



东风汽车公司技术中心
DONGFENG MOTOR CORP. R&D CENTER

外部EGR技术在高压压缩比阿特金森 循环汽油机上的仿真研究

东风汽车公司技术中心

2016年11月23日

目 录

一. 前言

二. 汽油机仿真模型的建立

三. 外部EGR仿真结果及分析

四. 总结与展望

1. 前言

◆ 背景

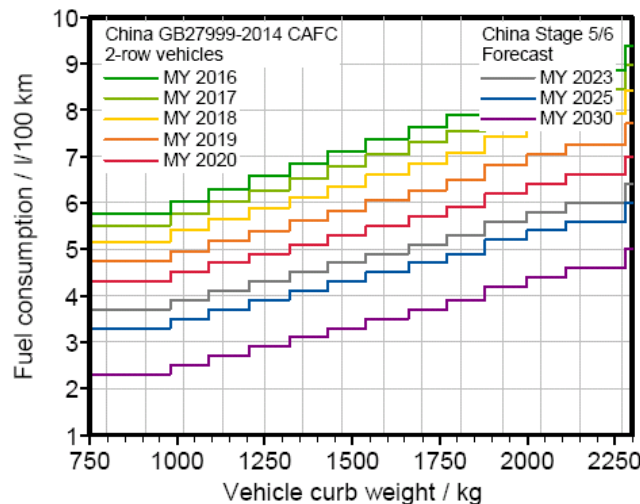
随着油耗、排放法规的不断加严，各种降油耗技术（VVL，米勒循环，EGR等）随之应用。

◆ 采取技术路线

技术路线：采用高压压缩比，配合阿特金森循环（进气门晚关），同时采用外部冷却EGR技术。

◆ 仿真目的与难点

外部EGR技术，在改善油耗的同时需要兼顾高负荷动力性，通过性能仿真计算，保证发动机燃烧与驾驶稳定性等，选取最优EGR率、VVT角度等，为设计、试验提供合适建议。

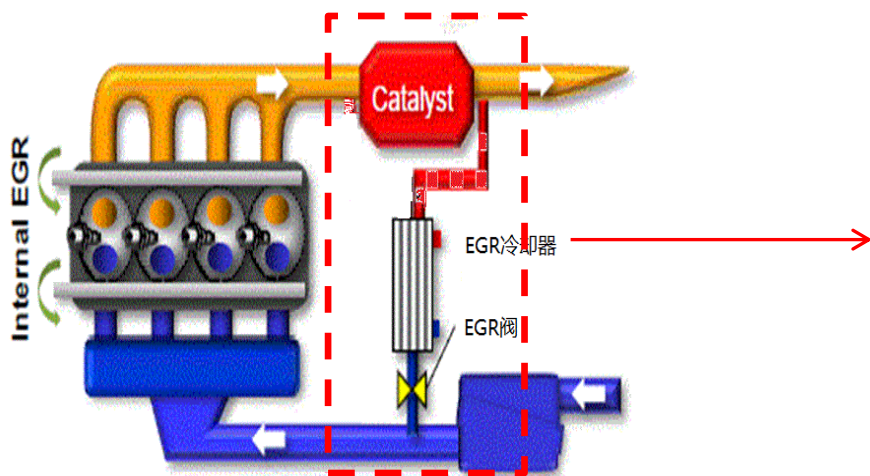


2. 汽油机仿真模型的建立

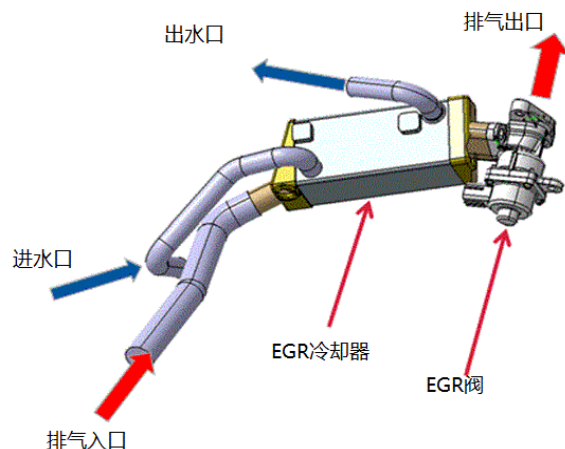
◆ 外部冷却EGR

将一定量的废气冷却后，重新引入到进气歧管内，与新鲜空气混合进入气缸。一方面，降低泵气损失，达到降油耗的目的；同时气缸内的氧含量与最高燃烧温度降低，减少 NO_x 排放。

$$\text{EGR率} = \frac{\text{EGR流量}}{\text{吸入空气量} + \text{EGR流量}}$$



外部EGR工作示意图



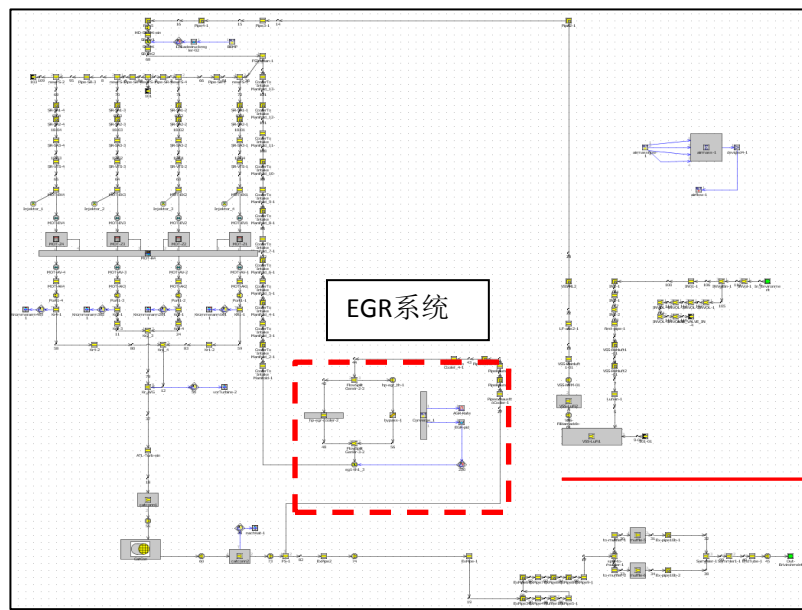
外部EGR结构组成

2. 汽油机仿真模型的建立

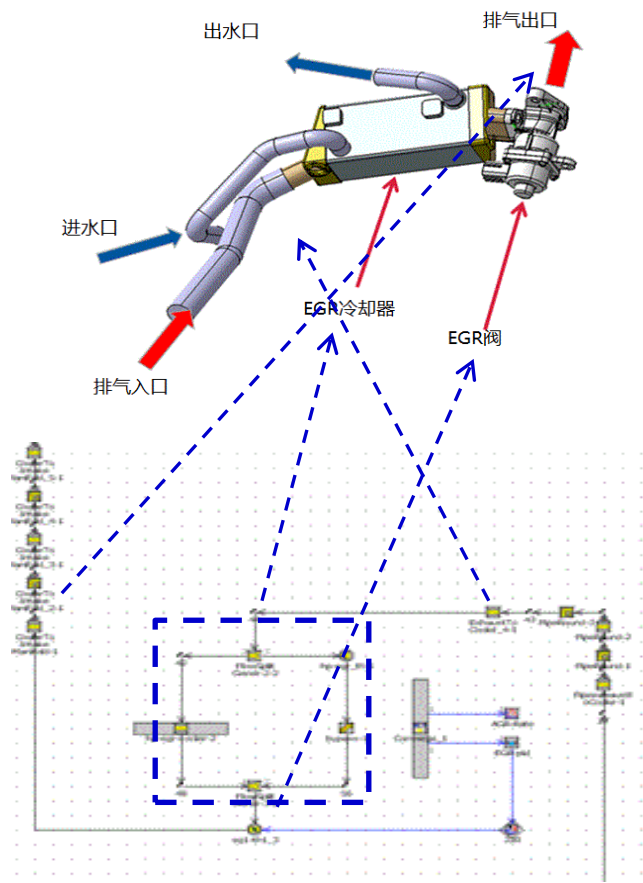
◆ 仿真基础模型建立

根据发动机实际工作过程及布置建立GT-POWER仿真模型，主要包括：
主要结构参数根据设计要求数据；对进排气系统GEM3D模型化；参考benchmark数据输入燃烧数据、FMEP等。

部分负荷模型：采用冷却EGR系统；参考benchmark及经验对燃烧参数等进行修正。



汽油机一维热力学仿真模型



3. 外部EGR仿真结果及分析

◆ 工况点的选取

根据整车NEDC循环工况，部分负荷采用EGR系统。仿真工况选取范围：
1000rpm-3500rpm；30%-80%负荷工况。

EGR系统选取原则：为保证燃烧稳定性，30%以下低负荷工况不使用EGR系统；
为兼顾汽油机动力性，高负荷工况不使用EGR。

本次仿真选取1500rpm/6bar，2500rpm/8bar，3500rpm/10.7bar三个工况点进行计算。

为保证自然吸气发动机低负荷燃烧稳定性，理论上EGR率 $<20\%$ ，残余废气系数 $<25\%$ 。

3. 外部EGR仿真结果及分析

◆ EGR率对汽油机燃烧参数影响

外部冷却EGR率对最佳点火提前角与燃烧持续期都有影响。在仿真燃烧模型中建立爆震模型，计算最佳点火提前角。随着EGR率的提高，废气的稀释作用与热容作用加强，燃烧速度逐渐变缓，燃烧持续期增长。依据经验，EGR率对燃烧持续期的影响，需要进行相应的修正：

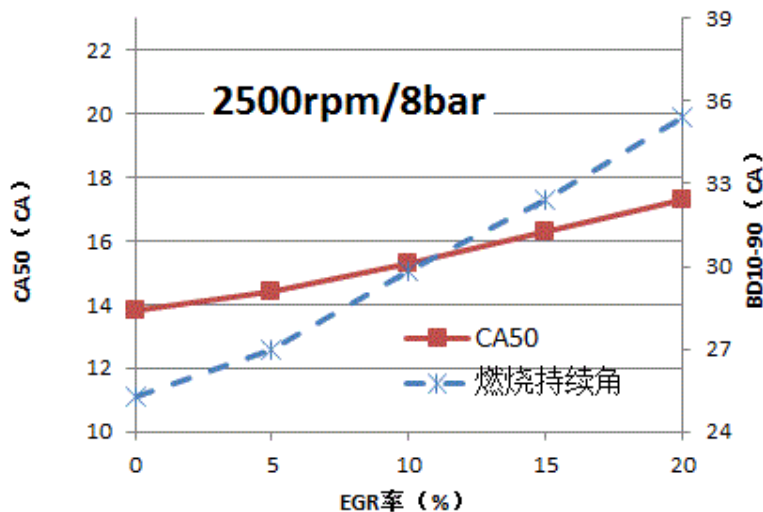
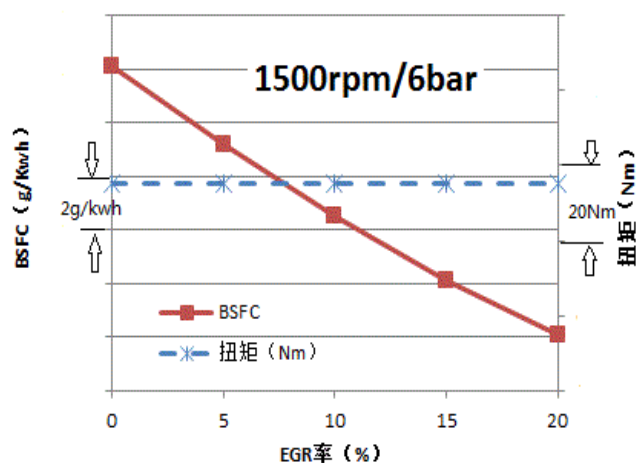


图4 EGR对燃烧参数影响

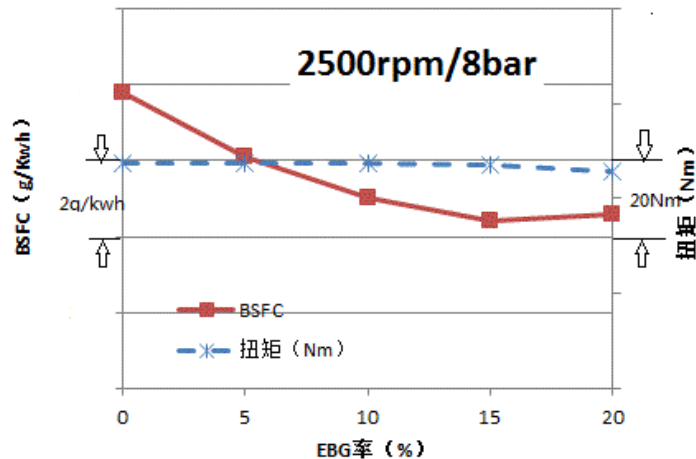
3. 外部EGR仿真结果及分析

◆ EGR率对汽油机油耗的影响

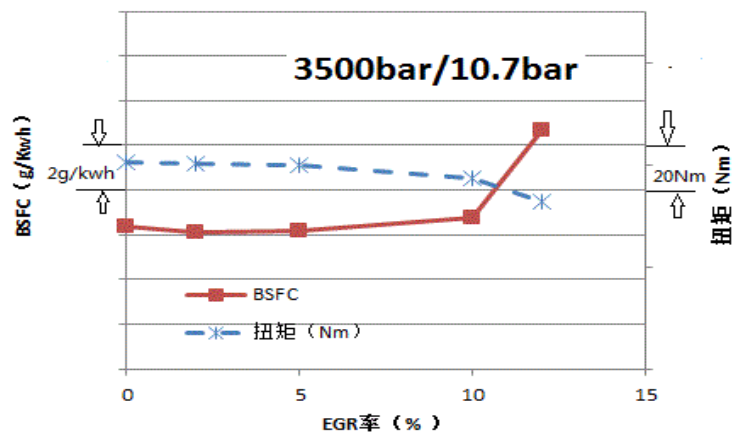
随EGR率上升，为保证动力性，节气门开度相应增加。下图为三个负荷工况点的EGR率对油耗与扭矩的影响。



中低负荷，油耗线性降低，在20%的EGR率油耗降低4.1%



中负荷，油耗呈现先降后升，在15%的EGR率油耗达到最低



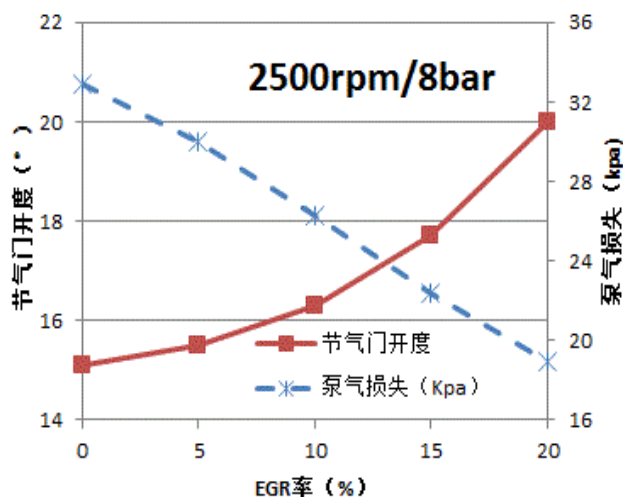
高负荷，扭矩降低，在2%的EGR率附件油耗达到最低

3. 外部EGR仿真结果及分析

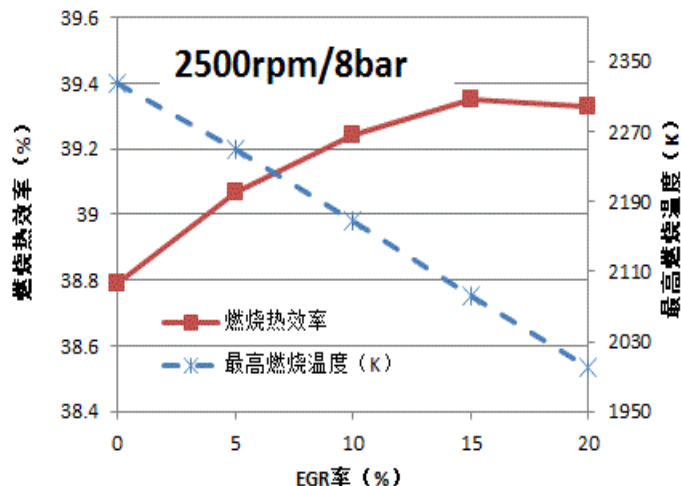
◆ EGR率影响-原因分析

以2500rpm/8bar负荷工况为例，随EGR率增加，为弥补动力性损失，节气门开度增加，降低了泵气损失，有利于改善油耗。

冷却EGR进入气缸，一方面加热缸内气体，加速燃油雾化，有利于燃烧；另一方面，EGR率增加，对缸内气体进行稀释，燃烧速度降低甚至恶化，影响燃烧热效率。



节气门开度与泵气损失

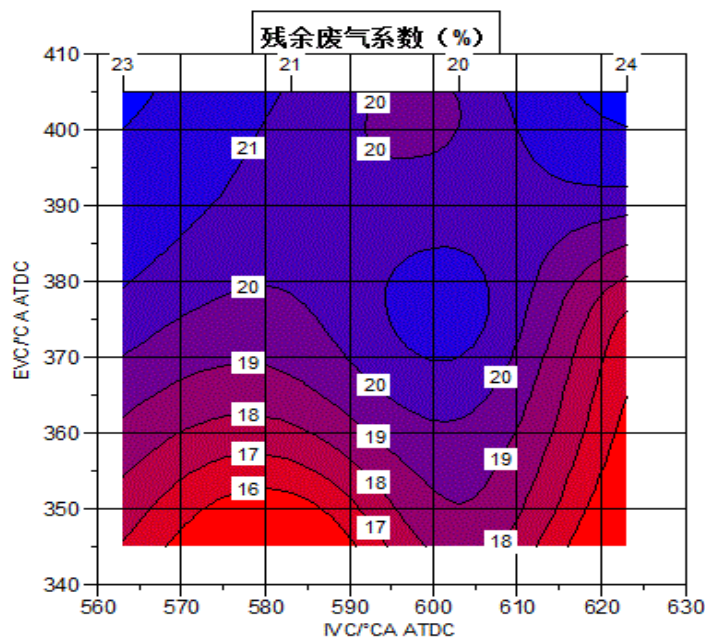


燃烧热效率与最高燃烧温度

3. 外部EGR仿真结果及分析

◆ 部分负荷最低油耗计算

计算部分负荷工况点最低油耗，对进排气VVT、EGR率进行DOE扫点优化运算，在满足燃烧稳定性与动力性前提下，选取最低油耗，并确定此工况下相应的进排气VVT、燃烧提前角以及EGR率等参数，以1500rpm/6bar工况点为例。



残余废气系数map图

保证残余废气系数低于25%下，确定不同VVT下（某EGR率）最低油耗；同样的方法对比不同EGR率下最低油耗，确定1500rpm/6bar工况点最低油耗以及EGR率等参数。

4. 总结与展望



◆ 总结

1. 高压压缩比自然吸气汽油机，在部分负荷工况采用外部EGR技术，能够有效降低泵气损失（节气门开度增加），改善油耗。当 EGR率过大，会影响燃烧稳定性，同时，燃烧速度变缓、恶化，持续期增加，降低燃烧热效率。
2. 通过仿真DOE优化计算部分负荷油耗，中低负荷工况1500rpm/6bar可改善油耗4%，中负荷2500rpm/8bar能够改善油耗2%，高负荷工况必须兼顾动力性，油耗改善的潜力小。
3. 仿真DOE优化方法预测部分负荷油耗map，能够为试验提供各工况进排气VVT、EGR率、燃烧提前角等选取建议，减少试验工作量。

◆ 展望

通过后续试验进一步验证仿真模型与仿真方法求解的合理性、可行性。