



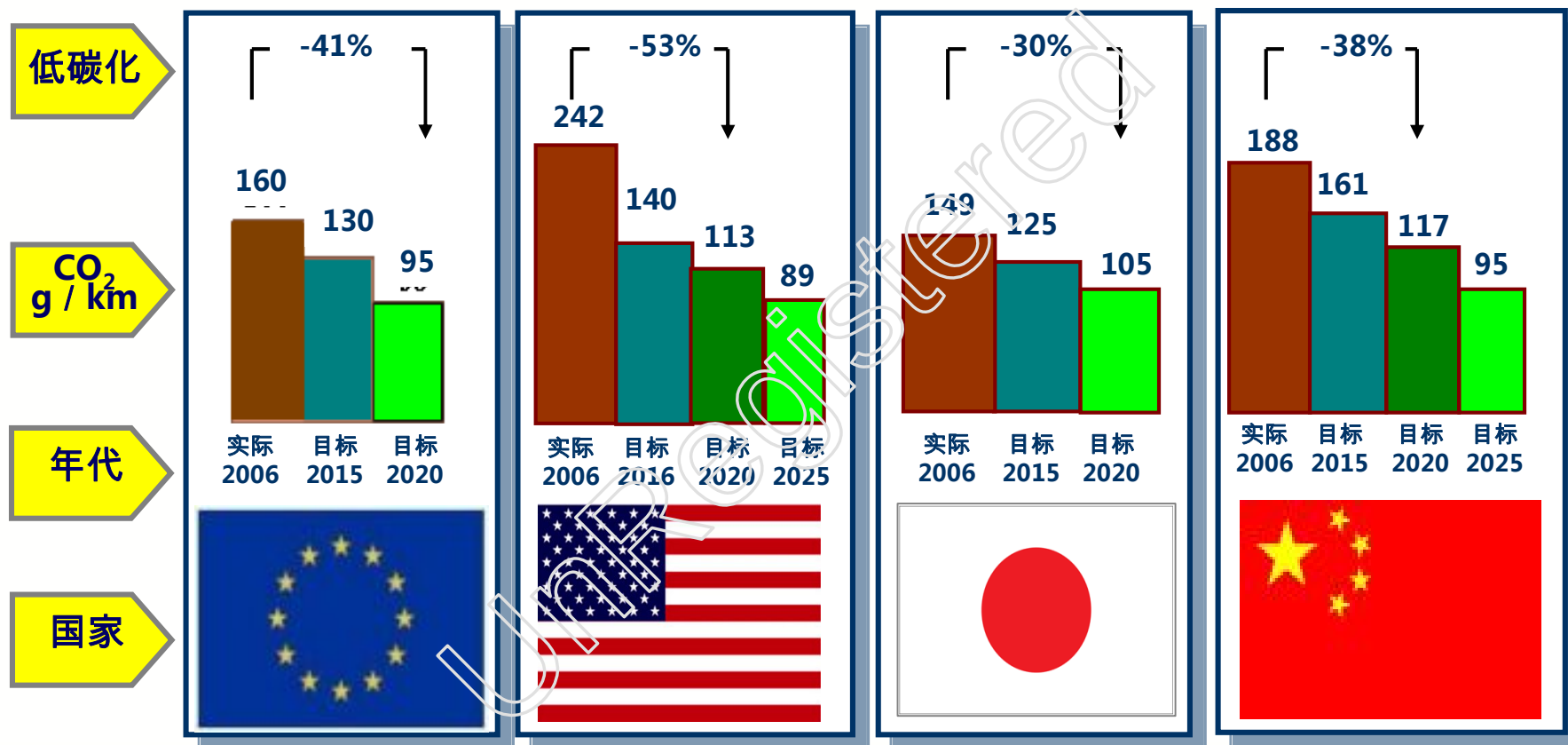
中国一汽技术中心

# 发动机开发面临的挑战和**CAE**的应用

一汽技术中心 李康

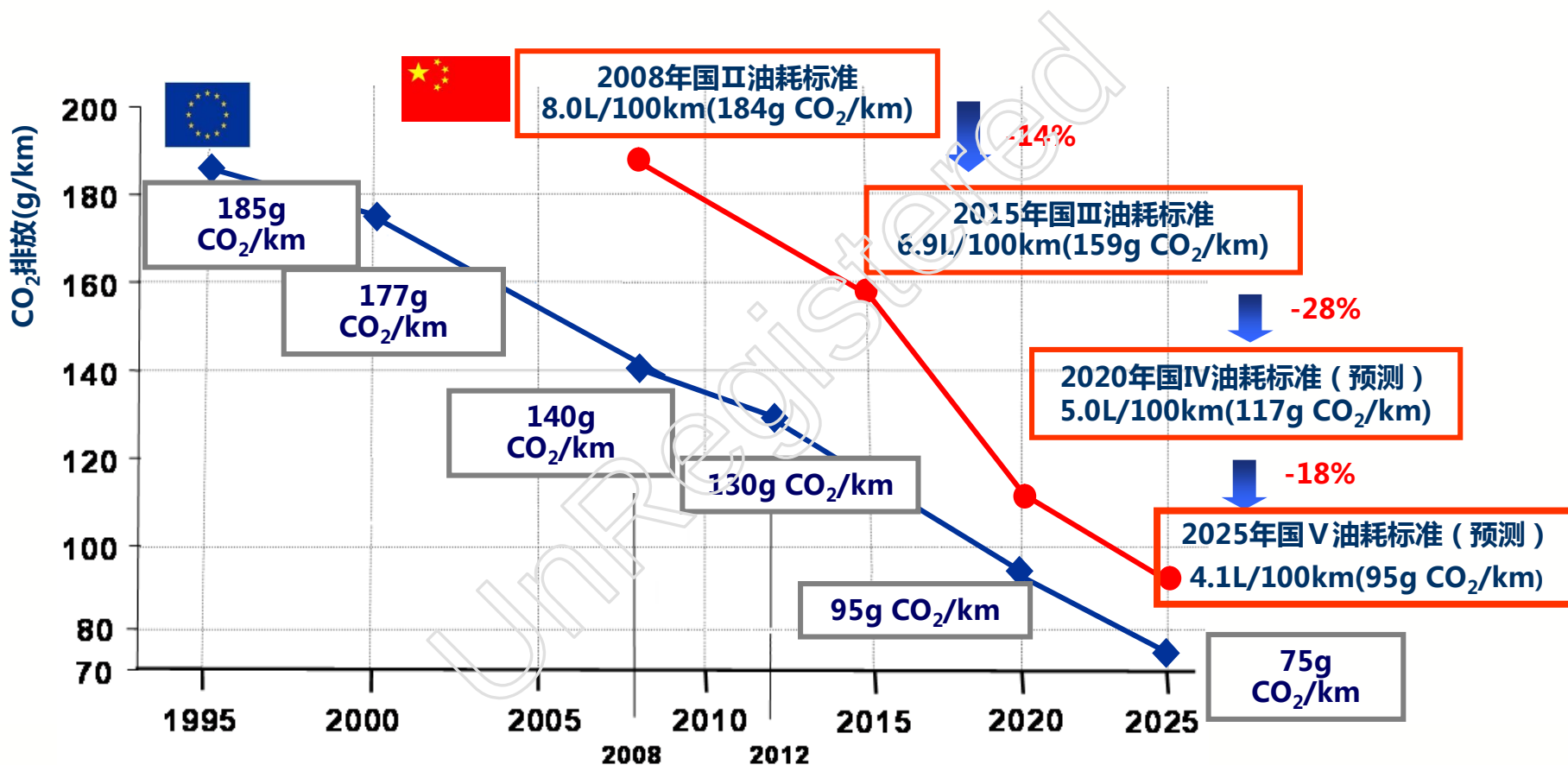
**2013-11-12** 北京

## 中国乘用车燃油经济性目标与国际水平对比



- 发展：各汽车大国均制定了严格的乘用车CO<sub>2</sub>排放国家法规
- 挑战：未来十年全球汽车工业需应对的新挑战是CO<sub>2</sub>排放法规

## 中欧油耗近期、中期和长期目标对比



■ 2015-2020期间油耗目标快速下降

## 中国乘用车燃油经济性目标



国务院关于印发节能与新能源汽车产业  
发展规划（2012—2020年）的通知  
国发〔2012〕22号



乘用车企业平均燃料消耗量核算办法

中华人民共和国工业和信息化部  
中华人民共和国国家发展和改革委员会  
中华人民共和国商务部  
中华人民共和国海关总署  
国家质量监督检验检疫总局

公告  
2013年 15号

### 燃油经济性目标

- ◆ 2015年  
整体 6.9L/100km  
节能型 5.9L/100km
- ◆ 2020年  
整体 5.0L/100km  
节能型 4.5L/100km

### 产销规模

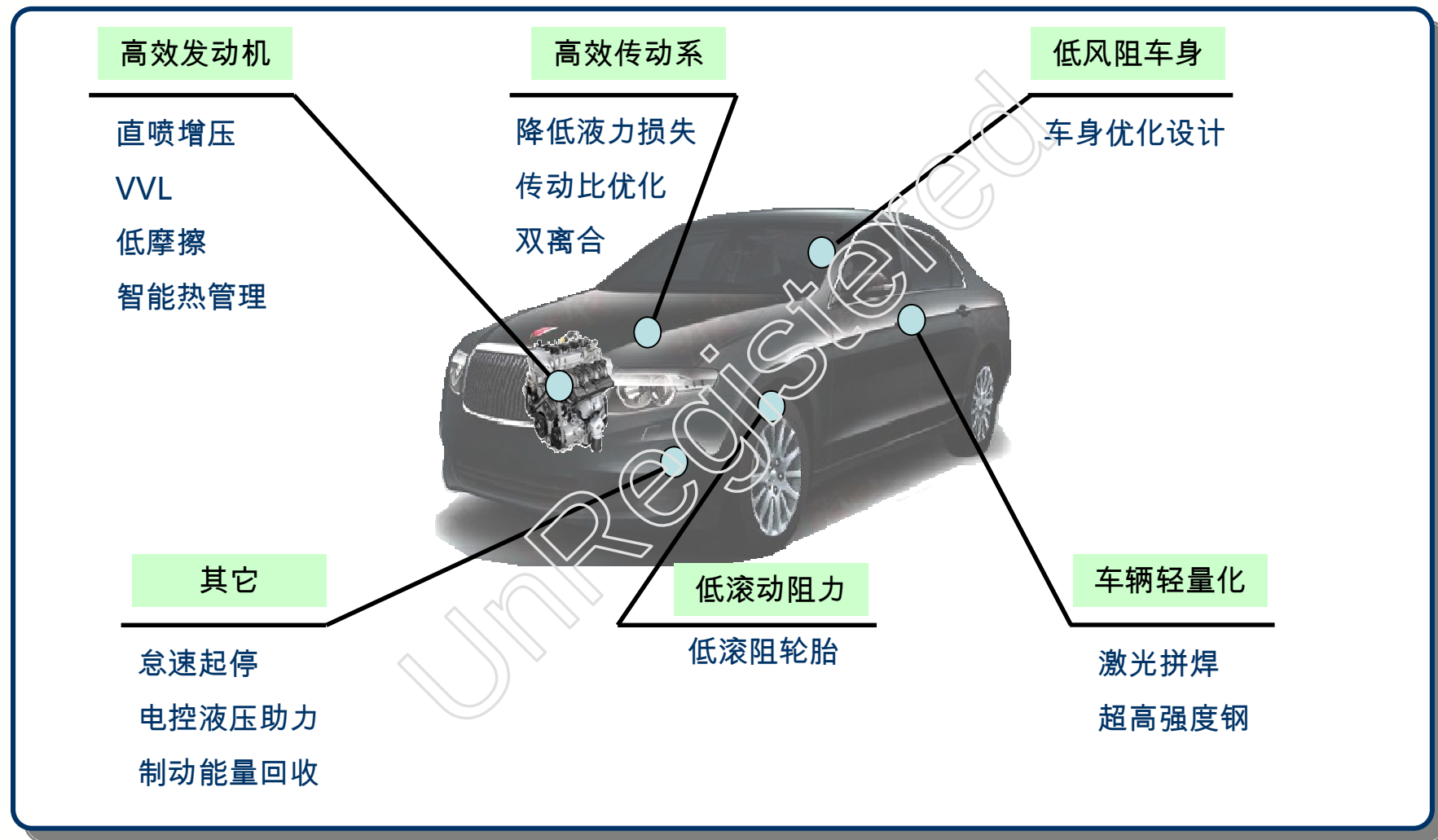
- ◆ 2015年，EV&PHEV  
累计50万辆
- ◆ 2020年，EV&PHEV  
产能 200万辆  
累计 500万辆

### 续驶里程

- ◆ 2015年，纯电模式  
EV 150km  
PHEV 50km

- 国务院制定《节能与新能源汽车产业发展规划》，提出乘用车燃油经济性目标
- 五部委发布《乘用车企业平均燃料消耗量核算办法》，提出乘用车企业达标管理

## 整车节能技术路线



■ 全面应用节能技术，保证较低的油耗

## 传统动力 — 发动机技术

### 动力

- 升功率：  
55~75 kW / L
- 升扭矩：  
100~150 N.m / L

### 排放

- 满足国际最严格的国V排放

### 技术

- 电控可变进、排气门开闭
- 电控可变进气流量
- 电控可变做功气缸数

### 油耗

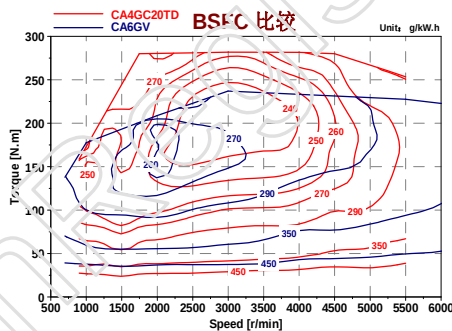
- 综合油耗突破 7.2L/100km



CA4GC20TD



CA6GV2.5PFI

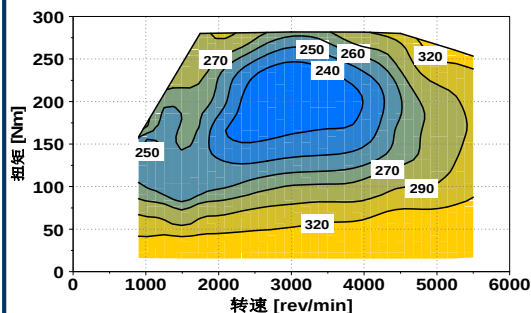


- 研发四缸增压直喷发动机，实现低碳化、高动力、轻量化

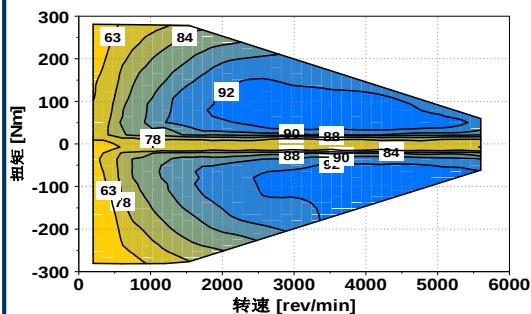
# 乘用车混合动力节能技术

## 混合动力专用发动机

### 传统发动机特性曲线

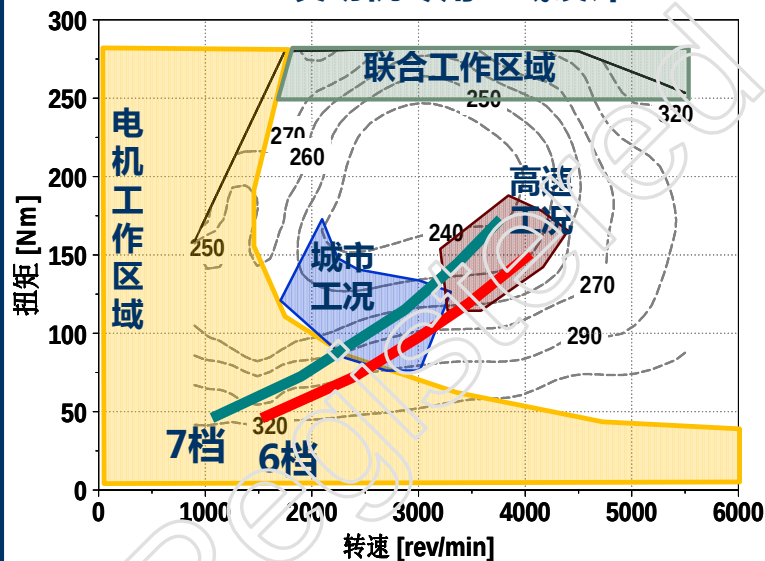


### 电机特性曲线



- 根据电机和发动机的特性，定义混合动力发动机的高效工作区域，进行专用开发

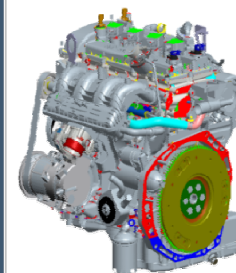
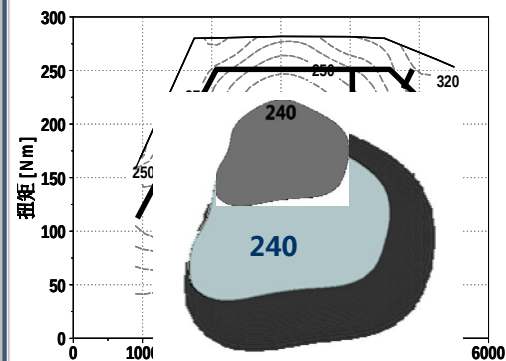
### TGDI发动机专用区域设计



### 发动机专用区域改进技术措施

- 提高压缩比：10.3 → 11.3
- 提高滚流比：1.8 → 2.5
- 气门型线：包角、升程降低10%
- 增压器：匹配增压器低速效率增加10%

### 发动机高效区域转移



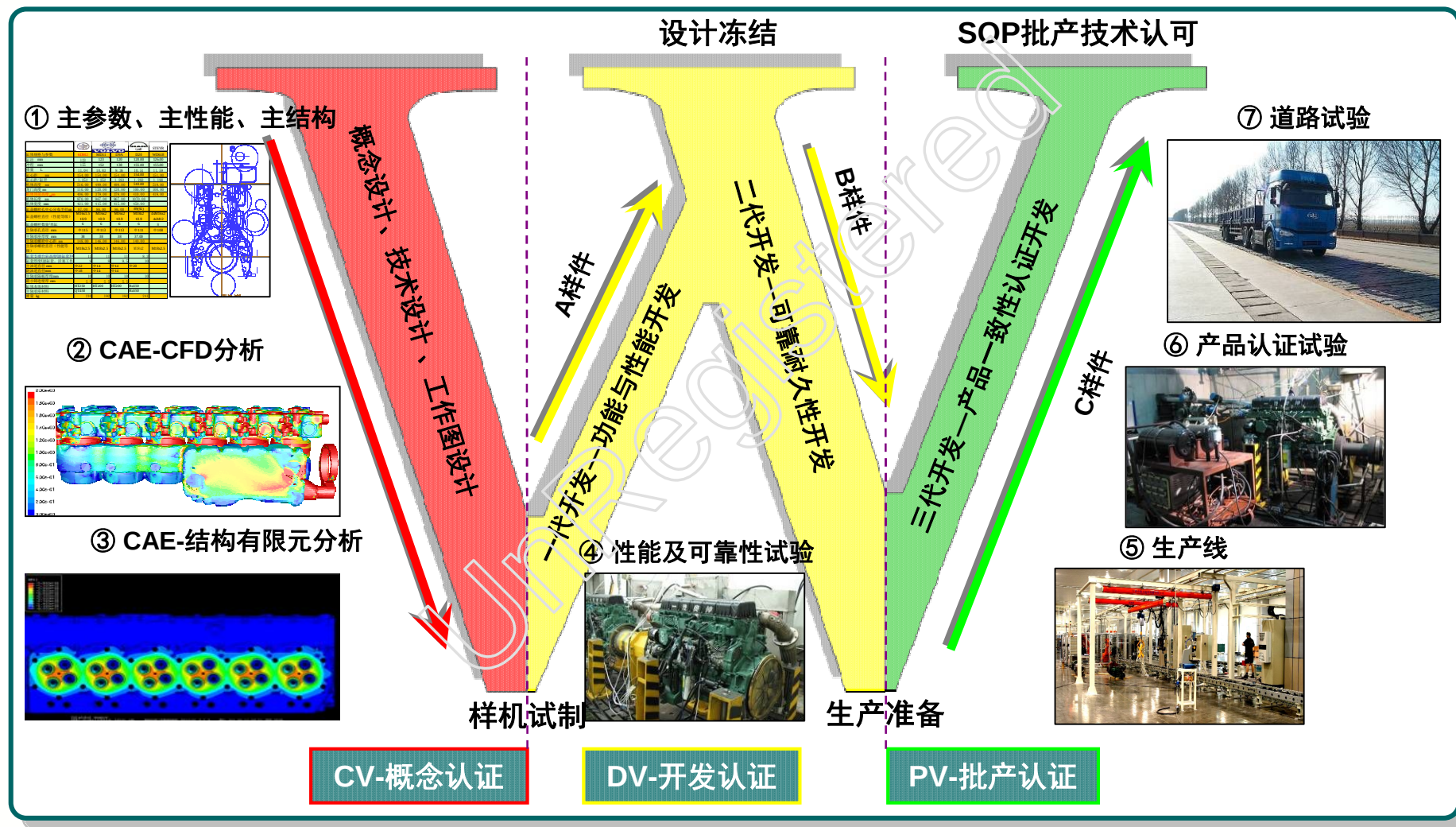
排量：2.0TGDI  
功率：145kW  
扭矩：280Nm

- 混合动力专用发动机高效区下移并扩大3%
- 高效区覆盖混合动力整个使用区域

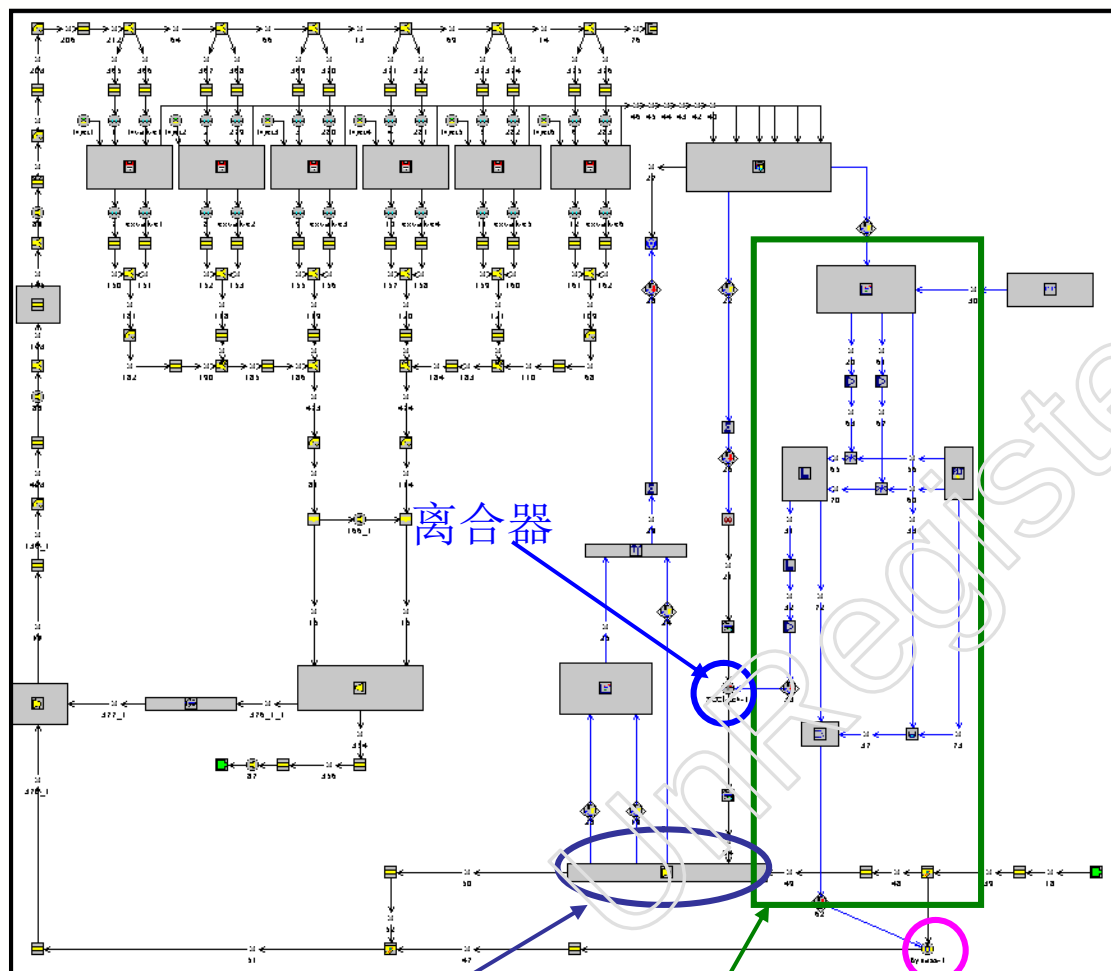
■ 根据混合动力特点，进行发动机性能专用化开发，进一步降低整车油耗5%

# 汽车发动机产品开发体系

## 发动机开发流程



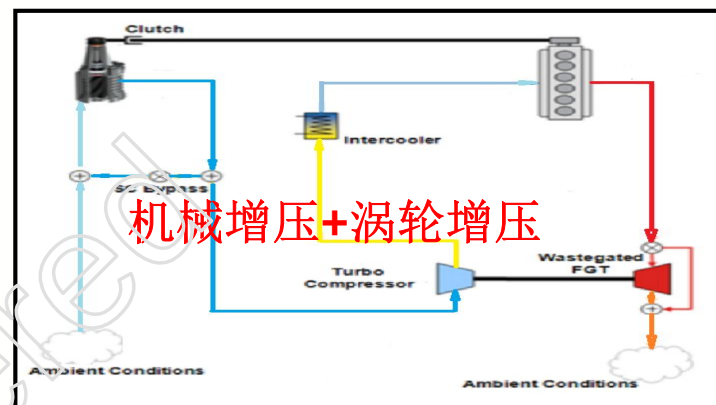
# 双增压在柴油机中应用



机械增压器

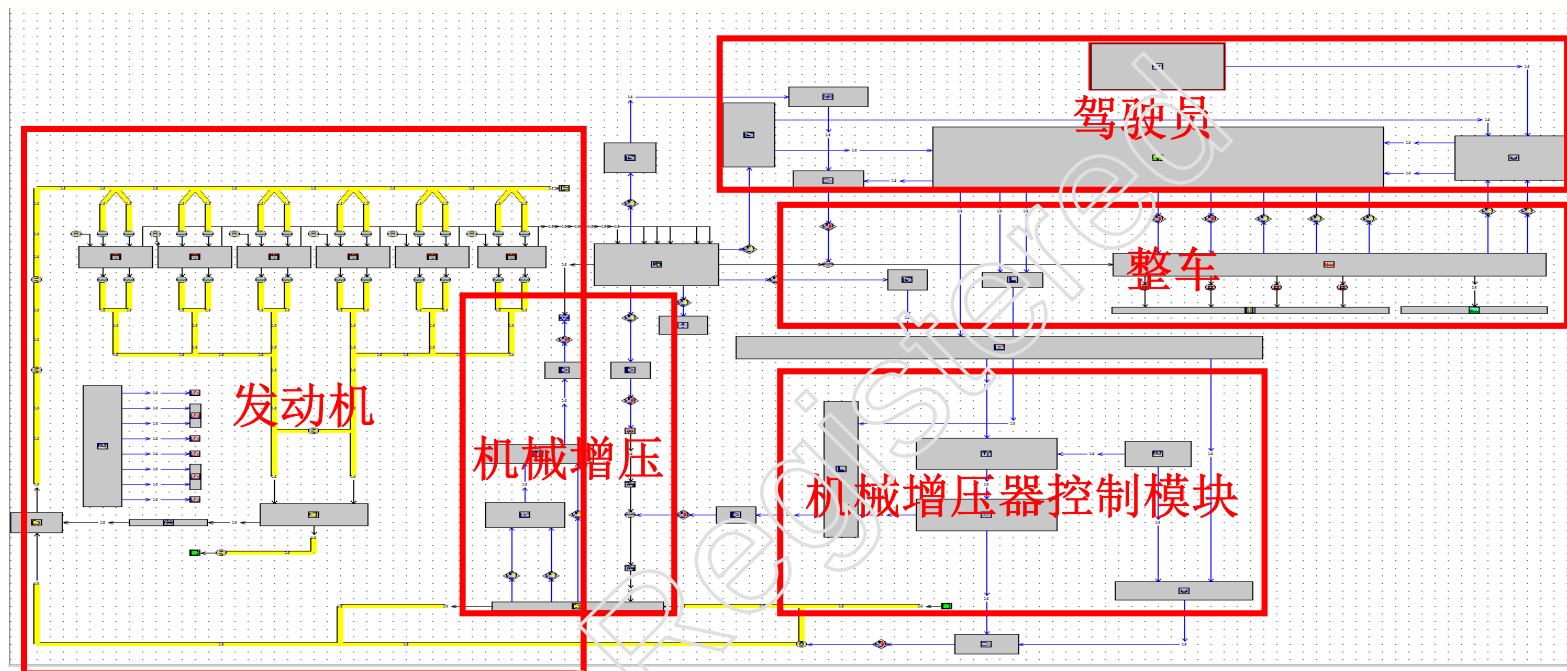
离合器及旁通阀控制

旁通阀



- 涡轮增压器一直处于工作状态，当发动机进气压力不足时，机械增压器开始工作，否则一直脱开，旁通阀关闭
- 机械增压器和涡轮增压同时工作时，发动机进气压力会很高，为此以进气压力为控制目标，利用PID调节旁通阀的开度以控制发动机进气压力

整车循环模拟计算方法:



传统方法: **运动学方法**

优势: 计算快

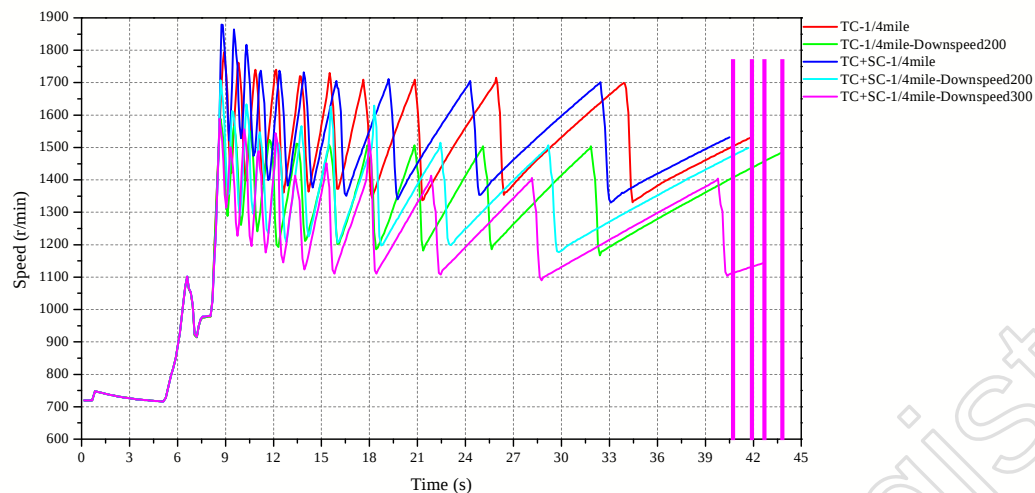
不足: 不能考虑换气过程的瞬态特性, 仅寻找Map图

最新方法: **动力学方法**

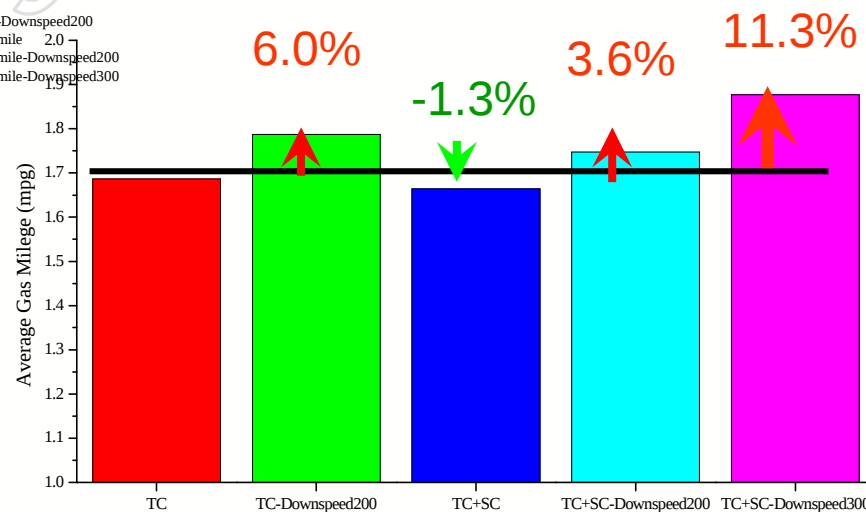
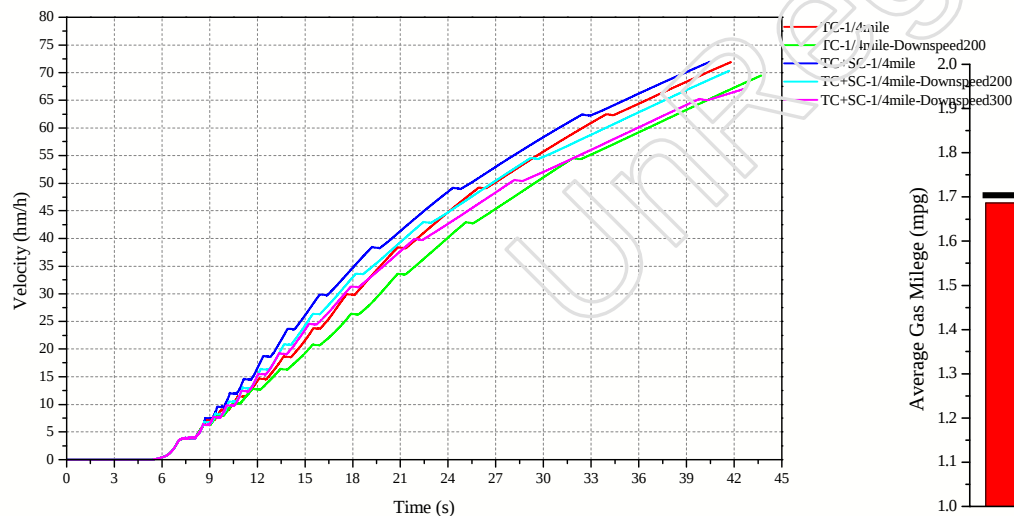
不足: 计算慢

优势: 可以考虑换气过程的瞬态特性, 用详细发动机模型结合整车模型进行动力平衡计算

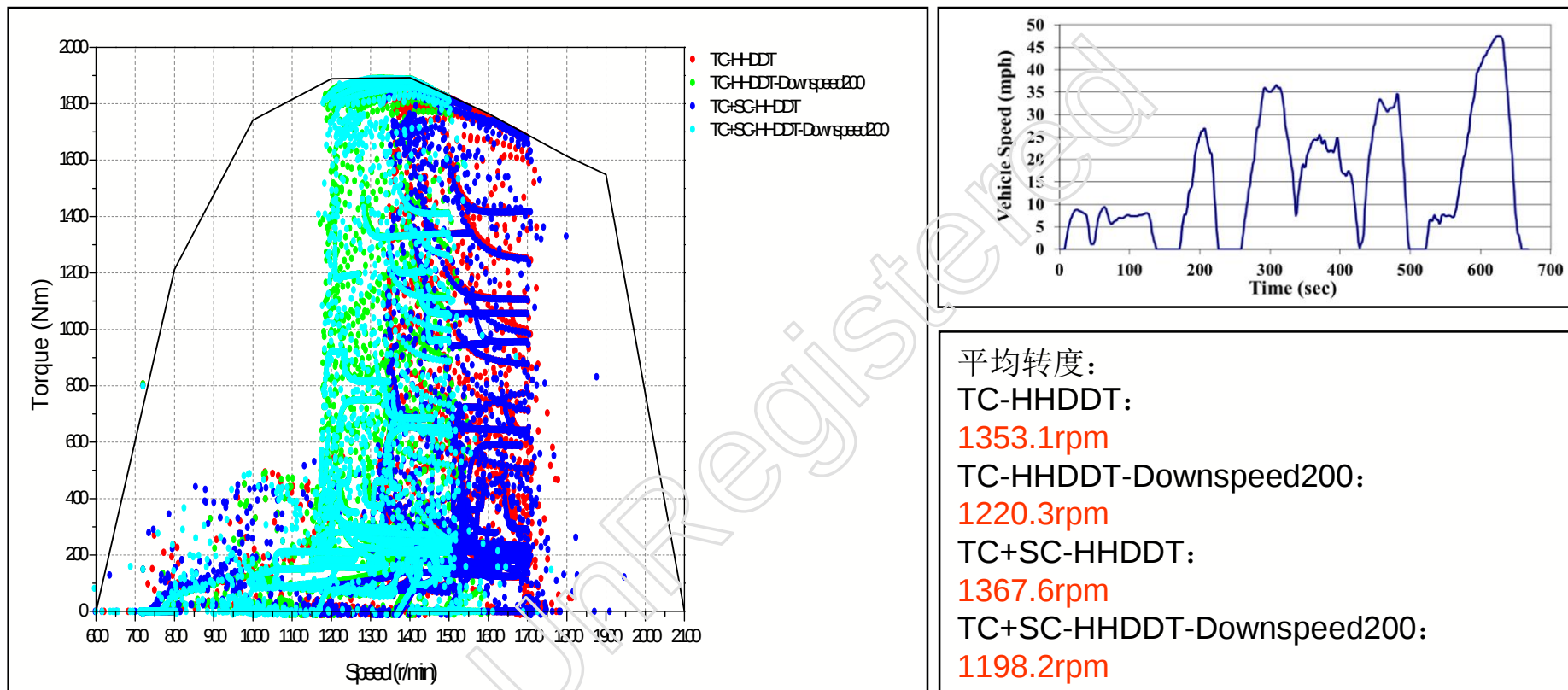
## 起步加速过程



双增压+提前换挡能够保持原机动力性能，同时燃油经济性能能够改善3.6%。好处来源于低速摩擦减少，同时机械增压可以提高瞬态响应。



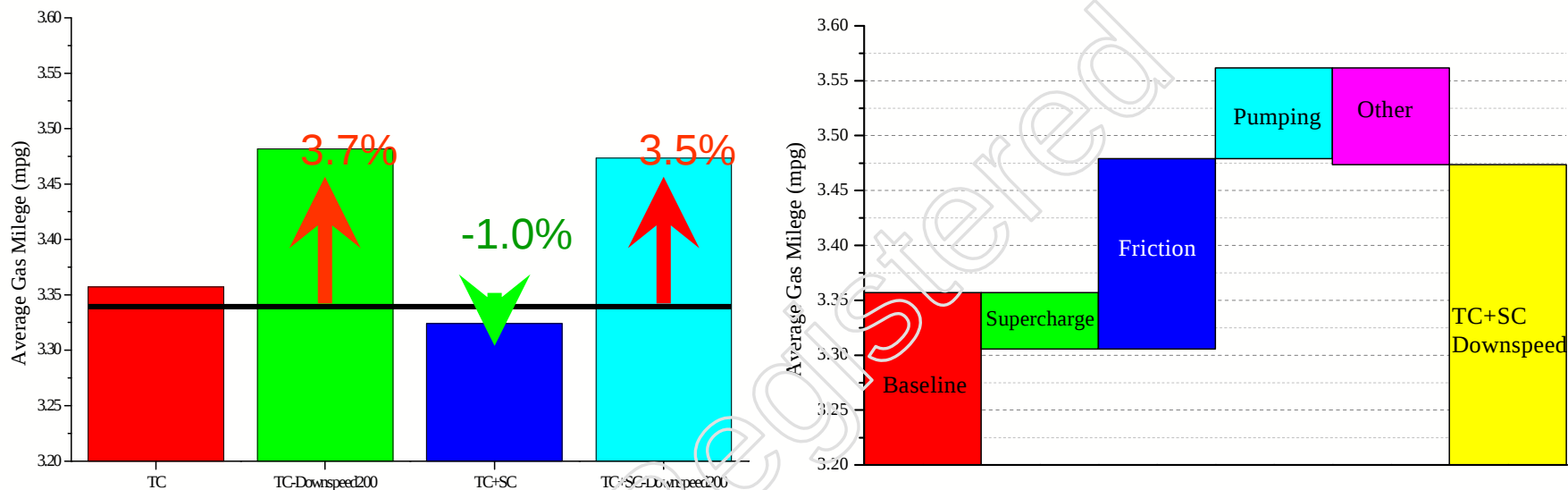
## HHDDT-Transient循环



双增压+提前换档后发动机工况点分布

提前换档后，**HHDDT-Transient**循环中发动机转速明显下降，发动机摩擦损失将会减少。

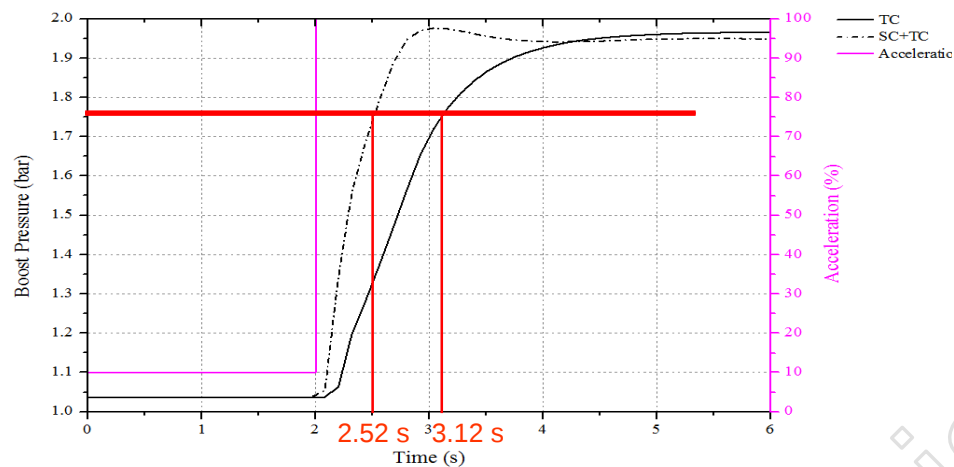
## HHDDT-Transient循环



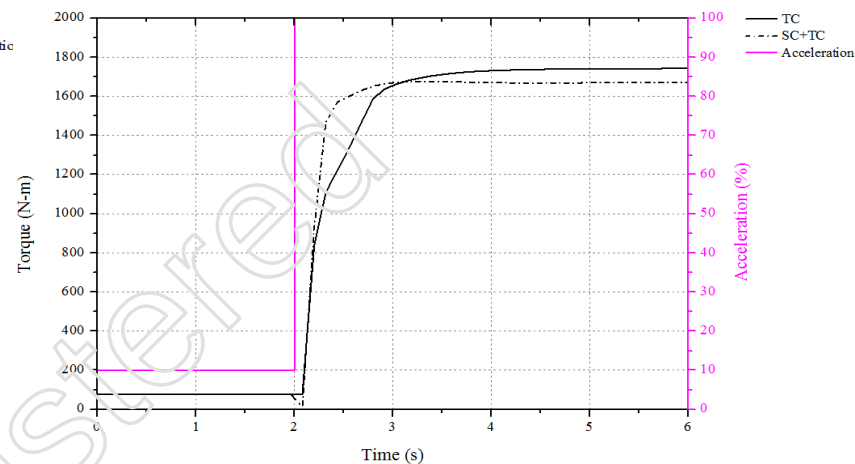
双增压+提前换挡能够保持原机动力性能，同时燃油经济性改善**3.5%**。燃油经济性得到改善的主要原因是该循环工况循环变动比较频繁，机械增压能够较好地提高整车的瞬态响应，配合使用提前换挡降低发动机的工作转速，达到提高整车的燃油经济性的目的。

# 双增压柴油机瞬态特性仿真

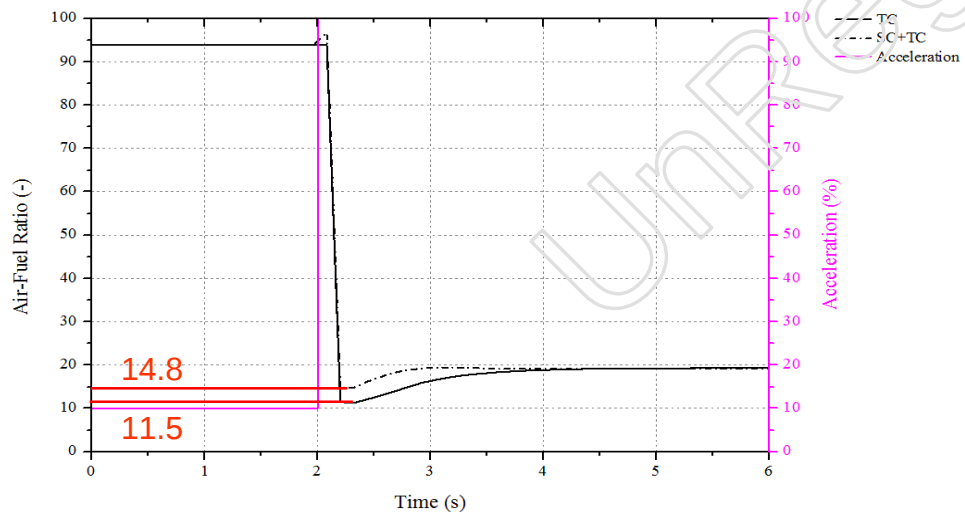
## Boost Pressure VS Time



## Torque VS Time

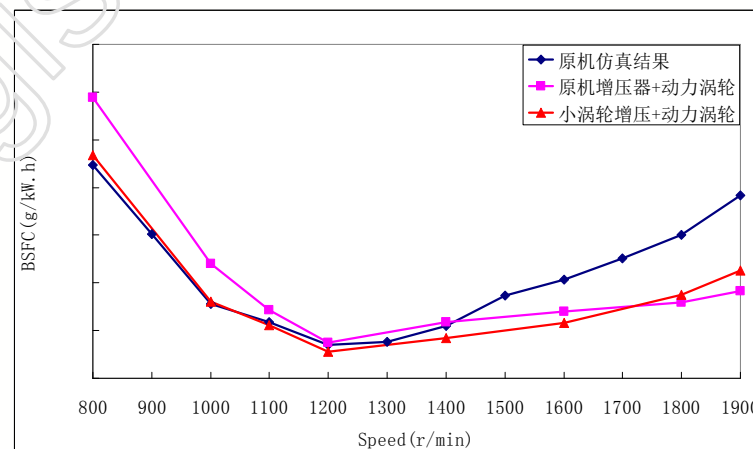
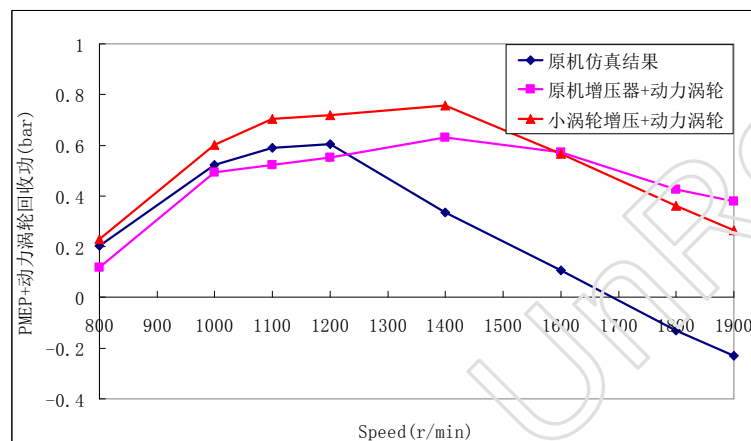
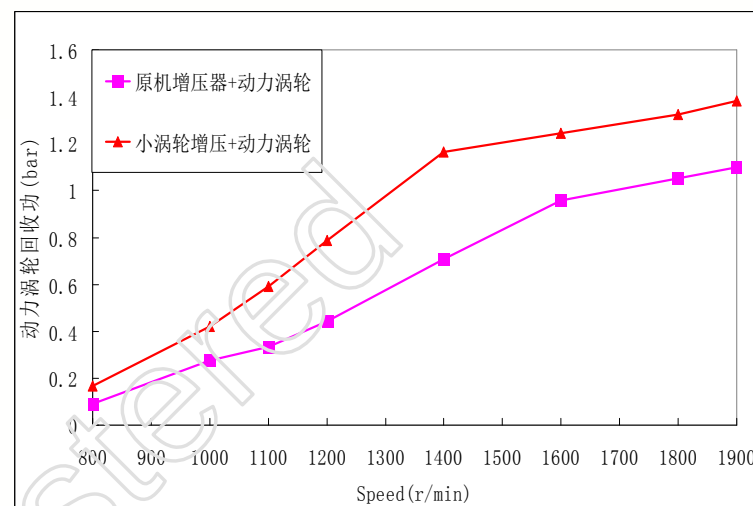
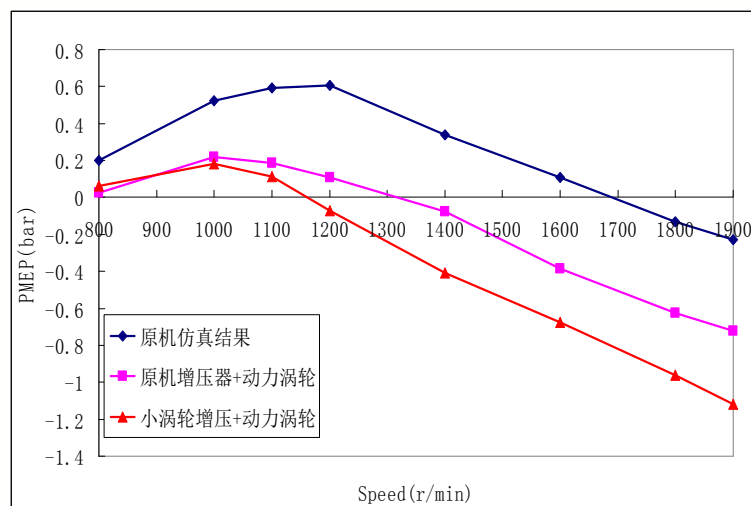


## Air-Fuel Ratio VS Time



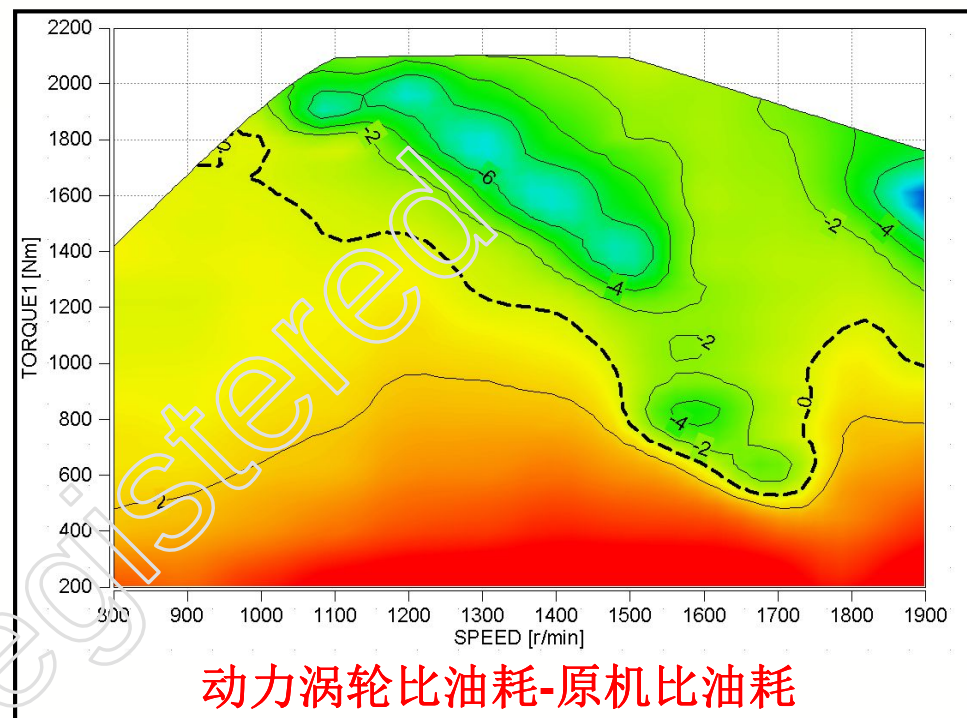
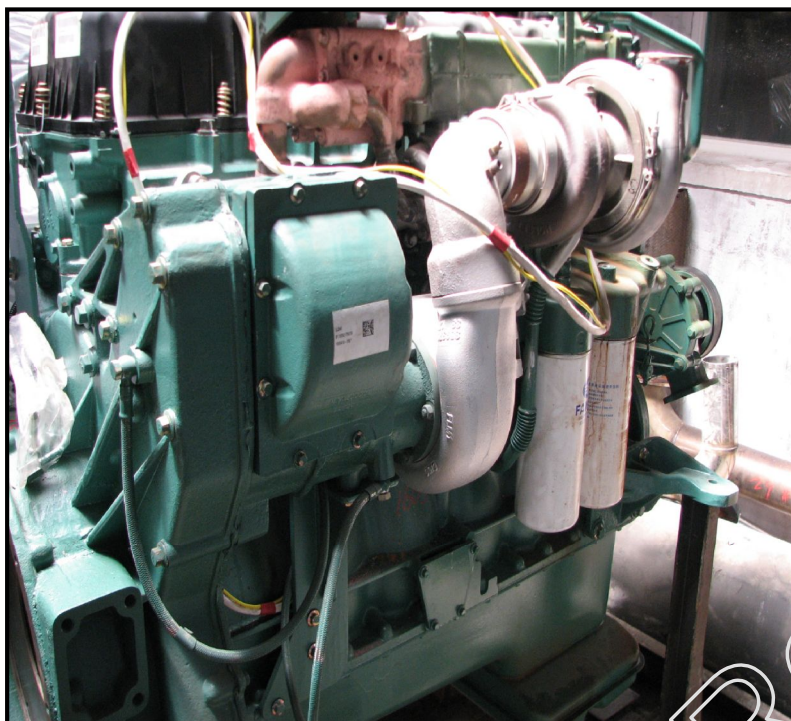
- 双增压 = 机械增压 + 涡轮增压
- 在柴油机上加装机械增压后，柴油机的瞬态响应提高，90%稳态进气压力从3.12s减少到2.52s
- 瞬态过程柴油机的空燃比也得到提高，由原机的11.5提高到14.8

# 动力涡轮与柴油机的匹配仿真



仿真结果表明：小涡轮增压器相比原机增压器更适合该款动力涡轮，即使后者在额定点比油耗要好，但是其它时候前者比油耗要好

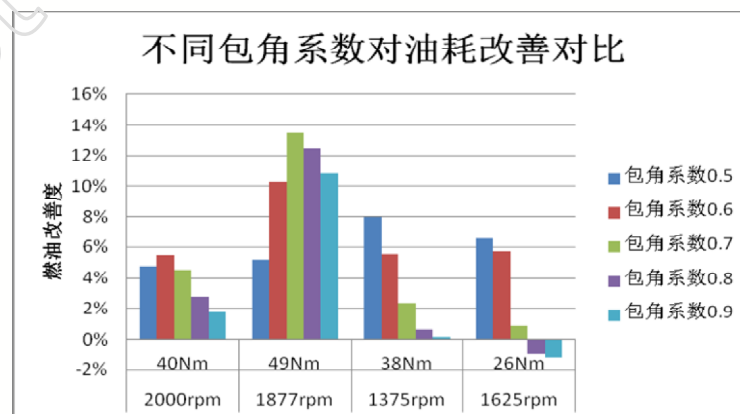
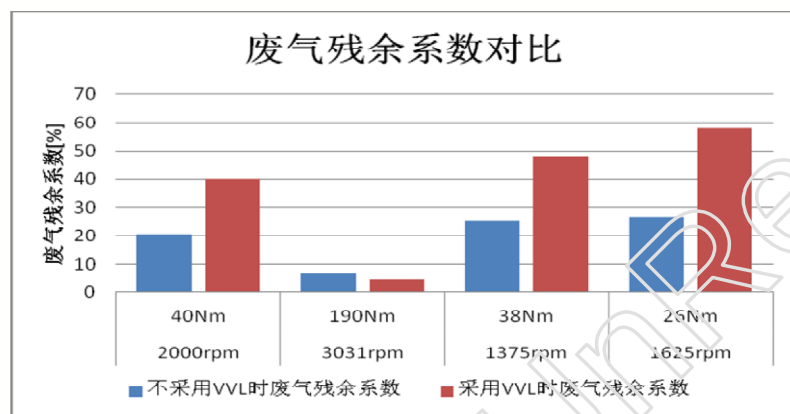
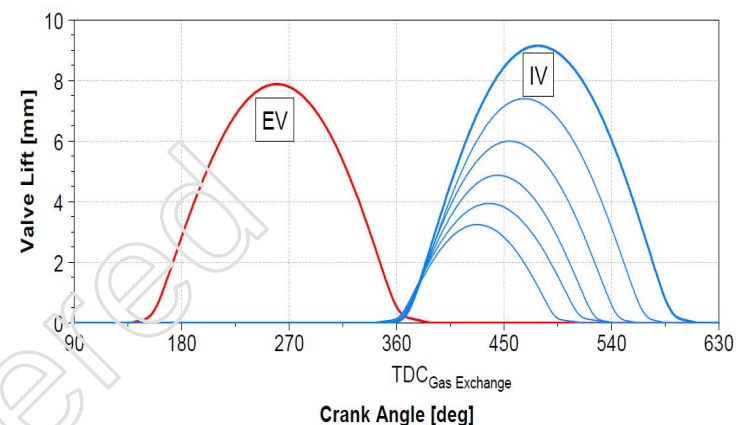
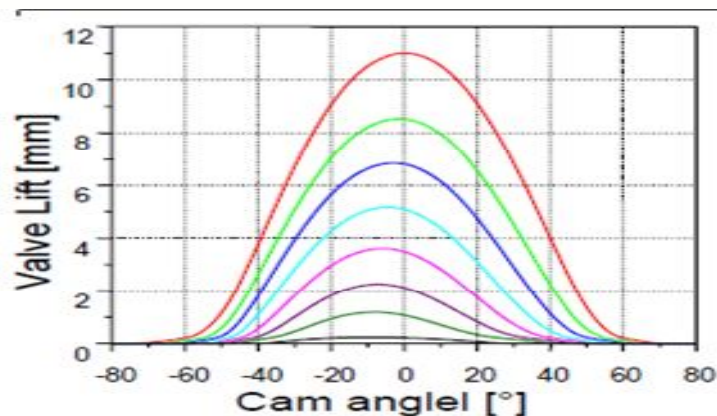
# 动力涡轮与柴油机的匹配仿真



|      | 氮氧化物<br>(g/kW.h) | 碳氢化合物<br>(g/kW.h) | 一氧化碳<br>(g/kW.h) | 颗粒物<br>(g/kW.h) | 13工况加权比油耗<br>(相对百分比) |
|------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|----------------------|
| 原机   | 3.1              | 0.1               | 0.188            | 0.016           | 100                  |
| 动力涡轮 | 3.06             | 0.1               | 0.185            | 0.015           | 97.5                 |

实验结果表明：动力涡轮+小涡轮方案相对于原机在大负荷以及高转速区域，节油效果比较明显，最高节油可以达到3%

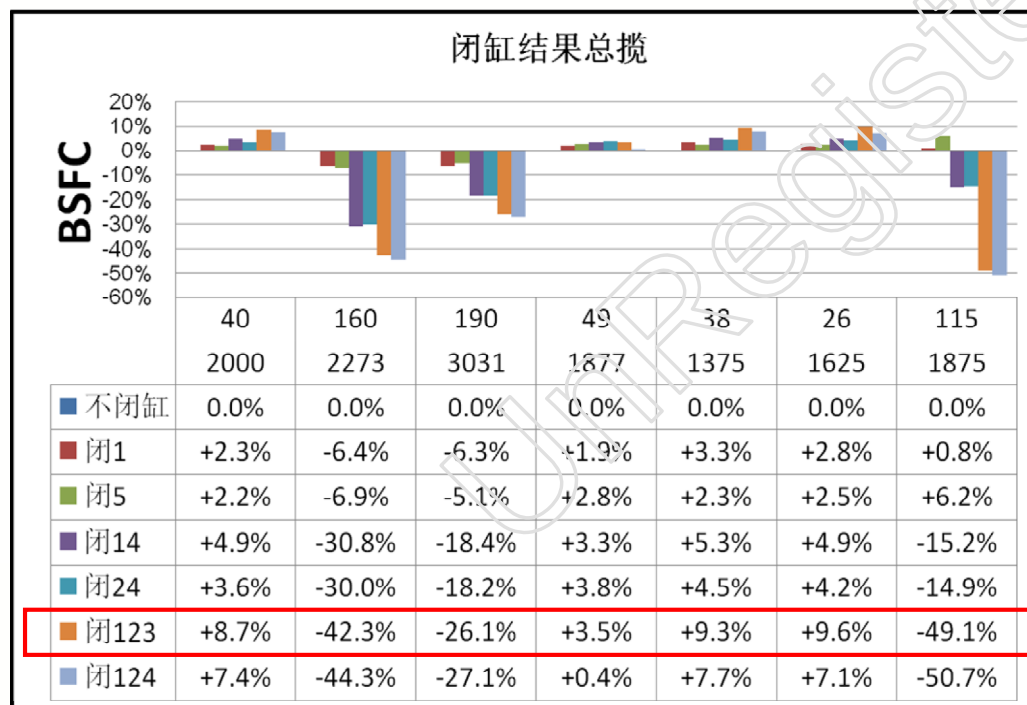
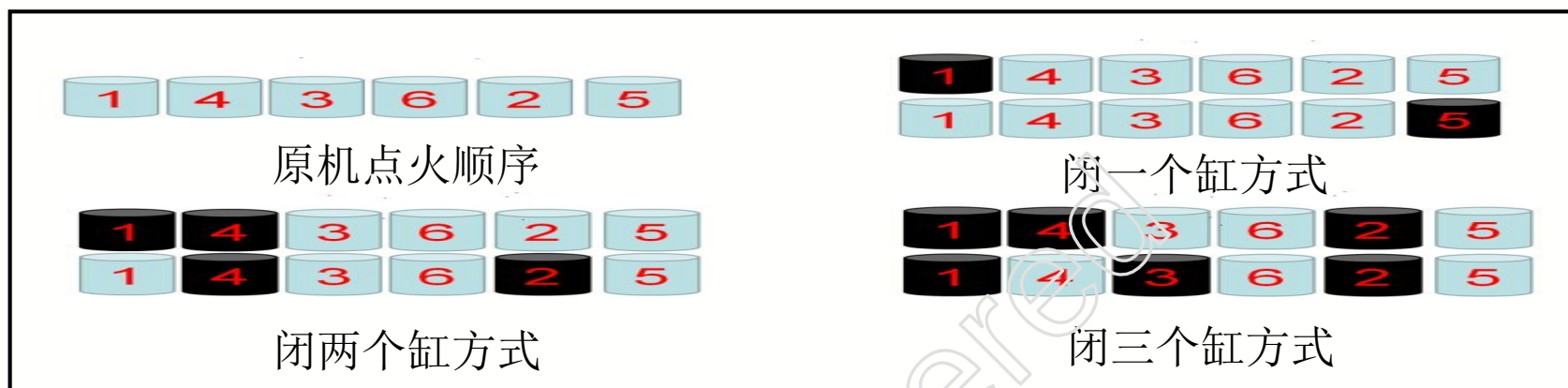
# 汽油机VVL技术仿真



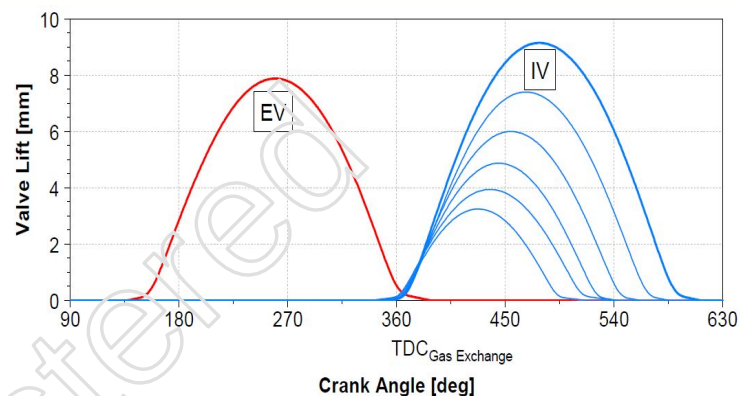
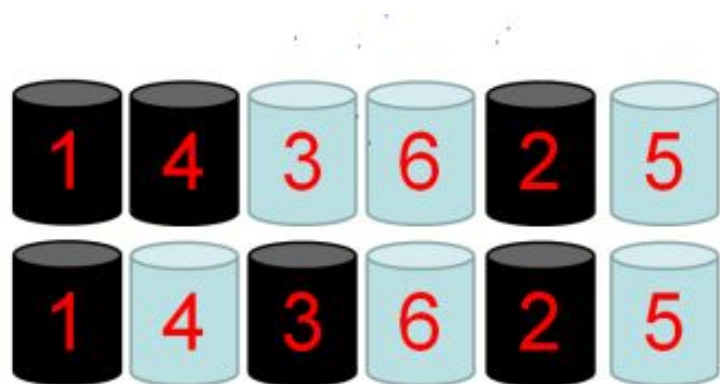
仅降低升程可以改善油耗，但对应废气残余系数变大，如果降低废气残余系数，则油耗相差不大，所以不建议采用

升程和包角均变化可以使部分负荷油耗改善5%~8%，在2000rpm2bar油耗改善5.5%左右。

# 汽油机闭缸技术仿真



- 各种闭缸方案选择中，关闭单侧123缸方式的燃油经济性最好。
- 当发动机处于大负荷（扭矩大于100Nm）工况，采用闭缸反而会导致燃油经济性变差。

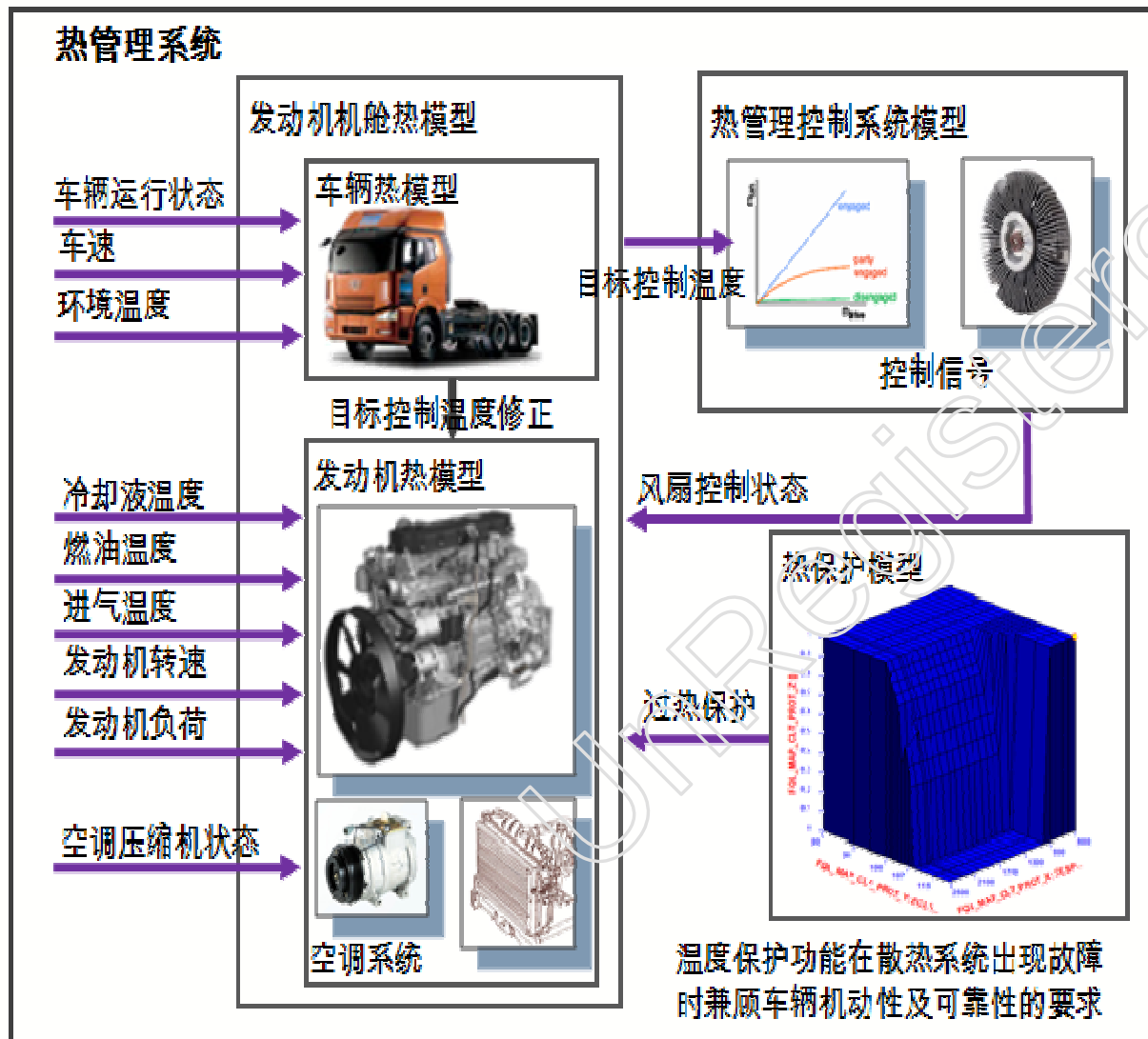


| 转速   | 扭矩 | 不闭缸   | 闭123   | 闭123+VVL |
|------|----|-------|--------|----------|
| 2000 | 40 | 0.00% | 13.5%  | 14.2%    |
| 1877 | 49 | 0.00% | 18.38% | 18.38%   |
| 1375 | 38 | 0.00% | 11.65% | 11.70%   |
| 1625 | 26 | 0.00% | 13.70% | 14.10%   |

计算结果表明：

闭缸+VVL技术与只采用闭缸技术相比，对油耗的降低效果基本相当。前者在 Speed=2000rpm、BMEP=2bar的工况下约有14.2%的改善，后者有13.5%的改善。

# 整车热管理控制技术



## □动力总成温度控制：

通过各温度传感器将动力总成温度控制在最佳范围之内；

## □附件热管理：

根据空调压缩机、缓速器等部件状态，协调风扇控制；

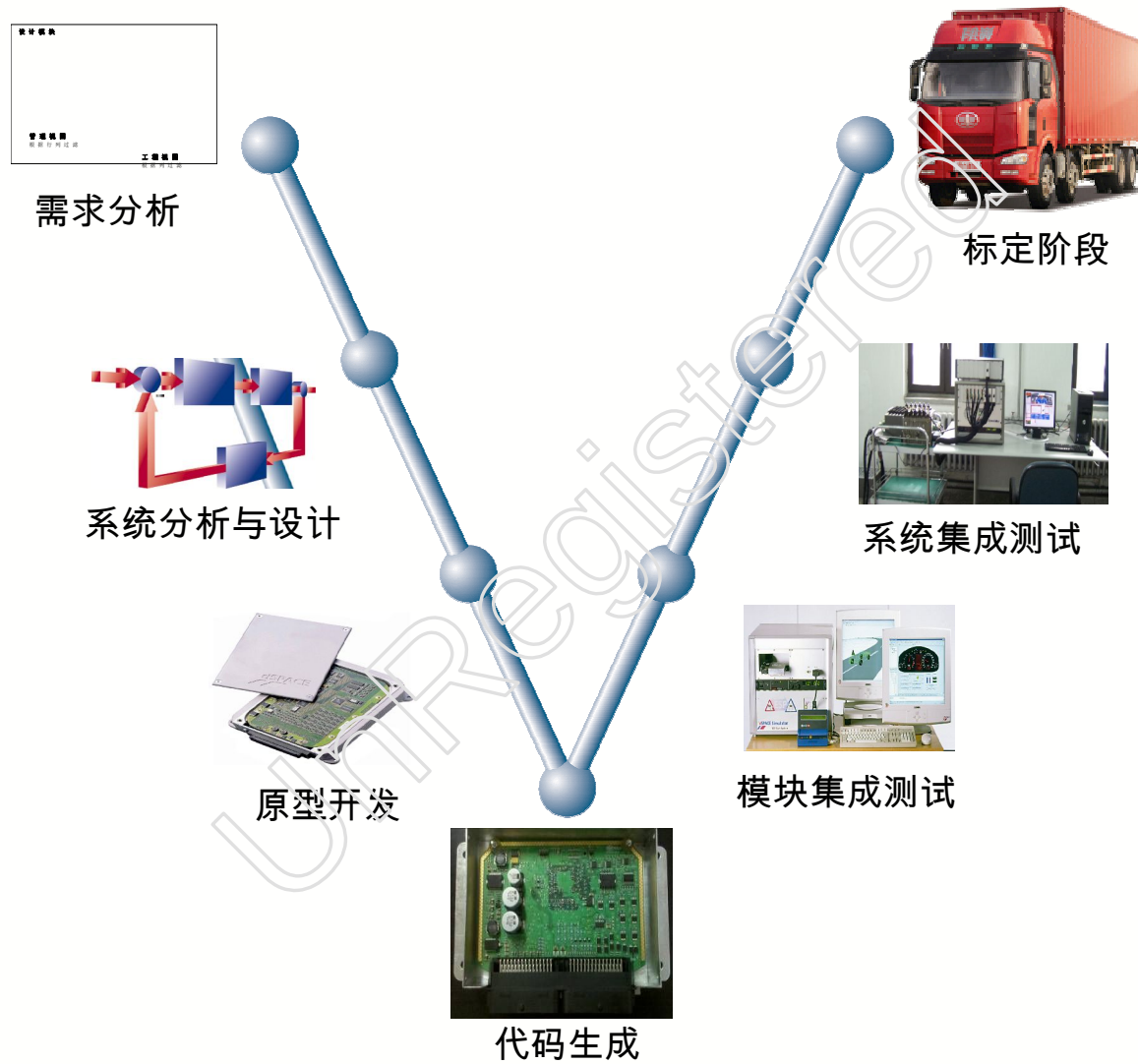
## □机舱温度综合管理：

根据机舱内发热部件情况估算当前机舱温度状态，控制风扇等设备进行散热；

## □热管理节油功能：

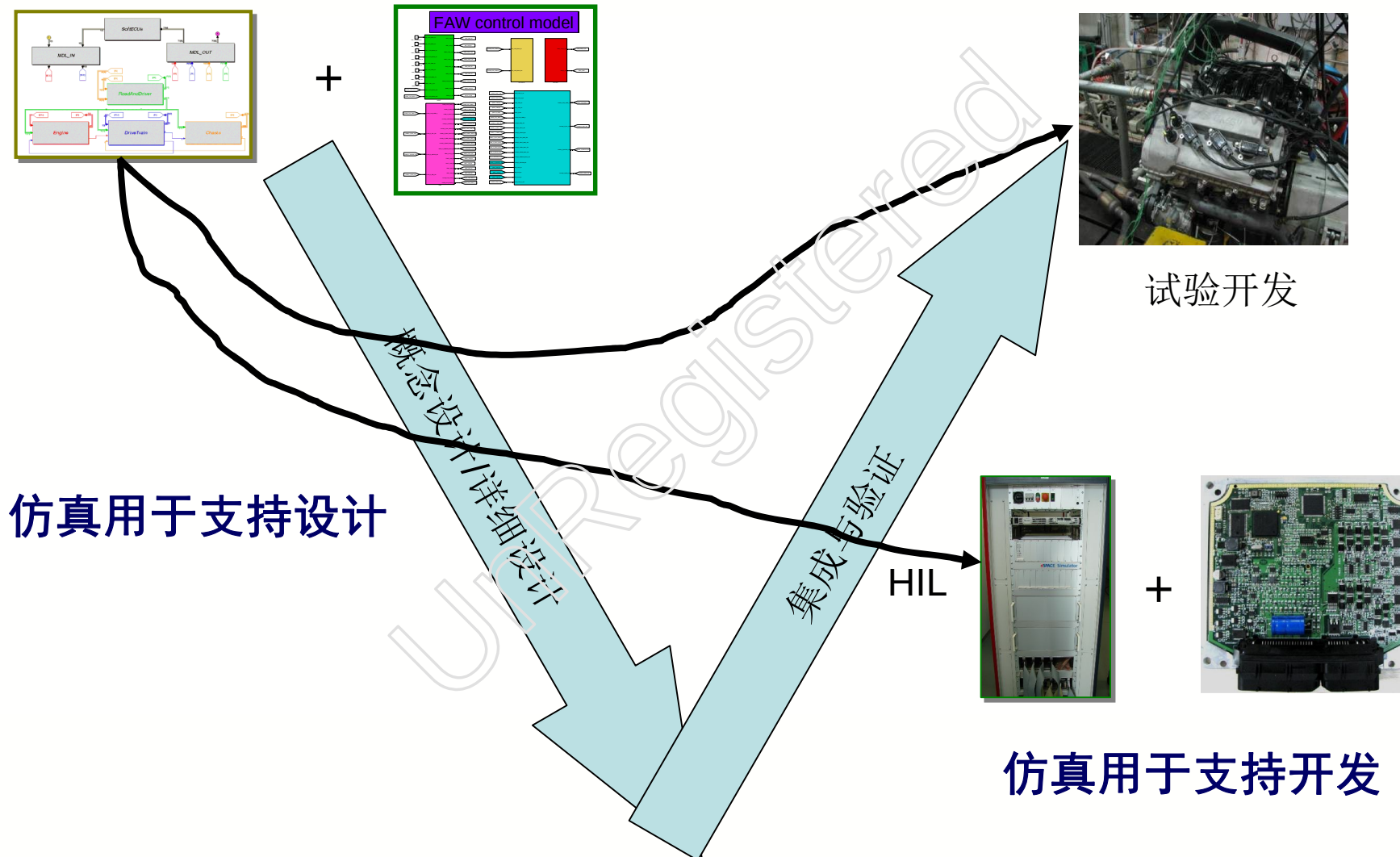
在车辆滑行和制动工况时，进行风扇预冷却控制；

# 控制开发流程



# 基于模型的产品开发-仿真分析伴随开发全过程

Model re-use in different phases and different projects

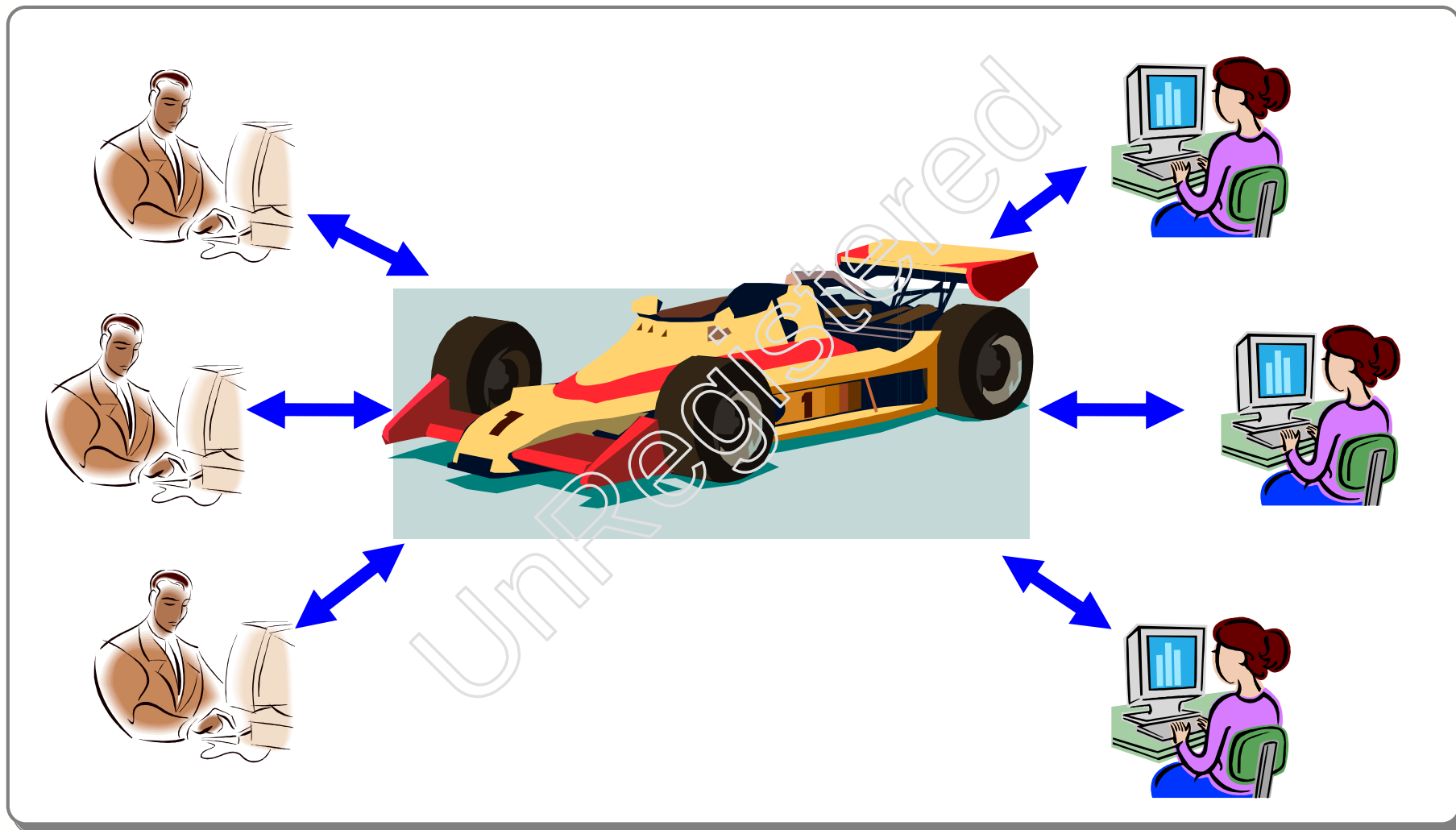


模型矩阵

|       | 发动机 | 传动系 | 悬架 | ..... |
|-------|-----|-----|----|-------|
| 油耗    | E1  | T1  | S1 |       |
| 动力性   | E1  | T1  | S1 |       |
| 驾驶性   | E2  | T2  | S2 |       |
| 可靠性   | E3  | T3  | S3 |       |
| 耐久性   | E3  | T3  | S4 |       |
| NVH   | E4  | T3  | S5 |       |
| ..... |     |     |    |       |

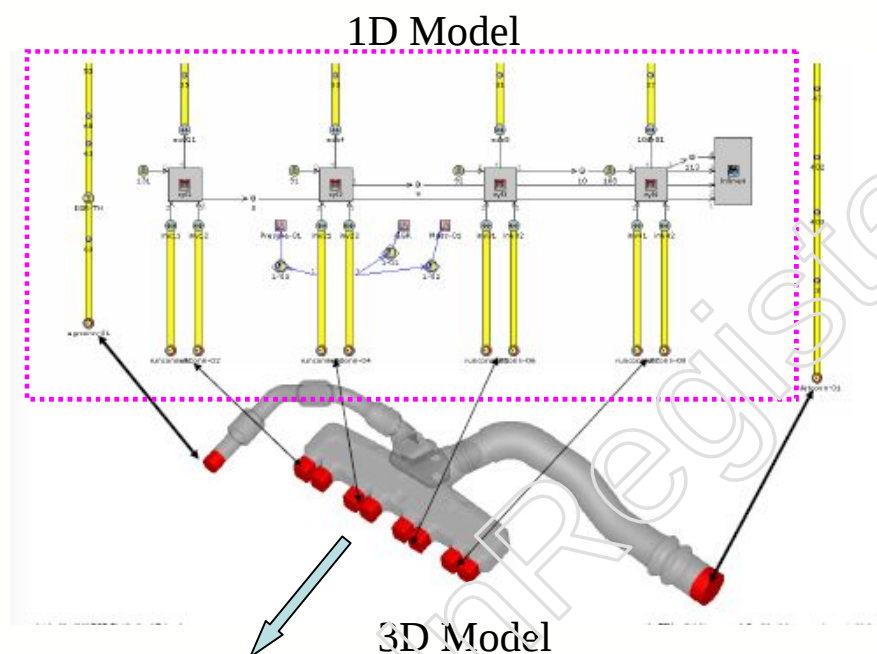
建立不同级别的模型。对于不同的分析目的采用不同的模型。

## CAE分工的细化，建模与仿真

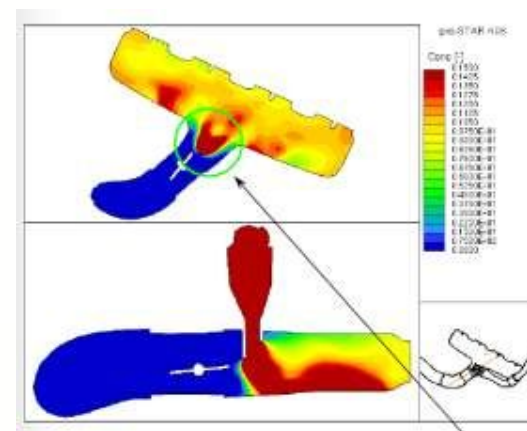
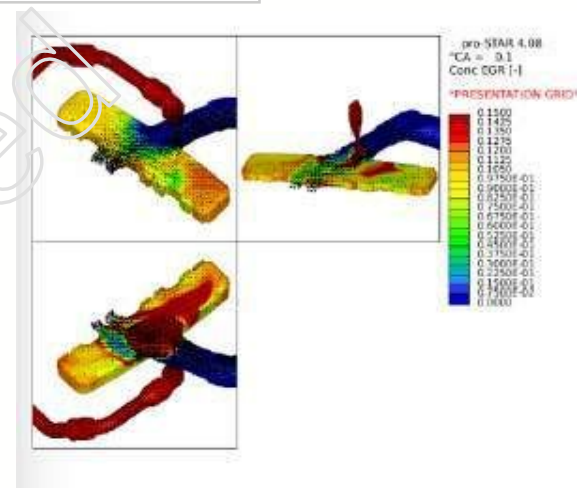


# 进气管EGR分配均匀性模拟

- 采用1D和3D耦合计算的方法解决进气管中EGR气体分配均匀性问题



采用先进的多面体网格技术建立3D模型



优化后的EGR注入位置

# CAE的自动化和非专业化



中国一汽技术中心  
CHINA FAW R&D CENTER



# CAE的自动化和非专业化

模型和计算参数准备

自动求解及后处理

生成计算报告

几何模型

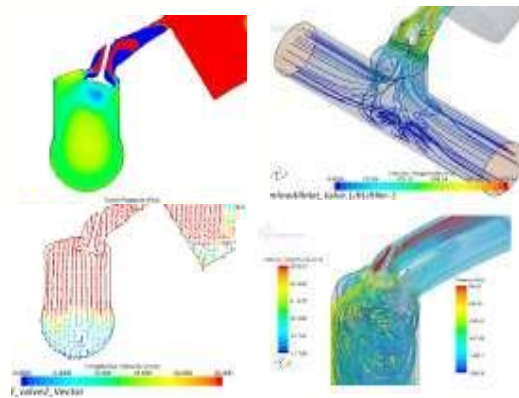


计算参数

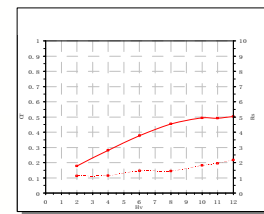
- 相关几何参数信息；
- 气门升程设定；
- 进出口边界条件；



流场信息

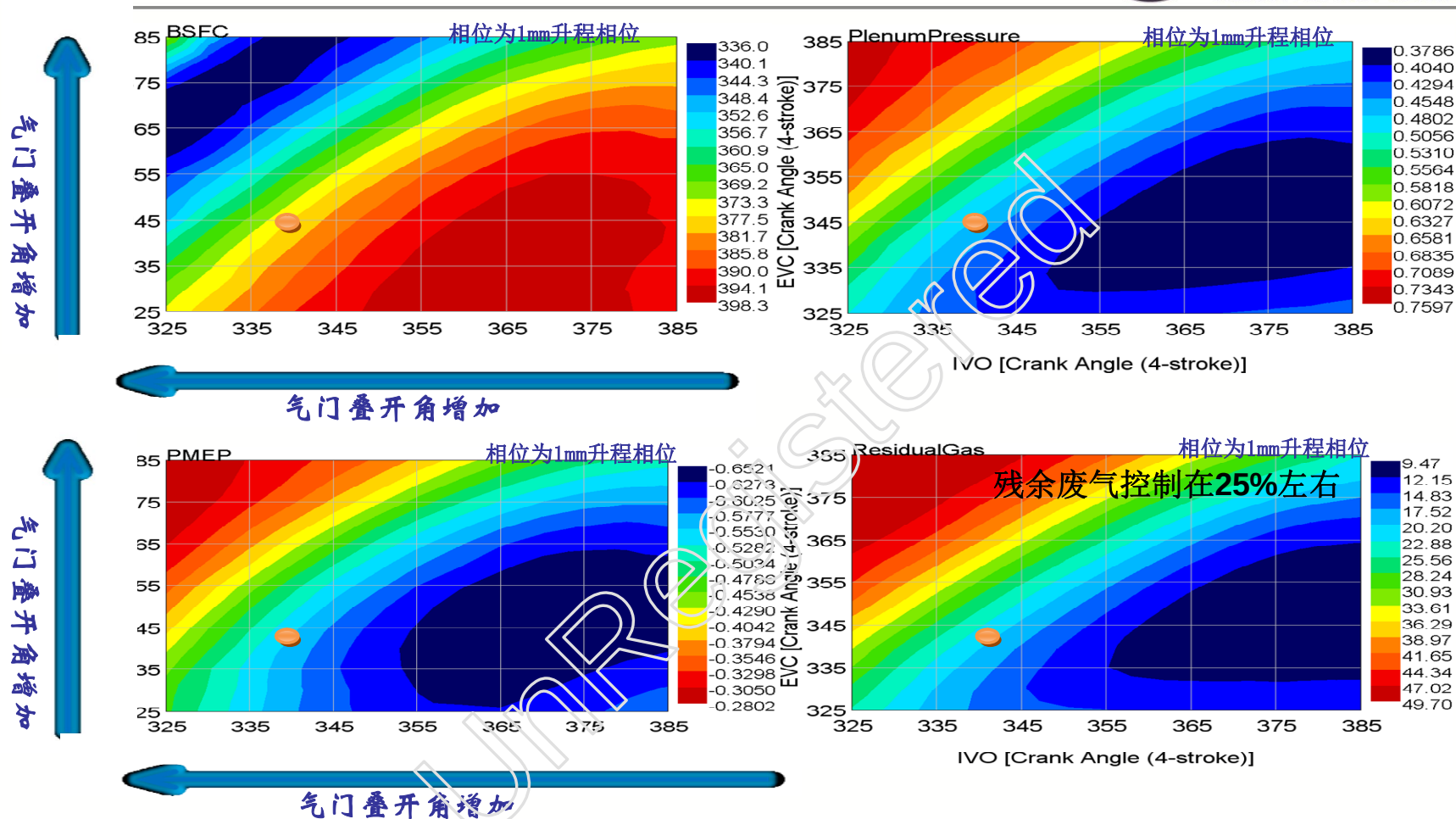


评价参数曲线



不同气门升程下的  
涡流比和流量系数变化

# 汽油机VVT相位DOE优化



- DOE优化方法能够同时推荐出多个结构参数，大大缩短了优化时间。
- 在小负荷非爆震工况区，保证燃烧稳定性的前提下增加残余废气量、降低泵气损和降低油耗

## 结论

1. 燃油消耗是发动机面临的主要挑战，CAE手段是实现优良性能的重要支撑；
2. 控制策略是节能技术的重要组成部分，是性能仿真的重要应用领域；
3. 仿真工作前置，综合性仿真，实现基于模型的开发是CAE应用的方向；
4. CAE专用化、自动化、非专业化，模型的管理和重用是提高效率实现积累的的途径。



关爱自然 服务社会

CARE THE NATURE AND SERVE THE SOCIETY

——让汽车更清洁 更节能 更安全

Contribute cleaner, safer and more energy saving vehicles

谢谢

