

# UW500 大规模分布式控制系统在生物质发电机组上的应用

**摘要：**为保证机组安全、经济运行，提高调节品质，采用 DCS 对电厂自动控制回路进行优化是目前电力行业发展的趋势。本文主要介绍了 UW500 分散控制系统的结构和特点，及其在山西七一华富生物质 2\*15MW 机组上的应用实践。重点针对了部分控制回路的控制策略做了详细的阐述。

## 一. 概述

由上海电气总包承建的山西七一华富生物发电有限公司 2×15MW 秸秆发电项目，是山西省新能源重点工程。七一华富生物发电有限公司厂址位于山西省长治市襄垣县鹿亭镇史家岭村，工程建设 2×15MW 机组。

该机组自 2014 年 DCS 系统成功改造投运以来，机组及系统运行安全稳定；运行操作方便快捷，报警联锁及时可靠；自动回路都成功投运，取得了很好的调节效果，全面保证了机组的安全、经济运行。

## 二. UW500 DCS 控制系统简介

UW500 控制系统采用新型的 DCS 体系结构，突破了传统控制系统的层次模型，实现了多种总线兼容和异构系统综合集成的“网络化控制系统”。UW500 是由上海电气、浙江大学、杭州优稳自动化系统有限公司等单位经过多年的产学研联合攻关研发的新一代分散控制系统产品。它使工业自动化系统真正实现了网络化、智能化、数字化，突破了传统 DCS、PLC 等控制系统的概念和功能，也使企业内过程控制、设备管理得到合理的统一。UW500 控制系统结构如下图 1 所示。

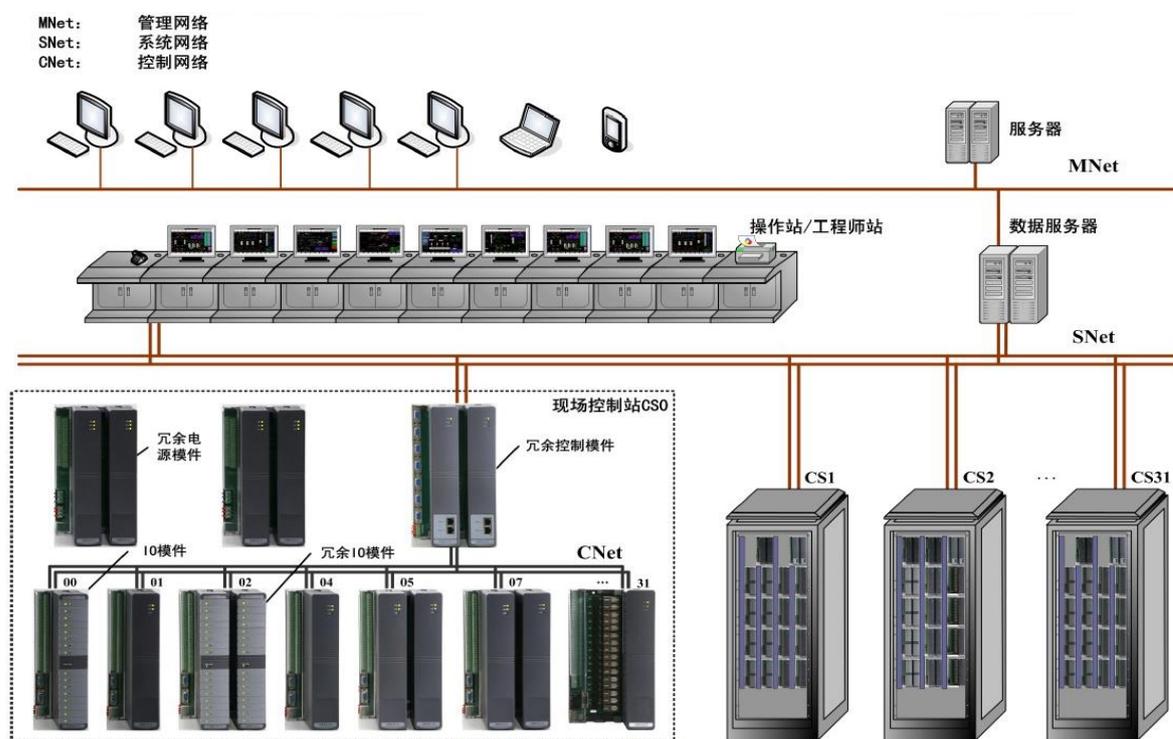


图 1 UW500 控制系统结构图

系统的主要特点有：

(1) **开放性** UW500 分散控制系统软件具有良好的开放性能，融合了各种标准化的软、硬件接口，设计灵活、应用性强，能够满足电力系统安全生产的需要，同时系统应用软件能够方便的嵌入现场总线设备与第三方集散控制系统，即满足用户的操作要求，又便于维护和使用。

(2) **兼容性** 符合现场总线标准的数字信号和传统的模拟信号在系统中并存。使企业现行的工业自动化方案和现场总线技术的实施变得简单易行。

(3) **安全性** 系统安全性和抗干扰性符合工业使用环境下的各类国际标准。

(4) **故障诊断** 具有模件、通道以及变送器或传感器故障诊断功能，智能化程度高，轻松排除断线等故障。

(5) **远程服务** 能够通过远程通信媒体实现远程监控、故障诊断、系统维护、操作指导、系统升级等。

(6) **实时仿真** 系统具有离线的实时调试和仿真功能，缩短系统在现场的调试周期并降低了方案实施的风险。

(7) **信号精度** I/O 卡件采用国际上最新推出的高精度 A/D 采样技术( $\Sigma-\Delta$ A/D, 22 位精度)，先进的信号隔离技术，严格测试下的带电插拔技术，以及多层板和贴片技术。使信号的采集精度更高，卡件的稳定性更好。

(8) **控制** 系统控制组态增加了符合 IEC1131-3 标准的组态工具 FBD、LD、SFC、ST 等，使 DCS 与 PLC 的控制功能得到统一，实现了局部控制区域内的实时过程信息的共享。

(9) **数据管理** 收集并管理数据、储存历史数据并将之传到公共数据库，也可以将数据分散到不同的报表中，从而保证过程在一个最佳的状态运行。

(10) **报警** 采用分布式报警管理系统。可以管理无限报警区域的报警、基于事件的报警、报警优先权、报警过滤以及通过拨号输入/输出管理设备的远程报警。

(11) **易于使用** 操作员站设计的各种功能，运行人员经短期培训就能全面掌握，操作画面简单明了，设置操作提示，对运行操作人员进行了指导性操作，减少了运行人员误操作可能。工程师站的组态软件，应用过程中程序化强，便于热控人员贯通掌握、提高检修技术水平。

### 三. 控制系统总体设计方案

#### 3.1 系统概述

在七一华富生物质发电工程项目中，主要为机炉集控部分，涵盖有 DAS（数据采集和处理系统）、SCS（顺序控制系统）、MCS（模拟量控制系统）、FSSS（炉膛安全监控系统）、ETS（汽轮机紧急跳闸保护系统）以及 R-IO（远程输入输出）和 SOE（事件顺序记录系统）<sup>[1]</sup>。同时将 UW600 DCS 系统信息网与厂用 MIS（信息管理系统）网通过防火墙进行数据传送，达到了实时监视与管理的目的。

在该项目中有安全门自动保护回路 4 套，汽包水位保护 1 套，共计 5 套自动保护系统，同时在该项目中两台单元机组母管制控制方式。

#### 3.2 部分重要控制回路介绍

##### 3.2.1 主汽压力调节自动控制

项目锅炉设备额定蒸发量为 75/h，额定压力 3.85MPa。锅炉为单炉膛 II 型布置、固态排渣方式。它设置有双链条式，其固态黄杆秸秆为燃料，过热器调节采用一级喷水减温方式<sup>[1]</sup>。

自动控制涉及的主要参数如表 1 所示。

表 1 自动控制涉及的主要参数表

项目	参数
额定蒸发量	75 t/h
额定蒸汽压力	5.3 MPa
额定蒸汽温度	485℃
给水温度	110℃
锅炉本体	1183 m <sup>2</sup>

主蒸汽压力自动调节系统是锅炉主要的自动调节系统之一,它通过燃烧控制系统直接承担着锅炉负荷调整任务,它的投用及调节效果的好坏,将直接影响锅炉汽包水位,主汽温等参数的调节。锅炉燃烧主蒸汽压力自动调节系统是以反映锅炉热量供求平衡的主汽压力信号作为控制参数,通过改变锅炉燃烧量与配风量来改变锅炉的燃烧状况。根据主汽压力参数高、低,调整锅炉给料机转速以改变燃料量,从而实现主汽压力参数的校正。

在锅炉的燃料调节系统中,采用“热量—燃料”调节方式,热量信号由蒸汽信号和汽包压力的微分所组成,是一种间接测量燃料量的方法。

主蒸汽压力调节系统的控制参数的整定主要体现在锅炉热量信号的改变上。当锅炉燃烧状况改变时,锅炉热量信号也会相应的发生变化。而当锅炉主蒸汽流量改变时,只要进入炉膛的燃料量不变化,热量信号就不应该变化,即锅炉主蒸汽流量的变化与锅炉汽压的变化存在一定的耦合关系。因此整定热量信号时应该考虑,当存在内扰时,热量信号相应的发生变化;当存在外扰时,热量信号不能变化。由 DCS 实现的锅炉主蒸汽压力作为主控制信号,以主蒸汽流量信号作为副调信号的串级控制系统。

### 3.2.2 一级减温水自动控制

主蒸汽温控制为减温水控制,其中减温水为粗调,其减温水流量为 0~20t/h。

锅炉减温水两侧主蒸汽温度控制系统均投入了自动,减温控制系统的主要任务是保持集汽集箱前后的温差与锅炉负荷成一种函数关系。因此一级减温水控制与二级减温水控制在主汽温度控制系统中是必须保持一种相互协调关系。减温水调节如图 2 所示。

其中减温水控制系统的作用是对主蒸汽温度以快速消除影响主汽温度较大的扰动(比如链条秸秆不均匀、秸秆热量不够等)<sup>[1]</sup>。如果减温水控制不投入自动,当较大的主汽温度扰动出现时,那么只能由操作工根据运行经验调整一级减温水给水量。这不但使操作工增加了操作强度,而且增加了人工干预减温水而出现的主汽温度扰动,更加不利于主汽温的稳定。减温水投入自动后可以直接起到保护屏式过热器并保证其温度的稳定。

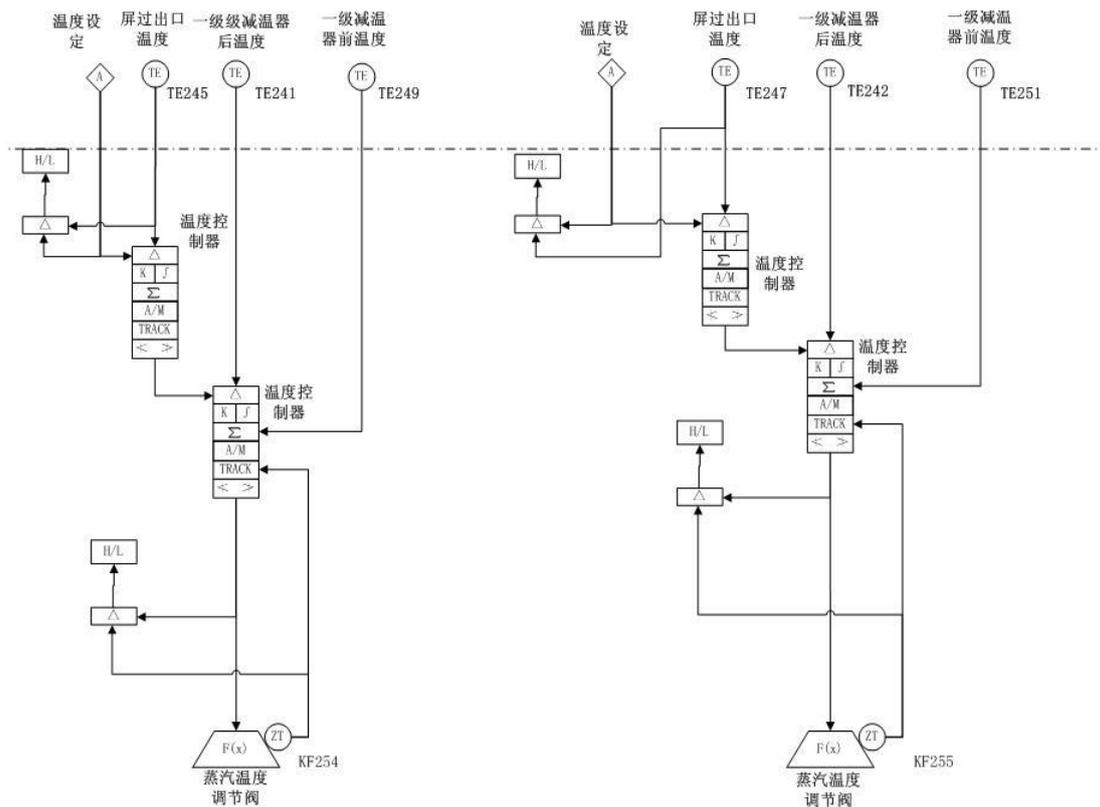


图 2 减温水调节图

减温水自动调节系统是以屏后集汽集箱汽温为主调信号，以减温器出口汽温为副调信号的串级调节系统。在正常状态下，该系统自动投入的最大障碍是屏式过热器温度的大滞后。从减温水控制阀动作到屏后混箱汽温反应，滞后的时间有近 20 秒时间，因此由屏后混箱汽温变化信号使调节系统动作，很容易产生过调的现象。

锅炉运行工况对主蒸汽温度的影响很大，当制粉系统工作状态变化时，由于二次风的影响，使汽温的变化存在较大波动，而且在启、停过程中，主蒸汽温度的变化也很剧烈。如果仅通过主蒸汽温度变化的偏差来进行 PID 调节，不能保证将主蒸汽温度的变化控制在工艺要求的范围内。这就要求制粉系统在不同的工况时，一级减温水的控制必须使一级减温水保持在相对稳定的值，这样才能保证主蒸汽温度的稳定。同时要求在制粉系统的启、停过程中，减温水阀门的动作应该超前于汽温的变化，而这对于常规仪表是难以实现<sup>[1]</sup>。

为了使一级减温器汽温在 70% 负荷以上各种工况下都能稳定投入自动，特别在制粉系统启、停工况变化下能自动进行调整，采取了变 PID 参数的自动控制方案。通过在参数整定过程在不同负荷下进行两套 PID 参数整定，在程序中根据不同的负荷对不同的 PID 参数进行选择。

### 3.3 SOE 功能、事故追忆功能

UW600 系统中 SOE 模块实现了 SOE 记录功能。在发生事故引起一系列开关动作时，以相对时间（相对于记录的第一个发生跳变点）为记录内容，将这些动作亦即事件按发生的先后顺序记录下来，以利于事故后的分析。它可以记录产生间隔最小达 1 毫秒的开关事件。

UW600 系统中采用事故追忆软件来实现事故发生前后的数据记录。例如当锅炉水位大于 100mm 或小于 -100mm 时确认水位事故发生，电气主站一次回路事故，风机故障事故。发生这些事故时要启动事故追忆，将事故发生前后的相关记录数据显示或打印输出。事故发生前

的相关记录数据记录间隔时间为 1ms，事故发生后相关记录数据记录时间间隔为 1ms。事故追忆数据可选择列表或是曲线的查询方式，为锅炉灭火、水位超限、汽机跳闸等重大事故的原因分析提供了准确、实时的第一手数据资料。

### 3.4 母管制燃烧控制负荷分配方案

本次项目为两台单元机组，使用的母管制的控制方式<sup>[2]</sup>，针对生物质发电的特点，我方做出方案设计的思路是保证锅炉在最经济工况下运行，以能量平衡燃烧控制算法为基础，对每台正运行的锅炉进行合理负荷分配。具体方法是：

第一步，将正在运行的锅炉分成两类，一类为带额定负荷的锅炉，一类为参与调峰的锅炉。

第二步，将母管压力信号转化为流量需求信号，转化方法在燃烧控制算法中已经做了详细说明。

第三步，将流量需求信号首先分配给带额定负荷的锅炉，让其在最经济条件下运行，然后将余下的流量分配给参与调峰的锅炉。

第四步，每台锅炉根据分配来的流量负荷计算出当前锅炉的给料量，计算方法燃烧控制算法中已经做了详细说明。

在投运结果表明热用户负荷变化不大(不超过 20%)时可以将全厂的负荷合理的分配到单台锅炉，将母管压力控制在要求范围内，此负荷分配方案是可行有效的。

### 3.5 MCS 基本方案

MCS 由以下主要调节子系统<sup>[2]</sup>：

#### (1) 给水调节

汽包水位调节采用分程调节，启动时用小阀调节（单冲量），当汽机系统正常运行时用主给水阀调节（三冲量）。

给水调节如图 3 所示。

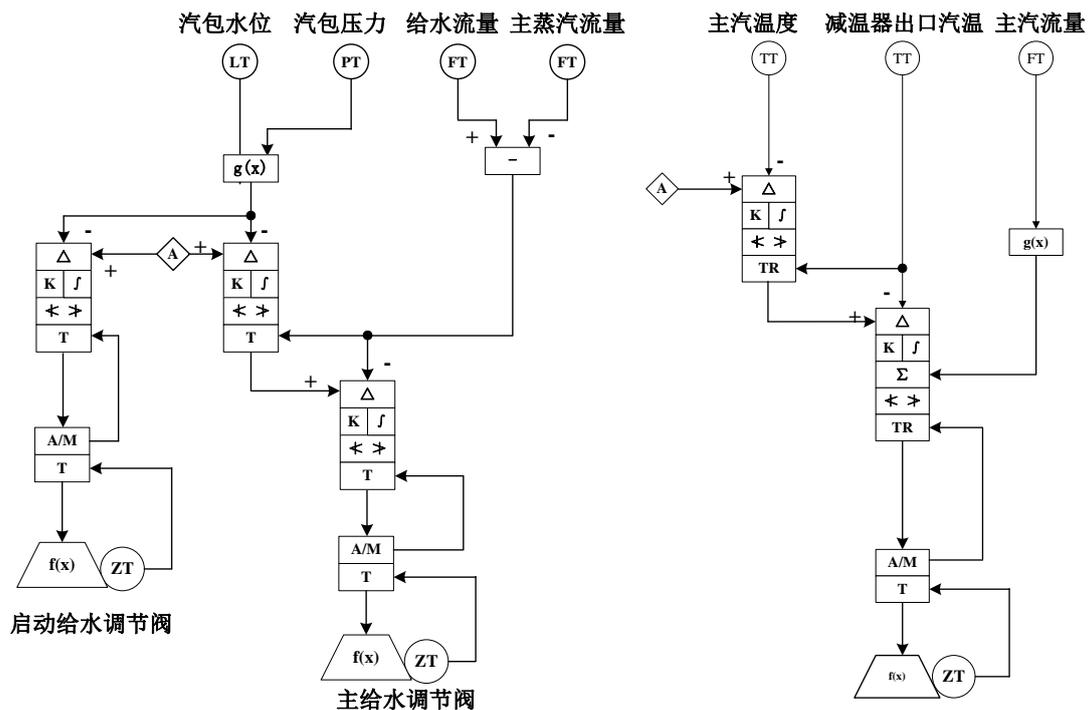


图 3 给水调节图

图 4 主汽温度调节图

(2) 主汽温度调节（减温水调节）

循环流化床锅炉正常运行时不仅要求主汽压力稳定，而且要求主汽温度稳定。主汽温度是反映机组运行情况的一个重要参数。如果主汽温度偏高，过热器及汽机将在更加恶劣的环境下运行，材料的使用寿命将会缩短。相反，如果主汽温度偏低，则汽机达不到预定的运行效率。因此，机组正常运行时要求主汽温度稳定。

主汽温度调节采用串级控制方式，取喷水后汽温为导前信号，主汽温度为设定值，若锅炉的负荷增加，主汽温度降低不能调整至设定值时，需启动燃烧调节回路。

主汽温度调节如图 4 所示。

(3) 送风量调节（烟气氧量调节）

主汽压力控制系统发出的风量指令即为总风量指令。总风量中一、二次风所占比例最大，同时一次风和二次风直接影响锅炉的运行及燃烧工况。所以，总风量调节系统通过改变一、二次风量的调节指令来保证锅炉所需配风。锅炉主控系统得到的总风量指令与燃料量测量值进行交叉限制后作为总风量控制系统的给定值，以保证负荷增加时先加风后加燃料、负荷减小时先减燃料后减风的要求，从而保证一定的过剩空气系数。总风量控制系统的给定值在 PID 中与总风量测量值进行运算，运算结果经过函数处理后送往风道燃烧器点火风调节系统、一次风调节系统及二次风调节系统。

总风量调节系统如图 5 所示。

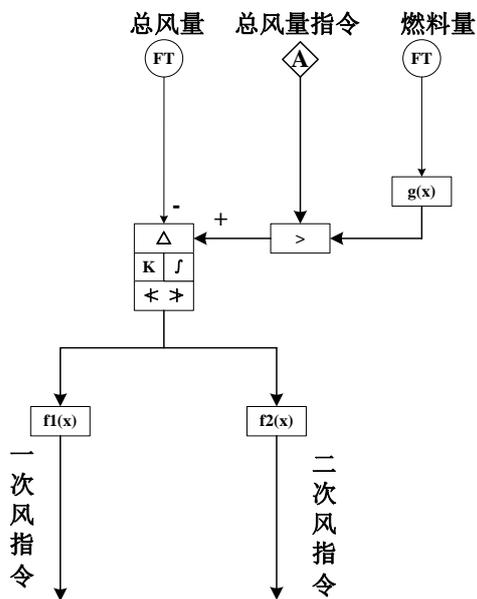


图 5 总风量调节系统图

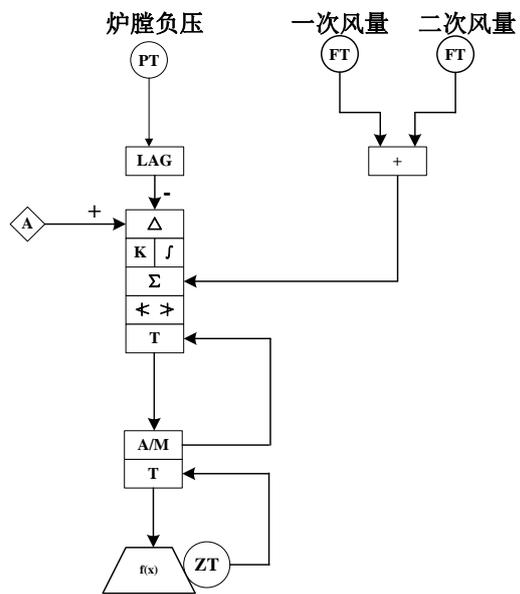


图 6 引风量调节图

(4) 引风量调节（炉膛负压调节）

通过调节引风机挡板，使炉膛压力稳定在设定值上。引风量调节系统设有前馈，把一次风量和二次风量之和作为前馈信号加到 PID 调节的输出，以提高一、二次风量变化时，引风量调节系统的响应速度。

引风量调节如图 6 所示。

(5) 主汽压力控制系统

循环流化床锅炉和煤粉锅炉一样，维持主汽压力恒定都是最基本的控制要求。汽轮机或热用户的蒸汽用量发生变化时，主汽压力就会产生波动。此时为了维持主汽压力恒定，必须改变进入锅炉的燃料量和助燃空气量。无论是单元制机组还是母管制机组，都要从能量平衡的角度来构造锅炉主控系统，即由燃料加入量维持主汽压力恒定。

当机组按单元制运行时，采用主汽压力控制系统进行锅炉主控。在主汽压力控制系统中，通过调节入炉燃料量来控制主蒸汽压力，以满足机组的运行要求。由于入炉燃料量是影响床温的重要因素之一，故在构造主汽压力控制方案时把床温的影响也纳入控制方案中。床温增加减小燃料量，床温降低则增大燃料量。由于循环流化床锅炉运行时床温可以在一定范围内波动，故在上述控制方案中设置了不调温死区，即床温在该死区内时不改变燃料供给量。由于主蒸汽流量变化直接反映了机组的负荷变化，故在上述控制方案中把主蒸汽流量信号经过函数运算后直接加到控制输出上，通过前馈形式提高系统的响应速度。

主汽压力控制系统得到的燃料量指令和风量指令，分别送往燃料量控制系统和风量控制系统。

主汽压力控制系统如图 7 所示。

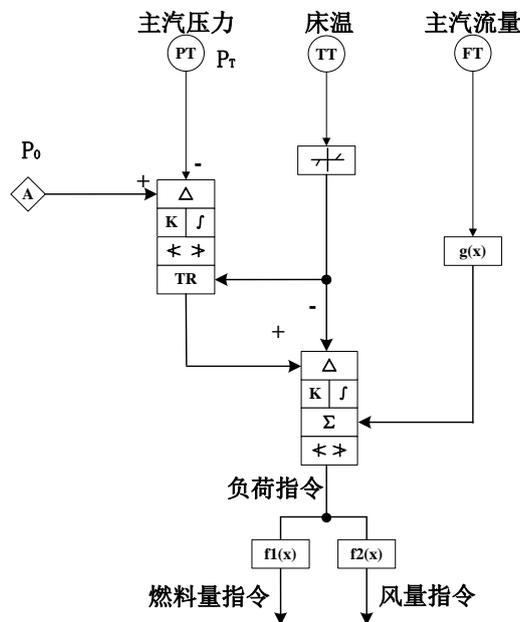


图 7 主汽压力控制系统图

#### 四. 实验结果分析

UW500 分散控制系统在 30MW 机组上的应用，主要包括主汽压力自动控制回路的投运，减温水控制的自动投运，经过七一华富生物质发电工程项目的实际运行，控制系统得到的主汽压力和主汽温度的实际数据如表 2 所示。

表 2 控制系统运行得到的实际数据表

序号	时间	主蒸汽温度/ ℃	主蒸汽压力/ MPa	主蒸汽流量/ t/h	功率/ MW	频率/ HZ
1	9: 00	451	3. 82	78	14. 8	50

2	10:00	452	3.81	77	14.7	50
3	11:00	451	3.81	77	14.9	50
4	12:00	452	3.82	75	14.8	50
5	13:00	450	3.81	75	14.8	50
6	14:00	450	3.82	78	14.7	50
7	15:00	451	3.81	78	14.8	50
8	16:00	452	3.82	78	15.0	50
9	17:00	453	3.82	78	14.9	50
10	18:00	455	3.82	77	14.8	50
11	19:00	452	3.81	78	14.8	50

## 五. 总结

通过此 UW500 分散控制系统在 30MW 机组上得到成功的应用。其中主汽压力自动控制回路的投运，减温水控制的自动投运起到了很好的控制效果，主汽压力在 $\pm 0.2\text{MPa}$  范围波动，主汽温度在 $\pm 4^{\circ}\text{C}$  范围内波动，提高了机组整体自动化水平。