

东北大学

硕士学位论文

燃气锅炉自动控制系统的设计与应用

姓名：王艳凯

申请学位级别：硕士

专业：控制工程

指导教师：杨英华;辛鹏飞

20070101

摘 要

目前,随着自动控制系统整体技术水平的提高,企业对锅炉控制系统的精度要求也越来越高。锅炉自动控制系统为热力发电系统的一部分,它拥有自己的校正手段和调节对象。燃气锅炉的燃料——煤气,在钢铁公司往往主要来自炼钢、炼铁和焦化厂等厂矿企业,是这些企业生产的副产品,其产品质量往往不是太高。从生产的技术上来讲,控制能力和方式的可行性是一个系统的关键之处,一个系统能够安全、稳定的运行是生产的重中之重,而作为一个企业来讲,其生产的成本和效益也是一个不得不考虑的问题。

论文以首钢秦皇岛金属材料(首秦)公司 75t/h 燃气锅炉项目为背景,在充分分析锅炉及其控制系统现状的基础上,针对实际工艺情况,设计了一套以 S7 400 系列的 PLC 系统为核心的锅炉控制系统。通过分析锅炉的过程控制策略、控制逻辑、动态特性等内容,制定了给水控制的三冲量调节、炉膛负压前馈调节、送风比值调节和过热蒸汽串级控制等过程基础自动化方案;利用 IFIX 软件平台,开发了锅炉系统的监控界面,完成了主要参数的显示和控制功能等;在锅炉系统的安全性方面,设计了炉膛安全保护系统(FSSS)和氮气吹扫系统。为了锅炉信息的联网及查询,还利用 VB 语言开发了锅炉的信息管理系统,提供了方便的上级网络通讯、报表打印以及查询功能。论文还专门介绍了控制系统的调试过程,其中详细解释了模拟调试的内容和现场调试方法,并对系统的进一步改进提供了一些建议。

实际运行结果证明,控制系统提高了锅炉控制的自动化水平,保证了该系统经济、稳定和安全的运行。能够很好地满足首秦公司的生产需求,并为其他锅炉控制系统提供一定的借鉴作用。

关键词: 锅炉, 给水控制, 三冲量, 可编程控制器, 信息管理。

The Design and Application of Automatic Control System of Gas Boiler

Abstract

These days, with the development of technology in automatization domain, the precision of control system was higher in the boiler unit. The automatic control system of boiler is a part of thermo dynamic system, and it has its own adjusting instruments and adjusting objects. Coal gas, the fuel of gas boiler is from iron, steel or coke plant usually, it is a byproduct of production in some corporation or plant, so its quality is poor. Controlling capability and feasibility of a system was pivotal, As a production technology, It is the most important that how to ensure the control system to run safely、stably. As a corporation, however, the cost and benefit of the production must be calculated.

75t/h gas boiler project provided the backdrop for the paper in Shougang Qinhuangdao (Shouqin) Metal Materials Co., Ltd., In this thesis, facing practical process, designed a control system regarding the PLC of S7 400 series as the core, based on the boiler system and its current situation of control system were fully analyzed; Made a process base automation plan through an analyses of the boiler process control strategy, control logic and dynamic object characteristic, such as tree elements control of feed-water, the negative pressure of hearth control, superheat steam cascade control; Developed the monitoring interface of boiler system, completed the displaying of some main parameters and control function with the IFix software; Engineered a Furnace Safeguard Supervisory System (FSSS) and a blow with nitrogen system in the safety of boiler; Developed simply a information management system of boiler based on the VB language, and provided a convenient platform with higher network communication, report printing and data query function for the networking and query of this system. Moreover, this paper introduced specially commissioning process of the control system, made explanation to the content of debugging and method of the commissioning in detail, and offered some suggestions for the further improvement of this system.

The practice has verified, this control system improved the level of boiler Automatic control system, made it more safety, economical and stabilization. The project can fulfill the requirement of production in the Shouqin Corporation, and also can be used for reference in the boiler control system else.

Key words: Boiler, Feed-Water Control, Tree elements, Programmable logic controller(PLC), Information Management System.

独创声明

本人声明所呈交的学位论文是在导师的指导下完成的。论文中取得的研究成果除加以标注和致谢的地方外，不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包括本人为获得其他学位而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示诚挚的谢意。

学位论文作者签名：王艳凯

签字日期：2007.3.3

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者和指导教师完全了解东北大学有关保留、使用学位论文的规定：即学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人同意东北大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索、交流。

（如作者和导师同意网上交流，请在下方签名：否则视为不同意）

学位论文作者签名：

导师签名：

签字日期：

签字日期：

第一章 绪论

随着现代化工业进程的迅速发展,能源的如何利用也正成为所有国家、企事业单位都面临的一个严重的问题。而作为能量转换的重要工业设备——锅炉,由于其在工业能源转换中起着重要的作用,其自动控制系统也越来越为人们所关注。目前,自动化技术在工业生产中起着关键的作用。近年来,锅炉的微型计算机控制是新开发的一项新的技术,也正在成为锅炉控制系统的一个重要方式。它是由微型计算机软件、硬件、自动控制和锅炉节能等几项技术紧密结合的产物。

我国现有中、小型锅炉 30 多万台,其中多为燃煤锅炉,这种锅炉的耗煤量大、能耗高、浪费大、环境污染严重^[1]。为了节约能源,充分利用可以回收的能源作为燃料,可提高企业效益、最大程度地减少环境污染。同时,锅炉自动控制系统经扩展后可构成分级控制系统,可与工厂内其他节点构成工业以太网,这是企业现代化管理不可或缺的。

本文介绍了钢铁公司利用生产的副产品——高炉煤气、转炉煤气或焦炉煤气,来用于锅炉生产的燃料,并利用现代的微机控制原理,完成这种情况下的锅炉自动控制系统的设计与应用。

1.1 研究的背景和意义

锅炉是把一种热能转变成为其他工质热能,生产规定参数和品质工质的一种设备,在工业上,它也是相对独立的一个能源转换系统。为了使这种能量的转换过程更为有效,应尽最大的可能提高转换效率,这就要求,企业必须最合理的组织好燃料在锅炉内的燃烧过程,提高锅炉燃烧的技术水平^[2]。

目前,我国的锅炉工业还是以煤炭为主要燃料。特别是近几年来,我国的煤炭燃烧量持续上升,其中在一次能源消费中,煤炭的用量比例占到了 70%以上。据有关人员预测,在 21 世纪的前 50 年,我国煤炭的消费量也会保持在 60%左右,煤炭在能源消耗中的比例是不可否认。特别是在发电行业,在发电行业中,煤炭的使用也占有绝对的主力,况且我国电力工业的发展,对煤炭的消耗量也明显地呈快速上升趋势。

燃煤电厂的建成可生产强大的电力造福人类社会,但同时也需要占用大面积的土地,使用大量的一次能源和水资源,排放大量的废气、废渣和废水,给环境带来了不良的影响。其中,厂内的环境问题主要有:噪声、煤尘、燃烧产物、溶剂和石棉粉尘。当地的环境问题有:发电厂给当地的大气、水体、土地和自然景观等带来的影响。如煤炭

进厂和储存,灰渣处理和储存,废热、废水排放,冷却塔排气,噪声等可能引起的环境问题;土地的使用和高大建筑群可能引起的水土流失,破坏自然景观或野生生物的栖息繁殖等问题。例如,一座 2400MW 的燃煤电厂,厂区占地 60-80 万 m^2 , 厂区灰场占地约 200 万 m^2 。而且每年需消耗约 750 万吨煤, 5000~7000 万 m^3 的补给水, 3 万 m^3 的助燃油。即使以煤中含硫量 1%和除尘率 99.5%计算, 每年排放的 SO_x 也有 14 万吨, 飘尘 0.68 万吨, NO_x 7 万吨, 灰渣 150 万吨左右。其中, 补给水有相当一部分是以废水的形式排放的^[3]。

21 世纪初期,我国的电源发展的特点是以开发西部水电基地和北部大型煤炭水电基地, 加速核电站和再生能源发电的发展, 煤电仍是 21 世纪初期我国的主要能源形式。预计到 2010 年, 煤电装机容量为 400GW 作用, 占该年煤产量底 55%左右; 到 2020 年, 约须煤炭 1400Gt, 占该年煤产量的 66%, 此巨大的煤炭消耗将给环境带来巨大的压力^[4]。

电力工业是我国国民经济的基础产业, 在经济、环境、社会的协调与可持续发展等方面, 电力产业的技术水平、规模和发展速度都起着非常重要的作用。然而, 在我国的电力生产中, 燃煤发电的技术水平还不是足够好, 这主要体现在锅炉燃料的燃烧效率不够高, 煤炭燃烧带来的大气严重污染没用得到根本、有效地治理。要把我国发展成为以人为本, 环境优先的和谐社会, 发展其他的发电方式是宜早不宜迟的事情。况且, 从根本上来讲, 煤炭是一种一次性能源, 他属于全人类的共同财产, 它也是一种最终将全部消耗掉的能源。从社会的发展上来讲, 为了人类的文明和进步, 我们不能阻止这种趋势的发展, 但我们应该可以做到尽力延迟这一时刻地到来, 应尽量多的使用其他能源。

在首钢公司, 电力厂的发电机组大多建于八十年代, 限于当时国产热控仪表的技术水平, 热控系统采用的是传统的运行监视和操作方式。这种方式的自动化控制水平低, 设备品种多, 环节多, 安全、可靠性差, 运行、维护上的工作量大。随着工业现代化的不断深入, 原有热控生产厂家不断开发新品, 就设备的运行和维护都是一个大的问题。其中 ABB (原贝利) 公司的产品也在逐级换代。在首钢, 电力厂的主要燃煤发电系统基本上采用的是该公司 INIF 90 系列的产品。该系统在我国发电厂用得比较多, 可是由于该过程控制系统的成套成本太高, 对于一个利用回收的煤气作为燃料的锅炉来讲, 自动化系统立项为该产品作为控制系统并不划算。

近年来, 在首钢搬迁的大形势下, 首钢总公司在河北秦皇岛市建立了首钢秦皇岛金属有限公司 (以下简称首秦公司)、迁安钢铁公司等首钢的产业基地, 通过这些基地的建设和发展, 总结了大量的建厂经验, 为了首钢未来的搬迁工作奠定好坚实的理论和实

践基础。本论文主要是利用计算机和信息通信技术的结合,来实现现代锅炉的自动控制系统的设计与应用等功能,为首钢搬迁工作的顺利完成做出一定的贡献。

1.2 锅炉的发展历史及现状

锅炉和自动化系统的发展已经有了很长的历史,自 19 世纪的蒸汽机时代以来,特别是在 20 世纪,随着科学技术水平的飞速发展,各个领域的技术也正在迅速的融合。工业和自动控制领域更是有着密不可分的关系,在这两个领域的技术融合更是迅速。同时,它们又各自在独立的领域有着自己的发展历史。计算机工业与其他工业相比还很年轻,然而在短短的时间内却取得了惊人的发展。

锅炉又叫蒸汽发生器,它是利用工业余热或能源产生的热能,将工质转化成蒸汽的一种转换器。锅炉在我国的发展已有 200 多年的历史,在国民经济中占有重要的地位,是我国工业、农业、建筑、交通及民用上不可或缺的动力设备,是用于机械、石化、矿山、冶金、煤炭、轻纺等行业及民用采暖中的重要设备。

中国的工业锅炉制造业,特别是经过近 20 多年的迅速发展,已逐步形成了自己的型谱。目前,全国已拥有 8 大类、38 个系列、85 个品种,共 300 多个规格的工业锅炉产品^[5]。根据统计,现在生产的锅炉正在向质量等级高、容量大的方向发展;向热效率高、节约能源型的方向发展;向优质高效的热电联产型的方向发展。同时在企业自动化过程控制中,由于锅炉的自动化运行有着举足轻重的地位,所以锅炉的自动化进程也随着有了突飞猛进的发展。

1.3 燃气锅炉控制系统的特点和应用现状

锅炉设备中,吸热的部分称为锅,产热的部分称为炉。锅炉可按不同的方式分类,本论文主要是按锅炉燃烧的燃料的不同分类,可分为:燃烧炉、燃油炉和燃气炉。其中燃气锅炉的控制系统,既要完成前两种锅炉的正常控制,又有与其不同的地方。其中最主要的部分就是燃料的不同,燃气锅炉的燃料的来源是企业生产的副产品,由于各个部门的生产状况和协调关系等因素,使得燃料的成分质量、燃料的热值和所用气体的压力等各项参数都有一定的不确定性^[6]。在燃气锅炉控制系统的设计和应用上,导致了该系统需要考虑更多的生产状态和突发事件。

目前,燃气锅炉的控制系统还是比较落后,这主要是由其工作特点决定了,公司不可能投入太多的资金,来实现燃气锅炉的自动化控制。可是鉴于对锅炉的安全性和环境污染的考虑,必须保证系统的稳定运行,保证运行人员的安全。所以我们必须高度重视

燃气锅炉的自动化控制系统, 认真研究该系统的控制特性。为了保证企业生产过程中的可靠性和稳定性, 先进的控制系统已经开始逐渐应用到整个锅炉控制系统中。而燃气锅炉的控制, 由于其燃料的来源不同、生产目的的不同, 其主要是用来燃烧企业生产的剩余燃料, 减少环境污染, 提高企业的生产效益。在实现锅炉的自动化控制方面, 就使得企业期望不会投入太多的资金, 而同时又要保证锅炉能够安全、稳定地生产。

1.3.1 燃气锅炉的控制系统的特点分析

燃气锅炉的工艺特性, 和常规的燃煤锅炉的特性大同小异, 都具有多参数、非线性、时变和多变量紧密耦合等特点。这样, 在实际生产的复杂环境下, 燃气锅炉需要控制的参数更多, 耦合关系比普通的燃煤锅炉要复杂的多, 二者有一定的异同点。

燃气锅炉的汽水系统与常规的燃煤锅炉差异不是很大, 因此, 其控制系统的设计也是相差无几。如给水控制系统也采用汽包水位、蒸汽流量和给水流量的三冲量控制方案; 通过调节给水泵的转速或者给水调节阀开度的大小, 来维持汽包水位的相对平衡; 锅炉出口主蒸汽的温度采用喷水减温的方式进行调节等等。

燃气锅炉的燃烧控制系统与常规的燃煤锅炉的控制系统有较大的差异, 常规燃煤锅炉的燃料一般情况下是煤粉的颗粒要求非常细小, 供应情况预先都有着详细的工作状况, 所以其燃烧的程度和燃烧过程是可以预先了解的, 是一种技术成熟、供热稳定的燃烧过程; 而燃气锅炉的燃料为相对不稳定的气体物质, 其燃料来源与高炉煤气、焦炉煤气或他们的混合物。所以在燃烧控制和炉膛压力控制方面都要有一定的变化, 以适应该种燃烧的工艺过程。

在工业生产过程中, 被控对象往往不同程度地存在滞后现象。这是工业过程中存在的固有特性, 在锅炉系统中也很明显。大滞后现象大大降低了系统的稳定性, 容易导致较大的超调量和较长的调节时间, 严重影响生产过程的控制品质。解决滞后带来的影响至关重要, 而且对这一方面的研究也在不断的发展。近年来, 出现了不少克服大延迟的方案, 对各种控制算法进行改进, 且已推广到多变量控制系统当中, 当尚无一通用的行之有效的办法, 关于克服大延迟的控制策略仍在研究发展之中。为了提高其控制精度, 应采用采样 PI 控制算法或预控制算法^[7]。所谓采样控制是指在每个采样周期内, 控制作用只在每个采样周期的开始时刻的短时间内动作的一种控制方式。即每次改变调节器的输出后, 等待一段足够的时间, 使控制作用得到充分的反应后, 在决定下一步的控制动作。可以说, 采样 PI 控制比较真实地体现了反馈控制的基本原则, 因而有效地消除纯

滞后对系统调节品质的不良影响。通常情况下,控制参数采样周期是控制周期的 10 倍左右,同时,系统在采样期间发生的扰动,只有到下个采样时刻才能检测到,所以对采样时间的选择要合理。采样 PI 控制器,采用输出反馈跟随系统的方式^[8]。

1.3.2 我国的燃气锅炉控制系统的应用现状

目前,国内的大多数已经投运的中小型锅炉,其自动化水平还是比较落后,特别是在燃气锅炉的控制方面,系统依赖于手动操作的程度非常大。某些系统在设计时虽然采用了 DCS 或 PLC 控制系统,但是在实际应用中,却常常是将其作为常规调节的一种辅助监控手段,只不过给监视带来了一定的方便,自动控制的投运率都很低。

在实际应用中,现场设备能够投入自动运行的也很少,主要原因有两个方面:一是由于现场设备达不到自动运行所必须的基本要求;另一方面是管理人员对自动控制原理和系统的设计认识不够;并且各个公司的操作人员已经习惯了以前的手动操作,对投入自动运行缺乏信心,致使锅炉的燃烧控制一直处于手动运行状态。在钢铁公司的燃气锅炉的燃烧过程中,气体燃料的压力和热值受到其他生产部门产气和用气的影响,会出现不定时的波动,在设计时,运行人员就对系统能投入自动持很大的怀疑态度。这就导致了锅炉的控制系统在投入自动时,带来了各方面的阻力,给系统的投入带来了一些人为方面的困难。在工业生产过程中,被控对象往往不同程度地存在滞后现象。这是工业过程中存在的固有特性,大滞后现象大大降低了系统的稳定性,容易导致较大的超调量和较长的调节时间,严重影响生产过程的控制品质。

随着我国政府对人们生存环境现状重视程度的提高,各部门也逐渐加大了对环境方面的治理力度。同时,由于各个企业的管理人员的年轻化和人员素质的提高,对生产自动化控制系统的认识得到提高,也越来越认识到这种趋势的不可避免性、系统技术水平的可发展性,这也对企业的生产在自动化控制系统的发展带来了机遇,从而使得这方面的要求也越来越高,技术水平也越来越精。

1.4 本文主要工作

锅炉既是工业生产、基本建设、交通运输和日常生活中常用的设备,又是容易发生事故的特殊的工业设备。如果出现事故,都不是小事故。所以本文以首秦公司 75t/h 锅炉自动控制项目为背景,根据对整个项目的完成情况,总结了对燃气锅炉的主要工作和技术难点,并认真地做出了从工艺设计到实际应用等方面的研究和探讨,确保了锅炉的安全生产,使企业取得良好的经济效益。

本论文的主要工作是在 SIEMENS 公司 PLC 系列的 SIMATIC STEP 7 编程软件包和上位监控软件包 IFIX3.5 等软件的基础上,独立设计了首秦 75t/h 燃气锅炉的自动控制系统,并且,研究了燃气锅炉自动化控制系统的应用。整个系统设计包含了数据采集、监视、控制系统、炉膛灭火保护系统(FSSS)以及信息管理系统等。在这个项目的基础上,对燃气锅炉的控制工艺、控制策略以及控制方法进行了独立深入的研究。

同时介绍了工程上 PID 控制的基本原理;对 SIEMENS 公司的 SIMATIC 系统结构、配置特点进行了分析;对 STEP 7 软件设计的硬件组成和软件组态的一般方法做了详细的了解;对 GE 公司的 IFIX 3.5 上位监控软件的主要的系统工作特点、方法和工程项目的主要设计思路做了详细的研究工作;并对锅炉的管理信息系统做了简单的阐述。

最后在结合以上系统的特点,发挥各自的优点,结合锅炉的工艺特征,概述了燃气锅炉的几个控制重点、控制策略以及实际中控制的一般方法。对设计中结合工艺比较紧密,控制要求比较高,难度比较大的部分进行了分析,提出了解决方案,并在实际调试时作为主要需解决的问题。对系统模拟调试的主要过程和结果,现场调试过程中出现的问题和解决办法等,做了深入的了解和分析,并进一步完善了本系统的主要功能。其中,主要包括:锅炉的给水、锅炉的主蒸汽温度、喷水减温、锅炉燃烧、FSSS 控制系统设计与应用等等。

第二章 首秦公司锅炉控制系统的选型

众所周知，每一个项目都会存在系统的选型问题。在选型过程中，首先是对生产工艺流程的确定，其次是对控制系统的被控对象的确定，最后，选用什么样的控制系统就成为最重要的问题。这主要是根据项目规模和企业投资预算来考虑了，项目规模对于控制系统来说，主要包括输入/输出的总点数和系统所要达到的控制功能，而投资预算则是企业生产必须考虑的问题。

2.1 控制系统的选型及注意事项

对控制系统进行组态，在硬件和软件方面的配置上，要注意的地方很多，这些都和系统控制器的选型有关。在这里提出几个在选型方面的建议：

1) 在选择与控制器有关的 I/O 设备的时候，最好先确定一个最节省或最稳定的方案。例如：从企业成本上来考虑，如果能够选择远程 I/O 的，最好选择远程控制系统，该方式在实际应用中，可节约大量的布线、安装等费用。

2) 确定选择 I/O 模块详细的类型和数量，并留有 20% 左右的空余量。就控制系统本身的运行能力来讲，其模块的类型和数量在每一个方面都是比较完善的，可是在生产的恶劣条件下，留有一定的空余量，对系统的稳定运行和生产维护都有很大的好处。

3) 计算出本系统的总标签量，掌握每个设备的位置，了解了供应商提供的所谓控制器的带载能力，I/O 标签量最好在供应商所承诺的标签量的 40% 以下最好。这样可为以后的生产带来足够的好处，因为提到的待载能力，只是在 CPU 空闲时的最大能力，在实际运行中 CPU 必然还有好多功能来实现，不可能只用来提供输入/输出。考虑到大量的中间变量，所谓的 CPU 的带载能力必须保守考虑。

4) 现在的控制系统，不管是 DCS 还是 PLC 都是采用 IEC61131-3 标准，在理论上其控制功能和系统的稳定性能都是非常可靠的。作为目标的编程语言，PC 既可以作为人机界面，也可以作为控制器。在电力厂，现场在正常生产的情况下，由于环境、设备和人为等因素的影响，不能达到控制系统运行所需要的环境、设备和制度等方面的要求。又因为其对控制系统的各方面的要求比较高，属于高危险场所，所以建议其控制系统的控制器内存要求足够大，其上位系统最好为冗余配置。

5) 首先系统要实现精确控制，其先决条件是得到精确的测量值，所以如何克服系统的干扰和准确测量是必须考虑的。因为好多公司的控制系统，在设计中没有充分考虑

电力信号产生的干扰,在照明用电和动力用电方面,均有零线和地线混接的现象,很多动力线和信号线是混合敷设的,仪表信号控制电缆没有单独敷设,所以现场的干扰很大。如果现场的干扰不加以过滤的话,对控制系统的影响是很严重的,不仅是测量不到信号或者信号不准确,严重的时候甚至烧毁 I/O 模块,为防止干扰,系统要采取单独接地的措施^{[9][10]}。

首秦公司 75t/h 锅炉的系统选型,就是经过了大量的生产实践和理论论证,结合了对该公司生产的实际需要、经济效益等客观问题的综合考虑,最终提出并得以应用的。在自动化控制系统方面,充分考虑到生产工艺、设备厂家、自动化设计与现场设备施工等单位的建议,根据锅炉的工艺特点和甲方提供的资金情况,最后由首钢计控公司和甲方共同决定了本系统的选型的问题。一致确定采用西门子公司开发的 S7 400 PLC 系列的控制系统和 GE 公司的 IFIX3.5 监控系统软件,作为系统的主要组成部分。

2.2 锅炉的主要工艺设备

系统的选型确定以后,对锅炉的主要工艺设备的了解就成了重中之重。首秦公司动力部的锅炉系统主要包括 10t/h 燃煤锅炉、10t/h 燃气锅炉以及 75t/h 燃气锅炉等主要设备组成。本次论文主要是根据作者对 75t/h 锅炉燃气的控制情况,简要的介绍一下 75t/h 锅炉的设备配置情况。

锅炉设备中,吸热的部分称为锅,产生热量的部分称为炉。例如:水冷壁、过热器、省煤器等吸热的部分可以看成是锅;而炉膛、燃烧器、燃油泵,送、引风机可以看成炉。首秦公司 75t/h 锅炉位于该公司动力部的西南部,为单筒锅炉,采用自然循环、集中下降管和露天布置的方式;锅炉前部为炉膛,四周布满膜式水冷壁;炉顶、水平烟道及转向室,设顶棚管和包墙管;尾部竖井烟道中交错布置一级省煤器和空气预热器;锅炉具有安全门和氮气吹扫系统。锅炉最大连续出力可以到 105%锅炉额定负荷,瞬间最大出力达 110%锅炉额定负荷。由于本锅炉主要用于对高炉煤气、焦炉煤气的回收利用,在正常情况下,要求不得超过额定负荷,应以 80~90%左右的负荷运行。下面对锅炉系统的几个重要参数进行说明:

1) 炉膛压力

本锅炉采用的是平衡通风、负压运行的工作方式。在锅炉正常运行时,炉膛内的正常压力范围是: -10Pa~-32Pa; 炉膛压力报警值: 上限 5 Pa, 下限: -80Pa。

2) 汽包水位: 汽包测量水位的范围是-300~300mm, 正常水位应该在汽包中心线上

下 50mm 范围内波动；汽包水位 LT106A 和 LT106B 报警值 1: $\pm 50\text{mm}$ ；汽包水位报警值 2: $\pm 80\text{mm}$ ；汽包水位动作保护值: $\pm 120\text{mm}$ 。

3) 主蒸汽温度的变化范围：汽包温度变化速率上限为: $<3.0^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；汽包进水与汽包壁温允许差值: $<50^{\circ}\text{C}$ ；汽包上、下壁和内、外壁温允许差值: $<50^{\circ}\text{C}$ ；

4) 锅炉的额定蒸发量: 75t/h ；

5) 过热蒸汽出口压力: 3.8MPa ；

6) 汽包的工作压力: 4.28MPa ；

7) 过热蒸汽出口温度: TE111: 量程 $0-800^{\circ}\text{C}$ ，正常值为 520.0°C ；

8) 过热蒸汽出口流量: FE111: 量程 $0-100\text{t/h}$ ，正常值为 75.0t/h 。

锅炉系统是一个工业生产过程较复杂的能量转换系统，在系统工艺上，对锅炉的组成系统上有很多的分法，下面按照系统工艺的划分，以系统工艺流程图为例，来说明一下首秦公司 75t/h 锅炉的主要组成部分，如下图 2.1 系统画面所示：

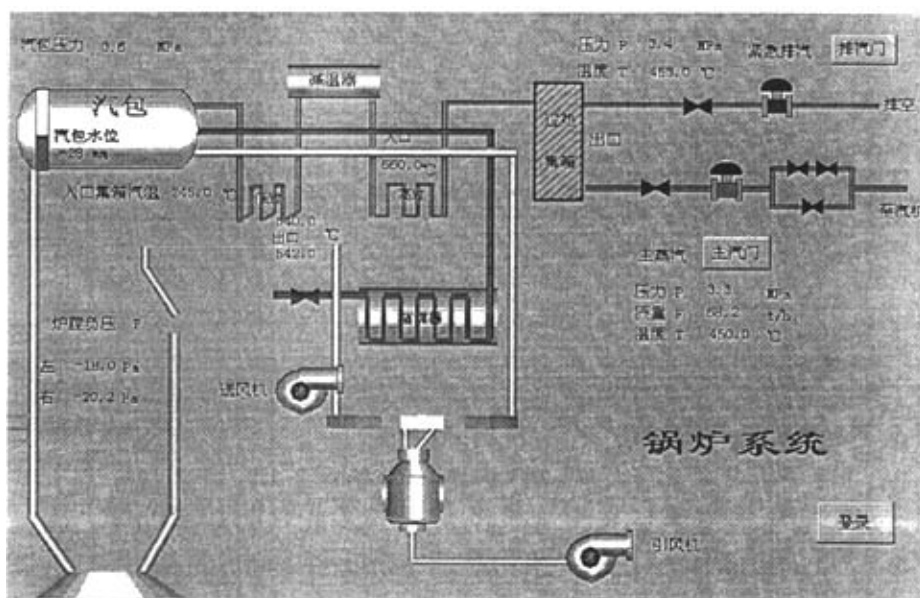


图 2.1 锅炉系统图

Fig.2.1 Boiler System

该图为锅炉系统的概貌，只有在了解了锅炉的整个运行原理，再把每个系统的主要功能和工艺情况了解清楚，才可以根据该锅炉控制系统，来研究燃气锅炉的控制策略和生产应用等具体问题，提出解决方案，根据具体情况来完成对整个锅炉的控制。

锅炉的工艺是来满足生产的各种需要的前提，是控制系统设计和应用的基础。对于本锅炉系统的工艺，具体的组成部分的详细说明。按照实际的情况和生产的需要，主要分成了：水系统；风系统；烟气系统；以及其他的主要设备等。下面对系统进行简单的描述：

第一部分，水系统：首先是把除盐车站的水通过给水泵送到给水调节阀，通过给水调节阀进入省煤器，在经过省煤器的过程中，冷水被由炉膛排出的烟气预热，变成温水进入汽包，在汽包内加热至沸腾产生蒸汽，为了保证其最大的蒸发面，水位要保持在锅炉汽包的中线位置，使蒸汽通过主蒸汽阀门输出到汽机系统。其水系统图如图 2.2 所示：

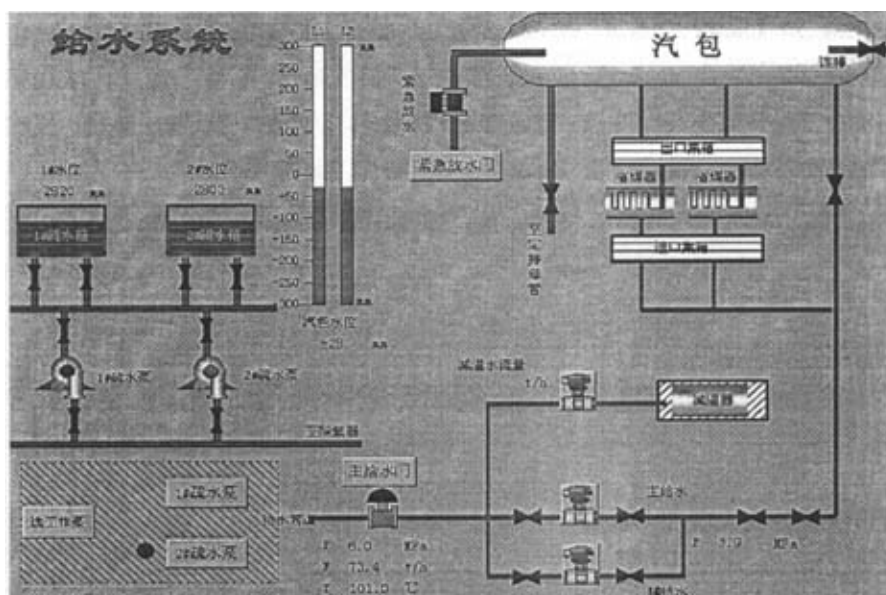


图 2.2 水系统图

Fig.2.2 Water System of Boiler

第二部分，烟气系统：在锅炉的组成中，从炉膛的出口到锅炉烟道出口，这些部分的烟气中含有大量的剩余热量。烟气系统的主要功能，就是如何利用这些热量来为锅炉服务。我们知道，锅炉产生蒸汽需要大量的热能，在烟气系统中，通过放置空气预热器、过热器和省煤器等，来为锅炉的水系统、风系统和蒸汽的再加热等提供大量的热能，节约了能源，提高了锅炉的生产效率和能源利用率。其具体的工艺图见图 4.2 烟系统图。

第三部分，风系统：锅炉的风系统是由送风系统和引风系统共同组成的。风系统的主要功能，就是为了保证炉膛燃烧所须的氧气含量和炉膛负压维持在一定的范围内。在

引风系统中，使用引风机把锅炉烟道的废气抽出，锅炉整个炉膛的负压状态，以保证锅炉设备和运行人员的安全，同时要有炉膛压力检测装置；在送风系统中，用送风机把新鲜空气送入炉膛燃烧室，保证煤气燃烧的充分进行，这主要是靠测量低过后和烟道出口处的烟气含氧量来实现。同时要注意燃料和空气的配比，在炉膛和烟道的连接口处要装有含氧量分析仪。其具体的工艺图见图 4.3 风系统图。

第四部分，其他主要设备：锅炉喷水减温系统，保证锅炉输送的蒸汽温度稳定在一定的范围内；锅炉的燃烧系统，保证锅炉的正常生产和蒸汽压力的稳定；锅炉的灭火保护系统、锅炉的氮气吹扫系、锅炉的安全门和放散系统等，保证燃烧的正常和异常情况下的锅炉运行人员与设备的安全；以及锅炉的省煤器、空气预热器和过热器等能源利用装置。

2.3 控制系统的总体设计

75t/h 锅炉的控制系统，采用 S7 400 系列的软件和硬件设备，来实现对锅炉系统的实时运行监视和生产过程的自动化控制。该控制系统包括：两台上位监控工艺流程过程站、一台工程师工作站、一个过程处理单元（含一个主机架和一个扩展机架，通过 IM460 和 IM461 模块通讯及西门子专用电缆连接）和 FSSS 炉膛灭火保护系统。其主要硬件结构系统图如下图 2.3 所示：

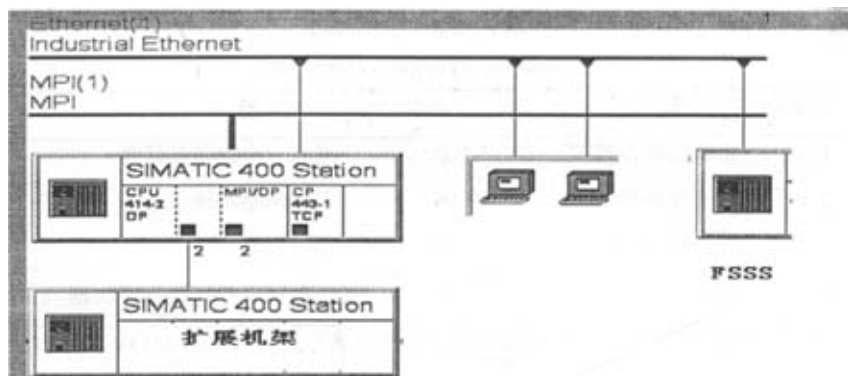


图 2.3 PLC 系统硬件结构图

Fig.2.3 PLC System Hardware Architecture

在 Siemens 公司自动控制系列 PLC 系统中，SIMATIC S7-400 系统是其主要的程序组态和编程的标准控制软件包；是 SIMATIC 工业软件系列的重要组成部分，具有强大的工业控制、数据通讯功能以及简单方便的可扩展性能。

2.3.1 S7-400 系统的硬件结构

一个 S7-400 可编程控制器，根据需要，由一个主基板 CR 和一个或多个扩展基板 ER 组成。当主机板的插槽不够使用时，需要使用 ER。在使用 ER 时，需要使用接口模板 IM 和附加基板，如有必要，还需增加电源模板。每个 CR 最多可接 21 个 ER，每个 ER 需分配一个用以识别的号码，并用接受 IM 上的编码开关设定，号码的范围是 1~21，不可以重复。其他的 I/O 模板插入到与硬件配置一致的位置^[11]。

为了控制一个过程，用户程序必须要对信号模板的输入和输出通道进行寻址。因此，在通道的物理位置与用户程序中的地址之间，要建立一个唯一的对照表。

2.3.2 S7-400 系统配套工具 Step 7 软件

Step 7 是用于 SIMATIC 可编程控制器组态和编程的标准软件包，它是 SIMATIC 工业软件的重要组成部分。并可通过选择 SIMATIC 工业软件中的软件产品进行扩展，可为功能模板和通讯处理器赋值参数，可强制多功能处理器的模式，具有使用通讯功能块的事件驱动数据传送，以及全局数据通讯功能和组态连接等^[12]。

在使用 Step 7 软件时，当我们来创建一个自动化解决方案时，有一系列必须完成的基本任务。下面把大多数项目需要执行的任务，以及把这些任务分配到基本过程中的有效步骤做一个简单的描述，如表格 2.1 Step 7 任务步骤表所示。

表 2.1 Step 7 任务步骤表

Table 2.1 the Process of Step 7 task

步骤:	描述	步骤:	描述
1.	安装软件及授权	5.	组态一个站及其硬件
2.	设计控制器	6.	组态网络和通讯连接
3.	设计程序结构	7.	创建程序
4.	创建一个项目结构	8.	下装程序到可编程控制器

Step 7 中集成的 SIMATIC 编程语言和语言表达方式，符合 EN 61131-3 或 IEC 1131-3 标准。标准软件包运行在操作系统 WIN 98/NT/2000 下，并与 Windows 的图形和面向对象的操作原理相匹配^[13]。

在 Step 7 系统中，标准软件支持自动任务创建过程的各个阶段。如：建立和管理项目；对硬件和通讯作组态和参数赋值；管理符号；创建程序，例如为 S7 可编程控制器创建程序；下载程序到可编程控制器；测试自动化系统；诊断设备故障等等。

Step 7 软件的用户接口，是基于当前最新水平的人机控制工程设计，可轻松使用与

现代的工业控制。并且 Step 7 软件产品手册在在线帮助和 PDF 格式电子手册中提供所有的在线信息。在使用该软件的时候，无需分别打开各个工具，选择相应的功能或打开一个对象时，它们会分别自动启动相应的程序。

2.4 系统选型总结

本章在充分考虑了各方面的建议，结合生产的工艺和操作方面的要求，为生产厂讲述了 S7 400 系列产品的优缺点，在综合上述选型意见的前提下，决定采用以下设备作为本系统的主要控制设备：

- 1) 采用西门子公司开发的 S7 400 系列 PLC 控制系统，作为该公司锅炉控制系统的主要组成部分。通过 S7 400 机架和模板的选择，定好总计的标签类型和数量，选择 S7 400 系列的 CPU 414-2 DP 和 I/O 模板一套；
- 2) 采用 GE 公司的 IFIX3.5 软件作为监控系统。根据 IFIX 系统软件的分类，确定使用 IFIX 3.5 监控软件的开发和运行中文版各一套；
- 3) 使用研华计算机和 DELL 显示器各两套，用于在主控制室监视和控制现场设备。

第三章 基础自动化控制系统分析与设计

在工业生产过程中, 锅炉的自动控制系统是非常典型的。由于系统的工艺流程比较复杂, 设备多、分布广、控制和监视的参数多, 没有先进的自动化设备与相应的控制系统, 要正常运行一个锅炉较困难。现代锅炉控制系统和计算机控制系统有着密不可分的关系。考虑到企业的效益和锅炉生产安全方面的因素, 在本章中, 我们主要讨论其控制系统的设计和应用, 以及在组态过程中需注意的主要方面。

3.1 过程控制的几个基本概念

控制系统是利用各种物理装置, 对生产设备和工艺过程进行合理的控制, 使被控制量保持在一定范围内, 或者按照一定的规律变化, 以满足生产的控制和工艺要求。它是为实现某一个控制目标, 所需要的物理部件的有机组合体, 使系统按照给定量所设定的规律运行, 满足人们某一特定的目标, 从而完成对人们的某一种服务的系统^[14]。

按照控制系统的分类, 可分为: 开环控制系统、闭环控制系统和复合控制系统。自动控制系统主要包括: 给定环节、比较环节、校正环节、放大环节、执行机构、被控对象和检测装置等。在控制系统中, 常把比较环节、放大环节和校正环节合在一起成为控制器^[15]。

3.1.1 过程控制的模型

过程控制技术的应用, 首先要了解过程的静态和动态特性, 建立过程的静态和动态模型。下面以过程控制的角度, 简单的介绍一下静态和动态模型。

1) 静态模型

通过过程特性曲线表示出静态模型, 它能够给出过程输入和输出信号之间的稳态关系。通过静态模型, 可以确定过程控制信号的作用范围, 使得过程输出在期望的范围内变化; 可以确定执行器的尺寸和传感器的分辨率^[16]。

获取静态模型的方法: 通过开环阶跃响应实验的方法; 闭环实验法, 确定一个给定值后保持不变, 在系统稳定时测量相应的控制变量。

2) 动态模型

动态模型给出了输入输出信号之间的瞬态过程的关系, 在过程控制中, 大多数使用线性时不变系统^[17]。等待过程进入平稳状态; 设置控制器为手动方式; 快速改变控制变

量,例如通过递增/递减按钮;记录过程变量,用这种方法可以控制变量的变化,对过程变量进行标度。

通过上述实验可以初步了解系统过程控制的难易程度,可以了解过程的稳定性如何。用不同输入信号幅度在不同的操作条件下重复进行实验,以便得到模型为线性时的信号范围,也可以了解过程是否随着运行条件变化。

3.1.2 简单的 PID 控制系统

PID 控制系统是比例、积分和微分控制系统的简称,也是历史最悠久、生命力最强的基本控制方式。随着科学技术的发展,PID 控制和其他控制方式相比,由于其自身的优点,仍然得到最广泛的应用。

在 PID 控制系统连接成的闭合控制回路中,会出现两种情况:正反馈和负反馈。正反馈作用加剧被控对象流入量和流出量的不平衡,从而导致控制系统不稳定;负反馈作用则是缓解被控对象的不稳定,从而达到自动控制的目的。所以系统的调节大都是负反馈作用^[18]。

为了适应不同被控对象的负反馈控制的需要,工业调节器有正、反作用开关设置,以便根据实际需要,将调节器设置为正作用或反作用方式。所谓正作用,是指调节器的输出信号随着被调量的增大而增大,此时称整个调节器的增益为“+”。反作用则正好相反,是指调节器的输出信号随着被调量的增大而减小,此时称整个调节器的增益为“-”,因此可根据具体情况来决定系统中各个增益的正负和作用方式。

PID 控制中的各种调节规律:比例调节、积分调节和微分调节。比例调节又叫 P 调节,其显著的特点就是有差调节;积分调节简称 I 调节,为无差调节,可以利用 I 调节消除残差,积分时间是 I 调节的重要参数;如果调节器能够根据被调量的变化速度来移动调节阀,而不要等到被调量已经出现较大偏差后才开始动作,那么调节的效果将会变得更好,在实际效果来看,等于赋予调节器以某种程度的预见性,这种调节成为微分调节。微分调节只能起到辅助作用,只可以与其他调节动作结合使用^[19]。

3.1.3 串级控制系统

串级控制系统是改善调节过程时极为有效的方法,属于复杂控制系统。在串级调节中,采用了两级调节器(如图 3.1 串级控制系统所示),这两级调节器串在一起进行工作,各有其特殊任务。调节阀是直接受到副调节器的作用,而副调节器的设定值则是受主调节器的控制。这样可以争取最大的时间,让调节器提前动作,使得的调节效果得以改善。

本文中的汽包水位调节、燃烧调节和蒸汽温度调节等都是采用串级调节系统。

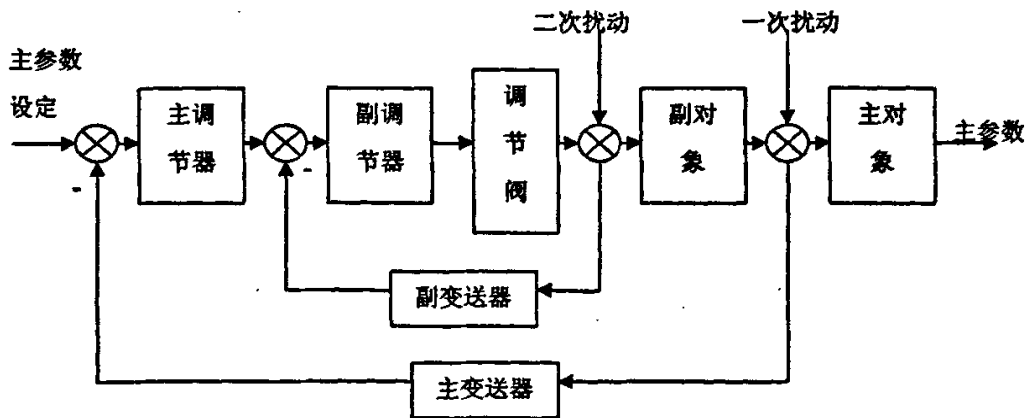


图 3.1 串级控制系统

Fig.3.1 Cascade Control System

由上图可知，串级控制系统在结构上形成了两个闭环。一个闭环在里面，被称为副环或者副回路，在控制过程中起着“粗调”的作用；一个闭环在外面，被称为主环或者主回路，在控制过程中起着“细调”的作用。最终保证被调量能够满足生产工艺的要求。其中，主调节器具有自己独立的设定值，它的输出作为副调节器的设定值，而副调节器的输出信号则被送到调节阀去控制生产过程。

在上图中，二次干扰首先要进入副环，经过副环的抑制作用后再进入主环，这样对被调量的影响就小的多了。当扰动进入副回路后，首先是副被控变量检测到扰动的影响，并通过副回路的定值作用及时调节操纵变量，使副被控变量恢复到副设定值，从而使扰动对主被控变量的影响减少。也就是副环回路起到的粗调作用，主环回路起到对扰动进行细调的作用。因此，串级控制系统能够迅速克服进入副环扰动的影响，并使系统偏差大大减小在串级系统中。负荷的变化引起副回路内的各个参数的变化，可以较少的影响系统的控制质量，改善了对对象的动态特性，使系统对负荷或者操作条件的变化有一定的自适应能力。

作为一个复杂的控制系统，串级控制系统和一般控制系统的主要区别就是有了一个副回路。可以说，副回路的设计质量是保证发挥串级控制系统优点的关键所在。下面简单的了解一下副回路设计的注意事项：

第一：串级系统被用来克服对象的容积滞后和纯延迟。这样可以选择合适的副参数，使得副回路的时间常数小，提高系统的工作频率、反应速度，改善系统的控制品质。

第二：串级系统对二次干扰有较强的克服能力，可以利用这一特性让副回路尽可能

的多一些干扰，从而充分发挥串级调节的优势，但是也要做到适可而止。

第三：在系统的整定过程中，由于主、副调节器的任务不一样，对于二者的调节动作规律的选择也不一样。副回路一般采用 P 调节器就足够了，当主、副环的频率相差很大时可以采用 PI 调节器；主调节器的任务是准确的保证被调量能满足生产要求，一般情况下，主回路采用 PI 调节器，特殊情况使用 PID 调节器。

第四：在串级控制系统的运行过程中，可分为串级控制、主回路单独控制和副回路单独控制等方式。特殊情况下，在控制方式上可灵活地进行切换，减少对生产的影响^[20]。

3.1.4 比值控制系统

在各种生产过程中，经常需要保持两种物料的流量成一定的比例关系，如果一旦比例失调，就会影响产品的质量，严重的情况下甚至会造成生产事故。与串级控制系统一样，比值控制系统在锅炉控制过程中也有着重要的作用。

比值控制系统是为了保证两种物料的流量成一定比例关系，保证主流量和副流量成比例，满足生产的需要，为生产的顺利进行服务，避免造成不良后果。它是一个能够流量自稳定的单回路调节系统，一般的比值控制系统如图 3.2 所示。本文的送风控制回路控制采用的就是比值控制系统。

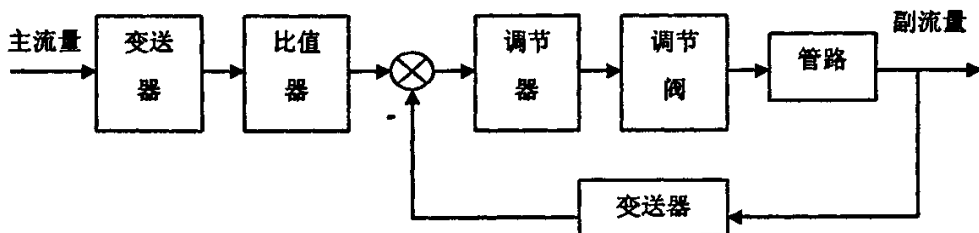


图 3.2 比值控制系统

Fig.3.2 Ratio Control System

由上图可以看出，这种系统比较简单，而且可以克服环内的各种干扰信号对比值控制系统的影响，这种方案生产中得到了大量的应用。但是单环比值控制系统一般只用于负荷变化不大的场所。原因为该方案中的主流量不是确定值，它是随系统的负荷变化而变化，因此当主流量出现较大幅度的波动时，副流量难以跟踪主流量的变化，这样，主流量和副流量的比值会较大幅度的偏离工艺的要求^[21]。

在系统调节过程中，如果比值的控制精度要求较高，而主流量又允许控制的情况下，可以首先对主流量进行控制，克服干扰的影响，使主流量变化平稳。当然与之成比例的

副流量也将比较平稳,当系统需要升降负荷时,只要改变主流量的设定值,主副流量就会按比例同时增加或减小,这样就形成了双闭环比值控制系统,从而克服了单环比值系统的缺点,提高了系统的控制效果。

3.2 蒸汽温度的控制系统

锅炉蒸汽温度控制系统是锅炉的一个主要环节。在首秦公司,锅炉蒸汽温度控制的结果,将直接影响到整个公司的蒸汽母管的温度,直接影响到汽机的运行、全厂的热效率和冬季设备保温效果,最终会影响到整个公司的安全运行,所以锅炉蒸汽温度的控制系统是锅炉的重要控制系统之一。

3.2.1 影响锅炉出口蒸汽温度的因素

大型锅炉的蒸汽温度的控制,主要是靠喷水减温器来实现的,其次是影响蒸汽温度的因素,包括蒸汽流量扰动和烟气侧传热的扰动等。本系统采用了两级减温的方式,来控制出口蒸汽的温度,过热器的布置在锅炉炉膛的上部和高温烟道中,减温器设置在过热器的中间段,如蒸汽温度控制示意结构图 3.3 所示。

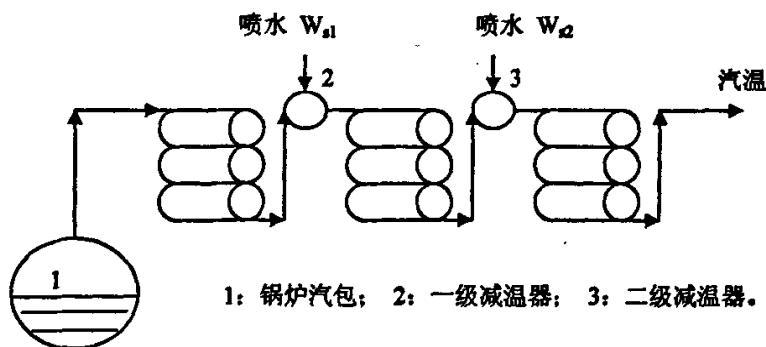


图 3.3 蒸汽温度系统流程图

Fig.3.3 Steam temperature process

1) 喷水量的扰动作用

蒸汽温度的控制主要是靠喷水减温的方式来完成的,这种控制方式,喷水量的扰动就是基本扰动。从图 3.3 可以看出,过热器具有分布参数的对象,管内的蒸汽和金属管道串联起来组成了整个过热器系统,当减温器的喷水量 W_s 发生变化后,需要通过这些对象串联起来共同作用,从而最终引起出口蒸汽温度 θ_s 的变化。所以, θ_s 的响应有很大的迟延,减温器离过热器出口越远,迟延越大,喷水量的扰动下的动态特性曲线如图 3.4 所示。

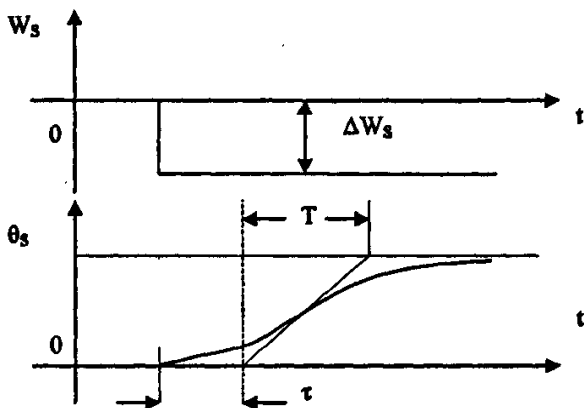


图 3.4 过热蒸汽温度响应曲线

Fig.3.4 Response Curve of Steam-gas temperature

2) 蒸汽流量的扰动作用

锅炉的供汽主要是为汽机服务，汽机负荷的变化会引起蒸汽流量的变化。蒸汽流量的变化将改变过热蒸汽和烟气之间的传递条件，从而导致蒸汽温度的变化。图 3.5 是蒸汽流量扰动 ΔD 作用下过热蒸汽温度的响应曲线。

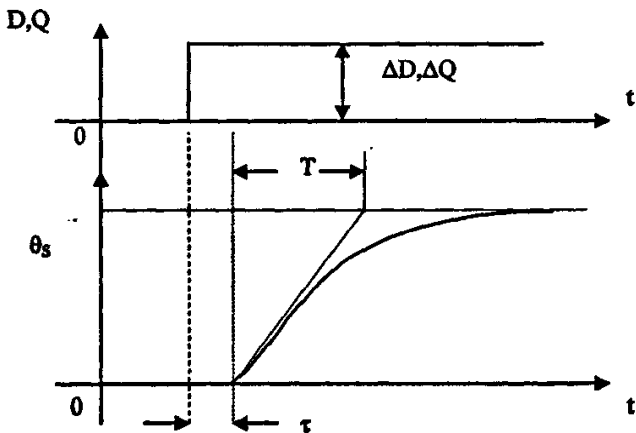


图 3.5 过热蒸汽在蒸汽流量作用下的响应曲线

Fig.3.5 Response Curve of Steam-gas Under the Steam Flow

从图上可以看到，温度响应具有自平衡特性，而且惯性和迟延都比喷水减温扰动带来的要小，这是因为在蒸汽流量发生变化时，沿过热器管道长度方向上的各点温度几乎同时变化。

3) 烟气侧传热量的扰动作用

在同一个锅炉系统中，由于其燃料的种类基本保持不变，所以烟气侧传热量的扰动，

主要来自燃料流量的增减、燃料成分的改变、鼓风机和引风机的工作状况导致的氧气的含量和空气的流速带来的变化，从而改变了传热情况，导致了过热器出口温度的变化，由于，烟气传热量的改变是沿着整个过热器长度方向上同时发生的，因此蒸汽温度变化的迟延很小，一般不超过 20S 的时间，可以看出，它和蒸汽流量扰动带来的情况基本相同，所以，它的蒸汽温度响应的曲线如上图 3.5 所示。

3.2.2 蒸汽温度的控制策略

从上述蒸汽温度的动态特性情况来看，喷水量、烟气量和烟气温度均可用来控制蒸汽温度，但考虑到应使系统的结构简单、易于实现，对本系统来讲，采用的是喷水量作调节量，并做到了两级减温调节，同时考虑到烟气量和烟气温度对系统的影响，这样即可满足对蒸汽温度的控制。

蒸汽的温度是锅炉生产过程的重要参数，一般由锅炉和汽轮机生产的工艺确定。从安全生产和经济技术指标上看，必须使蒸汽温度在允许范围之内。在本系统中，其具体的控制方法如下。

1) 一级减温调节：在一级减温调节系统中，采用单独控制一级过热器出口的温度，让其保持在一定的温度范围内，为了最终的蒸汽温度的控制作好前提准备。

2) 二级减温器：在二级减温调节系统中，采用的汽温串级控制方式。因在喷水量扰动下，蒸汽温度的响应速度较慢，喷水减温器出口温度的响应速度则较快，具有明显的导前作用。由此，我们采用了以二级过热器前的温度为副参数，以主蒸汽温度为主参数的串级控制系统，以外回路的输出作为内回路的设定值。

3) 辅助调节手段：由运行人员根据具体情况来改变燃烧器的倾角、改变上下排燃烧器的投停状态、改变配风工况等来改变火焰的中心位置，以达到调节过热器汽温的目的。当汽温过高时，应尽量使用下排燃烧器，以降低过热器温度。

在上述方案实施的同时，我们采用的是串级调节主蒸汽温度的方式，来控制锅炉的主蒸汽温度，其具体的控制流程图如下：

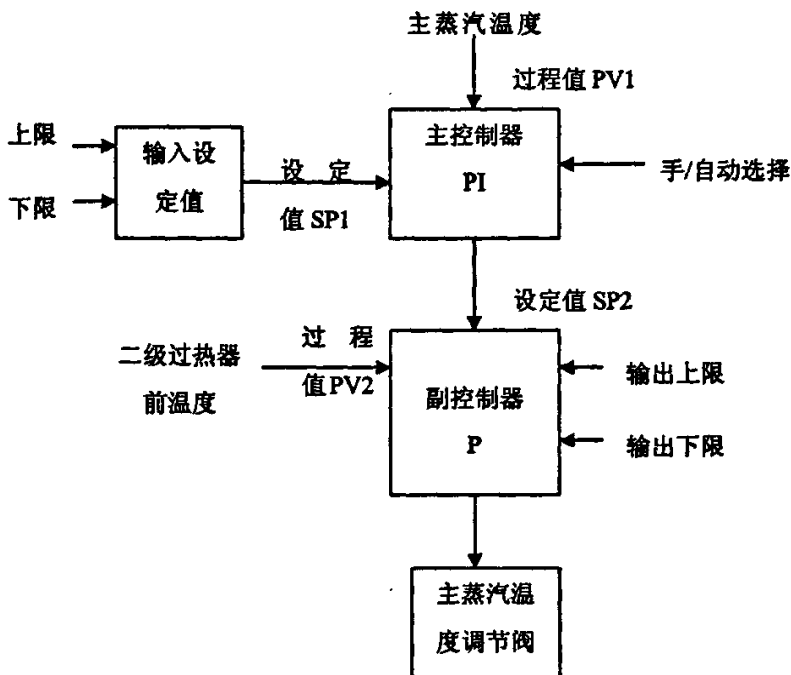


图 3.6 主蒸汽温度控制流程图

Fig.3.6 Main Steam Temperature Control Process

根据上图的主要流程，可以简单的了解一下主蒸汽温度控制的主要过程：

首先由变送器把现场的主蒸汽温度信号送到 PLC 的模块中，在程序里，把主蒸汽温度信号作为主控制器的过程值 PV1；同时，在上位 IFIX 系统中输入期望的设定值 SP1，二者经过主控制器 PI 调节，把输出值送至副控制器作为其设定值 SP2。

其次是在副控制器中，取二级过热器前的温度作为副控制器的过程值 PV2，经过副控制器的 P 调节来实现对主蒸汽温度调节阀的控制，同时对于副控制器，在上位控制系统 IFIX 中，根据不同的生产情况，可以对其输出的上限和下限给出相应的限定值。

最后，把副控制器的输出经过模拟量输出模块，把 4~20mA 信号（对应阀门开度是 0~100）送到现场的主蒸汽温度调节阀，完成对阀门开度的控制，从而实现把主蒸汽温度控制在合理的范围之内。

3.3 锅炉给水控制系统

锅炉给水调节对象可以用图 3.6 来表示，给水调节机构控制给水量 W，汽轮机负荷决定了耗汽量 D，耗汽量 D 是由汽轮机调节汽门来控制的。投入的燃料流量为 B，水冷壁与汽包存水部分构成了冷热水循环系统。

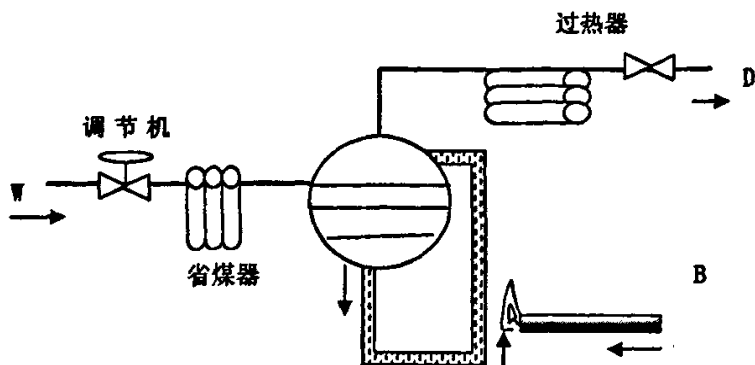


图 3.6 给水调节对象示意图

Fig 3.6 Diagram of Feed-water Control

在企业正常生产的情况下，汽包水位调节的动态特性要比单容水槽的情况复杂的多，由于在锅炉的水循环系统中，汽包里充满了夹带着大量蒸汽气泡的水，而且蒸汽气泡的总体积 V_s 是随着汽包压力和炉膛热负荷的变化而改变的。如果由于某种原因使蒸汽气泡的总体积改变了，即使水循环系统中的总水量保持不变，汽包水位也会随之发生变化^[22]。

3.3.1 影响汽包水位的因素

汽包水位间接反映了给水量和供汽量之间的一种动态平衡，它是锅炉系统能够安全运行的一个重要参数。如果水位过高，就会破坏汽水分离装置的正常工作，严重时还会导致蒸汽带水过多，增加在过热器管壁上和汽轮机叶片上的结垢，甚至会使汽轮机发生冲击现象而损坏叶片；相反，如果水位过低，则会破坏锅炉水循环过程，导致水冷壁被破坏。因此，锅炉启/停过程中和正常运行时都要求保持汽包水位在一定范围内相对恒定。影响汽包水位 H 的主要因素有：给水量 W ，汽轮机的耗汽量 D ，和燃料量 B 等。

1) 汽包给水扰动

在给水量 W 的阶跃扰动下，水位 H 的响应曲线可以用图 3.7 给水扰动响应曲线来说明，如果把汽包及水循环系统当作单容水槽，水位的响应曲线如图中的直线 H_1 。考虑到给水温度低于汽包内的饱和水温度，当它进入汽包后吸收了原有的饱和水中的一部分热量，使得锅炉的蒸汽产量下降，水面以下的汽包总体积 V_s 也就相应减小，导致水位下降。 V_s 对水位的影响，可以用图中的曲线 H_2 表示。水位 H 的实际响应曲线是 H_1 和 H_2 的总和。

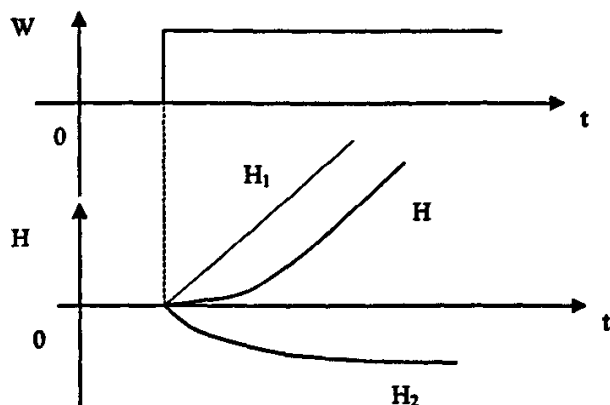


图 3.7 给水扰动响应曲线

Fig.3.7 Response Curve Under Feed-water Disorder

从上图可知，响应过程有一段迟延时间 τ 。给水的过冷度越大，纯迟延时间也越大。给水扰动下的传递函数可以近似表示为：

$$G(s) = \frac{\varepsilon_1}{s} e^{-\tau s} \quad (3.1)$$

式中 ε_1 为水位的上升速度。

2) 负荷扰动

在汽机耗汽量 D 的阶跃扰动下，水位 H 的响应过程可以用图 3.8 负荷扰动响应曲线来说明。当汽机耗汽量 D 突然阶跃增加时，一方面改变了汽包内的物质平衡状态，使水位下降，图中 H_1 表示把汽包当作单容对象时水位应有的变化；另一方面，由于耗汽量 D 的增加，迫使锅内汽泡增多；同时由于燃料量维持不变，汽包压力 P 下降，使水面以下的蒸汽泡膨胀，总体积 V_s 增大，从而导致汽包水位的上升，如图中 H_2 所示。

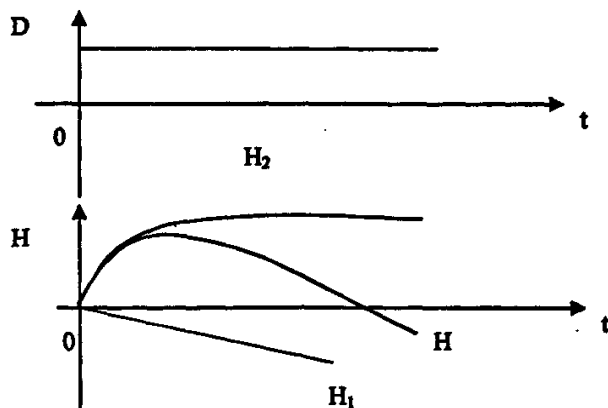


图 3.8 负荷扰动响应曲线

Fig.3.8 Response Curve of Drum Level Under the burthen

汽包水位 H 的实际响应过程是 $H=H_1+H_2$ 。对于大中型锅炉来说, 后者的影响要大于前者, 因此在负荷阶跃增加后的一段时间内水位不但下降, 反而明显上升。这种反常现象通常称为“假水位”现象。

负荷扰动下汽包水位的传递函数可以近似地表示为

$$G_2(s) = -\left(\frac{\varepsilon_2}{s} - \frac{K}{1+T_0 s} \right) \quad (3.2)$$

式中, ε_2 为反映物质平衡关系的水位上升速度; T_0 和 K 分别代表图中曲线 H_2 的时间常数和增益。

3) 燃料量扰动

燃料量 B 的扰动必然引起蒸汽量 D 的变化, 因此也同样有假水位现象。但是由于其汽包和水循环系统中有大量的水, 汽包和水冷壁金属管道也会储存大量的热量, 因此有一定的热惯性。燃料量 B 的增大只能使 D 缓慢增大, 而且 P 还慢慢上升, 它将使汽包体积减小。因此, 燃料量扰动下的假水位现象比负荷扰动下要缓和得多。

由以上分析可知, 给水量扰动下水位响应过程具有纯迟延; 负荷扰动下水位响应过程具有假水位现象; 燃料量扰动下也会出现假水位现象。这些特性使得控制汽包水位的任务变得更加困难和复杂。

3.3.2 汽包水位的控制策略

保持汽包水位正常是锅炉和汽轮机安全运行的重要保证。一般情况下, 汽包水位的规定在汽包中心线下 50-200mm 之间, 正常变化范围在 ± 50 mm。在本文的给水系统中, 提供了两个给水调节阀, 即主给水和辅助给水调节阀。本系统采用了单冲量和三冲量同时作用的方法, 来控制汽包的水位。其具体方法如下。

1) 辅助给水调节: 辅给水调节采用单冲量调节系统, 直接以汽包水位为调节对象, 在必要时可以直接采用手动方式控制, 把给水量控制在一个相对稳定的范围内。

2) 主给水调节: 主给水调节系统采用三冲量串级调节方式运行。以汽包水位为主调节参数, 以给水流量与蒸汽流量之差值作为副调节参数, 这样基本上可以使汽包水位保持在锅炉运行的正常范围内。

根据汽包水位的影响因素和其动态特性, 在本方案中我们采用了三冲量串级调节方式来控制汽包水位。下面以主给水调节系统(见下图 3.9 汽包水位流程图)为例来加以详细说明。

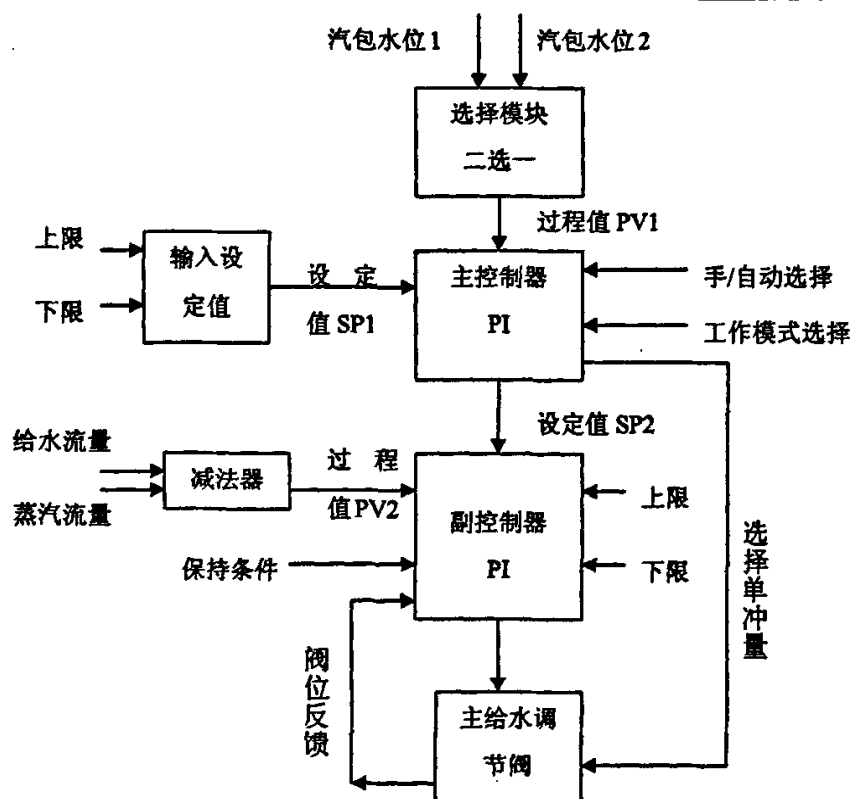


图 3.9 汽包水位控制流程图

Fig. 3.9 Drum Level Process

该系统接收汽包水位、蒸汽流量和给水流量三个信号，采用两个控制器（主调和副调）相串联，称为三冲量串级给水调节系统。下面就主给水控制系统为例说明以下上述控制流程的步骤：

首先，在现场采集到两个汽包水位信号汽包水位 1 和水位 2，在程序中，对二者进行判断，取得好质量的水位信号送到主控制器，作为其过程值 PV1；在上位 IFIX 系统中，输入相应的设定值 SP1。二者经过主控制器的 PI 调节，把输出信号送到副控制器。特殊情况下，例如在单冲量调节方式下，可以直接把输出信号送到调节阀上。

其次，在副控制器中，把主控制器的输出值作为其设定值 SP2，把给水流量和主蒸汽流量之差作为过程值 PV2，进行 PI 调节；同时在 IFIX 系统中，可以限制副控制器输出值的上限和下限范围。在一些特殊情况下，根据水位与两个流量的差值的正负关系，判断阀门的开关的状态，来禁止阀门的继续动作，在异常情况下系统自动切至手动操作。其具体做法见第六章中汽包水位的控制条件，根据对阀门开度的返回值和一些状态的比较，可以对副控制器进行强制保持。

最后,把副控制器的输出信号经过模拟量输出模块,转换成 4~20mA 信号(对应阀门开度是 0~100)送到现场的主蒸汽温度调节阀,完成对阀门开度的控制,从而实现把汽包水位控制在合理的范围之内。

为了更好的实现对汽包水位的控制,在上述控制方案的基础上,考虑到一些特殊情况,包括燃料压力的突然变化等等,又增加了以下几个方面的辅助程序:

1) 工作模式的选择:为克服“虚假水位”现象对给水调节系统造成的不利影响,在蒸汽参数稳定、给水流量允许的情况下,给水调节系统可自动或手动切换到三冲量调节系统。

2) 锅炉给水调节系统在低负荷时采用单冲量调节系统。负荷大于 30%时一般采用由汽包水位、给水流量和蒸汽流量组成的三冲量串级调节系统来调节给水阀,以使汽包水位满足机组运行要求;小于 30%时采用单冲量或手动控制。

3) 检测信号准确:在给水调节系统中,汽包水位信号经汽包压力补偿后作为主调的输入,蒸汽流量信号经温度、压力修正后与给水流量信号一起作为副调的反馈输入值。

4) 无论是单冲量调节系统,还是三冲量调节系统,测量汽包水位的变送器均为双重冗余。同时在程序中分别对两个汽包水位进行信号质量判断,采用取平均值的处理方法,当至少有一路水位信号故障时,则取另外一路信号,也可由运行人员决定采用哪路信号进行调节运算。

5) 辅助调节:限制给水调节阀的开度。在上位机上,操作人员可以根据具体情况来改变调节阀的最大和最小开度,避免调节阀的过度开关,防止水位的剧烈波动。

6) 给水泵水温:在水到达给水泵以前,可以结合除盐车站的水温调节系统,让水温调节系统尽量稳定,使除盐车站出来的水温保持在一定的范围内,从而避免在给水泵的水温出现大幅波动。

3.4 炉膛负压控制系统

锅炉炉膛的负压调节系统,主要是由引风调节和送风调节组成,系统的被调量反映了引风量和送风量之间的平衡关系。其任务在于调节烟道引风机的挡板开度大小,来改变引风量,从而维持炉膛的负压在一定的范围内波动。

3.4.1 影响锅炉炉膛负压的因素

送风调节和引风调节时影响炉膛负压的主要原因。另外,当负荷发生变化时,风量

的调节动作比较缓慢,可以认为炉膛负压的干扰和负荷无关。在燃气锅炉的燃烧系统中,燃料量的迅速跳变是影响炉膛负压的一个重要干扰对象,当燃料侧发生扰动时,应最快的解决好风量的调节,以保证负压的形成。

送风调节系统工作的好坏,直接影响炉膛空气过剩系数的变化,也就是排出烟气的含氧量。引起空气过剩系数变化的主要扰动是燃料量和送风量配比。由于送风系统几乎没有延迟和惯性。所以在燃料充足的情况下送风量的大小将比较直接的反应在锅炉的蒸汽压力上。那么怎样才能保证股风量和燃料量的搭配适宜,防止由于风量不够导致煤气不能充分燃烧。该参数对节能和环保都有很大意义,同时还会造成烟气含炭量的增高,以致影响到烟气的排放问题。

引风调节系统的工作,是要保证整个锅炉炉膛绝对工作在负压状态,否则,如果负压过大,可能会导致整个锅炉处于危险状态,甚至造成锅炉设备的损害和对人员的伤害等问题。

3.4.2 炉膛负压的实际控制方法

炉膛负压自动调节对象的动态特性较好,但其扰动通道的飞升时间很短,飞升速度很快。根据以上对送风和引风系统调节对象的分析,可以看出在风量扰动下,对象的动态特性具有较大的自平衡能力,几乎没有延迟和惯性,近似为一比例环节。而燃料量扰动时,需经过输送和燃烧过程而略有延迟。系统各回路中都设置了手自动两种操作方式,为了实现无扰动切换,系统引入了各控制对象的反馈值,在手动操作时 PLC 输出会自动跟踪控制对象的反馈,当切换到自动状态时可以进行无扰动切换,使系统平稳的过渡到自动状态。

1) 送风量的控制系统

由于送风系统几乎没有延迟和惯性。所以在燃料充足的情况下送风量的大小将比较直接的反应在锅炉的蒸汽压力上。怎样才能保证送风量和燃料量的搭配适宜,来保证送风调节系统的相对稳定就是一个关键性的问题。在本系统中,对负压调节采用了如下的方法,其中送风调节的流程图如 3.10 所示,引风调节系统如 3.11 所示:

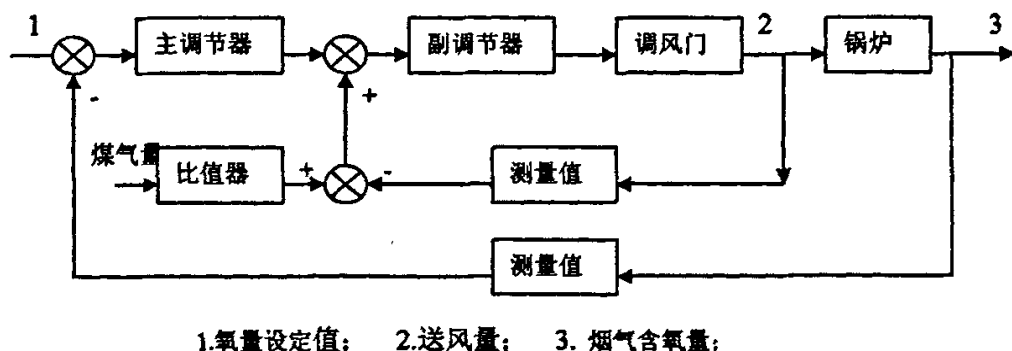


图 3.10 送风控制系统

Fig.3.10 Forced-draft Control System

在炉膛负压的控制系统中，送风系统的稳定是一个相当重要的因素，上述的送风系统中，首先，我们送风系统的目的是为了保证炉膛内的含氧量，使锅炉系统的燃烧达到最佳空气-燃料比。由于目前的氧量的测量中还存在不准确的问题，所以在系统中我们引入了比值器，比值器起到很大的作用，它是燃料和氧气二者流量的一个比例关系，在本系统中，由运行人员在 iFIX 系统中工作流程监控画面上自主决定其比例关系。

2) 引风量的控制系统

炉膛负压的大小对于节能影响很大。负压大，被烟气带走的热量，热损失增加，燃料耗量增大，理想运行状态应在微负压状态。它能明显使燃料充分燃烧，提高能源转换的热效率。本系统采用的控制流程图如图 3.11 所示：

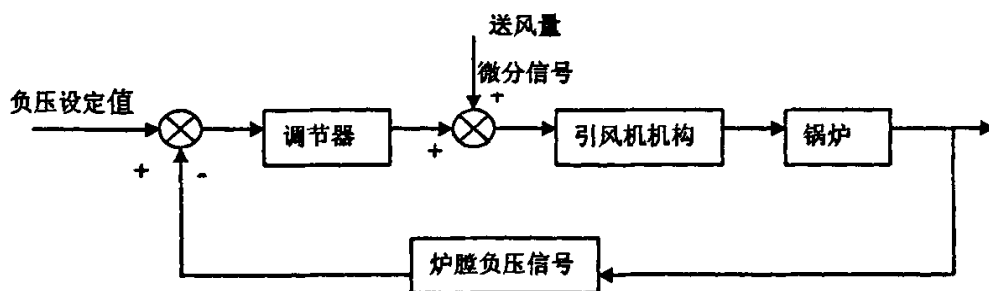


图 3.11 引风控制系统

Fig.3.11 Induced-draft Control System

由于负荷变化，需要改变给燃料流量和送风流量，随之也要改变引风量，以保证主蒸汽压力和炉膛负压的稳定，但由于系统有一定的滞后时间，为避免送风系统的变化而引起炉膛负压的波动，系统中引入送风量的微分信号对引风机进行超前调节。炉膛负压控制系统的调节原理比较简单，属于单闭环调节系统，它的输入量是炉膛负压，输出量

是控制引风机挡板，同时把了送风量作为系统的前馈信号^[23]。

3.5 汽压控制系统

主蒸汽压力是锅炉运行中必须监视和控制的主要参数之一，它是衡量蒸汽量与外界负荷两者是否相适应的一个标志。主蒸汽压力过高、过低都会对锅炉、汽轮机的安全经济运行都不利。若过高且安全门万一发生故障不能动作时，轻则超压，重则可能发生爆炸事故。如果过低，则会减少蒸汽在汽轮机中的做功焓降，使汽耗增加，造成燃料浪费^[24]。

引起锅炉主蒸汽压力变化的因素有两个方面：外部因素和内部因素。

外部因素：指的是外界负荷的增减和事故情况下的甩负荷，它反映在汽轮机所需蒸汽量的变化上。在燃烧工况稳定和汽轮机的用汽量也一定时，蒸汽量与外界负荷之间处于平衡状态，汽压就能保持稳定。

内部因素：是指在外界负荷不变的情况下，由于锅炉燃烧工况的变动所引起的汽压变化。由于燃烧的不稳定，导致炉膛热强度发生变化，使蒸发受热面的吸热量发生变化，这样所产生的蒸汽量将会增加或减少，最终引起汽压的变化。

由以上情况可知，当汽压与蒸汽流量的变化方向相反时，属于外因；当汽压与蒸汽流量的变化方向相同时，则属于内因^[25]。

对于蒸汽压力控制系统，由于在内部扰动下：当燃料量的变化做阶跃增加时，炉膛热负荷立即增大，致使汽包压力增加，蒸汽流量增加。此时，汽机的调汽门开度不变，主蒸汽压力也随着蒸汽的积累而增加；在外部扰动的情况下，由于电网负荷变化扰动下，通过调节汽轮机的进汽量而施加的扰动^[26]。致使主蒸汽压力突然阶跃下降，汽包压力缓慢下降，使得蒸汽流量突然增加，然后逐渐回落，直到回至扰动前的值。

根据以上情况，本文制定出以下具体方法。

- 1) 根据流量和压力的关系，判断出扰动的性质。
- 2) 对于内部扰动，测出蒸汽流量和汽包压力的变化速度，就可迅速的反映燃料的变化情况。这样就首先按比例的改变送风量和燃料量。在增加时，应先增加风量，然后增加煤气量；减少时相反。
- 3) 对于外部扰动，以燃烧回路作为内回路，主蒸汽压力调节作为外回路进行调节。
- 4) 辅助调节：根据各种突发事件，自动投入相应的燃烧器数量，正常时留有一定备用量。

5) 在外部扰动时：燃烧控制系统和送风控制系统同时动作，但此时不能保证空气/燃料比在一定范围内。

考虑到上述情况，在系统的设计中，锅炉主蒸汽压力的控制系统流程图如下图 3.12 所示：

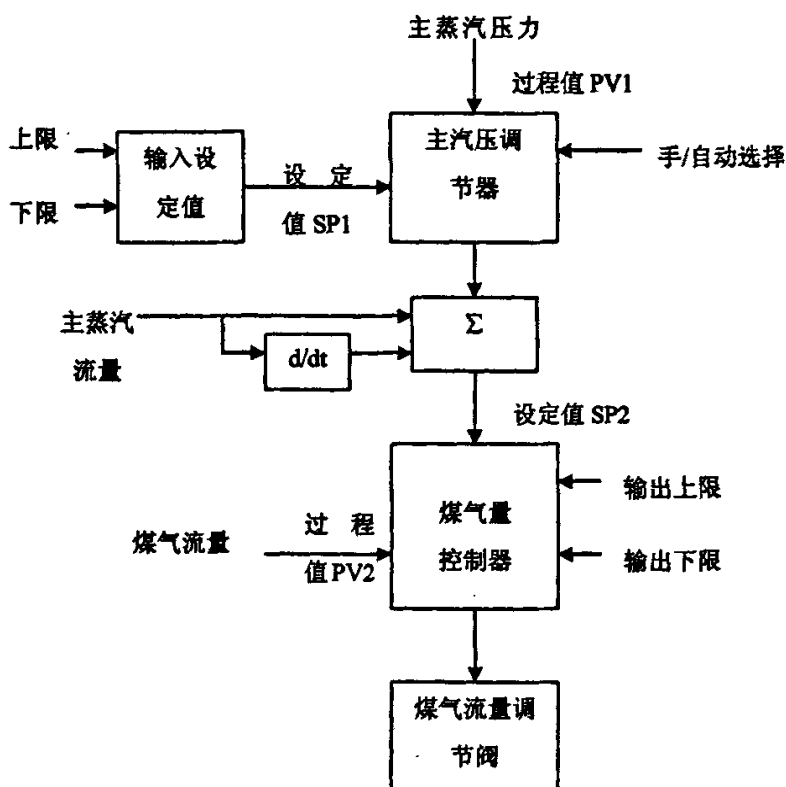


图 3.12 主蒸汽压力控制流程图

Fig.3.12 Main Steam Pressure Process

首先，通过变送器从现场取得主蒸汽压力信号，在程序中，使用它作为过程值 PV1，在上位 IFIX 系统中，得到一定范围内的设定值 SP1，二者通过主汽压力调节器输出。

其次是把主蒸汽流量和其微分信号一起与主汽压力调节器的输出值求和，作为煤气量控制器的设定值 SP2；同时，把煤气的流量作为过程值 PV2 通过煤气量控制器的调节作用输出。在煤气量控制器中，具有输出值的上限和下限的限定功能。

最后，把煤气量控制器的输出信号经过模拟量输出模块，转换成 4~20mA 信号（对应阀门开度是 0~100）送到现场的煤气流量调节阀，完成对阀门开度的控制，从而实现把汽包压力控制在合理的范围之内。

3.6 炉膛安全保护系统 FSSS

锅炉是一个特种压力容器，炉膛的安全问题是锅炉系统中最为重要的一个组成部分，如果没用炉膛的安全，锅炉系统的正常运行就失去了保障。这就使得企业必须高度重视炉膛的安全问题。这样，炉膛安全保护系统（Furnace Safeguard Supervisory System，简称 FSSS）也就应时而生，它是专门用于火电机组锅炉的安全保护以及对燃烧器的管理，是目前国家规定、锅炉机组必须具备的安全监控系统^[27]。

根据各个厂家所设计的机组容量的不同，FSSS 系统所需要配置的软件和硬件设备也就有所差异。其中首秦公司 75t/h 锅炉机组的灭火保护系统，在主要的配置上包括以下几个部分：控制系统的主机、工控上位机、火焰检测器、仿真盘、检测元件、点火器和推进器等等。

3.6.1 系统的基本要求

系统在运行时，有一些基本的要求，主要是：能够快速响应燃料跳闸的输入信号；可以直接切除所有的燃料输入来源；主控制室操作人员能直接进行燃料跳闸；能够自动记忆和显示跳闸原因；在允许重新投入燃料和点火前，炉膛吹扫程序应当清除所有在炉膛和烟道中的可燃气体；在 FSSS 系统中的所有输入/输出的控制和状态显示在锅炉系统的 IFIX 画面上；系统能够提供某些参数逼近其预定危险值时的预先报警功能，并及时的通过声音或颜色闪烁等信号来告知运行人员。

首秦公司的 FSSS 系统，采用的是在能够保证锅炉正常生产的前提下的一個经济、实用和系统化的炉膛灭火保护系统。对 FSSS 系统的研究和其专用设备的了解是进行锅炉安全生产的基本保障，也是控制系统的一个主要组成部分。

本系统的 FSSS 是整个系统的一个有机组成部分，是和锅炉的控制相对独立，却又密不可分的。其采用的是 SIEMENS S7 300 系列的控制系统，可是并不提供 FSSS 与操作人员的人机接口界面。所以该系统负责采集和控制现场的信号，能够自行控制燃气系统的操作和保护，并和锅炉控制系统相互通讯，把需要运行人员监控的信号显示在锅炉的 IFIX 系统的界面上。

在本系统中，FSSS 控制采用了灵活的自动控制和手动控制方式，包括以下三种方式：

第一：操作最简单的完全自动控制程序。即从操作运行人员启动吹扫后到点燃第一个预先选定的燃烧器，可以到达完全的依靠系统自动完成的功能；

第二：依靠操作人员在计算机上的简单操作，来一步步的完成现场所需要控制的燃

烧设备，或者不按顺序来操作需要调试的现场设备。这样可以为维护和维修的方便进行提供了保障。

第三：在 FSSS 独立的系统中，设有专门的手动操作盘，来实现紧急情况下操作人员对现场任意设备的单独控制。

在 FSSS 控制系统中，提供了在各种方式下的完善的监视和联锁控制功能，包括 8 个火焰监视器的监控功能。同时，在第二种控制方式中，操作人员能够分阶段、按顺序控制方式启动燃烧过程，在第一种完全自动方式下，控制发生问题或机组设备运行状况需要时，采用这种自动控制方式。第三种控制方式是在计算机控制失效，或计算机出现故障时，采用的一种防患于未然的生产安全策略上的准备。

3.6.2 系统的主要功能

通过计算机上的自动操作或操作盘上的手动操作，完成设备的主要控制要求，满足生产的工艺和控制功能。同时，为企业提供了生产所需的各种运行信息，使操作和监控人员随时都能获得设备的各种运行状态等信息，以便其选择在控制方式下的切换和生成生产监控的报表等。满足本企业的管理和生产的需求。

在手动操作盘上，提供了手动方式时的操作指导（报警铃和显示灯等），这些操作指导能够表示和显示出上一步的操作结果和下一步何种操作，以及整个的操作步骤。操作的流程图形，以画面的形式显示在计算机显示器上，并能够显示各个设备的状态变化，通过文字和颜色的变化来表达出来。其所提供的联锁功能具有最大的安全性，可在现场设备失灵或出现故障时立刻显示出来，以此来通知有关人员，及时避免危险，减少企业的生产损失，提高现场人员的安全性。

在锅炉吹扫、启动和低负荷运行期间，锅炉控制系统需要维持在 30% 的锅炉最低通风量。这样可以保证锅炉点火时，维持锅炉炉膛的过剩空气量和确保被点火的燃烧器周围的合理风速。

在没有得到 FSSS 的许可条件之前，燃烧器控制不得向炉膛投入燃料或点火能量；在收到 MFT 动作信号时，燃烧器控制系统会立刻按指令协同 FSSS 快速切断到炉膛的燃料通道，关闭各个速断阀门，使系统丧失点火能源。以保证整个系统的安全。

燃烧器控制逻辑提供系统的自动检测功能，当检测到火焰丧失时，燃烧器自动切除，任意一个燃烧器火焰丧失，则关闭该燃烧器的速断阀，并在 CRT 上进行报警。当系统有六个燃烧器火焰丧失时，则认为整个系统处于不工作状态，自动时，则发出 MFT 信

号。系统提供带有逻辑功能的单独的火焰监视,并通过合适和安全的程序切除燃烧器。

监视锅炉的运行工况,并在检测到危害现场人员和设备安全的情况下,及时发出主燃料跳闸(MFT)信号,当发生危险工况时,会停止运行一部分正在投运的锅炉燃烧设备和相关的汽机设备,并快速切除进入锅炉的燃料量^{[28][29]}。

当 MFT 发生后,维持锅炉的进风量,以便清除炉膛内、烟道中的可燃气体。以防止该气体对锅炉产生危险。并且,在吹扫完成和相关条件满足之前,能防止燃料重新进入炉膛,做到确保锅炉的安全。除上述以外, FSSS 系统还具有以下几个功能。

1) 炉膛清扫功能

锅炉启动前和停炉后必须完成一次成功的清扫,以大于 5 倍锅炉容积的空气置换炉内气、粉混合物。吹扫时间为 5 分钟,吹扫完成后,解除 MFT 的闭锁,方可允许锅炉点火启动,阻止任何燃料进入炉膛。

当具备下列条件时,才能启动“吹扫”按钮进行 5 分钟吹扫。系统吹扫的主要条件:送风机运行;引风机运行;一次风机均停;风量大于 30%;无锅炉跳闸指令;汽包水位正常;火检冷却风压正常;所有火检指示无火;所有二次风挡板在吹扫位。

当上述条件满足,运行人员可以启动吹扫按钮,进行 5 分钟清扫,吹扫是自动进,并显示“正在吹扫”、“吹扫完成”、“吹扫中断”等工况。

2) 主燃料跳闸(MFT)及首次故障记忆功能

当出现下列任意一种工作情况时,系统自动发出主燃料跳闸信号(MFT)并快速切断所有燃料。记忆、显示停炉的首次故障原因,同时发出指令到相关设备以采取相应措施。这些信号主要是:送风机停止;引风机停止;汽包水位高;汽包水位低;炉膛压力高;炉膛压力低;全炉膛灭火;燃料丧失;风量 $<30\%$;紧急停炉(手动 MFT)。

3) 全炉膛火焰检测功能

火焰检测采用对角的上、下两层布置方式,同时检测四个角燃烧器,结合燃烧器速断阀门的状态,以 8 取 6 无火的判断方式,能准确的判断出全炉膛灭火。

4) 冷却风控制功能

火检冷却风机有两台,当探头冷却风进出口压差小于 1.5KPa 时,自动启动一台风机,5 秒钟后仍小于 1.5KPa,再启动另外一台风机。

5) 联锁和报警功能

在首秦公司, FSSS 系统和锅炉控制系统相互联系,又相互独立,能够在锅炉正常

工作、启动和停止运行的方式下，连续监视燃烧系统的参数与状态，并且能够独立进行逻辑运算和判断，通过连锁装置使燃烧系统设备中的有关部件，按照既定的全速程序，来完成必要的操作或处理未遂性事故，以保证锅炉炉膛和燃烧系统的安全，保证炉膛的最佳燃烧状态，使锅炉安全、经济、稳定和可靠地运行。

FSSS 系统可发出必要的报警信号到热工信号系统，并可发出数据记录信号送至 PLC 系统。该系统不仅提高了锅炉自动化控制水平，而且减少了运行人员繁琐的操作过程。经过在各个企业多个系统的使用，该系统经得起考验，它在防止运行人员操作事故，以及设备故障下引起锅炉炉膛爆炸等方面起着重要的作用。

第四章 锅炉监控系统设计

首秦 75t/h 锅炉, 采用传统仪表控制和锅炉监控系统两种方式控制, 它们相互独立、互相备用。这种控制方式和应用技术已经日臻完善, 可很好地满足生产的需要。

4.1 监控系统结构

目前, 各种监控系统的一个主要特点, 就是实现了系统的监视、操作、自动控制和生产管理, 能通过集中的方式呈现出来。主要特点是: 控制分散、信息集中; 高度的灵活性和可扩展性; 较强的数据通信能力; 友好而丰富的人机界面; 极高的可靠性等^[30]。

4.1.1 监控系统的硬件结构

根据工艺要求和对现场实际情况的了解, 考虑到以后系统的扩充及厂级联网的需要, 本锅炉控制系统分为三级: 现场控制级、过程控制级、监控管理级。

现场控制级是系统数据的直接提供和接受单元。现场控制级的设备包括现场仪表设备; 电气设备; 工艺设备以及其他辅助设备等现场使用的直接控制信号设备。

过程控制级完成所有实时数据的采集和控制任务。因此, 在整个监控系统中, 过程控制级是可靠性、速度要求最高、技术最复杂的部分。过程控制级设备完成实时数据的采集、储存、计算和回路控制、逻辑控制等。控制器通过网络向监控管理级的计算机传送数据, 与现场控制级的各类仪表进行数据通讯等。

监控管理级的设备采用高可靠性的工业计算机, 使用中文 Windows 2000 操作系统和基于 iFIX 系统的人机界面监控系统; 上位机将 PLC 的数据以字符和动态图形的方式显示, 操作员可在工作站上通过键盘和鼠标对现场设备进行控制。并且监控管理级具有数据存储、运算、报警、信息发布和历史记录等功能。

通过上述控制级, 可实现对现场信号的采集、显示和控制功能。满足对锅炉系统的过程值、参数信息的了解, 实现对设备的控制要求, 从而达到安全、顺利生产的目的。

4.1.2 监控系统的软件结构

IFIX 软件之所以能完成对锅炉系统的显示和控制功能, 首要的问题是要建立起来计算机软件与 PLC 硬件之间的通讯功能, 使整个系统运行起来。

在创建一个组织用户类型和目录的工程时, 系统组态单元 System configuration unit (SCU) 的配置非常重要。每个工程都会有一个独立、唯一的 SCU 文件。可以通过应

用设计方案，在传统的环境中将 SCU 路径和使用文件服务器上的映像网络驱动器保持一致等等，其详细结构图见图 4.1 所示：

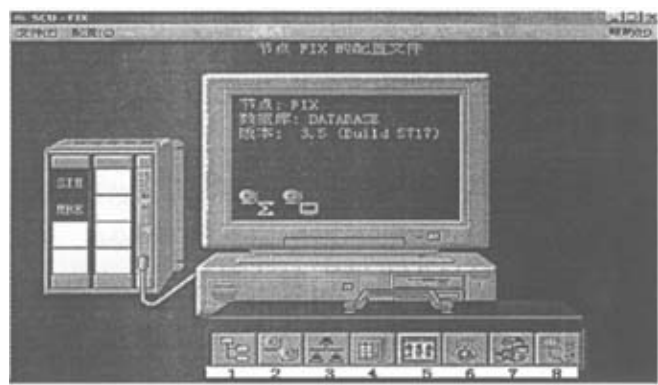


图 4.1 系统组态单元 SCU

Fig. 4.1 System configuration unit

在上图中，1-8 的数字的图表代表着各自的功能按钮，其每一项都代表着不同的系统配置功能，下面列出表格的形式表达出来，如表 4.1 SCU 功能分类表所示：

表 4.1 SCU 功能分类表

Table.4.1 Sort Table of SCU Function

序号	名 称	功 能 描 述
1.	路径配置对话框	指定 iFIX 目录的位置和名称
2.	报警配置对话框	启用和配置报警服务
3.	网络配置对话框	配置网络连接
4.	SCADA 配置对话框	配置 SCADA 服务器
5.	任务配置对话框	选择自动启动任务
6.	安全配置窗口	在过程环境配置安全
7.	SQL 帐号对话框	创建 SQL 登录帐户和配置 SQL
8.	编辑报警区域数据库对话框	编辑报警区域数据库

系统的很多主要功能都是通过 SCU 文件来实现的，其中主要包括系统的数据库、节点配置、I/O 控制、通讯、安全、网络、文件调用和报警等等。

4.2 监控系统的主要功能

监控系统主要是供操作人员监视和控制时使用，我们在该系统上所做的主要工作，就是提供给操作人员在生产情况下的所有信息，让操作人员可通过该系统提供的操作员站上，得到所需要的信息，完成对企业各项工作指标的显示和控制功能。

随着现代化大生产的发展和科学技术的进步，现代工程技术系统和大型复杂设备的结构越来越复杂，功能越来越完善，自动化和智能化的程度越来越高。这类系统和设备一旦发生事故，就会造成人员和财产的巨大损失。因此，切实保证这类系统和设备的安全性和可靠性是一个迫切的问题，具有重大的实际意义。状态监视与故障诊断技术的出现，为这一问题开辟了一条新的途径。

状态监视与故障诊断技术以复杂系统和设备为研究对象，以高新技术为依托，涉及各种工程技术系统设备及领域，已形成一门既有理论又有方法，且工程应用性很强的跨学科、综合性的应用技术。目前，状态监视的理论和方法主要：基于模型和基于特征的。基于模型的状态监视，即对系统和设备建立数学模型，以及对所建模型中的参数进行估计，通过模型达到对系统和设备运行状态进行监视的目的；基于特征的状态监视，其核心是确定系统和设备的监视指数，也就是合理选取能够反映系统和设备输出信号色特征测点，达到对系统和设备运行状态的监视^[31]。

4.2.1 工艺流程界面的功能

75t/h 锅炉的工艺流程，主要包括锅炉系统、锅炉水系统、风系统和烟系统等：锅炉系统流程图和水系统流程图见第二章的图 2.1 和 2.2 所示；锅炉的风系统和烟系统如下图 4.2 烟系统和图 4.3 风系统所示：

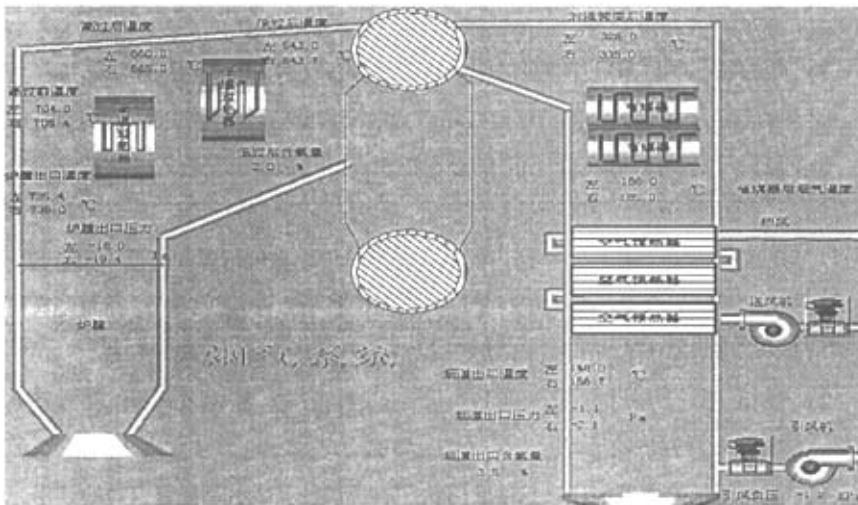


图 4.2 烟系统

Fig. 4.2 Smoke System of Boiler

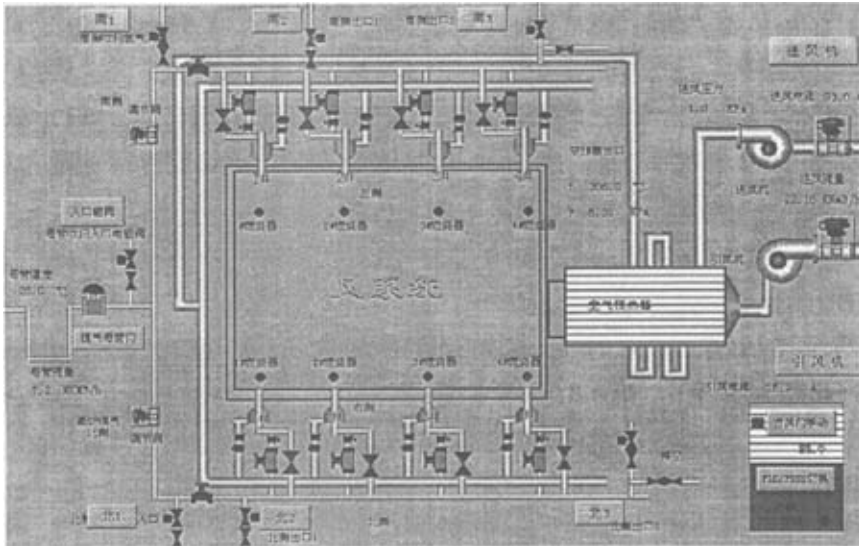


图 4.3 风系统

Fig. 4.3 Wind System of Boiler

通过对工艺流程的了解，把该系统主要的功能总结如下：

- 1) 每台计算机能综合显示字符和图像信息，根据系统各部分相应工艺要求的功能，在系统软件的平台 Workspace 上组态了不同的工艺流程画面。机组运行人员可以通过鼠标和键盘，来实现其对整个锅炉生产过程的监视和控制。
- 2) 每幅画面能显示过程变量的实时数据和设备状态，这些数据和状态每秒更新一次。显示的颜色或图形随工况过程而变化。其中棒状图能显示在任何一个画面上。
- 3) 可显示锅炉控制系统内所有的过程控制点，包括模拟量输入、模拟量输出、数字量输入、数字量输出、中间变量、计算值、报警值和字符显示等。对显示的每一个过程点，均能显示位号、描述、数值、性质、工程单位、量程范围和高低限报警值等。
- 4) 监控系统提供了对锅炉运行工况的画面，包括弹出画面、滚动画面显示和图像缩放显示。操作人员能全面监视，快速识别各项报警并做出正确地操作。
- 5) 能够在监控系统画面上显示各个设备的起动方式、正常方式和跳闸方式等等。同时，能根据用户提供的运行要求，提供足够的用户画面。
- 6) 监控系统的维护部分：包括应用软件的错误日志显示、报警窗口的显示。

4.2.2 历史趋势的功能

在 IFIX 监控系统中，其数据趋势分为实时和历史趋势两种。二者的相同之处是界

面非常的相似，功能差不多。只是历史趋势可以长时间存储，对于资料保存很有帮助。

1) 历史趋势的定义

历史趋势应用前必须先进行定义，定义以后就可以进行查询和存储了，根据系统的要求，确定保存趋势的日期和数量。在要求长期存储时，历史趋势显示可按要求保存在计算机硬盘上，也可以保存在其他外部存储器中。其组态的主要功能：第一，实现对历史数据库的存储；第二，对数据进行分组，可以根据生产的需要对数据进行分组；第三，规定历史数据的文件类型和存储时间等等。其趋势定义图如下 4.4 历史趋势定义所示：



图 4.4 历史趋势定义

Fig.4.4 Definition of Historical Trend

历史趋势的功能，主要体现在其存储能力上，通过调用历史文件，获得某一时刻的生产瞬间的情况，让历史情况得以再现，以便于生产人员做出正确的判断和抉择。

在完成上述组态的前提下，需要启动历史趋势文件 Htc.exe。可以通过 SCU 的任务栏自动运行该文件；也可以在 IFIX 的系统树一栏中的任务控制中启动该文件。

2) 历史趋势的显示

所有的检测变量值和生产过程所需要的数据值，都可以通过历史和实时趋势曲线图显示出来。在完成上述定义和启动了历史文件就可以进行历史趋势的显示了，下面以图 4.5 历史趋势图为例来进行说明：

趋势可用整幅画面显示，也可在任何其它画面的某一部位，用任意尺寸显示。所有模拟量信号及计算值，均可设置为历史趋势显示的形式。

在同一幅工艺流程显示的画面上，在同一时间轴上，对于不同的标签，采用不同的显示颜色，能同时显示无限多个模拟量数值的趋势。在实际组态过程中，考虑到趋势的具体作用，应该保证察看方便，避免分析问题时无必要的障碍，通过组态可以实现对历史趋势的显示与否进行人为的控制。

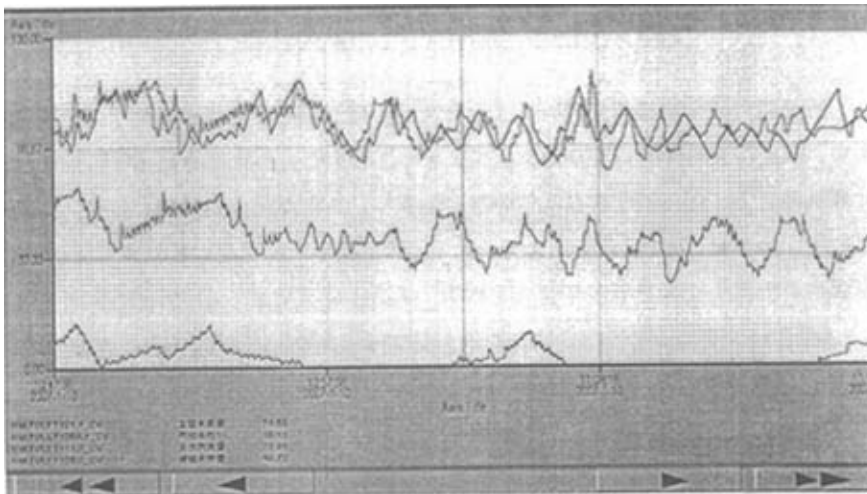


图 4.5 历史趋势图

Fig. 4.5 the Diagram of Historical Trend Curve

上图可以看出，趋势曲线具有时间可调、数值跟随显示、标签颜色、界面放大与缩小等功能。每个历史数据趋势曲线趋势值的时间标度，可以根据运行人员的需要，自由地进行选择。在历史趋势显示画面上，还能够同时用显示出变量的过程值、描述、节点名称、类型等。

75t/h 锅炉系统采用的是无限点、开发版的中文 iFIX 系统监控软件，可以实现大系统的无限点号的标签量存储和显示功能。

4.2.3 系统的报警功能

在监控系统中，系统的报警功能是至关重要的。通过编程和画面组态，可以实现对某些数据的显示做一些特殊的状态，例如颜色的变化、运动、闪烁或可视等等。而这些报警都是实时的，不可以实现对过去报警的检查和研究等等，这样我们就需要用到系统软件中的报警功能。报警功能的实现主要包括以下两个步骤：

1) 报警的定义

监控系统报警的实现，需要首先在数据库中进行定义，才可以在系统的画面中进行组态。数字量和模拟量都可以进行组态，下面以模拟量输入标签汽包水位为例，对报警功能进行说明，如图 4.6 系统报警定义所示：

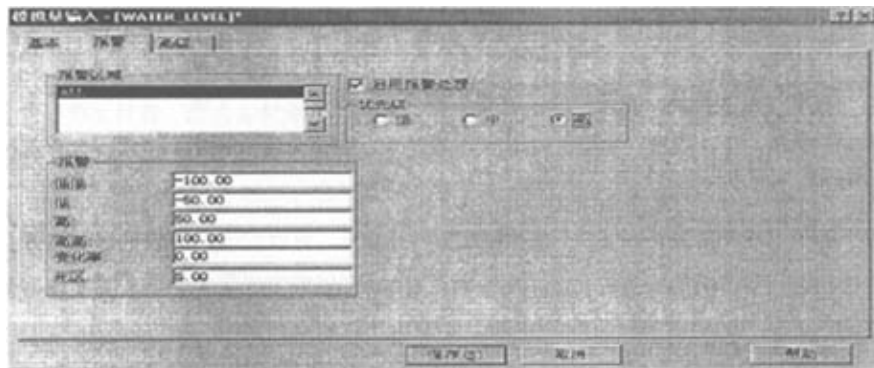


图 4.6 系统报警定义

Fig. 4.6 Definition of System Alarm

在系统中，打开 IFIX 数据库管理器，增加 AI 块到数据库中，则弹出对话框，填写标签名称为 WATER-LEVEL，选择报警一览，（如上图所示）。在上述界面上，根据生产的需要来定义详细的报警信息，包括：报警值（低低、低、高、高高）；报警死区；报警优先级；选择启用报警处理和报警区域。在高级一栏里有一些报警的其他设置等。

2) 报警的功能

完成以上组态，就可以进行报警的显示、确认、查询和删除等功能。其他类型的标签可以进行类似的组态。新建一个画面，通过插入菜单添加一个报警一览插件，如下图 4.7 报警一览所示，在该插件中，包括报警确认、过滤、节点、日期、时间、描述等功能，可以根据需要增减报警选项；在组态过程中，可以预先设定：操作员运行时刻设置、过滤选项、排列顺序、显示内容和颜色等等；所有报警均登记于报警一览中，可实时出现在报警显示中；实时报警可以确认，历史记录不能清除；对优先级最高的报警，在报警出现时，监控系统可以实现语音报警功能。

3) 报警诊断功能

系统报警的实现，需要系统具有报警诊断功能。本系统中汽包水位采用的是冗余结构判断的方式。汽包水位高报警，则判断给水流量是否大于蒸汽流量，如果是，则认为给水自动失灵，切换给水系统为手动控制方式。以汽包水位报警为例，判断给水流量不正常，大于蒸汽流量：

设第 i 次采样时给水流量与蒸汽流量的差为 X_i ，则

$$\bar{X} = (X_1 + X_2 + \dots + X_n) / n \quad (4.1)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / n} \quad (4.2)$$

其中, $\bar{x}$ 为均值, σ 为方差。这里 n 取 100, 每 5 秒采一个值, 为当前值, 是前 5 秒时刻的值, 依次类推。如果 $\bar{x} + 3\sigma$ 大于设定值, 则认为给水流量不正常, 大于蒸汽流量^[32]。

除了上述功能外，在 SCU 的报警配置对话框中，可以实现对报警的区域选择、报警的状态和对音响的支持等功能，在音响设置时，可以听到报警的声音。要实现语音报警，可以通过数据库的事件块和程序块，来调用相应的声音文件，从而满足生产的要求。

系统报警画面						
确认	报警时间	报警内容	地点	报警号	内容	报警
	18:38:13.210	18:38:13.210	FIX	411A	COMN	2#汽机火灾
	18:38:13.210	18:38:13.210	FIX	311A	COMN	炉膛压力高
	18:38:13.210	18:38:13.210	FIX	311A	COMN	炉膛压力高
	18:38:13.210	18:38:13.210	FIX	25SD355	COMN	2#疏水阀停止状态
	18:38:13.210	18:38:13.210	FIX	25SD35R	COMN	2#疏水阀运行状态
	18:38:13.210	18:38:13.210	FIX	111A	COMN	炉膛工作
	18:38:13.210	18:38:13.210	FIX	13SD355	COMN	1#疏水阀停止状态
	18:38:13.210	18:38:13.210	FIX	13SD35R	COMN	1#疏水阀运行状态
	18:38:13.210	18:38:13.210	FIX	PQW150	COMN	炉内安全泄汽电磁阀开闭
	18:38:13.210	18:38:13.210	FIX	SP35R	COMN	送风机运行状态
	18:38:13.210	18:38:13.210	FIX	SP35S	COMN	送风机停止状态
	18:38:13.210	18:38:13.210	FIX	YF1	COMN	5#风机运行状态
	18:38:13.210	18:38:13.210	FIX	YF2	COMN	5#风机停止状态
	18:38:13.210	18:38:13.210	FIX	YF3	COMN	5#风机保护闭锁
	18:38:13.210	18:38:13.210	FIX	YF4	COMN	5#风机保护闭锁
	18:38:13.210	18:38:13.210	FIX	YF5	COMN	5#风机保护报警
	18:38:13.210	18:38:13.210	FIX	PQW15C	COMN	炉内安全泄汽电磁阀关闭

图 4.7 报警一览

Fig. 4.7 Alarm Summary Object

4.3 监控系统的操作

系统实现了集中监视控制，对现场采集的信号进行直观的显示、报警，供生产人员及时掌握生产的运行情况。集中控制室采用了两套 HMI 监控 PC 站，互为备用，共享操作。其中系统画面的绝大部分操作都可用鼠标来完成，键盘只在登录和输入密码，修改参数及重新组态时使用。所有参数、符号的显示和修改，都可按指定人员的操作级别的不同分别指定，操作员用户可以完成对现场设备的监视和控制，可以对各级别的报警和趋势图进行调用和查看，包括监视、控制和趋势调用等。

对于图符的生成、画面的整体构造和工艺流程的调用等，主要是由鼠标来完成，对于一些需要输入字符和数字的场合，如填写位号、数字、编辑命令、建立报表、生产历史数据等组态，主要由键盘完成。

由于操作会直接影响的生产，所以系统对操作用户进行了分级。分别建立不同的用户，并具有不同的登陆权限，主要包括工程师用户、操作员和一般用户等。其中工程师用户可以在组态过程完成对过程变量的定义、控制回路的组态；可以对 PID 参数进行修

改；可以组态系统的工作方式；可以退出系统和删除历史趋势等等；建立实时和历史数据库、生成显示画面、生成报表；组态历史趋势画面、生成命令文件、顺序执行文件和定时命令文件等；组态实时电子表格，组态文件的管理等功能。而这些功能也都是通过鼠标和键盘来完成。工程师用户是最高权限的用户。

下面以系统燃烧流程图为例，来说明系统的具体操作过程。如图 4.8 为锅炉火焰监控流程图：

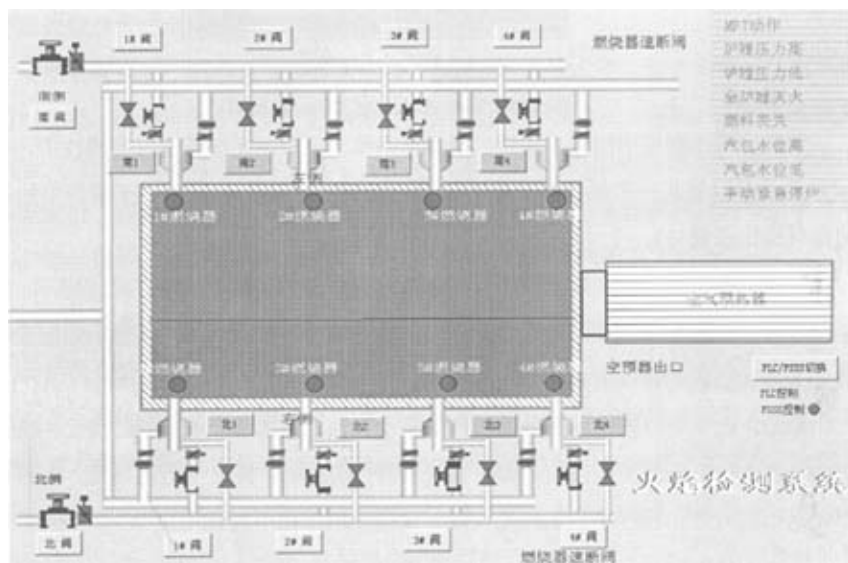


图 4.8 锅炉火焰监控图

Fig.4.8 Boiler Fire Supervisory System

对于上述画面，图中的蓝色和红色区域为显示的现场或中间数据状态，各种按钮和阀门为可控制状态。同时本图也提供了锅炉系统的火焰和通风的工艺流程情况，便于运行人员和维护人员对工艺的了解，提高了工作效率。

对于一些比较重要的控制设备，在实现对设备的控制过程中，为了防止现场操作人员的误操作，我们一般采用隐蔽操作的办法来实现。其具体的操作方法如下。

在流程图中，用鼠标左键单击画面中的阀门按钮，则会弹出阀门的控制子窗口。在子窗口中，可以自由实现对阀门的控制，包括阀门的运行状态、操作方式、启动和停止。以北侧 1#煤气速断阀为例，如下图 4.9 阀门控制子窗口所示，说明一下阀门的控制过程：

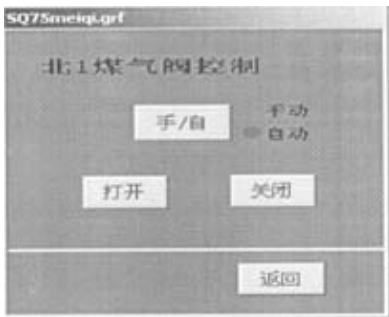


图 4.9 阀门控制子窗口

Fig. 4.9 Child-window of Valve Control

首先，单击画面中的北 1 按钮，则弹出系统子窗口，在该子窗口的属性中，设置显示方式，可以使其一直保持在最前面显示，直到人为退出为止(单击子窗口中的返回按钮即可退出子窗口)。

其次，在子窗口中，如上图所示，包括控制阀门的名称、控制方式、打开、关闭和返回等等。单击手/自按钮，可以改变阀门的操作的手自动方式，红灯显示的位置所指示的方式即为目前的操作方式。

最后，在子窗口的中间部分为阀门的控制按钮，根据生产或调试的需要，在该窗口中，分别单击打开或关闭按钮，即可实现对阀门的控制，满足生产的需要。在自动方式下，阀门的开关由程序中的条件来实现，画面中的按钮不起作用。

其他的控制设备与该阀门的控制方式类似，包括阀门、风机和调节阀等，按照子窗口的指示即可实现简单的操作。在流程图中，还包括模拟量的显示、报警，开关量的控制、状态显示等，其操作方式和阀门的控制都大同小异，可参照进行操作。

4.4 锅炉的信息管理

锅炉的管理信息系统是一个复杂而又独立的系统。为了实现公司管理人员通过局域网对协调系统的查看和数据浏览，该系统完成锅炉控制系统的关键技术数据、实时数据和运行状态的监视和控制、历史数据的查询、参考、数据报表的记录与打印、报警与故障的提示和处理等功能。

4.4.1 信息管理系统的一般方法

本燃气锅炉的信息管理系统，要求具有操作简单、方便、直观和易学习性，只依靠少量的重要数据的准确性、实时性，并且开发费用低的特点。目前，管理信息系统的处

理在不同的软件中的处理方法有所不同。

不同的 DCS 系统或 PLC 系统的公司大多拥有自己的管理信息软件，也有一些专门作管理信息系统的公司推出功能更强大的产品，但是，这些产品往往都是价格昂贵，需要的工作人员多等一系列影响企业效益的问题，给企业带来不必要的负担。

燃气锅炉的信息管理系统不需要过于强大的功能，只需要一些重要的数据量，而不是全部的信息量，因此，75t/h 燃气锅炉系统采用自己开发的软件系统，来实现简单的锅炉重要信息量的查询、存储、调用和打印等功能。

信息管理系统一般都具有自己的网络，但是在一些企业里，很多的信息化网络都是后期增加的，很难与现存的生产网络分开，他们往往是综合在一起的。生产基础数据经过现场一次仪表采集进入下位 PLC，由通讯机通过现场 MODBUS PLUS 网络采集下位机数据经过工程量转换送入数据库相应数据表里，终端机再从数据库对应数据表里取出数据并进行显示。数据库和终端机之间的通讯为工业以太网的方式进行。

4.4.2 燃气锅炉信息管理系统

锅炉信息管理系统的主要目的：在正常生产的情况下，以最低的成本保证产出最多的蒸汽量。而信息化系统正是为了实现这一目标，而向公司的管理和运行人员提供最大的信息量，毕竟锅炉的运行有着许多客观和主观方面的原因影响着正常生产，现用信息化系统以直观的形式表现出锅炉的生产情况，找到运行人员的最佳方法和不足之处以及客观环境等方面的原因，以便改进和强化生产的硬件设备和人为因素，找到最好的管理和操作方式，为企业的长远发展打好坚定的基础。

4.4.3 信息管理系统的过程

燃气锅炉使用的燃料是高炉或焦炉生产过程中产生的煤气，以充分利用资源和保护环境。在这个前提下，一切应该以安全生产和降低成本为目的。本着这个原则，首秦 75t/h 锅炉信息化系统是使用 Visual Basic 软件，从 IFIX 上位系统软件中取得所需的信息数据，送入 Access 数据库中的一个数据表里，并记录下日期和时间，用于以后的查询工作。查询历史数据可以通过程序送入 Excel 表格中，用于生产上的数据报表传送和管理人员的工作控制和事件分析等作为参考^[34]。

下面说明一下信息化系统的工作过程：

- 1) 使用 Visual Basic 程序把所需要的 IFIX 上位系统软件中取得的信息数据，送入 Access 数据库中的一个数据表里，并保存起来，以便用于信息查询和报表打印等功能。

- 2) 使用 Visual Basic 程序把所要查询的内容送到 Excel 表格中，用于管理层对报表数据进行总结、信息发布和打印等功能。
- 3) 其具体实施的图形界面如下图 5.1 信息管理系统所示：

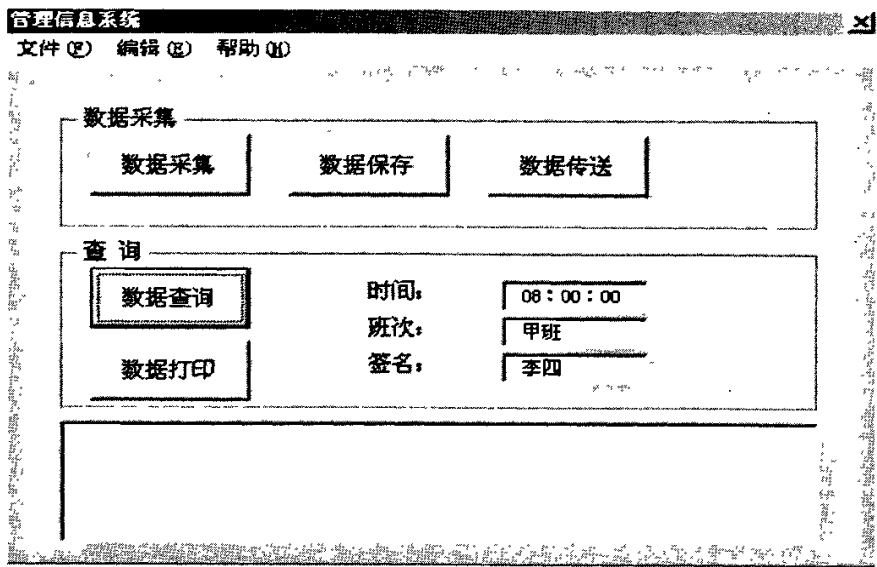


图 5.1 信息管理系统

Fig.5.1 Information Management System

由以上情况可以看出，该燃气锅炉的信息化系统是一个比较简单、操作方便、数据通讯流量较小且相对独立的数据交换系统。比较适用于小型企业，如果在某一个系统中不投入太多的资金，但由于生产管理等方面的要求，又必须实现这方面的要求的系统。这样可以节约大量的资金，来提高企业的经济效益。

首秦公司 75t/h 锅炉的信息化系统，对所采集的信息进行数据处理和科学计算，该系统可以为锅炉的炉况判断、事件分析和操作做出指导，并提供相应的依据。

系统采用了 IFIX 系统软件从直接控制现场的 PLC 系统中采集数据，并通过 Visual Basic 软件、Excel 和 Access 等软件，开发了相应的界面和程序等，实现了简单的数据查询、信息发布和报表的生成等功能。

4.4.4 信息管理系统的数据通讯关系

本文的信息管理系统的数据通讯包括以下几个部分：锅炉系统的现场所需信号的传感器；Siemens S7 400 模件；IFIX3.5 监控软件；Visual Basic 软件数据采集和查询；Microsoft Access 软件对数据进行保存；Microsoft Excel 软件对数据进行显示和打印。其整个数据通讯结构图如下 5.2 所示：

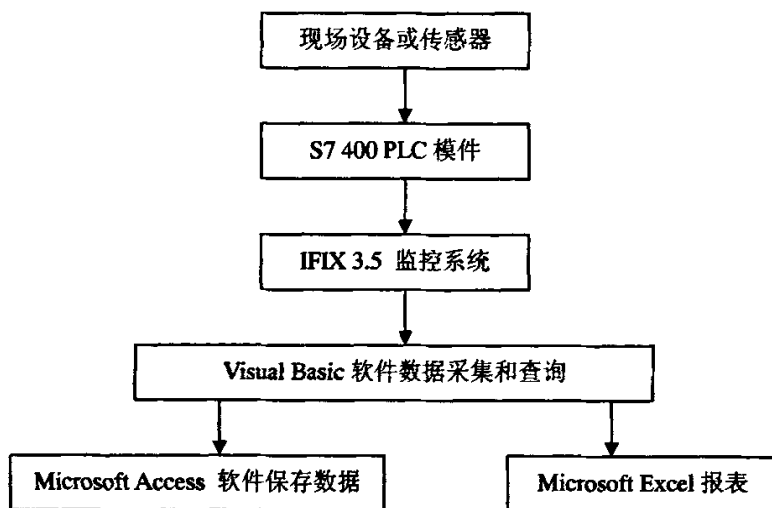


图 5.2 数据通讯结构图

Fig.5.2 Data Communication Frame

其中，VB 与 Access 数据库的通讯方法如下：

利用 DAO 控件和 ADODC 控件。众所周知，DAO 控件不能直接操纵 Access2000 数据库，因此一种常用的方法是通过 ADODC 和 DATAGRID 控件实现对数据库的读和写操作。利用这两个控件可简化程序的编写，步骤如下：

- 1) 在 VB 中加入 Microsoft ADO DATA CONTROL 6.0 和 Microsoft DATAGRID CONTROL 6.0 部件，加入 ADODC 控件和 DATAGRID 控件。
- 2) 设置 ADODC 控件的属性，建立希望连接的数据库引擎，这里选择“Microsoft JET 4.0 Provider”。
- 3) 选择要建立连接的数据库路径，测试连接，选择需要连接的数据库的类型和数据库表格的名称，由于要进行数据库的读写以及实现 MATLAB 对数据库的操纵，数据库以表格的形式建立。
- 4) 加入 DATAGRID 数据库表格显示控件，在其属性对话框中设置 DATASOURCE 属性为刚建立的 ADODC 控件，如果建立了多个数据库的连接，同样可选择其他数据库的连接。

可以设置 DATAGRID 控件的显示属性和对数据库的修改属性，对需要的数据进行显示，如果不进行设置，那么 DATAGRID 控件将显示整个数据库表格中的数据。为 Access 创建 Connection 的代码，在数据库中执行操作并打开数据库即可建立连接^{[35][36]}。

下面举例来说明该系统的部分功能，以下图 5.3 生产数据报表为例，该图为企业管

理人员所需的数据报表之一。根据这种数据表，可以监视锅炉的运行状况，总结以前的工作经验，以确保锅炉的正常运行，并制定相应的策略来提高企业的生产能力。

Microsoft Excel 2003									
文件(F) 编辑(E) 格式(O) 插入(I) 格式(O) 工具(T) 数据(D) 窗口(W) 帮助(H)									
C:\25									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	日期	时间	蒸汽流量 T/h	蒸汽温度 ℃	汽包水位 mm	汽包压力 Mpa	给水流量 T/h	过热前温度 ℃	过热后温度 ℃
9	2004-8-1	00:00:00	68.78	458.38	58.8	2.09	62.48	524.28	548.82
10	2004-8-1	01:00:00	62.25	456.82	58.2	2.25	73.87	522.43	548.48
11	2004-8-1	02:00:00	57.55	458.28	58.1	2.55	76.65	546.87	557.24
12	2004-8-1	03:00:00	87.23	448.22	58.4	2.43	72.8	524.82	548.4
13	2004-8-1	04:00:00	88.66	453.44	57.8	2.58	78.8	548.24	552.87
14	2004-8-1	05:00:00	82.42	457.22	58.4	2.38	78.8	532.44	552.55
15	2004-8-1	06:00:00	78.82	458.88	58.8	2.82	78.23	532.22	578.89
16	2004-8-1	07:00:00	76.38	455.88	58.2	2.74	78.11	542.86	576.8
17	2004-8-1	08:00:00	71.43	456.27	58.4	2.85	69.8	552.8	548.87
18	2004-8-1	09:00:00	73.28	455.43	58.2	2.58	68.66	498.84	548.26
19	2004-8-1	10:00:00	58.58	452.12	58.8	2.47	68.83	482.82	542.88
20	2004-8-1	11:00:00	67.22	478.24	58.2	2.28	68.22	542.24	555.48
21	2004-8-1	12:00:00	62.21	482.11	54.2	2.44	62.42	548.22	578.42
22	2004-8-2	00:00:00	68.28	485.88	51.8	2.48	68.22	532.88	578.24
23	2004-8-2	01:00:00	62.82	478.62	49.8	2.5	68.22	518.47	556.22
24	2004-8-2	02:00:00	66.76	472.78	47.8	2.42	66.83	521.87	563.24
25	2004-8-2	03:00:00	58.23	468.27	50.2	2.58	67.82	502.88	548.87
26	2004-8-2	04:00:00	68.22	468.82	52.8	2.28	68.77	528.22	558.82
27	2004-8-2	05:00:00	62.88	468.12	54.2	2.25	61.82	501.84	548.28
28	2004-8-2	06:00:00	68.84	458.24	54.2	2.42	66.78	488.84	552.64
29	2004-8-2	07:00:00	47.25	468.66	31.1	2.58	68.27	492.28	544.87
30	2004-8-2	08:00:00	67.26	468.22	49.2	2.51	72.28	492.12	542.84
31	2004-8-2	09:00:00	58.24	468.78	48.8	2.52	75.47	506.24	542.88
32	2004-8-24	23:00:00	78.82	478.8	52.2	2.26	68.22	518.82	552.48
33	平均		69.82	473.07	53.16	2.56	69.24	518.82	550.82

图 5.3 生产数据报表

Fig.5.3 Report Table of Production Data

最后，企业管理人员通过以太网把信息送到各个执行单位，执行单位也是通过以太网来读取数据和了解管理层的意图。

第五章 锅炉控制系统的调试

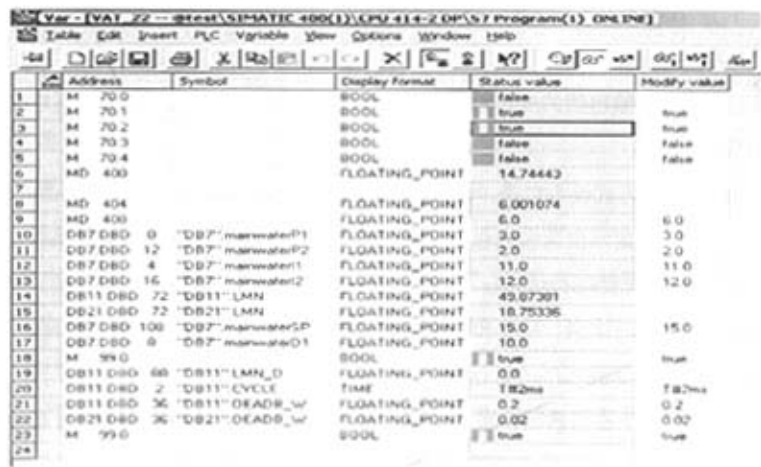
每一个系统从项目的立项到系统的最后投入正常运行，都会有一个系统组态硬件、软件和程序调试的过程。本系统分为模拟调试和现场设备联合调试。

5.1 系统的模拟调试

本系统的模拟调试,主要是利用 SIMATIC S7 系统软件包及其配套的模拟仿真软件,来模拟实际情况下的锅炉运行。减少工程人员在现场的调试的时间和精力；通过逐步观察程序的运行情况，掌握监控系统画面的一些特征变化情况，同时可以根据具体的情况重新编程，直到最终达到用户期望的结果。

在系统模拟调试阶段，主要是利用仿真控制器和模拟软件，依靠变量表来强制和监视整个模拟过程。下面就锅炉给水系统为例，说明一下系统模拟调试的整个过程：

锅炉给水系统是运行人员最先关注的问题。水位过低会造成锅炉缺水；水位过高会引起蒸汽带水和汽包压力高。给水控制系统的变量表如图 6.1 所示：根据用户程序来定义模拟时程序使用的变量表，人为的去改变程序的某一个条件，然后来观察程序的变化趋势或最终结果。



	Address	Symbol	Display Format	Status value	Modify value
1	M 70.0		BOOL	false	
2	M 70.1		BOOL	true	true
3	M 70.2		BOOL	true	true
4	M 70.3		BOOL	false	false
5	M 70.4		BOOL	false	false
6	MD 400		FLOATING_POINT	14.78443	
7					
8	MD 404		FLOATING_POINT	6.001074	
9	MD 400		FLOATING_POINT	6.0	6.0
10	DB7 DBD 0	"DB7"manwaterP1	FLOATING_POINT	3.0	3.0
11	DB7 DBD 12	"DB7"manwaterP2	FLOATING_POINT	2.0	2.0
12	DB7 DBD 4	"DB7"manwater1	FLOATING_POINT	11.0	11.0
13	DB7 DBD 16	"DB7"manwater2	FLOATING_POINT	12.0	12.0
14	DB11 DBD 72	"DB11"LMN	FLOATING_POINT	49.67391	
15	DB21 DBD 72	"DB21"LMN	FLOATING_POINT	18.75336	
16	DB7 DBD 108	"DB7"manwaterSP	FLOATING_POINT	15.0	15.0
17	DB7 DBD 8	"DB7"manwaterD1	FLOATING_POINT	10.0	
18	M 99.0		BOOL	true	true
19	DB11 DBD 88	"DB11"LMN_D	FLOATING_POINT	0.0	
20	DB11 DBD 2	"DB11"CYCLE	TIME	182ms	182ms
21	DB11 DBD 36	"DB11"DEADR_w	FLOATING_POINT	0.2	0.2
22	DB21 DBD 36	"DB21"DEADR_w	FLOATING_POINT	0.02	0.02
23	M 99.0		BOOL	true	true
24					

图 6.1 给水系统变量表

Fig.6.1 Variable Table of Feed-Water System

通过系统的模拟程序，结合其变量表的设定，可以方便的了解程序的整个流程，在建立系统变量表，根据程序的需要，首先要确定变量的类型和地址，使它们和程序保持

一致。在调试过程中，可以根据需要来增减变量。结合上图 6.1 给水系统变量表，分析主给水模拟调试的整个过程如下：

首先，对其中的变量进行简单的说明如下：M70.0 为主给水调节的手/自动选择，当该值为 True 时是手动方式，为 False 时是自动方式；M70.1 为 True 时表示比例调节允许；M70.2 为 True 时表示积分调节允许；M70.3 为 True 时表示微分调节允许；M70.4 为 True 时表示单冲量调节，为 False 时表示三冲量调节；M99.0 为 True 时表示调节输出保持；MD400 为汽包水位的过程值；MD404 为给水流量与蒸汽流量的差值；MD408 为给水流量与蒸汽流量的差值的设定值；DB7.DBD0 主控制器的比例 P 值；DB7.DBD12 副控制器的比例 P 值；DB7.DBD4 主控制器的积分 I 值；DB7.DBD16 副控制器的积分 I 值；DB7.DBD8 为主控制器的微分 D 值；DB11.DBD72 为主控制器的输出值；DB21.DBD72 为副控制器的输出值；DB7.DBD108 为汽包水位的设定值；DB11.DBD2 为调节器的循环时间；DB11.DBD36 为主控制器的死区；DB21.DBD36 为副控制器的死区；

其次，在了解了上述变量的情况下，按照下列步骤进行模拟调试：

1) 把控制方式设为手动，即把 M70.0 设为 True，分别以不同的值给定控制器的输出，值观察控制器最终对调节阀的输出值，直到输出值和期望的结果一致。

2) 把控制方式设为自动，即把 M70.0 设为 False；把 M70.4 设为 True，改为单冲量调节方式；设定水位值，分别改变比例、积分和微分的值，改变汽包水位的值，分别观察主调节器的输出值的变化趋势和大小，了解汽包水位的设定和过程值与比例、积分、微分的关系。

3) 把控制方式设为自动，即把 M70.0 设为 False；把 M70.4 设为 False，改为三冲量调节方式；设定水位值和汽包水位的值；改变给水流量与蒸汽流量的差值；在不同的情况下，改变比例和积分的值；确定其 PI 调节的变化趋势及调节参数的大致情况。在调试过程中，对与比例、积分和微分的投入是逐步投入的，这样可以更好的了解控制器的特性，有利与掌握程序的运行规律。

4) 调节系统在切换工作方式时可实现无扰动功能。在手动方式时，把过程值送到调节器的设定位，让调节器在手动时的设定值和过程值始终保持一致；在自动方式时，调节器的输出位和上位机的输出值始终跟踪调节器的输出值。在单冲量时，副控制器采用手动方式跟踪主控制器的输出，保证三冲量的调节方式随时可以投入；从三冲量方式切换到手动方式是无扰动的，然后再切入单冲量调节，即可在各个方式间随意切换。

5) 调节器输出的保持条件。M99.0 为 True 时表示调节输出保持，具体的保持条件

见下文汽包水位的控制条件。当这些条件具备时,可以使调节器的输出保持在当前状态,不在继续向不利的方向发展。在模拟时,需要强制一下 M99.0 即可。

在上述调试过程中,利用了串级三冲量的调节原理,在给水处理系统中,主调节器接受汽包水位信号作为主控信号去控制副调节器。副调节器除接受主调节器信号外,还接受给水量反馈信号和蒸汽流量信号,组成一个三冲量的串级控制系统,其中副调节器的作用主要是通过内回路进行蒸汽流量和给水流量的比值调节,并快速消除来自给水侧的扰动。锅炉给水系统包括主给水和辅给水控制系统。在给水处理系统模拟调试过程中,需要注意的要考虑好,两个系统的互相配合。首先,每个系统单独测试手动、自动和单冲量、三冲量,然后再使用二者的结合作用,进行联合调试。最后解决了单冲量和三冲量的无扰切换,手动和自动情况下两个系统的相互配合等^[37]。

最后,就可以顺利完成模拟调试,记录 PID 参数的大小和调试结果,重新整理程序。模拟调试完成后,对系统工艺特征的掌握会更加清晰,为以后的现场调试打下了坚实的基础,模拟调试的参数在现场调试时可以作为参考,节省了大量的现场调试时间。其他系统的模拟调试过程与之类似。

5.2 系统的现场调试

在模拟中有很多人为因素,有时会出现顾此失彼的现象。所以必须有一个现场调试阶段。从系统的顺利运行方面来考虑,在整体上对程序进行逐步调试以及最后确认。

5.2.1 现场调试前的准备工作

系统在调试之前,要做好以下几个方面准备工作:

1) 现场调试须统一安排

现场调试阶段是一个比较集中、复杂的调试过程。各单位之间互不了解而又相互关联,所以必须做好组织工作,做到统一指挥。

2) 现场的信号检测和施工要准确

系统运行时,各个参数都是在实际生产的条件下取得的,这就要求我们对模拟量进行校正,消除各个方面的误差;对开关量做到信号准确无误。

下面以汽包水位为例,说明一下检测点的测量方法。

本系统中,汽包水位测量采用的是单室平衡容器的测量系统。测量原理的示意图如图 6.4 所示,正压容器相当于一个溢出杯,汽水位恒定不变。用蒸汽包围正压容器,使其中水的温度等于饱和温度。蒸汽凝结水由泄水管流入下降管。泄水管与下降管相接处

的高度应保持平衡容器内无水,而下降管又不抽空,也就是在泄水管内要保持一定高度的水。负压管直接从汽包水侧引出。为了保证压力引出管的垂直部分中水的密度 ρ_s 等于环境温度下水的温度,压力引出管的水平段距离 S 要足够大^[38]。

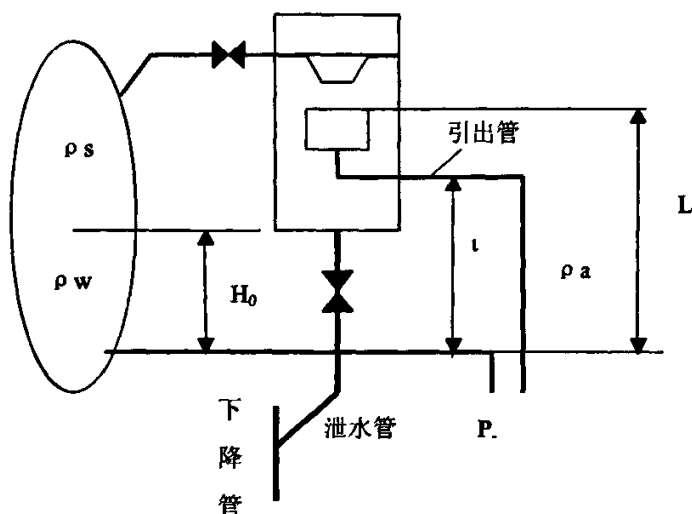


图 6.4 汽包水位测量原理图

Fig. 6.4 Metrical Principle of Drum water-level

我们知道，在汽包正常水位（零水位） H_0 时，平衡容器的输出差压 ΔP_0 为：

$$\Delta P_0 = P_+ - P_- \quad (6.1)$$

$$= [(L-l)\rho_w + l\rho_s]g - [H_0\rho_w + (L-H_0)\rho_s]g \quad (6.2)$$

$$= L(\rho_w - \rho_s)g - l(\rho_w - \rho_s)g - H_0(\rho_w - \rho_s)g \quad (6.3)$$

当水位偏离正常水位 ΔH 时, 输出差压 ΔP 为:

$$\Delta P = \Delta P_0 + \Delta H(\rho_w - \rho_s)g \quad (6.4)$$

通过选择适当的 L 和 l 值,使得汽包水位从很小的值变到额定工作压力时,正常水位下平衡容器输出的差压能够保持不变,从而消除差压式水位计的零位漂移。

举例说明，在汽包压力为 $5 \times 10^5 \text{Pa}$ 时，零水位差压输出为：

$$\Delta P_{05} = [(L-l)\rho_{w5} + l\rho_a]g - [H_0\rho_{w5} + (L-H_0)\rho_{s5}]g \quad (6.5)$$

$$= (L-l)\rho_{ws}g + l\rho_ag - H_0\rho_{ws}g - (L-H_0)\rho_{ss}g \quad (6.6)$$

在额定工作 压力下, 零水位差压输出为:

$$\Delta P_{\text{sc}} = [(L-l)\rho_w + l\rho_s]g - [H_0\rho_w + (L-H_0)\rho_s]g \quad (6.7)$$

$$= (L-l)\rho_w g + l\rho_a g - H_0\rho_w g - (L-H_0)\rho_w g \quad (6.8)$$

令 $\Delta P_{0s} = \Delta P_{0e}$ ，即得

$$(L-l)\rho_{ws}g + l\rho_ag - H_0\rho_{ws}g - (L-H_0)\rho_{ss}g = (L-l)\rho_{we}g + l\rho_ag - H_0\rho_{we}g - (L-H_0)\rho_{se}g \quad (6.9)$$

另外，考虑平衡容器输出差压最大值应和差压计测量上限值相一致，即在水位最低（ $\Delta H = -H_0$ ）和汽包压力最低时，平衡容器输出的最大差压应等于差压计的测量上限值 $\Delta P_{\max}$ ，可列出下列方程：

$$\Delta P_{\max} = (L-l)\rho_{ws}g + l\rho_ag - L\rho_{ss}g \quad (6.10)$$

联立上述方程式求解，可得：

$$L = \frac{\Delta P_{\max} + H_0(1 - \frac{\Delta\rho_s}{\Delta\rho_w})(\rho_a - \rho_{ws})g}{\frac{\Delta\rho_s}{\Delta\rho_w}(\rho_{ws} - \rho_a)g + (\rho_a - \rho_{ws})g} \quad (6.11)$$

$$l = (L - H_0) \left(1 - \frac{\Delta\rho_s}{\Delta\rho_w} \right) \quad (6.12)$$

式中： $\Delta\rho_s = \rho_{se} - \rho_{ss}$

$\Delta\rho_w = \rho_{we} - \rho_{ws}$

这种结构上的改进，只能使正常水位（即 $\Delta H = 0$ ）下的差压 ΔP_0 受汽包压力变化的影响大大减小。当水位偏离正常水位时，输出 ΔP 还会受汽包压力变化的影响。为了进一步消除汽包压力变化对差压式水位计指示的影响，可以同时测得汽包压力信号，根据汽包压力与密度间的关系，对差压信号进行校正运算，即校正由于汽包压力偏离额定值所带来的误差：

$$\Delta P = (\rho_w - \rho_s)g - l(\rho_w - \rho_s)g - H(\rho_w - \rho_s)g \quad (6.13)$$

我们在汽包水位的计算公式中，考虑到汽包压力和蒸汽温度对饱和蒸汽重度的影响，汽包水位变送器的测量差压值经过压力补偿计算后得到结果就是准确的汽包水位值，其计算公式为：

$$H = \frac{l(\rho_a - \rho_w) + L(\rho_w - \rho_s) - \Delta P}{\rho_w - \rho_s} \quad (6.14)$$

式中：为 ΔP 水位变送器实际差压；

L, l 为平衡容器结构尺寸；

$\rho_a - \rho_w$ 为室温下的水和饱和水的重度之差；

$\rho_w - \rho_s$ 为汽包压力下饱和水和饱和蒸汽重度之差；

在实际生产中，仅仅依靠精确的公式来计算是不够的，由于现场环境的影响，要按规章制度建立巡检和维护，定期对水位变送器进行排污，并确保正压管中的水柱高度恒定，这样才能得到正确的差压值。

5.2.2 汽包给水控制系统

锅炉给水系统在模拟调试里已经介绍了一下，在系统的编程中除了考虑三冲量调节的各参数关系，还根据现场实际操作中可能存在的问题，将相应的信号进行比较，在程序中设置了众多的逻辑比较条件，以达到控制准确、防止失误的目的。以下是首秦 75t/h 锅炉控制系统中采用的部分条件：

- 1) 当汽包水位低于 20mm，蒸汽流量比给水流量大 5 吨而调节系统处于关阀状态时，系统将严禁继续关阀；
- 2) 当蒸汽流量比给水流量大 10 吨，而调节系统处于关阀状态时，系统将严禁继续关阀；
- 3) 当汽包水位大于 15mm，给水流量大于蒸汽流量，系统仍处于开阀状态时，系统将严禁继续开阀；
- 4) 当给水流量大于蒸汽流量超过 10 吨，系统仍处于开阀状态时，系统将严禁继续开阀。

75t/h 锅炉的给水系统包括单冲量和三冲量两种控制方式，给水系统采用双回路控制的方式，即主给水系统和辅给水系统。其运行方式包括手动和自动。其详细情况见表 6.1 给水系统运行方式所示：

表 6.1 给水系统运行方式
Table 6.1 Run-Mode of Feed-Water

回路名称	运行方式	控制方式	给水电动门
辅给水系统	手动/自动	单冲量/三冲量	全开状态
主给水系统	自动/手动	单冲量/三冲量	全开状态

在不同的情况下，例如锅炉系统启动等，控制系统采用不同的控制方式。给水调节系统的过程值具有一定的选择条件，在本系统中，汽包水位有两个测点，通过程序判断测点的好坏，从而来选择使用的测点对象。

5.2.3 炉膛负压控制系统

炉膛负压的调节系统，在本论文中和送风系统同时讨论。在锅炉风系统的调节过程中，从送风调节、引风调节两个方面来考虑，二者的结合来控制炉膛负压的调节，其中

主要依靠系统的引风调节来控制炉膛负压。送风系统的主要功能是为燃烧提供氧气，同时会对引风系统带来一定的影响。

1) 送风调节系统

送风调节的目的是通过调节送风机的转速，来控制总风量，达到最佳燃烧工况。送风调节系统，能够响应负荷分配主调节器指令或运行人员手动指令，调整进入锅炉的燃料量，迅速适应外部负荷的扰动；在动态和静态工况下，保证燃料燃烧的经济性及各被控参数，在允许的范围之内，保证燃料的燃烧率，使环境污染达到最小状态。

在送风系统中，通过对含氧量的控制系统的测试，调整各个参数，直到系统流程基本成熟。由于在现场使用时，可能会出现含氧量测量不准确，给程序的运行带来一定的困难，基于这个目的，通过上位系统 IFIX 画面给出燃料和氧量的比例系数，再次对整个系统进行整定。

锅炉风量由氧量校正回路进行修正，或者由运行人员自主决定燃料与氧量的比值。氧量修正子回路有下列功能：运行人员可改变回路中的负荷系数，调节氧量设定值；通过氧量校正信号的高低限值，可改变总的过剩空气量；运行人员可以根据氧量分析器的指示，退出运行的氧量校正子回路调整过剩空气，实现手动/自动无扰切换和正常运行。

2) 引风调节系统

在风系统中，引风系统的主要功能是保证锅炉炉膛的负压状态，为安全生产提供保障，在实际运行时，送风系统的变化会影响到炉膛负压。炉膛负压的调试，首先给出设定值 SP，观察系统的 PV 值，加正扰动量 ΔPa ，稳定后过程量炉膛负压实际值为 $-76.8Pa$ ，静态偏差 $\Delta = 20Pa$ 左右，扰动后达到稳态过程的时间在一分钟之内，炉膛负压设定值在扰动后，被调对象可以达到一个新的稳态。

在系统调试的初始阶段，系统运行的 PID 参数分别为： $P=0.08$, $I=10.5$, $D=0.1$ 。

5.2.4 主蒸汽压力控制系统

主蒸汽压力的变化要判断出变化的原因，观察其是由内因还是外因引起的。主蒸汽压力控制系统主要是通过控制入炉的燃料量，来达到保持压力在一定范围内，维持最佳空/燃比例和保证炉膛负压，以满足生产的要求。在本系统中是通过控制左右两侧的煤气流量调节阀来实现的，可以达到燃烧的自动控制要求，满足生产的需要。

本系统由锅炉来控制压力，因此燃烧控制回路的主要控制目标就是维持汽压的稳定。系统采用了串级调节的方式：主调的过程值为主蒸汽压力，设定值由操作人员设定，主

调的输出值与主蒸汽流量和其微分值累加送到副调的设定值；副调的过程值为燃料量，副调的输出直接控制左右两侧的煤气流量调节阀。这样设计可以提高控制系统的响应速度，并且系统调整后也可以消除压力偏差，尽快消除燃烧扰动对蒸汽压力的影响；

5.2.5 主蒸汽温度控制系统

影响锅炉汽温变化的因素很多，例如：蒸汽负荷、减温水量、烟气侧的过剩空气系数及火焰中心位置、燃料成分等等，这些因素不仅与机组的运行方式、运行状态有关，而且是互相关联的。

减温器有表面式和喷水式两种。本系统利用减温水进行调温，是目前应用较广的一种调节方式。即利用减温水直接喷入过热蒸汽中进行减温。

采用喷水减温的串级汽温控制，在水量扰动下，过热器前蒸汽温度肯定比主汽温能提前反映控制作用。因此为了克服控制通道的滞后和惯性，采用了过热器前汽温信号作为导前信号。在喷水减温系统构成串级汽温控制，以改善汽温的控制品质。

减温水系统的调节过程较为复杂，其系统延迟较长，本系统采用了两级减温控制的方式，应用串级调节温度控制系统的方法来完成主蒸汽的温度控制，系统的外环控制系统的过热器前的蒸汽温度，最后，根据过热器前的蒸汽温度来控制减温系统的控制动作。

主蒸汽温度控制系统的调试结果如下：

经过系统的现场调试，该系统调节品质较好，调节性能较稳定，符合《火力发电厂模拟量控制系统在线验收测试规程》中的规定，满足了首秦公司与厂家的合同内的各方面的要求。

5.3 系统调试的结果分析

自动控制在锅炉系统应用中起到了不可替代的作用，对于生产的安全、稳定和生产的经济效益都有了明显的改观。在系统调试结束后，减少了操作人员的误操作，并降低了值班员的劳动强度，减少了热控人员的维修工作量。现场调试前进行模拟调试，可以减少大量的现场工作时间，得到了生产厂的一致好评。

5.3.1 系统常见的问题

经过系统的调试和运行使用，对火焰检测系统有了较深入的了解，加强了检测器的维护，有效地防止了炉膛灭火爆炸事故，在此过程中，也发现了一些问题。

1) 火检容易烧毁

根据有关资料介绍,火检探头不能连续暴露在超过 176℃ 的温度中,当冷却风温度低于 49℃ 时,每个探头至少需要 17.0 立方米/小时风量冷却,要求冷却风与炉膛的差压达到足够的数值。在现场使用中,由于温度的过高,并且与火检探头的安装位置距离燃烧器太近,同时,又是冷却风系统的流通和风量出现问题等原因。

2) 紫外线火检检测不到火焰

在目前使用的红外线火焰检测器上,火检误检问题一直存在,只是偷看程度大小不同而已。火焰检测器采用的是平凸透镜头,能使探头的视角限制在 3.5 度范围内。从设计思想看,有利于提高火焰信号脉动分量的检测效果。但由于红外线型火焰检测器响应范围比较大,并且由于凸透镜头距离喷嘴出口垂直截面很近,视角范围内既能收别处的火焰信号,这些信号的脉动频率和强度相差不大,难以区分,故偷看比较严重。

3) 系统速断阀无返回信号

在系统调试过程中,运行人员对于速断阀的状态无法判断,只能通过到现场察看的方法解决,给生产带来不便,建议重新设计并更换设备型号^[39]。

5.3.2 今后的改进打算

在今后锅炉检修中,还要继续对火检改进。如将探头头部冷却风通道扩大一倍,并且将火检探头沿其检测火焰中心线,向后回缩 50—100MM (具体视实际情况而定),以减少炉膛火焰辐射热,降低燃烧时高温烟气中灰渣影响,从而保护火检。

将红外线火焰检测器改为可见光火焰检测器,可进一步减少偷看现象,火检的灵敏度也可进一步提高。其中主要的改进方法如下:在锅炉的初步设计阶段,首先要考虑好火检和燃烧器的安装位置,充分了解设备厂家对设备安装的位置要求,预留好合理的安装位置;提高火焰检测器的质量,使用更先进的火焰检测器。

在风系统的控制过程中,最好采用变频器来控制风机的运行,会得到更好的效果。

系统的燃料速断阀要更换新型号的先进设备,FSSS 系统最好采用独立的监控系统,实现专守其职,以便更好的为生产服务。

采用专业的开发系统,对锅炉的管理信息系统做出详细、准确和实用的组态。

第六章 结 论

锅炉的控制系统一直是工业生产的一个重要的典型控制系统。由于工业燃料的来源问题,燃烧用煤气的压力和热值都是不太稳定,所以燃气锅炉的控制系统更是比较复杂。根据对控制理论的研究和企业实际生产中应用情况的分析,本文设计的控制系统可以实现如下功能:

1) 基本监控功能:能够完成对锅炉各个部分和重要参数的监视和控制,数据输入、画面打印和历史趋势的归档和显示等等。能够让生产厂放心、顺利地完成其所需的生产任务。

2) 安全保障功能:在锅炉生产时,该自控系统能够保证运行人员和设备的安全,其炉膛灭火保护系统(FSSS)在这方面的起着主要的作用。

3) 信息管理功能:本燃气锅炉系统,同时具备了一定的信息管理功能。具体包括:数据的采集,数据的存储和数据的处理功能,该自动控制系统根据用户的要求,可以将有效的数据保存到10年以上。

4) 节约能源的功能:燃气锅炉的主要是为了充分利用企业生产过程中产生的副产品——高炉煤气和焦炉煤气,这样就可以充分利用能源,节约了企业的资本,同时也减少了因排放所造成的环境污染。

当然,作为一套实际应用的控制系统,还是存在一些不足之处,需要在今后的运行中进一步改进和提高,主要包括:

1) 燃气锅炉的自控系统需要操作人员的配合:由于锅炉自控系统只能对其燃料(煤气)的质量(包括压力、流量和热值)和汽包水位的突然变化做出一定的反应,来改善对锅炉的燃烧和生产状态,不能对长时间的这种变化做出正确的动作。特别是对于一些外部设备的故障造成的问题,需要维护和操作人员的配合来一起完成,否则可能会造成炉膛灭火、停炉等一些事故的发生。

2) 燃气锅炉的信息管理系统,只是起到一定的指导和生产管理的作用,不是一个完美的系统。目前,各个企业都在推出管理信息系统,作为一个完整的系统,每个公司的管理信息系统都是相对独立的,它需要大量的硬件和软件设备的支持。其数据的采集、存储和处理都要有一定程序步骤,需要根据对生产工艺的特别了解来对生产状况做出判断,并上传的管理部门,由管理人员对生产做出指导。本文燃气锅炉的信息管理系统,只是对一些重要的参数变化和采集数值做出归档,由管理人员自行判断生产的状态。

3) 炉膛灭火保护系统(FSSS)需要改进:在国产的火焰检测器和仪表盘上的火焰灭火信号还做不到100%准确,在实际应用中时常会遇到假报情况,特别是提供不了火焰的燃烧程度。

4) 需要不断的完善燃气锅炉控制系统的各项功能:平时在工作时,做好对该系统的进一步了解;做好对锅炉控制系统各部分设备的维护工作;做好工作记录,对突发事件的前后锅炉运行情况做好比较,对结果进行分析,为进一步对大延迟等系统控制策略地研究做好准备。多注意观察,以保证进入控制系统的数据都是有效的和准确的;了解锅炉设备的运行状况;有利于维护人员查找故障。从而为今后提出更好的燃气锅炉自动控制系统做出物质上的基础。

总而言之,本系统基本上实现了燃气锅炉的监控及安全保护功能,保证了企业的正常生产,并具有技术先进、操作简便和经济实用等特点。今后,可根据生产的具体情况和出现的问题,进一步总结经验,为提出更好的燃气锅炉控制系统做好准备。

参考文献

1. 张良仪等. 工业锅炉微机控制[M], 上海: 上海交通大学出版社, 1993, 1-5.
2. 李海、王宏岩. 工业蒸汽锅炉的自动化控制过程与实现[J], 工业炉窑、热处理设备, 2005, 10-12.
3. 郭永基. 电力系统新进展[M], 北京, 冶金工业出版社, 2000, 1-20.
4. W Sweet. Power and Energy. IEEE Spectrum vol.37, No.1, 2000, 1-10.
5. 武文彦、王叔之. 锅炉设计、制造、安装、运行、检修、改造实务全书[M], 北京: 当代中国音像出版社, 2003,1-10.
6. 山西省电力工业局编, 锅炉设备运行技术[M], 山西, 水利电力出版社, 1998, 100-116.
7. 崔栋刚. 纯滞后过程控制系统算法的研究[J], 控制工程, 2005, 12 (4): 368-369.
8. 唐丽杰, 刘星萍, 张志秀. 纯滞后系统的控制算法比较[J], 自动化技术与应用, 2007, 26 (1), 15-17.
9. 王卫兵、高峻山. 可编程序控制器原理及应用[M], 北京: 机械工业出版社, 2001, 7-11.
10. 宋伯生. 可编程控制器配置、编程、联网[M], 北京: 中国劳动出版社, 1998, 58-63.
11. 廖常初. S7300/400 PLC 应用技术[M], 北京: 机械工业出版社, 2002, 67-75.
12. 西门子. 深入浅出 S7 400 PLC[M], 北京: 北航出版社, 2000, 52-61.
13. 崔坚. 西门子工业网络通信指南[M], 北京: 机械工业出版社, 2000, 88-92.
14. Rosenbrock, H. H., Computer-Aided Control System Design, Academic Press, 中译本: 计算机辅助控制系统设计, 周文中译, 北京: 科学出版社, 1983, 89-93.
15. 顾树生, 王建辉. 自动控制原理[M], 北京: 冶金工业出版社, 2002, 2-8.
16. 金以慧. 过程控制[M], 北京: 清华大学出版社, 2004, 31-45.
17. 王俊杰. 检测技术与仪表[M], 武汉: 武汉理工大学出版社, 2000, 69-78.
18. 杨自厚. 自动控制原理[M], 北京: 冶金工业出版社, 1987, 1-6 .
19. 陈来九. 热工过程自动调节原理和应用[M], 北京: 水利电力出版社, 1986.
20. 高东杰、谭杰、林红权. 应用先进控制技术[M], 北京: 国防工业出版社, 2003,1-5.
21. Shinskey F.G., Process Control System[M], 3rd.ed.McGraw-Hill,1988,48-53.
22. 余祖俊. 微机检测与控制应用系统设计[M], 北京: 北方交通大学出版社, 2002, 34-39.

23. 刘正华, 赵宏. 300MW 机组送风控制系统的改进[J], 山东电力技术, 2000, 15 (3): 31-34.
24. 吕剑虹, 王建武, 杨榕. 电厂锅炉燃烧控制系统优化[J], 中国电力, 机械工业出版社 2001, 24 (10): 44-47.
25. 高伟. 计算机控制系统[M], 北京: 中国电力出版社, 2000, 20-32.
26. 杨公源. 机电控制技术与应用[M], 北京: 机械工业出版社, 2005, 89-96.
27. 赵燕平. 火电厂分散控制系统检修运行维护手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003, 47-53.
28. 杨军统. 锅炉燃烧管理系统控制策略的改进[J]. 电力系统自动化, 2003, 7 (10): 65-73.
29. 欧小辉. INFI-90 系统中锅炉燃烧管理系统的完善和改进[J]. 中国电力, 2002, 35 (3): 53-56.
30. Philips, H.S., Computer Integrated Manufacturing in the Process Control Industry [M], Proc.12th Annual Advanced Control Conf. Purdue, 1989, 12-15.
31. 吴凡. 状态监视和故障诊断技术的现状与展望[J], 国外电子测量技术, 2006, 25 (3), 5-6.
32. 马华杰, 朱瑜红, 高永伟. 专家系统在火电厂汽包水位高报警诊断中的应用[J], 自动化技术与应用, 2006, 25 (8), 82-84.
33. STALLINGS, W. Data and Computer Communications [M], 4th en, New York: Macmillan, 1994, 28-33.
34. 余松, 赵忠堂, 甘川. 用 Visual Basic 实现上位机和 PLC 的通讯[J]. 电气传动, 1999: 41-43.
35. 刘清, 邢晨, 何苗. Matlab 与程序设计语言 VB 接口的方法研究与实现[J], 自动化技术与应用, 2006, 25 (8), 32-33.
36. 陈文天. VB 与数据库连接方式的研究[J], 国外电子测量技术, 2006, 25 (12), 79-80.
37. Takashi Iijima, Yoshiaki Nakajima, Yasushi Nishiwaki. Application of fuzzy logic control system for reactor feed-water control [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1995, 74(1): 61-72
38. 朱祖涛. 热工测量与仪表[M], 北京: 水利电力出版社, 1991, 58-63.
39. 唐昆明, 廖常处. PLC 控制系统设计调试中的一些问题的探讨[J], 电工技术, 1988, 30-38.

致 谢

两年多的研究生生活转瞬即逝，而我也将带着无比的感激之情和执著的信念，重新踏上了我的工作之路。我之所以能够顺利完成我的学业，这和各位老师和同事的帮助是必不可分的，我感谢他们。

我感谢，我的导师杨英华副教授。杨老师渊博的知识、严谨的学术态度、开朗大度的胸怀、高瞻远瞩的目光，给我留下难忘的印象；丰富的知识、聪颖的思维和慷慨、宽容的性格都使我受益匪浅。

我感谢，我的副导师辛鹏飞高工。辛老师工作认真，治学严谨，乐于助人。在学习和工作中给了我很大的帮助和指导，使我得以顺利完成我的工程硕士的学业，做到了工作、学习两不误。

我感谢，我学习期间的老师们，一些熟悉和不熟悉的老师们，以及首秦公司锅炉系统的各位专家和 FSSS 系统的调试专家们。是你们事无巨细、不厌其烦的工作态度，给了我力量 and 知识上的帮助；是你们教会了我理论上的知识和实践上的经验；是你们帮助我顺利完成了我的工程硕士学业；是你们教会了对学习和工作更深的理解。

我感谢，我的家人和同事，使他们给了我无私的关怀和支持，给我提供了良好的学习环境，在精神上给了我充分的工作动力。

谢谢，谢谢你们，我的良师益友、同事、朋友们。我衷心地感谢你们！