

面向汽车行业 CAE&CFD 解决方案 全国巡回研讨会

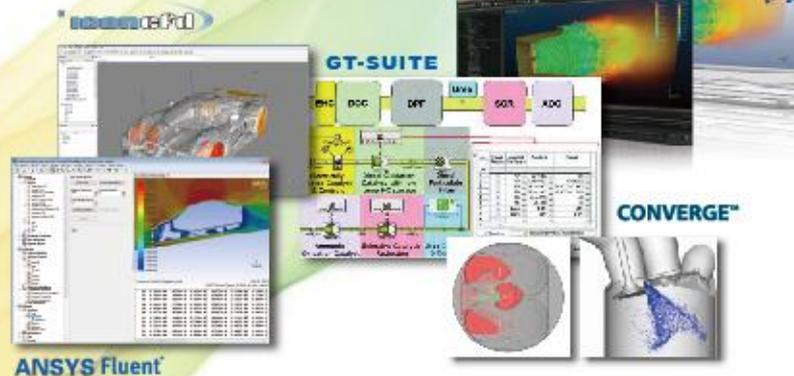
上海
6.8

重庆
6.10

武汉
6.12

北京
6.16

长春
6.18



基于ANSYS Fluent的 发动机舱热管理解决方案 ~从稳态风量计算到瞬态热冲击的高精度仿真~

2015.06

IDAJ-China 北京技术部
陈桂杰 唐连伟



IDAJ-CHINA



IDAJ艾迪捷

目录

■ 综述

- 发动机舱热管理CFD仿真的层次
- CFD仿真的难点

■ ANSYS Fluent解决方案

- 灵活的前处理
- 领先的高精度求解器
- 流程自动化及高效并行计算性能

■ 成功案例

- 稳态仿真案例
- 瞬态仿真案例

■ 总结

■ 致谢

发动机舱热管理CFD仿真的层次

■ 前端冷态流动分析

- 建立全车尺度模型预测前端冷却风量

■ 含换热器模型的前端流动/传热分析

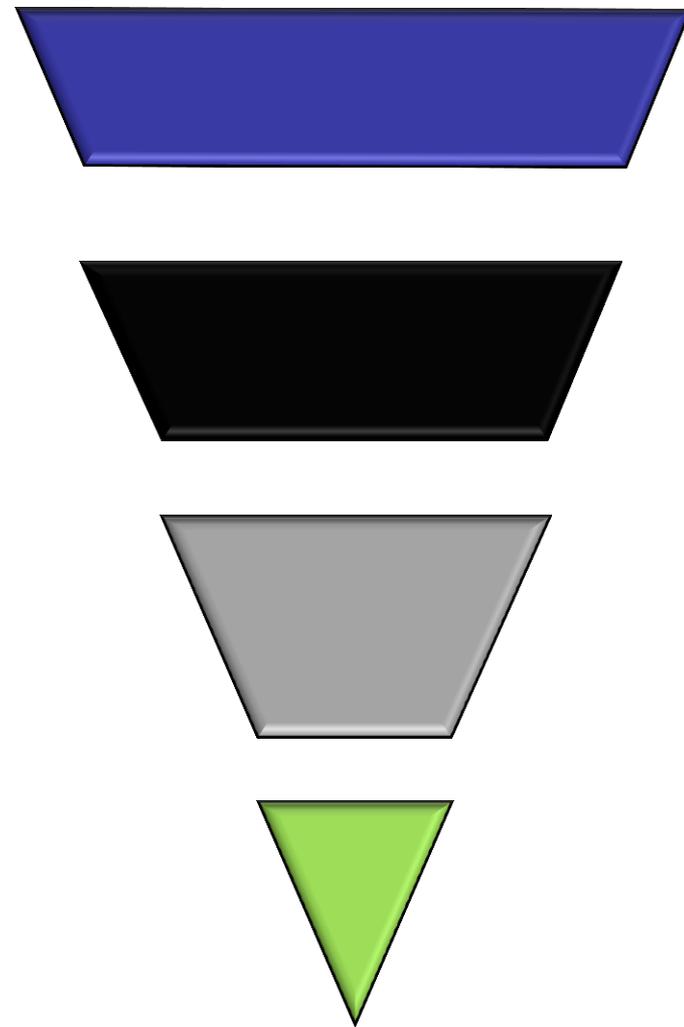
- 建立全车尺度模型预测前端冷却风量同时预测冷却液温度以及获得匹配放热量

■ 热分析(部件级)

- 单独建立关键部件模型预测表面温度，如排气系统。

■ 热分析(整体)

- 建立完整的车辆模型预测流经冷却模块的流动和热量传递，以及对流，导热和辐射。



发动机舱热管理CFD仿真的层次

■ 领域

- 乘用车
- 商用车
 - ✓ 卡车
 - ✓ 公共汽车
- 工程车辆
- 特种车辆
 - ✓ 军用

■ 行驶状态

- 车辆以恒定速度运动
 - ✓ 稳态
- 稳态 → 热冲击
- 热车 → 爬坡 → 热冲击
 - ✓ 瞬态
- 热车 → 爬坡 → 怠速
 - ✓ 瞬态
- 城市驾驶
 - ✓ 瞬态

CFD仿真的难点

■ 网格方面的挑战

- 复杂的CAD模型：
 - ✓ 数百个的甚至更多的零件及其细节
- 上游CAD模型质量问题：
 - ✓ 零件来源不同、参考坐标不同和单位制不同；
 - ✓ 部件间重叠，缺失；
 - ✓ 部件间干涉、损坏等
- 局部较差的网格质量

■ 计算精度问题

- 稳态/瞬态 & 流动/传热过程
- 自然/强制对流，热辐射
- 为求解换热器/风扇而引入的模型精度

■ 模型规模巨大

- 几千万-几亿的单元数量

难点- 组件众多

- 前保险杠
- 格栅
- 挡风玻璃
- 换热器
 - 冷凝器, 油冷却器, 散热器, 中冷器
- 风扇
- 风扇罩
- 发动机和变速箱
- 排气系统
 - 废气
 - 壁面
- 涡轮增压器
- 轮胎换位
- 备用轮胎
- 油箱
- 底盘
- 传动轴
- 发动机悬置
- 排气吊耳: 连杆、橡胶
- 隔热罩/防火墙
- 制动助力器
- 线路和管路

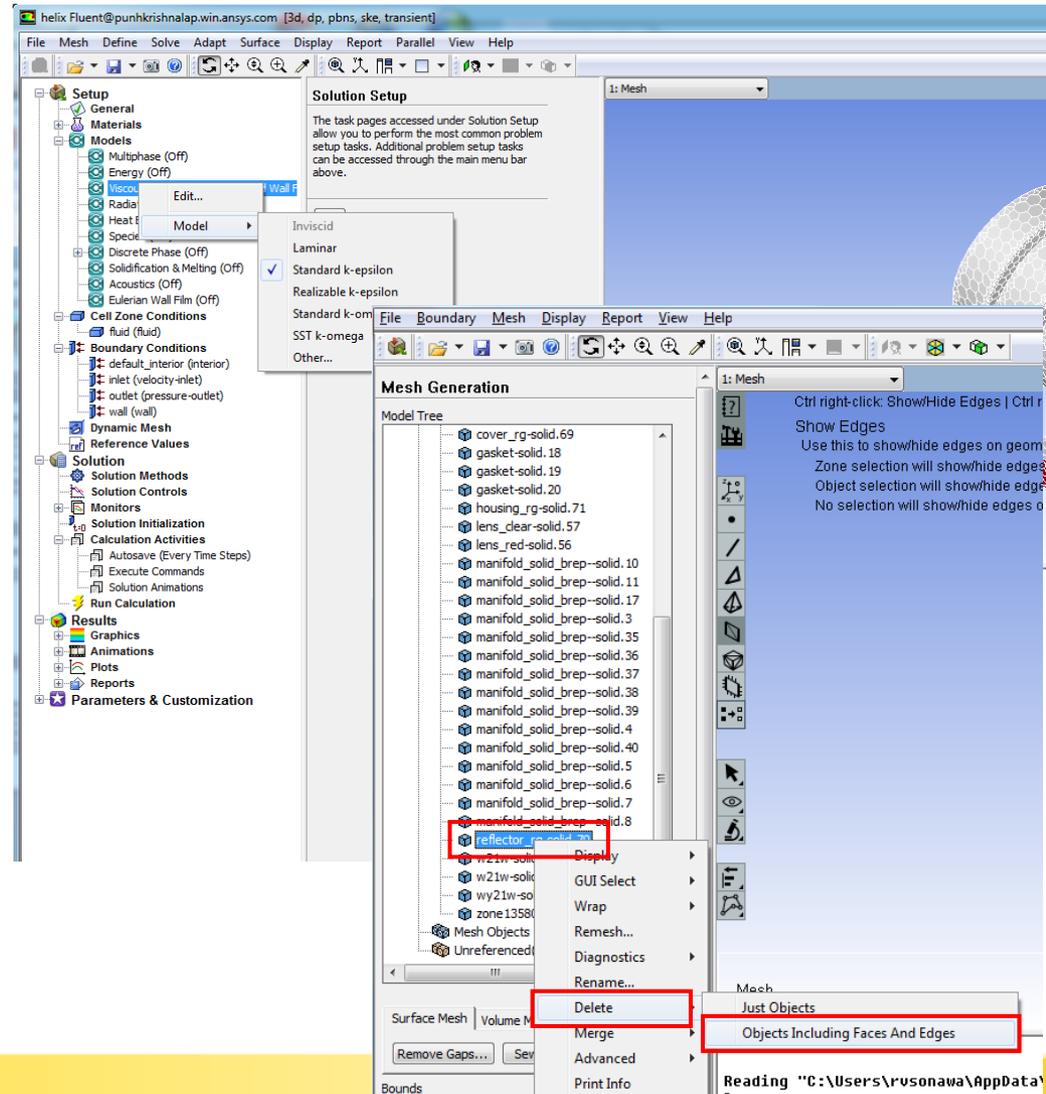
全新树形图结构GUI

■ 目标

- 提供清晰的设定流程指导，用户可以按照树形结构图导航完成所有设定

■ R16 采用新的基于树形结构的用户交互界面

- 直接读入CAD，对应树形图管理
- 包含了案例设定的相关方面
- “右键点击”可以开启相应的最常用功能
- 后处理可以存储云图和矢量图的相应设置



目录

■ 综述

- 发动机舱热管理CFD仿真的层次
- CFD仿真的难点

■ ANSYS Fluent解决方案

- 灵活的前处理
- 领先的高精度求解器
- 流程自动化及高效并行计算性能

■ 成功案例

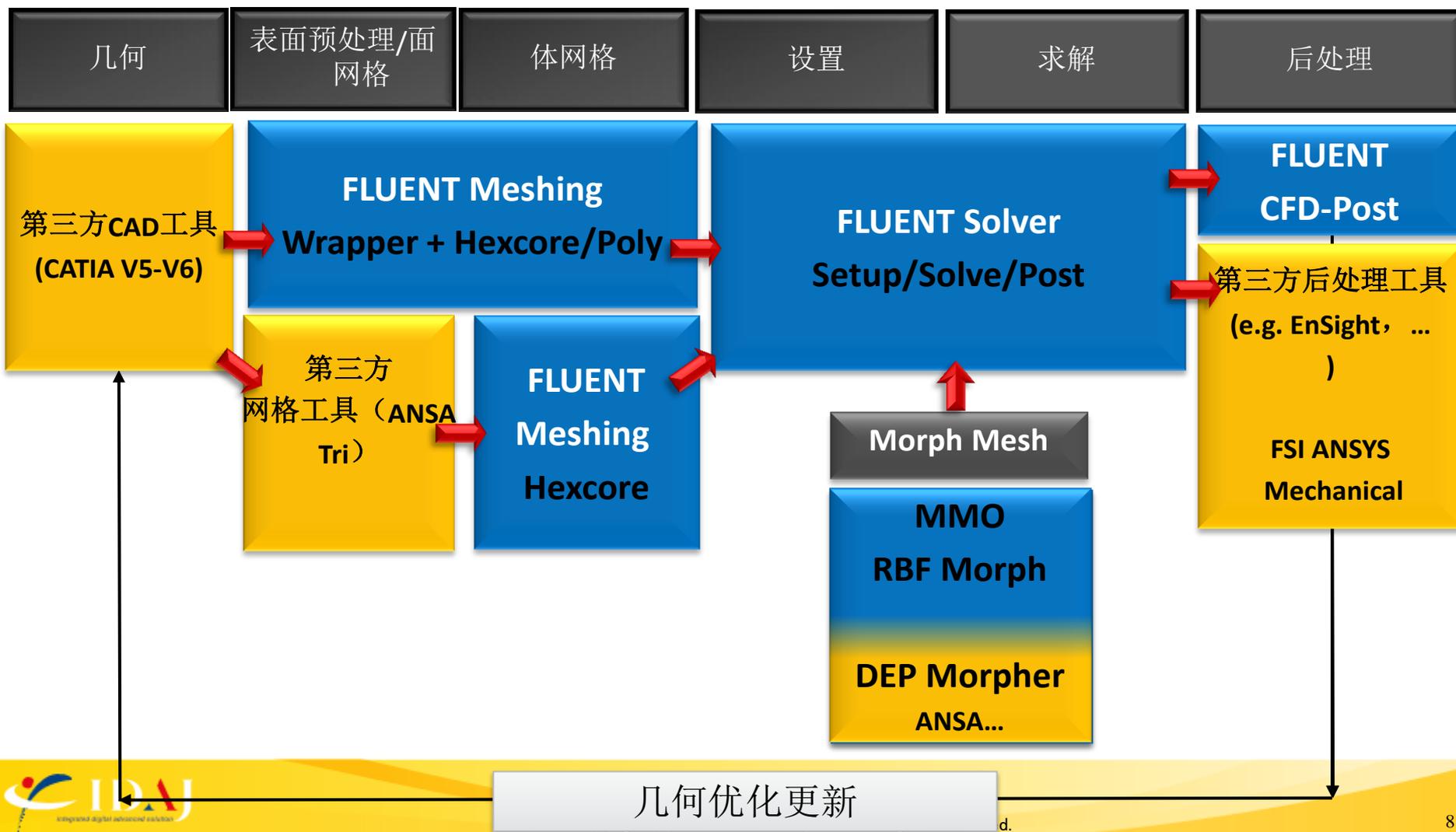
- 稳态仿真案例
- 瞬态仿真案例

■ 总结

■ 致谢

ANSYS Fluent解决方案

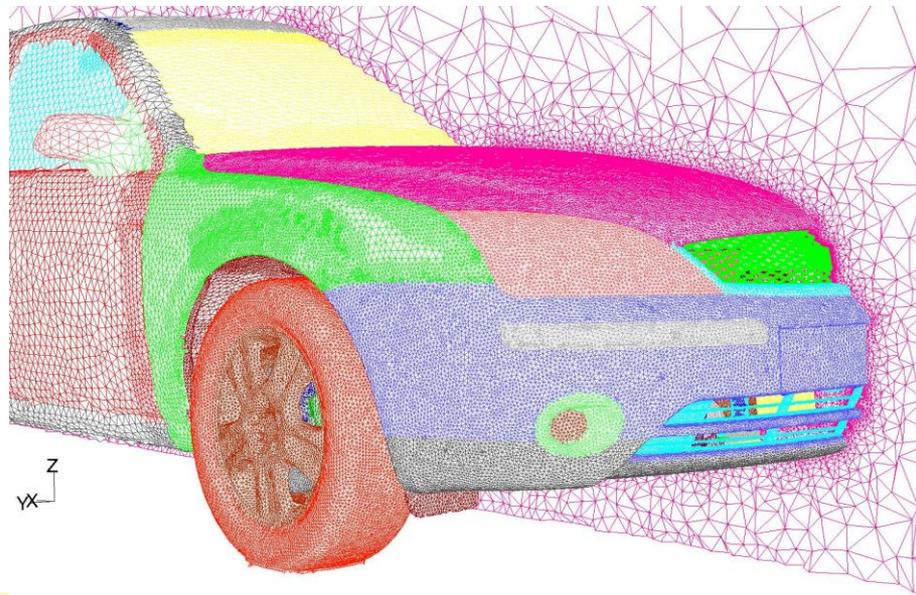
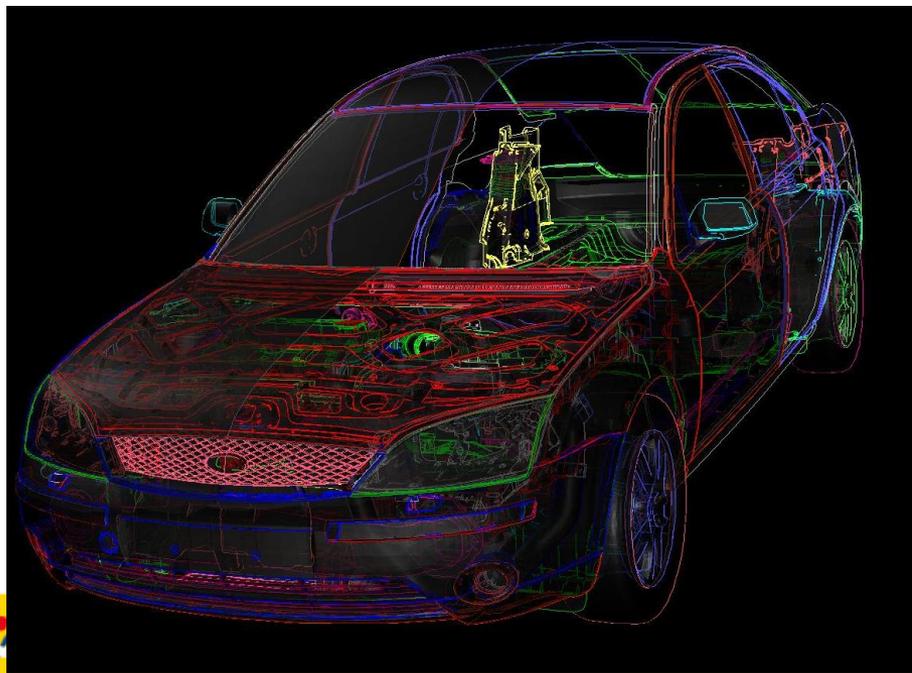
■ 热管理分析（含空气动力学分析）典型流程



ANSYS Fluent解决方案

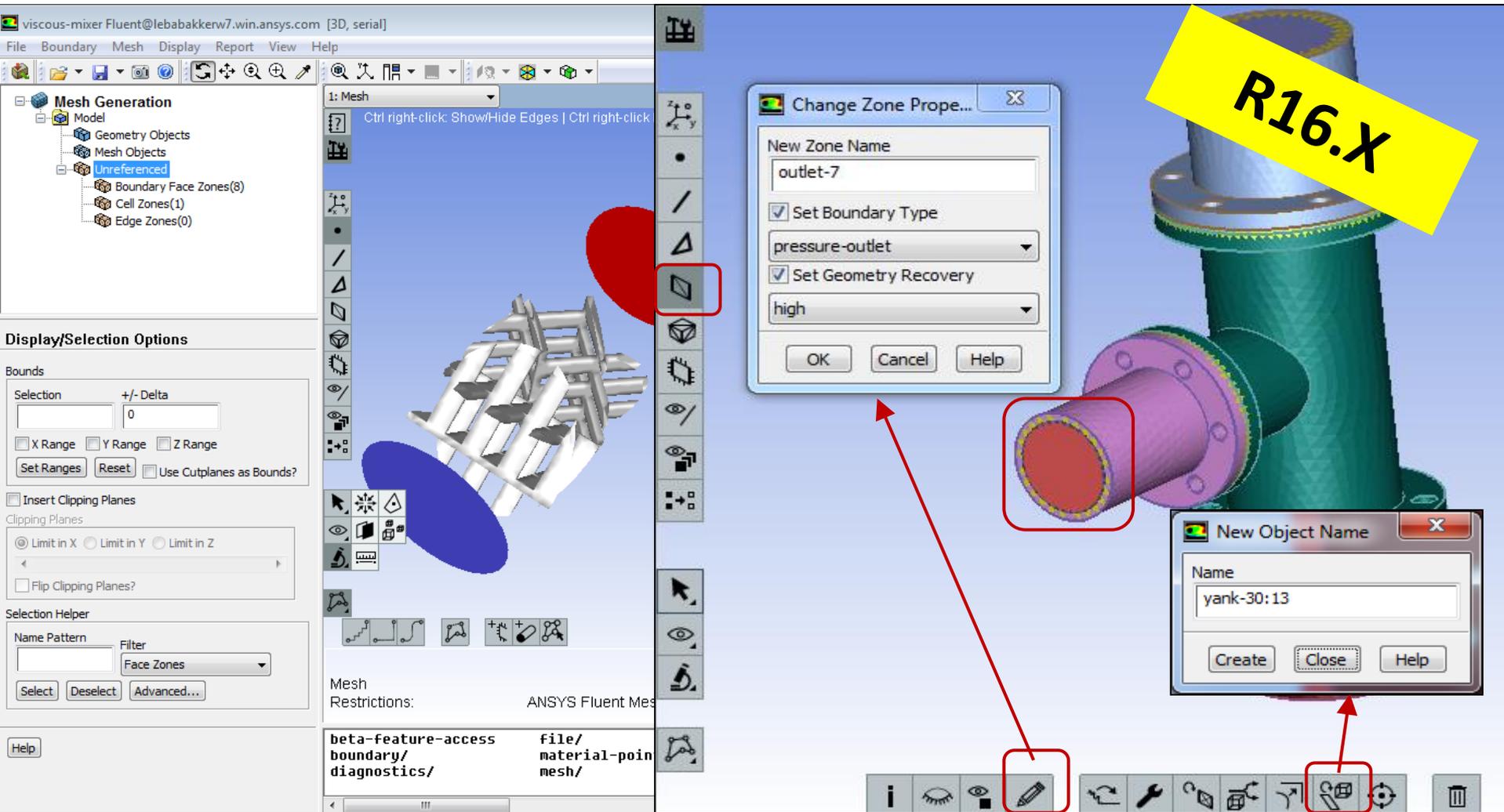
■ 灵活的前处理

- 全新的前处理用户环境
- 复杂CAD到网格解决方案
 - ✓ Fluent Meshing方案
 - ✓ ANSA + Fluent Meshing 平台级方案



灵活的前处理

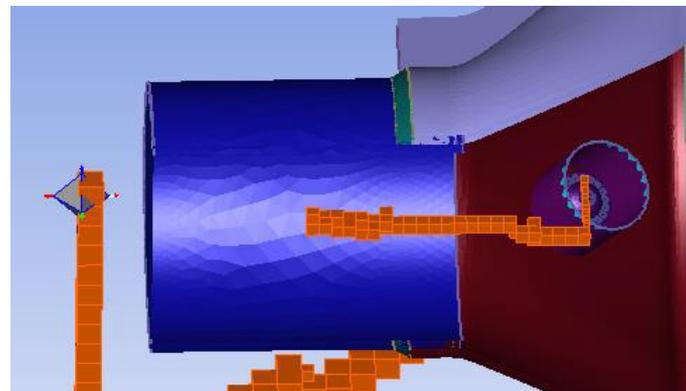
- ANSYS Fluent R16全新前处理用户环境：极大提升易用性



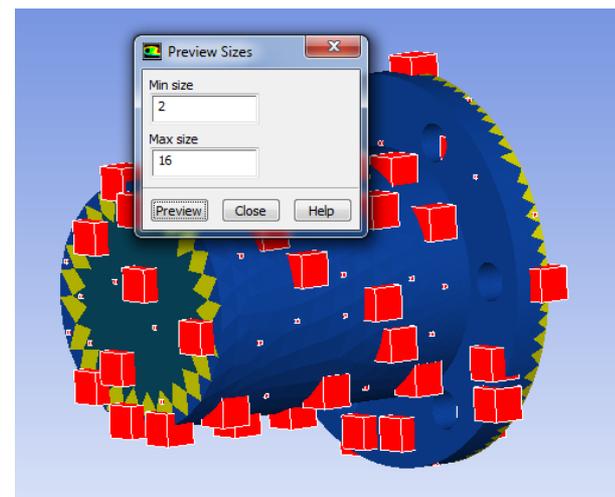
灵活的前处理

■ Fluent Meshing方案

- 方案一：采用前处理环境
 - ✓ 表面预处理
 - ✓ 包面（含重构）
 - ✓ 体网格（全自动流程 - Auto Mesh）
- 方案二：全部网格流程（含包面流程）可以通过自动化脚本来导航完成，脚本有三个完成如同的功能如下
 - ✓ AdvWrapNPrisms_R15R16_v500_Main.bin：
这里定义主体格式包含所有的功能控制参数设定
 - ✓ AdvWrapNPrisms_R15R16_v500_UserInputs.scn：
这是用户输入模板，用户只需修改这个脚本
 - ✓ AdvWrapNPrisms_R15R16_v500_Run.scn：
这是递交执行脚本，它会调用上述两个脚本中定义的功能和控制参数。

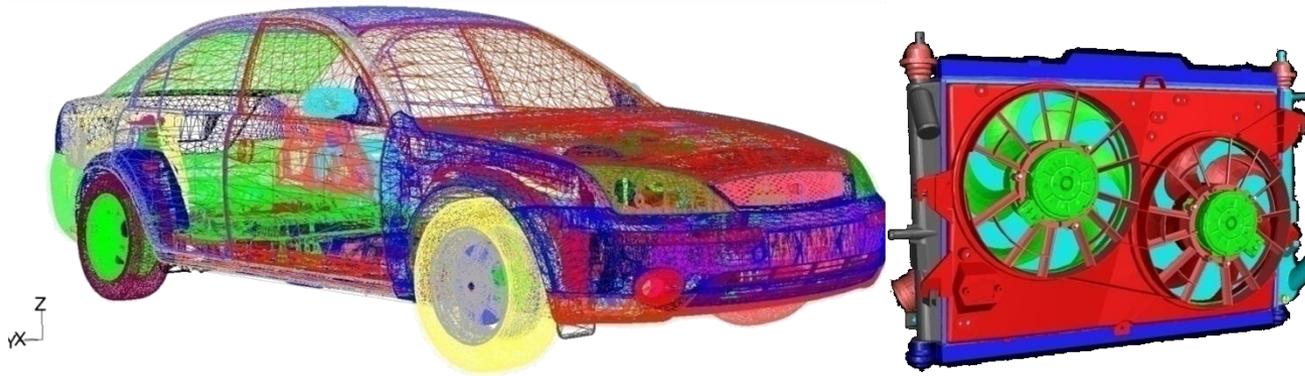


漏洞检测



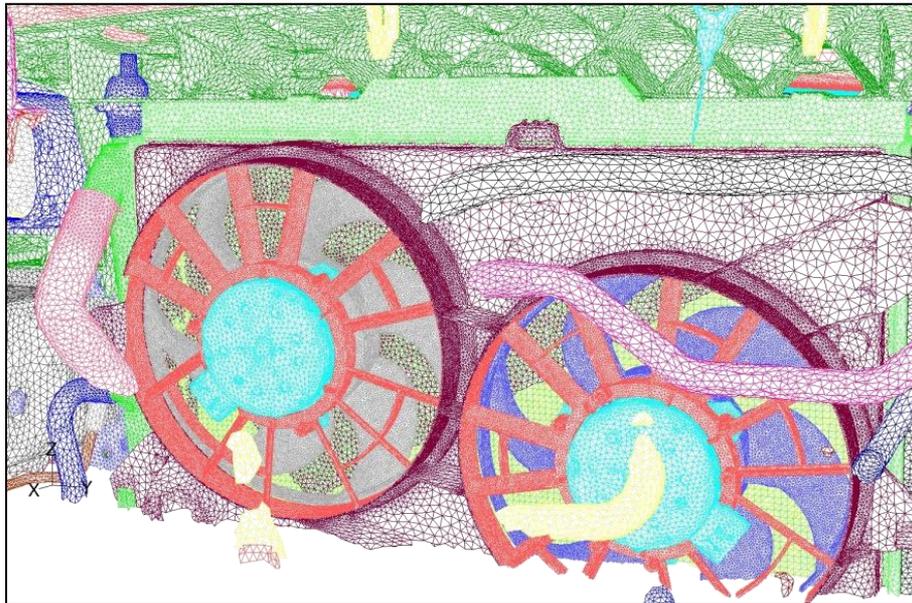
设定网格尺寸预览

案例1: Ford Mondeo利用包面技术获得整车网格

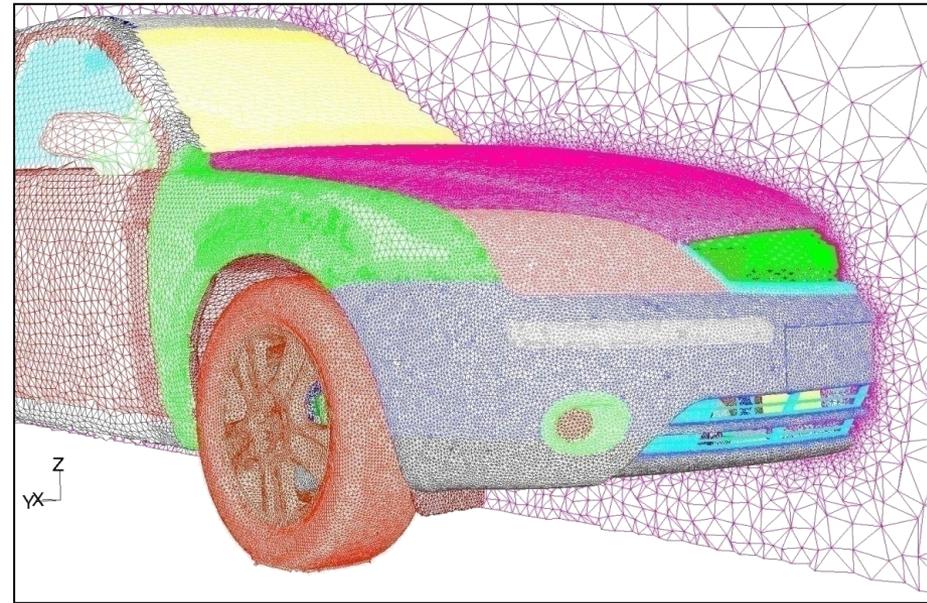


- 10 CPU-hours using LINUX Opteron

原始几何

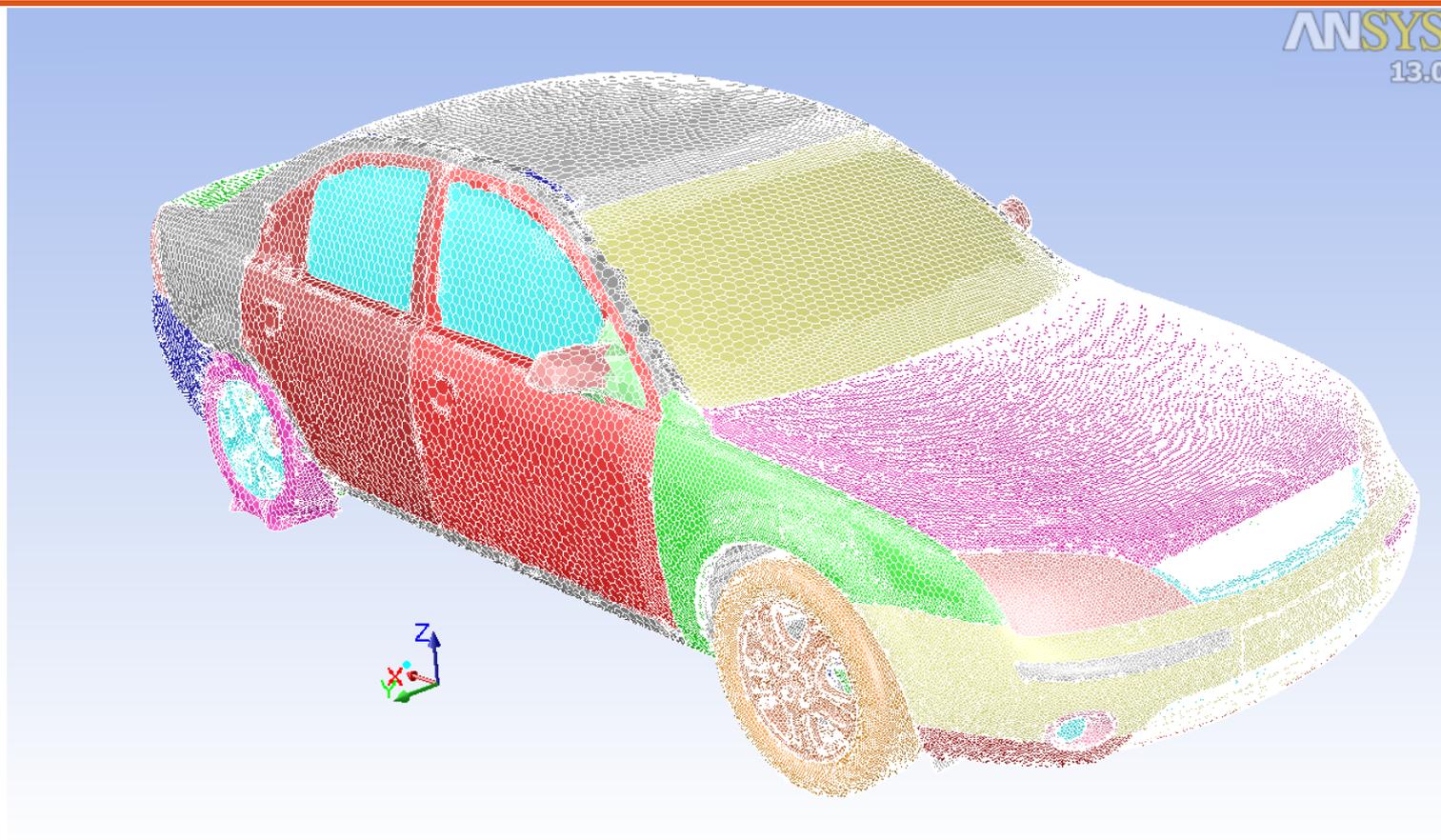


前端冷却模块面网格



最终面和体网格

案例1: Ford Mondeo利用包面技术获得整车网格

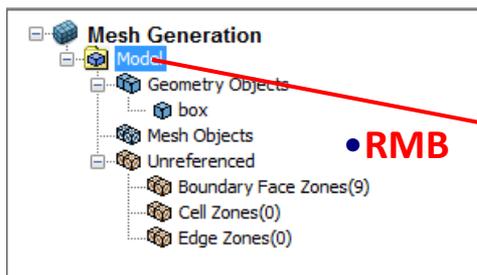
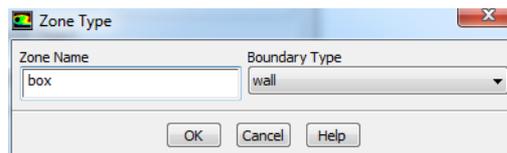
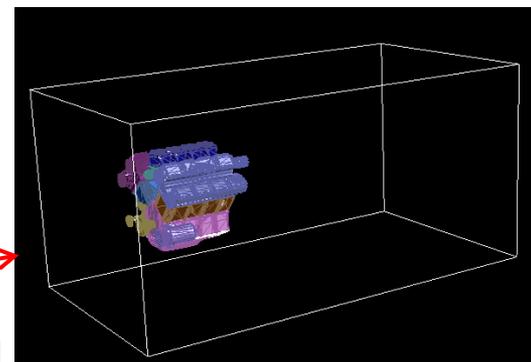
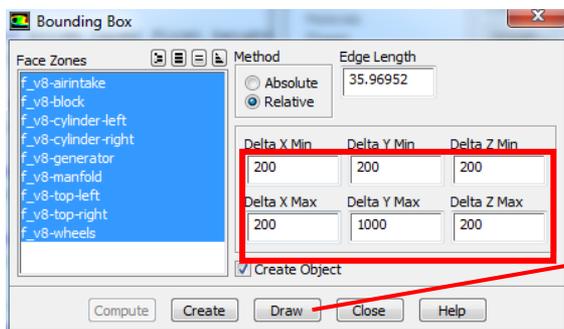


- Using Wrapper
 - ✓ 12.5 man-hours
 - ✓ 10 CPU-hours

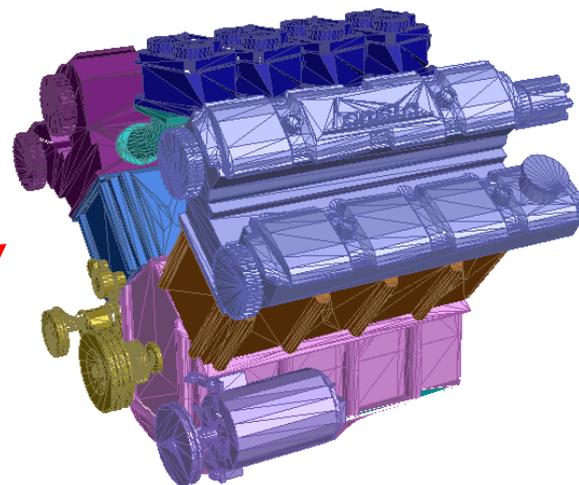
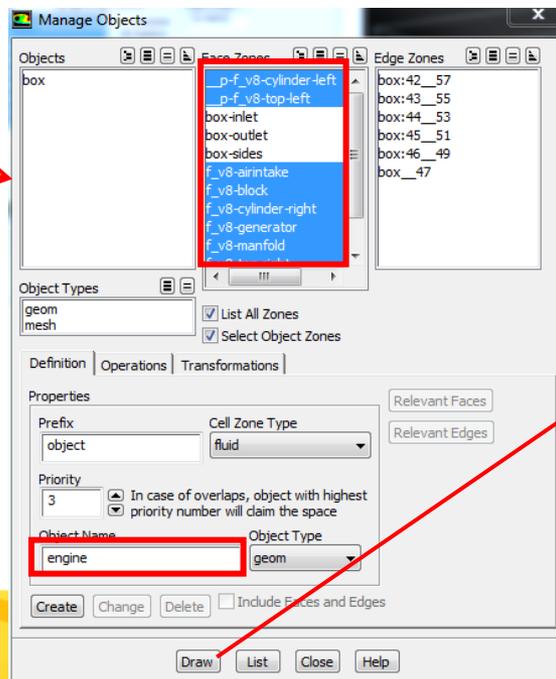
案例2: 利用脚本生成发动机网格

- Step 1: 导入几何
- Step 2: 创建计算域
 - 创建一个object
- Step 3: 发动机定义一个object

➤ 注意:需要对发动机表面检查漏洞,因此需要定义单独的object.

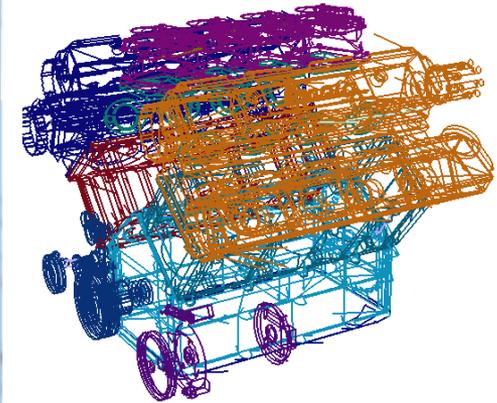
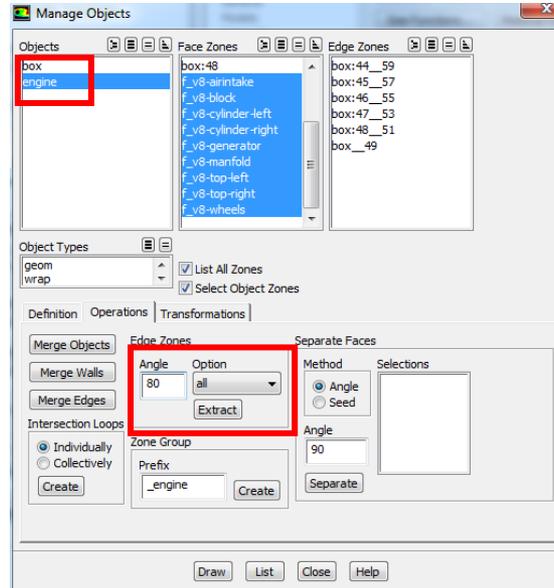


• RMB



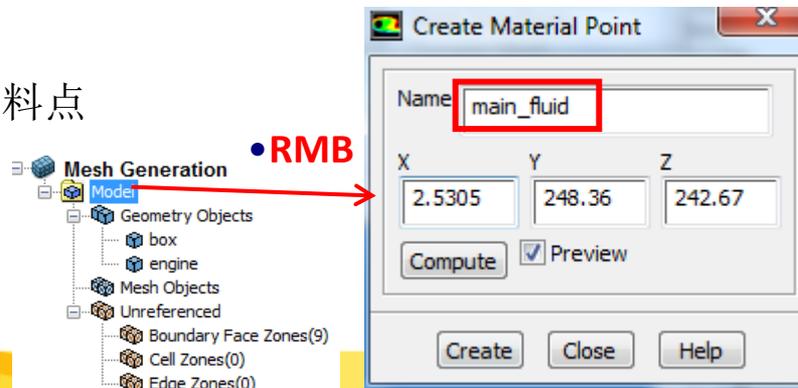
案例2: 利用脚本生成发动机网格

- Step 4: 对发动机所在的object提取特征线



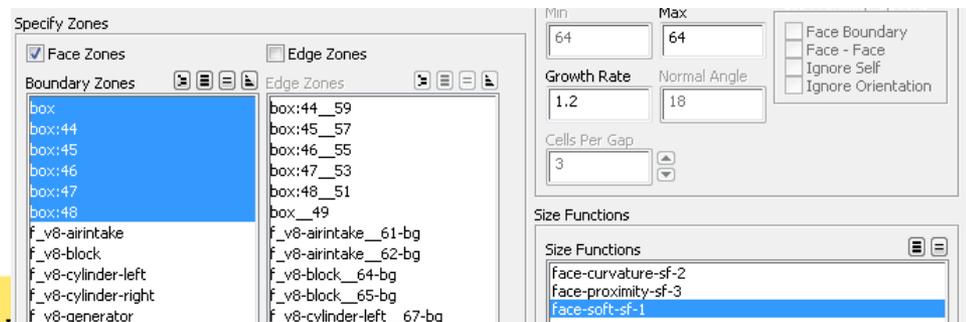
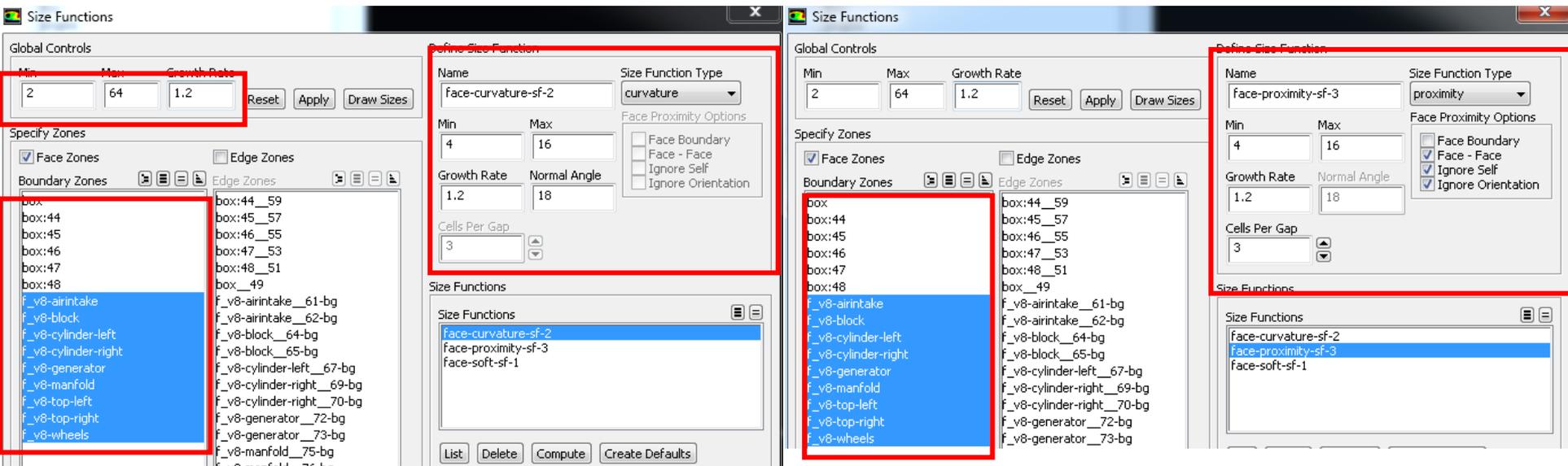
- Step 5: 定义主流体区域的材料点

- 定义切平面
- 选择两个位置点 (C+X RMB)
- 计算并创建材料点



案例2: 利用脚本生成发动机网格

- Step 6: 定义curvature, proximity, 和soft的SF并保存网格模型
 - 注意: 最大允许的tet网格尺寸 = 全局最大值



案例2: 利用脚本生成发动机网格

- Step 7: 编辑右图所示的用户输入格式
- Step 8: 运行脚本
AdvWrapNPrisms_R15R16_v500_Run.scn

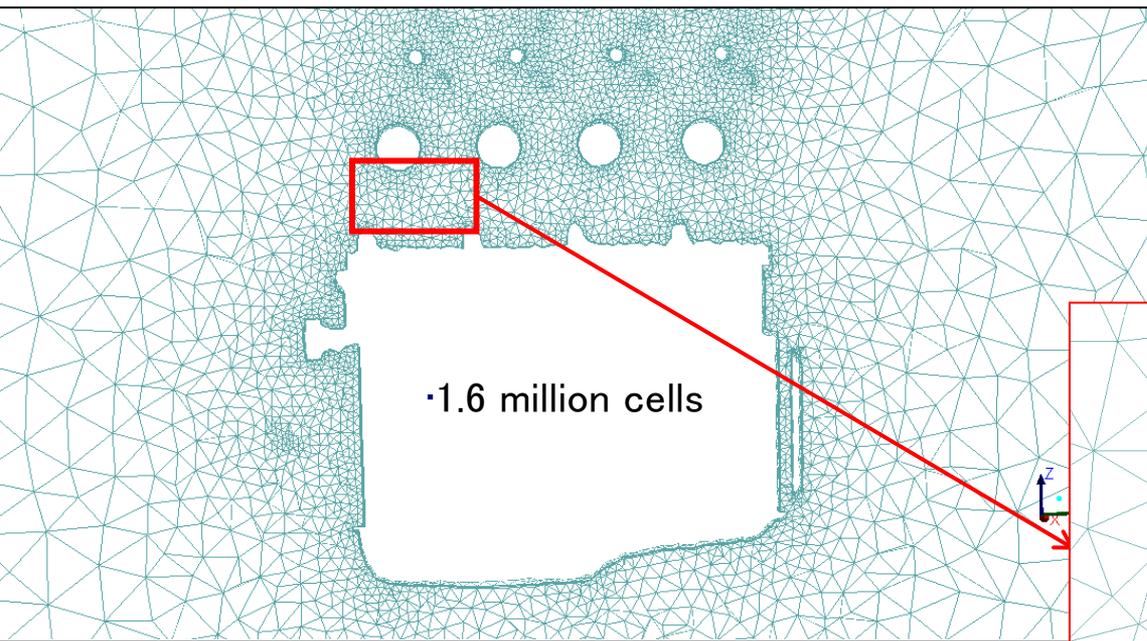
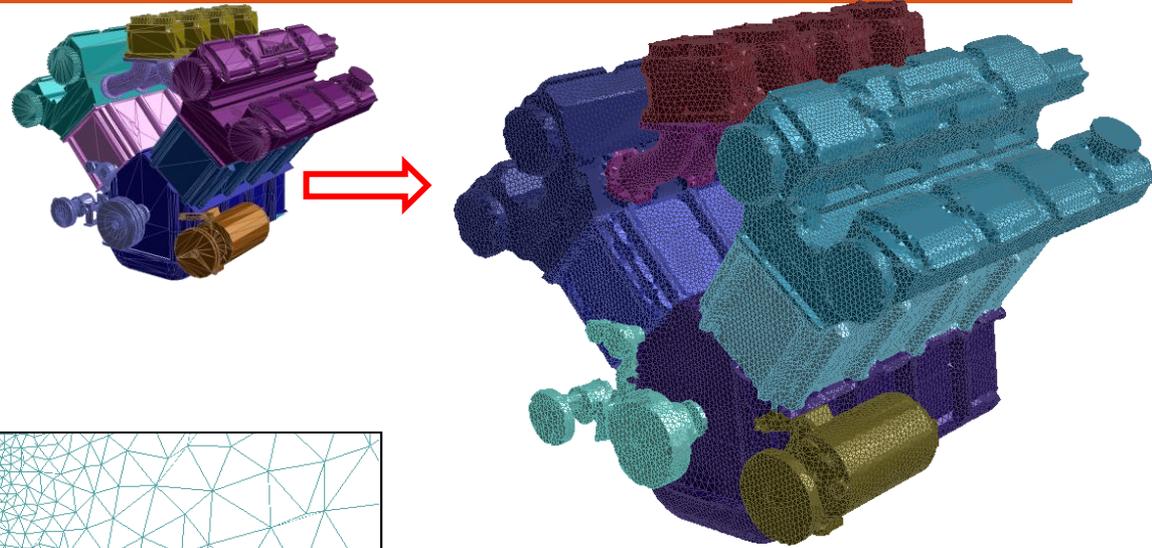
生成最终的网格文件engine-final.msh.gz并打印出用时(8.6 minutes):

```
(define input_geometry "engine")
(define compute_size_field "yes")
(define extract_intersected_feature_edges "no")
(define dirty_objects '(("engine" 1 16 skin)))
(define live_regions '("main_fluid"))
(define additional_coarsening_factor_and_max_size '((1.1 1000) (1.5 24)))
(define prism_layer_method "aspect_ratio")
(define PrismLayers 3)
(define PrismAspectRatio 5)
(define PrismLayerGrothRate 1.2)
(define volume_fill_type "tet")
(define tet_resolution_factor 1.5)
```

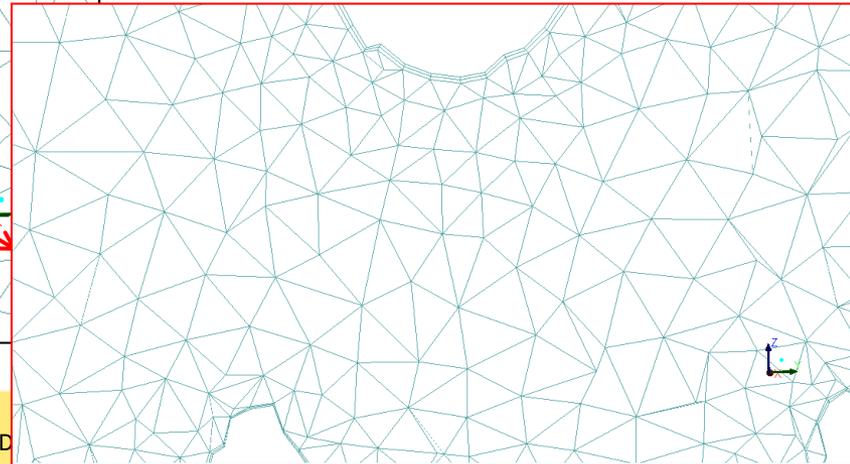
```
Computed SF in -----0.8 minutes (0.013333333 hours).
Automatic closing of holes in -----1.05 minutes (0.0175 hours).
Wrapped all live regions in -----0.41666667 minutes (0.0069444444 hours).
Imprinted all wrappers in -----0.9 minutes (0.015 hours).
Coarsened all to target size in -----0.6 minutes (0.01 hours).
Surface Improved in -----0.38333333 minutes (0.0063888889 hours).
PostTet in -----0.95 minutes (0.015833333 hours).
Fully conformal prism generated in -----1.9666667 minutes (0.032777778 hours).
Volume fill in -----1.0166667 minutes (0.016944444 hours).
Rezoned in -----1.3 minutes (0.021666667 hours).
=====
TOTAL MESHING TIME: -----9.3833333 minutes (0.15638889 hours)
```

案例2: 利用脚本生成发动机网格

- 高质量的四面体+边界层网格自动生成。



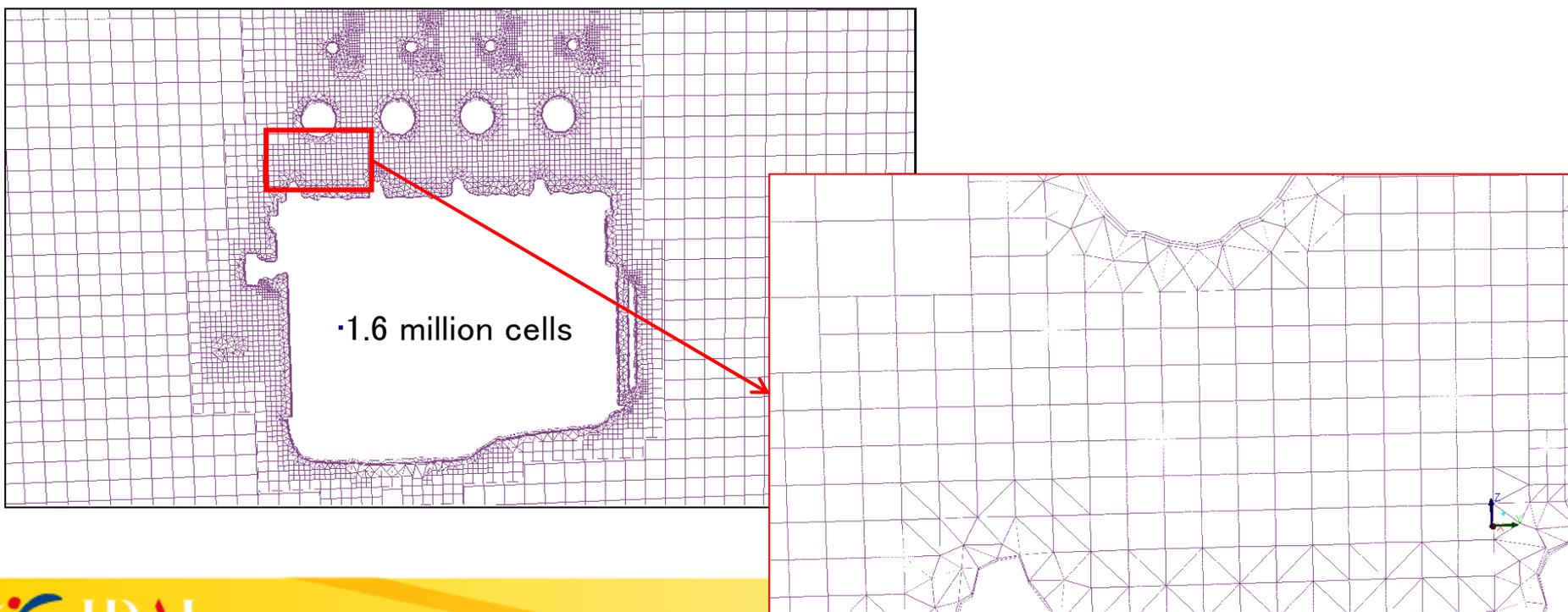
1.6 million cells



案例2: 利用脚本生成发动机网格

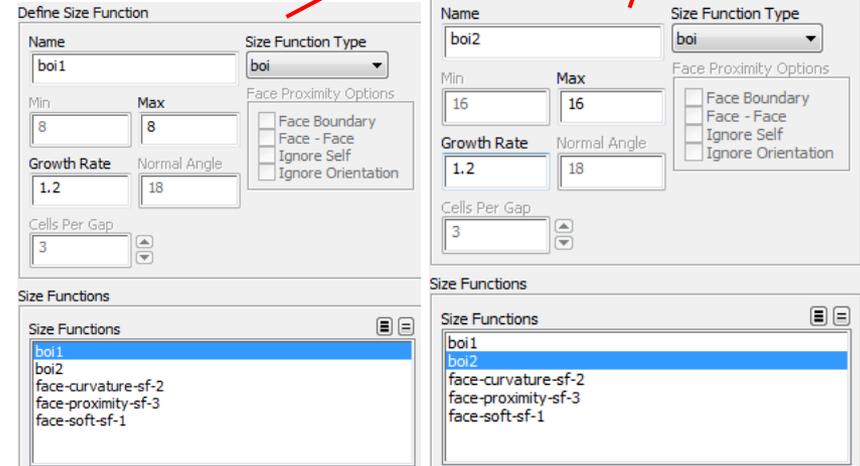
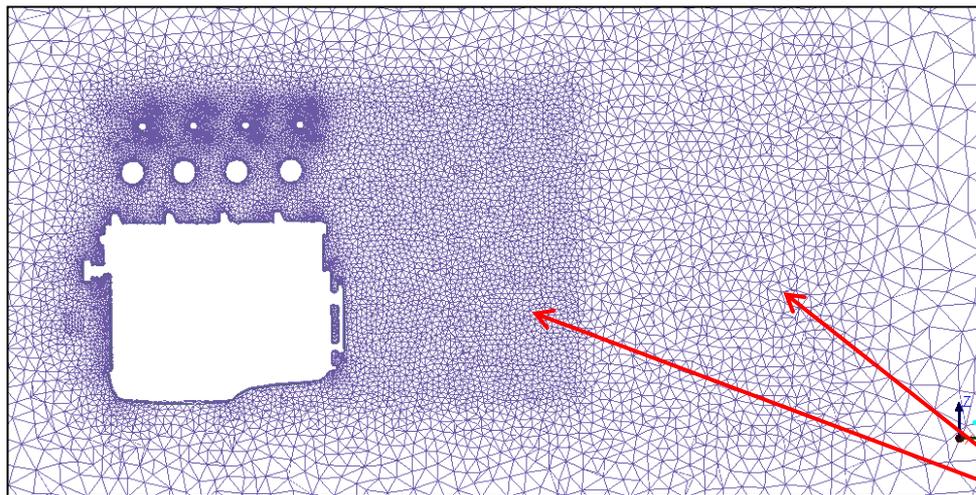
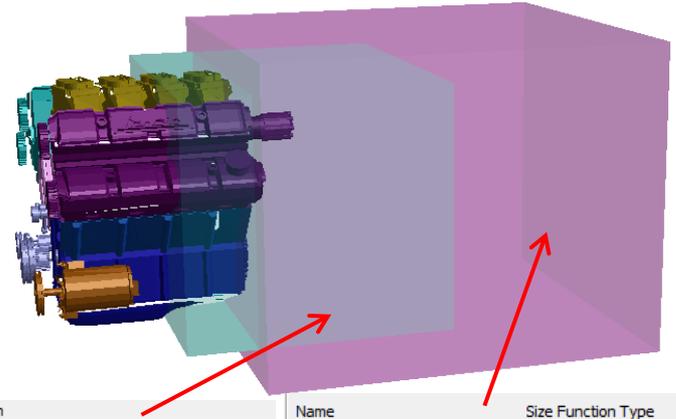
- 改变脚本中的体网格类型，如右图所示，可以生成六面体核心网格hexcore。

```
(define volume_fill_type "hexcore")
```



案例2: 利用脚本生成发动机网格

- 创建两个加密源(BOI)
 - 不需要创建object
 - 也可以是导入的表面
- 在 size functions中增加“boi”
- 保存
- 重新运行脚本



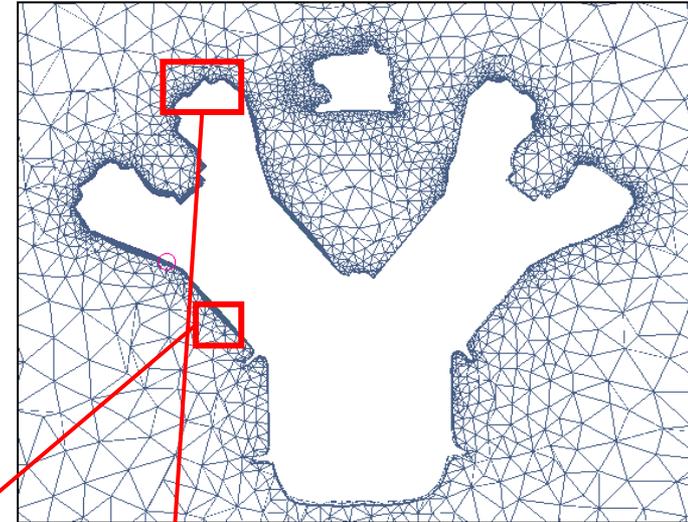
● Tet region refined

案例2: 利用脚本生成发动机网格

- 可以在选定区域生成额外的边界层(e.g. `__p-*`)

```

;====local prism layer settings
•(define list_of_zones_with_extra_layers "__p-*")
•(define local_prism_layer_method "aspect_ratio")
•(define local_prism_layers 7)
•(define local_last_ratio_percentage 40)
•(define local_prism_layer_first_height 0.2592)
•(define local_prism_aspect_ratio 20)
•(define local_prism_layer_growth_rate 1.2)
  
```



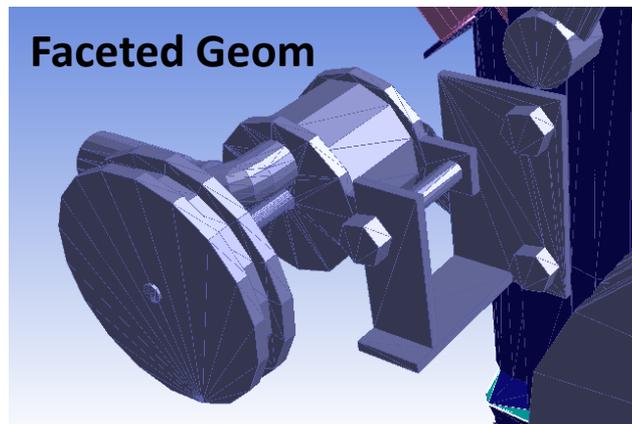
• Stair-step to
2 layers

• 2 layers

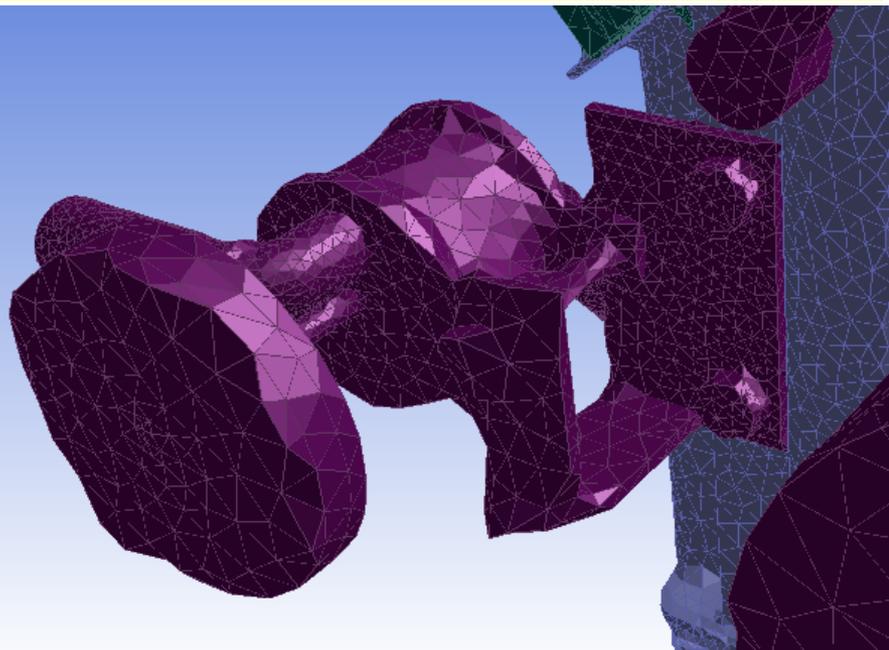
• Extra layers

案例2: 利用脚本生成发动机网格

- Feature resolution factor 决定几何模型表面的特征的保留程度。这里的长度数值是绝对值 (例如 mm)

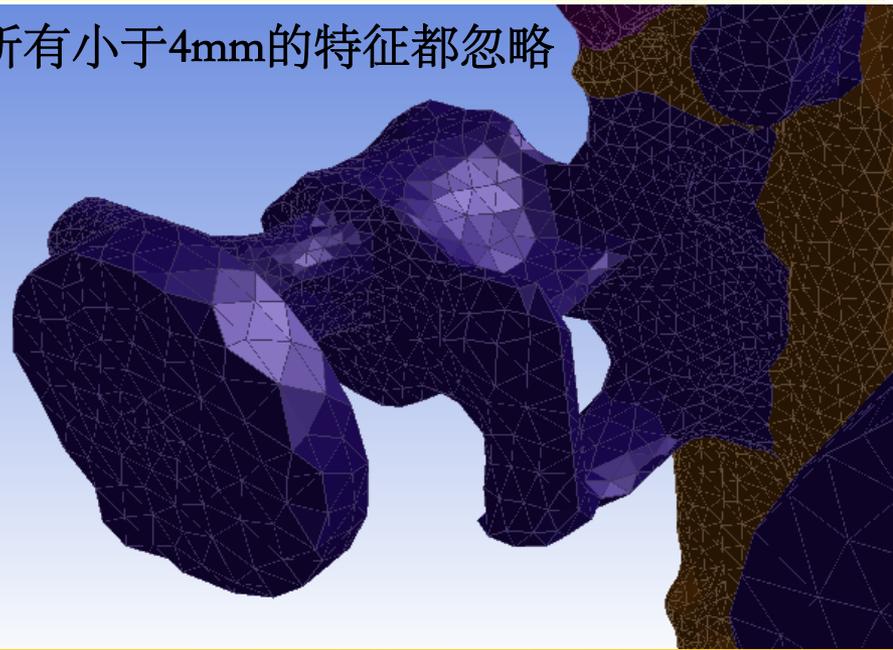


```
(define dirty_objects '(("engine" 1 16 skin)))
```



```
(define dirty_objects '(("engine" 4 16 skin)))
```

- 所有小于4mm的特征都忽略



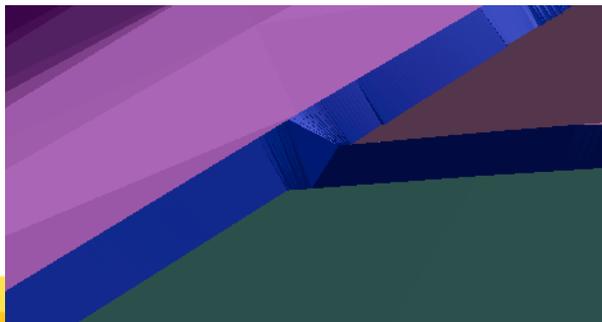
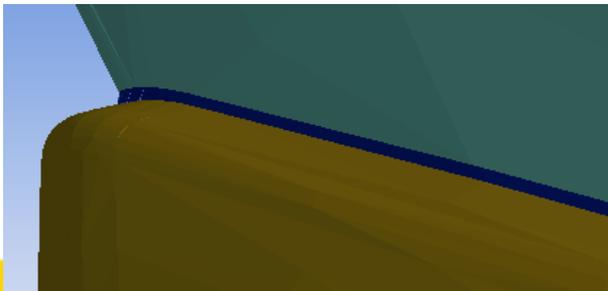
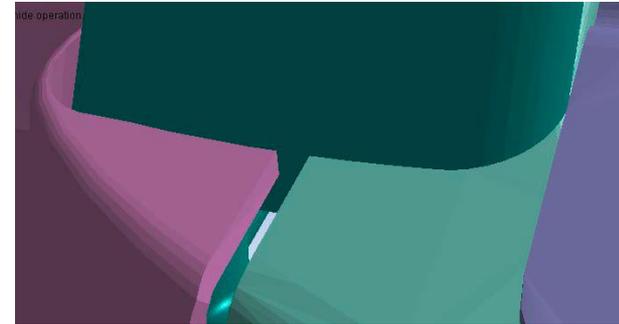
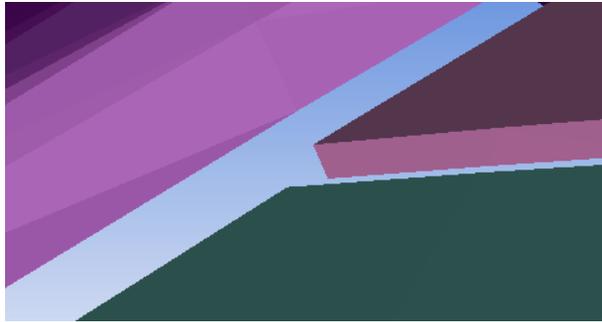
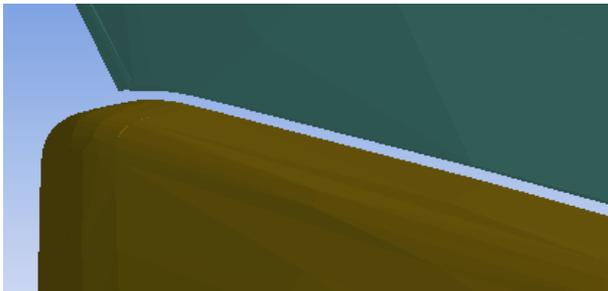
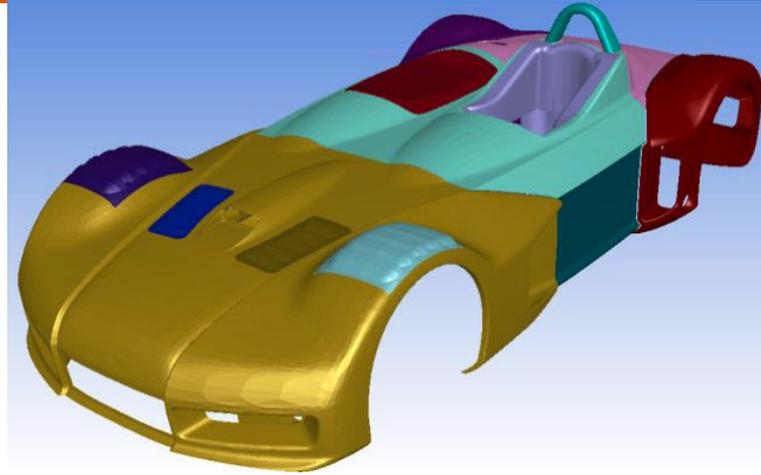
案例2: 利用脚本生成发动机网格

- 复杂几何中通常含有需要封闭的狭缝，也可以通过脚本在整体包面之前自动封闭。

```
(define objects_with_gaps '(("ext" 12 0.375)))
```

设置全局最大
缝隙尺寸

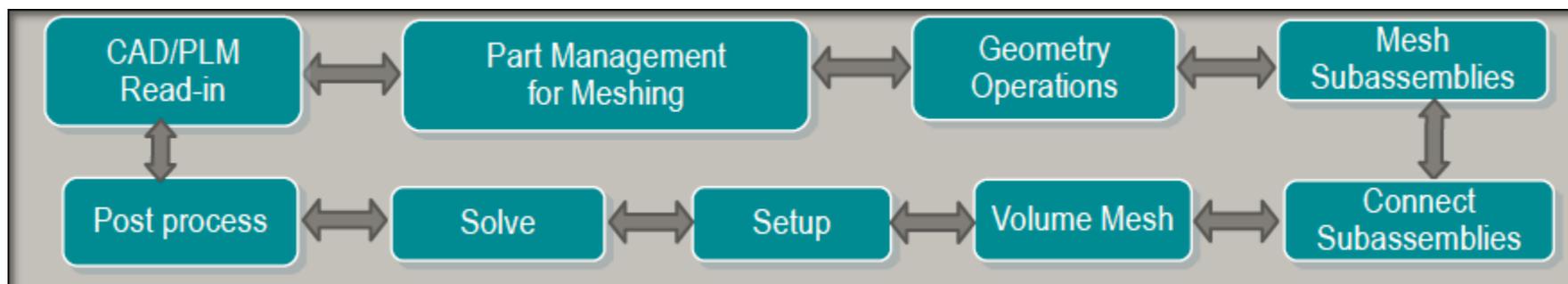
最小缝隙尺寸为
全局的1/4



灵活的前处理

■ ANSA + Fluent Meshing平台方案

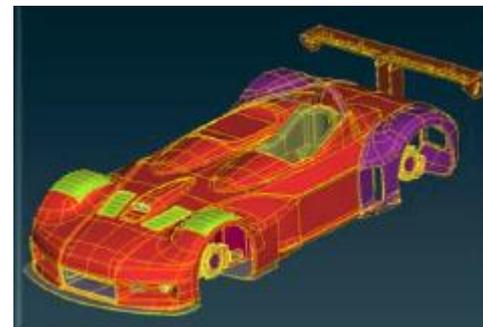
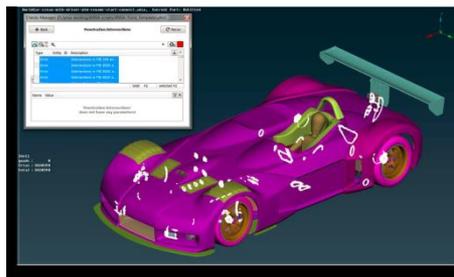
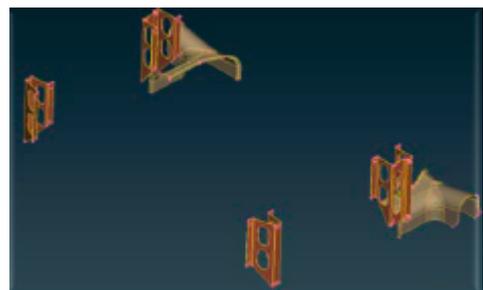
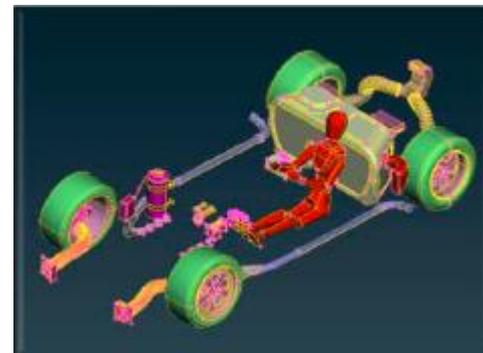
- 提升效率 (节省人工时间提升易用性)、具有可复现性和规模化处理能力
- 可以灵活的控制网格质量和几何精度
- 可进行协同处理及并行执行
- 可接入PLM/PDM或从中输出
- 可用于更高级别的自动化实施



灵活的前处理

■ ANSA + Fluent Meshing 前处理策略

- 对关键热敏感部件采用细节拓扑网格包面
 - ✓ 能够有效提升热计算精度
 - ✓ 确保没有泄露网格
 - ✓ 确保对不同流动区域的分隔
 - ✓ 对不同材料部件分隔单独区域
 - ✓ 保持局部部件连接可以使导热传递计算指向明确
- 制作单层面固体
 - ✓ 用于使用壳模型
 - ✓ 减少网格数量提升网格质量
- 对机舱/底盘/乘员舱部件采用包面
 - ✓ 对几何范围大跨度识别
 - ✓ 确保没有泄露网格
 - ✓ 可保留重要的特征
 - ✓ 缩短自动化时间



灵活的前处理

2014

**Automotive Simulation
World Congress**

October 9-10 . Tokyo, Japan

Typical Industrial Productivity Gains

	Subprocess	Method	No. of days
1	Translate CAD to ANSA		
2	Upper body including styled surfaces (external aero)	Topo-Mesh	5
3	Surface mesh generation (external aero)	Topo-Mesh	2
4	Brakes	Topo-Mesh	2
5	Part Management (for naming and wrap)	Includes fixing large leakages/holes	3
6	Main wrap of UH and UB components	WrapAdv.; HX+Fan	1
7	Solids surface mesh	Surface-mesh or Wrap	3
8	Connect	ANSA-TGrid	3
9	7 Design changes		1
	Total		20

- Full vehicle with all details (~10K components)
- One common model built for external aero, front-end cooling, brake and thermal simulations
- CAD to Solution time reduced by 3X with no sacrifice of accuracy
- Maximizing efficiency across multiple teams

Subprocesses 2-4 and 5-7, executed in parallel.

Monday, October 06

<ANSA-TGrid: A Common Platform for Automotive CFD Preprocessing >

29

目录

■ 综述

- 发动机舱热管理CFD仿真的层次
- CFD仿真的难点

■ ANSYS Fluent解决方案

- 灵活的前处理
- 领先的高精度求解器
- 流程自动化及高效并行计算性能

■ 成功案例

- 稳态仿真案例
- 瞬态仿真案例

■ 总结

■ 致谢

ANSYS Fluent解决方案

■ 领先的高精度求解器

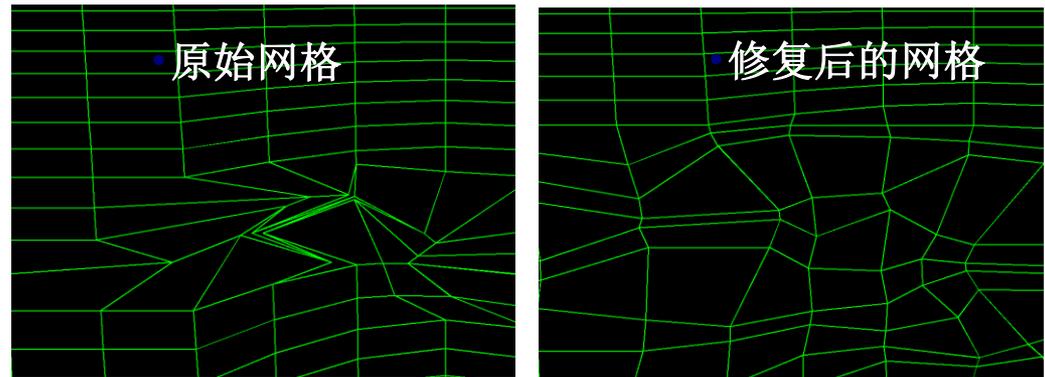
- 从稳态到瞬态的高精度流动求解器
 - ✓ 基于压力的耦合求解器：特别适合于处理低速流动
- 稳健的流动、能量和湍流仿真
 - ✓ 网格质量控制
- 丰富而专业的物理模型
 - ✓ 多孔介质（处理换热器和格栅）
 - ✓ Dual Cell和Macro based的换热器模型
 - ✓ 风扇模型 (MRF, plane fan, sliding mesh)
 - ✓ 单层和多层的壳导热模型
 - ✓ 排气系统壁面设定修正（边界处理）
- 流固耦合换热 (包含固体导热)
 - ✓ 映射网格交界面技术
- 快速的基于角系数的辐射模型

“坏网格”的数值处理

对坏网格的稳健性

- 利用网格处理工具改善
- 求解器对策

FLUENT网格工具可以改进网格质量



坏网格的数值标记指标

正交性
质量

$$\text{MIN}_f \left[\frac{A_f \cdot r_{cf}}{|A_f \cdot r_{cf}|}, \frac{A_f \cdot r_{cc}}{|A_f \cdot r_{cc}|} \right]$$

f - face

A_f - Area vector

r_{cf} - Vector cell to face centroid

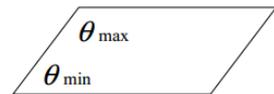
r_{cc} - Vector cell to cell centroid

等效偏
斜度

$$\text{max} \left[\frac{\theta_{\max} - \theta_e}{180 - \theta_e}, \frac{\theta_e - \theta_{\min}}{\theta_e} \right]$$

where:

- θ_{\max} = largest angle in face or cell.
- θ_{\min} = smallest angle in face or cell.
- θ_e = angle for equiangular face or cell.
 - e.g., 60 for triangle, 90 for square.



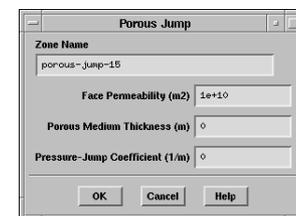
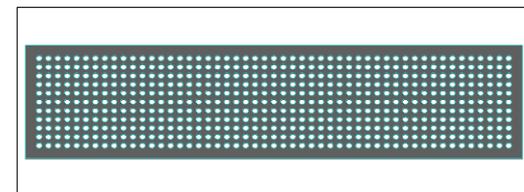
新指标

$\text{Min}(\text{Orthogonal quality}, 1 - \text{Skewness}) < \text{Quality threshold}$

多孔介质和多孔介质阶跃

■ 多孔介质阶跃模型

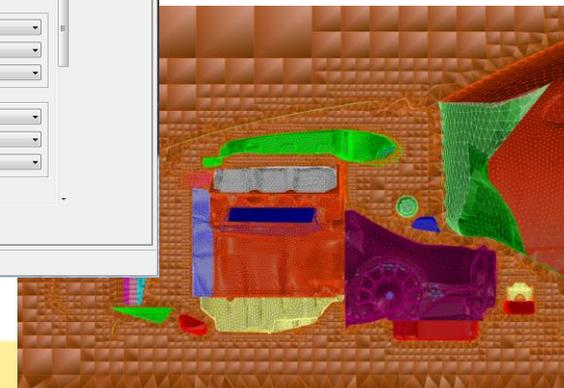
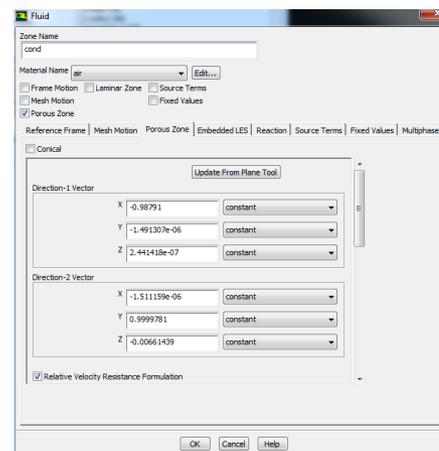
- 组件用一个面划分网格，不包含几何细节(洞)
- 提供压降
- 用户输入: 压力损失系数和厚度
- 用于对格栅建模



$$\Delta p = - \left(\frac{\mu}{\alpha} v + C_2 \frac{1}{2} \rho v^2 \right) \Delta m$$

■ 多孔介质模型

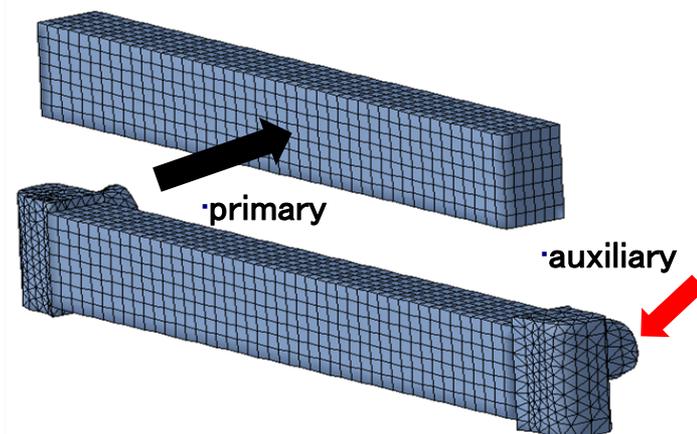
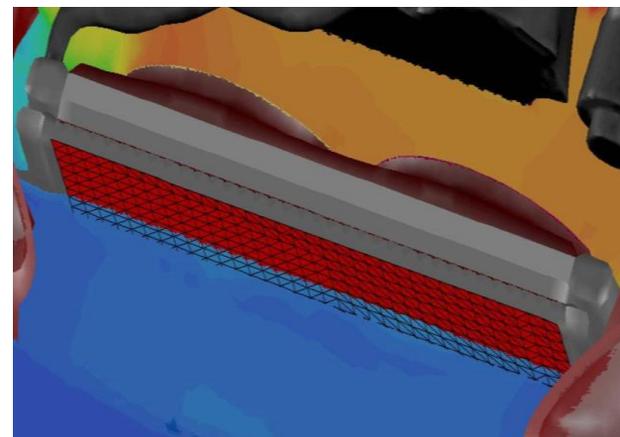
- 组件用一个体划分网格，不包含几何细节(例如翅片和管子)
- 输入: 压力损失系数
- 用于模拟经过较厚的格栅和换热器后的压降
- 可以考虑透过率(Porosity)对速度影响



换热器模型

- 换热器模型用于预测发动机舱环境中换热器组件的冷却效果
 - 预测辅助流体入口温度或者整体发动机放热量

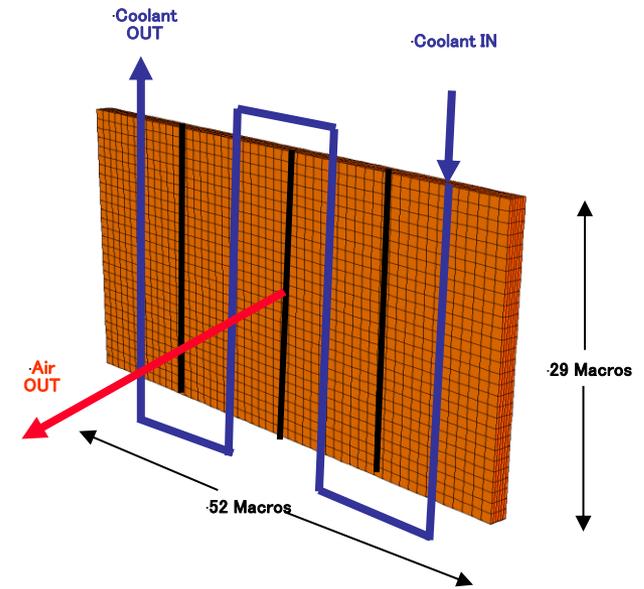
- 两种可用模型
 - Macro模型
 - ✓ 真实的单元用于主流体（冷却流体）一侧，macros用于辅助流体（热流体）一侧
 - ✓ 假设辅助流体是均匀的
 - Dual-Cell模型
 - ✓ 重叠单元: 一个代表主流体一个代表辅助流体
 - ✓ 可以预测冷却流体的流动和特性
 - ✓ 可以用于不是长方体形状的换热器



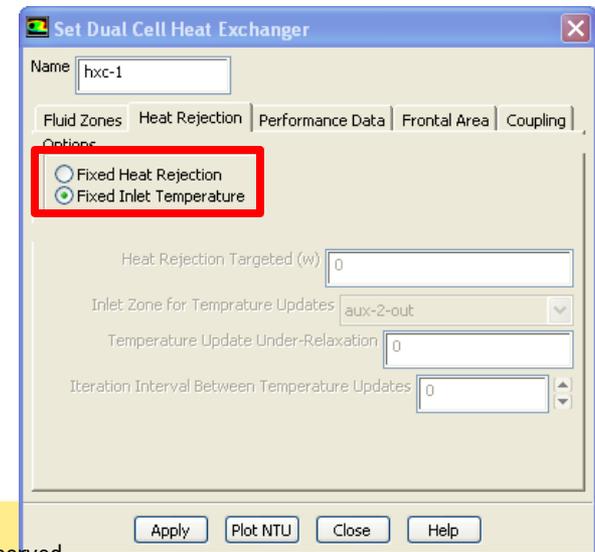
•Overlapping Cells

换热器模型

- 两个模型都可以用于:
 - 多个通道(pass)或单个通道的换热器
 - 油冷却器, CAC, 散热器, 冷凝器, 蒸发器芯体, 加热器芯体, 变速箱冷油器等
 - 选项
 - ✓ 给定整体放热量, 预测上水室温度
 - ✓ 给定上水室温度, 预测整体放热量



用户输入: 换热器不同流速下的性能数据, 操作条件, 空气侧的压力损失系数



换热器模型的优势

- 可计算多个通道
- 可以考虑芯体中空气回流
- 热流体入口温度和整体换热量可以是瞬态变化的
- 热流体质量流量可以是瞬态变化的
- 比热可以是温度的函数
- 获得热流体温度和传热量
- 可以同1D发动机性能模拟耦合

风扇模型

■ MRF风扇模型

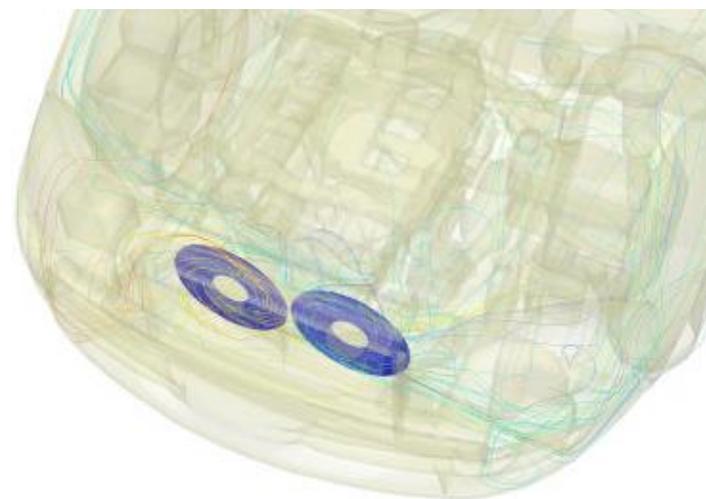
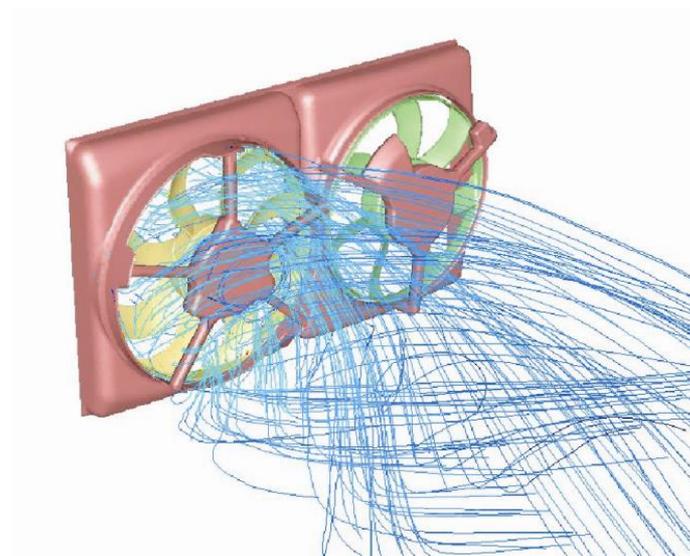
- 扇叶在一个子域中划分网格
- 稳态计算
- 求解输入: 风扇转速

■ Plane Fan模型

- 风扇用一个面来表示
- 求解输入的是风扇曲线和转向

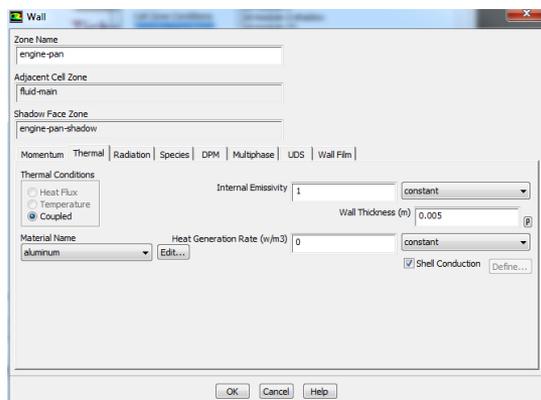
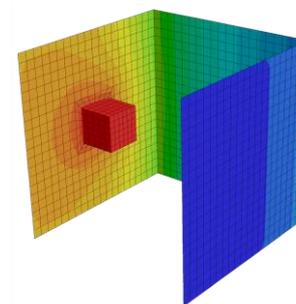
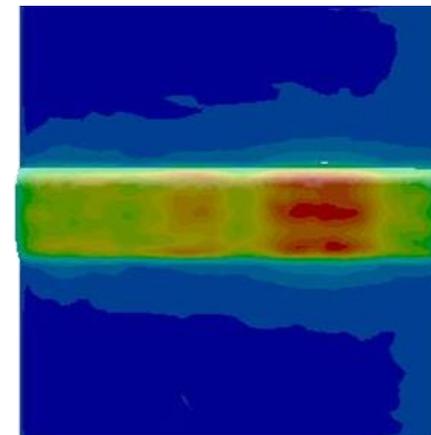
■ 滑移网格模型

- 扇叶在动网格的子域中划分网格
- 非稳态
- 求解输入: 风扇转速

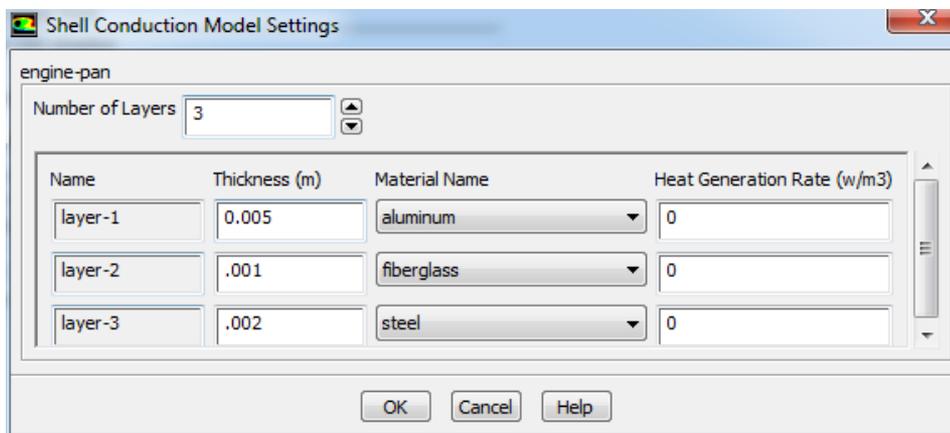


壳体导热模型

- 允许平面方向上的导热
- 薄的隔热罩划分单层面网格
- 计算连接处导热
- 用户输入: 材料, 厚度, 发热量 (如果有)
 - 导热系数可以双方向
- 两个模型



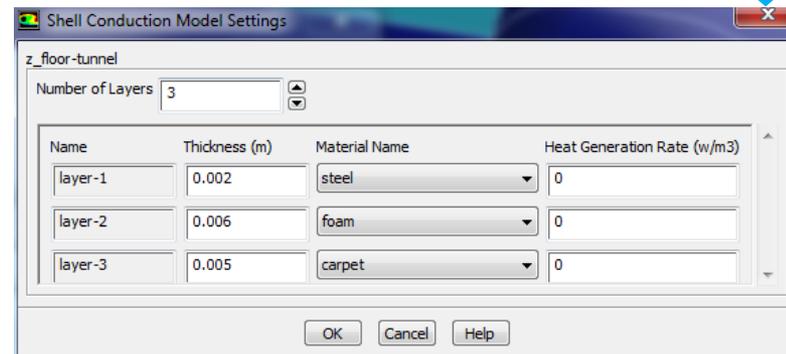
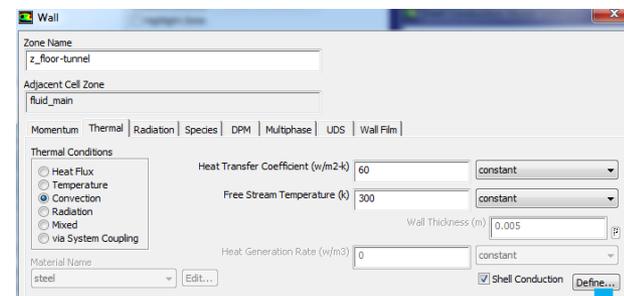
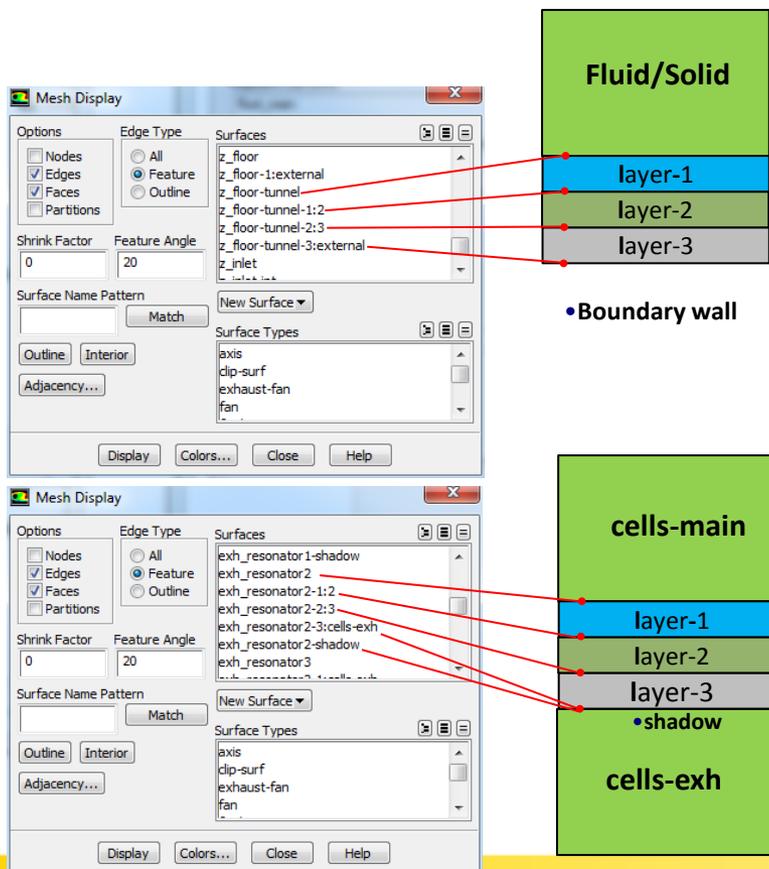
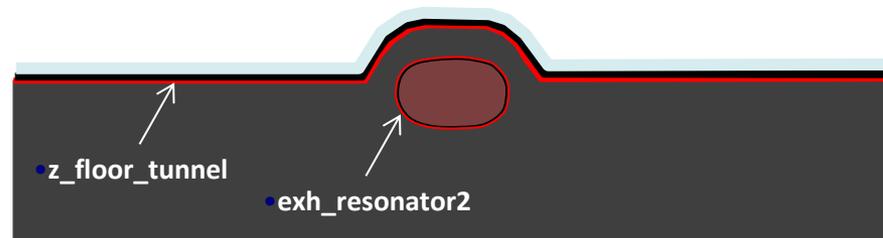
单层壳 (SLS)



多层壳 (MLS)

多层壳导热模型 (MLS)

- 完全平行
- 后处理表面自动生成 (初始化后)



MLS也可以用于求解法向有高温梯度

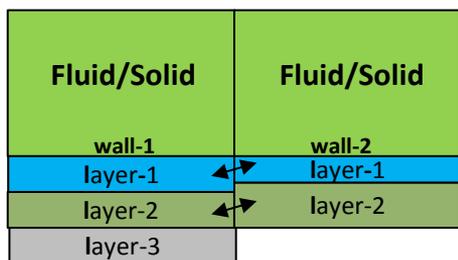
多层壳导热模型 (MLS)

■ 壳体导热管理器

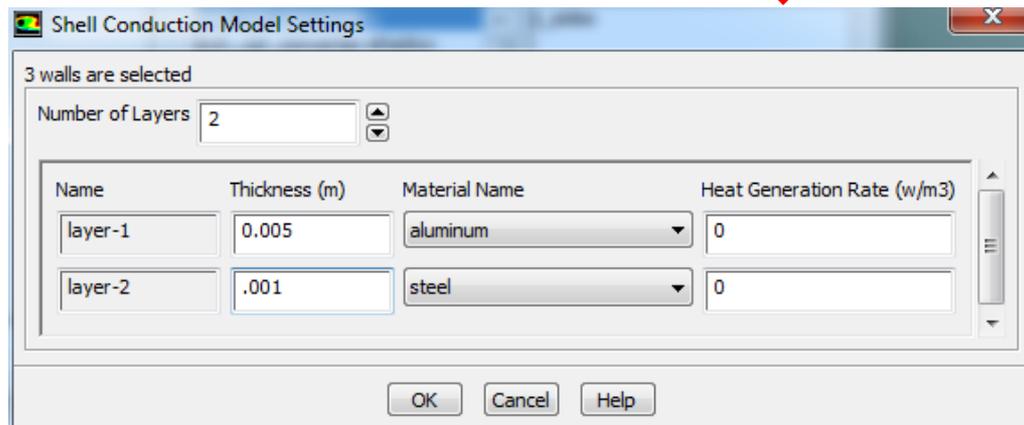
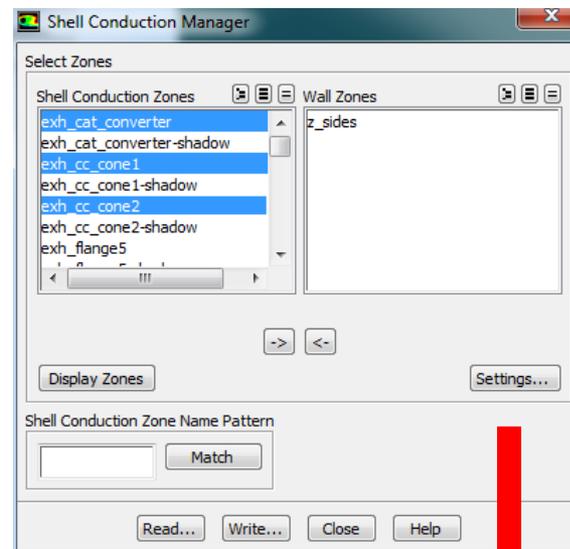
- 很容易将多层应用到多个壁面上

■ 传导路径规则

- 第一层与相邻壁面的壳连接
- 否则两侧绝热

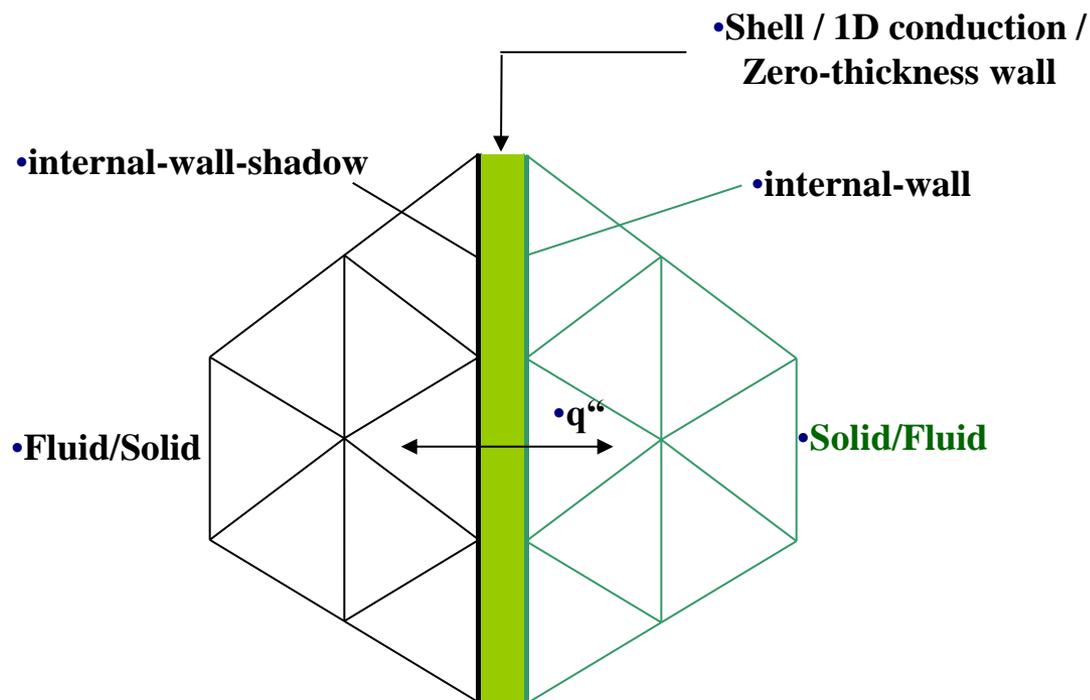


Boundary wall



流固耦合换热

- 处理流固耦合换热历来是FLUENT求解器的一个优势；
- 流/固两侧的换热量 q'' 默认保持耦合；
- 用户也可以通过提供换热量或温度条件使之解耦。



映射网格交界面(Mapped Mesh Interfaces)

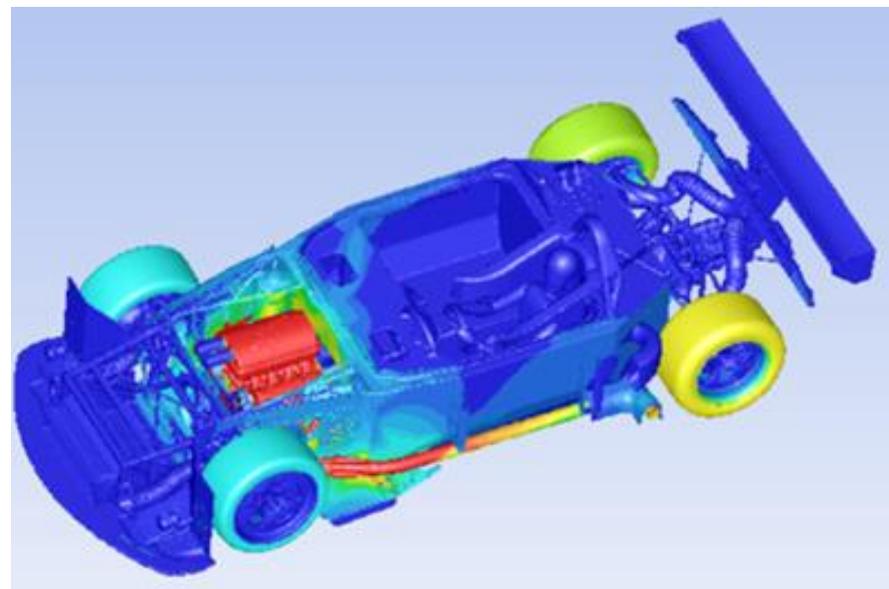
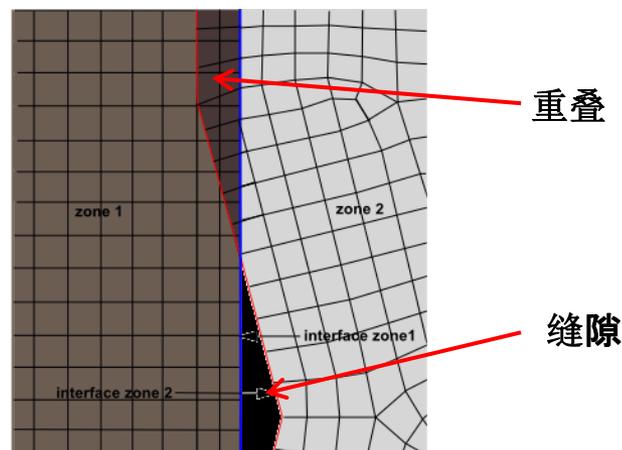
■ 目标

- 针对复杂模型提供更稳健的交界面处理技术

■ 新增的映射交界面

(Mapped interface)可用于处理不同区域网格之间的边界耦合:

- Fluid-solid及 fluid-fluid
- 支持流固耦合换热(Conjugate heat transfer)及辐射计算

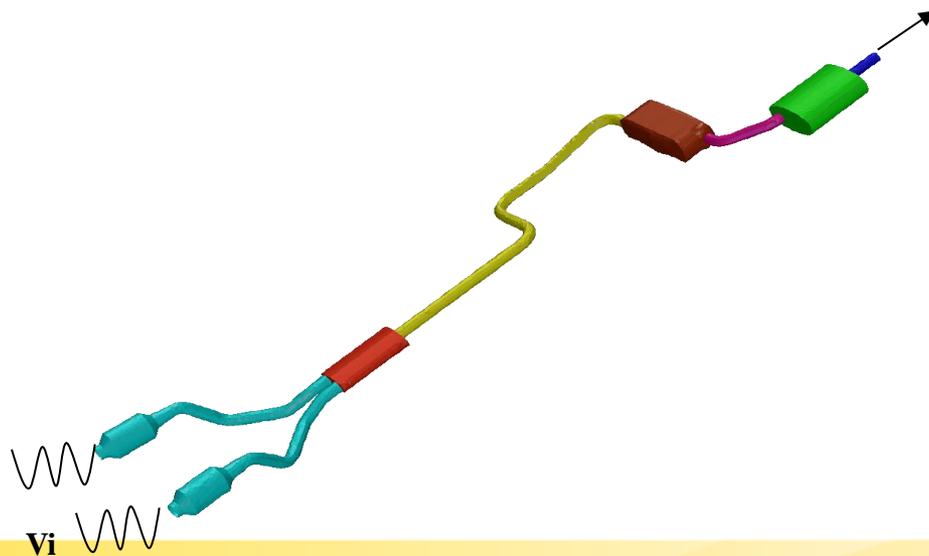


整车机舱热管理仿真获得的表面温度分布

排气系统表面热边界设定

- 为了避免对高频排气脉动进行瞬态仿真，可以采用在稳态计算中使用CAF factor对边界热状况进行修正，更真实且快速的预测排气系统温度。
 - 用户输入:强化因子用于修正排气脉动对换热系数的影响
 - 周期平均的排气流速

```
zone id/name [engine-pan:271]
Wall Thickness (m) [0]
Use Profile for Heat Generation Rate? [no]
Heat Generation Rate (w/m3) [0]
material-name [aluminum]: Change current value? [no]
Thermal BC Type [heat-flux]: Change current value? [no]
Use Profile for Heat Flux? [no]
Heat Flux (w/m2) [0]
Enable shell conduction? [no]
Radiation BC Type [opaque]: Change current value? [no]
Use Profile for Convective Augmentation Factor? [no]
Convective Augmentation Factor [1]
```



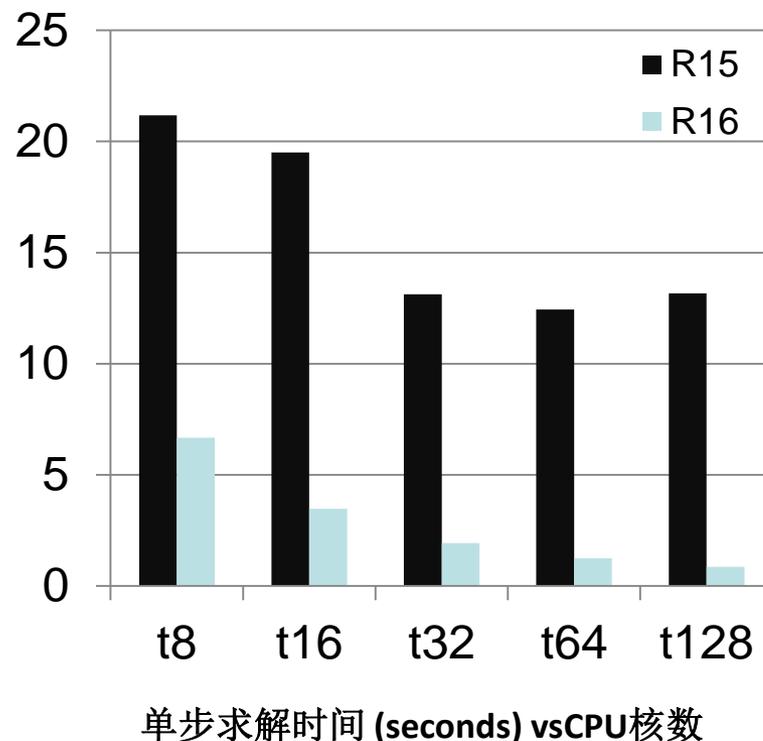
S2S辐射模型

■ 目标

- 提升复杂模型特别是机舱热管理模型的辐射计算速度

■ S2S辐射模型计算性能提升

- 更快速的多面体网格角系数计算速度
- 对于非连续网格交界面的并行计算速度提升
- 提升角系数的读取和输出速度



目录

■ 综述

- 发动机舱热管理CFD仿真的层次
- CFD仿真的难点

■ ANSYS Fluent解决方案

- 灵活的前处理
- 领先的高精度求解器
- 流程自动化及高效并行计算性能

■ 成功案例

- 稳态仿真案例
- 瞬态仿真案例

■ 总结

■ 致谢

流程自动化及高效并行计算性能

- 设定过程可以自动化，相应导航脚本说明如下(*注):
 - *UH_Wall_Panel_Scheme_Utility_CAF.scn*
 - ✓ 可以读入/写出Excel格式的边界条件条件设定
 - *Cellzone_Panel_Scheme_Utility_1.scn*
 - ✓ 可以读入/写出Excel格式的MRF域设定
 - *Export-Material-Properties.scn*
 - ✓ 写出Excel格式的材料库
 - *Read-Material-Setup.scn*
 - ✓ 读取Excel格式的网格区域物性设定

*注: 上述脚本都可以提供, IDAJ-China可以提供相应的使用培训

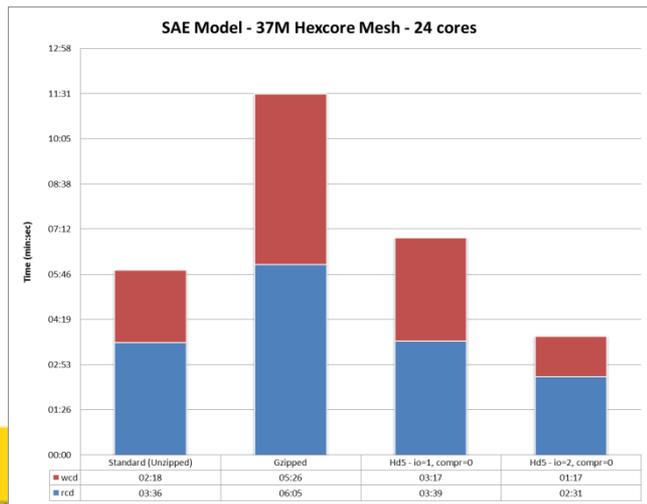
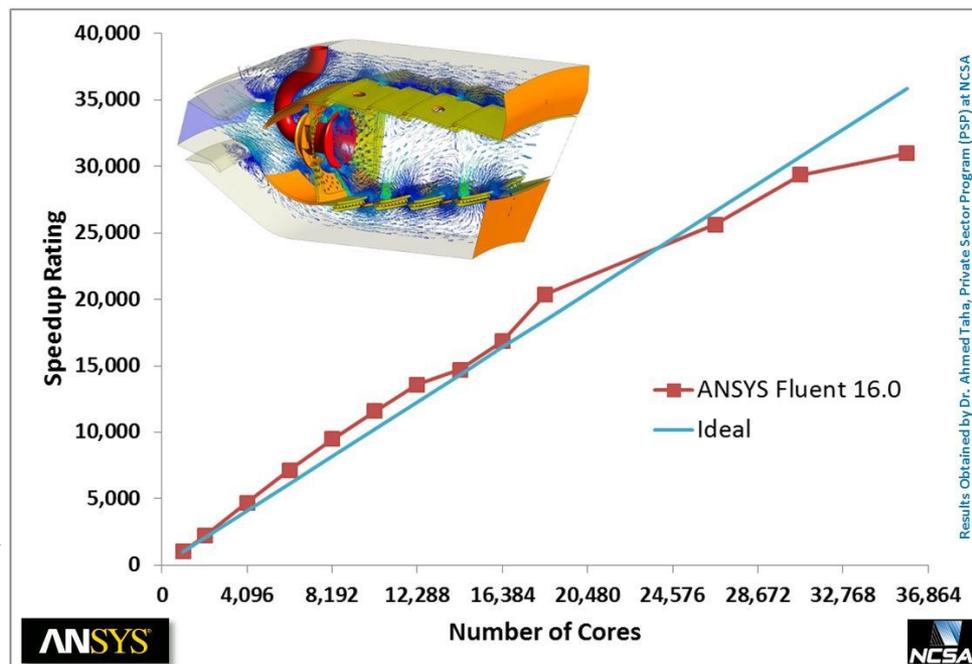
流程自动化及高效并行计算性能

- 后处理过程也可以自动化，相应导航脚本说明如下(*注)：
 - *Postprocessing_complete_tool_ver7.scm*
 - ✓ 输出Excel格式的流体域、固体域或壁面的Min. Max. 及Average温度
 - ✓ 制作及输出固体域的温度云图
 - *plot-t-on-shells.scm*
 - ✓ 制作及输出壳单元的温度云图
 - *take-plane-cut.scm* (提前设置好)
 - ✓ 制作及输出截面的温度、速度云图，速度矢量图
 - *get-wall-adjacent-cell.scm* (提前设置好)
 - ✓ 制作及输出部件壁面的温度、换热系数云图
 - *export-wall-temperature.scm*
 - ✓ 输出瞬态计算中固体壁面最高温度及壳导热随时间的变化
 - *get-flow-adj-cell.scm* (提前设置好)
 - ✓ 输出制定表面的质量流量和热通量含方向(法向及反法向)。

***注: 上述脚本都可以提供, IDAJ-China可以提供相应的使用培训**

稳健的并行处理和卓越的加速性

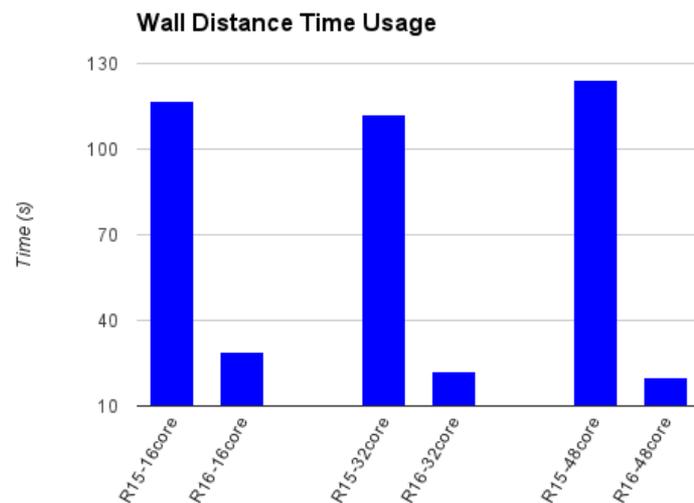
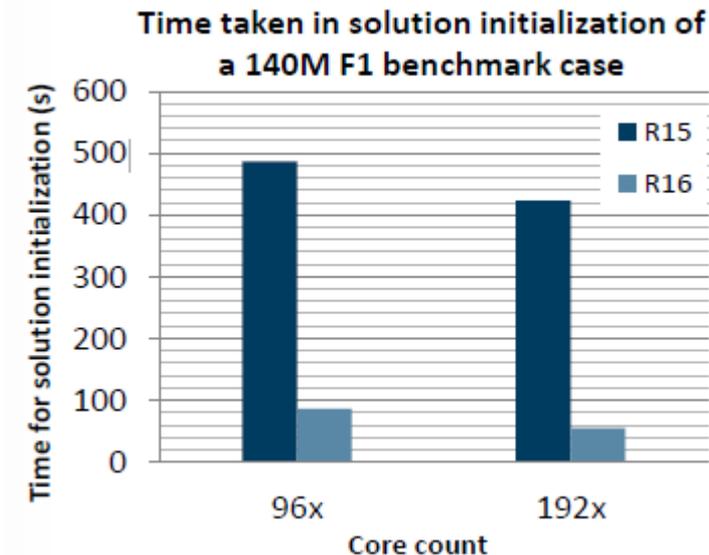
- R16的并行性能远远优于其它商业CFD软件
 - 8亿3千万网格
 - 3万6千核效率达到86%(相对1024核为基础)
- 新的数据存储格式(HDF5-based cas/data)
 - 文件大小和gzip格式相似，但速度快3倍



	cas size Gb	dat size Gb	total size
Standard (Unzipped)	3.6	6.1	9.7
Gzipped	1.3	4.2	5.5
Hd5 - io=1, compr=0	2.9	3.1	6.0
Hd5 - io=2, compr=0	2.9	3.1	6.0

稳健的并行处理和卓越的加速性

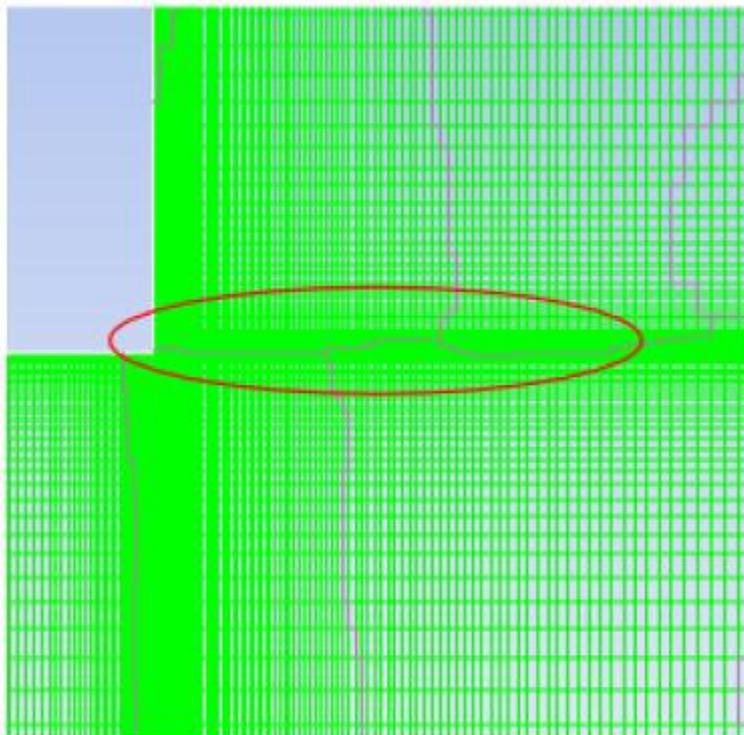
- 优化的数据传输算法
- 采用多线程计算
- 壁面距离(wall distance)的计算对大CPU核数加速性能提升 (1024及以上)
 - 对采用强化壁面处理或者如SST湍流模型的计算加速性能提升



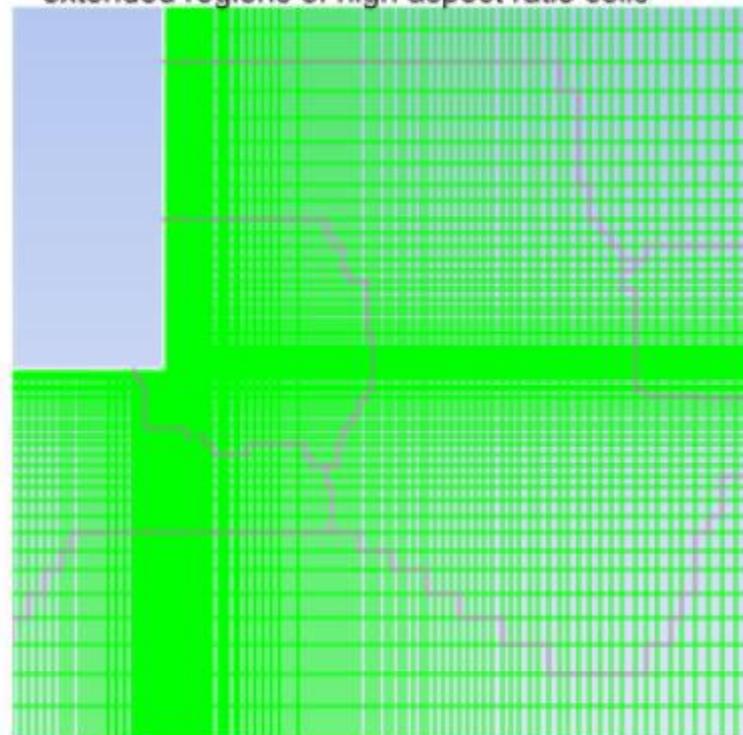
稳健的并行处理和卓越的加速性

- 网格并行分割采用拉普拉斯系数(Laplace coefficients)
 - 可以避免在长宽比大的网格上分区，提升计算精度
 - 显著提升细长网格的计算收敛性

Partition boundary passing through extended region of high aspect ratio cells



With Laplace smoothing enabled, partition boundaries are prevented from passing through extended regions of high aspect ratio cells



目录

■ 综述

- 发动机舱热管理CFD仿真的层次
- CFD仿真的难点

■ ANSYS Fluent解决方案

- 灵活的前处理
- 领先的高精度求解器
- 流程自动化及高效并行计算性能

■ 成功案例

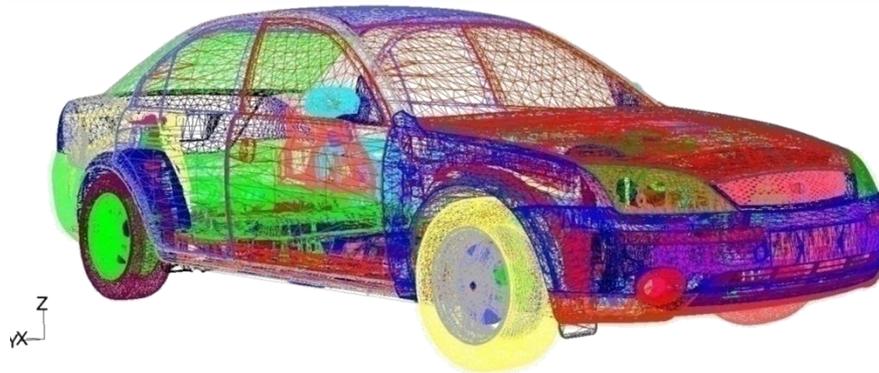
- 稳态仿真案例
- 瞬态仿真案例

■ 总结

■ 致谢

案例1: 前端冷却模块计算

- 输入原始CAD数据
- 输入工况
 - 车速和风扇转速
 - 换热器性能参数
- 可获得
 - 冷却模块通风量
 - 冷却液温度变化



案例1: 前端冷却模块计算

■ 前处理方案

- Fluent Meshing Wrapper
- 包含所有部件，但根据情况对部分部件进行简化

■ 物理模型

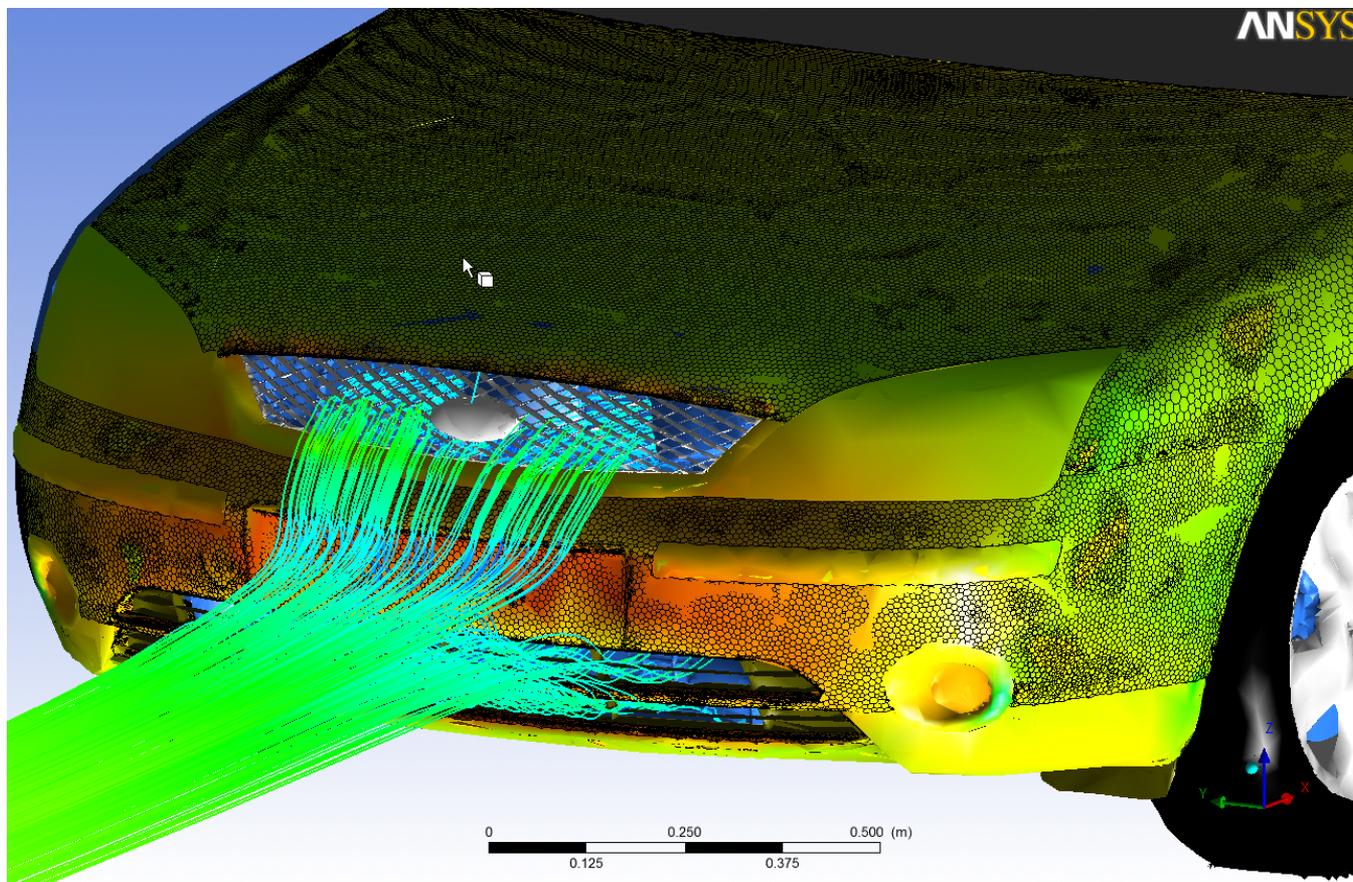
- Realizable K-E Turbulence model
- Dual-Cell based heat exchanger model
 - ✓ CAC, condenser, and Radiator
- MRF fan models (2 fans)
- Porous Media

■ 求解器设定

- 2nd-Order 迎风离散格式
- Hybrid Initialization
- Fast Multi-Grid Solver

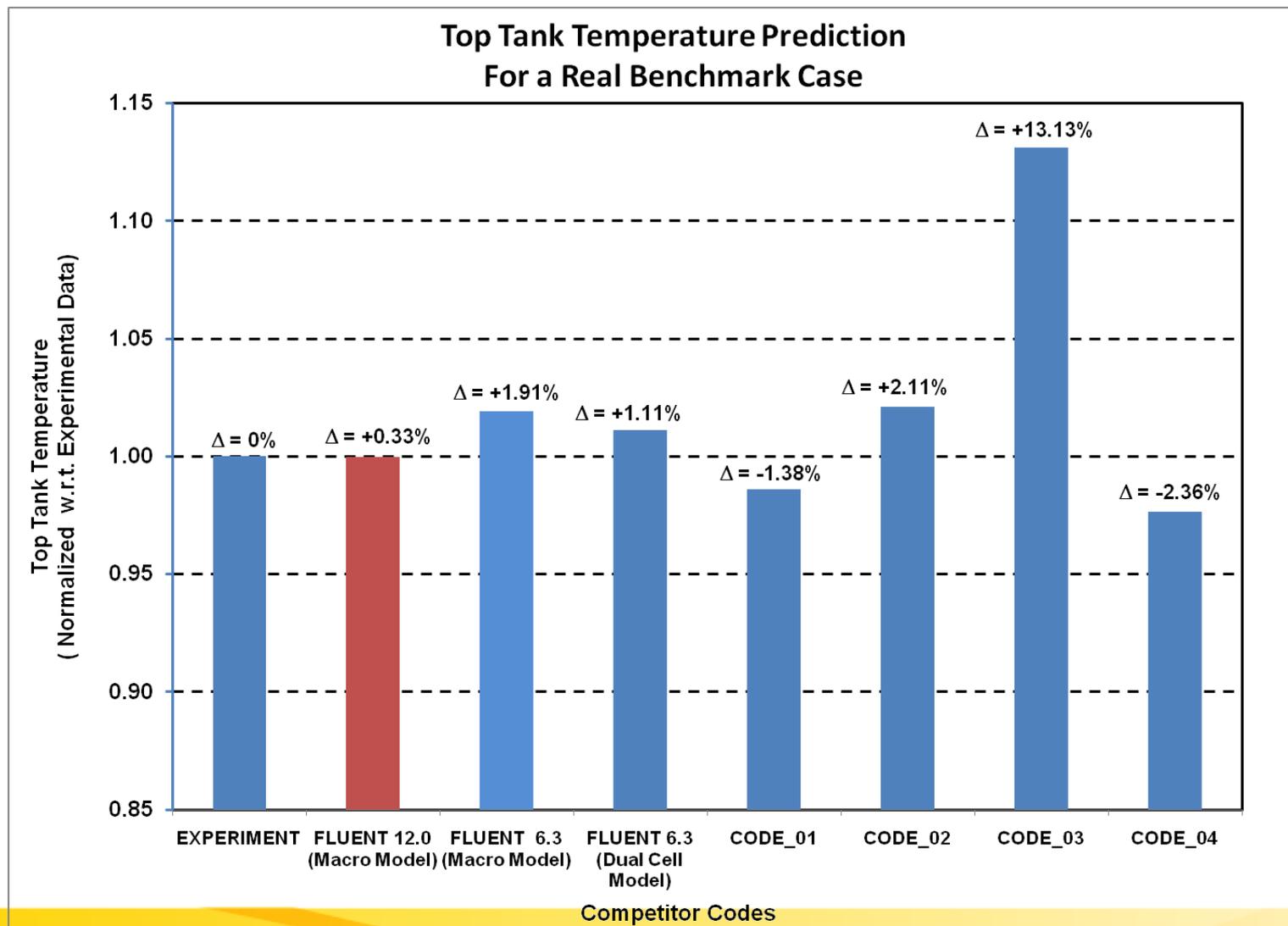
案例1: 前端冷却模块计算

■ 冷流流场分析结果



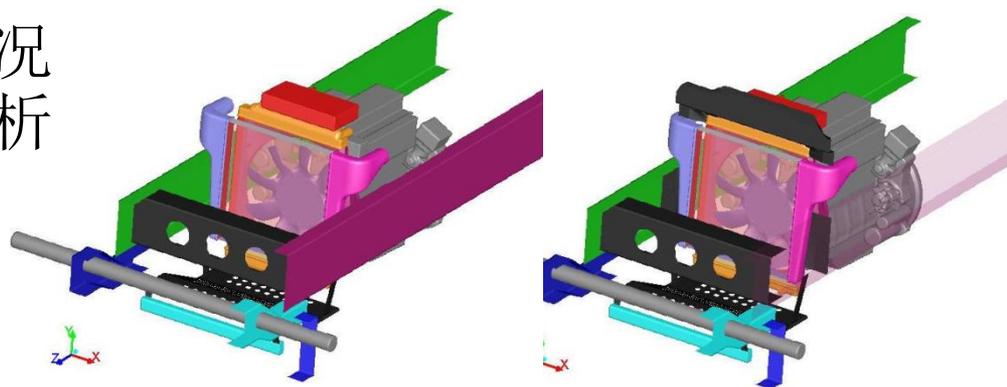
流线穿过隔栅（设置种子点在散热器下游）

案例1: 前端冷却模块计算



案例2：前端冷却模块验证和优化

- CFD整车模型包括前端保险杠，格栅，乘员舱，发动机舱周围和车底部组件等。
- 热交换器的流动阻力通过多孔介质模型模拟。
- 热交换器的性能数据由1-D软件生成，采用单通道换热器模型
- 在最大功率和最大扭矩车况条件下的前端冷却模块分析



案例2：前端冷却模块验证和优化

■ 热交换器模型：

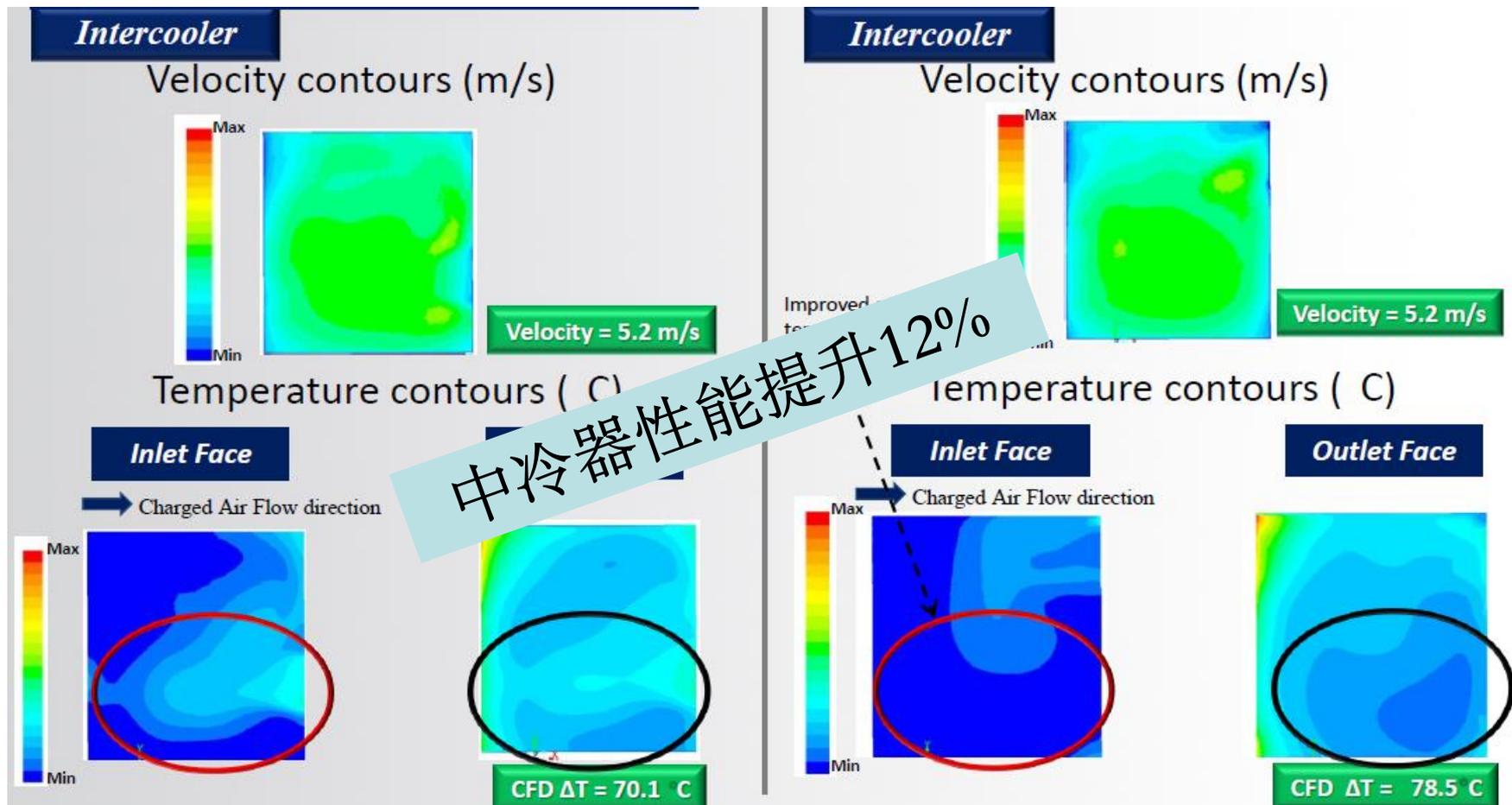
- Ungrouped Macro Based Model
- Fix inlet temperature
- 热交换器性能数据由1-D软件生成

Radiator performance data :						
Coolant flow rate (kg/s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6
Air Flow rate (kg/s)	Heat Transfer (W)					
a1	h11	h21	h31	h41	h51	h61
a2	h12	h22	h32	h42	h52	h62
a3	h13	h23	h33	h43	h53	h63
a4	h14	h24	h34	h44	h54	h64
a5	h15	h25	h35	h45	h55	h65
a6	h16	h26	h36	h46	h56	h66

Intercooler performance data :						
charged air flow rate (kg/s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6
Air Flow rate (kg/s)	Heat Transfer (W)					
a1	h11	h21	h31	h41	h51	h61
a2	h12	h22	h32	h42	h52	h62
a3	h13	h23	h33	h43	h53	h63
a4	h14	h24	h34	h44	h54	h64
a5	h15	h25	h35	h45	h55	h65
a6	h16	h26	h36	h46	h56	h66

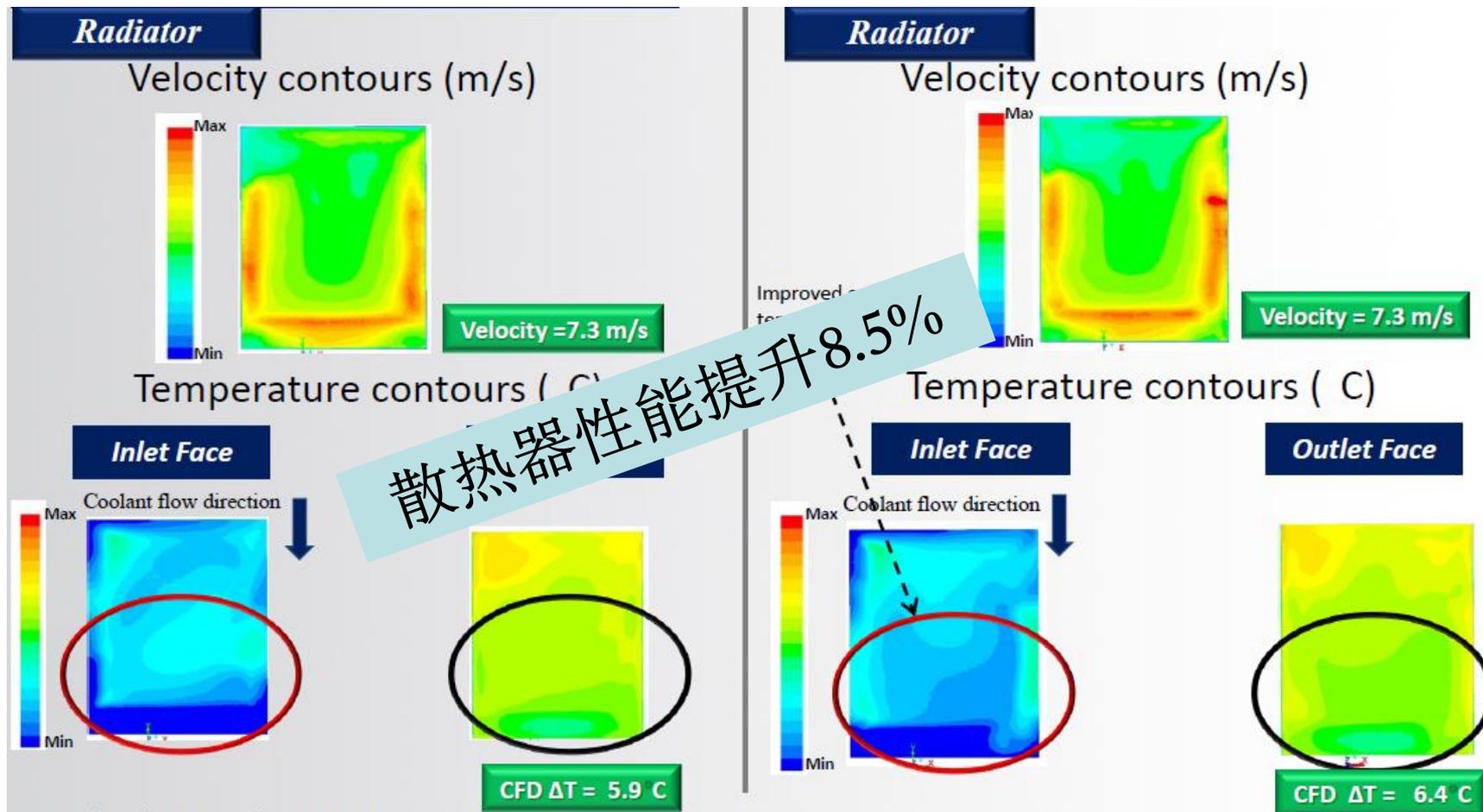
案例2：前端冷却模块验证和优化

■ Baseline与改进模型对比



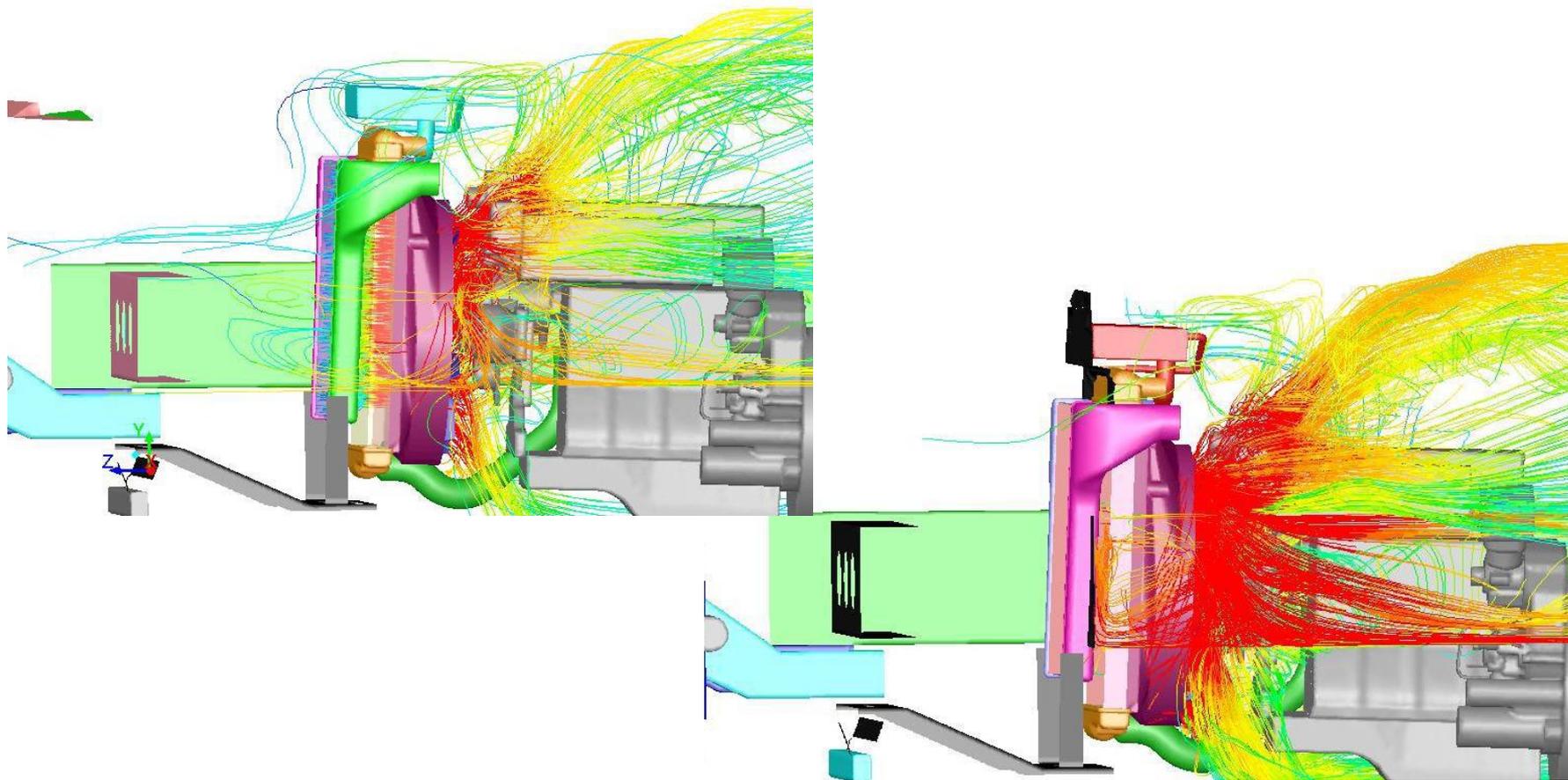
案例2：前端冷却模块验证和优化

■ Baseline与改进模型对比



案例2：前端冷却模块验证和优化

- 回流区域对比（流线上的颜色代表温度）



案例3: UTM瞬态热冲击(Soaking) – 工况描述

- 车辆在道路条件下行驶(稳态), 紧接着停车同时发动机熄火、风扇关闭 (key-off)。
- 目标
 - 预测持续60分钟内部件最高温度随时间变化

案例3: UTM瞬态热冲击 – 仿真流程

- 获得指定负荷工况下的稳态强制流动风量
 - 对流动、能量及辐射进行稳态仿真;
- 获得热冲击(Soaking)初始时刻($t=0\text{sec}$)的稳态浮升力驱动流场状况
 - 切换热冲击计算(自然对流)相应的物理模型、边界条件、工况以及求解器参数
 - 锁定固体及壳单元的温度场变化(不包含流场), 采用二阶精度计算稳态流场/温度场
 - ✓ `/solve set lock-solid-temperature? yes`
 - 这将建立起浮升力驱动流为主要特征的初始场。
- 获得瞬态浮升力驱动流场
 - 打开固体及壳单元的温度场
 - ✓ `/solve set lock-solid-temperature? no`
 - 求解瞬态60min物理过程中的流动 + 能量 + 辐射变化

Steady-State Load Condition

Run steady-state flow + energy while solid and shell temperatures unlocked



Soak (steady)

Run steady-state flow + energy while solid and shell temperatures locked



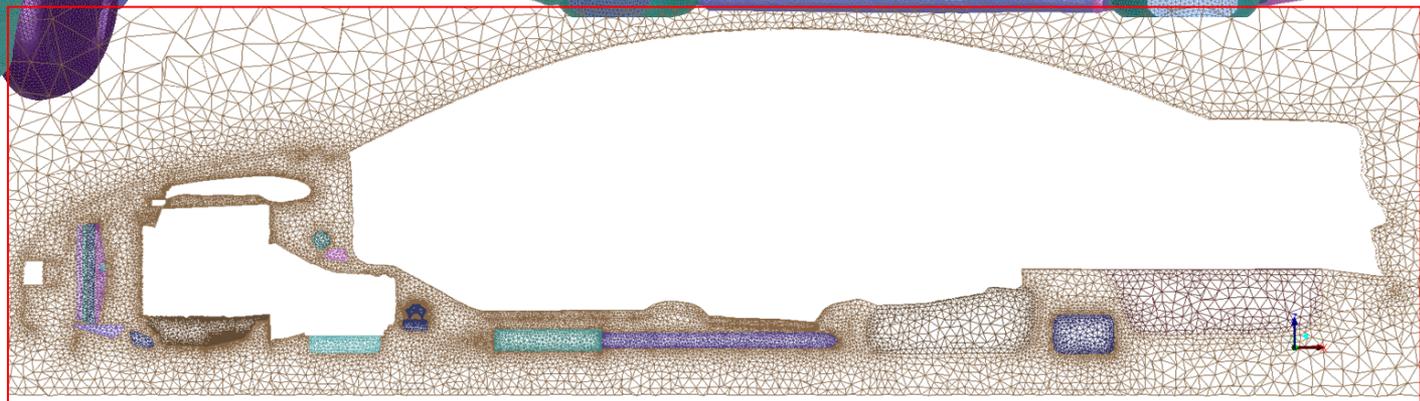
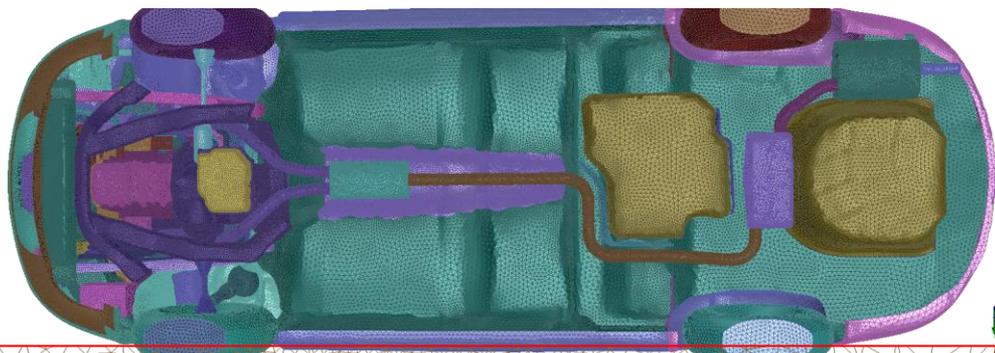
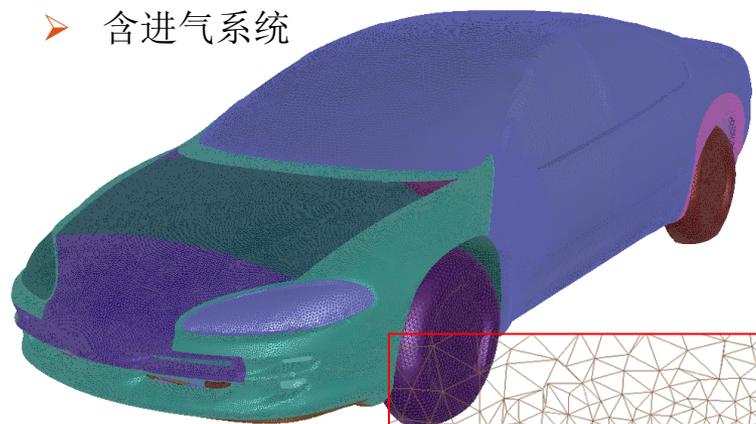
Soak (unsteady)

Unlock solid and shell temperatures and run transient flow + energy + radiation for 60 min physical time

案例3: UTM瞬态热冲击 - 网格

■ 一千两百万四面体网格

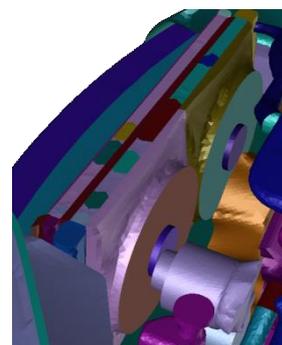
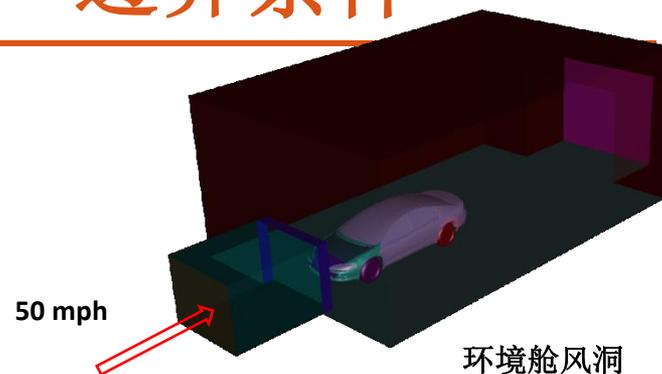
- 含系列固体部件
- 含排气系统流场
- 含油箱
- 轮胎
- 壳单元 (隔热罩)
- 含进气系统



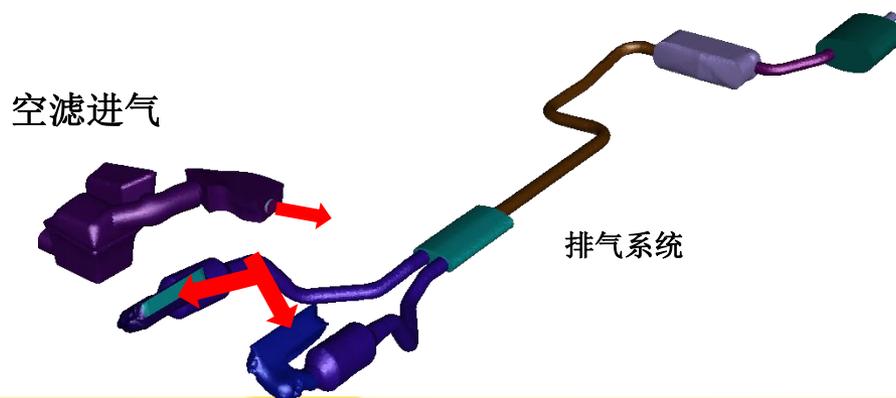
案例3: UTM瞬态热冲击 - 边界条件

■ 稳态负载工况

- 车速和环境状况:
 - ✓ 50 mph
 - ✓ 27 C
- 排气状况:
 - ✓ 0.02 kg/s, 860 C
- 空滤进气状况:
 - ✓ 0.071 m/s (into the engine)
- 风扇
 - ✓ 特性曲线
- 发动机本体设置传热系数模拟冷却液和油的效果。

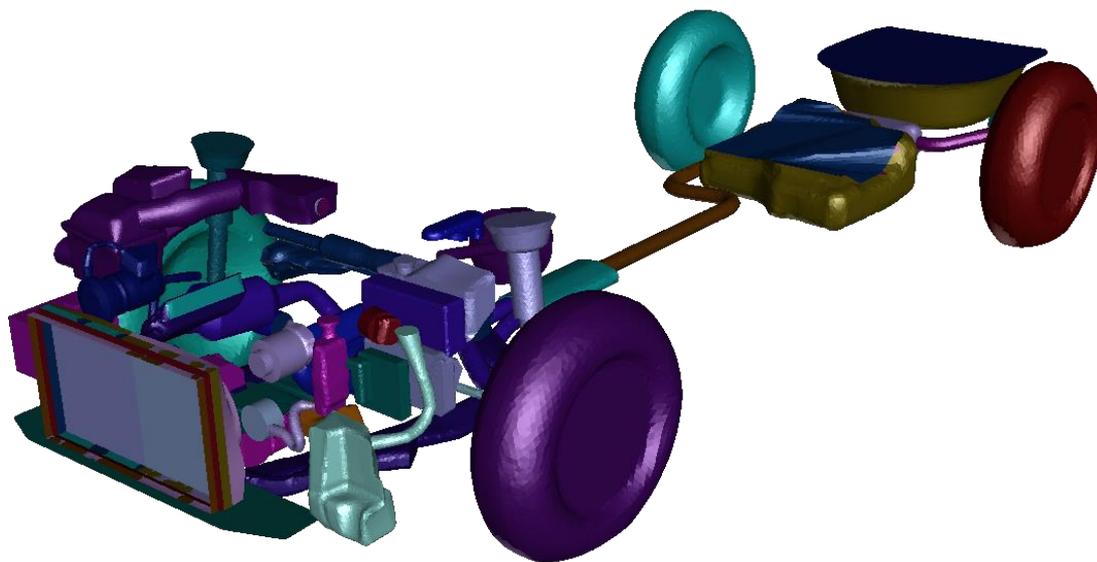


冷区模块



案例3: UTM瞬态热冲击 - 边界条件

- 其他固体区域
 - 定义材料的热物性和辐射参数
- 薄层金属
 - 大多数采用壳导热模型建模
- 在排气系统表面设置强化因子



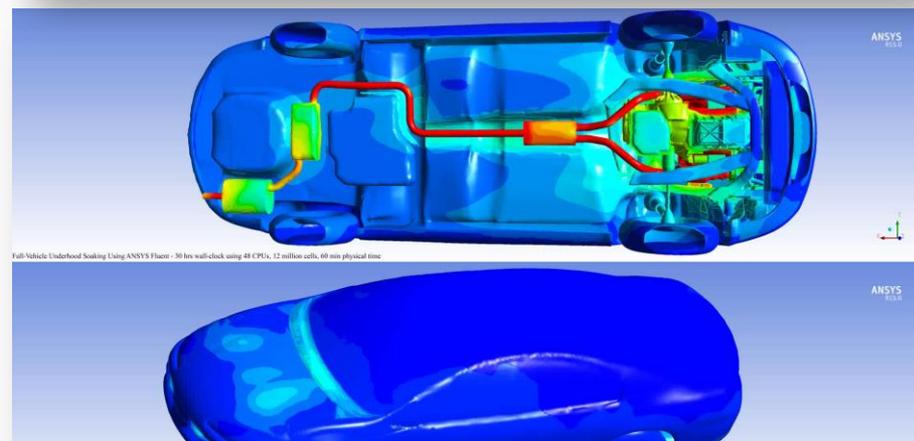
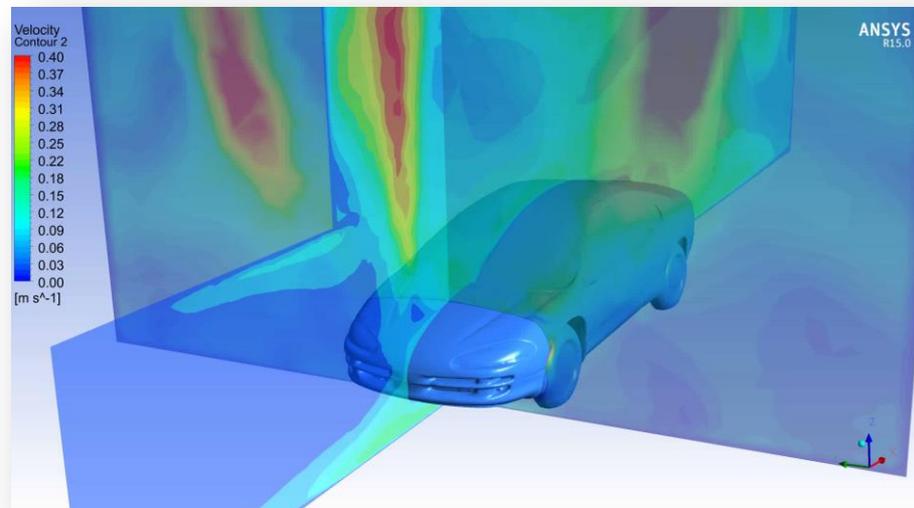
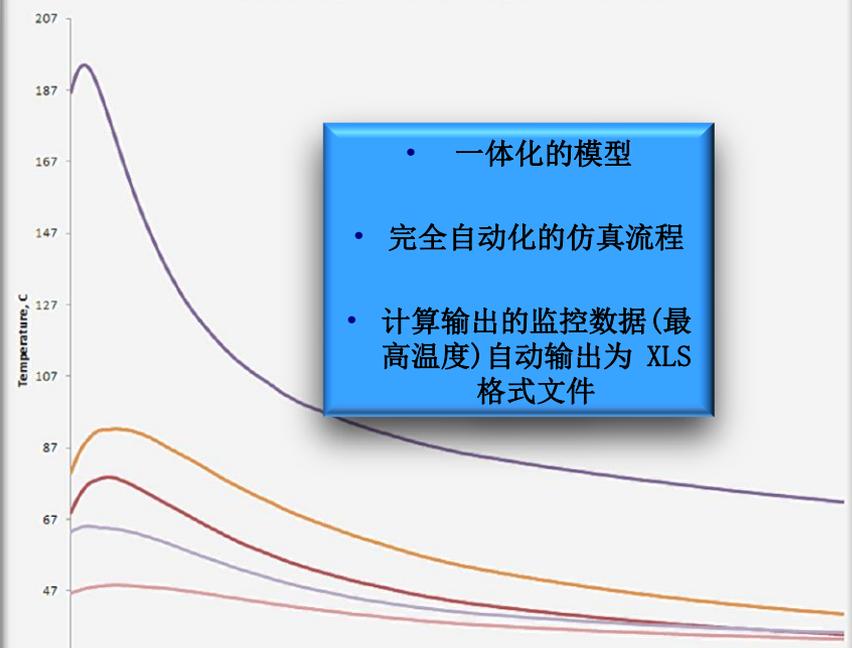
全部附加模型

案例3: UTM瞬态热冲击 - 结果

■ 计算负荷:

- 30 Hrs wall-clock,
- 48 CPUs

Max Skin Temperature History of Heat Shields

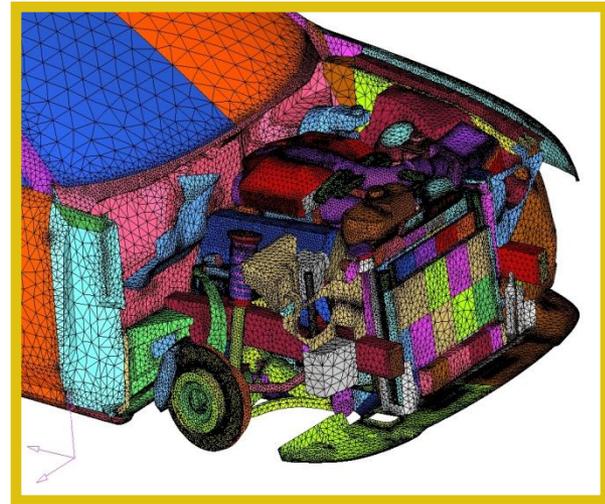


ANSYS Fluent is the Fastest and Most Accurate in Modeling Full Vehicle Transient Soaking and Other Road Conditions !

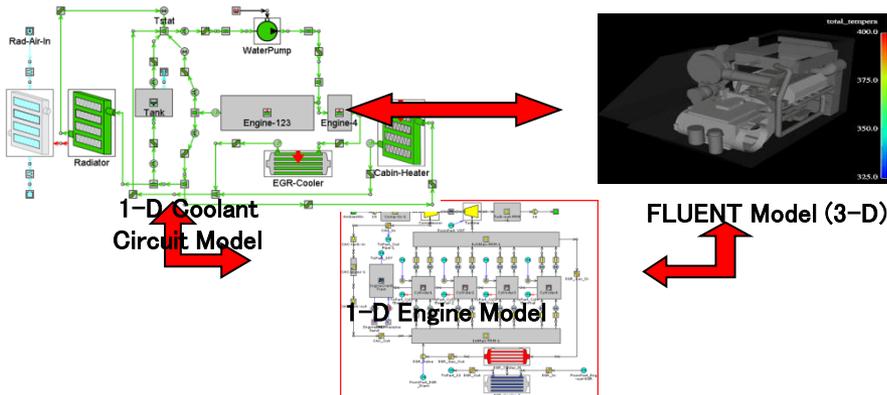
案例4: 前端冷却模块一/三维耦合分析

实例综述

- 准确预测牵引爬坡及环境升温工况下流场状况及若干关键部件的温度状况；
- FLUENT模型同一维冷却回路计算模型及一维发动机模型耦合建模，进行系统级影响分析。



Images courtesy MIRA Ltd



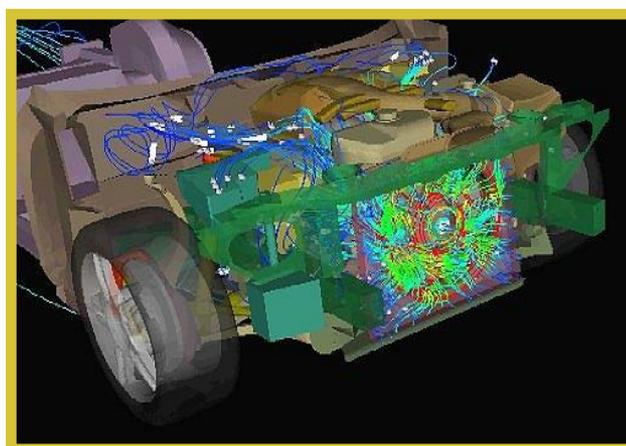
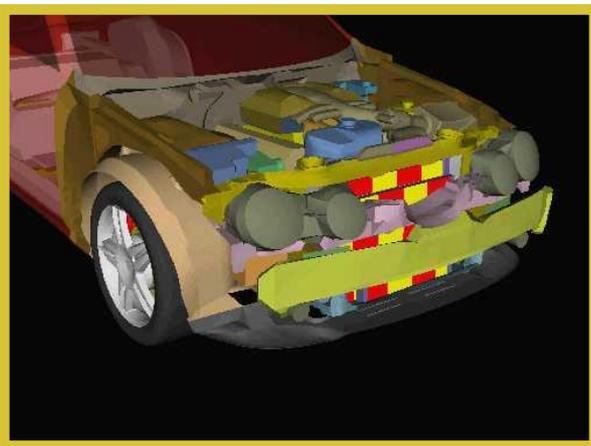
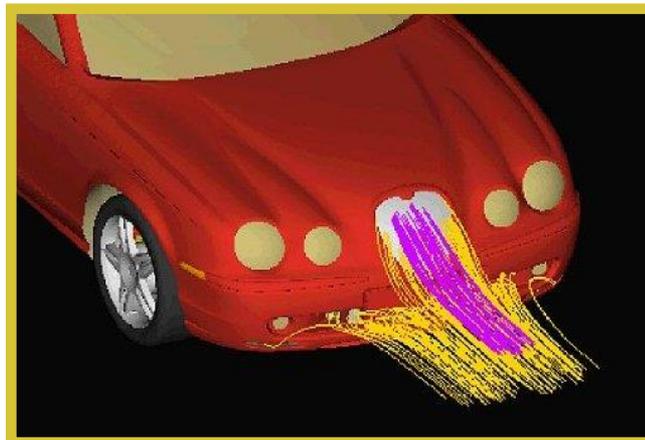
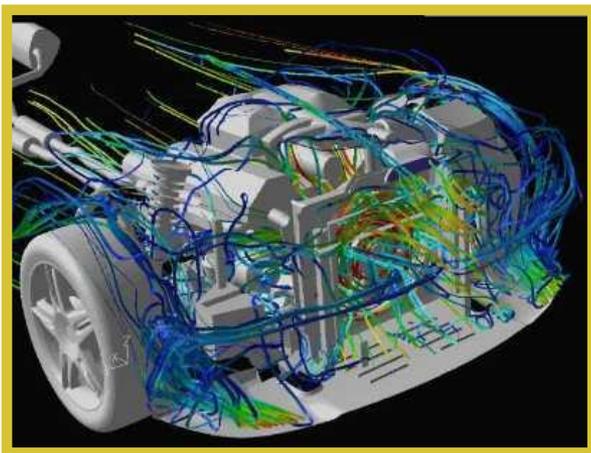
案例4: 前端冷却模块一/三维耦合分析

➤ 结果验证

Parameter	Experimental (° C)	FLUENT Simulation (° C)
Top tank	116.8	117.2
Bottom tank	109.2	108.2
Transmission sump	121.7	119.0
Oil gallery	127.9	124.8
Oil sump	135.0	135.4

案例4: 前端冷却模块一/三维耦合分析

➤ 综合结果分析



目录

■ 综述

- 发动机舱热管理CFD仿真的层次
- CFD仿真的难点

■ ANSYS Fluent解决方案

- 灵活的前处理
- 领先的高精度求解器
- 流程自动化及高效并行计算性能

■ 成功案例

- 稳态仿真案例
- 瞬态仿真案例

■ 总结

■ 致谢

总结

- ANSYS Fluent提供了丰富的物理模型，可以对发动机舱进行从稳态到瞬态不同工况下的精确的流动和传热仿真；
- R16版本新的前处理用户环境，极大提升了易用性；新的网格流程既可以满足灵活的仿真建模要求，也可以满足自动化批处理建模的要求；
- ANSYS Fluent的高性能并行计算效率，适合于大规模计算
- IDAJ结合自身多年在整车行业热管理仿真的经验可以为您提供量身定制的仿真解决方案。



+



最专业的整车
CAE解决方案和
技术服务！

目录

■ 综述

- 发动机舱热管理CFD仿真的层次
- CFD仿真的难点

■ ANSYS Fluent解决方案

- 灵活的前处理
- 领先的高精度求解器
- 流程自动化及高效并行计算性能

■ 成功案例

- 稳态仿真案例
- 瞬态仿真案例

■ 总结

■ 致谢

致谢

- 感谢ANSYS-China Fluent技术专家马世虎、朱祥德。
- 感谢ANSYS汽车行业技术专家Ashok Khondge, Hamid Ghazialam, Benjamin Lehugeur。

谢谢大家！ 欢迎提问~

技术支持邮箱: support@idaj.cn

艾迪捷信息科技(上海)有限公司 北京

地址: 北京市朝阳区光华路甲14号诺安基金大厦1601室, 100020

电话: 010-65881497/98

传真: 010-65881499

网址: www.idaj.cn

技术支持邮箱: support@idaj.cn

艾迪捷信息科技(上海)有限公司 上海

地址: 上海市浦东新区张杨路620号中融恒瑞国际大厦东楼2001室 200120

电话: 021-50588290/91

传真: 021-50588292