

# 不同结构形式气液同轴式喷嘴的流量特性\*

周 进 童荣瑜 沈赤兵 黎勤武 王振国

(国防科技大学航天技术系 长沙 410073)

**摘 要** 本文通过实验方法对两种不同结构形式的气液同轴式喷嘴流量特性进行了研究,重点考察了喷嘴内气液相互作用和环境反压的变化对喷嘴流量特性的影响,研究结果表明同轴离心式喷嘴内气液相互作用比同轴直流式喷嘴内气液相互作用要强。对于这两种喷嘴,反压的变化对气相流量的影响规律相同,而对液相流量的影响规律却不同。

**关键词** 气液同轴式喷嘴, 流量特性, 实验研究

**分类号** V434

## The Flowrate Characteristics of Gas-liquid Coaxial Swirling and Unswirling Injectors

Zhou Jin Tong Rongyu Shen Chibing Li Qinwu Wang Zhenguo

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

**Abstract** This paper presents the result of an experimental study on the flowrate characteristics of coaxial swirling injector and coaxial unswirling injector. Effects of the interaction between gas and liquid flows in injector and the change of environmental pressure on the flow rate characteristics of injectors are investigated. The results show that the effect of the interaction between gas and liquid flows is much more significant for coaxial swirling injector than that for coaxial unswirling injector, and that increasing environmental pressure results in the same effects on the gas flowrate characteristics, but effects on the liquid flowrate characteristics for these two type injectors are different.

**Key words** gas-liquid coaxial injector, flow rate characteristics, experimental study

气液同轴式喷嘴由于其优良的雾化和混合特性已被广泛用于各种先进的液体火箭发动机,目前常用的气液同轴式喷嘴的结构形式主要有两种,一种是同轴离心式,另一种是同轴直流式。对于以上两种形式的喷嘴,国内外都开展了广泛的研究<sup>[1~4]</sup>,但大部分的研究工作都主要是针对同一种形式的喷嘴。本文作者通过实验同时对同轴离心式和同轴直流式两种不同结构形式喷嘴的流量、混合和雾化等重要特性进行了系统的研究和比较。

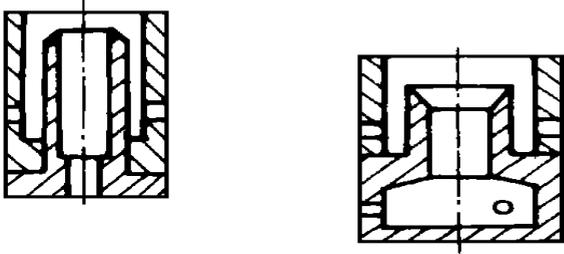
### 1 实验系统和方法

本实验分别对气液同轴离心式喷嘴和气液同轴直流式喷嘴特性进行了研究。喷嘴的结构如图 1 所示。实验以水和空气作为模拟介质。实验控制参数为气、液喷注压降和环境反压。

整个实验系统如图 2 所示。该系统由高压气源、气液储箱、管路、阀门、流量计、压力表、喷嘴及其夹具、反压容器、两相探针和激光散射测粒系统等组成。测量参数包括气液喷注压降、气液流量、喷雾流场气液流强分布、喷雾的平均直径及其尺寸分布等。

本文以下将给出有关喷嘴流量特性的实验结果及其分析。为了考察喷嘴内气液相互作用对喷嘴特性的影响,在流量特性测量时,首先分别测量气、液相单独存在时的流量特性,然后再对不同喷注压降和不同环境反压条件下气液共存时的流量特性进行测量。

\* 国家 863 项目资助  
1999 年 3 月 5 日收稿  
第一作者:周进,男,1960 年生,教授



a. Swirling injector  
a. 离心式喷嘴  
b. Unswirling injector  
b. 直流式喷嘴

图1 喷嘴结构  
Fig.1 Injector structure

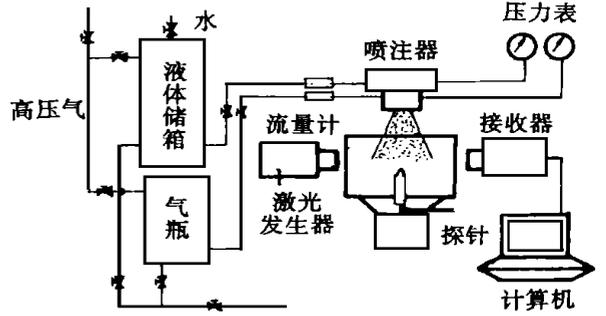


图2 实验系统  
Fig.2 Experimental system

## 2 实验结果及分析

### 2.1 同轴离心式喷嘴的流量特性

图3为常压条件下同轴离心式喷嘴气液流量随喷注压降的变化曲线。从图中可以看出，气相流量 $Q_g$ 随气相喷注压降 $\Delta P_g$ 的升高而变大。在有液相存在的情况下，相同 $\Delta P_g$ 下的气相流量 $Q_g$ 随 $\Delta P_1$ 的增大而减小。这是因为离心式喷嘴呈锥形向外喷射的液体减小了气相流通面积，同时还对气相产生粘性阻力。在各种条件下， $Q_g - \Delta P_g$ 大致都保持了线性的特点。根据可压流理论，在喷嘴出口达到声速的条件下，气体流量与喷注压降基本成线性关系，这与以上实验结果吻合。

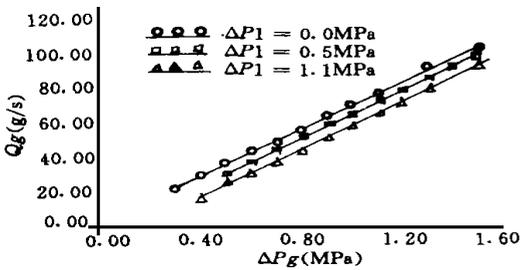
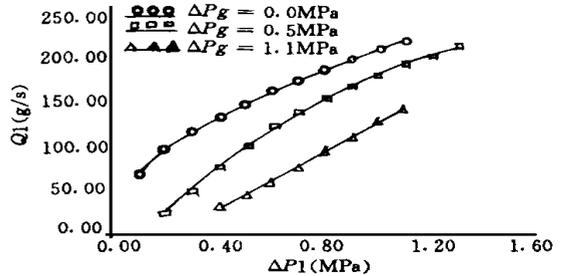


图3 同轴离心式喷嘴的流量特性

Fig.3 Flow rate characteristics of coaxial swirling injector



喷嘴液相流量 $Q_1$ 随液相喷注压降 $\Delta P_1$ 的增大而增大。在无气相存在或气相流量较小时， $Q_1 - \Delta P_1$ 曲线大致为抛物型曲线；而当 $\Delta P_g$ 较高时， $Q_1 - \Delta P_1$ 曲线近似为线性。根据不可压流理论，液相流量 $Q_1$ 与液相喷注压降 $\Delta P_1$ 成抛物形关系。但当有气相存在时，气体流动将导致液相流量减小，并且当气体喷注压降越高，液体喷注压降越低时，这种影响越大。从以上结果还可以看出，气相对液相流量的影响比液相对气相流量的影响大得多，这主要是由于可压缩流体（即气体）在喷嘴出口迅速膨胀，并使得离心式液体喷嘴中心气涡压力提高，从而导致液相流量明显减小。这种影响尤其是在喷嘴缩进比较大时更加明显<sup>[3]</sup>。

### 2.2 同轴直流式喷嘴的流量特性

图4为同轴直流式喷嘴的气液流量随喷注压降的变化曲线。从图中可以看出，气相流量 $Q_g$ 随气相喷注压降 $\Delta P_g$ 升高而增大，不论是有液相存在，还是没有液相存在， $Q_g - \Delta P_g$ 曲线基本上保持了线性的特点，而且液相的存在对气相 $Q_g - \Delta P_g$ 曲线基本没有影响。由此可见，该同轴直流式喷嘴气液两相之间

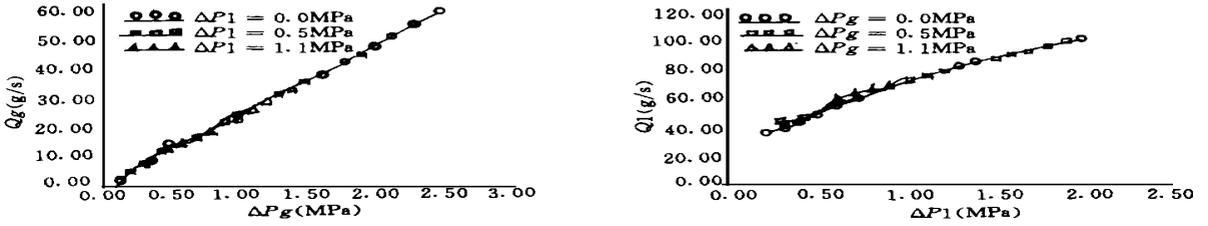


图4 同轴直流式喷嘴的流量特性

Fig. 4 Flowrate characteristics of coaxial unswirling injector

的相互作用很小。

喷嘴液相流量  $Q_l$  随喷注压降  $\Delta P_l$  的增大而增大, 并呈抛物型关系。同样地对于该直流式喷嘴, 气相的存在对液相流量影响很小, 只有在液体喷注压降很低时, 气体喷注压降的变化才导致液相流量略有波动。

### 2.3 反压条件下喷嘴的流量特性

#### (1) 同轴离心式喷嘴

图5为同轴离心式喷嘴在常压(即反压为零)和反压条件下气液相流量曲线, 从图中可见随着反

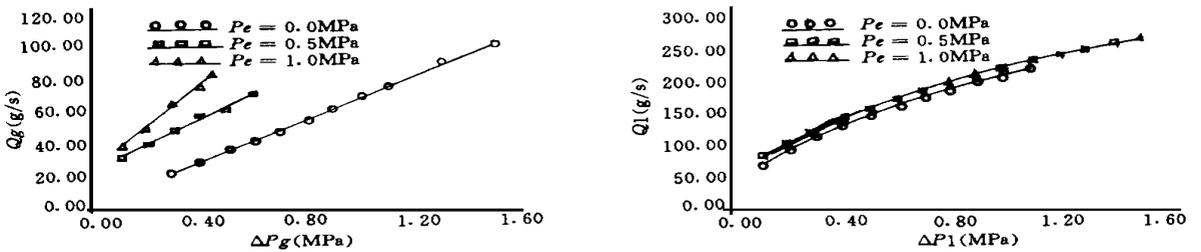


图5 同轴离心式喷嘴在不同反压条件下的流量特性

Fig. 5 Flowrate characteristics of coaxial swirling injector under different environment pressure

压增大, 气体流量明显增大, 这主要是因为反压越高, 气体密度越大, 从而流量也越大。在同一个反压条件下气体流量随喷注压降的变化规律与常压下基本相同。反压的变化对液相流量基本没有影响, 在反压条件下液相流量随喷注压降的变化与常压下完全相同, 并呈抛物型变化。

实验中还发现, 反压的存在增强了液相对气相的影响, 但减小了气相对液相的影响。实际上, 反压的提高, 使气相密度增大, 并使得气相流速降低, 特别在气相喷注压降较低时, 喷嘴出口变成亚音速流, 亚音速气流较容易受到液相的影响。而另一方面, 反压减小了气相对离心式液相喷嘴出口气涡压力影响的程度, 从而减小了气相对液相的影响。

#### (2) 同轴直流式喷嘴

图6为同轴直流式喷嘴在不同反压下的气液相流量曲线。从图中可见, 反压增大时, 气相流量增大。另外, 在反压为1MPa的情况下, 当气体喷注压降较低时, 流量随喷注压降的变化已表现出低流速的抛物型特性。

对于液相流量, 随着反压的增大, 液相流量明显增大。这不同于以上离心式喷嘴, 似乎也与不可压流体流量仅与喷注压降有关而与反压无关矛盾。进一步的分析表明, 该直流式喷嘴在实验条件下, 喷嘴内已发生局部气蚀, 导致流量系数明显减小, 而提高反压将减小或消除气蚀, 从而提高流量。从图中曲线可以明显看出, 在反压条件下液相流量变化存在两个明显不同的变化区间。

同样地, 对于同轴直流式喷嘴, 在反压下气液相之间相互影响很小。

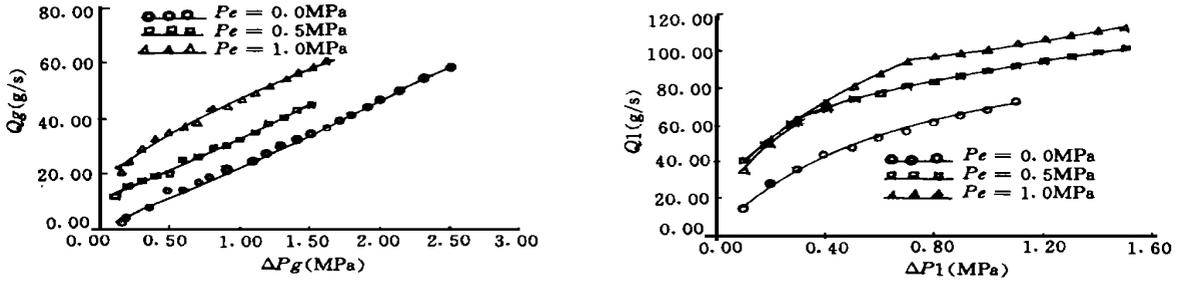


图6 同轴直流式喷嘴在不同反压条件下的流量特性

Fig. 6 Flow rate characteristics of coaxial unswirling injector under different environment pressure

### 3 结论

通过对以上两种不同结构形式喷嘴的实验研究可以看出,同轴离心式喷嘴虽然在雾化和混合方面具有一定的优势,但气液相流量之间相互影响比较大,尤其是当喷嘴缩进比较大时,这种影响更加明显。而同轴直流式喷嘴气液流量之间基本上没有影响。对这两种喷嘴,提高反压都将导致气体流量的增加。但对同轴离心式喷嘴,反压的变化对液体流量基本无影响,而对同轴直流式喷嘴,提高反压将导致液体流量的增加。

### 参考文献

- 1 安德列耶夫 A B 等. 气液喷嘴动力学. 北京: 宇航出版社, 1996
- 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 [博士学位论文]. 长沙: 国防科技大学航天技术系, 1993
- 3 Zhou Jin et al. Flowrate and Acoustics characteristics of Coaxial Swirling Injector of Hgdenrogen/Oxygen Rocket Engine. AIAA 96-3135, 1996
- 4 Ghafourian A, Mahalingam S, Dindi H, Daily J W. A Review of Atomization in Liquid Rocket Engine. AIAA 91-0283, 1991