

直射式喷嘴喷雾特性的实验研究*

北京航空航天大学 徐行* 郭志辉 边寿华

【摘要】 用二维激光测速测粒仪,对直射式喷嘴在横向气流中所形成喷雾的粒度、平均和脉动速度,以及浓度进行了测量。研究了喷雾的结构,气流速度以及喷射方向对喷雾特性的影响,不同直径的粒子在横向的扩散。为两相流模型的研究以及数值计算结果的验证提供实验数据。

主题词: 激光测速仪 雾化 喷嘴 测量

分类号: V231.2

1 引言

直射喷嘴主要用在航空发动机加力燃烧室中。喷嘴的雾化和所形成的燃油浓度分布对燃烧室的性能有重大的影响。杨茂林^[1]用燃气分析的方法,测量了直射喷嘴后的燃油浓度分布。该方法只能测量总体的浓度,不能测量粒子大小和速度。金如山^[2], Jasuja A K^[3]用马尔文测雾仪测量了直射喷嘴的穿透和下游的粒度分布。该方法只能测量光束内平均的粒度,也不能测量粒子速度。本文采用二维激光测速测粒仪,可同时测量空间一点上粒子的粒度、速度和浓度。通过扫描可获得整个喷雾场的详细结构。一方面,对喷雾场有更深入全面的了解,研究喷雾的规律。另一方面,为发展初始雾化模型和验证喷雾两相流的数值计算结果提供实验数据。

2 实验装置和测量方法

空气由压缩机供给,通过稳压箱进入实验段。在实验段前端安装整流板保证气流均匀。整流板后安装皮托管测气流速度。在实验段上开窗口,以便激光穿过进行测量。喷嘴安装在窗口内合适的位置上。实验段的横截面为: 150 mm × 300 mm。

测量采用二维PDA。PDA发射镜头的焦距为: $f = 600$ mm。接收镜头的焦距为: $f = 500$ mm。测量粒度采用二次折射方式。测速精度为1%,测粒精度为4%,浓速测量精度为30%。每个点测量5000个粒子,然后进行统计平均得到粒子的粒度、速度和浓度^[4]。测量截面为沿气流方向距喷嘴 $x = 10, 20, 40, 60, 80, 120$ mm 的横截面。在横截面上沿两个方向扫描。气流的速度由测量粒子发生器产生的小于 $5\mu\text{m}$ 的粒子的速度代替。

为了研究气流速度和喷射方向对喷雾的影响,实验选用了 $V_g = 65, 55$ 和 45 m/s 3种不同的气流速度,以及与气流方向成 $\theta = 45^\circ, 90^\circ$ 和 135° 3种不同的喷射方向。实验中用水代替燃油。喷孔直径为 0.4 mm。喷射压力为 $P_w = 0.6$ MPa 和 $P_w = 0.8$ MPa。

3 实验结果及分析

选用 $V_g = 65 \text{ m/s}$, $\theta = 90^\circ$, $P_w = 0.6 \text{ MPa}$ 的喷雾为例说明喷雾的结构。

粒子平均直径 SMD 的分布。如图 1 所示 (1~6 图, 图中符号 X 值相同), 粒子的 SMD 沿喷射方向逐渐增加。这是因为初始雾化后, 大粒子的惯性大, 穿透深度大, 沿 Y 方向大粒子增加, 故粒子的 SMD 沿 Y 方向增大。沿流动方向喷雾在 Y 方向扩展, 粒子 SMD 变化的趋势不变, 变化率减小。最小直径不变, 最大直径由于喷雾的扩散而增大。在相同的 Y 位置上, 粒子的 SMD 随 X 的增大而减小。

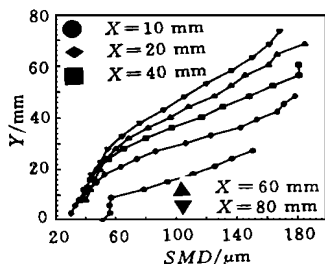


图 1 不同截面 SMD 沿 Y 的分布

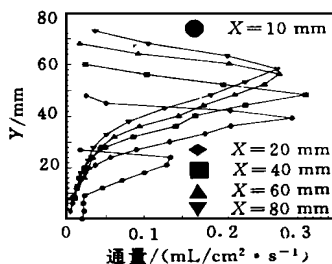


图 2 不同截面通量沿 Y 的分布

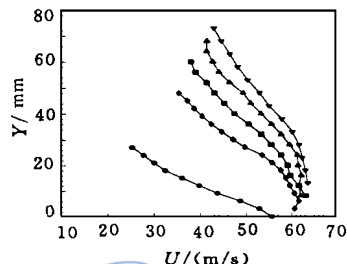


图 3 不同截面 U 沿 Y 的分布

粒子通量的分布。如图 2 所示, 沿 X 方向粒子的最大浓度值向 Y 方向移动, 喷雾的宽度不断扩展。在 $X = 10 \text{ mm}$ 的截面, 由于喷雾的浓度大, 粒子的速度与激光束有较大的角度, 浓度测量的误差较大。由各截面喷雾的通量分布可以看出喷雾的穿透深度。

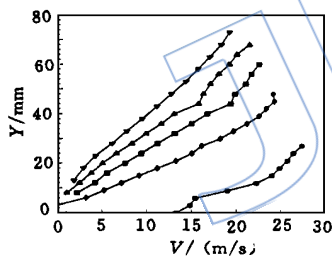


图 4 不同截面 V 沿 Y 的分布

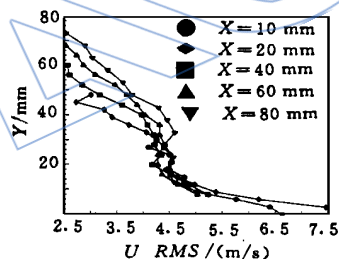


图 5 不同截面 U_{RMS} 沿 Y 的分布

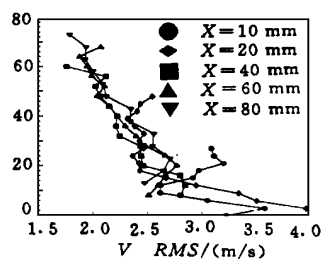


图 6 不同截面 V_{RMS} 沿 Y 的分布

粒子平均速度的分布。粒子在 X 方向的分速度 U 的分布如图 3 所示。沿 Y 方向 U 逐渐减小, 近似线性分布。粒子在 Y 方向的分速度 V 的分布如图 4 所示。沿 Y 方向 V 逐渐增大, 也近似线性分布。这一现象是由于粒子 SMD 的分布决定的。沿 Y 方向, 粒子的直径增加, 粒子的惯性增大。一方面, 大粒子对气流的跟随性差, 使得大粒子的 U 速度低。另一方面, 大粒子的惯性大, 在 Y 方向速度衰减的慢, 使得 V 速度大。随着 X 的增加, U 速度逐渐趋近于气流速度, V 速度逐渐趋近于零。

粒子的脉动速度分布。如图 5 和图 6 所示。粒子的脉动速度随 Y 的增加而减小。各截面上的脉动速度近似相同。这一现象同平均速度分布一样, 也是由粒子的 SMD 的分布决定的。粒子的直径越大, 其跟随性就越差, 脉动速度就越小。实验中我们测量了气流速度的脉动, 在 $V_g = 65 \text{ m/s}$ 时, 气流的脉动均方根值为: $u_g^2 = 12 \text{ m/s}$, $v_g^2 = 4 \text{ m/s}$ 。气流在两个方向上的脉动均方值是不同的。主流方向上的脉动速度大于与其垂直方向上的脉动速度。反映在粒

子上, 两个方向的脉动均方值也不相同。

喷射方向对喷雾的影响。不同方向喷射时的 SMD 、 $Flux$ 、 U 速度的比较如图 7-9 所示。在距喷嘴 $X = 60$ mm 的截面上, 侧顺喷 ($\theta = 45^\circ$) 的喷雾扩展的很小, 粒子的 SMD 最大。侧喷 ($\theta = 90^\circ$) 和侧逆喷 ($\theta = 135^\circ$) 的喷雾的 SMD 和 U 速度的分布几乎相同, 扩展较宽。

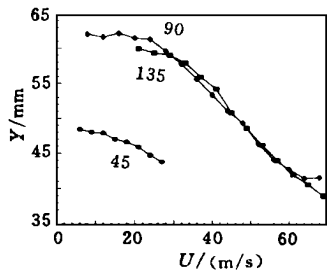
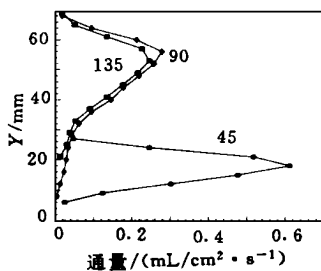
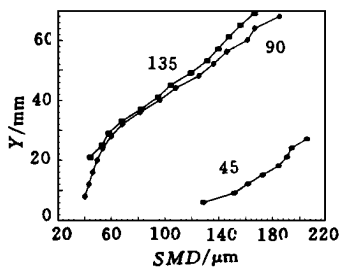


图 7 不同喷射方向 SMD 沿 Y 的分布 图 8 不同喷射方向通量沿 Y 的分布 图 9 不同喷射方向 U 沿 Y 的分布

喷雾横向扩展的情况。图 10 分别为侧喷、气流速度为 $V_g = 45$ m/s 时, 在 $X = 60$ 的测量截面上, 3 个不同的 Y 处喷雾沿 Z 方向的 SMD 、 U 和 V 速度分布。 SMD 在喷雾的边缘比在中心大。说明在 Z 方向, 大粒子扩散的较宽。而 U 和 V 速度分布沿 Z 方向基本不变。

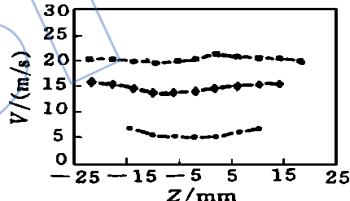
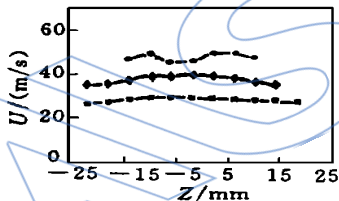
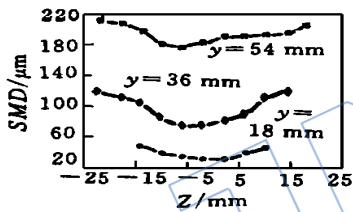


图 10 不同 Y 位置 SMD 、 U 和 V 沿 Z 的分布

不同直径粒子在 Y 方向的扩散。为了能使实验数据和数值计算结果相比较。选取了 $15 \sim 30 \mu\text{m}$ 、 $60 \sim 75 \mu\text{m}$ 和 $105 \sim 120 \mu\text{m}$ 3 种不同尺寸组的粒子, 分析了在不同的测量截面上, 沿 Y 方向的扩散情况和速度分布。图 11 显示了粒子的运动和扩散过程。直径为 $15 \sim 30 \mu\text{m}$ 的粒子的分布沿 X 方向基本不变。直径为 $60 \sim 75 \mu\text{m}$ 和 $105 \sim 120 \mu\text{m}$ 的粒子, 沿 X 方向, 其最大

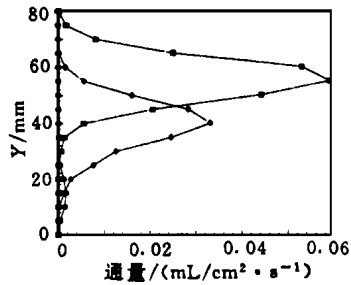
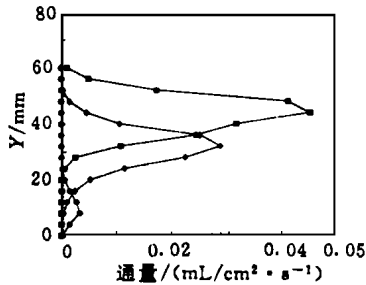
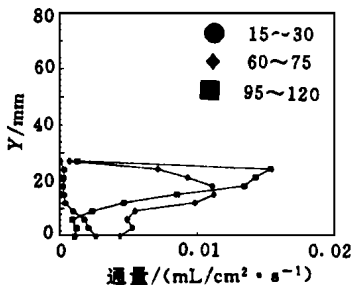


图 11 $X = 10, 40$ 和 80 mm 截面通量分布

浓度的位置沿 Y 方向移动。而其分布宽度逐渐增加。通量相对于最大浓度的位置呈对称分布。这两组的扩散宽度基本相同。比第一组要宽。

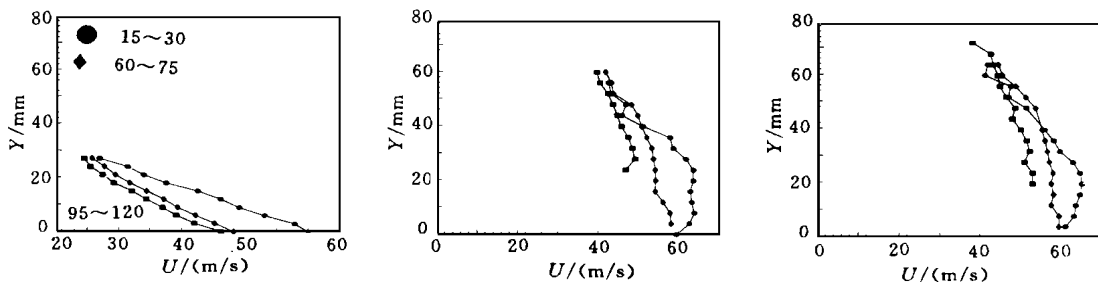
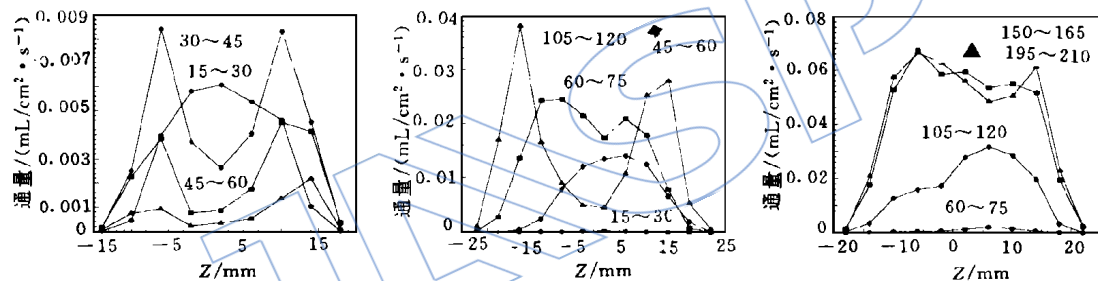
图 12 $X = 10, 40$ 和 80 mm 截面 U 分布

图 12 显示了粒子的速度分布。直径为 $15 \sim 30 \mu\text{m}$ 的粒子的跟随性好, 所以其 U 速度最大, 接近气流速度。在 $X = 20$ mm 以后的截面上, 在其扩散宽度内, 速度分布均匀。在其扩散宽度的上边缘, U 速度减小, 与大粒子的速度接近, 说明这些小粒子是由于大粒子二次雾化产生的。直径为 $60 \sim 75 \mu\text{m}$ 和直径为 $105 \sim 120 \mu\text{m}$ 的粒子在 $X = 10$ mm 的截面上有很大的速度差。这是由于喷雾的初始雾化造成的, 雾化有一个初始段, 相同直径的粒子有不同的初始位置 and 不同的初始速度。如果一出喷口就雾化, 并以相同的速度喷出, 则粒子的速度应是均匀的。

图 13 $Y = 18, 36$ 和 54 mm 位置通量分布

不同直径粒子在 Z 方向的扩散。本文选取不同直径的粒子在 $X = 40$ 截面, $Y = 18, 36$ 和 54 mm 3 个不同位置上, 沿 Z 方向的通量分布。如图 13 所示。相同直径的粒子在不同的 Y 位置上, 有不同的分布。随着 Y 的减小, 通量的分布由单峰分布变成了双峰分布。在整个截面上同一直径粒子的通量分布呈月牙形。这是喷雾与气流相互作用的结果。

结论 对直射式喷嘴在横向气流中产生的喷雾进行了测量。得到了粒子粒度, 速度和浓度在空间分布的精确的数值, 粒子的湍流特性, 以及不同直径粒子的运动和扩散的规律。研究了喷射方向对喷雾的影响。为两相流模型的研究以及数值计算结果的验证提供实验数据。

参 考 文 献

- 王俭, 顾善建, 杨茂林, 肖惟慧. 直射式喷嘴跨流喷射的雾化特性实验研究. 航空学报, 1990, 11(4):
- 朱俊勇, 王庚, 张岩, 金如山. 均匀及非均匀横向气流中直射式喷嘴雾化的实验研究. 中国工程热物理学会燃烧学术会议, 1986
- Hussein G A, Jasuja A K, et al. Penetration and Break-up Behaviour of a Discrete Liquid Jet in a Flowing Airstream—A Further Study. ASME 83-GT-170
- SIZEware™ User's Guide DANTEC Measurement Technology, 1992

(责任编辑 杨再荣)

FULL- LENGTH PAPERS

RECUPERATION OF TURBOFAN ENGINE AND ITS THERMODYNAMIC ANALYSIS

Cai Ruixian, Zhang Shizheng, Wang Xu

(*Institute of Engineering Thermophysics, Academia Sinica, Beijing 100080*)

ABSTRACT

A novel method for modifying a turbofan aeroengine into a land-base turboshaft engine was proposed by late Prof. C. H. Wu. In this case, the exhaust of hot core flow is used to recuperate the bypass flow, therefore, it is not necessary to redesign the low pressure compressor (fan) and the low pressure turbine. A comprehensive thermodynamic analysis is given to study the applicable range and results of this proposal. It is found that such modification is suitable for the turbofan engines with bypass ratio approximately equal to 1. The optimum total pressure ratio for efficiency is rather low and approximate to the optimum pressure ratio of pure gas turbine for specific output. The obtainable system efficiency and power can be higher than the conventional modification method (cutting the top of fan blade) for about 10% relatively.

Key Words Turbofan engines Thermodynamic cycles Heat regeneration systems

AN EXPERIMENTAL STUDY ON SPRAYS OF A LIQUID JET IN A CROSS AIR STREAM

Xu Hang, Guo Zhihui, Bian Shouhua

(*4th Dept. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083*)

ABSTRACT

The atomization characteristics of a liquid jet injected into a high velocity cross air stream have been studied experimentally. The distributions of SMD, velocity and concentration of liquid droplets were measured with two dimensional PDA. The main conclusions have been drawn from the experimental investigation as follows: (1) In all measured sections along the direction of injection, the SMD and the velocity component perpendicular to air stream decrease, whereas the velocity component parallel to air stream increase. (2) Along the traverse direction, SMD in periphery of spray is larger than that in its center. (3) Droplet penetration increases with an increase in diameter of droplet. Crescent concentration of droplets with identical diameter can be observed due to the interaction between liquid jet and the cross air stream.

Key Words Atomizing Nozzles Laser speedometers measurements Afterburners