

# 高压直喷天然气发动机的燃烧室优化

## Optimization of combustion chamber on high pressure

### direct-injection natural gas engine

刘畅 王晓艳 贾德民 王波

潍柴动力股份有限公司

**摘要:** 本文采用三维 CONVERGE 软件, 对高压直喷天然气发动机 (HPDI) 的燃烧室进行优化分析。基于正文中提到的燃烧室优化思路修改了原机燃烧室的形状参数, 并对优化的燃烧室和原机燃烧室进行仿真计算。结果表明, 优化后的燃烧室有更低的油耗和 SOOT 排放。

**关键词:** HPDI、CONVERGE、仿真计算、燃烧室优化

**Abstract:** This paper optimized the combustion chamber of high pressure direct-injection natural gas engine based on 3D converge software. The shape parameters of the original combustion chamber are modified based on the idea of combustion optimization mentioned in the paper, in addition the optimized combustion chamber and the original combustion chamber are simulated. It turned out that the optimized combustion chamber with lower fuel consumption and SOOT emissions.

**Key words:** HPDI、CONVERGE、simulation、combustion chamber optimization

## 1. 背景

能源危机和环境问题日益严峻, 寻求传统发动机替代燃烧是有效的解决办法。在众多替代燃料中, 天然气因其储量丰富、价格低廉、排放清洁取得较大关注。缸外喷射天然气发动机根据空燃比不同可分为稀燃天然气发动机和当量空燃比天然气发动机。其中稀燃天然气发动机虽然有较低的 NO<sub>x</sub> 和较高的热效率, 但其存在火焰传播速度慢、循环变动差以及满足欧六需要较大成本这些问题。而当量空燃比天然气发动机虽然火焰传播速度较快, 后处理简单成本与柴油机相当, 但其存在燃烧温度高、排温高和易爆震限制压缩比提升等问题。

高压直喷天然气发动机 (HPDI) 在保持与柴油机相同动力性的前提下具有良好的经济性和排放性。如图 1 它采用同心双轴针喷射器, 柴油/天然气双共轨电控喷射系统, 于压缩冲程后期喷入气缸适量的柴油形成火核, 随后喷入高压天然气, 天然气被柴油形成的火核引燃进入燃烧过程。它采用扩散燃烧的模式, 消除了爆震; 柴油着火后多个位置引燃天然气, 提高了燃烧速度; 部分负荷时无节气门节流损失。它采用的是类扩散燃烧, 和传统柴油机的扩散燃烧不同, 天然气和空气的混合速度和混合程度直接决定燃烧速度和燃烧是否完全。为了进一步提升 HPDI 热效率, 有必要对燃烧室进行优化, 通过加强缸内的气流运动强度来加强混合。

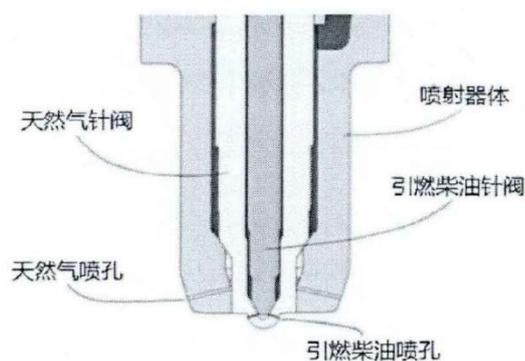


图 1 HPDI 发动机喷嘴剖面图

## 2. 发动机参数及模型标定

### 2.1 发动机基本参数和工况点选取

发动机基本参数如下表 1，工况点选取的是最低油耗点对应的工况，如表 2。

表 1 发动机基本参数

参数名称	数值
压缩比	14:1
排量	10.3L
涡流比	1.3
喷油器形式	双燃料

### 2.2 模型的选取及标定

由于喷油器居中布置，喷孔均匀，且喷孔数为 9，所以选取 1/9 模型进行计算。燃烧室侧壁边缘凸出部分为补偿容积，此补偿容积可以在不改变燃烧室内基本结构的基础上保证相同的压缩比。计算域为进气门关闭时刻至排气门开启时刻。

表 2 相关模型

相关模型	模型名称
湍流模型	RNG 模型
柴油喷雾模型	KH-RT 模型
天然气喷雾模型	射流
燃烧模型	SAGE 模型+化学反应机理

经过计算得到了和实验缸压数据较为一致的结果，仿真和实验数据的对比图线如图 2 所示。仿真和实验的最大爆发压力数值相差不到 1%，因此可认为模型设置较为合理，可用此模型进行下一步的分析和优化。

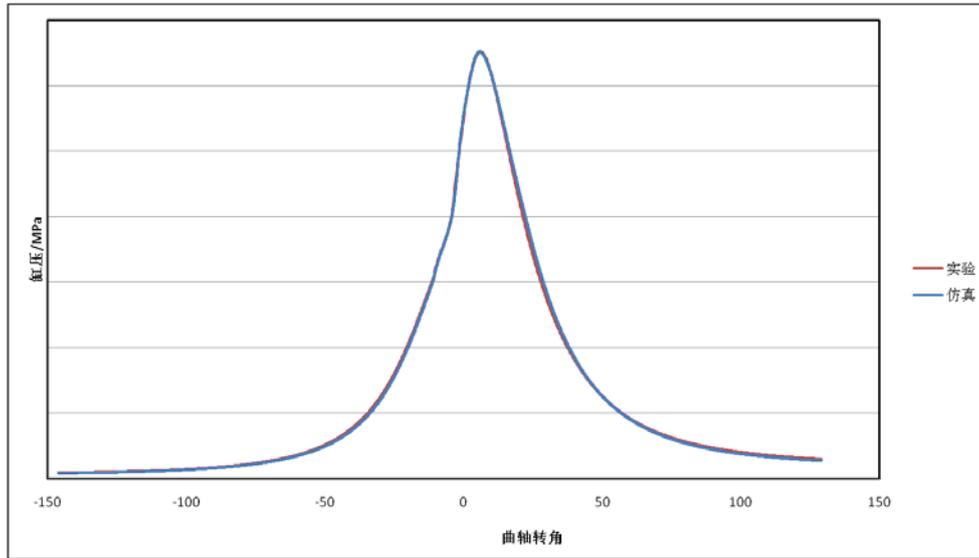


图 2 仿真和实验的缸压曲线对比图

### 3.HPDI 燃烧室优化结果对比

优化燃烧室的宗旨是使燃烧室内形成较强涡流,使燃油在空气涡流的作用下在缸内均匀的分布。本文优化燃烧室的思路如图 3 所示,高压喷出的天然气通过燃烧室壁面的引导,在上部和下部空间分别形成较强的涡流,在涡流作用下天然气更加均匀的分布在上部和下部空间,能避免天然气过多的积聚在活塞凹坑和上部间隙而导致过多的 soot 和 HC 的排放。基于上述思路,优化了两种燃烧室型线 case1, case2 进行计算,结果如下。

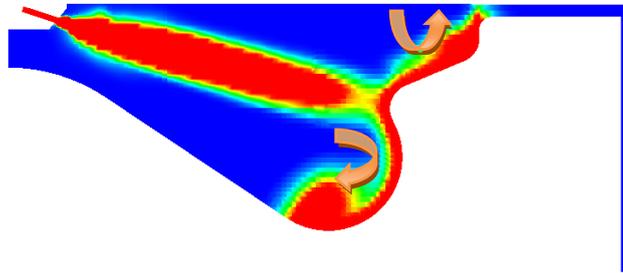


图 3 燃烧室内气流运动示意图

对三种燃烧室的计算结果进行分析,结果如表 4。

表 4 新优化燃烧室较原机的比较

偏差率	ISFC(g/kw.h)	SOOT(g/kw.h)	HC(g/kw.h)
case1	-1.8%	-18.2%	-1.0%
case2	-1.4%	-41.1%	-1.4%

从上表可看出优化的两种燃烧室较原机在油耗率, SOOT 和 HC 排放上均有较大的改善。为了更直观的比较新优化燃烧室和原机燃烧室的当量比分布和 SOOT 的分布,对三维仿真结果进行切片处理如下。

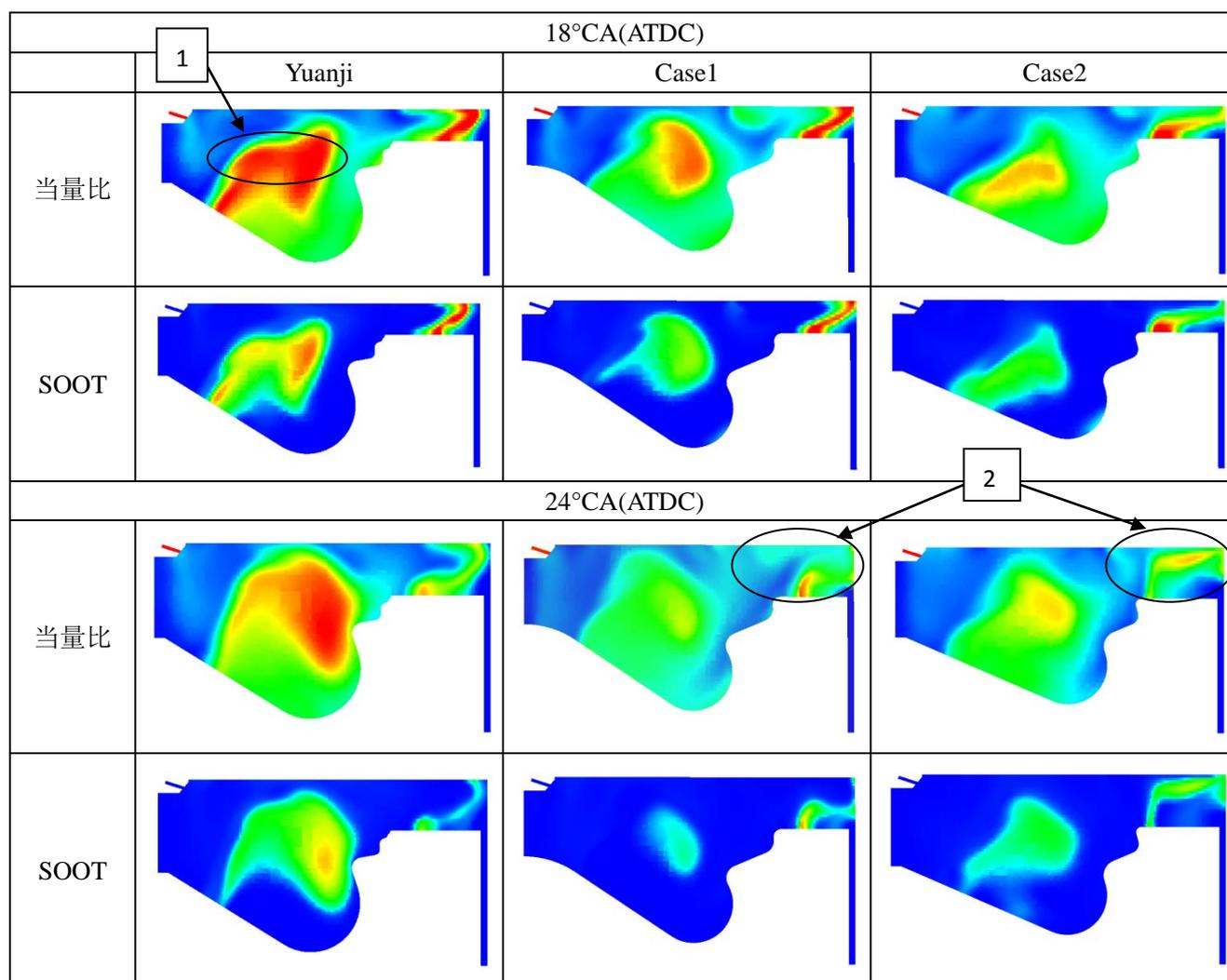


图 4 三种燃烧室当量比和 SOOT 切片对比图

图 4 是三种燃烧室当量比和 SOOT 分布的切片图对比，从图中 1 处可以直观的看出原机燃烧室燃油过浓区较两个优化的燃烧室更大，图中 2 处可以明显看出优化的燃烧室上方混合气的分布明显较原机燃烧室分布更加均匀。观察三种燃烧室的 SOOT 的分布图可以得出和上述相似的结论。结果表明，原机燃烧室的燃油过多的集中在凹坑处，case1 和 case2 两种燃烧室通过壁面引导能够在燃烧室上部 and 下部形成较强的涡流，使缸内混合气的分布更为均匀，从而得到更好的油耗和排放。

#### 4. 总结

本文选取了最低油耗点的工况进行标定，在标定工况下对原机燃烧室进行优化，并对优化的两种燃烧室进行仿真计算和原机计算结果进行了对比分析，通过结果分析得出新优化的燃烧室具有比原机更低的油耗和排放。通过对三种燃烧室当量比和 SOOT 的对比分析得出，优化的燃烧室能促进上部和下部的空气流动，为 HPDI 燃烧室优化提供了方向。

## 5.参考文献

- [1]周龙保.内燃机学 [M].北京:机械工业出版社,2003.
- [2]何学良,李疏松.内燃机燃烧学[M].机械工业出版社,1990.