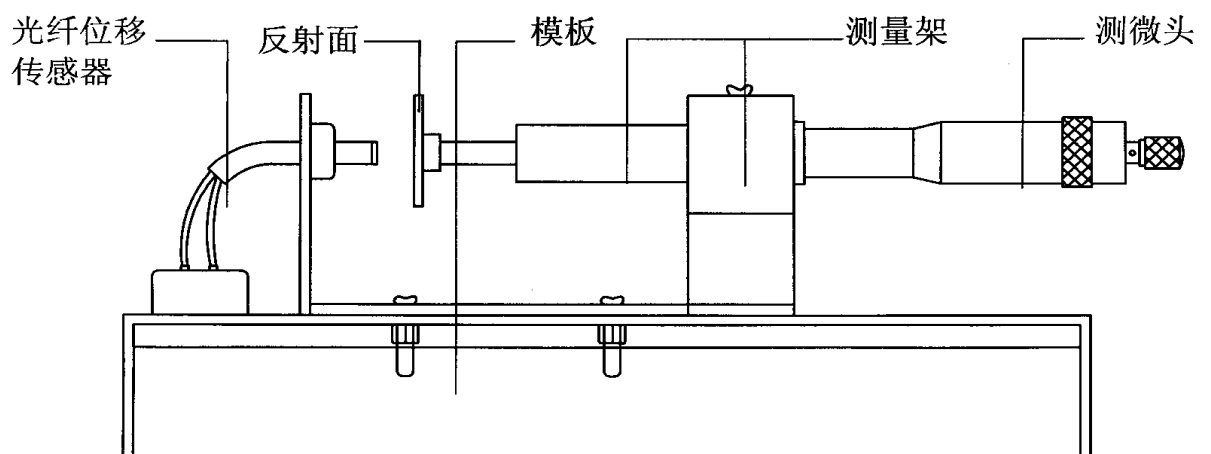


图 7-1 光纤传感器安装示意图

2、将光纤实验模板输出端 V_{O1} 与数显单元相连，见图 7-2 光纤传感器位移实验接线图。

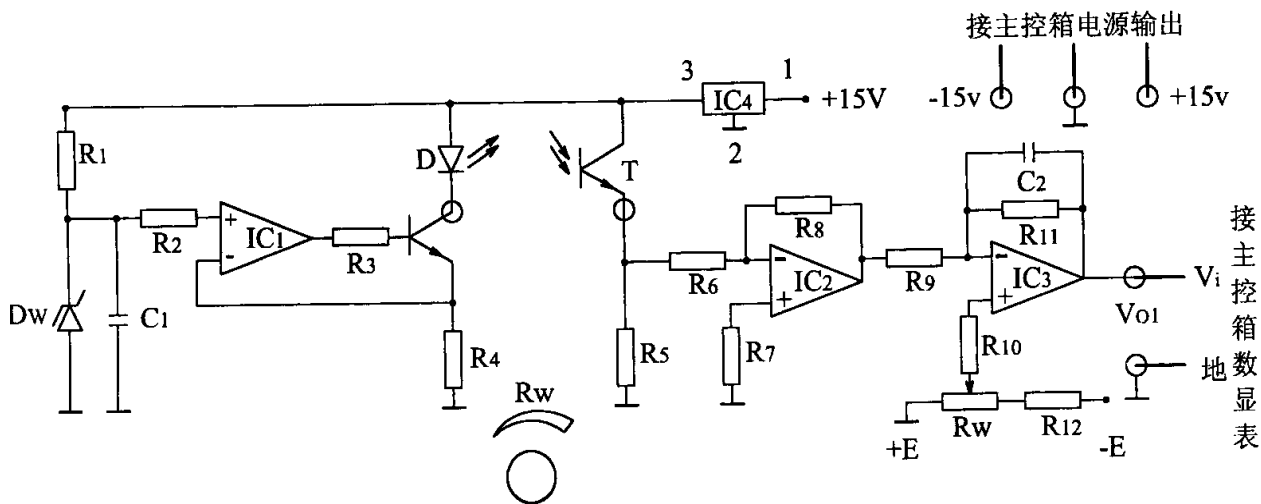


图 7-2 光纤传感器位移实验接线图

3、调节测微头，使探头与反射面圆平板接触。

4、实验模板接入 $\pm 15V$ 电源，合上主控箱电源开关，调 R_w 、使数显表显示为零。

5、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 7-1。

表 7-1 光纤位移传感器输出电压与位移数据

X (mm)										
V(v)										

2、根据表 7-1 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。

实验八 热电阻测温特性实验

一、实验目的：

1. 了解热电阻的特性与应用。
2. 掌握热电阻的测温原理和测温范围。

二、**基本原理：**利用导体电阻值随温度变化而变化的特性来进行温度测量。热电阻用于测温时，要求其材料电阻温度系数大，稳定性好，电阻率高，电阻与温度之间最好有线性关系。常用的有铂电阻和铜电阻，其中铂电阻在 $0-650^{\circ}\text{C}$ 以内，电阻 R_t 与温度 t 的关系为： $R_t=R_0(1+At+Bt^2+Ct^3)$

R_0 系温度为 0°C 时的电阻。本实验 $R_0=100\Omega$ ， $A=3.95\times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ ， $B=-5.85\times 10^{-7}/(^{\circ}\text{C})^2$ ， $C=-4.22\times 10^{-12}/(^{\circ}\text{C})^3$ 。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。

三、**需用器件与单元：**加热源、K 型热电偶、 P_{t100} 热电阻、温度控制单元、温度传感器实验模板、数显单元、万用表。

四、 实验步骤：

- 1、将 P_{t100} 铂电阻三根线引入实验模板标 R_t 的 a、b 上（用万用表欧姆档测出 P_{t100} 三根线中其中短接的二根线接 b 端，另一根接 a 端。），这样 R_t 与 R_3 、 R_1 、 R_{w1} 、 R_4 组成直流电桥，是一种单臂电桥工作形式。使 b 端和 R_5 端相接， R_{w1} 中心活动点与 R_6 相接，见图 8—1。 R_{w2} 左旋到底（增益最小）。

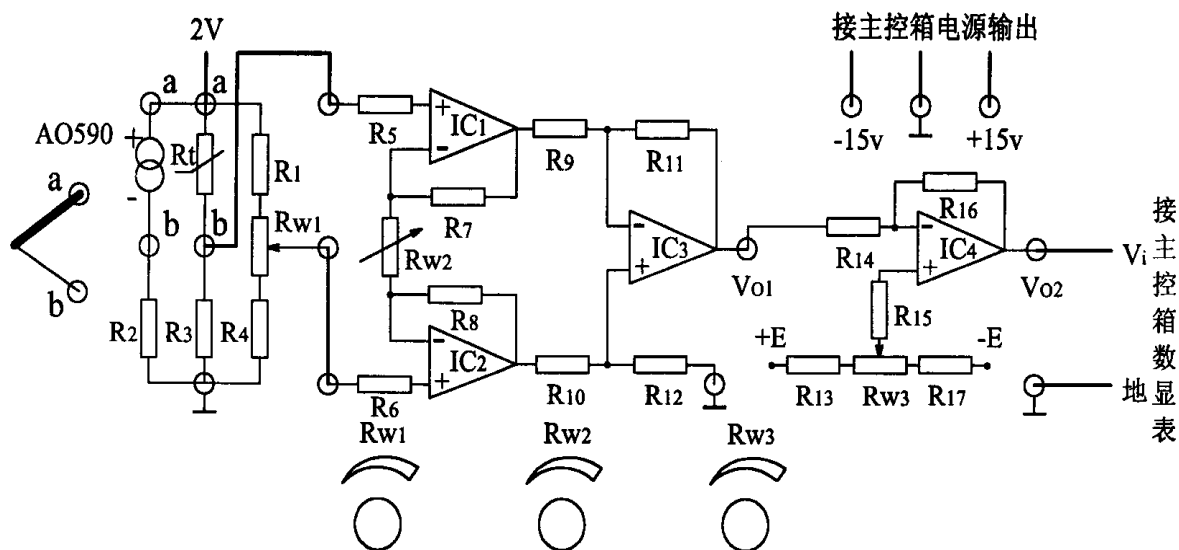


图 8—1 铂电阻测温特性实验

- 2、在端点 a 与地之间加直流源 2V，合上主控箱电源开关。调 R_{W1} 使电桥平衡，桥路输出端 b 和中心活动点之间在室温下输出为零。
- 3、加 $\pm 15V$ 运放电源，调 R_{W3} 使 $U_{O2}=0$ ，接上数显单元，拨 2V 电压显示档，使数显为零。
- 4、在常温基础上，将设定温度值可按 $\Delta t=5^{\circ}C$ 读取数显表值。将结果填入下表 8—1，关闭主控箱电源开关。

表 8—1 铂电阻热电势与温度值

$t(^{\circ}C)$										
$V(mv)$										

- 5、根据表 8—1 值计算其非线性误差。

五、考核题

1. 热电阻温度计的温度范围主要在（ ）。
 - (A) 500 度以下
 - (B) 1000 度以下
 - (C) 1500 度以下
 - (D) 2000 以下
2. 热电阻测温时，为了克服连接导线电阻产生的误差，常采用的方法是（ ）。
 - (A) 补偿导线
 - (B) 温度补偿
 - (C) 三线制
 - (D) 四线制
3. 工业上常用的热电阻分度号有（ ）。
 - (A) Cu50
 - (B) Cu100
 - (C) Pt100
 - (D) 以上均是

4. 铂热电阻的测温范围是（ ）。
- (A) $-50 \sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ (B) $0 \sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ (C) $0 \sim 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ (D) $50 \sim 800\text{ }^{\circ}\text{C}$
5. 铜热电阻阻值与温度之间成（ ）。
- (A) 线性关系 (B) 非线性关系 (C) 对数关系 (D) 抛物线关系
6. 热电阻的结构形式有（ ）。
- (A) 普通型热电阻 (B) 铠装热电阻 (C) 薄膜热电阻 (D) 以上都对

实验九 热电偶测温特性实验

一、实验目的：

1. 掌握热电偶的测量温度原理和方法。
2. 熟悉各种热电偶的测温范围和应用场合。

二、**基本原理：**当两种不同的金属组成回路，产生的二个接点有温度差时，在回路中会产生热电势，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中，再配以相应电路就可间接测得被测温度值。

三、**需用器件与单元：**热电偶、K 型、E 型、加热源、温度控制仪、数显单元、温度传感器实验模板。

四、实验步骤：

- 1、将 K 型热电偶或 Pt100 铂电阻（2000D 型）插入到主控板上用于温度设定。
- 2、将 E 型热电偶插入温度传感器实验模板上标有热电偶符号的 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。将 a、b 端与 R_5 、 R_6 相接。
- 3、设定温度值 $t=40^{\circ}\text{C}$ 。将 R_5 、 R_6 短路接地，接入 $\pm 15\text{V}$ 电源，打开主控箱电源开关调节 R_{W3} 使 U_{O2} 为零（见图 8-1）。将 U_{O2} 与数显表单元上的 U_i 相接，调 R_{W3} 使数显表显示零位，主控箱上电压波段开关拨到 2V 档。
- 4、去掉 R_5 、 R_6 短路接线，将 a、b 端与放大器 R_5 、 R_6 相接，调 R_{W2} ，将信号放大到比分度值大 10 倍的毫伏值。
- 5、在 40°C 到 150°C 之间设定 $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 。读出数显表头输出电势与温度值，并记入表 8-2。

表 8-2 E 型热电偶热电势与温度数据

t(°C)										
V(mv)										

五、考核题

- 热电偶温度计由（ ）组成。
 (A) 热电偶 (B) 测量仪表 (C) 导线 (D) 以上选项
- 热电偶是由（ ）种材料的导体焊接而成。
 (A) 1 (B) 2 (C) 3 (D) 4
- 如果用同种材料制成热电偶，则热电偶回路的热电势为（ ）。
 (A) 零 (B) 正值 (C) 负值 (D) 以上均有可能
- 如果热电偶两接触点温度相同，则热电偶回路的热电势为（ ）。
 (A) 零 (B) 正值 (C) 负值 (D) 以上均有可能
- 用热电偶测温时要考虑（ ）。
 (A) 三线制 (B) 四线制 (C) 冷端温度补偿 (D) 极性
- 工业上常用的热电偶温度—热电势关系曲线是在冷端温度保持为（ ）得到的。
 (A) 0°C (B) 20°C (C) 25°C (D) 100°C
- 热电偶测温时，采用的补偿导线要注意（ ）。
 (A) 型号相配 (B) 极性不能接错
 (C) 连接温度小于 100°C (D) 以上均是

实验十 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主要有：冰水混合法、调整仪表机械零点法、冷端温度修正方法、补偿电桥法、补偿热电偶法五种。其中补偿电桥法常用（图 8-2），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°C 时达到平衡（亦有 20°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、**需用器件与单元：**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°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_i 相接 此时数显表显示零位，电压显示用 200mV 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°C ，放大器增益 R_{W2} 置最小读取数显表上数据 V_1 。

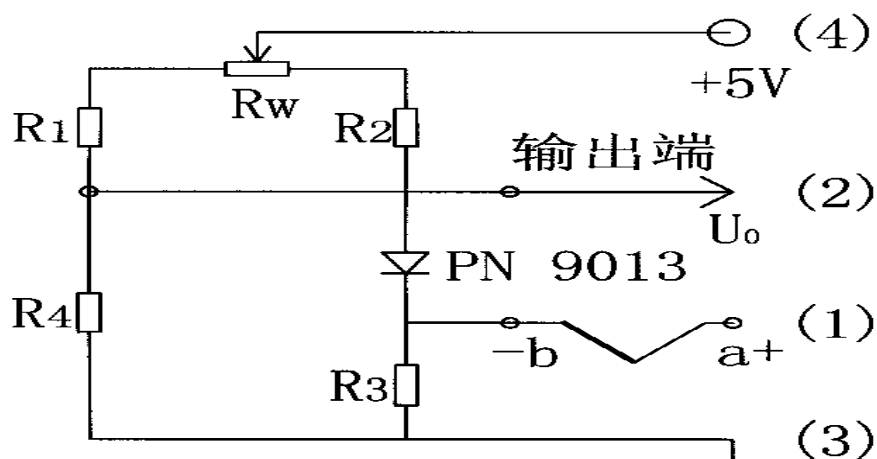


图 8—2 冷端温度补偿原理图

- 4、保持工作温度 50°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 $+5\text{V}$ ，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？

实验十一 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 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氧化和还原反应导致敏感元件阻值变化。若气浓度发生变化，其阻值将变化，根据 $Q_N = Q_0 \sqrt{\frac{\rho_N P_N T_S Z_S}{\rho_{SN} P_S T_N Z_{SN}}}$ 特性，可以从阻值的变化得知，吸附气体的种类和浓度。

三、需用器件与单元：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 9-1 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。

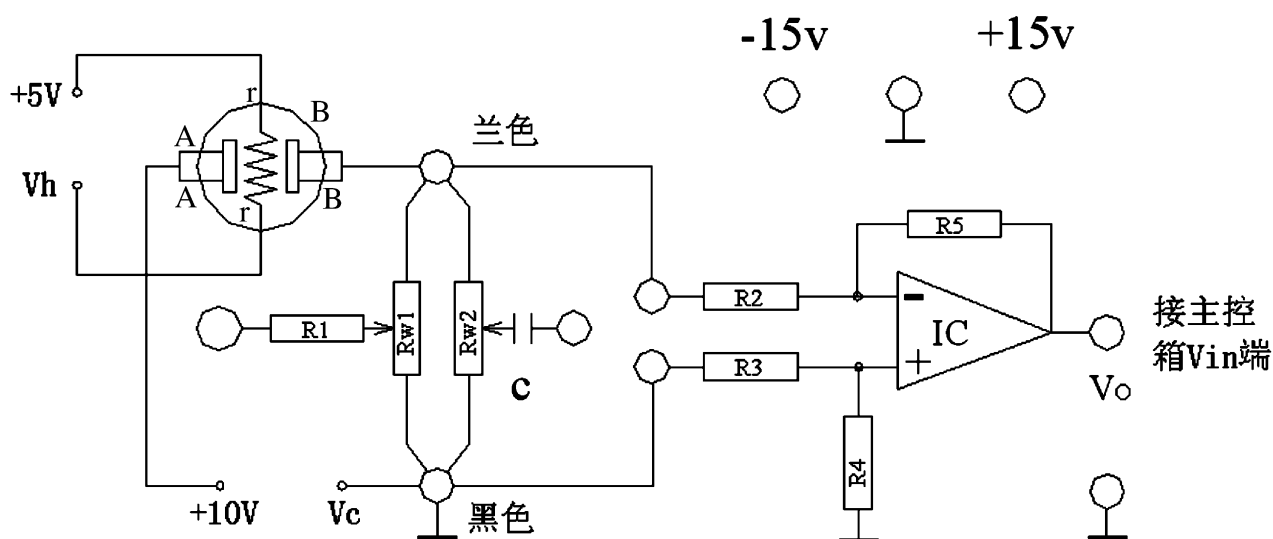


图 9-1 MQ 系列气敏元件结构和工作原理

- 3、将 R1 插孔与实验模板上的 R2 的输入孔相接。输出 V_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。

实验十二 湿敏传感器实验

一、实验目的：了解湿敏传感器的原理及应用范围。

二、基本原理：湿敏传感器种类较多，根据水分子易于吸附在固体表面渗透到固体内部的这种特性（称水分子亲和力），湿敏传感器可以分为水分子亲和力型和非水分子亲和力型，本实验所采用的属水分子亲和力型中的高分子材料湿敏元件。

高分子电容式湿敏元件是利用元件的电容值随湿度变化的原理。具有感湿功能的高分子聚合物，例如，乙酸—丁酸纤维素和乙酸—丙酸比纤维素等，做成薄膜，它们具有迅速吸和脱湿的能力，感湿薄膜复在金箔电极（下电极）上，然后在感湿薄膜上再镀一层多孔金属膜（上电极），这样形成的一个平行板电容器就可以通过测量电容的变化来感觉空气湿度的变化。

三、需用器件与单元：湿敏传感器、直流源 5V、数显单元。

四、实验步骤：

- 1、湿敏传感器的电路原理图如图 10—1，将湿敏传感器的三根接线：1 号线接电源+5V；2 号线为输出，接到主控箱的 V_{in} 端；3 号线接地。

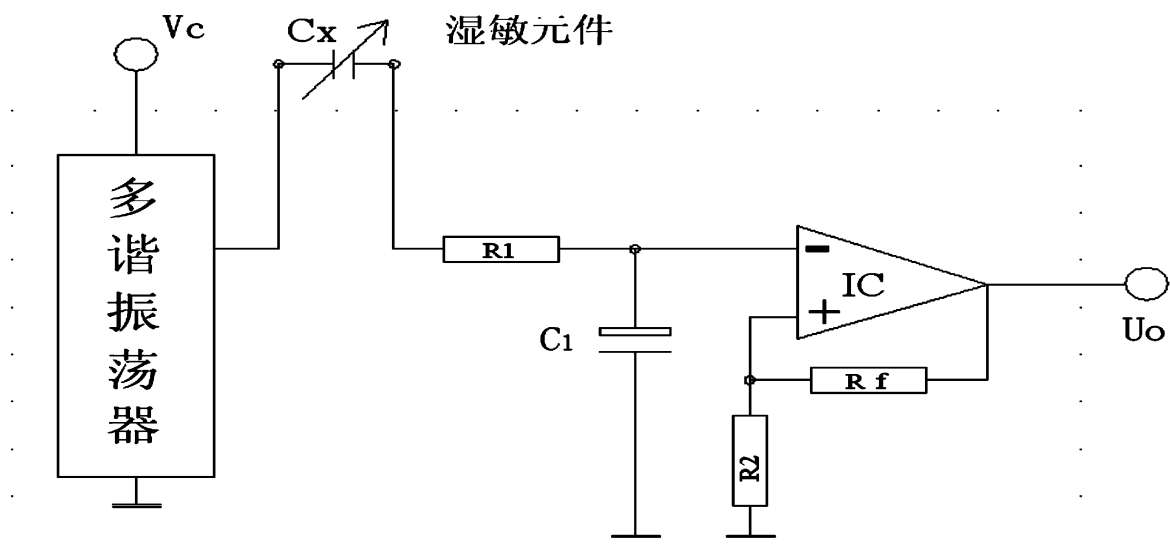


图 10—1 湿敏传感器电路原理图

- 2、打开电源开关，先预热一会儿，然后在湿敏腔内放入少量干燥剂，观察数显表头读数变化。

过程控制部分

有关实验操作注意事项

1. 关于接地

系统必须要有良好接地。

- ★对变频器、电磁流量计，必须要有良好接地，才能正常工作；
- ★进行每一个实验都应保证接地连接良好；
- ★人身设备保护，也需要有良好接地。

2. 关于实验循环供水。

本装置有二路循环供水系统：

- (1) 水泵 1 系统：由静音增压泵（220VAC 电源工作）、电动调节阀、涡轮流量计等组成。静音增压泵，是靠水润滑，必须在有水情况下运转，否则将损坏泵体。

- (2) 水泵 2 系统：由磁力泵、变频器、电磁流量计等组成。磁力泵电机是三相三角形接法（三相 220VAC 供电）。电源由变频器的三相输出端（三相 220VAC）U、V、W 供电。不能将三相磁力泵直接使用市电三相电源。否则烧坏电机。

3. 关于变频器

- (1) 变频器使用前，请细读松下公司的“VFO 超小型变频器”使用手册；
- (2) 变频器的工作电源为单相 220VAC，50Hz。变频器的输出是三相交流 220VAC 专供给磁力泵的三相电机电源，不要作其他用途；
- (3) 在 PCS 变频器单元模块面板上，标记有“输入 220VAC”端子和“输出 U、V、W”端子，在使用时，万不可出错。否则，变频器立刻烧坏；
- (4) 变频器的输出电源频率可变，由参数设定实际最高工作频率为 50/60Hz，与负载磁力泵电机相匹配。否则，将引起电机超速运转，而引发严重事故；
- (5) 变频器必须接地；
- (6) PCS 变频器模块单元上标记有“输入 220VAC”的“L”、“N”两个端子，应采用带保护套的专用实验电源线，从实验台上的 1 号条板标记有“220VAC”字样的“L”、“N”端引入。该路电源内部接有电源滤波器。
- (7) 变频器内部有容量较大的电容器，断电后，放电约需 4-5 分钟。因此，断电后变频器的指示灯仍亮一段时间，在此期间，不能人身触及，防止电击伤。

4. 关于二线制仪器接线

液位（压力）变送器、涡轮流量计的变送输出均为二线制，工作电源为 24VDC。在实验台内部接线中，均已将 24VDC 电源接入，故在引用它们的输出信号时，不需再引入 24V 电源。

5. 关于报警

本装置的 AI-818 调节器和 AI-708H 流量积算仪内部继电器模块配置齐全，均有 AL1、AL2 报警输出。应用时，适当进行参数设置即可。

在实验架 3 号条板上，设有发光二极管，可接成（声）光信号报警。

在实验架 1 号条板上，标记的 AL1、AL2 端子作位式控制用，与调节器单元

板上 AL1、AL2 继电器输出触头，可连接成水箱液位式控制回路（参见仪表控制的位式控制实验）。

流量的批量控制，应使用 AI-708H 流量积算仪模块单元上的 AL2 继电器输出点进行控制。

6. 关于管路上的手动阀门

(1) 水泵 1 供水系统

实验需常用手动操作阀 V8、V1、V2、V3、V6、V7、V20（安装在实验柜上、下水箱右侧）。

(2) 水泵 2 供水系统

实验需常用手动操作阀 V11、V12、V18（安装在实验柜，上水箱的左侧）。

(3) V4——上水箱负载阀，V16 上水箱残水排出阀，也可配合 V4 同时使用；

V5——下水箱负载阀，V17 下水箱残水排出阀，也可配合 V5 同时使用；

V9、V10 为温控箱的冷却水和热水箱的热水排水阀；

V4、V16 在实验柜上下水箱之间位置；

V5、V17、V9 在实验柜下水箱与储水箱之间位置。V10 在温控箱底部。

(4) V15、V13 分别为水泵 1、水泵 2 进水阀，在储水箱二侧；

(5) V20 是变频恒压供水实验回路的负载手动阀门；

(6) V19 是变频恒压供水实验回路的进水阀门，为圆形红色闸式铜阀，装在水泵 2 系统水路上（在实验柜内部、后面、下中部位置）；

(7) V21 是干扰实验的干扰水源转换三通阀门，为一字形（柄）球阀。

7. 关于干扰水路操作

(1) 打开干扰电磁阀（常闭式）；

(2) 手动阀 V2，控制对上水箱进行干扰；

(3) 手动阀 V3，控制对下水箱进行干扰；

(4) 干扰水路的水源，可由水泵 1 系统供水或由水泵 2 系统供水，二者选其一。二路供水的转换，由实验柜内部（后面）的一只一字型三通球阀式阀门控制。一字型手柄上印有哪二路接通的接通标记“ ”。手柄与操作者成垂直方向，接通水泵 2 水源；

手柄与操作者成平行方向，接通水泵 1 水源。

在实验中，应先选择该阀位置，决定干扰水源是同路（实验）水源，还是异路水源进行干扰实验。

8. 关于储水箱自动排水、进水操作

A. 排水：

- （1）将专用 10 米长的尼龙软管，一头插入实验柜后面右下侧处“进水、排水装置”的排水速接插口。另一头插入排水泄漏通道；
- （2）打开“进水、排水装置”处，后面红色圆形柄闸式排水阀门；
- （3）启动水泵 1；
- （4）观察排出水流至无水排出时，即停止水泵 1（水泵 1 不能无水运转）；
- （5）关闭红色圆形闸式排水阀门，取出（用手压紧接口）尼龙水管。

排水操作完成。

B. 进水：

- （1）将尼龙水管一头插入“进水、排水装置”的进水口，另一头与自来水龙头（改用专用水龙头）相接，并打开自来水龙头供水；
- （2）按下“进水、排水装置”上的绿色启动按钮，此时指示灯亮。进水电磁阀工作（打开），储水箱开始进水；
- （3）待储水箱水位达到要求高度，液位探头发出信号，断开进水电磁阀（关断水路），指示灯灭，储水箱进水完成；
- （4）关闭自来水龙头，取出尼龙管整理后，放入实验台后柜内，换水工作完成；
- （5）在进水工作期间，若因故需要暂停进水，可手动按“进水、排水装置”盒上的红色按钮，即关断进水电磁阀，停止进水。

9. 关于液位（压力）变送器的零点（此时输出 4mADC）、水箱残水的标高零点、水箱的标尺零点，三个零点应校正一致。标尺可上下微调，调好后用螺钉锁紧。设备在出厂前均已调整好。

10. 管路中位式电磁阀是常开型的，通电工作是关断水路。

11. 水路示意图：见 PCS-2000B 型管路图示意图。

实验一 位式控制实验

一、实验目的

- 1、熟悉简单控制系统的构成及组成方式。
- 2、掌握位式控制的原理和应用场合。
- 3、熟悉相应仪表的功能和各个参数的作用。

二、实验设备及参考资料

- 1、PCS-2000B 过程控制实验装置（使用其中：位式电磁阀为常开型、AI818 智能调节仪一台、上水箱液位传感器、水泵 1 系统、24VDC 电源等）。
- 2、AI-818 仪表的操作说明书和液位变送器的调试（一般出厂之前已调试好）方法。

三、实验原理

本实验采用位式控制原理进行液位的范围控制，即将液位控制在一定的上、下限范围内。水箱液位变送器输出信号，经 AI-818 仪表进行处理后与设定上、下限水位值进行比较，控制仪表内继电器触点状态，对位式电磁阀进行控制，以达到控制目的。控制系统结构如图 1-1：

PCS 智能调节仪模块（AI-818 仪表）

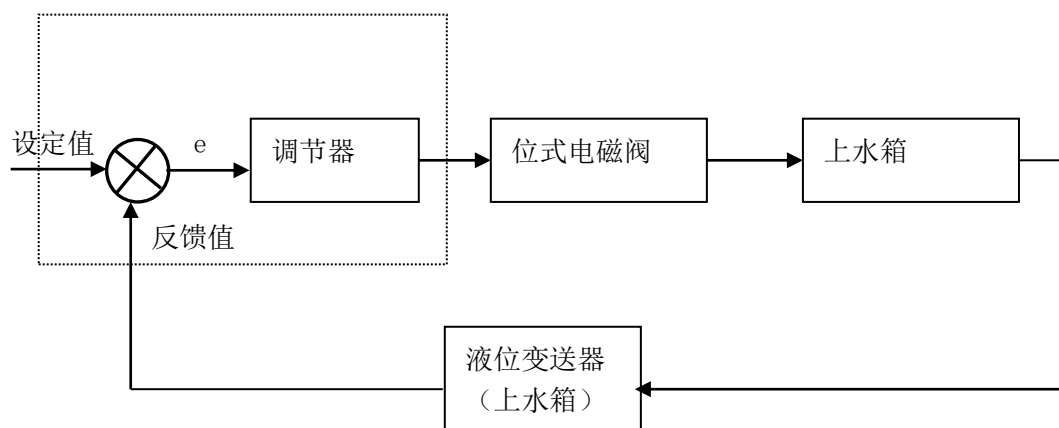


图 1-1 位式控制系统结构方块图

四、 实验步骤

1. 接线：关闭所有电源开关后进行接线。

- a、将 AC220V 电源 “L” 接至 PCS 智能调节单元 AC220V 的输入红的接线柱上，将 AC220V 电源 “N” 接至 PCS 智能调节单元 AC220V 的输入黑的接线柱上。
- b、将信号板上的上水箱信号输出 “+” 接至 PCS 智能调节仪 10 号接线柱上，对应的将 PCS 智能调节仪 11 号接线柱上 “-” 接至信号板上 “-”。
- c、将 PCS 智能调节仪面板上的 7, 8 端分别接至 10, 11 端；再将 1, 3 端和 4, 5 端分别接至 1 号条板上的 AL1 和 AL2。
- d、将此 PCS 智能调节仪面板上的 7, 8 端分别接至另一台 PCS 智能调节仪的 7, 8 端；再将另一台 PCS 智能调节仪 AL1 的 1, 3 端和 4, 6 端分别接至 3 号条板上的两个信号报警。

2. 参数设置：打开“总电源”和控制板上的 220V 的电源，再打开 PCS 智能调节仪单元的电源，进行参数设定。

本实验用一块 PCS 智能仪表控制单元模块。仪表的有关参数设置如下：

HIAL 上限报警：设 9999（上限报警）测量值大于 HIAL+dF 值时仪表将产生上限报警。测量值小于 HIAL-dF 值时，仪表将解除上限报警。设置 HIAL 到其最大值（9999）可避免产生报警作用。可视情况设定。

LOAL 下限报警：当测量值小于 LoAL-dF 时产生下限报警，当测量值大于 LoAL+dF 时下限报警解除。设置 LOAL 到其最小值（-1999）可避免产生报警作用。

dHAL 正偏差报警 可设 1—3。

dLAL 负偏差报警 可设 1—3。

dF 回差（死区） 可视情况设定，一般为 0—0.3。

ctrl 控制方式 设置为 0

CTL 输出周期 设 1—4 秒

Sn 输入规格 在用（1—5 伏电压输入）时设 33；在用（0.2—1 伏 电压输入）时设 32。本实验建议设 33。

Dip 小数位置 液位设 2

DIL 输入下限显示值 设 0

DIH 输入上限显示值 50

Sc 主输入平移修正 设 0

OP1 输出方式在（位式方式）时 设 0

OpL 输出下限 设 0

OpH 输出上限 设 100（百分比）

ALP 报警输出定义 设 10

CF 系统功能选择 设 0

Addr 通讯地址 与上位机的设置相统一（不用通讯时可任意）。

Baud 通讯波特率 9600 （不用通讯时可任意）。

DL 输入数字滤波系数 2~4。

run 运行状态 设 0 为手动调节，设 1 为自动调节，一般为 1。

Loc 参数修正级别 设 808

最后返回设置给定值，如 25。

建议：先设 Dip 小数点，再设其它参数。

3. 设定好仪表之后

- a、打开实验柜上的 V1，V8，V4，V5 手动水路一字阀门，启动水泵 1。
- b、打开总电源，AC220VAC 电源，24VDC 电源。位控开关（开）。
- c、在水泵 1 供水初期，V4 手动阀，最好关闭。待上水箱水位上升到接近设定值时，再打开 V4。其开度视平衡情况而定。如此可缩短实验达到平衡所需时间，加快实验进程。

4. 改变不同的上限值和下限值及回差。

五、考核题

1. 在做位式控制实验时，下列对阀门所处状态叙述正确的是（ ）
 - (A) 阀门始终处于全开状态
 - (B) 阀门始终处于全关状态
 - (C) 阀门不是全开就是全关
 - (D) 对于双位控制方式阀门只有两个位置
2. 位式控制方式适用于（ ）
 - (A) 对控制质量要求不高的场合
 - (B) 对控制质量要求较高的场合
 - (C) 只适用于特定的场合
 - (D) 只要有控制要求的场合都适用
3. 在应用位式控制方式，多采用（ ）
 - (A) 双位控制方式
 - (B) 具有中间区的双位控制方式
 - (C) 三位控制方式
 - (D) 多位控制方式
4. 位式控制方式属于（ ）
 - (A) 线性控制
 - (B) 非线性控制
 - (C) 开关量的控制
 - (D) 其它
5. 位式控制方式可用于控制（ ）
 - (A) 温度
 - (B) 压力
 - (C) 液位
 - (D) 以上均可
6. 控制系统各个组成部分相互之间的传送的信号是（ ）
 - (A) 1~5V
 - (B) 24V
 - (C) 4~20mA
 - (D) 0~10mA

实验二 单容液位的仪表控制实验

一、实验目的

- 1、了解简单过程控制系统的构成及熟悉仪表的操作。
- 2、掌握单容液位过程控制的原理及仪表使用。
- 3、熟悉 P、I 参数的调节。

二、实验设备及参考资料

- 1、PCS-2000B 过程控制实验装置（使用其中：电动调节阀、AI818 智能调节仪一台、上水箱及液位变送器、水泵 1 系统、24VDC 电源等）
- 2、AI-818 仪表的操作说明书，智能电动调节阀使用手册和液位变送器的调试（一般出厂之前已调试好）方法。

三、实验原理

本实验采用仪表控制,将液位控制在设定高度。根据上水箱液位信号输出给仪表,仪表根据 P、I、D 参数进行 PID 运算,输出信号给电动调节阀,然后由电动调节阀控制水泵 1 供水系统的进水流量,从而达到控制设定液位基本恒定的目的。单容水箱液位过程控制的方块原理图:如图 2-1

PCS 智能调节仪模块

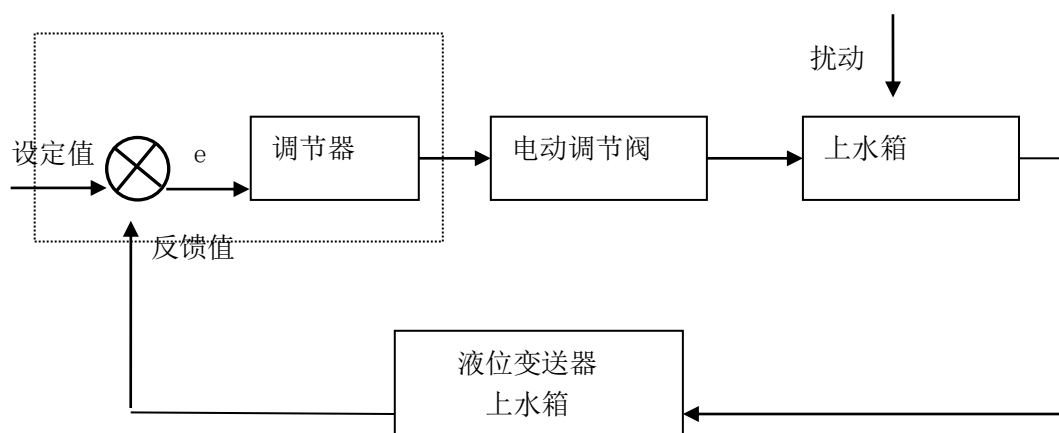


图 2-1 单容液位控制系统方块图

四、实验步骤

1. 接线: 先关闭所有电源开关, 之后进行接线操作。
 - a、将 AC220V 电源“L”接至 PCS 智能调节单元 AC220V 的输入红的接线柱上, 将 AC220V 电源“N”接至 PCS 智能调节单元 AC220V 的输入黑的接线柱上。
 - b、将信号板上水箱信号输出“+” 接止 PCS 智能调节仪 10 号接线柱上, 对应的将 PCS 智能调节仪 11 号接线柱上 “-” 接止信号板上“-”。
 - c、将 PCS 智能调节单元 7, 8 端分别接止 10, 11 端。
 - d、将 PCS 智能调节仪 13 号接线柱上 “+” 端接到信号板上电动调节阀“+” 端; 14 号接线柱上的“-” 端接到信号板上电动阀的“-” 端。
2. 参数设置: 打开“总电源”和控制板上的 220V 的电源, 再打开 PCS 智能调节仪单元的电源。仪表显示 AI-818 之后, 进入显示测量值和给定值。

本实验用一个 PCS 智能仪表控制单元模块。仪表的有关参数设置如下:

HIAL 上限报警： 设 9999（避免报警）
 LOAL 下限报警： 设-1999（避免报警）
 dHAL 正偏差报警 设 9999（报警取消）
 dLAL 负偏差报警 设 9999（报警取消）
 dF 回差（死区） 设 0.3 可视情况设定
 ctrl 控制方式设 1（可从面板手动设定 PID 参数也允许从面板启动折行自整定功能，
 如设 2 马上折行自整定功能）。
 P 比例带 设 0—9999 按需要设定
 I 积分时间 设 0—9999 按需要设定
 D 微分时间 0.0—9999
 （若经过自整定之后，仪表内部，将有 P、I、D 的参数）
 Cr 相对比例系数 1
 CTL 输出周期 设 1—4 秒
 Sn 输入规格在用（1—5 伏电压输入）时设 33。
 Dip 小数位置 液位设 2，流量、温度设 1。
 DIL 输入下限显示值 设 0
 DIH 输入上限显示值 液位设 40，温度设 100℃，流量设 180 升/h。
 Sc 主输入平移修正 设 0
 OP1 输出方式 设 4（4—20MA 线性电流输出）
 OpL 输出下限 设 0
 OpH 输出上限 设 100（百分比）
 ALP 报警输出定义 设 0
 CF 系统功能选择 设 0
 Addr 通讯地址 与上位机的设置相统一
 Baud 通讯波特率 9600
 DL 输入数字滤波系数 2~4
 run 运行状态 设 0 为手动调节，设 1 为自动调节，一般为 1。
 Loc 参数修正级别 设 808

最后返回设置，进行设定值设定。

建议：先设 Dip 小数点，再设其它参数。

3. 设定好仪表之后，打开有关的电源，及实验柜上的 V8, V4, V5 手动阀门，启动水泵 1 进行仪表的控制。

4. 进行仪表自整定：

先将仪表的控制方式 ctrl 改为 2，实行自整定的方式，等待仪表稳定之后，看电动调节阀是否稳定在某一个值上。如果水位控制出现较大的偏差，人工改变 PID 参数进行调节。一直改变到水位到达设定值为止。

5. 扰动实验

在仪表控制达到稳态平衡下，对上水箱用旁路流量进行干扰实验，观察系统抗干扰能力。干扰源，可选用水泵 2 系统（异路），也可用同路水源即水泵 1 系统进行干扰（由实验柜内的三通阀，改变水源来路）。

例如用水泵 2 系统作为干扰源，方法如下：

a、调整三通阀位置，接通水泵 2（磁力泵）与干扰水路通道（三通阀柄有  符号指示）。

b、打开启动水泵 2 开关。

c、启动变频器（最大频率设定为 50Hz）。

d、打开干扰电磁阀。

e、短时打开 V2 干扰进水阀。

观察仪表对干扰的反应。

五、考核题

1. 下列有关本实验叙述正确的是（ ）

- (A) 本实验是对上水箱的液位进行控制，所以水箱液位为被控对象。
- (B) 本实验需要手动调节的控制器参数有 P、I、D。
- (C) 本实验为简单控制系统的实验。
- (D) 在手动调节控制器参数前，需将运行方式设为手动运行。

2. 本实验控制器采用的控制规律是（ ）。

- (A) P
- (B) PI
- (C) PD
- (D) PID

3. 下列对控制器各参数的作用描述错误的是（ ）。

- (A) HIAL 指上限报警
- (B) ctrl 指控制方式，设 1 为自动控制方式
- (C) Dip 指小数位置
- (D) run 指运行状态，设 0 为手动调节

4. 本实验所组成的控制系统控制是（ ）。
- (A) 开环系统 (B) 正反馈闭环系统
- (C) 负反馈闭环系统 (D) 复合控制系统
5. 控制器要求的输入信号是（ ）。
- (A) 1~5V (B) 24V
- (C) 4~20mA (D) 0~10mA
6. 在实验过程中，如液位无法控制，应排除的原因是（ ）。
- (A) 接线错误 (B) 控制阀有问题
- (C) 参数设置出错 (D) 自整定出错

实验三 双容液位的仪表控制实验

一、实验目的

- 1、了解简单过程控制系统的构成及熟悉仪表的操作。
- 2、掌握双容液位仪表控制方法。
- 3、熟悉 P、I 参数的调节。

二、实验设备

- 1、PCS2000B 过程控制实验装置（使用其中：电动调节阀、AI818 智能调节仪一台、上水箱、下水箱及液位变送器、水泵 1 供水系统、24VDC 电源等）。
- 2、AI-818 仪表的操作说明书、智能电动调节阀使用手册和液位变送器的调试（一般出厂之前已调试好）方法。

三、实验原理

本实验采用仪表控制,将下水箱液位控制在设定高度。进水流量通过上水箱,再进入下水箱。根据下水箱信号输出给仪表,仪表根据 P、I、D 参数进行 PID 运算,输出信号给电动调节阀,然后由电动调节阀控制水泵 1 出水流量,控制上水箱液位,再控制下水箱液位,从而达到控制设定液位的目的。当下水箱液位平衡时,上水箱液位也达到平衡。

双容水箱液位过程控制的方块原理图如图 3-1 所示。

PCS 智能调节仪模块

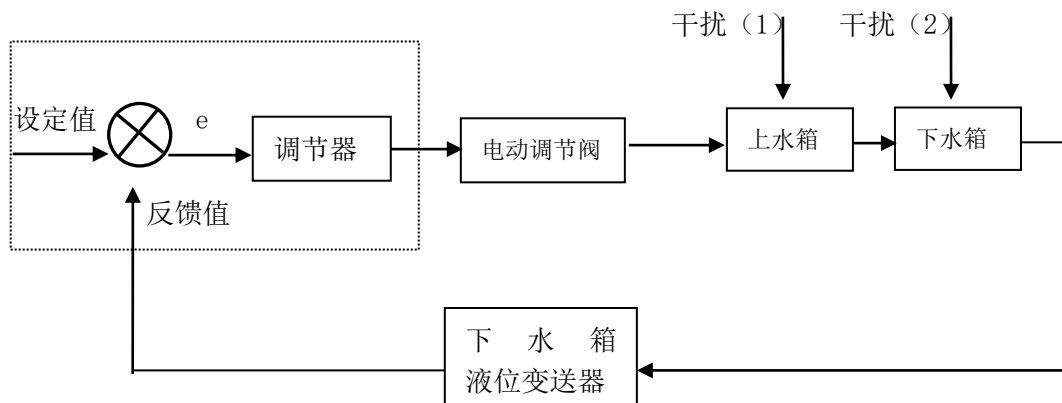


图 3-1 双容液位控制系统方块图

四、实验步骤

1. 接线：关闭所有电源开关后接线。
 - a、将 AC220V 电源“L”接至 PCS 智能调节单元 AC220V 的输入红色接线柱上,将 AC220V 电源“N”接至 PCS 智能调节单元 AC220V 的输入黑色接线柱上。
 - b、将信号板下水箱信号输出“+”接止 PCS 智能调节仪 10 号接线柱上,对应的将 PCS 智能调节仪 11 号接线柱上“-”接止信号板上“-”。
 - c、将 PCS 智能调节单元 7,8 端分别接止 10,11 端。
 - d、将 PCS 智能调节仪 13 号接线柱上“+”接到信号板上电动调节阀“+”；14 号接线柱“-”接到信号板上电动调节阀“-”端。
2. 打开 V8、V4、V5 等有关的手动阀门。
3. 参数设定：打开“总电源”和控制板上的 220V 的电源,再打开 PCS 智能调节仪

单元的电源。

仪表的有关参数设置如下（参阅 AI-818 仪表使用说明书）：

HIAl	上限报警：	设 9999（避免报警）
LOAL	下限报警：	设-1999（避免报警）
dHAL	正偏差报警	设 9999（报警取消）
dLAL	负偏差报警	设 9999（报警取消）
dF	回差（死区）	设 0.3 可视情况设定
ctrl	控制方式	设 1（可从面板手动设定 PID 参数，也允许从面板启动自整定功能，如设 2 马上启动自整定功能）。
P	比例带	设 0—9999 按需要设定
I	积分时间	设 0—9999 按需要设定
D	微分时间	设 0.0—9999 按需要设定
（仪表若经自整定之后，仪表内部有 P、I、D 的参数）		
Cr	相对比例系数	1
CTL	输出周期	设 1—4 秒
Sn	输入规格	设 33
Dip	小数位置	液位设 2，流量，温度设 1。
DIL	输入下限显示值	设 0
DIH	输入上限显示值	液位设 40，温度设 100℃，流量设 180 升/h。
Sc	主输入平移修正	设 0
OP1	输出方式	设 4（4—20MA 线性电流输出）
OpL	输出下限	设 0
OpH	输出上限	设 100（百分比）
ALP	报警输出定义	设 0
CF	系统功能选择	设 0
Addr	通讯地址	与上位机的设置相统一
Baud	通讯波特率	9600
DL	输入数字滤波系数	2~4
run	运行状态	设 0 为手动调节，设 1 为自动调节，一般为 1。
Loc	参数修正级别	设 808

最后返回设置，进行设定值设定。

建议：先设 Dip 小数点，再设其它参数。

4. 设定好仪表之后，打开有关的电源，进行仪表的控制。及实验柜上的 V8、V4、V5 手动阀，启动水泵 1。

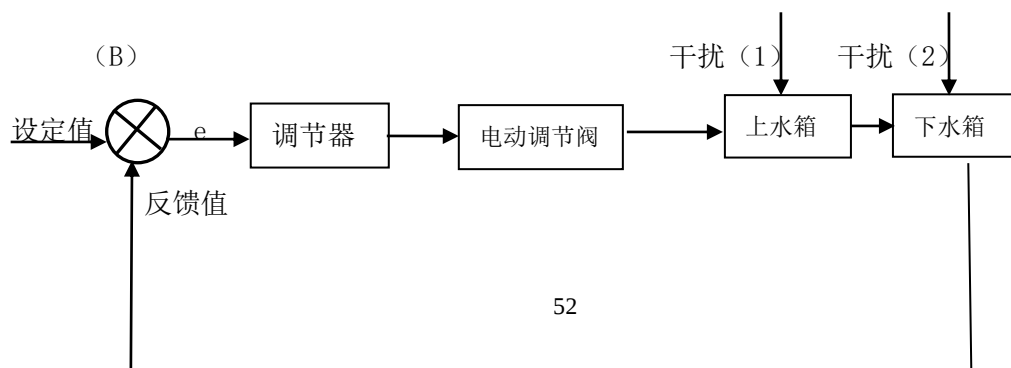
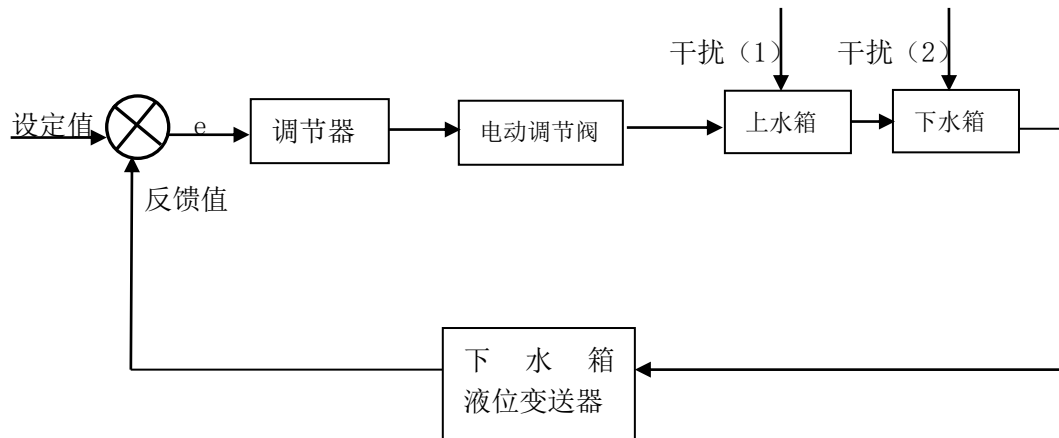
5. 仪表自整定

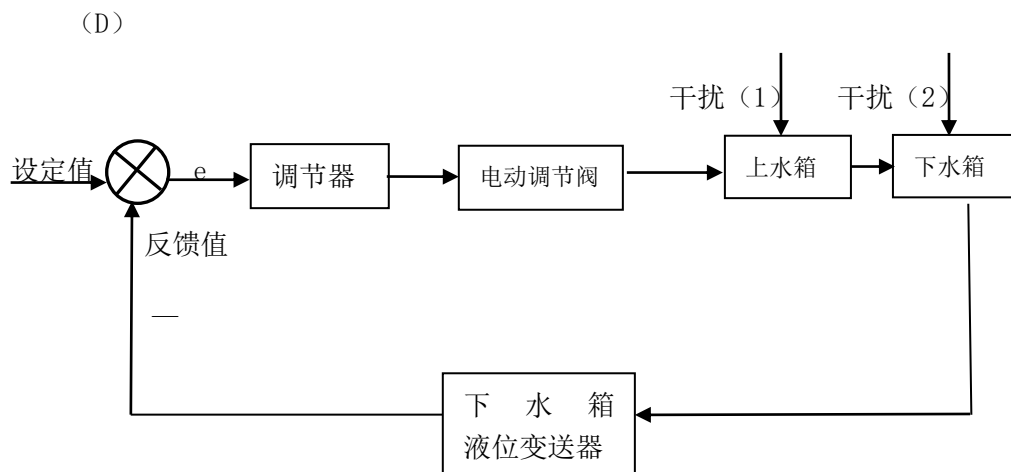
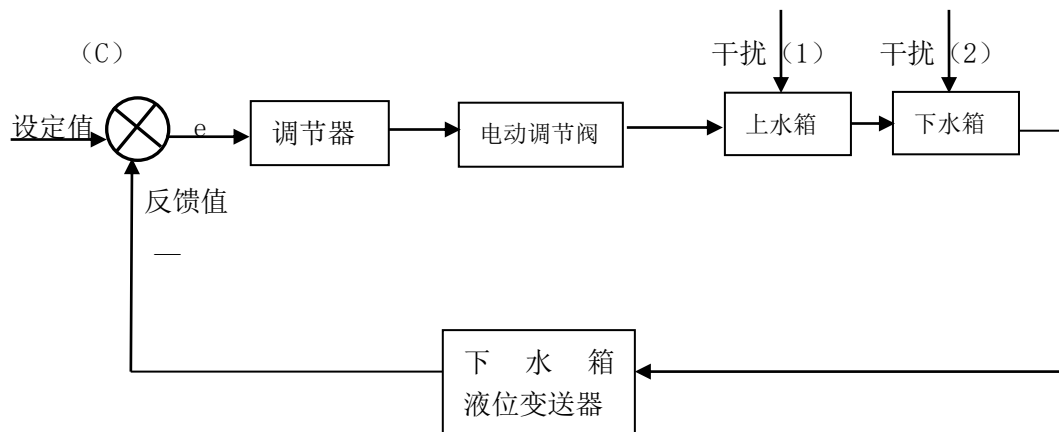
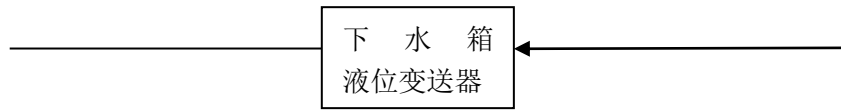
先将仪表的控制方式 ctrl 改为 2，实行自整定的方式，等待到仪表稳定之后，看电动调节阀是否稳定在某一个值上。如果水位控制出现较大的偏差，人工改变 PID 参数进行调节。一直调节 PID 改变水位，直到水位到达设定值为止。

6. 在系统稳定后，可进行干扰（扰动）实验。观察系统抗干扰能力，操作方法：参见“单容液位的仪表控制实验”。

五、考核题

1. 双容液位控制系统要求控制的是（ ）。
- (A) 上水箱液位 (B) 下水箱液位
- (C) 上、下水箱液位 (D) 先控制上水箱再控制下水箱液位
2. 下列对双容液位控制系统的方框图绘制正确的是（ ）。
- (A)





3. 本实验在检验控制系统的抗干扰能力时，所加干扰是通过改变（ ）。

- | | |
|-------------|-------------|
| (A) 上水箱进水 | (B) 下水箱进水 |
| (C) 上、下水箱进水 | (D) 控制器的设定值 |

4. 双容液位控制系统属于（ ）。

- (A) 开环控制系统 (B) 简单控制系统
(C) 串级控制系统 (D) 复合控制系统
5. 在整定控制器参数时应 ()。
- (A) 先 P 再 I 最后 D (B) 先启动自整定, 在根据具体情况同时调节 PID 参数
(C) 启动自整定即可 (D) 待控制器自整定完后, 手动按先 P 再 I 最后 D 调节
6. 下列数学模型中, 哪一个是本实验双容对象的数学模型? ()。

(A) $T \frac{d\Delta h}{dt} + \Delta h = k\Delta q_1(t - \tau)$ (B) $T_1 T_2 \frac{d^2 \Delta h_2}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{d\Delta h_2}{dt} + \Delta h_2 = K\Delta q_i(t - \tau_0)$
(C) $T_a \frac{d\Delta h}{dt} = \Delta q_1(t - \tau_0)$ (D) $T_1 T_a \frac{d^2 \Delta h_2}{dt^2} + T_a \frac{d\Delta h_2}{dt} = \Delta q_i(t - \tau_0)$

实验四 串级仪表控制实验

一、实验目的

- 1、了解复杂过程控制系统的构成及仪表的应用。
- 2、掌握复杂过程控制的串级控制方法。

二、实验设备及参考资料

- 1、PCS2000B 过程控制实验装置 (使用其中: 电动调节阀、AI818 智能调节仪二台、上下水箱及液位变送器、24vDC 电源、水泵 1 系统等)。
- 2、AI-818 仪表的操作说明书和智能电动调节阀使用手册液位 (压力) 变送器的调试 (一般出厂之前已调试好) 方法。

三、实验原理

本实验采用仪表控制,将下水箱液位控制在设定高度。串级回路是由内外反馈组成的双环控制系统,属于复杂控制范畴。根据下水箱的液位信号输出给仪表 1,作为主调节器输入,主调节器的输出作为外给定值输入给仪表 2,即副调节器。上水箱的液位信号作为副调节器的反馈输入信号,构成内反馈环节。下水箱的液位信号作为主调节器的反馈信号,构成外反馈环节。

在串级控制系统中,两个调节器任务不同,因此要选择调节器的不同调节规律进行控制,副调节器主要任务是快速动作,迅速克服进入副回路的扰动,至于副回路的调节不要求一定无静差,所以一般副调节器可采用比例调节器(即只设置 P,取消积分 I 为 0,也可取消微分 D 为 0)。主调节器的任务是准确保持下水箱液位在设定值,因此,主调节器采用 PI 调节器也可考虑采用 PID 调节器。

串级控制系统的方块原理图:如图 4-1

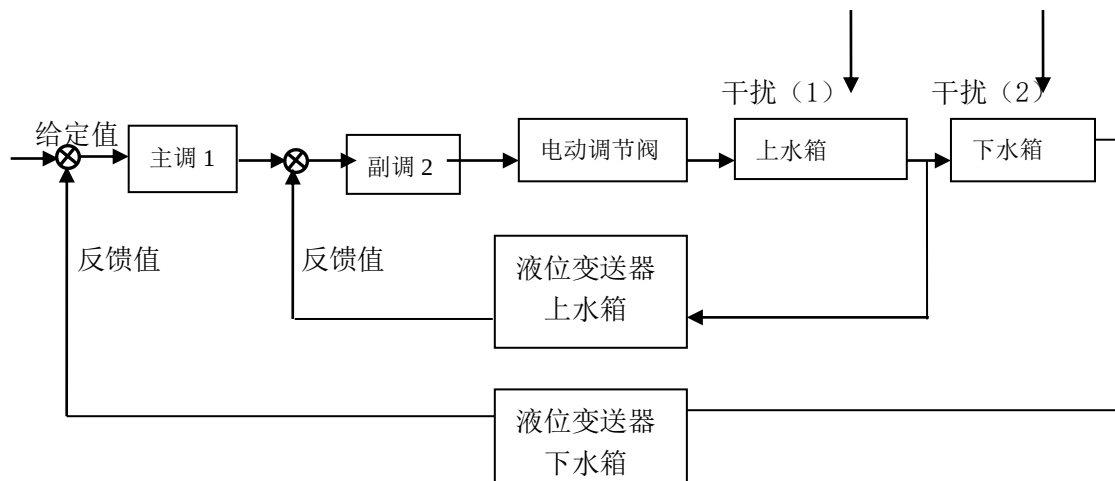


图 4-1 串级液位控制系统方块图

四、实验步骤

1. 接线: 关闭各电源开关, 在无电情况下操作
 - a. 将 AC220V 电源“L”分别接至两台 PCS 智能调节单元 AC220V 的输入红色接线柱上, 将 AC220V 电源“N”分别接至两台 PCS 智能调节单元 AC220V

的输入黑色接线柱上。

- b. 将信号板上的下水箱信号输出“+”接至其中一台 PCS 智能调节仪（作为主调节器）10 号接线柱上，对应的将 PCS 智能调节仪 11 号接线柱上“-”接至信号板上“-”端。
- c. 将第一台作为主调节器的 PCS 智能调节仪 13 号接线柱上的信号输出“+”接至第二台作为副调节器 PCS 调节仪 10 端；主调节器 14 端“-”接到副调节器的 11 端。
- d. 将信号板上的上水箱信号输出“+”接至第二只作为副调节器的 PCS 智能调节仪的 12 号接线柱上，再将副调节器的 11 号接线柱上“-”端接至上水箱信号板上“-”端。
- e. 分别将二只 PCS 智能调节单元板上 7 端与 10 端、8 端与 11 端相连。
- f. 将副调节器的 13 号接线柱上“+”端接至信号板上电动调节阀“+”端，14 号接线柱上“-”端接至信号板上电动调节阀“-”端。

2. 参数设置：打开“总电源”，220vAC 电源和主调节器及副调节器，二个单元板上电源开关，分别对调节器进行参数设置。

（1）主调节器 PCS 智能仪表的有关参数设置如下：

HIAl	上限报警：	设 9999（避免报警）
LOAL	下限报警：	设-1999（避免报警）
dHAL	正偏差报警	设 9999（报警取消）
dLAL	负偏差报警	设 9999（报警取消）
dF	回差（死区）	设 0.3 可视情况设定
ctrl	控制方式设 1（可从面板手动设定 PID 参数, 也允许从面板启动自整定功能，如设 2 马上启动自整定功能。）	
P	比例带	设 0—9999 按需要设定
I	积分时间	设 0—9999 按需要设定
D	微分时间	设 0.0—9999 按需要设定
Cr	相对比例系数	1
CTL	输出周期	设 1—4 秒
Sn	输入规格	33
Dip	小数位置	液位设 2，流量、温度设 1。

DIL 输入下限显示值 设 0
 DIH 输入上限显示值 液位设 40
 Sc 主输入平移修正 设 0
 OP1 输出方式 设 4 (4—20MA 线性电流输出)
 OpL 输出下限 设 0
 OpH 输出上限 设 100 (百分比)
 ALP 报警输出定义 设 0
 CF 系统功能选择 设 0
 Addr 通讯地址 与上位机的设置相统一
 Baud 通讯波特率 9600
 DL 输入数字滤波系数 2~4
 run 运行状态 设 0 为手动调节, 设 1 为自动调节, 一般为 1。
 Loc 参数修正级别 设 808

(2) 副调节器 PCS 智能仪表的有关参数设置如下:

HIAL 上限报警: 设 9999 (避免报警)
 LOAL 下限报警: 设 -1999 (避免报警)
 dHAL 正偏差报警 设 9999 (报警取消)
 dLAL 负偏差报警 设 9999 (报警取消)
 dF 回差 (死区) 设 0.3 可视情况设定
 ctrl 控制方式 设 1
 P 比例带 设 0—9999 按需要设定
 I 积分时间 设 0—9999 按需要设定
 D 微分时间 设 0.0—9999 按需要设定
 Cr 相对比例系数 1
 CTL 输出周期 设 1—4 秒
 Sn 输入规格 32 (1—5 伏电压输入)
 Dip 小数位置 液位设 2
 DIL 输入下限显示值 设 0
 DIH 输入上限显示值 液位设 40
 Sc 主输入平移修正 设 0

OP1 输出方式 设 4 (4—20MA 线性电流输出)

OpL 输出下限 设 0

OpH 输出上限 设 100 (百分比)

ALP 报警输出定义 设 0

CF 系统功能选择 设 8

Addr 通讯地址 与上位机的设置相统一

Baud 通讯波特率 9600

DL 输入数字滤波系数 2~4

run 运行状态 设 0 为手动调节, 设 1 为自动调节, 一般为 1。

Loc 参数修正级别 设 808

最后返回对副调节器进行给定值设定。

建议: 先设 Dip 小数点, 再设其它参数。

3. 对副调节器先进行自整定, 初步获得 P、I、D 值。
4. 设定好仪表之后, 先打开 V8、V4、V5 手动阀, 再打开水泵 1 开关启动水路系统, 开 24vDC 进行仪表的控制。

若先行手工调节 V8、V4、V5 阀门开度, 使上、下水箱中液位接近给定值, 可加快实验进程。

5. 扰动实验:

在仪表控制达到稳态平衡下, 对上水箱用旁路流量进行干扰实验, 观察系统抗干扰能力。干扰源, 可选用水泵 2 系统 (异路), 也可用同路水源即水泵 1 系统进行干扰 (由实验柜内的三通阀, 改变水源来路)

例如用水泵 2 系统作为干扰源, 方法如下:

a、调整三通阀位置, 接通水泵 2 (磁力阀) 与干扰水路通道 (三通阀柄有  号指示);

b、打开启动水泵 2 开关;

c、启动变频器 (最大频率设定为 50Hz);

d、打开干扰电磁阀;

e、短时打开 V2 干扰进水阀;

观察仪表对干扰的反应。

也可以用同路水源作干扰水源进行干扰，此时应将三通阀调整为接通水泵 1 水路。其余操作相同。

五、实验建议

调节器的 PID 参数可以反复凑试，逐步逼近达到最佳的整定，实际中采用串级调节系统是为了提高主被调量（下水箱）精度和改善动态特性而设置的，因此对副调回路的性能指标没有要求，而对主回路的性能指标要求高。要牺牲副回路的质量，保证主回路的调节质量，所以副调节器比例作用强一些，取消积分作用，主调节器设置 P、I、D 参数即可。

六、考核题

- 实验时，正确的操作步骤应该是（ ）。
(A) 先接线再开电源
(B) 先开电源再接线
(C) 开电源时应先开总电源
(D) 应先开仪表开关再开总电源
- 下列对串级控制系统的特点叙述错误的是（ ）。
(A) 有两个控制回路
(B) 副回路是随动控制系统
(C) 有两个被控对象
(D) 既有正反馈又有负反馈
- 对串级控制系统主、副控制器应选择控制规律说法正确的是（ ）。
(A) 主、副控制器应分别选择 PI、PID 控制规律
(B) 主、副控制器可分别选择 P、PID 控制规律
(C) 主、副控制器都应选择 PI 控制规律
(D) 主、副控制器都应选择 PID 控制规律
- 串级控制系统在手动调节 PID 参数时，应（ ）。
(A) 只调节主控制器参数
(B) 只调节副控制器参数
(C) 先调节副控制器参数再调节主控制器参数
(D) 先调节主控制器参数再调节副控制器参数
- 下列对象中适合应用串级控制系统进行控制的是（ ）。
(A) 单容水槽液位
(B) 双容水槽液位
(C) 锅炉液位
(D) 锅炉温度

6. 本实验中，副回路包括（ ）。

- (A) 主、副控制器，控制阀，上、下水箱，下水箱液位测量元件及变送器
- (B) 副控制器，副控制阀，上水箱，上水箱液位测量元件及变送器
- (C) 副控制器，控制阀，下水箱，下水箱液位测量元件及变送器
- (D) 副控制器，控制阀，上水箱，上水箱液位测量元件及变送器

实验五 温度 PID 连续控制实验*

一、实验目的

- 1、了解温度控制系统的构成。
- 2、学习温度 P I D 控制方法。

二、实验设备及资料

- 1、 PCS2000B 过程控制实验装置（其中使用：加热器、AI818 智能调节仪、水泵 1 和水泵 2、Pt100 及变送器、调压模块、24VDC 电源）。
- 2、 AI-818 仪表的操作说明书

三、实验原理

实验采用仪表控制,将加热器水的温度控制在设定温度。根据加热器温度变

送器输出信号给仪表, 作为调节器输入, 调节器根据 PID 运算, 然后输出控制信号, 控制调压模块, 调整输出电压, 从而调整加热器的功率, 使加热器里水的温度控制在设定的温度。(也可控制加热器外层冷却水的流量、流速, 达到控制热水器里水的温度的目的。)

温度控制原理方块图: 如图 5-1

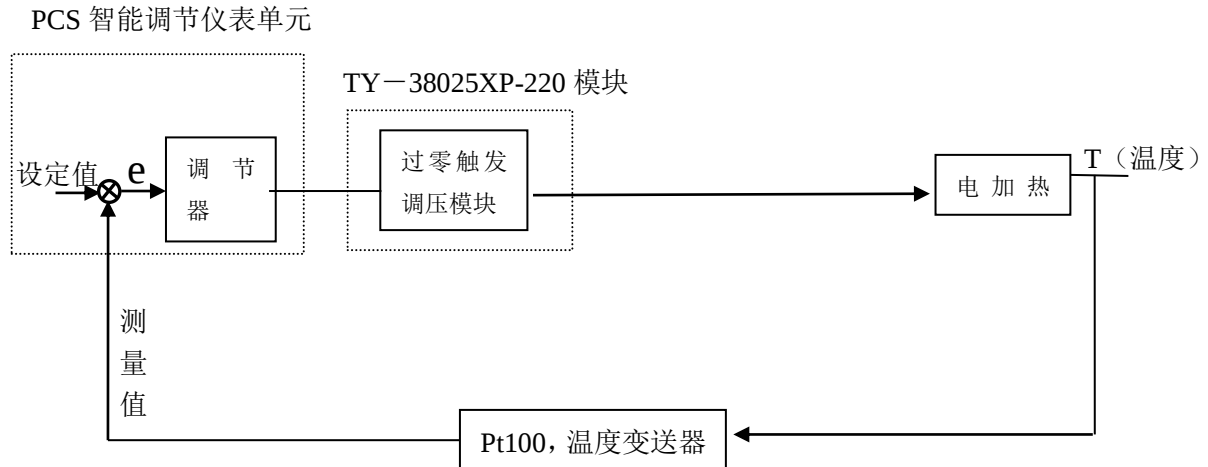


图 5-1 温度控制系统方块图

四、实验步骤

1. 接线: 将所有电源开关关闭后, 进行接线操作。
 - a、将 AC220V 电源 “L” 接至 PCS 智能调节单元 AC220V 的输入红色接线柱上, 将 AC220V 电源 “N” 接至 PCS 智能调节单元 AC220V 的输入黑色接线柱上。
 - b、将信号板温度信号输出 “+” 接至 PCS 智能调节仪 12 号接线柱上, 对应的将 PCS 智能调节仪 11 号接线柱上 “-” 接至信号板温度信号输出 “-”。
 - c、将 PCS 智能调节单元 8, 9 端分别接至 11, 12 端。
 - d、将 PCS 智能调节仪 13 号接线柱上 “+” 端接至信号板上温度信号输入 “+” 端; 14 号接线柱上的 “-” 端接到信号板上温度信号输入 “-” 端。
2. 打开 “总电源” 和控制板上的 220V 的电源, 再打开 PCS 智能调节仪单元的电源。
3. 打开 V6, 启动水泵 1 (在加热箱里无水或水位不够情况下。即使打开加热开关, 加热器也不通电)。
4. 打开冷却水进水阀门 V7 和干扰电磁阀向加热器中进水; 或启动水泵 2, 打开 V18, 向加热器中进水。

5. V9、V10 视情况打开到一定程度。

6. 参数设置，这时用一个 PCS 智能仪表控制单元模块。仪表的有关参数设置如下：

HIAl	上限报警：	设 9999（避免报警）
LOAL	下限报警：	设-1999（避免报警）
dHAL	正偏差报警	设 9999（报警取消）
dLAL	负偏差报警	设 9999（报警取消）
dF	回差（死区）	设 0.3 可视情况设定
ctrl	控制方式	设 1
P	比例带	设 0—9999 按需要设定
I	积分时间	设 0—9999 按需要设定
D	微分时间	设 0.0—9999 按需要设定
Cr	相对比例系数	1
CTL	输出周期	设 1—4 秒
Sn	输入规格	32
Dip	小数位置	1
DIL	输入下限显示值	设 0
DIH	输入上限显示值	100℃
Sc	主输入平移修正	设 0
OP1	输出方式	设 4（4—20MA 线性电流输出）
OpL	输出下限	设 0
OpH	输出上限	设 100（百分比）
ALP	报警输出定义	设 0
CF	系统功能选择	设 0
Addr	通讯地址	与上位机的设置相统一
Baud	通讯波特率	9600
DL	输入数字滤波系数	2~4
run	运行状态	设 0 为手动调节，设 1 为自动调节，一般为 1。
Loc	参数修正级别	设 808

最后返回设置，进行设定值设定

建议：先设 Dip 小数点，再设其它参数

设定好仪表之后，打开有关的电源，进行仪表的控制。

7. 先将仪表的控制方式 ctrl 改为 2，实行自整定的方式，等待到仪表稳定之后，看控制柜里的温度显示表是否在设定值上。如果水箱里的温度有较大的偏差，人工改变 PID 参数进行调节。一直调节 PID 改变调节仪的输出来控制水箱里的温度。如果实验发现温度有很大的超调，这时可以用干扰电磁阀向加热器进水，进行冷水降温。

五、思考建议

温度控制 PID 有什么特点。如何减小超调量和快速达到平衡。

实验六 PLC 控制的单容液位 PID 控制实验

一、实验目的

- 1、了解 PLC 在液位 PID 调节系统中的应用。
- 2、有条件者可以学习西门子 PLC STEP7 编程软件自行编写应用程序，进行实验。
- 3、熟悉并掌握看曲线调参数的方法。

二、实验设备

- 1、 PCS2000 过程控制实验装置（使用其中：西门子 S7-200PLC、EM235 模拟量模块、电动调节阀、上水箱及液位变送器、水泵 1 供水系统、24V 直流电源等）
- 2、 上位计算机系统（MCGS 运行环境）及 PC/PPI 电缆

三、实验原理

本实验采用 PLC 中的 PID 控制原理进行恒液位控制，即在有不同出水量情况下，将液位控制在设定高度。PLC 的 CPU 对上水箱液位变送器输入信号进行处理后与设定水位值进行比较，再根据上位机输入的 P、I、D 参数进行 PID 运算，输出信号对电动调节阀进行控制，从而达到控制进水量以达到控制液位稳定的目的。

实验时，学生可通过设置 P、I、D 三个参数来选择不同的控制过程（如：P 调节、PI 调节、PID 调节）寻找最佳的控制方案及参数。

PID 控制的原理基于下面的公式：输出为比例项、积分项和微分项的函数：

$$M(t) = K_p * (e + 1/T_i * \int e dt + T_d * de/dt)$$

输出 = 比例项 + 积分项 + 微分项

$M(t)$ PID 回路的输出，是时间函数

K_c PID 回路的增益

e PID 回路的偏差

$M_{initial}$ PID 回路输出的初始之值

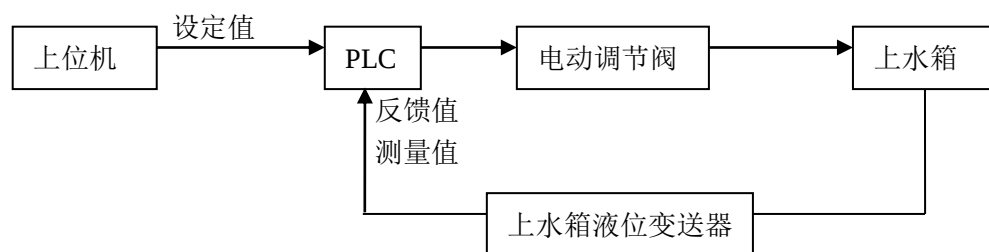


图 6-1 PLC 控制的单容液位 PID 控制方块图

四、实验步骤

- 1、 检查实验台电源总开关及控制面板、信号板、仪表模块的开关均令其处于关闭状态。
- 2、 接线：
 - a、将 AC220V 电源“L”接至 PCS 可编程控制单元 AC220V 的输入红的接线柱上。选用红色带保护套插头的专用实验线

将 AC220V 电源“N”接至 PCS 可编程控制单元 AC220V 的输入黑的接线柱上。选用黑色带保护套插头的专用实验线

将可编程控制单元的地“”接至 1 号条板的“”

- b、将信号板上的上水箱信号输出“+”和“-”分别接至 PLC 可编程控制单元 A/I 0 的“+”和“-”端。
- c、将可编程控单元模拟量输出 A/O 0 “+”和“-”接至信号板上电动调节阀控制信号输入“+”和“-”端。
- d、连接上位机与 PLC 之间通讯线
- e、检查连线正确后，打开 V8、V4、V5、V18 手动阀。
- f、打开总电源, A C 2 2 0 V 电源，PLC 的电源， 2 4 V 直流电源，水泵 1 的电源，电动调节阀的电源 。

查看有关的指示灯是否正常，其中 PLC 指示灯为绿色正常运行(若指示灯为橘黄色，则令 run/stop 开关处于 run 状态)

3、点击桌面上的 PLC 快捷图标，如图 6—2：



图 6—2

点击 PLC 控制实验系统，进入实验目录菜单，如图 6—3：

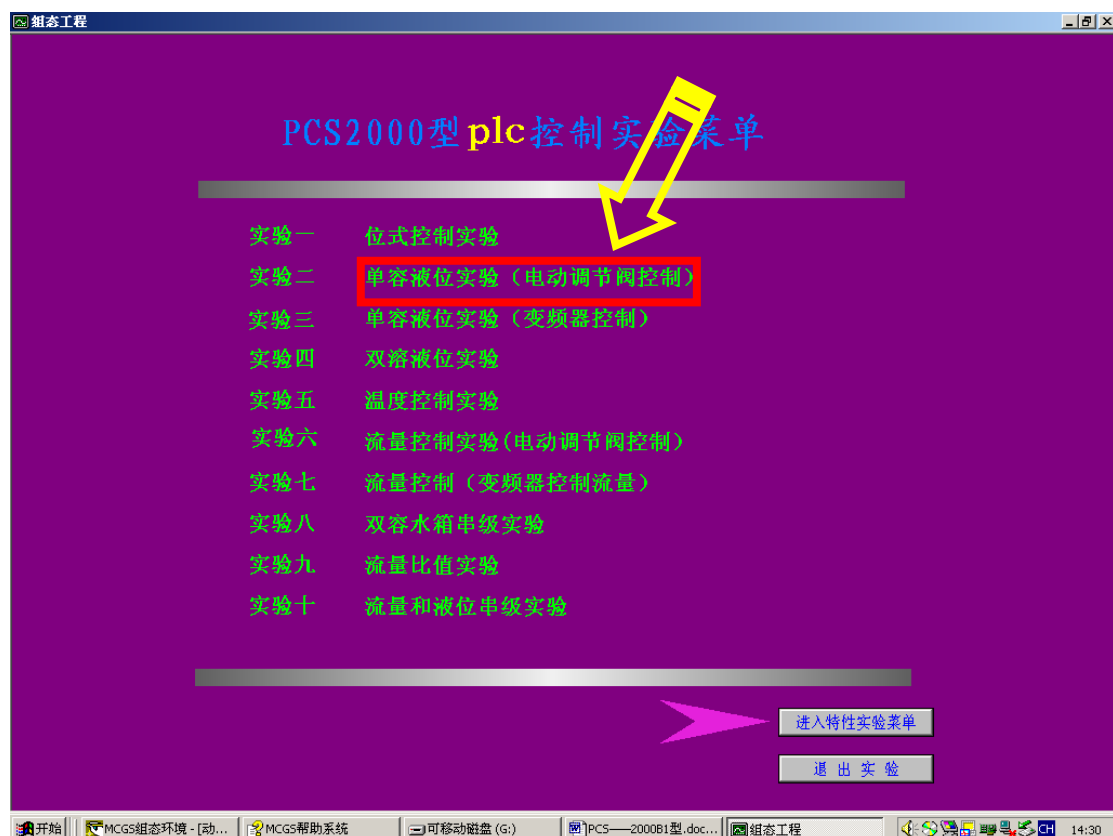


图 6—3

点击 实验二 单容液位 P I D 实验（电动调节阀控制），进入实验界面如图 6—4

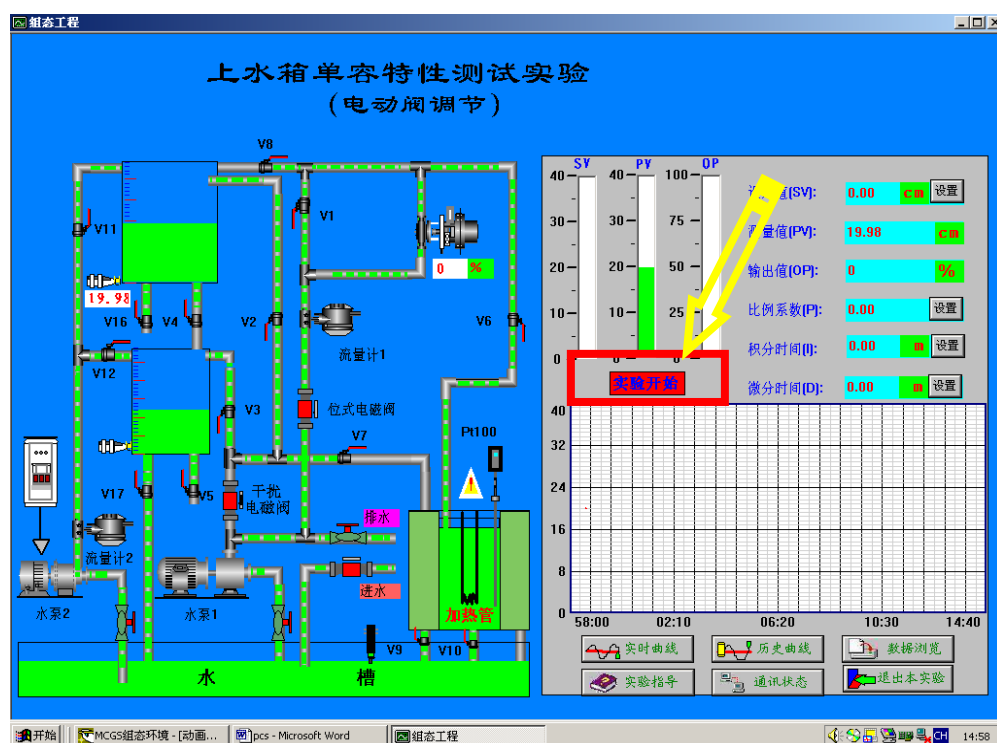


图 6—4

- 1、在上位机设定好水位设定值及 P、I、D 等参数，点击实验开始按钮，进行实验如图 6—5：

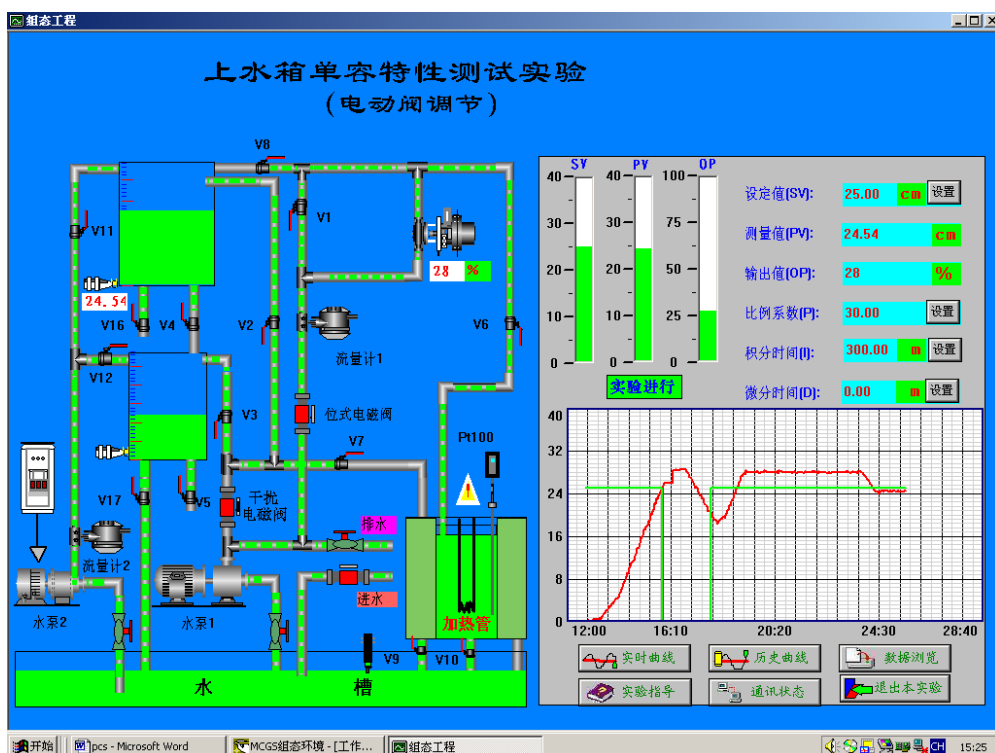


图 6—5

2、用同样的方法可以观察历史曲线和数据浏览。

3、利用干扰回路对上水箱进行液位干扰，观察系统抗干扰能力。干扰源可分二路：

- a. 启动水泵 2 水路系统，并将三通阀切换到与干扰回路接通位置，然后打开干扰电磁阀和手动阀 V 2，进行分路干扰。
- b. 将三通阀切换到水泵 1 水路系统，然后打开干扰电磁阀和手动阀 V 2，进行同路干扰。

五、实验结果整理

实验中，选择不同的 P、I、D 参数进行 P 调节、PI 调节、PID 调节实验，寻找最佳控制调节方法及参数，总结不同的调节过程特性，整理实验数据，可以打印出实时曲线和历史曲线，并可以根据历史数据绘出历史曲线进行分析，得出控制性能的结论。

六、考核题

1. 本实验中，PLC 与仪表控制相比较，最大的优点是（ ）。
- (A) 不用接地线 (B) 不用手动调节 PID 参数

- (C) 直接根据被控变量的变化曲线做出判断, 来调节 PID 参数
- (D) 更安全可靠
2. 在进行实验时, 若曲线偏离给定值后长时间不回来且趋于非周期应()。
- (A) 增大放大倍数 (B) 减小放大倍数
- (C) 增大积分时间 (D) 减小积分时间
3. 在进行实验时, 若没有测量信号, 不需考虑的原因是()。
- (A) 是否接地线 (B) 有关仪器仪表是否给电
- (C) 接线是否有错误 (D) 是否已确定实验开始
4. 本实验中控制器采用的控制规律是()。
- (A) P (B) PI (C) PD (D) PID
5. 在进行本实验时, 有几处可以观察到控制阀的开度? ()
- (A) 1 处 (B) 2 处 (C) 3 处 (D) 4 处

实验七 PLC 控制的双容液位 PID 控制实验

一、实验目的

- 1、掌握双容（二阶系统）液位 PID 控制的控制原理及其控制特性。
- 2、有条件和兴趣者可以利用西门子 S7 编程软件自行编程双溶液位 PID 实验, 加深对二阶系统的理解。
- 3、熟悉并掌握看曲线调参数的方法。

二、实验设备

- 1、 PCS2000 过程控制实验装置（使用其中：西门子 S7-200PLC、EM235 模拟量模块、电动调节阀、上下水箱及下水箱液位变送器、24V 直流电源）。
- 2、上位计算机系统（MCGS 运行环境）及 PC/PPI 电缆。

三、实验原理

本实验采用 PLC 中的 PID 控制原理进行双容液位控制,即在下水箱出水量变化时,通过上水箱液位的改变来保证下水箱液位的恒定,而上水箱的液位通过电动调节阀来调节控制。PLC 的 CPU 对下水箱液位变送器输入信号进行处理后与设定水位值进行比较,再根据上位机输入的 P、I、D 参数进行 PID 运算,输出信号对电动调节阀进行控制,从而达到控制进水流量以达到控制下水箱液位的目的。

使用电动调节阀作为执行机构,由 PLC 模拟输出通道输出信号(4—20 mA)进行控制;实验时,学生可通过设置 P、I、D 三个参数来选择不同的控制过程(如:P 调节、PI 调节、PID 调节)寻找最佳的控制方案及参数。

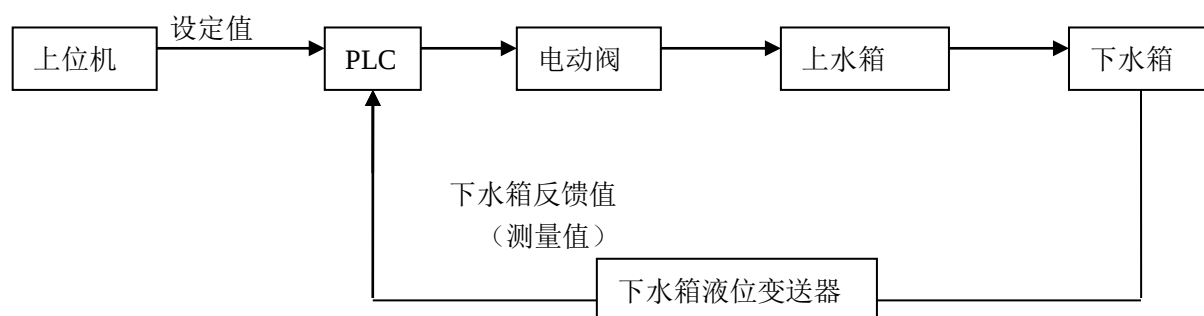


图 7-1 PLC 控制的双容液位 PID 控制方块图

四、实验步骤

- 1、检查实验台电源总开关及控制面板、信号板、仪表模块的开关均令其处于关闭状态。
- 2、接线：
 - a、将 AC220V 电源“L”接至 PCS 可编程控制单元 AC220V 的输入红的接线柱上。选用红色带保护套插头的专用实验线。

将 AC220V 电源“N”接至 PCS 可编程控制单元 AC220V 的输入黑的接线柱上。选用黑色带保护套插头的专用实验线。

将可编程控制单元的地“ ”接至 1 号条板的“ ”

- b、 将信号板上的上水箱信号输出“+”和“-”分别接至 PLC 可编程控制单元 A / I 0 的“+”和“-”端
- c、将信号板上的下水箱信号输出“+”和“-”分别接至 PLC 可编程控制单元 A / I1 的“+”和“-”端。
- d、 将可编程控单元模拟量输出 A / O 0 “+”和“-”接至电动阀信号输入端+、-端。
- e、 连接上位机与 PLC 之间通讯线
- f、 检查连线的正确后，打开 V11、V4、V5 手动阀
- g、 打开总电源,AC220V 电源，PLC 的电源，水泵 1 的电源和 24V 直流电源、电动调节阀电源。

查看有关的指示灯是否正常，其中 PLC 指示灯为绿色正常运行(若只是灯位橘黄色，则令 run/stop 开关处于 run 状态)

3、 点击桌面上的 PLC 快捷方式进入运行环境，如图 7-2

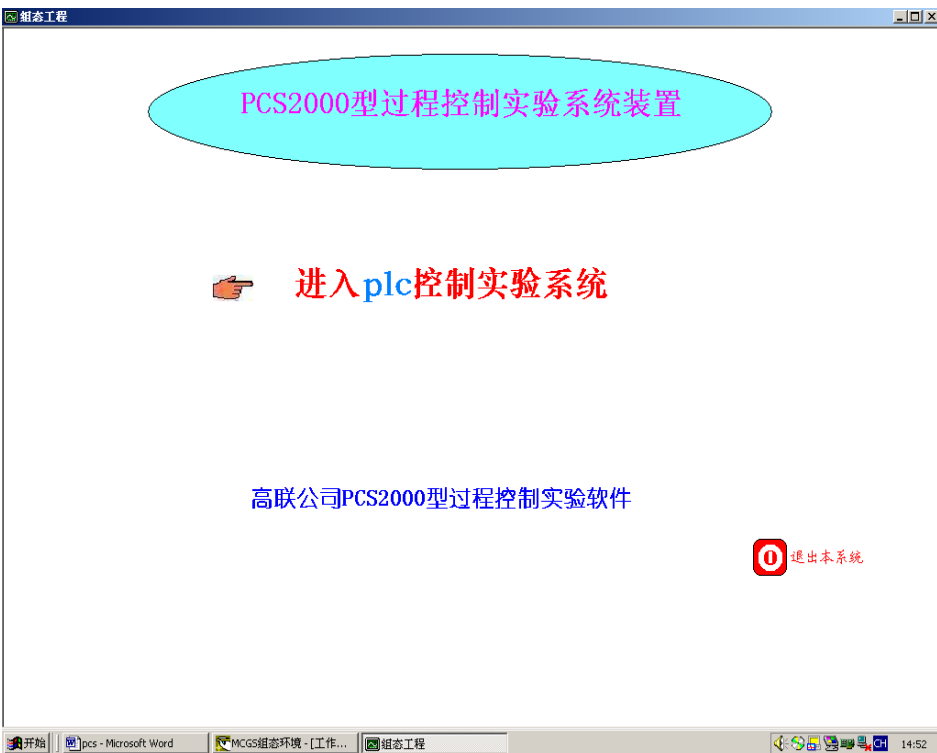


图 7-2

点击“进入 PLC 控制实验系统”如图 7-3 所示：

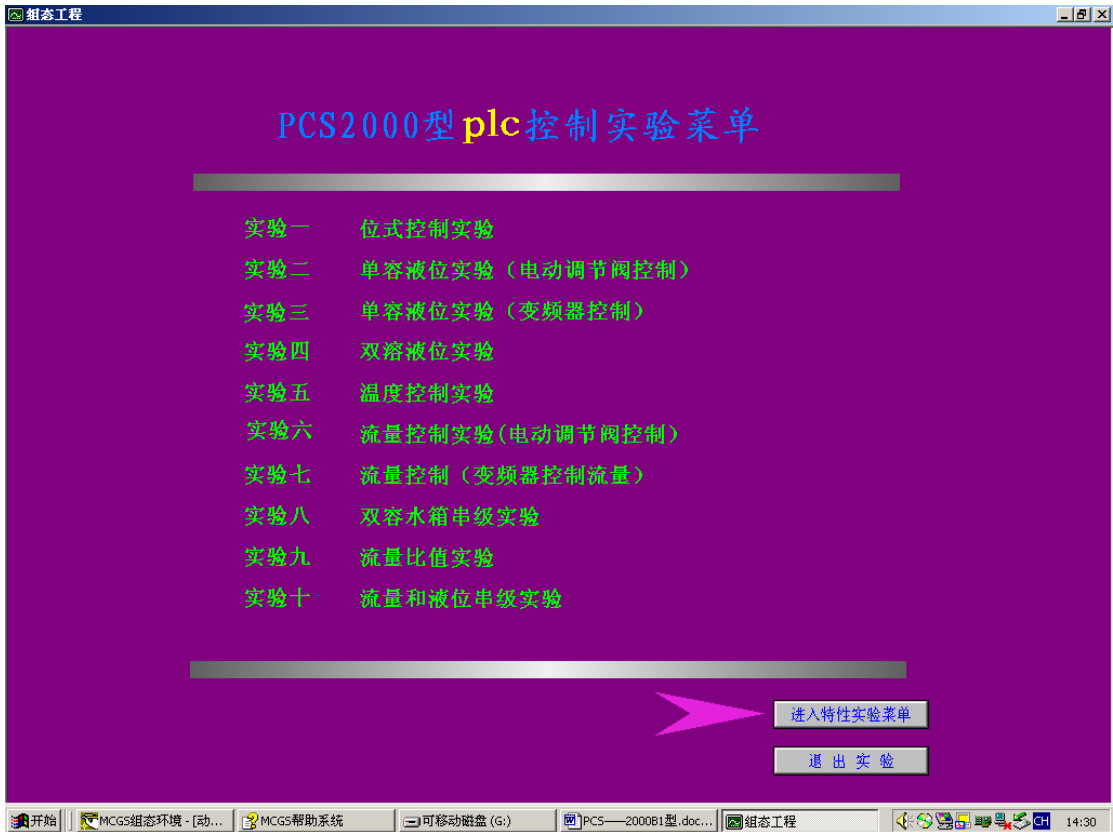


图 7-3

点击“实验四、双溶液位 PID 实验”如图 7-4：

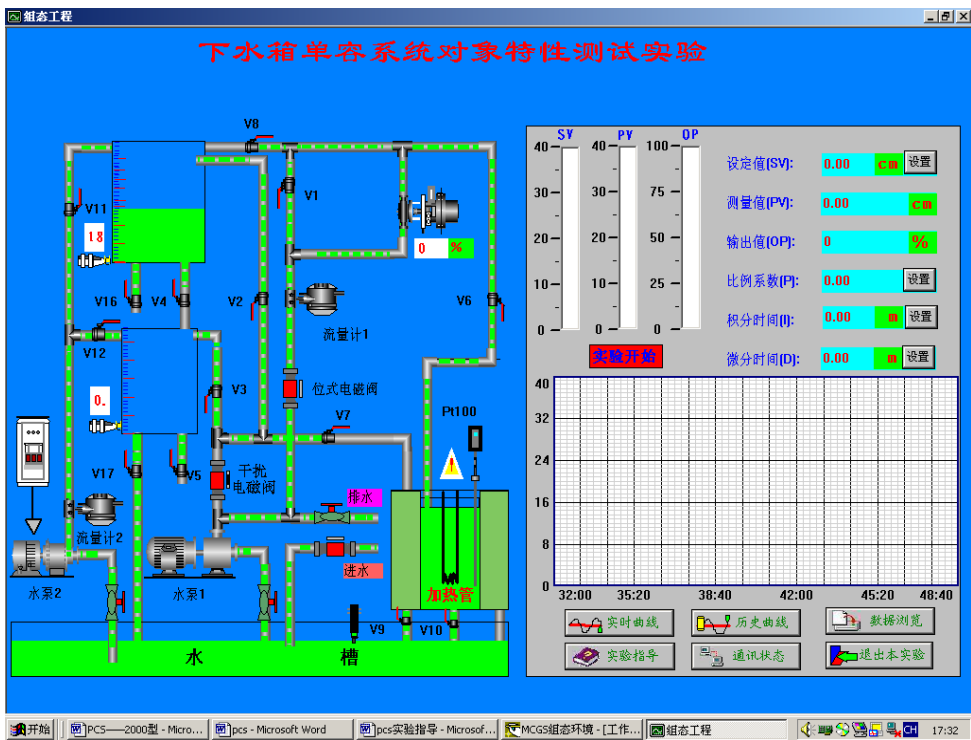


图 7-4

在上位机设定好水位设定值及 P、I、D 等参数，点击实验开始按钮，进行实验找到一组最佳参数。同时我们可以参照实验六。

- 4、观察历史曲线及数据浏览，总结两种不同系统特点。
- 5、双容液位系统可以进行一次和二次干扰，二次干扰可以按照单容系统扰动实验进行。一次干扰是对下水箱液位进行干扰，可以参照二次扰动自己设计进行干扰。并观察其曲线变化。

五、实验结果整理

实验中，学生选择不同的 P、I、D 参数进行 P 调节、PI 调节、PID 调节实验，寻找最佳控制调节方法及参数，总结不同的调节过程特性，整理实验数据，要求打印出实时曲线和历史曲线，或根据历史数据绘出历史曲线进行分析，得出控制性能的结论。

六、考核题

1. 本实验在检验控制系统的抗干扰能力时，所加干扰是通过改变（ ）。
 - (A) 上水箱进水
 - (B) 下水箱进水
 - (C) 上、下水箱进水
 - (D) 被控变量的设定值
2. 下列描述控制器控制规律的表达式正确的是（ ）。
 - (A) $p = K_p e$
 - (B) $\Delta P(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t) dt]$
 - (C) $\Delta P(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t) dt$
 - (D) $\Delta P(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t) dt$
3. 在进行实验时，若曲线不规则地较大地偏离给定值且超调量较大，则应（ ）。
 - (A) 增大放大倍数
 - (B) 减小放大倍数
 - (C) 增大积分时间
 - (D) 减小积分时间
4. 我们要得到的理想过渡过程曲线应该是（ ）。
 - (A) 发散震荡的过渡过程曲线
 - (B) 衰减震荡的过渡过程曲线
 - (C) 10:1 的衰减震荡过渡过程曲线
 - (D) 震荡两次就能稳定的衰减过渡过程曲线
5. 下列说法正确的是（ ）。
 - (A) 比例度过小、积分时间过小或微分时间过大，都会使被控变量产生激烈振荡。
 - (B) 比例度过大、积分时间过大或微分时间过小，都会使被控变量产生激烈振荡。
 - (C) 放大倍数过小、积分时间过小或微分时间过小，都会使被控变量产生激烈振荡。
 - (D) 放大倍数过大、积分时间过大或微分时间过大，都会使被控变量产生激烈振荡。

实验八 单容液位的特性实验*

一、实验线连接

- 1、检查实验台电源总开关及控制面板、信号板、仪表模块的开关均令其处于关闭状态。
- 2、接线：
 - a、 将 AC220V 电源 “L” 接至 PCS 可编程控制单元 AC220V 的输入红的接线柱上。**选用红色带保护套插头的专用实验线**
将 AC220V 电源 “N” 接至 PCS 可编程控制单元 AC220V 的输入黑的接线柱上。**选用黑色带保护套插头的专用实验线**
将可编程控制单元的 “ ” 接至 1 号的 “ ”
 - b、 将信号板上的上水箱信号输出 “+” 和 “-” 分别接至 PLC 可编程控制单元 A/I0 的 “+” 和 “-” 端
 - c、 连接上位机与 PLC 之间通讯线
 - d、 检查连线的正确后，打开 V8、V4、V5、手动阀
 - e、 打开总电源, AC220V 电源、PLC 的电源，水泵 1 的电源和直流 24V 的电

源

3、查看有关的指示灯是否正常，其中 PLC 指示灯为绿色正常运行（若为橘黄色，则令 run/stop 开关处于 run 状态。

二、实验操作步骤

打开桌面上的快捷方式：如图 8-1：



图 8-1

点击进入 PLC 控制实验系统，如图 8-2：

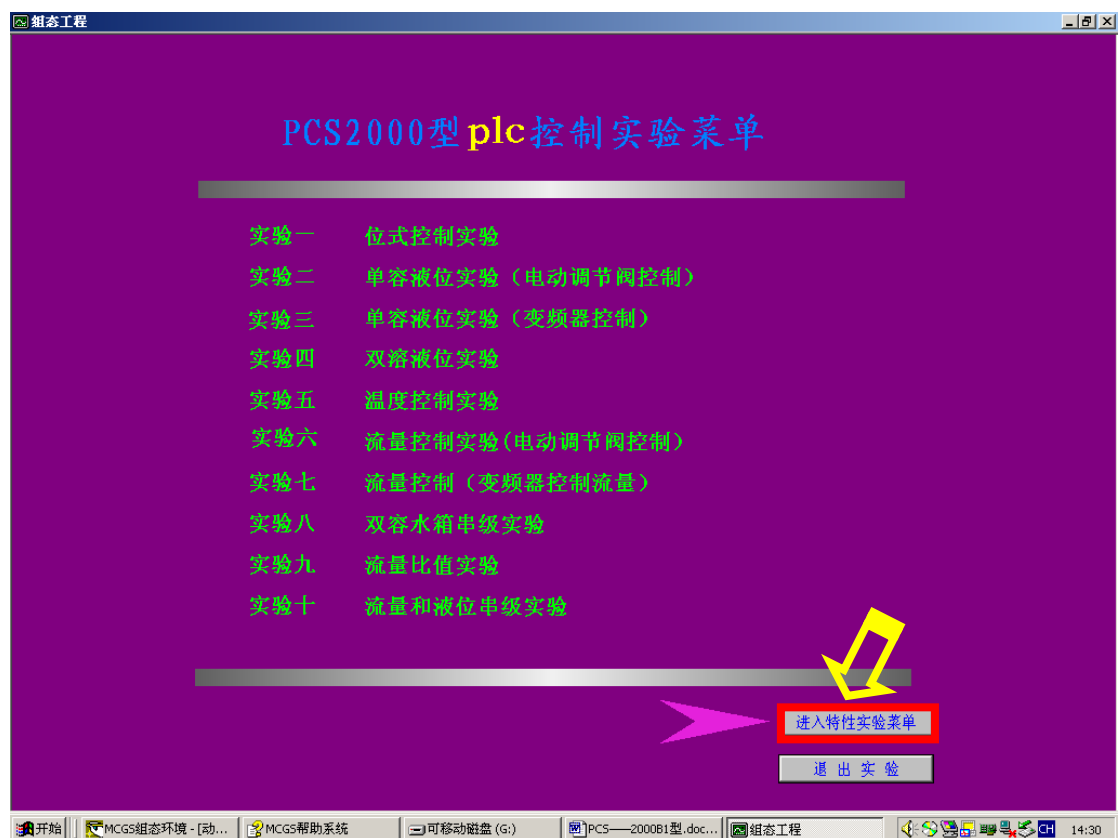


图 8-2

点击 “进入特性实验菜单” 如图 8-3:

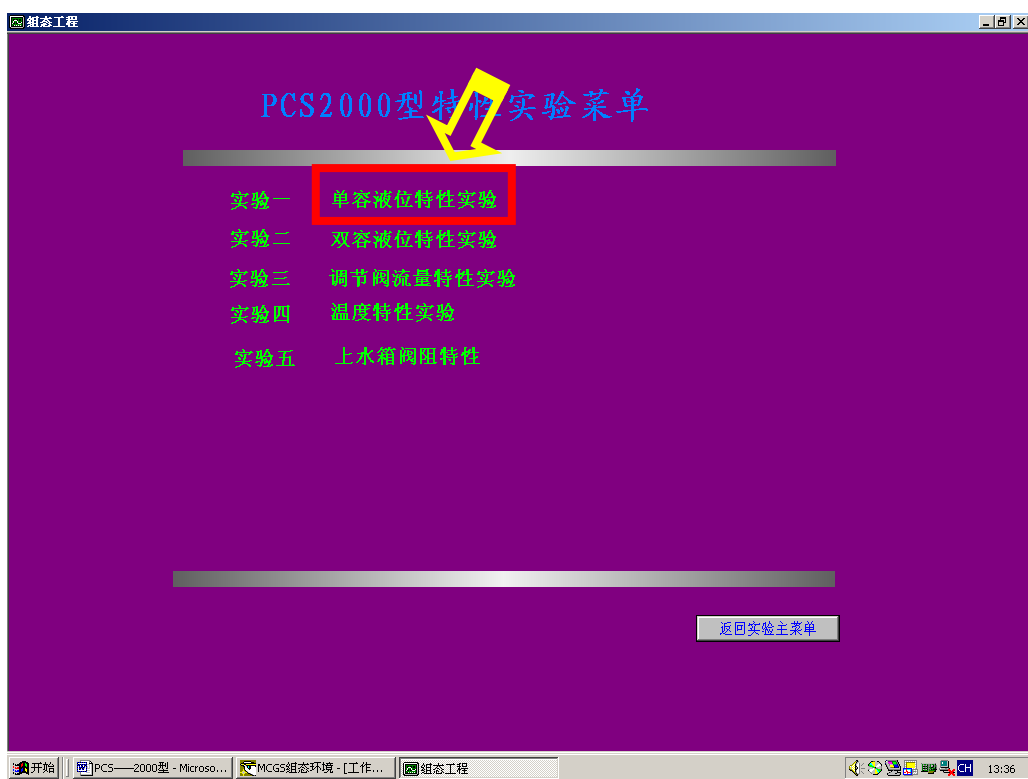


图 8-3

点击 “单容液位特性实验” 如图 8-4:

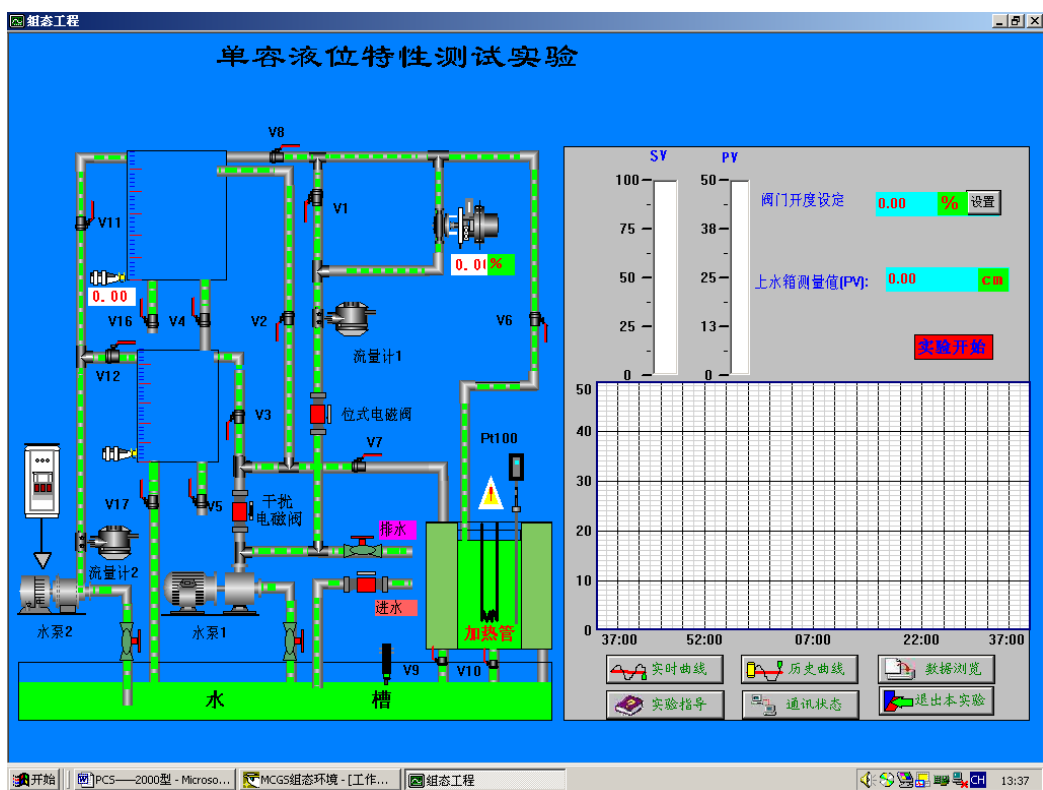


图 8-4

设置阀门的开度如图 8-5:

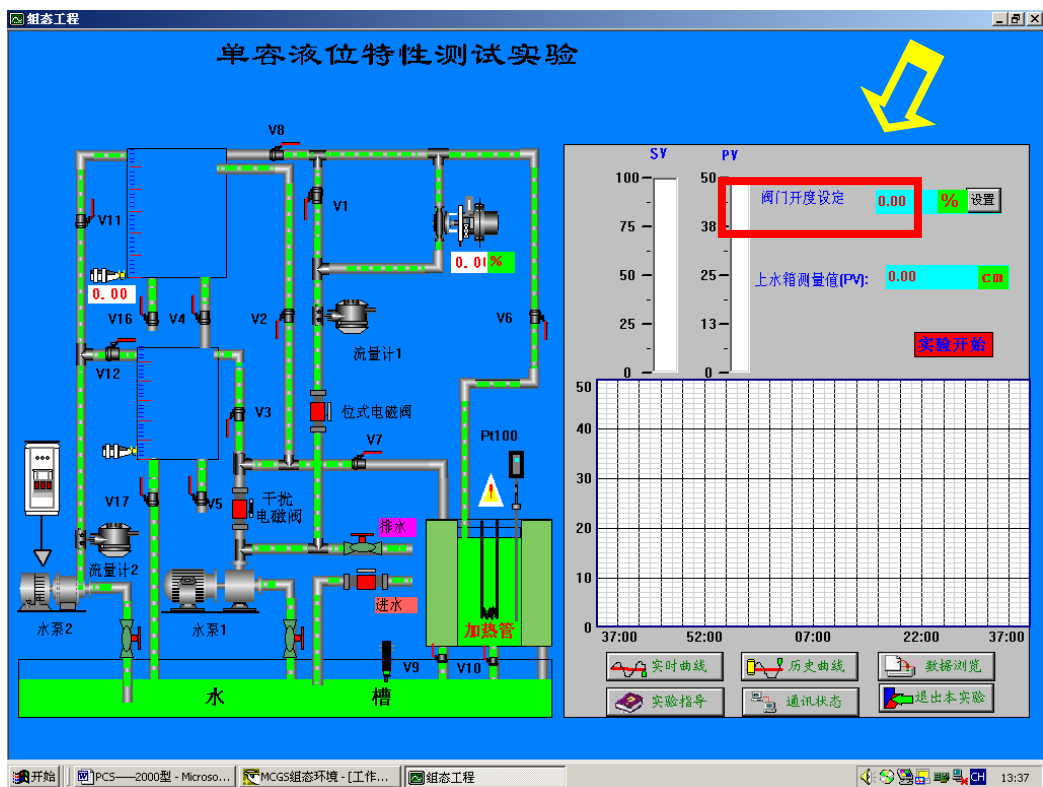


图 8-5

点击实验开始菜单选择开始按钮如图 8-6:

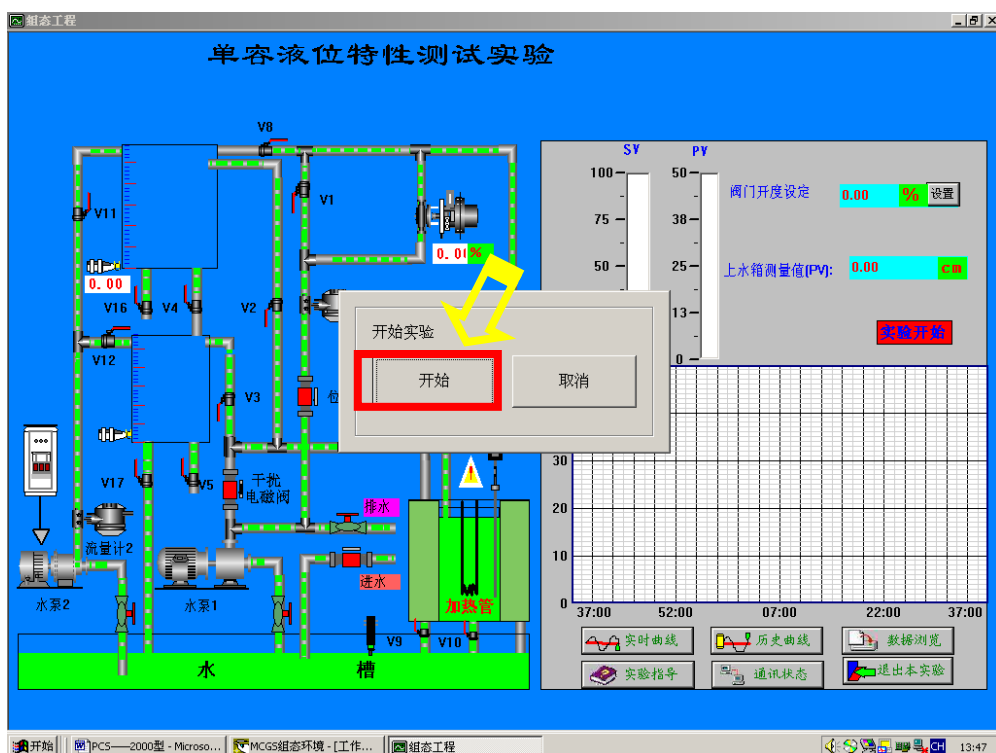


图 8-6

等到上水箱液位测量值不再变化，即进入了稳定状态。记下这时阀们的开度值和液位测量值。

点击“阀门开度设置”如图 8-7：

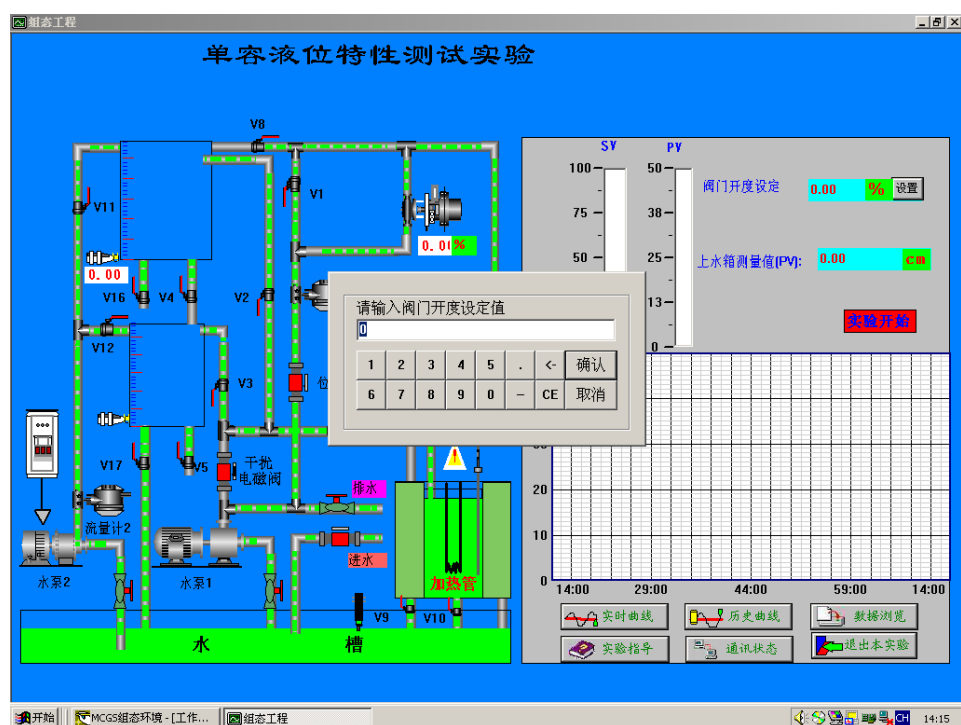


图 8-7

可以得到相应的历史曲线如图 8-8：

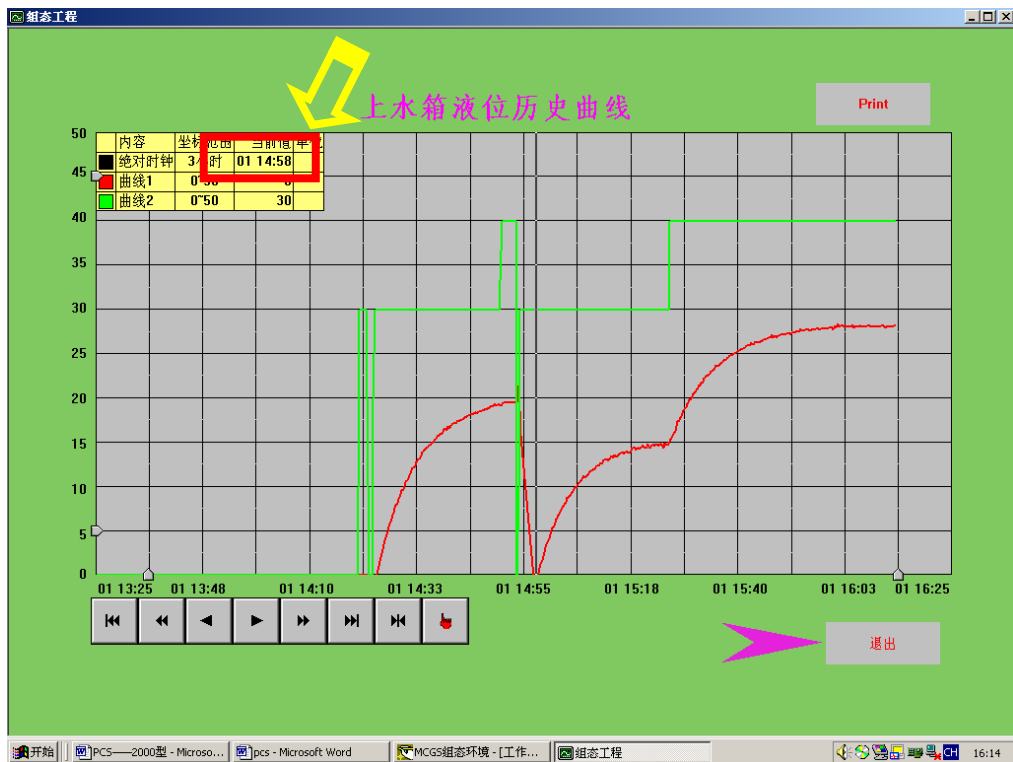


图 8-8

记下阀门开度为 30 时的起始时间，到达平衡时间如图 5-9:

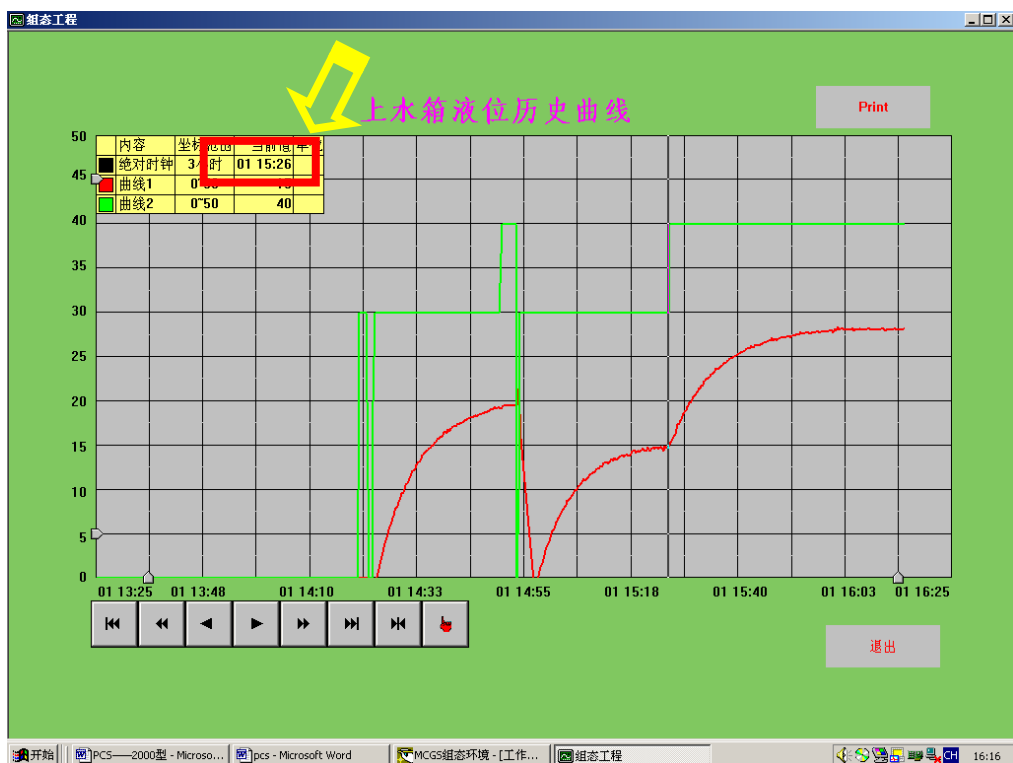


图 8-9

当阀门开度为 40 时，到达平衡的时间及水位的高度，如图 8-10:

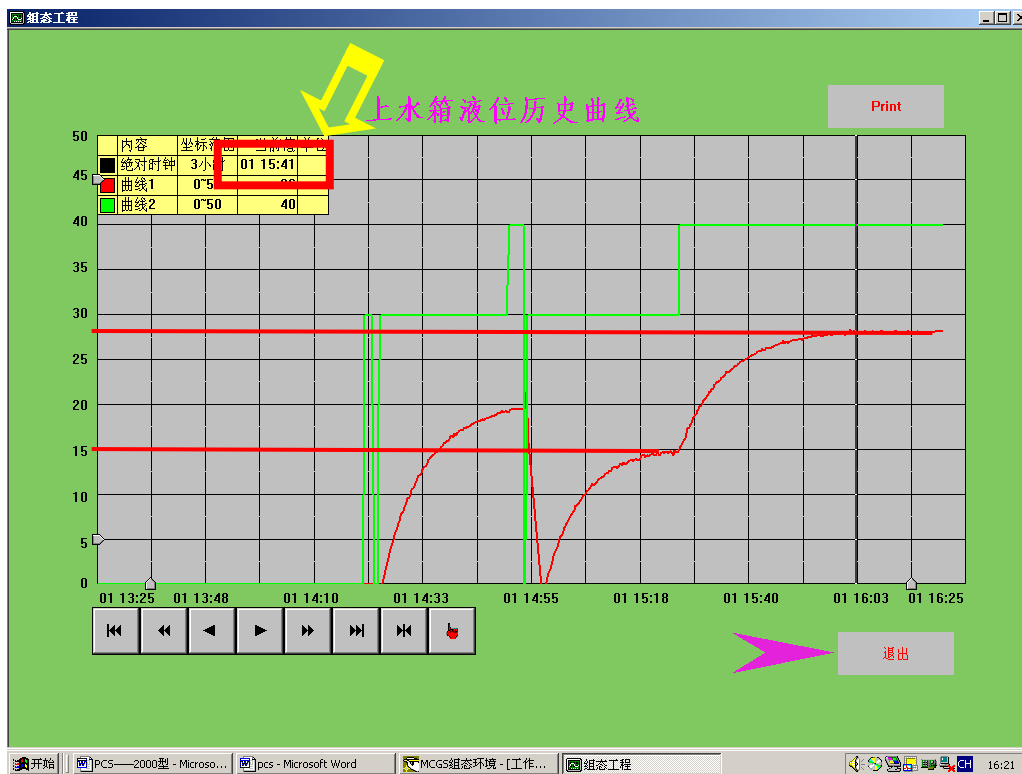


图 8-10

三、实验数据的处理和数学模型的建立

在实验中，先将阀门开到 30，等稳定后，再把阀门开到 40，过了 15 分钟后，上水箱液位进入了新的稳态。

注意到图中的两条红的平行线，是阀门开度在 30 和 40 的稳定值，分别对应 15cm 和 29cm，从而可以计算得系统的静态增益：

$$K_0 = (29 - 15) / (40 - 30) = 1.4$$

数据的采样时间为 5 秒。阀门刚改变时，测量值并没有立刻变化，因此有一定的纯滞后，但滞后并不大，分析数据，可知其在 20 秒左右。又根据一阶对象的特性，在阶跃信号下应该在 $4T_0$ 左右进入新的稳态。从图中粉红色的垂直线可以看出，在阀门开度改变 900 秒后，系统进入新稳态区域内。因此可以计算出

$$T_0 = 900 / 4 = 225$$

到此，已得到了对象的各个参数。一阶对象的近似数据模型为：

$$G(s) = \frac{14}{225s + 1} e^{-20s}$$