

# 液体火箭发动机气液同轴式喷嘴混合特性实验研究\*

周 进 胡小平 黄玉辉 王振国

(国防科技大学航天技术系 长沙 410073)

**摘 要** 本文通过实验研究了液体火箭发动机气液同轴离心式喷嘴的混合特性。利用两相探针技术,测量了喷嘴下游喷雾流场中气液流强和混合比分布,考察了喷嘴缩进比和气液喷注压降等参数对混合特性的影响。结果表明,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,而改变气液喷注压降将导致不同的流强和混合比分布规律。

**关键词** 气液同轴离心式喷嘴,混合特性,缩进比

**分类号** V434.4

## A Study of the Mixing Characteristics of Gas-Liquid Coaxial Swirling Injector of Liquid Rocket Engine

Zhou Jin Hu Xiaoping Huang Yuhui Wang Zhenguo

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

**Abstract** This paper presents an experimental study on the mixing characteristics of gas-liquid coaxial swirling injector of liquid rocket engine. A two-phase probe technique was employed to measure the distributions of gas and liquid mass flux and mixing ratio in sprays. The effects of the recess ratio of injector and the pressure drop of gas and liquid injection on the mixing characteristics were investigated. The results show that the recess ratio of injector plays a significant role in the mixing between gas and liquid flows from the coaxial swirling injector. Increasing the recess ratio will result in more uniform mixing between gas and liquid, and changing the pressure drop of injection will result in different distribution of mass flux and mixing ratio.

**Key words** gas-liquid coaxial swirling injector, mixing characteristics, recess ratio

\* 1997 年 1 月 5 日收稿

在液体火箭发动机中，燃料和氧化剂在燃烧室中的分布和混合比是影响发动机燃烧性能的重要因素，尤其是对于氢氧火箭发动机，推进剂的混合比是决定发动机燃烧性能的最重要控制因素，而推进剂的混合又主要依赖于发动机喷注器的混合特性。目前，气液同轴式喷嘴已在各种先进的氢氧发动机和高压补燃发动机上广泛采用，对于其混合特性国内外也都开展了一些研究<sup>[1-4]</sup>，但已发表的主要工作大都针对气液同轴直流式喷嘴，而对于气液同轴离心式喷嘴则研究得比较少。

## 1 实验装置及测量技术

实验所用气液同轴离心式喷嘴的结构如图 1 所示。喷嘴中心是切向进液的离心液体喷嘴，外部是径向进气的环形直射式喷嘴。喷嘴的主要结构参数在表 1 中。与其它喷嘴不同的是，气液同轴式喷嘴内外气液流之间存在着强烈的相互作用，这种相互作用的程度主要与中心液体喷嘴的缩进比  $RR (L/D_3)$  及气液喷注压降有关。为了考察喷嘴缩进比对混合特性的影响规律，实验采用了 4 个具有不同缩进比的喷嘴。实验在大气环境中进行，所用介质是水和空气，实验控制参数为气液喷注压降。

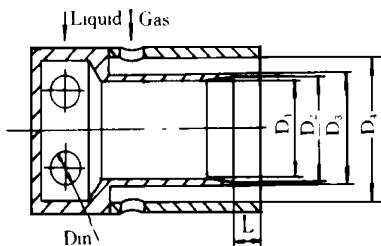


图 1 喷嘴结构示意图

表 1 实验喷嘴主要结构尺寸 (mm)

喷嘴编号	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$L$	$RR$
1	4.8	7.2	9.8	13.2	1.35
2	4.8	7.2	9.8	8.84	0.90
3	4.8	7.2	9.8	4.62	0.47
4	4.8	7.2	9.8	0.0	0.0

整个实验装置和测量系统如图 2 所示。实验装置由高压气源、气体贮箱、液体贮箱、控制阀、流量计、管路及喷嘴夹具组成。实验采用文献 [4] 中研制的气液两相探针测量装置对喷雾流场中气体和流强及其分布进行测量。其测量原理是：液相流强由探针收集法测量，而气相流强则通过探针所测的当地总静压差算出速度，再乘以当地气体密度得到。由于同时测得同一点

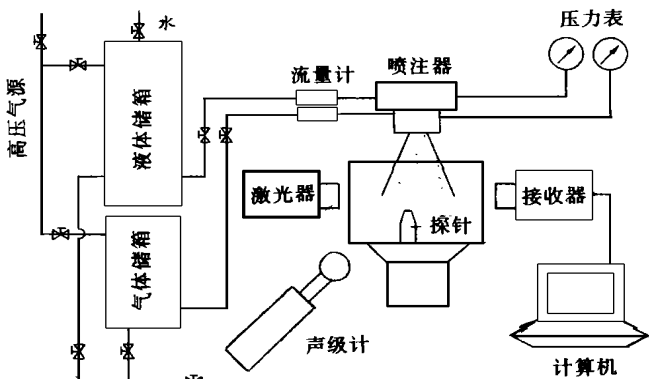


图 2 实验系统简图

的气相和液相流强，其比值就是当地的气液混合比。两相探针安装在一个可移动的二维支架上，因此可对整个喷雾截面上流强和混合比分布进行测量。喷嘴与探针之间的距离通过调节喷嘴夹具的轴向位置来确定。为了提高气相速度的测量精度，两相探针需由校准过的标准风洞测速管进行标定。此外，气相速度测量还需对液相颗粒的影响进行修正，为此必须测出当地的喷雾颗粒平均直径。

## 2 实验结果和分析

实验在大气环境中进行，气体喷注压降的变化范围为 0.1 ~ 0.3 MPa，液体喷注压降的变化范围为 0.1 ~ 0.2 MPa，测量时两相探针离喷嘴出口轴向距离为 150 mm。

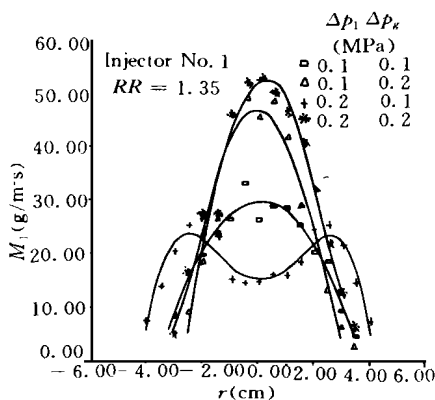


图 3 液体流强分布 (1号喷嘴)

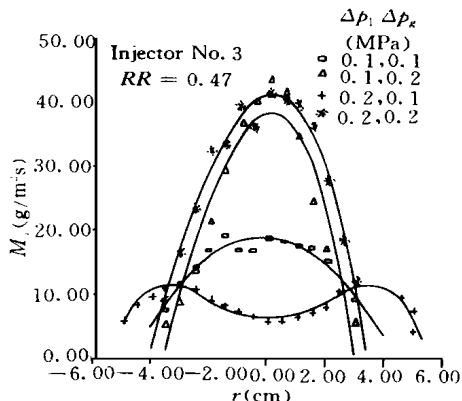


图 4 液体流强分布 (3号喷嘴)

图 3、图 4 给出了两个不同缩进比喷嘴 (1 号和 3 号喷嘴) 在不同气液喷注压降下，喷雾流场中液体流强的分布。由图可见，液体喷注压降越高，液体的流强分布就越宽；而气体喷注压降越高，液体流强分布就越窄，并且随气体喷注压降的增大，液体流强分布的峰值也越高，这反映了外侧气体的挤压作用。当液体喷注压降增高，而气体喷注压降降低时，液体流强分布为 m 型。但随着气体喷注压降的提高，液体喷注压降逐渐从 m 转变为 n 型。比较图 3 和图 4 可以看出，喷嘴缩进比变化时气液同轴式喷嘴流强分布有显著的影响，缩进比越大，液体流强分布就越窄，

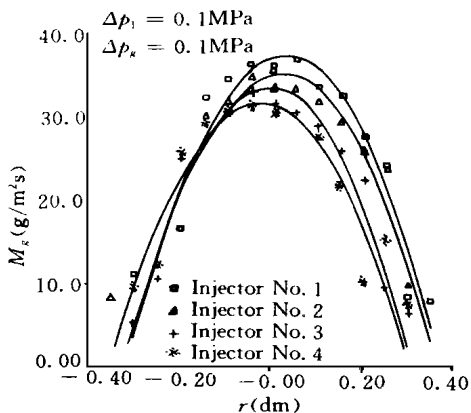


图 5 不同缩进比喷嘴的气体流强分布

且峰值也越高。另外，实验中还发现，对于气液同轴式喷嘴在一定的工作条件下，喷嘴会产生高频声学振荡，这种声学振荡能引起喷嘴雾化角的增大，因而使得液体流强分布变宽<sup>[5]</sup>。

图 5 所示为 4 个不同缩进比喷嘴的气体流强分布。在实验参数范围内所有的气体流强分布都是 n 型的。喷嘴的缩进比越大，气体流强分布的峰值就越高，即喷雾射流沿轴向的速度衰减越慢，喷雾越长。实验结果还表明提高气体喷注压降将导致更窄的气体的流强分布；而提高液体喷注压降，则将导致稍宽的气体流强分布，反映了中心液流对周围气液的排挤作用。这种影响的程度相对于前面所述气液喷注压降对液体流强分布的影响要小得多，可见液体流强分布对气液喷注压降的变化更为敏感些。

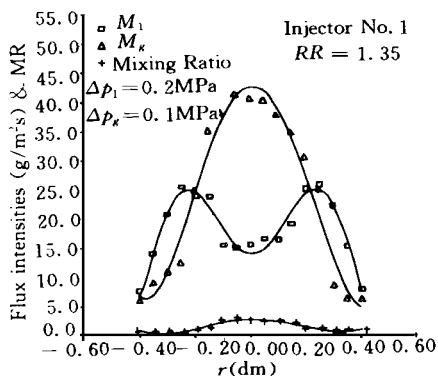


图 6

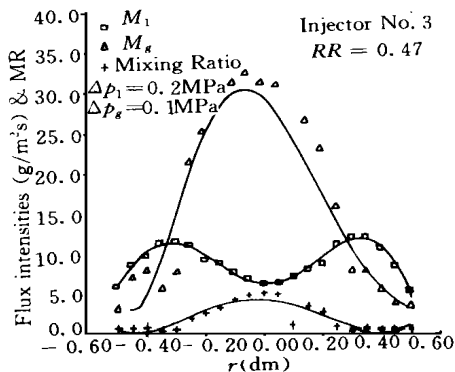


图 7

图 6、图 7 同时给出了两个不同缩进比喷嘴的气液流强和混合比分布。其中混合比定义为当地气体流强与液体流强之比。由图可见，尽管随着喷嘴缩进比的增大，气液流强分布都变窄，但气液混合比分布却变得更加均匀，这说明增大喷嘴缩进比有利于强化推进剂的混合。但实验中也发现，当缩进比过大时，会引起液体流量的降低和液体喷注压降的脉动，这对于发动机燃烧稳定是不利的<sup>[6]</sup>，因此在喷嘴设计中选择适当的缩进比是非常重要的。

气液喷注压降对混合比分布的影响比较复杂。图 8 给出了 2 号喷嘴在不同气液喷注压降下的混合比分布。随气液喷注压降的不

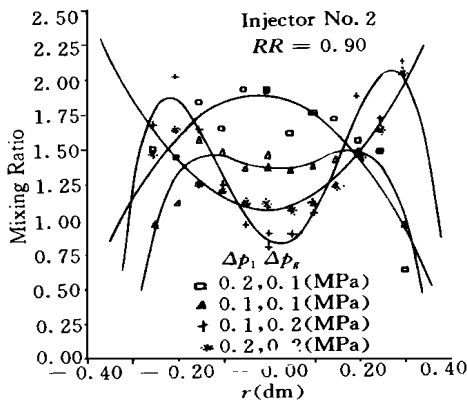


图 8 不同气液喷注压降下的混合比分布

同, 气液混合比有 n 型, m 型和 u 型等多种。总体来讲, 随着气体喷注压降的增大, 混合比分布由 n 型变为 u 型, 这反映了随着气体喷注压降的增大, 液体逐渐向中心集中这一趋势。

### 3 结 论

(1) 对于气液同轴离心式喷嘴, 缩进比对喷嘴的混合特性有显著影响。缩进比越大, 气液混合越均匀, 增大喷嘴缩进比将导致更窄更长的喷雾。

(2) 不同的气液喷注压降将产生不同的流强和混合比分布规律。增大气体喷注压降, 将导致气液流强分布变宽, 且液体流强分布对喷注压降的变化更为敏感。

### 参 考 文 献

- 1 Mehegan P F, Campbell D T, Scheuermam C H. Investigation of Gas-augmented injector, NASA CR-72703, 1972
- 2 八柳信之. 气液同轴型喷射要素による 喷雾流の 实验及ひ 解析 (1). (Japan) NALTR-692, 1982
- 3 八柳信之. 气液同轴型喷射要素による 喷雾流の 实验及ひ 解析 (2). (Japan) NALTR-745, 1982
- 4 吴晋湘. 不同反压下大流量气液同轴离心式喷嘴雾化特性及喷雾两相流场的实验和理论研究: [学位论文] 长沙: 国防科技大学, 1993
- 5 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): 37~41
- 6 周进等. 氢氧发动机气液同轴式喷嘴流量特性的实验研究. 航空动力学报, 1996 (4): 397~400

(责任编辑 石少平)