

文章编号: 1000-8055(2001)04-0340-05

火焰稳定器稳焰机理的非定常观点探讨

岳连捷, 杨茂林

(北京航空航天大学 动力系, 北京 100083)

摘要: 本文在低速风洞中, 利用在线式互相关 PIV (Particle Image Velocimetry) 系统, 对尾缘吹气式火焰稳定器及 V 型火焰稳定器的近尾迹流动进行了测量, 在瞬态场尾流结构分析的基础上, 提出了稳焰机理的非定常观点, 探讨了近尾迹流动结构中旋涡的交替生成和脱落在火焰稳定过程中起了重要的作用。

关键词: 火焰稳定器; 近尾迹流动; 测量

中图分类号: V 231.2

文献标识码: A

1 引言

火焰稳定器的稳焰特性作为主要性能指标之一, 决定着稳定器性能的好坏, 除了依赖于燃气浓度分布外, 它很大程度上取决于钝体后流体的流动特性^[1]。目前, 几乎所有关于燃烧稳定问题的分析都是从时均场的角度进行解释的。但实际上稳定器后尾迹流为非定常湍流流场, 且燃烧过程和旋涡也有着密切的关系, 了解稳定器后近尾迹流场的详细特征, 对于我们认识燃烧现象的本质很有帮助。

本文对北航杨茂林提出的一种新型稳定器—尾缘吹气式火焰稳定器^[2,3]及 V 型稳定器的近尾迹流动进行了测量。和常规稳定器不同, 如图 1 所示, 新型稳定器槽宽小, 且为流线形头部, 不加力状态下流阻损失很小; 加力时尾缘吹气, 扩大回流区。基于对其瞬态流动的认识, 从非定常角度探讨了稳定器的稳焰机理。

2 试验设备

本文研究是在北航发动机重点实验室的多功能低速风洞上进行的, 来流经整流后湍流度小于 0.25%。为了对火焰稳定器的受限流动进行研究, 在风洞的试验段内又安装了一个有机玻璃制作的 1500 mm 长×200 mm 宽×120 mm 高的小型试验段, 试验件沿展向竖直安装于试验段内。

试验利用在线式互相关 PIV 系统对稳定器后近尾迹流动进行了瞬态测量。PIV 系统采用脉冲式 Nd:Yag (铌-钽石榴石) 激光器作为光源, 其典型工作频率为 10 Hz, 可见光波长为 532 nm (绿光), 每个脉冲能量为 200 mJ, 脉冲宽度为 9 ns。两激光器脉冲间隔的可调整范围很大, 从 200 ns 到 100 ms, 可以满足从低速到高速流动测量的需要。试验中采用 RS-170 式互/自相关 CCD 摄像机记录流动图像, 其分辨率为 640 像素×480 像素, 采集速度为 30 帧/s, 每两帧图像之间的最小时间间隔约为 15 μs。利用 L ZL 型粒子发生器来提供示踪粒子, 所产生的粒子直径为 0.6~1.2 μm。

3 试验方案

2 种稳定器试验件槽宽相同, 几何堵塞比为 11.5%, 如图 1, 图 2 所示。V 型稳定器有 2 种试验状态: 来流 10 m/s 和 20 m/s。而新型稳定器因吹气射流的引入, 为了体现主流和射流的影响, 设计了 4 种试验状态, 来流 10 m/s 和 20 m/s 状态下, 射流速度设计为 10 m/s 和 20 m/s。

当前 PIV 系统工作频率较低, 远远低于稳定器后尾流中旋涡脱落频率, PIV 的测量结果实际上是所测量流动的时间离散结果。试验中采集图像的像素分辨率为 87~90 μm/像素之间, 在图像分析时, 查问域大小为 64 像素×64 像素。

收稿日期: 2000-10-25; 修订日期: 2001-04-01

作者简介: 岳连捷(1972-), 男, 北京航空航天大学动力系博士, 现在中国科学院力学研究所作博士后

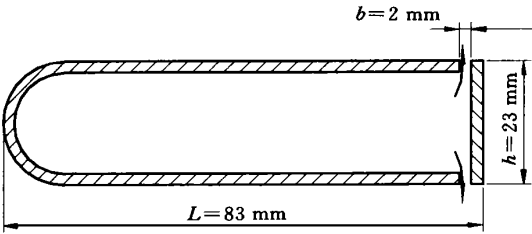


图 1 尾缘吹气式火焰稳定器结构示意图

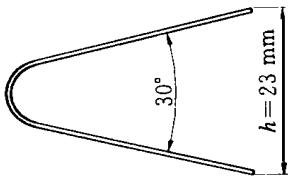


图 2 V 型稳定器示意图

4 试验结果及分析

在以下各流动瞬态场的测量结果图中, 标号结尾为 a 的各图, 是流动的瞬时速度场和基于速度场按照压力区识别准则判断出的流动低压区 (涡核) 和高压区分布的复合图^[4]; 标号结尾为 b 的各图, 是流动的瞬时流线和涡量图的复合图。X 代表纵向位置, Y 代表流向位置, 坐标原点为稳定器中轴线与稳定器尾缘交点。

4.1 稳定器尾迹流非定常流动分析

文献[5]对两种稳定器的非定常流动特征作了详尽的描述。图 3 显示了来流为 10 m/s 时 V 型稳定器后第一个测量位置处的瞬态场测量结果, 图 4 为来流 10 m/s, 吹气速度 20 m/s 条件下尾缘吹气式稳定器后第一个测量位置处的瞬态场测量结果。新型火焰稳定器与 V 型稳定器后尾迹流场基本特征大致相同, 流动形态主要受正在交

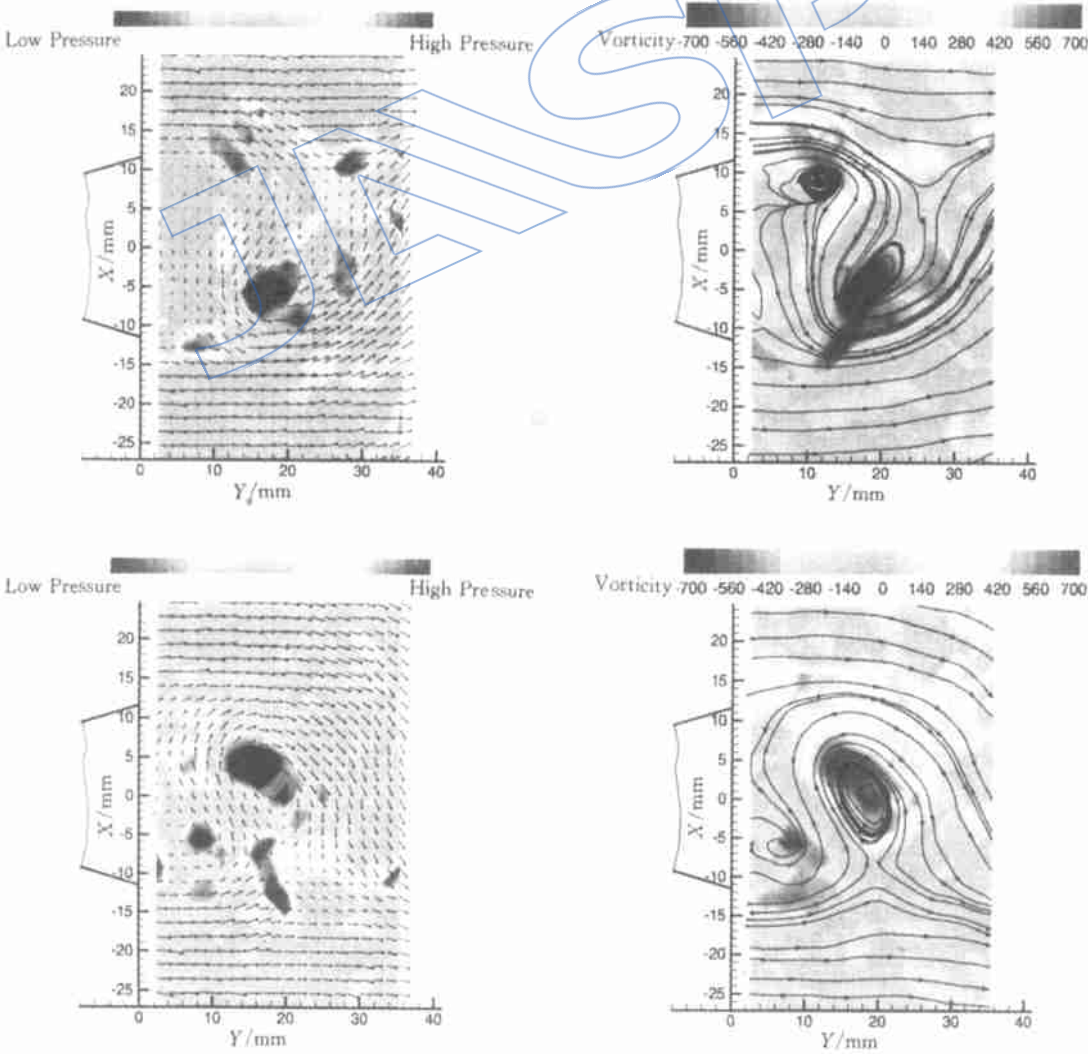


图 3 V 型稳定器第一位置瞬态场($v_m = 10\text{ m/s}$)

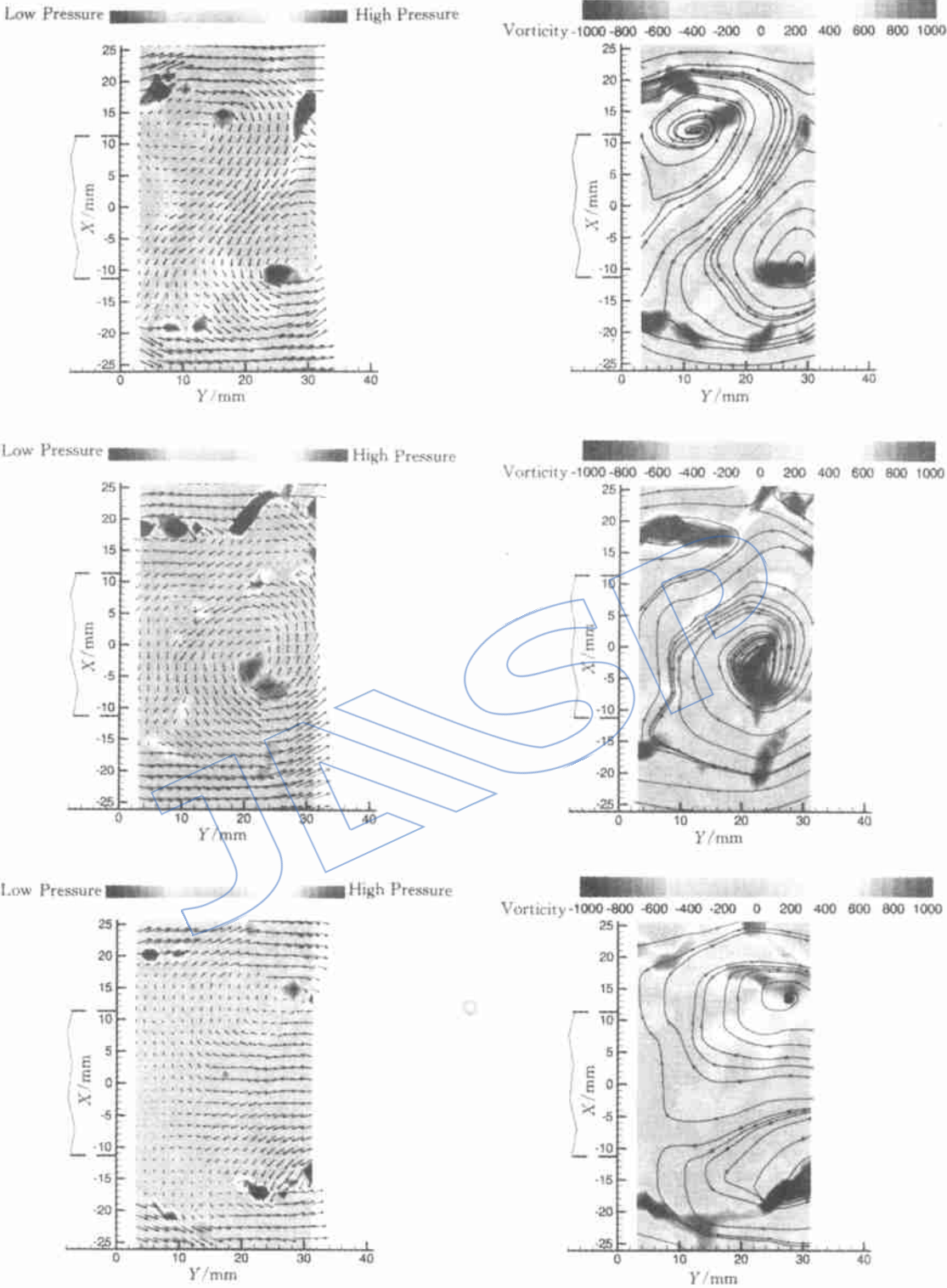


图 4 新型稳定器第一位置瞬态场($v_m = 10\text{ m/s}$, $v_j = 20\text{ m/s}$)

替形成和脱落的大尺度集中涡所控制, 涡的周期性交替脱落形成了类似于圆柱绕流的涡街。但 v 型稳定器流场中的涡量产生于稳定器壁面, 而新型稳定器后旋涡的涡量不单来源于稳定器附面层, 同样来源于吹气射流, 两种来源的涡量具有相

同的符号, 使形成的大尺度旋涡具有更高的涡量, 这表示旋涡具有更强的卷吸能力。

在图 4 的 3 图中甚至出现了 2 个对称的大涡结构, 任何一个也不占优势地发展长大, 这破坏了稳定器后旋涡交替形成和脱落的机制, 稳定器后

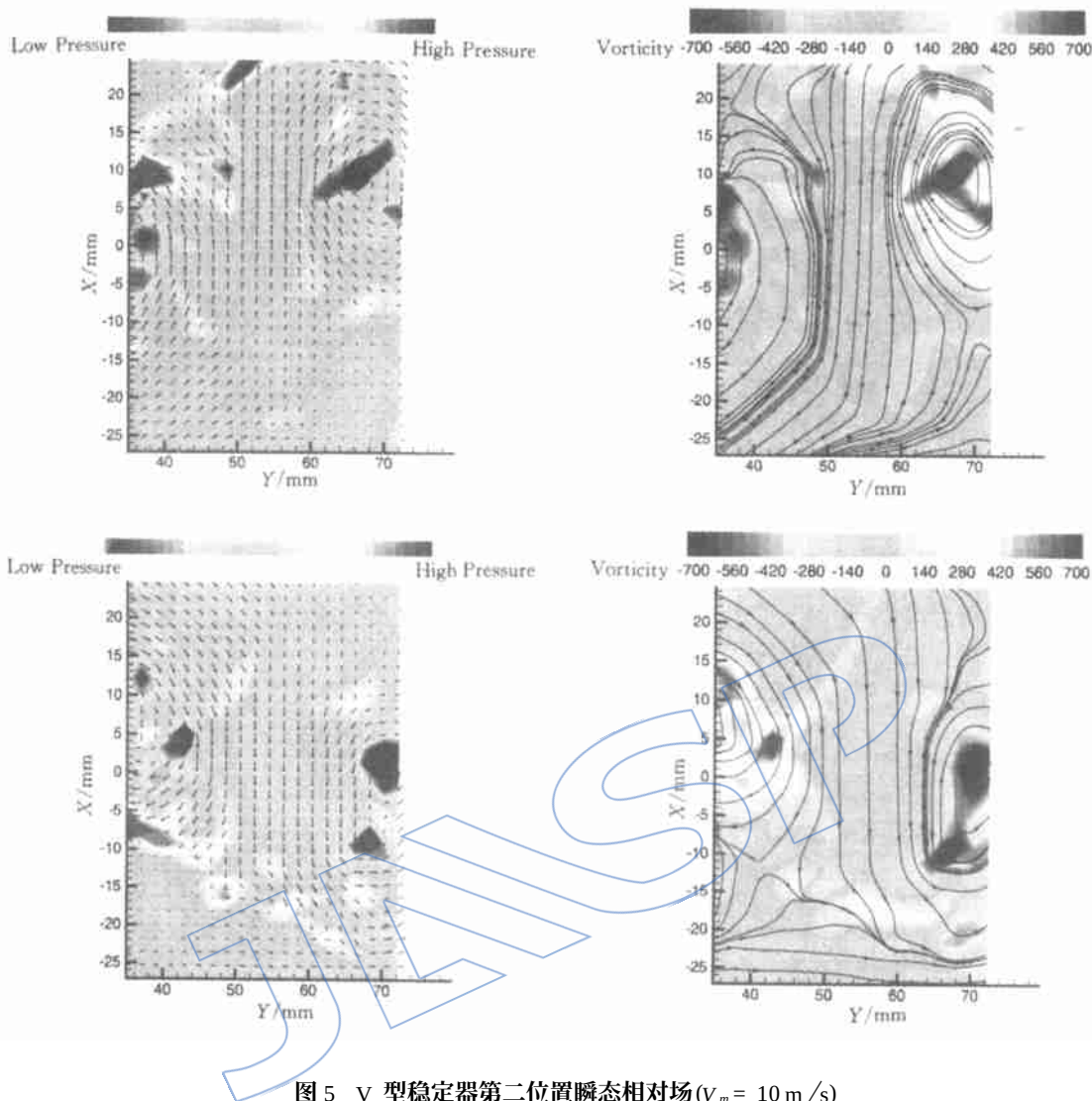


图 5 V 型稳定器第二位置瞬态相对场($v_m = 10\text{ m/s}$)

的涡街形态被削弱,这一现象限制了大涡的增长尺度。试验结果还发现,在来流为 20 m/s ,射流为 10 m/s 条件下,稳定器后尾迹流依然保持着类似于钝体尾迹流的大尺度旋涡的交替形成和脱落,未出现对称的大涡结构,没有涡街形态受到破坏的迹象。而在来流为 10 m/s ,射流为 10 m/s 条件下,出现了对称的大涡结构,但其出现的频率较低。随射流与来流动量比的增大,近尾迹流动中所形成大涡的尺度及强度都有所增长,所携裹的流体也增多。图 5 为 V 型稳定器来流为 10 m/s 时在随流的相对坐标系中观测的与第一位置相邻的第二位置处流动形态。旋涡在脱落后仍具有很强的诱导能力,进一步将主流的流体卷吸到尾迹中,其尺度进一步增长。被卷吸的主流不能被旋涡完全吸收,部分会被相临的反向旋转的旋涡吸收,部分会穿过尾迹到达另一侧,尾迹和主流的流体在旋涡的卷吸作用下,发生相互作用。

4 2 火焰稳定器稳焰机理的非定常观点探讨

由以上分析可知:瞬态流动揭示了湍流时均回流区靠湍流脉动传质传热的实际机理是通过旋涡的卷吸来实现的,旋涡发生、发展而后脱落这一拟序现象在卷吸过程中起到了重要的作用。这导致在瞬态场基础上认识的燃烧过程及稳焰机制与时均场中的认识不同。

稳定器后近尾迹流中旋涡生成后,在其发展过程中卷吸来流与射流中的新鲜混气,与回流区内已燃高温燃气搅混在一起,高温燃气将热量传输给新鲜混气。当新鲜混气达到着火点进行燃烧时,大涡仍未脱落,则燃烧稳定。旋涡进一步长大,卷吸未燃新鲜混气并进一步燃烧,从而使生成的大尺度旋涡成为高温区,成为持续固定点火源。大涡内混气的稳定燃烧使火焰向外传播,点燃剪切层及主流。当新的反向涡量旋涡生成时,大涡通过涡运动及分子运动将热量及活性中心传递给新生

成涡,使其达到着火温度而燃烧,并随其发展壮大成为新的持续点火源。伴随着旋涡的交替生成和脱落,点火源接力传递下去。对于新型火焰稳定器近尾迹中出现的对称大涡的现象,其形成机制目前还不清楚,但本文认为它们在火焰稳定性上所起的作用与交替脱落的旋涡是相同的,同样作为一持续的点火源,并将点火源传递给下一个形成的旋涡。前面的分析已指出,大尺度旋涡在脱落后,仍具有较强的卷吸能力,在向下游传播过程中,会继续卷吸外围主流的未燃混气,在高温的大尺度旋涡周围燃烧,并将火焰向主流传播,从而使稳定器后的整个尾迹区和与之相连的主流区都燃烧起来。

根据上述对稳焰机理的解释,可知所生成旋涡的尺度、强度和脱落频率,对燃烧性能有重要影响。所形成的旋涡尺度越大,脱落频率越低,新鲜混气着火燃烧的时间越充分,热源越强大,燃烧也越充分,燃烧的稳定性自然也就越好;如果旋涡的强度更高,即其卷吸周围未燃混气的能力越强,单位距离内或单位时间内就会有更多的混气得到充分燃烧。下面以钝体稳定器的贫油熄火为例,从非定常角度进行解释。

减小来流当量比,未燃混气的反应速率降低,单位时间、单位容积内燃烧生成的热量减少,当其能量不足以维持被持续卷进大涡的未燃混气继续燃烧,发生贫油熄火现象。对于钝体火焰稳定器,其贫熄边界随来流速度增加而变窄,随其几何尺寸的增长而变宽。增大来流速度,则大涡生成和脱落的频率呈比例增长,大涡由生成到脱落的时间变短,当在这一时间内,大涡内的未燃混气未被点燃时,发生熄火。为了保障持续的燃烧,需要加大来流当量比,增加单位时间、单位容积的放热量,缩短新鲜混气着火感应期。增大稳定器堵塞比,大

涡尺度增长,大涡脱落的周期变长,给了未燃混气足够的着火时间,燃烧稳定性变好。

本文关于稳焰机理的非定常观点可以很好地解释贫熄现象,其合理性有待于进一步证实。

尾缘吹气使得所形成的旋涡的尺度已经明显大于稳定器槽宽,随着射流与来流动量比增大,旋涡的尺度加大,旋涡的脱落频率会降低,这些特性都将明显改善稳定器的燃烧性能。但动量比过大,会出现旋涡交替脱落机制遭到破坏的流动形态,且射流与来流动量比越高,破坏得越厉害,大涡的尺度减小,显然不利于燃烧。可见,射流与来流动量比存在一最佳比例。

5 结 论

本文利用二维互相关 PIV 技术在低速风洞中对新型火焰稳定器及 V 型火焰稳定器后流场进行了测量,由对近尾迹流场的分析,本文提出了稳焰机理的非定常观点。近尾迹中旋涡的生成和脱落控制着燃烧的进程,大尺度旋涡在火焰传播中起到了固定点火源的作用,并将热量和活性中心传递给新生成涡,使点火源接力下去。生成旋涡的尺度越大,旋涡越稳定,燃烧的稳定性越好。这一观点有待进一步证实。

参考文献

- [1] 傅维德,张永廉,王清安 燃烧学[M]. 北京:高等教育出版社,1989
- [2] 杨茂林,全中 尾缘吹气式火焰稳定器试验研究[J]. 航空动力学报,1998,13(2): 185- 188
- [3] 岳连捷,杨茂林 尾缘吹气式火焰稳定器流场计算[J]. 航空动力学报,1998,13(2): 180- 184
- [4] 刘宝杰 尾流旋涡的流动机制及其应用[D]. 北京:北京航空航天大学博士学位论文,1998
- [5] 岳连捷,刘宝杰,杨茂林 尾缘吹气式稳定器近尾迹流动研究[J]. 工程热物理学报,2001,22(2):.

(责任编辑 杨再荣)

Discussion on the Instantaneous Viewpoint About the Flame Stability Mechanism of Flameholder

YU E L ian-jie, YANG M ao-lin

(4th Dept., Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract The detailed near-wake flow behind the EBM C flameholder and V-gutter flameholder was measured by using 2D cross-correlation on-line PIV in a low speed wind tunnel. On the basis of the research on the instantaneous flow, the instantaneous viewpoint about the flame stability mechanism is put forward. Alternative formation and shedding of vortices in the nearwake flow structure have important effect on the flame stability. Large scale vortex provides essential condition for flame spreading as ignition source. And it transfers the energy and radicals to the forming vortex which becomes the ignition source as its development. So the source is handed on with the alternative formation and shedding of vortices. The larger is the scale of vortices and the more stable are the vortices, the better is the flame stability.

Key words: flameholder; flame stability; near-wake flow