

船用蒸汽动力装置控制监测系统的研制

李来春¹, 马杰², 刘繁明¹, 刘环¹

(1. 哈尔滨·第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036; 2. 哈药集团制药总厂, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 蒸汽动力装置系统复杂, 设备多, 需要控制的参数多, 大部分被控对象的特性无法用简单的数学模型来表示, 装置运行时参数间相互关联, 耦合关系复杂, 许多被控参数用简单的单回路控制无法满足使用要求。而船用蒸汽动力装置负荷变化频繁, 且变化幅度大, 其控制系统的技术难度大。本文作者介绍了某船用蒸汽动力装置集中控制监测系统的组成、功能及系统的创新点。

关键词: 船舶; 蒸汽动力装置; 自动控制

中图分类号: U664.11 文献标识码: B

1 引言

船用蒸汽动力装置通常有两种运行方式, 一种是滑参数运行方式, 另一种是定参数运行方式。在这两种运行方式下其动力装置配套的控制监测系统结构和控制方式有所不同, 定参数运行时, 主汽轮机组控制系统与主锅炉燃烧控制系统只采用简单的单回路控制系统, 是不能满足动力装置运行的要求的, 必须考虑主机与锅炉的协调控制。本文作者介绍了定参数运行下某船用蒸汽动力装置全电式集中控制监测系统的设计及应用。

2 系统概述

本控制监测系统为全电式的二级控制系统。主锅炉采用定参数运行, 控制系统通过控制主蒸汽母管压力为定值来适应主机负荷的变化, 完全是炉跟随的控制系统。控制系统设有一个动力装置集中控制室, 可隔舱实现对动力装置及其辅助设备运行参数的集中控制、监测、报警及联锁保护。在机炉舱设有集中操纵台, 可实现所有被控参数的集中遥控。正常情况下, 在动力集控室完成控制和操纵, 应急情况下或需要时可在机炉舱操纵台上遥控或机旁操纵。

动力集控室和机炉舱两个控制部位可通过转换开关相互转换, 控制方式有集控室自控、遥控、机炉

舱操纵台遥控和就地手动操作四种, 控制部位和控制方式均设有转换联锁, 转换时对动力装置的运行状态不产生扰动。操纵的优先权一律是就地优于机炉操纵台, 机炉操纵台优于集控室。

控制系统的核心部分采用集散式控制系统(DCS)和可编程调节器相结合。可编程调节器与DCS通讯。控制监测系统中监测的热工参数共计188点, 自动控制回路34个, 另外对重要参数具有越限报警及联锁保护项目。主锅炉还设有程序点火和空气夹层着火检测系统。

3 系统组成

控制监测系统按功能分, 由参数自动监测、自动控制、越限报警、联锁及自动保护四个部分组成。按系统分, 由以下各分系统组成:

主汽轮机组控制系统, 包括主汽轮机组正车控制回路和倒车控制回路;

主锅炉控制系统, 包括主蒸汽压力、锅炉锅筒水位、锅炉给水压力、空气压力、燃油压力、饱和蒸汽压力等控制回路;

主动力装置辅助设备控制系统, 包括汽轮循环水泵转速、滑油冷却器出口油温、废汽压力、除氧器压力、凝水压力、除氧器水位、主冷凝器水位等控制回路;

主锅炉电点火系统, 包括主锅炉程序控制电点火和遥控电点火系统;

主锅炉火焰检测系统, 包括主锅炉炉膛火焰检测系统和空气夹层着火检测系统;

电动燃油泵启停控制系统;

主汽轮机组保护系统, 包括主汽轮机组的滑油总管压力过低、主汽轮机组的超速、主汽轮机组的低真空、主冷凝器水位过高、主汽轮机组的滑油供油温度过高、主汽轮机组的盘车联锁等保护;

主锅炉保护系统, 包括主锅炉水位过低、主锅炉

空气失压、炉膛熄火、锅炉锅筒压力过高、锅炉空气夹层着火等保护;

辅机保护系统, 包括汽轮燃油泵滑油压力低、汽轮循环水泵滑油压力低、汽轮滑油泵滑油压力低、汽轮鼓风机滑油压力低等保护;

其它联锁保护系统, 包括主冷凝器水位高与除氧器水位补水调节阀的关闭联锁及主冷凝器水位低与除氧器水位补调节阀的打开联锁;

参数超限自动报警系统;

参数自动监测系统。

4 系统功能及主要性能指标

4.1 功能

集控室自控或遥控实现主机启动、正倒车换向、调速、回汽刹车和停车。

操作站 CRT 可观察装置的运行状态及热工参数值, 并可通过键盘对主机转速指令小范围调整。

动力集控室可对主蒸汽压力、空气压力、燃油压力、饱和蒸汽压力、给水总管压力、凝水压力、除氧器压力、废汽压力、锅炉水位、除氧器水位、主冷凝器水位、汽轮循环水泵转速、滑油冷却器出口油温实现自动控制或遥控。

在机炉舱作好准备后, 可对主锅炉进行程序控制点火和遥控点火。

在动力集控室可对主汽轮机组实现自动和手动保护。

可实现主锅炉炉膛熄火、锅筒水位过低、锅炉空气失压等执行紧急自动或遥控停炉保护。

主锅炉空气夹层着火自动检测, 并可在动力集控室、动力损管中心、机炉舱操纵台上实现着火自动报警, 并可实现手动灭火保护。

可实现汽轮循环水泵、汽轮滑油泵、汽轮燃油泵、汽轮鼓风机的备用电动滑油泵的自动启动和手动启动以及关停。

在动力集控室可对 188 点热工参数进行自动检测、显示、超限报警和制表打印。同时对 78 点重要热工参数增设二次仪表监测。

在驾驶室可发送主汽轮机组降速运行的越控指令且具有应急停车、应急停炉、越控时的声光报警。

在机炉舱主机操纵台可对主汽轮机、汽轮循环水泵和滑油冷却器遥控。

在机炉舱锅炉操纵台上可对主蒸汽压力、空气压力、燃油总管压力、饱和蒸汽压力、给水压力、锅炉

水位等调节回路实现遥控。

在机炉舱辅机操纵台上可对凝水压力、除氧器压力、废汽压力、除氧器水位、主冷凝器水位等调节回路实现遥控。

4.2 系统主要性能指标(示于表 1)

表 1

序号	回路名称	静态偏差	序号	回路名称	静态偏差
1	主蒸汽压力	±0.1 MPa	2	空气压力	±0.1 MPa
3	燃油总管压力	±0.02 MPa	4	锅炉给水压力	±0.1 MPa
5	锅炉水位	±10 mm	6	除氧器水位	±10 mm
7	主冷凝器水位	±10 mm	8	饱和蒸汽压力	±0.05 MPa
9	废汽压力	±0.01 MPa	10	除氧器压力	±5 kPa
11	凝水压力	±0.05 MPa	12	主汽轮机转速	给定值±1.5%
13	汽轮循环泵转速	给定值±1.5%			

5 系统的技术创新点及解决的问题

5.1 国内首次将 DCS(集散式控制系统)应用于船用蒸汽动力装置的监测与控制, 主要解决了如下技术问题:

5.1.1 解决了动力装置全部运行参数的历史趋势记录问题, 为控制系统设计改进和动力装置的事后分析提供了很好的借鉴依据;

5.1.2 解决了人机界面上文本与图形相结合的动态显示问题, 为运行人员操作使用提供了方便, 同时也提高了监控系统的可用性;

5.1.3 解决了监控系统自身的故障诊断问题, 可以实现监控系统内部的故障自诊断, 为系统的维护提供了方便;

5.1.4 解决了主机转速的高精度控制问题, 可以根据船用航行的实际需要, 任意设定以及控制主机转速的期望值, 使主机转速的实际控制精度达到 ±0.5%;

5.1.5 充分利用了 DCS 丰富的软件开发功能, 解决复杂的机与炉协调控制问题, 满足了动力装置定参数运行方式对控制系统的要求, 提高了控制系统的机动性;

5.1.6 解决了以往计算机监控系统存在的可靠性和抗电磁干扰性能差等问题。

5.2 创造性地将模糊控制方法与 PID 变参数控制方法结合起来引入主锅炉燃烧控制系统, 并将变偏置双交叉限幅燃烧控制系统经过改进设计引入船用主锅炉燃烧控制系统。解决了燃烧系统快速性和高精度控制问题。

燃烧控制系统由主蒸汽压力调节回路和空气压

力调节回路组成。定参数运行与滑参数运行相比较,定参数运行方式对燃烧控制系统的快速性和控制精度要求更高,若燃烧控制系统快速性较差,当负荷变化比较大时会发生锅炉安全阀起跳事故,影响主动力装置及辅机的稳定运行。当然在满足快速性的条件下,还必须考虑装置运行的安全性和经济性,即系统的快速性必须满足锅炉对升降负荷速率的要求,同时还必须考虑风油的配比问题。

为了满足上述要求,主蒸汽压力调节回路采用了变参数控制,实现了变工况时减小动态偏差,稳定工况时减少被调量的波动频率。同时采用模糊控制与PID调节相结合的协调控制系统,满足了对燃烧系统快速性的要求。另外还采用了经过改进的变偏差交叉限幅燃烧控制系统,实现了对锅炉升降负荷速率的控制和任何工况下均有较佳的风与油配比。空气压力调节回路为了提高跟踪速度,采用了追值PID控制算法。

5.3 采用两只平衡容器取平均值法及软件补偿法,解决了船用主锅炉水位的准确测量问题。

船用主锅炉由于受航行情况的影响,经常处于倾斜或摇摆状态运行,其水位测量若采用陆上锅炉常用的测量方法,忽略倾斜或摇摆的影响。从实际运行情况发现,会使水位测量产生很大误差,严重时甚至会出现测量错误,结果造成水位调节阀的大范围开关误动作及锅炉水位的大范围波动。同时还会引起给水压力的大幅度波动,导致汽轮给水机组转速的波动,甚至会出现超速事故,这是系统运行所不允许的。

为了避免上述一系列不良后果的发生,必须采取合理的测量方法,消除或尽可能减少锅炉在倾斜或摇摆状态下运行时水位测量的偏差。通过对采用一只平衡容器测量水位方法的理论分析时得到启发,设计出了采用两只平衡容器取平均值法测量锅炉水位,通过理论分析和实际使用情况都可以得到证实,经合理正确的安装,采用两只平衡容器测量锅炉水位,基本上可以消除锅炉倾斜和摇摆对水位测量产生的偏差。

另外,水位测量还受到饱和水及饱和蒸汽密度的影响,对于中高压运行的锅炉必须考虑这种影响,通常采用线性校正方法,但从实际情况和分析可知,这种校正方法不能满足锅炉从冷态至额定运行状态的全部范围对水位测量准确性的要求。为此,本系统采用非线性校正方法,解决了锅炉全部工作范围内水位测量的准确性问题。

5.4 采用前馈控制与解耦控制方法,解决了废汽系统稳定性差的问题,使废汽压力和除氧器压力调节回路的控制稳定性得到提高,从而保证了有关辅机的稳定运行。

废汽压力和除氧器压力不稳定一直是船用蒸汽动力装置存在的难以解决的问题,其原因在于,第一:船用除氧器由于受到使用环境条件的限制,其汽水空间的热容量很小,当进入除氧器中的凝水量变化时,其压力波动会很大;第二:调节回路简单,不能满足使用要求。从多年的使用情况分析,船用除氧器受结构及除氧原理的决定,其压力对象的可控性较差。除氧器压力不稳定将直接影响废汽压力的稳定性,以致影响整个动力装置辅机工作的稳定性。从以往经验得知:废汽压力和除氧器压力用简单的单回路控制不能满足使用要求,分析得知,除氧器压力的扰动因素主要是进入除氧器中的凝水量的变化,废汽压力的主要扰动因素是除氧器耗汽量的变化。为此,在除氧器压力调节回路设计时,将反映凝水量变化的凝水压力参数通过前馈环节引入调节回路,作为PID控制运算的前馈输入补偿信号,以提高调节回路反应速度,使除氧器压力调节阀与凝水量的变化协调动作,及时消除凝水量变化对除氧器压力产生的扰动。同时将除氧器压力调节回路的控制输出通过耦合环节引入废汽压力调节回路,采用单向解耦控制,使废汽压力调节阀与除氧器压力调节阀协调动作,从实际使用情况证实采用上述复合控制方法,提高了废汽和除氧器压力控制的稳定性。

5.5 采用软件编程方法,实现了一个控制回路控制多只调节阀,解决了控制信号的匹配和控制回路自动/手动切换的非平衡无扰动问题。

通常情况下一个控制回路只控制一只调节阀,而本监控系统中某些控制回路使用了两只或三只调节阀。以往要实现一个控制回路控制多只调节阀必须采用增设硬件的方法解决,本系统在不增加硬件的情况下完全采用软件编程方法实现解决,具体解决方法是:控制回路的PID控制输出信号不直接去控制调节阀,而是经过多个函数处理之后再作为调节阀的控制信号,从而解决控制信号与调节阀的匹配问题;为了实现控制回路自动/手动的无扰动切换,将调节阀的开度信号作为输入量拟合出跟踪方程,同样采用软件编程方法实现。

5.6 将PLC(可编程序控制器)应用于主锅炉程序点火、熄火保护以及空气夹层着火检测,提高了点火

(下转第 674 页)

旋流式燃烧器 16, 煤粉在一次风携带下喷入炉内。燃烧器外侧有二次风, 二次风为热空气, 通过旋流器旋转喷入炉内, 在火床上作悬浮燃烧。炉排燃烧与煤粉燃烧的共用同一风机 14, 冷空气经过空气预热器 9 预热后分成两路: 一路通向炉排风管道 10, 为炉排送风; 另一路通向燃烧器送风管 11, 作为二次风。燃尽后的煤粉大部分随烟气经除尘器 13 排出, 其余部分落在炉排火床上, 与炉排灰渣混合在一起排出。

4 技术特性

应用复合燃烧技术的链条炉具有以下特性:

(1) 具有较好的煤种适应性。燃烧方式可根据煤质好坏调节炉内燃烧状况。煤质好时可直接单独采用炉排燃烧, 如煤质不好或遇雨天潮湿, 可采用炉排加煤粉复合燃烧。由于链条炉排与煤粉相结合, 大大提高了炉膛温度, 强化了炉膛燃烧过程, 促使炉排火床着火和燃烧条件改善, 使一些难以着火的劣质煤也能在炉排上顺利着火燃烧。

(2) 提高锅炉出力与热效率。通常链条炉运行较好时, 炉膛中心温度一般在 $1\ 000\ ^\circ\text{C} \sim 1\ 100\ ^\circ\text{C}$, 出力低、运行较差时, 炉膛中心温度一般只有 $800\ ^\circ\text{C} \sim 1\ 000\ ^\circ\text{C}$; 有时炉温低煤难以着火, 甚至无法运行。如采用链条炉排加煤粉复合燃烧后, 炉膛中心温度可提高到 $1\ 400\ ^\circ\text{C} \sim 1\ 500\ ^\circ\text{C}$, 大大提高了受热面的换热强度。从传热学可知, 辐射传热量与炉膛温度的四次方成正比, 因而使锅炉出力大大提高。化学不完全燃烧热损失及机械不完全燃烧热损失大大减

少, 热效率得以提高。例如在江西第二糖厂的两台 (SHL20-25/400-A II 及 SHL35-39/450) 的锅炉, 经过改造, 采用链条炉排加煤粉复合燃烧后, 使热效率提高 10%, 出力达到了额定值。

(3) 负荷变化适应性强。炉排和煤粉运行时可根据负荷大小随时调整, 负荷小时单独用炉排, 大时随时加上煤粉, 调节幅度大、速度快, 并可临时停炉、压火, 在磨煤机临时检修或发生故障时, 炉排照常运行。在调节负荷方面比其它燃烧方式好。

(4) 运行稳定, 具有较好的安全可靠。在这种燃烧方式中, 由于炉排与煤粉的互补作用强化燃烧, 煤粉运行的同时有炉排高温火床存在, 使煤粉具有长久性可靠热源, 运行稳定, 不需要专门点火, 同时又可避免因操作不当或突然停电造成的打枪、熄火事故, 使煤粉燃烧的安全可靠性大大提高。

(5) 投资小、上马快。用这种改造方法不改变锅炉本体结构, 炉体基本不动, 对原锅炉安全性毫无影响, 原来的鼓风机、引风机照常使用。对煤粉细度要求不高, 不需要庞大而复杂的磨煤设备及制粉系统, 直接采用系统简单、投资省的风扇磨煤机直吹式制粉系统。由于煤粉与炉排具有互补作用, 制粉设备不仅容量小, 而且不考虑备用。

复合燃烧技术具有明显的高效节能特点, 而我国现有各种工业锅炉燃烧方式多数为链条炉, 耗煤量大、运行工况多有不佳。如果用此技术将这些锅炉进行技术改造, 挖掘现有锅炉潜力, 对促进企业经济发展、加速我国经济建设、节约能源有重要意义。

(孙显辉 编辑)

(上接第 658 页)

和保护系统的稳定性和可靠性, 保证了火检的准确性。

6 结束语

(1) 本控制监测系统通过实际使用表明: 系统结构合理、运行稳定可靠、功能先进、操作方便、机动性良好、控制精度高、自动化水平高, 系统的投入使用可以大大地减轻操作运行人员的劳动强度;

(2) 监控系统实际使用表明: 船用蒸汽动力装置集中监控系统采用 DCS 技术上完全可行, 并可以充分发挥其人机界面友好、软件可靠、软件功能强大、硬件可靠性高的特点;

(3) 该监控系统经过功能调整和改进后可适用于其它蒸汽动力装置的控制与监测。

参考文献:

- [1] 李子连. 热工自动化设计手册[M]. 北京: 水利电力出版社, 1986.
- [2] 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.
- [3] 张亮明. 工业锅炉热工检测与控制[M]. 天津: 天津大学出版社, 1992.
- [4] 王锦标, 方崇智. 过程计算机控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992.
- [5] 李来春, 许松男. 蒸汽动力主锅炉燃烧控制系统[J]. 热动力工程, 2001, 15(2): 175-177.

(复 编辑)

Circulating Fluidized Bed Boiler Furnace by Utilizing a Monte Carlo Method [刊, 汉] / SUN Yong-li, HE Yu-rong, LU Hui-lin (Thermal Energy Engineering Department, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001), TAN Xiu (Electric Power Scientific Research Institute of Jilin Province, Changchun, China, Post Code: 130021) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2001, 16(6)—650~652

A numerical study was conducted of the heat transfer in a circulating fluidized bed boiler furnace. The relevant model being set up takes into account the influence of the concentration distribution of axial and radial particles. The calculation of the model reveals the distribution variation of flue gas concentration and heat flux density within the furnace. The results of the calculation indicate that in the heat transfer calculation of a circulating fluidized bed boiler furnace the convection heat transfer of particle phase should not be neglected. **Key words:** circulating fluidized bed boiler, heat transfer, Monte Carlo method

燃煤工业锅炉湿式旋流烟气脱硫装置的数值模拟法优化设计 = Optimized Design of a Numerical Simulation Method for the Vortex Desulfurization Device of Wet Flue Gases of a Coal-fired Industrial Boiler [刊, 汉] / QIU Zhong-zhu, XU Ji-huan, ZHANG He-sheng (Thermal Energy Engineering Department, Tongji University, Shanghai, China, Post Code: 200092) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2001, 16(6)—653~655, 676

Through the use of a $k-\epsilon$ dual equation model a numerical simulation was conducted of the vortex area speed and pressure field of a vortex wet gas desulfurization device. Meanwhile, with the help of a single-particle dynamic model the movement of liquid drops in the gas flow field was simulated, and by utilizing the numerical simulation method the structural parameters of the above-mentioned vortex device were determined. As a result, the optimized design of the vortex wet gas desulfurization was realized, contributing to a reduction of test expenses and a decrease in experimental work load. **Key words:** desulfurization device, vortex area, numerical simulation, structural parameter

船用蒸汽动力装置控制监测系统的研制 = The Development of a Control and Monitoring System for a Naval Steam Power Plant [刊, 汉] / LI Lai-chun, LIU Fan-ming, et al (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2001, 16(6)—656~658, 674

Due to its complicated system, the presence of many equipment items and the large quantity of needed control parameters a steam power plant has a majority of its controlled objects not liable to be represented by simple mathematical models. During the operation of the plant many parameters are interrelated and involved in a complicated coupled relationship. Numerous controlled parameters cannot meet usage requirements if a single loop control is employed. Moreover, a naval steam propulsion plant features a high frequency of load changes and a wide range of such changes, resulting in a control system, the implementation of which demands sophisticated technical skills. In light of the above the authors present the composition and functions of a centralized control and monitoring system for a naval steam propulsion plant along with some innovative approaches of that system. **Key words:** naval vessel, steam power plant, automatic control

某汽轮机轴封汽外泄的原因分析及处理 = An Analysis of the Cause of a Steam Turbine Shaft Seal Leakage and Its Treatment [刊, 汉] / Zhang Shao-bo (Cixi Thermal Power Plant, Cixi, Zhejiang Province, China, Post Code: 315300) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2001, 16(6)—659~660

After an analysis of the symptoms of shaft seal leakage and other abnormal conditions detected during the overhaul of a steam turbine the root cause of the leakage was identified and an economic, simplified and effective method proposed for its resolution. **Key words:** steam turbine, shaft seal, leakage rate, problem solving

轴向型粗粉分离器改进与完善 = Improvement and Advancement of an Axial Type Separator of Coarse Pulverized Coal [刊, 汉] / LU Tai, CHOU Lin-qing, CHEN Fu, et al (Jilin Electric Power Institute, Jilin, China, Post Code: 131200), NIU Zhi-hong (Jilin Municipal Thermal Power General Co., Jilin, China, Post Code: 131200) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2001, 16(6)—661~663