

文章编号:1007-3124(2001)04-0012-03

超声速气流中的煤油喷雾研究

俞刚,张新宇,李建国

(中国科学院力学研究所高温气体动力学研究开放实验室,北京 100080)

摘要:为了强化液体燃料超声速燃烧,注入的液体燃料以喷雾(Spray Atomization)的方式,以便加速蒸发和混合。油雾直观图像对研究喷雾燃烧的内部复杂现象有很大帮助。由于实验上的困难,超声速气流中的喷雾图像较为罕见。笔者给出超声速气流中显示煤油喷雾的一种简单、实用方法。实验在一直联式超声速燃烧实验装置上进行,实验结果表明,煤油射流垂直注入超声速气流产生的油雾发展过程与气体射流基本相似,喷雾穿透深度与扩张随压力雾化喷嘴的压力增加而增加。

关键词:煤油射流;穿透深度;喷雾;超声速燃烧

中图分类号:V231.2;TK16 文献标识码:A

Investigation of kerosene spray atomization in supersonic flow

YU Gong, ZHANG Xin-yu, LI Jian-guo

(Laboratory of High Temperature Gas Dynamics, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: In order to intensify the combustion of kerosene in a supersonic airflow, the kerosene is usually injected by spray atomization, which can enhance the kerosene evaporation and mixing. Directly visualizing kerosene spray atomization is helpful for investigation of the complex phenomena in the spray atomization, but it is difficult to realize it in the supersonic airflow. So that the picture of kerosene spray in supersonic flow has been seldom reported. A simple and useful method of visualizing kerosene spray atomization in supersonic flow was given. The experiments were conducted by using of a direct-connect supersonic combustion test facility. The characteristics of penetration and spreading rate of kerosene spray atomization in a transverse supersonic flow were investigated.

Key words: kerosene jet; penetration depth; spray atomization; supersonic combustion

收稿日期:2001-05-17

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(编号 19789020)

作者简介:俞刚(1938-),男,上海市人,中国科学院力学研究所研究员。

0 引言

液体燃料超声速燃烧是一个非常复杂的问题,与其发生的众多过程有关。为了强化燃烧,注入的液体燃料以喷雾(Spray Atomization)的方式,以便加速蒸发和混合。因此,燃烧特性与液体燃料液滴的尺寸、分布均匀性以及气化速率有很大关系。其中液滴的气化速率主要依赖于燃料的种类、液滴尺寸、自由流温度、压力与成分等^[1]。由于涉及众多的物理和化学过程,油雾直观图像对研究喷雾燃烧的内部复杂现象有很大帮助。迄今大部分煤油喷雾燃烧及流场显示的研究都是在静止气体中或低速气流条件下进行的^[2]。由于实验上的困难,超声速气流中的喷雾图像较为罕见。笔者利用超声速燃烧直联式实验台和简单的光学方法获得煤油在超燃冲压发动机燃烧室工况下的喷雾流场分布,研究了煤油射流垂直注入超声速气流产生的喷雾现象与发展特性,揭示了一些有意义的现象。

1 实验方法

1.1 超声速燃烧室

高温高压试验空气由氢/空气燃烧补氧加热器提供。温度和压力变化范围为 $T_0 = 300 \sim 2000 \text{ K}$, $P_0 = 0.5 \sim 4.5 \text{ MPa}$ 。最大流量 1.5 kg/s 。二维拉伐尔喷管将高温高压试验气体膨胀加速到 $M = 2.5$ 。试验燃烧室为矩形,入口截面宽 70 mm ,高 50 mm ,沿气流方向有所扩张,详见文献^[3]。

室温煤油通过位于燃烧室下壁的5个直径为 0.4 mm 的压力雾化喷嘴与气流成垂直方向注入。雾化喷嘴的压力由高压氮气瓶通过柱形汽缸的活塞推动煤油施加。为了避免自由流静温超过煤油燃点发生自燃而破坏喷雾分布,通过总温调节使气流在煤油喷注点当地静温略低于煤油自燃温度,一般当地静温控制在 850 K 左右。

1.2 喷雾显示方法

如图1所示,喷雾显示光路由位于实验段同一侧的白炽灯、摄像机与另一侧的黑色屏幕组成。实验段两侧装有高 66 mm ,长 120 mm 的石英窗口。煤油喷雾在白炽光照射下发出的散射光与无散射光的气流在黑色背景下形成明显的反差。通过摄像机获得油雾分布图像。

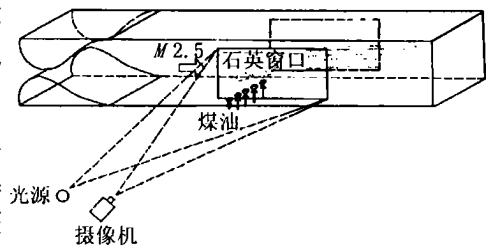


图1 喷雾显示光路示意图

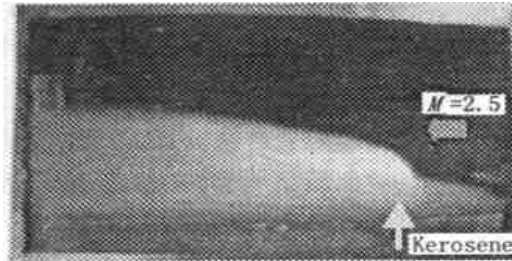
Fig.1 Schematic of spray visualization

2 结果与分析

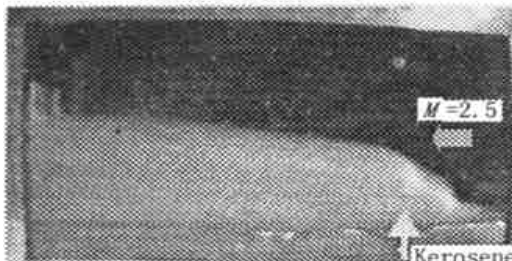
图2给出了煤油射流垂直射入 $M = 2.5$ 气流的穿透深度与喷雾扩张的物理图像。气流静温与静压分别为 850 K 和 0.08 MPa 。图2中(a)(b)(c)分别对应煤油压力雾化喷嘴的驱动压力为 4.5 MPa , 3.5 MPa , 和 2.5 MPa 。这些典型的喷雾图呈白色云雾状,

不仅轮廓分明,而且油雾稠密度不同的区域也能分辨。图2中亮度代表散射光的强度,它与稠密度成正比。亮度越强表明该处稠密度越高。这些液喷雾流场分布图表明:

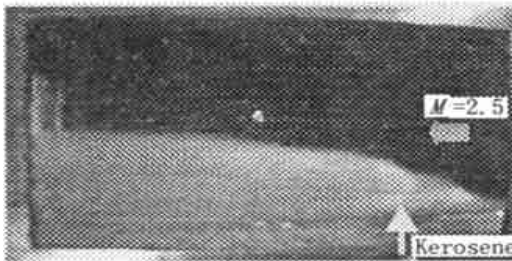
(1) 由于受到 $M = 2.5$ 气流的作用,垂直于气流煤油喷雾穿透一定的深度后折转为



(a) 喷柱压力4.5MPa



(b) 喷柱压力3.5MPa



(c) 喷柱压力2.5MPa

图2 马赫数2.5气流中的煤油喷雾图

Fig. 2 Photographs of kerosene spray in $M = 2.5$ airflow

(3) 喷雾穿透深度与扩张随压力雾化喷嘴的压力增加而增加。

气流的方向并向下游扩张。在图2中标出了煤油喷嘴的位置,三幅喷雾图的特点是,在煤油射流喷嘴的上游还有一个小的雾化区。这表明与气体射流横向注入超声速气流发生的现象相似,煤油射流的前方存在一脱体的弓形激波,由于当地逆压梯度引起的边界层分离导致油雾通过边界层向上游移动。

(2) 可以观察到喷雾与自由流交界的顶部前缘亮度最强。这是由于弓形激波的压缩,使原本稠密度最大的喷雾核心区域成了气流与油雾的交界。然而,这种喷雾的非均匀性分布很快随距离逐渐均匀化。

(3) 通过测量喷雾的穿透深度与扩张程度发现,喷雾穿透深度与扩张随煤油驱动压力的增加而增加。当驱动压力从2.5MPa增加到4.5MPa时,穿透深度与扩张率增加30%。

3 结 论

(1) 笔者给出的煤油喷雾在超声速气流中的显示方法简单、实用。

(2) 煤油射流垂直注入超声速气流产生的油雾发展过程与气体射流基本相似。

参考文献:

- [1] KENNETH K KUO. Recent advances in spray combustion: measurements and model simulation, American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc. 1996, 2.
- [2] KANURY A MURTY. Introduction to combustion phenomena. Gordon and Breach Science Publishers, 1977.
- [3] YU G, LIJ G, ZHANG X Y, et al. Investigation on combustion characteristics of kerosene-hydrogen dual fuel in a supersonic combustor. AIAA-2000-3620.