

# ANSYS Fluent车辆除霜/除雾 分析介绍

2016.07.13

IDAJ-China 北京技术部，叶良春



IDAJ-CHINA



IDAJ艾迪捷

- 所有公司名，产品名，服务名是各个公司的商标或登记商标以及服务商标。
- 本资料包括保密信息。没有得到敝公司的同意，请不要使用，发布，复制本资料或本电子档。



# 目录

---

- 背景
- Fluent除霜模型介绍
- Fluent除雾模型介绍
- 案例

# 背景

---

- 车辆在行驶途中，在空气湿度很大或气温很低的天气里，前风窗玻璃容易产生结雾或结霜现象，严重时会造成车辆行驶困难，甚至会发生危险。因此设计性能良好的除霜除雾系统是非常必要的。
- 计算流体力学(CFD)作为一种有效的仿真分析手段，目前已被广泛应用于车辆的空气动力学、空调系统、发动机舱热管理等方面。
- ANSYS Fluent作为一款经典的CFD软件，自带用于车辆除霜除雾分析的物理模型，可真实可靠的模拟车辆除霜除雾过程，为车辆除霜除雾系统设计提供有效的指导。

# Fluent除霜模型介绍

- Fluent中采用Solidification/Melting模型来模拟除霜。
- 该模型并不是直接捕捉液相-固相交界面，而是在液-固混融区采用多孔介质原理模拟，空隙率即为液相体积分数，采用焓值-孔隙率公式进行求解。
- Solidification/Melting模型可模拟以下凝固和融化现象：
  - 纯金属或单质，以及二元合金中的液-固凝固/融化现象
  - 连续浇铸过程的模拟（包含拔模过程）
  - 可模拟凝固物与壁面间的热阻（如空气间隙存在引起的热阻）
  - 支持带组分传输的凝固/融化现象的模拟
- 这些功能使得Fluent可以模拟各种凝固/融化现象，包括融化、结冰、晶体生长，连续浇铸等。

# Fluent除霜模型介绍（续）

- Fluent除霜模型的优势特点：
  - Solidification/Melting模型是一种非常真实的模拟物质相变过程的物理模型，同时考虑冰层的三维传热、流动、相变过程。
  - Fluent中的除霜模型是要求构建冰层的三维网格，模型处理稍微复杂一些。
  - 结果更加真实可靠。
- 一般CFD软件采用除霜模型是一种简化的二维模型，该模型中不需要构建冰层的三维网格，基于热平衡来模拟相变过程。建模过程较简单，但精度稍差，一般需要进行参数标定。

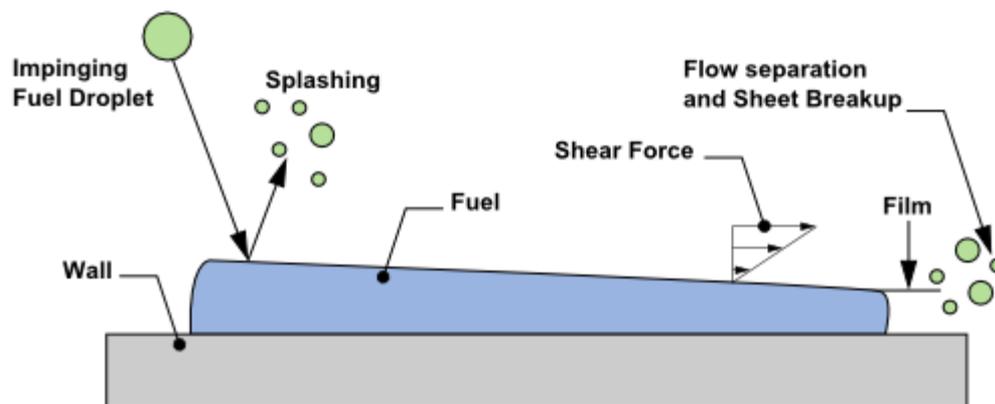
# Fluent除霜模型介绍（续）

## ■ 除霜分析建模及设定要点：

- 几何准备时需要准备乘员舱空气域、玻璃层和冰层三者的几何；玻璃层和霜层可以通过SCDM的拉伸功能得到；
- 需对乘员舱空气域、玻璃层和冰层三者都创建三维网格，其中后两者可以采用Fluent Meshing的Thin Mesh功能；
- 材料定义中对冰层需要设置正确的物性参数：相变潜热和相变温度
- 设定正确的初始温度以及入口气流流量和温度，如为表格数据，可通过TUI读入。
- 预设自动输出除霜过程图片的命令。
- 为加快计算进程，可先算稳态流动，再关闭流动方程，计算瞬态的传热和相变过程

# Fluent除雾模型介绍

- Fluent中采用Eulerian Wall Film (EWF) 模型来模拟除雾。
- EWF模型主要用于模拟液膜在壁面上的形成和流动过程。
- 该模型仅支持3D几何模型
- 该模型无需构造液膜的三维网格，是一种二维的简化模型，液膜的流动不影响主流空间介质的流动，但会影响主流的温度和组分浓度。
- 支持与DPM和组分传输模型耦合。

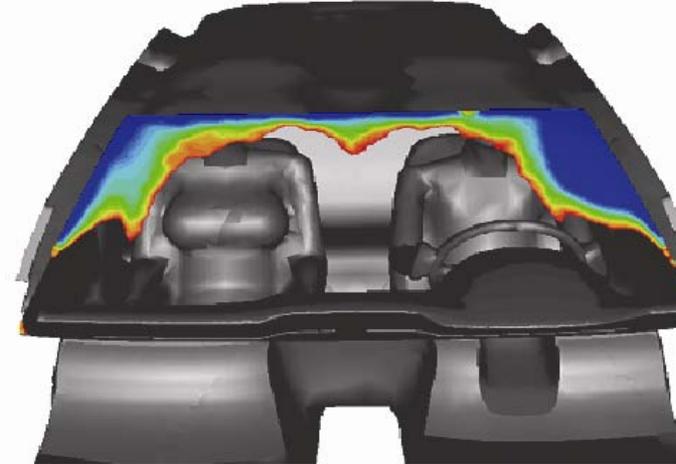
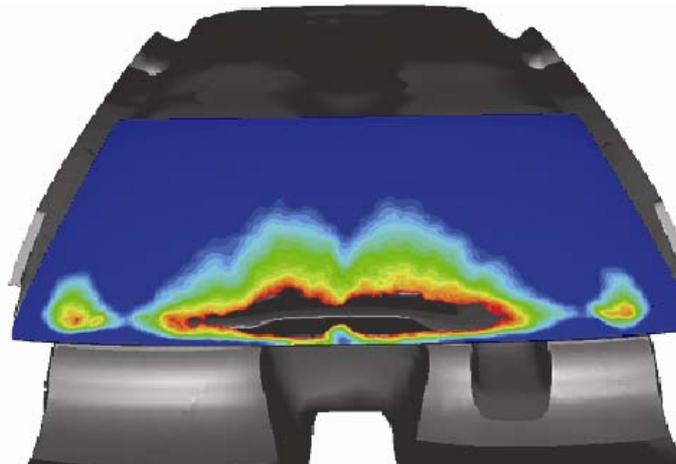
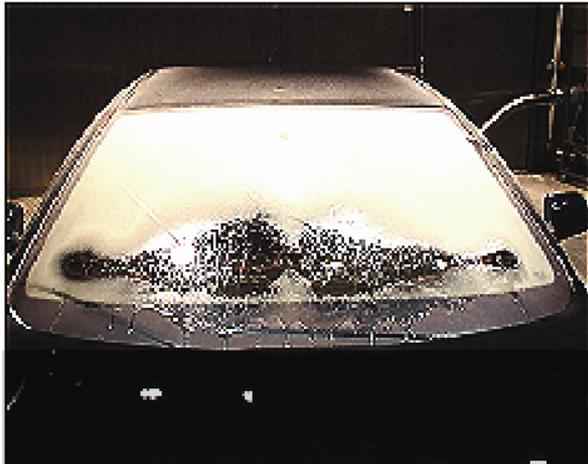


# Fluent除雾模型介绍（续）

## ■ 除雾分析建模及设定要点：

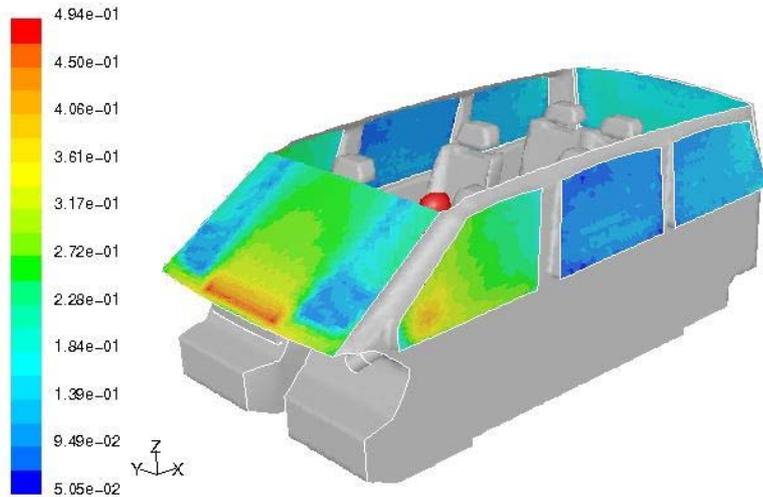
- 几何准备时需要准备乘员舱空气域、玻璃层两者的几何；玻璃层可以通过SCDM的拉伸功能得到；
- 需对乘员舱空气域、玻璃层创建三维网格，其中后者可以采用Fluent Meshing的Thin Mesh功能；
- 材料定义中需要定义湿空气材料，液体水材料，并指定正确的相变潜热
- 设定正确的初始温度以及入口气流流量和温度和湿度，如为表格数据，可通过TUI读入。
- 设置合理的初始雾层厚度和温度
- 预设自动输出除雾过程图片的命令。

# 案例1 : Windshield De-icing

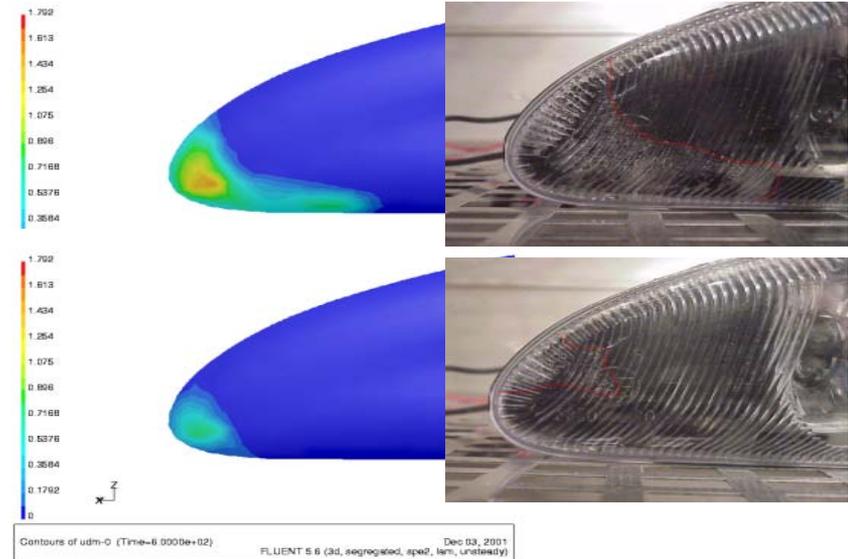


•Courtesy Skoda Auto

# 案例2 : Windshield Defog



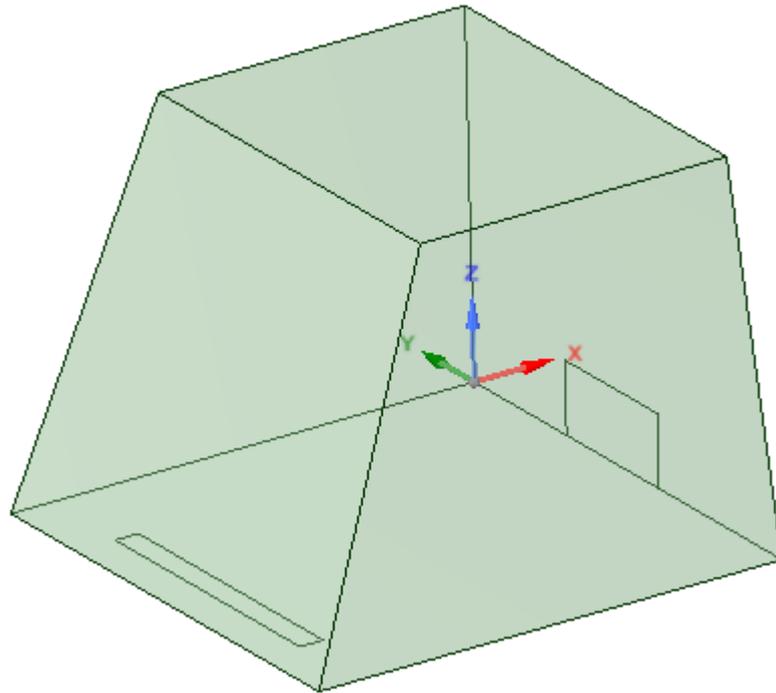
• *Courtesy of Mindware Engineering*



车灯起雾模拟·法雷奥

# 案例3：简化除霜模型

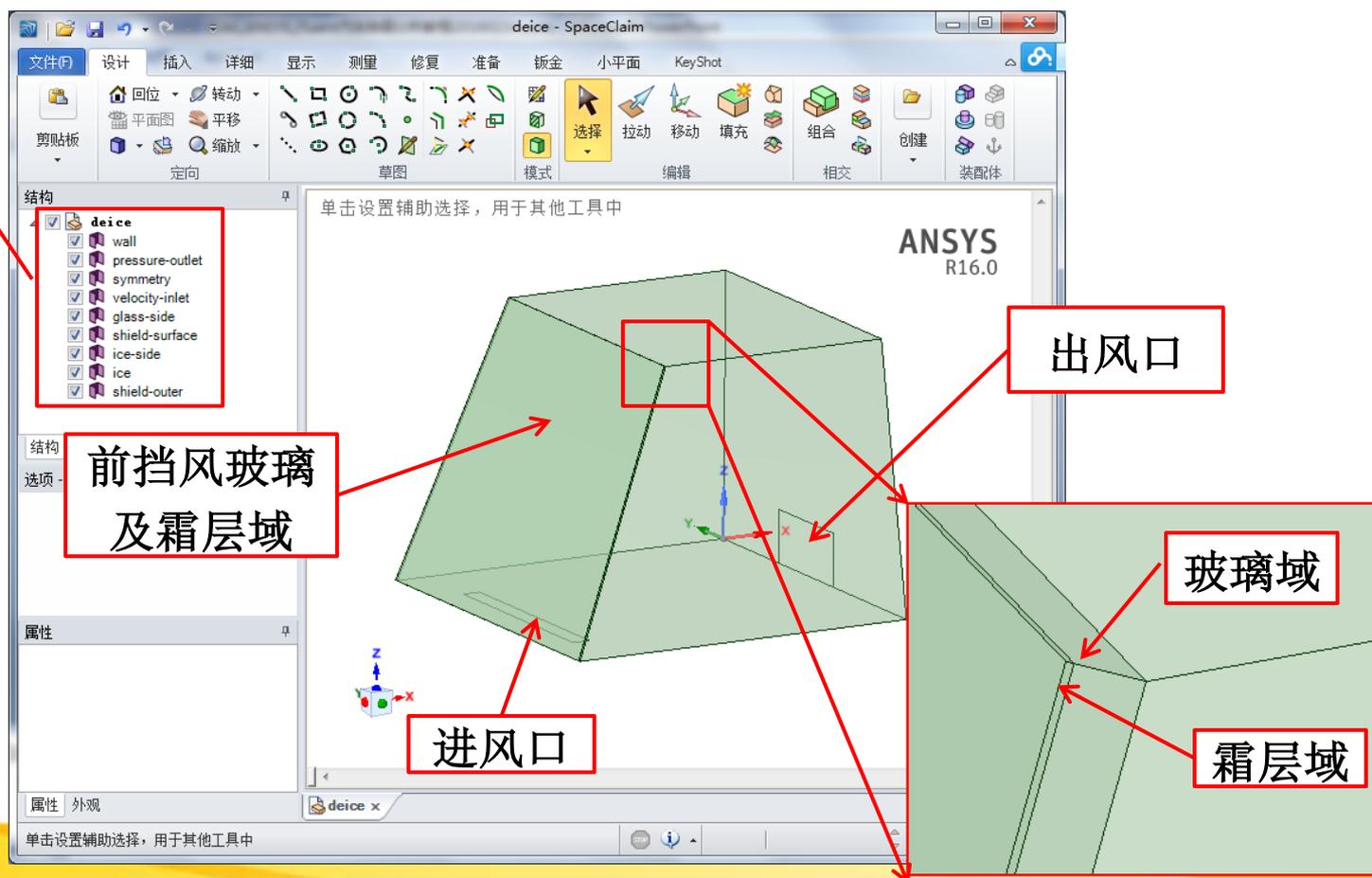
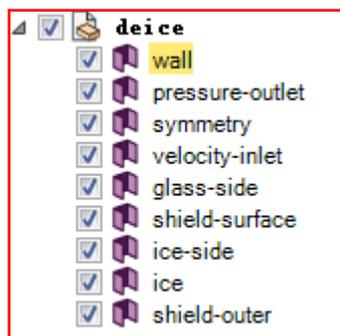
- 几何模型
- 网格生成
- 计算设定
- 计算过程
- 后处理
- 总结



# 几何模型

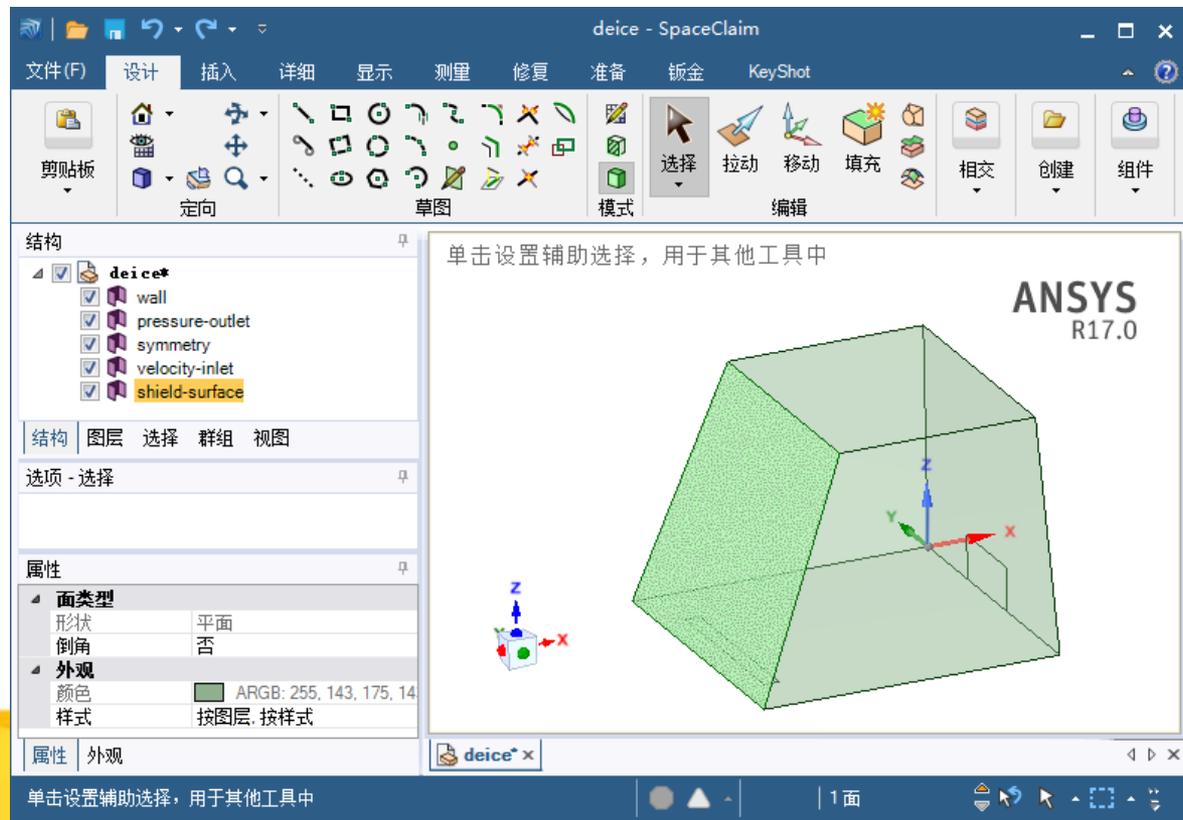
- 下图为本除霜教程采用CAD模型，该模型在SCDM中创建完成。SCDM是ANSYS软件包中的CAD处理模块，该模块拥有强大的CAD建模、修复和整理功能。

## 边界分割及命名



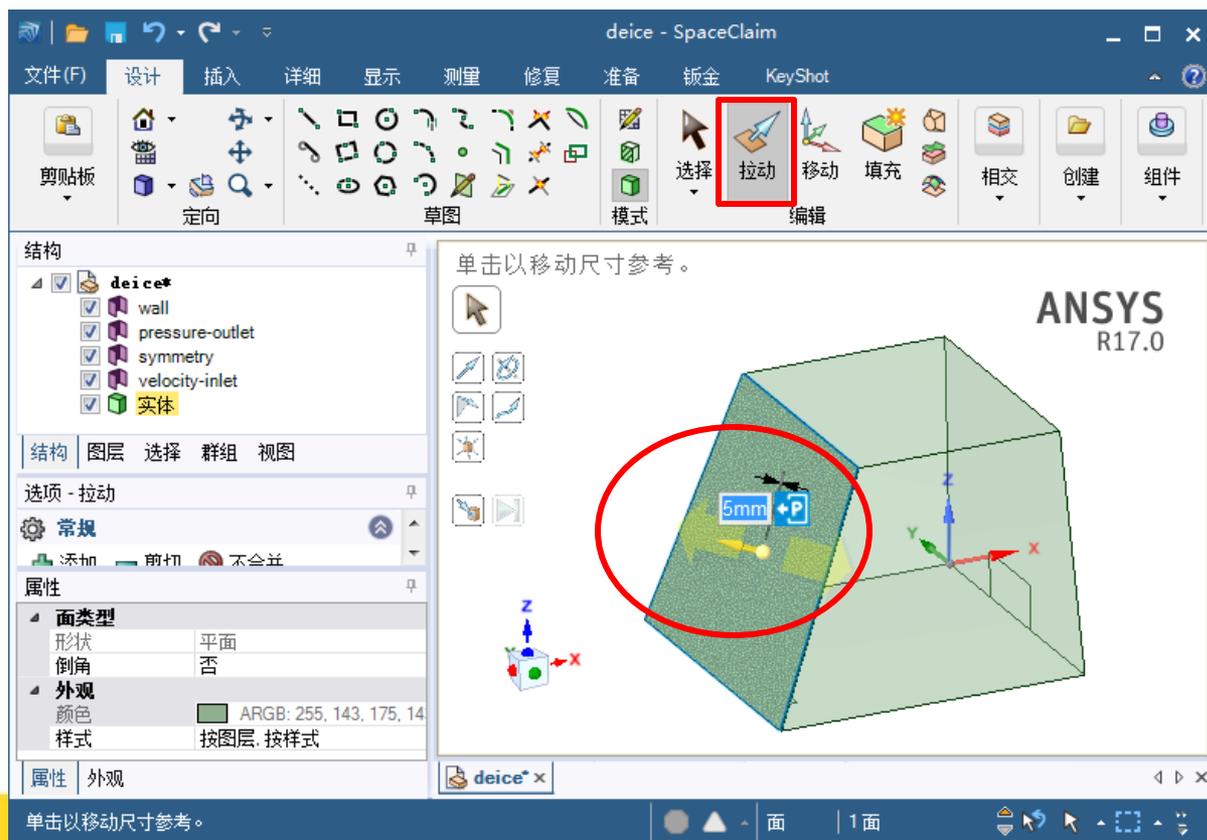
# 几何模型

- 其它CAD格式（如Catia, Solidworks, igs, step等）也可直接导入SCDM模块，利用模块中的功能进行几何调整或简化、流域抽取、边界分割。
- 比如除霜分析中，需要构造出玻璃层和霜层的几何，可以通过SCMD中的“拉动”功能快速构造。举例说明如下：
  - Step1: 用鼠标选择玻璃所在表面



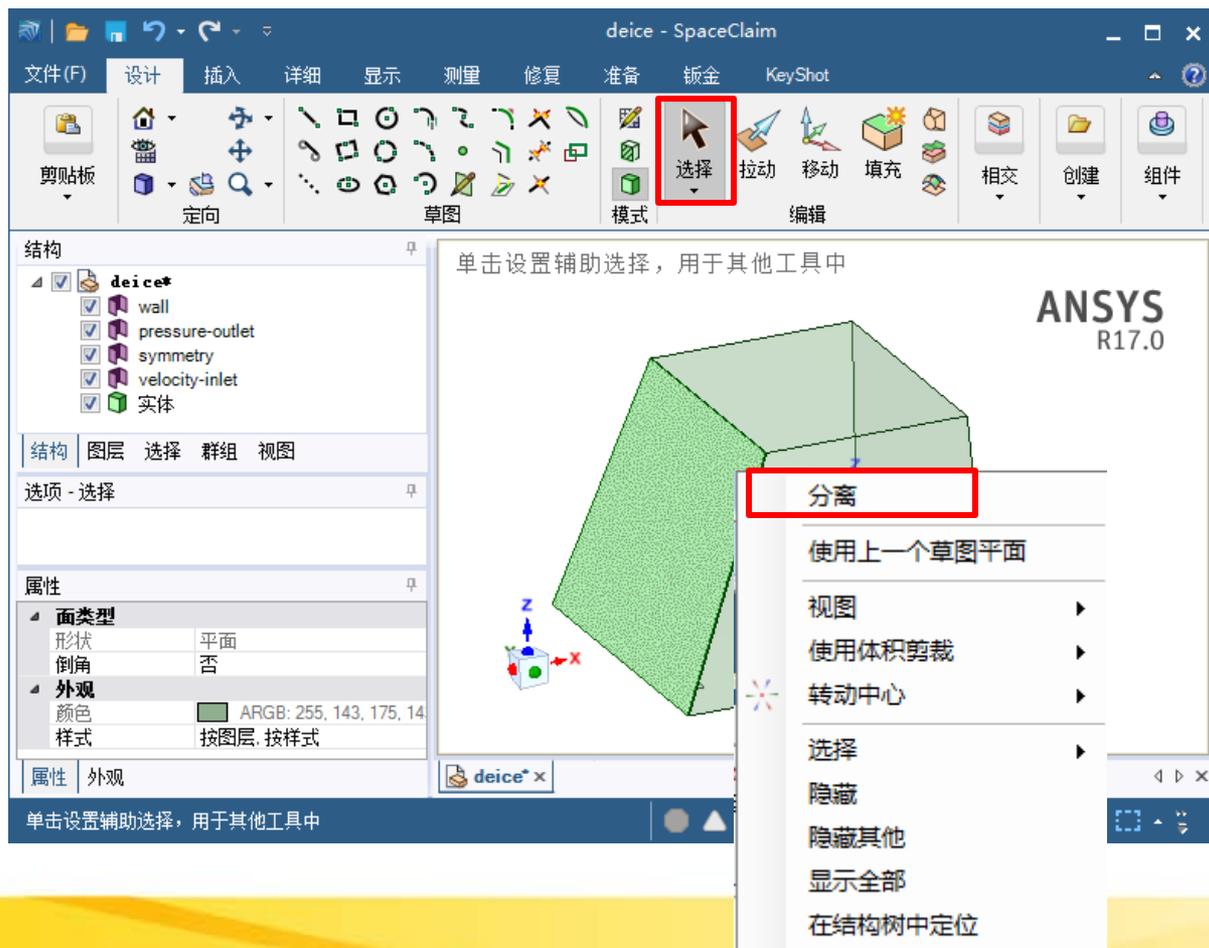
# 几何模型

- Step2: 点击“拉动”图标，玻璃表面出现黄色箭头，此时可用鼠标前后拉动该表面，拉动的同时旁边的文本框中会自动更新拉动的距离。可在文本框中手动输入厚度（此处输入4.4mm），并确定，这样就拉出了玻璃的三维几何。霜层的几何可以同样的方法拉出。



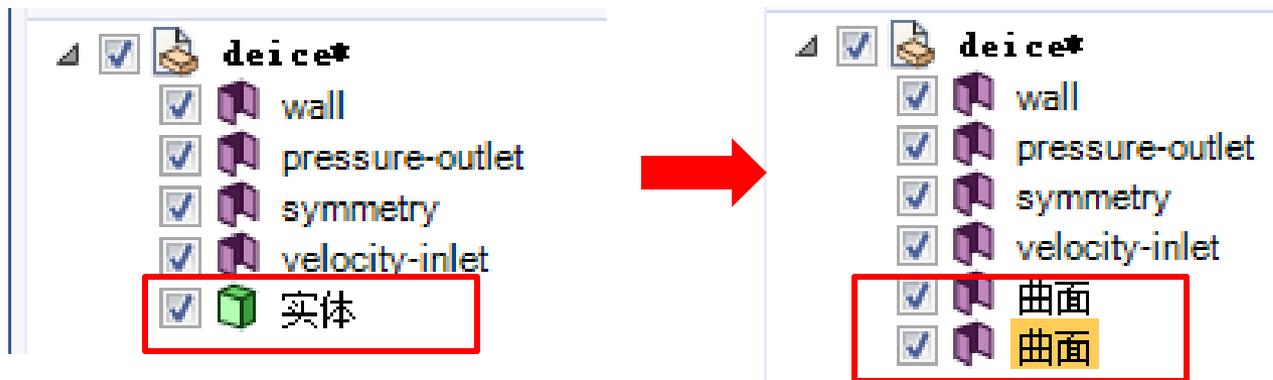
# 几何模型

- 几何调整完毕后，还可以在SCDM中进行边界分割。
- 具体方法为选中要分离的表面后点右键选择“分离”，分离后可以对其重命名。



# 几何模型

- 从外部导入的CAD或在SCDM中拉伸出来的部件通常是实体形式，进行边界分割后会变成曲面形式。



- 曲面形式的模型在导入Fluent中后各曲面间默认会呈现为自由边，为避免这种现象，可以在SCDM中启用共享拓扑选项：

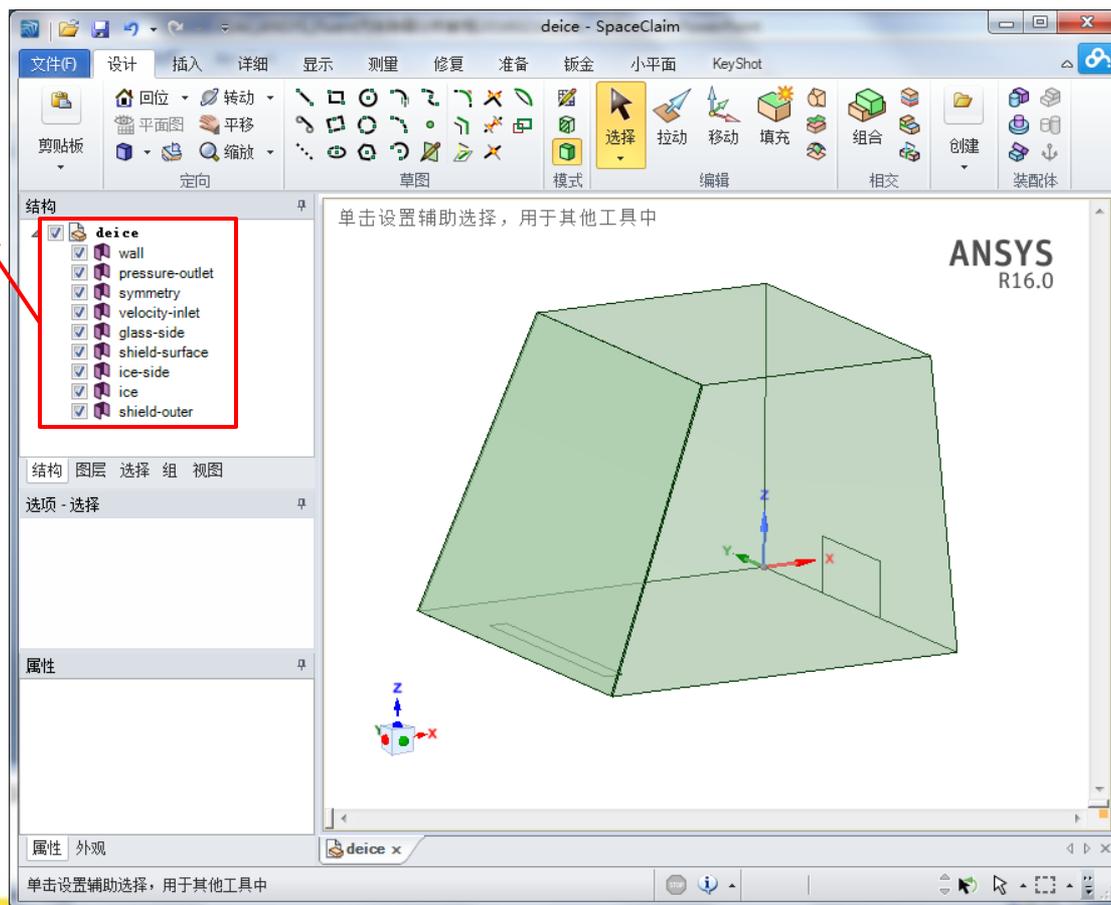
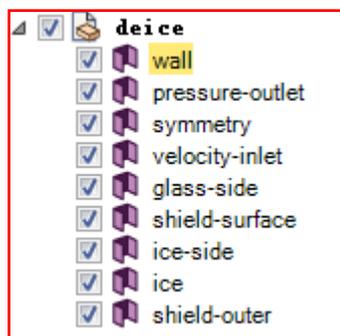
1. 选择整体几何所在节点
2. 在属性>共享拓扑中设置为“共享”



# 几何模型

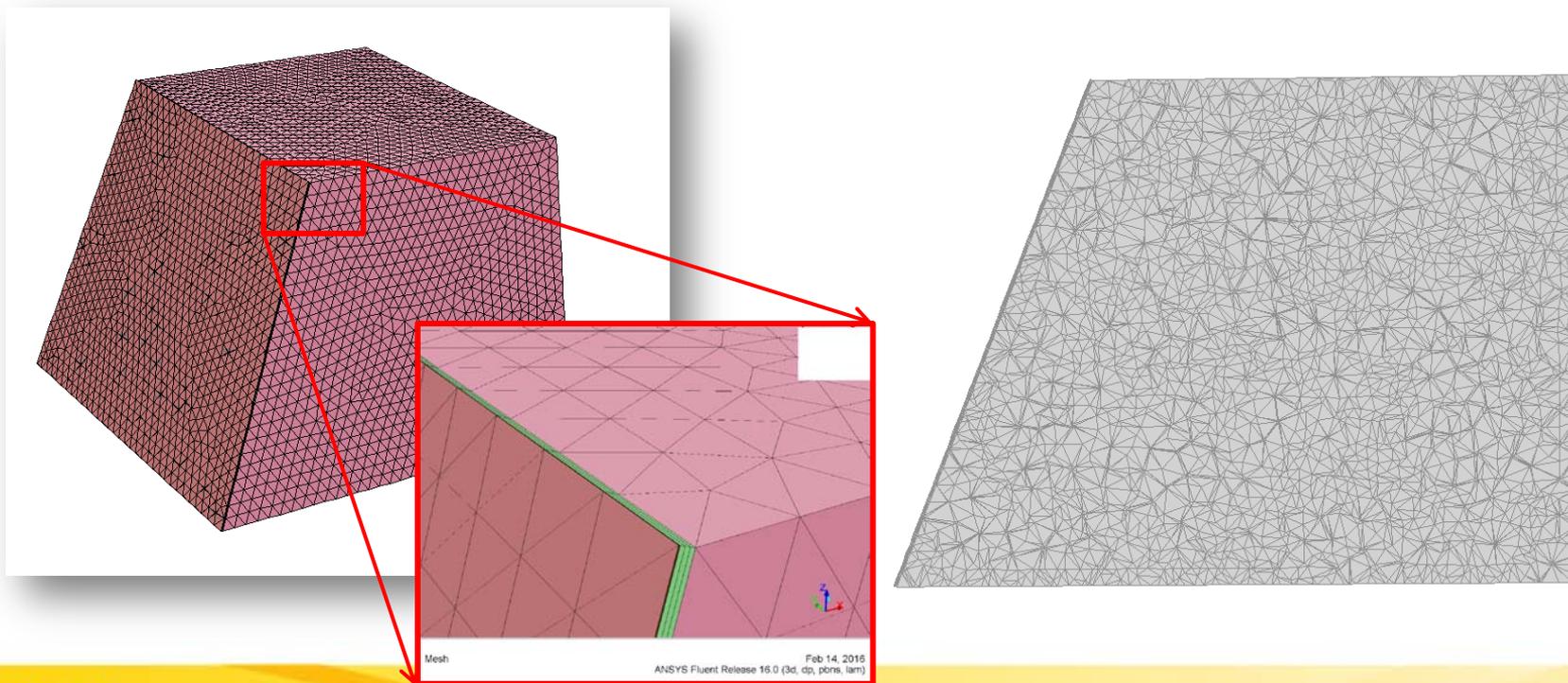
- 几何整理完毕后，保存为.scdoc格式，即可直接导入Fluent进行表面离散和体网格划分。

## 边界分割及命名



# 网格生成

- 网格工具： ANSYS Fluent Meshing
- 网格类型：
  - 乘员舱： tetra
  - 玻璃及霜层： 各三层三棱柱网格

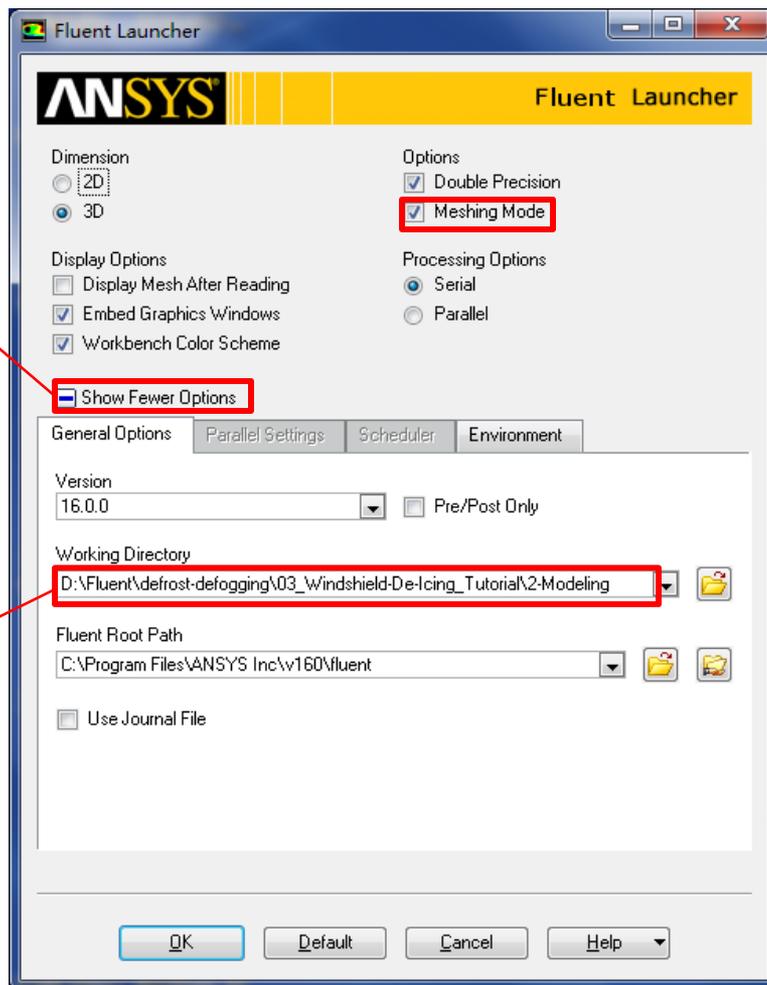


# 网格生成

- 以Meshing Mode启动Fluent:

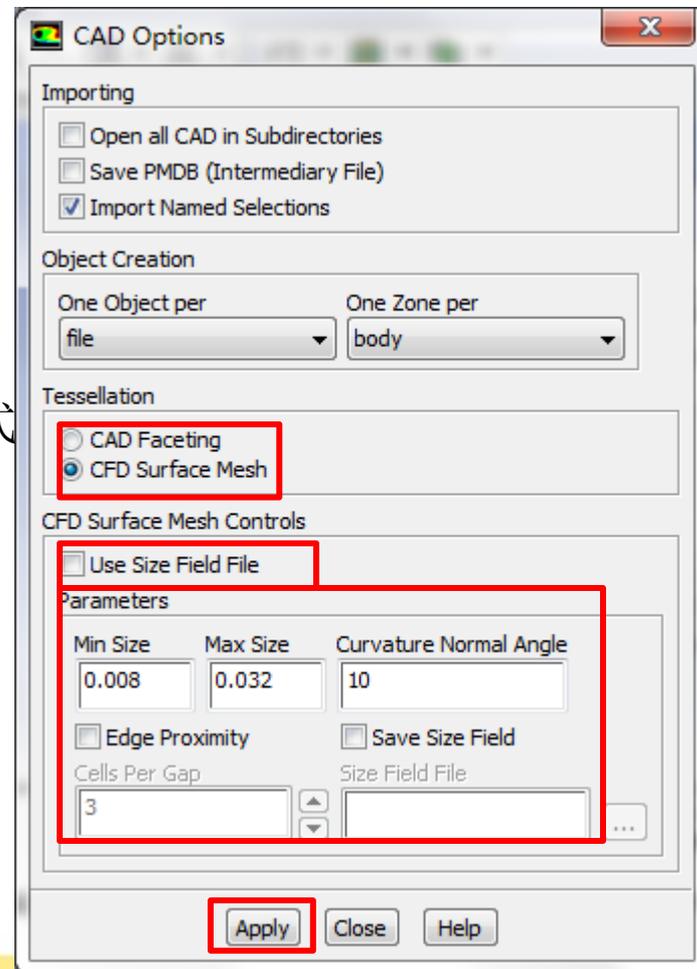
点开该按钮显示更多选项

此处可填入CAD文件所在目录作为工作目录



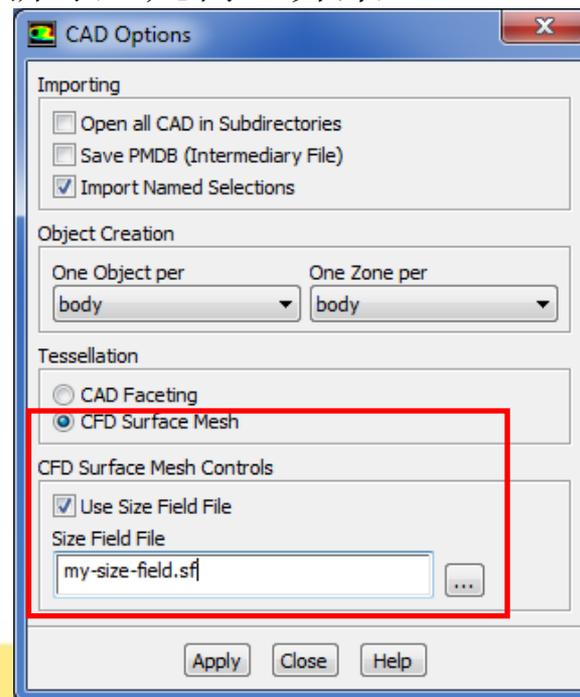
# 网格生成

- 通过File>Import>CAD...导入几何：
  - Fluent Meshing支持两种方式导入CAD格式数据
    - ✓ 1. CAD Faceting: 导入CAD同时离散成类似stl形式的低质量粗网格，速度快，但后续需通过包面或重构获得用于体网格划分的面网格。
    - ✓ 2. CFD Surface Mesh: 导入CAD同时离散成高质量的三角面网格，速度较慢，完成后可直接用于体网格划分
  - 采用第2种方式导入CAD时可以通过两种方式指定网格尺寸：
    - 1. 直接在导入面板指定尺寸方式，
    - 2. Use Size Field File方式
  - 简单模型可以采用第1种方式设定尺寸
  - 较复杂模型可采用第2种方式，但需要先创建 Size Field文件。



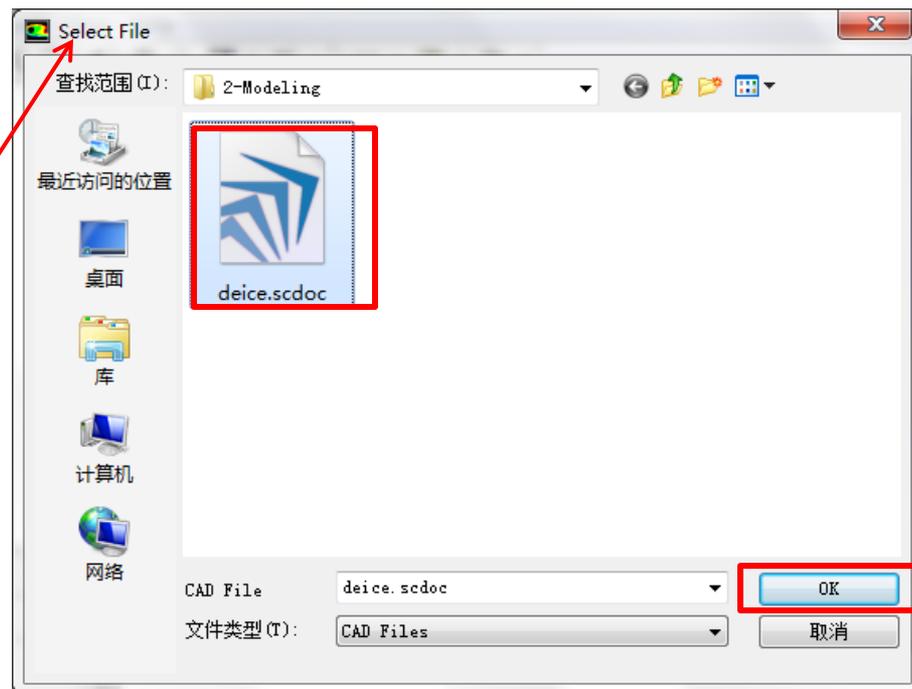
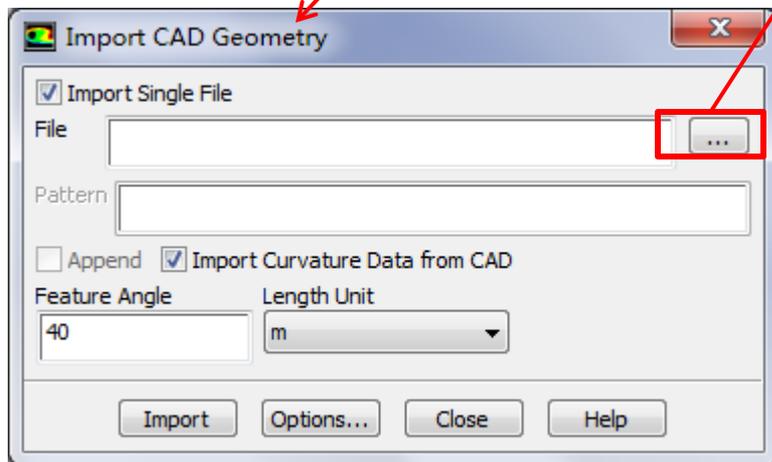
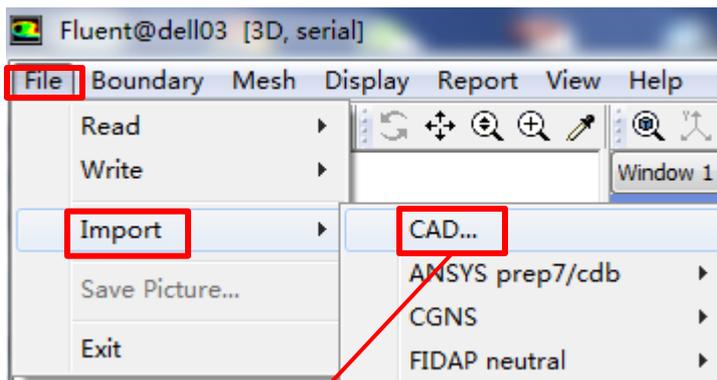
# 网格生成

- 通过File>Import>CAD...导入几何：
  - 对于稍微复杂些的几何，需要较多的进行网格控制，常用的做法这样：
    - ✓ 第1步：是先以CAD Faceting方式快速导入CAD数据。
    - ✓ 第2步：导入后根据边界设置不同的网格尺寸，并保存为size filed文件
    - ✓ 第3步：采用CFD Surface Mesh方式重新导入几何，并采用上步得到的size field文件指定尺寸。
  - 本教程模型虽然比较简单，但为了演示上述方法过程，也采用这种适用于相对复杂的模型的方法来的导入。



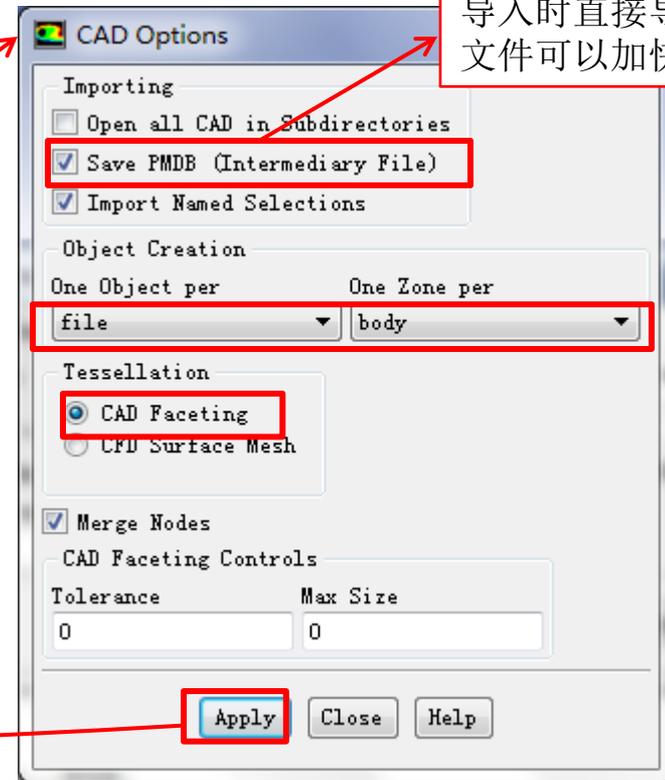
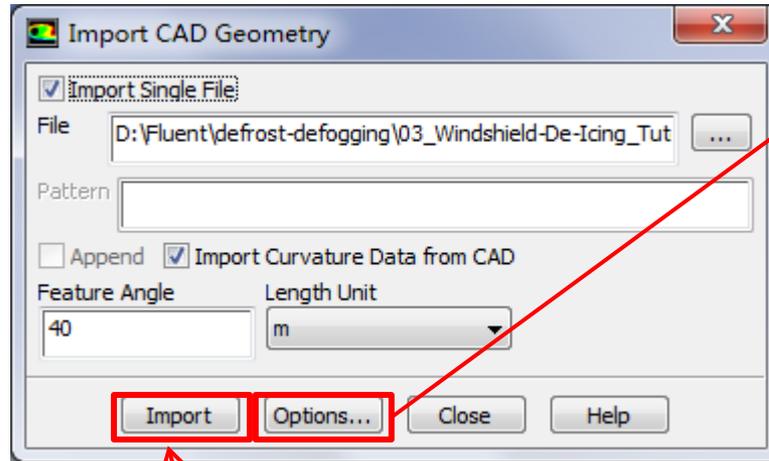
# 网格生成

- 通过File>Import>CAD...导入几何:



# 网格生成

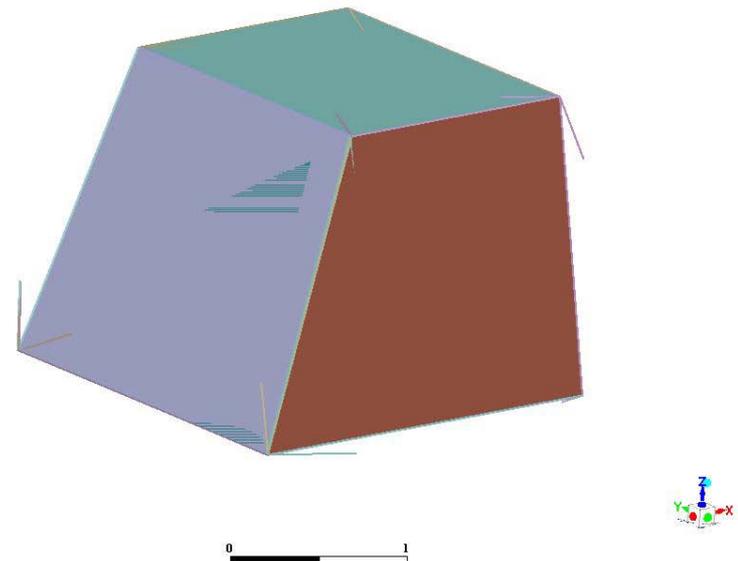
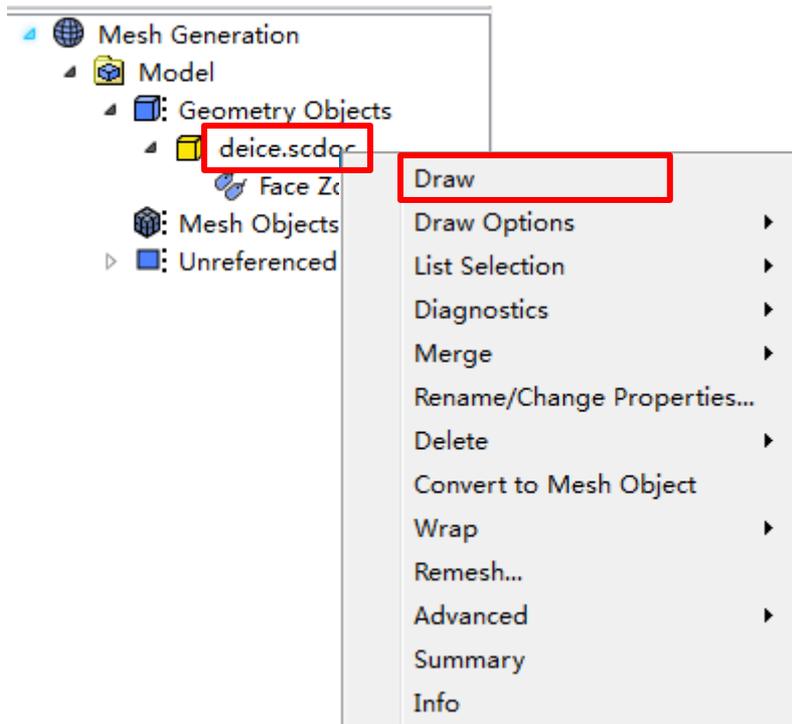
## ■ 设置几何导入选项：



导入同时保存PMDB格式的中间文件，二次导入时直接导入中间文件可以加快速度。

# 网格生成

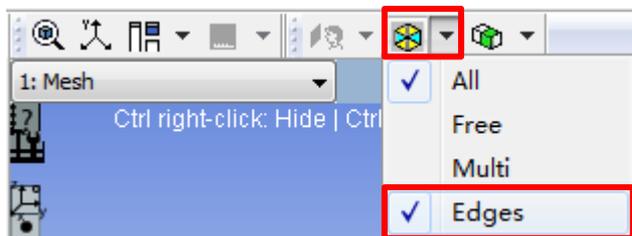
- 读入的几何进入Geometry Objects节点，并生成与导入文件名同名的object: deice.scdoc
- 在deice.scdoc节点上点右键选择Draw，可在图形窗口中显示导入的几何。



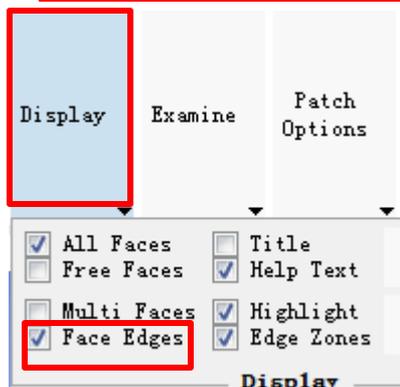
# 网格生成

- 如希望显示网格线，可打开下图所示选项

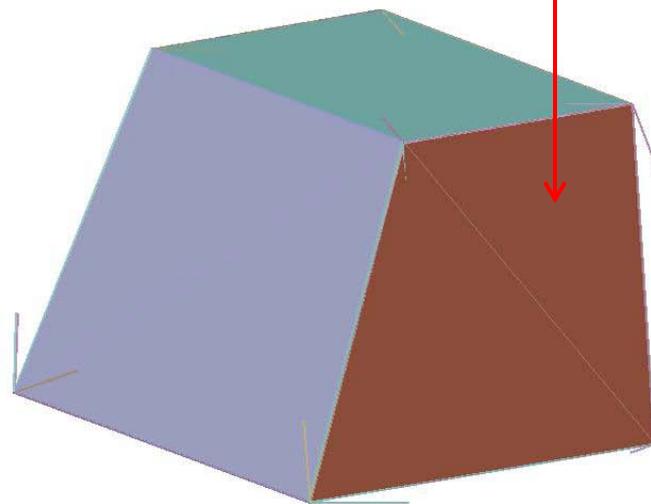
Fluent 16.x



Fluent 17以后



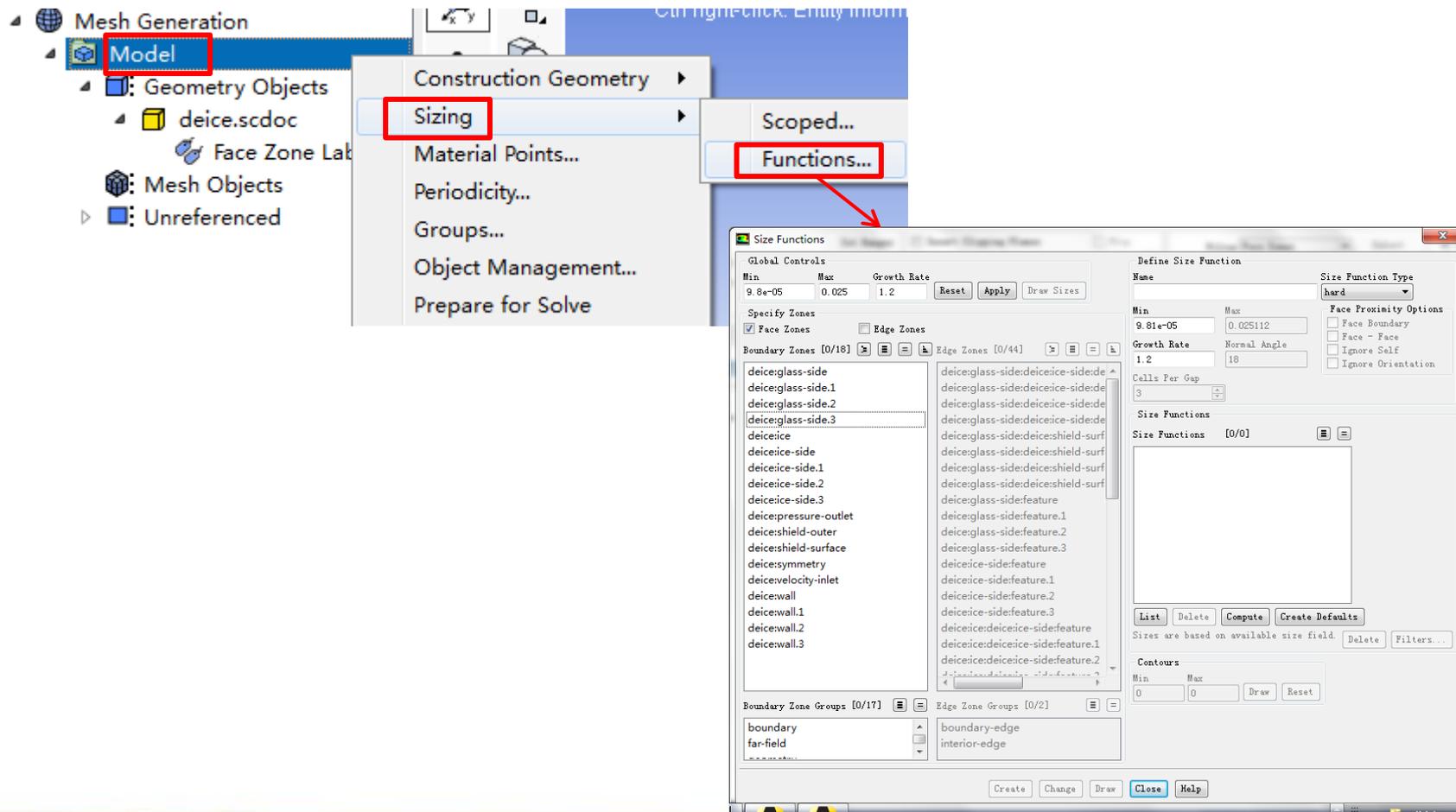
此种导入方式离散的网格非常粗(类似STL)。



0 1

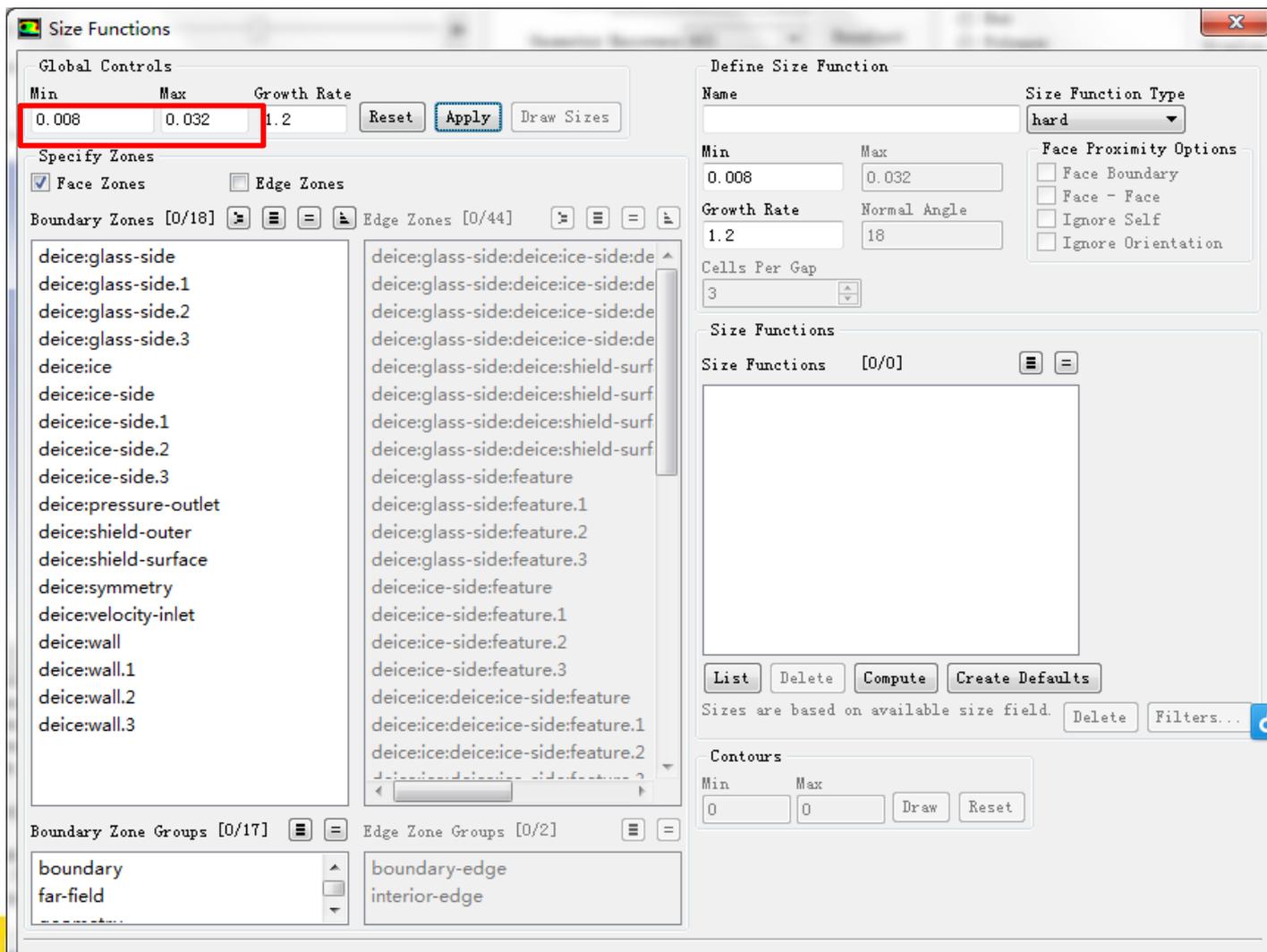
# 网格生成

- 进行尺寸设置：在Model节点上点右键选择Sizing>Function进入尺寸设置面板。



# 网格生成

## ■ 设置全局尺寸:



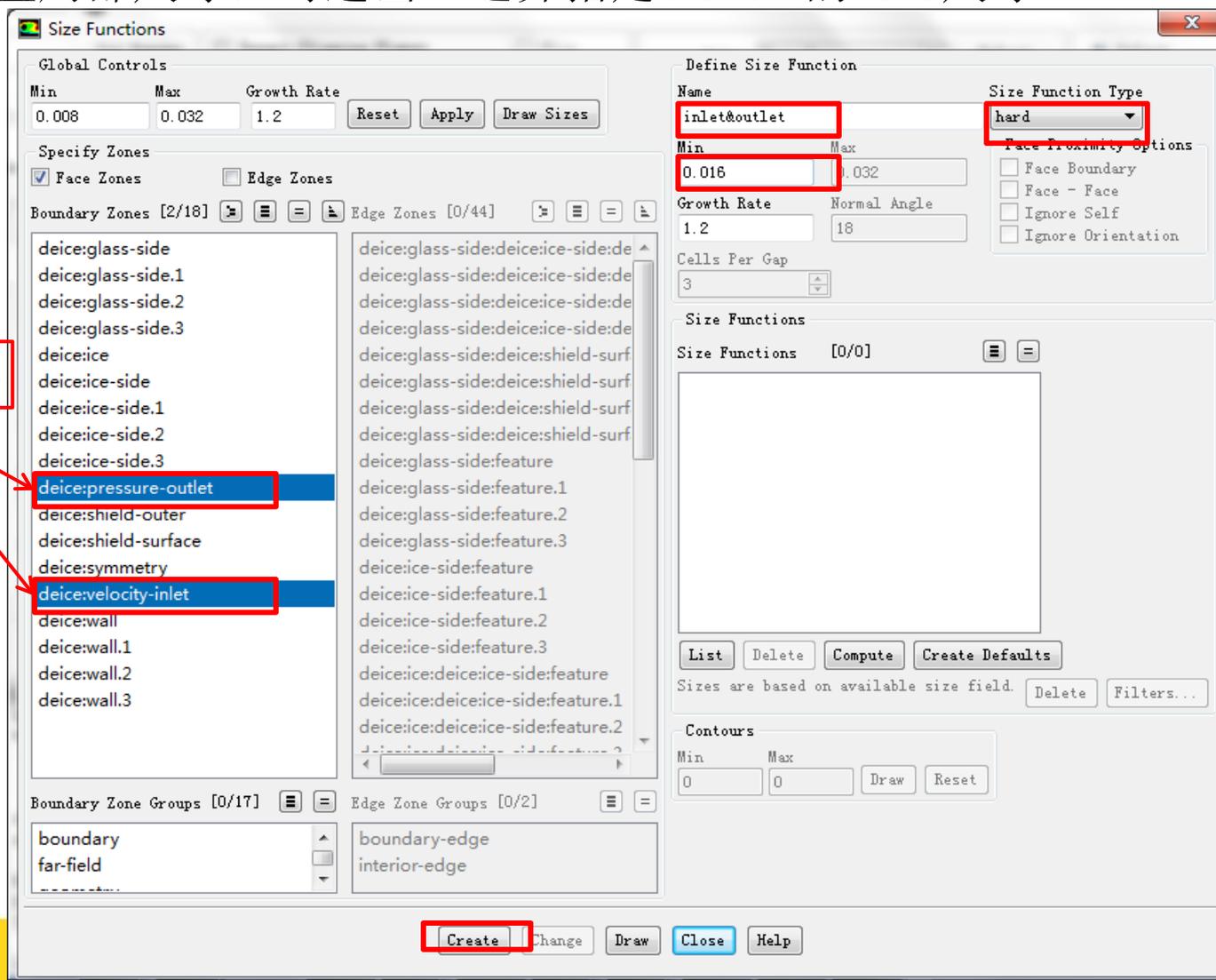
# 网格生成

## ■ 设置局部尺寸:

- 可以通过以下六种尺寸函数(Size Function)设置局部尺寸:
  - ✓ Curvature: 根据曲率确定尺寸, 需指定Min, Max size, Growth rate, Normal angle
  - ✓ Proximity: 根据邻近特性确定尺寸, 需指定Min, Max size, Growth rate, Cells per gap
  - ✓ Soft: 非强制尺寸, 需指定max size 和Growth rate
  - ✓ Hard: 强制尺寸, 需指定min size 和Growth rate
  - ✓ Meshed: 采用现有网格尺寸, 相当于采用此种尺寸函数的边界不做重构
  - ✓ Boi(Body of influence): 基于空间&体指定尺寸, 需指定max size 和Growth rate
- 本教程模型计划采用以下局部尺寸设置:
  - ✓ 对进出口边界指定0.016m的hard尺寸
  - ✓ 对玻璃和霜层及其侧面指定0.008m的hard尺寸
  - ✓ 对乘员舱表面和对称面指定0.032m的soft尺寸 (此设置并非必要, 可由全局最大尺寸控制, 此处仅仅为了演示)
  - ✓ 该模型没有曲面, 因此无需用到curvature size function.

# 网格生成

- 设置局部尺寸：对进出口边界指定0.016m的hard尺寸

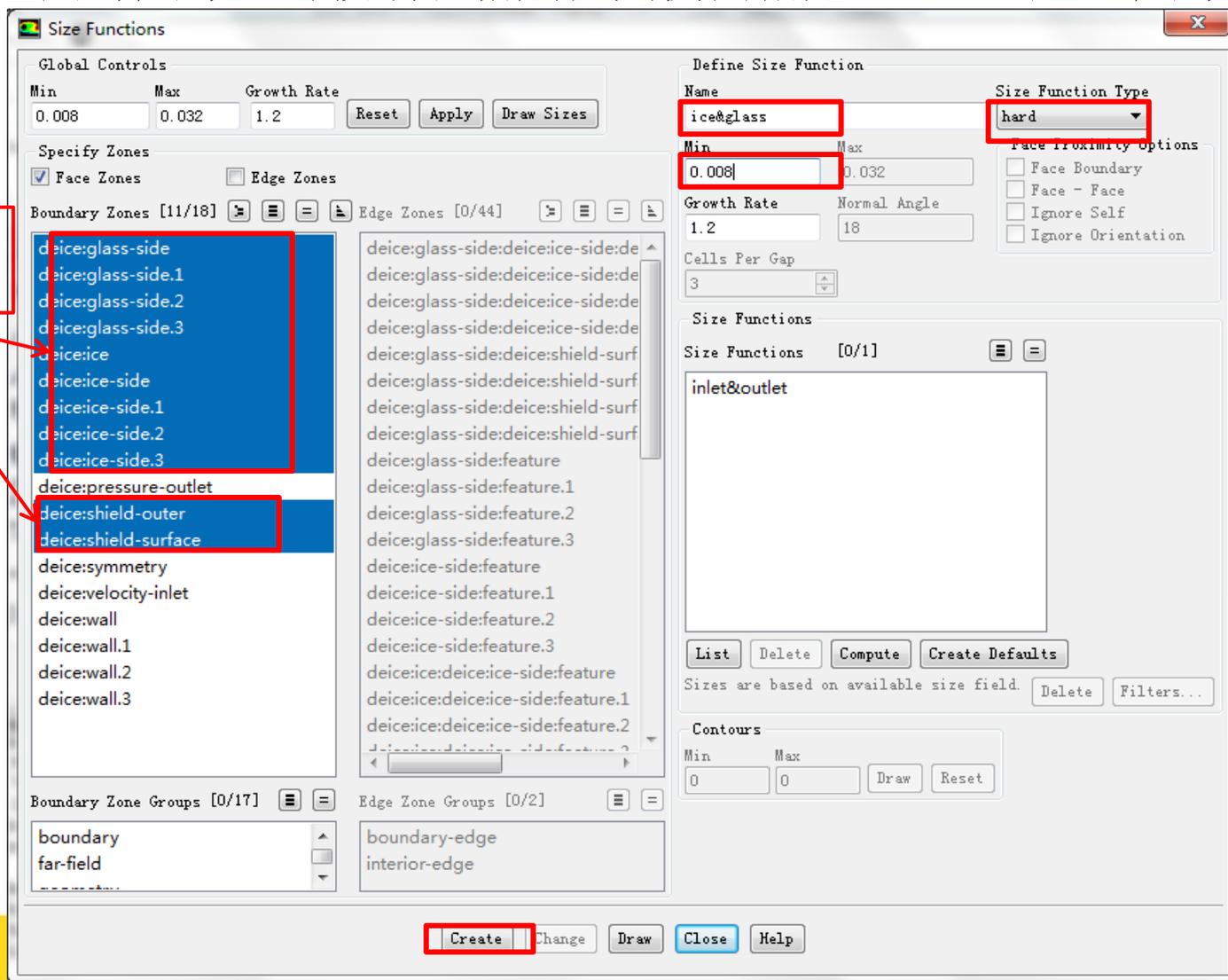


选择进出口边界

# 网格生成

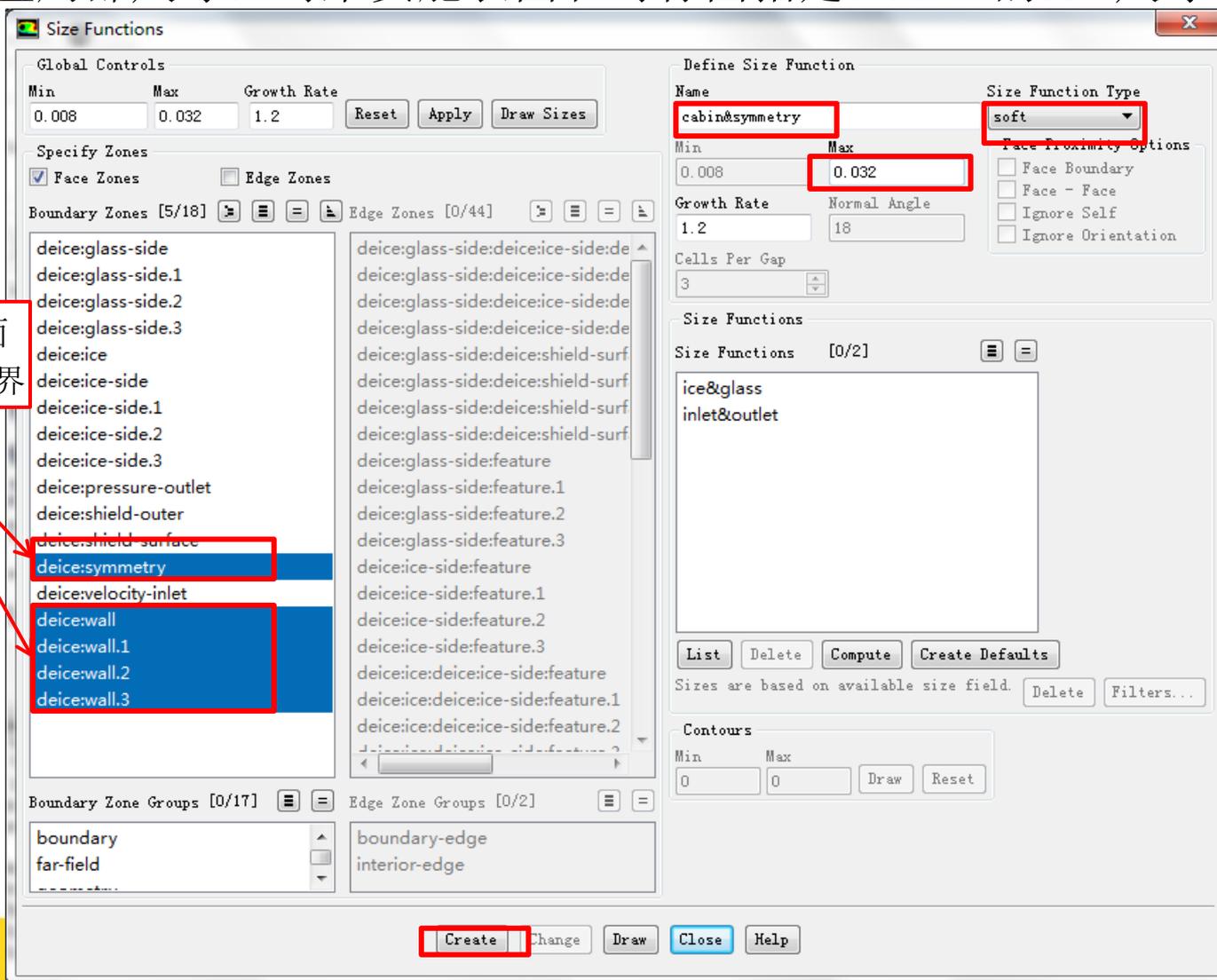
- 设置局部尺寸：对玻璃和霜层及其侧面指定0.008m的hard尺寸

选择玻璃和霜层  
所在边界



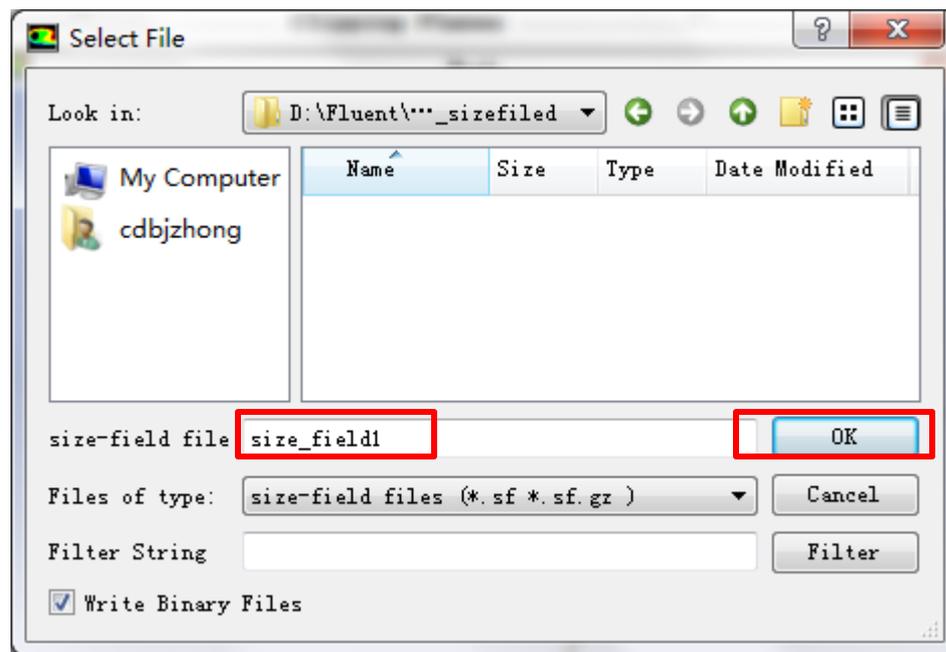
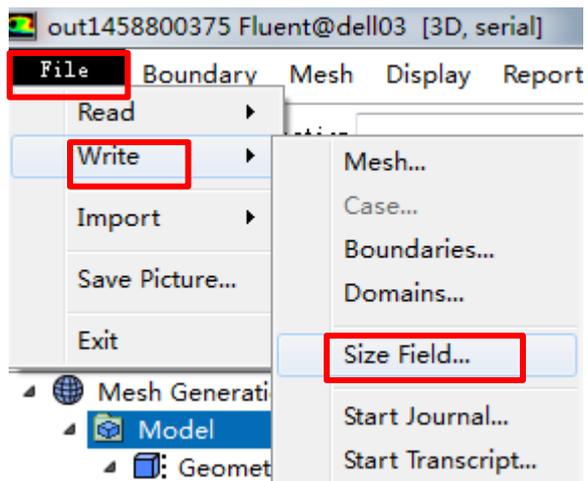
# 网格生成

- 设置局部尺寸：对乘员舱表面和对称面指定0.032m的soft尺寸



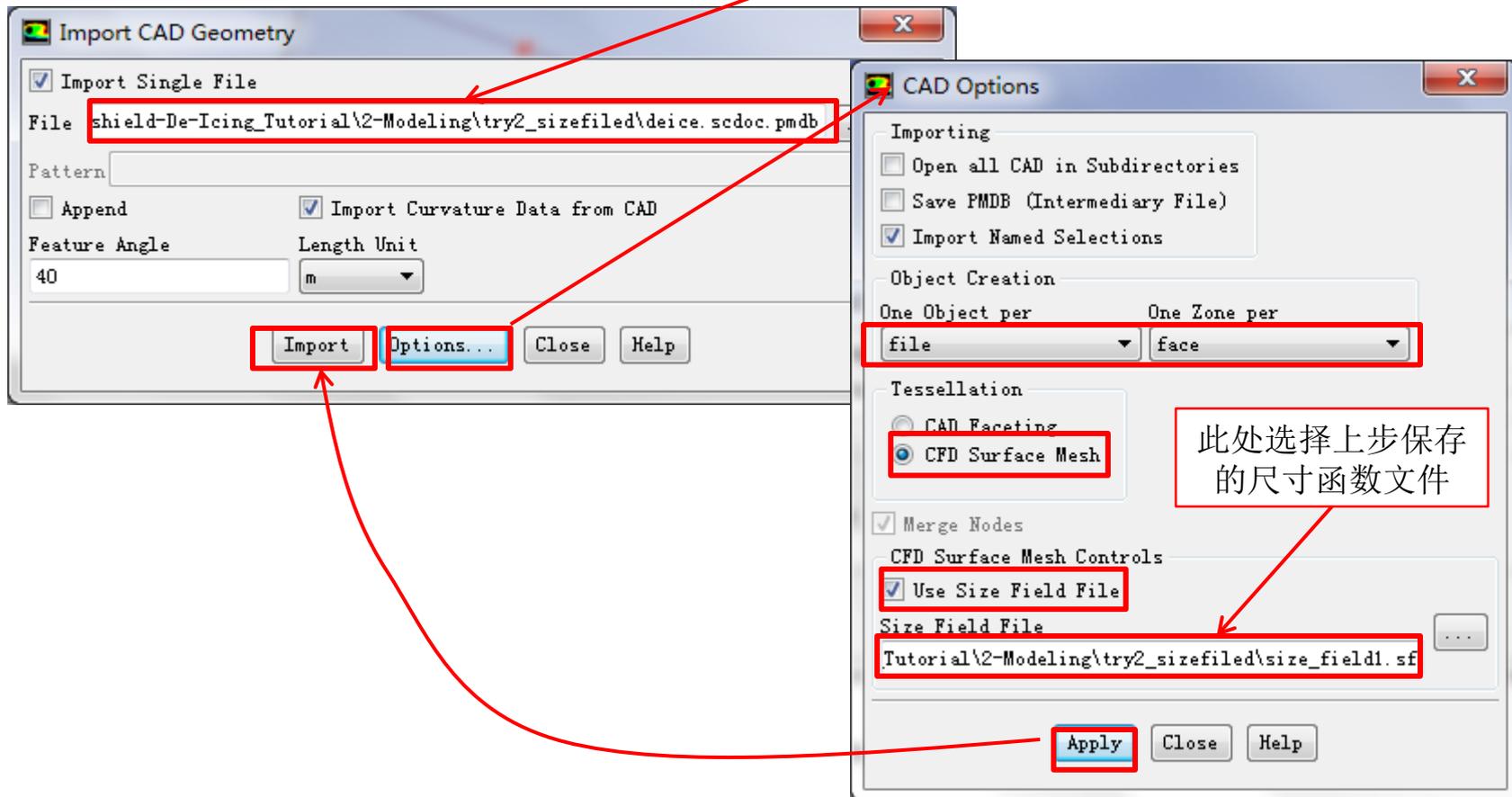
# 网格生成

- 保存尺寸函数文件:



# 网格生成

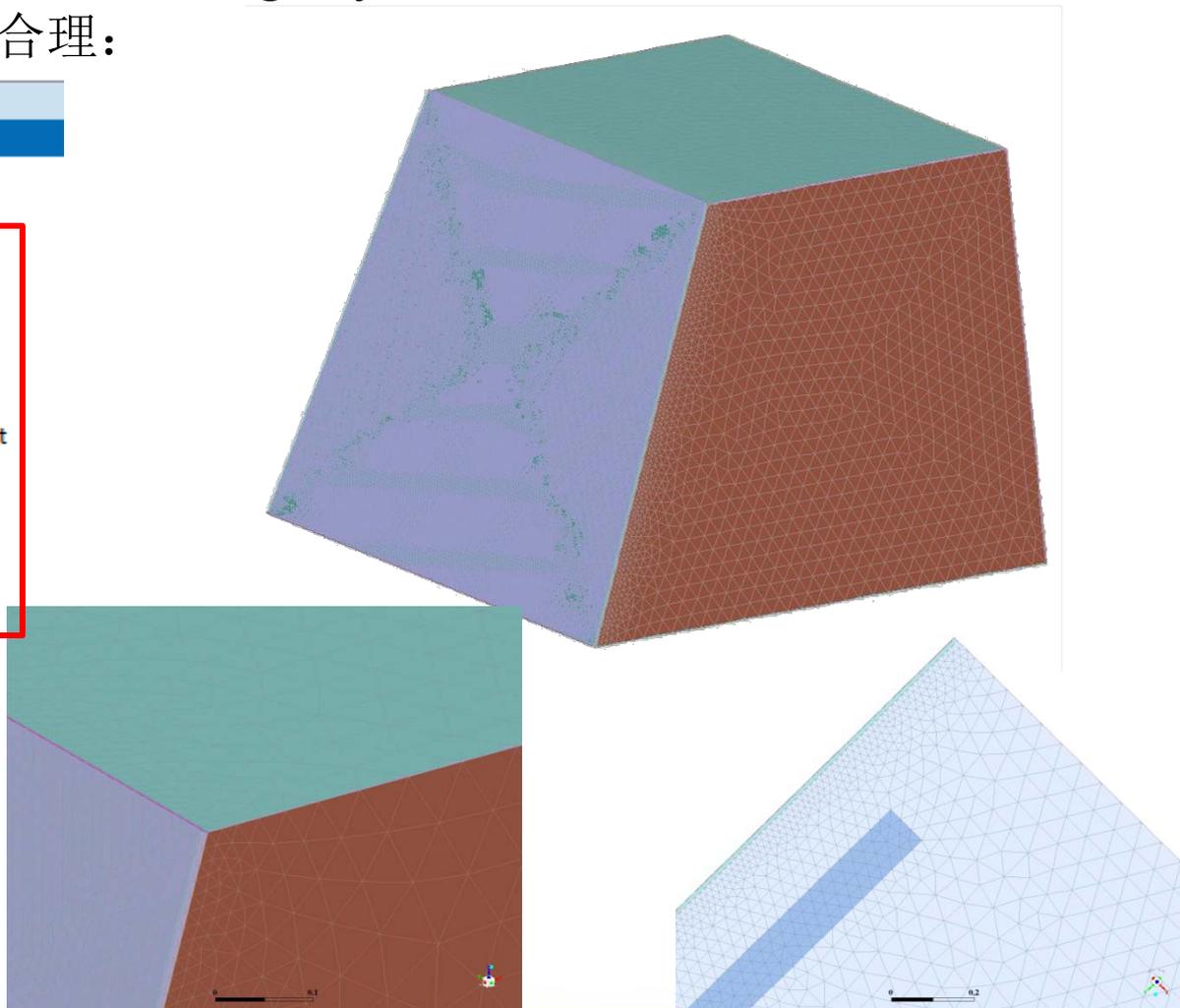
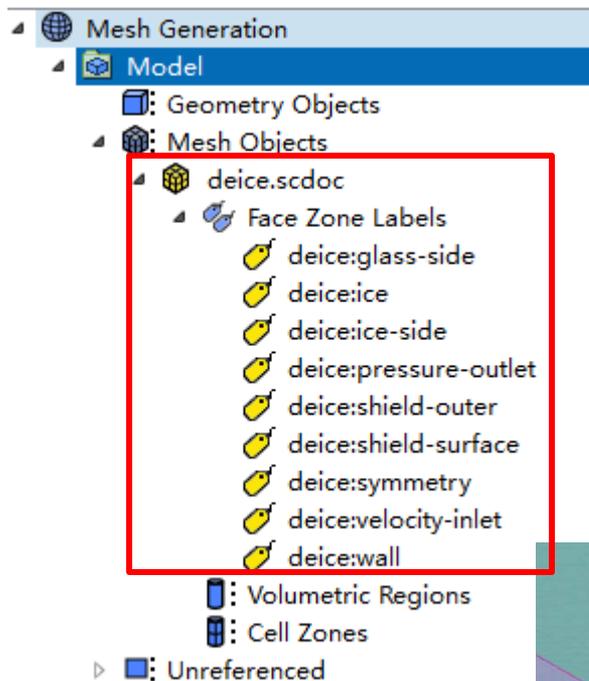
- 采用上步保存的尺寸函数文件，以CFD Surface Mesh方式重新导入几何：  
此处选择第一次导入时生成的PMDB格式的中间文件



此处选择上步保存的尺寸函数文件

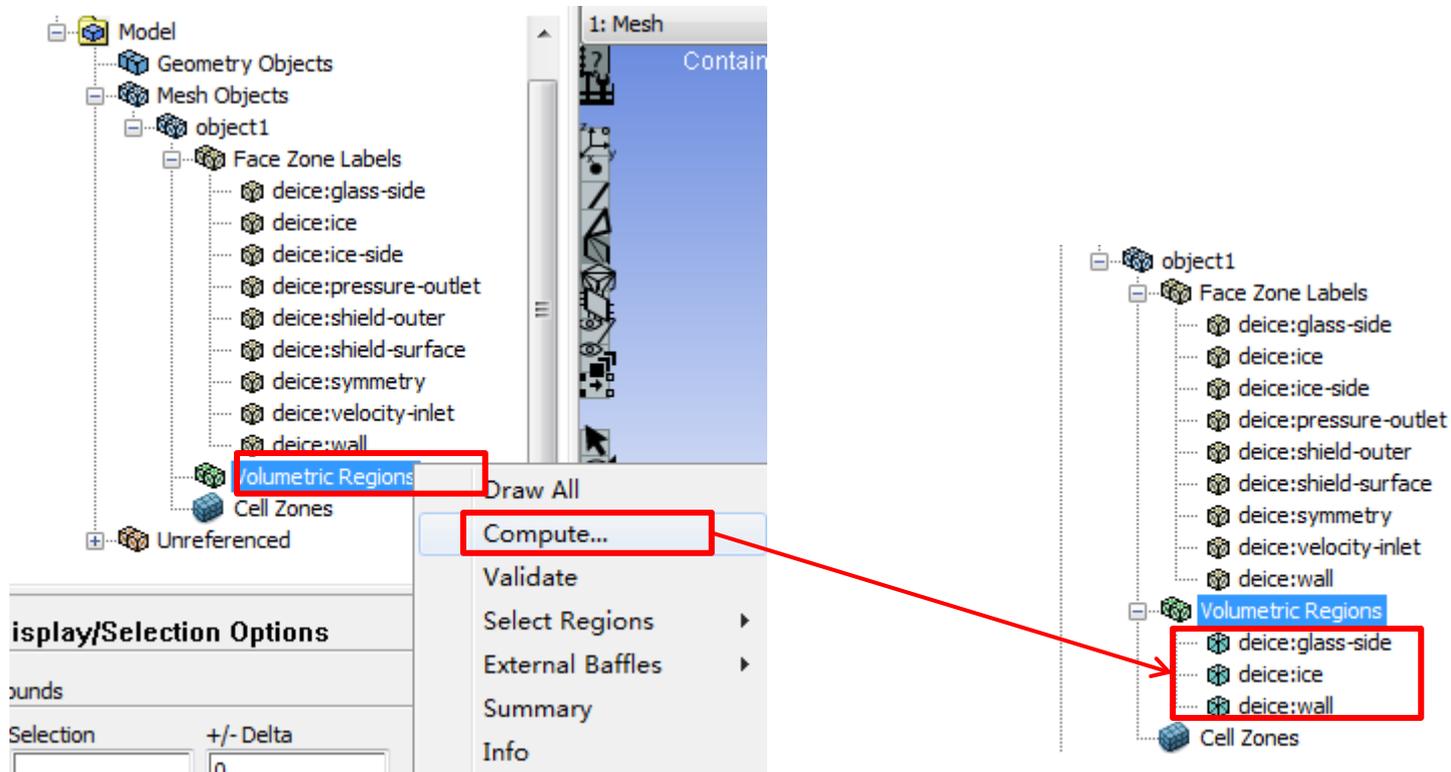
# 网格生成

- 重新导入的模型进入Meshing Objects: 已经被高质量的三角形网格离散, 尺寸分布合理:



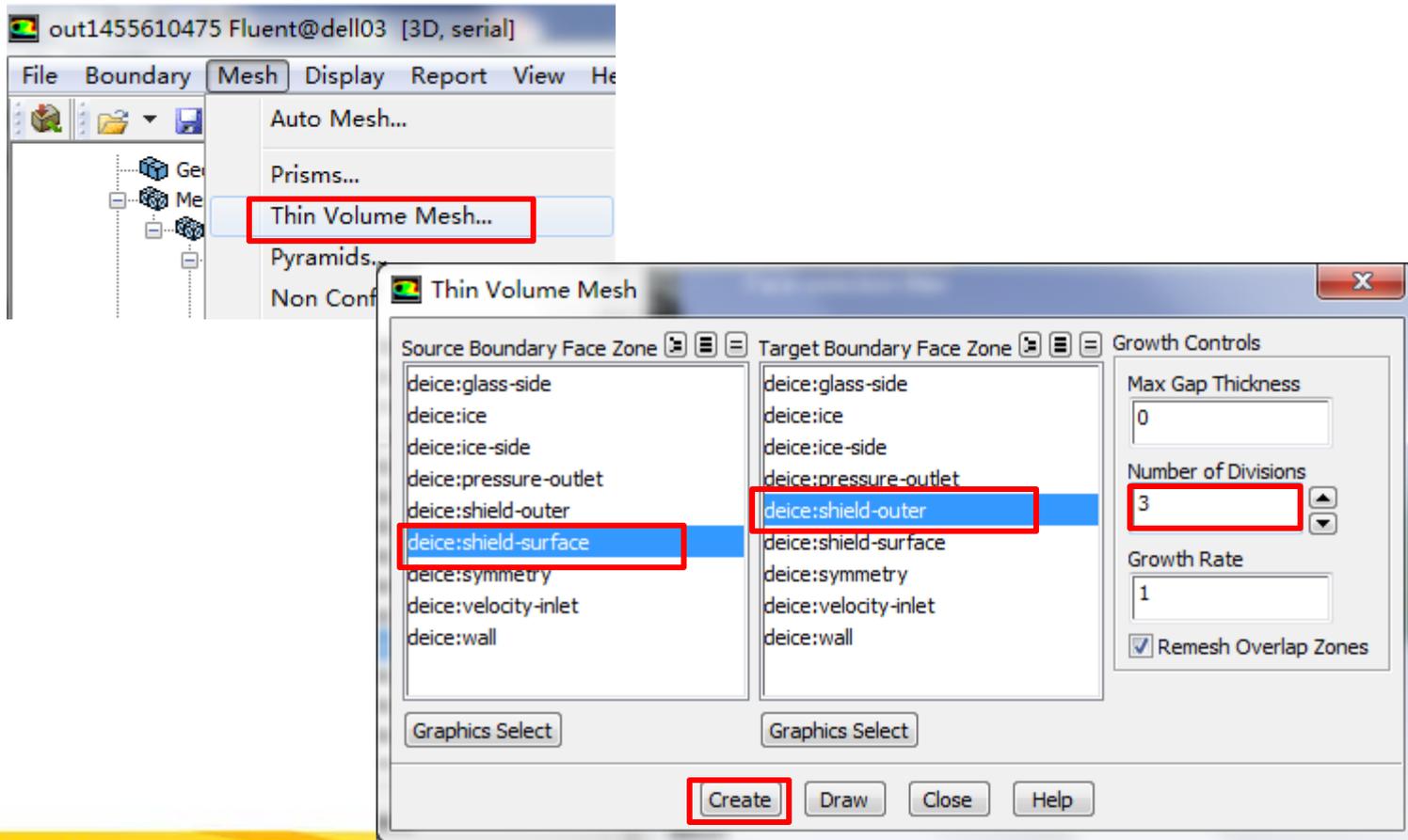
# 网格生成

- 在Volumetric Regions节点点右键选择Compute...计算模型拓扑
- 计算后得到三个Region，分别对应乘员舱空气域、玻璃固体域和冰层域，表明网格连续性和模型拓扑正常。



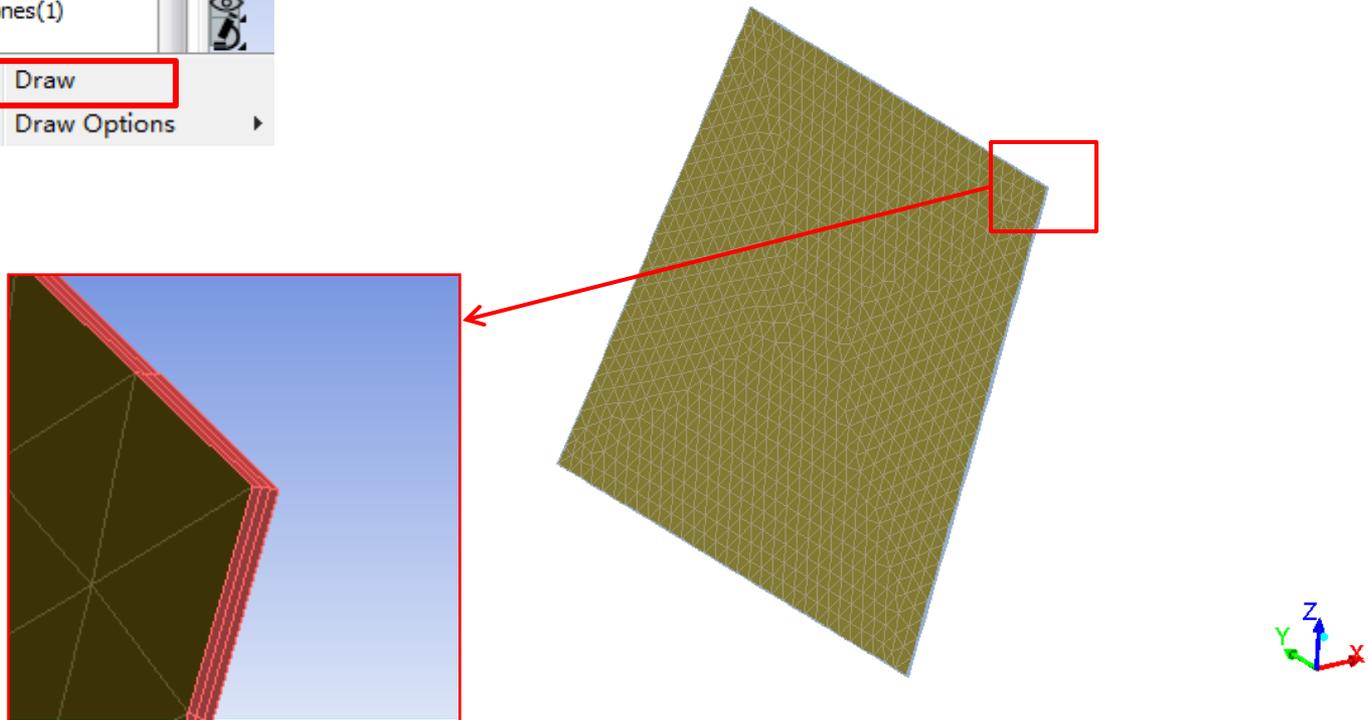
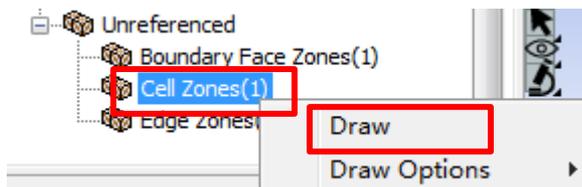
# 网格生成

- 利用Thin Volume Mesh功能生成玻璃域网格：
  - Source Boundary选择Shield-surface（玻璃内表面），Target Boundary选择shield-outer(玻璃外表面)，层数设为3层。



# 网格生成

- 生成的网格被归入到Unreferenced节点下的Cell Zones中，在其上右键选择Draw即可显示玻璃域体网格。

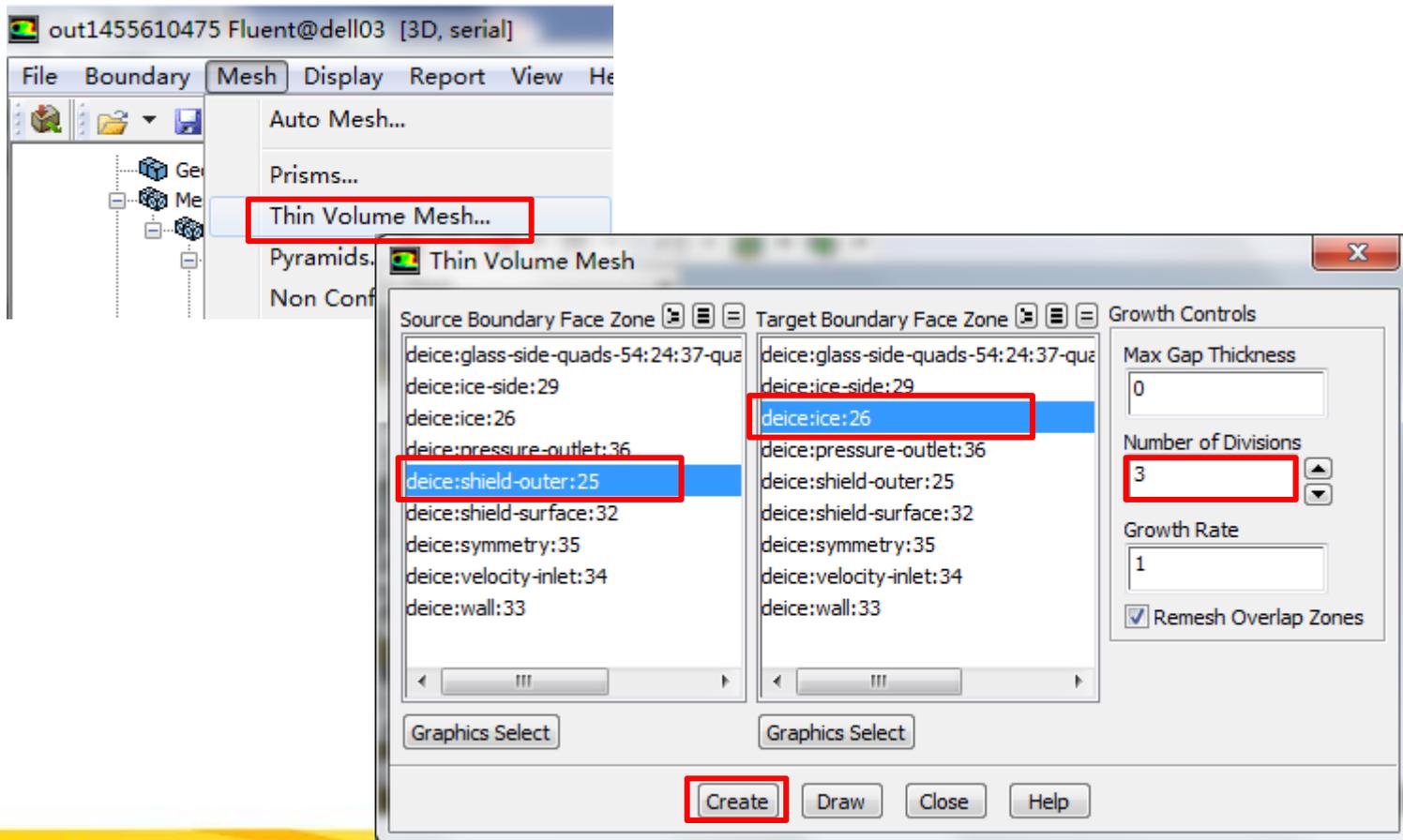


Mesh  
Restrictions: free

Feb 16, 2016  
ANSYS Fluent Meshing Release 16.0 (3D, serial)

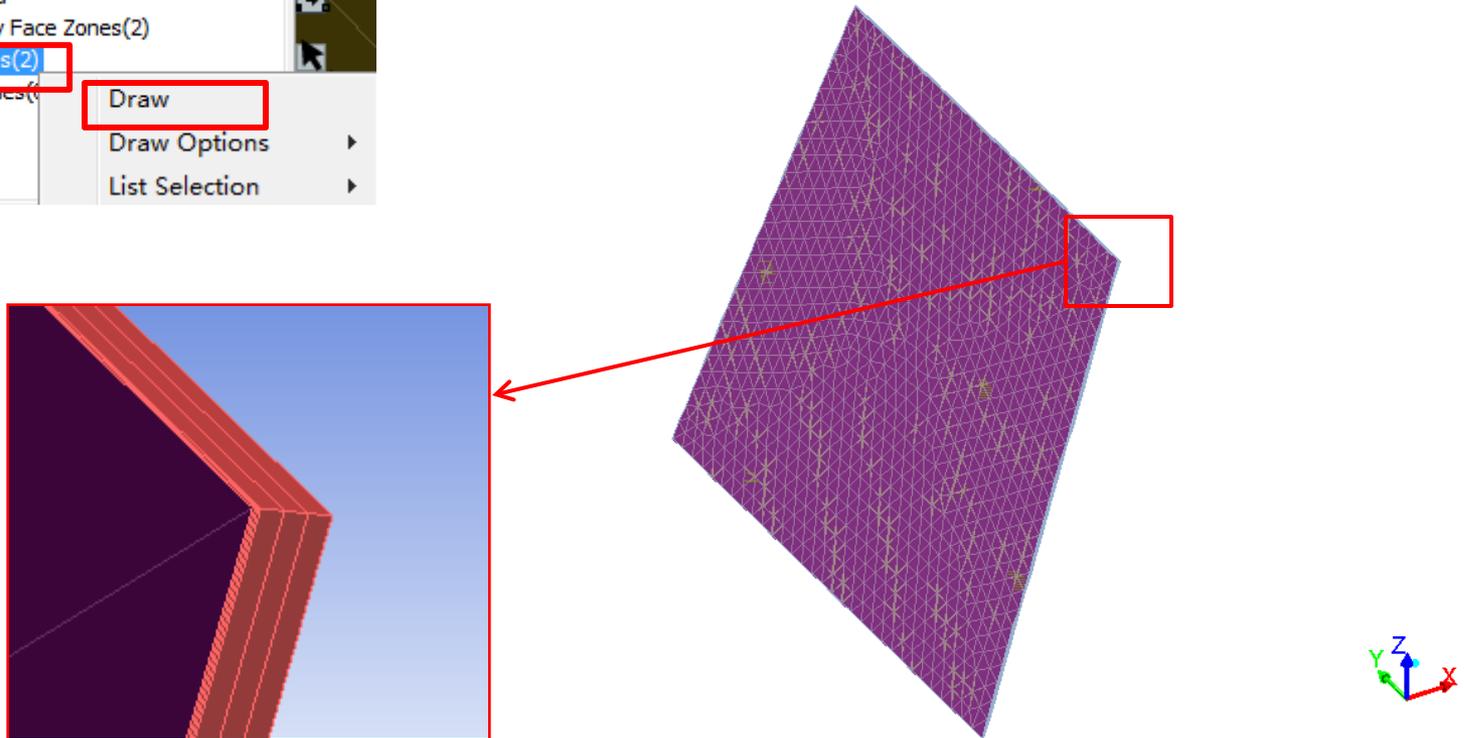
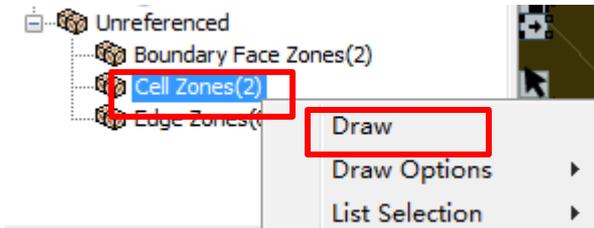
# 网格生成

- 利用Thin Volume Mesh功能生成霜层域网格：
  - Source Boundary选择Shield-outer（玻璃外表面），Target Boundary选择ice(霜层外表面)，层数设为3层。



# 网格生成

- 生成的网格被归入到Unreferenced节点下的Cell Zones中(括号中数字变为2)，在其上右键选择Draw即可同时显示玻璃和霜层域体网格。



Mesh  
Restrictions: free

Feb 16, 2016  
ANSYS Fluent Meshing Release 16.0 (3D, serial)

# 网格生成

## ■ 下一步生成乘员舱空气域体网格：

- 因玻璃和霜层域体网格已经完成，在生成空气域体网格前需重新计算进行Volumetric Computing。

The image shows a software interface for mesh generation. On the left, a tree view under 'Mesh Generation' shows 'Volumetric Regions' selected. A context menu is open over it, with 'Compute...' highlighted. A 'Question' dialog box is displayed in the center, asking: 'Computing regions will reset region names and types using Face Zone Labels, and does not respect current region names and types. Do you wish to proceed?' with a 'Yes' button. On the right, the tree view shows 'deice:wall' selected under 'Volumetric Regions'. A red box highlights 'deice:wall' and a text box below it says: '重新计算后只剩下一个Region, 即乘员舱域'.

Question

Computing regions will reset region names and types using Face Zone Labels, and does not respect current region names and types. Do you wish to proceed?

Yes

Mesh Generation

Model

Geometry Objects

Mesh Objects

object1

Face Zone Labels

Volumetric Regions

deice:ice

deice:shield-ou

deice:wall

Cell Zones

Unreferenced

Boundary Face Zones(

Cell Zones(2)

Edge Zones(0)

Draw All

Compute...

Validate

Select Regions

External Baffles

Summary

Info

Mesh Generation

Model

Geometry Objects

Mesh Objects

object1

Face Zone Labels

Volumetric Regions

deice:wall

Cell Zones

Unreferenced

Boundary Face Zones(2)

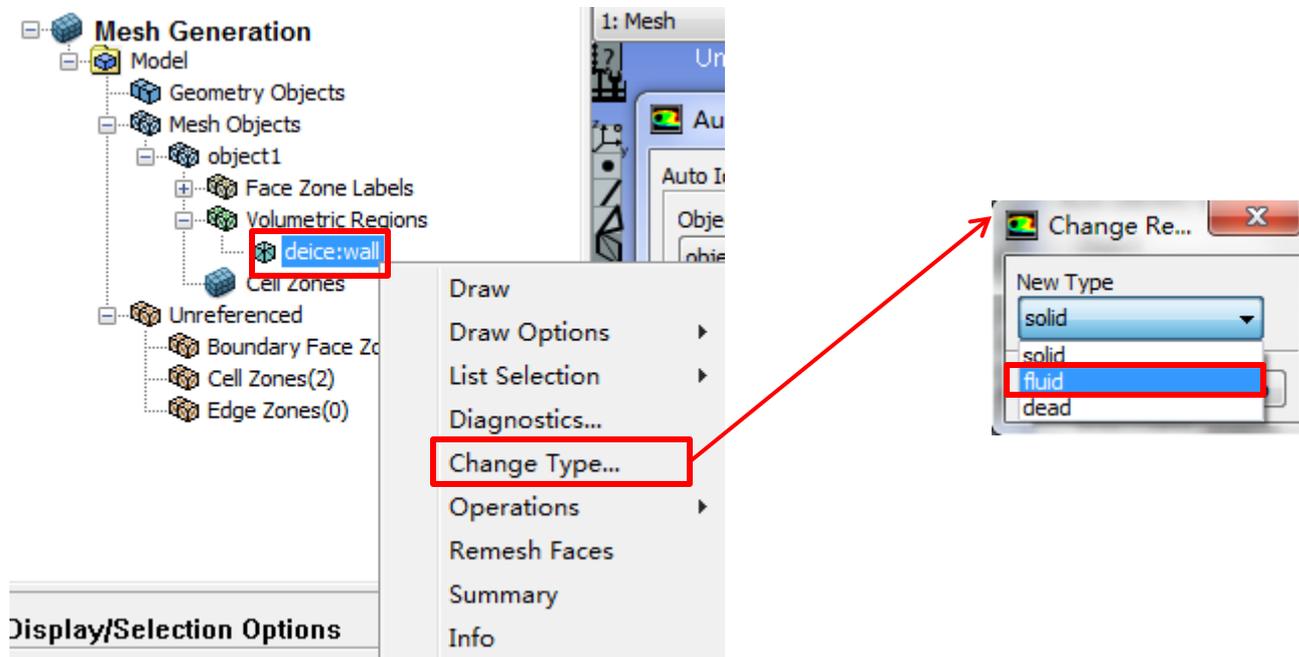
Cell Zones(2)

Edge Zones(0)

重新计算后只剩下一个Region, 即乘员舱域

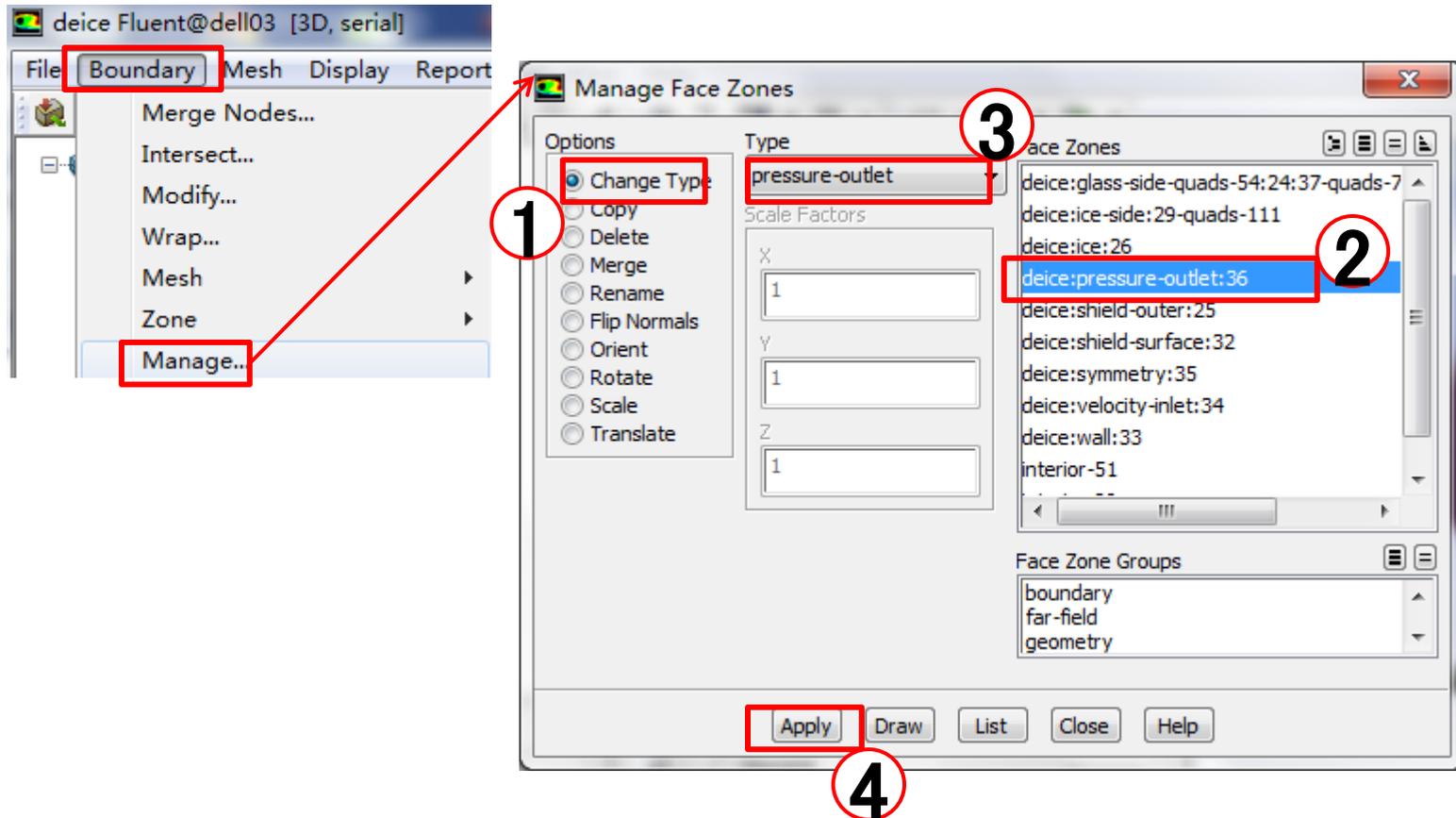
# 网格生成

- 修改乘员舱空气域的类型属性：改为Fluid。



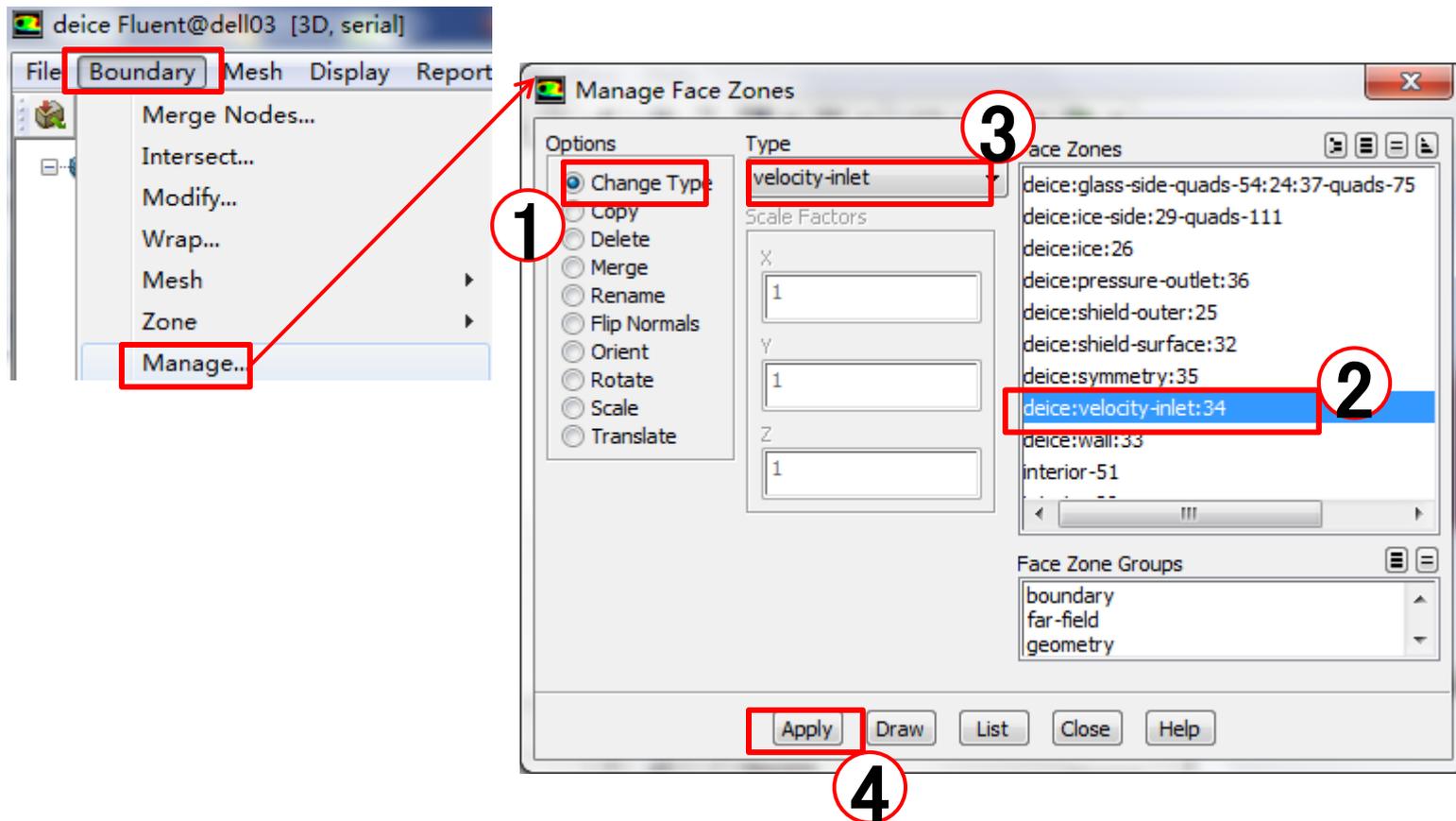
# 网格生成

## ■ 更改边界类型:



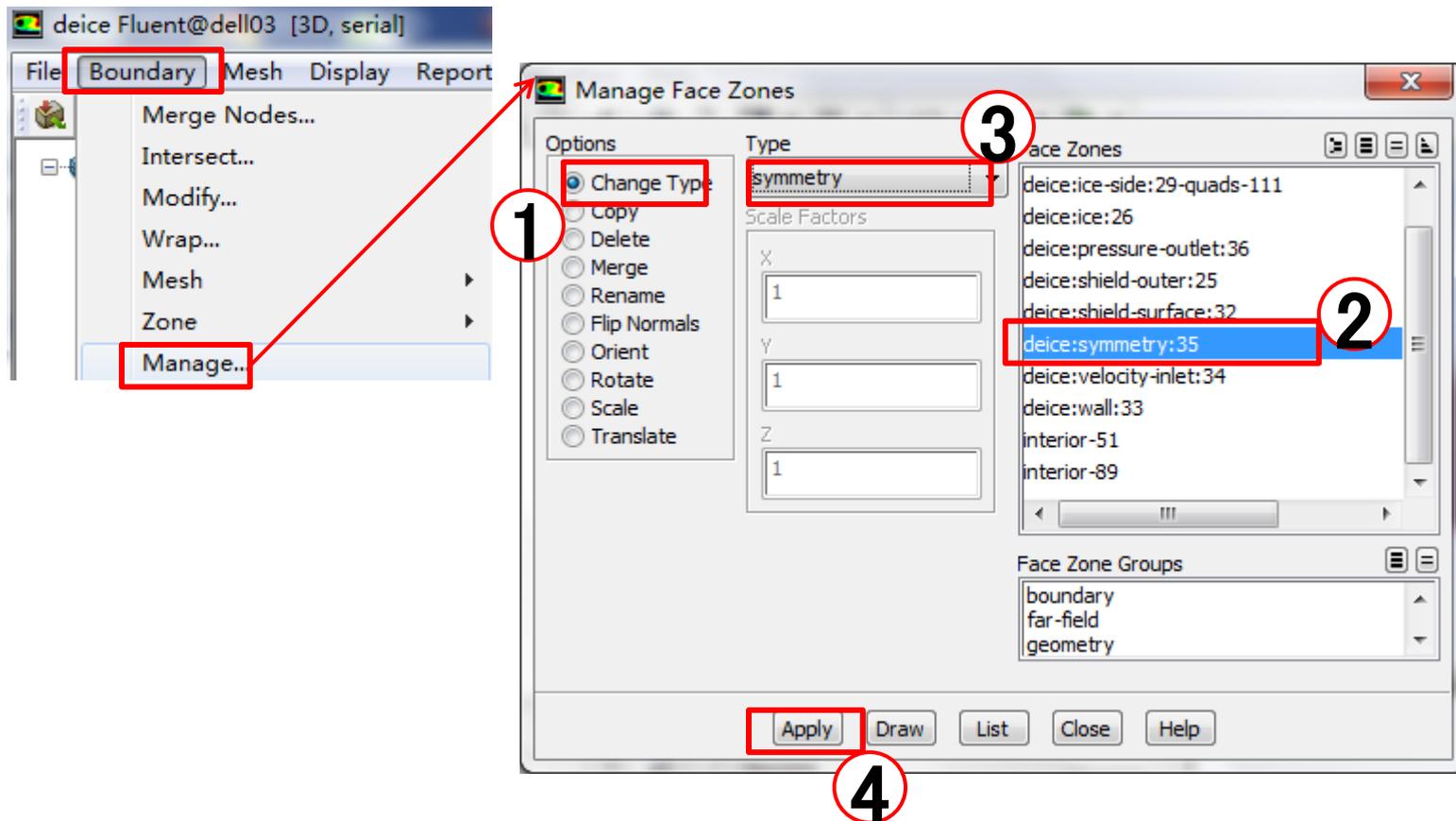
# 网格生成

## ■ 改变边界类型:



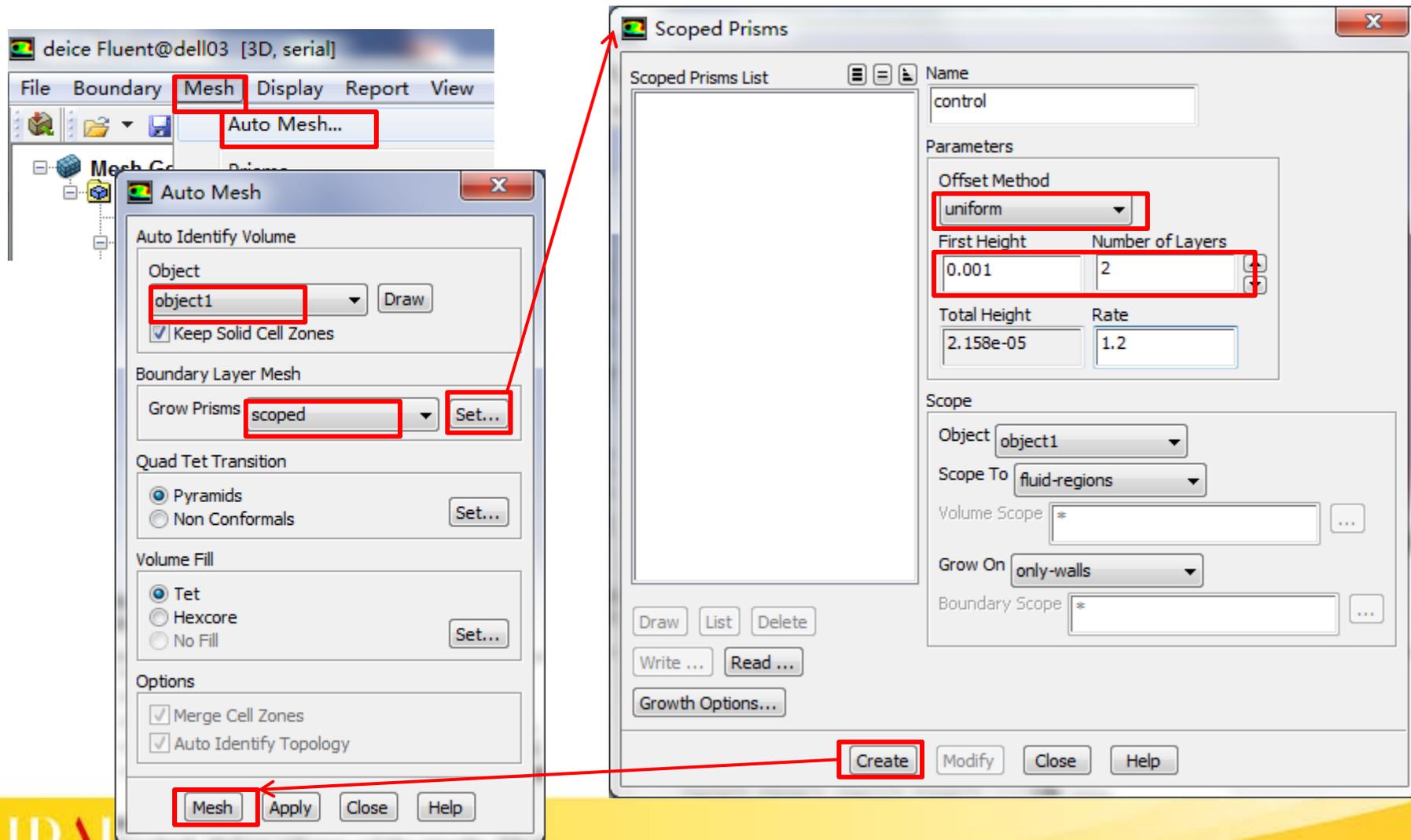
# 网格生成

## ■ 改变边界类型:



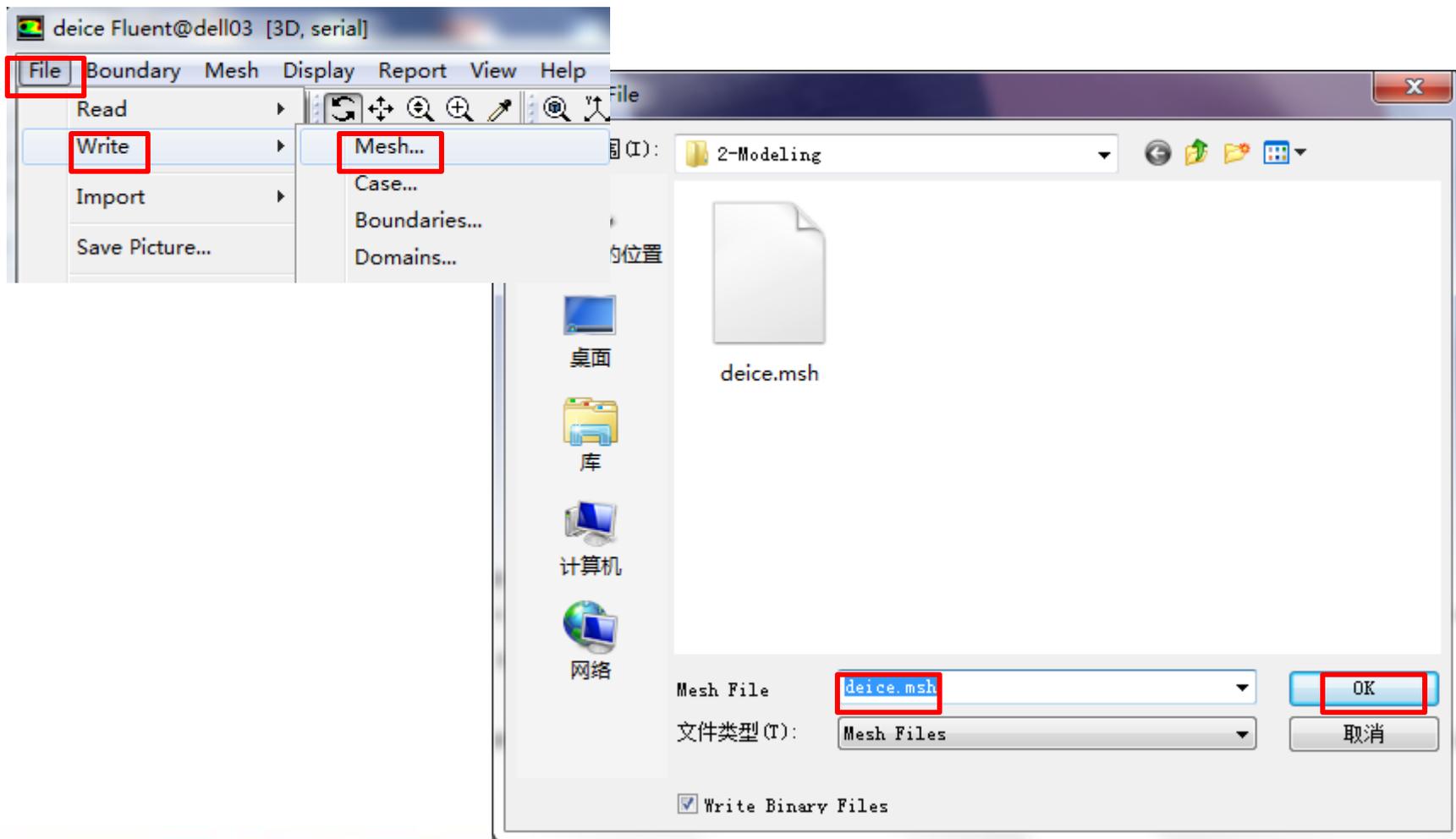
# 网格生成

- 生成乘员舱空气域体网格:



# 网格生成

- 保存网格模型为deice.msh



# 物理模型&物性参数汇总

## ■ 物理模型

- RANS方程
- 湍流模型: k-epsilon standard
- 状态方程: constant density
- 除霜模型: 三维Solidification&Melting

## ■ 物性参数

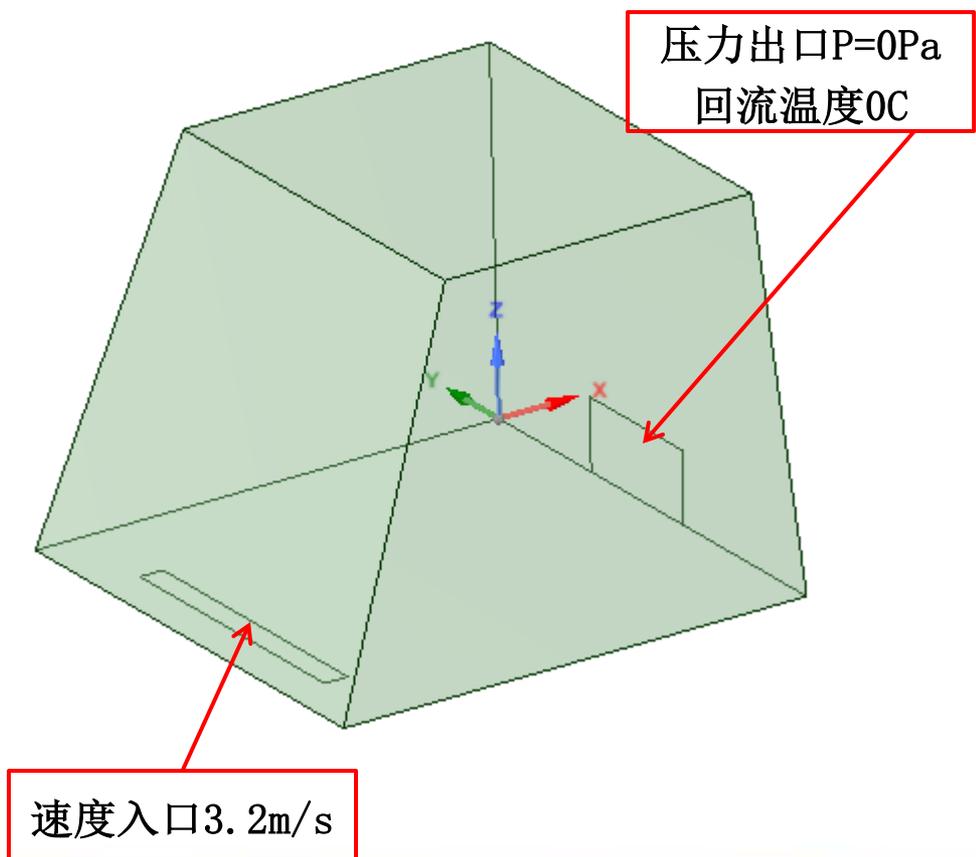
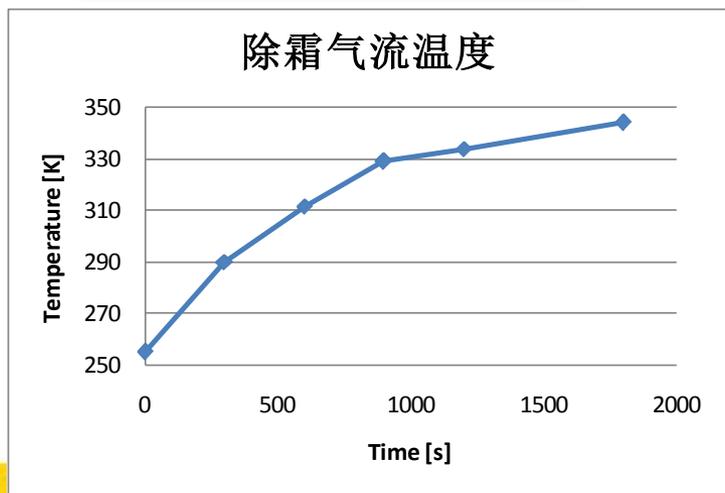
材料	密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	比热 [J/kg-K]	导热率 [W/m-K]	粘度 [Pa-s]	相变热 [J/kg]	备注
空气	1.225	1006.43	0.0242	1.7894e-5		fluid
玻璃	2400	750	0.93	-	-	solid, 4.4mm厚
冰层	920	2040	1.88	5.53e-3	334960	Fluid, 0.5mm厚

# 初始&边界条件汇总

- 乘员舱&冰层&玻璃初始温度： -18C
- 其它壁面： 绝热

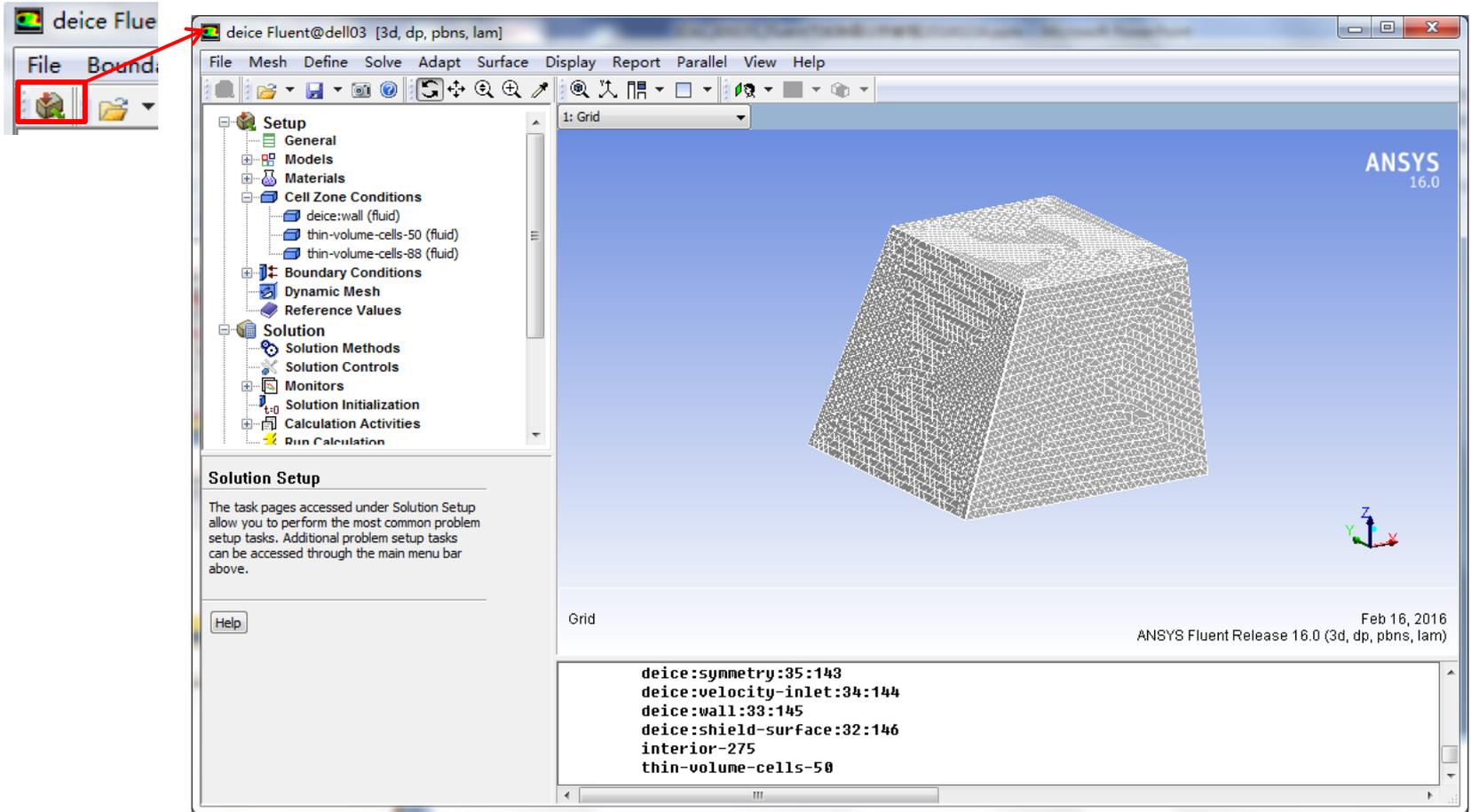
除霜气流温度

Time (s)	Temperature[K]
0	255.2
300	290.2
600	311.8
900	329.1
1200	334.1
1800	344.1



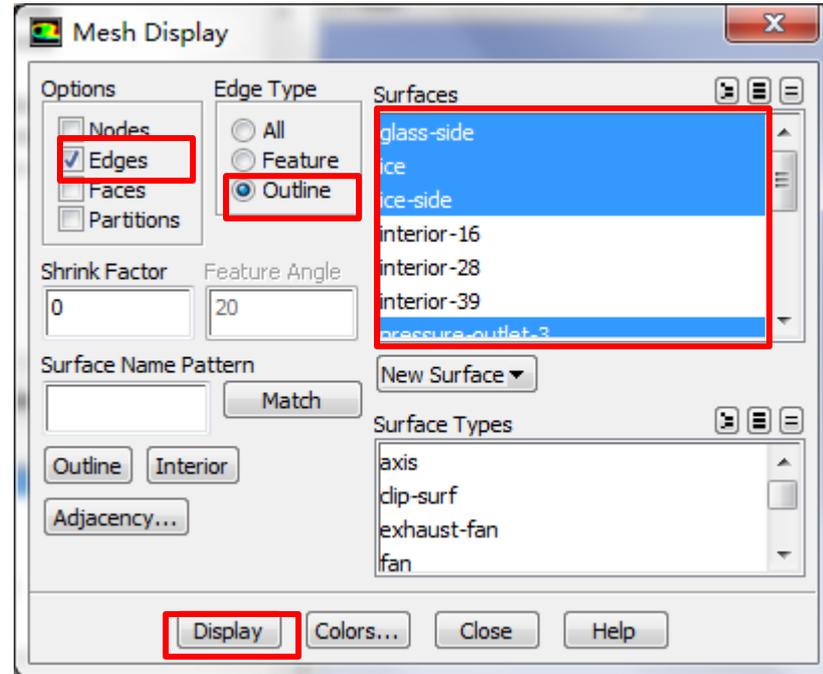
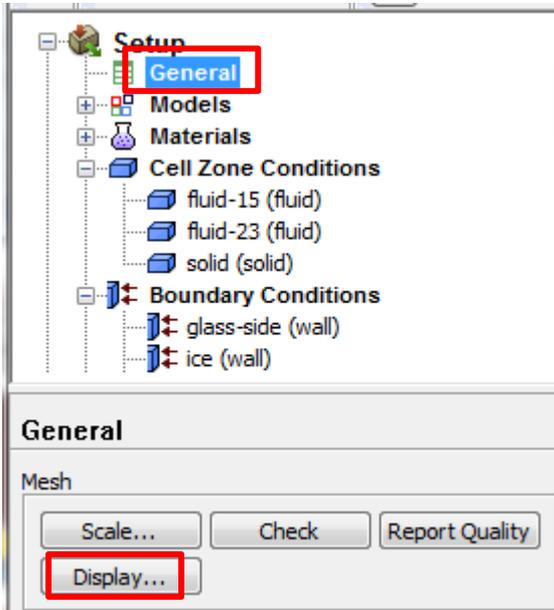
## 切换模式

### ■ 切换到求解器模式



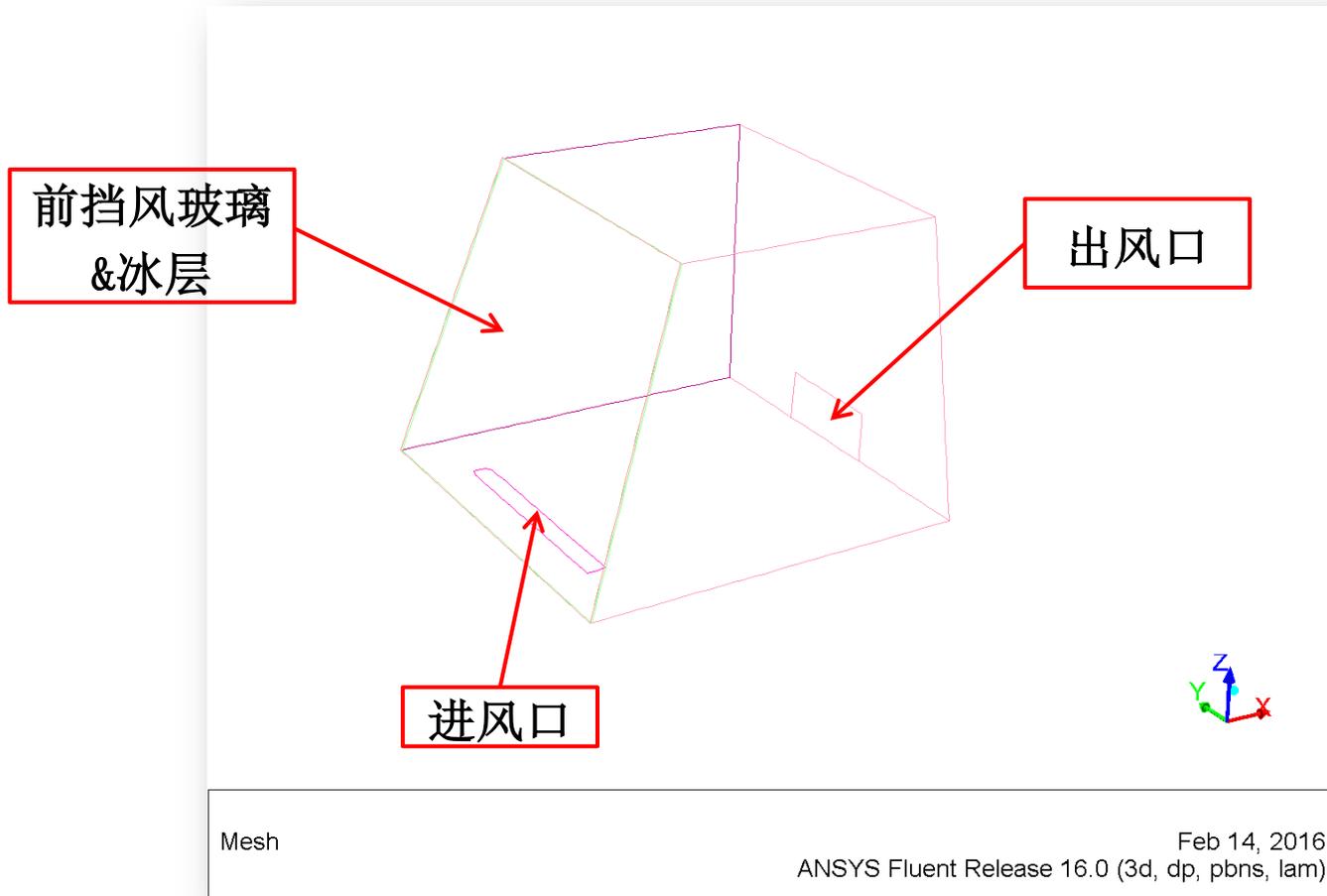
## 显示模型

- 选择General->Display...调出Mesh Display面板
- 选择除interial-\*的所有部分，
- 将Edge Type改为Outline，
- 在Options仅保留Edges



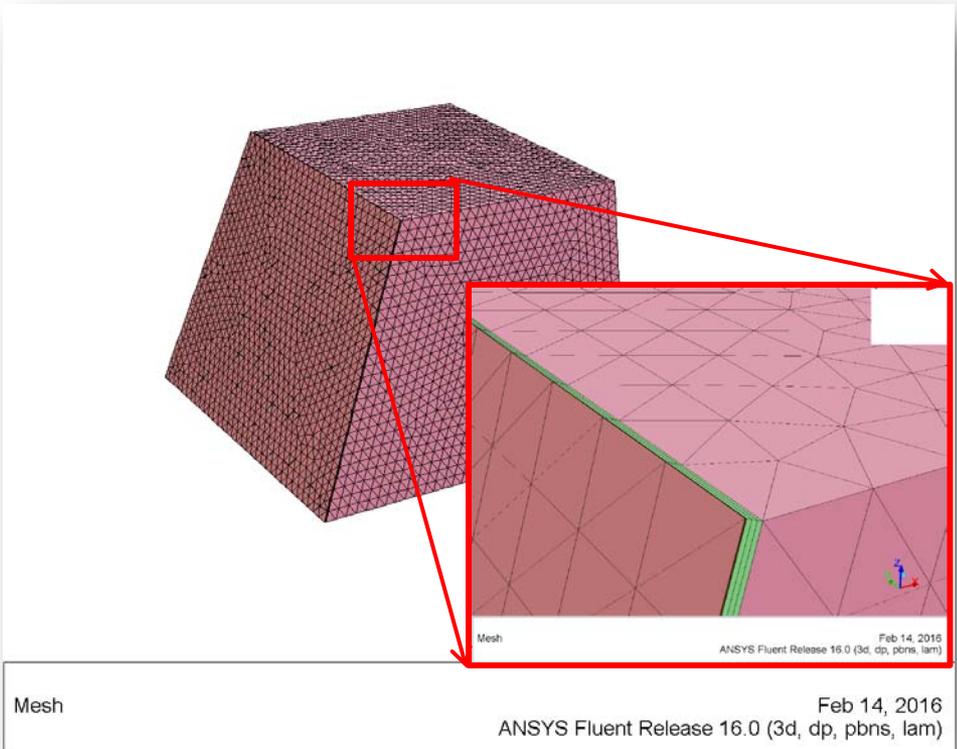
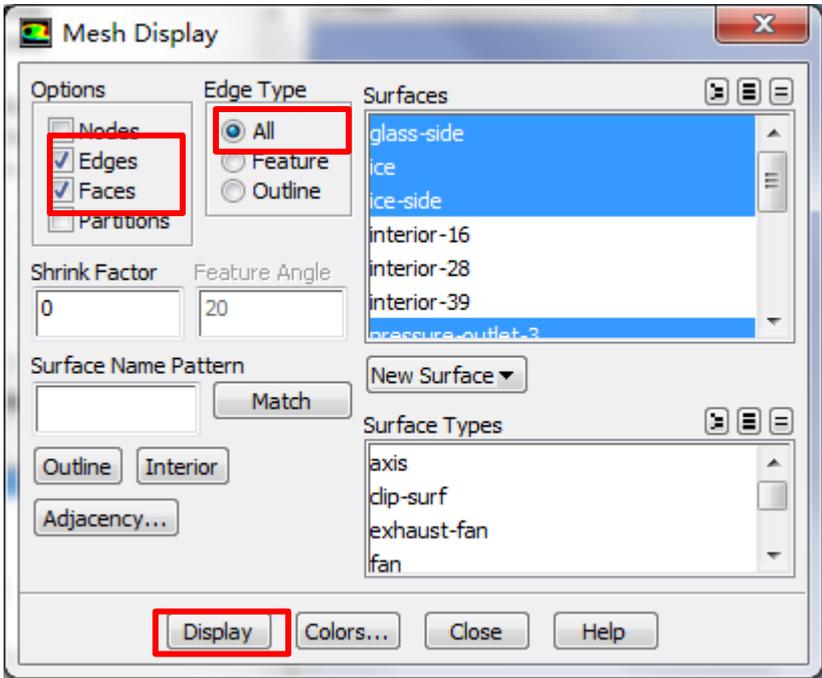
# 显示模型(续)

- 点击Display显示模型如下：



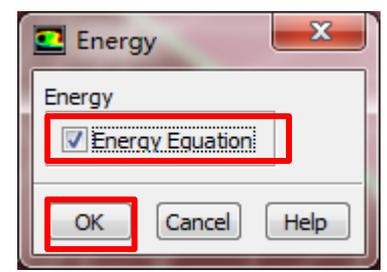
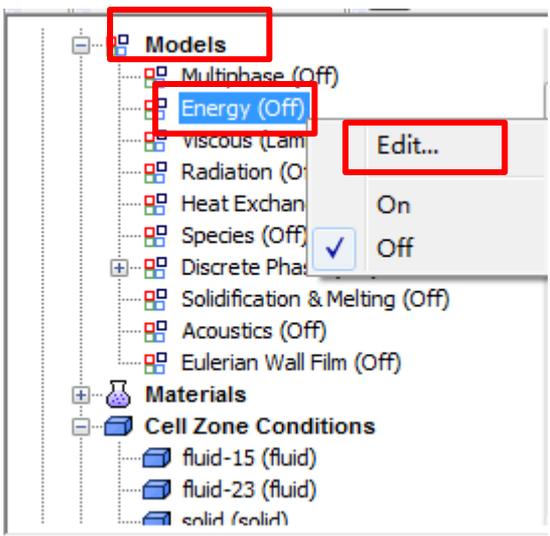
# 显示模型(续)

- 如希望显示网格，则将Edge Type改为all，
- 并在Options保留Edges和Face



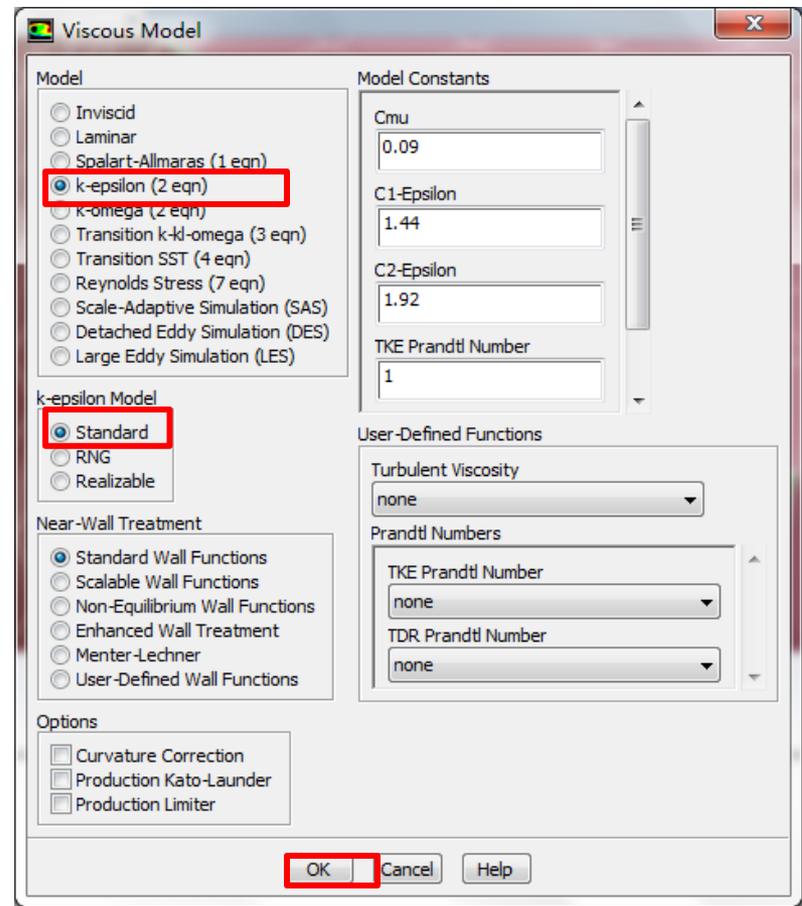
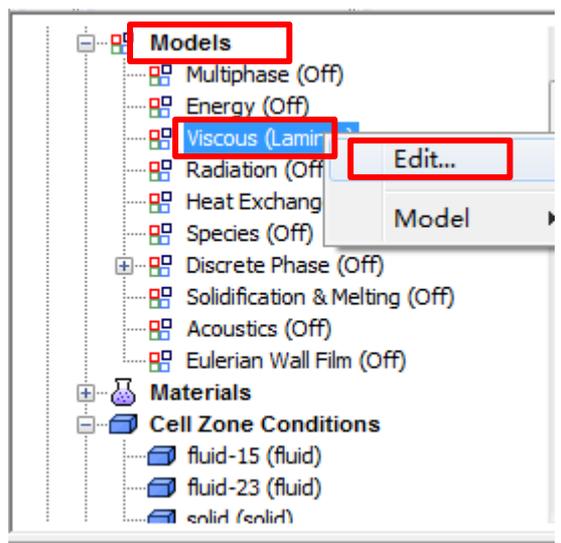
# 物理模型

- 通过Models> Energy> Edit...激活能量方程:



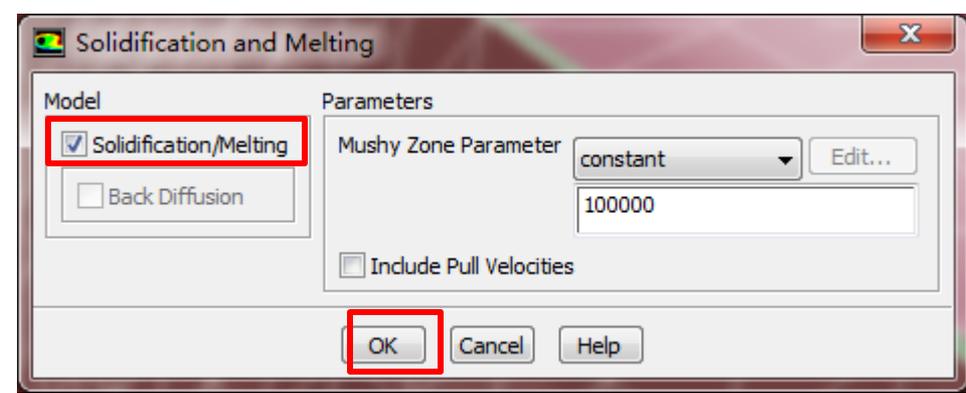
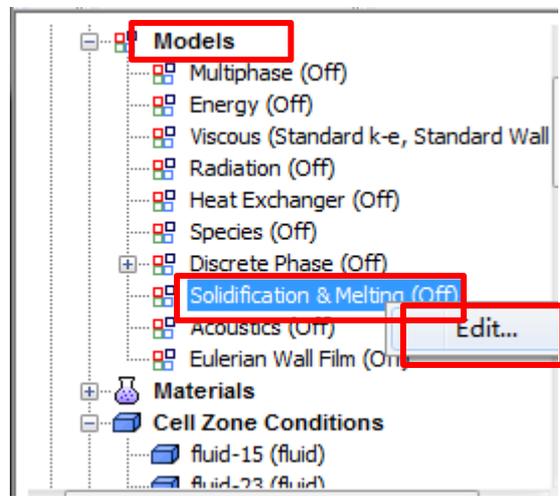
# 物理模型

- 通过Models> Viscous> Edit...激活k-epsilon标准湍流模型:



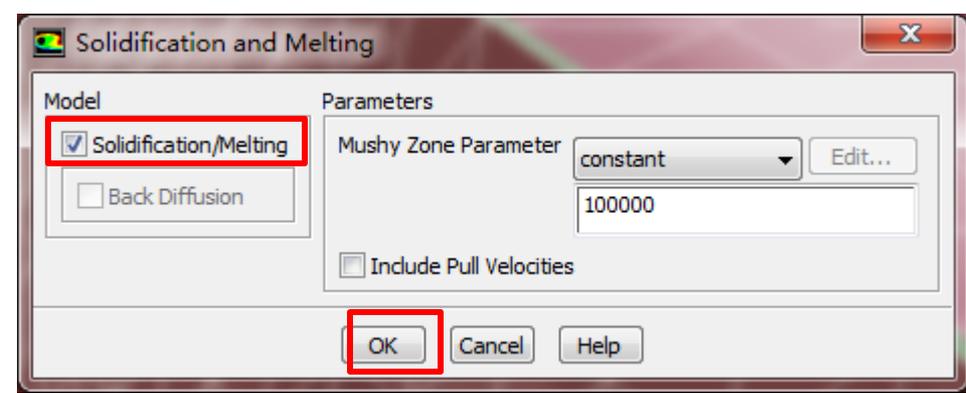
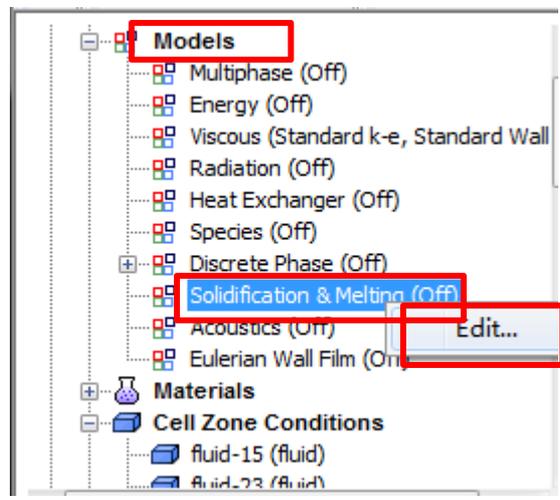
# 物性参数

■ 通过Models> Solidification&Melting> Edit...激活除霜模型:



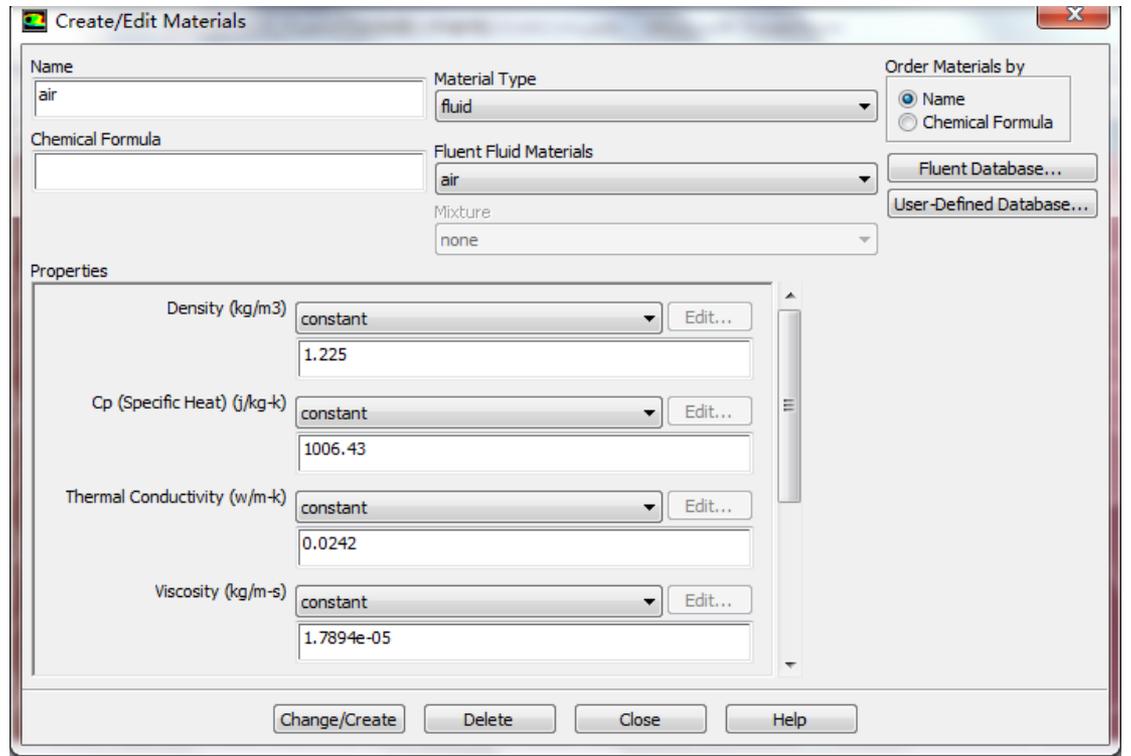
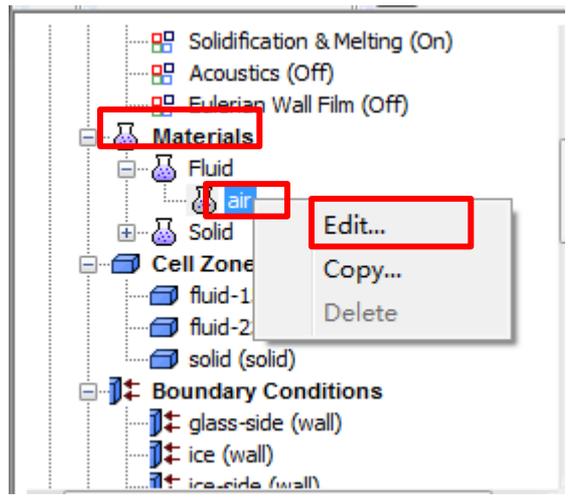
# 物性参数

■ 通过Models> Solidification&Melting> Edit...激活除霜模型:



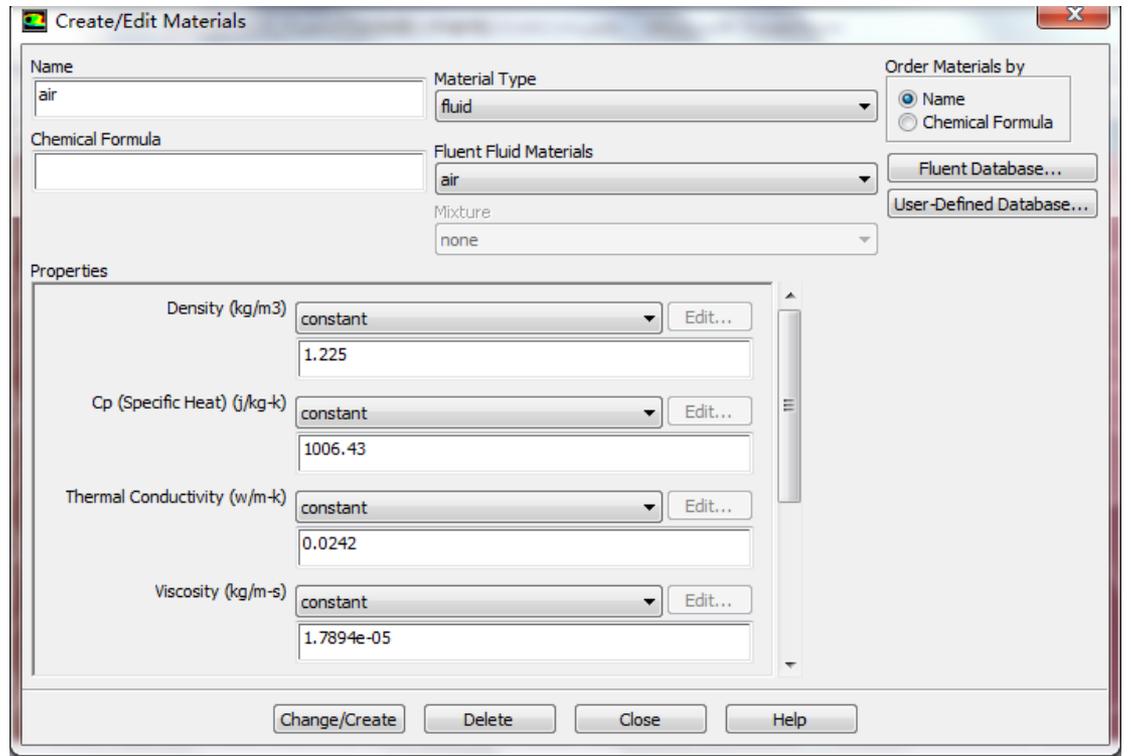
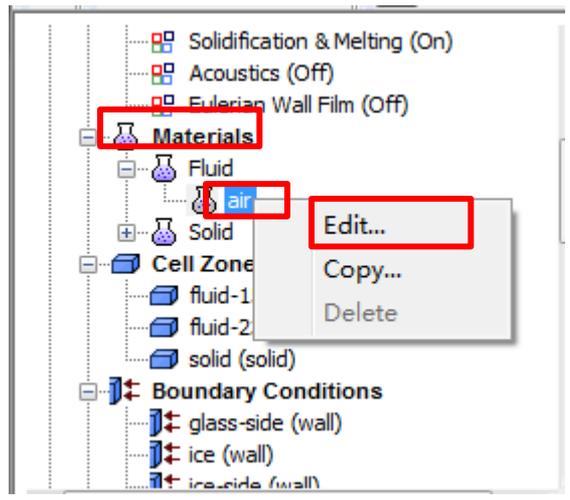
# 物性参数

- 通过Materials> Fluid> Air>Edit...设置空气属性:
  - 保持Density、Cp, Thermal Conductivity和Viscosity的默认值



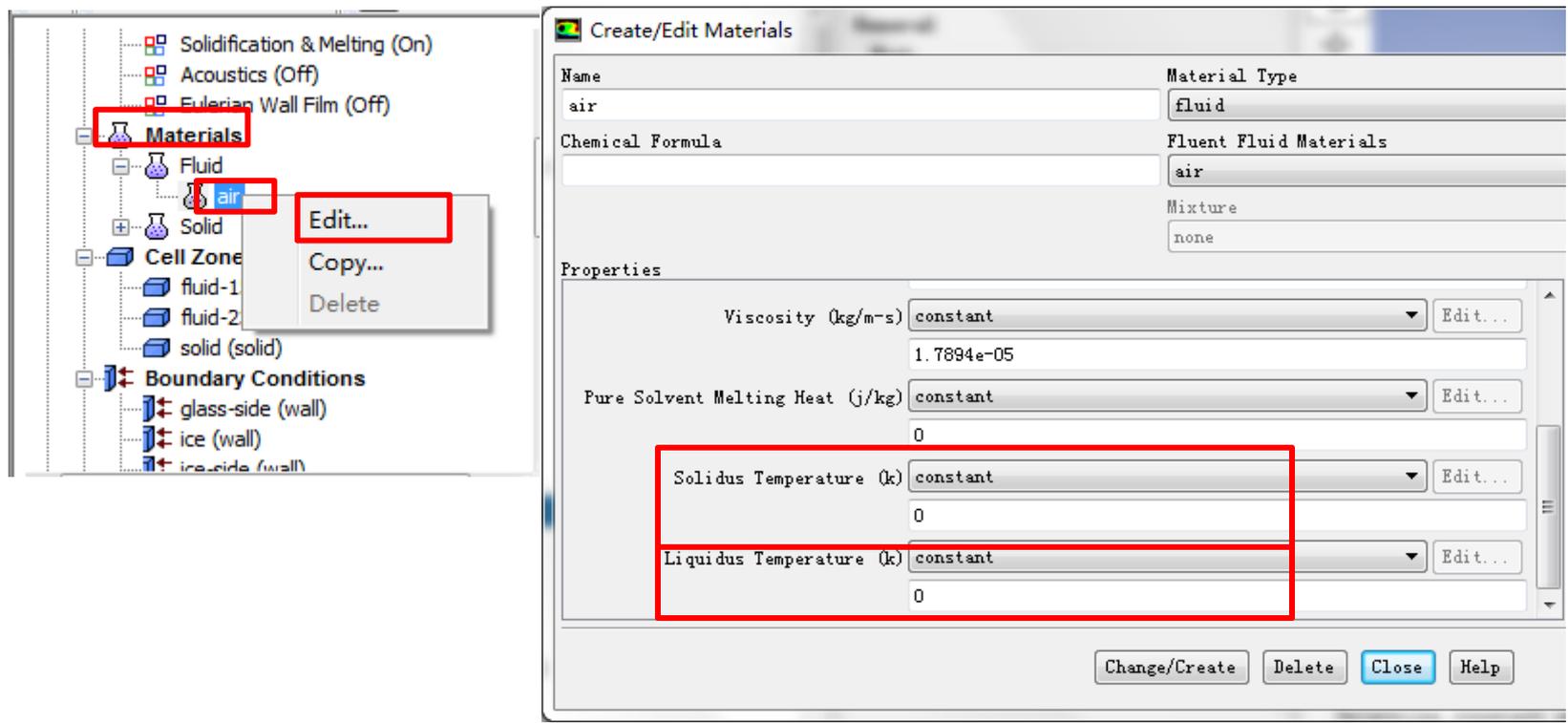
# 物性参数

- 通过Materials> Fluid> Air>Edit...设置空气属性:
  - 保持Density、Cp, Thermal Conductivity和Viscosity的默认值



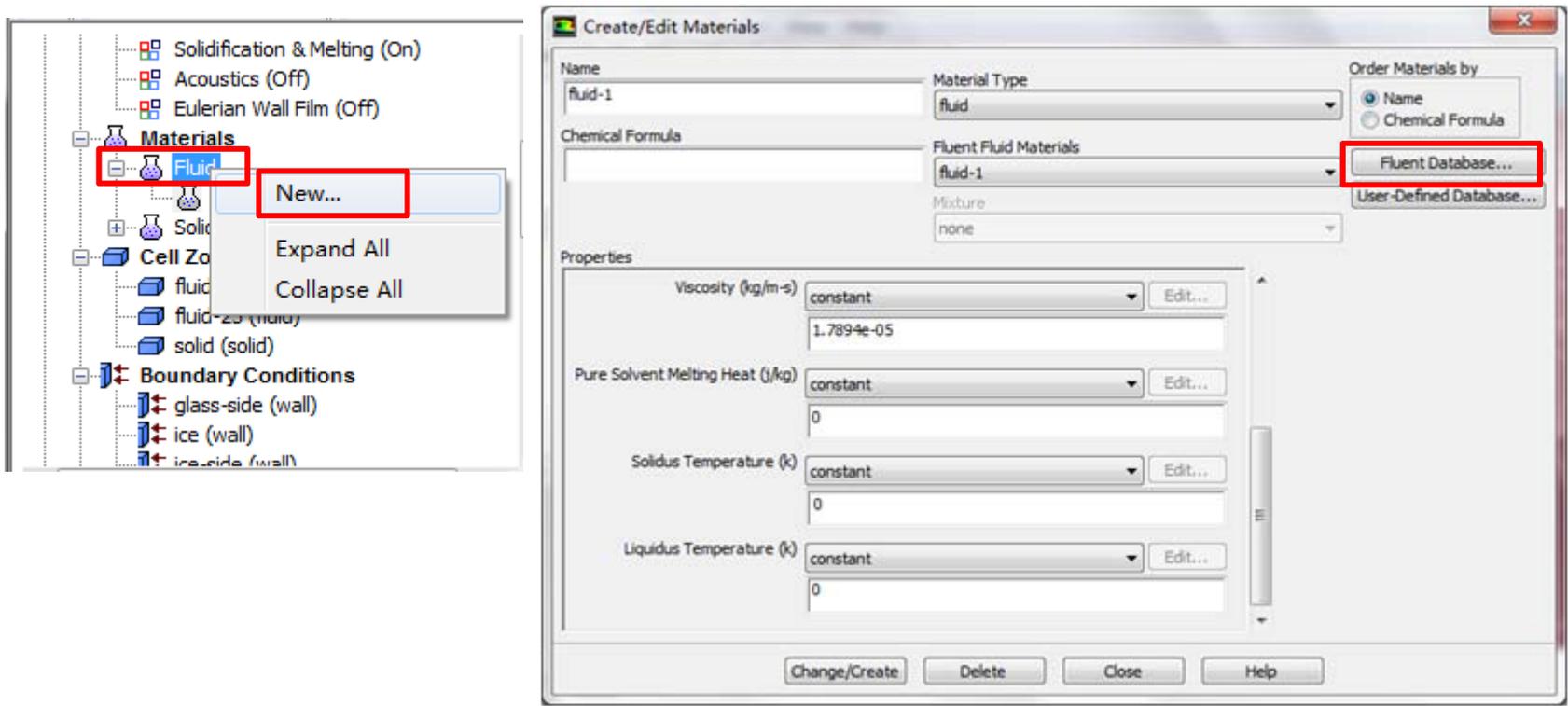
# 物性参数

- 通过Materials> Fluid> Air>Edit...设置空气属性:
  - 为使Solidification&Melting模型对乘员舱内空气介质不生效, 需确将其Solidus Temperature和Liquidus Temperature设为0 K。



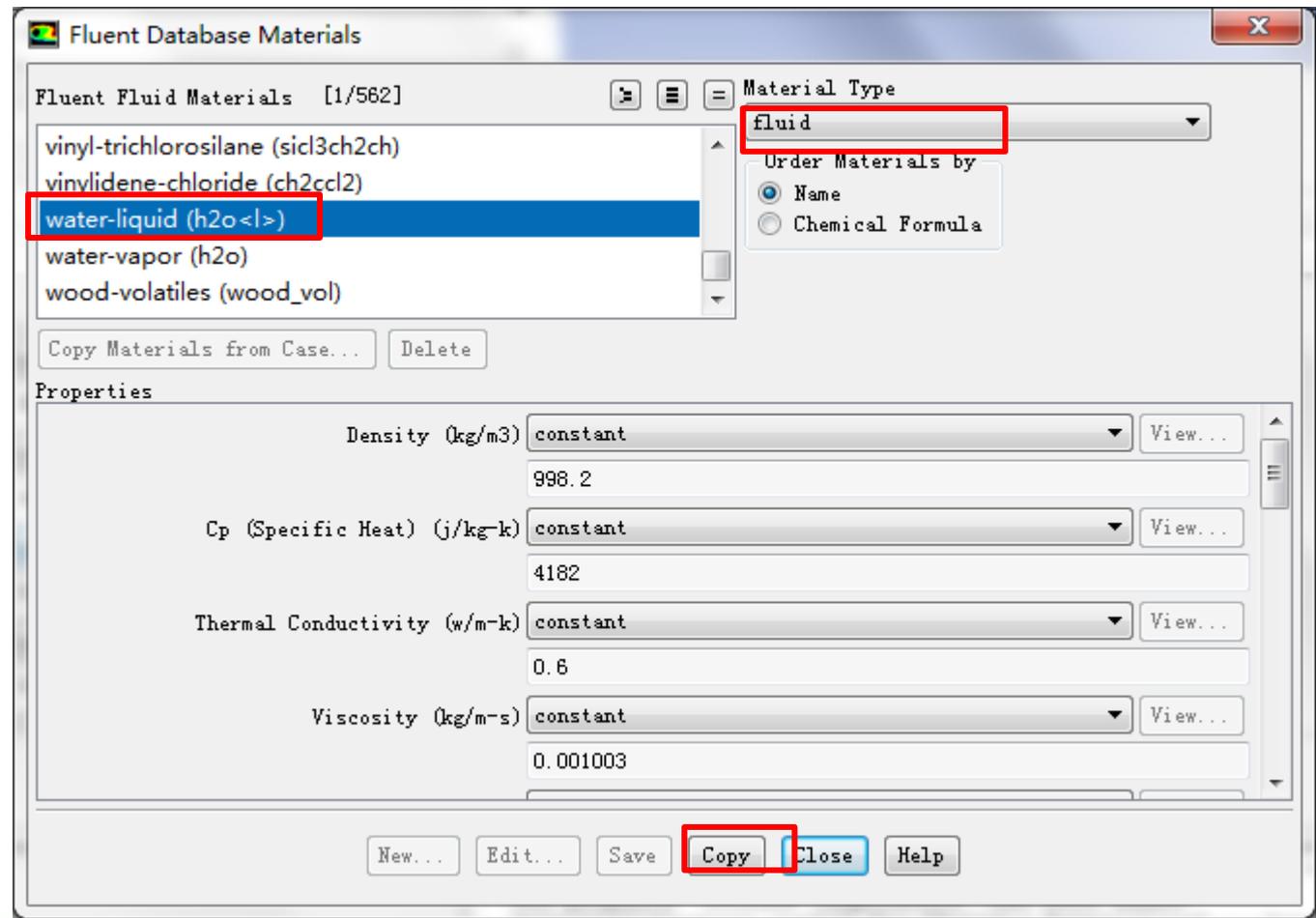
# 物性参数

- 通过Materials> Fluid>New...新建霜层材料：
  - 在弹出的Create/Edit Materials面板中点击“Fluent Database...”。



# 物性参数

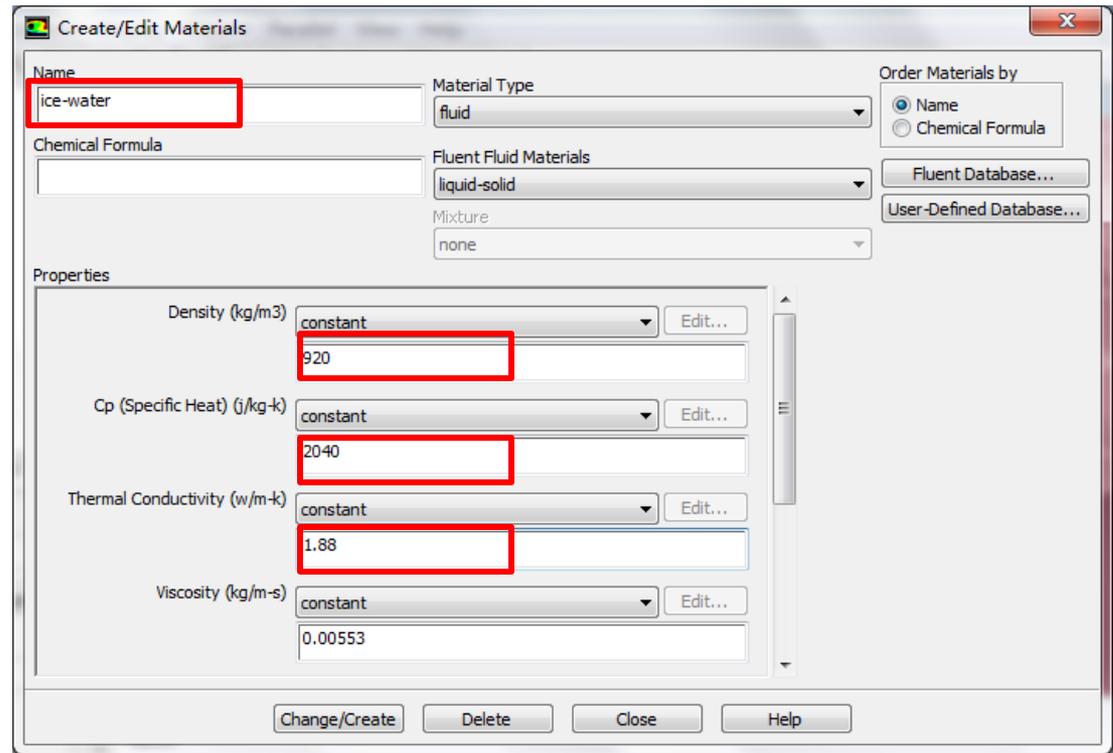
- 在Fluid材料列表中选择“water-liquid”材料，然后点击“Copy”复制属性



# 物性参数

- 修改材料名称为“ice-water”
- 按下左表修改材料属性：Density, Cp, Thermal Conductivity:

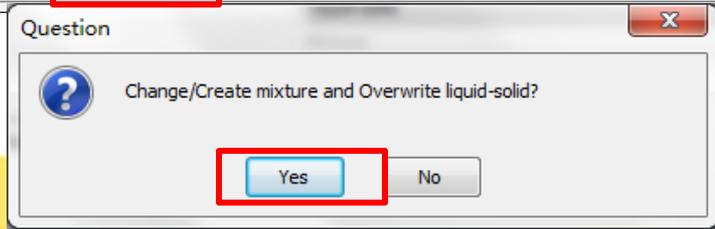
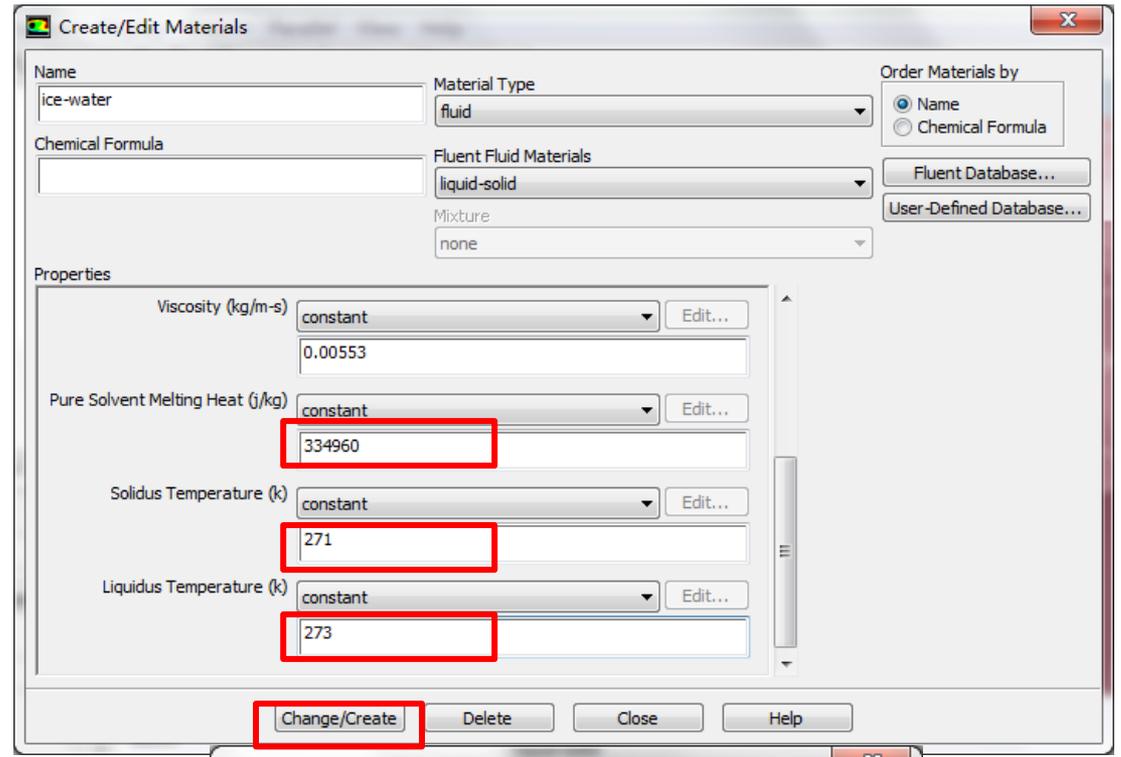
Parameter	Value
Density	920
Cp	2040
Thermal Conductivity	1.88
Viscosity	0.00553
Pure Solvent Melting Heat	334960
Solidus Temperature	271
Liquidus Temperature	273



# 物性参数

- 按下左表修改其它材料属性： Pure Solvent Melting Heat, Solidus Temperature, Liquidus Temperature.
- 点击“ Change/Create” 并在弹出的对话框中点击 “Yes” 确认

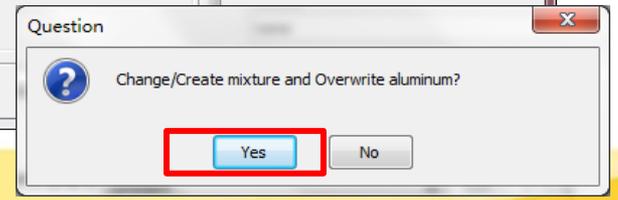
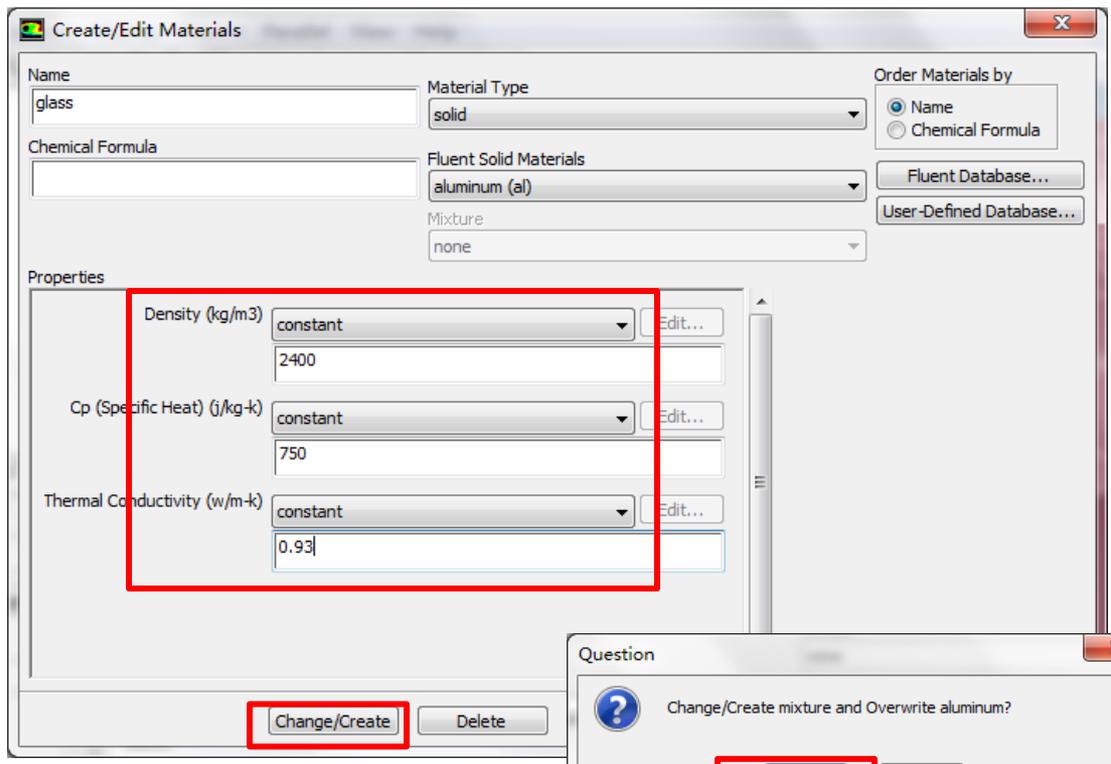
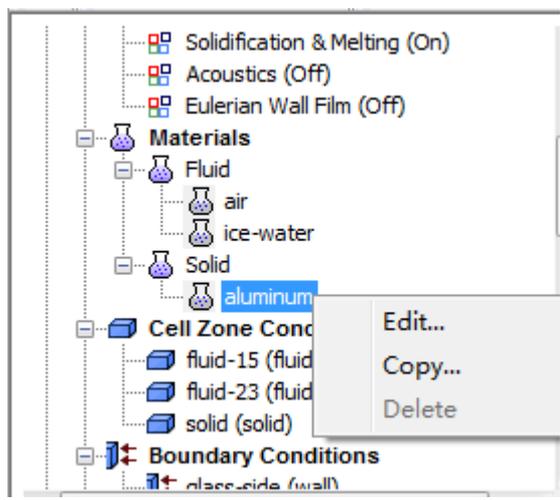
Parameter	Value
Density	920
Cp	2040
Thermal Conductivity	1.88
Viscosity	0.00553
Pure Solvent Melting Heat	334960
Solidus Temperature	271
Liquidus Temperature	273



# 物性参数

■ 通过Materials> Solid> aluminum>Edit...按下表设置玻璃属性:

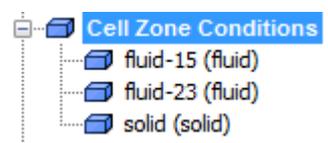
Parameter	Value
Density	2400
Cp	750
Thermal Conductivity	0.93



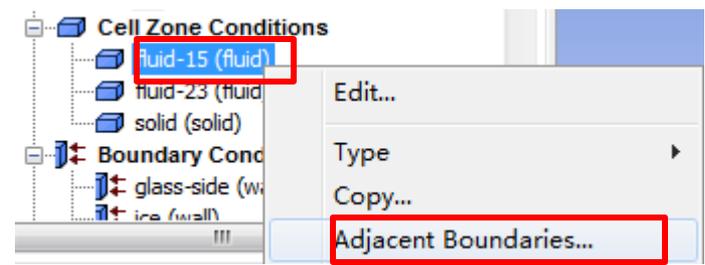
# 物性参数

## ■ 为空气域、玻璃域和冰层域设置材料

- 从Fluent Meshing转过来的模型在Cell Zone Conditions节点下出现以下三个zone

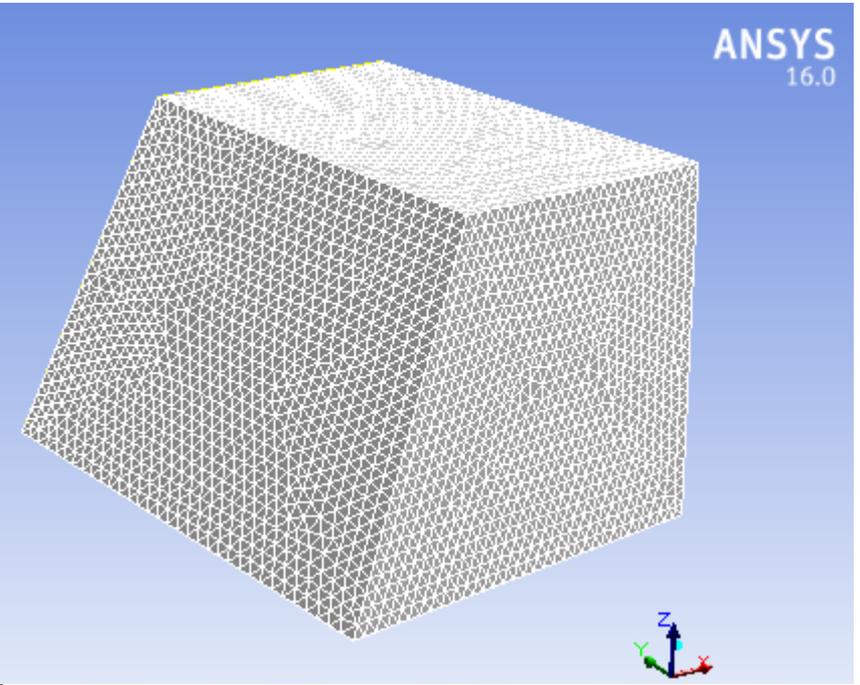
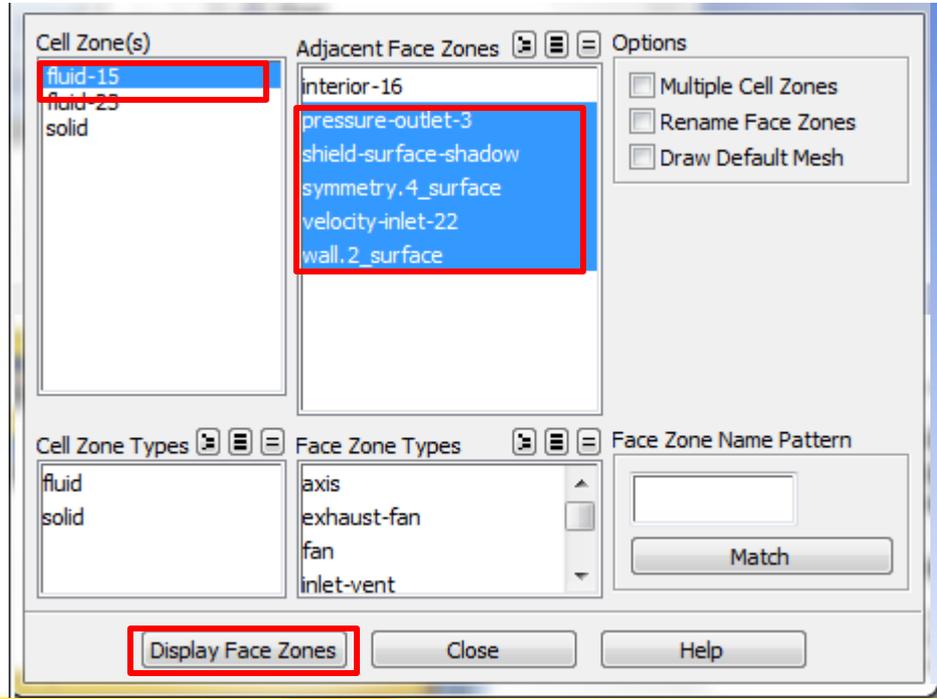


- 其中有两个fluid zone，光从名称无法直接判断哪个是空气域，哪个是冰层域。此时可单独显示各个zone并通过图像来判断。
- 在某个cell zone上点右键选择“Adjacent Boundaries...”



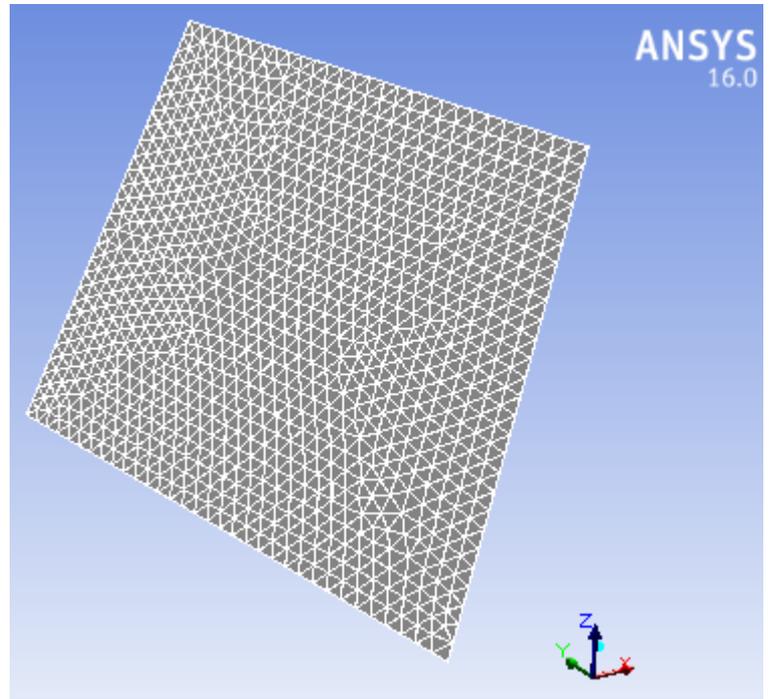
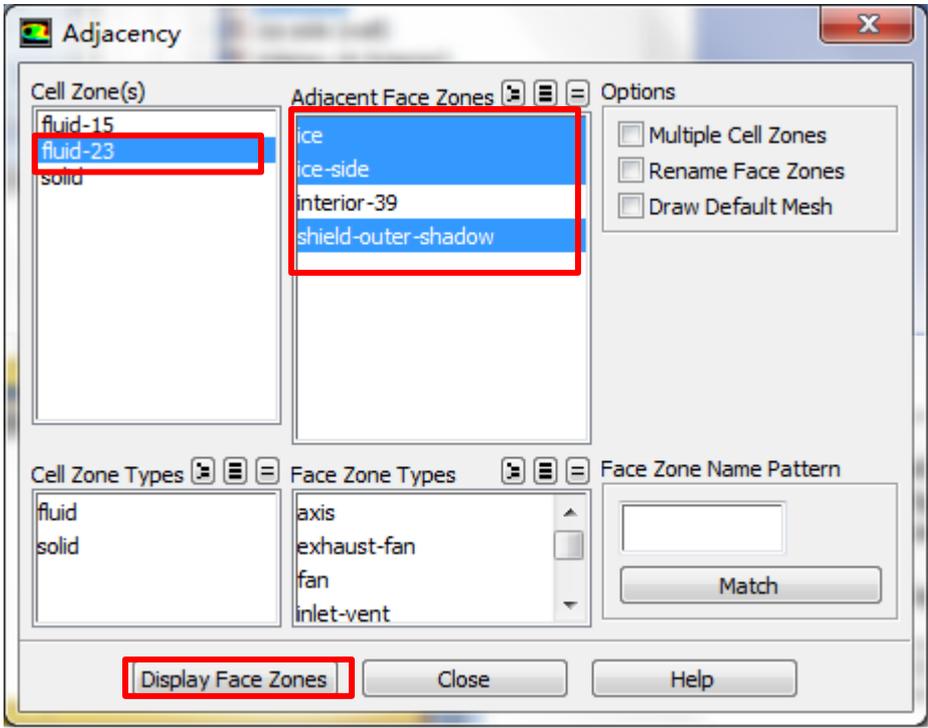
# 物性参数

- 为空气域、玻璃域和冰层域设置材料
  - 在弹出的面板中可单独显示各个zone的指定边界
  - 在Cell Zone(s)中选择fluid-15 zone,并在Adjacent Face Zones列表中选择除"interior\*"外的所有zone, 并点击"Display Face Zones"
  - 从右图显示图像可判断fluid-15对应乘员舱空气域



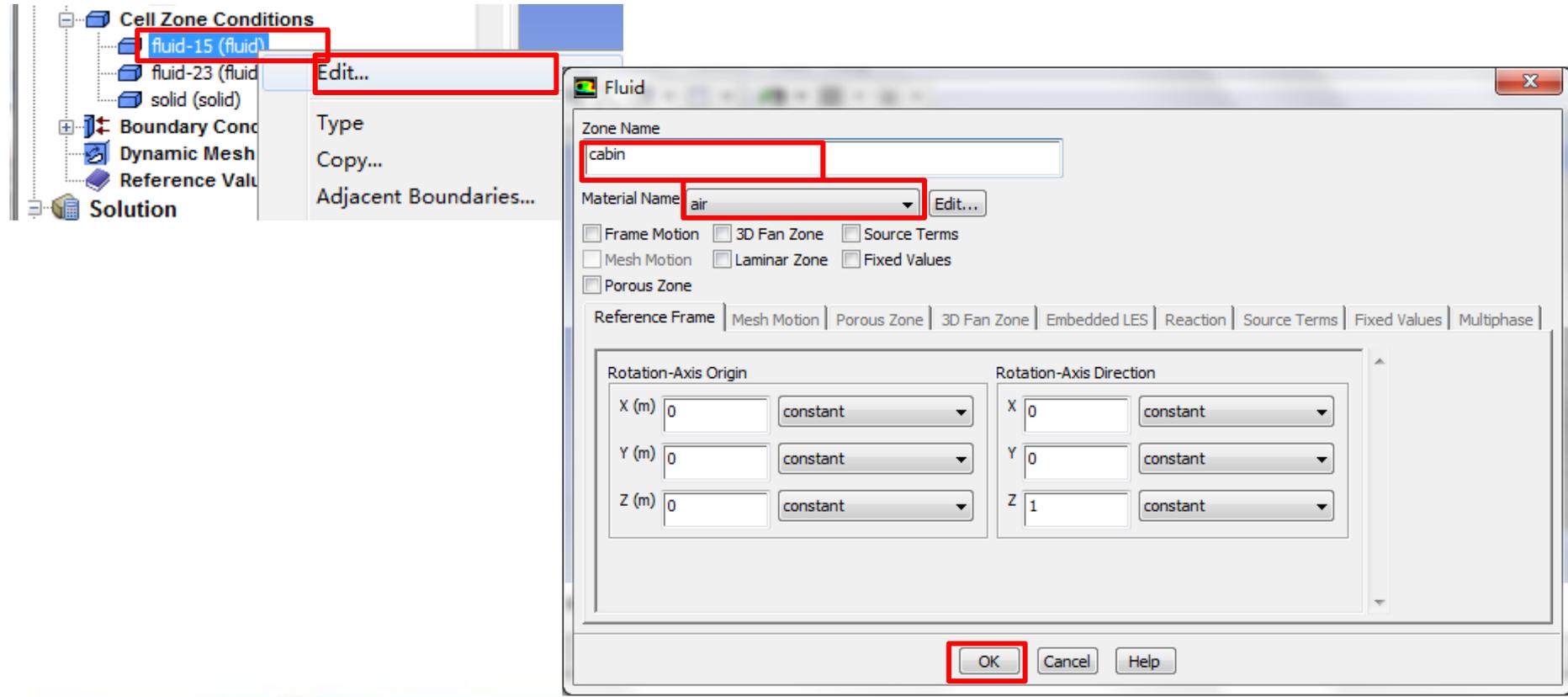
# 物性参数

- 为空气域、玻璃域和冰层域设置材料
  - 类似地显示fluid-23，可判断其为冰层域



# 物性参数

- 为空气域、玻璃域和冰层域设置材料
  - 选择fluid-15，点右键选择“Edit...”
  - 将Zone Name改为“cabin”，并确认材料为“air”



# 物性参数

- 为空气域、玻璃域和冰层域设置材料
  - 选择fluid-23，点右键选择“Edit...”
  - 将Zone Name改为“ice-cells”，并将材料改为“ice-water”

