

文章编号: 1000-8055(2000) 04-0369-05

燃烧室头部两相流场实验研究

顾洪斌¹, 徐 行¹, 郭志辉¹, 李继保², 徐华胜²
〔1. 北京航空航天大学 热动力工程研究所, 北京 100083;
2. 中国燃气涡轮研究院, 四川 成都 610500〕

摘要: 本文采用 PDA 对燃烧室头部两相流动特性进行了研究, 实验研究的模型燃烧室包括旋流器、喷嘴和火焰筒壁, 保证气流结构与真实发动机燃烧室相似。实验对回流区内两相流场进行了细致的测量, 给出粒子与气体速度分布, 粒子的 SMD、通量、脉动速度分布。
关 键 词: 燃烧室; 两相流; 测量
中图分类号: V 231
文献标识码: A

1 前 言

航空发动机的燃烧室设计的重点是头部。过去很多研究由于受燃烧室形状和工作条件的限制而集中在对单独喷嘴的喷雾和模型燃烧室气流场研究^[1~3], 而对实际燃烧室头部的两相流场却很少有人研究, 特别对回流区内气体与粒子的相互作用更是缺少可以参考的资料。本文是采用二维 PDA 对模型燃烧室头部两相流场进行实验研究。模拟的实验状态和实验件的几何条件都是参照真实发动机设计, 实验是在常压下进行的。

2 实验设备和实验件

模型燃烧室如图 1 所示, 实验是在敞口常压下进行的, 空气流量完全能够满足燃烧室真实进口马赫数的要求。燃油流量可根据压力得以精确控制。实验中所选取的状态是模拟燃烧室的点火状态, 燃油与空气的动量比与真实发动机燃烧室一致。实验中测量了离套筒出口 2, 7, 12, 17, 22 mm 共 5 个截面上的流场。测量点间隔 1~2 mm, 每点采集 5000 粒子。

实验件是按实际发动机尺寸设计, 为了测量方便而仅研究单头部, 燃烧室也简化成矩型结构, 两侧是光学玻璃, 内外壁的结构, 主燃孔和掺混孔

以及冷却空气孔的设计都与真实发动机燃烧室相似, 以保证气流结构对发动机的真实模拟。旋流器采用双级反向旋流器。喷嘴是双油路离心压力雾化喷嘴。

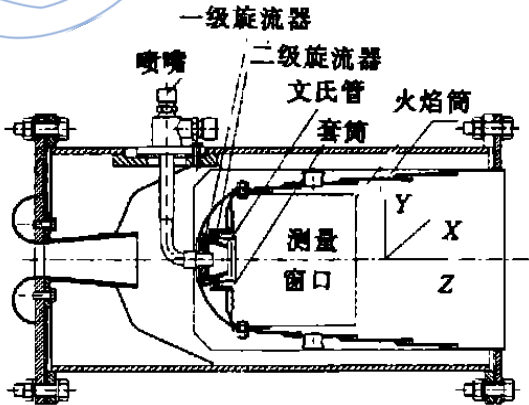


图 1 实验件结构图

仪器: 测量仪器用 DANTEC 公司二维 PDA (激光测速测粒仪)。

3 实验结果讨论

2.1 模型燃烧室粒子的平均运动特性

图 2 中横坐标的零点表示的是喷嘴的中心, 图中显示的结果是两相流场的一半, 这是由于实验采用后向测量, 窗口大小受限制的缘故。图 2~

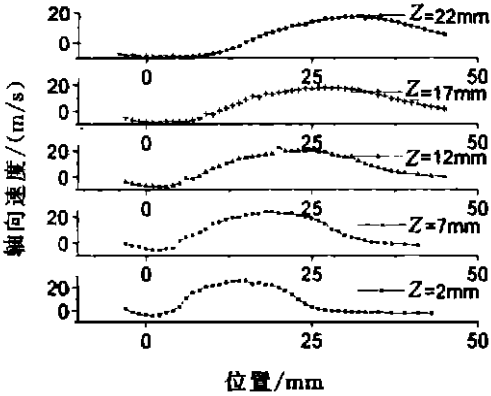


图 2 不同截面的轴向速度分布

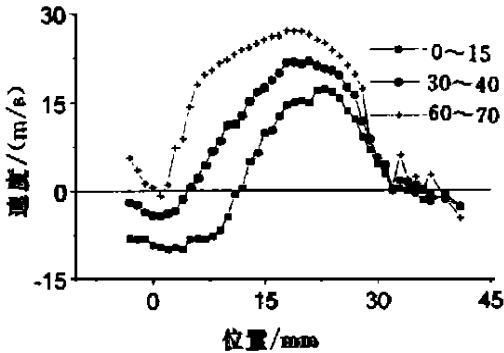


图 4 不同粒径的粒子轴向速度

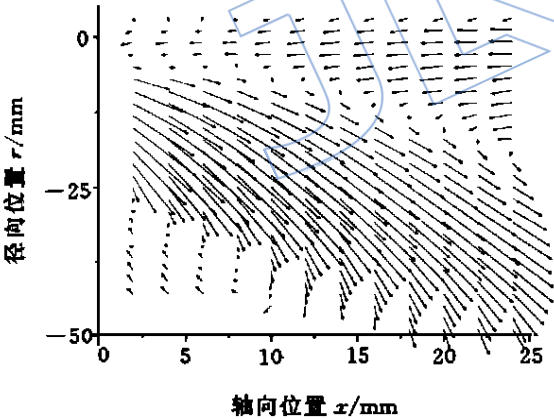


图 5 速度矢量图

4 中给出了燃烧室内粒子平均运动的规律。图 5 是较为直观的轴向和径向的合成速度矢量图。气流速度用于小于 $10\text{ }\mu\text{m}$ 的粒子速度表示。

2. 1. 1 轴向速度分布

图 2 可以看到无论粒子和气流轴向速度明显呈现典型双峰结构,中心区的速度是负的,回流区非常明显,而且回流速度最大有 10 m/s 。在出口处粒子的速度高于气流速度,随着轴向距离的增加,粒子浓度逐渐减低,由于粒子的发散和气流的

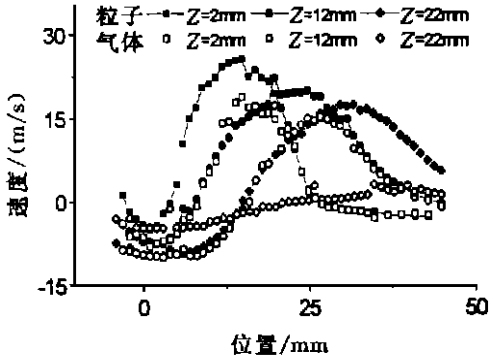


图 3 气—粒轴向速度分布

阻力使不同粒径的粒子轴向速度有不同幅度的衰减,小粒子的动量小,惯性小,受气流影响大,所以衰减的也更快。粒子群与气体存在着速度差异逐渐缩小。

图 4 是不同粒径的粒子在 $Z=7\text{ mm}$ 处的轴向速度分布,大粒子的速度基本上都是正的,而只有 $40\text{ }\mu\text{m}$ 以下的粒子才跟随气流产生回流。

从图 6 可以看出,在 $Z=12\text{ mm}$ 的截面,随着径向位置的增加,粒子速度的直方图由单峰变为双峰,然后又变为单峰。说明气流中存在不同的粒子群。在 $Y=10\text{ mm}$ 处。粒子的速度的脉动很大,有一股正向流动。而一股为反向流动,而在喷雾中心和边缘,两股粒子有相同的速度。

2. 1. 2 径向速度分布

图 7 显示的是粒子径向速度在不同截面的分布,径向速度的大小反映了粒子受离心力的大小。从图 8 不同粒度的径向速度分布可以看到大小粒子群径向速度的差异,这一定程度反映了粒子群按直径分离的趋势,大的粒子比小粒子以更快的速度远离回流区,对回流区的浓度分布将有影响。

2. 1. 3 切向速度分布

图 9 显示的是粒子切向速度在不同截面的分布。从中可以看到正负双峰的存在,这是双级反向旋流器的特征。在套筒的边缘有最强的切向速度,随着距离的增加,切向速度的峰值位置向火焰筒壁移动,其幅值却逐渐减少。在切向速度的正负峰值中间存在一个速度梯度非常大的区域,仔细分析速度的分布还可以得出,粒子切向速度从中心区域到边缘不仅大小在变化而且方向也随着气流变化。通过与气体流场的比较,粒子虽然受气流运动制约,但由于液相粒子的体积和密度以及惯性的影响,粒子对气流作用是滞后的。在外围梯度较大的区域是由内外旋流器出来的反向强旋流气体

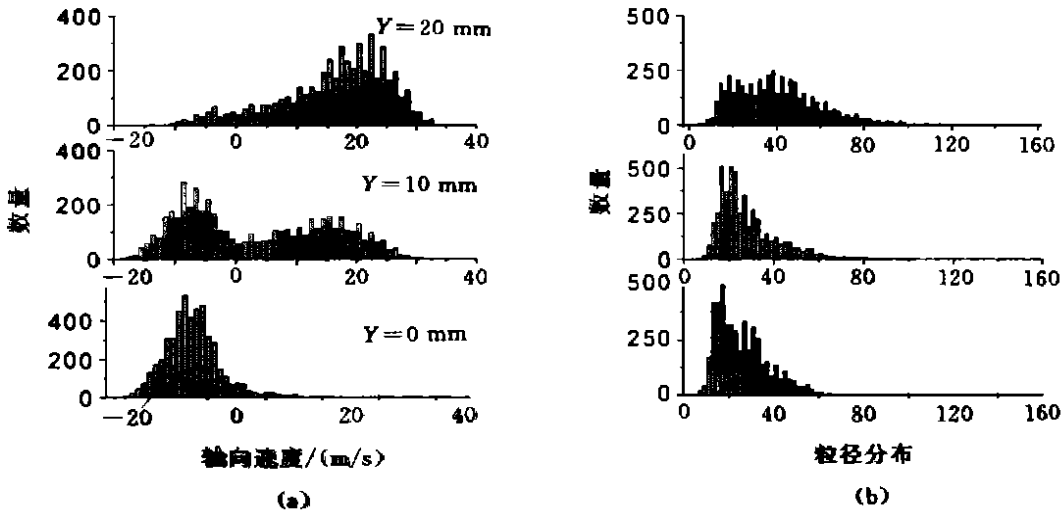


图 6 轴向速度分布(a)、粒径分布(b)

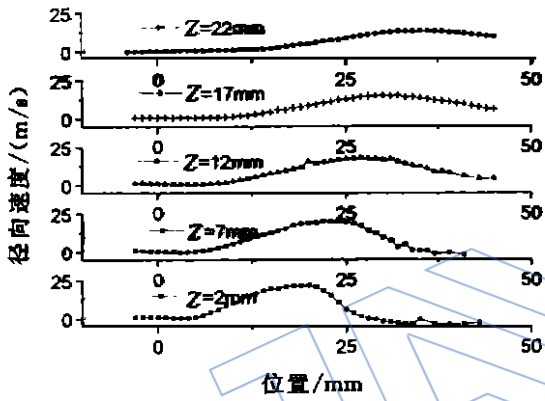


图 7 不同截面的径向速度分布

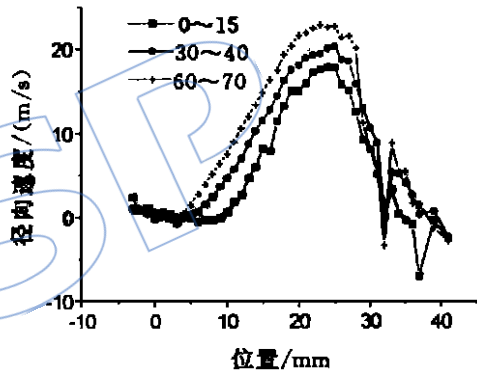


图 8 不同粒径的粒子径向速度分布

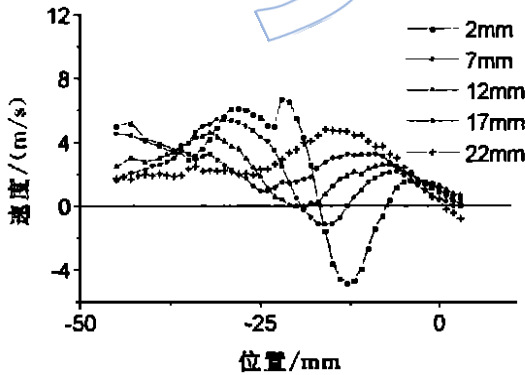


图 9 切向速度分布直方图

剪切形成的。这一区域实际上也是强剪切层区, 脉动速度较大, 是能量和质量交换的重要地区。而中心区域出现的波峰速度是由于离心喷嘴本身的旋转形成的。由于粒子旋转方向与内旋流器的气体旋流相反, 所以受到内旋流气体的控制和抑制。

二级(外)旋流器的旋流数一般比一级旋流器的旋流数大, 从气体的切向速度发展趋势和衰减

来分析, 内旋流器形成的旋转气流涡团在整个回流区的一半左右就已经收尾了, 而且它的宽度也只及套筒直径左右。所以回流区宽度和速度分布主要是由二级旋流器气体决定的。

2. 1. 4 平均直径分布

图 10 显示的是粒子 SMD 沿径向的分布, 从

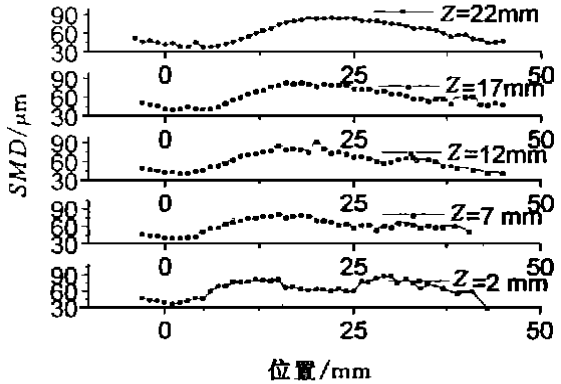


图 10 SMD 的径向分布

曲线的峰值发展就可明显看出在喷雾边界的附近

是 SMD 较大的区域。在套筒出口后每一截面平均 SMD 的大小基本没什么变化, 而 SMD 的分布曲线也同速度分布曲线一样为双峰分布。在轴线附近是 $20\ \mu$ 左右的小粒子, 而在喷雾的边界区存在一段粒子的直径较大的峰值, 可以认为是离心喷嘴液膜破碎的主要运动方向。也说明套筒出口以后, 旋流空气对粒子的雾化已经基本不起作用, 而主要影响粒子的运动, 而从图 6(b) 中可以看到气体对不同粒径的粒子运动影响是区别很大的。在回流区存在大量的 $20\ \mu\text{m}$ 左右的小粒子, 从对小粒子来源和速度考察看, 这部分小粒子大部分是回流气体从主流区携带的。中心回流区的小粒子数量虽然很多, 但所占的液相的流量很少, 主要通量集中在喷雾边界。喷雾边界的角度通常要比无旋流气体时大。

2. 1. 5 通量分布

通量分布的峰值反映出粒子运动的主流方向, 中心回流区的通量是负的而且数值非常小(见

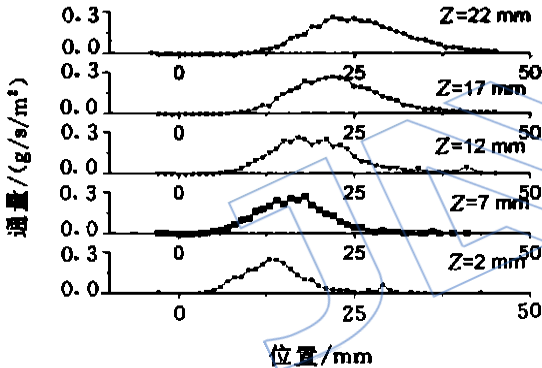


图 11 通量的径向分布($Z=2\text{ mm}$)

图 11)。通量的波峰可以认为是喷雾的边界, 用来确定喷雾锥角的大小。通量曲线的丰腴程度也反映了粒子在流场中扩散的结果, 越平缓的分布说明粒子掺混越均匀。在头部回流区前端, 粒子运动受喷嘴初始条件的控制, 曲线也表现为尖而窄。

2. 1. 6 脉动速度

在燃烧室的工作环境中, 对粒子的扩散过程起决定作用的是湍流扩散^[4]。粒子在径向方向湍流强度一定程度上决定了径向方向的扩散。脉动速度分布反映了湍流强度的变化。影响粒子脉动速度是气体对粒子瞬时速度差异和粒子的历史状态。

由图 12 可以看出, 在回流区边界, 粒子平均速度梯度大的地方粒子脉动速度最大。

由图 13 可以看出, 粒子切向速度的脉动较轴向速度的脉动小的多。在内外两反向旋流的边界, 脉动速度最大。

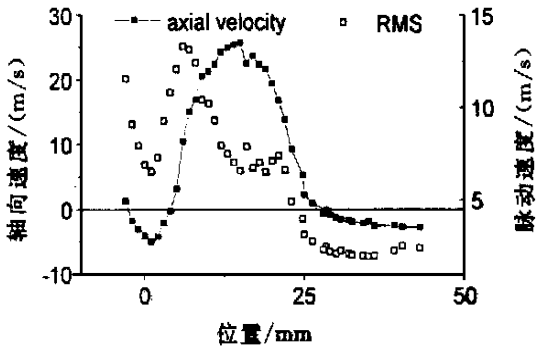


图 12 轴向速度和脉动速度($Z=2\text{ mm}$)

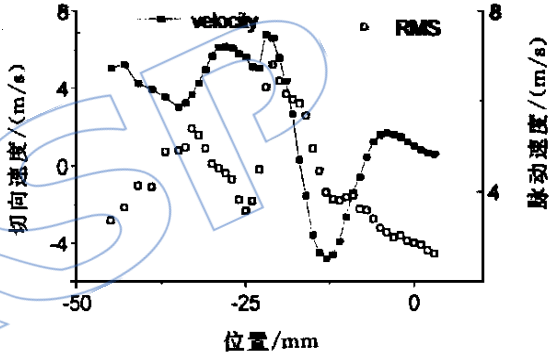


图 13 切向速度和脉动速度

图 14 显示的是粒子径向速度的脉动和沿轴向不同位置的变化图。径向脉动速度随着轴向距离的增加逐渐趋于平缓, 说明由湍流强度差异引起的扩散已经趋于平衡。

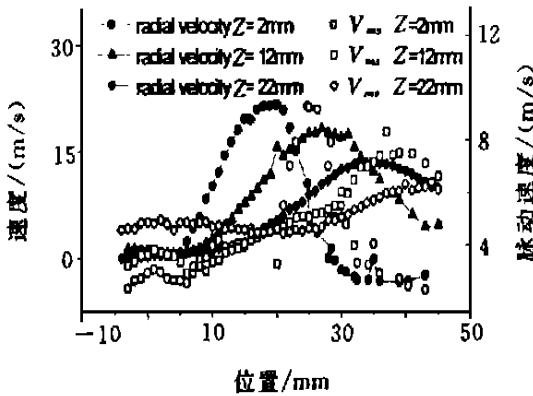


图 14 不同截面径向速度和脉动速度

从粒子 3 个轴线的脉动速度分布可以看出不

同方向的脉动速度峰值并不在同一位置,说明了湍流脉动的各向异性。也表明粒子扩散的各向异性。

4 结 论

(1) 实验测量得到回流区内气体和液雾轴向、径向和切向速度分布以及 SMD 的典型双峰结构,对了解真实发动机头部的流场很有帮助。

(2) 粒子在旋流气体中的运动,受粒子初始运动状态和旋转气体的双重控制,大粒径的粒子惯性较大,受旋流气体作用小,而小粒子惯性小,基本上跟随气流运动。

(3) 粒子脉动速度较大的区域是在轴向和切向速度梯度较大的地方。

参考文献:

- [1] Lefebvre A H. The Role of Fuel Preparation in Low-Emission Combustion[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power Oct 1995, 117: 617
- [2] Aung K. Measurements of Spray Properties and Mixing in a Simulated Combustor[R]. AIAA- 98- 0717
- [3] Rosfird T. Air and Spray Patterns Produced by Gas Turbine High-Shear Nozzle/ Swirler Assemblies [R]. AIAA- 0465, 28th Aerospace Sciences Meeting January 8- 11, 1990/ Reno, Nevada
- [4] 刘大有. 两相流体动力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993

(责任编辑 杨再荣)

Experimental Study of Two-Phase Flow Field in Combustor Head

GU Chong-bin¹, XU Hang¹, GUO Zhi-hui¹, LI Ji-bao²,
XU Hua-sheng¹, FAN Ding²

[1. 4th Dept., Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China;
2. China Gas Turbine Establishment, Chengdu 610500, China]

Abstract: Characteristics of Two-phase flow in combustor head have been researched experimentally with the help of Phase Doppler Analyzer. The distributions of mean velocity and fluctuating velocity, drop size and flux of spray have been measured. The detailed structure of spray in primary zone of combustor has been analysed. The results reveal the real flow field in the combustor head.

Key words: two-phase flow; combustion chamber; measurements