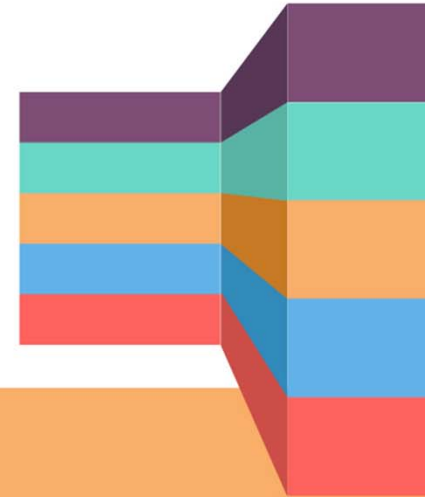


ICSC 2013

IDAJ CAE Solution Conference

New Value in CAE & CFD Industry



CONVERGE

最尖端的物理模型 · 计算手法和缸内模拟活用实例

新一代发动机CFD分析软件

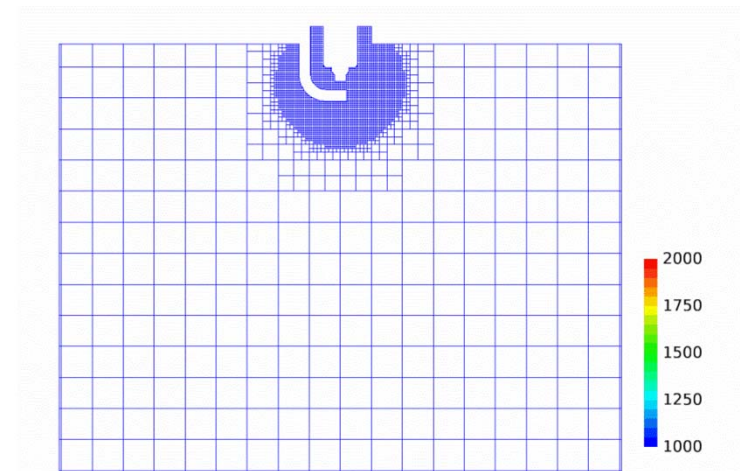
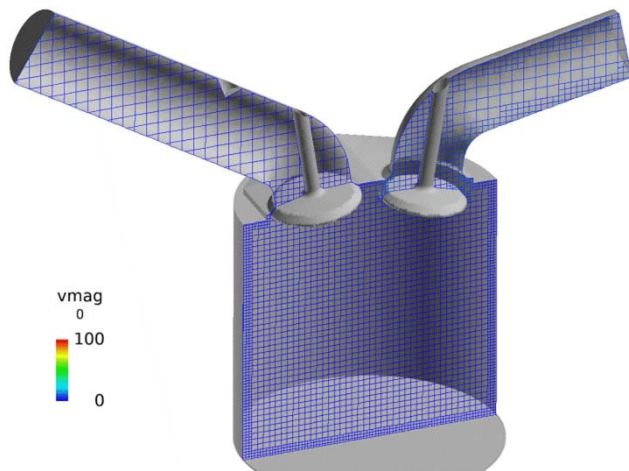
- 艾迪捷信息科技（上海）有限公司（IDAJ-China）
- 技术部 张志宏

什么是CONVERGE?

- 传统的发动机缸内CFD分析中，网格建模技术一直是限制工作效率和计算精度的瓶颈；
- CONVERGE是一款基于在网格技术上的创造性革新而开发出来的高效率、高精度的缸内CFD分析工具；
- 基于这种网格技术的革新，结合喷雾、燃烧等各种丰富的物理模型，可以实现SI，Diesel，GDI，HCCI等全类型发动机的缸内CFD分析。

提 纲

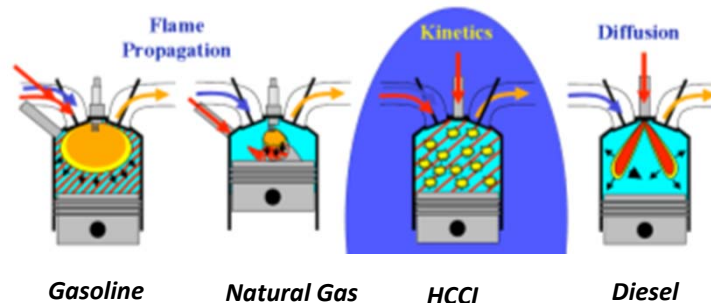
- 引言
- 关键技术—自动生成高质量的网格
- 丰富的物理模型
- 成功案例
- 总结



引言:CSI

■ Convergent Science Inc (CSI)

- 成立于1997年
- 总部: 美国 威斯康辛州
- 业务: CONVERGE开发, 技术支持, 咨询



引言:合作机构



引言:客户情况

■ 北美:

■ 总共27个发动机制造商, 目前CSI与其中的23个有业务往来

- 通用, 福特, 克莱斯勒

- 卡特彼勒(Caterpillar), 康明斯(Cummins), 庞巴迪(BRP),
Cameron, Achates Power

■ 超过20所大学

- 密歇根大学, 密歇根州立大学, 德克萨斯大学, 伊利诺伊大学等

■ 合作伙伴

- Lawrence Livermore National Lab. (detailed chemistry model)

- Argonne National Lab. (spray model)

- Oak Ridge National Lab. • Gamma Technologies (耦合)

■ 欧洲

- 主要大公司正在使用CONVERGE

- 超过20所大学正在使用CONVERGE

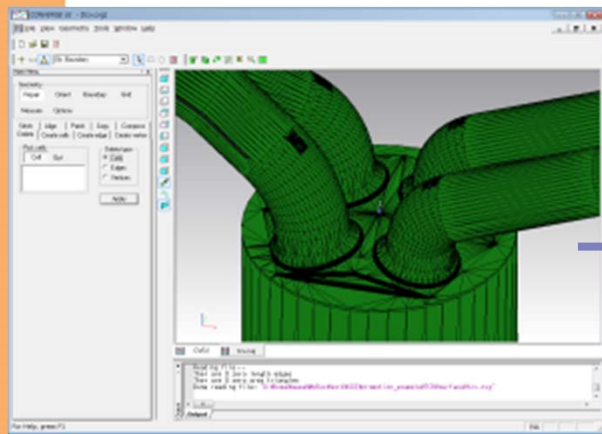
■ 日本

- 主要大汽车制造厂商开始大规模使用CONVERGE

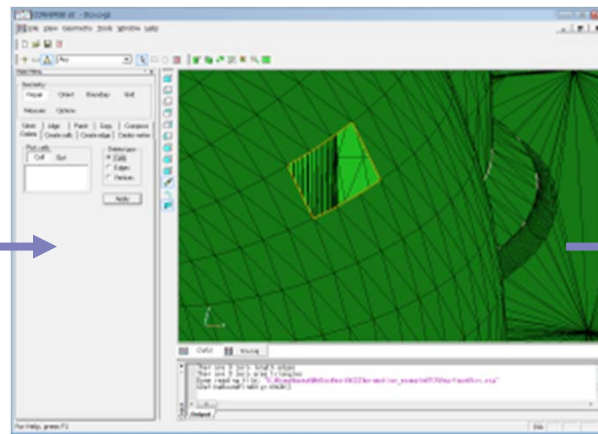
■ 中国

- 天津大学, 清华大学, 上海交大, 山东大学, 湖南大学, 江苏大学, 台湾高苑科技大学等众多高校及研究所正在使用CONVERGE进行相关科研

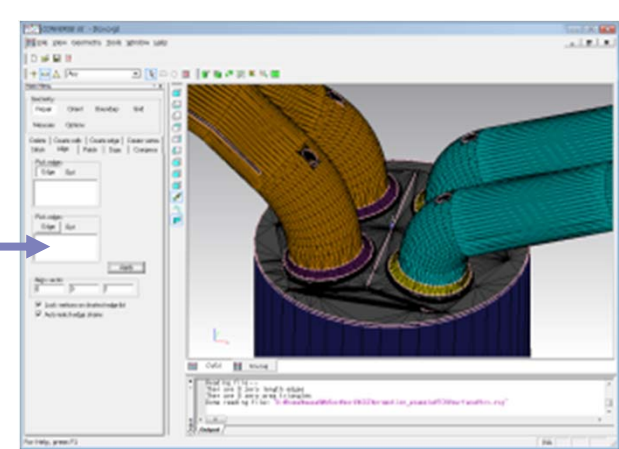
引言: 工作流程



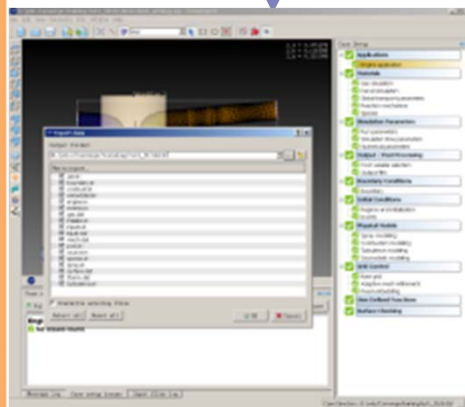
Load STL file



Fix the surface error



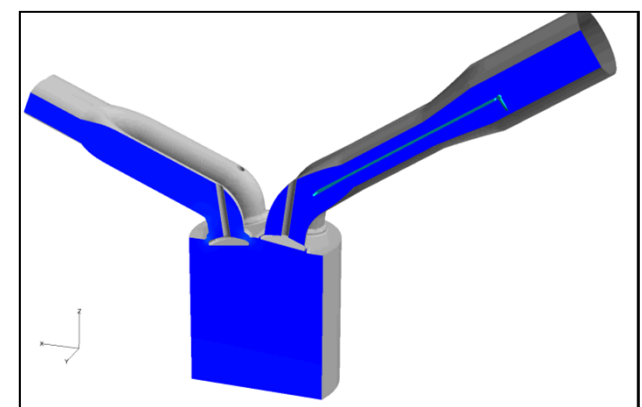
Flag boundary



Setting & Export inputs files



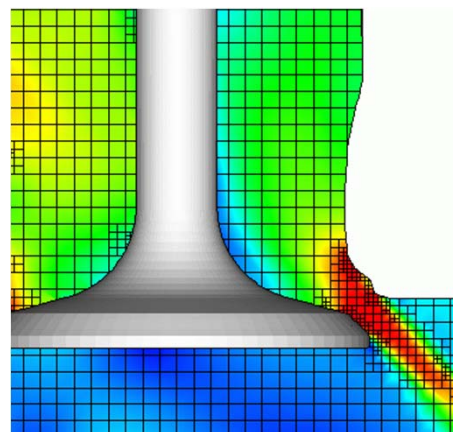
Run the case



Post-processing

网格技术

- 传统的内燃机缸内燃烧喷雾CFD模拟，网格问题一直是缸内分析精度和效率的瓶颈。
- CONVERGE在网格技术上进行了革命性地突破，一劳永逸地解决了缸内分析的网格问题
- 从以下两方面来介绍converge的网格新技术
 - 网格切割技术
 - 网格控制技术



网格切割技术

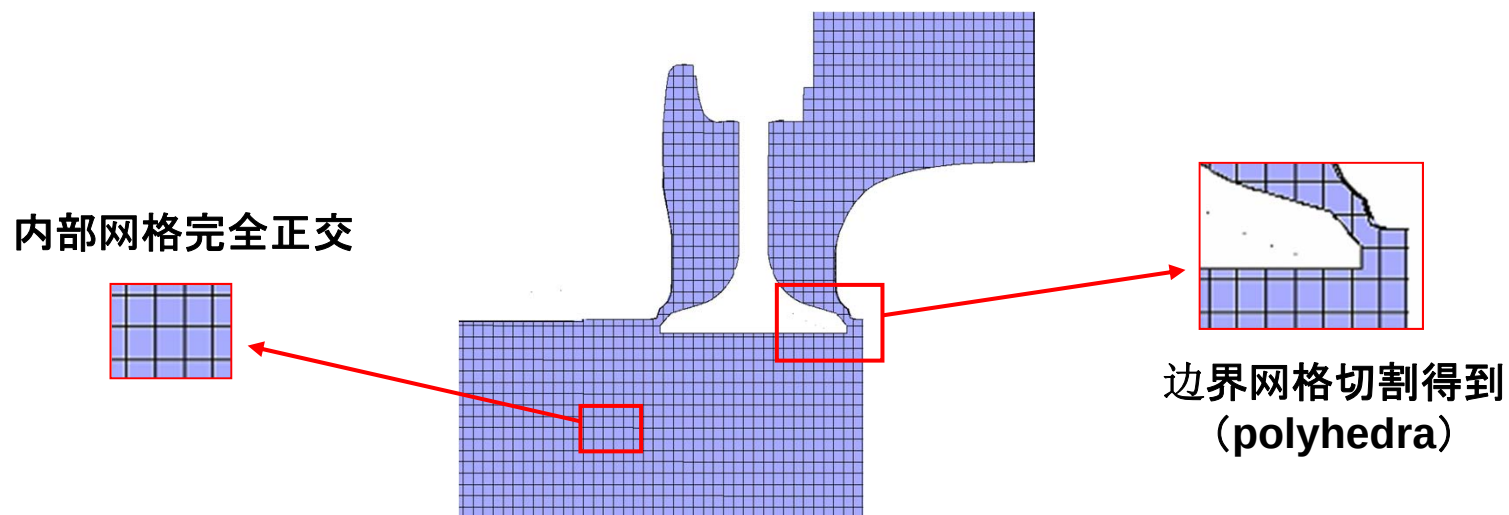
■ CONVERGE采用其专利网格切割技术，基于表面STL文件，在计算过程中实时自动的生成适体网格。

■ 内部网格

■ 完全正交（通常为立方体），节点静止（即使活塞或气门运动时，网格节点也保持固定）。

■ 与表面相交部位的网格

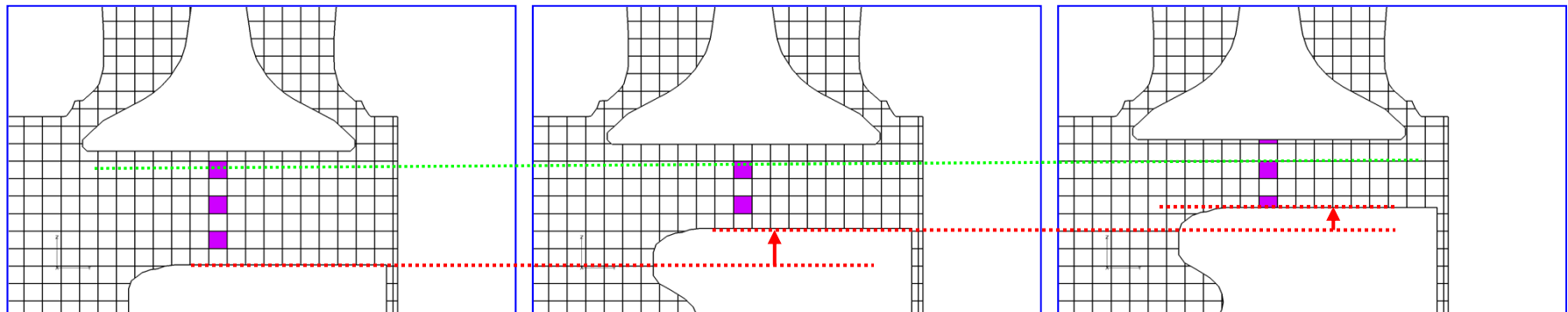
■ 基于表面网格进行切割，形成多面体（polyhedra）网格。



网格切割技术（续）

■ 活塞或气门运动时的网格更新方法：

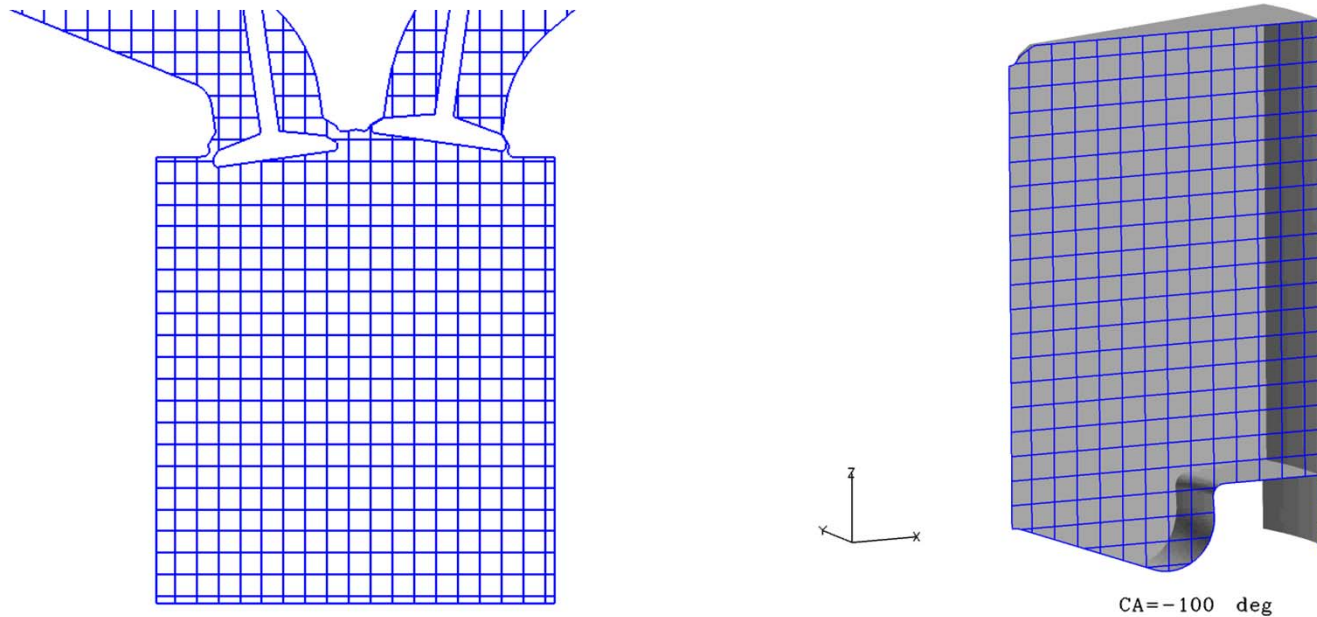
- 每个时间步网格都会被自动重新切割。
- 切割过程并行处理，所占时间极短。
- 只有运动边界（活塞，气门）附近网格发生变化，内部网格总保持静止。



内部网格完全正交，并且，活塞
和气门移动时仍保持静止。

网格切割技术（续）

- 内部节点保持不动，可以消除由于节点运动带来的数值扩散，有效提高计算精度。

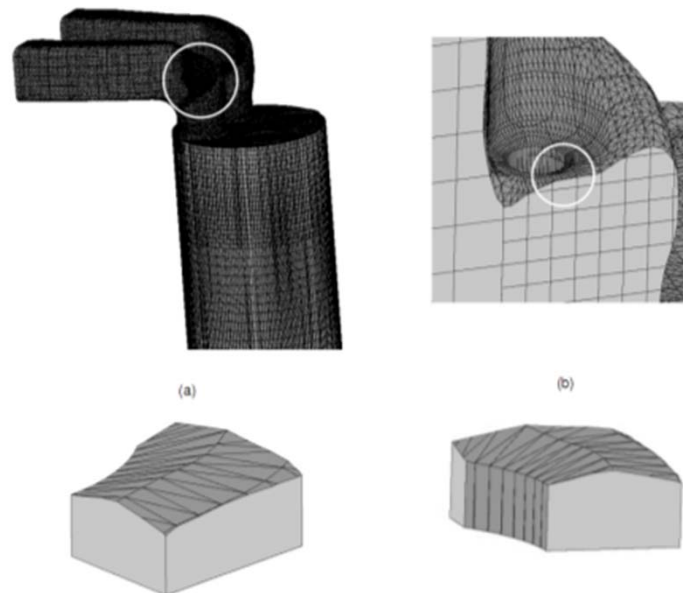


网格不动，只是边界运动

网格切割技术（续）

■ CONVERGE采用原始几何表面（STL）进行切割得到计算体网格，表面附近网格总是完全保持原始几何形状，不会出现几何失真。

■ 可以采用一个非常粗的网格尺寸（如总网格数控制在500之内）快速检验模型设置的正确性。



网格控制技术

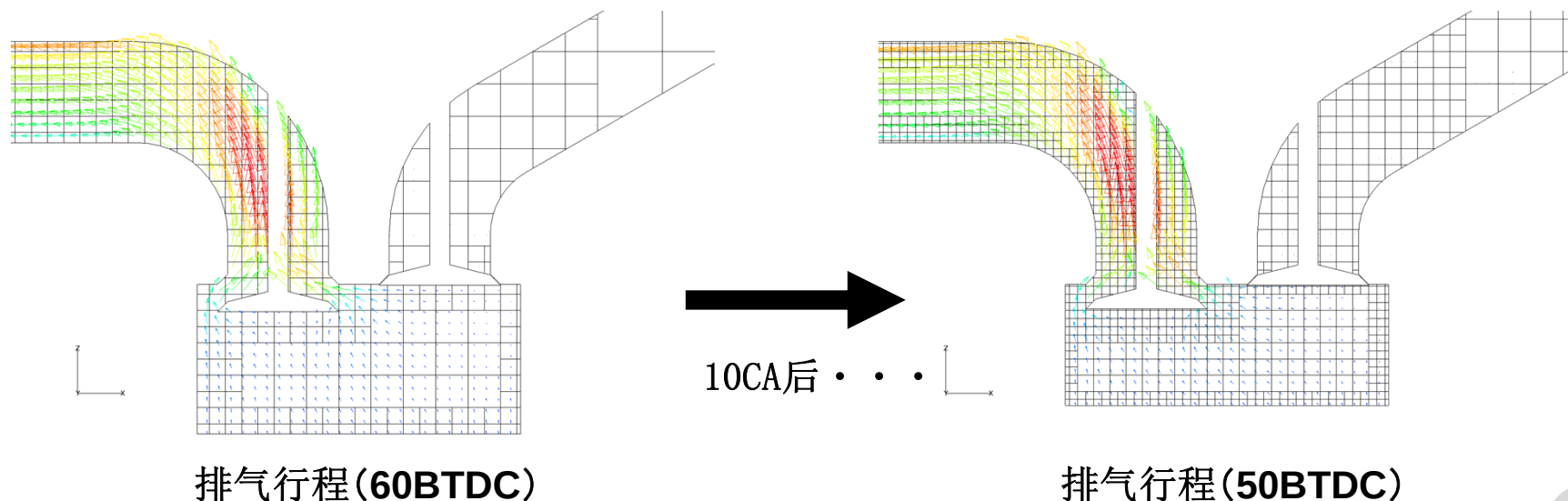
- 传统的CFD软件通常在计算之前就确定好网格疏密，在计算过程中难以改变。
- CONVERGE可以采用以下四种网格控制技术，将网格布置在最需要的时间和空间，从而在最小的计算负荷下获得最高的计算精度：
 - Base mesh size
 - Grid scaling
 - AMR: Adaptive Mesh Refinement（自适应网格加密技术）
 - Grid Embedding

网格控制技术: Grid Scaling

■通过在指定时段内调整Base mesh size来实现总体网格缩放。

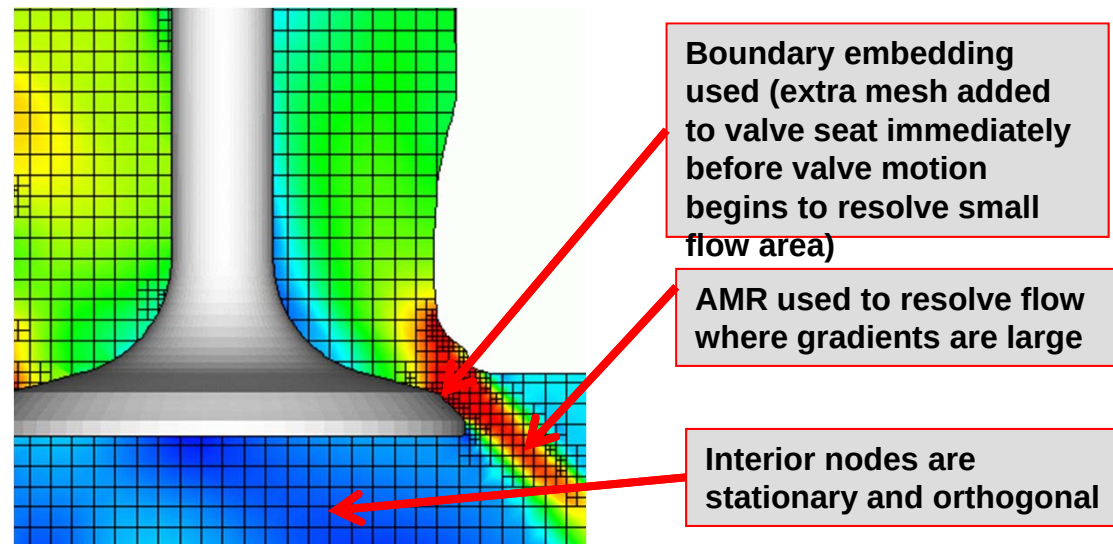
■对于定常计算，可以在初期的迭代步内采用较粗的网格，最后采用较密的网格，提高收敛速度。

■在缸内计算中，可以在排气行程采用粗网格计算，吸气和其它行程采用密网格计算，减轻计算负荷。



网格控制技术：AMR

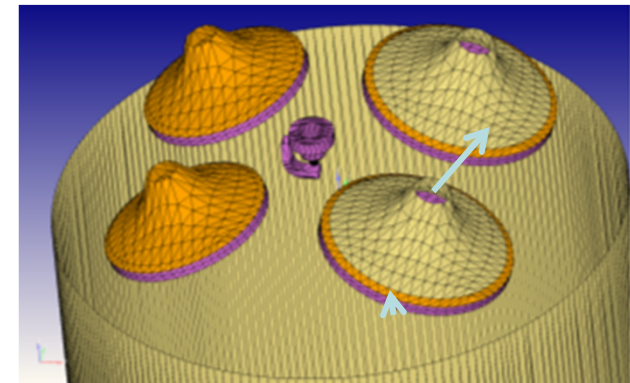
- AMR基于流场参数（如速度、温度）梯度（如速度、温度）自动对网格进行加密
- 有了AMR，用户可以指定一个最大网格数，该参数与base grid size 结合来决定总网格数和计算时间
 - 最大网格数强制AMR在加密时进行权衡
 - 因此最终网格效率非常高



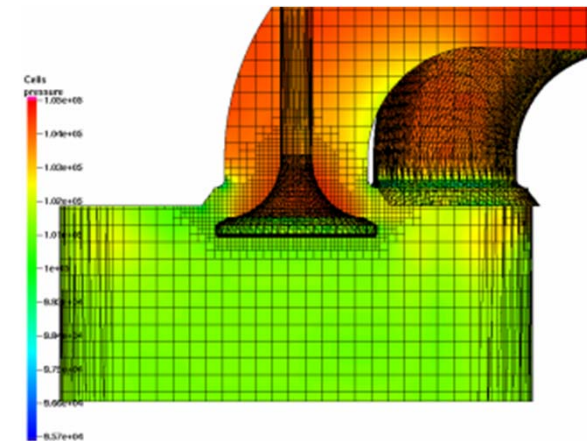
Representative Mesh in Valve Region – Both AMR and Grid Embedding Used

网格控制技术: Grid Embedding

- 边界加密通常都会使用, 对指定边界 (通常指定wall边界) 附近增加网格密度
- 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
- 球形嵌入式加密允许对指定球域在指定的时刻改变网格密度。通常用于火花塞区域的加密, 在点火时刻启动加密
- 圆柱嵌入式加密通常用于控制气道、气阀和缸体区域的加密
- 喷口和喷嘴嵌入式加密可用于增加喷雾区的网格密度



Intake Valve Seat Flagged for Boundary Embedding



Boundary Embedding Entire Valve Surface

网格控制技术：计算精度

■除了数值误差，CFD分析的精度主要决定于以下两类因素

■1) 网格相关误差

- 网格质量
- 网格精度

■2) 物理模型相关误差

- 物理模型中的各种假设
- 边界条件
- 模型参数

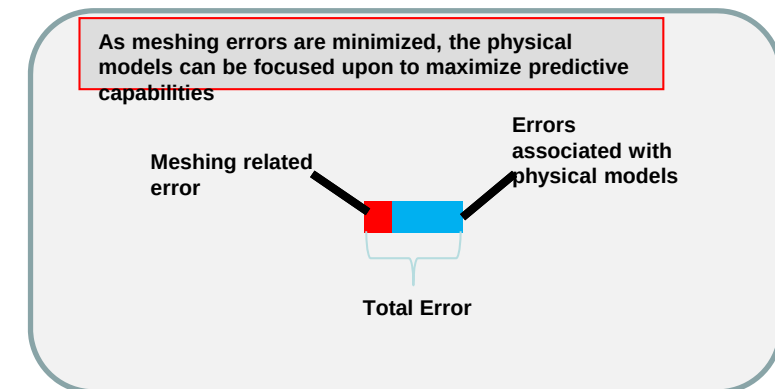
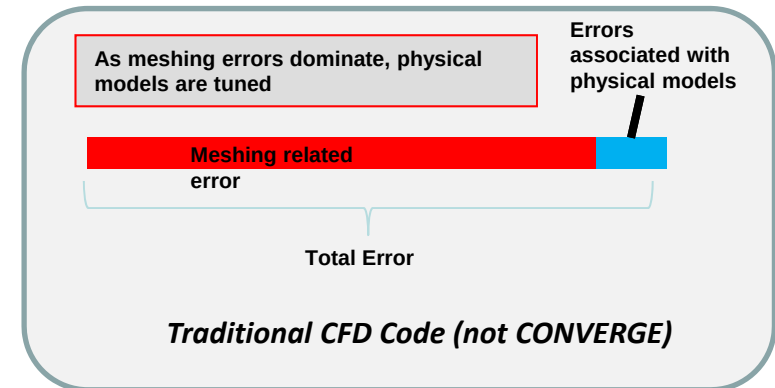
■大部分时候，网格建模的困难引起的网格相关误差在CFD精度影响中起主要作用（在关键区域缺乏高质量、高精度的网格）

■因此，之前通常的解决办法是采用比较简单的物理模型，通过调整模型参数来校核实验结果。

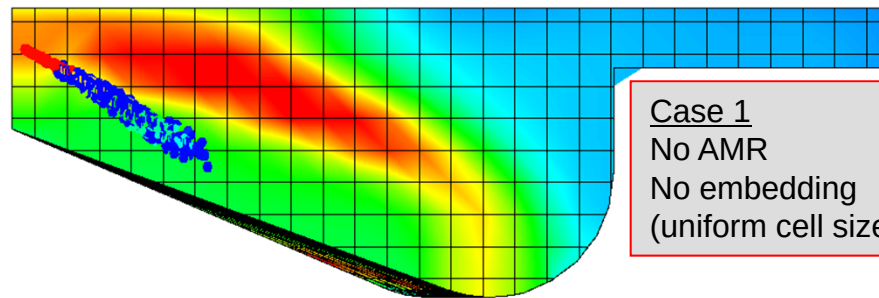
■在CONVERGE中，能自动生成高质量的理想正交网格，并在需要的时刻和位置进行加密（AMR）

■其目标是实现网格自动生成及将网格相关误差下降到最小

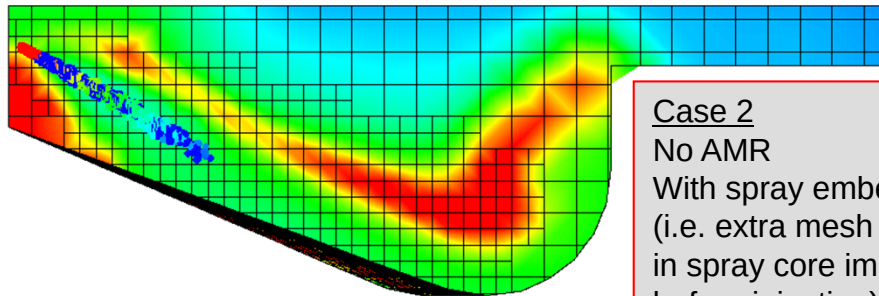
■这就使得用户可以关注于采用合理的物理模型来获得最高的计算精度和模拟能力。



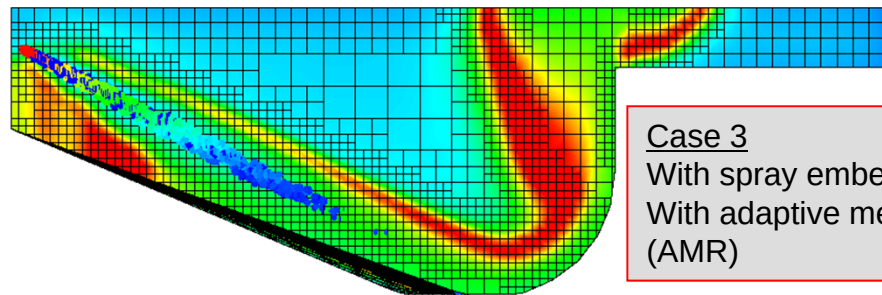
网格控制技术：计算精度



Case 1
No AMR
No embedding
(uniform cell sizes)

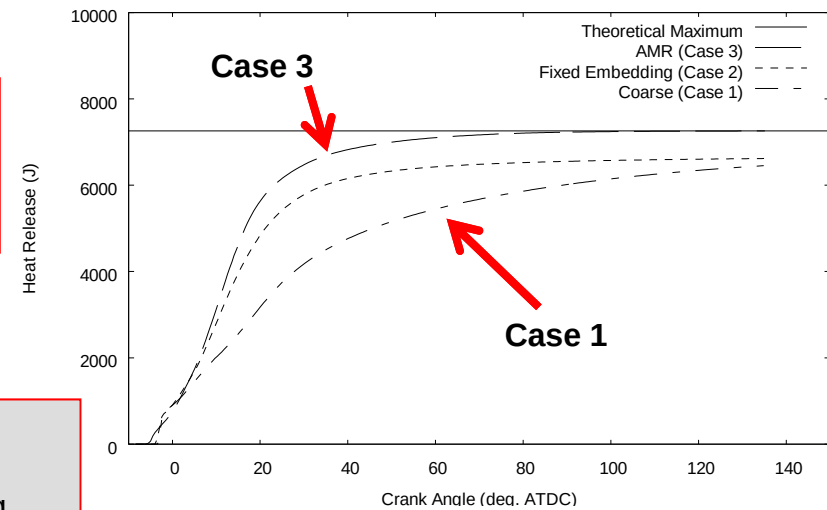


Case 2
No AMR
With spray embedding
(i.e. extra mesh enabled
in spray core immediately
before injection)



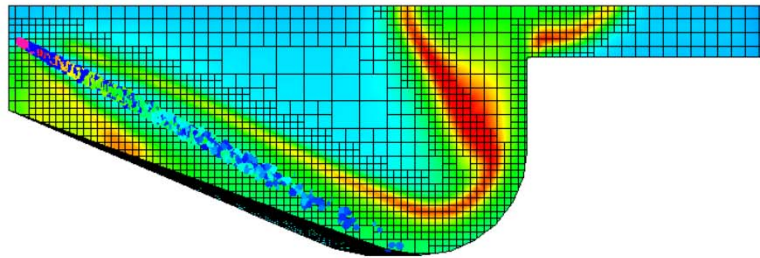
Case 3
With spray embedding
With adaptive mesh refinement
(AMR)

Temperature contours for Diesel simulation

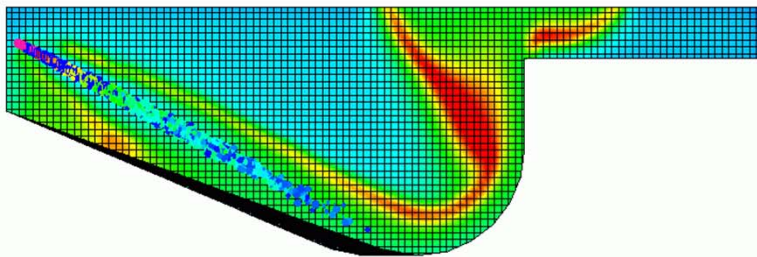


With CONVERGE, the influence of the mesh on the results can be easily determined and minimized

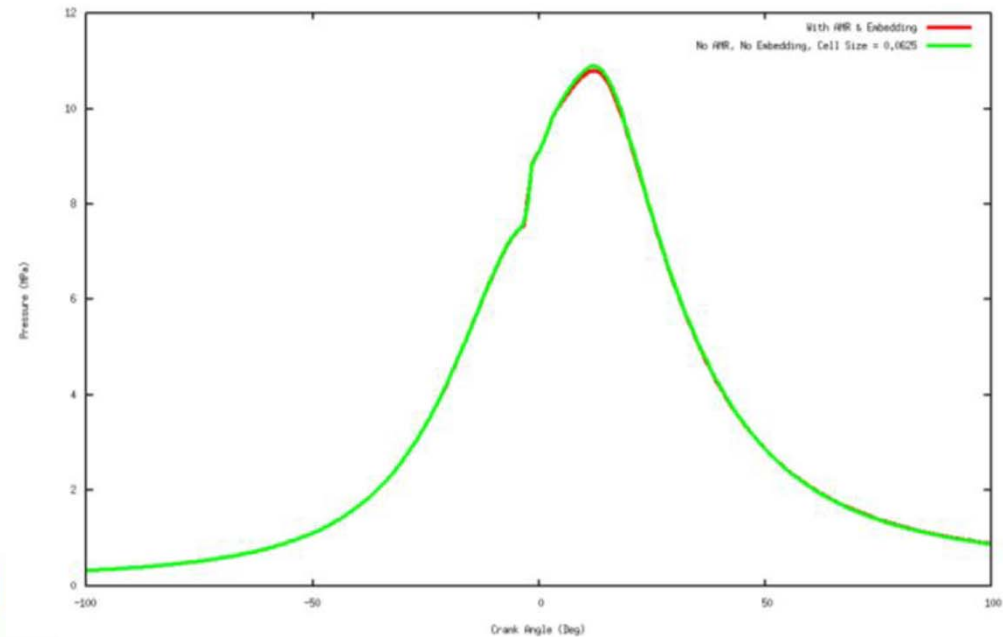
网格控制技术：计算精度



※ 推荐网格控制方法
喷雾周围：Embedded
AMR（最小网格：0.0625mm）
网格总数（100ATDC）：**46,000**



※ 均一网格尺寸（0.0625mm）
网格总数（100ATDC）：**1,290,000**



采用多种网格控制技术后，仅用均一尺寸模型网格数的1/28即可得到几乎相同的计算结果。



网格控制技术：计算精度

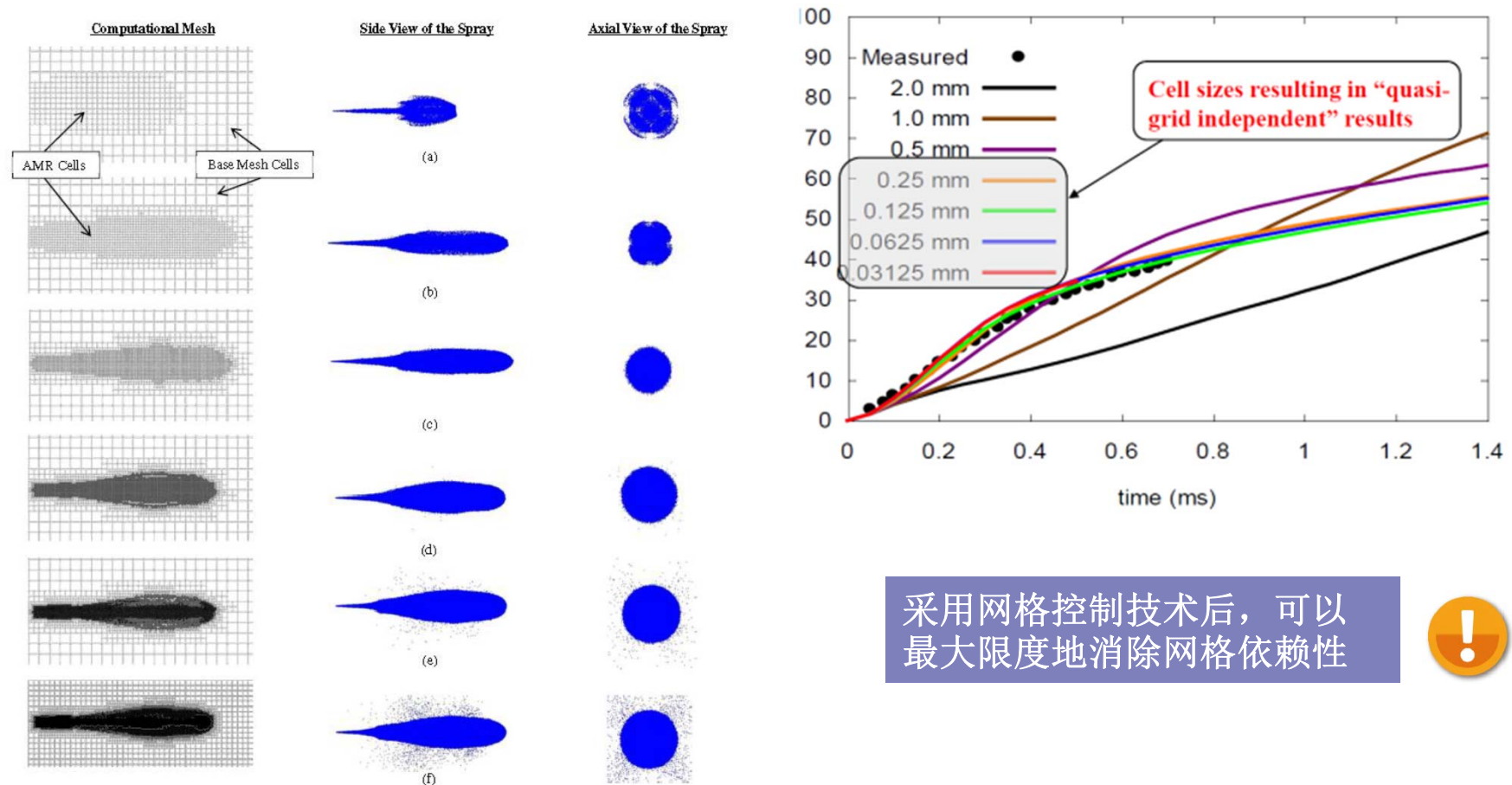
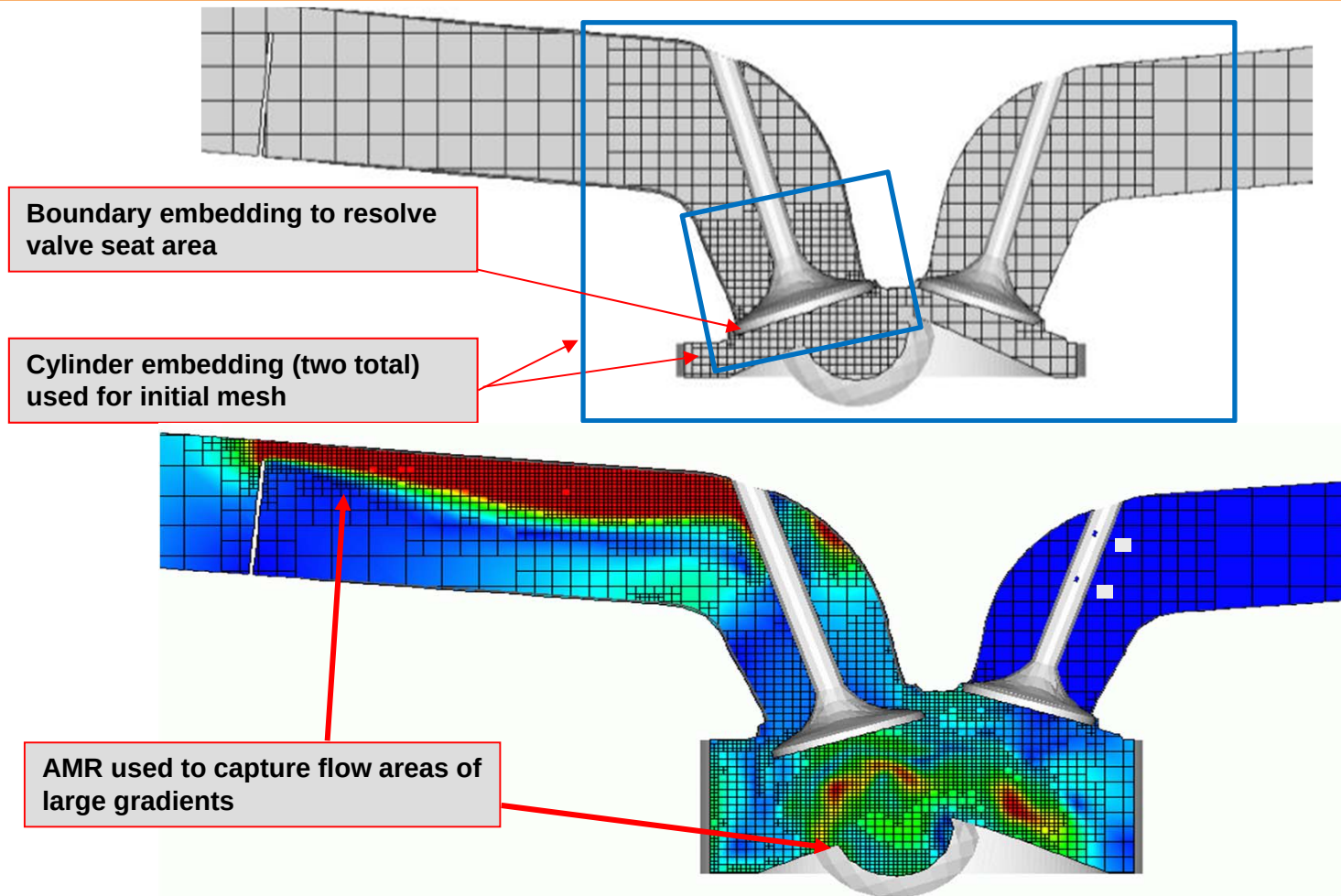


Figure 5: Comparison of computational mesh (left), side view of the spray (middle), and axial view of the spray (right) for velocity. AMR cell sizes of (a) 1.0 mm, (b) 0.5 mm, (c) 0.25 mm, (d) 0.125 mm, (e) 0.0625 mm, and (f) 0.03125 mm. The results are given for a time of 0.5 ms.

采用网格控制技术后，可以最大限度地消除网格依赖性

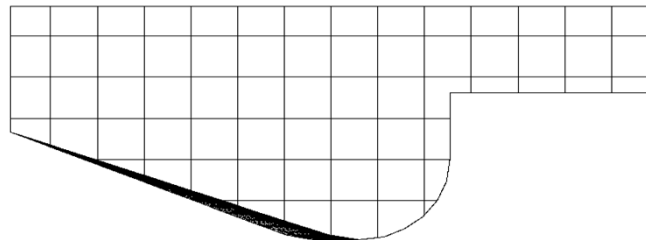


网格控制技术：Grid Control Example(1)

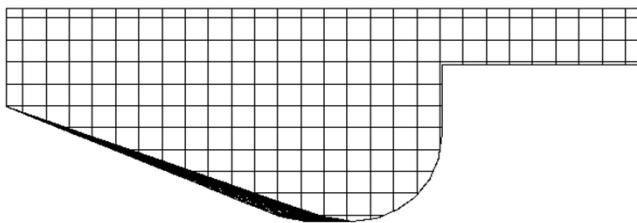


Representative Meshing Strategies Used for Gasoline Engine Case

网格控制技术: Grid Control Example (2)



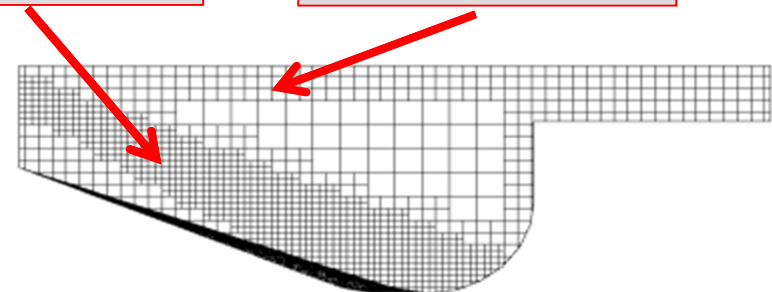
(1) Coarse base grid run during compression for minimal run time



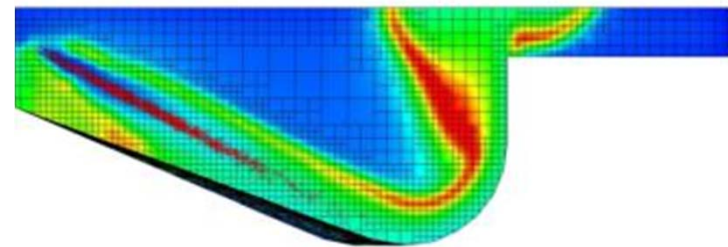
(2) Near TDC, base cell size is reduced by a user specified factor using grid scaling

Nozzle Embedding

Boundary Embedding



(3) Before injection, both nozzle and boundary embedding are used to further resolve spray and wall effects

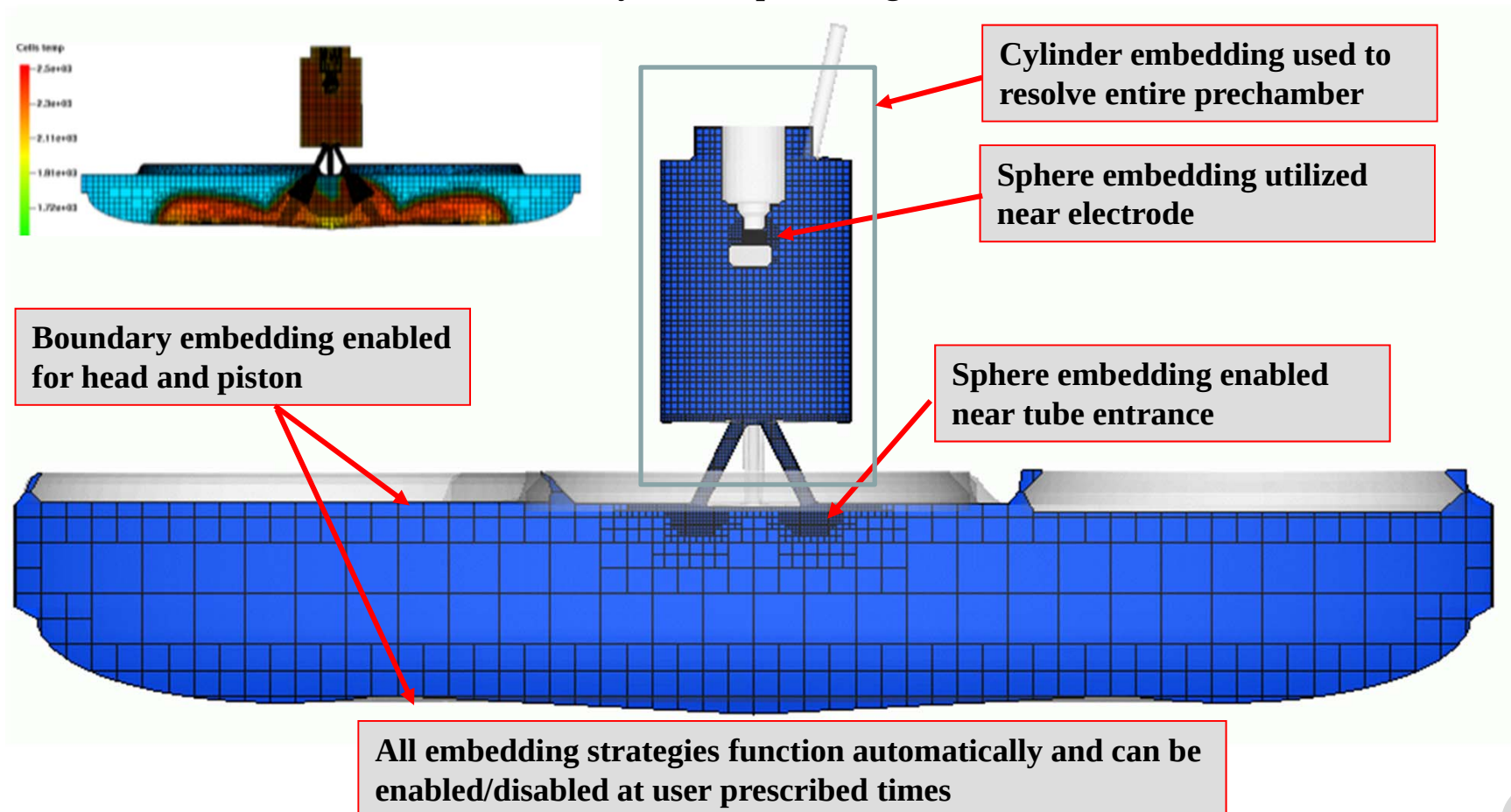


(4) Final mesh using embedding and AMR

Representative Meshing Strategies Used for Diesel Sector Case

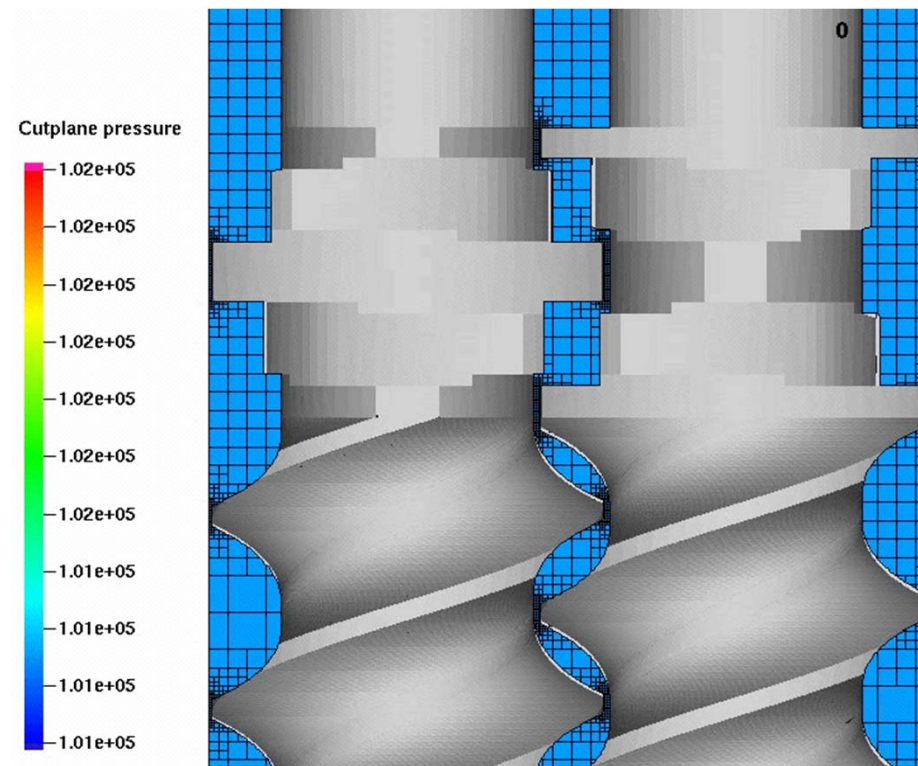
网格技术: Meshing Strategy (Natural Gas Engine)

- Various embedding strategies are utilized
- AMR is enabled to resolve both velocity and temperature gradients

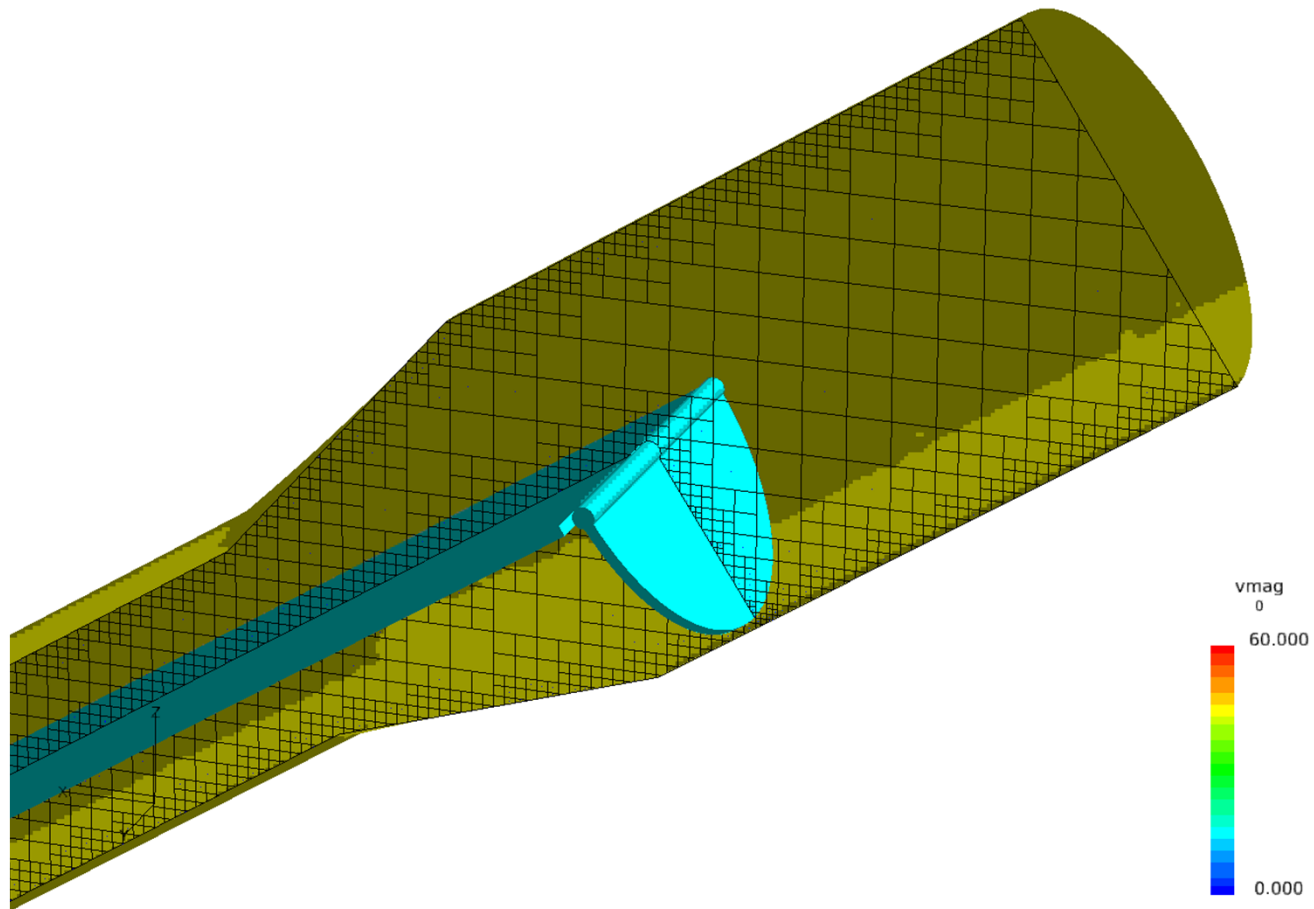


网格技术:运动边界处理

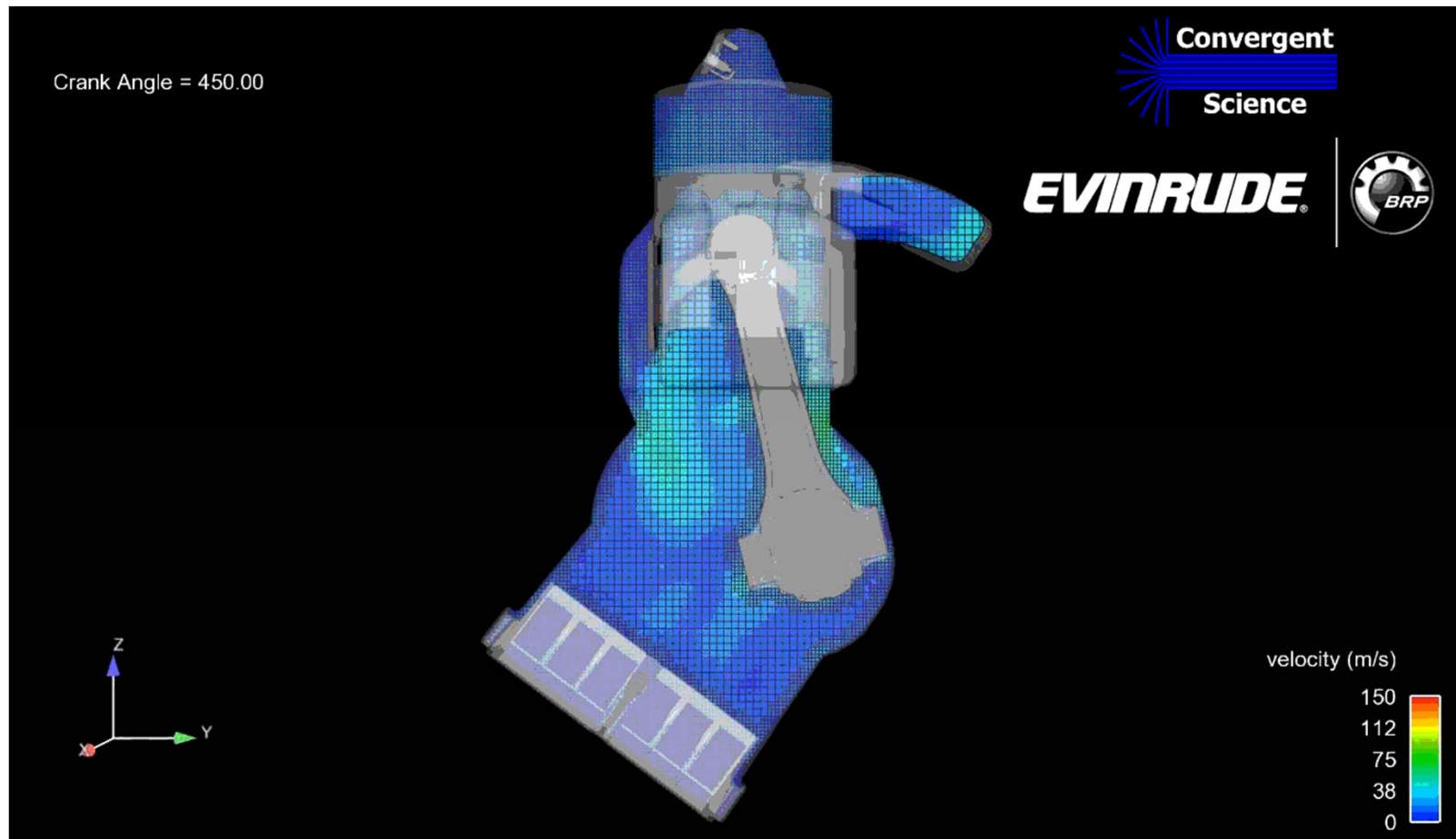
■ 由于Converge是在计算过程中实时根据几何边界的运动不断重新生成体网格，从而避免了传统CFD软件处理运动边界时经常出现的网格扭曲情形，以及伴随而来的数值误差以及计算稳定性、收敛性问题。



网格技术:运动边界处理

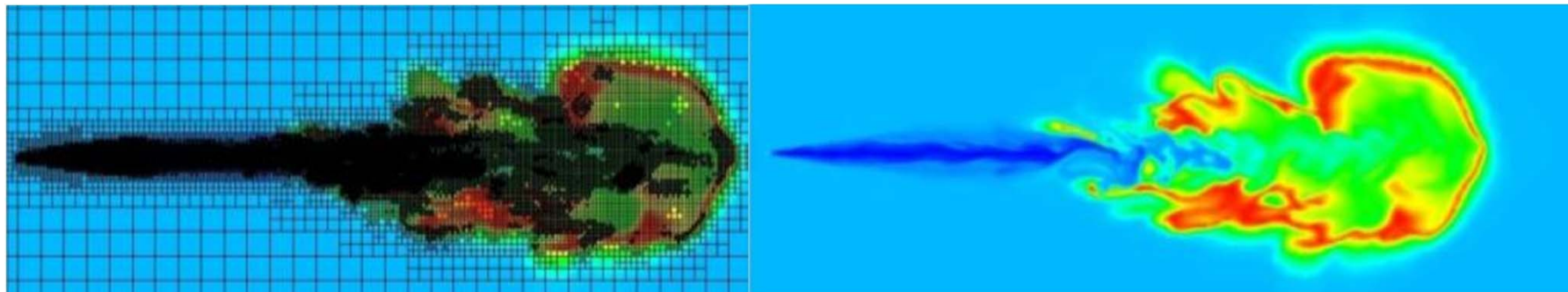


网格技术:运动边界处理



物理模型：湍流模型

- Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) 模型
 - 标准 $k-\epsilon$ 模型
 - RNG $k-\epsilon$ 模型
 - RNG $k-\epsilon$ 模型 (Rapid distortion effect)
- Large Eddy Simulation (LES)
 - CONVERGE 自动生成的正交网格非常适合 LES 模型求解.
 - SGS 模型 (0 方程式, 1 方程式)



物理模型：喷雾模型

■ 喷雾模型

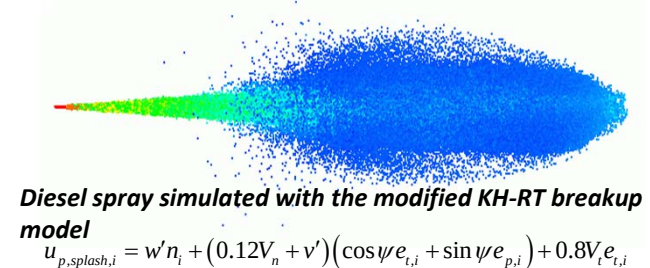
- Kelvin-Helmholtz breakup
- Rayleigh-Taylor breakup
- LISA sheet breakup
- TAB breakup
- Injection distributions
- Taylor series expansion spray-gas coupling for decreased grid dependency
- Urea injection with evaporation

■ 雾滴碰撞和聚合模型

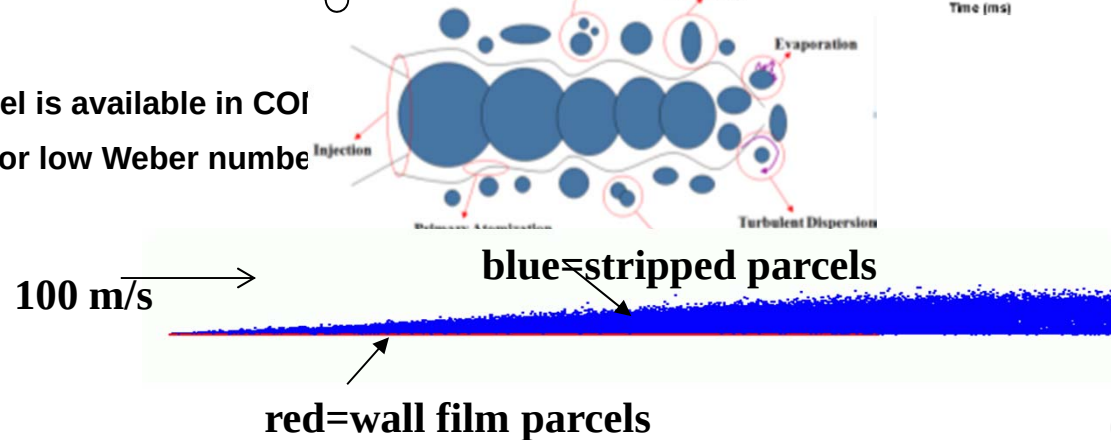
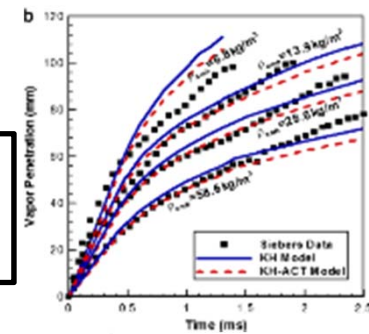
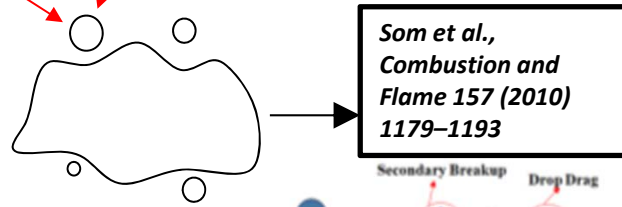
- O'Rourke numerical algorithm
- NTC numerical algorithm
- Various collision outcome possibilities
- Collision mesh option

■ 液膜模型

- A particle-based wall film model is available in COI
- Drop rebounding is included for low Weber number
- Film splashing is included
- Film separation is included
- Film evaporation is included
- Film boiling



$$r = B_0 \Lambda_{KH} \quad v_n = C_1 \Lambda_{KH} \Omega_{KH}$$



物理模型：燃烧模型

CONVERGE提供了几种不同层次的燃烧模型

Speed ■ 基于化学平衡的简化模型CEQ

■ 适用于反应时间尺度 $\ll$ 流动时间尺度

■ 概括反应模型

■ Characteristic Time Combustion (CTC) Model

■ G-Equation模型

■ Shell点火模型

■ Soot和Nox排放模型

■ SAGE详细化学反应算法：

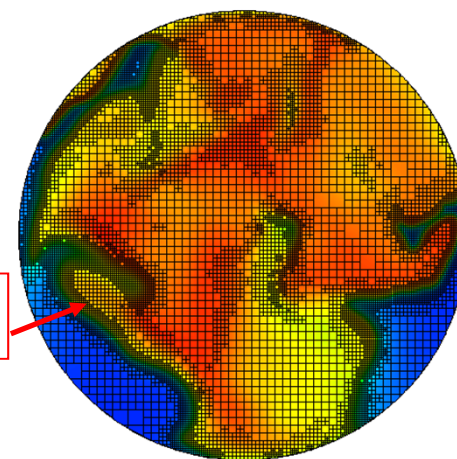
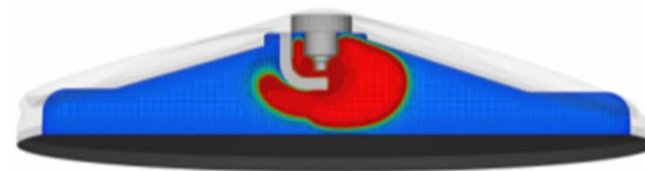
■ 读入CHEMKIN格式的化学反应机制

■ 求解反应动力学的常微分方程

■ 并行化计算最大限度的提高效率

■ 不需要对不同燃烧状态进行经验模化

Accuracy ■ 对合理的反应机制和足够的网格分变率(AMR), 不需要调整模型



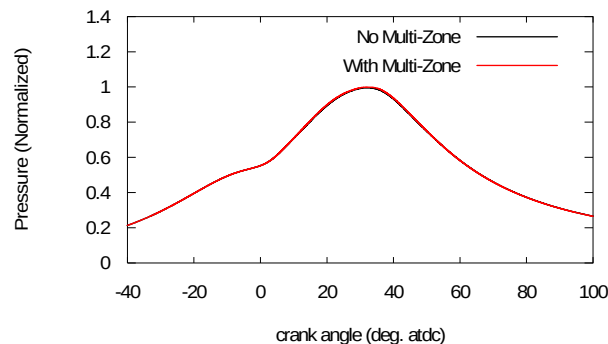
AMR 用来捕捉
湍流火焰厚度

温度云图

用SAGE和 AMR结合计算分层燃
烧直喷汽油机中的火焰传播

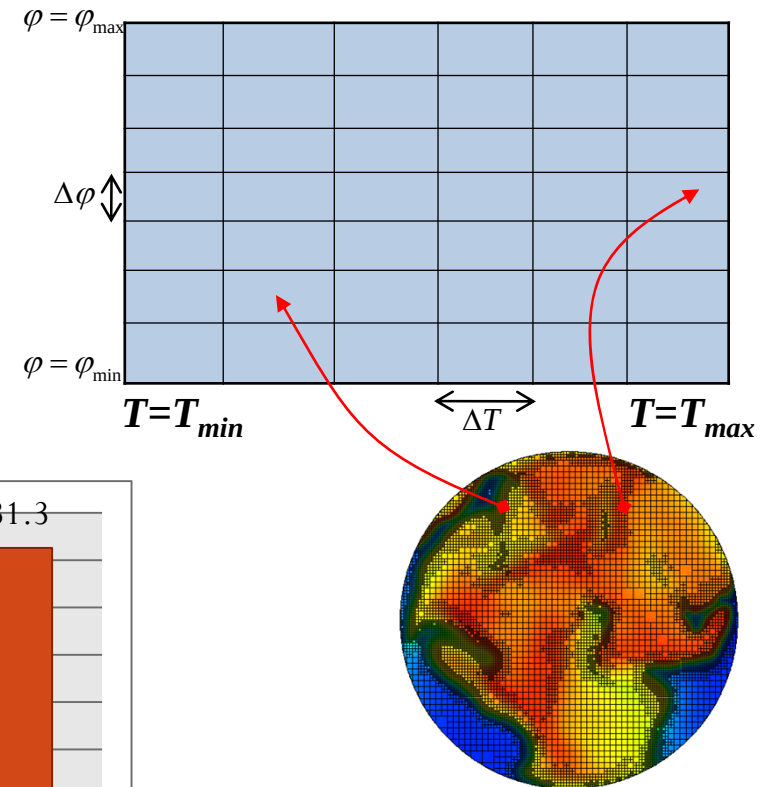
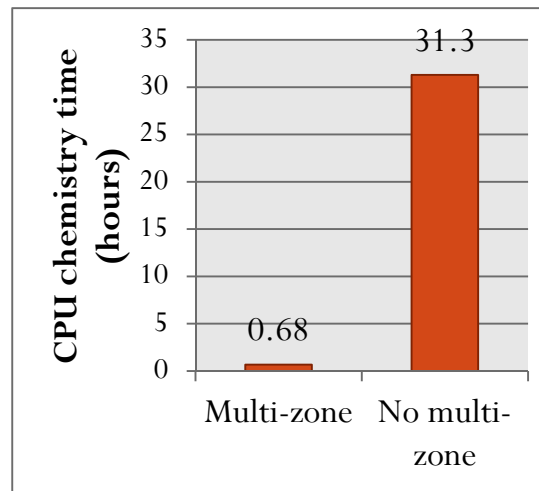
物理模型：燃烧模型-MZ加速算法

- CSI与劳伦斯. 利弗莫尔国家实验室(Lawrence Livermore National Laboratory)合作, 把Multi-Zone加速算法引入CONVERGE, 与SAGE结合称为**SAGE-MZ算法**
- SAGE-MZ在不降低精度的同时, 可大大降低了花在详细化学动力学上的计算时间
- 通过对SAGE-MZ大量验证, 我们发现对火花点燃的汽油机, 计算可加速50倍以上, 而对压燃的柴油机计算可加速10-15倍



GDI案例:

- Temperature bin size = 10 K
- Phi bin size = 0.1
- 采用SAGE-MZ加速46倍而计算精度不变

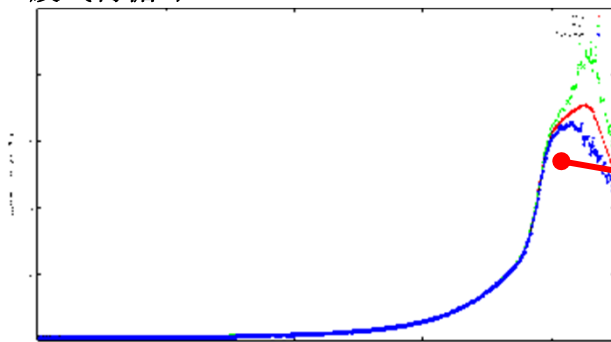


燃烧模拟：SAGE-MZ

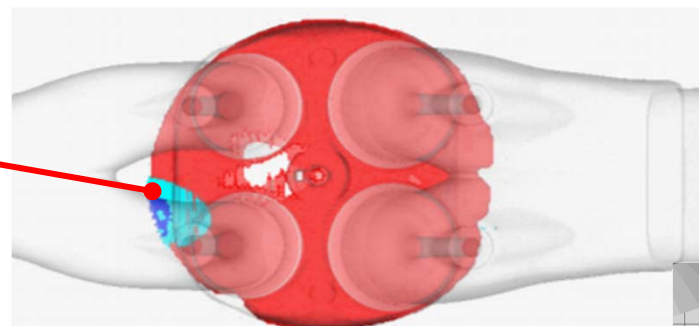
■ 考虑到SAGE-MZ模型的独特优势，如果客户有一有效的化学反应机制并能承受长一点的运算时间，CSI建议对各类发动机用SAGE-MZ进行模拟

■ CSI和我们的客户通常用SAGE-MZ来模拟各种燃烧类型：

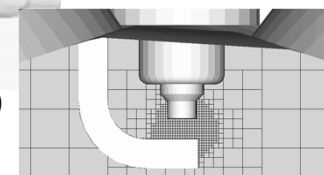
- 常规柴油机燃烧
- 均质混合气压燃技术 (HCCI)
- 低温燃烧 (LTC)
- 多次喷射策略
- 废气再循环
- 进气道喷油, 火花塞点燃汽油机
- 直喷汽油机 (均质和分层燃烧)
- 开室火花点火天然气
- 预燃室火花点火天然气
- 爆震模拟



- 采用**SAGE**算法，无需任何其它子模型就可以直接模拟自着火现象
- 前提是使用的化学反应机理能够可靠描述低温反应过程

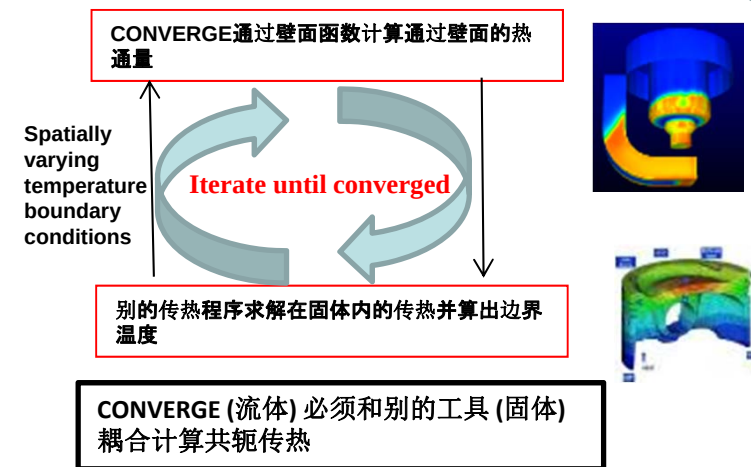


温度等值面显示了主火焰前锋(红色)和自着火位置(蓝色)

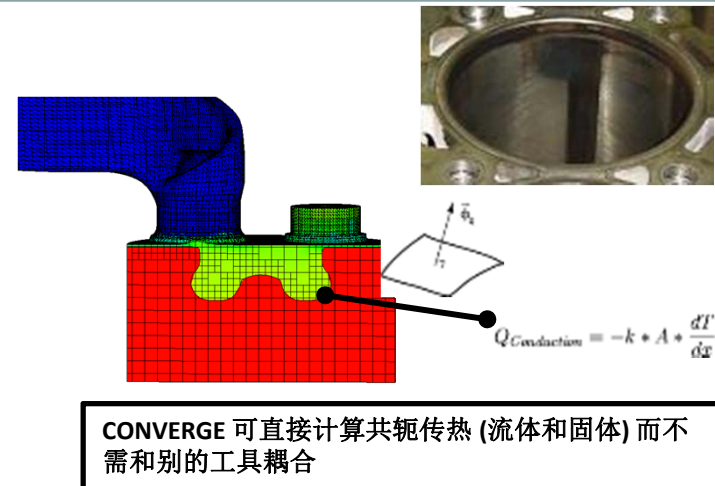


共轭传热

- CONVERGE 2.0或1.4.1只能模拟流体（气体或液体）
- 客户要在固壁设定合适的热边界条件
- 许多客户把CONVERGE和别的传热程序耦合求解



- 从CONVERGE 2.1开始客户就可以直接进行共轭传热的计算（流体和固体部分）
- 因而不需要以上的耦合求解
- 和流体一样，共轭传热的网格生成也是在CONVERGE 运行时自动完成的
- 我们已经测试完共轭传热模型。客户可下载CONVERGE 2.1 来试用

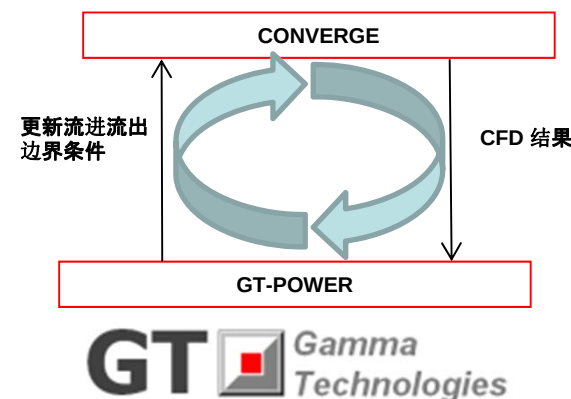
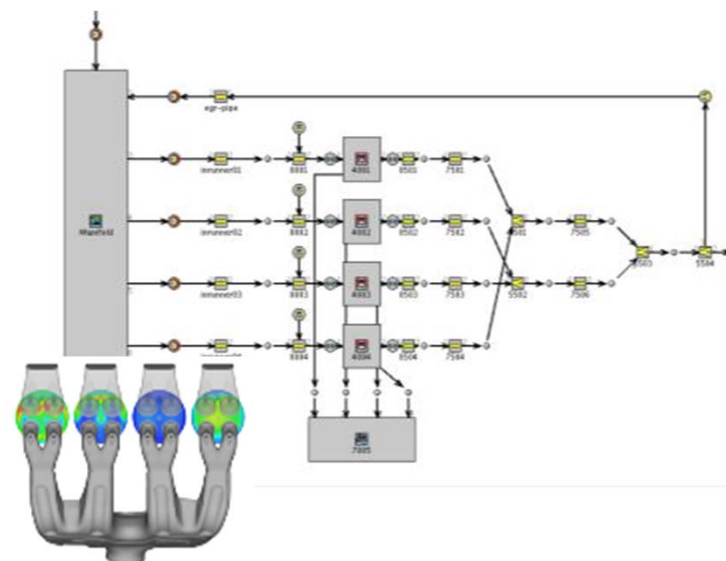


与GT-POWER耦合计算

■ GT-SUITE 7.3以后安装程序自带Converge UI和Solver安装源，随GT-SUITE自动安装，耦合实现方便快捷。

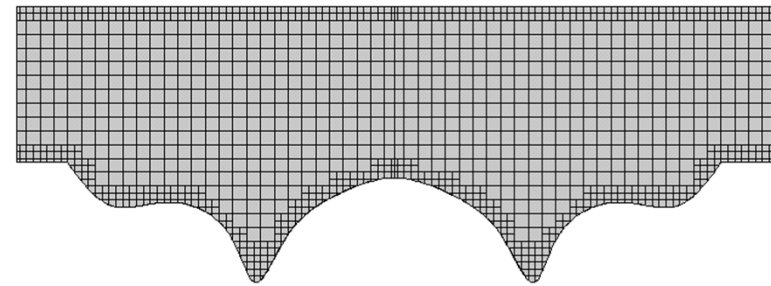
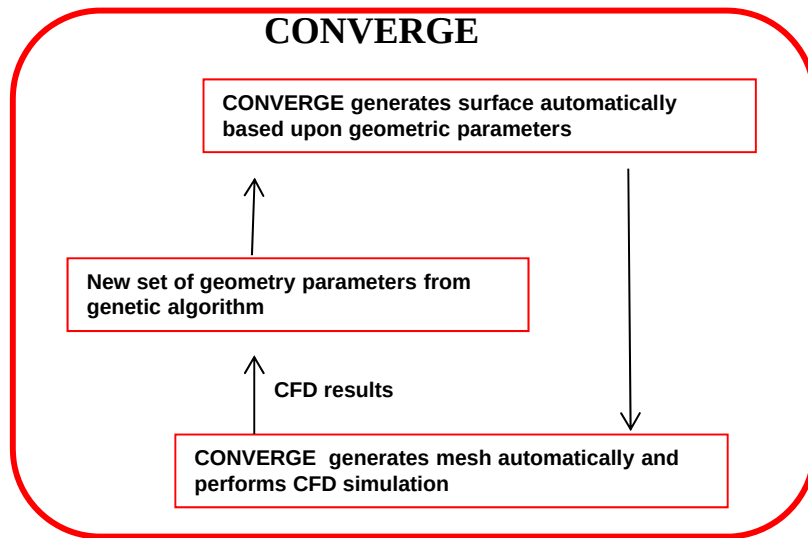
■ 两种实现方式：

- 1. 管路部件流动耦合：适用于三维效应强烈的管路部件，如排气歧管、进气歧管等。用户只需提供部件表面文件即可，耦合实现极其简单易行，最大网格数不能超过20000，用户拥有GT-Power license即可，无需另外购买Converge License。
- 2. 发动机缸内耦合：缸内流动、喷雾、燃烧计算由Converge计算，进排气系统由GT-Power计算，从而实现发动机系统的实时动态仿真。需要GT-Power 和Converge License，无物理模型和网格数量限制。



优化设计

■ CONVERGE内置遗传算法优化功能，可用于各种发动机相关优化分析中，如喷雾参数校核、喷嘴布置优化、污染物排放优化等；此外，还可采用参数化数模或与第三方软件（如Dae-morpher）结合实现几何优化，如：活塞顶或气道形状优化等。

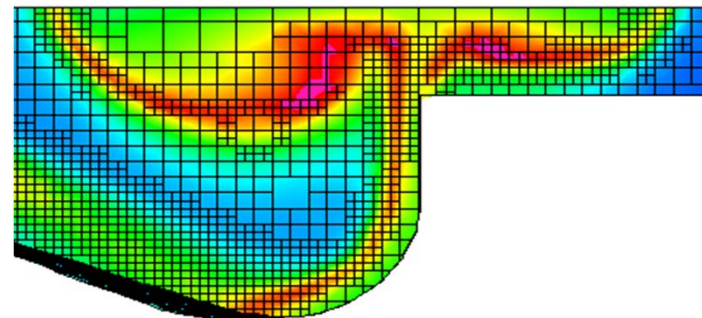


活塞碗形状优化

成功案例：柴油机

卡特彼勒公司生产的CAT 3400柴油机, *Six Mode FTP*

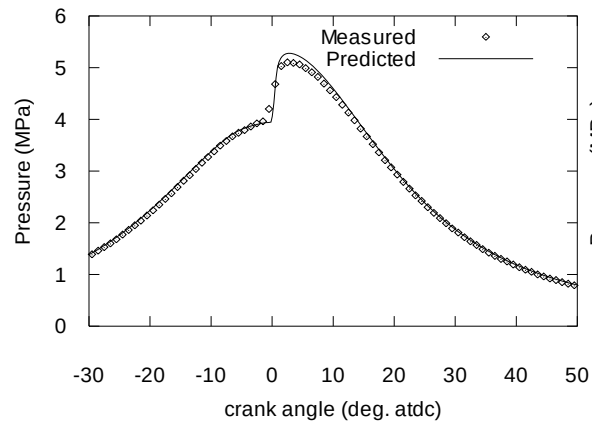
- 计算了不同负荷和转速下的六种工况，对应于美国发动机联邦测试流程Federal Test Procedure
- 实验由 David Montgomery at UW-Madison进行



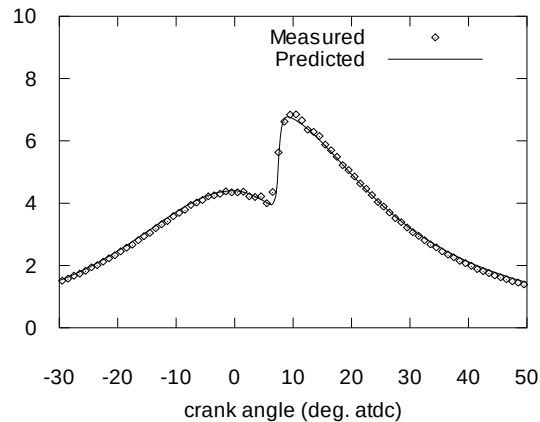
Parameter	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6
Speed (rev/min)	750	953	1074	1657	1668	1690
% Load	0	25	75	100	50	25
Intake Pressure (kPa)	100	108	168	239	164	132
Exhaust Pressure (kPa)	100	112	144	220	164	143
SOI (deg. ATDC)	-8	-0.5	5.5	7.5	2	-1
Fuel Flow Rate (g/min)	8.7	33.7	105	169	88.8	53.8

See SAE 2007-01-0159 for more details including pollution predictions

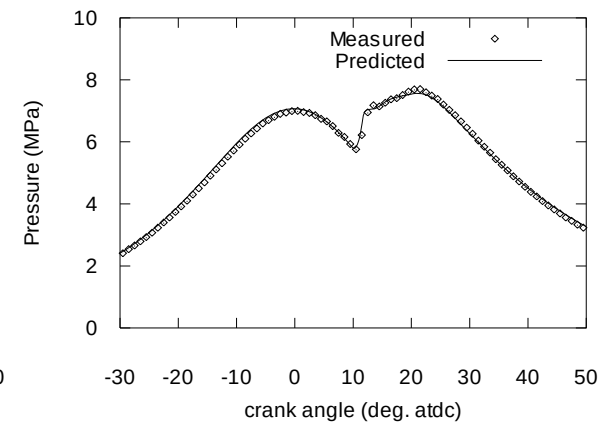
成功案例：柴油机（续）



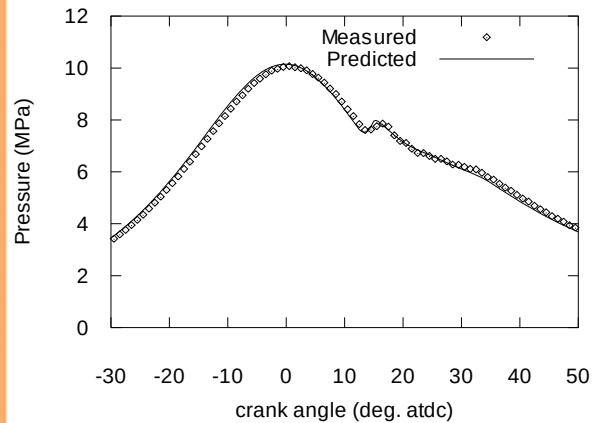
Mode 1



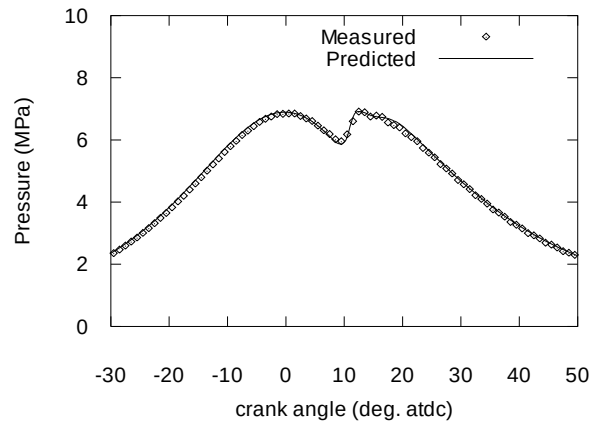
Mode 2



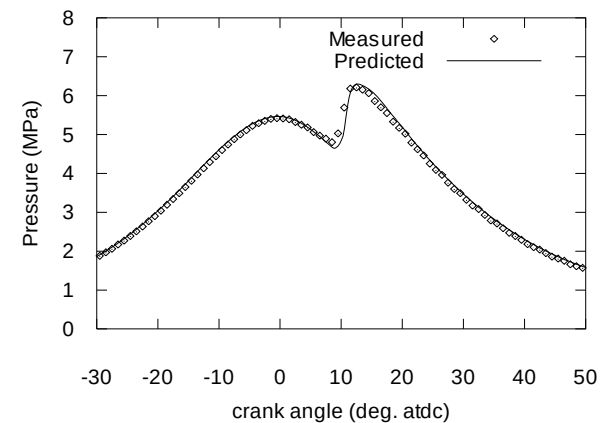
Mode 3



Mode 4



Mode 5

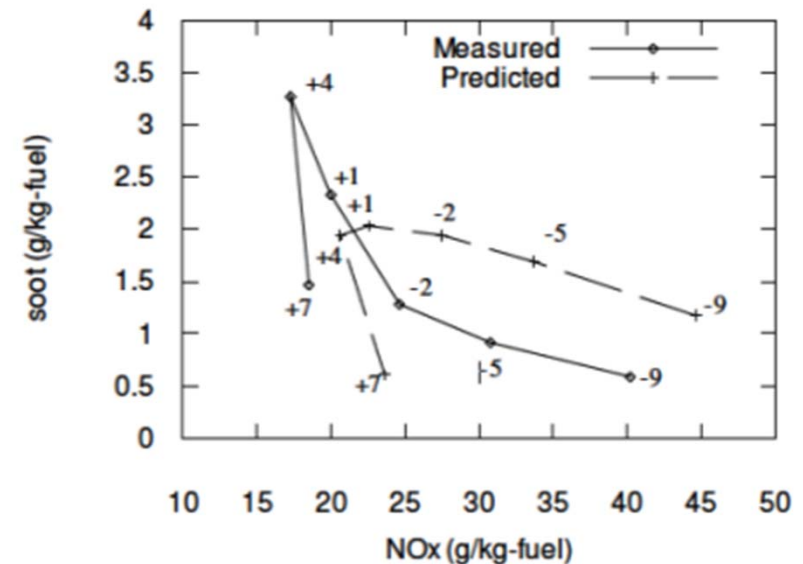
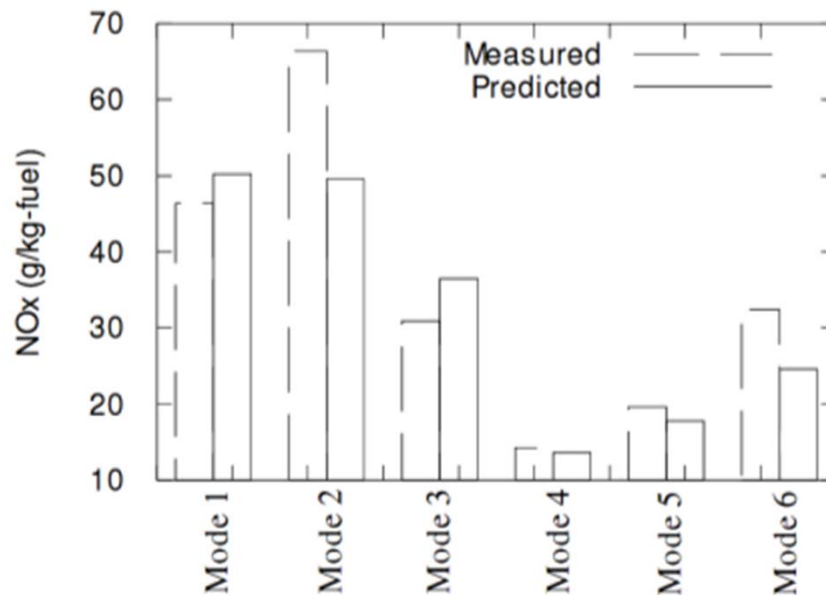


Mode 6

See SAE 2007-01-0159 for more details including pollution predictions

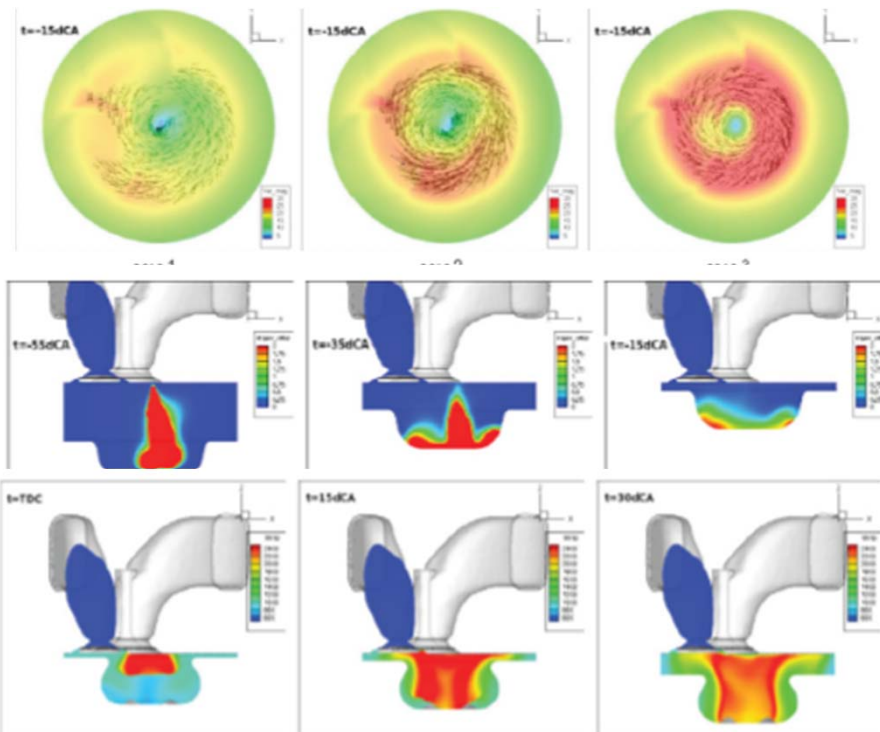
成功案例：柴油机（续）

- CONVERGE在没有经过任何模型调校的情况下可靠地预测了NO_x和soot的趋势。
- 主要得益于网格自适应加密（AMR）方法最大可能的消除了计算结果对网格的依赖性。



成功案例：DISI发动机

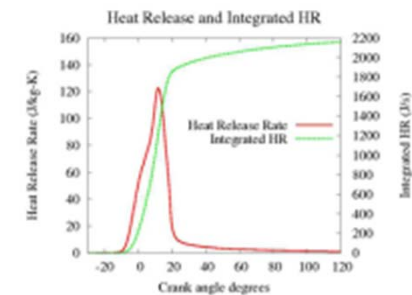
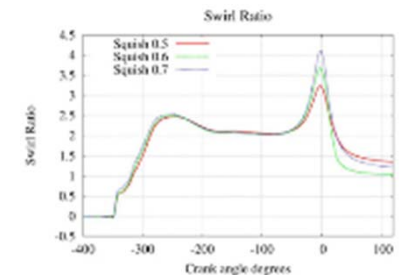
- CONVERGE用于模拟某种直喷(DI)火花点火(SI)发动机，研究各种活塞形状的影响
- 采用了详细化学反应+AMR的方法计算燃烧（38种组分，69个基元反应）
- 一次破碎采用LISA (Senecal et al. (1999))模型计算，该模型尤其适合于hollow-cone spray



Swirl

Equivalence Ratio

Flame propagation



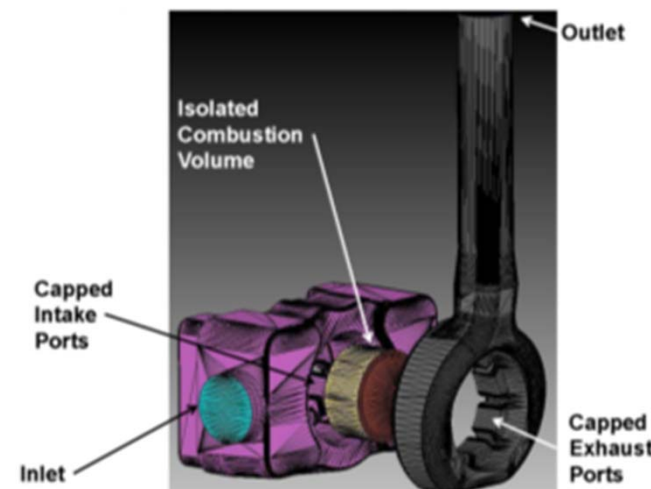
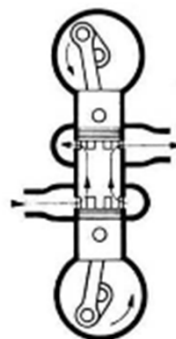
成功案例：对置式二冲程柴油机

■美国Achates Power公司成立于2004年，专门致力于新一代轻量化高效清洁对置式二冲程柴油机开发。

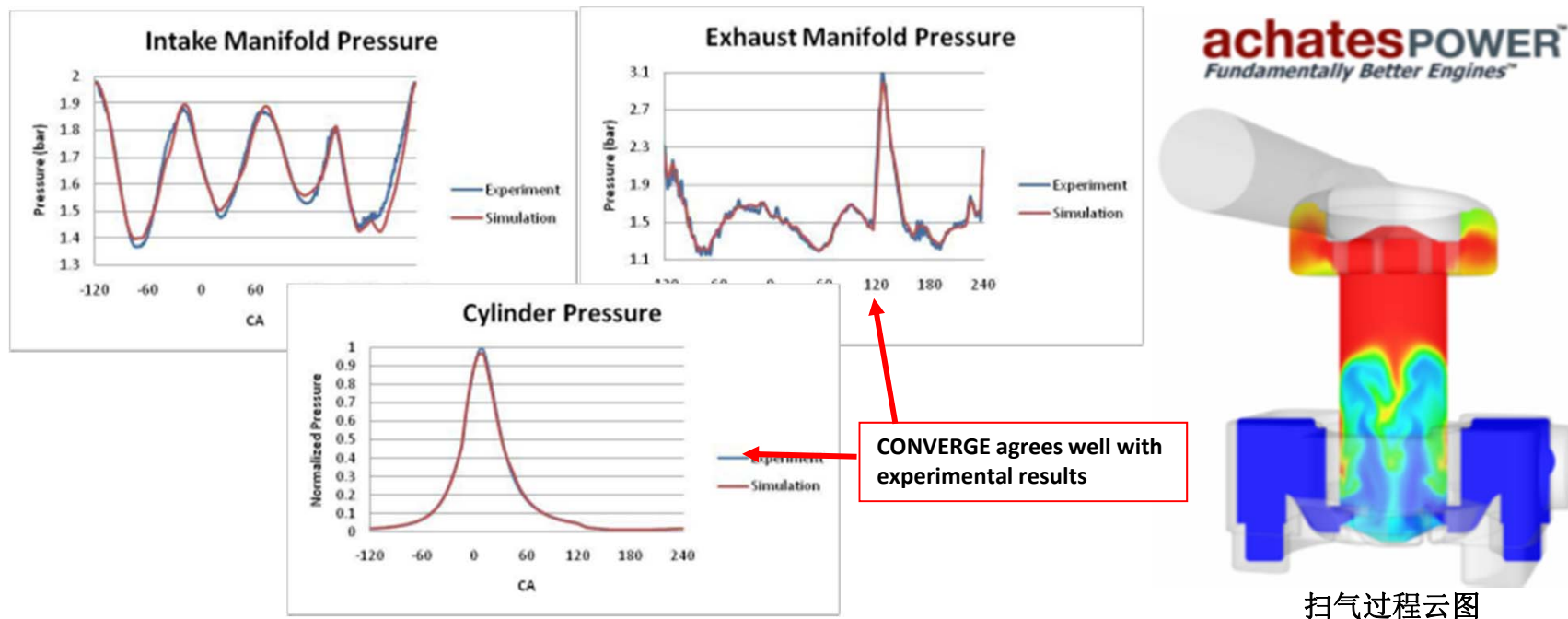
■该公司注重采用最先进的分析工具和实验设备来辅助其进行技术革新，Converge成为他们不二的选择。

■2011年成功开发出的发动机完成超过2500小时测试，与当今最好的柴油机相比，该发动机提高了20%以上的效能；与标准汽油发动机相比，提高了大约55%的效能。

■该发动机已证明是洁净环保的，发动机排放物符合现行及将来的排放标准。该技术全方位降低了发动机的生产成本，重量及复杂度。



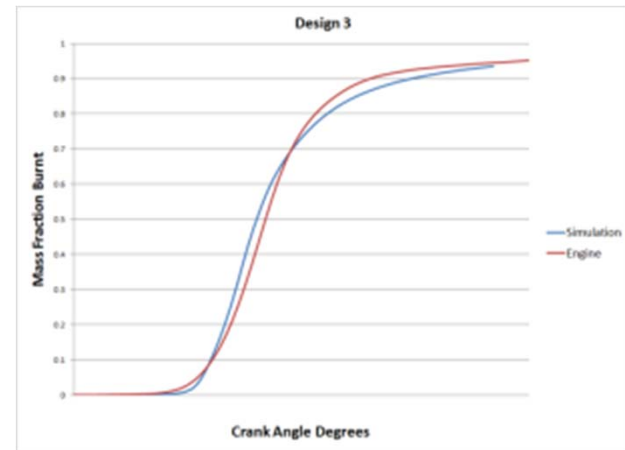
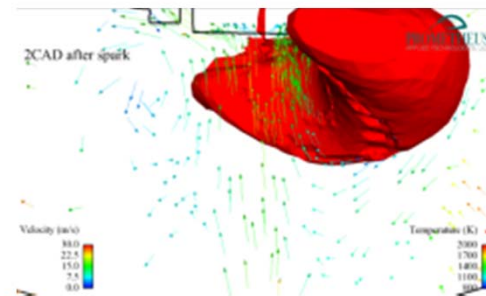
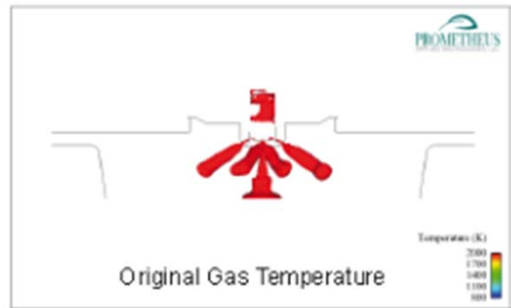
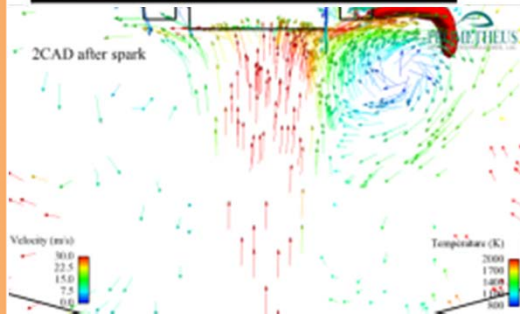
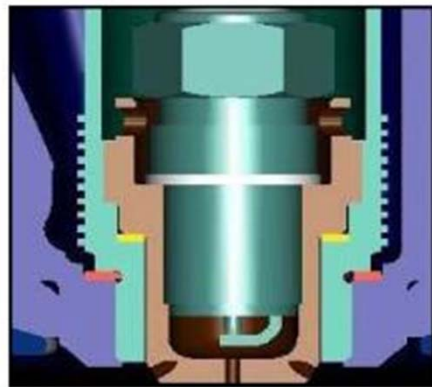
成功案例：对置式二冲程柴油机（续）



“CONVERGE的引入变革了燃烧CFD分析的传统观念，现在一个设计的分析过程比制作过程要快，分析过程的显著加速得益于CONVERGE取消了网格建模的时间，以及它的自动网格加密和并行计算功能。计算结果令人惊讶，不仅喷雾结果与我们实测的图像和粒径分布吻合良好，我们第一次进行的燃烧分析尝试也与实验结果惊人一致。就如同我们开发的引擎一样，CONVERGE正在重新定义它所在的行业”

——Fabien Redon, Achates Power性能&排放开发部副主管

成功案例：天然气发动机



Measures and predicted mass fraction burnt for passive prechamber combustion analysis.



"PASSIVE PRECHAMBER SPARK PLUGS: THEN and NOW"
7th Dessau Gas Engine Conference, March 24-25th, 2011

- 对某种前沿的稀薄燃烧天然气发动机进行了研究。
- 对五种预燃室喷气嘴进行了计算，并与实验结果进行了对比。
- 采用了AMR方法对速度、温度、浓度梯度高的地方，如点火区域火焰前锋处进行了网格加密。
- 该项目采用了一种命名为GRI-Mech 3.0的简化化学反应机理（由Gas Research Institute开发），并专门进行了优化以适用于天然气的点火和燃烧计算。

成功案例：乙醇/汽油混合燃料发动机

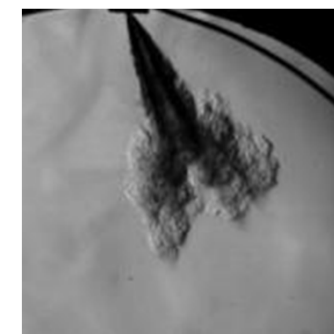
- 该分析由Wayne State University and Delphi (SAE 2010-01-0601) 完成
- 乙醇被认为是一种比较好的汽油代用燃料
 - (a) 辛烷值高，抗敲缸性能良好
 - (b) 蒸发潜热高，喷雾冷却效果好，有利于提高功率密度
- 详细研究了乙醇和汽油的喷雾过程，以加深对其喷雾锥形成过程的认识，从而为GDI发动机开发最优的喷雾策略
- 开发发动机控制策略时需要充分认识E0-E100之间不同燃料在蒸发吸热和功率密度方面的差异
- 该研究中，在喷雾室中研究了三种汽油机喷嘴、E0-E100之间不同燃料、不同环境条件（对应发动机不同工作点，从冷启动到正常运行）的喷雾图像
- 开放式喷雾室实验结果被用于研究某汽油机多孔喷嘴的喷雾行为：为CFD分析提供输入条件和结果验证。



Injector A



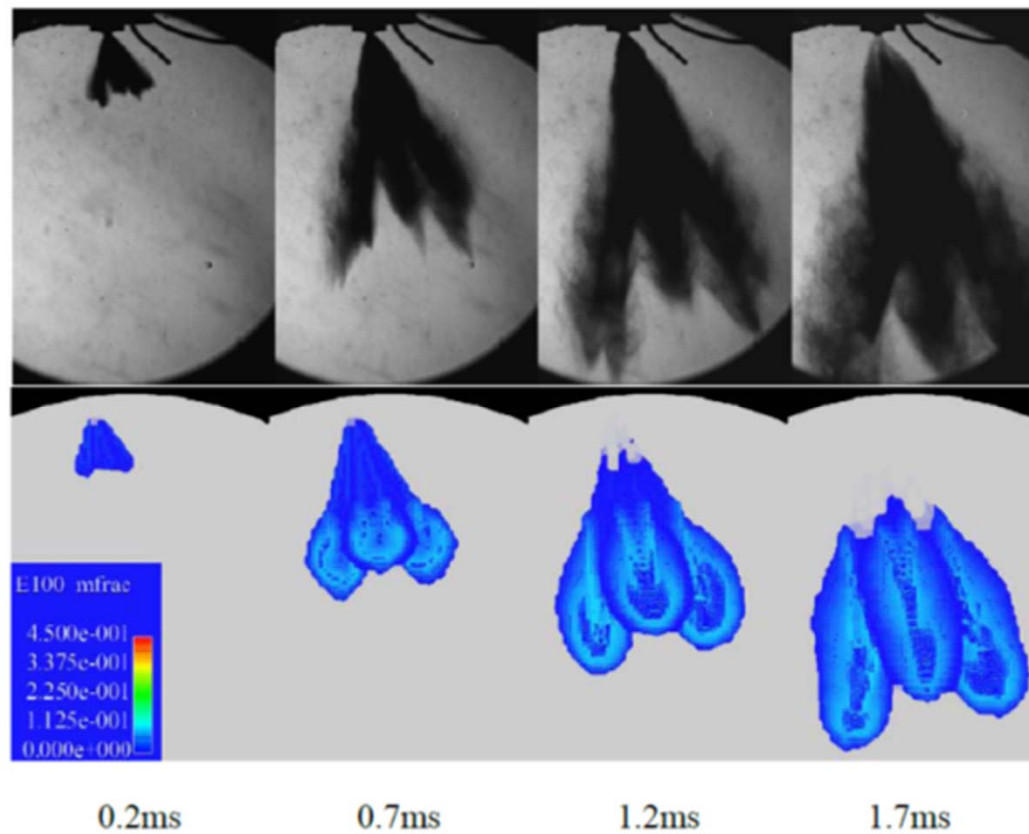
Injector B



Injector C

成功案例：乙醇/汽油混合燃料发动机（续）

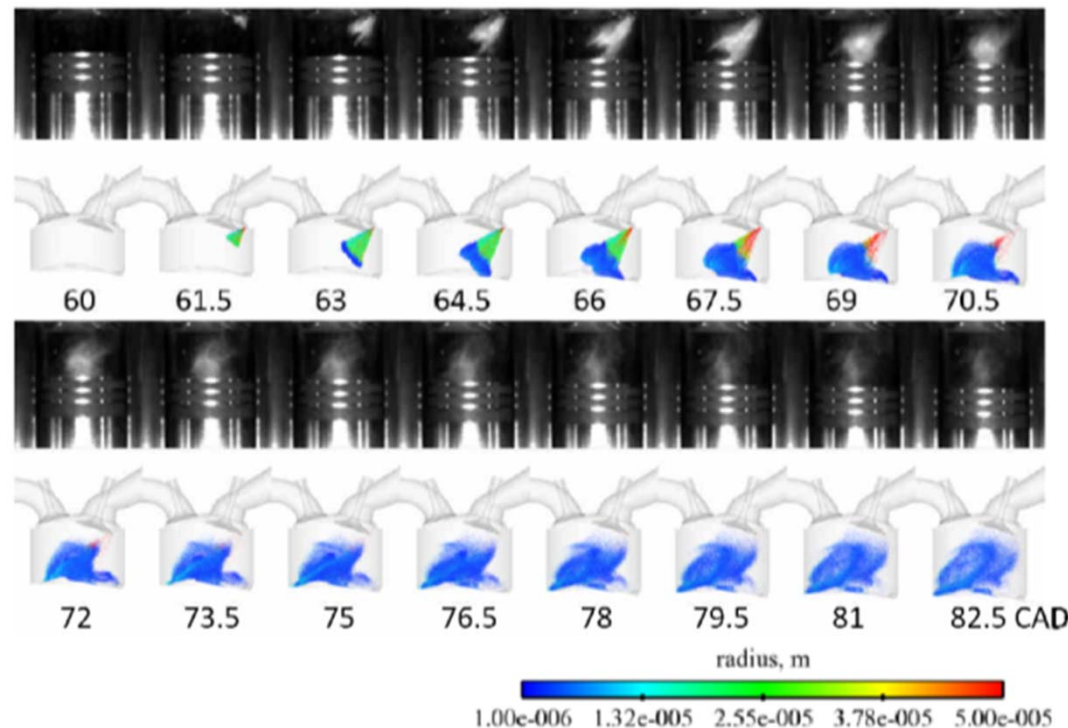
■ 下图为常温 (25 °C) 常压 (1 bar) 环境下Injector A的喷雾贯穿距图



Comparison of spray images from the experiment (top) with the numerical simulation(bottom), After SOI: 0.2ms, 0.7ms, 1.2ms, 1.7ms, Injector A, 25C, 1bar

成功案例：乙醇/汽油混合燃料发动机（续）

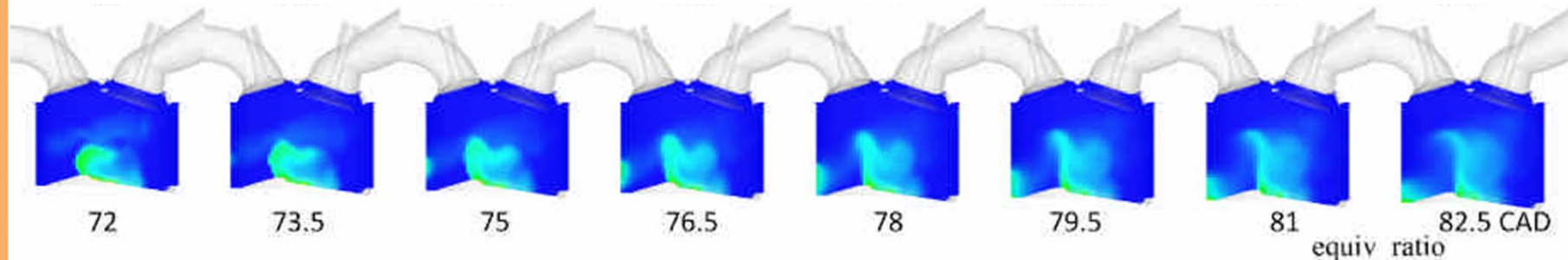
- 下图为injector B的缸内喷雾演变过程
 - 喷雾方向对tumble和mixing有强烈影响
 - 远离中心的喷束会撞到活塞壁上，可能造成未燃碳氢



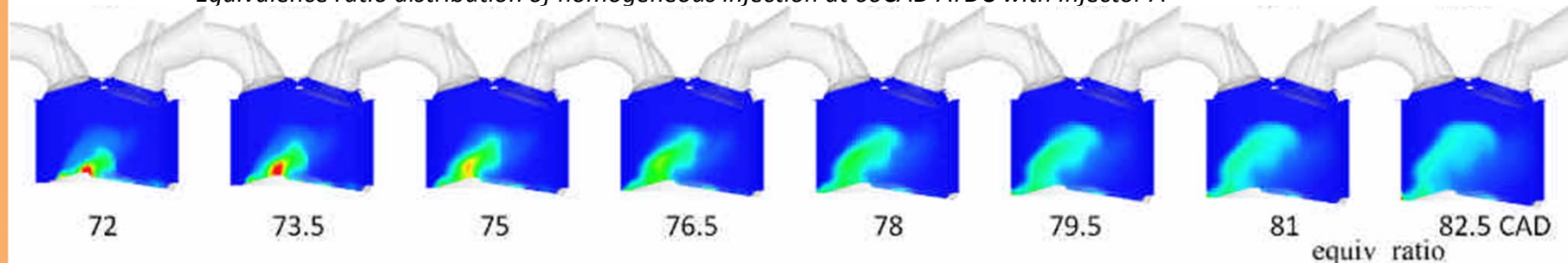
Comparison between CFD and experimental results of homogeneous injection at 60CAD ATDC with Injector B

成功案例：乙醇/汽油混合燃料发动机（续）

- 下图展示了气缸中截面上的CFD结果中的当量比图像
 - 当喷束撞壁时，活塞附件形成非常浓的混合气
 - Injector B的湿壁率约为injector A的两倍
 - 活塞湿壁可以通过延后喷雾正时来避免
 - 由于乙醇的沸点不随温度变化，闪蒸的发生强烈依赖于燃料温度



Equivalence ratio distribution of homogeneous injection at 60CAD ATDC with Injector A



Equivalence ratio distribution of homogeneous injection at 60CAD ATDC with Injector B

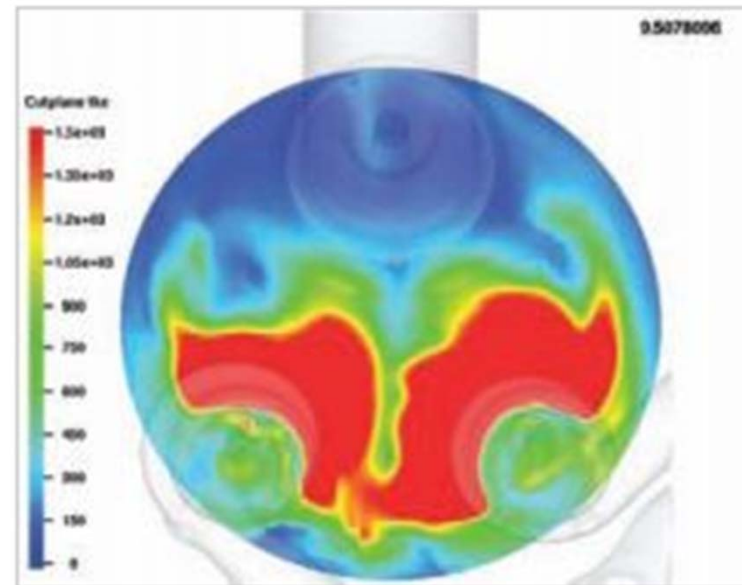
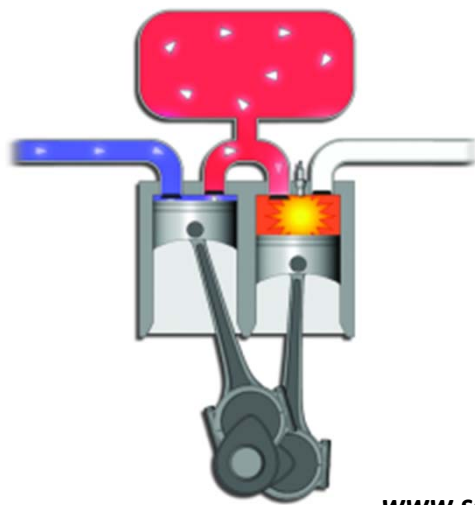
成功案例：Scuderi Engine

- Scuderi发动机(分循环发动机)的革命性特点是引入了一个分循环，并且在上止点之后(ATDC)点火燃烧；
- 分循环：将传统的四冲程发动机循环分到两个气缸上进行，一个负责进气/压缩冲程，一个负责做功/排气冲程；
- 由于在上止点之后点火，燃烧过程清洁，出力高
- 其热力学过程近似米勒循环，据称可减少油耗50% (3.6L/百公里)，减少NO_x排放80%。
- 除了在油耗和排放方面的优势，研究还表明这种发动机创造的扭矩也比传统汽油机和柴油机高。



成功案例：Scuderi Engine（续）

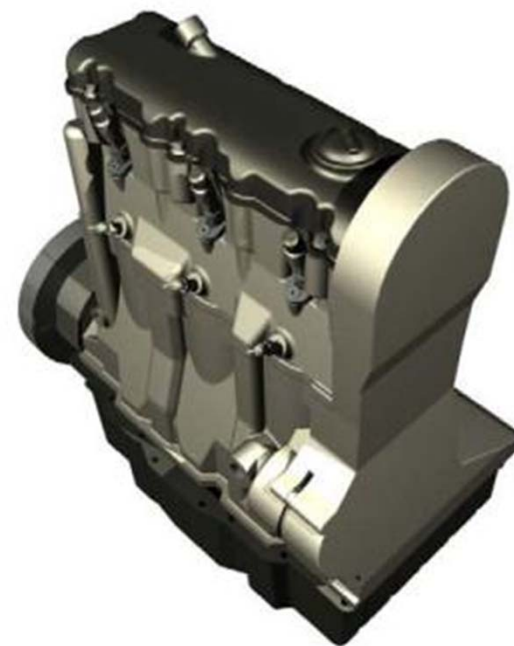
- 进气/压缩气缸与燃烧气缸之间的流动状况对形成合适的上止点后点火至关重要；
- 流动过程由一个旁通阀控制；
- 右下图给出了旁通阀打开时燃烧气缸某个截面上的湍流强度分布；
- 湍流强度对接下来的燃烧过程影响至关重要；
- CONVERGE是对这种发动机的吸气和压缩过程进行分析的最佳工具，因为它的自动化分网格特点可以方便地处理各种运动壁面。



http://www.scientific-computing.com/features/feature.php?feature_id=243

成功案例：30kW非车用发动机

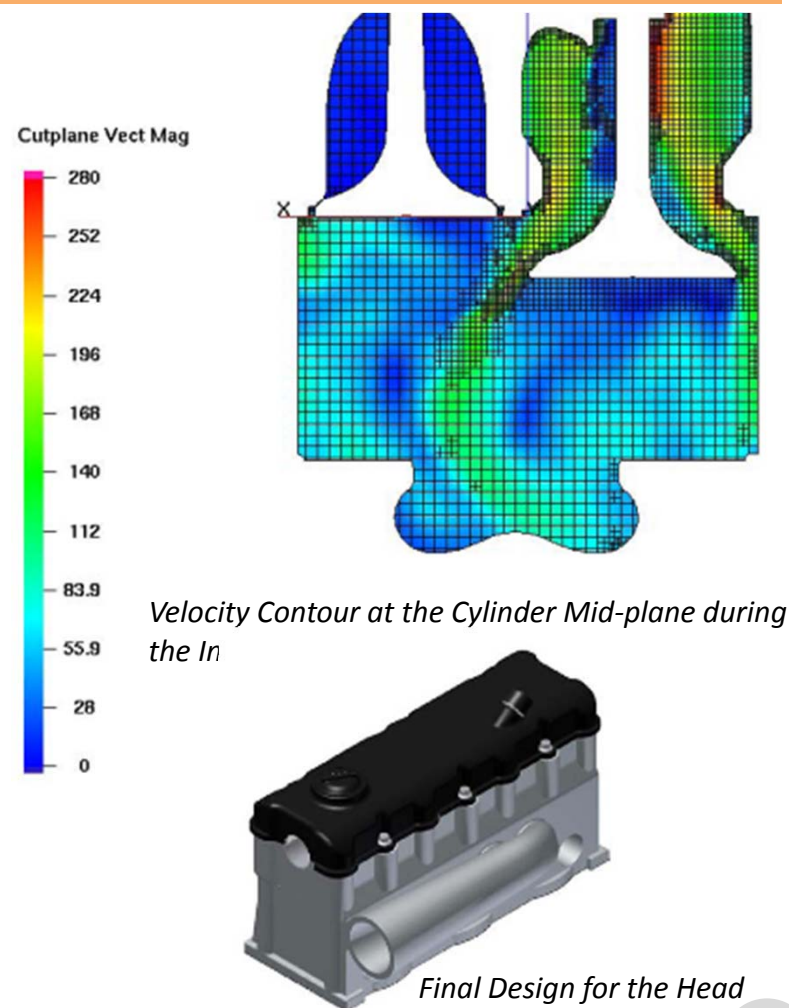
- 本项目由 Mainstream Engineering完成，发表于“2009年地面交通系统工程技术年会”
- 其目标是开发一款30kW的用于多个领域的辅助动力发动机，要求是高度模块化，超轻量，组装灵活
- 开发过程采用CONVERGE进行CFD分析，总的开发周期仅为15个月。



成功案例：30kW非车用发动机（续）

- 由于CONVERGE节省了网格建模时间，尤其适合于机型的快速开发；
- 右上图为吸气行程的速度分布云图；
- 通过对涡流比的关注以及缸盖附属部件（如喷嘴，辉光塞(glow plug)）对流动的影响，从而指导进气道的设计；
- 由于采用了高涡流比气道，改善了油气混合过程，进而提高了放热速率以及输出功。

Case	Swirl Ratio	Speed (RPM)
1	5.01	3600
2	5.36	3600
3,4,5,6	5.53	3600
7,8	5.85	3600
9	5.67	4500



总结

- 与传统的缸内CFD分析工具相比，CONVERGE在诸多方面有其独特优势，尤其在以下三个方面优势显著：
 - 1. 用户无需创建体网格模型，软件在计算过程中自动生成高质量的理想正交六面体网格，完全消除用户用于网格建模的时间，大大提高工作效率；
 - 2. AMR和Embedding等网格控制方法，将网格布置在最需要的时间和空间，精确捕捉各种细节几何特征和流场特征，最大限度提高网格效率和计算精度；
 - 3. 自带的SAGE-MZ高速化学反应求解器，可实现三维详细化学反应工程化计算，结合反应机理可以模拟任意类型的反应机制，节省模型校核时间。
 - 4. 文本式计算文件输入模式，在更换几何模型，边界条件，物理模型、网格控制策略等方面非常方便、快捷。

Converge缸内计算与其它软件比较优势

	Converge	商用软件 A	商用软件 B
计算输入文件	计算输入文件为文本式，独立于几何模型，在更换几何模型，边界条件，物理模型、网格控制策略等方面非常方便、快捷。	计算设定信息依附于几何模型，不易移植。网格设定非常困难与容易发散	计算设定信息依附于几何模型，不易移植。
稳定性	专门针对发动机开发，程序非常稳定， Bug 少。几乎所有类型发动机都可以分析。	A 为通用CFD软件，在缸内燃烧喷雾计算通常需要进行很多调试才能完成成功的计算。	Bug 多，不稳定。通常需要进行很多调试才能完成成功的计算，软件平行效率低。

Converge缸内计算与其它软件比较优势

	Converge	商用软件 A	商用软件 B
网格模型	1. 用户无需准备网格模型，在计算过程中实时生成体网格；	网格模型创建过程复杂，用户经验要求高，且耗时很长；	网格模型创建过程复杂，用户经验要求高，且耗时很长；
	2. 体网格为理想正交的六面体网格，质量好、计算稳定性好；	网格运动过程中易出现扭曲，计算不稳定、易发散；	网格运动过程动态生成和重构，计算不稳定、易发散；
	3. 即使采用很粗的网格，仍能够严格保持原始几何。初期研究中可以采用粗网格设定快速实现。	几何形状依赖于网格尺寸。如果网格太粗，则无法保持几何精度。	几何形状依赖于网格尺寸。如果网格太粗，则无法保持几何精度。
	4. 网格总是保持静止，最大限度减小数值误差和数值扩散。	网格总是运动，会引起数值误差和数值扩散。	网格总是运动，会引起数值误差和数值扩散。
	5. AMR自适应加密，可根据几何表面，或根据速度、温度梯度加密，可对处理非常复杂的几何（比如spark plug），也很好的捕捉火焰面；而且网格数少，计算快，精度高；	网格疏密事先确定，在计算过程中难以更改；	网格疏密事先确定，在计算过程中难以更改；

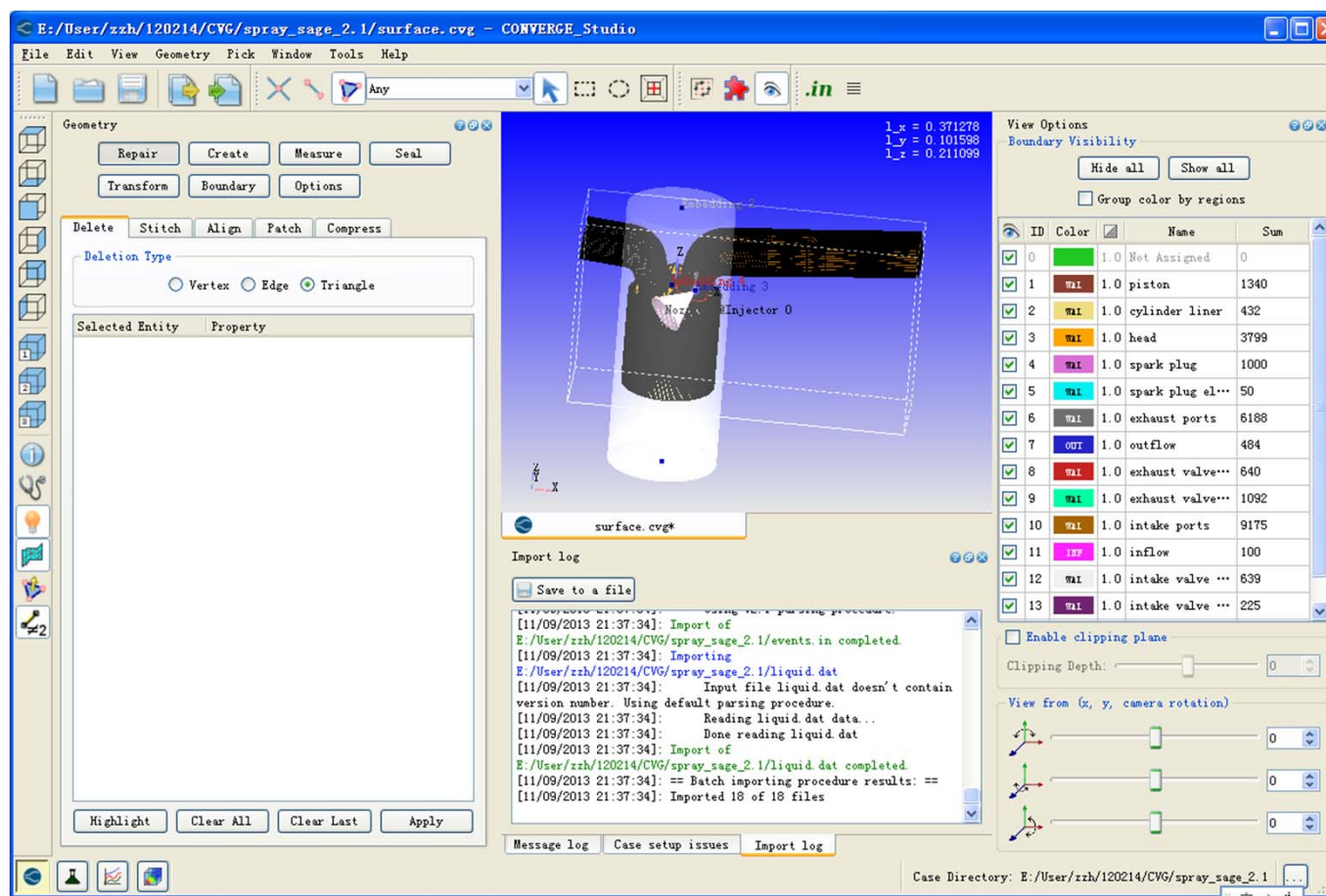
Converge缸内计算与其它软件比较优势

	Converge	商用软件 A	商用软件 B
喷雾计算	1采用 AMR 方法后，较小的网格规模下即可消除网格依赖性，计算精度高，为燃烧计算的可靠性提供前提保证；	网格依赖性不易消除，除非整体采用很密的网格，但这样导致计算速度很慢；	网格依赖性不易消除，除非整体采用很密的网格，但这样导致计算速度很慢；
燃烧计算	1. 自带详细化学反应求解器 SAGE ，无需另外购买；	需要借助其它专业化学反应软件（ chemkin ）/模块才能实现详细化学反应计算；	需要借助其它专业化学反应软件/模块才能实现详细化学反应计算；
	2. 引入了 Multi-Zone 加速算法，在保持精度的情况下大幅度减少详细反应计算时间，完全可用于工程化计算	详细化学反应计算量巨大，耗时太长，目前无法用于工程化计算；	详细化学反应计算量巨大，耗时太长，目前无法用于工程化计算；
	3. 与 AMR 方法结合可以直接模拟点火过程、湍流火焰传播过程，计算精度高，无需校核即可吻合实验结果。	计算精度难以保证，需要大量校核工作才可能与实验结果对标；	计算精度难以保证，需要大量校核工作才可能与实验结果对标；

Converge缸内计算与其它软件比较优势

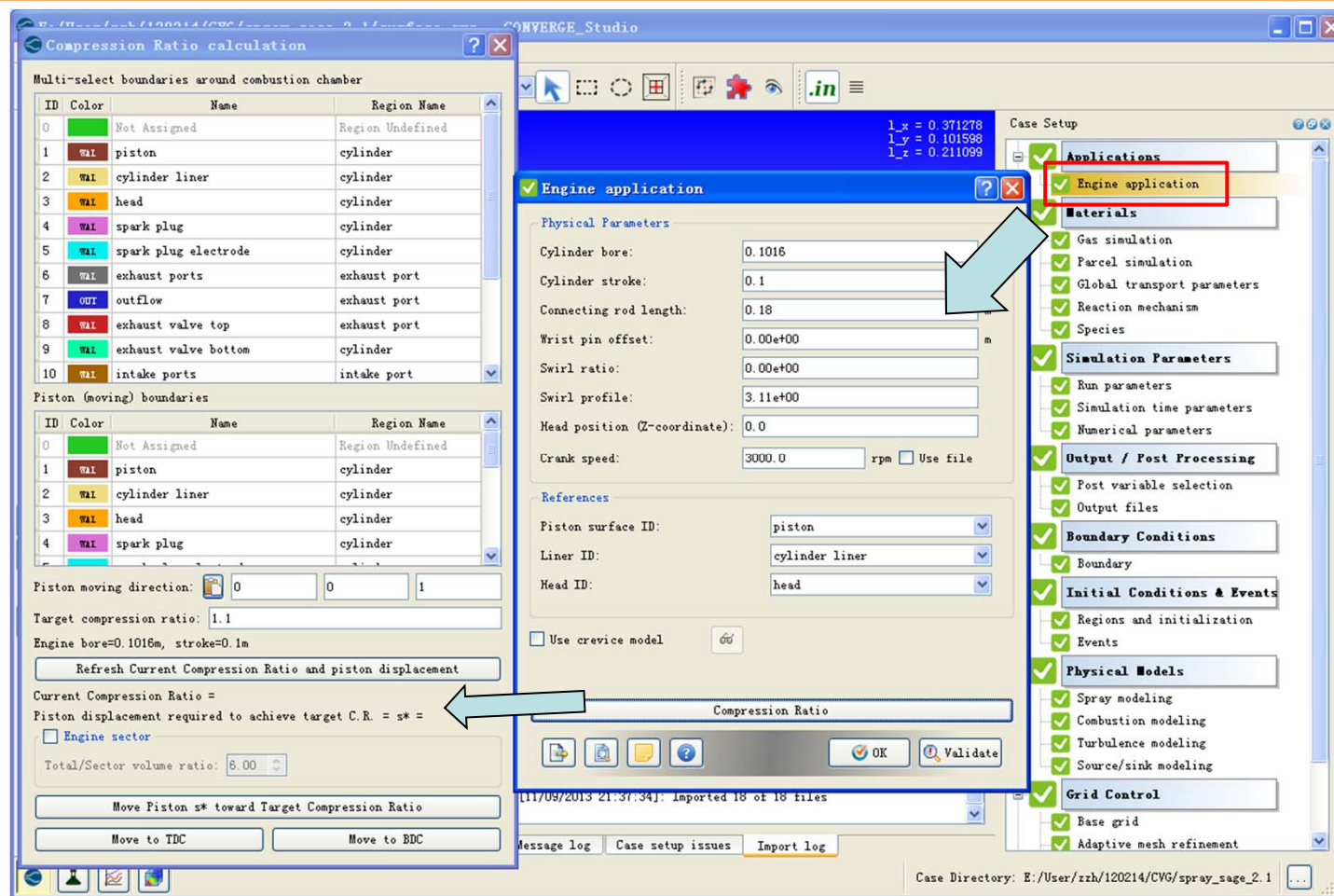
	Converge	商用软件 A	商用软件 B
耦合计算	内嵌于GT-SUITE安装程序，可与GT-Power灵活方便地实现多层次的双向耦合。流动耦合仅需GT-Power License, 无需Converge License. 用户只需提供部件表面文件即可。	无内嵌，通常只能实现两个软件间的单向耦合，实现过程复杂，须有两个软件的License	无内嵌，通常只能实现其它软件间的单向耦合。
软件价格	软件购买不分模块	软件分缸内网格模块，求解器模块，以及部分燃烧模型单独购买	软件分模块购买（部分燃烧模型单独购买）

界面展示



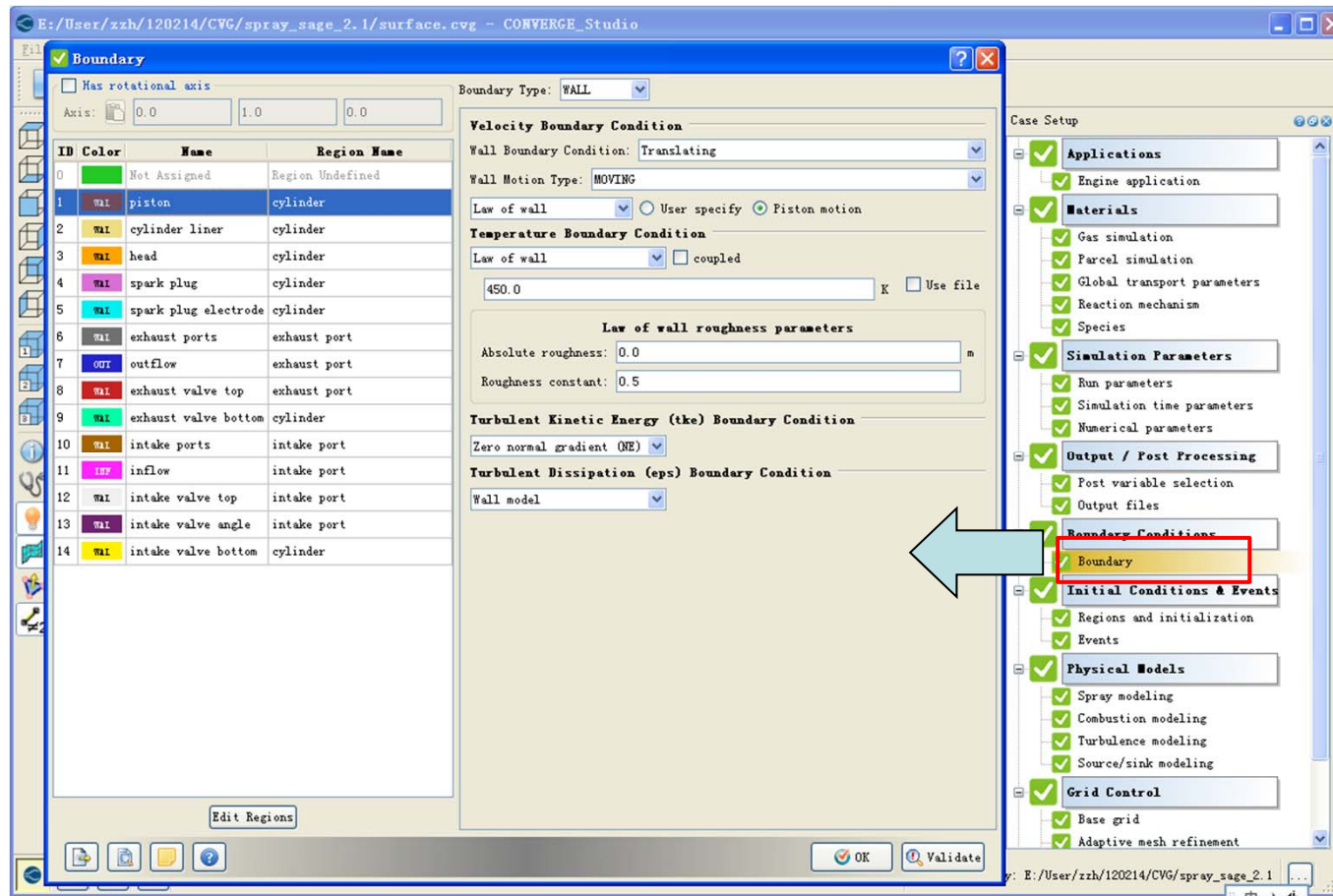
■主界面：实现表面的快速分割，计算的快捷设定

界面展示



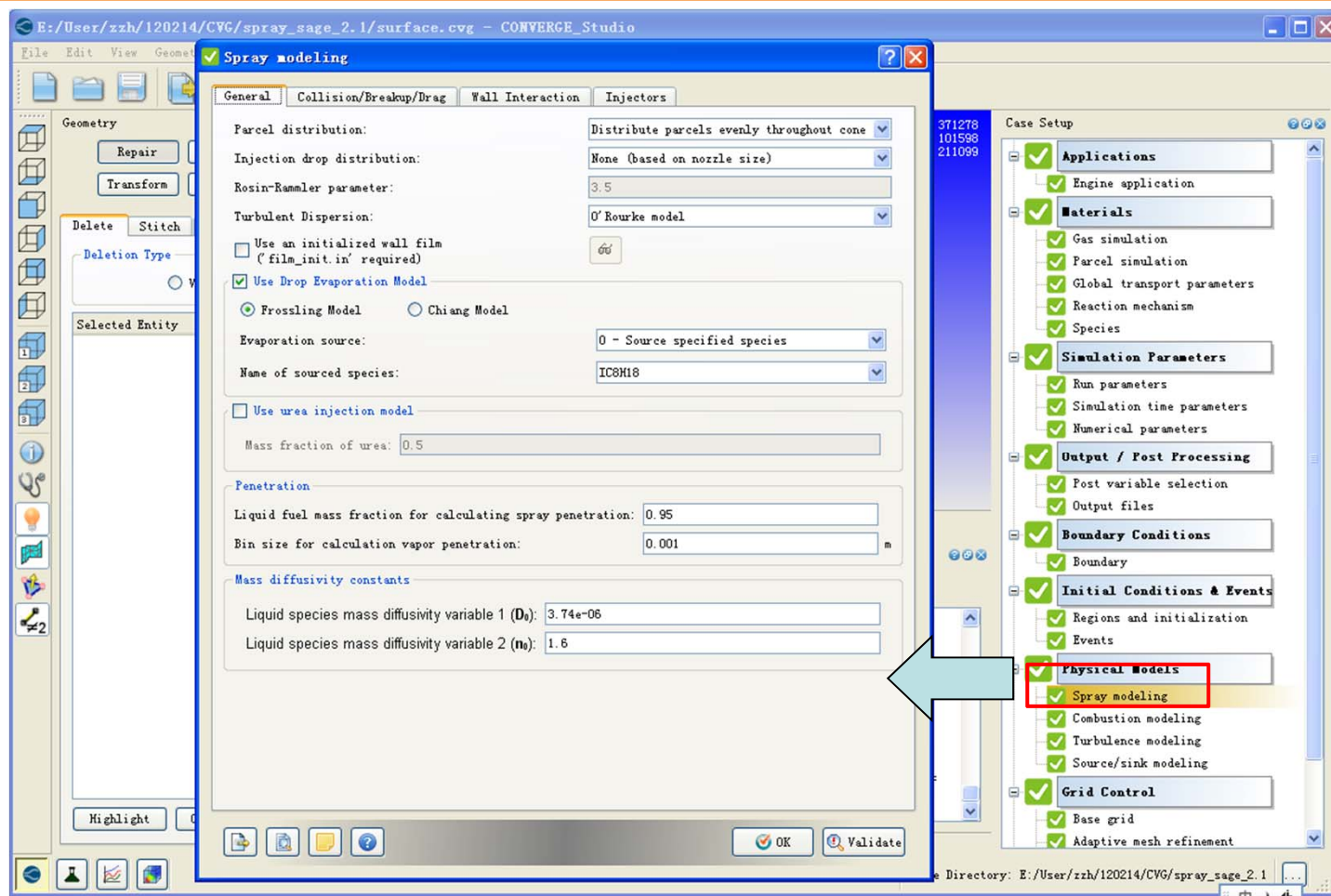
■ 发动机参数设定及压缩比自动调节

界面展示



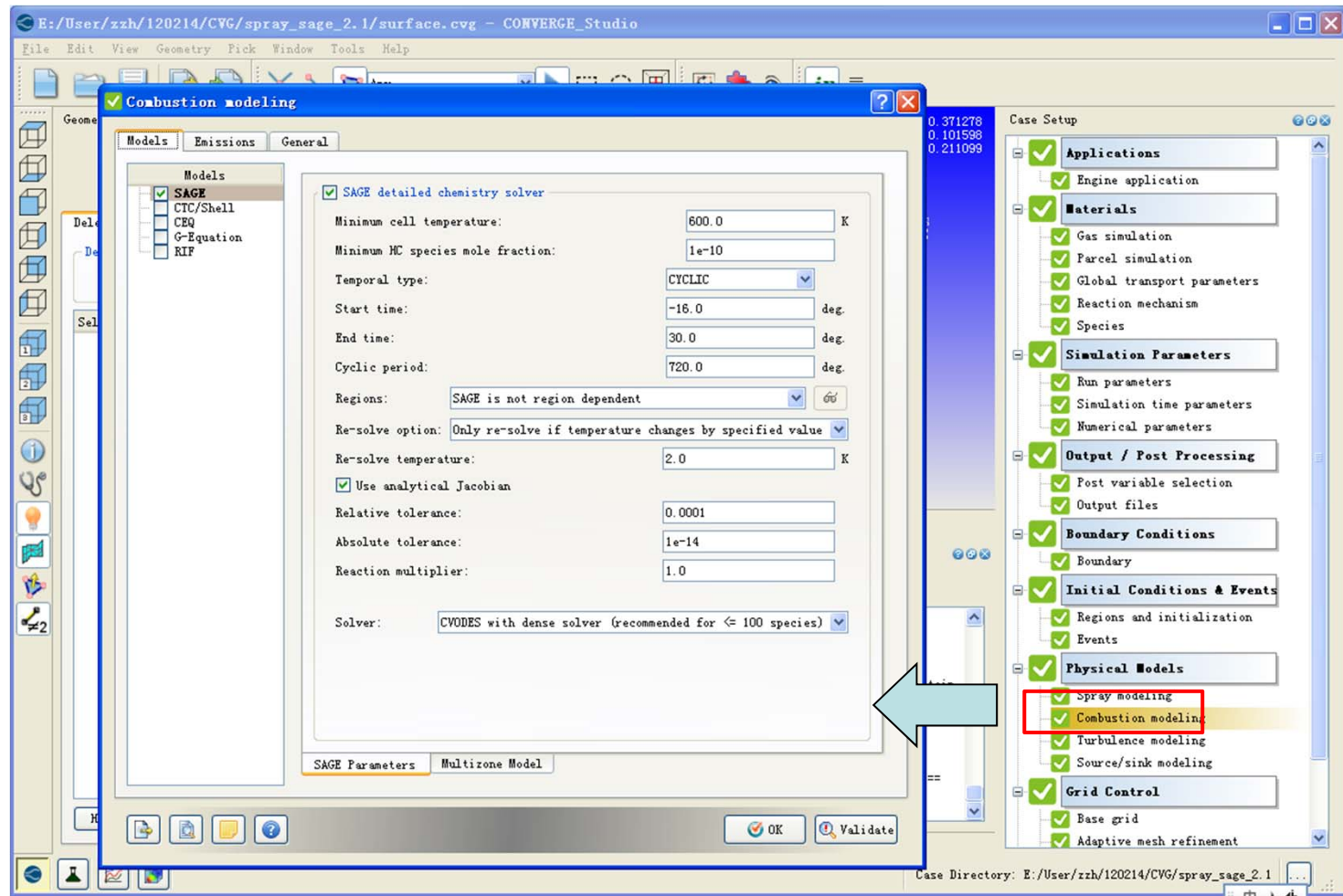
■ 边界运动规律的便捷设定

界面展示



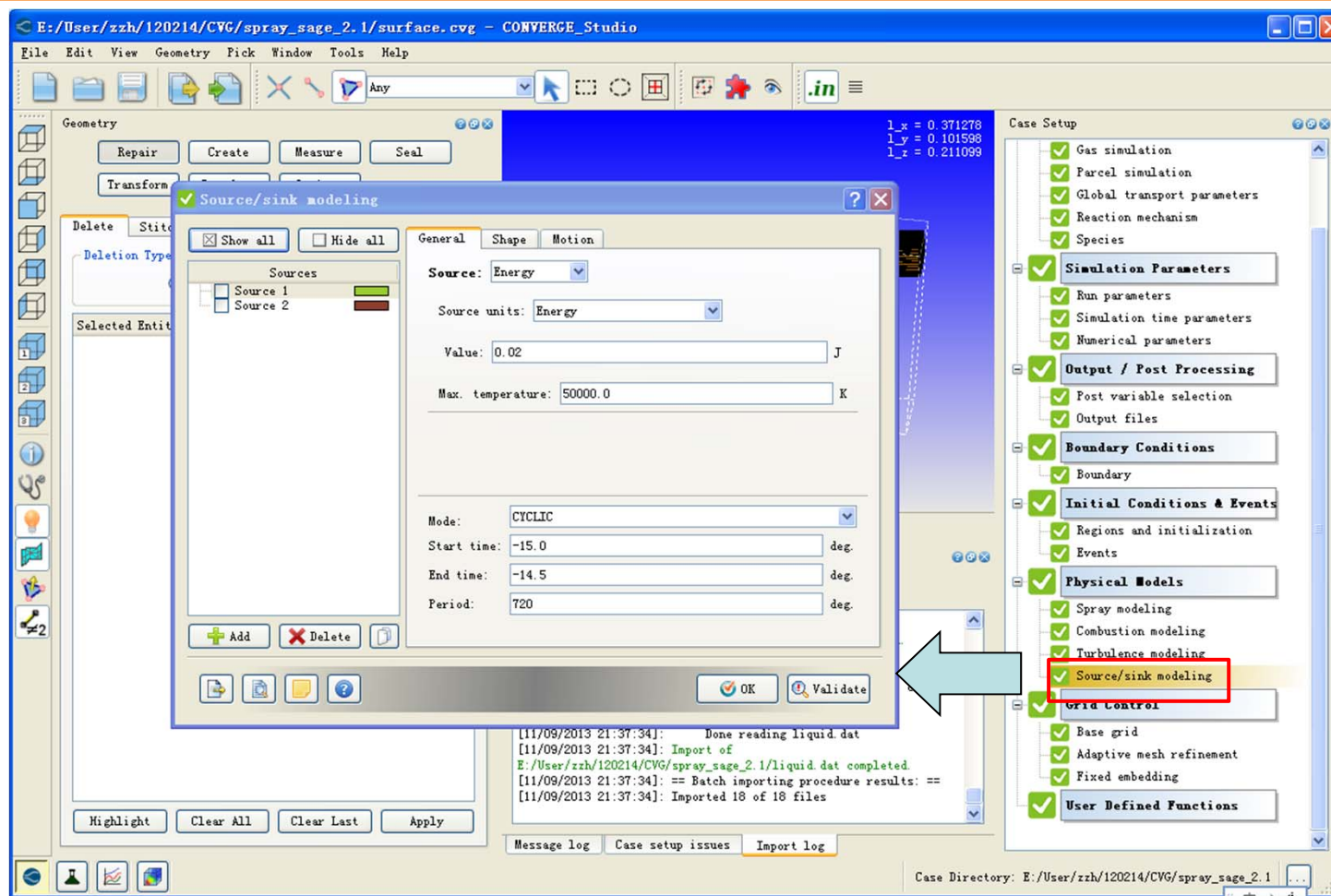
■丰富的喷雾模型

界面展示



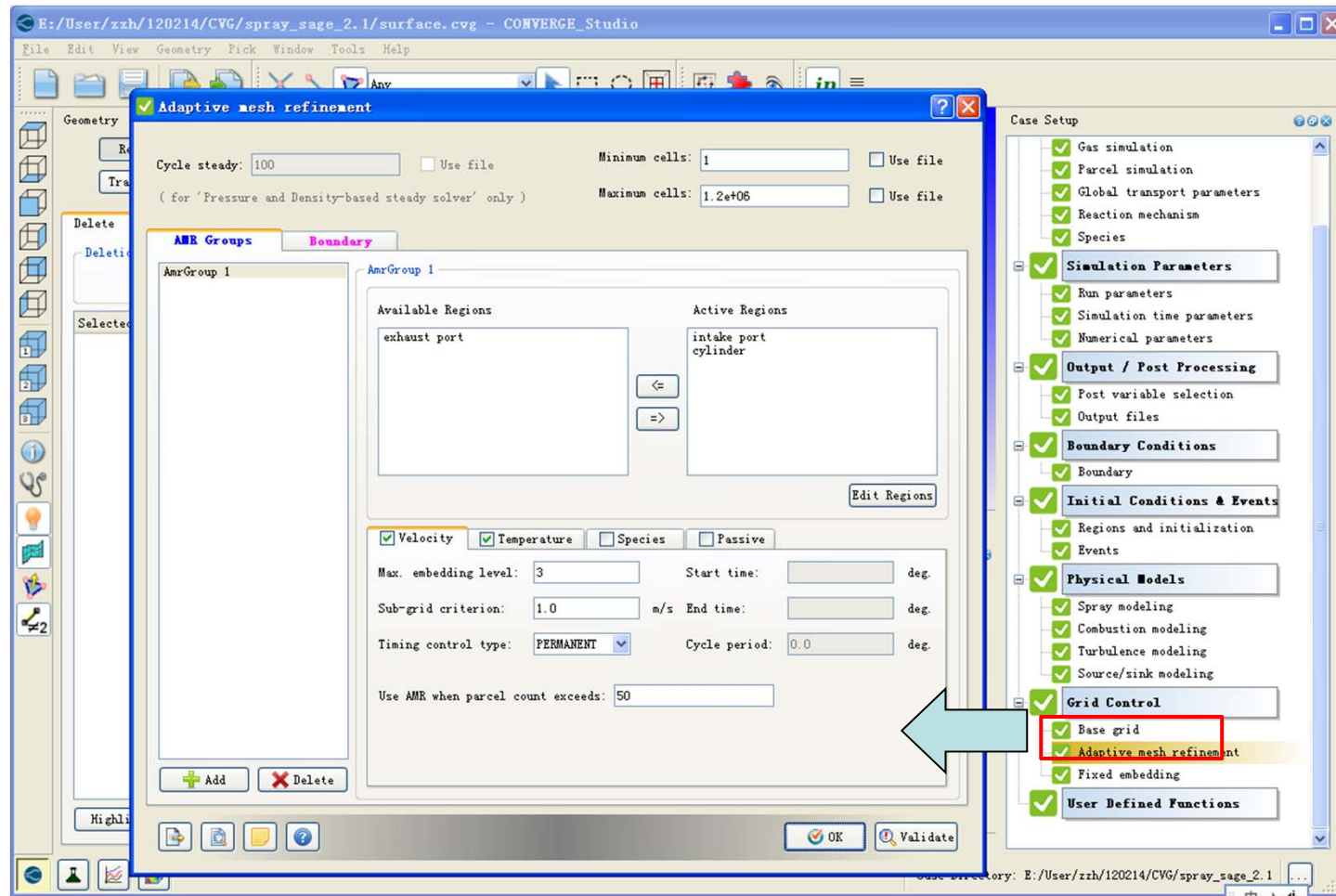
■ SAGE-MZ模型

界面展示



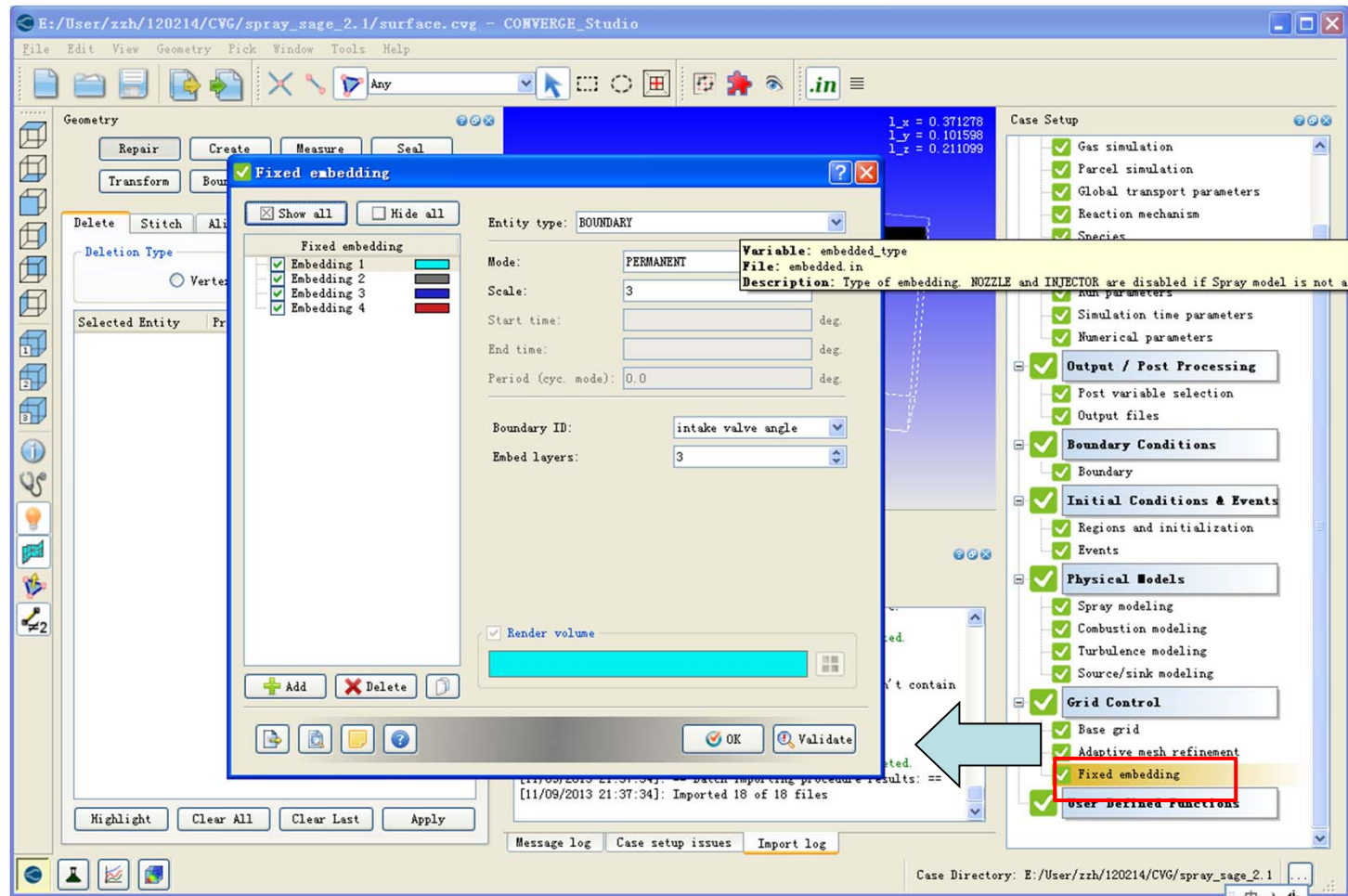
■ 准确的点火模型

界面展示



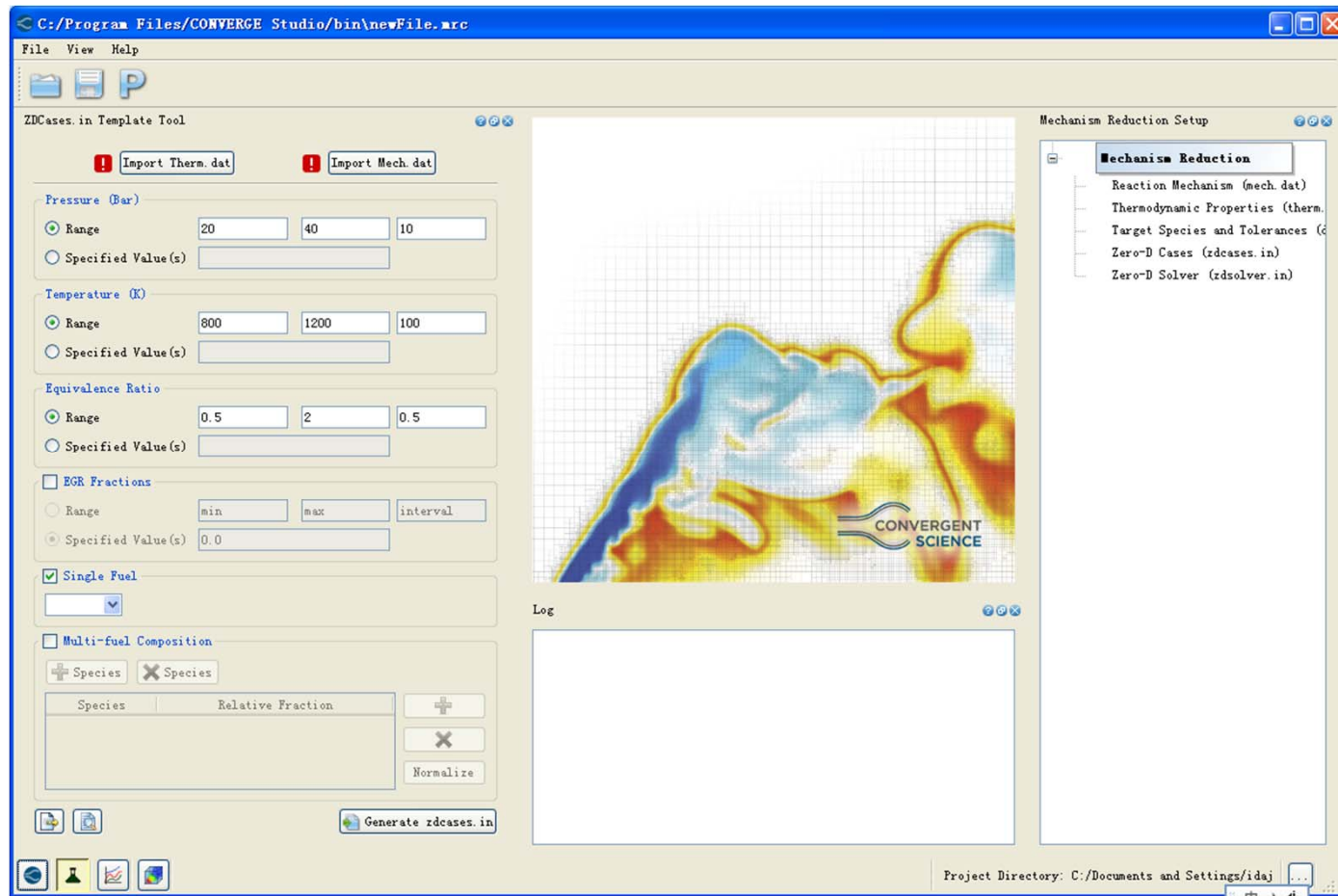
■ AMR网格策略控制

界面展示



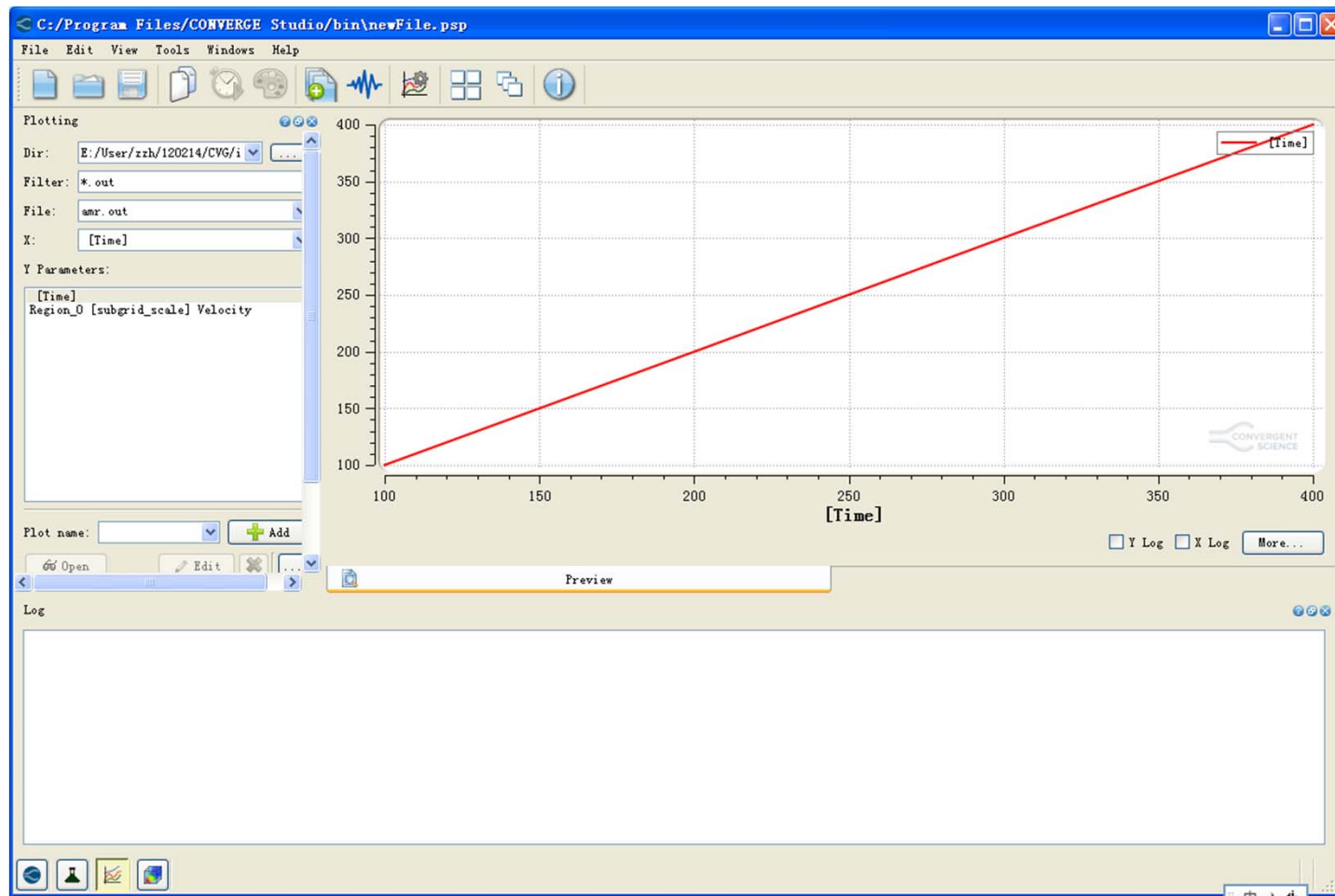
■ 嵌入式网格策略控制

界面展示



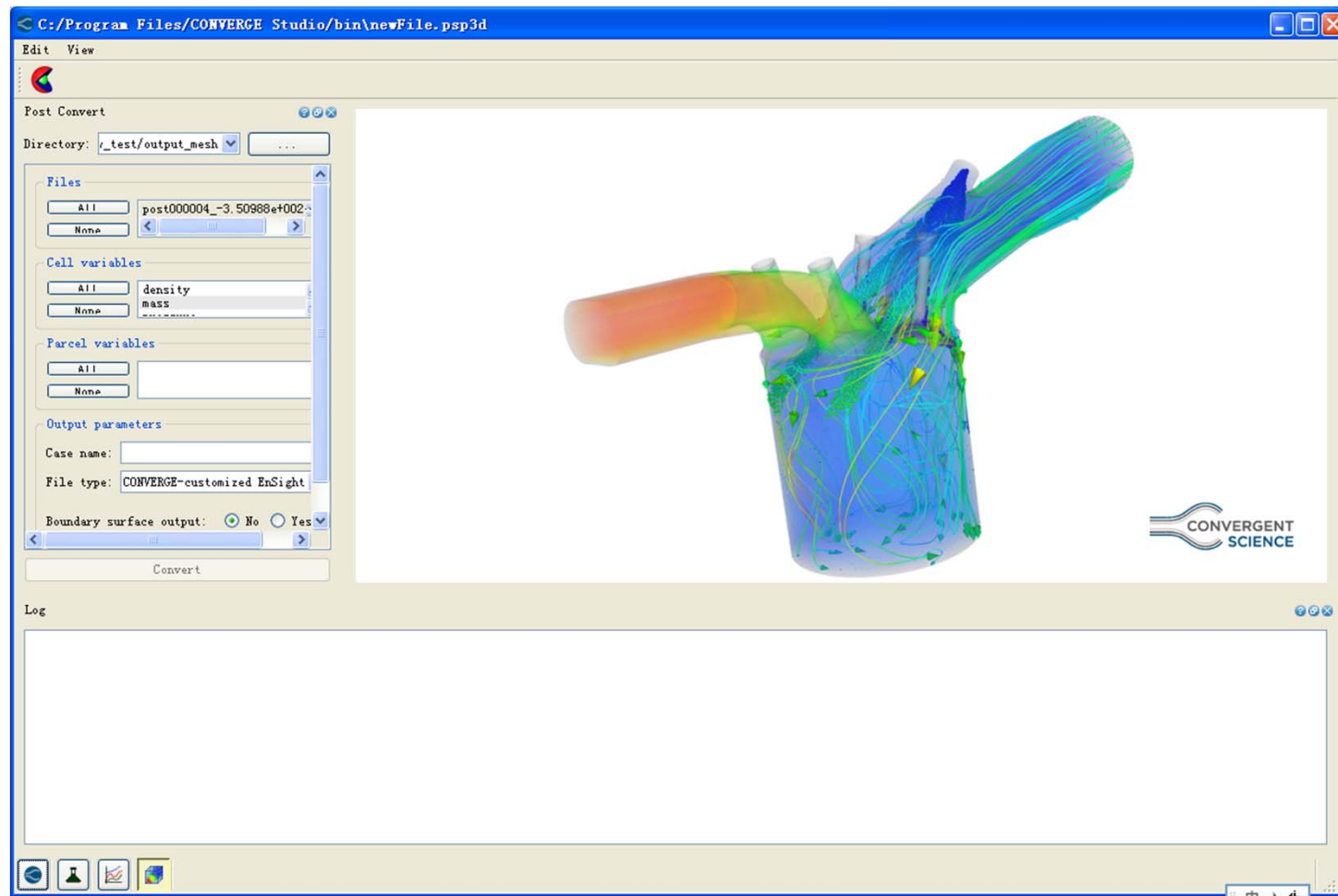
■ 机理简化平台

界面展示



■ 缸内统计数据处理平台

界面展示



■ 三维后处理平台

感谢

