

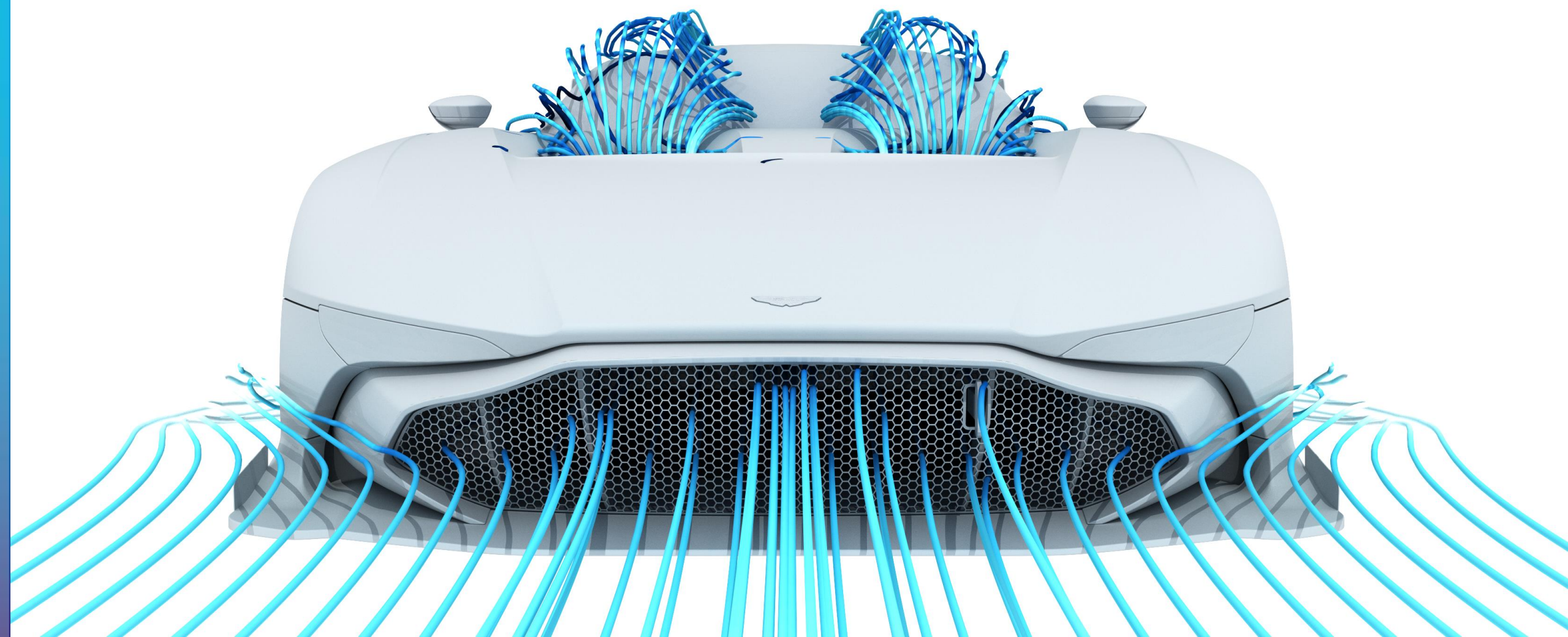


IDAJ-China
北京技术部

Copyright (C) IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

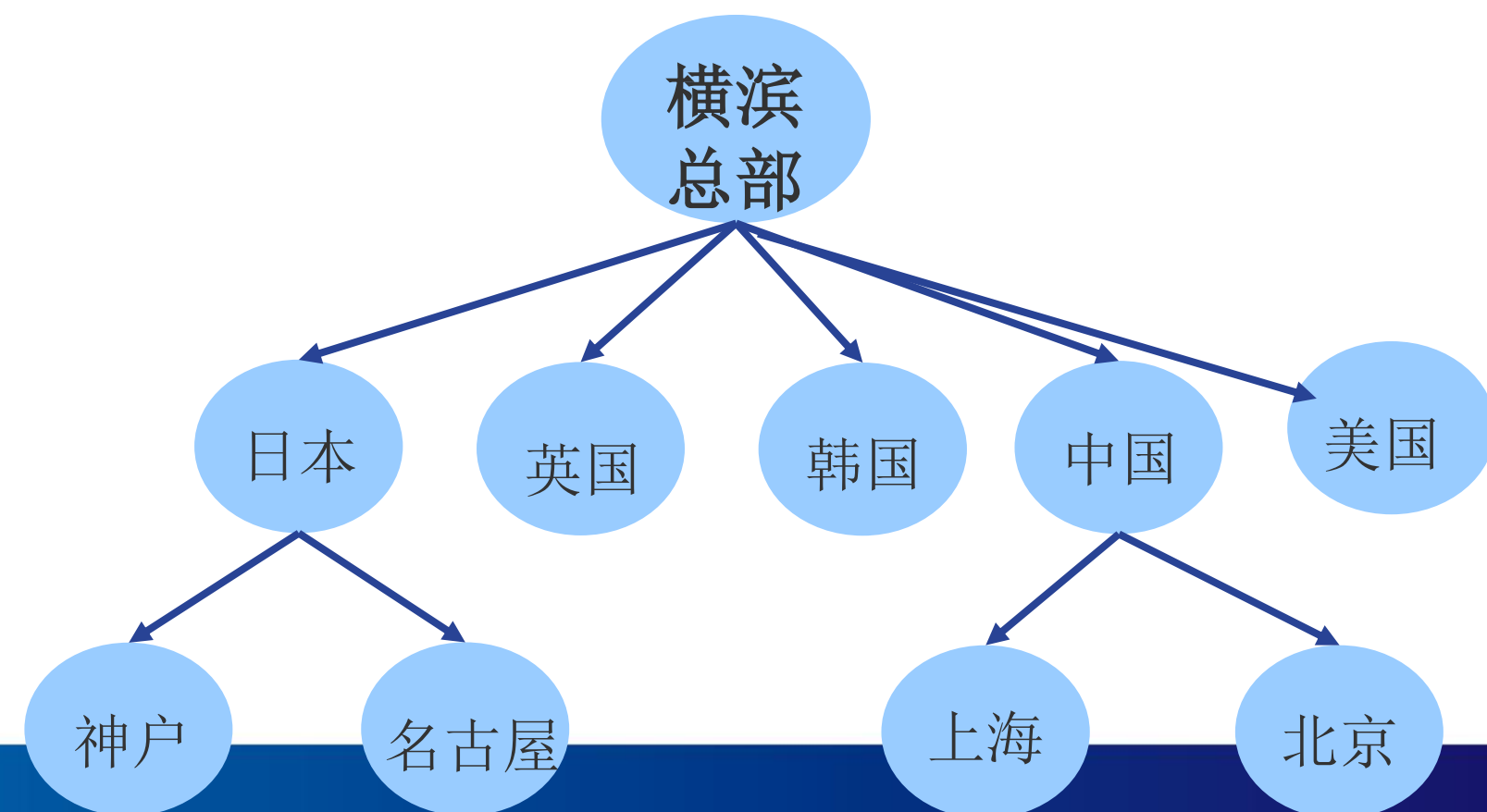
基于开源代码的通用CFD软件

iconCFD



IDAJ介绍

- 艾迪捷信息科技有限公司 (IDAJ Co., Ltd 简称 IDAJ) 1994年成立于日本横滨，是亚太地区最大的流体仿真技术咨询和综合CAE/CFD软件销售和技术服务商之一。公司人数：约350人。
- 主营业务：为日本、中国、韩国、英国、美国等国提供CAE咨询服务以及代理销售英国、美国、德国等世界一流的CFD、CAE软件。经过多年发展，公司除了日本（横滨、神户、名古屋）外，还在中国、韩国、英国和美国分别成立了分公司。
- IDAJ-China于1997年在北京成立，目前有北京和上海分公司以及在武汉和西安等设立的办事处。





1. 开源CFD代码及iconCFD
2. iconCFD的前处理和网格
3. iconCFD的物理模型及功能
4. iconCFD应用的部分典型案例



1. **开源CFD代码及iconCFD**
2. iconCFD的前处理和网格
3. iconCFD的物理模型及功能
4. iconCFD应用的部分典型案例

为什么使用开源CFD软件？

商业通用CFD软件的问题

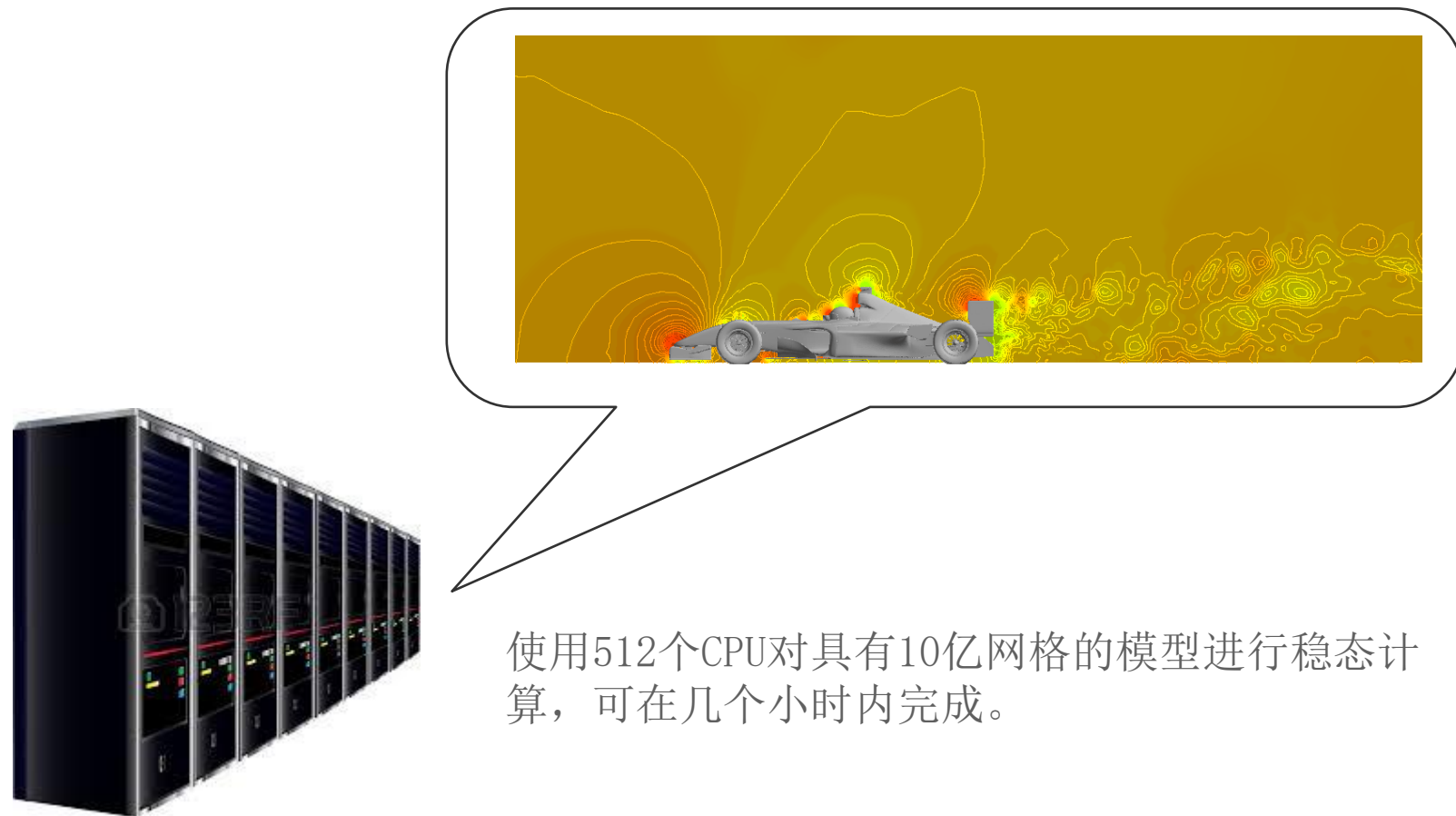
- license的费用由可同时使用的用户数和CPU的数量来确定。
 - 随着对大规模计算需求的不断提高，license费用已成为用户的一个很大负担；
- 随着计算机硬件成本的降低，软件使用费用所占的比例越来越高。
- 有原厂商锁定的弊端

作为免费（或很少费用）使用的开源CFD软件对用户越来越具有吸引力。

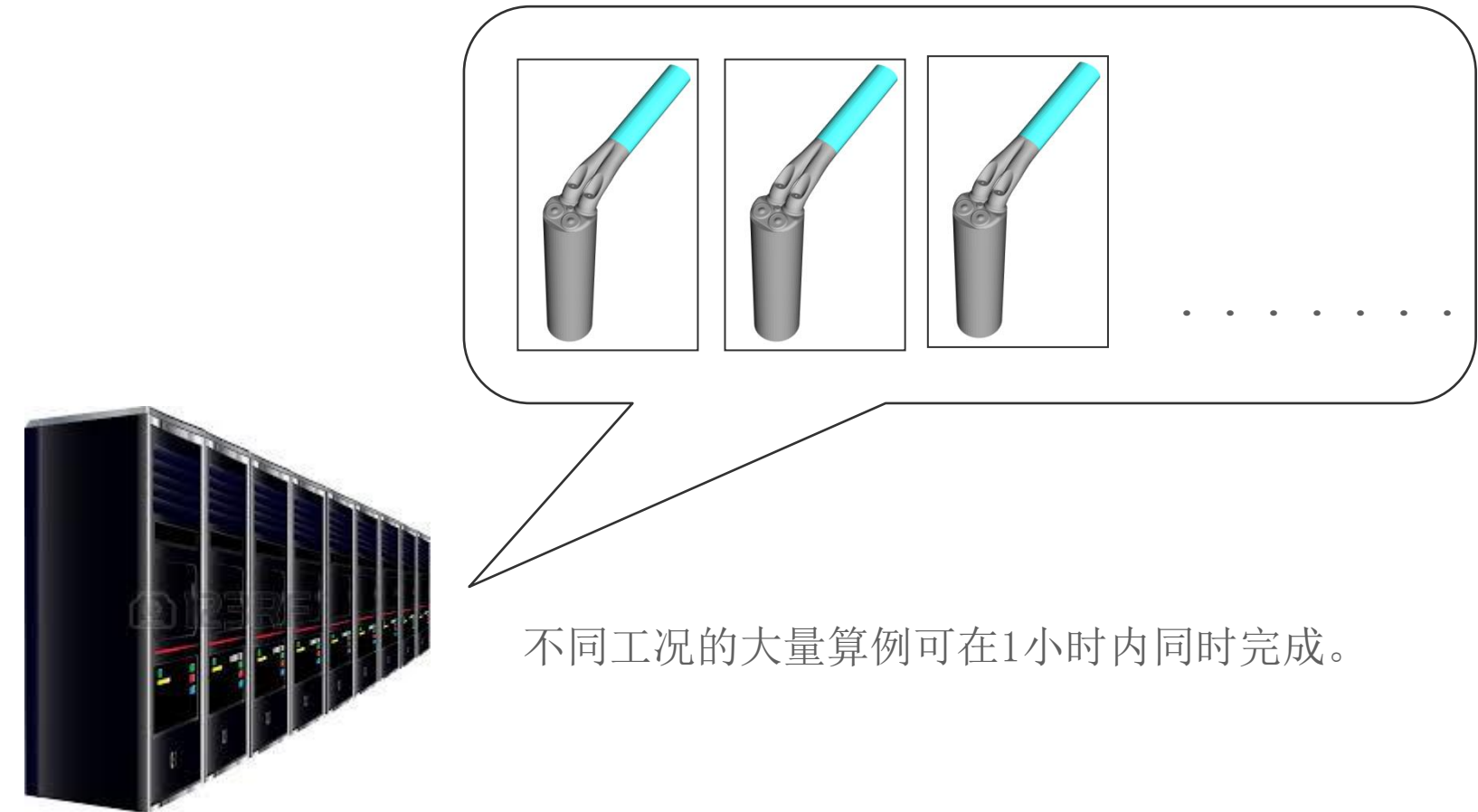
奥迪汽车从2009年已经完全使用开源CFD进行空气动力学车型开发！

开源CFD软件的典型应用场景

大规模计算



大量算例的同时计算



开源CFD软件的问题

所有文件通过文本准备（以OpenFOAM为例）

求解及差分格式

```
interpolationSchemes
{
    default linear;
}

laplacianSchemes
{
    default Gauss linear limited 0.333;
}

divSchemes
{
    div(phi,omega) bounded Gauss upwind;
    div(phi,k) bounded Gauss upwind;
    div(phi,U) bounded Gauss linearUpwindV grad(U);
    default Gauss linear;
}
```

```
solvers
{
    U
    {
        tolerance 1e-16;
        smoother GaussSeidel;
        relTol 0.1;
        preconditioner DILU;
        solver BiCGStab;
    }
}
```

```
startFrom latestTime;
startTime 0;
stopAt endTime;
endTime 1000;
deltaT 1;
writeControl timeStep;
writeInterval 100;
purgeWrite 2;
writePrecision 12;
writeFormat ascii;
writeCompression compressed;
```



边界条件

```
inlet_pipe
{
    type fixedValue;
    value uniform (10 0 0);
}

outlet_pipe
{
    type pressureCalculatedVelocity;
    value uniform (0 0 0);
}
```

物理量

```
buoyancy off;
NewtonianCoeffs
{
}

nu nu [0 2 -1 0 0 0 0] 8.90883e-07;
rho rho [1 -3 0 0 0 0 0] 997.561;
transportModel Newtonian;
```

湍流模型

```
RASModel kOmegaSST;
turbulence on;
printCoeffs on;
laminarCoeffs
{
}

realizableKECoeffs
{
    Cmu 0.09;
    A0 4.04;
    C1 1.44;
    C2 1.9;
    alphak 1.0;
    alphaEps 1.2;
    alphah 1.0;
}
```

开源CFD软件的问题

使用时会遇到各种问题



基于开源代码的通用CFD软件- iconCFD

- iconCFD - IDAJ和ICON公司基于OpenFOAM®进行开发
- iconCFD是作为服务包的形式提供给客户的一种服务，它遵守GPL协议*
- 关于ICON公司（IDAJ的控股公司）
 - 由毕业于英国帝国理工学院Gosman教授的实验室成员于1992年建立的CFD咨询公司
 - 通过针对大众公司3年的项目工作，他们基于OpenFOAM开发了世界上第一个工业应用的空气动力学计算系统
 - OpenFOAM的网格生成工具“snappyHexMesh”也是基于他们的开发形成的

*) 服务包的部分内容，如GUI等，不包含在GPL协议中

iconCFD的特点

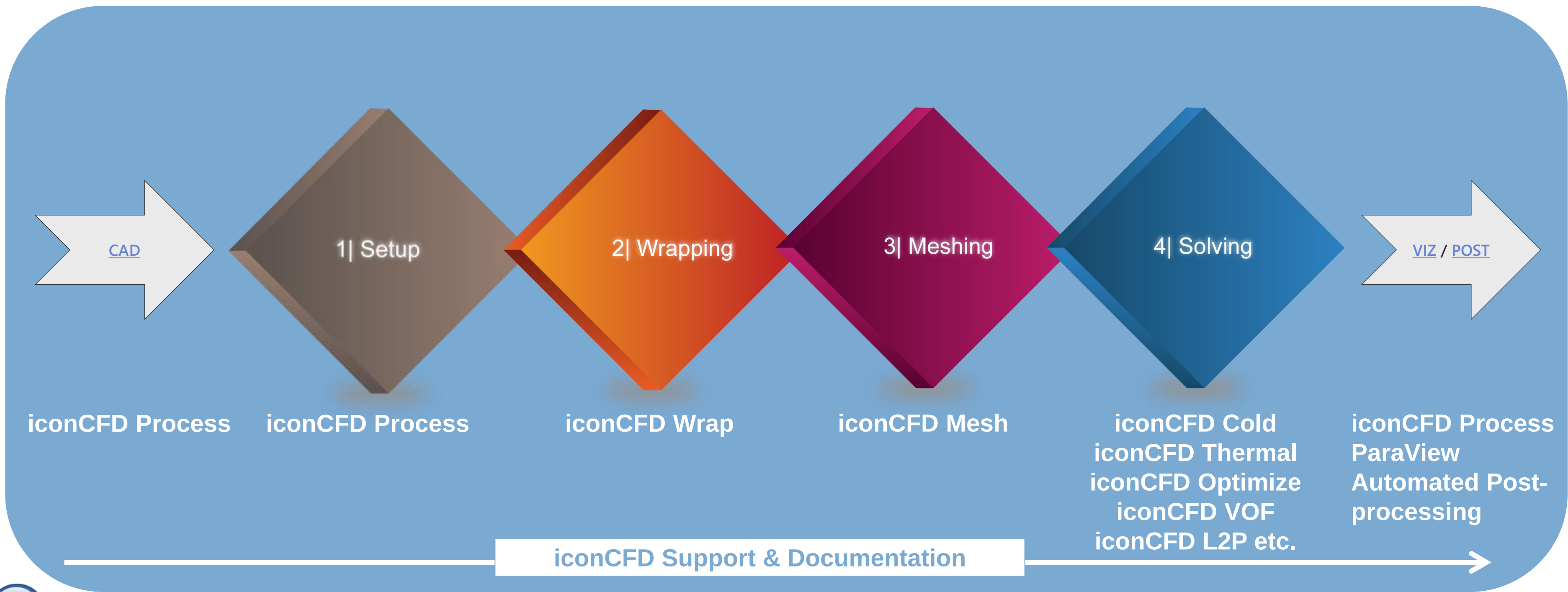
■ 保留了开源CFD软件的优点

- 低成本的大规模计算- CPU数量的增加不会带来软件使用费的增加
- 对同时运行的计算（进程）数量没有限制

■ 解决了开源CFD软件的诸多缺点（如不方便使用、求解器不稳定、无技术支持等等）

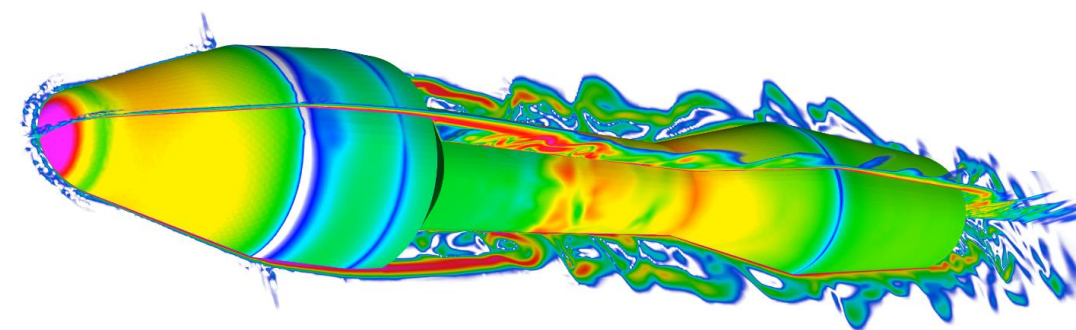
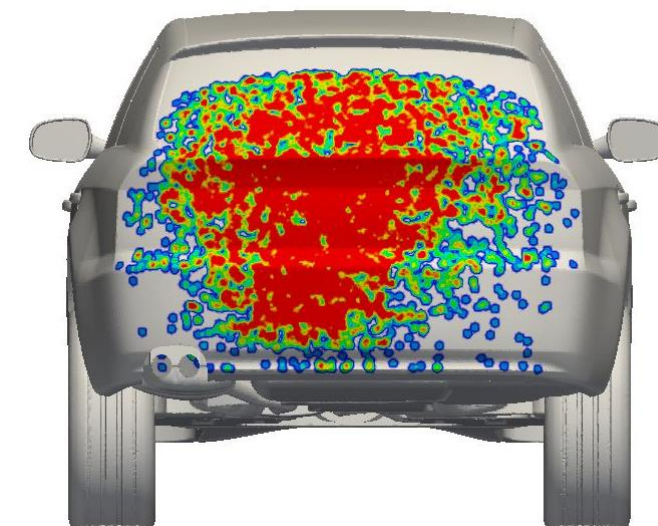
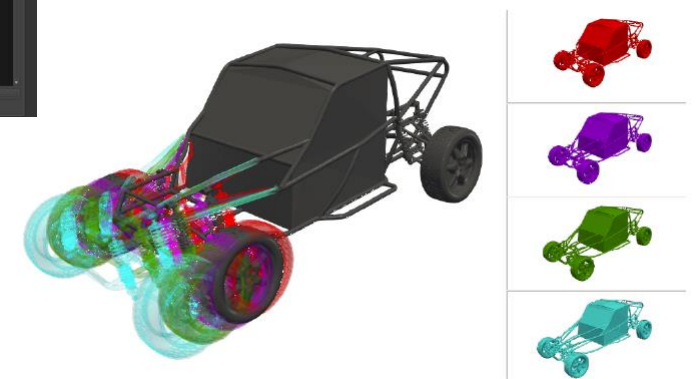
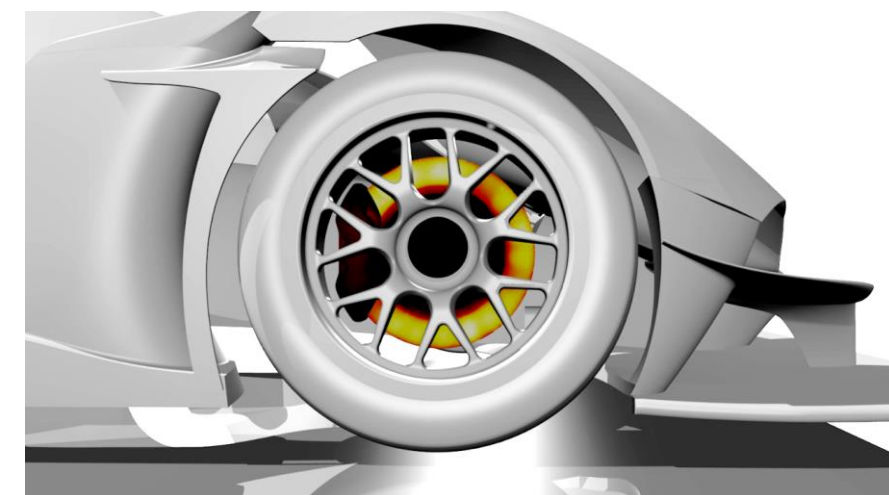
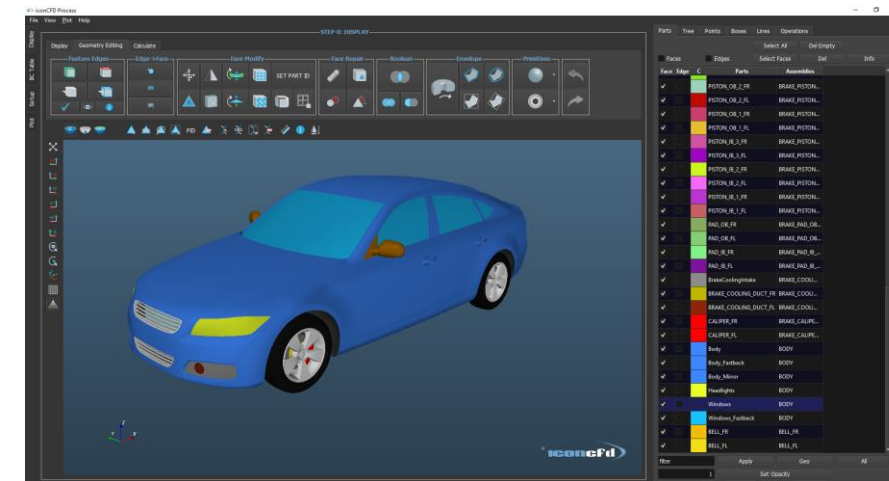
- 提供前后处理工具：iconCFD Process
- 网格改进
- 对底层代码进行改进和提高（基本插值方法，梯度求解方法和差分格式等）
- 基于IDAJ的经验对相关物理模型进行修改，或增加新的物理模型
- IDAJ可以提供强有力的技术支持（一般技术支持、技术咨询和模型开发等）

iconCFD的工作流程



iconCFD 的用户

- 欧美：通用，奥迪、斯柯达、大众、克莱斯勒，福特等
- 日本：尼桑，马自达、本田、电装，大金，丰田汽车，丰田纺织等
- 国内：西南交大，上汽大众，希凯电子，中国辐射防护研究院等
- 国内进行iconCFD开发项目合作的用户：
 - 西南交大，中国辐射防护研究院，国核华清，上海核工院





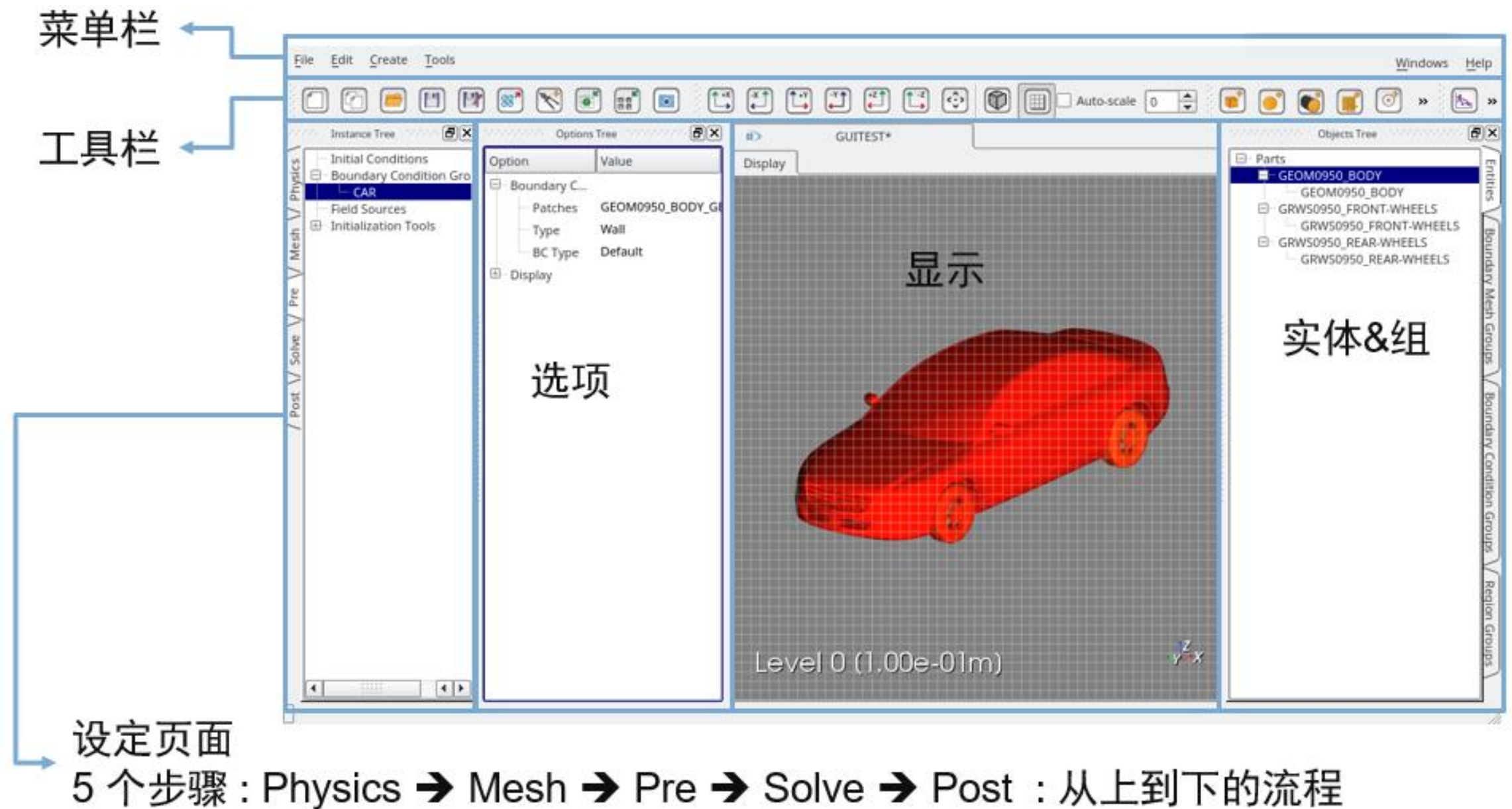
1. 开源CFD代码及iconCFD
2. **iconCFD的前处理和网格**
3. iconCFD的物理模型及功能
4. iconCFD应用的部分典型案例

iconCFD PROCESS

通用版本

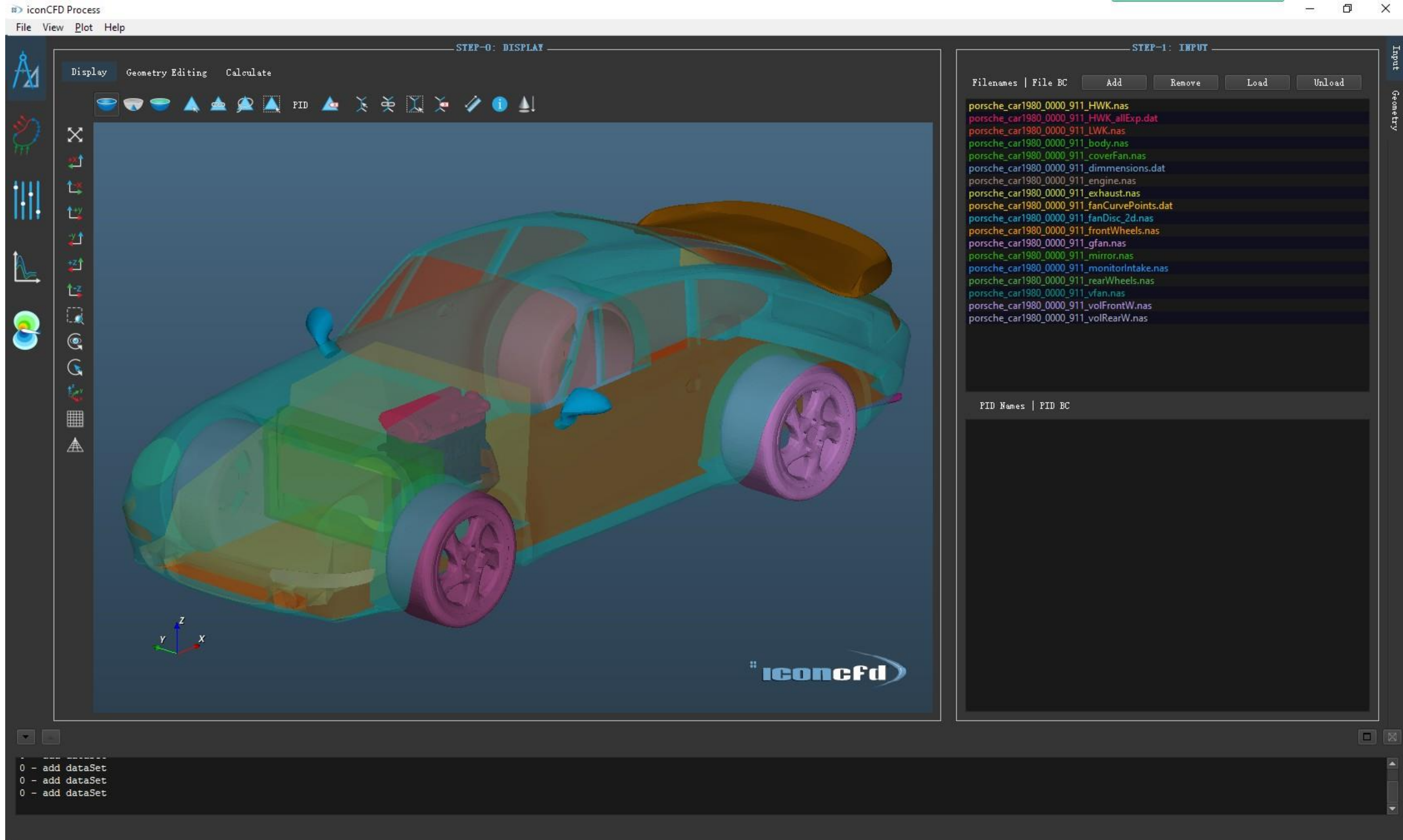
■ 通用的CFD模拟设定

- 几何导入
- 物理模型及材料选择
- 计算区域及边界划分
- 网格尺寸及网格加密设定
- 边界条件设定
- 求解器选择及设定
- 并行计算设定
- 后处理及监控设定
- 设定文件的输出



iconCFD PROCESS

专业版本

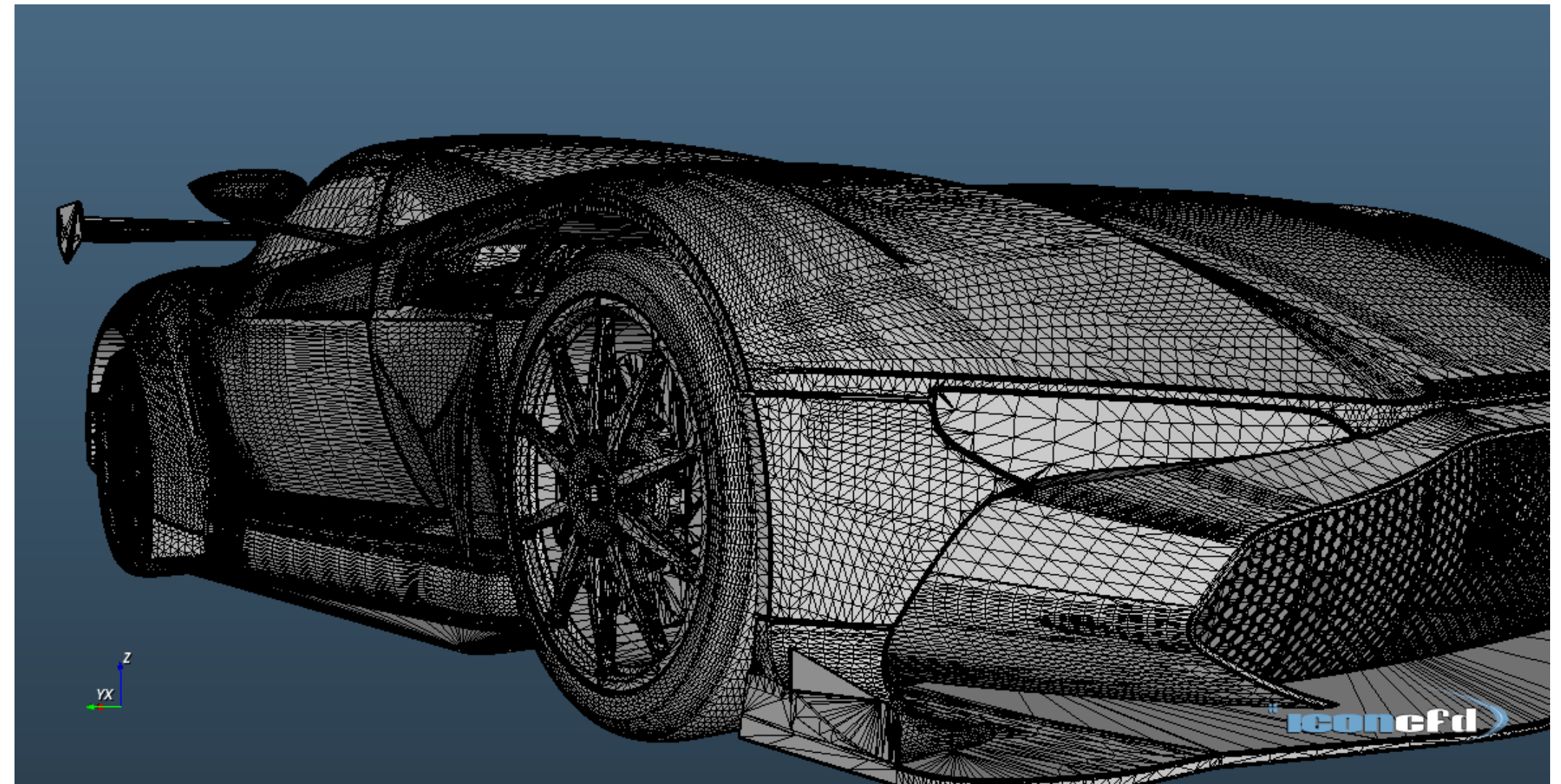


iconCFD PROCESS

专业版本

几何读取

STL
NASTRAN
OBJ
IGES
STEP
JT
VTK
(Compressed)

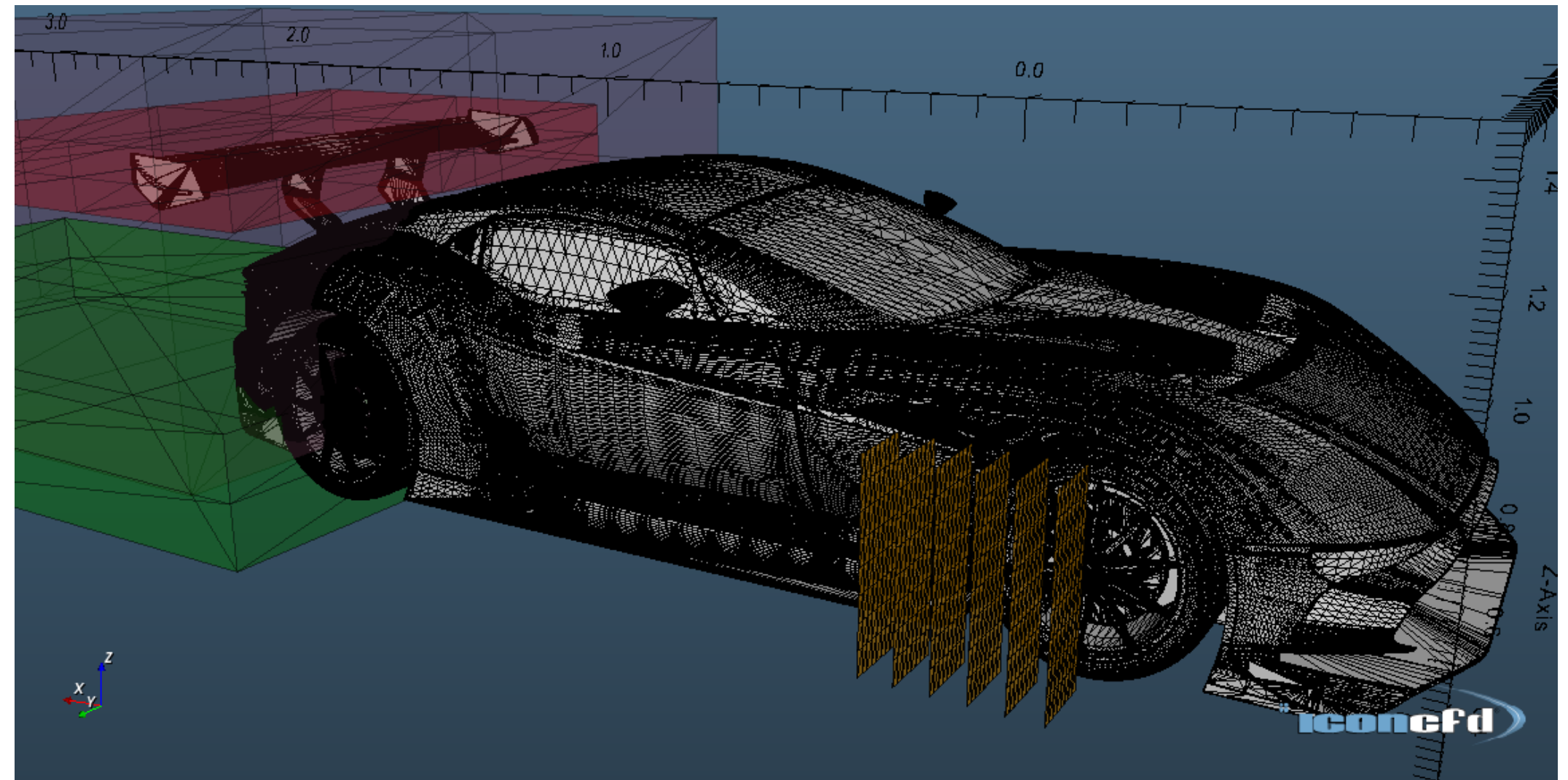


iconCFD PROCESS

专业版本

基本CAD创建工具

Sphere
Box
Cone
Cylinder
Plane
Disk



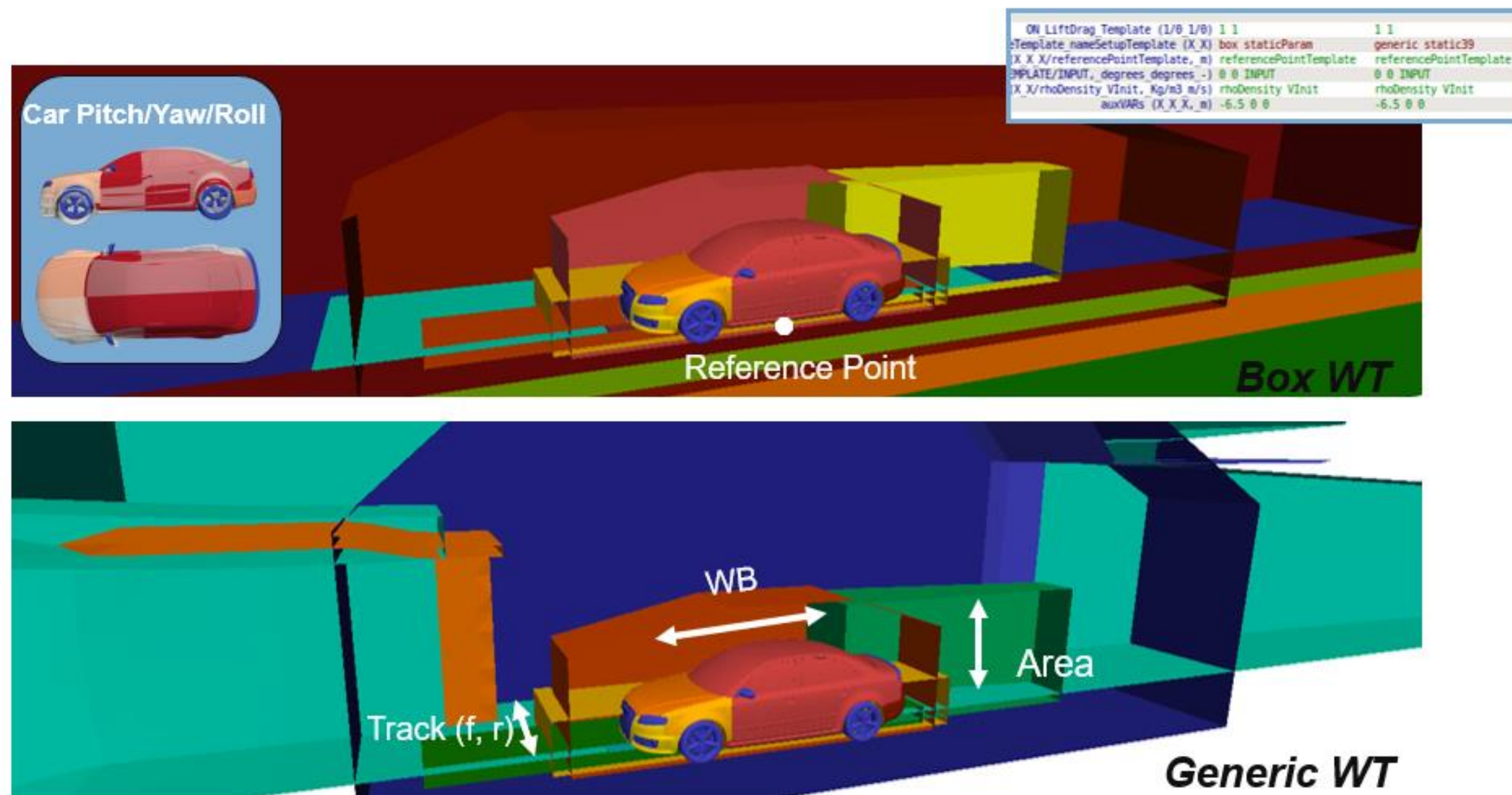
iconCFD PROCESS

专业版本

风洞模板

用户自定义模板

Geometry courtesy of Audi AG, I/EK-44



The parametric volumes of refinement automatically fit the car shape. Users can create/add their own based on the input parameters shown above.

iconCFD PROCESS

专业版本

操作案例演示

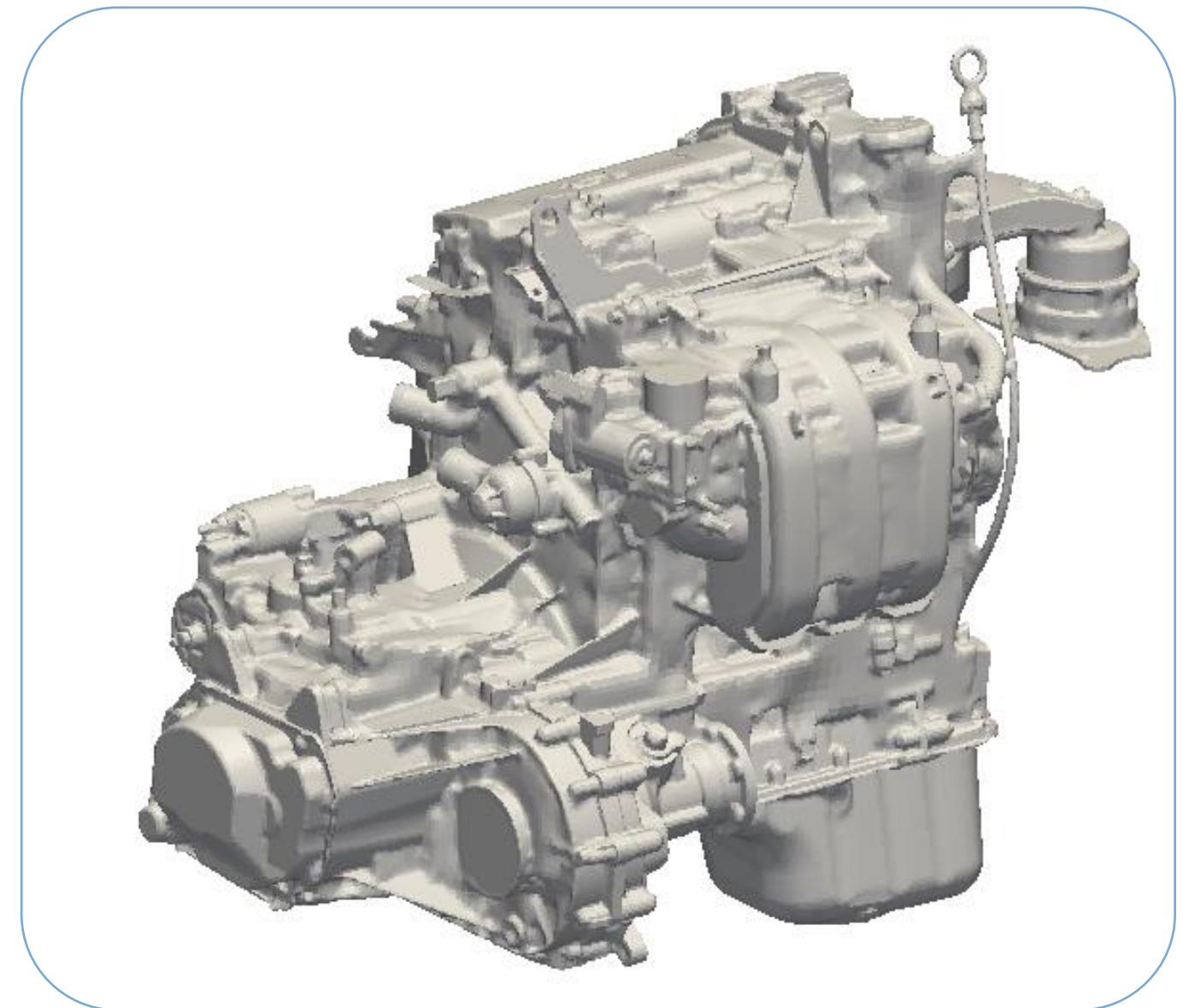


iconCFD WRAP

从 CAD 到 CFD

■ 包含网格包面的工作流程

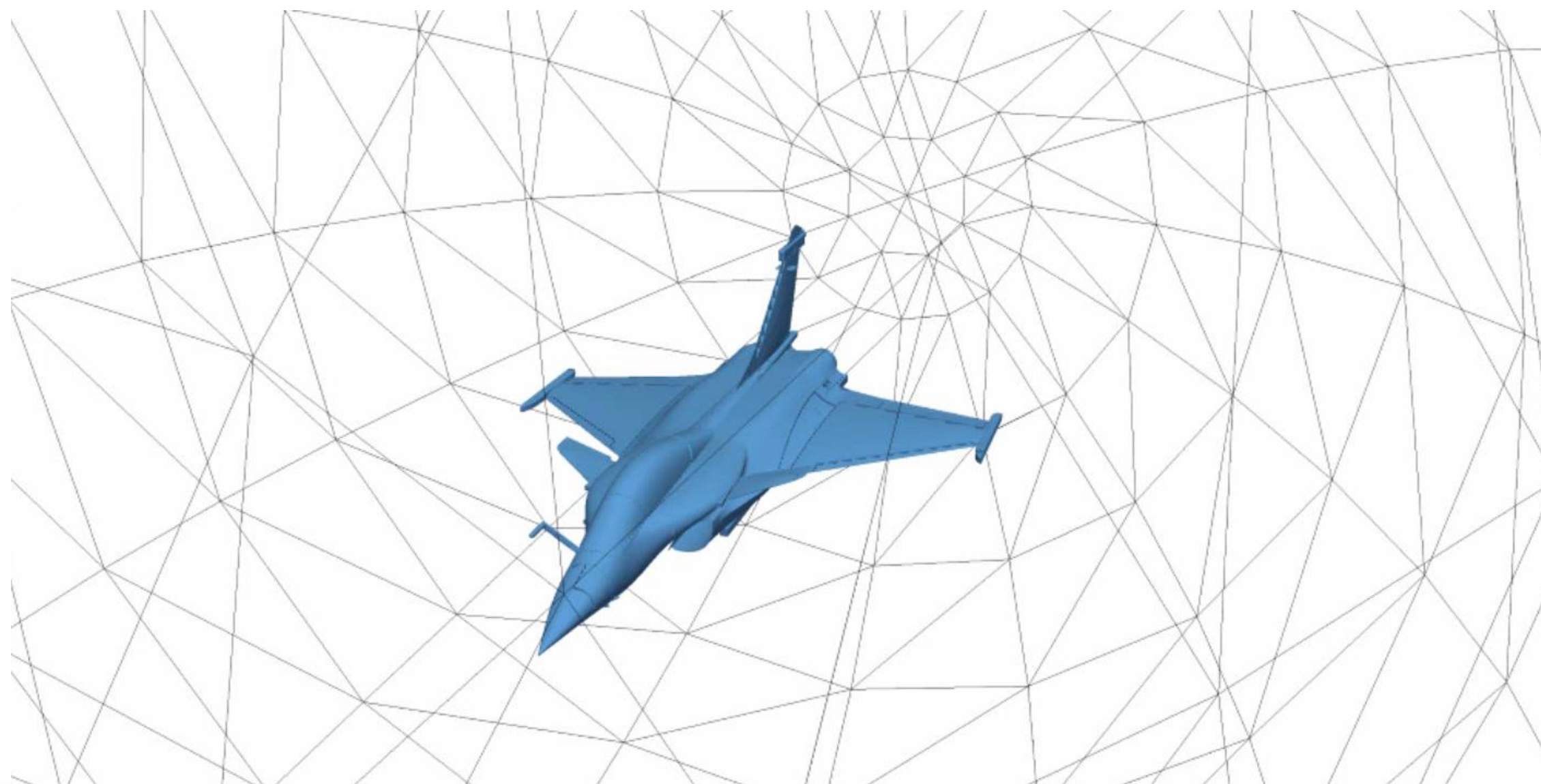
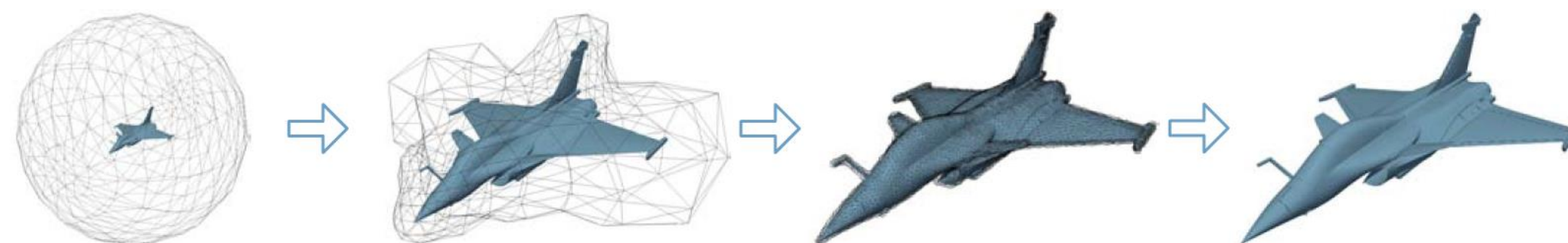
- 使用iconCFD Geom进行CAD数据的三角化及最小面网格尺寸准备
- 使用iconCFD Wrap进行基于iconHexMesh的自动表面包面
- 使用iconCFD GUI进行算例设定
- 使用iconCFD Mesh进行六面体为主的网格生成



iconCFD WRAP

案例- 外部包面

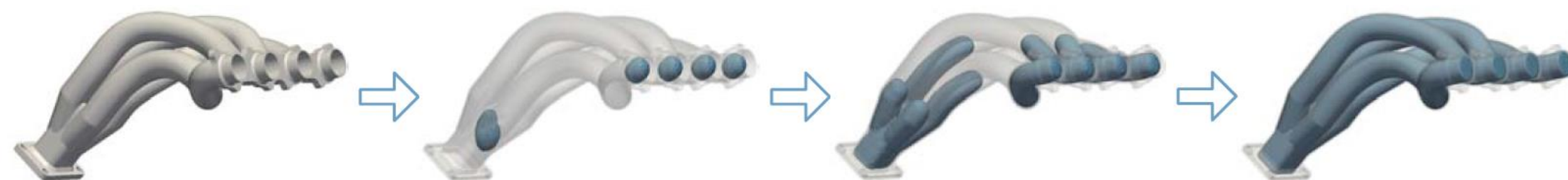
External Wrap Example



iconCFD WRAP

案例- 内部包面

Internal Wrap Example



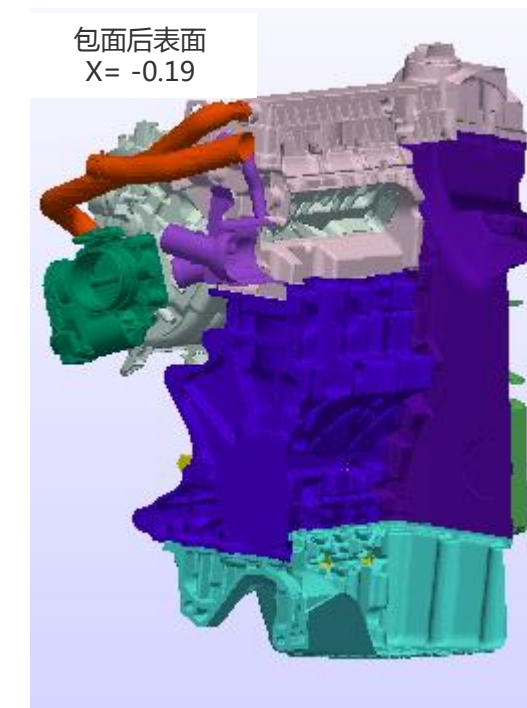
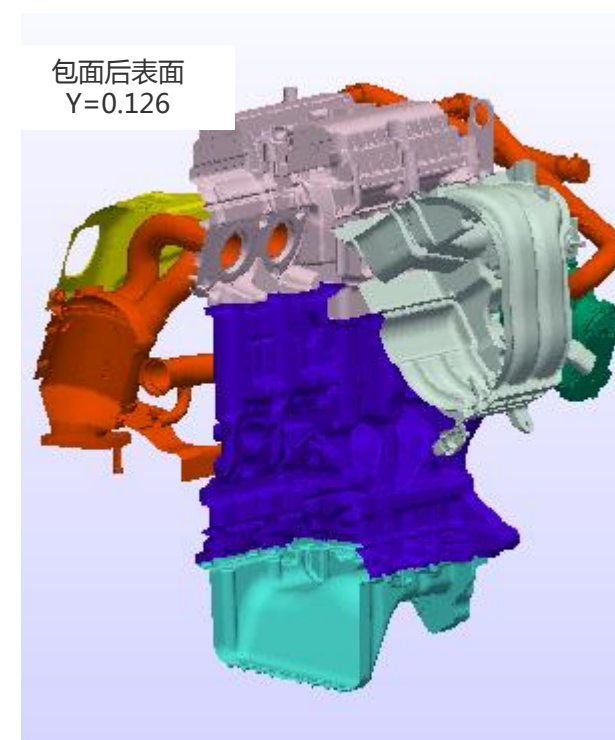
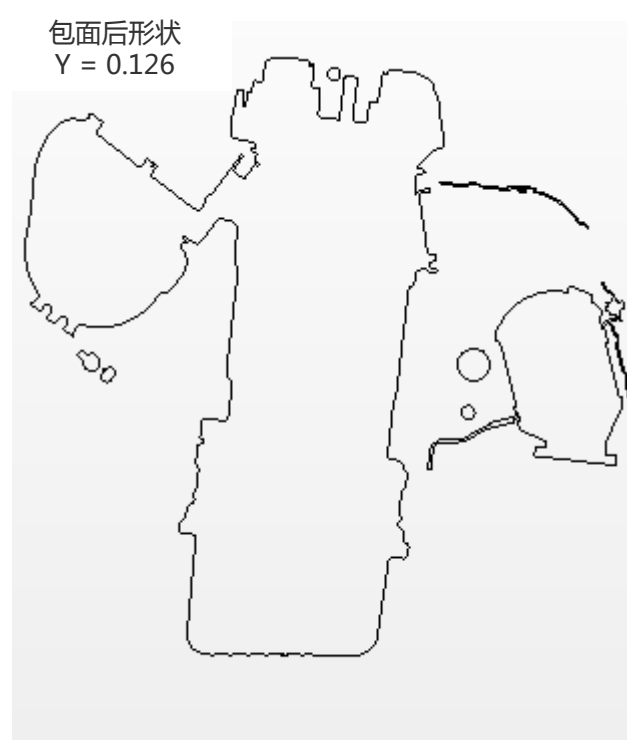
distToGeom
0.01
0.0075
0.005
0.0025
0



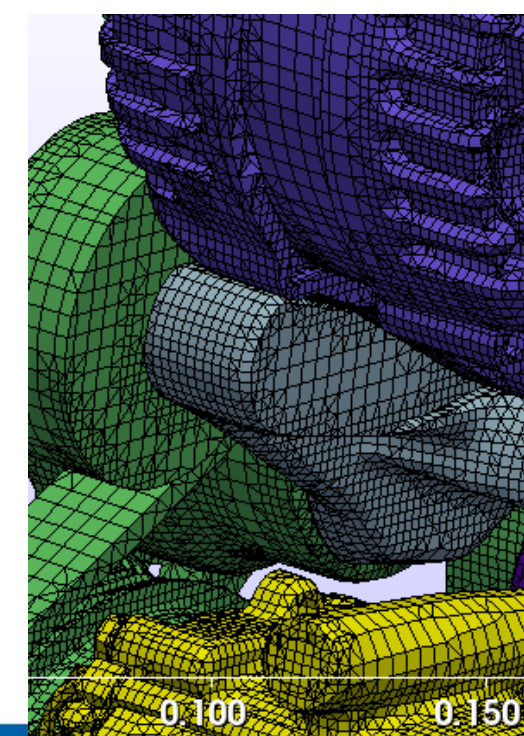
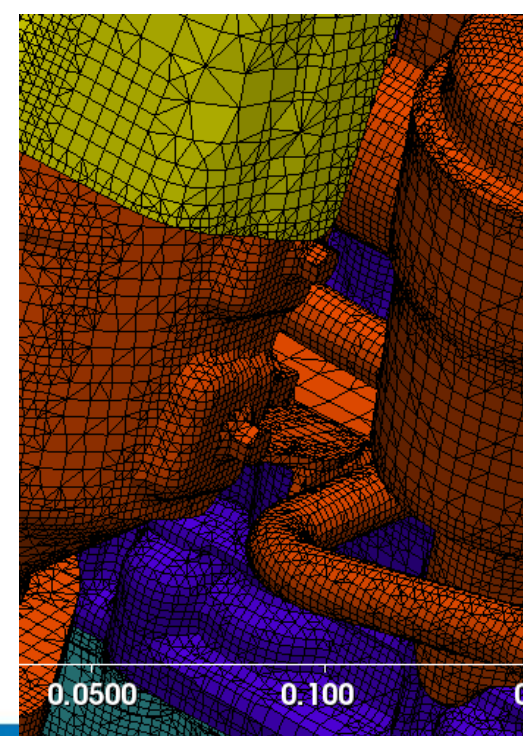
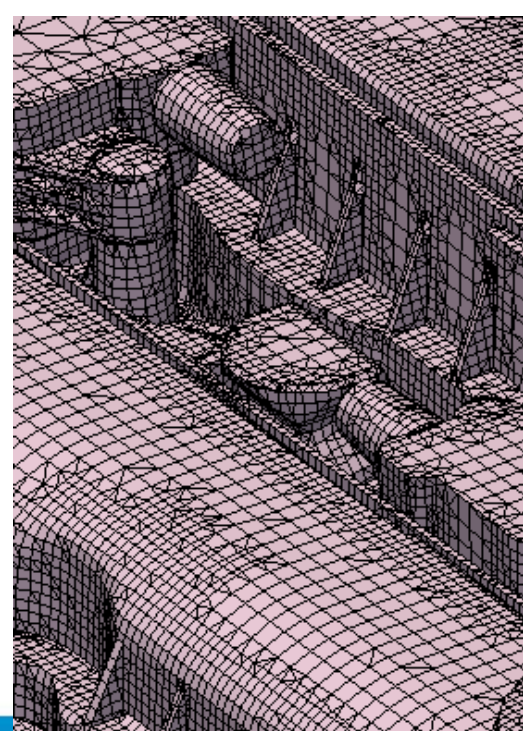
iconCFD WRAP

案例- 发动机表面

最大外表面

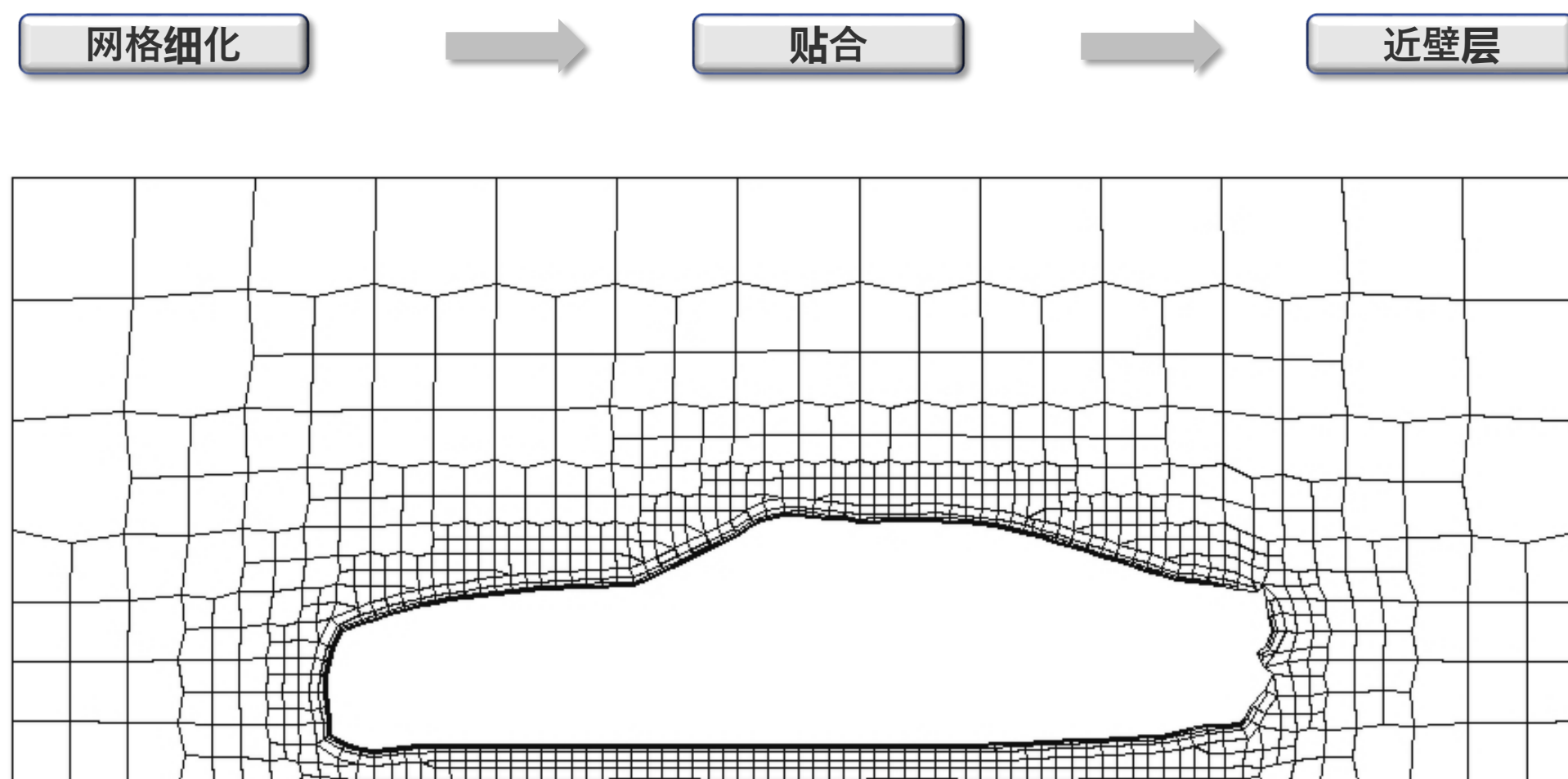


形状保持



iconCFD MESH

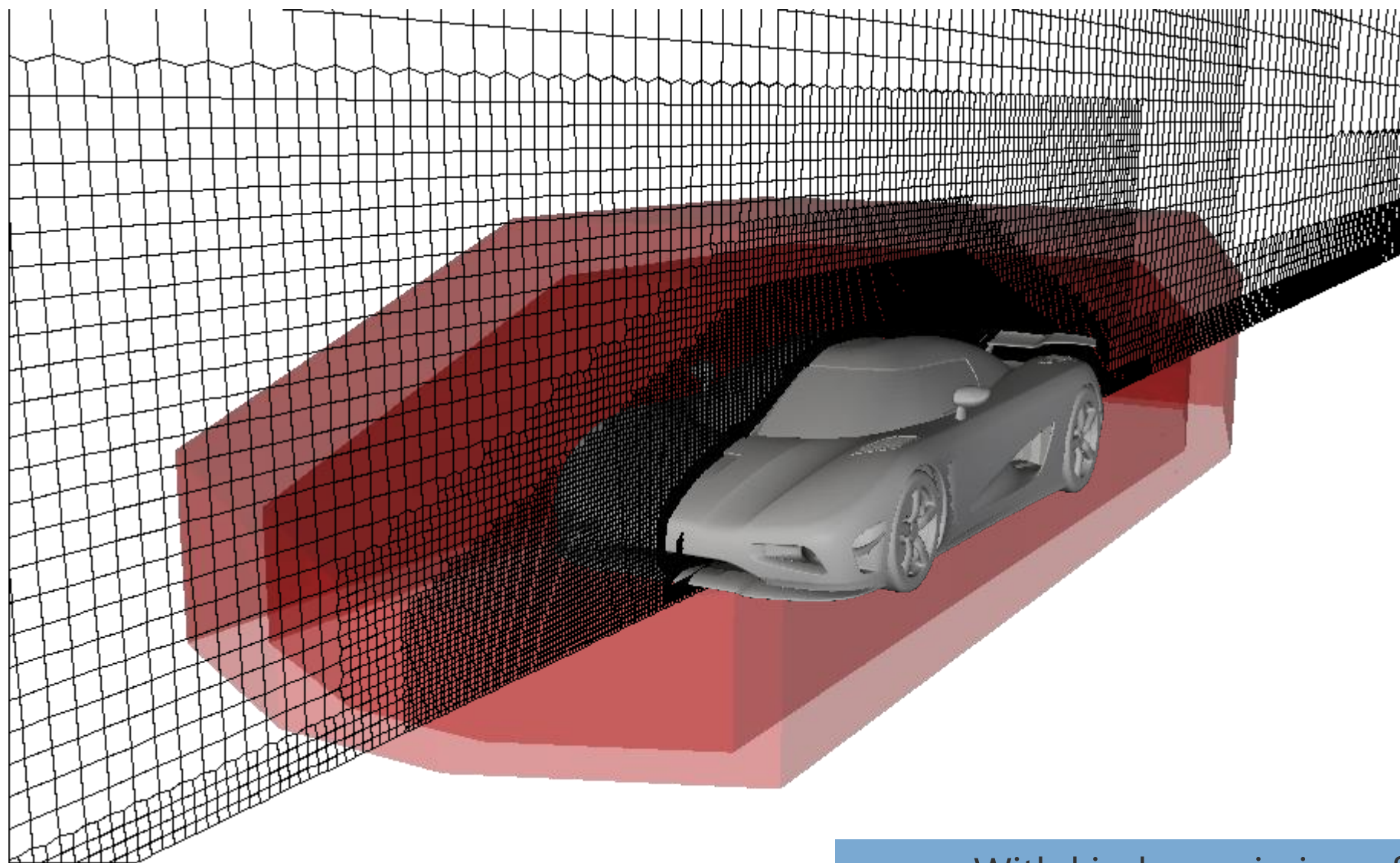
整体步骤



- 完全自动化
- 六面体为主体
- 并行处理 (MPI)
 - ✓ 自动表面分配
 - ✓ 网格自动重新分区
- 体网格加密
 - ✓ 基于距离加密
 - ✓ 基于邻近表面加密
 - ✓ 体壳加密
- 面网格加密
 - ✓ 基于曲率加密
 - ✓ 特征线加密补偿
 - ✓ 邻近特征线加密
- 特征线贴合
 - ✓ 自动探测特征线
 - ✓ 特征线过滤
 - ✓ 自动表面交叉
- 近壁层网格
 - ✓ 首层厚度控制
 - ✓ 总厚度控制
 - ✓ 层数控制
 - ✓ 增长率控制
 - ✓ 多种生成算法

iconCFD MESH

完全并行的自动化六面体为主的网格生成器 具备动态负载平衡



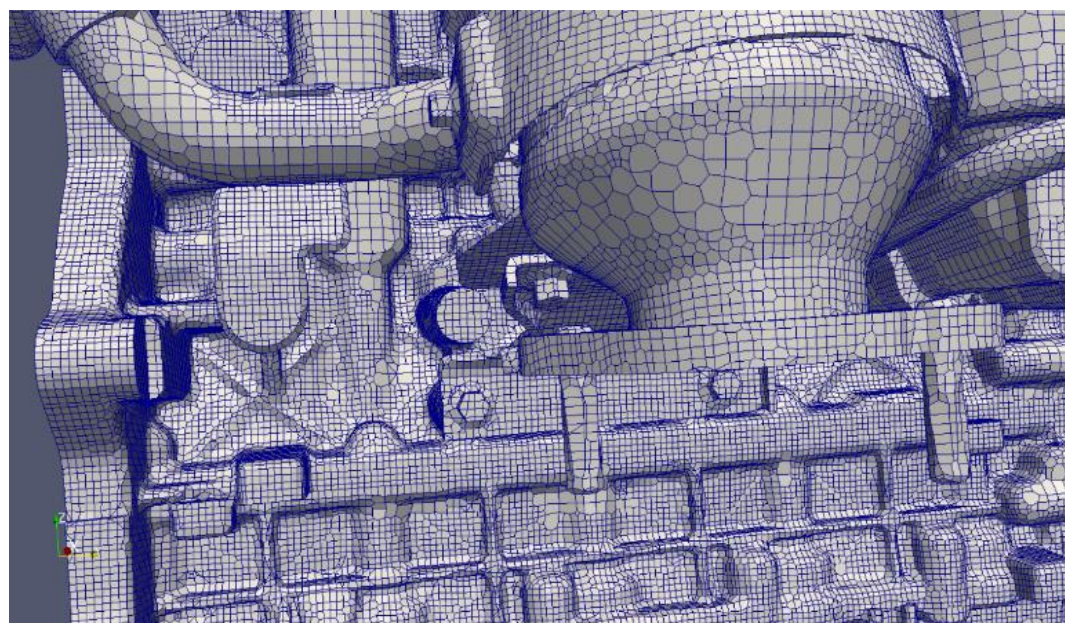
With kind permission of:
Koenigsegg Automotive AB
www.koenigsegg.com

- 完全自动化
- 六面体为主体
- 并行处理 (MPI)
 - ✓ 自动表面分配
 - ✓ 网格自动重新分区
- 体网格加密
 - ✓ 基于距离加密
 - ✓ 基于邻近表面加密
 - ✓ 体壳加密
- 面网格加密
 - ✓ 基于曲率加密
 - ✓ 特征线加密补偿
 - ✓ 邻近特征线加密
- 特征线贴合
 - ✓ 自动探测特征线
 - ✓ 特征线过滤
 - ✓ 自动表面交叉
- 近壁层网格
 - ✓ 首层厚度控制
 - ✓ 总厚度控制
 - ✓ 层数控制
 - ✓ 增长率控制
 - ✓ 多种生成算法

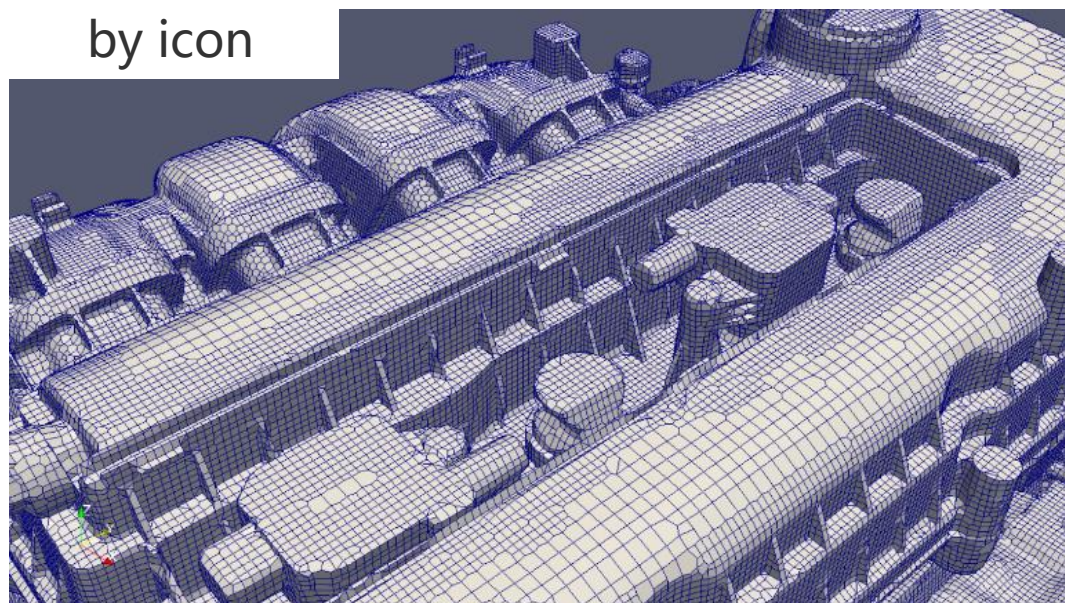
iconCFD MESH

发动机

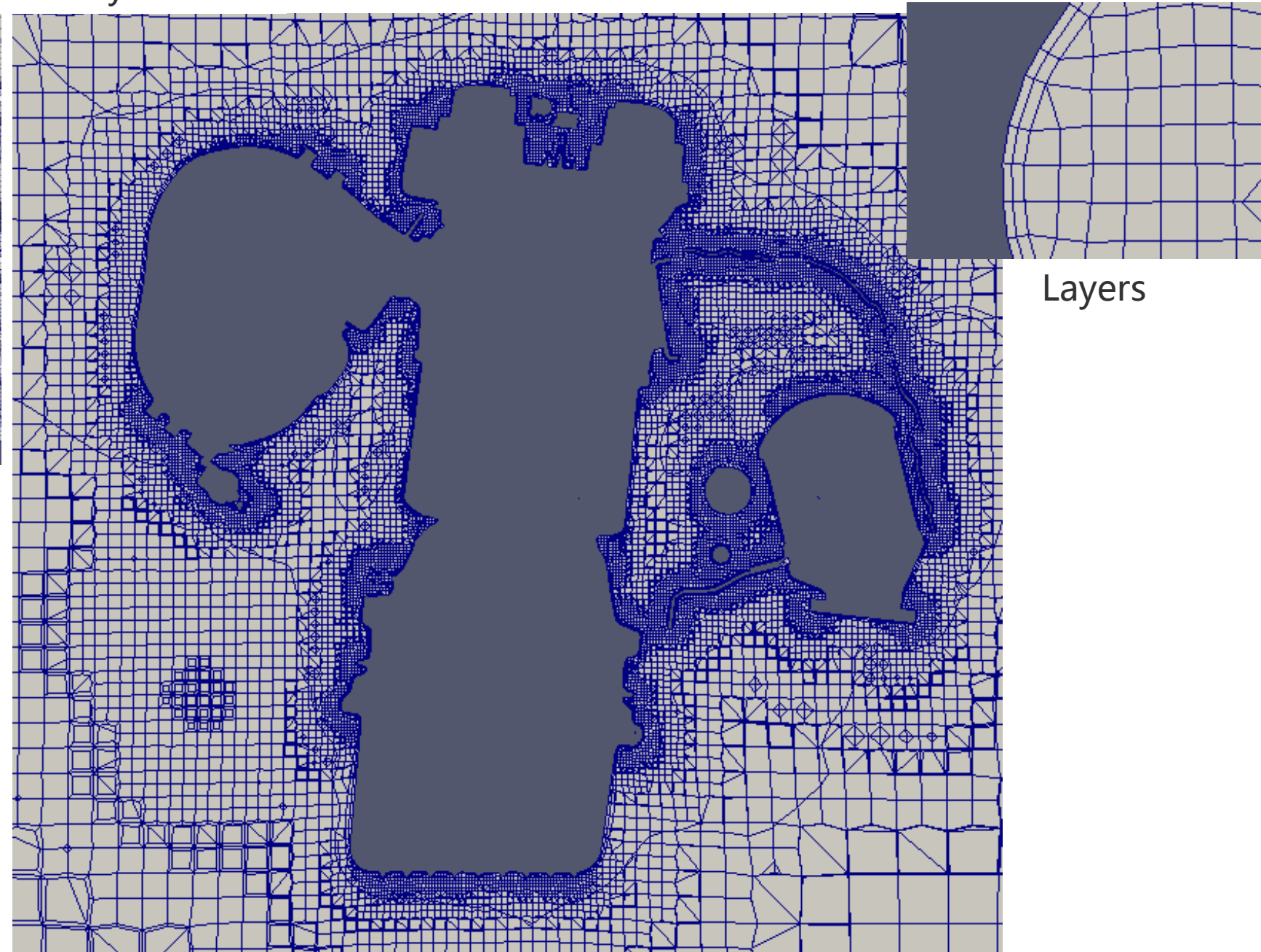
Remeshed
by icon



Remeshed
by icon



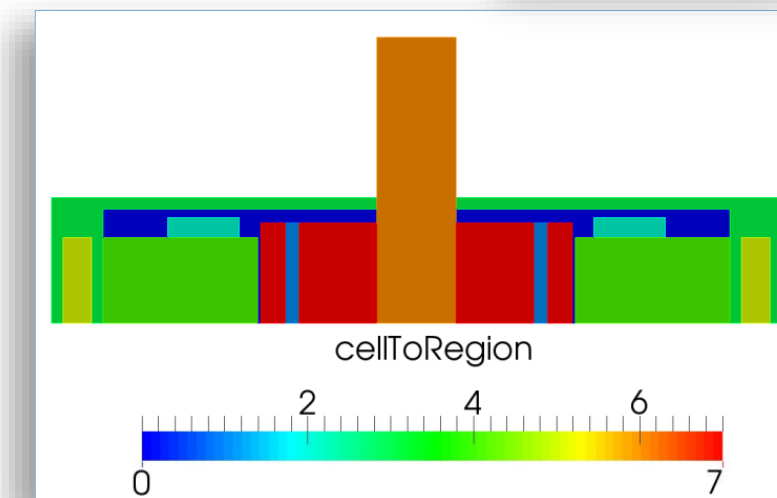
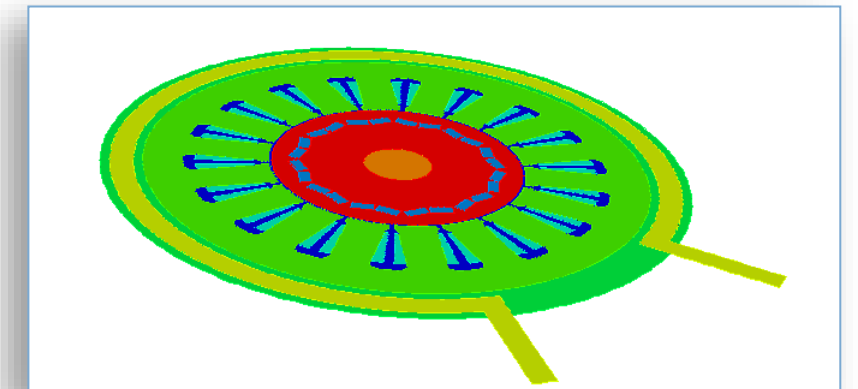
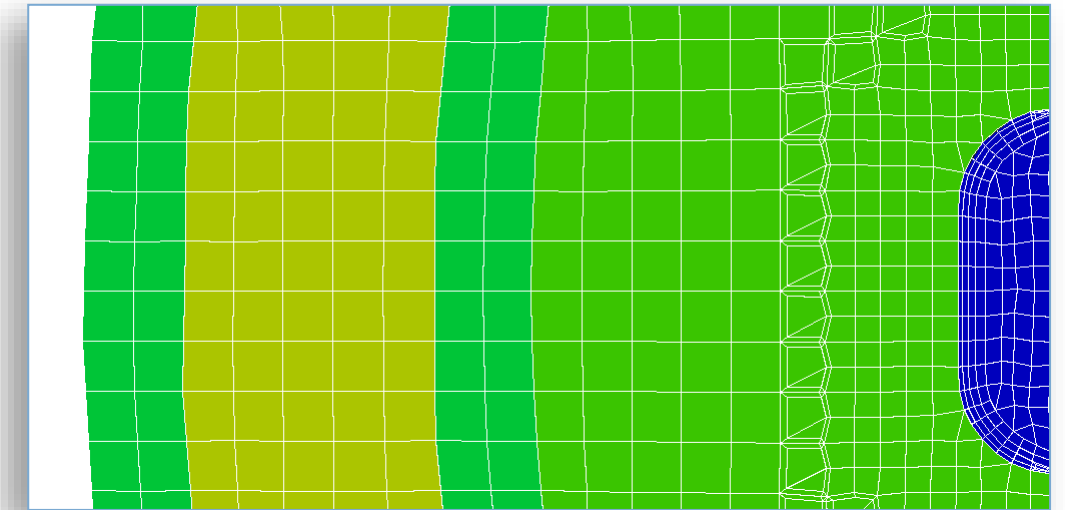
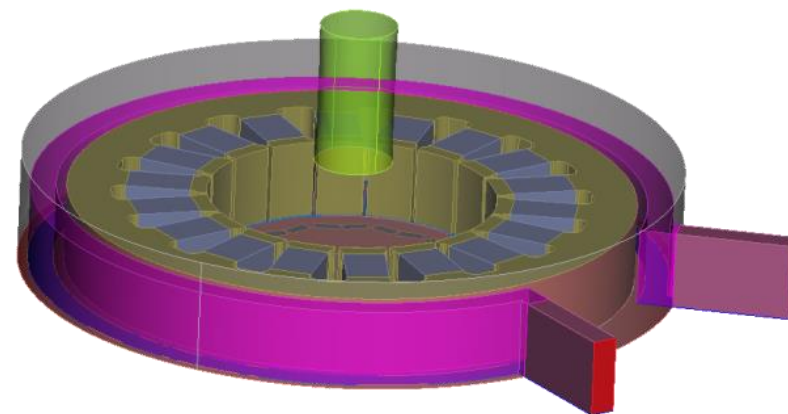
Volume mesh
by icon



iconCFD MESH

流固耦合-电机网格

- 多流体域/固体域网格生成
- 在各区域界面自动进行正形投影网格 (节点一致)的生成
- 在界面两侧分别进行不同的边界层网格设置
- 8 个域 (固体，空气，水)
- 水的回路 (1 进口/1 出口)
- 多域界面:
 - ✓ 7 个流体/固体界面
 - ✓ 5 个固体/固体界面

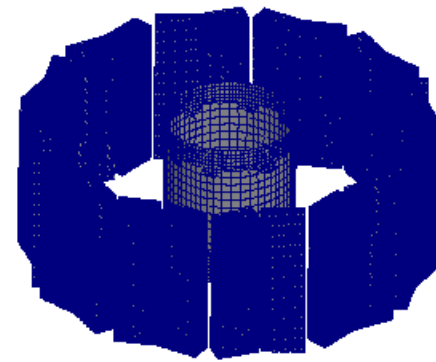


iconCFD MESH

流固耦合-电机网格

不必在CAD工具中分别定义界面
它们会自动生成！

界面可以通过单独的CAD表面来定义，也
可以存在重合的多个面， – 都没关系！



界面网格的自动生成

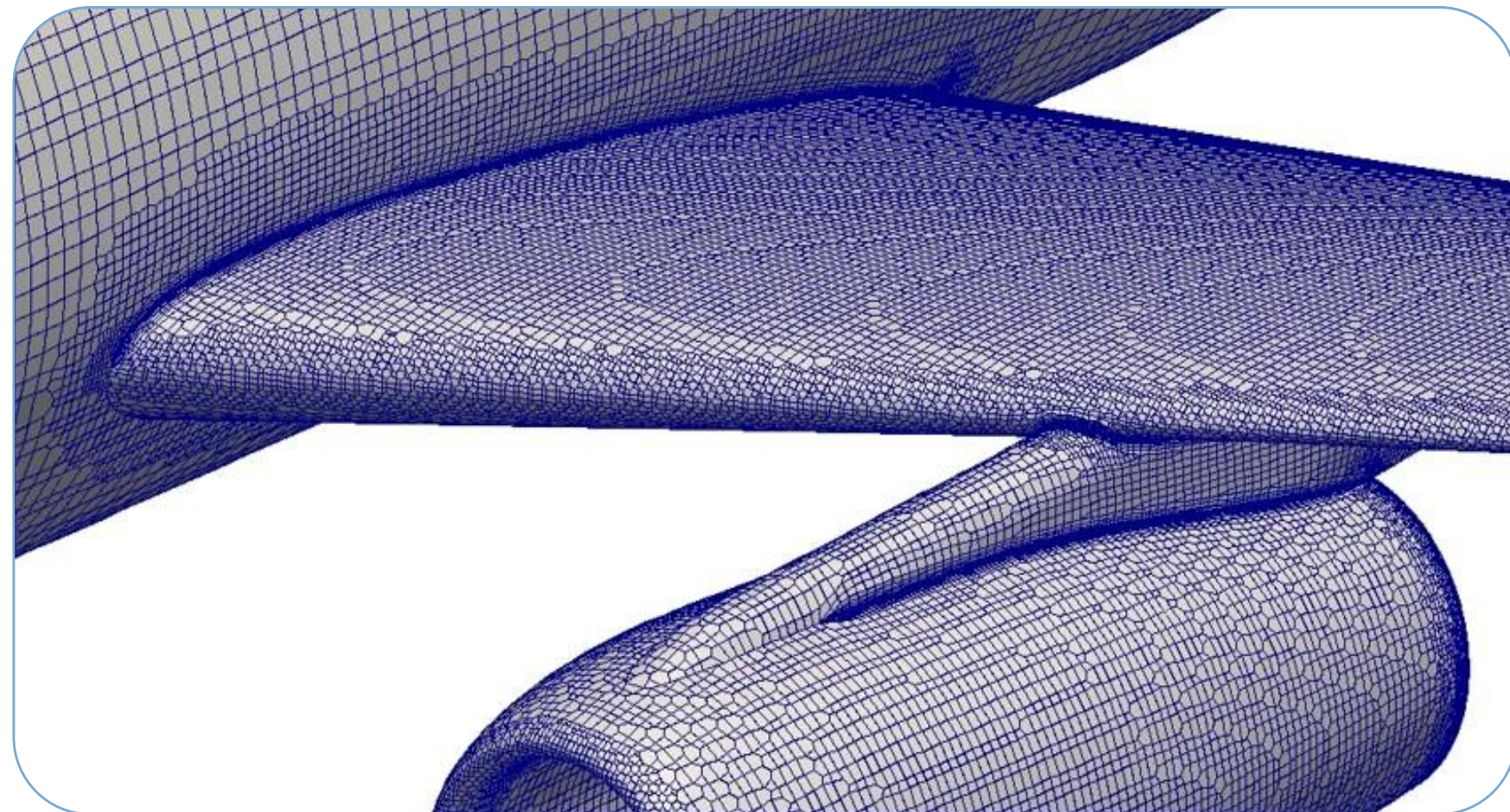


iconCFD MESH

H-MESH

• 在凹角内的H拓扑网格层

- ✓ 提高边界层网格的质量和模拟精度
- ✓ 自动生成结构化的边界层网格
- ✓ 网格拓扑自动从O转换成H
- ✓ 基于相邻面法向的夹角
- ✓ 完全并行化处理
- ✓ 用户输入最小化

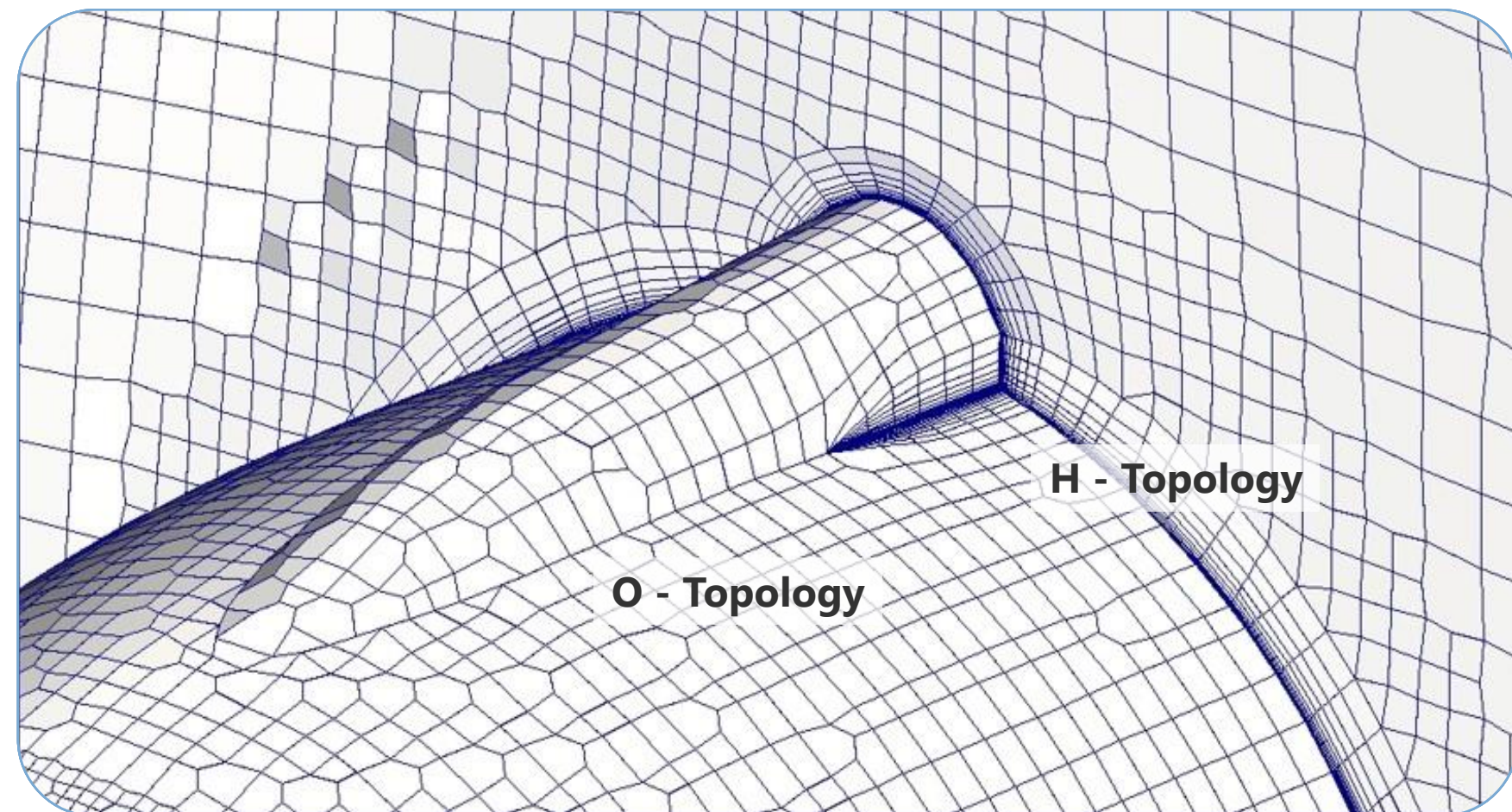


iconCFD MESH

H-MESH

• 在凹角内的H拓扑网格层

- ✓ 提高边界层网格的质量和模拟精度
- ✓ 自动生成结构化的边界层网格
- ✓ 网格拓扑自动从O转换成H
- ✓ 基于相邻面法向的夹角
- ✓ 完全并行化处理
- ✓ 用户输入最小化





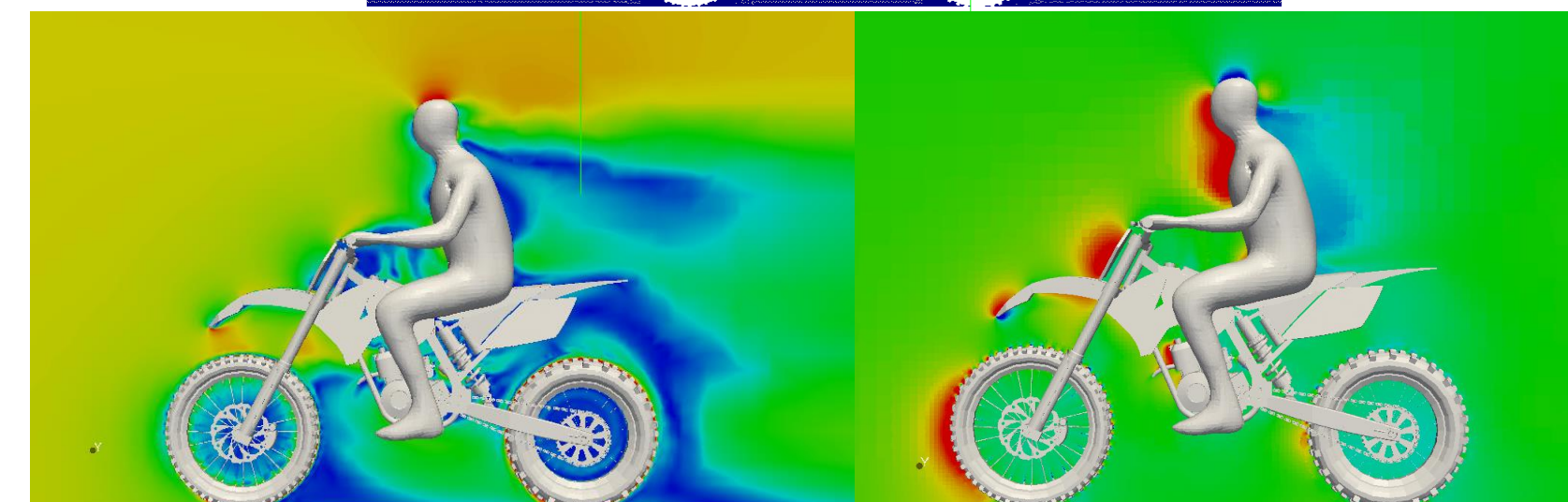
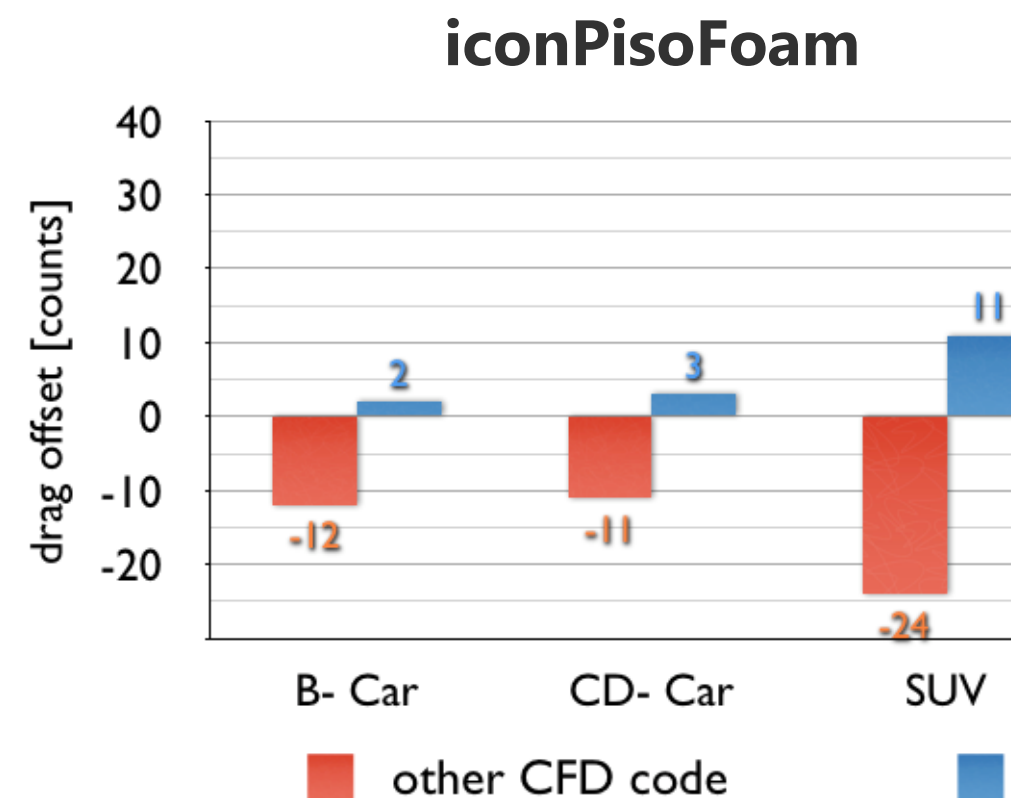
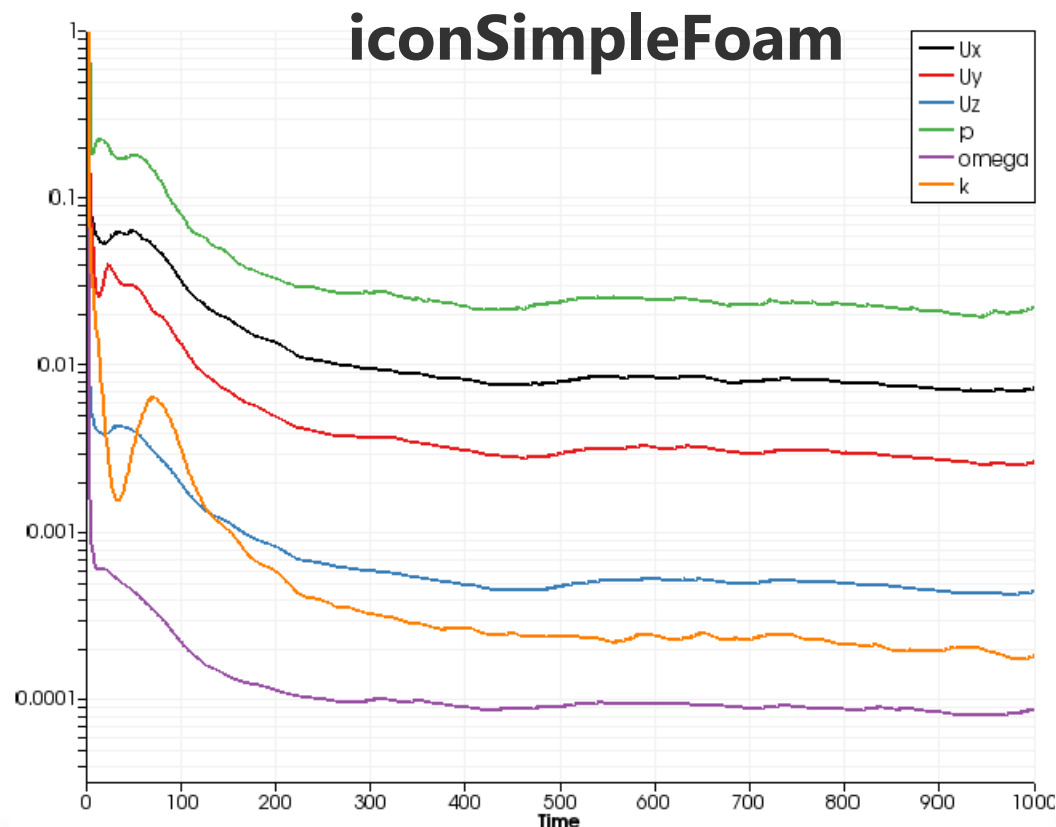
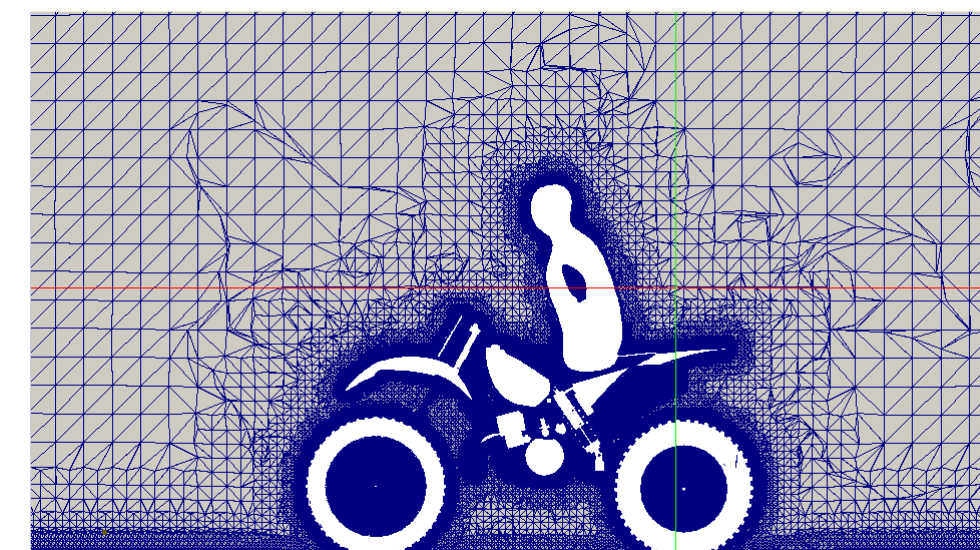
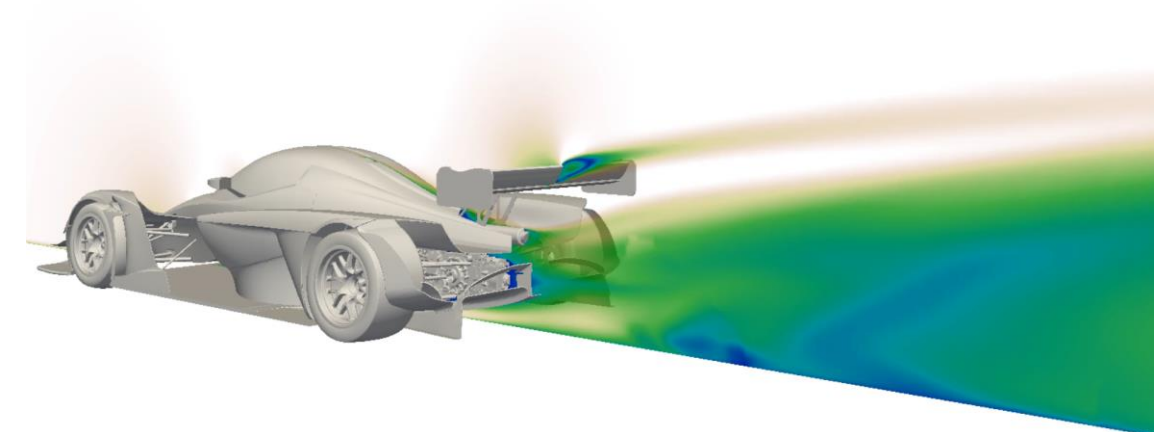
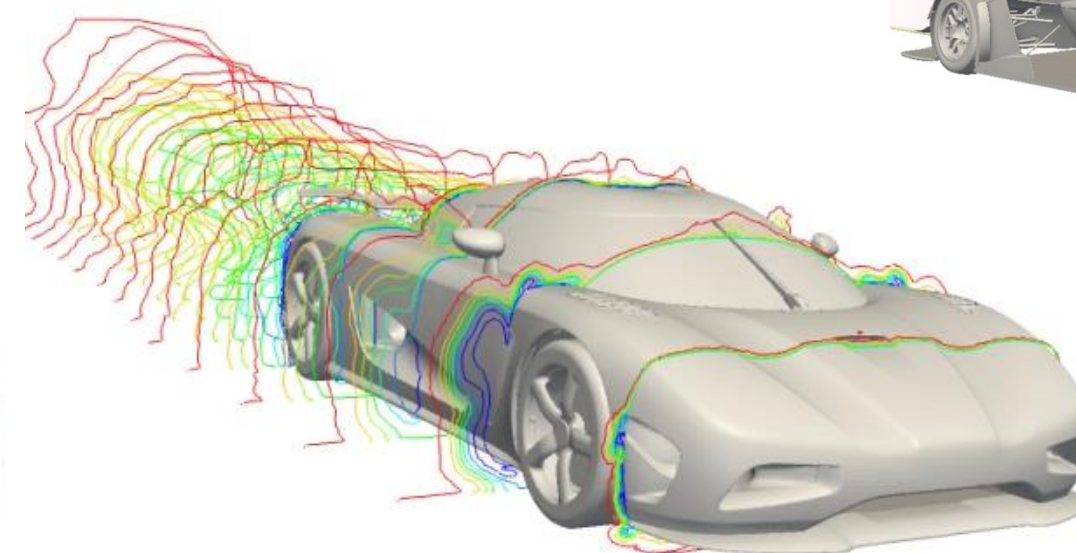
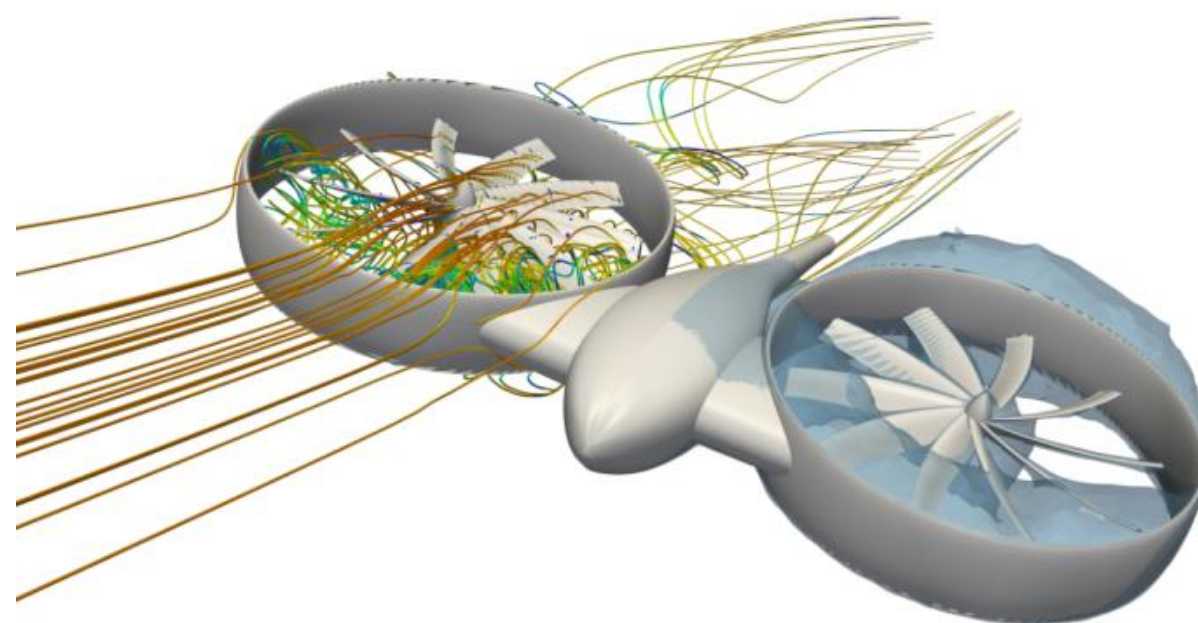
1. 开源CFD代码及iconCFD
2. iconCFD的前处理和网格
3. **iconCFD的物理模型及功能**
4. iconCFD应用的部分典型案例

iconCFD的物理模型及功能 模块及模型

- iconCFD Cold: 不包含热模型的常规流动
- iconCFD Thermal: 包含热模型的常规流动
- iconCFD FSI: 流固耦合模型
- iconCFD VOF: VOF两相流模型
- iconCFD L2P: 拉格朗日两相流模型
- iconCFD EMP: 欧拉两相流模型
- iconCFD Move: 动网格
- iconCFD Optimize: 优化模型
- iconCFD Acoustic: 声学模拟
- iconCFD React: 化学反应模拟
- iconCFD Turbo: 透平机械模拟
- iconCFD Transonic: 跨声速模拟

iconCFD Cold

鲁棒性和收敛性好

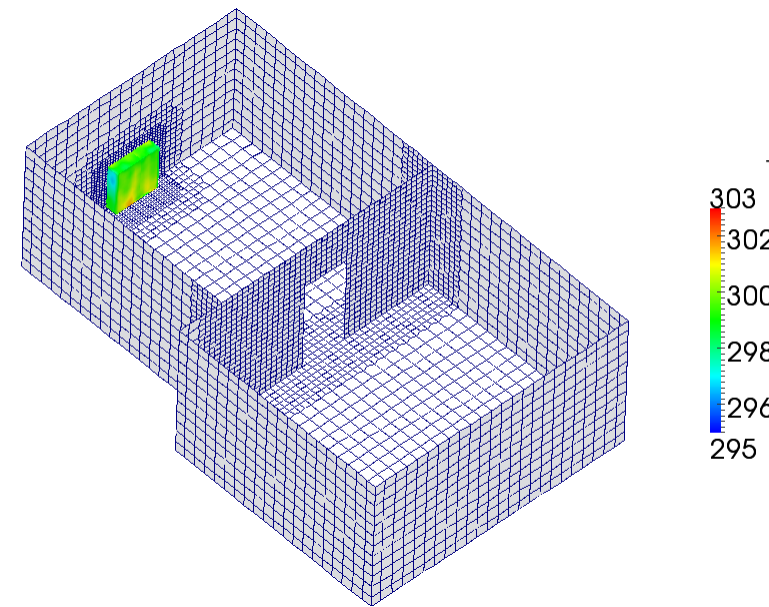


iconCFD结果(速度)

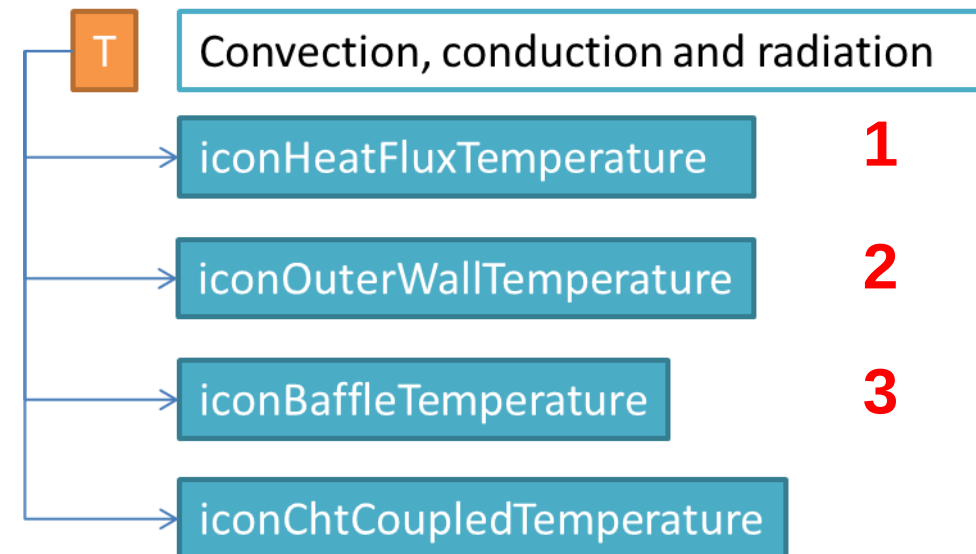
iconCFD结果(压力)

iconCFD Thermal

热辐射



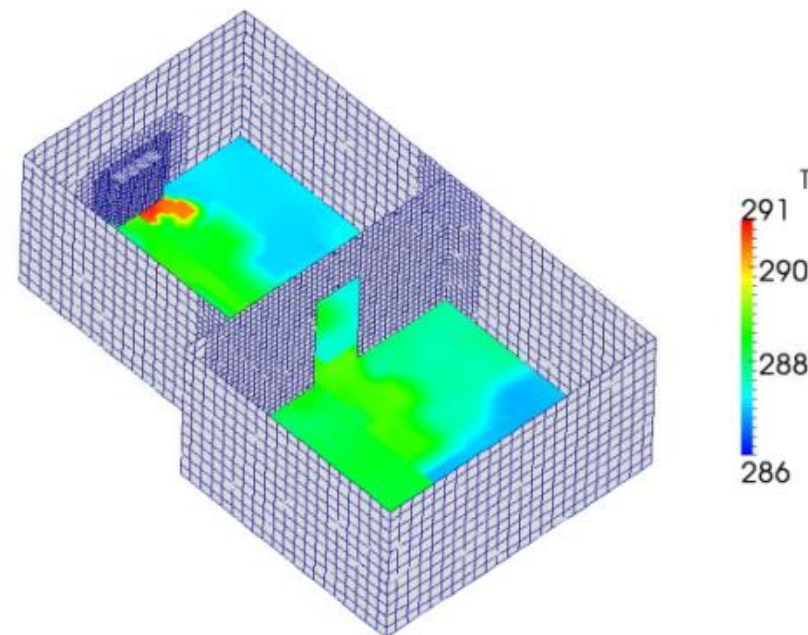
1



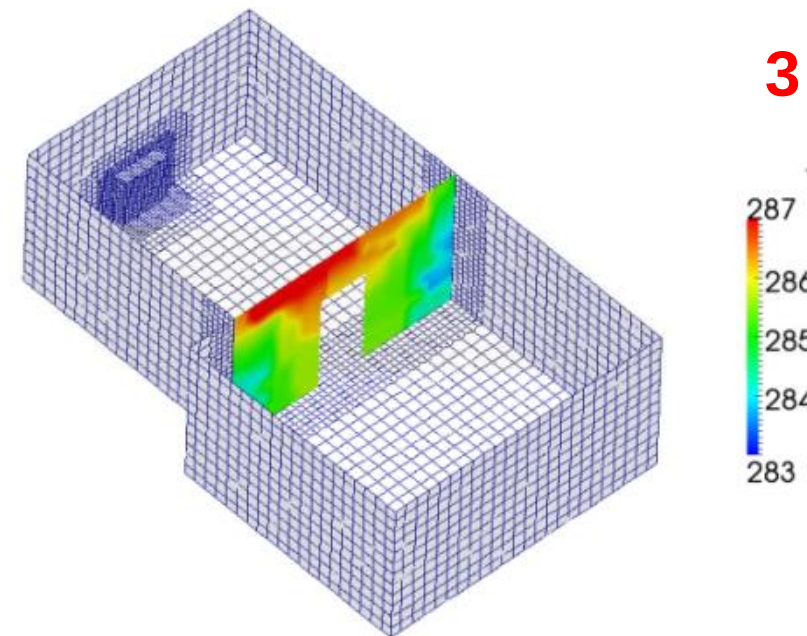
1

2

3



2



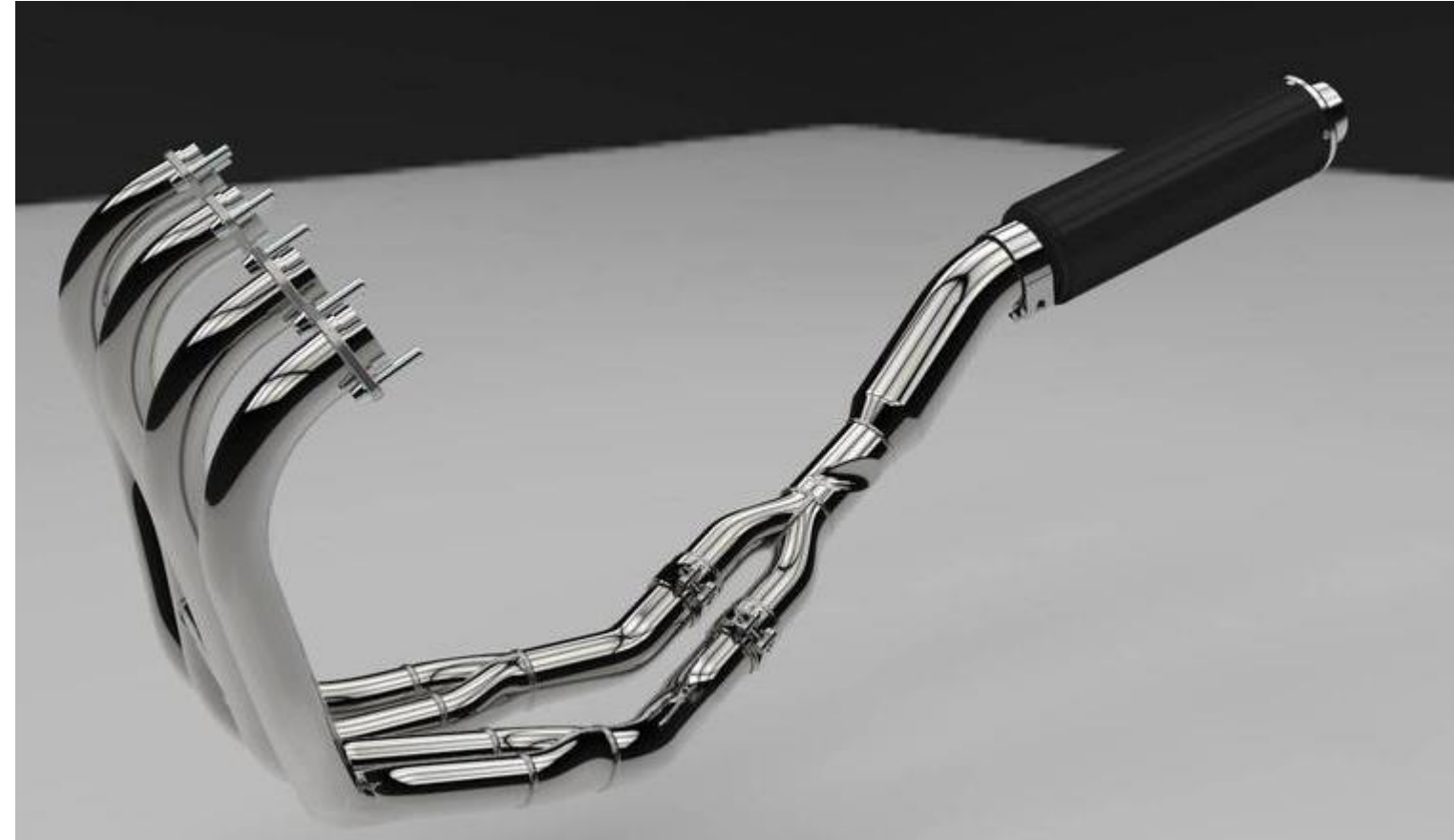
3

- 不可压缩 / 可压缩
- 浮升力
- 湿度
- 耦合传热
- 辐射
 - ✓ S2S
 - ✓ 快速视角因子计算
- 换热器模型
 - ✓ 单流体
 - ✓ 双流体
 - ✓ 多孔介质
- 热边界条件
 - ✓ 热壁面函数
 - ✓ 薄壁热传导
 - ✓ 辐射已知边界
- 热模型函数对象
 - ✓ 热平衡
 - ✓ 太阳辐射
 - ✓ 舒适度模型

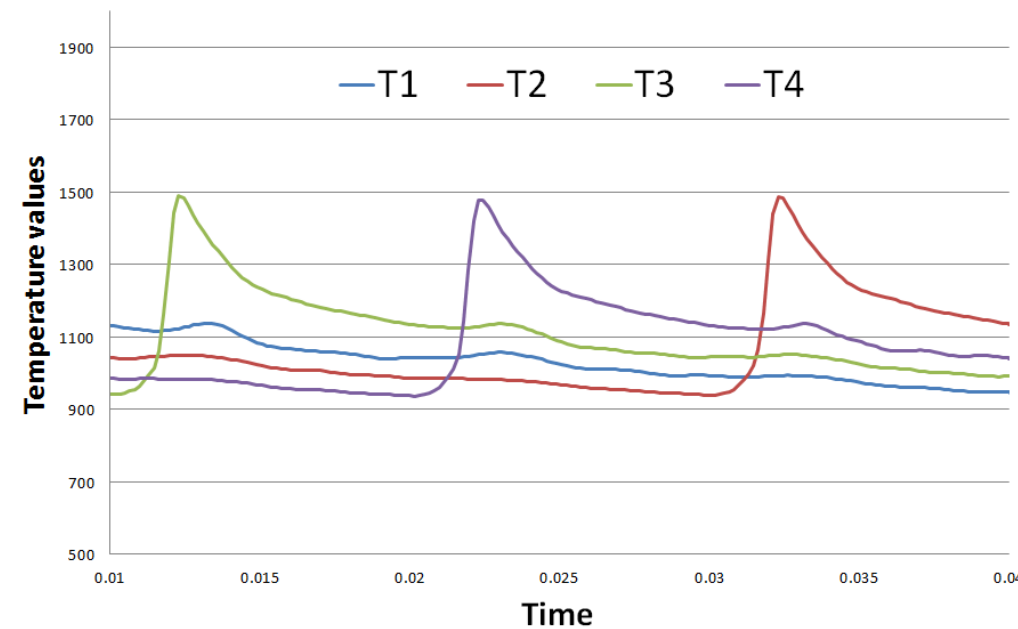
iconCFD Thermal 排气歧管

• 难点：

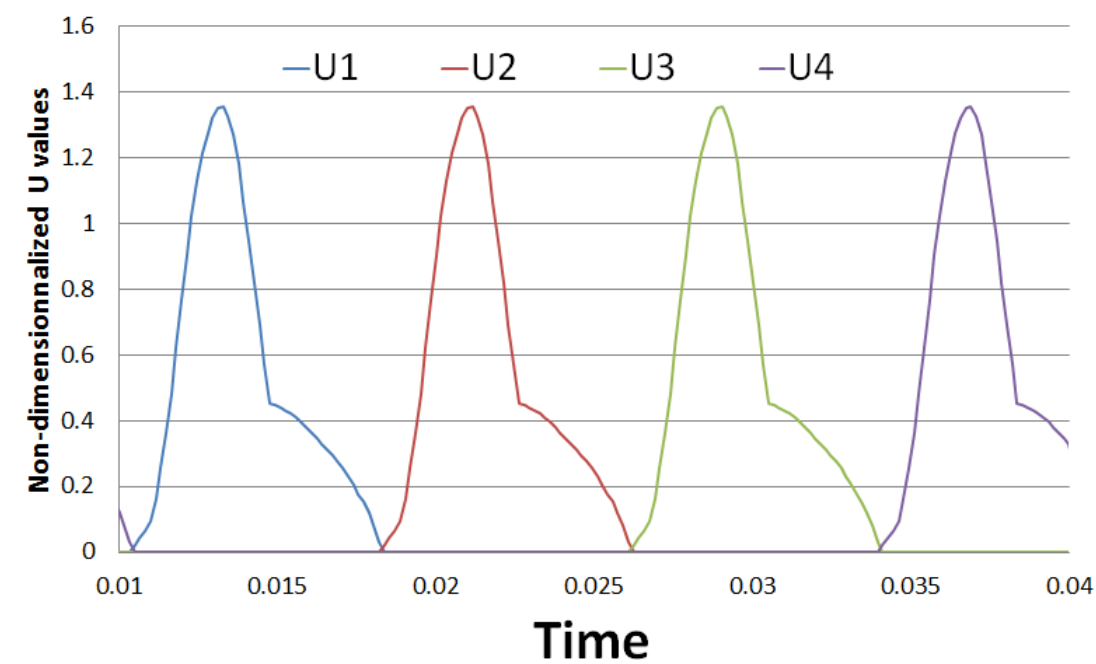
- ✓ 高速
- ✓ 高可压缩性
- ✓ 压力波
- ✓ 随时间变化的进口温度和速度



Temperature Profiles



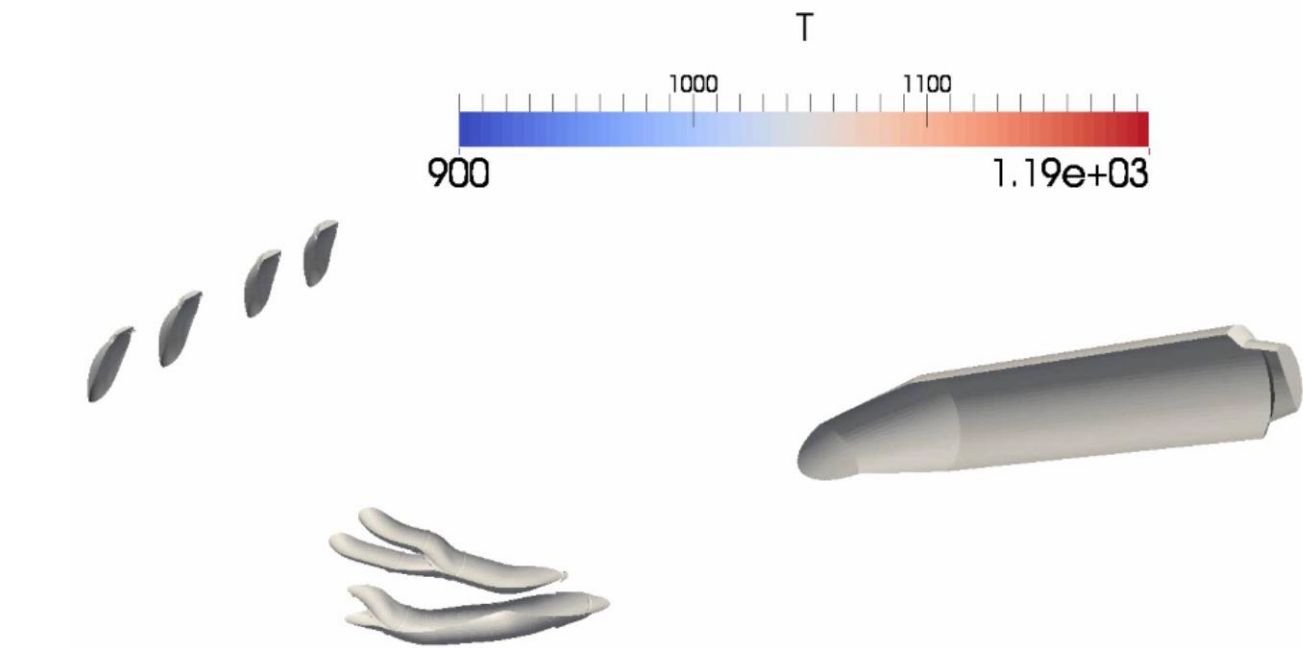
Velocity Inlet Profiles



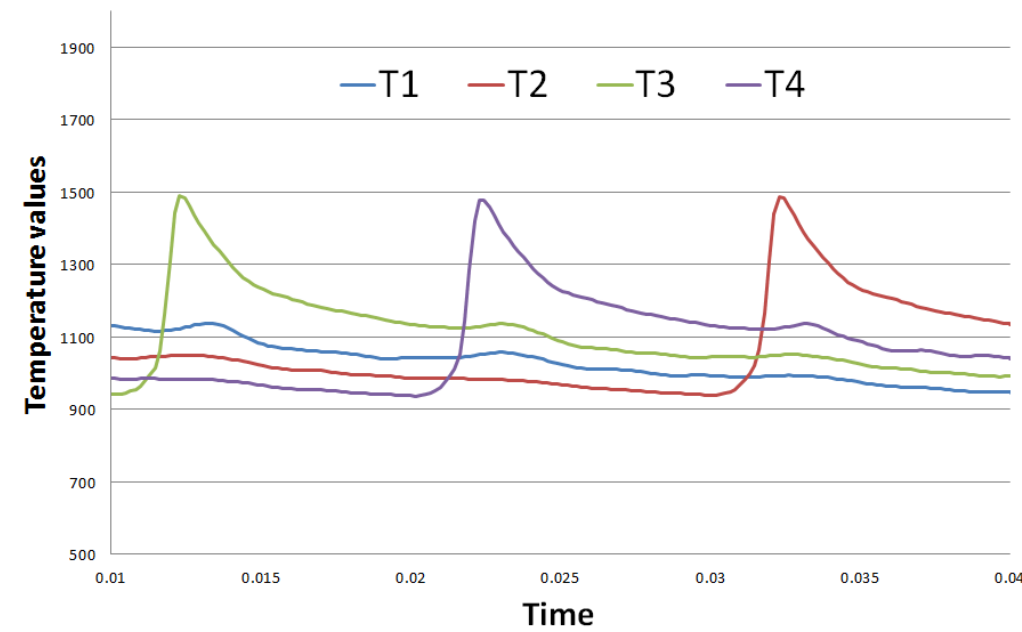
- 不可压缩 / 可压缩
- 浮升力
- 湿度
- 耦合传热
- 辐射
 - ✓ S2S
 - ✓ 快速视角因子计算
- 换热器模型
 - ✓ 单流体
 - ✓ 双流体
 - ✓ 多孔介质
- 热边界条件
 - ✓ 热壁面函数
 - ✓ 薄壁热传导
 - ✓ 辐射已知边界
- 热模型函数对象
 - ✓ 热平衡
 - ✓ 太阳辐射
 - ✓ 舒适度模型

iconCFD Thermal

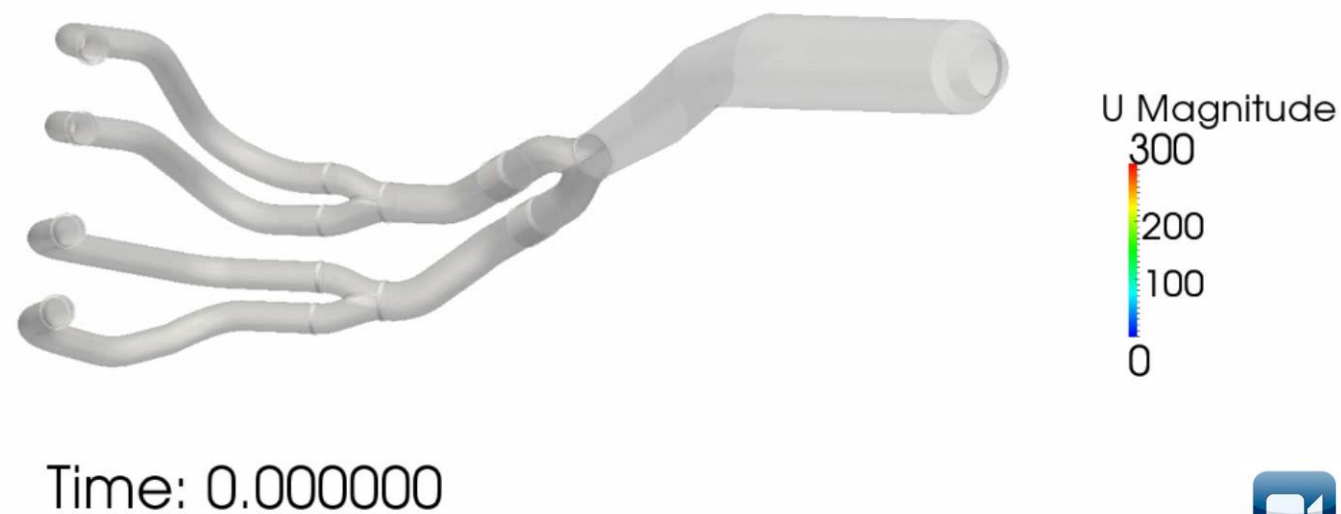
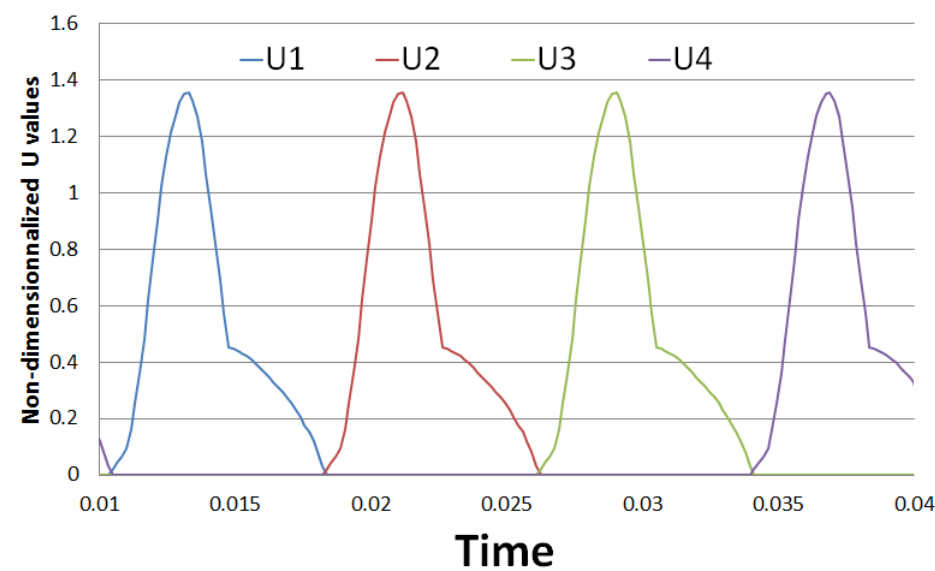
排气歧管-流线及温度



Temperature Profiles

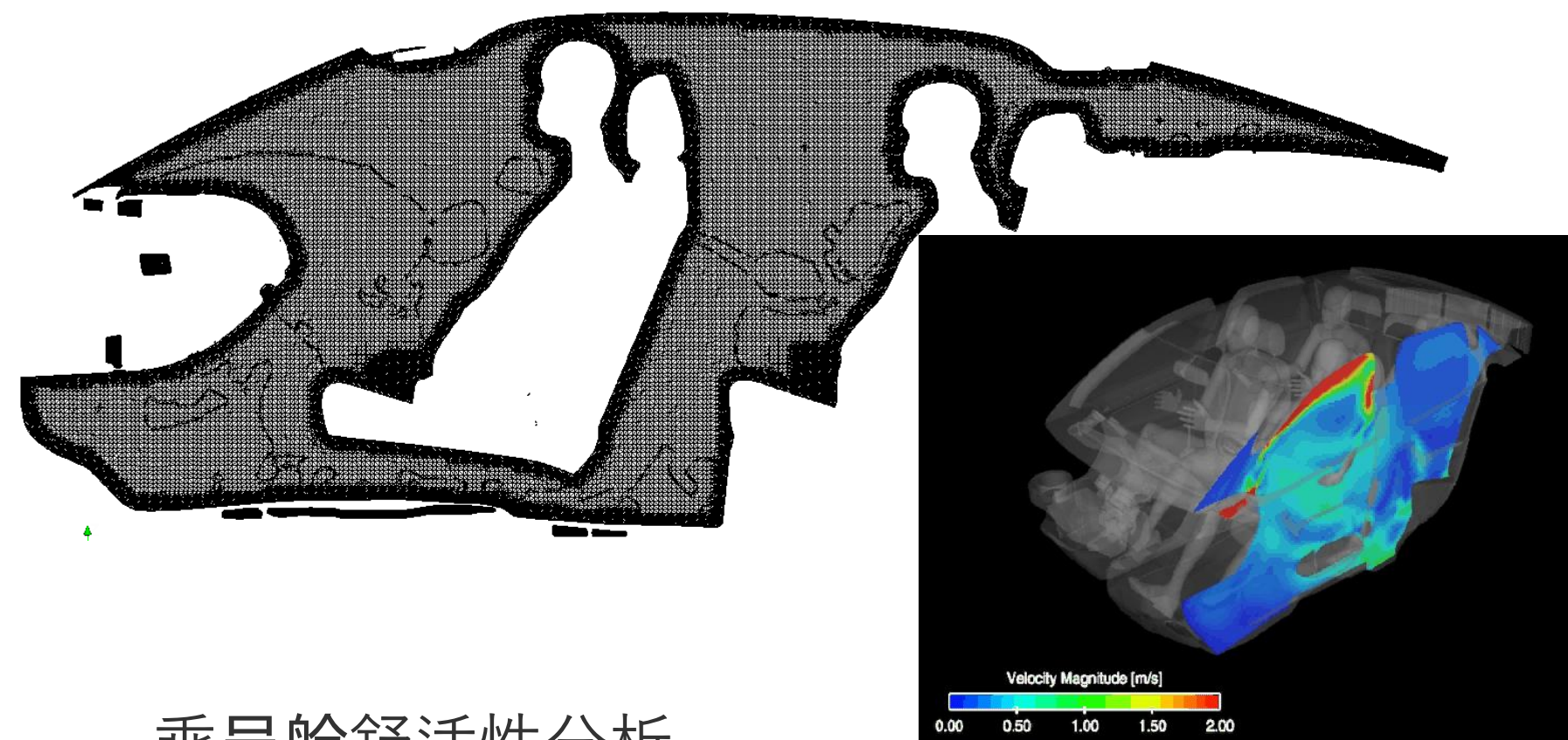


Velocity Inlet Profiles

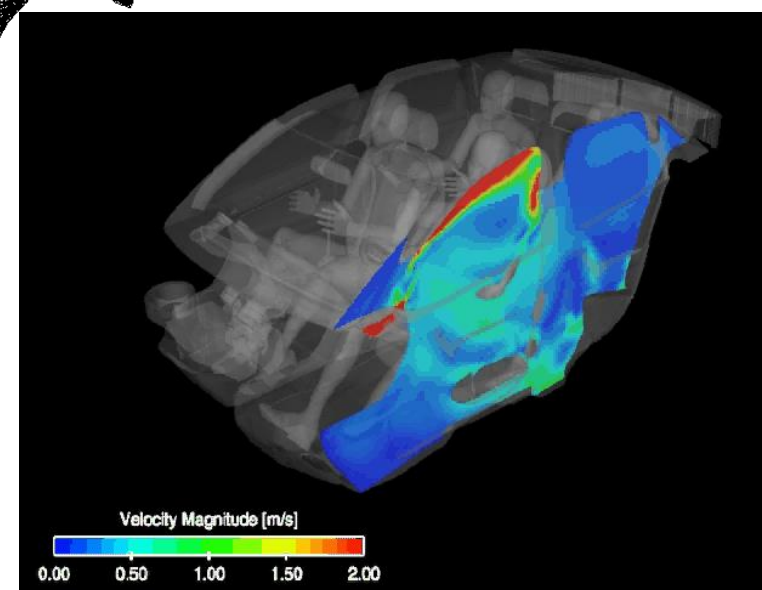


- 不可压缩 / 可压缩
- 浮升力
- 湿度
- 耦合传热
- 辐射
 - ✓ S2S
 - ✓ 快速视角因子计算
- 换热器模型
 - ✓ 单流体
 - ✓ 双流体
 - ✓ 多孔介质
- 热边界条件
 - ✓ 热壁面函数
 - ✓ 薄壁热传导
 - ✓ 辐射已知边界
- 热模型函数对象
 - ✓ 热平衡
 - ✓ 太阳辐射
 - ✓ 舒适度模型

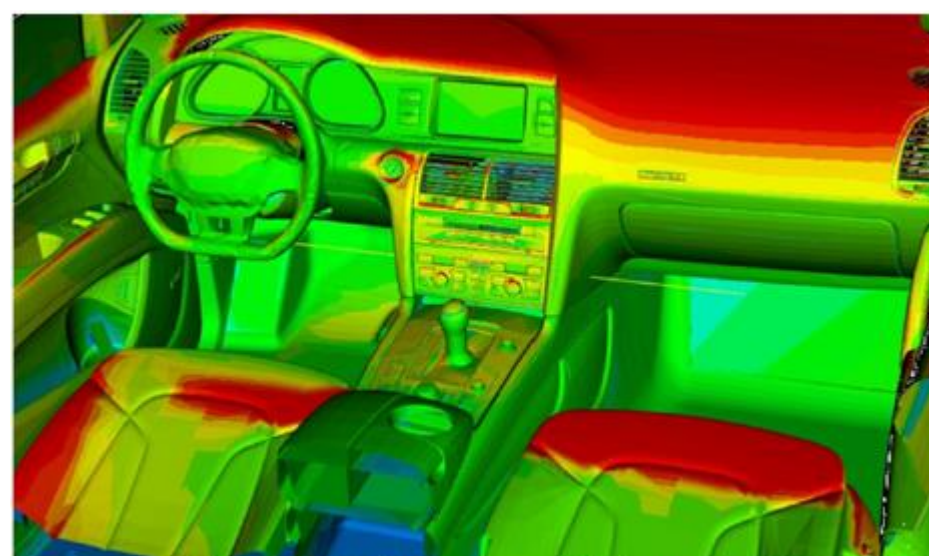
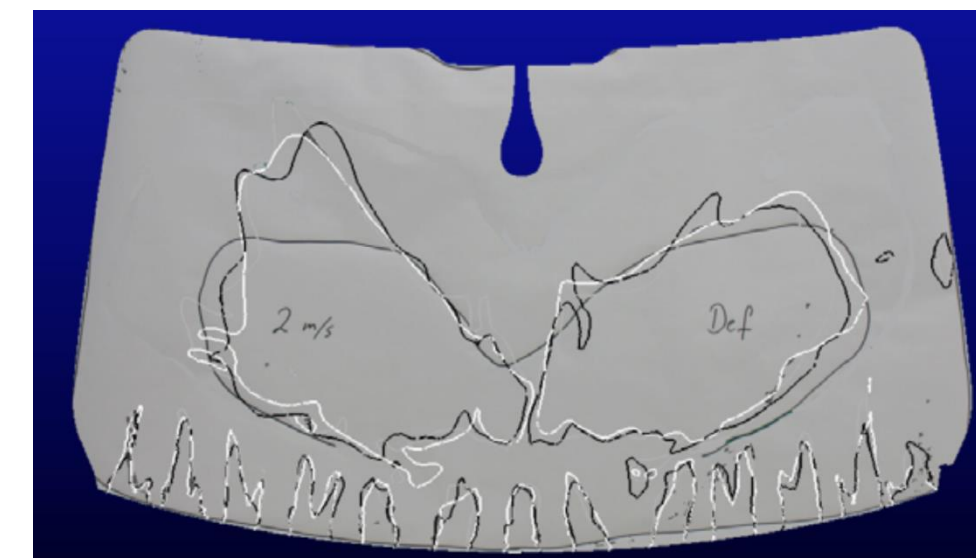
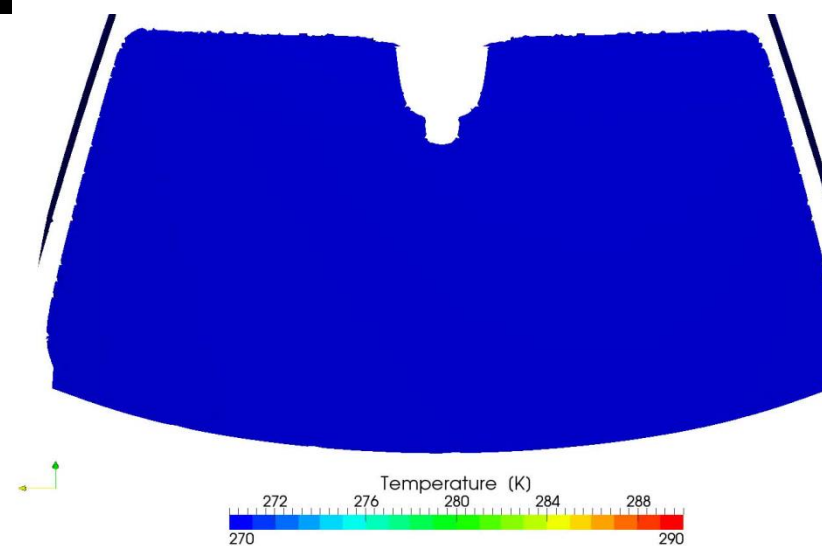
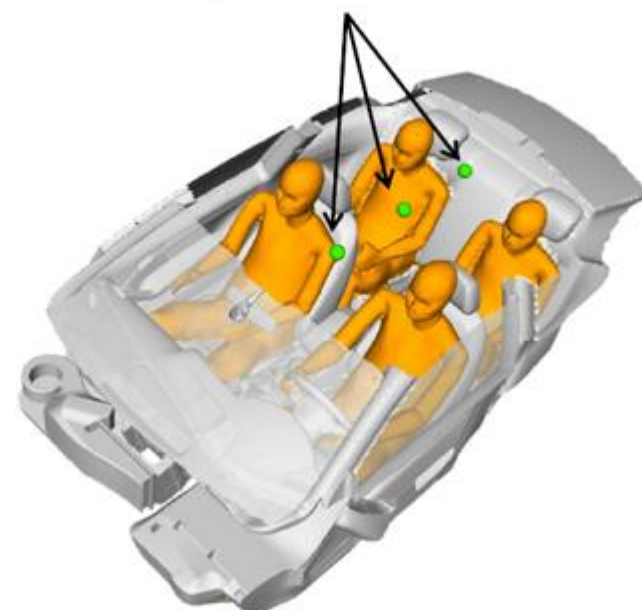
iconCFD Thermal



乘员舱舒适性分析



Temperature measurement

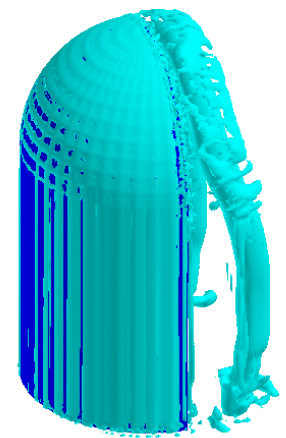


Heating up by solar radiation

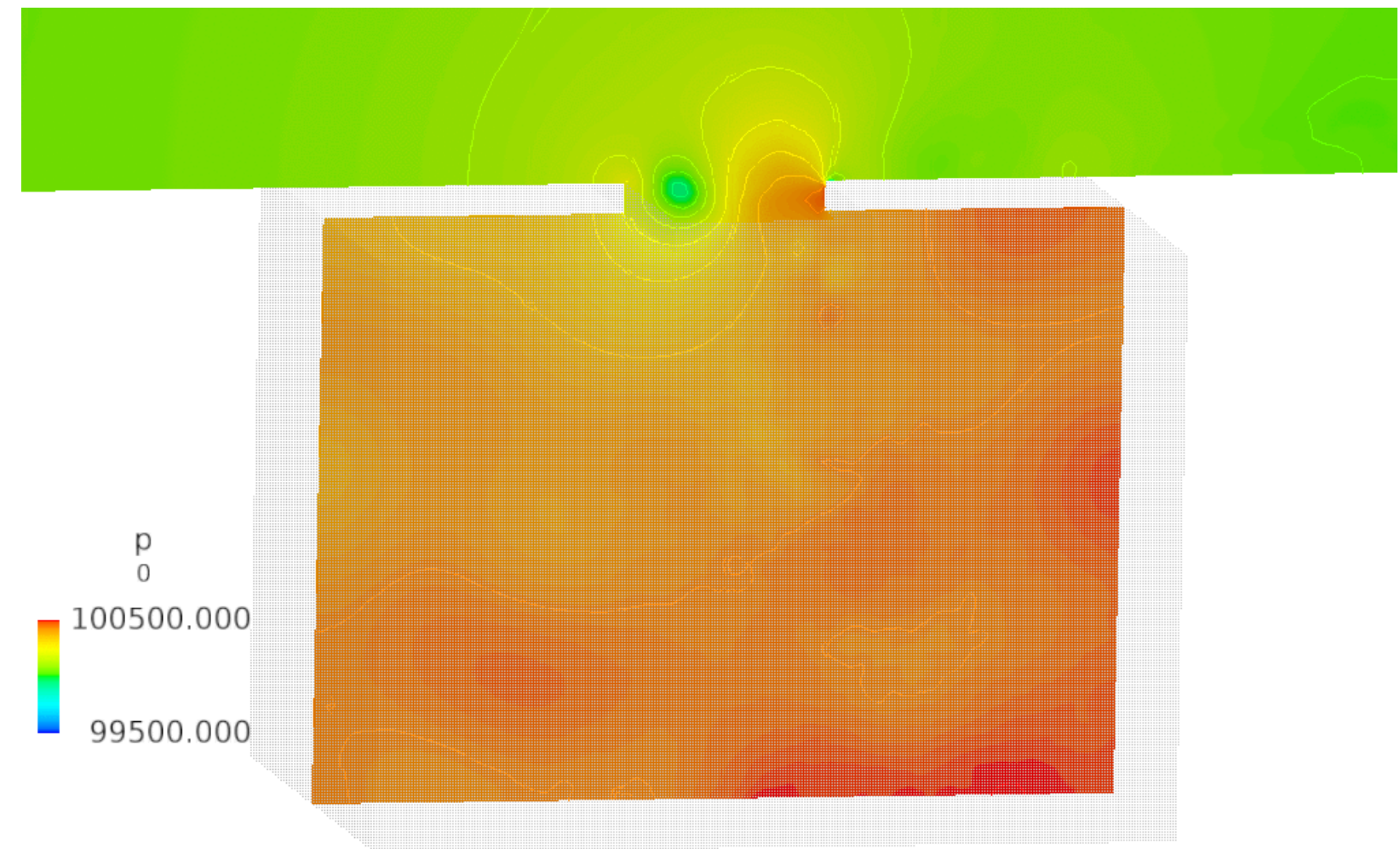
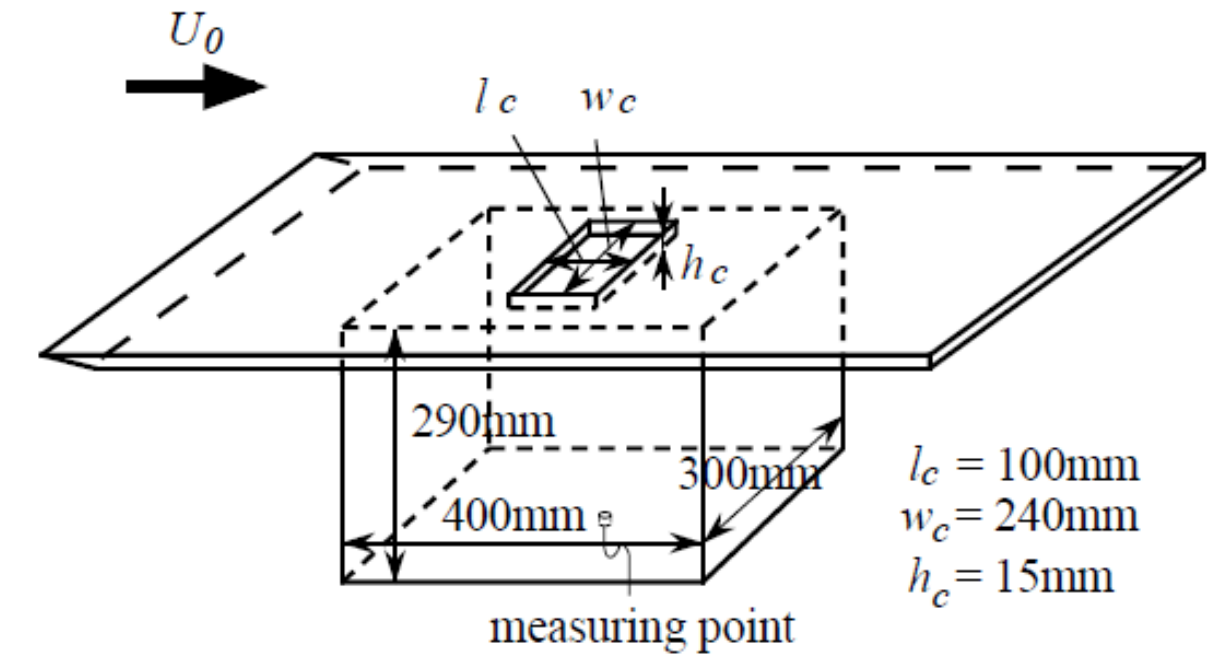
除霜除雾分析

iconCFD Acoustic 流体噪音

后视镜尾流的声压级分析
已经可以捕捉到小涡流



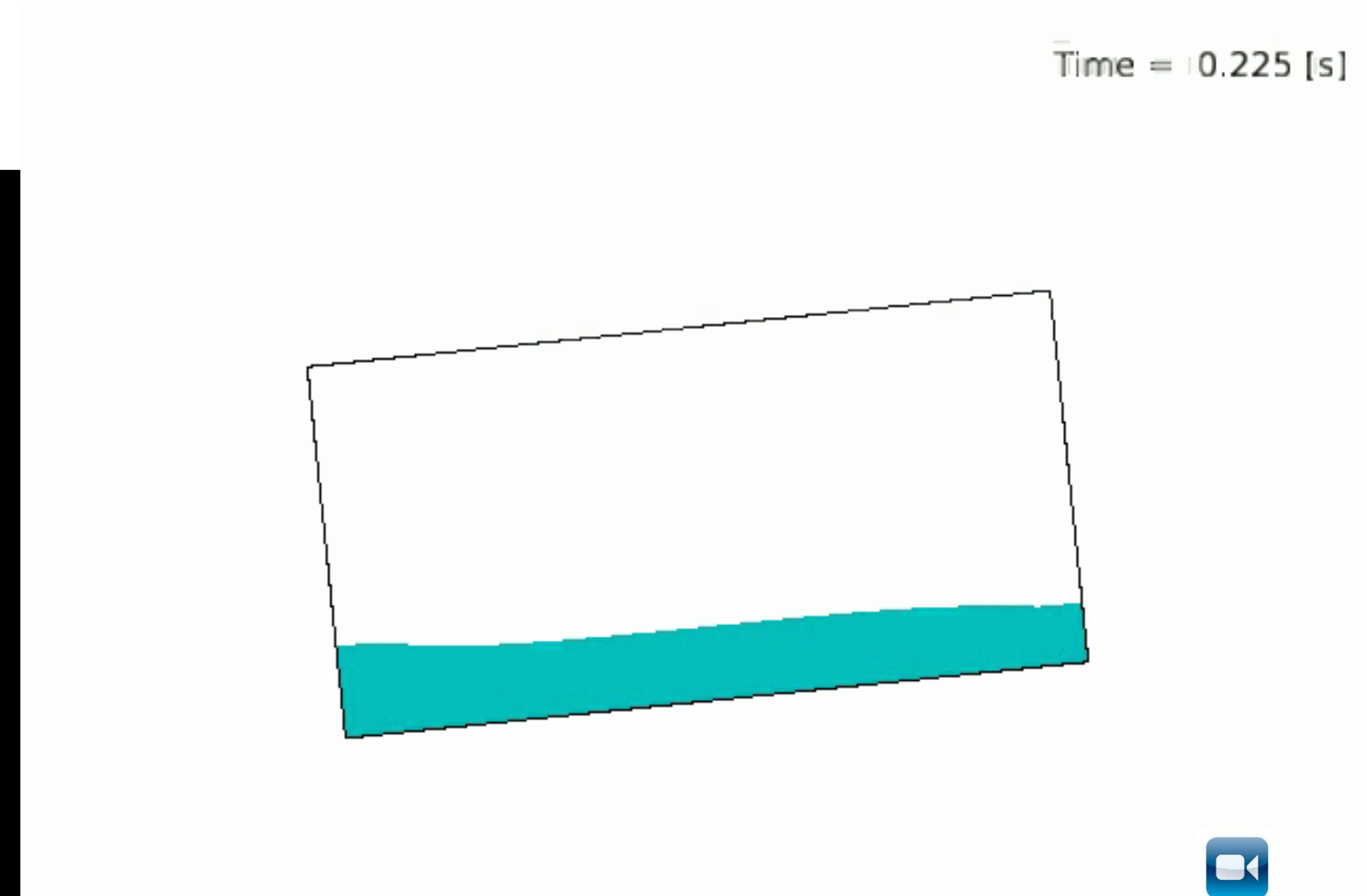
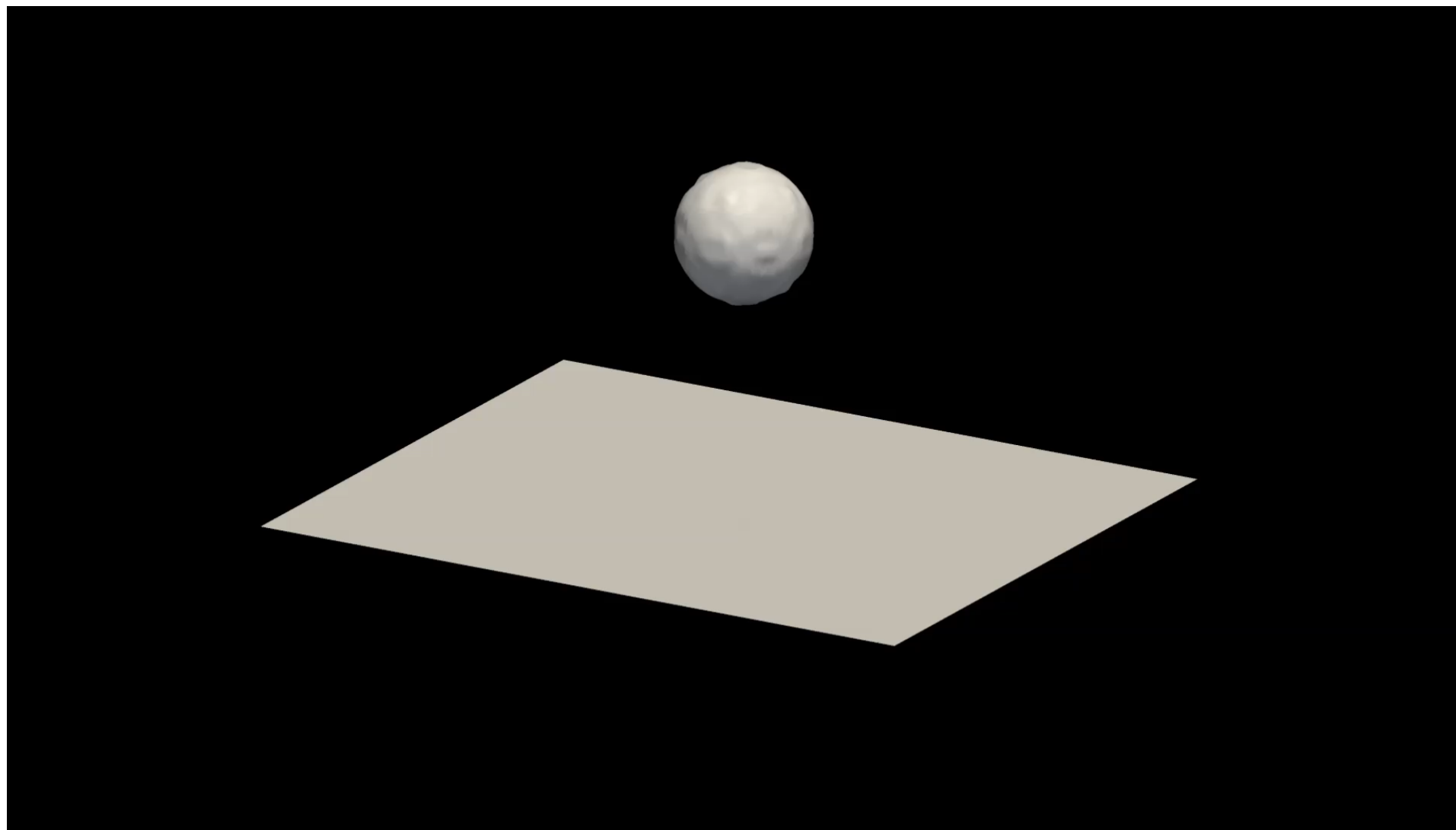
天窗噪声分析



iconCFD VOF

水滴滴落

半隐MULES方法可以大大减少
VOF模型的计算时间。



iconCFD L2P

拉格朗日粒子追踪

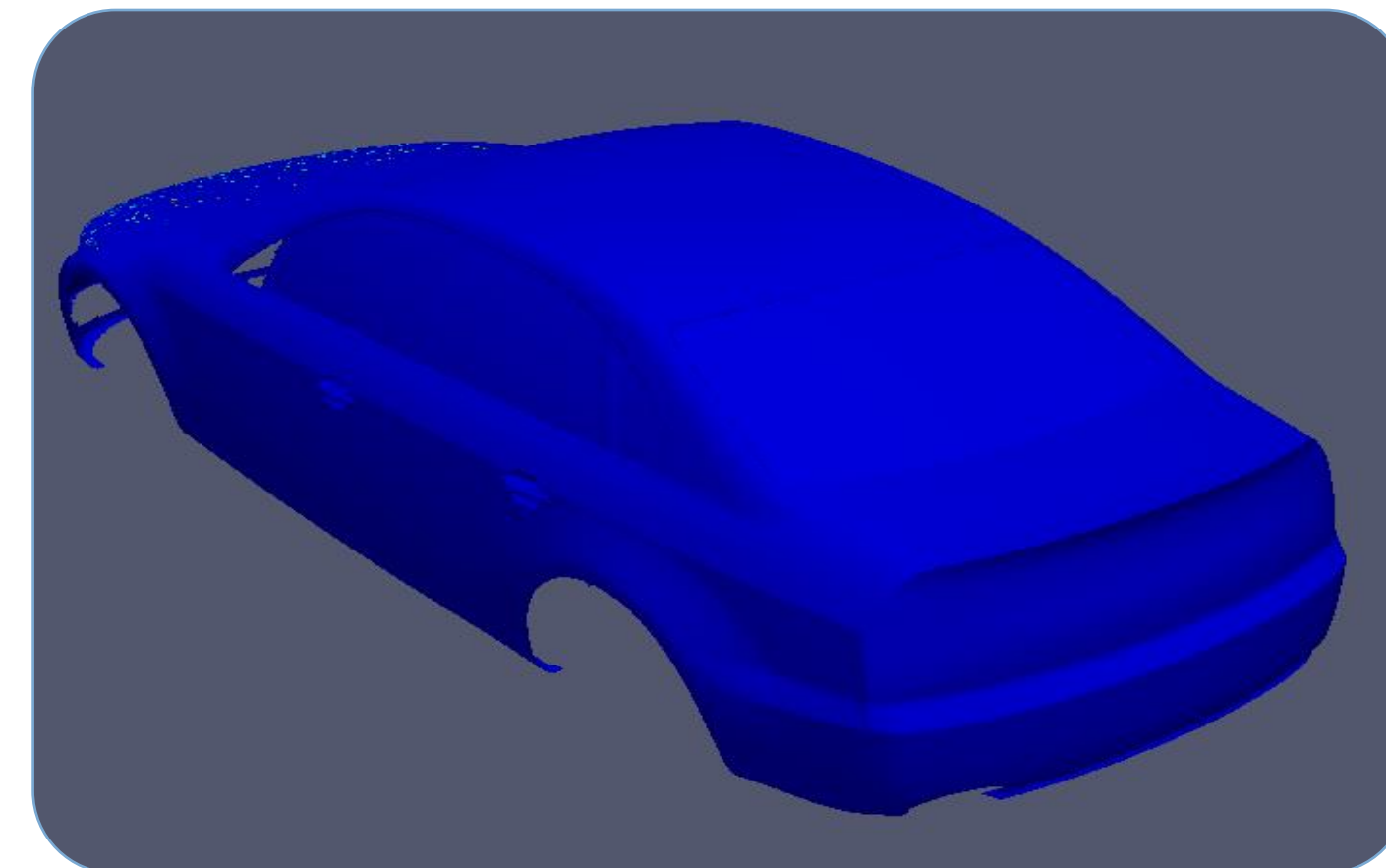
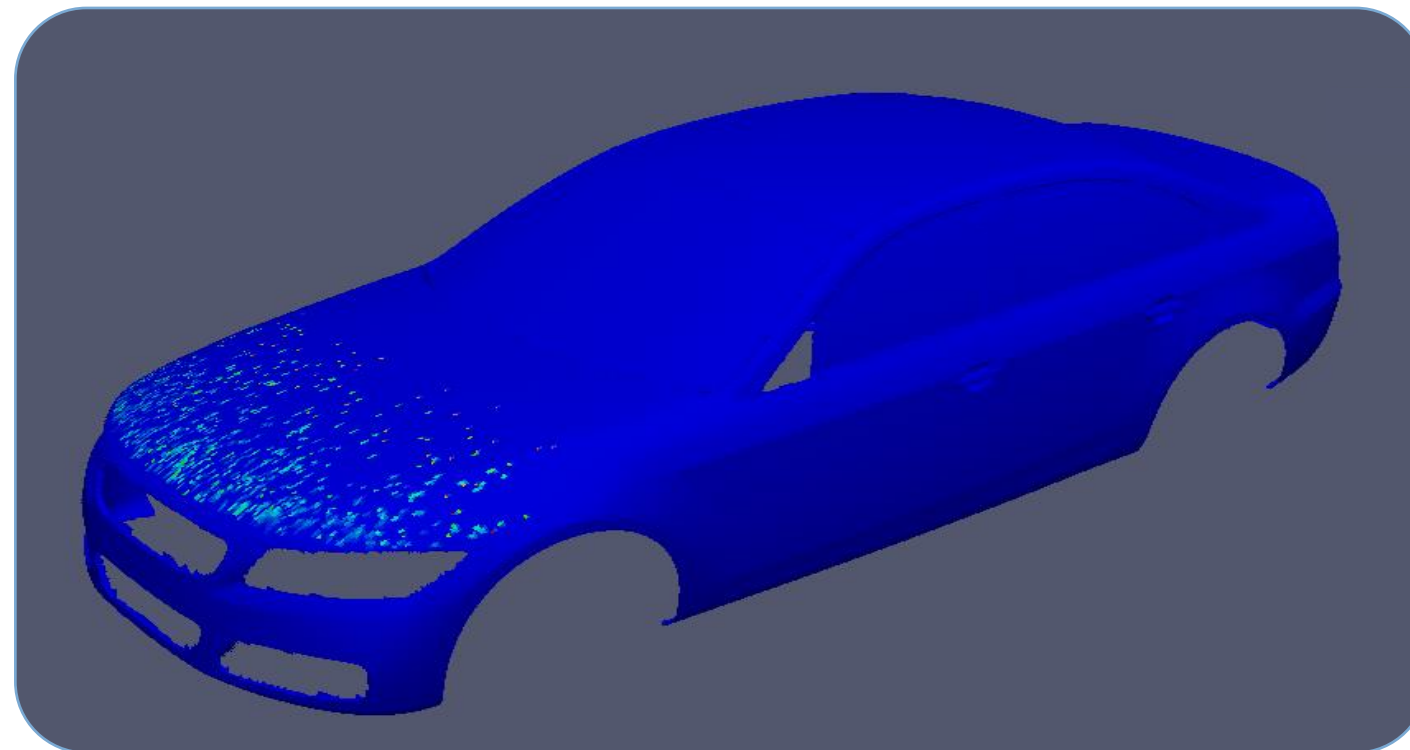
- iconCFD 冷态计算和 iconCFD 热态计算兼容
- 双向耦合的拉格朗日粒子求解器
- 作用力
 - ✓ 曳力
 - ✓ 压力梯度
 - ✓ 虚拟质量力
 - ✓ 湍流耗散
- 破碎模型
 - ✓ Reitz & Diwakar
- 壁面作用模型
 - ✓ Bai
 - ✓ Rebound / Stick
- Injector 模型
 - ✓ Point / Injector / Patch
- 支持动网格



iconCFD L2P

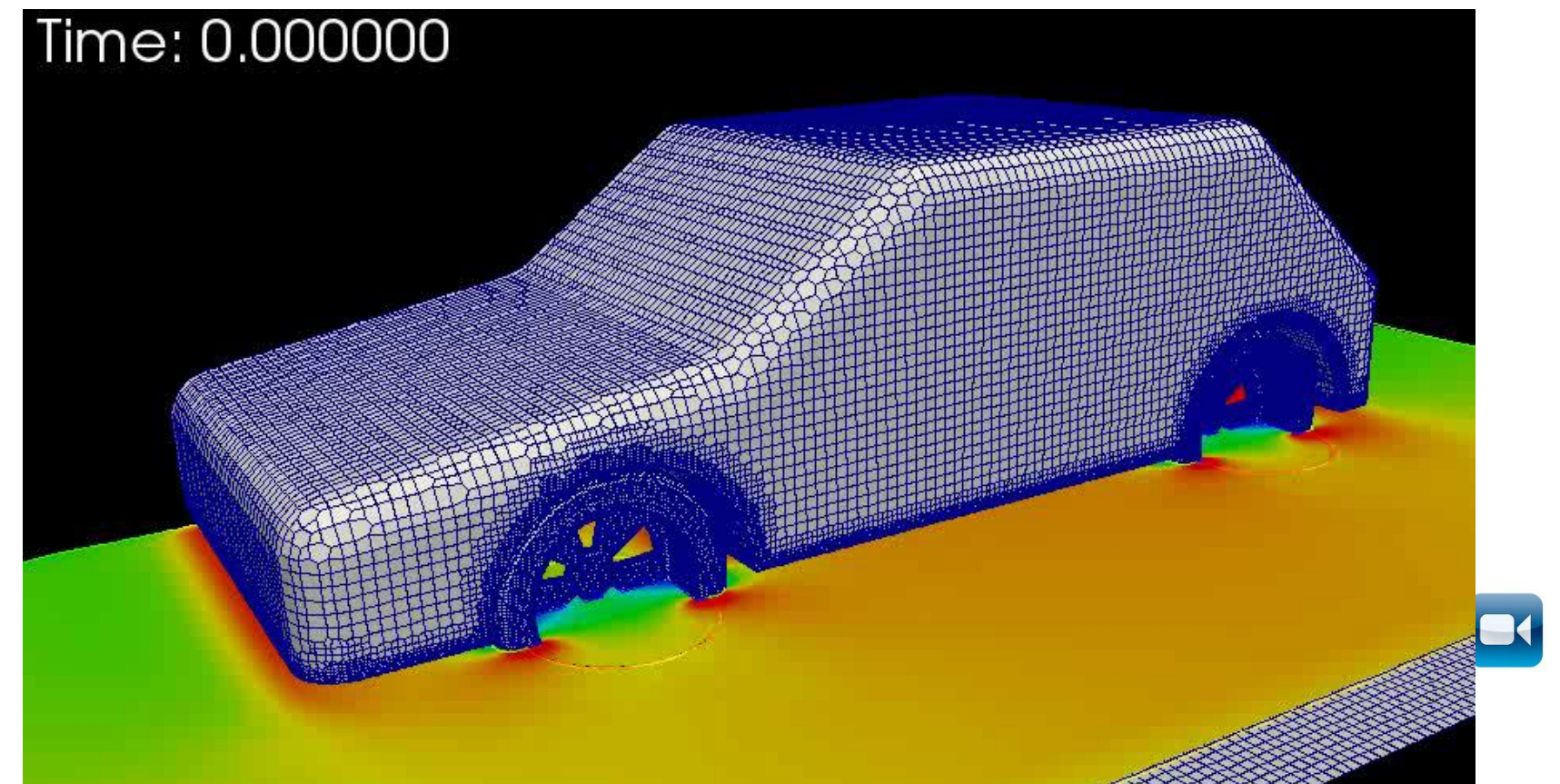
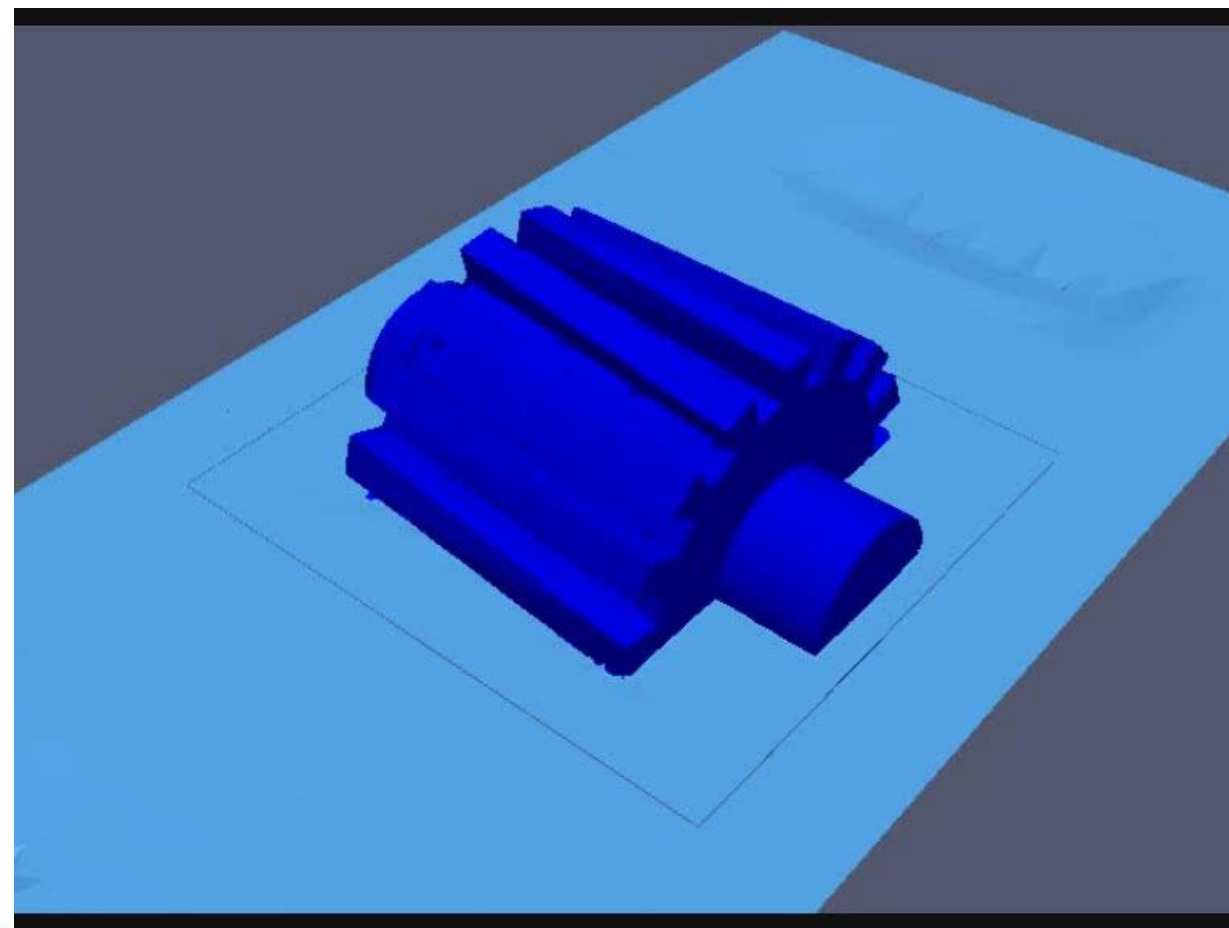
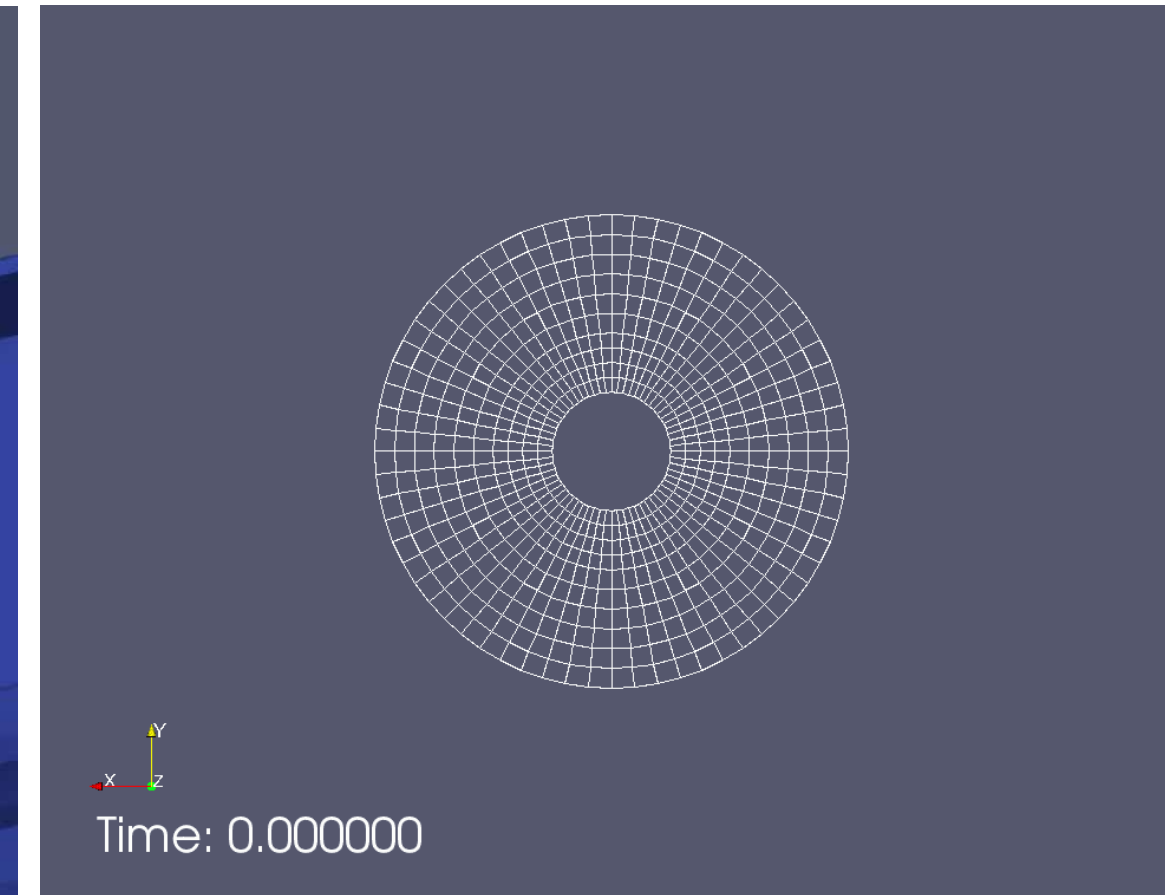
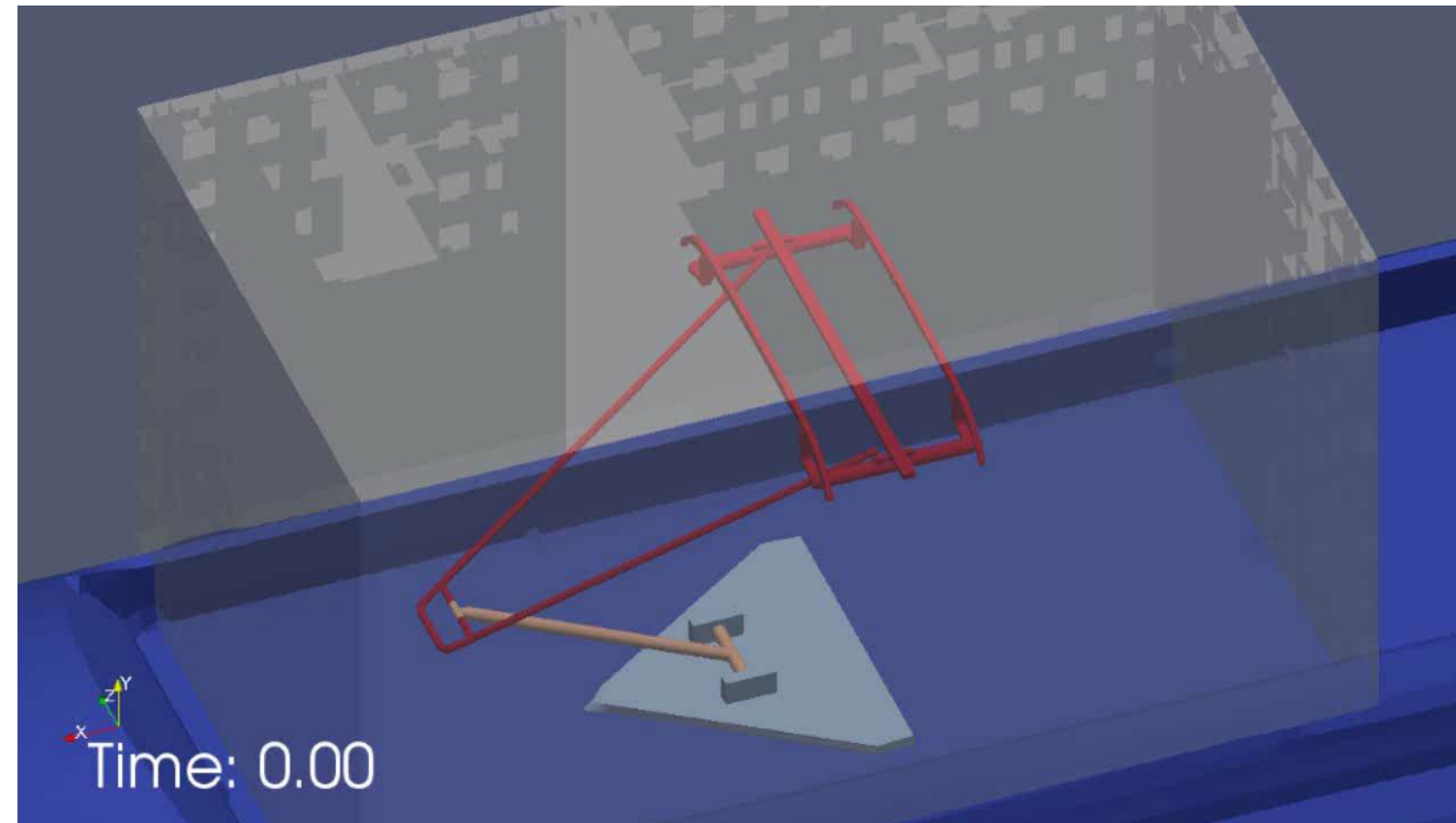
Soiling

- 拉格朗日 + 液膜模型



iconCFD Move 动网格功能

- 动网格功能跟其它模型兼容



iconCFD Optimize

优化功能

• 伴随优化求解器

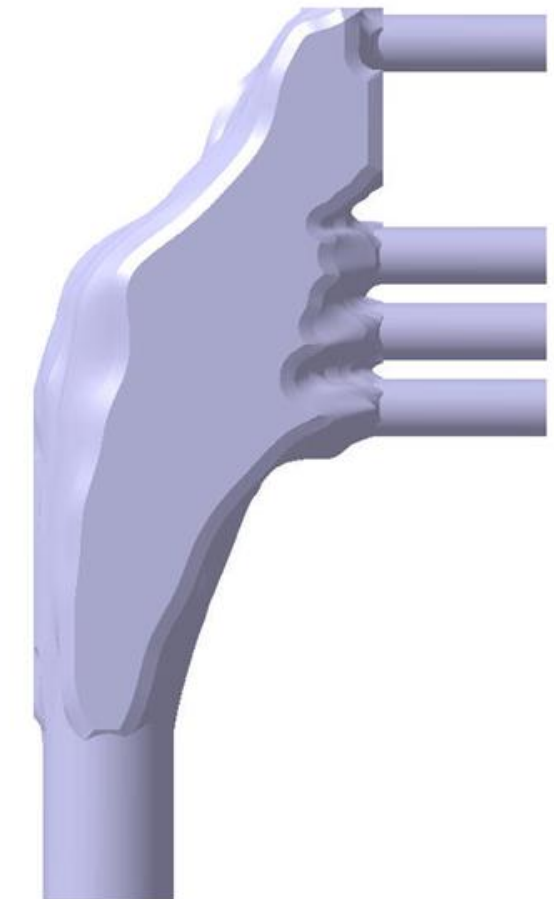
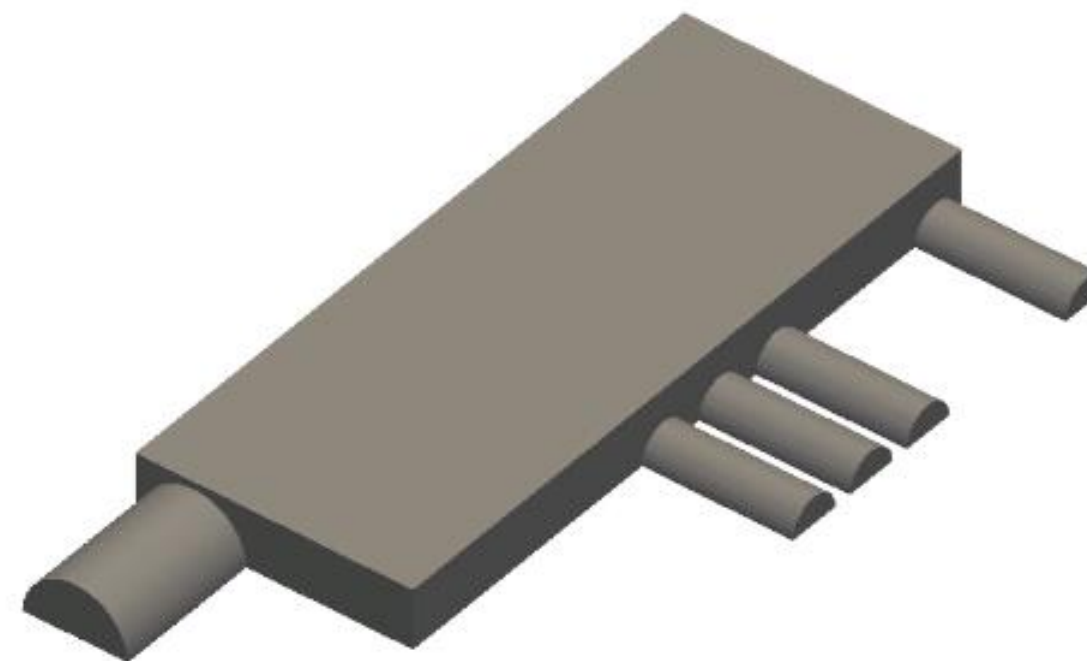
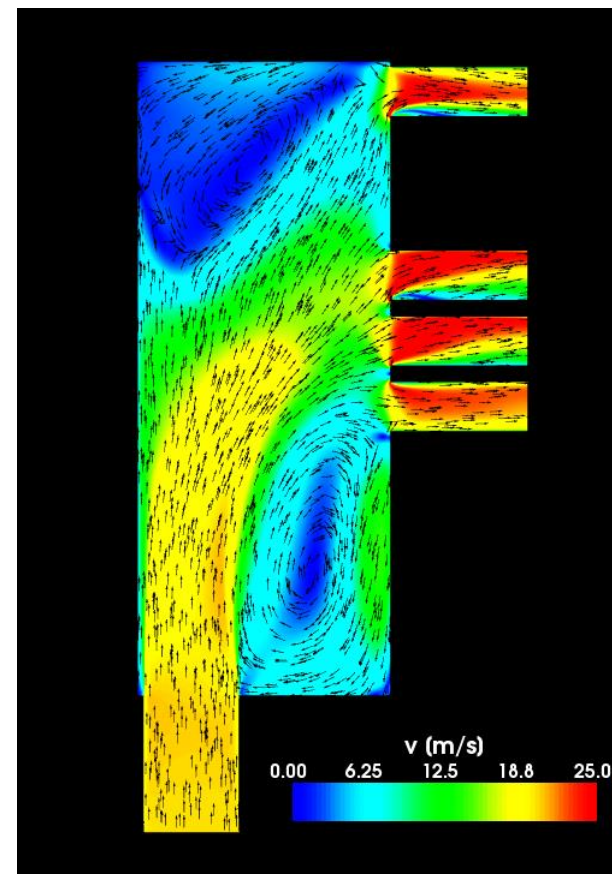
- ✓ 形状优化
- ✓ 拓扑优化

• 伴随湍流模型

- ✓ Spalart-Allmaras
- ✓ k-Epsilon

• 成本函数

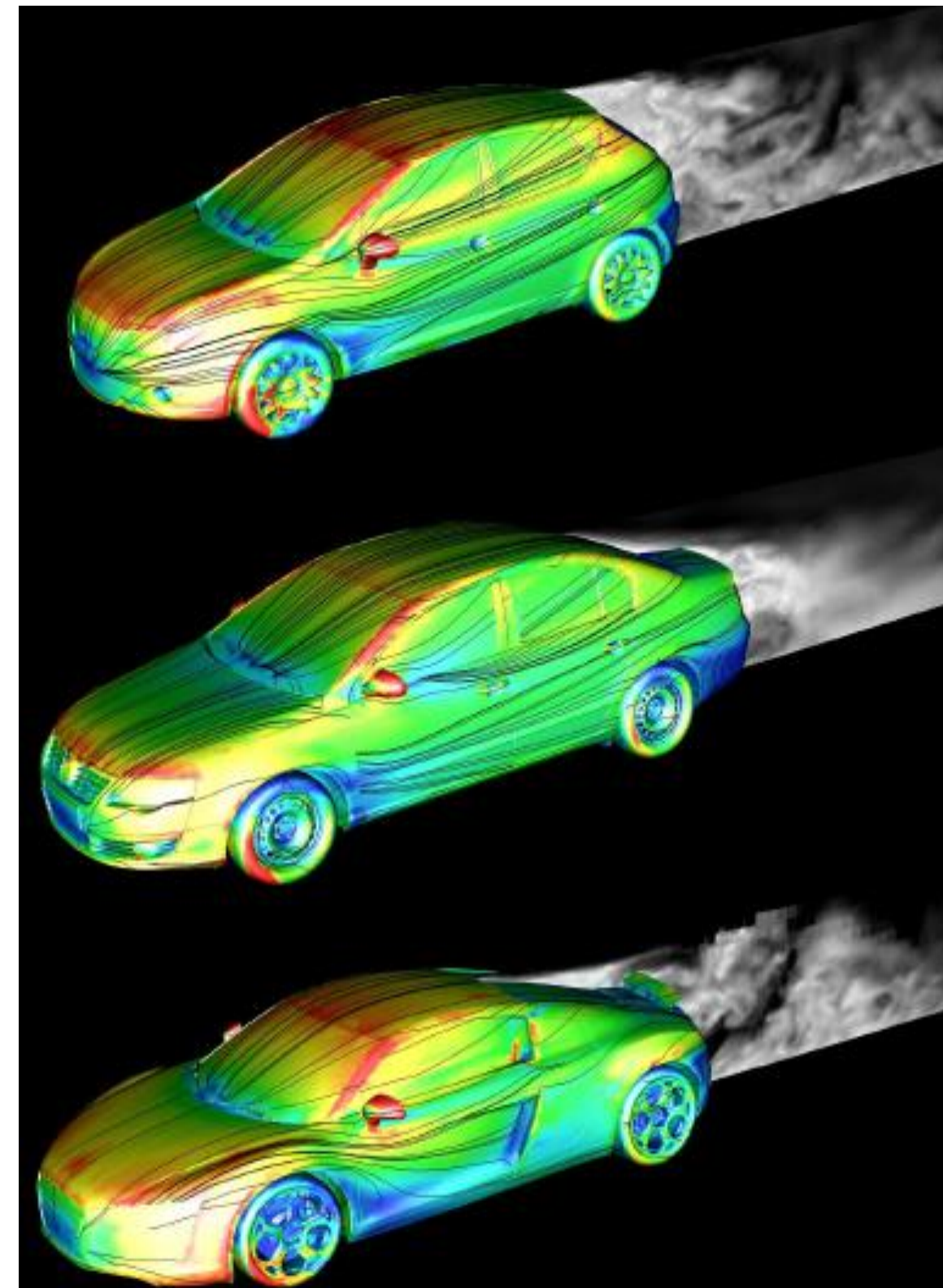
- ✓ 升力/阻力控制
- ✓ 功率损失
- ✓ 压降
- ✓ 流动均匀性
- ✓ 质量流率
- ✓ 涡
- ✓ 换热
- ✓ 噪音
- ✓ 湍动能



iconCFD 的湍流模型

湍流模型的提升

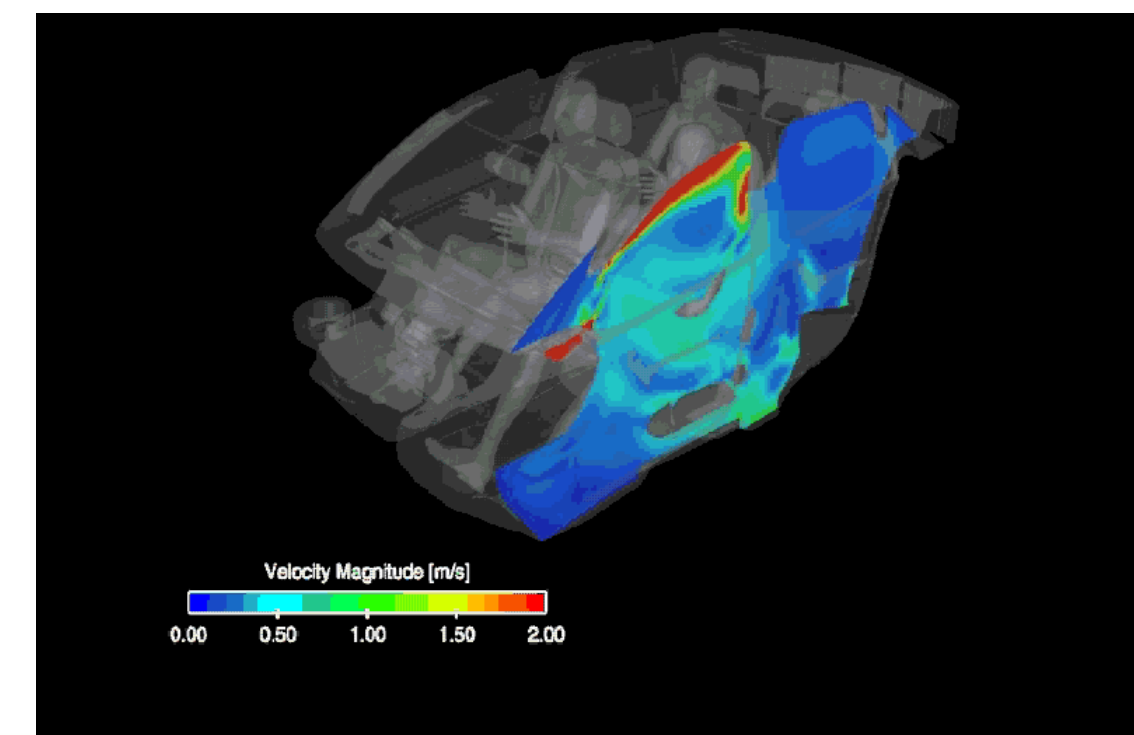
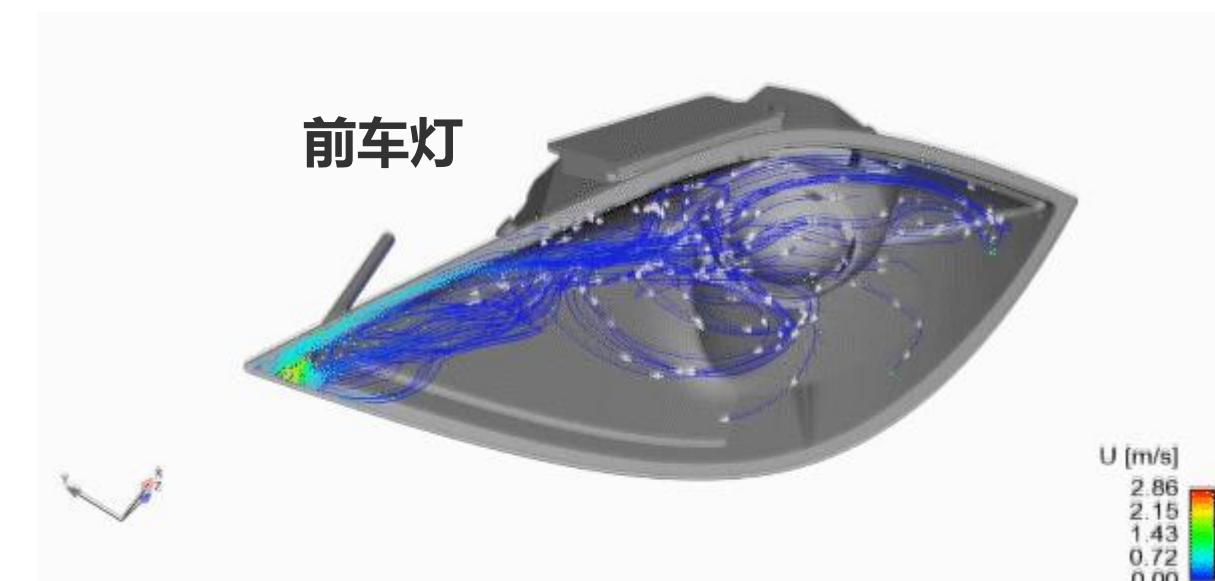
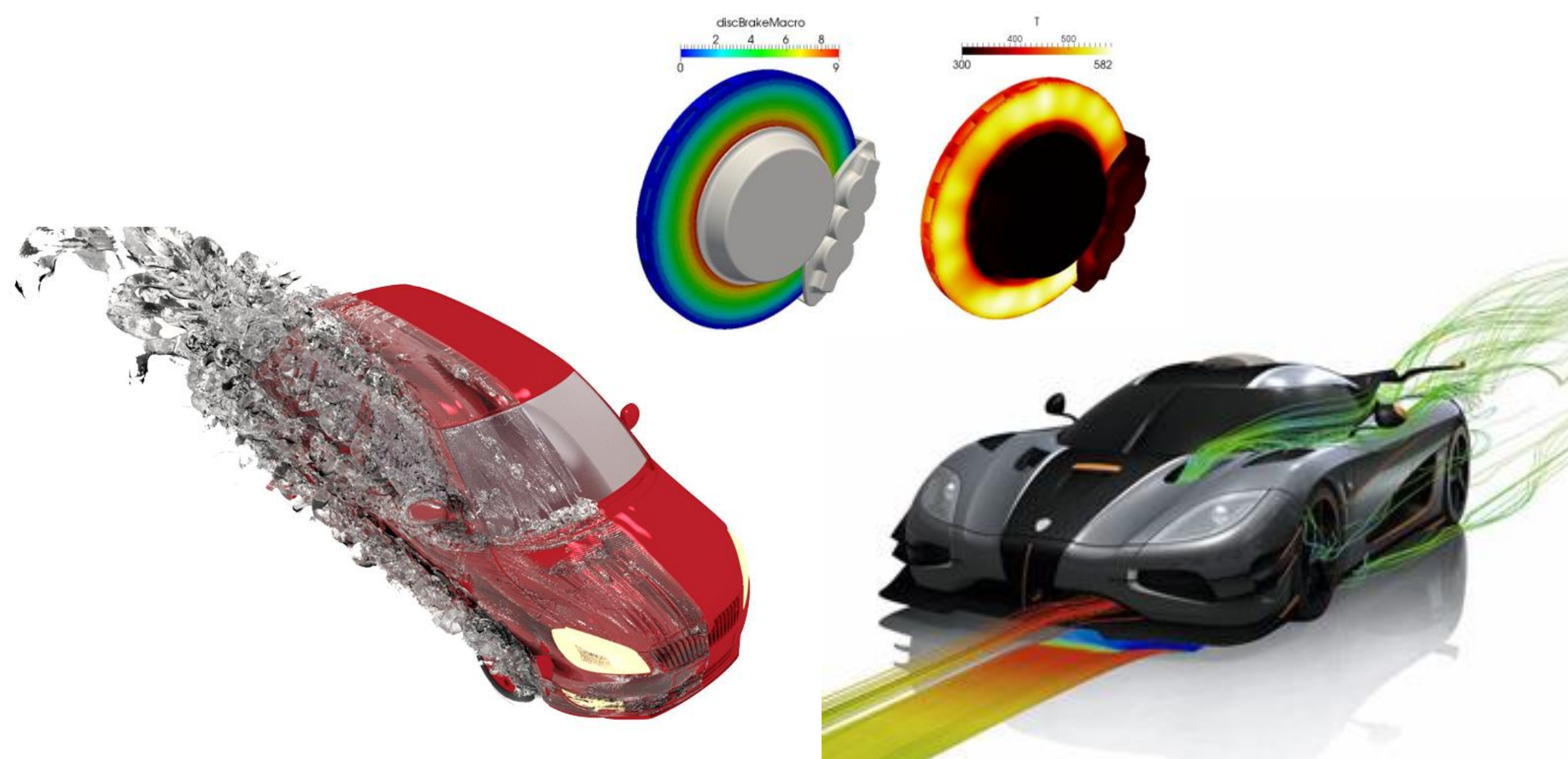
- 标准k-Epsilon
- k-Epsilon RNG
- k-Epsilon Realizable
- k-Omega SST
- Spalart Allmaras
- DES
- LES
- **新的k-Omega SST模型**
 - ✓ k-Omega SST DES
 - ✓ k-Omega SST DDES
 - ✓ k-Omega SST IDDES
- **DES混合对流格式**
 - ✓ RANS/LES混合计算
 - ✓ 基于壁面距离，速度梯度和涡粘度进行两种对流格式的混合





1. 开源CFD代码及iconCFD
2. iconCFD的前处理和网格
3. iconCFD的物理模型及功能
4. **iconCFD应用的部分典型案例**

汽车领域的典型应用



评价iconCFD作为替代求解器在汽车外气动模拟中的应用

■ 背景

- 过去十年，CFD模拟在汽车空气动力学中的应用数量以及规模得到飞速发展
 - ✓ CPU时间↑
 - ✓ License费用↑
- 福特汽车将注意力放在开源软件的应用

■ 目的

- 评价iconCFD作为汽车空气动力学计算（替代）工具的能力
- 跟现有商业CFD软件对比

评价iconCFD作为替代求解器在汽车外气动模拟中的应用

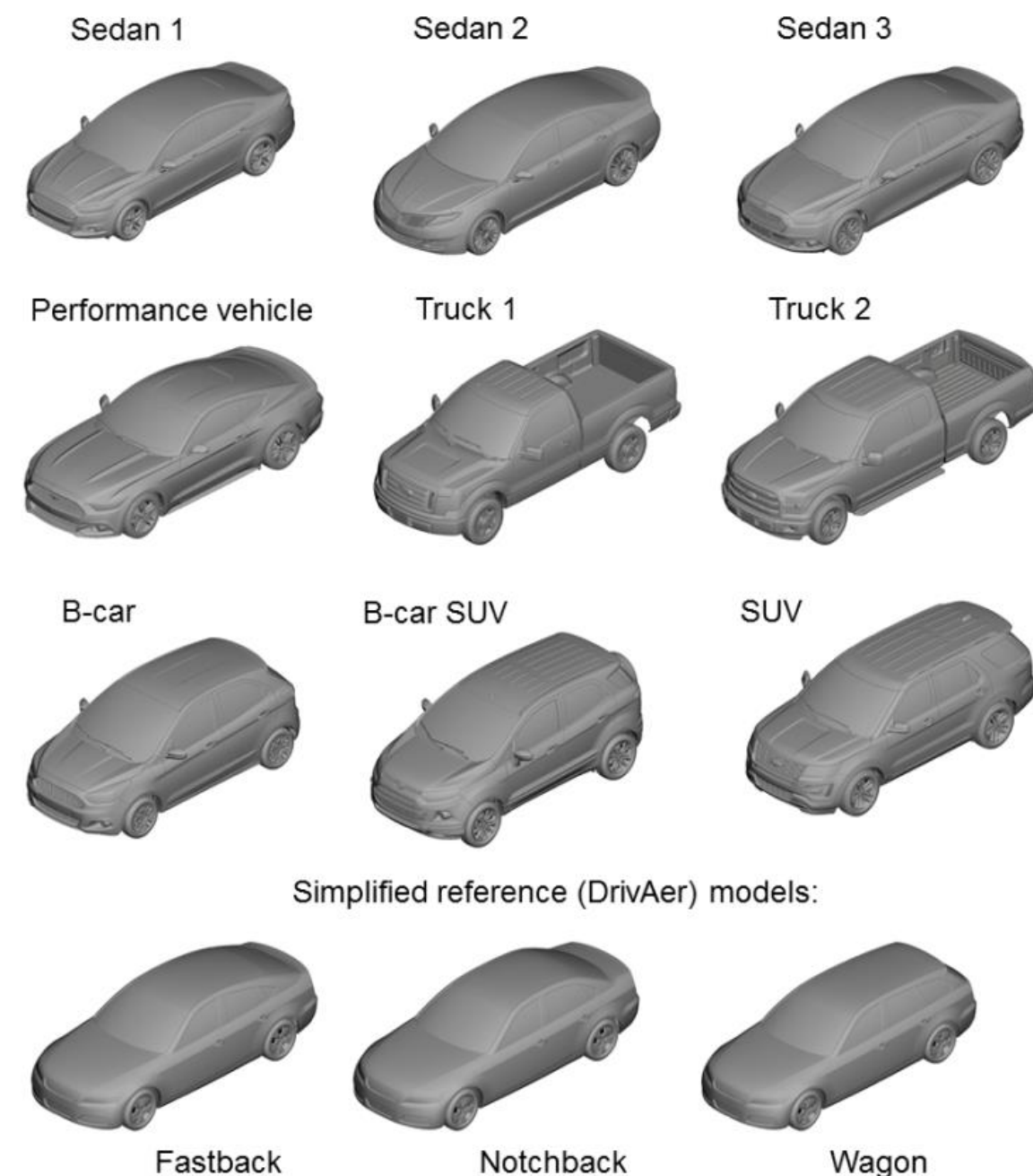
验证研究范围

■ 12个车型，42种变型

- 静止&运动地面边界
- DES & k-Omega SST 湍流模型
- 部件影响

■ 评价标准

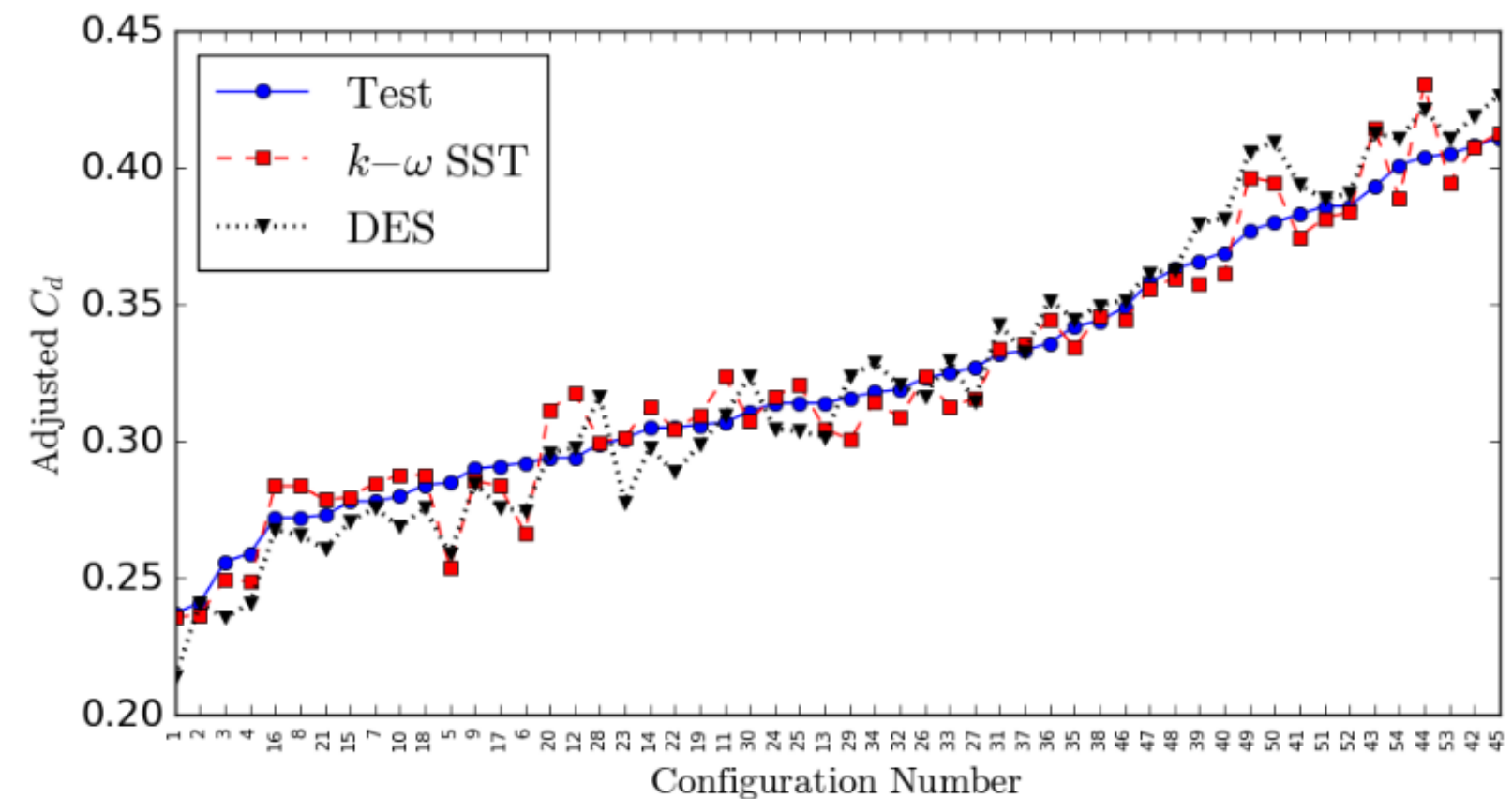
- 模拟精度等级 (Cd值)
- 流场结构的模拟精度
- Cd的合理性



评价iconCFD作为替代求解器在汽车外气动模拟中的应用

Cd数据综合

- k-Omega SST&DES两种湍流模型预测的Cd值跟实验结果的对比
 - 总体的Cd值都比较合理



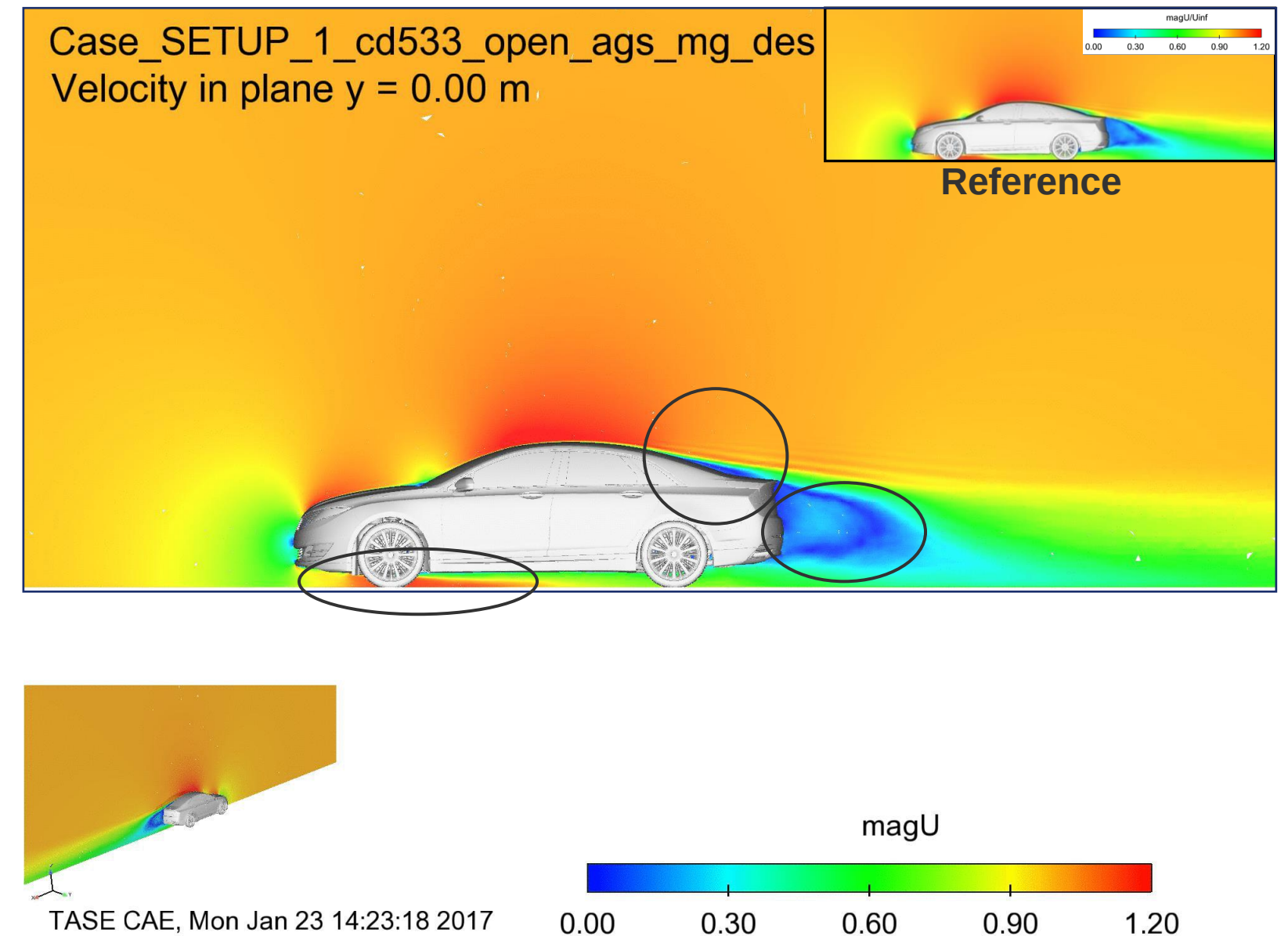
X轴按照风洞实验结果从小到大排列

评价iconCFD作为替代求解器在汽车外气动模拟中的应用

Sedan2&移动地面

■ 两种湍流模型对比

- DES: 车底部和尾迹区域更接近参考结果
- k-Omega SST: 后灯分离区更接近参考结果



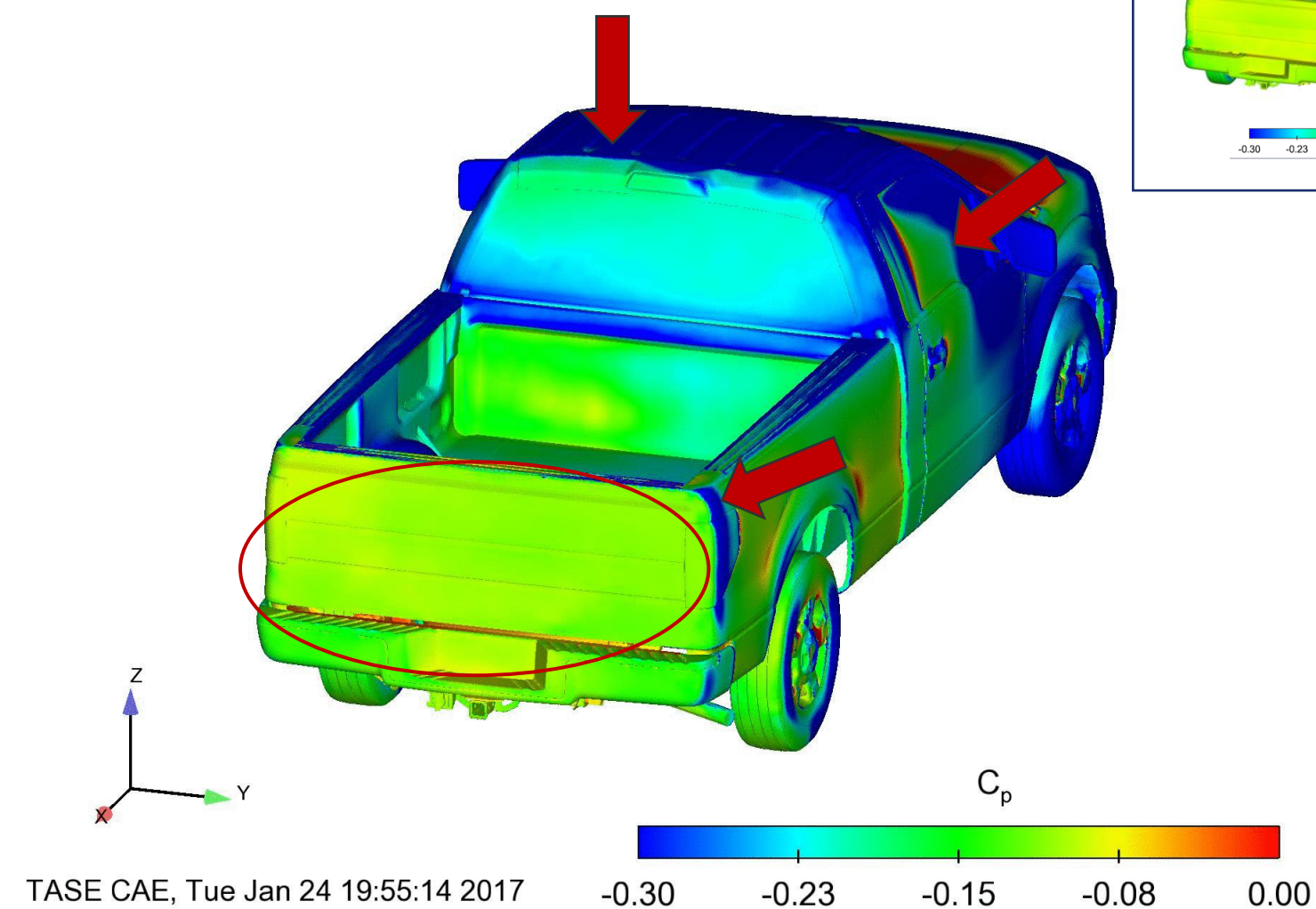
评价iconCFD作为替代求解器在汽车外气动模拟中的应用

Truck1&静止地面

■ 两种湍流模型对比

- DES: 驾驶室后部上方、后箱角部、侧门及侧面玻璃区域更接近参考结果
- k-Omega SST: 车厢挡板部分更接近参考结果

Case_SETUP_1_p415_baseline_des
Surface pressure C_p



评价iconCFD作为替代求解器在汽车外气动模拟中的应用

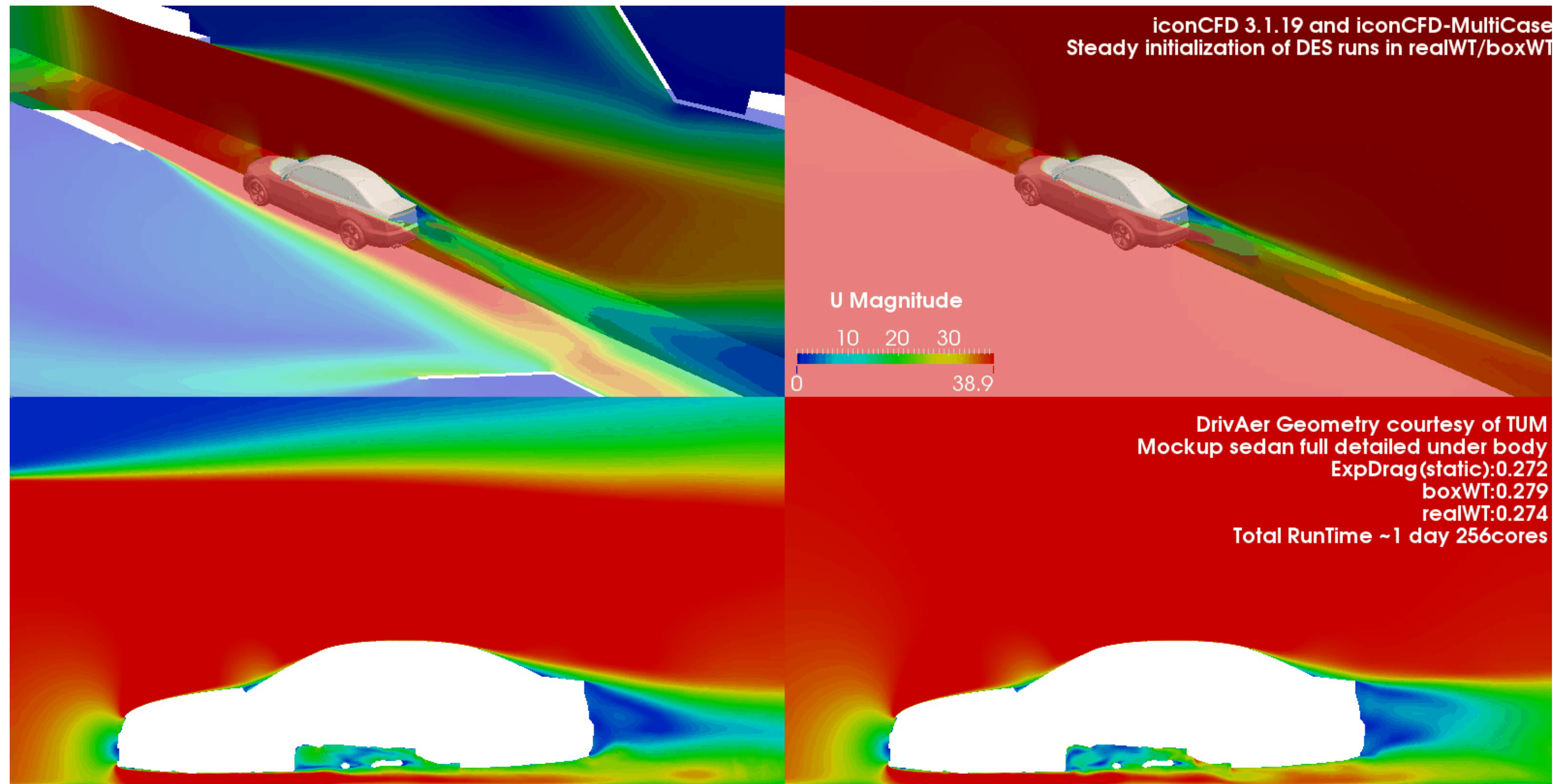
小结

- iconCFD的结果跟参考结果很接近
- 两种湍流模型的顺位排序精度都很高
- DES的综合结果更接近参考结果

Metric	Static Ground			Moving Ground	
	DrivAer	Sedan 1	Truck	Sedan 1	Sedan 2
Ranking Accuracy	High	High	High	High	High
Cd Development Plot	DES	=	DES	=	=
Underbody Velocity	DES	DES	DES	DES	DES
Backlight Separation	KWSST	DES		DES	KWSST
Underbody Pressure Distribution	DES				
Base Pressure Distribution	DES	DES		KWSST	
Body Wake	DES	DES	DES	KWSST	DES
Rear Pillar Separation		DES		DES	
Rear Quarter Panel Separation		DES		DES	
Cab Rear Header			DES		
Cab Rear Pillar			DES		
Box Rear Corner			DES		
Side Door Pressure Distribution			DES		
Side Glass Pressure Distribution			DES		
Tailgate Pressure Distribution			KWSST		
Cab Shear Layer			KWSST		

风洞模板案例

Geometry courtesy of TUM



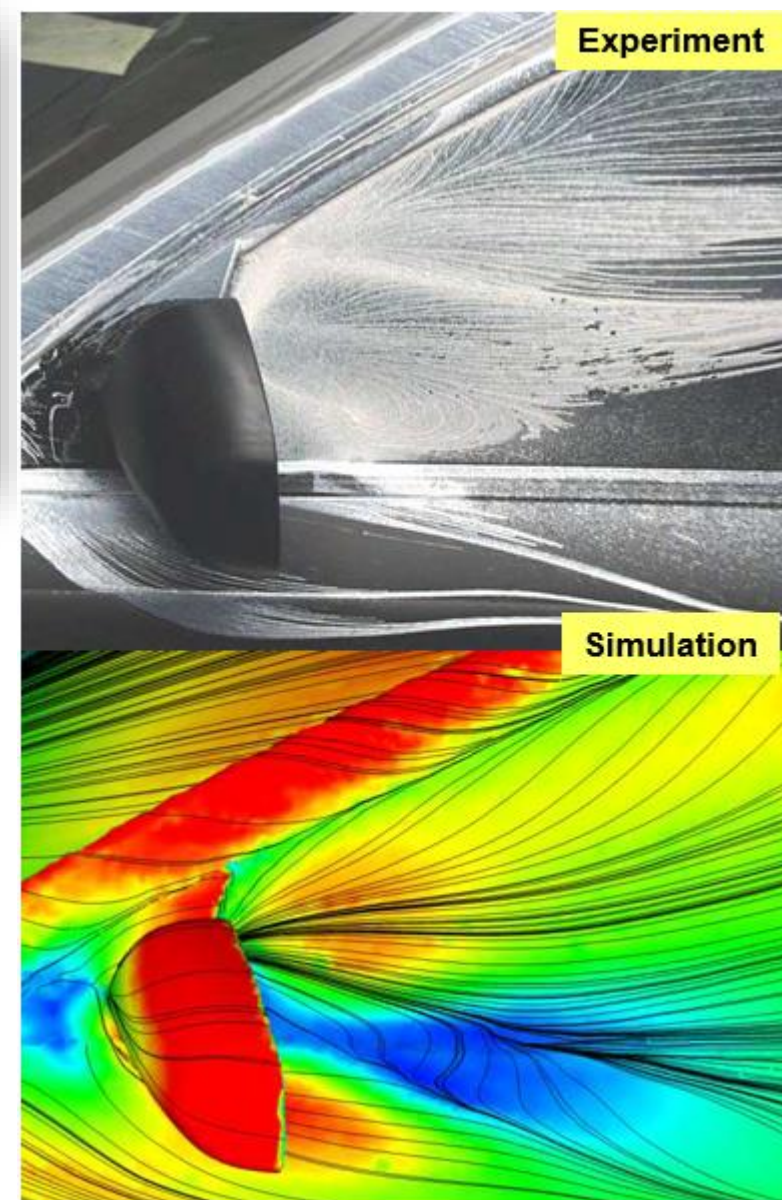
Easy WTT replacement. Above realWT geometry compared with boxWT.

大众汽车外气动

大众量产车外气动性能计算

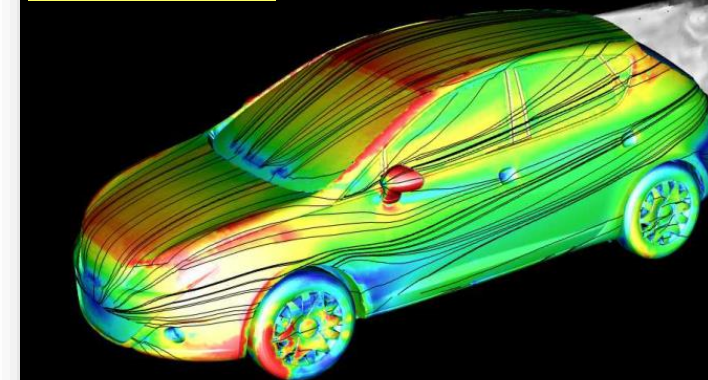


AUDI A6

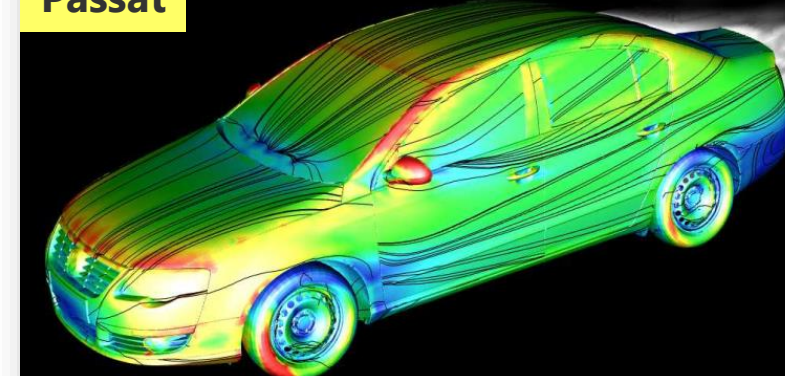


	Δc_D [-]	Δc_{Lf} [-]	Δc_{Lr} [-]
SEAT Ibiza	0.018	-0.017	0.045
SEAT Leon	0.021	-0.005	0.030
VW Golf	0.003	0.034	0.024
VW Passat	0.011	-0.033	0.035
VW New Beetle	0.016	0.001	0.030
Audi A3	0.007	-0.018	0.034
Audi A5	0.011	-0.036	0.031
Audi A6	-0.004	0.002	0.026
Audi Q5	-0.001	-0.006	0.047
Audi TT	-0.001	-0.006	0.051
Audi R8	0.022	0.021	-0.012

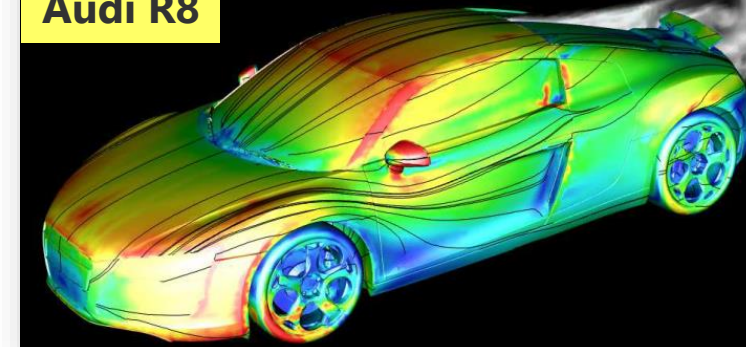
SEAT Ibiza



Passat



Audi R8



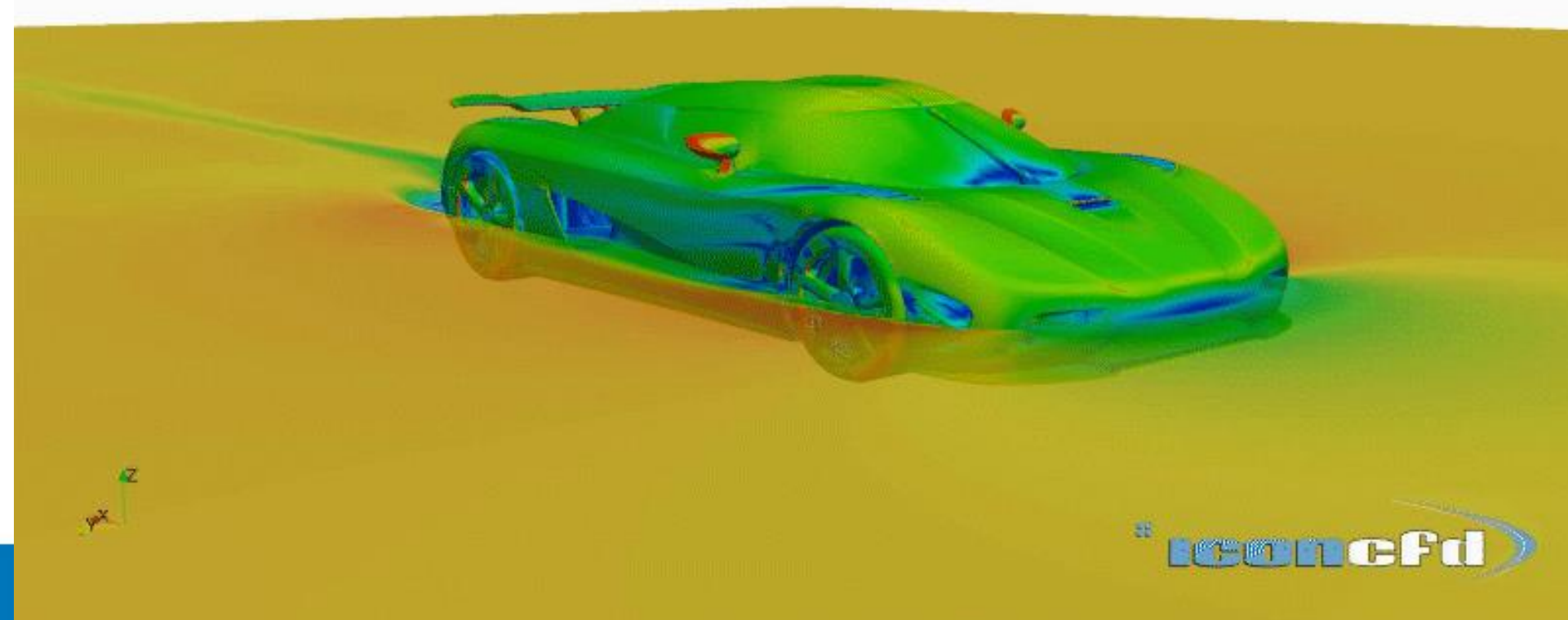
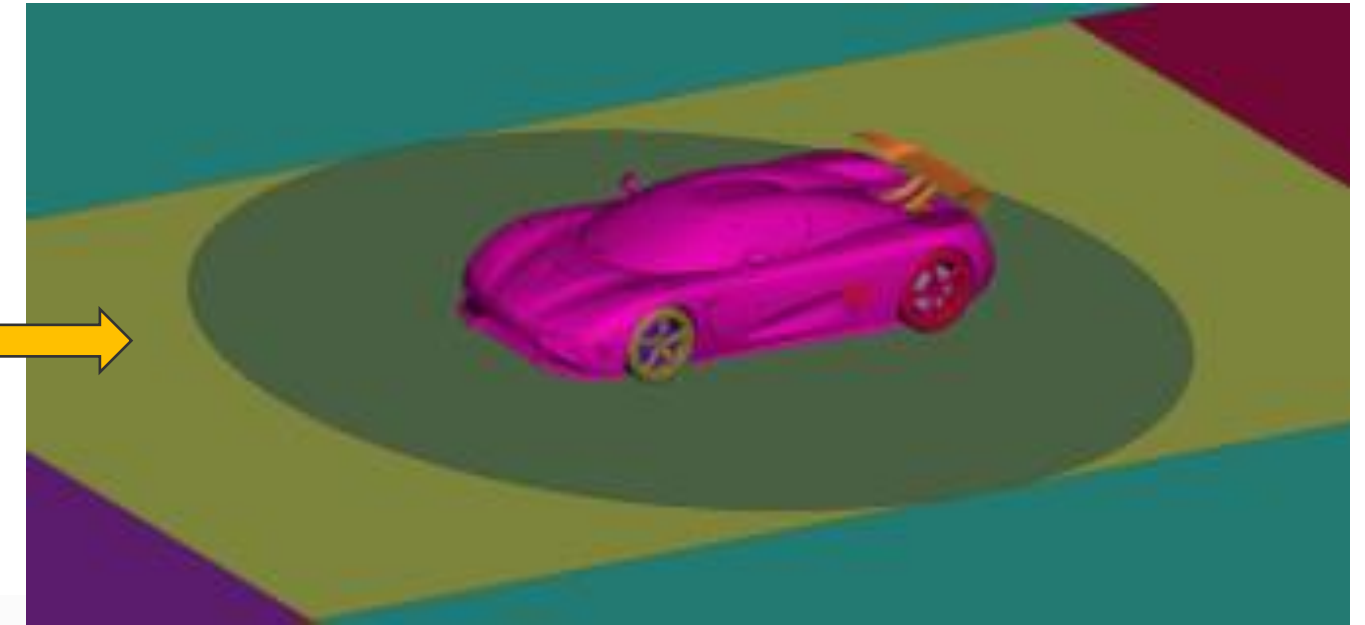
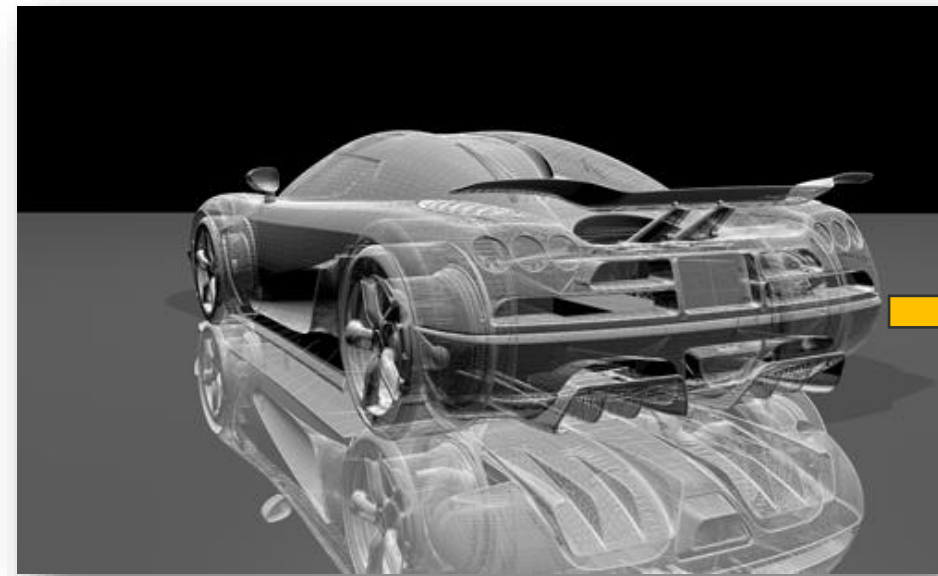
科尼赛克外气动



完全采用iconCFD作为独家CFD代码！

数值风洞

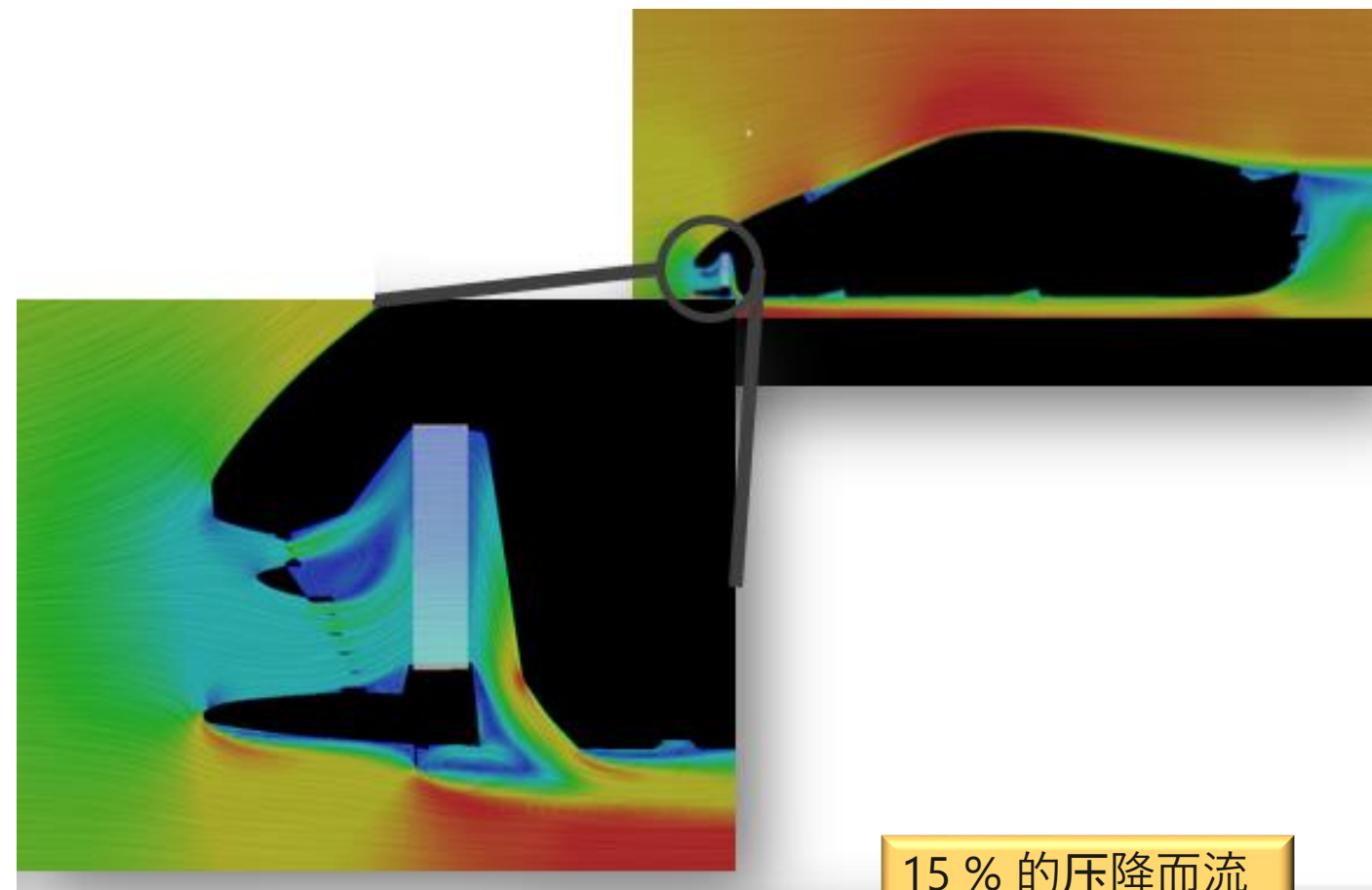
- 车辆布置采用**标准风洞**位置；
- 考虑路面状况；
- 考虑车轮运动；
- 考虑风洞周边墙壁状况。



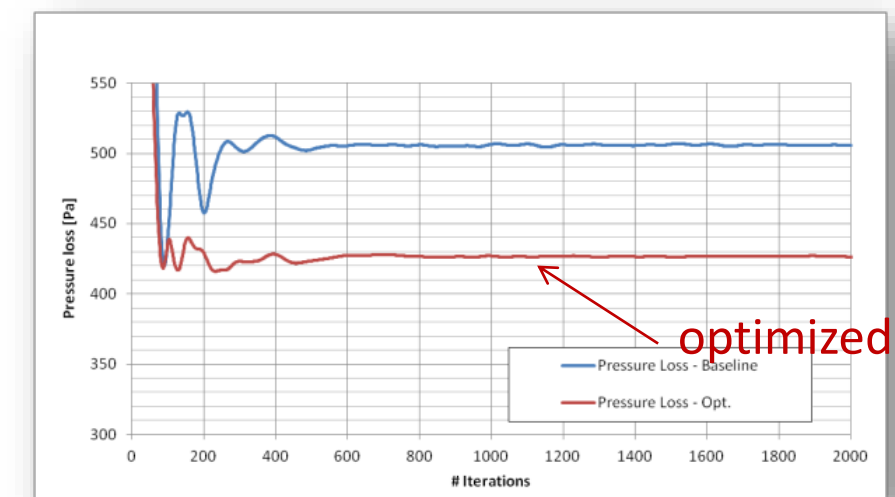
兰博基尼外气动

超级跑车优化减阻

- 优化目标 – 优化狭小空间内散热器的流动
- 计算结果减少了15 %的压降!



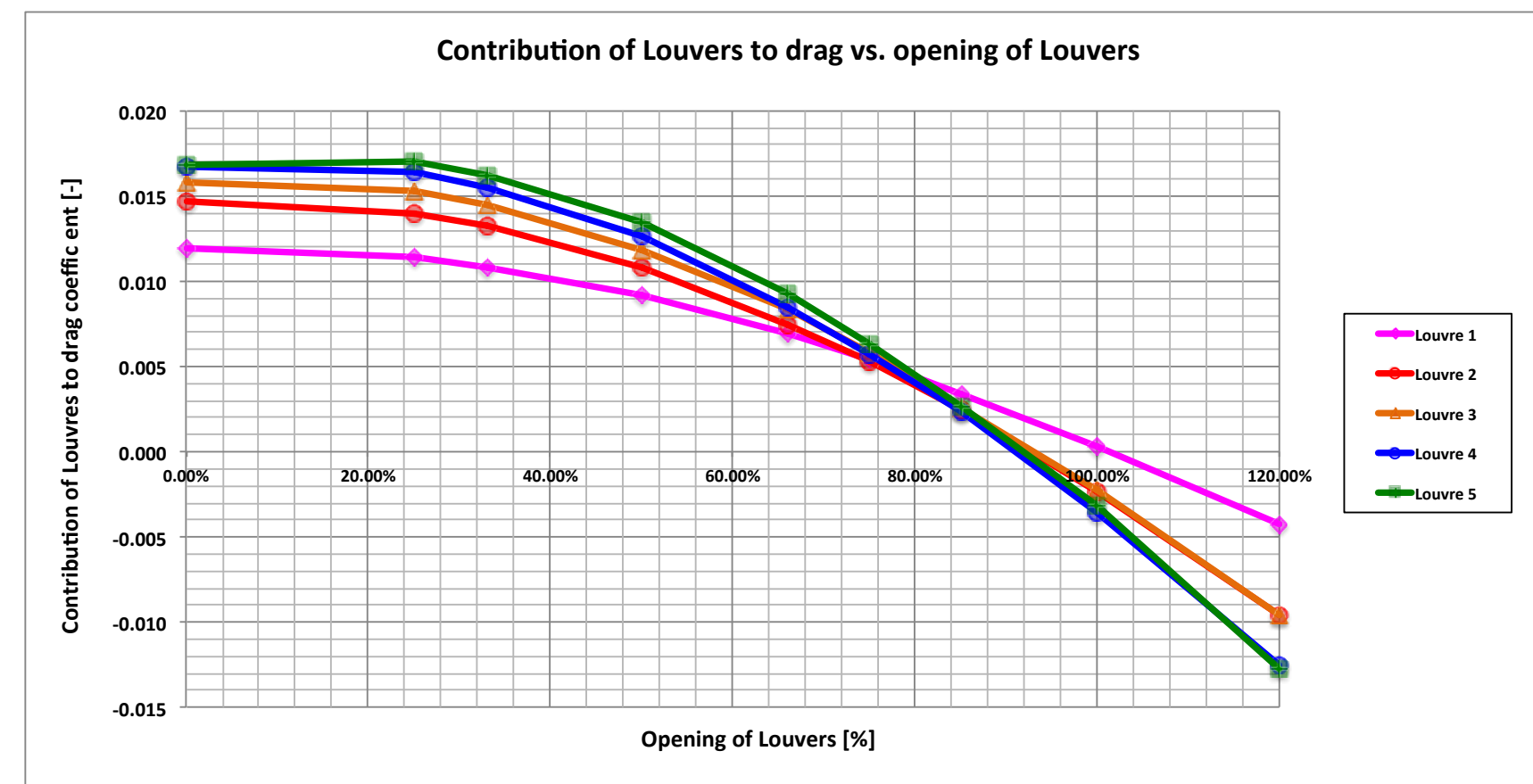
15 % 的压降而流量仅下降 8%



CV Group 商用车

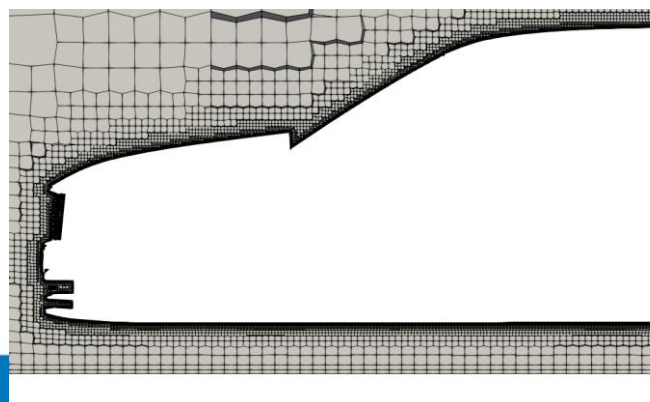
商用车进气格栅进气量优化

- 自动化的前进风隔栅控制对于优化前隔栅进风量很有必要；
- 在高速情况下进风口面积自动减小以减少进风量，在发动机负荷大(温度高)的情况下可以自动增大以增大进风量；
- 进风量同时也会影响整车的风阻；
- 模拟了5个隔栅开口的影响，分析出5组隔栅对风阻和机舱散热影响的敏感度，通过研究结果获得风阻和机舱冷却的平衡关系。



雨刷运动和Soiling模拟

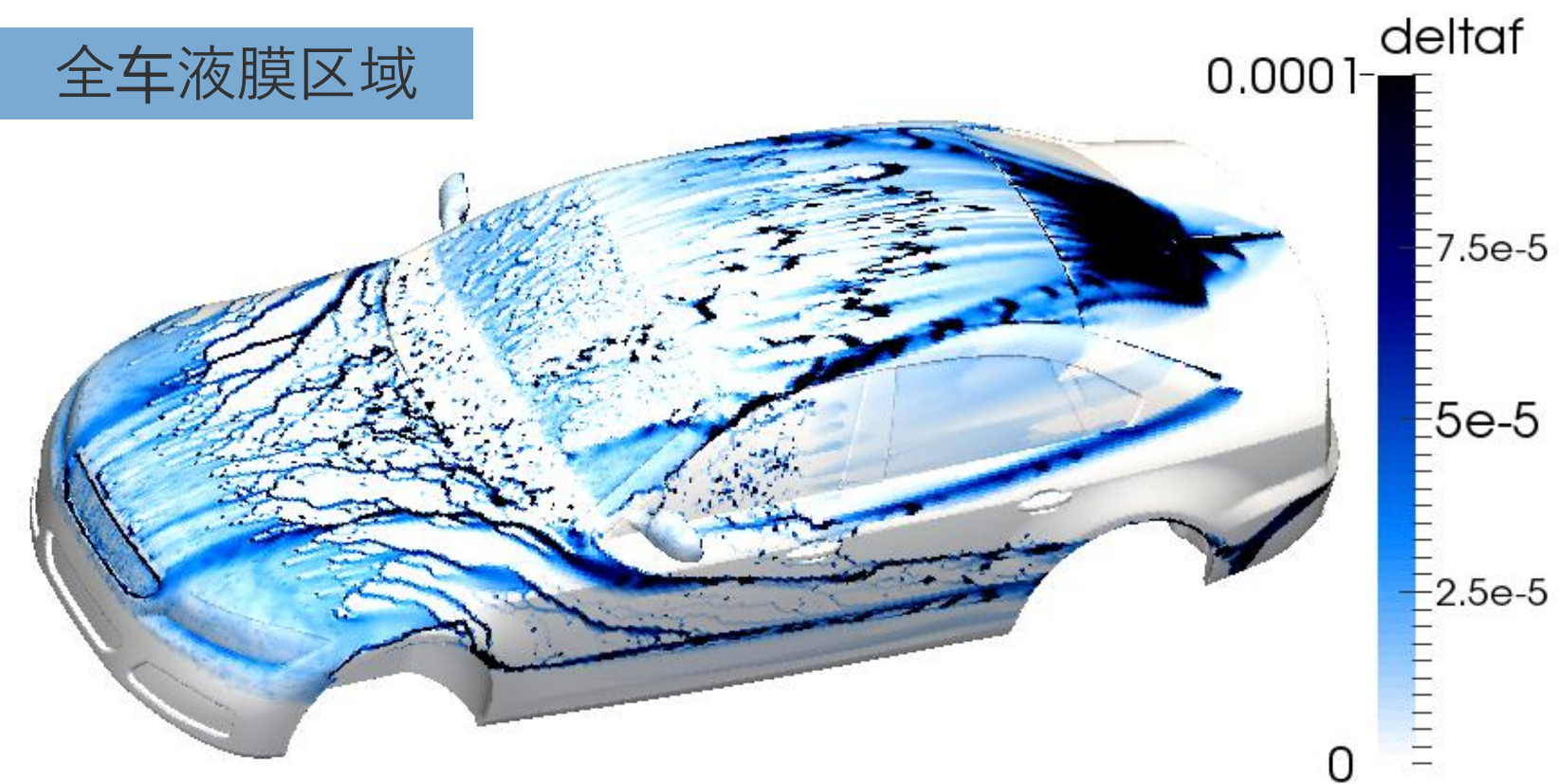
- 使用iconCFD Process预处理工具在几分钟内创建设置并导出所有需要的输入文件
- 从几个输入参数自动创建所有soiling模型属性和文件
- 网格: 1200万, iconHexMesh
- 稳态 (Spalart-Allmaras, iconCloudPisoFoam, 无液膜模型)和瞬态(IDDES-SA, iconCloudFilmPisoFoam, 有液膜模型) 模拟



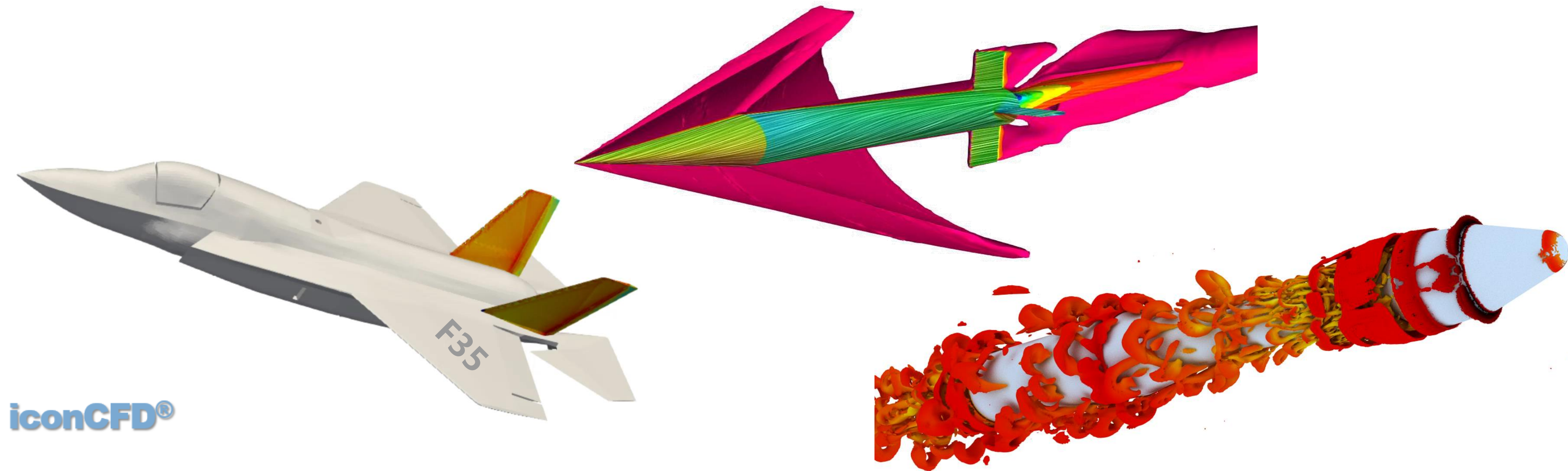
雨刷运动



全车液膜区域



航空航天领域的典型应用



DLR F6模型验证

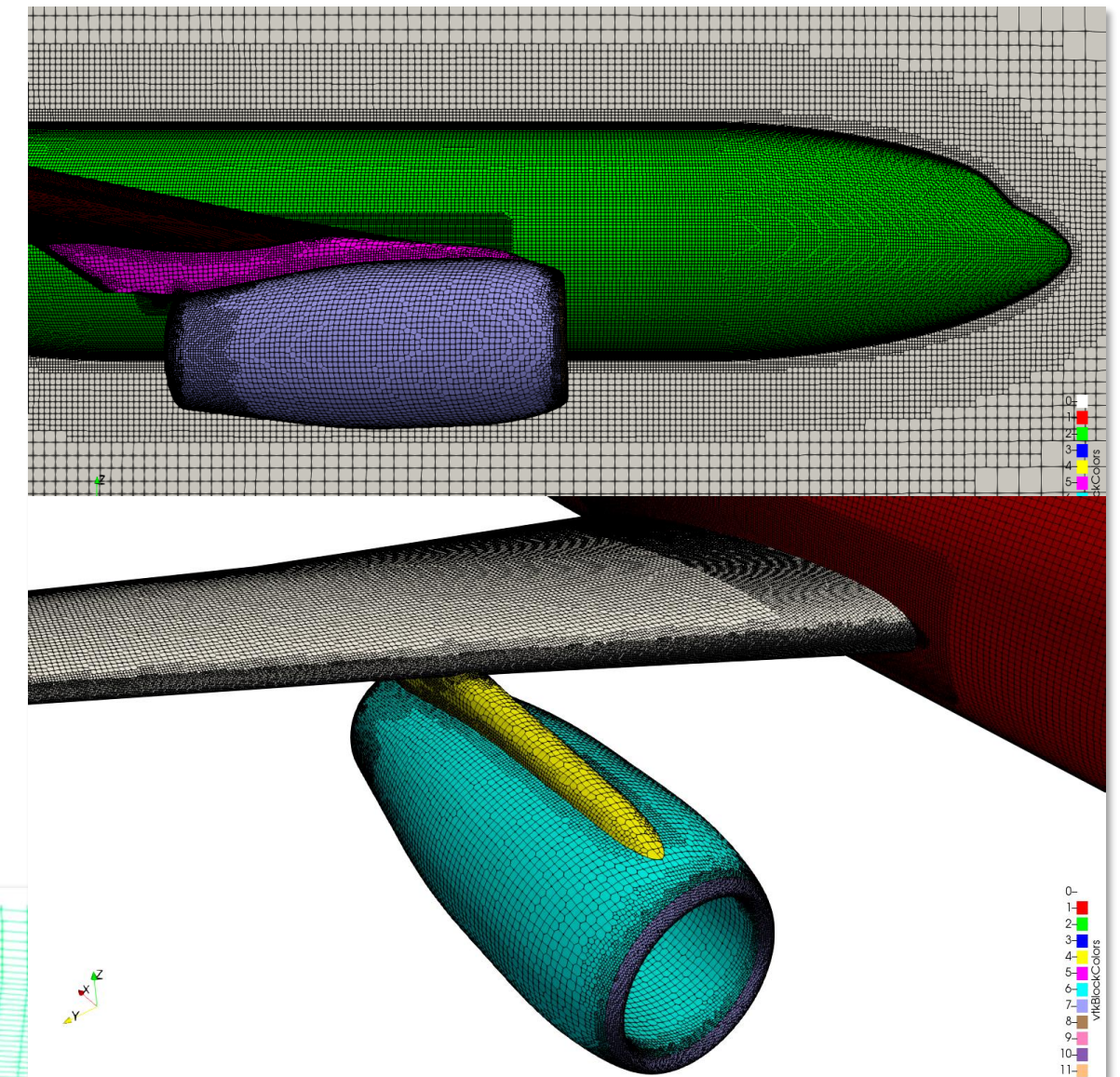
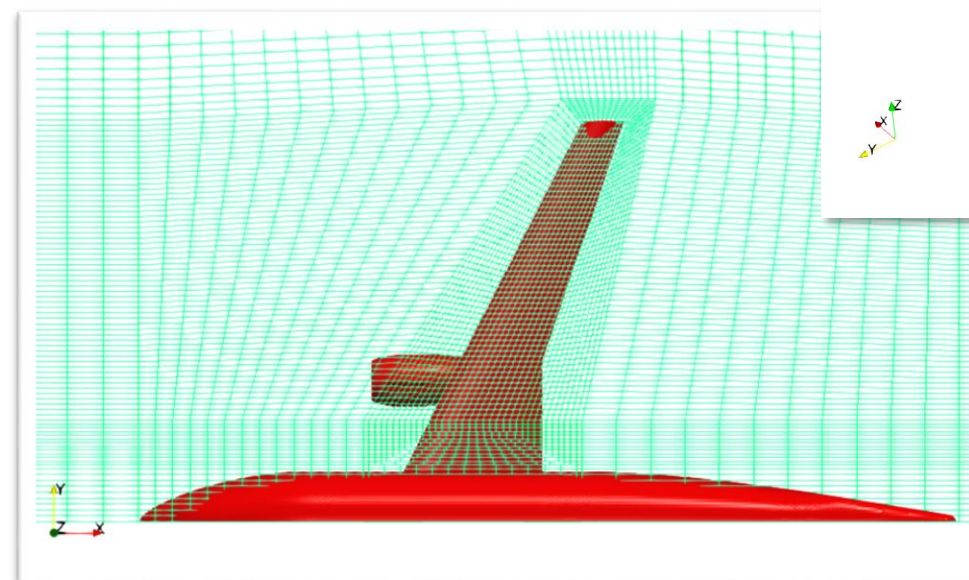
计算说明

■ 2nd AIAA Drag Prediction workshop

Case	M	Re	T0 (K)	α (°)
2	0.7500	3,000,000	305.09	-3, -2, -1.5, -1, 0, 1, 1.5

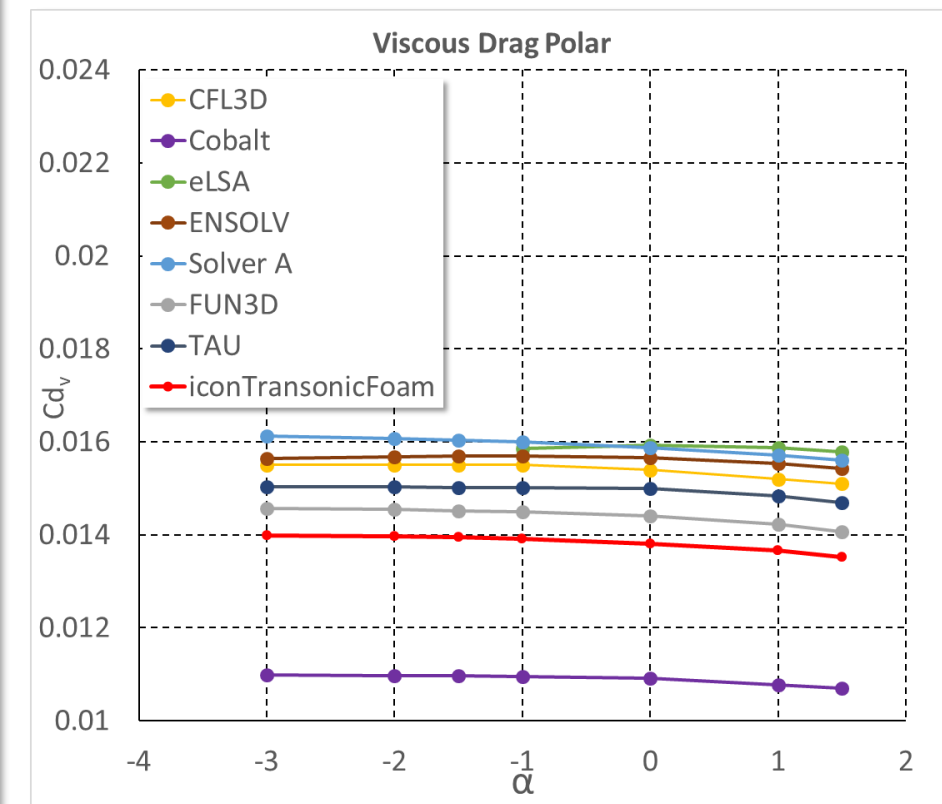
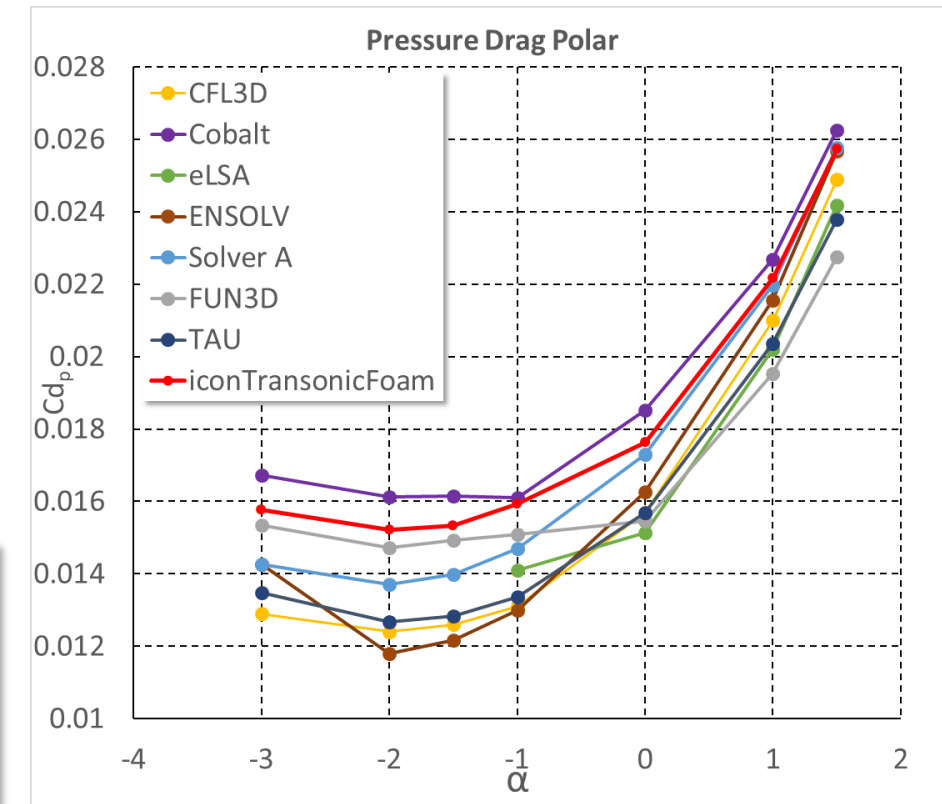
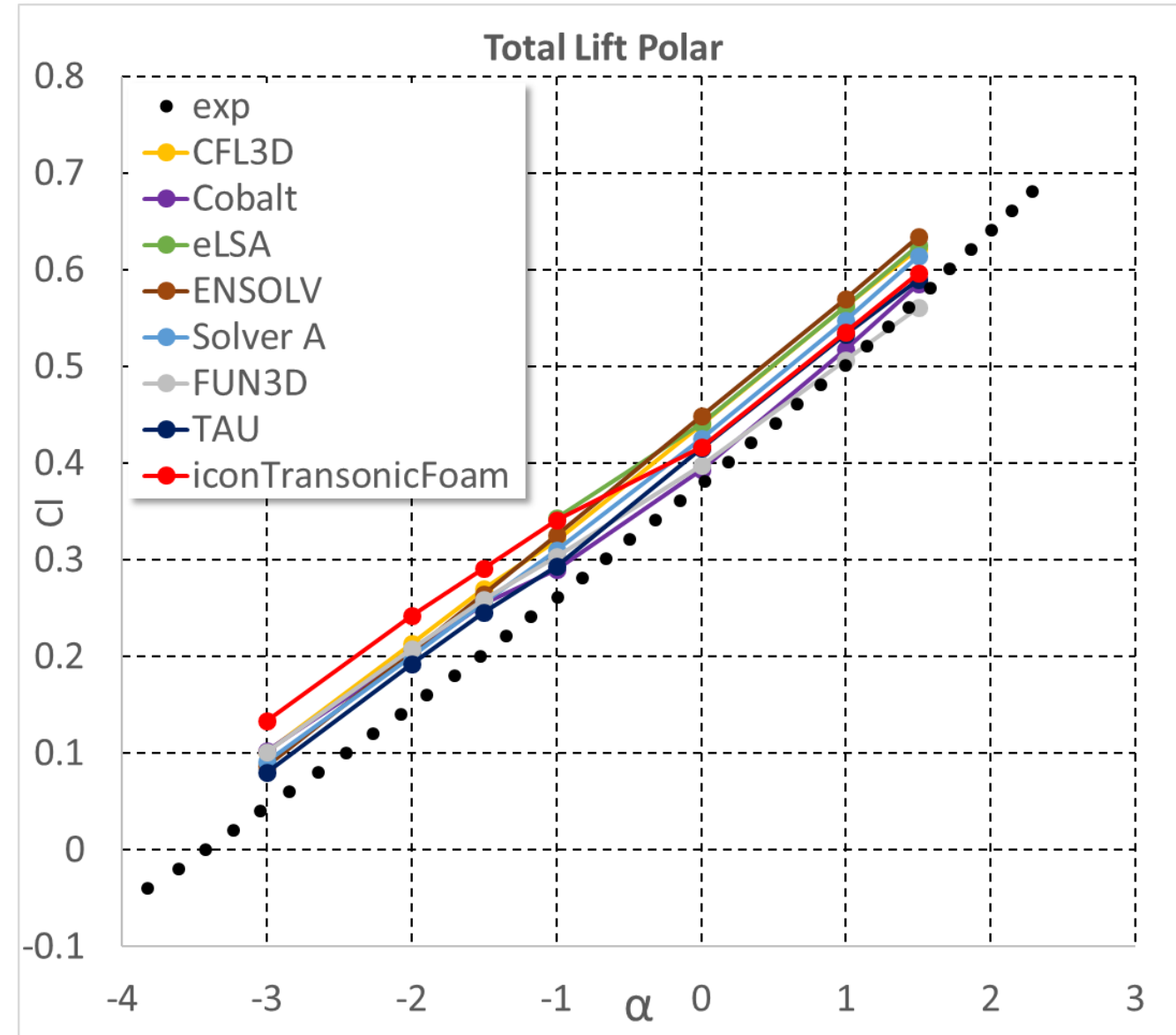
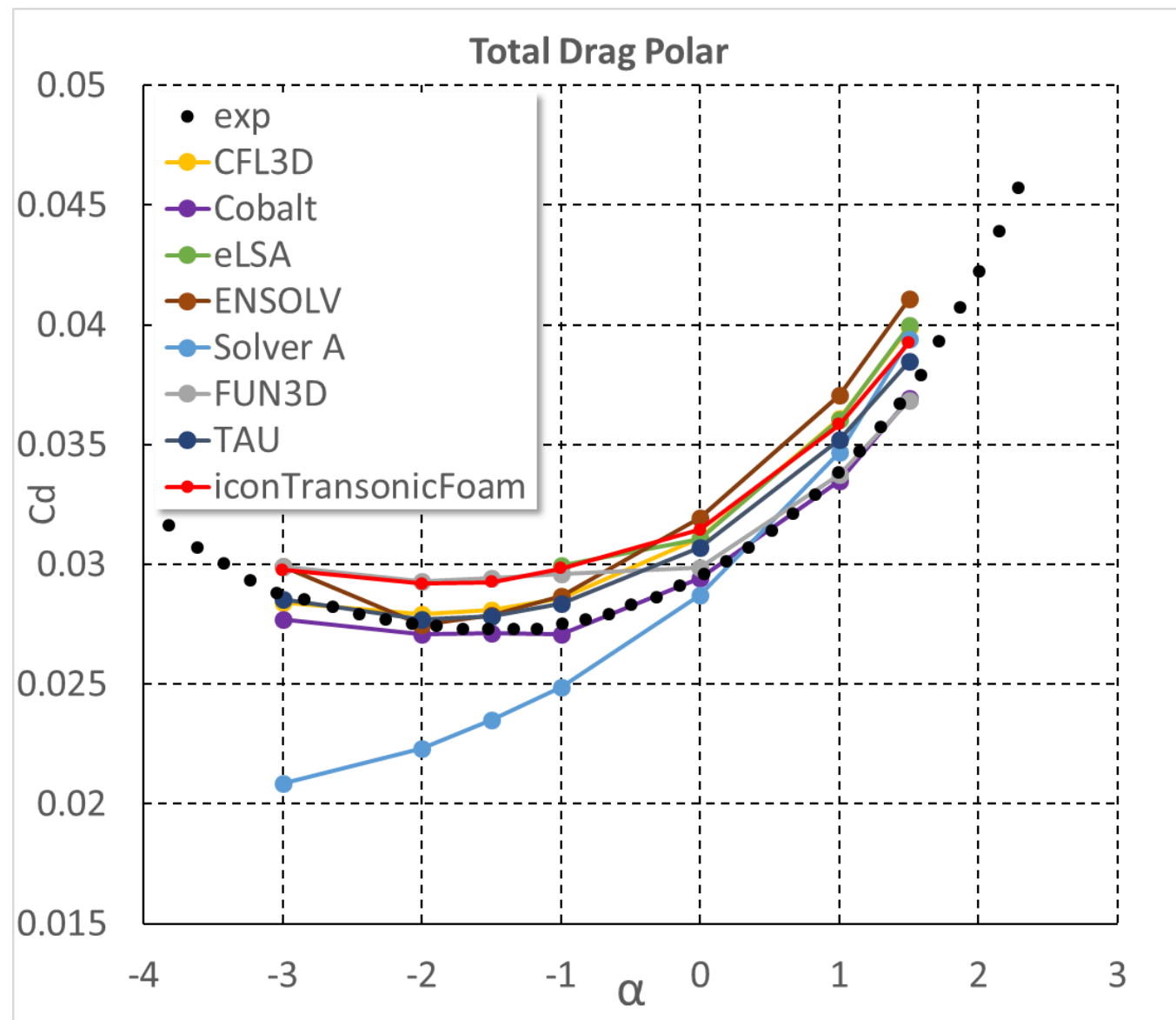
■ 使用*iconHexMesh*生成网格

- 先使用*aeroBlockMesh*生成初始的block
- 网格数量1043万
- 平均 $y^+ \sim 0.5$



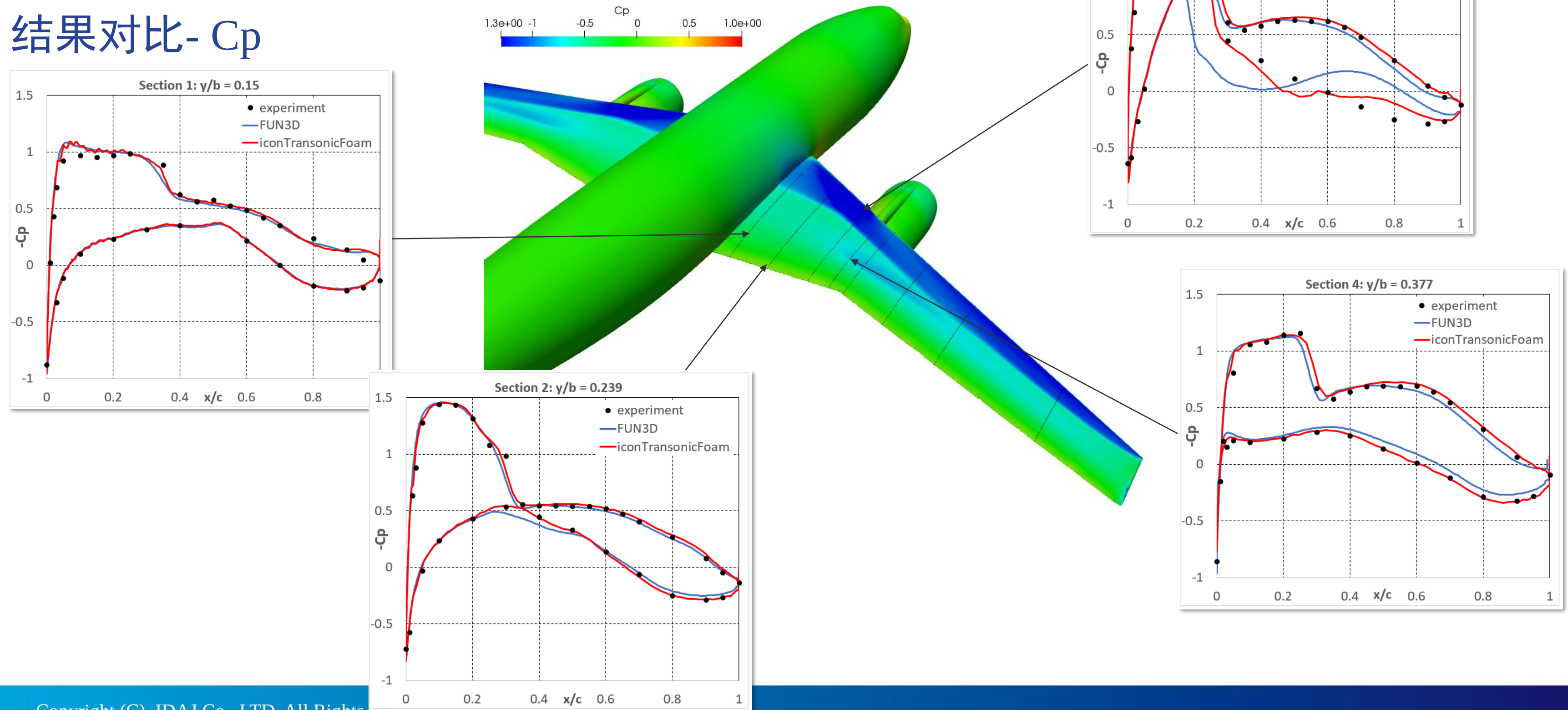
DLR F6模型验证

结果对比- Force polar



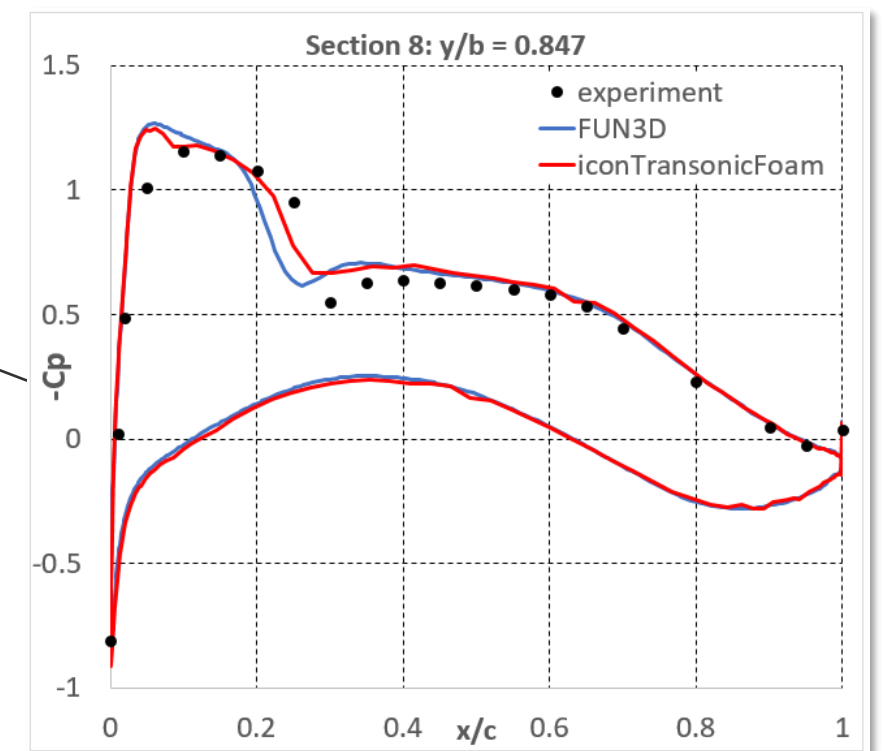
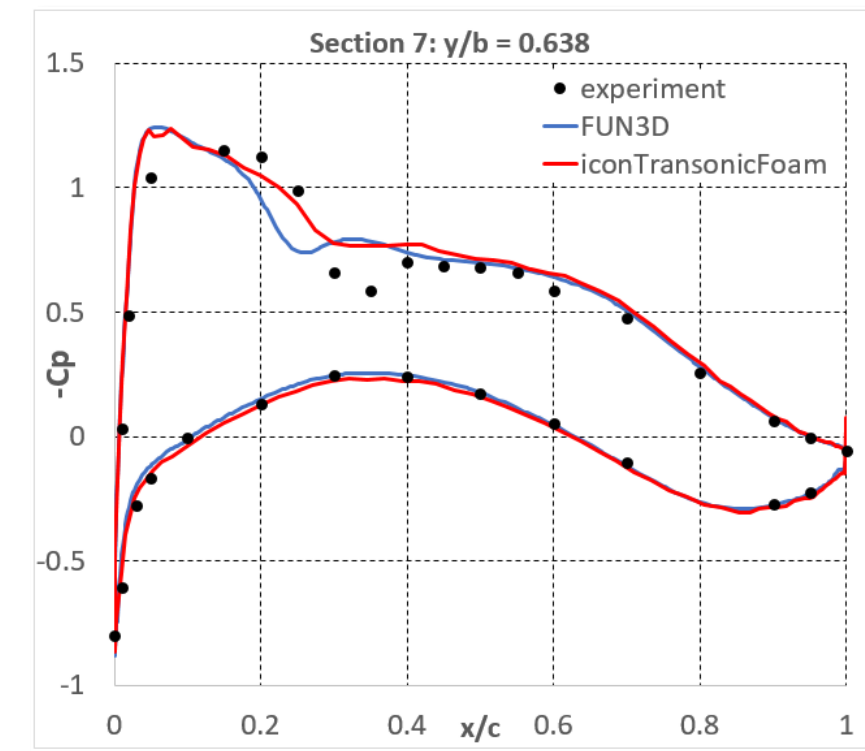
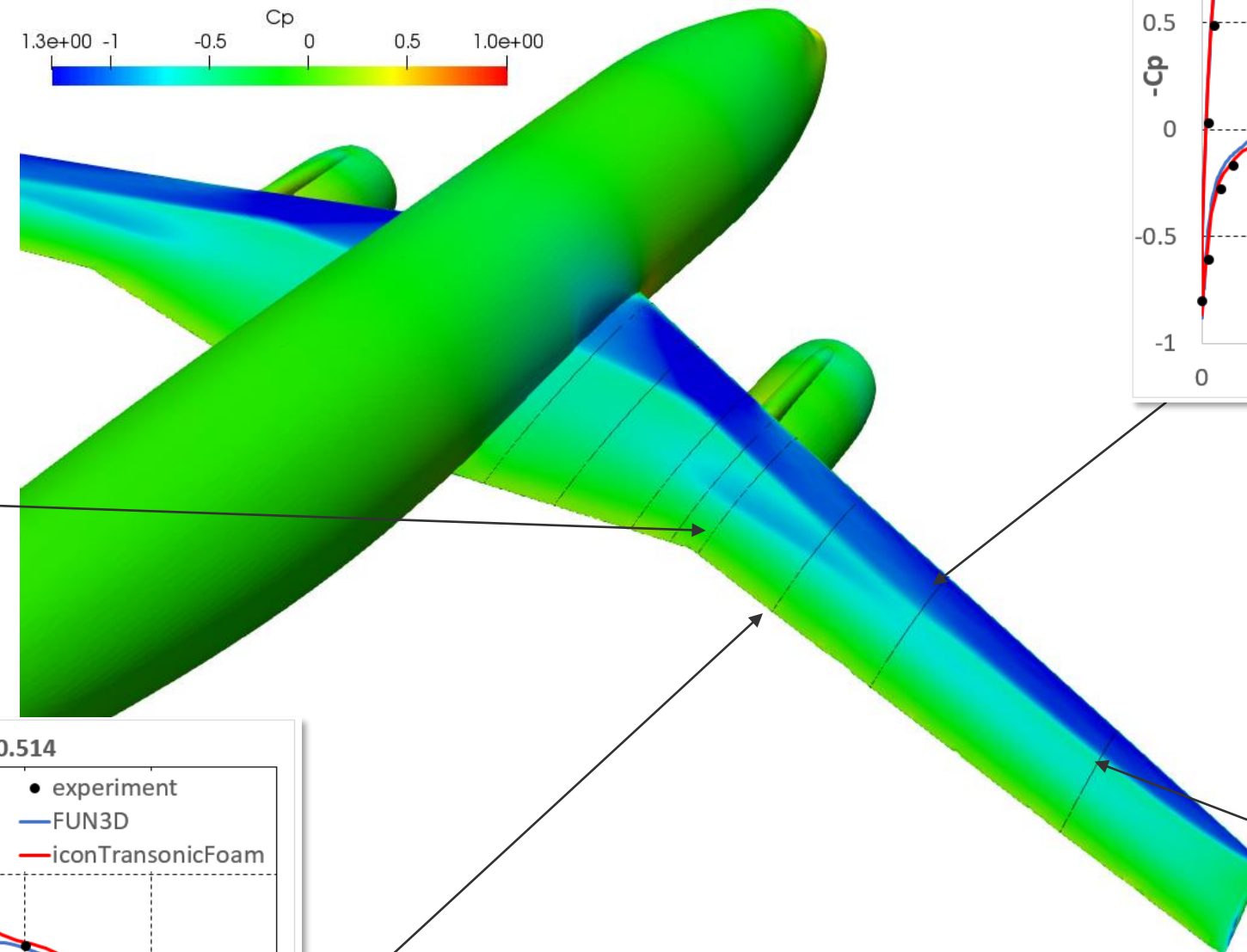
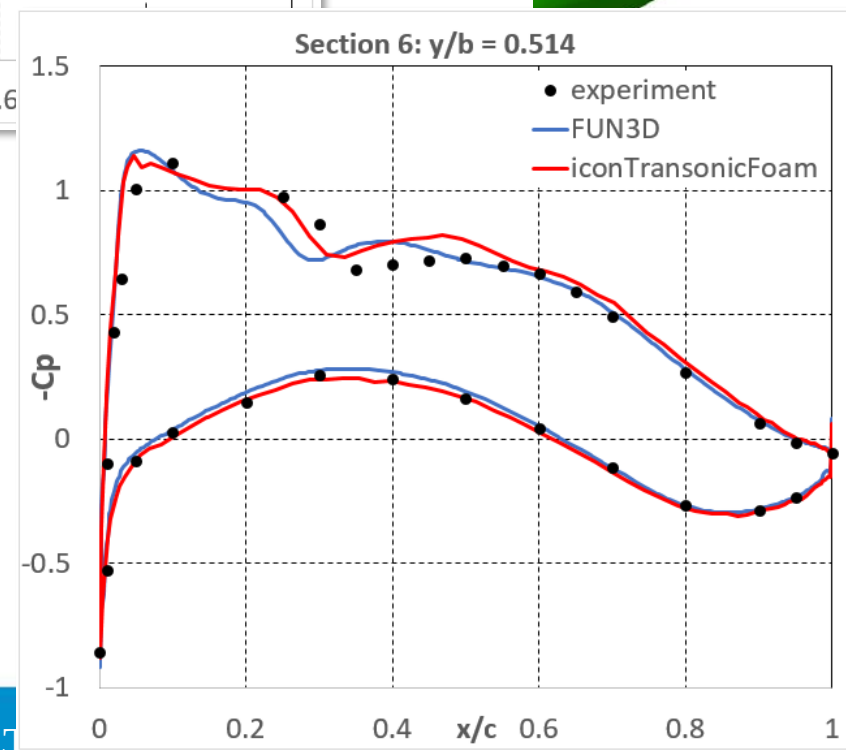
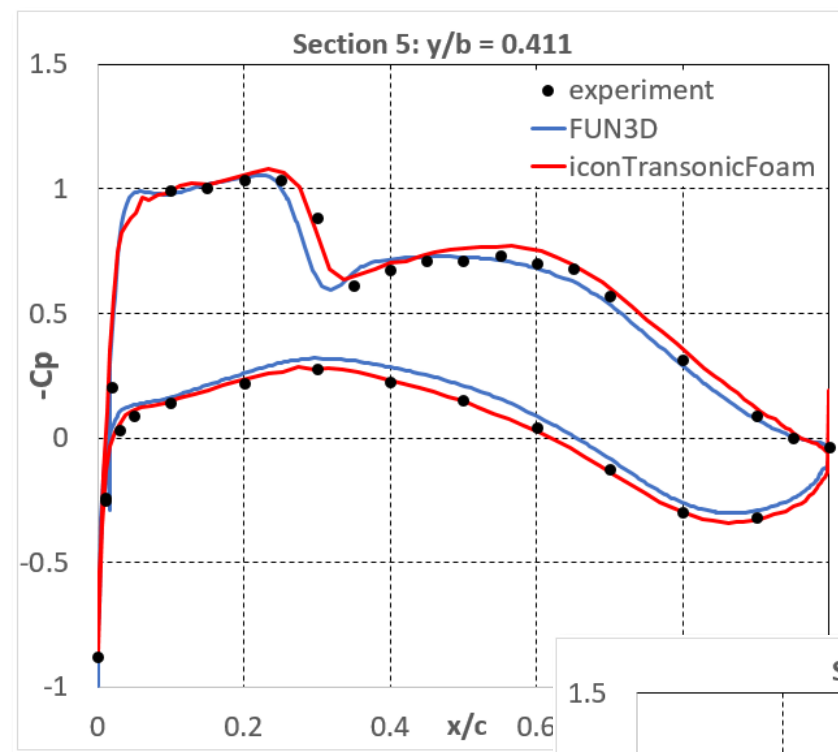
DLR F6模型验证

结果对比- C_p



DLR F6模型验证

结果对比- C_p



跨音速运载火箭

计算说明

■ Model 11 of the NASA Tech Memo X778

- “Steady and fluctuating pressures at transonic speeds on hammerhead launch vehicles” NASA -1962

■ 使用iconHexMesh生成网格

- 半模型，网格数量500万

■ 验证工况

- 0.8, 1.17马赫
- 不同攻角

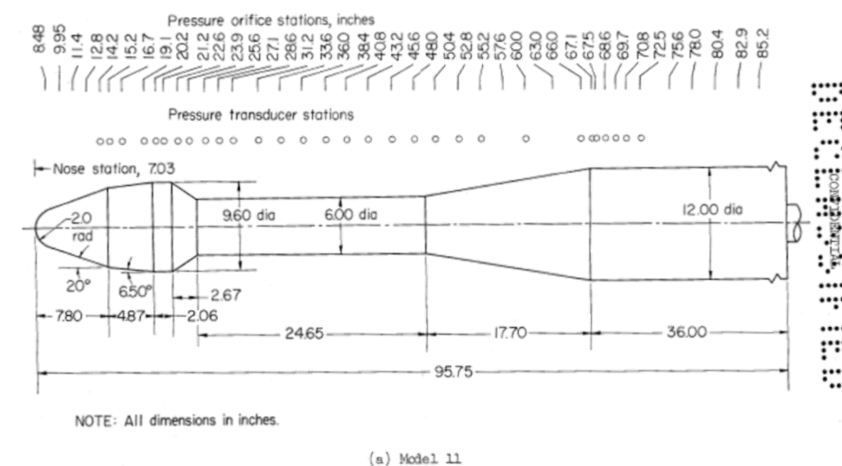
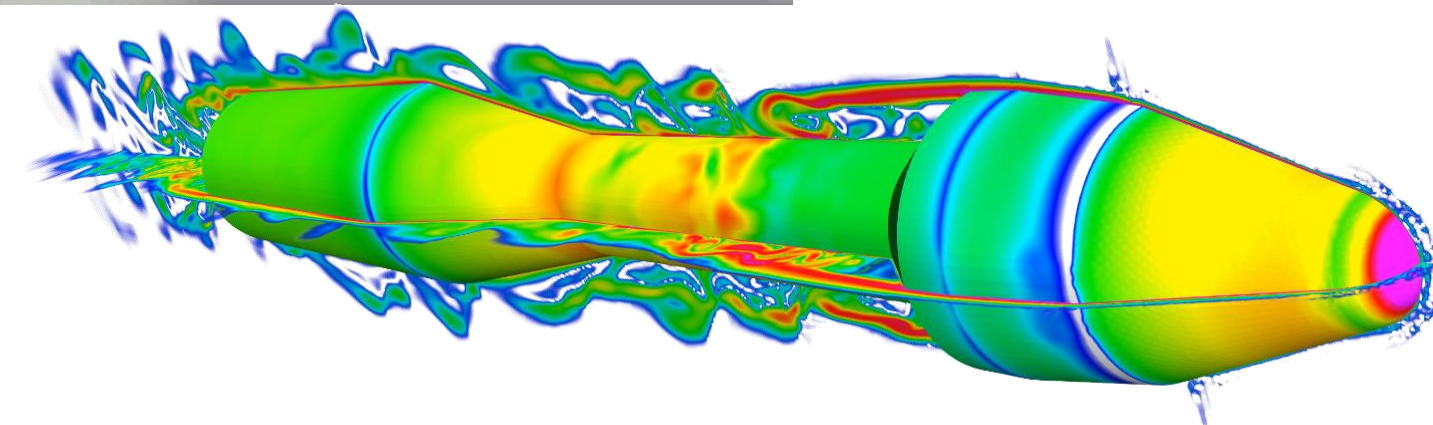
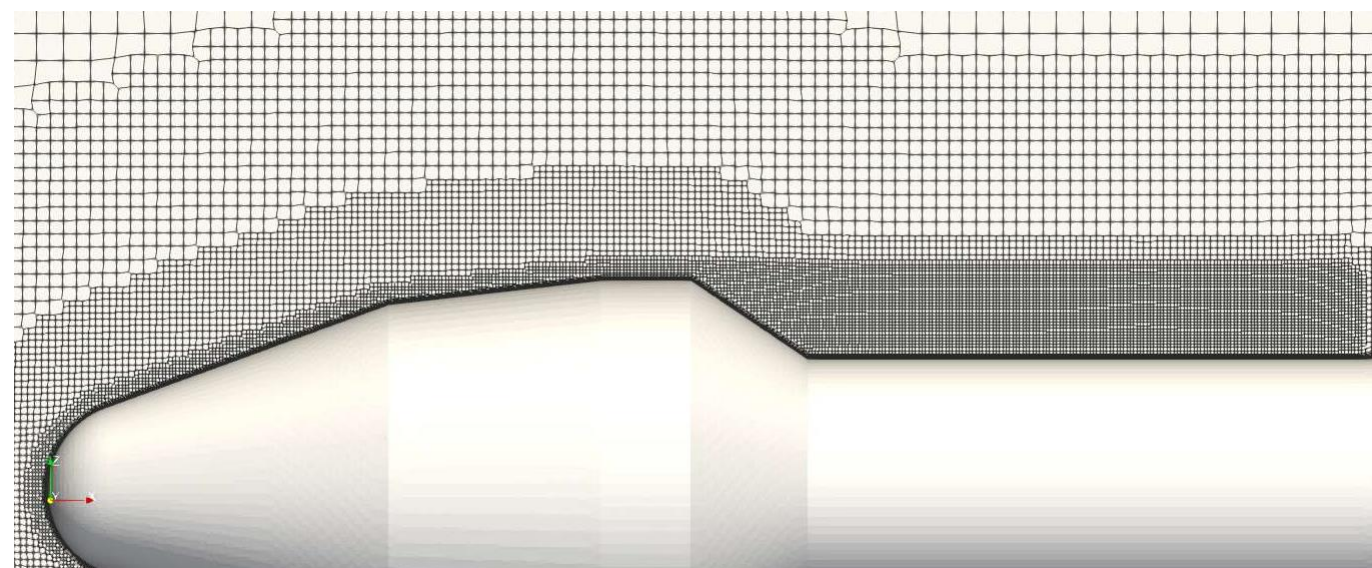


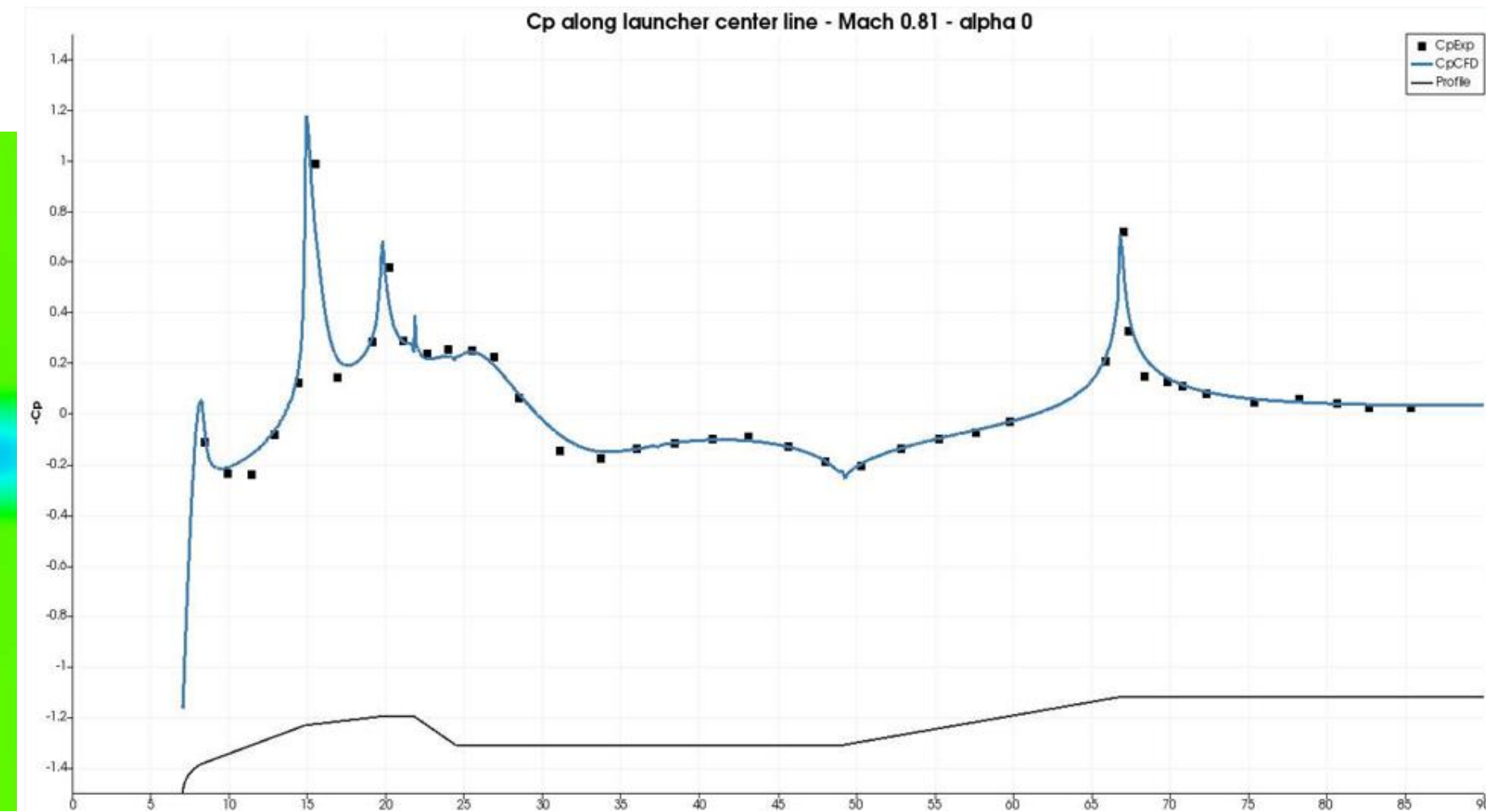
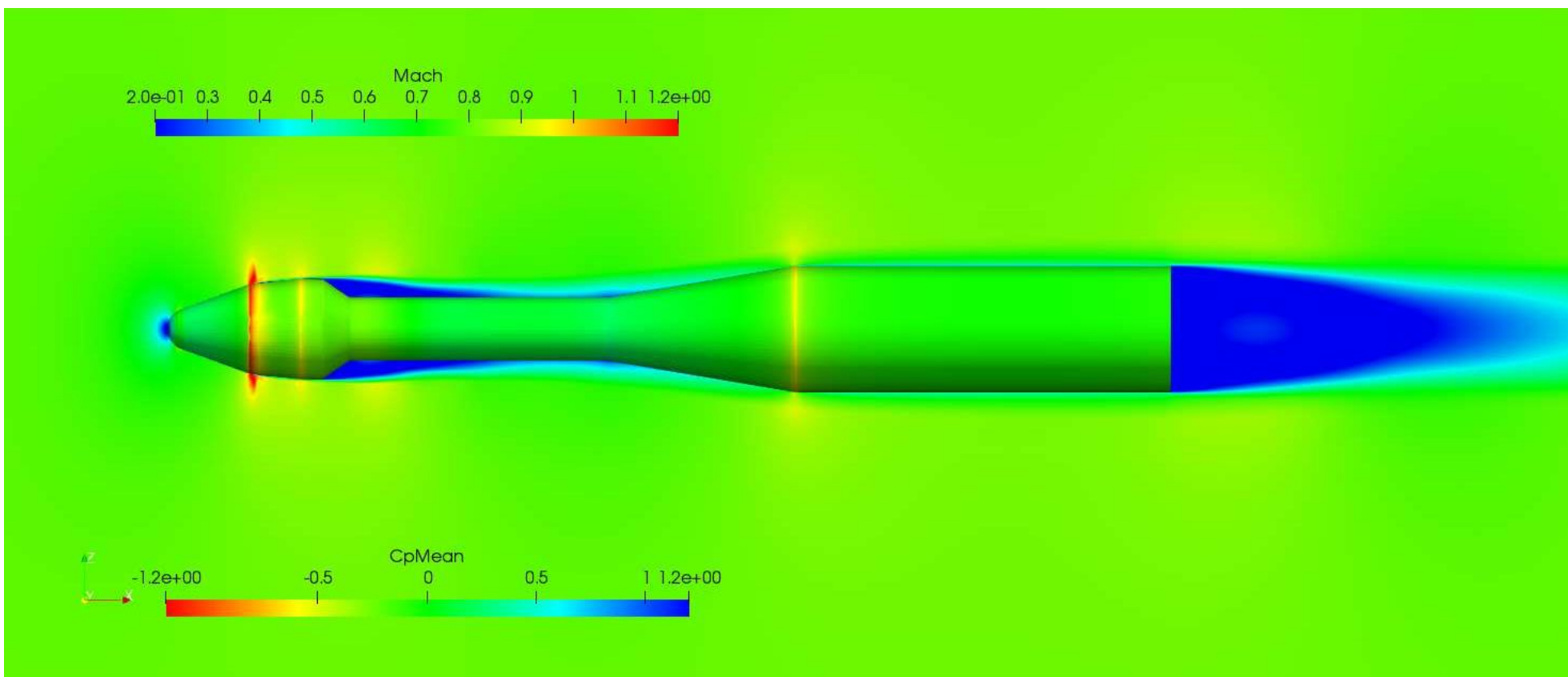
Figure 3.- Sketches of models showing pertinent dimensions and locations of the static-pressure orifices and pressure transducers.



跨音速运载火箭

计算结果对比

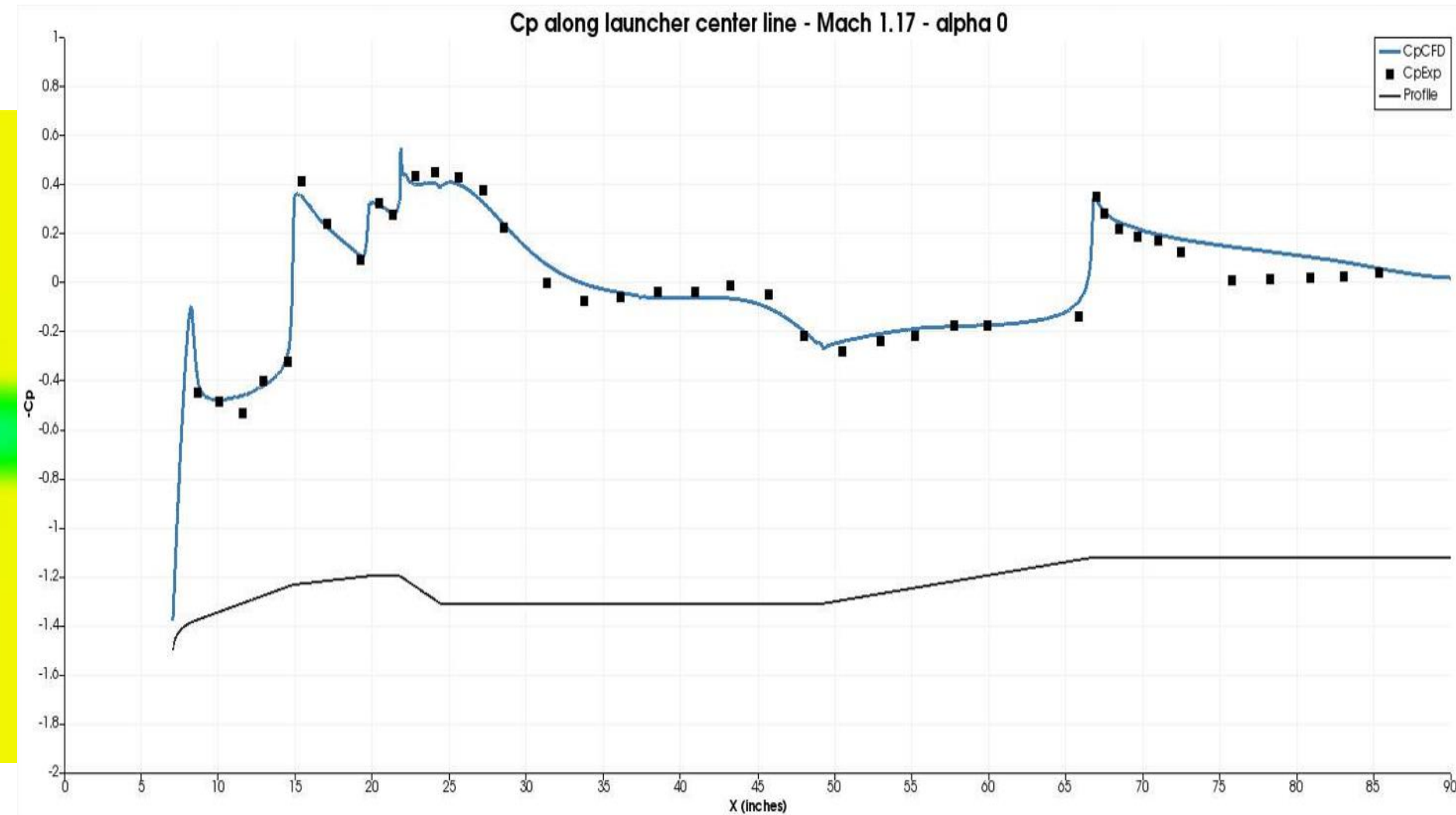
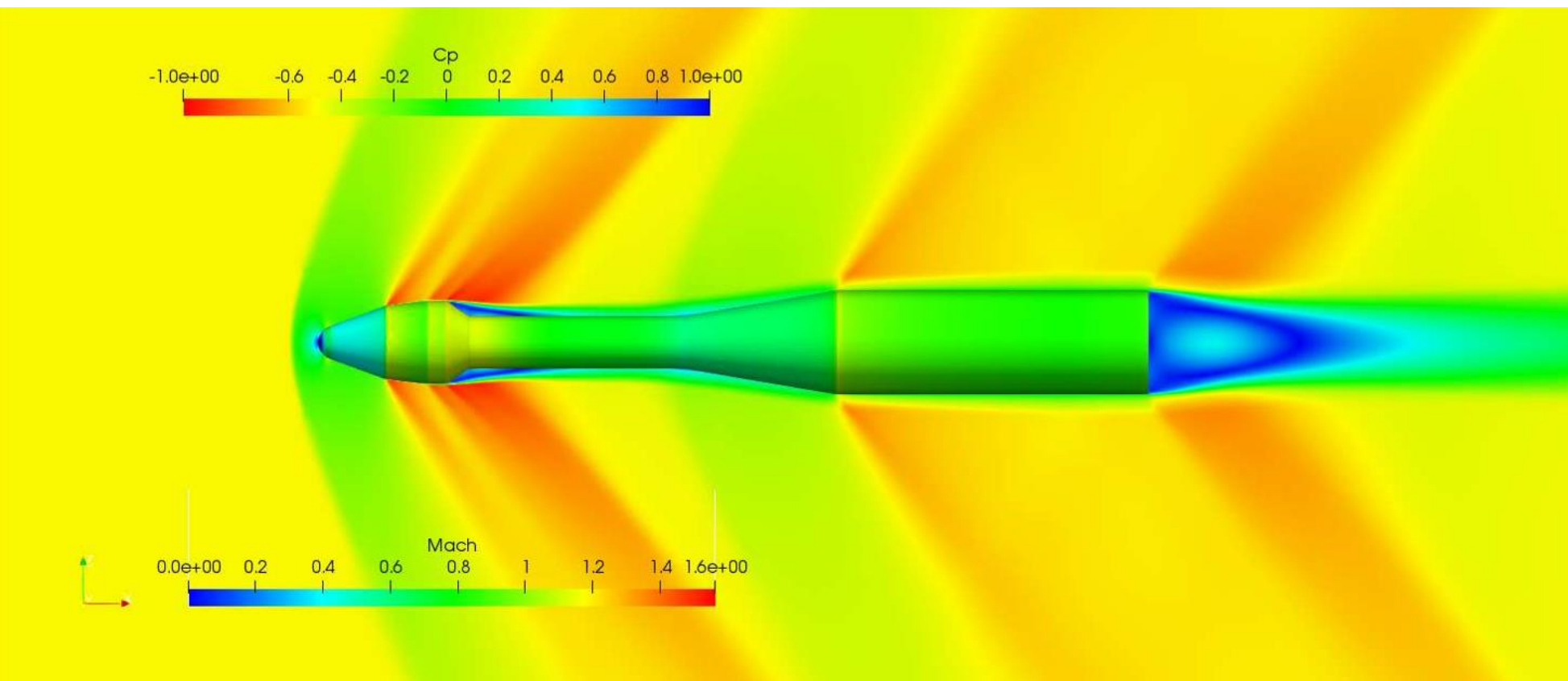
$M = 0.8$, $\alpha = 0^\circ$. Mach in volume, C_p on surface.



跨音速运载火箭

计算结果对比

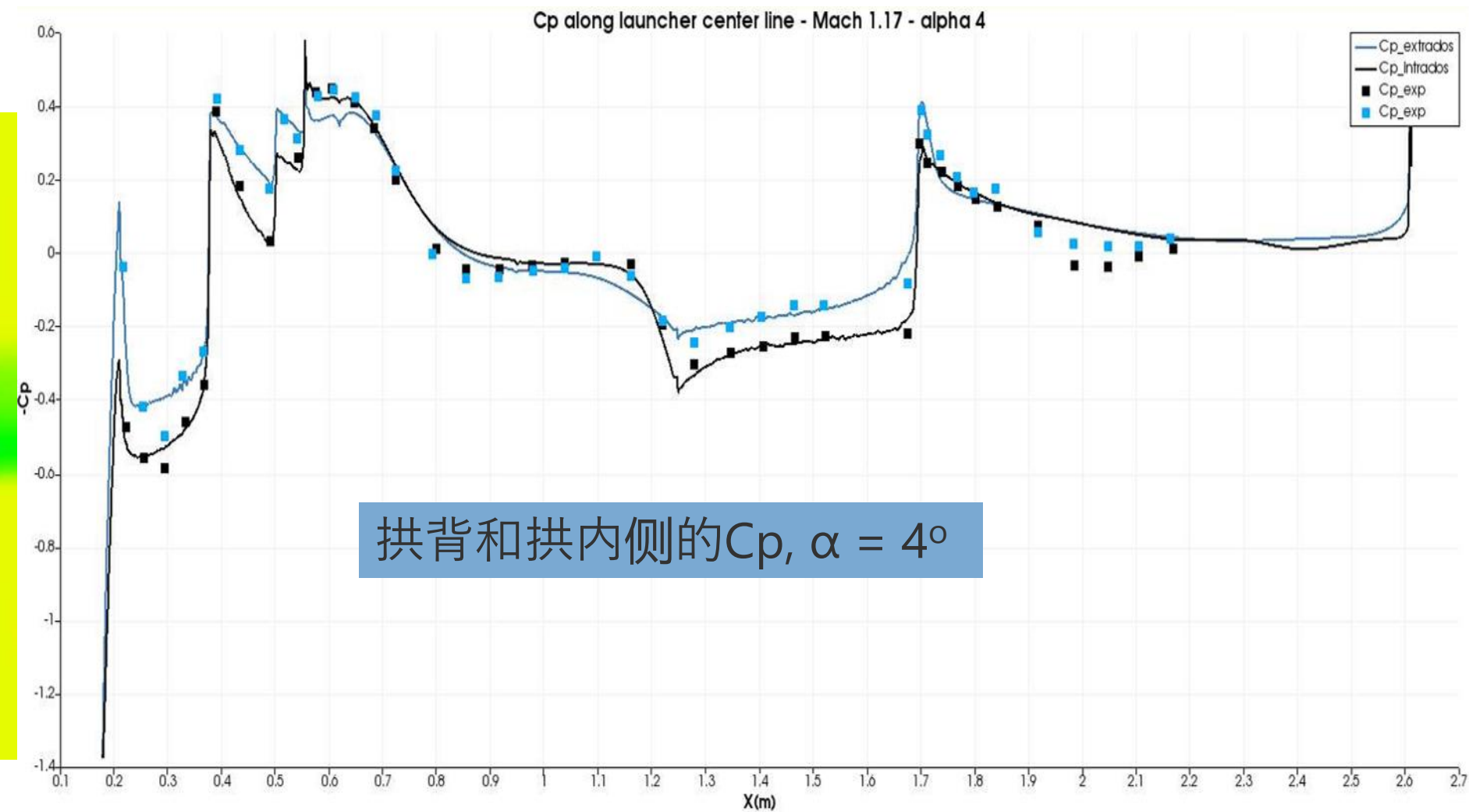
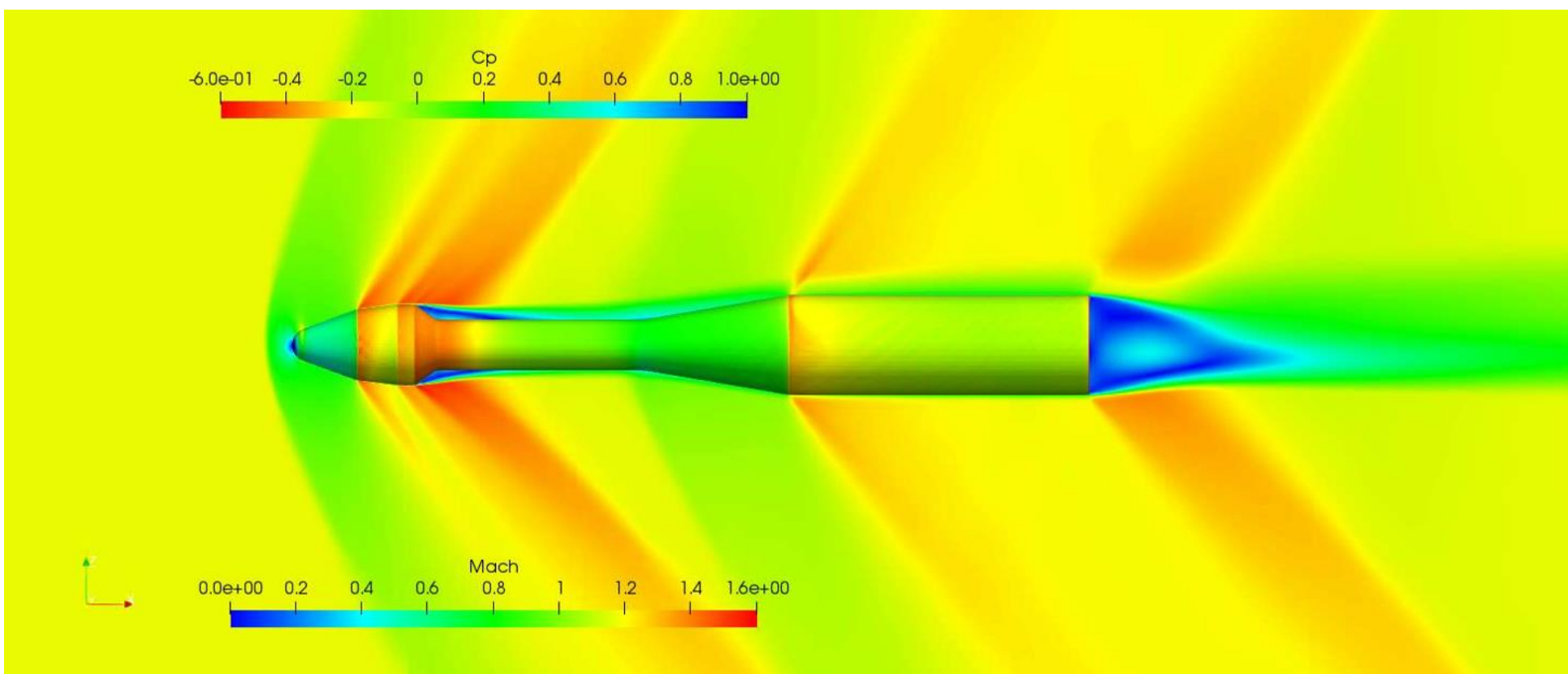
$M = 1.17$, $\alpha = 0^\circ$. Mach in volume, C_p on surface.



跨音速运载火箭

计算结果对比

$M = 1.17$, $\alpha = 4^\circ$. Mach in volume, C_p on surface.



超音速基本带翼导弹

计算说明

■ 基本带翼导弹

- “Aerobalistic range tests of the basic finner reference projectile at supersonic velocities” A.D.Dupuis et Al. 1997

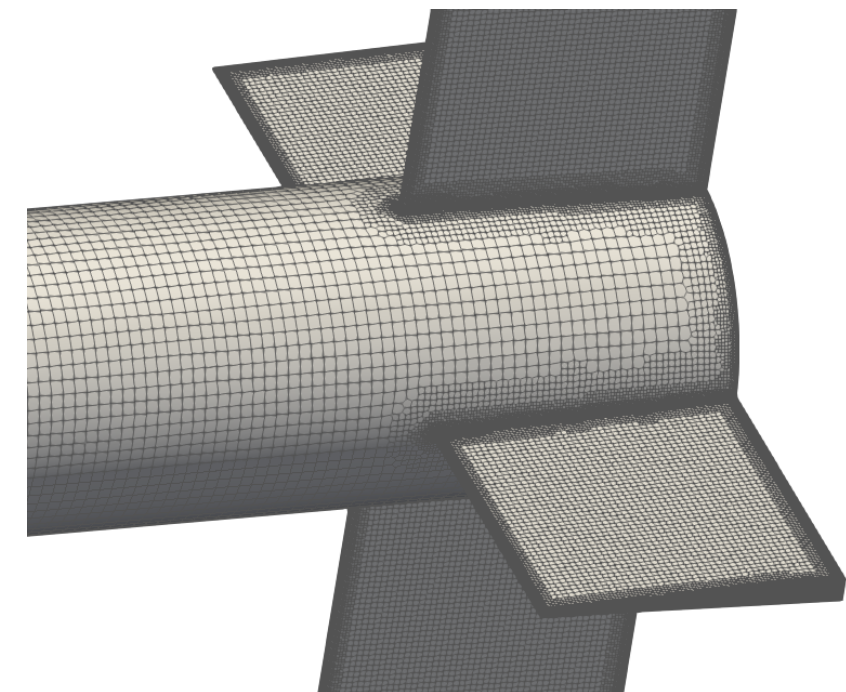
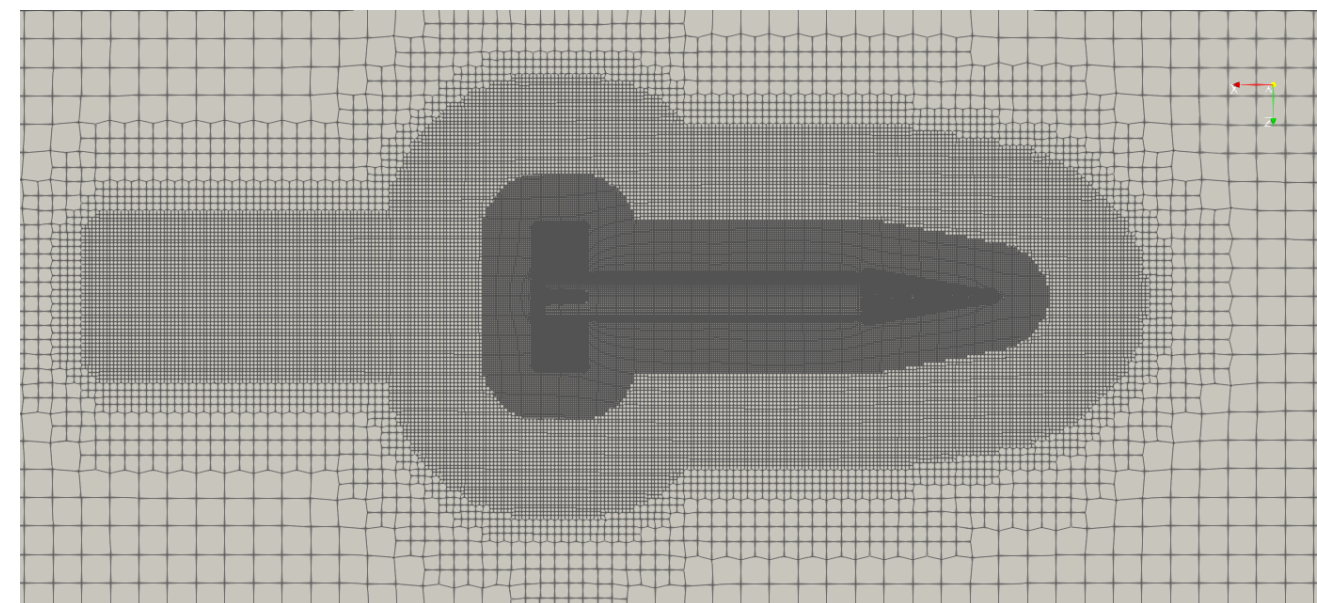
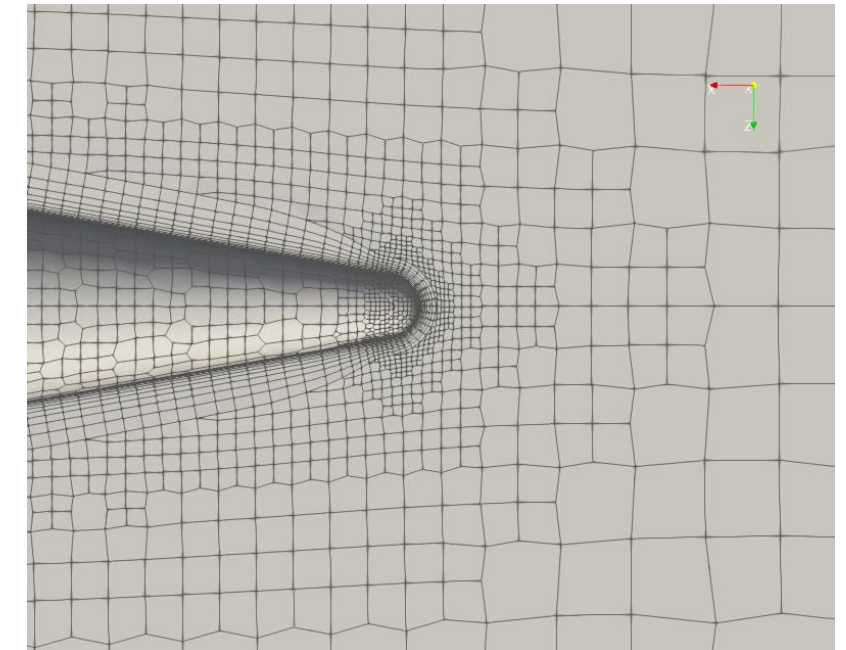
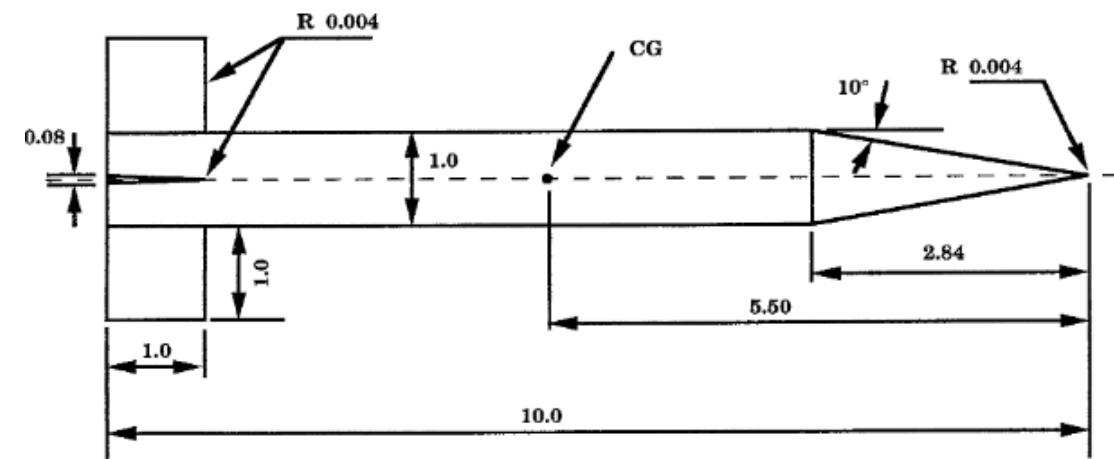
■ 使用iconHexMesh生成网格

- 网格数量500万

■ 验证工况

- 高马赫数

UNCLASSIFIED

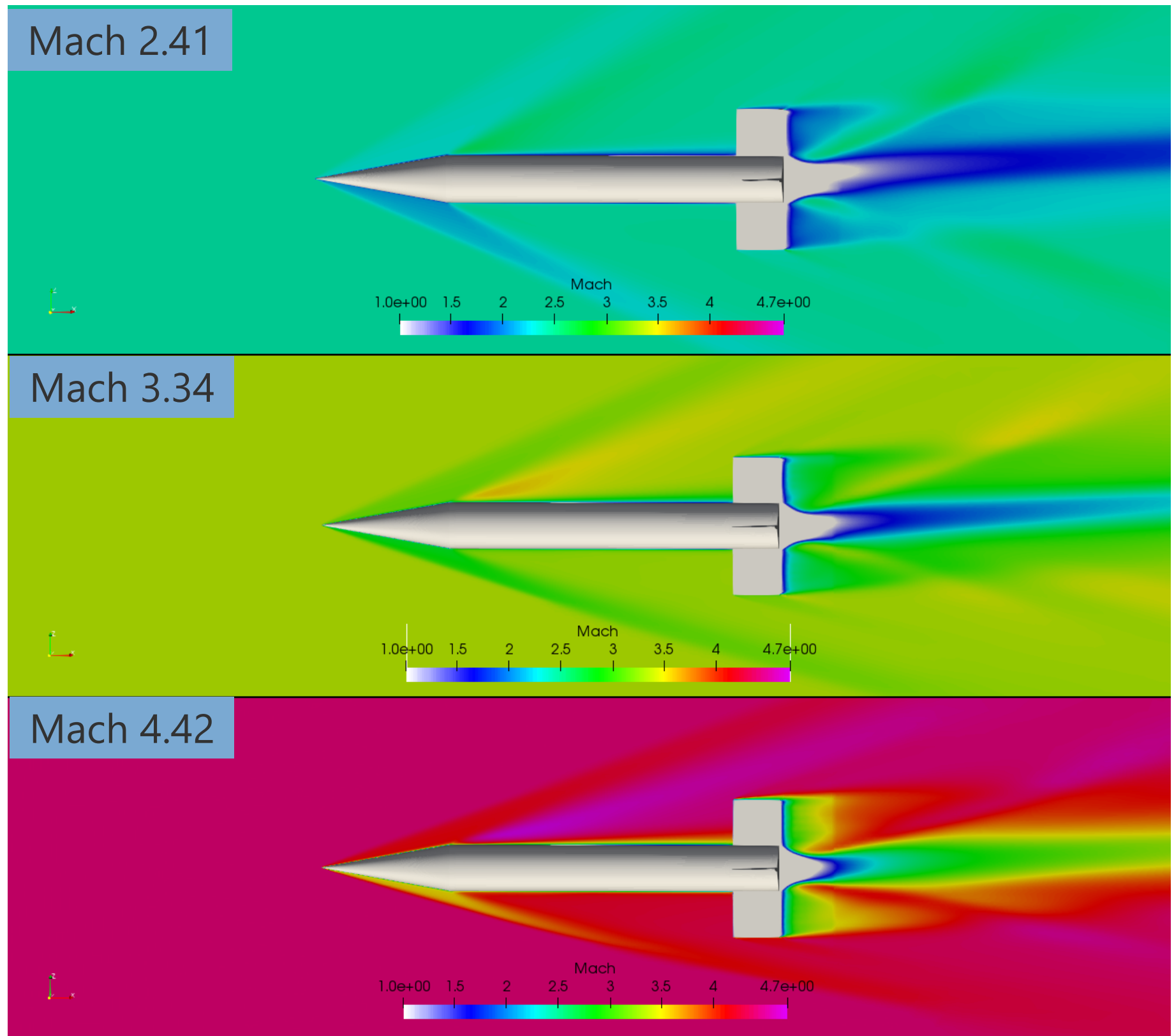


超音速基本带翼导弹

计算结果对比

■ $M = 2.41$ to 4.42

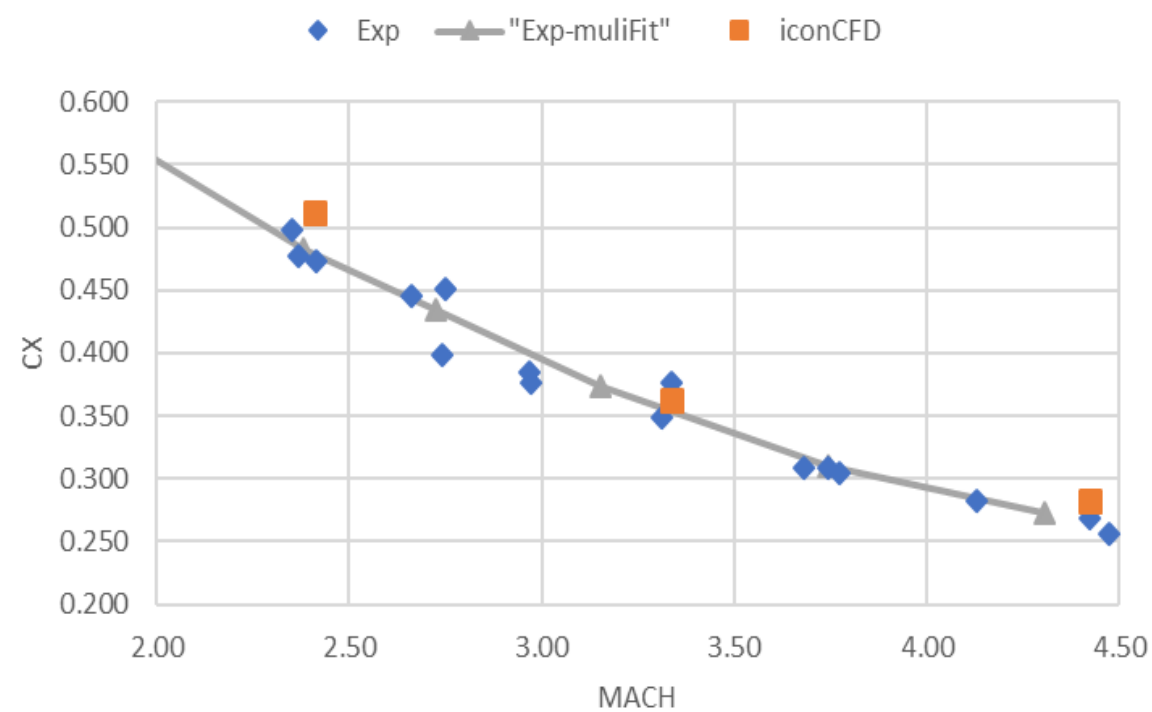
■ $\alpha = 5^\circ$



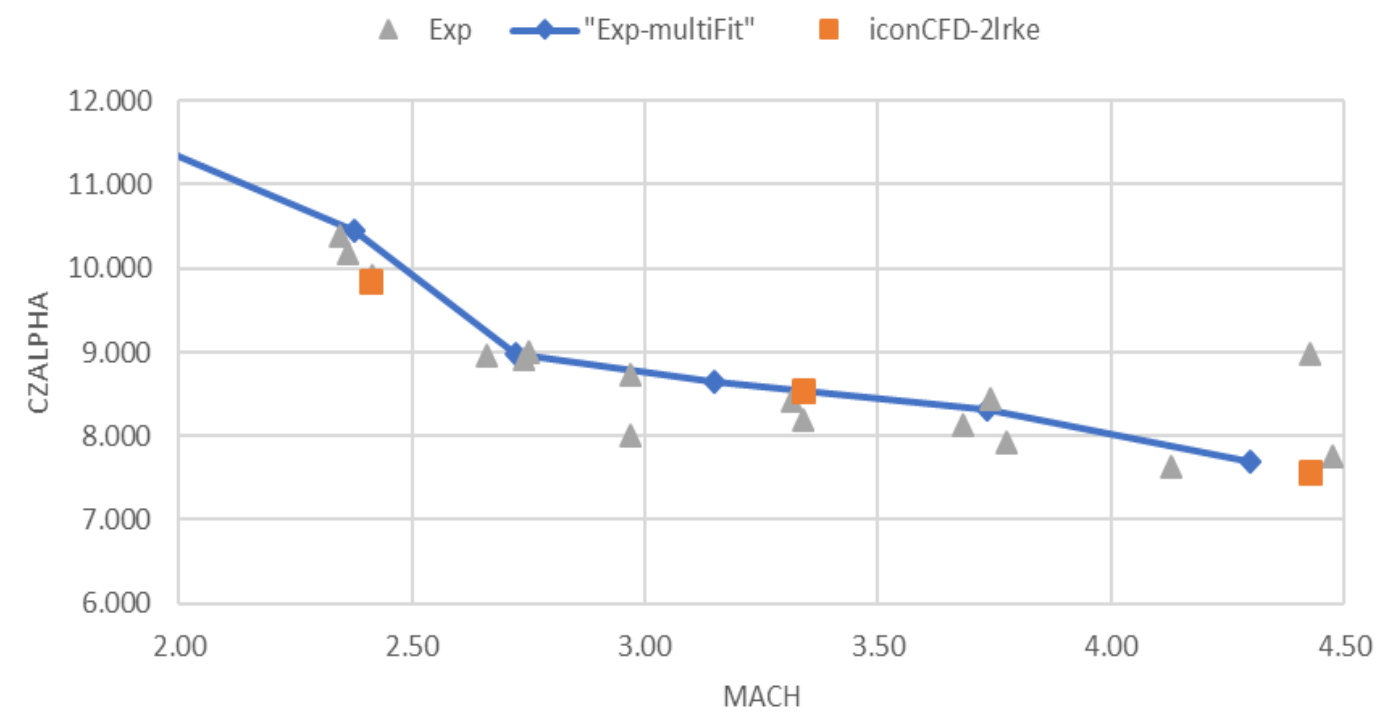
超音速基本带翼导弹

计算结果对比

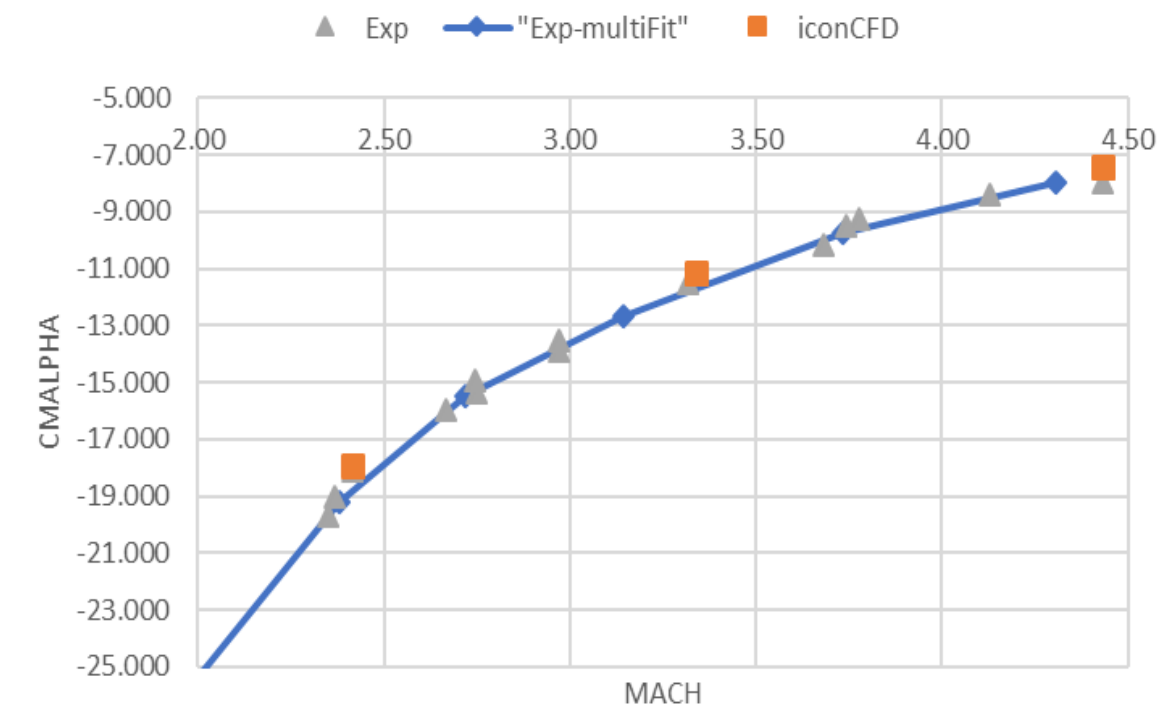
Drag coefficient $C_x = f(\text{Mach})$



Lift coefficient $dC_z/d\alpha = f(\text{Mach})$



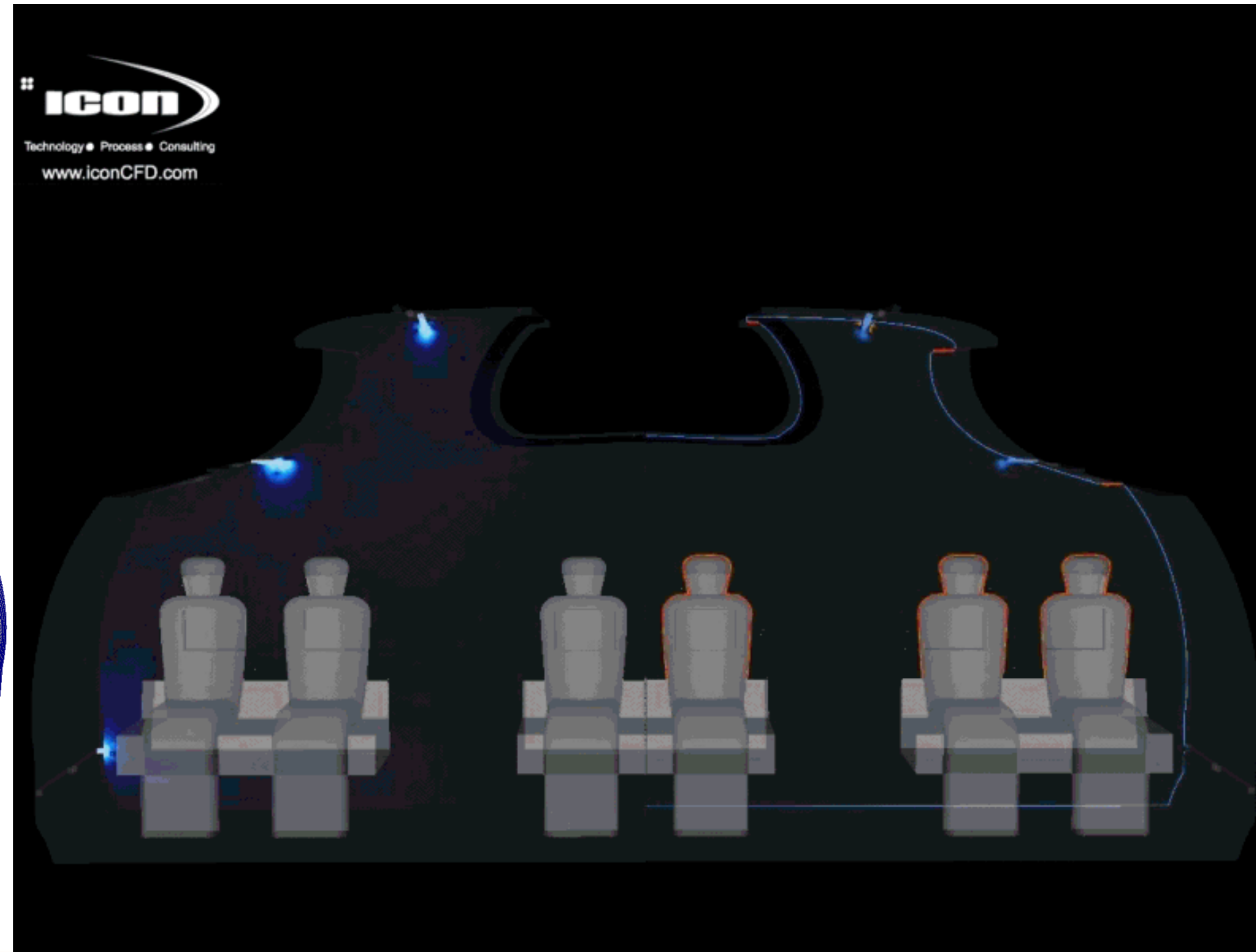
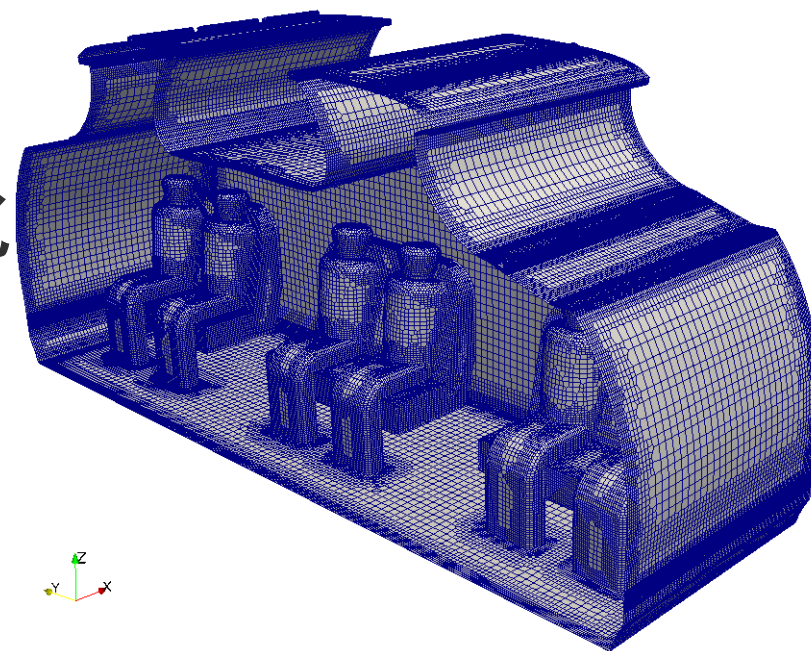
Pitch moment coefficient $dC_m/d\alpha = f(\text{Mach})$



其它案例-飞机乘员舱

混合/再循环系统及机舱空气流动模式

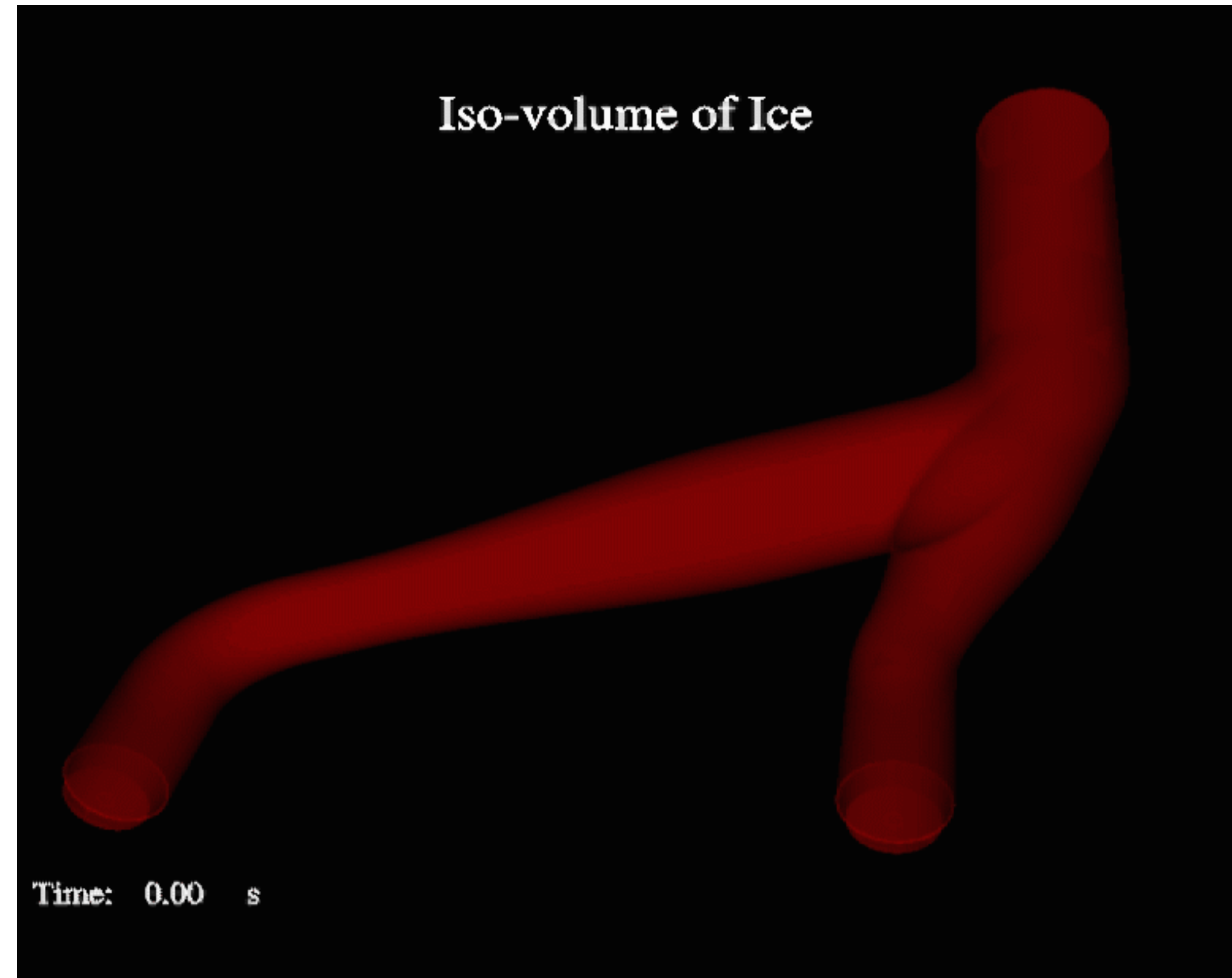
- 速度场/乘客处最大速度
- 温度场/乘客周围的温度梯度
- 湿度
- 空气的年龄/空气变化
- 预测不满率(PPD)
- 污染物扩散/清除
- 火灾和烟雾探测



其它案例-管道结冰

空客飞机的空气生成系统管道结冰

- 在实际时间范围内(数小时)预测冰的积聚
- 第一冰区的预测
- 临界结冰面积预测
- 直接计算冰的累积质量
- 计算由于积冰造成的压力损失



其它案例-城市风环境模拟

芝加哥城市风环境

■ 风荷载

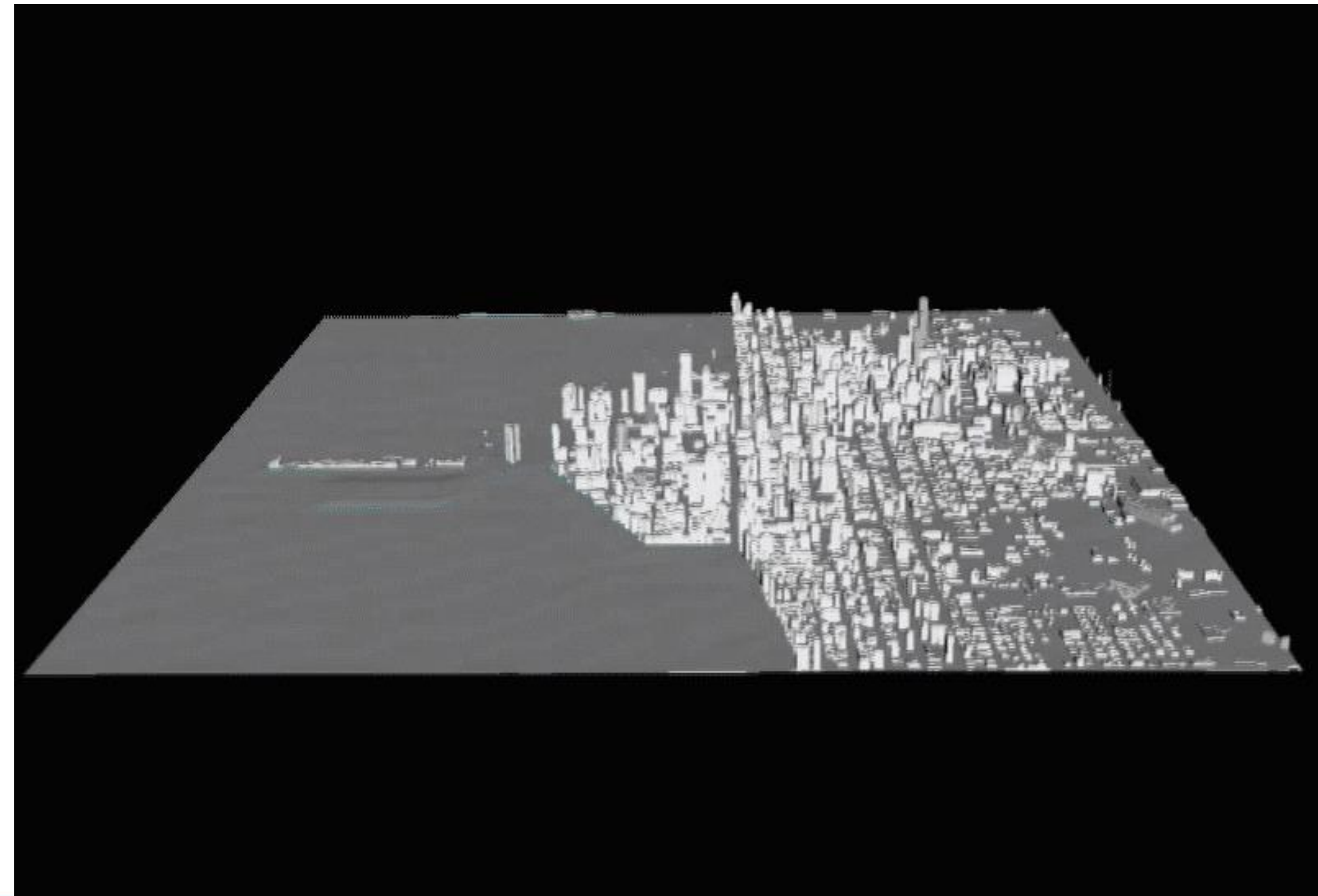
- 对建筑物和行人的影响

■ 气流

- 周围的建筑

■ 自然通风

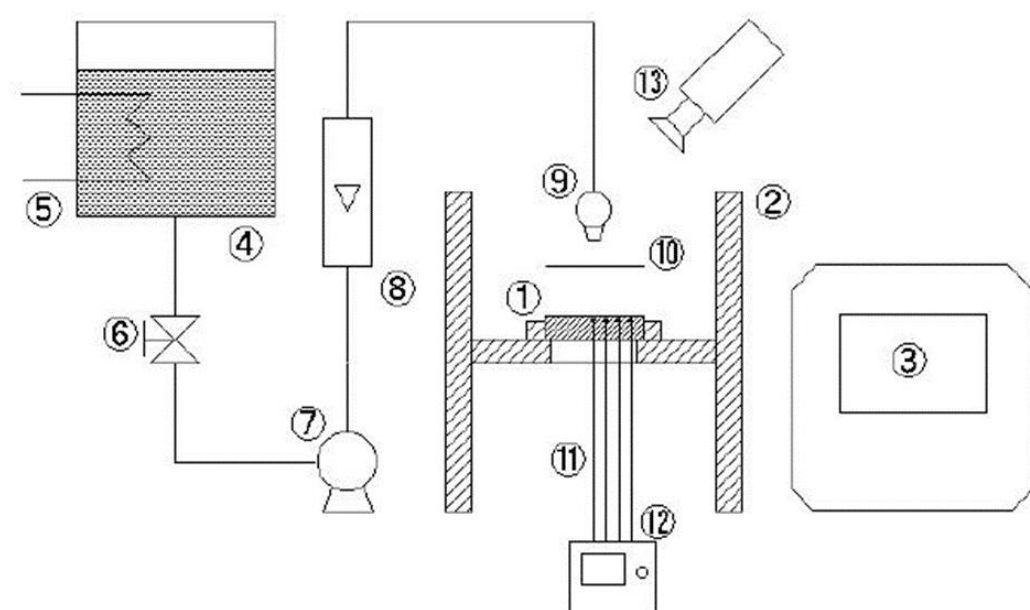
- 烟囱和夜间通风



物理模型定制开发-钢板冷却（淬火）模拟

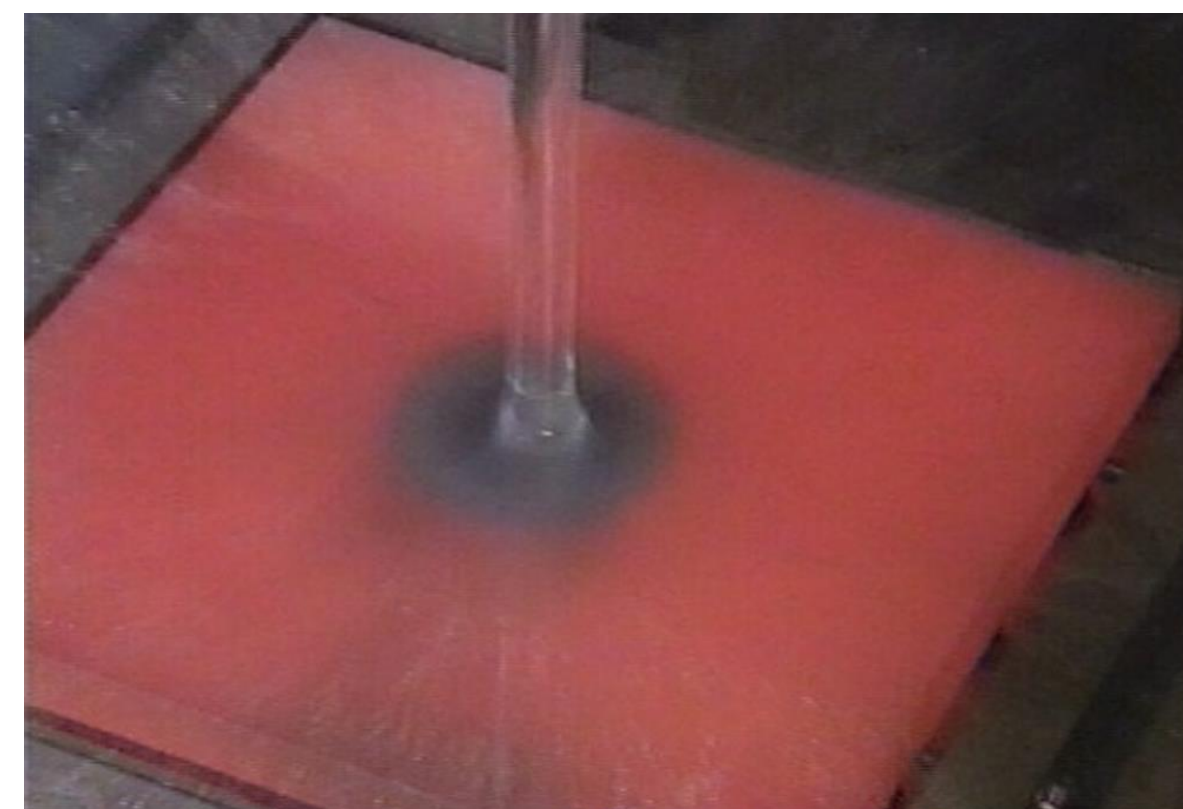
研究对象

- 用水喷流冷却800摄氏度的不锈钢板
 - 确认不同水温下（70℃，50℃，30℃）的冷却行为的差异



1:Heated plate 2:Plate holder 3:Furnace 4:Tank 5:Heater 6:Valve 7:Pump 8:Flowmeter 9:Nozzle 10:Shutter
11:Thermocouples 12:Recorder 13:Video camera

参考文献：
「高温鋼板の円形水噴流冷却のVOF シミュレーションと検証実験」
山神 成正、修士論文、東京大学(2003)

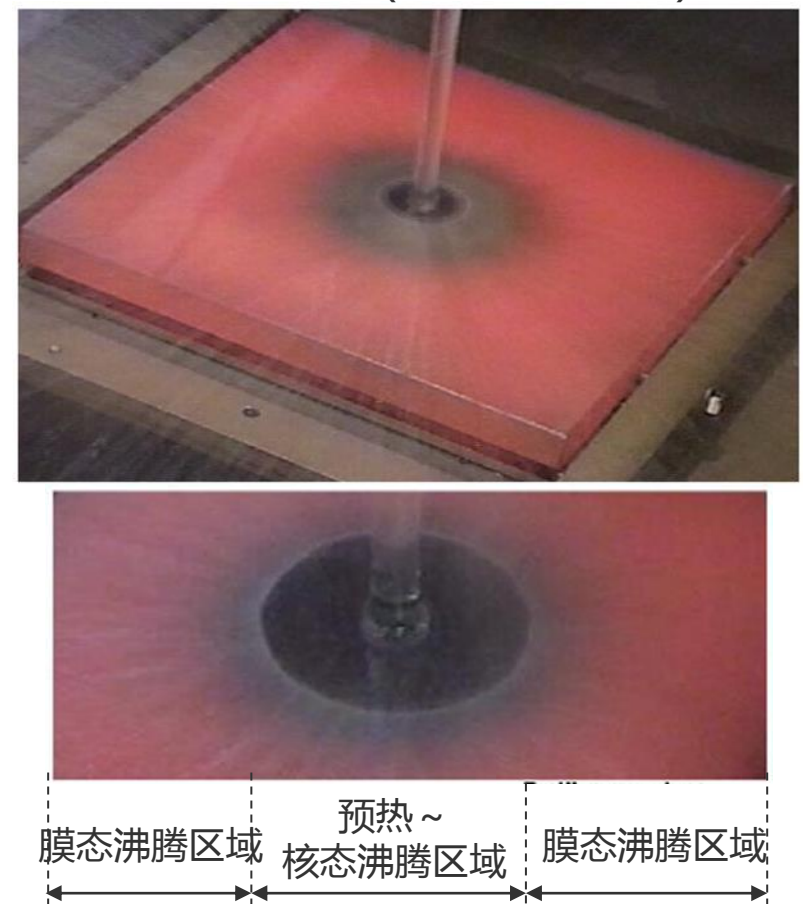


物理模型定制开发-钢板冷却（淬火）模拟

难点

- 本过程中，水和高温不锈钢的初始温差超过摄氏700度，水喷射流接触高温不锈钢板时，相变发生，钢板被急剧冷却
 - 冷却速度：170°C/sec以上
- 相变包括核态沸腾区域和膜态区域（右图）
- 产生的水蒸汽跟水和空气混合，冷凝发生
- 相变发生时，密度变化巨大
- 很难保持热平衡和计算稳定性

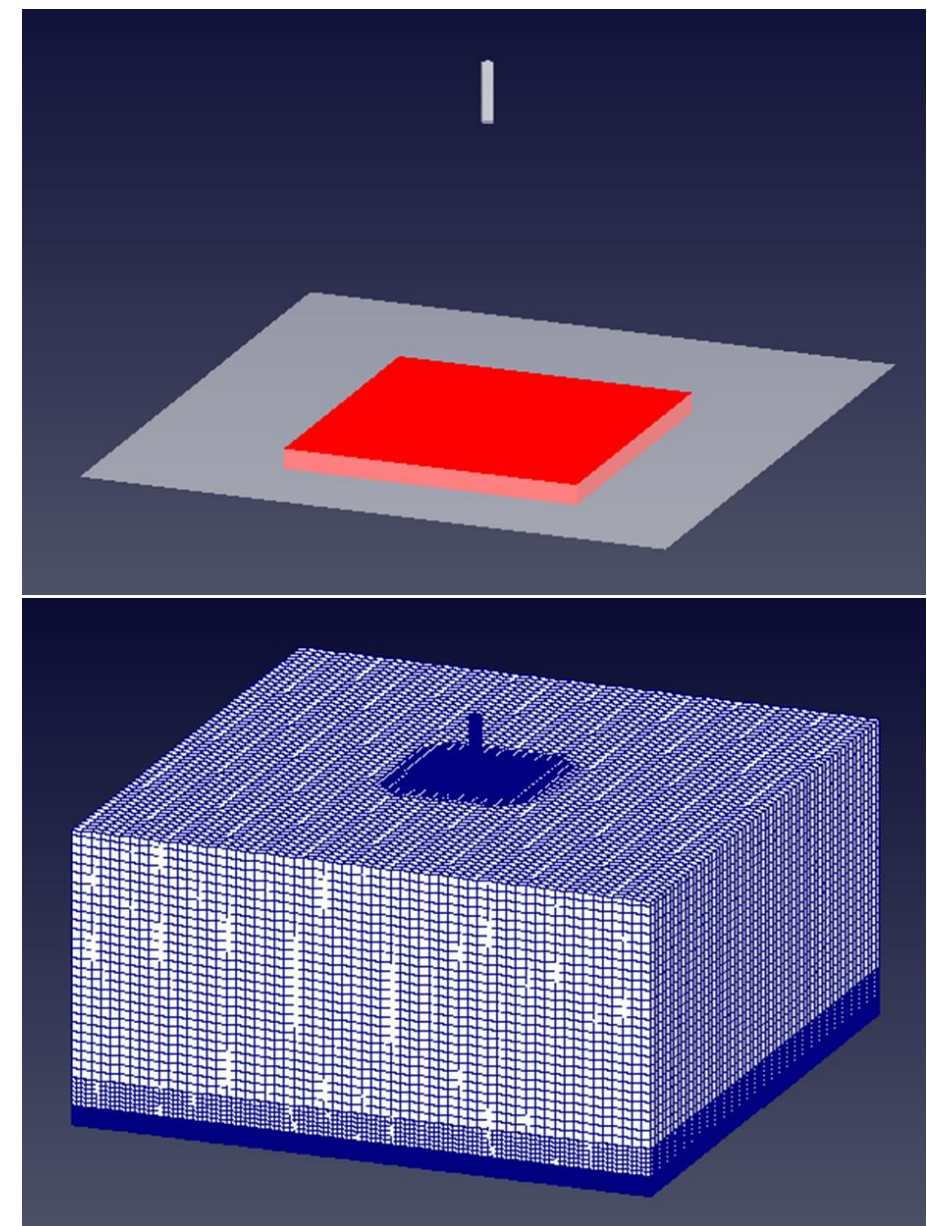
0.1sec时的照片（水温：30°C）



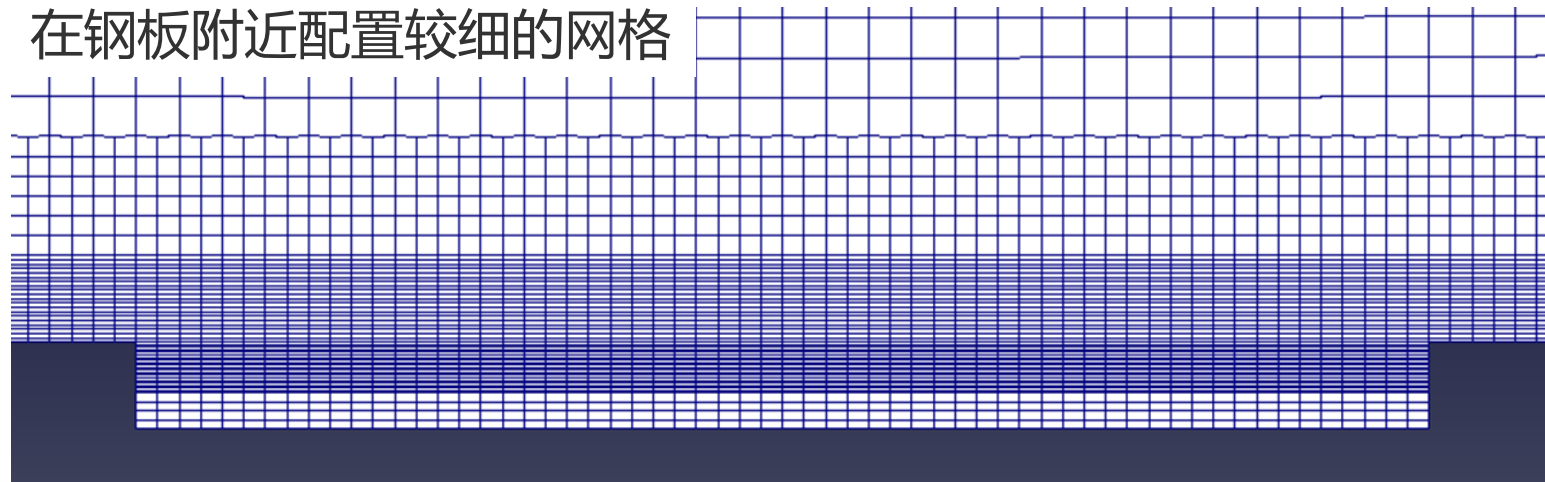
物理模型定制开发-钢板冷却（淬火）模拟

解析区域&网格

- 包括从喷嘴到加热不锈钢板的区域（喷嘴直径 $\Phi 6\text{mm}$ ）
- 喷嘴口到加热不锈钢板的距离：150mm
- 网格生成工具：iconHexMesh
- 总网格数：894,124（流体：757,500，固体：136,624）



钢板附近截面图：
在钢板附近配置较细的网格



物理模型定制开发-钢板冷却（淬火）模拟

模型和计算信息

■ 求解器名称: idajChtMixingInterPimpleFoam

■ 时间项: 瞬态

■ 湍流模型: $k-\omega$ SST

■ 相变模型

- 流体区域的相变模型
- 基于沸腾曲线的壁面沸腾模型

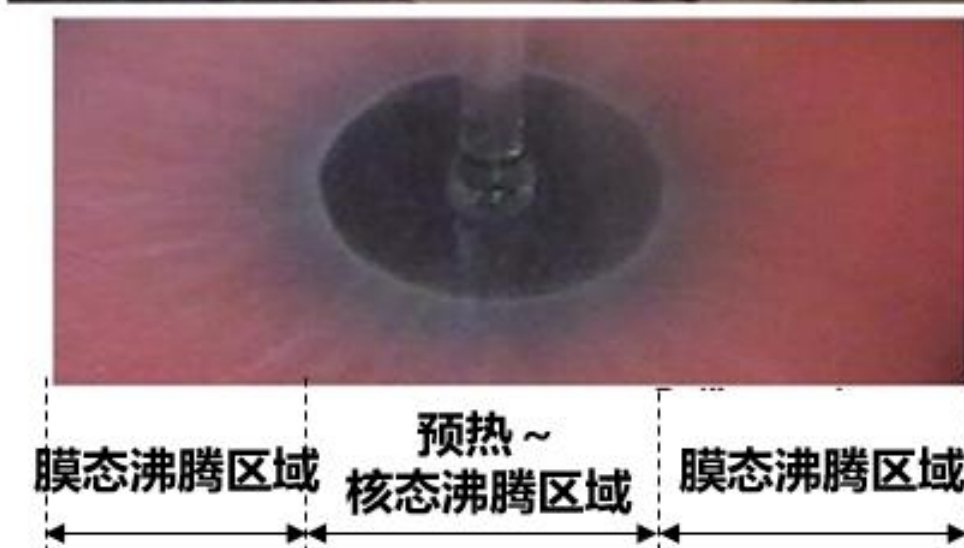
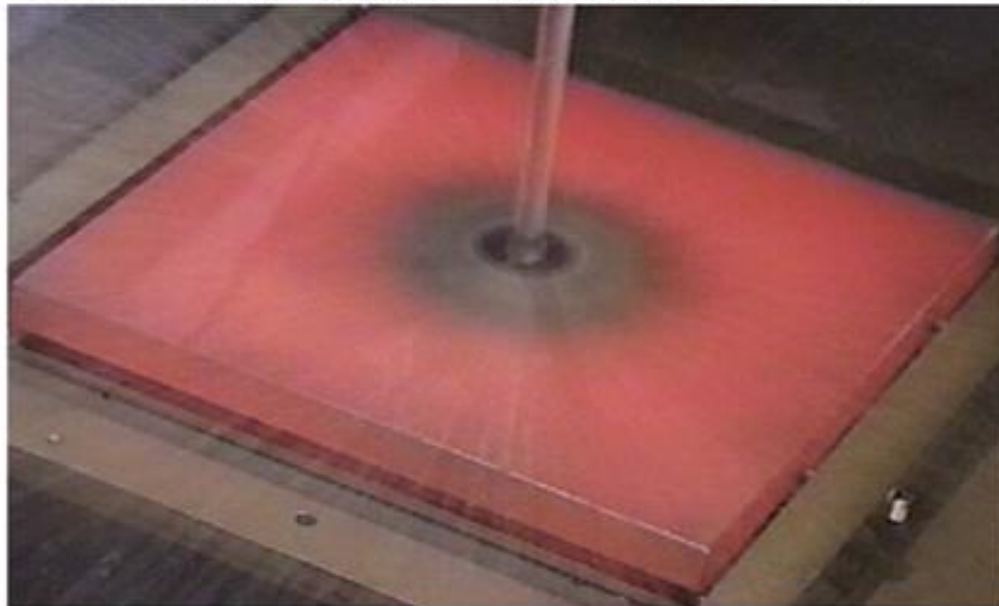
■ 计算环境: Intel(R) Xeon(R) CPU
E5645@2.40GHz 12Core

工况	计算时间 [day]
水温: 30°C	11.9
水温: 50°C	10.5
水温: 70°C	10.3

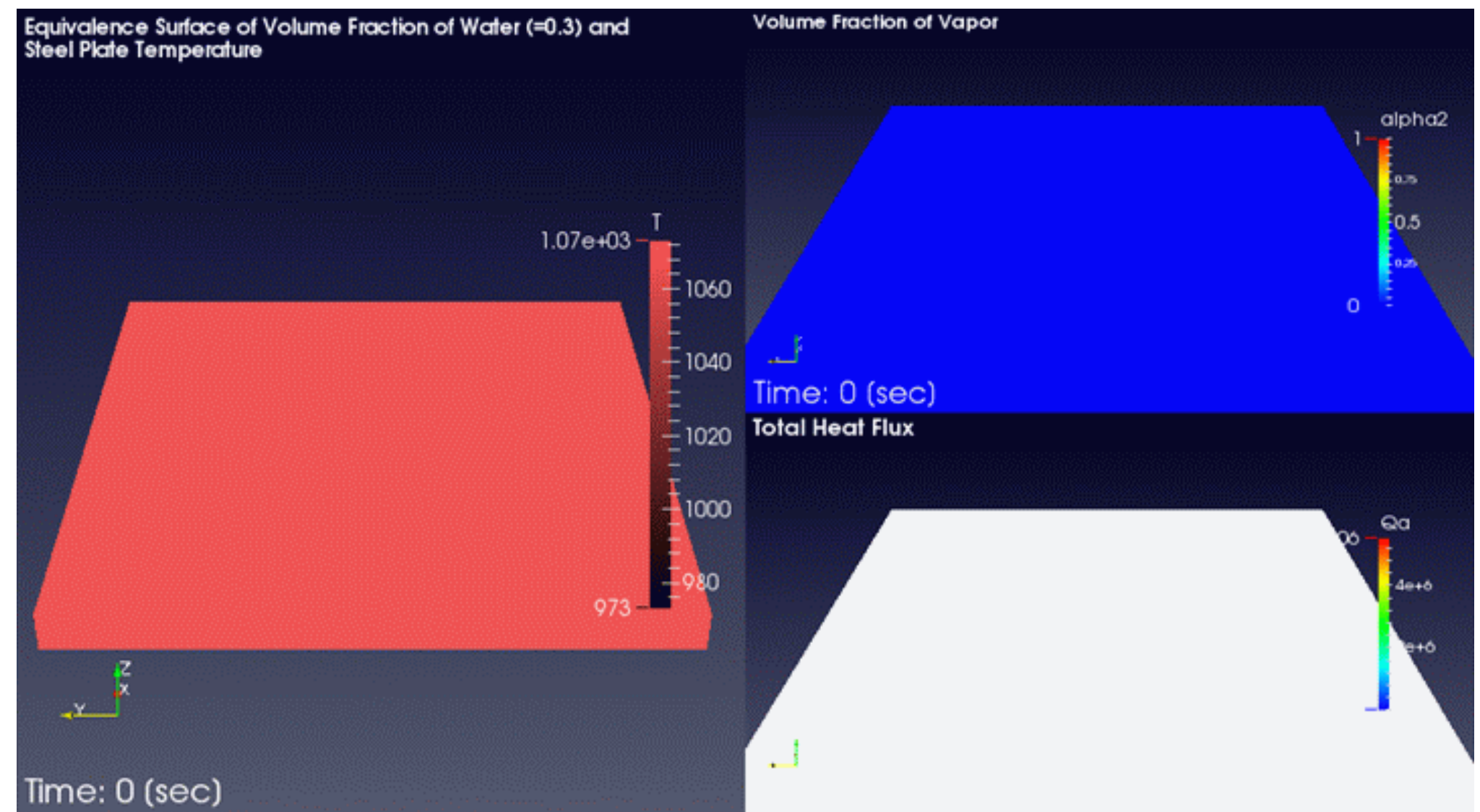
物理模型定制开发-钢板冷却（淬火）模拟

物理过程再现

0.1sec时的照片 (水温: 30°C)



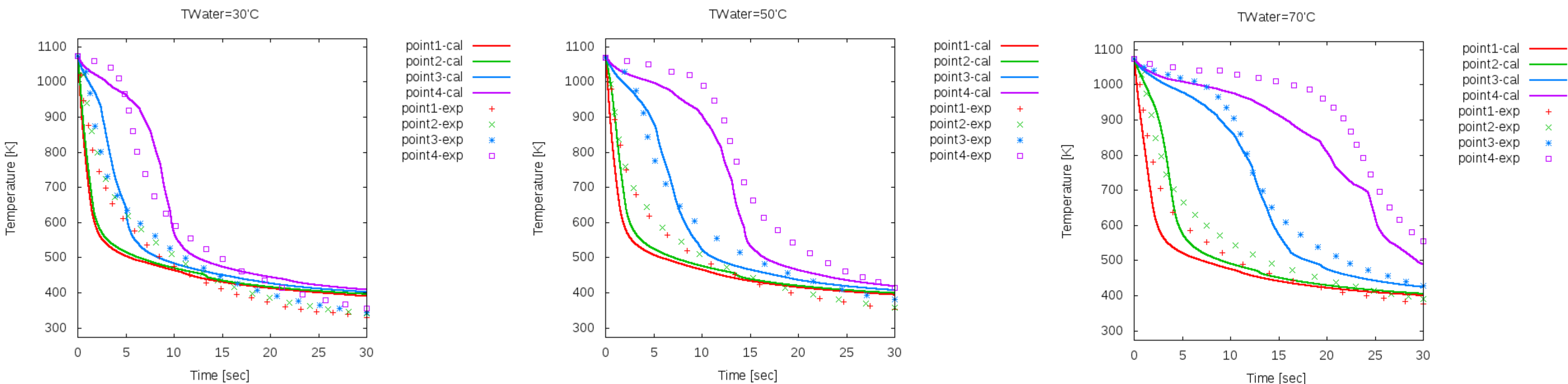
计算结果 (左: 温度, 右上: 蒸汽体积分数, 右下: 热流密度) (水温: 30°C)



跟预热和核态沸腾区域相比，膜态沸腾区域的热流密度更小。

物理模型定制开发-钢板冷却（淬火）模拟

计算和实验结果的固体温度对比



Thank you for your kind attention.
We are looking forward to doing business with you.

咨询

- 网页: <http://www.idaj.cn/>
- 电邮: idaj.marketing@idaj.cn

欢迎扫描关注微信公众号
IDAJ-CHINA获得更多信息

