



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

过程控制与系统专题实验报告

实验题目：串级控制实验

专业：	自动化
姓名：	马茂原
班级：	自动化 2104
学号：	2216113438

一、 实验目的

1. 通过实验了解水箱液位串级控制系统组成原理。
2. 掌握水箱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. 掌握液位串级控制系统采用不同控制方案的实现过程。

二、 实验设备

1. 实验对象及控制屏、SA-11 挂件一个、SA-12 挂件两个、计算机一台、万用表一个；
2. RS485/232 转换器一个、通讯线一根；
3. SA-44 挂件一个、PC/PPI 通讯电缆一根。

三、 实验原理

本实验为水箱液位的串级控制系统，它是由主控、副控两个回路组成。主控回路中的调节器称主调节器，控制对象为下水箱，下水箱的液位为系统的主控制量。副控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，中水箱的液位为系统的副控制量。主调节器的输出作为副调节器的给定，因而副控回路是一个随动控制系统。副调节器的输出直接驱动电动调节阀，从而达到控制下水箱液位的目的。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。由于副控回路的输出要求能快速、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 调节器。

四、 系统结构框图

本实验系统结构图和方框图如图 1 所示。

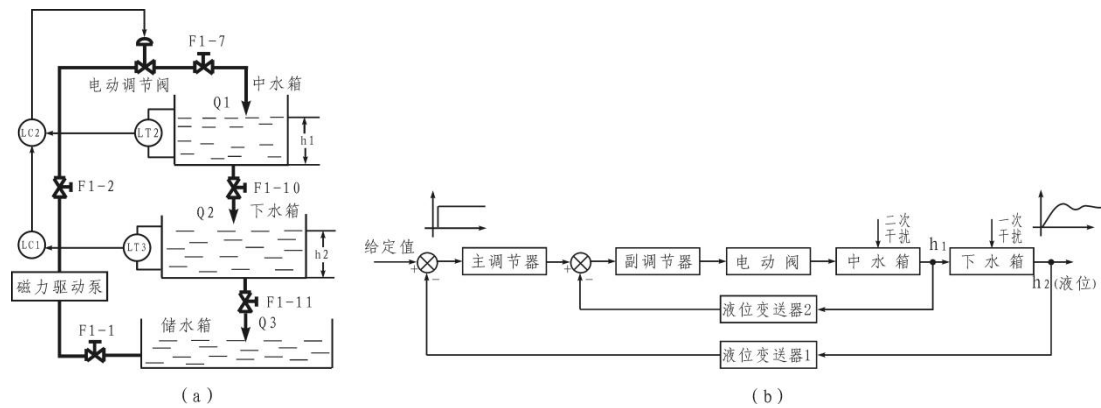


图 1 水箱液位串级控制系统

(a) 结构图 (b) 方框图

五、 接线图

本实验系统的接线图如图 2 所示。

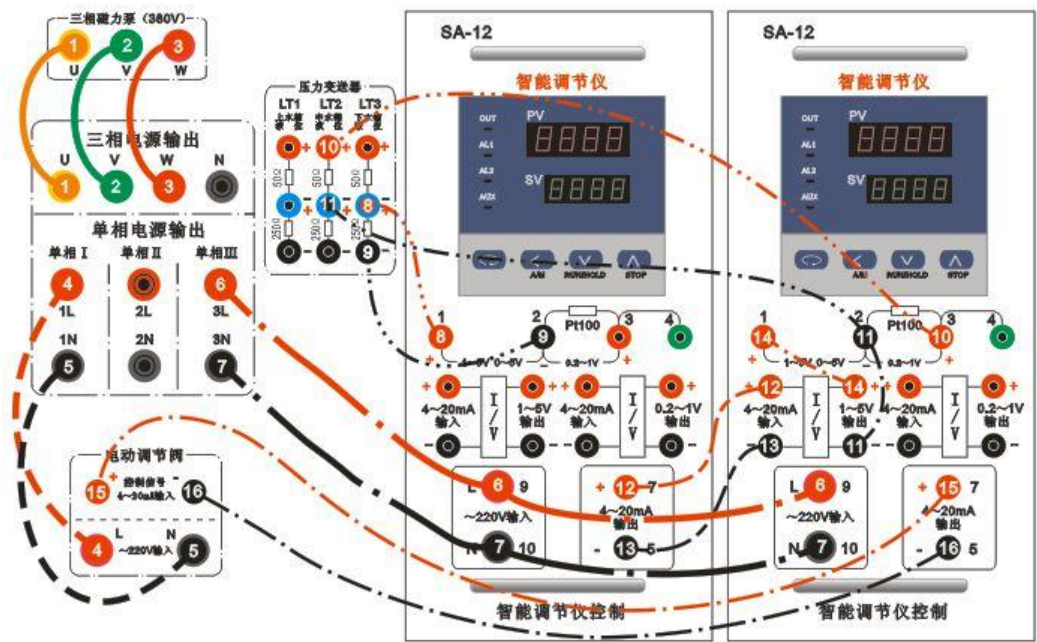


图 2 水箱液位串级控制系统的接线图

六、 内容步骤

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、F1-7 全开,将中水箱出水阀门 F1-10 开至适当开度(40%~90%)、下水箱出水阀门 F1-11 开至适当开度(30%~80% 要求阀 F1-10 稍大于阀 F1-11),其余阀门均关闭。

1. 将两个 SA-12 挂件挂到屏上,并将挂件的通讯线插头插入屏内 RS-485 通讯口上,将控制屏右侧 RS-485 通讯线通过 RS-485/232 转换器连接到计算机串口 COM1,并按照下面的控制屏接线图连接实验系统。将 LT3 下水箱变送器输出“1~5V”对应接至智能调节仪 I 的“1,2”两端;将 LT2 中水箱变送器输出“0.2~1V”对应接至智能调节仪 II 的“3,2”两端。

2. 接通总电源空气开关和钥匙开关,打开 24V 开关电源,给液位变送器上电,按下启动按钮,合上单相 I、单相 III 空气开关,给电动调节阀及智能仪表 1 上电。

3. 参数设置

智能仪表 I 参数设置: Sn=33、DIP=1、dIL=0、dIH=50、oPL=0、oPH=100、CF=0、Addr=1,

智能调节仪 II 参数设置: Sn=32、DIP=1、dIL=0、dIH=50、oPL=0、oPH=100、CF=8、Addr=2,智能调节仪参数设置请参考智能调节仪使用手册。

注:新资料参数

智能仪表 1(主控)常用参数设置如下,其他参数按照默认设置:

HIAL=9999, LoAL=-1999, dHAL=9999, dLAL=9999, dF=0, Ctrl=1, Sn=33, dIP=1, dIL=0, dIH=50, oP1=4, oPL=0, oPH=100, CF=0, Addr=1, bAud=9600。

智能仪表 2(副控)常用参数设置如下,其他参数按照默认设置:

HIAL=9999, LoAL=-1999, dHAL=9999, dLAL=9999, dF=0, Ctrl=1, Sn=32, dIP=1, dIL=0, dIH=50, oP1=4, oPL=0, oPH=100, CF=8, Addr=2, bAud=9600。

4. 打开上位机组态王组态环境,选择“THJ-3 智能仪表控制工程”,点击“VIEW”按钮进入组态王运行环境,在主菜单中点击“实验九、水箱液位串级控制系统”,进入实验监控界面。

5. 将主控仪表设置为“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,磁力驱动泵上电打水,适当增加/减少主调节器的输出量,使下水箱的液位平衡于设定值,且中水箱液位也稳定于某一值(此值一般为 3~5cm,以免超调过大,水箱断流或溢流)。

7. 按本章第一节中任一种整定方法整定调节器参数,并按整定得到的参数进行调节器设定。

8. 待液位稳定于给定值时,将调节器切换到“自动”状态,待液位平衡后,

通过以下几种方式加干扰：

- (1) 突增（或突减）仪表设定值的大小，使其有一个正（或负）阶跃增量的变化；
- (2) 打开阀门 F2-1、F2-4（或 F2-5），用变频器支路以较小频率给中水箱(或下水箱)打水（干扰作用在主对象或副对象）；
- (3) 将“阀 F1-5、F1-13”开至适当开度（改变负载）；
- (4) 将电动调节阀的旁路阀 F1-4（电磁阀上电）开至适当开度。

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，经过一段调节时间后，水箱液位稳定至新的设定值(后面三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，下水箱液位的响应过程曲线将如图 3 所示。

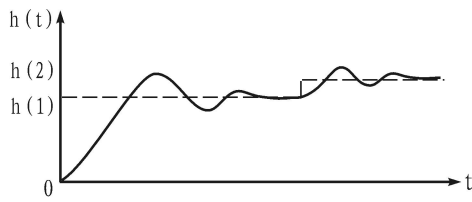


图 3 下水箱液位阶跃响应曲线

9. 适量改变主、副控调节仪的 PID 参数，重复步骤 8，用计算机记录不同参数时系统的响应曲线。

七、 运行结果及分析

1. 主控： $1/P=\delta_1=30$ ， $I=I_1=30$ ， $D=D_1=2$

副控： $\delta=20$ ， $I=0$ ， $D=0$

8cm-----9cm

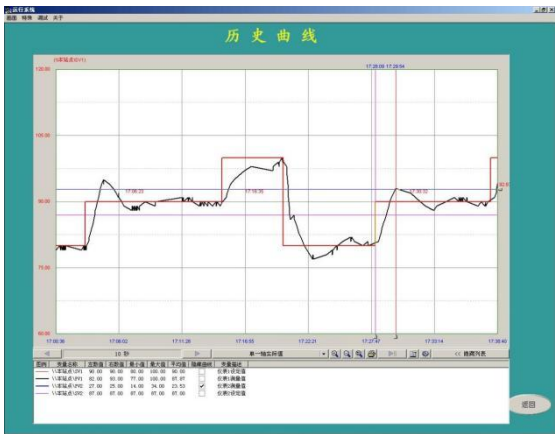


图 4 曲线 1

峰值时间：145 秒
最大超调量：0.280cm
进入稳态的时间：243 秒

2. 主控： $1/P=\delta_1=40$ ， $I=I_1=40$ ， $D=D_1=4$
副控： $\delta=20$ ， $I=0$ ， $D=0$
9cm-----10cm

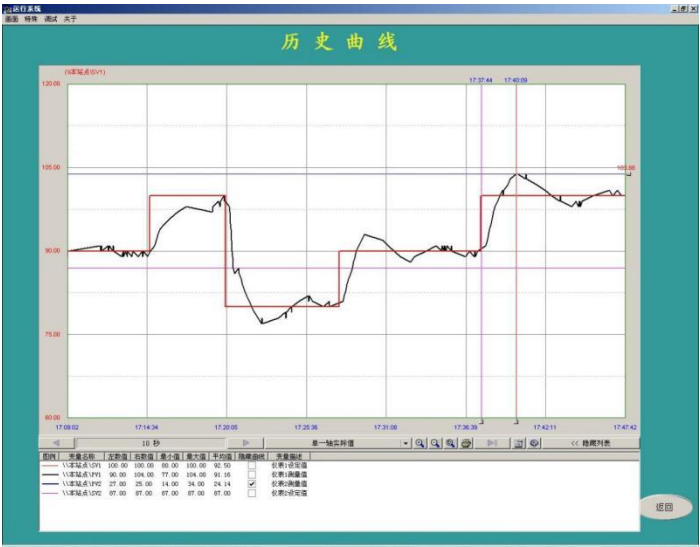


图 5 曲线 2-1

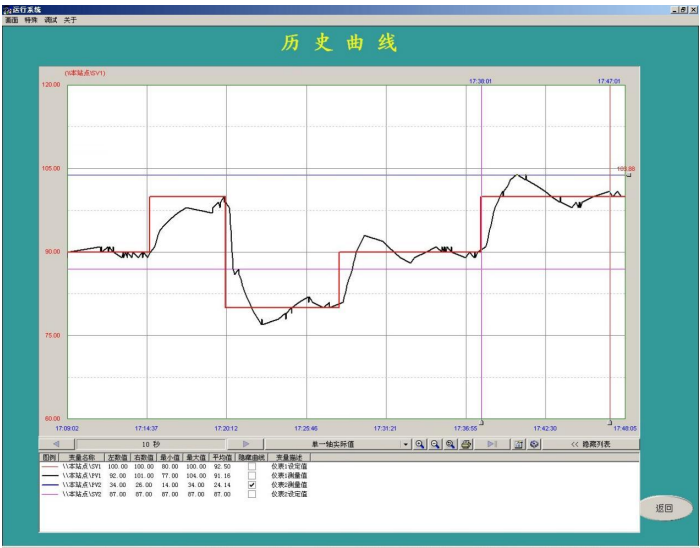


图 6 曲线 2-2

峰值时间：145 秒
最大超调量：0.388cm
进入稳态的时间：540 秒

3. 主控： $1/P=\delta_1=40$ ， $I=I_1=40$ ， $D=D_1=4$
副控： $\delta=20$ ， $I=0$ ， $D=0$
10cm-----9cm

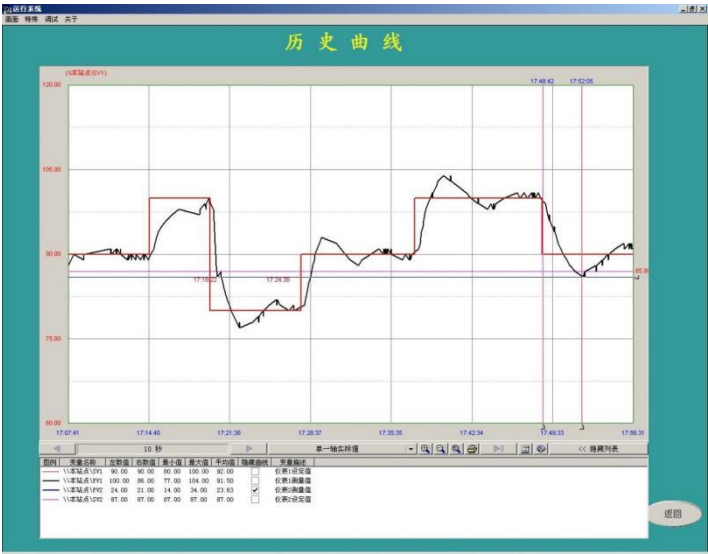


图 7 曲线 3-1

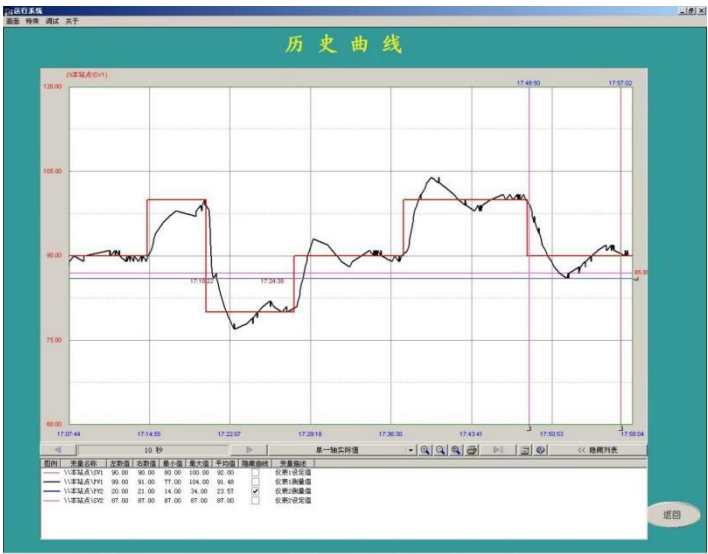


图 8 曲线 3-2

进入稳态的时间: 492 秒

4. 主控: $1/P=\delta_1=40$, $I=I_1=40$, $D=D_1=4$
9cm-----10cm

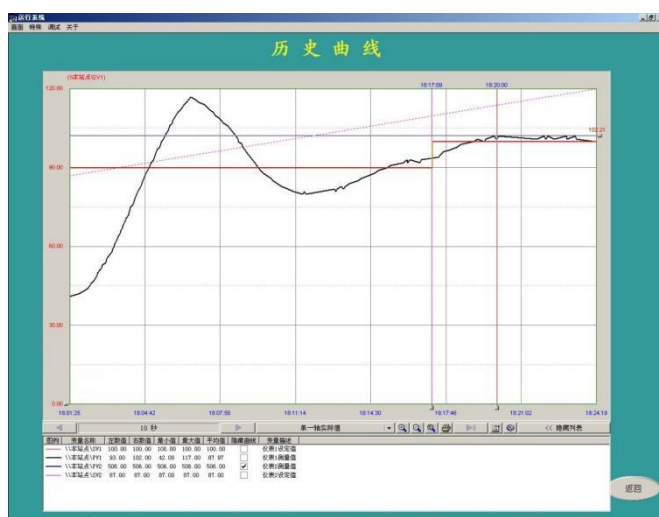


图 9 曲线 4-1

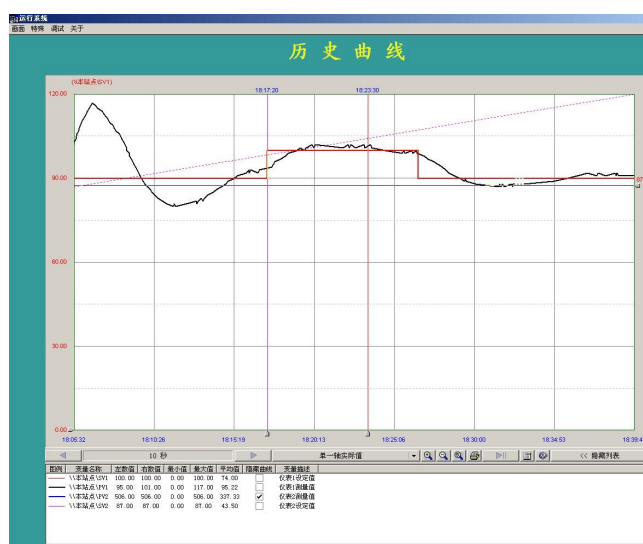


图 10 曲线 4-2

进入稳态的时间：310 秒

5. 主控：1/P= δ_1 =40，I=I₁=40，D=D₁=4
10cm-----9cm

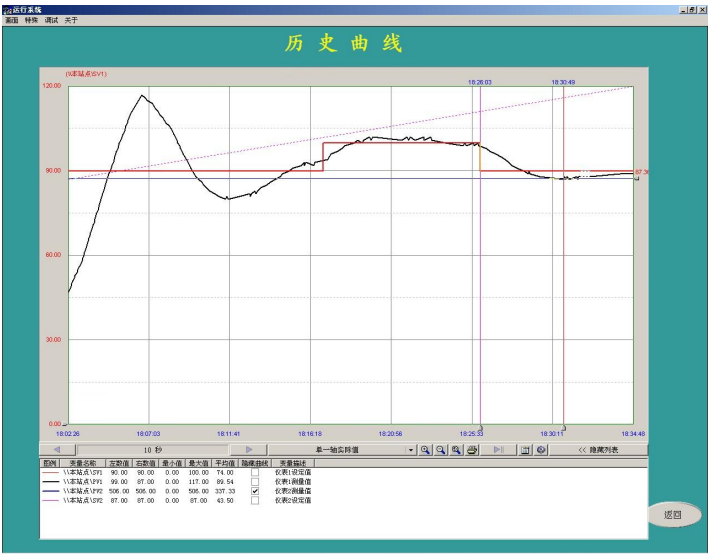


图 11 曲线 5-1

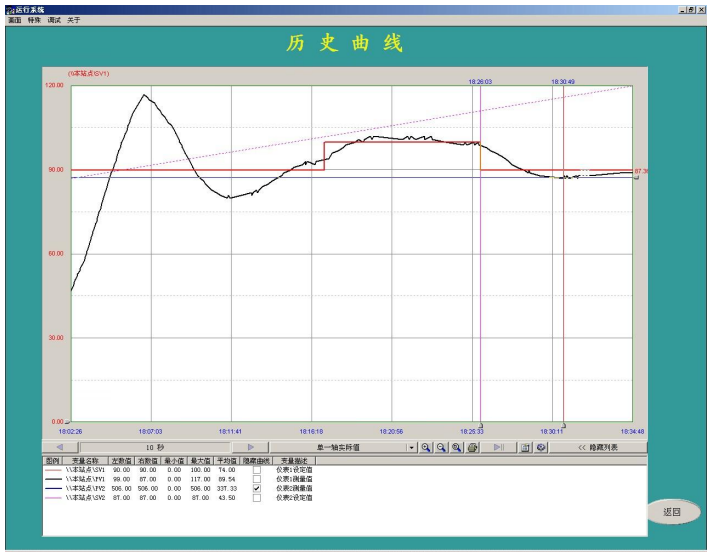


图 12 曲线 5-2

峰值时间：286 秒
最大超调量：0.272cm
进入稳态的时间：593 秒

八、 实验分析

问题 1 PID 参数对系统的阶跃响应的影响

1. 比例系数 p : 增大 p 可以提高系统的响应速度, 缩短上升时间和延迟时间, 但过大会引起超调现象增大, 甚至导致系统不稳定。减小 K_p 可以减小稳态误差, 但响应变慢。
2. 积分时间常数 i : 增大 i (减小积分作用) 可以减小超调量, 但会使阶跃响应的上升过程变慢。减小 i (增大积分作用) 可以提高系统的整定精度, 消除稳态误差, 但可能引起振荡。
3. 微分时间常数 d : 适当增大 T_d 可以提高系统的响应速度, 减小超调量和振荡。过大的 T_d 会使系统对高频扰动信号很敏感, 可能带来振荡问题。

问题 2, 请说明有串级控制和没有串级控制对系统响应曲线的影响

1. 上升时间

有串级控制时, 系统的上升时间通常会缩短。这是因为串级的副回路可以通过快速调节副对象的输入, 从而减小主对象的偏差, 加快系统对被控量的跟踪。

2. 调节时间

有串级控制时, 系统的调节时间也会缩短。副回路可以有效抑制扰动对主回路的影响, 从而减小系统的振荡, 加快收敛到稳定值的过程。

3. 超调量

有串级控制时, 系统响应曲线的超调量通常会减小。这是因为副回路可以削弱高频扰动对系统的激励, 从而减小系统的震荡。

4. 稳态误差

有串级控制时, 系统的稳态误差会减小。副回路调节主对象输入, 可有效减小被控量的偏差, 从而降低稳态误差。

5. 抗扰动性能

有串级控制时, 系统对扰动的抗扰动性能会增强。尤其是对主扰动(二次扰动), 副回路可以直接抑制其对主回路的影响, 大大增强抗扰动能力。

综上所述, 与单回路控制相比, 合理设计的串级控制系统响应曲线会表现出更快的响应速度、更小的超调量、更小的稳态误差和更强的抗扰动性能。

九、 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的影响是否仍很小，为什么？

答：串级控制系统对主扰动(二次扰动)具有很强的抗扰动能力,主要原因是副回路的存在。副回路可以有效抑制二次扰动对主控制量的影响。当副对象的时间常数与主对象时间常数接近时,二次扰动对主控制量的影响会变大,但仍比单回路控制系统小。这是因为即使时间常数接近,副回路也会对二次扰动起一定抑制作用。

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？

答：当一次扰动作用于主对象时,由于副回路的存在,串级系统相比单回路系统的动态性能会有所改善。副回路通过调节副对象的输入,可以减小主对象的偏差,从而提高系统的响应速度和调节精度。

3. 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？

答：检查主副对象的连接及阀门等执行机构，测试主副测量元件的准确性，调试主副调节器的控制算法和参数，确定主副调节器的正反作用方向。

主、副调节器的正反作用方向确定:通常主调节器增大与被控对象输出增大方向相同;副调节器增大与主调节器输入增大方向相反。

4. 为什么本实验中的副调节器为比例（P）调节器？

答：由于 P 调节器具有结构简单、参数少、调节快等优点。P 调节器输出仅与反馈偏差成比例关系,适合作为副调节器来快速抑制二次扰动。

5. 改变副调节器的比例度,对串级控制系统的动态和抗扰动性能有何影响,试从理论上给予说明。

答:增大比例度可以提高副回路的增益,从而加强对二次扰动的抑制作用,提高抗扰动性能。但过大会引起系统振荡。减小比例度则会降低抗扰动性能,但有利于提高系统的动态性能和稳定性。因此需要在动态性能和抗扰动性能之间权衡取舍,选择合适的比例度。

6. 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?

答: A.副回路的存在提高了系统的抗扰动性能,特别是对主扰动(二次扰动);
B.副回路调节主对象输入,可减小主对象的偏差,提高响应速度和控制精度;
C.主调节器专注于跟踪被控量,副调节器专注于抑制扰动,实现了控制任务的分工;
D.串级结构为调整控制性能提供了更多的可调参数。

十、实验总结

本次实验旨在通过实践掌握串级控制系统的工作原理、参数调节及投运方法。实验使用水箱液位控制系统作为被控对象,包含主控和副控两个闭环。主控回路控制下水箱液位,副控回路控制中水箱液位。通过调整主副调节器的 PID 参数,研究了参数变化对系统阶跃响应的影响,以及与单回路控制相比的优劣。

实验过程中,我学习了确定主副调节器作用方向、整定控制参数、加入扰动并记录响应曲线等操作步骤。通过多组参数设置和干扰实验,观察并分析了系统的响应特性,加深了对串级控制系统抗扰性、动态性能等优点的理解。

最后,通过理论分析和实验现象,总结了串级控制比单回路控制的优势所在,即副回路的存在提高了抗扰动能力,减小偏差,并实现了控制任务分工;同时串级结构也为性能调整提供了更多自由度。