

# 增压汽油机部分负荷油耗及瞬态响应 预测方法研究



东风汽车公司技术中心  
2016年11月23日 北京

一、研究背景

二、基础仿真模型的建立与标定

三、部分负荷油耗预测

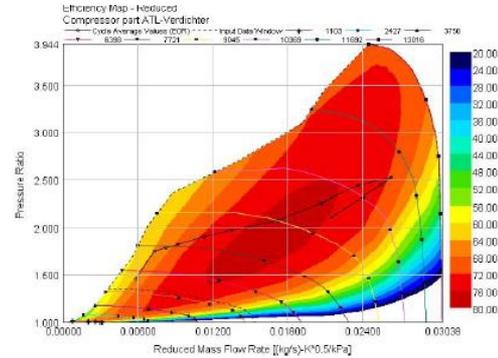
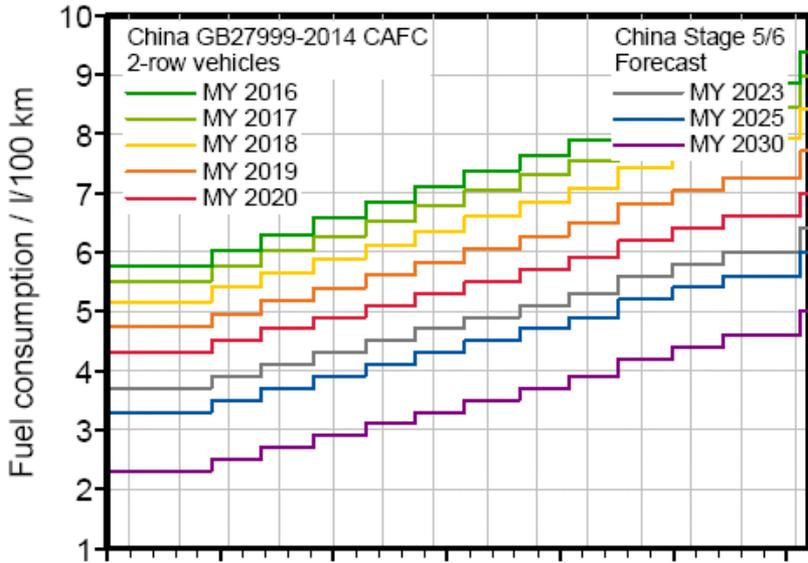
四、瞬态响应预测

五、增压器执行器改进选型

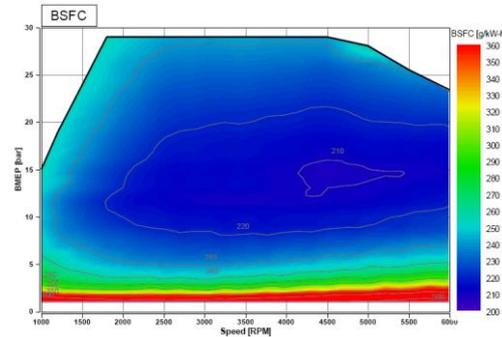
六、总结与展望

# 一、研究背景——必要性

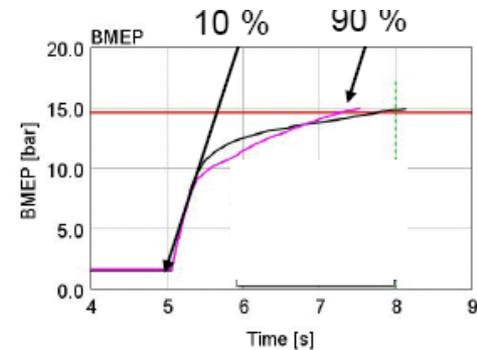
随着油耗法规的不断加严，各种降油耗技术（米勒循环、EGR、VVL、VCR等）不断被采用。除了要关注动力性达成和增压器匹配的合理性外，还需要定量评价各项技术或组合的降油耗效果，这就需要进行**油耗MAP**的仿真。另外，从整车驾驶性考虑，还要进行**瞬态响应**仿真。



发动机与压气机联合运行线



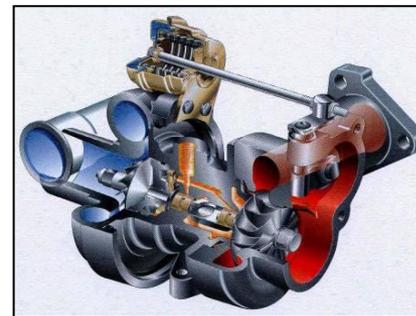
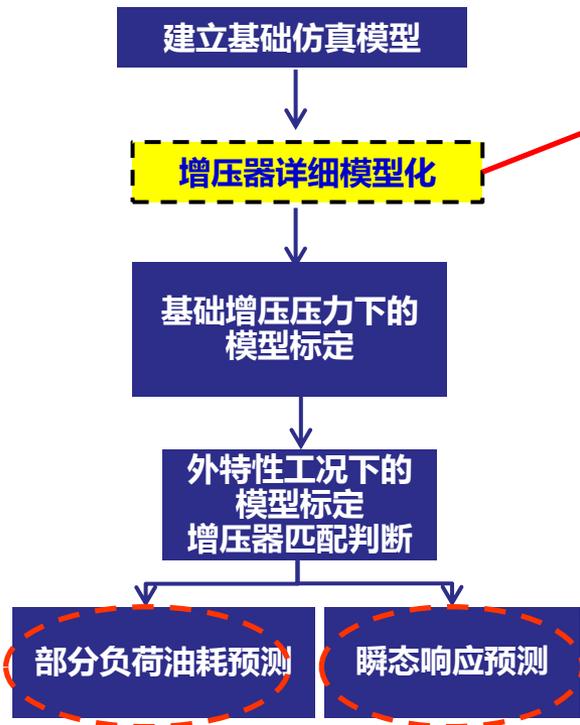
万有特性油耗MAP



扭矩响应曲线

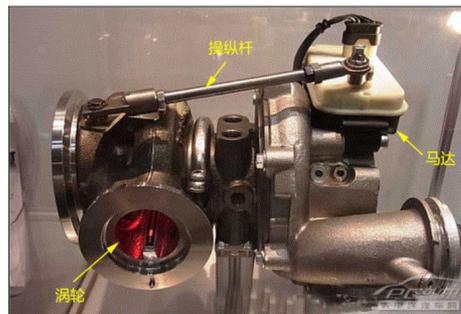
本文以某款实际增压汽油机（气动式执行器）为例，讲述部分负荷油耗及瞬态响应预测方法的建立过程。

## 论文思路



发展趋势

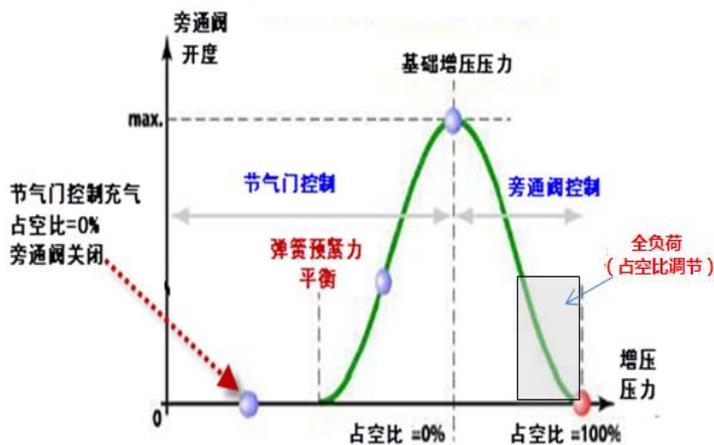
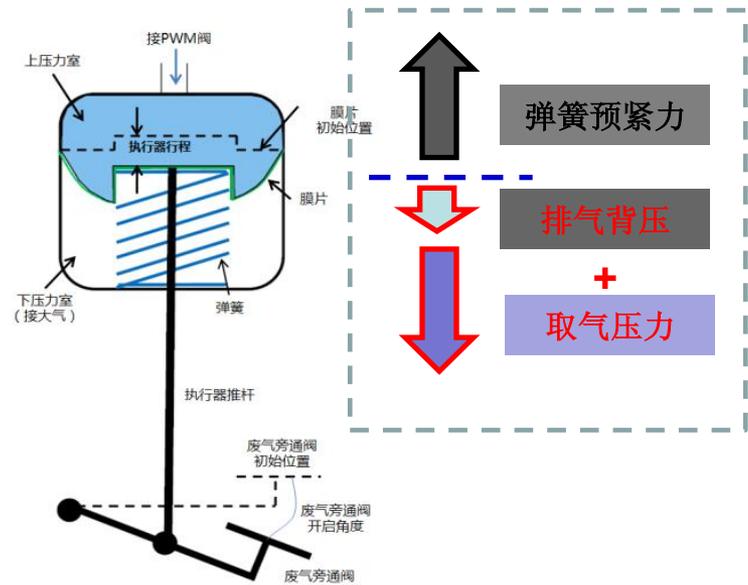
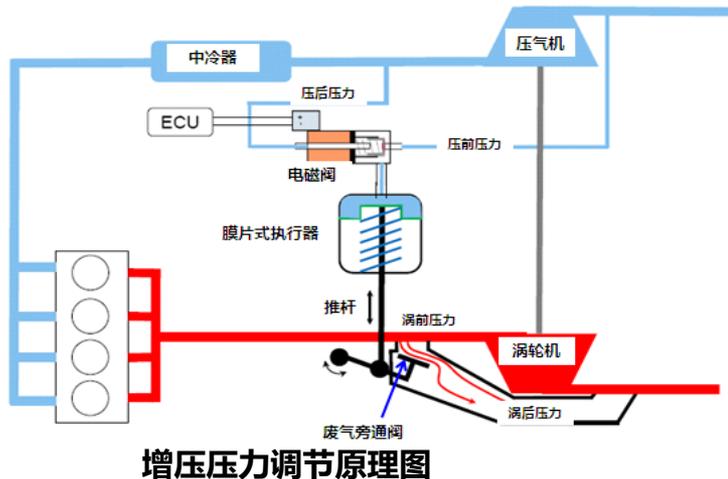
电驱动执行器



●靠电动马达调节旁通阀开度，按需调节。不需要详细模型化。

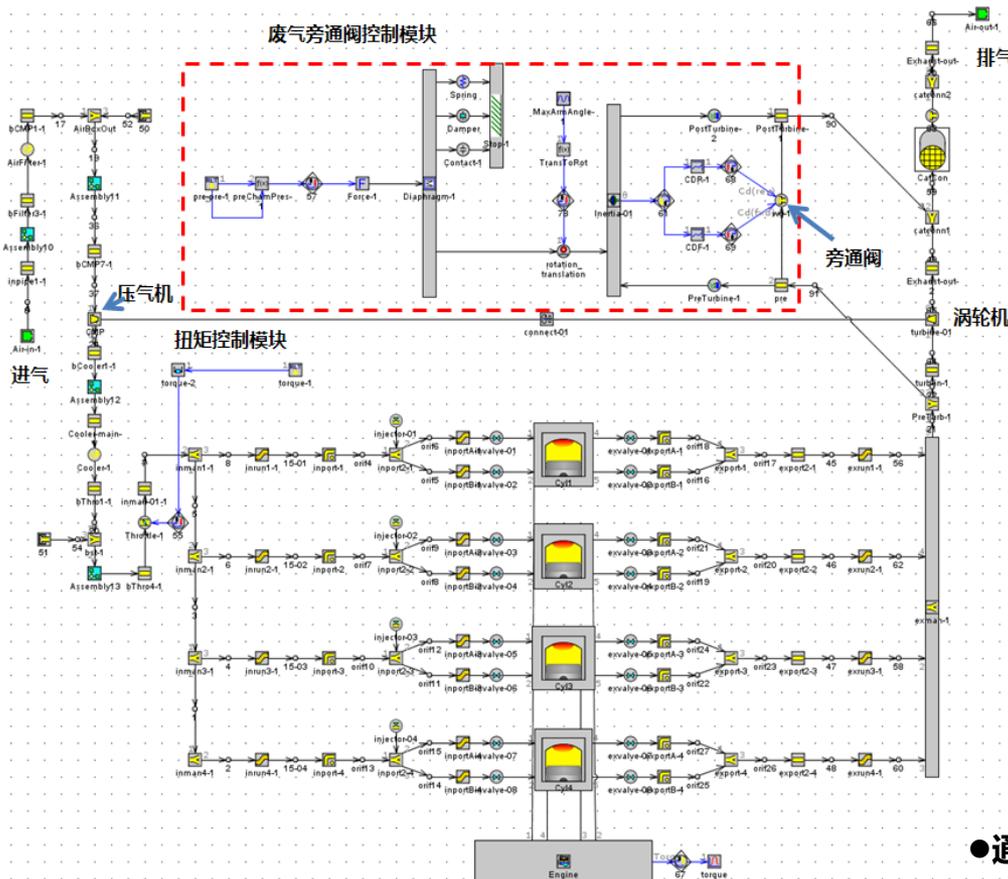
# 一、研究背景——气动式增压器工作原理

发动机转速一定时，当节气门开度逐渐增加，压后压力和涡轮前压力也不断增加，此时初始电磁阀占空比为0，真空罐的压力完全为压后压力。当作用在膜片上的力+作用在废气旁通阀片上的力>弹簧预紧力，废气旁通阀开启。当节气门开度逐渐增大至100%时，此时的旁通阀开度最大，对应的增压压力称为基础增压压力。



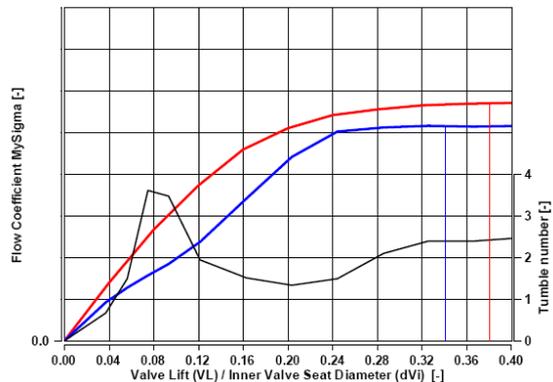
## 二、基础仿真模型的建立与标定

### ◆ 基础仿真模型建立



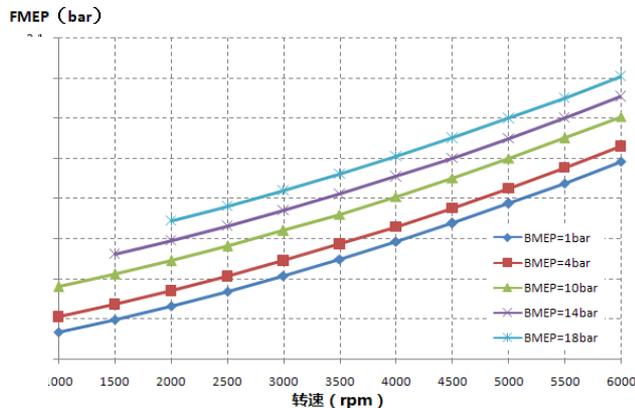
GT-POWER热力学性能仿真模型

### 进排气道流量系数



●通过气道稳流试验测量得出

### FMEP

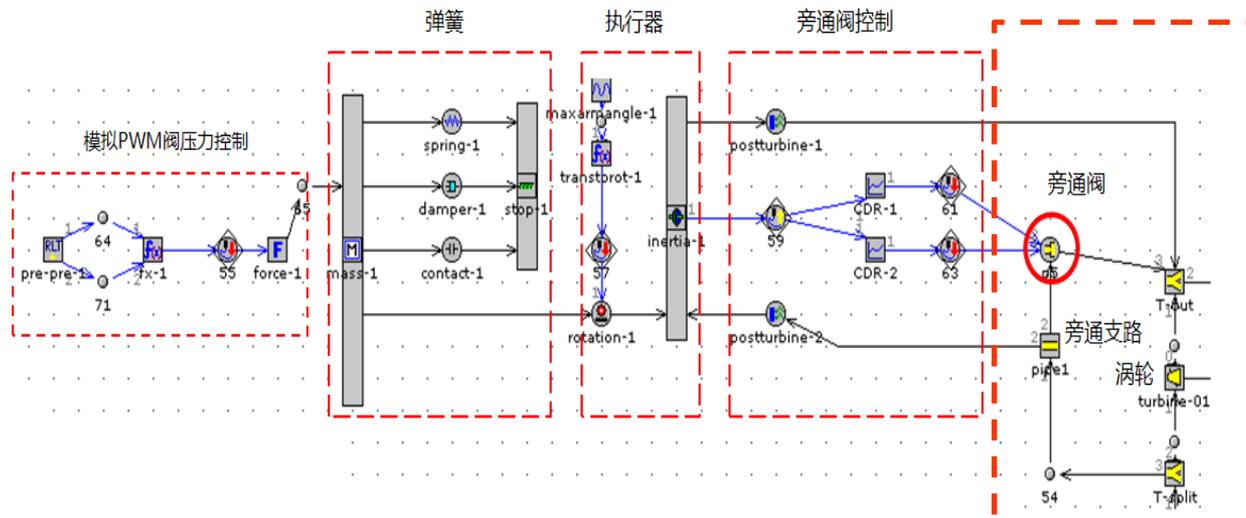


●通过燃烧分析仪测量IMEP反算并通过以下公式拟合得出。

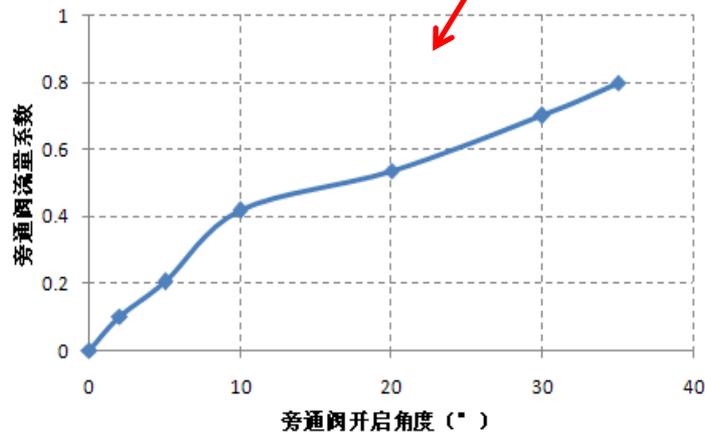
$$FMEP = FMEP_{const} + A \cdot BMEP + B \cdot c_{p,m} + C \cdot c_{p,m}^2$$

### 气动式废气旁通阀模型化

### 涡壳及旁通阀结构模型化



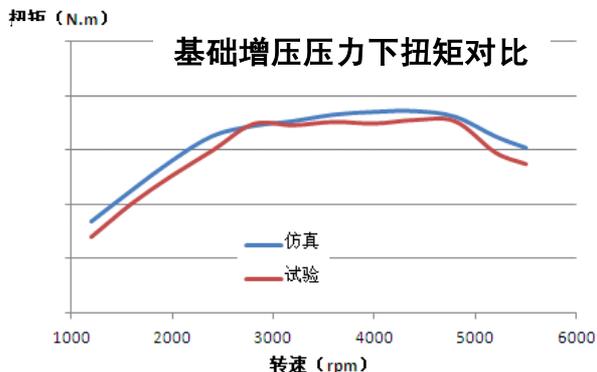
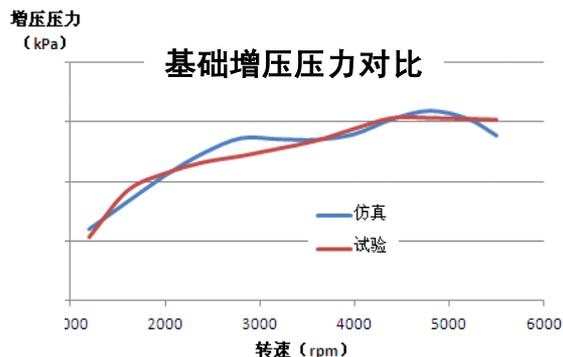
●最终要确定的是某一特定工况下流过旁通支路的废气比例！



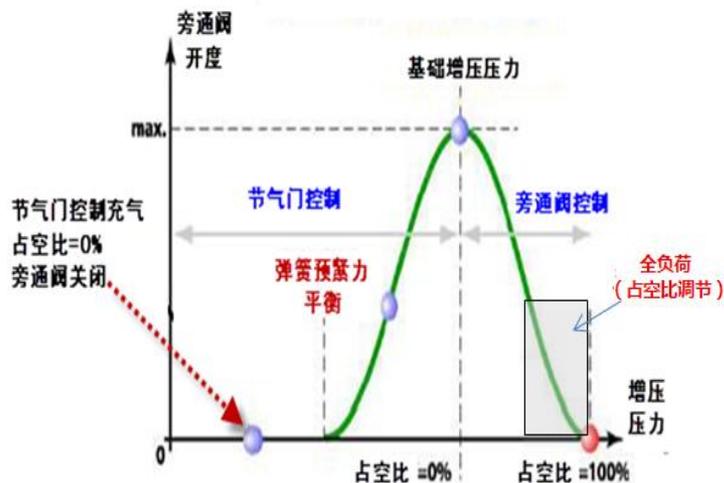
旁通阀流量系数与开启角度关系

### ◆ 基础模型的标定（基础增压压力）

对于基础模型，最重要的是关于基础增压压力的标定。某一转速下，当节气门开度达到100%，占空比为0，旁通阀达到最大开启状态，此时的压后压力即为基础增压压力。



基础增压压力与扭矩对比

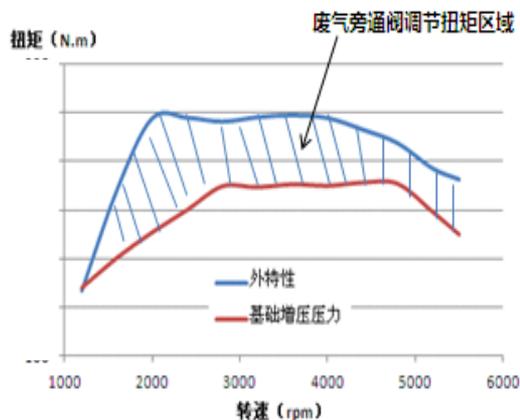


基础增压压力及其对应扭矩的仿真与试验结果对比：两者结果较为接近，误差在3%范围内。

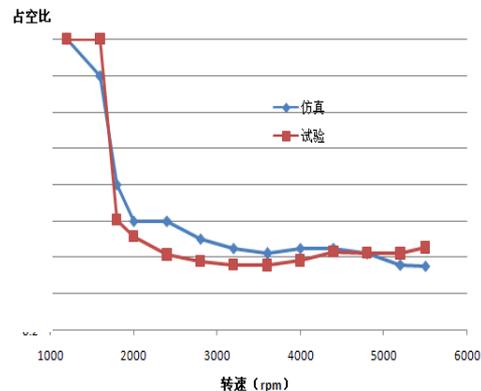
### ◆ 基础模型的标定（外特性）

调节电磁阀占空比，对比仿真与试验达到外特性扭矩时的占空比大小。

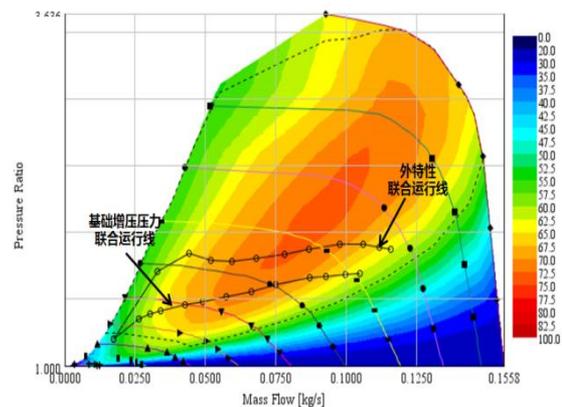
仿真达到试验外特性扭矩



发动机外特性扭矩



仿真与试验占空比对比



增压器匹配联合运行线

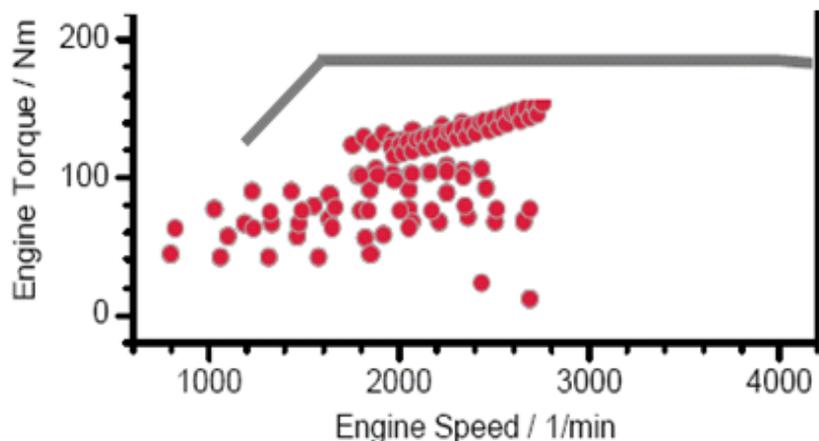
- 达到外特性目标扭矩下，仿真与试验测量得到的电磁阀占空比大小接近，趋势一致。
- **增压器匹配**：达到目标动力性，外特性匹配联合运行线满足要求。

### 三、部分负荷油耗预测

#### ◆ 部分负荷模型的设置

工况点选取：对搭载某车型的NEDC循环工况点统计计算，选取1600rpm/80Nm，2000rpm/80Nm，2000rpm/120Nm以及2400rpm/120Nm四个工况点进行油耗仿真。

部分负荷重要参数输入：CA50、燃烧持续期、空燃比等均按照试验测量数据。（开发初期可参考对标机型）

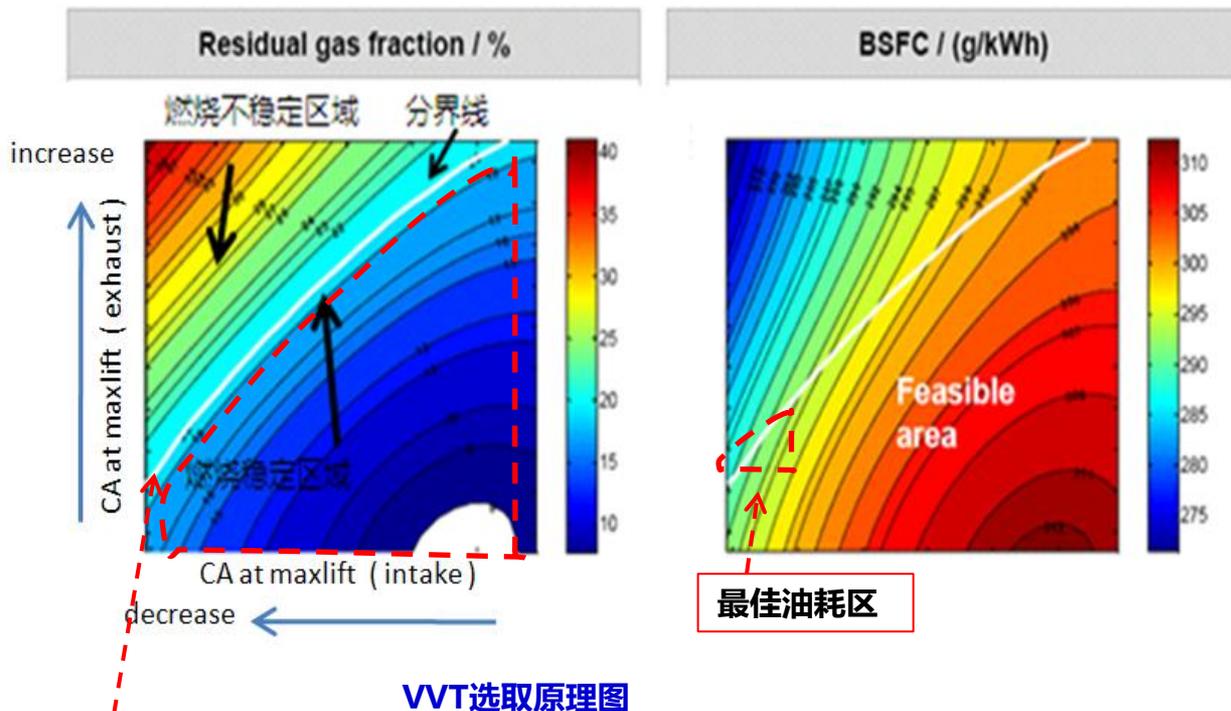


### 三、部分负荷油耗预测

#### ◆ 部分负荷油耗VVT-DOE优化计算

计算方法：基于扭矩目标，对部分负荷模型进行进、排气VVT-DOE优化计算。

选取原则：在满足燃烧稳定的前提下（残余废气系数上限值为20%），选取最低油耗点。同时也要考虑进气歧管温度限制以及兼顾驾驶稳定性（要求VVT过渡平稳）。



残余废气系数低于20%的燃烧稳定区

VVT选取原理图

### ◆ 瞬态响应模型设置

工况选取：1800rpm，即增压发动机最大扭矩对应的最低转速。

判断标准：选取10%~90%负荷的响应时间。

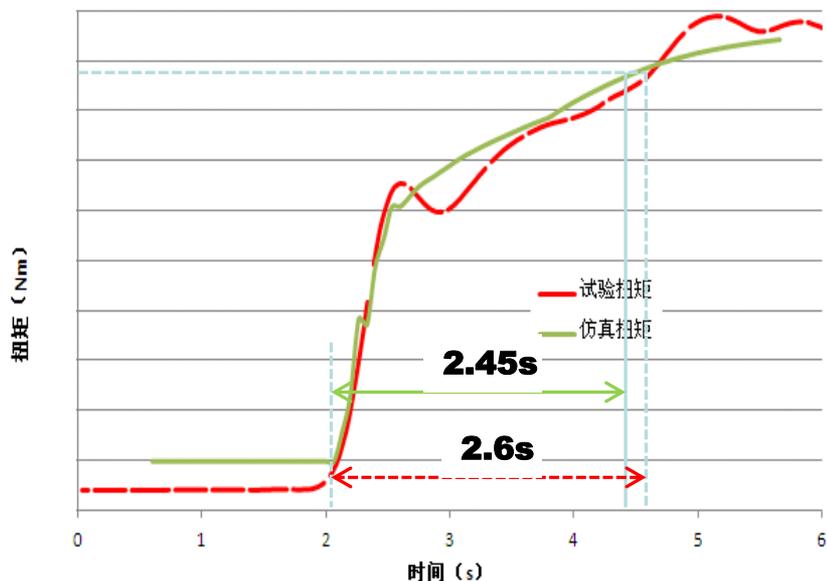
模型设置：模型中节气门、废气旁通阀等设置为瞬态边界。燃烧等参数参照试验数据或对标机型，VVT根据前面所述的部分负荷油耗仿真结果进行输入。

### ◆ 瞬态响应计算结果对比

工况选取：1800rpm，即增压发动机最大扭矩对应的最低转速。

判断标准：10%~90%负荷的响应时间低于3s。

**增压器选型**：仿真与试验计算结果相差0.15s，均达到3s响应目标，增压器满足要求。



试验与仿真的瞬态响应时间对比

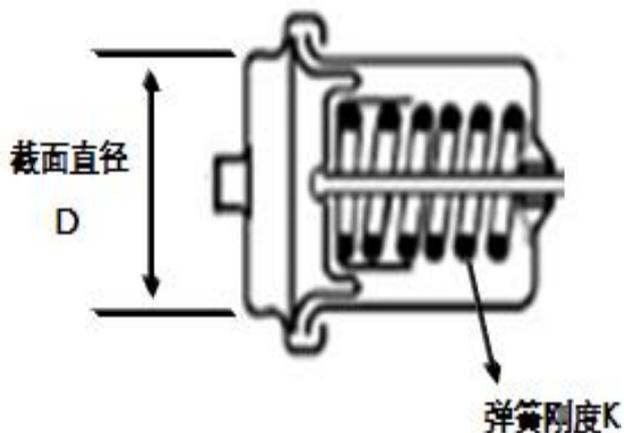
采用废气旁通阀详细建模方法，在对基础模型标定后，能够较为准确的预测部分负荷油耗及瞬态响应时间。

### ◆ 增压器执行器改进

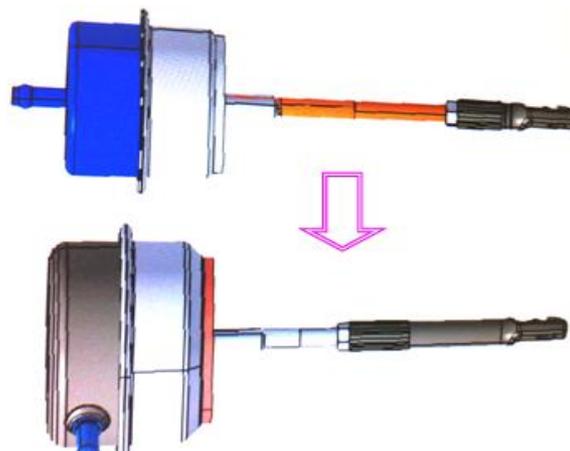
试验问题：采用原执行器，试验过程中出现扭矩波动现象。

改进方向：对执行器弹簧刚度与执行器压力腔截面进行优化。

具体措施：弹簧刚度增加，降低了扭矩波动；同时为防止部分负荷油耗增加，加大执行器截面直径，降低背压，改善油耗。



(a) 优化设计参数

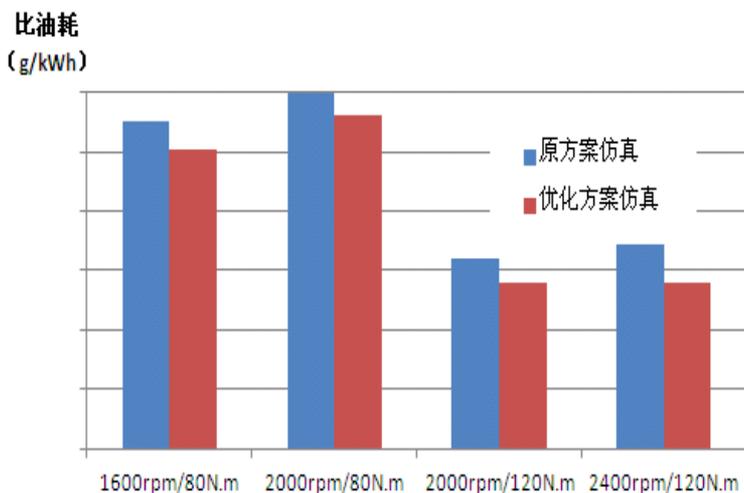


(b) 优化设计方案

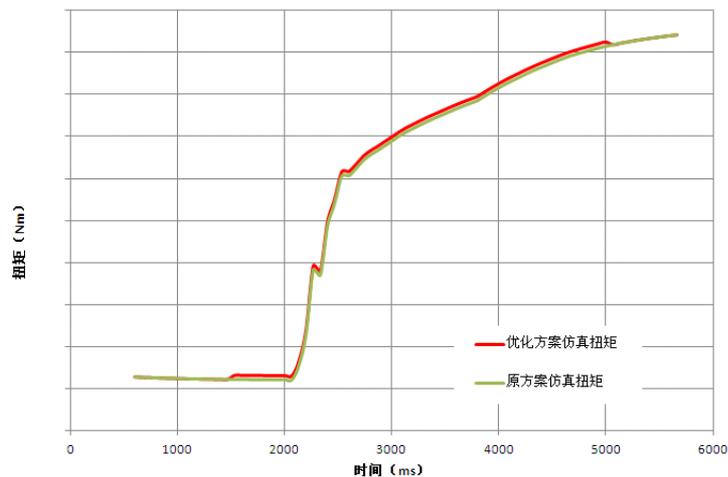
### 废气旁通阀优化设计方案

### ◆ 增压器执行器改进—仿真结果

- 部分负荷工况点对比：采用改进方案，工况点油耗均降低1%左右。
- 瞬态响应对比：优化方案的瞬态响应略有改善，约改善0.05s。



特征工况点比油耗对比



1800rpm瞬态响应时间对比

### ◆ 总结

1. 通过对某款气动式执行器的增压器详细模型化，能够较为准确地预测增压汽油机的动力性、油耗及响应性。
2. 发动机开发初期，基于动力性匹配、特征工况点油耗以及瞬态响应特性等多重目标来指导增压器及其它部件的优化选型设计，更具有可靠性与合理性。

### ◆ 展望

后续将建立与整车的联合仿真模型，考察整车实际驾驶性能及NEDC循环工况下油耗及动力性变化。