

# 变氧量工况下煤粉炉内辐射能检测特性

杨 超, 罗自学, 周怀春

(华中科技大学 煤燃烧国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:** 针对某台 300 MW 双炉膛电站燃煤锅炉, 利用安装在炉本体上的多个 CCD 火焰探头实时拍摄火焰图像, 通过计算机图像处理技术得到反映炉内燃烧工况的辐射能检测值, 同时在 300 MW 和 250 MW 两个稳定负荷变氧量工况下进行炉内辐射能特性检测实验。实验结果表明, 辐射能与氧量信号之间存在着良好的负相关性, 低负荷下负相关系数的绝对值高达 0.9 以上; 辐射能信号超前氧量信号的变化, 超前时间为 30~40 s。

**关 键 词:** 燃煤锅炉; 辐射能; 变氧量; 特性检测; 相关性分析

中图分类号: TK32 文献标识码: A

## 引 言

电站煤粉锅炉炉内辐射能信号能够快速响应入炉煤量及炉内燃烧工况的变化, 在前期仿真研究的基础上辐射能信号开始引入机组 DCS 控制系统<sup>[1~4]</sup>, 并开展了一些初步的控制实验研究<sup>[5~6]</sup>。为了将辐射能持久、有效地引入机组在线控制, 掌握炉内辐射能随机组运行工况变化的规律是其关键。针对炉内辐射能检测与分析已经展开了一些相关研究工作<sup>[7~9]</sup>, 其中文献[8]将辐射能信号与机组负荷之间用最小二乘法拟合为一线性关系过于理想化, 因为炉膛内部燃烧脉动很大, 即使是在某一稳定负荷下辐射能波动也是很大的, 其中一个主要原因是炉内风煤比调整引起炉内氧量变化而造成的<sup>[10]</sup>。

目前对于稳定负荷变氧量工况下煤粉炉内辐射能的检测特性还未见报导, 本文即针对某国产 300 MW 双炉膛电站锅炉两个稳定负荷(300 MW 和 250 MW)进行了变氧量工况实验, 分析辐射能与氧量之间的相关性变化规律。

## 1 辐射能检测及相关性分析方法

### 1.1 辐射能信号检测方法

收稿日期: 2007-05-14; 修订日期: 2007-05-21

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(50636010)

作者简介: 杨 超(1978-)男, 湖南芷江人, 华中科技大学博士研究生

煤粉炉炉内高温烟气与水冷壁之间的换热过程以辐射换热为主, 水冷壁的吸热量等于高温烟气在炉膛内的放热量。辐射能的物理意义是单位水冷壁面积接收到的火焰有效辐射能量, 如果乘上水冷壁面积和角系数, 就等于火焰投射给水冷壁的总辐射能量。

辐射能的计算方法如下: 通过分层布置在炉本体上的多个彩色 CCD 摄像头拍摄多幅火焰图像, 燃烧火焰辐射出来的能量汇聚并在摄像机的 CCD 靶面上成像, 得到反映燃烧火焰辐射能量大小的图像电信号。应用计算机图像处理技术并结合 CCD 摄像头的黑体炉标定系数得到炉内各层辐射能大小, 经加权平均和归一化处理后即可得到反映炉内平均燃烧强度且值域范围为 0~1 之间的辐射能检测值, 具体计算方法可参见文献[8]。

### 1.2 辐射能与热工参数的相关性分析

由样本相关系数定义知, 若  $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$  为来自二维总体的样本, 则样本相关系数  $r$  定义为<sup>[11]</sup>:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

式中:  $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$ 。

取一组辐射能检测值和对应的一组热工参数值作为  $X$  和  $Y$  数据组, 数据组中数据个数为  $N$ , 并各取其中一定时间内的采样数据(采样数据个数为  $n$ )进行相关性分析, 分析时辐射能在时间上分别后移(或前移)0, 1, 2, ...,  $k$  倍采样周期, 再依次同该热工参量求相关系数, 相关系数最大时所取的后移时间(或前移时间)即为辐射能超前(或滞后)该热工参量的时间。

本次实验是在稳定负荷下进行变氧量辐射能特

性检测, 因此选取进行相关性分析的热工参量为氧量值。

### 2 变氧量工况下辐射能特性检测

某国产 300 MW 电站燃煤锅炉为亚临界压力、一次中间再热直流炉, 双炉膛结构、II 型布置, 采用四角切圆直流燃烧方式。在锅炉炉本体上安装了一套炉膛燃烧监控系统, 16 只 CCD 火焰探头分 4 层布置在炉膛角上, 从不同层面实时拍摄炉内火焰图像, A、B 两侧炉膛各安装 8 只, CCD 火焰探头具体安装位置可参见文献[12]。16 幅火焰图像通过视频分割器合成一路模拟视频信号, 经图像采集卡转换为数字图像输入工控机, 根据如前所述的算法, 经工控机处理后分别得到 A、B 炉膛辐射能信号。

因为该机组带基本负荷, 不参与调峰, 因此选择 300 MW 和 250 MW 两个基本负荷进行变氧量工况下的辐射能特性检测实验, 实验期间机组退出 CCS (机炉协调控制) 模式, 机前压力自动调节, 送风风量手动调节, 实验过程中要求燃料量手动调节并尽量保持不变。

辐射能与氧量信号分别作为样本数据  $X$  和  $Y$ , 数据采样周期 6 s。选择数据组个数为  $n$ , 并依次更新, 同时辐射能在时间上相对于氧量信号分别向后移 1~10 个采样周期(即分别后移 6、12、...、60 s), 选取其中最大的一个相关系数, 与此最大相关系数对应的后移时间即为辐射能超前氧量信号的时间。简而言之, 即选取长度为  $n$  的数据窗口, 遍历整个实验数据样本空间, 并求得最大相关系数及与最大相关系数对应的辐射能超前氧量信号时间在整个数据空间的分布。

#### 2.1 300 MW 负荷下检测结果

300 MW 实验工况下负荷与两侧炉膛煤量的参数统计值如表 1 所示, 由表可知负荷稳定在 300 MW 左右, A、B 炉膛煤量虽然在一定范围内波动, 但也分别稳定在 81.8 t/h 与 73.9 t/h 左右, 因此满足实验要求。

表 1 300 MW 负荷工况下热工参量统计值

	负荷/MW	A 炉膛煤量/t·h <sup>-1</sup>	B 炉膛煤量/t·h <sup>-1</sup>
最大值(max)	305.6	85.8	76.3
最小值(min)	295.2	79.0	72.2
平均值(mean)	299.9	81.8	73.9
方差(std)	1.66	1.46	1.04

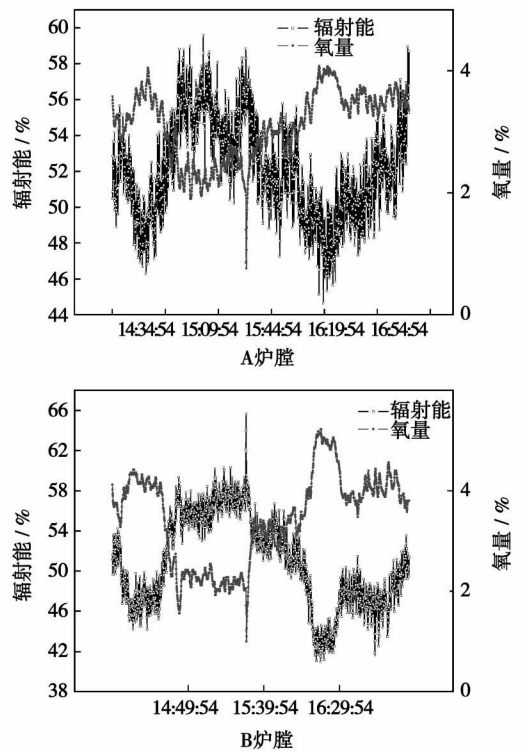


图 1 300 MW 变氧量工况下氧量—辐射能变化趋势

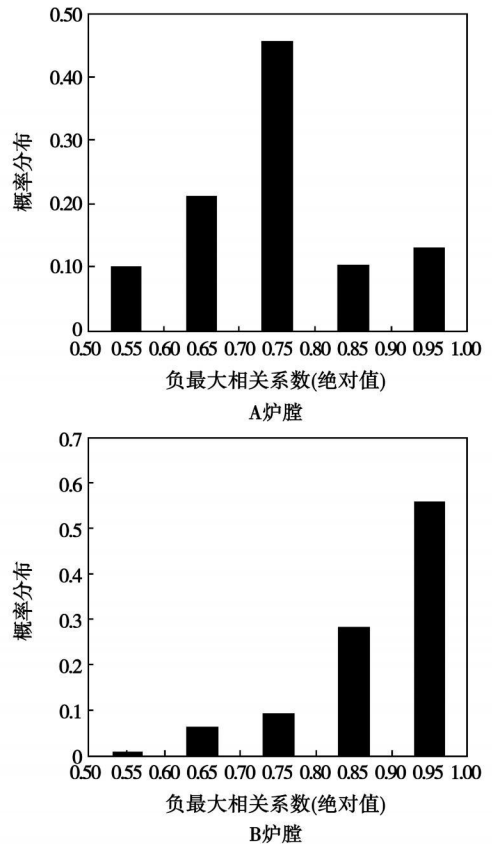


图 2 300 MW 变氧量工况下辐射能—氧量最大相关系数分布概率

300 MW 变氧量实验工况下 A、B 炉膛氧量—辐射能变化趋势如图 1 所示, 实验持续时间为 3 小时 15 分钟, 氧量调整遵循“原氧量—减氧量—恢复氧量—升氧量—恢复氧量”这一过程。由图 1 可知, 无论 A、B 炉膛, 其氧量与辐射能的变化趋势均相反, 两者具有负相关性, 其中 B 炉膛的负相关性更明显。选择数据组数据个数  $n=500$ , 对整段实验数据(整段数据长度  $N=1957$ )进行相关性分析, 实验分析结果如图 2 所示。

由图 2 可知, 以长度  $N=500$  的数据窗口遍历整个实验数据样本空间, A 炉膛辐射能与 A 炉膛氧量所具有的负最大相关系数其绝对值分布在区间  $[0.5, 0.6]$  上的概率为 10.1%, 分布在区间  $[0.6, 0.7]$  上的概率为 21.1%, 分布在区间  $[0.7, 0.8]$  上的概率为 45.6%, 分布在区间  $[0.8, 0.9]$  上的概率为 10.2%, 分布在区间  $[0.9, 1.0]$  上的概率为 13.0%。B 炉膛辐射能与 B 炉膛氧量所具有的负最大相关系数其绝对值分布在区间  $[0.5, 0.6]$  上的概率为 0.7%, 分布在区间  $[0.6, 0.7]$  上的概率为 6.1%, 分布在区间  $[0.7, 0.8]$  上的概率为 9.0%, 分布在区间  $[0.8, 0.9]$  上的概率为 28.3%, 分布在区间  $[0.9, 1.0]$  上的概率为 55.9%。

与最大相关系数对应的辐射能超前氧量变化时间统计结果如表 2 所示, 例如 A 炉膛辐射能超前氧量变化分布概率最大的是 5 个采样周期, 其分布概率为 57.4%, B 炉膛辐射能超前氧量变化分布概率最大的也是 5 个采样周期, 其分布概率为 33.6%。

表 2 300 MW 负荷工况下辐射能超前氧量变化时间概率统计(采样周期为 6 s)

采样周期数	A 炉膛 / %	B 炉膛 / %
4	0	25.4
5	57.4	33.6
6	23.7	20.6
7	14.1	20.4
8	4.8	0

## 2.2 250 MW 负荷下检测结果

表 3 250 MW 负荷工况下热工参量统计值

	负荷 / MW	A 炉膛煤量 / $t \cdot h^{-1}$	B 炉膛煤量 / $t \cdot h^{-1}$
最大值(max)	256.1	70.9	66.9
最小值(min)	248.5	67.1	62.9
平均值(mean)	251.9	69.2	64.9
方差(std)	1.33	1.19	0.95

250 MW 实验工况下负荷与两侧炉膛煤量的参数统计值如表 3 所示, 由表 3 可知负荷稳定在 252 MW 左右, A、B 炉膛煤量虽然在一定范围内波动, 但也分别稳定在 69.2~64.9  $t/h$  之间, 因此满足实验要求。

250 MW 变氧量实验工况下 A、B 炉膛氧量—辐射能变化趋势如图 3 所示, 实验持续时间为 1 h, 氧量调整遵循“原氧量—减氧量—恢复氧量—升氧量—恢复氧量”这一过程。由图 3 可知, 无论 A、B 炉膛, 其氧量与辐射能的变化趋势均相反, 两者具有负相关性, 因为实验持续时间较 300 MW 工况短, 因此选择数据组个数  $n=200$ , 对整段实验数据(整段数据长度  $N=600$ )进行相关性分析, 实验分析结果如图 4 所示。

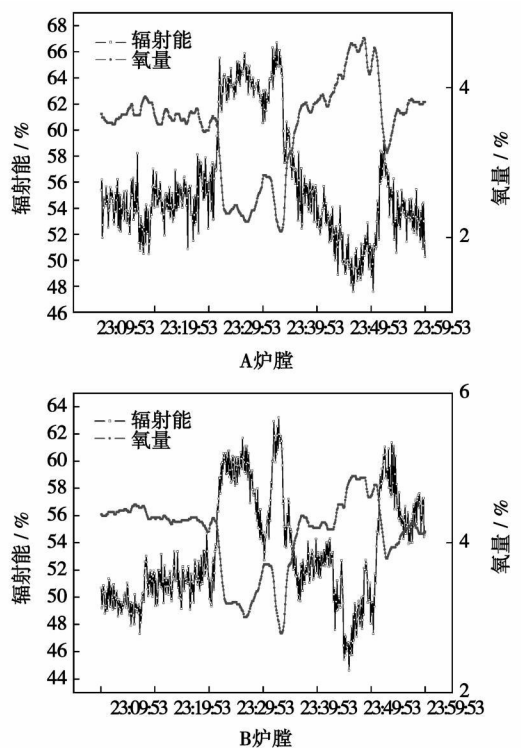


图 3 250 MW 变氧量工况下氧量—辐射能变化趋势

由图 4 可知, 以长度  $N=200$  的数据窗口遍历整个实验数据样本空间, A 炉膛辐射能与 A 炉膛氧量所具有的负最大相关系数其绝对值分布在区间  $[0.6, 0.7]$  上的概率为 4.4%, 分布在区间  $[0.7, 0.8]$  上的概率为 0.8%, 分布在区间  $[0.8, 0.9]$  上的概率为 13.5%, 分布在区间  $[0.9, 1.0]$  上的概率则高达 81.3%。B 炉膛辐射能与 B 炉膛氧量所具有的负最大相关系数其绝对值分布在区间  $[0.7, 0.8]$  上的概率为 4.1%, 分布在区间  $[0.8, 0.9]$  上的概率为

9.2%，分布在区间[0.9, 1.0]上的概率高达 86.7%。

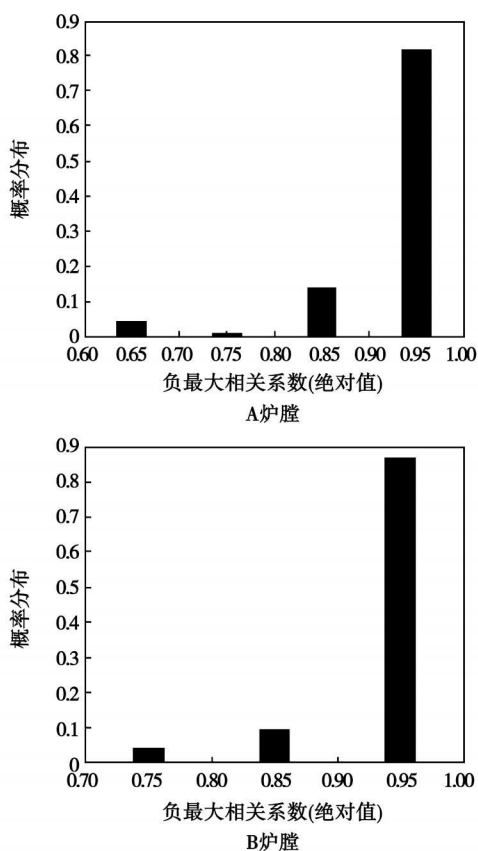


图 4 250 MW 变氧量工况下辐射能—  
氧量最大相关系数分布概况

与最大相关系数对应的辐射能超前氧量变化时间统计结果如表 4 所示，例如 A 炉膛辐射能超前氧量变化分布概率最大的是 7 个采样周期，其分布概率为 58.1%，B 炉膛辐射能超前氧量变化分布概率最大的也是 7 个采样周期，其分布概率为 69.3%。

表 4 250 MW 负荷工况下辐射能超前氧量变化  
时间概率统计(采样周期为 6 s)

采样周期数	A 炉膛/ %	B 炉膛/ %
5	0	6.2
6	41.9	3.8
7	58.1	69.3
8	0	13.8
9	0	6.4
10	0	0.5

### 2.3 检测结果分析

由以上实验结果可知，辐射能信号与氧量信号之间的变化趋势是相反的，两者的实时曲线呈现喇叭

喇叭口形状，存在较强的负相关性，且辐射能信号超前氧量信号变化。例如：由图 1B 炉膛 300 MW 工况下氧量—辐射能变化趋势可知，在 15:25 时刻处当辐射能检测值有一个向上突变值时，氧量信号迟后 30 s 左右马上有一个向下突变值。300 MW 稳定负荷变氧量工况下，A 炉膛辐射能与 A 炉膛氧量之间的最大相关系数平均值为 -0.747，与此相对应的 A 炉膛辐射能超前 A 炉膛氧量的平均时间为 33.9 s，B 炉膛辐射能与 B 炉膛氧量之间的最大相关系数平均值为 -0.887，B 炉膛辐射能超前 B 炉膛氧量的平均时间为 32.2 s；250 MW 稳定负荷变氧量工况下，A 炉膛辐射能与 A 炉膛氧量之间的最大相关系数平均值为 -0.935，A 炉膛辐射能超前 A 炉膛氧量的平均时间为 39.5 s，B 炉膛辐射能与 B 炉膛氧量之间的最大相关系数平均值为 -0.940，B 炉膛辐射能超前 B 炉膛氧量的平均时间为 42.7 s。

辐射能信号超前氧量变化的原因是因为在该电站锅炉中两侧炉膛的氧量计均布置在省煤器出口烟道内，相对于辐射能实时检测整个炉膛火焰燃烧工况而言氧量测量值肯定存在滞后。

值得注意的是为了保持原信号的真实性和本次实验数据未作任何滤波处理，即便如此，辐射能与氧量之间的负相关性仍然很明显，特别是 250 MW 工况下负相关系数绝对值高达 0.9 以上，负荷越低，炉膛火焰稳燃能力越差，而辐射能信号对此提供了有效的检测手段。

### 3 结 论

本文针对某燃煤双炉膛电站锅炉 300 MW 和 250 MW 两个稳定负荷下进行了变氧量工况实验，并对辐射能与氧量信号进行了详细的相关性分析，试验结果表明：辐射能与氧量信号之间存在负相关性，负相关系数的绝对值高达 0.8~0.9，其负相关程度随负荷降低而升高，辐射能超前氧量变化时间为 30~40s，超前时间亦随负荷降低而增加。本次实验可为下一步在稳定负荷下引入辐射能信号进行氧量自适应寻优控制奠定基础。

#### 参考文献:

[1] 周怀春, 娄新生, 尹鹤龄, 等. 采用辐射能信号的电站锅炉燃料调节对象建模及控制仿真研究[J]. 中国电机工程学报, 1996, 16(4): 226-229

[2] 王耀青, 刘 微. 在线调节风/煤比实现经济燃烧控制[J]. 中国电力, 1997, 30(2): 14-19

- [3] HUAICHUN ZHOU, SHISHUAI ZHANG. Monitoring of 2-D combustion temperature images in a 670 t/h Utility Boiler and simulation on its application in combustion control[J]. Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing, 2000, 8(3/4): 311-330.
- [4] 张师帅,周怀春,黄勇理,等.采用辐射能反馈信号的火电单元机组负荷控制系统仿真研究[J].中国电机工程学报,2001,21(2):85-88.
- [5] LUO ZIXUE, ZHOU HUAICHUN. A combustion-monitoring system with 3-D temperature reconstruction based on flame-image processing technique[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2007, 56(5): 1877-1882.
- [6] 黄本元,罗自学,胡光明,等.基于炉膛辐射能信号的主汽温控制试验研究[J].电站系统工程,2006,22(5):21-25.
- [7] 周怀春.炉内火焰可软化检测原理与技术[M].北京:科学出版社,2005.
- [8] 张师帅,周怀春,彭敏,等.基于火焰图像处理的炉膛辐射能信号的检测及分析[J].热能动力工程,2002,17(2):166-168.
- [9] 杨超.电站锅炉双炉膛燃烧火焰图像处理及辐射能检测应用研究[D].武汉:华中科技大学硕士学位论文,2003.
- [10] 马涛,徐向东,王鑫鑫.基于辐射能检测的智能燃烧进化优化系统研究[J].热能动力工程,2004,19(3):281-284.
- [11] 汪胡桢.现代工程数学手册(第IV卷)[M].武汉:华中理工大学出版社,1987.
- [12] 杨超,罗自学,周怀春,等.ZHC-D型双炉膛燃烧监控系统软硬件设计及实现[J].电站系统工程,2006,22(2):55-57.

(编辑 滨)

## 新技术、新机组

## 2003—2007年升级改进的燃气轮机

据《Gas Turbine World》2007—2008年度手册报道,在2003—2007年各国燃气轮机制造者对49型燃气轮机进行了升级改进。

各型燃气轮机在被推出时都是保守地规定其额定值(包括输出功率、效率等),然后在它们使用寿命期间定期地被升级改进,以便增加功率和效率。

通常,在不改变型号名称的情况下利用新技术对老设计做翻修改进。

表列了49型燃气轮机的名称、原机组和改进机组推出的年份、ISO条件下基本负荷额定输出功率、低热值热耗率、功率的增加值和热耗率的降低值(绝对值和百分率值)。

例如,UGT15000功率从15 000 kW增加到17 500 kW(增加16.7%),热耗率降低1.4%;LM2500+功率从27 500 kW增加到30 980 kW(增加12.6%),热耗率降低0.9%;RB211功率从27 500 kW增加到32 100 kW(增加16.7%),热耗率降低7.8%;GT26功率从240 000 kW增加到289 140 kW(增加20.5%),热耗率降低3.5%。

## LM2500+G4燃气轮机可用于旅游船

据《Diesel & Gas Turbine Worldwide》2007年4月号报道,随着GE Marine LM系列燃气轮机生产线的扩大,旅游船的船东和经营者现在可以选择LM2500+G4用于类似的装置并如同LM2500+和LM2500燃气轮机那样使用。

LM2500+G4是LM2500燃气轮机系列最新的变形,是该系列燃气轮机性能改进的功率加大型机组。在ISO条件下,它的输出功率比早先的LM2500+燃气轮机增加17%,达到34 830 kW。

按照GE发布的信息,它的26台航改型燃气轮机在17艘旅游船上已记录了500 000 h运行时间,提供推进和船上服务用的动力。

这些燃气轮机被配置成两种不同型式的装置:16台LM2500燃气轮机用作为COGES(燃气轮机和汽轮机联合的综合电力推进系统)的基础,6台LM2500+和4台LM2500燃气轮机被用于CODAG(柴燃并车使用联合)装置中。

(吉桂明 供稿)

halable particulate matter, particle cluster equilibrium simulation, particle size spectrum

应用局部投影网络预测燃料分级燃烧锅炉的飞灰含碳量= **Forecast of Fly-ash Carbon Content in a Fuel-graded Combustion Boiler by Using a Local Projection Network**[刊, 汉] / ZHU Yu-dong, OU Zong-xian, YAN Wei-ping (Education Ministry Key Laboratory on Power Plant Equipment Condition Monitoring and Control, North China Electric Power University, Baoding, China, Post Code: 071003), WANG Yun-ze (Huadian (Beijing) Thermal Power Co. Ltd., Beijing, China, Post Code: 100055) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(3). — 265 ~ 268

The pulverized coal combustion efficiency of a thermal power plant is reflected in the fuel burn-out degree and can be usually evaluated by way of the fly-ash carbon content of a boiler. A foreknowledge of this parameter is of the utmost importance for fuel-graded combustion optimization, i. e. for assuring a high combustion efficiency of pulverized coal simultaneously with the reduction of  $\text{NO}_x$  emissions, thus enhancing boiler efficiency. Analyzed were the influencing factors of the boiler fly-ash carbon content. By using the specific features of a local projection network (LPN), such as simple structure, quick convergence speed, strong generalization ability and suitability for a non-linear time-variation process, a model for undergoing training and the dynamic prediction of boiler fly-ash carbon content was established and tested by use of the data obtained from boiler hot-state tests. The results show that the model in question has forecast relatively accurately the carbon content of fly ash, thus providing a model basis for the fuel graded-combustion optimization. **Key words:** burn-out rate, carbon content of fly ash, local projection network, fuel gradation, boiler

燃煤过程中亚微米颗粒生成及影响因素的研究= **A Study of the Formation of Submicron Particles in the Process of Coal Combustion and Its Influencing Factors**[刊, 汉] / SUI Jian-cai, LIU Yi (China Power Investment Corporation Yuanda Environment Protection Engineering Co. Ltd., Chongqing, China, Post Code: 400060), XU Ming-hou (National Key Laboratory on Coal Combustion, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074), DU Yun-gui, YIN Guang-zhi (College of Resources and Environment, Chongqing University, Chongqing, China, Post Code: 400044) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(3). — 269 ~ 272

Through a coal combustion experiment in a sedimentation furnace, the formation mechanism of submicron particles in the process of coal combustion has been discussed along with a study of the influence of furnace temperature, pulverized coal particle diameter and oxygen concentration on the formation of submicron particles. During the experiment, Pingdingshan, Liupanshui and Heshan-origin bituminous coal were chosen by the authors with the pulverized coal particle diameters of each kind ranging from 100 to 200  $\mu\text{m}$ , 63 to 100  $\mu\text{m}$  and less than 63  $\mu\text{m}$  respectively. After the pulverized coal has been burned under different conditions, a 13-stage low-pressure impactor was used to collect inhalable particles in different diameters to perform a study. The research results show that the particles with a diameter of less than 0.377  $\mu\text{m}$  are likely to be formed through a gasification-condensation mechanism while the particles with a diameter greater than 0.377  $\mu\text{m}$  are formed through a fragmentation and agglomeration mechanism of mineral substances. With an increase of the furnace temperature, a decrease of pulverized coal diameter and an enhancement of oxygen concentration, the amount of submicron particles produced will increase to various extents. The furnace temperature is the most important influencing factor with the pulverized coal diameter and atmosphere playing a secondary role. **Key words:** coal combustion, submicron particle, formation mechanism, influencing factor

变氧量工况下煤粉炉内辐射能检测特性= **Detection Characteristics of Radiant Energy in a Pulverized Coal-fired Boiler at Variable Oxygen-content Operating Conditions**[刊, 汉] / YANG Chao, LUO Zi-xue, ZHOU Huai-chun (National Key Laboratory on Coal Combustion, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(3). — 273 ~ 277

In a 300 MW double-furnace coal-fired utility boiler, flame images were real-time photographed by making use of several CCD (charge-coupled device) flame probes installed on the boiler proper. Radiant energy detection values re-

flecting in-furnace combustion conditions were obtained by utilizing computer-based image processing technology. The detection tests of in-furnace radiant energy characteristics were carried out at two stable loads, 300 MW and 250 MW, featuring oxygen-content variation conditions. The test results show that there exists a good negative correlation between the radiant energy and oxygen-content signal with the absolute value of the negative correlation coefficient at a low load being higher than 0.9. The change of radiant-energy signal emerged in advance of that of the oxygen content with the time in advance being 30 to 40 seconds. **Key words:** coal-fired boiler, radiant energy, variable oxygen content, characteristic detection, correlation analysis

渐近线型污垢生长的参数特性及测量方法 = **Parameter Characteristics and Measurement Method for Asymptotic Type Fouling Growth** [刊, 汉] / LENG Xue-li, TIAN Mao-cheng, PAN Ji-hong, FAN Ming-xiu (College of Energy Source and Power Engineering, Shandong University, Jinan, China, Post Code: 250061) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(3). — 278 ~ 279

In the light of the specific features of asymptotic type functions, analyzed were the characteristics governing the time constant of asymptotic type fouling growth and the fouling heat-resistance asymptotic value. It is noted that the fouling time constant is in inverse proportion to the logarithm of the ratio of the fouling growth rates obtained from two measurements, and in direct proportion to the time interval of two measurements. The fouling heat-resistance asymptotic value can be expressed by the fouling heat-resistance and fouling growth rate obtained by the second-time measurement and the fouling growth rate obtained by the first-time measurement. The method under discussion can be used to obtain the time constant and heat-resistance asymptotic value of the asymptotic type fouling in its growth process, thus saving experiment time. It is an improvement on the heat-resistance method for measuring fouling growth process and at the same time is suitable for the forecast of asymptotic type fouling growth process. **Key words:** fouling parameter, measurement method, forecast method

半焦气力输送模型及在煤拔头中试装置中的应用 = **A Semi-coke Pneumatic Transmission Model and its Applications in a Coal-topping Pilot Plant** [刊, 汉] / ZHAO Guang-bo, ZHAO Dan-ni, QIN Ming, WANG Wen-yu (College of Energy Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(3). — 280 ~ 284

A one-dimensional mathematical model was established for a semi-coke pneumatic transmission system. In this connection, a variety of semi-coke pneumatic transmission processes were taken into account. They include: solid particle movement, convection and radiation heat exchange between gas and solid, precipitation and combustion of residual volatile component in semi-coke, combustion of coke, reduction of CO<sub>2</sub> on the coke surface and combustion of CO in gas phase etc. The pilot plant of coal topping and its systematic configuration were described, and the model thus established was used to numerically simulate the material transmission and distribution system. A variety of parameters in the semi-coke transmission process were obtained, including sectional gas-solid average speed, en route pressure loss and gas-solid two-phase temperature etc., providing guidance for the running of the pilot plant. The calculation results show that in the semi-coke pneumatic transmission process, the combustion of coke can be neglected. The combustion of volatile component can lead to an increase of gas temperature from 180 °C to 800 °C. An increase of gas speed will increase the pressure loss. In the meanwhile, it can also result in a serious wear and tear of pipes. Hence, a variable tube-diameter transmission method is recommended for the pilot-plant test. **Key words:** coal topping, semi-coke, pneumatic transmission, numerical simulation

炉管泄漏的声学特性研究 = **A Study of Acoustic Characteristics of Leakage from Boiler Tubes** [刊, 汉] / ZHANG Xiao-dong (College of Energy Source and Power Engineering, North China Electric Power University, Beijing, China, Post Code: 102206), CHEN Dong-hui (Clyde Beigemann Huatong Material Handling Co. Ltd., Beijing, China, Post Code: 100035), DU Yun-gui (CPI Yuanda Environmental Protection Engineering Co. Ltd., Chongqing, China, Post Code: 400060) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(3). — 285 ~ 287