

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.05.004

不同燃料的喷嘴内流动与喷雾形态可视化试验*

姜光军¹ 张煜盛¹ Medhat Elkelawy² 肖 干¹

(1. 华中科技大学能源与动力工程学院, 武汉 430074; 2. 坦塔大学工学院, 坦塔 31111)

摘要: 采用高速可控闪光摄影技术搭建了喷油器喷孔内流动及近场喷雾可视化试验装置, 针对柴油、汽油、乙醇柴油、生物柴油 4 种燃料, 对实际尺寸的透明喷油器喷孔内的流动及近场喷雾进行了对比试验研究。试验研究结果表明: 所有试验燃料喷孔内均呈现空穴流动, 低运动粘度、高饱和蒸气压的燃料空穴生成时刻更早、空穴强度更强; 喷孔空穴强度较大的燃料具有更大的近场喷雾锥角; 喷射结束后喷孔内会产生气体倒流现象并形成初始气泡, 初始气泡体积随燃料表面张力的减小而增大。同时发现, 针阀运动会 对压力室和喷孔内的流动产生极大的扰动并影响其流动形态。

关键词: 喷孔 流动 空穴 近场喷雾 可视化试验

中图分类号: TK413.8⁺4; TK421 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)05-0022-08

引言

燃油喷雾雾化特性对直喷发动机燃油经济性和污染物的排放都有着重要的影响。20 世纪 90 年代以来, 大量研究表明, 燃油喷雾雾化是多种因素综合作用的结果, 其中空气动力干扰、喷孔内的空化现象和湍流扰动是公认的 3 个基本重要因素, 其中, 对空气动力干扰不稳定性研究已较成熟, 故近年来的研究多集中于喷孔内空化和湍流扰动。研究表明, 喷孔内的空化流动对燃油的雾化特性有着显著的影响^[1-5]。但实际喷孔直径通常仅为 0.15~0.5 mm, 喷油持续时间只有几毫秒, 喷油压力高(通常达到 100~200 MPa), 燃油喷射速度达到 100~200 m/s, 致使开展喷孔内流动的试验研究非常困难。Hyun Kyu Suh^[6]、Arcoumanis^[7] 和 Badock^[8] 等利用高速 CCD 成像技术, 分别研究了大孔径(约为真实孔径的 10~20 倍)喷孔内的液体流动形态, 其喷射压力仅为 0.13~21 MPa; Badock^[9]、Arcoumanis^[10] 和 Blessin^[11] 等利用相同的方法对实际孔径的透明喷嘴内的流动进行了试验研究, 其喷射压力为 21~80 MPa, 流体均为柴油。近年来, 国内学者对喷孔内的流动问题也展开了较深入的研究, 但所见报道多为 CFD 数值模拟研究成果^[12-14], 仅有个别学者针对大尺寸喷孔内流动状态进行了试验研究, 试验中所用喷射压力仅为 0.2~0.8 MPa^[15-16]。国内外学者均采用水或柴油作为流体介质, 对其他燃料喷孔

内流动的试验研究结果尚未见报道。

本文采用实际尺寸大小的透明喷油器, 搭建喷油器喷孔内流动及近场喷雾可视化试验装置, 采用高速可控闪光技术, 获得不同燃料在不同喷油压力下的喷孔内流动及近场喷雾形态的图像, 揭示出喷射全过程的喷孔内流动及近场喷雾形态的变化情况, 据此分析燃料属性对高压喷雾喷孔内流动及近场喷雾形态的影响。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置

试验装置原理图如图 1 所示, 试验装置主要包括: 喷油系统、光学系统、闪光延时控制模块、数据记

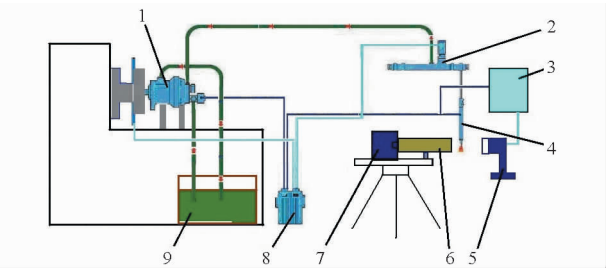


图 1 可视化试验装置简图

Fig.1 Visualization experimental setup

1. 高压油泵 2. 共轨管 3. 延时控制模块 4. 喷油器 5. 闪光灯 6. 显微镜 7. 数码相机 8. ECU 9. 油泵试验台

录与处理系统 4 部分。喷油系统试验采用 Delphi Multec DCR1400 高压共轨燃油喷射系统, 利用油泵试

验台作为其驱动动力;光学系统采用佳能 EOS 500D 数码相机,并利用自制镜头转接环将原相机镜头替代为长距离显微镜。闪光延时控制模块主要由自制单片机控制板和 2 个固态继电器组成,控制光学系统中闪光灯与喷油系统中喷油器实现同步动作。

1.2 试验方法

本试验研究方法为结合高速可控闪光显微摄影技术的阴影法,其原理是将闪光灯与相机分别置于喷嘴的两侧,在暗室环境下,采用逆光拍摄,利用带有长距离显微镜的数码相机,对焦后打开 B 快门(快门开启时间能自由控制),通过高速闪光对拍摄目标进行瞬间曝光拍摄。试验中闪光灯的闪光利用自制的延时控制模块通过外触发的模式控制,闪光持续时间为 1/25 000 s。试验中外触发的信号为喷油系统的 ECU 发出的喷油信号,但针阀实际动作与喷油信号之间会存在一定的延迟,为能更直观的观察喷孔内流动随针阀动作的变化,本文试验结果中的时间均为去除该延迟、以针阀开启时刻为起始点的喷油持续时间。

相比于高速摄像机可一次性连续多幅拍摄整个喷油过程,高速闪光摄影一次只能获得当次喷油循环的 1 幅图像。这与广泛应用于瞬态燃油喷雾发展过程测量的现代数字粒子图像测试技术 DPIV 有相同之处^[15]。DPIV 技术通过采用不同的延时时间来获取燃油喷雾的一系列图像,尽管所获取的一系列图像不是同一个喷雾发展变化的全程记录,但对于工作状态稳定的燃油喷雾来说,每一幅图像的确是喷射开始后某一特定时刻喷雾形态的真实反映。若要对不同喷油时刻的喷雾进行观测,可通过直接在脉冲延时发生器上进行调节或在软件 Insight 中设定不同的时间间隔 ΔT 予以实现。与此相类似,本试验通过对同一基准信号进行不同闪光触发延时,达到拍摄同一喷射条件下多次喷射循环的不同喷射时刻的流动图像,从而构建出一个完整喷射过程的流动影像。尽管如此,高速闪光摄影技术的低成本、高分辨率优势仍是高速摄像机所无法比拟的。

1.3 试验用喷嘴

为了能得到清晰的喷孔内流动图像,透明喷嘴

是关键部件。本试验采用的喷油器体为 Delphi 电磁式喷油器,试验中将实际喷油器的球头部分磨去(如图 2a 所示),再用透明材料加工出含压力室及喷孔结构的部件(如图 2b 所示),并用环氧树脂胶粘剂将两者粘合,组成试验用透明喷嘴(如图 2c 所示)。透明材料采用的是聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA),俗称有机玻璃。PMMA 具有极佳的透光率,透光率可达 92%,同时还具有较高机械强度和韧性;更为重要的是其折射率($n_{\text{Acrylic}} \approx 1.49$)与柴油的折射率($n_{\text{Diesel}} = 1.46 \sim 1.51$)^[17]很接近。这点对阴影法成像尤为重要,相同的折射率可消除透明材料对成像的影响,使拍摄到的图像能真实反映孔内流体形态。

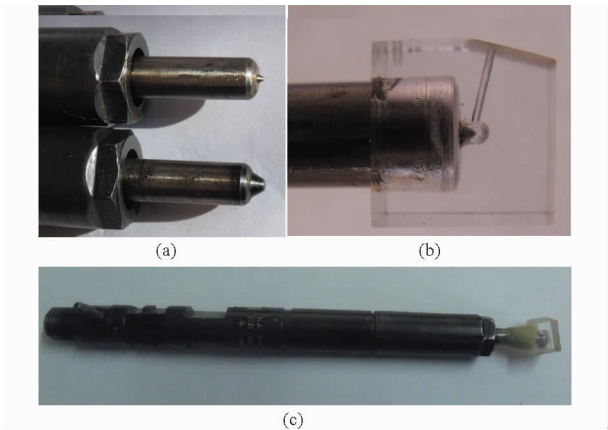


图 2 试验用喷油器和透明喷嘴
Fig. 2 Injector and transparent nozzle

试验中所用喷嘴的结构及尺寸为:喷孔与针阀轴线夹角分别为 0°、75°和 90°,喷孔直径分别为 0.25、0.35、0.50 mm,喷孔长度为 2.5 mm,喷油压力(实际测量共轨管中的压力)分别为 30、40、50 MPa。

1.4 试验燃料

试验中为研究燃料属性对高压喷雾喷孔内流动和近场雾化的影响,共选取了 4 种常见燃料作为研究对象,它们分别是 0 号柴油、93 号汽油、15% 乙醇柴油(其中乙醇的质量分数为 15%)及生物柴油(原料为地沟油)。试验燃料与流动有关的主要物性参数如表 1 所示^[18]。

表 1 试验燃料主要物性参数
Tab. 1 Physical parameter of experimental fuels

参数	燃料			
	柴油	汽油	E15 乙醇柴油	生物柴油
密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	840	725	829	887
运动粘度(20℃)/($\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$)	4.24	0.76	2.8	8.34
饱和蒸汽压(38℃)/kPa	0.27	<73(夏), <86(冬)	16(乙醇)	—
表面张力(20℃)/($\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$)	0.027 8	0.021 6	0.029 5	0.024 6

2 试验结果与分析

2.1 高压喷射的喷孔内流动及近场喷雾形态

图3所示为采用本文试验方法得到的喷孔内流动的典型图像(针阀升程最大),此时的燃料为0号柴油,喷油压力为40 MPa,喷孔直径为0.5 mm。图中,透明区域为喷嘴内液相流动区域,这是由于柴油和有机玻璃的折射率十分接近,在阴影法中,光几乎直线穿过柴油与压力室壁面。喷孔内较黑颜色区域为气-液两相流动区域,因为当喷孔内部产生相变时,光穿过有机玻璃再照射到气泡表面后发生散射,故空穴区域最终在图片上显示为黑色。

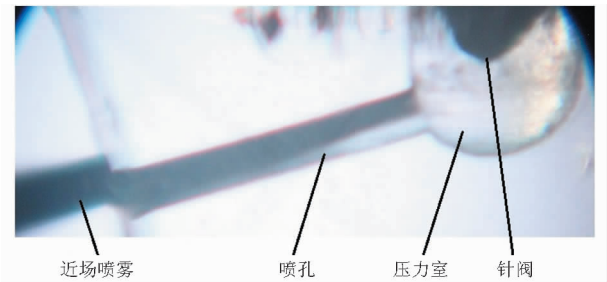


图3 喷孔内燃油流动图

Fig.3 Picture of fuel flow in an injector nozzle

图4所示为相同条件下不同喷油时刻喷孔内的流动图像,由拍摄的图像可知,在喷射初始阶段(图

中0~300 μs),在压力室内首先出现絮状的阴影(图中100 μs),分析其原因是由于该阶段针阀正处于上升运动过程中,针阀的动作对压力室内的燃油会产生一个初始的扰动,使得燃油中产生了一定的气相组分。随后在喷孔入口处内最先出现空穴(图中150 μs),且随着针阀的抬起,空穴向喷孔出口处延伸、发展。在该喷射条件下,研究发现,喷孔内空穴的发展会延续至针阀升程达最大值后的稳定喷射阶段(图中350 μs),此时空穴区域发展至整个喷孔及出口处。500 μs时,针阀开始关闭,针阀的动作如同开启时一样对压力室内燃油具有一定的扰动作用,从而使得压力室及喷孔内的空穴现象增强。从针阀完全关闭后(800~1 000 μs)的图像还可知,喷孔内会出现脱离孔壁的气相组分存在。同时,通过对针阀关闭后的各种结构喷孔及压力室区域进行长时间(相对于喷油持续时间)观察,发现在喷油间隔期内,压力室与喷孔内存在柱状或球状的气相组分(如图5所示)。经分析,该气相组分应为喷孔外气体倒流入孔内而形成的,同时由于燃油的表面张力的作用,最后倒流的气相组分会形成直径等于喷孔直径的大气泡,这种在喷孔内或压力室中形成的“初始气泡”,会随下次喷油循环而喷出(如图4中0~50 μs所示)。

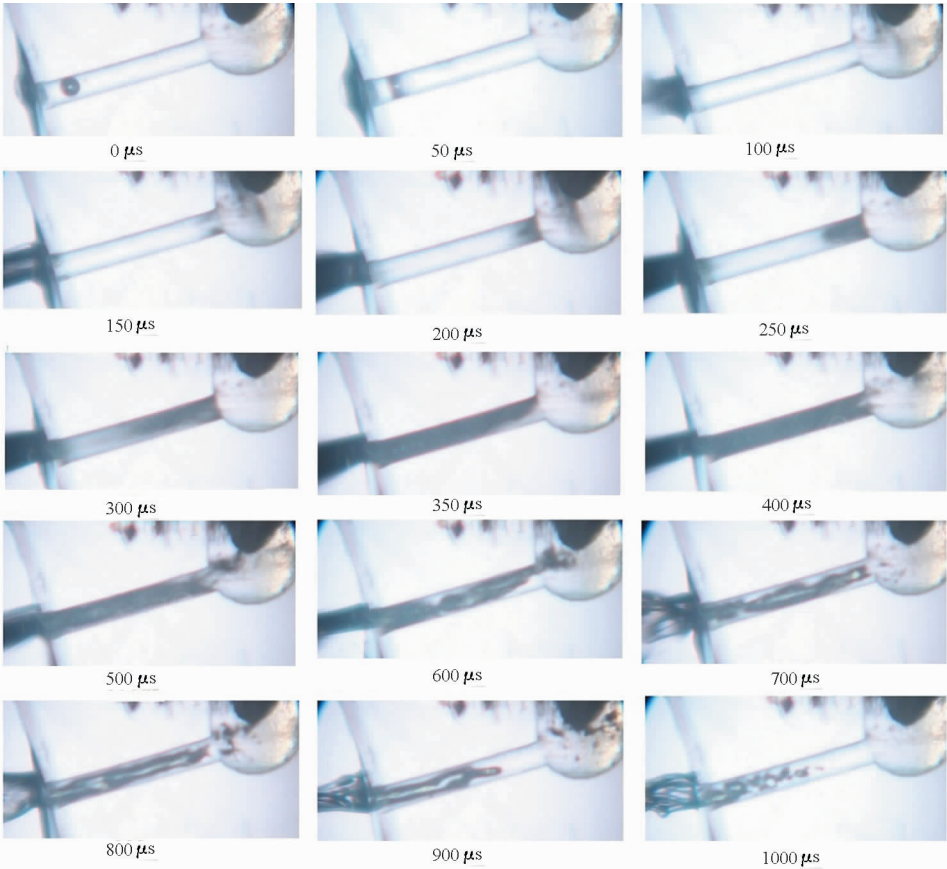


图4 不同喷油时刻喷孔内流动图

Fig.4 Pictures of fuel flow at different time

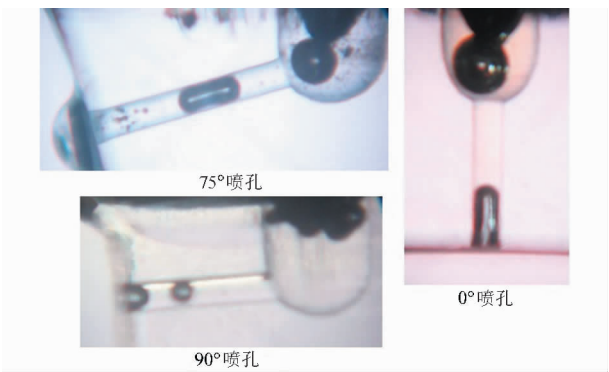


图 5 不同结构喷嘴内初始气泡图

Fig.5 Pictures of original bubblein different injector nozzles

试验中通过改变拍摄视窗位置,可得到喷孔近场的喷雾形态图像。图 6 所示为不同时刻的近场喷雾形态图。由图可知,喷雾过程中,近场的喷雾锥角呈现出先由小逐渐变大,如图中 300 μs 时喷雾锥角达到最大,然后喷雾锥角又逐渐变小的发展趋势。结合喷嘴内流动情况分析可知,喷雾前期由于针阀的运动,喷孔内空穴的生成及发展,使得燃油射流的初始扰动增强,加速了射流内空穴溃灭,使得喷雾锥角较大。随着针阀开度达到最大,喷嘴内流动趋于稳定,近场的喷雾锥角变小。



图 6 不同时刻近场喷雾形态图

Fig.6 Pictures of spray construction near orifice

2.2 不同燃料喷孔内流动形态

为研究不同燃料及其热物性参数对喷孔内流动过程中空穴形成及其空穴强度的影响,试验中重点选取了空穴初生时刻、空穴完全发展时刻、针阀完全关闭后等 3 个时刻进行对比分析。图 7 所示为喷油压力为 40 MPa 时不同燃料的喷孔内流动形态图。由图可知,不同燃料的空穴初生时刻有所不同,按初生时刻先后排序分别为乙醇柴油、汽油、柴油和生物柴油。究其原因,这与 4 种燃料的饱和蒸汽压大小

不同相关,其空穴初生时刻的顺序与其饱和蒸汽压的大小顺序基本一致。同时可知,燃料的饱和蒸气压力越高、运动粘度越小,喷孔内的空穴流动也越早达到稳定流动状态;同时,通过对喷孔内流动图像的相对灰度进行比较分析可知,汽油的喷孔内平均相对灰度最大,乙醇柴油次之,柴油和生物柴油最小且两者相当。根据阴影法的成像理论,可认为汽油的喷孔内流动中所含气相组分最多,从而使得通过该区域的光线被折射分散的也最多,故而其相对灰度最

大,汽油的空穴强度也最强。通过试验研究还发现,在柴油中添加乙醇会对其流动形态产生显著的影响,在压力室中因针阀运动所致扰动使得混合燃料更易产生气相组分,分析可知该气相组分应为饱和蒸汽压更高的乙醇。同时,乙醇柴油在喷孔内也更

早出现空穴现象,空穴强度也更强。从图中还可看出,针阀关闭后,所有喷孔内均呈现非透明状,这说明喷射结束后喷孔内流体也呈现气液两相共存,不同的是汽油和乙醇柴油气相组分体积分数大,而柴油和生物柴油的气相体积分数较小。

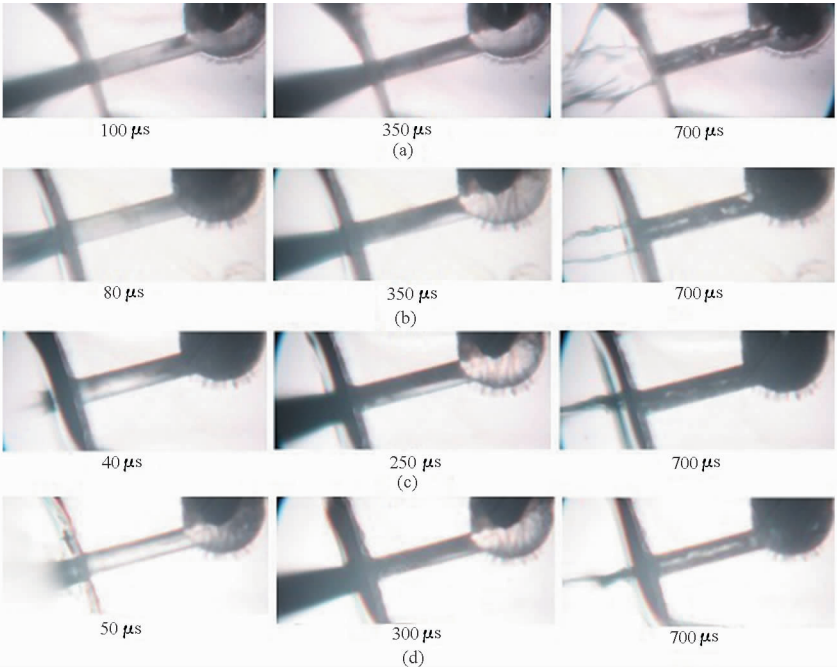


图 7 不同燃料喷孔内流动形态图

Fig. 7 Pictures of flow for various fuels

(a) 生物柴油 (b) 柴油 (c) 乙醇柴油 (d) 汽油

2.3 不同燃料的近场喷雾形态

图 8 所示为喷油压力为 40 MPa 时不同燃料的近场喷雾形态图。为了便于比较,在此选取了代表

喷雾初始阶段(40 μs)、喷雾发展阶段(80 μs、140 μs)及喷雾稳定阶段(300 μs)4 个典型时刻的近场喷雾形态进行对比研究。从图中可知,在喷雾初



图 8 不同燃料的近场喷雾形态图

Fig. 8 Pictures of spray near orifice for various fuels

(a) 生物柴油 (b) 柴油 (c) 乙醇柴油 (d) 汽油

始阶段及发展阶段,生物柴油和柴油的喷雾形态相类似,其喷雾锥角较小,而乙醇柴油与汽油的喷雾锥角较大;当达到稳定喷雾阶段,4 种燃料喷雾形态差别变小,但乙醇柴油和汽油的喷雾锥角还是略大于生物柴油和柴油。4 种燃料中最值得关注的是乙醇柴油的近场形态,相比于柴油,乙醇柴油在整个喷雾过程中喷雾形态都发生了极大的变化,联系前述喷孔内流动形态的研究结果可知,在柴油中加入较高饱和蒸汽压的乙醇,可使得该混合燃料喷孔内的空穴强度增加,从而极大改变了柴油的喷雾与雾化过程,有利于后期的喷雾混合和燃烧过程。同时,从试验获得的大量图像中还发现,所有燃料的近场喷雾形态在喷孔轴线上、下方存在一定的不对称性,喷孔轴线上方的喷雾锥角明显要大于下方锥角,乙醇柴油和汽油的这种不对称性更为明显。结合喷孔内燃油流动的形态分析,其应与喷孔内空穴区域主要分布于喷孔轴线上方有关。

图 9 所示为 4 种燃料在不同喷油压力(30 MPa、40 MPa 和 50 MPa)的喷雾过程中的最大喷雾锥角比较图。从图中可得知,4 种燃料的喷雾锥角都随喷油压力的增大而增大,柴油和生物柴油的喷雾锥角大小相近,最大喷雾锥角为 26°,乙醇柴油和汽油的喷雾锥角大小相近,且在不同喷油压力下喷雾锥角都大于柴油和生物柴油,其最大值为 30°。

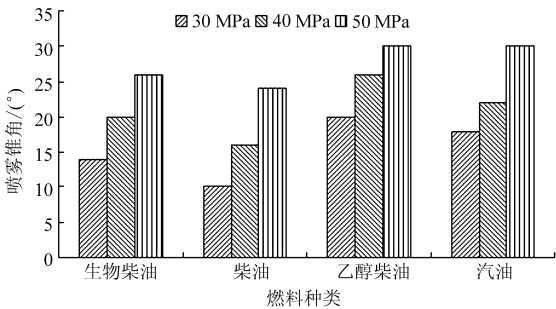


图 9 不同燃料的喷雾锥角对比

Fig. 9 Comparison of spray angle with various fuels

2.4 不同燃料喷嘴内初始气泡的特征

在不同的喷油压力、不同喷嘴结构的喷孔内流动图像中(如图 5 所示),发现在 2 次喷油的时间间隔期,某些尺寸的喷孔内会产生气体倒流并形成初始气泡的现象。图 10 所示为 2 种喷油压力下,3 种不同孔径的喷孔内初始气泡的特征,此时的燃油为柴油。从图中可知,初始气泡形成与喷油压力无关,主要受喷孔直径影响。在小喷孔直径(0.25 mm)时,孔内无初始气泡产生;当直径增大(0.35 mm 和 0.5 mm)时,喷油前喷孔内存在初始气泡,初始气泡的总体积呈现出随孔径增大而增加的趋势。同时气泡也呈现 2 种形态:喷孔出口处气体倒流形成的非封闭气泡(即“气膜”)和喷孔内的完整“气泡”。

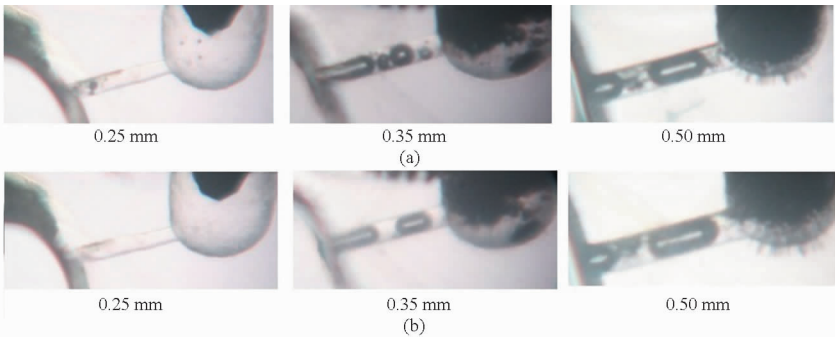


图 10 不同压力下不同直径喷孔内的初始气泡

Fig. 10 Pictures of original bubbles with different situation

(a) $p_{inj} = 30\text{ MPa}$ (b) $p_{inj} = 50\text{ MPa}$

为比较不同燃料的喷孔内气泡特征,选用最易产生初始气泡的喷孔结构(喷孔直径为 0.5 mm,喷孔长为 5 mm)进行了对比试验。图 11 为 4 种不同燃料的喷孔内初始气泡特征形态。从图中可知,生物柴油与柴油的初始气泡特征比较类似;而乙醇柴油与汽油初始气泡特征相近,属于与喷孔出口相通的气膜,无完整封闭的气泡存在,且喷孔内气体体积分数较大,气膜几乎占据整个喷孔。究其原因,可能与燃料的表面张力属性有关,具有小表面张力的汽油在喷孔外气体倒流作用下,更易形成油膜;但其表面张力又不足以使其在孔内形成“油包气”的气泡。

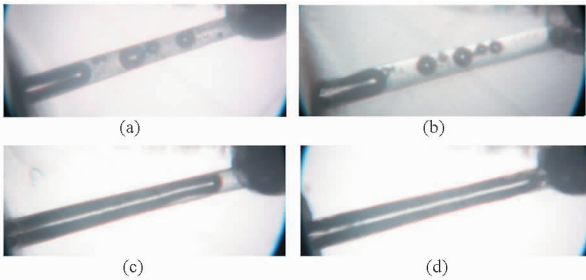


图 11 不同燃料的喷孔内初始气泡特征

Fig. 11 Pictures of original bubbles with various fuels

(a) 生物柴油 (b) 柴油 (c) 乙醇柴油 (d) 汽油

与此相类似,喷孔内乙醇柴油初始气泡形态的形成原因在于,因柴油和乙醇的互溶性较差,乙醇-柴油混合燃料的密度、粘度和表面张力均会随乙醇添加比例的增加而降低,加之一定温度下乙醇的饱和蒸汽压远高于柴油,因此,易于蒸发的乙醇导致喷孔内气体体积分数也很大,致使气膜几乎占据整个喷孔。

3 结论

利用较为通用的设备和仪器,设计和搭建了喷孔内高压射流形态成像试验装置,采用高速可控闪光显微摄影技术的阴影法,对不同燃料的喷孔内流动及近孔口喷雾形态进行了对比研究,试验结果表明:

(1) 喷孔内的流动为气液两相共存的空穴流

动,空穴随针阀的运动呈现发生、发展、稳定的变化过程,同时针阀的运动对压力室和喷孔内的流动具有很大的扰动。

(2) 在不同喷油压力下,各种燃料在喷孔内均呈现气液两相共存的空穴流动,空穴产生的时刻及强度随燃料属性的变化而变化;低运动粘度、高饱和蒸汽压的燃料空穴产生的时刻更早、强度更强,且具有更大的近场喷雾锥角。

(3) 大孔径的喷孔会发生喷油后气体倒流的现象,并在喷孔内形成初始气泡,初始气泡的体积随燃料表面张力的减小而增大。

(4) 在柴油中加入低表面张力和低运动粘度的乙醇后,会显著改变其喷孔内的流动和近场喷雾形态,使得喷孔内空穴强度增强,近场喷雾锥角增大。

参 考 文 献

- 1 Soteriou C, Andrews R, Smith M. Direct injection diesel sprays and the effect of cavitation and hydraulic flip on atomization[C]. SAE Paper 950080,1995.
- 2 Chaves H, Knapp M, Kubitzek A, et al. Experimental study of cavitation in the nozzle hole of diesel injectors using transparent nozzles[C]. SAE Paper 950290,1995.
- 3 玉木伸茂,林航空. 喷油嘴喷孔空穴现象对液体喷束雾化的影响[J]. 国外内燃机车,1998(8):23-29.
- 4 Payri F, Bermudez V, Payri R, et al. The influence of cavitation on the internal flow and the spray characteristics in diesel injection nozzles[J]. Fuel, 2004,83(4-5):419-431.
- 5 汪翔,苏万华. 空化过程对柴油喷嘴内流特性的影响[J]. 内燃机学报,2007,25(6):481-487.
Wang Xiang, Su Wanhua. The influence of cavitation processes on the internal flow characteristics of diesel injection nozzles[J]. Transactions of CSICE, 2007,25(6):481-487. (in Chinese)
- 6 Hyun Kyu Suh, Chang Sik Lee. Effect of cavitation in nozzle orifice on the diesel fuel atomization characteristics[J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2008,29(4):1001-1009.
- 7 Arcoumanis C, Flora H, Gavaises M, et al. Investigation of cavitation in a vertical multi-hole injector[C]. SAE Paper 1999-01-0524,1999.
- 8 Akira Sou, Shigeo Hosokawa, Akio Tomiyama. Effects of cavitation in a nozzle on liquid jet atomization[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2007,50:3575-3582.
- 9 Badock C, Wirth R, Fath A, et al. Investigation of cavitation in real size diesel injection nozzles[J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 1999,20(5):538-544.
- 10 Arcoumanis C, Flora H, Gavaises M. Cavitation in real-size multi-hole diesel injector nozzles[C]. SAE Paper 2000-01-1249, 2000.
- 11 Blessing M, König G, Krüger C, et al. Analysis of flow and cavitation phenomena in diesel injection nozzles and its effects on spray and mixture formation[C]. SAE Paper 2003-01-1358,2003.
- 12 魏明锐,文华,刘会猛,等. 柴油机孔式喷油嘴内空穴流动的模拟分析[J]. 内燃机学报,2006,24(6):526-530.
Wei Mingrui, Wen Hua, Liu Huimeng, et al. Simulation analysis on cavitation flow in a diesel engine nozzle[J]. Transactions of CSICE, 2006,24(6):526-530. (in Chinese)
- 13 何志霞,李德桃,胡林峰,等. 喷油嘴喷孔内部空穴两相流动数值模拟分析[J]. 内燃机学报,2004,22(5):433-438.
He Zhixia, Li Detao, Hu Linfeng, et al. Numerical simulation and analysis of two-phase flow of inner cavitation in injection nozzles [J]. Transactions of CSICE, 2004,22(5):433-438. (in Chinese)
- 14 卢国权,虞钢,何秀丽,等. 喷孔几何特征对变截面喷油孔空穴流动状态的影响[J]. 内燃机学报,2012,30(3):254-259.
Lu Guoquan, Yu Gang, He Xiuli, et al. Effect of geometry characteristics on internal cavitation flow of injection nozzle with varying hole cross-section[J]. Transactions of CSICE, 2012,30(3):254-259. (in Chinese)
- 15 何志霞,柏金,王谦,等. 柴油机喷嘴内空穴流动可视化试验与数值模拟[J]. 农业机械学报,2011,42(11):6-9.
He Zhixia, Bai Jin, Wang Qian, et al. Visualization experiment and numerical simulation for cavitating flow in a diesel injector nozzle[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(11):6-9. (in Chinese)
- 16 王忠远,孙剑,董庆兵,等. 柴油机喷孔内部空化效应的可视化实验研究[J]. 燃烧科学与技术,2012,18(3):281-287.
Wang Zhongyuan, Sun Jian, Dong Qingbing, et al. Visualization of cavitation in diesel nozzle orifice[J]. Journal of Combustion

Science and Technology, 2012, 18(3): 281 – 287. (in Chinese)

17 戴咏川, 戴承远. 由折射率预测柴油的十六烷值[J]. 石油与天然气化工, 2000, 29(1): 23 – 25.
Dai Yongchuan, Dai Chengyuan. Prediction for the cetane number of diesel fuels from refractive index[J]. Chemical Engineering of Oil and Gas, 2000, 29(1): 23 – 25. (in Chinese)

18 何学良. 内燃机燃料[M]. 北京: 中国石化出版社, 2004.

Visualization Experiment of Internal Flow of Nozzle and Spray Construction for Various Fuels

Jiang Guangjun¹ Zhang Yusheng¹ Medhat Elkelawy² Xiao Gan¹

(1. College of Energy and Power Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

2. Faculty of Engineering, Tanta University, Tanta 31111, Egypt)

Abstract: A visualization experimental apparatus with high speed controlled flash photography techniques was developed to investigate the flow in the hole of diesel injection nozzles and the spray construction near orifice. The experiments were performed with the transparent actual nozzles for diesel, gasoline, ethanol diesel fuel and biodiesel. The results indicate that the cavitation films could be observed in the hole for all fuels. The initial cavitation was appeared earlier and the cavitation intensity was stronger for the fuel which had lower viscosity and higher saturated vapor pressure. There was larger spray cone angle with stronger cavitation intensity. After the jet was finished, the gas backflow phenomenon could be observed in the hole and the initial bubble would be produced. And the initial bubble size could increase with the reduction of fuel surface tension. The flow status in the pressure chamber and hole was greatly affected by the movement of needle.

Key words: Injector nozzle Flow Cavitation Spray construction Visualization experiment

(上接第 83 页)

Numerical Simulation for Two-phase Flow of Siphon Outlet in Pumping Station

Wang Xiaosheng^{1,2} Feng Jian'gang² Chen Hongxun¹ Bu Lifeng² Tan Linlu²

(1. Shanghai Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Shanghai University, Shanghai 200072, China

2. College of Water Conservancy and Hydropower, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to understand the characteristic of the gas-liquid two-phase flow in siphon pipe, based on the homogeneous model in multiphase flow theory of ANSYS CFX software and RNG $k-\varepsilon$ turbulence model, the process of gas-liquid flow for a siphon outlet pipe in pumping station was simulated. Results of simulation showed that the air sacs are easily generated on the shell of siphon pipe when the gas mixed into the water and it has an extremely adverse influence with the siphon finish. Meanwhile, flow rate of the incoming flow is the main factor impacting the siphoning time. At last, the relations between the siphoning time and flow rate for hydraulic driving-gas and mixing gas-water processes, according with the power function relationship, were given.

Key words: Siphon pipe Gas-liquid two-phase flow Siphoning time Numerical simulation