

文章编号 1000-5013(2000)03-0313-06

工业炉煤粉旋风预燃器的气相流场特性

刘华信 肖美添 朱 艳 曾明荣

(华侨大学化工学院, 泉州 362011)

摘要 介绍 HD-2 型工业炉煤粉旋风预燃器的试验装置, 测定其切向速度 V_θ 、径向速度 V_r 、轴向速度 V_z 和静压 P_s 的分布。结果表明: (1) 在不同的一、二次风流量比(Q_2/Q_1)下, 预燃器不同横截面的 V_θ 、 V_z 和 P_s 有各自相类同的分布形状曲线, 而 V_r 在数值上存在某些随机性; (2) 该预燃器存在有中心负压区, 能卷吸器外气体回流, 影响煤粉的升温、着火和燃烧; (3) 该预燃器设计合理, 工业应用时可根据不同煤粉种类控制 Q_2/Q_1 比值。

关键词 工业炉, 旋风, 预燃器, 气相流场

中图分类号 TQ 052.76

文献标识码 A

工业炉上的煤粉燃烧器, 具有设备尺寸小、用煤量少、煤种杂、允许煤粉粒度变化范围大, 以及大多数是间歇性操作、没有热风供应和工作温度较低等特点。国内外学者对锅炉用的煤粉燃烧器已进行过大量研究, 但对数量巨大的中小型工业炉煤粉燃烧器的研究甚少。工业炉煤粉燃烧器及整个燃烧系统设备, 仍处于十分落后状态。我们研制了燃煤量为 $80 \sim 300 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 的 HD 型工业炉煤粉旋风预燃器, 成功应用于退火炉、锻造炉、熔铝炉和熬碱炉等设备上。它在节能、消烟减尘、均温、提高生产强度和改善车间文明程度等方面, 取得了显著效果^[1,2]。但是在设计和应用 HD 型煤粉旋风预燃器过程中, 未能确定设计与运行的最佳参数, 限制了 HD 型煤粉旋风预燃器及其相配工业炉的进一步优化与创新。本文主要介绍 HD 型煤粉旋风预燃器气相流场特性参数的测量及分析结果。它可为研究预燃器内固相粒子运动、优化预燃器的设计与操作服务, 也可为旋风炉、旋风分离器及其它旋流式设备的设计与操作提供参考依据。这样有助于加深对有旋流和回流的气固两相流动原理的认识。

1 实验装置和测试方法

图 1 为煤粉旋风预燃器气相流场实验测量系统。实验所用的预燃器系统 HD-2 型工业炉煤粉旋风预燃器的简化模型, 如图 2 所示。工程上应用的 HD-2 型预燃器, 把二次风口沿环形布置在预燃器出口, 二次风直接送入工业炉燃烧室。本实验的二次风口布置在预燃器筒身上, 在进行流场特性试验时, 既能符合预燃器现状的需要(实验中不供入二次风, 即 $Q_2 = 0$ 时), 又能为今后改进预燃器的结构设计和变化一、二次风的操作参数(Q_2/Q_1)做准备。

在实验设备模型的结构与尺寸固定的情况下,影响气流切向速度 V_φ 、径向速度 V_r 、轴向速度 V_z 和静压 P_s 等 4 个流动参数数值与分布形状的变量有两类。(1) 送入设备的一次风量 Q_1 和二次风量 Q_2 。(2) 流体质点所处的空间位置 (φ, r, z) 。两股风量对流动参数分布特点的影响,

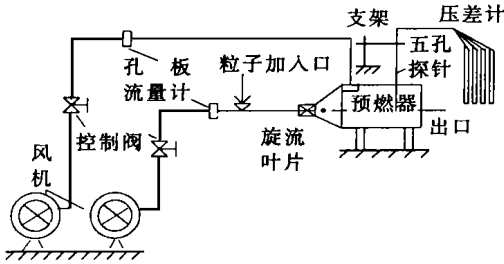


图1 旋风预燃器的简化模型
及实验测量系统

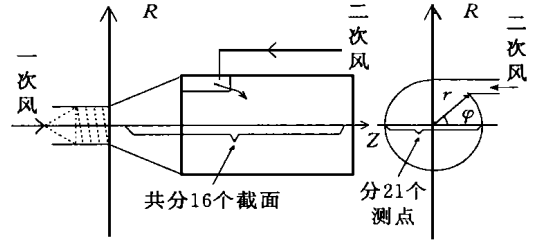


图2 预燃器的简化模型
和测点网格

可用比值 Q_2/Q_1 来体现,而旋流设备的流场也可认为具有中心轴对称分布。因此,在测量流动参数时,取 Q_2/Q_1 、 r/D 和 z/D 作为无量纲变量, D 为预燃器筒身的直径。它们的取值范围或方法为固定 $Q_1 = 18 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$,逐渐加大 Q_2 ,使 Q_2/Q_1 分别等于 0, 0.25, 0.5 和 1.0,其中 $Q_2/Q_1 = 0$ 表示预燃器目前在工程上应用的实际工况。 z/D 在预燃器模型沿轴向取 16 数值, r/D 在预燃器模型的每个 z/D 值截面上,沿半径方向均匀取 19 个或 21 个测点,如图 2 所示。每种工况都可在约 320 个测点上测量流动参数,测量结果能较全面地反映器内的流场情况。

2 流场测试结果及讨论分析

测量 4 种流场工况下,16 个截面和每个截面上 19 个或 21 个测点的流动参数^[6]。限于篇幅,本文仅列出部分测试结果。

2.1 切向速度分布

气流切向速度 V_φ 是体现煤粉旋风燃烧器环流特性的参数,是各类旋流式设备最具代表性、数值也最大的一个分速度。它在很大程度上影响旋风燃烧器的运行状况(如固体粒子运动轨迹),也影响器内气流其它流动参数(如静压力和轴向速度)的分布特征。在 3 种 Q_2/Q_1 工况下,测得切向速度 V_φ 随 r/D 和 z/D 而变化的分布,如图 3 所示。从图可以看出 4 点规律与现象。(1) 在各个截面上,不同的一、二次风比例 Q_2/Q_1 仅影响 V_φ 的数值,并不改变 V_φ 的分布,即 V_φ 的分布曲线能遵循大致相同的变化趋势。(2) 在相同 Q_2/Q_1 工况下,预燃器各个截面的 V_φ 在数值上存在某些差异,但分布曲线的基本形状也具有大致相同的变化趋势。(3) 以最大速度值 $V_{\varphi m}$ 处($r = r_m$)为界,每条曲线可以分成两个部分。前半段($0 < r < r_m$) V_φ 随 r 的增大而增加,后半段($r_m < r < R$) V_φ 随 r 的增大而减小。 V_φ 的这种分布规律近似地服从纯环流规律,可用经过修正的环流切向速度分布公式来近似描述^[6~6]。服从前半段切向速度分布曲线的预燃器空间区域,即是所谓的流体涡核区,亦称流体的似固体旋转区。服从后半段 V_φ 分布曲线的预燃器空间区域,是所谓的流体周缘区,亦称流体的似势流区。(4) 切向速度 V_φ 随 r/D 而变化的分布曲线前后两部分交界处(面)的半径 $r_m/D = 0.2 \sim 0.3$,比预燃器的气流出口半径 $r_0/D = 0.2$ 略大。由于空气是非理想流体,具有粘性,加上流体流动模式并非纯正的环流流动和其它一些因素的影响。所以上述的交界处不是一个几何点(面),而是一个 V_φ 变化缓慢的过渡区。

2.2 径向速度分布

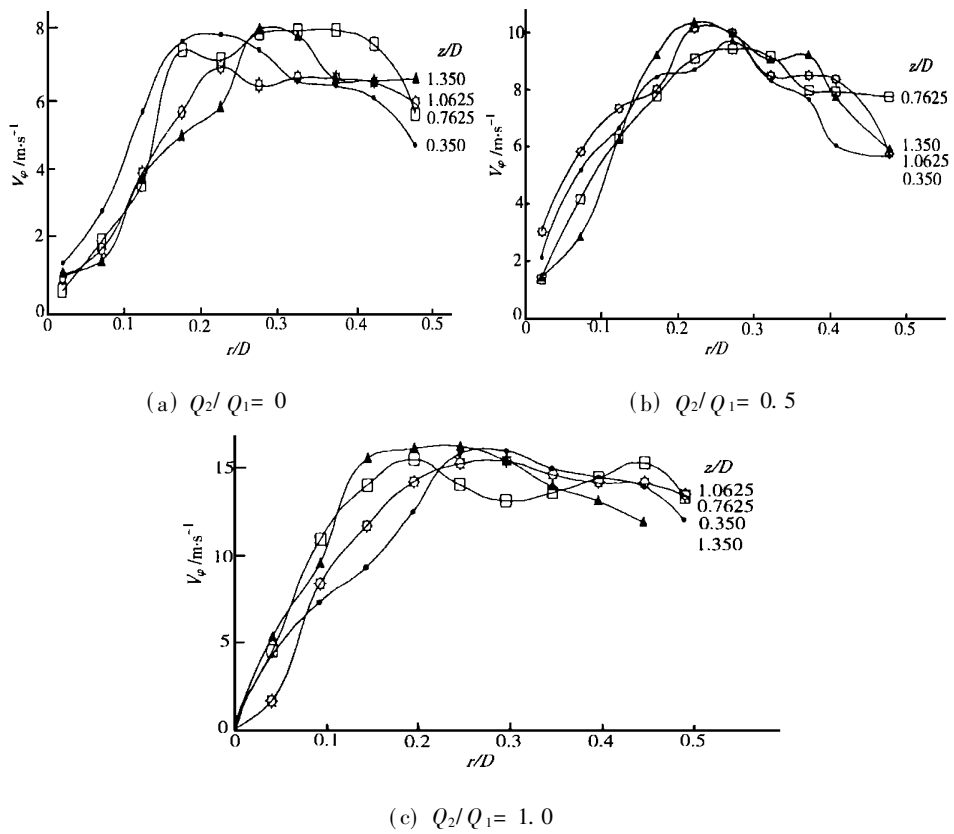


图 3 切向速度分布图

有不少文献从概念出发,认为旋流设备向气流径向速度是其汇流流动特性的体现^[6],速度的方向指向圆心,数值 $V_r = Q/2\pi r$.即纯汇流的速度值与流体质点所处的位置 r 成反比,煤粉旋风预燃器当属此列.但我们的实测结果却未能完全体现这一流动特性.图 4 所示的是 $Q_2/Q_1 = 0.5$ 工况下,流场的径向速度分布图.

在各种 Q_2/Q_1 工况和各截面上的流体径向速度均为正值,表明预燃器气流总体由边缘流向中心,具有汇流的特点.但速度值 V_r 随 r/D 的变化规律不明显,甚至带有某种随机性.

我们认为,煤粉旋风预燃器内气流径向速度偏离纯汇流速度分布的主要原因是,器内气流流动不是纯汇流,而是汇流和源流两种流动模式叠合的结果.旋风室内中心存在的负压区,卷吸室外气流形成的回流,从中心流向周缘,形成源流.后者的流量比前者少得多,两种模式流动叠合后的流动仍由周缘指向中心(V_r 为正).但其运动速度值大大降低,随半径而变化的规律性也不明显.

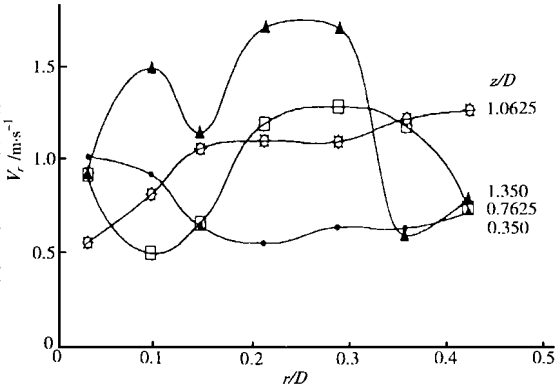


图 4 径向速度分布图

为了更直观地了解预燃器内的气流轴向速度分布,选择 3 种流场工况中 4 个截面的轴向速度分布曲线,沿轴向排列.从图 5 可看出 4 点现象与规律.(1) 在不同 Q_2/Q_1 工况下,不同截

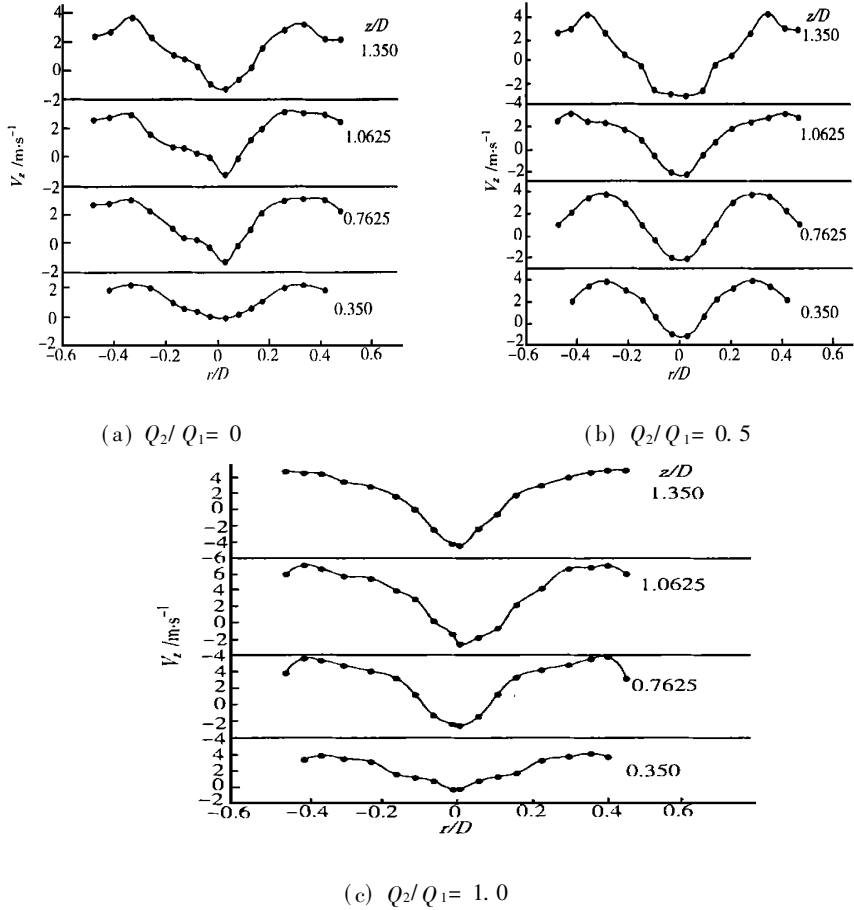


图 5 轴向速度分布

面的轴向速度的数值有所差别,但其分布曲线形状具有相类同的变化趋势.(2) 预燃器内的空间,依轴向气流流向不同,明显分成两个区域. 周缘区是主气流区,轴向速度为正值,气流自预燃器前端(一、二次风进口部位)流向后端(气流出口处). 中心是回流区,轴向速度为负值,预燃器外部气流被卷吸入,流向端部. 这两个区域的位置与切向速度分布的两个区域(周缘的似势流区和中心的似固体旋转区)相对应,但轴向速度分布的两区交界面的半径 $r/D = 0.1 \sim 0.2$, 仅为切向速度分布的两区交界面半径 r_m/D 的 $0.5 \sim 0.6$ 倍.(3) 中心区回流气流的强度随送入的二次风量 Q_2 (或 Q_2/Q_1) 的增加而增强. 在 Q_1 恒定的情况下, Q_2/Q_1 由 0 增到 0.5 和 1.0 时,中心回流气流的轴向速度值分别可达 $1 \sim 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $2 \sim 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $3 \sim 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. 煤粉旋风预燃器内存在的中心回流区,在工业炉窑上能将炉窑燃烧室的部分高温烟气吸进预燃器. 然后,强化、加热预燃器内新鲜空气(Q_1 和 Q_2) 和使燃料颗粒迅速升温,为预燃器乃至整台工业炉的运行创造良好条件. 这是采用 HD 型煤粉旋风预燃器的工业炉后,其窑能比其它的炉窑节能和消烟的关键所在.

2.4 静压分布

HD-2 型工业炉煤粉旋风预燃器内的气流静压分布,如图 6 所示.由图 6 可见,在不同断面上的静压分布规律比 3 个分速度更具类同特点.在预燃器中心约 $r/D=0.2$ 的区域,形成一个负压区或低压区,呈抛物线分布形状.在预燃器周缘区域,由中心向器壁形成静压单调上升的正压区,呈双曲线分布形状.

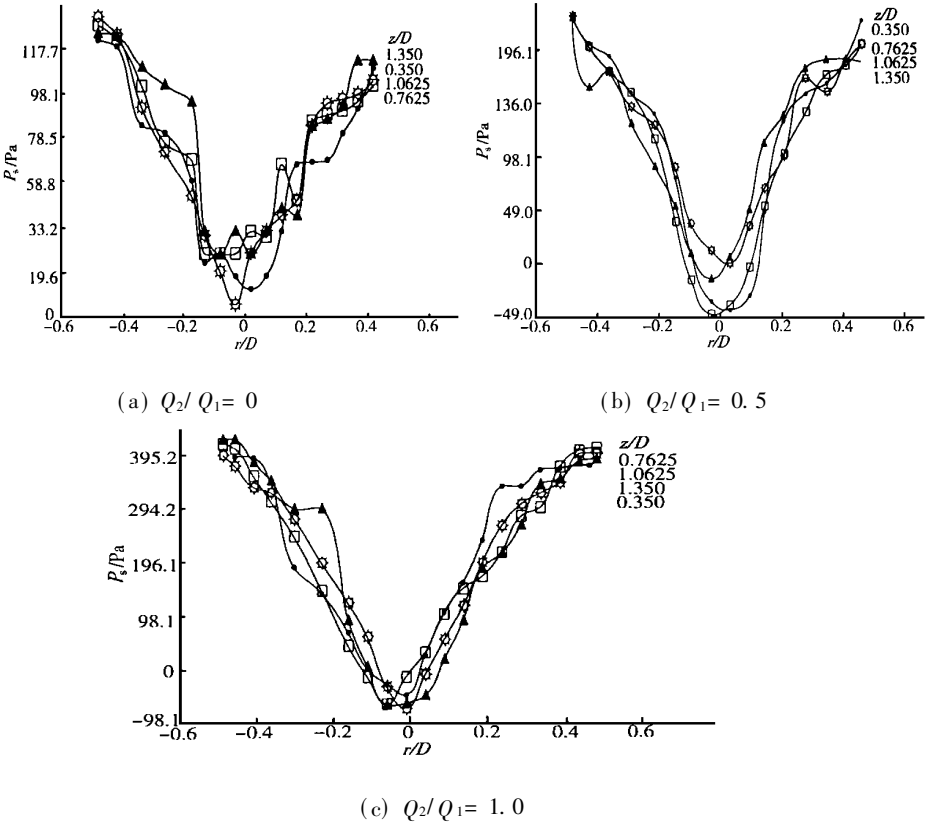


图 6 静压分布图

在不同的 Q_2/Q_1 工况下,静压分布曲线形状是相似的,但在数值上存在两点较大差异.当 $Q_2/Q_1=0$,即进入预燃器的空气仅有弱旋流的一次风 Q_1 ,而无强旋流的二次风 Q_2 时,中心区相对于周缘区只是低压区而不是负压区(图 6a),器内周缘气流的最高静压与中心气流的最低静压之差仅为 $100\sim120\text{ Pa}$.此时,中心回流气流主要来自补吸的周缘气流,回流强度较弱,气流的轴向速度仅有 $-1\sim-2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图 5a).当 Q_2/Q_1 值逐渐提高时,中心区的静压(P_s)也逐渐降低并形成负压区.在 $Q_2/Q_1=1.0$ 时,中心区域的最低静压可达 $-60\sim-80\text{ Pa}$,与周缘区的最高静压之差可达 500 Pa 左右(图 6c),中心回流气流的轴向速度可达 $-4\sim-5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

上述现象可为今后改进工业炉煤粉旋风预燃器的设计与应用,提供指导性原则.如果工业炉燃用的是易于着火燃烧的烟煤粉,可不把二次风 Q_2 送入预燃器,避免可控制器外燃烧室高温烟气被过量吸入,使预燃器因温度太高而烧损.如果工业炉燃用无烟煤粉,则应考虑把适量的二次风 Q_2 送入预燃器,从而降低器内中心区的静压,加强卷吸器外的高温烟气.在强化预燃器内的新鲜煤粉与空气混合物的升温过程,让煤粉在预燃器内完成着火和初期燃烧阶段,以达到煤粉的预燃烧效果.

3 结论

(1) 在各种流场工况, 预燃器的各个截面上, V_φ , V_z 和 P_s 均有各自大致相同的变化趋势. 它们符合一般旋风设备内螺旋推进的环流流动分布规律. 而 V_r 的方向一律由边缘沿半径指向中心, 大小不符合纯汇流的速度分布规律. (2) 在预燃器内, V_φ 是数值最大的一个分速度, 最高速度值可达 $16.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. 这有利于对煤粉颗粒的运载和分离, 并可延长煤粉在预燃器内的行程和停留时间. 在中心区存在一个负压(或低压)区, 卷吸器外气流形成轴向的回流区. 实际运行时, 回流入预燃器内的将是燃烧室中的高温烟气. 这两种流场特点都会为煤粉的升温与燃烧创造良好条件. (3) Q_2/Q_1 的大小对中心负压区的大小强弱和回流气流速度的快慢, 有较明显的影响. 实际应用时, 应根据所用煤种的可燃挥发份含量来调节送入预燃器的二次风量 Q_2 . 当燃用高挥发份的烟煤时, 可不把二次风 Q_2 送入预燃器; 而燃用挥发份含量较低的无烟煤时, 则应送入适量的二次风.

参 考 文 献

- 1 刘华信. 螺旋悬浮燃烧式退火炉的构思和特点[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 1985, 6(4): 418~425
- 2 Liu Huaxin. The development on Hs-type installation of fine coal combustion for industrial furnaces[A]. In: Huang Zhaoxiang, eds. Proceeding of the First Asian-Pacific Int. S. on Combustion and Energy Utilization[C]. Beijing: Academic Publisher, 1990. 40~50
- 3 肖美添. 旋风气固两相流动特性的研究[D]. [学位论文]. 泉州: 华侨大学化工学院, 1999
- 4 柳绮年, 贾复. 旋风分离器三维流场的测定[J]. 力学学报, 1978, (3): 182~191
- 5 Gupta K G, Lilley D G. Swirl flows[M]. Kent TN4 OHU: Abacus Press, 1984: 295~377
- 6 岑可法, 樊建人. 工程气固两相流动的理论及计算[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1990. 628~632

A Study on the Characteristic Gas Phase Flow within a Pulverized Coal Cyclone Precombustor for the Use of Industrial Furnace

Liu Huaxin Xiao Meitian Zhu Yan Zeng Mingrong

(College of Chem. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract A Presentation is made on the experimental model of HD-2 type pulverized coal cyclone precombustor for the use of industrial furnace and also on the measuring results of its tangential velocity V_φ , radial velocity V_r , axial velocity V_z and static pressure P_s . As shown by the results. (1) On different cross-section of precombustor and under different proportion of primary-secondary inlet air (Q_2/Q_1), V_φ , V_z and P_s have respective curve of distribution appearance which similar to each other; and V_r is somewhat random in its value. (2) The absorption of the backflow of gas outside the precombustor by central negative pressure region influences warm-up, catch-fire and burning of pulverited coal. (3) The HD-2 type precombustor is shown by results to be reasonable in design. In its industrial application, the ratio of Q_2/Q_1 should be controlled in line with the variety of pulverized coal.

Keywords industrial furnace, cyclone, precombustor, gas phase flow field