

文章编号: 1000-8055(2001) 04-0345-05

尾缘吹气式火焰稳定器燃烧性能研究

岳连捷, 熊建秋, 樊维均, 杨茂林
(北京航空航天大学 动力系, 北京 100083)

摘要: 在初步试验研究的基础上, 对尾缘吹气式稳定器进行了结构改进, 并进行了燃烧性能试验研究。探讨了新型稳定器的贫熄特性, 分析了尾缘吹气速度与供油量对燃烧性能的影响, 比较了稳定器前方供油与稳定器内供油的不同供油方式下的燃烧性能, 并和 V 型稳定器性能进行了对比。研究表明, 新型稳定器是一种能稳定工作的可控高效低阻稳定器, 在未来发动机加力尤其是外涵加力上具有应用前景。尾缘吹气并供油, 改善了燃烧区燃油浓度分布。燃烧性能优于槽宽大 1 倍的 V 型稳定器。

关键词: 火焰稳定器; 气动稳定; 燃烧性能

中图分类号: V 231. 2 文献标识码: A

1 引言

现代航空发动机技术的发展对火焰稳定器的设计提出了更高的要求, 即火焰稳定性好、燃烧效率高、流阻损失小, 同时涡轮出口温度越来越高的趋势也使火焰稳定器的工作环境比以前更加恶劣, 常规钝体火焰稳定器已难以适应高性能推进系统先进加力燃烧室的要求。北航杨茂林老师分析了火焰稳定器的研究及发展现状, 提出了一种机械与气动稳定相结合的新型稳定器——尾缘吹气式火焰稳定器^[1], 初步的可行性研究结果表明, 新型稳定器是一种有发展前途的火焰稳定器。

2 试验设备和测量系统

试验段简图如图 1 所示。由暂冲气源供气, 3 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; 试验段总长 1600 mm, 截面为 $300 \times 170 \text{ mm}^2$ 矩形通道, 在稳定器尾缘处开有观察窗, 可以观察和照相。新型稳定器水平安装在试验管道中心, 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 480 mm 处, 沿水平方向安装了一直射式喷油杆, 孔径 0.5 mm, 分布 3 个喷油孔, 孔间距为 30 mm, 燃油顺喷。

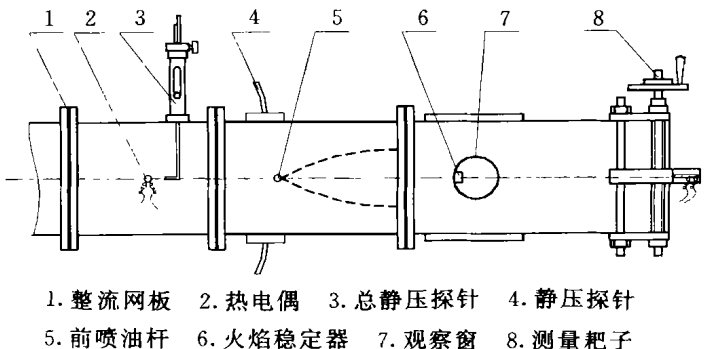


图 1 试验段结构示意图

来流状态由总静压探针、静压探针及热电偶测量。气冷式总压总温组合探针沿水平方向固定在试验段出口截面的可沿纵向移动的移位机构上,探针上均布有 6 个总压测量感头和 5 个温度测量感头,扫描测取出口截面上的总温、总压分布(总压 90 点,总温 75 点)。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。

3 尾缘吹气式火焰稳定器的结构改进

新型稳定器结构如图 2 所示,继承了前期研

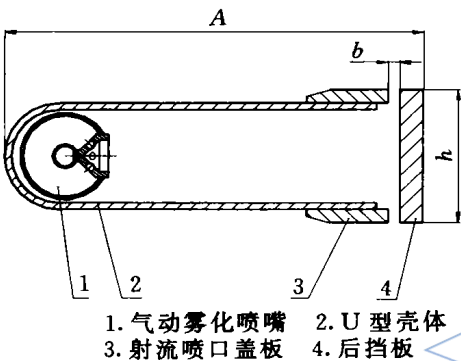


图 2 新型稳定器结构简图

究试验件的优点,前部为 U 形壳体,后挡板为平板。稳定器内采用新型气动雾化喷嘴,在每一喷油孔周围,沿周向等间距分布着 4 个与喷油孔轴线成 45 夹角的吹气孔,可获得较好的油气雾化混合效果;稳定器槽宽 $h=30\text{ mm}$,尾缘吹气缝宽 b 为 2 mm 。通过对尾缘吹气口缝宽的改进,新型稳定器在合理的吹气流量(来流流量 2%) 范围内,可在适当的吹气速度下形成合适的回流区。

4 试验结果及分析

本文主要探讨尾缘混气对燃烧性能的影响,同时和槽宽大 1 倍的 V 型稳定器进行燃烧性能对比。

试验中射流温度 T_j 为室温。以下各图中, T_m^* 代表来流温度, V_j 代表尾缘射流速度, V_m 代表来流速度, $m_{f,i}$ 为稳定器内部供油量, $m_{f,i}$ 为前方喷油杆供油量, Φ 代表试验段的总油气当量比, φ 代表射流油气当量比; V_b 代表吹熄发生时的来流流速, Ψ^* 为流阻系数, η 为燃烧效率。

4.1 贫熄特性

图 3 清楚地显示了新型稳定器的燃烧现象。

火焰扩张角在根部较大,而后逐渐减小;在尾缘附近没有黑区,这与 V 型稳定器燃烧现象有所不同。对于 V 型稳定器,如图 4,在近尾缘形成上下

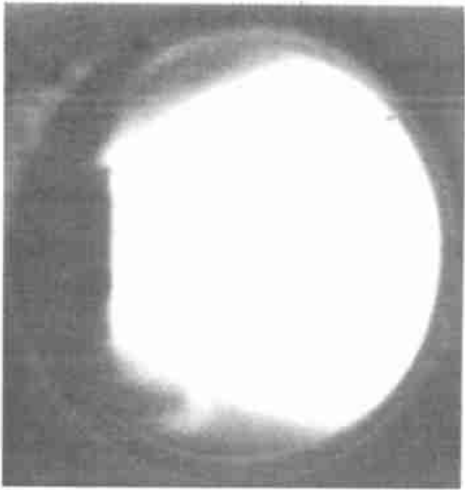


图 3 新型稳定器燃烧现象照片
($V_m=50\text{ m/s}$, $V_j=60\text{ m/s}$)

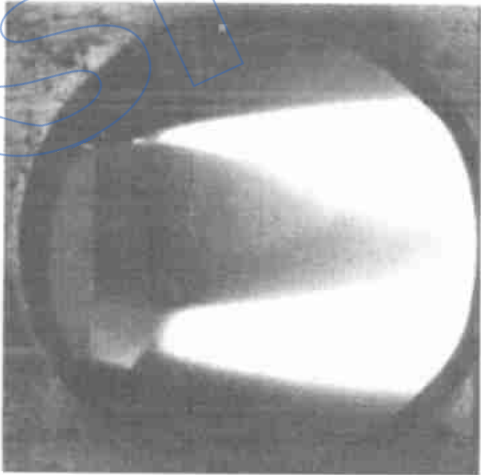


图 4 V 型稳定器燃烧现象照片

2 支火焰,并随着向下游传播火焰逐渐加厚,最后联成一片,在尾缘附近存在没有燃烧反应的黑区。这说明新型稳定器后的回流区中存在着剧烈的燃烧过程,稳定器内供油使得尾缘处燃油浓度分布比较合理,很好地利用了整个低速回流区。

4.2 贫熄特性

图 5 显示了新型稳定器与 V 型稳定器的贫熄特性。对于 V 型稳定器,随着来流流速的增加,可燃混气在回流区停留时间缩短,同时湍流脉动速度增大,导致贫熄边界变窄。

对于新型稳定器,仅在稳定器内部供油,在一

定来流条件下, 随着射流速度增加, 贫熄边界变

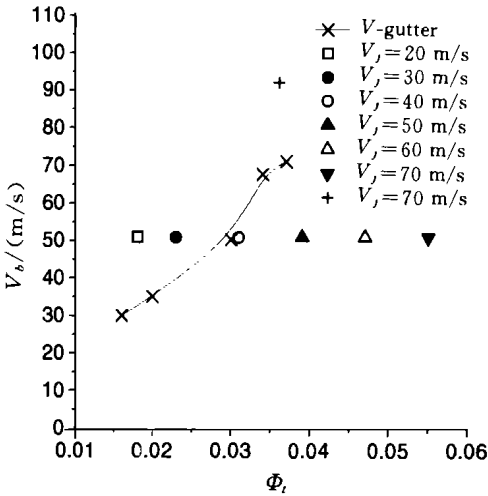


图5 新型稳定器与V型稳定器贫熄边界对比
($T_m^* = 573\text{ K}$)

窄。射流速度增加, 在稳定器后形成的回流区增长^[2~4], 相当于增加了钝体稳定器的结构尺寸, 有利于火焰稳定; 但相应剪切层内气流速度加快, 使混气在回流区内的停留时间有减少的趋势; 穿透加深又导致燃油分布区域变宽, 使得回流区附近的局部油气比降低, 同时湍流脉动加强, 卷吸来流冷空气流量增多, 这对火焰稳定不利。在燃烧试验中不利的影响占了主导地位, 贫熄边界随射流动量的增加而变窄。若射流速度 $V_j < 40\text{ m/s}$, 则新型稳定器的贫熄边界比槽宽为 60 mm 的 V 型稳定器的贫熄边界还要宽。图中还显示了在吹气射流速度均为 70 m/s 时, 来流速度分别为 50 m/s 及 90 m/s 两种状态下的贫熄特性, 来流 90 m/s 时的贫熄范围要宽一些, 这与 V 型稳定器的趋势不同。文献[1]已对这一现象做了论述。来流速度的增大, 使混气停留时间变短, 但射流燃油分布区域也变小, 燃油比较集中, 同时来流对尾缘射流的作用力增大, 射流混气中油珠的二次雾化更好, 这使得剪切层局部油气比升高, 对扩大贫熄边界有利, 贫熄边界仍然变宽。

4.3 燃烧效率及流阻特性

4.3.1 尾缘供油量不变条件下吹气的影响

图6显示了新型稳定器在来流 V_m 为 50 m/s , 温度 T_m^* 为 573 K 条件下, 仅在稳定器内部供油, 并保持供油量不变时燃烧性能随射流速度的变化。随射流速度的增加, 流阻增长, 而燃烧效率经历了一个先增加后降低的过程。

增加尾缘射流速度, 稳定器后回流区扩大, 卷吸量增加, 湍流脉动增强, 火焰扩张角变大, 火焰面变宽, 稳定器内部喷油杆燃油雾化得到改善, 这对燃烧有利; 但尾缘射流速度加快, 燃气在回流区的驻留时间有变短的趋势, 降低了油珠燃烧的完全程度, 且射流初温较低, 射流流量加大使回流区平均温度下降, 这又对提高燃烧效率不利。射流速度较低时, 射流混气当量比较高(当 V_j 为 20 m/s 时, 射流当量比达 12), 燃烧区域处于富油状态, 燃烧效率较低; 随射流速度升高, 射流混气当量比变小, 改善了局部严重富油的状态, 燃烧效率升高; 当射流速度达到一定程度后, 进一步加大, 回流区扩张很小, 此时由于尾缘射流速度加快给燃烧带来的不利影响起了决定性作用, 而且尽管此时射流混气当量比仍处于富油状态, 但在卷吸了来流空气后, 燃烧区已处于贫油状态, 进一步增加射流速度, 反而不利于燃烧性能的提高, 燃烧效率降低。

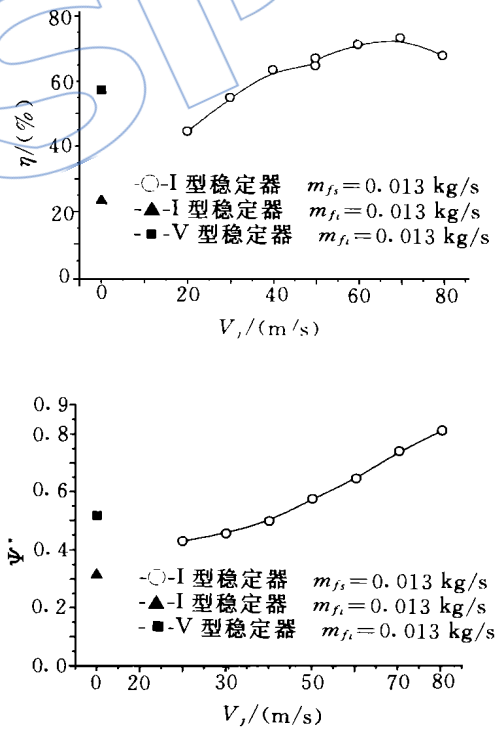


图6 燃烧效率及流阻系数随射流速度的变化
($V_m = 50\text{ m/s}$, $T_m^* = 573\text{ K}$) 仅在稳定器内部供油

图6还对比了在相同的来流和供油量条件下, 新型稳定器和V型稳定器及将新型稳定器作为钝体稳定器使用时的燃烧性能。新型稳定器作为钝体使用, 因其槽宽较窄, 燃烧效率相当低; 新型稳定器因尾缘提供油气混气, 使得燃烧区域的

油气浓度分布更为合理, 燃烧状态下几乎不存在黑区, 非常充分地利用了整个低速回流区, 其燃烧性能得到很大程度的改善。在供气量合适的条件下, 其燃烧效率远远高于 V 型稳定器, 最高可增加 10% 以上。当射流速度大于 30 m/s 后其效率已高过 V 型稳定器, 而流阻要在射流速度大于 40 m/s 后才超过 V 型稳定器, 存在某一射流速度可使新型稳定器既获得了较高的效率又降低了流阻。初步的研究也表明, 新型稳定器的冷阻损失较之 V 型稳定器小很多, 这说明新型火焰稳定器是一种高效低阻稳定器。

4.3.2 尾缘当量比不变条件下吹气的影响
——最佳尾缘射流速度

图 7 显示了新型稳定器在来流 V_m 为 50 m/s, 温度 T_m^* 为 573 K 条件下, 仅在稳定器内部供油, 并保持射流混气当量比不变时燃烧性能随射流速度的变化。当量比保持恒定, 随射流速度的增大, 尾缘燃油散布较广, 燃烧区当量比升高。当射流速度较小时, 稳定器后燃油浓度呈现贫油分布,

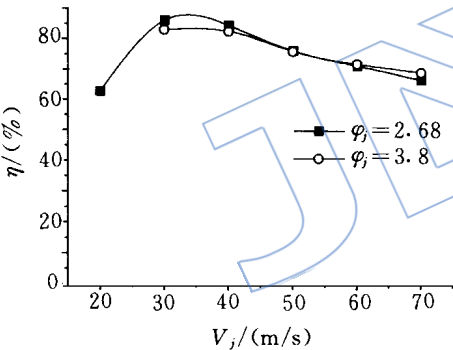


图 7 燃烧效率随射流速度的变化

($V_m = 50 \text{ m/s}$, $T_m^* = 573 \text{ K}$) 仅在稳定器内部供油

燃烧效率较低; 随着射流速度的增长, 回流区扩大, 火焰面变宽, 湍流脉动增强, 同时吹气射流对燃油的雾化变好, 这都有利于燃烧, 伴随着稳定器后油气比分布趋于合理, 燃烧效率升高; 当射流速度增加到一定程度后, 新鲜混气停留时间缩短, 回流区平均温度降低这些不利于燃烧的因素的作用愈来愈明显, 且燃烧区油气比开始偏富, 燃烧效率下降。结合上一问题的分析, 可见新型稳定器存在着最佳的尾缘射流速度。

4.3.3 尾缘供油量的影响——最佳射流当量比

图 8 显示了仅在稳定器内部供油, 并保持来流及射流工况不变条件下, 新型稳定器燃烧效率

随尾缘射流当量比的变化。随射流当量比的提高, 燃烧区域燃油分布经历了由贫到富的过程, 相应燃烧效率也经历了先增加、后降低的过程, 可见存

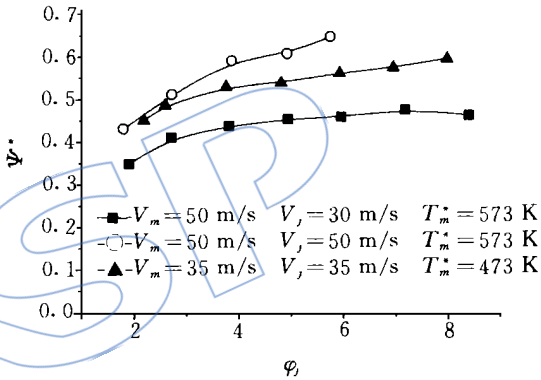
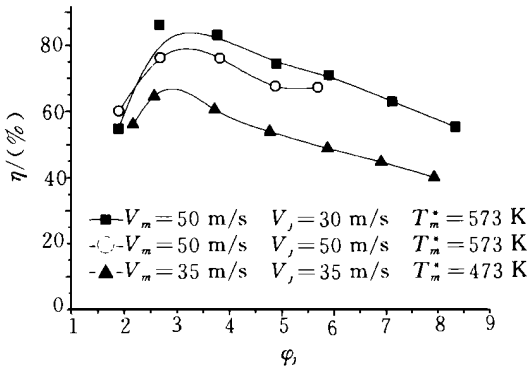


图 8 燃烧效率和流阻系数随射流当量比的变化

在最佳射流当量比, 使得燃烧区域油气比恰当。由图还可知, 随油气比的提高, 燃烧放热量增加, 流阻损失增大。

4.3.4 前方喷油杆供油和稳定器内部
供油匹配的影响

图 9 显示了新型稳定器前方喷油杆及稳定器

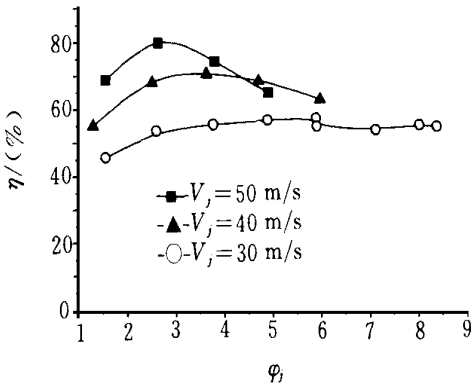


图 9 燃烧效率随射流当量比的变化

($V_m = 50 \text{ m/s}$, $T_m^* = 573 \text{ K}$) 总供油量恒定

内部同时供油,并保持总供油量不变的条件下,燃烧性能随射流当量比的变化。当尾缘混气当量比较低时,燃油大部分由前方喷油杆供给,燃油准备不好,燃烧区域内燃油浓度分布不合理,效率较低;当尾缘混气当量比较高时,燃油大部分由稳定器内部供给,燃油过分集中,导致局部严重富油,同样燃烧效率较低。适当地匹配前方喷油杆及稳定器内部供油,可以获得较好的燃烧性能。

5 结 论

本文在模拟工况下对新型稳定器的燃烧性能进行了试验研究,结果表明:

- (1) 新型稳定器的贫熄边界随射流速度的提高而变窄,在适当的射流速度范围(本试验 $V_j \approx 40\text{ m/s}$)内,其贫熄性能好于槽宽大1倍的V型稳定器。
- (2) 新型稳定器尾缘吹气并供油,改善了燃烧区的燃油浓度分布,燃烧性能明显优于V型稳定器。
- (3) 尾缘吹气式火焰稳定器燃烧效率存在最佳射流速度及最佳射流油气比。本试验范围内最

佳射流油气比为 $\Phi \approx 3$,最佳射流速度 $V_j \approx 40\text{ m/s}$ 。

(4) 以最佳射流油气比在稳定器内供油比在稳定器前供油能获得较高的燃烧效率,适当地匹配前方喷油杆与稳定器内部供油量,使回流区燃油分布合理,可获得较好的燃烧性能。

试验表明,新型稳定器是一种可控高效低阻火焰稳定器,燃烧性能优于槽宽大1倍的V型稳定器,可望在先进加力燃烧室中得到应用。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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):.
- [4] Sridhara K, Chidananda M S, Paranjpe P A. Jet Curtain Flameholder for Aircraft Afterburners[R]. 78-GT-95.

(责任编辑 杨再荣)

Research on Combustion Performance of the Edge Blowing Mixture Curtain Flameholder

YUE Lian-jie, XIONG Jian-qiu, FAN Wei-jun, YANG Mao-lin

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

Abstract: On the basis of elementary research, the geometry structure of the edge blowing mixture curtain (EBMC) flameholder was improved and the experimental study on the combustion performance of the EBMC flameholder was carried out in 2D afterburning test rig. The flame stability, the influence of jet velocity and fuel supply at the trail edge on the combustion performance and the performance difference between fuel supply from the frontal injector and jet curtain were analyzed. At the same time, V-gutter flameholder was used to compare with the new type flameholder. The results show that the new type flameholder is a controllable flameholder, that can work stably with higher efficiency and lower pressure loss. It is expected to be used in future aero-engine, especially its by-pass afterburner.

Key words: flameholder; aerodynamic stabilization; combustion performance