

文章编号: CN31-1508 (2001) 06-0018-05

入口旋流数对煤粉低尘燃烧器流场的影响

林伯川¹, 陈恩鉴¹, 吴承康²

(1. 中国科学院广州能源研究所, 广东 广州 510070 2. 中国科学院力学研究所, 北京 100080)

关键词: 旋流燃烧器; 旋流数; 数值模拟

摘要: 以液排渣旋风燃烧过程为基础的煤粉低尘燃烧器可在燃烧过程实现捕渣, 为工业加热提供低含尘浓度的高温火焰, 是工业加热过程实现以煤代油的先进燃烧技术。根据旋流燃烧流动特点, 采用能考虑非均向湍流应力的雷诺应力模型, 对旋流煤粉低尘燃烧器内气流流动过程场进行数值模拟计算, 计算结果与流场实验测试相吻合。研究表明, 气流进入燃烧器时的旋转强度(旋流数)对燃烧器内的流动特性有很大影响, 在冷态模型条件下, 当旋流数在7以上时, 环室回流在轴向贯穿燃烧器整个流场, 有利于增加煤粉颗粒在燃烧室内的循环次数, 提高灰渣捕获率; 低于7时, 环室回流出现阻断, 不再连续, 易造成煤粉颗粒直接逸出, 对燃烧及灰渣捕获不利。随旋流数增加, 燃烧器出口处中心回流率增大, 对炉膛高温烟气的抽吸作用增强。

中图分类号: TK223.23 文献标识码: A

0 前言

我国一次能源中, 煤炭占75%, 以煤代油为我国的长期能源政策。以液排渣旋风燃烧技术为基础的煤粉低尘燃烧技术, 利用旋风燃烧, 高温液态捕渣等技术手段, 实现煤粉燃烧过程中的灰渣捕集, 可向工业炉提供含尘量低的洁净火焰, 适用于燃油工业炉进行以煤代油改造, 是一种应用前景广阔的洁净燃煤技术。传统旋风燃烧器多采用二次风从燃烧室的侧面切向或割向引入的进风方式。实际测量表明, 切向进风导致燃烧室中旋转回流流场畸变, 破坏了旋转流场的轴对称性, 回流区缩小, 旋流的回流现象大大减弱, 对灰渣的离心分离作用显著减弱, 煤粉及灰渣短路逸出燃烧室, 使得捕渣率难以提高。针对上述问题所提出的端面预旋进风煤粉低尘燃烧技术方案, 采用端面预旋进风方式, 可在燃烧室中形成一个

完全轴对称的、完整、规则的旋转回流流场。这为合理组织燃烧、延长煤粉在燃烧室中的停留时间、防止煤粉短路逸出燃烧室、充分发挥旋转流场的离心分离作用创造了必要的基本条件。

燃烧器内轴向气流分布为四个区域^[1], I区为主气流区, 为沿燃烧室圆周壁面流向环室的正向气流; 正向气流在环室折返后, 形成环室回流区II; 气流沿燃烧器出口壁面向外流出, 形成出口气流区III; 由于气流旋转, 燃烧室中心轴线上

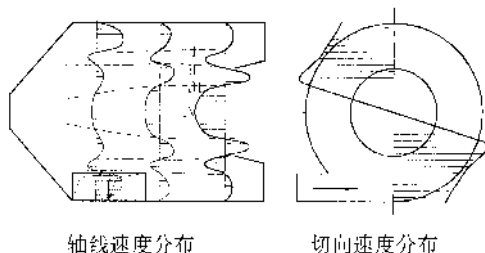


图1 理想旋风燃烧过程流场结构

收稿日期: 2001-11-01

基金项目: 本项目得到国家计委“九五”重点攻关项目及广东省自然科学基金资助。

作者简介: 林伯川, 男, 硕士, 研究员, 1988年毕业于清华大学热能工程专业, 主要从事煤粉洁净燃烧技术研究。

存在反向压力梯度, 造成气流从燃烧室外吸入, 从而形成中心回流区IV。环室回流及中心回流的存在对煤粉的着火稳燃以及灰渣的捕获起到关键作用。而二次风入口旋流数对回流率有很大的影响^[2, 3], 本文利用流场数值计算, 对燃烧室内气动过程进行模拟, 分析入口旋流数对回流率的影响。

1 燃烧器内流动过程数值模拟

本文数值模拟对象为燃煤量为200kg/h的燃烧器, 其二次风在燃烧器端面均匀进入, 因此, 可简化为轴对称结构。其原型几何参数参见图2。

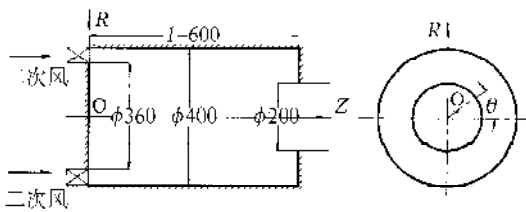


图2 旋流燃烧器原型结构示意图

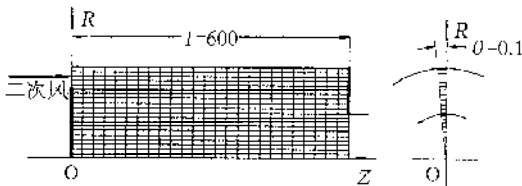


图3 计算域网格划分

模型方程

考虑常温下的流动, 忽略重力作用, 旋流煤粉燃烧器内湍流流动基本控制方程如下^[4~6];

连续方程:

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho + \frac{\partial}{\partial X_j} (\rho U_j) = 0 \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho U_i) + \frac{\partial}{\partial X_j} (\rho U_i U_j) = \frac{\partial}{\partial X_j} \left(\mu \frac{\partial U_i}{\partial X_j} - \overline{\rho u_i' u_j'} \right) - \frac{\partial P}{\partial X_i} + \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\mu \left(\frac{\partial U_j}{\partial X_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial U_i}{\partial X_j} \delta_{ij} \right) \right] \quad (2)$$

$i=1, 2, 3$ 当 $i=j$ 时, $\delta_{ij}=1$; 当 $i \neq j$ 时, $\delta_{ij}=0$ 。

对于湍流应力的模拟, 采用 Reynolds 应力

模型。

Reynolds 应力方程:

$$\rho \frac{D \overline{u_i' u_j'}}{Dt} = \frac{\partial}{\partial X_k} \left[\mu \frac{\partial \overline{u_i' u_j'}}{\partial X_k} + D_{ij} \right] + P_{ij} + G_{ij} + \phi_{ij} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \rho \epsilon \quad (3)$$

湍流耗散方程:

$$\frac{D \epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial X_k} \left[C_\epsilon \frac{k}{\epsilon} \overline{u_k' u_i'} \frac{\partial \epsilon}{\partial X_i} \right] + \left(\frac{1}{2} C_{1\epsilon} P_{kk} - C_{2\epsilon} \epsilon \right) \frac{\epsilon}{k} \quad (4)$$

2 计算结果及分析

本文以 Phoenix 软件为计算平台, 采用在 SIMPLE 基础上改进的 SIMPLEST 算法^[7], 计算了图2所示的端面预旋进风煤粉低尘燃烧器冷态模型的流场。计算入口轴向速度为3m/s, 而入口切向速度根据各工况的旋流数确定。

2.1 轴向速度分布

计算结果显示, 燃烧器内轴向速度分布存在明显的中心回流及环室回流(图4), 其中环室回流从燃烧器尾部一直贯穿至燃烧器头部。而中心回流区从燃烧器出口延伸至燃烧器内部, 占燃烧器轴线长度的约4/5。在燃烧器头部中心区域存在一锥形的滞留区。

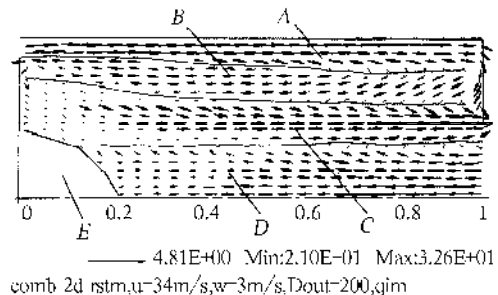


图4 燃烧器纵截面速度矢量投影分布图 (sw=10.7)

A-主流区; B-环室回流区; C-出口气流区; D-中心回流区; E-滞留区

2.2 切向速度分布

计算结果显示(图5), 燃烧器内部气流的切向速度分布沿径向分成两个区, 一是中心部分的涡流区, 二是环室部分的势流区。

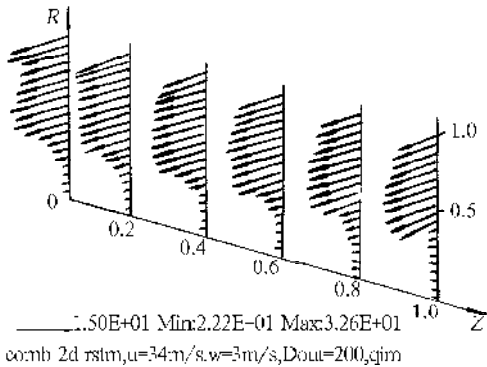


图 5 燃烧器横截面速度矢量投影分布图 (sw=10.7)

3 计算结果与实验测试结果的比较

在实验室内建立冷态模型试验系统，采用五孔探针针对燃烧器内的流场进行测试，测试系统见图 6，由送风系统，五孔探针计算机测速系统及燃烧器模型等组成。测试中的模型几何结构与数值模拟计算几何结构一致。

图 7、8 分别为轴向速度和切向速度的比较。

由图 7、8 可见，速度计算结果与模型实验测试结果十分接近，燃烧室内回流区的位置相仿，速度的峰值大小也相当接近。而在中心回流区的测试结果与数值模拟有略微区别，这是由于中心回流区处气流速度低，五孔探针测试误差较大所造成。总体而言，所采用的数值模

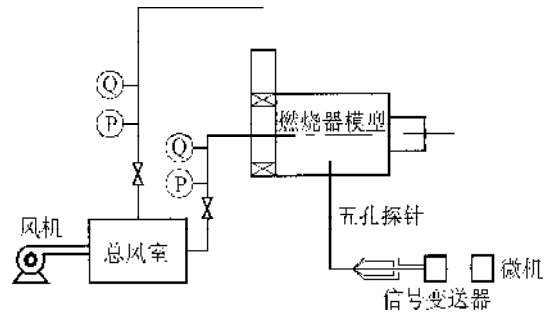


图 6 煤粉低尘燃烧器冷态实验系统示意图

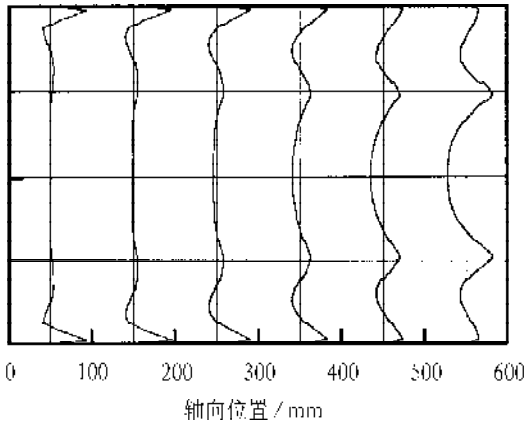
型及计算方法能较好地模拟燃烧器内气动过程。

3.1 流场气流沿轴向分布

如图 4 所见，燃烧室内存在主气流，环室回流，出口气流及中心回流，根据轴向速度的分布，通过积分处理，可得到上述气流沿轴向的分布曲线 (图 9)。总体而言，随着轴向距离的增加，主气流流率下降，而出口气流及中心回流增强。在旋流数为 10.7 时，环室回流贯穿整个燃烧器中，回流率为 25~40% (总流量)。

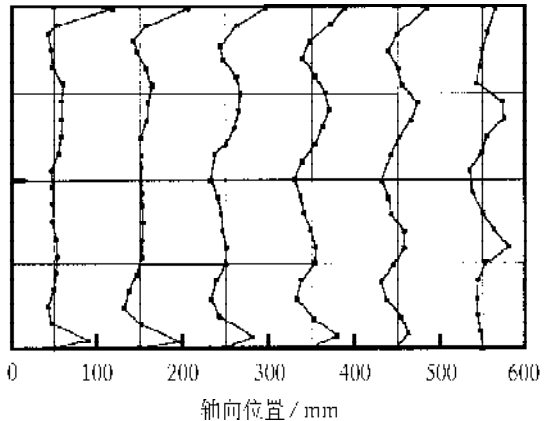
3.2 入口旋流数对回流率的影响

图 10 为不同入口旋流数下环室回流率的变化曲线，由图可见，入口旋流数对环室回流的影响极大，总体而言，环室回流随入口旋流数增加而增强。并且存在一临界旋流数 (在本文研究



计算结果: 轴向速度分布图——10m/s
进口条件:

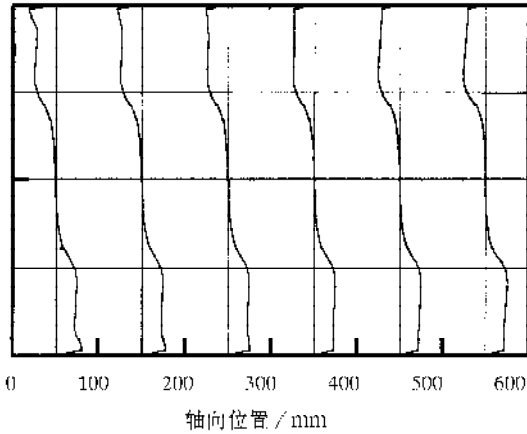
切向速度 UT=34.5m/s; 轴向速度 Wz=3.5m/s



实验测试结果: 轴向速度分布图——10m/s
进口条件:

切向速度 UT=34.5m/s; 轴向速度 Wz=3.5m/s

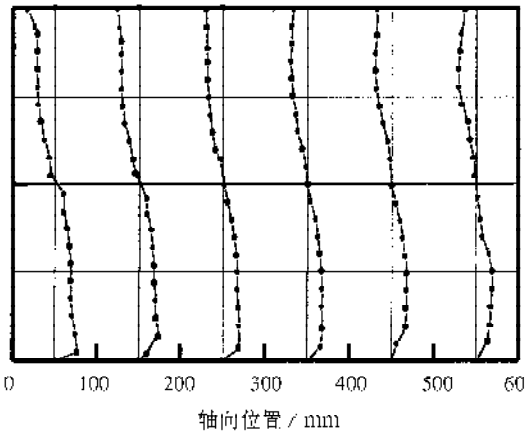
图 7 轴向速度计算结果与流场测试结果的比较



计算结果: 切向速度分布图, ——100m/s

进口条件:

切向速度 $U_T=34.5\text{m/s}$; 轴向速度 $W_z=3.5\text{m/s}$



实验测试结果: 切向速度分布图, ——100m/s

进口条件:

切向速度 $U_T=34.5\text{m/s}$; 轴向速度 $W_z=3.5\text{m/s}$

图8 切向速度计算结果与流场测试结果的比较

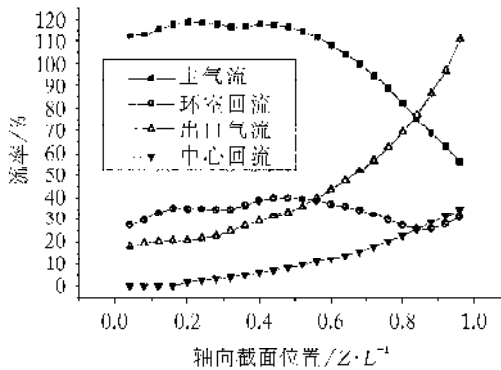


图9 气流沿轴向分布 ($sw=10.7, u=34\text{m/s}, v=3\text{m/s}$)

流数下中心回流率变化曲线, 图12为燃烧器出口处中心回流率随旋流数的变化。计算可见,

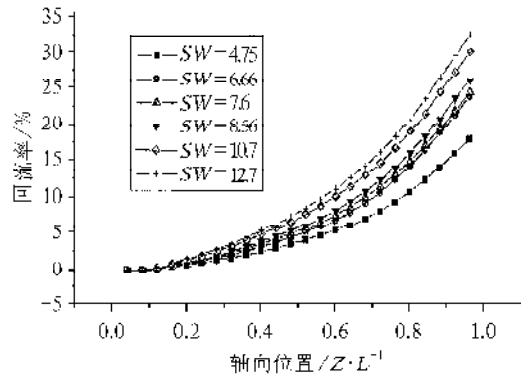


图11 中心回流率沿轴向变化曲线

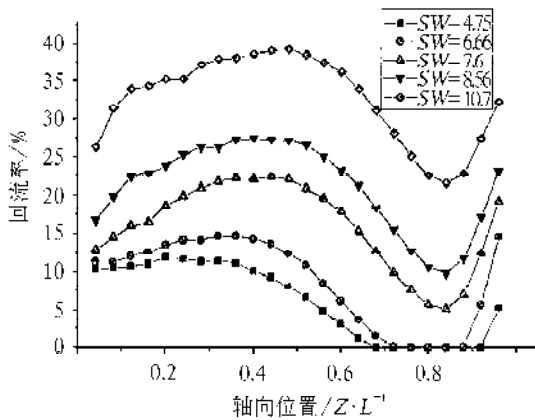


图10 环室回流率变化曲线

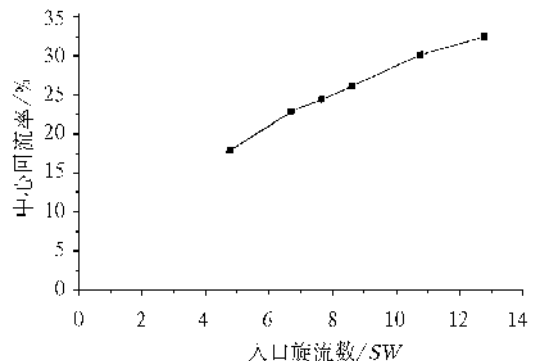


图12 出口中心回流率随旋流数变化曲线

结构下, 为 $SW \approx 7$), 当入口旋流数小于该临界值时, 环室回流出现阻断。图11为不同入口旋

随着旋流数的增加, 中心回流率增大, 燃烧器

抽吸炉膛烟气的能力增强,对煤粉的着火及稳燃有利。同时,在所计算的旋流数范围内,各工况下的中心回流均深入到燃烧器约80%总长范围,在燃烧器头部存在滞留区(轴向速度为 10^{-2} m/s量级)。

4 结 论

(1) 利用雷诺湍流应力模型对煤粉低尘燃烧器内的流动过程模拟是成功的。计算结果与实验测试能较好吻合。

(2) 二次风入口旋流数对流场形态有重要影响,随着旋流数的增大,环室回流及中心回流增强。

(3) 当入口旋流数小于7时,燃烧室内的环室回流出现阻断,不再连续,易造成煤粉颗粒直接逸出,对燃烧及灰渣捕获不利。为此,二次风出口旋流数应大于7。

参 考 文 献

- [1] 王茂刚. 旋风炉的设计与运行[M]. 机械工业出版社, 1980年.
- [2] 宁晔, 高歌. 燃烧室气动力学(第二版)[M]. 科学出版社, 1987.
- [3] J.M. Beer, N.A. Chigier, COMBUSTION AERODYNAMICS [M]. Applied Science Publishers LTD, England, ISBN 0853345139, 1972.
- [4] 范维澄, 万跃鹏. 流动及燃烧的模型的计算[M]. 中国科学技术大学出版社, 1992. 75.
- [5] 周力行. 湍流气粒两相流动和燃烧的理论及数值模拟[M]. 科学出版社, 1994.
- [6] Launder BE, Spalding DB. The Numerical Computation of turbulent Flows, Computer Methods in Applied Mechanics and Engg., [J] 1974, (3): 269-289.

The Influence of Inlet Swirl Number on the Flow Field of Pulverized Coal Slagging Burner

LIN Bo-chuan, CHEN En-jian, WU Cheng-kang

Key Words: slagging burner; swirl number; numerical simulation

Abstract: The pulverized coal slagging burner with liquid slag-removal cyclone combustion can realize ash capture in combustion to provide high-temp. flame with low dust concentration in industrial heating. It is an advanced combustion technology in industrial heating to realize the use of coal in place of oil. A numerical simulation based on the Reynolds Stress Model for a pulverized coal Slagging burner is reported in this paper, and the calculation result tallies with experimental test. The results show that, there is a main backflow area along the axis of the burner, and an annular backflow area nearby the wall of burner, the inlet swirl number of secondary air influences the recirculation rate of flue gas. When the inlet swirl number is less than 7, the annular backflow would become discontinuous, and the ash capture rate would be reduced. With the increase of swirl number, the axis reflux rate increases and the suction power to the high temp. flue gas outside the burner increases.