

反压条件下同轴式喷嘴雾化特性的试验研究

国防科技大学 吴晋湘* 刘卫东 周 猛 王振国 庄逢辰

摘要 利用作者设计的反压试验装置和 MF 激光散射测粒仪, 在 $0.1 \sim 0.6 \text{ MPa}$ 反压条件下, 测量了不同工况液雾的索太尔平均直径 SMD 等雾化特性参数, 并对试验数据进行最小二乘拟合, 得到了影响雾化特性相关参数的经验公式, 对同轴式喷嘴的设计将有一定的指导意义。

主题词: 喷嘴 雾化 反压

分类号: V434.22

液体火箭发动机的燃料雾化及燃烧过程通常是在有反压甚至高反压条件下完成的。但由于反压条件下的试验有一定的难度, 目前这方面的工作还不多见, 国外的有关的试验报导有文献[1, 2]。本文以空气和水为介质, 在不同气液比和不同反压条件下, 对某预研型液体火箭发动机三种不同结构尺寸的同轴式喷嘴的雾化性能进行试验研究。其结果对氢氧火箭发动机同轴式喷嘴的设计将很有参考价值。

1 试验测量系统

试验测试系统如图 1 所示。图中 1 为水源总阀, 水源从自来水管接来, 经过阀门 14 注入储液箱 12。高压气从高压气源 2 过来, 首先经过总阀 3, 再分别经过减压阀 6 和减压阀 10 进入储气箱 8 和储液箱 12。压力表 5 和压力表 9 分别指示减压阀后亦即储气箱和储液箱内的压力, 该压力可通过减压阀调整。阀门 7 和 11 分别为储气箱和储液箱的卸压阀, 从储气箱和储液箱出来的空气和水再分别经过截止阀 16 和截止阀 17 进入压力罐内, 由高压金属软管接入喷嘴夹具 27 中的气相腔室和液相腔室, 在进入压力罐前分别接有气侧涡轮流量计 20 和液侧

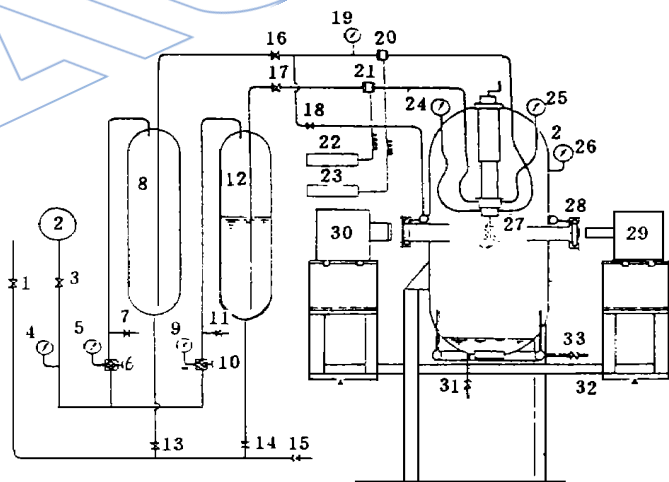


图 1 喷雾特性试验测试系统

喷嘴夹具 27 中的气相腔室和液相腔室, 在进入压力罐前分别接有气侧涡轮流量计 20 和液侧

* 本文于 1993 年 12 月收到; 1994 年 4 月收到修改稿。

** 湖南省长沙国防科技大学航天技术系研究生队 91 届博研 410073

涡轮流量计 21, 其信号分别由数字频率计 23 和 22 检测, 在气侧涡轮流量计前接有压力表 19, 指示流量计前压力 P_{g1} 。在压力表前引出一股高压空气, 通过截止阀 18 引入联通环再接入观察窗内的吹气环吹气防雾。压力表 24 和 25 分别指示喷嘴夹具气相腔室和液箱腔室的压力, 压力表 26 指示压力罐内的压力 P_0 。激光器 29 和散射光接收器 30 通过专用导轨 32 分置于压力罐两边, 接收器接收的散射光能信号由计算机采集并处理, 阀门 33 为由电磁阀、减压阀和手动球阀组成的排气阀门系统, 控制压力罐内的反压, 阀门 31 为排液阀。

利用 MF 激光散射测粒系统, 对液氧气氢同轴式喷嘴的雾化特性进行了试验测量, 同轴式喷嘴的结构如图 2 所示。中心为切向进液的氧化剂通道, 构成液氧的离心式喷嘴, 周围是环形径向进气的燃料通道, 构成气氢的直射式喷嘴。试验中用水模拟液氧, 用空气模拟气氢, 以了解结构尺寸和工作参数对喷嘴雾化性能的影响。由 d_0 、 d_1 和 d_3 三种不同的几何尺寸(如图 2 所示), 组成了 A、B、C 三种不同的试验喷嘴, 三种喷嘴的主要几何尺寸 A 型 d_0 为 2.1mm, d_1 为 4.8mm, d_2 为 7.2mm, d_3 为 9.8mm。B 型 d_0 为 2.2mm, d_1 为 5.8mm, d_2 为 7.2mm, d_3 为 9.2mm。C 型 d_0 为 2.5mm, d_1 为 6.4mm, d_2 为 7.2mm, d_3 为 9.8mm。

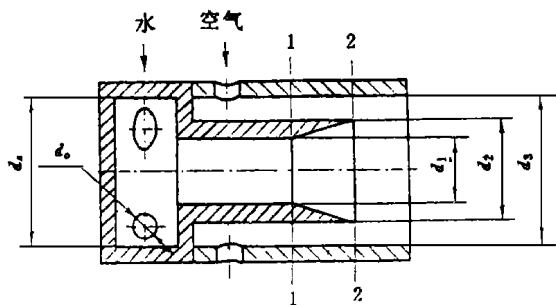


图 2 同轴式喷嘴结构示意图

使用的反压试验台为密闭型试验台, 其压力容器部分内径为 400mm, 罐内高约 1000mm。在雾化特性测量过程中, 由于喷嘴被密闭在压力罐内, 极细小的液雾滴弥散在罐中而影响测量精度。为此采取了如下措施, 一方面用圆管延长观察窗伸向压力罐内的长度, 激光器侧向内延伸约 120mm, 接收器侧向内延伸 100mm, 由于观察窗内有吹向压力罐的气流, 使细小液雾不易弥散过来, 这样使被干扰的测量区域减少为 180mm 左右。另一方面, 在测量前对弥散有细小液雾的罐内环境取一次背景光, 把细小液雾对激光束的散射影响作为背景在测量过程中减去, 这样测量的液雾尺寸分布和平均直径更接近真实的情况。

2 试验结果分析

假设气液同轴式喷嘴的喷雾颗粒群服从 Rosin-Rammlen 分布, 由 MF 激光散射测粒系统的光电探测器测得液雾的散射光能分布函数后, 利用计算机数据采集处理系统即可算出被测工况的液雾的 K 、 $\bar{X}$ 和 SMD 。对 A、B、C 三种不同类型的喷嘴进行了反压条件下雾化特性的试验测量, 试验室的环境参数为: $T_\infty = 300K$; $P_\infty = 0.1MPa$; $\rho_\infty = 1.177kg/m^3$ 。试验反压取为 $P_0 = 0.1MPa$ (常反压)、0.3MPa 和 0.6MPa; 在每一个反压条件下对距喷嘴出口不同轴向距离进行了测量, 3 个轴向距离分别为 $X = 30mm$ 、60mm、100mm; 在每一个轴向距离上, 气侧取 3 个测量工况, 即控制 $P_{g1} - P_0 = 0.1MPa$ 、0.2MPa、0.3MPa; 对于每一个气侧工况, 液侧变化 5 个不同的流量; 每一流量状态测量 2 次; 这样可以得到某一进口总压条件下, 不同气液比对液雾平均直径 SMD 和尺寸分布特性的影响。

图 3 为不同反压情况下, 平均直径 SMD 随气液比 ALR 变化的曲线。在一般情况下, 维持反压 P_0 和气测进口压力 P_{g1} 不变时, 随气液比的增加, SMD 也减小。也就是说, 当气侧流量不

变而液体流量增加时,同轴式喷嘴的雾化 SMD 将增大。这是由于当液体流量增加时,喷嘴出口液侧流速增加,这一方面减小了气液相对速度,缩短了液流在喷嘴缩进段的滞留时间,因而削弱了气流对液膜及液滴的雾化作用。另一方面还将导致液膜在破碎前最小液膜厚度增加,导致初始雾化液滴较大^[3]。但是对于 A 型喷嘴,当反压增加到 0.6 MPa 时,会出现反常情况,即当气液比 ALR 减小,液侧流量增加到一定值后,随着液侧流量的增加, SMD 开始出现减小。

图 4 反映了在一定气液比 ALR , 一定喷嘴压降 $DP = P_{g1} - P_o$ 情况下,反压 P_o 对 A、B、C 两种不同喷嘴雾化效果的影响。由图可知,在一般情况下,如维持气液比及气侧压降不变,增加反压 P_o 将使雾化效果变差。这是由于反压对液侧密度 ρ_l , 因而对液侧流量的影响可以忽略,而在增加反压时,必将增加气侧的密度 ρ_g , 因此在一定的气侧流量下,其流速必将降低,明显减小气液相对速度 V_r , 由 Weber 数 $We = \rho_g L V^2 / \sigma$ 可知,虽然增加气侧密度有利于雾化,但由于式中 V_r 是平方关系,当 m_g 不变时,如忽略液相速度,增加反压的综合效果使得 Weber 数减小,因而雾化效果变差。但对于 A 型喷嘴,由于其离心喷嘴的出口直径 d_1 较小,当反压为 0.6 MPa 且气侧压降较小时,其气动雾化的作用较小,这时液侧流量增加到一定值后,会出现离心雾化占优的情况,使得平均直径 SMD 会随液侧流量 m_l 的增加而减小。对于这种离心雾化占优的情况只在气侧压降 DP 较小并且液侧流量较大时出现,当增加气侧压降 DP 因而增加气侧流速使气动雾化占优时,曲线仍服从气动雾化规律。

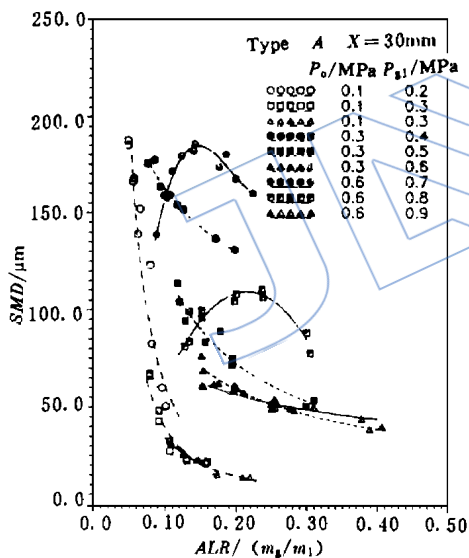


图 3 气液比对雾化平均直径的影响

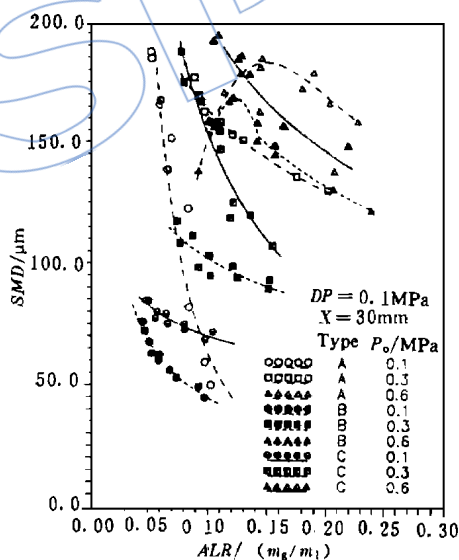


图 4 反压对雾化平均直径的影响

通过图 4 还可以 A、B、C 三种喷嘴的雾化性能进行比较。在一般情况下,当气液比相同时,由于 B 型喷嘴的气侧通道面积最小,使其在相同压降的情况下气侧流速最大,所以其雾化 SMD 最小,雾化性能最好。A 型喷嘴和 C 型喷嘴的气侧通道面积相同,但 C 型喷嘴的出口液膜厚度比 A 型的小,所以在低反压时, C 型喷嘴的雾化性能优于 A 型。而当反压增加到 0.6 MPa, 气侧压降 $DP = P_{g1} - P_o$ 较小时, A 型喷嘴在小气液比的情况下出现反常,其雾化性能得到改善。因此,同轴式喷嘴的结构参数设计,应根据其工作范围,综合考虑气动雾化效果和离心雾化效果的影响。

分别对 A、B、C 三种喷嘴所有试验工况的测量参数进行最小二乘拟合,可以得到有关同轴式喷嘴雾化性能的经验公式。在拟合过程中,剔除了 A 型喷嘴离心雾化占优的部分数据。根据试验结果,本文以平均直径 SMD 与离心喷嘴液膜厚度 δ 的比值作为无量纲参数,认为影响 SMD 空间分布的主要因数有气液比、气侧压降与反压的比值及无量纲轴向距离,三种喷嘴的拟合公式如下:

$$SMD/\delta = A(1 - m_g/m_l)^B [(P_{g1} - P_0)/P_0]^C (X/d)^D$$

其中 A 、 B 、 C 、 D 为拟合系数, X 为喷嘴到测量面的距离, d 为喷嘴气侧环型通道的外径 d_3 , m_g 为气测流量, m_l 为液相流量,其中 B 型喷嘴的拟合曲线及拟合系数如图 5 所示。

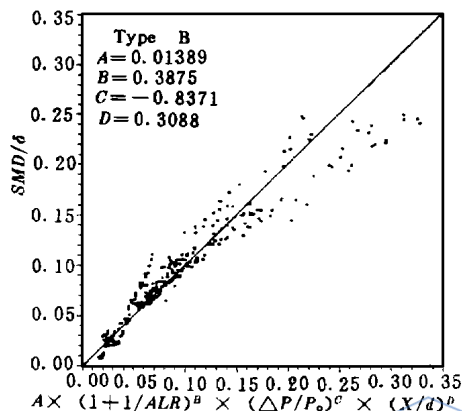


图5 平均直径的拟合结果

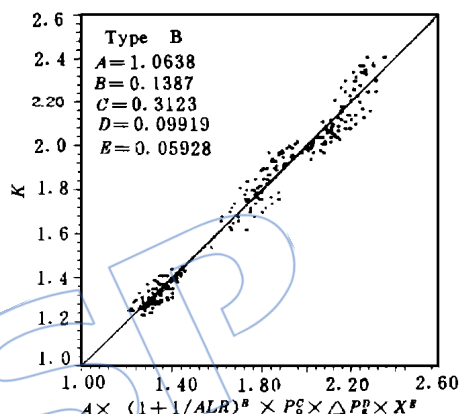


图6 雾化均匀度指数的拟合结果

由于假设喷雾液滴群的尺寸分布服从 Rosin-Rammlen 分布,在试验过程中还能测量得到喷雾的雾化均匀度指数 K 。本文还通过各测量参数进行最小二乘拟合,得到了影响 A、B、C 三种喷嘴雾化均匀度的经验公式,其拟合公式的形式如下:

$$K = A(1 - m_g/m_l)^B P_0^C (P_{g1} - P_0)^D X^E$$

其中 B 型喷嘴的拟合曲线及拟合系数如图 6 所示。由图中系数可知,反压 P_0 对 K 的影响最为明显,且随着反压的增加液雾趋于均匀。

结论 对于本试验所涉及的同轴式喷嘴,可得如下结论:(1) 在气液比和反压相同的条件下,增加气侧压降将改善喷嘴的雾化性能。(2) 在气液比一定,喷嘴气侧压降一定的条件下,增加反压将使雾化性能变差。(3) 增加反压 P_0 将使雾化均匀度指数 K 增加,使液雾趋于均匀。(4) 在三种喷嘴中,B 型喷嘴雾化性能最好。A 型喷嘴在高反压小气液比时雾化性能有可能得到改善。

参 考 文 献

- 1 Burick R J. Space Storable Propellant Performance Program - Coaxial Injector Characterization. NASA CR - 120936, 1972
- 2 Hiromi, GOMI. Pneumatic Atomisation with Coaxial Injector: Measurements of Drop Sizes by the Diffraction Method and Liquid Phase Fraction by the Attenuation Method of Light. NTR- 888T, 1985
- 3 周猛. 气液同轴式喷注器雾化特性和激光散射测粒技术的研究[学位论文]. 国防科技大学, 1991 年

(责任编辑 杨再荣)

ted curvilinear coordinate system. This software can be used widely for numerical simulation of flow fluid, heat and mass transfer, combustion, radiation in mixed flow with arbitrary boundary shapes. The results for some aeroplanes illustrate that the double convergent walls of the nozzles can intensify the mixing of hot and cold flows, and the violent mixing can greatly reduce the heat radiation flux and the temperature of aeroengine exhaust gas in double-convergent nozzles.

Key words Air breathing engines Numerical simulation Exhaust nozzles
Numerical computation Convective heat transfer

EXPERIMENTAL STUDY ON ATOMIZATION PERFORMANCE OF COAXIAL INJECTORS AT BACK VESSEL PRESSURE

Wu Jinxiang, Liu Weidong, Zhou Mong, Wang Zhenguo

(1st Dept. National University of Defence Technology, Changsha 410078)

Zhuang Fengchen

(Institute of Command Technology CONDST)

ABSTRACT

A MF Laser Scatter Sizer and an experimental system designed by the authors were employed to measure the sprays produced by coaxial injectors of LO_x/LH_2 liquid rocket engines at back pressure in the vessel. Experimental results show that injectors work as both air-blast and pressure nozzles; keeping the air/liquid mass flux ratio (ALR) constant, the atomization performance is improved when the air pressure drop (ΔP_g) is increased; and enhanced back pressure results in bad atomization of the liquid. Experimental correlations between spray mean size (SMD) and its main influential parameters have been obtained by fitting experimental data. Several injectors with different configurations have been investigated and the results obtained from the experiments provide valuable reference for injector design.

Key words Injector Atomization back pressure

APPLICATION OF DETECTION FILTER TO SENSOR FAULT DETECTION AND ISOLATION

Du Kuanwen, Zhang Hongyue, Wang Yulin

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

ABSTRACT

Detection filter, which is actually a specific class of observers, can fix the output error direction of the system, so that it can be associated with a particular failure mode and its known design failure direction. The detection filter algorithm developed by White & Speyer is applied to a sensor fault detection and isolation system in an aeroengine control system. A nonlinear engine computer simulation model is set up and used to process the close-loop simulation which includes sensor fault detection and isolation system. An isolation method is presented to isolate the fault sensor location. The results of the simulation show that the present fault detection and isolation system is very effective.

Key words Fault detection Linear systems Sensors Detection filters