

Multi-Coals Blending Technology for Optimal Utilization of Resources in Thermal Plants

Gao Wei, Chen Gang, Yang Tao

School of Energy and Power Engineering, HuaZhong University of Science and Technology, Wuhan, China, 430074

Abstract: This article discussed the “coal-based” energy structure and electric power structure in China. According to the source of coal-fired boiler in thermal plant and the actuality of multi-coal blending, state of the art of multi-coal blending at home and abroad were reviewed. In accordance to the problems of blending in plants, a new multi-coal technology for optimum usage of coal resource accompanying with a software system has been proposed. The practical utilization of the system in a certain plant verifies the feasibility for coal-fired power plant, and the capability in improving the combustion efficiency and operating stability, in reducing the air pollutant emission, and in enhancing the security of multi-coal blending. This system can offers guidance for blending process and hence worth popularization.

Keywords: coal blend; full work process; dynamic optimization

火电厂煤炭资源优化利用的多煤种混烧技术

高伟¹, 陈刚¹, 杨涛¹

¹华中科技大学能源与动力工程学院, 武汉, 中国, 43007

摘要: 本文在论述我国“以煤为主”的能源和电力结构基础上, 依据我国电厂锅炉燃煤来源现状和多煤种混烧现实, 分析了国内外多煤种混烧技术的进展, 针对我国燃煤电厂实现多煤种混烧存在的主要问题, 提出了一种火电厂煤炭资源优化利用的多煤种掺烧技术及相应地应用系统, 通过某电厂的实际应用表明, 该系统适用于我国燃煤火力发电机组, 可提高其燃煤混烧的燃烧效率和运行稳定性, 保障其安全性, 降低其污染排放, 对不同机组实现多煤种混烧有着很强的指导意义和广泛的推广价值。

关键词: 多煤种掺烧; 全流程; 动态优化

1 概述

能源供应是制约国民经济发展的的重要因素。随着国民经济的快速发展和人民生活水平的不断提高, 我国对能源的需求越来越大, 能源消费总量日益增长的速度连年来都超过了经济增长速度。目前, 我国的一次能源消费总量仅次于美国, 位居世界第二, 已成为世界能源生产和消费大国, 以 2009 年为例, 我国能源消费总量超过 30 亿吨标准煤 (其中原煤产量为 29.6 亿吨) 如图 1 所示。在我国的一次能源消费总量中, 煤炭消费占居 75% 左右的绝对优势, 相比之下, 原油、天然气和水电等能源的所占比例都偏低, 如图 2 所示。因此, 我国是一个“以煤为主”的能源结构国家。

电力是能源消费的主要形式和重要组成部分, 是支撑和推动社会经济发展的重要基础。自我国实施改革开放政策以来, 为了适应国民经济的快速发展, 电力工业

发展迅猛。发电量由 1978 年的 2566 亿 kW·h 增加到 2009 年的 36506 亿 kW·h, 增长约 14 倍。1991--2009 年, 我国火力发电量由 5 525 亿 kW·h 增加到 29934 亿 kW·h, 增长了 5.4 倍, 年均增速达 20% 以上。同时, 在我国的发电总量中燃煤火力发电所占的比例历年来都在 80% 以上。目前我国的煤炭消耗总量约一半用于火力发电。

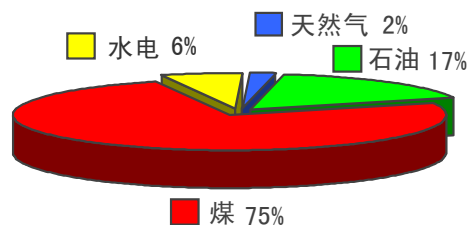


Figure 1. Energy consumption in China

图 1 我国能源消费增长情况

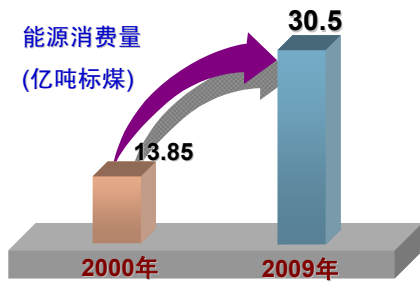


Figure 2. Energy composition of China
图 2 我国能源结构

目前,我国的人均装机容量和人均占有电量还处在世界平均水平之下,电力建设和生产仍需继续大力发展。在当前我国的非常规能源和可再生能源的发展十分有限的情况下,我国“以煤为主”的能源结构在短期内仍不可改变,燃煤发电依然将占据着主导地位。显然,发电需求的增大必然会引起煤炭消耗量的增加,从而加剧了煤炭资源的竞争与贫乏;在燃煤发电效率不如发达国家的我国(中国:342.0克标准煤/kWh,日本、德国等发达国家:<300克标准煤/kWh),其能源利用率不高,能量损失会更加严重;且煤炭的加速消耗会导致污染物排放量增大,加速环境恶化,目前燃煤污染物的排放,已占全国SO₂排放总量的85%,CO₂排放总量的85%,NO_x排放总量的60%,粉尘排放总量的70%。因此,在燃煤发电中合理有效地利用煤炭资源意义十分重大。

2 我国电厂锅炉燃煤现状

对于燃煤电厂,其锅炉是基于设计煤种和校核煤种设计的。若燃用设计煤种(或燃煤特性在此范围内),锅炉有良好的适应性,可满足安全、经济运行和环保要求;若燃用煤质特性偏差较大的非设计煤种,会降低锅炉的适应性,导致燃烧效果变差、运行稳定性下降、低负荷调峰困难、锅炉热效率降低、出现结渣和过热器超温、脱硫系统不适应、污染排放超标、……等等问题,其锅炉运行的安全性、经济性、环保性都将遭到破坏。

然而,我国的煤炭资源分布不均,煤种各具差异,且开采量有限;工业应用煤炭需求量大,市场竞争激烈,电厂采购设计煤种难;为拓宽购煤渠道,使得所购煤种增加,电厂并存多种煤种;煤炭价格飙升,有的电厂被迫采购和燃用低价劣质煤;限于运输能力,电厂囤煤量扩大,煤场管理和燃煤调度变得复杂。这使得电厂燃煤锅炉难以保证一直燃用设计煤种,因此,我国火电厂堆存、配烧非设计煤种和多煤种混烧成为不可避免的现实。

目前,我国90%以上电厂锅炉不同程度的处在混煤燃烧状态,如何有效地实现电厂锅炉多煤种优化混烧,使其在现有的供煤条件下,充分利用煤炭资源所具有的能量,提高燃煤发电效率和负荷适应性,保障电厂锅炉安全、经济、环保运行,是一个涉及量大面广的现实问题,它具有广泛的煤炭资源优化利用和节能减排意义,也是燃煤混烧发电厂面临的重要课题。

3 国内外多煤种混烧技术研究概况

国外对燃用混煤的研究开始于七十年代中期。从事混配煤技术研究较早的国家有美国、德国、日本、英国、西班牙、荷兰和加拿大等。

美国动力用煤大部分为优质煤,在燃烧方面不成问题,由于环保要求严格,燃用混煤主要用于污染物的排放控制^[1]。美国东、中部煤含硫量(3.1%)较高,而西部煤含硫量(0.3%)较低。若仅燃用东、中部煤的电厂须采用昂贵的清洗、脱硫装置,才能满足SO_x的排放要求。研究表明,在美国东、中部高硫煤中仅混烧10%的西部低硫煤,可减少脱硫的投入,满足排放要求,且比单烧低硫煤的运行费用低60%,其改善效果是相当明显的。因此,美国侧重研究的是采用多煤种混烧降低SO_x的排放。

德国混煤燃烧研究起于七十年代初,一些燃用褐煤的电厂其褐煤质量常常偏离设计特性,使机组无法满负荷运行,为此研究褐煤中掺入高热值煤种混烧,提高机组带负荷能力。通过Ptolemosis和Aliveri电厂的实践表明,在褐煤中混烧15%的烟煤时^[2],锅炉不仅能满负荷运行,还能提高燃烧稳定性,降低飞灰和炉渣中可燃物含量以及炉膛出口烟温。由此可见,德国的研究是将褐煤与烟煤混烧,以提高低热值褐煤的利用价值。

日本由于资源短缺,燃料依赖进口。为了减少运输费用,近几年开始扩大高热值无烟煤的利用,出现了在煤粉锅炉中混烧无烟煤和石油焦这些低挥发份燃料的倾向,促使日本燃烧界对此混煤的特性及燃烧技术进行了深入的研究,有些混煤燃烧的技术已推广应用^[3]。

荷兰在稳定机组燃烧的基础上,研究燃用混煤来防止结渣、沾污和腐蚀;西班牙根据其劣质煤储量较多的情况,研究采用高挥发份煤与无烟煤混合燃烧,皆取得了满意的效果;英国研究不同煤种混烧,将灰分含量控制在17%以下,收到了减轻或消除结渣的良好效果^[4]。

国内自上世纪90年代初以来,华中科技大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、华北电力大学、西安热工研

究院、哈尔滨成套设计研究所等高校和研究机构开展了混煤燃烧的大量研究工作^[5]。且在混煤热解、着火、燃尽、结渣和污染排放特性上研究居多。而在工程实现上，或是采取技术手段单一，或是停留在某些局部功能上……。全面优化的配煤混烧工程实现较少，其研究有待进一步深入。尽管荷兰在中国连云港实施的配煤工程有较好地混煤效果，但由于其独立工程造价昂贵，维护成本高，难以在国内火电厂普遍推广。

综上所述，国外混烧煤种变化较小，煤质和供应相对稳定，混煤燃烧采取的是主动式互补性混烧，所针对的目标和解决的问题较为单一。而在国内，由于决定煤源因素多，电厂煤种变化大、品种多，煤质稳定性差，机组往往处于被动式强制性的混烧，且需要控制的目标和需解决的问题更多，工程实施难度更大。

4 火电厂混煤燃烧面临的主要问题

对电厂大型燃煤火力发电机组，分磨混煤是一种最可能实现的混烧方式，但是这种方式涉及煤场、输煤系统、制粉系统和燃烧系统等诸多系统和设备，且每一个环节都需要严格监控、管理和协调，才能顺利完成配煤混烧工作。然而，目前大多数电厂的配煤混烧基本上是凭借经验实施，缺乏全面的理论指导和统一的调度平台，使得配煤混烧需要做大量的试验工作，要求现场运行和决策人员具备丰富的专业知识和运行经验，即使如此，也难保证应用的配煤方案和效果是最佳的，难以充分挖掘配煤混烧可能带来的效益。针对我国实情，实现

火电厂混煤燃烧工程将面临以下主要问题：

(1) 工程实现复杂：配煤混烧过程的环节多，涉及煤的“堆、存、取、配、送、烧”全流程，以及电厂的燃料、发电等多个生产部门，需要对各流程准确监测（如当前的煤种、煤质、煤量），需要对各生产环节和生产部门进行高度协调，需要有一个基于理论符合实际的统一调度平台对其全流程运行和管理实现动态优化。

(2) 混煤燃烧的精确控制：从煤仓混煤到实际燃烧存在长时间延迟，当锅炉负荷变化时，会导致实际燃烧结果与燃烧优化目标有较大偏差，使得燃烧的稳定性，负荷的适应性，炉膛结渣，制粉系统爆燃，受热面沾污、腐蚀、超温等问题恶化，带来一系列的安全、环保和经济问题。因此，需要采取适宜的手段精确控制优化燃烧对进入炉膛的混煤需求。

(3) 原煤仓中多煤种分层移动界面实时监测：由于原煤仓中分层混堆不同煤种，机组运行时其煤层界面实时移动，若不能实时监测和跟踪各煤种进入锅炉的时间，将难以控制炉膛混煤优化燃烧。

(4) 混烧过程多目标优化：处于被动式强制性混烧多煤种的机组，相对燃用设计煤种而言，若不采取适当的技术措施，其大多数安全、环保、经济性指标会产生恶变。因此，燃煤混烧过程必须同时实现安全、环保、经济多目标优化，才具有现实应用价值。

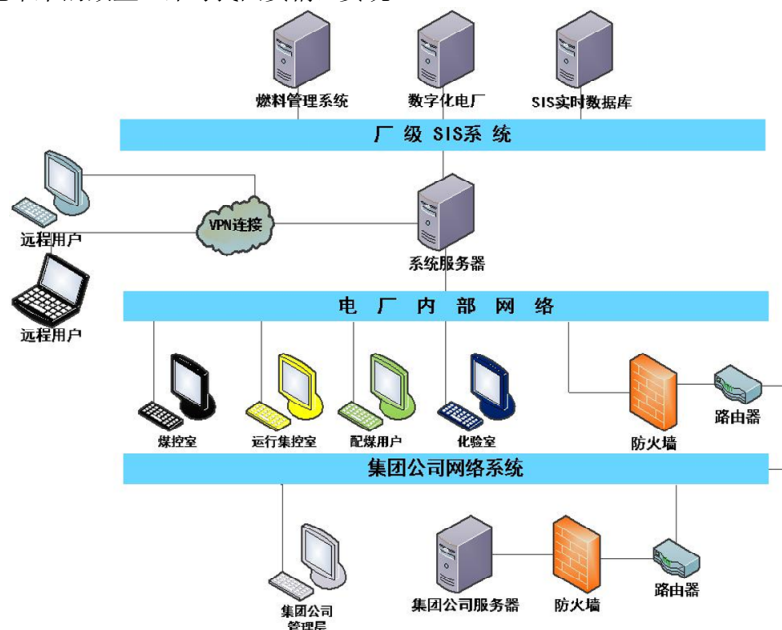


Figure 3. System Network Topology Graph

图 3 系统网络结构拓扑图

5 一种多煤种混烧全程动态优化系统

由华中科技大学研发的多煤种混烧全程动态协同优化系统，通过对火电厂燃料流程中的堆料、配煤、取料、上煤、燃烧等环节进行协同运行，以及对原煤仓中多煤种分层移动界面实时监测和混煤燃烧的精确控制，有效的实现了机组多煤种混烧下的安全、经济、环保多目标优化。

系统的硬件体系基于电厂内部高速网络开发，覆盖燃料运行、集控室、设备管理、化学化验、生产经营、厂级管理等诸多部门，其系统的拓扑结构如图 3 所示。

系统采用 B/S 构架^[6]，由厂级服务器(或 SIS 系统)、

系统应用服务器、客户机三部分组成，本系统与电厂的分层网络进行无缝连接，其网络架构具有分布距离远、节点分散、数据流量大等特点。

系统基于 web 的三层结构开发。厂级服务器为系统提供实时数据来源，同时可以获取系统优化的结果，进行数据复用；系统服务器内置入了复杂的优化运算模块，可对煤场的存放情况、机组运行参数等信息进行优化，给出全流程的优化运行方案；客户机只需要从服务器端获取结果，展现给运行人员，指导运行人员操作，从而减轻了客户端的运算负担、降低了网络负荷。系统的软件功能模块如下图 4 所示。

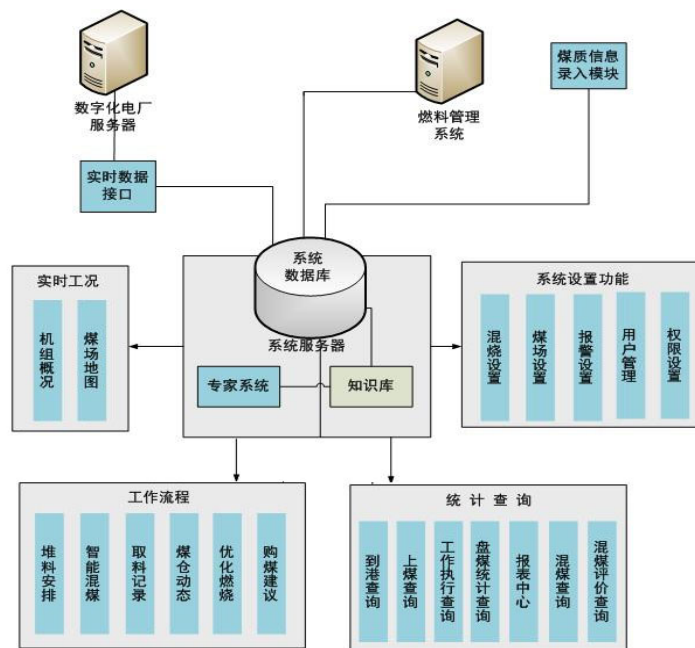


Figure 4. Software functional block diagram

图 4 软件功能模块图

系统可实现的功能为：

1. 工作流程模块：是本系统的主要功能模块，该模块依据火力发电厂燃料运行和发电运行的工作流程，实现对来煤的堆、配、取、烧的智能决策和管理。其中，智能配煤子模块，根据燃烧器煤粉分层燃烧特点和多目标自动优化计算，确定了不同煤种在燃烧器中最优化层次布置和配比的一级配煤；在此基础上，依据实时燃烧状态和最优燃烧状态需求，在线调整相应给煤机出力实现二级配煤。通过两级配煤技术实现了精确配煤控制；煤仓动态模块针对原煤仓内，多煤种分层混堆状态，提出了一种基于原煤仓内煤种全水分软测量的多煤种混

堆分层移动界面监视方法，实现了对原煤仓中各煤种信息的实时监测。

2. 实时工况模块：用来监测用来对掺烧后的情况进行实时显示。

3. 统计查询模块：统计查询功能实现对煤场存煤情况以及运行人员的燃煤掺烧工作情况的查询和统计，包括以下子功能：到港查询、上煤查询、工作执行查询、盘煤统计查询、报表中心、配煤查询、掺烧评价查询等。

4. 系统设置模块：系统设置为管理员特有的操作，用来设置边界、工作、权限等。混烧设置、煤场设置、报警设置、用户管理、岗位管理、部门管理、工作制定、

权限设置。

该系统在某电厂投运以来,已成功地优化混烧多种煤。既保证了锅炉运行状况正常和缓解了煤场自燃,也提高了燃煤燃烧效率,拓宽了锅炉的适应范围,有效的降低了有害污染物的排放。同时,强化了电厂数字化管理,增强了运行操作的科学性,减轻了运行人员工作强度。四个多月的应用产生直接经济效益达到 1057 万元。

6 总结

火力发电行业是一个煤炭消费大户,其煤炭资源的合理有效利用,对节能减排起到至关重要的作用。

在我国燃煤火电厂普遍存在着多煤种混烧的现实情况下,研究实现多煤种优化混烧的理论与技术,以及开发相应的工程应用系统,不仅是扩展不同煤种的应用,提高现有燃煤利用率,合理利用煤炭资源不可忽视的重要途径之一,而且是保障机组在安全稳定运行,提

高燃煤燃烧效率,降低污染物排放的必要技术措施。因此,存在多煤种混烧的燃煤火电厂,应高度重视实现多煤种优化混烧所带来的巨大经济效益和深远社会效益。

References (参考文献)

- [1] Van Dyk J. C. Development of an alternative laboratory method to determine thermal fragmentation of coal sources during pyrolysis in the gasification process. *Fuel*, 2001, 80(2): 245-249
- [2] Zelknowshi J. Ignitabliti of Coals and Coal Blends with Different Reactivi-ties-measuring Methods and Analysis of Result in View of Their Pratical Application, 2nd Inter. Symp. on Coal Combustion, Peking, 1991: 127-131
- [3] 何佩敖,董延平. 日本燃煤技术的试验研究报告. 电站系统工程, 1988, 4(4): 35-64
He Pei-ao, Dong yanping. Experimental Report on Japanese Coal Technology Research [J], *Power System Engineering*, 1988, 4(4):35-64(Ch).
- [4] Carpenter AM. Coal blending for power stations. IEA Coal Res Lond.1995.
- [5] 靳国库. 火电厂全自动配煤系统设计[J]. 电工技术,2006,04.
Jin Guoku, Automatic Blending System Design for Thermal Plant [J], *Electrotechnical*, 2006, 04(Ch).