

排气引射系统主喷管选型试验研究

北京航空航天大学 李 黎**

【摘要】 对4种主喷管组成的排气引射系统的引射系数和总压损失、各主喷管出口与混合管进口之间的最佳间距、混合气流在混合管内的静压恢复及混合气流在混合管出口处的总压分布等进行了测量和对比。试验结果对排气引射系统主喷管选型设计有重要的参考价值。

主题词: 引射喷管 气动力试验 测量

分类号: V 233. 757

1 前言

排气引射系统是借助热动力装置(或发动机)排出的高温气流的能量泵吸周围环境中的冷空气以实现抑制排气噪声、抑制动力装置的红外辐射、增加推力的目的。排气引射系统主要由二个部件组成,即引射主喷管与排气混合管。本文选择了在实际中已应用的4种不同形式的引射主喷管方案(图1)进行了气动性能的试验研究,为引射系统主喷管的选型提供依据。

2 试验设备及试验件

试验设备及测试系统见参考文献[1]。试验用主喷管及混合管的试验件如图1和图2所

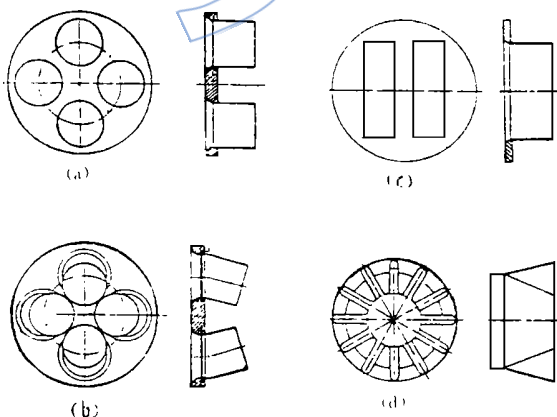


图1 4种主喷管方案

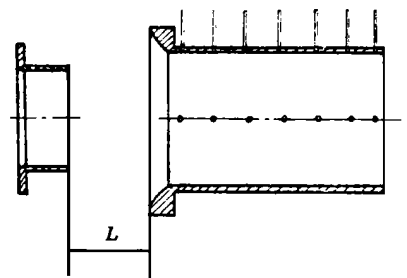


图2 排气混合管

示。直四主喷管(图1a): 4个直圆筒喷管的组合; 偏斜四主喷管(图1b): 四个与喷管中心线成15°角的斜圆筒喷管的组合; 双矩形主喷管(图1c): 两

个并排矩形喷管的组合; 波瓣主喷管(图 1d): 由 12 个波瓣组成的轴对称喷管。4 种主喷管的出口面积均为 6400 mm^2 , 当量直径为 $\Phi 90 \text{ mm}$ 。

排气混合管(图 2): 为内径 $\Phi 155 \text{ mm}$, 管长 276 mm 的圆筒。圆筒的侧面设置有两排互成 45° 夹角的静压测量管, 每排沿轴向均布 7 个测管。混合管与主喷管面积比 $A_m/A_p = 3.0$, 主喷管出口与排气混合管之间的间距 L 是可以改变的。

3 试验结果和讨论

3.1 主喷管与混合管之间的 L_{opt}

试验首先找出各组方案对应引射系数(被引射流量与主流流量之比)为最大时的主喷管与混合管的最佳间距 L_{opt} , 然后在各自 L_{opt} 下对比其它气动性能。

图 3 示出了四种组合方案的引射系数随主喷管与混合管之间的间距 L 变化的试验曲线。各曲线所对应的最大引射系数的间距即为所需确定的最佳间距 L_{opt} , 它们分别是: 直四主喷管组合 70 mm ; 偏斜四主喷管组合 90 mm ; 双矩形主喷管组合 60 mm ; 12 波瓣主喷管组合 20 mm 。

3.2 混合管内混合流的静压恢复特性

图 4(a) 和 (b) 分别给出了 4 种组合方案的混合流沿混合管正上方 0° 和 45° 方向上的静压恢复曲线, 图上横座标 H 为当地静压与大气压之差, 用 Pa 来表示。由图可见, 两个方向上测量的结果基本相同。直四主喷管、偏斜四主

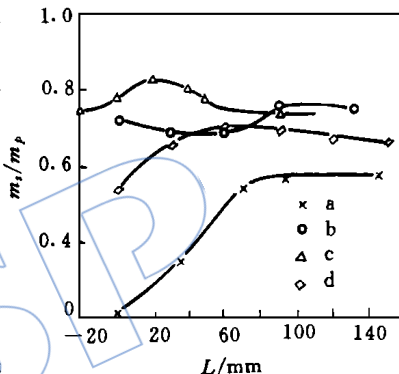
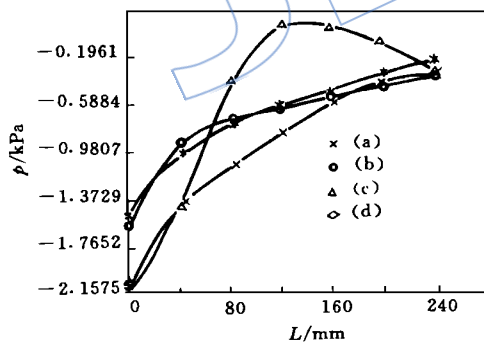
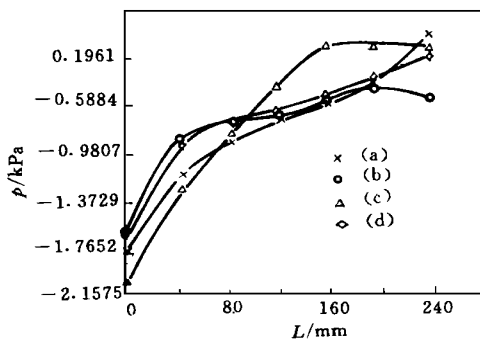


图 3 4 种组合方案引射系数随主喷管与混合管间距 L 的变化曲线



(a) 在正上方 0° 方位测得



(b) 在正上方逆时针 45° 方位测得

图 4 4 种组合方案的混合流在混合管内的静压恢复特性

管和双矩形主喷管三组方案的静压恢复曲线变化规律基本一致, 到混合管出口才能基本恢复, 但是 12 波瓣主喷管方案的静压恢复快, 大约在相当于一倍混合管直径的长度 ($L/D \approx 1.0$) 上就可基本恢复, 这说明波瓣主喷管组合方案较其它三种组合方案具有强化混合的特性。

3.3 混合管出口处混合流的总压分布

图 5 是 4 种组合方案的混合流在混合管出口处 $1/4$ 截面上几个特征方位角处测得的总压

沿半径方向的变化曲线组。由 5 图可以看到, 对直四主喷管(图 5(a)、偏斜四主喷管(图 5(b)

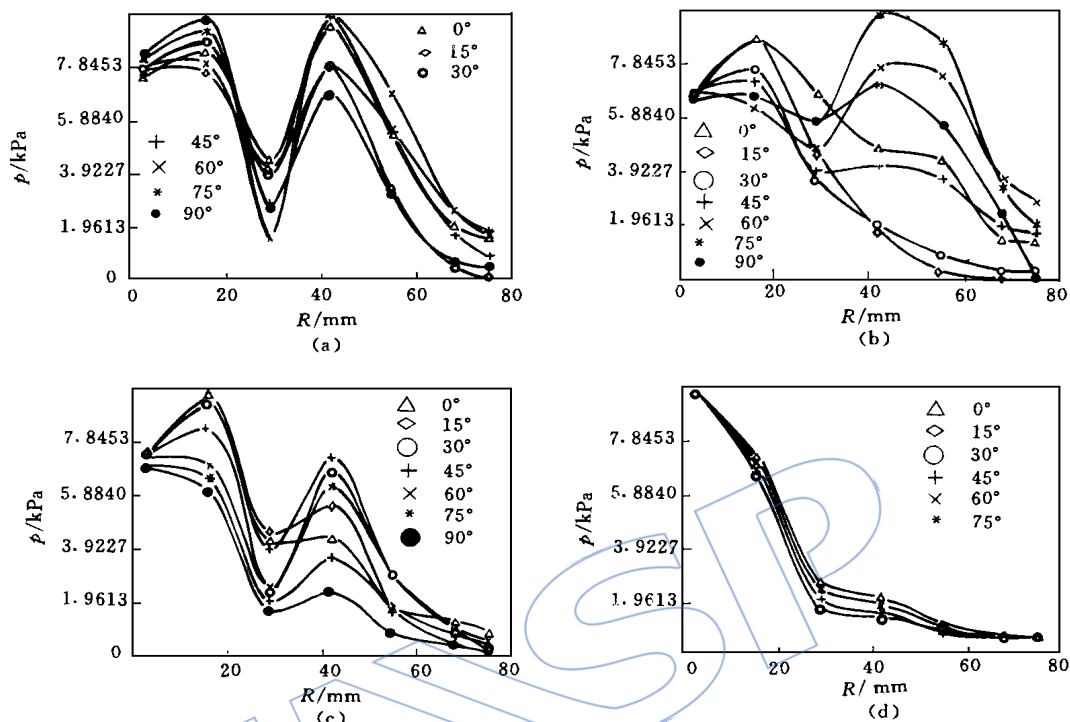


图 5 4 种组合方案的混合管出口处的总压分布

和双矩形主喷管(图 5(c) 三个方案的总压分布在半径方向上都有二个明显的高峰值, 并以双矩形主喷管方案最明显, 它在各个方位角上的变化规律相近。直四主喷管方案就差些, 而偏斜四主喷管方案, 由于四股气流的相互冲击, 在半径 $R = 40 \sim 50$ mm 附近的第二个高峰就很不规律, 在有些方位上甚至不出现峰值。由(图 5 (d) 12 波瓣主喷管方案对应的曲线组可以看到, 不同方位角上沿径向的总压分布都很相似, 即中心区总压最大, 沿半径向外减少, 约在 $1/3$ 半径内下降迅速, 在随后的 $2/3$ 半径范围内变化平缓, 差别不大。显然, 这种变化规律与波瓣主喷管的设计密切相关, 上述总压变化规律与所试验的波瓣主喷管中心存在较大的空心有关。图 6 是在另一次试验研究中得到的一组带中心锥 12 波瓣主喷管与混合管组合方案的出口总压分布曲线^[1], 整个分布是相当均匀的。

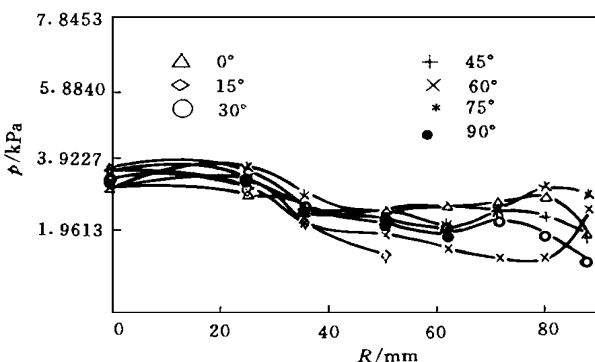


图 6 出口总压分布

3.4 系统的引射系数和总压损失

试验对比了各组方案在各自最佳间距条件下, 在相同主流流量时的引射系数 m_s/m_p 和总压损失 ΔP^* , 图 7(a) 给出了它们各自的对应点。通常, 人们希望引射系统的引射系数大, 总压损失小。为了更清楚地表明这四种组合方案在引射系数—总压损失综合气动性能方面的优劣, 把 4 个方案得到的试验数据都折合到一个相同的混合排气总流量 $m\Sigma e$, 然后按总压损失 $\Delta P^* \propto m^2\Sigma$ 关系, 求出每个方案 i 在同一个 $m\Sigma e$ 时所对应的折合总压损失 ΔP_{ie}^*

$$\text{即} \quad \Delta P_{ie}^* = \Delta P_i^* \cdot \left(\frac{m\Sigma e}{m\Sigma i} \right)^2 = \Delta P_i^* \cdot \left(\frac{(m_s + m_p)^2 e}{(m_s + m_p)^2 i} \right)$$

式中: ΔP_i^* 和 $m\Sigma i$ 分别代表第 i 个组合方案实测的总压损失和混合排气总流量。显然, ΔP_{ie}^* 较小则表明引射系数—总压损失的综合气动性能较好。图 7(b) 示出了 4 个组合方案在相同 $m\Sigma e$ 时的折合总压损失 ΔP_{ie}^* , 从图上可清楚地看到, 直四主喷管和偏斜四主喷管两种方案的综合性能相差不大, 偏斜四主喷管略好些。12 波瓣主喷管和双矩形主喷管两种方案的综合性能明显优于上述两种四喷管组合方案, 双矩形主喷管方案似乎更好些。但注意到波瓣主喷管强化混合的特点, 为达到相同混合均匀度它所需的混合长度可以缩短, 则有可能在实际引射系统中, 引射系数—总压损失综合性能优于双矩形方案。

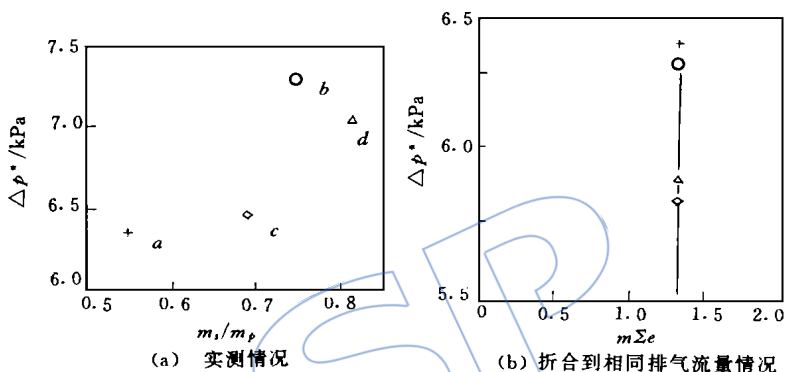


图 7 4 种方案引射系数、总压损失对比

4 结 论

(1) 排气引射系统存在一个引射系数最大的主喷管与混合管进口之间的最佳间距 L_{opt} , 并且该 L_{opt} 与主喷管—混合管组合有关。(2) 从总体气动性能看, 波瓣主喷管方案最佳, 混合管内静压恢复快, 出口总压分布均匀, 引射系数—总压损失综合性能好, 但它的结构和工艺比较复杂。因此, 它特别适用于要求性能高、重量轻、尺寸小的飞行器上(包括直升机、飞机、导弹等)。(3) 双矩形主喷管方案的结构和工艺比较简单, 气动性能也较好, 如果能与二元混合管相配, 在航空上应用也很有前景。

参 考 文 献

- 1 李黎等 带波瓣主喷管排气引射红外抑制系统的试验研究 中国航空科技报告HJB941248, 1994

(责任编辑 杨再荣)

tion rate was given by Arrhenius model. The results show that the numerical method and physical models are proper for simulation of spray combustion processes.

Key Words Spray combustion flow Calculation Algorithm

AN EXPERIMENTAL STUDY ON PRIMARY NOZZLE TYPES OF EXHAUST EJECTOR SYSTEMS

Li Li, Xu Zhiyong, Wu Shousheng

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

ABSTRACT Optimum distances between primary nozzle exit and mixing tube inlet, static pressure recovery of the mixing flow in mixing tube, total pressure distributions at the exit of mixing tube, pumping coefficients and total pressure losses of the exhaust ejector systems with four different types of primary nozzles have been measured in the experiments. The results have an important reference value for selecting primary nozzle types of exhaust ejector systems.

Key Words Nozzle with injector Aerodynamic tests Experiments

TECHNICAL NOTES

NONLINEAR PERTURBATION METHOD FOR ANALYSIS OF MODAL SENSITIVITIES WITH REPEATED EIGENVALUES

Cui Bowen and Shen Yunwen

(7th Dept. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

ABSTRACT An algorithm was made out for analyzing the modal sensitivities with repeated eigenvalues of real symmetric matrices by means of nonlinear perturbation equation. It has advantage in retaining the symmetry and band structure of the original eigen-system matrices. A numerical example shows that the method has high accuracy and can be easily implemented on computer.

Key Words Modal analysis Eigenvalues Perturbation method

TRANSIENT RESPONSES OF BLADES TO BIRD IMPACT COUPLED WITH DEFORMATIONS OF BLADE

Chen Wei, Qi Wenkai, Gao Deping

(2nd Dept. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

ABSTRACT It is necessary to calculate the transient responses of blades precisely in analysis of blade damage due to bird impact. Because the deformations of blade can