
实验一：对象特性分析与过程控制系统结构设计

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 过程控制硬件系统.....	1
3.2 控制系统通道	2
3.3 水箱动态特性分析.....	4
四 实验结论	5

一 实验目的

- 掌握工业过程系统典型被控对象的动态特性分析和调试方法
- 掌握检测仪表、执行机构、PLC 控制器的使用方法
- 掌握基于 PLC 的过程控制系统的软硬件系统

二 实验设备

- MATLAB
- Portal 15.1
- Siemens S7-300

三 实验内容及数据记录

3.1 过程控制硬件系统

本次实验将水箱作为典型对象构建过程控制硬件系统，实验有以下硬件资源：

- PS 307 10A
- CPU 315-2 PN/DP
- DI 16/DO 16x24VDC/0.5A
- DI 16x24VDC
- AI 8x12BIT
- AO 4x12BIT
- HMI DOP-B10E615

同时具备 Matlab 软件与 TIA Portal V15 系列软件，整套工作系统基于 Window10 环境下运行。本次实习使用的 HMI 设备为台达系列产品，需要使用 DopSoft 进行设备的编程及设备连接，而实验室所有设备均通过 Profibus-DP 和 Profibus-NET 总线连接，可以选择任意组合进行网络通信。

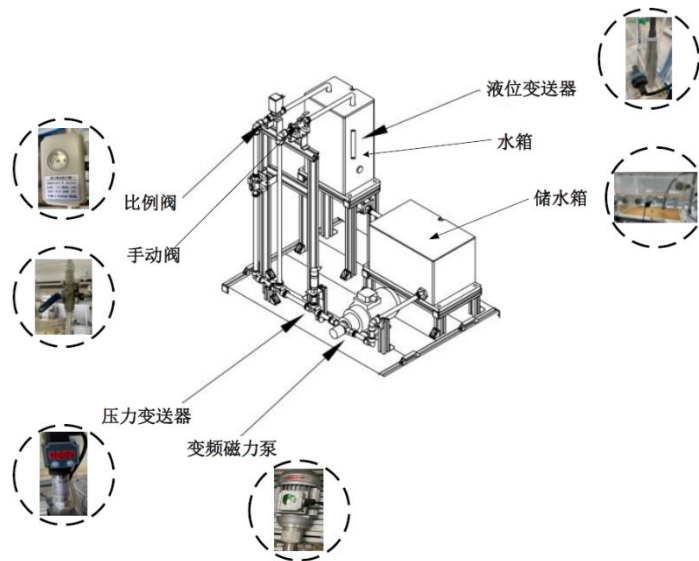


图 3-1 水箱效果图

同时对于单容水箱系统，也提供了相应的装置来开展实验。水箱效果图见图 3-1 所示。设备整体由两个水箱、一个压力变送器、一个电磁阀、一个液位变送器、变频磁力齿轮泵及若干手动阀组成。

水箱在工作时，通过变频磁力泵将水打入水箱，期间可以通过比例阀和手动阀来控制水流量大小，水量从水箱流向储水箱，储水箱中的水流入磁力泵如此循环往复。其中压力变送器用于检测变频磁力泵流出液体压力，液位变送器用于检测水箱内部的液位大小。水流流动流程图如图 3-2 所示。

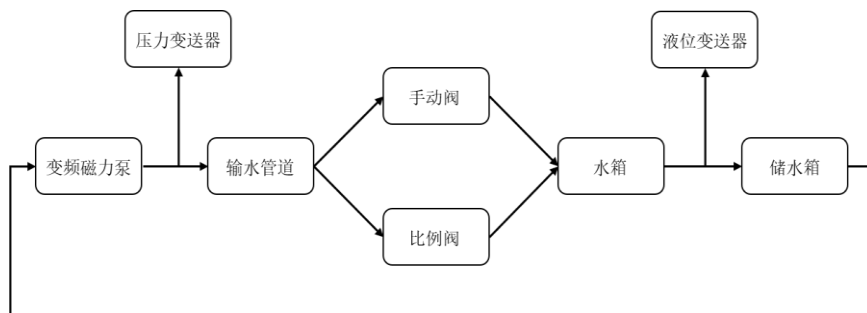


图 3-2 水流流动过程图

3.2 控制系统通道

检测仪表方面，3.1 节中已经对系统所拥有的检测机构进行了相关介绍，在本实验中，采用压力变送器作为检测变频磁力泵出水压力的检测机构，液位变送器用于检测水箱液位高度的检测机构，两者输出电流为 4-20mA

执行机构方面，硬件层面有比例阀以及变频磁力泵两个执行机构选择，通过测量发现，比例阀的灵敏度明显低于磁力泵，且存在滞后特性，因此选用磁力泵

作为系统执行器。

控制系统通道方面，考虑到检测仪表输出以及磁力泵控制信号输入均为模拟量，可以采用 PLC 的 AI 和 AO 模块对控制系统通道进行输入输出，并配置为电压输入输出方式。系统控制通道接线如图 3-3 所示。

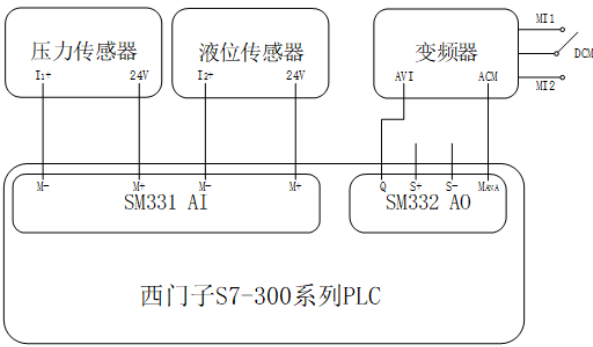


图 3-3 控制系统通道接线图

通过以上分析，选用液位检测变送可以设计出以水箱为对象的单回路过程控制系统如图 3-4 所示：

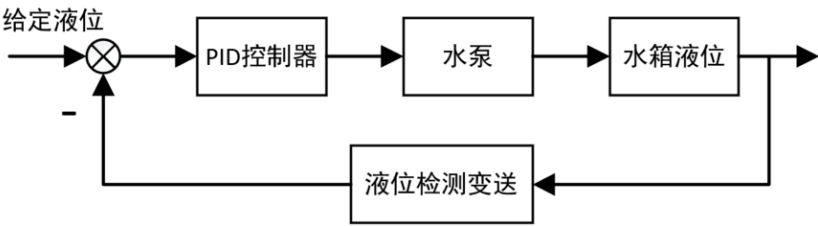


图 3-4 水箱单回路控制系统框图

考虑到电磁泵出水流量受水流压力影响较大，可以在回路中添加压力检测变送用于控制电磁泵的出水压力，改善系统的动态响应。串级过程控制系统框图如图 3-5 所示。

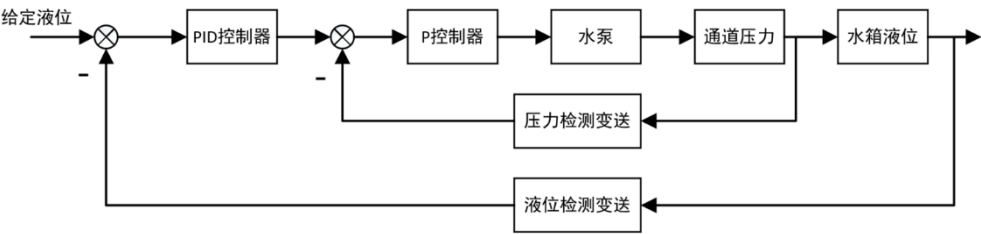


图 3-5 水箱串级控制系统框图

3.3 水箱动态特性分析

3.3.1 单容水箱理论动态特性

假设贮罐的横截面积不变，表示为 A 。该过程中，贮罐中的液位高度 h 为被控变量，也是过程的输出量；流入贮罐的液体体积流量 q 为过程的输入量， q_1 的大小通过改变阀门 1 的开度来调节；流出贮罐的液体体积流量 q_2 为过程的中间量，也是过程的干扰， q_2 的大小可以根据用户的需求，通过阀门 2 的开度来调节。

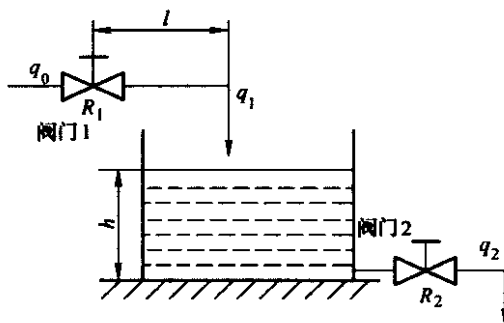


图 3-6 单容水箱模型

根据动态物料平衡关系，即：贮罐中液体贮存量的变化率=单位时间内液体流入量-单位时间内液体流出量，得

$$\Delta q_1 - \Delta q_2 = A \frac{d\Delta h}{dt} \quad (1)$$

当 q_1 发生变化时，液位 h 随之改变，使贮罐出口处的静压发生变化， q_2 也发生相应变化。假设 q_2 与 h 近似呈线性正比关系，与阀门 2 处的液阻 R_2 （近似为常量）呈反比关系，则有

$$\Delta q_2 = \frac{\Delta h}{R_2} \quad (2)$$

消除中间变量，将式（2）代入式（1）中，经整理可得单容液位过程的微分方程增量表示形式

$$R_2 A \frac{d\Delta h}{dt} + \Delta h = R_2 \Delta q_1 \quad (3)$$

对该式进行拉普拉斯变换，得到过程的传递函数

$$G(s) = \frac{H(s)}{Q_1(s)} = \frac{R_2}{R_2 A s + 1} \quad (4)$$

其中 $T = R_2 C$, $K = R_2$, $C = A$ ，式中 T 为被控过程的时间常数， K 为被控过程的静态增益， C 为被控过程的容量系数，或称为过程容量。由此（4）可以重写为：

$$G(s) = \frac{H(s)}{Q_1(s)} = \frac{K}{Ts + 1} \quad (5)$$

3.3.2 单容水箱参数辨识

预设变频器频率为 400Hz，等待自恒水箱稳定，采集到的液位高度为 4cm，将变频器频率更改为 1000Hz 以提供阶跃响应，实时采集液位变送器传回的液位高度，如图 3-7 所示。

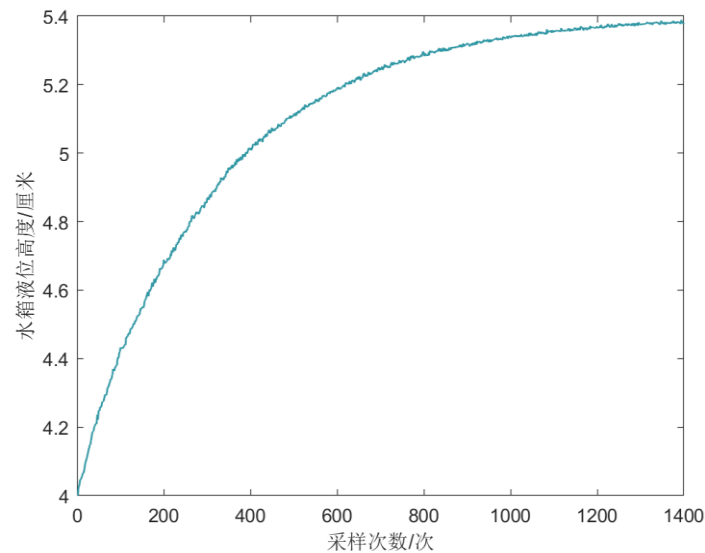


图 3-7 系统阶跃相应输出曲线

在此基础上可以利用 MATLAB 系统辨识工具得出辨识结果如下：

```
tf1 =
  From input "u1" to output "y1":
    7.324e-06
    -----
    s + 0.003145
Name: tf1
Continuous-time identified transfer function.
Parameterization:
  Number of poles: 1    Number of zeros: 0
  Number of free coefficients: 2
  Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.
Status:
Estimated using TFEST on time domain data "mydata".
Fit to estimation data: 98.22% (stability enforced)
FPE: 3.723e-05, MSE: 3.707e-05
```

由此可以得出系统相关系数如下：

$$K = 0.0023, T = 317.9650$$

四 实验结论

通过实验一的学习，可以得出实验结论如下：

1. 过程控制硬件系统方面，根据实验室资源，将单容水箱作为控制对象，控制水箱中的液位变化曲线符合理想控制曲线。可以利用变频磁力泵将储水箱内的水打入水箱，比例阀和手动阀可以用于调节流入水箱内的水流量大小，压力检测变送与液位检测变送分别用于检测水流压力大小和水箱液位大小。
2. 控制系统通道方面，我们将变频磁力泵作为执行器，压力检测变送与液位检测变送作为检测机构，并利用 S7-300 的 AO 和 AI 通道作为控制器控制通道，在此基础上，设计了基于液位检测的单回路控制系统如图 3-4 所示，考虑到泵出水流量压力对系统干扰大，采用压力检测构成副回路设计串级控制系统如图 3-5 所示。

对象动态特性方面，针对单容水箱建立了相应的传递函数模型，并在实际实验中通过读取对象的液位值进行参数辨识，得出结果， $K = 0.0023$, $T = 317.9650$ 。

通过此次实验，我学习了单容水箱控制对象的具体细节，包括执行器，检测机构的相关原理以及其传回参数读取的方法。针对水箱液位的控制目标，学习了单回路和串级系统的设计，并在此基础上结合课本知识对单容水箱进行了理论建模，最后通过辨识方法得出实验室水箱的传递函数模型。