

靶式喷嘴雾化模型理论研究*

胡春波, 孙得川, 蔡体敏

(西北工业大学 航天工程学院, 陕西 西安 710072)

摘要: 为研究靶式喷嘴中液膜的形成和破碎以及液滴的形成机理, 建立了相应的计算模型, 利用该计算模型对靶式喷嘴雾化特性进行了理论计算, 并与实测值进行了比较。结果表明: 在气流量不变的情况下, 随着气液质量比的增加, 靶的作用影响越来越小, 而气液作用影响越来越大, 选择好气液比对充分发挥靶和气液相互作用两种雾化方式的作用很重要; 建立的雾化模型理论计算值与实测值吻合较好, 该模型能够反映出靶式喷嘴雾化特性。

关键词: 撞击式喷嘴; 液体喷射; 雾化; 数学模型

中图分类号: V233.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-4055(2000)05-0066-03

Theoretical study on atomizing model for target spray nozzle

HU Chunbo, SUN Dechuan, CAI Timin

(Coll. of Astronautics, Northwestern Polytechnical Univ., Xi'an, 710072, China)

Abstract: Based on the mechanism of liquid film formation, breaking and liquid droplet formation, an atomizing model for target spray nozzle was presented. The theoretical computation was performed for target spray nozzle. The main conclusions are: (1) The bigger mass ratio of gas to liquid, the more important the influence of gas on atomizing effect, since the gas mass flux doesn't vary. (2) The acceptable agreement between computation and experimental data shows that the atomizing model and the solving algorithm for target spray nozzle are successful.

Key words: Imping injector; Liquid injection; Atomization; Mathematical model

1 引言

在靶式喷嘴里, 高速液流撞击靶心形成液膜, 液膜在高速气流作用下撕裂破碎成大大小小的液滴, 由于其特有的雾化方式, 有关它的研究文献报道较少。文献 [1] 报道了高速液流撞击形成液膜的模型研究, 文献 [2] 报道了预膜式空气雾化喷嘴的雾化机理研究, 文献 [3] 研究了液滴的多次破碎机理, 文献 [4] 应用统计方法建立了液滴碰撞聚合模型。虽然在液体雾化方面已经作了许多研究工作, 但还没有建立起一套适用于靶式喷嘴的雾化理论计算模型。本文在文献实验研究^[5,6]的基础上, 建立了靶式喷嘴雾化数学计算模型, 并对三种靶式喷嘴的雾化特性进行了理论计算。

2 靶式喷嘴雾化理论

2.1 液膜的形成

靶式喷嘴中两股夹角为 2θ 的等速、等直径液流撞击形成液膜的物理模型如图 1 所示。在不考虑液流的粘性情况下, 形成的液膜边缘厚度 h_e ^[1]、液膜的边缘半径 r_e 如下:

$$h_e = k\alpha_L / [\rho_L u_j^2 \sin^2(\frac{\pi}{2}(\frac{2\theta}{\pi})^{1-\beta})] \quad (1)$$

$$r_e = [\frac{\beta e^{\beta(1-\phi\pi)}}{2(e^\beta - 1)} \sin^2(\frac{\pi}{2}(\frac{2\theta}{\pi})^{1-\beta})] \frac{\rho_L u_j^2 R^2}{k\alpha_L} \quad (2)$$

$$1 + (\pi/\beta)^2 - [1 + 2/(e^\beta - 1)]/\cos\theta = 0 \quad (3)$$

式中 ρ_L 为液体密度, R 为射流半径, u_j 为射流速度, α_L 为液体表面张力。 ϕ 为半径 r 的极角, β 为与 θ 有关的数值, 由式 (3) 确定。 k 为系数。

* 收稿日期: 1999-12-22; 修订日期: 2000-01-17。基金项目: 航空基础科学基金 (99C53033) 和国家重点实验室基金资助项目 (99JS60 256005)。

作者简介: 胡春波 (1966—), 男, 博士, 副教授, 研究领域为多项流、非牛顿流和非定常气体流动。

2.2 液膜破碎

靶式喷嘴中液流撞击形成的液膜表面在高速气流作用下发生变形, 在 T_1 和 T_2 时刻其表面形状变化如图 2 所示。当液膜吸收气流能量而获得的脉动动能足以冲破表面张力能的束缚时, 液膜破碎, 其破碎准则^[6]为

$$v_L^2 > \frac{2\alpha_L \lambda h}{m_L} \quad (4)$$

式中 v_L 为液膜表面脉动速度, m_L 为液膜的质量。由于 v_L 主要与作用于液面的气体动力有关^[6], 即

$$v_L^2 = \int_0^L \frac{c\rho_a u_r^2 \lambda}{m_L} dx \quad (5)$$

将式 (5) 代入式 (4) 得

$$\int_0^L \frac{c\rho_a u_r^2}{2\alpha_L h} dx > 1 \quad (6)$$

式中 ρ_a 为空气密度, u_r 为气液相对速度, u_L 为液膜运动速度, L 为气液作用的距离, c 为系数, h 为液膜的厚度。

由式 (6) 可知, 增大 $\rho_a u_r^2$ 及气液作用距离 L , 液膜脉动能量增加, 能破碎较大厚度的液膜。但实际上随着 L 增大, u_r 逐渐减小, 所以 $\int_0^L \rho_a u_r^2 dx$ 取最大值是设计最佳靶式喷嘴混合管尺寸的准则。

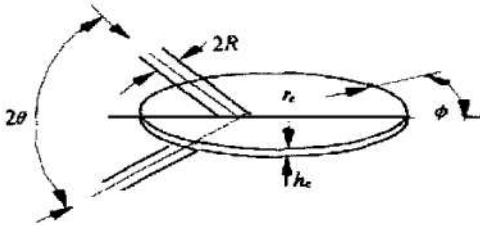


Fig. 1 Liquid sheet formed by two impinging jet

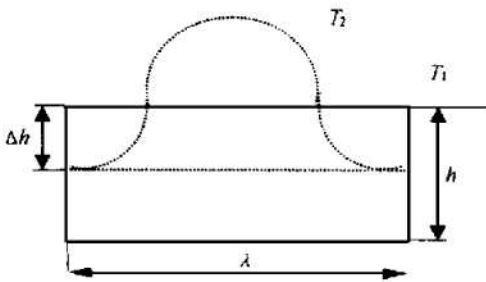


Fig. 2 Liquid film shape

2.3 雾化液滴的形成

根据式 (1) 确定的液膜边缘厚度和式 (6) 确定的液膜破碎准则, 结合大量的实验数据^[6], 总结

得到了描述靶式喷嘴雾化液滴索太尔平均直径 (SMD) 的半经验计算公式如下^[6]

$$SMD = h_c [1 + \frac{1}{A_{LR}}]^\gamma [A (\frac{\rho_L}{\rho_a u_r^2 h_c})^a + B (\frac{\mu_L^2}{\rho_L \alpha_L h_c})^b] \quad (7)$$

式中 A_{LR} 为喷嘴气液质量比, μ_L 为液体动力粘性系数。 A , B , a , b , γ 为系数。由大量的实验数据得

对于 $\theta = 90^\circ$ 的靶式喷嘴

$$A = 0.25 \sim 0.3, B = 1.75, \\ \gamma = 0.67, a = 0.5, b = 0.5.$$

对于 $\theta = 60^\circ$ 的靶式喷嘴

$$A = 1.0 \sim 1.5, B = 1.75, \\ \gamma = 0.67, a = 0.7, b = 0.5.$$

3 雾化模型计算与分析

计算所用的三种靶式喷嘴主要结构参数及运行参数分别如表 1 和表 2 所示。

Table 1 Structure parameter

| Target spray nozzle style | M | N | H |
|--|------|------|------|
| Impinging jet angle $\theta/^\circ$ | 90 | 60 | 60 |
| Liquid spray nozzle diameter d_0/mm | 11 | 5 | 5 |
| Mixed pipe diameter D/mm | 49 | 35 | 30 |
| Mixed pipe length L/mm | 1310 | 740 | 460 |
| Nozzle trough width / mm | 20.6 | 15 | 15 |
| Nozzle trough length / mm | 70.5 | 49.4 | 49.4 |

Table 2 Gas liquid flow parameter

| Operating mode | Parameters | | | | | |
|----------------|------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | Gas mass flux | 386.5 | | | |
| 2 | Liquid mass flux | 3535.5 | 3291.1 | 3028.6 | 2738.6 | 2236.1 |
| | Gas mass flux | 365.1 | | | | |
| 3 | Liquid mass flux | 4183.3 | 3873.0 | 3651.2 | 3162.3 | 2738.6 |
| | Gas mass flux | 318.3 | | | | |
| | Liquid mass flux | 3873.0 | 3535.5 | 3291.1 | 2886.4 | 2414.8 |

射流撞击靶心形成液膜边缘厚度 h_e 随着气液质量比 A_{LR} 的变化如图 3 所示。在气流量不变或变化不大时, 随着气液质量比的增大, 液膜边缘厚度增加, 靶对喷嘴雾化所起的作用越来越小。

雾化液滴索太尔平均直径 SMD 随着气液质量比 A_{LR} 的变化如图 4~6 所示。从图中可以看出: (1) 利用本文建立的雾化理论模型计算值与实测值^[6]吻合较好, 最大误差在 8% 以内。说明本文建立雾化理论模型的思路是正确的, 该模型较好地反映了靶式喷嘴的雾化特性; (2) 随着气液质量比增大, SMD 值减小, 雾化效果变好。

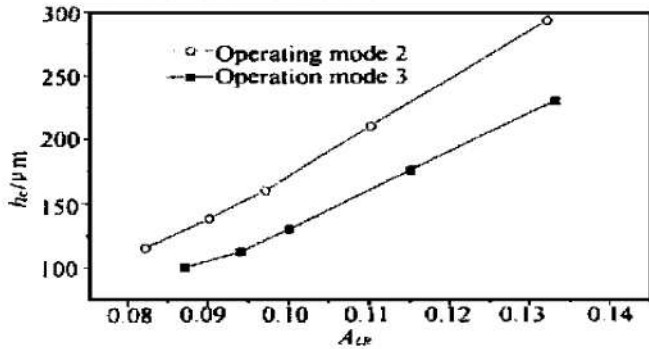


Fig. 3 Variation of liquid film thickness with gas liquid ratio for N style spray nozzle

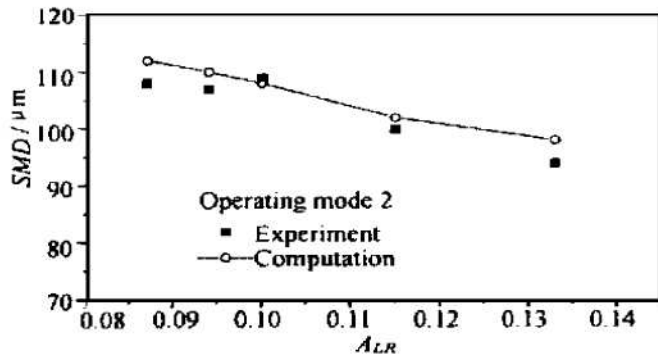


Fig. 5 Variation of Sauter mean diameter with gas liquid ratio for N style spray nozzle

4 结 论

(1) 在气流量不变的情况下, 随着气液质量比的增加, 靶的作用影响越来越小, 而气液作用影响越来越大, 选择好气液比对充分发挥靶和气液相互作用两种雾化方式的作用很重要。

(2) $\int_0^r \rho_a u_r^2 dx$ 取最大值是设计最佳靶式喷嘴混合管尺寸的准则。

(3) 建立的雾化模型理论计算值与实测值吻合较好, 能够反映出靶式喷嘴雾化特性。

参 考 文 献

[1] 石少平. 低 Weber 数射流撞击雾化的数学模型 [J].

随着气液比的增大, 虽然射流撞击靶心形成的液膜边缘厚度逐渐增大, 但雾化液滴 SMD 值却逐渐减小。这说明, 气流量不变时, 随着气液质量比的增大, 靶的作用越来越小, 而气液相互作用影响越来越大, 选择好气液比对充分发挥靶和气液相互作用两种雾化方式的作用很重要。

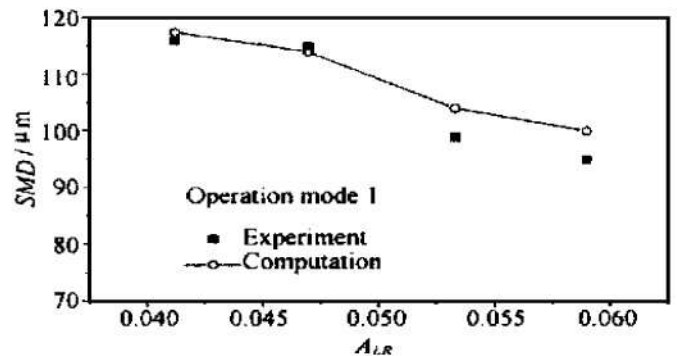


Fig. 4 Variation of Sauter mean diameter with gas liquid ratio for M style spray nozzle

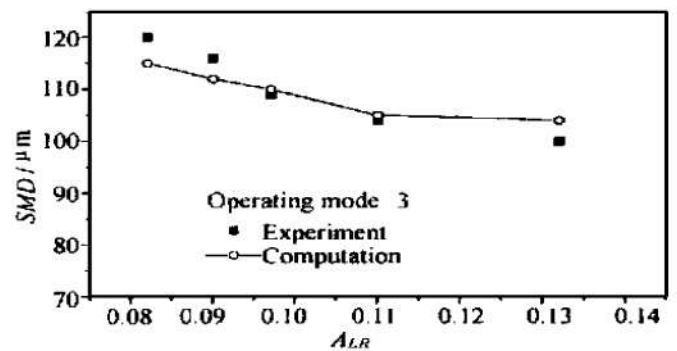


Fig. 6 Variation of Sauter mean Diameter with gas liquid ratio for H style spray nozzle

航空动力学报, 1994, 9 (3): 285~288.

- [2] Wu J X, Liu W D. Studies on large flux coaxial injector atomization and spray model [R]. AIAA 93-2160.
- [3] Sturgess G J. Calculation of hollow cone liquid spray in a uniform air stream [R]. AIAA 84-1322.
- [4] Gavriyuk S L, Fabre J. Lagrangian coordinates for a drift-flux model of a gas-liquid mixture [J]. International Journal of Multiphase Flow, 1996, 22 (3): 453-460.
- [5] 胡春波, 陈步学, 蔡体敏. 靶式喷嘴雾化特性实验研究 [J]. 推进技术, 1998, 19 (6).
- [6] 胡春波. 喷嘴雾化模型、数值计算及实验研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 1998.

(责任编辑: 龚士杰)