

文章编号: 1001-2486 (2001) 06-0009-04

## 模型三组元喷嘴雾化 SMD 变化规律\*

李清廉, 田章福, 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:** 为了充分研究新型三组元喷嘴的内混腔雾化特性, 设计了模型喷嘴进行多工况试验。试验发现, 维持气体或液体压降不变, 改变另一种介质的压降, 会得到不同的雾化平均直径随气体压降或液体压降, 以及气液比 ALR 的变化曲线, 这些曲线有着明显的规律。大量试验表明, 虽然平均直径 SMD 随气体压降或液体压降的变化曲线明显不同, 但其随气液比的变化规律却趋于相同。

**关键词:** 喷嘴; 雾化; 三组元; 气液比

**中图分类号:** V434      **文献标识码:** A

### Variation of SMD for Atomization of Model Tripropellant Injectors

LI Qing-lian, TIAN Zhang-fu, WANG Zhen-guo

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

**Abstract:** In order to study completely the atomization characteristics of mixing cavity of the designed new type tripropellant injectors, model injectors are designed for experiments under multiple operating conditions. Through experiments it can be seen that different curves of regularity for variations of SMD along with pressure drop of gas as well as mass ratio of gas to liquid ALR will be gain if the pressure drop of liquid remains constant while transform the pressure drop of gas. So do the other case only transforming the pressure drop of liquid. Moreover, these curves show the regularities. A great deal of experiments indicate the curves of average diameters SMD along with mass ration of gas to liquid ALR have the same trends although obvious differences exist between curves that SMD along with pressure drop.

**Key words:** injector; atomization; tripropellant; mass ratio of gas to liquid

三组元火箭发动机喷注器在国际上得到了大力研究<sup>[1~3]</sup>。三组元喷嘴需要在三组元和两组元两种模式下稳定工作, 并且有较好的雾化效果。

## 1 喷嘴设计

所设计的气氢/液氧/煤油三组元喷嘴采用同轴式结构, 外喷嘴为内混式结构, 通过与内喷嘴组合形成混合腔, 气氢和煤油在此混合并初步雾化形成两相流后, 再由出口环缝喷出与由内喷嘴出口形成的锥形液氧薄膜互相作用进一步雾化。为了充分研究三组元喷射雾化过程, 首先必须对外喷嘴内混腔内的两相流混合雾化过程有清楚的了解。本文在所设计三组元喷嘴基础上设计了外壁透明的模型喷嘴, 其混合腔结构与三组元喷嘴的外喷嘴内混腔基本相同, 不同之处在于气体由内部喷射进入混合腔, 并且以气体通道内芯代替液氧内喷嘴。结构示意图如图 1。

## 2 试验装置

采用马尔文测粒仪进行雾化平均直径的测量。以水来模拟液氧, 以压缩空气模拟氢气。试验所采用系统如图 2 所示<sup>[4]</sup>。图中有 3 路供应管路, 本文试验时只用到其中 2 路。

## 3 结果与讨论

本节所有图中图例所示出的氢气、煤油模拟介质的喷前压力 (PH<sub>2</sub>、Poil) 均为表压 (实际为水

\* 收稿日期: 2001-05-21  
基金项目: 国家 863 计划项目  
作者简介: 李清廉 (1974-), 男, 博士生。

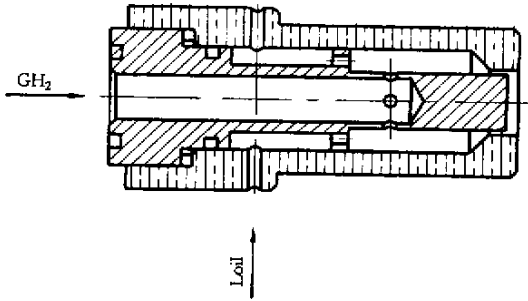


图1 模型喷嘴内混腔示意图

Fig.1 The sketch of internal-mixing cavity

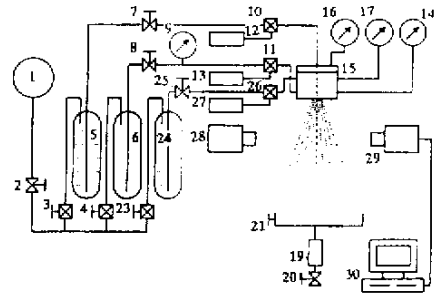


图2 冷试系统简图

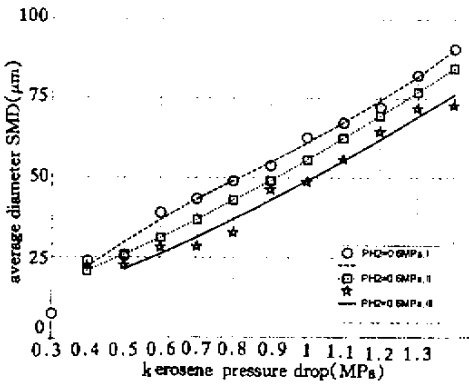
Fig.2 The sketch of cold test system

- 1. 高压气源 ;2. 总阀门 ;3, 4, 23. 减压阀 ;5. 液氧模拟介质 (水)贮箱 ;6. 气氢模拟介质 (空气)贮箱 ;7, 8, 25. 控制阀 ;9. 气体流量计前压力表 ;10, 11, 26. 涡轮流量计 ;12, 13, 27. 频率计 ;14, 16, 17. 喷前压力表 ;15. 模型三组元喷注器 ;19. 集液管 ;20. 阀门 ;21. 螺杆摇柄机构 ;24. 煤油模拟介质 (水)贮箱 ;28. 氦-氛激光发生器 ;29. 光信号接收器 ;30. 计算机。

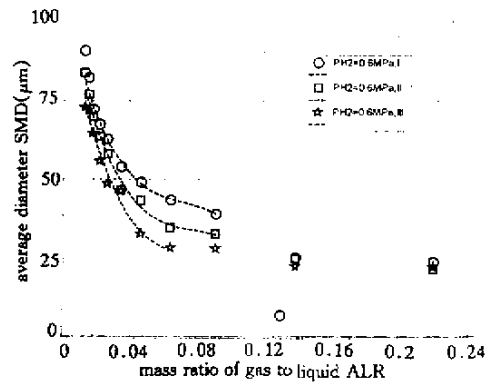
和压缩空气)。因为文中试验无背压，故实际相当于喷前压降。讨论中提到的 SMD 指雾化液滴的索太尔平均直径，ALR 指试验时进入内混腔的气液质量流量比。

### 3.1 重复性试验

为了保证试验结果的可靠性，在调试试验系统时，对两种典型工况进行了重复性试验，以保证试验结果的可靠性。试验结果如图 3、4 所示。由图 3、4 可以看到，气体压降固定时，试验重复性相对较差，表明液体压降的变化对气体的流动状态及混合、雾化过程影响较大。液体压降固定气体压降变化时，试验重复性非常好，说明液体流动状态及混合、雾化过程基本不受气体影响。



(a) 雾化平均直径 SMD 随液体压降的变化规律



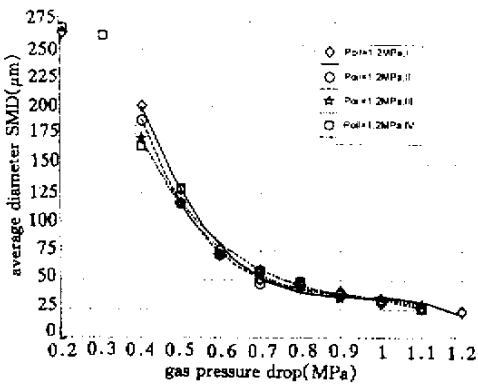
(b) 雾化平均直径 SMD 随气液比 ALR 的变化规律

图3 气体压降固定时重复性试验结果

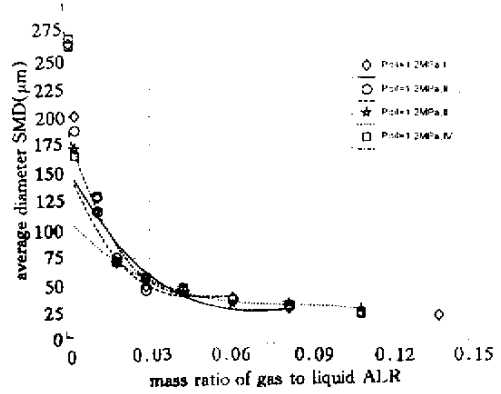
Fig.3 Repeat tests for a same gas pressure

### 3.2 气体压降固定时雾化 SMD 随液体压降的变化规律

由图 5 可以发现：1) 在各个不同的气体压降下，均可以得到雾化 SMD 随液体压降增加而增大的变化曲线。较高气体压降所对应的变化曲线位于图示的较低位置，说明相同液体压降下，较高的气体压降使得雾化细度更佳；2) 除  $\Delta p_{H_2} = 0.2\text{MPa}$  外 [因为压降极小，所得数据误差大]，不同气体压降对应的雾化 SMD 随气液比的变化曲线非常接近，表明在不同气体压降下，雾化 SMD 随气液比的



(a) 雾化平均直径 SMD 随气体压降的变化规律

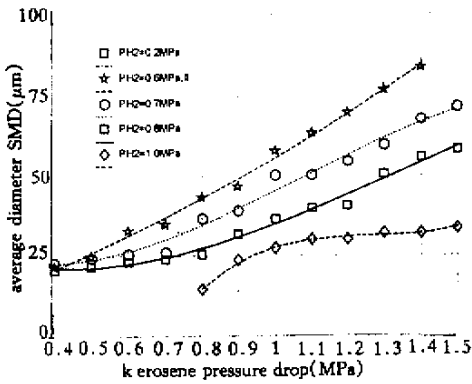


(b) 雾化平均直径 SMD 随气液比 ALR 的变化规律

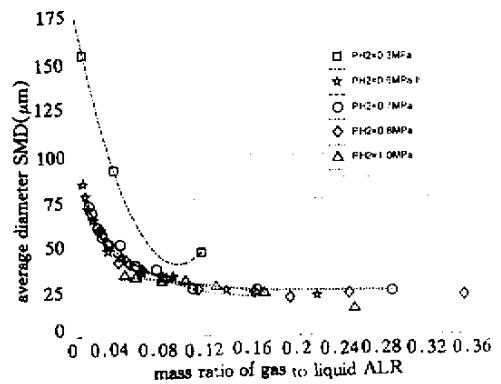
图 4 液体压降固定时重复性试验结果

Fig.4 Repeat tests for a same liquid pressure

变化有相同的规律：较低气液比时，平均直径随气液比的增大而减小的梯度很大；气液比稍高时，梯度变得较小；当气液比超过某值后，雾化 SMD 固定在某个小邻域内。



(a) 雾化平均直径 SMD 随液体压降的变化规律



(b) 雾化平均直径 SMD 随气液比 ALR 的变化规律

图 5 气体压降固定在不同值时雾化 SMD 变化规律

Fig.5 Varied SMD for different constant gas pressure drops

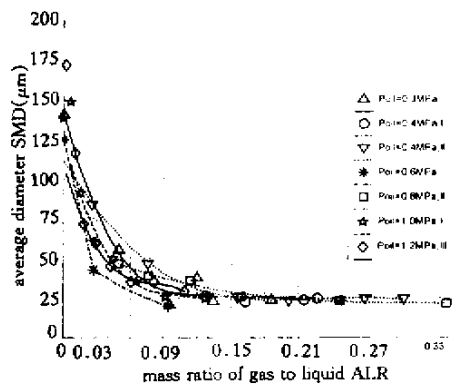
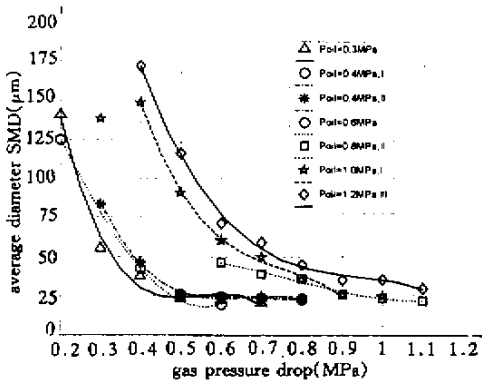
### 3.3 液体压降固定时雾化 SMD 随气体压降变化规律

由图 6 (a) 可以看到，在各个不同的液体压降下，均可以得到雾化 SMD 随气体压降增加而减小的变化曲线。相同气体压降下，较低的液体压降使得雾化细度更佳。图 6 (b) 表明，不同液体压降对应的雾化 SMD 随气液比的变化曲线接近。在不同液体压降下，SMD 随气液比的变化也有相同的规律：较低气液比时，平均直径随气液比的增大而减小的梯度很大；气液比稍高时，这个梯度变得较小；当气液比超过某值后，SMD 似乎固定在某个小邻域内。

### 3.4 SMD 随 ALR 变化

由全部试验工况所得的 SMD 随气液比变化的规律示如图 7 所示。可以发现，工况变化时 SMD 会有相应的变化，这些变化可以解释为工况变化引起气液比的变化，从而导致 SMD 不同。

图 7 表明，各种工况下，SMD 随 ALR 变化的趋势基本相同。气液比较小时， $ALR < 0.04$ ，SMD 随着 ALR 的增加迅速减小，其值由  $SMD \geq 100 \mu m$  变化至  $SMD \approx 50 \mu m$ ；气液比增加， $ALR = 0.04 \sim 0.12$  时，SMD 随 ALR 的增加持续减小，但变化梯度要小得多，此时， $25 \mu m \leq SMD \leq 50 \mu m$ ；当气液比更大， $ALR \geq 0.12$  时，平均直径基本保持  $SMD \approx 25 \mu m$  不再变化。



(a) 雾化平均直径 SMD 随气体压降的变化规律

(b) 雾化平均直径 SMD 随气液比 ALR 的变化规律

图 6 液体压降固定在不同值时雾化 SMD 变化规律

Fig.6 Varied SMD for different constant liquid pressure drops

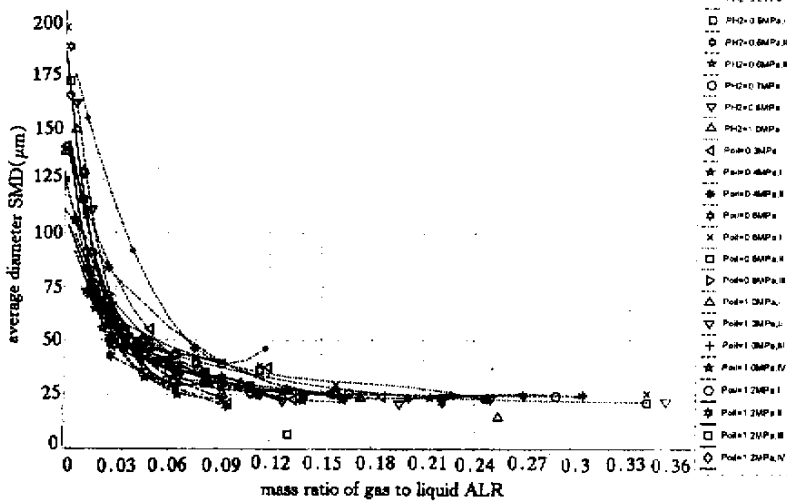


图 7 全部试验工况雾化平均直径 SMD 随气液比 ALR 变化规律

Fig.7 Atomization SMD vs. ALR for all test conditions

### 4 结论

(1) 对于内混腔内流动、混合、雾化过程来说，固定气体压降而改变液体压降时，试验重复性相对不好；而固定液体压降改变气体压降时，试验重复性很好。

(2) 雾化平均直径 SMD 随着液体压降的增加而变大，随着气体压降的增加而减小，随着气液比的增大而减小。

(3) 虽然气体及液体压降变化很大，所有试验工况下的 SMD 随气液比 ALR 变化规律趋于相同：随着 ALR 增加，SMD 减小，但减小的速度越来越慢。

### 参考文献：

[1] Akinaga Kumakawa. Combustion and Heat Transfer of LO<sub>2</sub>/HC/Hydrogen Tripropellant [C], AIAA 95-2501, 1995.  
 [2] Schmidt M G, Micci M M. Combustion Performance of RP-1/O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> Tripropellants [C]. AIAA 98-3686, 1998.  
 [3] Ramamurthi K, Madhavan N G. Coaxial Swirl Injection Element For A Tripropellant Engine [C], AIAA 98-3514, 1998.  
 [4] 周猛. 气液同轴式喷注器雾化特性和激光散射测粒技术的研究 [D], 长沙：国防科技大学, 1991.

