

循环流化床炉膛扩口角的优化设计及数值模拟研究

邹家柱, 闫登强, 唐鹤文

(南华大学 机械工程学院, 湖南 衡阳 421001)

摘要:以 130 t/h CFB 锅炉炉膛为参考, 对其扩口角设计进行优化. 采用 0.618 法对参数进行挑选, 利用大型流体计算软件 FLUENT 进行数值模拟研究. 结果表明: 通过对扩口角的设计可以改进炉膛内的流动特性, 得出扩口角在 $67^{\circ} \sim 68^{\circ}$ 之间有良好的流动特性.

关键词:数值模拟; 优化设计; 扩口角; 计算软件 FLUENT

中图分类号:TK223.21 **文献标识码:**A

The Research of Optimization Design and Numerical Simulation for Circulating Fluidized Bed Furnace Mouth Expansion

ZOU Jia-zhu, YAN Deng-qiang, TANG He-wen

(School of Mechanical Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: In this paper, the structure of 130 t/h CFB boiler furnace is optimized as a reference. The parameters were selected in the way of 0.618 methods, The research of structure optimization Numerical Simulation was carried out by the use of large-scale numerical flow calculation software FLUENT simulation. The results showed that adjusting the design of the furnace mouth expansion can improve the flow characteristics. It obtained a good flow characteristics in the expansion of an argument between $67^{\circ} \sim 68^{\circ}$.

key words: numerical simulation; optimization; mouth expansion; fluent

在循环流化床中, 空气分成一、二次风分级送入. 一次风通过风帽送入炉膛. 二次风在炉膛的一定高度送入. 在两次风口以下的床层, 通常采用较小的截面积, 一般采用向上的渐扩的结构, 否则会使流化风速下降. 因此, 在炉膛布风板上一般设置锥形扩口, 从而提高布风板附近区域的流化风速, 可以减少床内分层以及防止大颗粒沉降. 扩口角

度在工程上一般都是采用经验值 $45^{\circ} \sim 75^{\circ}$ ^[1], 陈乐鸣探讨了循环流化床开口的一些设计^[2]. 随着 CFD 核技术的发展, 很多学者应用计算流体力学的方法对流化床进行了数值模拟研究^[3-8]. 本文主要做工作就是对此处扩口角度利用 0.618 法进行优化. 利用流体计算软件 FLUENT 进行二维数值模拟研究.

1 循环流化床数值计算模型及计算方法

1.1 物理模型及网格划分

以 130 t/h 循环流化床锅炉为原型(见图 1),考虑到此床在深度方向上流动现象比较简单,在以侧面二次进风口及风烟出口为主要研究目标的前提下,简化为二维流动,但仍能体现床内的流动特征.因此,将原型流化床简化为二维流化床.在简化中,保持一、二次风口等的折算面积相等.

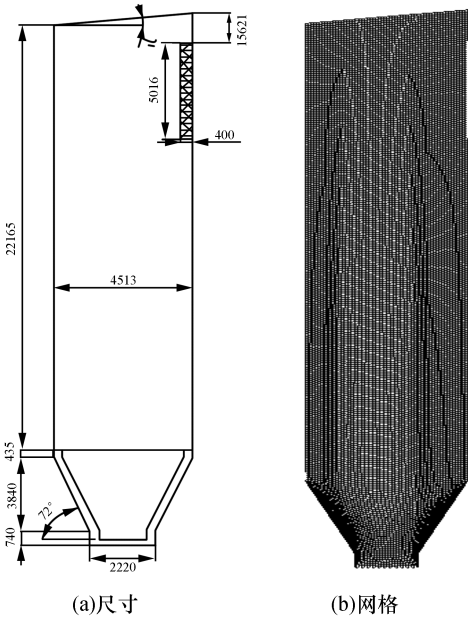


图 1 计算模型几何尺寸和网格

Fig. 1 Geometry and mesh of the calculation model

1.2 计算方法及参数设置

本实验采用 0.618 法进行设计,基本方法是在 $[a, b]$ 的 0.618 处取值作为第一个试验点.然后再其对称出取值,作为第二个试验点.比较其实验结果,去掉较差结果对应点以为的部分,余下部分继续取较优结果依次进行下去得出最优结果.本文的精确度取到整数.

计算模型采用欧拉双流体模型,假设固体颗粒为“拟流体”.使得固体颗粒与气体有相似的流体力学特性.使用标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型计算湍流黏性.模型中空气与物料颗粒物性见表 1,一次风入口空气流速 $v_1 = 42 \text{ m/s}$,二次风入口空气流速 $v_2 = 35 \text{ m/s}$.

表 1 空气与物料颗粒的物性
Table1 Physical properties of air and pulverized coal particle

	气相	颗粒相
密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	1.225	2 000
黏度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$)	1.798e-5	
粒径/m		0.000 15
最大体积分数		50%

本模型采用如下基本方程:

连续方程

气相

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_g \rho_g) + \nabla \cdot (\varepsilon_g \rho_g u_g) = \dot{m}_g$$

颗粒相

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_s \rho_s) + \nabla \cdot (\varepsilon_s \rho_s u_s) = \dot{m}_s$$

动量方程

气相

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_g \rho_g u_g) + \nabla \cdot (\varepsilon_g \rho_g u_g u_g) = -\varepsilon_g \nabla p + \nabla \cdot$$

$$\tau_g + \varepsilon_g \rho_g g + \beta(u_s - u_g) + \dot{m}_g u_g$$

颗粒相

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_s \rho_s u_s) + \nabla \cdot (\varepsilon_s \rho_s u_s u_s) = -\varepsilon_s \nabla p + \nabla \cdot$$

$$\tau_s + \varepsilon_s \rho_s g + \beta(u_g - u_s) + \dot{m}_s u_s$$

2 计算结果及分析

图 2 给出不同扩口角下炉膛内压力分布图.从图 2 中可以明显的看到炉膛内有明显的震动现象,一次风从炉膛下布风板进入炉膛向上流动,颗粒由于重力作用有向下运动的趋势.同时,二次风从炉膛侧进入如炉膛.在一、二次风入口处压力变化非常明显,炉膛中间压力梯度不是很大,在炉膛出口进入旋风分离器处压力达到最大.从图 2 可以看出随着炉膛下扩口角的不同,炉膛内压力梯度云图有明显的不同.这说明对扩口角的一个设计可以改变炉膛内的流动状况.从图 2 中压力云图的分析可以看出炉膛内流动有明显的分层现象,但随着对扩口角的选择优化这种分层的流动有明显的减弱趋势,图 2(a)、(e)、(f)分层明显,(c)、(d)这种分层减弱,图 2 可以得出在 $67^\circ \sim 68^\circ$ 左右炉膛内压力振荡逐渐减小、分层减弱,说明在此扩口角内能使炉膛内流动有一个好的流动特性.

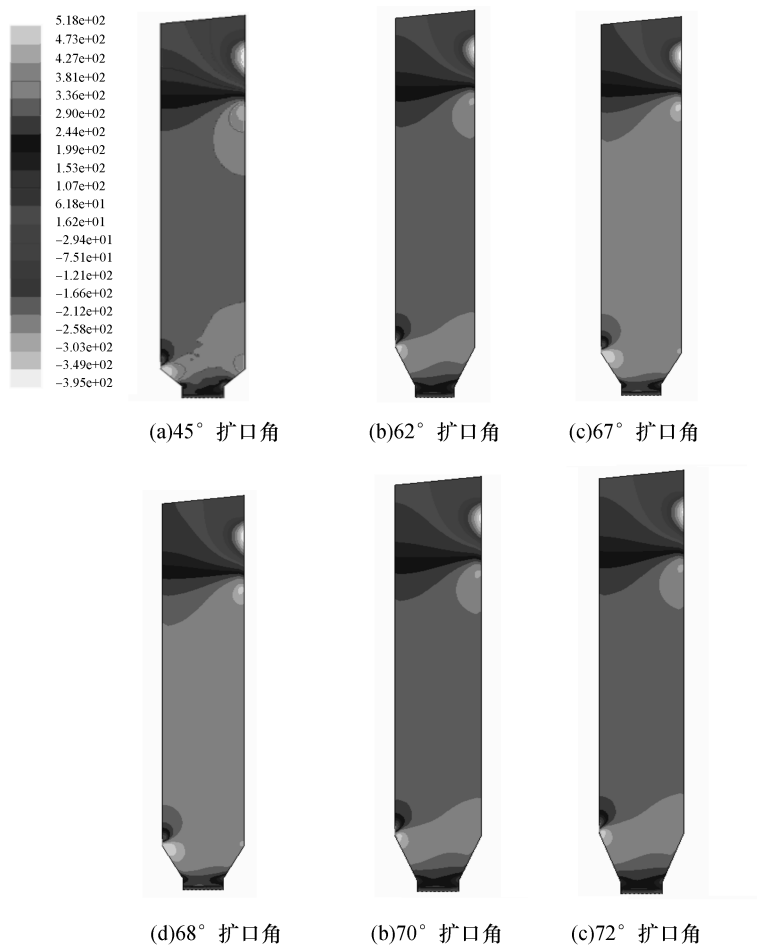


图 2 炉膛内压力分布图

Fig. 2 Inner pressure distribution chart of fluidized bed furnace

3 结 论

炉膛的设计和布置对任何一台循环流化床锅炉安全、高效运行有着极大的关系. 影响炉膛内流动的特性有很多因素如: 进料口、回料口、进风口等的影响. 任何一个地方有微小的变化, 在炉膛内流动及压差都会产生强烈的振动. 炉膛通过应用流体计算软件进行数值模拟, 对工程上循环流化床炉膛下锥形扩口角经验值的一个优化.

参考文献:

[1] 路春美,程世庆,王永征,等. 循环流化床锅炉设备与运行[M]. 北京:中国电力出版社,2008:26-30.

[2] 程乐鸣,骆仲洪,高翔,等. 循环流化床锅炉炉膛开口设计探讨[J]. 电力系统工程,98,14(11):9-13.

[3] Ding J,Gidaspow D. A bubbling fluidization model using kinetic theory of granular flow[J]. AICHE Journal,2006,36(4):523-538.

[4] CAO J,Ahmadi G. Gas-particle two-phase turbulent flow in a vertical duct[J]. Int J Multiphase Flow,2008,21(6):1203-1228.

[5] Samuelsberg A,Hjertager B H. A experimental and numerical study of flow patterns in a circulating fluidized bed reactor[J]. Int Multiphase Flow,2006,22(3):575-591.

[6] 洪若瑜,李洪钟,程懋圩,等. 基于双流体模型的流床的模拟[J]. 化工学报,2005,46(3):349-356.

[7] 张锴,张济宇,张碧江,等. 气—固流化床反应器内流体力学模型及其验证[J]. 燃烧化学学报,1997,25(3):193-198.

[8] 陆慧林,何玉荣,刘阳,等. 多组分颗粒稠密气固两流动的数值模拟[J]. 工程热物理学报,2007,23(3):369-371.