

过程控制工程实验

长安大学

自动化与交通控制工程实验教学中心

实验内容：

实验1：水箱液位串级控制系统

实验2：盘管出水口温度纯滞后控制系统

实验3：锅炉内胆水温的前馈-反馈控制系统

实验4：双容水箱液位定值控制系统实验

实验5：FCS锅炉内胆水温的前馈-反馈控制系统



实验准备和实验装置的熟悉

- 一、TkJ-2型高级过程控制系统实验装置。
- 二、系统软件**MCGS**

一、TKJ-2型高级过程控制系统装置

1.1 系统简介

“Tkj-2型高级过程控制系统实验装置”是基于工业过程的物理模拟对象，它集自动化仪表技术，计算机技术，通讯技术，自动控制技术为一体的多功能实验装置，该装置是本企业根据自动化及其它相关专业教学的特点，吸收了国内外同类实验装置的特点和长处，经过精心设计，多次实验和反复论证，推出了一套全新的实验装置，该系统包括流量、温度、液位、压力等热工参数，可实现系统参数辨识，单回路控制，串级控制，前馈—反馈控制，比值控制，解耦控制等多种控制形式。本装置还可根据用户的需要设计构成DDC，DCS，PLC，FCS等多种控制系统。

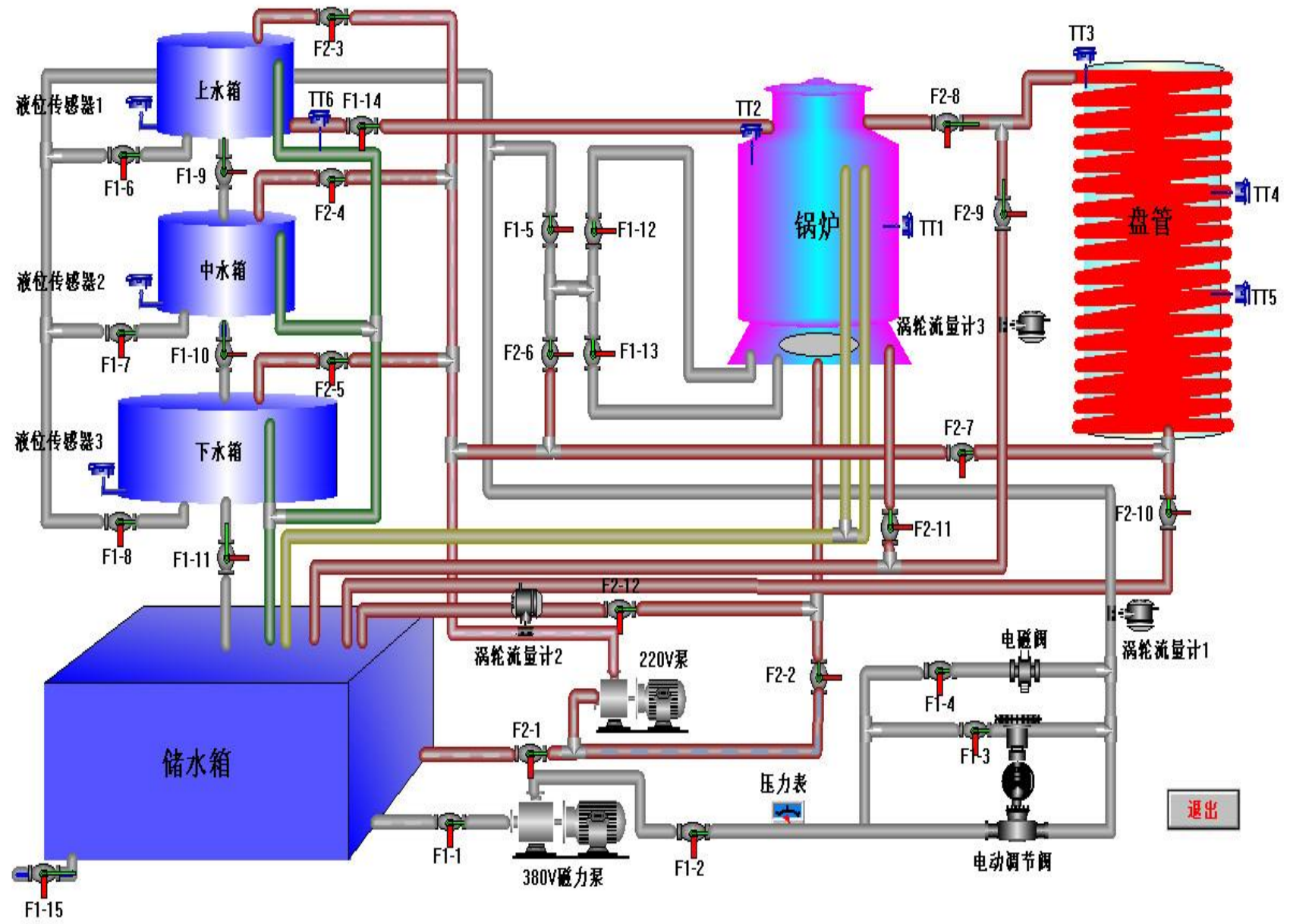
一、TkJ-2型高级过程控制系统实验装置

1.2 TkJ-2型高级过程控制系统概述

“TkJ-2型高级过程控制系统实验装置”是为了配合过程控制工程与自动化仪表、计算机控制等相关课程的教学而设计开发的。

该系统设计本着工程化、参数化、现代化、开放性、综合性人才的培养原则出发。实验对象采用当今工业现场常用的对象，如水箱、锅炉。仪表采用具有人工智能算法及通讯接口的智能调节仪，上位机监控软件采用MCGS工控组态软件。对象系统还留有扩展连接口，扩展信号接口便于控制系统二次开发，以便进行DCS控制，亚当模块控制，PLC控制开发。

TKJ-2型高级过程控制系统总貌图



退出

1.3 系统组成

实验装置由被控对象和控制仪表两部分组成。

系统动力支路分两路：一路由水泵、电动调节阀、直流电磁阀、涡轮流量计及手动调节阀组成；另一路由日本三菱变频器、水泵、涡轮流量计及手动调节阀组成。

被控对象由不锈钢储水箱、上、中、下三个串接有机玻璃圆筒形水箱、4.5千瓦电加热锅炉(由不锈钢锅炉内胆加温筒和封闭式外循环不锈钢冷却锅炉夹套构成)、冷热水交换盘管和敷塑不锈钢管道组成。

1.3.1 检测装置

- 1、压力传感器、变送器：采用工业用的扩散硅压力变送器，含不锈钢隔离膜片，同时采用信号隔离技术，对传感器温度漂移跟随补偿。压力传感器用来对上、中、下水箱的液位进行检测，其精度为0.5级，因为为二线制，故工作时需串接24V直流电源。
- 2、温度传感器：本装置采用六个Pt100传感器，分别用来检测上水箱出口、锅炉内胆、锅炉夹套以及盘管的水温。经过调节器的温度变送器，可将温度信号转换成4~20mADC电流信号。Pt100传感器精度高，热补偿性较好。
- 3、流量传感器、转换器：流量传感器分别用来对电动调节阀支路、变频支路及盘管出口支路的流量进行测量。涡轮流量计型号：LWGY-10，流量范围：0~1.2m³/h，精度：1.0%。输出：4~20mA标准信号。

1.3.2 执行机构

- 1、电动调节阀：采用智能型电动调节阀，用来进行控制回路流量的调节。电动调节阀型号为：QSVP-16K。具有精度高、技术先进、体积小、重量轻、推动力大、功能强、控制单元与电动执行机构一体化、可靠性高、操作方便等优点，控制信号为4~20mA DC或1~5V DC，输出4~20mA DC的阀位信号，使用和校正非常方便。
- 2、变频器：本装置采用日本三菱(FR-S520S-0.4K-CH(R))变频器，控制信号输入为4~20mA DC或0~5V DC，~220V变频输出用来驱动三相磁力驱动泵。
- 3、水泵：本装置采用格兰富水泵，型号为UPBAS 25-6 130，流量为32升/分，扬程为8米，功率为180W。泵体完全采用不锈钢材料，以防止生锈，使用寿命长。

4、可移相SCR调压装置：采用可控硅移相触发装置，输入控制信号为4~20mA标准电流信号。输出电压用来控制加热器加热，从而控制锅炉的温度。

5、电磁阀：在本装置中作为电动调节阀的旁路，起到阶跃干扰的作用。

6、比值器、前馈-反馈装置

此控制器与调节器一起使用既可以实现流量的单闭环比值、双闭环比值控制系统实验，又可以实现液位与流量、温度与流量的前馈-反馈控制系统实验。

7、解耦控制装置

此控制器与调节器一起使用可以实现锅炉内胆与锅炉夹套的温度、上水箱液位与出口温度的解耦控制系统实验。

二、系统软件MCGS

- 1、MCGS (Monitor and Control Generated System) 是一套基于Windows平台的，用于快速构造和生成上位机监控系统的组态软件系统，可运行于Microsoft Windows95/98/NT/2000等操作系统。
- 2、MCGS5.5具有操作简便、可视性好、可维护性强、高性能、高可靠性等突出特点。

实验要求

- 1、传感器特性的认识和零点迁移；
- 2、自动化仪表的初步使用；
- 3、变频器的基本原理和初步使用；
- 4、电动调节阀的调节特性和原理；
- 5、测定被控对象特性的方法；
- 6、单回路控制系统的参数整定；
- 7、串级控制系统的参数整定；
- 8、复杂控制回路系统的参数整定；
- 9、控制参数对控制系统的品质指标的要求；
- 10、控制系统的设计、计算、分析、接线、投运等综合能力培养。

实验1：水箱液位串级控制系统

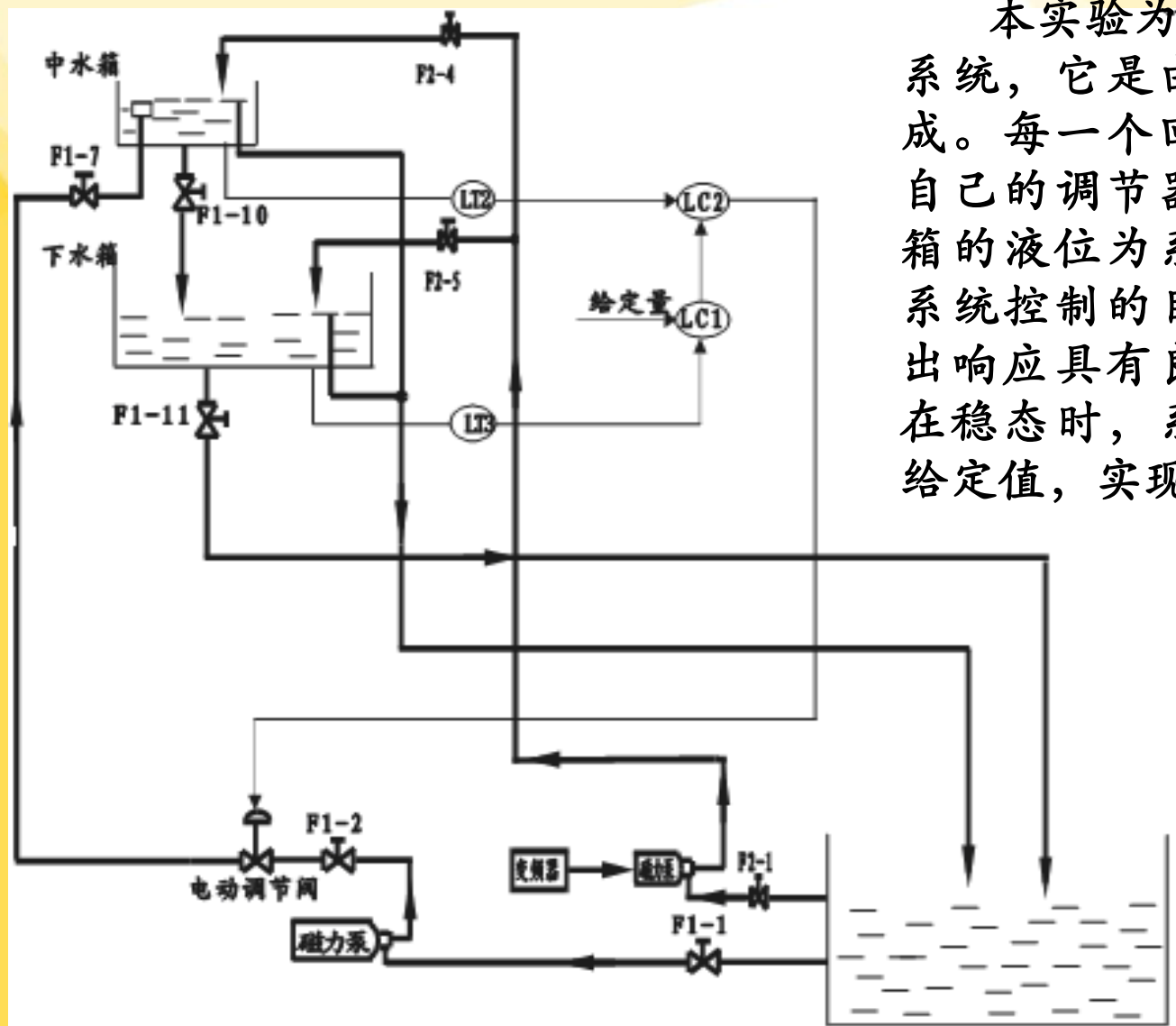
一、实验目的

- 1.熟悉串级控制系统的结构与特点
- 2.掌握串级控制系统的投运与参数的整定方法
- 3.研究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

二、实验设备

- 1.TkJ-2型高级过程控制系统实验装置
- 2.计算机、上位机MCGS组态软件、RS232-485转换器1只、串口线1根
- 3.万用表1只

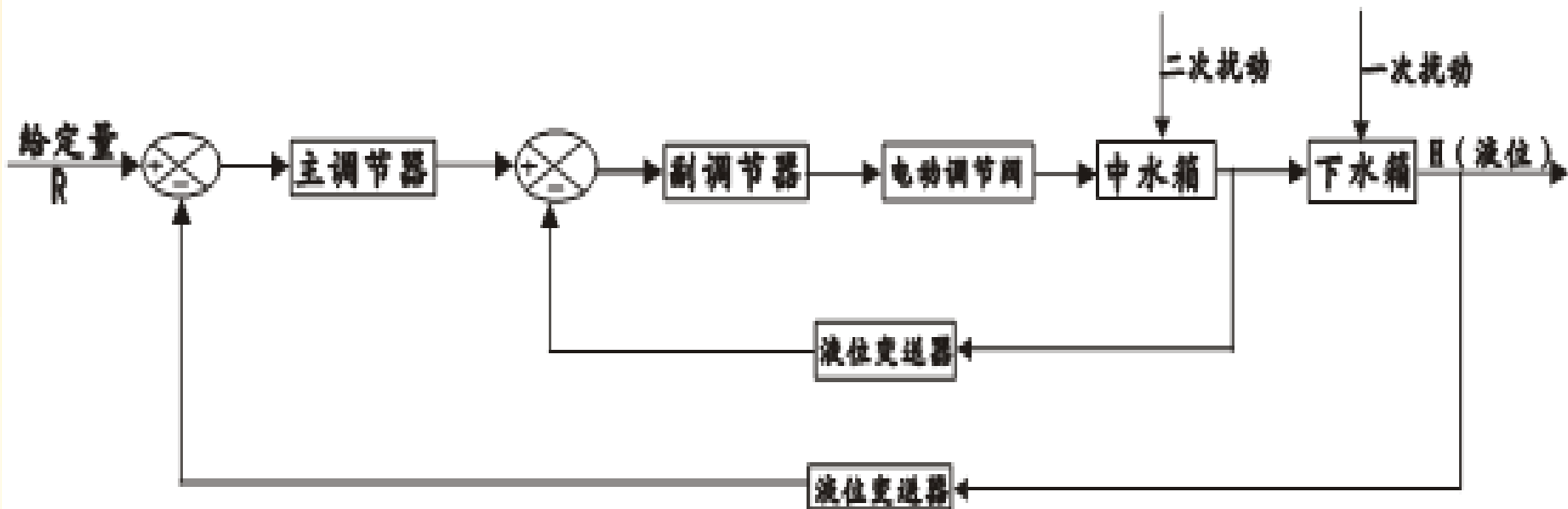
三、实验原理



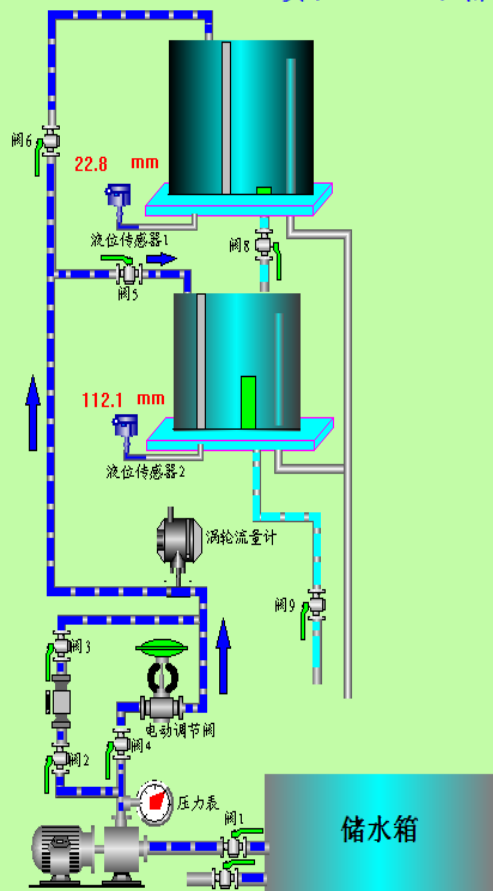
本实验为水箱液位的串级控制系统，它是由主、副两个回路组成。每一个回路中都有一个属于自己的调节器和控制对象，下水箱的液位为系统的主控制量。本系统控制的目的是不仅使系统的输出响应具有良好的动态性能，且在稳态时，系统的被控制量等于给定值，实现无差调节。

四、实验过程与实验结果

4.1 液位串级控制系统方框图



实验七、上水箱下水箱液位串级控制实验



主控参数整定:

设定值(SV):	100.00 mm	设置	比例系数(P):	1.00	设置
测量值(PV):	112.09 mm		积分时间(I):	1.00	设置
输出值(OP):	4.00		微分时间(D):	0.00	设置

副控参数整定:

设定值(SV):	0.00 mm	设置	比例系数(P):	2.00	设置
测量值(PV):	22.76 mm		积分时间(I):	1.00	设置
输出值(OP):	4.00		微分时间(D):	0.00	设置

实时曲线 | 历史曲线 | 数据浏览

运行中 | 实验指导 | 通讯成功 | 退出本实验

设定中水箱液位
100cm，主控回路
控制上水箱液位值

输出值 OP 代表电动调
节阀开度

调节PID参数，使系统逐渐进入稳定状态

组态工程
实验系统目录[S] 主菜单

2014-01-05
星期日

杭州天科教仪设备有限公司

11:33:03
系统运行时间: 2463 秒

实验七、上水箱下水箱液位串级控制实验



主控参数整定:

设定值(SV):	100.00 mm	设置	比例系数(P):	1.00	设置
测量值(PV):	90.95 mm		积分时间(I):	0.20	设置
输出值(OP):	7.41		微分时间(D):	0.00	设置



副控参数整定:

设定值(SV):	68.26 mm	设置	比例系数(P):	2.00	设置
测量值(PV):	25.30 mm		积分时间(I):	1.00	设置
输出值(OP):	20.00		微分时间(D):	0.00	设置



实时曲线 历史曲线 数据浏览

运行中 实验指导 通讯成功 退出本实验

开始 Setup MCGS组态环境 - [...] 组态工程 未命名1 - 画图 高级过程控制实验... 11:33

2014-01-05

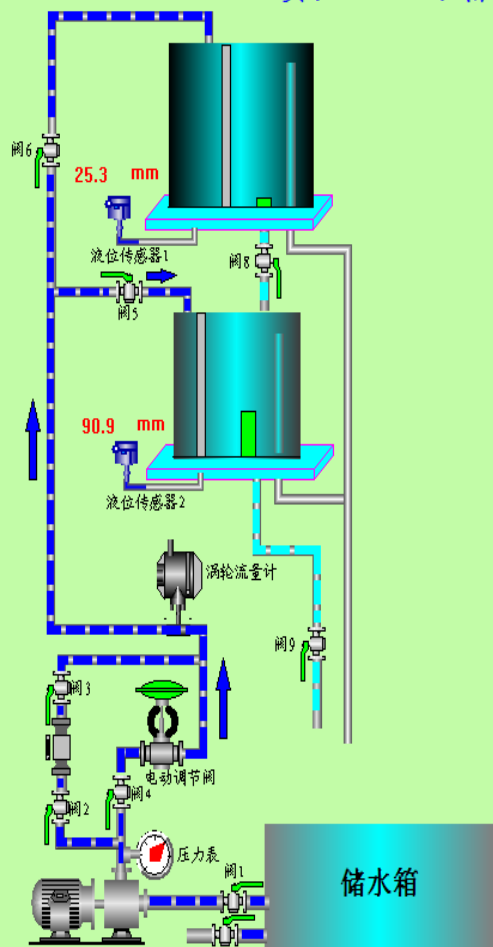
杭州天科教仪设备有限公司

11:42:15

星期日

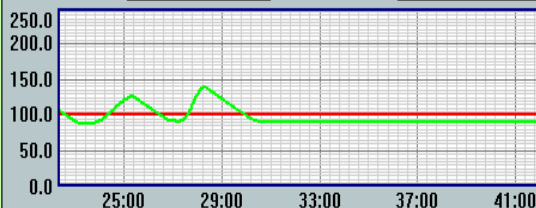
系统运行时间: 3015 秒

实验七、上水箱下水箱液位串级控制实验



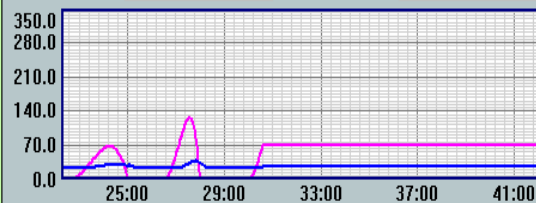
主控参数整定:

设定值(SV):	100.00 mm	设置	比例系数(P):	1.00	设置
测量值(PV):	90.95 mm		积分时间(I):	0.20	设置
输出值(OP):	7.41		微分时间(D):	0.00	设置



副控参数整定:

设定值(SV):	68.26 mm	设置	比例系数(P):	2.00	设置
测量值(PV):	25.30 mm		积分时间(I):	1.00	设置
输出值(OP):	20.00		微分时间(D):	0.00	设置



实时曲线
 历史曲线
 数据浏览

运行中
 实验指导
 通讯成功
 退出本实验

系统进入稳定状态时的主控回路的实时曲线

实时曲线放大

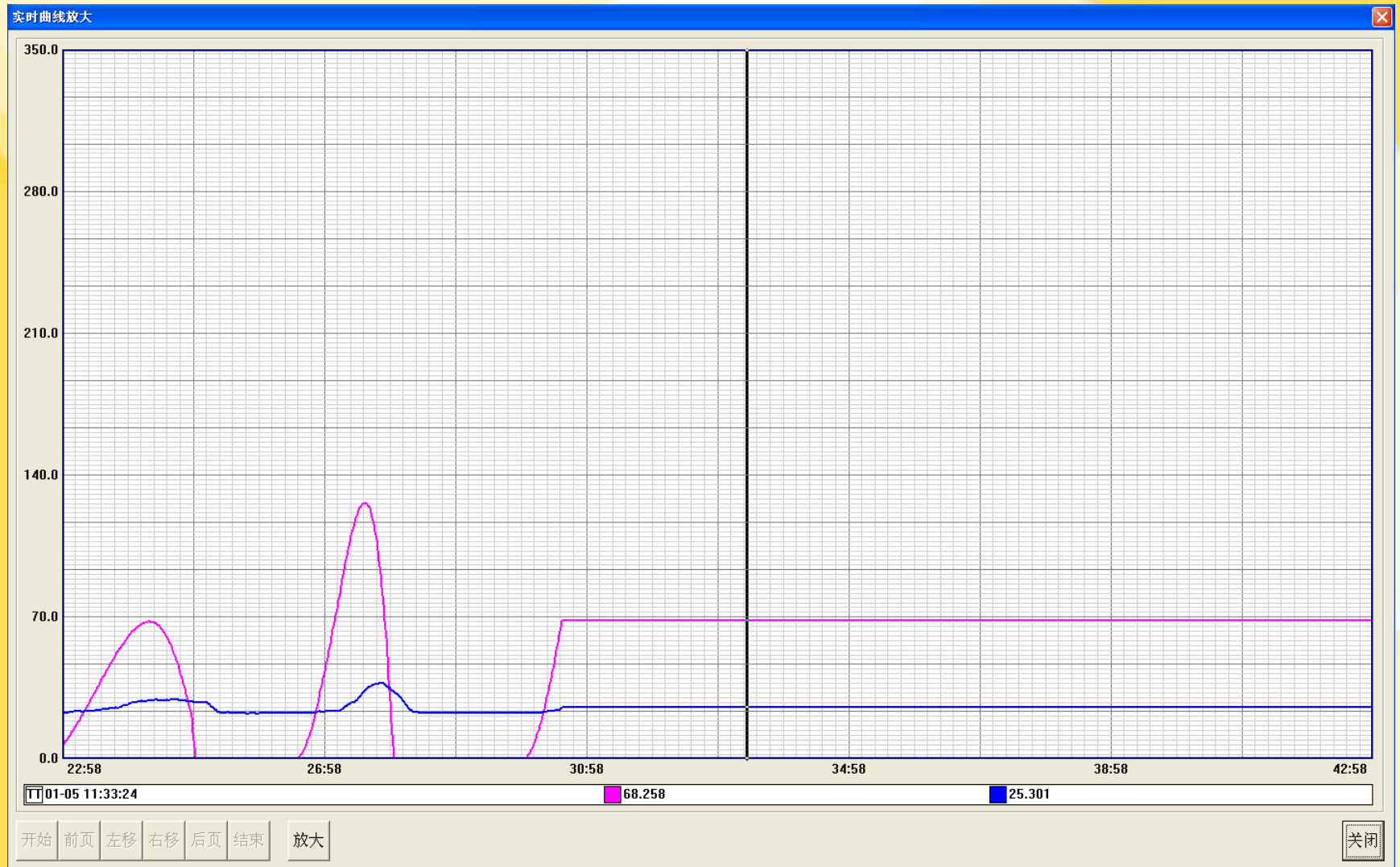


01-05 11:33:49

100

90.9494

系统进入稳定状态时的副控回路的实时曲线



实验2：盘管出水口温度纯滞后控制系统

1.实验目的

通过本实验，进一步认识传输纯滞后的形成，及其对系统动态性能的影响。

掌握纯滞后控制系统用常规PID调节器的参数整定方法。

2.实验设备

- 1. Tkj-2高级过程控制系统实验装置
- 2. 计算机、上位机MCGS组态软件、RS232-485转换器1只、串口线1根
- 3. 万用表 1只

3.实验原理

在生产过程中常会出现当输入量改变后，过程的输出量并不立即跟着响应，而是要经过一段时间后才能作出反映，纯滞后时间就是指在输入参数变化后，看不到系统对其响应的这段时间。

当物流沿着一条特定的路径传输时，就会出现纯滞后，路径的长度和物流的速度是构成纯滞后的因素。本实验是以盘管出水口水温为系统的被控制量，并求它等于给定值。变频器供水系统以固有的频率（恒速）把来自锅炉内胆的热水恒速输送到盘管。设由锅炉内胆到盘管出水口的管道长度为 L 米，热水的流速 v m/s，则内胆打出的热水要经过 τ 秒后才能到达被控点，其中 $\tau=L/v$ (s)。

如果忽略热水在盘管内流动时的热损耗，则可近似地把盘管视为一纯滞后环节，

它的传递函数为

$$G_0(s) = e^{-\tau s} \quad (1)$$

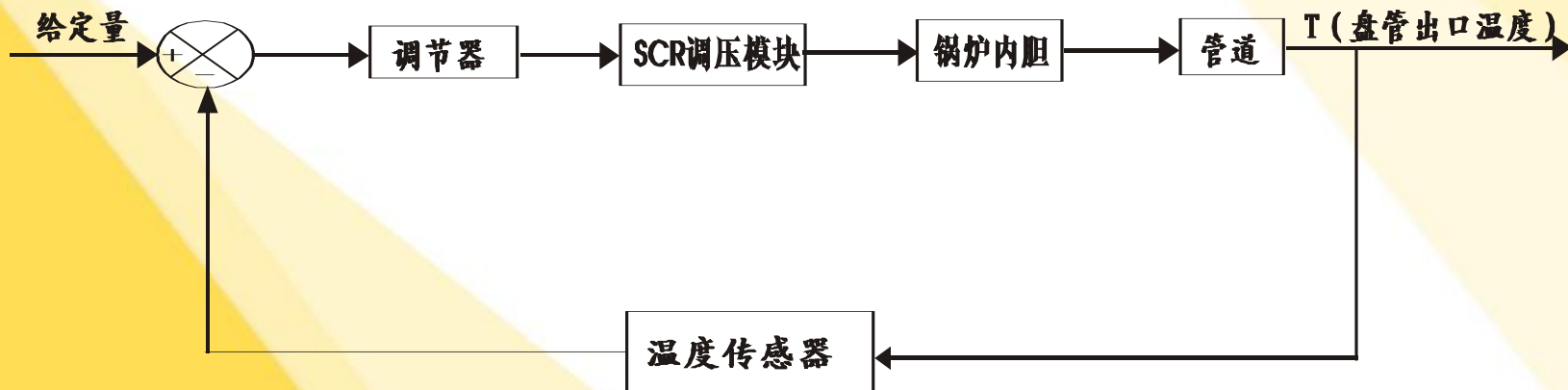
相应的频率特性为

$$G_0(j\omega) = e^{-\tau j\omega} \quad (2)$$

由式(2)可知，不同大小的 τ 值，将对系统的动态性能产生不同程度的影响。消除纯滞后对系统的不良影响的方法之一是采用Smith预估补偿器，但这种方法的有效性是建立在能精确确定对象数学模型的基础上。

4. 实验过程与实验结果

盘管出水口水温纯滞后控制系统方框图



调节器为自动，设置锅炉水温为75℃

实验系统目录[S] 联网控制工作台

2014-01-06

杭州天科教仪设备有限公司

15:11:54

星期一

系统运行时间: 1065 秒

实验二十、盘管出水口温度纯滞后控制

设定值(SV): 75.0 °C 设置

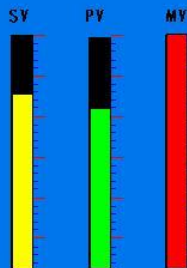
测量值(PV): 69.0 °C

输出值(MV): 100.0

比例系数(P): 4.0 设置

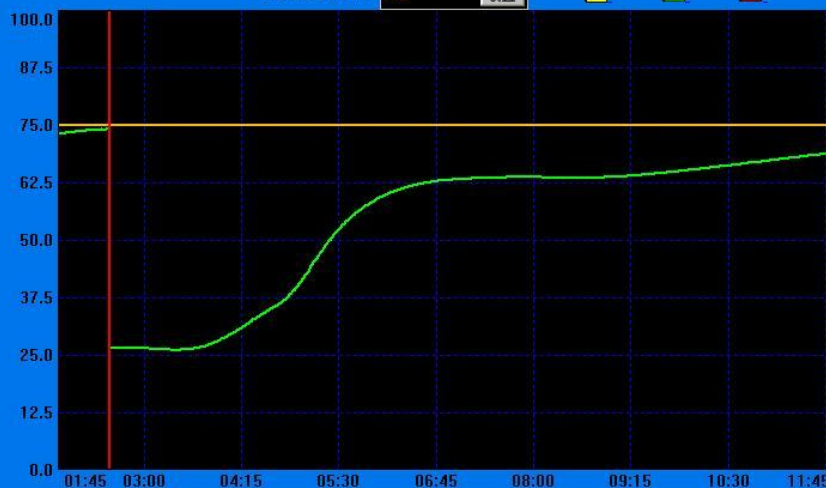
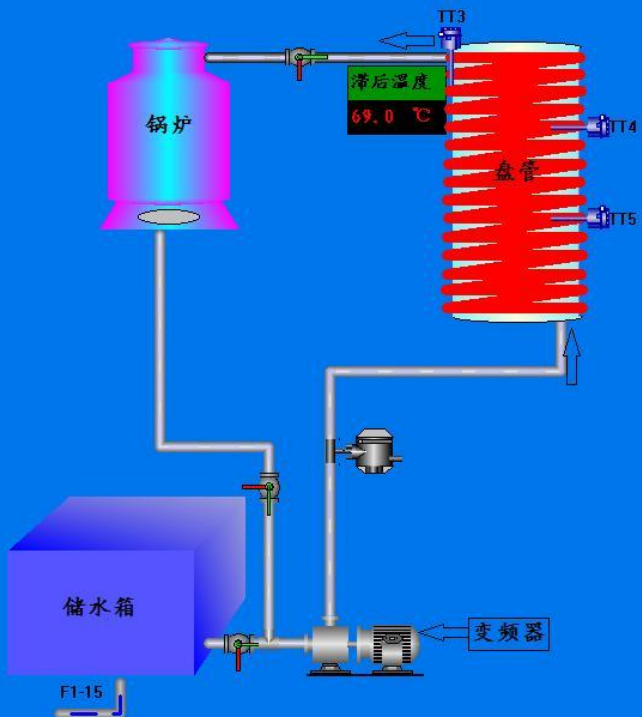
积分时间(Ti): 4.0 设置

微分时间(Td): 6.0 设置



变频器停止

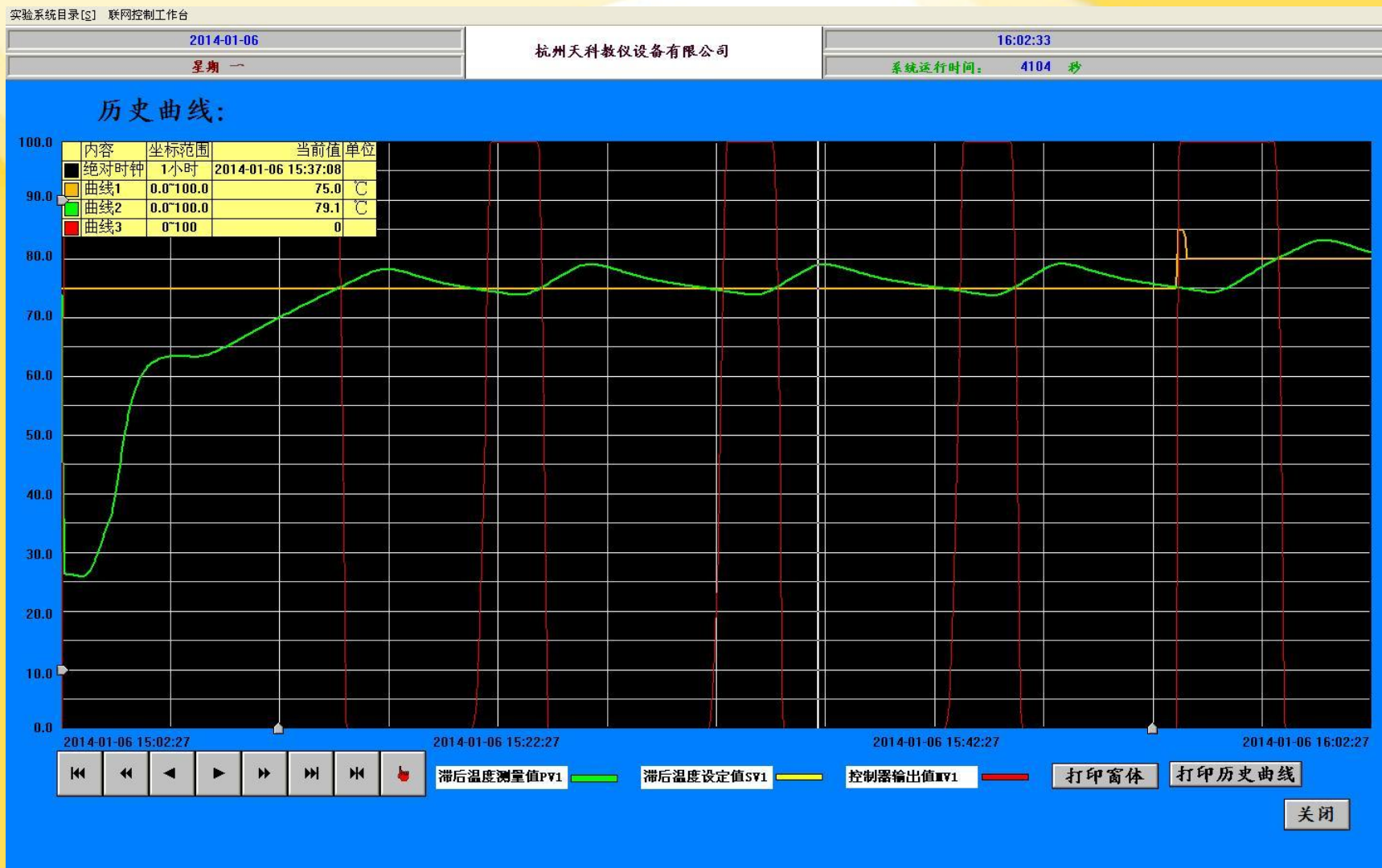
20.0 HZ 设置



放水口

实时曲线 历史曲线 数据浏览 自动运行 通讯成功 退出本实验

对PID调节器的参数进行修正，得出系统的历史曲线



对给定值做阶跃扰动，得出系统的历史曲线

实验系统目录[S] 联网控制工作台

2014-01-06

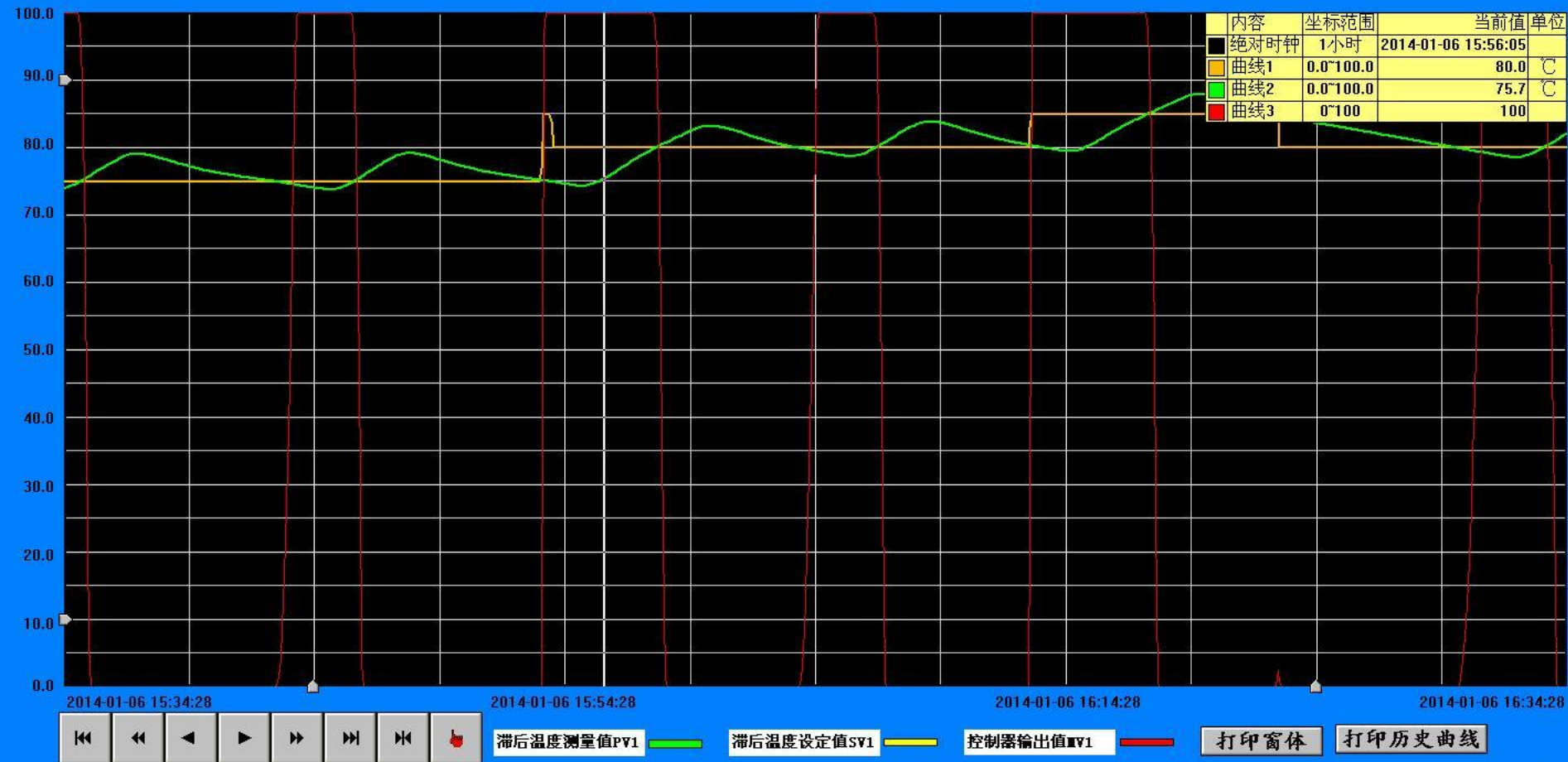
星期一

杭州天科教仪设备有限公司

16:34:32

系统运行时间: 6023 秒

历史曲线:



关闭

实验3：锅炉内胆水温的前馈-反馈控制系统

一、实验目的

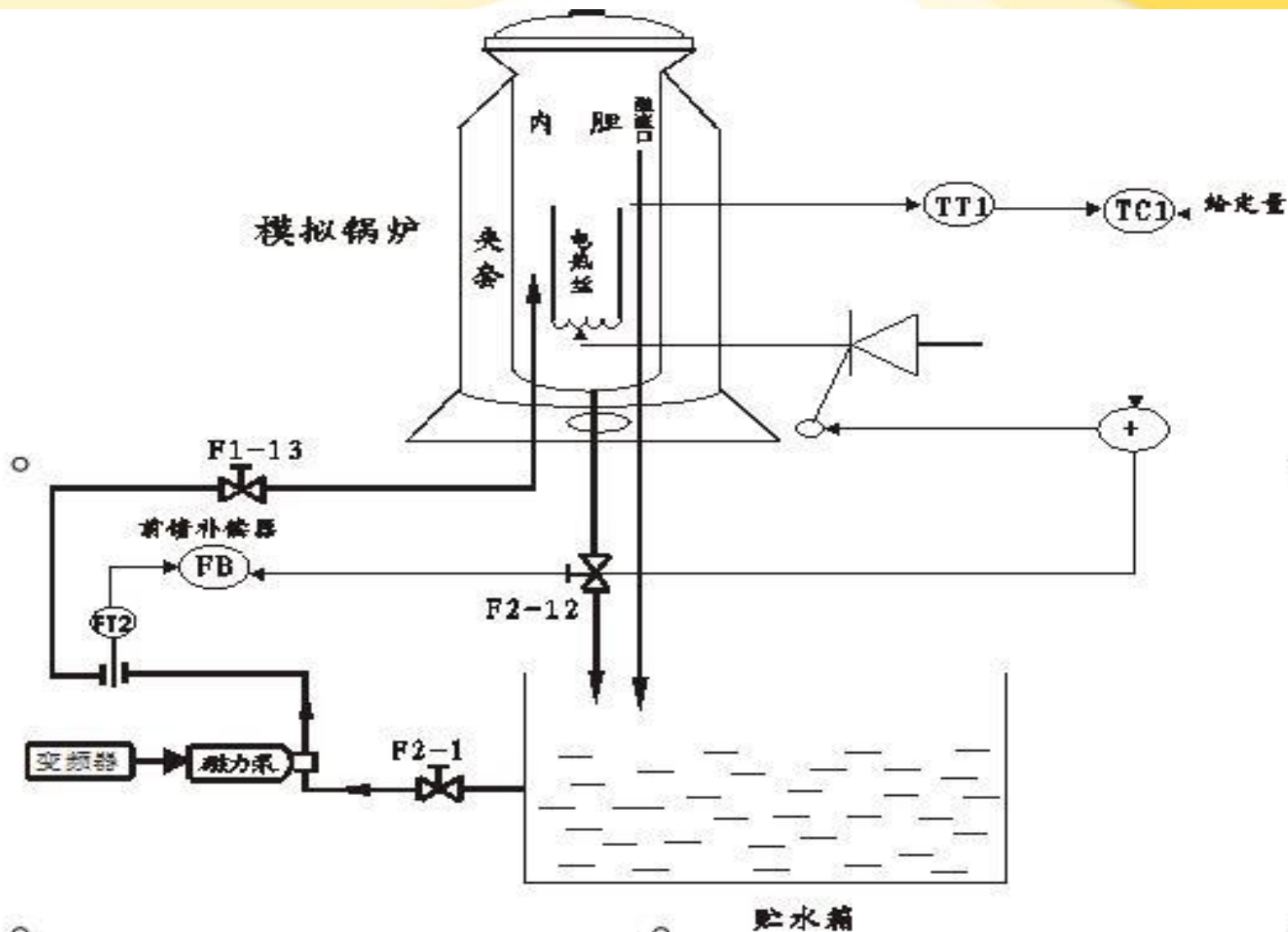
- 1、通过本实验，进一步了解温度前馈-反馈控制系统的原理与结构。
- 2、掌握前馈补偿器的设计与调试方法。
- 3、掌握前馈-反馈控制系统参数的整定与投运。

二、实验设备

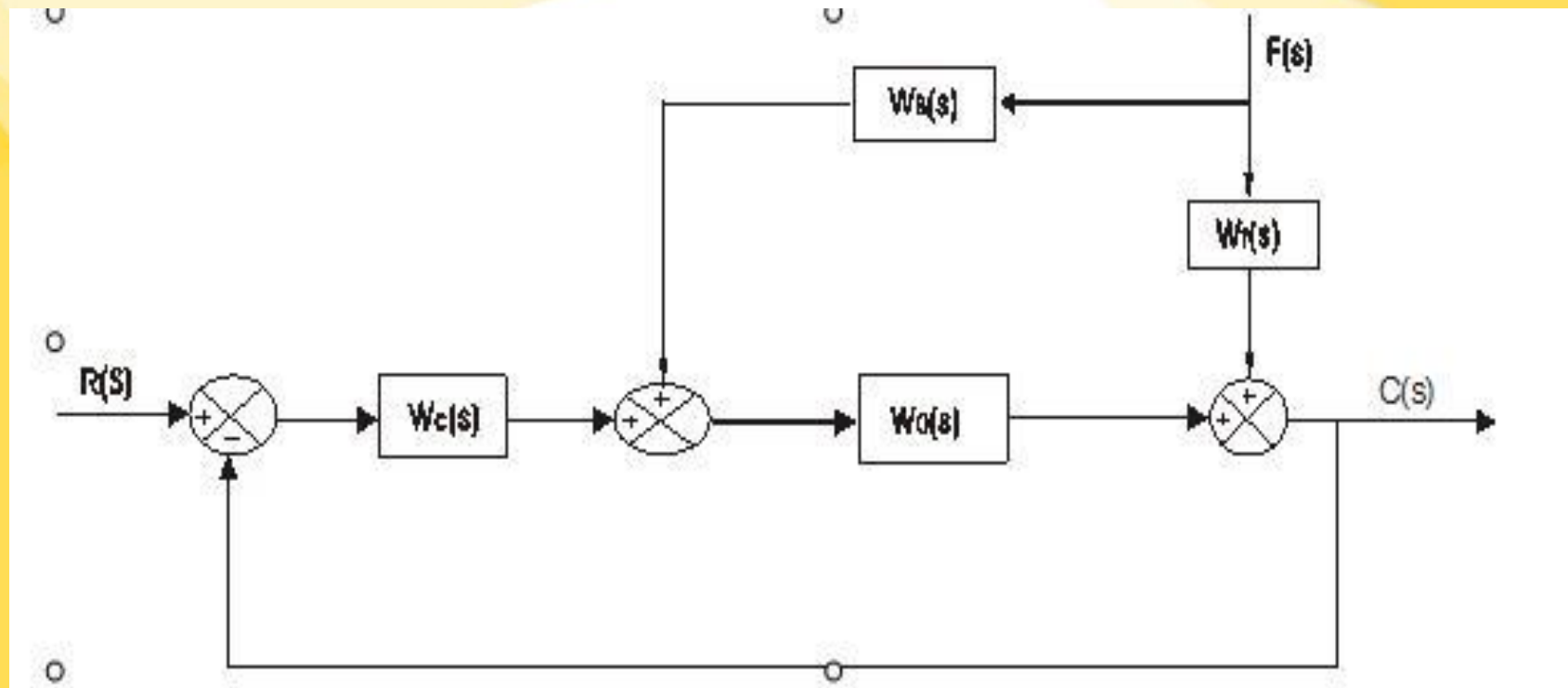
1. Tkj-2高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机MCGS软件、RS232-485转换器1只、串口线1根
3. 万用表 1只

三、实验原理

温度前馈-反馈控制系统结构示意图



锅炉温度前馈-反馈控制系统方框图



由于过程控制系统总具有滞后的特性，当从干扰产生到被控制量起变化，需要一定长的时间；而被控制量变化后通过调节器产生的调节作用又要经历一段时间。因此，被控参数要达到新的稳定状态就要经历相当长的时间。显然，控制系统的滞后越大，则被控参数变化的幅度也越大，偏差持续的时间也越长。为了解决上述问题，采用一种与反馈控制原理完全不同的控制方法，这种方法是按照干扰作用进行控制的。

前馈控制的特点

- 1) 前馈控制是一种开环控制，因而不影响系统的动态性能。
- 2) 前馈控制是按扰动进行补偿的
- 3) 前馈控制只适用于可测不可控的扰动。
- 4) 用前馈补偿系统中的主要扰动，式 (1) 所示的条件只能近似地满足，一般只用比例环节或一阶（微分或惯性）环节

用PLC做前馈-反馈实验，不加前馈

S7200PLC控制实验

实验系统目录[S] 关于...

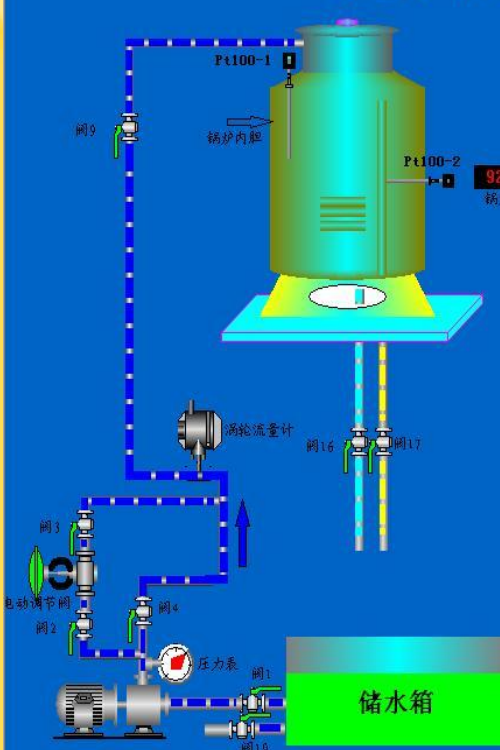
2014-01-14 星期二

杭州天科仪器仪表设备有限公司

11:07:57

系统运行时间: 2061 秒

实验六、锅炉内胆温度控制实验 (动态)



SV PY OP

设定值(SV): 90.0 °C 设置

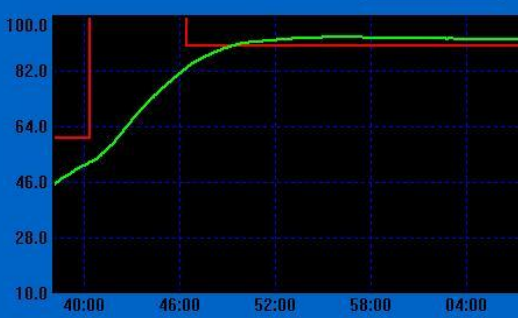
测量值(PV): 92.1 °C

输出值(OP): 29.48

比例系数(K): 10.00 设置

积分时间(TI): 1.00 设置

微分时间(TD): 0.00 设置



实时曲线 历史曲线 数据浏览

手动控制 通讯成功 退出本实验

开始

高级过程控制实验... MCGS组态环境... S7200PLC控制实验 不加前馈 - 画图

11:07

突加前馈

S7200PLC控制实验

实验系统目录[S] 关于...

2014-01-14 星期二

杭州天科教仪设备有限公司

11:11:44

系统运行时间: 2288 秒

实验六、锅炉内胆温度控制实验 (动态)

SY PY OP

设定值(SV): 90.0 °C 设置

测量值(PV): 85.1 °C

输出值(OP): 98.56

比例系数(K): 10.00 设置

积分时间(I): 1.00 设置

微分时间(D): 0.00 设置

实时曲线 历史曲线 数据浏览

手动控制 通讯成功 退出本实验

开始

高级过程控制实验...

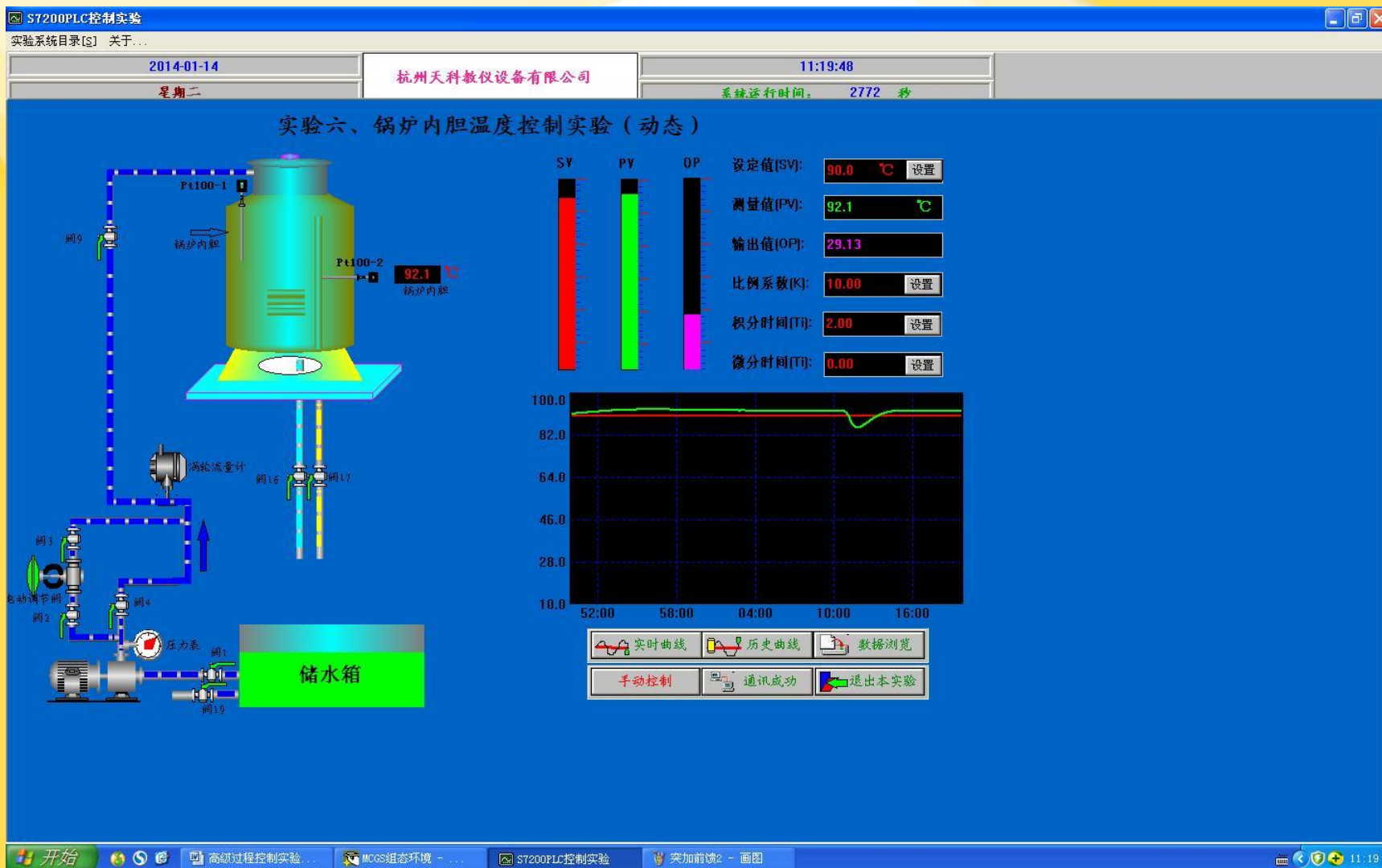
MOCS组态环境 - ...

S7200PLC控制实验

不加前馈1 - 画图

11:11

加完前馈，系统的动态性能无变化



实验:4：双容水箱液位定值

一、实验目的

通过实验，进一步了解双容对象的特性。

掌握调节器参数的整定与投运方法。

研究调节器相关参数的改变对系统动态性能的影响。

二、实验设备

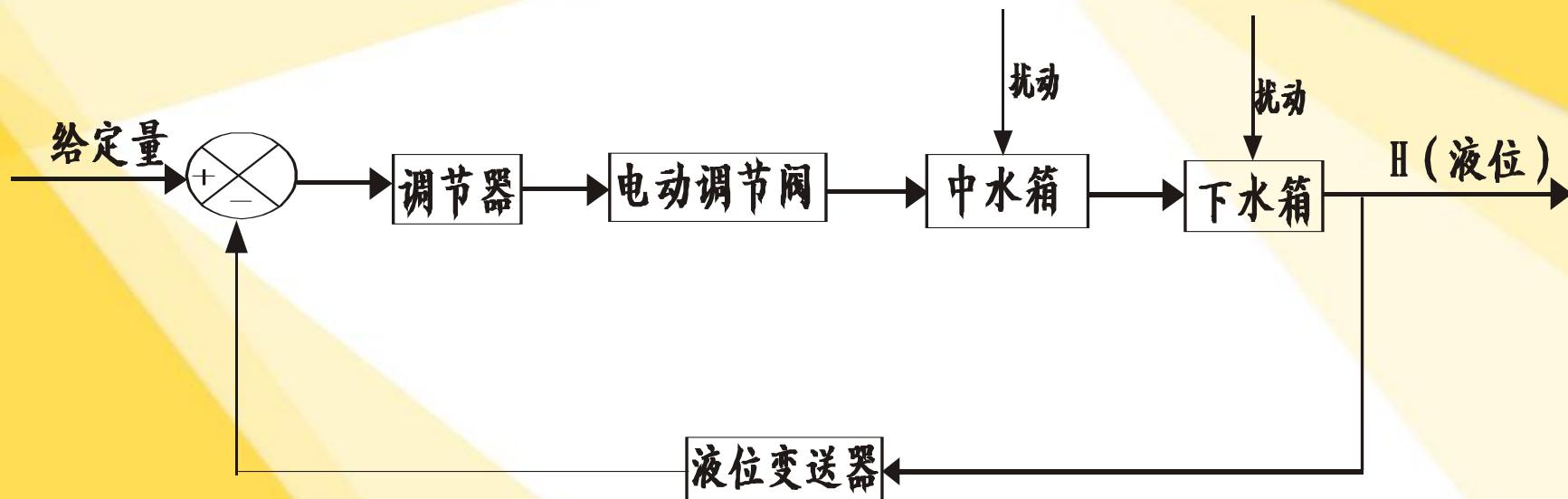
1. TKJ-2型高级过程控制系统装置
2. 计算机、上位机MCGS组态软件、RS232-485转换器1只、
串口线1根
3. 万用表 1只

三、实验原理

本实验系统以中水箱与下水箱为被控对象，下水箱的液位高度为系统的被控制量。基于系统的给定量是一定值，要求被控制量在稳态时等于给定量所要求的值，所以调节器的控制规律为PI或PID。本系统的

执行元件既可采用电动调节阀，也可用变频调速磁力泵。

双容液位定值控制系统方框图



无阶跃扰动双容液位定值控制系统

TKJ-2型高级过程控制实验系统

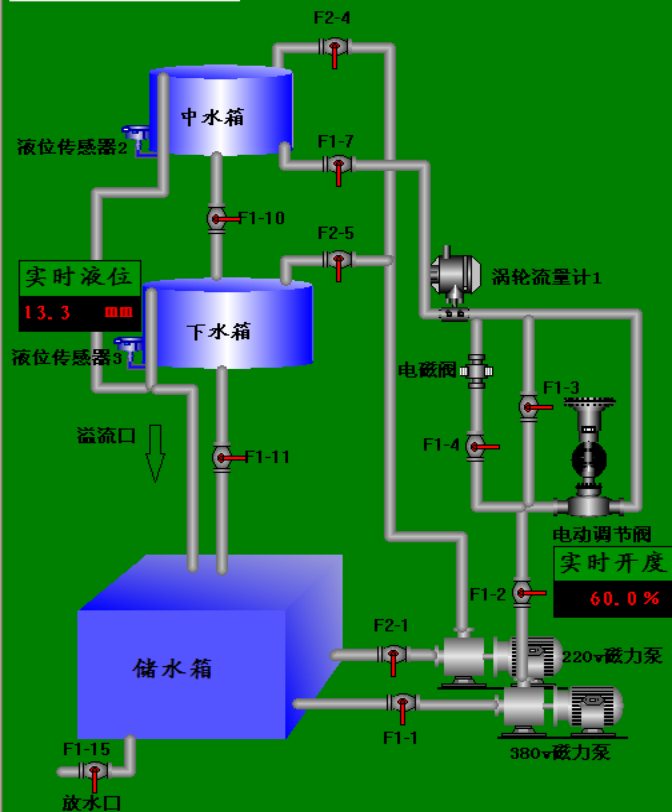
系统管理[S] 实验对象总貌图[H] 实验指导[G]

2014-01-09

15:20:22 星期 4

系统已运行: 731 秒

实验五、双容水箱液位定值控制



自动运行

设定值(SV): 15.0 mm 设置

测量值(PV): 13.3 mm

输出值(MV): 60.0

比例系数(P): 10.0 设置

积分时间(I): 30.0 设置

微分时间(D): 1.0 设置

SV PV MV

sv值: 80.0

pv值: 13.3

实验指导 实时曲线 实验数据浏览

历史曲线 通讯状态 退出本实验

设定中水箱水位: 15cm

双容液位定值控制系统

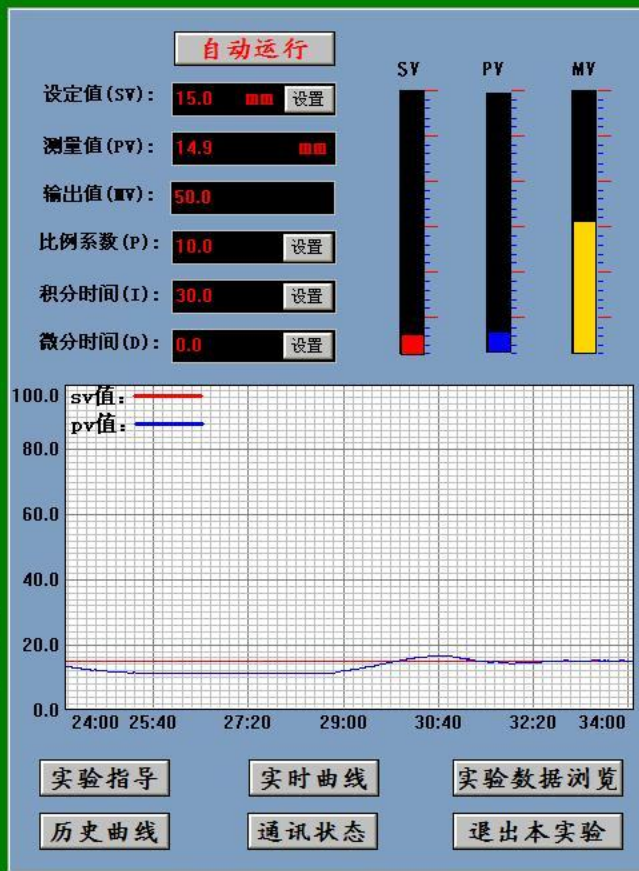
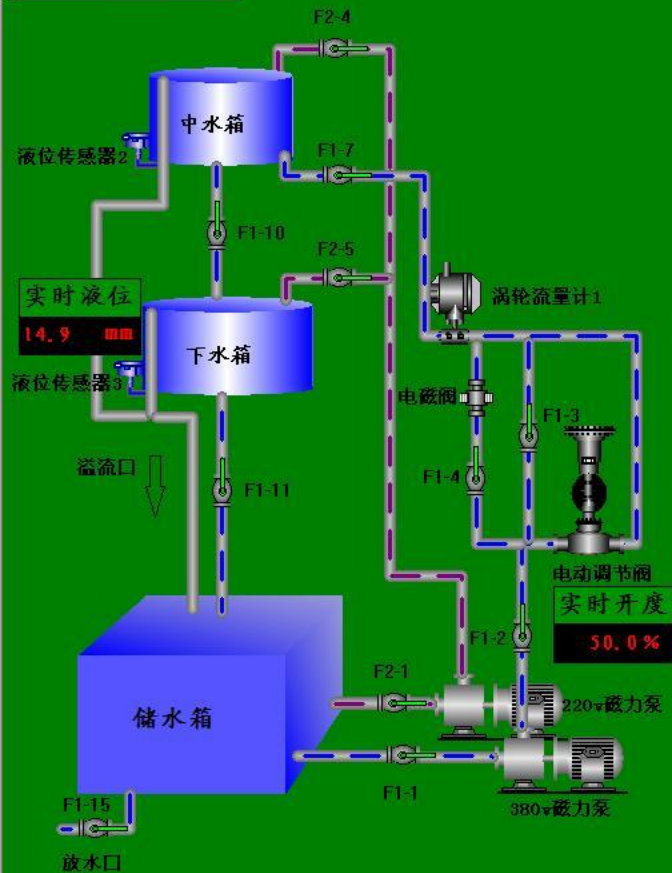
TKJ-2型高级过程控制实验系统

系统管理[S] 实验对象总貌图[D] 实验指导[G]

2014-01-09

15:34:06 星期 4
系统已运行: 1555 秒

实验五、双容水箱液位定值控制



改变PID参数，系统进入稳定状态

系统进入稳态后，突加10%的阶跃扰动

TKJ-2型高级过程控制实验系统

系统管理[S] 实验对象总貌图[H] 实验指导[G]

2014-01-09
15:41:41 星期 4
系统已运行: 2010 秒

实验五、双容水箱液位定值控制

自动运行

设定值(SV): 16.5 设置

测量值(PV): 16.6 设置

输出值(MV): 53.0

比例系数(P): 10.0 设置

积分时间(I): 30.0 设置

微分时间(D): 0.0 设置

SV PY MV

sv值: —

pv值: —

实时开度: 53.0%

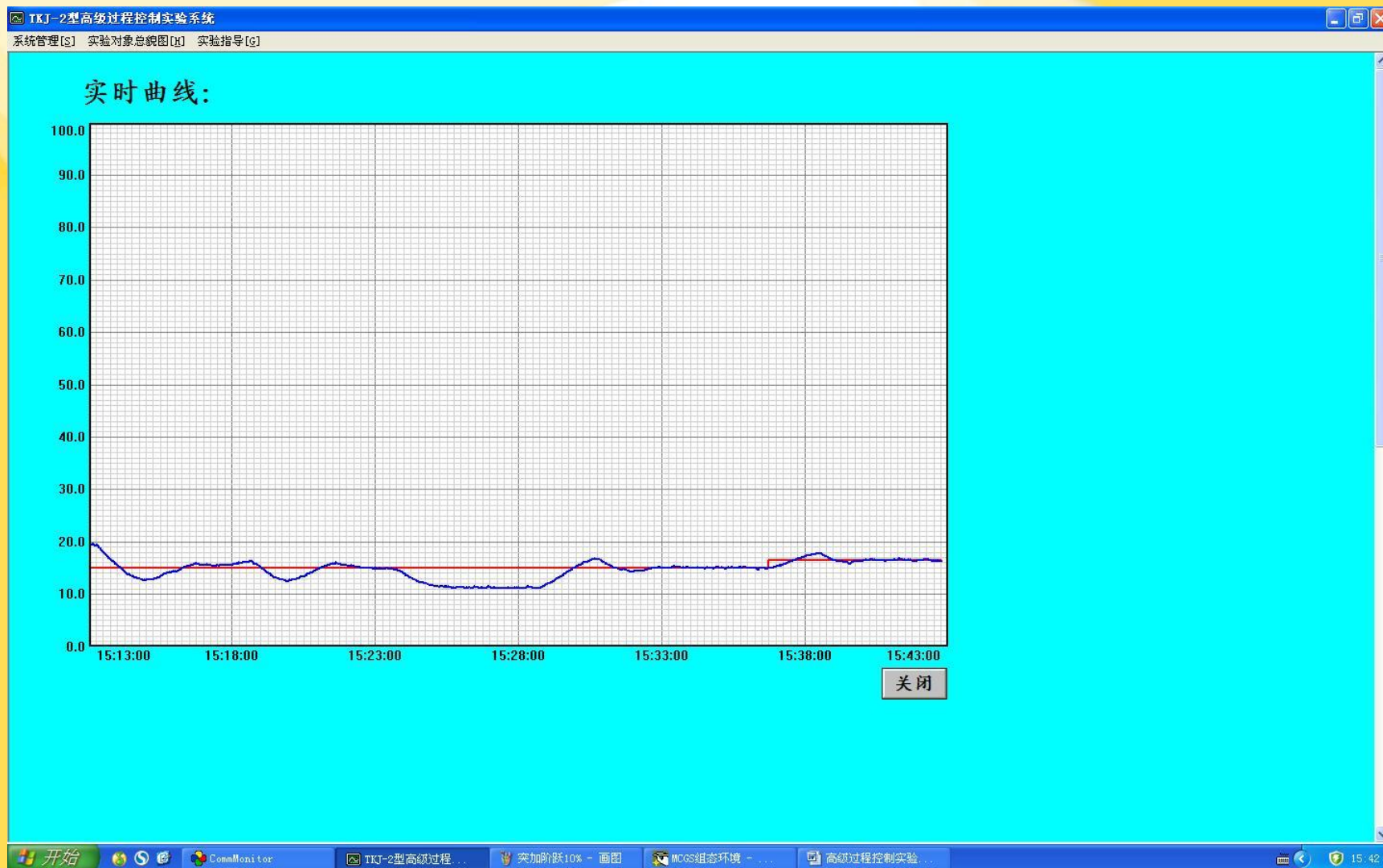
实验指导 实时曲线 实验数据浏览

历史曲线 通讯状态 退出本实验

中水箱设定值为16.5cm

开始 CommMonitor TKJ-2型高级过程... 未命名5 - 画图 MCGS组态环境 - ... 高级过程控制实验... 15:41

突加扰动后的实时曲线



实验5：FCS锅炉内胆水温的前馈-反馈控制系统

一、实验目的

1. 通过本实验，进一步了解温度前馈-反馈控制系统的原理与结构。
2. 掌握前馈补偿器的设计与调试方法。
3. 掌握前馈-反馈控制系统参数的整定与投运。

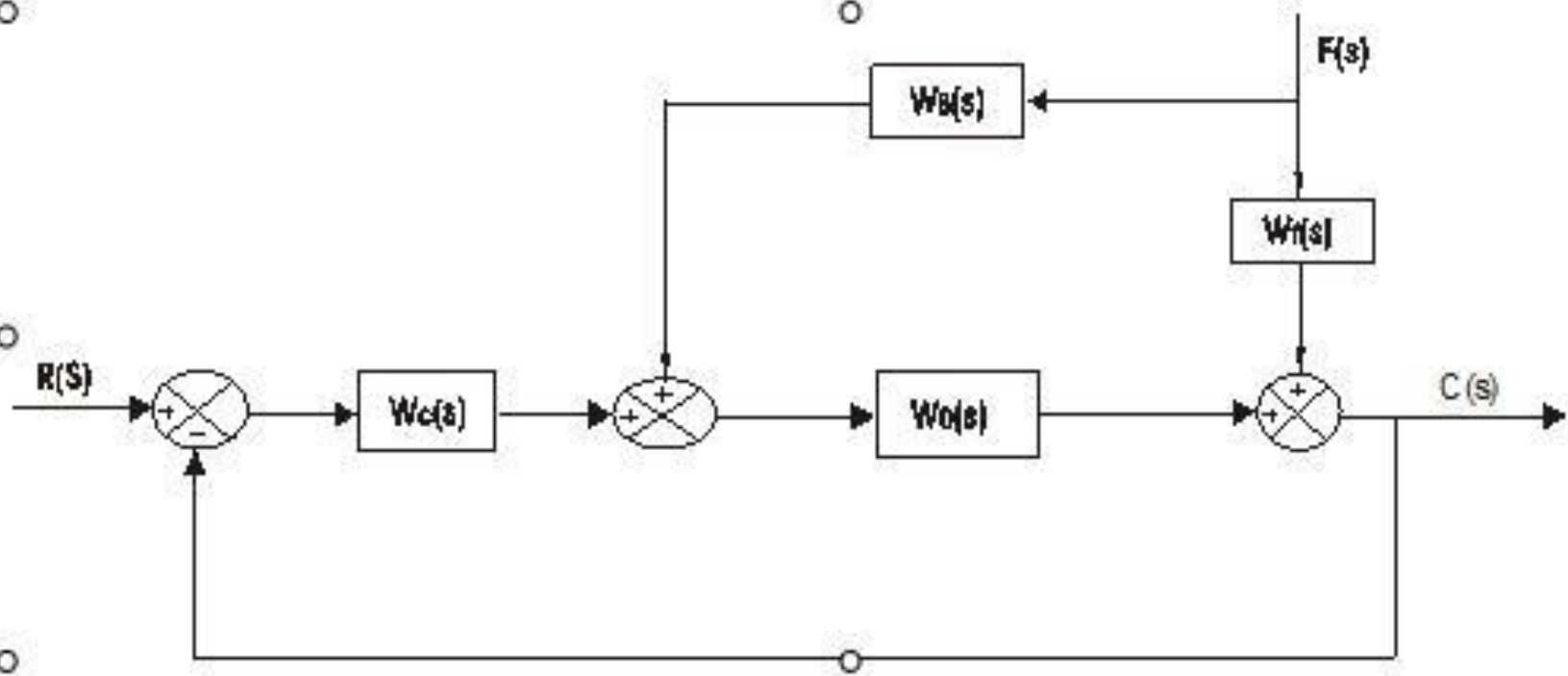
二、实验设备

1. TKFCS-1型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机及相关的软件
3. 万用表1只

三、实验原理

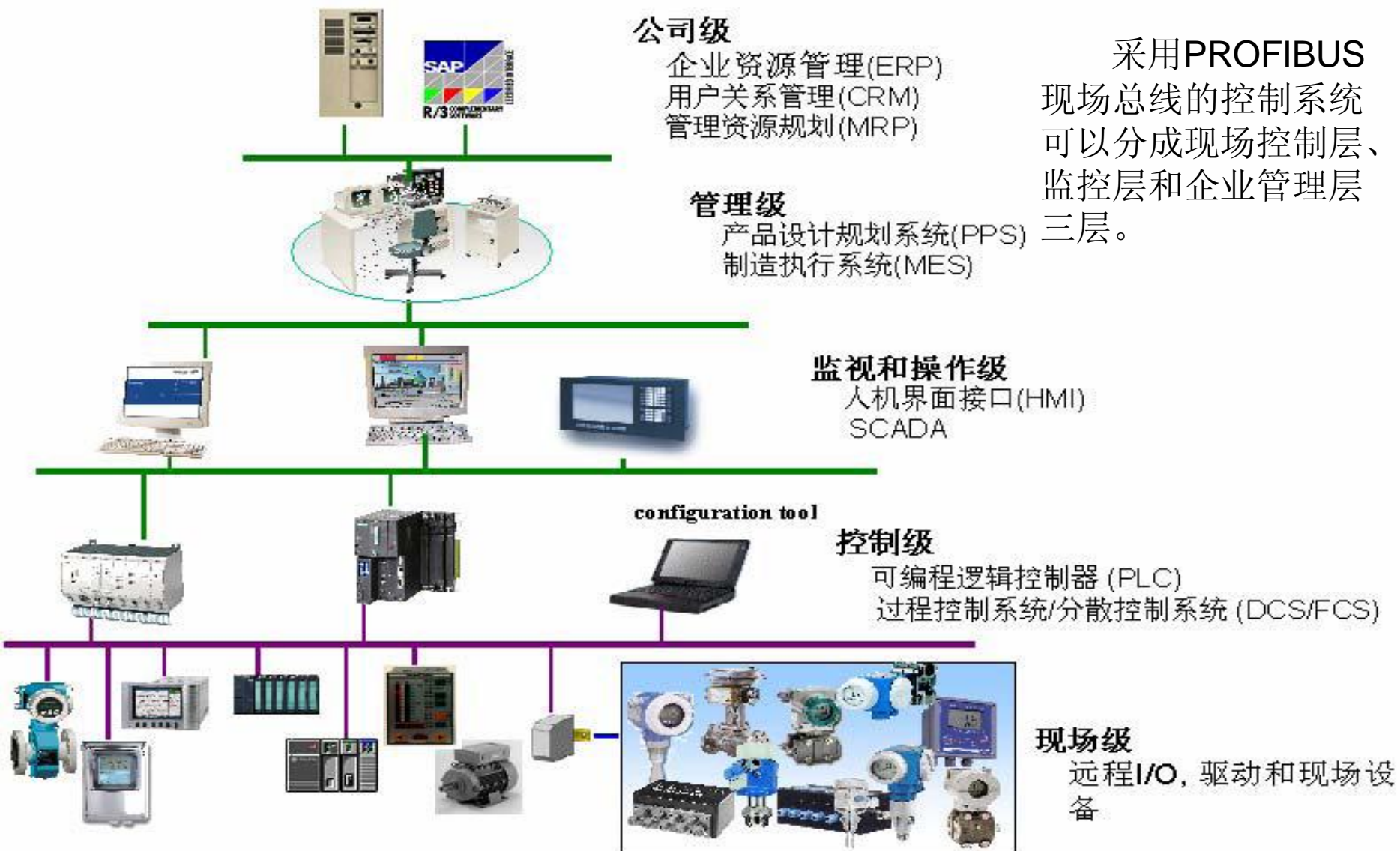
由于过程控制系统总具有滞后的特性，当从干扰产生到被控制量起变化，需要一定长的时间；而被控制量变化后通过调节器产生的调节作用又要经历一段时间。因此，被控参数要达到新的稳定状态就要经历相当长的时间。显然，控制系统的滞后越大，则被控参数变化的幅度也越大，偏差持续的时间也越长。为了解决上述问题，采用一种与反馈控制原理完全不同的控制方法，这种方法是按照干扰作用进行控制的。图2-6-1为前馈-反馈控制系统方框图。

FCS锅炉温度前馈-反馈控制系统方框图



- $W_c(s)$ - 调节器
- $W_o(s)$ - 被控对象
- $W_f(s)$ - 干扰通道的传递函数
- $W_b(s)$ - 前馈补偿器

PROFIBUS 现场总线的自动化系统结构



PROFIBUS DP: 主站和从站之间采用轮循的通讯方式，主要应用于自动化系统中单元级和现场级通信。

PROFIBUS PA: 电源和通信数据通过总线并行传输，主要用于面向过程自动化系统中单元级和现场级通讯。

PROFIBUS FMS: 定义了主站和主站之间的通讯模型，主要用于自动化系统中系统级和车间级的过程数据交换

系统在未加前馈的稳态动态响应和突加手动扰动

实验系统目录[S] 联网控制工作台

2014-01-05

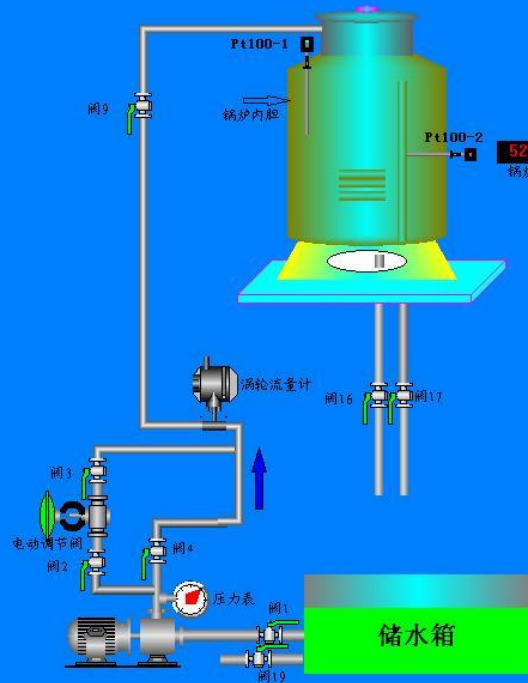
星期日

杭州天科数仪设备有限公司

16:49:59

系统运行时间: 5250 秒

实验二十一、锅炉内胆水温的前馈-反馈控制实验



变频器停止

干扰测量值 0.00 m³/h

50.0 HZ 设置

前馈系数 0.00 设置

设定值(SV): 50.0 °C 设置

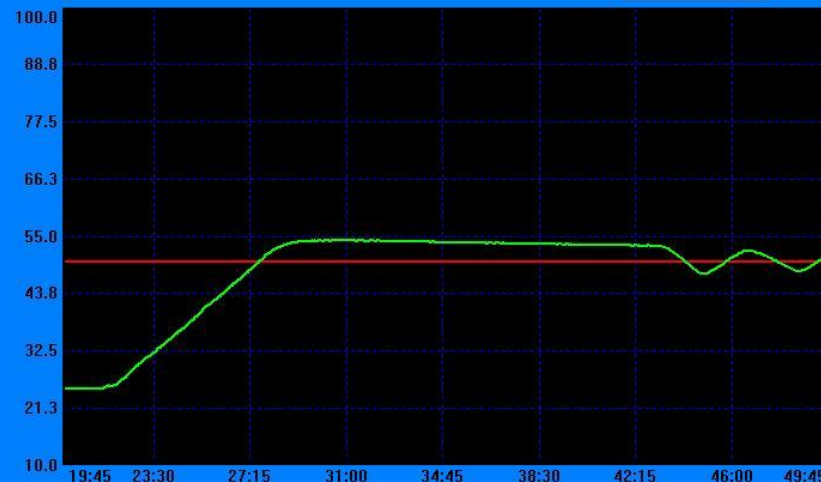
测量值(PV): 52.0 °C

输出值(OP): 0.00

比例系数(K): 2.00 设置

积分时间(Ti): 6.00 设置

微分时间(Td): 0.00 设置



实时曲线

历史曲线

数据浏览

自动运行

通讯成功

退出本实验

突加前馈后的系统动态响应

实验系统目录[S] 联网控制工作台

2014-01-05

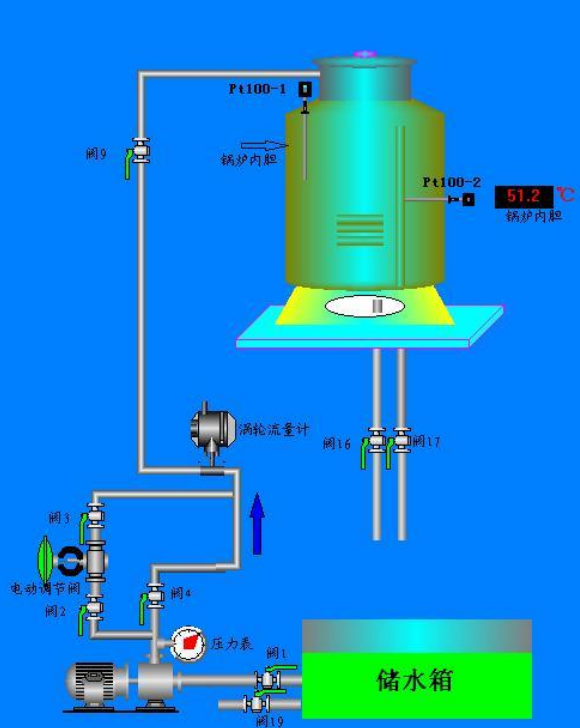
星期日

杭州天科仪器仪表设备有限公司

17:28:34

系统运行时间: 7565 秒

实验二十一、锅炉内胆水温的前馈-反馈控制实验



变频器停止

干扰测量值 0.07 m3/h

50.0 HZ 设置

前馈系数 2.00 设置

设定值(SV): 50.0 °C 设置

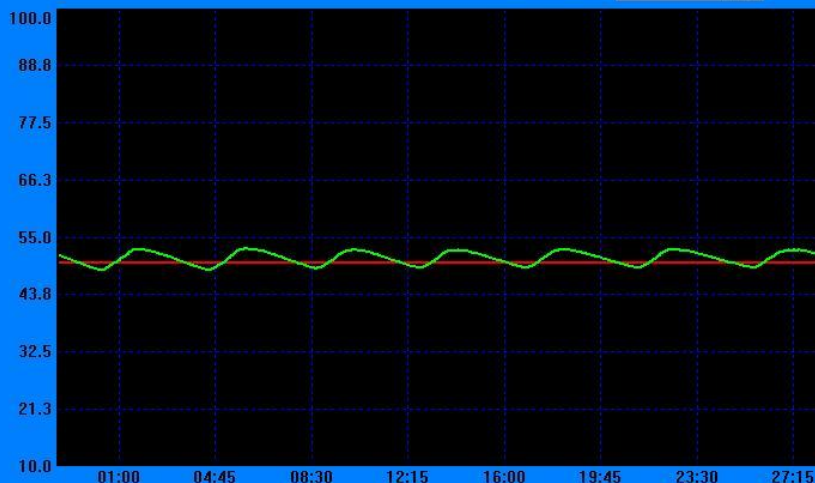
测量值(PV): 51.2 °C

输出值(OP): 0.00

比例系数(K): 4.00 设置

积分时间(Ti): 0.00 设置

微分时间(Td): 6.00 设置



实时曲线

历史曲线

数据浏览

自动运行

通讯成功

退出本实验