

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: X2008230021

UDC_____

厦 门 大 学

工 程 硕 士 学 位 论 文

基于 Harmonas-DEO 系统的
循环流化床锅炉自动控制的研究与实现
Research and Implementaion of Autocontrol of Circulating
Fluidized Bed Boiler Based on Harmonas-DEO

李 昂

指导教师姓名: 邱明 助理教授

专业名称: 软 件 工 程

论文提交日期: 2013 年 6 月

论文答辩时间: 2013 年 7 月

学位授予日期: 2013 年 月

指 导 教 师: _____

答 辩 委 员 会 主 席: _____

2013 年 6 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

我国是产煤大国，也是用煤大国，一次能源消耗中，煤约占 76%，而其中 84% 是直接用于燃烧的。由于燃烧技术不高，使得燃烧不够充分，以至于每年因煤燃烧有 87% 的 SO_2 和 67% NO_x 排入大气，造成严重的环境污染。因此优化燃煤锅炉的燃烧控制，发展高效、低污染的清洁燃烧技术是当前亟待解决的问题。流化床锅炉是一种高效率、清洁型的锅炉，在热电项目中被广泛使用。然而其工艺控制的对象有着多变量、非线性、时变和强耦合大滞后的特点。所以一套优质高效的 DCS 控制系统是十分必要的。

本文以厦门某热电厂 3 台 220t/h 循环流化床锅炉项目为背景，首先对循环流化床锅炉在国内外的发展历程进行了回顾，并对其发展现状进行了概述；接着对循环流化床锅炉工作原理进行分析，并总结了其燃烧工艺上的特点和优点。然后对厦门某电厂的循环流化床锅炉的工艺要求、设计规范进行了详细的介绍。并由此引入日本山武公司的分散控制系统 Harmonas-DE0。最后对该系统软件、硬件、网络、画面组态等的功能进行了详述，包括数据采集、网路架构、自动控制程序原理和编程等。

本文所述的控制方法不仅达到了取得了较满意的实际效果，其中高压变频器在送风机、引风机上的使用更是在节能降耗方面取得了突出的成绩。该控制系统可为将来的大型循环流化床锅炉控制系统的设计、开发提供借鉴。

关键词：循环流化床锅炉；分散控制系统；节能降耗

ABSTRACT

China is a major coal producer and consumer. In primary energy consumption, coal accounts for about 76%, of which 87% is used directly for combustion. As the burning technology is not high, so burning inadequate, resulting in the burning of coal every year, 87% of the SO₂ and 67% NO_X into the atmosphere, resulting in serious environmental pollution. Therefore, optimization of coal boiler combustion control, development of efficient, low-pollution clean-burning technology is a pressing problem. The Circulating Fluidized Bed Boiler is a high efficient and clean type boiler. Application in the heat, electricity projects widely. It is a control object whose features have distributing parameter, non-linear, time-variable, great coupling, and the time of large lag. So a set of high-quality and high-efficiency DCS control system is very necessary.

This dissertation describes the Dragon Special Resin (Xiamen) Co., Ltd. 3 × 220t / h circulating fluidized bed boiler DCS by Yamatake distributed control system (Harmonas-DEO). Description of its control by analysis of their energy saving way for future large-scale circulating fluidized bed boiler control system developed.

DCS control method described in this article not only achieved the effect of circulating fluidized bed boiler control, but also the high-voltage transducer that is used in the sending, drawing fan in the energy saving achieved outstanding results. The control system's design can be developed for future large-scale circulating fluidized bed boiler control system.

Key Words: Circulating Fluidized Bed Boiler; DCS Control; Energy-saving

目录

第一章 绪论	1
1.1 研究的背景及选题意义	1
1.1.1 循环流化床锅炉简介.....	1
1.1.2 循环流化床锅炉的优点.....	1
1.1.3 选题意义.....	2
1.2 研究现状及存在问题.....	3
1.2.1 研究现状.....	3
1.2.2 存在的问题.....	4
1.3 主要研究内容及特色	5
1.4 本文的组织结构	5
第二章 锅炉系统及 HARMONAS-DEO 系统综述	6
2.1 锅炉结构	6
2.2 HARMONAS-DEO 系统由来.....	7
2.3 HARMONAS-DEO 的特点.....	8
2.3.1 开放式结构 、系统安全可靠.....	8
2.3.2 配置及扩展灵活方便、系统容量大.....	8
2.3.3 编程环境.....	8
2.4 HARMONAS-DEO 的软件工作平台.....	10
2.4.1 程序编辑工具 RTC Edit	10
2.4.2 在线运行工具 RTC Runtime	15
2.4.3 控制语言 CL (Control language)	16
2.5 HARMONAS-DEO 的硬件工作平台.....	16
2.5.1 系统构成概要.....	16
2.5.2 主要构成设备.....	18

2.6 小结	21
第三章 DCS 系统的软硬件架构设计	22
3.1 人机界面设计	22
3.1.1 流程图画面菜单.....	22
3.1.2 画面布局.....	23
3.1.3 画面清单.....	24
3.1.4 主画面设计详解.....	25
3.2 DCS 的程序设计	30
3.2.1 数据采集系统.....	30
3.2.2 模拟量控制系统.....	31
3.2.3 顺序控制系统.....	32
3.2.4 锅炉炉膛安全监控系统.....	32
3.3 DCS 系统的硬件设计	34
3.3.1 网络结构.....	34
3.3.2 硬件配置.....	35
3.3.3 网络拓扑图.....	37
3.4 DCS 系统软件的位号设计	37
3.5 小结	38
第四章 循环流化床锅炉的控制程序设计	39
4.1 负荷指令调节系统.....	39
4.2 风量分配调节系统.....	42
4.3 炉膛压力调节系统.....	47
4.4 给煤量调节系统.....	53
4.5 石灰石量调节系统.....	54
4.6 启动燃烧器燃油流量调节	55

4.7 启动燃烧器风量调节.....	57
4.8 汽包水位调节系统.....	58
4.9 床温调节系统.....	63
4.10 床压调节系统.....	64
4.11 底灰排放量、温度调节系统.....	65
4.12 CL 程序在布风板温度选择中的应用	67
4.13 小结	70
第五章 总结与展望	71
5.1 总结	71
5.2 展望	71
参考文献	73
致谢.....	75

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Research Background and Signification.....	1
1.1.1 Introduction	1
1.1.2 The Advantages of Circulating Fluidized Bed Boiler.....	2
1.1.3 Research Significance.	2
1.2 Research Status and Existing Problems	3
1.2.1 Research Status	3
1.2.2 Problems.	4
1.3 The Main Research Contents and Characteristics.....	5
1.4 Organization Structure.....	5
Chapter 2 Boiler System and Harmonas - DEO System.....	6
2.1 Boiler Structure.....	6
2.2 Harmonas - DEO System Origin	7
2.3 Harmonas - DEO Characteristics	8
2.3.1 Open Structure, the System Safe and Reliable.....	8
2.3.2 Configuration and Convenient Extension.....	8
2.3.3 Programming Environment.....	8
2.4 Harmonas-DEO Software Work Platform	10
2.4.1 RTC Edit Against Program Editing Tool.....	10
2.4.2 Online Running Tools RTC Runtime	18
2.4.3 Control Language CL (Control Language)	19
2.5 Harmonas - DEO Hardware Work Platform.....	19
2.5.1 System Profile	19

2.5.2 Main Components Equipment.....	21
2.6 Summary	25
Chapter 3 DCS System Hardware and Software Design.....	26
3.1 The Man-Machine Interface Design.....	26
3.1.1 Flowchart Picture Menu.....	26
3.1.2 The Picture Layout	27
3.1.3 Listing	28
3.1.4 The Main Picture Design.....	29
3.2 DCS Programming	38
3.2.1 Data Acquisition System.....	38
3.2.2 Analog Control System.....	39
3.2.3 Sequence Control System.....	40
3.2.4 Boiler Furnace Safety Supervisory System.....	40
3.3 DCS System Hardware Design.....	42
3.3.1 Network Structure.....	42
3.3.2 Hardware Configuration.....	43
3.3.3 Network Topology.....	44
3.4 DCS System Software Design.....	46
3.5 Summary	47
Chapter 4 Control Programming.....	48
4.1 The Load Instruction Adjustment System.....	48
4.2 Air Distribution Adjustment System.....	51
4.3 Furnace Pressure Control System.....	54
4.4 Coal Regulating System.....	60
4.5 Limestone Quantity Control System	67
4.6 Start Burner Fuel Flow Regulation	67

4.7 Start Burner Air Regulation	72
4.8 Steam Drum Water Level Control System	72
4.9 Bed Temperature Control System.....	79
4.10 Bed Pressure Regulating System.....	80
4.11 Bottom Ash and Temperature Control System	82
4.12 CL Program Application	86
4.13 Summary	90
Chapter 5 Conclusion and Forecast.....	91
5.1 Conclusion.....	91
5.2 Forecast.....	92
References.....	93
Acknowledgements	95

第一章 绪论

1.1 研究的背景及选题意义

1.1.1 循环流化床锅炉简介

循环流化床(Circulating Fluidized Bed, CFB)锅炉作为一种新型燃烧设备,具有高效率、低污染,煤种适应性好,负荷调整范围宽,飞灰和炉渣的含碳量低、运行稳定等优点,并且有害气体的排放低、环保效果好,因此在世界范围内得到广泛的推广和应用。

我国在 70 年代初才开始研究和开发流化床燃烧技术,经过近 20 年的研究实践,开发研制出了 20t/h, 35t/h, 65t/h, 75t/h, 130t/h 和 220t/h 等容量等级的 CFB 锅炉,但相对世界水平我国在大型 CFB 锅炉的开发应用水平还相对落后。

目前国内已有多家锅炉制造厂引进了国外大型 CFB 锅炉设计制造技术,其中哈尔滨锅炉厂已引进德国 EVT 公司 125 MW CFB 锅炉的有关技术,积极开发循环流化床锅炉;东方锅炉厂于 1994 年初与美国福斯特·惠勒(简称 FW)公司签订了“大型循环流化床锅炉许可证技术”转让合同。

目前,在更大容量方面,国内三大锅炉企业合作,共同引进了 Alstom 公司 1025 t/h(300MW)容量级 CFB 锅炉的制造技术。哈尔滨锅炉厂和东方锅炉厂也已分别有两台 300MW 级 CFB 锅炉运行。由上述可知,从引进到自行设计制造,近年来我取得了可喜的发展,我国 CFB 锅炉发展迅速,在 CFB 锅炉大型化方面已与世界水平的差距正在逐步缩小。

1.1.2 循环流化床锅炉的优点

1、燃料适应性广

这是循环流化床锅炉的主要优点之一。在循环流化床锅炉中按重量计,燃料仅占床料的 1~3%,床料是不可燃的固体颗粒,如脱硫剂、灰渣等。因此,加到床中的新鲜煤颗粒被相当于一个“大蓄热池”的灼热灰渣颗粒所包围。

由于床内混合剧烈,这些灼热的灰渣颗粒把煤料加热到着火温度而开始燃烧。在这个加热过程中,燃料所吸收的热量只占床层总热容量的千分之几,因而

对床层温度影响很小，而煤颗粒的燃烧，又释放出热量，从而能使床层保持一定的温度水平，这便是流化床煤种适应性广的原因所在。

2、燃烧效率高

循环流化床锅炉的燃烧效率要比鼓泡流化床锅炉高，通常可达到 95~99%，可与煤粉锅炉相媲美。循环流化床锅炉燃烧效率高气固混合良好、燃烧速率高，其次是飞灰的再循环燃烧。

3、高效脱硫

由于飞灰的循环燃烧过程，床料中未发生脱硫反应而被吹出燃烧室的石灰石、石灰能送回至床内再利用；另外，已发生脱硫反应部分，生成了硫酸钙的大粒子，在循环燃烧过程中发生碰撞破裂，使新的氧化钙粒子表面又暴露于硫化反应的气氛中。

4、氮氧化物（NOX）排放低

氮氧化物排放低是循环流化床锅炉另一个非常吸引人的特点。运行经验表明，循环流化床锅炉的 NOX 排放范围为 50~150ppm 或 40~120mg/MJ。

5、燃烧强度高，炉膛截面积小

炉膛单位截面积的热负荷高是循环流化床锅炉的另一主要优点。其截面热负荷约为 3.5~4.5MW/m²，接近或高于煤粉炉。同样热负荷下鼓泡流化床锅炉需要的炉膛截面积要比循环流化床锅炉大 2~3 倍。

6、负荷调节范围大，负荷调节快

当负荷变化时，只需调节给煤量、空气量和物料循环量，而煤粉炉在低负荷时要用油助燃，维持稳定燃烧。一般而言，循环流化床锅炉的负荷调节比可达 4:1。负荷调节速率也很快，一般可达每分钟 4%。

7、易于实现灰渣综合利用

循环流化床燃烧过程属于低温燃烧，同时炉内优良的燃尽条件使得锅炉的灰渣含炭量低（含炭量小于 1%），属于低温烧透，易于实现灰渣的综合利用，如作为水泥掺和料或建筑材料。

1.1.3 选题意义

目前，国内中、大型循环流化床锅炉投运数量越来越多，这些电厂一般采用分散控制系统（Distributed Control System, DCS）进行机组运行控制。DCS

控制系统应用于煤粉锅炉经验已经很成熟，而且自动化水平、安全性都比较高。对于国内的循环流化床锅炉，目前的 DCS 控制系统现状基本是套用煤粉炉的 DCS 控制逻辑，只是稍加改动；另外基于国内电厂基建现状，多数机组都是在抢工期的情况下投运的，所以留给控制系统研究人员的研究时间几乎没有。然而循环流化床锅炉的燃烧机理十分复杂，而且具有严重的非线性。循环流化床锅炉热工自动控制，特别是燃烧自动控制方面的问题已成为其进一步推广应用的主要障碍，循环流化床锅炉的运行程控自动化亟待解决。

CFB 锅炉虽然有众多优点，但是由于其特殊的结构及工艺对控制系统要求很高，所以研究针对 CFB 锅炉的控制方案就显得十分迫切和必要，一个好的控制方案能够在保证安全的前提下充分的发挥 CFB 锅炉的性能。

1.2 研究现状及存在问题

1.2.1 研究现状

在锅炉的控制系统方面主要考虑采用可编程控制器或分散控制系统或现场总线控制系统，下面对三种系统简单介绍。

1、可编程控制器

在工业生产过程中，有大量的开关量顺序控制，它按照逻辑条件进行顺序动作，并按照逻辑关系进行连锁保护动作的控制，及大量离散量的数据采集。传统上，这些功能是通过气动或电气控制系统来实现的。1968 年美国通用汽车公司提出取代继电气控制装置的要求，第二年，美国数字公司研制出了基于集成电路和电子技术的控制装置，首次采用程序化的手段应用于电气控制，这就是第一代可编程序控制器（Programmable Logic Controller, PLC）。

PLC 系统一般适用于小型控制系统。

2、分散控制系统

分散控制系统（DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM, DCS）是集 4C（Communication、Computer、Control、CRT）技术于一身的监控技术。它是从上到下的树状拓扑大系统，其中通信是关键。它的比例积分微分（Proportion Integration Differentiation, PID）控制在中断站中，中断站联接计算机与现场仪器仪表与控制装置。DCS 控制系统是树状拓扑和并行连续的链路结构，也有大量电缆从中

继站并行到现场仪器仪表。在输入输出方面，它采用一台仪表一对线接到 I/O，由控制站挂到局域网 LAN。DCS 采用的是控制（工程师站）、操作（操作员站）、现场仪表（现场测控站）的 3 级结构，多用于大规模的连续过程控制，如石化、锅炉等。

DCS 系统一般适用于大中性控制系统，性价比较高。

3、现场总线控制系统

现场总线控制系统（Fieldbus Control System, FCS）的基本任务是：本质安全、危险区域、易变过程、难于对付的非常环境。它采用全数字化、智能、多功能取代模拟式单功能仪器、仪表、控制装置。一般情况下用两根线联接分散的现场仪表、控制装置、PID 与控制中心，取代每台仪器两根线。FCS 在总线上 PID 与仪器、仪表、控制装置都是平等的。FCS 是多变量、多节点、串行、数字通信系统取代单变量、单点、并行、模拟系统。它的网络结构是互联的、双向的、开放的取代单向的、封闭的。它的特点之一是用分散的虚拟控制站取代集中的控制站，它可以由现场电脑操纵，还可挂到上位机，接同一总线的上一级计算机。

FCS 系统一般适用于大型控制系统，且投资较高。

1.2.2 存在的问题

在机组基建调试期间，工程人员一般仅要求控制系统可以保证锅炉启动和停运，至于控制系统的优化、逻辑的优化、自动的投入与优化和锅炉保护的设定等都是在煤粉炉的控制方法下做一些简单修改。

然而，循环流化床锅炉与煤粉锅炉在燃烧机理上有很大的区别，这就决定了其控制逻辑及方法有很大的不同。所以套用煤粉锅炉的控制方法不能适合循环流化床锅炉。这也就是目前为什么许多循环流化床锅炉自动化程度不高，运行人员数量多，劳动强度高，效率低下并且运行也极为不稳定的原因。这就给我们的制造厂、电厂及试验研究人员提出了一个课题：哪种控制系统更加适合循环流化床锅炉。

针对本文所述的锅炉的实际情况，采用 PLC 系统很难满足庞大复杂的控制功能，而采用 FCS 系统则要求现场全部使用全数字化智能仪表，成本过高并不切实际。所以采用 DCS 系统是最佳的选择方案。

而在各种 DCS 系统中，日本山武公司的 Harmonas-DEO 控制系统稳定性高，

功能强大，适合作为 CFB 锅炉的控制系统。

1.3 主要研究内容及特色

本文从锅炉的系统介绍及人机界面设计入手，先整体介绍到本文的概貌，对整个系统的规模和组成结构及操作界面有一个初步的认识。

循环流化床锅炉是一个多参数、多变量、强关联、多干扰的控制对象，其自动控制系统既是独立的，又是相互关联的。当一个系统进行调节之后，其他的调节系统也要有相应变化。

本文以某热电厂循环流化床锅炉为研究对象，首先深入分析了锅炉的系统结构，根据实际情况选用了 Harmonas-DEO 作为其控制系统；然后从工艺角度进行需求分析；最后设计出了具有高度自动化程度的控制程序，尤其是本文中对锅炉一次风机和引风机使用的变频器进行了自控程序设计。由于变频器属于新兴技术可借鉴的经验较少，本文中变频器控制的设计思路具有一定的独创性。

经过验证采用本文的程序设计进行生产控制，锅炉在最佳工况下运行，取得了经济效益的最大化。

1.4 本文的组织结构

本文共分为五章：

第一章 主要介绍课题研究背景、研究现状及存在问题、研究的内容和目标，最后给出论文的组织结构。

第二章 介绍了热电厂锅炉的系统情况，阐述了 Harmonas-DEO 系统的开发方法及特点。

第三章 阐述 Harmonas-DEO 在循环流化床锅炉控制中实现的功能及系统架构。

第四章 分析自动控制系统的工况背景并出各个子系统的相应算法。

第五章 对论文所做的工作进行总结，指出不足之处及下一步改进和研究的方向。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库