

基于CONVERGE的某发动机EGR进气过程缸内流动CFD分析

CFD analysis of in-cylinder flow with external EGR by CONVERGE SW

姓名：张 孚

时间：2019.11

部门：蜂巢动力研究院

地点：河北省保定市朝阳南大街2199号

HVCET
蜂巢易创

报告内容

一、介绍

二、方案说明

三、边界说明

四、结果分析

五、总结

一、介绍

采用排气再循环（EGR）可以使工作混合气的总热容大大增加，最高燃烧温度下降，能有效的降低发动机的NO_x排放，同时还能有效的抑制汽油机爆震的发生。然而EGR废气与缸内混合气的混合均匀性将直接影响到点燃式发动机的燃烧速度，进而影响整机热效率的提升。

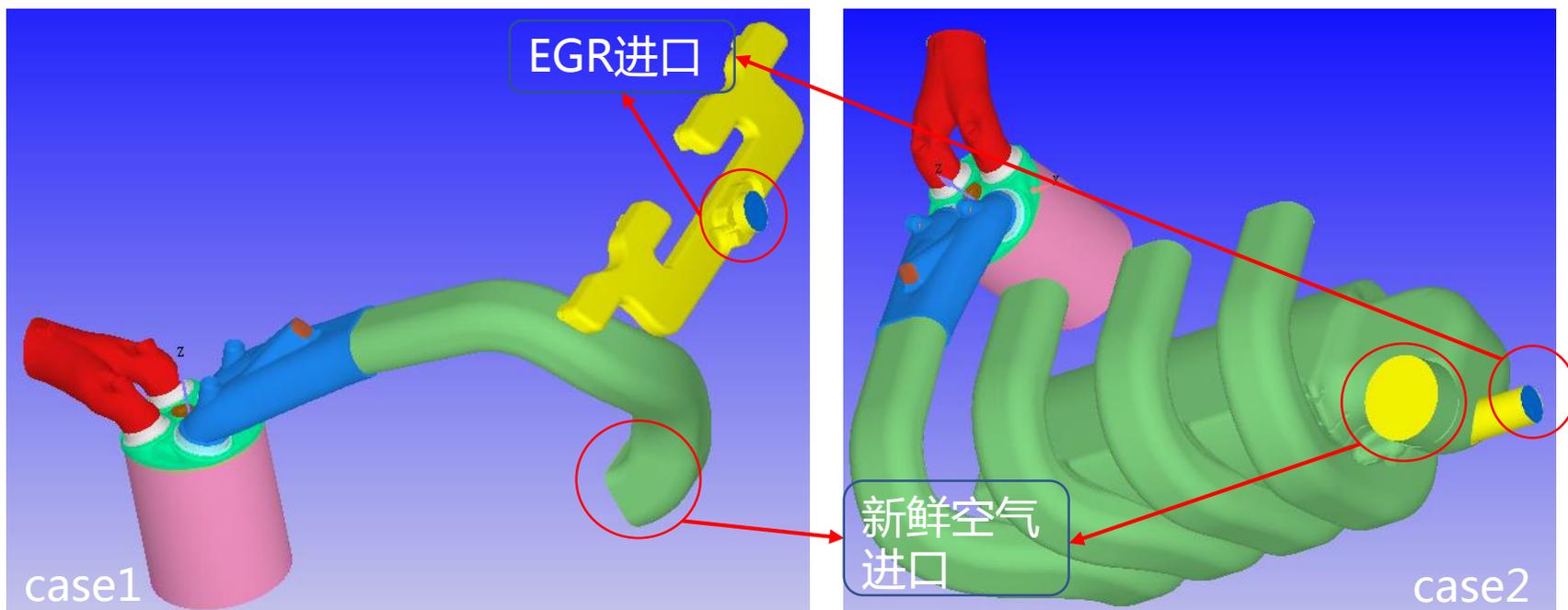
本文利用CONVERGE软件分别对两种不同形式的EGR进气过程进行缸内流动CFD分析，以评价缸内流场以及缸内EGR气体混合均匀程度，为EGR管路设计提供参考。

二、方案说明

本文分别对两种EGR进气形式进行了分析，其结构如下图所示。

其中，case1方案为EGR气体由进气歧管支管进入。为缩短计算时间，同时尽可能保证计算与实际流场相一致，在模型处理时将进气歧管稳压腔部分省略，直接设置进气歧管支管入口为新鲜空气入口。

case2方案为EGR气体由进气歧管总管进入，模型处理时保留全部进气歧管。



三、边界说明

本文计算过程中，入口全部采用瞬态质量流量和温度边界，出口则采用瞬态压力和温度边界。计算的壁面温度和边界条件全部由一维模型校核得到。

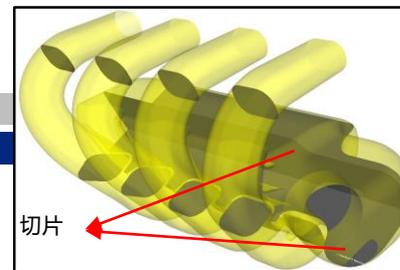
气体组分上，设置进气歧管入口为 N_2 和 O_2 的混合气；EGR管入口气体则设置为一定当量比和EGR率混合气充分燃烧后的产物。计算过程中对EGR管中及由EGR入口进入的气体标记为EGR，以监控其在缸内的分布情况。

网格基础尺寸设置为4mm，缸套区域加密到1mm，所有网格根据计算中速度梯度限值自适应加密到0.5mm。设定720°CA为压缩上止点。

三、边界说明

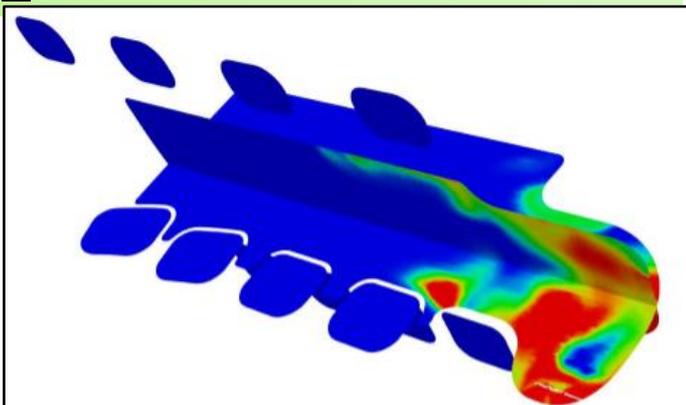
在计算过程中发现对case1方案如果只计算一个循环，进入缸内的EGR气体量达不到设定的EGR率，存在一部分EGR气体残留在气道内，故本次对case1方案进行了两个循环的计算，以保证仿真结果和实际情况尽可能相一致。

而对case2的计算过程中发现直接进行缸内流动计算的情况下气缸内未能监测到EGR气体。针对此问题特对进气歧管内EGR分布情况以及过程中缸内和进气歧管内气体质量的变化进行分析。

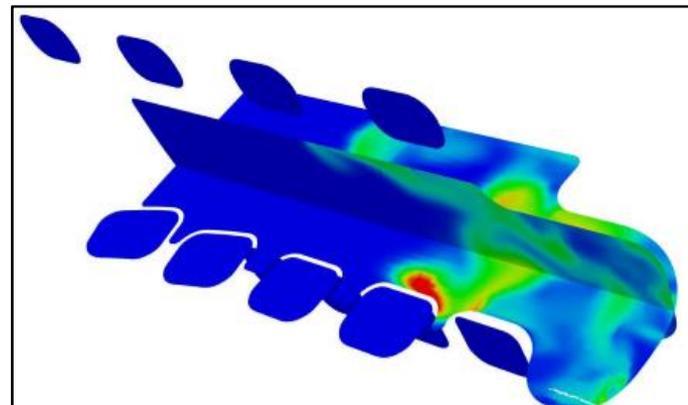


结果 对case2方案缸内未监测到EGR分析

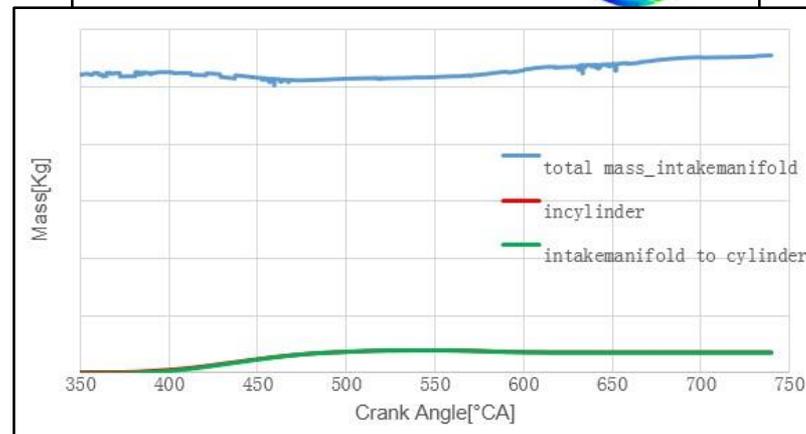
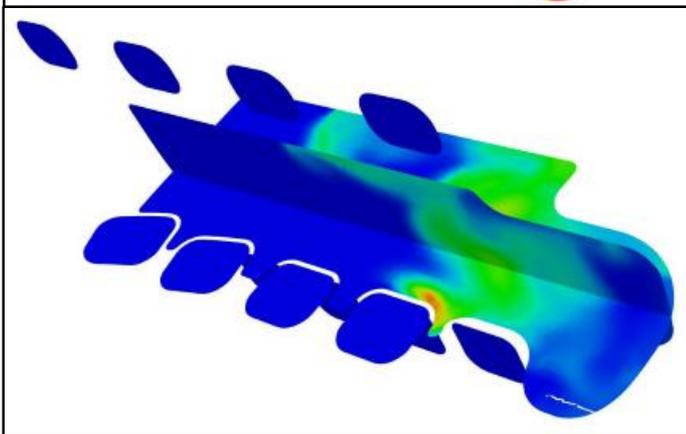
进气门最大升程



进气门关



上止点



上图为进气歧管内EGR质量分数分布图及进气歧管和进入缸内气体质量曲线图。

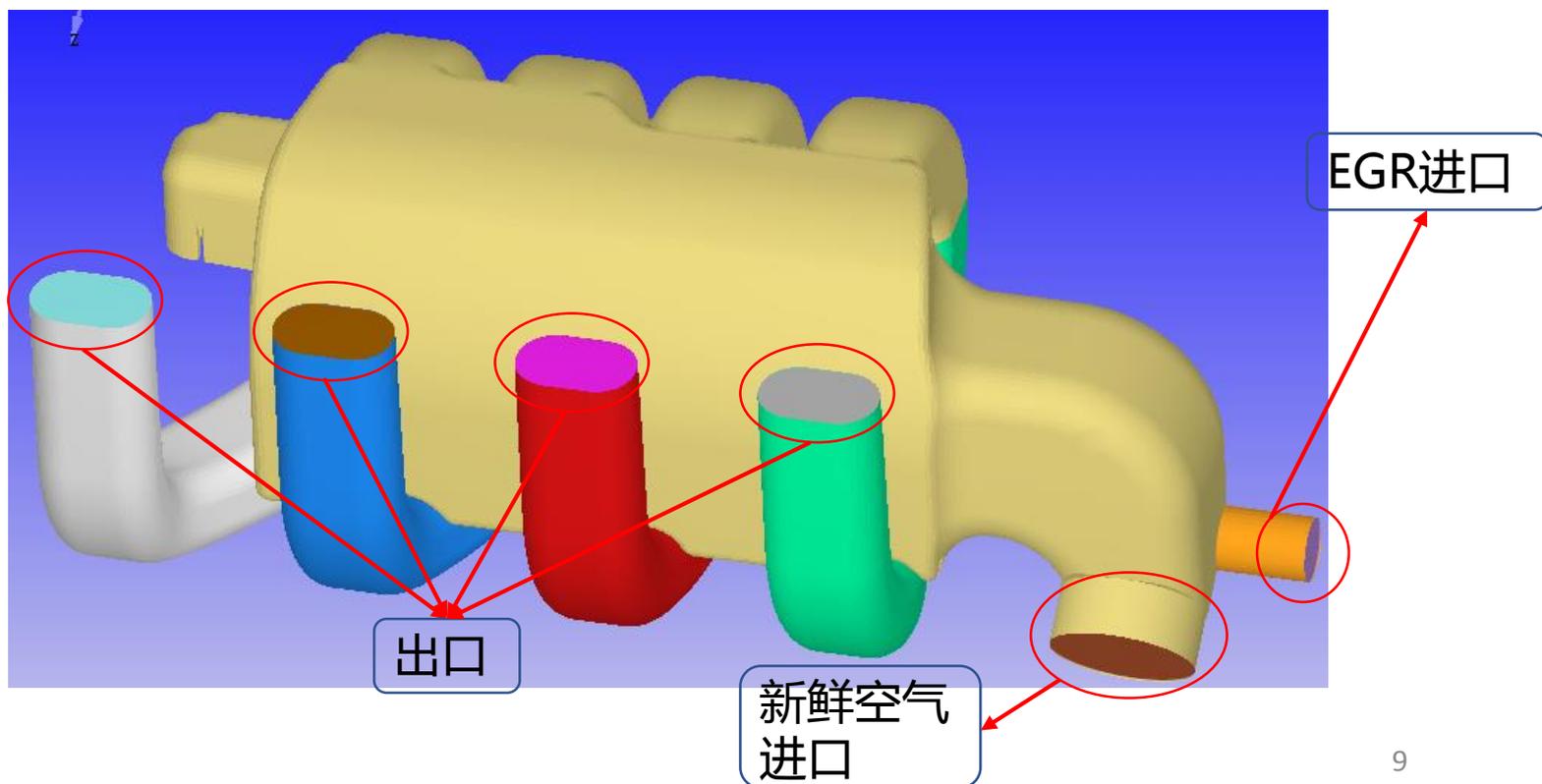
- 从进气门最大升程 → 进气门关 → 上止点时刻，EGR气体只在进气歧管稳压腔内有分布，而在各支管内并无EGR分布。
- 从气体质量来看，单循环进入缸内的气体质量远远小于进气歧管内的气体质量。
- 同时图中红线和绿线完全重合，充分说明进入缸内的气体全部为进气歧管内混合好的空气和EGR废气混合气。

case2进气歧管分析

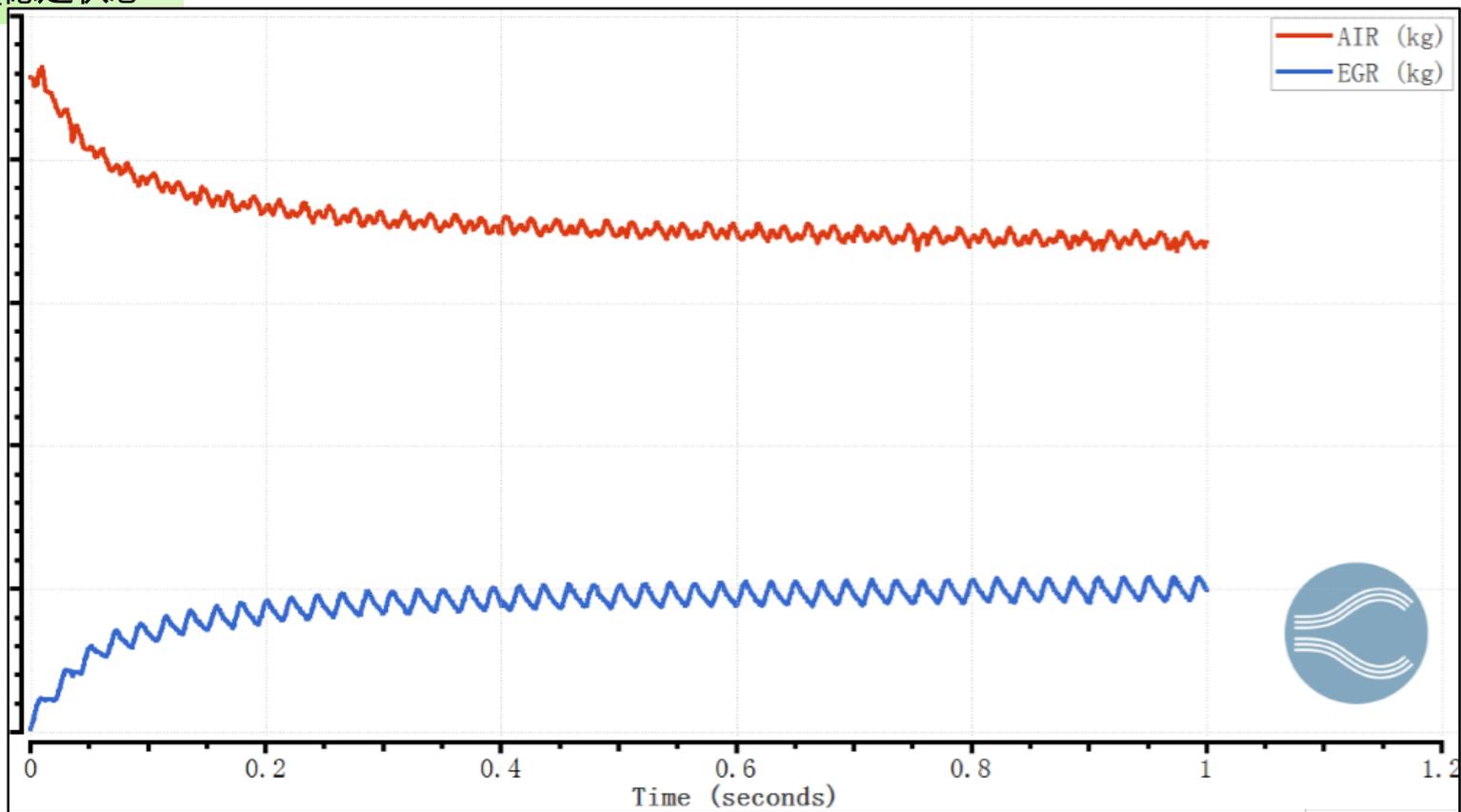
方案说明

本次单独对case2方案进气歧管进行分析，设置进气歧管内初始气体为空气，以验证经过一定时间后进气歧管内EGR与空气的混合均匀程度。

为保证进气歧管内混合气达到稳定状态，本次计算长度设置为1S时间（超20个循环）。

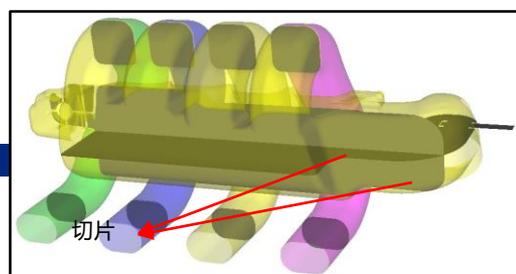


结果_稳定状态



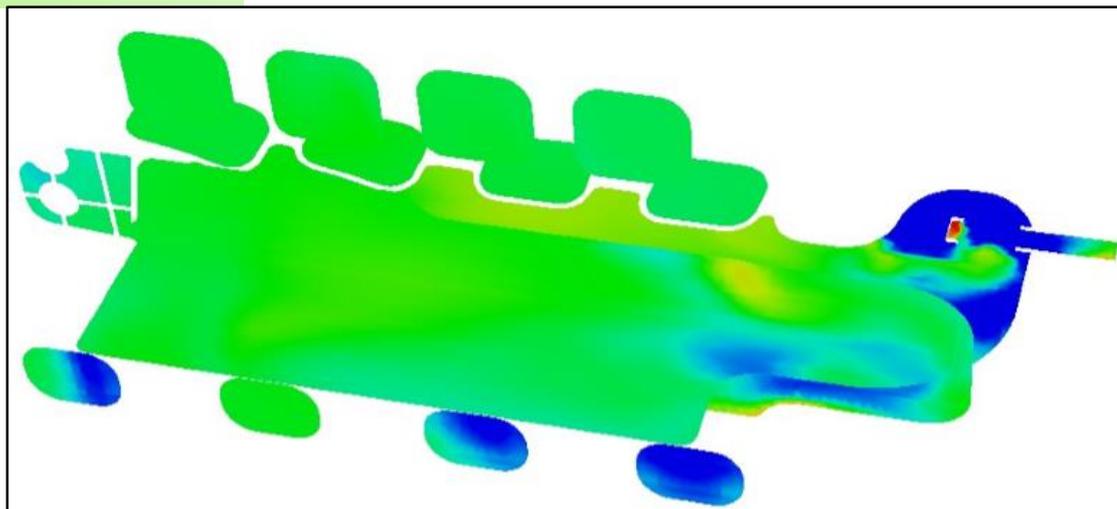
上图为进气歧管内空气和EGR气体质量曲线图。

- 图中可以看出，随着计算时长的增加进气歧管内的空气量和EGR量均趋于稳定。
- 认为进气歧管内混合气已达到稳定状态。



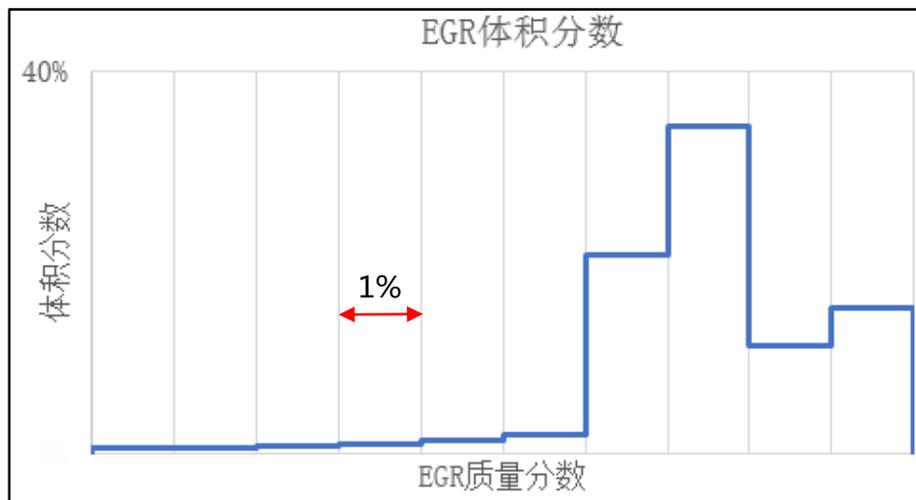
结果_EGR分布

进气歧管内EGR分布图



将此计算结果映射为case2方案缸内流动计算时进气歧管的初始条件。

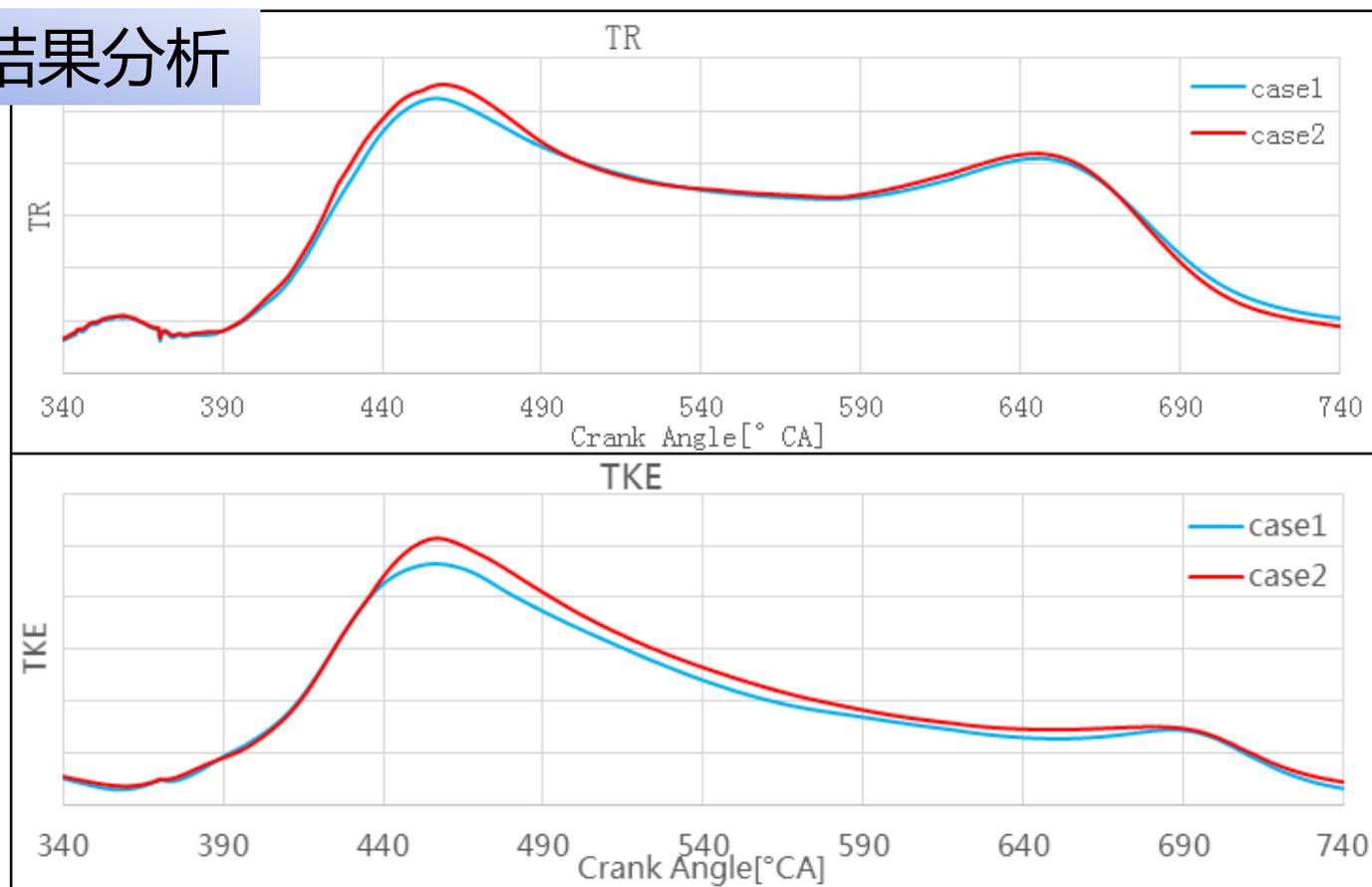
进气歧管支管内EGR体积分数占比



- 进气歧管内EGR分布大部分呈现绿色状态，仅在个别区域存在较浓或较稀的EGR分布。
- 左图中显示EGR质量分数在后边四个区间内的体积占比已超80%，EGR混合已趋于均匀。

缸内流动结果分析

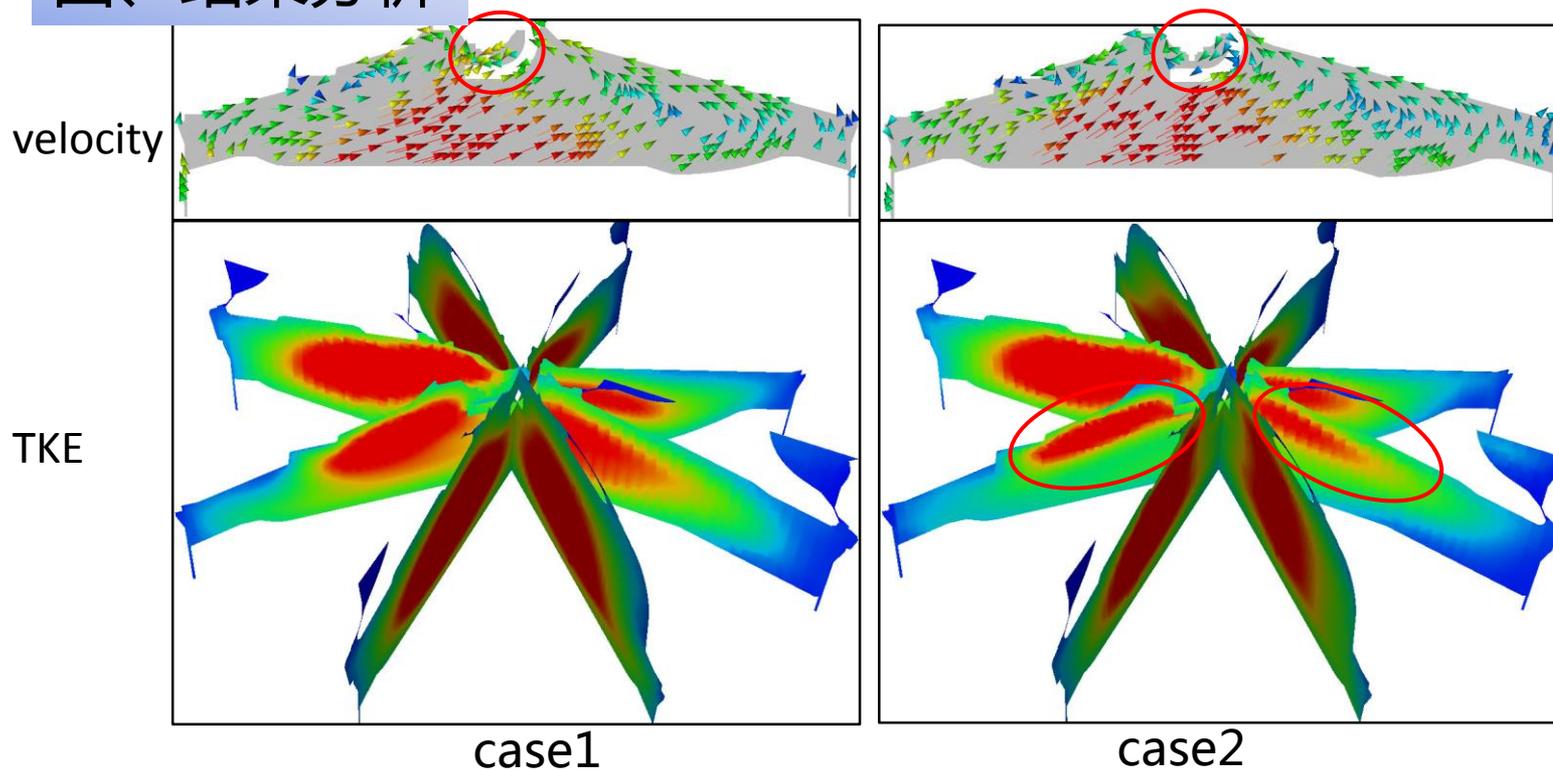
四、结果分析



上图为两方案缸内滚流比和湍动能随曲轴转角变化曲线图。

- 从缸内滚流比来看，进气过程中case2方案缸内滚流比明显高于case1方案。这可能是由于进气过程中，EGR进气过程对气道内气流产生了干扰。
- 而对于缸内湍动能，case2方案缸内湍动能明显较高，然而随着曲轴转角的增加这种差异也逐渐减小，点火时刻两方案缸内湍动能差异在3%以内，差异甚微。

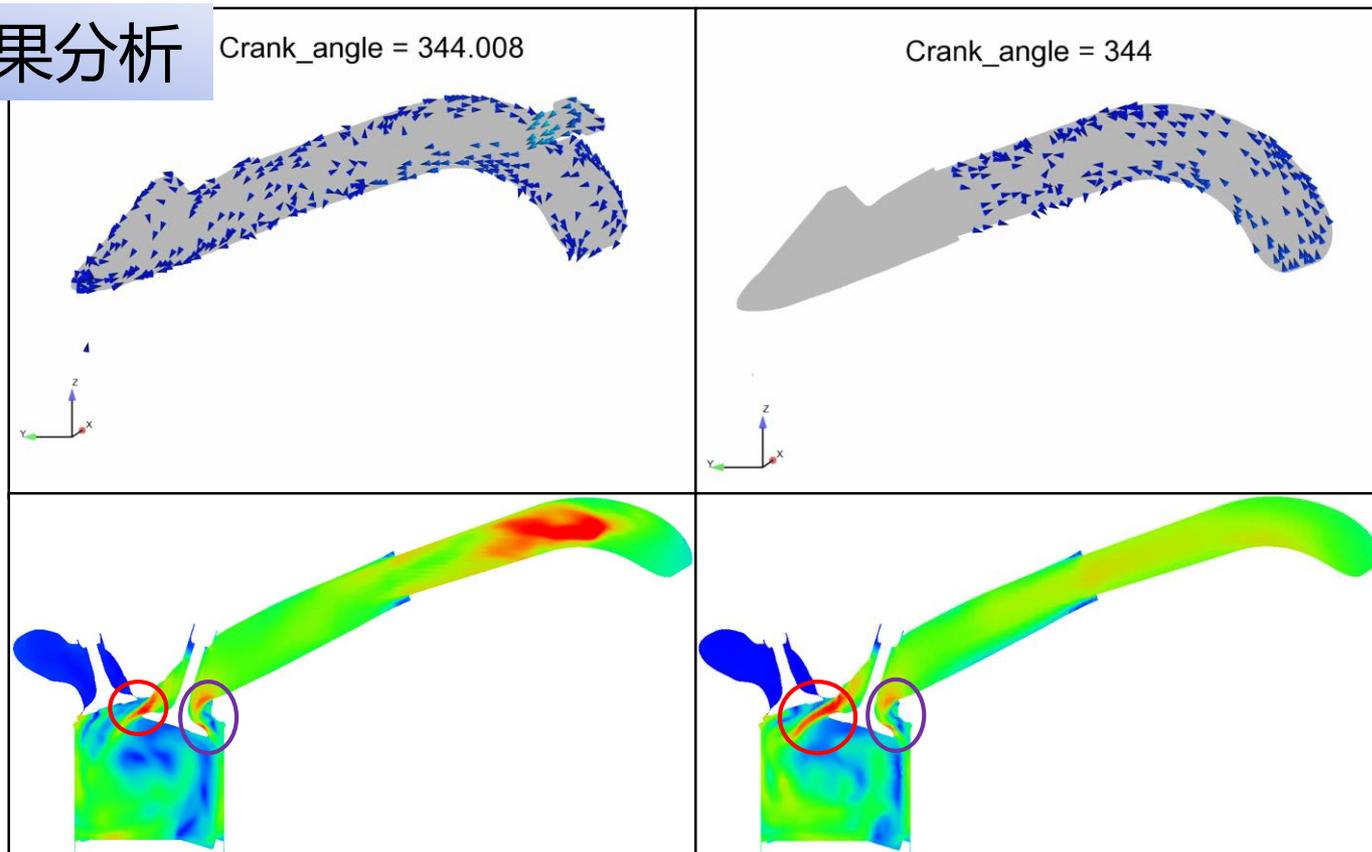
四、结果分析



上图为两方案点火时刻缸内流速和湍动能分布图。

- 从缸内流速来看，两方案缸内流场方向一致，但case1方案火花塞附近流速明显高于case2方案。
- 从缸内湍动能来看，case2方案缸内湍动能存在个别方向上较弱现象，各方向上分布均匀性不如case1方案。

四、结果分析



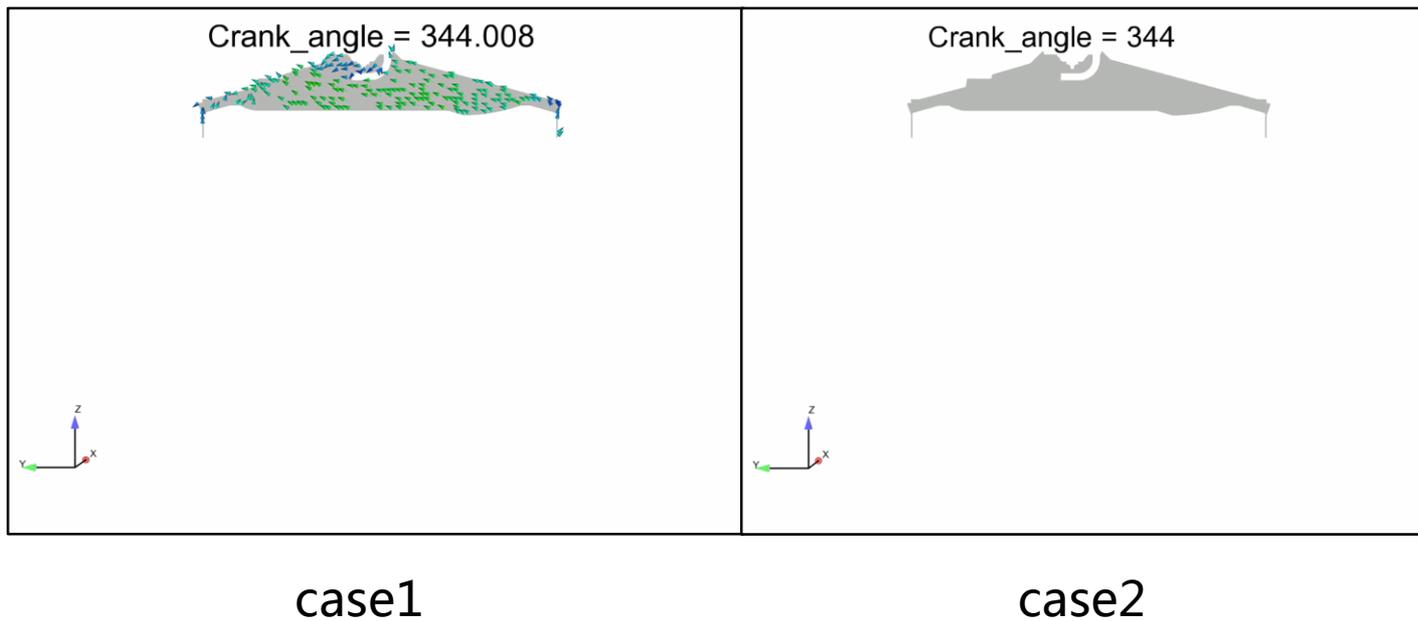
case1

case2

图为气道及缸内流场分布图。

图中可以看出case1方案气流在EGR气流的冲击下气道底部流速明显较高，而case2方案气流则是沿气道方向流动，高速气流分布在气道上方，进而造成了标量图中气门位置case1方案较case2方案明显的正向流弱，逆向流强的局势。

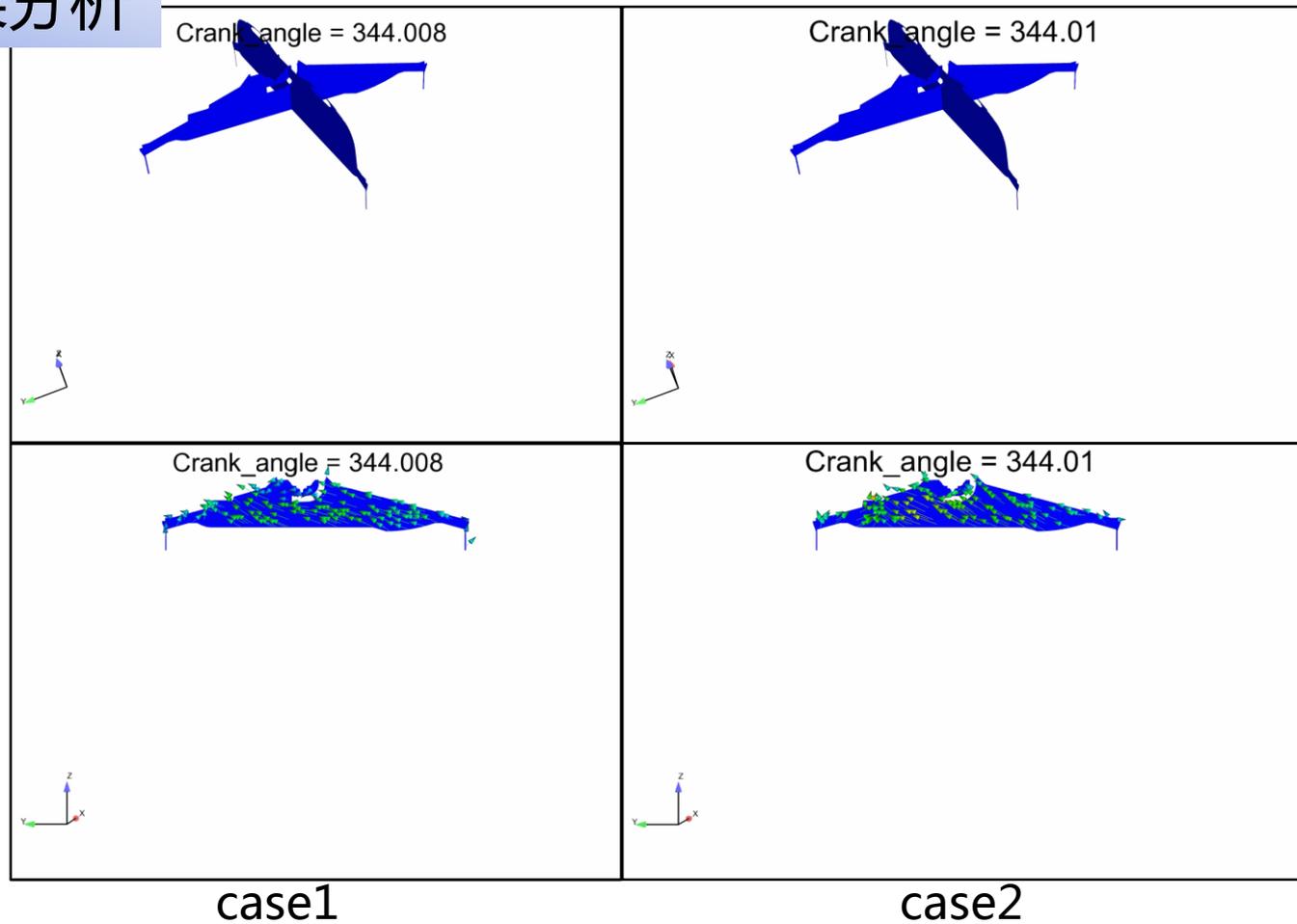
四、结果分析



上图为两方案缸内流速分布图。

- 由于case1方案较case2方案正向流场弱，逆向流场强，造成了case1方案缸内滚流明显较弱。

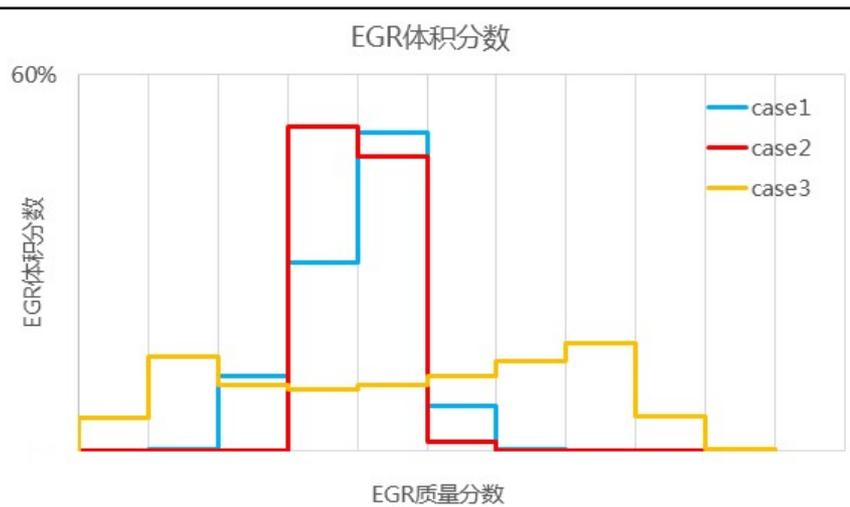
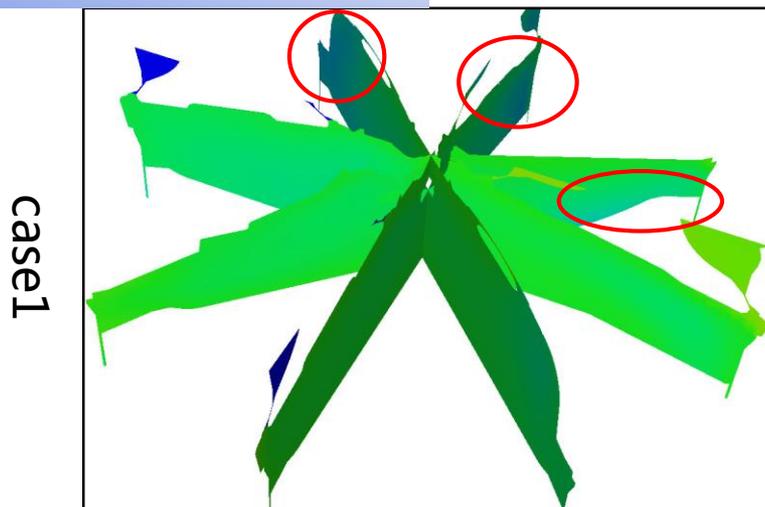
四、结果分析



上图为缸内EGR质量分数分布图。

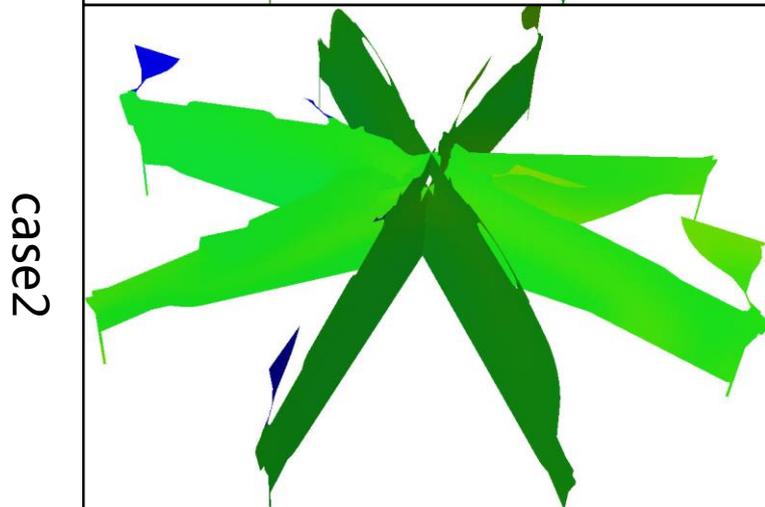
- 可以看出case2方案EGR进入缸内时就已经混合比较均匀了，在缸内滚流的作用下混合更加均匀。

四、结果分析



图为点火时刻缸内EGR质量分数分布图。

- 从三维云图来看，明显的case2方案缸内EGR分布更加均匀。
- 而从EGR体积分数占比来看，case2方案缸内EGR质量分数分布更加集中，缸内混合气更加均匀。



五、总结

本文借助CONVERGE软件，分别对两种EGR进气形式（由进气歧管支管进入和由进气歧管总管进入）进行了分析。

- 计算过程中发现对于case1只计算一个循环会出现进入缸内的EGR气体量达不到设定的EGR率，存在一部分EGR气体残留在气道内，而本文通过对case1方案进行两个循环的计算来解决此问题。
- 而对case2的计算过程中发现直接进行缸内流动计算的情况下气缸内未能监测到EGR气体。针对此首先单独对进气歧管进行分析，再将结果中的EGR分布映射为缸内流动的进气歧管初始条件进行计算，成功解决问题。

五、总结

两方案对比结果如下：

- 由进气歧管支管进EGR方案（case1方案），点火时刻缸内EGR质量分数区间总跨度只有5%，而前三个区间内的体积占比超过90%，缸内EGR整体分布比较均匀。
- 由进气歧管总管进EGR方案（case2方案），EGR气体在进气歧管内与空气混合已经趋于均匀了，而进入缸内后在滚流作用下混合气更加均匀，缸内EGR质量分数区间跨度仅为3%，而其中前两个区间内的体积占比几乎达到99%的水平，缸内EGR整体分布非常均匀。
- case1方案对缸内流场有所影响，进气阶段缸内滚流稍弱（-6%左右），点火时刻湍动能也稍低于case2方案（差异不足3%）。

Thanks !