

文章编号: 1000-8055(2002) 01-035-05

常压、双涵进气条件下小突片强化混合研究

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

摘要: 在常压、双涵进气条件下, 以常规环形混合器为基准, 通过不同小突片强化混合结构的对比试验, 初步探讨了小突片的个数、安装角度等结构参数对排气混合系统气动性能的影响。试验结果表明: 小突片能很好地强化内外涵气流的混合, 使下游流场出现明显的变形, 系统的卷吸量、混合均匀性均得到改善, 但是压头损失系数有所增加; 多个小突片沿周向均匀分布, 且交替向内外倾斜, 能更有效地强化混合。

关键词: 小突片; 强化混合; 双涵进气; 排气混合器

中图分类号: V 231. 3

文献标识码: A

Investigation on Two-Flow Mixing Enhancement by Small Tabs at Atmospheric Pressure

CHEN Fang, WU Shou-sheng, WEI Fu-qing, HUANG Yong
(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: A variety of exhaust mixers with small tabs in comparison with a conventional annular exhaust mixer were tested at atmospheric pressure to study the effects of tab structure parameters— number and fix angles on the aerodynamic characteristics of the exhaust mixer system. The results showed that: Small tabs could enhance two-flow mixing, distort downstream flowfield, increase entrainment, and improve system mixing uniformity, but the pressure loss coefficient of the system would increase a bit. Several tabs well distributed and alternately tilted inward and outward around the nozzle exit were more effective on the two-flow mixing enhancement.

Key words: small tabs; mixing enhancement; two-flow; exhaust mixer

1 前 言

针对双涵道混合式排气系统, 排气混合器可以使内涵气流与外涵气流在混合喷管内进行混合。设计良好的混合器则可以增加推力、降低耗油率、减小排气噪声和抑制尾喷流的红外辐射等。因此, 它得到了较为广泛的应用^[1]。

目前, 混合器的结构形式基本上分为两类, 即环形混合器和波瓣形混合器^[2]。前者结构简单, 但混合效率较差, 后者混合迅速但结构较复杂。近些

年来研究和发展的的小突片混合结构(图 1)^[3~6], 由于明显的结构简单和强化混合功能, 有可能构成第三类混合器结构。本文就是介绍在常压、双涵进气条件下, 对小突片混合器进行的初步试验研究结果。

2 试验设备和试验件

试验设备如图 2 所示, 内、外涵气流分别经阀门、连接管道等, 进入混合器内外涵通道, 并在混合喷管内混合后排出。在试验过程中, 通过测量

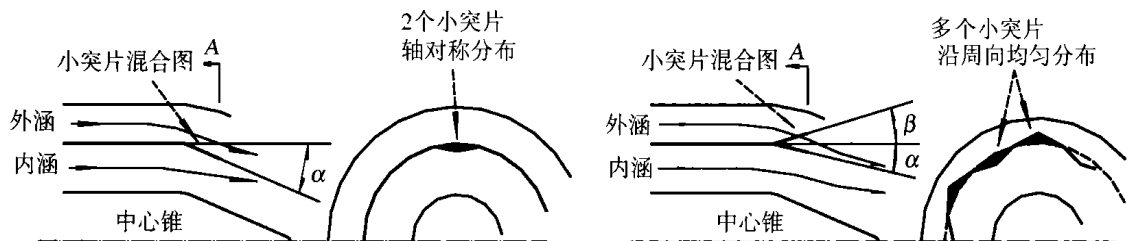


图 1 小突片混合器

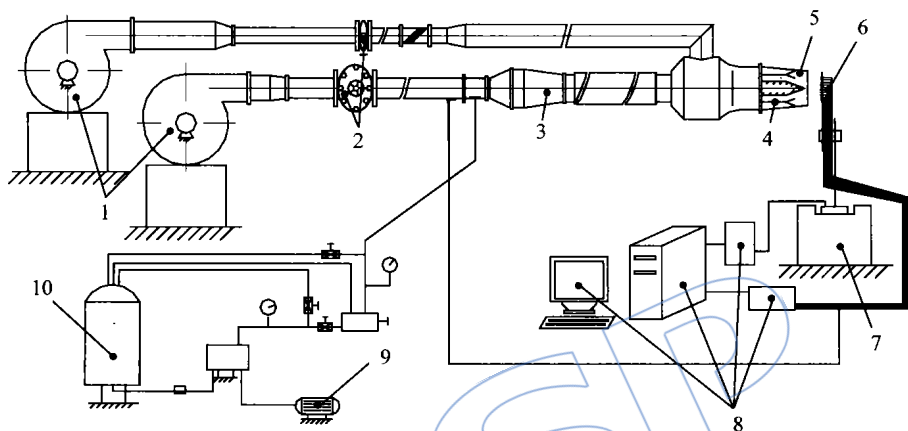


图 2 试验设备及测试系统结构示意图 (1. 离心式风机; 2. 空气调节阀; 3. 单管燃烧室; 4. 混合器; 5. 混合喷管; 6. 测试靶; 7. 位移机构; 8. 数据采集系统; 9. 油泵; 10. 储油罐)

内、外涵气流的总温、总压和总静压差, 控制试验所需流量的大小。混合喷管出口及下游压头场和温度场, 由位移机构带动的压头/温度测试靶测量, 所感应的压头/温度信号, 经传感器、放大器送入计算机的 A/D 转换器, 以自动测量并记录不同轴向位置的压头场和温度场分布。

试验采用了 1 个出口面积 A_p 为 7540 mm^2 的圆筒, 与 1 个进口面积 A_m 为 10600 mm^2 、收敛比为 1.5 的轴对称收敛混合喷管相配合, 构成常规的内、外涵混合排气系统。以此为基准, 在圆筒出口端加装 6 种不同组合的等腰直角三角形小突片^[7] (具体结构详见图 1), 对比内外涵流量比 $m_s/m_p = 0.5$ 时小突片个数 n 、安装角度 α/β 等几何结构参数对系统混合气动性能的影响。

试验对比的混合气动性能参数及定义为: (1) 卷吸比 M^* : 排气喷流卷吸周围的空气流量 (即混合气流总流量与排气喷流流量之差) 与排气喷流流量之比, 它是表征排气混合系统卷吸能力的重要参数, M^* 越大, 说明排气喷流卷吸能力越强。各 M^* 值由距离排气混合喷管出口下游 $2D$ (D 为喷管出口直径) 处的压头、温度测量值计算得出; (2) 压

头均匀度 e_p : 1 减去混合喷管出口处各测点压头 P_i 偏离质量平均压头 P 的平均值与质量平均压头 P 的比值, 即: $e_p = 1 - \sum |P_i - P| / N / P$ (N 为测点数), 它反映排气混合系统出口压头的均匀程度, e_p 越高, 说明其混合效果越好; (3) 压头损失系数 ξ_p : 混合前内外涵气流的质量加权平均总压减去混合后气流平均总压的差值与内涵气流动压头之比, 即:

$$\xi_p = \frac{\frac{P_p^* \cdot m_p + P_s^* \cdot m_s}{m_p + m_s} - P^*}{\rho_p \cdot V_p^2 / 2}$$

ξ_p 越小, 说明排气混合系统的压头损失越小。

3 试验结果及分析

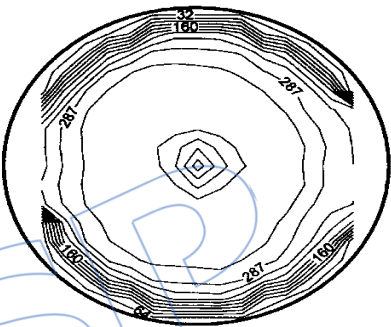
在保证内涵流量 $m_p = 0.24 \text{ kg/s}$ 、内外涵流量比 $m_s/m_p = 0.5$ 基本不变的条件下, 表 1 给出了不同排气混合结构的混合气动性能参数。从表 1 中可以看出, 在基准环形混合器的内圆筒出口端加装小突片, 系统的压头均匀度和压头损失系数都有所增加, 特别是在轴向位置 $x/D = 2.0$ 处, 卷吸比都有了大幅度的提高, 这充分表明小突片的应用特点, 即能强化内、外涵气流的混合, 但会

表1 内外涵流量比 $m_e/m_p=0.5$, 不同排气混合器的混合气动力学性能对比

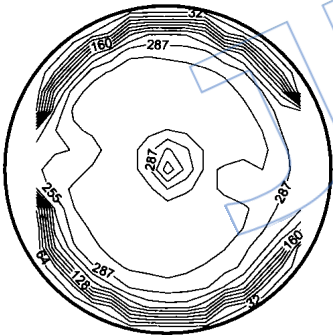
混合器 序号	主要结构参数		$x/D=0.0$		$x/D=2.0$	
	片数 n	安装角度 α/β	压头均匀度 e_p	压头损失系数 ξ_p	压头均匀度 e_p	卷吸比 M^*
1	基准环形混合器		0.877	0.151	0.899	0.411
2	2	45°/—	0.891	0.198	0.902	0.510
3	12	0°/0°	0.918	0.170	0.930	0.512
4		45°/10°	0.913	0.158	0.942	0.545
5		45°/40°	0.918	0.169	0.949	0.561
6		10°/10°	0.919	0.179	0.925	0.536
7		10°/—	0.871	0.247	0.891	0.481

带来一定的压头损失。

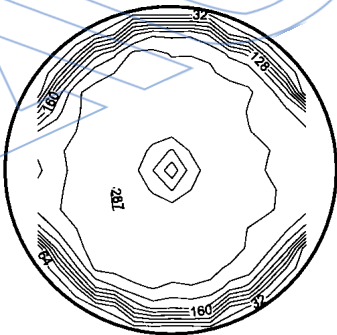
除了混合器7(12个小突片全部内倾10°)的特殊情况,从小突片个数 n 的变化来看:在环形混合器的内圆筒出口端加装2个小突片,比没有安装小突片时的卷吸比提高了将近25%;而当环形混合器的内圆筒出口端加装12个小突片时,最大卷吸比可以高达0.561,约比环形混合器提高40%。从小突片的安装角度 α/β 来看:混合器4~



(a) 混合器1



(b) 混合器2



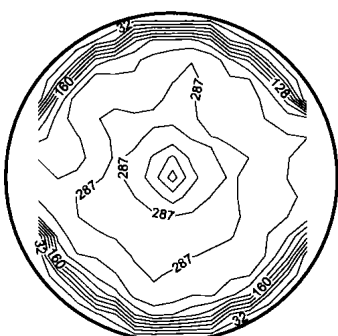
(c) 混合器3



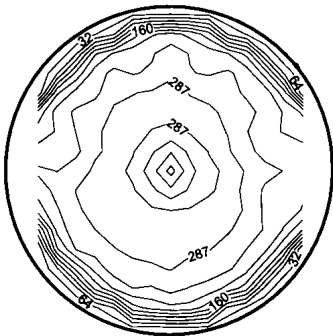
(d) 混合器4



(e) 混合器5



(f) 混合器6



(g) 混合器

图3 不同排气混合系统出口截面压头分布场

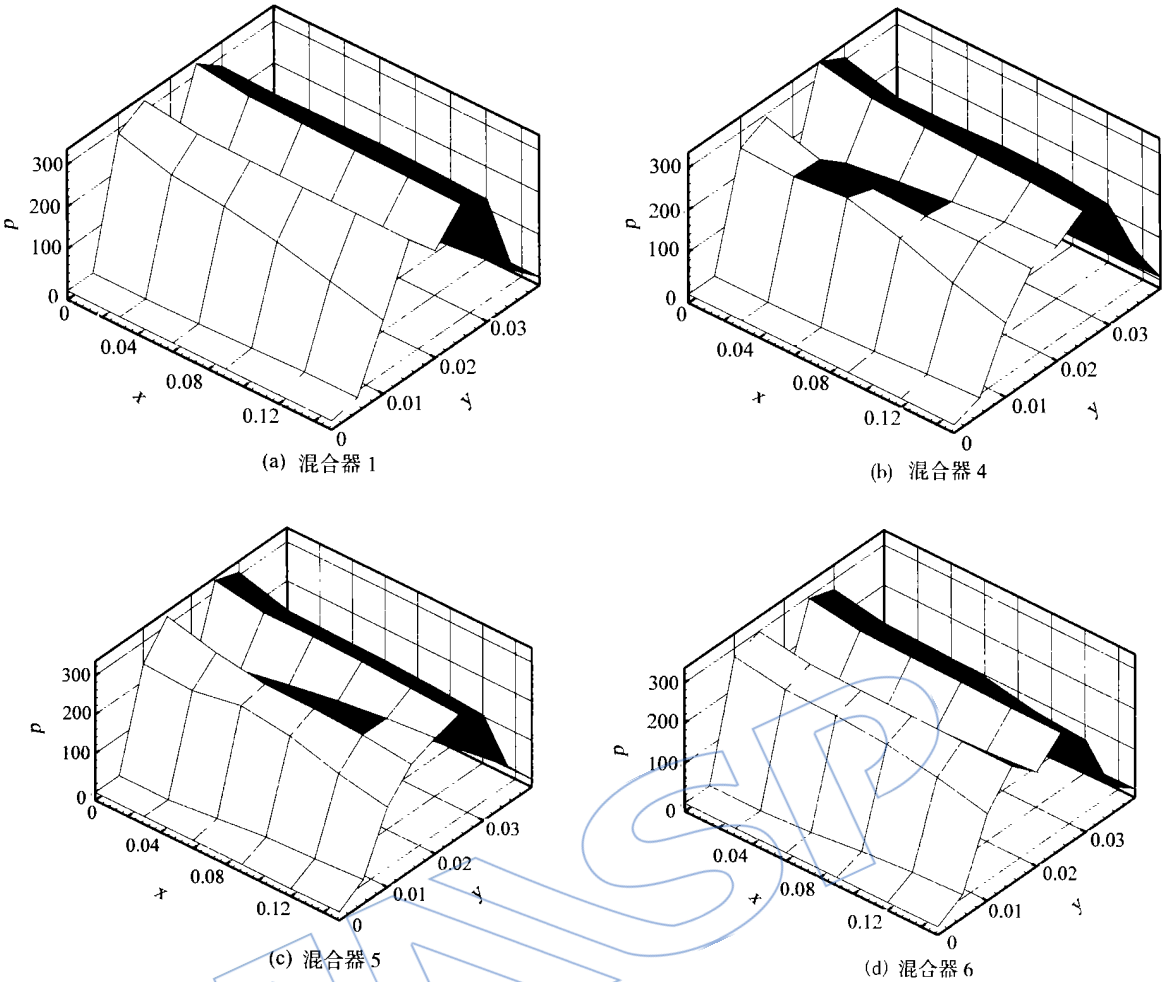


图 4 随下游距离 x/D 变化的压头(速度)衰减特点

6 的混合气动性能参数明显占优。这三者具有相同的几何特征,即 12 个主、副小突片沿周向均匀分布,且交替向内外倾斜。其中混合器 4、5 更为占优,并且可以看出:小突片外倾角度 β 在 $10^\circ \sim 40^\circ$ 之间时, β 增加,压头均匀度和卷吸比均得到改善,但是压头损失有所增加。

图 3 分别给出了各种排气混合系统出口截面的压头分布场。从图中可以看出:在没有安装小突片时,流场基本上保持着圆形喷流的特征;当环形混合器的内圆筒出口端安装小突片后,将诱发大尺度的流向涡,使下游流场明显地变形^[8]。从图 (b) ~ (g) 来看,畸变的压头分布场与小突片片数和安装情况密切相关。小突片的存在,迫使外涵气流在小突片附近由边缘区向核心区挤压,同时内涵气流由核心区向边缘区扩散,由此强化两股气流的混合,使下游流场逐渐趋于均匀^[9],并且小突片倾斜角度增大时,压头分布畸变明显。

图 3 中的(a)和(c)分别对应的是环形混合器和没有倾角的 12 小突片混合器 3 的出口压头分

布,尽管它们的出口均无小突片堵塞影响,但是后者由于锯齿状小突片的存在,其下游流场形成较为明显的花边,使内外涵气流得以强化混合。参见表 1 可知,这种小突片的结构能以相对小的压头损失系数,在 2D 下游处使系统的压头均匀度和卷吸比分别比环形混合器增加 4.7% 和 24.6%。仔细分析(d) ~ (g) 可以发现:在环形混合器的内圆筒出口端,采用 12 个主、副小突片,沿周向交替向内外倾斜时,使压头等值线明显发生严重的变形,造成较大范围的压头梯度,由此增强了卷吸和强化混合作用。这与表 1 得出的结论相同,即混合器 4、5 和 6 的效果较好,并且当内倾角度 $\alpha = 45^\circ$ 时作用更为突出。同样是 12 个小突片的混合器 7,可能由于小突片均向内倾 10° ;导致小突片所诱发的流向涡之间发生相互干涉而削弱,从而强化混合效果下降,限制了其卷吸能力,并且增大了压头损失^[9]。

图 4 给出了环形混合器和混合器 4~6 这 4 种结构、在直径方向上气流压头(或速度)沿混合

喷管出口下游距离 x/D 的变化特点。由图上可以清楚地看到, 各种混合器在 $x/D=0.0$ 处, 压头梯度非常大, 但随着下游距离 x/D 的增大, 压头梯度逐渐减小, 当位于 $x/D=2.0$ 时, 压头等值线均趋于平缓。但是, 在下游位置 $x/D=2.0$ 处, 图 4 中的(b)和(c)的压头等值线基本已过渡为光滑的曲线, 与(a)和(d)相比, 流场的均匀性更好。

4 结 论

在本文研究范围内, 可得出以下结论: (1) 在常压、双涵进气条件下, 环形混合器的内圆筒出口位置安装小突片后, 小突片诱发的流向涡明显可使其下游流场发生畸变, 从而有效地强化内外涵气流的混合。(2) 采用 12 个主、副小突片沿周向均匀分布、且交替向内外倾斜, 更能有效地强化混合, 但会带来一些压头损失; 而且小突片安装角度 α/β 大, 压头衰减更快, 内外涵气流混合更均匀, 卷吸比增加, 但是压头损失也有所增大。(3) 环形混合器的内圆筒出口构造成锯齿形(即混合器 3), 也可以改善混合性能, 提高卷吸比, 并且造成的压头损失较小。

参考文献:

[1] 吴达, 郑克扬. 排气系统的气动热力学[M]. 北京: 北京航空

航天大学出版社, 1989.

[2] 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.

[3] Frost T H. Practical Bypass Mixing Systems for Fan Jet Aeronautics Engines[J]. The Aeronautical Quarterly, 1966 (5).

[4] Ahuja K K, Brown W H. Shear Flow Control by Mechanical Tabs[R]. AIAA– 89– 0994, 1989.

[5] Samimy M, Zaman K B M Q, Reeder M F. Effect of Tabs at the Nozzle Lip on the Flow and Noise Field of an Axisymmetric Jet[J]. AIAA J., 1993, 31(4).

[6] Zaman K B M Q, Reeder M F, Samimy M. Control of an Axisymmetric Jet Using Vortex Generators[J]. Physics of Fluids A, 1994, 6(2).

[7] 王广振, 吴寿生, 王之珊, 魏福清. 矩形主喷管带小突片的排气引射混合系统的试验研究[J]. 航空动力学报, 2000, 15 (2): 151– 154.

[8] Yu S C M, Hou Y X, Low S C. The Flow Characteristics of a Confined Square Jet with Mixing Tabs[J]. Proc Instn Mech Engrs, Part G, 1997, 212.

[9] Samimy M, Kim J H, Clancy P S, Martens S. Passive Control of Supersonic Rectangular Jets via Nozzle Trailing – Edge Modifications[J]. AIAA J., 1998, 36(7).

(责任编辑 杨再荣)