文章编号：　1008-8857(2011)01-0020-05

煤粉锅炉旋流燃烧器冷态流场数值模拟

张子婵[1]，王国旭[2]，辛国华[3]，乔禹航[4]

（1. 东北电力大学 能源与动力工程学院，吉林 吉林 132012；　2. 国电吉林热电厂，吉林 吉林 132010；
3. 吉林工业职业技术学院，吉林 吉林 132013；　4. 华能沁北发电有限责任公司，河南 济源 454662）

摘　要：　旋流煤粉燃烧器因具备形成中心回流区，卷吸高温烟气，促进煤粉着火等显著优势和特点，在电站锅炉中的应用日益广泛。而旋流煤粉燃烧器的流动情况对锅炉的稳定燃烧和安全运行都具有重要影响。通过建立物理模型和数学模型，对旋流燃烧器进行了三维数值计算得到燃烧器中钝体形状、二次风速及外二次风叶片角度等因素对回流区产生的具体影响。计算结果对实际运行、设计及改造提供了一定的技术支持和参考意见。

关键词：　旋流燃烧器；流场；数值模拟；安全运行

中图分类号：　TK223　　**文献标识码：**　A

随着我国电力事业的飞速发展，旋流煤粉燃烧器以其在强化燃烧、稳定燃烧以及降低NO_x等污染物排放方面的显著优势，在电站锅炉中得到越来越广泛的应用。近两年我新建、在建和准备建设的 600 MW 以上级火力发电厂的锅炉很多采用对冲布置的旋流燃烧器。以往对于燃烧器的研究多以实验形式进行，存在工作周期长、成本高、不易操作等困难[1]。因此，本文借助专用前置软件 Gambit 建立了三维旋流燃烧器模型，利用 FLUENT 流体力学软件对所建模型进行了数值计算方法求解，并将结果可视化。这种数值计算的方法节省了实际费用并在计算效率和时间上均得到了提高。计算分析的结果可对燃烧器的设计和改造提供技术支持和有价值建议。

旋流式煤粉燃烧器是利用旋转气流形成有利于着火的回流区以及气流混合强烈的特点来燃烧煤粉的装置[2]。由于中心回流区的存在，能够卷吸大量高温烟气至燃烧器喷口附近，使煤粉颗粒与氧气及高温烟气混合良好，起到加热并点燃煤粉的作用，利于煤粉的着火及燃烧[3]。

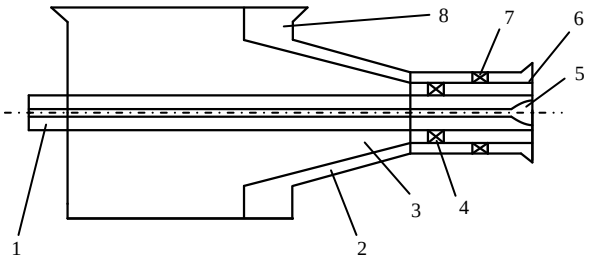
1　模型的建立

1.1　物理模型

本文选用双通道旋流燃烧器作为计算对象。其中，一次风通道为直流通道，不安装叶片，内、外二次风通道安装同型不同数的轴向叶片，同时在燃烧器一次风管内安装钝体，在燃烧器外二次风出口处增设了扩口。其结构如图1所示。

收稿日期：2011-02-18

作者简介：张子婵(1984-)，女(汉)，硕士研究生，zzczhang007@163.com



1–一次风管; 2–外二次风通道; 3–内二次风通道; 4–旋流叶片;
5–中心钝体; 6–二次风扩锥; 7–旋流叶片; 8–二次风挡板

图 1　旋流燃烧器结构示意图
Fig. 1　Schematic of the swirl burner

1.2　数学模型

采用Realizable的k-ε模型

$$\frac{\partial（\rho k）}{\partial t}+\frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i}=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+G_k-\rho\varepsilon \tag{1}$$

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho\varepsilon u_i)}{\partial x_i}=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_z}\right)\right]+\rho C_1 E\varepsilon-\rho C_2\frac{\varepsilon^2}{k+\sqrt{\nu\varepsilon}} \tag{2}$$

本文采用的是可实现k-ε模型（Realizable的k-ε模型）。Realizable的k-ε模型中的湍流粘性系数μ_T和ε方程考虑了角变形率即旋涡流动的影响，因此能较好地模拟旋流流动[4]。

2　数值计算方法

2.1　计算网格划分

由于旋流叶片的存在使得旋流燃烧器二次风通道的内部结构比较复杂，因此采用混合网格对二次风通道进行建模，在旋流叶片区域对网格进行加密。同时为了减少网格数量以及缩短计算时间，节省计算机资源，将计算区域后部与前段分开，作结构网格处理。生成总网格数为1.0×10^6。

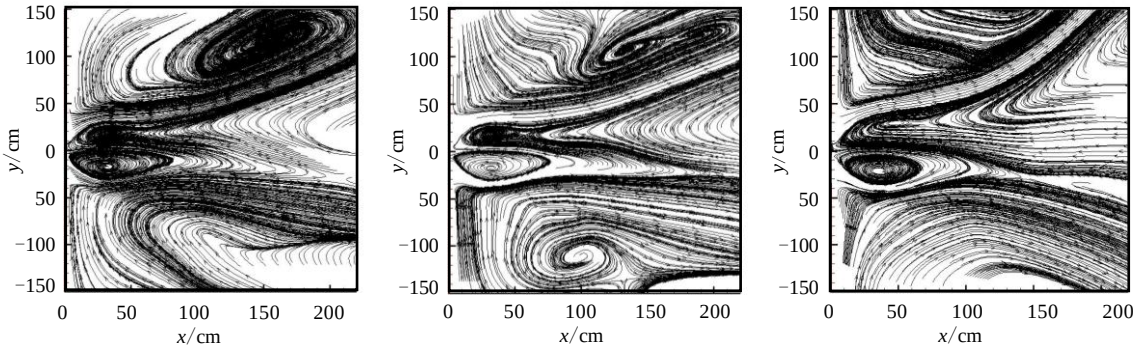
2.2　边界条件设定

一、二次风的边界条件采用速度入口，由于本文燃用的煤种为烟煤，故采用一次风入口速度为20 m·s^{-1}，内、外二次风入口速度均为26 m·s^{-1}，出口采用自由出口。利用有限容积法和SIMPLE算法对微分方程进行离散并求解。

3　计算结果分析

3.1　钝体形状对回流区大小的影响

为了使气体形成绕流进而形成燃烧器出口的回流区，在一次风管内会安装钝体以便达到形成、扩大回流区的效果。本文尝试对安装有锥型、楔型、抛物线型三种钝体的模型进行了计算，比较其形成回流区的大小。图2显示的是安装三种不同钝体的燃烧器出口处回流区流线图。



(a) 锥型钝体 (b) 楔型钝体 (c) 抛物线型钝体

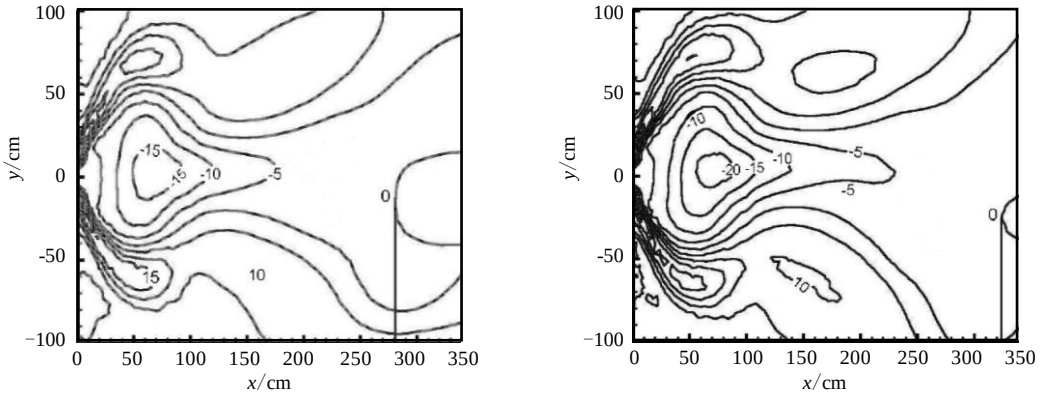
图 2 燃烧器出口流线图

Fig. 2 Streamlines at the exit of the swirl burner

从图2中可以看出，与抛物线型钝体相比，一次风经过楔型钝体和锥型钝体后，回流区内旋涡的半径略有增大，长度变化很小，说明经过楔型钝体和锥型钝体后气流具备更大的切向速度，即有更强的向四周扩散的趋势。同时，楔型钝体与锥型钝体相比，其外围卷吸烟气的能力也增大，即回流区较大。

3.2 改变二次风速

图 3 给出了二次风风速增大前后的回流区轴向速度 u 的分布。对比图中可以看出，当二次风增大时，回流区明显有增大趋势，二次风速增大前回流区的长度为 280 cm 左右，而二次风速增大后，回流区长度变为约 320 cm。同时从数值上也可以看出回流区的轴向速度也随之增大。

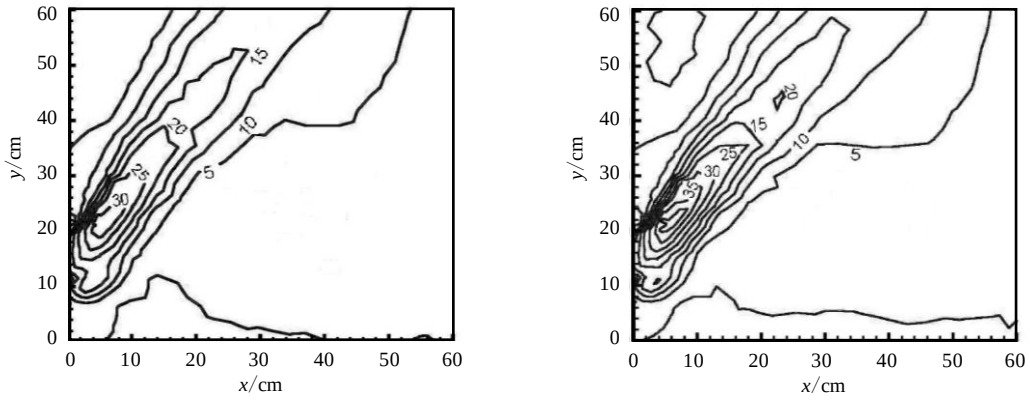


(a) 二次风速增大前 (b) 二次风速增大前

图 3 二次风速增大前后回流区轴向速度 u 分布

Fig. 3 Axial velocity u before/after increasing the velocity of swirling secondary air

二次风速对燃烧器出口处切向速度v分布的影响如图4所示。由图中可知，随着二次风速增加，燃烧器出口附近区域切向速度v有增大趋势，这会导致燃烧器出口处的气流有更大的离心趋势，使回流区的范围和速度均有增加。这种趋势能够够将炽热的燃烧产物回流到火焰根部，起到良好的强化着火和稳定火焰的作用。



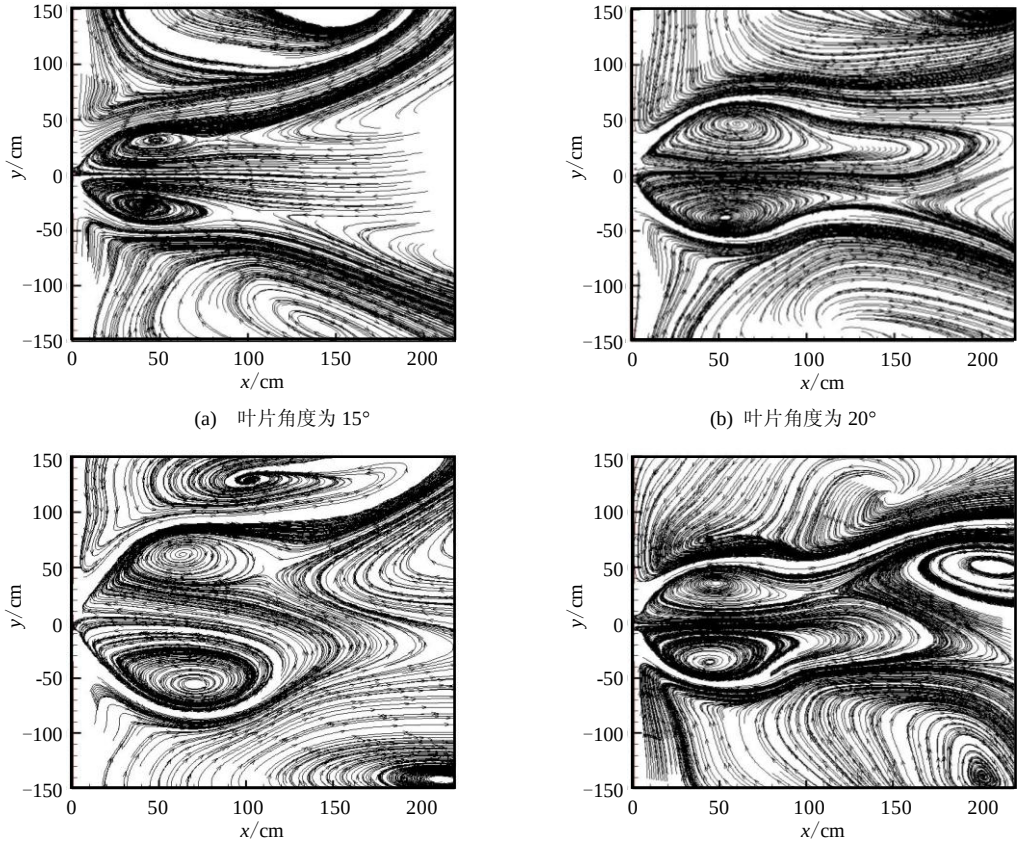
(a) 二次风速增大前　　(b) 二次风速增大后

图 4　二次风速增大前后回流区切向速度 ν 分布

Fig. 4　Tangential velocityν before/after increasing the velocity of swirling secondary air

3.3　改变外二次风叶片角度

外二次风开启角度分别为15°、20°、25°及30°时的回流区情况如图5所示。



(a)　叶片角度为 15°　　(b) 叶片角度为 20°

(c)　叶片角度为 25°　　(d) 叶片角度为 30°

图 5　外二次风叶片不同角度时回流区速度发布

Fig. 5　Flow field at diferent blade angle for the outer secondary air

通过对比分析可知：外二次风叶片角度从15°变化到25°的过程中，回流区域尺寸逐渐增大，当叶片角度为25°时，回流区最大，稳燃性能最好；当外二次风叶片角度达到30 °时，回流区呈减小趋势，且中心回流区后方出现不规则扰动。

4 结论

（1）采用Realizable的k-ε模型模拟结果比较理想，而且能清晰地反映旋流煤粉燃烧器出口的气流流动情况。

（2）改变钝体的形状会导致回流区内旋涡半径和气流切向速度变化。

（3）当旋流二次风速增大时，随着燃烧器出口轴向速度和切向速度的增大，其回流区范围和回流区速度也随之增加。

（4）外二次风叶片角度由15°变化至25°，回流区范围逐渐增大；当叶片角度为25°时，回流区最大，稳燃性能最好；当叶片角度达到30°时，回流区呈减小趋势，且中心回流区后方出现不规则扰动。因此，在实际电厂运行中应注意煤粉旋流燃烧器的外二次风叶片角度，确保锅炉燃烧的安全、稳定。

（5）恰当的钝体形状可以使在旋流燃烧器出口形成的中心回流区有较强卷吸烟气的能力，同时在实际运行中，选取合理的风速及叶片角度是保证稳定燃烧、安全运行的措施和手段。

参考文献:

[1] 赵振宙, 赵振宁, 孙 辉. 旋流燃烧器数值模拟和优化改造[J]. **锅炉技术**, 2006, **37**(4): 49−54.

[2] 倪健民, 陈 云, 樊建人, 等. 旋流燃烧器出口湍流流场的数值模拟[J]. **动力工程**, 2004, **24**(2): 102−105.

[3] 黄立坤, 王广智, 王 琨, 等. 适用于旋流燃烧方式煤粉炉炉内流动的数值模拟研究[J]. **锅炉技术**, 2008, **39**(3): 43−48.

[4] 王福军. **计算流体力学动力学分析**[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

Numerical simulation of cold flow filed of the swirl burner for pulverized coal fired boilers

ZHANG Zi-chan[1], WANG Guo-xu[2], XIN Guo-hua[3], QIAO Yu-huang[4]

（1. School of Energy and Power Engineering, Northeast Dianli University; Jilin 132012, China; 2. Guodian Jilin Power Plant, Jilin 132010, China; 3. Jilin Vocational College of Industry and Technology, Jilin 132013, China; 4. Huaneng Qinbei Power Generation Co. Ltd, Jiyuan 454662, China）

Abstract: The pulverized coal-fired swirl burner has found increasingly wide application to power boilers. Using this type of burner, a centered recirculation zone is formed, which promotes the entrainment of high-temperature flue gas and pulverized-coal burning. The Flow field is significance to a stable combustion and safe operation of the boiler. In this paper, a three-dimensional numerical simulation was carried out through establishing the physical and mathematical models. Effects of the factors, such as the shape of the central bluff body, and velocity of swirling secondary air, on the recirculation zone were investigated. The results of the calculations can provide technical support and reference idea for the practical operation, design and technical transformation.

Key Words: **s**wirl burner; flow filed; numerical simulation; safe operation