

ICSC 2017

CAE for virtual product

CAE for innovation

CAE for process transformation

IDAJ CAE Solution Conference

HCDI燃烧模式在高压直喷天然气发动机中的应用

IDAJ中国

技术部 Converge产品组

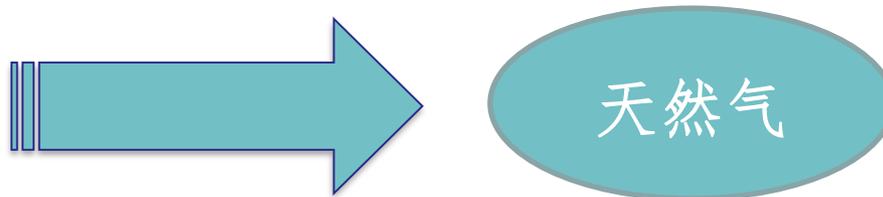
山东大学 李孟涵 咸凯 张强

主要内容

- 引言
- 高压直喷天然气发动机CFD模型建立
 - 研究对象
 - 网格划分
 - 模型的设置和验证
 - 算例设置
- 计算结果及分析
 - 燃烧放热过程分析
 - 排放分析
 - EGR对HCDI燃烧模式的影响
- 结论

引言

- 能源危机
可替代能源
- 环境污染
满足严格的排放法规

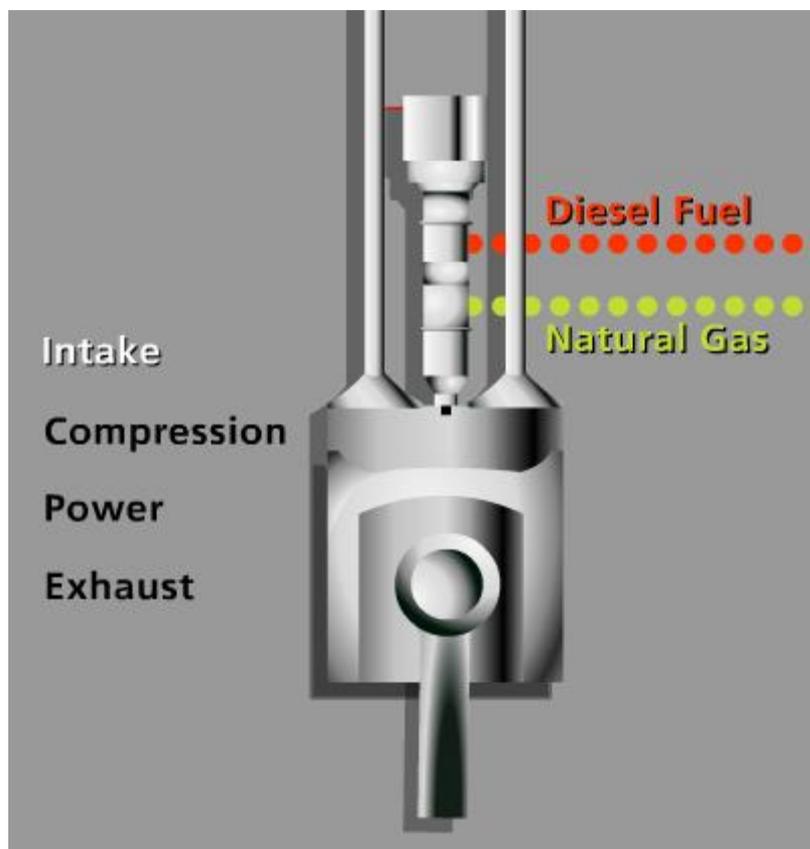


微量柴油引燃高压直喷天然气发动机具有热效率高和排放低的双重优势。



引言

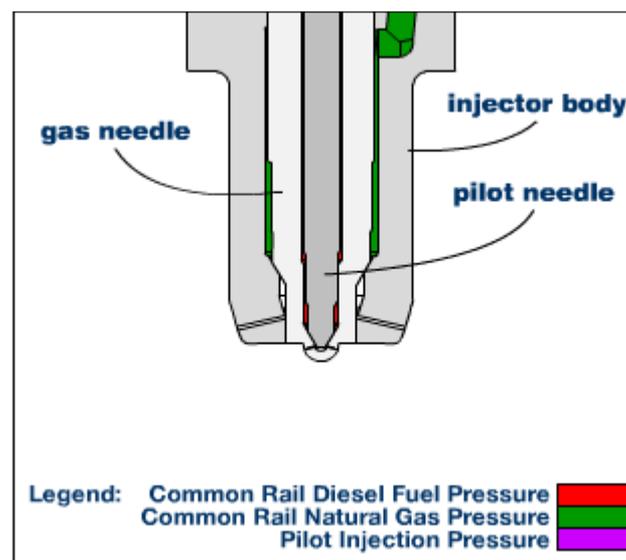
扩散燃烧的实现方式



□ 压缩冲程上止点前喷入少量柴油

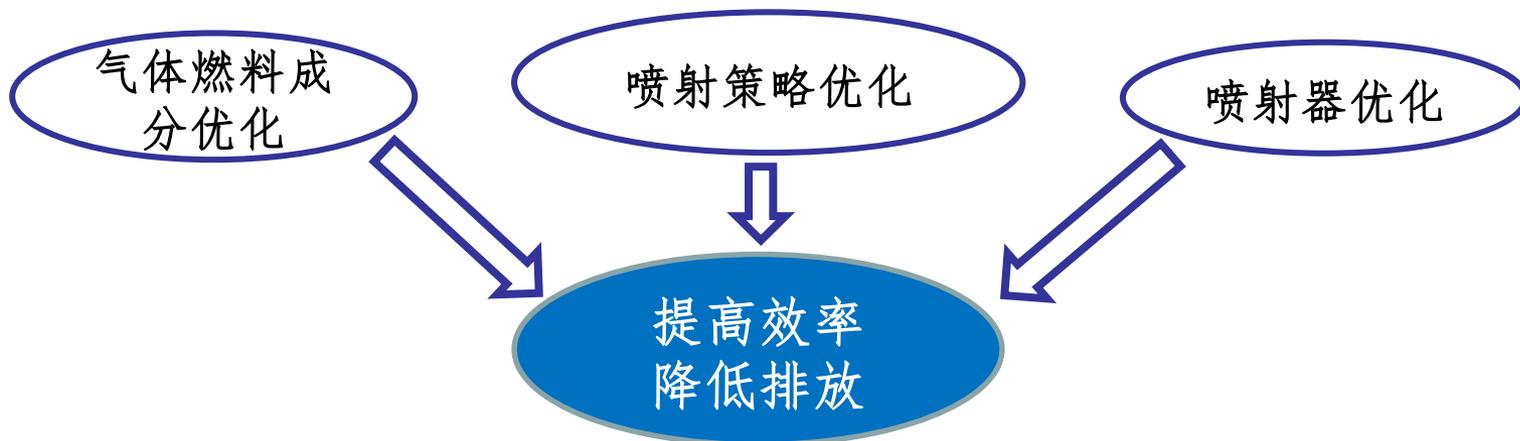
（小于10%），形成火焰

□ 柴油着火后，天然气以大于180bar的压力喷射到火焰中，成为燃烧的主要燃料

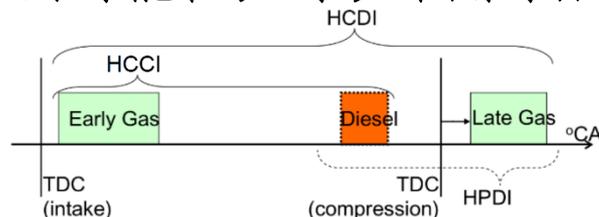


引言

- 对高压直喷天然气发动机优化方法的研究比较广泛。



- HCDI燃烧模式将预混和扩散燃烧相结合，可以进一步降低高压直喷天然气发动机的碳烟排放。
- 有造成其他排放物和爆震倾向增加的可能性，可以采用添加EGR进一步优化。



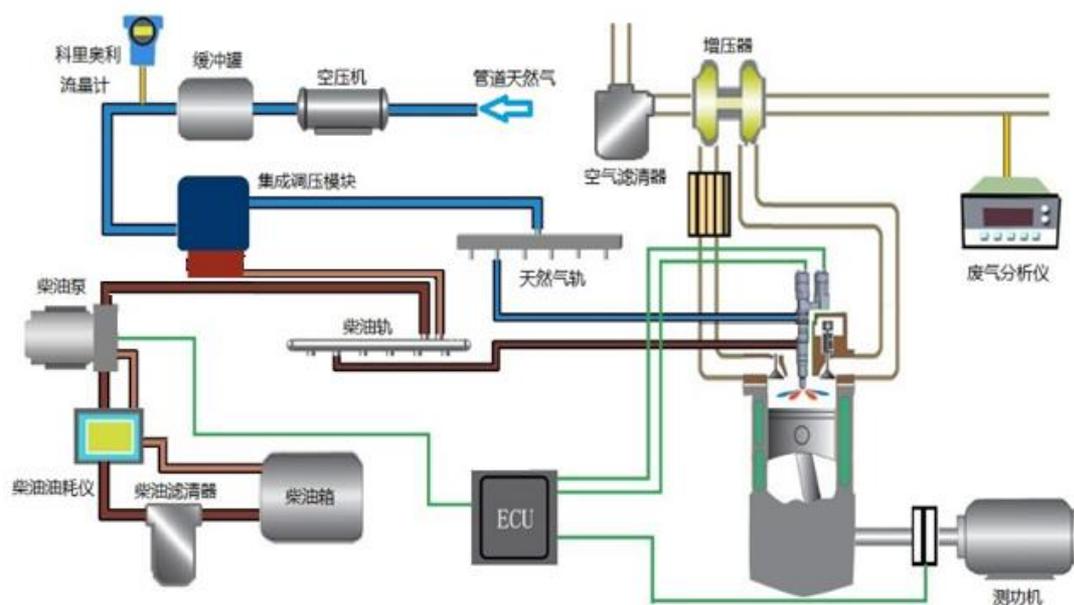
高压直喷天然气发动机CFD模型建立

➤ 研究对象

■ 发动机主要参数

参数名称/单位	参数值
燃烧室	折返式
缸径/mm	150
行程/mm	150
连杆长度/mm	300
压缩比	15.7

双共轨电控高压直喷天然气发动机

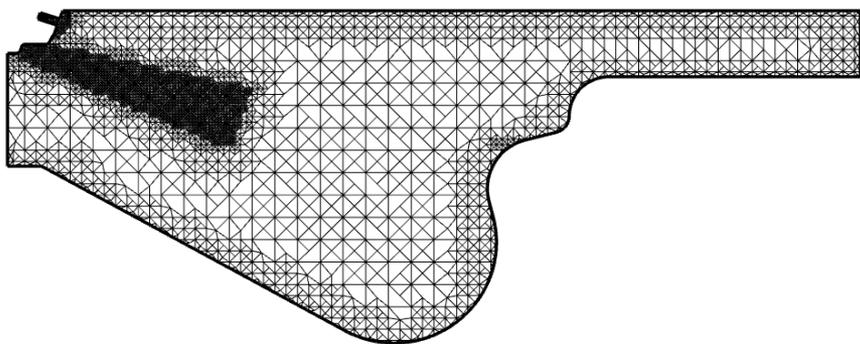


燃料供给系统包括柴油油路和天然气气路，同心双轴针喷射器柴油和天然气的针阀运动由柴油液压驱动。

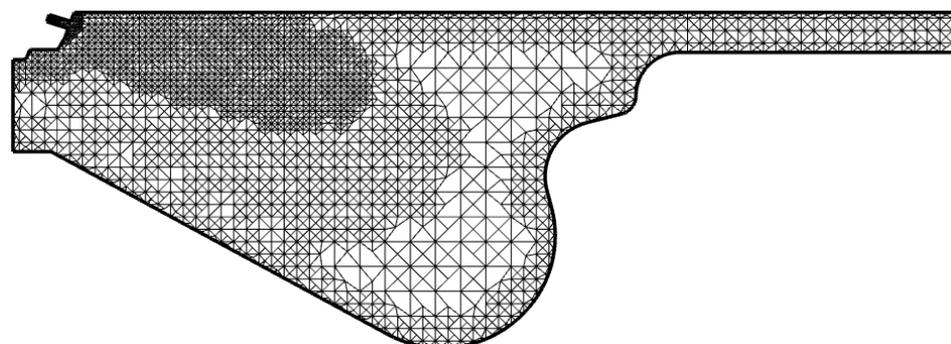
高压直喷天然气发动机CFD模型建立

➤ 网格划分

利用Converge的自动划分网格功能进行计算网格的划分。对于所研究的1/9燃烧室，网格划分时采用的基础尺寸为2mm，柴油喷束和天然气喷孔位置细化为基础网格的1/8，燃烧室壁面边界部分网格细化为基础网格的1/2，并同时速度和温度梯度较大的区域进行1/4和1/2的局部加密。



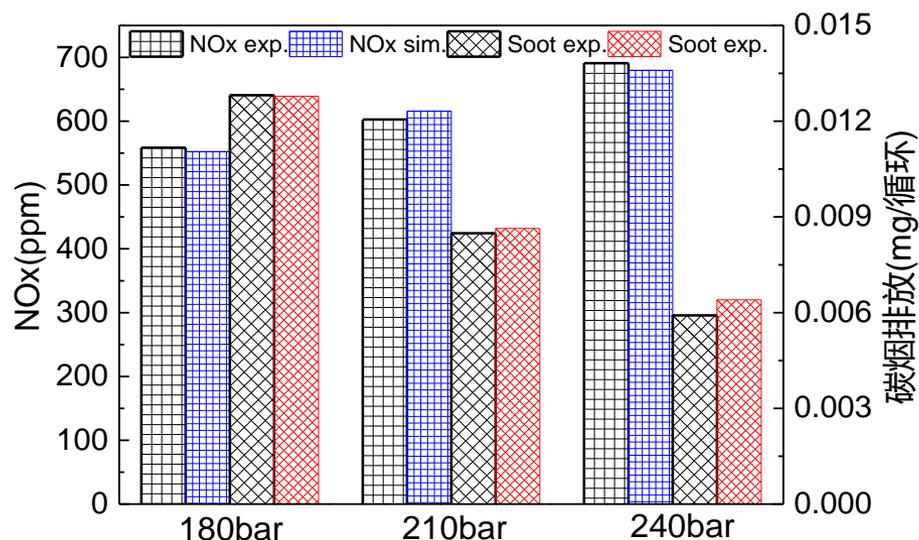
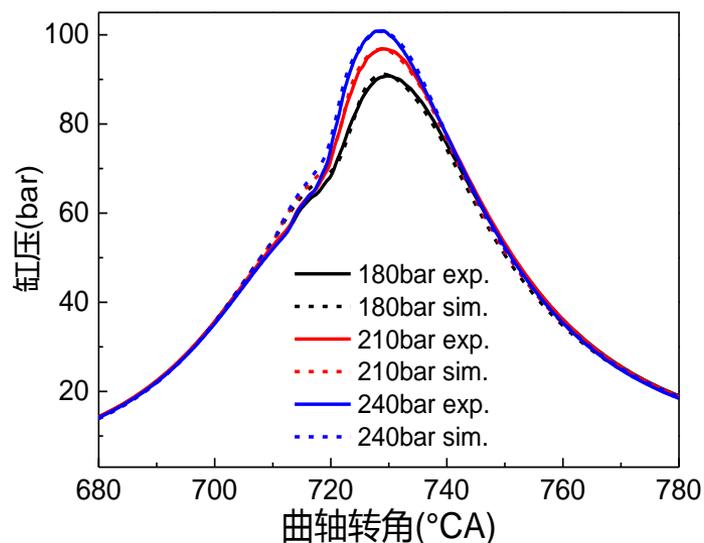
引燃柴油喷射阶段



天然气喷射阶段

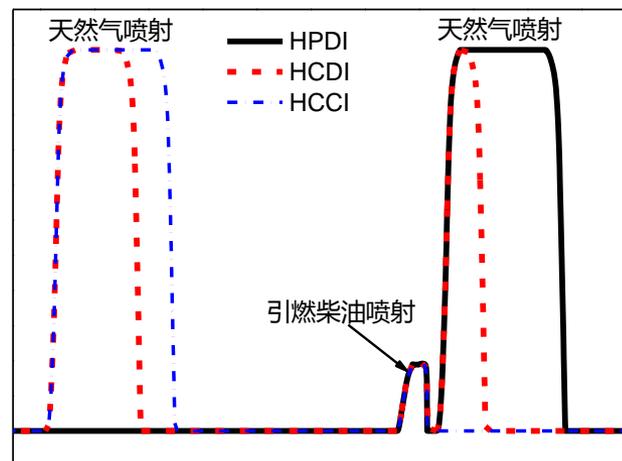
高压直喷天然气发动机CFD模型建立

- 模型的设置和验证
- 采用RNG k- ϵ 模拟缸内流场，修正的KH-RT模型模拟柴油的破碎过程，Frossling蒸发模型模拟柴油液滴的蒸发过程，O'Rourke模型模拟柴油液滴的碰撞过程，碳烟模型选取了利用C₂H₂计算碳烟生成的Hiroyasu两步法碳烟模型。计算燃烧时，选取正庚烷为柴油的表征燃料、甲烷为天然气表征燃料，正庚烷机理部分采用了ERC的正庚烷简化机理，甲烷机理部分选取了AramcoMech 1.3的简化机理，NO_x机理采用了12步简化机理。



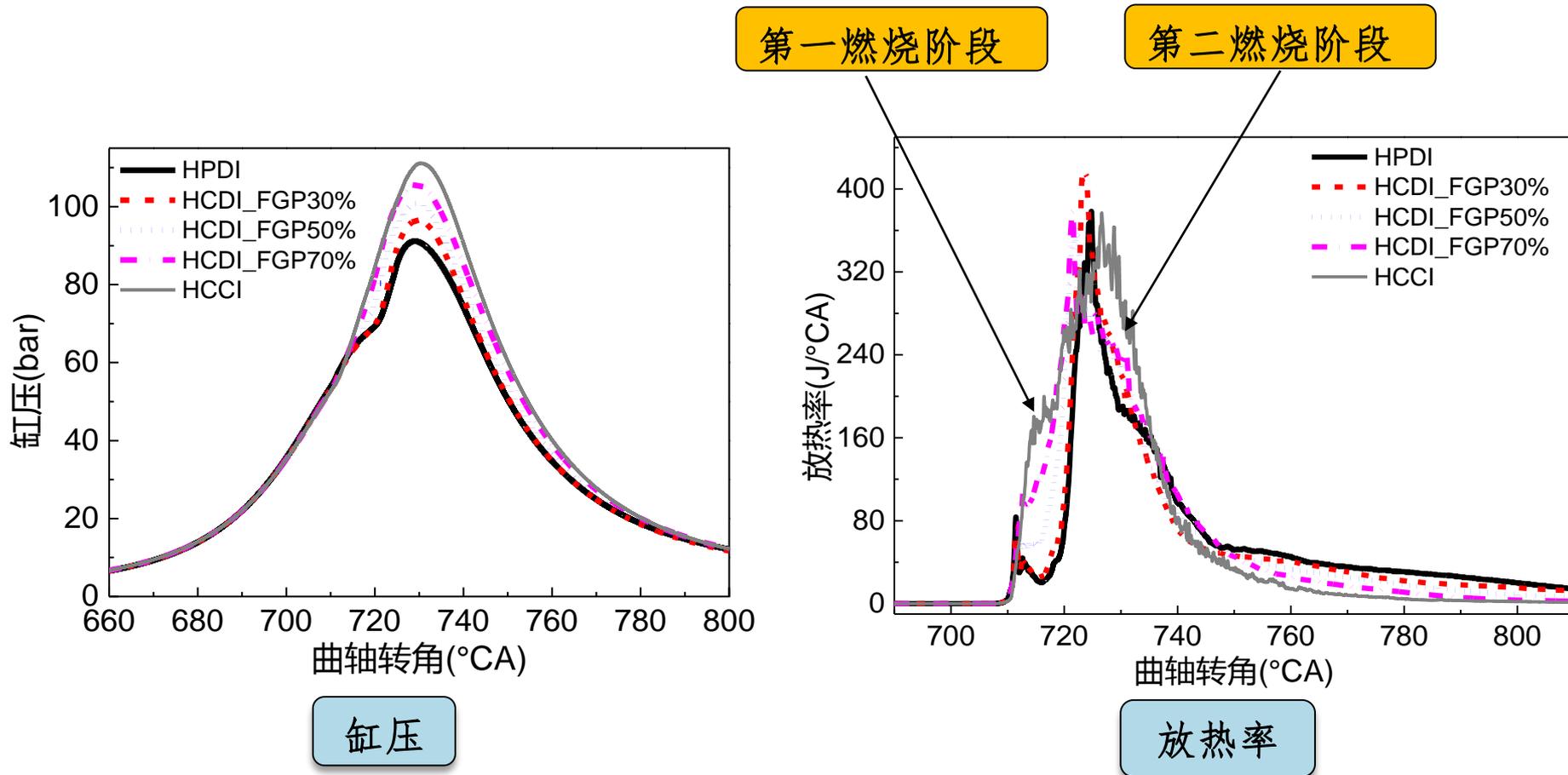
高压直喷天然气发动机CFD模型建立

- 算例设置
- 为了探索HCDI燃烧模式在高压直喷天然气发动机上的应用，针对HCDI燃烧模式的不同喷射策略对燃烧和排放的影响进行了研究，并与HPDI燃烧模式和普通双燃料燃烧模式进行了对比。HCDI在高压直喷天然气发动机上的实现方式为在引燃柴油喷射前后各喷射部分天然气；HCCI的实现方式为在引燃柴油喷射前足够长的时间喷射全部天然气。在进行HCDI燃烧模式计算时，在引燃柴油喷射前喷射天然气的比例（Percentage of the First Gas Injection, FGP）分别设置为10%、30%、50%、70%、90%，剩余的天然气在第二次天然气喷射时引入气缸。



计算结果及分析

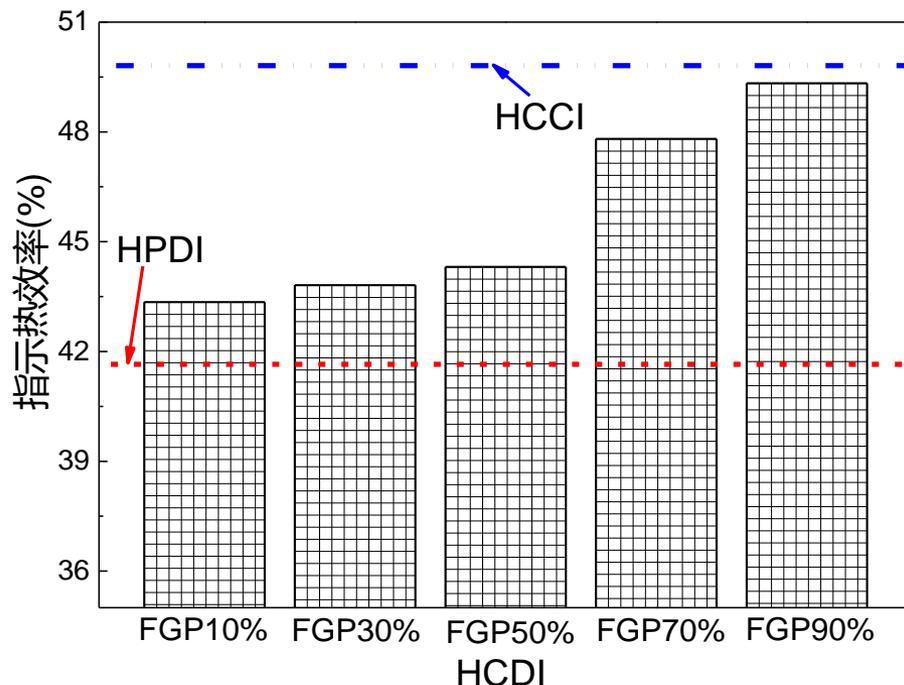
➤ 燃烧放热过程分析



计算结果及分析

➤ 燃烧放热过程分析

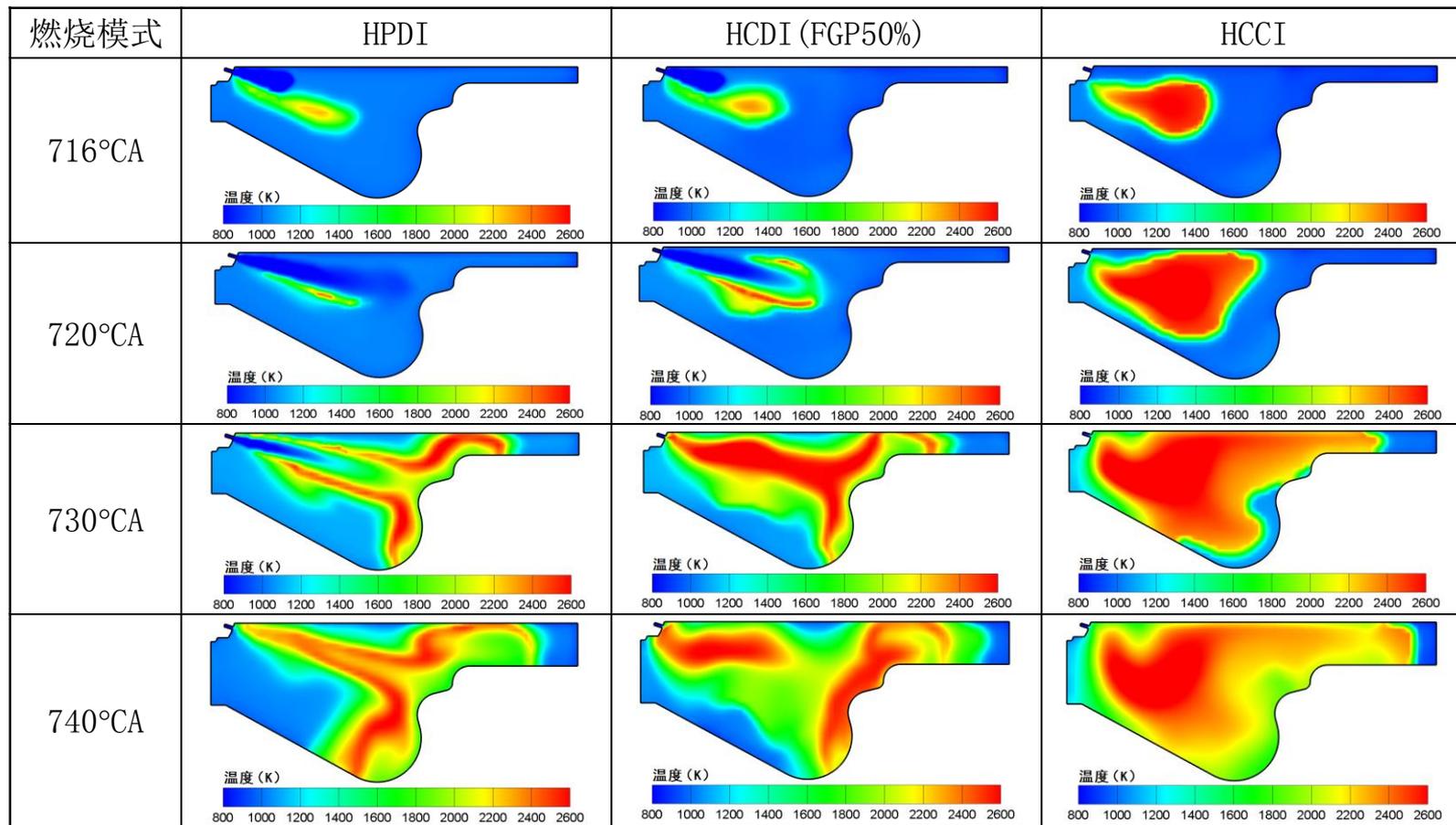
- 由于燃烧相位的提前和燃烧完善程度的改善，HCDI燃烧模式可以达到高于HPDI燃烧模式的指示热效率，但由于燃烧完善程度和火焰传播速度比HCCI燃烧模式低，HCDI燃烧模式的指示热效率低于HCCI燃烧模式。



计算结果及分析

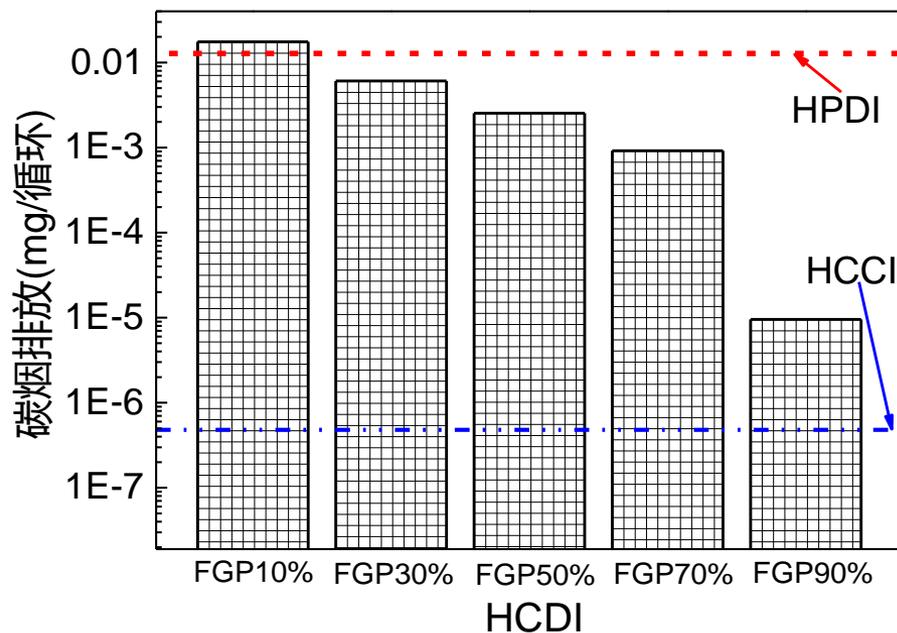
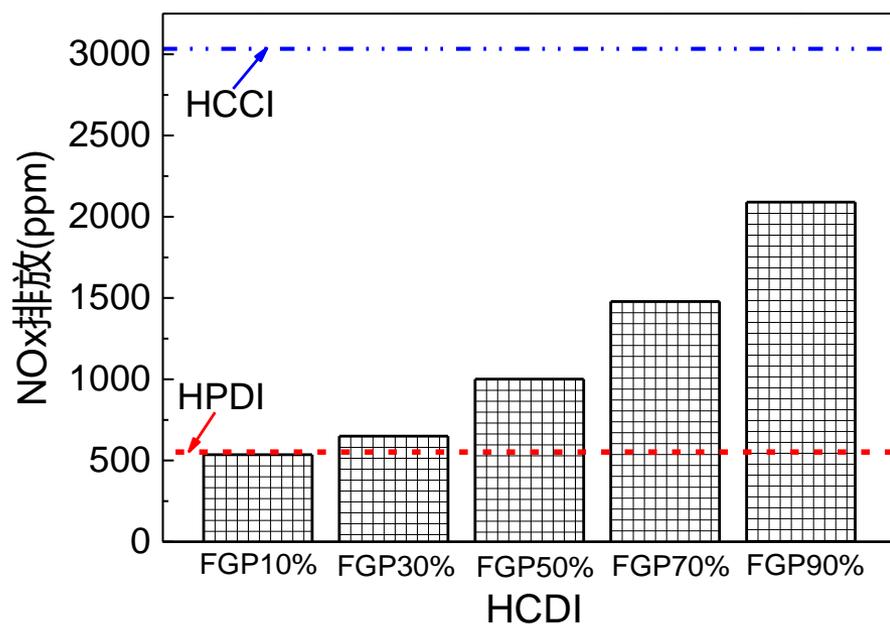
➤ 燃烧放热过程分析

温度分布



计算结果及分析

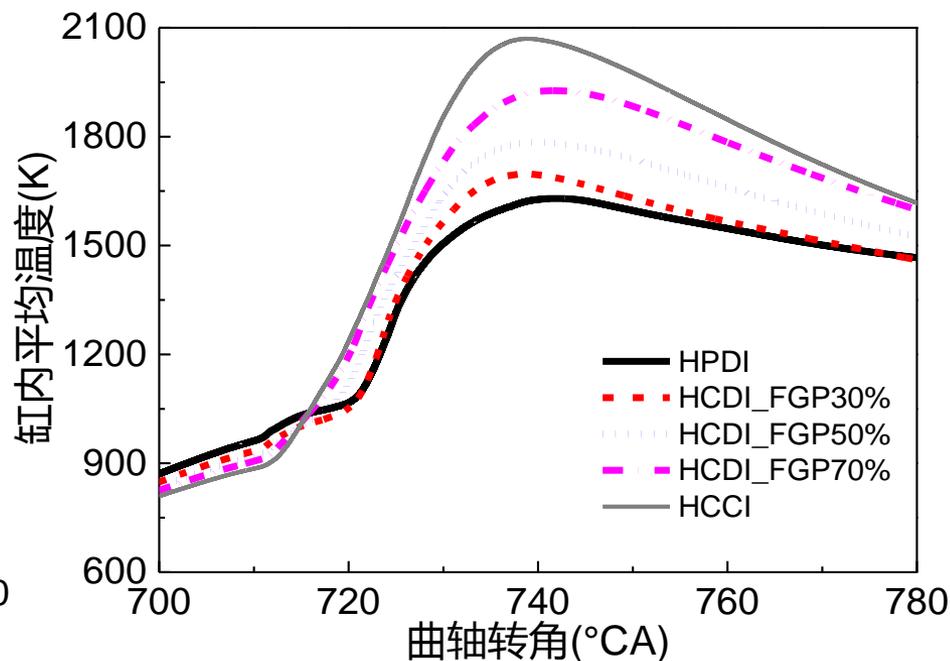
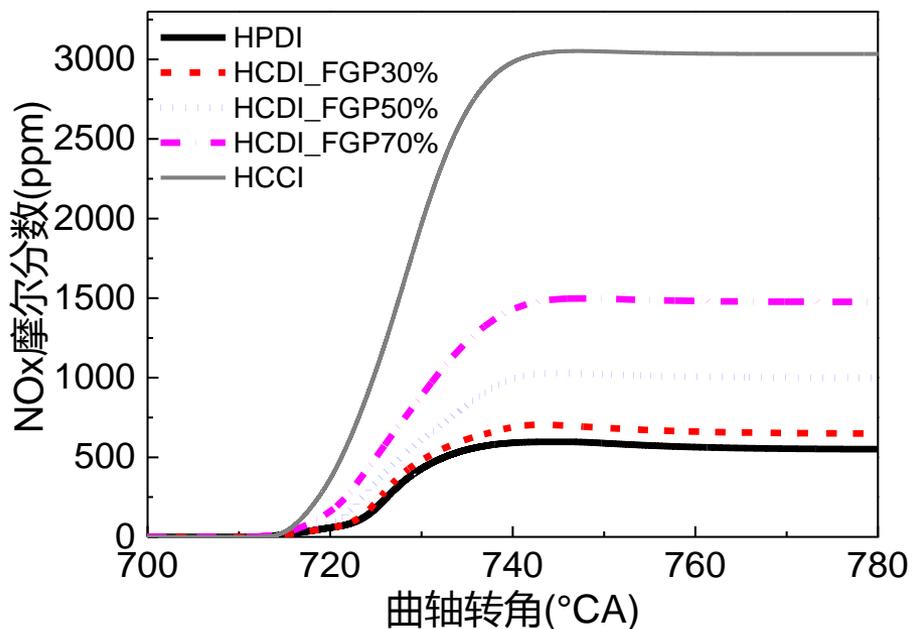
排放分析



HCCI燃烧模式的NO_x排放最高，碳烟排放最低。HCDI燃烧模式随着第一次天然气喷射比例的增加，NO_x的排放升高，碳烟排放降低。

计算结果及分析

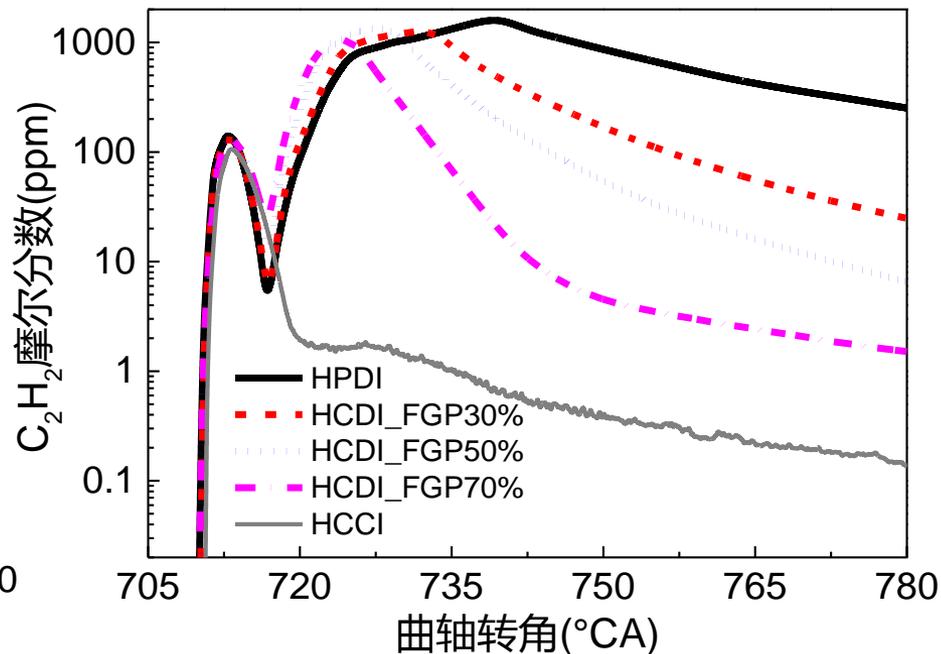
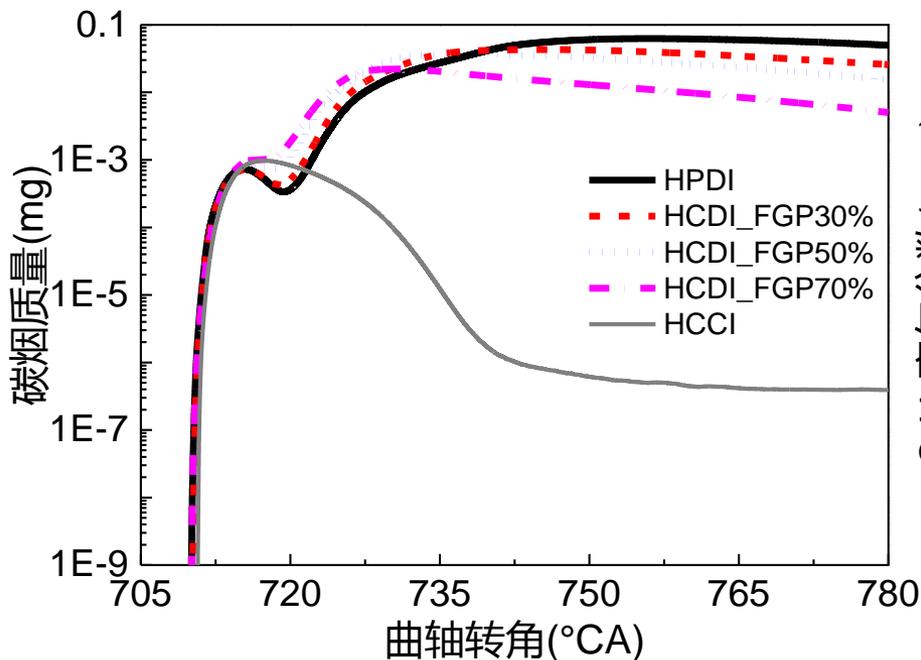
排放分析



HCDI燃烧模式第一次天然气喷射比例达到70%之后，继续增加第一次天然气喷射的比例会导致温度的大幅度升高和局部高温区域的大幅增加，造成NO_x排放的大幅升高。

计算结果及分析

排放分析

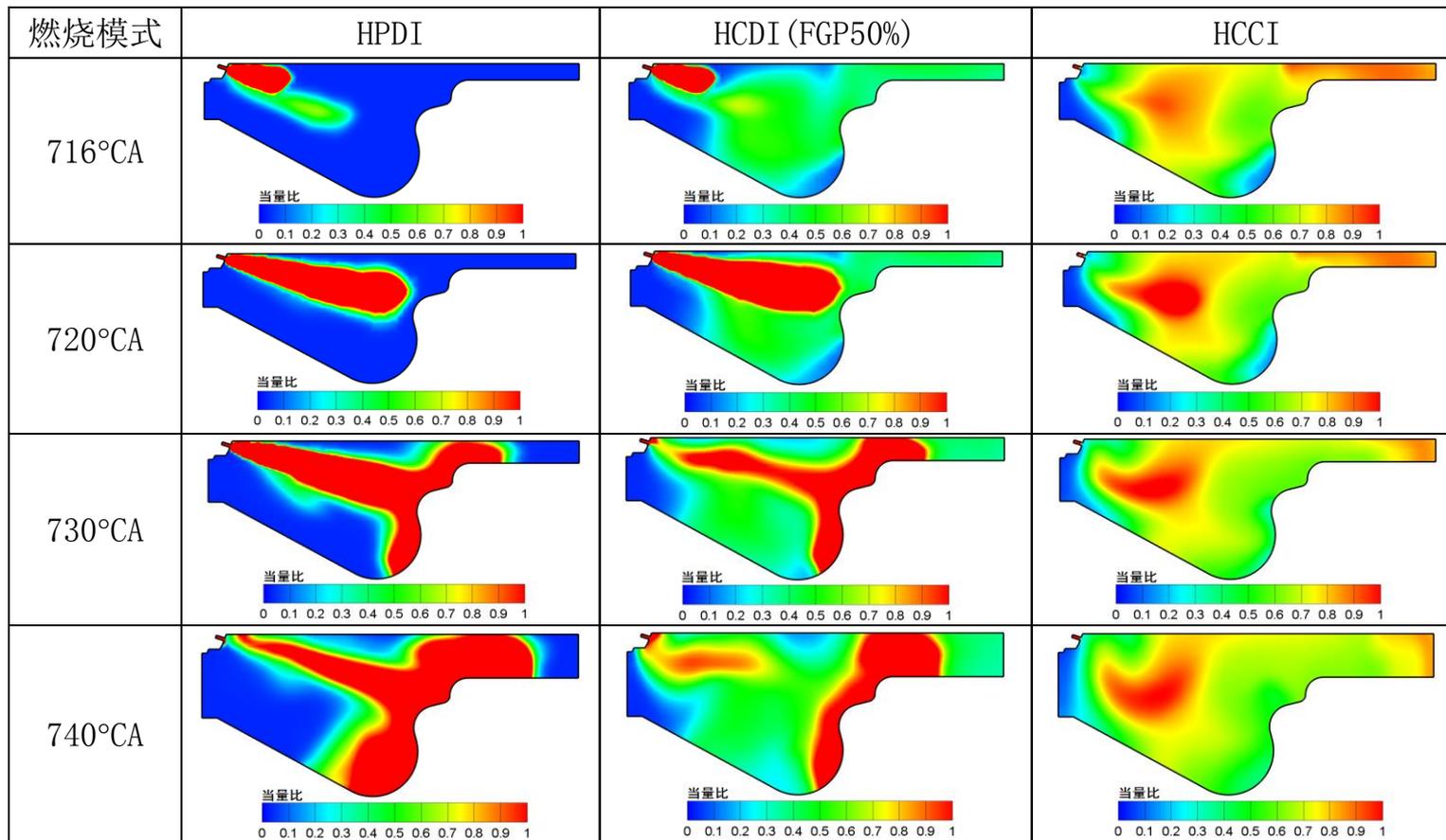


对于HPDI和HCDI燃烧模式，天然气的燃烧过程是碳烟排放的主要来源。发动机以HCCI燃烧模式运行时，由于天然气的预混程度较大，在天然气燃烧阶段并未形成明显的 C_2H_2 和碳烟峰值，柴油燃烧过程是碳烟排放的主要来源。

计算结果及分析

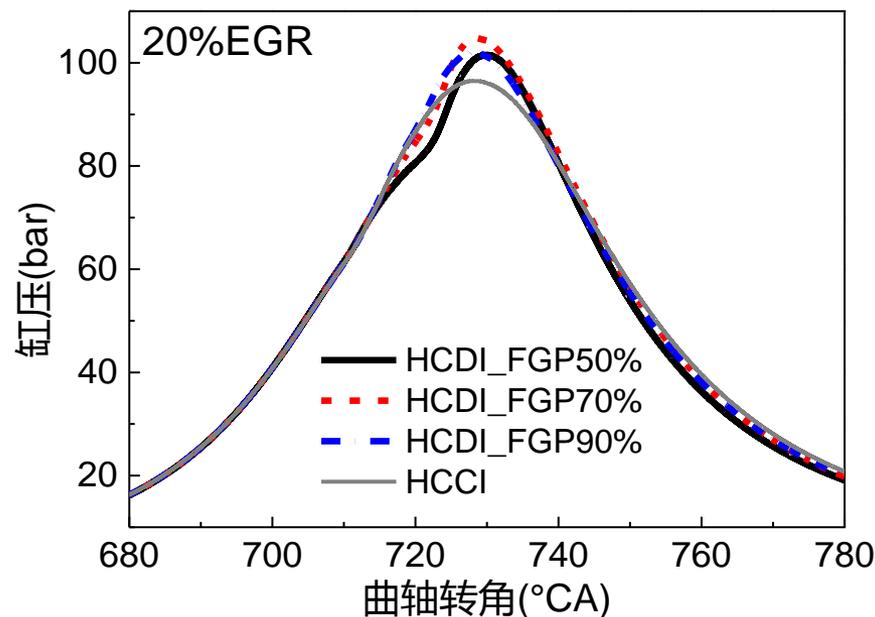
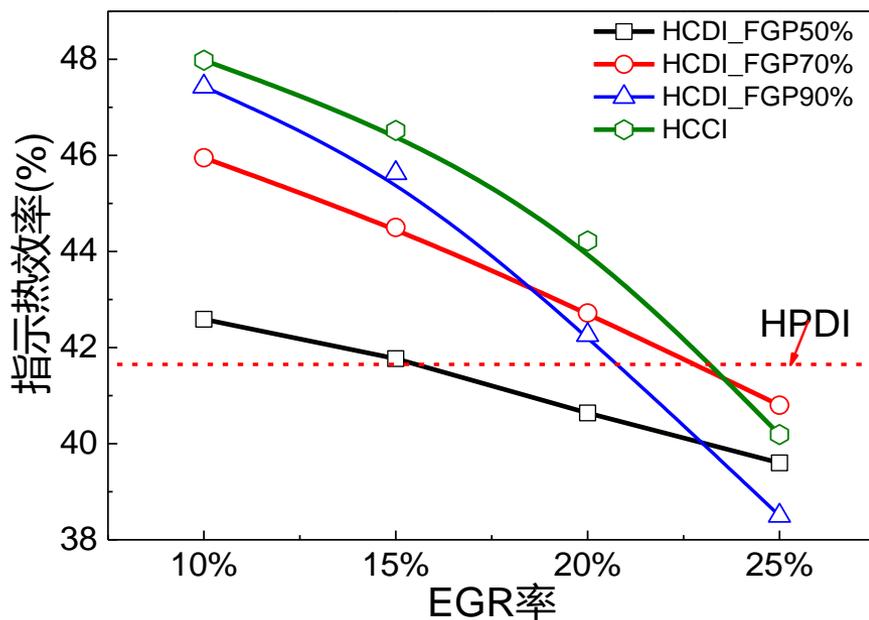
排放分析

当量比分布



计算结果及分析

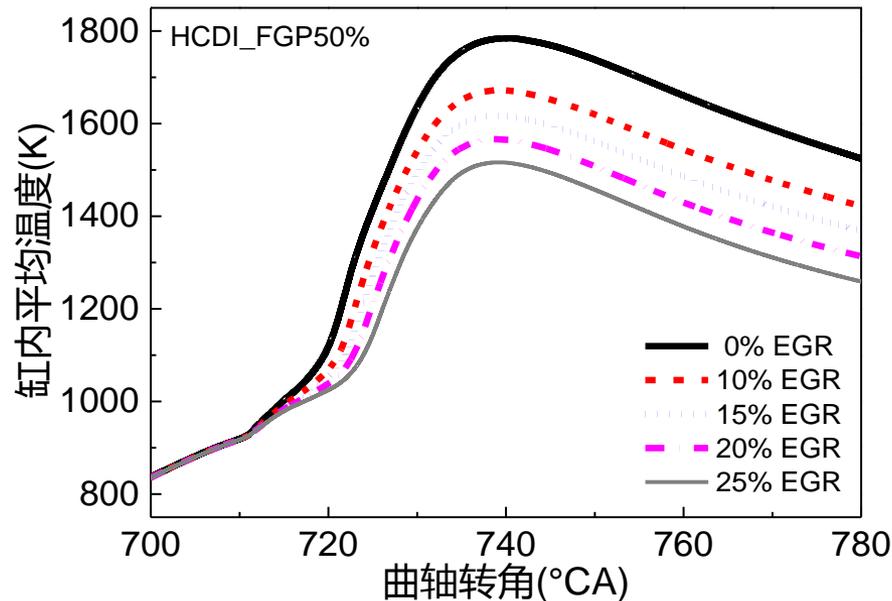
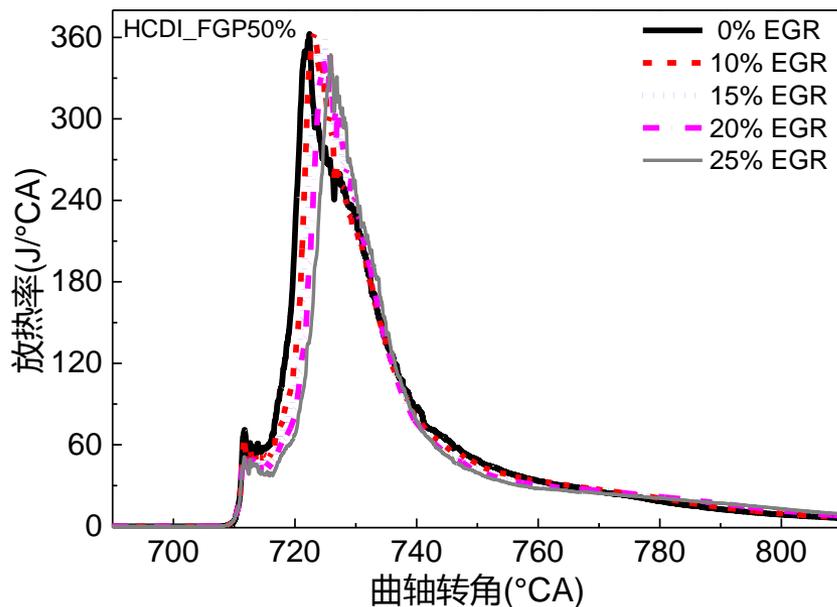
➤ EGR对HCDI燃烧模式的影响



指示热效率均随EGR率的升高而降低，高EGR率时的火焰传播速度受缸内浓度梯度的影响。

计算结果及分析

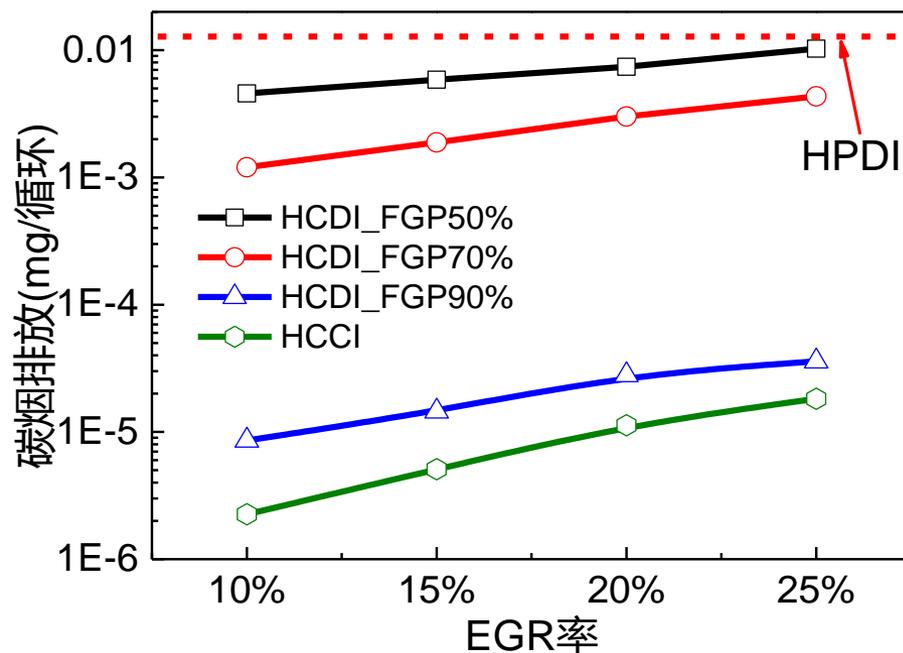
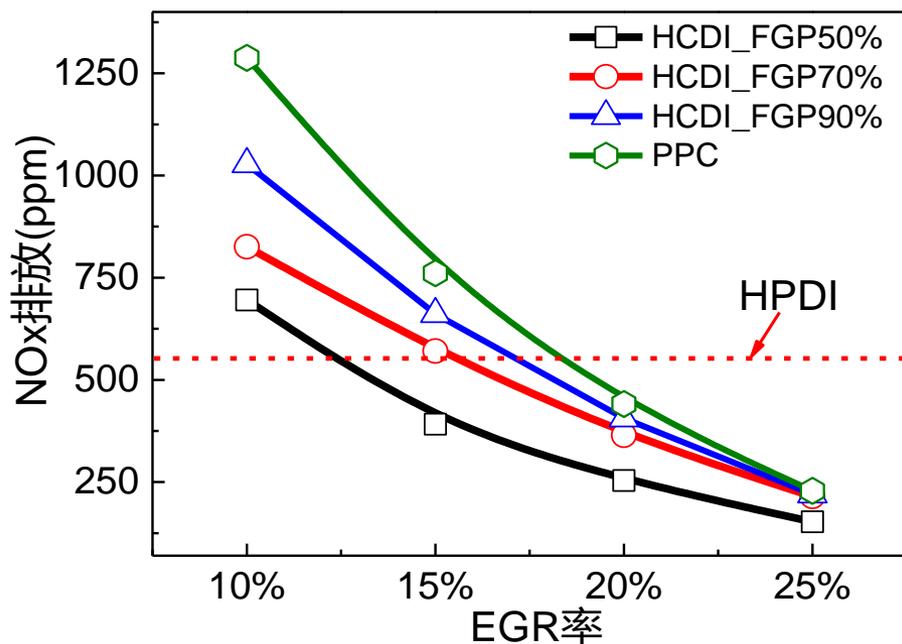
➤ EGR对HCDI燃烧模式的影响



添加EGR的比例增加，柴油引燃火焰的强度降低、天然气引燃所需的能量增加，增大了天然气引燃的难度和天然气的引燃时间。

计算结果及分析

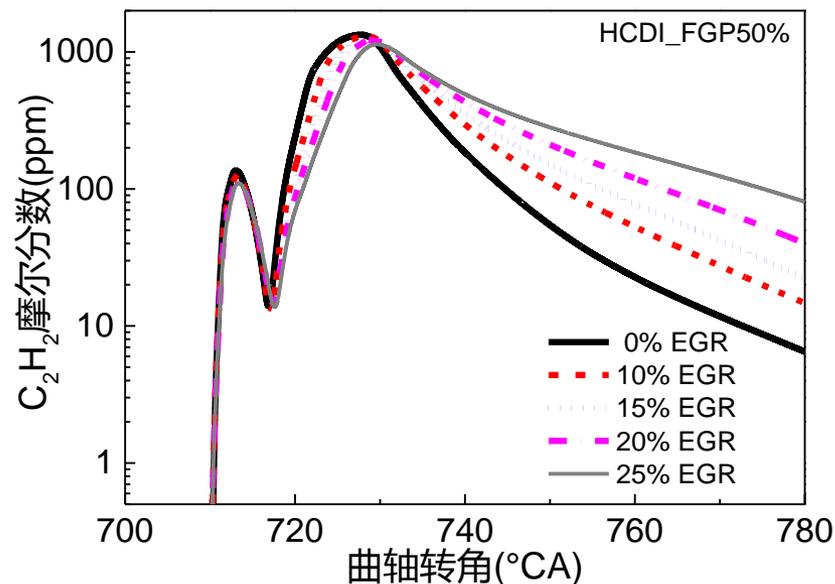
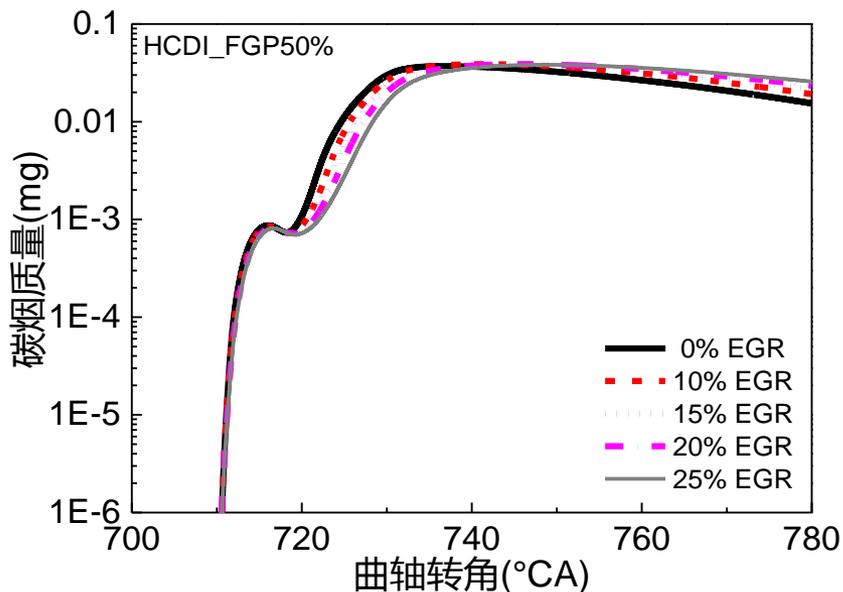
➤ EGR对HCDI燃烧模式的影响



NO_x排放随EGR率的升高而降低，碳烟随EGR率的升高而升高，而HCCI燃烧模式排放的变化幅度大于HCDI燃烧模式。

计算结果及分析

➤ EGR对HCDI燃烧模式的影响



碳烟和 C_2H_2 摩尔分数在两个燃烧阶段形成的峰值随EGR率的变化不大，但是开始两种物质开始氧化的时刻滞后、氧化的时间缩短、氧化的速度也降低，因此HCDI燃烧模式的碳烟排放随EGR率的升高而增加。

结论

- 所建立的三维模型可以较准确的预测高压直喷天然气发动机的燃烧过程、NO_x排放和碳烟排放的值以及两种排放物的变化趋势。
- HCDI燃烧模式的缸压峰值小于HCCI燃烧模式大于HPDI燃烧模式，且随着第一次天然气喷射比例的增加，天然气的引燃时刻提前。
- 在不同的第一次天然气喷射比例下，HCDI燃烧模式的NO_x排放小于HCCI燃烧模式，第一次天然气喷射比例达到30%后，NO_x排放高于HPDI燃烧模式；在不同的第一次天然气喷射比例下，HCDI燃烧模式的碳烟排放大于HCCI燃烧模式，第一次天然气喷射比例达到30%或更高时，碳烟排放小于HPDI燃烧模式。
- HCDI燃烧模式的热效率高于HPDI燃烧模式，低于HCCI燃烧模式。
- 利用添加EGR的方式可以降低HCDI和HCCI燃烧模式的NO_x排放，高EGR率下采用合适的第一次天然气喷射比例的HCDI燃烧模式，可以提升指示热效率。

Thank You!



关注微信公众号，推送年会报告早知道

**Further information:
sdulmh@163.com**