

吹积炭孔面积对双级旋流器 出口流场影响试验

郑剑文, 宋双文, 彭剑勇, 刘 涛

(中国航空工业集团公司 中国航空动力机械研究所, 湖南 株洲 412002)

摘 要: 采用粒子图像测速仪(PIV)试验研究了喷嘴套吹积炭孔面积对双级旋流器出口流场的影响. 试验结果表明:随着吹积炭孔面积与双级旋流器开孔面积之比由0增大到0.24,回流速度下降,进入双级旋流器内部的回流气流减小. 当吹积炭孔面积与双级旋流器开孔面积之比大于等于0.18,吹积炭气流会扰乱双级旋流器出口附近流场,破坏双级旋流器出口对称的双涡结构,吹积炭气流对双级旋流器出口流场的影响范围为 $X/D=0\sim 0.8$.

关 键 词: 双级旋流器; 喷嘴套; 吹积炭孔面积; 粒子图像测速仪(PIV); 冷态流场

中图分类号: V231.3

文献标志码: A

Effect of carbon deposit removing hole area on the outlet flow field of double-swirler

ZHENG Jian-wen, SONG Shuang-wen, PENG Jian-yong, LIU Tao

(China Aviation Powerplant Research Institute,

Aviation Industry Corporation of China, Zhuzhou Hunan 421002, China)

Abstract: Particle image velocimetry (PIV) was used to study the effect of atomizer shroud carbon deposit removing hole area on the outlet flow field of double-swirler. The result showed that, when the ratio of the carbon deposit removing hole area to the double-swirler area increased from 0 to 0.24, the recirculated air velocity decreased and less air was recirculated into the double-swirler. When the ratio of the carbon deposit removing hole area to the double-swirler area was more than 0.18, the carbon deposit removing air would destroy the symmetrical double-vortex structure and disturb the outlet flow field, which with $X/D=0\sim 0.8$ was critically influenced by the carbon deposit removing air.

Key words: double-swirler; atomizer shroud; carbon deposit removing hole area; particle image velocimetry (PIV); no-reacting flow field

双级旋流器(下文简称旋流器)是航空发动机燃烧室的重要部件之一,其性能直接影响着燃烧室的性能.由燃油喷嘴和旋流器相匹配构成的双旋流空气雾化喷嘴(见图1),具有优良的雾化和流场特性,在航空发动机燃烧室上得到广泛应用^[1].为防止喷嘴积炭导致燃烧室性能恶化,喷嘴套上开有吹积炭孔,通过喷气吹除积炭^[2].

国内外专家为探索这种旋流器的性能进行了大量深入细致的试验研究.如文献[3-4]采用激光多普勒速度测量仪(laser Doppler velocimetry, LDV)分别研究了旋向组合对旋流器内部及出口流场的影响.文献[5-8]采用粒子图像测速仪(particle image velocimetry, PIV)和相位多普勒粒子分析仪(phase Doppler particle analyzer,

PDPA)研究了套筒出口形状及其扩张角对旋流器出口流场、油雾场的影响.文献[9-10]采用平面激光诱导荧光仪(planar, liquid laser-induced fluorescence, PLLIF)研究了文氏管的有无对旋流器出口流场、油雾场的影响,发现文氏管的存在能控制燃油质量浓度分布,形成典型的锥状分布.文献[11]采用PIV研究了叶片安装角对旋流器出口流场的影响,发现增大叶片安装角能使回流区轴向长度增大.文献[12-13]采用PIV和PDPA研究了一、二级旋流器流通面积比、旋流数对燃烧室冷态流场的影响.文献[14-15]采用相位多普勒分析仪(phase Doppler analyzer, PDA)和PDPA研究了旋流器与燃油喷嘴匹配后的出口流场及油雾场特性.文献[16-18]采用LDV试验研究了限制域对旋流器出口流场的影响,发现中心回流区的轴向长度和大小与限制域密切相关.

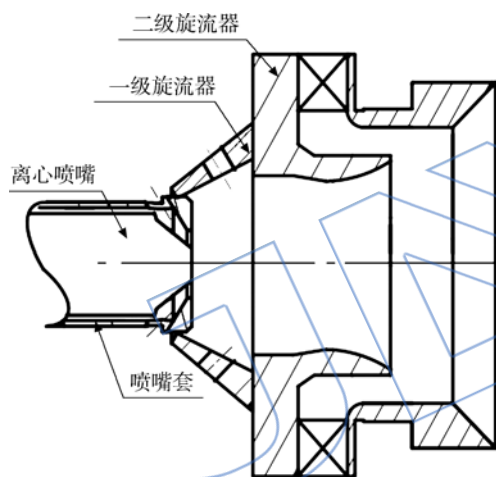


图1 双旋流空气雾化喷嘴示意图

Fig.1 Schematic drawing of double-swirl cup air-blast atomizer

虽然国内外对旋流器进行了极其广泛的研究,但是大部分是基于无吹积炭气流影响下的流场分析以及某一结构参数对出口流场的影响.本文采用PIV测量旋流器出口流场,改变吹积炭孔面积,探讨吹积炭气流对旋流器出口流场的影响.

1 试验件及试验参数

旋流器出口流场试验装置主要由旋流器、离心喷嘴及试验件夹具等组成,如图2所示.测量坐标选择旋流器出口平面中心为原点,其中轴向方向为X向,满足右手准则.

喷嘴套试验件结构如图3所示,开有沿周向均匀的吹积炭孔.试验方案及试验参数见表1,吹

积炭孔面积与旋流器开孔面积比(A_p/A_s)的改变是通过调整吹积炭孔面积来实现的.每个试验方案分别测量旋流器出口下游 $X/D=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ 的Y-Z截面和过中心线的X-Z纵截面, D 是旋流器出口外径,试验时旋流器出口连通大气.

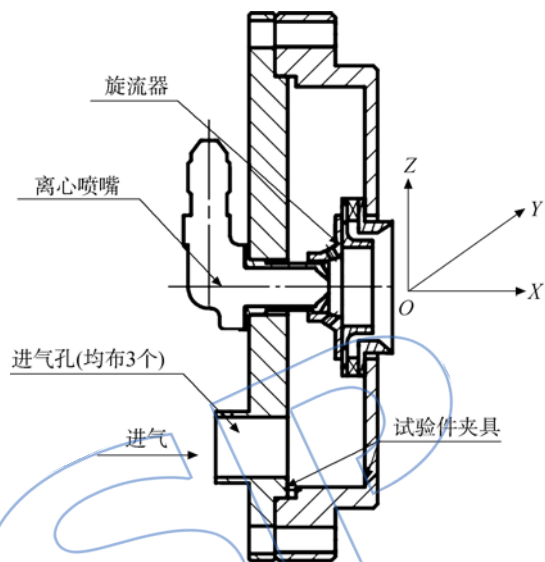


图2 旋流器流场试验装置

Fig.2 Swirler flow field experimental facility

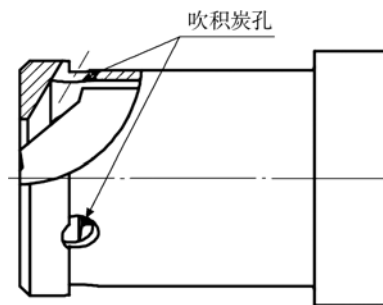


图3 喷嘴套示意图

Fig.3 Schematic drawing of atomizer shroud

表1 旋流器流场试验方案和参数

Table 1 Experimental schemes and parameters of flow field of swirler

方案	A_p/A_s	进口 总温	进出口 压差/kPa	进口压力 波动范围/Pa
1	0	室温	3	± 20
2	0.09			
3	0.18			
4	0.24			

2 试验系统

试验采用德国 LaVision 公司的 PIV 测试系统对旋流器出口流场进行测量,测试系统主要由双脉冲激光器、双曝光相机、同步控制系统以及计算机等组成,见图 4. 其中双脉冲激光器的单脉冲最大能量为 120 mJ,脉宽为 5 ns,最大发射频率为 15 Hz,相机分辨率为 2048 像素 $\times$ 2048 像素,曝光时间间隔为 5 μ s,使用粒径范围为 1~5 μ m 的植物油作为示踪粒子,速度测量精度为 3%.

空气压力由压力变送器测量,测量范围为 0~5 kPa,精度为 $\pm 0.20\%$ FS(full scale).

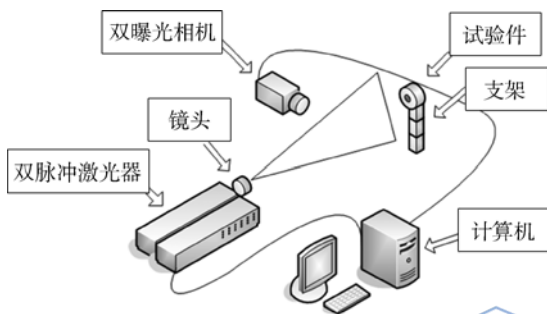


图4 PIV测试系统示意图

Fig. 4 Schematic drawing of PIV system

3 试验结果及分析

3.1 轴向速度分布

图5~图7分别给出了旋流器出口下游的轴向速度分布(图6中黑线为零轴向速度线,所围区域为中心回流区)。从上图可以看出:①随着吹积炭孔面积与旋流器开孔面积比(A_p/A_s)由0增大到0.24,中心回流区内回流速度下降,当 $A_p/A_s \geq$

0.18,吹积炭气流在旋流器出口处形成明显的正向速度峰值,说明随着 A_p/A_s 的增大,吹积炭气流变强,对回流的削弱挤压作用更加明显,有助于减小进入旋流器内部的回流气量;②在方案1和方案2中,旋流器出口处的两个眼状旋涡是对称分布的,并且轴向速度分布曲线吻合较好,但当 $A_p/A_s \geq 0.18$,在方案3和方案4中的两个眼状旋涡分布变得不对称,一Z侧的旋涡离旋流器出口更远,出口附近的轴向速度分布曲线重合度也变差,这说明当 $A_p/A_s \geq 0.18$,吹积炭气流会扰乱旋流器出口附近流场,使得旋涡分布变得不对称;③在旋流器出口下游 $X/D > 0.8$ 的区域,各方案轴向速度分布曲线吻合较好,说明吹积炭气流对旋流器出口轴向速度分布的影响范围为 $X/D = 0 \sim 0.8$.

3.2 切向速度分布

图8为旋流器出口下游不同轴向位置处切向速度的分布,图9为旋流器出口下游不同轴向位置Y-Z截面处的速度幅值(V_{mag})云图。从图8~图9

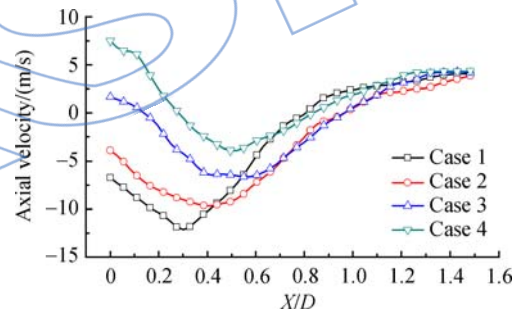
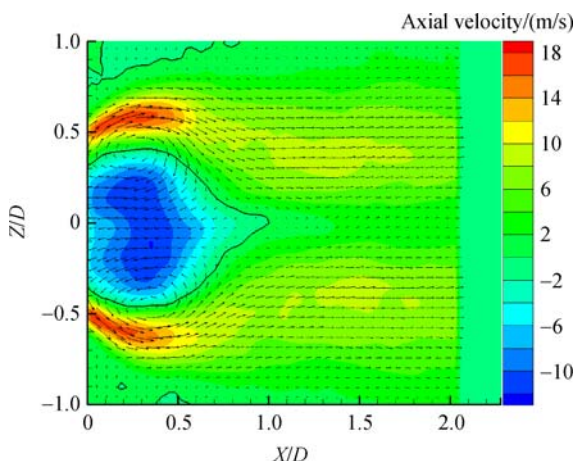
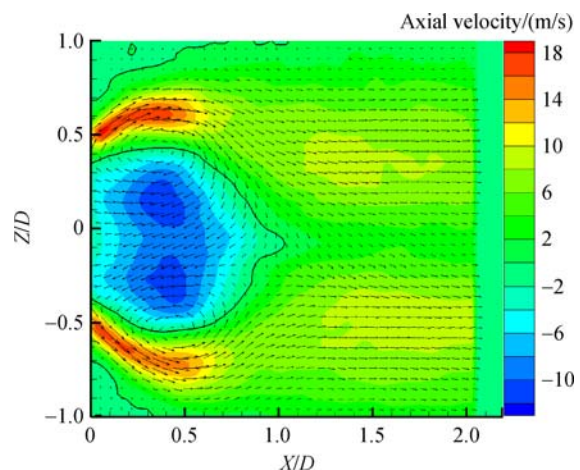


图5 旋流器出口中心线轴向速度分布

Fig. 5 Axial velocity profiles along centerline at outlet of the swirler



(a) 方案1



(b) 方案2

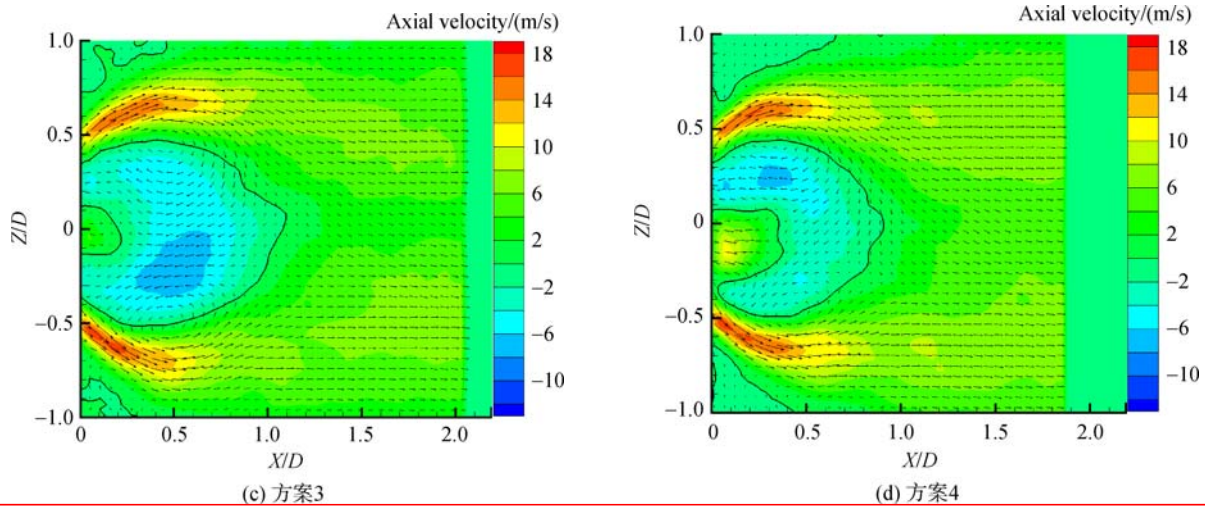
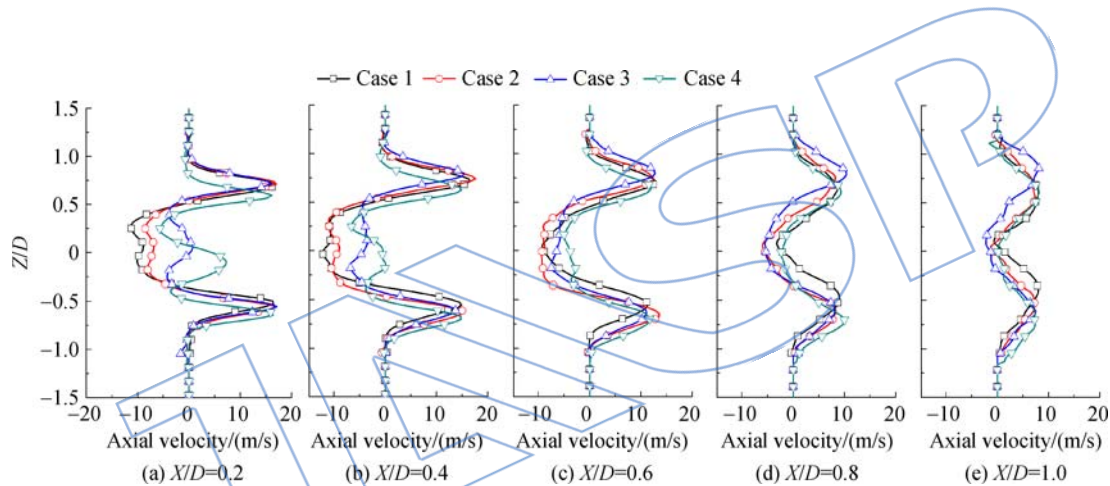
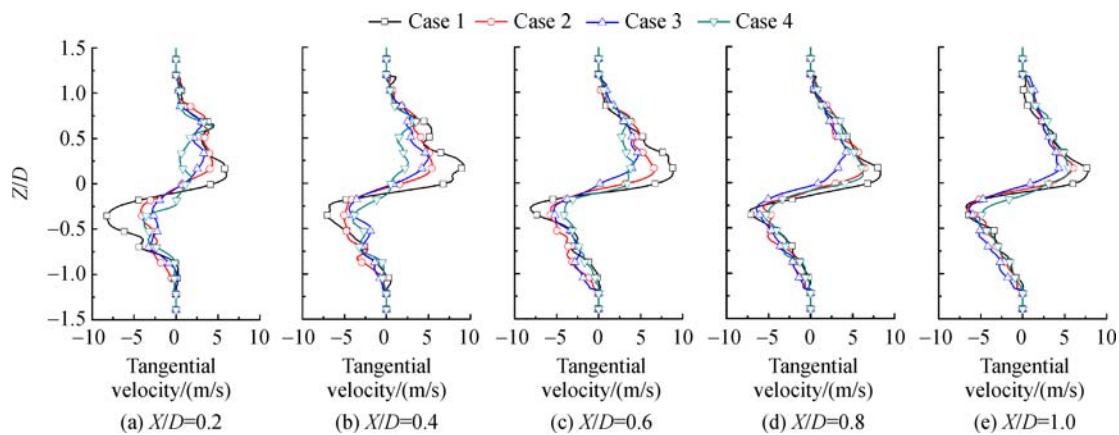


图6 过旋流器中心纵截面轴向速度云图

Fig. 6 Axial velocity contours of longitudinal section through the center of the swirler

图7 旋流器出口下游不同轴向位置的轴向速度分布($Y/D=0$)Fig. 7 Axial velocity profiles of different axial locations at downstream of outlet of the swirler ($Y/D=0$)图8 旋流器出口下游不同轴向位置的切向速度分布($Y/D=0$)Fig. 8 Tangential velocity profiles of different axial locations at downstream of outlet of the swirler ($Y/D=0$)

可以看出:①方案1在旋流器出口附近的切向速度峰值均较其他方案大,说明吹积炭气流会对旋

流器出口旋流有削弱作用;②在轴向位置 $X/D=0.2$ 处, A_p/A_s 越大,速度幅值分布越不均匀,进

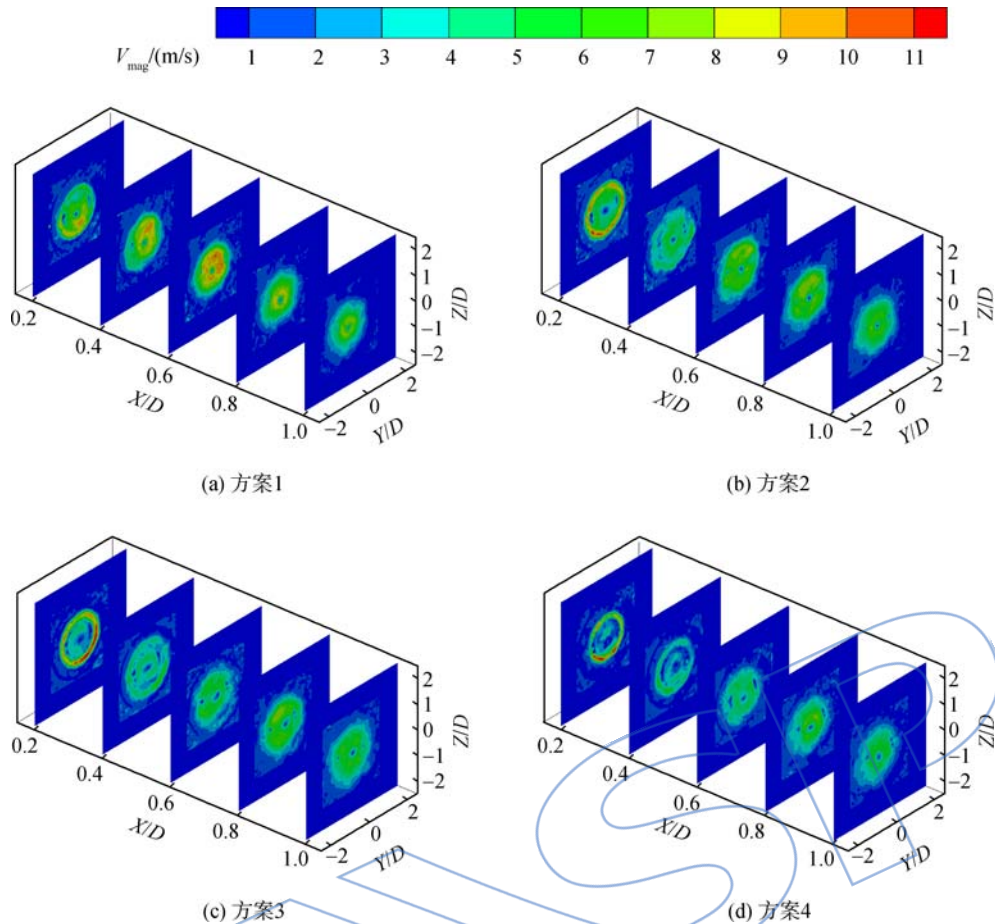


图9 旋流器出口下游不同轴向位置的速度幅值云图

Fig. 9 Velocity magnitude contours of different axial locations at downstream of outlet of the swirler

一步说明了吹积炭气流增大会扰乱旋流器出口附近的流场;③在旋流器出口下游 $X/D > 0.8$ 的区域,各方案的切向速度分布曲线吻合较好,速度幅值分布均匀,说明吹积炭气流对旋流器出口切向速度分布的影响范围为 $X/D = 0 \sim 0.8$ 。

4 小 结

本文针对喷嘴套吹积炭孔面积对旋流器出口流场的影响进行了试验研究,得到了如下结论:

- 1) 随着吹积炭孔面积与旋流器开孔面积比 (A_p/A_s) 由 0 增大到 0.24, 中心回流区内回流速度下降, 进入旋流器内部的回流气量减小。
- 2) 当 $A_p/A_s \geq 0.18$, 吹积炭气流会扰乱旋流器出口附近流场, 破坏旋流器出口处对称的双涡流场结构。
- 3) 吹积炭气流对旋流器出口流场的影响范围为 $X/D = 0 \sim 0.8$ 。

参考文献:

[1] 彭云晖, 林宇震, 许全宏, 等. 双旋流空气雾化喷嘴喷雾、流

动和燃烧性能[J]. 航空学报, 2008, 29(1): 1-14.

PENG Yunhui, LIN Yuzhen, XU Quanhong. Atomization, aerodynamics and combustion performance of swirl cup [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2008, 29(1): 1-14. (in Chinese)

[2] 甘晓华. 航空燃气轮机燃油喷嘴技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.

[3] Mehta J, Shin H, Wisler D. Mean velocity and turbulent flow-field characteristics inside an advanced combustor swirl cup[R]. AIAA 89-0215, 1989.

[4] Merkle K, Büchner H, Zarzalis N, et al. Influence of co and counter swirl on lean stability limits of an airblast nozzle [R]. ASME Paper 2003-GT-38004, 2003.

[5] 林阳, 林宇震, 刘高恩. 收口套筒主燃区流场的 PIV 测量 [J]. 航空动力学报, 2007, 22(12): 1989-1993.
LIN Yang, LIN Yuzhen, LIU Gaoen. PIV experimental study of primary zone flow field of convergent sleeve [J]. Journal of Aerospace Power, 2007, 22(12): 1989-1993. (in Chinese)

[6] Wang H Y, McDonell V G, Samuelsen G S. The influence of spray angle on the continuous- and discrete-phase flow field downstream of an engine combustor swirl cup [R]. AIAA 92-3231, 1992.

[7] 《高效节能发动机文集》编委会. 高效节能发动机文集: 第

- 4 分册 燃烧室设计与试验[M]. 北京:航空工业出版社, 1991.
- [8] 于锦峰,郭志辉,张君峰,等. 套筒长度对火焰筒流场和雾化特性的影响[J]. 航空动力学报, 2009, 24(11): 2506-2513.
- YU Jinfeng, GUO Zhihui, ZHANG Junfeng. Experimental study the effect of flare sleeve length on the flowfield and spray characterization of a combustor swirl cup[J]. Journal of Aerospace Power, 2009, 24(11): 2506-2513. (in Chinese)
- [9] Ateshkadi A, McDonell V G, Samuelsen G S. Effect of mixer geometry on fuel spray distribution, emission and stability[R]. AIAA 98-0247, 1998.
- [10] Mongia H C, Gore J P, Grinstein F F, et al. Combustion research needs for helping development of next generation advanced combustors[R]. AIAA-2001-3853, 2001.
- [11] 张欣,刘勇,党新宪,等. 单头部双级旋流器燃烧室流场 PIV 测量[J]. 工程热物理学报, 2009, 30(7): 1253-1256.
- ZHANG Xin, LIU Yong, DANG Xinxian, et al. Experimental study on flow field of single-head combustor with dual-stage swirler by PIV [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2009, 30(7): 1253-1256. (in Chinese)
- [12] 韩启祥,许铁军,黄健. 双旋流器单头部燃烧室模型燃烧室冷态流场试验 [J]. 航空动力学报, 2008, 23(8): 1370-1374.
- HAN Qixiang, XU Tiejun, HUANG Jian. Experimental study of flow field of a model combustor with two swirlers [J]. Journal of Aerospace Power, 2008, 23(8): 1370-1374. (in Chinese)
- [13] 张宝华. 双旋流进气装置结构变量对冷态流场影响的试验研究[J]. 航空发动机, 2008, 34(1): 41-45.
- ZHANG Baohua. Experimental investigation of effect of structure variable of double swirl air intake on cold flow field[J]. Aeroengine, 2008, 34(1): 41-45. (in Chinese)
- [14] 顾洪斌,徐行,郭志辉,等. 燃烧室头部两相流场实验研究 [J]. 航空动力学报, 2000, 15(4): 366-370.
- GU Hongbin, XU Xing, GUO Zhihui, et al. Experimental study of two-phase flow field in combustor head[J]. Journal of Aerospace Power, 2000, 15(4): 366-370. (in Chinese)
- [15] Jeng S M, Flohre N M, Mongia H C. Swirl cup modeling atomization[R]. AIAA-2004-137, 2004.
- [16] Cai J, Fu Y, Elkadi A, et al. Swirl cup modeling: Part IV effect of confinement on flow characteristics[R]. AIAA-2003-0486, 2003.
- [17] FU Yongqiang, CAI Jun, Jeng S M, et al. Confine effect on the swirling flow of a counter-rotating swirl cup [R]. ASME Paper 2005-GT-68622, 2005.
- [18] FU Yongqiang, CAI Jun, Jeng S M, et al. Characteristics of the swirling generated by a counter-rotating swirler [R]. AIAA-2007-5690, 2007.

(编辑:陈越)