

文章编号: 1000-8055(2000) 02-0151-04

# 矩形主喷管带小突片的 排气引射混合系统的试验研究

王广振 吴寿生 王之珊 魏福清  
(北京航空航天大学 第六教研室, 北京 100083)

摘要: 通过对安装在矩形主喷管出口端的 4 组不同面积和顶角的三角形小突片的对比试验, 初步研究了小突片的片数、面积(或堵塞比)、形状和安装角度等结构参数对排气引射混合系统的气动性能的影响。试验结果表明, 小突片的应用虽然增加系统的压力损失系数, 但它明显地使系统的引射系数增加、混合均匀性改善, 使排气引射混合系统的综合气动性能改善。

关键词: 喷管; 排气; 气动特性

中图分类号: V 231.3

文献标识码: A

## 1 前言

排气引射混合系统已较广泛地应用于飞行器的增推、降噪和抑制红外辐射等领域。常规的排气引射混合系统是利用小尺度的湍流粘性混合把主气流的动能传给被引射的气体, 这种混合过程进行得很慢。波瓣强化混合结构增加了两股气流的接触面积, 具有很好的强化混合效果, 但是它结构较复杂、并增加了系统重量。而小突片强化混合结构则因具有结构简单、强化混合性能好等特点而日益受到重视<sup>[1]</sup>。

小突片的强化混合功能是由 Bradbury 和 Khadem<sup>[2]</sup>在 70 年代中期首先发现的。到 80 年代后期, Ahuja<sup>[3]</sup>和 Zaman<sup>[4]</sup>等对小突片的强化混合性能进行了较为系统的研究。到 90 年代初期, Zaman<sup>[5]</sup>等经研究提出: 小突片强化混合的作用在于它能在喷流的流场中产生成对的流向涡, 正是这种流向涡的存在, 加强了喷流与环境流体的混合。胡晖<sup>[1]</sup>在水洞中利用激光诱导荧光(LIF)技术, 从喷流混合流场各种尺度的涡结构的演化过程分析了小突片强化喷流混合的作用机理。本文则是探讨小突片在实际排气引射混合系统中的应用前景, 在一个矩形主喷管出口端放置几种不同

几何特征参数的小突片, 测量并研究它们气动性能的变化。

## 2 试验设备和试验件

试验是在北航动力系的排气引射系统低速模拟试验台上进行的, 此试验台可进行低速排气引射系统的冷态和热态试验, 试验装置如图 1 所示。试验时的主气流流量为 0.625 kg/s, 它是通过测量主流的总温、总压和总静压差来保证的。混合流的流量是通过测量混合管出口的压力场和温度场计算得出, 而混合管出口的压力场和温度场的测量则是通过一个由计算机控制的步进电机所带动的测量耙实现的。测量耙与和计算机相连的压力传感器及温度传感器相通, 这样就可通过计算机移动测量耙而测量并记录不同位置的压力和温度。

试验采用了一个面积为 6400 mm<sup>2</sup>, 宽高比为 1.18 的已有矩形主喷管, 并与一个长为 270 mm, 内径为  $\Phi 155$  mm 的圆截面混合管相配合, 并以此作为对比基准对 4 组(每组 2 个)三角形小突片(表 1)和 3 种不同的安装角度  $\beta$  对排气引射混合系统气动性能的影响进行了试验研究。小突片安装情况如图 2 所示, 两个小突片分别安装在矩形

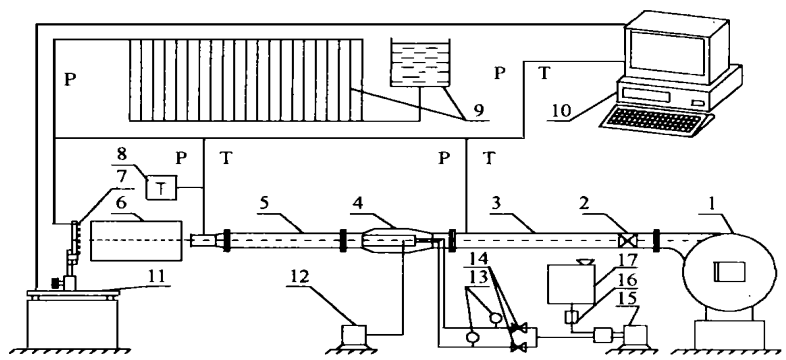


图 1 试验台和测试系统示意图( 1. 风机 2. 空气调节阀 3. 连接管 4. 燃烧室 5. 连接管 6. 试验件 7. 测量耙 8. 温度表 9. 水排 10. 计算机 11. 位移机构 12. 点火器 13. 油压表 14. 燃油调节阀 15. 油泵 16. 过滤器 17. 油箱)

表 1 小突片编号和主要结构参数

| 组 编 号                 | 1     |       | 2     |       | 3     |       | 4     |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 单个编号                  | 1     | 2     | 1     | 2     | 1     | 2     | 1     | 2     |
| 小突片面积/mm <sup>2</sup> | 306.8 | 324.6 | 200.0 | 230.0 | 72.0  | 78.0  | 164.7 | 182.0 |
| 小突片宽度 b/mm            | 35.03 | 36.03 | 28.28 | 30.33 | 16.97 | 17.66 | 19.50 | 20.50 |
| 小突片高度 h/mm            | 17.52 | 18.02 | 14.14 | 15.17 | 8.48  | 8.83  | 16.89 | 17.75 |
| 小突片顶角 α/(°)           | 90    |       | 90    |       | 90    |       | 60    |       |

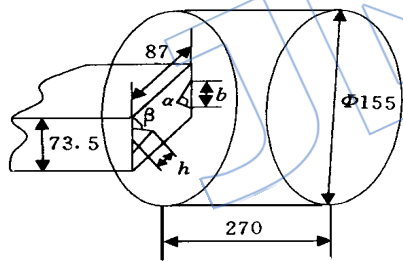


图 2 小突片结构和安装位置

主喷管的两个短边上, 每组中的两个小突片的设计尺寸和形状是相同的。由于安装的原因, 从表 1 中可以看出, 每组小突片中两个小突片的面积不完全相同。

3 试验结果和讨论

试验结果见表 2 和图 3~5。试验对比的气动性能是: (1) 引射系数  $M^*$ : 被引射气流的质量流量  $m_s$  与主气流的质量流量  $m_p$  之比, 即  $M^* = m_s / m_p$ ; (2) 压力损失系数  $\xi$ : 主气流在主喷管前的总压  $p_{PT}$  减去大气压  $p_a$  后与主喷管出口气流的动压头  $\rho_p V_p^2 / 2$  之比, 即  $\xi = (p_{PT} - p_a) / \rho_p V_p^2 / 2$ ; (3) 气动性能综合参数  $\Psi$ : 排气引射混合系统的压力损

失  $p_{PT} - p_a$  与混合管出口混合气流的动压头  $\rho_e V_e^2 / 2$  之比, 即  $\Psi = (p_{PT} - p_a) / \rho_e V_e^2 / 2 = \xi / [(1 + M^*)(1 + T^* \cdot M^*)]$ , 其中  $T^*$  为被引射气流与主气流的温度比。该参数综合了引射系数和压力损失系数,  $\Psi$  越小, 说明混合系统的综合气动性能越好; (4) 混合管出口气流的速度分布均匀程度。

从表 2 中可以看出, 安装小突片后, 系统的引射系数和压力损失系数都比没有安装小突片时有所增加。第二组小突片安装角为 90 时, 系统的引射系数最大, 比没有安装小突片时增加 35% 以上; 第四组小突片安装角为 90 时系统的压力损失系数最大, 比没有安装小突片时增加约 8.8%。但是不论安装哪一组小突片, 系统的综合气动性能都比不安装小突片时有所改善, 第二组小突片安装角为 90 时系统的综合气动性能最好, 比没有安装小突片时改善约 15%。从图 3 混合管出口流场速度分布图还可以看出, 在没有安装小突片时, 流场基本上保持矩形喷流的特征, 速度由高速核心区逐渐向外减小; 当安装小突片之后, 流场发生了变化, 高速核心区减小, 有的核心区被分为两个, 并且速度都有所减小, 即流场均匀度改善。

从表 2 中还可以看出, 对于第一组小突片, 在对称安装两个小突片时, 系统的综合气动性能比

表 2 不同小突片和安装方式的气动性能对比

| 小突片<br>编 号 |    | 小突片安装<br>角 $\beta/(^{\circ})$ | 堵塞面积比<br>$\delta/(%)$ | 引射系数<br>$M^{*}$ | 压力损失<br>系数 $\xi$ | 气动性能<br>综合参数 $\Psi$ |
|------------|----|-------------------------------|-----------------------|-----------------|------------------|---------------------|
| 1          | 一个 | 135                           | 3.39                  | 0.707           | 1.53             | 0.540               |
|            | 两个 | 135                           | 6.98                  | 0.768           | 1.58             | 0.521               |
| 2          |    | 135                           | 4.75                  | 0.734           | 1.57             | 0.538               |
|            |    | 90                            | 6.72                  | 0.810           | 1.61             | 0.507               |
|            |    | 45                            | 4.75                  | 0.729           | 1.58             | 0.544               |
| 3          |    | 135                           | 1.66                  | 0.671           | 1.50             | 0.552               |
| 4          |    | 135                           | 3.83                  | 0.716           | 1.61             | 0.563               |
|            |    | 90                            | 5.42                  | 0.767           | 1.71             | 0.564               |
|            |    | 45                            | 3.83                  | 0.724           | 1.62             | 0.561               |
| 无小突片       |    |                               | 0.00                  | 0.596           | 1.48             | 0.596               |

注: 试验时被引射气流与主气流的温度比  $T^{*}$  为 0.93;  
堵塞面积比  $\delta$  为小突片的投影面积与主喷管出口面积之比。

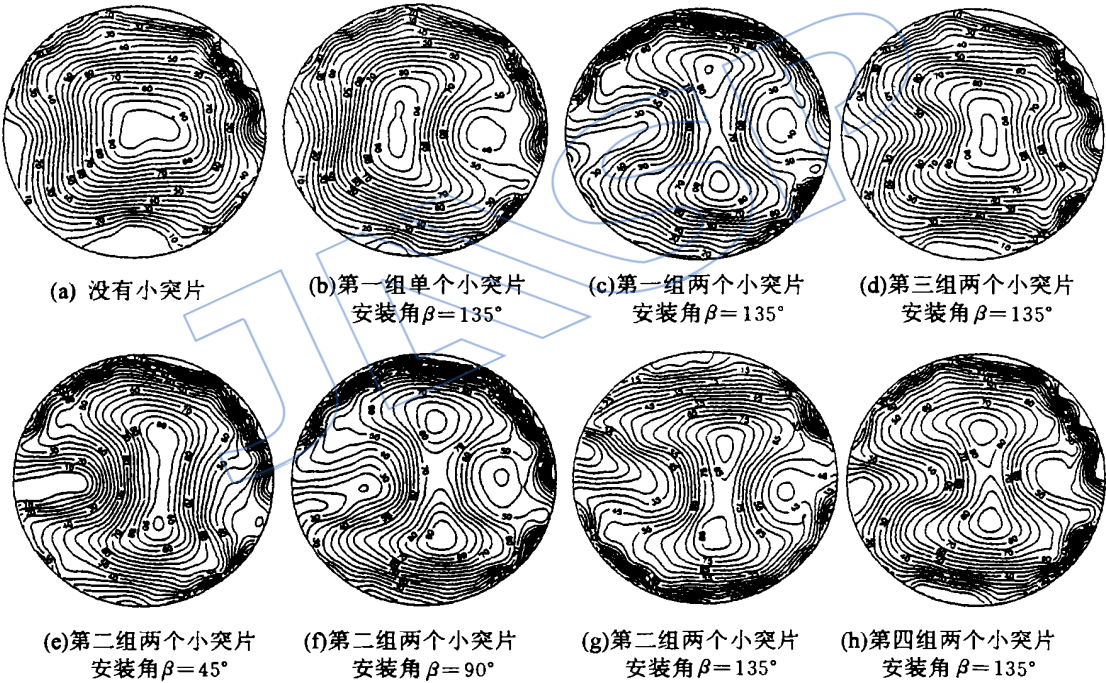


图 3 不同方案下混合管出口速度场分布

只安装一个小突片时好。从图 3 的 (b) 和 (c) 两项对比也可以看出, 虽然安装一个小突片时混合管出口流场的确发生了变化和偏移, 但它却不能象安装两个小突片那样使流场明显变形, 核心区被分为两个。由此可见, 小突片最好对称使用。

从图 4 可以看出, 在所试验的范围内, 对于相同形状和安装角的小突片, 系统的引射系数和压力损失系数都随着其堵塞面积的增加而增加, 综合气动性能参数随着小突片堵塞面积的增加而减小, 即增加小突片的堵塞面积系统的综合气动性

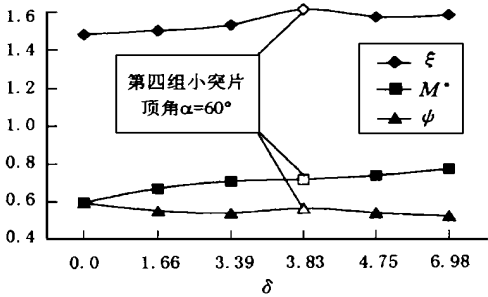


图 4 安装角为 135 的小突片在不同堵塞面积比  $\delta$  下的性能对比

能改善。从图 3 的(c),(d),(g)和(h)的出口流场速度分布图对比中也可以明显看出,小突片的堵塞面积越小,其对混合流核心区的影响越小,因此混合均匀度改善较少。

从图 5 中可以看出,对于顶角为 90 的第二组小突片,当其安装角为 90 时,系统的引射系数比安装角为 45 和 135 时都大,虽然此时的压力损失系数也最大,但是其综合气动性能是最好的。对比图 3 的(e),(f)和(g)的出口流场分布图也可以看出,安装角为 90 时的混合均匀度明显优于安装角为 135 的情况,也略优于安装角为 45 的情况。对于顶角为 60 的第四组小突片,安装角的影响基本相似,主要差别是安装角的变化似乎对综合气动性能影响不大。

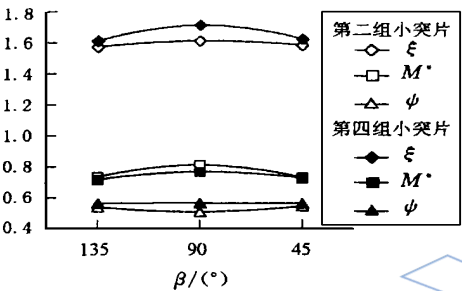


图 5 第二、四组小突片在不同安装角  $\beta$  下的性能对比

进一步对比表 2 中第二组小突片和第四组小突片的气动性能可以看出,第二组小突片的引射系数都比相应的第四组小突片的引射系数大,这可能是由于第二组小突片的面积大引起的,但从图 4 小突片堵塞面积比  $\delta$  对系统气动性能影响对比图上,可以明显看出,在相同堵塞面积比下,顶角为 60 的小突片的气动性能不如顶角为 90 的。

4 结 论

从上面的分析和讨论中可得出下面结论:(1)在主喷管出口安装小突片能增加排气引射混合系统的引射能力,强化主流与被引射流混合,改善混合流场分布。(2)在小突片的几何参数相同情况下,对称安装两个小突片,系统的综合气动性能明显优于安装单个小突片的情况。(3)在小突片形状和安装角相同的情况下,在所试验的范围内,增加小突片的尺寸(或堵塞面积比),使引射系数增加、混合均匀度改善,压力损失系数虽然也有所增加,但系统的综合气动性能改善。(4)对于顶角为 60° 的小突片,安装角变化对综合气动性能似乎影响不大,但是对于顶角为 90 的小突片,安装角为 90 时,系统的综合气动性能最好,安装角为 135° 和 45 时,系统的综合气动性能很接近。(5)在相同小突片堵塞面积比和安装角下,三角形小突片顶角为 90 时,系统的综合气动性能优于顶角为 60 时。

参 考 文 献

1 胡晖. 波瓣喷管及小突片强化喷流混合研究[D]:[ 博士学位论文]. 北京航空航天大学, 1996

2 Bradbury L J S, Khadem A H. The Distortion of a Jet by Tabs [J]. J Fluid Mech, 1975, 70:

3 Ahuja K K. Mixing Enhancement and Jet Noise Reduction Through Tabs Plus Ejectors[R]. AIAA 93- 4347

4 Zaman K B M Q, Samimy M. Supersonic Jet Mixing Enhancement by Delta-Tabs[R]. AIAA 92- 3548

5 Zaman K B M Q. Sreamwise Vorticity Generation and Mixing Enhancement in Free Jet by Delta-Tabs[R]. AIAA 93- 3253

(责任编辑 杨再荣)

An Experimental Research on the Exhaust Ejector-Mixer System with Tabs on a Rectangular Primary Nozzle

Wang Guangzhen, Wu Shousheng, Wang Zhishan, Wei Fuqing

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

**Abstract:** Four triangle mechanical tabs with different area and vertex angle, fixed on the exit of primary nozzle, have been tested comparatively to investigate the effect of number, area(or blockage ratio), shape and fixed angle of the tabs on the aerodynamic characteristics of the exhaust ejector-mixer system. The results show that the application of the mechanical tabs increases the system pressure loss coefficient, but it can improve system pumping coefficient and mixing uniformity, and meliorate the synthetic aerodynamic characteristics of the exhaust ejector-mixer system.

**Key words:** jet nozzles; exhaust; aerodynamic characteristics