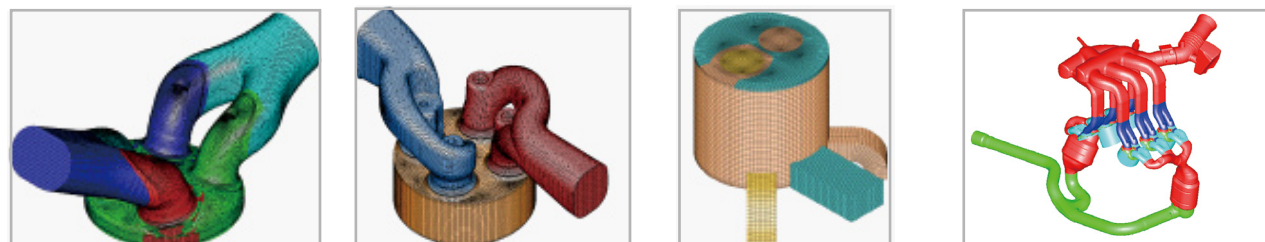


ES-ICE 发动机分析专家工具

发动机缸内工作过程涉及许多复杂的物理和化学变化过程，是流体数值模拟中最具挑战性的领域。STAR-CD/ES-ICE是该领域最成功、应用最广泛的分析工具，已经广泛应用于全球所有的整车厂商、零部件以及内燃机企业。通过数值模拟可以精确预测缸内的流动，喷雾，燃烧和排放特性。这对于新一代低排放内燃机的研究，如GDI发动机、HCCI发动机等都具有非常重大的意义。

ES-ICE是生成发动机运动网格的专用的生成工具，通过与STAR-CD结合，可以研究内燃机缸内的气体流动特性，燃烧过程和排放污染物的生成。ES-ICE适用于单气门、二气门，三气门，四气门和五气门等内燃机。ES-ICE能够自动生成STAR-CD在计算时所需要的所有文件，节省了用户的时间。

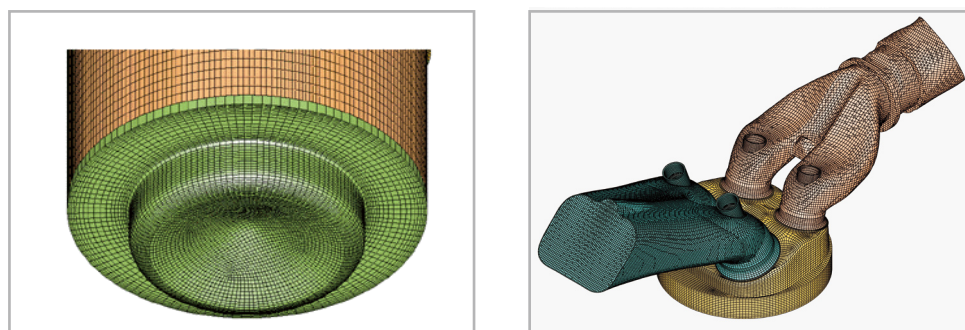


汽油机

柴油机

二冲程发动机

Duratec V6 多缸模拟

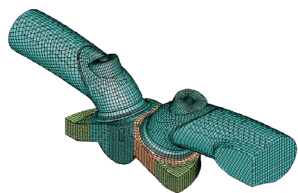


图二、外部生成网格与模板结合（左为燃烧室，右为气道）

ES-ICE提供了两种生成网格的方法，Trimming 和 Mapping方法。

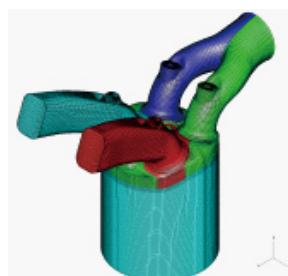
Trimming方法是采用PRO-AM的切割网格的方法，将模板切割到几何表面，生成网格主要包括五步：

- 对几何形状单元分为特定的单元类型。
- 对几何形状做特征线。
- 生成2D模板。
- 生成3D模板。
- Trimming 3D模板到几何形状上。



Mapping方法采用将几何中的spline和shell与模板中的edge和patch投影对应的方法，将模板投影到几何上，使两者吻合，生成网格包括下面主要五步：

- 生成2D模板
- 生成3D模板
- 对模板和几何分别生成特征线和patch
- 将3D模板投影到几何上
- 生成活塞的网格



备注：以上产品的实际功能不限于当前描述，详情请咨询support@cdaj-china.com

公司地址：上海市东方路971号钱江大厦250室 200122 TEL: +86-21-5058-8290 FAX: 021-50588292
北京朝外大街18号丰联广场A座1207室 100020 TEL: +86-10-6588-1497 FAX: 010-65881499



STAR-CD

通用流体分析软件包

STAR-CD是由英国帝国理工大学Gosman教授主持开发的基于有限体积法的非结构化网格通用计算流体软件。在完全不连续网格、滑移网格和网格修复等关键技术，STAR-CD经过200多名知名学者的不断补充与完善，成为同类软件中网格适应性、计算稳定性和收敛性俱佳的佼佼者之一。

几年来，CDAJ已经与国内的工业用户、科研院所开展了广泛合作，正式用户已经发展到了几百家，遍布各行业，如整车企业：一汽集团、二汽集团、上汽集团、长安汽车、北汽福田、奇瑞汽车、江淮汽车、长城汽车、华晨汽车、吉利汽车等；内燃机行业客户如：潍柴动力、玉柴、沈阳航天三菱发动机、浙江新柴等；其它行业如：航空、航天、汽车、家电、铁路、电力、船舶等行业以及知名高校和科研院所STAR-CD也有大量用户。

STAR-CD 主要功能与特点：

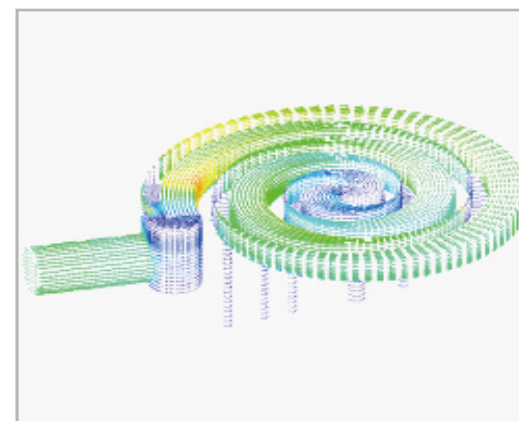
先进的网格生成工具（AutoMesh模块）

- 新的包面功能（surface wrapper）：可以将工程案例中的复杂CAD模型自动转化为封闭的面网格，节省大量的CAD数据手工修复时间；
- 新的面网格重构和体网格生成器：网格全自动生成，无需人工中途干涉；
- 网格生成向导功能：为网格生成过程提供参考。

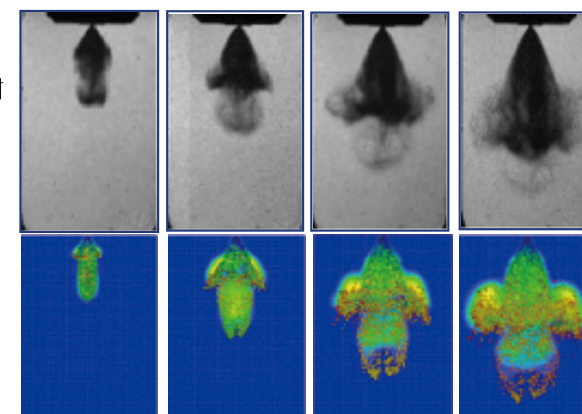
先进的数值算法—连续介质算法(CCM)

STAR-CD是一个单一的高度集成化的软件包，包含了不断更新与扩展的各种最新物理模型，非凡的灵活性及众多的用户程序接口。它的求解能力如下：

- 定常与非定常流动
- 层流、湍流以及转捩
- 牛顿流体与非牛顿流体
- 不可压流与可压缩流（包括跨音速与超音速）
- 对流、传导与辐射传热（包括固体内导热、太阳辐射、透明固体辐射及可穿透介质中辐射的传播）与传质
- 化学反应（包括气体、液体与固体燃料燃烧）
- 分布式阻力（多孔介质与热交换器）
- 多组分流体流动
- 欧拉及拉格朗日多相流（稀密相气固、气液、固液、液液系统）
- 改进的自由表面（VOF）算法、空化模型
- 熔化、凝固
- 应力分析、多学科耦合（流固耦合问题，流体与电磁场耦合问题）
- 液膜模型
- 声源预测模型
- 采用新的方法实现了STARCD与ABAQUS软件的直接耦合和无缝运行
- 新增STAR-CD与OLGA（石油化工行业中应用的一款管线流动解析软件）耦合界面



涡旋压缩机解析速度场



定容弹喷嘴实验与STAR-CD计算结果对比



西迪阿特信息科技（上海）有限公司
CDAJ-China Co., Ltd.
网址：www.cdaj-china.com

以下是STAR-CD进行缸内工作过程分析所需相关模型的简要介绍。

喷雾模型

STAR-CD采用拉格朗日多相流模型描述发动机内的喷雾现象。STAR-CD中的拉格朗日模型考虑了颗粒相与连续相之间的动量、质量和能量交换，并内置了多种针对发动机喷雾计算相关的喷嘴模型、雾化模型、破碎模型、撞壁模型和液膜模型等。此外还提供了诸多开放的子程序接口，可供高级用户灵活地引入自己的模型。

1. 喷嘴模型

STAR-CD内置了多种喷嘴模型：Effective, MPI-1, MPI-2, 可考虑喷嘴内部气蚀现象，用户可指定喷孔直径，长径比，喷雾锥角（实心锥，空心锥），粒径分布等多种参数，可模拟多达50种真实的喷嘴结构。

另外，STAR-CD还提供了灵活开放的子程序功能，用户通过自编程序进行喷雾初始条件的加载，可以实现任意形式喷嘴的喷雾过程。

2. 雾化模型

STAR-CD内置了多种雾化模型：Reitz-Diwakar, Huh, MPI-1, MPI-2, 可考虑喷孔内部的湍流效应对燃油雾化的影响。

3. 破碎模型

STAR-CD内置了三种破碎模型：Reitz-Diwakar, Hisang-Faeth, Pilch-Erdman, 基于不同的液滴韦伯数范围选取不同的破碎机制。

4. 撞壁模型

STAR-CD内置了6种撞壁模型：Rebound（反弹），Stick（粘附），Evaporate（闪蒸），MPI, Bai。其中前三种属于简单模型，仅采用一种机制对撞壁液滴进行处理；后两种属于综合模型，根据液滴及壁面的特性确定液滴的撞壁行为，可出现Stick（粘附），Spread（平摊），Rebound（反弹），Splash（飞溅）等多种机制。

5. 液膜模型

对于气道喷射和缸内直喷发动机，油束喷射到壁面之后可能形成油膜。此种现象可以采用STAR-CD中的动态液膜模型进行模拟，该模型考虑了液膜与气相间的动量、质量和能量传输，还可模拟液膜脱落再次形成液滴的现象。

燃烧模型

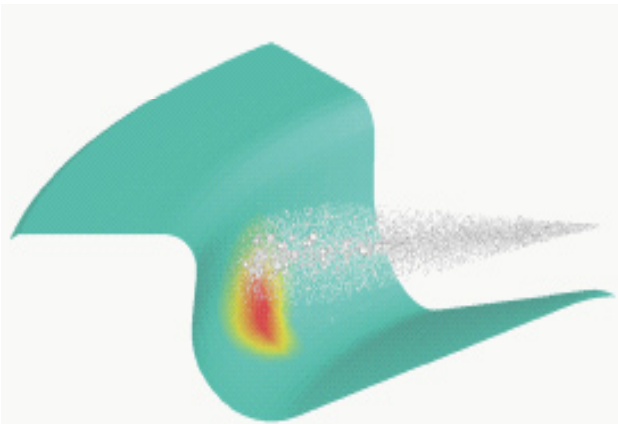
STAR-CD提供了一整套分析燃烧相关问题的物理、化学模型。最基本的是使用阿氏反应速率方程(Arrhenius kinetics)的有限反应速率（finite rate）模型；另外提供了涡破碎(eddy breakup)模型及其各种变体模型；各种火焰传播模型：Weller, CFM；用于稳定燃烧分析的PPDF模型；复杂化学反应模型，表面反应模型，煤燃烧模型等。对于发动机燃烧分析，STAR-CD还提供了适用于各种燃烧方式的多种高级燃烧模型：ECFM/ECFM3Z, ECFM-CLEH, ERC, DARS-TIF。

1. 涡破碎模型（Eddy break up model）

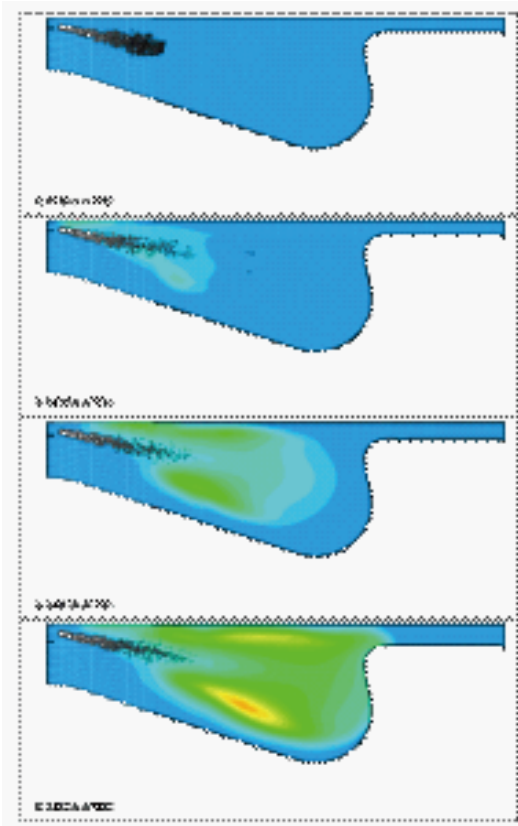
在湍流燃烧时，燃料蒸气 and 氧气均以大小不等并做随机运动的涡团形式存在，燃烧在这两类涡团的界面上进行，因此反应速率取决于两类涡团破碎成Kolmogorov尺度的速率。

2. 皱褶火焰模型（Weller flame wrinkling model）

认为燃烧是发生在皱褶火焰面上，燃烧是通过皱褶火焰面积，层流火焰速度和可燃气体密度三者的乘积来计算。



缸内喷雾撞壁模拟



3. 拟序火焰模型（Coherent flame model）

可以用拉格朗日方式在运动坐标系中考察拟序结构从生到灭的全过程来计算燃油与氧气的混合速率。在火焰面燃烧模型中，对每一计算单元可分成两部分，即非预混部分和预混合部分，预混部分包括预混燃料和氧，非预混部分包括非预混燃料，其它的气相组分均匀分布在单元中，非预混火焰的反应速率由混合速率决定。

4. 层流湍流时间尺度模型（Laminar and turbulent characteristic time scale model）

这一模型在汽油机和柴油机的燃烧模拟上都可以应用。组分m的反应速率利用组分m的质量分数与组分m的质量分数的局部瞬时的热力学平衡值的差值与特征时间之比来表示。反应特征时间是考虑有限反应速率（实际情况）与无限反应速率（平衡状态）的偏离，由于平衡状态的特征反应时间为零，因此可用特征反应时间来代表真实反应与理论反应的偏差程度，也就是说特征时间是反应完成平衡所需的时间。为了精确计算平衡温度，一般取7种组分，即燃料，O2, N2, CO2, CO, H2和H2O。

5. ECFM/ECFM-3Z/ECFM-CLEH模型（高级可选模块，须单独购买License）

ECFM模型全称为扩展拟序火焰模型，是在基于火焰面密度输运方程上增加了混合模型，能够描述非均匀湍流预混合和扩散燃烧过程。它将燃烧过程分为两个阶段处理：

- 预混部分，此处求解火焰面密度方程，类似于CFM模型；
- 后焰（post-flame）部分，此处采用Magnussen漩涡破碎模型，类似于EBU模型，并计算NOX生成。
- 点火模型：火弧点火模型（AKTIM）、双延迟点火模型等

ECFM-3Z全称为三区扩展拟序火焰模型，与ECFM模型相比，ECFM-3Z模型可以模拟空气与燃料间的亚格子湍流混合，因此更加精细化了。这使得用户可以进行更加精确的非预混（扩散）燃烧模拟。ECFM-3Z模型将计算网格分为三个区：空气区，油气混合区，燃料区。这种设计使得它可以实现对GDI,HCCI 和CAI等各种新型发动机的缸内燃烧分析。

6. ERC模型（高级可选模块，须单独购买License）

CDAJ-ERC模型是CDAJ联合Wisconsin大学Engine Research Center共同开发的柴油机燃烧计算分析仿真模块，该模块包含以下物理化学模型。

Fuel Atomization/KH-RT Model（燃油雾化破碎模型）

Shell Ignition Model（Shell点火模型）

Characteristic-time Combustion Model（特征时间燃烧模型）

SOOT Model（颗粒/微粒排放模型）

NOx Model（氮氧化物排放模型）

Wall Heat Transfer Model（壁面传热模型）

Crevise Flow Model（活塞环槽与活塞之间的缝隙流动模型）

7.详细化学反应燃烧模型（高级可选模块，须单独购买License）

新增基于DARS的燃烧模型DARS-TIF，采用瞬态交互火小火焰（Transient Interactive Flamelets, TIF）方法模拟详细化学反应和湍流效应，以预测自动点火和燃烧过程。

