

结构与可靠性

新型低速机喷嘴结构改进研究

付 健^{1,2}, 李亚洲^{1,2}, 张 重^{1,2}, 梁宏喜¹, 汪 波¹, 徐 辉¹

(1. 重庆红江机械有限责任公司, 重庆 402162; 2. 船舶与海洋工程动力系统国家工程试验室, 重庆 402162)

摘 要: 针对某新型低速机喷油器, 基于 Fluent 软件对喷嘴内部的气液两相流场进行仿真分析, 研究了倒圆半径对喷嘴流量系数和流体空穴特性的影响。在此基础上对原结构进行改进设计。对比分析表明: 随倒圆半径增大, 改进结构四个出口的流量系数一致性较好; 且各倒圆半径下流量系数均高于原始结构。表明: 结构改进是合理的。

关键词: 低速机; 喷嘴; 结构; 流场; 仿真

中图分类号: TK423.8⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2019)03-0029-03

Improvement on the Nozzle Structure of a New Type of Low Speed Engine

Fu Jian^{1,2}, Li Yazhou^{1,2}, Zhang Chong^{1,2}, Liang Hongxi¹, Wang Bo¹, Xu Hui¹

(1. Chongqing Hongjiang Machinery Co., Ltd., Chongqing 402162;

2. National Engineering Laboratory for Marine Power System, Chongqing 402162)

Abstract: Simulation analysis was carried out on the injectors of a new type of low speed engine with Fluent to study the gas-liquid two-phase flow in the nozzles, and the influence of fillet radius on the nozzle flow coefficients and cavitation characteristics was studied. Improvement design was conducted on the original structure based on the analysis results. Comparative analysis show that with the increase of fillet radius, the flow coefficients of the four outlets achieves better consistency after improvement, and all the flow coefficients of each fillet radius are higher than the original structure, which means this structure improvement is reasonable.

Key words: low speed engine; nozzle; structure; flow field; simulation

0 引 言

随着发动机排放法规的不断严格, 对燃油的雾化质量提出了更高的要求。燃油在喷嘴内部的流动情况对燃油的喷雾质量有极大的影响。因此, 研究喷嘴内部的燃油流动特性并设计合理的喷嘴结构, 对提高燃油雾化质量至关重要。

目前, 采用仿真分析的方法研究喷嘴内部燃油流动十分普遍^[1-5], 研究对象多集中于中高速机, 对于低速机的研究涉及较少。本文针对低速机用某新型喷嘴, 研究喷嘴内部燃油和燃油蒸汽组成的两相流场, 获得喷孔出口的流量系数和流场的空穴分布, 在此基础上对结构进行改进。将改进结构的燃

油流动特性与原始结构进行对比分析, 以对喷嘴的设计提供依据。

1 原结构仿真分析

1.1 物理模型

图 1 为某新型低速机喷油器针阀偶件的结构示意图。不同于喷孔呈圆周分布的传统喷油嘴, 该喷嘴有 4 个喷孔, 分布在同一侧, 且沿轴向分布的位置不同。

建立喷嘴内部流体流动模型, 如图 2 所示。

1.2 网格划分

利用 Mesh 软件划分流体网格, 喷孔倒圆区域划分为非结构网格, 其余区域划分为以结构网格为

收稿日期: 2018-09-10; 修回日期: 2019-02-14

作者简介: 付健(1985-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为燃油喷射系统流体仿真, hjjszx@cqhj.cn。

主的混合网格,如图3所示。倒圆区域网格如图4所示。

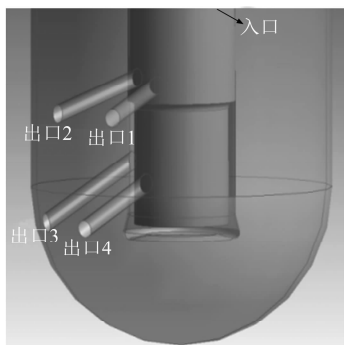


图1 低速机喷油器针阀偶件结构示意图

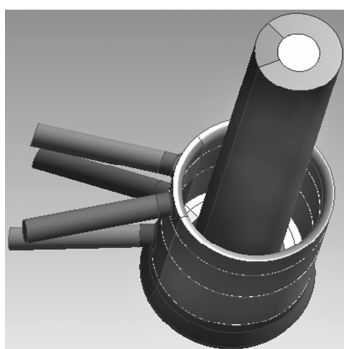


图2 喷嘴内部流体流动模型



图3 喷嘴内部流体流动模型

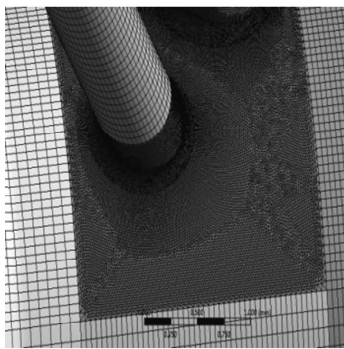


图4 倒圆区域网格

1.3 边界条件

在本文的研究中,采用的仿真软件为 Fluent。

对于燃油和燃油蒸气组成的两相流场,激活 mixture 模型和标准 $k-\varepsilon$ 模型;入口、出口均设置为压力边界;柴油液体为第一相,柴油蒸气为第二相。计算采用双精度,离散格式梯度采用基于节点格式;压力采用 PRESTO 格式;动量采用二阶迎风格式;体积分数采用 QUICK 格式离散;湍动能和耗散率均采用二阶迎风格式离散。

1.4 仿真结果和分析

1.4.1 喷孔倒圆对空穴的影响

在固定升程下,进行不同喷孔倒圆直径下的流体仿真,得到了喷孔各个出口的体积流量以及穴蚀分布情况。喷孔倒圆半径变化范围 $0 \sim 0.15$ mm,不同倒圆半径下喷嘴表面空气体积分数如图5所示。

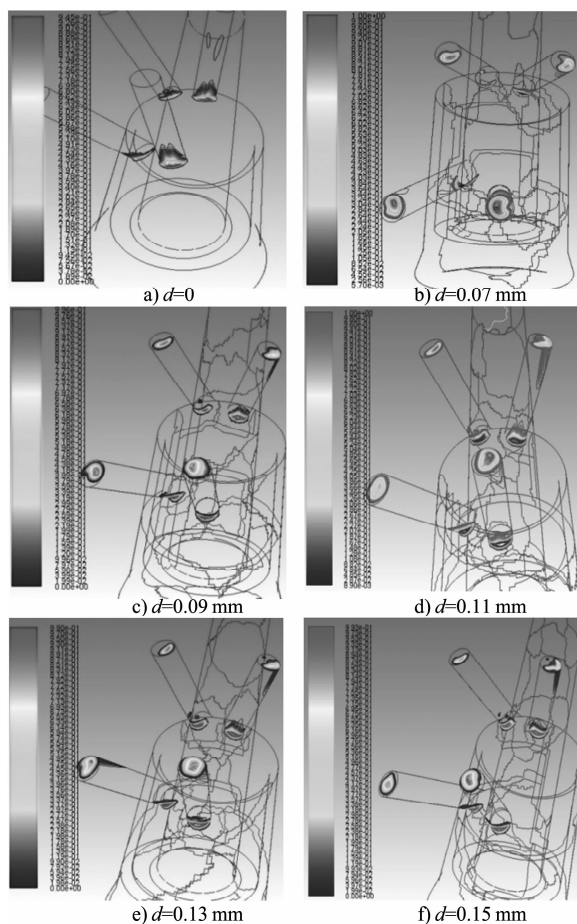


图5 不同倒圆半径下喷嘴表面空气体积分数

由图可知:在各倒圆半径下均可以明显观察到空化现象,空穴主要分布在喷孔倒圆半径和喷孔出口处。倒圆半径为 0 时,空穴分布范围较小,集中于倒圆区域;倒圆半径大于或等于 0.07 mm 时,空穴分布范围较大,主要分布区域包括倒圆半径和出口处。

1.4.2 喷孔倒圆对流量系数的影响

喷孔出口面理论流量计算公式如式(1):

$$Q_f = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (1)$$

式中: d 为出口面直径, ΔP 为出口面两侧的压力差, ρ 为液体密度。各出口直径均为 0.71 mm, 计算得到 4 个出口的理论流量均为 3.703 2 (L · min⁻¹)。

将仿真得到喷嘴出口流量除以理论流量, 即可得到各喷嘴的流量系数, 如图 6 所示。可以看到: 流量系数变化范围在 0.525 1 ~ 0.729 9 之间。随着倒圆半径的增大, 出口 1、出口 2 流量系数整体呈增大趋势, 出口 3、出口 4 流量系数变化比较剧烈, 发生了波动。这可能与喷嘴的轴向位置有关, 出口 1、出口 2 轴向位置相似, 出口 3、出口 4 轴向位置相似, 且出口 1、出口 2 所处的位置高于出口 3、出口 4, 流体到达出口 1、出口 2 时, 已经经过了充分的发展。因此, 出口 1、出口 2 流量系数随倒圆半径的变化更合理, 也更加稳定。

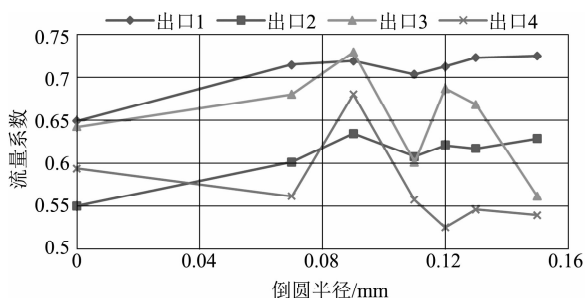


图6 各出口流量系数

2 结构优化和分析

由上述分析可以得出: 原始结构喷嘴的喷嘴流量系数波动太大, 不符合使用要求。对喷嘴结构做改进, 增大流体流动区域。改进后的流场几何模型如图 7 所示。对改进模型划分网格, 如图 8 所示。

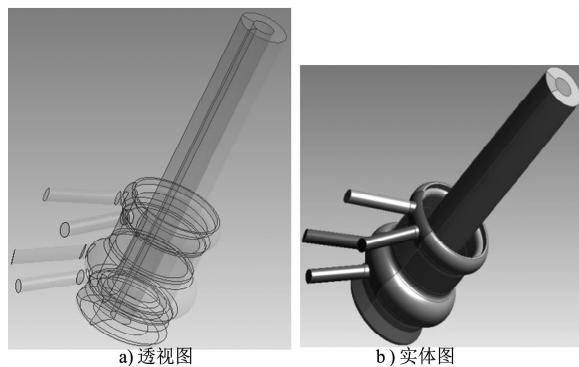


图7 改进结构流场几何模型

2.1 改进结构不同倒圆半径下的穴蚀分布

在固定升程下, 对改进结构进行不同喷嘴倒圆

直径下的流体仿真, 得到了喷嘴各个出口的体积流量以及穴蚀分布情况。喷嘴倒圆半径变化范围 0 ~ 0.15 mm, 不同倒圆半径下喷嘴表面空气体积分数如图 9 所示。

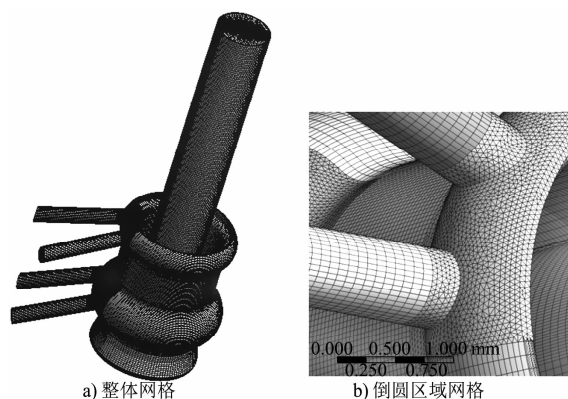


图8 改进结构网格

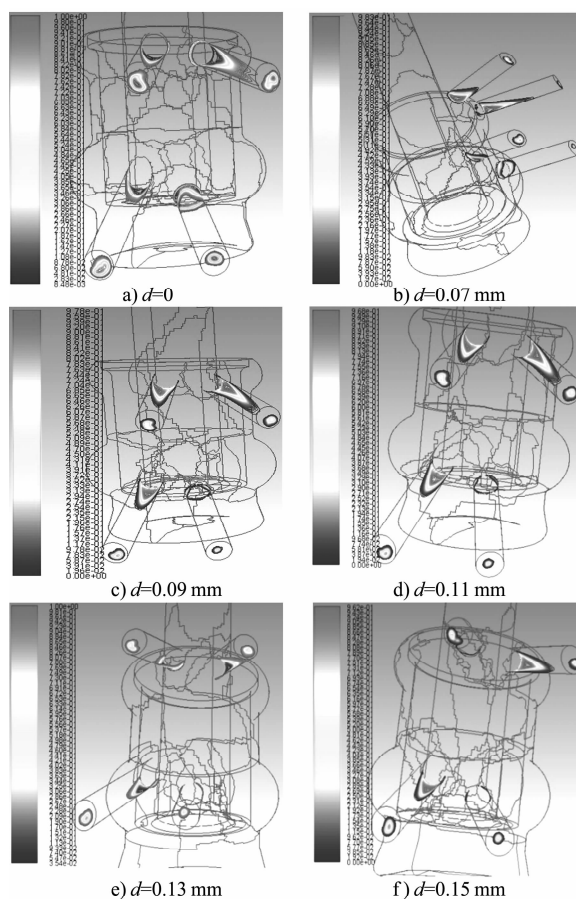


图9 改进结构喷嘴表面空气体积分数

可以看到, 改进结构在各倒圆半径下均存在空化现象, 发生空化的区域主要集中在倒圆和喷嘴出口处。

2.2 改进结构与原始结构的流量系数对比

计算得到改进结构各出口的流量系数, 并与原始结构进行对比, 如图 10 所示。

(下转第 35 页)

($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$) 降低至 $10.5 (\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$ 的良好效果。

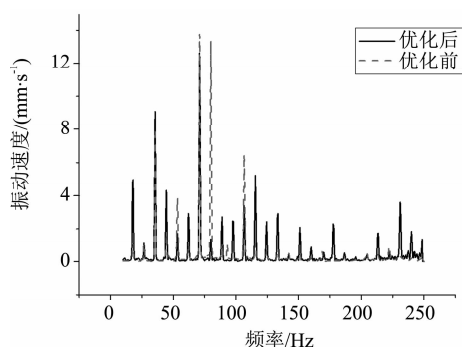


图 11 优化前后油底壳振动速度对比

3 结论

以船用大功率柴油机油底壳为研究对象,开展了薄壁结构的声学优化设计研究。以油底壳安装平面的振动响应试验数据作为实际激励输入,进行了油底壳多目标函数结构优化。整个优化过程中,保证油底壳安装接口不变,油底壳质量无显著增加。优化结果显示:油底壳固有频率明显提高,模态频率密度显著下降,表面振动速度响应大幅度降低。

(上接第 31 页)

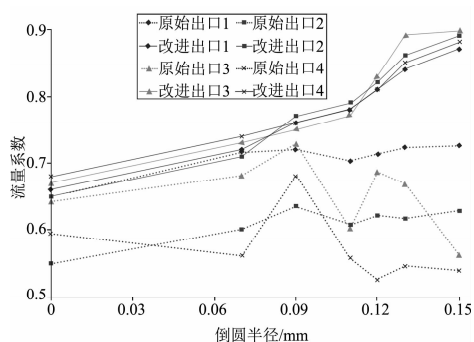


图 10 改进结构和原始结构各出口流量系数对比

对比原始结构和改进结构的流量系数,可以看到:改进结构在各倒圆半径下的出口流量系数均高于原始结构。随倒圆半径的增大,改进结构四个出口的流量系数均呈增大趋势。由流量系数的对比可知:改进结构流动特性要优于原始结构。表明结构改进是合理的。

3 结论

本文对某新型低速机喷嘴内部气液两相流体的流动过程进行了仿真分析,得到了不同倒圆半径下的出口流量系数和空穴分布情况。在此基础上对原始结构进行了改进,并得到如下结论:

(1) 原始结构出口流量系数为 $0.525 \sim$

表明:油底壳的低振动响应设计取得了良好的效果。根据试验测试数据:优化后的油底壳装机后,由于其局部振动的降低,使柴油机整机振动烈度降低了 1 dB 以上,对整机的振动噪声控制贡献显著。

参考文献

- [1] 王玉兴,郝志勇,陈馨蕊,等. 虚拟预测-形貌优化方法在油底壳低噪声设计中的应用研究[J]. 内燃机工程, 2010, 31 (3): 80-84.
- [2] 贾维新,郝志勇,杨金才. 基于形貌优化的低噪声油底壳设计研究[J]. 浙江大学学报(工学版), 2007, 41 (5): 770-773.
- [3] 舒歌群,刘俊栋,李民,等. 基于 HyperWorks 的柴油机油底壳有限元建模和结构优化[J]. 小型内燃机与车辆技术, 2008, 37 (1): 25-27.
- [4] 张俊红,王健,刘海,等. 基于多目标形貌优化方法的低噪声油底壳研究[J]. 振动、测试与诊断, 2014 (3): 467-472.
- [5] 方子帆,杨磊,杜道佳,等. 支撑结构多目标拓扑优化设计研究[J]. 中国机械工程, 2010 (15): 1836-1839.

0.729 9;随倒圆半径增大,出口流量系数波动较大;各倒圆半径下均存在空穴,主要分布在倒圆区域和喷孔出口处。

(2) 对原始结构进行改进,主要是增大流体流动区域。结果表明:随倒圆半径的增大,改进结构四个出口的流量系数均呈增大趋势;出口流量系数为 $0.650 \sim 0.892$ 。由流量系数的对比可知:改进结构四个出口的流量系数一致性较好,且各倒圆半径下流量系数均高于原始结构。表明对结构的改进是合理的。

参考文献

- [1] 杜兵,谢远文,肖朝南,等. 喷油嘴偶件关键特性参数对燃油系统喷射特性的影响[J]. 舰船科学技术, 2010, 32 (8): 75-80.
- [2] BLESSING M, KONG 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, 2003-01-1358, 2003.
- [3] SCHMIDT D P. Cavitation in diesel fuel injector nozzles [D]. Madison: University of Wisconsin-Madison, 1997.
- [4] 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.
- [5] 胡林峰,夏兴兰,郭立新. 喷油嘴偶件内部流动特性的研究[J]. 现代车用动力, 2009 (4): 7-13.