

应用三维 LDA 对同向射流煤粉 预燃室流场的研究

吴承康 卫景彬 杨家寿 赵烈

(中国科学院力学研究所)

摘要

应用三维 LDA 对同向射流模型燃烧室的流场进行测量,对结果进行了分析。应用 $k-\epsilon$ 湍流模型进行了数值计算,计算结果与实验结果在定性上是一致的。

一、前言

为了节约煤粉锅炉启动和低负荷稳燃用油,国内开展了许多这方面的工作。大速差同向射流方法^[1]是我们近年来发展的一种煤粉稳燃和强化燃烧的新型空气动力学方法。用这种方法构造的预燃室,有优越的着火稳定性能,在实用上已经取得成功。本文应用三维 LDA 对这种预燃室的流场进行了研究,得到了平均速度和湍动速度的三维分布。燃烧室内有一个大的回流区,同时有明显的二次流。湍流脉动速度很强并且是强烈各项异性的。用 $k-\epsilon$ 湍流模型的三维数值计算结果与试验结果在定性上是一致的。流场的特性说明了该燃烧器的火焰稳定及强化燃烧的机理。

二、预燃室的结构及其应用

图1给出了大速差同向射流预燃室的示意图。一次风携带煤粉以大约 20(m/s)的速度沿对称轴进入燃烧室。在燃烧室的头部装有一些喷嘴,空气(或蒸汽)以接近音速的速度由喷嘴射入燃烧室。速度较低的一次风和高速射流就构成了大速差同向射流。

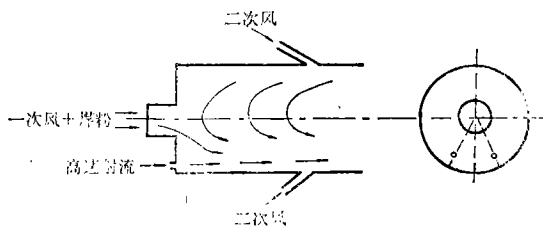


图1 大速差同向射流预燃室示意图

(mm) 燃烧室内燃烧低挥发份贫煤,无烟煤和劣质烟煤的燃烧实验结果。开启射流时温度比不开射流时高 200—400(°C) 或更高一点。即使利用喷油助燃,效果也不如用高速射流好。

实验室和工业锅炉的燃烧试验说明,这种预燃室有很好的稳燃低品位煤的能力,可概述如下:

1. 当高速射流开启后,预燃室内温度明显升高。图2给出了高速射流开启和关闭时温度随时间的变化情况。

2. 表1中给出了在直径为 350

本文曾于 1987 年 10 月在峨眉中国工程热物理学会燃烧学学术会议宣读。

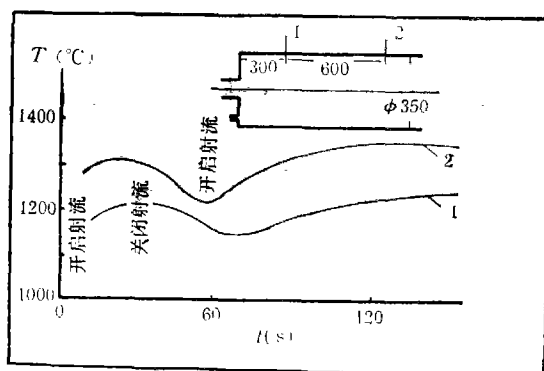


图2 燃烧室温度随射流开关时的变化

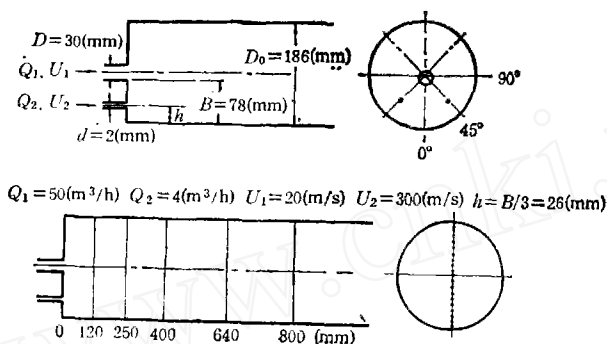


图3 燃烧室模型及测点布置

3. 加装这种新型预燃室后,煤粉锅炉启动用油可大大减少。例如大型电站锅炉(出力670t/h),以前启动一次耗油110吨,而现在只须不到一吨油。

表1 加高速射流对燃烧室温度影响

条 件	煤 种	回流区温度(°C)			预燃室内最大温度(°C)		
		不加高速射流 燃油助燃	加高速射流 无助燃油	ΔT (°C)	不加高速射流 燃油助燃	加高速射流 无助燃油	ΔT (°C)
预燃室直径 $\phi 350(\text{mm})$ 粉量 $200(\text{kg}/\text{h})$ 一次风 $255(\text{m}^3/\text{h})$	$V^I = 12.87$ $A^I = 26.97$ $W^I = 1.65$	960	1240	271	1174	1407	233
预燃室直径 $\phi 470(\text{mm})$ 粉量 $625(\text{kg}/\text{h})$ 一次风 $800(\text{m}^3/\text{h})$ 高速射流 $60.4\text{std}(\text{m}^3/\text{h})$	$V^I = 13.07$ $A^I = 21.1$ $W^I = 6.4$ $Q_L = 22954(\text{kJ}/\text{kg})$	934	1207	273	1107	1291	184
预燃室直径 $\phi 350(\text{mm})$ 粉量 $200(\text{kg}/\text{h})$ 一次风 $125(\text{m}^3/\text{h})$ 二次风 $90(\text{m}^3/\text{h})$	$V^I = 3.76$ $A^I = 26.58$ $W^I = 3.91$ $Q_L = 22760(\text{kJ}/\text{kg})$	677 助燃油	1123 助燃油	446	1095 助燃油	1290 助燃油	195

Q_L ——低热值 V^I ——挥发份(%) A^I ——灰分(%) W^I ——水分(%) 在所有试验中用的都是冷风

为了更好地了解这种预燃室的稳燃机理, 我们利用三维 LDA 测量了模型燃烧室的流场。模型燃烧室如图 3 所示。

试验段是一个长 1000(mm), 直径为 186(mm) 的圆筒。一次风和高速射流进口的直径分别为 30(mm) 和 2(mm), 进口速度分别为 20(m/s) 和 300(m/s), 体积流率分别为 50(m³/h) 和 2 × 4(m³/h)。测点布置在 $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ 剖面内, 所在的位置是 $x = 120, 250, 400, 640, 800$ (mm) 和 $y = \pm N \times 10$ (mm), ($N=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$)。

所用的三维 LDA 是 DANTEC 55x 系统, 包括光路系统, 位移装置、频移器, 信号处理器, 缓冲器和微机等。图 4 表示的是后向接收形式的光路系统, 但为了在实验中提高信号质量, 我们采用前向接收。氩离子激光器发出的光束经分光镜后分为两束, 一束是 476.5(nm) 波长的紫光, 另一束是包含 514.5(nm) 波长的绿光和 488(nm) 波长的蓝光的

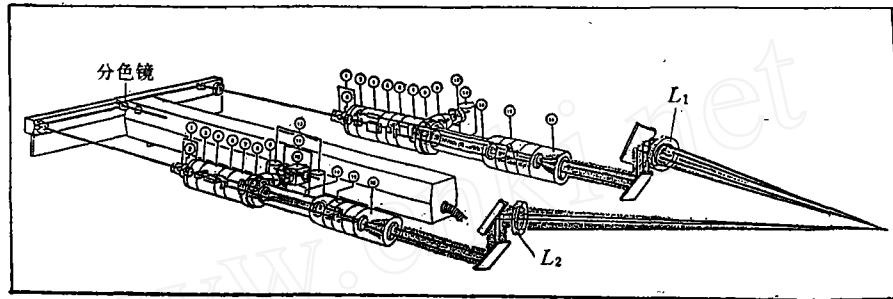


图 4 光路图

光束。由此形成三个通道: 包含绿光和蓝绿混合光的绿光通道, 包含蓝光和蓝绿混合光的蓝光通道和包含两束紫光的紫光通道。每个通道用来测量速度的一个分量。测量所得的分量 V_1, V_2, V_3 和所需的轴向分量 u , 径向分量 v , 切向分量 w 的关系为

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 \cos \phi & 0 & 1/2 \cos \phi \\ -1/2 \sin \phi & 0 & 1/2 \sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix}$$

其中 V_2 就是 w , V_1, V_3 和 u, v 的关系示于图 5 中。实验数据由专门的计算程序处理, 可

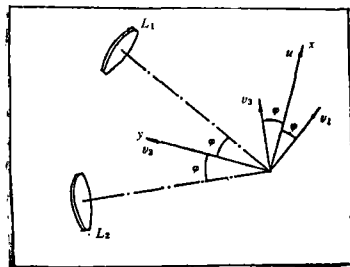


图 5 速度变换关系图

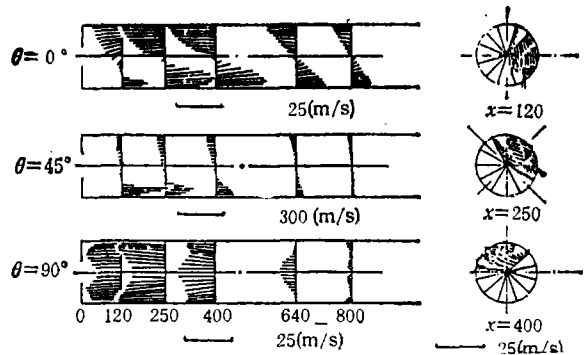


图 6 数值模拟结果

将平均速度 u, v, w 和湍流速度打印出来。

三、计算程序和结果

为了对理论和实验进行比较,我们利用计算程序^[2]计算了与实验条件相同的流场,计算采用 SIMPLE 算法和 $k-\epsilon$ 双方程湍流模型。图 6 给出了计算结果,由图可以清楚地看到流场的三维特性和大逆流区的存在。速度在横截面内的分量也较大,表明正向流和反向流动可以混合良好。

四、实验结果及其与计算结果的比较和对稳焰机理的讨论

图 7, 8 给出了应用 LDA 测得的平均速度,图 9, 10, 11 给出了 $\theta = 0^\circ$ 剖面内 5 个

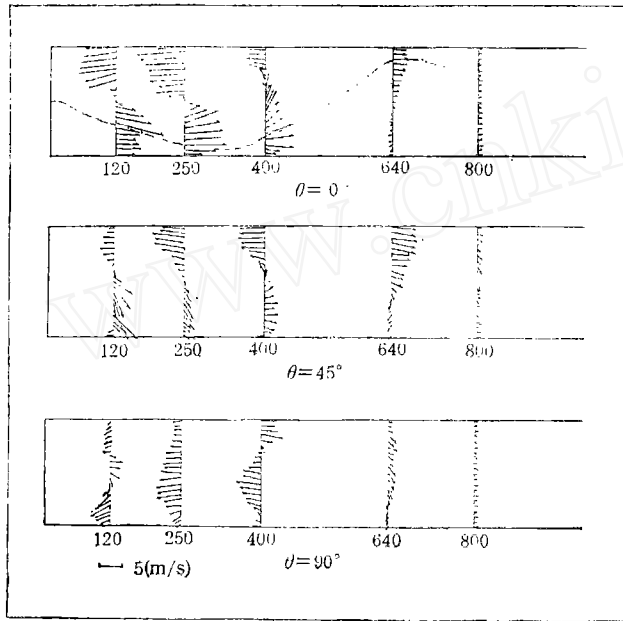


图 7 LDA 测量速度分布

轴向位置的湍流脉动速度均方根值 $\sqrt{u'^2}$, $\sqrt{v'^2}$, $\sqrt{w'^2}$ 。实验测得的平均速度同计算结果进行了比较。

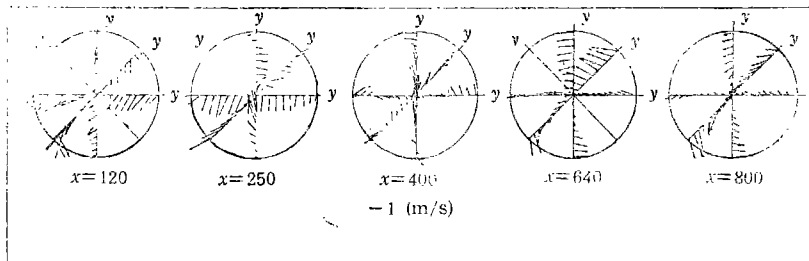


图 8 LDA 测量速度分布

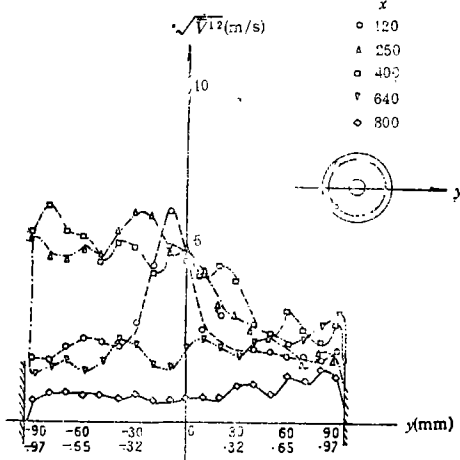
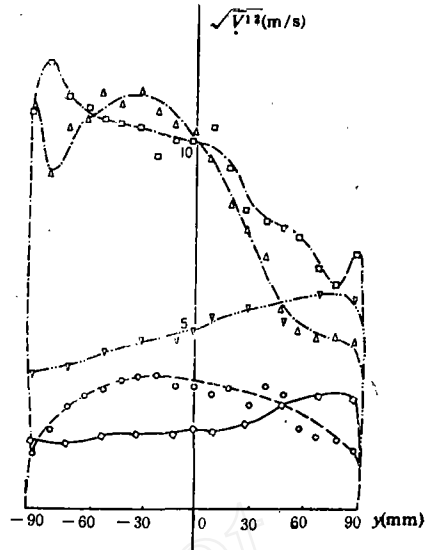
图9 0°剖面内 $\sqrt{u'^2}$ 分布图10 0°剖面内 $\sqrt{v'^2}$ 分布

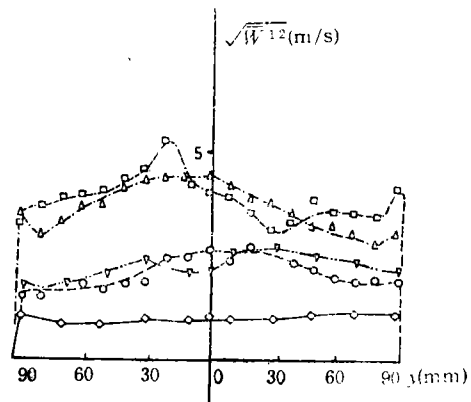
图6和图8说明在横截面内存在很强的二次流。在实验段的前部,截面内的流动方向主要是向下的,而在后部则是向上的。这些对一次风与已燃高温气体的混合和空气同煤颗粒的混合都比较有益。图8说明,由于两侧的流动不对称,因此就会在实验段的后部产生旋转。

由图9可以看出,由于高速射流的引射使主射流向下偏转。在 $x = (1.6-2.0)D_0$ 范围内,随着射流的扩展,射流开始向上部偏转。纵向回流区的长度约为 $(3-3.5)D_0$,比较实验和计算结果可以看到,流场的基本特征非常相似,但数值计算给出的回流区较长。这种差异可能是由于湍流模型比较粗糙,实际的边界条件和假设的边界条件有差异以及实验测量误差引起的。

图9,10,11说明 $\sqrt{v'^2}$ 要比 $\sqrt{u'^2}$ 和 $\sqrt{w'^2}$ 大。这说明实验段内的湍流是各向不同性的,因而同计算中的各向同性假设就有所不同,由此可见改进湍流模型的必要性。在 y 方向存在这样强的湍流脉动可能是由固壁存在和该方向的强涡旋运动造成的。

图12和图13给出了实验和计算得到的湍流动能 k 的分布情况。在 $x = 250-400(\text{mm})$ 区间湍能值较大,这段区域内不但有大回流区和强剪切层存在,它也是在热态试验中燃烧得到的强化燃烧区 and 高温区。这表明了湍流对强化燃烧的重要影响。

由于直径较大的煤粉颗粒随气相运动性较差,而是基本上沿直线运动,因此它们

图11 0°剖面内 $\sqrt{w'^2}$ 分布

将直接进入高温回流区,使回流区中的煤颗粒浓度增高,这就会促进煤颗粒燃烧和强化燃烧。

图 14 给出了这种预燃室的稳焰图示。煤粉颗粒进入高温回流区,挥发份逸出,在高温区中的某处煤颗粒被点燃。火焰传播到空气和小颗粒煤粉混合物中,形成回流高温已燃产物。在回流区中,在燃料、空气和已燃产物中也有化学反应发生。这样的流场就保证了这种预燃室有较好的稳燃特性。

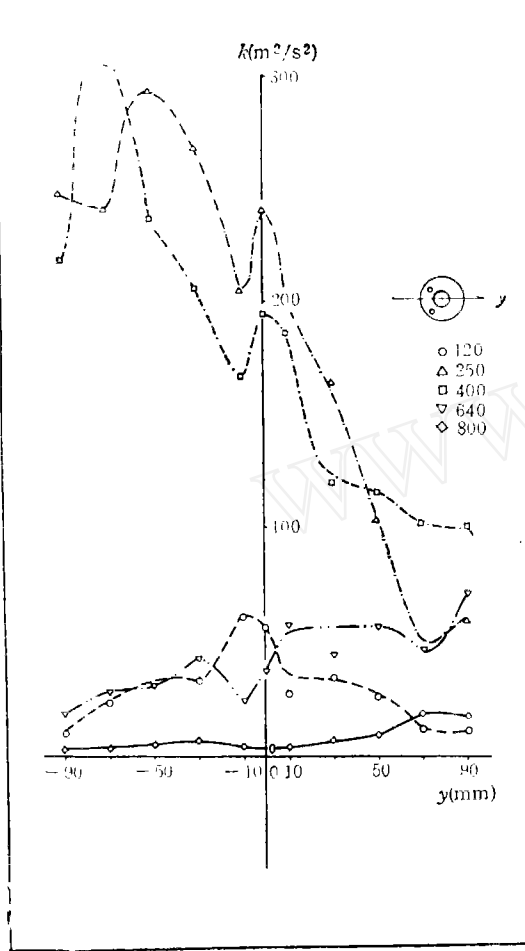


图 12 0° 剖面内 k 的分布 (LDA 测量结果)

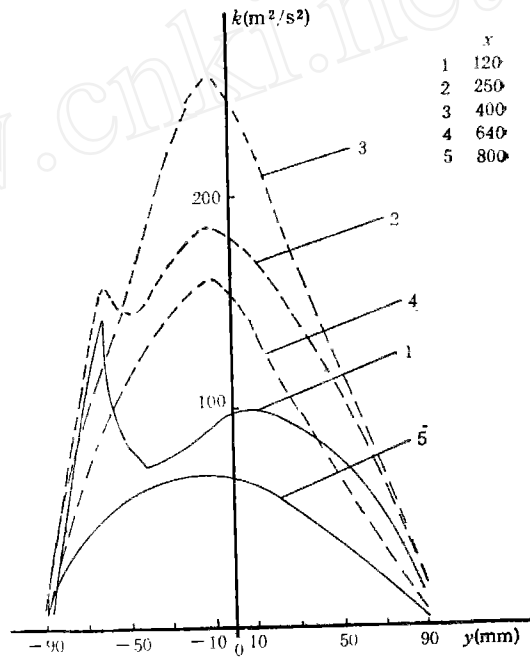


图 13 0° 剖面内 k 的分布(计算结果)

在此鸣谢中国科学院自然科学基金会对本项工作的支持。预燃室工作的研究与发展得到了中国国家经济委员会的支持。本项研究中所使用的 3-D LDV 系统由丹麦 Dantec 公司和香港远东电子公司提供。王宏宇,黎军,骆树奎和周达参加了本项研究工作。

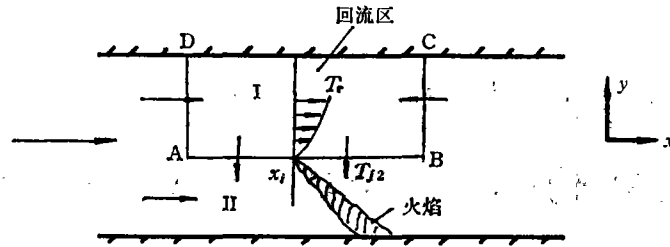


图 14 简化燃烧模型

参 考 文 献

- [1] FuWeibiao, Wei Jingbin: "The Use of Coflowing Jets with Large Velocity Differences for the Stabilization of Low Grade Coal Flames", 21st Int. Symp. on Combustion, (1986).
- [2] 马头电厂报告, 蒸汽射流预燃室在 DG670/140—5 型锅炉上的工业试验及其应用, 1985 年 10 月.
- [3] Wu Cheng-kang, Bao Qi, Zhao Lie: "The Flowfield Characteristics of A Precombustion Chamber of Coflowing Jets with Large Velocity Differences", ACTA Mechanica Sinica, 3, 3(1987).

THE STUDY OF FLOWFIELD IN A COAL PRECOMBUSTOR OF THE COFLOWING JETS TYPE USING 3-D LDV

Wu Chengkang, Wei Jingbin,

Yang Jiashou, Zhao Lie

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

A new type of pulverized coal precombustion chamber using coflowing jets with large velocity differences has been developed and applied to utility boilers in China since the early eighties. The flowfields of a model chamber were measured with a 3-D LDA system. The results are presented and analyzed. In addition, numerical computational results are given and are shown to be in qualitative agreement with the experiments.