

两股互击式喷嘴雾化性能实验研究^{*}

张蒙正, 张泽平, 李 鳌, 王 玫

(陕西动力机械设计研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 用激光全息及图像处理技术, 研究了双股互击式喷嘴的雾化性能。实验发现, 喷嘴的撞击夹角增大、孔径比减小、两射流的动量比减小均会使喷雾的破碎长度和液滴直径减小。在初始雾化区域, 液膜和液丝的速度与射流的速度基本相同, 液滴的运动速度略小于射流速度。通过实验数据的分析整理, 获得了喷雾的索特平均直径的经验公式。

主题词: 撞击式喷嘴; 推进剂雾化; 全息摄影

中图分类号: V434.23

文献标识码: A

文章编号: 1001-4055 (2000) 01-0057-03

Experimental research on spray properties of unlike impinging injectors

Zhang Mengzheng, Zhang Zeping, Li Ao, Wang Mei

(Shaanxi Engine Design Inst., Xian 710100, China)

Abstract: The laser holograph and image processing method was used to analysis the spray property of the unlike double impinging injector. The experimental results indicate: The increase of injection angle and the decrease of ratio of two injection orifice diameter or two injection flow momentum could result in the decrease of drop diameter and spray split length. The liquid film and liquid silk velocity is the same as injection velocity. The drop velocity is slightly lower than injection velocity in the initial spray area. The experience formula of Sauter diameter were obtained by analyzing of experimental data.

Subject terms: Impinging injector; Propellant Spray; Holography

1 引 言

撞击式喷嘴的结构简单、响应快, 是使用可贮存推进剂和烃类燃料的液体火箭发动机常用的喷嘴结构。国外对其进行了大量的研究^[1~4]。

本文用激光全息及图象处理方法^[5], 在开式环境中研究了两股互击式喷嘴的撞击夹角 α (°)、孔径比 $k = D_o/D_f$ 及射流动量比对喷雾的扩散角 β 、破碎长度 L_p 、液滴尺寸、运动速度 V 的影响。研究中, 喷嘴的燃料孔径取 1.0 mm, 水流量为 20.87 g/s 固定不变, 射流速度为 26.6 m/s。氧化剂孔径与燃料孔径比 k 取 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 五种, 喷嘴的撞击夹角 α 取 40°, 50°, 60°, 70°, 80°, 90°六种。每个喷嘴的氧化剂射流与燃料射流动量比 γ 取 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.2 六种工况。在分析实验数据后, 获得

了喷雾的索特平均直径的经验公式。

2 喷雾扩散角与破碎长度

喷雾扩散角包括与两喷孔连线平行和垂直两个方向 (分别定义为 Z 、 X 方向, 见文献[5]), 喷雾扇角度, 它取决于两射流的孔径比、撞击夹角和撞击动量。喷雾扩散后, 与环境空气形成一气液交界面, 在较小的撞击夹角和射流速度下, 通常可以看到比较规则的气液边界。当 α 较大, 射流速度很高, 雾化较好的情况下, 气液交界面是很难确定的。在研究中, 以氧化剂射流与燃料射流最早接触点为起点, 沿喷雾扇两侧取 3~4 个液膜波峰划直线, 两线的夹角定义为 β 角, 如图 1 所示。研究发现, 随着 α 的增大, 两个方向的 β 角都明显增大。这是因为 α 的增大使射流沿 Z 方向的撞击动量增大, 有利于喷雾的扩散。图 2 是

* 收稿日期: 1999-01-12; 修订日期: 1999-06-24。获奖情况: 本课题获航天工业总公司科技进步二等奖。

作者简介: 张蒙正, 男 (1965-) 硕士, 高级工程师, 研究领域: 喷雾燃烧、流场测试等方面的研究工作。

$k=1.4$, $\gamma=1.0$ 时, β 角随 α 变化的实验结果, 其他孔径比下 β 角随 α 变化的变化趋势相同。随着 k 的增大, β 角也增大, 但没有 α 影响那么明显。应注意的是: 扩散角受喷嘴的加工质量影响很大, 两孔的撞击偏差越大, X 方向的喷雾扩散角越大, 分析实验参数时, 应剔除其影响。

喷雾破碎长度 L_p 定义为从撞击点到液丝完全破碎化成液滴处的长度。如图 1 所示。破碎长度除以喷射的速度代表了燃烧时滞的一个重要部分。研究发现: L_p 随 k , γ 的增加而增大, 并在大孔径比时增加较快。这是因为燃料射流的孔径和总动量已定, 在氧化剂孔射流总动量不变的情况下, 孔径加大, 氧化剂射流没有参与撞击部分增加, 参与撞击部分的相对动量减小的原因。孔径比的增大, 导致参与撞击部分的氧化剂动量与燃料的动量之比也加大, 动量比的增大使雾化变差也正是这个原因。 L_p 随 α 的增大而减小, 这是因为 α 增大, 射流沿 Z 方向撞击动量增大所致。图 3 是 $k=1.4$ 时, L_p 随 α , γ 变化的实验结果, 其他撞击夹角下 L_p 与 k , γ 的实验结果有相同的变化趋势。

3 液滴尺寸及运动速度

3.1 撞击夹角和射流动量比对雾化影响

图 4 是 $k=1.2$ 时, 索特尔平均直径 D_{32} (μm) 随 α , γ 的变化关系。由图可见, 随 α 的增加, D_{32} 很快减小, 当 α 大于 60° 后, 在大的 γ 时, D_{32} 减小的趋势似乎变缓。本文获得的其他孔径比下 D_{32} 随 α , γ 变化的趋势相同, 体积平均直径 D_{30} 随 α , γ 的变化趋势与 D_{32} 相同。当 α 大于 60° 后, 在大的 k 和 γ 下, D_{32} , D_{30} 减小变缓的趋势更明显。

3.2 孔径比和射流动量比对雾化的影响

图 5 是 $\alpha=60^\circ$, D_{32} 随 k , γ 的变化关系。由图

可见, 随着 k , γ 的增加, D_{32} 均增大。分析认为, 这是因为 k 增加, 氧化剂射流参与撞击部分减小, 而没有参与撞击部分增加原因。本文获得的其他孔径比下的实验结果与图 5 有相同的变化趋势, D_{30} 的测试结果也有相同的趋势。而且, 当 $k \geq 1.4$ 后, D_{32} 、 D_{30} 增加的更快。值得注意的是, 两股互击式喷嘴是利用射流的撞击实现射流雾化, 同时也实现两组元的混合, k 增加导致雾化变差, 同时也导致混合不均匀。计算表明: 当 k 大于 1.4 时, 氧化剂孔没有参与撞击射流动量已达到射流总动量的 20%。因此, 两股互击式喷嘴的 k 不应过大。 D_{32} 直径受个别大液滴的影响较大, 对实验获得的不同撞击夹角、孔径比、动量比下的液滴尺寸、分布状况和 D_{32} 直径进行分析、整理, 剔除因个别大液滴出现造成 D_{32} 数据偏差, 采用最小二乘法对 D_{32} 直径与相关参数进行拟合, 得到的 D_{32} 的经验关系式如下:

$$D_{32} = 849.8 \left[\frac{L_f}{I_0} \right]^{-0.4047} \left[\frac{3.1415}{180} \alpha \right]^{-0.7015} \left[\frac{D_f}{D_0} \right]^{-0.0026} [I_0]^{-0.1936} [D_0]^{0.3709}$$

式中 I 为单位时间的射流动量 $g \cdot m/s^2$; D 为射流孔孔径 mm 。由上式可见, 氧化剂孔径和两射流的孔径比对液滴尺寸的影响是正变的, 该式与文献[4]得到的孔径比的影响程度基本相同, 与文献[2]得到的射流直径影响的结果也基本相同。撞击角影响的程度比直径的影响要大一些。动量及动量比越大, 雾化的液滴尺寸越小。鉴于此, 在大发动机中, 可以采用较大的喷嘴孔径, 用大的撞击动量产生较好的雾化。在小发动机中, 因为燃烧室身部短的原因, 需采用小的喷嘴孔径。撞击夹角对雾化的影响比较明显, 可以适当选用较大的撞击夹角, 撞击夹角大, 喷雾的返溅比较明显。



Fig. 1 The definition of β and L_p

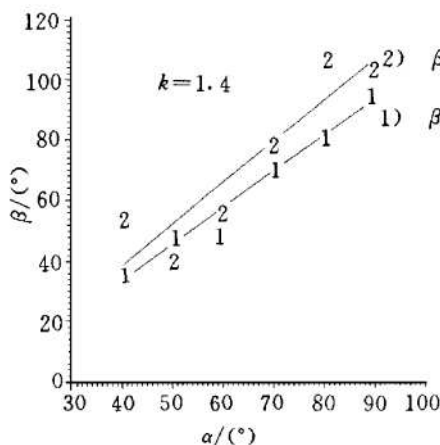


Fig. 2 Effect of α on β

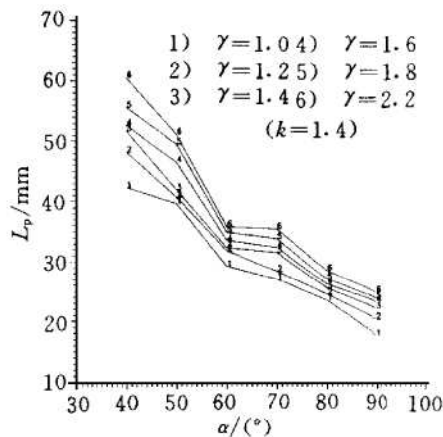


Fig. 3 Effects of α and γ on L_p

3.3 液滴运动速度

用双脉冲全息技术对喷雾场的液滴运动速度进行测试, 结果发现喷雾场液滴的运动速度与射流的撞击夹角、孔径比和动量比均有关系。同一喷雾场中, 初始雾化区液滴直径较大, 运动速度也大。雾化区的液滴直径小, 运动速度略小一些。从总体上讲, 当两股射流的孔径、速度相同时, 撞击产生的液膜、液丝的运动速度与射流的速度基本相同, 这说明撞击产生的液膜和液丝基本恢复了射流的动压头。初始雾化区的液滴运动速度略小于射流速度, 大液滴的速度略大于小液滴的速度, 这与文献 [1] 得到的部分结果相同。雾化区下游液滴速度减小是因为受到空气阻尼的原因。在两股射流的速度不同的情况下, 撞击产生的液膜、液丝及液滴的运动速度随氧化剂射流速度的减

小而减小, 其值介于两股射流速度之间。因此, 在喷雾燃烧数值模拟计算中, 可以用射流速度近似估算液滴速度。图 6 是 $\alpha=40^\circ$, $\gamma=1.0$ 时, 喷雾场初始雾化区液滴运动速度与氧化剂射流速度的关系图, 液滴的速度是在初始雾化区随机抽取 100 个液滴的平均运动速度。

4 结 论

(1) 双股互击式喷嘴的撞击夹角、孔径比、动量比均影响喷雾的扩散角, 而且均是正变关系。

(2) 双股互击式喷嘴的撞击夹角增大、孔径比减小、动量比减小均使破碎长度和液滴尺寸减小。

(3) 雾场液膜和液丝的运动速度和射流速度基本相同, 液滴运动速度略小于射流速度。

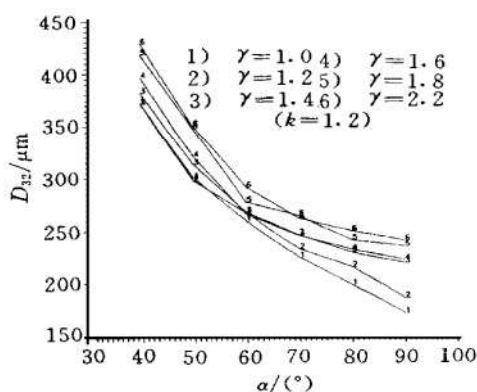


Fig. 4 Effects of α and γ on D_{32}

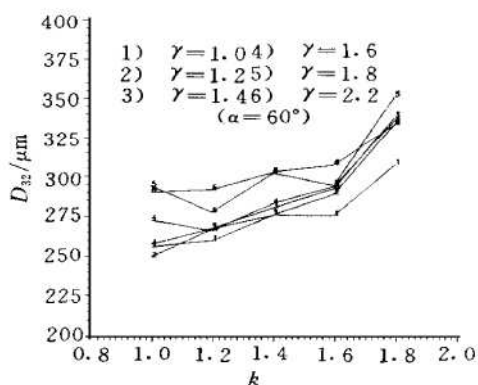


Fig. 5 Effects of k and γ on D_{32}

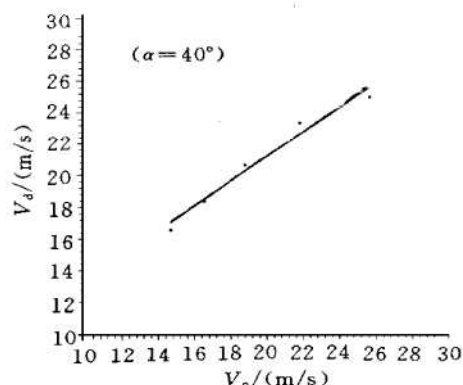


Fig. 6 Effects of V_o on V_d

参 考 文 献

- 1 Anderson W E, Ryan H M, Pal S, Santoro R. Fundamental studies of impinging liquid jets [R]. AIAA 92-0458.
- 2 Zajac L J. correlation of spray droplet size distribution and injector variables [R]. NASA CR-125674, 1971.
- 3 Lourme, D. Like-on-like injector spray characterization for

the ariane viking engine [R]. AIAA 86-1444.

- 4 Anon. Liquid rocket engine injectors [R]. NASA SP-8089, 1976.
- 5 张蒙正, 傅永贵, 张泽平. 两股互击式喷嘴雾化研究及应用 [J]. 推进技术, 1999, 20 (2).

(责任编辑: 盛汉泉)