

高压共轨大功率柴油机喷油嘴内部两相流动仿真研究

陈小敏, 常汉宝, 秦建文

(海军工程大学船舶与动力学院, 湖北武汉 430033)

摘要: 用 AVL-FIRE 软件建立了 TBD234V6 高压共轨大功率柴油机喷油器喷嘴内部流动的仿真计算模型; 研究了共轨大功率柴油机喷油器主要结构参数, 包括喷孔直径、喷孔个数、喷孔长径比、喷射夹角等, 对燃油在喷嘴内部流动的影响。分析表明: 喷嘴结构参数不同会使各喷孔内气穴产生的时刻、分布区域以及强度不一致, 最终影响各喷孔的流量特性, 并且传递到喷孔出口面, 对喷雾特性产生影响。

关键词: 大功率柴油机; 高压共轨; 喷油嘴; 结构参数

中图分类号: TK423.8⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2011)06-0025-04

Simulative Study on the Flow in the Nozzle Hole of High-pressure Common Rail Injector of Large-power Diesel Engine

Chen Xiaomin, Chang Hanbao, Qin Jianwen

(College of Marine and Power, Naval University of Engineering, HubeiWuhan 430033)

Abstract: The simulative calculation model of the oil flow in the nozzle hole of diesel engine with high-pressure common rail injector was built up by AVL-FIRE. The influence of main geometric parameters of high-pressure common rail injector (including diameter, number, length/diameter, spray angle etc.) on flow rate of fuel oil in the injector hole is studied. The analysis shows that the differences of injector's geometric parameters may result in inconsistent of air sink occurring time in injector holes, distributing areas and strength, and ultimately influence the flow characteristics of the injector holes, which could be transferred to the outlet of injector holes and affect the spray characteristics.

Keywords: large power diesel engine; high pressure common rail system; fuel injector; geometric parameters

0 引言

高压共轨电控燃油喷射技术是提高柴油机经济性、改善排放的重要手段之一, 其喷射系统设计参数对柴油机燃烧排放性能有着决定性的影响。而电控喷油器是高压共轨系统的重要组成部分, 其结构参数对喷孔内部燃油的流动有着重要影响。但是喷油器结构复杂, 喷孔内部流动空间的集合尺寸小, 燃油以很高的压力和速度流经喷孔, 且是强湍流流动, 使得直接观察和测量孔内的流动相当困难。此

外, 喷孔内部的流动还会伴随着空穴现象, 使流动成为气液两相流问题, 故试验测量难度相当大。多维数值模拟方法可以详细地描绘喷嘴内部流场的变化, 得到常规试验方法很难获得的结果。通过分析喷油器结构参数对燃油在喷孔内部流动的影响规律, 可以为喷油器结构设计提供可靠依据^[1]。

1 喷嘴内流场三维 CFD 建模

1.1 计算对象及网格划分

本文研究对象为装备电控高压共轨燃油系统的 TBD234V6 柴油机, 额定转速 1 500 r/min, 额定频

率 50 Hz, 额定电压 380 V, 最大输出功率 225 kW。其主要参数如表 1 所示。

表 1 TBD234 柴油机主要参数

发动机型式	6 缸, V 型, 水冷, 四冲程, 直喷式
缸径 × 冲程/mm	128 × 140
曲柄/连杆	0.255
压缩比	15
额定功率/kW	186

在应用 FIRE 软件进行计算之前, 首先应用三维绘图软件 Pro/Engineer 对喷油器内部油液流通区域进行三维几何造型, 再生成可以调入 FIRE 软件的以 .stl 为扩展名的文件。采用 6 孔喷嘴的 Pro-E 模型及喷孔序号如图 1 所示。

根据喷嘴的流动特点, 对喷孔入口附近区域以及壁面的网格进行加密处理, 最大体网格尺寸小于 10^{-5} m。喷嘴计算网格划分前后如图 2 所示。

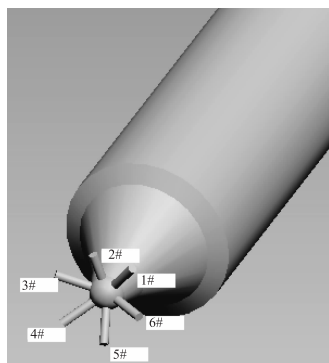


图 1 Pro-E 模型及喷孔序号

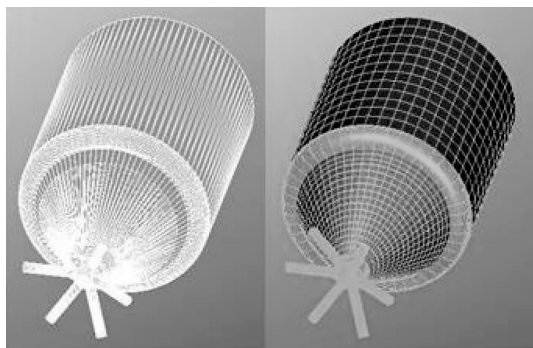


图 2 喷嘴计算网络划分前后

1.2 计算边界条件

进出口均设为压力边界条件, 在稳态计算过程中, 针阀固定升程为 0.27 mm, 进口压力为 110 MPa, 出口压力为 3 MPa。计算时假设柴油为不可压缩流体, 不考虑流动过程中的能量损失和转换, 以及燃油黏度随温度、压力变化的影响; 饱和蒸汽压设为 892 Pa; 喷孔壁面粗糙度设为 $10 \mu\text{m}$ 。

喷油嘴内部流动计算时, 湍流模型选用对标准 $k-\varepsilon$ 方程修正后的 $k-\zeta-f$ 模型求解动量守恒和连续性方程, 压力速度耦合采用 Simple 算法, 喷油嘴内的气液两相流计算采用欧拉-欧拉算法, 壁面边界条件采用标准函数法^[2]。

1.3 nozzle 文件设置

nozzle 文件作为枢纽, 连接喷孔内流场模型与喷雾模型, 是模型的重要部分。仿真时需要设置喷油器轴向、每个喷孔出口的中心位置、喷孔向量、喷孔对称轴方向、所仿真喷孔角度等结构参数进行设置。

运行执行文件, 并监控计算过程, 当模型计算完毕后, 用二维图表、三维图形或动画显示出标准的喷孔内流场计算结果, 如速度场、压力场、温度场、湍动能等。

计算结束后每个喷孔会得到一个相关的 nozzle 文件, 用来保存关于喷孔出口面的仿真计算结果。

2 仿真计算与分析

2.1 计算模型的验证

为了验证计算模型的有效性, 将计算结果与试验测得的柴油机示功图进行比较。图 3 为标定工况下示功图的计算值与试验值比较。可以看出, 计算结果与试验结果基本吻合, 从而验证了计算模型可靠。

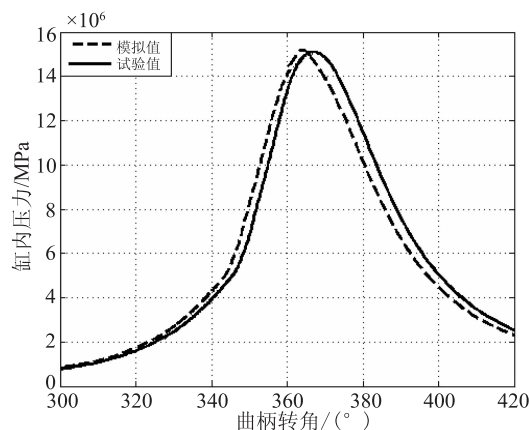


图 3 示功图模拟值和计算值的比较

2.2 喷孔个数与直径的影响

图 4 为两种喷嘴(孔数 × 直径分别为: 6×0.2 、 8×0.15)在喷油初期某同一时刻喷孔 1、4 孔中心截面压力分布、速度分布、气相体积分布。

从图中可以看出, 在喷射初期, 大孔径喷嘴压力场建立较慢, 压力室和喷孔内部压力变化比较明显, 压力分布梯度变化较大, 这样容易形成涡流, 造成动量的损失增大, 影响到燃油在喷孔内的流速, 针阀与阀座间仍有较强的气穴现象产生, 针阀位置的实际流通面积变小, 而在喷射初期此处的流

通面积决定了整个喷嘴的流通面积, 所以导致大孔径喷嘴初期喷射速率上升较缓。

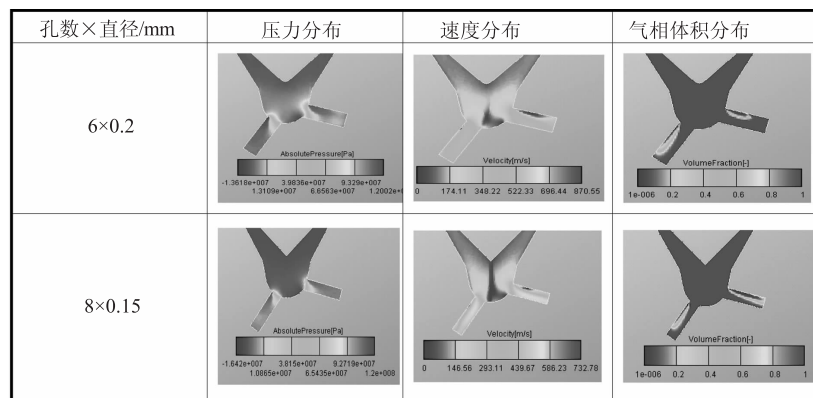


图4 不同孔数与孔径的喷嘴1、4孔中心截面压力、速度、气相体积分布云图(左边为第1孔, 右边为第4孔)

从两种喷嘴的速度云图可知, 喷射初期8孔喷嘴的燃油平均流动速度较6孔喷嘴的要高些, 其原因主要是8孔喷嘴孔径较小, 孔径较小喷嘴的压力室和喷孔内部压力梯度小且分布均匀, 流速较高, 燃油从压力室进入喷孔的截面积相对要小, 因此流速得到提高。

气相体积分布图上, 蓝色代表气相体积最大值, 红色代表液相体积最大值, 从图中可以看出孔径较小喷嘴在喷射过程中, 喷孔中气相所占体积相

对较小, 气穴区与壁面较早的发生分离, 在喷孔出口处空穴区的气泡已基本破裂, 与液相完全混合形成了不完全空穴流, 而孔径较大喷嘴喷孔内的气穴较早形成, 气相所占的比重较大, 并且气穴强度较大。因此孔数增加之后, 喷嘴流量系数将下降。

2.3 喷孔长径比的影响

图5为喷孔长径比分别为3.5和5.4的喷嘴在喷油中期某同一时刻喷孔1、4中心截面上的压力分布、速度分布和气相体积分布。

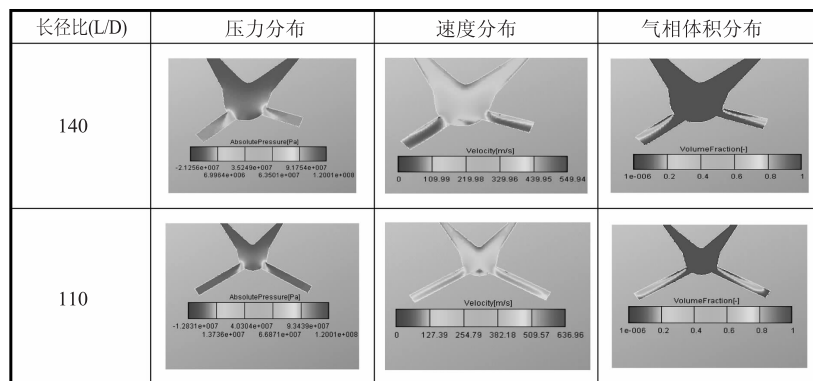


图5 喷孔长径比分别为3.5和5.4的喷嘴1、4孔中心截面压力、速度、气相体积分布云图(左边为第1孔, 右边为第4孔)

从图中看出随长径比 L/D 的增大, 喷孔截面上空穴强度总体下降并不明显, 但强空穴在喷孔壁面上分布的区域变小, 在喷孔出口处逐渐减弱, 长径比大的喷嘴第一孔气穴区在喷孔出口处已经基本消失, 变成完全液相流, 喷孔内平均流速也较长径比小的低, 但大长径比喷孔的质量流量却有所增加, 这主要是随喷孔加长, 流体与壁面的摩擦加速了气穴区空泡的溃灭, 使液相流重新着壁, 流动阻力增加, 降低了流体速度, 相当于提高了喷射背压, 使喷嘴流量系数增大。

2.4 喷射夹角的影响

图6为夹角分别为 110° 和 140° 的喷嘴1、4孔

中心截面压力、速度、气相体积分布云图。

从图中可以看出, 喷射夹角减小后, 由于喷孔入口处流体流动的拐角减小, 压力梯度变化减小, 压力损失也随之减小, 喷孔入口处的气穴区域薄且短, 有效流通面积得到了提高; 但喷孔的气穴区略微变大, 整体气穴强度较大, 且喷孔内平均流速降低。分析原因主要是各喷孔中心线都指向压力室中心, 因此喷射夹角变小之后, 喷孔也越往压力室底部靠近, 喷孔入口离针阀底部的距离变远, 各孔间间隔减小, 孔间干扰变大, 导致喷孔内燃油流速降低。

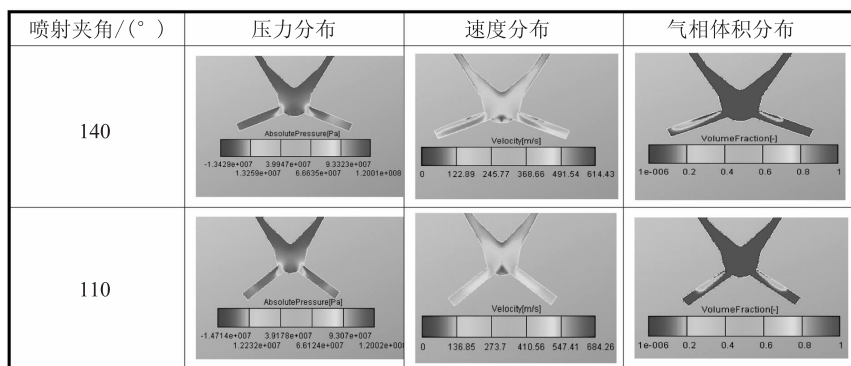


图 6 夹角分别为 110° 和 140° 的喷嘴 1、4 孔中心截面压力、速度、气相体积分布云图(左边为第 1 孔, 右边为第 4 孔)

3 结 论

(1) 在喷孔流通总面积相等情况下, 孔径较大、孔数较少的喷嘴在喷射初期压力场建立较慢, 燃油在喷孔内部平均流速较低, 喷孔直径减小后, 出口速度趋于均匀, 喷孔内空穴数量减少; 长径比增加之后, 喷孔内平均流速将会降低, 但喷孔的质量流量却有所增大; 随着喷射夹角的减小, 喷孔内压力梯度变化减小, 压力损失随之减小, 使有效流通面积得到了提高, 但孔内的平均流速有所降低。

(2) 喷嘴结构参数不同, 会使各喷孔内气穴产生的时刻、分布区域以及强度不一致, 最终影响各喷孔的流量特性, 并且传递到喷孔出口面, 对喷雾

特性产生影响。

参考文献

- [1] 夏兴兰等. 共轨喷油器主要结构参数对燃油流动和喷雾特性的影响[C]. 2010 年 AVL 用户大会论文集.
- [2] Han J S, Wang T C, Xie X B, etc. Dynamics of multiple-injection fuel sprays in a small-bore HDSI diesel engine[C]. SAE2000-01-1256, 2000.
- [3] 邵利民, 常汉宝. 喷嘴结构对多孔喷油器喷射特性影响的研究[J]. 内燃机工程, 2010(12).
- [4] 张建新, 施光林, 胡林峰. 高压共轨喷油器结构参数对喷油量特性影响的研究[J]. 现代车用动力, 2003(1).

(上接第 12 页)

5 结束语

LR4M3-24 型柴油机通过采用新结构活塞、喷油泵、喷油器等零部件及运用内部 EGR 技术, 使排放指标全面达到《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法》(I、II 阶段) 中的 II 阶段规定; 具有动力性好、噪声低、节油显著、可靠性好等特点, 可广泛适用于非道路移动机械。

参考文献

- [1] GB20891-2007. 非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法(中国 I、II 阶段)[S].
- [2] 周玉明. 内燃机废气排放及控制技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [3] 王志民. 柴油机排放控制技术的发展[J]. 内燃机工程, 2003(6): 18-21.
- [4] 丁雨林. 满足未来排放法规的非道路用柴油机技术[J]. MC 现代零部件, 2008(4): 46-48.
- [5] 谭艳辉. 浅谈非道路柴油机排放法规及装载机企业应对方法[J]. 工程机械, 2009, 40(2): 1-3.

勘 误

由于校对有误, 本刊 2011 年第 1、2、3 期误将编委会委员“姚寿广副校长”印成了“姚寿广校长”。特此更正, 并向其本人及读者致谦。

《柴油机》编辑部