

无人机案例教程

动态IBM模拟任意几何复合运动

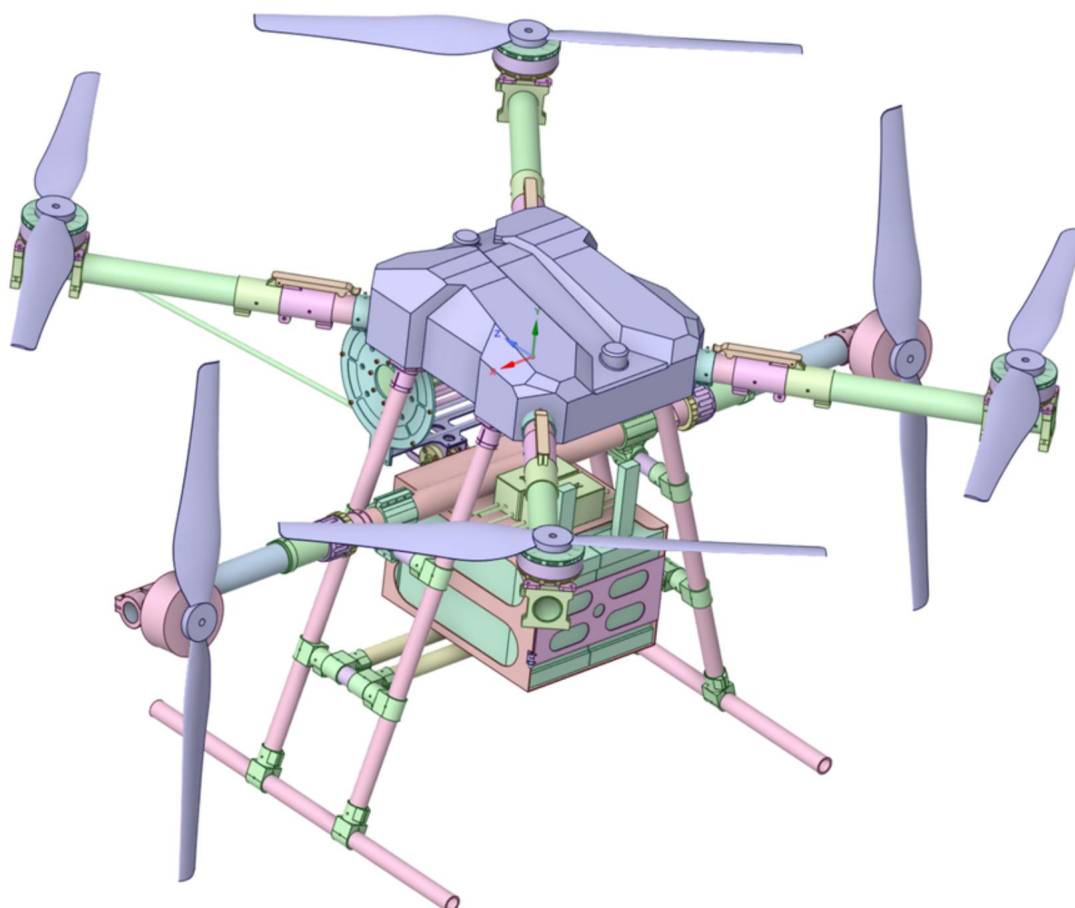
无人机案例充分结合了静态和动态IBM方法的优势，机身处采用静态IBM处理，旋翼采用动态IBM处理，展现了极大的灵活性。IBM方法可以处理任意复杂的几何外形，支持耦合任意复合运动。

本教程对某型六旋翼 eVTOL 飞行器的复杂旋转运动进行仿真，采用 DIMAXER 的 Dynamic IBM 求解器。

教程重点内容：

- 运动旋翼的 IBM 固体网格生成
- 静态机身的 IBM 固体网格生成，并将运动固体网格进行结合
- MMR 运动方式的指定
- Dynamic IBM 求解计算设置
- Dynamic IBM 流场后处理

本案例的研究对象是多旋翼 eVTOL，包括四个水平旋翼和两个牵引旋翼，旋翼后缘的特征尺度小于 1mm。其气流场具有强瞬态特点，旋翼之间的气流交互复杂，包括尾流干扰、下洗效应等。



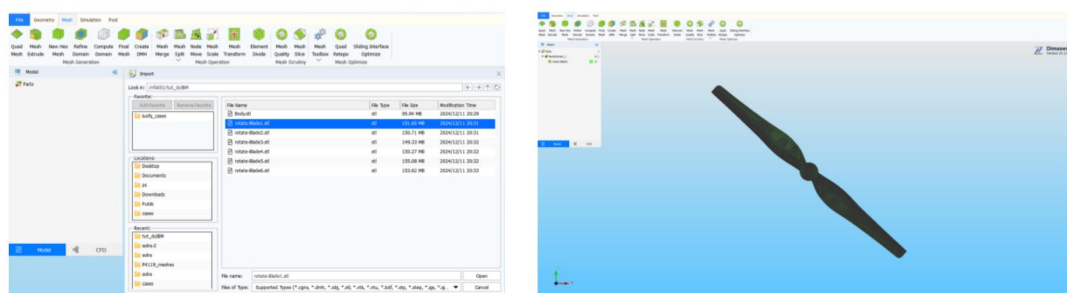
1.1 网格配置

旋翼固体网格生成

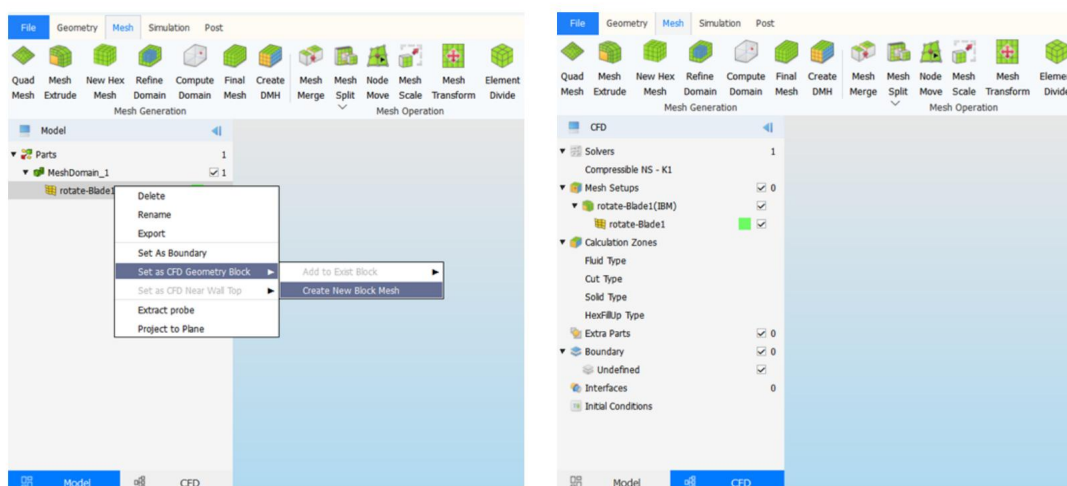
由于六个旋翼的旋转轴以及旋转中心位置不一致，需要分别对各个旋翼分配单独的 Zone ID 以指定旋转运动，因此分别对各个旋翼单独生成网格 DMH 文件和具有 WallDistance 信息的初场 dat 文件。

以四个水平旋翼的其中一个为例，演示旋翼固体网格的生成过程：

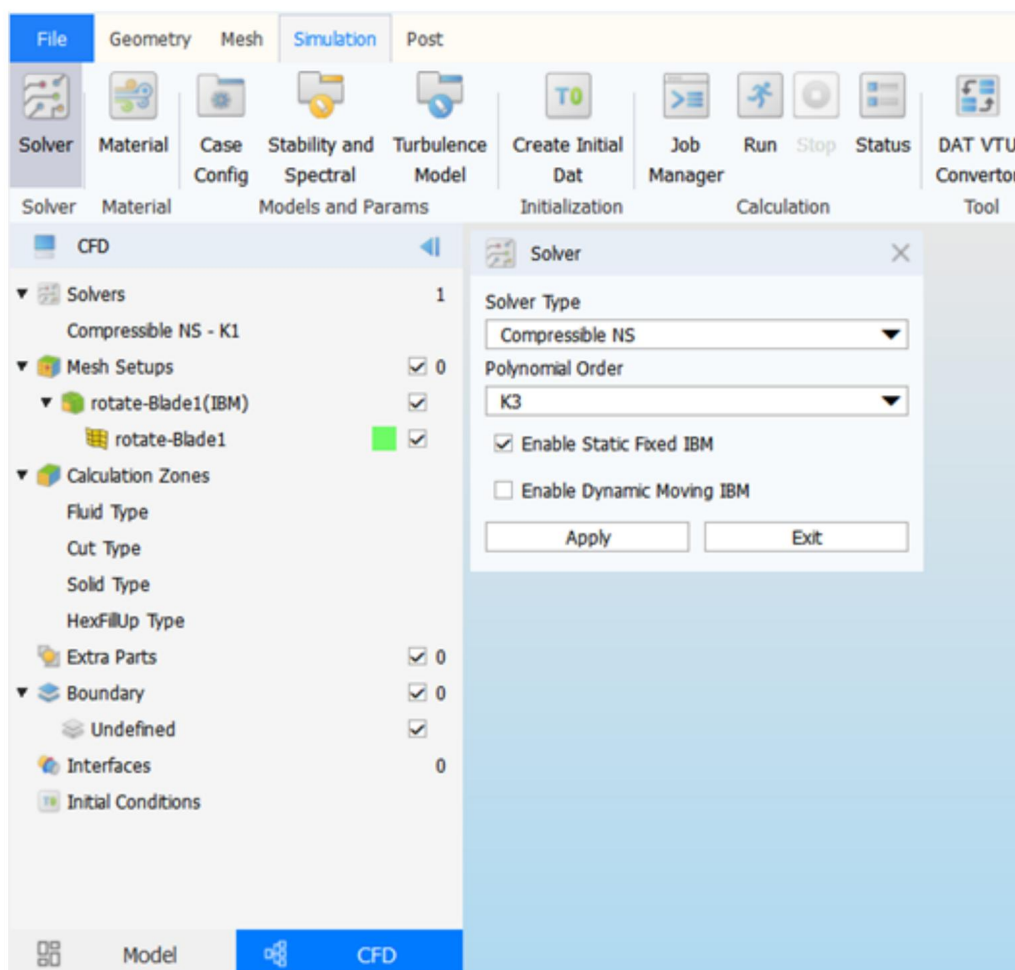
1. STL 几何导入：点击 File-Import 定位到 STL 几何文件目录，选择 rotate-Blade1.stl 文件，导入成功后，在左侧结构树 Model 中出现了一个 MeshDomain_1，同时在视图区自动显示几何模型。



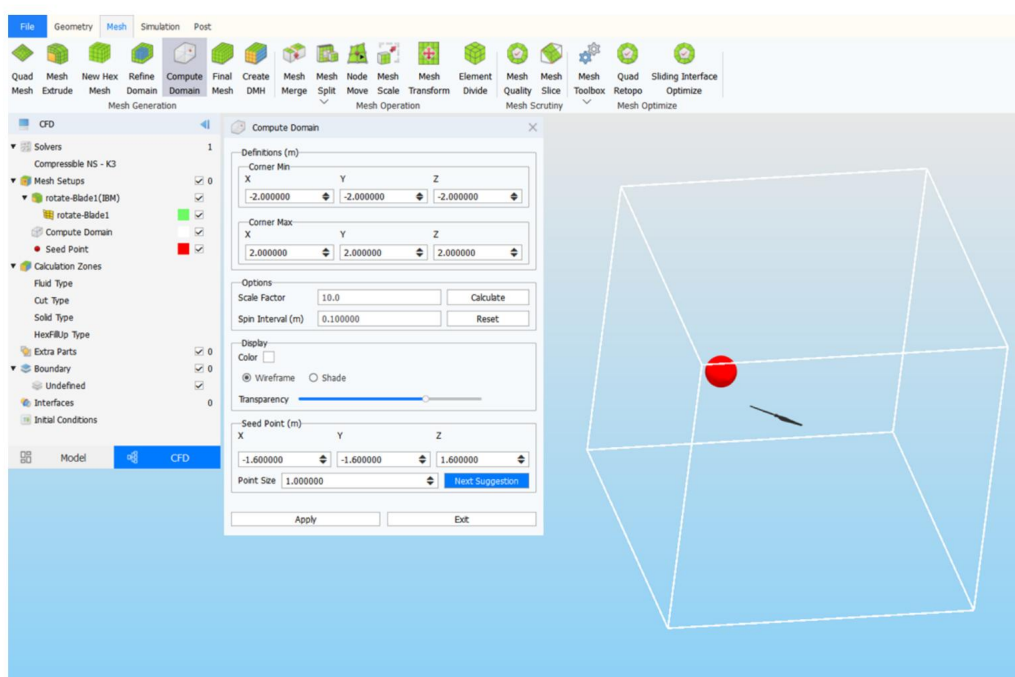
2. 创建 Block Mesh: 右击导入的面网格 rotate-Blade1, 在弹出面板中点击 Set as CFD Geometry Block, 选择 Create New Block Mesh。几何文件 rotate-Blade1 将在 CFD 结构树的 Mesh Setups 中出现，并且自动配置为默认的 IBM 类型。



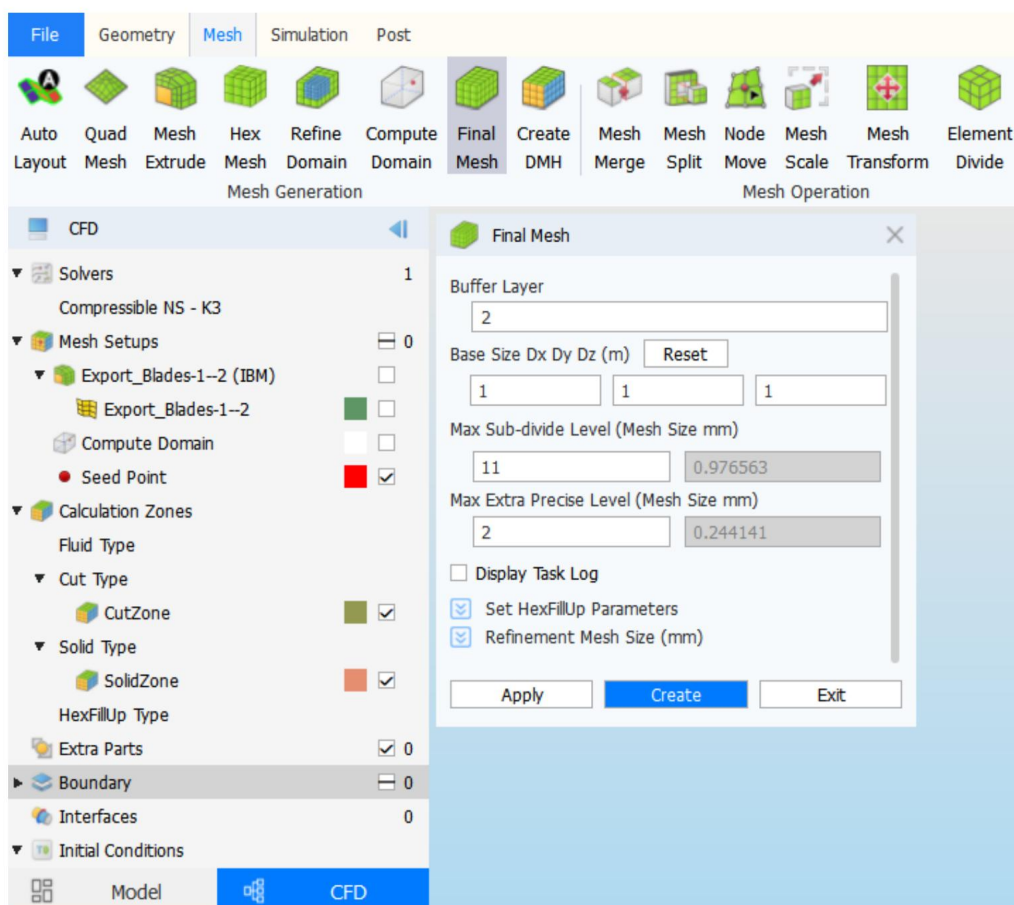
3. 选择 IBM 求解器: 点击 Simulation 标签页下的 Solver 按钮, 选择 K3 求解精度, 勾选激活 Enable Static Fixed IBM 功能。



4. 设置计算域：在生成 IBM 固体网格时，只需将计算域范围设置到完整包含几何文件即可；同时在 Seed Point 内点击 Next Suggestion，确保 Seed Point 位于计算域内。

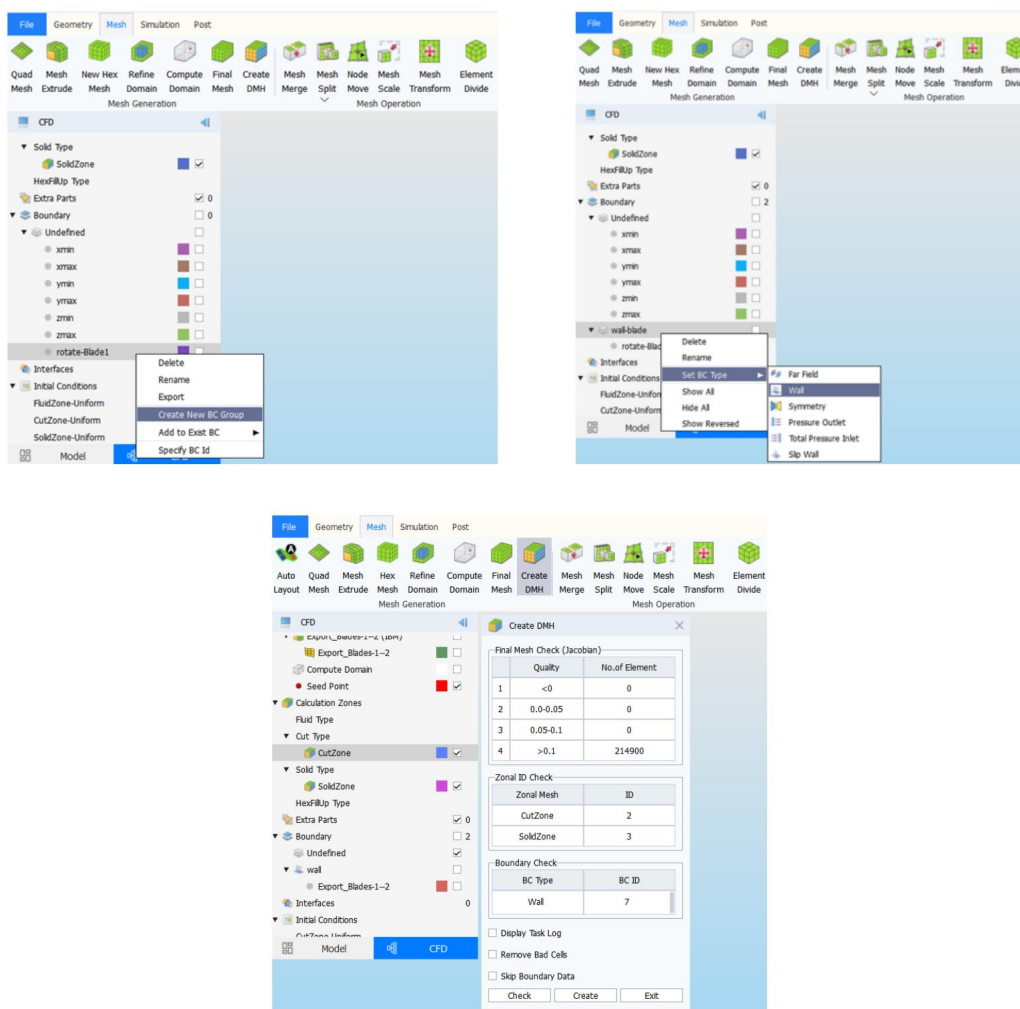


5. 生成 FinalMesh: 点击 Final Mesh 按钮, 设置 Base Size Dx Dy Dz 均为 1, 设置 Max Sub-divide Level 的层级为 11 (对应的全局壁面网格尺度为 0.976563mm), 同时设置 Max Extra Precise Level 为 2, 然后点击 Create。



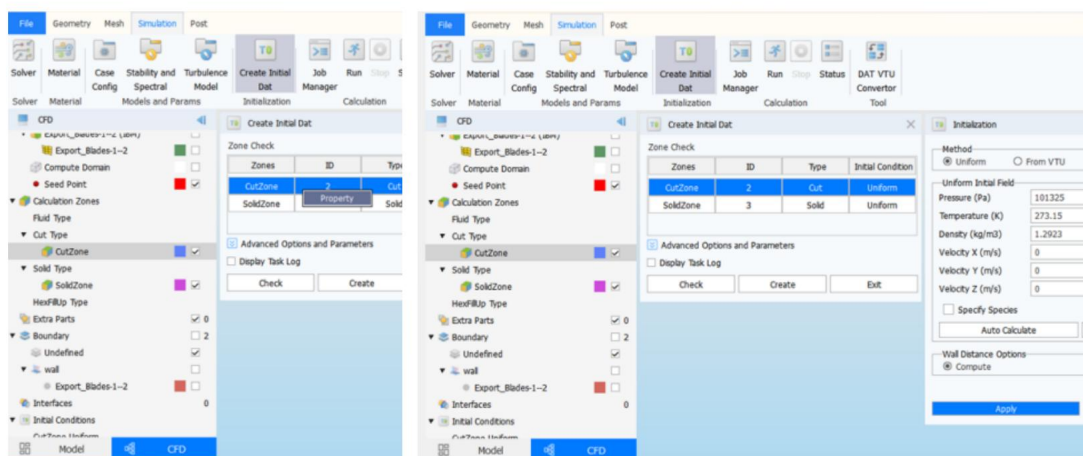
当网格生成后, 在 Calculation Zone 下出现 FluidZone、CutZone 和 SolidZone, 同时 Boundary-Undefined 下出现计算域的六个边界以及固体边界。

6. 设置边界条件及生成 DMH 文件:
 - a. 右击 Boundary 下固体边界 rotate-Blade1 后点击 Create New BC Group, 命名为 wall-blade, 并右击建立的 Wall-blade, 在 Set BC Type 中设置为 Wall, Wall 参数保持默认。
 - b. 由于旋翼固体网格只需保存壁面附近的网格来生成 WallDistance, 为了加快生成 DMH 的速度, 可将计算域的六个边界面删除, 并将 FluidZone 删掉。
 - c. 点击 CreateDMH 按钮, 点击 Check 可以看到 CutZone 和 SolidZone 的网格数量为 214900, 点击 Create 生成 FinalMesh.dhm 文件。



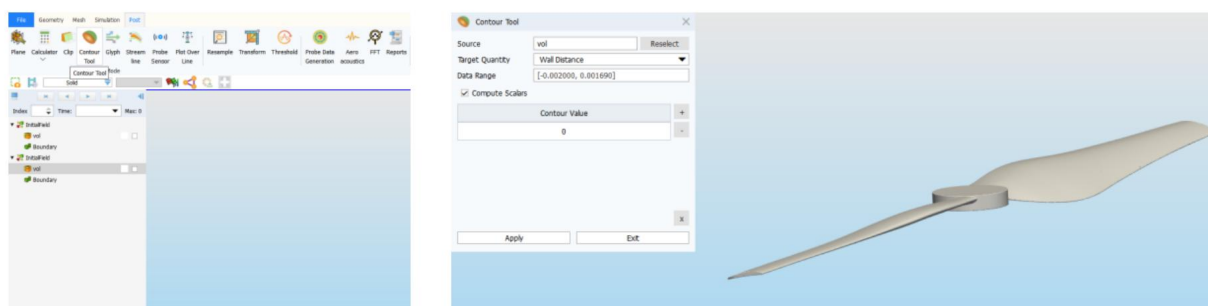
7. 生成初场 dat 文件：

- 点击 Create Initial Dat, 选择 CutZone 右击选择 Property, 将 Wall Distance Options 修改为 Compute。
- 对 SolidZone 执行同样的操作。
- 在 Create Initial Dat 下点击 Create。



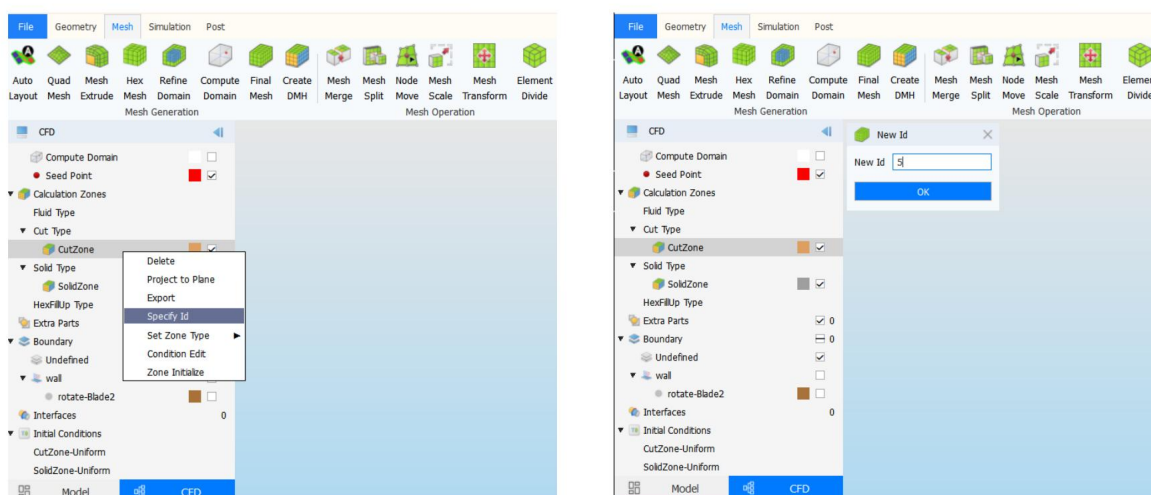
8. 检查生成的旋翼固体网格

- 点击 Post，在 File-Import Model 中导入上一步生成的 InitailField.dmh.dat 文件；
- 点击自动生成的 vol 块，点击 Contour Tool 工具
- 在弹出的窗口，Target Quantity 中选择 Wall Distance
- 在下面的 Contour Value 中添加一个阈值 0，Apply 后即可得到 IBM 固体网格边界



- 针对其他五个旋翼，依次开展上述流程，需要注意的是每一个旋翼在生成 FinalMesh 之前需要将 Cut Zone 和 Solid Zone 的 ID 进行修改，使得每一个旋翼固体网格的 ID 不同；以第二个旋翼为例：

- 右击 CutZone 后点击 Specify ID，在 New ID 中输入 5
- 同样方法将 SolidZone 的 ID 设置为 6

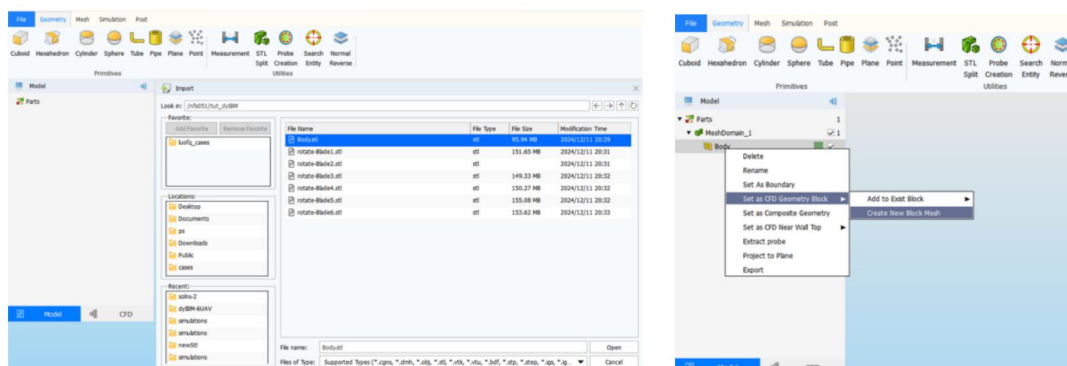


其他各个旋翼的 ID 编号可自行设置，这一步的目的是后续在 DyIBM 求解中能通过 ID 识别到各个旋翼固体网格以及指定旋转运动。

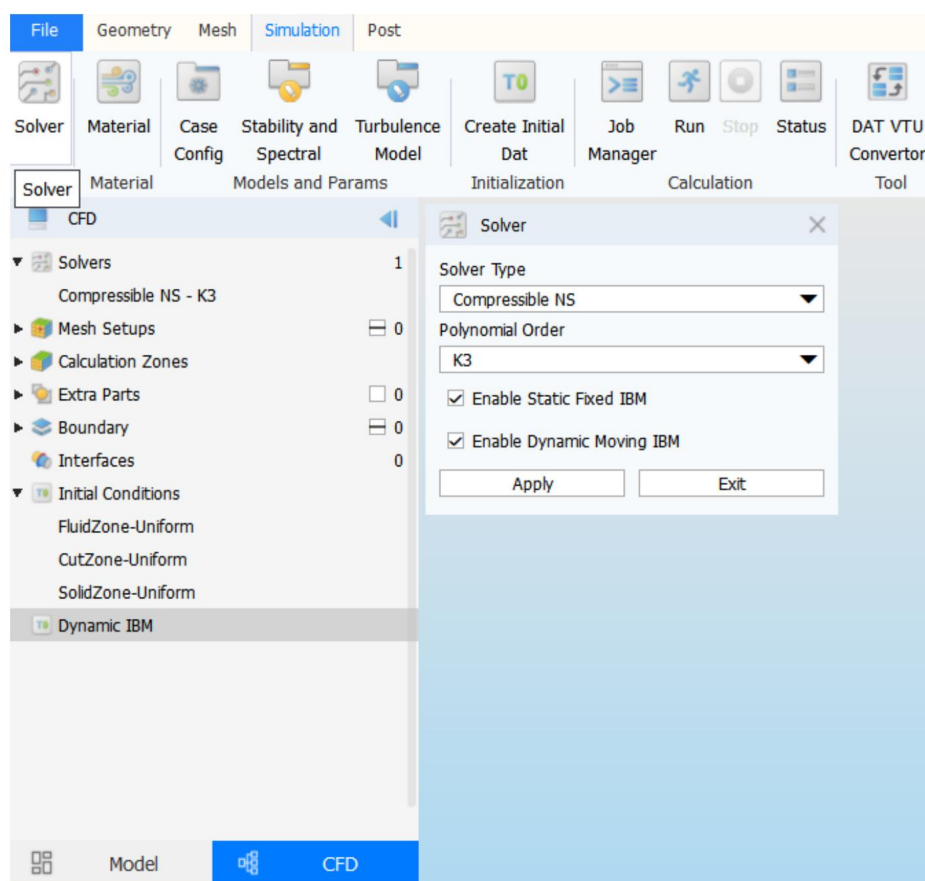
机身固体网格生成

机身是静止几何，在做固体网格时需要将流域旋翼运动区的网格进行加密。

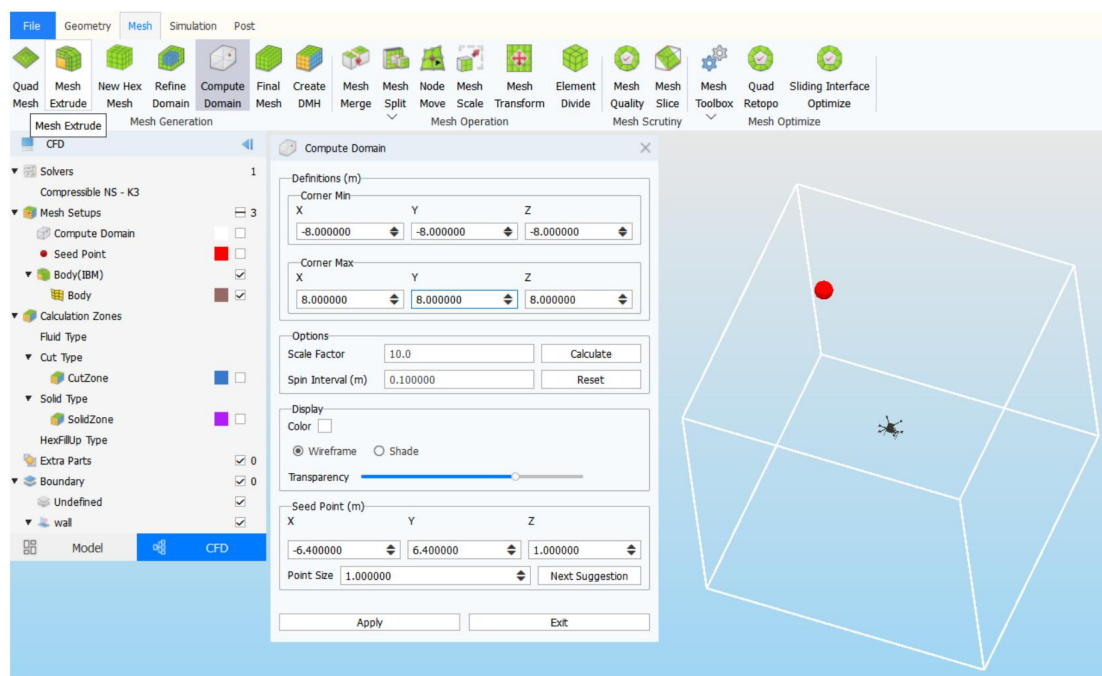
1. STL 几何导入，并点击创建 New Block Mesh:



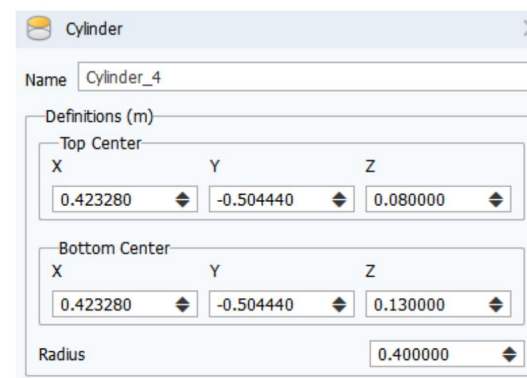
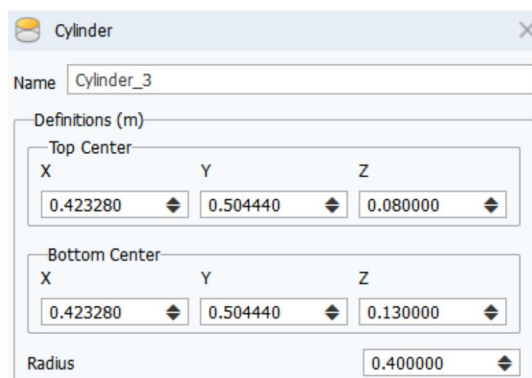
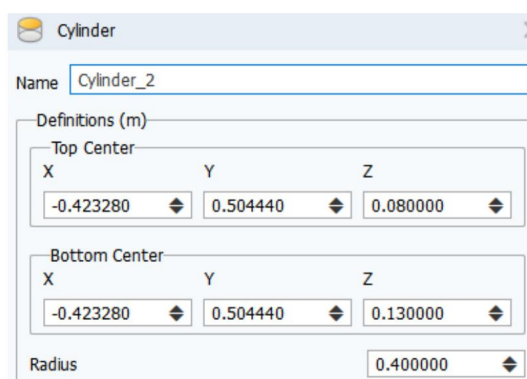
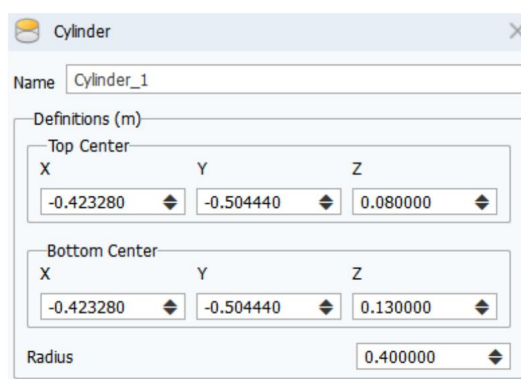
2. 选择 IBM 求解器：在 Solver 下选择 K3 精度，点击激活 Enable Static Fixed IBM, Enable Dynamic Moving IBM。之后在 CFD 树状栏下出现一个 Dynamic IBM 节点。

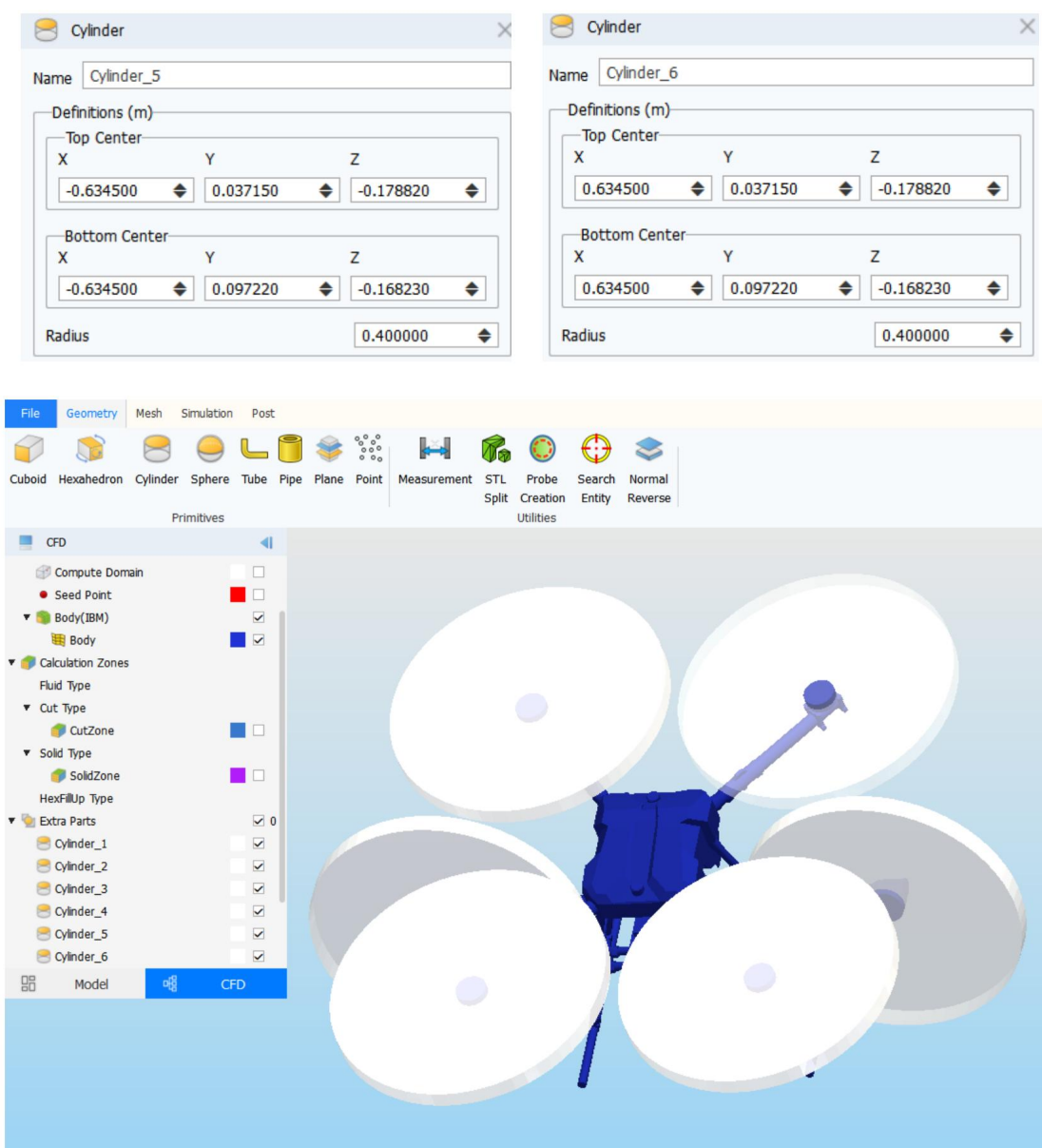


3. 设置流体计算域：在 Compute Domain 中设置足够大的计算域，例如三个方向的 Min 和 Max 分别为-8 和 8；并确保 Seed Point 位于计算域内。



4. 设置网格加密块：依次对六个旋翼的旋转域设置加密块，在 Geometry 下点击 Cylinder，通过 Top Center、Bottom Center 以及 Radius 三个属性创建圆柱加密块；六个加密块 Cylinder_1~Cylinder_6 分别对应旋翼 Blade1~Blade6。

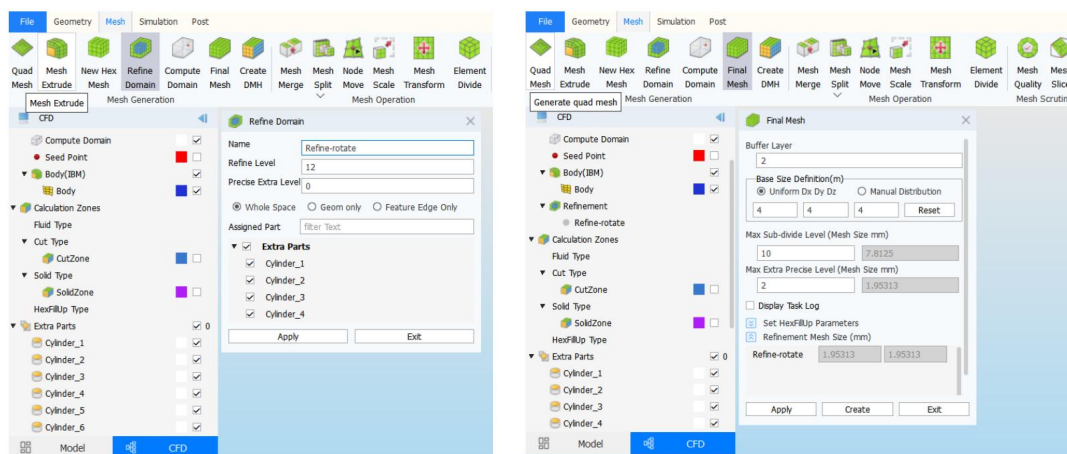




网格加密可根据流场特点进行设置，并且增加一些网格尺度逐级变化的过渡块。

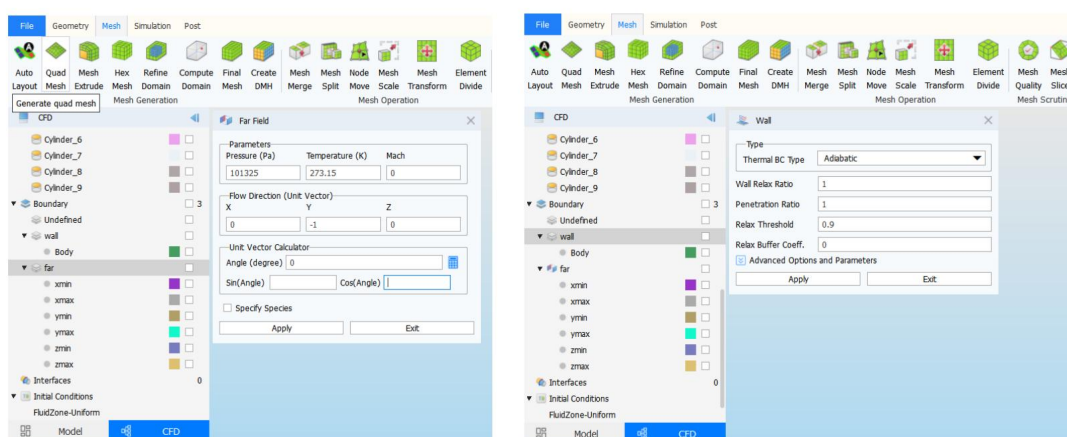
5. 生成 FinalMesh:

- 点击 Refine Domain, Refine Level 设置为 12, 在 ExtraParts 中勾选上述六个旋转加密块 Cylinder_1~Cylinder_6, 然后 Apply;
- 点击 Final Mesh, 设置三个方向的 Base Size 为 4, 设置 Max Sub-divide Level 为 10, 设置 Max Extra Precise Level 为 2. 下拉 Refinement 显示上一步设置的加密块 Refine-rotate;



6. 生成 DMH 以及初场 dat 文件：

- 需要先将 FluidZone、CutZone、SolidZone 的 ID 设置为与旋翼固体不同的值，例如分别设为 21、22、23
- 将壁面边界设置为 Wall，参数保持默认；将所有外边界均设置为 farField，压力和温度场保持默认值，Mach 数值为 0；
- 点击 CreateDMH，Create
- 点击 Create Initail Dat，Create



Create DMH

Final Mesh Check (Jacobian)

	Quality	No. of Element
1	<0	0
2	0.0-0.05	0
3	0.05-0.1	0
4	>0.1	4150441

Zonal ID Check

Zonal Mesh	ID
FluidZone	21
CutZone	22
SolidZone	23

Boundary Check

BC Type	BC ID
Far Field	8, 9, 10, 11, 12, 13
Wall	14

☐ Display Task Log
☐ Remove Bad Cells
☐ Skip Boundary Data

Create Initial Dat

Zone Check

Zones	ID	Type	Initial Condition
FluidZone	21	Fluid	Uniform
CutZone	22	Cut	Uniform
SolidZone	23	Solid	Uniform

☒ Advanced Options and Parameters
☐ Display Task Log

多固体网格合并

在将多个运动旋翼的固体网格进行合并为一套网格文件前，需要先将各个旋翼的 FinalMesh.dmh 和 InitailField.dmh.dat 进行改名区分,可在 File Manage 功能下将各个文件进行复制到同一个文件下、并重新命名；

文件命名结果示例如下：

File Manage

Look in: /nfs051/tut_dy/IBM/merge

Favorite:

Add Favorite Remove Favorite

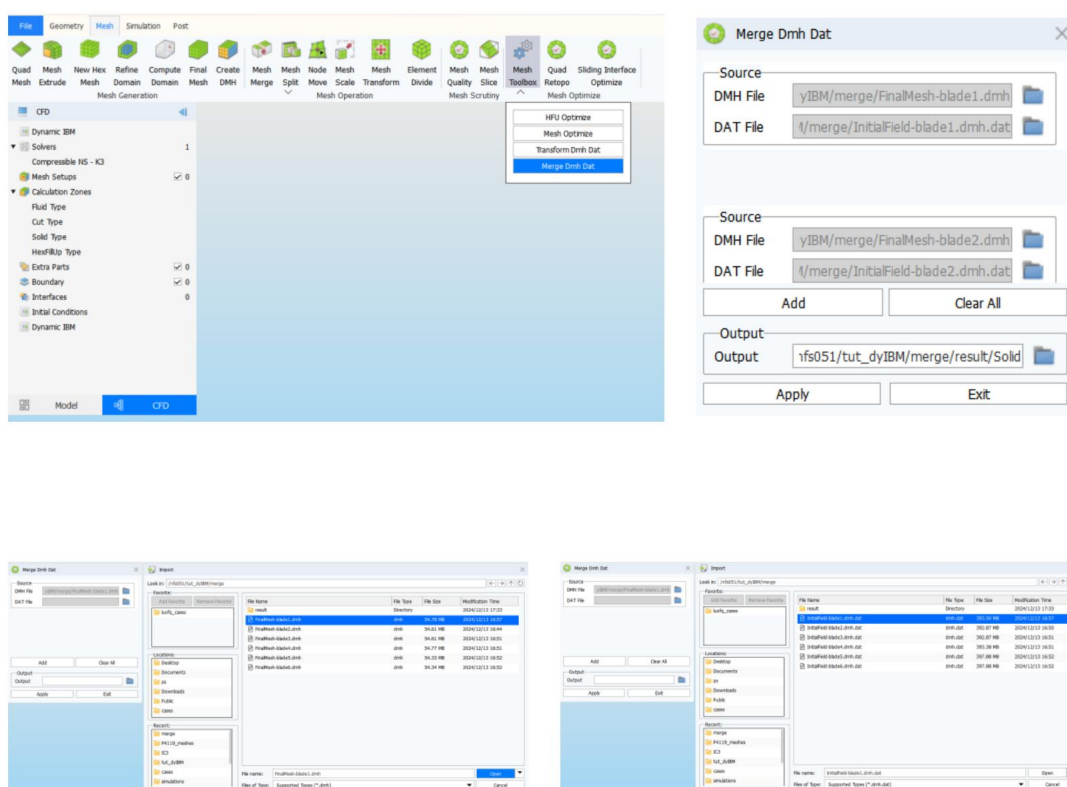
luofq_cases

Locations:

Desktop Documents ps Downloads Public cases

File Name	File Type	File Size	Modification Time
FinalMesh-blade1.dmh	dmh	54.78 MB	2024/12/13 16:57
FinalMesh-blade2.dmh	dmh	54.61 MB	2024/12/13 16:44
FinalMesh-blade3.dmh	dmh	54.61 MB	2024/12/13 16:51
FinalMesh-blade4.dmh	dmh	54.77 MB	2024/12/13 16:51
FinalMesh-blade5.dmh	dmh	54.33 MB	2024/12/13 16:52
FinalMesh-blade6.dmh	dmh	54.34 MB	2024/12/13 16:52
InitialField-blade1.dmh.dat	dmh.dat	393.50 MB	2024/12/13 16:57
InitialField-blade2.dmh.dat	dmh.dat	392.87 MB	2024/12/13 16:50
InitialField-blade3.dmh.dat	dmh.dat	392.87 MB	2024/12/13 16:51
InitialField-blade4.dmh.dat	dmh.dat	393.38 MB	2024/12/13 16:51
InitialField-blade5.dmh.dat	dmh.dat	397.88 MB	2024/12/13 16:52
InitialField-blade6.dmh.dat	dmh.dat	397.88 MB	2024/12/13 16:52

- a. 点击 Mesh Toolbox 下的 Merge Dmh Dat 工具，在弹出窗口的 Source-DMH File 和 Dat Flie 中分别选择上一步重新命名的单旋翼网格文件 FinalMesh-blade1.dmh 和 InitialField-blade1.dmh.dat
- b. 点击 add 按钮，依次添加下一个旋翼的 DMH 和 DAT 文件，直到六个旋翼的固体网格均添加完成
- c. 在 Output 中填写合并后网格文件的目录，并命名为例如 Solid
- d. 点击 Apply，当合并成功后，在 task log 输出 Merge dmh dat - Succeed

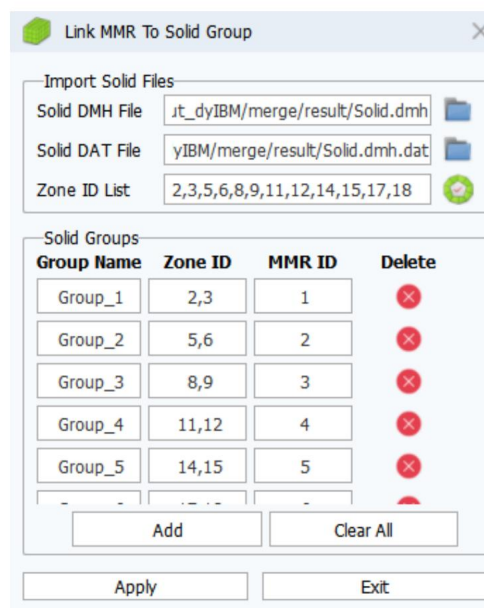
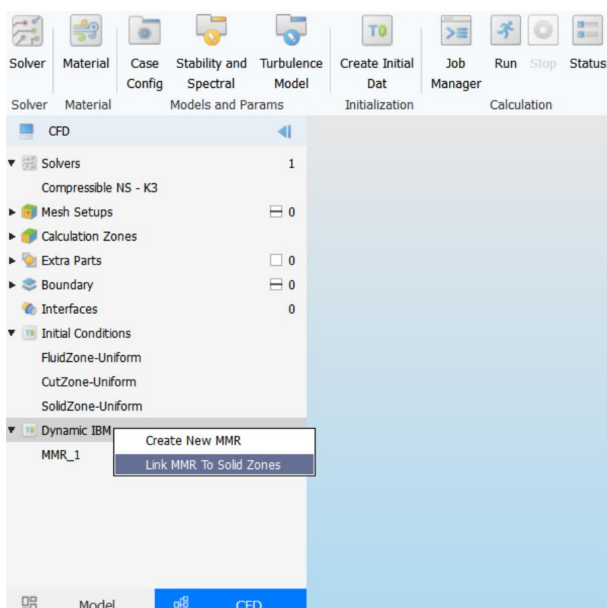
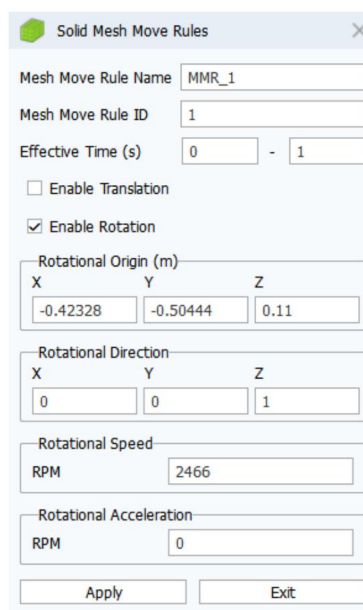
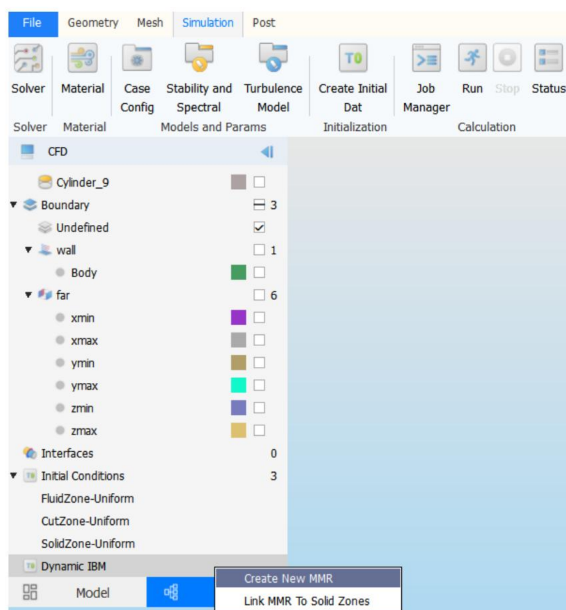


1.2 计算设置

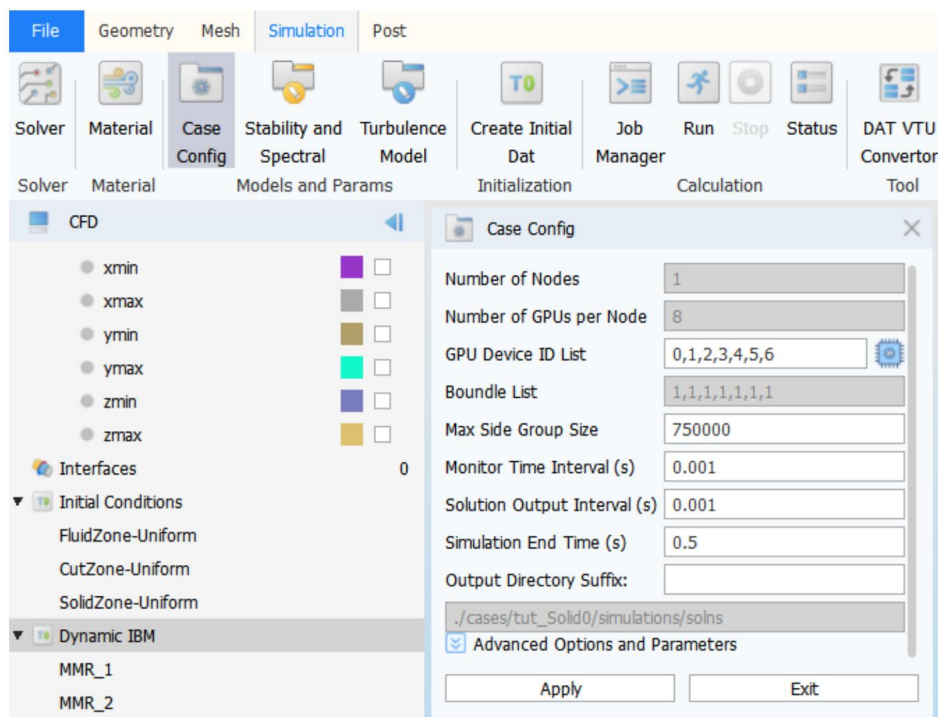
1. 设置 MMR 运动：
 - a. 在 CFD 树状栏中右击 Dynamic IBM 节点，点击 Create New MMR，填写 Mesh Move Rule ID，勾选 Enable Rotation, 填写 Rotaitonal Origin, Rotational Direction 以及 Rotational Speed, 并 Apply；
 - b. 依次对剩余五个旋翼执行上述操作，其中 Mesh Move ID 分别为 2-6；
 - c. 右击 Link MMR To Solid Zones, 在 import Solid Flies 下面的 Solid DMH File 中选中此前合并

的 Solid.dmh 文件，在 Solid Dat File 中选中此前合并的 Solid.dmh.dat 文件；

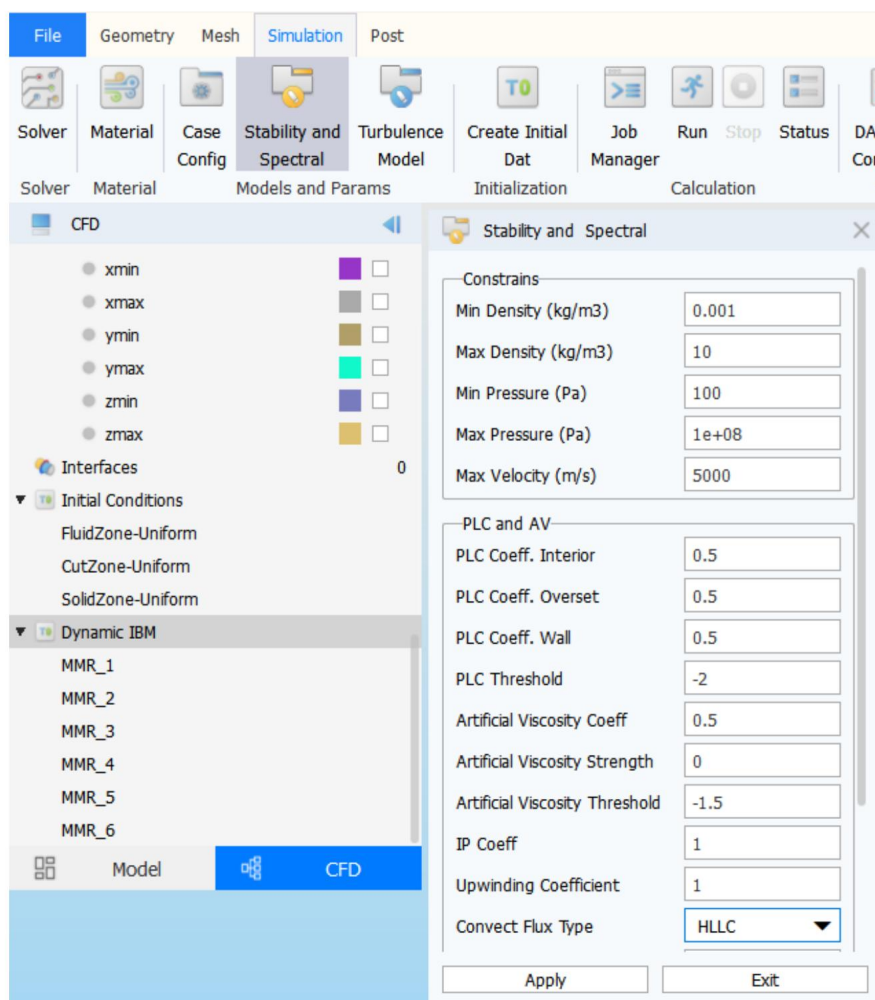
- d. 同时在 Solid Groups 中依次 add 六个运动组,其中的 Zone ID 对应的是旋翼固体网格中的 Zone ID，MMR ID 对应的是旋翼的旋转运动规律。



2. Case Config 配置：设置 7 张 GPU 卡并行计算，GPU Device ID 为 0~6，设置 Max Side Group Size、Monitor Time Interval、Solution Output Interval 以及 Simulation End Time。



3. 稳定化措施设置：Convect Flux Type 改成 HLLC，其他参数可保持默认值。



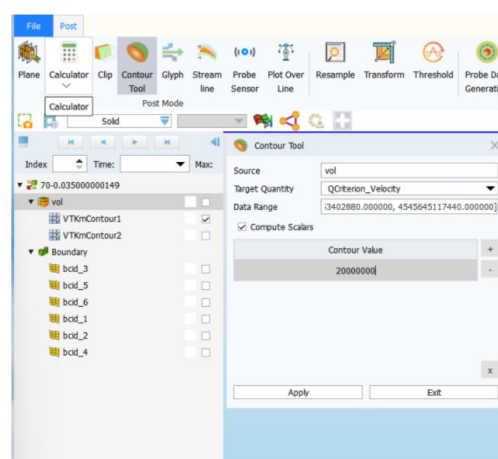
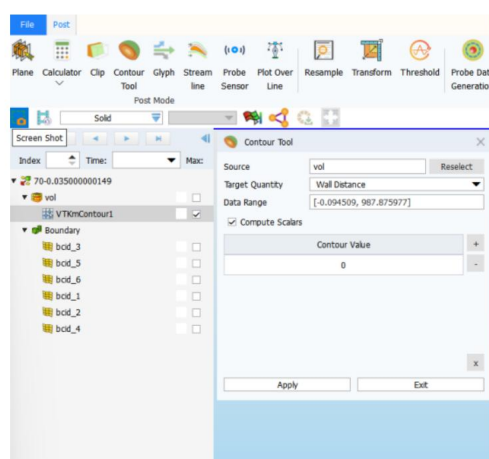
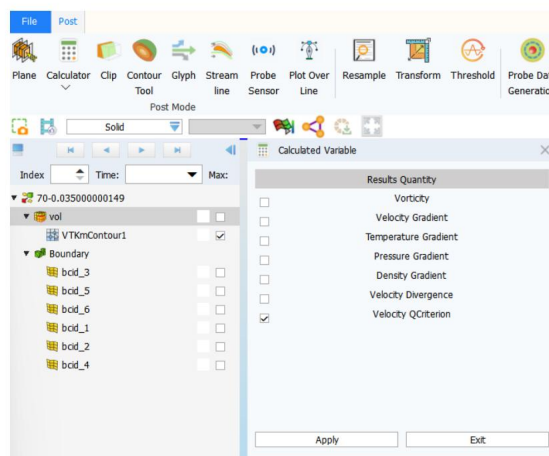
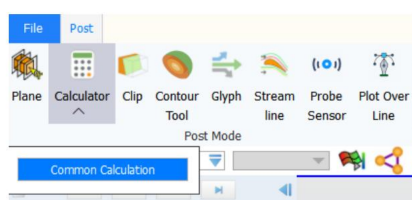
4. 再次点击 Create Initial Dat.

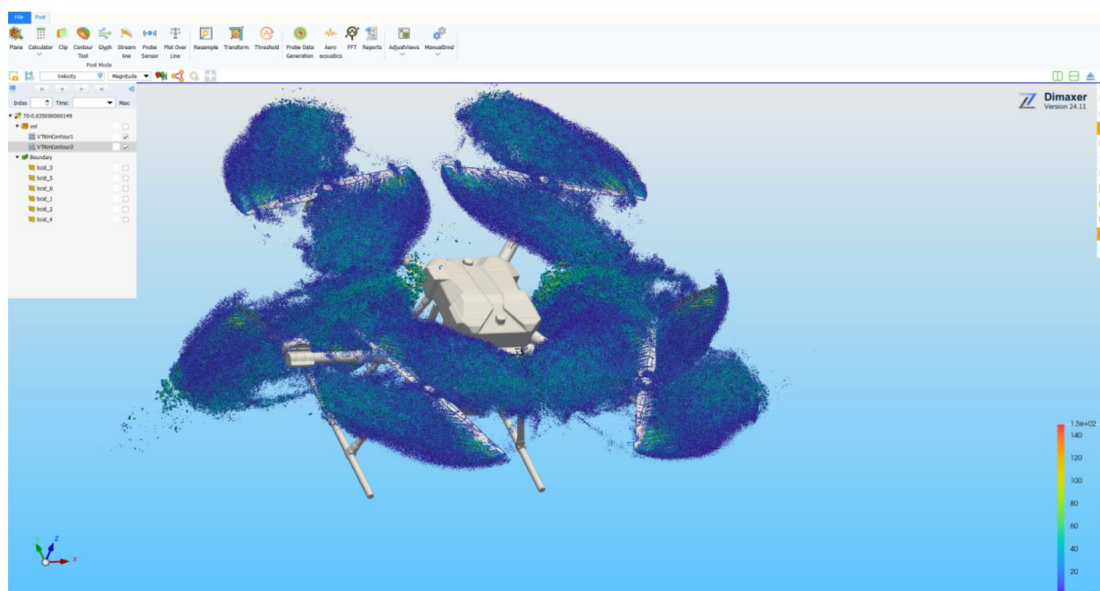
5. 点击 Run, 开始计算。

1.3 后处理

6. 在 Post 下, 借助 Contour Tool 以及自带的 Calculator-Velocity QCriterion 工具可以获得旋翼运动过程中的涡;

- 使用 Coutour Tool 工具, 提取 wall Distance 在 Contour Value 为 0, 即可得到实时运动下的固体壁面;
- 使用 Calculator 下的 Common Calculation 工具, 勾选 Velocity QCriterion;
- 再次使用 Coutour Tool 工具, 提取 Velocity QCriterion 在一定阈值下的 Contour, 即可得到实时运动下的旋翼旋涡;





7. 使用 Resample 功能将流场映射到旋翼壁面上，然后通过积分可以获得旋翼的实时力结果。



扫码申请软件试用

☎ 18915575295

👤 contact@rankyee.com

📍 苏州纳米技术国家大学科技园(二期)A2栋18楼