

# 不同动态叶片倾角下动静态分离器的试验研究

杨龙滨<sup>1</sup>, 吴少华<sup>1</sup>, 邱朋华<sup>1</sup>, 高振森<sup>2</sup>

(1. 哈尔滨工业大学燃烧工程研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001;  
2. 黑龙江科技学院洁净煤技术研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150027)

**摘要:**介绍了研究动静态分离器性能的试验装置,使用煤粉为物料,对分离器在不同动态叶片倾角和不同转子转速下进行了试验研究。通过对试验结果的整理分析,发现动态叶片倾角为  $45^\circ$  时分离器的综合性能最好,  $R_{45}$  可以达到 3.95%, 此时综合分离效率为 55.32%, 阻力损失为 846 Pa。动态叶片倾角和转子转速增加都会使分离器出口煤粉变细, 而综合分离效率存在最高值, 阻力损失则存在着最低值。

**关键词:**煤粉分离器; 气固流动; 试验研究

中图分类号: TK223.2 文献标识码: A

## 引 言

再燃低  $NO_x$  燃烧技术又称为燃料分级或炉内还原技术,它是降低  $NO_x$  排放的诸多炉内方法中最有效的措施之一,在国外的很多电站锅炉上已经取得成功的应用。在煤粉再燃过程中,煤颗粒粒径越细小,其升温速率就越高,热分解发生也越早,释放出的挥发份也越多。在相同条件下,较细的煤粉能够释放出更多的挥发份,有较高的  $NO$  还原效率<sup>[1]</sup>。因此,将煤粉超细化后,其反应活性好,燃尽效果优于常规煤粉,所以超细化煤粉再燃低  $NO_x$  技术符合我国以煤为主的能源结构<sup>[2~4]</sup>。同时,有实验结果表明,再燃燃料量占主燃料的 20% 左右时可以获得良好的再燃效果<sup>[5]</sup>。

为了获得足够的合格超细化煤粉,制备煤粉的磨煤机所配用的粗粉分离器是关键部件之一。采用动静态煤粉分离器作为粗粉分离器,出口煤粉细度可调,煤粉均匀性好<sup>[6]</sup>,比较适合制备超细化煤粉。本文在下述的一套试验装置上研究了不同转子叶片倾角下动静态煤粉分离器的分离性能。

## 1 试验装置及方法

整个试验系统如图 1 所示,为负压运行系统。

给粉装置前进风管道上的笛型管用于测量系统风量。物料从料仓中通过螺旋给粉机供给,在拉法尔喷嘴处与气流混合,被气流携带送往动静态煤粉分离器。两相气流从动静态煤粉分离器下部进入,到达分离区域后,首先经过沿周向均匀布置的 30 片静态叶片(叶片倾角为  $45^\circ$ ),然后再经过沿周向均匀布置的 60 片动态叶片(叶片倾角为  $\alpha$ ),最后由分离器顶部离开。叶片布置可如图 2 所示。分离出来的粗物料落到分离器内筒后通过粗粉排出口排出。经过分离的两相气流通过风机进入布袋除尘器,物料被布袋除尘器捕集,由布袋除尘器下部的排料口排出,空气则直接排向大气。

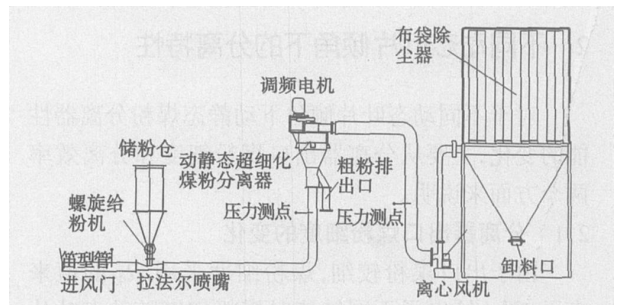


图 1 试验系统简图

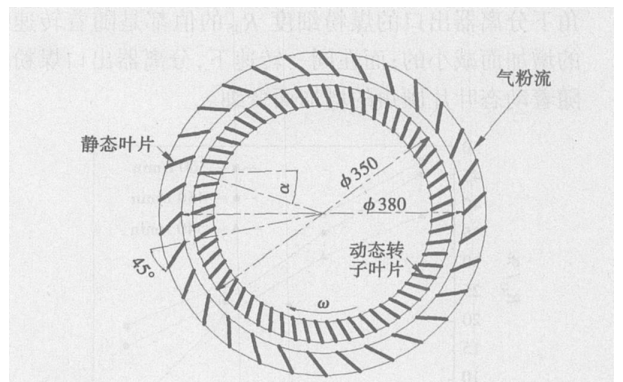


图 2 叶片布置示意图( $\alpha$ —动态叶片倾角)

收稿日期: 2006-07-27; 修订日期: 2006-09-19

基金项目: 国家“十五”“863”计划基金资助项目(2002AA527051)

作者简介: 杨龙滨(1974—)男,黑龙江双城人,哈尔滨工业大学博士研究生

为了使试验更接近于工业实际应用, 直接使用煤粉进行试验, 用法国生产的 CILAS 1064 型激光粒度分析仪对煤粉粒度进行测量, 给粉粒度分布如图 3 所示。用皮托管和 U 型差压计对分离器进出口压力进行测量, 在测量处采用等截面积加权平均法, 截面上取四个测量点<sup>[7]</sup>。试验中系统风量保持在  $1\ 263\ \text{m}^3/\text{h}$ , 动态转子转速分别为 360、450 和 540 r/min 三个值, 动态叶片倾角  $\alpha$  分别取为  $0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$  和  $45^\circ$  四个角度。

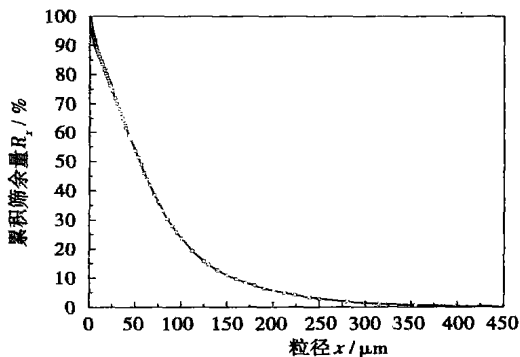


图 3 给粉粒度分布

## 2 不同动态叶片倾角下的分离特性

对于不同动态叶片倾角下动静态煤粉分离器性能的变化, 主要从分离器出口煤粉细度和分离效率两个方面来说明。

### 2.1 分离器出口煤粉细度的变化

由于出口煤粉较细, 煤粉细度采用  $R_{45}$  的值来表示, 图 4 给出了不同转速时煤粉细度随动态叶片倾角的变化。从图 4 中可以看出, 四个动态叶片倾角下分离器出口的煤粉细度  $R_{45}$  的值都是随着转速的增加而减小的; 而在同一转速下, 分离器出口煤粉随着动态叶片倾角的增加而变细。

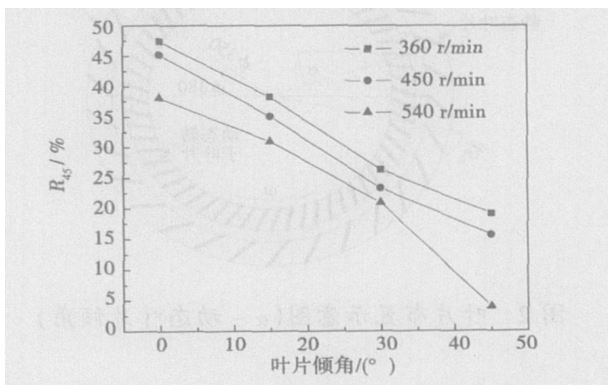


图 4 煤粉细度随叶片倾角的变化

煤粉颗粒在分离区中被分离的原理有两方面: 一方面煤粉颗粒与旋转叶片发生碰撞, 从而飞逸出分离区; 另一方面, 分离区中的颗粒受到气流曳引产生的向心力和叶片产生的离心力的作用, 当离心力大于向心力时, 颗粒飞逸出分离区, 在涡流中旋力作用下, 将粗颗粒从气粉流中分离出去。因此, 分离器结构确定后, 即当动态叶片倾角一定时, 转速是影响煤粉细度的主要因素, 可以通过调节转速来控制离心力的大小, 从而控制分离器出口煤粉细度<sup>[8-9]</sup>。而当动态叶片倾角增加时, 会使煤粉气流需要绕流转子叶片才能穿过转子, 将会造成煤粉颗粒与旋转叶片发生碰撞的频率增加, 使得更多颗粒被分离了出去; 同时, 在颗粒绕流叶片的时候会使自身受到的离心作用增强, 因此这两个因素使得叶片倾角增加时分离器出口煤粉细度  $R_{45}$  的值降低。试验中煤粉细度  $R_{45}$  最低可达到 3.95%。

### 2.2 分离效率的变化

采用综合分离效率  $\eta$  来评判分离器的分离性能, 它是细粉分离效率减去粗粉分离效率的值。其中, 细粉分离效率指分离器出口煤粉中小于  $R_{45}$  煤粉量与分离器的入口煤粉中小于  $R_{45}$  煤粉量的百分比, 粗粉分离效率指分离器出口煤粉中大于  $R_{45}$  煤粉量与分离器入口煤粉中大于  $R_{45}$  煤粉量的百分比, 但它们只是分别表达了分离器对细粉和粗粉的分离状况, 所以用综合分离效率才能准确地反映分离器的性能。图 5 给出了不同转速时综合分离效率随动态叶片倾角的变化。

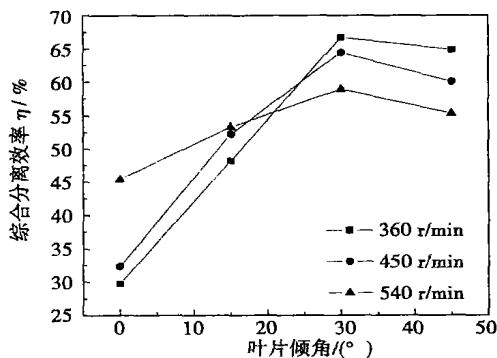


图 5 综合分离效率随叶片倾角的变化

从图 5 的试验结果可以看出, 各转速下综合分离效率都是在动态叶片倾角为  $30^\circ$  时最大, 可以达到 66.7%; 而大叶片倾角 ( $30^\circ$  和  $45^\circ$ ) 时综合效率随着转速增加而降低, 综合分离效率的变化是因为粗粉和细粉在不同条件下有着不同的分离表现, 从而

引起粗、粉分离效率的变化。当动态叶片倾角和转子转速增加时, 对于粗颗粒的分离, 有利的方面是颗粒受到的离心力增强同时叶片击打到颗粒的频率增加, 其中击打频率的提高对分离粗颗粒起了很大的作用; 不利的方面是气流穿过转子的流通通道变窄, 气流径向速度增加, 同时叶片倾角和转速的增加会使得分离区的湍流程度加强, 颗粒受到涡流裹挟而不能被分离出来的概率增加。对于小于  $45 \mu\text{m}$  的颗粒, 对气流的跟随性很好, 虽然叶片倾角和转子转速增加可以增强它的分离, 但不如对粗颗粒的影响明显。因此可知, 相同转速下, 动态叶片倾角增大加强了对大颗粒的分离作用, 尤其是在低转速的时候效果更加明显; 在大叶片倾角时, 综合分离效率随着转速增加而降低主要是对大颗粒的分离效果变差引起的。

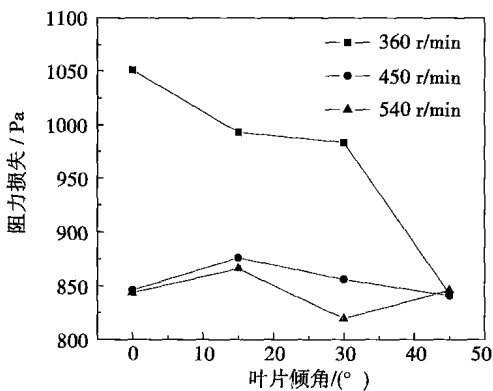


图 6 两相阻力损失随叶片倾角的变化

### 3 不同动态叶片倾角下的阻力特性

为了满足测量的要求, 压力测点均设置在分离器进出口的垂直管段上<sup>[7]</sup>。图 6 给出了试验中分离器的两相阻力情况。引起旋转分离器内部阻力损失的最主要的因素是离心力场的作用产生的压差损失、转子与气粉流碰撞所产生的碰撞损失以及由于转子带动气粉流旋转形成漩涡流场损失<sup>[10]</sup>。在图 6 中可以看到, 随着转速增加, 两相阻力损失是下降的, 这是因为, 虽然漩涡流场损失增加了, 但是由于通过转子的颗粒量减少了, 碰撞损失却是下降了, 所以阻力随转速增加而变化时会下降, 而对于  $45^\circ$  叶片倾角, 阻力损失随转速的变化在  $450 \text{ r/min}$  下是最低的, 说明当碰撞损失减小到一定程度后总的阻力损失还会增加, 即对应于每个动态叶片倾角均会存在着一个对应最小阻力损失的转速值。对于不同转速

下阻力损失随着动态叶片倾角的变化可以看到, 阻力损失的变化规律不尽相同, 就是因为引起阻力损失的因素在不同条件下的变化各不相同造成的, 总的来说,  $45^\circ$  叶片倾角下的阻力损失相对较低。由于这里的阻力除了分离器本体产生的外还包括有弯头和管段变异等造成的其它损失, 所以阻力值比较大。

### 4 结 论

通过对动静态转子分离器在不同动态叶片倾角和不同转子转速下的试验研究, 得到以下几点结论:

(1)  $45^\circ$  叶片倾角下分离器出口煤粉细度最低, 综合分离效率较高, 阻力损失较低, 综合比较来看, 对于需要煤粉较细的情况下是最好的动态叶片倾角角度。

(2) 在相同分离器转子转速下, 随着动态叶片倾角增加, 分离器出口煤粉变细; 综合分离效率增加, 在  $30^\circ$  叶片倾角时最大, 随后有所下降; 阻力损失则是在不同的转速下变化有所不同, 大叶片倾角下的阻力损失较低。

(3) 当动态叶片倾角固定时, 转子转速增加可以使分离器出口煤粉变细, 使较小叶片倾角下的分离器综合分离效率提高, 但在大叶片倾角时却使综合分离效率降低。阻力损失随着转子转速增加存在着一个最低值。

### 参考文献:

- [1] 刘 忠, 阎维平, 高正阳, 等. 超细煤粉的细度对再燃还原 NO 的影响[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(10): 204-208.
- [2] 吴少华, 刘 辉, 姜秀民, 等. 采用超细煤粉再燃技术降低氮氧化物排放[J]. 中国电力, 2003, 36(2): 1-4.
- [3] SMOOT L D, HILL S G, XU H.  $\text{NO}_x$  control through reburning[J]. Progress in Energy and Combustion Science, 1998, 24(5): 385-408.
- [4] 郑巧生. 天然气再燃——一种低成本的  $\text{NO}_x$  控制技术[J]. 锅炉技术, 1995(9): 23-27, 29.
- [5] 李 戈, 师东波, 池作和, 等. 煤粉再燃还原 NO 的实验研究[J]. 电站系统工程, 2004, 20(1): 44-46.
- [6] 肖 杰, 董正岗, 石江陵, 等. 静动叶结合型旋转式粗粉分离器在南京热电厂的应用[J]. 中国电力, 2002, 35(1): 74-76.
- [7] 岑可法. 锅炉燃烧试验研究方法 & 测量技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987.
- [8] 孔文俊, 栾庆富, 张晓梅, 等. MPS 磨静动叶片结合组合式旋转分离器性能的评价[J]. 电站系统工程, 1995, 11(4): 56-59, 26.
- [9] 孔文俊, 程尚模, 栾庆富. 组合式旋转分离器的试验研究[J]. 动力工程, 1996, 16(6): 50-54.
- [10] 娄新生, 张明春, 孔文俊, 等. MPS 磨煤机旋转分离器两相阻力特性的试验研究[J]. 热能动力工程, 1996, 11(3): 143-146.

(编辑 辉)

status quo of seal systems of race pulverizers is described with the causes of pulverized-coal leakage being pinpointed and corresponding modification schemes proposed. In the meantime, a contrast analysis is conducted of two cases, i. e. before and after the modification of the pulverizer. Through the modification, the air and pulverized-coal leakage phenomena have been effectively eliminated with the working environment being improved and operation cost-effectiveness enhanced. Therefore, it is of major significance to conduct a modification of the seal system for the race pulverizer. **Key words:** boiler milling system, race pulverizer, pulverized-coal leakage, seal system modification

不同动态叶片倾角下动静态分离器的试验研究 = **Experimental Study of a Static/Dynamic Pulverized Coal Separator with Different Dynamic Blade Inclination Angles**[刊, 汉] / YANG Long-bin, WU Shao-hua, QIU Peng-hua (Combustion Engineering Research Institute under Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001), GAO Zhen-sen (Clean Coal Technology Research Center under Heilongjiang College of Science and Technology, Harbin, China, Post Code: 150027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(2). — 187 ~ 189

A test stand to determine the performance of a dynamic/static rotor separator is described. An experimental study has been conducted of the separator at different dynamic blade inclination angles and rotor rotating speeds with pulverized coal serving as a raw material. Through a sorting-out and analysis of the test results, it has been found that the separator has a best comprehensive performance when its dynamic blade inclination angle is set at 45 degrees. In such a case,  $R_{45}$  can be as high as 3.95% with the comprehensive separation efficiency being 55.32% and the resistance head 846 Pa. An increase of the dynamic blade inclination angle and rotor rotating speed can both increase the fineness of the pulverized coal at the outlet of the separator. Furthermore, there exists a maximal value of the comprehensive separation efficiency but there is a minimal value for the resistance head. **Key words:** pulverized coal, separator, gas-solid flow, experimental study

连续螺旋折流板管壳式换热器动态特性研究及预测 = **A Study and Forecast of Dynamic Characteristics of Heat Exchangers with Continuous Spiral Baffle Plates**[刊, 汉] / WU Feng, WANG Qiu-wang, Chen Qiu-yang, et al (National Key Laboratory on Multiple-phase Flow in Power Engineering under Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(2). — 190 ~ 196

A system has been established to conduct the experimental study of dynamic characteristics of shell-and-tube heat exchangers. Through experimental methods, an experimental study has been performed of the dynamic characteristics of heat exchangers with continuous spiral baffle plates, which have water and oil to serve as heat exchange working media. With the inlet flow disturbance representing equal percentage flow rate characteristics, studied were the dynamic responses to water and oil temperature at the outlet in four modes of flow rate disturbance. In the meantime, the effect of fluid disturbing quantity on the temperature rise at heat exchanger inlet and outlet at a certain  $Re$  number was also studied with a correlation equation between the temperature rise at the inlet and outlet of the heat exchanger and fluid disturbing quantity being obtained. The tests show that the dynamic response to the temperature of a liquid-liquid heat exchange system needs a comparatively long time. It has been found through the study that under a disturbance with a positive or negative flow rate, the change of temperature at the inlet and outlet of spiral-baffle plate heat exchangers assumes a linear relationship and the variation curve featuring temperature rise at the inlet and outlet has a symmetric feature at a positive or negative flow rate disturbance. A finite-difference numerical forecast model and artificial neural network one have been established respectively to dynamically forecast the outlet temperature at the heat exchanger oil side. The forecast results are in good agreement with the test values. The forecast results obtained from the neural network is better than those from the numerical simulation with the absolute value of the deviation being less than 1.3%, indicating that artificial neural network has a definite merit for engineering reference and applications when performing the discrimination of complicated systems. **Key words:** shell-and-tube heat exchanger, continuous spiral baffle plate, dynamic characteristics, numerical forecast, artificial neural network, dynamic forecast

换热器可靠性三维热-力耦合概率有限元模拟 = **Three Dimensional Thermal-mechanical Coupled Probability-based Finite Element Simulation of Heat Exchanger Reliability**[刊, 汉] / LIU Tong, LIU Min-shan, DONG Qi-wu