

对转双旋流气动喷嘴出口后流场结构的实验研究*

邹正平 史伟 黄学民 王洪铭

(北京航空航天大学宇航学院, 北京, 100083)

摘 要: 研究了相互逆转双旋流气动喷嘴出口后喷雾的流场结构。实验中采用粒子动态分析仪(PDA)对喷嘴出口后冷态流场结构进行了测量, 给出了平均速度以及瞬时脉动均方根速度的分布情况。结果表明: 对转双旋流气动喷嘴出口后流场可分为初始的掺混段和后来的扩散段两个阶段, 在此两阶段, 流场结构存在很大差异。

主题词: 燃料喷嘴, 燃油雾化, 喷射混合流, 螺旋流, 流动分布

分类号: V231.2

AN EXPERIMENTAL STUDY ON FLOW FIELD CHARACTERISTICS OF A COUNTER ROTATING SWIRL AIRBLAST ATOMIZER

Zou Zhengping Shi Wei Huang Xuemin Wang Hongming

(School of Astronautics, Beijing Univ. of Aeronautics and Astronautics, Beijing, 100083)

Abstract: The flow field characteristics of an airblast atomizer with counter rotating swirlers are investigated. The measurements are carried out with PDA (Particle Dynamic Analyser) under non-combustion conditions. The results indicate that the differences between mixing and diffusion zones in the flow field are notable.

Subject terms: Fuel injector, Fuel pulverization, Jet mixing flow, Helical flow, Flow distribution

1 前 言

由于双旋流系统能产生回流区, 保证混气速度与燃烧速度相匹配; 可造成强烈的脉动和掺混, 从而提高油雾和空气的掺混, 改善雾化质量, 因此被广泛应用于燃烧系统中, 对转的双旋流喷嘴在近年来的航空发动机中得到较为广泛的应用。Mehta^[1]和 Wang^[2]曾测量过对转的双旋流流场结构, 但由于所测位置较为靠前或测量半径较窄, 未能对流场的全局进行测量描述。本文利用较先进的 PDA 对相互逆转双旋流流场结构进行测量, 以了解其结构的全局状况。

2 实 验

为了对相互逆转双旋流气动喷嘴出口后的两相流场结构进行测量, 采用如图 1 所示的测

* 本文 1995 年 7 月 16 日收到, 本课题系航空科学基金资助项目

试系统。实验中,来流气体及液体流量用流孔板及浮子流量计进行测量,两相流场则通过 PDA 进行测量。测量原理为:测量激光光束相互交叉形成一小测量体,当流场中有粒子从测量体中通过时,会产生多普勒信号与相位差信号,利用多普勒频移与速度间的关系可测出速度有关信号,当仪器安装位置及散射模式固定后,利用相位差信号与粒子尺寸间关系可测出粒子直径。

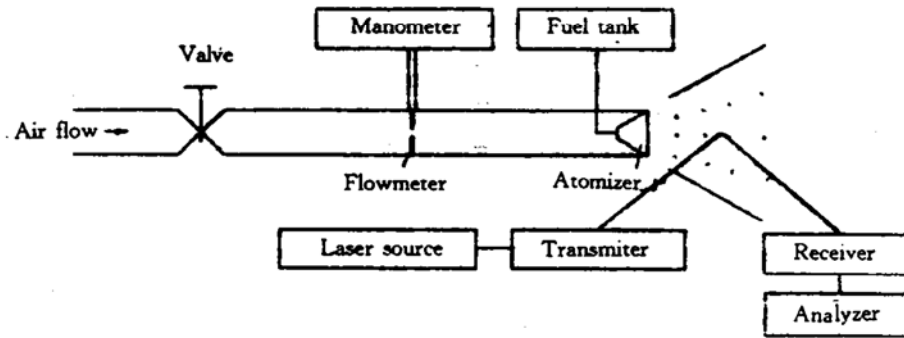


Fig. 1 Testing facility

试件的设计如图 2 所示^[3],其工作过程为:雾化气体分别通过旋向互异的内、外环旋流器进入混合室、在文氏管出口处相遇并互相剪切,形成一个强烈掺混区域,液体则首先通过离心喷嘴进行第一次雾化,小液滴与内旋流相互作用并随之飘走,大液滴则由于离心力而喷射到文氏管内壁并展成液膜,该液膜沿文氏管壁运动,最终进入内、外环旋转气流的强剪切掺混区内,进行第二次雾化和掺混。

内、外环旋流器的旋流数 s 分别为 1.47、1.33,其流量之比为 1:2。

3 结果与分析

实验用水作为雾化介质,测量截面分别位于距离文氏管出口 50 mm, 70 mm, 120 mm, 160 mm 处。测量结果如图 3~8 所示。

3.1 平均速度分布

图 3~5 分别给出了轴向、切向及径向平均速度分布的情况,由图可以看出:

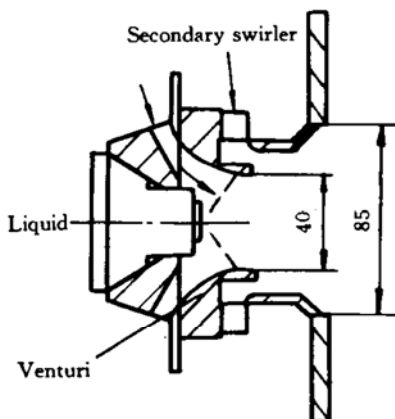


Fig. 2 Model atomizer

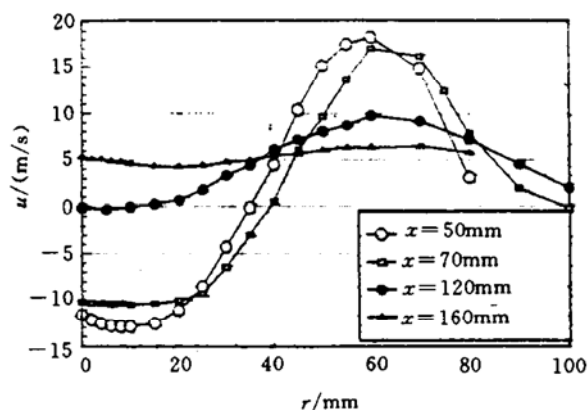


Fig. 3 Axial mean velocity distribution

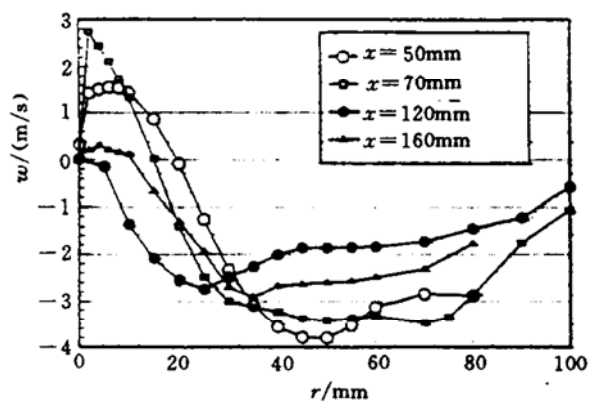


Fig. 4 Tangential mean velocity distribution

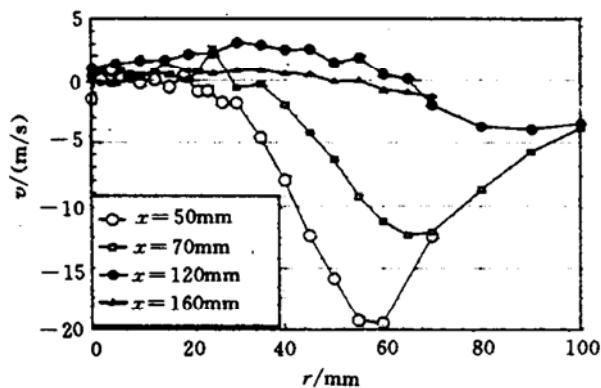


Fig. 5 Radial mean velocity distribution

(1) 轴向平均速度场中, 1、2 截面半径为 40~45 mm, 位于回流区内, 回流区尺寸较大。3、4 截面则已出了回流区, 故其轴向速度不存在负值。

(2) 切向平均速度场中, 在 1、2 截面, 其切向速度沿半径方向出现气流旋向相反的情况, 其原因为流场中液滴的切向速度由内、外两股旋流的综合作用所决定。在距喷嘴出口较近的地方, 两股气流作用强烈, 靠近轴心位置, 液滴受内环旋流影响大, 而外环旋流还来不及发展到靠近轴心的地方, 对液滴作用较小, 故切向速度此处主要由内环旋流控制, 其方向与内环旋流方向相同 (皆为顺时针的正号方向)。随半径增大, 外环旋流影响越来越大, 而内环旋流作用减小, 最终外环旋流超过内环旋流而起主导作用, 使切向速度与外环旋流方向相同 (为反时针方向的负号), 随半径发展到靠近外围处, 其切向速度分布规律类似于单旋流流场情况, 显然, 1、2 截面位于内外旋流的掺混阶段。

随轴向增至 3、4 截面时, 则液滴切向分布速度类似于单旋流流场, 即进入内外旋流的扩散阶段。其原因是随轴向距离增加, 外环旋流逐渐发展到整个流场, 由于其切向动量大于内环旋流切向动量, 导致内环气流经强烈剪切掺混后, 其切向动量逐渐被方向相反的外环旋流消耗掉, 最终切向速度由外环气流完全控制, 呈现出类似单独的外旋流场情形, 这也标志着流场中结束掺混过程而进入扩散阶段。

当掺混结束后的旋流强度已不足以产生回流时, 则整个流场回流区的结束也意味着掺混阶段的结束和扩散阶段的开始。

(3) 径向平均速度场中, 在 1、2 截面, 即内外反向旋流掺混区内, 除轴心附近位于回流区位置的径向速度为正, 指向圆心外, 径向速度基本为负, 且数值较大, 指向外围方向, 表明气流有明显的径向扩张, 在 3、4 截面, 径向速度均已很小, 气流已没有多大的径向扩张, 反而由于旋流作用卷吸外围空气, 导致其值为正指向圆心。

3.2 均方根速度分布

均方根速度分布如图 6~8 所示。由于 1、2 截面的测量半径为 70 mm, 故此处统一以 70 mm 为半径绘图。

(1) 从图 6 可看出轴向脉动均方根速度分布, 在 1、2 截面即掺混阶段, 其脉动值较大, 表明掺混较为强烈。随半径增大, 脉动均方根速度值先到达最大值而后衰减, 且变化幅度较大。原因是在掺混阶段, 内外环旋流相交, 相互剪切掺混区脉动程度强烈, 数值最大, 而在靠近轴心与外围则脉动较弱, 数值较小。

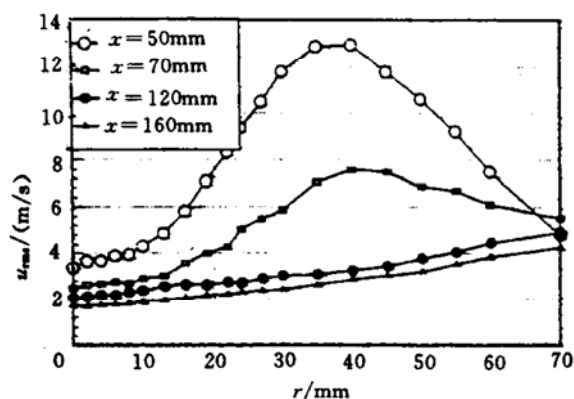


Fig. 6 Axial RMS velocity distribution

进入扩散阶段的 3、4 截面, 脉动值减小, 且脉动值随半径增大而增大, 直至半径很大才下降, 这主要是因为靠近喷雾外围, 由于卷吸作用而引起气团轴向脉动, 但距喷嘴出口距离较远, 卷吸引起的脉动并不强烈, 故其值沿径向变化不大。

(2) 由图 7 可以看出切向脉动均方根速度分布, 类似轴向脉动, 在掺混阶段, 脉动值先随半径增大至最大值, 而后下降。而在扩散阶段其值则随半径增大而减小, 原因是在边界附近切向动量受到环境大气的滞止而减小。径向脉动均方根速度分布由图 8 所示显得没什么规律。

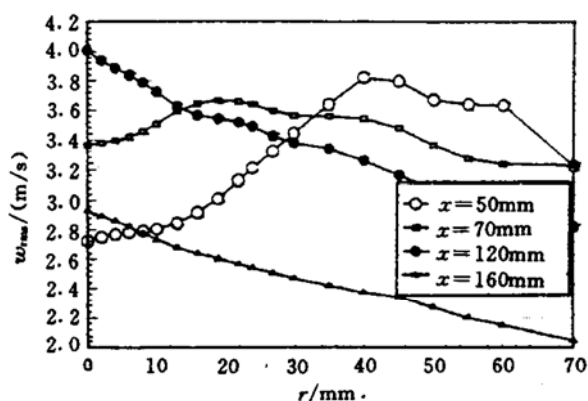


Fig. 7 Tangential RMS velocity distribution

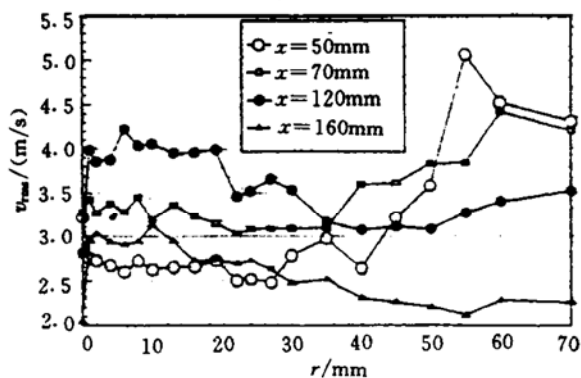


Fig. 8 Radial RMS velocity distribution

4 结 论

对转双旋流气动喷嘴出口后流场可分为掺混和扩散两个阶段, 这两个阶段速度分布规律完全不同。在掺混阶段, 气流脉动程度较大, 速度沿径向分布变化幅值大, 而在扩散阶段, 双旋流场则呈现出类似单旋流场状态, 且其速度沿径向分布变化幅值较小。

参 考 文 献

- 1 Mehta J, Shin H, Wisher D. Mean velocity and turbulent flow-field characteristics inside an advanced combustor swirl cup. AIAA 89-0215
- 2 Wang H Y, McDonell V G, Sowa W A. Scaling of the two-phase flow downstream of a gas turbine combustor swirl cup; part I-mean quantities. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 1993, 115: 453~460
- 3 邹正平. 强化雾化强化掺混气动雾化喷嘴研究: [硕士论文]. 北京: 北京航空航天大学, 1995