

波瓣式主喷管排气引射系统 的高速冷态推力特性试验研究

北京航空航天大学 李黎** 吴寿生

【摘要】 对基准圆柱收敛喷管、五种波瓣主喷管、以及波瓣主喷管与带扩压段的混合管和不带扩压段的混合管所组成的不同排气引射系统进行了推力随喷管前压力($0.15 \sim 0.5 \text{ MPa}$)变化的特性试验。试验结果表明:波瓣主喷管排气引射系统在高速排气条件下也具有较好的应用前景;但在设计上,必须考虑高速,尤其是超音排气的气动特点所带来的相关问题。

主题词: 引射喷管 推力喷管特性 高速

分类号: V 233.757

波瓣强化混合结构^[1]作为一种新型高效的强化混合结构在航空发动机上已得到了广泛的应用。在军用战斗机上,波瓣强化混合结构被用来作为排气引射系统的主喷管,使发动机排出的高温热燃气迅速与周围环境冷空气混合,从而降低飞机发动机的红外辐射强度,提高飞机在战争中的生存能力。在民用飞机上,波瓣强化混合结构被用作为涡扇发动机内、外涵混合器来增大推力,降低耗油率,也被用作为排气引射系统主喷管来降低飞机排气噪声。

近年来,我们对以波瓣强化混合结构为主喷管的低速排气引射系统进行了较广泛的研究工作^[2~6],为了初步探讨波瓣主喷管排气引射系统在高速排气情况下的适用性,进行了本试验研究,即利用低速试验研究的试验件,对几种不同形式的波瓣主喷管以及与两种混合管构成的排气引射系统进行了高速冷态推力特性的试验研究。

1 试验设备及试验件

1.1 试验设备

自由浮动式中压喷管试验台如图1所示。导气弯管与主流导管用浮动套轴连接,套与轴间的间隙约 $60 \mu\text{m}$ 。主流导管可以自由浮动而不影响推力的测量。台架上装的砝码杠杆机构,可用于测力系统的静态和动态校准。

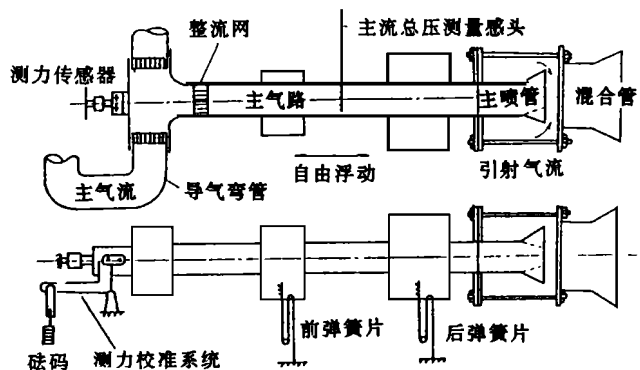


图1 试验台示意图

试验中主喷管用法兰与主流导管连接,并用 4 根可调整螺栓将排气混合管与主喷管及主流导管连成一体,调节螺栓可以调节主喷管与排气混合管的间距。

高压空气由导气弯管经整流网流入主流导管,然后从主喷管喷入混合管,在混合管中与外界引入的引射气流掺混后,一并排出混合管。排气引射系统产生的推力经主流导管传到推力传感器并通过微机直接打印出推力数据。

压力和推力数据分别由 PT- 1 型压力传感器(量程 1.6 MPa)和 BLR- 1 型推力传感器测取,传感器输出的电信号经 2120 和 2310 型放大器放大,A - D 转换器转换后输入计算机,数据由计算机处理后直接显示或打印输出。

1.2 试验件

主喷管: 试验选用了 5 种波瓣式主喷管(图 2)和一个圆形收敛喷管作为对比基准,它们分别为:带中心锥的直斜式十二波瓣主喷管(图 2a);带中心锥,间隔切短的直斜式十二波瓣主喷管(图 2b);带中心锥,波瓣峰出口转平的切凹扇形的十二波瓣主喷管(图 2c);二元波瓣主喷管(图 2d);无中心锥直斜式十二波瓣主喷管(图 2e);试验主喷管出口面积均为 6400 mm^2 ,当量直径为 $\varnothing 90\text{ mm}$ 。

混合管: 混合管为圆筒形(直径 $D = 155\text{ mm}$,长度 $L = 88\text{ mm}$)配上半锥角为 10 和 20 的排气扩压段(扩压比均为 1.5)。

在试验过程中,波瓣主喷管与混合管的匹配组合见表 1。

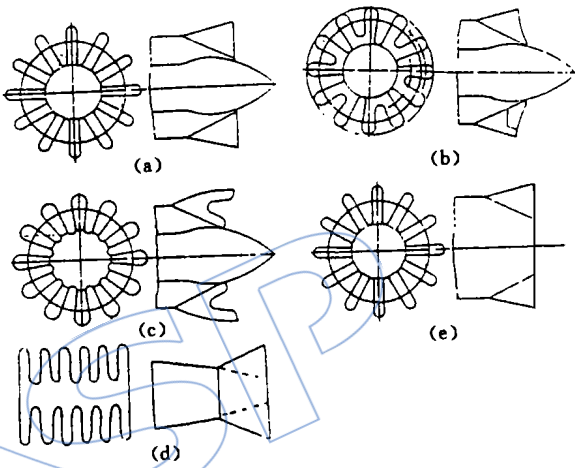


图 2 5 种波瓣主喷管

表 1 主喷管与混合管的匹配组合

主 喷 管	混合管	混合管扩压器	主喷管与混合管距离(mm)
带中心锥直斜式十二波瓣主喷管	无	无	20 mm
	有	10 扩压	20 mm
	有	10 扩压°	- 70 mm
带中心锥间隔切短的直斜式十二波瓣主喷管	无	无	20 mm
	有	10 扩压	20 mm
	有	10 扩压°	- 80 mm
带中心锥波瓣峰转平切凹扇形十二波瓣主喷管	无	无	
	有	20°	
二元波瓣主喷管	无	无	45 mm
	有	10 扩压	
无中心锥直斜式十二波瓣主喷管	无	无	0 mm
	有	10 扩压	0 mm
	有	10 扩压	20 mm
	有	10 扩压	55 mm
	有	10 扩压	- 70 mm

2 试验结果和分析

由于高速试验耗气量大,耗资多,为了能简便地比较出上述 5 种波瓣主喷管以及它们与混合管匹配的气动性能,只进行了冷态条件下,各方案的推力性能随喷管前压力($0.15 \sim 0.5$ MPa 范围)变化的特性试验。试验结果见图 3 和图 4。图 3 是 5 种波瓣主喷管带混合管和不带混合管的推力特性对比,图 4 为不带混合管情况下 6 种喷管的推力特性对比。

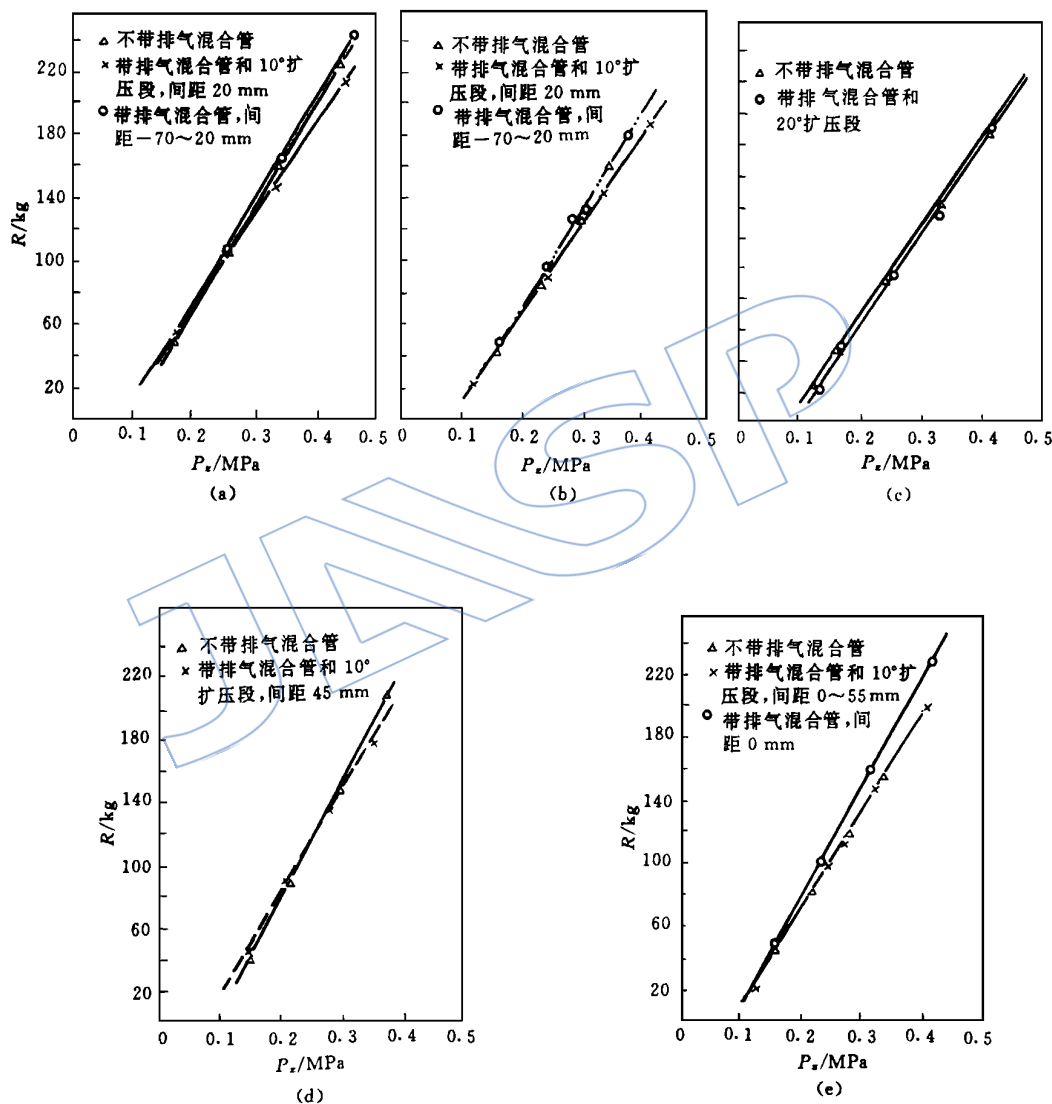


图 3 主喷管的推力特性

试验中最关心的问题是,在低速试验中呈现引射、掺混效果非常好的波瓣式主喷管排气引射系统在高速(或超临界压比)条件下推力特性如何?由试验结果看,5 种波瓣喷管的推力特性都不如圆柱收敛喷管(图 4),但是参考文献[7]给出的试验结果却表明,在高速条件下波瓣喷管具有与常规圆喷管相同的推力特性,而波瓣主喷管排气引射系统则可进一步改进推力特性,

分析差别的原因,可能是所试的 5 种波瓣主喷管及混合管是为低速试验研究设计的,没有很好地考虑高速喷流特点所致。即使如此,所得的试验结果仍给我们如下几点启示:

(1) 在其它条件相同的情况下,喷管(或波瓣)结构越复杂,则推力特性越差。根据图 4 所示,主喷管推力特性由好到差的排列顺序是 d, e, a, b 和 c, 正符合结构由简单到复杂的顺序。主喷管 d 为二元波瓣喷管,而二元喷管易于与飞机一体化设计,并有较好的红外抑制性能。

(2) 在低速试验时,混合管后加设计合理的扩压段可大大提高排气引射能力和红外辐射的抑制能力^[4]。但在高速情况下,加扩压段后则使引射系统的气动性能变坏,由图 3 可见,相同主喷管和混合管情况下,带扩压段和不带扩压段的推力特性曲线的斜率不同,带扩压段的斜率较平,两条曲线的交点所对应的喷管前压力在 0.15~0.2 MPa 左右,这表明排气速度低时,混合管加扩压段有利,排气速度高、超临界压比时,不宜加扩压段。

(3) 在主喷管确定的情况下,主喷管与混合管匹配良好的引射系统是可以增加推力的(图 3e),由图 3(a)~(d)也可以看出,波瓣主喷管在没有考虑高速设计特点的条件下,带混合管的引射情况和不带混合管时的推力特性基本相同。因此,在高速排气情况下,正确设计波瓣式主喷管排气引射系统是可以增加推力的^[7],当然它会使排气系统的重量和尺寸增加,如何协调则是进一步研究的问题。

结论 波瓣式主喷管排气引射系统在高速排气(高速飞行)条件下,有较好的应用前景,但设计时须考虑高速特点,特别是超音速工作特点所带来的问题。

参 考 文 献

- 1 Elliott J K, Manning T A, et al Computational and Experimental Studies of Flow in Forced Mixers AIAA 92-3568, 1992
- 2 吴寿生 波瓣强化混合结构及其在航空发动机上的应用 CSAA-93-P-154(P)
- 3 李黎, 徐志勇等“排气引射红外抑制系统主喷管选型试验研究 CSAA-93-P-208(C)
- 4 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, 北京: HJB941248, 1994
- 5 胡晖等“波瓣主喷管排气引射系统的试验研究”航空动力学报, 1995, 10(4): 375
- 6 胡晖等“二元波瓣喷管排气引射系统的试验研究”航空学报, 1996, 17(5): 518-523
- 7 Presz W M, Jr Mixer/Ejector Noise Suppressors AIAA 91-2243 1991

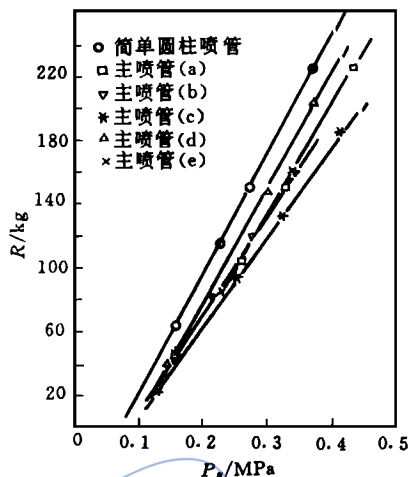


图 4 5 种不带混合管的波瓣主喷管与圆柱收敛喷管推力特性比较

(责任编辑 杨再荣)

ABSTRACT

A stress analysis of a Powder Metallurgy (PM) turbine disc was accomplished by finite element method. First, the calculation boundary was determined according to the linkage mode of the rotor, then its elastic, thermoelastic and thermal stress analyses were made. The results show that the deformation of the PM disc is elastic at maximum rotational speed. As the rotational speed exceeds the maximum by 22%, the deformation of disc remains elastic except in the core. The inhomogeneous temperature field has a strong effect on the stress distribution of the disc.

Key Words Powder metallurgy Turbines Disks Stress analysis

APPLICATION OF DOMAIN DECOMPOSITION METHOD TO PREDICTION OF TURBULENT FLOW FIELDS

Zhang Chuhua, Liu Zhengxian, Gu Chuangang, Miao Yongniao

(Dept. Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

ABSTRACT

The Domain Decomposition Method (DDM) is applied to calculation of turbulent flow fields. A general DDM-1 scheme $S_{1,0}$ is developed for turbulence equations with treatment of variables in overlapped domains. It features that the whole computational domain is decomposed into several subdomains according to the flow properties and the different decomposed domains employ corresponding physical models. A prediction of turbulent flow fields in a sudden pipe expansion was made and compared with the experimental data. It was shown that the scheme can predict the reattachment point, mean axial velocity and turbulence kinetic energy more accurately than the methods using a single model in entire domain.

Key Words Decomposition method Turbulent flow Numerical simulation

THRUST CHARACTERISTICS OF EXHAUST EJECTOR SYSTEMS WITH LOBED NOZZLES TESTED AT COLD HIGH SPEED CONDITIONS

Li Li and Wu Shousheng

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

ABSTRACT

A set of thrust characteristics (thrust with nozzle pressure) of a round convergent nozzle, five lobed nozzles and lobed nozzle-mixing tube combinations with and without diffusers have been obtained from the experimental investigation at cold high speed conditions (nozzle pressure = 0.15~0.5 MPa). Test results show that the lobed nozzles of the exhaust ejector systems at high speed conditions also have superior application prospects, provided their designs consider the impact of high speed flow, in especial, the aerodynamic characteristics of supersonic exhaust flow.

Key Words Nozzles with injector Thrust characteristics High speed