

文章编号: 1672-9897(2005)02-0011-03

煤油射流在超声速燃烧室中的实验研究

王冬, 俞刚

(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:在超声速燃烧室中分别采用气泡雾化煤油与纯煤油射流进行实验, 研究不同情况对燃料的雾化和贯穿深度的影响。实验选用纹影法记录实验段图像, 拍摄了不同注射压强条件下燃料有无气泡雾化的流场照片, 对时间平均流场和瞬态流场分别进行记录。实验结果表明: 气泡雾化的确明显地提高了液体燃料的雾化程度, 但对贯穿深度没有显著的影响, 提高贯穿深度的有效方法是增加射流压强。

关键词:雾化; 贯穿深度; 纹影法

* 中图分类号: V231.2⁺3 文献标识码: A

Investigation of kerosene jet spray in supersonic combustion

WANG Dong, YU Gong

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

Abstract: Experiment of kerosene jet spray in supersonic combustor with or without effervescent atomization was performed. The characteristics of atomization and penetration heights were investigated experimentally using the schlieren visualization system. Photos with or without air barbotage and both time averaged images and instantaneous images were obtained under different injection pressures. Results showed that the atomization of liquid fuels was indeed improved by using barbotage atomization, but it may not have a strong effect on penetration height. Unless increasing injection pressure.

Key words: atomization; penetration height; schlieren

0 引言

高性能的液体碳氢燃料(例如煤油)超燃冲压发动机燃烧室要求雾化过程中液滴的尺寸足够小以使气化的速度更快;燃料射流的贯穿深度足够大以使混合更加均匀。

在增强液体雾化的诸多手段中,气泡雾化(barbotage atomization)是一种有效的方法。在燃料射流喷嘴前室的液体燃料中引入一定数量的气体使之形成具有高速流度的两相流,两相流经喷嘴膨胀喷出时由于环境压力骤减,射流中的高压气泡进一步膨胀破碎包

裹在周围的液体中,促进液体射流的雾化。在先前的研究中,利用空气或氢气作为气泡气获得了较好的效果,燃烧室的总体性能得到了改进^[1]。近期对气泡雾化喷嘴在静止大气中的液雾特性进行了定量分析,发现在静止大气中气泡雾化可以明显地减小雾化后液滴的尺寸^[2]。

笔者利用纹影显示的方法,在超燃燃烧室中,通过对有气泡雾化煤油射流流场中的穿透深度和雾化程度与纯煤油射流流场的比较,进一步探明气泡雾化促进超燃性能的内部机理。

* 收稿日期: 2004-04-15; 修订日期: 2004-11-25

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(10232060)

作者简介: 王冬(1981-),男,辽宁丹东人,研究生,研究方向:超燃发动机。

1 实验方案及实验仪器

实验在直联式超燃实验台上完成^[1],该实验台可以提供总温 800~2100K、总压 0.7~1.3MPa 的实验气流。燃烧室实验段进口截面为 51.04mm ×70mm,两块尺寸为 123mm ×44mm 的耐高温优质石英玻璃装在燃烧室侧壁以使纹影显示光束通过。

煤油燃料贮存在不锈钢高压储油罐中,通过加载高压氮气在储油罐内活塞上使煤油达到需要的油压,并且实验中保持加载气压恒定;燃油的流量通过测量油罐中活塞的移动位置和记录实验喷油时间计算出来。实验的雾化气使用氮气,雾化气的流量通过标定的孔板流量计测量,孔板前后的静压差通过量程为 0~120kPa 的 CYB-1151 型电容式差压变送器将电信号传入计算机,误差为 ±0.25%。喷嘴直径 0.8mm。高压氮气通过减压阀和快速开关高压气体的电磁阀来调节控制;气液比的调整通过保证液压不变而改变气压来实现。

流场的图像显示使用一台双反射式纹影仪,分别用连续光源和脉冲光源拍摄流场的时间平均图像和瞬时图像。纹影仪的连续光源为溴钨灯;脉冲光源为 WJG2 型电光源,可产生电压量程为 0~15000V,实验使用电压 8500V,脉宽大约为 10ms;触发按钮通过一

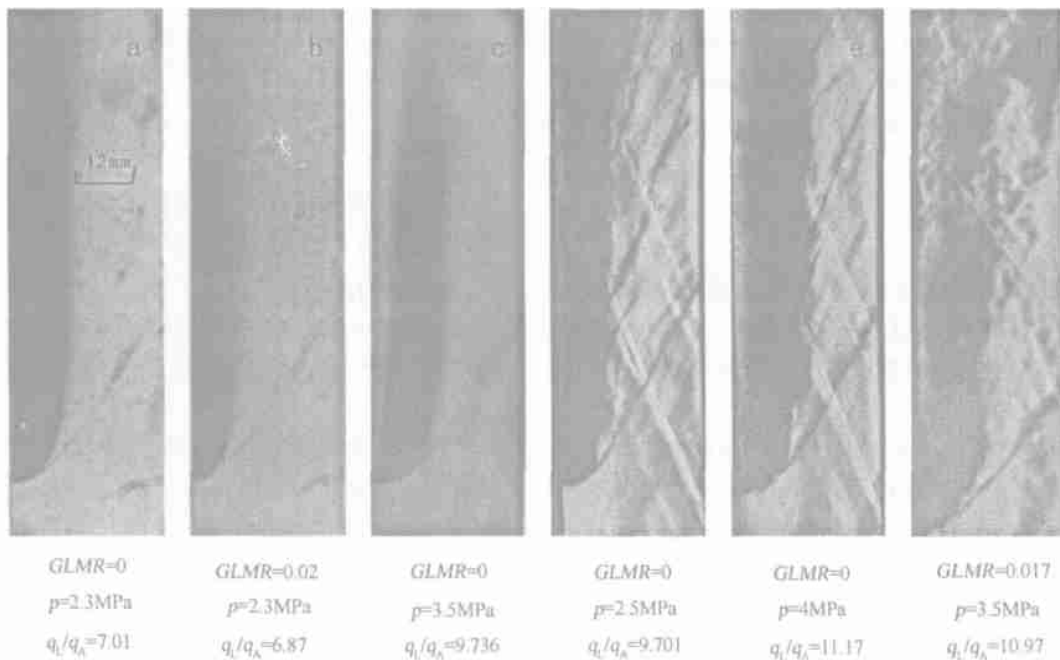
个继电器将电源与控制台电脑连接来精确控制曝光时间。狭缝宽为 0.02mm,球面反射镜直径 15cm,焦距 1.5m。记录仪器分别使用照相机和 Polaroid 相机来完成时间平均照片和瞬时照片的拍摄。照相机曝光时间 1/125s;Polaroid 相片为 667 型,感光度 3000。

2 实验结果及分析

燃烧室实验段进口马赫数为 2.5,实验段气体静压及静温分别为 0.043MPa 和 430K。图 1 中照片 a~c 为时间平均流场纹影照片,d~f 为瞬时流场纹影照片;其中 c,f 进行了气泡雾化,其他为纯煤油射流。 p 为煤油射流的压力, $GLMR$ 为气液比, q_L/q_A 为喷射入实验段中的煤油动量与气流主流动量之比。

可以看到,煤油射流头部产生的弓形激波非常明显,煤油射流在喷出不久即被马赫数 2.5 的气流明显压弯曲。在不同的喷射压力下,煤油射流的贯穿深度明显不同,在时间平均流场(a,c)和瞬时流场(d,e)两组照片的对比中可以清楚地看到,贯穿深度随着喷射压力的增大而变大,当喷射压力为 3.5MPa 和 4MPa 时,煤油有较大的动量射入主气流中。

同时,从图 a,c 中可以发现,增大煤油的喷射压力对其雾化也有一定的促进作用,虽然大的喷射压力预示着燃料流量的增加,但喷射压力较大时(图 c)下



$Ma = 2.5$, Static pressure = 0.043MPa, Static temperature = 430K

图 1 煤油射流的流场结构纹影照片

Fig. 1 Schlieren images of kerosene jet spray structure

游的燃料分布比低压(图 a)要均匀细致得多,这是因为贯穿深度的增加有利于增大煤油与主流的接触面积,从而有利于液滴的破碎;但在图 d~f 纯煤油射流与气泡雾化射流的对比中,可以发现提高喷射压力对燃料雾化的作用没有加入气泡产生的效果显著,气泡的加入使燃料的破碎、雾化和气化速度加快,照片 f 中煤油射流由于气泡雾化的促进作用,其射流有明显的弥散。

经过深入研究发现,相同喷射压力下的纯煤油射流与气泡雾化射流的贯穿深度大体一致,所得的结果与 Kush 和 Schetz^[3]得出的对于纯液体射流的经验公式 $h_0/d_0 = 6 q_0^{0.49}$ 很接近(见图 2,其中 h_0 为贯穿深度、 q_0 为动量比、 d_0 为喷嘴直径),表明气泡对混合射流的动量没有显著的影响,这是因为一方面在射流喷嘴的前室中,由于液体与气体强烈的相互作用,在实验上很难保证射流的压力不变而改变气液比;另一方面

因为煤油射流的动量由密度和速度决定($q = \rho \cdot U^2$),气体的加入量毕竟只占煤油的很小一部分,它的加入对混合流的密度和速度影响不大,因而对射流动量的贡献也很小。Lin et al. 认为气泡可以增加贯穿深度^[4],但在本组实验中发现,在不改变液体流量的情况下不同的气液比对贯穿深度没有明显的增加作用。因此,除非改变喷射的压力,气泡雾化应该对贯穿深度没有强烈的作用。

3 结 论

(1) 气泡雾化可以有效的提高煤油的雾化程度,加速了煤油射流在超声速流场中的气化和混合,是增强煤油雾化的有效手段,从而提高燃料燃烧的效率;

(2) 气泡雾化对贯穿深度的影响不大,提高燃料喷射的压力是增大贯穿深度的有效方法。

参考文献:

- [1] YU G, LIJ G, YUEL J, ZHAO J R, et al. Characterization of kerosene combustion in supersonic flow using effervescent atomization[R]. AIAA-2002-5225, 2002.
- [2] 岳连捷,俞刚. 气泡雾化喷嘴液雾特性[J]. 推进技术, 2003, 24(4): 348-352.
- [3] KUSH E A, SCHEZTJ A. Liquid jet injection into supersonic flow[J]. AIAA Journal, 1973, 11(9): 1223 ~ 1224.
- [4] LIN K C, KIRKENDALL K A, KENNEDY P J et al. Spray structures of aerated liquid fuel jets in supersonic cressflows [R]. AIAA-99-2374, 1999.

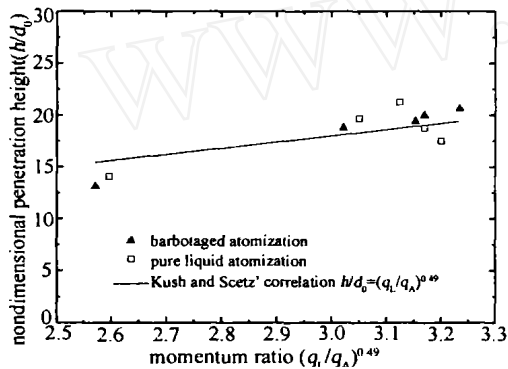


图 2 煤油无量纲贯穿深度与油气动量比关系图

Fig. 2 Dependence of penetration height of kerosene jet on kerosene to air momentum ratio (q_L/q_A)^{0.49}