

弯曲混合管引射系统气动特性实验研究^{*}

南京航空航天大学 张靖周^{**} 李立国 高 潮

【摘要】 对波瓣喷管和圆喷管与弯曲混合管匹配的引射系统内流气动特性进行了实验研究, 结果表明: (1) 与圆喷管相比, 波瓣喷管可以将系统的引射能力提高约 100%, 混合管出口的峰值温度降低近 10%, 而两者的总压损失几乎是一致的; (2) 因弯曲引起的二次流及主流冲击弯曲壁面的扩散影响, 混合管椭圆形排气口的长轴方向, 尾缘温度明显地高于前缘温度; 而在短轴方向, 温度分布呈马鞍形状。

关键词: 引射器 喷管流 混合流 波瓣喷管 气动实验

1 前 言

利用发动机排气的动量, 泵抽环境冷空气并与之掺混, 抑制尾焰红外辐射的抑制效果主要取决于排气温度的降低幅度和分布型面的改变程度。这要求引射系统能最大程度地泵抽环境冷气, 并且使冷热气流在尽可能短的混合管轴向距离内充分混合。对武装直升机而言, 同时还要求混合管呈弯曲状, 使排气转向, 这样可利用弯管遮挡热部件的外露, 又可利用旋翼的下洗气流冲淡排气, 进一步降低排气的红外辐射。70 年代以来, 波瓣喷管被作为一种降噪喷管得到了广泛的应用^[1,2], 80 年代初, 在引射系统也得到了研究^[3,4]。本文通过对波瓣喷管和圆喷管与弯曲混合管匹配的引射系统的内流气动特性进行实验研究, 以获得其内在特征和规律。

2 实验结果

主喷管带中心锥体, 有 12 瓣波瓣喷管和圆喷管两种, 出口截面积均为 860mm²。波瓣喷管的 12 瓣沿周向均布, 单瓣高宽比为 2.67, 扩张角为 25°。环境冷气依靠主流气流喷射的泵抽作用驱动, 通过标准入口流量管进入引射集气室, 在混合管内与主流气流掺混, 再一齐排往大气。混合管呈弯曲状态, 弯曲角度为 25°; 直管段截面积为

表 1 主流的状态参数

主流流量 (kg/s)	主流总压 (Pa)		主流总温 (K)	
	冷态	热态	冷态	热态
0.06	103186	105146	302	506
0.04	102627	103820	302	554

7580mm², 混合管椭圆形出口截面积为 14130mm²。对上述两种不同形状的喷管分别进行冷态和热态下的对比实验, 主流流量控制在 0.06kg/s 和 0.04kg/s。主流的状态参数见表 1。

2.1 引射系数的测试结果

表 2 为冷热态的引射系数实验结果。表中符号: L 为波瓣喷管, R 为圆喷管, B 为弯曲混

1993 年 5 月收到; 1993 年 7 月收到修改稿。 * 本文系国防科工委基金资助项目

* * 南京航空航天大学 205 教研室 210016

合管。由此可见，引射系统的主喷管形状对于其引射能力有显著的影响。在相同的主流状态和混合管截面比下，波瓣喷管可以较圆喷管引射进多出一倍左右的冷空气量，大幅度地提高了引射系统的泵抽能力，是一种理想的异形喷管结构。

2. 2 S-S 截面总压分布

图 1 为 $m_1=0.04\text{kg/s}$ 时，LB 和 RB 引射系统在 S-S 截面的总压分布 (S-S 截面为混合管直管段和弯曲段的过渡截面)，测量是自下而上逐点进行的。在相同的主流流量下，波瓣喷管的总压分布呈顶部较宽平的高帽形，圆喷管的总压分布呈陡峭的山峰形，前者的总压分布较后者的要平坦得多，且总压峰值也低得多。表明采用波瓣喷管的两股气流掺混效果要优于圆喷管。若将 S-S 截面的总压分布取面积平均值与主喷管前总压的比值定义为总压比， $m_1=0.06\text{kg/s}$ 时，冷态的总压比为 0.973、0.973，热态的总压比为 0.954、0.961； $m_1=0.04\text{kg/s}$ 时，冷态的总压比为 0.981、0.986，热态的总压比为 0.975、0.974 (以上数据前者为波瓣喷管，后者为圆喷管)。可见总压比数值与喷管的形状关系甚微，而与主流状态的关系较为密切。可以认为，在相同的主流条件下，波瓣喷管和圆喷管引射系统的能量损失是相近的。

2. 3 混合管出口截面的总温分布

图 2 为 $m_1=0.06\text{kg/s}$ 时，LB 和 RB 引射系统沿混合管椭圆形出口截面长轴方向和短轴

表 2 引射系数实验结果

引射系统组合方案	LB		RB	
主流流量 m_1 (kg/s)	0.06	0.04	0.06	0.04
冷态引射系数 Φ_c	1.39	1.35	0.68	0.63
热态引射系数 Φ_h	1.83	1.81	0.94	0.91

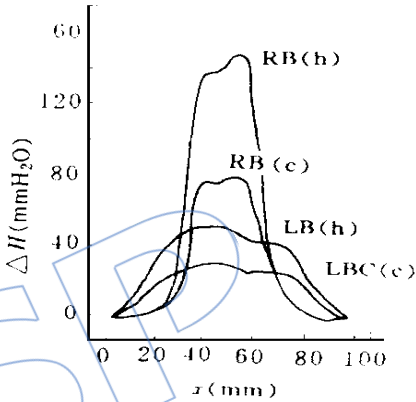


图 1 S-S 截面总压分布

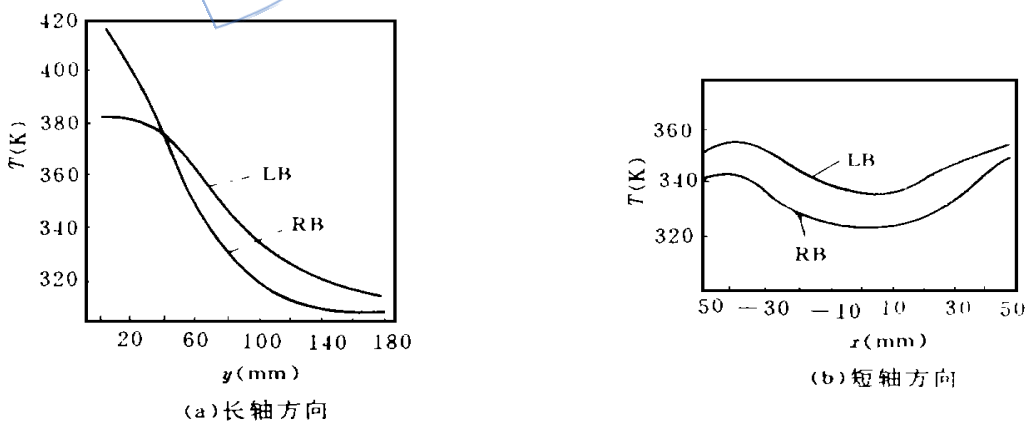


图 2 混合管出口截面总温分布

方向的总温分布。综观两种不同形状喷管的温度分布型面，具有两个鲜明的特征：在椭圆形排气口的长轴方向温度的分布极不均匀，其尾缘附近气流的温度明显地高于前缘气流的温度；

而在椭圆形排气口的短轴方向温度分布呈马鞍形状, 中心的气流温度要比两边的温度低。预计这种现象是由于热气流的冲击弯管壁面扩散及弯管二次流的作用引起的。

与 RB 系统相比, LB 系统在椭圆形排气截面长轴方向的温度分布型面要平坦得多, 特别是在距排气口尾缘 40mm 的短距离内, 其峰值温度有大幅度的下降, 相对衰减幅度近 10%。这表明了采用波瓣喷管的引射系统, 可以更有效地组织引射气流对核心气流的冲淡掺混, 同时由于热气流的冲击弯管壁面扩散及弯管二次流的作用, 使得排气截面尾缘区域的流动速度大大地高于其前缘区域, 因此尾缘区域内峰值温度的大幅度下降势必导致整个截面的质量平均温度的降低, 这也就意味着 LB 引射系统的引射能力要优于 RB 引射系统。

2. 4 波瓣喷管出口周向—径向速度矢量图

图 3 为对波瓣喷管出口截面一个波瓣扇区测得的周向—径向速度矢量分布图。波瓣喷管因其呈波峰外凸、波谷内凹的褶曲形状, 使得主流和引射气流在流过时分别产生径向向内和向外的分速度, 形成尾缘阵列的轴向旋涡, 为两股气流的混合提供了一个强化扰动机构, 从而可以较大幅度地降低主流出口截面的峰值温度, 使其温度分布更趋平缓。

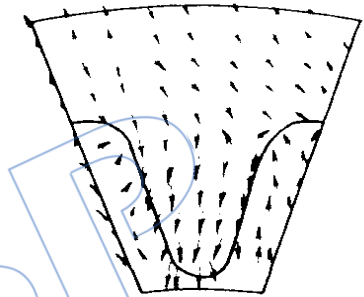


图 3 波瓣尾缘周向—径向速度矢量图

结论 (1) 与圆喷管相比, 波瓣喷管有利于强化两股气流之间的引射掺混效果, 大幅度地降低排气温度, 而两者的能量损失是相近的。因此波瓣喷管是一种较为理想的喷管结构。(2) 弯曲混合管因弯曲引起的二次流及主流冲击扩散影响, 而在椭圆形出口短轴方向呈马鞍形的温度分布, 在椭圆形出口长轴方向尾缘气流温度明显高于前缘气流温度, 如何使其分布更为均匀, 尚有待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 Shumpert P K. An Experimental Model Investigation of Turbofan Engine Internal Exhaust Gas Mixer Configurations. AIAA Paper 80-0228
- 2 Koslowki H, Kraft G. Experiment Evaluation of an Exhaust Mixer for an Energy Efficient Engine. AIAA Paper 80-1088
- 3 Presz W M, Gousy R G, Morin B L. Forced Mixer Lobes in Ejector Designs. AIAA Paper 86-1614
- 4 Presz W M, Blinn R F, Morin B L. Short Efficient Ejector Systems. AIAA Paper 87-1837

(责任编辑 魏星禄)