

# 叶片转动角度对百叶窗浓缩器性能的影响

孙绍增, 王志强, 姜文龙, 张晓辉

(哈尔滨工业大学 燃烧工程研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001)

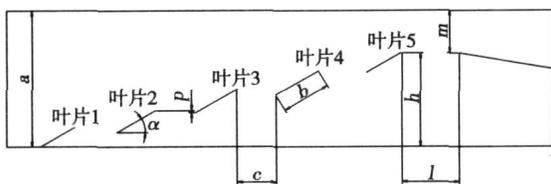
**摘 要:** 利用百叶窗浓缩器实验系统研究了 5 级叶片的转动角度对其性能参数(浓淡风比、阻力损失系数和平均浓缩率)的影响。通过对各级叶片转动不同角度实验结果的分析, 得出了其性能参数随叶片转动角度改变的变化情况; 在各级叶片转角中, 阻力系数最大的工况为 5 级叶片全部为  $30^\circ$ ; 浓淡风比最大的工况是第一级~第四级叶片角度为  $30^\circ$ , 第五级叶片为  $20^\circ$ ; 浓缩率最大的工况为 5 级叶片全部为  $30^\circ$ 。

**关 键 词:** 百叶窗浓缩器; 浓淡风比; 阻力损失系数; 平均浓缩率

中图分类号: TK224 文献标识码: A

## 引 言

对于直流燃烧器, 煤粉浓缩主要靠气流转弯的离心力和偏流装置的导向作用, 常用的浓缩方法有: 百叶窗浓缩器、旋风分离、管道转弯分离、偏流导向、螺旋板等<sup>1~4</sup>, 其中百叶窗水平浓淡煤粉燃烧器以其高效、稳燃、防结渣、低污染和防水冷壁高温腐蚀等优点取得了良好的工业应用效果<sup>[5~8]</sup>。



a—浓缩器宽度; b—叶片长度; c—叶片间距;  $\alpha$ —叶片倾角;  
p—叶片遮盖高度; h—阻塞高度; l—分体长度; m—分流挡板开度

图 1 百叶窗浓缩器结构原理图

为实现水平浓淡燃烧, 将一次风分成浓淡两股, 专门开发了百叶窗煤粉浓缩器, 如图 1 所示, 它可以用较小的阻力将一次风气流分成浓度不同的两股气流。它结构简单, 易磨损的叶片可以采用陶瓷材料, 且易于更换。在改造现有锅炉时, 可用它取代部分一次风管道, 不改变燃烧器外形尺寸。根据需要, 可

以控制浓淡两侧的煤粉浓度, 也可以控制两股气流的风量。对于低挥发分的燃料, 可以将浓侧的煤粉浓度提高一倍。部分叶片可做成可调节的转动叶片, 以具有良好的调节性能, 本文拟对 5 级叶片百叶窗浓缩器的叶片转动进行实验研究, 为完善燃烧器设计做些探讨。

## 1 百叶窗浓缩器实验系统及性能参数

百叶窗气固两相实验采用负压引风系统(进行单相实验时运行鼓风机, 进行气固两相实验时运行引风机), 所用空气由引风机供给, 实验用玻璃微珠由螺旋给粉机供给, 玻璃微珠进入给料口后, 经过足够的加速混合后进入浓缩器实验段, 浓缩器实验段垂直布置, 固体颗粒经过浓缩器浓缩后分别进入浓淡两侧风道, 在两侧风道上布置动压测点, 测量仪器采用笛形管。气固两相流体经过两侧风道进入旋风除尘器, 进行固体颗粒的回收, 最后颗粒从两侧集尘罐中回收称重。实验段长度 780 mm, 宽度为 200 mm; 根据相似模化原理, 百叶窗浓缩器内的流速进入自模区, 气流速度为 20 m/s。百叶窗浓缩器实验台示意图如图 2 所示。

百叶窗浓缩器实验系统具有以下的特点: 百叶窗组件便于调节; 给粉采用螺旋给粉机, 可以保证给粉连续、均匀, 降低阻力; 通过阀门调节, 在保证风量比接近单相实验的情况下, 可以保证浓淡两侧阻力平衡, 很好地模拟大空间射流; 单相实验中, 气流直接射入大气, 能够严格保证浓缩器进出口静压的平衡; 实验采用笛形管(利用标准毕托管采用网格法进行标定)进行气固两相流的测量, 保证测量的精度, 但每次实验前要对笛形管进行吹粉, 清除笛形管的堵粉。

百叶窗浓缩器的性能主要通过 3 个参数来评定: 浓淡风比  $R_1$ 、总阻力损失系数  $D$ 、平均浓缩率  $R_2$ 。浓

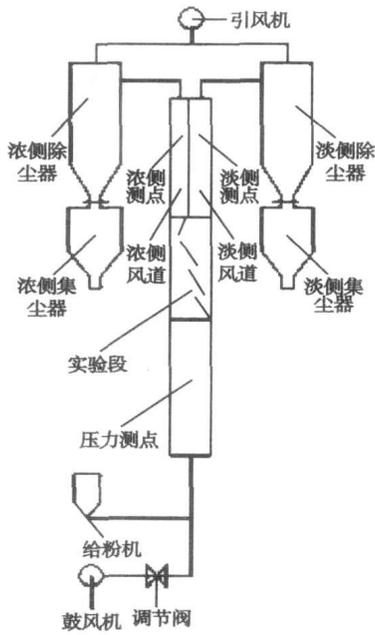


图 2 百叶窗浓缩器实验台示意图

淡风比反映出浓淡两侧空气流量分配的均匀程度,  $R_1$  过大会使浓侧气流流量过大, 将稀释浓缩器的浓缩效果, 浓缩器结构上应保证浓淡风比适当, 一般在  $R_1=1$  较好。总阻力损失系数反映了空气和煤粉经过浓缩器后需要克服多大的阻力。平均浓缩率反映了煤粉浓缩器对煤粉气流中颗粒浓度提高作用的强弱。这里存在平均浓缩率和局部浓缩率之分, 对于局部浓缩率则指流场内某个位置上的煤粉浓度与入口煤粉浓度的比值, 可反映出煤粉颗粒局部浓度提高的程度, 寻找最佳煤粉浓度。

浓淡风比:

$$R_1 = Q_n / Q_d \tag{1}$$

式中:  $Q_n$ —浓侧出口气流体积流量;  $Q_d$ —淡侧出口气流体积流量。

总阻力损失系数:

$$D = \Delta p_j / (\rho U_{in}^2 / 2) \tag{2}$$

式中:  $\Delta p_j$ —浓缩器进出口静压差;  $\rho U_{in}^2 / 2$ —气流入口动压。

平均浓缩率:

$$R_2 = C_p / C_0 \tag{3}$$

式中:  $C_p$ —浓侧出口平均煤粉浓度;  $C_0$ —入口平均煤粉浓度。

## 2 实验结果及讨论

### 2.1 末级叶片转动的影响

拟对 5 级叶片百叶窗浓缩器的叶片转动(叶片的转动角度的大小是各级叶片和水平平面的夹角大小)进行实验研究。验证了在前 4 级叶片保持  $30^\circ$  不变的情况下, 末级叶片倾角在  $0 \sim 40^\circ$  之间变化时百叶窗浓缩器性能指标的变化。

图 3 给出了末级叶片转动角度对浓淡风比的影响。从图中的实验数据可以看出: 浓淡风比随着叶片转动角度的变化呈现“抛物线”型变化; 形成“抛物线”型变化的原因是当末级叶片转动角度变大时, 末级叶片的喉口减小而且高于挡板, 从而增大了浓侧的阻力, 使很多气流绕流到了淡侧, 因此  $R_1$  很小。当末级叶片在  $0^\circ$  时,  $R_1$  的值为 0.755 6, 其值比较小。末级叶片虽然转动角度为  $0^\circ$ , 但是气流经过前面 4 级叶片的导流作用后, 对最终的浓淡两侧风量分布有很大的影响, 从而影响浓淡风比的大小。从  $0^\circ$  开始, 随着倾角的增大,  $R_1$  基本上呈线性增加, 说明在这个范围内, 叶片对气流的影响加大。但是, 当叶片转动角度增大到  $30^\circ$  时, 浓淡风比又降了下来。在所有工况中  $30^\circ$  是一个特殊的工况, 因为角度小于它的工况, 叶片组的总高度小于挡板高度, 而大于  $30^\circ$  的工况, 叶片组的总高度大于挡板高度。当末级叶片转动角度在  $40^\circ$  的情况时, 浓淡风比达到最低值为 0.725 1。

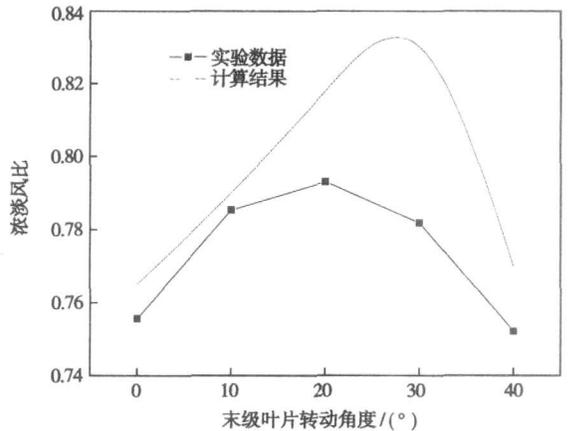


图 3 末级叶片转动角度对浓淡风比的影响

从图 3 的实验结果得出结论: 末级叶片转角对浓淡风比  $R_1$  的影响以  $20^\circ$  为界限, 在小于  $20^\circ$  时, 随着角度的增加,  $R_1$  加大, 而大于  $20^\circ$  时随着角度的增加,  $R_1$  降低。从图中的模拟结果来分析: 浓淡风比的变化趋势和实验结果一致; 当末级叶片转动角度在  $28^\circ$  时, 浓淡风比达到最大值为 0.832; 而偏转角度超过  $10^\circ$  以后, 实验结果与计算结果有些差异, 产生差异的原因除了模型的简化对计算结果产生的误差以外, 就是颗

粒入口边界条件可能存在着差异, 在保证数值模拟时进口颗粒的速度大小直接在入口处设定, 而实验过程中颗粒的速度大小通过尾部的引风机实现, 颗粒进入给料口后经过足够的加速混合后进入浓缩器试验段, 颗粒速度的差异可能引起实验结果与计算结果的差异。

图 4 给出了阻力系数随末级叶片转动角度变化的趋势。随着末级叶片倾角的变化, 末级叶片与前一级叶片之间的叶片间距比、遮盖度以及阻塞比这些参数都发生了改变, 末级叶片后面涡的大小和形状也随之发生了变化<sup>[9]</sup>, 所以引起阻力损失的气流绕流损失、浓侧喉口节流损失及叶片后的涡损失等都发生了较大的变化。各种损失变化的综合结果是随着末级叶片倾角的增大, 百叶窗浓缩器的阻力损失系数呈增大的趋势; 当末级叶片转动角度在 30° 情况时, 阻力系数  $D$  达到最大值为 2.232, 但是叶片转动角度大于 30° 时, 阻力系数有所降低。对比图中的实验结果与计算结果分析, 当末级叶片转角小于 30° 时, 则二者相差不多。

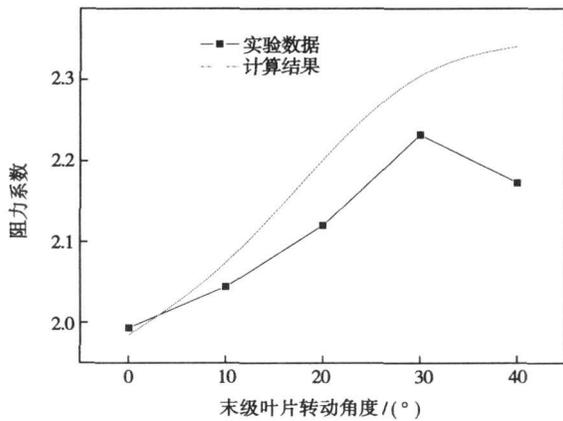


图 4 末级叶片转动角度对阻力系数的影响

图 5 为末级叶片转动角度对浓缩率影响的实验结果,  $R_2$  随着末级叶片张角的增大而增大, 因为颗粒与气流的分离作用主要靠颗粒和叶片表面碰撞反弹造成, 反弹使靠近叶片的颗粒不能绕过叶片, 只能回到远离叶片的浓侧气流。因而末级叶片张角的增加, 使固体颗粒与叶片表面的碰撞反弹作用加强, 从而加强了分离效率。当末级叶片转角小于 30°, 浓缩率基本呈线性变化, 末级叶片转角达到 40°, 浓缩率从 1.75 增大到 1.81; 从图中的实验结果与计算结果对比来看差异较大, 值得进一步深入研究。

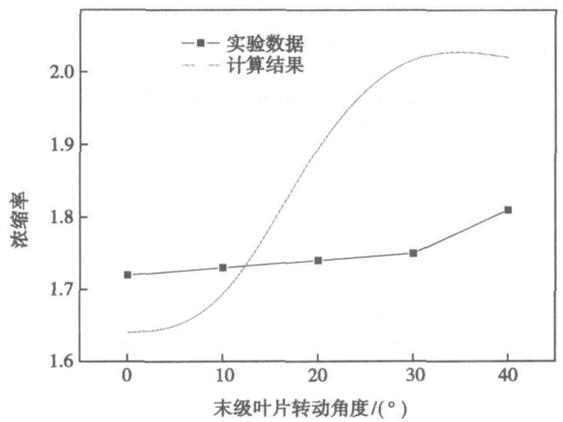


图 5 末级叶片转动角度对浓缩率的影响

### 2.2 叶片转动的正交实验研究影响

为了验证各级叶片转动角度对浓缩器的各项性能参数的影响, 实验设计了一组正交实验, 实验工况及结果如表 1 所示。在正交实验分析中, 为了考察各个因素水平对实验结果的影响, 主要采用方差分析方法, 正交实验的方差分析基本上可以反映各个因素对各个性能指标的影响程度。

表 1 叶片转动角度正交实验工况及结果

叶片一	叶片二	叶片三	叶片四	叶片五	阻力系数	浓淡风比	浓缩率
0	0	0	0	0	1.302 1	0.641 0	1.029 7
0	10	10	10	10	1.544 2	0.695 9	1.094
0	20	20	20	20	1.710 2	0.750 5	1.528 4
0	30	30	30	30	1.931 6	0.750 8	1.758
10	0	10	20	30	1.646 5	0.707 7	1.286 6
10	10	0	30	20	1.629 1	0.738 3	1.303 7
10	20	30	0	10	1.679 6	0.738 4	1.393 7
10	30	20	10	0	1.680 9	0.724 8	1.401 2
20	0	20	30	10	1.676 0	0.728 3	1.479 8
20	10	30	20	0	1.719 7	0.730 8	1.472 4
20	20	0	10	30	1.707 3	0.711 2	1.347 4
20	30	10	0	20	1.680 7	0.756 8	1.394 7
30	0	30	10	20	1.685 2	0.760 5	1.333 2
30	10	20	0	30	1.736 1	0.722 3	1.506
30	20	10	30	0	1.715 8	0.763 6	1.536 8
30	30	0	20	10	1.690 3	0.742 8	1.415 5

各级叶片转角对浓淡风比影响的正交实验结果方差分析如表 2 所示; 在 5 级叶片中, 第一级、第二级、第五级叶片是占优因子, 第四级叶片有一定影响, 第三级叶片的影响最不显著。其中浓淡风比最大的工况是第一级~第四级叶片角度为 30°, 第五级叶片

为 20°。正好证明了末级叶片转角实验中出现的末级叶片在 20°时,浓淡风比最大这一实验结果。

表 2 叶片转动角度浓淡风比实验结果方差

	方差结果
第一级叶片转角	4.75
第二级叶片转角	4.75
第三级叶片转角	1
第四级叶片转角	1.95
第五级叶片转角	4.75

各级叶片转角对阻力系数影响的正交实验结果方差分析如表 3 所示:第三级及第五级叶片是比较大的,第二级和第四级叶片有一定影响,第一级叶片影响最不显著。从正交分析中得出,阻力系数最大的工况为 5 级叶片全部为 30°。

表 3 叶片转动角度总阻力系数实验结果方差

	方差结果
第一级叶片转角	0.94
第二级叶片转角	1.067
第三级叶片转角	1.6
第四级叶片转角	1.18
第五级叶片转角	1.39

各级叶片转动角度对浓缩率影响的正交实验结果如表 4 所示:第三级叶片影响显著,第二级和第四级叶片有一定的影响,第一级和第五级叶片的转角对浓缩率的影响不是很显著。对比分析各级叶片转角的浓缩率变化,浓缩率最大的工况为 5 级叶片全部为 30°。

表 4 叶片转动角度浓缩率实验结果方差

	方差结果
第一级叶片转角	0.89
第二级叶片转角	4.13
第三级叶片转角	5.02
第四级叶片转角	3.62
第五级叶片转角	1.11

### 3 结 论

(1) 末级叶片转动的实验结果表明,浓缩率随着角度的增大而增大;浓淡风比和阻力系数则先增大后降低,20°时浓淡风比最大,30°时阻力系数最大。

(2) 叶片转动正交试验表明,各级叶片转动对浓淡风比的影响结果为:在 5 级叶片中,第一级、第二

级、第五级叶片是占优因子,第四级叶片有一定影响,第三级叶片的影响最不显著。在对阻力系数的影响中,第三级及第五级叶片是占优因子,第二级和第四级叶片有一定影响,第一级影响最不显著。对浓缩率影响结果中,第三级叶片影响显著,第二级和第四级叶片有一定影响,第一级和第五级叶片的转角对浓缩率的影响不显著。

(3) 在各级叶片转角中,阻力系数最大的工况为 5 级叶片全部为 30°。浓淡风比最大的工况是第一级~第四级叶片角度为 30°,第五级叶片为 20°。浓缩率最大的工况为 5 级叶片全部为 30°。

### 参 考 文 献:

- [1] 时黎明,马春元.煤粉浓缩器阻力特性试验研究[J].热能动力工程,1999,14(4):256-259.
- [2] 孙 锐,孙绍增.煤粉浓缩器内气固两相流动特性的数值模拟[J].机械工程学报,2004,40(3):35-39.
- [3] 范卫东,吴少华.百叶窗煤粉浓缩器浓缩效果的理论分析[J].哈尔滨工业大学学报,1997,29(5):65-69.
- [4] 吴少华,孙绍增.水平浓淡煤粉燃烧器关键技术的试验研究[J].动力工程,1999,19(2):14-18.
- [5] 朱群益,秦裕琨.水平浓淡煤粉燃烧器低负载稳态性能的试验研究[J].动力工程,2003,23(2):2400-2403.
- [6] 聂其红,孙绍增.新型水平浓淡风低 NO<sub>x</sub> 煤粉燃烧器在贫煤锅炉的应用研究[J].中国电机工程学报,2002,22(7):155-159.
- [7] 吴少华,李争起.低 NO<sub>x</sub> 排放的“风包粉”浓淡煤粉燃烧技术[J].机械工程学报,2002,58(1):108-111.
- [8] 韩才元,袁建伟.火焰稳定和弯管浓缩煤粉浓淡燃烧研究[J].中国电机工程学报,1997,17(4):274-277.
- [9] 杨龙滨.单级叶片倾角对百叶窗浓缩器分离特性影响的工业试验[J].热能动力工程,2003,18(5):501-504.

(编辑 渠 源)

### · 书 讯 ·

## MIXPC 涡轮增压系统 研究与优化设计

MIXPC 涡轮增压系统是作者潜心研究开发、具有自主知识产权的科研成果,该系统已在 12 种舰船、机车、发电、油田等大功率柴油机上使用,取得了良好的技术、经济效益,并有进一步推广的前景。本书论述了 MIXPC 涡轮增压系统的原理、仿真模拟计算、优化设计及试验实例,并运用了大量设计方案、计算资料与试验结果。

读者对象:相关专业研究人员、工程技术人员,高校相关专业研究生。

2006 年 6 月出版

热工多变量动态过程主导因素的确定 = **Determination of Major Factors Influencing the Dynamic Process of Thermodynamic Multivariables**[刊, 汉] / ZHANG Xiao-tao, WANG Ai-jun, WANG Ji-dong (College of Electric Power under the North China University of Water Conservancy and Hydropower, Zhengzhou, China, Post Code: 450008), NI Wei-dou (Thermal Energy Department of the Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(4). — 414 ~ 417

The multivariate statistical analysis can be applied to the monitoring and control of a process. The main variant analytic method and multivariable statistical calculation can be used to determine the major factors influencing the dynamic process of thermodynamic multivariables. In the light of the operating mechanism of a machine unit, the relevant process variables that cause a change of the main monitoring and control variables were determined, the operating data of the relevant process variables collected, and data input matrix and main variant model established. Moreover,  $T^2$  statistical amount and control thresholds were calculated with the contributions of various corresponding process variables to the main variant being computed when  $T^2$  is at its maximal value. The major factors causing a change of the main monitoring and control variables during the operation of the machine unit were determined, which has created a favorable condition for the dynamic modeling of the thermodynamic process and the conduct of fault diagnosis. **Key words:** on-site data, dynamic process, main variant analysis, multivariable statistics, major factor

中储式钢球磨制粉系统的自适应模糊控制 = **Self-adaptive Fuzzy Control of a Ball-mill-based Bin and Feeder System**[刊, 汉] / LU Jian-hong, GUO Ying, WU Ke (Power Department of the Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210096), WANG Xi-ping, et al (Minhang Power Plant, Shanghai, China, Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(4). — 418 ~ 422

Taking account of the specific features of the ball-mill-based bin and feeder system of No. 11 boiler at Minhang Power Plant and on the basis of the multivariable control theory, fuzzy control and self-adaptive optimization theory with due consideration of characteristics of the mill system, presented were the practical control tactics based on different control theories and control sub-systems incorporating relatively independent functions. The foregoing was proposed after having taken into account the concrete peculiarities of different controlled processes. Then, through an integration of various control sub-systems, a full-load optimized control of the whole mill system was accomplished. The control method proposed by the authors has been successfully used in the control of the mill system of No. 11 boiler at Minhang Power Plant since Mar. 2003, thereby not only ensuring a long-term and reliable operation of the mill system but also enabling it to work at its optimum operating condition with notable economic benefits being attained. **Key words:** milling system, ball mill, fuzzy control, self-adaptive optimization, multivariable system

叶片转动角度对百叶窗浓缩器性能影响的研究 = **A Study of the Effect of Blade Rotating Angles on the Performance of a Louver Concentrator**[刊, 汉] / SUN Shao-zeng, WANG Zhi-qiang, JIANG Wen-long, et al (Combustion Engineering Institute under Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(4). — 423 ~ 426

By making use of a louver concentrator test system, a study was conducted of the effect of rotating angles of blades in five stages on the performance parameters of the concentrator (dense-thin air ratio  $R_1$ , resistance loss coefficient  $D$  and average concentration rate  $R_2$ ). Through an analysis of test results of blades in various stages rotating at different angles, obtained was a change of the performance parameters caused by the variation of blade rotating angles. Regarding the rotating angles of blades in various stages, the operating condition corresponding to a maximal resistance coefficient was found to be one when all the blades in the fifth stage are rotating at 30 degrees. The operating condition featuring a maximal dense-thin air ratio was one in which the blades in the first to fourth stage are rotating at 30 degrees while the blades in the fifth stage at 20 degrees. The operating condition corresponding to a maximal concentration rate was one when all the blades in the fifth stage are rotating at 30 degrees. **Key words:** louver concentrator, dense-thin air ratio, resistance loss coefficient, average concentration rate

荷电颗粒可压缩性颗粒层模型 = **A Model for a Compressible Particle Layer of Charged Particles**[刊, 汉] / HUANG Bin, YAO Qiang, LONG Zheng-wei, et al (Education Ministry Key Laboratory on Thermal Power Engineering and