双级旋流器旋向对燃烧室内流场的影响 研究

吕旭飞^{*},侯亚东,刘志远 中国飞行试验研究院,陕西西安 710089

摘 要:针对采用双轴向旋流器的单头部矩形燃烧室模型,利用粒子图像测速仪(PV)技术测量了常温常压状态旋流器下 游速度场,分析 PV 瞬态结果,研究了上下射流之间的相互作用对流场的影响。结果表明,速度场变化剧烈,上下射流的相 互作用影响回流区和二次区的形成,回流区和二次区涡的运动有明显的三维特征;同向旋流器下游速度场对称性好,回流 区轴向延伸更大,主燃射流倾角更大,而反向旋流器下游掺混射流速度较大,射流穿透性更强。

关键词:主燃射流;掺混射流;反向旋流;同向旋流;PIV

中图分类号: V231.3 文献标识码: A DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2018.02.046

高性能燃烧室的设计,在应用燃油分级和气流分级的同时,仍然普遍采用旋流杯和主燃孔配合产生合理的回流区,主旋流和主燃射流的相互作用决定回流区的大小、位置等特征,而回流区特征对燃烧稳定性、燃烧效率、污染物排放等起着至关重要的作用^[1,2],因此,国内外对不同旋流杯结构及其下游在不同限制域流场的流动特性研究从未停止无限制域中不同旋向旋流器出口附近中心轴线上部分点的三维速度。代威^[4]等研究了第二级径向旋流器旋流数对燃烧室点火和贫油熄火性能的影响,郭新华^[5]等测量了同向双级旋流器下游油雾场,刘桂林^[6]等研究了旋流杯一级旋流数变化对燃烧室点火性能的影响。

随着非接触式光学测量技术的发展,特别是粒子图像 测速仪 (PIV) 技术的成熟,学者们纷纷对旋流杯及其下游 物理场进行光学测量。J. Mehta^[7]等人利用激光多普勒测速 仪 (LDA) 技术测量了开放域中不同旋向旋流器出口附近的 三维速度分布,结果显示,反向旋流器的回流区起始点比同 向旋流器更靠近上游,反向旋流器内部出现了两个径向速度 的峰值,得出反向旋流器更有利于油气混合,但J. Mehta 没 有研究旋流器下游的流场分布;马里兰大学的S. Archer 和 A. K. Gupta^[8]利用 PIV 技术测量燃烧气态燃料情况下旋向 对下游流场的影响,得出结论:同向旋流器下游回流区更 小更长,且同向旋流器下游流场更加对称,但S. Archer 和 A. K. Gupta 没有研究旋向对主燃射流和掺混射流的影响,而 主燃射流和掺混射流是现在燃烧室中最常见的射流结构;Mohammad 等^[9]利用 PIV 技术和 LDA 技术测量了某环形燃烧室 扇形段在不同扰动下的流场,这些扰动包括了不同的来流条 件,以及不同的主燃孔位置和孔径,结果发现,流场对来流扰动 及燃烧室结构参数变化非常敏感;在国内的相关研究中,党新 宪^[10]利用 PIV 技术测量冷态和燃烧态双旋流环形燃烧室内流 场,得出燃烧对流场的影响,还研究了不同主燃孔孔径、孔型以 及主燃孔位置对内流场的影响;但这些研究都没有涉及到在有 主燃射流和掺混射流燃烧室流场中旋流器旋向对流场的影响。

同向旋流器在进口处拥有更少的气动耗散、旋流器压降低,反向旋流器则更有利于燃料的雾化和油气混合,为了更加细致地把握在存在主燃射流和掺混射流的情况下,装有不同旋向旋流器的燃烧室下游的气动布局,本文利用 PIV 技术对同向和反向双轴向旋流器下游速度场进行测量,分析 瞬态结果和时均结果,研究旋向对回流区、主燃射流和掺混 射流的影响,为后期进行可调谐半导体激光吸收光谱 (TD-LAS) 温度测量、平面激光诱导荧光技术 (PLIF) 羟基浓度测 量提供参考依据。为后期进行可调谐半导体激光吸收光谱 (TDLAS) 温度测量^[13]、平面激光诱导荧光技术 (PLIF) 羟 基浓度测量^[14]提供参考依据。

收稿日期:2017-11-14; 退修日期:2018-01-04; 录用日期:2018-01-14

*通信作者.Tel.: 029-86830590 E-mail: 1218234835@qq.com

引用格式: Lv Xufei, Hou Yadong, Liu Zhiyuan. Analysis of the influence of different swirl directions on primary zone and dilution jet[J]. Aeronautical Science & Technology, 2018, 29 (02): 46-54. 吕旭飞,侯亚东,刘志远. 双级旋流器旋向对燃烧 室内流场的影响研究 [J]. 航空科学技术, 2018, 29 (02): 46-54.

1 试验系统

1.1 试验模型

单头部双旋流矩形燃烧室试验模型由扩压器、火焰筒、 旋流杯结构和内外环通道等组成。从旋流器进口朝出口方 向观察,同向旋流器主副旋流叶片均顺时针旋转,主旋流数 为0.70,副旋流数为0.85。反向旋流器主旋流方向不变,副 旋流变为逆时针旋转。火焰筒高84mm,火焰筒内外壁面上 由前向后各有一个主燃孔全孔、两个半孔,两个掺混孔全孔、 两个半孔。试验模型如图1所示,坐标轴原点在旋流器出口 截面的圆心处,旋流器模型如图2所示。



图 1 矩形燃烧室几何模型 Fig.1 Geometry of rectangular combustor





1.2 试验系统及方案

本文在常温常压状态下对同向及反向双轴向旋流器燃烧室下游流场进行 PIV 测量。试验时,逐步增大来流流量, 当流量稳定在 0.14kg/s 时,播撒示踪粒子,同时打开激光并 进行记录。测试面为过中间主燃孔中心与 XY 平面平行截 面,定义为 Z—Z 截面;过主燃孔下边缘与 YZ 平面平行截 面,定义为 X1 截面;过掺混孔中心与 XY 平面平行截面,定 义为 C—C 截面,与 YZ 平面平行截面定义为 X2 截面,如图 3 所示。燃烧室右侧壁面开有石英玻璃观测窗,观测面积约 为 100mm×80mm。拍摄 Z—Z 截面和 C—C 截面时,二维 PIV 流场试验系统如图 4 所示,前方来流由空气储气罐提供,三通位置设置激光片进光窗口,试验尾气通过三通之后的排气管道排出,拍摄 XI 截面和 X2 截面时将 CCD 相机和 激光器位置交换即可。



由于光学测量需要,冷态试验中气流从单头部矩形试 验件燃烧室出口流出之后进入一个三通件,主路出口封闭, 气流由旁路流出。为了验证冷流三通段设计的合理性,对该 部分进行了 CFD 模拟计算,计算中进口边界为质量流量进 口 0.14kg/s,出口为定压出口,计算结果如图 5 所示。由图 5 可知,该部分主路涡回流影响范围不大,旁路流动顺畅,对上 游流动没有影响,可以满足单头部燃烧室的试验要求。



二维 PIV 测速方法通过在流场中散播示踪粒子,并用脉 冲激光片照射所测流场区域,通过连续两次或多次曝光,粒子 图像被记录在 CCD 相机上,形成试验原始图像,之后利用图 像分析方法计算获得流场中的速度、涡量等信息。二维 PIV 测试系统一般包括数字相机、图像采集系统、PIV 双脉冲激光 器系统、同步控制器、体视光学机构和 PIV 分析处理软件等。

本文试验所采用的二维粒子图像测速系统由北京 立方天地科技发展有限公司生产:CCD相机分辨率为 2048×2048(4M),PIV模式最小曝光时间间隔小于200ns; 高能双脉冲Nd-Yag激光器产生波长为532nm片光,脉冲能 量为2×200mJ,重复频率10Hz;后期图像处理采用该公司 自主开发的MicroVec3分析软件。试验采用400nm 三氧化 二铝颗粒作为示踪粒子,多次试验测试表明,针对旋流杯下 游流场,其可保证较好地跟随性及散射特性,能够较为真实 地反映燃烧室内强湍流流场结构。示踪粒子在试验过程中 利用高压氮气吹入模型前的管道中。

2 结果分析

2.1 误差分析

根据参考文献 [11]、参考文献 [12] 中 PIV 速度测量的误差 估计方法进行计算。本系统中 PIV 速度通过式 (1) 获得^[11,12]:

$$u = \frac{\Delta s \cdot L_0}{\Delta t \cdot L_1} \tag{1}$$

式中:u为某个方向的瞬时速度, Δs 为示踪粒子在互相关 图片上的位移, Δt 为激光双曝光的时间间隔, L_0 为照相机 拍摄目标平面的宽度, L_1 是 ICCD 相机在来流方向上的像 素。根据式 (2) 计算误差:

$$B_{u}^{2} = \left(\frac{\partial u}{\partial \Delta s}\right)^{2} B_{\Delta s}^{2} + \left(\frac{\partial u}{\partial \Delta t}\right)^{2} B_{\Delta t}^{2} + \left(\frac{\partial u}{\partial \Delta L_{0}}\right)^{2} B_{\Delta t_{0}}^{2} + \left(\frac{\partial u}{\partial \Delta L_{1}}\right)^{2} B_{\Delta t_{1}}^{2}$$

$$(2)$$

表1展示了式(2)中各测量量的大小和误差。计算可 得测量误差为0.27m/s。

表 1 PIV 测量参数量级及不确定度

Table 1 The magnitude and bias uncertainty of PIV measurement quantities

测量参数	量级	不确定度
L_0/m	0.09	0.0001
L_1 /pix	2048	0.5
$\Delta t/s$	5×10^{-6}	1×10^{-7}
∆ s/pi	8	0.04

脉动和湍流会带来平均值的统计误差,对于 95% 的置 信度,统计误差表示为:

$$P_u = 1.96 \frac{\text{URMS}}{\sqrt{N}} \tag{3}$$

式中:N为瞬时速度的样本数,URMS为速度脉动的均方 根值,1.96 是标准正态分布 95% 置信度的置信区间。本次 研究中每个横截面 100 个瞬时速度场,最大脉动速度接近 15m/s,所以速度的统计误差为 2.94m/s。综合以上可得本次 试验速度测量误差为 3.21m/s,相对误差为 3.45%。

2.2 瞬态结果分析

瞬态结果虽然不能明确体现旋向对下游流场的影响, 但对于理解流场细节有很大帮助,选取同向旋流器主燃射 流的 PIV 瞬态图片,根据瞬态场中流线图来分析流场结 构的变化,如图 6 所示。图中白色十字线将视区分为4 个 象限。

PIV 瞬态图基本能够显示流场的真实运动情况,特别 是在低速冷流状态下干扰较少,能够抓住更多的流场细节。 瞬态图表明上下射流在持续震荡,并和主旋流相互作用,在 主燃射流两侧产生很多随机分布的涡,圆圈中为流场中的 部分较明显的涡结构,正是这些涡的形成,进动和破碎引起 射流的不断变化。X1 平面瞬态图中在上下射流相互冲击 的位置出现了两个特征非常明显的涡结构,这个位置显示 了回流区末端的瞬态流场结构。从瞬态 PIV 结果时序变 化中也可以看出,射流有一种保持自己本原运动的惯性,在 这种惯性下,射流围绕某个位置进行往复地振动^[11],在结构 形状和来流条件一定的情况下,主燃射流存在特定的振动 频率。

Z—Z平面的瞬态流线图显示了上下射流相互作用产生 类似于"人""十""1"三种形状。

"人"字形有正"人"字和反"人"字两种形状。正 "人"是上射流较强,冲击下射流,下射流被压缩,上射流分 成两股,一股进入前部回流区,一股进入后部。这种情况 下,回流区的形成基本由上射流控制,上射流进入二三象限 的气流和主旋流相互作用形成回流区,同时,上射流进入后 部的气流和下射流相互作用,在下射流后部形成强烈的剪 切层,使得紧挨下射流后缘形成旋涡,和二次区的形成紧密 相关。反"人"字和正"人"字相反,下射流较强,冲击上 射流,回流区主要由下射流进入前部的气流和主旋流相互 作用形成,并且在上射流后缘观察到由于强烈剪切形成的 漩涡。



(a) "人"字形



(b) "十"字形



(c) "1" 字形 图 6 Z—Z 截面上瞬态流线 Fig.6 Instantaneous streamline at Z—Z section

"十"字型是上下两股射流动量相当冲击而成。上下射流的冲击部位在正中间,两股射流的强烈冲击消耗了大量的动量,使得冲击后进入前部区域的气流速度很低直接汇入回流。由于旋流的三维性,随着旋涡的变化,在 Z—Z 截面上,这种形状会很快消失。

"1"字形中上下射流相切,无强烈对冲。"1"字形有可 能是下射流进入头部区,上射流进入后部,也有可能是下射 流进入后部区,上射流进入头部区。在"1"字形中,不管哪 种情况,由于正面对冲,两股射流都保持了较强的动量,在 与旋流射流相互作用的过程中产生更加强烈的湍流。在*X1* 截面主燃射流相互作用的瞬态图中,上下射流对冲的位置随 机产生了复杂多变的涡结构。

2.3 旋流器下游速度场分析

2.3.1 旋向对回流区和主燃射流的影响分析

图 7 为同向旋流器下游回流区和主燃射流的速度云图 及流线的 PIV 时均测量结果。图中显示流场的对称性好, 主燃射流的穿透高度大致为火焰筒高度的一半,能有效截断 回流区,缩短回流区长度,减小主燃区尺寸,增强主燃区的燃 烧强度。

参考文献 [7] 的研究指出,由于第二级旋流器的加速作用,在旋流器出口下游,同向旋流器旋流射流沿径向急剧扩张。这种扩张产生了更大的离心力,使得同向旋流器回流区的两个涡比反向旋流器更靠近上下壁面,由 PIV 结果可测得同向旋流器回流区的涡心距 *D*_{CRZ} 为 60mm,反向旋流器回流区的涡心距 *D*_{CRZ} 为 60mm,反向旋流器回流区涡心距 *D*_{CRZ} 为 54mm,这两个涡会把大量的油气混合物带向壁面,使高温区靠近壁面,为后续进行 OH-PLIF 测量提供有力参考;而旋向对二次区漩涡中心位置的影响并不明显。

图 8 为不同旋向旋流器回流区的比较。同向旋流器的回 流区比反向旋流器回流区在轴向方向延伸的更远,反向旋流器 回流区在径向的扩张稍微大于同向旋流器,但由于上下火焰 筒壁的限制,径向扩张的差异并不明显。Krause^[9]在研究旋 向对自由旋流的影响时总结出压力梯度沿轴向分布的公式:

$$\frac{\partial p}{\partial x}(x,r=0) = \frac{-C_1}{Re} \int_0^\alpha \frac{U_\theta}{U_x} \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \Big[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (rU_\theta) \Big] \mathrm{d}r \tag{4}$$

根据式(4)可知,在任何轴向位置,切向速度分量都会 影响轴向压力梯度。Hall 根据这个公式推断在旋流器内部, 反向旋流器回流区起始点向上游移动^[9]。在旋流器出口下 游,反向旋流器由于两股反向旋流相互混合,使得反向旋流 器出口下游的切向速度梯度小于同向旋流器,因此,同向旋 流器下游建立起更强的轴逆压梯度。此外,图8显示了同向









旋流器的在回流区内的绝对速度略大于反向旋流器,可知同 向旋流能够产生更大的回流量。

图 9 为距旋流器出口轴向距离 30mm, 40mm, 50mm, 60mm, 75mm 处轴向速度的径向分布。在图中可以看出回 流区及主燃射流的变化。在距旋流器出口 40mm 和 50mm 的位置, 图中的两个对称的正向速度峰值为主燃射流,可以 看出, 同向旋流器下游的主燃射流轴向速度明显大于反向 旋流器, 主燃射流之后, 在靠近上下壁面的位置出现负速 度, 为二次回流区 (Second Recirculation Zone, SRZ), 反向 旋流器下游在 50mm 处即出现二次区, 在 75mm 处二次回 流区基本消失, 同向旋流器在 60mm 处出现二次回流区, 在 75mm 处依然非常明显, 这是由于主燃射流紧挨着回流区边 界, 同向旋流器回流区轴向扩张, "迫使" 主燃射流向下游倾 斜, 主燃射流压迫二次回流区, 使得同向旋流器二次回流区 更加靠后。

图 10 为轴向速度脉动值随径向位置的变化,在速度矢 量变化较大的区域速度的脉动大,在回流区边界和主燃射流 的边缘部位,轴向速度的脉动较大,因为这些地方不同流向 的气流相互冲撞,形成剪切层。在回流区靠近涡心的位置以 及主燃射流内部脉动速度较小。比较不同旋向旋流器下游 的 URMS,在回流区内,反向旋流的轴向速度脉动大于同向 旋流,这是因为反向旋器两级旋流相互对冲,引起了较大的 速度脉动,在轴向靠后的位置,同向旋流的 URMS 逐渐大于 反向旋流,这是由于同向旋流器下游主燃射流速度更大,上 下射流对冲产生的脉动更加明显,说明旋流器旋向的影响主 要集中在回流区内,旋向对下游流场的影响主要通过影响主 燃射流来实现。









图 11 为过主燃孔下边缘主燃射流 X1 平面上的流 线和切向速度云图。从图中可以看出,在 X1 截面上,同 向旋流器和反向旋流器下游旋流绕着中心进行逆时针旋 转,表明在这个轴向位置,主旋流起着控制性作用;图中 的涡在回流区的尾部,说明回流区存在明显的三维运动 特征,是典型的"兰金"涡,从这个面看出由于反向旋流 器一二级反向旋流的相互剪切,加剧了流动的不对称性, 同向旋流的运动显然更加规则;同向旋流器的切向速度 和切向速度梯度明显大于反向旋流器,因此,能够建立更 强的轴向逆压梯度,产生更大的回流区,符合之前公式的 推断。

2.3.2 旋向对掺混射流影响分析

图 12 为反向旋流器下游掺混射流流线图和速度云图。 在掺混射流之前,存在一个较大的旋涡,而紧挨掺混射流前 后缘没有明显回流区;上下射流的穿透深度大约为火焰筒 高的 1/3。



图 11 X1 截面切向速度云图及流线图 Fig.11 Tangential velocity and streamline plot at X1 section



图 12 反向旋流 C—C 截面 PIV 测量结果 Fig.12 PIV measurement at C—C section of counter-swirl

在掺混射流附近,取距离旋流器出口 80mm,90mm, 100mm和110mm的位置,其轴向速度的径向分布如图 13 所示。掺混孔中心轴线与X轴正方向夹角为钝角,因此,在 x=90mm处下射流入射轴向速度为负值,随着与主流的融 合,轴向速度逐渐变成正值,同向旋流器轴向速度为0的径 向位置比反向更加靠近上下壁面,说明同向旋流器掺混射流 更快的"转向"与主流融合,这是由于同向旋流器旋转动量 更强,且二次区更加靠近掺混射流,增加了掺混射流的湍流 度,耗散了更多动量。





图 14 所示过掺混孔中心 X2 平面上的流线和切向速度 云图。由图中明显看出,同向旋流器切向速度大于反向旋流 器。在掺混射流两侧,均存在或大或小的涡结构,这些涡结 构来自二次区涡的后缘,在 Z—Z 平面中二次区涡的旋转和 X2 平面中二次区涡的旋转可以得知,与回流区一样,二次区 涡也是典型的"兰金涡"结构,具有三维旋转特征,说明旋流 器产生的旋转特性传播到二次区。

3 结论

本文采用 PIV 技术研究了旋流器旋向对下游流场的影响,得出以下结论:



图 14 X2 截回 PIV 测量结果 Fig.14 PIV measurement at X2 section

(1)分析瞬态结果可知,气流脉动产生的随机分布的涡结构使上下射流呈现类似如上所示的几种流型,不同流型显示了主燃射流对其前后流场不同的影响方式。

(2) 同向旋流器的回流区轴向扩张更大,引起同向旋 流器主燃射流倾斜角更大,并进一步压缩二次区,使二次区 靠后。

(3) 旋流器旋向也会对掺混射流产生影响,反向旋流掺 混射流的穿透深度更大,射流偏转更多、更快。

本研究只进行了冷态 PIV 的测量,后续将进行相应的 雾化及燃烧试验,将 OH-PIF 测量和 PIV 测量结合起来,研 究流场中燃烧和流动的耦合问题。

参考文献

- Beer J M, Chigier N A. Combustion aerodynamics[M]. London: Applied Science Publishers LTD., 1972.
- [2] Gupta A K, Lilley D G, Syred N. Swirl flows[M]. Kent: Abacus Press, 1984.
- [3] Syred N, Beer J M. Combustion in swirling flows: A review[J]. Combustion and Flame, 1974, 23 (1): 143–201.
- [4] 代威,林宇震,张弛.第2级径向旋流器旋流数对燃烧室点 火和贫油熄火性能的影响[J].航空动力学报,2015,30(5): 1092-1098.

Dai Wei, Lin Yuzhen, Zhang Chi. Effects of swirl number of second stage radial swirler on combustor ignition and lean blowout performances[J]. Journal of Aerospace Power, 2015, 30 (5): 1092–1098. (in Chinese)

[5] 郭新华,林宇震,张弛,等.离心式同向双旋流器空气雾化喷 嘴雾化特性研究[J].航空动力学报,2009,24(10):2249-2254.

Guo Xinhua, Lin Yuzhen, Zhang Chi, et al. Experiment investigation on atomization characteristic of an air-blast atomizer with centrifugal nozzle and co-dual-swirl cup[J].Journal of Aerospace Power, 2009, 24 (10): 2249–2254. (in Chinese)

[6] 刘桂林,林宇震,胡好生.旋流杯一级旋流数变化对点火性能的影响[J].北京航空航天大学学报,2015,41(6):1117-1121.

Liu Guilin, Lin Yuzhen, Hu Haosheng. Effect of swirl cup's primary swirl number on ignition performance[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2015, 41 (6) : 1117–1121. (in Chinese)

- [7] Mehta J, Shin H, Wisler D. Mean velocity and turbulent flow-field characteristics inside an advanced combustor swirl cup[C]//27th Aerospace Sciences Meeting, 2010.
- [8] Archer S, Gupta A K. Effect of swirl on flow dynamics in unconfined and confined gaseous fuel flames[R]. 42nd ASME. AIAA 2004–813, 2004.
- [9] Mohammad B, Jeng S-M, Andac M G. Influence of the primary jets and fuel injection on the aerodynamics of a prototype annular gas turbine combustor sector [R]. ASME GT 2010–23083, 2010.
- [10] 党新宪. 双旋流环形燃烧室试验研究和数值模拟 [D]. 南京:

南京航空航天大学,2009.

Dang Xinxian. Experimental investigation and numerical simulation of a gas turbine annular combustor with dual-stage swirler[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2009. (in Chinese)

- [11] Adeyinka O B, Naterer G F. Experimental uncertainty of measured entropy production with pulsed laser PIV and planar laser induced fluorescence [J]. Heat & Mass Transfer, 2005 (14) : 50–61.
- [12] Smith B L. Particle image velocimetry measurements of turbulent flow through a rod bundle [M]. USA: Experimental Fluid Dynamics Laboratory Utah State University, 2005: 1–37.
- [13] 陶波,胡志云,王晟,等. TDLAS 技术测量燃烧室流场温度研究[J]. 工程热物理学报, 2014 (2): 401-404.
 Tao Bo, Hu Zhiyun, Wang Sheng, et al. Study on the noeasurement of combustion temperature bused on TDLAS technique [J]. Journal of Engineering Thermopyysics, 2014 (2): 401-404.
- [14] 王宁. 定量测量 OH 基浓度的 PLIF 技术研究及应用 [D]. 北京: 国防科学技术大学, 2009.
 Wang Ning. Technology Research and application on quantitative PLIF hased on OH radical nole loncentration [D]. Beijing: National University of Defense Technology, 2009. (in chinese)
 (责任编辑 刘玲蕊)

作者简介

吕旭飞(1991-) 男,硕士,助理工程师。主要研究方向: 航空发动机试飞。
Tel: 029-86830590
E-mail: 1218234835@qq.com
侯亚东(1991-) 男,硕士,助理工程师。主要研究方向: 飞机燃油系统试飞。
Tel: 17691092428
E-mail: 1161815569@qq.com
刘志远(1992-) 男,硕士,助理工程师。主要研究方向: 飞机燃油系统试飞。
Tel: 13227827113
E-mail: 253673421@qq.com

Analysis of the Influence of Different Swirl Directions on Primary Zone and Dilution Jet

Lv Xufei*, Hou Yadong, Liu Zhiyuan

Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China

Abstract: For a single-dome annular combustor rectangular model with dual-swirler, including two co-axis axial air swirlers, the velocity field in primary zone was measured with Particle Image Velocimetry (PIV) in isothermal condition. The results indicate that instantaneous flow-field changes rapidly. The interaction between primary jets influenced recirculation zone. The movement of center recirculation zone was three dimensional. Better symmetry properties, longer axial length of center recirculation zone, and greater dip angle of primary jet were found in co-swirl downstream, higher speed and stronger penetrability of dilution jet in counter-swirl downstream.

Key Words: primary jet; dilution jet; counter-swirl; co-swirl; PIV