

文章编号: 1000-8055(2000) 02-0155-04

波瓣形排气引射混合器的试验研究

邵万仁¹ 吴寿生²

¹(沈阳航空发动机研究所, 辽宁 沈阳 110015)

²(北京航空航天大学 二所, 北京 100083)

摘要: 在常压、低速排气引射条件下, 以常规环形排气引射混合器为基准, 试验研究了波瓣出口角度 α 、 β 、相对混合长度 L/D 和波瓣穿透率 H/H_0 等结构参数对波瓣形排气引射混合器气动性能的影响。试验表明, 波瓣形排气引射混合器的气动性能明显优于环形排气引射混合器; 在不引起波瓣内气流分离的情况下, α 、 β 对气动性能影响不大; 加大 L/D 可以改善气动性能, 存在气动—重量综合性能最好的最佳 L/D ; 较大的 H/H_0 有利于两股气流的混合, 但引射能力下降。

关键词: 排气引射器; 试验; 气动特性

中图分类号: V 231.3

文献标识码: A

1 引言

排气引射混合器是航空发动机利用其主喷管排出的高温、高速气流引射外界环境空气并使两股气流在混合喷管内混合的装置, 两股气流混合后排出, 可以增加推力、降低排气噪声和抑制尾喷流的红外辐射^[1]。波瓣形排气引射混合器是 70 年代末开始发展起来的一种新型排气引射混合器, 它既具有非常好的混合性能, 又具有较低的压力损失, 可以更有效地增加推力、降低排气噪声和抑制红外辐射^[2~4], 它已在直升机红外抑制器上得到了较广泛的应用^[2], 目前正考虑把它应用到新一代超音速民用运输机 (HSCT) 上, 用来降低排气噪声^[4]。我国在这方面的研究工作近几年已起步, 但目前还局限在低速情况并着重在直升机红外抑制技术方面的应用研究。本文则针对波瓣形排气引射混合器设计中遇到的 3 个重要结构参数—波瓣出口角度、相对混合长度和波瓣穿透率对气动性能的影响进行了试验研究。

2 试验情况

2.1 试验的气动性能参数

(1) 引射系数 n , 即被引射的次流流量与主流

流量之比; (2) 压力损失系数 ξ , 即排气引射混合器的折合压力损失与主喷管出口主流的动压头之比, 其中折合压力损失为主喷管进口前主流的总压与混合喷管出口混合气流的质量平均总压的差值被折合到给定工况下所得值; (3) 气动综合系数 Ψ , 即排气引射混合器的折合压力损失与混合喷管出口混合气流的动压头之比, 由此可推导出 $\Psi = \xi / [(1+n)(1+n\theta)]^{[5]}$, 其中 θ 为次流与主流的温度比, Ψ 越小, 说明综合气动性能越好; (4) 速度均匀度 V_a , 即 1 减去混合喷管出口各测点速度偏离质量平均速度的平均值与质量平均速度的比值; (5) 排气噪声 (dB)。

2.2 试验设备和试验件

试验设备的详情请见文献 [6]。试验件中的后锥、主喷管和混合喷管, 用来模拟主喷管进口后的流路, 是试验研究的主要内容。主喷管试验件有 4 个 (见图 1), 其中环形主喷管 A 为参考基准, 波瓣形主喷管 B~D 的主要区别在于波瓣出口内外倾角 α 、 β 不同, 分别为 $15^\circ/9^\circ$ 、 $25^\circ/15^\circ$ 和 $45^\circ/30^\circ$; 以研究 α 、 β 对气动性能的影响; 后锥试验件有 3 个 (见图 2), 其中 a 和 c 分别与主喷管 B 和 D 相配, b 分别与主喷管 A 和 C 相配。混合喷管有 4 个 (见图 3), 其中与主喷管 A 相配的喷管 1 和与主喷管

收稿日期: 1999-03-31; 修订日期: 1999-06-14

作者简介: 邵万仁 (1967—), 男, 沈阳航空发动机研究所工程师, 硕士

$B \sim D$ 相配的喷管 2 为基本结构设计, 喷管 3 和 4

是为研究波瓣穿透率 H/H_0 (即波瓣高度与初始

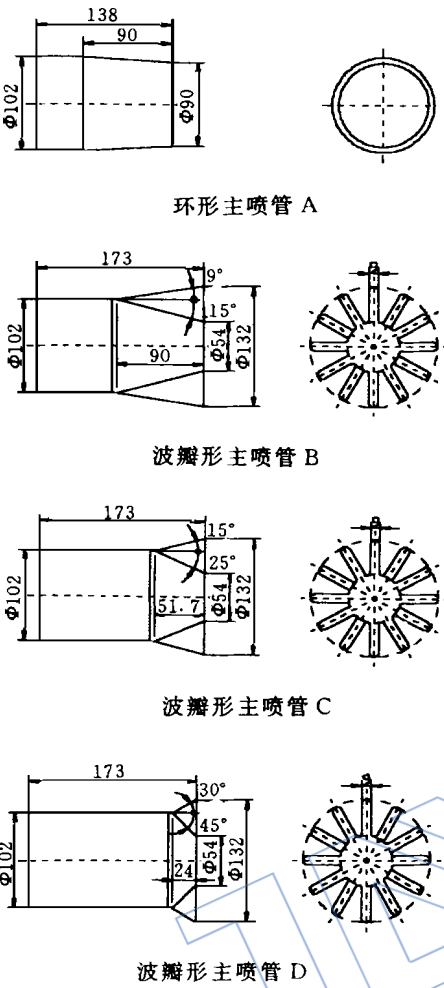


图 1 主喷管试验件简图(图中数值单位: mm)

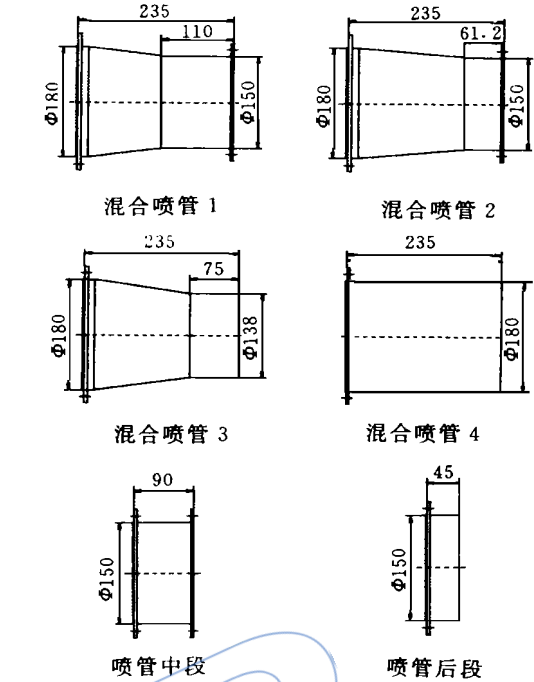


图 3 混合喷管试验件简图(图中数值单位: mm)

混合截面处腔道高度之比) 对气动性能的影响而设计的, 喷管 2~4 与波瓣形主喷管相配可以构成 $H/H_0=0.60, 0.76$ 和 0.89 的 3 组穿透率。为研究相对混合长度 L/D (即混合距离与初始混合截面处混合喷管直径之比) 对气动性能的影响, 还设计了喷管中段和喷管后段(见图 3), 这样可使 $L/D=0.5, 0.8, 1.1$ 或 1.4 。

3 试验结果及分析

3.1 环形组合和波瓣形组合气动性能的对比
由图 4 和 5 可以看到, 与环形组合相比, 波瓣

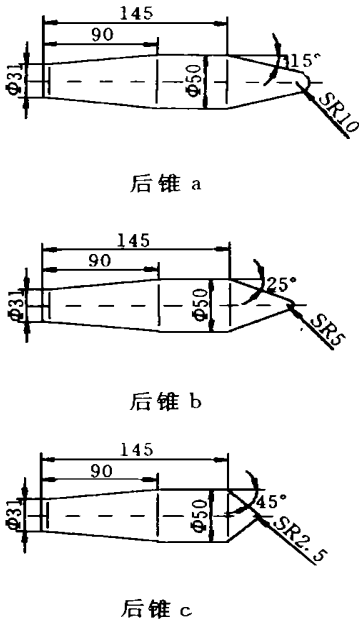


图 2 后锥试验件简图(图中数值单位: mm)

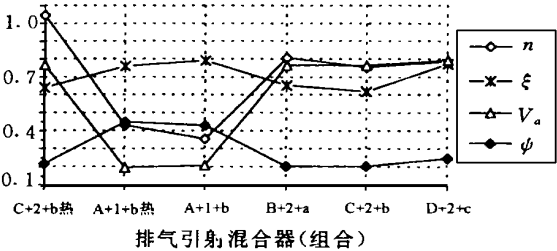


图 4 排气引射混合器引射混合性能的对比

形组合的引射系数增大了约 1.2 倍, 压力损失系数减小 17%~21% ($D+2+c$ 例外), 气动综合系数减小 43%~53%, 速度均匀度提高了两倍多, 排气噪声在各方位角上均有所降低, 其中在方位角 $15^\circ, 75^\circ$ 和 90° 上较显著, 降低了 3~4 dB。从主

流温度 460℃ 情况下 A + 1 + b 和 C + 2 + b 的热态

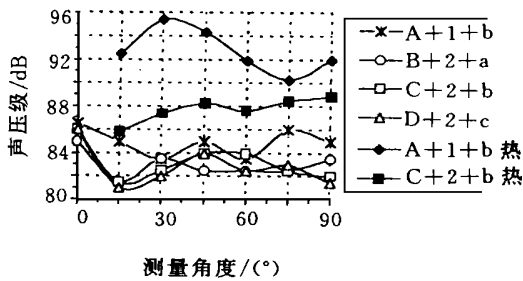


图 5 排气引射混合器排气噪声特性的对比

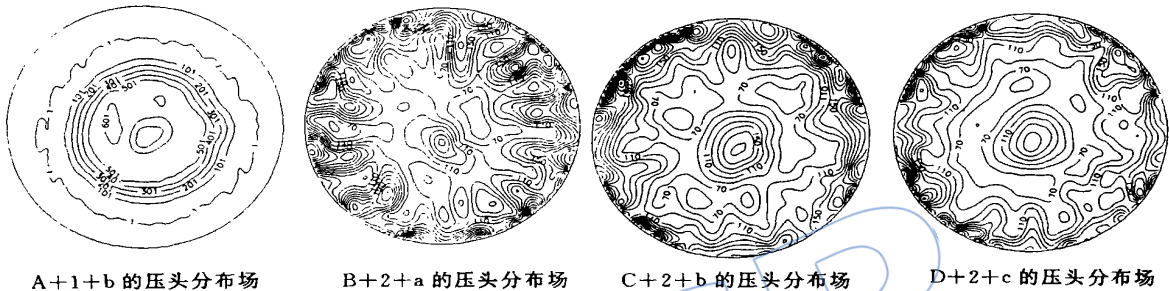


图 6 排气引射混合器的混合喷嘴出口压头分布场(图中数值单位: mm 水柱)

在可以从混合喷嘴出口的外圈测不出压力(见图 6)得到证明;而波瓣形组合的混合气流能够充满混合喷嘴出口,故不存在回流问题。如果加大 L/D , 使环形组合的混合气流能够充满混合喷嘴出口, 则也不会存在回流问题, 在这种正常情况下, 环形组合压力损失系数应比波瓣形组合小。

3.2 波瓣出口角 $\alpha\beta$ 对气动性能的影响

由图 4 和 5 还可看到, 3 个波瓣形组合的气动性能相差不大。从引射系数看, $B+2+a$ 最大, $C+2+b$ 最小, 但前者仅比后者增大近 7%; 从压力损失系数看, $C+2+b$ 最小, $D+2+c$ 最大, $B+2+a$ 比 $C+2+b$ 增大 5.5%, 而 $D+2+c$ 增大 25%, 原因是: 主喷嘴 D 的 $\alpha\beta$ 太大, 气流在波瓣内出现过扩张, 引起边界层局部分离造成的; 从气动综合系数看, $C+2+b$ 与 $B+2+a$ 基本相同, $D+2+c$ 最大; $C+2+b$ 的速度均匀度略高于 $B+2+a$, 但低于 $D+2+c$; 3 个组合的排气噪声在各方位角上均无明显区别。综上所述, $C+2+b$ ($\alpha\beta=25^\circ/15^\circ$) 的气动性能略好。

3.3 相对混合长度 L/D 对气动性能的影响

由图 7 和 8 可以看到, 随着相对混合长度 L/D 的增大, 环形组合的引射系数、速度均匀度都在不断地增大或提高; 压力损失系数略呈上升趋势; 气动综合系数不断地减小, 排气噪声在各方位角

对比来看, 试验结果与冷态对比结果基本相同。由此可见, 波瓣形组合的气动性能明显优于环形组合。但环形组合压力损失系数比波瓣形组合还要大的试验结果与常规气动理论分析有矛盾, 理论分析表明, 在正常情况(即不出现回流、分离等)下, 环形组合由于主喷嘴长度短和出口周长小, 压力损失应最小。根据试验观察和分析, 出现反常现象的原因是: 在 $L/D=0.8$ 时, 由于环形主喷嘴的混合性能明显不如波瓣形主喷嘴, 环形组合的混合气流未能充满混合喷嘴出口而使被引射的次流在通道内产生回流, 造成附加压力损失, 回流的存

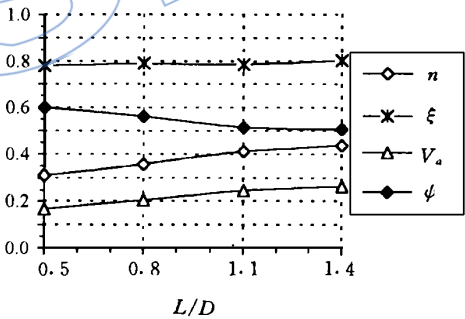


图 7 L/D 对环形组合引射混合性能的影响

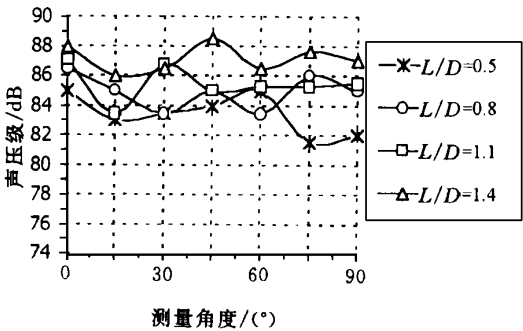


图 8 L/D 对环形组合排气噪声特性的影响

上的变化规律虽有些乱, 但总趋势是提高了, 其中在 $L/D=1.4$ 时比 $L/D=0.5$ 时提高了 3~6 dB。由图 9 和 10 可以看到, 随着 L/D 的增大, 波

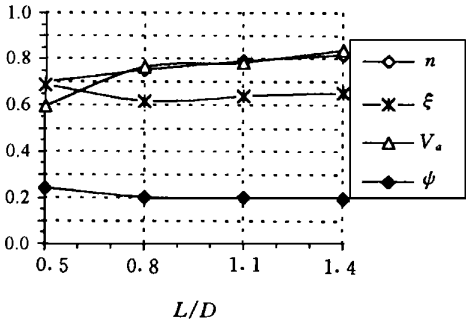


图 9 L/D 对波瓣形组合引射混合性能的影响

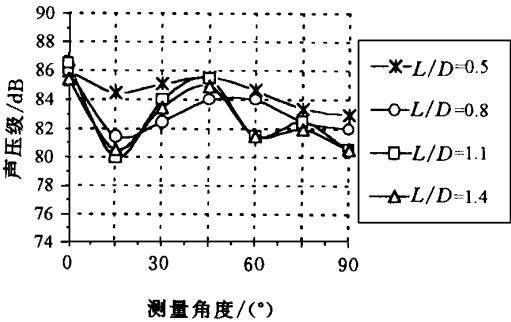


图 10 L/D 对波瓣形组合排气噪声特性的影响

瓣形组合 $C+2+b$ 的引射系数和速度均匀度在不断地增大或提高, 压力损失系数在 $L/D=0.8$ 时最小, 气动综合系数和排气噪声则呈下降趋势。整个气动性能随 L/D 变化的特点是: 在 $L/D=0.5$ 到 0.8 之间变化较陡, 0.8 以后则较平缓。综上所述, L/D 对气动性能有一定的影响, 加大 L/D 可以改善气动性能, 考虑气动—重量的综合能力, 波瓣形组合的最佳 L/D 应选 0.8 左右。

3.4 波瓣穿透率 H/H_0 对引射混合性能的影响

由图 11 可以看到, 随着穿透率的加大, 波瓣

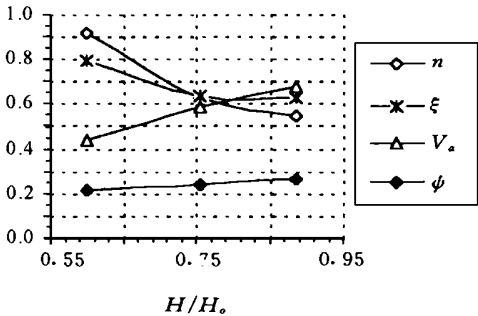


图 11 H/H_0 对波瓣形组合引射混合性能的影响

形组合 $C+2+b$ 的引射系数和压力损失系数均明显减小, 气动综合系数和速度均匀度则不断地

增大或提高。可见, 加大 H/H_0 能改善混合性能、减小压力损失, 但引射性能明显变差。

4 结 论

(1) 波瓣形排气引射混合器的气动性能明显优于环形排气引射混合器。

(2) 在不引起波瓣内气流分离的情况下, 波瓣出口角度 $\alpha \beta$ 对波瓣形排气引射混合器的气动性能影响不大, 增大 $\alpha \beta$ 有利于气动—重量综合性能的提高。

(3) 相对混合长度 L/D 对排气引射混合器的气动性能有一定影响, 加大 L/D 可以改善气动性能, 在达到相同混合均匀度的情况下, 波瓣形排气引射混合器所需的混合喷管长度可明显短于环形排气引射混合器。

(4) 波瓣穿透率 H/H_0 对波瓣形排气引射混合器的引射混合性能影响较大, 较大的 H/H_0 有利于两股气流的混合, 但引射能力下降。

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 吴寿生. 波瓣形混合结构及其在航空发动机上的应用[R]. CSAA-93-P-118(C), 中国航空学会第三届动力年会, 1993
- 3 Presz Jr W M, Reynolds G, McCormick D. Thrust Augmentation Using Mixer-Ejector-Diffuser Systems[R]. AIAA-94-0020, 1994
- 4 Tillman T G, Presz Jr W M. Thrust Characteristics of a Supersonic Mixer Ejector[R]. AIAA-93-4345, 1993
- 5 胡晖, 吴寿生. 低速排气引射系统的气动特性的理论分析[R]. CSAA-95-PH-007, 中国航空学会小发动机和直升机动力学术会议, 1995
- 6 邵万仁. 低速排气引射条件下波瓣形混合结构的试验研究[D]:[学位论文]. 北京航空航天大学, 1999

(责任编辑 杨再荣)

(英文摘要转第 163 页)

Experimental Investigation of Flow and Heat Transfer
in Straight Labyrinth Seal

Huang Xiaoguang¹, Wu Dingyi², Wang Yonghong¹, Weng Shilie¹

¹(Collage of Power & Energy Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

²(7th Dept. Northwest Polytechnic University, Xi'an 710072, China)

Abstract: We built a big scale inhale labyrinth heat transfer wind tunnel. Detailed experimental investigation on the flow field in the labyrinth cavity reveals the two-dimensional velocity and pressure fields as well as vortex distribution in the flow field and local heat transfer coefficient distribution on the roof of labyrinths. Therefrom the influences of different Reynolds number and T/C on the velocity and pressure distributions in the cavity of the labyrinth and on the heat transfer coefficient of the labyrinth roof seal are found out.

Key words: aircraft engines; sealing; flow fields; heat transfer

(The Chinese text of the following abstract is prited in PP155- 158)

Experimental Research on Lobed Exhaust Ejection Mixer

Shao Wanren¹, Wu Shousheng²

¹(Shenyang Aeroengine Research Institute, Shenyang 110015, China)

²(4th Dept. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: A conventional annular exhaust ejection mixer and three lobed exhaust ejection mixers were tested at atmospheric pressure and low exhaust velocity conditions to study the effects of three structure parameters-lobe exit angles α β relative mixing length L/D and lobe penetration H/H_o on the aerodynamic characteristics of the lobed exhaust ejection mixers. The results show that the aerodynamic characteristics of the lobed exhaust ejection mixer are obviously better than those of an annular exhaust ejection mixer. The effect of the lobe exit angle α β on the performance of the mixer is not so distinct if no separation occurs inside the lobes, but the increase of α β is advantageous to the compromise between aerodynamic performance and weight. The increase of relative mixing length L/D can improve the aerodynamic performance. An optimum L/D exists for the compromise between aerodynamic performance and weight. The effect of the lobe penetration H/H_o on the aerodynamic performance of the lobed exhaust ejection mixer is significant. The enhancement of the lobe penetration H/H_o is advantageous to the flow mixing, but disadvantageous to the pumping ability.

Key words: exhaust injectors; test; aerodyanmics characteristics