

# 动力配煤技术及其自动控制系统的设计

丁海峰, 宋兆龙

(东南大学 能源与环境学院, 江苏 南京 210096)

**摘要:** 系统论述了动力配煤的主要技术, 对配煤模型、配煤工艺进行了重点研究。并在此基础上, 设计了基于煤质全元素在线检测技术的配煤自动控制系统, 为实施配煤自动控制提供了一种新的方法。

**关键词:** 动力配煤; 配煤模型; 配煤工艺

中图分类号: TQ520.62

文献标识码: A

文章编号: 1006-6772(2010)02-0089-04

配煤技术在冶金炼焦中有悠久的历史, 但动力配煤是近几年才在中国发展起来的。中国火力发电用煤约占原煤使用量的三分之一, 且这个比例还会继续增大。由于耗煤量增大, 且运输能力又不足, 及国家有关燃用劣质煤政策等原因, 造成许多电站锅炉不能燃用符合锅炉设计的单一煤种, 因此当前许多大型电站必须燃用混配煤<sup>[1]</sup>。

所谓配煤就是根据用户燃煤设备所需的煤质指标, 把不同性质的单种煤按照一定的比例混配起来, 实现煤质互补, 满足用户所需的煤质指标。它是涉及煤质、燃烧、最优化及自动检测与控制等各项技术的一个复杂控制系统。其在实际应用中还有许多问题亟需研究与解决, 主要表现为: ①配煤模型的建立。即如何确定混煤煤质特性与各单煤之间的关系; ②配煤工艺及设备。虽然配煤技术在中国很多地方得到应用, 但配煤工艺及设备的研究与应用方面尚有很多不足之处; ③配煤质量检测及过程自动控制。由于当前在线检测技术在国内应用较少, 从而使大多数配煤过程未能实现自动控制<sup>[2]</sup>。

## 1 配煤模型的建立

动力配煤的目的就是要发挥各组分单煤的优点, 克服其不适应燃烧要求的缺点, 通过配煤技术制成适合锅炉燃烧的混煤, 实现合理用煤, 提高锅炉运行的经济性和安全性。优化动力配煤问题, 实际上是一个多约束条件下的最优规划问题, 配煤的核心任务就是确定动力配煤的优化配比, 即通过建立配煤的数学模型以确定选定煤种的数量。当前,

描述动力配煤的数学模型主要有两种, 即线性关系模型和非线性关系模型。

### 1.1 配煤线性关系模型<sup>[3]</sup>

配煤线性关系模型是指仅考虑混煤与单煤之间存在线性关系, 即各单种煤的加权平均值与实测值之间不存在显著性差异, 或者认为配煤与单煤种之间大部分煤质参数成线性关系, 少数不成线性关系的煤质参数可以通过简单的处理转化成线性关系。由于该方法简单易懂, 且求解比较方便, 已被广泛用于动力配煤的研究。

#### 1.1.1 目标函数

配煤优化模型以配煤成本最低为目标, 即在确保锅炉安全稳定的前提下, 使配煤成本达到最低的配煤方案。假设有  $n$  种单煤参加配比, 其对应的价格为  $P_i$ , 所占比例为  $\eta_i$ , 则配煤成本  $C$  最低的目标函数表达式为:

$$C_{inc} = \sum_{i=1}^n \eta_i P_i, \text{ 其中 } \sum_{i=1}^n \eta_i = 1$$

#### 1.1.2 约束条件

约束条件在数学规划中指要满足的条件。在建立配煤数学模型时一般以挥发分、水分、发热量、灰熔点、硫分和灰分这 6 个工业指标作为模型的约束条件。

##### (1) 挥发分

煤的挥发分是判断煤的着火性能, 燃烧稳定性的重要指标。从挥发分对锅炉运行的影响来分析, 若挥发分过低, 则在低负荷燃烧时锅炉不稳定, 容易引起炉膛熄火事故; 若挥发分过高, 则易导致燃烧器喷口烧坏或其他事故。故其约束条件为:

收稿日期: 2010-01-19

作者简介: 丁海峰(1986—), 男, 江苏南京人, 现在东南大学攻读硕士学位。

$$V_{\min} \leq \sum_{i=1}^n \eta_i V_i \leq V_{\max}$$

## (2) 水分

煤中所含水分对锅炉的运行起着重要的作用。水分增加,使锅炉排烟量增加,排烟温度升高,排烟热损失增加,锅炉热效率降低,发电煤耗增加,水分增加同时也会增加制粉设备的负担,使其容易发生堵塞现象。故约束条件为:

$$\sum_{i=1}^n \eta_i M_{ar,i} \leq M_{ar,\max}$$

## (3) 发热量

煤的发热量是煤质的另一个重要指标。作为动力燃料,发热量越大,经济价值越高。其约束条件为:

$$\sum_{i=1}^n \eta_i Q_{net,i} \geq Q_{net,\max}$$

## (4) 灰熔点

灰的熔融特性对锅炉运行影响很大。固态排渣炉在燃烧灰熔点比较低的煤时,将会产生结渣,液态排渣炉燃烧灰熔点较高的煤时又不能顺利排渣。由于灰熔点与煤的混配比是非线性关系,为了得到线性约束条件,需进行转换。经转换得出混煤的灰熔点的约束条件为:

$$T_{\min} \leq \frac{\sum_{i=1}^n A_i \eta_i T_i}{\sum_{i=1}^n A_i X_i} \leq T_{\max}$$

## (5) 硫分

煤中硫分含量越大其酸露点越高,从而导致烟气中的硫酸蒸汽在锅炉尾部受热面凝结,腐蚀锅炉受热面。此外,煤中的硫分含量大,使锅炉脱硫设备的运行费用增大,锅炉的经济性下降。故煤中的硫分是影响煤质的重要因素。其约束条件如下:

$$\sum_{i=1}^n \eta_i S_i \leq S_{\max}$$

## (6) 灰分

灰分对燃烧的影响首先表现在对着火的影响。煤中灰分含量越高,火焰传播速度越慢,着火推迟,燃烧稳定性变差。此外灰分含量增加,还会加剧输煤系统、制粉系统、燃烧器、引风机、除尘器等设备的磨损。导致锅炉机组事故率明显增加。检修工作量加大。其约束条件如下:

$$\sum_{i=1}^n \eta_i A_{ar,i} \leq A_{ar,\max}$$

## 1.2 配煤非线性关系模型

由于混煤煤质特性与各单煤之间并非简单的加权关系,而是呈现复杂的非线性关系。如果只单纯考虑它们之间的线性关系,不能反映出它们之间的真实关系,从而造成模型有较大的偏差,为此必须考虑它们之间的非线性关系,其约束条件表示如下:

约束条件	挥发分	$V_A \leq f_V(\eta_i, M_i, A_i, V_i, C_i) \leq V_B$
	水分	$M_A \leq f_M(\eta_i, M_i, A_i, V_i, C_i) \leq M_B$
	发热量	$Q_A \leq f_Q(\eta_i, M_i, A_i, V_i, C_i) \leq Q_B$
	灰熔点	$t_A \leq f_t(\eta_i, \text{各单煤的灰成分}) \leq t_B$
	硫分	$S_A \leq f_S(\eta_i, M_i, A_i, V_i, C_i) \leq S_B$
	灰分	$A_A \leq f_A(\eta_i, M_i, A_i, V_i, C_i) \leq A_B$

当前建立这种非线性模型方法主要有神经网络预测模型和支持向量机组预测模型。神经网络模型主要通过从大量的混煤实测数据中提取有用的反映内在机理规律的信息,并以数据文件的形式保存其中的内在机理信息,通过该文件信息来预测新的混煤特性。由于神经网络预测只对学习样本表现出良好的预测性,对非学习样本存在一定的偏差,且需要大量的学习样本,在此基础上诞生出支持向量机组和预测模型。它较好地解决了过学习、非线性、高维数、局部极小点等问题,而且它是小样本学习理论,可以在样本不多的情况下,仍然保持总体误差较小,适合混煤煤质实测数据较少的情况<sup>[4-5]</sup>。

## 2 配煤工艺

### 2.1 电厂配煤主要方式<sup>[6]</sup>

电厂的配煤方式主要分为炉内混配和炉外混配。炉内混配主要是通过将不同品质的煤分层送入炉内燃烧来实现,而炉外混配大多是在煤场和输煤皮带上来完成。

#### 2.1.1 炉内混配

炉内混配是指将不同煤按一定的比例从炉膛的不同位置送入,如在W型炉膛中将烟煤从下部一次风口送入,而将无烟煤从上部温度较高的区域送入。优化了无烟煤的着火条件,保证无烟煤的充分燃烧和燃尽;有些电厂则在燃烧器入口处将煤混合,并在入口处将不同煤种切换,增加了煤种的选择性。

#### 2.1.2 炉外混配

炉外混配是将原煤预先混配好送入锅炉原煤仓,然后再分层送入锅炉进行燃烧。炉外混配主要有两种方式,即贮煤场内大型机械混煤和筒仓混煤。

##### (1) 大型机械混煤

电厂贮煤场大都设置了大型煤场机械,如门式斗轮取料机,桥式抓斗起重机,地下煤斗配振动给料机,悬臂式斗轮机等。其主要功能是对贮煤场的燃煤进行堆料和取料作业。电厂则可以利用一定的操作工艺在堆料和取料过程中完成燃料混配。大多数电厂所采用的主要工艺是将电厂不同品质的燃煤在煤场中分层堆放,取料时各品种的燃煤被斗轮机自然混合在一起,从而达到混煤效果。此外按照电厂需要,还可以按煤种分堆在煤场的不同位置,通过在同一煤场内串联两台斗轮机,同时开启两台斗轮机可达到混配的目的。但大型机械混配不能实现精确的配比,过程比较粗放,对混煤要求

较高或混煤煤种较多的工程不宜采用此方法。

## (2) 筒仓混配

筒仓混配一般在上煤系统中设置两个贮煤筒仓,来煤进入上煤系统送入煤场分堆存放或直接进入对应的筒仓。筒仓混煤主要是通过控制各筒仓的出口煤量,以达到混配的目的。从而筒仓出口排料机性能成为配煤精确与否的关键。

## 2.2 配煤工艺流程

配煤系统从功能上主要分为输送、取料、筛分破碎、混配、质量检测和控制等过程。其基本流程如图 1 所示。不同煤种混配燃烧时,准确计量、配合均匀以及煤质检测是必须考虑的问题。现代配煤工艺一般都采用高精度电子皮带秤实现配比的精确控制,并配有在线分析仪实现数据超差调节。

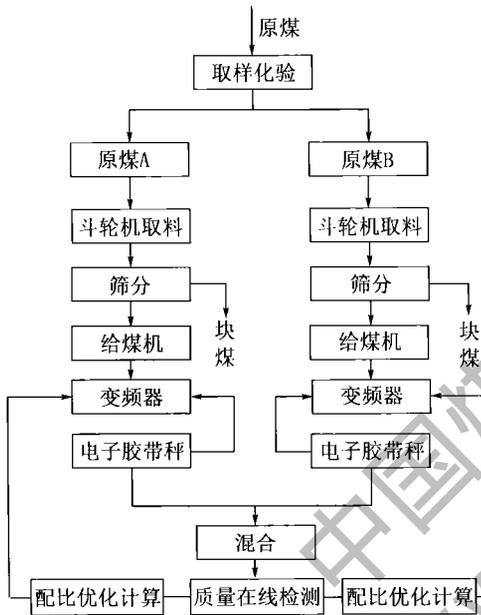


图 1 配煤工艺流程

## 3.1 电厂配煤煤质分析

电厂对来煤要进行采样,分析。不同的煤掺混,煤质特性会发生变化,比例不同,其配煤特性也不同。燃煤电厂配煤大多在现场进行,为了使其更适应燃煤锅炉,就需要更精确和方便的方法来确定配煤的配合比和测定配煤的煤质特性。确定配合比主要通过建立配煤的数学优化模型并在此基础上求解模型而得到最优配比。配煤煤质数据分析电厂一般采用简单的质量加权平均法来计算,这一方法对性能接近的煤组成的配煤基本可行,但对于性能差异较大的煤组成的配煤则误差较大,尤其对于涉及到炉内化学过程的特性数据误差更大。此外由于单煤煤质数据存在波动,也对混煤煤质输出数据产生很大的影响。混煤煤质需能够实现实时检测,从而能够实时监测混煤品质,提高配煤的精确性。

煤质全元素在线分析仪在在线分析技术中具有独特的优势,它能够实现煤质的全元素的检测,并能通过适当的模型完成煤的工业检测及一些燃烧特性指标的在线测量,其测量原理是通过中子辐照待测物质,使原子核发生核反应,生成放射性元素,然后对该放射性元素进行鉴别分析,从而确定该待测物质成分和含量的一种分析方法<sup>[8]</sup>。

## 3.2 基于煤质全元素分析技术的配煤系统设计<sup>[9-10]</sup>

电厂配煤过程中,底层设备的检测值直接送入 PLC 进行监视与控制。输煤程控系统通过总线与 PLC 通讯,以获取各项参数,同时将控制单元参数传送至 PLC 相对的存储单元,通过 PLC 的输出实现配煤比的控制。

控制系统回路主要功能是接受来自模型计算机的设定值,通过 PLC 控制器、变频器、给煤机、电子皮带秤等完成配煤操作,同时将配煤过程中的数据在计算机上显示出来,以指导生产。

### 3.2.1 控制系统回路框图的设计

控制系统的回路设计如图 2 所示。配煤控制系统主要实现配煤的顺序启停与闭锁保护,启动时采用逆煤流启动,停车时采用顺煤流停车。

## 3 煤质全元素在线分析技术在电厂自动配煤中的应用

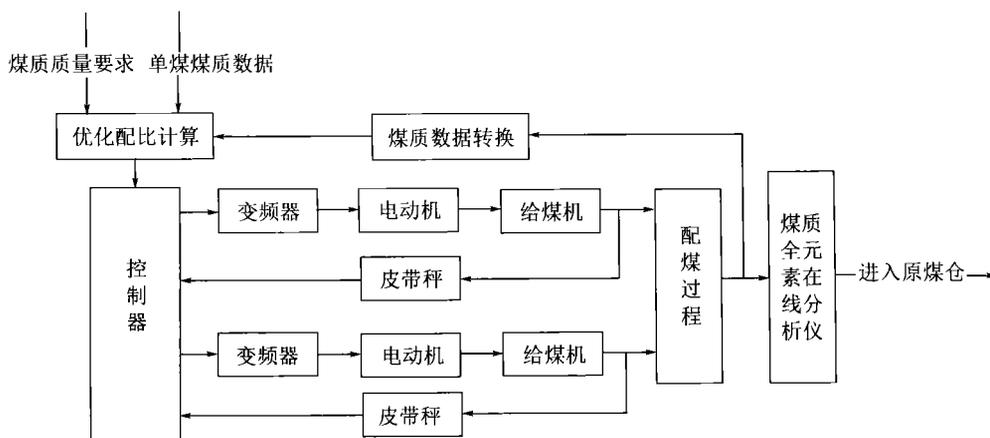


图 2 配煤控制系统回路

PLC 控制器主要实现系统的启动与停止、电机皮带的序控制、变频器的控制、配比的自动控制。此外,为实现配煤流量的精确控制,该控制系统为每个回路设计了 PID 控制器,配比优化模型得出各单煤的最优配比,并将该配比传给 PLC 做为 PID 控制器的设定值,电子皮带秤实时称量给煤机的给煤量,并将该信号反馈给 PLC,作为 PID 控制器的反馈, PID 根据设定值和反馈值进行运算传给变频器以实现流量的精确控制。

### 3.2.2 系统功能设计

根据系统总体设计的要求和过程,系统软件主要包括两部分:组态软件和应用软件。组态软件主要完成控制状态和参数的设置、实时状态监视、历史数据分析、配比管理等。应用软件完成数据通讯、配比计算和配比优化模型等。软件功能图如图 3 所示。

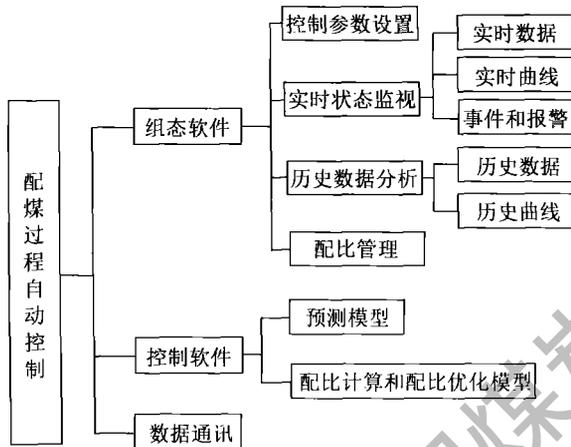


图 3 软件功能图

## 4 结 语

(1)保证了锅炉设计参数与燃煤特性相匹配,

提高了锅炉热效率,节约了煤炭资源;

(2)通过配煤燃烧,实现了燃料的均质化,保证了锅炉安全、高效的运行;

(3)能够充分利用劣质煤和当地现有的煤炭资源;

(4)能够很好的控制煤炭中硫的含量,满足了环保的需求。

### 参考文献:

- [1] 梁景坤. 基于煤质工程分析的动力配煤优化研究 [D]. 保定:华北电力大学, 2004. 1-20.
- [2] 贾风军. 动力配煤技术及其重要意义 [J]. 内蒙古科技与经济, 2006, 18: 127-128.
- [3] 侯静,赵益坤. 动力配煤的数学模型及优化解 [J]. 太原理工大学学报, 2006, 37(4): 486-488.
- [4] 汤龙华,周俊虎,曹道卿,等. 非线性最优化动力配煤技术的研究 [J]. 煤炭学报, 1997, 22(5): 455-459.
- [5] 李建中,周昊,王春林,等. 支持向量机技术在动力配煤中灰熔点预测的应用 [J]. 煤炭学报, 2007, 32(1): 81-84.
- [6] 张文仲,朱华. 改造配煤工艺优化资源配置 [J]. 山东煤炭科技, 2009, 2: 19-21.
- [7] 陈文敏. 动力配煤 [M]. 北京:煤炭工业出版社, 1999. 229-238.
- [8] 宋兆龙,吕震中,陆厚平. 基于中子活化技术的煤炭全元素在线分析系统的研究 [J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(2): 89-92.
- [9] 李冬,王耀才,王致杰,等. 选煤厂自动控制系统 [J]. 中国煤炭, 2005, 31(4): 50-52.
- [10] 李伟,张申. 基于 IFIX 的配煤自动化设计 [J]. 电气传动, 2008, 38(3): 43-45.
- [11] 李超斌. 配煤过程控制与智能优化系统 [D]. 长沙:中南大学, 2007. 9-26.

## Coal blending technology and design of automatic control system

DING Hai-feng, SONG Zhao-long

(School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** Discuss the main technical of the coal blending, conduct a major study of the model and process of coal. Design the automatic coal blending system based on the technology of on-line element analysis on coal, which provides a new approach for automatic coal blending system.

**Key words:** coal blending; the model of coal blending; process of coal blending