

共轨柴油机不同喷孔形式对燃油喷雾及燃烧特性的影响

王志磊, 刘文斌, 吴亚龙, 宋 杨

(河南柴油机重工有限责任公司, 河南 洛阳 471039)

摘 要: 采用 CFD 软件, 基于欧拉法和拉格朗日离散法分别模拟喷油器内部流动及喷射特性, 并将喷射计算结果导入燃烧模型实现联合仿真。仿真计算不同喷孔形式的喷射特性, 得到了其内部速度、压力、气相体积分数(空穴)及喷雾场。仿真结果表明: 在相同轨压下, 小孔径喷孔油滴速度较大、贯穿距长、喷雾锥角小; 燃烧湍流动能大, 且较多 soot 打在气缸盖上, 影响柴油机的可靠性。

关键词: 柴油机; 喷孔; 喷雾; 燃烧

中图分类号: TK423.8⁺4 文献标识码: A 文章编号: 1001-4357(2019)05-0018-03

Effect of Different Types of Nozzles of Common-Rail Diesels on Fuel Injection Spray and Combustion Characteristics

Wang Zhilei, Liu Wenbin, Wu Yalong, Song Yang

(Henan Diesel Engine Industry Co., Ltd., Henan Luoyang 471039)

Abstract: The CFD software was used to simulate the inner flow and spray characteristics of injectors with Euler and Lagrange method, and the injection simulation results were input to the combustion model to realize co-simulation. The injection characteristics of varied types of nozzles were simulated to get the internal velocity, pressure, gas phase volume fraction (cavitation) and spray field. The simulation results show that under the same common rail pressure, the nozzles with small orifice produces high fuel drop velocity, long penetration distance and small spray angle, and causes big combustion turbulence kinetic energy, thus more soot particles hit the cylinder head, which has a bad influence on the reliability of diesel engines.

Key words: diesel engine; nozzle; spray; combustion

0 引言

对于共轨柴油机来说, 燃油喷射压力非常高, 燃油通过喷孔的流速一般都在几百米每秒; 燃油在喷嘴内流动为强湍流, 易产生空穴现象。油束离开喷嘴后, 分裂成较小油滴, 油滴相互碰撞, 蒸发, 和周围空气摩擦而形成二次雾化^[1]。而不同的喷孔形式会对缸内喷雾和燃烧特性产生不同的影响。为研究其中的规律, 采用燃油喷雾数值

仿真方法。燃油喷雾数值仿真中既要求解喷嘴中燃油和油气的连续性方程, 又要计算喷射后油雾的连续性方程。本文在燃油喷射和雾化过程中, 采用欧拉-拉格朗日离散法的耦合方法, 即在燃油器的燃油区域采用欧拉法, 而在燃油喷雾区域采用拉格朗日离散法, 并考虑喷嘴区域的空穴^[2-3]。随后, 将上述燃油喷射仿真结果导入到燃烧模拟仿真中, 计算分析不同喷孔形式对缸内喷雾和燃烧特性的影响。

收稿日期: 2018-08-17; 修回日期: 2018-12-03

作者简介: 王志磊(1986-), 男, 工程师, 主要研究方向为柴油机设计, 910622472@qq.com。

1 喷嘴内部流动计算

1.1 燃油器结构

分别设计8孔和9孔的喷嘴, 为保证在同一喷射压力下两种喷嘴具有可对比性, 两种喷嘴喷孔的通流总面积相同。如此, 8孔的孔径为0.225 mm、9孔的孔径为0.212 mm。按照喷嘴器的实际尺寸建立喷嘴几何模型, 如图1所示。

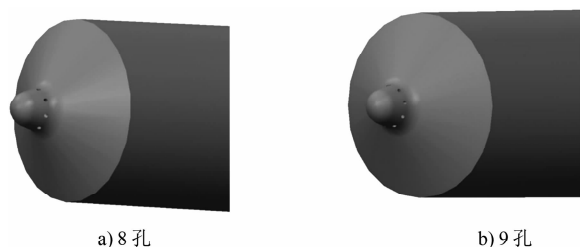


图1 喷嘴三维模型

1.2 网格划分和边界条件

由于8和9孔喷嘴器均采用中置方式, 为节省计算时间, 建立全网格的1/8和1/9模型, 即45°和40°扇形体网格作为计算区域。8孔和9孔喷嘴网格模型如图2所示。采用六面体结构型网格对模型进行网格划分, 同时对喷嘴入口和出口做网格加密处理。本文采用VOF模型对喷嘴燃油流动进行模拟, 在建立喷嘴流动模型中, 设置燃油进口压力为150 MPa。

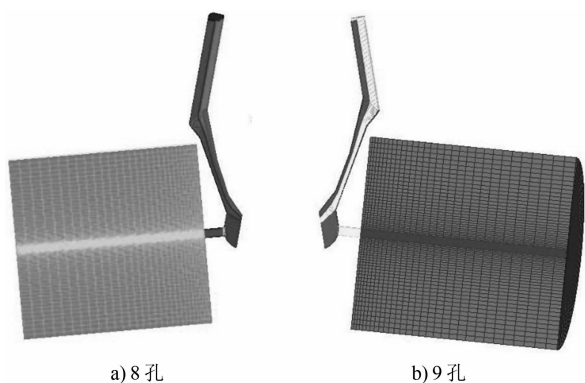


图2 喷嘴网格模型部示意图

1.3 计算结果

如图3和图4所示: 8孔喷嘴出口后的湍流动能较大, 这主要因为燃油在接近喷孔出口处时压强逐渐减小。随着喷孔数目的增加, 喷孔处燃油压力增大, 喷嘴内燃油的湍流动能降低, 燃油流动时流体之间的相互碰撞引起的能量损失减小, 所以由能量损失引起的压降减小, 导致喷射速度较大。如图5所示, 8孔最大喷射速度为777.4 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), 9孔最大喷射速度为889.4 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

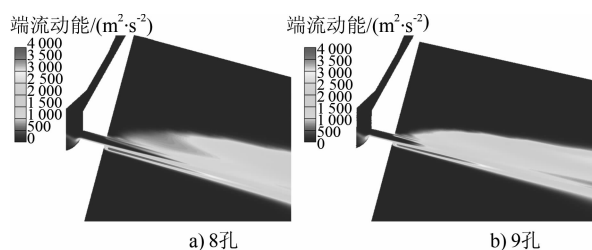


图3 喷嘴湍流动能云图

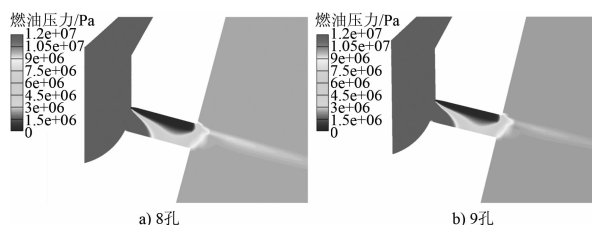


图4 喷嘴压力云图

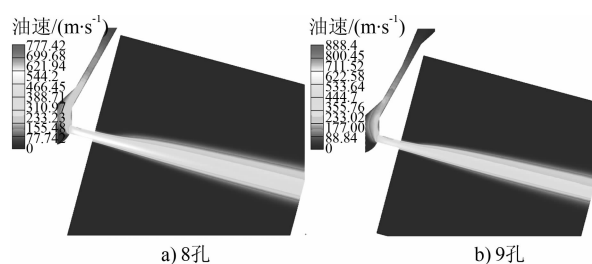


图5 喷嘴燃油速度云图

2 喷雾发展计算

2.1 计算网格和计算边界

模拟柴油机燃油雾化过程时, 首先须建立喷嘴喷雾场模型。喷雾场几何模型包括两部分: 喷嘴区域和喷雾场区域。喷雾场区域为圆柱体, 采用六面体结构型网格划分单元, 如图6所示。将喷射结果文件导入计算模型, 喷雾场区域的底部和侧面设置为压力出口, 顶部设置为墙。

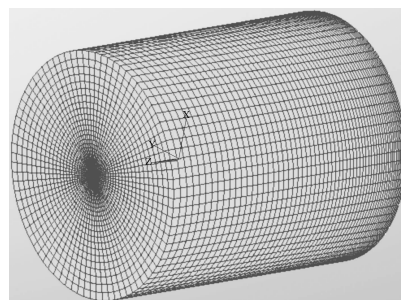


图6 燃油喷雾场网格模型

2.2 计算结果分析

图7为喷嘴分别为8孔和9孔时, 同一时刻的燃油粒子分布对比。可见: 9孔喷嘴比8孔喷嘴燃油贯穿距离长, 喷雾锥角减少。这是因为在通

流面积一定时,随着喷油嘴喷孔数目的增多,单孔截面积减小,出口速度变大,贯穿能力加强,空气与燃油之间的相互作用减弱,燃油混合气能沿着喷孔壁面到达更小的范围,主要表现为燃油喷雾锥角的减小。同时,在燃油与油滴的耦合作用下,从喷孔射出的燃油在其惯性力的作用下继续向前运动,喷嘴数目越多,燃油射流速度越大,其惯性力越大。

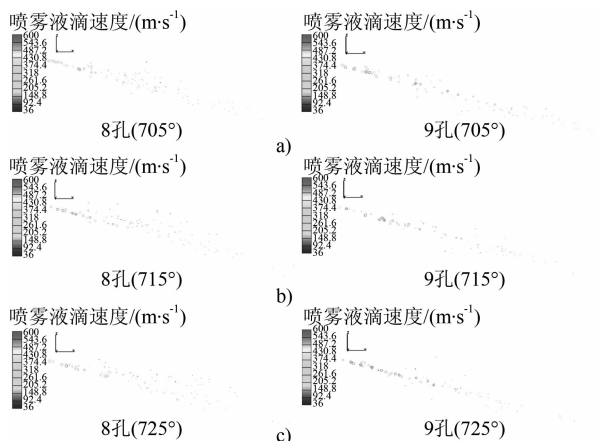


图 7 不同曲轴转角下不同喷油嘴的喷雾仿真

3 喷嘴与燃烧室耦合分析

对于柴油机来说,燃油雾化和燃烧室结构间的关系会极大程度地影响燃烧过程,从而影响发动机的性能,因此对二者关系的研究就显得至关重要。将上述喷雾状态仿真文件导入缸内过程计算。喷射结果已表明,孔径变小使喷射速度和贯穿距增大,在此重点研究喷雾对湍流动能和 soot 分布的影响。

3.1 网格划分及计算边界

同样采用全模型的 1/8 和 1/9, 即 45° 和 40° 扇形体网格作为计算区域。在活塞外侧设置了补偿容积,用来代替气门凹坑及活塞环等缝隙容积,确保设计燃烧室的几何压缩比与实际柴油机的相同。如图 8 所示为活塞位于上止点位置时燃烧室的计算网格。喷油持续期为曲轴转角 701° ~ 730°。

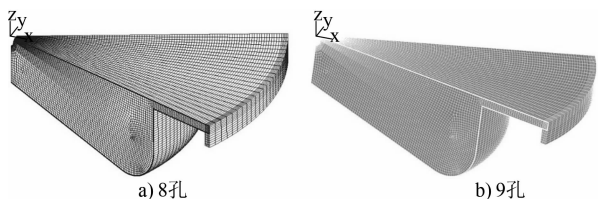


图 8 燃烧室网格模型

3.2 计算结果分析

如图 9 所示为曲轴转角 705° ~ 725° 时的缸内湍流动能分布。在刚开始喷油时,8 孔和 9 孔的湍流动能分布大致相同;随后,9 孔的湍流动能明显大

于 8 孔湍流能。也即 9 孔喷油器有利于火焰传播。

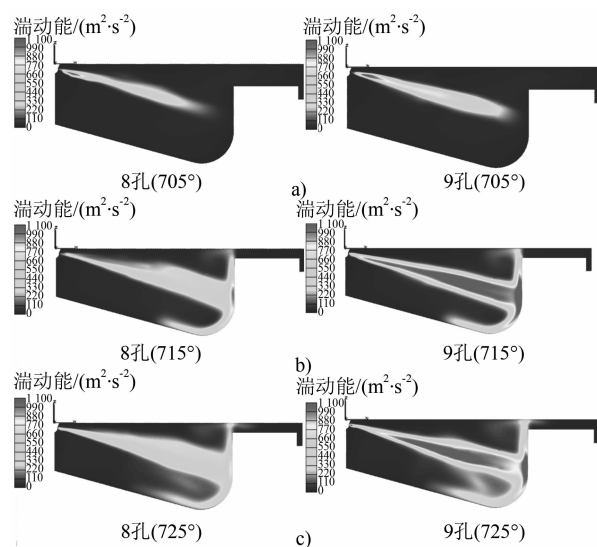


图 9 不同曲轴转角下的湍流能

如图 10 所示为 8 孔和 9 孔在不同时刻的缸内 soot 分布。可以看出:刚开始时两种喷孔的 soot 分布相似;随着曲轴转角增大,9 孔喷嘴的喷射速度大、贯穿距长、喷射锥角小,部分 soot 扩散到气缸盖上。

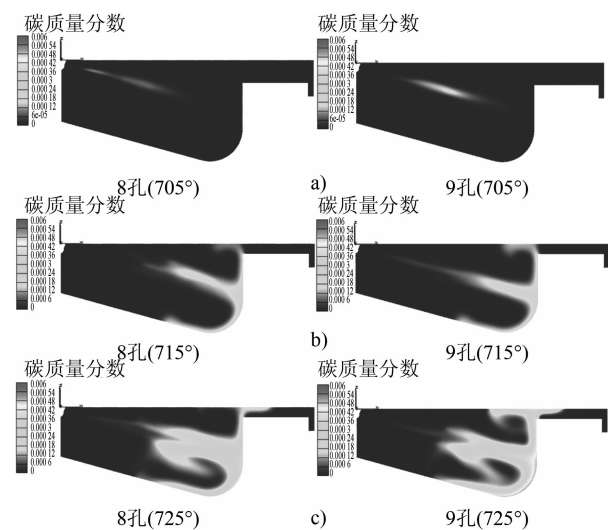


图 10 不同曲轴转角下的碳质量分数

4 结论

通过仿真分析两种喷孔方案 (8 × 0.225 mm × 150° 和 9 × 0.212 mm × 150°), 相同共轨压力 (150 MPa) 下, 喷嘴内部的压力、速度和气相体积分数 (空穴), 燃油喷雾及燃烧的湍流动能和 soot 分布情况, 得出以下结论:

(下转第 34 页)

- [16] Wang D, YASSER J J, LIU Y, et al. A comparison of hydrothermal aging effects on NH_3 -SCR of NO_x , over Cu-SSZ-13 and Cu-SAPO-34 catalysts [J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2015, 165: 438-445.
- [17] XIANG X, WU P F, CAO Y, et al. Investigation of low-temperature hydrothermal stability of Cu-SAPO-34 for selective catalytic reduction of NO_x with NH_3 [J]. Chinese Journal of Catalysis, 2017, 38 (5): 918-927.
- [18] 牛臻. Cu-SAPO-34 催化剂用于 NH_3 -SCR 去除柴油车尾气 NO_x [D]. 北京: 中国科学院大学, 2016.
- [19] WANG D, GAO F, PEDEN C H F, et al. Selective catalytic reduction of NO_x with NH_3 over a Cu-SSZ-13 catalyst prepared by a solid-state ion-exchange method [J]. Chemcatchem, 2014, 6 (6): 1579-1583.
- [20] WANG J, FAN D, YU T, et al. Improvement of low-temperature hydrothermal stability of Cu-SAPO-34 catalysts by Cu^{2+} species [J]. Journal of Catalysis, 2015, 322: 84-90.
- [21] KIM D J, WANG J, CROCKER M. Adsorption and desorption of propene on a commercial Cu-SSZ-13 SCR catalyst [J]. Catalysis Today, 2014, 231 (4): 83-89.
- [22] KIM Y J, LEE J K, MIN K M, et al. Hydrothermal stability of CuSSZ13 for reducing NO_x by NH_3 [J]. Journal of Catalysis, 2014, 311: 447-457.
- [23] XUE J J, WANG X Q, QI G S, et al. Characterization of copper species over Cu/SAPO-34 in selective catalytic reduction of NO_x with ammonia; Relationships between active Cu sites and de- NO_x performance at low temperature [J]. Journal of Catalysis, 2013, 297: 56-64.
- [24] KEFIROV R, PENKOVA A, HADJIIVANOV K, et al. Stabilization of Cu^+ ions in BEA zeolite: Study by FTIR spectroscopy of adsorbed CO and TPR [J]. Microporous and Mesoporous Materials. 2008, 116 (1-3): 180-187.
- [25] RICHTER M, FAIT M J G, ECKELT R, et al. Gas-phase carbonylation of methanol to dimethyl carbonate on chloride-free Cu-precipitated zeolite Y at normal pressure [J]. Journal of Catalysis, 2007, 245 (1): 11-24.
- [26] BULANEK R, WICHTERLOVA B, SOBALIK Z, et al. Reducibility and oxidation activity of Cu ions in zeolites: Effect of Cu ion coordination and zeolite framework composition [J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2001, 31 (1): 13-25.

(上接第 20 页)

(1) 在相同共轨压力下, 小孔径喷嘴内部的压力和速度相对较大。喷孔入口上拐角易形成负压区, 产生空穴。高压使气液两相间的相对速度增大, 有利于油滴初次破碎。

(2) 小孔径喷嘴的喷射速度大、贯穿距长、喷射锥角小, 使燃烧的湍流动能较大且 soot 扩散到活塞碗上, 然后到达缸盖底面, 对柴油机工作可靠性有影响。

参考文献

- [1] 解茂昭. 内燃机计算燃烧学 [M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2005.
- [2] HAN J S, LU P H, XIE X B, et al. Investigation of diesel spray primary break-up and development for different nozzle geometries [C]. SAE Paper 2002-01-2775.
- [3] PAYRI F, BERMUDEZ V, PAYRI R, et al. The Influence of cavitation on the internal flow and the spray characteristic in diesel injection nozzles [J]. Fuel, 2004, 83 (4): 419-431.
- [4] BLESSING M, KONIG G, KRUGER C, et al. Analysis of flow and cavitation phenomena in diesel injection nozzles and its effects on spray and mixture formation [C]. SAE Paper 2003-01-13581358.