

米勒循环柴油机燃烧室优化研究

Study on combustion chamber optimization of miller cycle diesel engine

孙振宇 周鹏 陈静

潍柴动力股份有限公司

摘要: 使用三维仿真软件 converge, 对米勒循环柴油机的燃烧室进行优化, 并分析了米勒循环和高压缩比的优缺点。采用高压缩比和米勒循环能够改善油耗和 NO_x 排放, 但同时会造成缸内缺氧区域增加和烟度排放增大, 有必要通过燃烧室形状优化提高缸内空气利用率。并设计了一种 WAVE 燃烧室, 能够降低油耗和 NO_x, 改善空气利用率。

关键词: 燃烧室 排放 空气利用率 converge

Abstract: The 3D simulation software converge is used to optimize a miller cycle of diesel engine combustion chamber, and this paper also analyses the advantages and disadvantages of the miller cycle and high compression ratio. The use of high compression ratio and miller cycle can improve fuel consumption and NO_x emission, but at the same time, it will cause the increase of hypoxia area and smoke emission in the cylinder. Therefore, it is necessary to improve the utilization rate of air in the cylinder through the optimization of combustion chamber shape. A WAVE chamber is designed to reduce fuel consumption and NO_x and improve air efficiency.

Key words: chamber, emission, air utilization, converge

1 前言

随着燃油价格的不断上涨和排放法规的严格, 人们开始越来越多地关注发动机节能减排问题。优化燃烧是降低油耗和排放的最有效的手段, 特别是对于直喷式柴油机来说, 燃烧室形状直接影响到缸内混合气流动和形成, 对排放和油耗影响最大。由于缸内温度、压力以及混合物成分都随着空间和时间发生急剧的变化, 所以传统的发动机性能测试手段不论在发动机的流动、燃烧, 还是在排放性能的研究上都只能提供有限的信息^[1]。采用数值模拟的方法不仅可以再现缸内的流动、喷雾及燃烧过程, 还能预测油耗和排放。因此数值模拟已经成为发动机缸内燃烧过程研究的必不可少的手段。

本文采用三维模拟软件 converge, 对非道路四阶段米勒循环的燃烧室进行数值计算, 以油耗和排放作为评价指标推荐最优的燃烧室, 为该柴油机性能提升提供方案。

2 计算模型的建立

2.1 机型参数

某工程机械非道路四阶段柴油机主要技术参数见表 1。

表 1 柴油机主要技术规格表

| 机型 | 单位 | 非道路四阶段 | |
|---------|------------|--------|-----|
| 标定功率/转速 | kW/(r/min) | —/2200 | |
| 进气方式 | — | 增压中冷 | |
| 爆压限值 | MPa | 19 | |
| 压缩比 | — | 17.6 | 21 |
| IVC | °CA | 570 | 530 |

此非道路机型的路谱如图 1 所示，根据常用工况区选择工况 1 和工况 2 作为计算工况点，另外还选择标定点作为计算工况点。

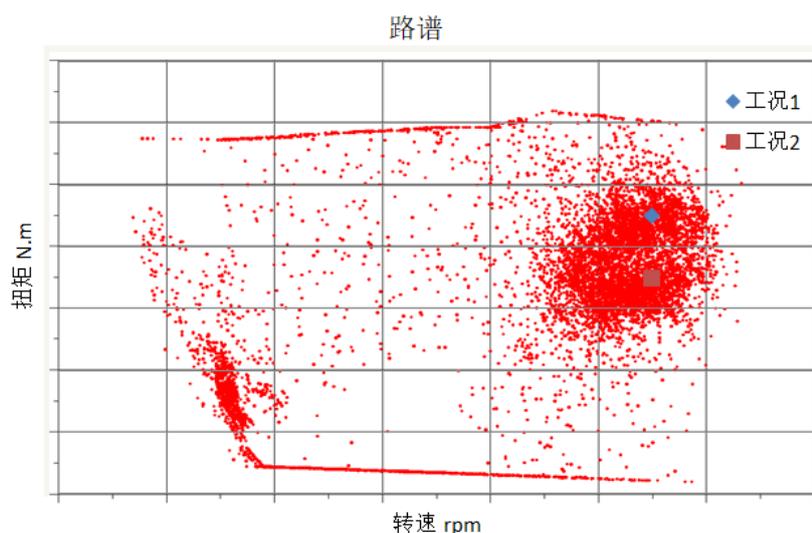


图 1 路谱分析

2.2 计算模型

计算从进气门关闭时刻开始，到排气门打开时刻结束。模型没有考虑气门、气道等的影响，为保证压缩比一致，将体积补偿到燃烧室网格侧面，如下图 2 所示。

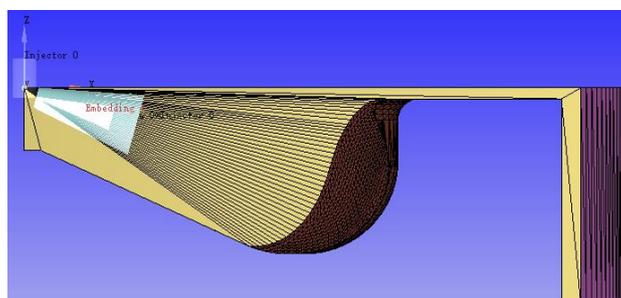


图 2 计算网格

计算采用的喷雾模型属于离散液滴 (DDM) 模型，采用的子模型包括 KH-RT 破碎模型、Frossling 蒸发模型、NTC 碰撞模型和 Dynamic drop 液体阻力模型。采用的湍流模型属于 RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) 模型。燃烧模型采用 CONVERGE 独有的 SAGE-MZ 详细化学动力学模型，

该模型允许在燃烧模拟中耦合化学反应动力学机理（CHEMKIN 格式）。Soot 模型采用 Hiroyasu-NSC 经验模型。

为了验证计算模型的有效性，将计算结果与所采集的实际缸内压力进行比较。图 3 为某一工况下计算结果与试验结果比较。从图 3 中可以看出，计算结果与试验结果在曲线形状上基本相同，表明所建立的模型是合理的，可以用来通过模拟分析柴油机缸内喷雾与燃烧等过程^[2]。

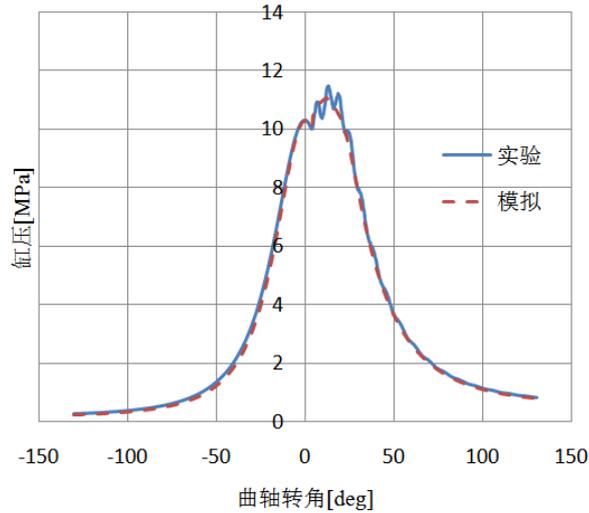


图 3 标定结果

3 燃烧计算

原机燃烧室压缩比为 17.6，新优化燃烧室方案压缩比 21，各方案形线对比如图 4 所示。其中，case1、case2、case3 为 ω 燃烧室，分别为缩口、敞口、缩口；case6、case8、case9 为台阶燃烧室，DB/Bore 值分别为 57%、58%、59%。另外还设计了一种 WAVE（case7）燃烧室，其形状如下图 4 所示。

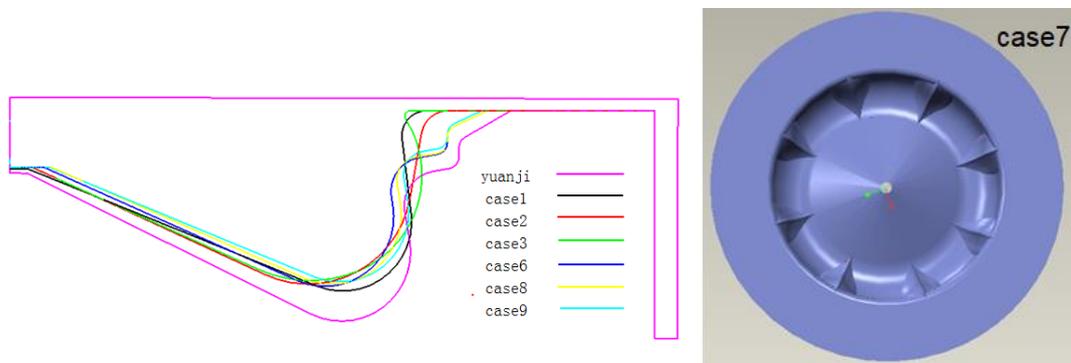


图 4 活塞形状对比

将米勒循环凸轮轴的一维仿真进气温度、进气压力代入新优化燃烧室方案，并与原机计算结果进行比较，如图 5、图 6 和图 7 所示，其中不同 case 代表不同的燃烧室方案。

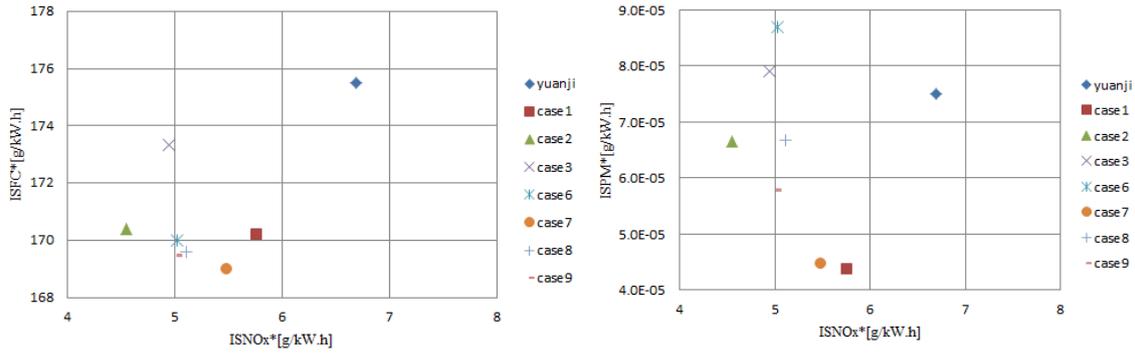


图 5 标定点计算结果

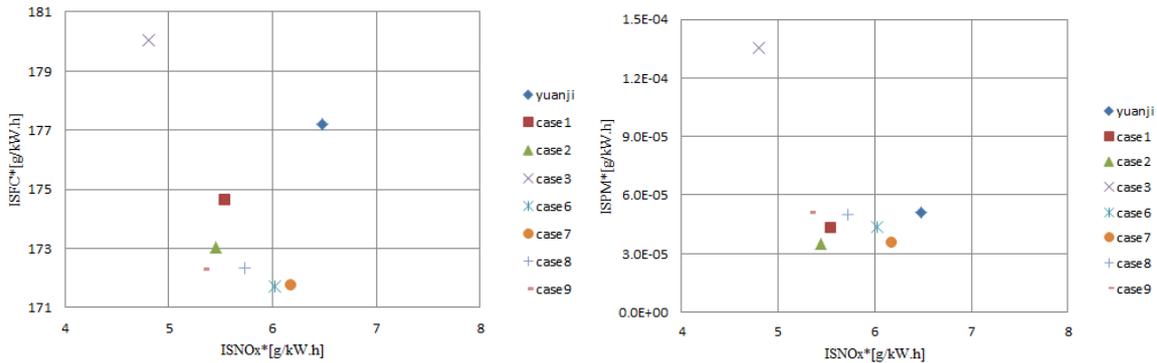


图 6 工况 1 计算结果

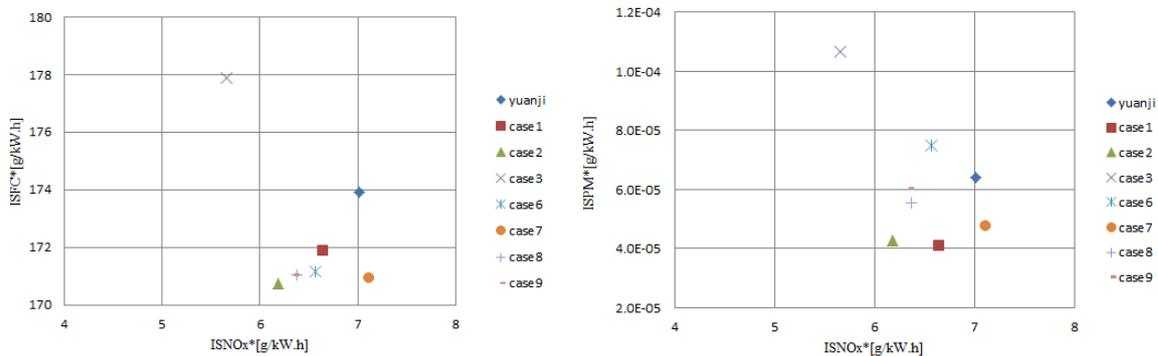


图 7 工况 2 计算结果

由图 5~图 7 计算结果可知，新方案虽然提升了压缩比，但各工况下 NO_x 都能下降，这主要是因为米勒循环减小了缸内进气量，改善了富氧燃烧环境，减少了 NO_x 的生成。但减少进气量也会造成碳烟排放的升高，压缩比的提高也降低了燃烧室的有效容积，不利于组织燃烧。从烟度上来看， ω 燃烧室中 case3 烟度较差；台阶燃烧室中 case6 烟度较差。从油耗角度上，高压压缩比具备一定优势。

空气利用率分析也是用来评价燃烧的一项重要指标。但空气利用率有多种评价标准，AVL、FEV、Aramco Research Center 分别采用不同的评价标准。本文中采用 FEV 的评价标准。左图为随着曲轴转角，不同过量空气系数区域占缸内总体积百分比的变化曲线。[0, 0.5]表示过量空气系数 (λ) 为 0 至 0.5 的区域，其区域体积越小，就表示缸内过浓的区域越少，生成碳烟的可能性越小，如右图纵坐标所示。排气门打开时刻， $\lambda > 2$ 的区域越小，意味着未参与燃烧的缸内混合气越少，油耗越低，如

右图横坐标所示。空气利用率分析未考虑传热与碳烟生成以后的氧化等问题，仅作为一个参考。从右图根据空气利用率判断，所有 21 压缩比方案过浓区域较多，据此判断烟度比原机差。 $\lambda > 2$ 的区域比原机少，意味着 21 压缩比方案油耗比原机低。在新优化方案中，WAVE 燃烧室 Case7 空气利用率最高。

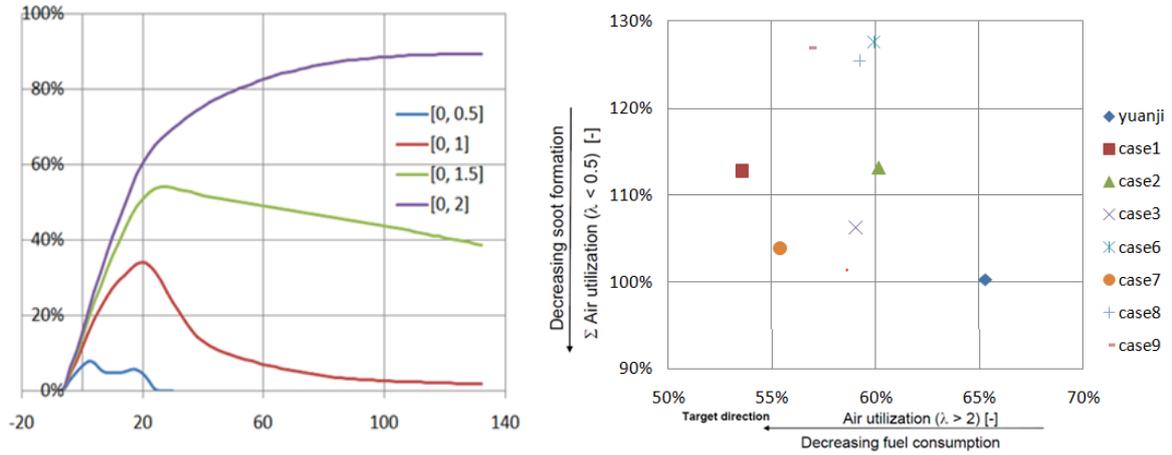


图 8 空气利用率分析

WAVE (case7) 与 case8 的缸内混合气分布对比如下图 9 所示。由图可以看出，WAVE 燃烧室显著改善了缸内混合气均匀性，更有利于喷雾和燃烧的发展。

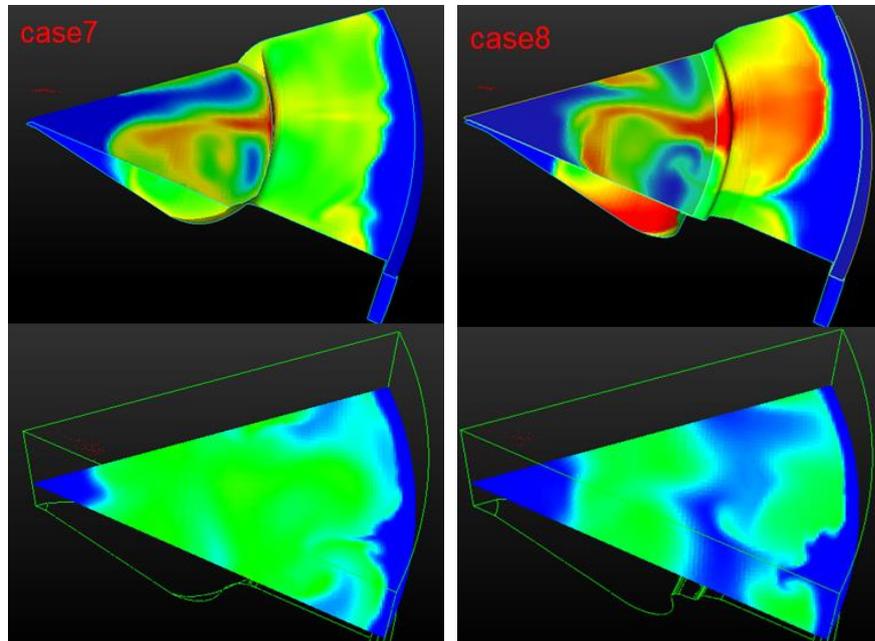


图 9 缸内当量比分布

4 结论

1、米勒循环配合高压压缩比可以显著降低油耗和 NO_x ，但会造成烟度增加，需要对高压压缩比燃烧室进行专门优化以提升缸内空气利用率。

2、与普通燃烧室相比，WAVE 燃烧室的缸内空气利用率较高，可燃混合气分布更均匀，有利于改善燃烧。

5 参考文献

- [1] 叶剑，梁桂华，刘丽华.改变燃烧室形状对 135 系列柴油机燃烧效果影响的数值模拟[J].大连海事大学学报.2008.6.
- [2] 秦朝举，原彦鹏等.燃烧室形状对柴油机燃烧及排放影响的研究[J].中国农机化学报.2013.1.