

氢氧发动机气液同轴式喷嘴 流量特性研究*

国防科技大学 周进** 胡小平 黄玉辉 王振国

【摘要】 从实验和理论两个方面对氢氧发动机气液同轴式喷嘴的流量特性进行了研究。通过冷流实验测量了具有不同喷嘴缩进比的气液同轴式喷嘴流量随气液喷注压降的变化规律,考察了喷嘴内气液相互作用对喷嘴流量特性的影响,结果表明,气液相互作用对喷嘴气液流量都有一定影响,并且喷嘴缩进比愈大,影响也愈大。同时还提出了一个简化的气液同轴式喷嘴流量计算模型。理论与实验结果的比较证明了模型的合理性和可用性。

主题词: 喷嘴 流量 流动特性

分类号: V233.22

美国、日本和前苏联都对气液同轴式喷嘴的有关特性开展了研究,尤其是对喷嘴的雾化特性和喷雾流场分布进行了大量的实验和理论研究^[1]。但是相对于普通的离心式和直流式喷嘴而言,人们对气液同轴式喷嘴的流量特性了解得较少,在国内已开展的工作也都主要集中在雾化特性方面。本文针对我国氢氧发动机研制工作,通过对氢氧发动机气液同轴式喷嘴的冷流实验,对喷嘴的气液流量特性进行了测量和分析,考察了喷嘴结构和工作参数对喷嘴流量特性的影响,同时还提出了一个简化的气液同轴式喷嘴流量计算模型。

1 实验设备

实验所用气液同轴式喷嘴的结构如图 1 所示。喷嘴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。喷嘴的主要结构尺寸参数列在表 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(L/D_3) 和气液喷注压降有关。为了考察喷嘴缩进比对其流量特性的影响,实验采用了 4 个

表 1 实验喷嘴主要结构尺寸(mm)

喷嘴编号	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	0.00

具有不同缩进比的喷嘴。实验控制参数为气、液喷注压降。实验在大气环境中进行,所用介质为水和空气。

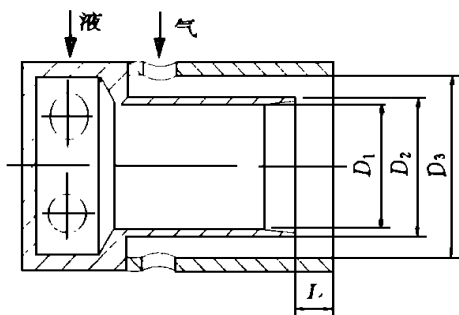


图 1 喷嘴结构示意图

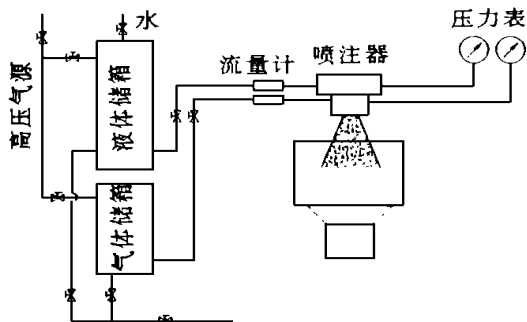


图 2 实验系统简图

实验系统如图 2 所示。喷嘴的气体 and 液体流量分别由装在气、液管路中的涡轮流量计测量。

2 实验结果及分析

图 3 所示为气体喷注压降一定时, 喷嘴液体流量随液体喷注压降的变化。由图可见, 液体流量随喷注压降的增大而增大, 在对数坐标下流量与喷注压降基本成线性关系, 这与普通离心式喷嘴的流量特性是一致的, 但是对气液同轴式喷嘴, 液体流量也受外侧气流的影响。

图 4 进一步给出了不同喷嘴气体喷注压降对液体流量的影响。可以看出环形通道中气体流动对于中心液体流量有一定影响, 并且喷嘴的缩进比愈大, 气流对液流的影响也愈大。气流对液流的影响主要有两个方面: 一方面是气体压迫中心液膜并导致离心式喷嘴中心气涡压力的提高, 从而减少液体流量; 另一方面高速喷出的气体对液体具有一定的引射作用, 从而增大液体流量。对于缩进比最大的 1 号喷嘴, 液体流量随气体喷注压降的增大明显减小, 这说明上述第一种影响占主导地位。而对于缩进比较小的其它 3 个喷嘴, 液体流量随气体喷注压降的增大先减小然后又增大。另外, 实验中还发现当喷嘴缩进比较大时, 提高气体喷注压降将导致液体喷注压降的明显波动, 这对于发动机的燃烧稳定是不利的。

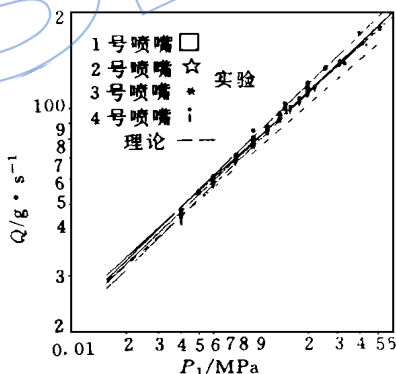


图 3 不同缩进比喷嘴液体流量随液体喷注压降的变化

图 5 所示为液体喷注压降一定时, 喷嘴气体流量随气体喷注压降的变化。可以看出气体流量随气体喷注压降的增大而增大, 并且初始上升较快, 然后基本成线性变化。

对于气液同轴式喷嘴, 中心液流对气体流量的影响主要是由于液膜扩展, 减小了气体流通面积, 从而导致了气体流量的减小。另外, 雾化后进入气相的液滴对气体流动将产生一定的阻力作用, 也会导致气体流量的减小。图 5 中同时给出了缩进比最大的 1 号喷嘴和缩进比为零的 4 号喷嘴的气体流量随喷注压降的变化关系。可以看出, 当气体喷注压降较低时, 1 号喷嘴的气体流量明显小于 4 号喷嘴, 这说明喷嘴缩进比愈大, 液流对气流的影响也愈大。但随着气体喷

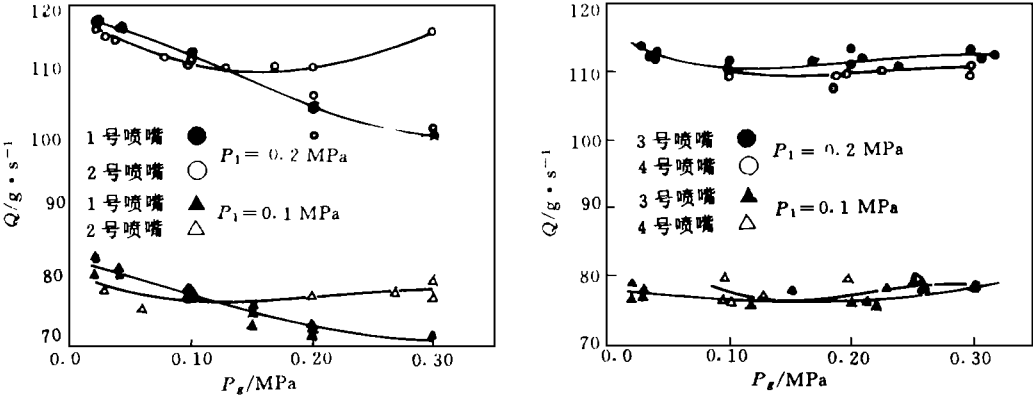


图 4 不同缩进比喷嘴气体对液体流量的影响

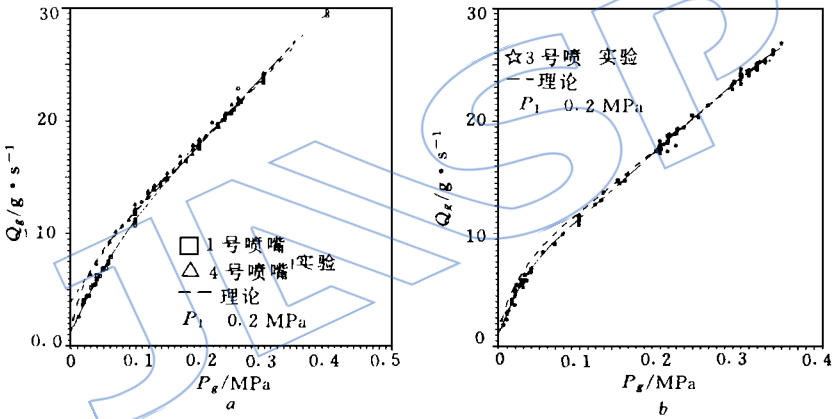


图 5 不同缩进比喷嘴气体流量随气体喷注压降的变化

注压降的提高,液流对气流的影响明显减弱,图中两个喷嘴的流量曲线逐渐重合。

3 气液同轴式喷嘴流量计算的简化模型

以上实验结果表明,气液同轴式喷嘴内气液流动之间的相互作用对于喷嘴的流量特性有一定影响,其影响程度随喷嘴缩进比的增大而增大。但在喷注器的初始设计时,可以暂时先忽略这种影响进行流量计算,然后再通过冷试对流量进行精确标定。

(1) 液体流量计算

对于中心液体喷嘴,其流量可按离心式喷嘴进行计算:

$$Q_l = \mu_l A_n \sqrt{2\rho_l \Delta P_l}$$

(1)

流量系数 μ 可由喷嘴的几何特征参数给出^[2]:

$$\mu = \frac{\varphi}{2 - \varphi}, \quad A = (1 - \varphi) \frac{2}{\varphi}$$

(2)

根据文献[3]进一步对液体粘性喷嘴结构的影响进行修正,当喷嘴出口处雷诺数 $Re \leq 16000$ 时,修正后的流量系数

$$\mu_{ls} = 1.173A^{0.13}(d_s/d_2)^{0.5}Re^{-0.108}\mu_l \quad (3)$$

当喷嘴出口处雷诺数 $Re > 16000$ 时,修正后的流量系数

$$\mu_{ls} = 0.5A^{0.13}(d_s/d_2)^{0.5}\mu_l \quad (4)$$

其中 d_s 为离心喷嘴旋流室内液体的平均悬臂直径, d_2 为离心喷嘴出口直径。

(2) 气体流量计算

对于环形通道中的气体流动,其流量可写成:

$$Q_g = \mu_g A_t V_t \rho_t \quad (5)$$

其中 A_t 为气体环形通道出口面积, V_t 和 ρ_t 分别是最小截面处的气流速度和气体密度。在实际情况下,由于中心液流对外侧气体的挤压作用将导致最小流通截面面积小于环形通道出口面积,再考虑到粘性的影响,所以乘以修正系数 μ_g 。若假定喷嘴内气体流动为理想气体一维等熵流动,气体总压为 P_0 ,总温为 T_0 ,环境反压为 P_a ,则当 $P_0/P_a \geq [(\gamma+1)/2]^{1/(\gamma-1)}$ 时,流动在最小截面处将达到音速,这时气体流量可按式计算^[4]:

$$Q_g = \mu_g A_t (P_0/RT_0) \sqrt{\gamma [2/(\gamma+1)]^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}} \quad (6)$$

当以上条件不满足时,喷嘴内气体流动为亚音速,若取最小截面处压力等于环境反压 P_a ,这时气体流量可按式计算:

$$Q_g = \mu_g A_t (P_0/RT_0) \sqrt{[2\gamma/(\gamma+1)] \lambda \{1 - [(\gamma-1)/(\gamma+1)] \lambda^2\}^{1/(\gamma-1)}} \quad (7)$$

其中 λ 为最小截面处的速度系数:

$$\lambda = \sqrt{[(\gamma+1)/(\gamma-1)](1 - P_a/P_0)^{(\gamma-1)/\gamma}}$$

利用以上简化模型,本文对实验所用气液同轴式喷嘴的气液流量进行了计算。计算时取气体入口条件为滞止条件, P_a 为大气压力, μ_g 取为 0.718。理论与实验结果的比较分别见图 3 和图 5(图中虚线为计算结果),可见理论与实验结果是相当吻合的。

4 结 论

以上研究表明:气液同轴式喷嘴中气液流相互作用对于喷嘴流量特性有一定影响,并且喷嘴缩进比愈大,影响也愈大,较大的喷嘴缩进比将导致喷嘴流量的明显减小和液体流量的波动。所提出的气液同轴式喷嘴流量计算模型可用于气液同轴式喷嘴的流量计算和工程设计。

参 考 文 献

- 1 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,1993
- 2 阿列玛索夫.火箭发动机原理.宇航出版社,1993
- 3 傅维标,卫景彬.燃烧物理学基础.北京:机械工业出版社,1981
- 4 徐华舫.空气动力学基础(下册).北京:国防工业出版社,1980

stress.

Key Words Turbulence Anisotropy Numerical simulation

A STUDY ON FLOWRATE CHARACTERISTICS OF GAS- LIQUID COAXIAL ATOMIZERS IN HYDROGEN/OXYGEN ROCKET ENGINE

Zhou Jin, Hu Xiaoping, Huang Yuhui, Wang Zhenguo

(1st Dept. National University of Defense Technology, Changsha 410073)

ABSTRACT

An experimental and theoretical study on the flowrate characteristics of gas- liquid coaxial atomizers in hydrogen/oxygen rocket engine are presented in this paper. The dependence of the gas and liquid flowrates of atomizers with different recess ratio on the injection pressure drops was determined by the tests with air and water. The effect of the interaction between gas and liquid flows within atomizer on the flowrate characteristics was investigated experimentally. The results show that the interaction between gas and liquid flows has a certain effect on the flowrate characteristics, and the effect is greater for the atomizers with larger recess ratio. A simplified theoretical model is developed to calculate the flowrates of gas- liquid coaxial atomizers. The comparison between the theoretical and experimental results shows a reasonable agreement.

Key Words Atomizers Flow rate Flow theory Flow characteristics

TRANSITION SIMULATION USING GLM- EM BASED CLOSED EQUATIONS OF TURBULENCE

Gao Ge

(4th Dept. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 10083)

Y. Yong

(Florida Atlantic University U. S. A.)

ABSTRACT

The half- wave Generalized Lagrangian Mean (GLM) method is applied to deriving the closed equations of incompressible turbulent flow. The set of equations does not contain any correlation terms and empirical coefficients. The eddy- viscosity is determined by the Stokes drift velocity, its length scale and divergence. Without using the wall function and any empirical treatments, the transition process of a plan boundary layer has been successfully simulated by the equations. All the transition details, such as the change of the mean parameters, the transformation of the velocity profiles from laminar to turbulent, the evolution of the thickness of the boundary layer, the length of transition zone, and the curve of friction coefficients, are well consistent with experimental results.

Key Words Turbulence equations Transition Simulation