

实验三：串级控制系统设计与分析

实验报告

二〇二一年十二月

目录

一 实验目的	1
二 实验设备	1
三 实验内容及数据记录.....	1
3.1 串级控制系统结构	1
3.2 主副控制器设计.....	3
3.3 单回路控制与串级控制	4
四 实验结论	5

一 实验目的

- 掌握单回路系统分析和设计方法
- 掌握 PID 控制器各参数的控制作用与整定方式
- 理解对象和控制器变化对控制效果的影响

二 实验设备

- MATLAB
- Portal 15.1
- Siemens S7-300

三 实验内容及数据记录

3.1 串级控制系统结构

串级控制系统相比于单回路控制系统在闭环内部另增加一闭环，形成副回路。将主控制器的输出作为副控制器的输入。采用串级空值，可以快速抑制副回路的干扰，提高系统的动态响应以及相应频率，同时能供增强系统对于环境变化和负载波动的承受能力。

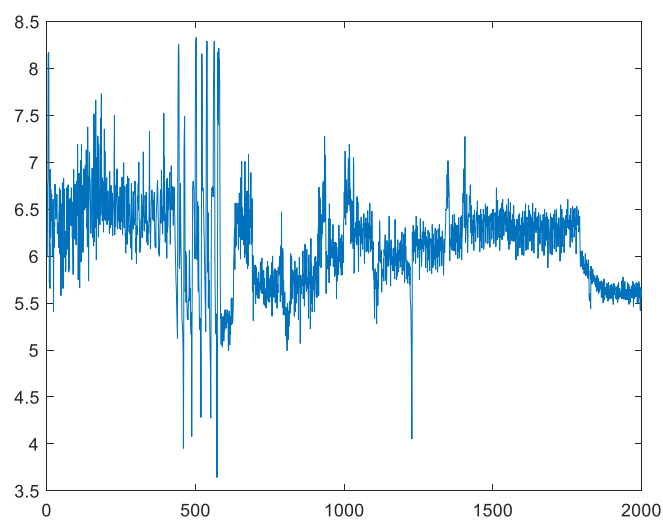


图 3-1 管道压力开环曲线

在实验一的实验过程中，针对液位设计了相应的单回路控制器，但是存在水压的波动会对液位的控制造成干扰，为了了解管道压力的开环曲线，我们在未施加控制的情况下提取了一定数据的变送值信息，其结果如图 3-1 所示。

曲线能够十分直接地发现管道压力在短时间内变化极快，并且其每次变化的幅度也很大，造成此现象的原因可能是由于管道压力对泵的工作状态改变极其敏感。而本实验中所使用的泵由于变频器及电源供应等各种情况，其工作状态并不是非常稳定，对于管道而言，管道的流量与压力均是十分重要的控制量，控制住管道压力能够在一定程度上保持管道的正常负载，同时能够防止由于管道压力的剧增和剧减带来的水锤效应和工作泵损坏等现象。

在以上分析的基础上，为了能够抑制压力波动对液位的干扰，可以将管道压力作为副被控对象设计副控制回路，并将副控制回路作为液位单回路控制器的内环，构成串级控制系统，只需将外环的 PID 输出重新调整，与内环的 PID 输入相绑定，并重新调整外环 PID 参数便可以得到较为理想的压力——液位串级控制系统。整体的设计图如图所示：

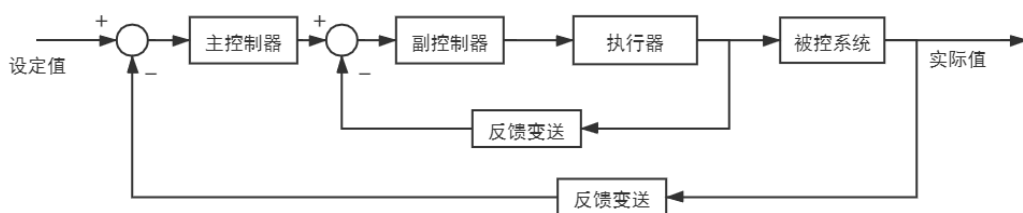


图 3-2 串级控制系统整体控制图

对于串级的控制系统，其结构与单回路控制系统相似，但不完全相同，最大的区别即其具有两个控制器，最为外环的液位控制器在计算完成后，输出并不会直接作用于变频器，而是作为内环变频压力控制器的输入，内环的变频压力控制的输出才会真正的作用于变频器，控制系统结构图如图所示：

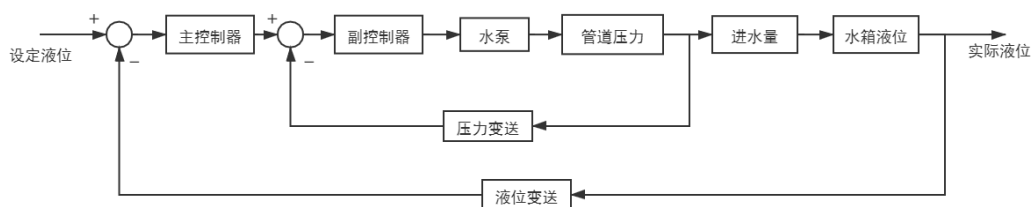


图 3-3 串级控制系统结构图

由于液位控制时间常数相比管道压力对象较大，可以作为系统外环控制，利用外环控制加快系统相应，并使最终水箱液位无稳态误差，满足理想液位高度。内环的存在在于快速抑制管道压力波动的影响，同时能够提高系统整体性能表现。

3.2 主副控制器设计

针对液位串级控制系统，所采用的仍然是 PID 控制器，其中外环仍然采用的是 PID 算法，用于消去稳态误差并改善系统动态响应。内环则是采用纯 P 控制，在允许一定程度稳态误差的情况下，使副回路能够快速响应，快速抑制波动。

由于主副控制器均为 PID 控制器，其参数整定与单回路相似，因此在此处不再说明各个参数的作用。相比单回路的 PID 参数整定，串级系统控制器设计需要考虑主副控制器之间的相互作用关系。我们选取的整定策略是先对副控制器进行参数整定，在外环纯比例控制的情况下，调节内环的比例参数，保证系统稳定情况下尽可能减小误差。随后在主回路中加入积分项，用于消除稳态误差，在添加积分项后需要注意适当调小系统比例增益，防止系统稳定性发生改变。随后可以在主回路适当增加微小的微分增益，用于改善系统动态响应，减小超调使曲线满足要求。图 3-4 展示了不同 PID 参数下的响应曲线图。

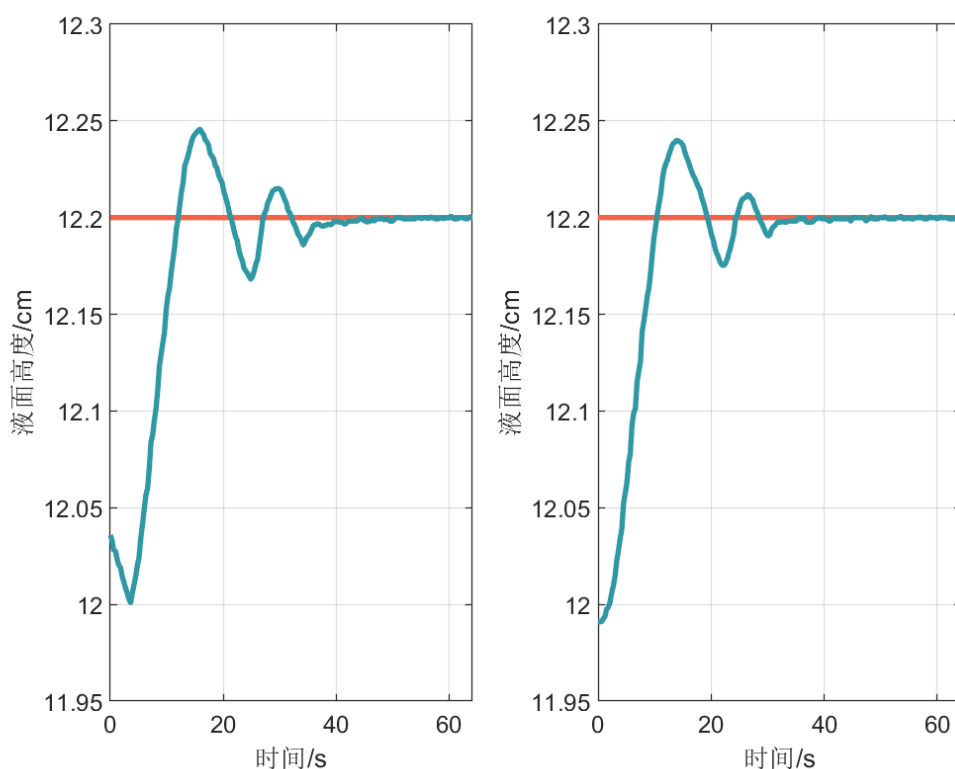


图 3-4 不同 PID 参数下响应曲线图

图 3-4 左图外环采用的 PID 参数为： $K_c=38000$, $T_I=70s$, $T_D=5ms$ ，内环比例增益为 2；针对右图外环采用的 PID 参数为： $K_c=37000$, $T_I=70s$, $T_D=5ms$ ，内环比例增益为 2。可以看出针对串级系统的 PID 整定与单回路大致相似，但是通常需要减弱积分项和微分项的作用，防止系统变为不稳定系统抑或是动态性能变差。经过不断尝试调整，最终得出理想衰减比 4:1 的液位响应曲线如图 3-5 所

示。其中 $K_c=36000$, $T_I=70s$, $T_D=5ms$, 内环比例增益为2。

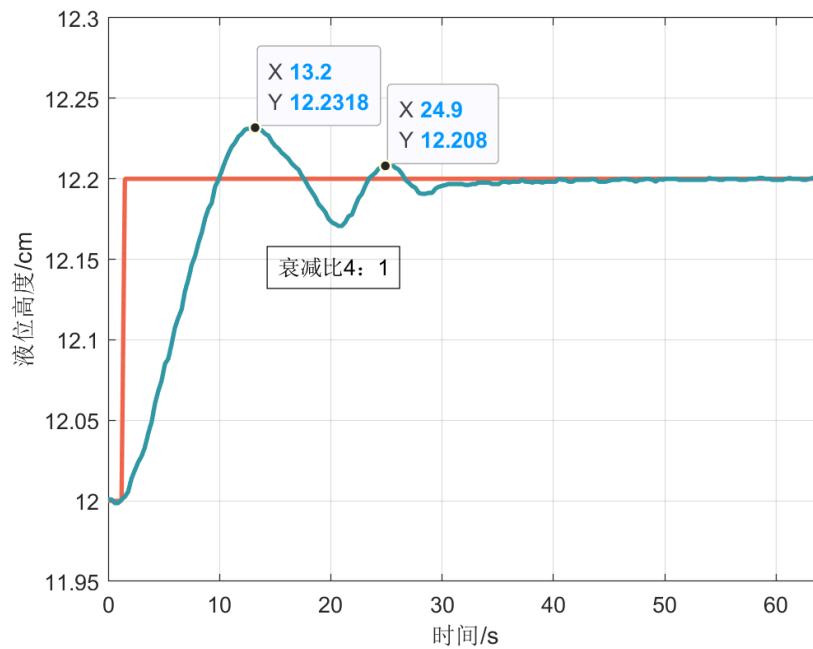


图 3-5 4: 1 衰减比液位响应曲线图

3.3 单回路控制与串级控制

为讨论串级控制与单回路控制的区别, 可以从干扰抑制的角度出发进行比较, 在系统液位趋于平稳后通过快速改变系统期望后恢复来模拟外界干扰, 图 3-6 给出了串级控制系统的响应曲线。

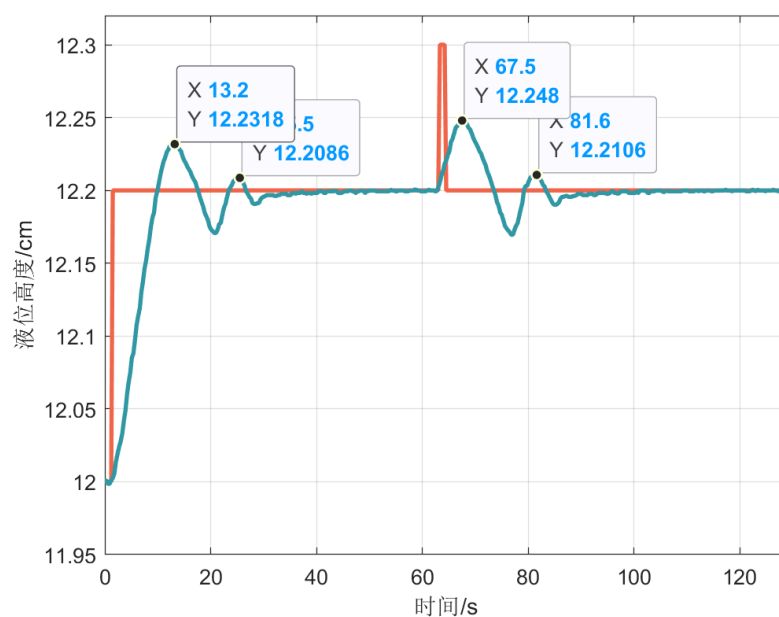


图 3-6 干扰作用下串级控制系统响应

从图 3-6 中可以清晰看出系统在迎来阶跃信号后能够以 4:1 曲线过渡并实现稳定, 在过程中即使出现快速干扰, 系统能够以 5:1 的衰减比快速恢复。图 3-7 给出了单回路系统在类似扰动下的表现。单回路的输出响应在阶跃波动产生后有较大反应, 导致衰减比远大于串级控制系统, 由此可以得出结论串级控制系统有利于抑制系统干扰。

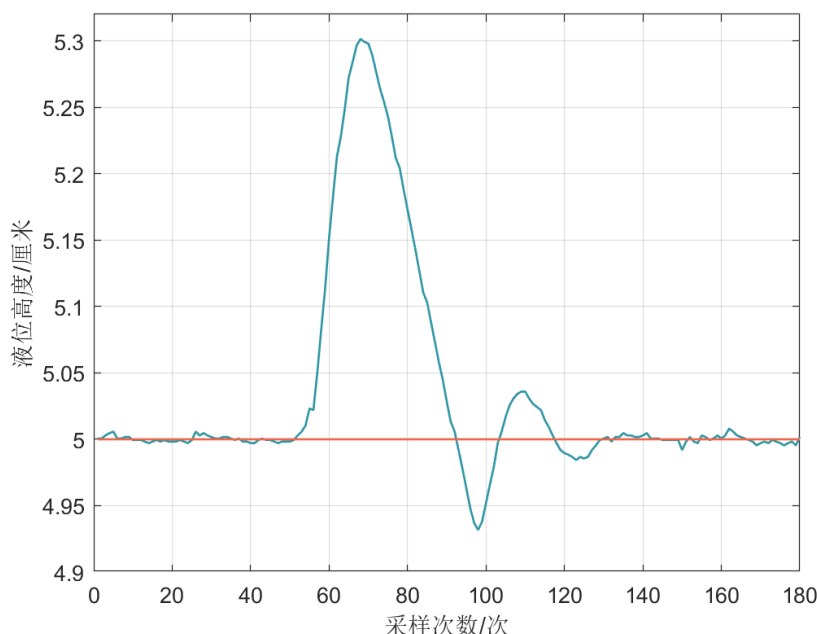


图 3-7 干扰作用下单回路系统响应

四 实验结论

通过实验三的学习, 搭建了相应的串级控制系统, 对主副控制器进行了参数比较并在此基础上分析了串级控制系统相对于单回路系统的优势, 总结如下:

- 在串级控制系统的设计过程中, 通常将时间常数较小的主要扰动作为被控量, 通过副回路来抑制主要干扰。
- 串级控制系统相比于单回路可以快速抑制副回路的干扰, 提高系统的动态响应以及相应频率, 同时能供增强系统对于环境变化和负载波动的承受能力。
- 串级控制系统由于主副控制器均为 PID 控制器, 其参数整定与单回路相似, 但是串级控制器参数整定考虑主副控制器之间的相互作用关系。