

基于 CFD 的柴油机排气道仿真与优化设计

殷玉恩, 康彦红, 刘 胜, 田永海

(中国北方发动机研究所, 山西大同 037036)

摘 要: 建立了某柴油机排气道流体域三维模型并进行稳态 CFD 计算, 发现排气道流通性较差; 在对排气道内部流场进行分析的基础上, 指出了排气道结构上的不足之处, 并针对性地进行了改进设计。改进后排气道的仿真结果显示: 排气道性能获得了较大提升。

关键词: 柴油机; 排气道; CFD; 优化设计

中图分类号: TK423.4⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2010)05-0031-03

Simulation and Optimization Design of the Diesel Engine's Exhaust Port Based on CFD

Yin Yuen, Kang Yanhong, Liu Sheng, Tian Yonghai

(China North Engine Research Institute, Shanxi Datong 037036)

Abstract: The internal fluid domain 3D model of the exhaust port of a diesel engine was established and the steady-state CFD calculation was carried on. The results show that the flowing performance of the exhaust port is bad. Then the deficiency is pointed out and the exhaust port is optimized against the deficiency. The simulation results show that the performance of the optimized exhaust port has been greatly increased.

Keywords: diesel; exhaust port; CFD; optimization design

1 概 述

进排气系统对发动机的充气效率和换气损失有重要影响, 进而影响发动机的动力性和经济性。尤其是当排气道设计差, 流动阻力过大时, 排气过程气缸压力下降缓慢, 排气不畅, 活塞在向上止点运动强制排气时, 将大大增加排气冲程消耗的活塞推出功, 造成发动机的性能下降。

在某柴油机提升功率的优化设计中, 虽然对发动机各个系统进行了优化, 但发动机性能仍未达到预定指标, 重新排查各系统发现: 排气道存在性能瓶颈, 对排气道的优化设计的要求突显。传统模式下对排气道的改进方法是反复在试验台上进行对比试验, 耗时耗力。通过仿真计算对排气道进行可视化研究, 不仅能够获得气道、气门等结构参数对流

动宏观特性的影响, 而且可以得到气道流场的大量微观信息, 从而建立气道形状与通流特性的关系, 直观地显示出流动结构的不合理之处, 找到排气道中设计不合理的结构, 使气道的改进更有针对性, 减小排气损失, 使发动机性能有了进一步提升。

2 建模与计算

使用造型软件 UG 建立排气门和排气道几何模型, 并掏取内腔作为计算流体域, 然后以 stp 格式导入 ICEM 软件中对气道流体域进行网格划分。网格质量对仿真结果有决定性的影响, 它不仅对计算时间和收敛速度有重要影响, 而且还影响计算精度。因此对气门和喉口部位进行了网格加密以提高网格质量。网格以四面体网格为主, 网格总数在 70 万左右, 排气道流体域和网格模型如图 1 所示。

收稿日期: 2009-11-30; 修回日期: 2010-04-16

作者简介: 殷玉恩(1982~), 男, 工程师, 主要研究方向为内燃机工作过程数值模拟, E-mail: yinyuen@163.com。

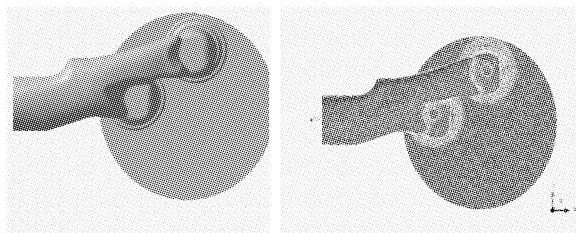


图 1 排气道流体域和网格模型

对排气道的仿真基于有限体积法,进出口均采用压力边界条件:进口压力为 0,出口压力 $-5\,000\text{ Pa}$ 。即进出口压差为 $5\,000\text{ Pa}$;壁面采用绝热无滑移边界条件;采用 $k-\varepsilon$ 双方程湍流模型计算主流区域的流动,在近壁区采用标准壁面函数处理。

3 试验与仿真结果比较

为与仿真计算结果进行比较,在稳流试验台上进行了气道试验,得到了不同气门升程下的排气道流量,并计算了排气道的无量纲流量系数,通过流量系数来评价排气道的流通能力。

$$\text{流量系数 } \mu_{\sigma} = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_{th}}$$

其中: $\dot{m}$ 为实际质量流量; $\dot{m}_{th} = N_v \cdot \frac{d_v^2}{4} \pi \rho \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$, 为理论质量流量; N_v 为气门数; d_v 为气门座圈内径; Δp 为压差; ρ 为缸内空气密度。

定义流量系数的误差为:

$$\eta = \frac{\dot{m}_s - \dot{m}_t}{\dot{m}_t} \times 100\%$$

其中: $\dot{m}_s$ 为仿真流量系数; $\dot{m}_t$ 为试验流量系数。

排气道流量系数试验和仿真结果及其误差如表 1 所示。

表 1 流量系数对比表

气门升程/mm	2	4	6	8	10	12
仿真 $\dot{m}_s$	0.141	0.243	0.282	0.315	0.323	0.328
试验 $\dot{m}_t$	0.166	0.250	0.291	0.325	0.332	0.339
误差/%	-15.30	-2.90	-3.00	-2.99	-2.58	-3.26

试验和仿真得到的流量系数存在一定的差异,尤其是在气门升程较小时差别更大,在 2 mm 气门升程时流量系数差异甚至达到了 -15.3% 。这是因为气门升程很小时,试验和仿真获得的流量都很小,较小的差异就会引起较大的误差;虽然试验与仿真的误差较大,但是两者的绝对误差其实并不大。随气门升程增大,试验与仿真流量系数的差别都在 5% 以下,可以认为试验与仿真流量系数具有较好的一致性。

从表 1 还可以看出:无论试验还是仿真的排气道流量系数都很小,即使气门升程达到 12 mm 时,流量系数也只有 33% 左右,说明原始排气道设计并不合理,排气道性能有很大的提升潜力。

4 CFD 流场分析

仿真不但获得了排气道的性能信息,还得到了排气道的压力分布和速度分布等信息。 10 mm 气门升程时的排气道截面流速矢量如图 2 所示。

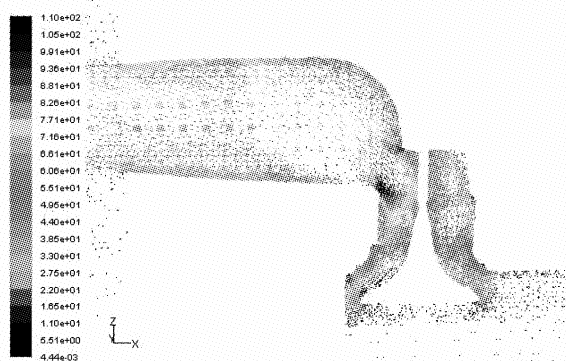


图 2 排气道截面流速矢量图

从图 2 可以看出,排气道喉口和排气管脊突这两个部位流速较高,气流在这两个部位因流道截面剧烈变化造成气流运动方向和速度发生变化,就是这两个部位阻碍了排气过程的顺利进行,对排气道的改进也主要以改进这两个部位的流动特性为目标。

5 模型改进及仿真结果

基于仿真结果对气道进行修改,重新设计流线型排气道并增大排气道截面。新设计的排气道如图 3 所示。

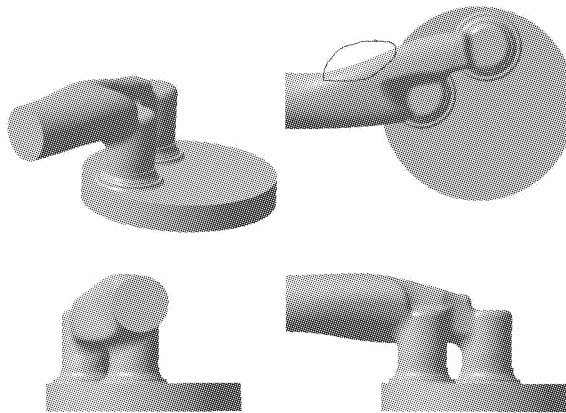


图 3 改进设计的新排气道

对改进后的气道进行仿真计算,发现排气道性能比原方案有了明显改善,改进前后气道的流通系数如图 4 所示。在小气门升程时流量系数提高不

大,但是随着气门升程的提高,新设计排气道的流量系数有很大的提高。出现这样的结果是因为在气门升程较小时,制约流量系数的因素不再是排气道的阻碍作用,而是排气在气门处受到较小气门间隙的阻碍作用导致的,而随着气门升程的增大,制约流量系数的因素逐渐由气门间隙变为排气道,新设计的排气道由于有较好的流线型,使得流量系数比原方案有较大提升。

图 5 是改进前后气门截面速度和静压图,从图中可以看出,气门部位气体流速比较均匀,气道不存在流速剧烈变化的部位,也没有形成较大的漩涡等阻碍排气的特征,说明气道设计基本合理。

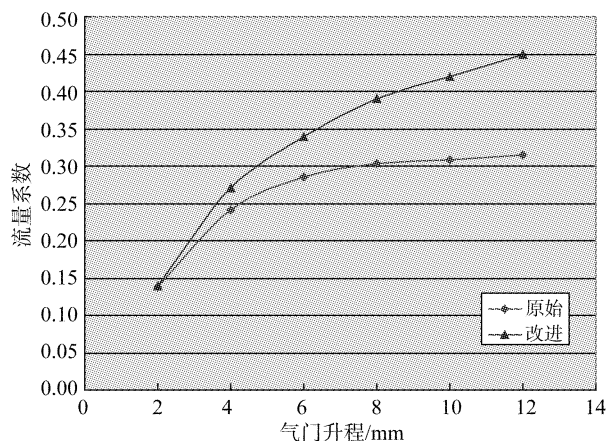


图 4 改进前后流量系数对比

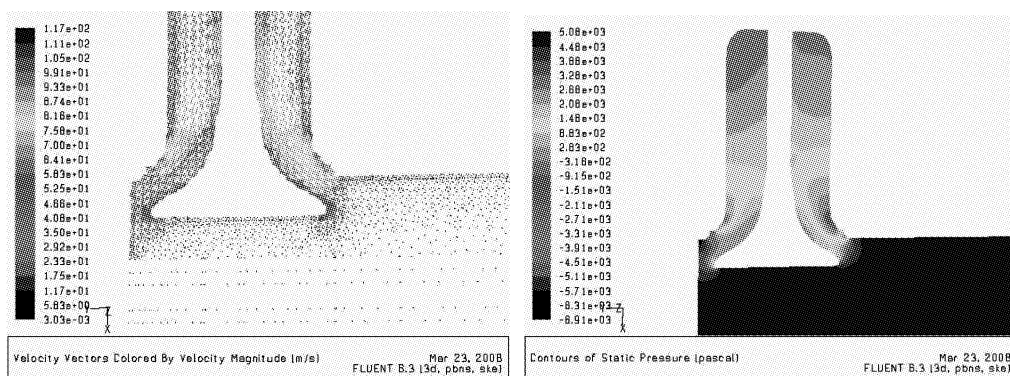


图 5 改进后气门截面速度和静压图

6 结 论

通过对气道进行试验和仿真,获得了排气道大量的内部流动信息,深入了解了气道结构形状对流动性能的影响,为气道的改进指明方向,排气道改进取得了可喜的效果,气道的流量系数获得较大提升。

使用 CFD 软件对气道进行仿真可以方便、快速对气道形状进行改进,降低了产品研发周期,提高效率,并能够节省大量的人力物力,对柴油机的开发和研究具有重要意义。

参考文献

[1] Jasak H, Luo J Y, Kaludercic B, et al. Rapid CFD simula-

tion of internal combustion engine [C]. SAE Paper 1999-01-1185:1694~1703

- [2] 周磊,赵长禄,等. 柴油机进气道三维仿真及优化[J]. 车辆与动力技术,2004(2):10-14.
- [3] 夏兴兰,杨雄,等. 数值模拟方法在柴油机进气道改进中的应用[J]. 内燃机学报,2002,20(5):424-428.
- [4] 王建,刘胜吉,张敏华. 进气道优化改善 168F 汽油机性能的研究[J]. 小型内燃机与摩托车,2008(6):12-14.
- [5] 康秀玲,付光琦,等. 4 气门柴油机进气特性的数值模拟和试验研究[J]. 内燃机学报,2003,21(3):261-264.
- [6] 王福军. 计算流体动力学分析 - CFD 软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [7] 王瑞金等. Fluent 技术基础与应用实例[M]. 北京:清华大学出版社,2004.