

燃油温度、压力对单油路离心喷嘴液雾速度分布的影响研究

李彩云 张卓娅 陈长国 谭文迪

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：为研究低温条件下，燃油温度和燃油压力对单油路离心喷嘴液雾速度分布的影响，采用PDPA测试技术进行了不同燃油温度和供油压力下的单油路离心喷嘴近场液雾速度分布测试，并结合前期该型喷嘴的雾化锥角特性对测试结果进行了分析。结果表明：单油路离心喷嘴近场液雾轴向速度呈现较为明显的双峰分布，切向速度随径向距离的增大而逐渐增大；随着燃油温度的降低，轴向速度峰值位置外移，轴向速度、径向速度均呈现整体降低的趋势；随着燃油压力的增大，轴向速度峰值内移，轴向速度、切向速度呈现整体增大的趋势。

关键词：燃油温度；燃油压力；离心喷嘴；液雾；速度分布

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。

众多学者对离心喷嘴喷雾场下游液滴速度分布进行了大量研究。Liao Y, Jeng S M^[1]等人研究了粒子空间分布曲线，研究结果表明整个喷雾场可以被分成四个区域：中心无雾区、内外边界区、核心区以及锥外无雾区。陈俊^[2]等人利用相位多普勒粒子分析技术对某航空发动机双路离心喷嘴进行了速度场的实验测量，得到了液滴速度分布：在内边界区到核心区速度变化剧烈；在核心区，速度分布呈现抛物型分布；在外边界区，速度又迅速下降直至为零。此外还研究了轴向距离对速度分布的影响，发现随着轴向距离的增加，轴向平均速度的峰值下降，但其分布区域却在不断加宽。此外，径向速度与轴向速度具有相同的分布形式，由于旋流角以及旋流室的结构的影响使得其值大概是轴向速度的0.5倍左右。

高继慧，陈国庆^[3]等人对压力旋流式雾化喷嘴进行了数值模拟研究，得到了喷嘴下游液滴粒径及其速度空间分布的规律。研究发现，由于液滴受到气体曳力和其自身重力的原因，液滴速度随着轴向距离的增加而急剧下降；同时，由于中心粒子向四周剧烈的扩散作用使得径向速度的分布呈现中心轴线处速度高，而边缘速度低的特点。

Marchione^[4]等人通过PDA技术对某离心喷嘴喷雾场下游液滴轴向速度分布进行了研究，王玉璋^[5]等人利

用DualPDA技术，对某离心喷嘴进行了大量冷态喷雾实验，结果都表明液滴平均轴向速度的径向分布呈“双峰”结构；并且轴向速度的径向分布随着轴向距离的增加变得平缓。Lukas^[6]等人借助PIV技术研究了压力对某离心喷嘴喷雾场下游不同截面液滴轴向速度分布的影响发现，低压下液滴轴向速度呈“单峰”分布，随着压力的增大液膜逐渐打开，液滴轴向速度分布逐渐向“双峰”分布过渡。

根据现有公开数据显示，基于不同温度和不同压力的离心喷嘴液雾速度分布的研究尚不全面。本文采用PDPA测试技术对不同燃油温度和供油压力下的离心喷嘴近场液雾速度分布进行测试分析，为工程应用提供技术和理论参考。

2 研究对象和试验方法

2.1 研究对象

本文研究的单油路离心式燃油喷嘴，对离心喷嘴开展燃油温度、压力对液雾速度空间分布影响的试验研究。在环境气体为常温常压的条件下，离心喷嘴的验证试验工况点列在表1中，雾化验证试验需要对表中的所有工况点开展试验。

表1 试验工况

Case	燃油温度(K)	燃油压力(MPa)
1	300	0.8
2	260	0.8
3	240	0.8
4	250	0.5
5	250	1.5
6	250	3

2.2 测试试验

测试系统主要包括：高速动力系统、燃油系统、空气系统、抽风与油气分离系统、PDPA仪、高速摄影系统、测试系统、电气与控制系统等。

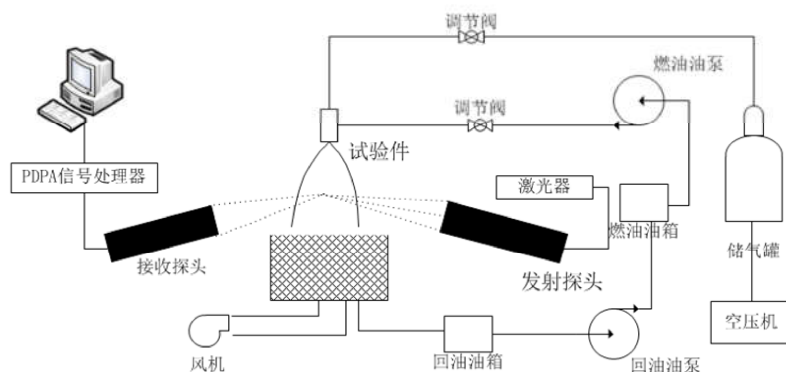


图1 PDPA测试系统

3结果与讨论

3.1燃油温度对速度分布的影响

图2为不同油温条件下离心喷嘴近场（8mm截面）液雾的速度空间分布曲线，油温范围为 $T = 240\text{K} \sim 300\text{K}$ ，油压均为 $P = 0.8\text{MPa}$ 。由图2a可以看出：（1）随着燃油温度的降低，离心喷嘴轴向速度空间分布的峰值呈现降低的趋势，这是因为燃油温度的降低会使得液体粘性增大，从而增大离心喷嘴内部的粘性损失，降低离心喷嘴的旋流强度和喷嘴出口速度，从而使得轴向速度峰值降低；（2）随着燃油温度的降低，轴向速度峰值径向位置有逐渐外移的趋势，根据该型离心喷嘴锥角的试验测量

结果，燃油温度的降低会使得离心喷嘴液雾锥角呈现逐渐增大的趋势，这是导致峰值径向位置外移的原因。由图2b可以看出：（1）随着径向距离的增大，切向速度呈现逐渐增大的趋势，其原因是具有更强穿透能力的大液滴在离心力的作用下穿透到液雾外围，并保存较高的切向速度，从而使得液雾切向速度呈现径向距离越大，切向速度越大的趋势；（2）随着燃油温度的降低，切向速度呈现整体降低的趋势，这是因为燃油温度的降低会使得液体粘性增大，从而增大离心喷嘴内部的粘性损失，降低离心喷嘴的旋流强度，从而使得切向速度呈现整体降低的趋势。

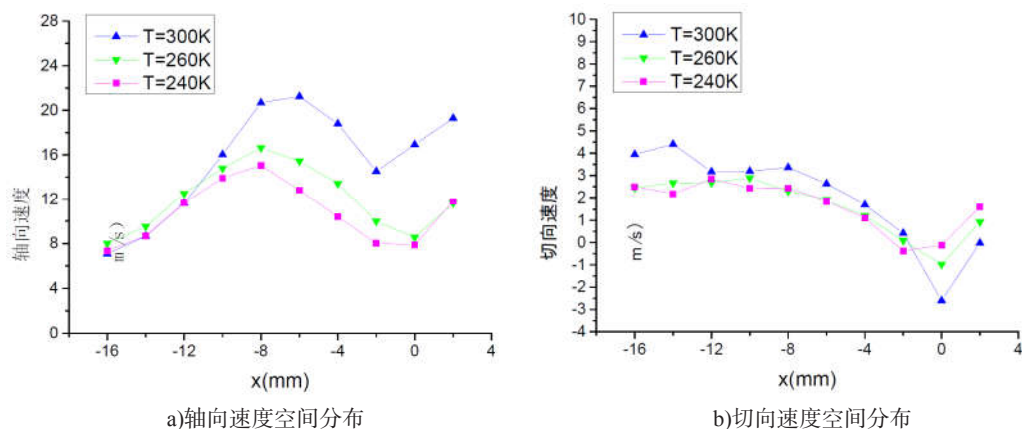


图2 燃油温度对空间速度分布的影响

3.2燃油压力对速度分布的影响

图3为不同燃油压力条件下离心喷嘴近场（8mm截面）液雾的速度空间分布曲线，油温为 $T = 250\text{K}$ ，油压范围均为 $P = 0.5\text{MPa} \sim 3\text{MPa}$ 。由图3a可以看出，随着燃油压

力的增大，轴向速度空间分布的峰值呈现增大趋势，且峰值的径向位置出现内移趋势，这是因为燃油压力的增大会使得液膜速度增大，从而破碎产生的液滴轴向速度增大；本型离心喷嘴雾化锥角随燃油压力的增大而减小

的特性,也是导致峰值径向位置内移的原因。由3b可以看出,随着燃油压力的增大,切向速度呈现整体增大的趋势,这是因为燃油压力的增大,增强了离心喷嘴的旋

流强度,液膜切向速度增大,破碎产生的液滴切向速度也相应增大。

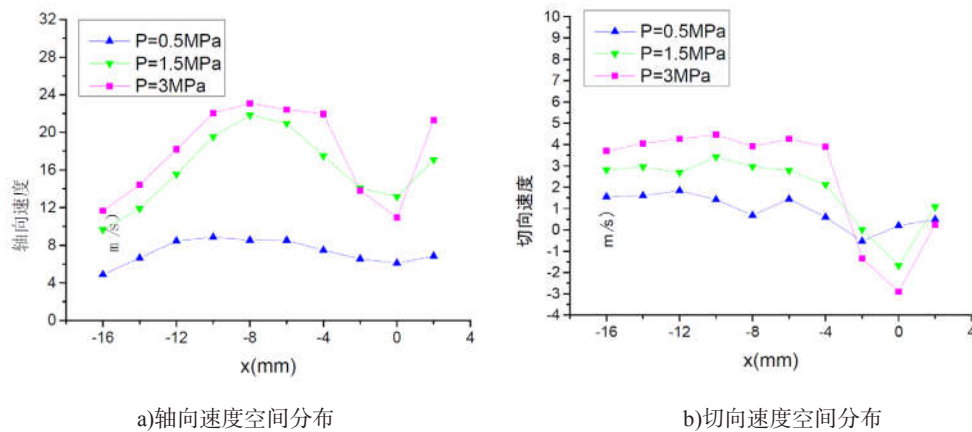


图3 燃油压力对空间速度分布的影响

结论

本文采用PDPA测试技术研究了燃油温度、燃油压力对离心喷嘴近场液雾速度空间分布的影响,得到如下结论:

(1) 对于轴向速度分布,PDPA的测试结果显示呈现较为明显的双峰分布,峰值位置与液雾锥角相关;

(2) 随着径向距离的增大,切向速度呈现逐渐增大的趋势,这可能与大液滴穿透能力较强,且保存较大的切向速度有关;

(3) 随着燃油温度的降低,单油路喷嘴轴向速度峰值位置外移,这与不同喷嘴液雾锥角随燃油温度的变化趋势不同有关;轴向速度、径向速度均呈现整体降低的趋势,这与粘性增大导致损失增大、液膜速度降低有关;

(4) 随着燃油压力的增大,单油路喷嘴轴向速度峰值内移,这与不同喷嘴液雾锥角随燃油压力的变化趋势不同有关;轴向速度、切向速度呈现整体增大的趋势,这与压力增大导致的液膜速度增大有关。

参考文献

- [1]Liao Y, Jeng S, Jog M, et al. On the mechanism of pressure swirl airblast atomization[C]// Joit Propulsion Conference and Exhibit. 2013.
- [2]陈俊,吉洪湖,张宝诚. 双油路离心喷嘴雾化油滴的平均和脉动速度场的实验[J]. 航空动力学报, 2010, 25(11): 2464.2471.
- [3]高继慧,陈国庆,高建民,等. 半干法压力旋流式喷嘴雾化性能数值模拟[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2010, 42(3): 437.441.
- [4]Marchione T, Allouis C, Amoresano A, et al. Experimental Investigation of a Pressure Swirl Atomizer Spray, Journal of Propulsion and Power, 2007, 23(5): 1096.1101.
- [5]王玉璋,翁史烈,王永泓. 模型饱和器冷态喷雾场的实验研究[J]. 动力工程, 2003(01): 2210.2214.