

文章编号: 1000-8055 (2001) 01-0019-04

收扩喷管加小突片 对尾喷流红外辐射的影响

黄 勇, 郭志辉, 魏福清, 吴寿生
(北京航空航天大学 动力系, 北京 100083)

摘要: 针对收扩喷管, 在高温 (约 640°C)、高速 (超音速) 流动状态下, 实验研究了加装小突片后对飞机发动机尾喷流红外辐射的抑制效果, 并探讨了小突片堵塞比、小突片后倾角度等因素对红外辐射抑制特性的影响。结果表明, 小突片对热射流的红外辐射具有明显的抑制作用, 不仅使热射流的核心区长度大为缩短, 而且使热射流的总体红外辐射信号大幅度下降 (在本文实验范围内, 最大可下降约 57%)。

关键词: 收扩喷管; 小突片; 红外辐射

中图分类号: V 231. 2

文献标识码: A

1 引言

小突片结构在射流 (低速和高速) 的强化混合方面, 效果是非常明显的^[1~7]。文献 [4] 甚至认为, 小突片在引射效果上几乎可以取代在低速射流混合问题上应用良好的波瓣引射器。

由文献 [8] 已知, 小突片强化混合结构在超音速条件下应用于收敛喷管上时, 的确能大幅度抑制热排气的红外辐射, 其抑制能力约 20%~75%, 与小突片结构的具体设计有关。

对于先进的高速战斗机采用的收扩喷管, 小突片结构是否还能大幅度抑制其热排气的红外辐射信号呢? 针对这一问题, 作者们作了一些有益的工作。

2 试验设备及方法

实验所用收扩喷管为某发动机的 1:10 缩尺型, 喉道直径 0.06 m, 扩张段的扩张角为 12° , 喷管出口直径为 0.072 m。小突片形状为三角形, 堵塞比取为 2%~6%, 片数取 2 片、4 片两种, 其它具体结构参数等详见文献 [6, 9]。试验在北京航空航天大学热动力工程研究所的高速红外隐身试验台上进行, 试验中喷管落压比取为 4.7 (欠膨胀状态), 4.41 (完全膨胀状态) 和 3 (过度膨胀

状态) 等 3 种, 出口射流的总温约为 640°C , 所用实验台、测试系统、测试方案等详见文献 [9]。

3 结果与讨论

3.1 红外信号随下游距离的衰减

图 1 和图 2 分别给出了完全膨胀状态下, 喷

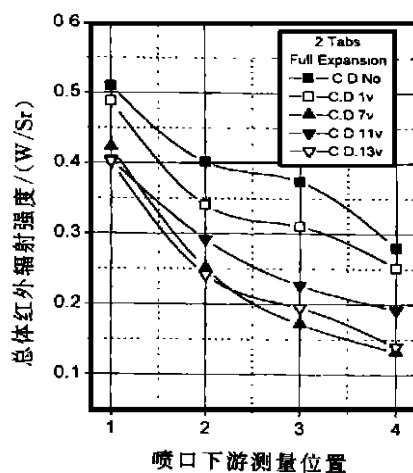


图 1 红外信号随下游距离的变化

管加装 2 片、4 片小突片后, 在出口下游不同轴向位置 (以位置 1, 2, 3, 4 表示) 处, 射流尾流各分段的红外辐射强度分布, 图中标注 C. D. 代表

收稿日期: 1999- 03- 17; 修订日期: 1999- 05- 10

作者简介: 黄勇 (1964-), 男, 北京航空航天大学动力系副教授, 博士

收扩喷管; No 表示不加小突片的基准喷管; V 表示两个小突片竖直安装, 而红外信号为水平测量; 阿拉伯数字则表示小突片结构的编号, 具体结构参数见文献 [9] (下同)。在测试过程中, 取 4 个射流分段长度为 0.25 m, 其红外信号测试位置 1, 2, 3, 4 分别对应轴向距离 (相对喷管出口) 0.125 m, 0.375 m, 0.625 m 以及 0.875 m。

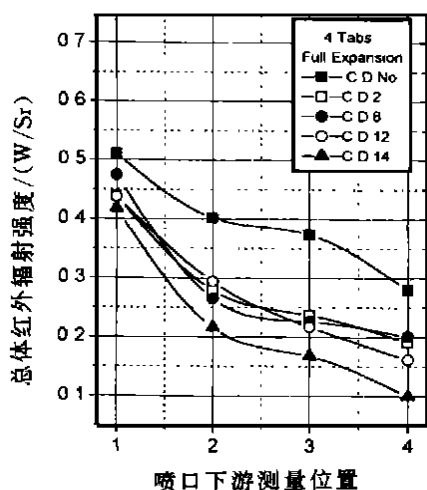


图 2 红外信号随下游距离的变化

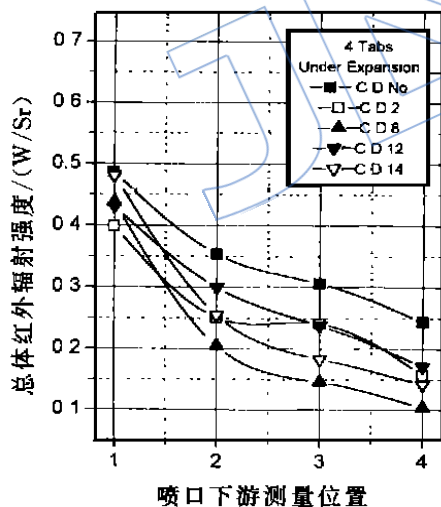


图 3 红外信号随下游距离的变化

显然, 从图中可以看出, 随着下游距离的增加, 尾流的红外辐射强度迅速衰减, 这与文献 [10] 的报道基本相同。从图中还可以看出, 与不装小突片的基准喷管相比, 无论是哪一种小突片结构, 都对尾流的红外辐射起到了明显的抑制作用。从图 1 和图 2 的比较来看, 无论装 2 片还是 4 片, 各分段的红外辐射强度随出口下游距离的总体衰减规律基本相同。

图 3 和图 4 分别给出了欠膨胀状态和过度膨

胀状态下, 加装 4 片小突片后各分段的红外辐射

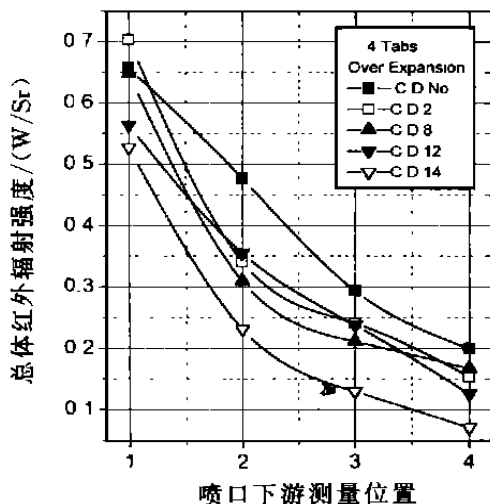


图 4 红外信号随下游距离的变化

强度分布。从图中可以看出, 欠膨胀状态和完全膨胀状态下的分布规律比较相似, 而过度膨胀状态下红外辐射强度随距离的衰减似乎比上述两种状态速率快些。

3.2 红外信号随小突片堵塞比的变化

考虑到实战中的实际环境, 射流尾流的红外辐射将被敌方现役红外导弹以点源强度探测。因此, 本文对各分段的红外辐射强度进行了累加, 以得出总体点源辐射强度。又考虑到实战中敌方导弹的来袭方向不同, 以及飞机机体从视觉上对射流尾流出口端附近的遮挡, 本文在累加各分段红外信号时, 采用了 4 段总和以及后 3 段总和的累加方式。其实际应用意义在于, 若敌方导弹从垂直尾流 (且无遮挡) 方向及后半球方向袭击, 则应考虑 4 段总和; 若考虑飞机/发动机一体化设计技术, 或者敌方导弹从飞机前方某个角度 (前半球方向) 袭击 (一般有遮挡), 则可考虑后 3 段总和。

图 5 和图 6 分别给出了不同流动状态下, 装 2 片、4 片小突片时, 随着小突片堵塞比的增加, 所造成的总体红外辐射强度的变化。图中 Full 表示完全膨胀状态, Under 表示欠膨胀状态, Over 表示过度膨胀状态, 数字 4 表示 4 个射流分段的红外辐射强度总和, L. 3 表示后 3 段的红外辐射强度之和。

从图中可以看出, 随着小突片堵塞比的增加, 总体红外信号大致是减小的。在欠膨胀状态下, 总体红外信号基本随小突片堵塞比单调下降; 但在完全膨胀状态和过度膨胀状态下, 此减小趋势似

乎呈振荡下降。3 种状态的平均趋势为: 小突片堵塞比每增加 1%, 平均可使尾喷流的总体红外辐射强度下降 5.5%~6.7%。

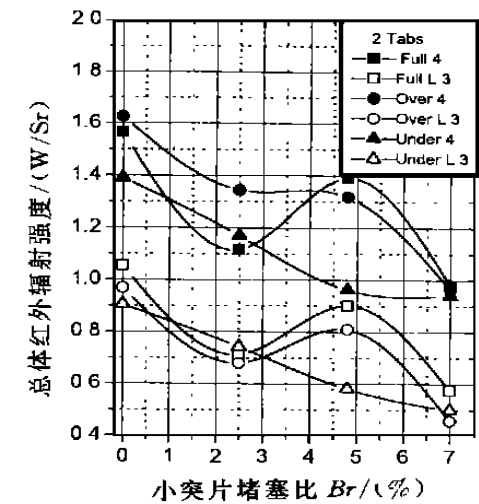


图 5 总体红外强度随堵塞比的变化

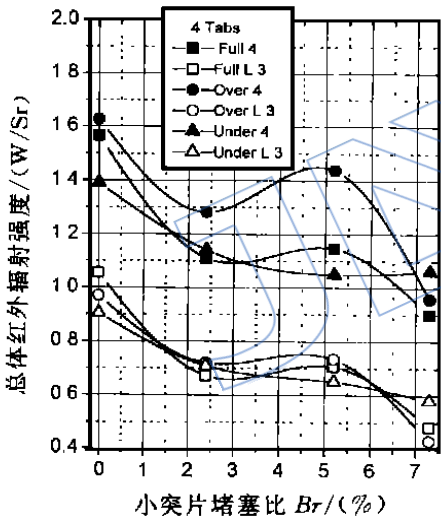


图 6 总体红外强度随堵塞比的变化

从图中还可以看出, 本模型喷管热射流的 (4 段) 总体红外辐射强度绝对数值约为 1.4~1.6 W/Sr。加装小突片后, 在本实验范围内, 最大可使其减小到约 0.9 W/Sr, 最大下降幅度约 45%。若考虑后 3 段之和, 则本模型喷管热射流的总体红外辐射强度绝对数值约为 0.9~1.06 W/Sr。加装小突片后, 在本文范围内, 最大可使其减小到约 0.42 W/Sr, 最大下降幅度约 57%。

3.3 红外信号随小突片后倾角度的变化

图 7、图 8 和图 9 给出了完全膨胀状态、欠膨胀状态、以及过度膨胀状态下, 热射流总体红外信号随小突片后倾角度的变化。图中 Tot 4 表示 4 个射流分段的红外辐射强度总和, Tot L. 3 表

示后 3 段的红外辐射强度之和。

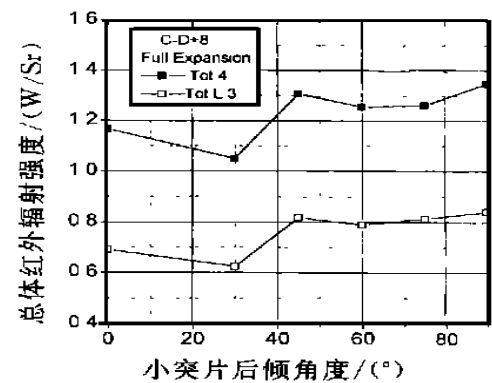


图 7 总体红外强度随后倾角的变化

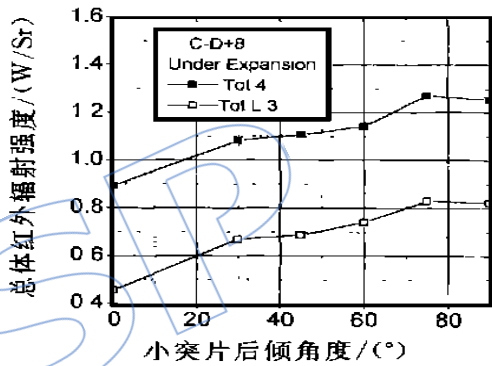


图 8 总体红外强度随后倾角的变化

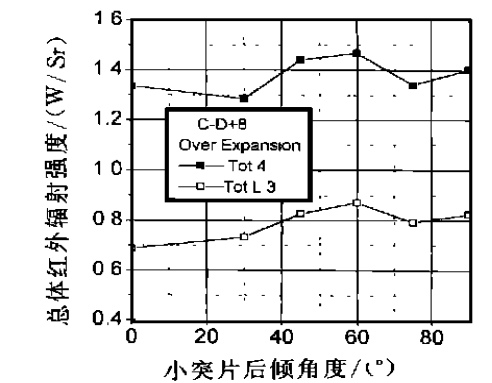


图 9 总体红外强度随后倾角的变化

从图中可以看出, 随着小突片后倾角度的增加, 总体红外辐射强度 (无论是 4 段总和还是后 3 段总和) 基本上是增加的, 且在欠膨胀状态下增加速率最快, 其次是完全膨胀状态, 最慢的是过度膨胀状态。当然, 由于小突片后倾角度是由人工在热态试验现场弯制而成, 角度误差较大, 因而很难确定总体红外辐射强度随小突片后倾角度的实际变化关系。

值得注意的是, 从本实验结果来看 (尤其是

图 7), 小突片后倾角度的增加既有可能使尾流的红外辐射强度增加, 也有可能使其减小。考虑到文献 [4, 5] 都曾发现存在最佳小突片后倾角度, 而本文研究未能给出尾流的红外辐射强度随小突片后倾角度线性增加的证据, 故暂按 3 种状态的总体平均趋势作线性拟合, 得出尾流的红外辐射强度随小突片后倾角度的变化规律大致为: 小突片后倾角度每增加 1° , 最小可使尾流红外辐射下降幅度减小 1.1%, 最大可使尾流红外辐射下降幅度增加 0.53%, 平均约减小 0.21%。

4 结 论

在本文研究范围内, 可得结论如下: (1) 收扩喷管加装小突片结构能明显抑制尾喷流的红外辐射 ($3\sim 5\ \mu\text{m}$), 且本文设计的小突片结构最大可使尾喷流的总体红外辐射强度下降 57%。(2) 小突片堵塞比每增加 1%, (各状态) 平均可使整个尾喷流的总体红外辐射强度大约下降 5.5%。(3) 小突片后倾角度每增加 1° (各状态), 平均可使整个尾喷流的总体红外辐射强度下降幅度减小 0.21%。(4) 随着小突片堵塞比的减小, 或者小突片后倾角度的增加, 尾喷流的总体红外辐射强度大致增加, 但其随小突片堵塞比和后倾角的准确变化关系还有待进一步验证。

参考文献

- [1] Skebe S A, McCommick D C. Parameter Effects on Mixer-Ejector Pumping Performance [R]. AIAA 88-0188
- [2] Ahuja K K. Mixing Enhancement and Jet Noise Reduction through Tabs Plus Ejectors [R]. AIAA 93-4347
- [3] Gutmark E J, Schadow K C, Yu K H. Mixing Enhancement in Supersonic Free Shear Flows [J]. *Ann. Fluid Mech.*, 1995, 27: 375-417.
- [4] Zaman K B M Q, Reeder M F, Samin M. Supersonic Jet Mixing Enhancement by Delta-Tabs [R]. AIAA 92-3548
- [5] Greta W J, Smith C R. The Flow Structure and Statistics of a Passive Mixing Tab [J]. *J. Fluids Eng., Trans. ASME*, 1993, 115: 255-263
- [6] 黄勇, 吴建航, 吴寿生. 小突片强化混合研究 [J]. *推进技术*, 1999, 20 (5): 86-90
- [7] Rogers C B, Parekh D E. Mixing Enhancement by Noise Characteristics of Streamwise Vortices in an Air Jet [J]. *AIAA J.*, 1994, 32 (3):
- [8] 黄勇, 郭志辉, 魏福清, 吴寿生. 小突片对热射流红外辐射的影响研究 [J]. 即将发表于《推进技术》, 2001
- [9] 黄勇. 航空发动机燃烧喷流的红外抑制与 NO_x 排放评估研究 [D]. 北京航空航天大学, 1999
- [10] Varney G E. Infrared Signature Measurement Techniques and Simulation Methods for Aircraft Survivability [R]. AIAA 79-1186, 1979

(责任编辑 杨再荣)

Effect of Tabs Fixed on a Convergent-Divergent Nozzle on Infrared Radiation of Exhausting Jet

HUANG Yong, GUO Zhi-hui, WEI Fu-qing, WU Shou-sheng

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

Abstract: The effect of tabs fixed on a convergent-divergent nozzle on the infrared radiation of the exhausting high speed (subsonic and supersonic) hot (about 640°C) jet was investigated, and the influence of tab block ratio and inclined angle on the suppression of infrared radiation was studied. The results show that tabs can cut down a good lot of hot jet core length and suppress the infrared radiation up to 57% from the hot jet. The increase in tab block ratio of 1% decreases the infrared radiation intensity of the whole hot exhausting gas by about 5.5% in average, and the increase in tab inclined angle by 1 degree can suppress the infrared radiation intensity of the whole hot exhausting gas by about 0.21% in average in the test conditions.

Key words: convergent-divergent nozzle; small tabs; infrared radiation