

# 多方位配煤掺烧模型的研究应用

刘建忠

(华润电力控股有限公司 江苏分公司,江苏 南京 210018)

**摘要:**为缓解煤电企业设计煤种的供应压力,降低成本,分析了配煤掺烧中的关键参数,设计了一种基于企业生产全过程的多方位配煤掺烧模型,研究了模型在康平电厂的应用情况。结果表明,多方位配煤掺烧模型主要包括进煤管理、煤场管理、配煤方案设计和掺烧现场管理四大模块,可综合考虑燃烧效率、结渣结灰、污染物排放、企业运行状况和社会实时需求等因素,根据来煤情况、煤场各煤种的存储分布情况、锅炉运行情况和企业生产状态等,确定经济有效的掺烧方案。多方位配煤掺烧模型在康平电厂应用后,每年可使350万t原煤就地转化,节约煤炭运输成本6000多万元,节省原煤61万t/a,脱硫效率提高至95%,减少CO<sub>2</sub>排放量1.5万t,实现环保用水。

**关键词:**配煤掺烧;煤电;混煤;煤质参数

中图分类号:TM621

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2015)03-0032-04

## Application of multi-aspect coal blending and blending burning model in coal-fired power plant

LIU Jianzhong

(Jiangsu Branch, China Resources Power Holdings Co., Ltd., Nanjing 210018, China)

**Abstract:** In order to alleviate the shortage of designed coal and decrease cost in coal-fired power plant, the key parameters of blending coal were analyzed. Based on the whole production procedure of coal-fired power plant, a multi-aspect model for blending coal burning was designed. The application of the model in Kangping coal-fired power plant was investigated. The model was composed of four function parts which were coal purchasing management, coal yard management, coal blending management and blending combustion management. The model could determine the cost-effective blending coal solution according to the coal properties, slag and ash characteristics, pollutant emissions, market requirement, coal storage state in yard, boiler running conditions and so on. The model helped Kangping coal-fired power plant consume  $3.5 \times 10^6$  tons local raw coal, saved transportation costs more than RMB  $6 \times 10^7$ , saved raw coal  $6.1 \times 10^5$  tons, reduced CO<sub>2</sub> emissions  $1.5 \times 10^4$  tons every year.

**Key words:** coal blending and blending burning; coal-fired power plant; mixed coal; coal properties parameters

## 0 引言

据统计,我国2000 m以浅的预测煤炭资源量为5.6万亿t,能源剩余可采总储量中,原煤占58.8%。“十二五”期间,全国规划煤电开工规模3亿kW,其中煤电基地开工1.97亿kW,占66%,2015年全国煤电装机预计达到9.33亿kW。“十三五”期间,全

国煤电规划开工规模2.6亿kW,其中煤电基地开工1.63亿kW,占62.7%,2020年全国煤电装机预计达到11.6亿kW。丰富的煤炭资源、可采比例,以及我国电力行业的未来发展规划决定了我国煤炭为主的能源利用格局会长期存在<sup>[1-2]</sup>。我国煤炭资源储量丰富,煤种齐全,但优质煤种较为稀缺,在地理分布上呈现北多南少、西多东少、资源分布与消费分布

收稿日期:2014-05-29;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.03.009

基金项目:河北省教育厅资助科研项目(Z2014036)

作者简介:刘建忠(1976—),男,江苏徐州人,高级工程师,学士,从事燃料优化燃烧、污染物控制的研究和设计工作。E-mail:ljj7608@126.com

引用格式:刘建忠.多方位配煤掺烧模型的研究应用[J].洁净煤技术,2015,21(3):32-35.

LIU Jianzhong. Application of multi-aspect coal blending and blending burning model in coal-fired power plant[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(3): 32-35.

不协调现象<sup>[3-4]</sup>。尤其对电力行业而言,煤电主要布局在东部和中部,煤炭产地则集中在西部,造成大量西煤东运,为交通运输带来巨大压力,阻碍了煤电企业的节能减排、绿色发展。为此,各煤电企业试图燃用按一定比例掺配的混煤,以降低发电成本,提高机组运行的经济性。李培等<sup>[5]</sup>对制粉系统进行优化调整,使掺烧劣质煤粉的机组满负荷运行,总体经济效益提高。李艳崇<sup>[6]</sup>结合人工智能技术,设计开发了一种基于PLC系统的配煤专家系统,既保证了精煤质量,又降低了企业成本。李学武<sup>[7]</sup>对精煤和低灰低硫煤进行配煤试验,发挥掺配煤种优点,生产出综合性能最佳的混合煤。刘志强<sup>[8]</sup>设计了锅炉大比例掺烧煤泥方案,实现装置稳定运行。但目前配煤方案大多是不同煤种的机械混掺,未从煤电企业生产全过程进行系统设计,无法综合考虑燃烧效率、结渣积灰、污染物排放、企业运行状况、社会实时需求等诸多复杂因素的影响。鉴于此,笔者结合康平电厂实际情况,提出多方位配煤掺烧模型,以期降低企业成本,节约能耗。

## 1 配煤煤质参数分析

随着我国电力事业的迅猛发展,煤电基地对发电用煤的需求呈增长趋势,但目前煤炭市场普遍存在优势资源供给不足、煤炭整体质量较差、煤贮存煤下降、交通运输紧张等问题,各火力发电厂很难保证锅炉最初设计煤种的定点和定量供应,燃煤的多煤种掺配成为解决这些问题的有效途径<sup>[9-10]</sup>。在配煤掺烧过程中,主要考虑到混煤的以下参数。

1) 单价。燃煤单价根据混煤中各煤种所占质量分数计算,公式如下

$$X = \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad \sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad (1)$$

式中, $X$ 为混煤单价,元/t; $n$ 为混煤中的燃煤种类数; $a_i$ 为第*i*种煤在混煤中的质量分数( $0 < a_i < 1$ ); $x_i$ 为第*i*种煤的市场单价,元/t。

在仅考虑市场因素和电厂发电成本的情况下, $X$ 应越小越好。

2) 发热量。发热量指单位质量的煤完全燃烧的热效应,也称热值。就电厂用煤而言,不同类型的锅炉对煤的发热量要求不同。发热量高于要求标准,不仅增加污染物排放,还可能对锅炉炉膛造成损伤;发热量低于要求标准,煤炭燃烧不完全,燃烧效率低,影响锅炉出力<sup>[11]</sup>。

3) 挥发分。挥发分是煤特定条件下热分解的产物,电厂用煤的挥发分应满足锅炉设计要求,此时煤炭燃烧稳定,效率高,锅炉出力最好,如燃煤挥发分严重偏离锅炉设计要求,可能会导致锅炉熄火,影响企业安全生产<sup>[12]</sup>。

4) 硫分。硫是煤中的有害元素,燃烧后会造成本大气污染。电厂配煤过程中必须考虑混煤的硫分,保证企业绿色发展<sup>[13]</sup>。

5) 灰分。灰分是煤中可燃物完全燃烧后,矿物质在一定温度下发生复杂反应后剩下的残渣。电厂用煤对灰分有一定要求,灰分过高,煤的热值降低,热能消耗增加,可能造成结渣,使锅炉出力变差,可引起息炉等事故<sup>[14]</sup>。

6) 水分。水分是煤中的不可燃成分,包含外在、内在和化合水分,其含量取决于煤内部结构和外部条件。电厂用煤如果水分过高,则不易着火、燃烧,锅炉效率下降,还可能在低温时腐蚀设备<sup>[14]</sup>。

7) 配煤代价。配煤代价指混煤进入锅炉前需要的,包括运输、存放、管理、配煤等方面的单位代价

$$Y = \sum_{i=1}^n a_i (y_{i1} + y_{i2} + y_{i3} + y_{i4}) \quad \sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad (2)$$

式中, $Y$ 为混煤进入锅炉之前的单位配煤代价,元/t,局部来说, $Y$ 应越小越好;考虑到每批次煤的来源地和运输成本可能不同,令 $y_{i1}$ 为第*i*种煤的单位运输成本,元/t;考虑到电厂进煤后各煤种可能存放于煤场的不同区域,以及由于新批次煤的进入,旧批次煤的存放和管理可能发生改变,分别令 $y_{i2}$ 为第*i*种煤在煤场中的单位存储成本, $y_{i3}$ 为第*i*种煤在煤场管理过程中形成的单位管理成本,元/t;考虑到每次配煤都要从煤场不同区域不同层次处获取燃煤,可能需要不同的混煤代价,令 $y_{i4}$ 为第*i*种煤在形成混煤中所需要的人力物力综合单位价格,元/t。

配煤掺烧过程中涉及到的煤质参数还很多。如根据电厂的运行情况、所处地理位置,当地经济和社会对电力企业的工作要求,配煤掺烧模型还可再加入其他考虑因素,如煤的灰熔融性、煤的可磨性指数、电厂当前负荷情况等。

## 2 多方位配煤掺烧模型的建立

为缓解汽车、重化工等高用电项目落户辽宁后引起的用电负荷加剧问题,国家“十一五”规划建设了国电康平电源项目,电厂选址利用了康平县丰富

的煤炭资源,主要送电方向是辽宁中部的沈阳、鞍山、辽阳和本溪等地区。康平电厂锅炉设计的标准煤种为无烟煤,无烟煤具有杂质少、质地紧密、固定碳含量高(80%以上)、挥发分低(10%以下)、发热量高等特点,但其燃点高、不易着火,含硫量高,为企业污染物处理环节造成一定压力,且随着燃料价格的高位运行,燃料成本逐渐攀升。为降低发电成本和入厂标煤单价,考虑经济、环保等因素,康平电厂决定掺烧一定比例褐煤。褐煤呈黑褐色、质地疏松、固定碳与发热量低、挥发分较高(40%左右),但燃点低、容易着火、含硫量低<sup>[15-16]</sup>,可一定程度缓解除污环节压力,市场价格也较无烟煤低。

## 2.1 模型设计原则

为保证配煤掺烧后锅炉运行的安全、高效和经济,模型设计要满足以下原则:

1) 尽量全面考虑入炉混煤产生的全部环节和锅炉运行的整个过程,如煤的购买、检测、运输、堆放、管理、掺烧方法设计和具体的掺配、燃烧等。考虑越全面,越有可能实现电厂的精细化管理,从而节约燃料成本。

2) 模型的核心任务是完成输入煤种的掺烧配比设计。在掺配设计过程中,要综合考虑混煤的各煤质参数,主要为混煤单价、发热量、挥发分、硫分、水分、灰分、配煤代价等,这些参数的测定应满足国家相关测试标准和测试规范,由电厂专门机构进行独立测试。

3) 煤质基本参数并不是孤立的,其具有一定的相关性。混煤的发热量、水分、灰分、硫分线性可加,挥发分虽然非线性可加,但目前动力配煤认为是线性可加,煤的灰熔融性与配比则是非线性关系。以煤的发热量为例,混煤的发热量线性可加,满足下式

$$Q = \sum_{i=1}^n a_i q_i \quad \sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad (3)$$

式中, $Q$ 为混煤的发热量, $\text{MJ}/\text{kg}$ ;  $q_i$ 为第*i*种煤的发热量, $\text{MJ}/\text{kg}$ 。

4) 混煤的发热量、水分、灰分、硫分、挥发分等要满足锅炉设计要求,在此前提下,单价和配煤代价越低越好。

## 2.2 模型设计与分析

基于上述设计原则,设计的多方位配煤掺烧模型如图1所示。由图1可知,多方位配煤掺烧模型主要包括进煤管理模块、煤场管理模块、配煤方案设计模块和掺烧现场管理模块等。

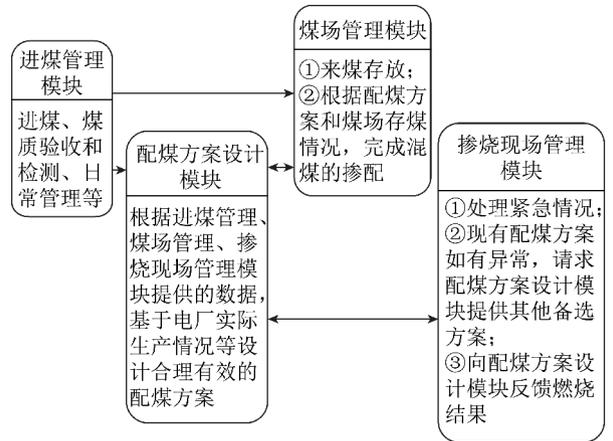


图1 多方位配煤掺烧模型的基本结构

1) 进煤管理模块。进煤管理模块主要负责来煤标准的获取,对来煤进行验收、检测,获取电厂购进燃煤第一手参数,主要工作为:①获得来煤标准。根据煤炭招标结果,从燃煤供应商处获得所购买燃煤的煤种、煤质,进煤数量等信息,需要供应商提供供煤样本作为日后来煤验收的标准。②来煤验收。根据供应商提供的样本对实际大批量来煤进行验收,抽样检查合格后将购进的燃煤参数提交至煤场管理模块和配煤方案设计模块。③来煤检测。尽管购进的燃煤符合合同规定基本参数,但为了更好地实现配煤方案和燃煤在煤场中科学合理的存放,必须对不同批次来煤的具体属性进行检测和统计,如单价、发热量、挥发分、灰分、全水分、硫等。④信息输出和日常维护。将所购燃煤的检测数据告知煤场管理模块及配煤方案设计模块,并进行相关信息的日常维护和更新等。

2) 煤场管理模块。煤场管理模块主要对燃煤进行合理存储,根据配煤计划完成配煤输煤工作等。基本工作为:①基本信息接收。从进煤管理模块获得燃煤相应数据,如供应商、煤种、煤质、数量、燃煤具体属性等。②存煤。根据进煤情况和以往配煤历史,合理安排燃煤存储方式,有利于低成本存储、管理及日后配煤、输煤等。③存煤情况分析。根据目前存煤情况,统计分析煤场信息,方便用户管理。④配煤输煤。根据配煤方案设计模块提供的配煤方案和煤场存煤情况,完成具体的配煤和输煤工作,将锅炉燃烧所需混煤送至指定地点。⑤日常维护。基本信息的日常更新等。

3) 配煤方案设计模块。该模块主要根据进煤管理模块、煤场管理模块、掺烧现场管理模块提供的信息,进行配煤方案的设计。具体工作为:①配煤方

案确定。根据电厂目前的燃煤信息(如煤种、煤质参数)、掺烧现场信息(如锅炉近期运行情况)、煤场信息(如各煤种储量、存储分布)等,初步确定多种(2~3种)配煤方案。②配煤方案确定。对煤种配煤方案进行分析,给出每种方案相应的掺烧参数(如发热量、挥发分、硫分、负荷、单价等),选择最好方案。③配煤方案输出及更新。将配煤方案输出给煤场管理和掺烧现场管理模块,如果掺烧现场临时出现异常或紧急情况,根据已有配煤计划,及时更新配煤计划。④日常维护。基本信息的更新维护。

4)掺烧现场管理模块。该模块主要指掺烧现场的监管人员对锅炉运行情况进行监督,如出现锅炉结焦、一次风管堵塞等问题要立即处理,并将结果反馈至配煤方案设计模块,用于配煤方案的更新、改进等。

### 3 模型应用

1)进煤管理模块加强对进厂煤的检测和监管,当来煤情况或入厂煤质发生大幅变化时,及时向配煤方案设计模块提供相关警示信息,便于对掺配方案进行调整。

2)煤场管理模块负责及时向配煤方案设计模块提供存煤信息,并根据存煤情况和以往配煤经验,提供掺配方式建议。实际应用中,由于褐煤挥发分高,易自燃,到场后原则上不应在储煤场存储;若来量大,未及时排空,应存储在储煤场尾部的专储位置,边储边压实,并及时处理局部自燃和加强对易燃易爆物的检查。

3)配煤方案设计模块可根据存煤情况和存煤煤质参数,合理决定混配上煤方式,当掺配方式或比例有较大改变时,应向安全部门汇报。既要保证机组的安全稳定运行,又不能使储煤场出现汽运地煤、褐煤单一煤种存量过大的现象。当配煤掺烧现场管理模块反馈回锅炉结焦等紧急信息时,应根据负荷情况,及时更改配煤方案,降低负荷运行。

4)掺烧现场管理模块的工作人员应加强对锅炉运行情况的监管,将数据反馈至配煤方案设计模块。实际运行中,由于所掺配的褐煤发热量低、灰分高,大负荷时容易发生一次风管堵塞和大渣量现象。因此要加强对一次风压的检测,以及对捞渣机转动部分和电机部分的检查,保证掺烧现场的安全稳定运行,运行中一旦发现锅炉结焦,要向配煤方案设计模块及时反馈。

### 4 结 语

多方位配煤掺烧模型包括进煤管理、煤场管理、配煤方案设计和掺烧现场管理四大模块,可为锅炉提供实时、可靠、经济的配煤掺烧方案。模型设计基于煤电企业生产的整个过程,能综合考虑燃烧效率、结渣结灰、污染物排放、企业运行状况和社会实时需求等因素。多方位配煤掺烧模型在康平电厂应用后,每年可使350万t原煤就地转化,节约煤炭运输成本6000多万元。采用等离子无燃油点火助燃和脱硫新技术,每年可节省原煤61万t,脱硫效率提高至95%,减少CO<sub>2</sub>排放量1.5万t。电厂发电全部利用沈北污水处理厂的中水,实现了环保用水。

#### 参考文献:

- [1] 戴庆忠. 优化电源结构 走电力可持续发展道路:“十二五”电力工业发展规划解析[J]. 东方电机,2013,41(2):1-16.
- [2] 程 路,章煜宸. 从能源“十二五”规划看中长期我国电力发展[J]. 中国能源,2013,35(9):26-29,47.
- [3] 岳保然,李玉池,张学英. 我国煤炭地理条件的差异性研究[J]. 煤炭技术,2014,33(1):11-13.
- [4] 李瑞峰. 中国煤炭市场分析与研究[J]. 煤炭工程,2013,45(1):1-3.
- [5] 李 培,梁增同,高振罡,等. 某电厂600 MW机组锅炉掺烧劣质煤制粉系统优化调整试验研究[J]. 热力发电,2013,42(5):64-68.
- [6] 李艳崇. 配煤专家系统在芜湖港的应用[J]. 煤炭工程,2013,45(8):133-134.
- [7] 李学武. 石壕洗煤厂配煤技术研究[J]. 煤炭工程,2014,46(3):100-102.
- [8] 刘志强. 煤泥管道输送与大比例掺烧技术在上湾电厂的应用[J]. 煤炭工程,2013,45(2):55-57.
- [9] 孙景丹,杜新伟,李 哲. 基于线性规划法的配煤入选试验[J]. 洁净煤技术,2014,20(2):1-4,9.
- [10] 陈宝康,陈 敏,王小华,等. 350 MW机组燃用烟煤锅炉掺烧褐煤的试验研究[J]. 热力发电,2013,42(6):35-39.
- [11] 胡 潮. 配煤燃烧对锅炉安全运行的影响[J]. 洁净煤技术,2013,19(4):73-75.
- [12] 张晓峰,李彦超,李芳芹. 燃煤锅炉的掺烧研究[J]. 上海电力学院学报,2013,29(4):348-350,369.
- [13] 张东平. 数字化煤场与配煤掺烧技术的应用[J]. 煤质技术,2012(5):57-60.
- [14] 张喜来,杨星利,董成波. 300 MW机组锅炉频繁灭火原因分析及处理措施[J]. 内蒙古电力技术,2013,31(5):103-105.
- [15] 庄 晖. 锅炉掺烧褐煤燃烧优化试验研究[D]. 重庆:重庆大学,2012:2-49.
- [16] 甘萍香. 褐煤、烟煤、无烟煤及其混煤的燃烧特性研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2013:17-50.