

喷雾场特性的实验研究*

刘 伟 刘 燕 严传俊

(西北工业大学航空动力与热力工程系, 西安, 710072)

摘 要: 采用全息方法对流动环境中实际喷嘴的喷雾场进行了大量的实验研究, 获得了在不同工况下喷雾场液滴尺寸分布、液滴运动速度及运动角度和空间分布等许多实验结果。这些结果给出了喷雾特性随喷雾压力、气流速度和喷嘴尺寸等因素的变化特点, 揭示了喷雾场中液滴速度及角度的分布规律, 为喷雾运动的计算提供了有用的数据。

主题词: 全息摄影, 喷嘴, 液体雾, 影响因素, 实验室试验

分类号: V434.23

AN EXPERIMENTAL STUDY ON SPRAY CHARACTERISTICS

Liu Wei Liu Yan Yan Chuanjun

(Dep. of Aeroengine, Northwestern Polytechnical Univ. Xi'an, 710072)

Abstract: A liquid spray formed by a swirl atomizer has been studied with holographic technique. The experiment was conducted for the spray in a co-flowing uniform airstream in different cases, from which drop size distribution, droplet velocity, droplet flying angle and their spatial distribution were obtained. The experimental results correctly reveal the physical variation of the spray characteristics with atomizing pressure, gas velocity and atomizer diameter, and provide useful data for spray calculations.

Subject terms: Holography, Injector, Liquid atomization, Influence factor, Laboratory test

1 引 言

随着测试技术的发展, 喷雾场的测量广泛采用非接触式的光学测量方法, 如激光多普勒风速仪、Malvern 滴径仪、激光全息测量方法等。激光全息利用物光和参考光的干涉, 记录物体的光场振幅和位相, 因而能反映物体的三维特性。采用脉冲式激光全息技术, 可以瞬时地

* 本文 1994 年 4 月 10 日收到

把动态粒子场“冻结”起来,粒子的大小、形状、数量和空间位置可逐个辨认、统计。利用二次或多次曝光,还可以测量液滴运动速度、加速度、运动角度等复杂的变化状况。因此这种方法被认为是测量动态粒子场的有用工具之一^[1]。

国内外对用全息方法测量粒子场已经做了大量的基础研究工作,但对用于喷雾过程等工程实际问题的研究还不够。本文把全息方法应用于实际流动环境中喷雾的研究,通过实验来分析喷雾场液滴尺寸分布、液滴运动参数分布的特点及其随不同工况的变化规律。

2 实验装置

实验装置由气源系统、实验段以及油路系统等部分组成。实验段横截面尺寸为 250mm×250mm,前端可安装喷嘴。为保证全息实验对透光率的要求,实验中选用了两种具有一定喷雾角且流量较小的喷嘴,其喷口尺寸分别为 0.5mm、1.0mm,设计喷雾角分别为 75°、90°。应该指出,本文虽然选取旋流式喷嘴为研究对象,但同样的实验方法可以用到其它形式的喷雾场。

采用 HTRC-5000 脉冲激光全息系统进行记录。该系统采样空间为 102mm,分辨率可达 5μm,可采用离轴和同轴两种方式进行测量^[2]。本文采用同轴方式记录喷雾粒子场。

实验结果在 HRS-5 全息再现系统上再现。为了使数据处理直观而又便利,对该系统进行了改进,以达到全息照片的半自动处理。改进后的系统主要由摄像机、三维拖板、闭路电视、数字式坐标读数仪等组成。通过万向控制器,可以使整个系统的操作十分方便。全息干板的数据处理则采用人工方法进行判读^[3]。

3 实验结果及分析

实验工况及其编号如表 1 所示。

Table. 1 The experimental cases

Cases	Diam. of atomizer (mm)	Fuel pressure (Pa)	Fuel flow rate (kg/h)	Gas flow rate (kg/s)
1	No. 1 (0.5)	39.2×10^4	11.3	0.62
2	No. 1	39.2×10^4	11.3	1.20
3	No. 1	88.3×10^4	18.8	0.62
4	No. 2 (1.0)	39.2×10^4	20.2	0.62

图 1、图 2 给出了两种喷嘴在初始区内(距喷嘴不到 10mm 的区域内)液滴尺寸的频率分布图。为了便于比较, No. 1 喷嘴的三种工况分布都在同一张图上给出。数据处理中, 工况 1~4 的统计粒子数分别取为 998、1020、1010 和 1005 个, 而据此得到的液滴平均直径则分别为 64.8、68.7、55.1 和 100.5μm。图 1 表明, 保持喷雾压力不变, 由工况 1 变到工况 2 即气流速度增加时, 由于液滴与气流速度之间相对速度的减小, 使雾化变粗, 故曲线右移, 但由于流速较低, 这种变化较小; 当流速不变, 从工况 1 变到工况 3 即喷雾压力提高时, 由于油流扰动以及相对速度的增加, 雾化变细, 故分布曲线左移。至于对工况 1 和工况 4 不同喷嘴

的情形,可以看出 No. 2 喷嘴尺寸分布的范围更大,平均直径也比工况 1 时大得多,可见喷嘴尺寸对喷雾特性有较大的影响。

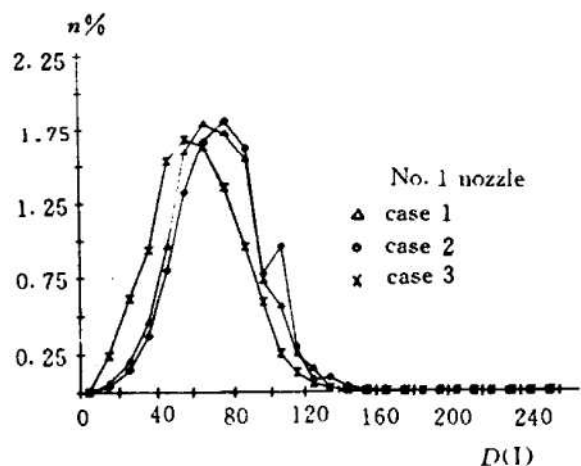


Fig. 1 Droplet size frequency distribution

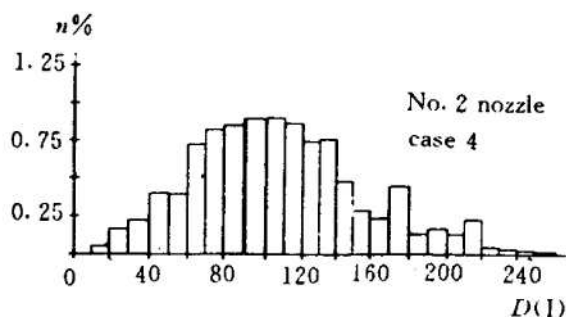


Fig. 2 Droplet size frequency distribution

以往的研究表明,压力式喷嘴的液滴尺寸一般可以用 R-R 分布来表示,该函数形式为:

$$Q = 1 - \exp[-0.693(D/MMD)^n] \quad (1)$$

式中 MMD 为平均中径, n 为分布指数,反映液滴尺寸分布的均匀性。

(1) 式可改写成:

$$\log D = \frac{1}{n} \log \left[\frac{\ln(1-Q)^{-1}}{0.693} \right] + \log(MMD) \quad (2)$$

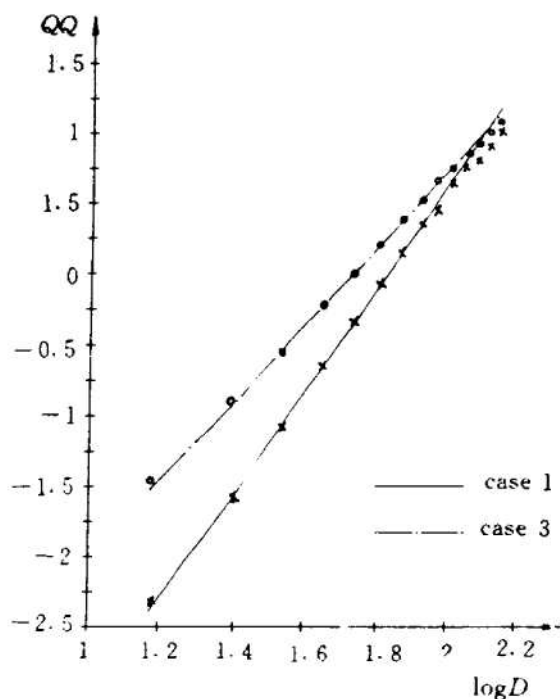


Fig. 3 Droplet size distribution for different cases

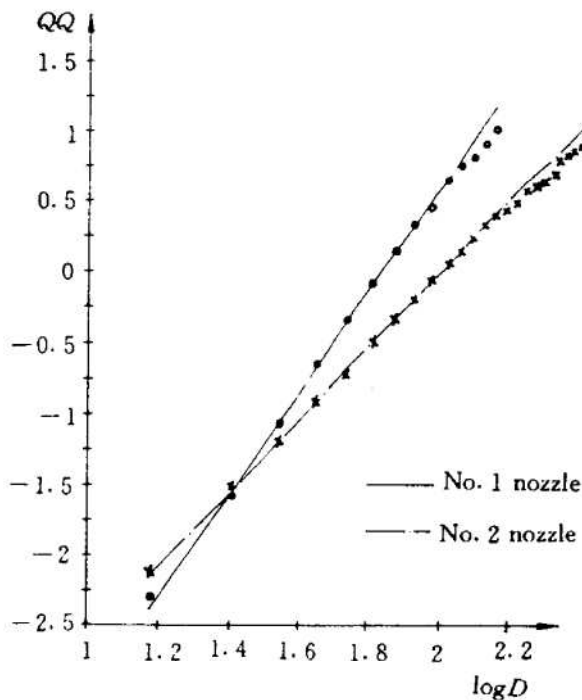


Fig. 4 Droplet size distribution for different atomizers

它表明若液滴尺寸满足 R-R 分布,则 $\log D$ 与 $QQ = \log \left[\frac{\ln(1-Q)^{-1}}{0.693} \right]$ 满足线性关系。

图 3、图 4 分别给出了不同工况以及不同喷嘴的液滴尺寸分布。由图可见,虽然在尺寸较大和较小时有一定的偏差,但总体来看,尺寸分布符合线性规律。图中工况 1、3、4 的斜率分别约为 3.6、2.9 和 2.6。对同一喷嘴,工况 1 比工况 3 陡,说明喷雾压力的增加虽然使液滴直径减小,然而由于 n 的减小,使得尺寸分布变得相对地不均匀了;而对不同的喷嘴, No. 1 喷嘴的液滴分布更为均匀一些,这些与前面结果的分析是一致的。

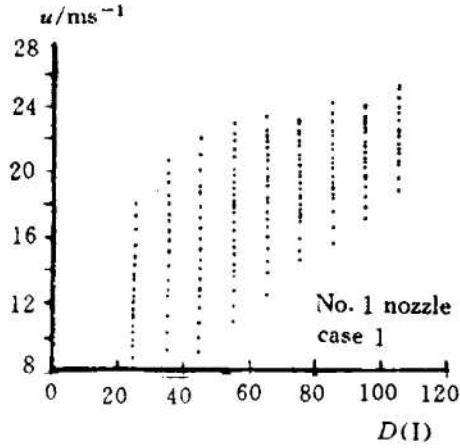


Fig. 5 Droplet velocity distribution

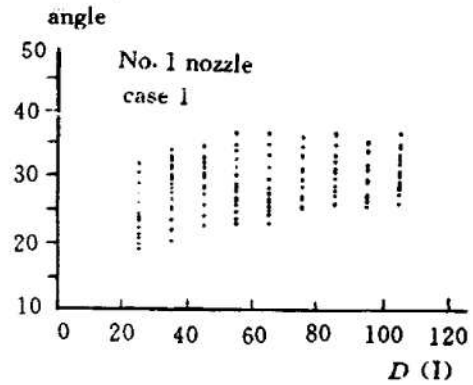


Fig. 6 Droplet flying angle distribution

图 5、6 给出了 No. 1 喷嘴在喷雾初始区的速度和角度随液滴尺寸的分布情况。虽然总的变化趋势表明,随尺寸增大,液滴速度增大,且液滴运动角度也增大,并趋于喷雾角,但图中也清楚地说明,在同一工况下,某一尺寸液滴的速度、角度并不相同,而是具有一定的速度、角度分布范围,不同尺寸液滴的速度、角度也是不同的,且有不同的分布范围。对液滴来说,其速度和角度的取值呈现出随机性。运动角度的变化范围显然要小,可见液滴运动具有一定的取向性。

上述结果不仅给出了喷雾液滴的运动特点,而且也指出了在喷雾计算中正确地给定其初始运动状态是十分重要的。

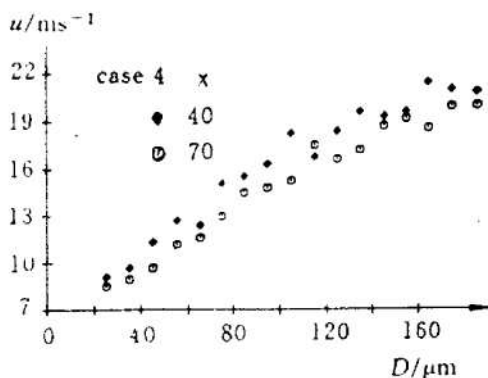


Fig. 7 Downstream droplet velocity distribution

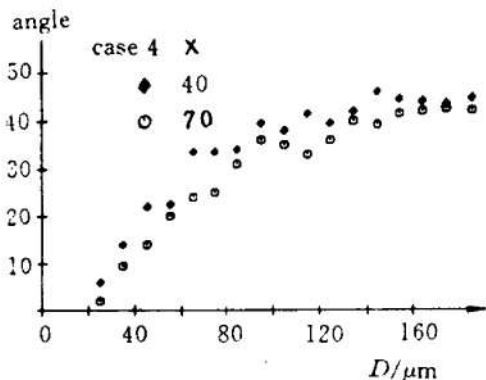


Fig. 8 Downstream droplet flying angle distribution

图 7、图 8 分别给出了 No. 2 喷嘴的液滴运动速度和液滴运动角度随液滴尺寸 D 以及轴向位置 x 的实验结果。虽然实验值有一定的波动性,但仍呈现了一定的规律。可以看出,液

滴尺寸越小,其运动速度越接近于气流速度,可见小液滴更易受到气流阻力的影响;随 x 的增加,不同尺寸的液滴速度也减小,但尺寸越小,其速度值也越接近于气流速度;而大液滴由于较大的惯性在相当距离后仍未达到速度平衡。此外,随尺寸增加,运动参数变化趋于缓慢,说明粒子运动速度具有一定上限值。

在初始区中,液滴具有一定的运动角,且由于离心喷嘴的作用,大小粒子分别具有较大和较小的平均运动角。在一定轴向距离处,随尺寸 D 减小,运动角也减小,且趋近于零,说明小液滴更易于取气流运动方向;随 x 增加,不同直径液滴的角度也是减小的,说明液滴在不断地偏折,从而向喷雾中心线靠近。运动角先急后缓的变化特点,说明小液滴“随流而动”,更易受到气流运动的影响而发生偏折。

4 结 论

(1) 喷雾液滴尺寸及其分布随不同工况的变化反映了雾化过程的物理变化规律,其分布基本上符合R-R分布;值得注意的是,对同一喷嘴,尽管喷雾压力的增加使液滴平均直径减小,但同时却使其尺寸分布相对地变得不均匀。

(2) 液滴在初始区的运动速度及运动角度的分布具有一定的随机性,不同尺寸的液滴具有不同的分布范围。因此,液雾计算中应正确地处理运动初始条件。

(3) 液滴运动速度和运动角度均随距离的增加而减小,但粒子尺寸越小,其运动速度在一定距离后越接近于气流速度,而运动角度随尺寸呈现出小液滴上升快、大液滴上升趋于缓慢的特点,说明了在一定初始状态下,液滴尺寸对燃油的分布有很大的影响。

参 考 文 献

- [1] Trolinger J D. Laser Diagnostic Method. AIAA-83-1983
- [2] 西北工业大学七系. HTRC-5000 激光全息系统. 西北工业大学, 1990
- [3] 何万祥. 应用激光全息术对柴油机油雾场分布规律的测量研究. 内燃机学报, 1985 (1)

(上接第39页)

参 考 文 献

- [1] 孟憬非. 航空发动机压气机的径向间隙. 第四届航空发动机强度与振动会议论文集, 1989
- [2] 王宝官, 尘军. 主动间隙控制的机理研究. 南航科技报告, NHJB-91-6811
- [3] 杨世铭主编. 传热学. 北京: 高等教育出版社, 1985
- [4] 徐方有译. 航空燃气轮机压气机径向间隙记时图的计算方法. 苏联《航空技术》, 1987 (1)
- [5] 赵士杭. 燃气轮机结构. 北京: 清华大学出版社, 1987
- [6] Hennecke D K, Trappmann K. Turbine Tip Clearance Control in Gas Turbine Engine. AD A 129168