

# 燃油温度、压力对离心喷嘴粒径分布的影响

张卓娅 李彩云 雷 熠

中国航空发动机集团有限公司 湖南动力机械研究所 湖南 株洲 412002

**摘要:** 为研究燃油温度和压力对离心喷嘴粒径分布的影响,基于PDPA测试系统对单油路离心喷嘴和双油路离心喷嘴在不同燃油温度和压力下的喷雾粒径分布进行了试验测量,试验结果表明:燃油温度增加,单油路和双油路喷嘴的喷雾粒径SMD减小,单油路喷嘴的SMD沿径向分布在较高温度下呈现递增再递减的趋势,在较低燃油温度下单调递增,双油路喷嘴的SMD沿径向分布呈现递增趋势;燃油压力增大,单油路和双油路喷嘴的喷雾粒径SMD减小,单油路喷嘴的SMD沿径向分布递增,双油路喷嘴的SMD沿径向分布无明显特征。

**关键词:** 离心喷嘴; PDPA; 燃油温度; 燃油压力; 粒径分布

## 1 引言

离心式喷嘴是一种压力雾化喷嘴,由于具有结构简单、雾化能耗小且性能优异的特点。燃油经过喷嘴雾化形成细小的液滴,液滴蒸发变为燃油蒸汽后在燃烧室内与空气混合燃烧,因此研究喷嘴的雾化特性对燃烧的热效率、稳定性、点火性能及污染物的排放都具有十分重要的意义

早期研究通过理论和实验等多种途径对离心喷嘴的雾化性能进行了深入研究,并且还制定了评定体系来评定雾化性能优劣,包括液滴粒径<sup>[1,2]</sup>、喷嘴流量<sup>[3]</sup>、雾化锥角<sup>[4]</sup>、破碎长度和空间分布情况等,其中液滴粒径一般使用索太尔平均直径(SMD)进行表征。

国内外研究者基于实验或者理论推导,研究得到了大量关于雾化液滴粒径的经验公式,其中耦合的因素各有差异,如Xiao Wei和Huang Yong等人<sup>[11]</sup>总结了多个前人关于雾化液滴粒径总体分布预测模型,并结合离心喷嘴雾化液膜破碎过程和理论分析,得到了一个更为全面的离心喷嘴雾化SMD总体预测模型,这些总体SMD预测模型虽然能反应雾化的总体性能,但无法表明在空间各位置处的具体情况;剑桥大学的Marchione等人利用PDA对离心喷嘴下游不同截面上沿径向的多个点进行了测量,最终得到了不同截面处的液滴粒径空间分布和速度空间分布构型,粒径空间分布呈现“单谷”分布,且越往下游液滴越分散;J.L Xie等人利用PDA测得了离心喷嘴喷雾在不同轴向距离位置上各截面上的液滴通量分布和轴向速度的空间分布,结果表明随着轴向距离的增加,空心雾锥逐渐变成了实心雾锥。

综上所述,目前采用的半经验公式等方法难以预测喷嘴的雾化特性,且燃油温度和压力对离心喷嘴的雾化影响无法排除,为研究燃油温度和压力对离心喷嘴的粒

径分布影响,本文基于PDPA测试系统对单油路离心喷嘴和双油路离心喷嘴在不同燃油温度和压力下的喷雾粒径分布进行了试验测量。

## 2 研究对象及试验系统

### 2.1 研究对象

离心式喷嘴结构简单,雾化能耗小,性能优异,试验采用的单油路离心喷嘴和双油路离心喷嘴

### 2.2 PDPA测试系统

PDPA系统主要由硬件系统和软件系统组成。硬件包括激光器、光学系统、三维坐标架、信号处理器,其中光学系统包括发射单元和接收单元;软件主要包括数据处理系统,接收器将检测到的信号发送到光电探测器,然后将信号引导至实时信号分析仪,分析仪将处理后的数据发送到计算机。

由于近场区域液雾较浓,且存在不规则大液滴,而PDPA测量粒径原理的基础假设是球形假设,因此PDPA在近场区域对大液滴的测量结果存在较大的偏差,大液滴的测量偏差对于液雾SMD的影响非常大,因此,为了提高实验测量结果的准确性,对测量的数据进行了过滤,剔除大于100um的测量结果。

## 3 试验结果和分析

试验测量了单油路喷嘴和双油路喷嘴在不同油压和油温下的SMD,为保证试验结果的可信度,分别在喷嘴下游H处(不同油温时H = 5mm/8mm;不同油压时H = 8mm/10mm)进行了测量。

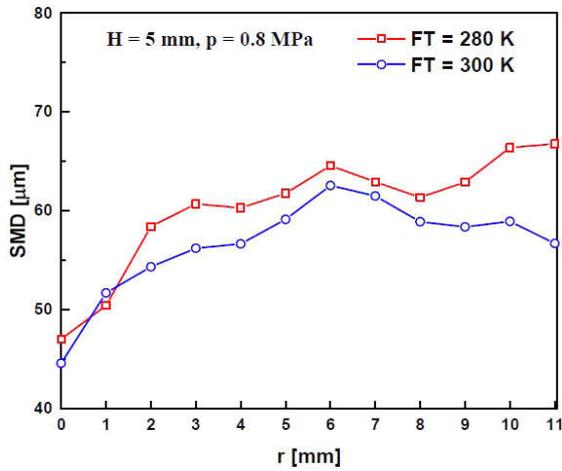
### 3.1 单油路喷嘴试验结果

#### 3.1.1 不同油温下单油路喷嘴雾化粒径测试结果

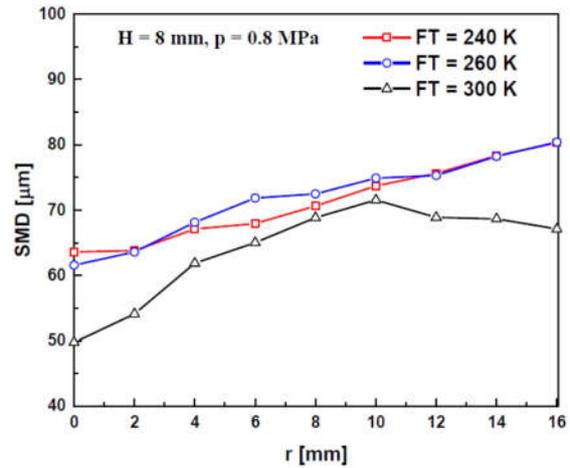
PDPA系统测量得到的单油路喷嘴雾化场SMD分布情况如图1所示。图中显示了不同燃油温度对应的SMD径向分布状况,随着燃油温度的增加,液滴的SMD值明显呈

减小的趋势，此外，SMD沿径向分布在较高温度下也是呈现递增再递减的趋势，然而在较低燃油温度下（FT =

240K，260K）只是单调递增的趋势。



a) 喷嘴下游5mm



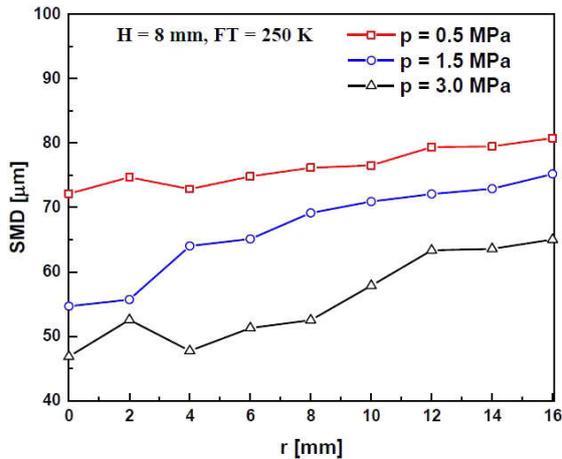
b) 喷嘴下游8mm

图1 不同油温下单油路喷嘴雾化粒径试验结果

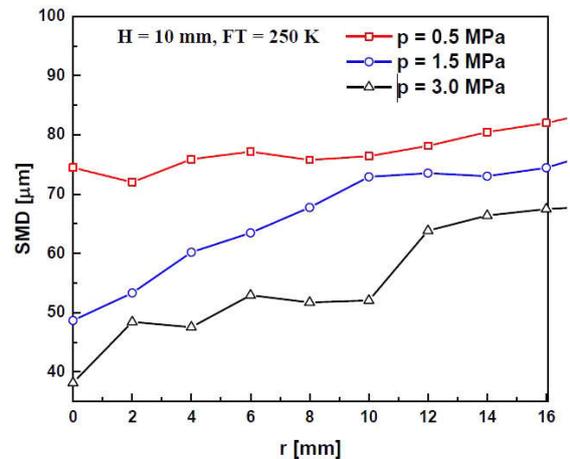
### 3.1.2 不同油压下单油路喷嘴雾化粒径测试结果

不同燃油压力对应的SMD分布情况如图2所示，燃油压力对液滴SMD的影响较为明显，在同样的径向位置

处，燃油压力3.0MPa所对应的液滴SMD值比0.5MPa压力平均可减少10%~25%。



a) 喷嘴下游8mm



b) 喷嘴下游10mm

图2 不同油压下单油路喷嘴雾化粒径试验结果

## 3.2 双油路喷嘴试验结果

### 3.2.1 不同油温下双油路喷嘴雾化粒径测试结果

双油路喷嘴雾化场在不同燃油温度下的SMD分布情况如图3所示。类似于单油路喷嘴，双油路喷嘴的SMD粒径值在较高的燃油温度下较小，是由于较高的燃油温度会增大液滴的蒸发损失，导致粒径减小。此外，双油路离心喷嘴雾化场的粒径SMD沿径向的分布不存在明显峰值，这与单油路离心喷嘴的喷雾粒径SMD沿径向的分布存在明显的不同，主要是由于喷嘴的结构导致的。同样地，在喷嘴下游截面8mm和10mm处双油路喷雾SMD粒

径随着燃油温度的变化和5mm处有相似的规律，但是对于H = 8mm处的SMD值而言，燃油温度对其影响在喷雾锥中心处更为明显。

### 3.2.2 不同油压下单油路喷嘴雾化粒径测试结果

双油路离心喷嘴雾化场在不同燃油压力下的SMD分布规律分别如图4所示，可以看到燃油压力对双油路离心喷嘴的作用效果与单油路离心喷嘴相似，均是较高燃油压力会导致粒径更小，且燃油压力对粒径影响在喷雾锥中心位置处更为明显。

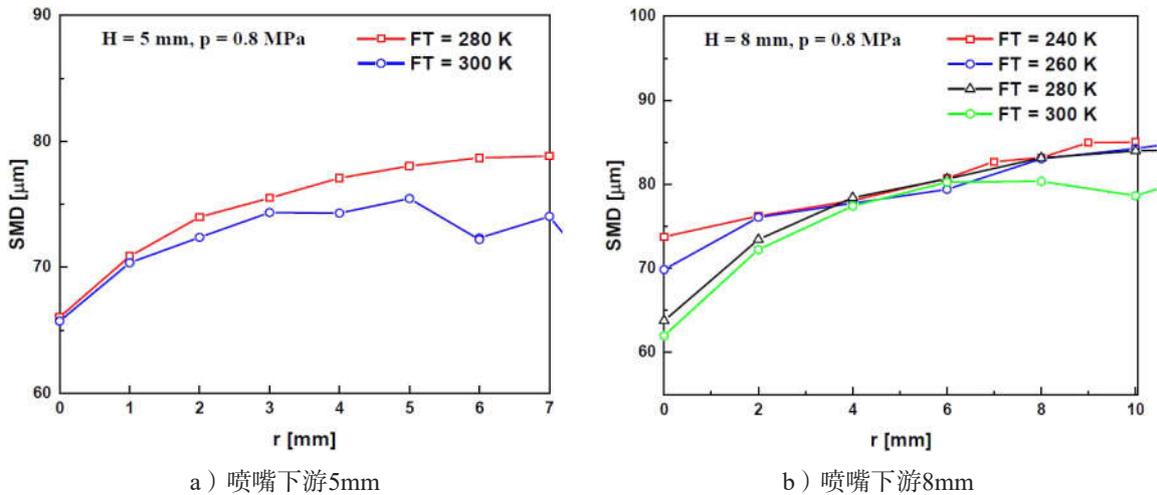


图3 不同油温下双油路喷嘴雾化粒径试验结果

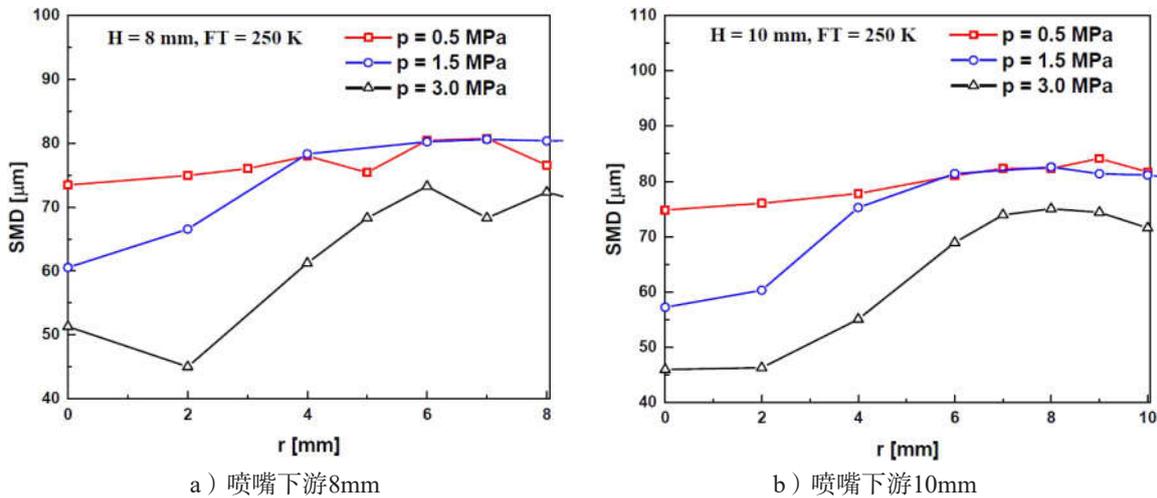


图4 不同油压下双油路喷嘴雾化粒径试验结果

结论

本文对单油路离心喷嘴和双油路离心喷嘴喷雾的粒径分布进行了实验测量，分别在不同燃油温度和喷油压力下对喷雾的SMD在不同轴向位置处沿径向的分布规律进行了探究，得到以下结论：

- (1) 燃油温度增加，单油路离心喷嘴的液滴SMD减小；SMD沿径向分布在较高温度下呈现递增再递减的趋势，在较低燃油温度下单调递增；
- (2) 燃油压力增加，单油路离心喷嘴的液滴SMD减小；且SMD沿径向分布呈现递增的趋势；
- (3) 燃油温度增加，双油路离心喷嘴的液滴SMD减小；SMD沿径向分布不存在明显峰值；
- (4) 燃油压力增加，双油路离心喷嘴的液滴SMD减小；燃油压力对粒径影响在喷雾锥中心位置处更为明显。

参考文献

[1]Laryea G N , No S Y . Development of electrostatic

pressure-swirl nozzle for agricultural applications[J]. Journal of Electrostatics, 2003, 57(2):129-142.

[2]Shi Q H , Shi-Chao Y E , Zhang D P , et al. The Spray Characteristics of Swirl Pressure Nozzle[J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2005.

[3]Lan Z , Zhu D , Tian W , et al. Experimental study on spray characteristics of pressure-swirl nozzles in pressurizer[J]. ANNALS OF NUCLEAR ENERGY, 2014, 63(jan.):215-227.

[4]Datta A , Som S K . Numerical prediction of air core diameter, coefficient of discharge and spray cone angle of a swirl spray pressure nozzle[J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2000, 21(4):412-419.

[5]Pressure-Swirl Atomizers, Journal of Propulsion & Power, 30(6) (2014) 1628-1635.