



中国一汽无锡油泵油嘴研究所

Wuxi Fuel Injection Equipment Research Institute, FAW, China

发动机燃烧模拟软件 计算结果比较

一汽无锡油泵油嘴研究所

2013年11月



目录

- 1 发动机三维燃烧模拟的特点
- 2 CONVEGE特点
- 3 各软件计算结果比较分析
- 4 小结

1 发动机三维燃烧模拟的特点



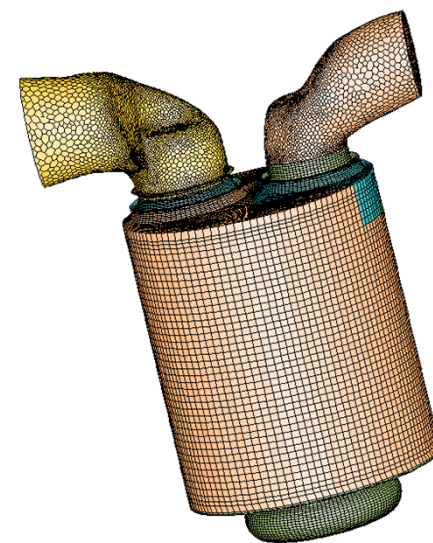
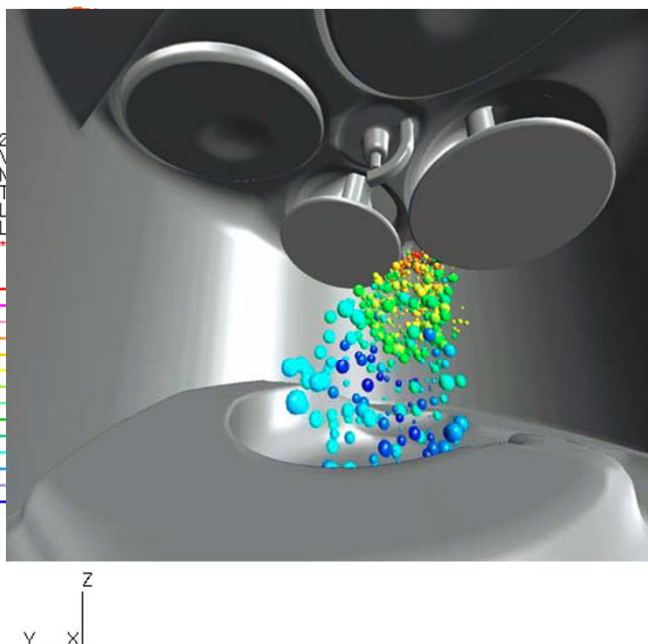
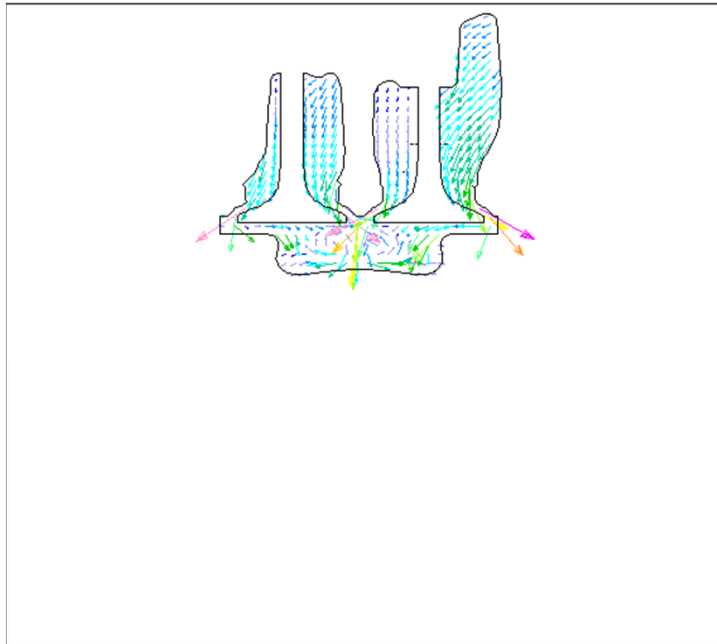
中国一汽无锡油泵油嘴研究所
WFIERI, FAW, CHINA

强湍流运动: RNG $k-\varepsilon$ 模型

气液两相流: KH_RT油滴破碎模型

燃烧和排放模拟: 湍流燃烧模型、火焰面模型、化学反应机理模型

动网格: 气门、活塞处于运动中。



2 CONVERGE的特点



中国一汽无锡油泵油嘴研究所
WFIERI, FAW, CHINA

2.1 网格处理

自动生成体网格

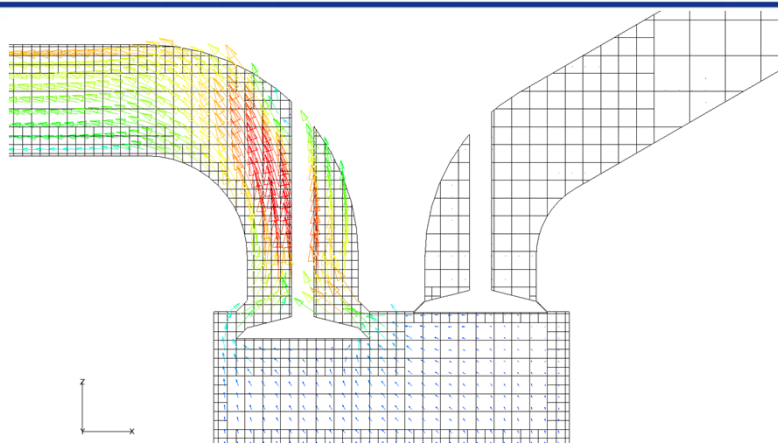
用户无需准备计算所需的网格模型，求解器本身在计算过程中自动生成网格。

- 1、导入CAD模型（STL格式），分割几何边界；
 - 2、加载边界条件，设置好边界条件及运动边界运动规律；
 - 3、设置网格控制参数，计算中自动生成高质量的六面体网格。
- 不需要对网格模型进行检查和修正。

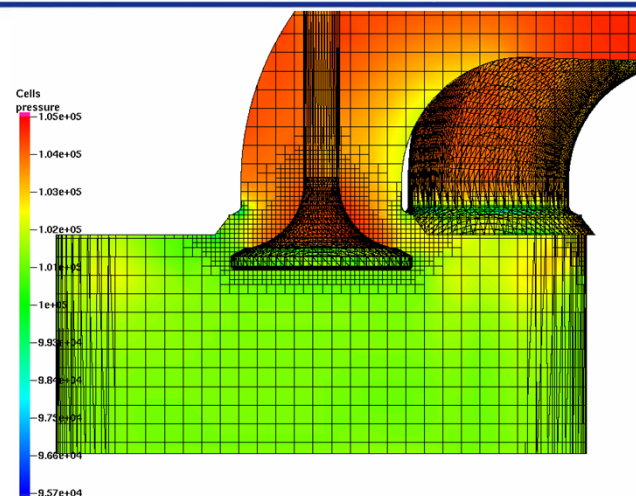
网格加密



中国一汽无锡油泵油嘴研究所
WFIERI, FAW, CHINA



边界自动加密



对于运动边界，如气阀，嵌入式加密区会随着边界的运动而自动跟踪加密。

AMR自适应加密: 基于流场参数（如速度、温度）梯度（如速度、温度）自动对网格进行加密

自适应网格	○	×
网格数(100ATDC)	46,000(0.625~2.5mm)	1,290,000(0.625mm)
计算结果 (温度场、喷雾图、网格)		



2.2 三维燃烧模型

发动机三维燃烧模型分为以下几大类：

1) 湍流燃烧模型

涡破碎模型（**EBU**）

特征时间尺度模型（**LTCT**）

2) 火焰面模型

CFM, ECFM, ECFM-3Z, ECFM-CLEH

将燃烧室分成两个区域（已燃区和未燃区）

模拟火焰传播过程

3) 详细化学反应机理模型（**Detail chemistry**）

DARS-CFD, SAGE, DCS（化学反应动力学）

CEQ, STANJAN（化学平衡）

MCDC（化学反应动力学和化学平衡）

4) 概率密度函数（**PPDF**）模型

采用燃料混合分数浓度函数

用于燃烧器的模拟

converge 的燃烧模型



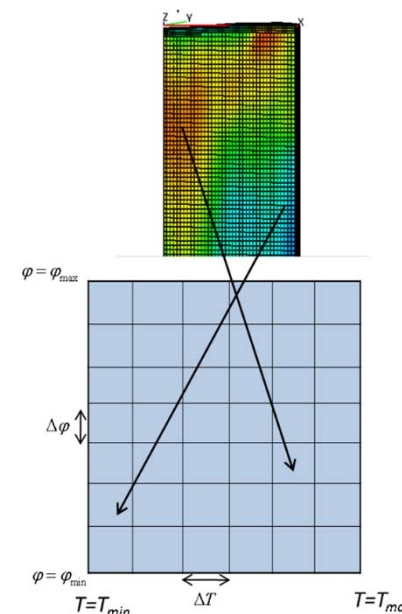
中国一汽无锡油泵油嘴研究所
WFIERI, FAW, CHINA

将详细化学反应机理（可导入CHEMKIN 格式中的化学机理）应用于G方程模型：SAGE化学反应求解器+加速算法

两种加速算法：1) 当网格温度与上一循环相比相差在一定值（如2K）范围内，不再对该网格的化学反应速率重新计算，因为计算化学反应速率需要知道网格内在一个时间步长的不同时刻温度的变化率，如下式所示，可以看到求解该式需要知道反应速率，而温度变化又会引起反应速率的变化，求解反应速率的方程数量与物质数量相等的，从而造成大计算量的反复迭代的过程，若不求解化学反应速率，即可省去这个过程。

$$\frac{dT}{dt} = \frac{V \frac{dP}{dt} - \sum_m (\bar{h}_m \dot{\omega}_m)}{\sum_m ([X_m] \bar{c}_{p,m})}$$

2) 多区模型求解，简单地说，就是将缸内具有相近热力学状态参数及当量比的网格进行数值平均，统一求解化学反应，求解完成后再以一定的规则map到各个网格，达到减少求解网格数量的目的。



多区加速原理

3 各软件计算结果比较分析



中国一汽无锡油泵油嘴研究所
WFIERI, FAW, CHINA

3.1 模型搭建及计算设置

发动机基本参数

发动机机参数	名称
缸数	6
缸径×行程（mm）	112×145
压缩比	16.5
连杆长（mm）	228
余隙（mm）	0.9
油嘴孔数×孔径（mm）	8×φ0.165
EVO/EVC/IVO/IVC	63° CA BBDC/29° CA A ATDC/ 23° CA A BTDC/37° CA A ABDC

计算工况

工况	转速（rpm）	扭矩（N.m）	EGR率（%）	喷油量（mg）	喷油正时（ATDC）
1	1000	550	0	69.25	2
2	1000	550	4.9	69.92	2
3	1000	550	10.3	69	2
4	1000	550	14.6	68.99	2
5	1000	550	19.6	70.08	2
6	1000	275	29.8	38.34	-4
7	1000	275	29.8	38.19	-2
8	1000	275	29.4	38.38	0
9	1000	275	29.2	38.92	3
10	1000	275	29	39.13	4



初边值条件

工况（扭矩）	550N.m	275N.m
缸盖（K）	480	480
活塞（K）	535	535
缸壁（K）	450	450
进气温度（K）	320	320
进气压力（bar）	1.2	1.05
排气背压（bar）	1.37	1.22

缸内初始组分：

工况/扭矩	EGR率	O2	N2	CO2	H2O
550N. m	0	0.233	0.767	—	—
	5	0.22574	0.7655	0.00607	0.00269
	10	0.21706	0.76371	0.01332	0.00591
	15	0.20932	0.76212	0.01979	0.00877
	20	0.19882	0.75995	0.02857	0.01266
275N. m	40	0.195	0.759	0.0314	0.0146



计算中使用的物理化学模型：

物理化学子模型	模型名称
湍流模型	RNG $k-\varepsilon$ 模型
雾化模型	KH-RT模型
燃油碰撞模型	O'Rourke模型
喷雾撞壁模型	液膜、飞溅模型
燃烧模型	sage模型+化学反应机理(48组分, 168反应)
壁面传热模型	O'Rourke和Amden温度壁面函数
NO _x 排放模型	扩展Zeldovich机理
SOOT排放模型	Hiroyasu 模型

3.2 计算结果比较



中国一汽无锡油泵油嘴研究所
WFIERI, FAW, CHINA

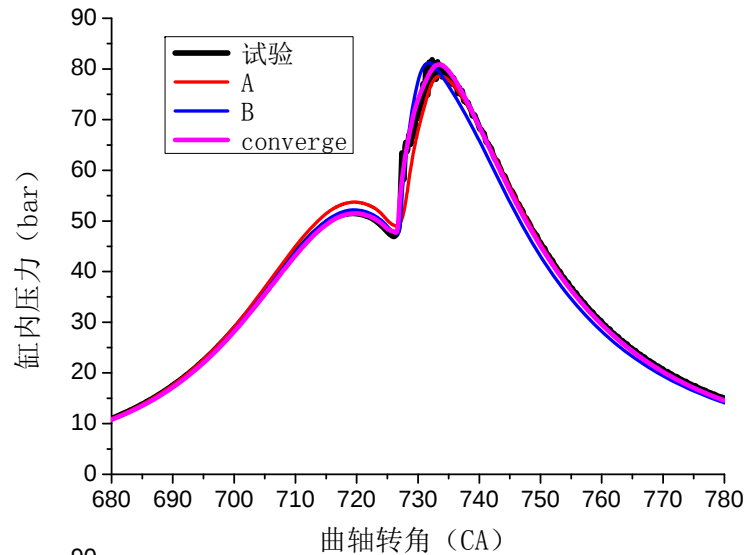
进行2循环计算，取第二循环结果进行数据处理

循环数	EGR率	爆发压力	缸内气体质量	NOX (ppm)	soot (ppm)
第一循环	0	80.88	0.0018184	1517.726838	0.000683569
	5	77.93	0.001839	1354.559262	0.002477465
	10	79.6	0.001845	919.4654705	0.007316734
	15	75.15	0.001804	580.8089303	0.018851534
	20	74.38	0.001812	318.1091573	0.043775333
第二循环	0	79.05	0.001791	1301.507538	0.00176
	5	76.47	0.001821	918.1768259	0.00424
	10	78.75	0.001832	675.7641921	0.01113
	15	74.1	0.00179	414.5251397	0.03217
	20	72.8	0.001796	217.1492205	0.15321

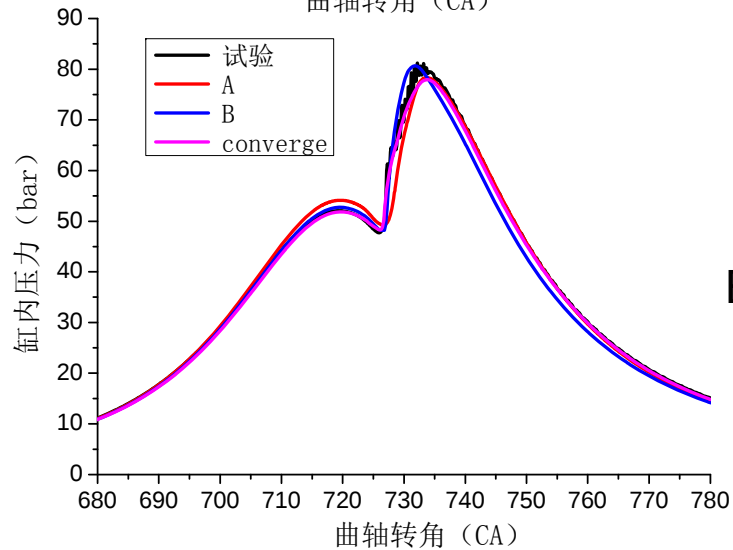
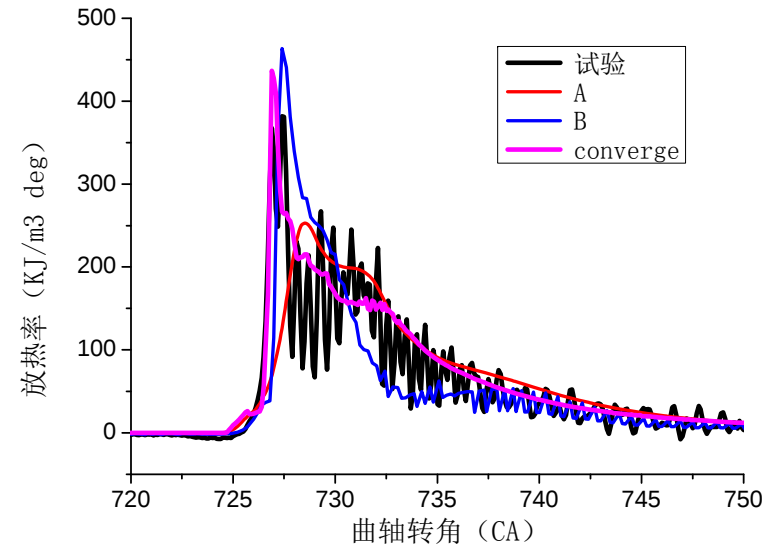
第二循环爆发压力低1bar左右，NO_x排放下降，soot排放上升。EGR率越大，两循环间误差越大。



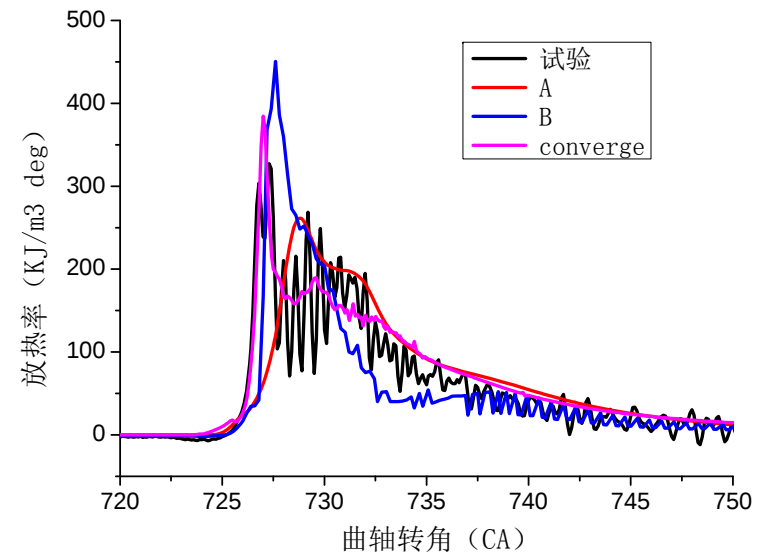
转速1000r/min, 扭矩550N.m, 不同EGR的工况:

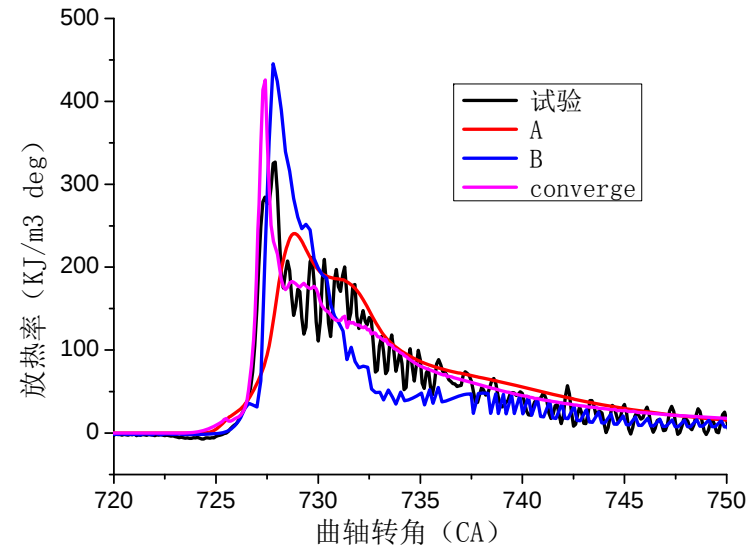
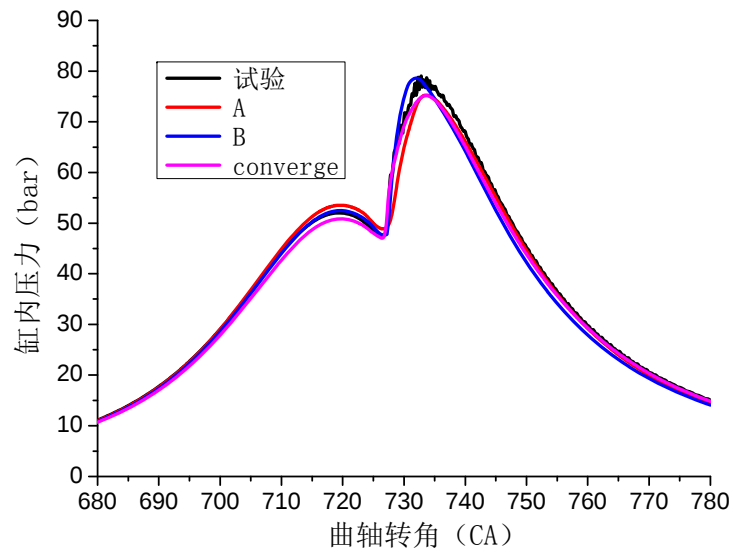
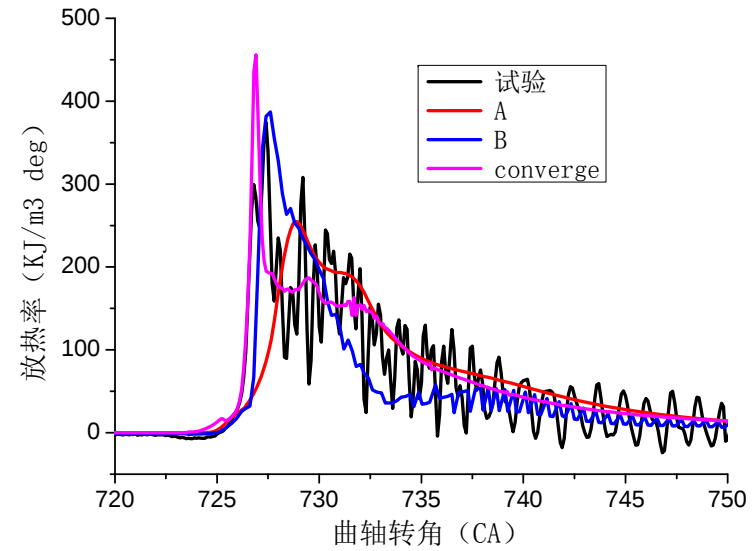
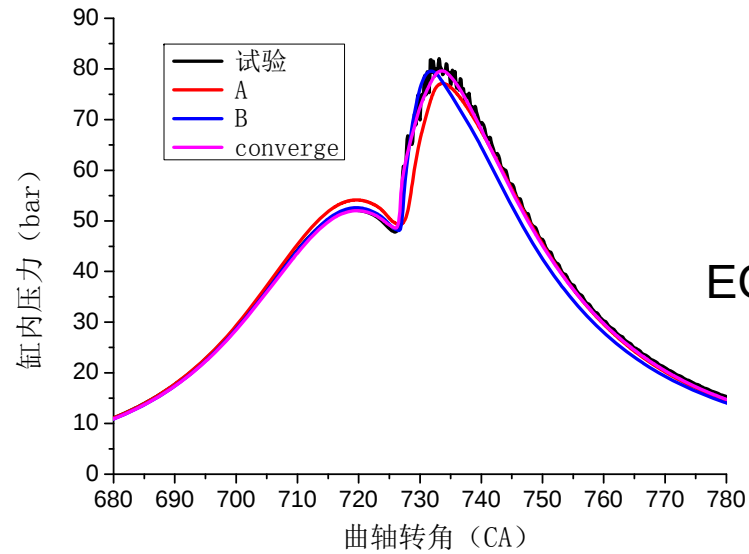


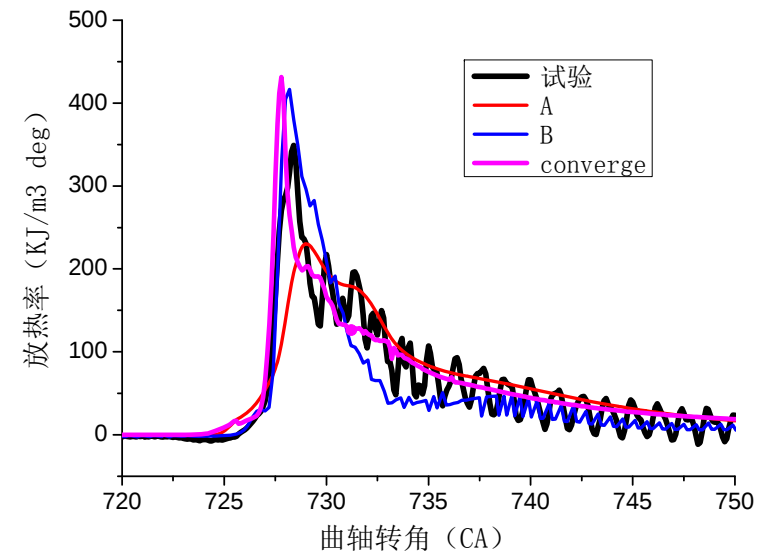
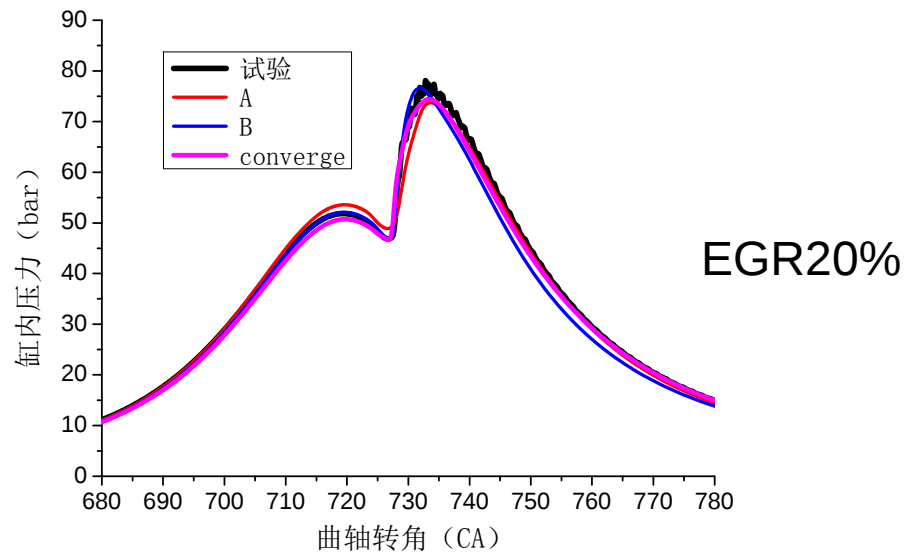
EGR0



EGR5%



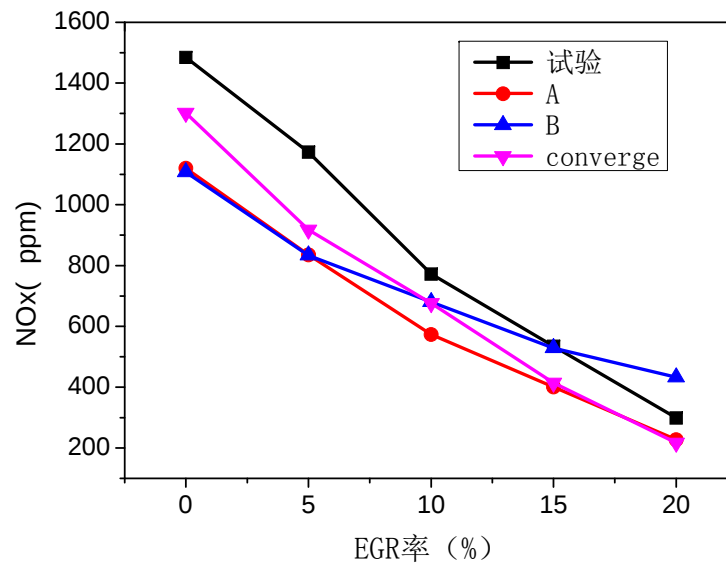




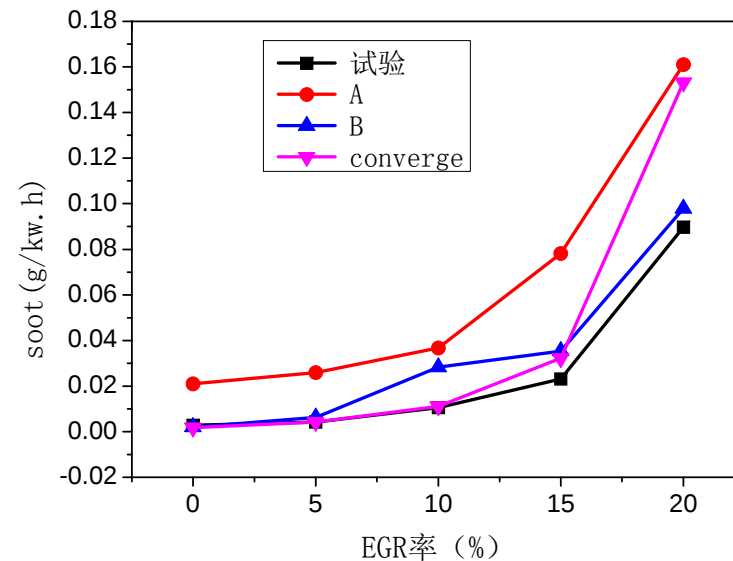
不同EGR率的工况，CONVERGE计算缸压和放热曲线与试验曲线符合较好。



扭矩550N.m，转速1000r/min，不同EGR率排放：



NOx 排放

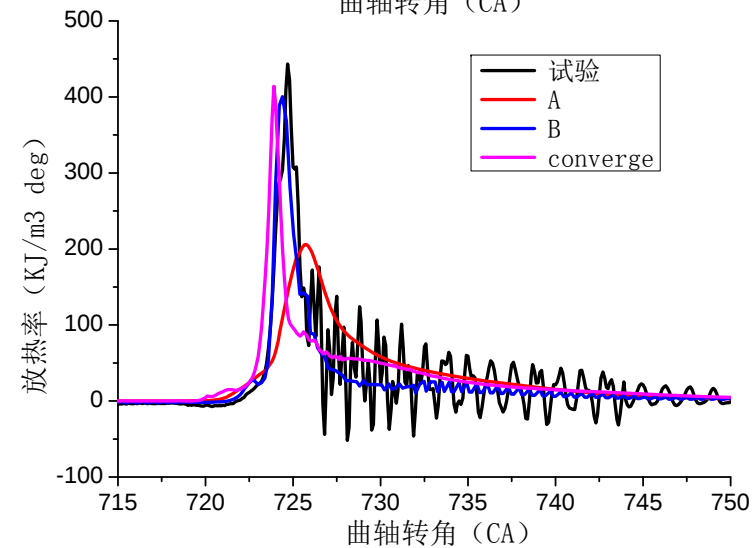
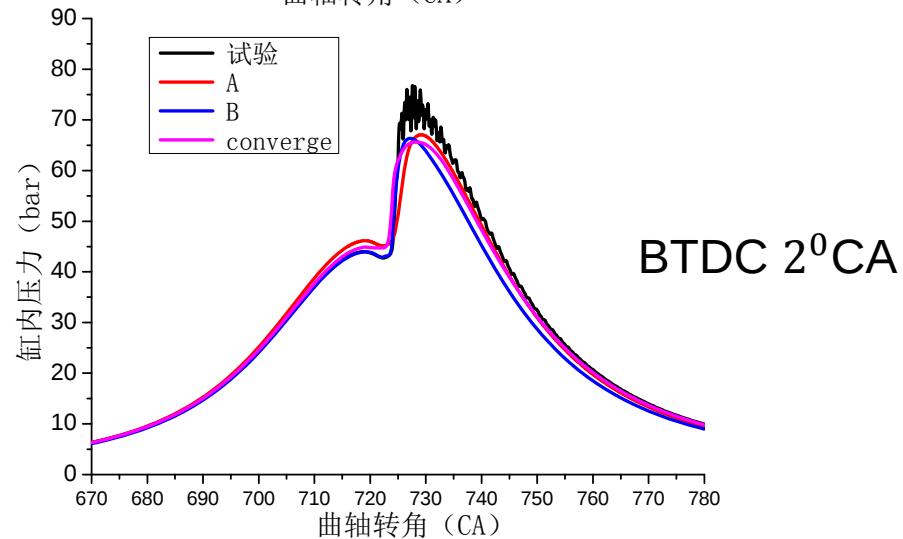
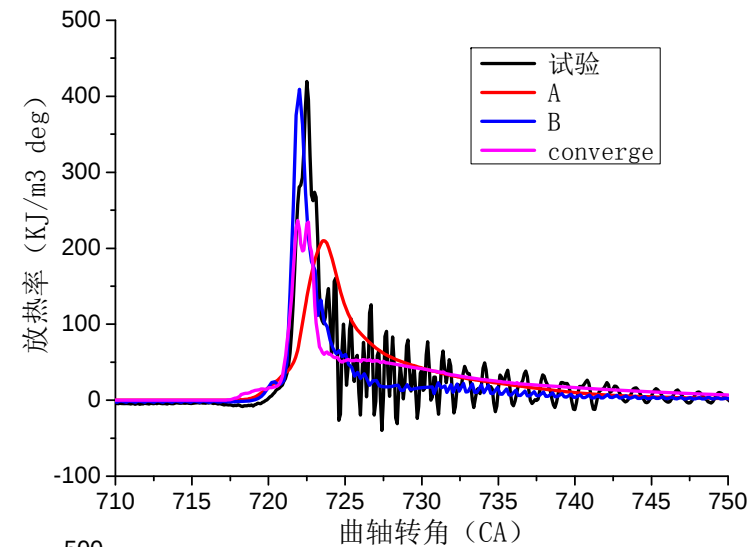
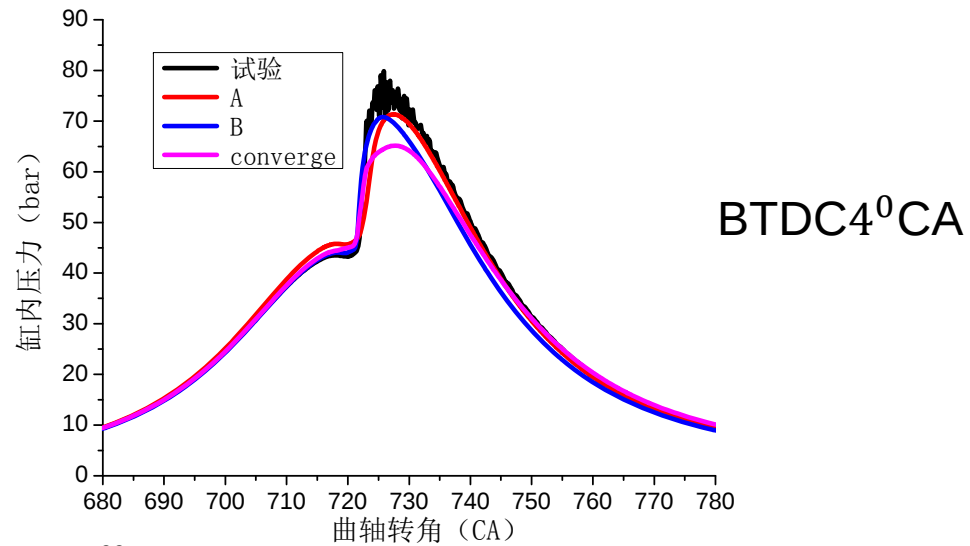


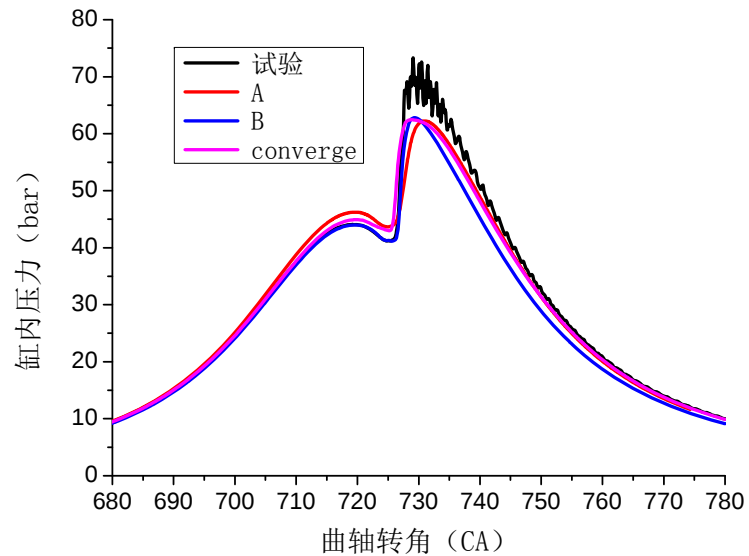
soot排放

扭矩550N.m，变EGR率工况，NOx和SOOT趋势与试验一致，EGR20%工况SOOT排放值相差较大。

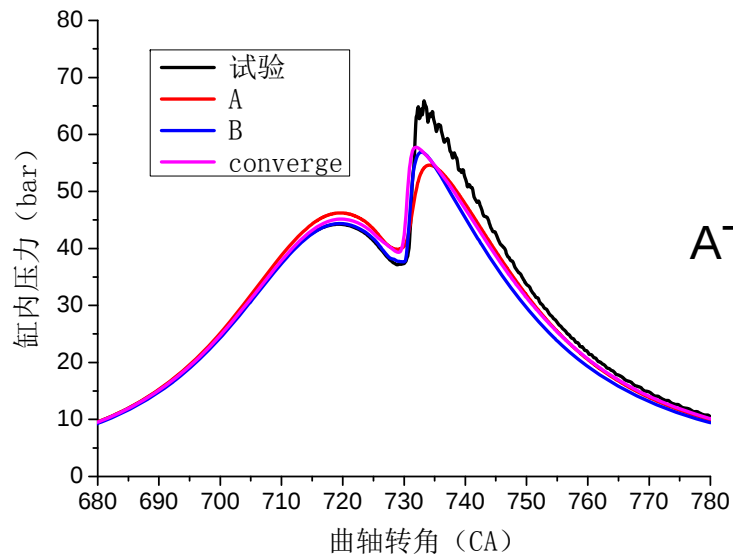
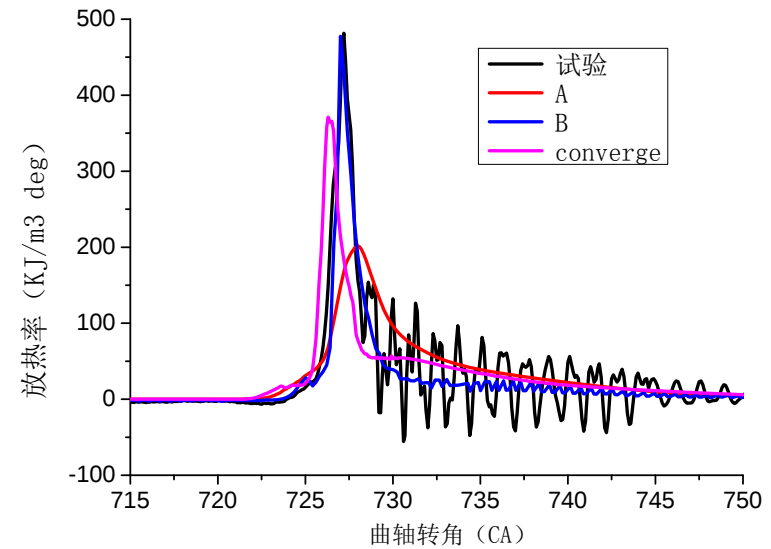


扭矩275N.m，转速1000rpm，不同喷油时刻工况：

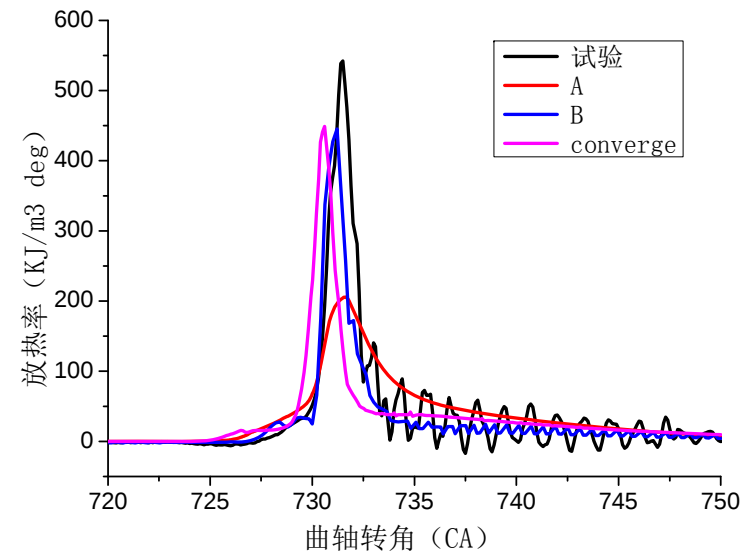


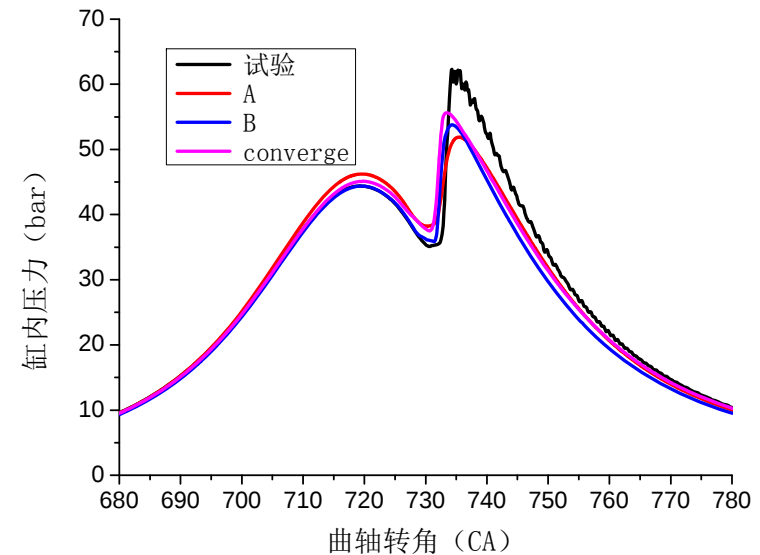
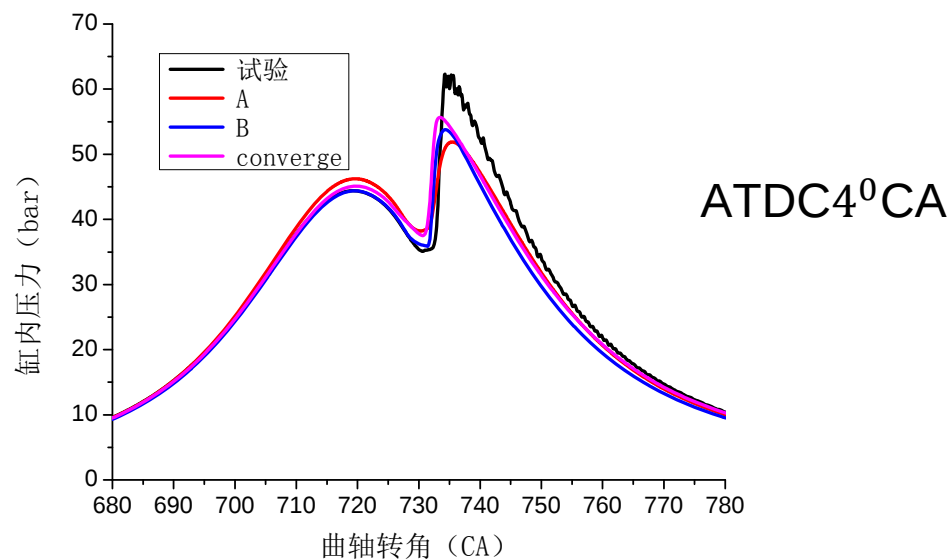


TDC



ATDC30CA

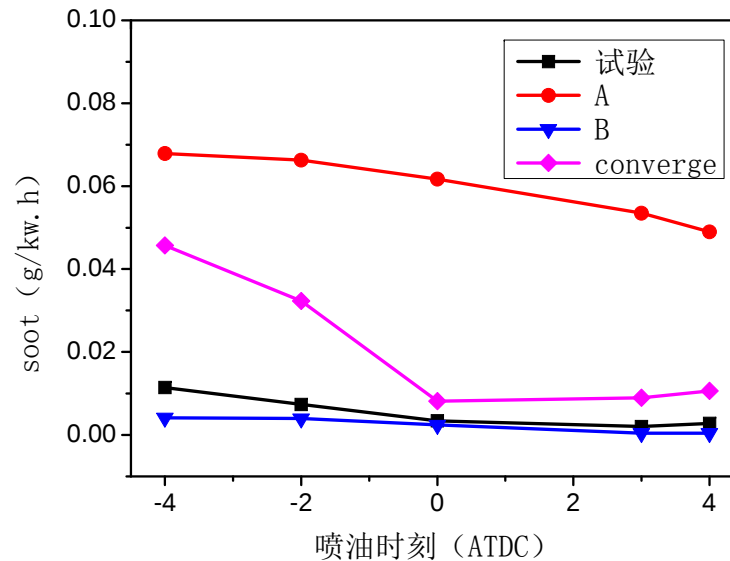
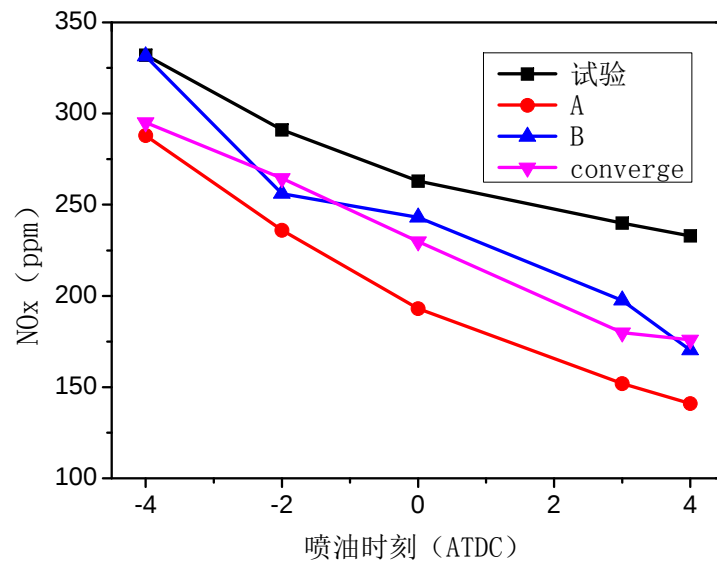




扭矩为275N.m，不同喷油时刻工况，converge计算着火相比较对早，上止点后的工况约1-1.5CA。



扭矩275N.m, 转速1000r/min, 不同喷油时刻排放:



扭矩为275N. m, 变喷油时刻工况, CONVERGE计算NOx排放与试验基本一致。

4 结论



中国一汽无锡油泵油嘴研究所
WFIERI, FAW, CHINA

- 1) CONVERGE前处理简单、网格控制方便、动网格实现简便。
- 2) CONVERGE自带化学反应求解器，可进行详细化学反应计算，结合多区加速优化算法大大减少了计算量，可用于工程计算。
- 3) CONVERGE计算的燃烧和排放结果有一定的精度，但还需对模型进行进一步的调试。



中国一汽无锡油泵油嘴研究所
WFIERI, FAW, CHINA

谢谢！