

气液同轴式喷嘴雾化特性的试验*

田章福,吴继平,陶玉静,周进,王振国

(国防科技大学 航天与材料工程学院,湖南长沙 410073)

摘要 通过试验研究气液同轴直流式和气液同轴离心式喷嘴的雾化性能。研究表明:喷嘴出口扩张时可以改善喷嘴的雾化性能;气液同轴直流式和气液同轴离心式喷嘴都存在一个合适的缩进长度,在改善喷嘴雾化特性的同时对总流量影响较小;在相同条件下,气液同轴离心式喷嘴的喷雾性能要优于气液同轴直流式喷嘴的喷雾性能。

关键词 雾化;喷嘴;索特平均直径(SMD);粒子动态分析仪(PDA)

中图分类号 :V433.9 **文献标识码** :A

Experimental Study on Spray Characteristic of Gas-liquid Coaxial Injectors

TIAN Zhang-fu, WU Ji-ping, TAO Yu-jing, ZHOU Jin, WANG Zhen-guo

(College of Aerospace and Material Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract Spray characteristics of gas-liquid coaxial shear and swirl injectors were studied by conducting experiments. The results suggest that the injector outlet expanding can improve atomization performance; for the two kind of injectors, that is, gas-liquid coaxial swirl injectors and gas-liquid coaxial swirl injectors, with a proper indent length, they have good atomization performance and proper flow performance; and under the same conditions, gas-liquid coaxial swirl injectors have better atomization performance than gas-liquid coaxial swirl injectors.

Key words atomization; injector; Sauter Mean Diameter(SMD); Particle Dynamic Analyzer(PDA)

气液同轴式喷嘴广泛地应用在火箭发动机和工业燃烧炉中,因此对同轴式喷嘴的研究十分广泛^[1-6]。文献[2]认为喷嘴缩进长度增加使雾化变好,文献[3]研究表明气液同轴直流式喷嘴的流量特性几乎不受气液共存的影响。文献[4]通过研究得出结论:气液同轴离心式喷嘴的缩进比对喷嘴混合特性有较大影响,增大缩进比将导致更窄的气液流强分布和更均匀的混合。本文利用 PDA 对几种气液同轴式喷嘴的雾化进行测量,得到了一些有意义的结果。

1 试验装置及试验方法

图 1 是试验系统示意图。图 2 是试验中使用的喷嘴示意图,中心孔为液体喷孔,有直流式和离心式两种,外侧环缝为气体环缝,部分参数见表 1。冷试介质为水和高压空气。试验中利用激光粒子动态分析仪(PDA)测量喷嘴的雾化性能。激光粒子动态分析仪的原理是激光照射到运动颗粒上时发生散射,通过分析接收光的相位变化得到颗粒粒径信息,激光相位多普勒法测量颗粒粒径有着很高的精确度(误差在 $\pm 5\%$ 以内),可测量速度和粒径等多种参数。试验中没有考虑喷嘴加工对雾化的影响,认为雾化场为轴对称的,只测量了雾化锥中一个半径上的雾化结果。

* 收稿日期:2006-02-27

基金项目:国家 863 计划资助项目(2002AA722011)

作者简介:田章福(1975—),男,博士生。

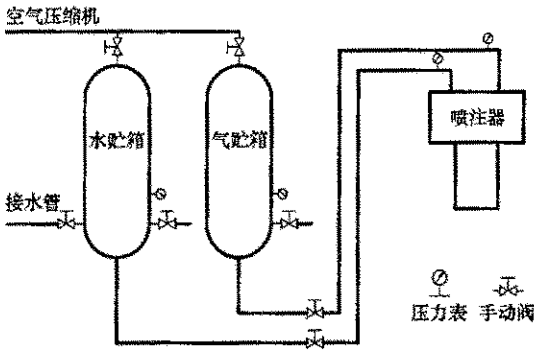


图1 试验系统示意图

Fig.1 Schematic of experiment system

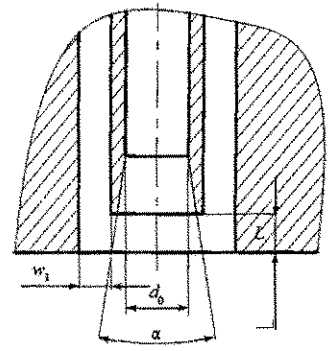


图2 喷嘴示意图

Fig.2 Schematic of injector

表1 喷嘴的设计参数

Tab.1 Parameters of injector

| | 内喷嘴形式 | 内喷嘴直径 d_0 (mm) | 环缝宽度 w_1 (mm) | 出口张角 α ($^\circ$) | 缩进长度 l (mm) |
|---|-------|------------------|-----------------|----------------------------|---------------|
| 1 | 直流 | 2.6 | 1.55 | 10 | |
| 2 | 离心 | 4.7 | 0.95 | 0 | 0~15 可调 |
| 3 | 离心 | 4.7 | 0.95 | 10 | |

2 试验结果及分析

2.1 同轴离心式喷嘴喷雾的空间分布特性

同轴离心式喷嘴缩进长度为 0mm,液体喷注压降和气体喷注压降均为 0.4MPa,在距离喷嘴出口不同距离时的实验数据如图 3,这些数据表明:随着与喷嘴出口距离的增加,液滴平均直径的测量值不断减小,喷雾锥直径也增大,喷雾的轴向速度趋于平缓。说明雾化过程需要一定的时间和空间,气体和液滴的相互作用使液滴破碎的同时也增加了液滴的速度。以下试验未经说明时,测量位置均为距离喷嘴出口 75mm 处。

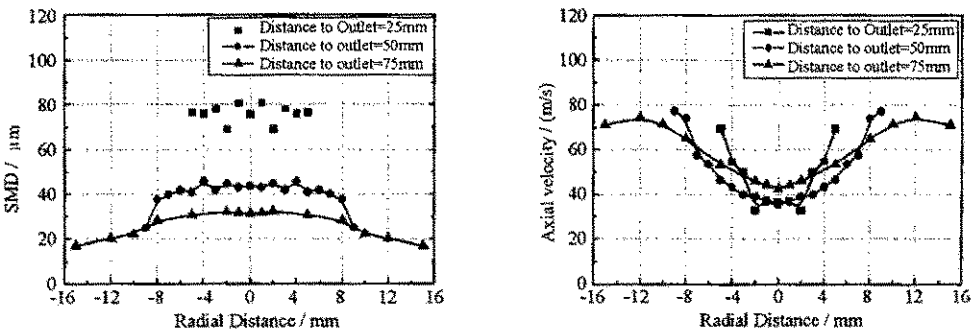


图3 喷嘴出口距离不同时 SMD、轴向速度的比较

Fig.3 Comparison of SMD, axial velocity with different axial distance

2.2 同轴离心式喷嘴出口角度不同时雾化特性的比较

图 4 为同轴离心式喷嘴缩进长度 3mm,液体喷注压降和气体喷注压降均为 0.4MPa,喷嘴出口角度不同时的实验结果,这些数据表明:

(1) 喷嘴出口扩张(张角 10°)降低了喷嘴出口处液雾速度,表现为受气体加速影响较小的喷雾轴线附近的液雾速度略小;

(2) 喷嘴出口扩张时喷嘴出口壁面较薄,提高了的气液相互作用,表现为提高了外层喷雾的速度,降低了外层喷雾的平均直径;

(3) 喷嘴出口扩张增加了液雾的径向速度,表现为喷雾锥直径的增加和液雾的最大流强降低,流强的空间分布更为平缓,有可能使发动机中的混合比更为均匀,从而提高发动机燃烧性能。

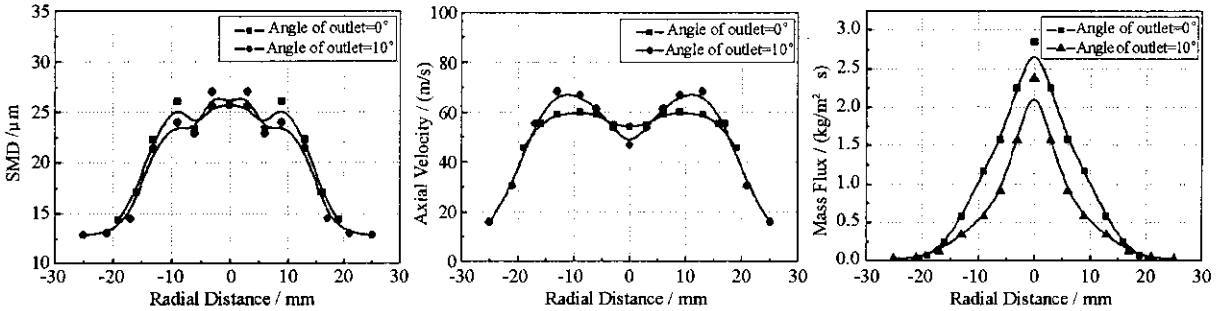


图4 喷嘴出口角度不同时 SMD、轴向速度和流强的比较
Fig.4 Comparison of SMD axial velocity and flux with different exit angle

2.3 同轴离心式喷嘴缩进长度不同时的雾化特性

同轴离心式喷嘴缩进长度不同(喷嘴出口无张角),液体喷注压降和气体喷注压降均为 0.4MPa 时的实验数据如图 5,这些数据表明:

(1) 喷嘴缩进长度增加时,索太尔平均直径逐渐减小,但缩进长度由 3mm 增加到 7mm 时,索太尔直径的变化不大;

(2) 喷嘴缩进长度增加时,半径 10mm 之内的喷雾速度增加(流量主要集中在这一区域),总的来说,缩进长度 3mm 时,喷雾速度分布最均匀;

(3) 喷嘴缩进长度由 0 增加到 3mm 时,流强略有增加;但缩进长度增加到 7mm 时,流强下降很多,液体总流量(流强的面积积分)减小。

喷嘴缩进长度增加时,气体和液体在喷嘴内已经开始混合,可以改善喷雾质量(SMD 减小),内喷嘴缩进长度继续增加时对喷雾质量影响不大,但较大的缩进长度能显著地影响液体的流强分布和大小。综合来看,存在一个合适的缩进长度,在增加喷雾质量的同时不显著改变流量特性。

图 3~图 5 表明:与没有环形气体射流时离心喷雾的空心锥不同,环形气体射流对离心喷雾锥有较强的压缩作用,使流强成为单峰分布,可见有无环形气体射流的离心喷雾是有本质差别的。

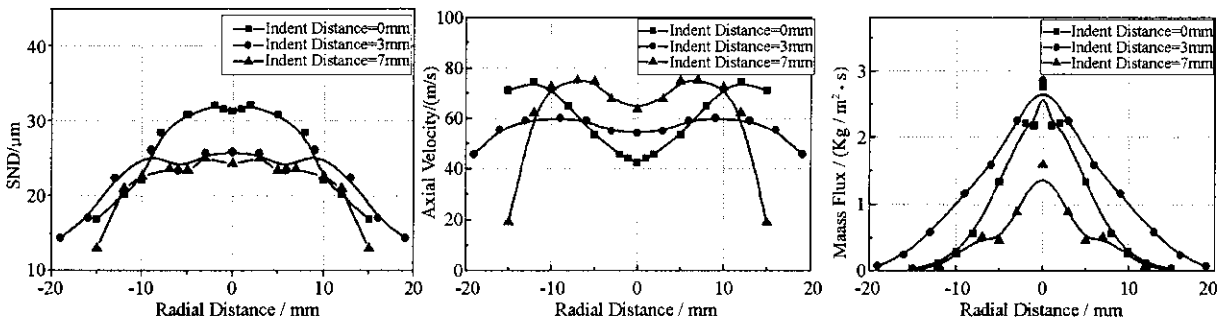


图5 喷嘴缩进长度不同时 SMD、轴向速度和流强的比较
Fig.5 Comparison of SMD axial velocity and flux with different indent distance

2.4 同轴直流式喷嘴缩进长度不同时的雾化特性

同轴直流式喷嘴内喷嘴缩进长度不同时,液体喷注压降和气体喷注压降均为 0.4MPa 时的实验数据如图 6,这些数据表明:

(1) 喷嘴缩进长度由 0 增加到 7mm 时,喷雾索太尔平均直径明显减小;喷嘴缩进长度继续增加时,

喷雾索太尔平均直径改变不明显;

(2) 喷嘴缩进长度增加,喷雾轴向速度增加;

(3) 喷嘴缩进长度增加时流强分布趋于平缓,喷嘴缩进长度由 0 增加到 7mm 时,总流量变化不大,喷嘴缩进长度继续增加时,总流量(流强的面积积分)明显减小。

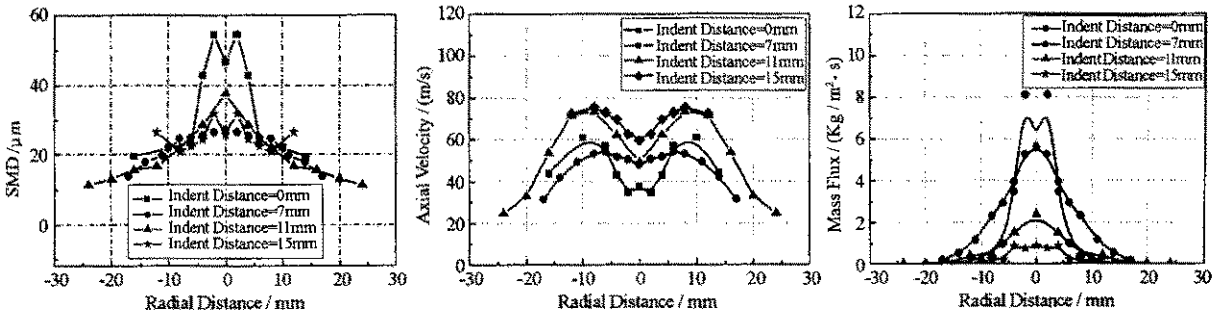


图 6 喷嘴缩进长度不同时 SMD、轴向速度和流强的比较

Fig.6 Comparison of SMD, axial velocity and flux with different indent distance

图 5、图 6 两种试验工况下,气体和液体的流量相差不大。比较可知:气液同轴离心式喷嘴和气液同轴直流式喷嘴的 SMD、轴向速度和流强的空间分布比较相似,SMD 和流强在轴向附近达到最大值的单峰分布,速度为双峰分布。但前者的喷雾锥的直径要略大,SMD 略小。这说明相同条件下气液同轴离心式喷嘴喷雾性能略好于气液同轴直流式喷嘴的喷雾性能。

3 结论

(1) 喷嘴出口有一定的张角时,能增强气液间相互作用,对雾化质量有所改善,并能明显改善流强的分布;

(2) 气液同轴直流式和气液同轴离心式喷嘴都存在一个合适的缩进长度,在改善喷嘴雾化特性的同时对流量特性影响较小。

(3) 在相同条件下,气液同轴离心式喷嘴的喷雾性能略好于气液同轴直流式喷嘴的喷雾性能。

参考文献:

- [1] 杨 V,安德松 W E. 液体火箭发动机不稳定性分析[M].北京:科学出版社,2001.
- [2] 张蒙正,等. 气/液同轴离心式喷嘴流量及雾化特性实验[J].推进技术,2004(1).
- [3] 孙纪国,等. 气液同轴直流式喷嘴喷雾及燃烧试验研究[J].航空动力学报,2000(3).
- [4] 周进,等. 液体火箭发动机气液同轴式喷嘴混合特性实验研究[J].国防科技大学学报,1997(4).
- [5] Beisler M A, Pal S, Moser M D, et al. Shear Coaxial Injector Atomization in a LOX/GH2 Propellant Rocket[R]. AIAA 94-2775,1994.
- [6] Mayer W, Schik A, Schweitzer C, et al. Injection and Mixing Processes in High Pressure LOX/GH2 Rocket Combustors[R]. AIAA 96-2620, 1996.

