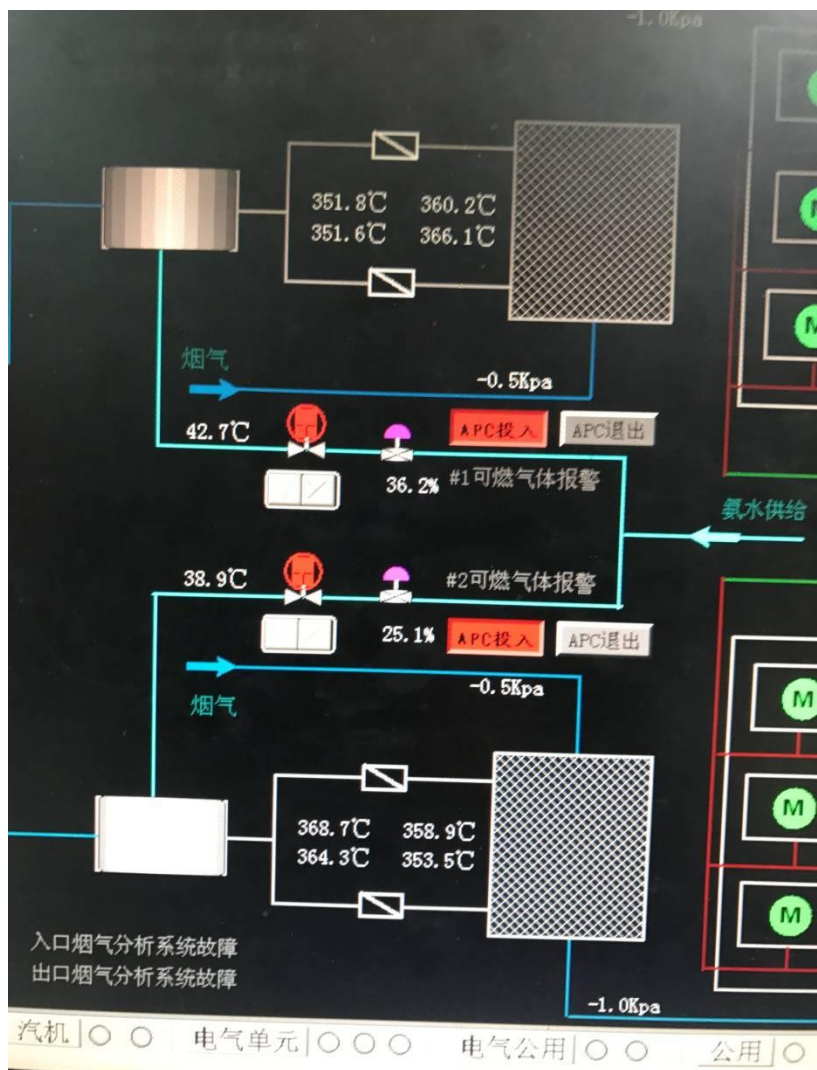


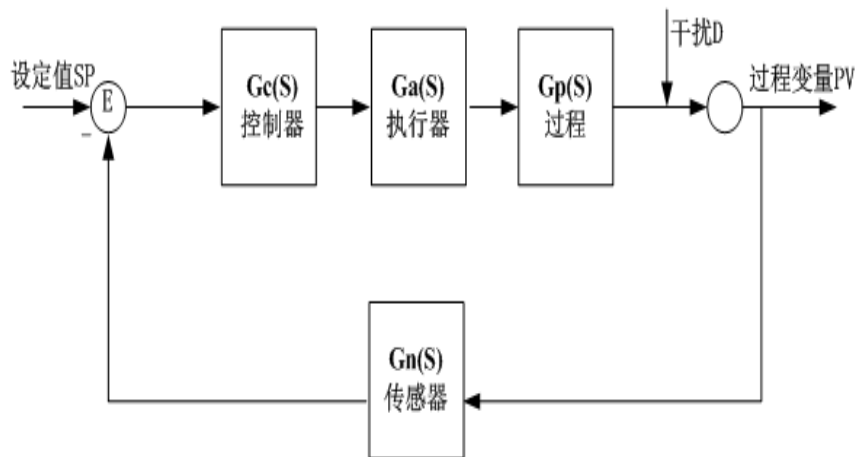
开放式外挂先进控制系统在火电厂 深度调峰项目中的应用介绍

先进过程控制系统在火电机组上的应用技术及工程实施
控软自动化技术（北京）有限公司 李全

昨天在现场拍摄的一组图片



火电厂深度调峰给发电厂热工控制上带来的问题



过程特点

- 非线性
- 迟滞性
- 时变性
- 相互耦合

火电机组发电过程，风煤水等物质反应和传递效应，是一个复杂过程。当负荷和煤质的变化频繁出现在生产过程中，DCS采用常规的PID控制貌似已经无法满足控制性能。

因此引入更智能、鲁棒特性更好的先进控制方案，基于过程模型来控制，才能有效提高控制性能。深度调峰机组对控制的速度、精度和响应时间提出了苛刻的要求。同时对阀门的动作保护也很重要。因此先进控制系统被广泛应用在解决大滞后和超调的控制回路。其应用于电厂深度调峰机组优化控制则为我们带来了惊喜。

火电厂深度调峰给发电厂热工控制上函待解决的问题

1、几个常见的经典大滞后系统

2、被电网和环保部门考核而给企业效益带来直接影响被重点关注的几个热力系统。

- 锅炉主控 BMS
- 主蒸汽压力控制
- 过热汽温
- 再热汽温度控制
- 脱销控制

为什么外挂系统开始流行而不再是DCS内部优化

- 1、需要保证我们DCS系统逻辑和参数的经典性。
- 2、对复杂热力系统的优化和控制提出了更多的先进控制手段诉求。
- 3、对科学有效的经典控制策略有保护以增强其生命力。
- 4、DCS安全性要求我们不要随意更改控制逻辑和参数。而切掉的外挂系统则可以随时进行系统的调整



经典PID控制



IMC 内模算法控制

国内目前外挂先进控制系统的几个发展瓶颈-个人看法

- 1、外挂系统黑匣子（德国某公司血缘）
- 2、PLC由于性价比高而作为主要先进控制载体而盛行。
- 3、没有成熟的开放性系统平台。
- 4、科学研究、工程化、商品化需要一套科学的方法和过程。

先进控制系统价值分布

先进控制平台 20%

基于平台的工艺优化策略 60%（国产化）

后续模型的整定和维护 20%

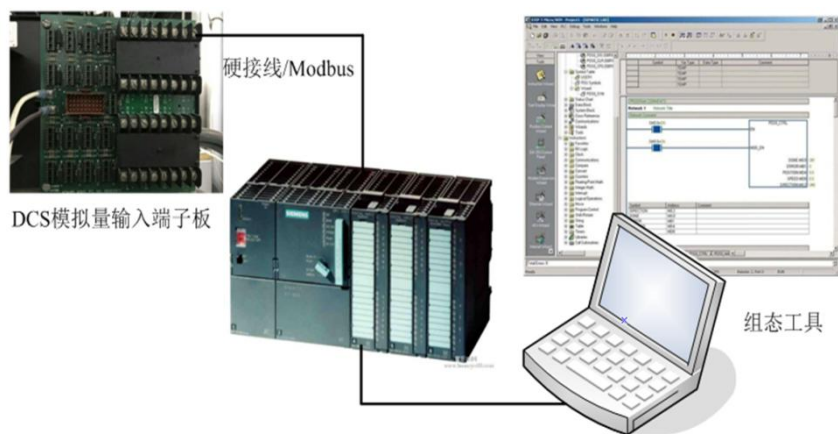
公司简介



开放式外挂先进过程控制优化系统

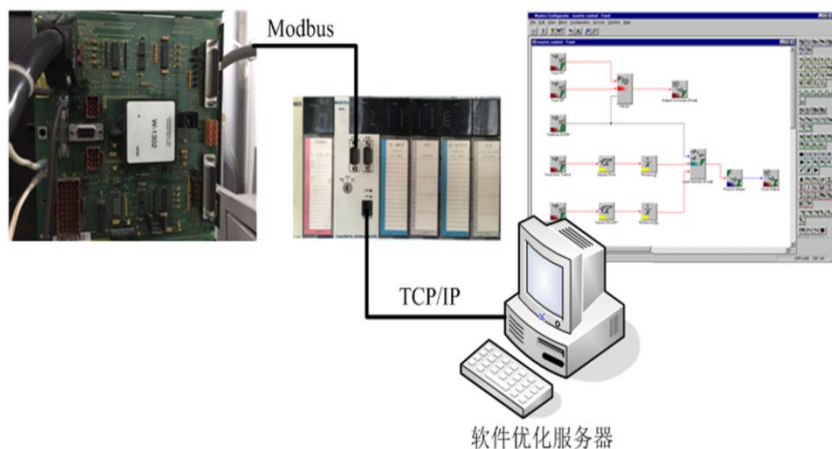
- 北京控软致力于火力发电厂自动控制系统运行优化、生产实时过程绩效评估、监测管理和先进控制（AECS-2000）系统的研发与推广。

第一代先进过程控制系统结构(10年前)



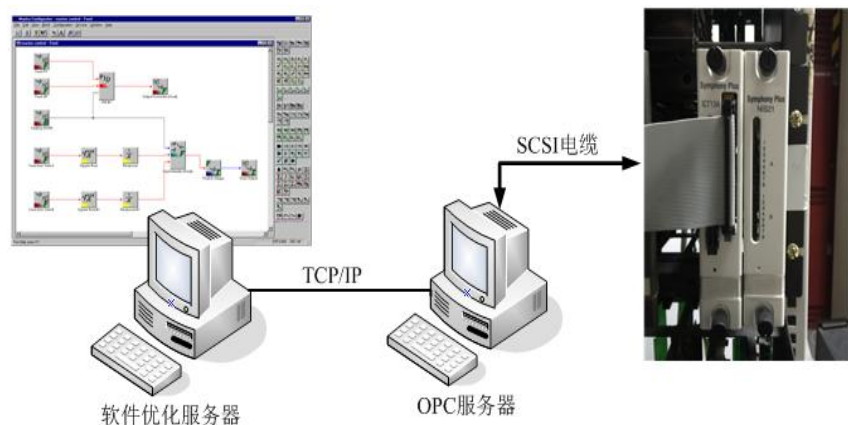
- 特点:
- 1. 采用通用的组态软件, 利用C语言接口编写了初步的内模算法. 这部分工作如果不是保密的原因完全可以在DCS内实现.
- 2. 数据传输速度慢, 稳定性差、淘汰产品。
- 3. 依赖于国外主流的PLC厂家, 虽然成本低, 但不能开放。

第二代先进过程控制系统结构(5年前)



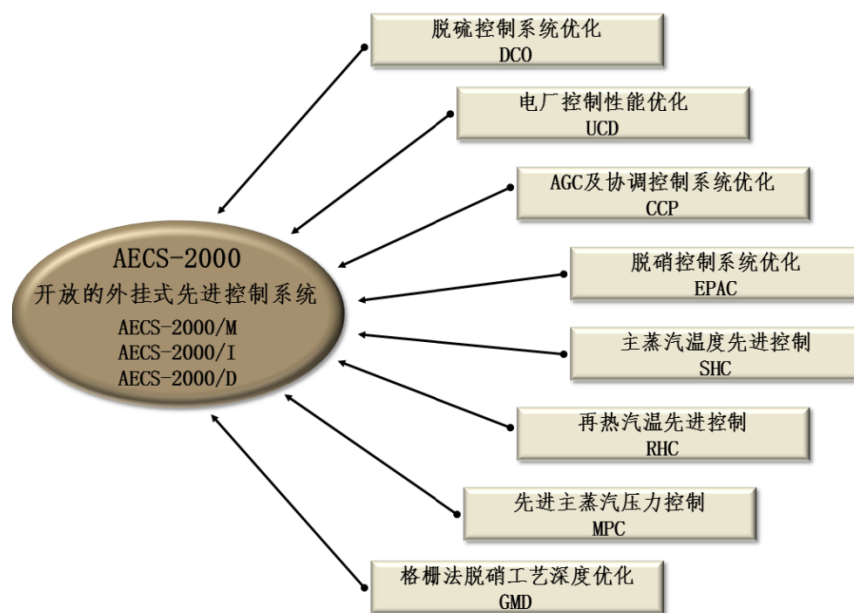
- 特点:
- 1. 基于先进控制算法的平台. 具有成熟的先进控制算法模块.
- 2. 仍然拥有硬件的控制器负责逻辑运算并且通过MODBUS和DCS通讯.

面向未来新一代先进过程控制系统结构



- 特点:
- 1.采用全数据结构跟DCS系统进行数据交换,完全避免了外挂系统和DCS系统的物理连接.
- 2.先进控制算法功能强大,并且可以具备任意时间对系统逻辑和参数的修改.对过程模型的建模,PID参数整定,回路绩效的评价系统.从而展开对复杂过程的复杂控制.支持对电厂自己研发策略的数据加密功能.
- 3.大型服务器底层的Kernel虚拟控制器技术替代了硬件控制器.功能变的更加强大

优化系统构成模块



- 先进控制实时优化系统通过多年的技术积累，根据国内发电厂的实际情况，逐步研究开发出火电机组迫切需要的先进控制功能模块。优化系统和DCS系统完美结合提高了机组的发电效率、降低了发电煤耗，为发电厂的节能降耗工作带来了可观的经济效益。

开放式先进控制系统概述

■ 兼容不同的控制平台 (PLC和DCS)

除了和ABB DCS完美兼容同时和市场上绝大多数工业控制系统的全面兼容. 数据格式的兼容, 底层数学控制模型的兼容, 采用通用的OPC通讯平台

■ 为什么需要“先进过程控制”

复杂的超越常规DCS控制器运算能力的复杂算法
对机组主要调节回路长期的实时的策略和参数修改

■ 基于PID的先进控制

前馈控制, 串级控制, 分时控制, 变参数控制等等

■ 真正成熟商业化的基于内模控制的先进控制算法块

IMC 内模控制器 (即预估控制) 解决大时滞过程

CC 协调控制器

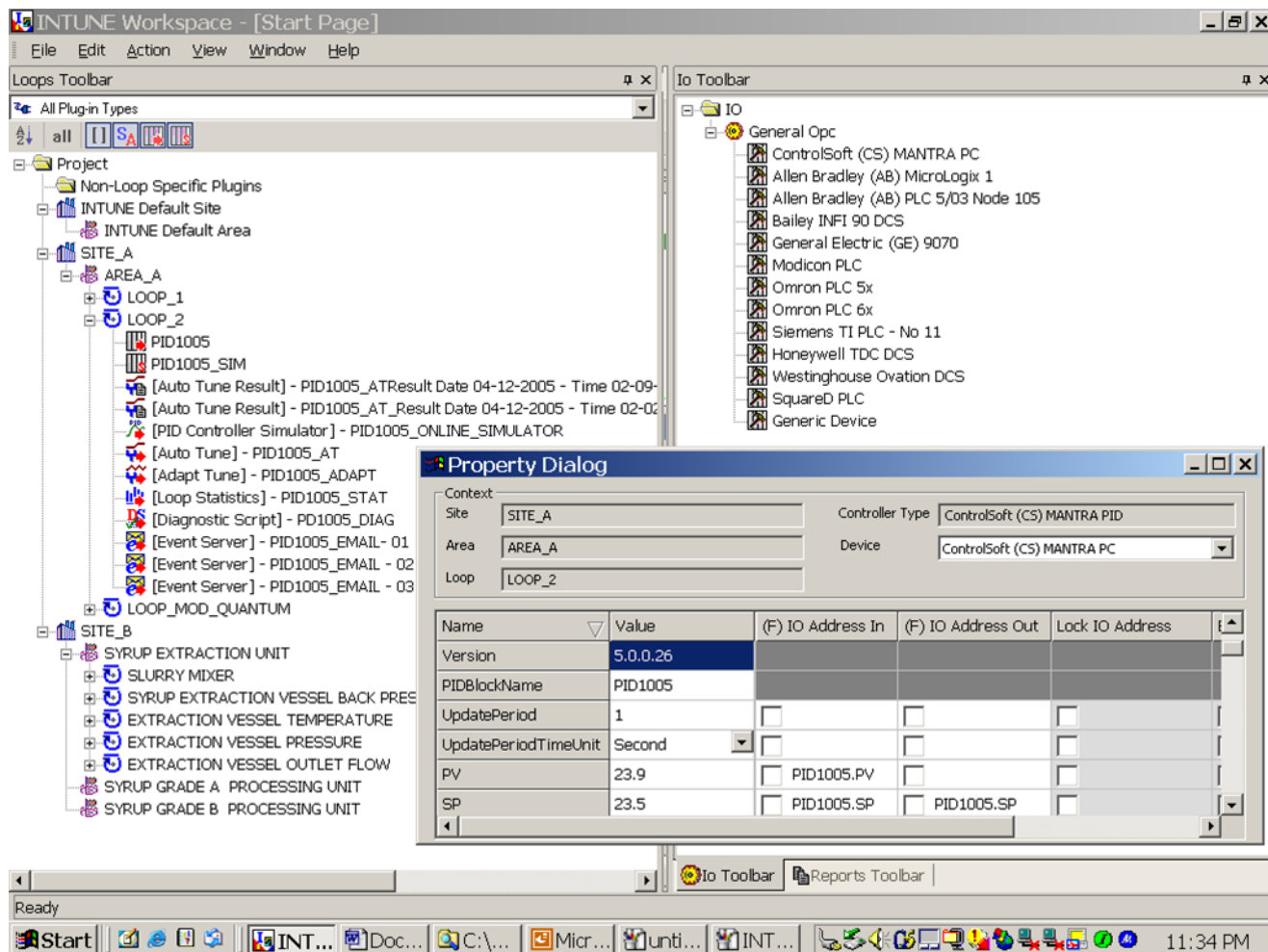
MMC 多变量解耦控制器 解决多回路耦合 基于建模的先进控制

■ 开放的系统友好的人机界面

事实证明国外公司的黑匣子运行策略方式在中国是失败的

后期的维护将成为先进控制系统能够长期稳定的运行的关键

兼容不同的控制平台(PLC和DCS)

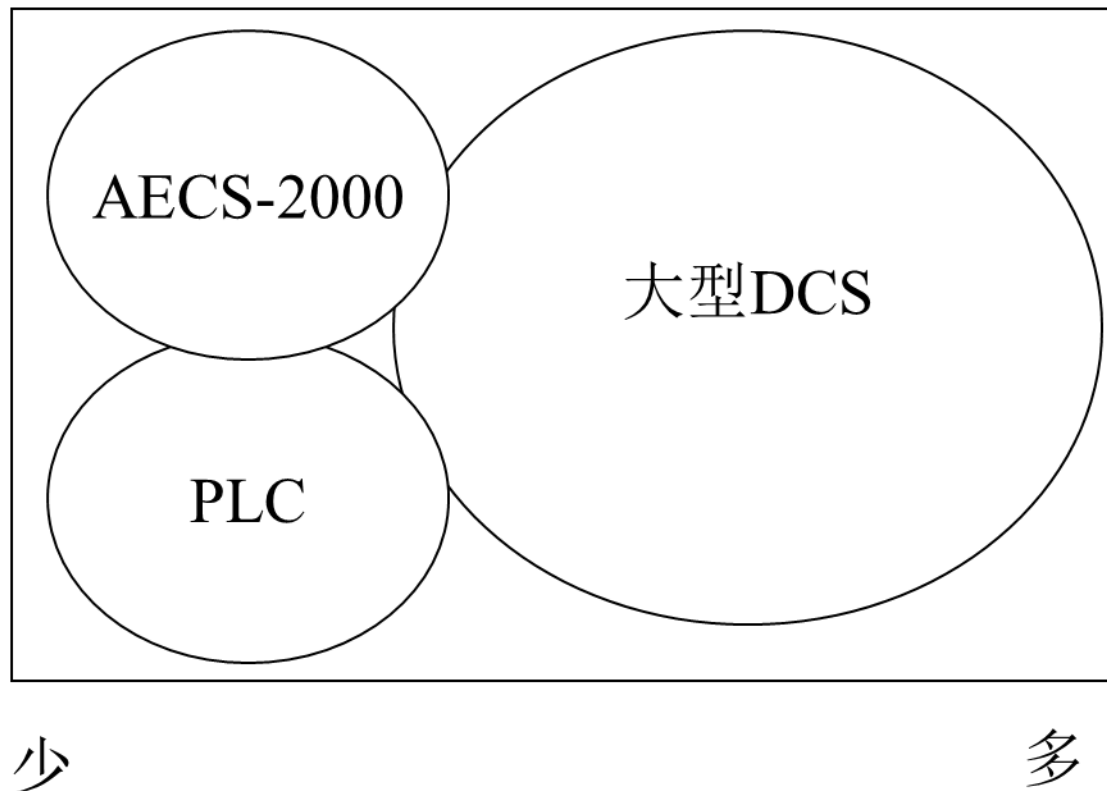


开放性外挂式先进过程控制市场定位

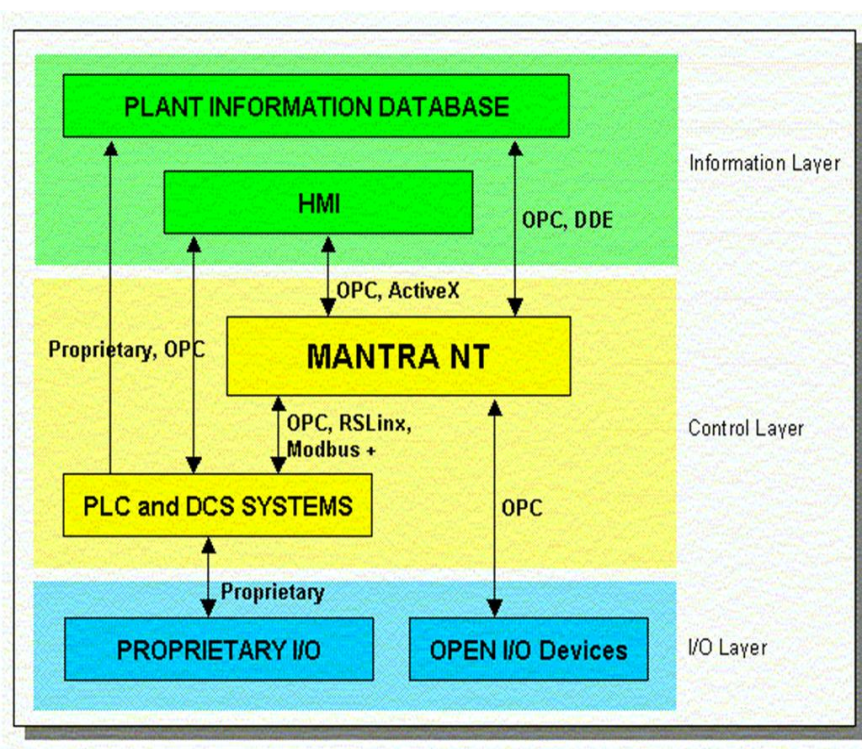
先进控制AECS

控制类型

常规PID



AECS-2000开放式的控制结构

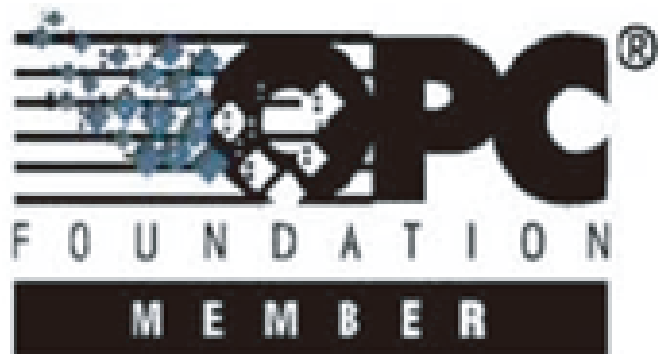


- 基于工业4.0的先进理念,可以引入电厂管理系统的数据库运算分析结果加入到过程控制中来.

AECS-2000开放性主要表现

1. OPC通讯无处不在；
2. ACTIVE X画面和操作方便易用；
3. 可任意合成新的专属功能码，并可密码锁定；
4. C语言用户自定义功能码接口简单方便；
5. 方便易用的在线建模调参技术

OPC通讯无处不在



- OPC(OLE for Process Control, 用于过程控制的OLE)是一个工业标准，管理这个标准国际组织是OPC基金会，OPC基金会现有会员已超过220家。遍布全球，包括世界上所有主要的自动化控制系统、仪器仪表及过程控制系统的公司。基于微软的OLE(现在的Active X)、COM（部件对象模型）和DCOM（分布式部件对象模型）技术。OPC包括一整套接口、属性和方法的标准集，用于过程控制和制造业自动化系统。

OPC数据交互方式



MANTRA Application Developer - [TestProject - TC1005X]

File Edit View Blocks Configuration Online Window Help

TC1005X.TT1005 [24.99693]

PID1005

CO [12.45557]

对于其它的OPC 客户端(Client)而言, INTUNE则是一个OPC服务器(Server)

Property Dialog

Context

Site SITE_A

Area AREA_A

Loop LOOP_1

Controller Type Simple Variable

Device ControlSoft (CS) MANTRA PC

Name	Value	IO Quality	(F) IO Address In	(F) IO Address Out	Lock IO Address
UserName	MN_SV_1				
ControllerType	Simple Va...				
Version	5.0.0.26				
PV	24.99693	Good	☒ PID1005.PV		

INTUNE WorkSpace - [Start Page]

File Edit Action View Window Help

Loops Toolbar

All Plug-in Types

Project

Non-Loop Specific Plugins

INTUNE Default Site

INTUNE Default Area

SITE_A

AREA_A

LOOP_1

MN_SV_1

MN_SV_1_SIM

LOOP_2

PID1005

PID1005_SIM

RSI - OPC Test Client - [~ControlSoft.IntuneServer]

File Server Group Item Log View Window Help

ItemID	Sub Value	Sub Quality	Sub Upd:
MN_SV_1@Controller.PV@Property	24.9969	Good	8
MN_SV_1@Controller.Version@Property	5.0.0.26	Good	1

对于DCS系统的OPC服务器(Server)而言, INTUNE是一个OPC 客户端(Client)

Ready

For Help, press F1

Start

MA...

INT...

RSI...

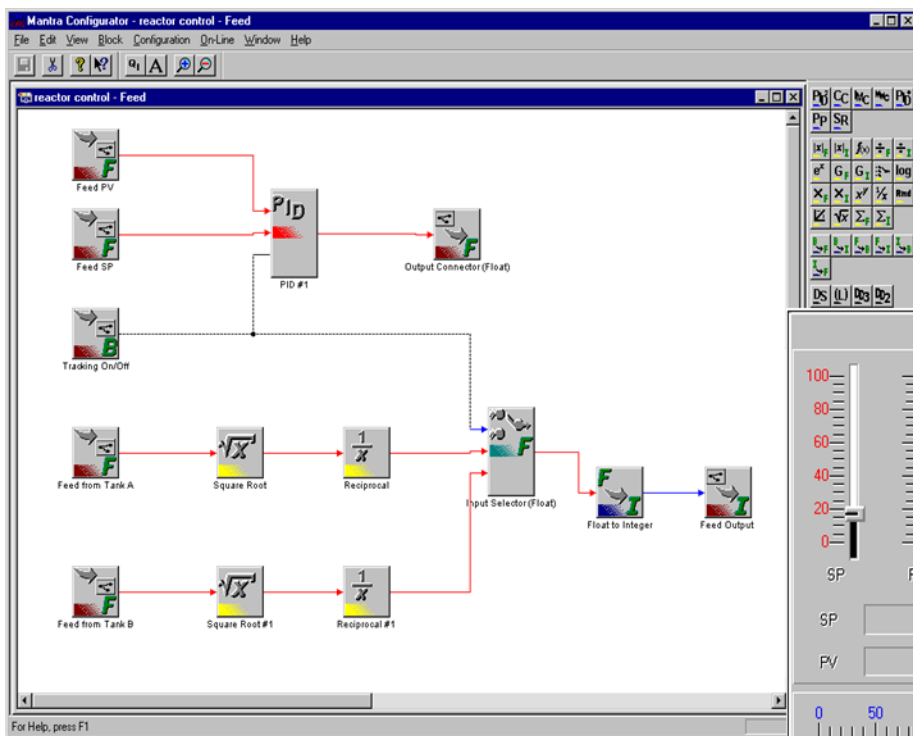
Unti...

Ad...

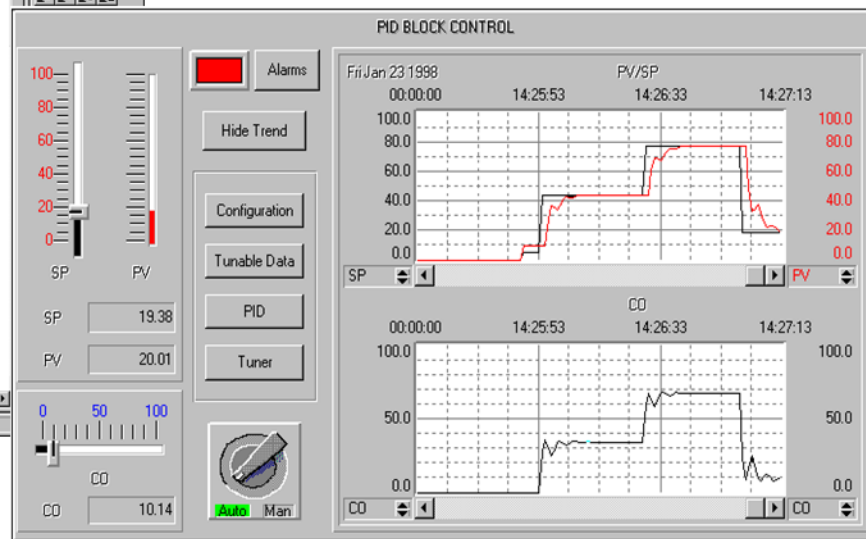
Eve...

2:06 PM

ActiveX画面操作方便易用

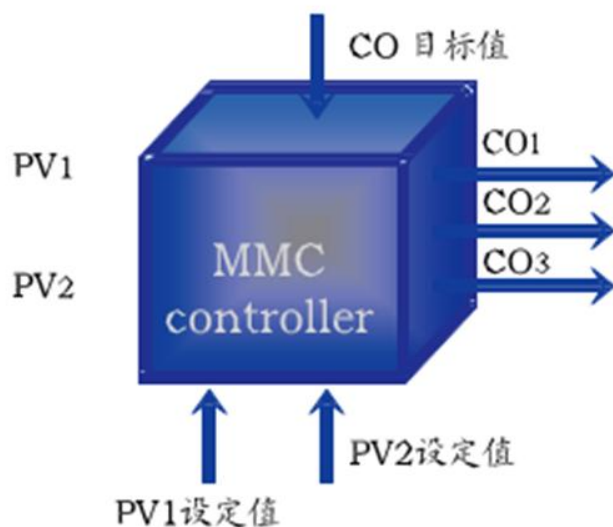
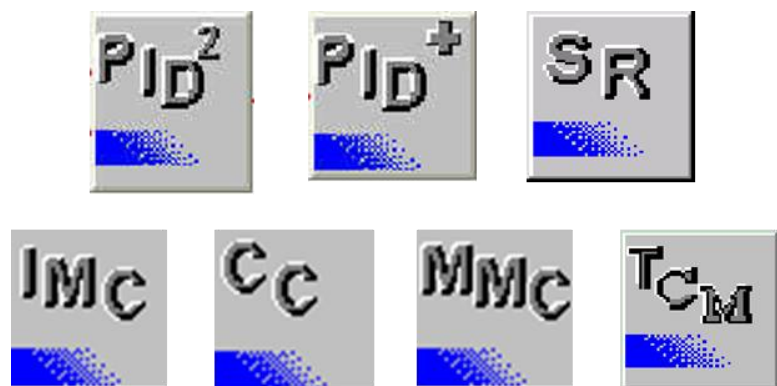


函数模块化编程工具



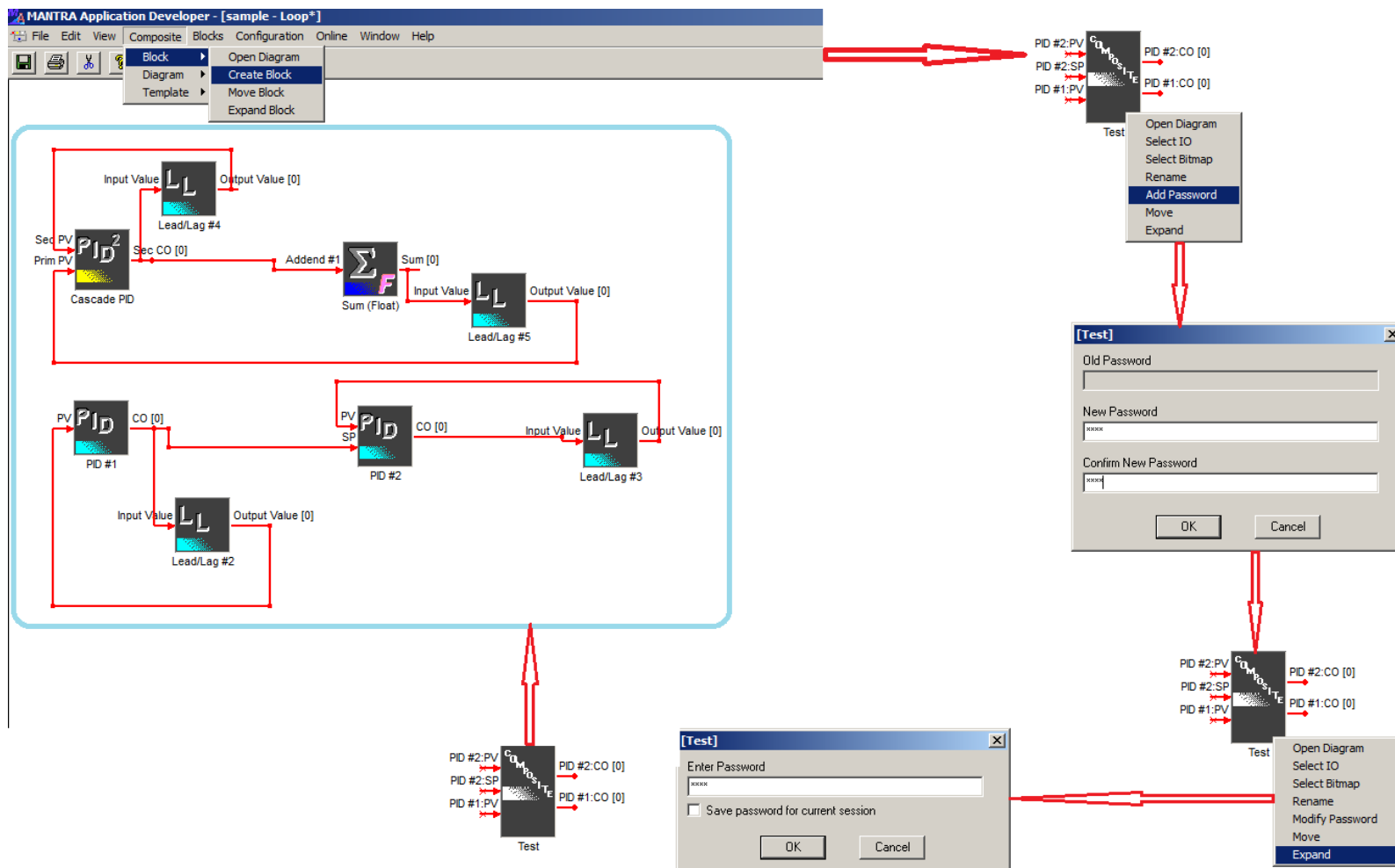
ActiveX技术的图形用户界面，可进行过程动态仿真

先进控制功能码



- 先进控制模块帮助优化和控制复杂的控制过程
- IMC模块提高了大延迟过程的控制质量（内模控制）
- 使用三个控制器输出控制某个过程变量的CC模块（协调控制）
- 使用三个控制器输出控制两个互作用的过程变量的多变量解耦控制（MMC）模块
- 串级PID, 多变量PID, 分程控制, 专用的温度控制模块

任意合成新的专属功能码并密码锁定



C语言用户自定义接口功能码

The screenshot displays the MANTRA Application Developer interface with the following components:

- Code Editor:** Contains C code for a user-defined block interface. A red arrow points from the `Test.dll` file in the file explorer to the `scanf` function call in the code.
- File Explorer:** Shows the file structure. A red arrow points from the `Test.dll` file to the `User Defined Configuration` dialog.
- User Defined Configuration:** A dialog box with a table of parameters. A red arrow points from the `Test.dll` file to the `Config` button.
- User Defined Block Select:** A dialog box for selecting blocks. A red arrow points from the `User Defined` icon to the `Create New Block` button.

C Code:

```
#include<stdio.h>
int main()
{
    int x,y;
    char sign;
    printf("输入x运算符y:");
    scanf("%d %c %d",&x,&sign,&y);
    if(sign=='*')
        printf("%d * %d = %d\n",x,y,x*y);
    else if(sign=='/')
        printf("%d / %d = %d\n",x,y,x/y);
    else if(sign=='%')
        printf("%d Mod %d = %d\n",x,y,x%y);
    else
        printf("运算符输入错误！\n");
    fflush(stdin);
    getch();
    return 0;
}
```

Parameter Title	Parameter Name	Parameter Value	Parameter Type
DLL Name	DLL Name	Test.dll	Config
Disable	Disable	False	Tunable
Swap DLL	Swap DLL	False	Tunable
Error Code	Error Code	0	Status
Error Count	Error Count	0	Status
Execution Time	Execution Time	0	Status
☐ Input/Tunable Float	User Defined	0	Input

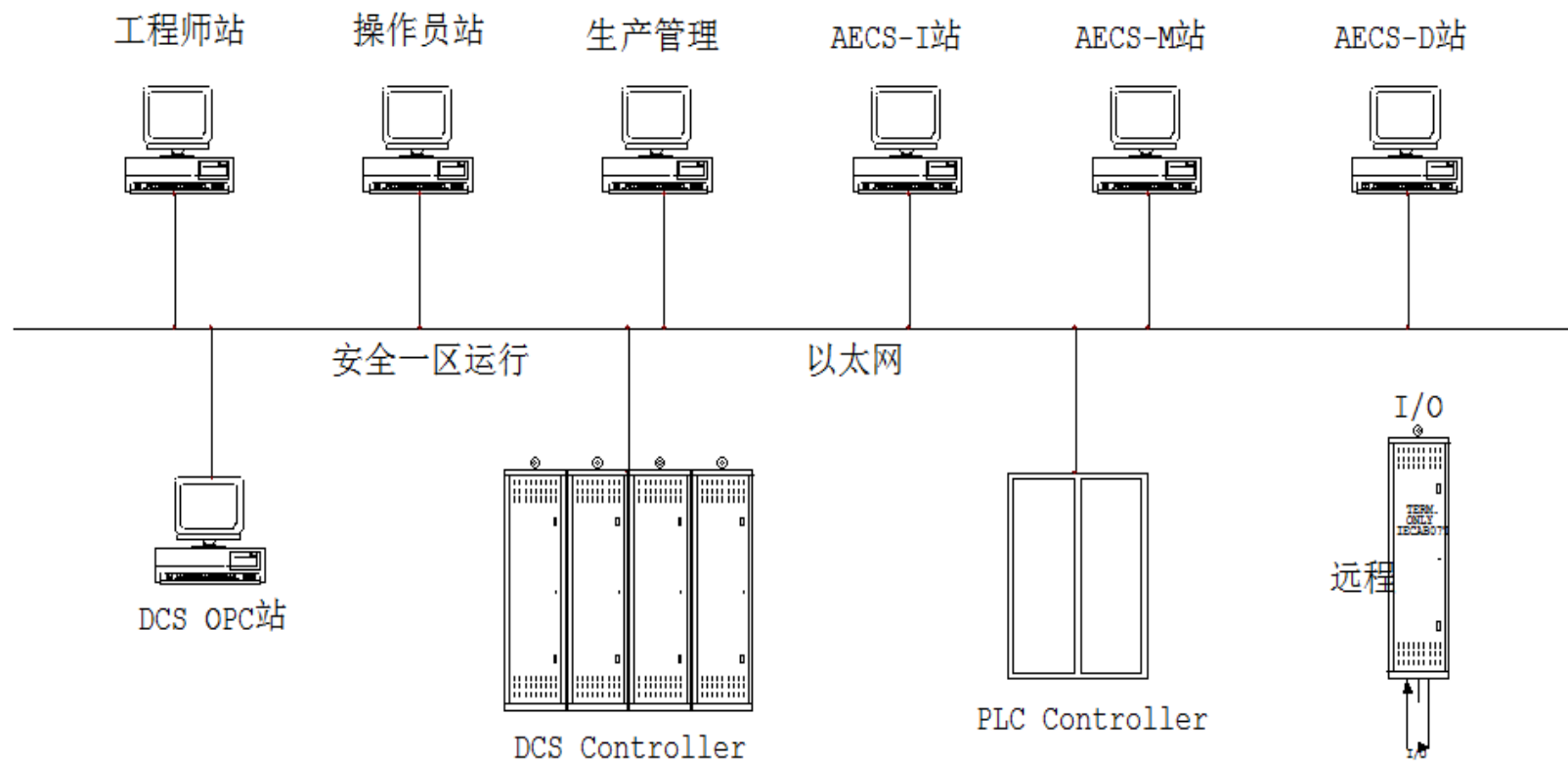
在线建模调参技术



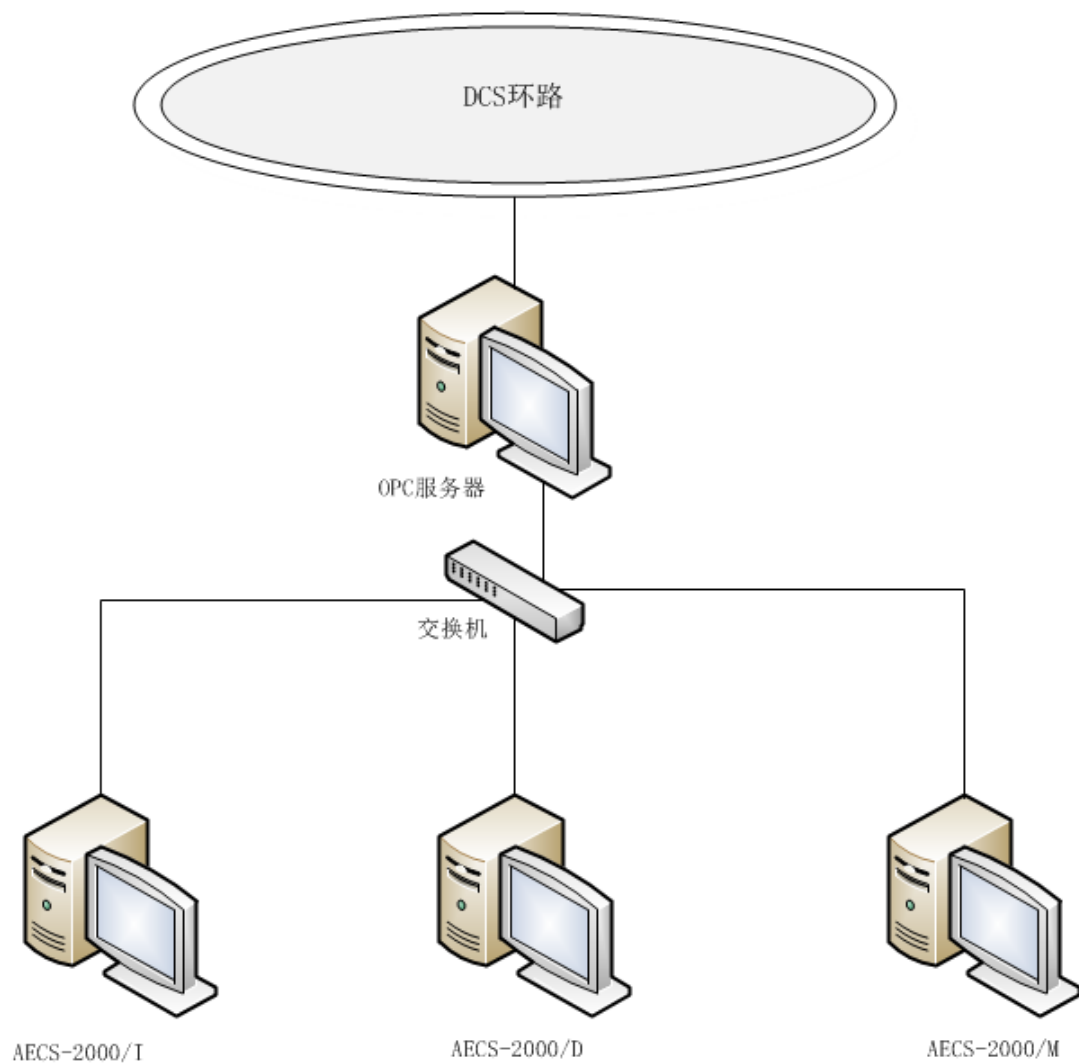
在线建模调参比较视频



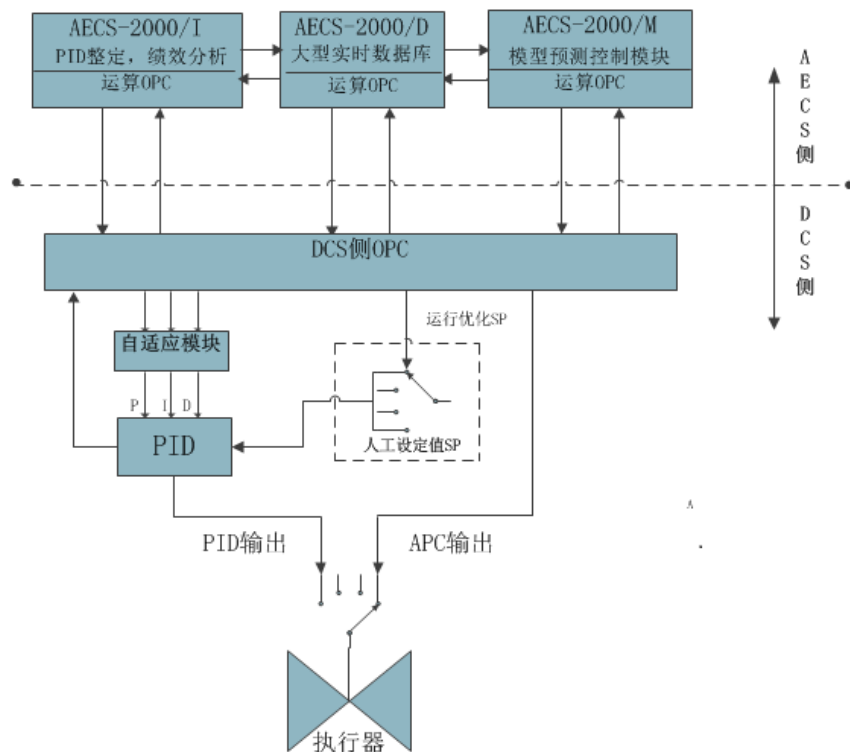
拓扑图



AECS与DCS通讯

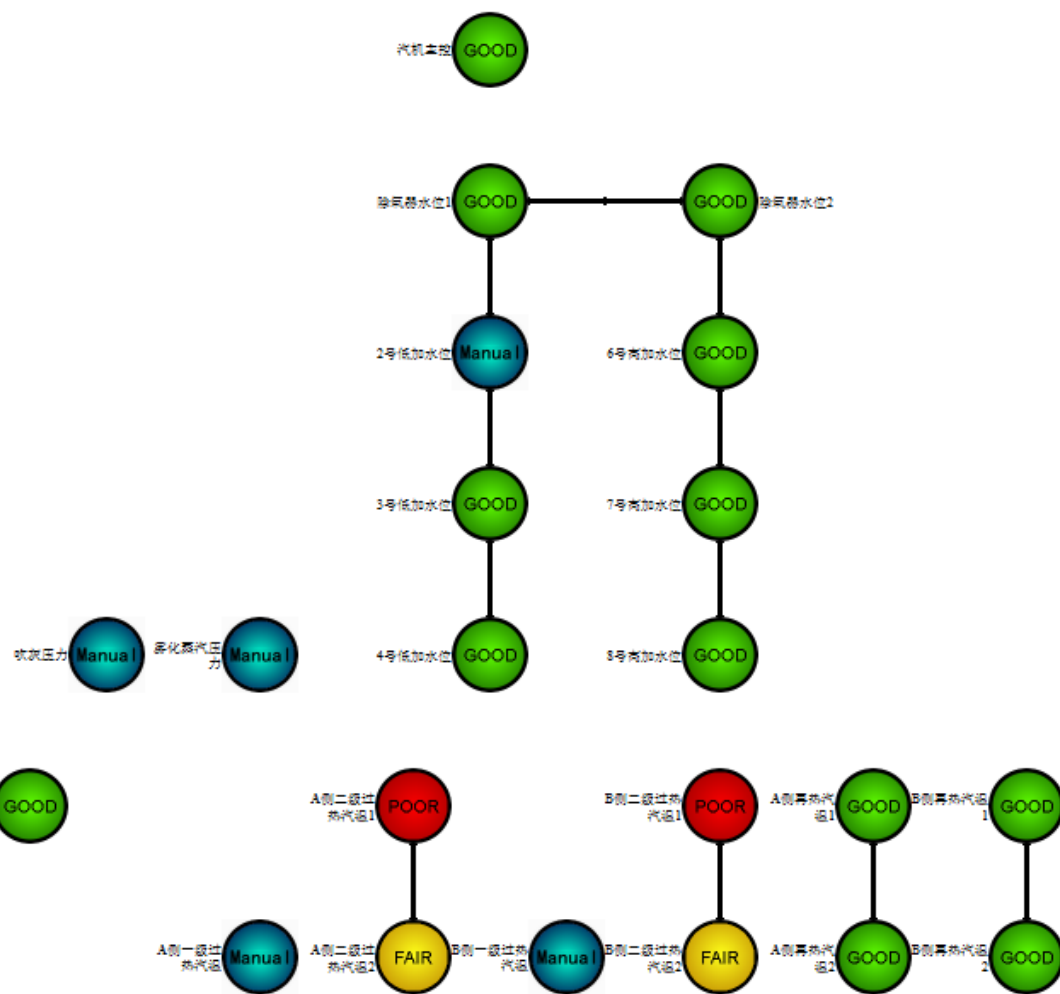
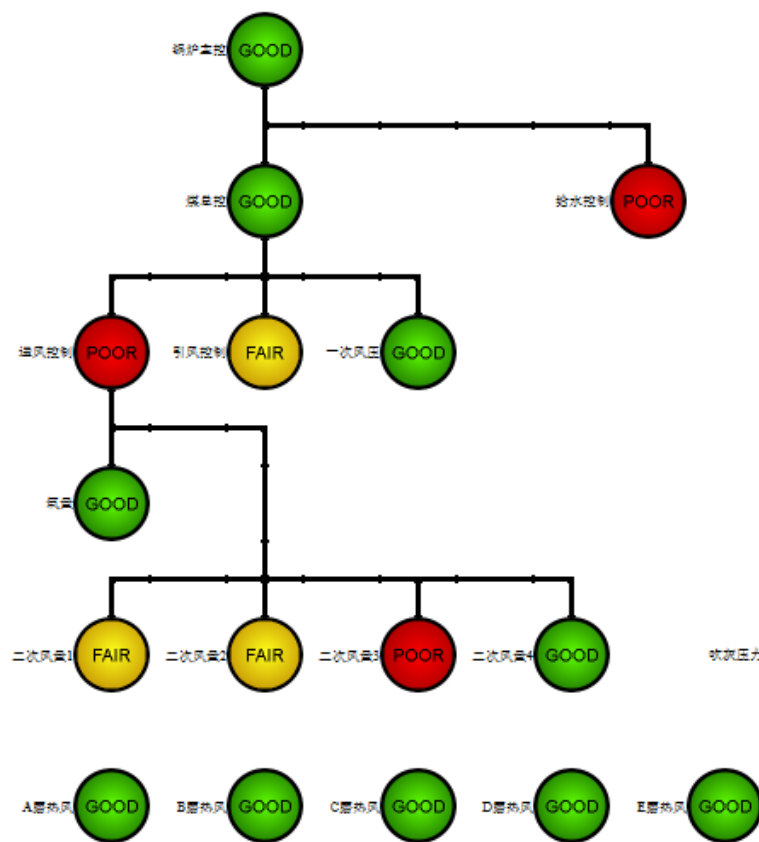


先进过程控制优化系统工作原理图



- DCS仍然作为先进控制系统运行的基础。在先进控制系统外，DCS始终保持在健康的运行状态，并且始终跟踪先进控制系统的输出，随时可以进行无扰切换。DCS侧和先进控制侧我们做有非常严谨的先进控制握手、保护、跟踪策略，用于安全投切。

电厂层级绩效图



针对电厂项目相关一次设备和规程的普查统计与整改建议



阀门诊断工具包

1. 再热器温度的一次检测设备和元件及测点分布
2. 摆角或挡板执行机构的卡涩和更换情况分析
3. 减温水喷水阀门流量特性分析
4. 运行人员的操作和投切习惯
5. 电厂针对运行人员的考核和奖励制度



项目实施案例

案例1 华能某电厂脱硝、主汽温先进控制实施

结合华能某电厂机组汽温和脱硝运行实际情况，北京控软与该电厂联合设计开发了汽温及脱硝控制系统，为大型火力发电机组的控制优化提供了一套完整的解决及优化方案。

机组状况

1.该电厂机组的DCS系统采用德国SIEMENS公司TELEPERM XP (SPPA-T2000)系统。包括数据采集、模拟量控制、顺序控制、锅炉炉膛安全监控、电气控制、汽机DEH、汽动给水泵组MEH等子系统。

2.该机组目前响应电网负荷调度指令，主要运行在AGC方式下,由于煤质的来源复杂性和电网调度的特殊性，机组自动系统存在以下问题：

（1）主汽温度由于自身存在的延迟大、惯性大特点，在机组升降负荷时调节品质较差，波动幅度有时能达到 $\pm 12^{\circ}\text{C}$ ，机组安全运行存在一定隐患。

（2）脱硝系统由于系统的惯性时间较长，导致负荷升降时调节品质较差。

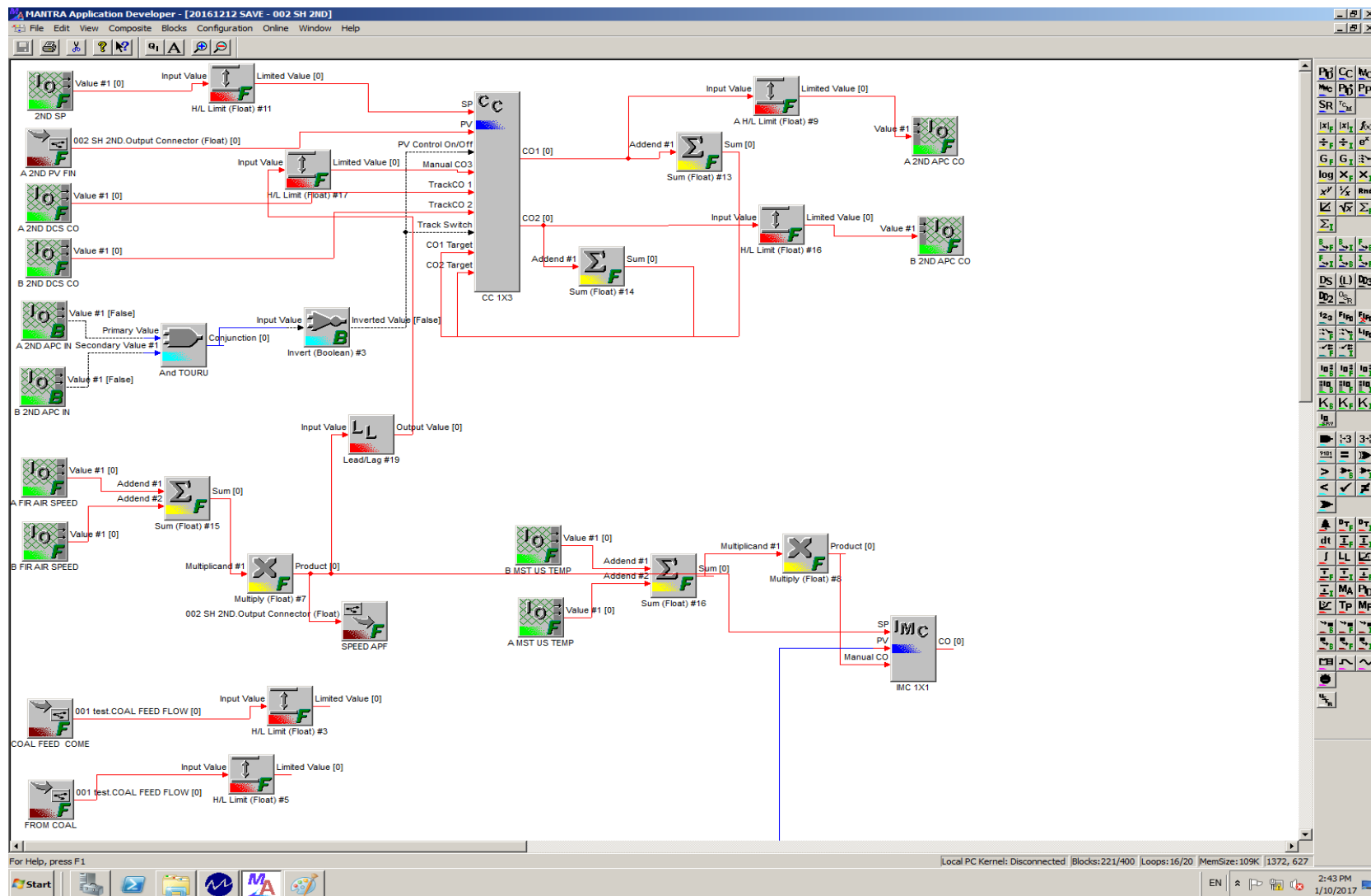
1111



1111



新型二减过热蒸汽温度控制系统相应控制策略

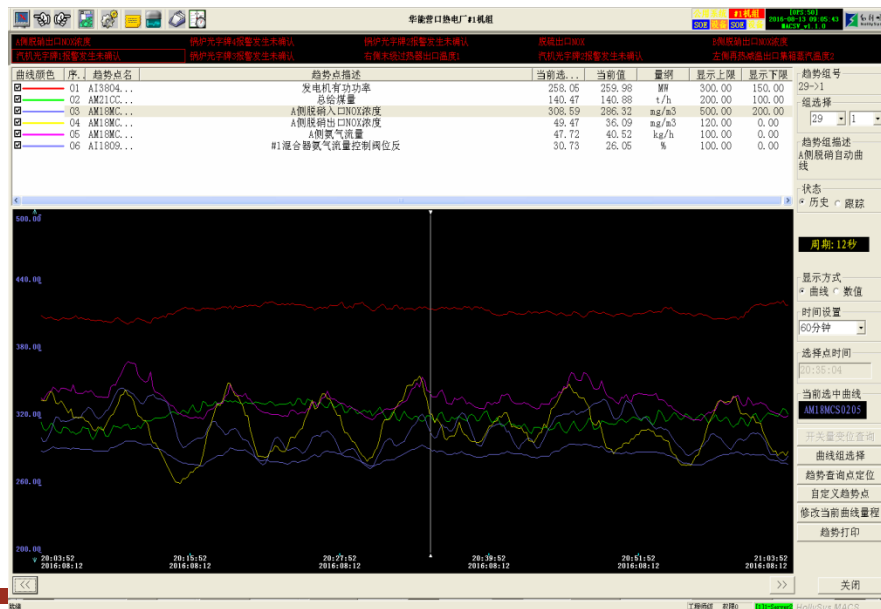


脱硝系统的响应曲线



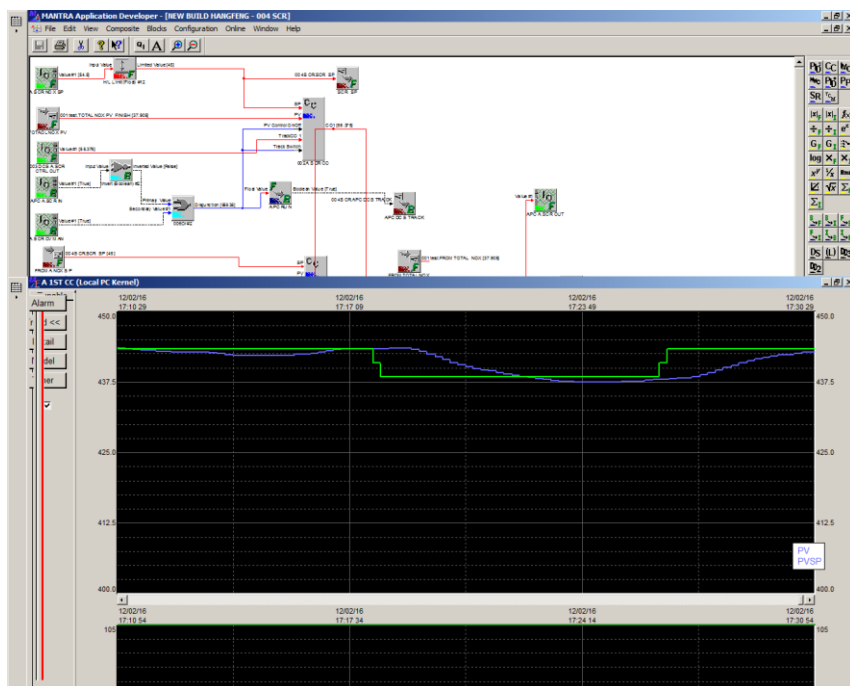
- 原DCS脱硝控制系统基本处于手动调节方式，投入APC（先进过程控制）系统后，脱硝能很好的投入自动，左图为吹扫信号扰动时系统响应曲线（后将吹扫信号逻辑处理屏蔽）

脱硝系统的响应曲线



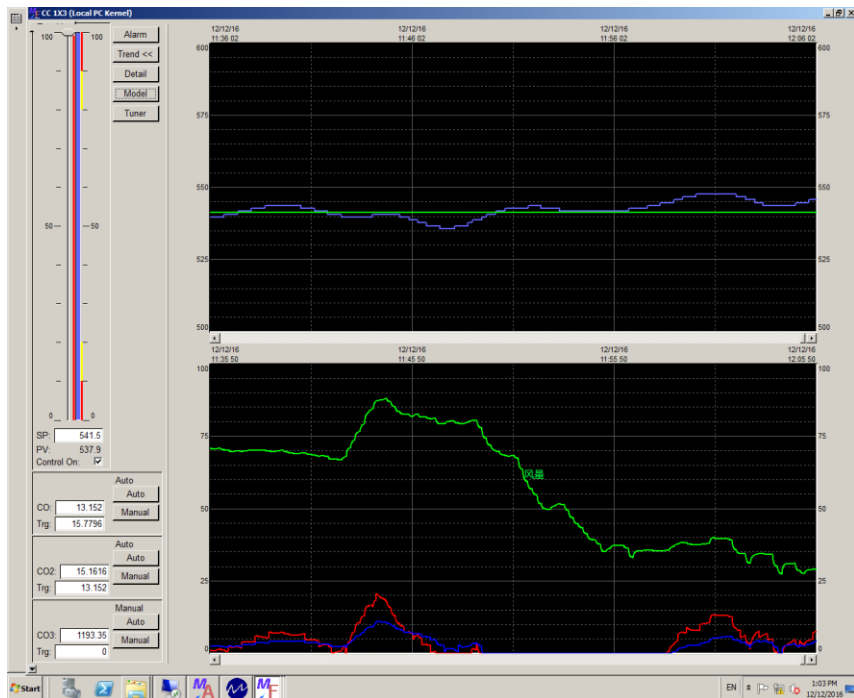
- 如左图所示，给煤量增加，入口NOX 参数增加，喷氨阀门动作，喷氨流量增加，出口NOX参数控制在设定值附近波动。

过热汽一级减温水响应曲线

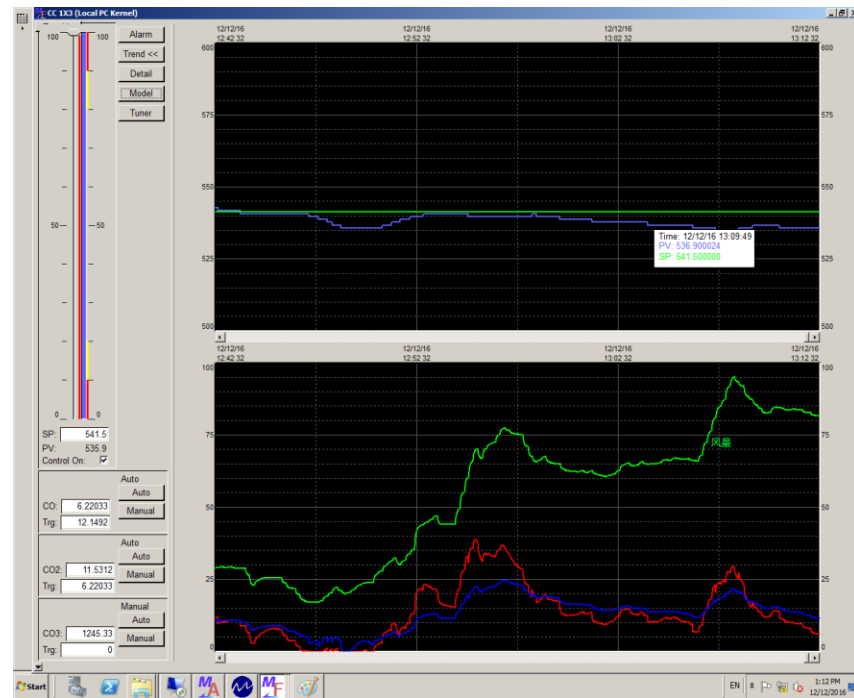


- 左图为过热蒸汽一级减温水阶跃扰动响应曲线。

过热汽二级减温水响应曲线



上图为过热蒸汽二级减温水风量减小扰动时系统响应曲线

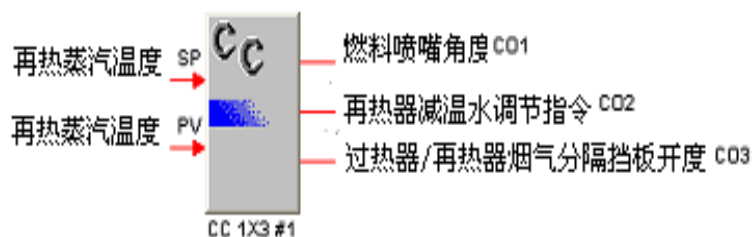


上图为过热蒸汽二级减温水风量增大扰动时系统响应曲线

案例2华能某发电厂再热汽温度先进控制

1. 机组DCS系统采用ABB INFI90 控制系统。#4机组采用AECS-2000过程控制优化系统对机组再热汽温回路进行实时优化，于2012年5月完成系统调试后随即开始试投运。
2. #4机组再热汽温调节采用燃烧器摆角和微量喷水两种方式，其中燃烧器摆角由运行人员手动调节微量喷水有A侧减温喷水和B侧减温喷水两个独立回路，采用导前汽温的串级PID控制。由于再热汽温对象为大延迟、大滞后环节，控制难度较大，而摆角采用手动控制方式，与运行人员的操作经验和习惯密切相关，导致再热减温喷水量较多，影响机组运行经济性。

再热汽温度先进控制(RHC)总体思路



- 本项目采用(AECS-2000)内置的协调控制CC模块与内模控制IMC相结合的控制策略，其中协调控制CC具有三输入三输出、自动协调各输入输出之间的强弱关系，即权重比。解决减温水与燃烧器摆角之间的耦合问题；内模控制IMC具有依据调节回路数学模型建立预测控制的特点，解决再热汽温延迟大、惯性时间长等问题

300MW机组再热汽温试验过程步骤

燃烧器摆角控制回路和再热器减温水控制回路的试验计划分别在200MW和300MW负荷的工况下进行：

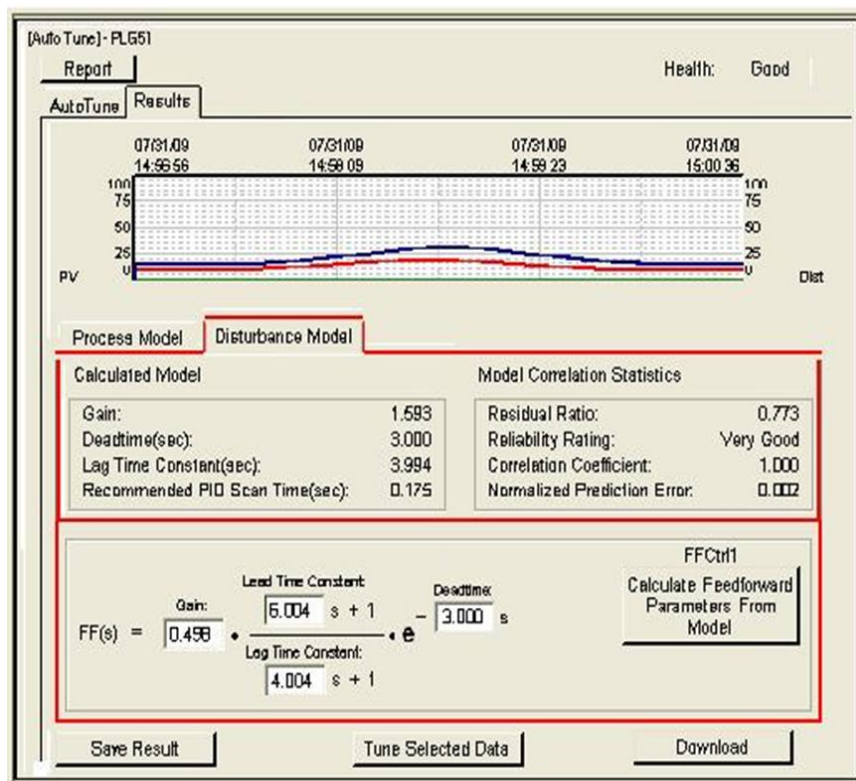
(1) 燃烧器摆角开环建模试验。将机组负荷稳定分别在200/300 MW左右，维持煤量、风量、蒸发量基本不变。燃烧器摆角控制在手动，且上下有调节裕度。在现有开度上，执行器做10%~15%的正负向扰动，记录被调量变化曲线，待再热汽温稳定后，再进行下一步扰动试验；根据实际情况重复试验，以期获得最好的模型参数。

(2) 再热减温水开环建模试验。将机组负荷稳定在280MW左右，维持煤量，风量，蒸发量基本不变。燃烧器摆角控制在手动，再热器喷水减温阀在手动，使再热喷水减温阀处于线性区段内，记录当时的再热汽温。再热器喷水减温阀指令增加10%，观察再热汽温变化，直到汽温稳定。待再热汽温稳定后将A侧喷水减温阀指令减小20%，观察A侧再热汽温变化，直到汽温稳定。根据实际情况重复试验，以期获得最好的模型参数。

(3) 总风量对再热汽温影响的试验。将机组负荷稳定在280MW左右，维持煤量，风量，蒸发量基本不变。烟汽挡板手动控制，再热喷水调阀手动控制。将机组负荷降至260MW，观察再热汽温变化，直到汽温稳定，记录再热汽温。然后将机组负荷恢复至280MW，观察再热汽温变化，直到汽温稳定，记录再热汽温。根据实际情况重复试验，以期获得最好的模型参数。

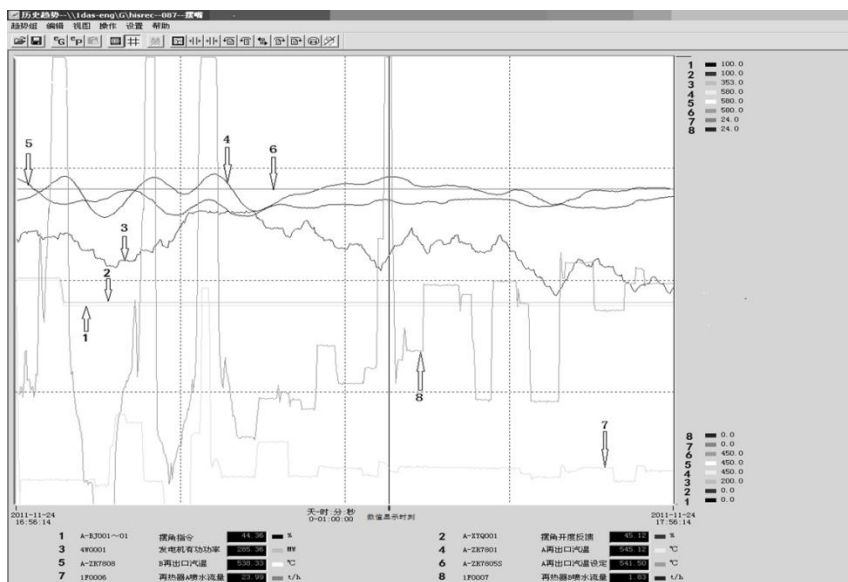
根据实际情况重复试验，以期获得最好的模型参数。

建模优化

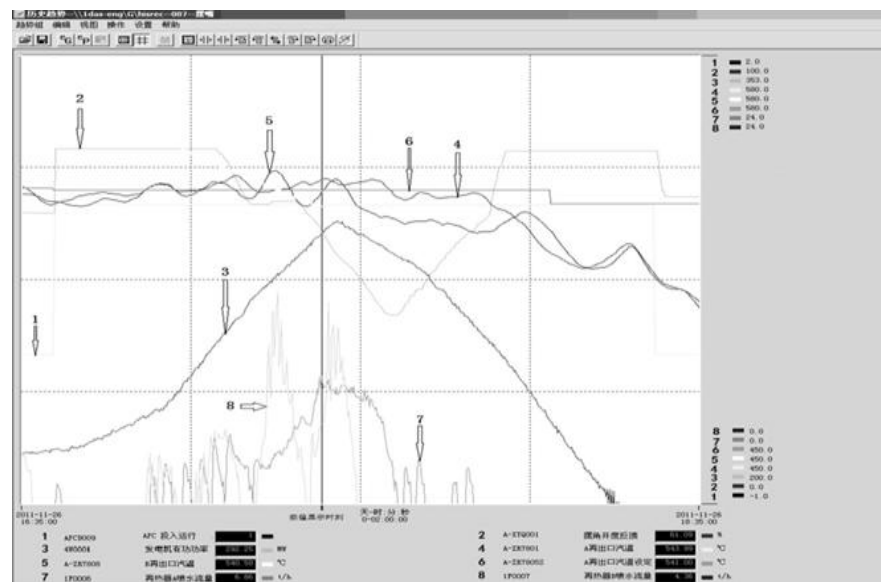


- 待模型建立，投入 AECS-2000 自动控制时，输出上下限做好限制，在保证动作方向正确，速率合适后，适当放开输出上下限制，并进行定值扰动试验，检验调节情况，并进行适当的参数优化。并在负荷变、动试验中检验调节情况并进行参数优化，直至最佳。

AECS-2000投入前后对比图



AGC投自动,运行人员手动操作,机组未投入AECS-2000,摆角再热汽温全程手动控制.



机组AECS-2000自动控制系统成功经受省调度AGC自动投入下负荷短时间大幅度摆动的极其恶劣的运行工况考验的历史数据图 2.

1.效果说明

机组负荷在260-300MW负荷波动下一个小时

摆角：运行人员从50%降至45%（0°到-2.5°）

A再热汽温波动为534℃到547℃

超过要求的535℃-545℃的厂内要求再热汽温波动指标范围
（再热汽温设定值一般在540℃±2℃）5次

B再热汽温波动为532℃到544℃

超过要求温度范围3次。

并且A再热汽温几乎大部分在设定点温度541℃上方运行，
而B再热汽温几乎全程在设定点温度下方运行，同时运行人员手动干预摆角并且减温水调门频繁动作，造成A再热汽喷水流量平均8T/H的流量，且最高流量达到24T/H的流量值，B再热汽喷水流量平均2.6T/H的流量，最高流量至11.5T/H的流量。

2.效果说明

在两小时内负荷快速由210MW到303MW，然后急剧降低到200MW以下的极端运行工况期间，AECS-2000系统在这个极端过程中，全程自动下通过以摆角为主控、两侧减温水调门为辅助调节手段的方式，快速响应大负荷扰动并极好的维持了A、B两侧再热汽温在 535°C - 545°C 范围内的稳定安全经济运行，最后在运行燃烧控制系统热值不足以维持A、B再热汽温 540°C 的条件工况下自动无扰切换到手动控制而把控制权交给DCS控制系统，由运行人员进行手动干预，从而极好的实现了再热汽温的精细化自动控制

再热减温喷水流量数据表

投用 MANTRA 优化引擎协调控制后，减少了运行人员对燃烧器摆角的操作强度，同时降低了再热减温喷水量，提高机组运行经济性。#4 机组再热减温喷水流量的横向和纵向对比见表 4-3 和表 4-4。

	#1 机组	#2 机组	#3 机组	#4 机组
再热器事故喷水量 kg/h	7962	3018	1561	2924
再热器微量喷水量 kg/h	6177	5878	6551	4085
再热器喷水总量 kg/h	14139	8896	8112	7009

表 4-3 2012 年 1 月四台机组再热减温喷水流量数据

	#1 机组	#2 机组	#3 机组	#4 机组
再热器事故喷水量 kg/h	8182	3658	3136	2061
再热器微量喷水量 kg/h	6306	6601	5963	3477
再热器喷水总量 kg/h	14488	10259	9099	5538

表 4-4 2012 年 7 月四台机组再热减温喷水流量数据

- 投用AECs-2000优化引擎协调控制后，减少了运行人员对燃烧器摆角的操作强度，同时降低了再热减温喷水量，提高机组运行经济性。机组再热减温喷水流量的横向和纵向对比见表4-3和表4-4。

谢谢观赏

A

E

C

S

2000



2017火电灵活性改造技术交流研讨会

推进火电调峰——促进电力绿色发展

主办单位：中国节能协会热电产业联盟 协办单位：北京华电光大环境股份有限公司