

试验研究

# 一、二次风配比对 75t/h 循环流化床的影响

李龙君<sup>1</sup>, 马晓茜<sup>1</sup>, 黄阔<sup>2</sup>, 冯超<sup>2</sup>

(1. 华南理工大学, 能源高效清洁利用广东普通高校重点实验室, 广州 510640;

2. 广州市能源监测研究院, 广州 510170)

**摘要:** 本文利用 FLUENT 模拟软件对 75t/h 循环流化床进行数值模拟, 研究了一、二次风配比(5.5:5.5:4.5 和 6:4)对炉内温度场、速度场和 CO<sub>2</sub> 分布的影响, 发现一、二次风配比为 5.5:4.5 时, 循环流化床运行较优, 炉内温度场较均匀, 且基本能达到规定运行温度, 速度分布均匀, 炉内烟气流速较高, 出口烟气速度分别比 1、3# 工况要高 33.42% 和 13.70%, 炉内 CO<sub>2</sub> 分布较优, 旋风分离器具有很高的工作效率。

**关键词:** 循环流化床; 模拟; 温度场; 速度场

中图分类号: X799.3

文献标识码: A

文章编号: 1006-8759(2013)05-0030-04

## STUDY ON THE IMPACT OF 75T/H CIRCULATING FLUID BED UNDER DIFFERENT RATIOS OF PRIMARY AND SECONDARY AIR

LI Long-jun<sup>1</sup>, MA Xiao-qian<sup>1</sup>, HUANG Kuo<sup>2</sup>, FENG Chao<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Efficient and Clean Energy Utilization of Guangdong Higher Education Institutes, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2. Guangzhou Institute of Energy Testing, Guangzhou 510170, China)

**Abstract:** The 75t/h circulating fluid bed was simulated with FLUENT software, and the major parameters of temperature field, velocity field and CO<sub>2</sub> distribution under the condition of different primary and secondary air. It was found that the circulating fluid bed operated better when the primary and secondary air volume ratio was 5.5:4.5. It had better uniform temperature distribution, and the temperature could basically achieve the rated value. The velocity of smoke gas was larger, and its distribution was well-proportioned. The velocity in the outlet was 33.42% and 13.70% higher than the corresponding value of 1# and 3# working condition, respectively. The distribution situation of CO<sub>2</sub> in the furnace was better, and the cyclone separating device had good work efficiency.

**Keywords:** circulating fluid bed; simulation; temperature field; velocity field

### 1 引言

收稿日期: 2013-03-26

基金项目: 华南理工大学能源高效清洁利用广东普通高校重点实验室 (KLB10004); 广东省大气环境与污染控制重点实验室 (2011A060901011); 广州市科信局广州市能效检测技术重点实验室 [2009]7-06

第一作者简介: 李龙君 (1988-), 男, 广东梅州人, 硕士研究生, 研究方向为高效低污染燃烧、生物质及固废能源利用。

人类社会进步, 带动了经济的快速发展和人们生活水平的提高, 但也对能源需求提出了更高的要求, 能源利用已经成为当今社会的重大问题。而化石燃料的大量消耗使得各国把注意力转向煤炭资源<sup>[1]</sup>。我国的煤炭资源占据一次能源消耗中的 65%<sup>[2]</sup>, 因此有必要发展煤炭的高效低污染燃烧技术。

循环流化床的燃烧技术是 70 年代末发展起来的<sup>[3]</sup>,以其较好的煤种适应性、较高的燃烧效率和环境友好性在国内外得到大力发展<sup>[4]</sup>。但它是一种实际超前于理论的燃烧技术,实际运行过程中,燃烧非常复杂,既包括传热传质,还包含多种化学反应的相互作用,给炉内燃烧的试验研究带来了较大困难<sup>[5]</sup>。随着 CFD 模拟技术的快速发展,灵活、通用等优点使它得到了广泛运用,许多学者对循环流化床内部的燃烧情况进行了数值模拟<sup>[6-8]</sup>。

本文以某 75 t/h 循环流化床为研究对象,研究不同一、二次风配比对流化床运行情况的影响,主要研究炉内温度场、速度场和 CO<sub>2</sub> 分布。最后对最佳工况下的旋风分离器内组分颗粒的流动情况进行研究分析。

## 2 物理模型及网格划分

本文研究的 75 t/h 循环流化床,炉膛高 22m,截面尺寸为 2.53m×5.33m。一次风 (Primary Air, PA) 经布风板送入炉膛,温度为 433K,二次风 (Secondary Air, SA) 由炉膛密相区上部送入炉膛,左右墙各三个二次风口 (SA-LF),前后墙密相区各设两排二次风口 (SA-1、SA-2),稀相区设一排二次风口 (SA-3),每排各八个,二次风温度为 573K。前墙设三个给煤口,后墙设两个回料口。炉膛设两个出口,分别连接两个旋风分离器。

根据床体的实际结构,利用 Gambit 软件建立相应物理模型,如图 1 所示。为计算方便,对炉膛和旋风分离器的模型分开建立,计算时把炉膛出

口边界条件导入旋风分离器入口边界以完成模拟计算。在进行网格划分时,网格单元采用 Tet/Hybrid,网格类型采用 Tgrid,炉膛模型总网格数约为 30 万个,旋风分离器总网格数约为 8 万个。

## 3 数值模拟方法及边界条件

本文采用 FLUENT 商用模拟软件,模拟方法<sup>[9]</sup>如下:N-S 方程的求解采用 SIMPLE 方法,采用 RNG k-ε 湍流模型求解气固两相之间的湍流,炉内燃烧的辐射和换热采用 P1 辐射模型,煤粉颗粒的运动轨迹采用基于拉格朗日的随机颗粒轨迹方法,对煤粉的挥发分释放采用 Two Competing Rates Model,用 mixture-fraction/PDF 计算气相的湍流燃烧,焦炭燃烧采用 kinetics/diffusion-limited char combustion model。一、二次风入口设为 VELOCITY-INLET,炉膛设为定温,温度为 577K,炉膛出口设为 OUTFLOW,旋风分离器设为绝热边界条件。

## 4 工况设定

在空气量不变,投煤量为 2.7kg/s,回料量为 48kg/s,SA-LF、SA-1、SA-2 和 SA-3 的流量比为 4.5:3.5:2:1 的情况下,选取三种不同的一、二次风配比 (5:5、5.5:4.5 和 6:4),命名为 1#、2# 和 3# 工况,以此研究不同一、二次风配比对流化床运行情况的影响。

## 5 模拟结果与分析

### 5.1 对温度场的影响

图 2 为不同一、二次风配比时床体中剖面温度分布图,如图可知,一、二次风配比对炉膛温度分布影响显著。密相区内的温度梯度较大,主要是因为此区域为一、二次风喷入区域,紊流较剧烈,也是燃料和回料的投入区域,烟气的剧烈扰动使得此处燃料的燃烧换热更加剧烈。布风板以上区域温度普遍较低,因为此处为一次风口,一次风温度相对较低,对此处起冷却作用。而比较 1、2 和 3# 工况的炉膛温度分布可知,无论是密相区还是稀相区,2# 工况的等温线较稀疏,意味着 2# 工况的温度较均匀,且在稀相区,炉内温度基本达到循环流化床良好运行的指定温度。而 1、3# 工况的整体温度都较之 2# 工况的要低,不能满足床体良好运行条件,以上情况产生的原因是一、二次风配比

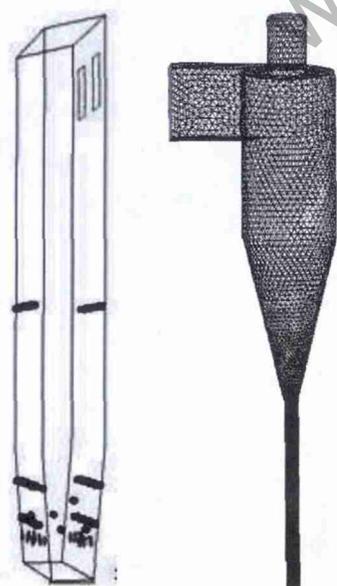


图 1 炉膛(左)和旋风分离器(右)的物理模型

不佳,使得对燃煤的主燃烧与促进充分燃烧作用不甚理想,影响了炉体内部温度分布。

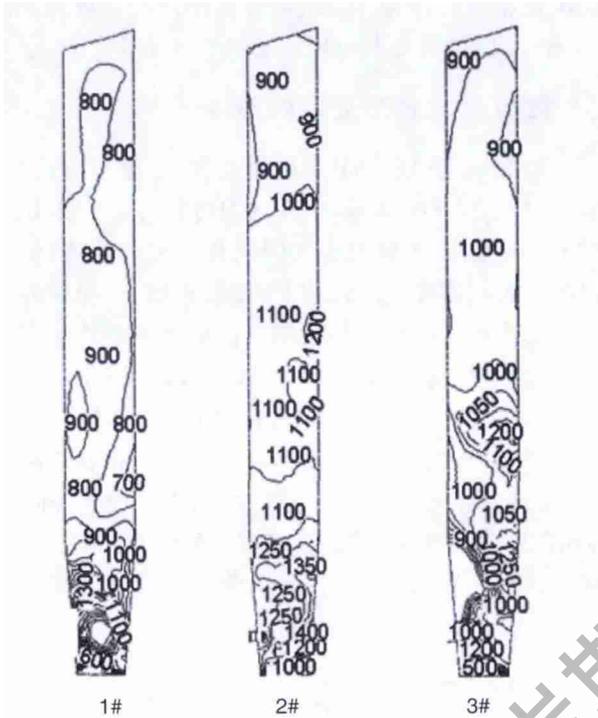


图 2 不同一、二次风配比时炉内温度分布/K

### 5.2 对速度场的影响

图 3 为不同一、二次风配比时床体中剖面速度分布图,如图 3 可见,密相区的等速度线比稀相区的要密集,说明密相区的速度梯度较大,速度变化剧烈。因为密相区是一、二次风和燃料、回料喷入的区域,湍流度较大,且由 5.1 对温度场的分析可知,密相区都维持在较高的温度水平,分子热运动较剧烈,烟气在此处有较强的传质与传热能力。2# 工况炉膛中部的烟气速度较之其他两种工况都较大。对照 5.1 中的温度分布可知,温度较高的地方,等速度线较密,速度较大,这也可由分子的热运动原理解释。三种工况的出口平均速度分别为 11.88、15.85 和 13.94m/s,可见 2# 的出口平均烟气速度最大,这与炉膛中的燃烧组织情况有关,燃烧较好,较充分时,较多可燃质大分子分解为烟气小分子产物,体积膨胀,流量增大,流速升高。比较三种工况的炉膛中剖面速度场可知,2# 的烟气速度维持于较高的速度水平,这有助于炉内传热传质的进行,促进可燃质的充分燃烧,保障循环流化床的运行效率,故相比之下,2# 工况为较佳工况。



在炉膛中心处 2# 工况的  $\text{CO}_2$  含量分布较均匀,等值线最稀疏,这可能是由于 2# 工况的炉膛中心温度相较于 1、3# 工况的均匀,而温度又会影响  $\text{CO}_2$  的生成速率。

#### 5.4 旋风分离器内颗粒轨迹

经以上分析可知,2# 工况为较佳工况,现对 2# 工况旋风分离器的颗粒运动情况进行分析。由图 5 所示可知,进入旋风分离器的颗粒只有少部分进入尾部烟道,大部分颗粒由旋风分离器分离回收,保证了其回收效率,不仅可以确保循环流化床的燃烧充分度,提高燃烧效率,还可以减轻未燃颗粒对尾部受热面的冲刷、磨损,确保循环流化床的安全、经济运行。

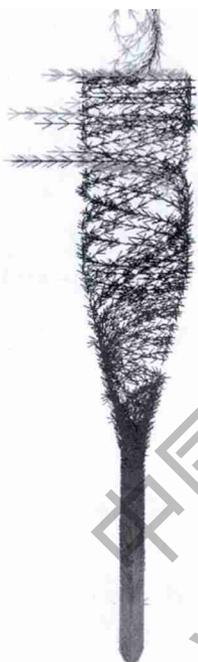


图 5 2# 工况旋风分离器内颗粒轨迹

## 6 结论

(1) 一、二次风配比分别为 5:5、5.5:4.5 和 6:4 时,密相区的温度变化较剧烈,2# 工况的燃烧情况较好。

(2) 三种一、二次配风情况下,密相区和炉膛出口处的烟气流速变化相较于炉膛中心的要大,2# 工况的炉膛烟气速度水平较高。

(3) 三种一、二次配风情况下,密相区的  $\text{CO}_2$  等值线较密集,且含量普遍高于稀相区的  $\text{CO}_2$  含量。大部分未燃颗粒能够被分离回收,只有少部分进入尾部烟道。

## 参考文献

- [1] 白志刚,杨晨. 循环流化床气固两相流动模拟[J]. 计算机仿真, 2009, (3): 272-275.
- [2] 郑鑫,张大英,赵慧. 基于 CFD 的循环流化床旋风分离器模拟[J]. 河南科技大学学报:自然科学版, 2009, 30(2): 29-31.
- [3] 高翔,刘剑焜,王宁,等. 基于数值模拟方法的循环流化床的颗粒特性分析[J]. 硅谷, 2012, (11): 38-39.
- [4] 王明俊,于尔铿,刘广一. 配电系统自动化及其发展[M]. 中国电力出版社, 1998.
- [5] 黄志荣,孙佰仲,王擎. 油页岩循环流化床燃烧数值模拟[J]. 东北电力大学学报, 2012, 32(2): 1-5.
- [6] J. Ding, D. Gidaspow. A bubbling fluidization model using kinetic theory of granular flow[J]. AIChE Journal, 2004, 36(4): 523-538.
- [7] J. Cao, G. Ahmadi. Gas-particle two-phase turbulent flow in a vertical duct[J]. International journal of multiphase flow, 1995, 21(6): 1203-1228.
- [8] A. Samuelsen, B. Hjertager. An experimental and numerical study of flow patterns in a circulating fluidized bed reactor[J]. International journal of multiphase flow, 1996, 22(3): 575-591.
- [9] 倪建民. 75t/h 电站循环流化床锅炉的数值模拟研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [10] 王康健,张丹娅,金军,等. 75t/h 电站循环流化床锅炉燃烧和污染物排放的数值模拟[J]. 能源工程, 2004, (1): 36-42.

(上接第 13 页)

环境,保障脱硫系统安全、经济的运行提供实际依据,同时也可在现场操作人员提供反应与操作处理能力的培训,从而为火电厂湿法烟气脱硫提供技术支持,具有很大的现实意义和使用价值。

## 参考文献

- [1] 乐园园,金东春,张岩,等. 浙江省火电厂石灰石湿法烟气脱硫装置运行分析[J]. 浙江电力, 2010, 7: 53-56.
- [2] 牛治国,张勇,陈鸿伟. 我国燃煤电厂烟气脱硫技术进展[J]. 河北化工, 2006, 1: 43-45.
- [3] 郑晓坤. 火电厂烟气脱硫方法的研究 [D]. 北京: 华北电力大

学, 2009.

- [4] 卓小芳. 石灰石/石膏湿法烟气脱硫系统仿真研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
- [5] 胡满银,李立锋,赵毅. 湿式石灰石/石膏法烟气脱硫仿真数学模型的研究[J]. 华北电力大学学报, 2005, 32(6): 84-88.
- [6] 陈海占,袁星,徐钢. 火电机组湿法脱硫系统水耗建模与分析[J]. 现代电力, 2011, 28(5): 68-71.
- [7] 张华伟. 660MW 机组石灰石湿法烟气脱硫系统仿真研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
- [8] 唐志永,仲兆平,孙克勤,等. 湿法脱硫喷淋塔空塔流场数值模拟[J]. 能源利用与研究, 2003, 2: 10-12.