

百叶窗煤粉浓缩器内流场的数值模拟研究*

(哈尔滨工业大学) 范卫东 高继慧 吴少华 林正春 秦裕琨

[摘要] 利用 $k-\epsilon$ 双方程模型对百叶窗煤粉浓缩器内流场进行了数值模拟,与试验对比吻合。并从其流场分布特点的角度分析了叶片间距、遮盖度对气流流动及气固分离的影响。指出,叶片间距对气流分配影响不显著,遮盖度的增加能明显使气流折向更急剧,从而增强浓缩效果。

关键词 百叶窗 煤粉浓缩器 数值模拟 气固分离
中图分类号 TK124 O643.1

1 引言

百叶窗煤粉浓缩器是水平浓淡煤粉燃烧技术的重要部件。对百叶窗煤粉浓缩器的研究,以往都放在试验方面^{[1][2]}。通过试验确定百叶窗的结构、气流参数等对百叶窗煤粉浓缩器性能的影响,从而优化百叶窗的结构,得到最佳的性能。这种试验研究对百叶窗煤粉浓缩器的工程应用是足够的。但试验研究内容通常是工程上关心的浓缩器的宏观性能,如阻力系数、气流分配、浓缩比等。分析百叶窗煤粉浓缩器的浓缩机理,还必须注意浓缩器内流场分布的影响。

由于其结构因素多,如图 1 所示,以及流场本身的涡流及湍流流动的复杂性,单靠试验研究不仅所选的工况很有限,而且测试量大,测量困难。数值模拟则是一种行之有效而节省投资的研究方法。

本文以一百叶窗浓缩器试验台为模拟对象,模拟结果与试验所得的流动图谱进行了对照,从流场结构特点分析了浓缩器内气固分离机理。

2 数值模拟方法

$k-\epsilon$ 双方程模型是目前模拟湍流流动最为成熟的一种方法。其方程表达式在许多文献中均有介绍,这里从略。计算采用 SIMPLEC 方法。积分区域网格划分使用交错网格。对流项差分用乘方格式。应用 TDMA 逐线逐面迭代求离散后的有限差分方程

组^[3]。

浓缩器试验台整体尺寸为 $120 \times 120 \times 1200 \text{mm}^3$ 。计算区域的网格划分考虑到浓缩器内部叶栅结构变化等因素,网格数随叶栅结构不同而不同,某种结构下网格的划分由程序自动进行。为保证计算精度和能真实模拟叶栅厚度,每个工况网格数均在 15 万以上。为接近工程实际,计算时保证浓缩器浓淡两侧出口静压相等。

3 数值模拟工况

如图 1 所示,除浓缩器宽度外,浓缩器结构参数有 8 个,由于每个参数需考察的水平数不同,若进行全组合试验,试验次数是惊人的,而进行部分试验又会漏掉某些重要影响因素,采用正交试验原理编排试验不仅能大大减少试验次数,还能提高试验效率及对试验进行科学的分析。本着这一原则根据考察不同的性能指标编排了一系列正交试验^[4],数值模

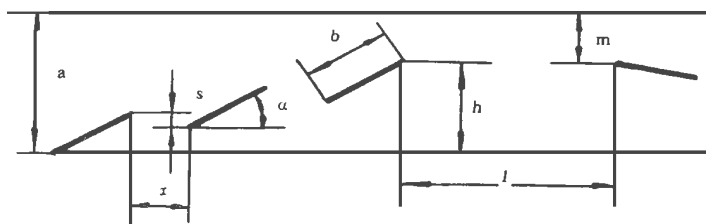


图 1 百叶窗浓缩器结构参数示意图

a -浓缩器宽度 b -叶片长度 α -叶片倾角 x -叶片间距
 s -叶片遮盖高度 l -分体长度 m -挡板开度 h -阻塞高度 n -叶片数(未示出)

拟工况采用了重点考察浓缩器结构对浓缩效果影响而编排的试验工况。该组工况各因素的水平数为: $l = 1, m = 0.33, n = 4, 6, x/b \cos \alpha = 1.0, 1.5, 2.0, s/b \sin \alpha = 0.0, 0.2, 0.4, \alpha = 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ$ 。该组工况分成两批工况 $l = a, m = 0.33a, n = 4$ 和 $l = a, m = 0.33a, n = 6$ 处理,每批工况可作为是叶片间距、叶片遮盖高度、叶片倾角三因素三水平的正交试验,采

* 国家“九五”重点科技攻关资助项目

用 $L_9(3^4)$ 正交表, 每批 9 个工况, 共 18 个工况。

4 计算结果及分析

对 18 种百叶窗浓缩器结构工况计算发现, 它们的流场 (稳态) 存在这样的特点:

气流进入百叶窗后, 在远离叶片区域, 即靠浓侧壁面一侧, 气流流向未发生偏转, 仍保持原方向。由此可知, 这部分气流中的颗粒不受叶片影响, 直接随气流带出浓侧。靠近叶片处气流流向发生明显偏转, 紧贴叶片处流向与叶片倾角一致。在两叶片间隙处气流绕流到叶片背面, 除第一级叶片背面存在一个旋涡外, 其它叶片背面均存在一大一小两个旋涡。旋涡的存在使叶片间气流绕流通道呈多次折向的弧形状, 这有利于气流与颗粒在此处进行离心分离, 实现颗粒浓缩, 如图 2 所示。并非整个叶片间距都为气流通道, 气流通道仅占一部分。从其它工况流场图发现, 叶片间距大小对气流通道宽度影响很小, 即叶片间距对浓淡侧气流量之比 (气流分配) 影响很小。而以往则认为, 增大叶片间距可使气流更多绕过叶片, 使气流分配更合理 (避免浓侧气流偏多, 影响浓缩效果), 这是不对的。现已被计算统计的气流分配和正交试验证明^[4] 叶片间距的确对气流分配影响居次要地位。从图 2 中可见各叶片间速度矢量长度逐渐增大, 表明各叶片间绕流速度是逐渐增大的, 即流量逐渐增大, 与文献 [4] 中正交试验结果完全一致。正交试验方差分析表明^[4], 沿气流方向叶片间距对气流分配影响程度显著增强, 图 3 是几种结构下计算所得的叶片间气流量变化规律, 这一规律对颗粒浓缩很重要。

由于颗粒被一级级叶片浓缩下来, 在叶片附近颗粒浓度逐渐增高, 即各间隙正对的气流中颗粒浓度逐渐增高, 正好增加的流量可维持后级叶片高浓度的颗粒的离心浓缩效果。

对各工况分析发现, 在众多的百叶窗结构因素中,

叶片遮盖度 (叶片遮盖高度比上其在浓缩器宽度方向的投映) 对流场影响十分明显。图 2 是遮盖度为 0 的工况, 图 4 是相同参数的试验工况。图 5 是遮盖度为 0.4 的工况, 图 6 是相应的试验工况。图 4、6 是这样得到的: 试验箱体采用玻璃盖板, 气流流经叶

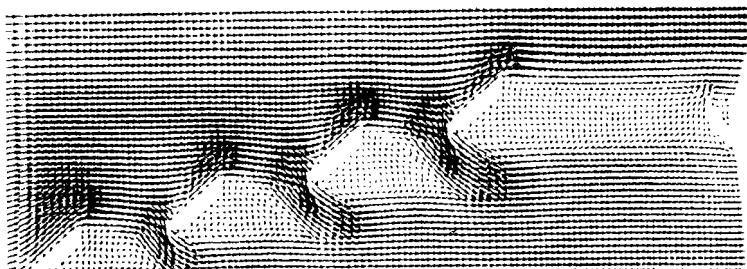


图 2 百叶窗煤粉浓缩器内速度分布矢量图
($n = 4, x = 1.5b \cos \tau, s = 0, T = 35^\circ$)

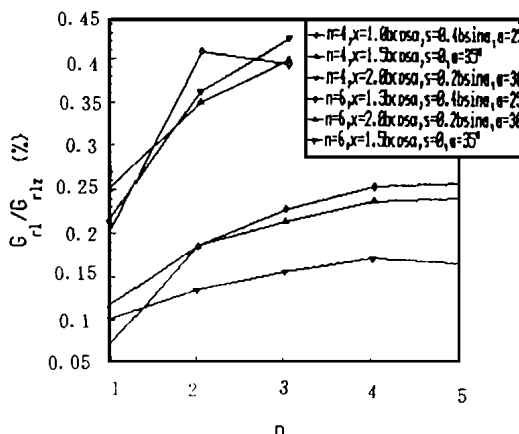


图 3 沿进气方向绕过各级叶片间气流量占绕过总流量的百分比的变化规律

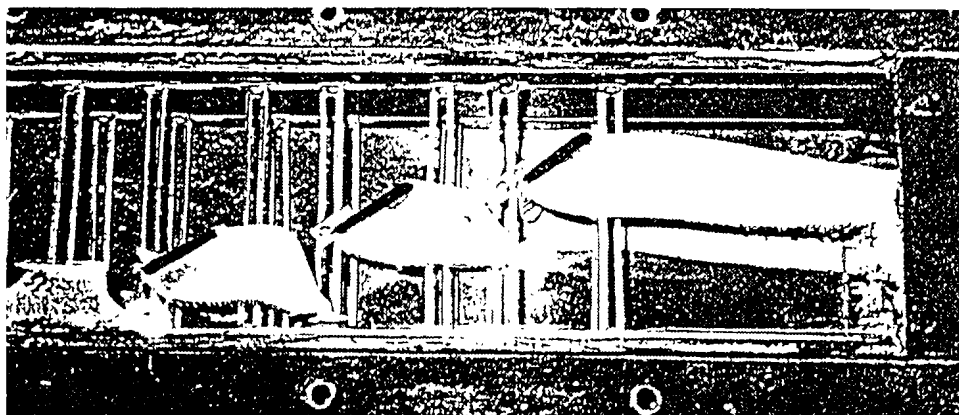


图 4 百叶窗煤粉浓缩器内流动图谱
($n = 4, x = 1.5b \cos \tau, s = 0, T = 35^\circ$)

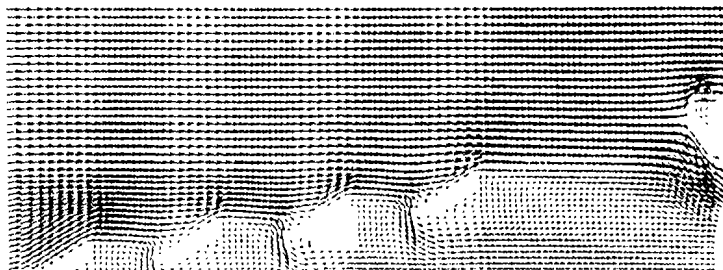


图 5 百叶窗煤粉浓缩器内速度分布矢量图
 $(n = 4, x = 1.0b \cos T, s = 0.4b \sin T, T = 25^\circ)$

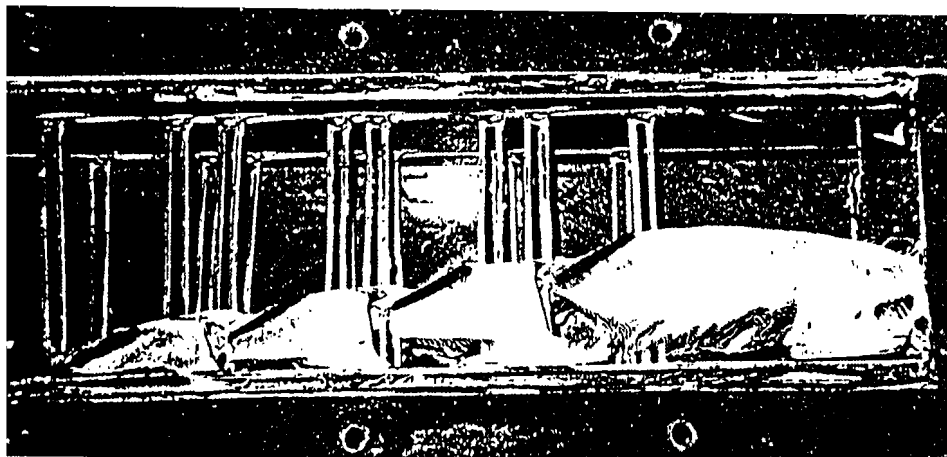


图 6 百叶窗煤粉浓缩器内流动图谱
 $(n = 4, x = 1.0b \cos T, s = 0.4b \sin T, T = 25^\circ)$

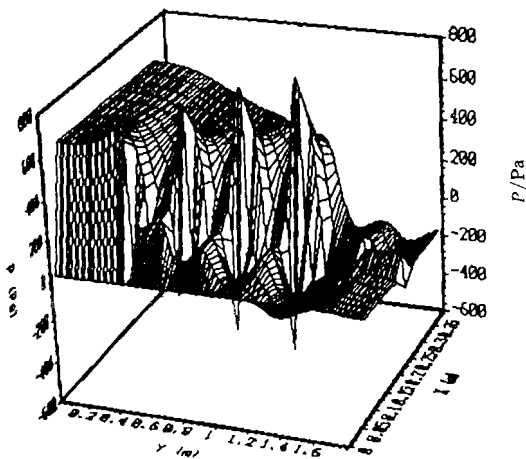


图 7 百叶窗煤粉浓缩器静压分布图
 $(n = 4, x = 1.5b \cos T, s = 0, T = 35^\circ)$

型,气流转向更急剧,且在叶片间距后的下级叶片前缘处,形成气流绕流和继续前进的分离点,如图 5 所示。图 6 明显能看出此点积粉形成了一个尖点,而沿整个叶片长度方向为一条积粉线。这种呈“L”型的气流通道会大大加强气固间的惯性分离和离心分离作用,从而提高百叶窗的浓缩效果。这就是试验中适当提高遮盖度浓缩效果能大大改善的缘故。当然,为优化百叶窗性能而言,遮盖度不能太大,否则会使浓缩器阻力增大,气流分配变差。通常,遮盖度不大于 0.3

5 结论

(1) 利用 $k-\epsilon$ 双方程模型对 18 种不同结构百叶窗浓缩器进行了流场计算,所得结果与试验非常吻合,模拟是成功的。

(2) 远离叶片区域,即靠近浓侧壁面一侧,气流流向未发生变化,在靠近叶片处气流偏转,紧贴叶片处流向与叶片倾角一致,这说明浓缩器只浓缩靠近叶片处气流中的颗粒。

(3) 叶片背面存在一大一小两个旋涡(第一级叶片除外),绕过叶片间的气流通道多次折向呈弧形,其宽度仅占叶片间距的一部分,且叶片间距改变时气流通道宽度变化不大,说明叶片间距对气流分配影响很小。

(4) 沿进气方向,各级叶片间隙的气流绕流量是递增的,利于维持沿各级叶片间隙逐渐增加的颗粒浓度的浓缩效果。

(5) 遮盖度对绕流叶片间的气流通道形状影响明显,其为 0.4 时,气流通道呈“L”型,气流折向更急剧,在下级叶片前缘有一气流分离点,利于增强浓缩效果。综合考虑浓缩器整体性能,遮盖度不应大于 0.3

参考文献

- 1 邢春礼.水平浓缩煤粉燃烧流动问题研究.哈尔滨工业大学博士学位论文,1995.
- 2 马春元.径向浓缩旋流煤粉燃烧器的试验研究.哈尔滨工业大学博士学位论文,1996.
- 3 陶文铨.数值传热学.西安交通大学出版社,1988.
- 4 高继慧.百叶窗煤粉浓缩器的结构优化.哈尔滨工业大学硕士学位论文,1997.

(渠源 编辑)

湿空气透平 (HAT) 循环的研究发展现状 = **The present Status of Research and Development of Humid Air Turbine (HAT) Cycles** [刊, 中] / Wang Yongqing, Yan Jialu (Harbin Institute of Technology), Wen Xueyou (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13 (5). - 387~ 391

Described in this paper is a new type of high-efficiency thermodynamic cycle, the so-called humid air turbine (HAT) cycle and the conception of its related cycles, specific features as well as the present status of research and development of HAT. Key words: thermodynamic cycle, electrical power generation system, humid air turbine, HAT cycle

能量系统分析优化中排弃焓计价探讨 = **An Exploratory Study of the Rejected Exergy Costing in the Optimization of Energy System Analysis** [刊, 中] / Chen Qinglin, Hua Ben, Wang Songping, et al (South China University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13 (6). - 392~ 395

Based on an analysis of exergy and its economic aspects the authors expound the relationship between rejected exergy and the exergy to be recovered. After an systematic study of the rejected exergy costing in an energy system under various conditions of recovery it is pointed out that with respect to the stage-by-stage recovery and utilization of energy the traditional costing method in accordance with a material flow sequential analysis is not applicable to the costing of rejected exergy. On the basis of an energy system dual subsystem model proposed is an equivalent costing conception aimed at solving the problem of rejected exergy costing. Finally, the practical application of this costing method has been demonstrated through the evolution process of a catalytic cracking gas energy recovery scheme and the variation of rejected exergy costing. Key words: exergy costing, energy recovery, exergy economy, energy system

百叶窗煤粉浓缩器内流场的数值模拟研究 = **A Numerical Simulation Study of the Flow Field in a Louver Pulverized Coal Concentrator** [刊, 中] / Fan Weidong, Gao Jihui, Wu Shaohua, et al (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 396~ 398

Through the use of a dual-equation turbulence model a numerical simulation is conducted of the flow field in a louver pulverized coal concentrator. The results obtained agree well with test ones. From the viewpoint of the flow field distribution features an analysis is conducted of the effect of blade spacing and cover ratio on air flow and gas-solid separation. It is noted that the blade spacing has little effect to the air flow distribution and an increasing blade cover ratio can markedly lead to a more drastic deflection of gas flow, thereby enhancing the effect of concentration. Key words: louver, pulverized coal concentrator, numerical simulation, gas-solid separation

关于溶解式制冷机和ЛАТЫ ЛЕВ 教授商榷 = **An Exchange of Views with Professor Latershev Concerning a Dissolution Type Refrigerator** [刊, 中] / Chou Qiaoli, Li Xinqiu, Xu Guang, et al (Nuclear Energy Design Institute of Qinghua University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 399~ 401

First, a description is given of the basic principles of a dissolution type refrigerator invented by Professor Latershev V P of Russian Refrigeration Research Institute. Then, on the basis of the experience and understanding of the authors some observations are given regarding the possible difficulties such refrigerators may encounter in the course of their technical popularization. Key words: refrigerator, fusion heat, COP value, stability