

華東理工大學

典型化工参数现场总线控制系统实验讲义

—基于 Profibus 总线和 PLC 的过程控制实验装置

化工实验教学中心

2024 年 9 月

1、基于 PA 总线和 PLC 的过程控制实验装置介绍

1.1 实验装置中的工艺过程及其控制系统

1.1.1 过程对象及其硬件

化工生产过程中的典型工艺参数是温度、压力、物位和流量，还有成份参数。在化工自动化仪表课程中，学生主要学习化工自动化系统的基础理论、典型参数检测原理、化工过程主要的控制策略、化工过程自动化仪表与系统等理论知识。

为了加深学生对课程理论知识的掌握，有必要开展相关的实验教学。为了在实验环境下模拟典型化工过程工艺参数检测与控制，需要设计工艺模拟装置，并配置自动化仪表和系统。本实验装置对工业生产过程对象进行物理模拟，集自动化仪表技术，计算机技术，通讯技术，自动控制技术为一体，包括流量、压力、温度、液位等热工参数，可实现被控过程参数辨识、单回路控制、串级控制等多种控制形式。

该装置由上中下三个水箱、储水箱、隔套加温圆筒、纯滞后盘管、流体管道等物理设备，以及水泵、气动调节阀、电磁流量计、液位变送器、温度传感器、变频器等动力设备和仪表组成。上位水箱和中位水箱采用 8mm 厚进口淡蓝有机玻璃，透明度好。独特的三槽结构，有效克服水流的动量冲击，使液位检测更精确。储水箱容积达 80 升，满足实验需求，不会导致水箱干涸。水箱内部采用覆塑工艺，整个系统的管道采用铝塑管组成，所有的水阀采用铜质球阀。锅炉为双层结构，实验中可以在外套里进水作为扰动，可以更好的检验方案的控制性能。

1.1.2 实验装置中的控制系统

化工过程的参数检测，传统上采用模拟仪表，典型的是二线制仪表，2 根电线既向仪表供电，同时也传输 4~20mA 电信号给控制器或显示仪表。随着数字化和通信技术的发展，产生了现场总线，即通过完全数字化的方式实现现场仪表与控制系统的通信，这种基于总线的控制系统是传统模拟式信号传输方式的一种革命。在流程工业中，最重要的现场总线标准是 FF（基金会现场总线）和 Profibus-PA。Profibus-PA 是一种国际化、开放式、不依赖于设备生产商的现场总线标准，Profibus-PA 可使传感器和执行器接在一根共用的总线上，可应用于易燃易爆场合。本实验装置就采用这种先进的现场总线方式。

本实验装置配置的 PA 现场总线仪表，和工业现场应用的完全一致，满足石化工业现场的应用要求，包括：

- 1) 变送器具有符合 IEC 61158-2 和 EN 50170 的总线连接
- 2) 本质安全和防火版本，用于爆炸保护场合（Ex 场合）
- 3) 确认性证书符合欧洲准则（CENELEC）
- 4) 数据传输和辅助电源（9 到 32 V）通过总线连接到一起
- 5) 接点隔离（测试电压 500 V AC）

6) 可通过 Profibus-PA (行规 3.0, B 类) 通信

7) 变送器可以使用三个按钮在本地进行参数化, 或从外部通过西门子的 SIMATIC PDM 软件进行配置、管理和诊断。

为了在模拟工艺对象上开展化工自动化有关的实验操作, 实验装置配套了一套化工自动化系统。该系统采用先进的现场总线技术, 以西门子 S7-300 作为控制器, 以西门子公司的 Profibus-PA 总线压力、流量、温度变送器, 以及 PA 总线的气动执行器。所有 PA 总线的现场仪表通过菊花链方式连接, 再通过 DP/PA 耦合器连接到 Profibus-DP 总线上, 从而组成了基于 Profibus 总线的工业控制系统, 系统结构如图 1-1 所示。可以看到 PA 总线上有 1 个电磁流量计、5 个压力变送器、3 个温度变送器和 2 个阀门定位器。在 DP 总线上有 1 台变频器和 1 个舟正科技的数据采集模块。图中设备图标(功能块)左上方的数字表示总线设备在各自总线上的地址。每个总线上的设备地址必须唯一(不同总线地址可以重复)。图的左侧是实验系统的 PLC 的配置, 包括电源模块、CPU 模块、以太网通信模块、DI/DO 模块和 1 个 AO 模块。

该控制系统的 PLC 与实验计算机之间通过以太网连接, 利用西门子的 PLC 编程软件 STEP7 编写控制程序, 并通过 WinCC 编写实验操作的可视化图形界面, 通过该界面进行实验操作。

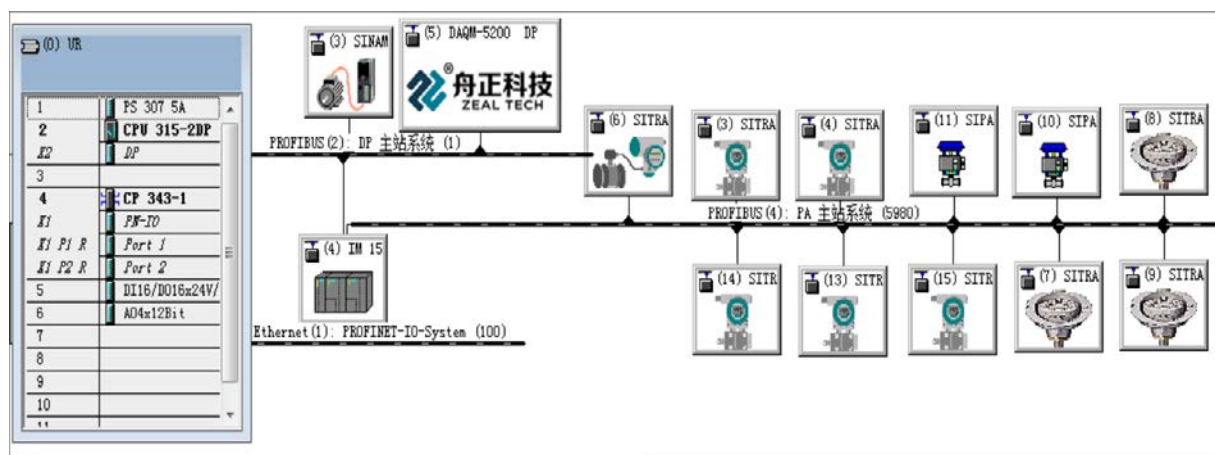


图 1-1 实验装置配套的自动化系统结构图

1.2 实验装置主要检测仪表与执行器

1.2.1 主要检测仪表

实验装置中主要使用了进行液位测量的压力变送器、进行流量测量的电磁流量计、进行温度测量的热电阻和温度变送器等。

(1) 压力变送器

由于液位变化很小 (0~270mm), 为了精准测量该小量程液位, 采用了西门子 SITRANS PDSIII 差压变送器进行液位测量, 如图 1-2 所示。该系列提供了最高的测量精度, 坚固耐用并且易于操作, 符合过程工业的标准和国际要求。变送器带有取压法兰,

用于开口容器和封密容器内非腐蚀性和腐蚀性液体的液位测量。测量适用范围 2.5kPa (25mbar) 到 500kPa (5bar)。测量开口容器液位时，变送器低压侧通大气（测量以大气压为参考压力）。输出信号为直流 4~20mA。

变送器在使用时，若水箱干涸，空气会流入压力变送器的取压软管，造成压力测量偏差。为此，需要卸下传感器测的软管，排空空气。



图 1-2 实验装置中用于液位测量的压力变送器

(2) 电磁流量计

实验装置中有 2 台电磁流量计，一台是西门子的 SITRANS FM InterMag2，如图 1-3 所示。另外一台是非总线的国产电磁流量计（原有的西门子电磁流量计损坏后替换的）。SITRANS FM InterMag2 是带有 16 位微处理器的信号快速处理系统，配置了 Profibus-PA 通信接口，量程为 $0\sim 2\text{ m}^3/\text{h}$ 。由于电磁流量计要进行励磁，因此，需要外接 220V AC 电源。通过 PA 总线与控制器通信。



图 1-3 实验装置中用于流量测量的电磁变送器

(3) 温度变送器

温度变送器同样采用的是西门子 SITRANS T3K，如图 1-4 所示。它将来自热电阻、电阻式传感器、热电偶和电压传感器的信号转换成数字信号。传感器、极限值、故障响应等都是可编程的。SITRANS T3K 还配置了 Profibus-PA 通讯接口，可对传感器、量程及更多的信息进行编程。用于测温的传感器是 Pt100 热电阻。热电阻与变送器采用三线制连接。



图 1-4 实验装置中用于温度测量的温度变送器

1.2.2 智能阀门定位器和可控硅

由于气动执行器有结构简单，输出推力大，动作平稳可靠，本质安全防爆等优点，因此气动薄膜控制阀在化工、炼油生产中获得了广泛的应用。实验装置中的气动执行器的执行机构和调节机构是统一的整体，执行机构为薄膜式，可直接带动阀杆。气动薄膜控制阀的外型和内部结构如图 1-5 所示。

阀门定位器是气动控制阀的主要附件，它与气动控制阀配套使用。阀门定位器接受控制器输出信号，然后将控制器的输出信号成比例地输出到执行机构，当阀杆移动以后，其位移量又通过机械装置负反馈作用于阀门定位器，因此它与执行机构组成一个闭环系统。采用阀门定位器，能够增加执行机构的输出功率，改善控制阀性能。

实验对象中的阀门的流量特性为等百分比特性。执行机构调节阀采用的是西门子智能阀门定位器 SIPART PS2 系列，是当前过程工业中最广泛使用的用于直行程和角行程执行机构的定位器。行程范围：3-200mm，转角范围：30°-100°，环境温度：-30℃+80℃。其主要技术特点有：



图 1-5 实验装置中使用的气动薄膜调节阀及西门子阀门定位器

- (1) 标准 Macrolon 外壳，IP66/ NEMA 4x 保护等级，可选的铝或不锈钢外壳
- (2) 带外部非接触位置传感器的型号
- (3) 3-200mm 行程范围的高灵活性
- (4) 通过 Profibus、FF、HART 的通讯

(5) 智能诊断功能

(6) EEx d 隔爆型

此外，实验装置中还使用了电磁阀和可控硅等执行元件。可控硅主要是用于锅炉对象的温度控制。可控硅具有移相触发单元，输入控制信号为 4~20mA 标准电流信号，其移相触发角与输入控制电流成正比。输出交流电压来控制加热器的端电压，从而控制锅炉的温度。输入 4mA 电流时，加热器端电压为 0V，输入 20mA 电流时，加热器端电压为 220V。

电磁阀主要更加实验操作需要进行管道流体通断控制。电磁阀工作电源为 24V。

1.2.3 西门子 G120 变频器

实验装置中采用磁力泵把储水箱中的水送到不同水箱。为磁力泵配置了西门子 SINAMICS G120 变频器，如图 1-6 所示。这一种模块化变频器，功率范围宽，0.55 kW ~ 250 kW，可确保始终能够组合出一种满足要求的理想变频器。本装置中功率是 0.75KW，工作电源是交流 200 V，配置了 Profibus-DP 通信接口与 PLC 通信。



图 1-6 实验装置中使用的 G120 变频器

1.3 实验装置中的控制器与编程软件

1.3.1 西门子 S7-300 可编程控制器

本实验装置中采用了可编程控制器 (PLC) 作为主控单元对整个实验装置进行控制。PLC 采用一类可编程的存储器，用于其内部存储程序，执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数与算术操作等面向用户的指令，并通过数字或模拟式输入/输出控制各种类型的机械或生产过程。它的实质是专门用于工业控制的计算机，由电源、CPU、存储器、输入输出接口电路、功能模块和通信模块组成。当可编程逻辑控制器运行后，工作过程一般分为三个阶段，即输入采样、用户程序执行和输出刷新。这三个阶段称作一个周期。

实验系统配置的是西门子公司 S7-300 系列 PLC，该系列产品具有模块化结构、易于实现分布式的配置，电磁兼容性强、抗震动冲击性能好，使其在广泛的工业控制领域中，成为一种既经济又切合实际的解决方案。S7-300 PLC 是模拟式中型 PLC，电源、

CPU 和其他模块都是独立的，CPU 的右边是可以选择的 IM 接口模块，如果只用主架导轨而没有使用扩展支架可以不选择 IM 接口模块。图 1-7 是安装在机柜中的 PLC 控制硬件。



图 1-7 实验装置中使用的 PLC

本实验装置中，测量仪表都是总线型仪表，通过 Profibus-PA 与 PLC 进行数据传输，而可控硅的控制信号则是通过 S7-300 的 AO 模块接收的，另外控制水泵的变频器是通过 Profibus-DP 总线与 S7-300 通讯的，DP 总线上还需挂接一个 DP/PA 耦合器来连接一下 Profibus-PA 和 Profibus-DP 总线。图 1-7 中，从左至右的模块分别是电源模块、CPU 模块、以太网模块、DI/DO 混合模块和 AO 模块。其中 DI/DO 混合模块用于实现对电磁阀等开关量输出设备的控制。配 CP343-1 模块是用于以太网通信。CPU 模块型号为 315-2DP，内置了西门子专用的 SD 卡。电源模块为 PLC 系统提供 24V 直流电源。外部电磁阀等负载的控制另外独立配置开关电源。

1.3.2 西门子 STEP7 编程软件与 WinCC 组态软件

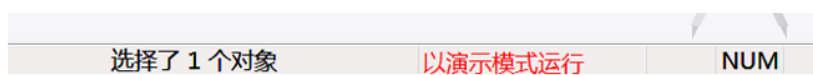
本实验装置的 PLC 编程采用了 STEP7 软件，可以用于对西门子 S7-300 等系列的 PLC 进行硬件配置和参数设置、通讯组态、编程、测试、启动和维护、文件建档、运行和诊断功能，是 SIMATIC 工业软件的重要组成部分。该软件与 PLC 通过以太网进行通信。

实验操作界面采用西门子 SIMATIC WinCC(Windows Control Center)进行二次开发。WinCC 是西门子公司开发的一款人机界面 (HMI) 组态软件，广泛应用于工业自动化和过程控制领域。它允许用户创建和设计用于监控和控制工业过程的图形界面。WinCC 集成了数据记录、报警管理、趋势分析、报表生成等多种功能，通过直观的界面和强大的功能，帮助工程师和操作员高效地管理工业自动化系统。

1.4 实验系统操作界面概述

(1) 实验系统软件运行

双击桌面“WinCC”，软件运行后，若在窗口的右下方出现如下的提示，则关闭软件，重新启动。



软件启动后，会进入图 1-8 所示的界面。



图 1-8 实验系统首页

点击图 1-8 中的“进入实验”按钮，则出现图 1-9 所示的窗口。

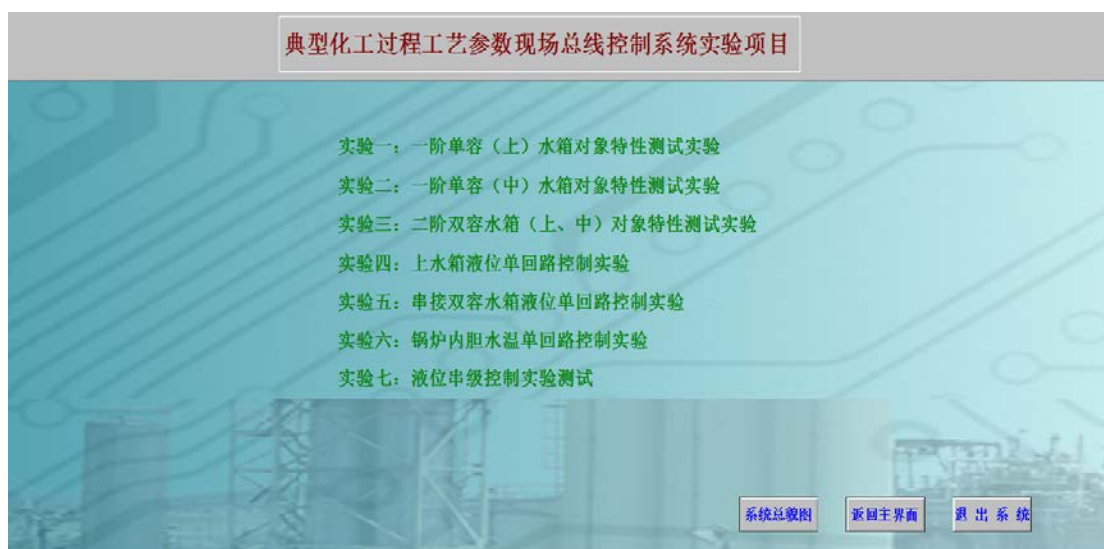


图 1-9 实验选择窗口

(2) 实验系统总貌说明

点击图中的“系统总貌图”，会出现如图 1-10 所示的系统总貌窗口。该窗口显示了总的工艺流程、所有的测控点。

1) 可以对任意的电磁阀进行手动控制，如图中①处所示的设备测试。DV5 被手动打开了，所以显示绿色，且按钮的文字也变成了“关闭”，见②。同时在④处可以看到，管路上的 DV5 也显示绿色。④右侧的箭头边框也进行动画显示，表示该管路阀门打开，可以进水。

2) 磁力泵的控制。图中③处磁力泵已开，所以按钮的文字变成了“停止”。如果磁力泵在停止状态，则按钮文字是“启动”。

3) 电热棒控制，见⑤。锅炉内胆装有 1KW 的电热棒。可以启动电热棒进行内胆水加热（要确保内胆有水）。若工作正常，可以看到内胆水温在上升。

4) 循环泵控制，见⑥。循环泵的作用是实现锅炉内胆水的循环。启动后，循环泵上有绿色圆显示。

5) 气动薄膜调节阀控制，见⑦。这里可以设定 2 个阀门的开度，可以看到左侧管路中的阀门开度也随之变化。要确保气泵工作，气路压力符合要求（0.4~1.0MPa）。若气源压力不正常，则实际开度小于设定开度，且 PLC 的 CPU 模块上第一个 LED 灯变红，DP/PA 耦合器上的第一个 LED 灯也变红。

图中，气动薄膜调节阀 1 开度在 79.9（设定为 80），可见工作正常，由于磁力泵已开，所以中水箱此时在进水。

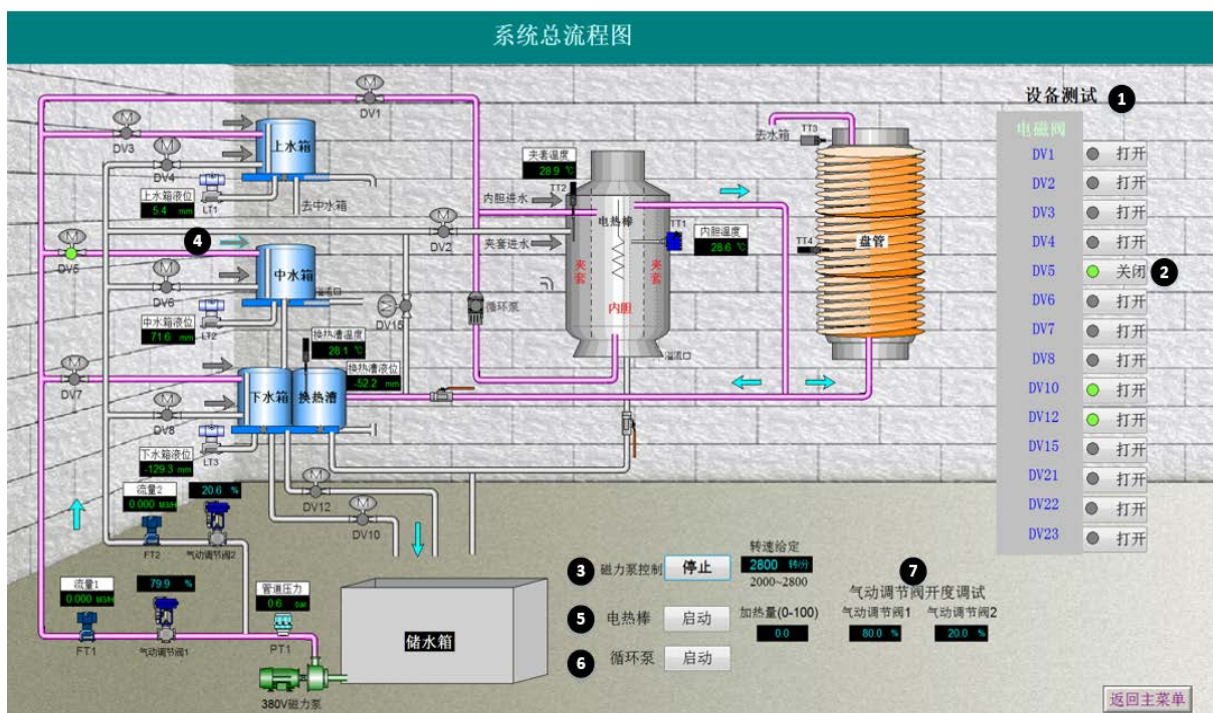


图 1-10 系统总貌窗口

后续所有的实验都是该流程的一部分，其操作原理及状态显示都和该界面的说明一致。

在进入后续实验之前，学生需要通过该界面的操作，熟练了解该实验的工作原理和基本的控制方法。能熟练在该界面完成任意水箱（上、中、下）进水，管路阀门切换；锅炉内胆进水、夹套进水等操作；明确每个设备的工作原理和实验注意实现、异常处理。确保实验设备和人身安全。

2、实验一：一阶单容（上）水箱对象特性测试实验

2.1 实验中涉及的理论知识——一阶对象特性模型

化工过程控制中，了解被控对象特性对于控制系统设计和控制器参数整定有重要意义。了解被控对象特性的有效反复就是建立化工过程的动态数学模型。求取化工过程动态数学模型有两类途径，一是依据过程内在机理来推导，这就是化工过程动态学的方法，二是依据外部输入输出数据来求取，这就是过程辨识和参数估计的方法。当然，也可以把两者结合起来。以实验装置中的水箱液位动态数学模型建模为例加以说明。

图 2-1 是液位过程的示意图。液体经容器上部阀 1 流入贮槽，并经底部阀 2 流出，其流量分别为 q_1 和 q_2 。当 $h = h_0$ 时， $q_1 = q_2 = q_0$ 下标“0”表示过程原有的稳定状态。设 $t=0$ 时阀 1 的开度突然增大，输入量流量增加 Δq_1 ，这时由于 $q_1 > q_2$ ，必将导致输出量液位 h 上升，从而使流出量 q_2 也相应增加。我们可对贮槽列出物料平衡方程，得出输出量液位 h 与输入量 q_1 之间的关系：

$$\frac{dM}{dt} = q_1 - q_2 \quad (2-1)$$

式中， M 为贮槽的储液量，若贮槽的横截面 A 不变，则有 $M=Ah$ ； t 为时间； q_1 为单位时间内液体的流入量， $q_1 = q_0 + \Delta q_1$ （单位阶跃变化幅度）； q_2 为单位时间内的流出量 $q_2 = q_0 + \Delta q_2$ （变化而引起的增量）。

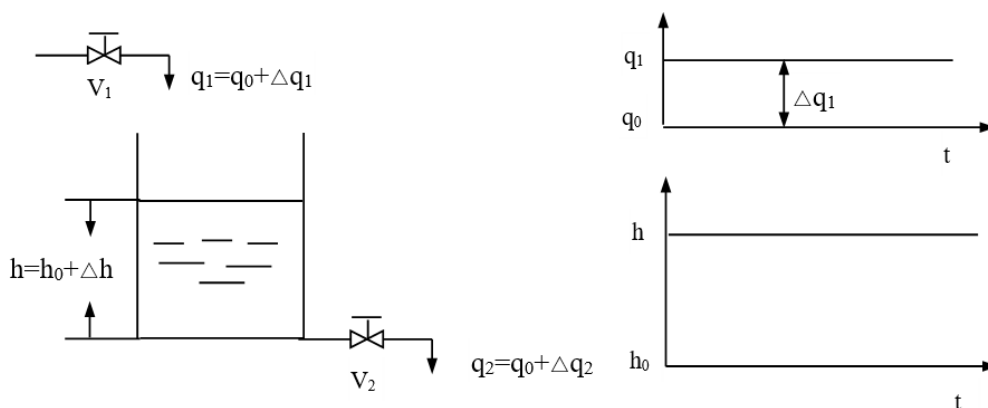


图 2-1 水箱液位过程

上式的物理意义是贮槽储液量的变化率为液体流入量与流出量之差。从而得

$$\frac{d\Delta M}{dt} = A \frac{d\Delta h}{dt} = \Delta q_1 - \Delta q_2 \quad (2-2)$$

若液位 h 和流量 q_2 的变化量都很小，可以近似地认为 q_2 与 h 成正比，与出口阀的阻力 R 成反比，即

$$\Delta q_2 = \Delta h / R$$

将 Δq_2 代入式(2-2)，得

$$A \frac{d\Delta h}{dt} = \Delta q_1 - \frac{\Delta h}{R}$$

移项整理得

$$RA \frac{d\Delta h}{dt} + \Delta h = \Delta q_1$$

令 $T=RA$ ，称为液位过程的时间常数；

$K=R$ ，称为液位过程的放大系数。

则得

$$T \frac{d\Delta h}{dt} + \Delta h = K \Delta q_1 \quad (2-3)$$

式(2-3)就是用来描述液位过程动态特性的数学表达式，它是一个一阶常系数线性微分方程。

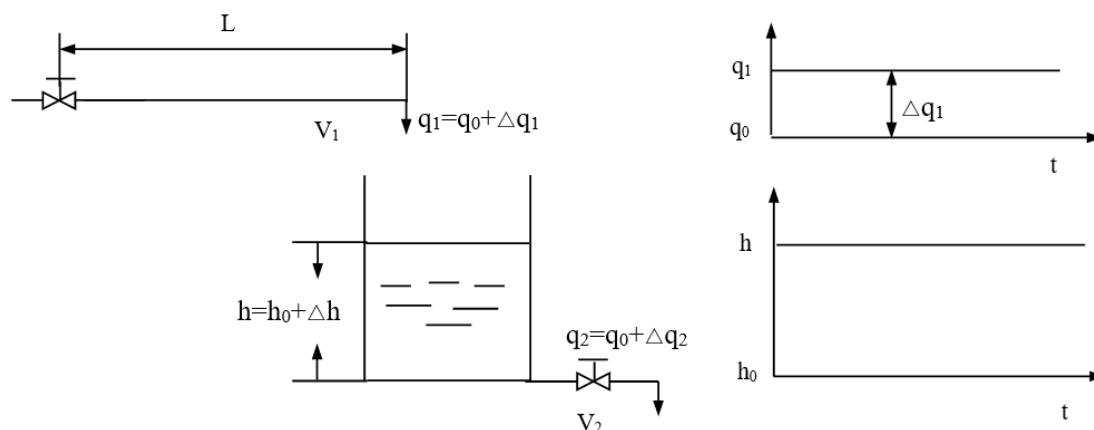


图 2-2 具有纯滞后的水箱液位过程

如果通道存在纯滞后，如图 2-2 所示。进水阀开度改变后， q_1 需要过 τ_0 时间流经长度为 L 的管道才进入贮槽，使液位 h 发生变化。该过程的方程式为

$$T \frac{d\Delta h}{dt} + \Delta h = K \Delta q_1(t - \tau_0) \quad (2-4)$$

可见 h 经过 τ_0 时间后才对输入信号 (Δq_1) 有响应。

除了可以采用上述机理方法建模外,还可以采用实验方式来建模。这种方式在实际应用中更加常见,因为许多对象的机理不清楚,参数不可获得。本实验就是通过实验方法来获得对象模型,主要是对象的时间常数和放大倍数。

2.2 实验原理及要求

- (1) 了解过程特性测试的原理,掌握什么是过程特性?为什么要获得过程特性?
- (2) 掌握过程特性计算机测试方法。
- (3) 掌握一阶对象特性阶跃扰动法

阶跃扰动法又称为反应曲线法。当过程处于稳定状态时,在过程的输入端施加一个幅度已知的阶跃扰动,测量和记录过程输出变量的数值,即可画出输出变量随时间变化的反应曲线。根据响应曲线,再经过处理,就能得到过程特性参数。图 2-3 即为根据响应曲线求取过程特性的方法。采用该方法,求得三个参数,放大倍数 K , 时间常数 T 和纯滞后 τ 。

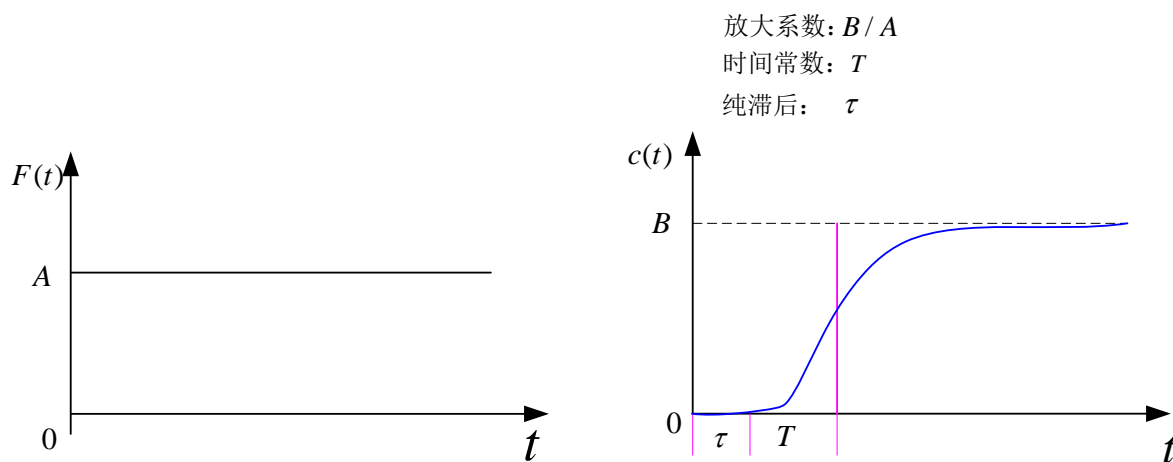


图 2-3 阶跃扰动法求过程特性

2.3 实验内容和步骤

进行本实验前,先调节上水箱出水挡板的高度比水箱外框低 2~3mm。

(1) 点击图 1-9 中的“实验 1: 一阶单容(上)水箱对象特性测试实验”按钮,弹出如图 2-4 所示的窗口。

其中实验窗口中实验步骤显示如图 2-5 所示,“设置调节阀开度”按钮背景为绿色,

表示目前实验操作处于这一步，需要检查或设置调节阀开度。设置好后，点击该按钮（这个动作不能少），表示本步操作完成，可以进入下一步；这时实验进程会到后续一步，“开电磁阀”按钮背景会变成绿色。

实验操作步骤中，按钮字体为红色的表示点击鼠标后，要对实验设备进行操作（比如开某个电磁阀），且这种操作由系统自动完成。字体为黑色按钮表示实验中要用户操作，或用户等待的，且等待中要进行一定操作。比如后续的控制实验，要用学生根据动态曲线调节控制参数。

(2) 按照实验操作提示，首先设置调节阀开度。该实验使用了气动薄膜调节阀 2 进行实验。建议开度设置在 75~80 之间。

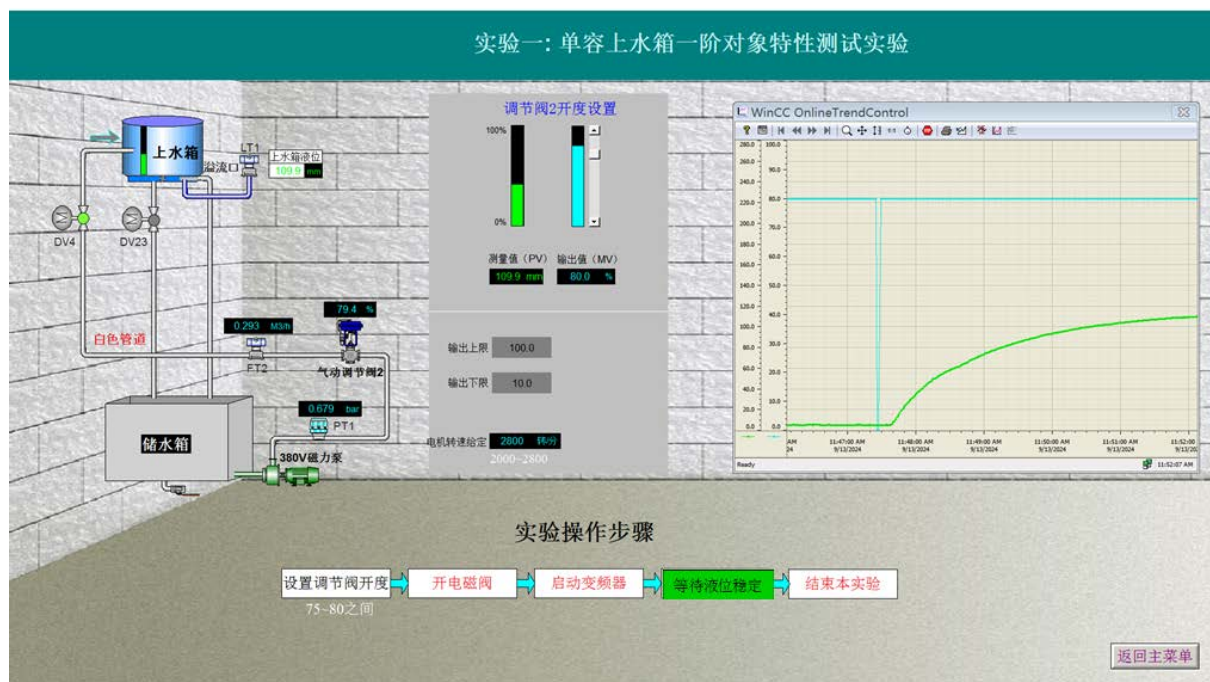


图 2-4 一阶单容（上）水箱对象特性测试实验

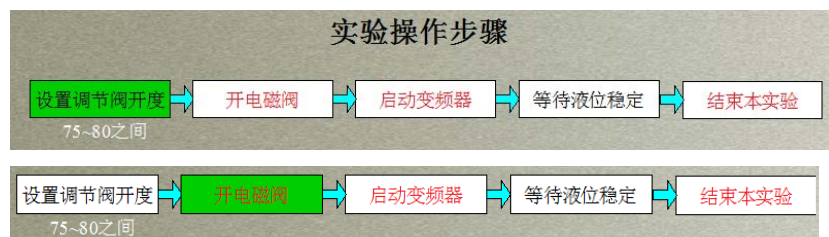


图 2-5 实验操作过程状态显示

(3) 点击“开电磁阀”，系统会自动打开 DV4。然后点击“启动变频器”，则上水箱开始进水。这时请记住趋势曲线上实验开始的大概时间。

(4) 待液位稳定在某一数值后，点击“结束本实验”按钮关闭泵和电磁阀，结束试验。

图 2-4 中，最左侧的纵坐标是对应液位的，范围是 0~280。第 2 个纵坐标是 0~100，

对应气动薄膜调节阀 2 开度设定。

提示：实验结束后，为了能在趋势曲线上查看完整的实验曲线，可以点击图 2-6 趋势曲线工具条上的①处，弹出控件属性对话框，点击②处，初始时间轴属性设置窗口，在③处设置实验大概的开始时间，在④处填写一个时间（根据实验中的操作估计一个时间长度，不合适还可以修改）。设置完成后，可以看到实验数据都在曲线中显示。

2.4 归档数据导出操作方法

这里以实验一为例加以说明。首先，要确保 WinCC 实验系统是在运行状态。导出的数据可以是刚刚完成的实验数据，也可以是以往的实验数据。只要进行过实验，数据都保存在数据库中，随时可以导出。在导出数据前，请先按照上节提示的操作做一下，即确保实验数据都显示在趋势曲线窗口中。

在图 2-4 所示的实验页面中的“WinCC OnlineTrendControl”控件中选择①下的“Export Data”图标。会弹出如图 2-7 中的“Export Data”窗口，在②处填写数据文件名，在③选择数据文件保存的目录，在④处选“1-Selecion”。然后点击⑤处，会弹出“CSV”窗口，按照图中的设置进行选择。最后点确定退出，则会在指定的目录下按照指定的文件名生成 EXCEL 文件，见图 2-8 所示。

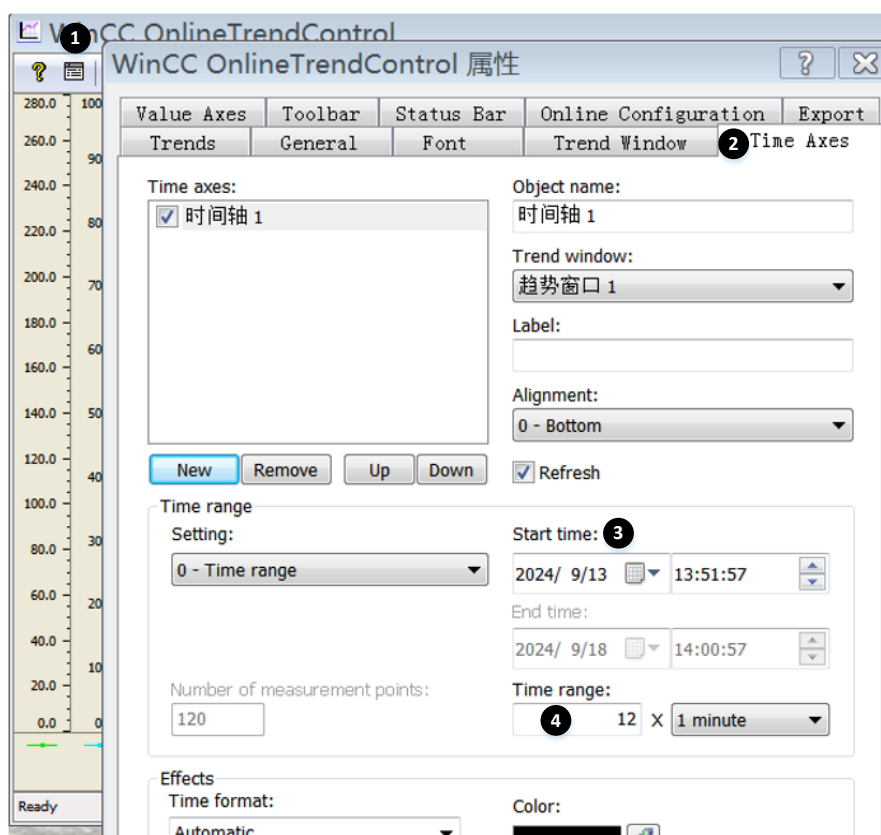


图 2-6 设置趋势曲线的时间轴长度

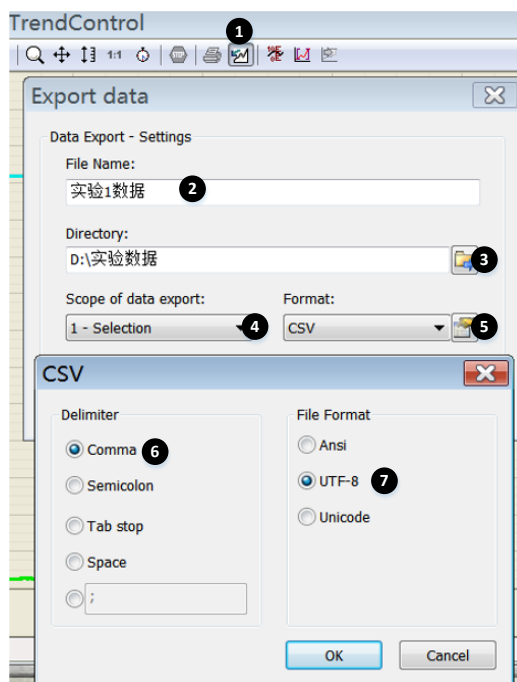


图 2-7 实验数据导出设置界面

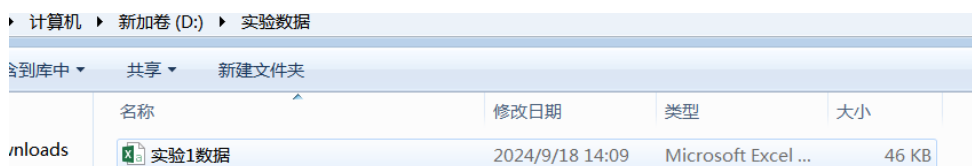


图 2-8 导出的实验数据文件

双击“实验 1 数据”，就打开了实验数据 EXCEL 文件，只需要调整一下列宽就可以查看完整数据，如图 2-9 所示。

| | A | B | C | D |
|----|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| 1 | 上水箱液位 Time | 上水箱液位 ValueY | 调节阀开度 Time | 调节阀开度 ValueY |
| 2 | 9/13/2024 11:47:25 AM | 5.016792297 | 9/13/2024 11:47:25 AM | 80 |
| 3 | 9/13/2024 11:47:26 AM | 5.041442871 | 9/13/2024 11:47:26 AM | 0 |
| 4 | 9/13/2024 11:47:27 AM | 5.051300049 | 9/13/2024 11:47:27 AM | 0 |
| 5 | 9/13/2024 11:47:28 AM | 5.01556015 | 9/13/2024 11:47:28 AM | 0 |
| 6 | 9/13/2024 11:47:29 AM | 5.083343506 | 9/13/2024 11:47:29 AM | 80 |
| 7 | 9/13/2024 11:47:30 AM | 5.04637146 | 9/13/2024 11:47:30 AM | 80 |
| 8 | 9/13/2024 11:47:31 AM | 5.074714661 | 9/13/2024 11:47:31 AM | 80 |
| 9 | 9/13/2024 11:47:32 AM | 5.159751892 | 9/13/2024 11:47:32 AM | 80 |
| 10 | 9/13/2024 11:47:33 AM | 5.180702209 | 9/13/2024 11:47:33 AM | 80 |
| 11 | 9/13/2024 11:47:34 AM | 5.221370697 | 9/13/2024 11:47:34 AM | 80 |
| 12 | 9/13/2024 11:47:35 AM | 5.148658752 | 9/13/2024 11:47:35 AM | 80 |
| 13 | 9/13/2024 11:47:36 AM | 5.107990265 | 9/13/2024 11:47:36 AM | 80 |
| 14 | 9/13/2024 11:47:37 AM | 5.010631561 | 9/13/2024 11:47:37 AM | 80 |
| 15 | 9/13/2024 11:47:38 AM | 5.390205383 | 9/13/2024 11:47:38 AM | 80 |

图 2-9 导出到 EXCEL 文件中的实验数据

导出的 EXCEL 数据很难保证第一条记录就是实验开始时的数据，从数据特征可以发现，开始实验前，阀门开度是 0，开始实验后，阀门开度就是设置的开度，本实验中设置的是 80，因此，可以找到实验开始时刻。

需要说明的是，所有实验数据的导出方法都是一致的，后续实验内容中就不再阐述

这部分内容了。

2.5 实验数据处理

如图 2-9 所示的数据文件中，A 列是实验时间，B 列是上水箱液位，D 列是阀门开度。可以利用一阶对象特性阶跃扰动法测试方法，求取上水箱的过程特性。

学生可以根据上述实验数据，思考水箱出水挡板开度大小与气动调节阀开度的关系，从而能对水箱特性进行测试。并比较不同实验时对象的特性。例如，在水箱容积不变的情况下，出水挡板开度与对象的特性的关系等。

通过对该实验结果的分析，判断实验结果是否与 2.1 节的理论相符。

实验思考：当水箱的出水挡板开度和容积一定时，在进行对象特性测试时，若气动阀门开度不同，得到的水箱过程特性是否不同？

2.6 实验要点

本实验中的水箱对象是自衡过程。其出水量由水箱后面的开孔大小决定（实际相当于公式 2-2 中的 R ，孔越大， R 越小）。若孔开的过大，进水量小于出水量，水箱液位无法升高。若孔开的过小，则进水量大于出水量，可能导致水箱液位到最大值时还没达到“自衡”状态。在这两种情况下，与液位有关的实验都无法开展。经过实验测试，发现当上水箱出水挡板顶部比水箱后边的高度低 2~3mm，且气动薄膜调节阀开度在 80% 时，上水箱液位可以稳定在 120~140mm 左右。

3、实验二：一阶单容（中）水箱对象特性测试实验

3.1 实验界面

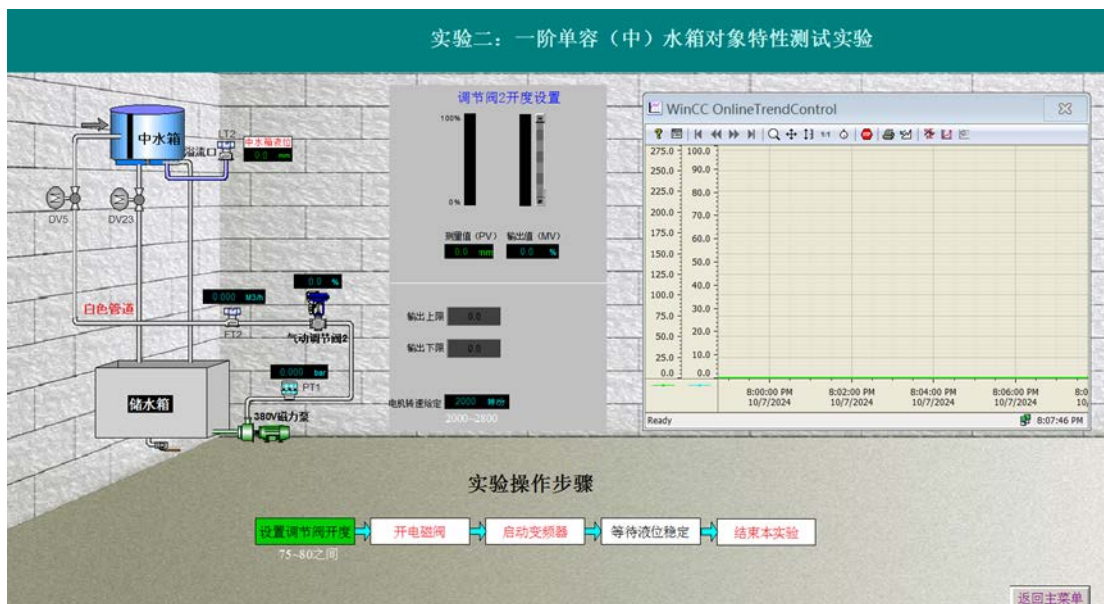


图 3-1 一阶单容（中）水箱对象特性测试实验

该实验界面如图 3-1 所示。其实验过程和实验一完全相同。

3.2 实验说明

该实验的目的是通过测试得到中水箱的对象特性，并结合实验一的结果来验证实验三的双容对象特性。

4、实验三：双容水箱对象特性测试实验

4.1 实验中涉及的理论知识—二阶对象特性阶跃扰动法测试原理

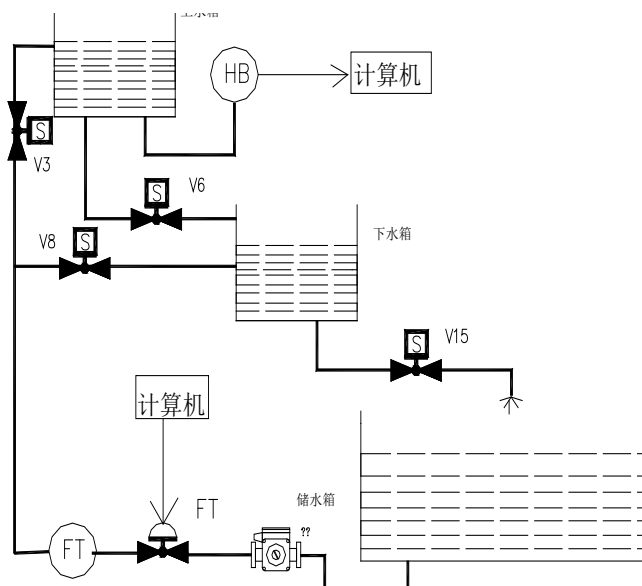


图 4-1 阶跃扰动法求过程特性

若将实验一与实验二中两个一阶对象串联，则串联后的对象就成为二阶对象，如图 4-1 所示。本实验中，被测对象由两个水箱（可以通过调节出水口开度及水箱容积使得两者的特性不同）串联组成，故称其为双容对象。双容水箱数学模型是两个单容水箱数学模型的乘积，即双容水箱的数学模型可用一个二阶惯性环节来描述：

$$G(s) = G_1(s) * G_2(s) = \frac{K}{(T_1s+1)(T_2s+1)} e^{-\tau s} \quad (\text{式 4-1})$$

式中 $K=k_1*k_2$ ，为双容水箱的放大系数， T_1 、 T_2 分别为两个水箱的时间常数， τ 为滞后常数。通过实验法进行水箱数学模型测试，本试验中的被测量为中水箱的液位，当上水箱输入量有一个阶跃增量变化时，上水箱液位的响应曲线为图 4-2a 所示，是单调上升的指数曲线，而中水箱液位的响应曲线则呈如图 4-2b 所示的曲线，即水箱的液位响应滞后了。可通过试验测量确定出具体的 K 、 T 、 τ 的值。

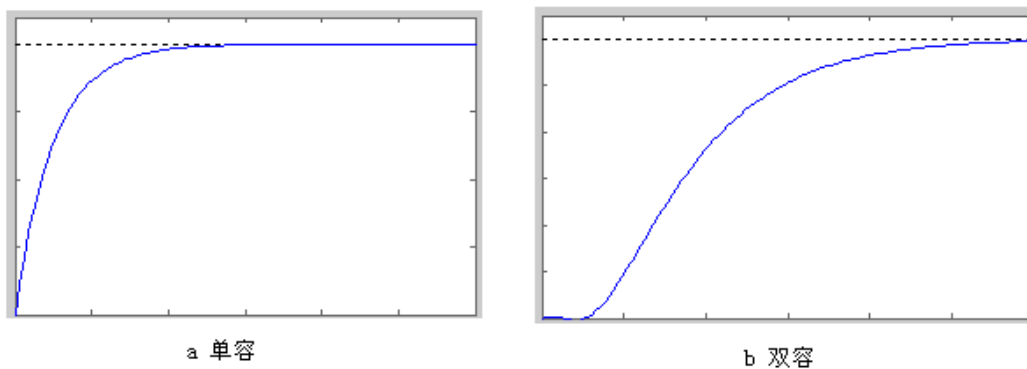


图 4-2 单容与双容水箱液位对象特性

4.2 实验内容与要求

- 1、了解二阶过程特性测试的原理。并掌握其与一阶过程特性的不同。
- 2、掌握过程特性计算机测试方法。

4.3 实验内容和步骤

进行本实验前，先调节上水箱出水挡板的高度比水箱外框低 2mm，中水箱出水挡板的高度比外框低 1~2mm。今后做也可以改成 2mm。

(1) 点击图 1-9 中的“实验三：二阶双容水箱对象特性测试实验”按钮，弹出如图 4-3 所示的窗口。

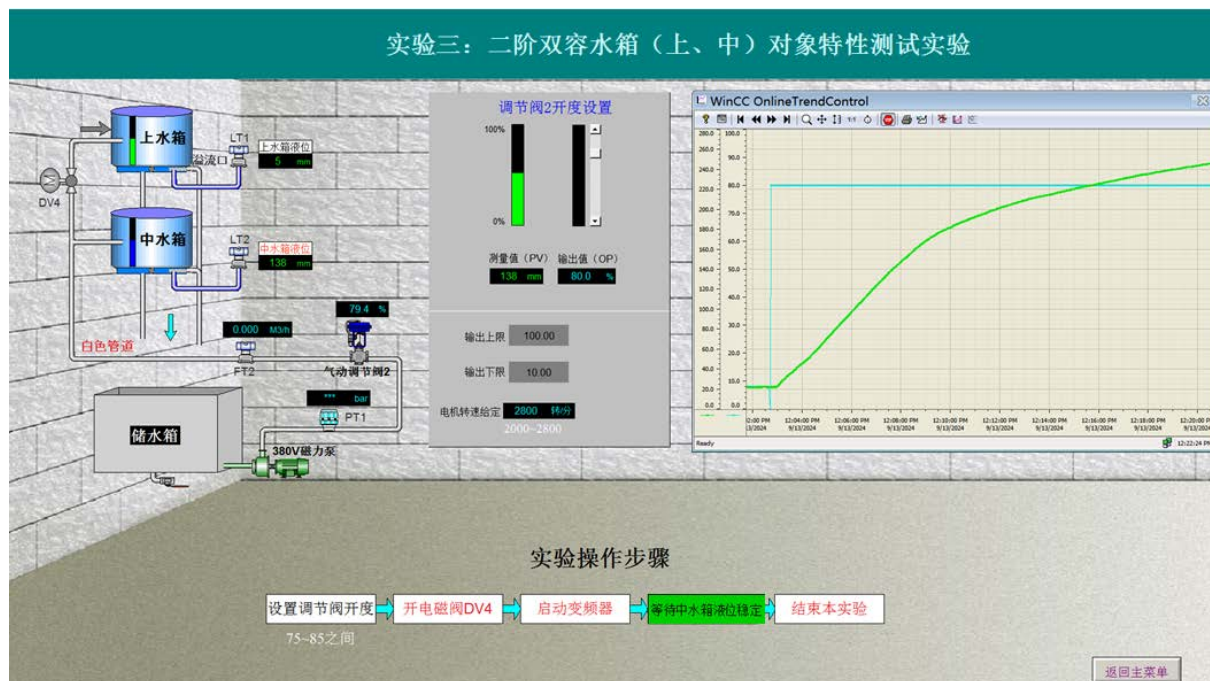


图 4-3 二阶双容水箱液位对象特性

(2) 按照实验操作提示，首先设置调节阀开度。该实验使用了气动薄膜调节阀 2

进行实验。建议开度设置在 75~80 之间。实验操作提示中，红色的按钮表示都要点击鼠标的。黑色的文字提示操作中要完成的事情。

这里要注意的是调节阀 2 开度设置中的数值是期望的阀门开度，左侧流程图中的开度是现场调节阀实际开度（通过 PA 通信从阀门定位器中读回来的值），正常工作时两者相差很小，若两者相差较大，则很可能是仪表气源问题（如气源压力低）。

（3）点击“开电磁阀”，系统会自动打开 DV4。然后点击“启动变频器”，则上水箱开始进水。这时请记住趋势曲线上实验开始的大概时间。需要注意的是，这时我们观察的重点是中间水箱的液位变化，而不是上水箱的液位变化。

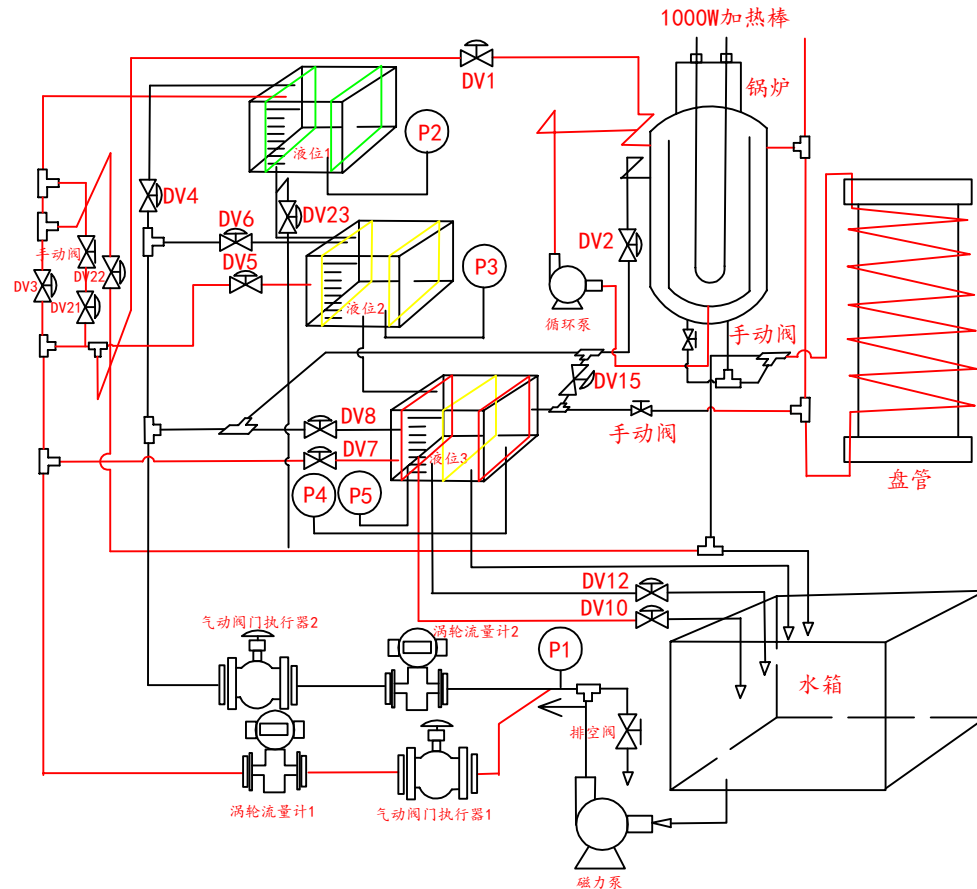
（4）待液位稳定在某一数值后，点击“结束本实验”按钮关闭泵和电磁阀，结束试验。

4.4 实验数据导出与数据处理

根据下载的数据，利用 4.1 中介绍的方法，求取双容水箱的二阶过程特性。并与实验一的结果进行比较。

根据实验一与实验二这 2 个个结果来分析实验三的结果是否与理论分析的（式 4-1）一致，若不一致，试分析造成实验误差的原因。

液位和温度西门子PLC控制流程图纸



技术参数

- 1、主体设备有1个水位槽、2个水位槽、3个水位槽、小锅炉、水箱和盘管等构成。铝合金框架尺寸：长*宽*高2000*400*1900mm。
- 2、电器设备由370W磁力泵、锅炉夹套循环泵、压力表、涡轮流量计、电磁阀、气动阀门执行器、Pt100热电阻、变频器和西门子PLC组成。
- 3、设备控制界面用MCGS组态软件编辑。
- 4、设备可进行电机频率和磁力泵出口压力的比例、积分和响应时间的控制；可进行流量和阀门执行器间的PID调节控制；可进行液位干扰引入的控制；也可以对小锅炉温度进行PID控制等实验的操作。