

# 三容水箱设备文档

## 一、三容水箱的结构和工作原理

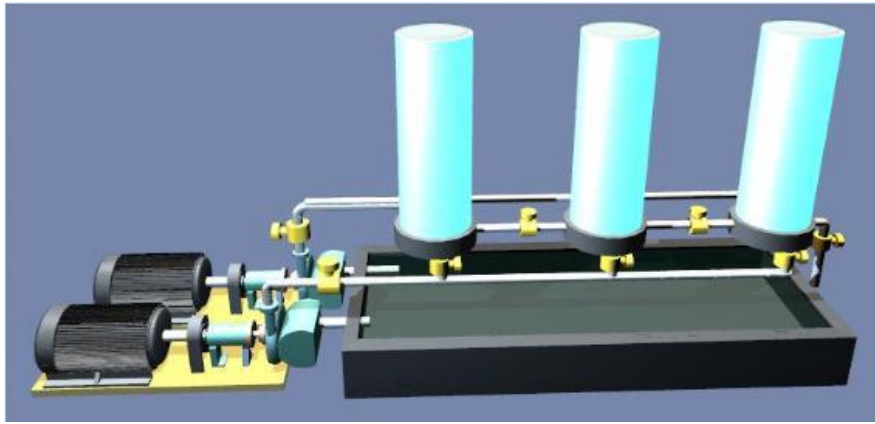


图 1 三容水箱示意图 a

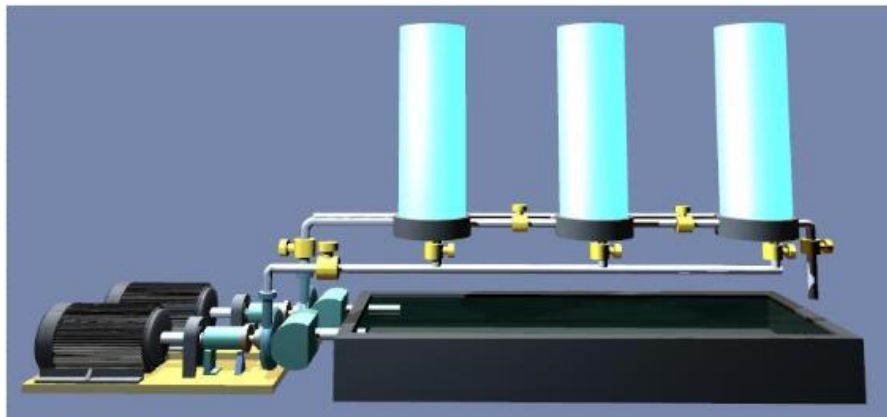


图 2 三容水箱示意图 b

三容水箱如示意图 1 和图 2 所示。通常三容水箱的设计中将通过实验进行建模，分别测定被控对象水箱在输入阶跃信号后的液位响应曲线和相关参数。通过磁力驱动泵供水，控制电动调节阀的开度大小，改变水箱液位的给定量，从而对被控对象施加阶跃输入信号，记录阶跃响应曲线。在测定模型参数中可以通过智能调节仪表改变调节阀开度，增减水箱的流入水量大小，从而改变水箱液位实现对被控对象的阶跃信号输入。

### 1.1 三容水箱试验系统的总体结构

三容水箱液位控制系统由水箱主体、检测元件、增压泵、溢流阀、比例流量阀、数据采集卡及计计算机构成，总体结构图如图 3 所示。水箱主体由 3 个圆柱型玻璃容器(Tank1(T1)、Tank2(T2)和 Tank3(T3))、

1 个储水箱、2 个连通阀门(LV2、LV4)、3 个泄水阀门(XV1、XV3、XV5)、2 个比例电磁阀、2 个增压泵、2 个溢流阀和连接部件组成。实验台工作时，增压泵抽出储水箱内的水，通过两个比例电磁阀注入容器 T1 和 T3，容器内的水再通过 XV1、XV3 和 XV5 排入储水箱，这样就构成了一个封闭的回路。

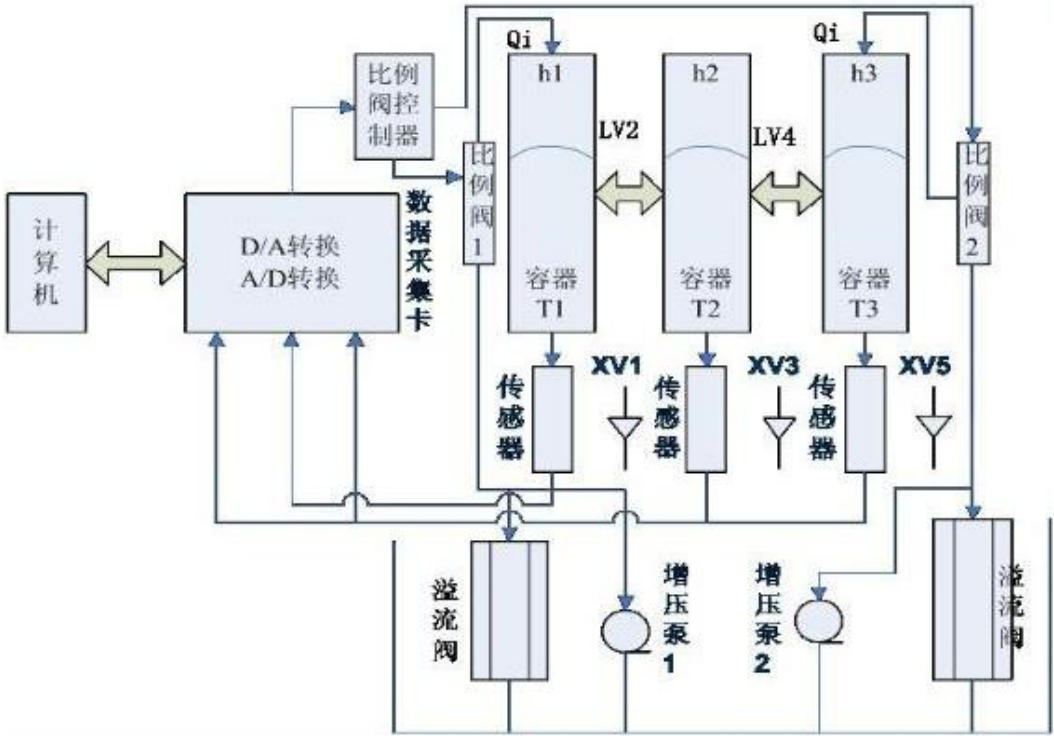


图 3 三容水箱系统总体结构图

通过各阀门开关状态的不同组合，可组成各阶控制对象和不同的控制系统，以下仅对单入单出一阶系统作分析。

### 1.2 三容水箱试验台控制结构的组成

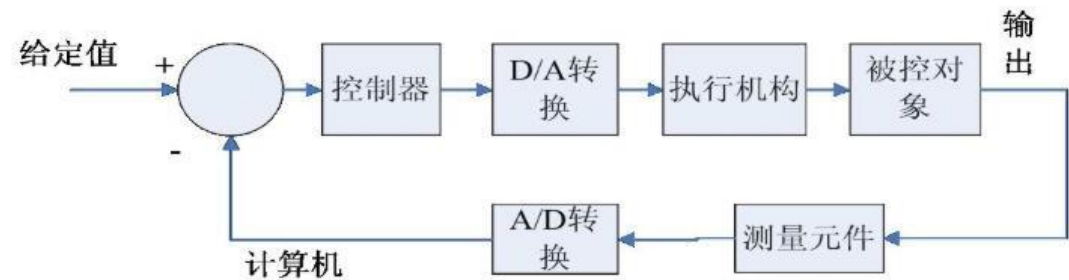


图 4 三容水箱实验系统的控制结构图

三容水箱实验系统的控制结构如图 4 所示，其组成的各个部分简单介绍如下：

- (1) 控制器，由计算机软件实现，主要实现各种控制算法，如增量式 PID 控制算法、模糊 PID 控制算法等；

(2) 执行机构，包括水泵、比例电磁流量阀及其控制器、溢流阀等。比例电磁阀负责向实验台的玻璃容器注水，通过控制比例阀的输入电压可改变其出口流量，进而达到控制容器内液位高度的目的；溢流阀起到保证整个系统压力的安全性作用。

(3) 被控对象为三容水箱，被控量为圆柱型玻璃容器内的液位高度  $h_1$ 。

(4) 测量元件，为三个应变式压力传感器，用来测量各容器内的液位高度值。

(5) A / D、D / A 接口，通过数据采集卡的 A / D 转换功能将把传感器采集的模拟电压信号转换成计算机可识别的数字信号，同时通过此数据采集卡的 D / A 转换功能，将设定的数字电压信号转换成相应的模拟电压信号传送给比例电磁阀，从而调节进水流量，执行各种控制算法。

## 二、三容水箱的数学模型

三容水箱的示意图如图 5 所示。其中  $Q_1$  代表入水量，入水靠水泵打入， $Q_2$  代表水箱 1 的出水量同时也是水箱 2 的入水量， $Q_3$  代表水箱 2 的出水量同时也是水箱 3 的入水量， $Q_4$  代表水箱 3 的出水量， $h_1$  代表水箱 1 的液位高度， $h_2$  代表水箱 2 的液位高度， $h_3$  代表水箱 3 的液位高度。出水管与连通管近似与水箱底面平行，忽略出水量的重力与所受摩擦力。

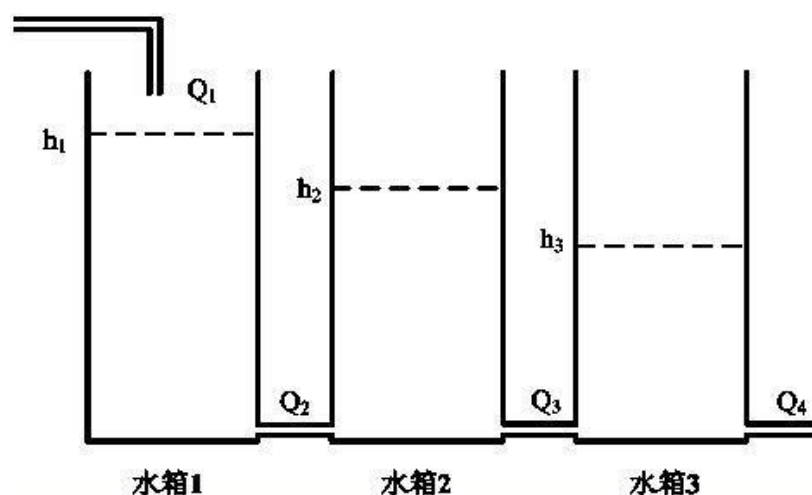


图 5 三容水箱简图

根据托里拆利公式和动态物质平衡关系可以建立串级水箱的模型。若取如下状态

$$x_1 = h_1, x_2 = h_2, x_3 = h_3$$

其中

$x_1$  —— 水箱 1 的液位高度

$x_2$  —— 水箱 2 的液位高度

$x_3$  —— 水箱 3 的液位高度

带入参数得系统状态空间方程如下式所示

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = 29.6432u - 0.0199\sqrt{19.6x_1} \\ \dot{x}_2 = 0.0199\sqrt{19.6(x_1 - x_2)} - 0.0199\sqrt{19.6(x_2 - x_3)} \\ \dot{x}_3 = 0.0199\sqrt{19.6(x_2 - x_3)} - 0.0199\sqrt{19.6x_3} \end{cases}$$

### 三、演示算法：PID

设定水泵输入电压为 10V，根据式(1)建立如图 6 所示的 Simulink 框图，其中 u 代表输入电压，系统模型为 S 函数编写的双容水箱非线性模型。对双容水箱进行比例控制，只调整 PID 模块的比例参数，积分和微分参数皆为零。但这种控制方法只能对两水箱其一进行控制。

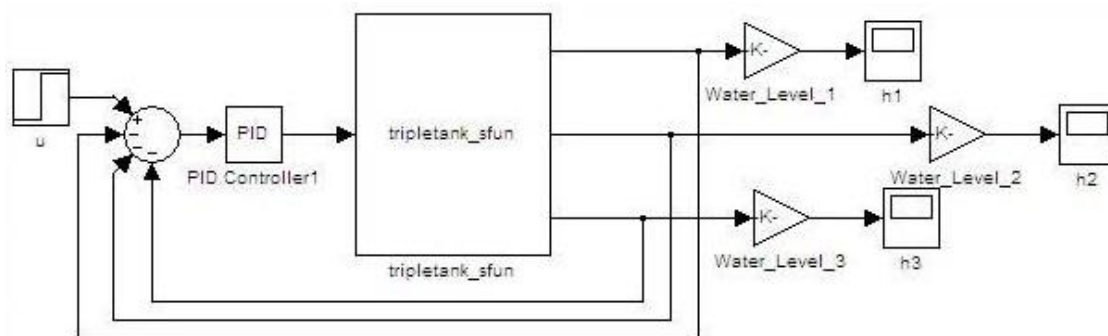


图 6 三容水箱的 Simulink 框图

设定比例控制系数为 1.2 得到水箱 1、水箱 2 和水箱 3 的液位变化图如图 7、图 8 和图 9 所示。

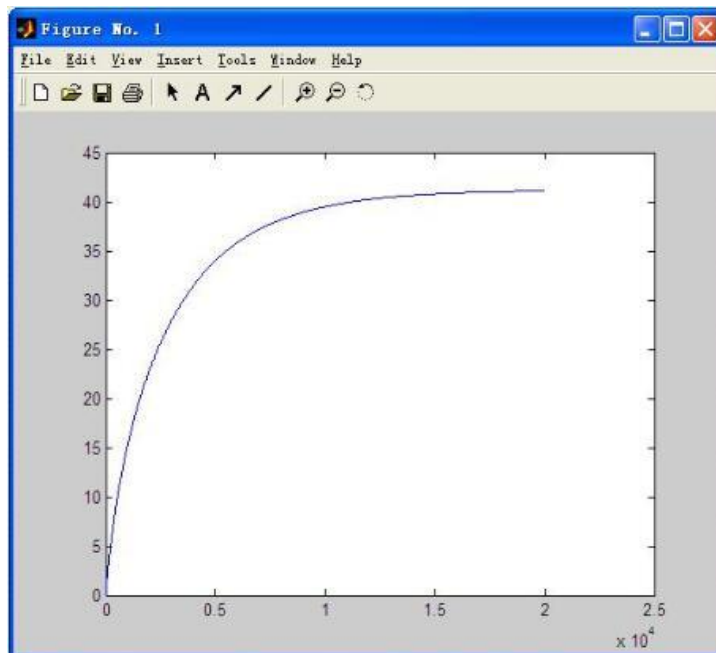


图 7 水箱 1 的液位图

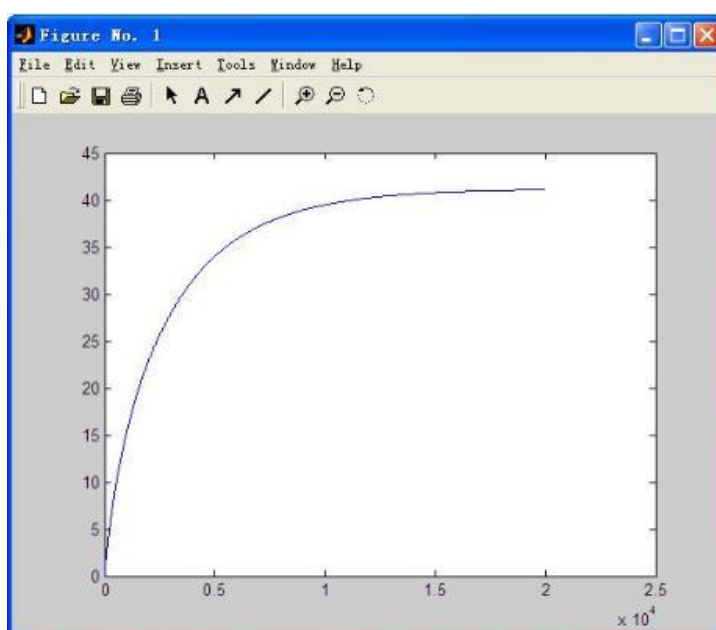


图 8 水箱 2 的液位图

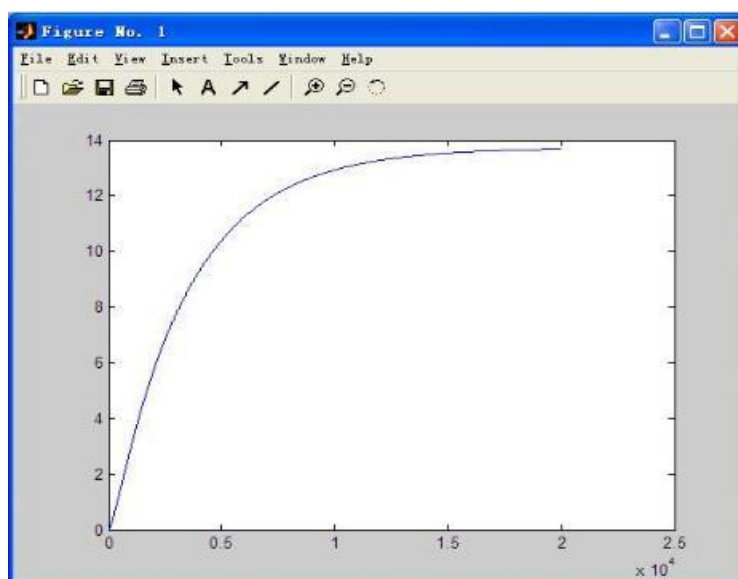


图 9 水箱 3 的液位图