

火焰稳定器射流喷口形状对燃烧性能的影响

岳连捷¹, 杨茂林², 樊未军², 岳 明², 熊建秋²

(1. 中国科学院 力学研究所, 北京 100080; 2. 北京航空航天大学 动力系, 北京 100083)

摘 要: 为了探讨尾缘吹气式火焰稳定器的射流喷口形状对燃烧性能的影响, 在来流 50m/s, 573K 条件下, 分别对连续长缝、不连续宽缝、均布圆孔三种不同喷口形状的火焰稳定器的燃烧性能进行了实验研究, 对比了它们的贫燃特性、燃烧效率和流阻损失。研究发现, 在实验条件范围内, 连续长缝形喷口稳定器的燃烧性能较其他两种不连续喷口稳定器优越, 具有较高的燃烧效率、较宽的贫燃边界和较小的流阻损失。

关键词: 火焰稳定器; 射流; 燃烧性能; 结构参数

中图分类号: V235.113

文献标识码: A

文章编号: 1001-4055 (2003) 02-0169-03

Influence of jet slot structure on combustion performance of novel jet flameholder

YUE Lian-jie¹, YANG Mao-lin², FAN Wei-jun², YUE Ming², XIONG Jian-qiu²

(1. Inst. of Mechanics, Academia Sinica, Beijing 100080, China;

2. Dept. of Jet Propulsion, Beijing Univ. of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: Experiments were conducted to study the influence of the trailing jet slot structure of the edge blowing mixture curtain (EBMC) flameholder on the combustion performance. Three types of jet slot structure were investigated under the condition of main flow of 50m/s and 573K including continuous slot, discontinuous wide troughs and orifices. Their lean flame stability, combustion efficiency and pressure loss factor were compared. Results show that the continuous slot structure is better than other two types of discontinuous structure under experimental conditions because of its higher combustion efficiency, wider lean flame stability and lower pressure loss.

Key words: Flame holder; Jets; Combustion performance; Structure parameters

1 引 言

先进加力式涡扇发动机的发展,对火焰稳定器提出了火焰稳定性好、燃烧效率高、流阻损失小、点火容易、能在更高温度下工作的要求。于是出现了各种各样的火焰稳定器方案:蒸发式火焰稳定器、气动火焰稳定器^[1,2]、沙丘驻涡火焰稳定器^[3]等,文献[4]提出了一种机械与气动稳定相结合的新型火焰稳定器——尾缘吹气式火焰稳定器。该稳定器因其槽宽较窄,流线形头部,冷阻损失很小;加力时尾缘吹气并供油,改善了燃烧性能;比普通气动稳定器的耗气量小,更易于稳定可靠工作。

文献[5]对尾缘射流喷口为长缝的新型火焰稳定器的燃烧性能进行了探讨,不同的尾缘射流喷口形状将对射流与主流的掺混、稳定器后流场产生非常重大的影响,进而影响稳定器的燃烧性能。本文在以前工作的基础上,对几种具有不同射流喷口形状的新型稳定器的燃烧性能进行了实验研究,探讨了喷口形状的影响。

2 实验设备和测量系统

由暂冲气源供气,三台单管燃烧室可对来流加热,模拟加力进口温度;整流网格使进口流场均匀;实验段总长 1600mm,截面为 300 × 170mm² 矩形通道,在

• 收稿日期: 2002-02-28; 修订日期: 2002-07-07。基金项目: 航空基金资助项目 (97CS1100)。

作者简介: 岳连捷 (1972—), 男, 博士后, 研究领域为超燃冲压发动机燃烧室液态碳氢燃料燃烧的实验与计算。

稳定器尾缘处开有观察窗,可以观察和照相。来流状态由总静压探针、静压探针及热电偶测量。

新型稳定器水平安装在实验管道中心,其前缘与来流方向垂直,稳定器内单独供气并供油。在稳定器前方距稳定器尾缘 480mm 处,水平安装了一直射式喷油杆,喷油杆上沿展向分布三个喷油孔,孔径 0.5mm,孔间距为 30mm,燃油顺喷。直射式喷油杆、稳定器内的供油压力和流量以及尾缘吹气压力和流量分别由压力表和流量计显示。

气冷式总压总温组合探针沿水平方向固定在实验段出口截面的可沿纵向移动的位移机构上,探针上相间均布有 6 个总压测量感头和 5 个温度测量感头,扫描测取出口截面的总温、总压分布(总压 90 点,总温 75 点)。进而求得流动损失和焓增效率。

3 实验件设计

新型稳定器具体结构如图 1,在文献[5]中已作了详尽的说明。稳定器内采用 3 个沿展向均布的新型气动雾化喷嘴,在每一喷油孔周围,沿周向均布着 4 个与喷油孔轴线成 45° 夹角的吹气孔,可获得较好的雾化混合效果。稳定器槽宽 $h = 30\text{mm}$,长 $A = 90\text{mm}$,展宽 $B = 170\text{mm}$ 。图 2~4 为三种不同的新型稳定器射流喷口结构简图,射流喷口为连续长缝的尾缘吹气式火焰稳定器简称为 I 型稳定器,吹气缝宽 b 为 2mm,文献[5]采用的即是该稳定器;射流喷口为小孔的尾缘吹气式火焰稳定器简称为 II 型稳定器,为 26 个 $\phi 4\text{mm}$ 的小孔以间距 $t = 6\text{mm}$ 均布;射流喷口为不连续宽缝的火焰稳定器简称为 III 型稳定器,为 4 个长 $l = 27\text{mm}$,宽 $b = 3\text{mm}$ 的缝以间距 $t = 12\text{mm}$ 均布。三者仅仅是在喷口结构形状上有所不同,而喷口面积是相同的,保证了在相同吹气流量条件下,具有相同的吹气速度。

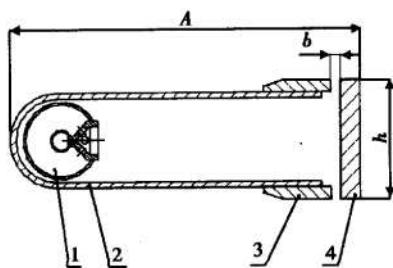


Fig.1 Sketch of EBMC flameholder

1. Air-assist atomizer; 2. U-shape head;
3. Jet slot board; 4. Trailing board

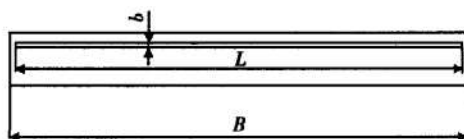


Fig.2 Jet slot structure of flameholder I

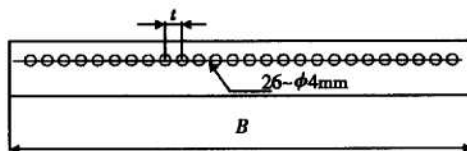


Fig.3 Jet slot structure of flameholder II

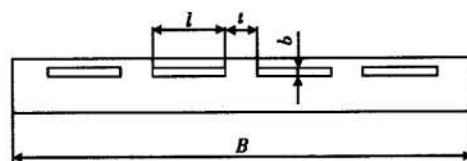


Fig.4 Jet slot structure of flameholder III

4 实验结果及分析

实验中来流保持 50m/s , 573K , 稳定器尾缘吹气为室温空气。以下各图中, V_∞ 代表来流速度, T_∞ 代表来流温度, V_j 代表尾缘吹气速度, 由所测空气流量及喷口面积求得(液态燃油在气流中所占体积很小, 且吹气为室温, 雾化燃油在混合室内的蒸发量也不多, 因而忽略液相对吹气速度的影响)。 ϕ_t 代表实验段的总油气当量比, ϕ_j 代表射流油气当量比, Ψ^* 为流阻系数, 代表总压损失与来流动压之比, η 为焓增燃烧效率。

4.1 贫熄特性

图 5 显示了仅在稳定器内部供油条件下不同射流喷口形状对新型稳定器贫熄边界特性的影响。I 型稳定器的贫熄特性已在文献[5]中作过详细的探讨, 由图可见, II 型、III 型稳定器贫熄边界随吹气速度的变化趋势与 I 型相同, 在一定来流条件下, 随着吹气速度增加, 贫熄边界变窄。

吹气速度增加, 在稳定器后形成的回流区增长^[6], 相当于增加了钝体稳定器的结构尺寸, 有利于火焰稳定, 但相应的剪切层气流速度的提高对稳焰不利; 同时, 吹气速度增加, 增大了射流空气流量, 在供油量不变条件下, 将导致射流油气比降低, 而且, 空气射流为室温冷气流, 这两者都对燃烧产生负面影响。随射流动量增长, 实验中不利的因素占了主导, 贫熄边界变窄。

由图5可见, II型稳定器的贫熄边界较I型窄, 而III型稳定器的性能极差, 在吹气速度为 50m/s 时, 无论怎样在稳定器内部供油都无法稳定火焰。由于两孔或两槽之间的距离, 使得前方来流从两股射流间穿过, 直接进入燃烧区, 与高温燃气掺混, 来流温度仅为 573K, 导致回流区温度降低, 化学反应速率下降, 引起贫熄边界变窄。在这一点上, III型稳定器更为严重。

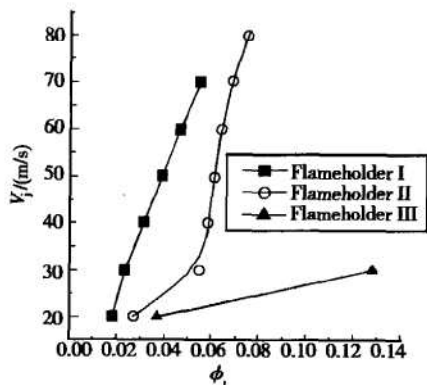


Fig.5 Effect of jet slot structure on lean stability limits

$V_m = 50\text{m/s}$, $T_m = 573\text{K}$

Fuel supplied only from the flameholder

4.2 燃烧效率及流阻特性

因III型稳定器不能稳定地燃烧, 所以只比较II型与I型的性能。图6为在一定来流和吹气条件下, 仅在稳定器内部供油, 两种稳定器燃烧性能随射流混气当量比的变化; 图7则为前方喷油杆及稳定器内部同时供油, 并保持总供油量不变条件下, 两稳定器燃烧性能随射流混气当量比的变化。

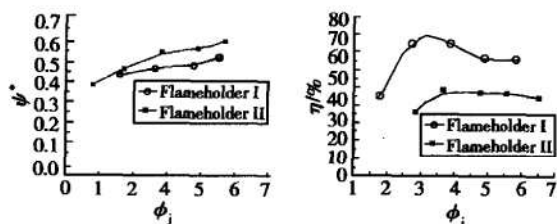


Fig.6 Comparison of Ψ^* and η of flameholder I and flameholder II

Fuel supplied only from the flameholder

可见, II型稳定器的流阻及效率随射流混气当量比的变化趋势与I型稳定器基本相同, 存在一最佳射流油气比, 使得燃烧区内燃油与空气匹配合理, 获得最好的燃烧效果, 燃油过贫或过富都对燃烧不利。

比较发现, 在相同条件下, II型稳定器的流动损

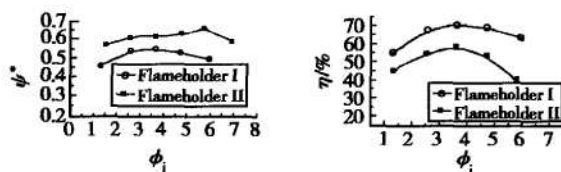


Fig.7 Comparison of Ψ^* and η of flameholder I and flameholder II

Fuel supplied from frontal injector and flameholder, remaining total fuel mass rate constant

失较I型稳定器略高, 而燃烧效率要低很多。尽管两稳定器的喷嘴面积相同, 但在相同的吹气速度条件下, 因II型稳定器射流较集中, 在横向来流中的穿透较深, 伴随着三维的搅扰, 加强了来流与射流的掺混, 使得流动损失略有增长。同时, 由于前方来流从II型稳定器的两股射流间穿过, 直接进入燃烧区, 降低了燃烧区混气温度, 导致化学反应速率减慢, 燃烧效率较I型稳定器有所下降。

5 结论

在喷嘴面积相同的条件下, 对连续长缝形、孔型、不连续宽缝三种不同射流喷嘴几何形状的尾缘吹气式稳定器燃烧性能的实验研究表明:

(1) 连续长缝式喷嘴稳定器的贫熄边界较宽, 宽缝型稳定器甚至不能保证稳定燃烧。

(2) 相同的来流、射流及供油条件下, 连续长缝式喷嘴的新型稳定器的流阻损失小, 燃烧效率高, 优于其它两种稳定器。

参考文献:

- [1] Sridhara K, Chidananda M S, Paranjpe P A. Jet curtain flameholder for aircraft afterburners[R]. 78-GT-95.
- [2] Sridhara K, Chidananda M S. Fresh mixture entrainment in a jet curtain flameholder[C]. *Fifth International Symposium on Air-breathing Engines*, February 16-21, 1981, Bangalore, India.
- [3] 宁 槐, 高 歌. 燃烧室气体力学[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [4] 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).
- [5] 岳连捷, 杨茂林. 尾缘吹气式火焰稳定器燃烧性能研究[J]. 航空动力学报, 2001, 16(4).
- [6] 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).

(编辑: 王居信)