

气液同轴式喷嘴缩进比对雾化细度影响的实验*

胡小平 周进 黄玉辉 王振国

(国防科技大学航天技术系 长沙 410073)

摘要 缩进比是液体火箭发动机气液同轴式喷嘴设计中一个重要参数。本文对缩进比对喷嘴雾化特性的影响进行了实验研究。结果表明:在不同工作参数下不同缩进比的喷嘴,其雾化特性有一定的差别。缩进比对雾化细度的影响不如其对雾化的流强和混合比分布及噪声等的影响明显。在气侧压降较小时,缩进比过大过小都不利于雾化;而在气侧压降较大时,缩进比较大或较小都会对雾化有一定的改善。但当缩进比过大时,气液之间的相互作用会使得液体喷注压降明显地波动。

关键词 气液同轴式喷嘴, 雾化, 缩进比

分类号 V434.4

Experimental Investigation of the Influence of Recess Ratio On the Atomization Properties of Coaxial Swirling Injectors

Hu Xiaoping Zhou Jin Huang Yuhui Wang Zhenguo

(Department of Aerospace Technology, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract The Recess ratio (RR) is an important design parameter of gas-liquid coaxial swirling injector in liquid rocket engine. In this paper, an experimental investigation of the influence of RR on atomization properties of injectors has been carried out. The results show that there are certain differences between atomization properties of different injectors of different recess ratios under various working conditions. On the whole, the recess ratio does not affect the atomization so obviously as it does on the flux and mixing ratio characteristics. At low gas injecting drop, neither large RR nor small RR is favorable to atomization, on the contrary, both large RR and small RR will meliorate the atomization at high gas injecting drop. However, with too large RR, the liquid injecting drop vibrates owing to the interaction of between and liquid phases.

Key words gas-liquid coaxial swirling injector, atomization, recess ratio

* 国家自然科学基金资助项目
1995年9月11日收稿

为了使液体燃料雾化后, 具有较小的平均粒径和合理的尺寸分布和流强及混合比分布, 长期以来, 雾化机理的理论和实验研究一直是液体燃料燃烧研究领域的一个重要课题。但雾化机理比较复杂, 它不仅与燃料本身的理化性质有关, 还与喷嘴的几何形状、工作参数甚至声学特性等诸多因素有关。气液同轴式喷嘴是先进的氢氧发动机和其他高压补燃发动机上广泛采用一种喷嘴。有关这种喷嘴在各种工作参数条件下雾化的液滴平均直径和尺寸分布、流强分布及混合比分布等雾化特性的研究已经做了大量的工作^[1, 2, 3], 考察了不同气液喷注压降等参数的影响。而针对气液同轴式喷嘴的缩进比这一特殊因素对雾化特性影响的研究尚未见诸报道。本文在对大流量气液同轴离心式喷嘴的水/空气冷态实验中, 着重对仅只有缩进量(此时亦即缩进比)不同的一组喷嘴进行了一系列的实验, 以分析这一因素对雾化特性的影响。

1 实验设备和测量手段

目前, 喷雾场雾化特性的测量广泛采用非接触式的光学测量方法, 如激光全息测雾技术、激光散射测雾技术、激光相多卜勒测雾技术等。本实验采用 MF 激光散射粒度分析仪(使用 Mie 和 Fraunhofer 衍射理论)^[2, 3, 5], 并采用了 Felton 方法对稠密液雾进行遮光率修正^[4]。

液雾的尺寸分布规律采用 Rosin-Rammler 分布规律来描述, 即:

$$w = 1 - \exp[-(d/\bar{x})^k] \quad (1)$$

其中, w 为直径小于 d 的粒子体积占粒子群总体积的百分数, k 和 \bar{x} 是 Rosin-Rammler 分布的特征参数, k 越大则粒子直径越集中于某一尺寸, 即雾化的颗粒越均匀。 \bar{x} 反映了粒子群的平均直径, 它与 Sauter 平均直径 SMD 之间的关系为:

$$SMD = \bar{x}/\Gamma(1 - 1/k) \quad (2)$$

其中 Γ 是伽玛函数。

实验装置由高压气源、气体储箱、液体储箱、管路、阀门、流量计、气压表和喷嘴夹具等组成^[2, 3]。

图 1 是实验所用气液同轴式喷嘴的结构示意图, 其尺寸参数列在表 1 中。喷注器中心是切向进液的离心式液体喷嘴, 外部是径向进气的环形直射式气体喷嘴。缩进比 RR (Recess Ratio) 即指缩进量 L 与直径 D_3 之比:

$$RR = L/D_3 \quad (3)$$

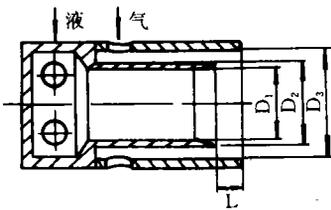


图 1 喷注器结构示意图

表 1 喷注器结构尺寸(mm)

喷注器	D_1	D_2	D_3	L
1	4.8	7.2	9.8	13.2
2	4.8	7.2	9.8	8.84
3	4.8	7.2	9.8	4.62
4	4.8	7.2	9.8	0.0

2 实验结果

实验是在常温常压下用水和空气作介质进行的。通过调整气体喷注压降 P_g 和液体喷注压降 P_l 作为控制参数, 实验工况如表 2 所述。雾化细度是在距喷嘴下游轴向距离 140mm 处测得。

表 2 实验工况

P_l	0.1			0.2		
P_g	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3

图 2 和图 3 给出了缩进比对 SMD 影响的曲线。由图可见, 在不同的气体喷注压降状态下, RR 对 SMD 的影响规律是不同的。当气体喷注压降较小时(如图 2、图 3 中第一条曲线), $SMD-RR$ 关系是下凹的, 即随缩进比的增加, 雾化平均直径 SMD 先下降后增加, 也就是说, 在气液比较低时, 缩进比取得过大过小都不利于雾化。但当气液比较高时, $SMD-RR$ 关系变成上凸的, 即随着 RR 的增加 SMD 先增大然后又减小。这意味着在气液比较高时, RR 较小(接近零)和较大的喷嘴的雾化效果要更好一些。然而, 当缩进比过大时, 气液相互作用使得液体喷注压降明显波动, 相应喷雾也发生明显波动, 这有可能导致燃烧不稳定。所以, 在发动机喷注器设计中合理选择气液同轴式喷嘴的缩进比是十分重要的。

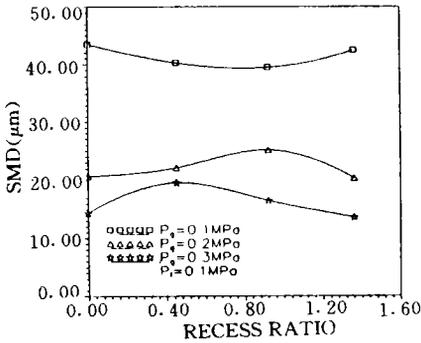


图 2 $SMD-RR$ 关系

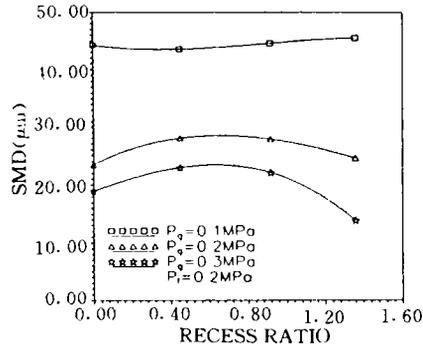


图 3 $SMD-RR$ 关系

气液同轴离心式喷嘴具有气动雾化和压力雾化的双重特点, 并以气动雾化为主^[1, 2]。通常, 影响气液同轴离心式喷嘴雾化特性的因素有: (1)气流对液膜的直接冲击作用; (2)液膜与同轴喷嘴气流环的外壁面的撞击; (3)高速气流对液滴的气动剥离, 使较大液滴发生二次破碎; (4)稠密液雾中液滴之间因碰撞而产生的破碎和复合; (5)液膜受气流压迫而引起的中心轴处的互击雾化等等。这些因素的共同作用, 使喷嘴的雾化过程变得极其复杂, 也给分析 RR 对 SMD 的影响带来很大的难度。

在气液比较低时, 液流的离心雾化作用占有一定的相对比重, 不可忽略。这时, 气流对雾化主要有两方面的影响, 一方面气流冲击液膜并使之产生扰动, 加速液膜的破碎雾化; 但另一方面, 气流又将液膜压向喷嘴中心轴线, 不利雾化。对缩进比较小的喷嘴, 气流对液膜的压迫作用较小, 而撞击作用较明显, 故 SMD 随缩进比增大而下降。对缩进比较大的喷嘴, 由于气液在喷嘴内部流动距离较长, 而气流速度并不高, 部分液滴将发生复合。因此, 对低气液比而言, RR 过大过小都不利于雾化。正如图 2、图 3 的第一条曲线

所示。

而在高气液比情况下,气动雾化的影响占明显优势,离心雾化因素几乎可以忽略,气流对液膜的作用主要通过气动剥离和二次雾化。另一个重要的因素就是气流对液膜的压迫作用:由于气侧气体与液膜旋涡中心的压差存在,气流有压迫液膜的作用,使液膜在中心轴处产生互击从而引起液膜的破碎和雾化。笔者认为这是中心为旋液、外部为气流的气液同轴式喷嘴在

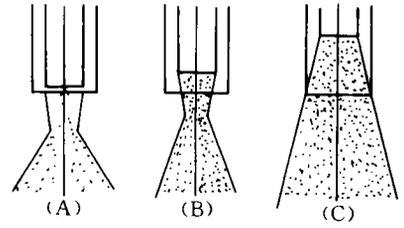


图4 喷注器流态示意图

一定气液比参数范围中一个不可忽视的因素,应予以注意。当缩进比较小,气流冲击液膜的作用较强,直接给液膜以扰动,雾化比较细,如图4(A)所示。而当缩进比增大时,由于压迫产生的液体互击作用增强,互击产生的颗粒比气动雾化产生的颗粒要粗,参见图4(B)。随 RR 进一步增加,液气混合两相流在喷嘴内部的流动和混合距离变长,由于此时气流速度很高,二次雾化使得雾化效果变得更好,如图4(C)所示。故 $SMD-RR$ 曲线在气液比较高时呈上凸形。

总的说来,缩进比对雾化平均尺寸的影响作用不是很大,但研究已表明它对喷嘴的其它特性如流强分布、混合特性、噪声等的影响则比较大^[2,3]。因此,在设计气液同轴式喷嘴时,应主要从其它方面而不是雾化角度来考虑缩进比的选取。

3 结 论

(1)缩进比对 SMD 影响比较复杂,当气侧压降 P_g 较小时, $SMD-RR$ 曲线是下凹的,当气侧压降 P_g 较大时, $SMD-RR$ 曲线是上凸的;

(2)总体上看,缩进比对雾化平均直径的影响不是很显著,气液同轴式喷嘴设计时的缩进比选取,应当主要从缩进比对流强和混合特性及噪声等因素的影响方面来考虑。

参 考 文 献

- 1 Wu J X, et al. Studies on Large Flux Coaxial Injector Spray Model and Atomization, AIAA 93-2160, 1993
- 2 吴晋湘. 不同反压下大流量气液同轴式喷嘴雾化特性及喷雾两相流场的试验和理论研究: [学位论文]. 长沙: 国防科技大学, 1993
- 3 周进等. 液体火箭发动机气液同轴式喷嘴声学特性的实验研究. 推进技术, 1996(4)
- 4 Felton P G, et al. Measurement of Drop Size Distribution in Dense Spray by Laser Diffraction. I-CLASS-85, IVA/4/1, 1985
- 5 王兴甫. 高压环境中空气雾化喷嘴的雾化特性. 推进技术, 1994(4): 47~53

(责任编辑 石少平)