

Your True Partner for CAE&CFD

ICSC  2015

IDAJ CAE
Solution
Conference

CONVERGE喷雾燃烧计算敏感性分析

公司名称：中国北方发动机研究所
刘永丰

主要内容

- 1背景
- 2网格密度的影响
- 3喷雾参数的影响
- 4燃烧模型的影响
- 5普朗特数和施密特数的影响
- 6初始湍流的影响
- 7结论

1. 背景

用CONVERGE进行燃烧计算时，参数设置和初边界条件对计算结果影响大小不同，进行这些参数对喷雾燃烧计算的敏感性分析，为实际计算标定提供参考。

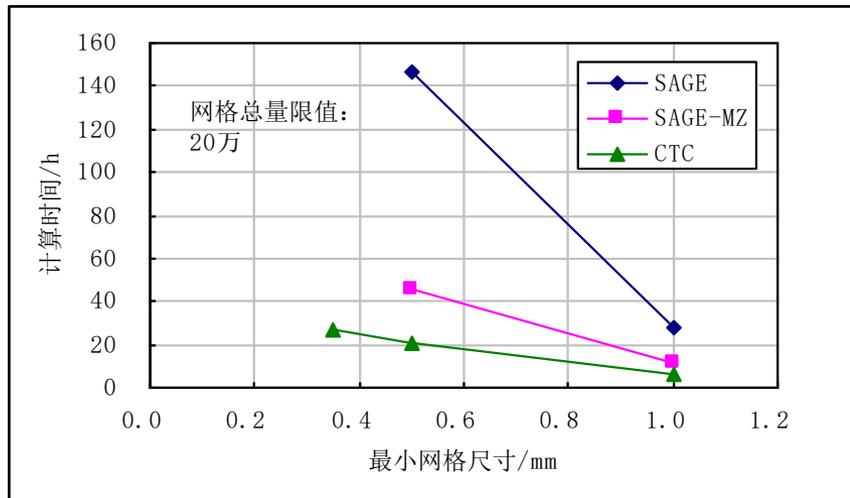
计算参数：

- 网格尺度
- 喷雾参数：燃油密度、燃油温度、燃油热值、喷雾锥角、KH-RT模型
- 燃烧模型
- 普朗特数和施密特数
- 初始湍流

2. 网格尺度

最小网格尺寸S取决于基础网格尺寸B、自动加密级数AMR

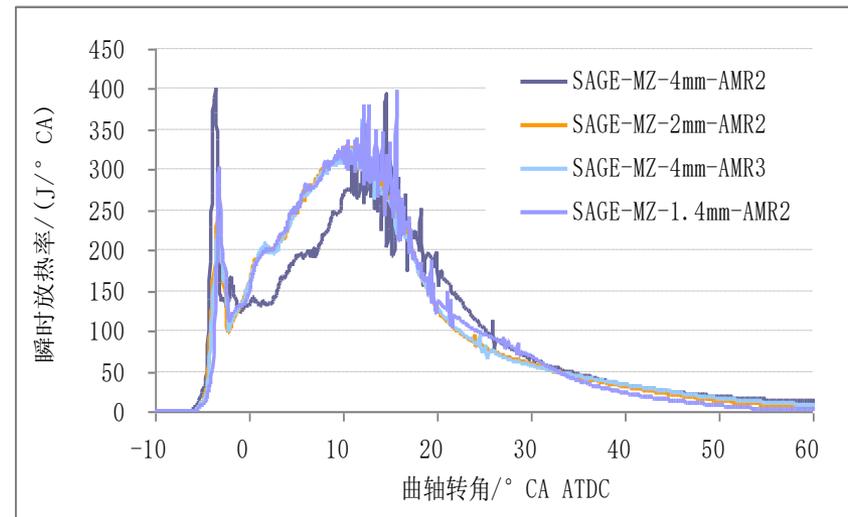
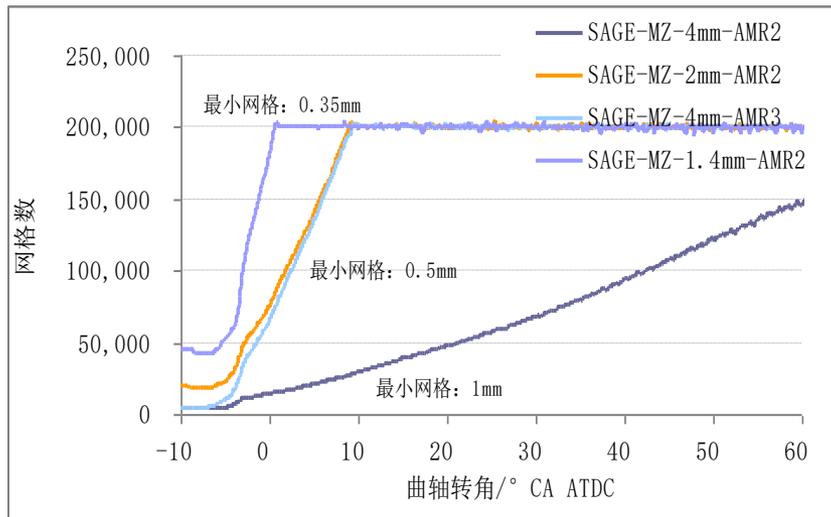
$$S = B \cdot 2^{-AMR}$$



网格越小，计算时间越长

2. 网格密度

最小网格尺寸对燃烧的影响——SAGE-MZ燃烧模型



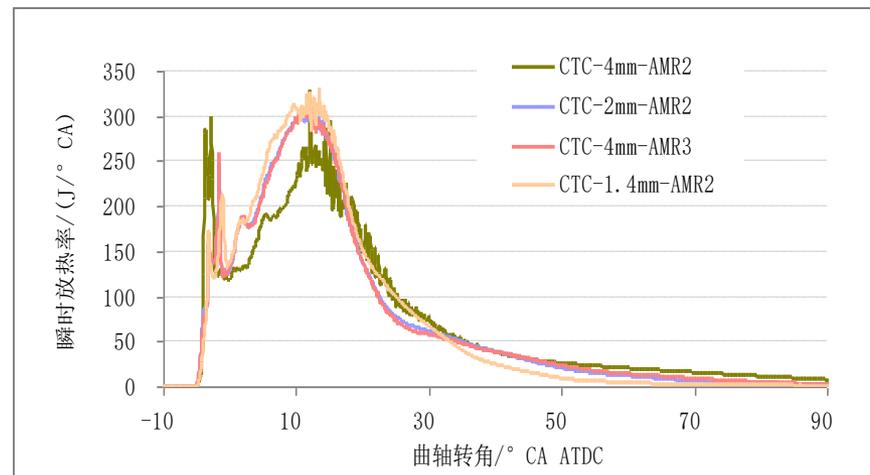
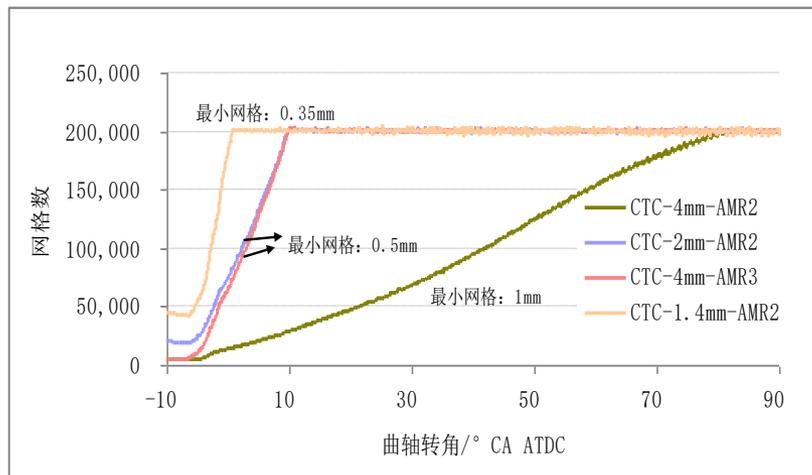
最小网格 $\leq 0.5\text{mm}$ 后:

预混合燃烧和扩散燃烧前期放热率基本重合

燃烧后期略有差别, 具体表现在最小网格 0.35mm 时, 后燃略小

2. 网格尺度

最小网格尺寸对燃烧的影响——CTC燃烧模型



网格密度对CTC燃烧模型的影响较大：
最小网格0.5mm到0.35mm，放热率仍然有变化

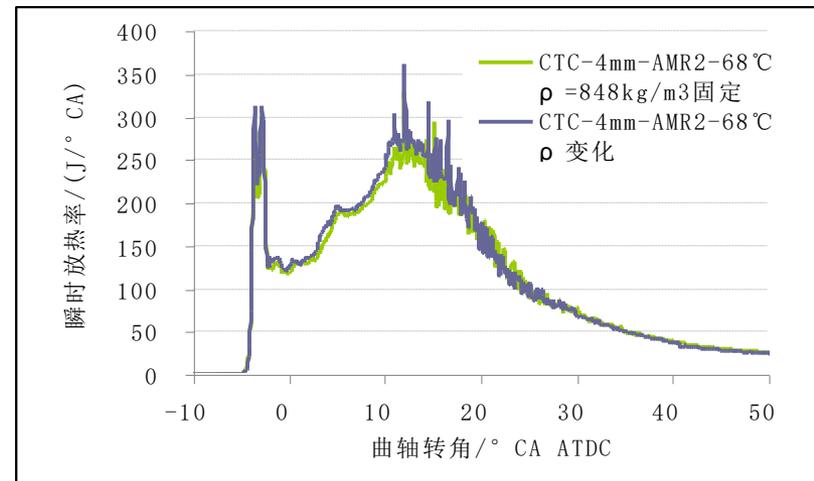
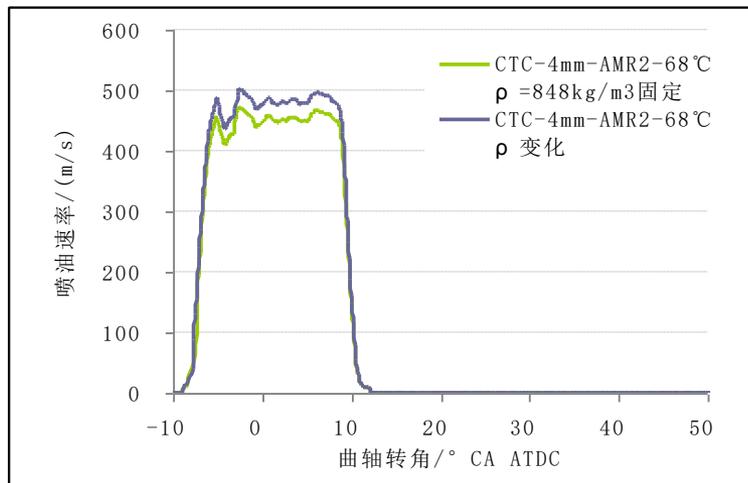
3. 喷雾参数的影响

- 1燃油密度
- 2燃油温度
- 3燃油热值
- 4破碎模型
- 5喷雾锥角

3.1 喷雾参数-燃油密度

在CONVERGE自带的模型中，燃油为DIESEL2，密度为848kg/m³，而且不随温度变化。

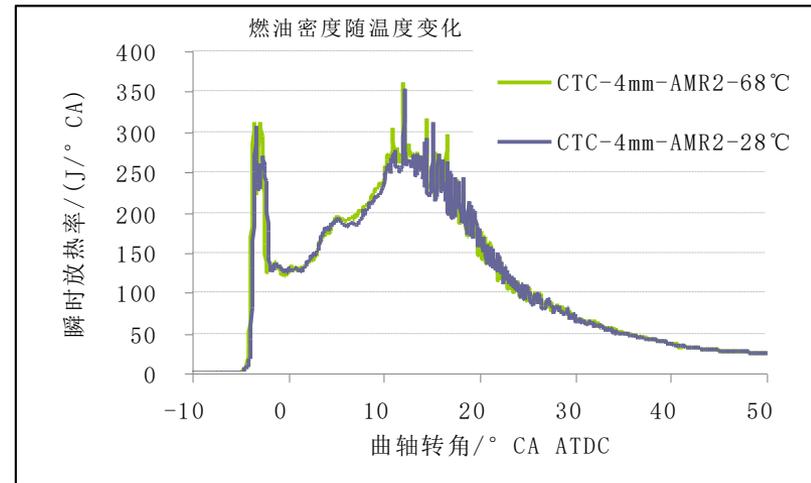
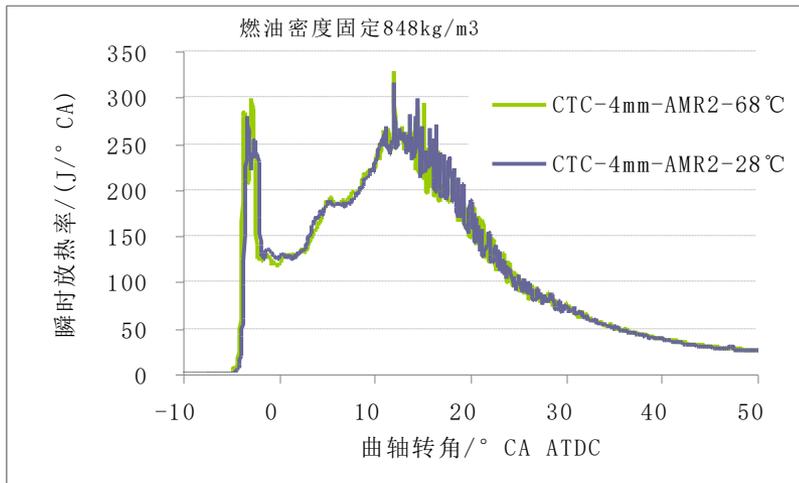
采用随温度变化的密度，计算结果是否会有变化。



采用某柴油密度数据后，喷油速度增大，雾化较好，预混合燃烧和扩散燃烧前期放热率略微增大

3.2 燃油温度的影响

在CONVERGE自带的模型中，喷油压力100MPa，燃油温度为341K（68℃）。



不论燃油密度是否随温度变化，温度对放热率的影响较小

3.3 燃油热值的影响

- 柴油机燃烧计算时，通常用正庚烷（C7H16）代替柴油
- 存在的问题是：C7H16低热值44.95MJ/kg，与实际不同
- 该问题可通过修改therm. dat中C7H16的物性来解决

a6m
改为-61017

a6m'
改为-52400

```

c7h16      2/10/95      c  7h  16  0      0g  300.000  5000.000  1391.000      61■
2.22148969e+01  3.47675750e-02 -1.18407129e-05  1.83298478e-09 -1.06130266e-13      2■
-3.42760081e+04 -9.23040196e+01 -1.26836187e+00  8.54355820e-02 -5.25346786e-05      3■
1.62945721e-08 -2.02394925e-12 -2.56586565e+04  3.53732912e+01      4■
  
```

$$\Delta a_{6m}' = \frac{\Delta LHV \cdot M}{1000R} = -27115$$

$$\Delta LHV = -2.25 \times 10^6 \text{ J/kg}$$

$$M = 100.2 \text{ kg/kmol}$$

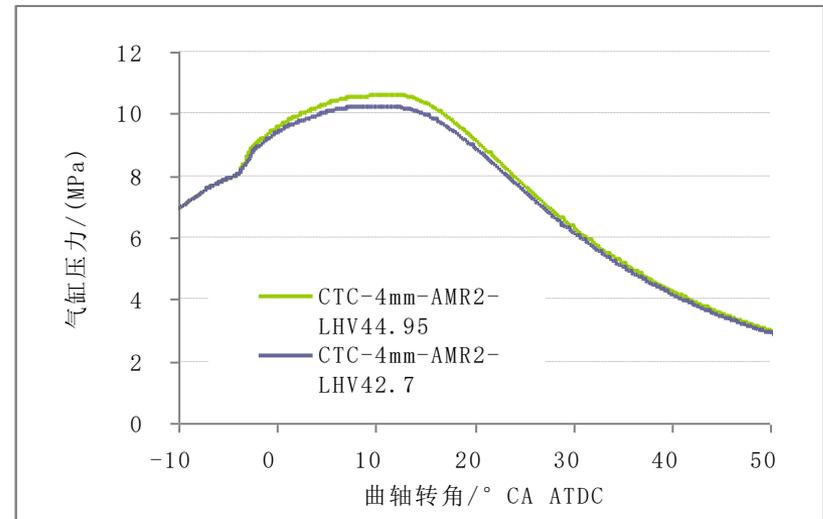
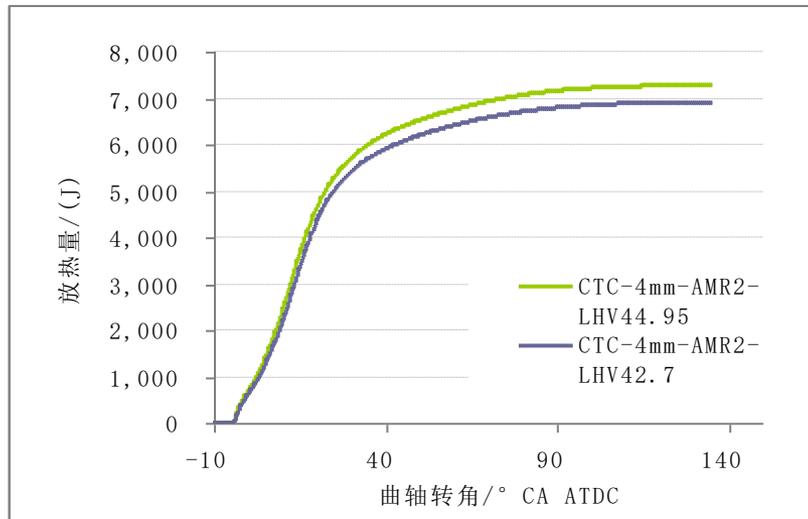
$$R = 8.3145 \text{ J/(kgK)}$$

注意：该方法仅适用于CTC模型，用于SAGE模型有问题

3.3 燃油热值的影响

通过算例可见：

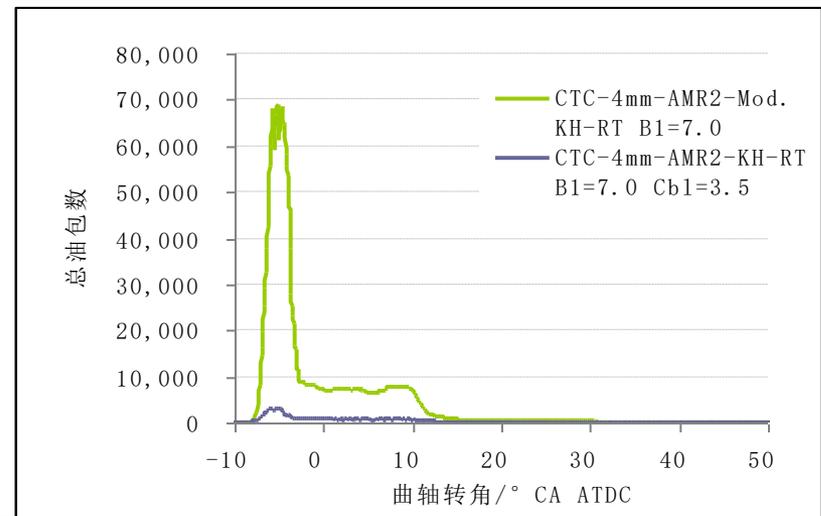
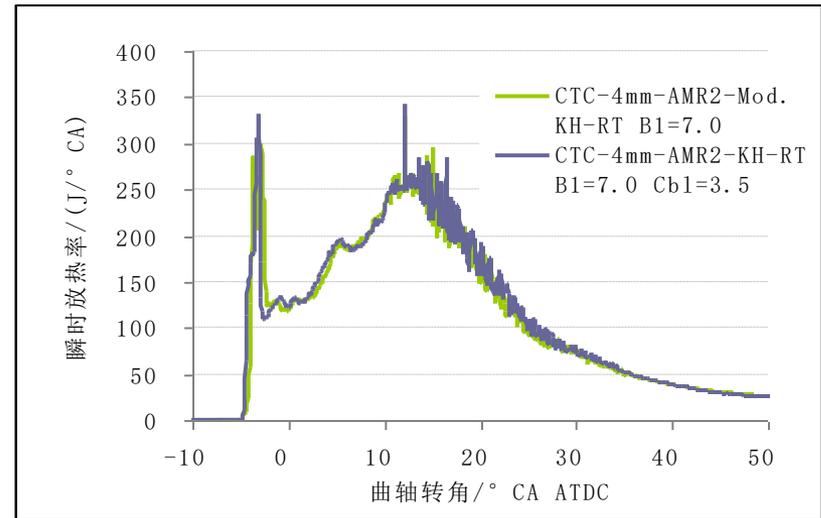
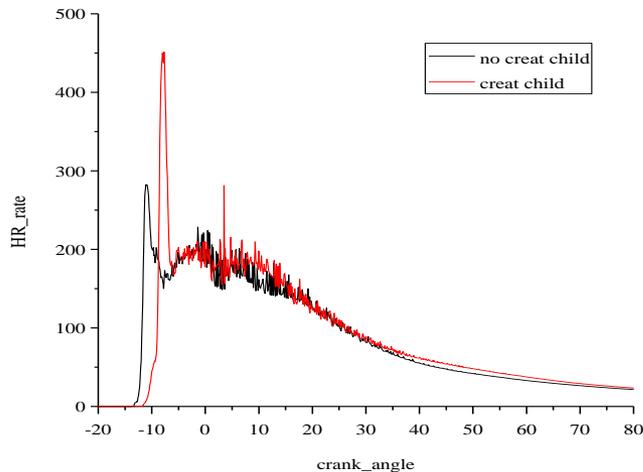
低热值（LHV）对总放热量和最高燃烧压力都有较大的影响，总放热量又决定总指示功和总指示热效率。所以，LHV不准确，则无法准确校核试验结果。



3.4 Mod. KH-RT与KH-RT

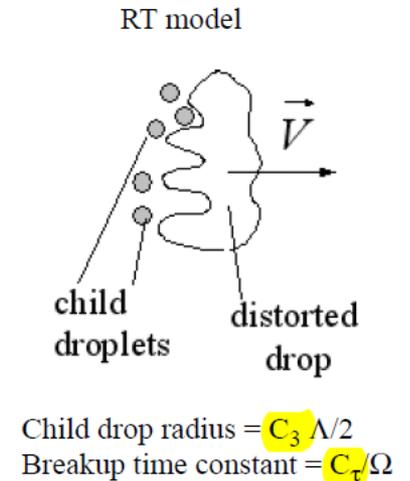
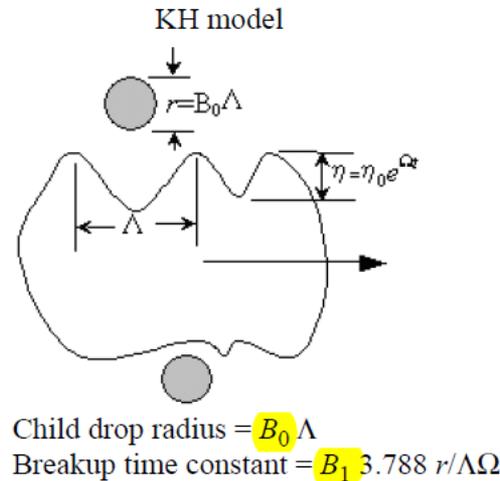
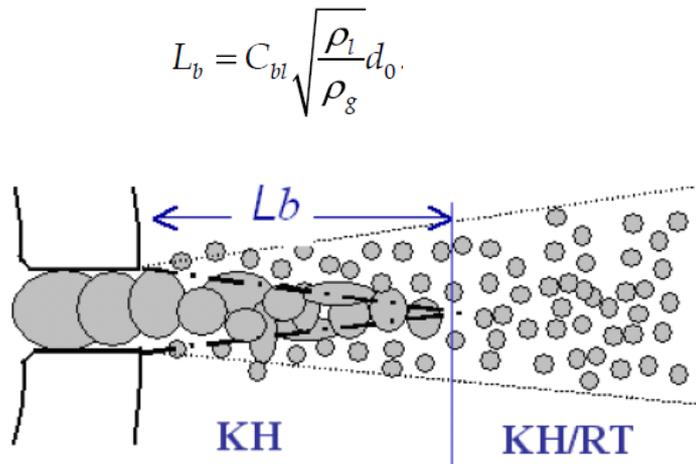
● Mod. KH-RT与KH-RT的区别

- 前者无分裂长度概念，一次雾化采用KH模型，二次雾化采用KH-RT模型
- 后者有液核长度 L_b ，小于 L_b ，采用KH模型；大于 L_b ，采用KH-RT模型

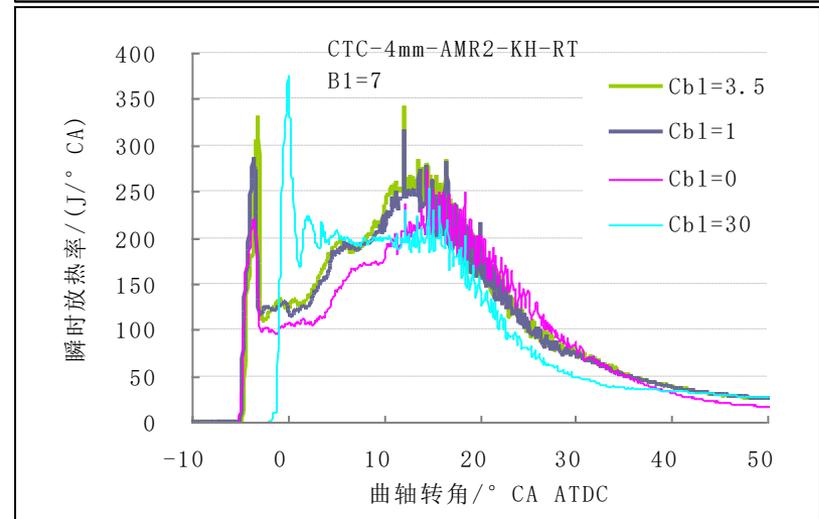
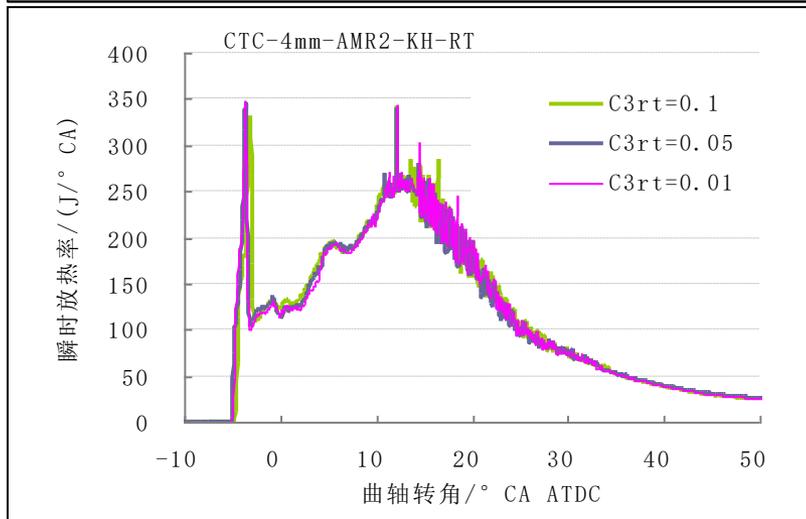
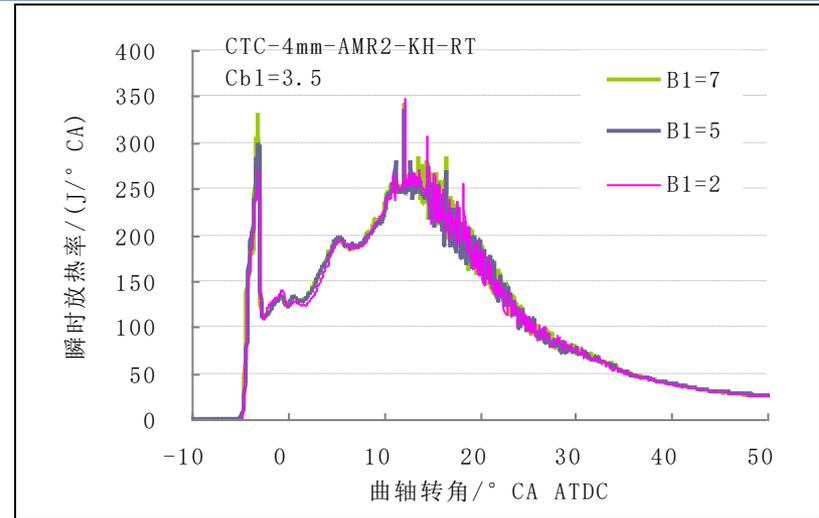
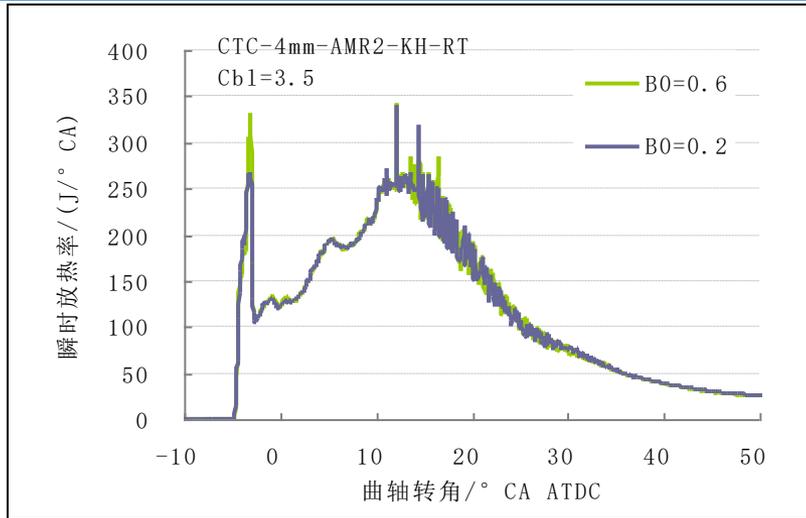


3.4 KH-RT参数

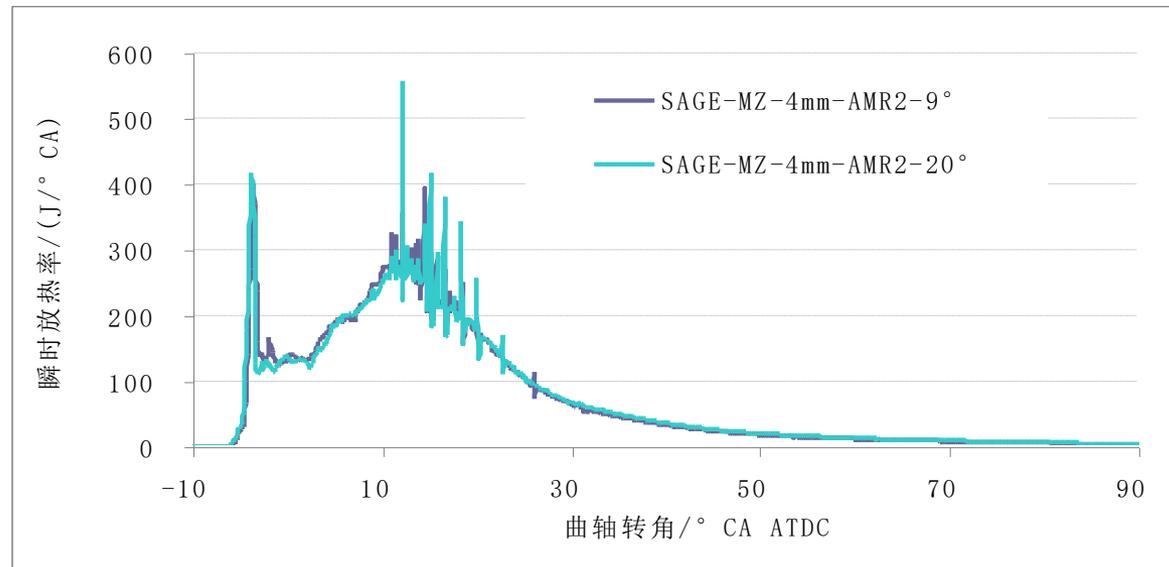
	范围	推荐	
KH-Model size constant—B0	-	0.61	
KH-Model velocity constant—C1	-	0.188	
KH-Model breakup time constant—B1	5~100	7	与液柱初始扰动度相关
RT-Model breakup time constant—Cτ	0.1~1	1不推荐修改	
RT-Model size constant—C3rt	0.1~1	0.1	
RT-Model breakup length constant—Cb1	0~50	B1/2=3.5	



3.4 KH-RT参数



3.5 喷雾锥角的影响

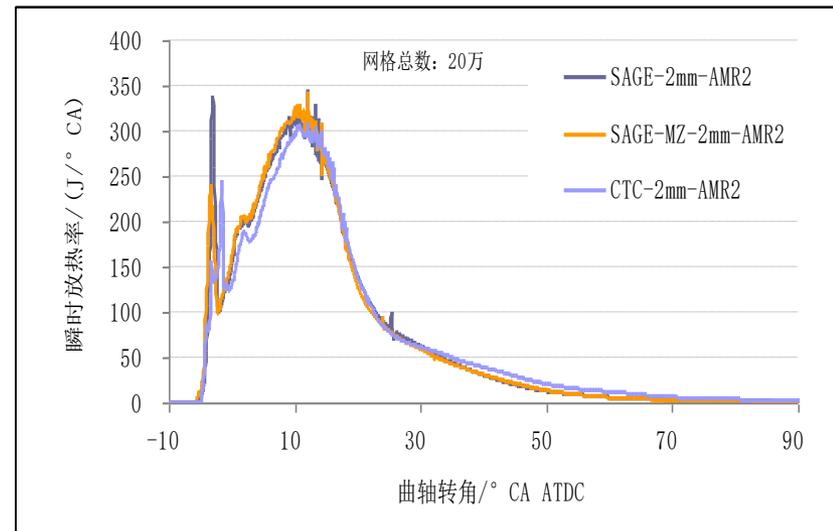
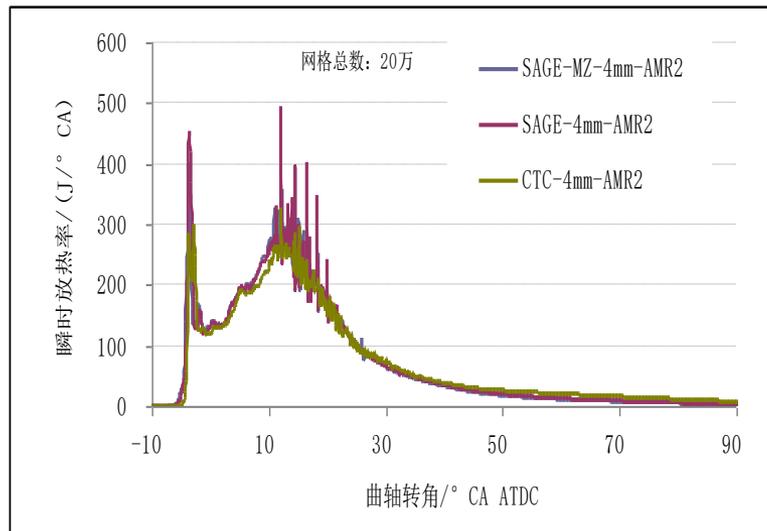


在 9° - 20° 范围内，喷雾锥角（spray cone angle）对放热率的影响较小

4. 燃烧模型的影响

- 1 燃烧模型比较
- 2 ctc模型参数

4.1 燃烧模型比较



不同网格密度下:

- 1) SAGE和SAGE-MZ计算的放热率基本相同
- 2) CTC计算的放热率略微滞后, 但基本形状相同

4.2 ctc燃烧模型参数

$$\frac{\partial \rho_{fuel}}{\partial t} = -\frac{\rho_{fuel} - \rho_{fuel}^*}{\tau_c},$$

$$\tau_c = \tau_{chem} + f \tau_{turb}$$

$$\frac{\partial \rho_{CO}}{\partial t} = -\frac{\rho_{CO} - \rho_{CO}^*}{x_{CTC} \tau_c},$$

$$\tau_{chem} = \frac{[C_n H_{2m}]^{0.75} e^{(E_{chem}/R_u T_g)}}{2 A_{chem} [O_2]^{1.5}}$$

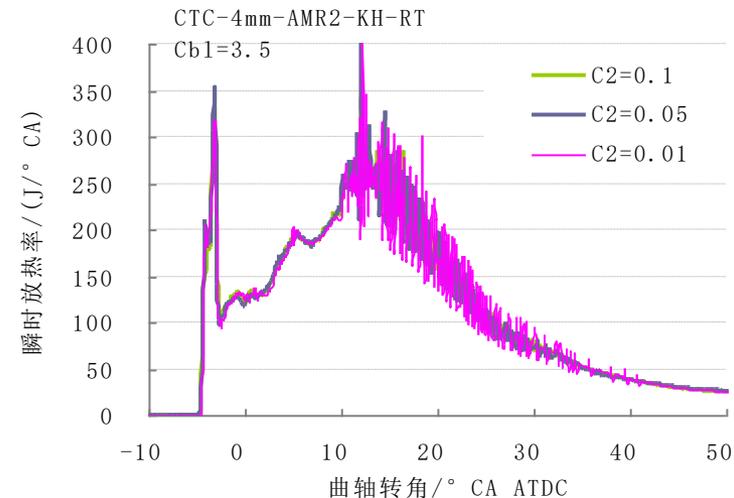
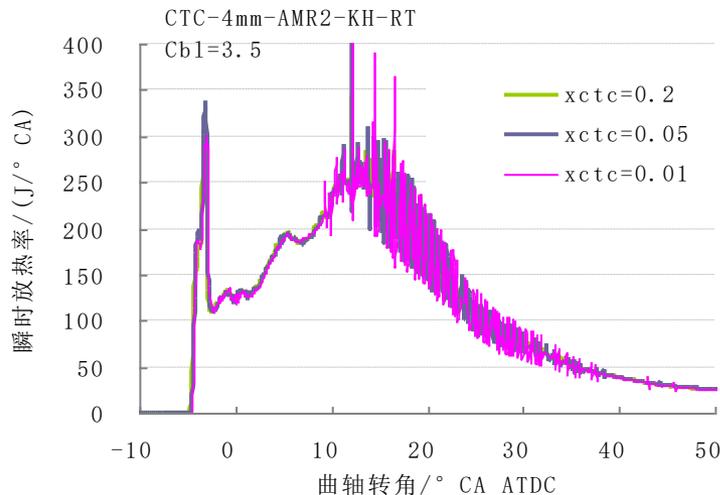
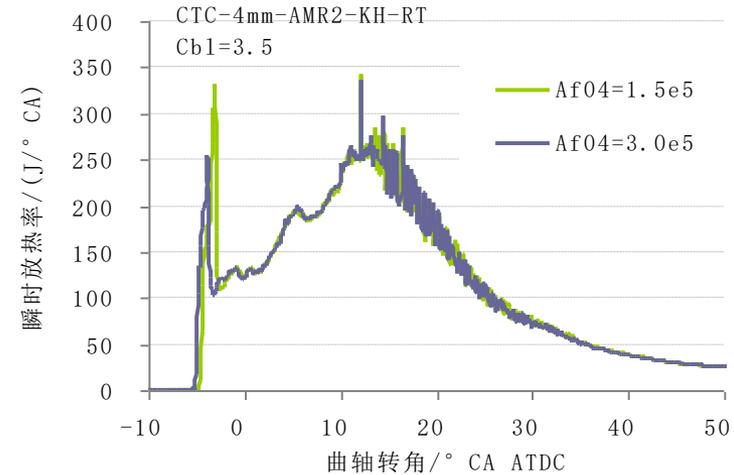
$$\tau_{turb} = C_2 \frac{k}{\varepsilon}$$

$$\frac{\partial \rho_{H_2}}{\partial t} = -\frac{\rho_{H_2} - \rho_{H_2}^*}{x_{CTC} \tau_c},$$

	范围	推荐	
Ignition delay constant—af04	1e5~5e5	1.5e5	增大Af04, 滞燃期减小
Multi-scale CTC time-scale fraction—xctc	0.05~1	0.2	
Turbulent time-scale constant—C2	0.1~1	0.1	减小C2可增大扩散燃烧速度
Chemical time-scale constant—Achem	1e6~1e12	7.68e9	增大Achem可增大预混合燃烧速度

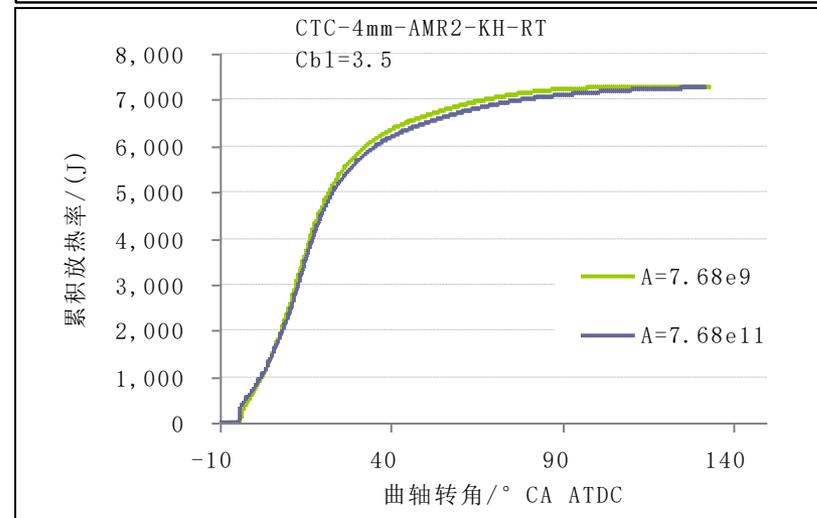
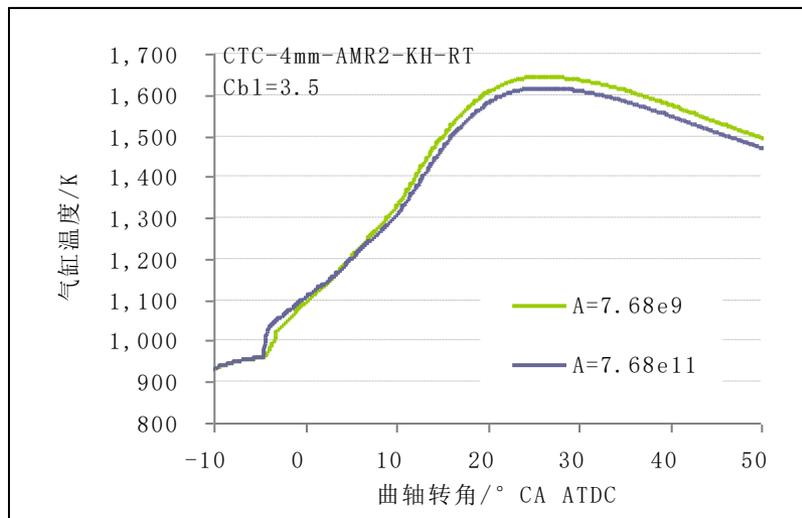
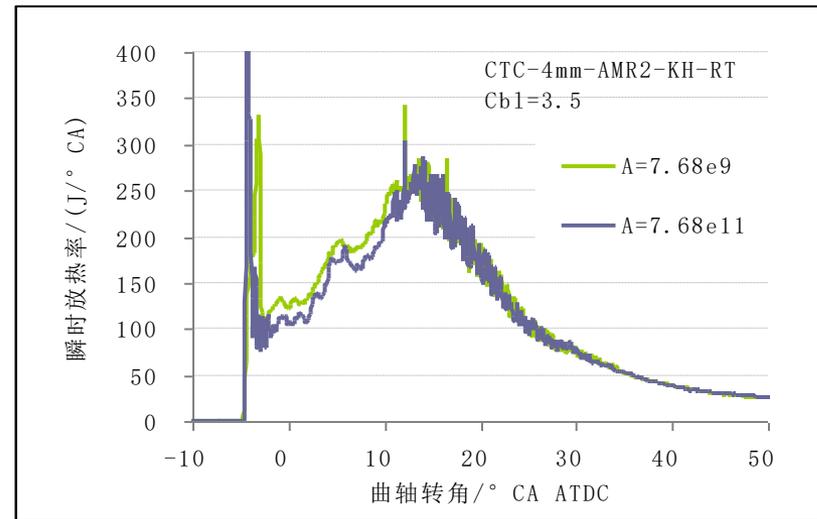
4.2 ctc燃烧模型参数

Af04增大，滞燃期缩短，
预混合燃烧比例有所减小
Xctc和c2似乎对燃烧影响
不大



4.2 ctc燃烧模型参数

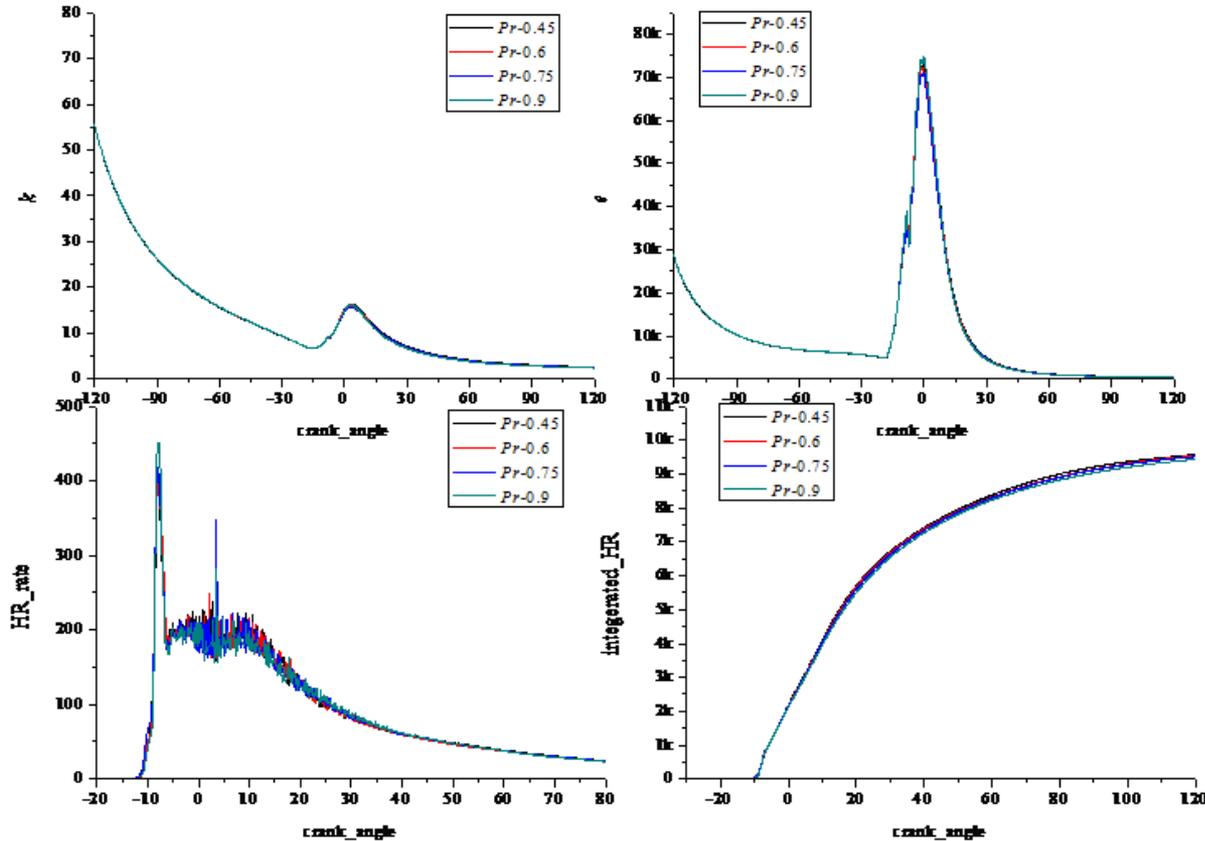
$A=1e6 \sim 1e12$ ，默认 $A=7.68E9$
 A 增大，预混合燃烧比例增大，扩散燃烧比例减小，最高平均温度降低。



5. 普朗特数和施密特数

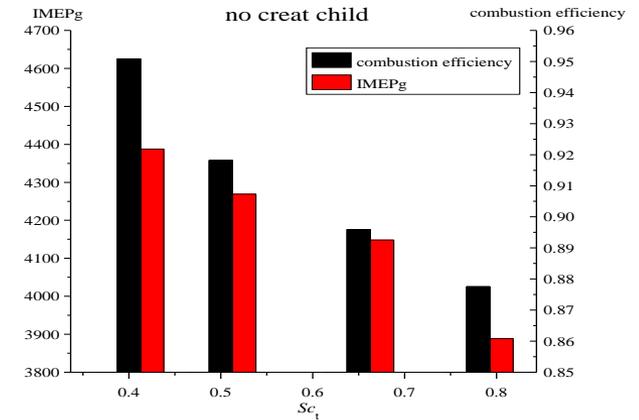
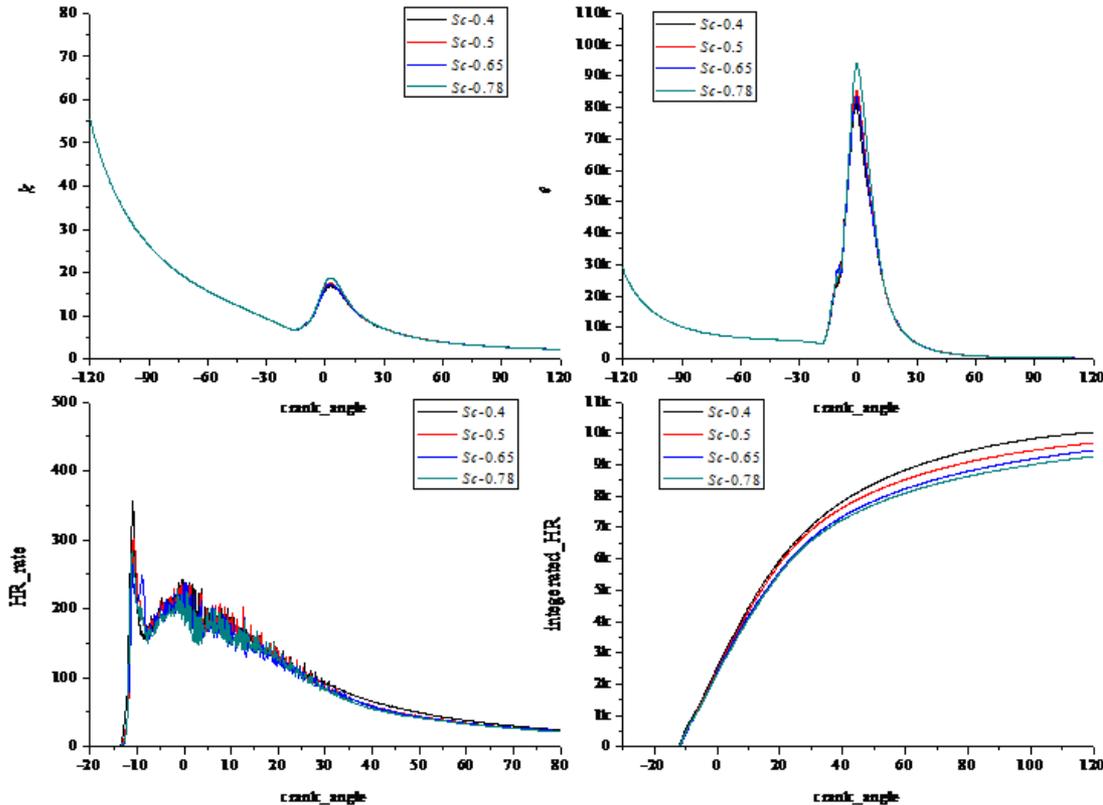
- 1 普朗特数
- 2 施密特数

5.1 普朗特数的影响



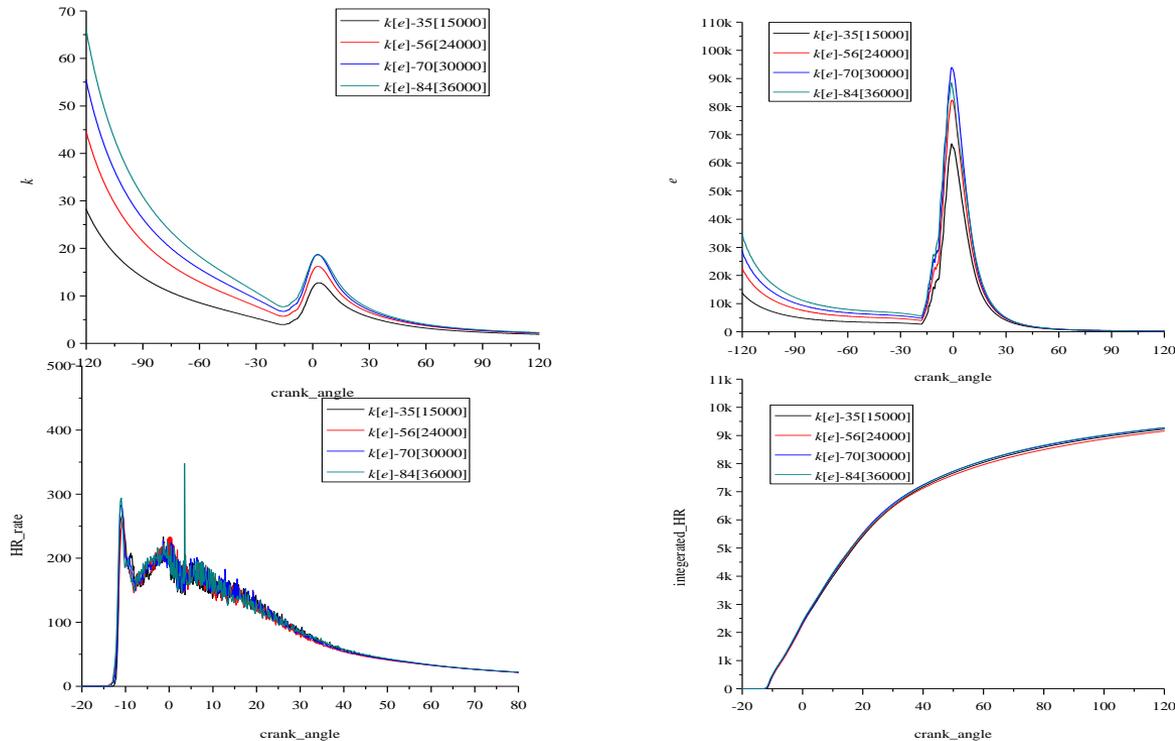
普朗特数的改变对湍动能、耗散率均无影响；
普朗特数的改变对放热率影响较小。

5.2 施密特数的影响



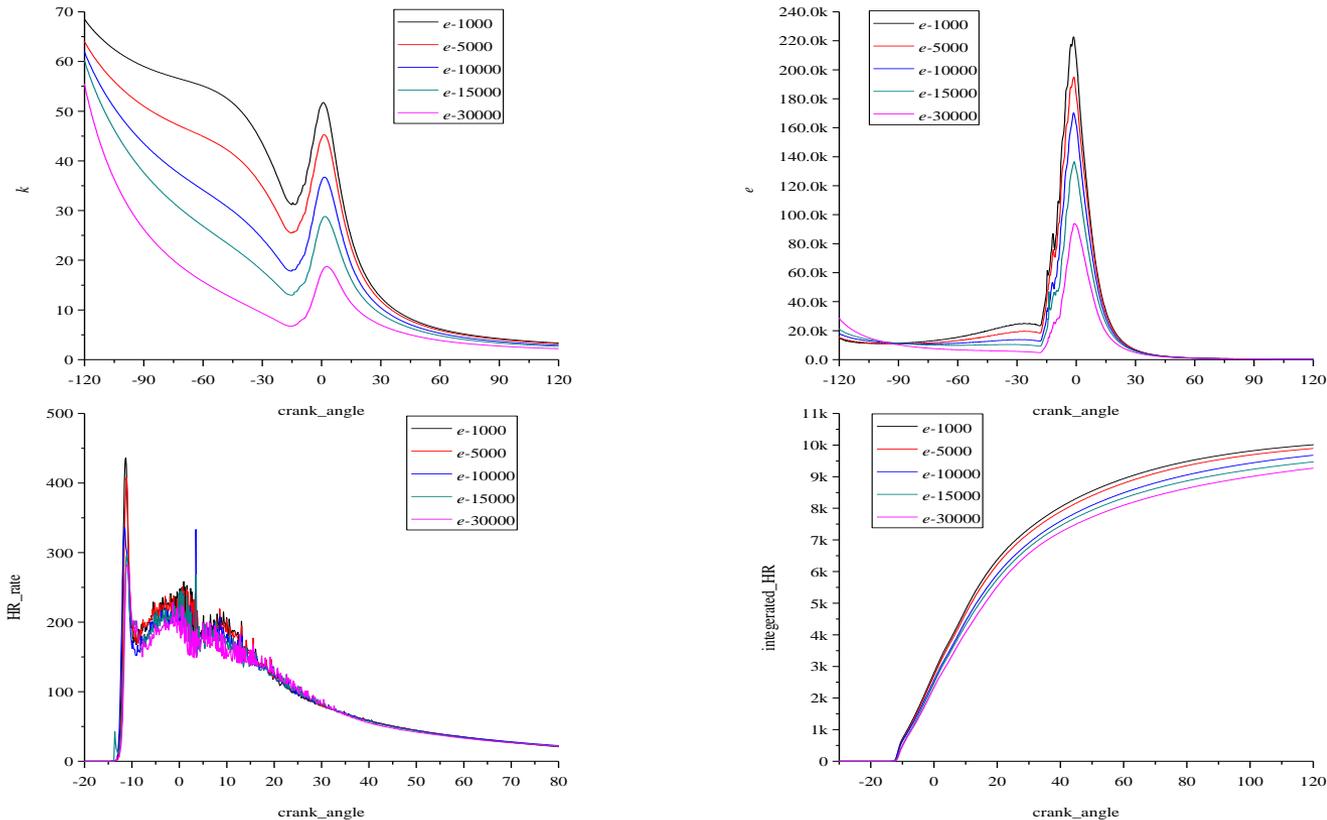
施密特数越小，燃烧越快。由于影响放热率，对缸压曲线有较大影响，进而影响IMEP_g。

6. 初场湍流的影响



改变初场湍动能、耗散率的等比例倍数，对计算结果基本没有影响。

6. 初场湍流的影响



湍动能不变，单独改变初场耗散率对缸内燃烧计算结果影响较大。

7. 结论

- 1 用SAGE-MZ模型时，最小网格尺寸0.5mm即可；用CTC模型时，最小网格尺寸最好 $\leq 0.35\text{mm}$ ；
- 2 相同设置下，SAGE和SAGE-MZ计算结果几乎相同，CTC计算结果与它们略有差别；
- 3 喷雾锥角在 $9^\circ \sim 20^\circ$ 范围内对放热率影响较小；
- 4 燃油密度影响喷油速度，需根据实际喷油压力设置；
- 5 燃油温度对放热率的影响较小；
- 6 普朗特数对结果影响较小，施密特数越小，燃烧越快；
- 7 需要有准确的试验数据，确定准确的初边界条件，对计算结果进行标定。

谢谢大家！