

可调式煤粉分配器冷态模化试验及理论分析

周云龙¹, 高绥强¹, 史洪启²

(1. 东北电力学院 动力系, 吉林省 吉林市 132012; 2. 吉林电力科学研究所, 吉林省 吉林市 130024)

摘要: 提出了一种新型可调式煤粉分配器, 在煤粉分配器理论分析的基础上, 对煤粉分配器进行了大量试验研究, 结果表明: 这种新型的煤粉分配器通过叶栅角度的改变来调整锅炉的燃烧是可行的。

关键词: 煤粉分配器; 实验研究; 叶片可调节

中图分类号: TK229.6⁺3 文献标识码: A

1 前言

对于采用风扇磨直吹式制粉系统的大容量煤粉锅炉, 一旦其燃用煤种不符合设计要求, 或者调峰幅度过大, 更会带来着火延迟、燃烧不稳和机械不完全燃烧损失增加等问题, 从而降低锅炉的燃烧效率, 严重时还会影响电厂的安全运行^[1~2]。上述问题主要出在锅炉制粉系统的煤粉分配器上, 这就要求煤粉分配器能适应这种变化及时做出调整。作者针对上述问题, 提出一种结构新颖的煤粉分配器—可调式煤粉分配器, 它具有在基本不改变上中下各次风粉量和浓度的情况下, 有效地改变一次风的煤粉粒度分布, 从而为解决因煤种和负荷变化引起的锅炉燃烧问题提出了一种有效的新方法。

2 试验系统和方法

冷态模化试验系统请参阅文献[3]。可调式煤粉分配器本体和叶片结构如图1所示, 其中煤粉分配器出口端与上中下各一次风的入口管相连, 入口端与惯性式粗粉分离器的出口端相连, 调节叶片是有5mm厚的钢板加工而成的, 然后通过连接杆按照设计要求焊接在一起, 在通过导向杆与煤粉分配器本体外部带有刻度盘的调节手柄相连。试验介质为煤粉和碳化硅。

为了工程上的方便, 可调节煤粉分配器模型的主要结构参数以无量纲的形式给出:

(1) 调节叶栅个数 $n = 2, 3$

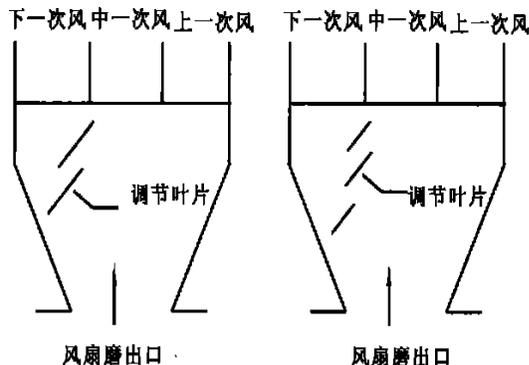


图1 试验模型结构示意图

(2) 叶片垂直距离与分配器当量直径之比 $L_1/D = 0.129, n = 2; L_1/D = 0.29, n = 3$

(3) 叶片水平距离与分配器入口截面当量直径之比 $L_2/D = 0.22, n = 2; L_2/D = 0.0926, n = 3$

(4) 叶片宽度与分配器入口截面当量之比 $B/D = 0.259, n = 2; B/D = 0.185, n = 3$

(5) 叶片倾角 $\alpha = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ, 45^\circ$

3 试验结果与分析

3.1 叶片倾角 α 的变化对各一次风粉细度 R_x 的影响 α 与 R_{450} 和 R_{200} 的关系曲线如图2~图5所示,

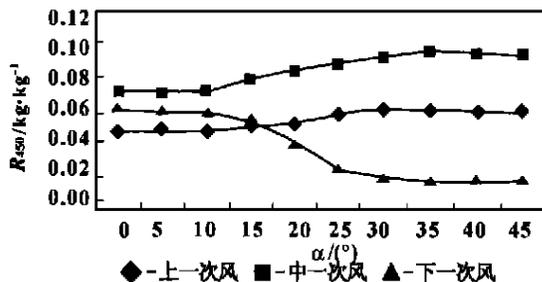


图2 两片叶栅时 α 对煤粉 R_{450} 的影响

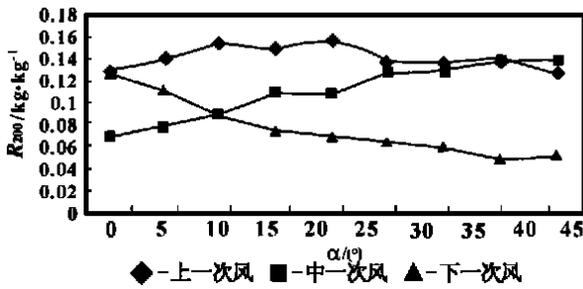


图 3 两片叶栅时 α 对碳化硅 R_{200} 的影响

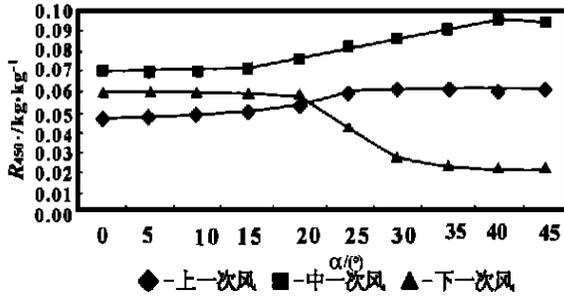


图 4 三片叶栅时 α 对煤粉 R_{450} 的影响

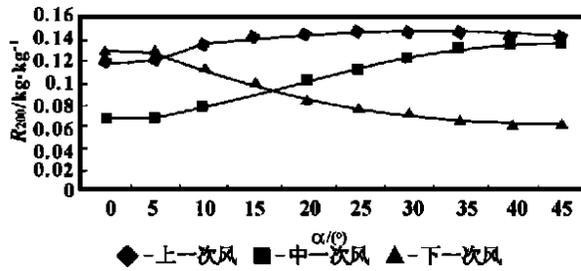


图 5 三片叶栅时 α 对碳化硅 R_{200} 的影响

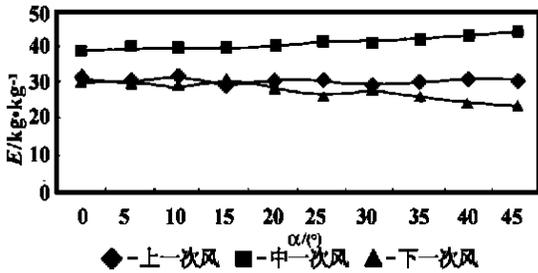


图 6 两片叶栅时 α 对各一次风煤粉质量分配的影响

从图中可以看出, 随着叶片角度的增大, 下一次风大颗粒百分比含量的变化是比较显著的。但同时也看到, 对于叶栅数取为 3 片和 2 片时, 其对下一次风大颗粒的影响趋势虽然相近, 但总的来说没有两片的效果明显。这主要是由于对气流的扰动和流通截面随倾角变化率不同的缘故。对于两种试验介质来说由于碳化硅的密度大于煤粉的密度, 而其平均粒径

又小于煤粉。所以它的下一次风中大颗粒对叶片倾角的变化要比煤粉更明显, 几乎没有延迟。

另外, 从试验中发现叶片倾角 α 的变化对各一次风小颗粒的影响不是很明显, 也就是说对于微细颗粒, 叶片对气流的绕动基本不起作用。

3.2 叶片倾角 α 的变化对各一次风粉质量分配 E 的影响

图 6 ~ 图 9 为叶片倾角 α 与单位时间各一次风粉质量分配的关系曲线, 由图可见, 叶片倾角 α 的变化对各一次风煤粉质量分配的影响总的来说是不大的。上一次风基本保持不变, 随着 α 的增大, 中一次风略有增加, 下一次风略有降低。

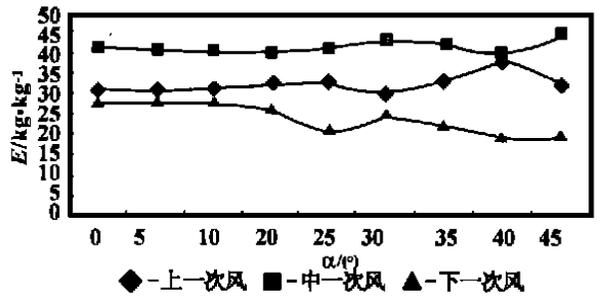


图 7 两片叶栅时 α 对各一次风碳化硅质量分配的影响

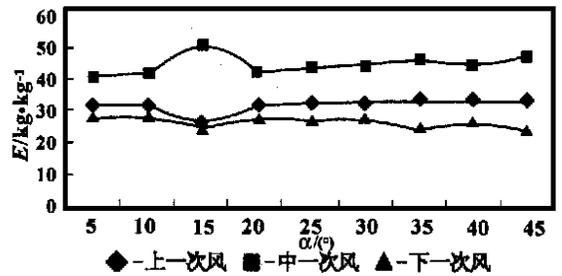


图 8 三片叶栅时 α 对各一次风煤粉质量分配的影响

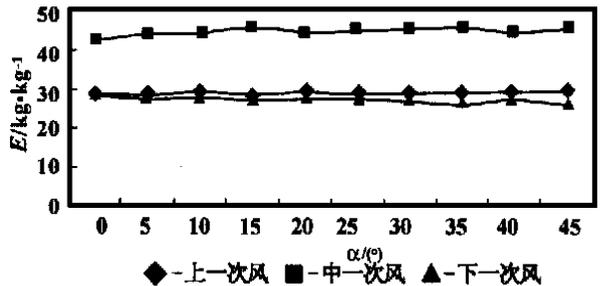


图 9 三片叶栅时 α 对各一次风碳化硅质量分配的影响

3.3 叶片倾角 α 的变化对各一次风粉浓度 C_w 的影

响

图10 ~ 图13为 α 与各次风粉浓度的关系曲线,

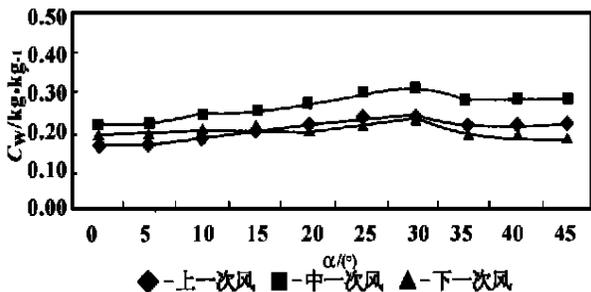


图10 两片叶栅时 α 对各一次风煤粉浓度的影响

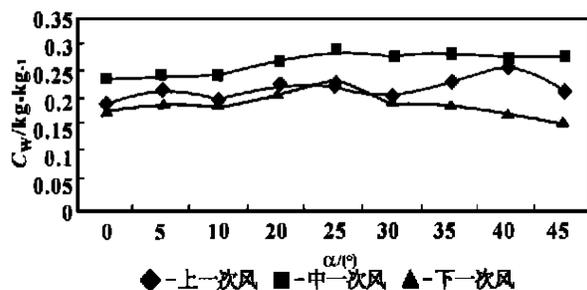


图11 两片叶栅时 α 对各一次风碳化硅浓度的影响

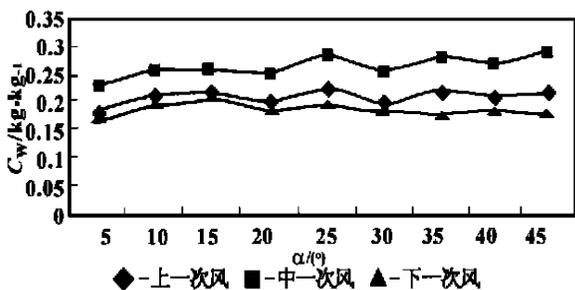


图12 三片叶栅时 α 对各一次风煤粉浓度的影响

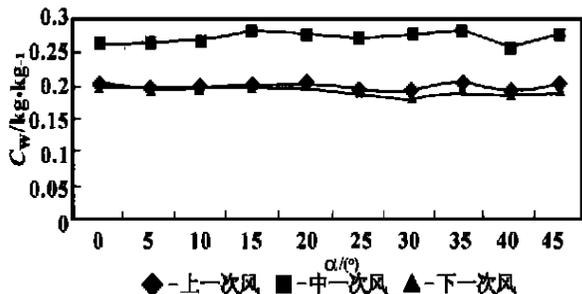


图13 三片叶栅时 α 对各一次风碳化硅浓度的影响

从图中可以看出, 叶片倾角 α 的变化对各一次风粉

浓度是有一定影响的。国内外研究表明, 煤粉浓度对锅炉燃烧的稳定及安全有着比较大的影响, 适当提高煤粉浓度, 可降低煤粉着火热和着火温度, 加强卷吸高温烟气的能力, 从而使着火加速, 缩短着火距离, 有助于形成稳定的火源, 提高燃烧的稳定性的^[4]。

3.4 叶片倾角 α 的变化对各一次风粉均匀系数 n 的影响

从图14和图15中可以看出, 随着叶片倾角的增加, 刚开始均匀系数变化不大。当叶片倾角 α 大于15度时, 由于下一次风大颗粒含量的减少, 其均匀系统开始逐渐增加, 当叶片倾角达到30度左右时达到最大值。其后, 随着叶片倾角 α 的增加, 当叶片数为2片时, 其值基本保持不变, 叶片数为3片时, 其值开始逐渐减小。

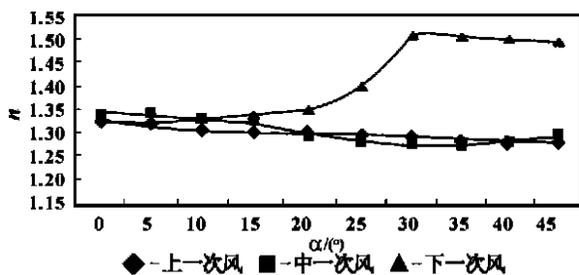


图14 两片叶栅时 α 对各一次风煤粉均匀系数的影响

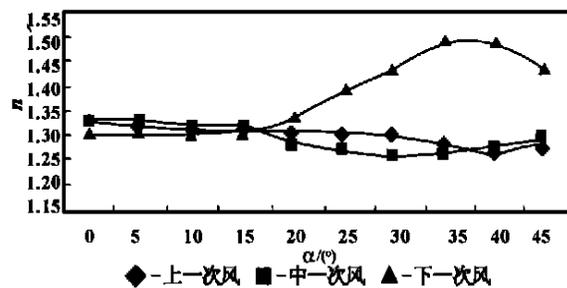


图15 三片叶栅时 α 对各一次风煤粉均匀系数的影响

美国CE公司的研究表明, 即使小于 $74 \mu\text{m}$ 的细粉占的百分比很大, 并且细粉的燃烧工况非常完美, 但只要有3%左右的大于 $300 \mu\text{m}$ 的粗粒, 就会导致炉内结渣, 并增加不完全燃烧热损失。吉林电力科学研究所的试验结果也表明^[1]: 下一次风煤粉浓度、大颗粒含量和均匀度对炉底捞渣机里漂浮的未燃尽煤粉数量有着直接的影响, 而三者中大颗粒的含量的多少占主要地位, 也就是说当粗煤分离器选型一定时, 下一次风中大颗粒的含量过多是造成炉

底捞渣机里漂浮的未燃尽煤粉最大的主要原因。由此可以看出,少量的尤其是下一次风中的大颗粒对燃烧的影响是非常大的,但从燃烧面积来说,要把少量的大于 $300 \mu\text{m}$ 的颗粒全部磨碎至小于 $300 \mu\text{m}$ 而大于 $74 \mu\text{m}$ 时,增加的表面积是非常小的,而煤粉过细即会影响磨煤机出力,又会使制粉电耗陡增,这是现场所不能接受的,我们从以上的试验结果直观分析可以看出,无论固体粒子是煤粉还是碳化硅,该分配器对下一次风中的大颗粒含量的减少都是显著的。它能在基本不改变磨煤机出力,保持原有锅炉上中下各一次风燃料分配的情况下,当叶片数为两片时,提高下一次风粉粒度分布均匀性系数最高达 13.6%,减少下一次风大颗粒的煤粉的煤粉含量最高达 61%,减少下一次风大颗粒的碳化硅含量最高达 54%。另外,当叶片的倾角大于某一值时,在对下一次风大颗粒含量的影响上,叶片数为两片和三片的效果差别是不大的。不过从试验数据的总体,尤其是从试验段阻力来看,叶片数两片的效果比三片的好。总之,该型煤粉分配器能根据锅炉燃烧煤种的变化来调整其运行工况,减少由于煤种的变化对锅炉燃烧带来的负面影响,即这种新型的煤粉分配器通过叶片角度的改变来调整锅炉燃烧的方法是可行的。

4 可调式煤粉分配器工作机理的分析

由于至今对固体粒子在紊流气流中运动的理论分析还尚不够完善,为简便起见,可将固体粒子颗粒在煤粉分配器内的运动情况从作用在粒子上力的大小及其对粒子运动的影响大小上来进行分析。

在靠近煤粉分配器调节叶片的四周,由于叶片的存在必然导致在这一区域内的气流在流经叶片边缘时,气流便产生折向回转。因此在回转气流中,飞灰颗粒速度与气流速度不仅大小不同,方向也不同。当气固混合物通过叶片间隙时,虽然气流由垂直向上运动变为回转运动,但其运动能量基本保持不变,从能量形式上都属于自由涡流^[5]。

设回转气流切向分速度为 V_t , 径向分速度为 V_r , 回转半径为 r , 则回转气流一般表达式为:

$$V_t \cdot r^N = C_0 \quad (1)$$

式中: N 为回转指数, N 值由流场测试确定,一般 N 小于或等于 1。 C_0 为常数。

固体颗粒在回转气流中,由于气流的突然转向而使其主要受到离心力、空气曳引力的作用^[9]。当少

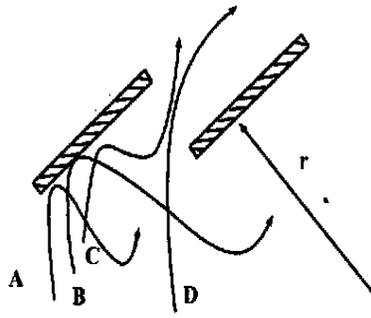


图 16 固体颗粒在叶片回转气流中的运动轨迹

量的固体颗粒粒径相对较大,其惯性力较大,回转半径相应也较大,此时离心力对粒子运动起主导作用,而空气曳引力对颗粒运动的影响相对较小。因此,受到较大离心力的颗粒被抛出主流,沿垂直方向撞向叶片后改变运动方向,向中上一次风运动,此时颗粒运动轨迹如图 16 中 A 线、B 线所示。而对于细小颗粒,由于其粒径较小,因此细小的颗粒将随着主流通过叶片间进入下一次风道,其运动轨迹如图 16 中的 C 线、D 线所示,并且随着叶片倾角的增加,气流回转半径减小,逃逸出空气主流的粒子半径也将减小,这就是可调式煤粉分配器的工作原理。

下面分别就上述各种力的作用从理论上加以分析。首先,设速度为 V_s 的固体颗粒在速度为 V_g 的回转气流中运动,则作用在固体颗粒上的离心力为:

$$F_a = (\rho_s - \rho_g) \frac{\pi d_s^3}{6} \cdot \frac{V_{st}^2}{r} \quad (2)$$

式中: V_{st} 为粒子的切向速度, ρ_s 为粒子密度, ρ_g 为气体密度, d_s 为飞灰颗粒当量直径, V_{st}^2/r 为粒子离心加速度。

对空气曳引力而言,作用在颗粒上的空气曳引力的表达式为:

$$F_r = C_s \frac{\pi d_s^2}{4} \frac{\rho_g (V_{gr} - V_{sr})^2}{2} \quad (3)$$

其中: V_{gr} 为空气径向速度, V_{sr} 为粒子径向速度。

为了比较固体颗粒在回转气流的运动中,究竟上述两种力中那一种力相对起的作用较大,在此引入离心系数这一参数,它的物理意义就是作用在飞灰颗粒上的离心力同空气曳引力的比值,其公式为:

$$\sigma = \frac{(\rho_s - \rho_g) \frac{\pi d_s^2}{6} \frac{V_{st}^2}{r}}{C_s \frac{\pi d_s^2}{4} \frac{\rho_g (V_{gr} - V_{sr})^2}{2}} \quad (4)$$

进一步化简得:

$$\sigma = \frac{4d_s V_t^2}{3C_s (V_{gr} - V_{sr})^2} \left(\frac{\rho_s}{\rho_g} - 1 \right) \quad (5)$$

从公式中可以看到, 颗粒阻力系数和两相速度差越小, 气固密度比和粒子直径越大, 则离心系数越大, 也就是说越不容易随气流一同折向穿过叶片间进入下一次风道, 因此离心系数是可调式煤粉分配器工作性能的一个重要指标。

5 结论

(1) 对可调式煤粉分配器进行了机理分析, 表明离心系数是可调式煤粉分配器工作性能的一个重要指标。

(2) 通过试验表明, 该分配器对下一次风中的大颗粒含量的减少都是显著的。它能在基本不改变磨煤机出力, 保持原有锅炉上中下各一次风燃料分配的情况下, 当叶片数为两片时, 提高下一次风粉粒度分布均匀性系数最高达 13.6%。减少下一次风大颗粒的煤粉的煤粉含量最高达 61%, 减少下一次风大颗粒的碳化硅含量最高达 54%。

(3) 煤粉分配器能根据锅炉燃烧煤种的变化来调整其运行工况, 减少由于煤种的变化对锅炉燃烧带来的负面影响, 即这种新型的煤粉分配器通过叶片角度的改变来调整锅炉燃烧的方法是可行。

参考文献:

- [1] 史洪启. 双辽发电厂二号炉燃烧调整试验[R]. 吉林: 吉林电力科学研究所, 1998.
- [2] 苗长信, 李凯, 李建生. 鳍片分离式浓淡燃烧器的开发与应用[J]. 热能动力工程, 1997, 12(6): 448-451.
- [3] 高绥强. 可调式煤粉分配器的冷态模化实验研究[D]. 吉林: 东北电力学院, 1998.
- [4] 徐明厚. 一维炉高浓度煤粉试验研究[J]. 工程热物理学报, 1993, 14(2): 214-218.
- [5] 李公博, 温龙. 塔型飞灰浓缩器分离机理的探讨[J]. 热能动力工程, 1997, 12(2): 86-90.
- [6] YARIN L P, HETSRONI G. Turbulence intensity in dilute two-phase flow—1, effect of particle-size distribution on the turbulence of the carrier fluid[J]. *Int J Multiphase Flow*, 1994 20(1): 1-15.

(何静芳 编辑)

(上接第 249 页)

减小; 浓度增加, 液滴平均直径 SMD 增加。对于本喷嘴, q 在 0.05 ~ 0.3 的范围内可获得良好的雾化效果。

(3) 随着测量位置距喷嘴出口距离的增大, 雾化平均粒径 SMD 增加。这主要是因为不同粒径的液滴具有不同的射程, 大直径液滴的射程较远所致。

(4) 颗粒粒径的径向分布规律是随着径向距离的增大, 雾化粒径先增大后减小, 在雾炬外边界雾化粒径趋于零。

(5) 该喷嘴在气耗率 q 大于 0.05 即可获得满意的雾化效果, 雾化粒径在 20 ~ 100 μm 范围内。因此可以认为, 该 Y 型喷嘴具有较好的性能, 在半干法烟气脱硫领域具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] MASTERS K. Spray drying handbook[M]. George Godwin Limited, 1986.
- [2] WAIZEL P. Liquid atomization[J]. *International Chemical Engineering* 1993, 33(1): 46-60.
- [3] 王乃宁. FAM 激光测粒仪[J]. 上海机械学院学报, 1990, 12(2): 1-10.
- [4] 刘治国. 脱硫后排烟对烟筒的影响及半干法烟气脱硫的实验研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2000.
- [5] TSAI S C, GHAZMORAD K, VIERS B. Airblast atomization of micronized coal slimes using twin-fluid jet atomizer[J]. *Fuel*, 1991, 170: 483-490.

(何静芳 编辑)

欢迎订购《热能动力工程》

avoidance of abrupt rise in wall temperature, thus contributing to a relatively high operation safety. **Key words:** segregation type heat pipe, small-diameter spiral tube, average heat exchange factor, critical heat flux density

石灰浆液雾化喷嘴及其特性研究= **The Study of a Lime Slurry Atomization Nozzle and Its Characteristics** [刊, 汉] / WANG Nai-hua, GAO Xiang, LUO Zhong-yang, et al (Thermal Energy Engineering Research Institute under the Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang Province, China, Post Code: 310027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(3). — 247 ~ 249, 254

An experimental study was conducted of the atomization characteristics of a Y-shaped twin-fluid nozzle used for lime slurry atomization. An analysis was performed of the various factors liable to influence the atomization angle and the distribution of Sauter mean diameter (SMD) of the atomized spray drop. An empiric formula for predicting spray-drop average diameter has also been obtained. The results of the study indicate that the nozzle under investigation features low power consumption and high atomization effectiveness, making it especially suitable for flue gas desulfurization based on a semi-dry method. **Key words:** nozzle, atomization characteristics

可调式煤粉分配器冷态模化试验及理论分析= **Cold Modeling Test and Theoretical Analysis of an Adjustable Pulverized-coal Distribution Device** [刊, 汉] / ZHOU Yun-long, GAO Shui-qiang (Power Engineering Department, Northeast Electric Power Institute, Jilin, Jilin Province, China, Post Code: 132012), SHI Hong-qi (Jilin Research Institute of Electric Power Science, Changchun, Jilin Province, China, Post Code: 130024) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(3). — 250 ~ 254

Proposed in this paper is a new type of adjustable pulverized-coal distribution device. Based on a theoretical analysis of the pulverized-coal distribution device the authors have conducted an in-depth experimental investigation. The investigation results have confirmed the feasibility of this new type of pulverized-coal distribution device, which regulates the combustion process of a boiler through a blade angle change of the distribution device. **Key words:** pulverized coal distribution device, experimental study

电站锅炉燃气脉冲除灰过程研究= **A Study of Gas Pulsation-based Ash Removal Process in Utility Boilers** [刊, 汉] / FAN Wei-jun, SUN Wen-chao, WU Cheng-kang (Beijing Astronautics and Aeronautics University, Beijing, China, Post Code: 100083) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(3). — 255 ~ 258, 277

The burning of huge amount of inferior-quality unwashed coals in Chinese utility boilers has led to serious boiler ash-deposit and related fouling problems. The latter can result in a reduction of boiler thermal efficiency and cause the clogging of the boiler rear flue pass, thus affecting the normal operation of the boiler. The gas pulsation-based ash removal technology was developed by the combustion lab of a Mechanics Research Institute under the Chinese Academy of Sciences. Its use on 30-plus large-sized utility boilers has proved to be very effective. In the present paper the study results of the above-cited technology are reported. They cover a variety of aspects. These include the influence of furnace configuration and fuel on the flame propagation and pressure pulses, the measurement by the use of pressure sensors of the gas pulse pressure distribution at the outlet flow field, and the observation of gas pulse intensity and its action range. In addition, also touched upon were the vibration measurement of ash deposit plate with the help of a vibration sensor and the variation of vibration accelerations at various spatial locations. From the above one can readily gain a better understanding of the mechanism of the gas pulsation-based ash removal action. **Key words:** gas pulsation, explosive burning, soot blower

煤焦再燃过程中催化剂对 NO 还原的影响= **The Effect of Catalysts on NO Reduction during the Reburning of Coal Chars** [刊, 汉] / ZHONG Bei-jing, SHI Wei-wei, FU Wei-biao (Engineering Mechanics Department, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(3). — 259 ~ 262, 274

With three kinds of coal char made from Xianglongtan lignite, Fulaerki lignite and Datong bituminous coal serving as re-burning coals a study was conducted of the effect of these coal chars on the process of NO reduction in the reburning zone. Also analyzed was the effect of metallic oxides in the coal ash on the NO reduction. To study the catalytic action of