

射流对冲搅拌式高强度煤粉燃烧器的研究

杨耀宾 许晋源 陈学俊
(西安交通大学)

一、引言

强化燃烧是多年来人们一直追求的目标之一。近年来一些研究者用煤粉射流的对冲来强化煤的燃烧,取得了一定的效果^[1-3]。但是对射流对冲燃烧方式的机理和工作特性的研究,以前的分析模型都比较简单,也没有探讨对冲燃烧方式对劣质煤的适应性。本文作者在所建的高强度燃烧试验台上对分宜劣质烟煤进行了燃烧试验,测量了燃烧器二维等温模型的湍流场,并对燃烧器的二维模型和三维两相等温流场进行了数值计算。

二、实验系统

图1为燃烧器简图。燃烧器高1(m),内径70(mm)。一次风分四股,呈十字对冲进入燃烧器,对冲平面距燃烧器端部40(mm),一次风喷口直径3(mm)。二次风也分为对称的四股,喷口直径4(mm),在一次风下游200(mm)处进入燃烧器。

燃烧器的二维等温模型是一个平面流动系统,其平均流场和湍流场用 TSI 公司生产的双通道热线风速仪测量。

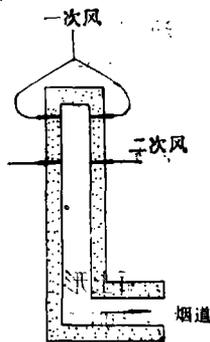


图1 燃烧器简图

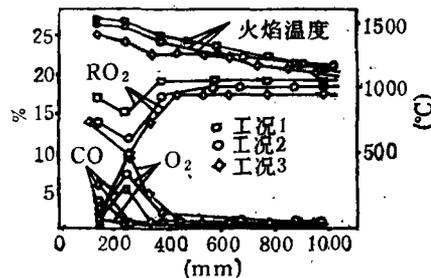


图2 气体浓度和火焰温度沿燃烧器轴向长度的分布

三、理论

气相时均流场采用短时平均流动方程求解。湍流场的计算采用 Spalding 的 $k-\epsilon$ 两方程模型。气相控制方程经通用化处理变为

$$\partial(\rho\phi)/\partial t + \text{div}(\rho U\phi) = \text{div}(\Gamma_\phi \text{grad}\phi) + S_\phi + S_{p,\phi} \quad (1)$$

气相与颗粒相之间的藕合效应由方程中的颗粒源项引入。颗粒相采用拉格朗日法处理,颗粒轨道计算采用本文作者提出的整体/局部扩散(轨道分裂)模型^[4]。整体扩散是指由

本论文为国家自然科学基金资助项目。

本文曾于1988年在上海召开的中国工程热物理学会第六届年会上宣读。

“飘移力”或“飘移速度”模型^[9]所决定的颗粒湍流扩散,局部扩散则是指由上述模型所确定的每条颗粒轨道自身的扩散。这种局部扩散和整体扩散相结合的方法克服了以前计算中每条轨道上的颗粒群散不开的缺点,颗粒群的局部扩散用无限长质量线源的扩散近似模拟,并采用多次分裂颗粒轨道的方法进行计算。

四、结果和讨论

对大多数实验工况,煤粉均能及时着火并猛烈燃烧。表1和图2给出了三种试验工况及其气体浓度和火焰温度的测量结果。从图2可见,最高火焰温度(1400—1500℃)位于一次风与二次风之间的强烈搅拌区。尽管三种工况的一次风过量空气系数 α_{1k} 有较大差异,但从气体浓度沿燃烧器长度的分布来看,在火焰长度接近0.5(m)处燃烧反应就已基本完成。一次风过量空气系数仅对一次风搅拌区的燃烧反应有较明显的影响。燃烧器出口飞灰含碳量为16.47—21.90%,相应飞灰燃尽率为68.3—78.0%。根据气体浓度分布估算,总的燃烧效率在90%以上,燃料在火焰中的升温速率为 10^6 (K/s)量级。

表1 燃烧实验工况

工况	给煤量(kg/h)	α_{1k}	α_{2k}	$\alpha_{总}$	热负荷(MW/m ³)
1	3.3	0.70	0.33	1.03	3.2
2	3.6	0.84	0.18	1.02	3.5
3	4.1	0.51	0.42	0.93	4.0

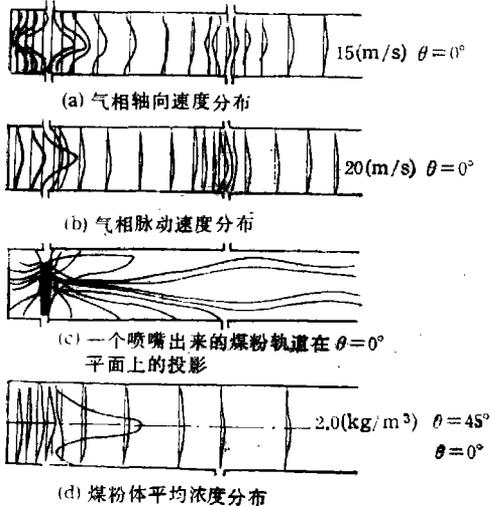


图3 三维等温模型数值预测结果
 θ ——所考察平面与喷嘴所在平面间的夹角

尺度已达到煤粉颗粒直径的量级,煤粉颗粒周围的传热传质薄膜受到极大破坏,从而使燃料的升温速率及燃烧速率大大提高和强化;(2)由于煤粉在着火区出现一个高浓度峰值,保证燃烧稳定的一次风过量空气系数可以远高于常规燃烧设备中的推荐值;(3)射流对冲搅拌式煤粉燃烧器的主要特点是一次风上下游烟气回流、一次风区的高湍动和局部煤粉高度富集;(4)燃烧器的结渣较为突出,多位于一次风和二次风之间的区域。解决结

图3(a)—(d)分别为三维气相轴向时均速度分布、脉动速度分布、颗粒运动轨道及颗粒体平均浓度分布的数值预测结果。可以看到,一次风射流对冲碰撞后,在其上游和下游形成回流,碰撞点附近区域湍动十分强烈,最高脉动速度与射流出口速度之比可高达45—50%。颗粒运动轨道十分复杂,有相当一部分颗粒在惯性力作用下撞在燃烧器壁面上形成粘渣。颗粒体平均浓度分布一个最明显的特点是,在一次风对冲点附近出现一个极高的浓度峰值。

通过对燃烧器二维等温模型测量结果和三维两相流场数值预测结果的分析,可以得到如下重要结论:(1)四股一次风射流的高速对冲使一次风区的最小湍流涡旋

渣问题是今后继续研究的方向。

参 考 文 献

- [1] P. M. Goldberg et al.: "Coal Combustion in a Jet-Mix Stirred Reactor", 17th Symp. on Combustion, (1978), pp. 145—154.
- [2] H. Farzan et al.: "High Intensity Combustion of Coal," 19th Symp. on Combustion, (1982), pp. 1105—1111.
- [3] 黎军: "对冲射流搅拌反应器式煤粉预燃室工作特性的研究及其试验台的改进", 西安交大硕士论文, (1984).
- [4] 杨耀宾: "射流对冲搅拌式煤粉燃烧器的三维计算机模拟和试验研究", 西安交大博士论文, (1988).
- [5] 王应时等: 《燃烧过程数值计算》, 科学出版社, (1986).

STUDY ON AN OPPOSED JET-STIRRED BURNER OF PULVERIZED-COAL

Yang Yaobin Xu Jinyuan Chen Xuejun
(Xi'an Jiaotong University)

Abstract

In this paper, experiments and 3-D two-phase computer simulation have been conducted for an opposed jet-stirred burner of pulverized-coal. Results showed that: (1) under the condition of the primary air not preheated, the Fenyi highash coal can be burned with the primary-air jets opposed. The average heat releasing rate reached as high as 4.0MW/m^3 . The fuel/air stoichiometric ratio of the primary air was 1.2—2.0, and the combustion efficiency was above 90%; (2) a strong turbulence and high fuel concentration zone existed in the stirred region of primary air. The smallest turbulence eddy scale reached the same order of magnitude as the size of the coal particle, and the maximum local coal concentration was about 10 times of the mixing-cup one. The properties of high local concentration of fuel and high turbulent intensity are the main reasons for the stable and rapid burning of the coal.