《THJ-2 型高级过程控制系统》

实验指导书

北京工商大学计算机与信息工程学院

2011.7

前　　言

本实验指导书针对的实验装置是浙江天煌科技实业有限公司推出的《THJ-2 型高级过程控制实验系统》。该系统的对象采用当今工业现场常用的水箱、锅炉等，仪表采用具有人工智能算法及通讯接口的智能调节仪，上位机监控软件采用 MCGS 工控组态软件。对象系统留有扩展信号连接口，便于控制系统二次开发，以实现 DCS、亚当模块、PLC 等控制。

本实验指导书是以天煌教仪的《THJ-2 高级过程控制实验指导书》为蓝本，根据我院过程控制课程教学大纲进行改编的。本实验指导书共分两大部分，第一部分是实验装置的使用说明，讲述了系统的组成、硬件的特点和技术指标、软件的使用介绍；第二部分是实验项目部分，叙述了实验原理、实验步骤及注意事项等。

学生通过本指导书的综合实验后可掌握以下内容：

1、传感器特性的认识和零点迁移；

2、自动化仪表的初步使用；

3、变频器的基本原理和初步使用；

4、电动调节阀的调节特性和原理；

5、测定被控对象特性的方法；

6、单回路控制系统的参数整定；

7、串级控制系统的参数整定；

8、复杂控制回路系统的参数整定；

9、控制参数对控制系统的品质指标的要求；

10、控制系统的设计、计算、分析、接线、投运等综合能力培养。

要求学生尽量独立完成各个实验，做到实验前有准备；实验中有条理，实验后有分析。即要求实验前做好预习，明确实验任务，根据任务设计实验方案。实验操作过程中仔细观测和记录数据，通过对其进行整理分析后撰写实验报告。

目　　录

第一章　THJ-2 型高级过程控制系统的概述.....3

第二章　被控对象特性测试..... 12

第一节　单容自衡水箱特性的测试.....12

第二节　双容自衡水箱特性的测试.....18

第三节　锅炉内胆特性的测试..... 22

第三章　回路控制系统实验..... 25

第一节　单回路控制系统的概述及调节器参数整定方法.....25

第二节　单容水箱液位定值控制系统.....31

第三节　双容水箱液位定值控制系统.....34

第四节　三容水箱液位定值控制系统.....38

第五节　锅炉内胆静态水温定值控制系统.....42

第六节　锅炉夹套水温定值控制系统.....45

第七节　电动阀支路流量的定值控制系统.....49

第四章　温度位式控制系统实验.....52

第一节　锅炉内胆水温位式控制系统.....52

第五章　串级控制系统实验..... 56

第一节　串级控制系统连接实验.....56

第二节　水箱液位串级控制系统.....60

第三节　三闭环液位控制系统.....64

第四节　锅炉夹套水温与锅炉内胆水温的串级控制系统.....68

第六章　滞后控制系统实验.....72

第一节　盘管出水口温度滞后控制系统.....72

附录一　调节仪表的技术指标和使用方法.....78

附录二　过控实验计算机界面操作手册.....93

第一章　THJ-2 型高级过程控制系统的概述

一、系统简介

“THJ-2 型高级过程控制系统实验装置”是集自动化仪表技术、计算机技术、通讯技术、自动控制技术于一体的工业过程的物理模拟对象，它包括流量、温度、液位、压力等热工参数，可实现系统参数辨识，单回路控制，串级控制，前馈—反馈控制，比值控制，解耦控制等多种控制形式，还可根据需要设计构成 DDC，DCS，PLC，FCS 等多种控制系统，能够为控制系统的研究提供物理模拟对象和实验手段。

二、系统组成

本实验装置由被控对象、控制仪表两部分组成。系统动力支路分两路：一路由三相（380V 交流）磁力驱动泵、电动调节阀、直流电磁阀、涡轮流量计及手动调节阀组成；另一路由日本三菱变频器、三相磁力驱动泵（220V 变频）、涡轮流量计及手动调节阀组成。

1、 被控对象

由不锈钢储水箱、上、中、下三个串接有机玻璃圆筒形水箱、4.5 千瓦电加热锅炉(由不锈钢锅炉内胆加温筒和封闭式外循环不锈钢冷却锅炉夹套构成)、冷热水交换盘管和敷塑不锈钢管道组成。

1）水箱：

包括上水箱、中水箱、下水箱和储水箱。上、中、下水箱采用优质淡蓝色圆筒型有机玻璃，不但坚实耐用，而且透明度高，便于学生直接观察液位的变化和记录结果。上、中水箱尺寸均为：d=25cm，h=20cm；下水箱尺寸为：d=35cm，h=20cm。水箱结构非常独特，有三个槽，分别是缓冲槽，工作槽，出水槽。上、中、下水箱可以组合成一阶、二阶、三阶液位单回路控制实验和双闭环、三闭环液位串级控制等实验。储水箱是采用不锈钢板制成，尺寸为：长×宽×高 = 68cm×52 ㎝×43 ㎝，

完全能满足上、中、下水箱的实验需要。储水箱内部有两个椭圆形塑料过滤网罩，防止两套动力支路进水时有杂物进入泵中。

2）模拟锅炉：

本装置采用模拟锅炉进行温度实验，此锅炉采用不锈钢精制而成，设计巧妙，由二层组成：加热层（内胆）和冷却层（夹套）。做温度单回路实验时，冷却层的循环水可以使加热层的热量快速散发，使加热层的温度快速下降。冷却层和加热层都有温度传感器检测其温度，可完成温度的串级控制，前馈-反馈控制，解耦控制等实验。

3）盘管：

长 37 米（43 圈），可做温度纯滞后实验，在盘管上有三个不同的温度检测点，它们的滞后时间常数不同，在实验过程中根据不同的实验需要选择不同的滞后时间常数。盘管出来的水既可以回流到锅炉内胆，也可以经过涡轮流量计完成流量滞后实验。

4）管道：

整个系统管道采用敷塑不锈钢管组成，所有的水阀采用优质球阀，彻底避免了管道系统生锈的可能性。有效提高了实验装置的使用年限。其中储水箱底有一个出水阀，当水箱需要更换水时，将球阀打开将水直接排出。

2、检测装置

1）**压力传感器、变送器：**

采用工业用的扩散硅压力变送器，含不锈钢隔离膜片，同时采用信号隔离技术，对传感器温度漂移跟随补偿。压力传感器用来对上、中、下水箱的液位进行检测，其精度为 0.5 级，因为为二线制，故工作时需串接 24V 直流电源。

2) **温度传感器：**

本装置采用六个 Pt100 传感器，分别用来检测上水箱出口、锅炉内胆、锅炉夹套以及盘管的水温。经过调节器的温度变送器，可将温度信号转换成 4～20mA 直流电流信号。Pt100 传感器精度高，热补偿性较好。

3) **流量传感器、转换器：**

流量传感器分别用来对电动调节阀支路、变频支路及盘管出口支路的流量进行测量。涡轮流量计型号为 LWGY-10；流量范围 0～1.2m3/h；精度为 1.0%；输出 4～20mA 标准信号。本装置用了三套涡轮流量传感器、变送器。

3．执行机构

1）**电动调节阀：**

采用智能型电动调节阀，用来进行控制回路流量的调节。电动调节阀型号为 QSVP-16K，控制信号为 4～20mA DC 或 1～5V DC，输出阀位信号为 4～20mA DC，技术指标如下：

电源　　220VAC 50HZ

输入控制信号：4～20mA DC 或 1～5V DC

公称压力：　1.6Mpa

公称直径：　20mm

重复精度：　±1%

介质温度：　－4～＋200℃

行程：　　10mm

功耗：　　5VA

2）**变频器：**

本装置采用日本三菱(FR-S520S-0.4K-CH(R))变频器，控制信号输入为 4～20mADC 或 0～5VDC，～220V 变频输出用来驱动三相磁力驱动泵。

3）**水泵：**

本装置采用磁力驱动泵，型号为 16CQ-8P，流量为 32 升/分，扬程为 8 米，功率为 180W。泵体完全采用不锈钢材料，以防止生锈，使用寿命长。本装置采用两只磁力驱动泵。一只为三相 380V 恒压驱动，另一只为三相变频 220V 输出驱动。

4）**可移相 SCR 调压装置：**

采用可控硅移相触发装置，输入控制信号为 4～20mA 标准电流信号。

输出电压用来控制加热器加热，从而控制锅炉的温度。

5）电磁阀：

在本装置中作为电动调节阀的旁路，用于阶跃干扰的。电磁阀型号为：2W-160-25；工作压力：最小压力为 0Kg/cm 2，最大压力为 7Kg/cm 2 ；工作温度为－5～80℃。

4．控制器

本实验装置基本配置的控制器有调节仪表、比值器/前馈-反馈补偿器、解耦装置。(还可根据需要扩展远程数据采集和 PLC 可编程控制系统)。

1) 调节仪表

本系统实验装置采用上海万迅仪表有限公司的 AI 系列仪表，其主要特点有：

AI 系列仪表操作方便、通俗易学，且不同功能档次相互兼容。

具有国际上同类仪表的几乎所有功能，通用性强、技术成熟可靠。

全球通用的 85～246VAC 范围开关电源或者 24VDC 电源供电，并具备多种外形尺寸。

输入采用数字校正系统，内置常用热电偶和热电阻非线性校正表格，测量精确稳定。

采用先进的 AI 人工智能调节算法，无超调，具备自整定（AT）功能。

采用先进的模块化结构，提供丰富的输出规格，能满足各种应用场合的需要。

通过 ISO9002 质量认证，品质可靠。具备符合要求的抗干扰性能。

本装置有 4 台调节器。其中三台型号是 AI-808，另一台型号是 AI-708。

调节仪表的具体技术指标和使用方法请见附录。

2) 比值器、前馈-反馈装置

此控制器与调节器一起使用既可以实现流量的单闭环比值、双闭环比值控制系统实验，又可以实现液位与流量、温度与流量的前馈-反馈控制系统实验。

3）解耦控制装置

此控制器与调节器一起使用可以实现锅炉内胆与锅炉夹套的温度、上水箱液位与出口温度的解耦控制系统实验。

三、仪表综合控制台

仪表控制台面板由三部分组成：

电源控制屏面板：充分考虑人身安全保护，带有漏电保护空气开关、电压型漏电保护器、电流型漏电保护器。

仪表面板：1 块变频调速器面板、3 块 AI/808A 智能调节仪面板、1 块 AI/708A 智能位式调节仪、解耦装置面板，比值器/前馈-反馈装置面板，各装置外接线端子通过面板上自锁紧插孔引出。

I/O 信号接口面板：该面板的作用主要是将各传感器检测及执行器控制信号同面板上自锁紧插孔相连，再通过航空插头同对象系统连接，便于学生自行连线组成不同的控制系统，进行几十种过程控制系统的实验。

四、系统特点

- 被控参数全面，涵盖了连续性工业生产过程中的液位、压力、流量及温度等典型参数。
- 直实性、直观性、综合性强，控制对象组件全部来源于工业现场。
- 具有广泛的扩展性和后续开发功能，所有 I/O 信号全部采用国际标准 IEC 信号，可通过信号接口电缆与任何智能化控制平台连接。
- 执行器中既有电动调节阀仪表类执行机构，又有变频器、可控硅移相调压装置、接触器位式控制装置等。
- 调节系统除了有调节器的设定值阶跃扰动外，还可以通过对象中电磁阀和手动操作阀制造各种扰动。
- 一个被调参数可在不同动力源、不同执行器、不同的工艺管路下演变成多种调节回路，以利于讨论、比较各种调节方案的优劣。
- 系统设计时使两个信号在本对象中存在着相互耦合，二者同时需要对原独立调节系统的被调参数进行整定，或进行解耦实验，以符合工业实际的性能要求。

- 能进行单变量到多变量控制系统及复杂过程控制系统实验。
- 各种控制算法和调节规律在开放的实验软件平台上都可以实现。
- 实验数据及图表在 MCGS 软件系统中很容易存储及调用，以实验者进行实验后的比较和分析。
- 采用强弱电插座及相应的导线，提高实验的安全性和可靠性。

五、系统软件

MCGS（Monitor and Control Generated System）是一套基于 Windows 平台的，用于快速构造和生成上位机监控系统的组态软件系统，可运行于 Microsoft Windows95/98/NT/2000 等操作系统。

MCGS5.1 为用户提供了解决实际工程问题的完整方案和开发平台，能够完成现场数据采集、实时和历史数据处理、报警和安全机制、流程控制、动画显示、趋势曲线和报表输出以及企业监控网络等功能。

使用 MCGS5.1，用户无须具备计算机编程的知识，就可以在短时间内轻而易举地完成一个运行稳定，功能成熟，维护量小且具备专业水准的计算机监控系统的开发工作。

MCGS5.1 具有操作简便、可视性好、可维护性强、高性能、高可靠性等突出特点，已成功应用于石油化工、能源原材料、农业自动化、航空航天等领域，经过各种现场的长期实际运行，系统稳定可靠。

与国内外同类产品相比，MCGS5.1 组态软件具有如下特点：

- 全中文、可视化、面向窗口的组态开发界面，符合中国人的使用习惯和要求，真正的 32 位程序，支持多任务、多线程，可运行于 Microsoft Windows 95/98/NT/2000 等操作系统。
- 庞大的标准图形库、完备的绘图工具集以及丰富的多媒体支持，让您能够快速地开发出集图像、声音、动画等于一体的漂亮、生动的工程画面。
- 全新的 ActiveX 动画构件，包括存盘数据处理、条件曲线、计划曲线、相对曲线、多行文本、通用棒图等，使您能够更方便、更灵活地处理、显示生产数据。
- 支持目前绝大多数硬件设备，同时可以方便地定制各种设备驱动；此

外，独特的组态环境调试功能与灵活的设备操作命令相结合，使硬件设备与软件系统间的配合天衣无缝。

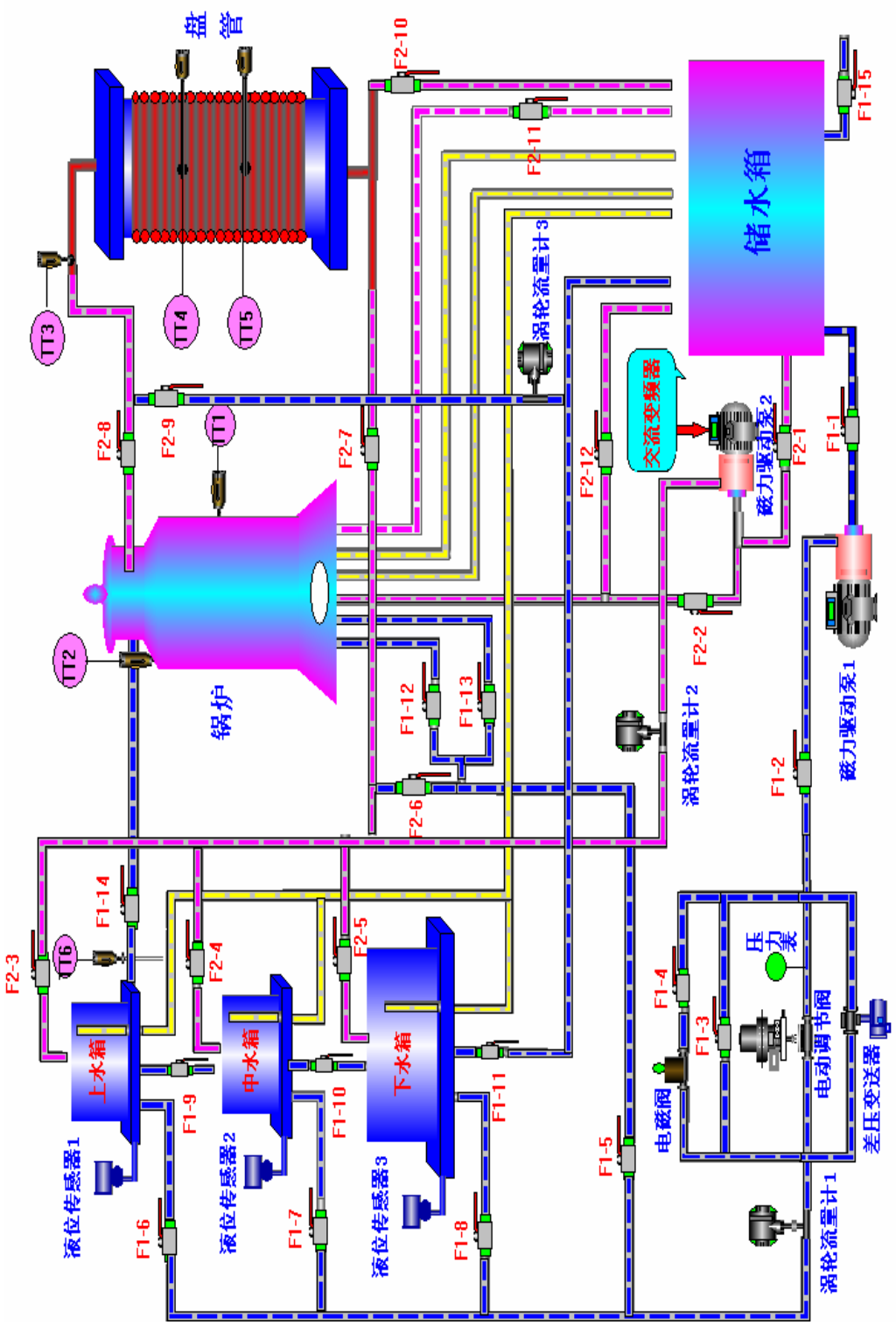
- 简单易学的 Basic 脚本语言与丰富的 MCGS 策略构件，使您能够轻而易举地开发出复杂的过程控制系统。
- 强大的数据处理功能，能够对工业现场产生的数据以各种方式进行统计处理，使您能够在第一时间获得有关现场情况的第一手数据。
- 方便的报警设置、丰富的报警类型、报警存贮与应答、实时打印报警报表以及灵活的报警处理函数，使您能够方便、及时、准确地捕捉到任何报警信息。
- 完善的安全机制，允许用户自由设定菜单、按钮及退出系统的操作权限。此外，MCGS5.1 还提供了工程密码、锁定软件狗、工程运行期限等功能，以保护组态开发者的成果。
- 强大的网络功能，支持 TCP/IP、Moden、485/232，以及各种无线网络和无线电台等多种网络体系结构。
- 良好的可扩充性，可通过 OPC、DDE、ODBC、ActiveX 等机制，方便地扩展 MCGS5.1 组态软件的功能，并与其他组态软件、MIS 系统或自行开发的软件进行连接。

六、装置的安全保护体系

1. 三相四线制总电源输入经带漏电保护器装置的三相四线制断路器进入系统电源后又分为三相电源支路和三个不同相的单相支路，每一支路都带有各自三相、单相断路器。总电源设有三相通电指示灯和 380V 三相电压指示表，三相带灯熔断器作为断相指示。
2. 控制屏电源由接触器通过起、停按钮进行控制。屏上装有一套电压型漏电保护装置和一套电流型漏电保护装置。控制屏内或强电输出（包括实验中的连线）若有漏电现象，即告警并切断总电源，确保实验进程安全。
3. 控制屏设有服务管理器（即定时器兼报警记录仪），为学生实验技能的考核提供一个统一的标准。
4. 各种电源及各种仪表均有可靠的保护功能。

5. 实验强电接线插头采用封闭式结构，防止触电事故的发生。
6. 强弱电连线插头采用不同的结构插头，防止强弱电混接。

实 验 装 置 总 貌 图


盘管
TT3
TT4
TT5
TT1
TT2
TT6
锅炉
储水箱
交流变频器
磁力驱动泵2
磁力驱动泵1
涡轮流量计3
涡轮流量计2
涡轮流量计1
上水箱
中水箱
下水箱
液位传感器1
液位传感器2
液位传感器3
电磁阀
电动调节阀
压力表
差压变送器
F1-1
F1-2
F1-3
F1-4
F1-5
F1-6
F1-7
F1-8
F1-9
F1-10
F1-11
F1-12
F1-13
F1-14
F1-15
F2-1
F2-2
F2-3
F2-4
F2-5
F2-6
F2-7
F2-8
F2-9
F2-10
F2-11
F2-12

第二章 被控对象特性测试

被控对象数学模型通常用下列两种方法来建立，一种是分析法，即根据过程的机理、物料或能量平衡关系求得它的数学模型；另一种是实验法。本章主要介绍根据被控对象对典型输入信号的响应来确定它的数学模型。由于此法较简单，因而在过程控制中得到了广泛地应用。

第一节 单容水箱特性的测试

一、实验目的

1. 掌握单容水箱的阶跃响应的测试方法，并记录相应液位的响应曲线。
2. 根据实验得到的液位阶跃响应曲线，用相应的方法确定被测对象的特征参数 K、T 和传递函数。

二、实验设备

1. THJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机及相关软件
3. 万用电表一只

三、实验原理

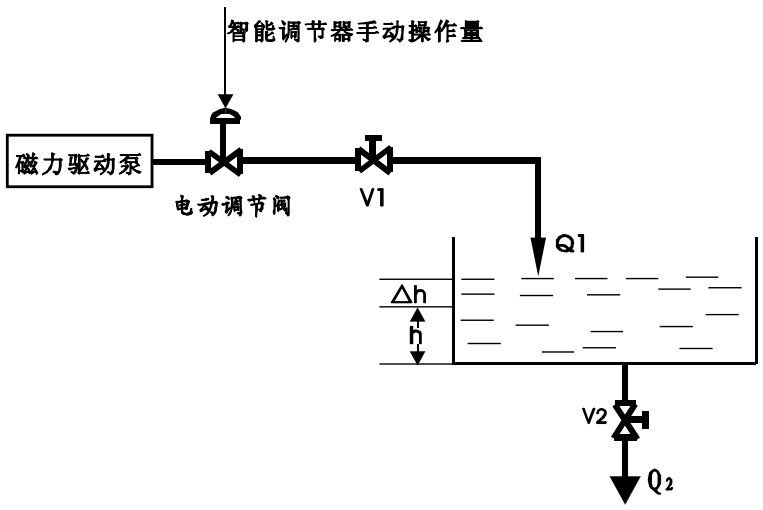


图 2-1 单容水箱特性测试结构图

由图 2-1 可知，对象的被控制量为水箱的液位 h，控制量（输入量）是流入水箱中的流量 Q_1，手动阀 V_1 和 V_2 的开度都为定值，Q_2 为水箱中流出的流量。根据物料平衡关系，在平衡状态时

$$Q_{10} - Q_{20} = 0 \qquad (1)$$

动态时则有

$$Q_1 - Q_2 = \frac{dV}{dt} \qquad (2)$$

式中 V 为水箱的贮水容积，$\frac{dV}{dt}$ 为水贮存量的变化率，它与 h 的关系为 $dV = Adh$，即

$$\frac{dV}{dt} = A\frac{dh}{dt} \qquad (3)$$

A 为水箱的底面积。把式（3）代入式（2）得

$$Q_1 - Q_2 = \mathrm{A}\frac{\mathrm{dh}}{\mathrm{dt}} \qquad (4)$$

基于 $Q_2 = \frac{h}{R_S}$，R_S 为阀 V2 的液阻，则上式可改写为 $Q_1 - \frac{h}{R_S} = A\frac{dh}{dt}$，即

$$AR_S\frac{dh}{dt} + h = KQ_1$$

或写作

$$\frac{H(s)}{Q_1(s)} = \frac{K}{TS+1} \qquad (5)$$

式中 $T=AR_S$，它与水箱的底积 A 和 V_2 的 R_S 有关；$K=R_S$。式（5）就是单容水箱的传递函数。

若令 $Q_1(s) = \frac{R_0}{S}$，R_0=常数，则式（5）可改为

$$H(s) = \frac{K/T}{S+\frac{1}{T}} \times \frac{R_0}{S} = K\frac{R_0}{S} - \frac{KR_0}{S+\frac{1}{T}}$$

对上式取拉氏反变换得

$$h(t) = KR_0(1 - e^{-t/T}) \qquad (6)$$

当 $t \to \infty$ 时 $h(\infty) = KR_0$，

因而有 $K = \frac{h(\infty)}{R_0} =$ 输出稳态值／阶跃输入

当 t=T 时，则有 $h(T)=KR_0(1-e^{-1})=0.632KR_0=0.632h(\infty)$。式（6）表示一阶惯性环节的响应曲线是一单调上升的指数函数，如图 2-2 所示。

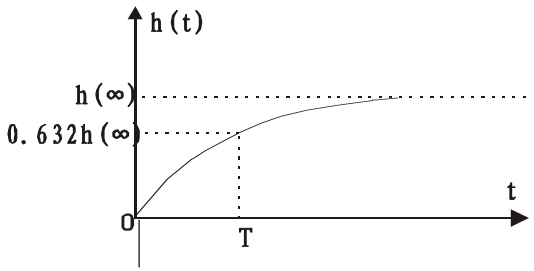


图 2-2 单容水箱的单调上升指数曲线

当由实验求得图 2-2 所示的阶跃响应曲线后，该曲线上升到稳态值的 63%所对应的时间，就是水箱的时间常数 T。该时间常数 T 也可以通过坐标原点对响应曲线作切线，切线与稳态值交点所对应的时间就是时间常数 T，由响应曲线求得 K 和 T 后，就能求得单容水箱的传递函数。

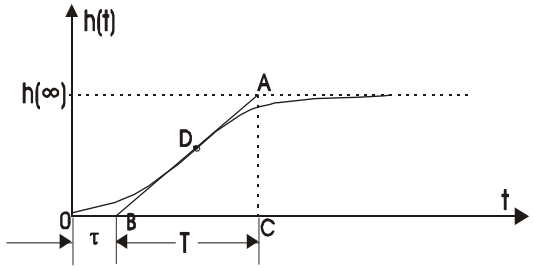


图 2-3 单容水箱的阶跃响应曲线

如果对象的阶跃响应曲线为图 2-3，则在此曲线的拐点 D 处作一条切线，它与时间轴交于 B 点，与响应稳态值的渐近线交于 A 点。图中 OB 即为对象的滞后时间 τ，BC 为对象的时间常数 T，所得的传递函数为：

$$H(S)=\frac{Ke^{-\tau s}}{1+Ts}$$

四、实验内容与步骤

1. 按图 2-4 接好实验线路。如果用电动调节阀作为执行机构，按照图 2-4（a）接线；如果用三相磁力泵作为执行机构，按照图 2-4（b）接线。将 LT2“中水箱液位”钮子开关拨到 ON 的位置。
2. 接通总电源空气开关和钥匙开关，打开 24V 直流电源，打开相关的仪表电源，启动执行机构。

3. 打开上位机 MCGS 组态环境，打开“智能仪表控制系统”工程，进入 MCGS 运行环境，在主菜单中点击“实验一、单容自衡水箱对象特性测试”工程，进入“实验一”的监控界面。
4. 在上位机监控界面中将智能仪表设置为“手动”控制，并将输出值设置为一个合适的值，此操作须通过调节仪表实现。
5. 合上三相电源空气开关，磁力驱动泵上电打水，通过适当增/减智能仪表的输出量，使水箱液位处于某一平衡位置，记录此时的仪表输出值和液位值。
6. 手动操作智能仪表，使其输出有一个正（或负）阶跃量的变化（此增量不宜过大，以免水箱中水溢出），于是水箱的液位便离开原平衡状态，经过一定的调节时间后，水箱的液位进入新的平衡状态，记录此时的仪表输出值和液位值。液位的响应过程曲线如图 2-5 所示。

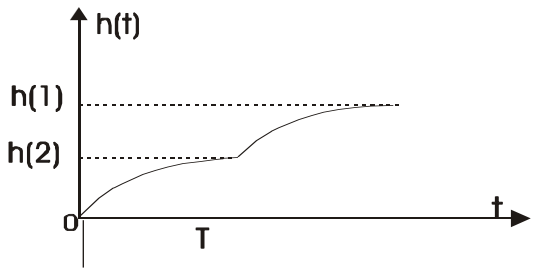


图 2-5 单容箱特性响应曲线

7. 根据前面记录的液位值和仪表输出值，按公式（6）计算 K 值，再根据图 2-3 中的实验曲线求得 T 值，把所得的结果填入下表。写出对象的传递函数。

参数值 / 测量值	液位 h		
	K	T	τ
正向输入			
负向输入			
平均值			

五、实验报告

1. 写出常规的实验报告内容。
2. 分析用上述方法建立对象的数学模型有什么局限性？

六、思考题

1. 做本实验时，为什么不能任意改变出水口阀开度的大小？
2. 用响应曲线法确定对象的数学模型时，其精度与那些因素有关？

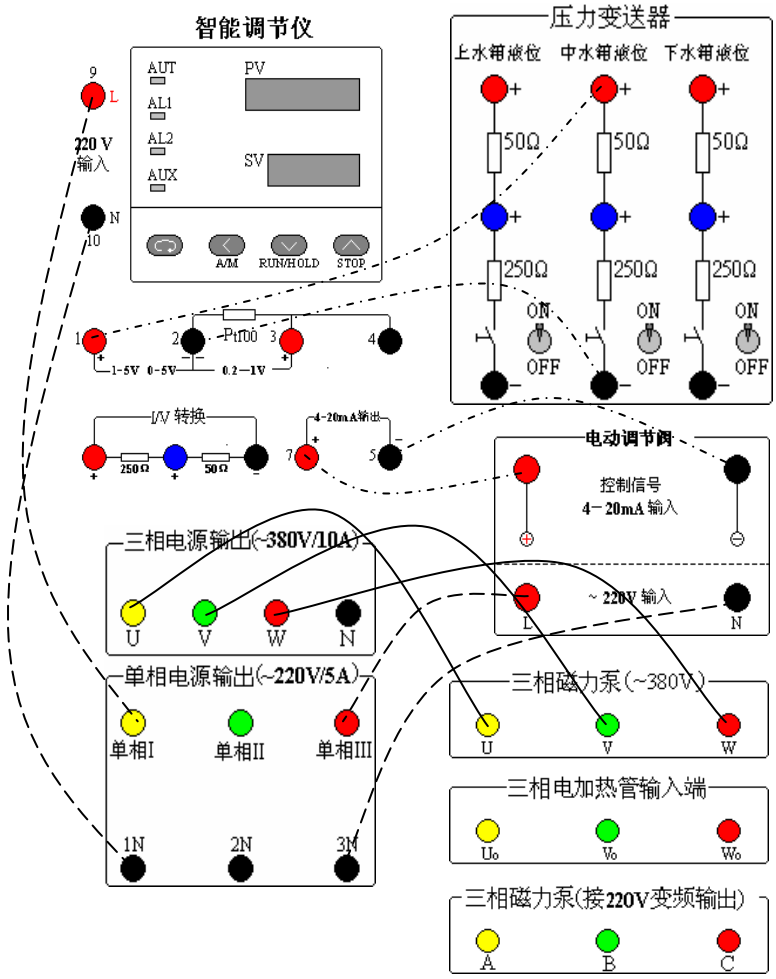
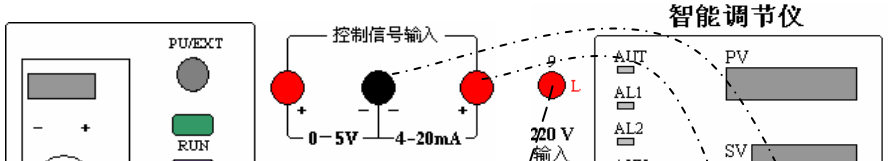


图 2-4（a） 单容水箱液位特性测试连线图（执行机构为电动调节阀）



第二节　双容水箱液位特性测试

一、实验目的

1. 熟悉双容水箱的数学模型及其阶跃响应曲线。
2. 根据实际测得双容液位的阶跃响应曲线，确定其特征参数和传递函数。

二、实验设备

1. THJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、MCGS 工控组态软件、RS232/485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表　1 只

三、原理说明

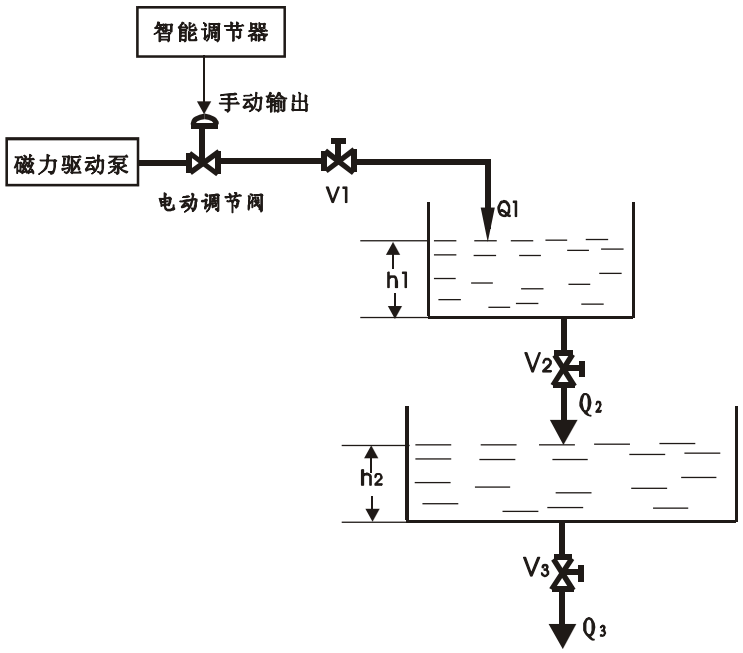


图 2-6 双容水箱对象特性结构图

由图 2-6 所示，被控对象由两个不同容积的水箱相串联组成，故称其为双容对象。自衡是指对象在扰动作用下，其平衡位置被破坏后不需外界干预，依靠其自身重新恢复平衡的过程。被测量是下水箱的液位，当中水箱输入量有一阶跃变化时，两水箱的液位变化曲线如图 2-7 所示。

由图 2-7 可见，中水箱液位的响应曲线为一单调的指数函数（图 2-7(a)），而下水箱液位的响应曲线则呈 S 形状（图 2-7(b)），即下水箱的液位响应滞后了，它滞后的时间与阀门 F1-10 和 F1-11 的开度大小有关。

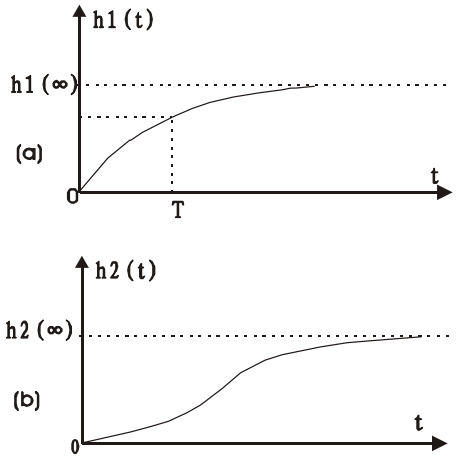


图 2-7 双容液位阶跃响应曲线

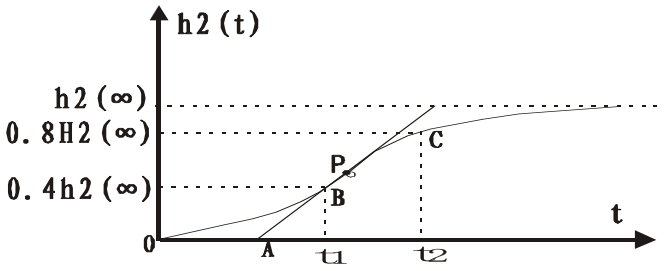


图 2-8 双容液位阶跃响应曲线

由 S 形曲线的拐点 P 处作一条切线，它与时间轴的交点为 A，OA 则表示了对象响应的滞后时间 τ。双容对象两个惯性环节的时间常数可按下述方法来确定。在图 2-7 所示的阶跃响应曲线上求取：

(1) $h_2(t)\big|_{t=t1}=0.4\ h_2(\infty)$时曲线上的点 B 和对应的时间 t_1；

(2) $h_2(t)\big|_{t=t2}=0.8\ h_2(\infty)$时曲线上的点 C 和对应的时间 t_2。

然后，利用下面的近似公式计算：

$$K=\frac{h_2(\infty)}{R_0}=\frac{\text{输入稳态值}}{\text{阶跃输入量}}$$

$$T_1+T_2\approx\frac{t_1+t_2}{2.16}$$

$$\frac{T_1T_2}{(T_1+T_2)^2}\approx(1.74\frac{t_1}{t_2}-0.55)$$

$$0.32\langle\frac{t_1}{t_2}\langle0.46$$

由上述两式中解出 T_1 和 T_2，于是求得双容（二阶）对象的传递函数为

$$G(S)=\frac{K}{(T_1S+1)(T_2S+1)}e^{-tS}$$

四、实验内容与步骤

1. 本实验选择中水箱和下水箱串联作为被控对象（也可选择上水箱和中水箱）。实验之前先将储水箱中贮足水量，然后将阀门 F1-1、F1-2、F1-7 全开，将中水箱出水阀门 F1-10、下水箱 F1-11 开至适当开度（要求 F1-10 开度稍大于 F1-11 的开度），其余阀门均关闭。
2. 参照本章第一节控制屏接线图 2－4(a)连接实验系统，从压力变送器的下水箱液位取信号，并将 LT3 下水箱液位按钮开关拨至 ON。
3. 接通总电源空气开关和钥匙开关，打开 24V 开关电源，给压力变送器上电，按下启动按钮，合上单相Ⅰ、单相Ⅲ空气开关，给智能仪表及电动调节阀上电。
4. 打开上位机 MCGS 组态环境，打开“智能仪表控制系统”工程，然后进入 MCGS 运行环境，在主菜单中点击“实验二、双容自衡水箱对象特性测试”，进入实验二的监控界面。
5. 在上位机监控界面中将智能仪表设置为“手动”输出，并将输出值设置为一个合适的值（一般为最大值的 40%—70%，不宜过大，以免水箱中水溢出），此操作需通过调节仪表实现。
6. 合上三相电源空气开关，磁力驱动泵上电打水，适当增加/减少智能仪表的输出量，使下水箱的液位处于某一平衡位置，记录此时的仪表输出值和液位值。
7. 液位平衡后，突增（或突减）仪表输出量的大小，使其输出有一个正（或负）阶跃增量的变化（即阶跃干扰，此增量不宜太大，以免水箱中水溢出），于是水箱的液位便离开原平衡状态。经过一段时

间后，水箱液位进入新的平衡状态，记录此时的仪表输出值、液位值以及液位的响应过程曲线。

8. 把由计算机作用的实验曲线进行分析处理，并把结果填入下表中：

参数值 / 测量值	液位 h			
	K	T_1	T_2	τ
正向输入				
负向输入				
平均值				

五、实验报告要求

1. 画出双容水箱液位特性测试实验的方框图。
2. 根据实验得到的数据及曲线，分析并计算双容水箱液位对象的传递函数。

六、思考题

1. 在本实验中为什么不能任意改变两个出水阀门开度的大小？
2. 用响应曲线法确定对象的数学模型时，其精度与那些因素有关？
3. 如果采用上水箱和中水箱作实验，其响应曲线与用中水箱和下水箱作实验的曲线有什么异同？试分析差异原因。
4. 引起双容对象滞后的因素有哪些？

第三节 锅炉内胆温度特性测试

一、 实验目的

1. 了解锅炉内胆温度特性测试系统的组成原理。
2. 掌握锅炉内胆温度特性的测试方法。

二、 实验设备

1. THJ-2 型过程控制实验装置
2. 计算机、MCGS 工控组态软件、RS232/485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用电表

三、 实验原理

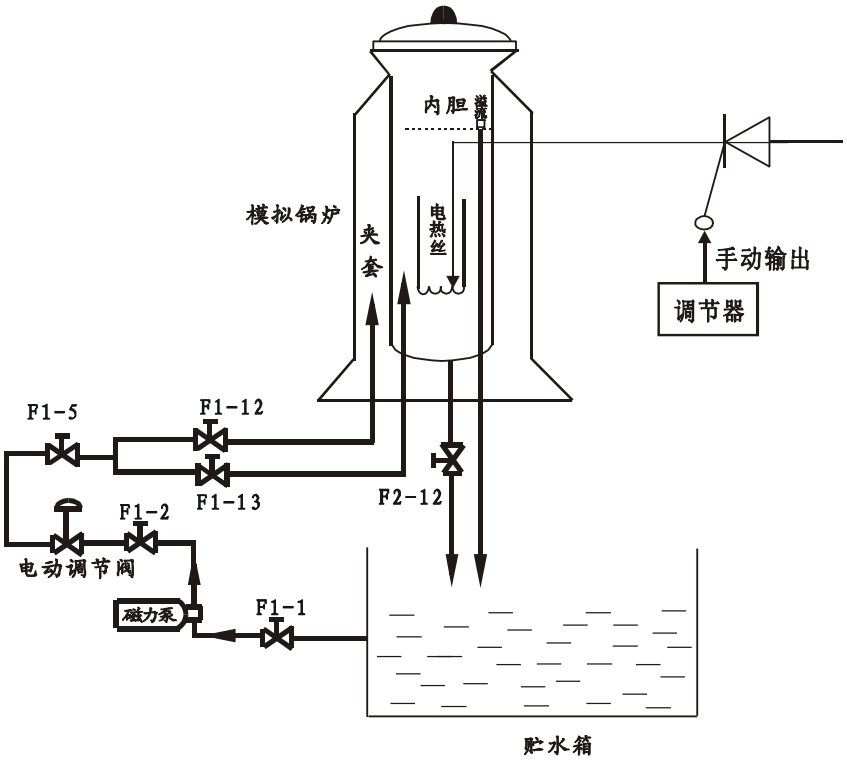


图 2-9 锅炉内胆温度特性实验结构示意图

由图 2-9 所示，本实验被测对象为锅炉内胆水温，通过调节器“手动”输出，控制三相电加热管的端电压，从而控制锅炉内胆水温。锅炉内胆水温的动态变化过程可用一阶常微分方程来描述，即其数学模型为一阶惯性环节。可采用两种方案对锅炉内胆的温度特性进行测试：

1. 锅炉夹套不加冷却水

锅炉内胆加满水，手动操作调节器的输出，使加在加热管两端的可控整流电源的输出电压为 100V 左右，内胆中的水温因而逐渐上升。根据热平衡的原理，当内胆中的水温上升到某一值时，水的吸、放热过程趋于平衡，从而使内胆中的水温达到某一值。

2. 锅炉夹套加冷却水

当锅炉夹套中注满冷却水时，相当于改变了锅炉内胆环境的温度，使其散热作用增强。显然，要维持内胆原有水温，必须提高三相调压模块的输出电压，即增加调节器的输出值。

四、 实验内容与步骤

1. 本实验选择锅炉内胆水温作为被测对象，实验前将储水箱中贮足水量，然后将阀门 F2-1、F2-6、F1-13 全开，将锅炉出水阀 F2-12、F2-11 关闭，其余阀门也关闭。将变频器 A、B、C 三端连接到三相磁力驱动泵（220V），手动调节变频器频率，给锅炉内胆储一定的水量（要求至少高于液位指示玻璃管的红线位置），然后关闭阀 F1-13，打开阀 F1-12，为夹套供水做好准备。
2. 按图 2－10 连接实验系统。接通总电源空气开关，按下启动按钮，合上单相Ⅲ空气开关，给智能仪表上电。
3. 打开上位机 MCGS 组态环境，打开“智能仪表控制系统”工程，然后进入 MCGS 运行环境，在主菜单中点击“实验三、锅炉内胆温度特性测试”进入实验监控界面。
4. 在上位机监控界面将智能仪表设置为“手动”状态，并调节仪表输

出值，使三相调压模块输出线电压为 80－100V 左右。此操作也可通过调节仪表实现。

5. 合上三相电源空气开关，三相电加热管通电加热，适当增加/减少智能仪表的输出值，使锅炉内胆的水温处于某一个平衡状态。记录此时的仪表输出值和温度值。
6. 待水温平衡后，突增（或突减）仪表输出量的大小，使其有一个适当的正（或负）阶跃变化（即阶跃干扰，此增量过大可能导致系统无法平衡），于是内胆的水温便离开原平衡状态。经过一段时间后内胆水温进入新的平衡装态，记录此时的仪表输出值和温度值，观察并记录温度的响应过程曲线。
7. 将内胆中已加热的水通过处水阀放掉，然后注满冷水；并启动变频器以较小的频率往夹套中打冷却水，重复第 5－7 步，观察并记录实验的过程曲线。

五、 实验报告

1. 根据实验数据及曲线，按本章第一节单容水箱特性测试的原理及分析方法求得锅炉内胆温度的特性参数 K、T、τ, 写出其传递函数。
2. 对在两种不同条件下所测得的内胆温度变化曲线进行分析比较。

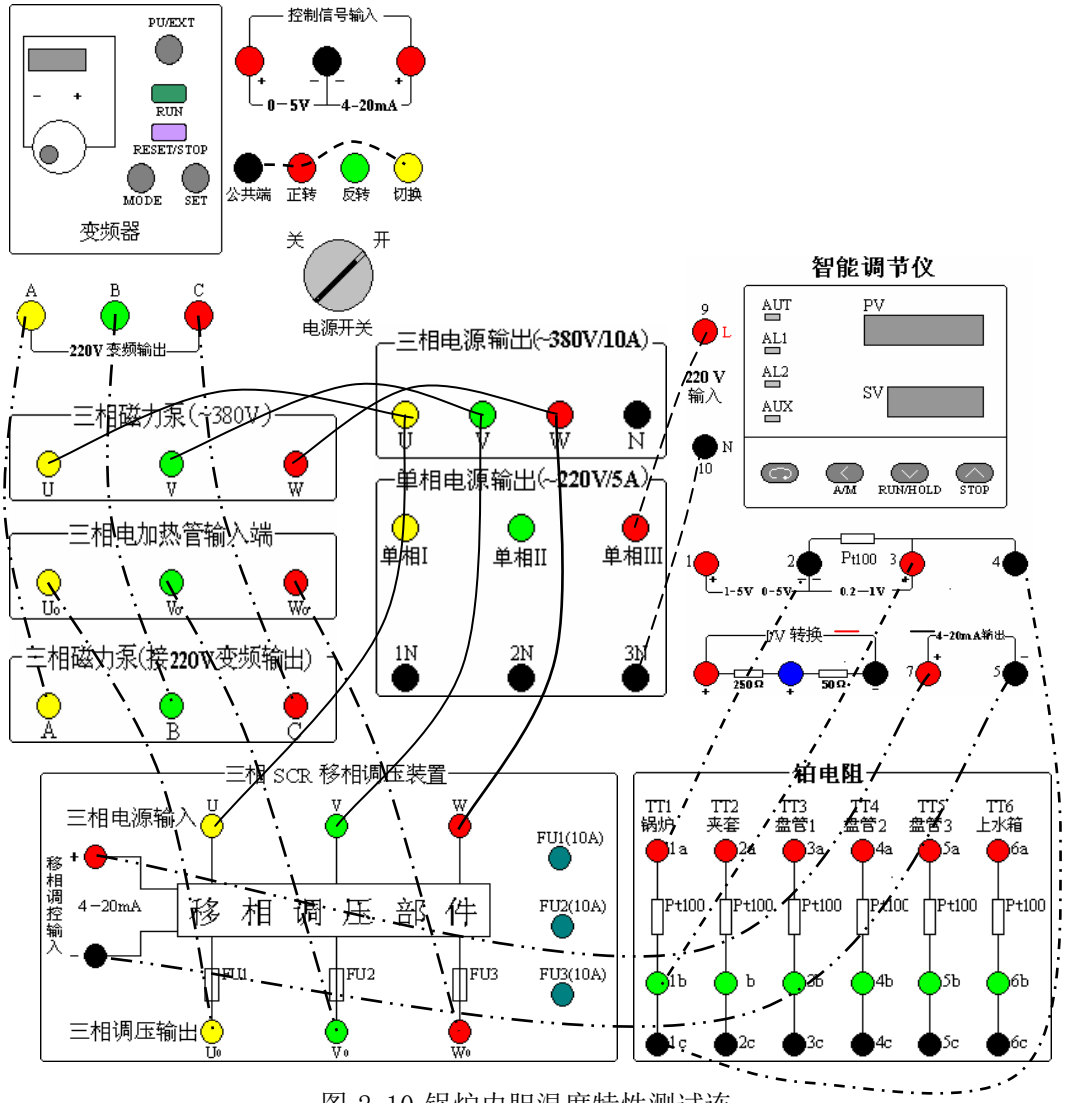


图 2-10 锅炉内胆温度特性测试连

第三章 单回路控制系统的实验

第一节 单回路控制系统的概述及调节器参数整定方法

一、 单回路控制系统的概述

图 3-1 为单回路控制系统方框图的一般形式，它是由被控对象、执行器、调节器和测量变送器所组成的一个闭环控制系统。系统的给定量是一定值，要求系统的被控制量稳定至给定量。由于这种系统结构简单，调试方便，性能较好，故在工业生产中被广泛应用。

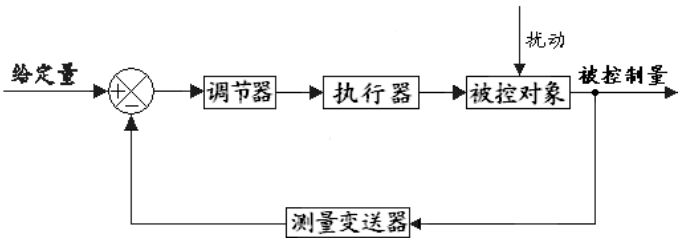


图 3-1 单回路控制系统方框图

二、 干扰对系统性能的影响

● 干扰通道的放大系数、时间常数及纯滞后对系统的影响

干扰通道的放大系数 Kf 会影响干扰加在系统中的幅值。若系统是有差系统，则干扰通道的放大系数愈大，系统的静差也就愈大。我们希望干扰通道的放大系数愈小愈好。如果干扰通道是一个惯性环节，令时间常数为 Tf，则阶跃扰动通过惯性环节后，其过渡过程的动态分量被滤波而幅值变小。即时间常数 Tf 越大，则系统的动态偏差就愈小。通常干扰通道中还会有纯滞后环节，使被调参数的响应时间滞后一个 τ 值，即

$$Y_\tau(t) = Y(t - \tau)$$

上式表明调节过程沿时间轴平移了一个 τ 的距离，即干扰通道出现纯滞后，但不会影响系统的调节质量。

● 干扰进入系统中的不同位置

复杂的生产过程往往有多个干扰量，他们作用在系统的不同位置，如图3-2所示。控制理论证明，同一形式、大小相同的扰动在系统中不同的位置所产生的静差是不一样的。对扰动产生影响的仅是扰动作用点前的那些环节。

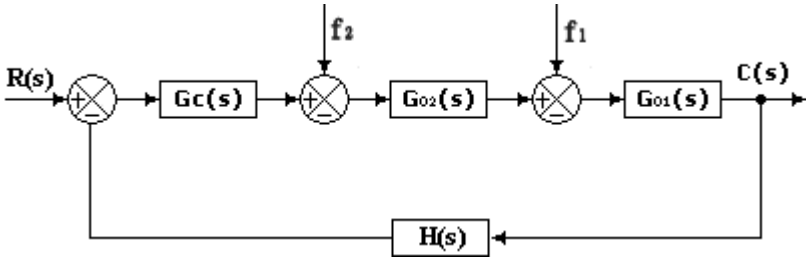


图 3-2 扰动作用于不同位置的控制系统

三、 控制规律的确定

选择系统调节规律的目的是令调节器与调节对象很好匹配，使组成的控制系统满足工艺上所提出的动、静态性能指标。

比例(P)调节

纯比例调节器是一种最简单的调节器，它对控制作用和扰动作用的响应都很快。由于比例调节只有一个参数，所以整定很方便。这种调节器的主要缺点是使系统有静差存在。其传递函数为

$$G_C(S) = K_P = \frac{1}{\delta}$$

式中 Kp 为比例系数，δ 为比例带。

比例积分(PI)调节

PI 调节器就是利用 P 调节快速抵消干扰的影响，同时利用 I 调节消除残差，但 I 调节会降低系统的稳定性，这种调节器在过程控制中是应用最多的一种调节器。其传递函数为

$$G_C(S) = K_P(1 + \frac{1}{T_I S}) = \frac{1}{\delta}(1 + \frac{1}{T_I S})$$

式中 T_I 为积分时间。

比例微分(PD)调节

这种调节器由于有微分的超前作用，能增加系统的稳定度，加快系统的调节过程，减小动态和静态误差，但微分抗干扰能力较差，且微分过大易导致调节阀动作向两端饱和，因此一般不用于流量和液位控制系统。PD 调节器的传递函数为

$$G_C(S) = K_P(1 + T_D S) = \frac{1}{\delta}(1 + T_D S)$$

比例微分积分(PID)调节器

PID 是常规调节器中性能最好的一种调节器。由于它具有各类调节器的优点，因而使系统具有更高的控制质量。它的传递函数为

$$G_C(S) = K_P(1 + \frac{1}{T_I S} + T_D S) = \frac{1}{\delta}(1 + \frac{1}{T_I S} + T_D S)$$

四、 调节器参数的整定方法

调节器参数的整定一般有两种方法：一种是理论设计法，即根据广义对象的数学模型和性能要求，用根轨迹法或频率特性法来确定调节器的相关参数；另一种方法是工程实验法，通过对典型输入响应曲线所得到的特征量，然后查照经验表，求得调节器的相关参数。工程实验整定法有以下四种：

1． 经验法

若将控制系统液位、流量、温度和压力等参数来分类，则属于同一类别的系统，其对象往往比较接近，所以无论是控制器形式还是所整定的参数均可相互参考。表一为经验法整定参数的参考数据，可在此基础上对调节器的参数作进一步修正。若需加微分作用，微分时间常数可以按照 $T_D = (\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4})T_I$ 计算。

表一 经验法整定参数

系统	参数		
	δ(%)	T_I(min)	T_D(min)
温度	20～60	3～10	0.5～3
流量	40～100	0.1～1	
压力	30～70	0.4～3	
液位	20～80		

2. 临界比例度法

这种整定方法是在闭环情况下进行的。设 $T_I=\infty$，$T_D=0$，使调节器工作在纯比例情况下，将比例度由大逐渐变小，使系统的输出响应呈现等幅振荡。根据临界比例度 δ_S 和振荡周期 T_S，按表二所列的经验算式，求取调节器的参考参数值。

表二 临界比例度法整定调节器参数

调节器参数 / 调节器名称	δ_S	T_i(S)	T_d(S)
P	$2\delta_S$		
PI	$2.2\delta_S$	$T_S/1.2$	
PID	$1.67\delta_S$	$0.5T_S$	$0.125T_S$

临界比例度法的优点是应用简单方便，但此法有一定限制。首先要产生允许受控变量能承受等幅振荡的波动，其次是受控对象应是二阶和二阶以上或具有纯滞后的一阶以上环节，否则在比例控制下，系统是不会出现等幅振荡的。在求取等幅振荡曲线时，应特别注意控制阀出现开、关的极端状态。

3. 衰减曲线法（阻尼振荡法）

在闭环系统中，先把调节器设置为纯比例作用，然后把比例度由大逐渐减小，加阶跃扰动观察输出响应的衰减过程，直至出现图 3-3 所示的 4：1 衰减过程为止。这时的比例度称为 4：1 衰减比例度，

用 δ_S 表示。相邻两波峰间的距离称为 4：1 衰减周期 T_S。根据 δ_S 和 T_S，运用表三提供的经验公式，就可计算出调节器预整定的参数值。

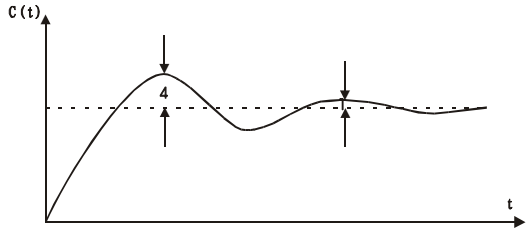


图 3-3　4：1 衰减曲线法图形

表三 阻尼振荡法计算公式

调节器参数 / 调节器名称	δ（%）	T_I(min)	T_D(min)
P	δ_S		
PI	$1.2\delta_S$	$0.5T_S$	
PID	$0.8\delta_S$	$0.3T_S$	$0.1\ T_S$

4．　动态特性参数法

所谓动态特性参数法，就是根据系统开环广义过程阶跃响应特性进行近似计算的方法，即根据第二章中对象特性的阶跃响应曲线测试法测得系统的动态特性参数 K、T、 τ，利用表四的经验公式，就可以计算出对应于衰减率为 4：1 时调节器的相关参数。如果被控对象是一阶惯性环节，或具有很小滞后的一阶惯性环节，若用临界比例度法或阻尼振荡法（4：1 衰减）就有难度。此时应采用动态特性参数法整定调节器的参数。

令调节器的输出 X(t)为阶跃信号，则对象经测量变送器后的输出 Y（t），如图 3-4 所示。由该图可确定 τ、T 和 K，其中 K 按下式确定

$$K = \frac{y(\infty) - y(0)}{x_0}$$

根据所求的 K、T 和 τ，利用下表所示的经验公式，就可计算出对应于衰减率为 4：1 时调节器的相关参数。

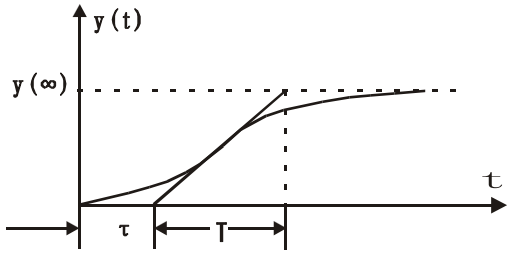


图 3-4　阶跃响应曲线

表四 经验计算公式

调节器参数 / 调节器名称	δ（%）	T_I	T_D
P	$\frac{K\tau}{T}\times 100\%$		
PI	$1.1\frac{K\tau}{T}\times 100\%$	3.3τ	
PID	$0.85\frac{K\tau}{T}\times 100\%$	2τ	0.5τ

第二节　单容水箱液位定值控制系统

一、 实验目的

1. 了解单容液位定值控制系统的结构与组成。

2. 掌握单容液位定值控制系统调节器参数的整定和投运方法。

3. 研究调节器相关参数的变化对系统静、动态性能的影响。

二、 实验设备

1. THJ-2 型高级过程控制系统装置

2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根

3. 万用表　1 只

三、 实验原理

本实验系统的被控对象为上水箱，其液位高度作为系统的被控制量。系统的给定信号为一定值，它要求被控制量上水箱液位的稳态值等于给定值。由反馈控制的原理可知，应把上水箱的液位经传感器检测后的信号作为反馈信号。

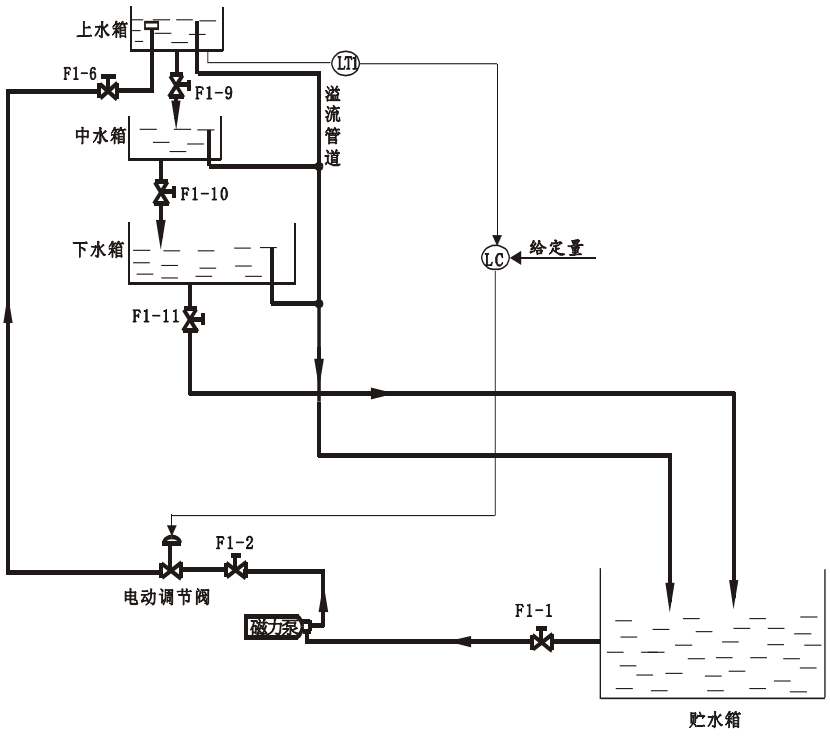


图 3-5 上水箱液位定值控制系统结构图

图 3-5 为本实验系统的结构图，图 3-6 为控制系统的方框图。为了实现系统在阶跃给定和阶跃扰动作用下无静差，系统的调节器应为 PI 或 PID。

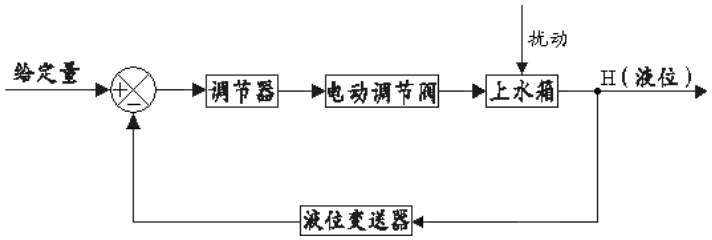


图 3-6 上水箱液位定值控制系统方框图

四、 实验内容与步骤

1. 按图 3-7 要求完成系统的接线，从压力变送器的上水箱取液位信号，并将 LT1 上水箱液位按钮开关拨至 ON。
2. 接通总电源空气开关和钥匙开关，打开 24V 开关电源给压力变送器上电，按下启动按钮，合上单相Ⅱ、单相Ⅲ空气开关，给智能仪表及电动调节阀上电。
3. 打开阀 F1-1、F1-2、F1-6 和 F1-9，且把 F1-9 控制在适当的开度。
4. 选用单回路控制系统实验中所述的某种调节器参数的整定方法整定好调节器的相关参数。
5. 设置好系统的给定值后，用手动操作调节器的输出，使电动调节阀给上水箱打水，待其液位达到给定值且基本稳定不变时，把调节器切换为自动，使系统投入自动运行状态。
6. 打开上位机 MCGS 组态环境，打开“智能仪表控制系统”工程，然后进入 MCGS 运行环境，在主菜单中点击“实验三、单容液位定值控制”，进入实验监控界面，进行下列实验：
   1） 突加阶跃扰动（将给定量增加 5%～15%），观察并记录系统的输出响应曲线。
   2） 待系统进入稳态后，适量改变阀 F1-6 的开度（作为系统的扰

动），观察并记录在阶跃扰动作用下液位的变化过程。

7. 适量改变 PI 的参数，用计算机记录不同参数时系统的响应曲线。

五、 实验报告

1. 用实验方法确定调节器的相关参数。
2. 列表记录，在上述参数下求得阶跃响应的动、静态性能指标。
3. 列表记录，在上述参数下求得系统在阶跃扰动作用下响应曲线的动、静态性能指标。
4. 改变比例度 δ 和积分时间 TI 对系统的性能产生什么影响？

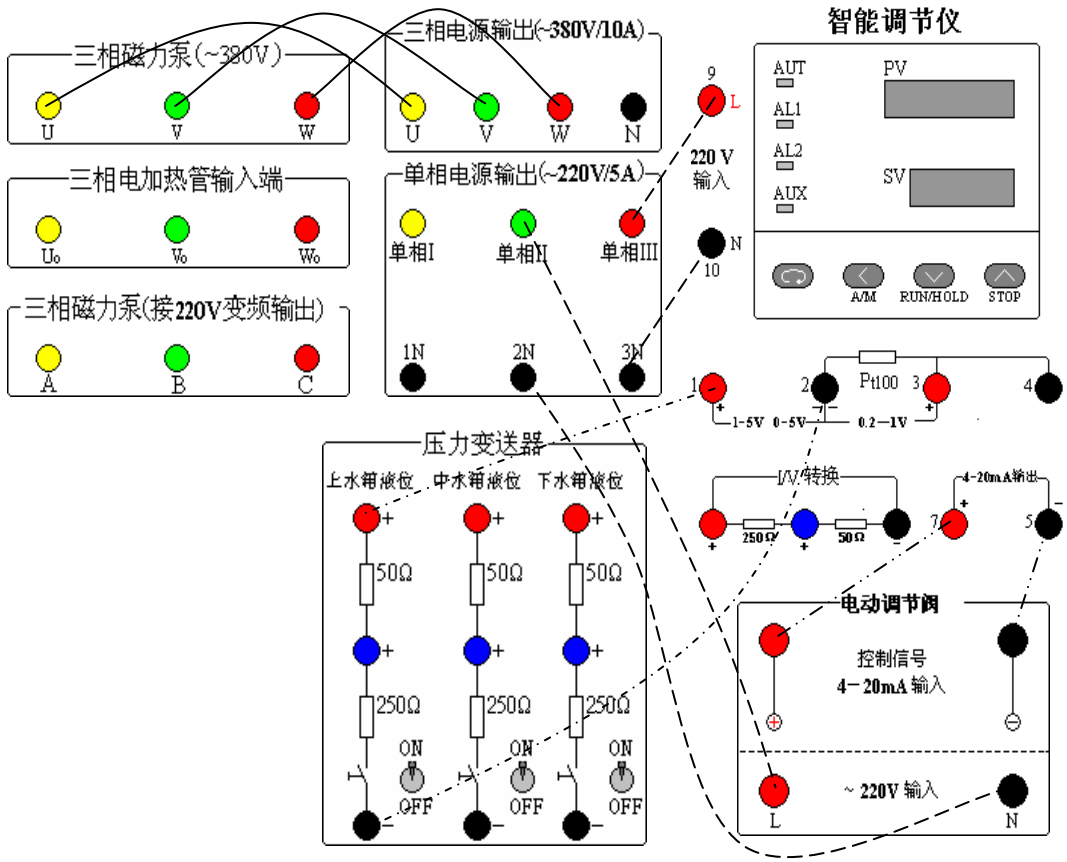


图 3-7 单容水箱定值控制系统连线

第三节　双容水箱液位定值控制系统

一、 实验目的

1. 通过实验进一步了解双容水箱液位的特性。
2. 掌握双容水箱液位控制系统调节器参数的整定与投运方法。
3. 研究调节器相关参数的改变对系统动态性能的影响。
4. 研究 P、PI、PD、和 PID 四种调节器分别对液位系统的控制作用。

二、 实验设备

1. THJ-2 型高级过程控制系统装置。
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表一只

三、 实验原理

图 3-8 为实验系统的结构图。

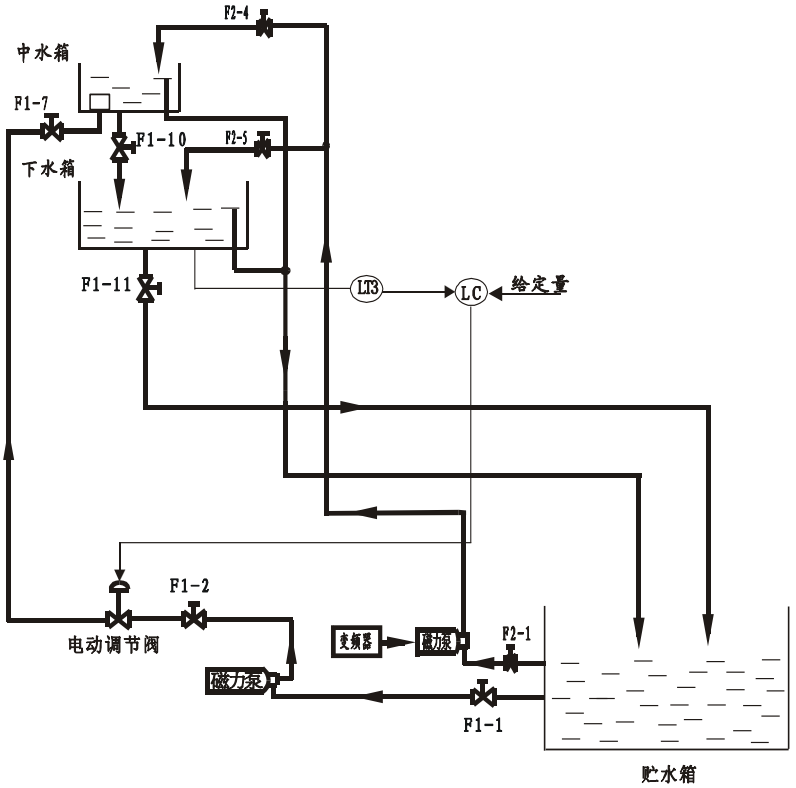


图 3-8 双容液位定值控制系统结构图

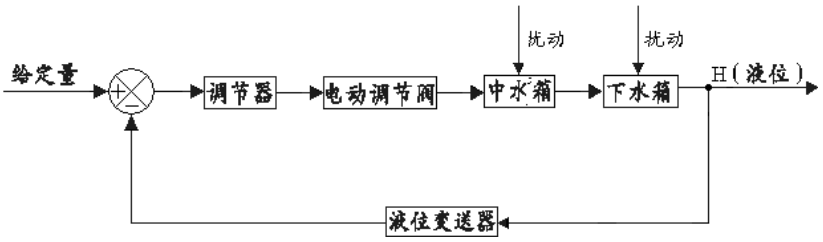


图 3-9 双容液位定值控制系统方框图

四、 实验内容与步骤

本实验以中水箱与下水箱串联作为被控对象，下水箱的液位高度为系统的被控制量，要求下水箱液位稳定至给定量。将压力变送器 LT3 检测到的下水箱液位信号作为反馈信号与给定量进行比较，调节器根据其差值控制电动调节阀的开度，从而控制下水箱液位。为了实现系统在阶跃给定和阶跃扰动作用下的无静差控制，系统的调节器应为 PI 或 PID 控制。调节器的参数整定可采用本章第一节所述任意一种整定方法。图 3-9 为控制系统的方框图，图 3-10 为实验连线图。具体实验步骤：

1. 将储水箱中贮足水量，然后将阀门 F1-1、F1-2、F1-7、F1-11 全开，将中水箱出水阀门 F1-10 开至适当开度（F1-10 的开度大于 F1-11 的开度），其余阀门均关闭。
2. 按图 3-10 示，完成实验系统的接线，将下水箱液位按钮开关拨到 ON 的位置。
3. 接通总电源空气开关和钥匙开关，打开“24V 开关电源，给压力变送器上电，按下启动按钮，合上单相Ⅰ、单相Ⅲ开关，给智能仪表及电动调节阀上电。
4. 打开上位机 MCGS 组态环境，打开“智能仪表控制系统”工程，然后进入 MCGS 运行环境，在主菜单中点击“实验四、双容液位定值控制”，进入实验四的监控界面。
5. 在上位机监控界面中点击“启动仪表”，将智能仪表设置为“手动”，并将设定值和输出值设为一个合适的值，此操作可通过调节仪表实现。

6. 合上三相电源空气开关，磁力驱动泵上电打水，适当增加或减少智能仪表的输出值，使下水箱的液位平衡于设定值。
7. 用本章第一节实验中所述的临界比例度法或 4：1 衰减振荡法整定调节器的相关参数，并按整定后的 PI 参数进行调节器的参数设置。
8. 将调节器切换到“自动”控制状态，待液位平衡后，通过以下几种方式加干扰：

   （1）增（或突减）仪表设定值的大小，使其有以个正（或负）阶跃增量的变化；（此法推荐，后面两种仅供参考）

   （2）将电动调节阀的旁路阀 F1-3 或 F1-4(同电磁阀)开至适当开度；

   （3）将下水箱进水阀 F1-8 开至适当开度；（改变负载）接上变频器电源，并将变频器输出接至磁力泵，然后打开阀 F2-1，2-4，用变频器支路以较小频率给中水箱打水。

   以上几种干扰均要求扰动量为控制量的 5%－15%，干扰过大可能造成水箱中水溢出或系统不稳定。加入干扰后，水箱的液位便离开原平衡状态，经过一段时间后，水箱液位稳定至新的设定值（采用后面两种干扰方法仍稳定在原设定值)，记录此时的智能仪表的设定值、输出值、和仪表参数。
9. 分别适量改变调节仪的 P 及 I 参数，重复步骤 7，用计算机记录不同参数时系统的阶跃响应曲线。

五、 实验报告

1. 用实验方法确定调节器的相关参数，写出整定过程。
2. 根据实验数据和曲线，分析系统在阶跃扰动作用下的静、动态性能。
3. 分析不同 PI 参数对系统的性能产生的影响。
4. 分析 P、PI、PID 控制方式对本实验系统的作用。

六、 思考题

1. 如果采用上水箱和中水箱作实验，其响应曲线与本实验的曲线有什么不同？并分析差异原因。

2. 改变比例度 δ 和积分时间 T1 对系统的性能产生什么影响。

a) 为什么本实验比单容液位定值控制系统更容易引起振荡？

b) 要达到同样的动态性能指标，在本实验中调节器的比例度和积分时间常数要怎么设置？

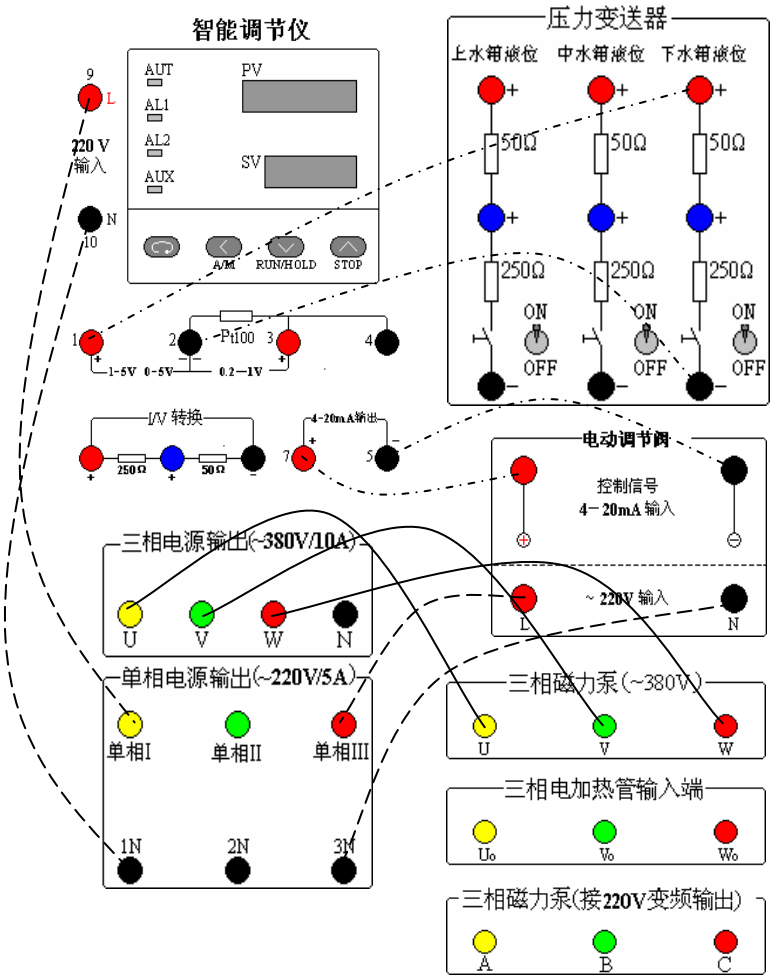


图 3-10　双容定值控制系统连线图

第四节　三容水箱液位定值控制系统

一、 实验目的

1. 了解三容串级液位定值控制系统的结构组成。
2. 通过本实验掌握三容单回路系统调节器参数的整定和系统的投运方法。
3. 研究调节器相关参数的变化对系统动态性能的影响。

二、 实验设备

1. THJ-2 型高级过程控制系统装置
4. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
2. 万用表一只

三、 实验原理

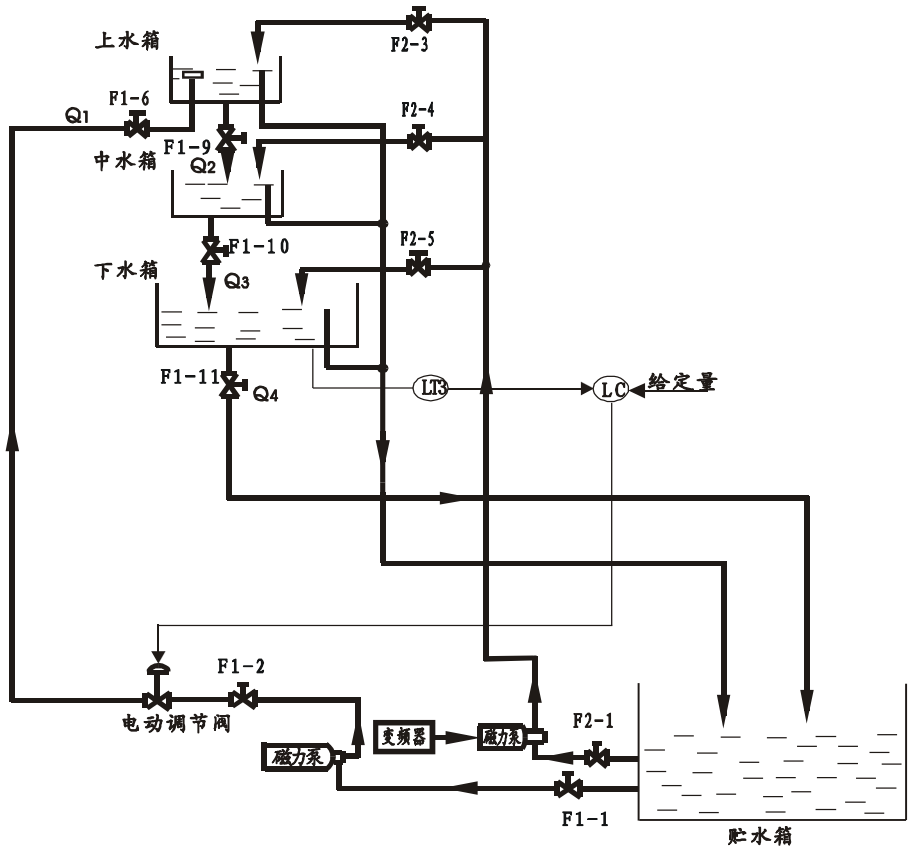


图 3-11 三容液位定值控制实验系统结构图

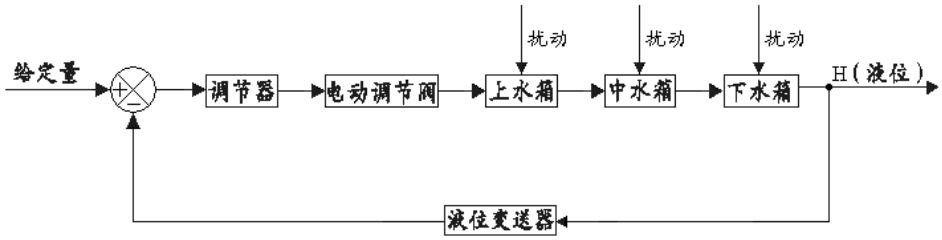


图 3-12 三容液位定值控制实验系统方框图

图 3-11 为三容液位定值控制实验系统的结构图，图 3-12 为该系统的方框图。本实验由上、中、下三个水箱串联组成系统被控对象，下水箱的液位高度为系统的被控制量。由双容特性测试实验可以推知，三容对象是一个三阶系统，可用三个惯性环节来描述。本实验要求下水箱液位稳定至给定量，将压力变送器 LT3 检测到的下水箱液位信号作为反馈信号与给定量进行比较，调节器根据其差值控制电动调节阀的开度，从而控制下水箱液位。为了实现系统在阶跃给定和阶跃扰动作用下的无静差控制，系统的调节器应为 PI 或 PID 控制。

为了在实验时能满足下水箱液位达到设定的高度，要求三只水箱放水阀的开度必须满足下列关系：

F1-9 开度>F1-10 开度>F1-11 开度　　（1）

这样，当系统稳态时三个水箱的液位高度必然会满足下列关系：

下水箱液位>中水箱液位>上水箱液位　　（2）

满足上述的不等式关系后，系统在稳态时才会出现流量的平衡关系 Q1=Q2=Q3=Q4。

四、 实验内容与步骤

1. 参照图 3-13 完成本实验系统的接线，将下水箱液位按钮开关拨至 ON。
2. 接通总电源空气开关和钥匙开关，打开“24V 开关电源，给压力变送

器上电，按下启动按钮，合上单相Ⅰ、单相Ⅲ开关，给智能仪表及电动调节阀上电。

3. 打开阀 F1-1、F1-2、F1-6、F1-9、F1-10 和 F1-11。其中 3 只放水阀间的开度必须满足式（1）要求。
4. 用临界比例度法或 4：1 阻尼振荡法，整定调节器的相关参数。
5. 设置系统的给定值后，手动操作调节器控制 3 只水箱液位的高度。当下水箱的液位等于给定值，且上、中水箱的液位基本不变时，把调节器由手动切换为自动，使系统进入自动运行状态。
6. 开启计算机，运行 MCGS 组态软件，进行下列实验：
   1）当系统进入稳态后，突变给定量（其增量一般取给定值的 10%左右），观察并记录系统在给定增量作用下的动态响应曲线。
   2）启动变频器调速的磁力泵支路，分别适量开启阀 F2-3 或 F2-4 或 F2-5 的开度（开度同样大小）作为扰动，观察并记录下水箱液位的变化过程。
   3）通过多次反复改变调节器的比例度 δ 和积分时间常数 T_I 的大小，使系统具有最佳的动态性能。记录此时调节器的参数和系统被控制量的响应曲线。

五、 实验报告

1. 用实验方法确定调节器的参数，画出所得的波形，并标上相应的参数值。
2. 列表表示在所整定的参数下系统阶跃响应的动、静态性能。
3. 列表表示在所整定的参数下阶跃扰动作用在系统不同位置时被控制量响应的动态性能。
4. 列表表示经调试后求得的调节器参数和相应系统阶跃响应的性能指标。

六、 思考题

1. 为什么对三只水箱的出水阀开度大小要求不同？

2. 如果在相同阶跃信号作用下，系统的被控制量具有完全相同的动态性能指标，本实验中所取调节器的比例度和积分时间常数的大小与以上实验有何不同？

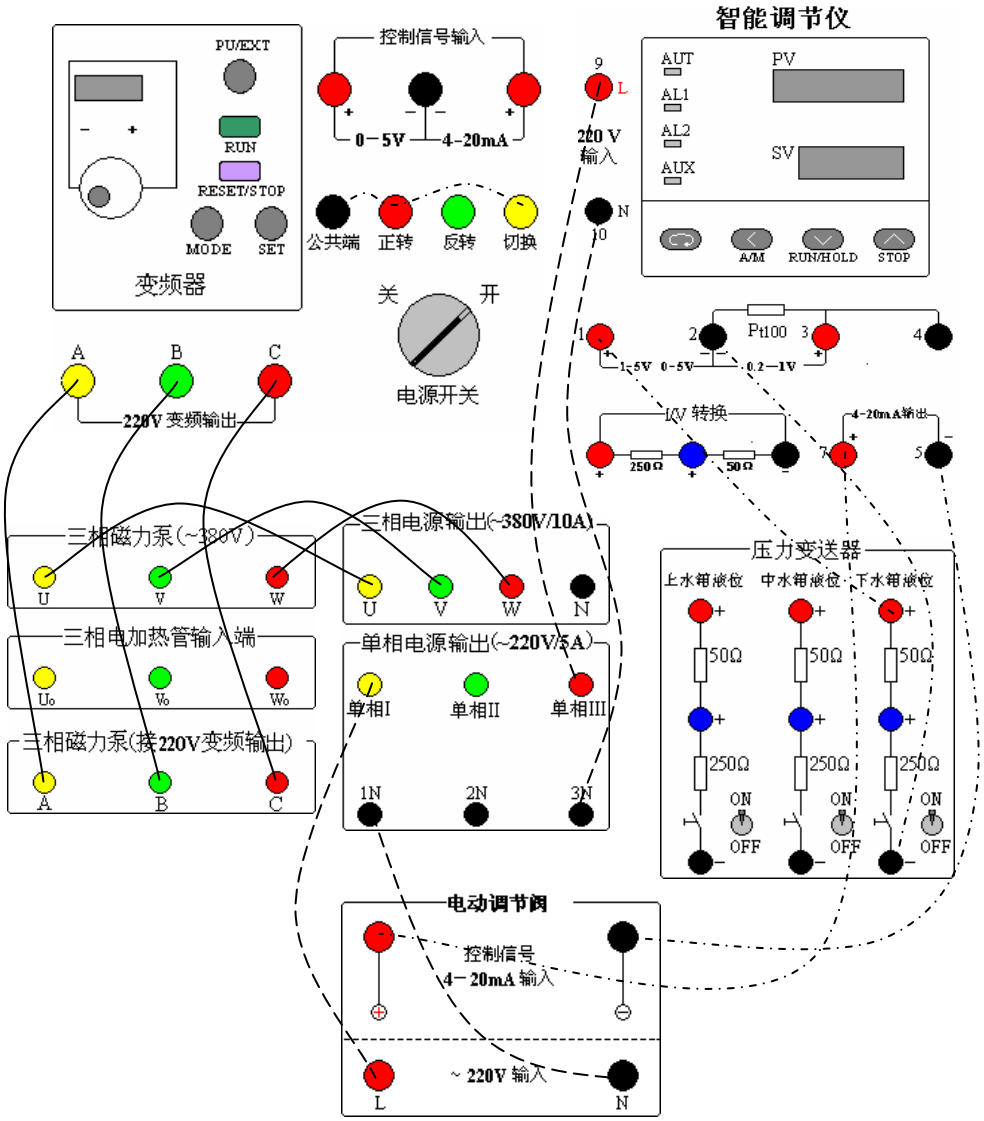


图 3-13 三容液位定值控制系统连线图

第五节　锅炉内胆水温定值控制系统

一、 实验目的

1. 了解单回路温度控制系统的组成与工作原理。
2. 研究 P、PI、PD 和 PID 四种调节器分别对温度系统的控制作用。
3. 了解 PID 参数自整定的方法及参数整定在整个系统中的重要性。

二、 实验设备

1. THJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

三、 实验原理

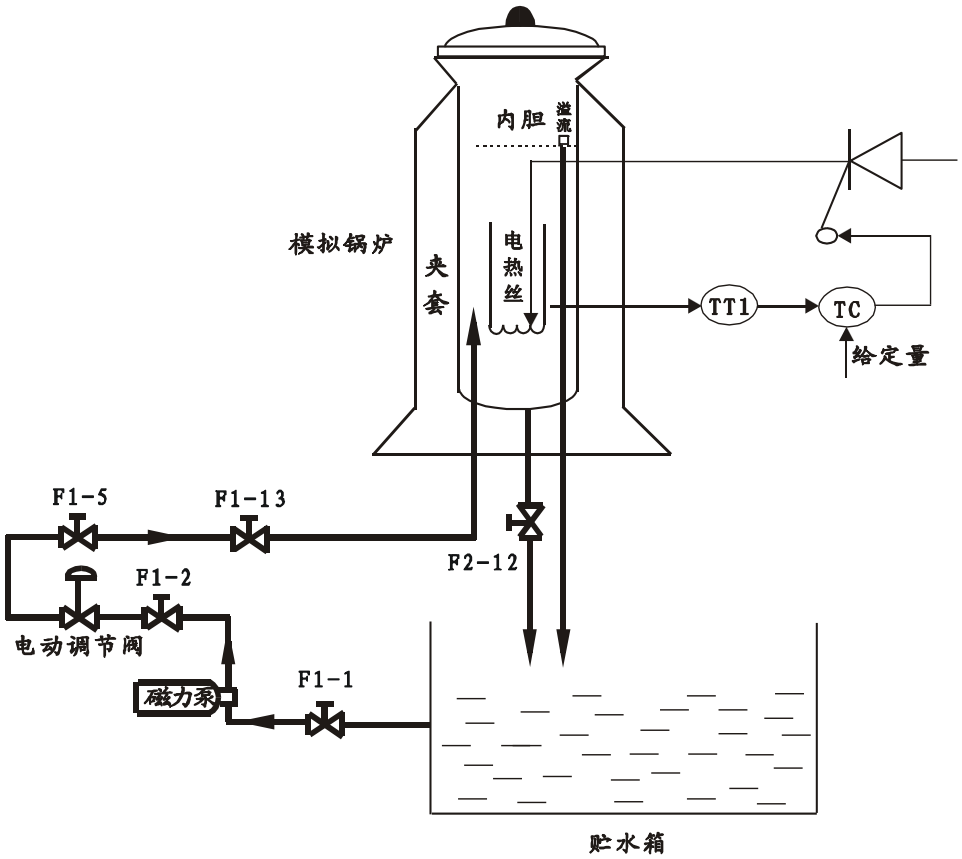


图 3-14 锅炉内胆水温定值控制系统结构示意图

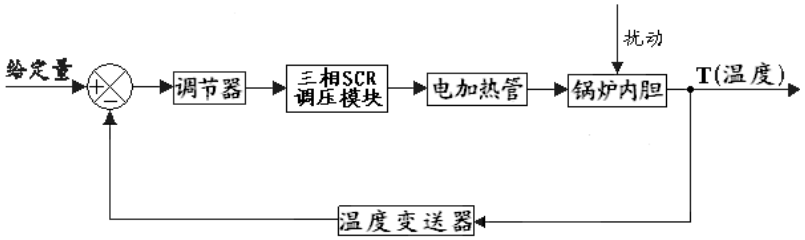


图 3-15 锅炉内胆水温定值控制系统方框图

图 3-14 为锅炉内胆水温定值控制系统的结构示意图，图 3-15 为锅炉内胆水温定值控制系统方框图。本实验以锅炉内胆作为被控对象，内胆的水温为系统的被控制量。实验要求锅炉内胆的水温稳定至给定值，将铂电阻 TT1 检测到的锅炉内胆温度信号作为反馈信号与给定值进行比较，将其差值送给调节器的输入，调节器的输出控制三相调压模块的输出电压（三相电加热管的电压），从而控制锅炉内胆水温。由于加热过程时延较大，其控制过渡时间较长，系统的调节器可选 PD 或 PID 控制。可以采用两种方案对锅炉内胆的水温进行控制：

a) 锅炉加套不加冷却水（静态）

b) 锅炉夹套加冷却水（动态）

显然，两种方案的控制效果时不一样的，后者比前者的升温过程稍慢，降温过程稍快，过渡过程时间稍短。

四、 实验内容与步骤

1. 将储水箱贮足水量，然后将阀门 F2-1、F2-6、F1-13 全开，将锅炉出水阀 F2-12 关闭，其余阀门也关闭。将变频器输出 A、B、C 三端连接到三相磁力驱动泵（220V），打开变频器电源并手动调节其频率，给锅炉内胆存储一定的水量（要求至少高于液位指示玻璃管的红线位置），然后关闭阀 F1-13，打开阀 F1-12 为给锅炉夹套供冷水作好准备。
2. 按图 2-10 连接实验系统。
3. 接通总电源空气开关和钥匙开关，按下启动按钮，合上单相 I 空气开关给智能仪表上电。
4. 打开上位机 MCGS 组态环境，打开“智能仪表控制系统”工程，然后进入 MCGS 运行环境，在主菜单中点击“实验六 锅炉内胆水温定

值控制”，进入实验六的监控界面。

5. 在上位机监控界面中点击“启动仪表”，将智能仪表设置为“手动”并将输出值设置为一个合适的值，此操作可通过调节仪表实现。
6. 合上三相电源空气开关，三相电加热管通电加热，适当增加或减少智能仪表的输出，使锅炉内单的水温平衡于设定值。
7. 用临界比例度法或衰减曲线法整定调节器参数，选择 PID 控制规律，并按整定后的 PID 参数进行调节器参数设置。
8. 将调节器切换到“自动”状态，待水温平衡后，突增（或突减）设定值，使其有一个正（或负）的阶跃增量（此增量不宜过大，一般为设定值的 5%－15%），于是锅炉内胆水温离开原平衡状态，经过一段调节时间后，水温稳定至新的设定值，记录此时智能仪表的设定值、输出值、仪表参数和内胆水温的响应曲线。
9. 打开变频器电源开关，给变频器上电，将变频器设置在适当的频率（19Hz 左右），变频器支路开始往锅炉夹套打冷水，重复步骤 5－8，观察实验的过程与前面不加冷水的过程有何不同。通过反复多次调节 PID 的参数，使系统具有较满意的动态性能指标。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。
10. （选作）分别采用 P、PI、PD 控制规律重复实验，观察在不同的 P、I、D 参数下，系统的阶跃响应曲线。

五、 实验报告

1. 用实验方法整定调节器的相关参数，写出整定过程。
2. 根据实验曲线和数据，分析系统在阶跃扰动作用下的静、动态性能。
3. 比较不同 PID 参数对系统性能产生的影响。
4. 分析 P、PI、PD、PID 四种控制方式对本实验系统的作用。

六、 思考题

1. 消除系统的余差为什么采用 PI 调节器，而不采用纯积分器？
2. 在温度控制系统中，为什么用 PD 和 PID 控制，系统的性能并不比用 PI 控制有明显地改善？
3. 为什么内胆动态水的温度控制比静态水时的温度控制更容易稳定？

第六节　锅炉夹套水温定值控制系统

一、 实验目的

1. 了解不同单回路温度控制系统的组成与工作原理。
2. 研究 P、PI、PD 和 PID 四种调节器分别对温度系统的控制作用。
3. 了解 PID 参数自整定的方法及参数整定在整个系统中的重要性。
4. 比较锅炉夹套水温控制与锅炉内胆动态水温控制的控制效果。

二、 实验设备

1. THJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表　1 只

三、 实验原理

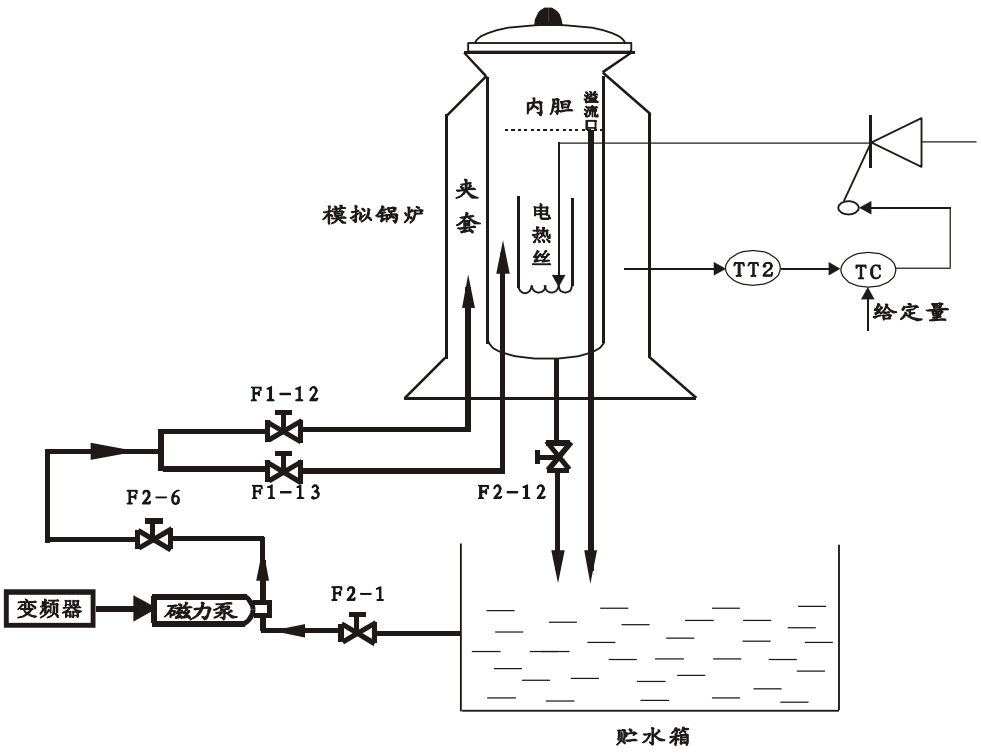


图 3-16 锅炉夹套水温定值控制系统的结构示意图

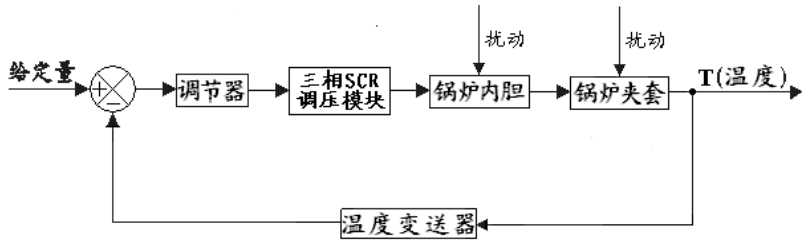


图 3-17 锅炉夹套水温定值控制系统的方框图

图 3-16 为一个单闭环锅炉夹套水温定值控制系统的结构示意图，图 3-17 锅炉夹套水温控制系统的方框图。其中锅炉内胆为动态循环水，磁力泵、电动调节阀、锅炉内胆组成循环供水系统。而控制参数为锅炉夹套的水温，即要求锅炉夹套水温等于给定值。实验前先通过变频器-磁力泵动力支路给锅炉内胆和锅炉夹套均打满水，然后关闭锅炉内胆和夹套的进水阀。待实验投入运行以后，再打开锅炉内胆的进水阀，允许变频器-磁力泵以固定的小流量使锅炉内胆的水处于循环状态。在锅炉夹套水温的控制过程中，由于锅炉内胆有循环水，因此锅炉内胆与锅炉夹套热交换比内胆静态水温控制时更充分，使控制速度有较大改善。系统采用的调节器为工业上常用的 AI 智能调节仪。

四、 实验内容与步骤

1. 参照图 3-18 完成实验系统的连线。
2. 接通总电源和相关仪表的电源。
3. 打开阀 F2-1、 F2-6、F1-12 和 F1-13，关闭其它与本实验无关的阀，用变频器-磁力泵支路给锅炉内胆和夹套打满水。然后关闭阀 F1-12，待实验投入运行以后，令变频器-磁力泵以固定的小流量使锅炉内胆的水处于循环状态。
4. 调节调节器的比例度，使系统的输出响应出现 4：1 的衰减度，记下此时的比例度 δ_S 和周期 T_S。据此，按经验表查得 PI 的参数对调节器进行参数整定。
5. 设置好温度的给定值，先手动操作调节器的输出，通过三相移相调压

模块给锅炉内胆加热,等锅炉水温趋于给定值且不变后，把调节器由手动切换为自动，使系统进入自动运行状态。

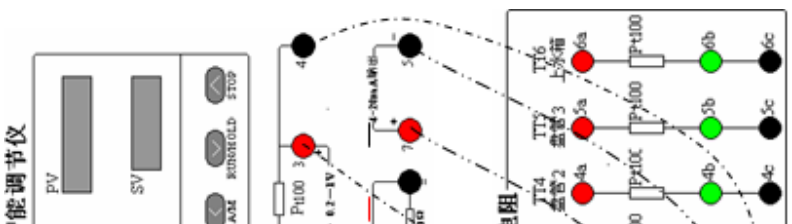
6. 打开计算机，运行 MCGS 组态软件，并进行如下的实验：
7. 当系统稳定运行后，突加阶跃扰动（将给定量增加 5%～15%），观察并记录系统的输出响应曲线。
8. 通过反复多次调节 PI 的参数，使系统具有较满意的动态性能指标。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

五、 实验报告

1. 用实验方法整定 PI 调节器的参数。
2. 作出比例 P 控制时，不同 δ 值下的阶跃响应曲线，并记下它们的余差 ess。
3. 比例积分调节器（PI）控制
   (1) 在比例调节控制实验的基础上，加上积分作用“I”，即把“I”（积分）设置为一参数，根据不同的情况，设置不同的大小。观察被控制量能否回到原设定值的位置，以验证在 PI 调节器控制下系统的阶跃扰动无余差产生。
   (2) 固定比例 P 值（中等大小），然后改变调节器的积分时间常数 T_I 值，观察加入阶跃扰动后被调量的输出波形和响应时间的快慢。
   (3) 固定 T_I 于某一中等大小的值，然后改变比例度 δ 的大小，观察加阶跃扰动后被调量的动态波形和响应时间的快慢。
4. 分析比例度 δ 和 TI 值改变时，各给系统动态性能产生什么影响。

六、 思考题

1. 消除系统的余差为什么采用 PI 调节器，而不采用纯积分器？
2. 在温度控制系统中，为什么用 PD 和 PID 控制，系统的性能并不比用 PI 控制有明显地改善？
3. 如果锅炉内胆不采用循环水，那么锅炉夹套的温度控制效果会怎样？



3-18 锅炉夹套水温定值控制系统接线图

第七节　电动阀支路流量的定值控制系统

一、 实验目的

1. 了解单闭环流量定值控制系统的组成。
2. 应用阶跃响应曲线法整定调节器的参数。
3. 研究调节器中相关参数的变化对系统性能的影响。

二、 实验设备

1. THJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

三、 实验原理

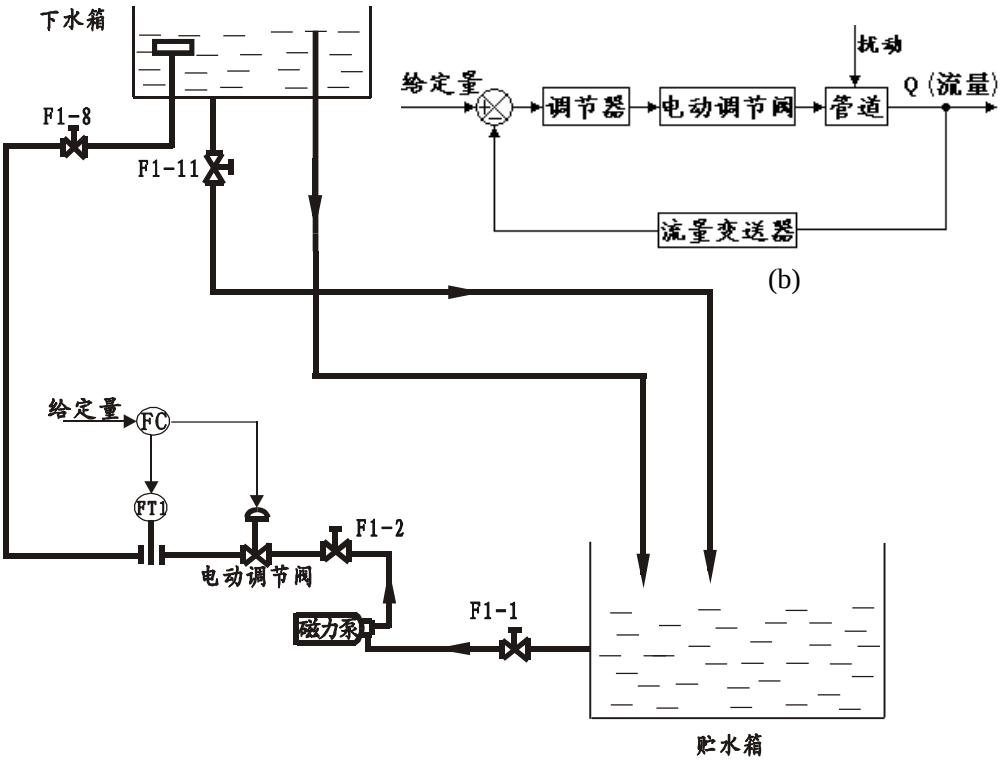


图 3-19 单闭环流量控制系统

(a)结构图 (b)方框图

图 3-19 为单闭环流量控制系统的结构图和方框图。系统的被控制量为电动调节阀支路流经管道中的液体流量 Q。实验要求电动调阀支路流

量 Q 稳定至给定值，将涡轮流量计 FT1 检测到的流量信号作为反馈信号与给定量进行比较，其差值通过调节器控制电动调节阀的开度，从而控制管道中的流量。为了实现系统在阶跃给定和阶跃扰动下的无静差控制，系统的调节器应为 PI 控制，并且在实验中 PI 参数设置要比较大。基于被控对象是一个时间常数较小的惯性环节，故本系统调节器的参数宜用阶跃响应曲线法确定。

四、 实验内容与步骤

1. 根据图 3-21 完成实验系统的接线，将阀 F1-1、F1-2、F1-8、F1-1 全开，关闭其余阀门，将“FT1 电动阀支路流量”的钮子开关拨至 ON。
2. 接通总电源和相关仪表的电源。
3. 按经验数据预先设置好副调节器的比例度。
4. 根据用阶跃响应曲线法求得的 K、T 和 τ，查本章中的表四确定 PI 调节器的参数 δ 和周期 Ti。
5. 设置流量的给定值后，手动操作调节器的输出，通过电动调节阀支路给下水箱打水。等流量 Q 趋于给定值且不变后，把调节器由手动切换为自动，使系统进入自动运行状态。
6. 打开计算机，运行 MCGS 组态软件，当系统稳定运行后，突加阶跃增量扰动（将给定量增加 5%～15%），观察并记录系统的输出响应曲线。
7. 通过反复多次调节 PI 的参数，使系统具有较满意的动态性能指标。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

五、 实验报告

1. 用实验方法整定 PI 调节器的参数。
2. 做出比例 P 控制时不同 δ 值下的阶跃响应曲线，并记下它们的余差 ess。
3. 比例积分调节器（PI）控制

(1) 在比例调节控制实验的基础上，加上积分作用“I”，即把“I”（积分）设置为一参数，根据不同的情况，设置不同的大小。观察被控制量能否回到原设定值的位置，以验证系统在 PI 调节器控制下，阶跃扰动不使系统产生余差。

(2) 固定比例 P 值（中等大小），然后改变调节器的积分时间常数 T_I 值，观察加入阶跃扰动后被调量的输出波形和响应时间的快慢。

(3) 固定 T_I 于某一中等大小的值，然后改变比例度 δ 的大小，观察加阶跃扰动后被调量的动态波形和响应时间的快慢。

4. 分析 δ 和 TI 值改变时，各给系统动态性能产生什么影响。

六、 思考题

1. 为什么采用 PI 调节器消除系统的余差，而不采用纯积分器？
2. 为什么本系统调节器参数的整定要用阶跃响应曲线法，而不用临界比例度法和阻尼振荡法？

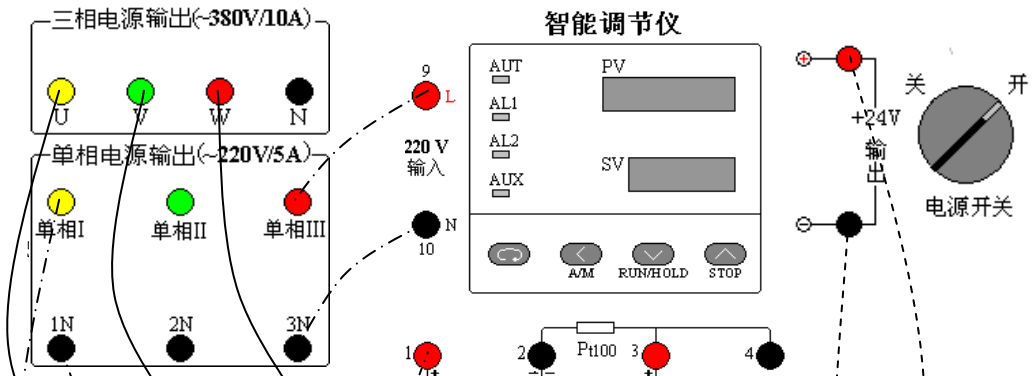


图 3-21　单闭环流量控制系统连线图

第四章　温度位式控制系统实验

第一节　锅炉内胆水温位式控制系统

一、 实验目的

1. 了解温度位式控制系统的结构与组成。
2. 掌握位式控制系统的工作原理及其调试方法。

二、 实验设备

1. THJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

三、 实验原理

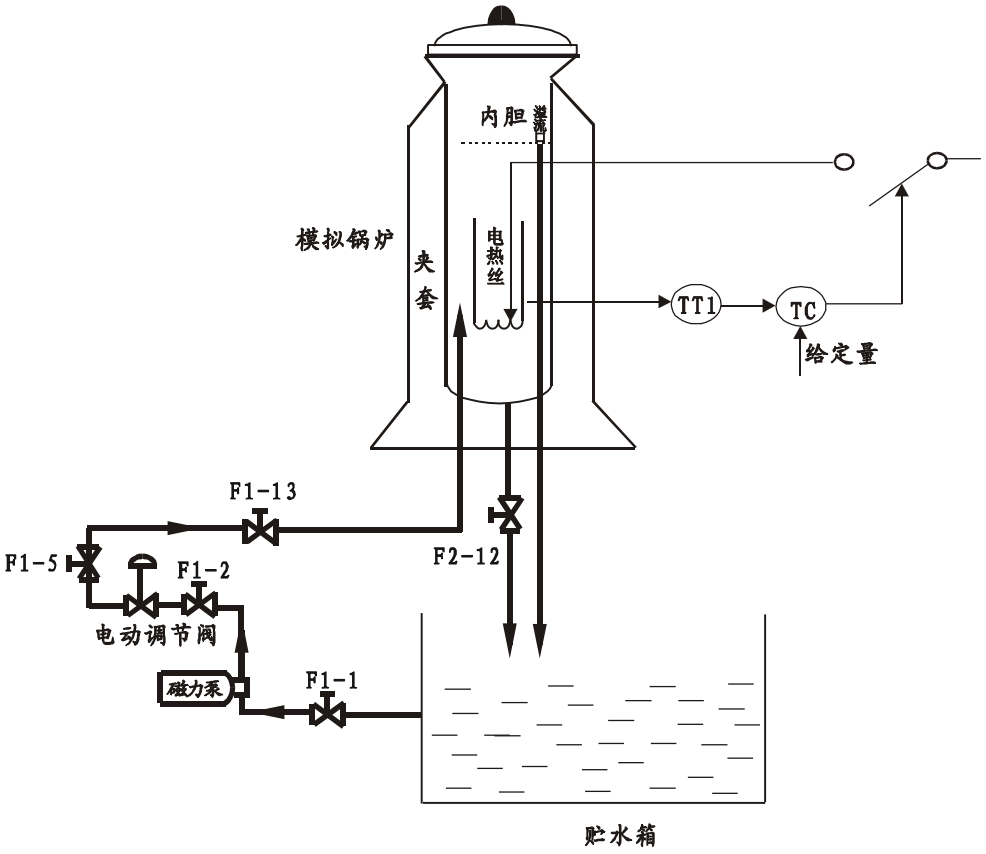
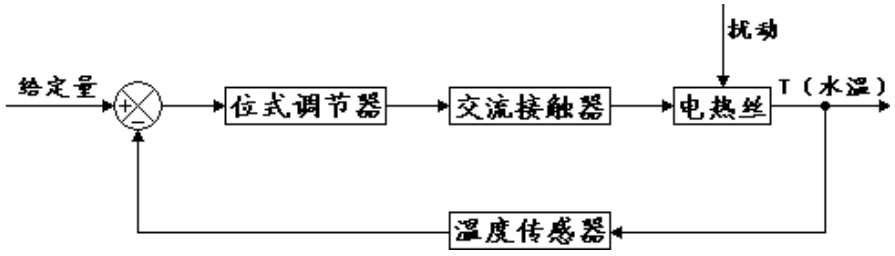


图 4-1 锅炉内胆水温位式控制结构示意图



4-2 锅炉内胆水温位式控制方框图

温度测量通常采用热电阻元件（感温元件），它是利用金属导体的电阻值随温度变化而变化的特性来进行温度测量的，在本实验中采用的热电阻为 Pt100 铂电阻。铂电阻元件是采用特殊的工艺和材料制造，它具有很高的稳定性和耐震动等特点，还具有较强的抗污染能力。

图 4-1 为锅炉内胆水温位式控制系统结构示意图，图 4-2 为锅炉内胆水温位式控制方框图。本实验的被控对象是锅炉内胆，系统的被控制量为锅炉内胆水温。由于在实验中只用到调节器的“开”、“关”两种极限工作状态，故称这种控制器为二位式调节器。温度变送器把铂电阻 TT1 检测到的锅炉内胆温度信号转变为反馈电压 Vi，它与二位调节器设定的上限输入 Vmax 和下限输入 Vmin 比较，从而决定二位调节器输出继电器是闭合还是断开，即控制位式接触器的接通与断开。图 4-3 为位式控制器的工作原理图。

图中：V_0---位式控制器的输出、V_i---位式控制器的输入、V_{max}---位式控制器的上限输入、V_{min}---位式控制器的下限输入。

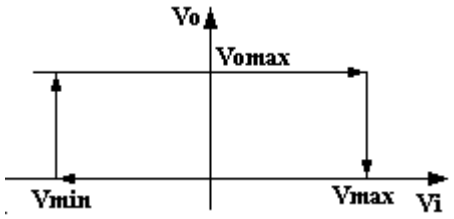


图 4-3　位式控制器的输入-输出特性

由图 4-3 可见，Vo 与 Vi 的关系不仅有死区存在，而且还有回环，因而图 4-3 所示的系统实质上是一个典型的非线性控制系统。当被控制量锅炉水温 T 降至低于设定下限值，即 Vi≤Vmin 时，位式调节器的输出继电器闭合，交流接触器接通，使电热丝接通三相 380V 电源进行加热（如图 4-1 所示）。随着水温 T 的升高，Vi 也不断增大，当 Vi 增至大于设定

上限值，即 Vi≥Vmax 时，位式调节器的输出继电器断开，交流接触器随之断开，切断电热丝的供电。由于这种控制方式是断续的二位式控制，具有冲击性，易损坏元器件，只适用在对控制质量要求不高的场合。

位式控制系统的输出是一个断续控制作用下的等幅振荡过程，因此，要用振幅和周期作为控制品质的指标，而不能用连续控制作用下的衰减振荡过程的温度品质指标来衡量。一般要求振幅小，周期长。然而对于同一个位式控制系统来说，若要振幅小，则周期必然短；若要周期长，则振幅必然大。因此通过合理选择中间区以使振幅保持在限定范围内，而又尽可能获得较长的周期。

四、 实验内容与步骤

1. 按图 4-4 要求完成实验系统的接线。
2. 接通总电源和相关仪表的电源。
3. 打开阀 F1-1、 F1-2、F1-5 和 F1-13，关闭其它所有与本实验无关的阀。用电动调节阀支路给锅炉内胆打水，当水位至锅炉内胆最大容量的三分之二左右时停止打水。
4. 在调节器上设置好温度的给定值及控制范围（即仪表的回差值 dF），让系统投入运行。
5. 打开计算机，运行 MCGS 组态软件并进入本实验，观察并记录系统的输出响应曲线。
6. 当系统进入等幅振荡后，突加阶跃扰动（将给定量增/减 5%～15%），观察并记录系统的输出响应曲线。

五、 实验报告

试评述温度位式控制的优缺点。

六、 思考题

1. 温度位式控制系统与连续的 PID 控制系统有什么区别？
2. 本系统会不会产生发散振荡？

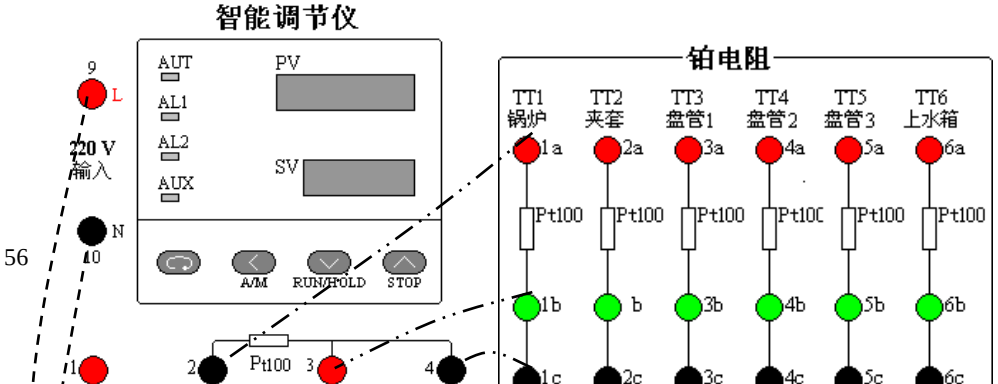


图 4-4　锅炉内胆水温位式控制系统连线图

第四章　串级控制系统实验

第一节　串级控制系统的连接实践

一、 串接控制系统的组成

图 5-1 是串级控制系统的方框图。该系统有主、副两个控制回路，主、

副调节器相串联工作，其中主调节器有自己独立的设定值 R，它的输出 m_1 作为副调节器的给定值，副调节器的输出 m_2 控制执行器，以改变主参数 C_1。

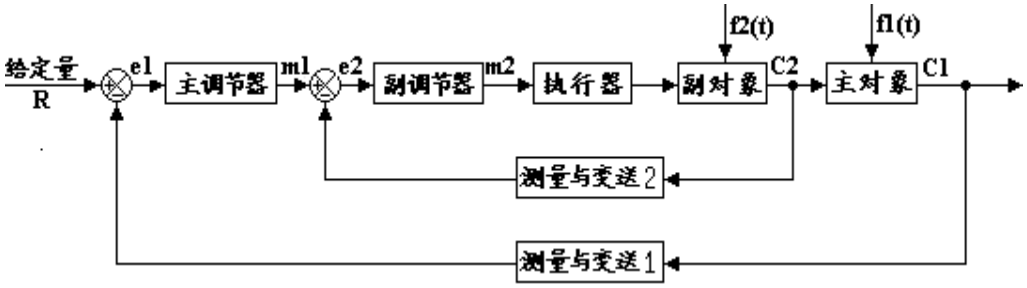


图 5-1　串级控制系统的方框图

R-主参数的给定值　　C_1-被控的主参数　　C_2-副参数

$f_1(t)$-作用在主对象上的扰动　$f_2(t)$-作用在副对象上的扰动

二、 串级控制系统的特点

1. 改善了过程的动态特性

由负反馈原理可知，副回路不仅能改变副对象的结构，而且还能使副对象的放大系数减小，频带变宽，从而使系统的响应速度变快，动态性能得到改善。

2. 能及时克服进入副回路的各种二次扰动，提高了系统抗扰动能力

串级控制系统由于比单回路控制系统多了一个副回路，当二次扰动进入副回路，由于主对象的时间常数大于副对象的时间常数，因而当扰动还没有影响到主控参数时，副调节器就开始动作，及时减小或消除扰动对主参数的影响。基于这个特点，在设计串级控制系统时尽可能把可能产生的扰动都纳入到副回路中，以确保主参数的控制质量。至于作用在主对象上的一次扰动对主参数的影响，一般通过主回路的控制来消除。

3. 提高了系统的鲁棒性

由于副回路的存在，它对副对象（包括执行机构）特性变化的灵

敏度降低，即系统的鲁棒性得到了提高。

4. 具有一定的自适应能力

串级控制系统的主回路是一个定值控制系统，副回路则是一个随动系统。主调节器能按照负荷和操作条件的变化，不断地自动改变副调节器的给定值，使副调节器的给定值能适应负荷和操作条件的变化。

三、 串级控制系统的设计原则

1. 主、副回路的设计

1） 副回路不仅要包括生产过程中的主要扰动，而且应该尽可能包括更多的扰动信号。

2） 主、副对象的时间常数要合理匹配，一般要求主、副对象时间常数的匹配能使主、副回路的工作频率之比大于 3。为此，要求主、副回路的时间常数之比应该在 3～10 之间。

2. 主、副调节器控制规律的选择

在串级控制系统中，主、副调节器所起的作用是不同的。主调节器起定值控制作用，它的控制任务是使主参数等于给定值（无余差），故一般宜采用 PI 调节器。由于副回路是一个随动系统，它的输出要求能快速、准确地复现主调节器输出信号的变化规律，对副参数的动态性能和余差无特殊的要求，因而副调节器可采用 P 或 PI 调节器。

四、 主、副调节器正、反作用方式的选择

如在单回路控制系统设计中所述，要使一个过程控制系统能正常工作，系统必须采用负反馈。对于串级控制系统来说，主、副调节器的正、反作用方式的选择原则是使整个系统构成负反馈系统，即其主通道各环节放大系统的系数极性乘积必须为正值。各环节放大系数极性的正负是这样规定的：

1. 调节器的 K_C

当测量值增加，调节器的输出也增加，则 K_C 为负（即正作用调节

器）；反之，K_C 为正（即反作用调节器）。

2. 调节阀的系数 K_V

气开式调节阀，则 K_V 为正；气关式调节阀，则 K_V 为负。

3. 过程放大系数 K_0

当过程的输入增大时，即调节阀开大，其输出也增大，则 K_0 为正；反之 K_0 为负。

五、 串级控制系统的整定方法

在工程实践中，串级控制系统常用的整定方法有以下两种：

1. 两步整定法：两步整定法就是先整定副调节器的参数，后整定主调节器的参数。整定的具体步骤为：

   1) 在工况稳定、主副回路闭合、主副调节器都在纯比例作用情况下，将主调节器的比例度置于 100%的刻度上，然后用单回路反馈控制系统的整定方法来整定副回路。如按衰减比 4：1 的要求将副调节器的比例度由大逐渐减小调节，直到响应曲线呈 4：1 衰减为止。记下相应的比例度 δ_{2S} 和振荡周期 T_{2S}。

   2) 将副调节器的比例度置于所求的 δ_{2S} 值，且把副回路作为主回路的一个环节，用类同于整定副回路的方法整定主回路，求取主回路比例度 δ_{1S} 和振荡周期 T_{1S}

   3) 根据求取的 δ_{1S}、T_{1S} 和 δ_{2S}、T_{2S} 值，按表所示的经验公式计算主、副调节器的比例度 δ、积分时间常数 T_I 和微分时间常数 T_d 的实际值。

   4) 按“先副后主”、“先比例后积分再微分”的整定顺序，将所求的主、副调节器参数设置在相应的调节器上。

   5) 观察控制过程，并根据具体情况对调节器的参数作适当调整，直到过程品质达到最佳为止。

2. 一步整定法

由于两步整定法要寻求两个 4：1 的衰减过程，这是一件很花时间的

事。经过大量的实践，对两步整定法做了简化，提出了一步整定法。所谓一步整定法，就是根据经验先确定副调节器的参数，然后按单回路反馈控制系统的整定方法整定主调节器的参数。

一步整定法的理论依据是：串级控制系统可以等价为一个单回路反馈控制系统，其等效的总放大系数 K_C 为主调节器放大系数 K_{C1} 与副回路等效的放大系数 K_{02}'的乘积，即

$$K_C = K_{C1} K_{02}'$$

对于主、副调节器均为纯比例作用时的串级控制系统，只要满足

$$K_C = K_S'$$

式中 K_S'为主回路产生 4：1 衰减过程时的比例放大系数。具体的整定步骤为：

1. 当系统稳定后按单回路整定的经验选取一个中间值作为副调节器的参数。
2. 利用单回路控制系统的任一种参数整定方法来整定主调节器的参数。
3. 改变给定值，观察被控制量的响应曲线。根据 K_{C1} 和 K_{02}'的匹配原理，适当调整调节器的参数，使主控参数品质为最佳。
4. 如果出现振荡现象，只要加大主调节器的比例度 δ 或增大积分时间常数 TI，即可消除振荡。

第二节　水箱液位串级控制系统

一、 实验目的

1. 熟悉串级控制系统的结构与特点
2. 掌握串级控制系统的投运与参数的整定方法
3. 研究阶跃扰动分别作用于副对象和主对象时对系统主控制量的影响

二、 实验设备

1. THJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表　1 只

三、 实验原理

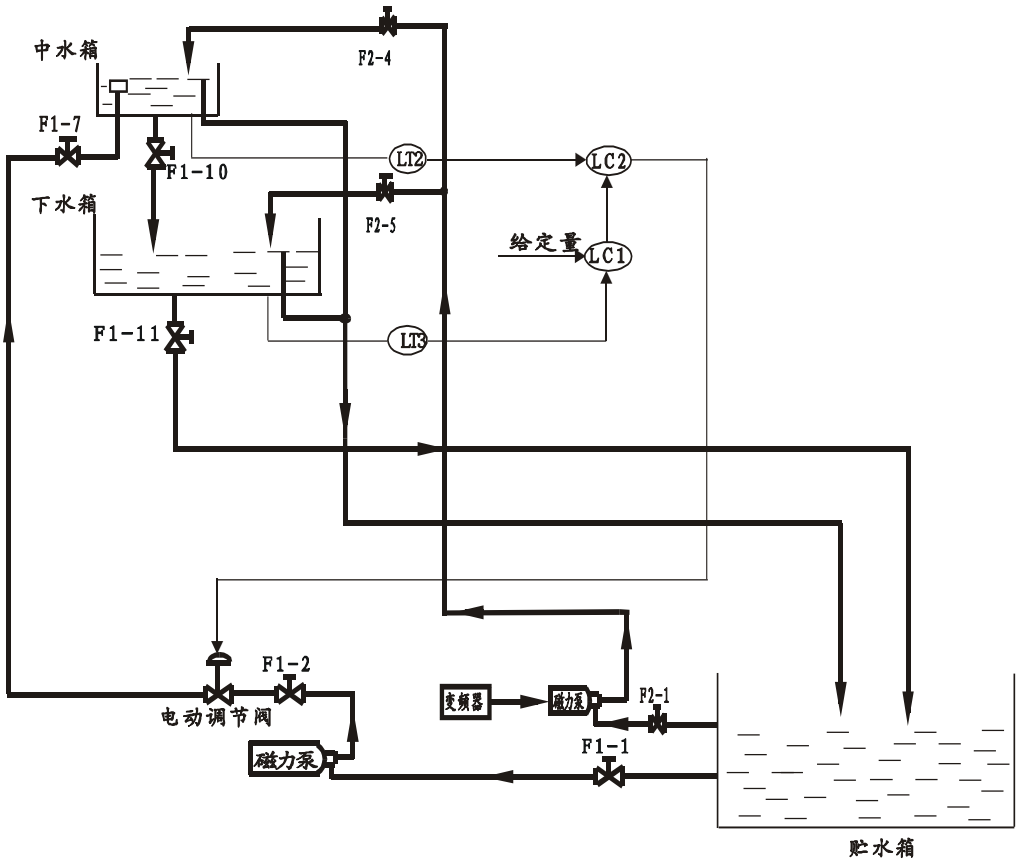


图 5-2　液位串级控制系统的结构图

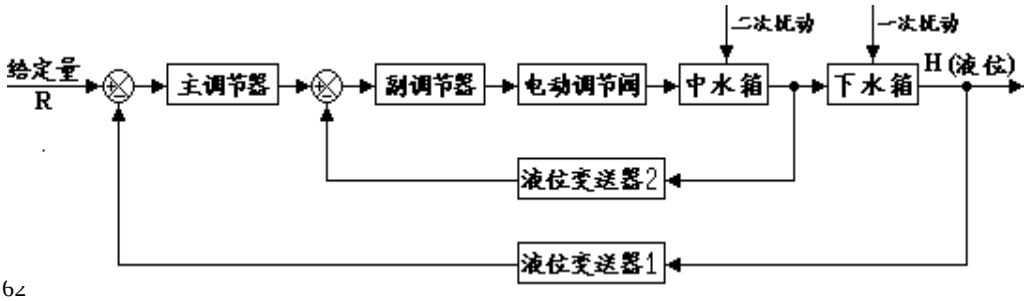


图 5-3 液位串级控制系统的方框图

本实验为水箱液位的串级控制系统，它是由主、副两个回路组成，每一个回路中都有一个属于自己的调节器和控制对象。即主回路中的调节器称主调节器，控制对象为下水箱。作为系统的被控对象，下水箱的液位为系统的主控制量。副回路中的调节器称副调节器，控制对象为中水箱，又称副对象，它的输出是一个辅助的控制变量。

本系统控制的目的是既要使系统的输出响应具有良好的动态性能，又要使系统的被控制量在稳态时等于给定值，实现无差调节。当有扰动出现于副回路时，由于主对象的时间常数大于副对象的时间常数，因而当被控制量（下水箱的液位）未做出反映时，副回路已做出快速响应，及时地消除了扰动对被控制量的影响。此外，如果扰动作用于主对象，由于副回路的存在，使副对象的时间常数大大减小，从而加快了系统的响应速度，改善了动态性能。图 5-2 为实验系统的结构图，图 5-3 为相应控制系统的方框图。图 5-4 为实验连线图。

四、 实验内容与实验步骤

1. 根据图 5-4 完成实验系统的接线。
2. 打开阀 F1-1、F1-2、F1-7、F1-10、F1-11，且使阀 F1-10 的开度略大于 F1-11。将“LT2 中水箱液位”钮子开关拨到 OFF 位置，将“LT3 下水箱液位”钮子开关拨到 ON 位置。接通总电源和相关仪表的电源，给智能仪表和电动调节阀上电。
3. 按经验数据预先设置好副调节器的比例度。
4. 调节主调节器的比例度，使系统的输出响应出现 4：1 的衰减度，记下此时的比例度 δ_S 和周期 T_S。据此，按经验表查得 PI 的参数对主调节器进行参数整定。
5. 手动操作主调节器的输出，控制电动调节阀支路给中水箱打水，待下水

箱的液位趋于给定值，且中水箱的液位相对稳定（此值一般为3-5cm，避免超调过大造成水箱断流或溢流）时，把主调节器切换为自动运行状态。

6. 打开计算机，运行 MCGS 组态软件，并进行如下的实验：
   1) 当系统稳定运行后，突加阶跃扰动（将给定量增/减 5%～15%），观察并记录系统的输出响应曲线。
   2) 适量打开阀 F2-4，观察并记录阶跃扰动作用于副对象（中水箱）时，系统被控制量（下水箱液位）的响应过程。
   3) 关闭阀 F2-4，去除副对象的阶跃扰动，且待系统再次稳定后，再适量打开阀 F2-5，观察并记录阶跃扰动作用于主对象时对系统被控制量的影响。
7. 通过反复对主、副调节器参数的调节，使系统具有较满意的动、静态性能。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

五、 实验报告要求

1. 通过实验求出输出响应呈 4：1 衰减时的主调节器的参数。
2. 根据扰动分别作用于主、副对象时系统输出的响应曲线，对此做出评述。
3. 观察并分析副调节器的比例度大小对系统动态性能的影响。
4. 观察并分析主调节器比例度 δ 和积分时间常数 Ti 的改变对系统动态性能的影响。

六、 思考题

1. 试述串级控制系统为什么对主扰动（二次扰动）具有很强的抗扰能力？如果副对象的时间常数与主对象的时间常数大小接近时，二次扰动对主控制量是否仍很小，为什么？
2. 当一次扰动作用于主对象时，试问由于副回路的存在，系统的动态性能比单回路系统的动态性能有何改进？

3. 一步整定法的依据是什么？
4. 串级控制系统投运前需要作好那些准备工作？主、副调节器的正反作用方向如何确定？
5. 为什么本实验中的副调节器为比例（P）调节器？
6. 改变副调节器的比例度，对串级控制系统的动态和抗扰性能有何影响？试从理论上给予说明。
7. 评述串级控制系统比单回路控制系统的控制质量高的原因？

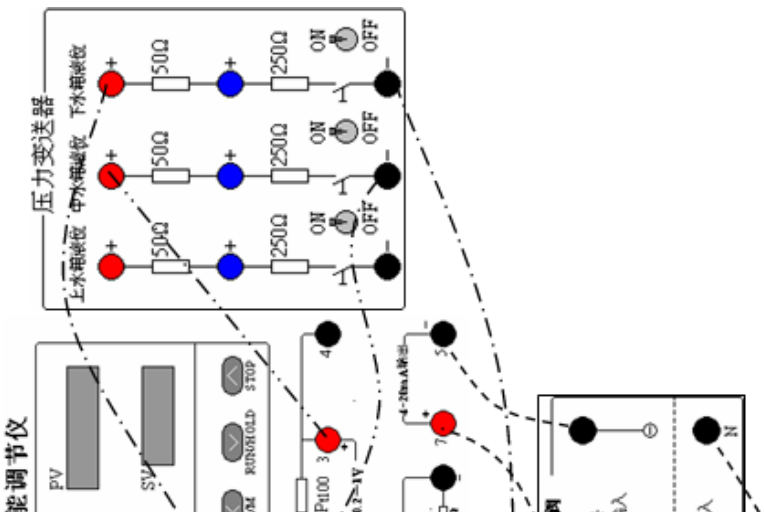


图 5-4　液位串级控制系统连线图

第三节　三闭环液位串级控制系统

一、 实验目的

1. 通过实验了解三闭环液位控制系统的组成与工作原理。
2. 掌握三闭环液位串级控制系统调节器参数的整定与投运方法。
3. 了解阶跃扰动分别作用于副对象和主对象时对系统主控制量的影响。
4. 主、副调节器参数的改变对系统性能的影响。

二、 实验设备

1. THJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

三、 实验原理

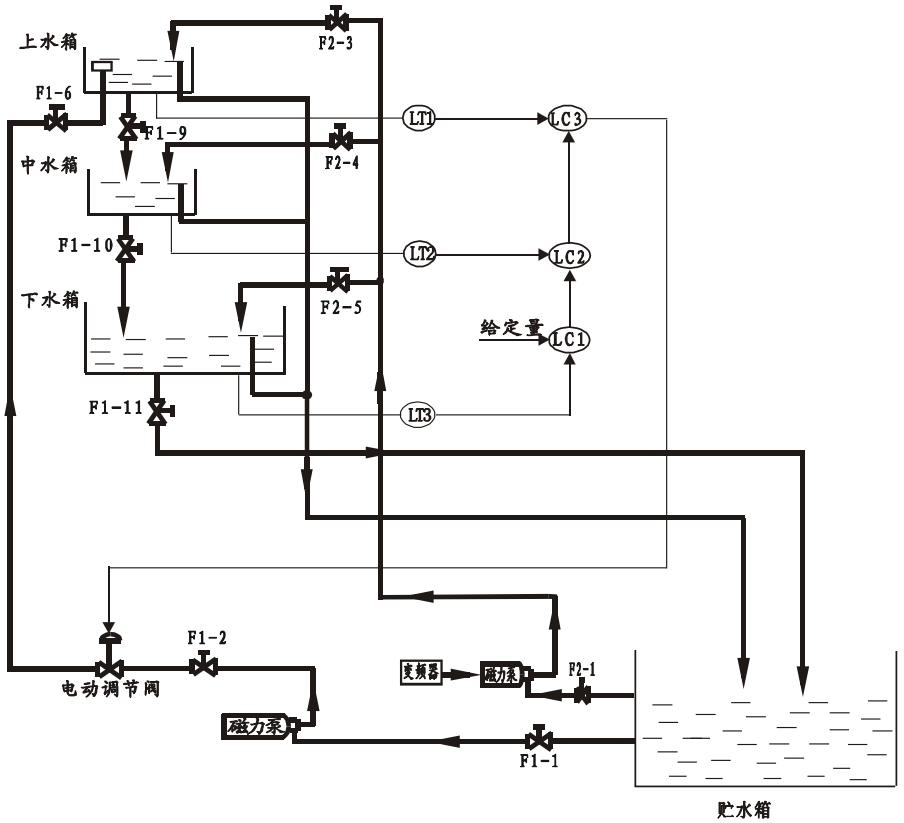


图 5-5　三闭环液位串级控制系统的结构图

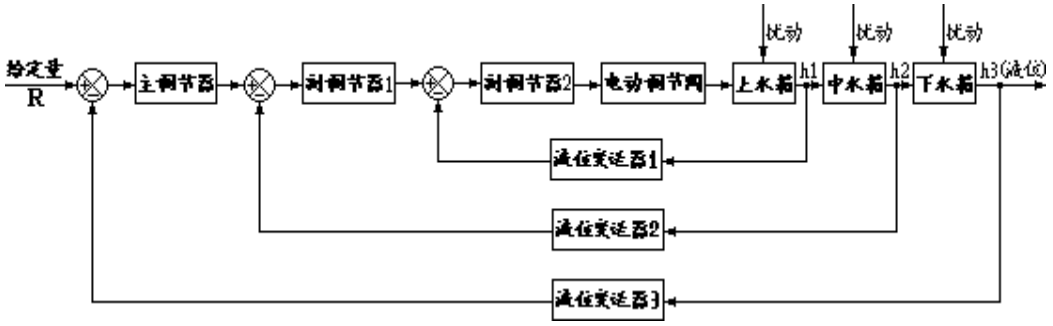


图 5-6 三闭环液位串级控制系统的方框图

本实验系统是由上、中、下三个水箱串联连接组成，下水箱的液位 h3 为系统的主控制量，其余两个水箱的液位 h2 和 h1 均为辅助控制量。与前面的双回路液位控制系统相比，本系统多了一个内回路，其目的是减小上水箱的时间常数，以加快系统的响应。

本系统的控制目的，不仅要使下水箱的液位 h3 等于给定量，而且当扰动出现在上、中水箱时，由于它们的时间常数小于下水箱，故在下水箱的液位未发生明显变化前，扰动所产生的影响已通过内回路的控制及时地被消除。当然，若扰动作用于下水箱，系统的被控制量 h3 必然要受其影响，但由于本系统有两个内回路，因而大大减小了上、中水箱的时间常数，使它比具有上、中、下三个水箱串接的单回路系统动态响应快的多。为了实现系统在阶跃给定和阶跃扰动作用下的无静差控制，系统的主调节器应为 PI 或 PID 控制。由于要求副回路的输出能快速、准确地复现主调节器输出信号的变化规律，对副参数的动态性能和余差无特殊的要求，因而副调节器可采用 P 或 PI 调节器。图 5-5 为三闭环串级控制系统的结构图，图 5-6 为该系统的方框图。

四、 实验内容与步骤

1. 将储水箱贮足水量，然后将阀 F1-1、F1-2、F1-6 全开，阀 F1-9、F1-10、F1-11 开至适当开度（要求阀门开度 F1-9>F1-10>F1-11）其余阀门均关闭。
2. 参照图 5-4 完成实验系统的连线。将下水箱液位按钮开关拨到 ON 的位置。
3. 接通总电源空气开关和钥匙开关，打开“24V 开关电源，给压力变送器上电，按下启动按钮，合上单相Ⅰ、单相Ⅲ开关，给智能仪表及电动调节阀上电。
4. 上位机 MCGS 组态环境，打开“智能仪表控制系统”工程，然后进

入 MCGS 运行环境，在主菜单中点击“实验十二、三闭环液位串级控制系统”，进入监控界面。

5. 为了实现系统在阶跃给定和阶跃扰动作用下的无静差控制，主调节器采用 PI 控制；两个副调节器均可采用比例控制，它们的比例度可参考实验“水箱液位的串级控制系统”来设定。
6. 调节主调节器的比例度，使之由大逐渐减小，直到系统的输出响应出现 4：1 衰减度为止，记下此时的比例度 δ_S 和周期 T_S，据此，按经验表计算出主调节器的比例度 δ 和积分时间常数 TI。
7. 用手动操作主调节器的输出，使电动调节阀给上、中、下三只水箱送水。为使系统能较快地进入平衡状态，要求当下水箱的液位 h3 等于给定值时，三个水箱间的液位关系必须满足 h1<h2<h3。当下水箱的液位 h3 趋近于给定值，且上、中水箱的液位也基本不变时，把主调节器由手动切为自动，使系统进行自动运行状态。
8. 待液位稳定于给定值时，通过以下几种方式加干扰：
   1) 突增（或突减）仪表设定值大小（其值一般为给定值的 5%－15%左右），使其有一个正（或负）阶跃增量的变化观察并记录液位 H1 的响应曲线。（此法推荐）
   2) 增大或减小阀 F1-6 的开度，观察并记录液位 h3 的变化曲线。
   3) 开启变频器：
      a. 适量开放阀 F2-3，观察并记录液位 h3 的变化曲线。
      b. 关闭阀 F2-3，适量开放阀 F2-4，观察并记录液位 h3 的变化曲线。
      c. 关闭阀 F2-4，适量开放阀 F2-5，观察并记录液位 h3 的变化曲线。
9. 通过反复对主、副调节器参数的调节，使系统的输出响应具有较满意的动、静态性能。记录相应调节器的参数和响应曲线。

五、 实验报告

1. 按 4：1 衰减曲线法确定主调节器的参数，并把最终调试的参数一并列表表示。
2. 分析扰动分别作用于三个对象时，对系统输出响应的影响。
3. 试分析三闭环串级系统比双闭环串级系统的优越性。

六、 思考题

1. 试述串级控制系统为什么对主扰动（二次扰动）具有很强的抗扰能力？
2. 如果副对象的时间常数与主对象的时间常数接近时，二次扰动对主控制量的影响仍很小，为什么？
3. 当一次扰动作用于主对象时，试问由于副回路的存在，系统的动态性能比单回路系统的动态性能有何改进？
4. 串级控制系统投运前需要作好哪些准备工作？主副调节器的正反作用方向如何确定？
5. 为什么本实验中的副调节器为比例（P）调节器？
6. 改变副调节器的比例度对串级控制控制系统的动态性能和抗扰动性能有何影响？试从理论上给予说明。
7. 评述串级控制系统闭单回路控制系统的控制质量高的原因。

第四节 锅炉夹套水温与锅炉内胆水温的串级控制系统

一、 实验目的

1. 熟悉温度串级控制系统的结构与组成。
2. 掌握温度串级控制系统的参数整定与投运方法。
3. 研究阶跃扰动分别作用于副对象和主对象时对系统主控制量的影响。
4. 主、副调节器参数的改变对系统性能的影响。

二、 实验设备

1. THJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

三、 实验原理

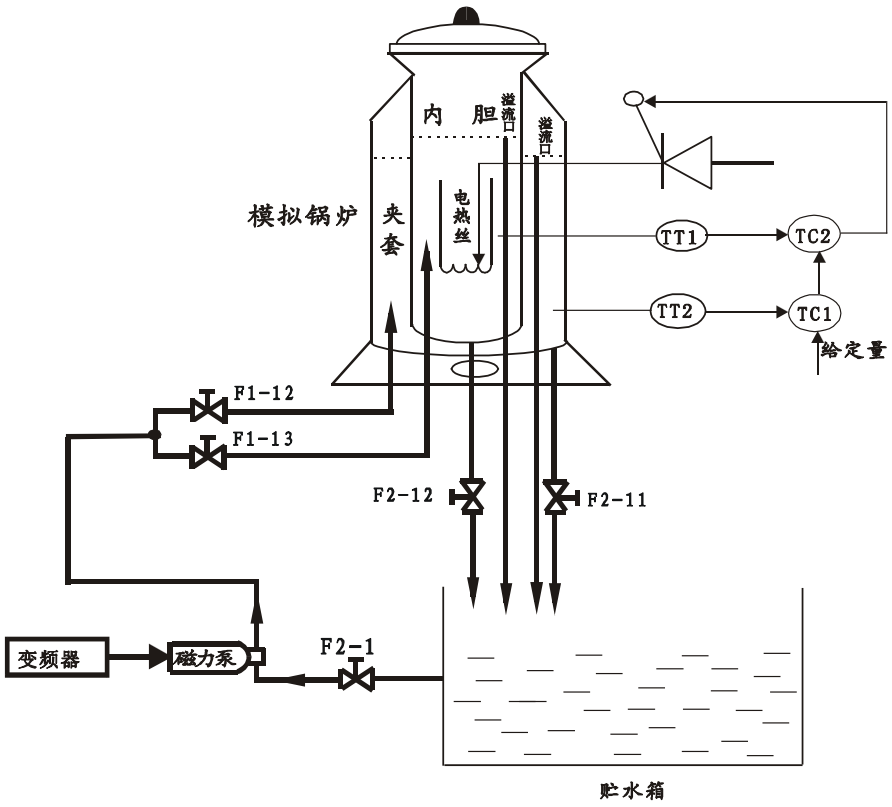


图 5-7 温度串级控制系统结构示意图

图 5-7 为温度串级控制实验系统的结构示意图。本实验系统的主控制量为锅炉的夹套水温 T_2，副控制量为锅炉的内胆水温 T_1，它是一个辅助的控制变量。系统的执行元件为三相可控硅调压器，由它供电给锅炉内胆的电热丝加温。内胆中的水温通过内胆壁影响锅炉夹套的水温。系统由主、副两个回路组成，主回路是一个定值控制系统，要求系统的主控制量 T_2 等于给定值，因而系统的主调节器应为 PI 或 PID 控制。副回路是一个随动系统，要求副回路的输出能准确快速复现主调节器输出的变

化规律，以达到对主控制量 T_2 的控制目的，因而副调节器可采用 P 控制。由于锅炉夹套的温度升降是通过锅炉内胆的热传导来实现的，显然，由于副对象的时间常数小于主对象的时间常数，因而当主扰动（二次扰动）作用于副回路时，副回路的调节作用可快速消除扰动的影响。图 5-8 为本实验系统连线图。

四、 实验内容与实验步骤

1. 按图 5-8 要求完成实验系统的接线。
2. 将锅炉进水阀 F2-1、F1-12、F1-13 全开，将锅炉出水阀 F2-11、F2-12 和其余阀门关闭，将变频器 A、B、C 三端连接到三相磁力驱动泵（220V），打开变频器电源并手动调节变频器频率，给锅炉夹套与内胆均打满水。然后关闭变频器、关闭阀 F1-12、F1-13。待实验投入运行时，用变频器支路以较小的流量给锅炉内胆供循环冷却水。
3. 接通总电源和相关仪表的电源。
4. 按经验数据预先设置好副调节器的比例度。
5. 调节主调节器的比例度，使系统的输出响应出现 4：1 的衰减度，记下此时的比例度 δ_S 和周期 T_S，按查表所得的 PI 参数对主调节器的参数进行整定。
6. 手动操作主调节器的输出，控制三相可控调压器输出电压的大小以改变内胆水温和夹套水温，并开通变频器支路给锅炉内胆加适量的恒定冷却水，待夹套的水温趋于给定值、且内胆与夹套水温相对稳定不变时，把主调节器切换为自动方式。
7. 打开计算机，运行 MCGS 组态软件，并进行如下的实验：
   1) 当系统稳定运行后，突加阶跃扰动（将给定值增加 5%～15%），观察并记录系统的输出响应曲线。
   2) 适量增/减变频器的手动输出，观察并记录阶跃扰动作用于副对

象时，系统被控制量的响应过程。

8. 通过反复对主、副调节器参数的调节，使系统具有较满意的动、静态性能。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

五、 实验报告内容

1. 画出本实验系统的方框图。
2. 按 4：1 衰减曲线法求得主调节器的参数，并把最终调试的值一并列表表示。
3. 把主调节器的参数分别在计算值和调试整定值两种情况下，求得系统的性能指标并列表表示。

六、 思考题

1. 三相电网电压的波动对主控制量是否有影响？
2. 副调节器如果设计为 PI，试分析对系统的性能有什么影响？

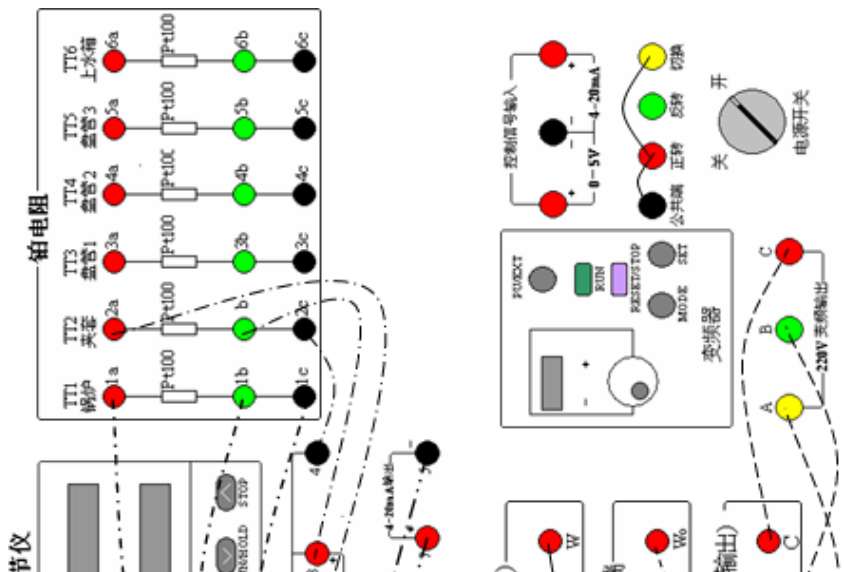


图 5-8　锅炉夹套与内胆水温串级控制系统连线图

第六章　滞后控制系统实验

第一节　盘管出水口温度滞后控制系统

一、 实验目的

3. 通过本实验认识滞后的形成及其对系统动态性能的影响。

4. 掌握纯滞后控制系统用常规 PID 调节器的参数整定方法。

二、 实验设备

1. THJ-2 高级过程控制系统实验装置

2. 计算机、上位机 MCGS 软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根

3. 万用表 1 只

三、 实验原理

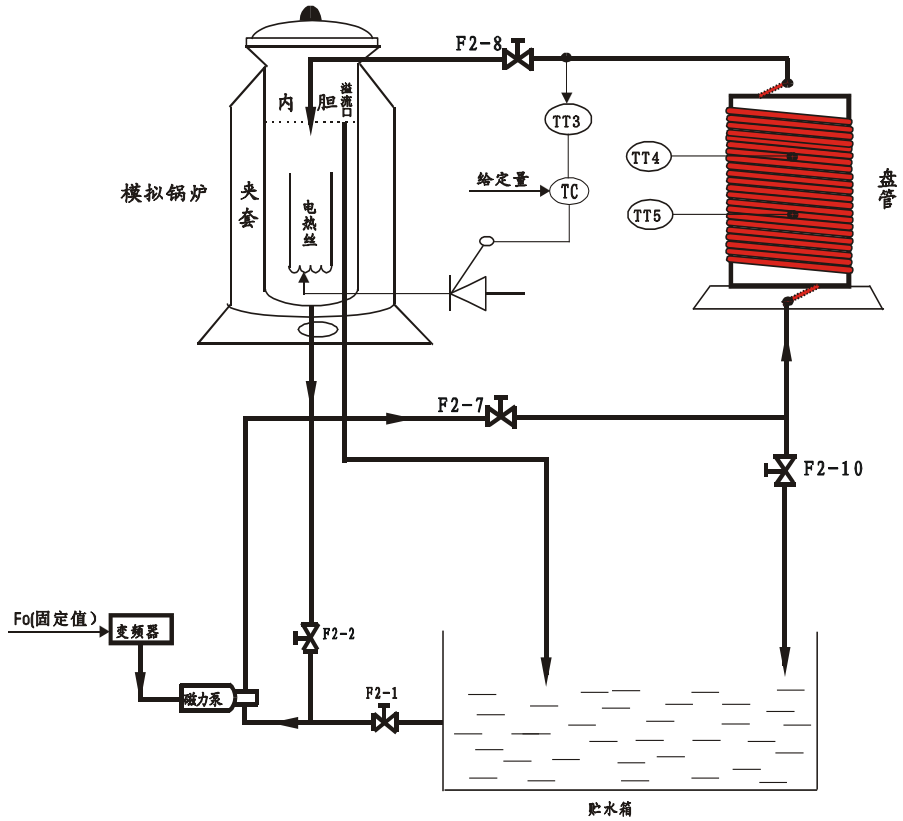


图 6-1 盘管出水口水温滞后控制系统结构图

在生产过程中造成滞后的原因通常有以下三种：(1)传输滞后；(2)测量滞后；(3)容量滞后。本实验是以盘管出水口温度为系统的被控制量，要求它等于系统的给定值，由调节器的输出自动控制三相调压器给锅炉内胆加热，并同时启动变频器电源，使之以恒定频率（20HZ 左右）向盘管送水，显然本实验系统中的滞后包括了内胆容量的滞后和盘管传输的滞后，且前者的滞后时间一般要远大于后者。基于滞后对系统动态性能的影响更大，为了获得满意的控制效果，应把 PID 调节器的比例度 δ 和积分时间常数 T_i 增大。图 6-1 为本实验系统的结构图，图 6-2 为该控制系统的连线图。

四、 实验内容与步骤

1. 根据图 6-2 完成实验系统的接线。
2. 接通总电源和相关仪表的电源。
3. 给锅炉内胆注满水，并开启阀 F2-10，排除盘管内的积水。
4. 打开阀 F2-2、F2-7、F2-8；关闭 F2-1、F2-10。
5. 按单回路参数的整定法，初步整定 PID 调节器的参数。
6. 设定系统的给定值，并把调节器设置为自动输出，通过三相调压模块给锅炉内胆加热，并同时启动变频器电源，使之以恒定频率（20HZ 左右）向盘管送水。
7. 根据上位机记录的输出响应曲线，对 PID 调节器的参数作进一步修正，以求获得较好的动态性能。
8. 将给定值改变 5%～15%（作阶跃扰动），观察并记录输出量的响应曲线。
9. 相同PID参数下，用上位机实时记录盘管的3个测试点温度的响应曲线。

五、 实验报告

1. 根据图 6-1 画出系统的控制方框图。
2. 根据 3 个测试点所得的响应曲线，分析滞后时间 τ 的大小对系统动态性能的影响。
3. 根据输出的阶跃响应曲线，确定滞后的时间 τ 。

六、 思考题

1. 为什么本实验中的滞后时间比纯滞后时间要大？
2. 温度纯滞后系统相比，本实验中调节器的 δ 和 Ti 值应比上一个实验时的值大还是小？

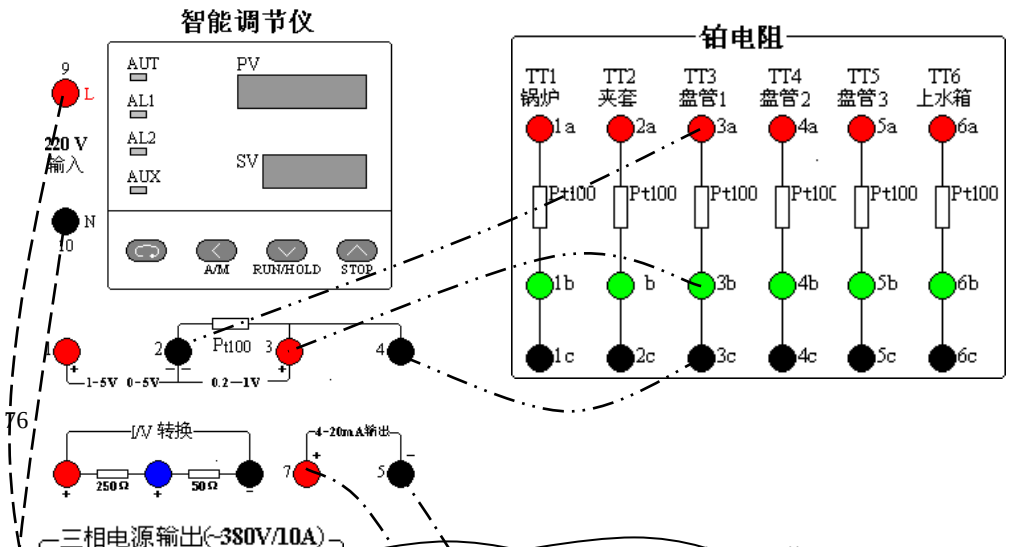


图 6-2　盘管出水口温度滞后控制系统连线图

附录一　人工智能调节器的技术指标和使用方法

AI_808 型和 AI_708 型人工智能调节器的性能技术指标和使用方法基本相同，本节以 AI_808 型为例进行介绍。

AI_808 型人工智能调节器适合在化工、石化、火电、制药、冶金等所有行业用做高精度调节器，能精确控制温度、压力、流量、液位等物理量。AI_808 型调节器具备 0.2 级精度，可编程输入，通过参数设置即可选择热电偶、热电阻、线性电阻和电压（电流）的输入，具备位式调

节、AI 人工智能调节、通讯、变送和上限、下限、正偏差、负偏差等报警功能，具有可编程模块化输出，支持时间比例（继电器触电开关、SSR 电压、可控硅无触点开关及单相/三相可控硅过零触发信号等）和线性电流（包括 0—10mA 及 4—20mA 等）。另外还具备外给定、手动/自动切换操作、手动自整定及显示输出值等功能，具备直接控制阀门的位置比例输出（伺服放大器）功能，也可独立做手动操作器或伺服放大器用。

➢ 技术规格

（1）输入规格

热电偶：K、S、R、E、J、T、B、N

热电阻：Cu50、Pt100

线性电压：0－5V、1－5V、0－1V、0－100mV、0－20mV 等

线性电流（需外接分流电阻）：0－10mA、0－20mA、4－20mA 等

（2）测量范围

K（-50＋1300℃）、s（-50－1700℃）、R（-50－＋1650℃）、T（-200－＋550℃）

E（0－800℃）、J（0－1000℃）、B（0－1800℃）、N（0－1300℃）、Cu50（-50－＋150℃）、Pt100（-200－＋600℃）

（3）测量精度

0.2 级（热电阻、线性电压、线性电流及热电偶输入且采用铜电阻补偿或冰点补偿冷端时）

0.2%FS±2.0℃（热电偶输入且采用仪表内部元件测温补偿冷端时）

（4）响应时间

≤0.5 秒（设置数字滤波参数 dL=0 时）

注：仪表对 B 分度号热电偶在 0—600℃范围时可以进行测量，但测量精度无法达到 0.2 级，在 600-1800℃范围可保证 0.2 级测量精

度。

位式调节方式（回差可调）

（5）AI 人工智能调节，包含模糊逻辑 PID 调节及参数自整定功能的先进控制算法。

（6）输出规格（模块化）

继电器触点开关输出（常开+常闭）：250VAC/1A 或 30VDC/1A

可控硅无触点开关输出（常开或常闭）：100-240VAC/0.2A（持续），2A（20mS 瞬时，重复周期大于 5S）

SSR 电压输出：12VDC/30mA（用于驱动 SSR 固态继电器）

可控硅触发输出：可触发 5-500A 的双向可控硅、2 个单向可控硅反并联连接或可控硅功率模块。

线性电流输出：0-10 mA 可 4-20 mA 可定义（安装 X 模块时输出电压≥10.5V；X4 模块输出电压≥7V）

（7）报警功能

上限、下限、正偏差、负偏差等 4 种方式，最多可输出 3 路，有上电免除报警选择功能。

（8）手动功能

自动/手动双向无扰动切换（仅 A1-808/808P 系列具备此功能）

（9）电源：100-240VAC，-15%，+10%50-60HZ；电源消耗：≤5W

（10）环境温度：0-50℃

➢ 面板功能

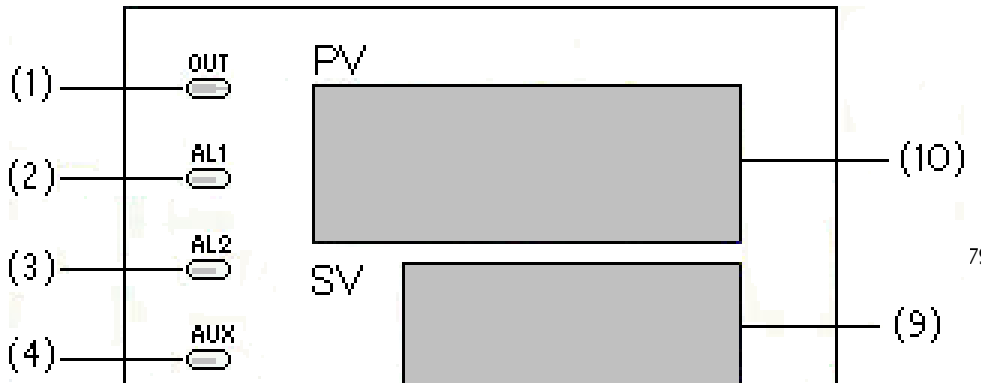


图 1 人工智能调节器面板示意图

图中数字表示的意义如下：

（1） **调节输出指示灯：** 在线性电流输出时通过亮/暗反映输出电流的大小，在时间比例方式输出时通过闪动时间比例反映输出大小。

（2） **报警 1 指示灯：** 报警/事件 1 动作时点亮。

（3） **报警 2 指示灯：** 报警/事件 2 动作时点亮。

（4） **AUX 辅助接口工作指示：** AUX 辅助接口动作时点亮。

（5） **显示切换**（兼参数设置进入）： 见基本使用操作。

（6） **数据移位**（兼手/自动切换及程序设置进入）： 见基本使用操作。

（7）**数据减少键**（兼程序运行/暂停操作）： 见基本使用操作。

（8）**数据增加键**（兼程序停止操作）： 见基本使用操作。

（10）**给定值显示窗**

（11）**测量值显示窗**

注意：

1. AI-808 有显示状态①、②、③。
2. 仪表上电后进入显示状态①，此时仪表的上显示窗口显示测量值

（PV），下显示窗口显示给定值（SV）。

3. 按 键 AI-808 可切换到显示状态②，此时仪表的下显示窗口显示输出值。

4. 显示状态①、②为仪表的基本状态，在基本状态下 SV 窗口能用交替显示的字符表示系统的某些状态：

（1） **orAL** 输入测量信号超出量程（有可能是传感器规格设置错误、输入断线或短路）。此时仪表自动停止控制，并将输出固定在参数 **oPL** 上。

（2） **HIAL** 上限报警

LoAL 下限报警

dHAL 正偏差报警

dLAL 负偏差报警

将报警作为控制时，可关闭报警字符闪动功能（参看 ALP 参数的设置）。

➢ 基本使用操作

1. 显示切换

如图 2 所示，按动 键 AI-808 可在显示状态①、②间切换

2. 数据修改

如果数据没有上锁，仪表下显示窗显示的数值除自动输出值外，其余数据均可通过按 、、 键来修改，可修改数值位的小数点同时闪动。

移动修改数据的位置（光标）

增加数据

减少数据

3. 手动/自动切换

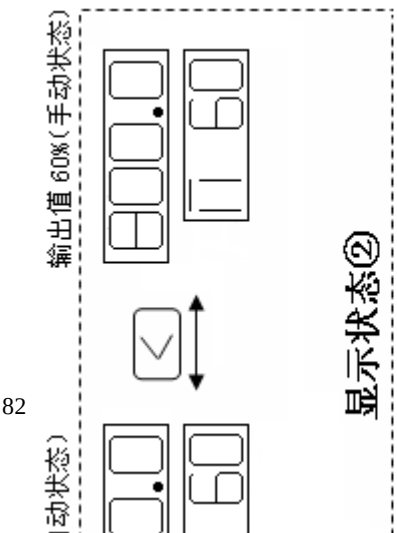
在显示状态②下按 键可使仪表在手动及自动两种状态下进

行无扰切换。在显示状态②且仪表处于手动状态下，直接按　　、　　键可增加或减少手动输出值。可通过设置 run 参数禁止仪表由面板操作进入手动状态。

4. 参数设置

在显示状态①或②下按 [SET] 键并保持约 2 秒钟即进入参数设置状态（显示状态③），在参数设置状态下按 [SET] 键仪表将依次显示各个参数。

- ✧ 用 [∧] [∨] [<] 等键修改参数值；
- ✧ 按 [<] 键并保持不放可返回显示上一参数；
- ✧ 先按 [<] 键不放，接着再按 [SET] 键退出参数设置状态；
- ✧ 30 秒钟无按键操作自动退出参数设置状态。对于配置好并锁上参数的仪表，只出现操作工需要用到的参数（现场参数）。



➢ 参数功能说明

HIAL　上限报警（-1999—+9900℃或 1 定义单位）

测量值大于 HIAL+dF 时仪表产生上限报警，测量值小于 HIAL+dF 时仪表解除上限报警。

LoAL　下限报警（-1999—+9900℃或 1 定义单位）

测量值小于 LoAL -dF 时仪表产生下限报警，测量值大于 LoAL+dF 时仪表解除下限报警。

dHAL　正偏差报警（0—+999.9℃或 0-9999 定义单位）

采用 AI 人工智能调节时，当正偏差（测量值 PV 减设定值 SV）大于 dHAL +dF 时产生正偏差报警，当正偏差小于 dHAL-dF 时解除正偏差报警。设置 dHAL=9999（温度为 999.9℃）时取消正偏差报警功能。

dLAL　负偏差报警（0—+999.9℃或 0-9999 定义单位）

采用 AI 人工智能调节时，当负偏差（设定值 SV 减测量值 PV）大于 dLAL +dF 时产生负偏差报警，当负偏差小于 dLAL-dF 时解除负偏差报警。设置 dLAL=9999（温度为 999.9℃）时取消负偏差报警功能。

dF　回差（死区、滞环）（0—+200.0℃或 0-2000 定义单位）

用于避免因测量输入值波动而导致位式调节频繁通断或报警频繁产生/解除。

① 对上限报警控制：（假定 HIAL=800℃， dF =2.0℃）

仪表在正常状态，当测量温度值大于 802℃（HIAL+dF）时进入报警状态；仪表在上限报警状态时，当测量温度值小于 798℃（HIAL-dF）时解除报警状态。

② 对位式调节或自整定：（假定给定值 SV=700℃， dF =0.5℃）

输出在接通状态，当测量温度值大于 700.5℃（SV+dF）时关断；输出在关断状态，当测量温度值小于 699.5℃（SV-dF）时重新接通加热。

位式调节时 dF 值越小控制精度越高。

Ctrl　控制方式（0—5）

Ctrl = 0　位式调节（ON—OFF），适合要求不高的控制场合；

Ctrl = 1　人工智能调节/PID 调节，允许从面板启动执行自整定功能；

Ctrl = 2　启动自整定参数功能，自整定结束后会自动设置为 3 或 4；

Ctrl= 3　AI 人工智能调节，自整定结束后仪表进入该设置，此时不允许从面板启动自整定参数功能，以防止误操作重复启动自整定；

Ctrl = 4　与 Ctrl=3 时基本相同，但 P 参数为 Ctrl= 3 时的 10 倍，可获得精细控制。

Ctrl = 5　仪表将测量值直接作为输出值输出，可作为手操作器或司服放大器使用。

M5　　保持参数

输出变化 5%时控制对象基本稳定后测量值的差值。同一系统的 M5 参数一般会随测量值有所变化，应取工作点附近为准。M5 参数主要决定调节算法中的积分作用，M5 值越大积分作用越弱，M5=0 时系统取消积分作用及人工智能调节功能。

P　　速率参数（1—9999）

P 与每秒内仪表输出变化 100%时测量值对应变化的大小成反比，当 Ctrl =1 或 3 时起参数制定一如下：

P=1000÷每秒测量值升高值（测量值单位是 0.1℃或一个定义单位）。

P 值类似 PID 调节中器的比例带，但变化相反。P 值越大比例微分作用成正比增强，P 值越小比例微分作用相应减弱，P 参数与积分作用无关。

Ctrl = 4 时 P 参数设置将增大 10 倍。

t　　滞后时间（0—2000 秒）

假定没有散热电炉以某功率开始升温，当其升温速率达到最大值 63.5%的所需时间定义为 t。

t 参数对控制的比例、积分、微分均有影响：t 越小，比例和积分作用均成正比增强，而微分作用相对减小但整体反馈作用增强；t 越大，比例和积分作用均成正比减弱，而微分作用相对增强；t 还影响超调抑制功能的发挥，其设置对控制效果影响很大；如果设置 t≦Ctl 则取消系统微分作用。

Ctl　　输出周期（0—125 秒）

Ctl 参数值反映仪表运算调节的快慢，其值设置于 0.5—125 秒（0 表示 0.5 秒）之间。Ctl 越大比例作用越强、微分作用越弱； Ctl 越弱比例作用越弱、微分作用越强；Ctl≧5 秒时完全消除微分作用，系统成为比例或比例积分调节；Ctl 小于 1/5 滞后时间时，其变化对控制影响较小。Ctl 的确定原则：

① 采用时间比例方式输出时，如输出执行器件是固态继电器或可控硅，则 Ctl 一般为 0.5—2 秒；如输出执行器件是继电器，则 Ctl 一般≧4 秒；

② 当仪表输出为线性电流或位置比例输出（直接控制阀门或电机正反转）时，Ctl 取值不可过小，既要满足控制精度，同时又不使执行机构的动作过于频繁。

Sn　　输入规格（0—37）

Sn 的数值所对应的输入规格如下：

Sn	输入规格
0	K
1	S
2	R
3	T
4	E
5	J

6	B
7	N
8-9	备用
10	用户制定的扩充输入规格
11-19	备用
20	Cu50
21	Pt100
22-25	备用
26	0-80 欧电阻输入
27	0-400 欧电阻输入
28	0-20mV 电压输入
29	0-100mV 电压输入
30	0-60mV 电压输入
31	0-1V（0-500mV）
32	0.2-1V（100-500 mV）
33	1-5V 电压输入
34	0-5V 电压输入
35	-20—+20mV（0-10V）
36	-100—+100mV（2-10V）
37	-5 V—+5V（0-50V）

dIP **小数点位置**（0—3）（只影响小数点的位置，不影响测控精度）

线性输入时 dIP 定义小数点位置以配合用户习惯的显示数值：

dIP = 0　　不显示小数点，显示各式为 0000

dIP = 1　　小数点在十位，显示各式为 000.0

dIP = 2　　小数点在百位，显示各式为 00.00

dIP = 3　　小数点在千位，显示各式为 0.000

采用热电偶或热电阻输入时 dIP 用于选择温度显示的分辨率：

dIP = 0　　温度显示的分辨率为 1℃

dIP = 1　　温度显示的分辨率为 0.1℃

dIL　　输入下限显示值（-1999—+1999℃或 1 定义单位）

用于定义线性输入信号的下限刻度值。将输入的物理量变换为由 Sn 参数确定的标准输入信号，dIL 对应于输入物理量的下限。

dIH　　输入上限显示值（-1999—+1999℃或 1 定义单位）

用于定义线性输入信号的下限刻度值。将输入的物理量变换为由 Sn 参数确定的标准输入信号， dIH 对应于输入物理量的上限。dIL 与 dIH 配合使用。

Sc　　主输入平移修正（-1999—+4000　　0.1℃或 1 定义单位）

Sc 的出厂数值为零，当输入信号或传感器本身存在误差时，用 Sc 进行平移修正。

oP1　　输出方式（0—8）

表示主输出信号的方式，应与主输出模块的类型相一致。

oP1=0 时间比例输出方式(用 AI 人工智能调节)或位式调节(用位式调节)*

oP1=1 0-10mA 线性电流输出，主输出模块上安装线性电流输出模块

oP1=2 0-20mA 线性电流输出，主输出模块上安装线性电流输出模块

oP1=3 三相过零触发可控硅(时间比例)，报警 1 不再用于报警而作为输出（详见 AI 全通用人工智能调节器使用说明书）

oP1=4 4-20mA 线性电流输出，主输出模块上安装线性电流输出模块

oP1=5 位置比例输出(只适合 A1-808)，用于直接驱动阀门电机正反转

oP1=6 同上

oP1=7 同上

oP1=8 单相移相输出，应安装 K5 移相触发输出模块实现移相触发输出

oPL　　输出下限（0-110%）

通常作为限制调节输出最小值：

①当设置了分段功率限制（见 CF 参数设置）功能时，作为测量值低于下限报警时的输出上限

②若选购了双向调节输出软件，当设置 oPL <0 时，仪表成为双向输出系统，表示冷输出最大限制

oPH　输出上限（0-110%）

限制调节输出最大值

ALP　报警输出定义（0-63）

用于定义 HIAL、LoAL、dHAL、dLAL 四种报警功能的输出位置，公式如下：

$$ALP = A \times 1 + B \times 2 + C \times 4 + D \times 8 + E \times 16 + F \times 32$$

A=0　上限报警由 AL1 输出

A=1　上限报警由 AL2 输出

B=0　下限报警由 AL1 输出

B=1　下限报警由 AL2 输出

C=0　正偏差报警由 AL1 输出

C=1　正偏差报警由 AL2 或 AXU 输出

D=0　负偏差报警由 AL1 输出

D=1　负偏差报警由 AL2 或 AXU 输出

E=0　报警时在下显示器交替显示报警符号

E=1　报警时在下显示器不交替显示报警符号

F=0　如果 C=1、D=1 则正负偏差报警由 AL2 输出

F=1　如果 C=1、D=1 则正负偏差报警由 AXU 输出

CF　系统功能选择（0-63）

CF 参数用于选择部分系统功能：

$$CF = A\times 1 + B\times 2 + C\times 4 + D\times 8 + E\times 16 + F\times 32$$

A=0　反作用调节方式，输入增大时输出趋势向减小，如加热控制

A=1　正作用调节方式，输入增大时输出趋势向增大，如制冷控制

B=0　仪表报警无上电/给定值修改免除报警功能

B=1　仪表报警有上电/给定值修改免除报警功能

C=0　备用

C=1　备用

D=0　不允许外部给定

D=1　允许外部给定

E=0　无分段功率限制功能

E=1　有分段功率限制功能

F=0　仪表光柱指示输出值

F=1　仪表光柱指示测量值

Addr　通讯地址（0-100）

①当仪表辅助功能模块用于通讯时，Addr 参数用于定义仪表通讯地址，有效范围是 0-100。在同一条通讯线路上的仪表应分别设置不同的 Addr 值以相互区别。

②当仪表辅助功能模块用于测量值变送输出时，Addr 和 bAud 定义对应测量值变送输出的线性电流大小，Addr 表示输出下限，bAud 表示输出上限。

Baud　通讯波特率（0-19.2K）

当仪表 COMM 模块接口用于通讯时，bAud 参数定义通讯波特率：300-19200bit/s。

当仪表 COMM 模块接口用于测量值变送输出时，bAud 设置范围是 0-220，表示变送输出电流的上限。

dL　　输入数字滤波（0-20）

用于平滑输入干扰。dL 越大测量值越稳定、相应越慢。一般在测量受到较大干扰时应逐步增加 dL 值（2-5）。

0　　没有任何滤波

1　　取中间值滤波

2-20　　同时有取中间值滤波和积分滤波

run　　运行状态及上电信号处理

定义自动/手动工作状态：

run=0　手动调节状态

run=1　自动调节状态

run=2　自动调节状态，并且禁止手动操作。此功能可在不需要手动功能时防止因无操作进入手动状态。

Loc　　参数修改级别（0-9999）

Loc≠ 808　只允许显示及设置 0-8 个现场参数（由 EP1-EP8 定义）

Loc= 0　　允许修改现场参数、给定值

Loc= 1　　可显示查看现场参数，不允许修改，但允许设置给定值

Loc= 2　　可显示查看现场参数，不允许修改，也不允许设置给定值

Loc= 808　可以设定全部参数和给定值

EP1-EP8 现场参数定义（NonE-run）

EP1-EP8 最多定义 8 个现场参数，如果现场参数小于 8 个（有时甚至没有），应将要用的参数从 EP1 起依次定义，把没用到的第一个参数定义为 NonE。如现场用到 3 个参数。则依次定义 EP1=参数 1、EP2=参数 2、EP3=参数 3，然后令 EP4=NonE。

附录二　过控实验计算机界面操作手册

一　进入实验界面

1、　双击桌面上的“MCGS 运行环境”图标，进入实验监控系统，选择实验名称。

2、　在监控画面上，单击“实时曲线”按钮，可以观察数据的实时趋势；点击其它按钮，会出现相应的界面。

3、 在界面上可以设置参数的值，设置时需要注意，有时设置一次并不能改变参数的值，可以多设置几次，直到设置好为止。

4、 最好在实时曲线界面里观察数据趋势。

二 实验数据输出

1. 选取曲线上所需数据范围

实验完成以后，在**实时曲线界面**内按住“设置时间”按钮 **2 秒**以上将出现时间段设置窗口，在窗口内选取曲线上所需数据范围，可重复设置。

2. 数据存储

按住“数据输出”按钮 2 秒以上，将选好的时间段数据存入一个备用的数据库中。待“数据输出”按钮又凸出时，数据输出完成。

三 实验报告输出

1 进入系统：

双击桌面上的“实验报告输出系统按钮”（没有完成数据输出时双击该按钮将出错），选择相应的实验项目，进入实验报告单界面。

2 输入信息：

在界面上输入自己的信息。

3 数据筛选：

由于生成的数据很多，不能全部显示，因此要在“实验报告单界面”左边设置数据的显示间隔（即隔多少个数据选取一个数据用于显示），然后按“确定”按钮就完成数据的筛选。设置时要注意**每次的设置都是在上次的基础之上进行的**。例如：若先将参数设置为 10，再设置为 2，则总的时间间隔就是 10×2＝20 秒。若在设置完后不满意所选参数，则需退出“实验报告单界面”，回到实验界面重新输出实验数据。

4 图像生成：

(1) 设置图像参数

- 设置横轴参数，即时间长度（所选取的时间段长度，单位为分钟）。
- 设置纵轴参数，即液位等物理量达到的最大值，液位的单位为厘米。

(2) 图像生成

设置好图像参数后按“确定“按钮，将生成图像。

若对生成的图像不满意，可重新设置参数生成新的图像。

(3) 退出图像参数设置

图像生成无需修改后，按“隐藏”按钮，可将参数设置框隐藏掉。若隐藏后需要再设置参数，则需回到实验目录重新进入该实验。

5 打印实验报告单：

单击菜单栏上的“打印”菜单打印实验报告单。在没有安装打印机的情况下点击“打印”按钮，将会把实验报告单打印到文件中。保存出现的文件，可去外面打印。

附录三　FR-S500 三菱变频调速器使用方法

一. 操作面板介绍