基于Converge的天然气发动机燃烧室结构选型

中国第一汽车股份有限公司
无锡油泵油嘴研究所
刘林龙

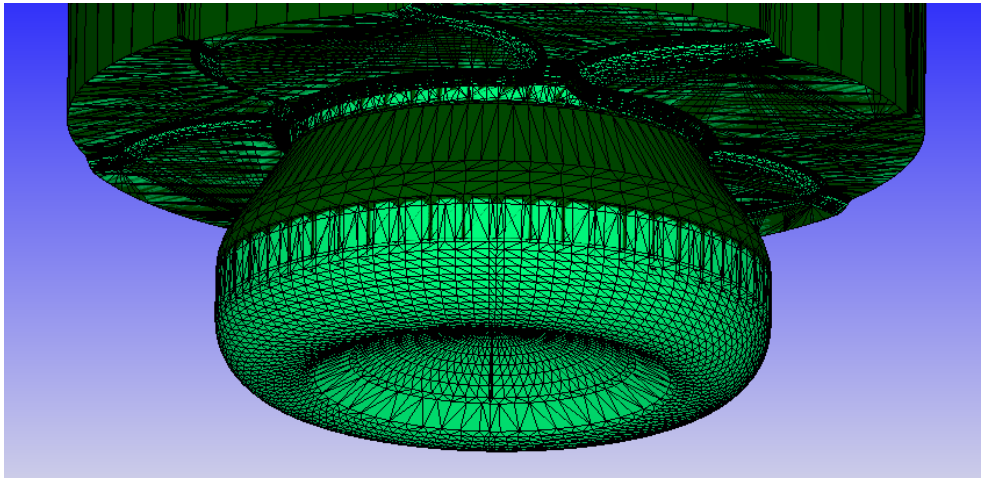
2016年11月

天然气由于储存量相对比较丰富，价格较石油燃料便宜，燃烧产物洁净，适合在有资源条件和环境保护要求高的地区应用，是当前国际上首选的汽车替代燃料。由于柴油与天然气燃烧反应动力学相差较大，以柴油机为原型开发的大排量天然气发动机的当量比、压缩比都需要进行改动，其中确定燃烧室的几何形状是重要的设计内容。

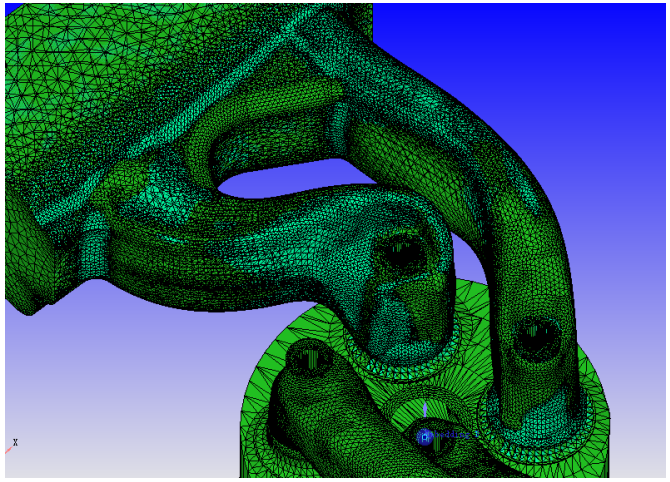
燃烧室的设计合理与否很大程度上决定了发动机性能的优劣。不同燃烧室结构会产生不同的湍流流场，而湍流流场直接影响到混合气的形成、放热规律、火焰传播以及排放物的生成。本文对数个不同形状结构的燃烧室的燃烧过程进行了数值模拟计算，以确定合适的活塞凹坑设计方案。

发动机工作过程数值模拟计算中，网格的质量好坏是决定整个模拟计算精度的重要因素之一。在过去模拟计算中，往往需要花费大量的时间和精力来生成模型的体网格，模拟计算的效率比较低下。CONVERGE软件针对发动机缸内燃烧工作特点专门制定了动网格模块，基本实现了网格的自动划分和生成，故采用其来执行各个设计方案的计算过程。

项目内容



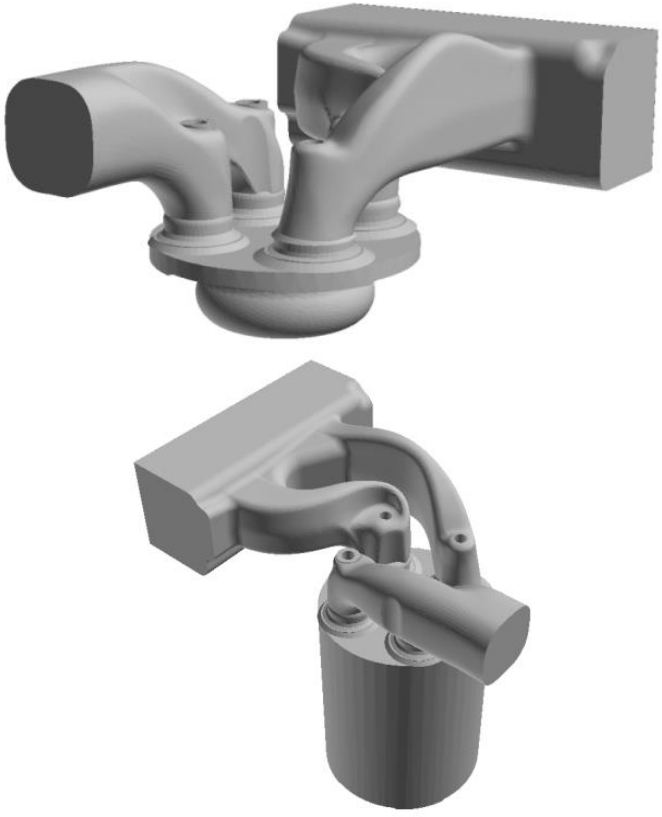
活塞凹坑选型



气道选型

- **第一轮：四设计方案活塞凹坑缩口程度造成的影响；**
- **第二轮：新气道与活塞调整方案造成的影响；**
- **第三轮：不同材料，微调活塞方案造成的影响；**
- **综合考虑，给出设计建议。**

模型设置与计算工况



计算起始时刻:燃烧上止点后90°

湍流模型：RNG-k-ε模型

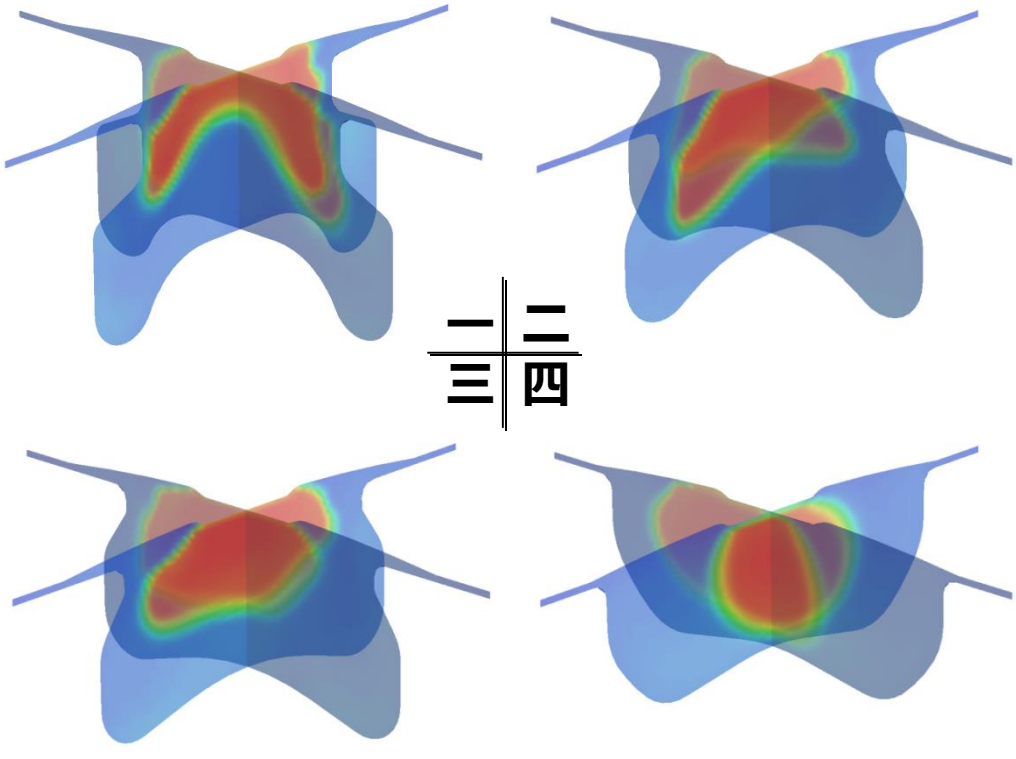
燃烧模型：G方程模型

点火模型：初始化G值方案

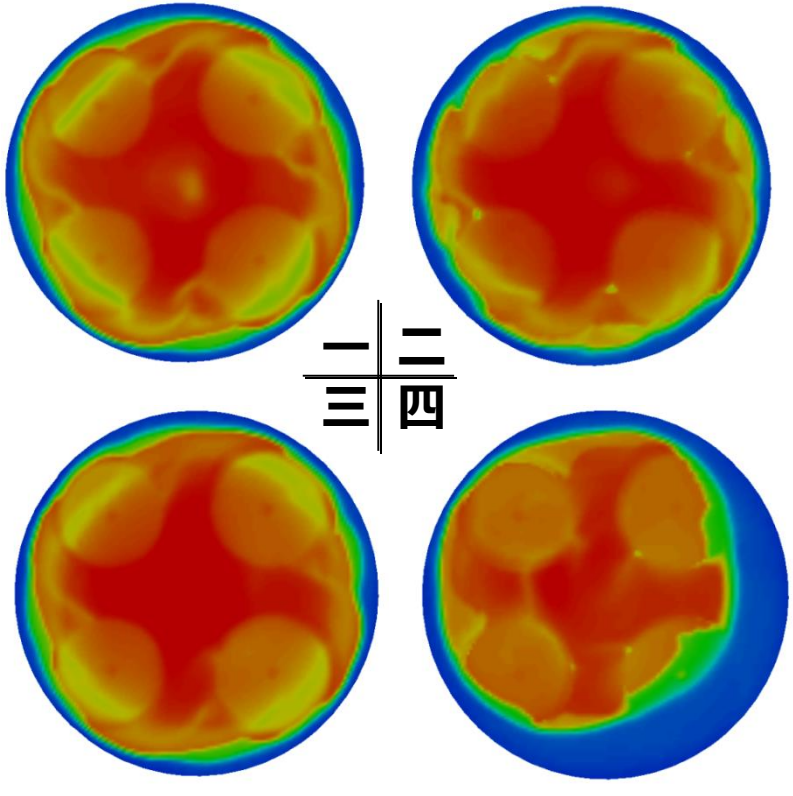
进排气压力和温度边界条件以及缸内初始条件均由一维计算提供。

计算工况	1	2	3	4
转速（rpm）	1900	1900	1200	1200
负荷（%）	100	50	100	50
EGR率（%）	25	25	10	20
点火提前角	20	20	11	11
增压压比	2.6	1.9	2.3	1.5

计算结果



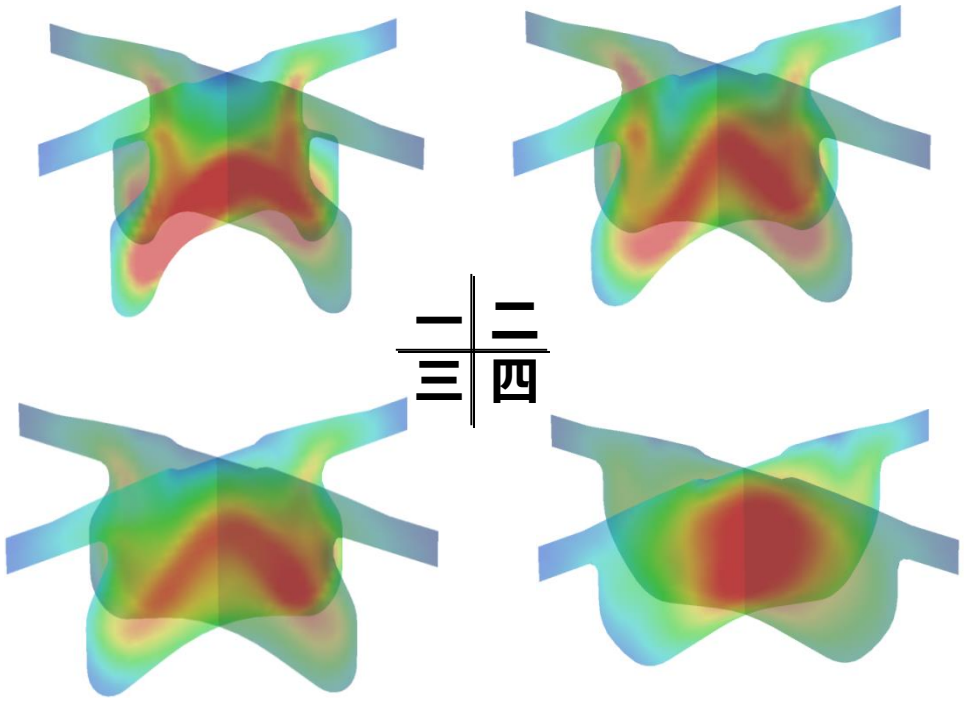
上止点时缸内温度分布



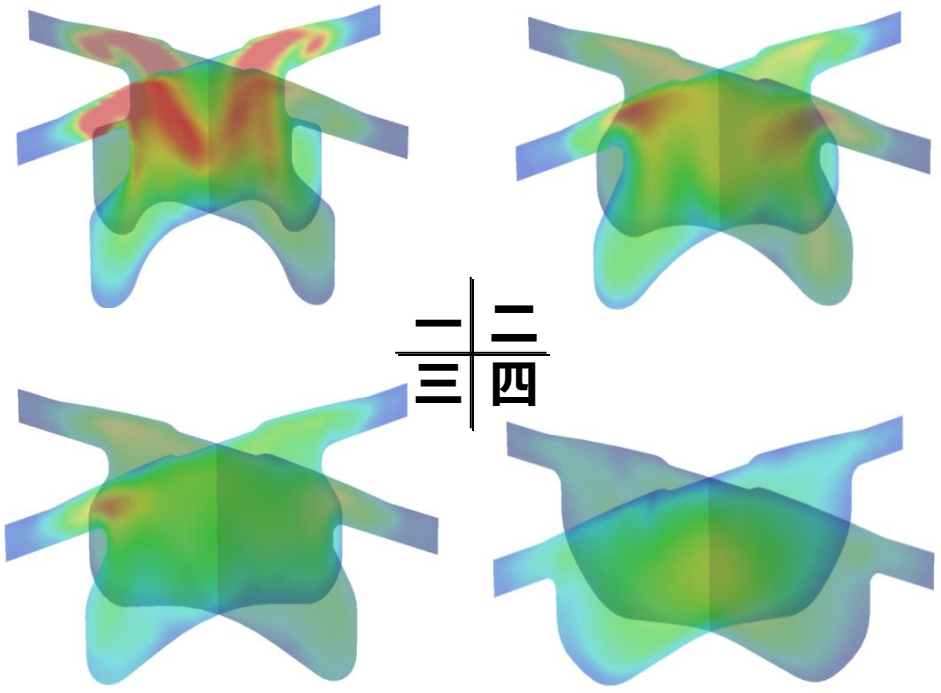
20°ADTC缸内温度分布

前三个方案的火焰前沿面形状都会受到活塞几何的影响而发生扭曲，程度随着缩口强度减小依次递减，而方案四在点火时刻受到的影响最小，几乎呈半球形传播。但上止点后20°CA时，方案四的火焰尚未完全传播至整个燃烧室，说明方案四的后燃情况较其它三个设计方案严重。

计算结果



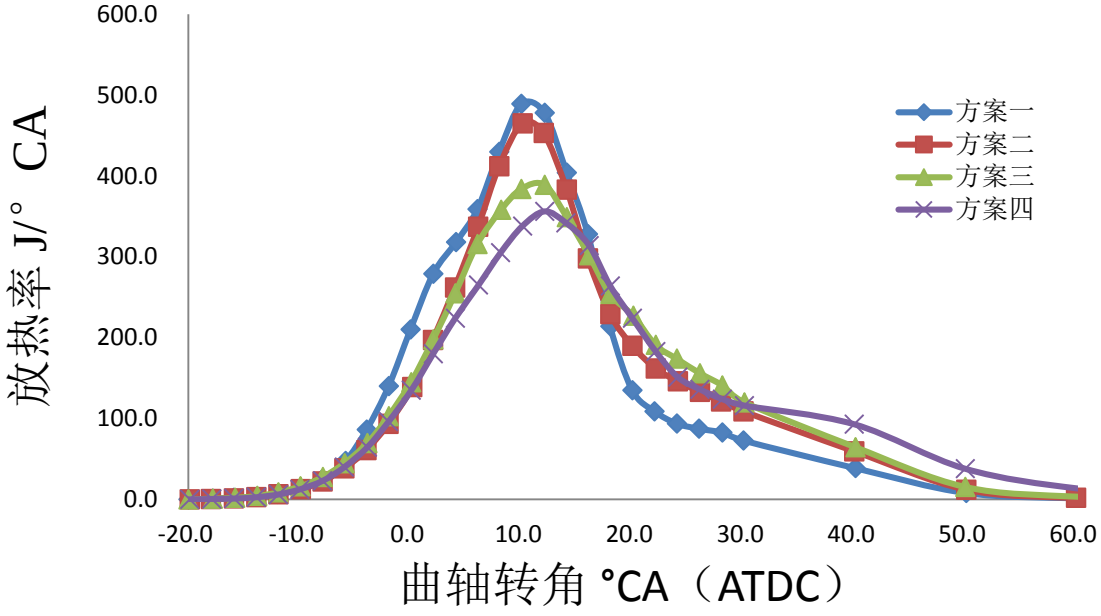
点火时缸内湍动能分布



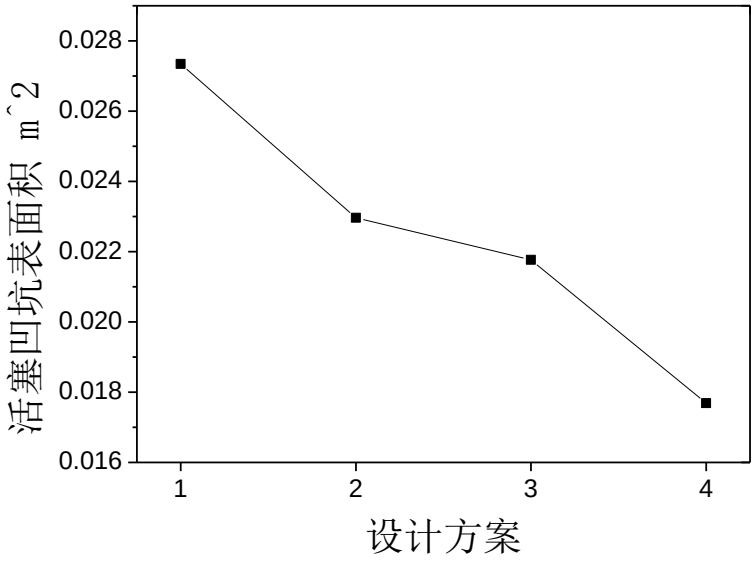
20°ADTC缸内湍动能分布

点火前，方案四湍动能与其它三个设计方案处于相同水平，虽然略低于方案一、二，却高于方案三。但湍动能在点火后迅速下，到上止点后20°CA时，方案四已经明显小于其它方案。这是由于缩口结构在膨胀做功阶段造成的挤流增加了流速，提高了湍动能。

计算结果



1900rpm满负荷工况下不同燃烧室结构的放热率曲线

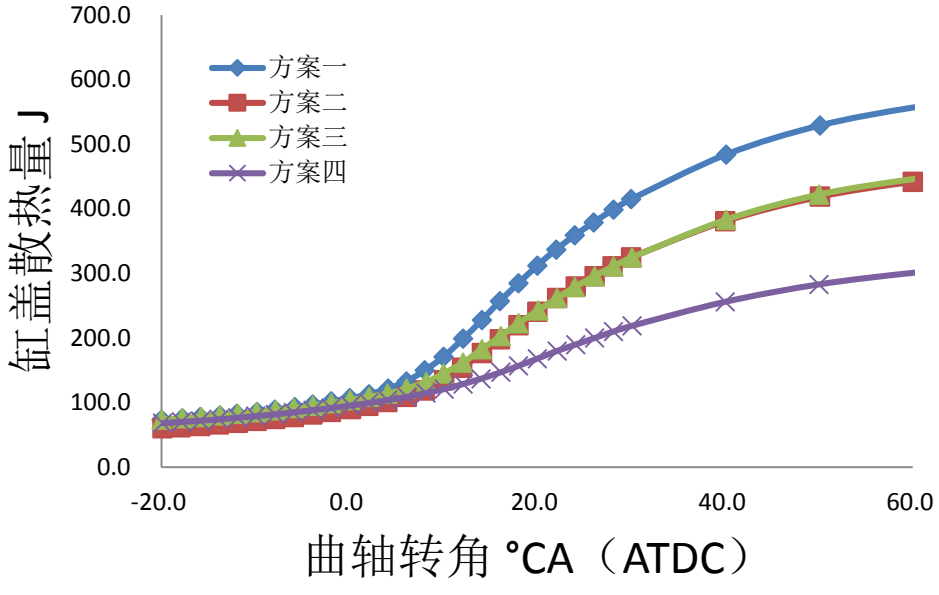


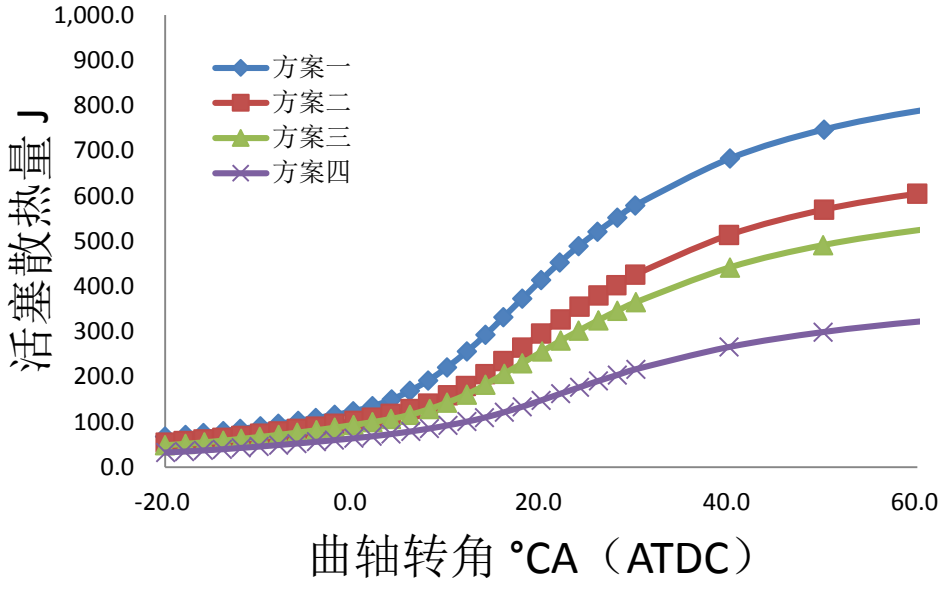
各方案活塞凹坑表面积

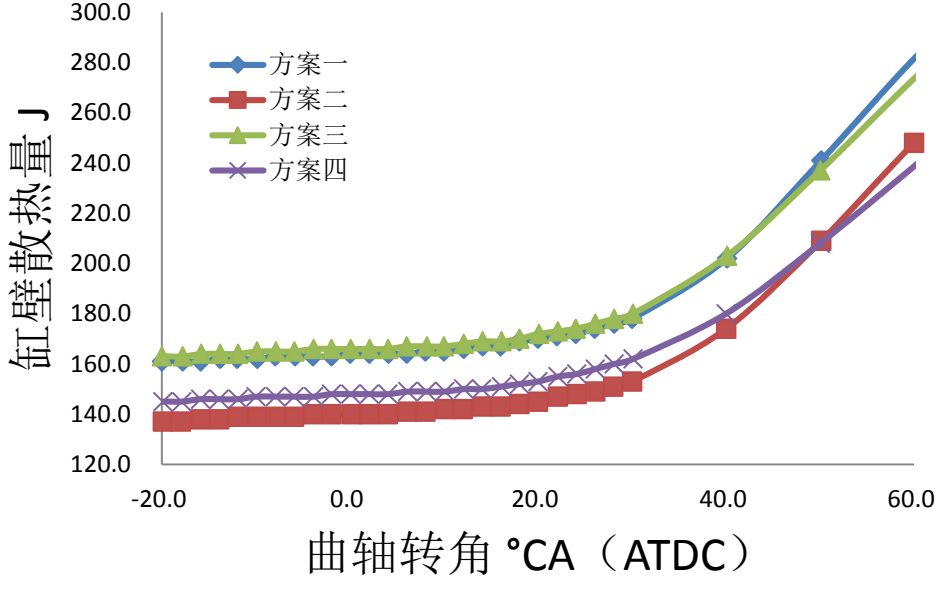
在高转速下，方案二比方案一放热开始早，低转速下，方案一比方案二放热开始早，但方案一的后燃倾向始终最弱。方案三的放热集中程度逊于方案一和方案二，方案四最差，从燃烧等容度分析，缩口程度越大燃烧等容度越高。

随着缩口程度的增加，活塞凹坑面积增大。

计算结果







影响缸盖散热量的主要因素为缸内温度，方案四散热量最小。

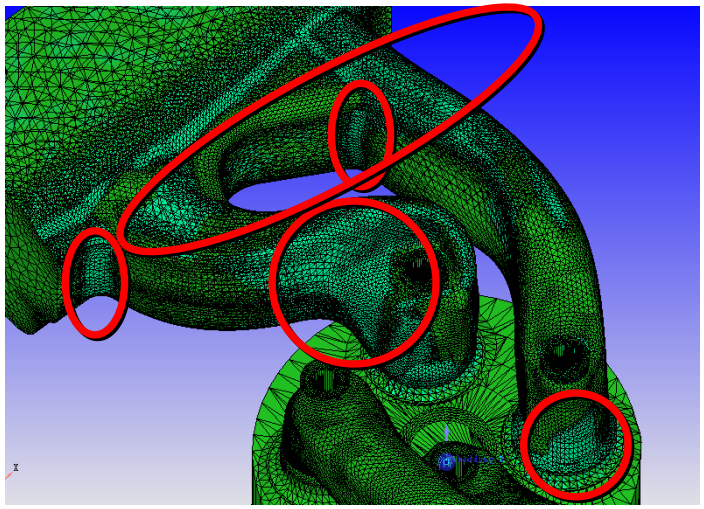
活塞散热量由燃烧等容度与活塞凹坑表面积共同作用影响。

缸壁的散热量相差不大，因为火焰传播到达缸壁时活塞已下行较远距离，缸内温度相比放热峰值已明显降低。

各方案散热量关系为：

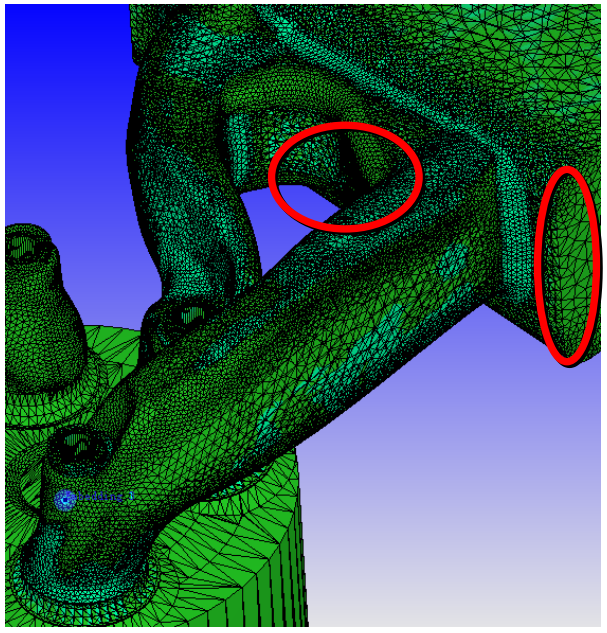
方案一>方案二>方案三>方案四。

不同涡流比气道及新活塞方案选型

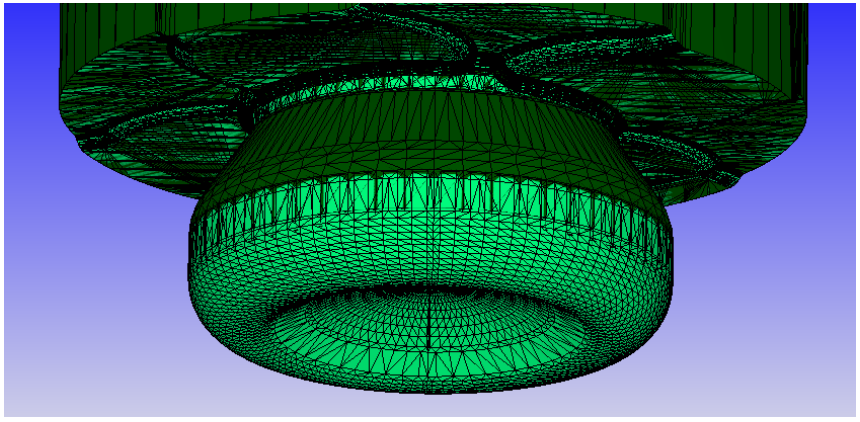


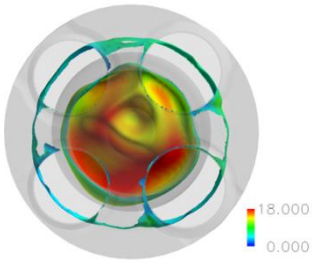
1、气道差异
2、气道差异
3、活塞调整

1 2
3

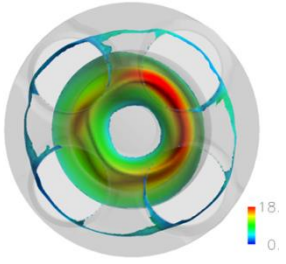


在上一轮活塞方案二的基础上继续，对活塞方案二进行了微调，形成活塞方案五，同时设计了高涡流比气道（即气道二）搭配活塞方案五继续优化。

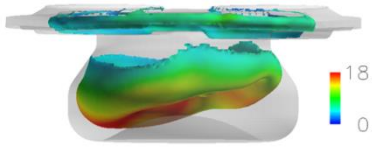




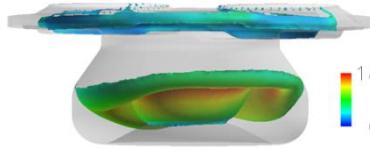
a.低涡流比方案（z 方向）



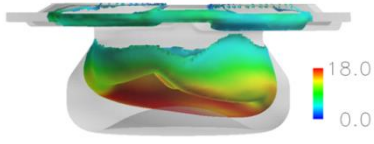
b.高涡流比方案（z 方向）



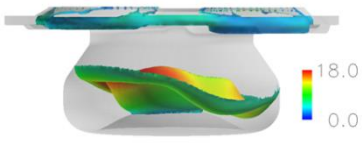
c.低涡流比方案（x 方向）



d.高涡流比方案（x 方向）



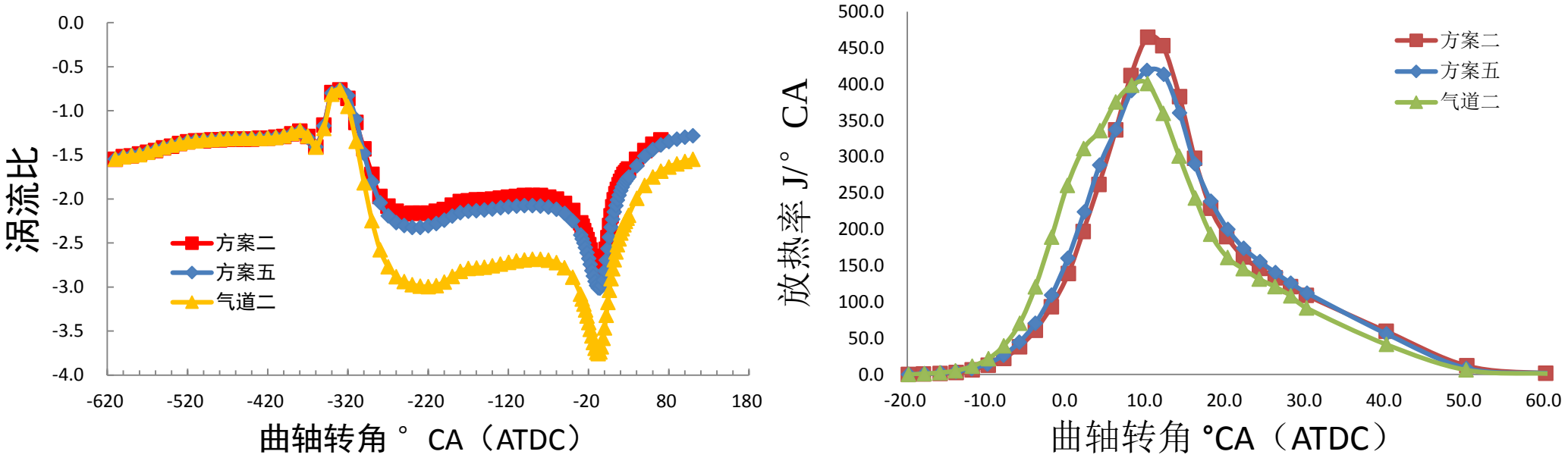
e.低涡流比方案（y 方向）



f.高涡流比方案（y 方向）

上止点后 12°，1200rpm-50%负荷下不同涡流比方案火焰前沿面上的湍动能 m^2/s^2

计算结果



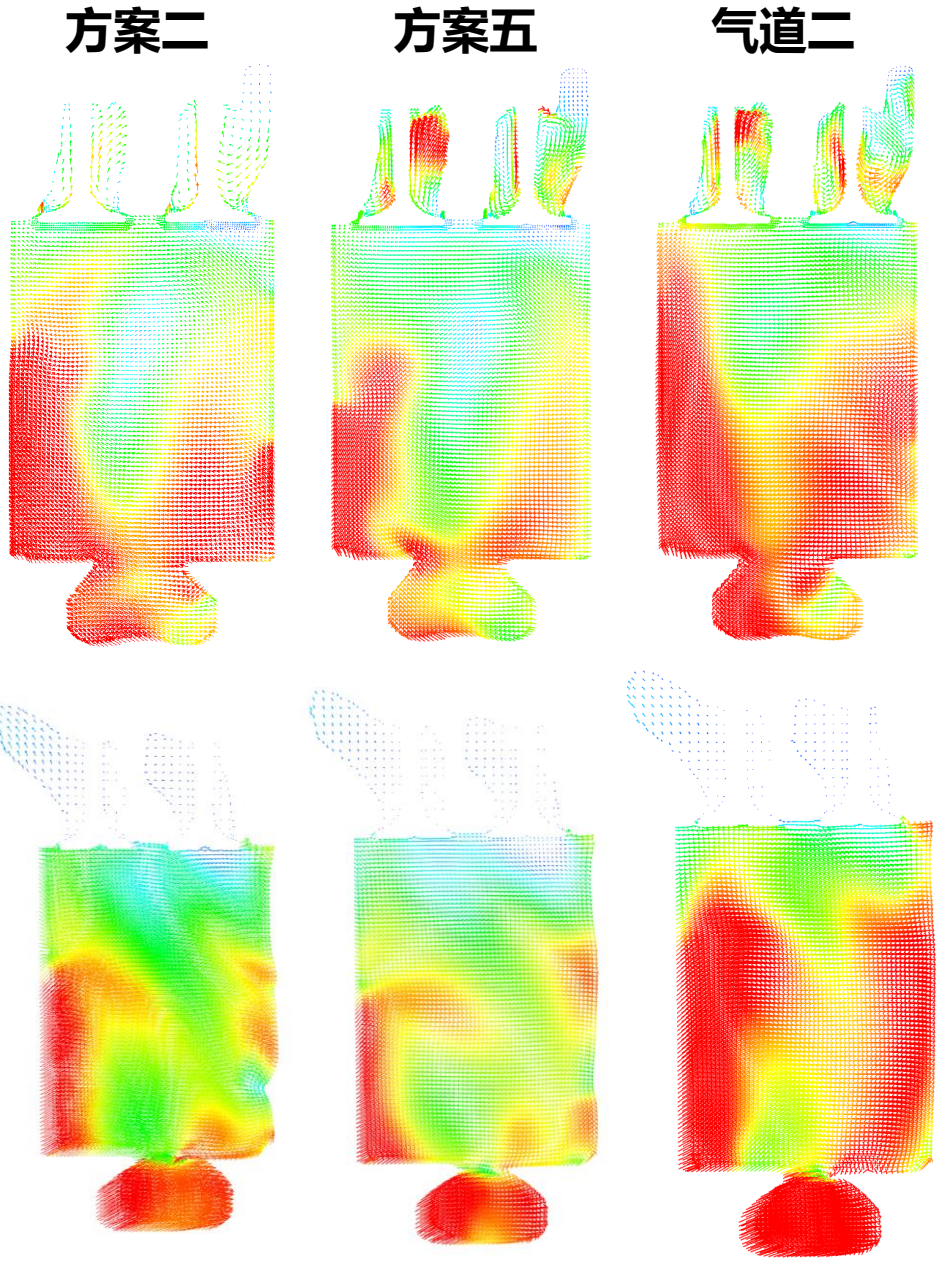
1900rpm满负荷工况的涡流比和放热率

气道二的设计显著增加了整个工作过程中缸内的涡流比，增加了缸内水平方向上的切向运动速度，使得气道二算例中缸内的湍动能大于原来的气道设计方案。

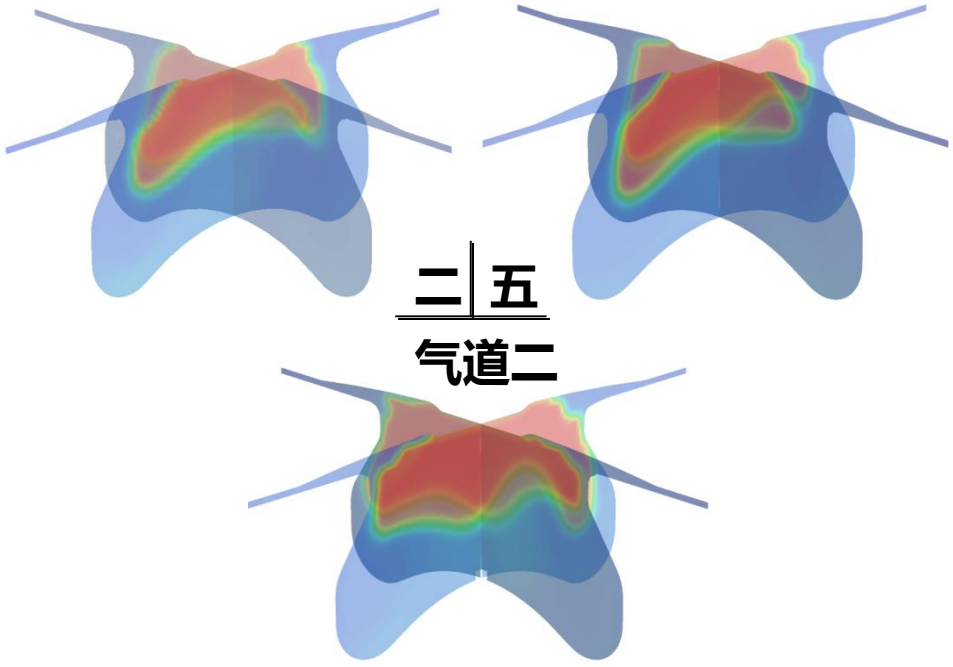
由于高涡流的影响，湍动能高的区域更加集中于燃烧室中间，对火焰初期的传播造成了影响，加快了火焰初期的传播速度，使得气道二方案的放热较其它方案提前。

虽然气道二当中放热靠前，但其峰值较低，持续期长，总的放热量与其它方案仍基本一致。

计算结果



进气门关时缸内速度分布



上止点时缸内温度分布

此外，气道二方案缸内各个部分的传热均明显大于采用原始气道的方案。从综合情况来看，气道二的指示功在各个工况下较原气道偏低。

结论

缩口程度越大，点火后的燃烧室内湍动能越大，燃烧等容度越高

- 方案四的后燃情况较其它三个设计方案严重

缩口程度越大，燃烧室整体散热量越大

- 气道改型比原气道涡流比提升了17%

高涡流比气道的修改可能不利于提升指示功

谢谢！

中国一汽无锡油泵油嘴研究所

Wuxi Fuel Injection Equipment Research Institute,FAW,China