CVTC
客户 价值 技术 合作

# 天然气发动机CAESES燃烧开发应用

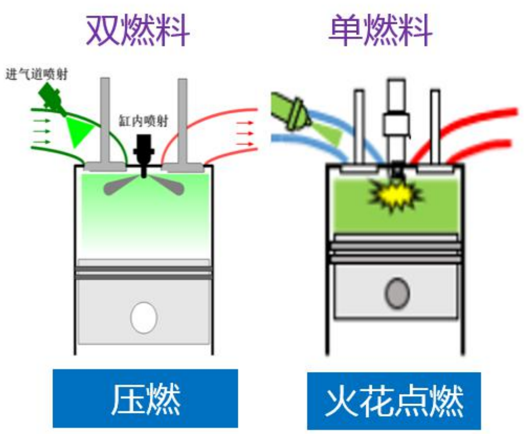
报告人：陈欢
部门：动力总成部
时间：2019.6
一般资料（　）
部门机密（　）
公司机密（√）

东风商用车技术中心
DONGFENG COMMERCIAL VEHICLE TECHNICAL CENTER

# 1. 项目背景

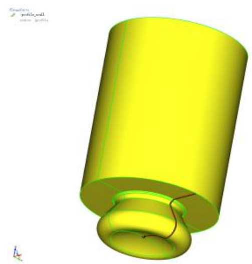
## 背景

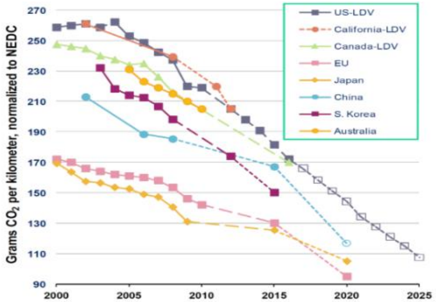
- 大气污染严峻，降CO2排放急迫，石油依存度不断攀升，寻找清洁替代燃料意义重大。天然气储量大、CO2和颗粒物排放低，是一种理想的清洁替代燃料。
- 天然气发动机存在单燃料点燃和双燃料压燃两模式，其中单燃料点燃模式已在市场上广泛应用。
- 燃烧室型线影响缸内气流组织，进而影响燃烧过程，合理的燃烧室型线能够改善燃烧过程。

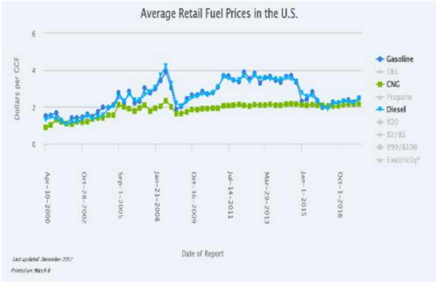



## 优化目标

- **优化燃烧过程（燃烧持续期最短）**；
- 燃烧室形状变化时，压缩比保持不变；
- 开发高效的优化过程，自动化快速生成大量设计模型。



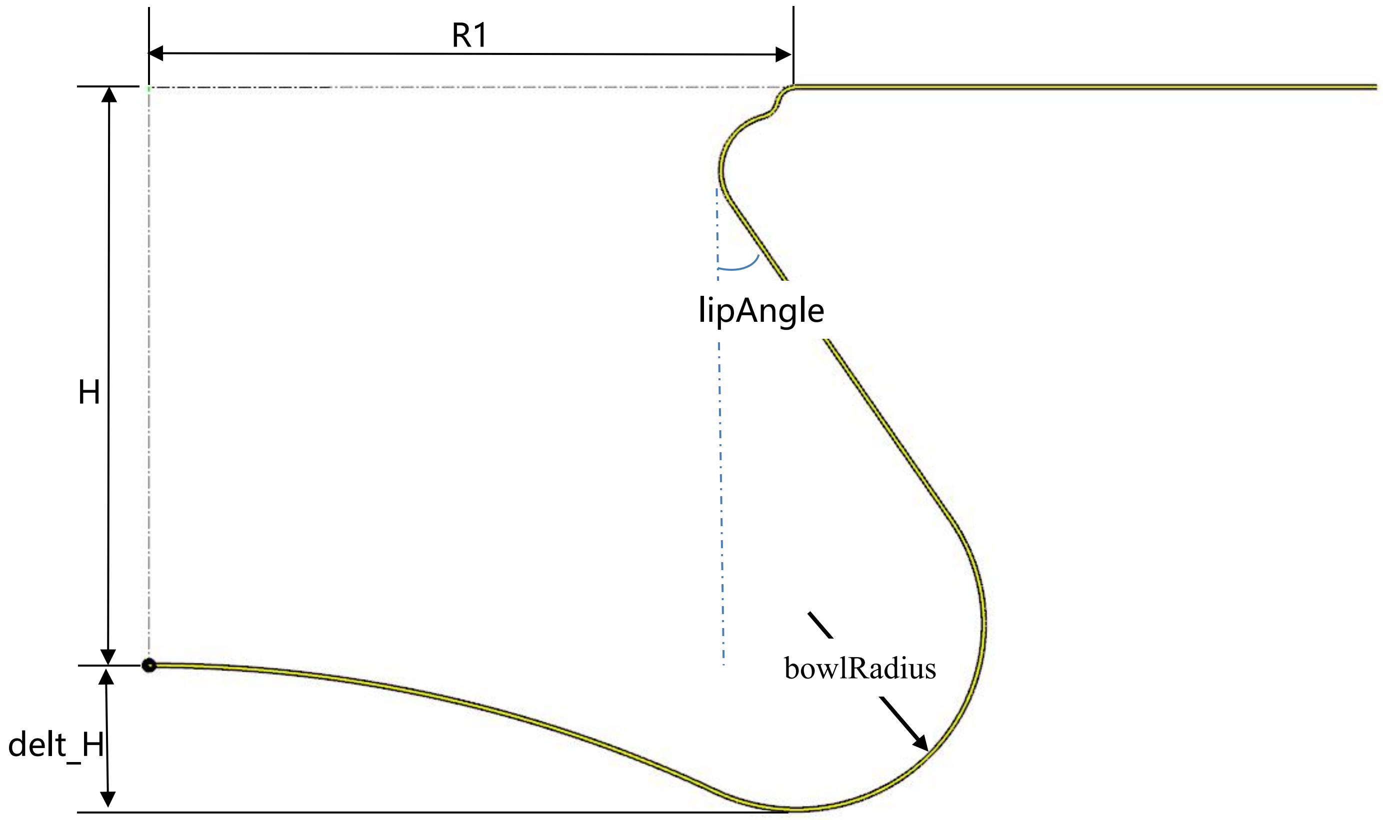



CVTC
客户 价值 技术 合作

## 2.1 设计变量

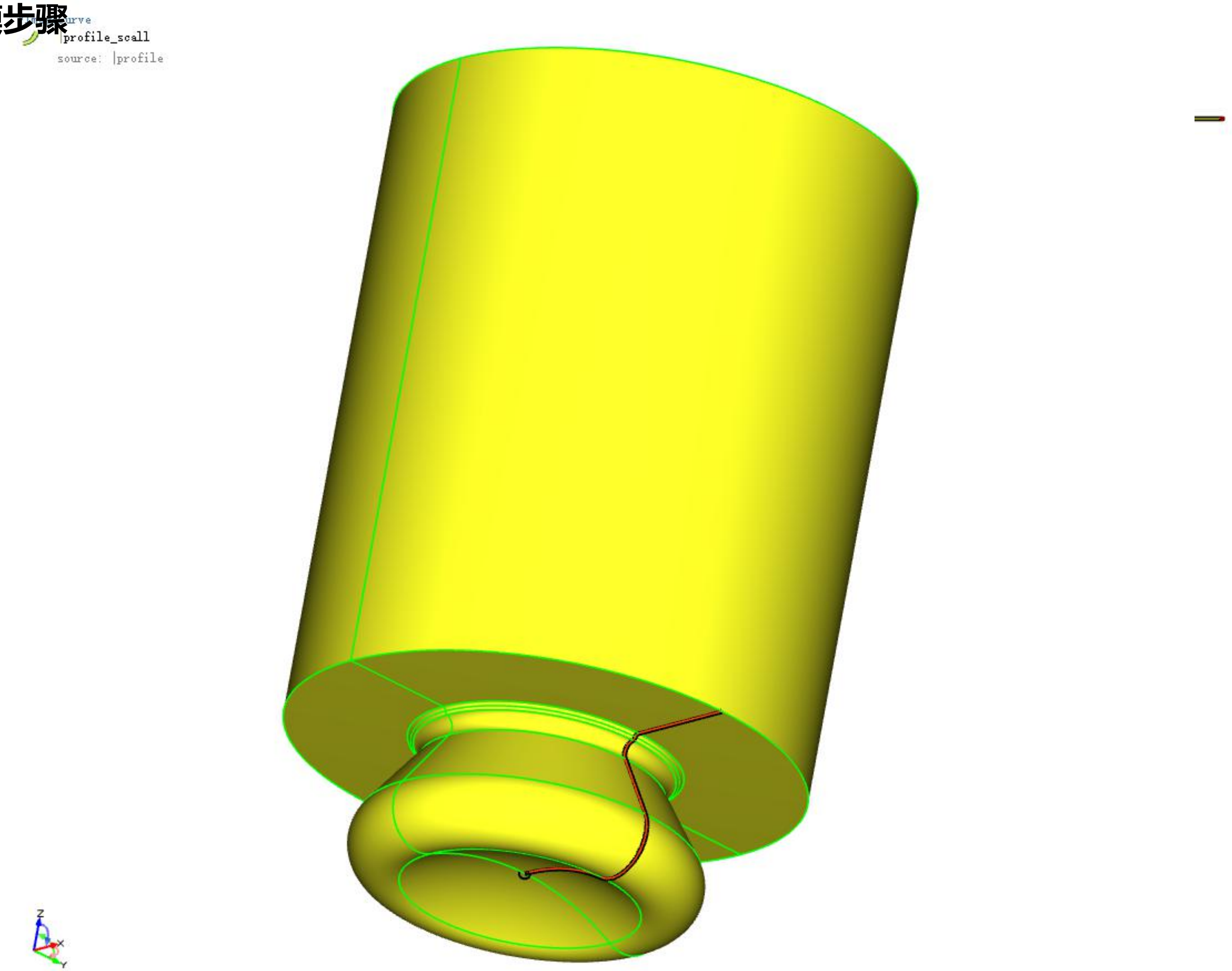
设计变量：bowlRadius、H、lipAngle、R1、delt_H

其中，delt_H是自适应变量，用于保证燃烧室形状变化时，容积不变



CVTC
客户 价值 技术 合作

## 2.2 建模步骤

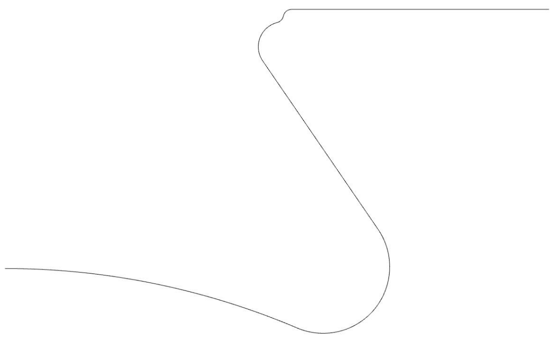



东风商用车技术中心
DONGFENG COMMERCIAL VEHICLE TECHNICAL CENTER

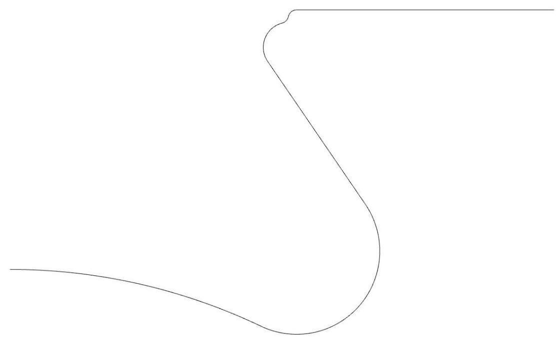
# 2. 参数化建模



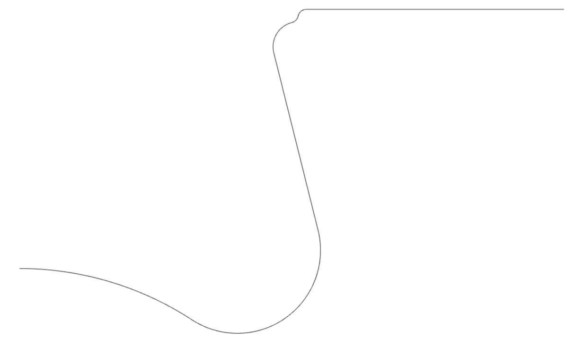
## 2.3 设计变量展示



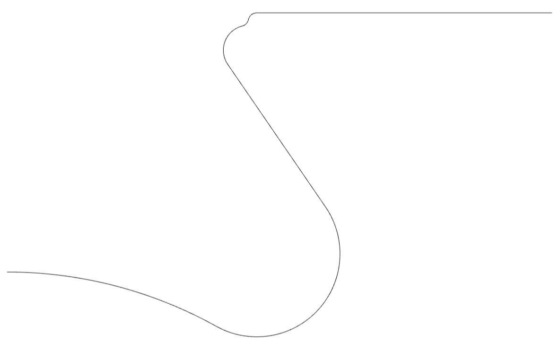
bowlRadius



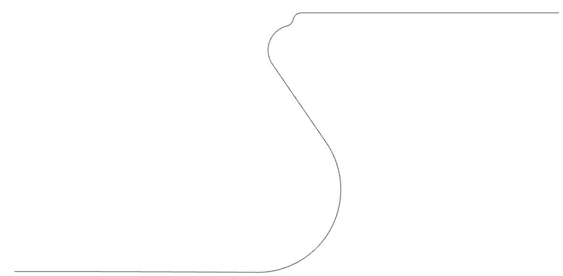
H



lipAngle

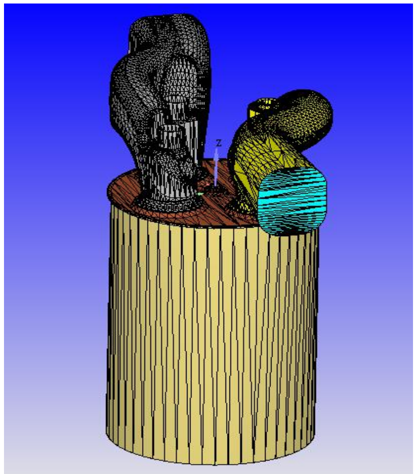


R1

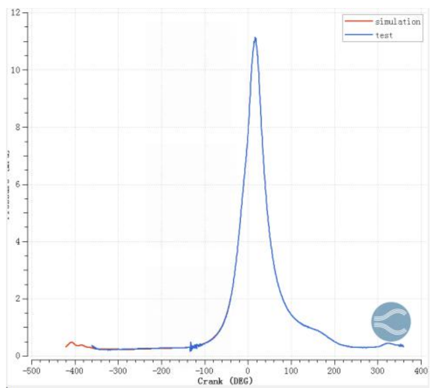


delt_H（用于自适应燃烧室体积）

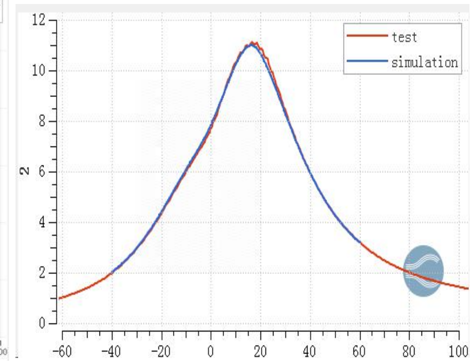
标定模型



试验结果与计算结果对标




纯压缩段（-420 ° CA到-40 ° CA）




点火燃烧段（-40 ° CA到60 ° CA ）

发动机基本参数

| 参数 | 值 |
|---|---|
| 冲程 | 160 mm |
| 缸径 | 131 mm |
| 连杆长度 | 249 mm |
| 压缩比 | 11.5:1 |
| 余隙高度 | 1.1 |
| 涡流比 | 0.5 |

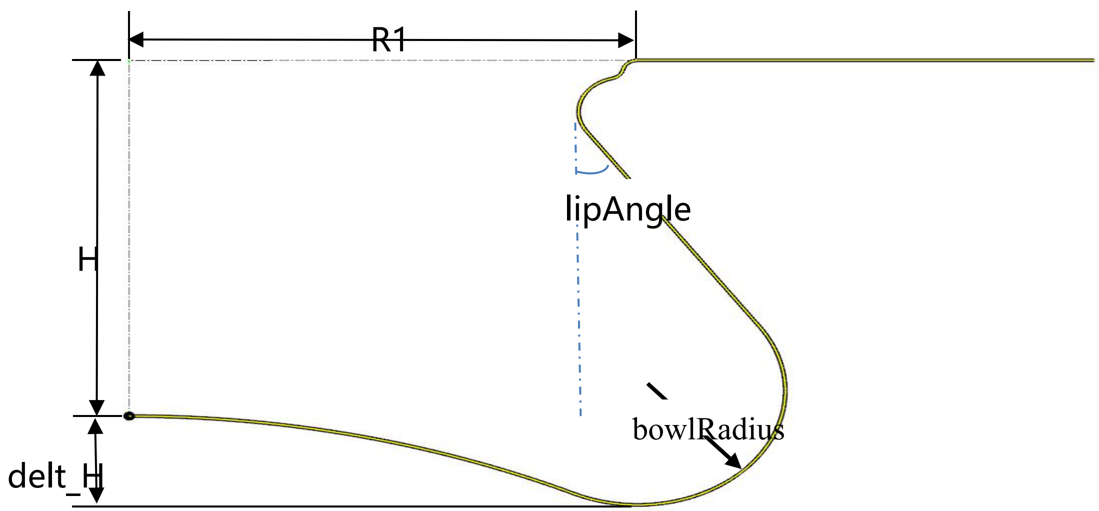
- CFD仿真计算采用Converge，几何模型包含进排气道，计算开始时刻为-420°CA。模型标定分两段进行，纯压缩（-420 ° CA到-40 ° CA）和点火燃烧段（-40 ° CA到60 ° CA ）；
- 速度和温度梯度自适应加密(AMR)，重要边界、点火区域等嵌入式加密(embedding refinement)。
- 试验和模拟的缸压和放热率曲线吻合较好，表明该模型可以比较合理地反映缸内流动燃烧的物理化学过程。

物理化学模型

| 名称 | 模型 |
|---|---|
| 湍流模型 | RNG K-ξ (RANS) |
| 燃烧模型 | SAGE模型（化学反应动力学机理：GRI Mech-3.0，包含53个组分，325步反应） |
| 点火模型 | Energy Source |

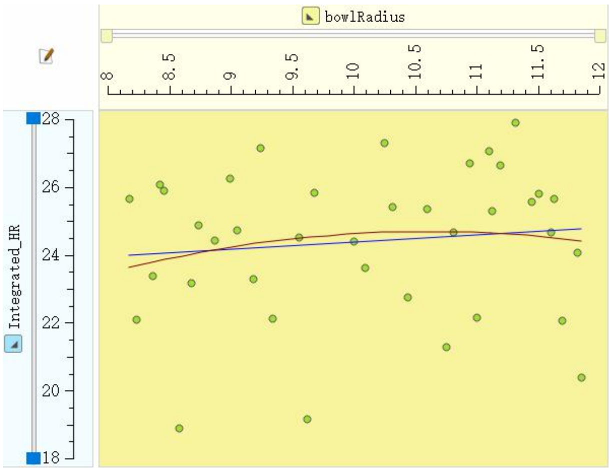
## 4.1 设计变量的范围

| 设计变量 | 最小值（mm） | 最大值（mm） | 原模型（平底）（mm） | 原模型（圆底）（mm） |
|---|---|---|---|---|
| bowlRadius | 8 | 12 | 10 | 10 |
| H | 31.2 | 34.5 | 31.2 | 31.2 |
| lipAngle | 14 | 40 | 13.94 | 34.4 |
| R1 | 30 | 44 | 44 | 34.5 |
| delt_H | 0.1 | 10 | 0 | 7.8 |

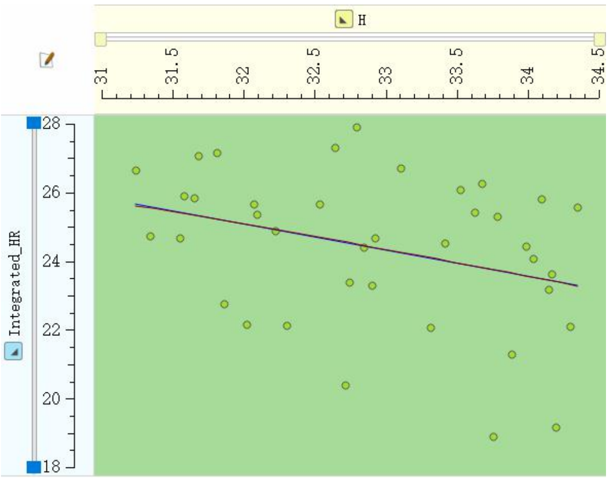


# 4. 结果与分析

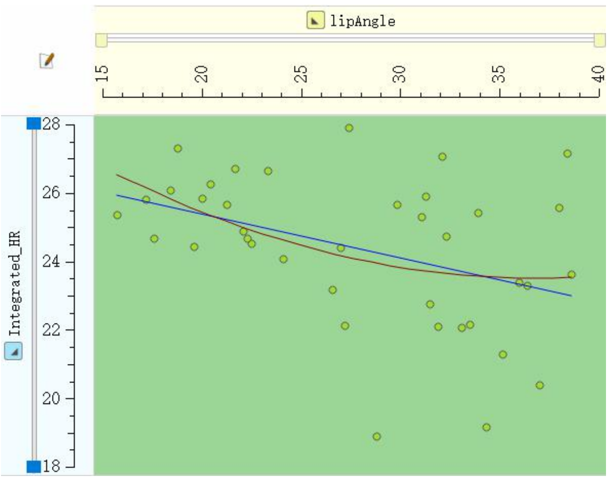
## 4.2 设计变量对燃烧持续期的敏感度分析



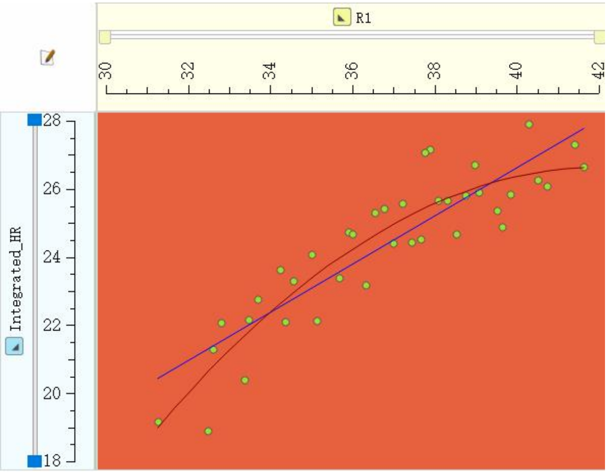

bowlRadius



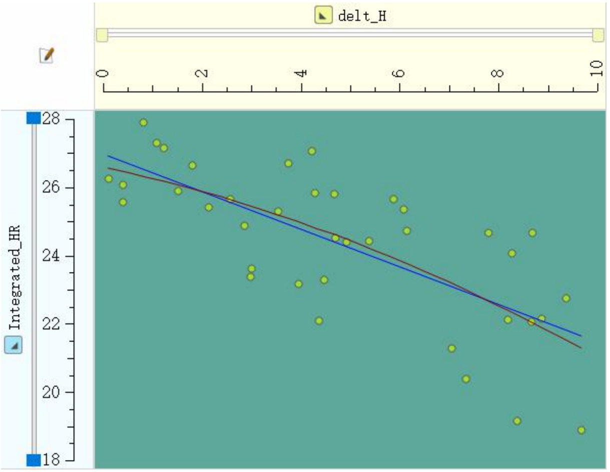

H




lipAngle




R1




delt_H

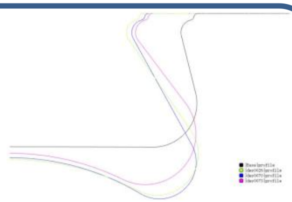
**从敏感度分析结果来看：**

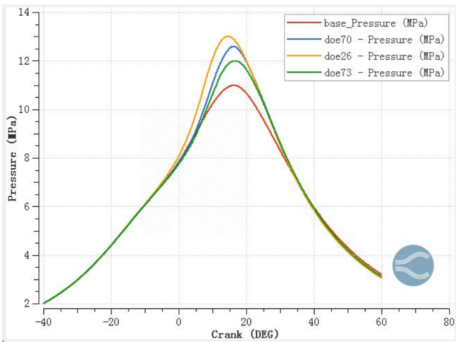
- bowlRadius分布较为分散；
- 随着中心凸台高度H增大，燃烧持续期呈现缩短的趋势；
- 随着燃烧室倾角增大，燃烧持续期呈现缩短的趋势；
- 随着燃烧室开口直径R1增大，燃烧持续期呈现增大趋势；
- 随着燃烧室深度与凸台高度差delt_H增大，燃烧持续期呈现减小趋势。

## 4.3 二维结果分析

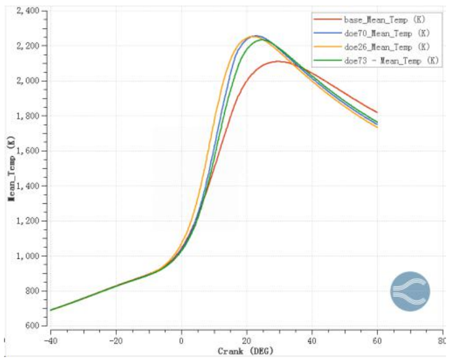
### 优化结果

| name | bowlRadius | H | lipAngle | R1 | delt_H | Integrated_HR | CA10 | CA50 | CA90 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Base | 10 | 31.5 | 13.96 | 44 | 0 | 27.8382 | 1.2777 | 13.3226 | 29.1159 |
| des0070 | 8.59375 | 33.7523 | 28.8281 | 32.5156 | 9.64398 | 18.9205 | 1.2513 | 10.95 | 20.1718 |
| des0026 | 9.625 | 34.1906 | 34.3125 | 31.3125 | 8.3635 | 19.1728 | 0.1651 | 9.4723 | 19.3379 |
| es0073 | 11.8438 | 32.7211 | 36.9531 | 33.3906 | 7.33362 | 20.4102 | 1.4031 | 11.5856 | 21.8133 |

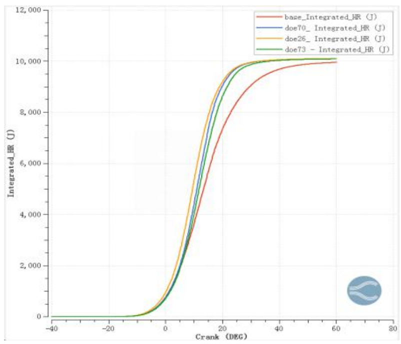




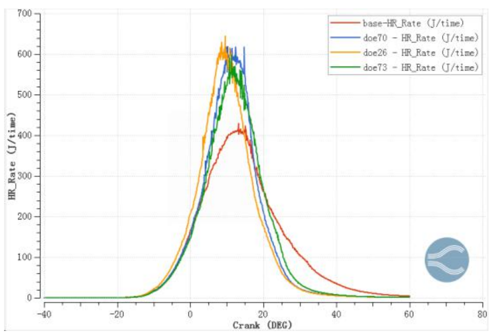

缸压曲线



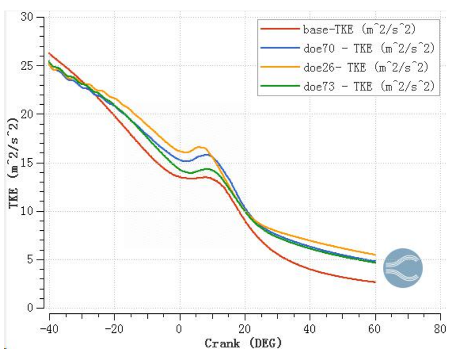

缸内平均温度曲线



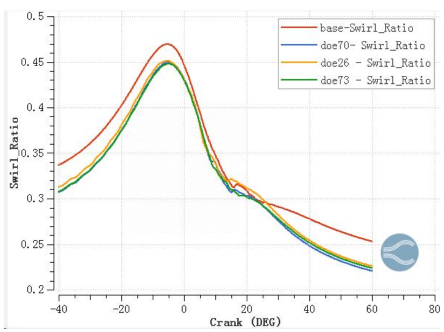

累积放热量




放热率曲线




TKE

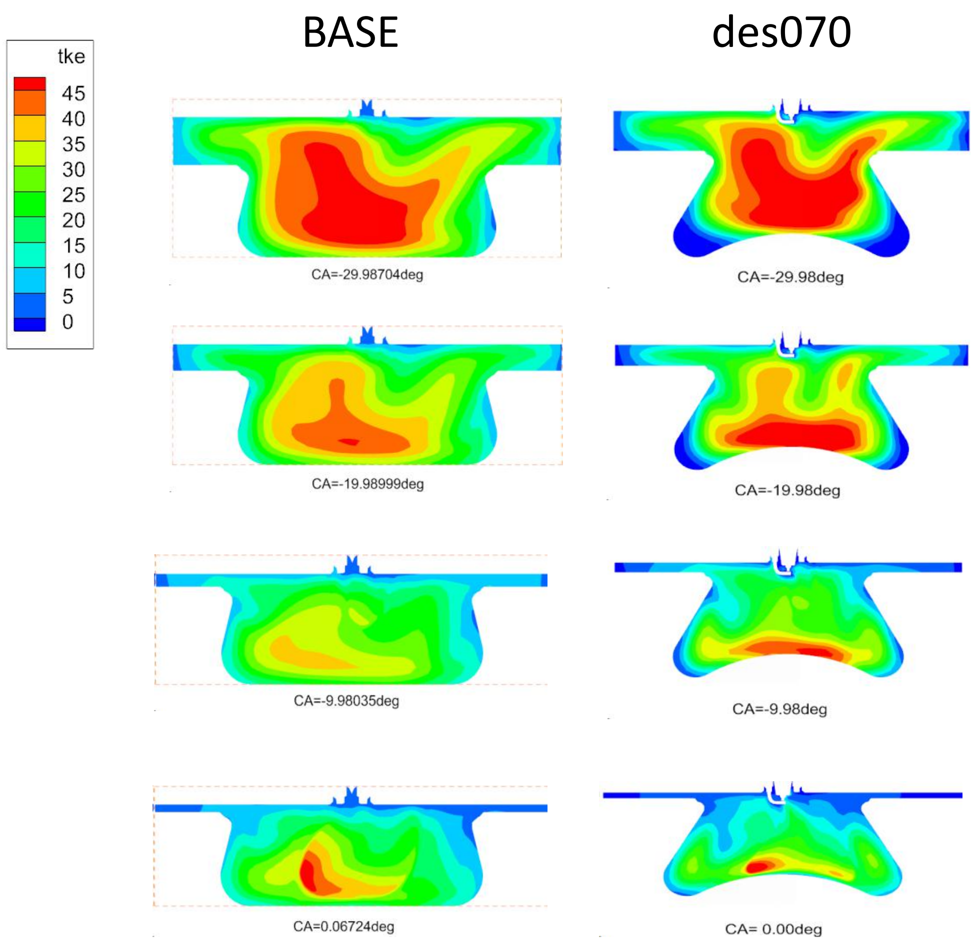



涡流比

从放热率和累积放热曲线来看，优化后的燃烧室型线燃烧放热速率均比原机快。

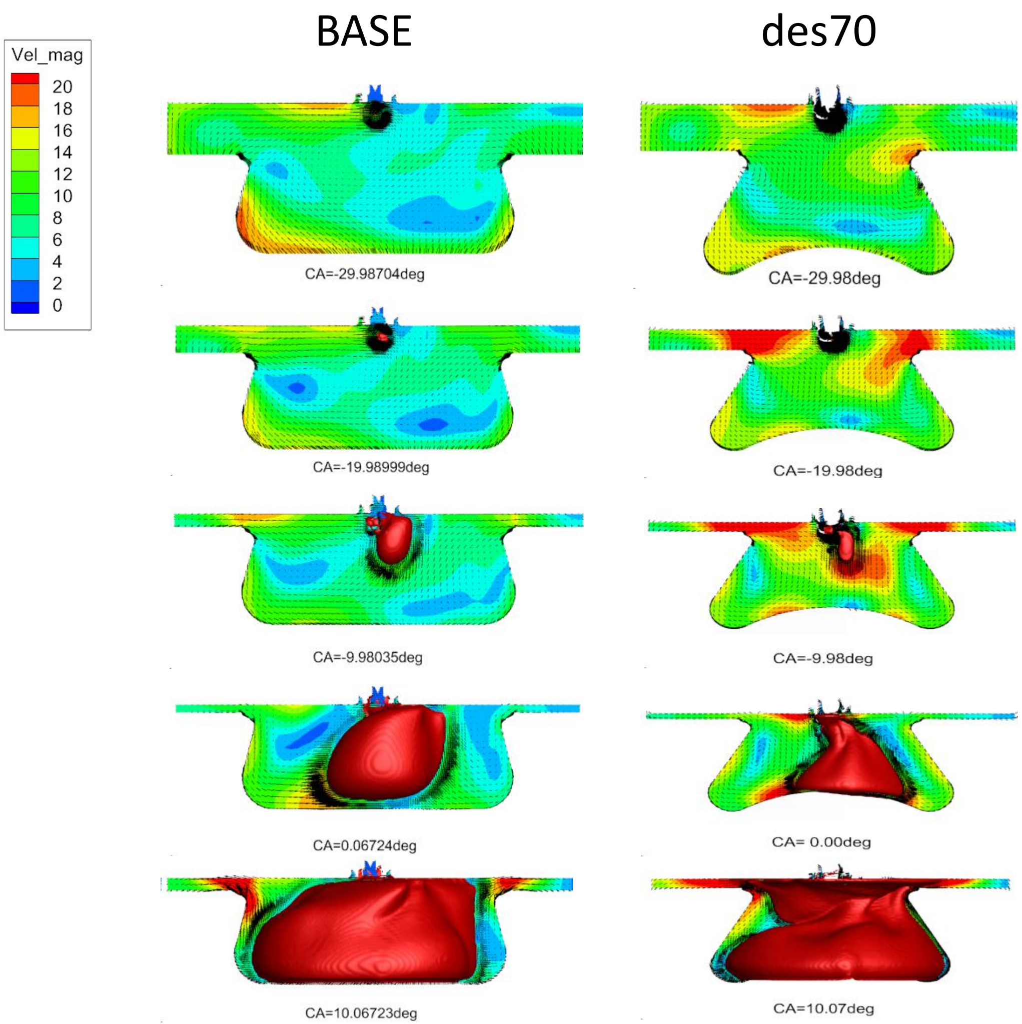
# 4. 结果与分析

## 4.4 三维结果分析-Base模型与优化模型湍动能分布




- 在点火时刻附近，湍动能大小相当；
- 随着曲轴转角增大，des70湍动能大于base模型，尤其是燃烧室底部湍动能较大。

## 4.4 三维结果分析- Base模型与优化模型缸内流场与火焰发展（R-Z平面）




- Des70气流速度较快，挤流较base模型强；
- 前期火焰发展速度相当。

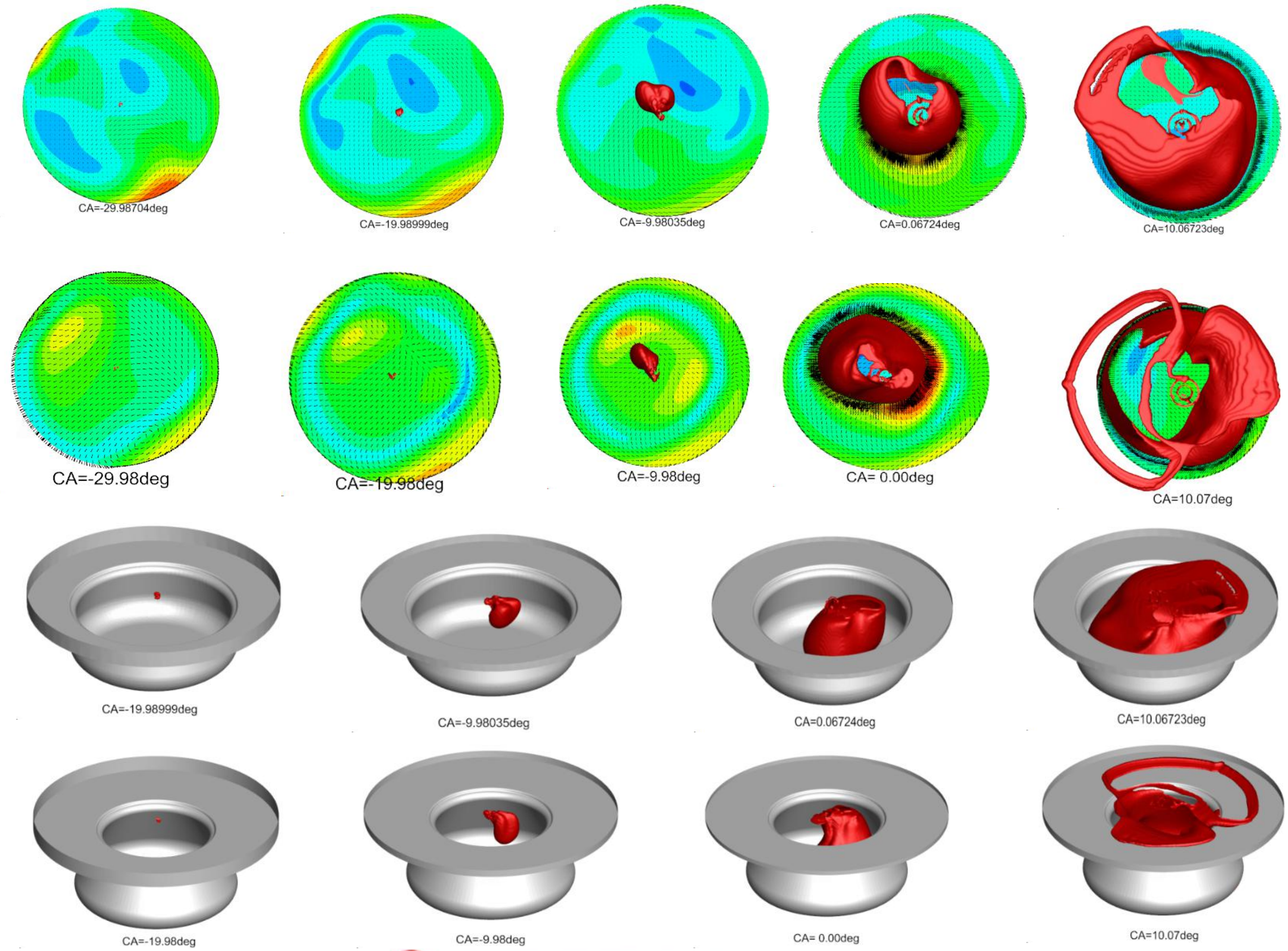
## 4.4 三维结果分析- Base模型与优化模型缸内流场与火焰发展（R-θ平面）

base

des70

base

des70



# 5. 总结

- 通过CAESES软件对天然气发动机燃烧室型线进行参数化建模；
- 通过CAESES驱动CFD软件自动对模型进行优化，找出各个设计变量对燃烧持续期的敏感度，得出随着中心凸台高度H、倾角、 delt_H增大，燃烧持续期呈现缩短的趋势，随着燃烧室开口直径R1增大，燃烧持续期呈现增大趋势，为后期优化提供指导方向。
- 通过对燃烧室型线进行优化，最终燃烧持续期较原模型缩短8.9度，燃烧更加迅速充分，燃烧过程改善。

# Thank you!

| | |
|---|---|
| Customer | 客户 |
| Value | 价值 |
| Technology | 技术 |
| Cooperation | 合作 |