

无人机案例教程

动态IBM模拟任意几何复合运动

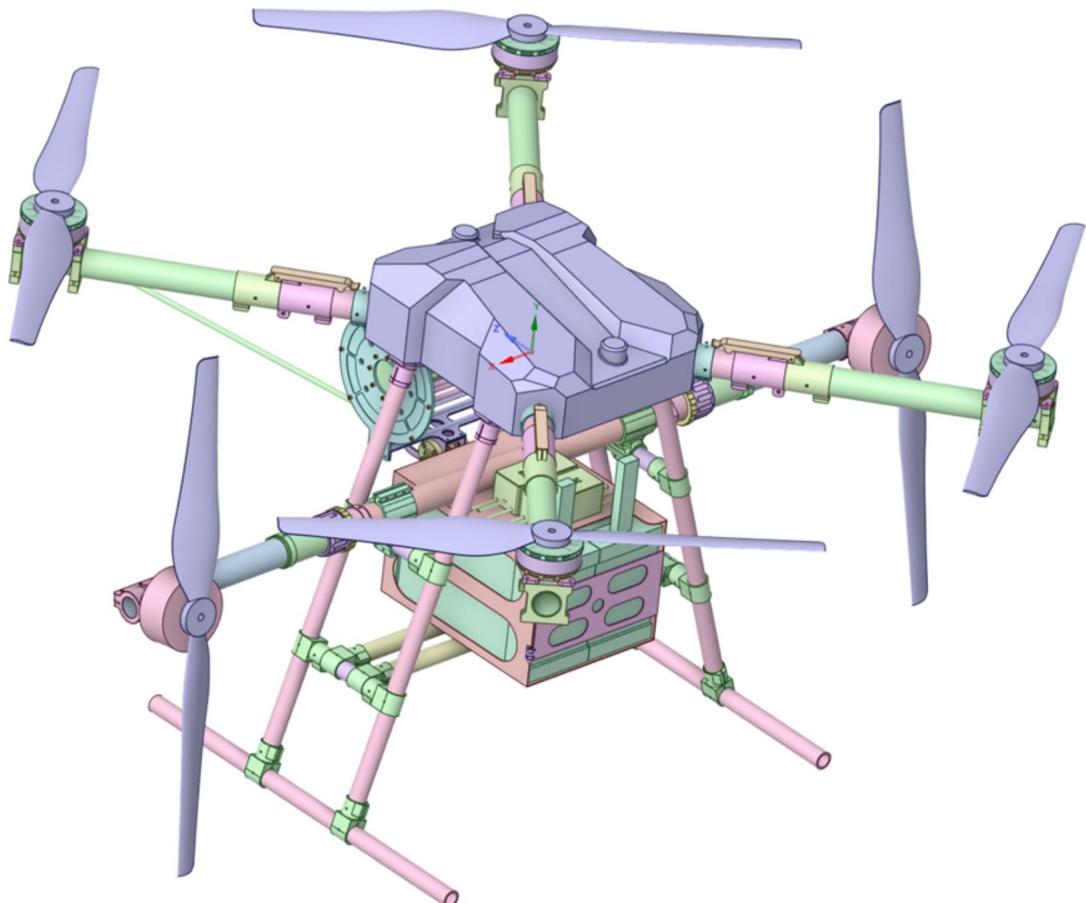
无人机案例充分结合了静态和动态IBM方法的优势，机身处采用静态IBM处理，旋翼采用动态IBM处理，展现了极大的灵活性。IBM方法可以处理任意复杂的几何外形，支持耦合任意复合运动。

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。



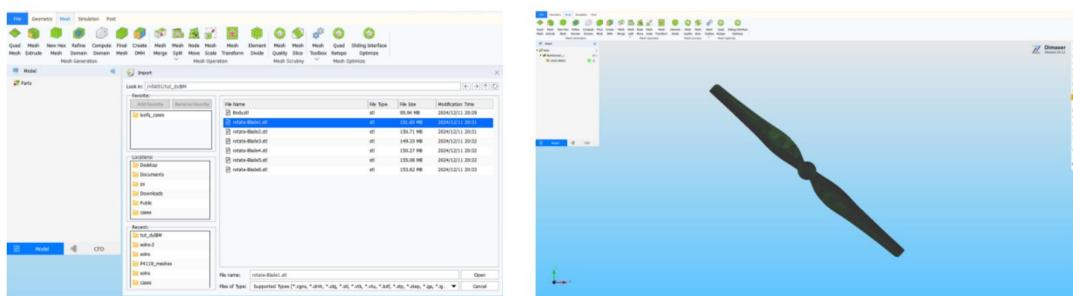
1.1 网格配置

旋翼固体网格生成

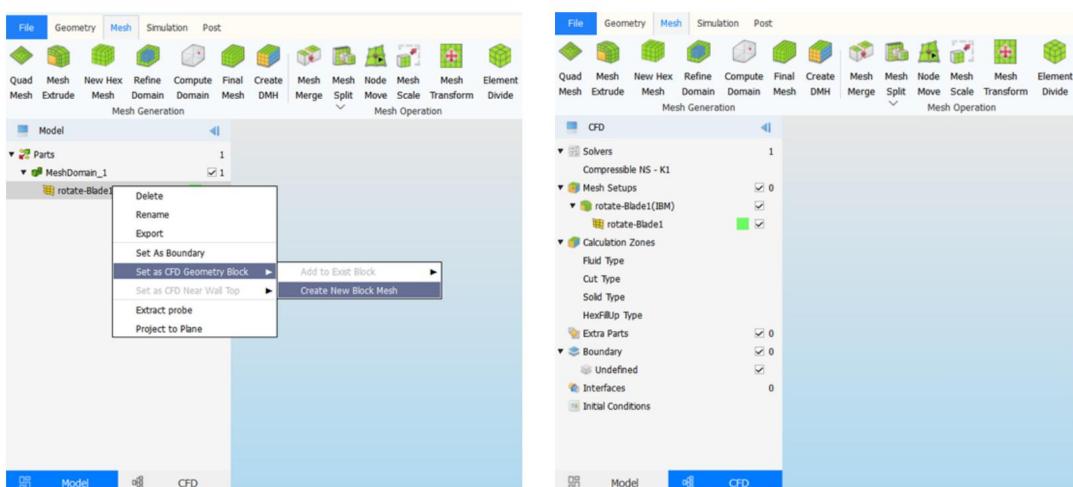
由于六个旋翼的旋转轴以及旋转中心位置不一致，需要分别对各个旋翼分配单独的 Zone ID 以指定旋转运动，因此分别对各个旋翼单独生成网格 DMH 文件和具有 WallDistance 信息的初场 dat 文件。

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：

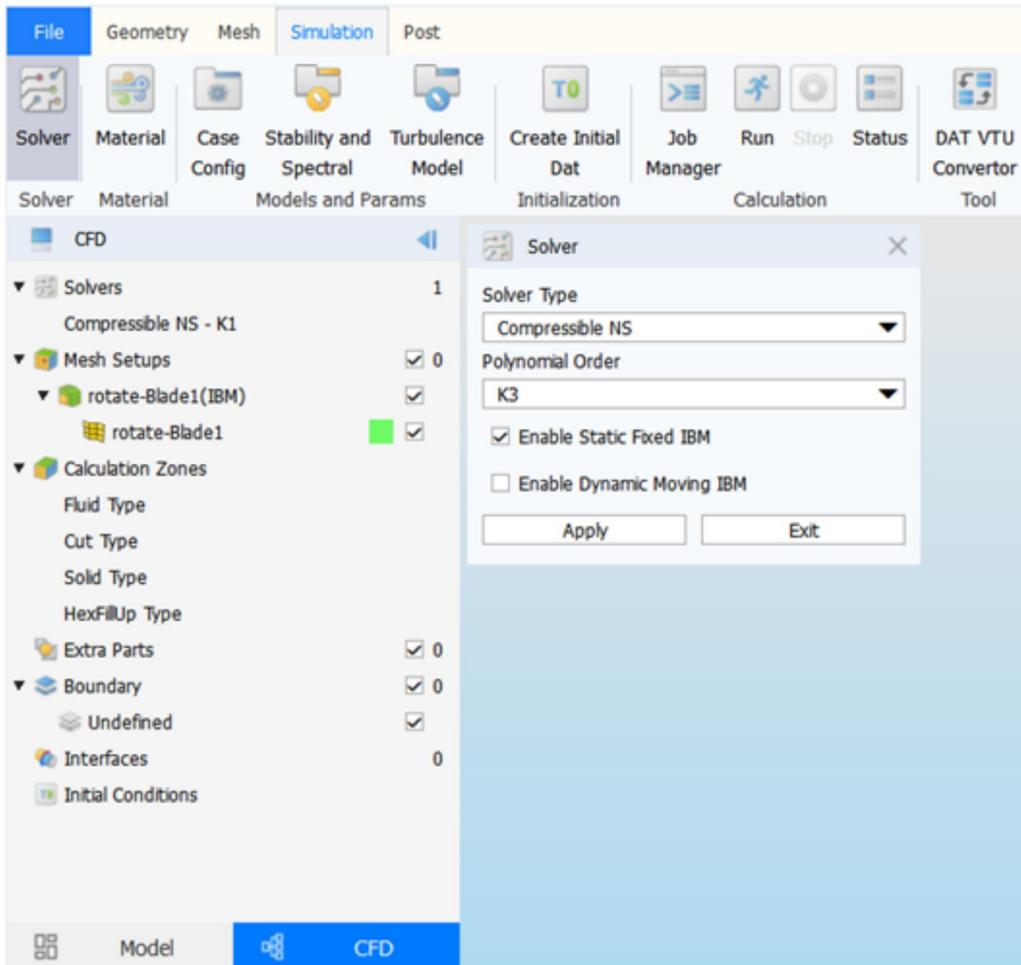
1. STL 几何导入：点击 File-Import 定位到 STL 几何文件目录，选择 rotate-Blade1.stl 文件，导入成功后，在左侧结构树 Model 中出现了一个 MeshDomain_1，同时在视图区自动显示几何模型。



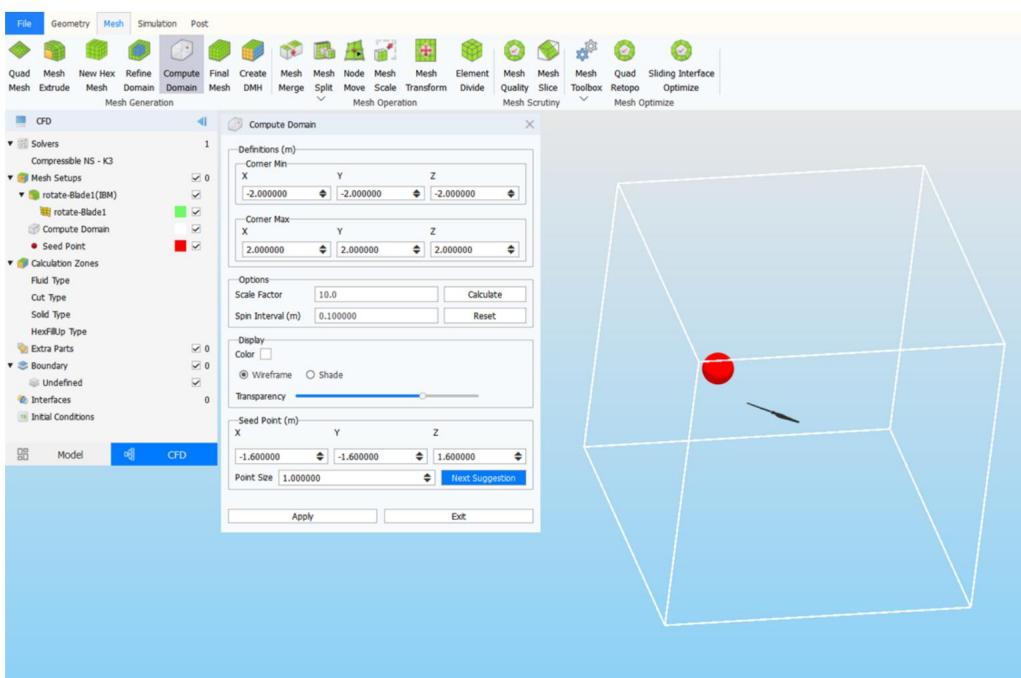
2. 创建 Block Mesh：右击导入的面网格 rotate-Blade1，在弹出面板中点击 Set as CFD Geometry Block，选择 Create New Block Mesh。几何文件 rotate-Blade1 将在 CFD 结构树的 Mesh Setups 中出现，并且自动配置为默认的 IBM 类型。



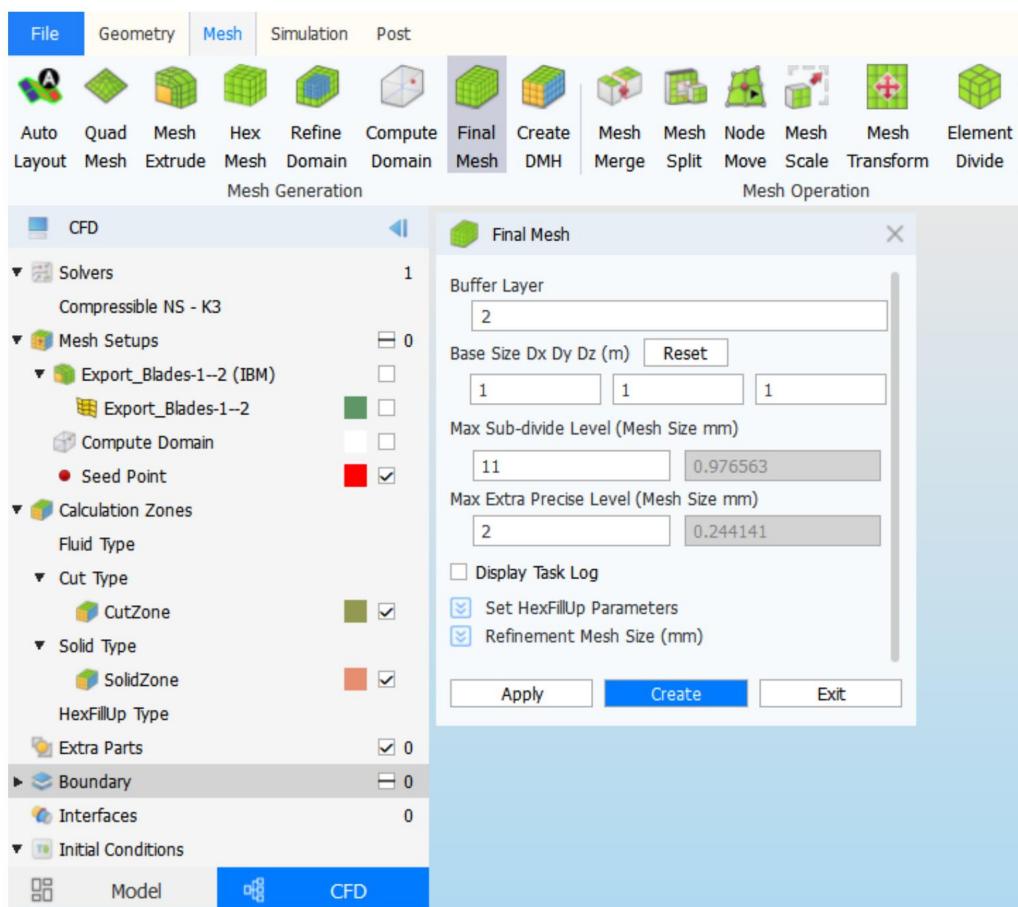
3. 选择 IBM 求解器：点击 Simulation 标签页下的 Solver 按钮，选择 K3 求解精度，勾选激活 Enable Static Fixed IBM 功能。



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。



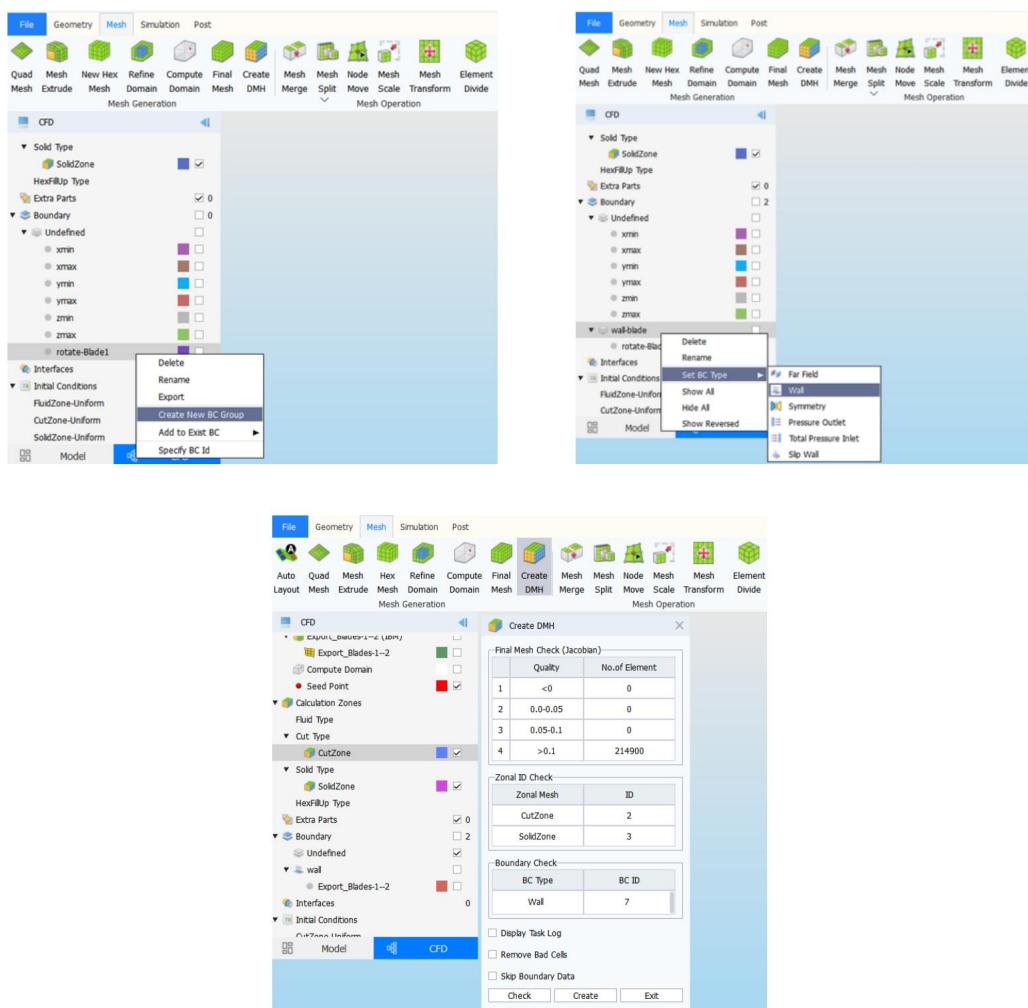
5. 生成 FinalMesh: 点击 Final Mesh 按钮, 设置 Base Size Dx Dy Dz 均为 1, 设置 Max Sub-divide Level 的层级为 11 (对应的全局壁面网格尺度为 0.976563mm) , 同时设置 Max Extra Precise Level 为 2, 然后点击 Create。



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。

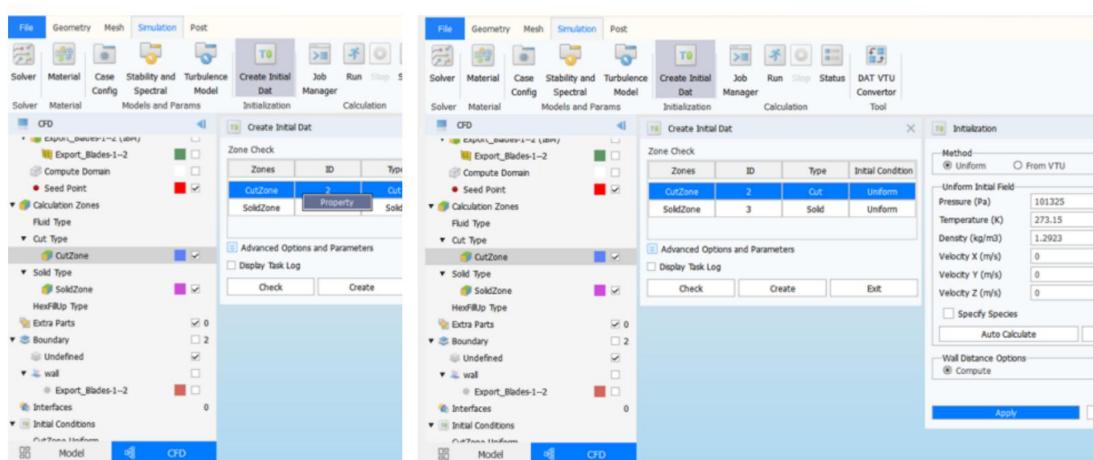
6. 设置边界条件及生成 DMH 文件：

- 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。
- 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删除，并将 FluidZone 删掉。
- 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。



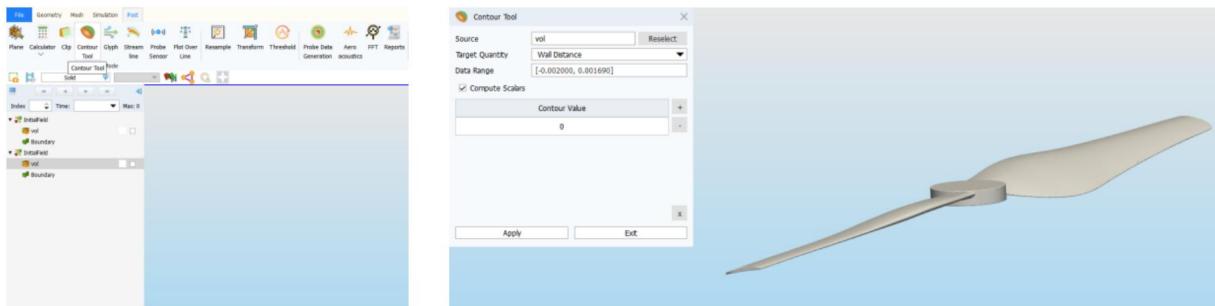
7. 生成初场 dat 文件:

- 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。



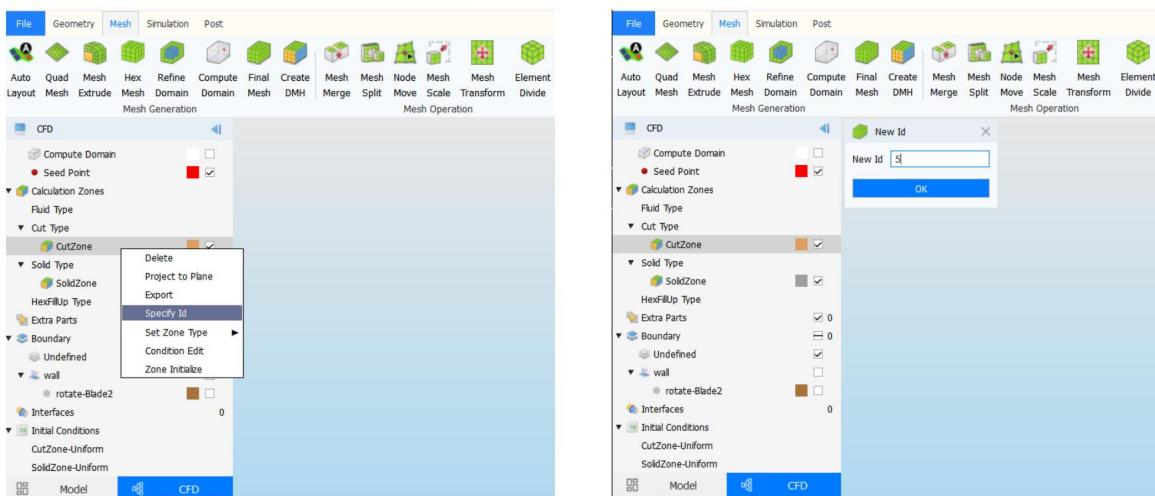
8. 检查生成的旋翼固体网格

- 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 Quanity 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



9. 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

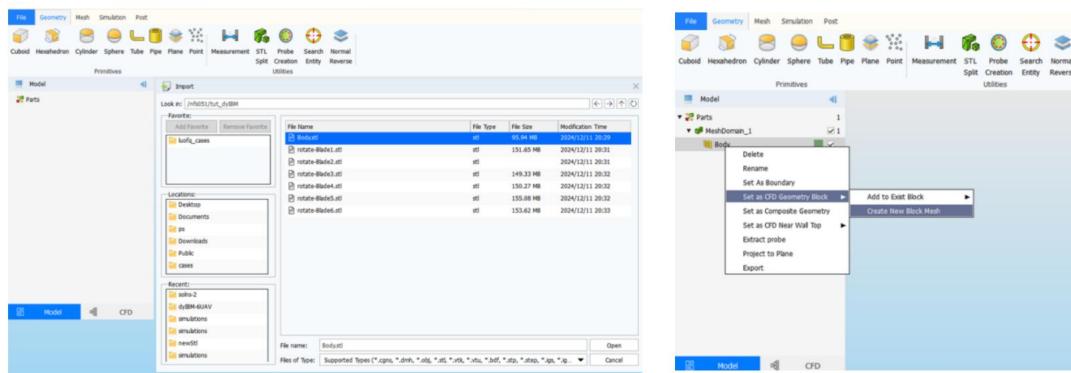


其他各个旋翼的 ID 编号可自行设置，这一步的目的是后续在 DyIBM 求解中能通过 ID 识别到各个旋翼固体网格以及指定旋转运动。

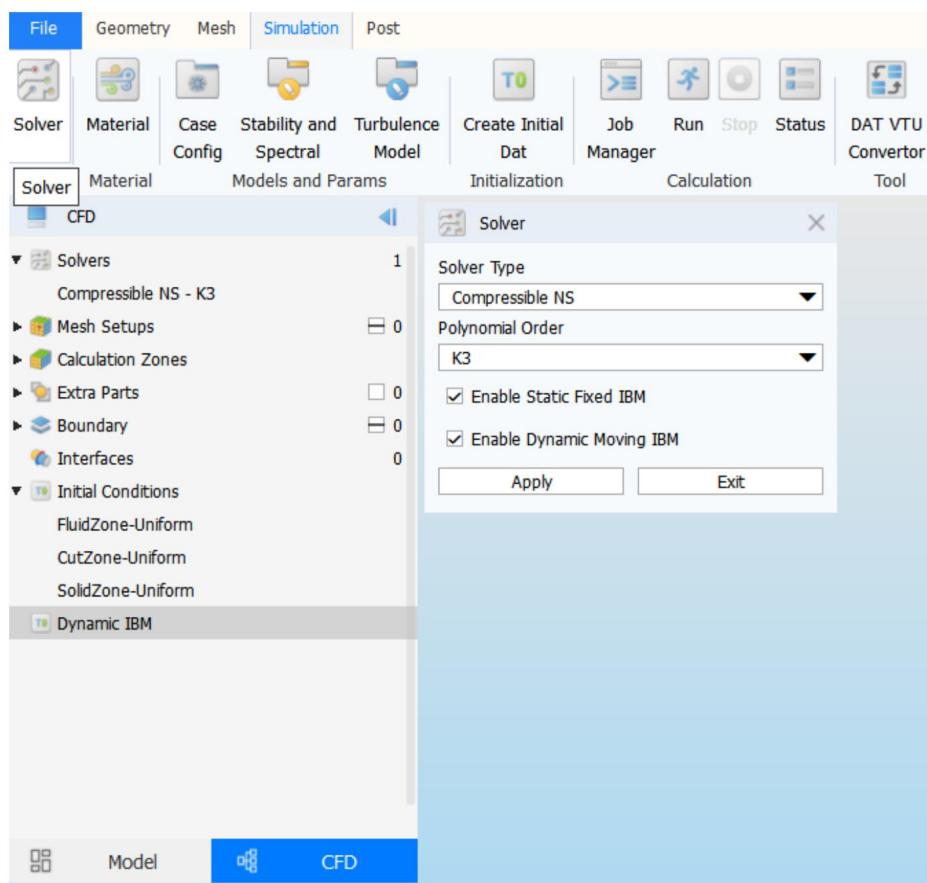
机身固体网格生成

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。

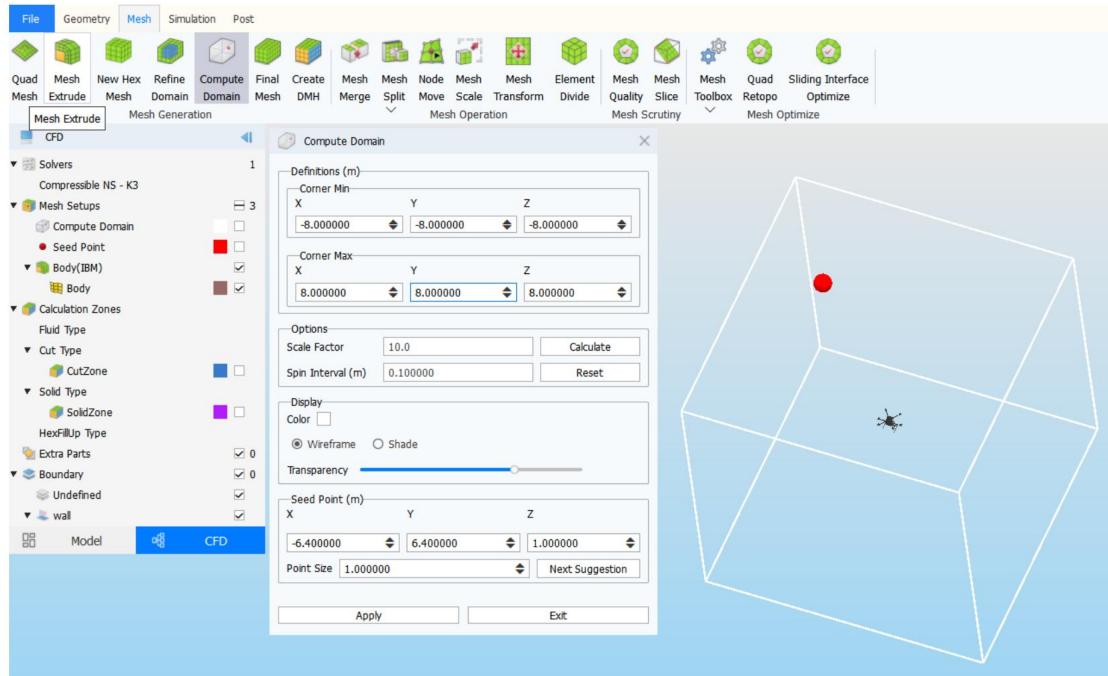
1. STL 几何导入，并点击创建 New Block Mesh：



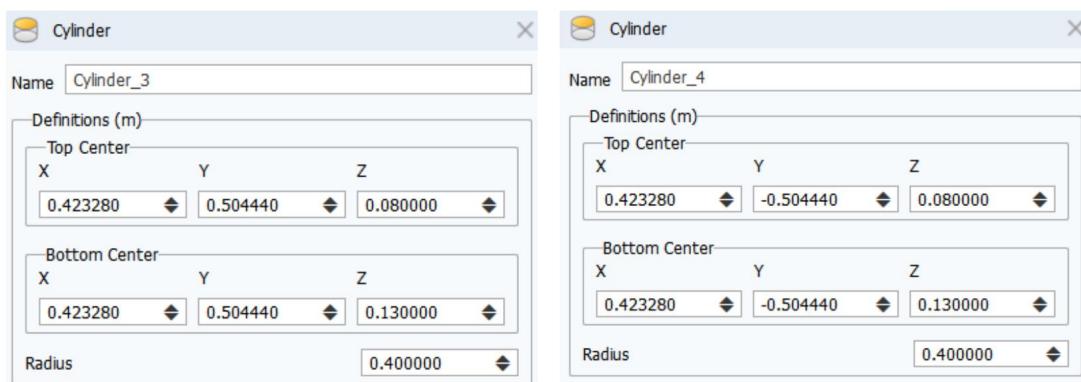
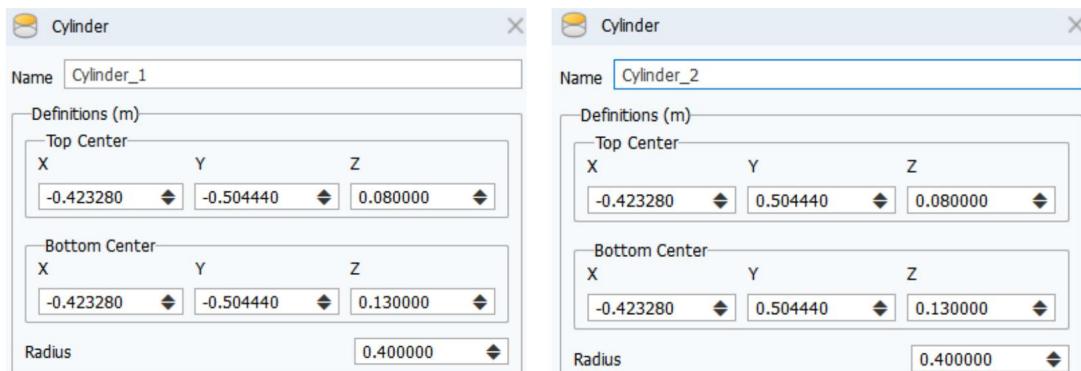
2. 选择 IBM 求解器：在 Solver 下选择 K3 精度，点击激活 Enable Static Fixed IBM，Enable Dynamic Moving IBM。之后在 CFD 树状栏下出现一个 Dynamic IBM 节点。

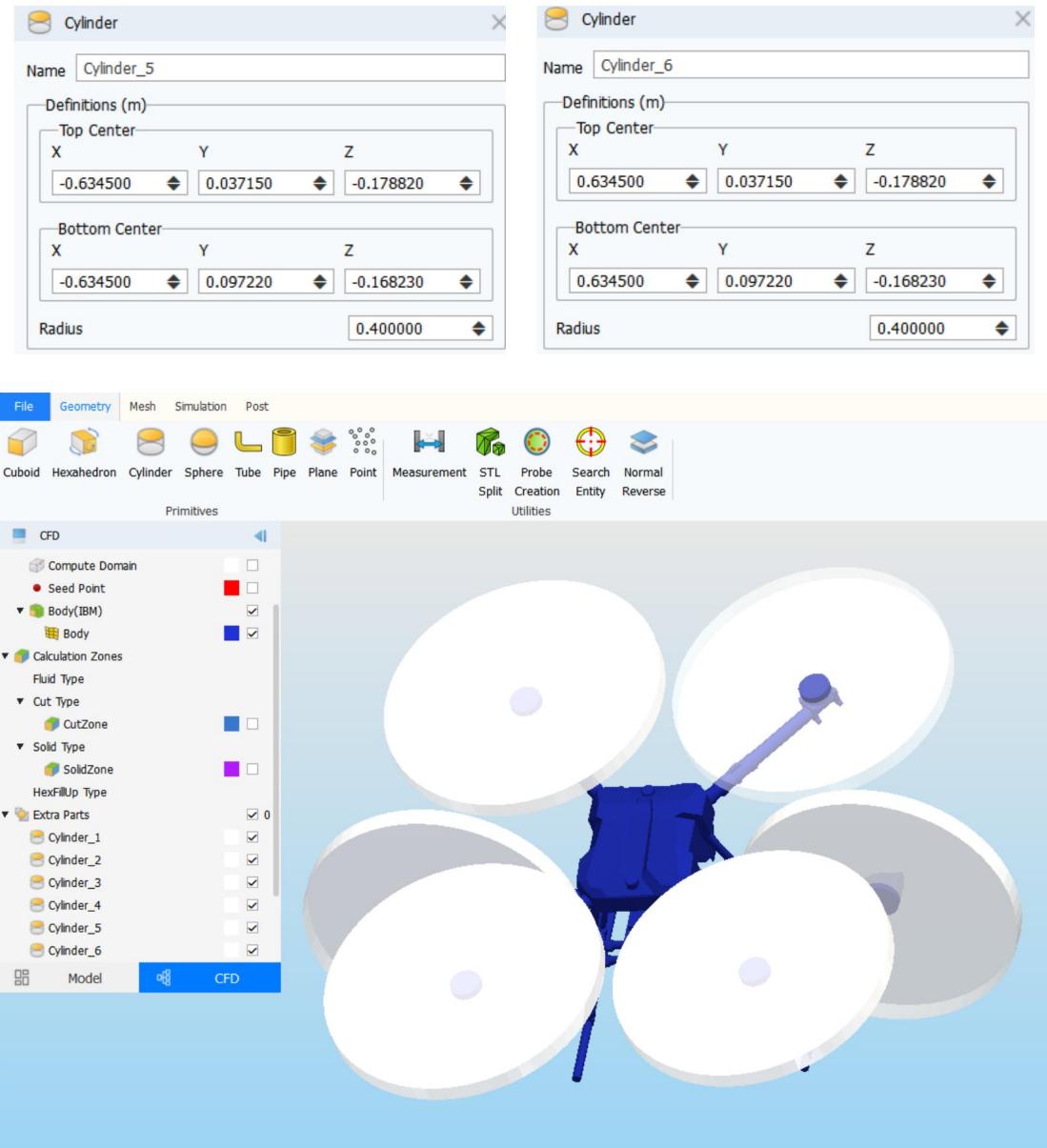


3. 设置流体计算域：在 Compute Domain 中设置足够大的计算域，例如三个方向的 Min 和 Max 分别为-8 和 8；并确保 Seed Point 位于计算域内。



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。

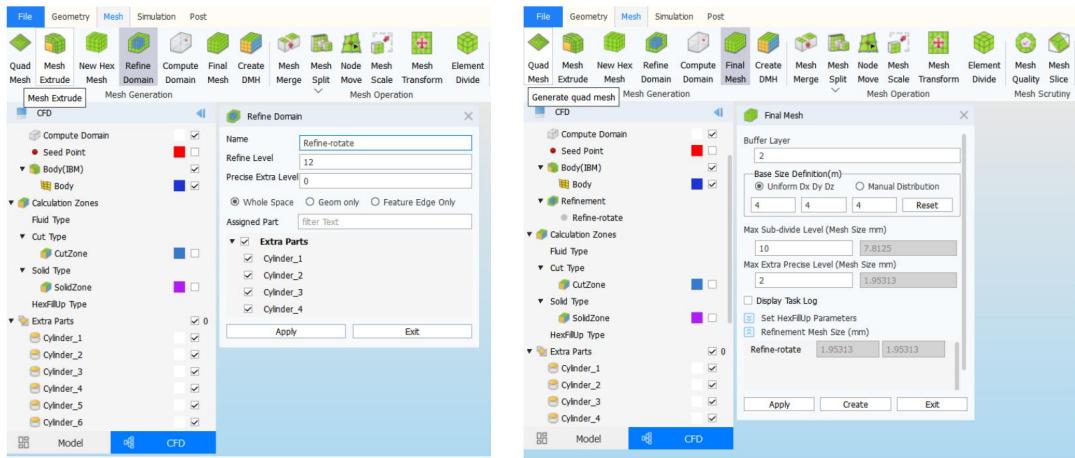




网格加密可根据流场特点进行设置，并且增加一些网格尺度逐级变化的过渡块。

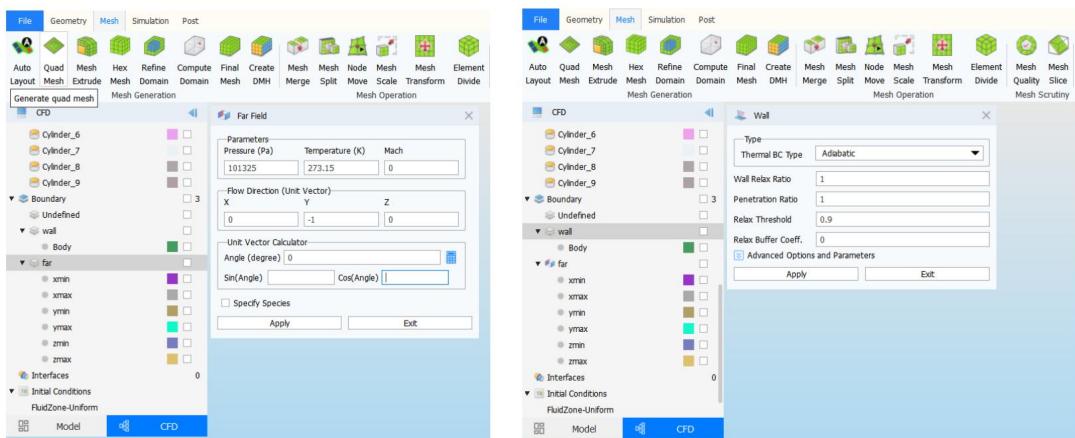
5. 生成 FinalMesh:

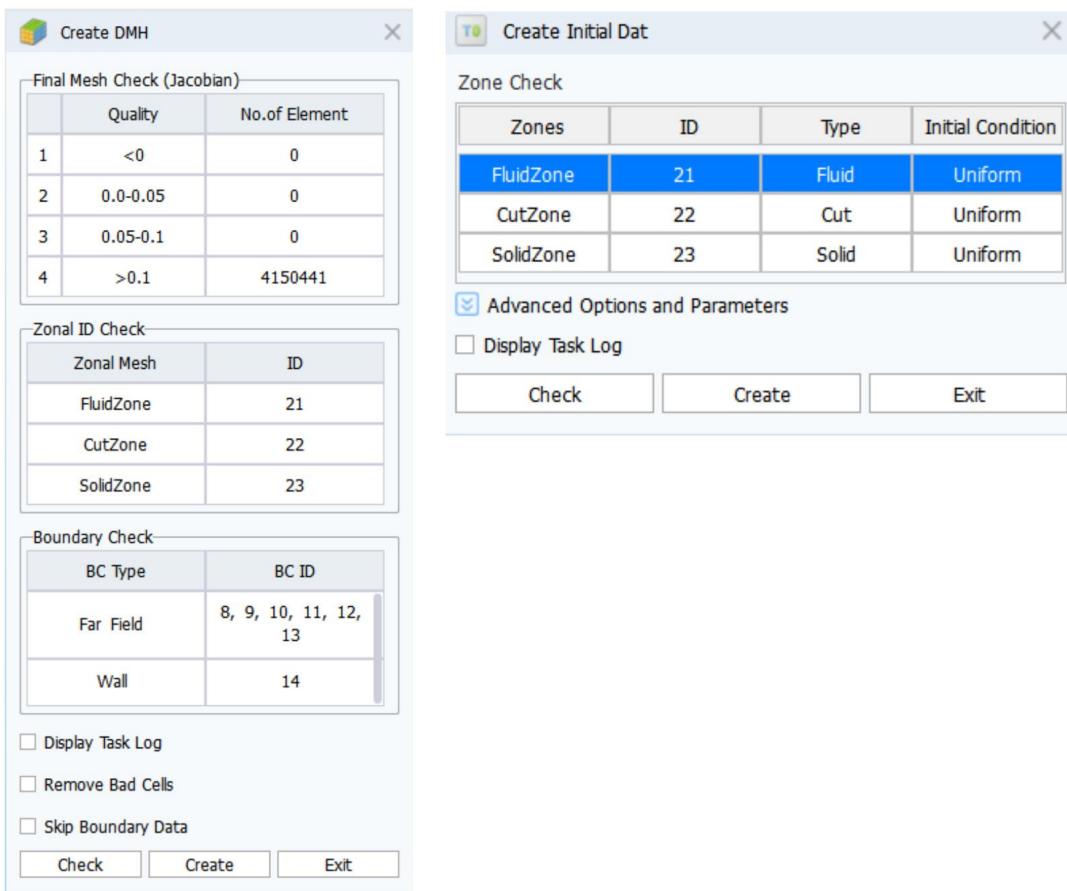
- 点击 Refine Domain, Refine Level 设置为 12, 在 ExtraParts 中勾选上述六个旋转加密块 Cylinder_1~Cylinder_6, 然后 Apply;
- 点击 Final Mesh, 设置三个方向的 Base Size 为 4, 设置 Max Sub-divide Level 为 10, 设置 Max Extra Precise Level 为 2。下拉 Refinement 显示上一步设置的加密块 Refine-rotate;



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

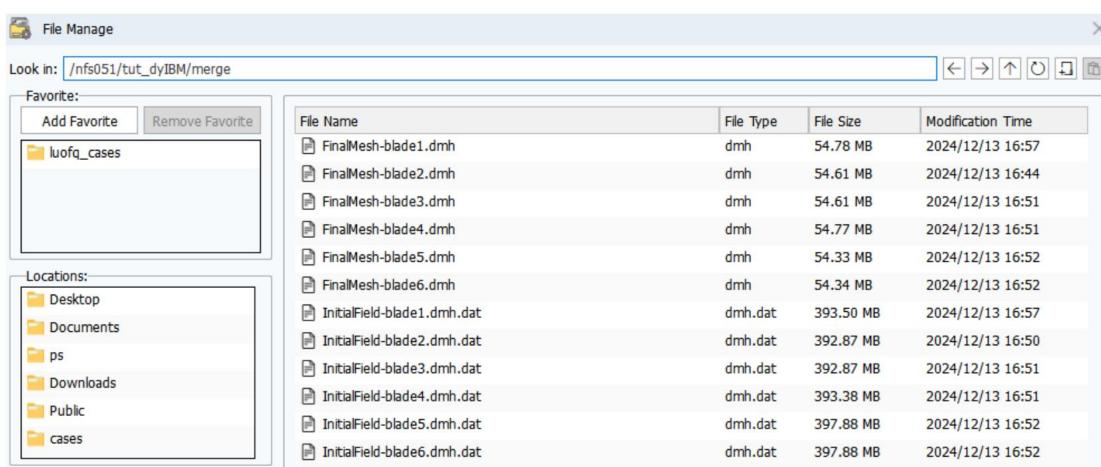




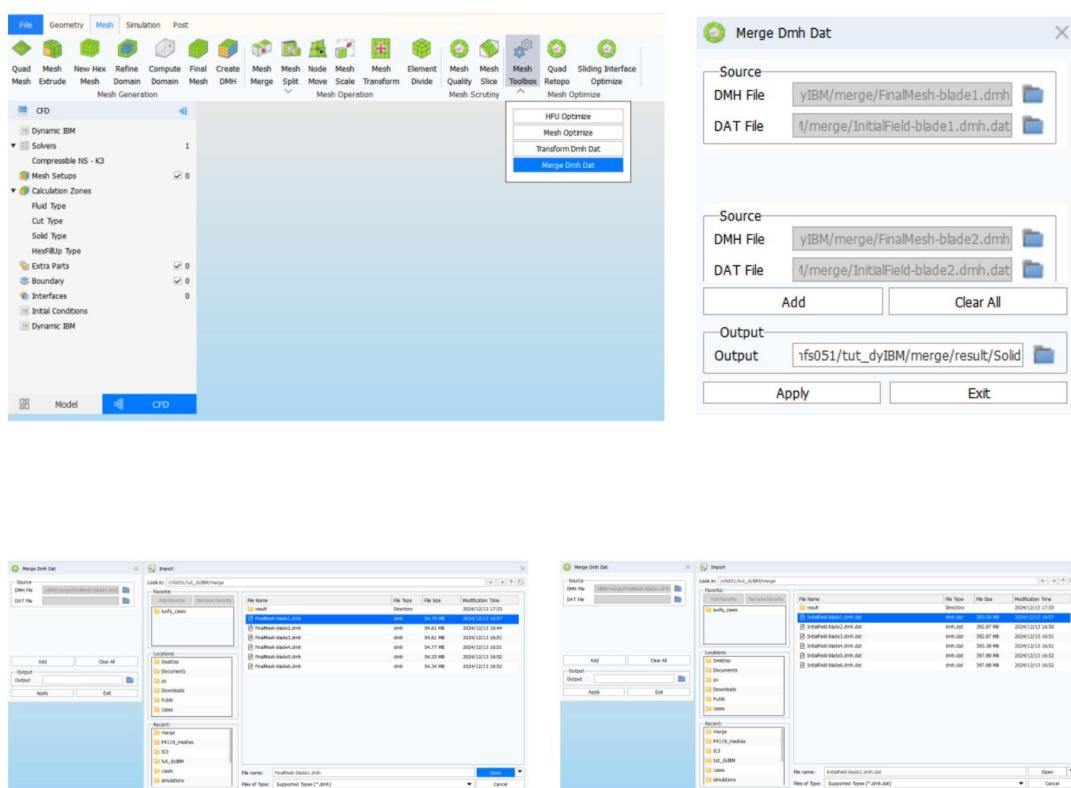
多固体网格合并

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 InitialField.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：



- 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.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

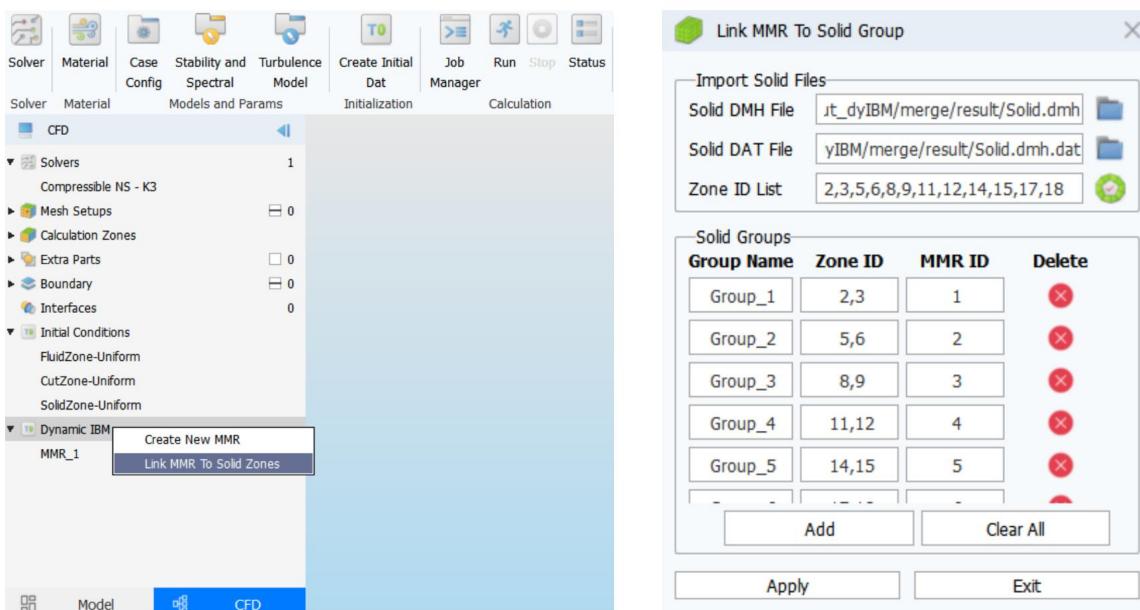
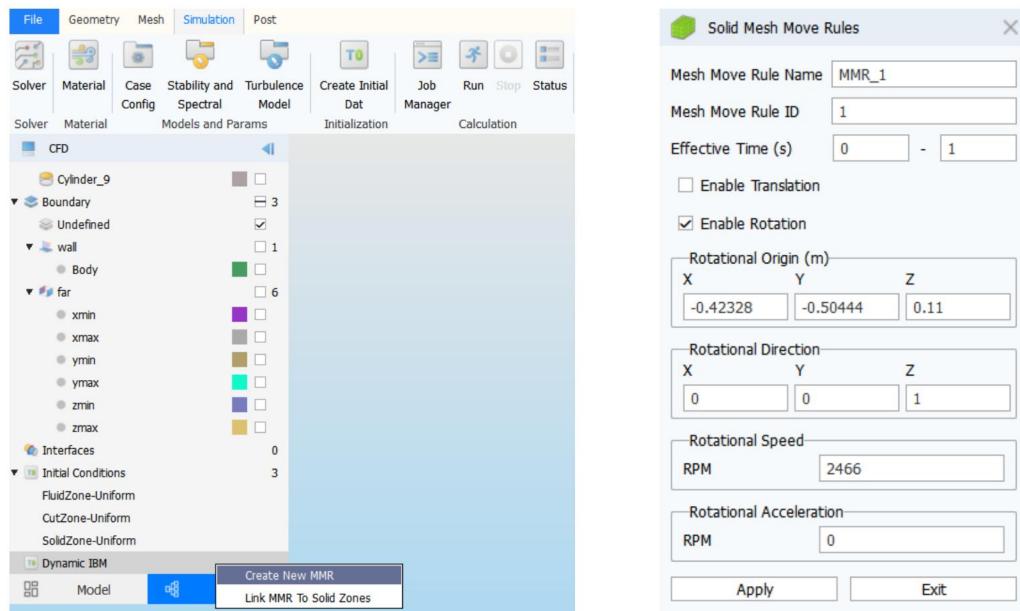


1.2 计算设置

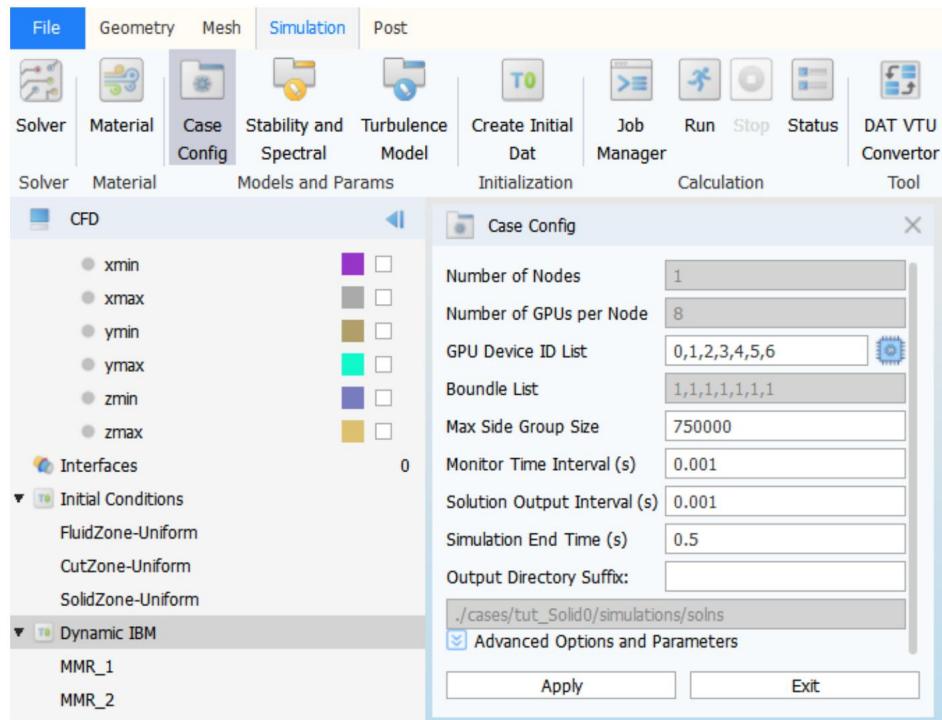
1. 设置 MMR 运动：
 - a. 在 CFD 树状栏中右击 Dynamic IBM 节点，点击 Create New MMR，填写 Mesh Move Rule ID，勾选 Enable Rotation，填写 Rotaitonal Origin, Rotational Direction 以及 Rotational Speed，并 Apply；
 - b. 依次对剩余五个旋翼执行上述操作，其中 Mesh Move ID 分别为 2-6；
 - c. 右击 Link MMR To Solid Zones，在 import Solid Flies 下面的 Solid DMH File 中选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

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

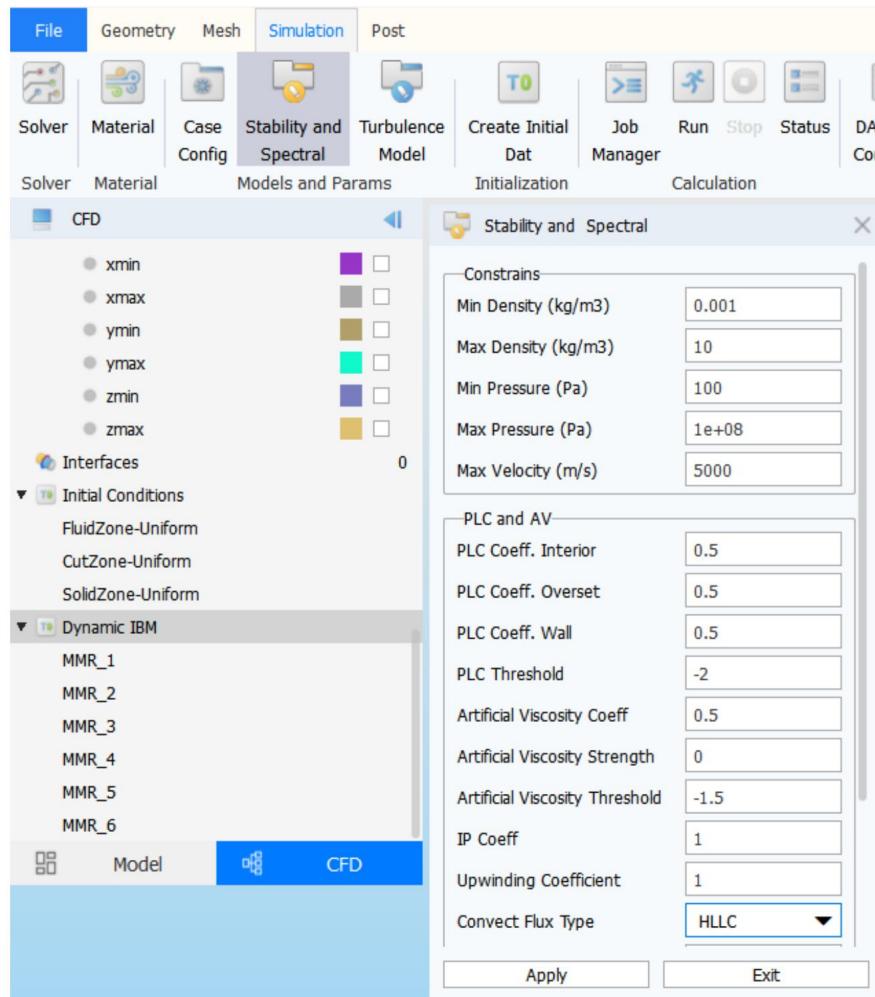
- d. 同时在 Solid Groups 中依次 add 六个运动组，其中的 Zone ID 对应的是旋翼固体网格中的 Zone ID，MMR ID 对应的是旋翼的旋转运动规律。



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。



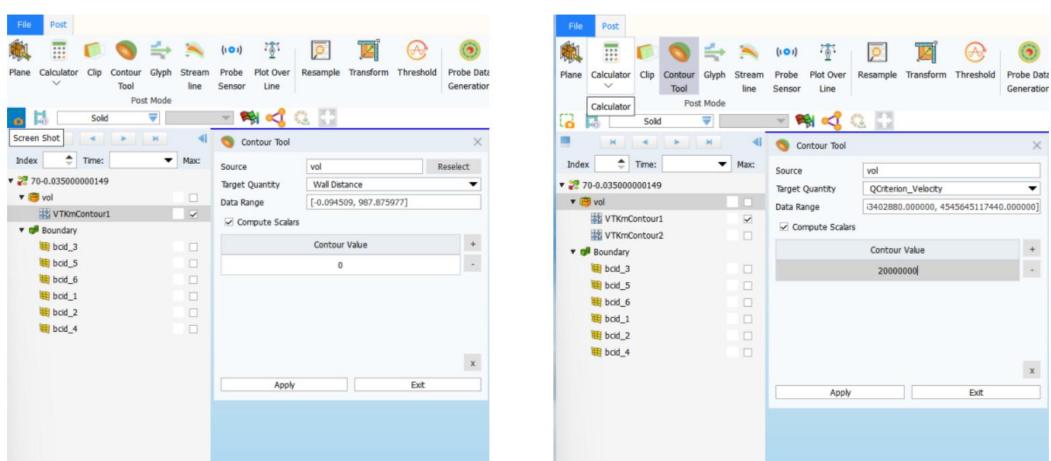
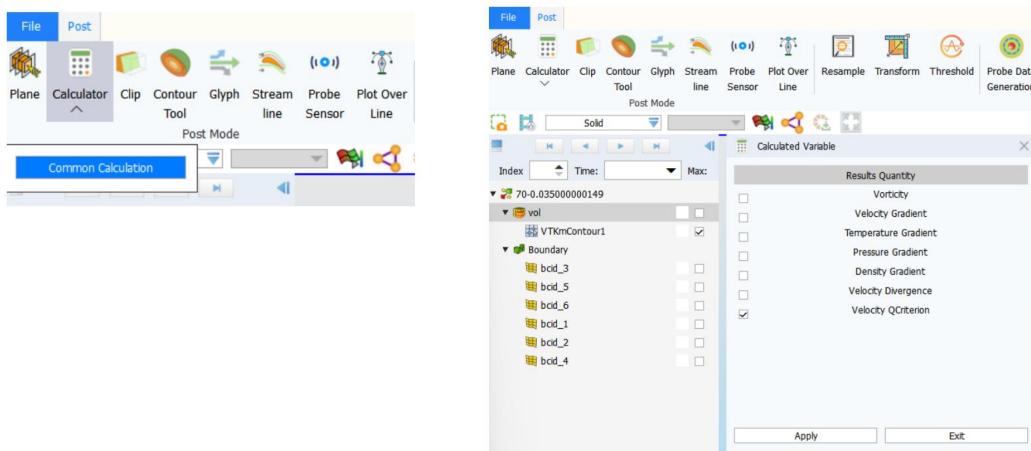
4. 再次点击 Create Initial Dat。

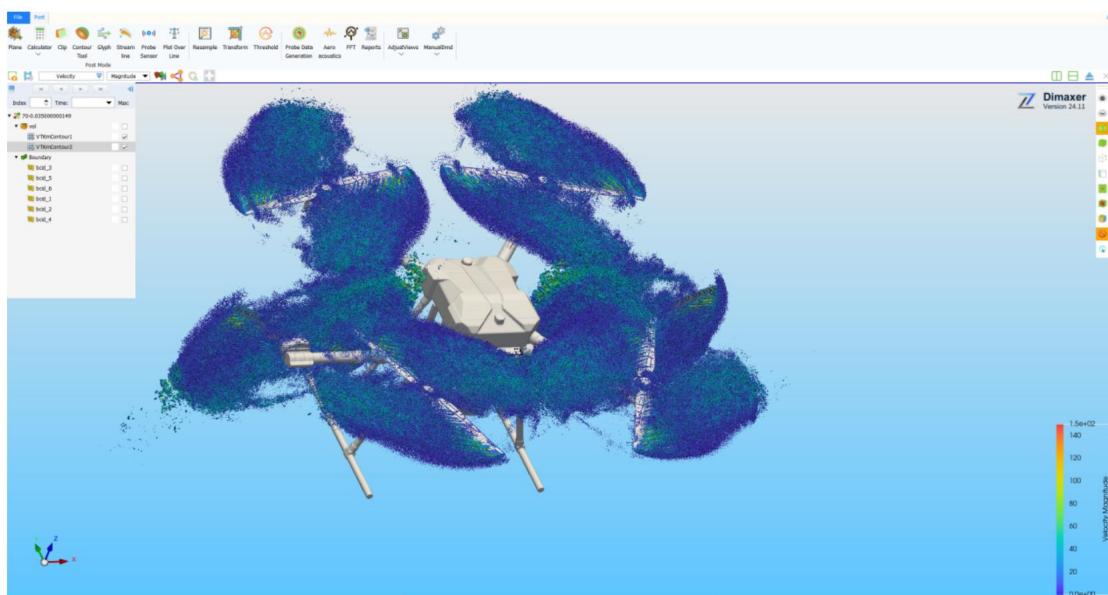
5. 点击 Run，开始计算。

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