

液雾燃烧模化用的雾化数据

由于电子计算机技术的迅速发展,很多复杂的计算机程序应运而生。对燃气涡轮发动机、活塞发动机、液体火箭发动机燃烧室中的燃料雾化过程进行了模化。使用计算机程序来评估各种燃烧室的性能参数,如燃烧效率、排气污染、燃烧稳定性等。所有这些程序都需要有喷入燃烧室中之燃料的雾化与分布的数据。哪些数据是对燃烧过程有重要影响?应当如何正确地理解和使用这些数据? Ferrenberg, A.J.和Varma, M.S.针对上述问题进行讨论,并通过对一种液体火箭燃烧室模型的雾化数据和相关关系作评估。其结论在不同程度上对所有使用液体组分的燃烧室模型有通用性。

一、雾化数据的重要性

在液体火箭发动机中液滴的雾化和蒸发速率影响整个能量释放过程,但常常被忽略了。而模化液体组分燃烧过程的计算机程序需要有这样的数据。

1. 模化发动机和应用程序的说明

进行雾化对燃烧室性能影响的研究,使用了过渡状态性能程序(TPP)。这一程序把雾化过程作为液滴的瞬时变化源头来处理,液滴组成了喷射的液体质量,液滴场按照时间、喷射位置、尺寸、速度、初始方向和组成为若干组,每组的代表性液滴沿一条三维轨道运动并和气相进行动量交换,进行蒸发并与燃烧室壁相撞。用Ingebo的经验关系式来确定喷射出的推进剂尺寸的分布。推进剂的蒸发速率用Godsave所导出的方程来确定,并考虑对流环境的影响。应用准稳态假定,即所有传到液滴的热都能用作蒸发焓。气相的轴向和径向速度根据质量源强度位置和燃烧室形状来估算。

2. D_{32} (索太尔平均直径)对蒸发损失的影响

表1列举了双组元喷嘴的雾化研究,其液滴尺寸方程已在TPP程序中计算了Atlas和另一

表1 液滴尺寸相关关系方程

研 究	测 量 方 法	相 关 关 系
Tanasawa等(1975)	收集喷到空气中的液滴 (各种液体)	$D_{32} = 1.73(d_i^{0.75}/V_L^{0.5})(\sigma_i/\rho_L)^{0.25}$ (1)
Dickerson等(1968)	在空气中形成的热蜡液 雾	$\bar{D} = 8.41 \times 10^5 d_i^{0.57}/V_L^{0.85}$ (2)
Nurick(1973)	同 上	$\bar{D}/d_i = (4.571/w_e^{0.18})(\rho_g/\rho_L)^{0.1622} \exp$ $\{0.00357(w_e/R_e)\}$ (3)
Zajac(1973)	在 N_2 的暖气流中喷入热 蜡	$D = \tau D_P \{1 - 1.77 \times 10^{-3} D_C (\Delta V/V_L) \exp(-0.24$ $\Delta V / \Delta V [N_L^2])\}$ (4)
Ingebo(1958)	照相 庚烷在空气流中形 成喷雾	$D_{30} = [0.3(V_L d_i^{1/3} + 0.0125 \Delta V)^{-1}]$ (5)

个研究发动机燃烧室的蒸发效率，以适当的气体，液体性质计算每一种特定的喷射结构和液滴尺寸，用一个不变的氧化剂液滴的 D_{32} 和尺寸分布来完成计算。为修正表 1 中方程使符合实际推进剂，要求有与液体性质相关的修正因子。由 Wolf 和 Anderson 从理论上推导出物理性质比值，它是把物理性质修正为实际推进剂的恰当的因子，即

$$\text{滴尺寸修正因子} = \frac{\mu^{\frac{1}{3}} \sigma^{\frac{1}{2}} / \rho^{\frac{1}{2}} (\text{推进剂})}{\mu^{\frac{1}{3}} \sigma^{\frac{1}{2}} / \rho^{\frac{1}{2}} (\text{试验液体})} \quad (6)$$

3. 不同的 D_{32} 值对蒸发的影响

图 1 绘出了喷入燃油的 D_{32} 对发动机排出的未反应燃油百分数的影响。由方程(1)-(6)计算的喷射燃料的 D_{32} 在 $(100 \sim 200) \times 10^{-6} \text{m}$ 之间，当液滴尺寸超过这一范围时，未反应燃油的百分数增加一倍。这常常意味着发动机研制是否成功。

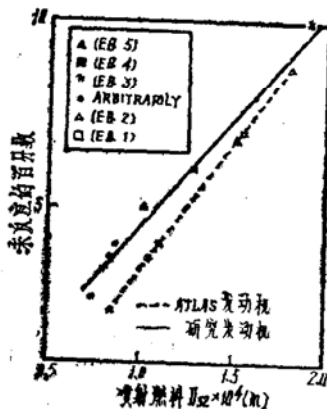


图 1 喷射液滴尺寸对性能的影响

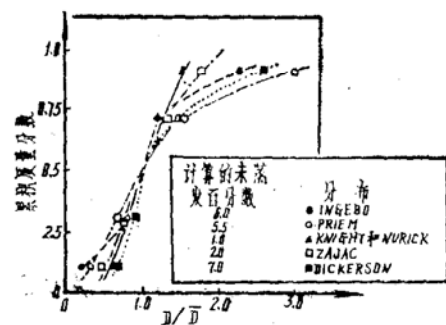


图 2 液滴尺寸分布及其对由 Atlas 助推器上喷出的未燃烧油的影响
(假定 $D_{32} = 150 \times 10^{-6} \text{m}$)

4. 液滴分布对蒸发性能的影响

图 2 画出了累积质量分数与规格化的滴径之比值，也示出了各种分布形状在燃烧室中未蒸发的燃油百分数。这些结果证实了即使在同样 D_{32} 值下，分布形状对蒸发效率也有很大影响。

二、雾化数据有问题的方面

以单一液体来进行试验不能确定液体密度对液滴尺寸的影响。另外在进行试验时所使用的流体性质不同，其结果也不一样。例如用熔化石蜡喷入冷气流与喷入热气流中的结果不一致，经几位研究者证明后者要合理些。

代表性液滴尺寸和尺寸分布相关方程的精度，很大程度取决于所获得的数据的数量，也就是被计测的液滴数目，现在已经算出：欲有 95% 的把握使 D_{32} 在 5% 的精度内，就必须测

定其精度。不同的测量方法有不同的精度，通常测量不同的参数（例如：瞬时分布与空间分布）又使用不同的测量方法，这个问题现在还没有很好解决。

应用性的问题有下面几点值得讨论：以试验结果为基础的经验，用外推法能够推到多“远”；当地气流速度对雾化的影响；空间与瞬时液滴尺寸数据之间的关系。

三、气流速度对雾化的影响

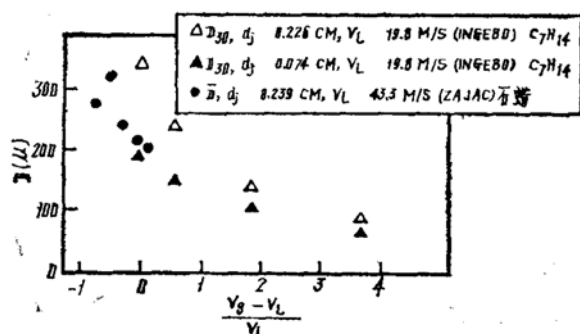


图3 气流速度对液滴尺寸的影响

燃烧室内气流速度对雾化有很大的影响，这一点常常被一些研究者忽略了，无论是只喷射液体的喷嘴或是用射入气体来加强雾化的喷嘴，燃烧室内的气体速度都是很重要的。图3表明即使在低压下，气流速度增加时，两个尺寸差别很大的喷嘴所生成的液雾之间的差别逐步消失。在只有少量液体喷入时，燃烧室中的气流速度不受影响，也不会燃烧。然而在实际的燃烧室中，雾化过程很大程度上取决于雾化程度，因此雾化方程应与气流速度的动力学方程结合起来。

四、空间分布与瞬时分布的关系

空间分布（浓度分布）是在液雾的某一给定区域中不同尺寸液滴的瞬间相对浓度。瞬时分布（通量分布）是各种尺寸液滴通过液雾的某给定区域的速率。

在稳态、一元流，液滴无聚合与碎裂，液滴总的通量和各尺寸液滴通量为常数。由此可计算出索太尔平均直径、质量中间直径、质量平均直径等。浓度的测定是在某给定区用照相法同时测出各种尺寸液滴而获得。

应当区别开通量分布和浓度分布，对于燃烧模化而言，需要的是通量分布。如果在要求通量分布数据时，使用了浓度分布数据就可能造成很大的误差。

周瑞摘译自 AIAA-85-1316

空气冷凝式喷气推进系统

液化空气循环发动机(LACE)系统是将来单级入轨飞行器的、可多次使用的先进推进系统，其特点如下：

1. 工作范围宽

LACE（见图1）能提供宽的工作范围是由于推进剂可以不同地组合：在空气喷气发动机工作时空气、液氧和液氢组合；火箭发动机工作时液氧和液氢组合。工况转换是非常平稳的。

LACE可在高马赫数下工作，例如M10左右，利用低温的推进剂冷却空气进口和空气冷凝器毗邻处。