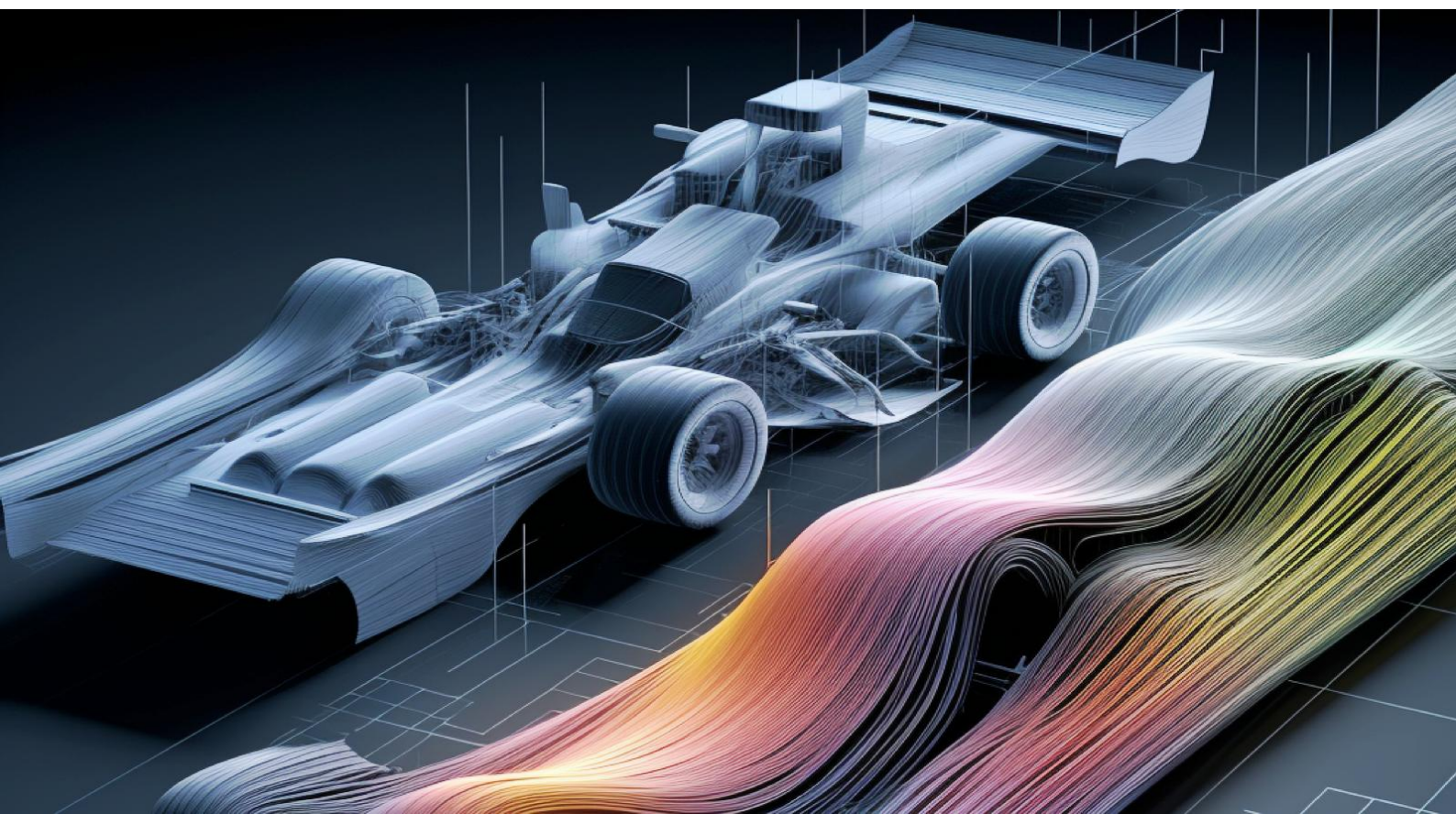




YUNBO PrePost Desktop V2025

云泊通用前后处理软件

流体模块产品用户手册

版权及文档信息

本文档为云泊软件产品的配套材料。

云泊软件产品和文档包括商业机密，是深圳云泊软件技术有限公司及其子公司或许可方的专有产品。软件产品和文档由深圳云泊软件技术有限公司及其子公司或附属公司根据软件许可协议提供，该协议包含有关保密、复制、使用期限和性质、遵守出口法、保证、免责声明、责任限制和补救措施以及其他规定的条款。软件产品和文档只能根据该软件许可协议的条款和条件进行使用、披露、转让或复制。未经公司同意，任何单位和个人不得以任何方式对本文档进行传播。

本手册基于 YUNBO PrePost Desktop V2025 所编制，如有问题，可与深圳云泊软件技术有限公司联系，并获得相关技术支持和服务。

目录

1 软件整体介绍	1
1.1 YUNBO PrePost Desktop 流体模块简介	1
1.2 软件启动	3
1.2.1 推荐配置	3
1.3 通用操作说明	3
1.3.1 鼠标键盘	3
1.3.2 功能属性页	4
1.4 图形界面指南	5
1.4.1 整体界面简介	5
1.4.2 快速访问工具栏	5
1.4.3 模型树	7
1.4.4 视图区	56
1.4.5 状态栏	64
1.4.6 信息栏	64
1.4.7 Ribbon 功能区	64
1.5 前后处理基本步骤	89
2 前处理	91
2.1 几何	91
2.1.1 修复	91
2.1.2 线编辑	104
2.1.3 面编辑	108
2.1.4 布尔运算	118
2.1.5 转换	121
2.1.6 其他	126
2.2 网格	135
2.2.1 设置	135
2.2.2 面网格生成	156
2.2.3 面网格编辑	167
2.2.4 体网格生成	181
2.2.5 诊断	190
2.2.6 Qflux	193
3 求解设置	194
3.1 设置	194
3.1.1 缩放	194
3.1.2 通用	195
3.1.3 坐标系	196
3.1.4 模型	198
3.1.5 材料	206
3.1.6 材料库	209
3.1.7 方法	210
3.1.8 控制	212
3.1.9 残差	216

3.1.10 初始化	220
3.1.11 计算	221
3.1.12 运行	224
4 后处理	225
4.1 后处理	225
4.1.1 数据可视化	226
4.1.2 数据分析	252
4.1.3 动画	256
4.1.4 其他	257
5 附录	263
5.1 几何缺陷类型说明	263
5.2 网格质量检查公式说明	266
5.2.1 正交性 (Orthogonality)	266
5.2.2 扭曲度 (Skewness)	267
5.2.3 质量 (Quality)	272
5.2.4 体积 (Volume)	274
5.2.5 长宽比 (Aspect ratio)	274
5.2.6 体积比 (Volume ratio)	275
5.2.7 面积 (Area)	276
5.2.8 翘曲度 (Warpage)	276
5.2.9 偏斜角 (Skewness angle)	277
5.2.10 边界偏斜角 (Boundary skewness angle)	278
5.2.11 正交性质量 (Orthogonality quality)	278
5.2.12 距离 (Distance)	282
5.2.13 网格指标区别	282

1 软件整体介绍

1.1 YUNBO PrePost Desktop 流体模块简介

YUNBO PrePost Desktop 流体模块是一款集成了几何修复、网格生成及后处理等核心模块的通用流体动力学仿真软件，软件具备流体仿真前后处理能力，为流体仿真前后处理提供坚实基础。本用户手册主要介绍了 YUNBO PrePost Desktop 软件流体模块（以下简称云泊流体模块）各项功能的使用方法及其注意事项，为用户快速熟悉软件的使用提供指导。

YUNBO PrePost Desktop 流体模块提供执行工程分析所需的所有阶段，包括：

- （1）导入、编辑几何
- （2）网格生成
- （3）求解设置
- （3）结果分析

接口方面，软件支持多种几何模型格式文件，包括如：IGES、STEP、Para solids、ICEM、Rhino、ACIS、VDA、Solidedge、Solidworks、CATIA V4、CATIA V5、Unigraphics、JT、Pro/Engineer、Inventor，同时具备导入外部网格并进行优化和修复的能力。完成几何修复和网格划分后，可以导出网格文件采用其他求解器进行计算。除网格外，软件同时支持导出多种图片格式文件、STL 文件、PDF 文档、矢量图，为用户提供了多种计算结果素材来源渠道。对求解结果，可利用丰富的后处理功能开展计算结果分析，例如流体仿真业务中常用的模型切分、云图绘制、曲线绘制、动画视频、数据导出等后处理功能。

前处理方面，软件提供了专业级的几何与网格功能，几何模块提供了常用的点、线、面的创建、编辑、删除功能以及对模型进行操作的布尔运算和转换功能，同时具有功能强大的几何模型一键快速修复功能，在处理几何结构复杂的模型方面大放光彩。网格模块提供了基于几何拓扑网格划分和包面网格划分多种网格生成方案，尤其是针对复杂、繁多、有大量缺陷的几何模型，软件的包面技术可以最大程度上帮助用户实现快速、有效的体网格生成。可生成的网格类型包括四面体、六面体、多面体、棱柱体和锥体，能够生成十亿级规模的

结构化/非结构化网格，并可通过网格的并行算法提升网格划分的速度。

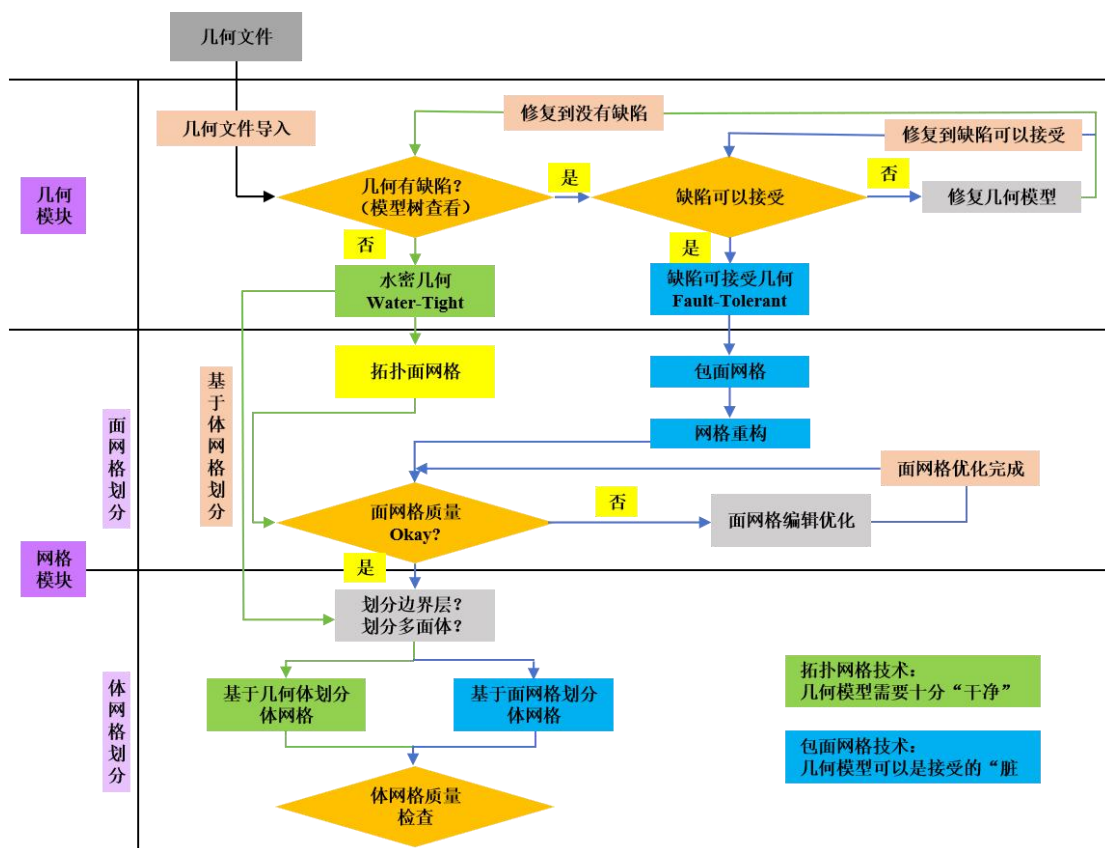


图 1-1 几何修复与网格划分流程示意图

设置求解设置方面，求解分析类型支持稳态/瞬态、可压/不可压、共轭传热、多相流等常见流动换热物理现象的分析。软件具备丰富的物理模型，例如：层流、湍流、大涡模拟等多种粘度模型，VOF、欧拉多相流模型，S2S 辐射模型，多孔介质模型、MRF 多参考坐标系模型等，可以满足用户不同流体仿真业务场景的应用。软件附带材料数据库，其中包含固体、液体、气体的常见材料。同时，软件具有包括入口、出口、壁面、对称面、交界面等多种边界条件的设置选项。求解方法支持 SIMPLE 算法、PISO 算法及伪瞬态算法，支持一阶、二阶迎风、中心差分、混合差分、MUSCL 及 MUSCLPLUS 等多种离散格式，方便用户根据流动问题的具体特征选择合适的算法与格式。此外，在复杂场景下求解器引入对梯度的降阶处理，以保证计算结果准确性的前提下提升软件对不同场景和工况仿真求解的鲁棒性。

后处理方面，软件提供丰富的后处理功能，可实现点、线、面数据的提取与显示，具备流线图、矢量图、曲线图等多种流场结果可视化功能，同时提供了用户自定义的场变量计算、结果动态预览、动画制作等功能，极大程度丰富

了计算结果后处理可视化能力。

作为深圳云泊软件技术有限公司自主研发的国产仿真类软件，YUNBO PrePost Desktop 流体模块可广泛应用于航空航天、海洋船舶、建筑环境、车辆轨道、电子散热、旋转机械等领域的流体仿真，可以高效地实现对产品性能进行预测，进而评估其设计方案安全性及可靠性，从而达到优化、改进产品设计的目的。

1.2 软件启动

1.2.1 推荐配置

（1）操作系统：Window 10 或 Window 11，Win server 2019，Intel 64 / AMD 64 系统。

（2）CPU：最低要求为多核处理器（如英特尔酷睿 i5 或同等水平）

（3）内存：推荐使用 16GB 或以上内存。

（3）硬盘：推荐使用 128 GB 以上硬盘空间，C 盘需要预留 10 GB 以上空间。

（4）显卡：支持 OpenGL 的专用显卡。

（5）屏幕：推荐使用 1920×1080。支持超高清（4K）显示。

（6）鼠标：三键鼠标。

（7）阅读用户手册和其他用户文档需要的 PDF 文档阅读器。

1.3 通用操作说明

1.3.1 鼠标键盘

软件中默认的鼠标和键盘快捷键操作如下表所示：

表 1-1 视图区域鼠标操作说明

鼠标操作	描述
右键	显示对应的操作选项菜单
左键	选择
中键	旋转
Ctrl+中键	平移
Shift+中键	缩放

滚轮	缩放
Ctrl+左键	多选
Ctrl + N	新建工程文件
Ctrl + O	打开工程文件
Ctrl + I	导入网格或几何等文件
Ctrl + E	导出网格或案例等文件
Ctrl + S	保存工程文件
Ctrl + Alt + S	另存为工程文件
Ctrl + Z	撤销
Ctrl + Y	恢复
Ctrl + T	显示/隐藏模型树
Ctrl + M	显示/隐藏信息窗口
Ctrl + R	显示/隐藏视图区域标尺
Ctrl + B	显示/隐藏工具栏

通过【文件】-【配置】-【鼠标】可以对鼠标操作设置进行更改，配置鼠标选项如下图所示。

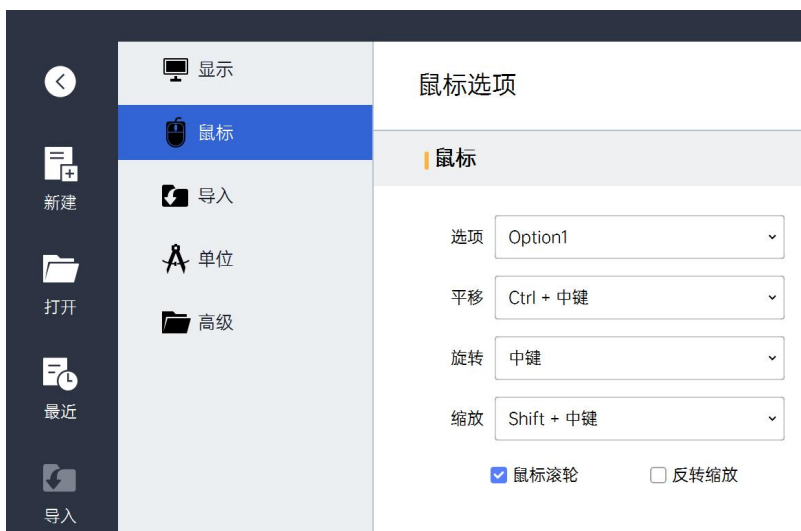


图 1-2 配置鼠标选项

1.3.2 功能属性页

通常，执行功能属性页的命令包含 4 种方法，创建面命令如下：

- (1) 通过属性页中的【应用】按钮；
- (2) 通过鼠标中键（鼠标选项须设置为 Option2）；
- (3) 通过键盘 Enter 键；
- (4) 通过视图区中的右键菜单。

1.4 图形界面指南

YUNBO PrePost Desktop 流体模块图形界面包括快速访问工具栏、Ribbon 功能区、模型树、工具栏、属性页、状态栏、信息窗口、视图区功能，以下将分别对上述各功能的介绍达到快速熟悉软件进行操作的目的。

1.4.1 整体界面简介

YUNBO PrePost Desktop 流体模块工作区的图形用户界面（GUI）包含快速访问工具栏、Ribbon 功能区、模型树、工具栏、属性页、状态栏、信息窗口、视图区。图形用户界面各功能模块位置如下图所示：

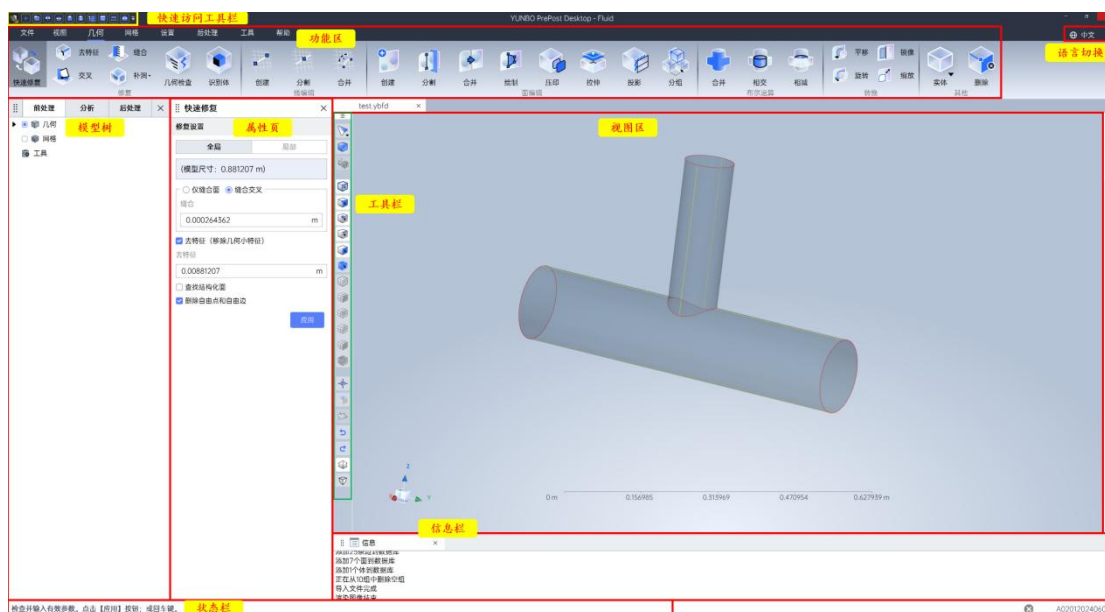


图 1-3 用户图形界面各功能模块示意图

1.4.2 快速访问工具栏

快速访问工具栏（Quick Access Toolbar，以下简称 QAT）位于软件左上角。通过 QAT 可以快速访问云泊流体模块中经常使用的功能。

快速访问工具栏功能支持可定制，用户可以通过以下步骤在 QAT 中添加或删除相应命令的快捷键。

- （1）点击 QAT 右侧的【自定义快速访问】图标；
- （2）勾选希望出现在 QAT 中的功能；
- （3）取消勾选不希望出现在 QAT 中的选项，如下图所示：

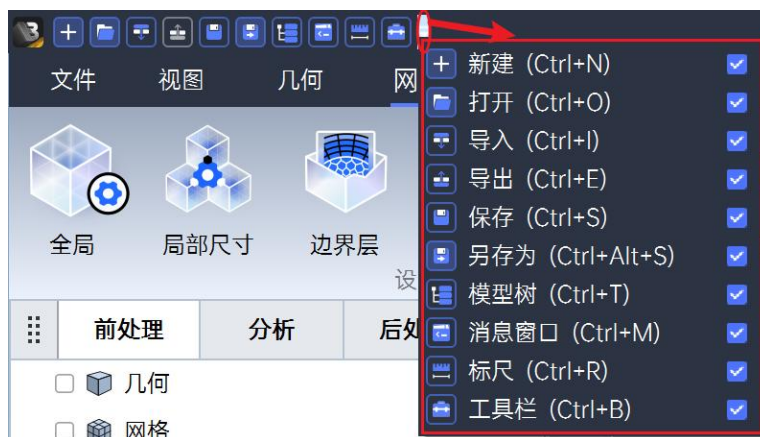


图 1-4 快速访问工具栏配置示意图

快速访问工具栏包括新建、打开、导入、导出、保存、另存为、模型树、消息窗口、标尺、工具栏，以下将详细介绍以上功能。

1.4.2.1 新建

用于新建空白工程文件（.ybfd）。

1.4.2.2 打开

用于打开工程文件（.ybfd）、案例文件（.fcase）、脚本文件（.fscript）。

注：支持拖动工程文件至软件打开 2025R1 之前版本的工程文件（.fprj）、案例文件（.ppcf）文件。

1.4.2.3 导入

用于向工程中导入案例文件（.fcase）、几何文件（.stl、.igs、.iges、.stp、.step、.x_t、.x_b、.tin、.3dm、.sat、.sab、.vda、.asm、.par、.pwd、.psm、.sldasm、.sldprt、.CATProduct、.CATPart、.model、.jt、.asm、.prt、.prt、.neu、.xas、.xpr、.ipt、.iam）、网格文件（.msh、.msh.gz、.cas、.cas.gz、.cgns）。

1.4.2.4 导出

将当前工程文件导出案例文件（.fcase）、网格文件、stl 几何文件、图片、矢量图或 PDF 文档。

1.4.2.5 保存

用于保存为工程文件（.ybfd）。

1.4.2.6 另存为

将当前文件另存为工程文件（.ybfd）。

1.4.2.7 模型树

用于打开或关闭模型树。

1.4.2.8 信息窗口

用于打开或关闭信息栏窗口。

1.4.2.9 标尺

用于显示或关闭视图区域底部的标尺。

1.4.2.10 工具栏

用于显示或关闭视图区域顶部的工具栏。

1.4.3 模型树

YUNBO PrePost Desktop 流体模块模型树提供了前处理、分析以及后处理三部分，以下将分别对上述部分的进行介绍，以达到快速熟悉软件进行操作的目的。

1.4.3.1 前处理

前处理部分包含几何、网格节点以及工具部分，以下将从这几个部分进行介绍。

1.4.3.1.1 几何

几何节点包括了模型中的几何元素节点，包括点、线、面、体，每个节点都可以通过节点前的复选框来控制其可见性。模型树几何节点示意图如下图所示：



图 1-5 模型树几何节点示意图

在几何上右键点击几何节点，可显示出几何节点的相关选项，如下图所示：

- 几何转网格
- 删除
- 显示面
- 隐藏面
- 显示体
- 隐藏体
- 展开
- 折叠
- 勾选已选对象
- 隐藏已选对象

图 1-6 模型树几何节点示意图

模型树几何节点参数含义如下表所示：

表 1-2 模型树几何节点参数含义

参数	含义
几何转网格	通过离散的几何面的转换生成面网格。
删除	删除所有的几何数据。
显示面	显示所有的几何面。
隐藏面	隐藏所有的几何面。
显示体	显示所有的体。
隐藏体	隐藏所有的体。
展开	展开模型树子节点。
折叠	折叠模型树子节点。
勾选已选对象	勾选并显示几何体。
隐藏已选对象	取消勾选并隐藏已显示的几何体。

几何节点包括了点、边、面、体四个子节点，相关介绍如下。

【点】包含以下两种类型：

(1) 自由点：也称为硬点，不在任意边上，可以直接删除。该点用红色(255,49,36)进行标识。

(2) 一般点：边上的点都属于一般点。用黑色(0,0,0)标识。

自由点与一般点如下图所示，上方图为自由点，下方图为一一般点：

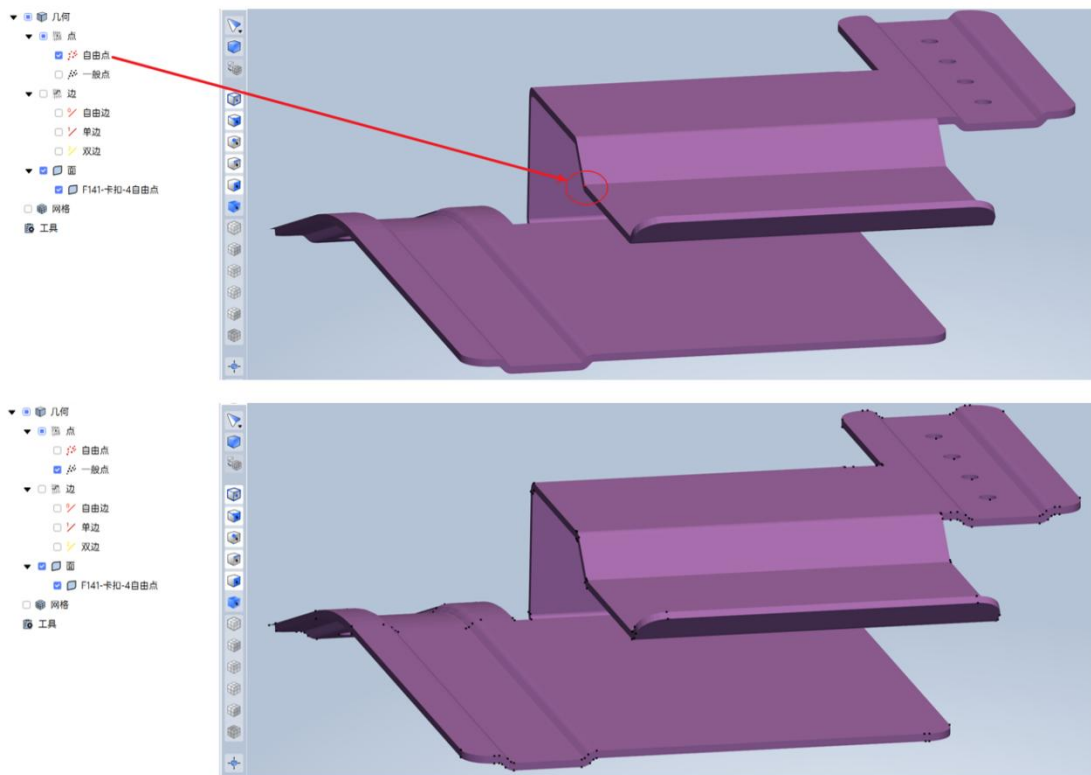


图 1-7 模型树几何点示意图

【边】包括了模型中所有的边，边节点包含以下四种类型：

(1) 自由边：也称为硬边，不在任意面上，可直接删除。该边用红色(255,49,36)进行标识。

(2) 单边：连接到单个面的边，用暗红色标识。暗红色边通常无效，除非作为体内部挡板表面存在。该边用暗红色(209,19,19)进行标识。

(3) 双边：连接到两个面的边，用黄色标识。该边用黄色(255,230,0)进行标识。

(4) 多边：连接到两个以上面的边，用蓝色标识。多个几何体共享一个面将会生成蓝色的边。因此，如果存在多个几何体连接，产生的黄色和蓝色的边都是有效的。该边用蓝色(0,217,255)进行标识。

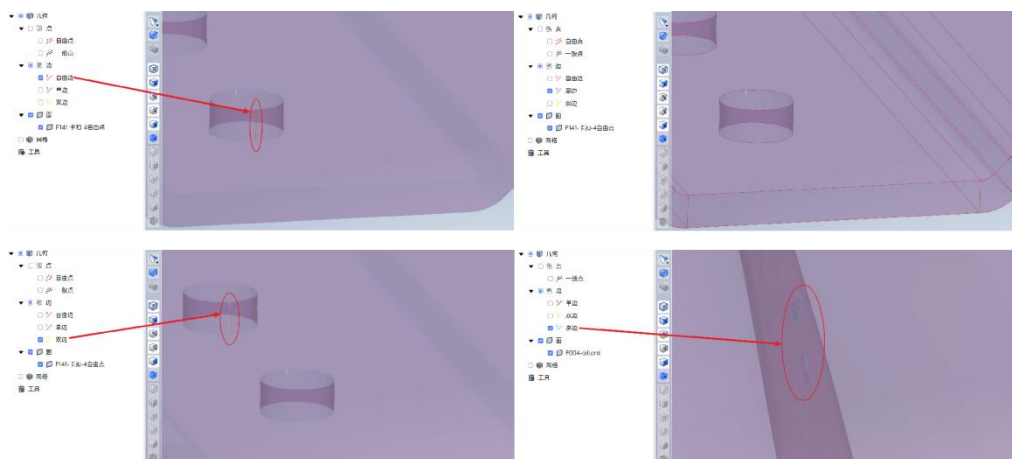


图 1-8 模型树几何点示意图

包括了模型中所有的几何面及几何面分组。在面节点的子节点上点击鼠标右键会弹出下图所示选项：



图 1-9 模型树几何面右键菜单

模型树几何面节点参数含义如下表所示：

表 1-3 模型树几何面节点参数含义

参数	含义
重命名	对选中的面或面组进行重命名。
设置颜色	对选中的面或面组进行颜色设置。
创建体	基于多个相邻的几何面构建封闭的几何实体。
分组	对选中的面和面组移动到新建分组或其它已有分组之中。
包面	对选中的面和面组进行包面。
删除	删除所有的几何数据。
勾选已选对象	选中点击的几何面或面组。
隐藏已选对象	取消选中点击的几何面或面组。

包括了模型中定义的几何体。此节点一般需要通过【几何】-【识别体】或在相关面分组上右键选择【创建体】后才会出现。

在体节点的子节点上点击鼠标右键会弹出以下选项：



重命名
包面
删除
分离体
划分体网格
勾选已选对象
隐藏已选对象

图 1-10 模型树几何面右键菜单

模型树几何体节点参数含义如下表所示：

表 1-4 模型树几何体节点参数含义

参数	含义
重命名	对选中的体进行重命名。
包面	对选中的体进行包面。
删除	删除所有的几何数据。
分离体	将体分组解散，体分组下的各个面或面分组回到面节点下。
划分体网格	在选中的体上进行网格生成。
勾选已选对象	勾选并显示几何体。
隐藏已选对象	取消勾选并隐藏已显示的几何体。

1.4.3.1.2 网格

网格节点包含了所有成功划分网格的对象节点及网格诊断节点。在网格节点上点击鼠标右键，可以弹出网格节点的相关选项，如下图所示：



网格转几何
删除网格
删除体网格
重置面网格
展开
折叠
勾选已选对象
隐藏已选对象

图 1-11 模型树网格节点右键菜单

模型树网格节点参数含义如下表所示：

表 1-5 模型树网格节点参数含义

参数	含义
网格转几何	通过网格的拓扑结构构建出原始的几何形状。
删除网格	删除网格节点以及节点中包含的所有网格。
删除体网格	删除网格节点以及节点中包含的所有体网格。
重置面网格	重置网格节点以及节点中包含的所有面网格。
展开	展开模型树子节点。
折叠	折叠模型树子节点。
勾选已选对象	勾选并显示网格。
隐藏已选对象	取消勾选并隐藏已显示的网格。

除了上述的网格对象节点外，还提供诊断节点方便查看网格质量，以下将介绍诊断节点。

网格对象节点下的每个网格面分组都可以通过每个对象前的复选框来控制其可见性。同时，在网格对象节点的面网格分组上点击鼠标右键选择【设置颜色】，可以对面网格分组进行颜色设置，如下图所示：



图 1-12 模型树诊断节点右键菜单

诊断节点

当网格生成后，执行【网格】-【诊断】-【质量】，在选择相应网格质量范围之后，点击【显示】，会在模型树中生成诊断节点，如下图所示：



图 1-13 网格质量范围设置



图 1-14 模型树诊断节点

诊断节点包括了不同质量范围内的网格，可以通过勾选对象前的复选框来控制对象的可见性。诊断节点可以通过鼠标右键-【删除诊断节点】操作进行删除。如下图所示：



图 1-15 模型树诊断节点右键菜单

密度盒节点

密度盒节点包括长方体密度盒、球密度盒和圆柱密度盒三种类型。执行【网格】-【密度盒】，打开任何一种类型密度盒，在视图区选择几何点、边或面，设置相关参数后点击【创建】。模型树上会生成相应密度盒节点，如下图所示：



图 1-16 模型树密度盒节点

密度盒可以通过勾选节点前的复选框来控制对象的可见性，模型树节点可以通过【右键】-【删除所有】操作进行删除。如下图所示：



图 1-17 模型树密度盒右键菜单

1.4.3.1.3 工具节点

Ribbon 工具位置如下图所示，当采用工具创建网格切平面后，可以在模型树节点下进行显示。



图 1-18 工具各功能概览

以下介绍【网格切平面】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon【工具】，弹出网格切平面的属性页；
- (2) 设置平面、中心位置、法向方向、偏移量、旋转量等参数后；
- (3) 点击应用。

网格切平面

设置平面

X-平面

中心位置

X	0.5	m
Y	0.5	m
Z	0.5	m

法向方向

X	1
Y	0
Z	0

偏移

0 m X Y Z

旋转

0 deg X Y Z

☒ 绘制平面和包围盒 ☒ 半透明

应用

图 1-19 网格切平面功能属性页

工具节点包括了部分工具操作的内容，当几何模型生成后，执行【工具】-【切平面】-【几何】，可以在视图区查看几何切面情况，模型树上不会创建几何切平面节点；

当几何模型生成网格后，执行【工具】-【切平面】-【网格】，设置相关参数后点击【抽取】。模型树上创建网格切面节点，节点包括了抽取的网格切面，可以通过勾选节点前的复选框来控制对象的可见性。网格切面节点可以通过【右键】-【编辑】操作进行参数编辑和设置，也可以通过【右键】-【删除】操作进行删除。

如下图所示：

编辑

删除

勾选已选对象

隐藏已选对象

图 1-20 模型树切平面节点右键菜单

1.4.3.2 分析

分析模型树用于显示可供用户配置的求解设置内容，并为这些配置操作提供快速入口。模型树中包括通用设置、坐标系设置、模型选择、边界条件设置等用户操作节点。用户可以对节点进行折叠、隐藏、右键编辑等操作。如下图所示。



图 1-21 求解设置模型树示意图

1.4.3.2.1 通用

通用（General）节点可以进入通用属性的设置面板，对分析类型，时间依赖、参考压力、浮力模型等进行设置。双击该节点或者通过右键菜单中的【编辑】命令可以打开属性页，对设置参数进行编辑。



图 1-22 通用节点的右键菜单

1.4.3.2.2 坐标系

坐标系节点（Coordinates）包含下级子节点，内容包括全局坐标系节点（Global）和用户自定义坐标系节点。可通过勾选对应节点前的勾选框使其在图形区进行显示或隐藏。坐标系节点和用户自定义坐标系节点的右键菜单内容如下图所示。



图 1-23 坐标系节点在模型树中的示意图

坐标系节点和用户自定义坐标系节点的右键菜单内容如下图所示：

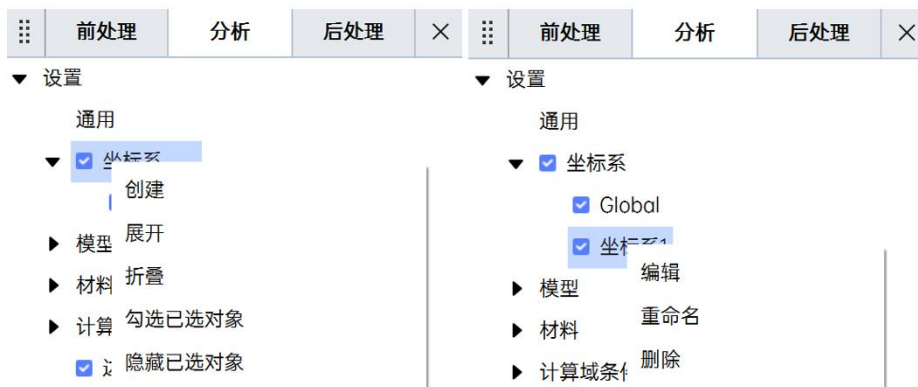


图 1-24 坐标系节点（左）和用户自定义坐标系节点（右）的右键菜单示意图

1.4.3.2.3 模型

【分析】下的模型包含能量模型、粘度模型、多相流模型、辐射模型，以下将介绍上述几种模型。

能量方程

能量方程（Energy）节点打开后，可以进一步设置与能量或传热相关的参数。可通过能量节点右键菜单来打开或关闭能量方程。

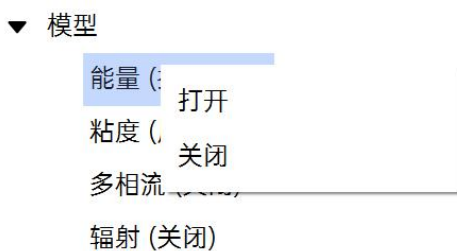


图 1-25 能量方程设置的右键菜单示意图

值得注意的是，以下几种场景能量方程无法关闭：

- (1) 通用设置中求解类型为可压缩；
- (2) 材料的密度设置为理想气体或布辛尼斯克；
- (3) 材料的动力粘度设置为萨瑟兰公式；
- (4) 辐射模型已经打开。

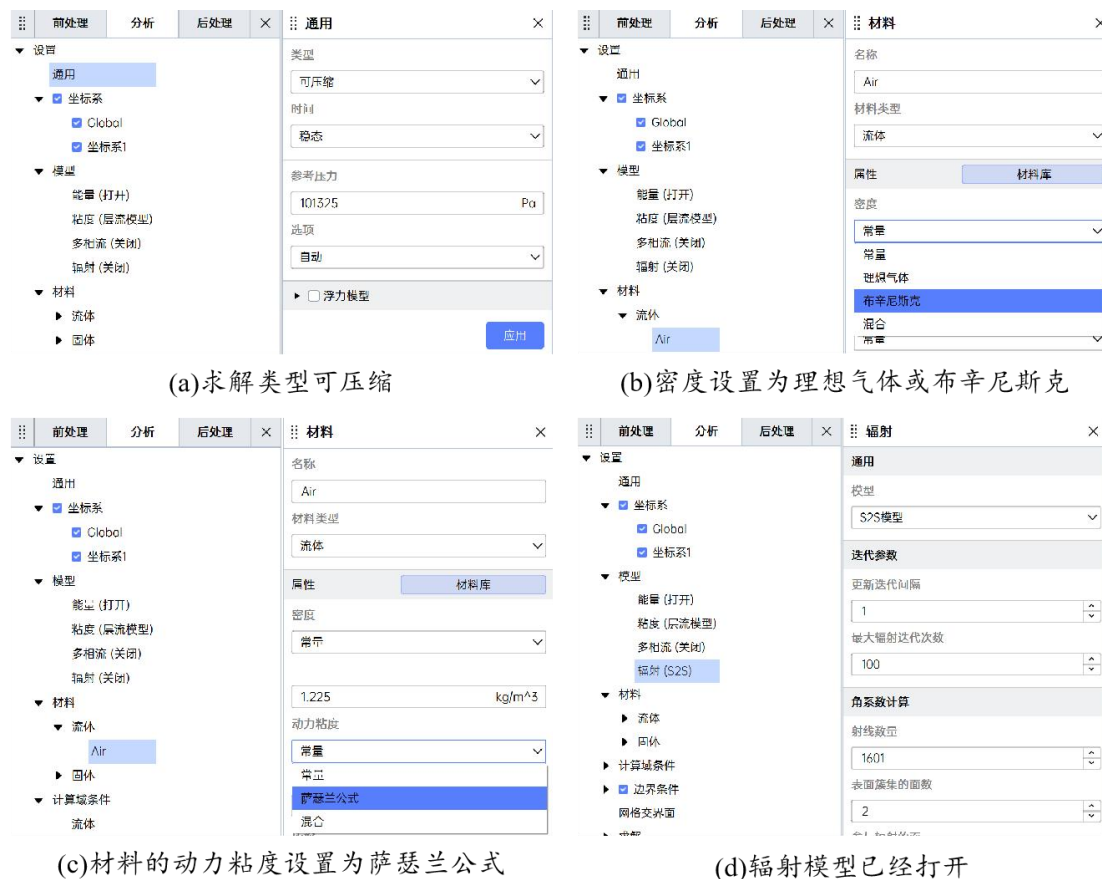


图 1-26 能量方程无法关闭的四种场景

粘度模型

粘度模型设置（Viscous）节点可以对求解计算使用的粘度模型进行详细设置。该节点的右键菜单内容如下图所示。通过该节点的右键菜单【编辑】按钮可以打开其属性页，对设置参数进行编辑。也可以通过右键菜单中的【模型】按钮对粘度模型进行快速切换。当前选取的粘度模型会在模型树中的粘度模型节点的括号内进行展示。

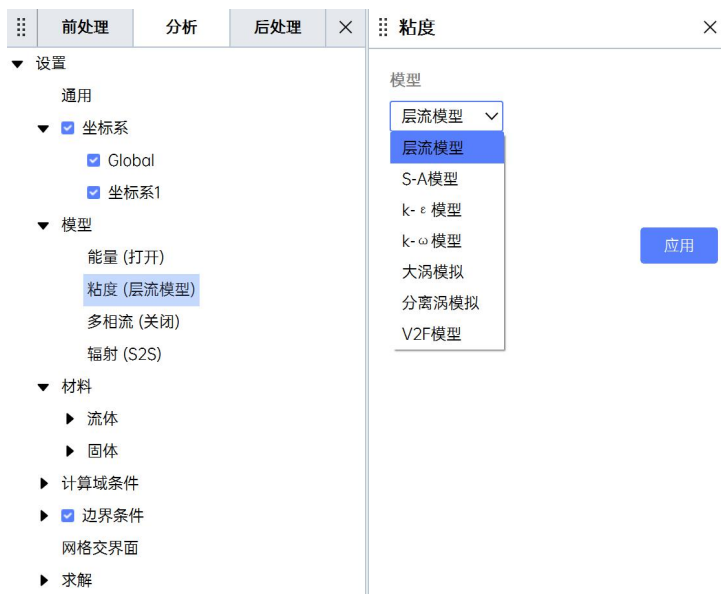


图 1-27 粘度模型设置的右键菜单示意图

多相流模型

多相流模型设置（Multiphase）节点可以对求解计算使用的多相流模型进行详细设置。该节点的右键菜单内容如下图所示。通过该节点的右键菜单【编辑】按钮可以打开其属性页，对设置参数进行编辑。也可以通过右键菜单中的【模型】按钮对多相流模型进行快速切换。当前选取的多相流模型会在模型树中的多相流节点的括号内进行展示。

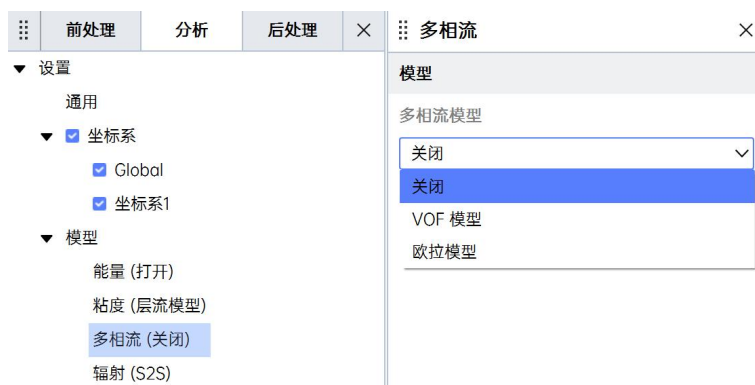


图 1-28 多相流模型设置的右键菜单示意图

辐射模型

辐射模型设置（Radiation）节点可以对求解计算使用的辐射模型进行详细设置。该节点的右键菜单内容如下图所示。通过该节点的右键菜单【编辑】按

钮可以打开其属性页，对设置参数进行编辑。也可以通过右键菜单中的【模型】按钮对辐射模型进行选择或者关闭。当前选取的辐射模型会在模型树中的辐射模型节点的括号内进行展示。

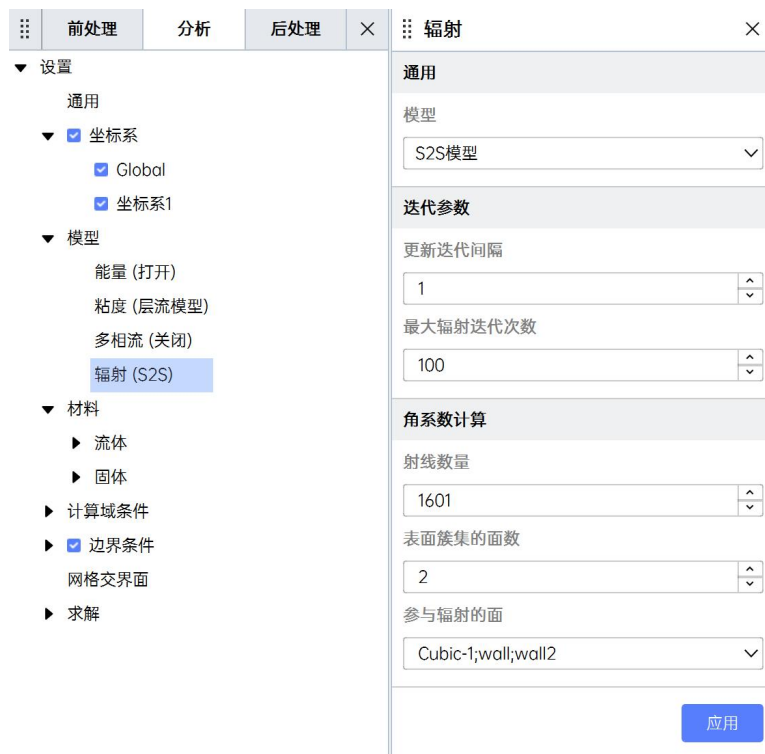


图 1-29 辐射模型设置的右键菜单示意图

1.4.3.2.4 材料

材料设置（Materials）功能的模型树共有三级节点，如下图所示，从上到下依次为材料节点、流体节点、流体材料子节点。固体与流体为同级节点，固体节点下为固体材料子节点。



图 1-30 模型树层级结构

下图中从左至右依次为材料节点、流体/固体节点、材料子节点的右键菜单选项。

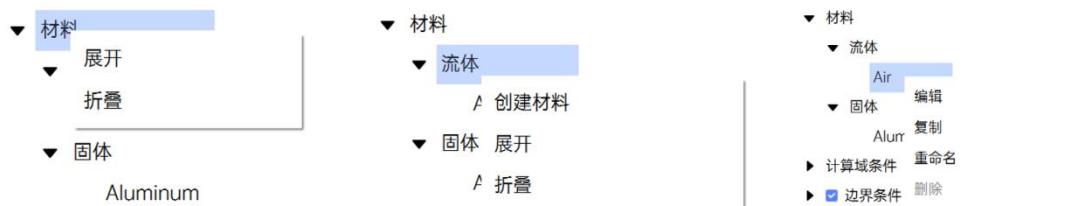


图 1-31 材料设置右键菜单示意图

1.4.3.2.5 计算域条件

计算域包括流体域和固体域。在【计算域条件】节点，可以对计算域的类型及流体域（固体域）的参数进行设置。修改参数值后，点击【应用】按钮，使设置生效。

通过选中单个或多个计算域节点，打开右键菜单，可以将计算域类型设置为流体或者固体。



图 1-32 更改计算域类型

双击单个节点或者通过右键菜单的【编辑】命令，可以打开相应的属性页，对流体域（固体域）的属性参数进行设置。

按住【Ctrl】键，可选中相同域类型下的多个子节点，利用右键【编辑】命令，对选中所有子节点同时进行属性参数设置。



图 1-33 材料设置右键菜单示意图

以下介绍流体域

(1) 流体域属性设置

流体域属性页，包含对材料、运动参考系、源项、多孔介质属性的设置：

流体

名称

Fluid

材料

Air

☐ 运动参考系

— 轴定义 —

选项

坐标轴

旋转轴

Z

☒ 预览轴

☐ 源项

☐ 多孔区域

应用

图 1-34 流体域属性页

注：

- (1) 在计算域设置时，当前流体域的名称不可编辑；
- (2) 当指定当前流体域的材料时，下拉框中的材料列表包括所有已创建的流体材料。当多相流开启时，此项变为相，指定为混合，不可更改。

运动参考系的属性如下图所示：

☐ 运动参考系

— 轴定义 —

选项

坐标轴

旋转轴

Z

☒ 预览轴

图 1-35 运动参考系属性

运动参考系属性设置参数功能如下表所示：

表 1-6 流体域属性设置参数功能

参数	功能
运动参考系	勾选后，运动属性的参数显示并生效，该流体域具备运动属性。在稳态分析时，该项属性及子选项显示并生效；瞬态分析时，该项不显示。
参考坐标系	指定流体域运动的参考坐标系，可选择全局坐标系或者自定义坐标系。
旋转速度	指定流体域旋转的角速度。
轴定义	指定流体域的旋转轴，可选择坐标轴 X/Y/Z 作为旋转轴，也可使用原点和方向来定义旋转轴。
预览轴	勾选后，可在视图区域预览旋转轴。

源项的属性如下图所示：

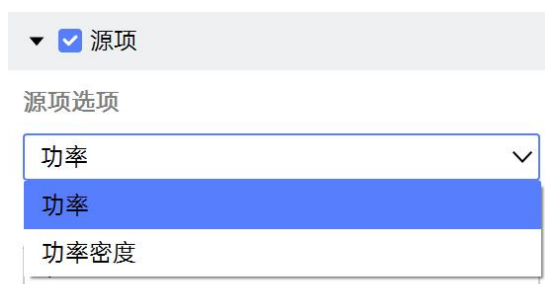


图 1-36 源项属性

注：

(1) 勾选源项后，源项属性的参数显示并生效；当能量方程关闭时，该项属性及子选项不会显示；

(2) 源项选项可指定为功率或者功率密度，并在编辑框中输入功率或者功率密度的数值。

多孔区域的属性如下图所示：

流体

×

参考坐标系

Global

惯性阻力

方向1

0

kg/m^4

方向2

0

kg/m^4

方向3

0

kg/m^4

粘性阻力

方向1

2000

kg/(m^3 s)

方向2

2000

kg/(m^3 s)

方向3

2000

kg/(m^3 s)

流体孔隙率

孔隙率

0

传热设置

有效传热系数

0.026

W/(m K)

湍流普朗特数

0.9

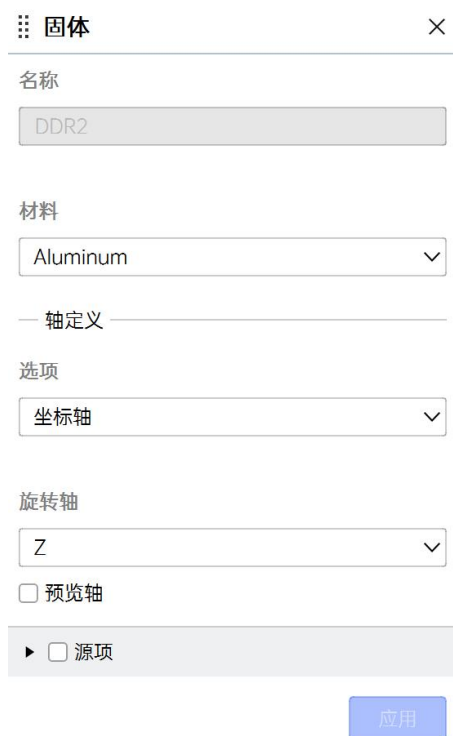
图 1-37 多孔介质属性

多孔区域属性设置参数功能如下表所示：

表 1-7 流体域属性设置参数功能

参数	功能
多孔区域	勾选后，多孔区域属性的参数显示并生效，该流体域具备多孔介质属性。
参考坐标系	指定多孔区域属性的参考坐标系，可选择全局坐标系或者自定义坐标系。
惯性阻力	指定 X/Y/Z 三个方向上的惯性阻力值。
粘性阻力	指定 X/Y/Z 三个方向上的粘性阻力值。
孔隙率	指定当前流体域的孔隙率。
有效传热系数	指定当前流体域的有效热传导系数，当能量方程关闭时，该选项不显示。
湍流普朗特数	指定当前流体域的湍流普朗特数。
湍流设置	当粘度模型为湍流时，该属性显示并生效。提供两种方法：强度和粘度比、强度和长度尺度

固体域属性页设置，包含对材料、源项的设置，下图为固体域属性页：



The image shows a 'Solid Domain Properties' dialog box. It has a title bar with a list icon, the text '固体' (Solid), and a close button 'X'. The dialog contains several fields: '名称' (Name) with a text box containing 'DDR2'; '材料' (Material) with a dropdown menu showing 'Aluminum'; '轴定义' (Axis Definition) with a section header; '选项' (Options) with a dropdown menu showing '坐标轴' (Coordinate Axis); '旋转轴' (Rotation Axis) with a dropdown menu showing 'Z'; a checkbox for '预览轴' (Preview Axis); and a checkbox for '源项' (Source Term) which is currently unchecked. At the bottom right is an '应用' (Apply) button.

图 1-38 固体域属性页

注：

- (1) 当前固体域的名称，在计算域设置时不可编辑；
- (2) 指定当前固体域的材料时，下拉框中的材料列表包括所有已创建的固体材料；
- (3) 勾选源项后，源项属性的参数显示并生效。当能量方程关闭时，该项属性及子选项不会显示；
- (4) 源项选项可指定为功率或者功率密度，并在编辑框中输入功率或者功率密度的数值。

多选计算域设置

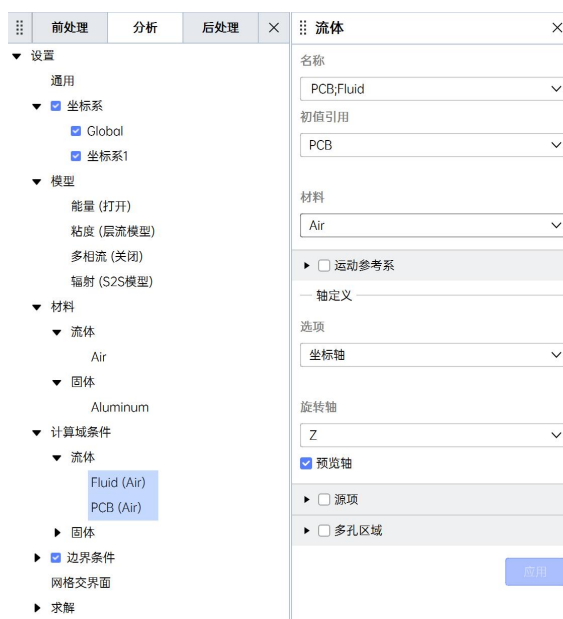


图 1-39 多选计算域编辑面板

多选流体域（或固体域）进行编辑时，除单域编辑时所涉及的参数外，还包含以下参数。

注：

- (1) 计算域中至少要有一个流体域；
- (2) 若当前计算域中只有一个流体域，运动参考系、源项和多孔介质均不可应用；
- (3) 固体域节点，不可应用运动参考系。

1.4.3.2.6 边界条件

边界条件包含了流体仿真中常用的边界条件类型，如下图所示

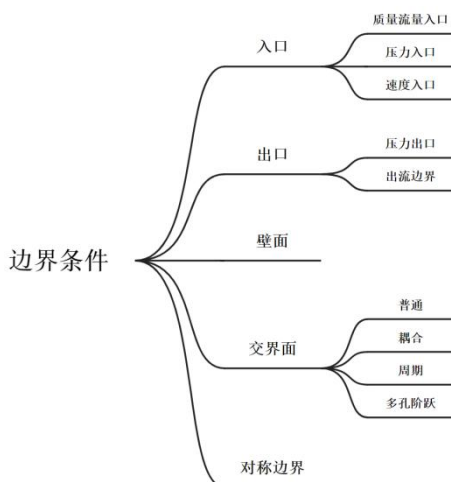


图 1-40 支持的边界条件类型

所有面的边界条件默认类型从网格文件中获取，若网格文件中缺少相关类型标记或不在求解器可识别的边界条件类型中，则默认设置为【壁面】类型。边界条件类型的更改，可通过对模型树右键执行，边界面右键菜单功能如下图所示。



图 1-41 边界面右键菜单功能示意图

边界条件右键菜单功能如下表所示：

表 1-8 流体域属性设置参数功能

参数	功能
编辑	双击单个子节点或者通过右键菜单的【编辑】命令，可以打开相应的属性页，对边界条件的属性参数进行设置。 按住【Ctrl】键，可选中多个相同类型的子节点，利用【编辑】命令，对选中所有子节点同时进行属性参数设置。
类型	对选中的边界面进行边界类型切换，包括交界面，质量流量入口等七种类型。 按住【Ctrl】键，可选中多个子节点，利用【类型】命令，对选中所有子节点同时进行类型切换。
视图	对选中的边界面进行视图显示设置，包括面、边框和曲面+边三种模式。
不透明度	对选中的边界面进行不透明度调节。
显示	显示选中的边界面。
隐藏	隐藏选中的边界面。

交界面

将边界面设置为交界面类型，以便利用【网格交界面】功能将边界面配对创建耦合面、周期面、多孔介质挡板等边界约束条件。

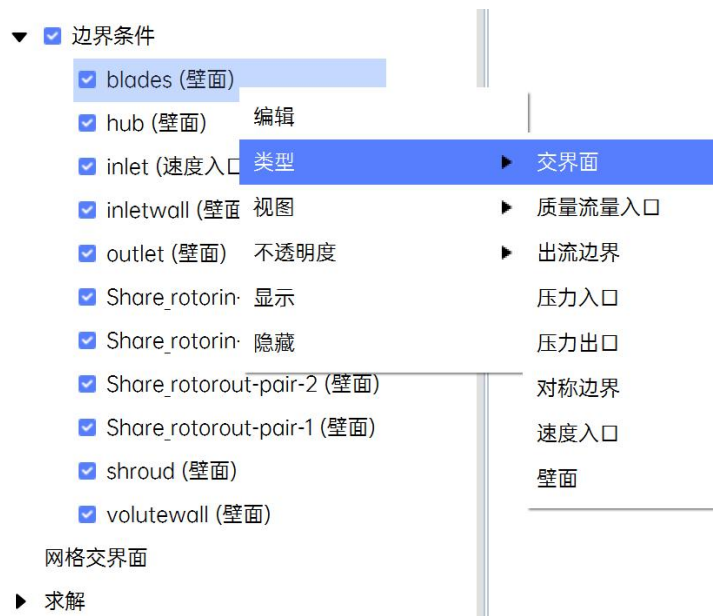


图 1-42 通过边界面右键菜单设定为交界面

当共享面两侧材料均为同一流体时，则该共享面为普通内部面，可通过右键菜单进行类型切换。当共享面两侧分别为不同材料的流体，或分别为流体和固体时，则该共享面为耦合壁面，此时该共享面右键菜单类型切换选项置灰。

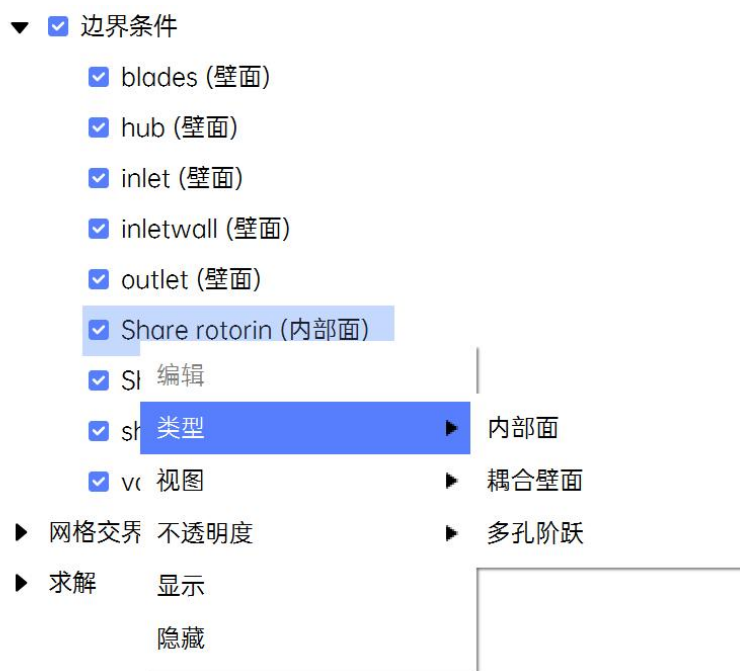


图 1-43 共享网格面边界右键菜单示意图

质量流量入口

质量流量入口边界类型，用于定义流动入口的质量流率、温度及其他标量属性，常用于质量流量已知但是压力未知的场景。既适用于可压流，也适用于

不可压流。质量流量入口边界设置属性页如下图所示。

质量流量入口

名称
inlet

▼ 动量

质量流率
0 kg/s

方向定义
垂直于边界

▼ 湍流

定义方式
强度和粘性比

湍流强度
5 %

湍流粘性比
10

▼ 热量

温度
298.15 K

应用

图 1-44 质量流量入口边界设置属性页（VOF 多相流）

质量流量入口

名称
inlet

相
混合

▼ 动量

方向定义
垂直于边界

▼ 湍流

定义方式
强度和粘性比

湍流强度
5 %

湍流粘性比
10

应用

图 1-45 质量流量入口边界设置属性页（欧拉多相流）

所需设置参数的数量、种类，与能量方程、多相流模型的开启/关闭以及不

同湍流模型的选取有关，质量流量参数的应用场景及主要含义或功能如下表所示：

表 1-9 流体域属性设置参数功能

参数	功能
/	关闭能量方程、多相流、湍流模型时
名称	当前边界面的名称。
方向指定	选择质量流率的方向指定，包含选项：垂直于边界。
质量流率	设置质量流率值。
/	打开多相流时
相	选择各相，包含选项：混合、相 1、相 2 等。
/	打开湍流模型时，选择不同湍流模型时，只需设置其中部分项参数。
湍动能	设置 Turbulent Kinetic Energy 的值。
湍流耗散率	设置 Turbulent Dissipation Rate 的值。
湍流强度	设置 Turbulent Intensity 的值。
湍流粘度比	设置 Turbulent Viscosity Ratio 的值。
长度尺度	设置 Length Scale 的值。
比耗散率	设置 Specific Dissipation Rate 的值。
修正湍流粘度	设置 Modified Turbulent Viscosity 的值。
温度	打开能量方程时，设置温度值。

出流边界

将边界面设置为出流边界类型，用于指定出口流量的百分比，该功能属性页如下图所示：

图 1-46 出流边界属性页

该功能支持的设置参数如下：

【名称】：当前边界面的名称；

【出流权重】：出口流量比率权重系数；

压力入口

压力入口边界类型，用于定义流动入口的压力、温度及其他标量属性，可用于压力已知但是流动速度或流动速率未知的场景。既适用于可压流，也适用于不可压流。压力入口边界设置属性页如下图所示。

图 1-47 压力入口边界设置属性页示意图

所需设置参数的数量、种类，与能量方程、多相流模型的开启/关闭以及不同湍流模型的选取有关，各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 1-10 压力出口属性设置参数功能

参数	功能
/	关闭能量方程、多相流、湍流模型时
名称	当前边界面的名称。
压力定义	选择设置压力的类型，包含选项：静压、总压。
静压	设置静压的表压值。
总压	设置总压的表压值。
渐变步数	设置求解计算时压力逐步达到压力值的所需渐变步数。
/	打开多相流时
相	选择各相，包含选项：混合、相 1、相 2 等。
体积分数	设置分相的体积分数。
/	打开湍流模型，选择不同湍流模型时，只需设置其中部分项参数
湍流动能	设置湍动能 Turbulent Kinetic Energy 的值。
湍流耗散率	设置湍流耗散率 Turbulent Dissipation Rate 的值。
湍流强度	设置湍流强度 Turbulent Intensity 的值。
湍流粘性比	设置湍流粘性比 Turbulent Viscosity Ratio 的值。

长度尺度	设置长度尺度 Length Scale 的值。
比耗散率	设置比耗散率 Specific Dissipation Rate 的值。
修正湍流粘度	设置修正湍流粘度 Modified Turbulent Viscosity 的值。
/	打开能量方程时
温度	设置各相的温度值。

压力出口

压力出口边界类型，用于定义流动出口的静压及回流参数。值得注意的是，静压值的指定只适用于亚声速流动，若当地流动变为超声速，此时压力需从内部流动中推断。压力出口边界设置属性页如下图所示。

图 1-48 压力出口边界设置属性页示意图

所需设置参数的数量、种类，与能量方程、多相流模型的开启/关闭以及不同湍流模型的选取有关，各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 1-11 压力出口属性设置参数功能

参数	功能
/	关闭能量方程、多相流、湍流模型时
名称	当前边界的名称。
回流压力	选择设置压力的类型，包含选项：静压、总压。
静压	设置静压的表压值。
/	打开多相流时
相	选择各相，包含选项：混合、相 1、相 2 等；
回流体积分数	设置回流时分相的体积分数。
/	打开湍流模型时，选择不同湍流模型时，只需设置其中部分项参数
湍流动能	设置湍流动能 Turbulent Kinetic Energy 的值。

湍流耗散率	设置湍流耗散率 Turbulent Dissipation Rate 的值。
湍流强度	设置湍流强度 Turbulent Intensity 的值。
湍流粘性比	设置湍流粘性比 Turbulent Viscosity Ratio 的值。
长度尺度	设置长度尺度 Length Scale 的值。
比耗散率	设置比耗散率 Specific Dissipation Rate 的值。
修正湍流粘度	设置修正湍流粘度 Modified Turbulent Viscosity 的值。
零梯度	设置湍流参数为零梯度 Zero Gradient。
/	打开能量方程时
回流温度	设置回流时各相的温度值

注：当计算中有回流时，设置的“回流压力”生效：

(1) 当“回流压力”选择“静压”时，直接将 P_s （出口静压值）作为静压值作为回流那部分区域的压力边界条件；

(2) 当“回流压力”选择“总压”时，从回流区域邻近网格单元的速度值计算动压 P_d ，将 $P_d + P_s$ 得到的总压施加到回流那部分的区域作为压力边界条件。

对称边界

将边界面设置为对称面类型，施加对称边界约束条件。对称边界条件适用于几何和物理场对称的场景，该边界上无需再定义其他边界条件内容。

速度入口

速度入口边界类型，用于定义流动入口的速度、温度及其他标量属性，可用于速度已知但是流量或入口压力未知的场景。既适用于可压流，也适用于不可压流。速度入口边界设置属性页的示意图如下图所示。

速度入口

名称 inlet

相 混合

▼ 湍流

定义方式 强度和粘性比

湍流强度 5 %

湍流粘性比 10

应用

速度入口

名称 inlet

相 Phase2

▼ 动量

方向定义 垂直于边界

流向速度 0 m/s

▼ 热量

温度 298.15 K

▼ 多相流

体积分数 0

应用

图 1-49 速度入口设置的属性页的示意图

所需设置参数的数量、种类，与能量方程、多相流模型的开启/关闭以及不同湍流模型的选取有关，各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 1-12 压力出口属性设置参数功能

参数	功能
/	关闭能量方程、多相流、湍流模型时
名称	当前边界的名称。
方向定义	选择设置速度方向的类型，包含选项：垂直于边界、笛卡尔分量。
法向速度	设置来流的速度，仅当方向规范选择垂直于边界时可进行配置。
参考坐标系	设置来流速度分量的参考坐标系，仅当方向规范选择笛卡尔坐标系分量时可进行配置，包含选项：全局坐标系、用户的自定义坐标系。
X/Y/Z 分量	设置来流速度在 X/Y/Z 三个方向上的分量，仅当方向规范选择笛卡尔坐标系分量时可进行配置。
/	打开多相流时
相	选择各相，包含选项：混合、相 1、相 2 等。
体积分数	设置分相的体积分数。
/	打开湍流模型时，选择不同湍流模型时，只需设置其中部分项参数。
湍流动能	设置湍流动能 Turbulent Kinetic Energy 的值
湍流耗散率	设置湍流耗散率 Turbulent Dissipation Rate 的值
湍流强度	设置湍流强度 Turbulent Intensity 的值。
湍流粘度比	设置湍流粘度比 Turbulent Viscosity Ratio 的值。
长度尺度	设置长度尺度 Length Scale 的值。
比耗散率	设置比耗散率 Specific Dissipation Rate 的值。
修正湍流粘度	设置修正湍流粘度 Modified Turbulent Viscosity 的值
/	打开能量方程时。
温度	设置速度进口的温度值

壁面

壁面边界类型，用于定义壁面的运动类型、热通量及其他标量属性。壁面边界设置属性页如下图所示。

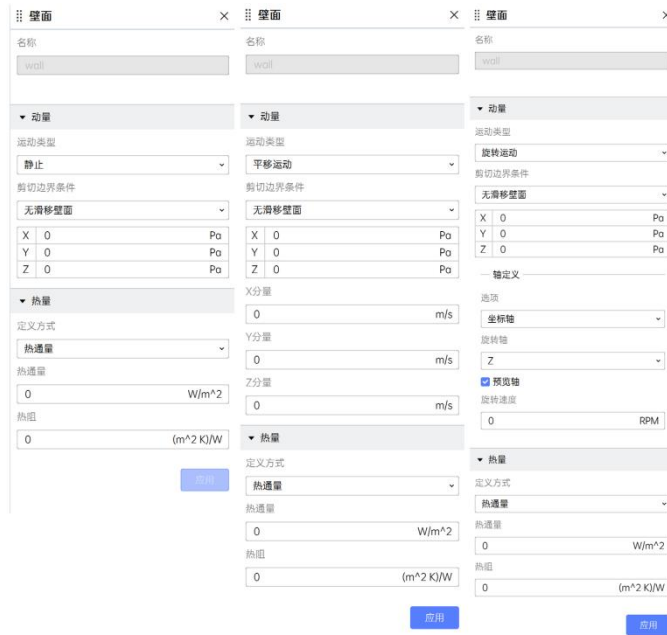


图 1-50 壁面边界设置属性页示意图

所需设置参数的数量、种类，与能量方程、多相流模型的开启/关闭以及不同湍流模型的选取有关，各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 1-13 压力出口属性设置参数功能

参数	功能
/	关闭能量方程、多相流，计算域为固体时
名称	当前边界面的名称。
/	关闭能量方程、多相流，计算域为流体时
运动类型	指定壁面的运动类型，包含选项：静止、平移、旋转。
剪切边界类型	指定壁面的剪切条件，包含选项：滑移壁面、无滑移壁面。
参考坐标系	选择坐标系，包含选项：全局坐标系、自定义坐标系。
X/Y/Z 分量	定义壁面平移速度的 X/Y/Z 方向分量。
选项	选择旋转壁面的旋转轴定义方法，包含：坐标轴、轴原点和方向。
旋转轴	选择坐标系的某个轴向，包含：X、Y、Z。
预览轴	勾选后在视图区显示旋转轴方向，支持在视图区对预览的旋转轴进行交互，不勾选视图区不会显示旋转轴方向。
旋转速度	定义壁面旋转速度值。
中心位置	【选项】选择轴原点和方向时新增 X、Y、Z 输入框，定义旋转轴的原点位置，分别输入 X、Y、Z 的坐标值。
方向	【选项】选择轴原点和方向时新增 X、Y、Z 输入框，定义旋转轴的方向，分别输入 X、Y、Z 方向分量值。
/	打开 VOF 多相流，勾选壁面黏附
【Phase1->Phase2】	Phase1->Phase2 与 VOF 多相流中相的配对一一对应，右侧输入框用于设定接触角度
/	打开能量方程时。
定义方式	指定壁面热边界条件类型，包含选项：热通量、温度、对流、耦合。

热通量	设置热通量值。
热阻	设置热阻值。
温度	设置温度值。
换热系数	设置换热系数值。
环境温度	设置环境温度值。
耦合对象	与当前边界耦合的边界面。
/	打开辐射模型时
发射率	描述物体对热辐射能量的发射能力，取值范围：[0,1]。
表面簇集的面数	在簇集结构中，每个簇内部平面结构的数。

1.4.3.2.7 网络交界面

网络交界面设置主要用于配对设置耦合面、周期面、多孔介质挡板等边界面约束条件，以满足更多仿真应用场景需求，设置对象为边界类型为【交界面】的边界面。因此，在设置交界面之前，应在【边界条件】中将目标边界面的边界类型设置为【交界面】，然后才对【网络交界面】节点单击右键【创建】交界面。



图 1-51 设置边界面类型为交界面操作示意图



图 1-52 创建网络交界面边界操作示意图

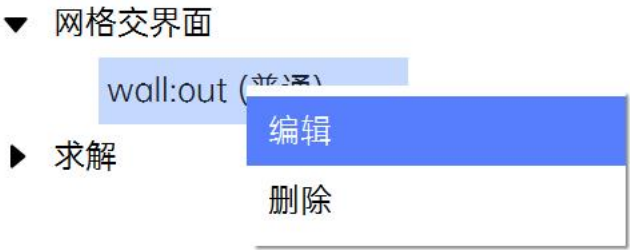


图 1-53 手动创建的网格交界面节点右键菜单示意图

若网格中带有共享面，则网格交界面节点将自动生成，无需上述操作。

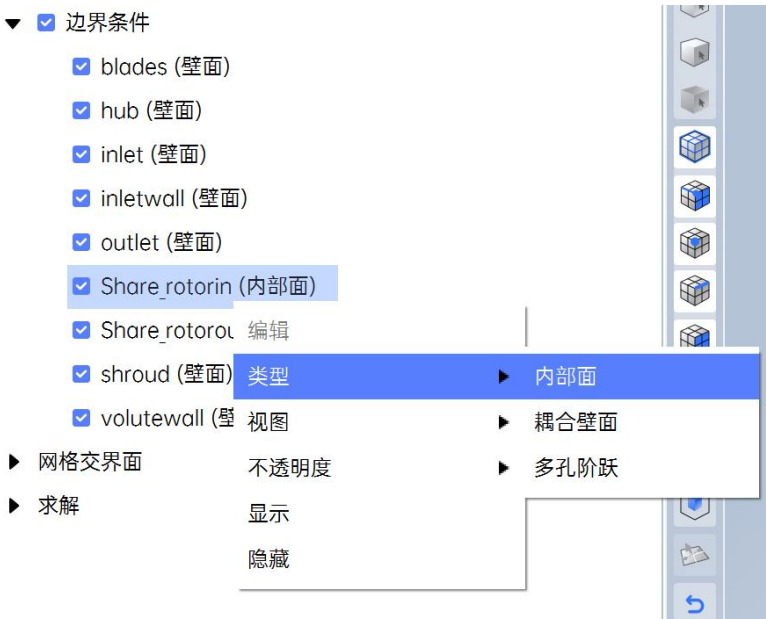


图 1-54 网格共享面的边界节点及其配对网格交界面节点的右键菜单示意图

交界面设置的属性页如下图所示，提供【普通】、【耦合】、【周期】、【多孔阶跃】四种交界面类型可以进行相关设置。

⋮ 网格交界面 ×

▼ 交界面区域

接触侧1

接触侧2

交界面选项

☒ 普通

☐ 耦合

☐ 周期

☐ 多孔阶跃

容差

0.01

☐ 部分匹配

创建

图 1-55 交界面设置属性页示意图（普通类型及耦合类型）

⋮ 网格交界面 ×

▼ 交界面区域

接触侧1

接触侧2

交界面选项

☒ 普通

☐ 耦合

☒ 周期

☐ 多孔阶跃

热阻

0 (m^2 K)/W

容差

0.01

☐ 部分匹配

创建

图 1-56 交界面设置属性页示意图（周期类型）

⋮ 网格交界面 ×

▼ 交界面区域

接触侧1

接触侧2

交界面选项

☒ 普通

☐ 耦合

☐ 周期

☒ 多孔阶跃

热阻

0 (m² K)/W

容差

0.01

☐ 部分匹配

创建

图 1-57 交界面设置属性页示意图（多孔阶跃类型）

各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 1-14 交界面属性设置参数功能

参数	功能
/	耦合面参数
热阻	设置耦合面间的热阻。
/	周期面参数
类型	选择周期方式，平移或旋转。
X/Y/Z 偏移量	设置周期面间 X/Y/Z 方向偏移量，仅适用于平移周期方式。
偏移角度	设置周期面间旋转角度，仅适用于旋转周期方式。
参考坐标系	设置周期面时采用的坐标系，支持旋转周期面时自定义旋转轴。
轴定义-选项	设置旋转周期边界的旋转轴设定方法，可选【坐标轴】或【轴原点和方向】两种类型，设定为轴原点和方向时，需要手动输入原点坐标和方向矢量。
轴定义-旋转轴	设置旋转周期边界的旋转轴，可选设定的坐标轴的 X 或 Y 或 Z 轴。
轴定义-预览轴	设置旋转周期边界的旋转轴图元是否在视图区中预览。
/	多孔阶跃参数
惯性阻力	设置多孔介质的惯性阻力。
粘性阻力	设置多孔介质的粘性阻力。
面孔隙率	设置面孔隙率。

注：

（1）周期面的偏移量、偏移角度设置具有正负性，需要注意正负方向，正负设置错误会导致无法计算；

（2）若两几何面存在公共边时，如下图所示，求解器暂不支持该场景下旋

转周期面边界类型。

1.4.3.2.8 求解

方法

方法（Methods）功能可以对压力-速度耦合算法和各项参数的空间离散化方法进行设置。通过该节点的右键菜单【编辑】按钮可以打开其属性页，对设置参数进行编辑。



图 1-58 方法设置节点右键菜单

控制

控制（Controls）功能可以对迭代求解过程中压力、动量、湍流、能量等参数的亚松弛因子进行设置，同时可以设置求解的方程及方程中部分参数的求解约束条件。通过该节点的右键菜单【编辑】按钮可以打开其属性页，对设置参数进行编辑。

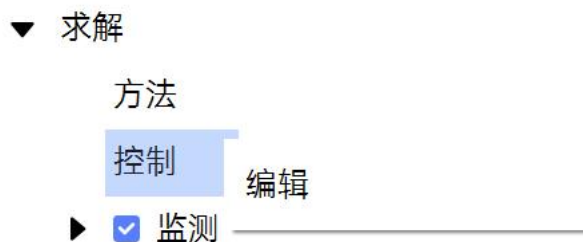


图 1-59 控制设置节点右键菜单

监测

监测功能包含 2 个子功能：残差和监测。

求解设置模型树默认显示实时监测节点（父节点）、残差节点（子节点）和自定义监测节点（子节点）。在属性页创建监测点时，模型树新增相应节点。

模型树层级结构如下图所示，从上到下依次为监测节点（父节点）、残差

节点（子节点），自定义监测节点（子节点）。



图 1-60 模型树层级结构

下图从左至右依次为监测节点（父节点）、残差节点（子节点），自定义监测节点（子节点）的右键菜单。

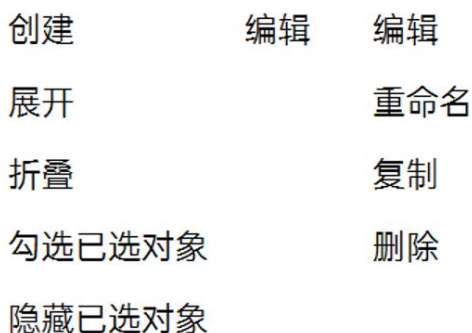


图 1-61 监测功能右键菜单

初始化

求解设置模型树默认显示初始化节点，该节点右键菜单如图 3-65 所示，点击编辑激活全局初始化属性页。



图 1-62 初始化右键菜单

计算

在【计算】节点，可对计算步数、结果数据保存间隔、续算等进行设置。双击该节点或者通过鼠标右键菜单中的【编辑】命令可打开属性页进行设置。设置完成后，可通过【计算】节点右键菜单中的【运行求解器】命令，来启动求解计算。

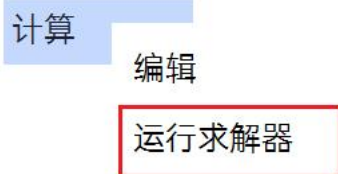


图 1-63 计算设置的右键菜单

注：当前仅支持求解设置，不支持求解计算。

结果

结果模型树包含【案例】、【用户定义部分】、【自定义变量】、【全局图例】四个子节点。

1.4.3.3 后处理

结果模型树包含【案例】、【用户定义部分】、【自定义变量】、【全局图例】四个子节点。

1.4.3.3.1 案例

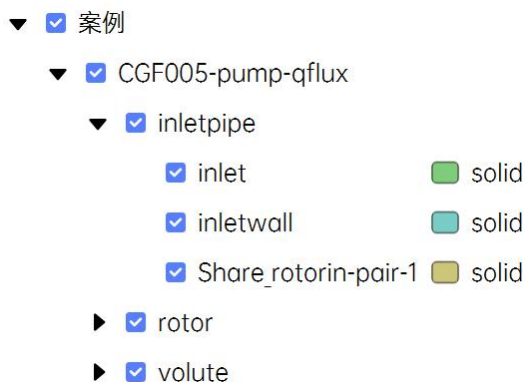


图 1-64 案例节点及其子节点

注：后处理采取模型树右键【加载结果】的方式进行加载求解结果文件，若是瞬态求解结果文件，则采用“-*.cgns”。

案例节点的右键菜单内容如下图所示：

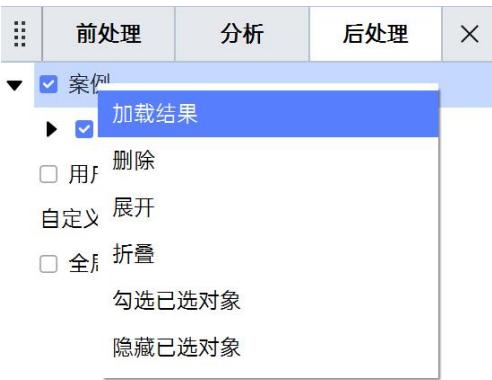


图 1-65 案例节点的右键菜单

各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 1-15 后处理模型树右键菜单参数功能

参数	功能
删除	删除案例节点下全部的已加载结果。
展开	展开全部子节点。
折叠	折叠全部子节点。
勾选已选对象	使案例节点下全部的子节点对象在视图区中显示。
隐藏已选对象	使案例节点下全部的子节点对象在视图区中隐藏。
加载结果	若打开带有结果的项目文件时，没有选择加载结果，则案例节点右键还将有一个【加载结果】按钮，点击该按钮可使项目文件目录中的结果文件加载到软件中。加载结束后，该图标和按键将消失。

文件名称节点

文件名称节点即项目文件的名称，该节点的右键菜单内容如下图所示：



图 1-66 文件名称节点右键菜单

各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 1-16 文件名称节点下右键菜单参数功能

参数	功能
展开	展开全部子节点。

折叠	折叠全部子节点
勾选已选对象	使文件名称节点下全部的子节点对象在视图区中显示。
隐藏已选对象	使文件名称节点下全部的子节点对象在视图区中隐藏。

边节点

边节点下包含双边节点和多边节点，该节点及其子节点仅在项目文件计算前有几何的场景下才出现。

体区域节点

体区域节点的右键菜单内容如下图所示：



图 1-67 体区域节点的右键菜单

各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 1-17 体区域节点右键菜单参数功能

参数	功能
展开	展开全部子节点。
折叠	折叠全部子节点。
勾选已选对象	使该体区域节点下全部的子节点对象在视图区中显示。
隐藏已选对象	使该体区域节点下全部的子节点对象在视图区中隐藏。

边界节点

边界节点的右键菜单内容如下图所示：

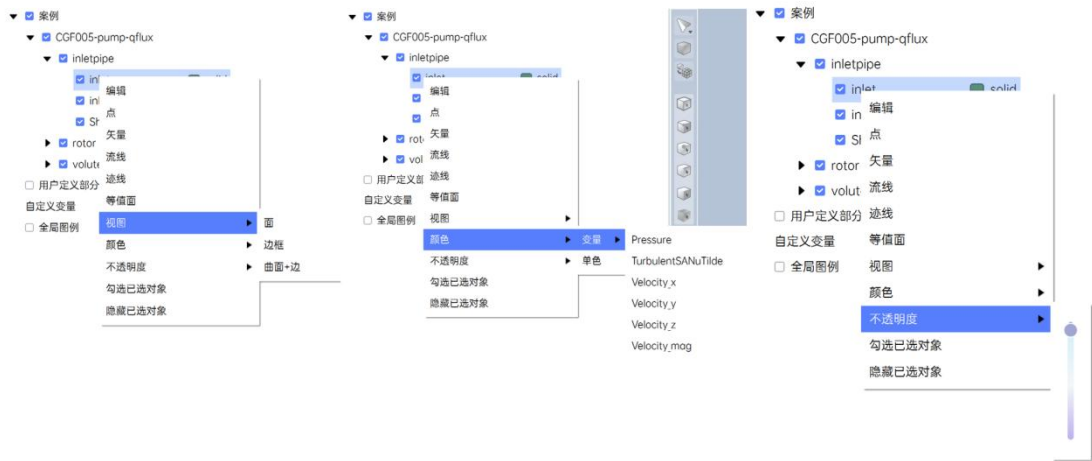


图 1-68 边界节点右键菜单

各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 1-18 边界节点右键菜单参数功能

参数	功能
编辑	设置该节点的着色变量。
点	点击后进入点创建属性页，该节点被读入属性页。
矢量	点击后进入矢量图创建属性页，该节点被读入属性页。
流线	点击后进入流线图创建属性页，该节点被读入属性页。
迹线	点击后进入迹线图创建属性页，该节点被读入属性页。
等值面	点击后进入等值面图创建属性页，该节点被读入属性页。
视图	选择边界的视图显示模式，点击后进入子菜单，包含：面，边框，曲面加边。
颜色	选择着色变量或实体色，点击后进入子菜单，包含：变量、实体色。点击变量时出现子菜单，变量内容与求解的模型设置相关，点击实体色时弹出颜色选择的窗口。
不透明度	点击后可设置该边界面的显示不透明度。
勾选已选对象	点击后在视图区显示该边界面
隐藏已选对象	点击后在视图区隐藏该边界面。

1.4.3.3.2 用户定义部分

用户定义部分节点下包括了因后处理操作而生成的节点，包括点、线、切面、切割、矢量、流线、等值面、图表。其示意图如下图所示。



图 1-69 用户定义部分节点及其子节点示意图

用户定义部分节点的右键菜单示意图如下图所示：



图 1-70 用户定义部分节点右键菜单

各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 1-19 用户定义部分节点右键菜单参数功能

参数	功能
点	点击后进入创建点的属性页。
线	点击后进入创建线的属性页。
切片	点击后进入创建切片的属性页。
切割	点击后进入创建切割的属性页。
矢量	点击后进入创建矢量图的属性页。
流线	点击后进入创建流线的属性页。
迹线	点击后进入创建迹线的属性页。

等值面	点击后进入创建等值面的属性页。
图表	点击后进入创建图表的属性页。
展开	展开全部子节点。
折叠	折叠全部子节点。
勾选已选对象	使文件名称节点下全部的子节点对象在视图区中显示。
隐藏已选对象	使文件名称节点下全部的子节点对象在视图区中隐藏。

位置类子节点

点、线、切片、切割、等值面这种位置类的节点的右键菜单示意图如下图所示：

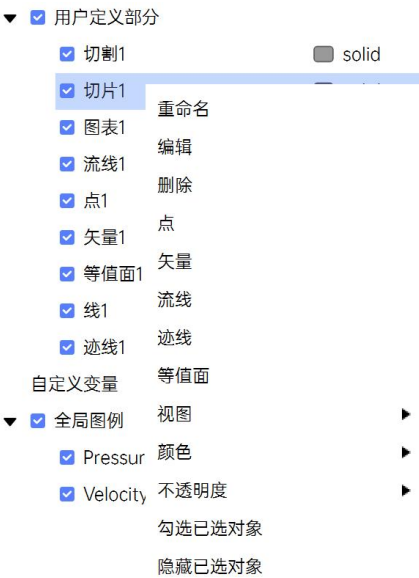


图 1-71 用户定义部分下位置类子节点的右键菜单

各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 1-20 用户定义部分位置类子节点右键菜单参数功能

参数	功能
重命名	重新设置该节点的名称。
编辑	点击后激活编辑该节点的属性页。
删除	点击后删除该节点。
点	点击后进入创建点的属性页，该节点被读入属性页。仅当仅当右键对象是线、切片、切割、等值面时，右键菜单中才有该选项。
矢量	点击后进入矢量图创建的属性页，该节点被读入属性页。
流线	点击后进入流线图创建的属性页，该节点被读入属性页。
迹线	点击后进入迹线图创建的属性页，该节点被读入属性页。
等值面	点击后进入等值面（线）创建的属性页。仅当仅当右键对象是切片、等值面时，右键菜单中才有该选项。
图表	点击后进入图表创建的属性页。仅当右键对象是线时，右键菜单中才有该选项。

视图	选择该节点的视图显示模式，点击后进入子菜单，包含：面、边框、曲面+边。
颜色	选择着色变量或实体色，点击后进入子菜单，包含：变量、实体色，点击变量出现子菜单，变量内容与求解的模型设置相关。
不透明度	点击后可设置该节点的显示不透明度。
勾选已选对象	点击后在视图区显示该节点。
隐藏已选对象	点击后在视图区隐藏该节点

矢量

矢量节点的右键菜单示意图如下图所示：

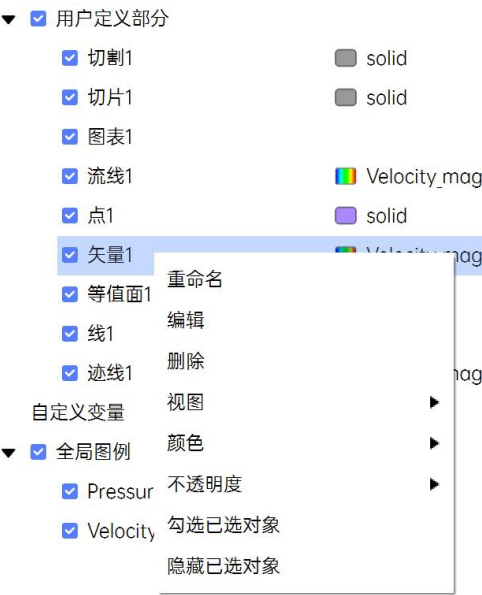


图 1-72 矢量节点的右键菜单

各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 1-21 矢量节点右键菜单参数功能

参数	功能
重命名	重新设置矢量图的名称。
编辑	点击后激活编辑该矢量图的属性页。
删除	点击后删除该矢量图。
视图	选择该矢量图的视图显示模式，点击后进入子菜单，包含：面、边框、曲面+边。
颜色	选择矢量图着色变量或实体色，点击后进入子菜单，包含：变量、实体色，点击变量出现子菜单，变量内容与求解的模型设置相关。
不透明度	点击后可设置该矢量图的显示不透明度。
勾选已选对象	点击后在视图区显示该矢量图。
隐藏已选对象	点击后在视图区隐藏该矢量图。

流线

流线节点的右键菜单示意图如下图所示：



图 1-73 流线节点的右键菜单

各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 1-22 流线节点右键菜单参数功能

参数	功能
重命名	重新设置该流线的名称。
编辑	点击后激活编辑该流线的属性页。
删除	点击后删除流线图。
颜色	选择流线图着色变量或实体色，点击后进入子菜单，包含：变量、实体色，点击变量出现子菜单，变量内容与求解的模型设置相关。
不透明度	点击后可设置该流线的显示不透明度。
勾选已选对象	点击后在视图区显示该流线图。
隐藏已选对象	点击后在视图区隐藏该流线图。

迹线

迹线节点的右键菜单示意图如下图所示。

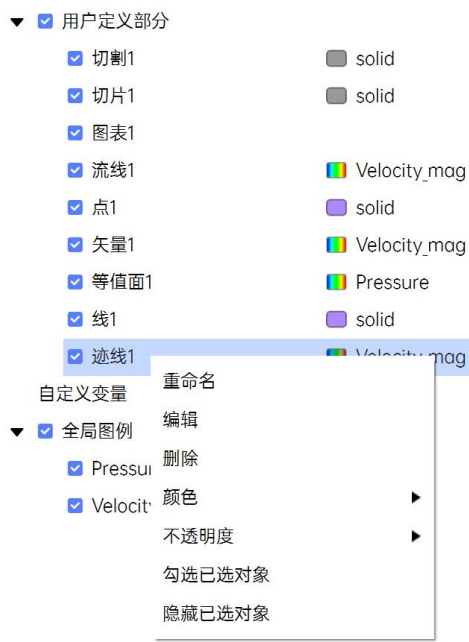


图 1-74 迹线节点的右键菜单

各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 1-23 迹线节点右键菜单参数功能

参数	功能
重命名	重新设置该迹线图的名称。
编辑	点击后激活编辑该迹线图的属性页。
删除	点击后删除迹线图。
颜色	选择迹线图着色变量或实体色，点击后进入子菜单，包含：变量、实体色，点击变量出现子菜单，变量内容与求解的模型设置相关。
不透明度	点击后可设置该迹线图的显示不透明度。
勾选已选对象	点击后在视图区显示该迹线图。
隐藏已选对象	点击后在视图区隐藏该迹线图。

图表

图表节点的右键菜单示意图如下图所示：



图 1-75 图表节点的右键菜单

各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 1-24 图表节点右键菜单参数功能

参数	功能
重命名	重新设置该图表的名称。
编辑	点击后激活编辑该图表的属性页。
删除	点击后删除图表。
勾选已选对象	点击后在视图区显示该图表。
隐藏已选对象	点击后在视图区隐藏该图表。

1.4.3.3.3 自定义变量

自定义变量节点下包括了用户使用计算器功能创建的自定义变量节点，使用积分功能创建的积分节点，以及使用涡量功能创建的涡量节点。其示意图如图下图所示。

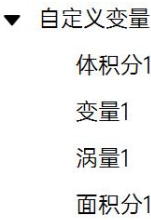


图 1-76 自定义变量节点及其子节点示意图

自定义变量节点及其子节点的右键菜单内容如下图所示：

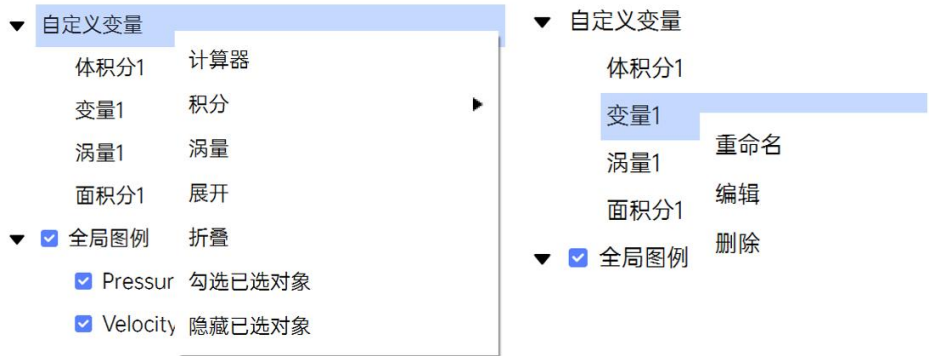


图 1-77 自定义变量节点及其子节点的右键菜单

各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 1-25 自定义变量节点右键菜单参数功能

参数	功能
计算器	点击后进入变量创建的属性页。
积分	点击后进入积分创建的属性页。
涡量	点击后进入涡量创建的属性页。
展开	展开全部子节点。
折叠	折叠全部子节点。
勾选已选对象	使自定义变量节点被勾选。
隐藏已选对象	使自定义变量节点被隐藏。
重命名	重新设置该节点的名称。
编辑	点击后激活编辑该节点的属性页。
删除	点击后删除该节点。

1.4.3.3.4 全局图例

全局图例节点下包括了由于后处理节点使用变量着色而生成的图例节点，全局图例节点的子节点为由于后处理节点使用变量着色而生成的节点。这些子节点的右键菜单内容如下图所示：



图 1-78 全局图例节点及其子节点示意图

全局图例节点的右键菜单内容如下图所示：



图 1-79 全局图例及其子节点的右键菜单内容的示意图

各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 1-26 全局图例及其子节点右键菜单参数功能

参数	功能
展开	展开全部子节点。
折叠	折叠全部子节点。
勾选已选对象	使全局图例节点下全部的图例在视图区中显示。
隐藏已选对象	使全局图例节点下全部的图例在视图区中隐藏。
重命名	点击后修改该全局图例的名称。
编辑	点击后激活该全局图例的属性页，对参数进行编辑。
删除	点击后删除该全局图例，当该全局图例被引用时，删除按钮置灰。

关联更新

Fluid 在进行数值模拟的过程中，对模型、网格和参数设置进行修改后，软件可以自动更新有相互依赖关系的模拟参数和计算结果。Fluid 主要包括网格变更，求解设置变更和后处理变更三个方面的更新处理。

网格变更关联更新

当网格发生变更后，求解设置参数和计算结果都发生改变，需要对应进行更新，以保持数据的一致性和准确性。更新内容如下：

(1) 自动更新计算域条件（cell zone）和边界条件（boundary）列表：当原有计算域节点和边界条件节点存在时，保持原有设置；当为新增节点时，采用默认设置（计算域默认流体材料为空气，边界默认为壁面边界）；

(2) 当设置引用了计算域条件和边界条件，将引用的设置变为无效状态，并给出无效状态标识；当没有引用时，保持原有设置；

(3) 后处理的所有结果数据全部清除；

(3) 保留后处理所有插入节点及设置，并将节点置为无效状态，节点可以打开编辑面板，但不可应用；

(4) 再次有数据载入时，更新方式参考后处理设置和数据变更关联更新章节。



图 1-80 网格变更关联更新

求解设置变更关联更新

求解设置发生更改后，更新内容如下：

(1) 更改求解设置，但没有重新计算，保持原有结果数据不变；当重新提交计算后，覆盖原有数据。

后处理设置和数据变更关联更新

在后处理中，Fluid 可以对计算结果进行统计，计算和结果提取，并生成各种图表，可视化图像以及动画。一旦节点设置或者数据发生改变时，需要进行更新处理。更新内容如下：

- (1) 与之相关所有显示出来的节点数据进行自动更新，未显示出来节点不更新；
- (2) 未显示的节点在变化后第一次显示时进行数据更新；
- (3) 若当前显示节点引用了未显示节点，则未显示节点数据一并更新；
- (4) 重新打开项目文件，所有数据进行更新。

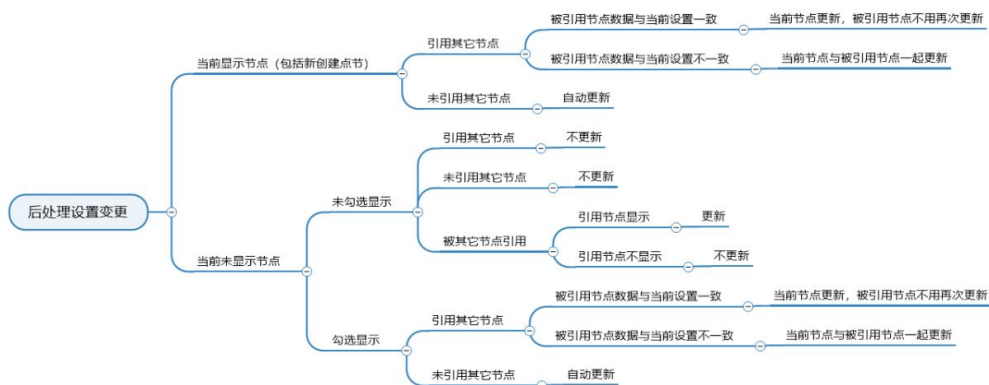


图 1-81 后处理设置变更关联更新

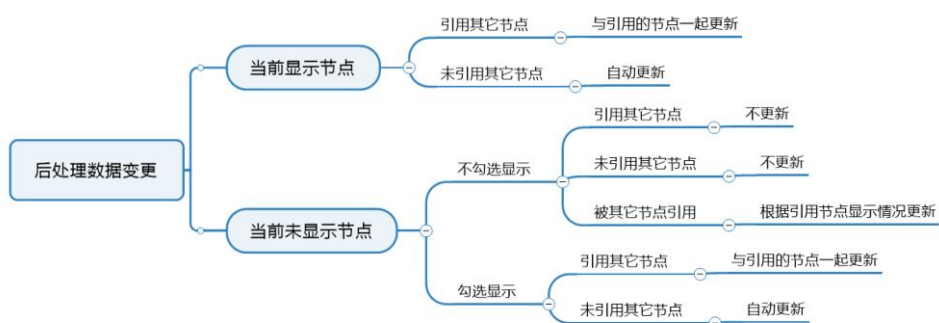


图 1-82 后处理数据变更关联更新

1.4.4 视图区

视图区域用于显示及操作几何模型、网格和后处理结果，可以对模型进行选择，平移或旋转操作。视图区域具备工具栏，用户可通过工具栏方便地进行相关操作。此外，在视图区域也可以通过右键菜单进行相关功能的快速操作，如下图所示：



图 1-83 视图区域右键菜单

选择的同时按住【Ctrl】键可以进行多选。选中对象后，通过【Esc】键可以取消当前选中对象。另外，在视图区域可以通过工具栏或通过鼠标右键对几何或网格对象进行相关操作，如下图所示：

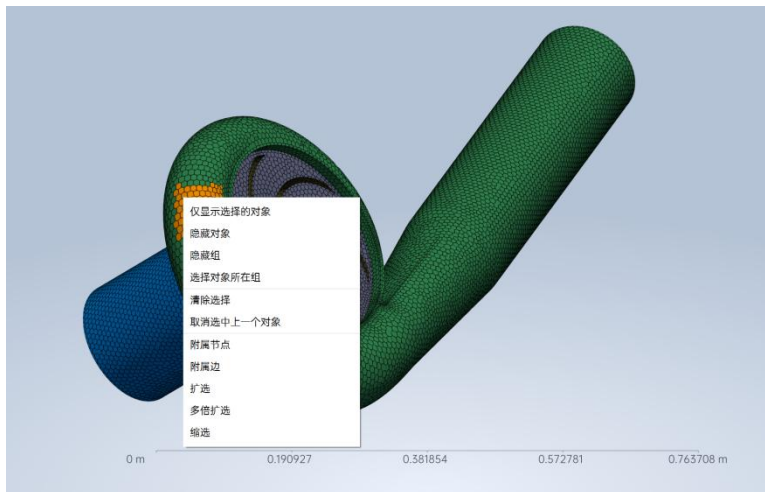


图 1-84 视图区域选中对象右键菜单示意图

在几何与网格选中操作对象后，在视图区鼠标右键菜单如下图所示。应用与属性页【应用】按钮功能相同；【清除选择】可以取消所有已选中的对象；【仅显示选择的对象】可以仅显示已选中的对象；【隐藏对象】可以隐藏已选中的对象；【隐藏组】可以隐藏已选中的对象所在组；【细化显示】可以更精细化地显示几何对象。

应用

清除选择

仅显示选择的对象

隐藏对象

隐藏组

细化显示

图 1-85 创建边功能右键菜单

当处于后处理环境下，视图区右键点击鼠标，会出现窗口，该窗口为分屏功能。

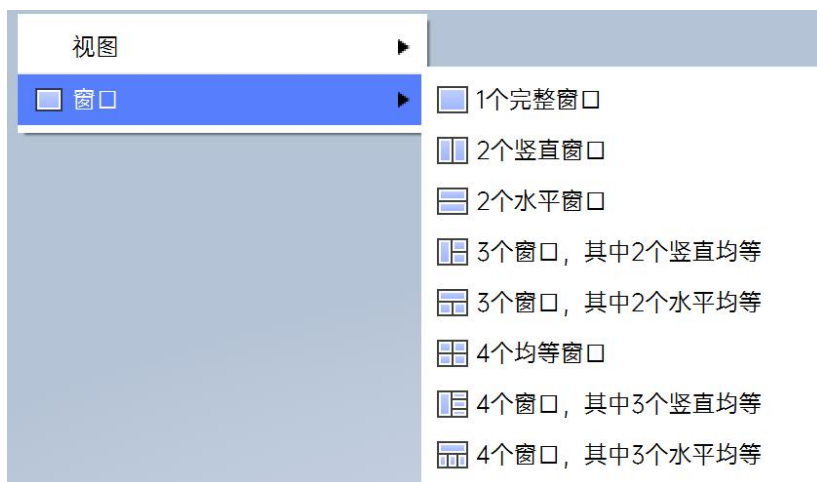


图 1-86 后处理环境下视图区右键菜单

工具栏功能包含以下功能模块：

工具栏

工具栏包括以下功能模块：

- (1) 选择功能
- (2) 几何显示模式与网格显示模式
- (3) 选择过滤功能
- (4) 模型居中功能
- (5) 半透明功能
- (6) 撤销与恢复功能
- (7) 正交与透视功能



图 1-87 工具栏示意图

以下将从选择功能、几何显示模式与网格显示模式、选择过滤功能、模型居中功能、半透明功能、撤销与恢复功能、正交与透视功能进行介绍：

选择功能

工具栏的选择功能提供了多种不同的选择方式，如选择、多边形框选、多边形接触，并提供了非穿透及穿透框选，默认为非穿透框选，可根据需要进行选择。



图 1-88 选择功能位置

具体介绍如下：

选择

选择功能下包含选择、框选及接触框选。当单击选中某一种对象，使用时按住【Ctrl】键可以进行多选；自左向右进行框选为框选，可以选中在框选区域内的对象；自右向左进行框选为接触框选，可以选中与框选区域内有接触的对象。



图 1-89 工具栏选择功能

多边形框选

多边形框选功能用于选中指定的多边形区域内的对象。在不同位置点击鼠标左键以指定需要选中的多边形区域，鼠标左键双击确定选中区域，只有完全位于该区域内的对象才会被选中。选择完成后，按住【Ctrl】键可以进行多边形框选添加。



图 1-90 工具栏多边形框选功能

多边形接触

多边形接触功能用于选中指定的多边形区域内的对象。在不同位置点击鼠标左键以指定需要选中的多边形区域，鼠标左键双击确定选中区域，部分或全部位于该区域内的对象都会被选中。选择完成后，按住【Ctrl】键可以进行多边形接触添加。



图 1-91 工具栏多边形接触功能

几何显示模式

几何显示模式功能可以用于切换几何模型的显示方式，包括实体显示和线框显示两种方式。



图 1-92 工具栏几何显示模式功能

注：默认显示模式为实体显示模式，用户点击显示模式时，在对几何显示模式进行变更的同时，几何显示模式的图标也会相应的变化为线框显示模式图标。

网格显示模式

网格显示模式功能可以用于切换网格模型的显示方式，包括实体显示和线框显示两种方式。



图 1-93 工具栏网格显示模式功能

注：默认显示模式为实体显示模式，用户点击显示模式时，在对网格显示模式进行变更的同时，网格显示模式的图标也会相应的变化为线框显示模式图标。

选择过滤功能

选择过滤工具包括了几何模型及网格模型不同的选择过滤方式。开关位置如下所示：



图 1-94 工具栏选择过滤功能

下面将详细介绍选择过滤功能：

几何选择模式

几何所有类型

几何所有类型功能只有在激活几何选择模式后才可使用。当激活几何选择模式后，此功能默认被激活。此功能激活后，在使用相关选择功能时可以同时选中几何模型中的点、边、面。



图 1-95 工具栏几何所有类型

几何点

几何点功能只有在激活几何选择模式后才可使用。激活此功能后，在使用相关选择功能时可以选中几何模型中的点。



图 1-96 工具栏几何点功能

几何边

几何边功能只有在激活几何选择模式后才可使用。激活此功能后，在使用相关选择功能时可以选中几何模型中的边。



图 1-97 工具栏几何边功能

几何面

几何面功能只有在激活几何选择模式后才可使用。激活此功能后，在使用相关选择功能时可以选中几何模型中的面。



图 1-98 工具栏几何面功能

几何体

几何体功能只有在激活几何选择模式后才可使用。激活此功能后，在使用相关选择功能时可以选中几何模型中的体。



图 1-99 工具栏几何体功能

网格选择模式

网格选择模式用于激活或关闭网格选择模式。当激活时用户可以选择网格对象。



图 1-100 工具栏网格选择模式功能

注：该功能与几何选择模式互斥，当激活几何选择模式后，该功能自动关闭。

网格所有类型

网格所有类型功能只有在激活网格选择模式后才可使用。当激活网格选择模式后，此功能默认被激活。此功能激活后，在使用相关选择功能时可以同时选中网格中的点、边、面单元。



图 1-101 工具栏网格所有类型

网格节点

网格节点功能只有在激活网格选择模式后才可使用。激活此功能后，在使用相关选择功能时可以选中网格模型中的节点。



图 1-102 工具栏网格节点功能

网格边

网格边功能只有在激活网格选择模式后才可使用。激活此功能后，在使用相关选择功能时可以选中网格模型中的边。



图 1-103 工具栏网格边功能

网格面

网格面功能只有在激活网格选择模式后才可使用。激活此功能后，在使用相关选择功能时可以选中网格模型中的面。



图 1-104 工具栏网格面功能

网格体

网格体功能只有在激活网格选择模式后才可使用。激活此功能后，在使用相关选择功能时可以选中网格模型中的体。



图 1-105 工具栏网格体功能

模型居中

模型居中功能用于将模型进行居中显示。



图 1-106 工具栏模型居中功能

几何显示模式

半透明

半透明功能可以用于切换网格和几何模型的显示透明度，包括半透明显示和不透明显示两种方式。



图 1-107 工具栏半透明功能

点拾取

点拾取功能支持提取模型上任意位置的数据信息。激活点拾取模式后，用户可单击模型上任意位置，视图区和下方信息窗口均会出现点击位置的数据信息。



图 1-108 工具栏点拾取功能

注：点拾取在加载计算结果后，处于后处理环境下，点拾取功能为激活状态。

撤销与恢复

撤销与恢复在支持撤销与恢复的情况下可以实现方便的操作。下图为撤销（左）与恢复（右）的位置：



图 1-109 工具栏撤销与恢复功能

正交与透视

正交和透视为视图区模型显示不同视角，下图为正交（左）与透视（右）的位置：



图 1-110 工具栏正交透视功能

1.4.5 状态栏

状态栏用于显示当前所打开窗口或软件的状态。位于状态栏最左侧的信息为状态信息，用于显示或提示当前使用工具的操作状态或操作过程信息。位于状态栏最右侧的信息为相关操作的进度信息，可以通过终止按钮终止当前的操作进程。

在视图区域中，可通过鼠标左键对点、边和面进行单选，选择的同时在软件状态栏会有相应的选择信息提示，如下图所示。

点击【应用】按钮；或回车键查找所有计算域。

图 1-111 状态栏提示信息示意图

1.4.6 信息栏

信息栏用于显示当前操作命令输出的信息。执行操作命令时软件信息栏会有相应的信息提示，如下图所示。

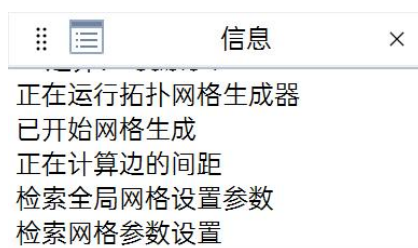


图 1-112 信息栏示意图

1.4.7 Ribbon 功能区

Ribbon 包含文件、视图、几何、网格、求解设置、后处理、工具、帮助功能，以下将详细介绍上述功能。

1.4.7.1 文件

文件区功能如图所示，主要用于文件的新建、打开、最近、导入、导出、保存、另存为、打印、关闭及退出，同时具有软件配置功能，以便用户根据自身实际需求进行个性化定制。

文件	日期	大小
 test.ybfd	2024/09/26 19:40	188 KB
 MF045-pipetee.ybfd	2024/09/26 19:29	552 KB

图 1-113 文件功能示意图

1.4.7.1.1 新建

【新建】功能在指定的目录路径下创建工程文件，后缀名为.ybfd。

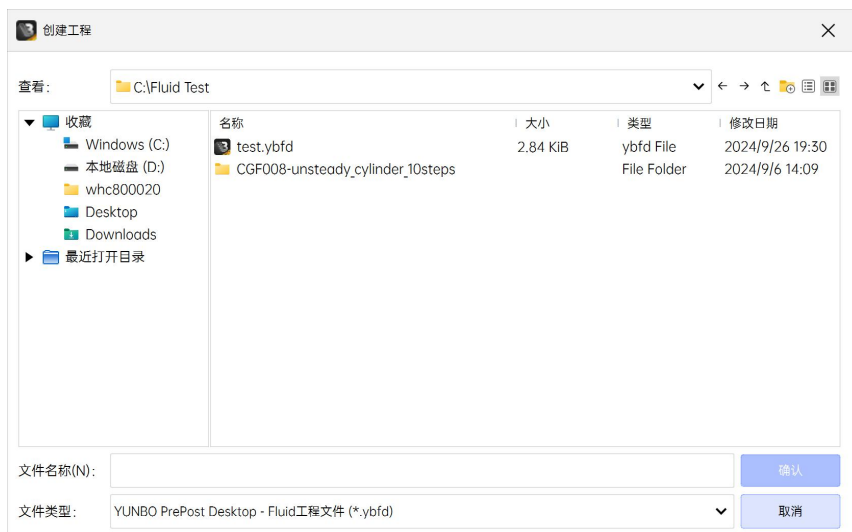


图 1-114 新建工程示意图

以下介绍【新建】操作使用：

- (1) 点击【文件】-【新建】；
- (2) 在打开的新建工程对话框中，选择要存放工程的路径；
- (3) 输入工程文件名；
- (4) 点击确认，即可选择的路径下生成工程文件；

注：也可以使用快捷键【Ctrl+N】，或者快速访问工具栏中的新建命令来创建工程

1.4.7.1.2 打开

从本地电脑地址中【打开】文件，如下图所示：

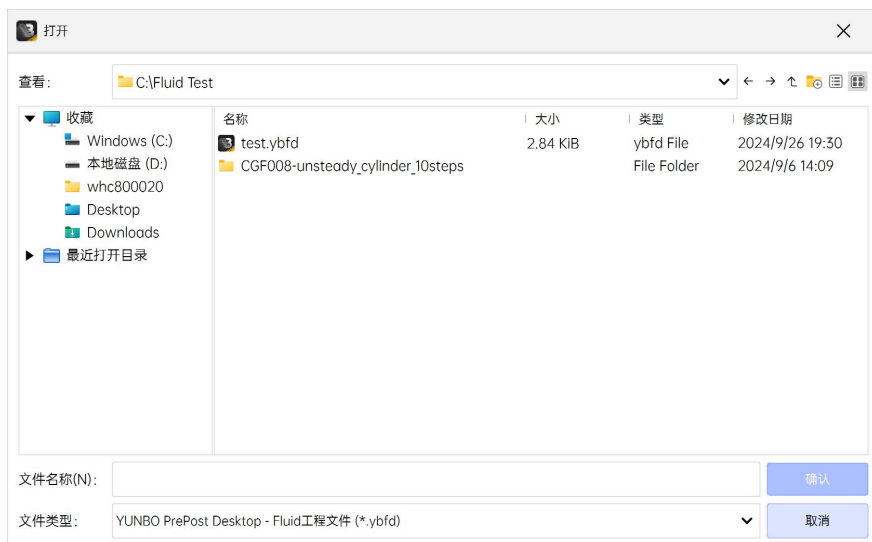


图 1-115 打开示意图

以下介绍【打开】操作使用：

- (1) 点击【打开】，弹出文件打开对话框；
- (2) 在文件类型下拉列表中，选择要打开的文件类型；
- (3) 选择要打开的文件所在的目录及文件名；
- (4) 点击打开，即可打开当前文件。

注：

- (1) 支持快捷键【Ctrl+O】或者快速访问工具栏上的【打开】来打开本地文件；
- (2) 支持打开的文件类型：工程文件：*.ybfd；
- (3) 旧版的*.ppcf文件导入方式：打开软件，通过将*.ppcf文件拖拽至软件进行打开操作；
- (4) 支持多文档的打开，每一个打开的文档都拥有一个单独的视窗。通过切换视窗的标签页来切换文档。

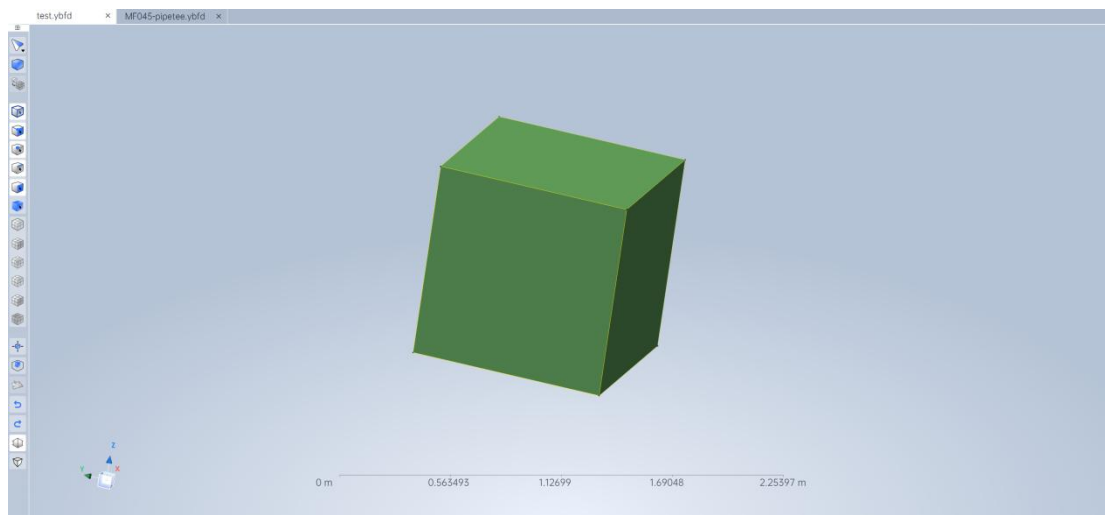


图 1-116 多个文档打开示意图

1.4.7.1.3 最近

提供最近打开过的工程文件列表，点击工程文件即可打开，如下图所示：

文件	日期	大小
 MF045-pipetee.ybfd	2024/09/26 19:29	552 KB
 MF053-3sibianxing.ybfd	2024/09/26 19:29	1 MB

图 1-117 最近打开示意图

以下介绍【最近】操作使用：

- (1) 点击【最近】，从最近文件列表中，选择要打开的文件，左键点击即可打开；
- (2) 支持打开的文件类型为工程文件（.ybfd）；

1.4.7.1.4 导入

在已打开的工程中，导入几何、网格及结果文件。



图 1-118 导入文件示意图

以下介绍【导入】操作使用：

- (1) 打开或创建工程后，点击【文件】-【导入】，会打开导入文件对话框；
- (2) 在文件类型下拉列表中，选择要导入的文件类型；
- (3) 选择要导入的文件所在的目录及文件名；
- (4) 点击【导入】，即可把文件导入到当前工程中。

注：

- (1) 支持快捷键【Ctrl+I】或者快速访问工具栏上的【导入】来导入本地文件；
- (2) 从外部导入网格时，支持 3 维和 2.5 维网格，不支持 2 维面网格；
- (3) 从外部导入网格时，推荐使用 msh 格式原始网格文件；
- (4) 也可以使用快速工具栏中的导入命令来导入文件；

目前可支持导入的文件类型：

表 1-27 支持导入文件类型

参数	功能
几何文件	STL 几何文件 (*.stl)、IGES 几何文件 (*.igs *.iges)、STEP 几何文件 (*.stp, *.step)、Parasolids 几何文件 (*.x_t, *.x_b)、ICEM 几何文件 (*.tin)、Rhino 几何文件 (*.3dm)、ACIS 几何文件 (*.sat,

	.sab)、VDA 几何文件 (.vda)、Solidedge 几何文件 (*.asm, *.par, *.pwd, *.psm)、SolidWorks 几何文件 (*.sldasm, *.sldpart)、CATIA V5 几何文件 (*.CATProduct, *.CATPart)、CATIA V4 几何文件 (*.model)、Unigraphics 几何文件 (*.prt)、JT 几何文件 (*.jt)、Pro/Engineer 几何文件 (*.asm, *.prt, *.neu, *.xas, *.xpr)、Inventor 几何文件 (*.ipt, *.iam)
网格文件	Fluent 网格文件 (*.cas, *.msh, *.cas.gz, *.msh.gz, *.cgns)
YUNBO PrePost Desktop-Fluid 文件	YUNBO PrePost Desktop-Fluid 前处理文件 (*.fcase)
CGNS 文件	CGNS 文件 (*.cgns)

1.4.7.1.5 导出

导出功能可以将当前文档的网格文件、求解设置文件、后处理文件、视图区图像导出。



图 1-119 导出文件示意图

目前可支持导出的文件类型：

表 1-28 支持导入文件类型

参数	功能
网格文件	Fluent 网格文件 (*.msh)、STL 文件 (*.stl)、CGNS 文件 (*.cgns)、OpenFOAM 文件、Fluent cas 文件 (*.msh)
案例文件	YUNBO PrePost Desktop-Fluid 前处理文件 (*.fcase)、YUNBO PrePost Desktop-Fluid 脚本文件(*.fscript)
图片文件	PNG 文件 (*.png)、JPEG 图片文件 (*.jpg*.jpeg)、BMP 图片文件 (*.bmp)、便携式文档格式(PDF) (*.pdf)、可缩放矢量图形(SVG) (*.svg)

注：

- (1) Fluent 网格文件 (*.msh、*.cas) 支持二进制和 ASCII 格式导出；
- (2) CGNS 文件 (*.cgns) 支持 ADF 和 HDF5 格式导出。

1.4.7.1.6 保存

【保存】当前打开的工程文档或者将当前打开的案例文件（.fcase）保存成工程文件。

以下介绍【保存】操作使用：

- (1) 当前打开的文档为工程文件（.ybfd）时，点击【文件】-【保存】，可将未保存的修改保存到工程文件（.ybfd）中；
- (2) 当前打开的文档为案例文件（.ppcf）时，点击【保存】，会弹出【保存工程】对话框。选择要存放的路径及工程文件名，点击【确定】，即可将案例文件保存为新的工程（.ybfd）。

注：

- (1) 也可使用快捷键【Ctrl+S】，或者快速工具栏中【保存】命令来保存。
- (2) 将打开的案例文件保存为工程时，所做的修改会保存在新的工程文件中，原来的案例文件不受影响。

1.4.7.1.7 另存为

将当前工程文档另存为新工程文档。以下介绍【另存为】操作使用：

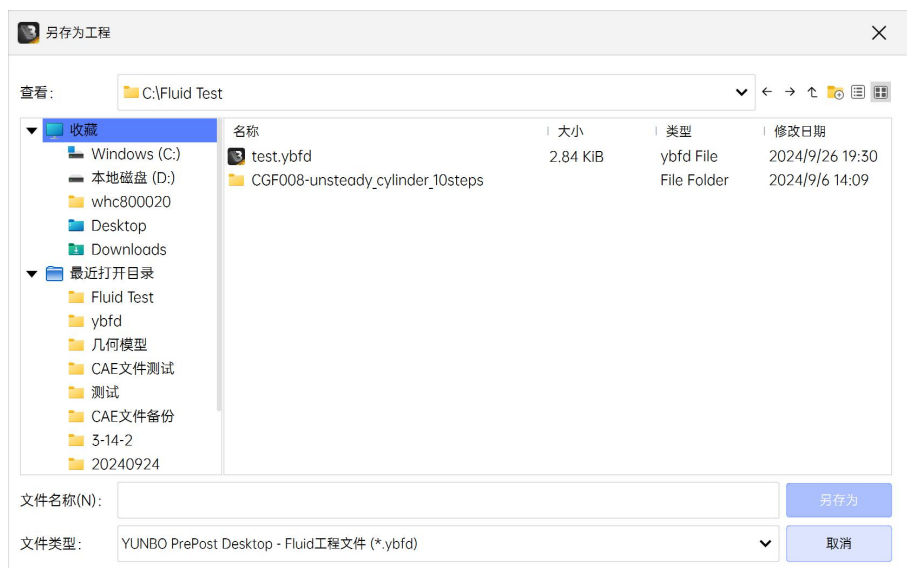


图 1-120 另存为工程示意图

以下介绍【保存】操作使用：

点击【另存为】，可将当前文档另存为其他工程文档（.ybfd）。也可使用快捷键【Ctrl+Alt+S】或者快速工具栏中的【另存为】按钮来进行另存为操作。

1.4.7.1.8 打印

【打印】可以打印当前文档视图区域。点击【打印】，可将当前文档的视图区域进行打印。

1.4.7.1.9 关闭

【关闭】可以关闭当前文档，当点击【关闭】时，若当前文档未被修改，会被直接关闭；若文档已被修改，会提示是否对当前要关闭的文档进行保存。

1.4.7.1.10 关闭所有

【关闭所有】可以关闭所有打开的文档，点击【关闭所有】，若所有打开的文档都未被修改，这些文档会被直接关闭；若有文档已被修改，会提示是否对当前要关闭的文档进行保存。

1.4.7.1.11 退出

【退出】可以关闭所有打开的文档并退出应用。点击【退出】，若所有打开的文档都未被修改，这些文档被关闭，Fluid 应用关闭；若有文档已被修改，会提示是否要对这些文档进行保存。

1.4.7.1.12 配置

根据需要，可对 Fluid 应用进行个性化配置：显示、鼠标、导入、导出、单位等，以下【配置】页面示意图：

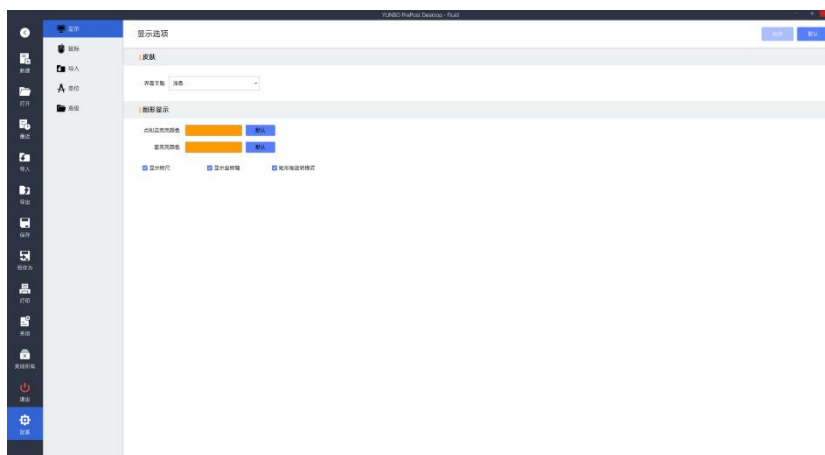


图 1-121 配置页面示意图

【显示】选项可以对 Fluid 应用界面的皮肤及图形显示进行设置，如下图所示。



图 1-122 显示选项配置页

以下介绍【保存】操作使用：

- (1) 点击【配置】-【显示】，进入显示配置页；
- (2) 设置皮肤：在界面主题列表中选择需要的皮肤，点击配置页面的【保存】按钮使皮肤更改生效；
- (3) 图形显示：点击颜色条框可对点边高亮颜色及面高亮颜色进行设置，点击【默认】恢复默认高亮颜色。点击配置页面的【保存】按钮使高亮颜色更改生效；
- (4) 显示标尺：控制是否在视图区域显示标尺，点击配置页面的【保存】按钮使更改生效。也可使用快速工具栏中的【标尺】按钮来控制标尺的显示与隐藏。
- (5) 显示坐标轴：控制是否在视图区域显示坐标轴，点击配置页面的【保

存】按钮使更改生效；

（6）矩形框旋转模式：面网格数量较多（大于 5000 万）时，为改善模型显示流畅性，在旋转的时候是否显示为矩形框，点击配置页面的【保存】按钮使更改生效。

注：点击配置页面的【默认】按钮，可将【显示】页面的设置恢复成默认状态，【保存】之后更改生效。

【鼠标】选项可以设置鼠标按钮对应的视图操作功能，鼠标选项配置页如下图所示。



图 1-123 鼠标选项配置页

以下介绍【鼠标】操作使用：

- （1）点击【配置】-【鼠标】，进入鼠标选项配置页；
- （2）【选项】提供了两种不同的鼠标操作组合方案；
- （3）修改鼠标不同按键对应的视图操作，点击配置页的【保存】按钮使修改生效。

注：点击配置页面的【默认】按钮，可将【鼠标】页面的设置恢复成默认状态，【保存】之后更改生效。

【导入】选项设置打开或者导入几何模型时的配置选项，如下图所示。



图 1-124 导入选项配置页

以下介绍【导入】操作使用：

- (1) 点击【配置】-【导入】，进入导入选项配置页；
- (2) 组模式：控制 Fluid 如何将几何模型的面分配在不同的组中。例如，【组来自文件名称】表示使用文件的名称来分组。当存在多个文件时，可以为每个文件创建一个单独的组，并将各自的文件名作为组名；
- (3) STL 导入选项：在导入 STL 文件时对其进行预处理，以恢复一些模型拓扑。可在此处进行相关参数设置。在【合并点容值】差范围内的点即被合并，曲面超过【特征角度】时会被分割。这些设置在打开所有 STL 时生效；
- (4) 更改选项后，点击配置页的【保存】按钮使修改生效。

注：

- (1) 组模式设置为【组来自面名称】时，如果几何面过多，在 Fluid 打开后生成组的数量会比较多，可能会引起操作卡顿等性能问题；
- (2) 点击配置页面的【默认】按钮，可将【导入】页面的设置恢复成默认状态，【保存】之后更改生效。

以下介绍 CAD 模型导入的组模式：

组来自文件名称：导入的所有面都将分配在以文件名命名的一个组中。

组来自面名称：导入每个面独立分组在一个以面命名的组中。

组来自体名称：导入的各个面被分到以所属体命名的体中。

以下介绍导入 STL 的说明：

组来自文件名称：导入的所有面都将分配在以文件名命名的一个组中。

所有文件一个组：多个模型导入被合并到一个组。

【单位】选项设置打开的模型要使用的单位，可为不同的文档设置不同的单位。



图 1-125 单位选项配置页

以下介绍【单位】操作使用：

- (1) 点击【配置】-【单位】，进入单位选项配置页；

- (2) 选择要更改显示单位的项目文件；
- (3) 选择要自定义显示单位的物理量和它的单位，或点击【国际单位】、【英制单位】按钮快速切换默认的显示单位系统；
- (4) 更改选项后，点击配置页的【保存】按钮使修改生效。

注：

- (1) 文档单位更改后，模型的实际尺寸不会改变，仅改变显示的单位；
- (2) 点击配置页面的【默认】按钮，可将【单位】页面的设置恢复成默认状态，【保存】之后更改生效。

【高级】选项并行计算设置及日志文件级别设置，如下图所示。



图 1-126 高级选项配置页

以下介绍【高级】操作使用：

- (1) 点击【配置】-【高级】，进入高级选项配置页；
- (2) 并行数：指前处理生成网格时使用的并行核数。0 表示调用尽可能多的核数，1 表示单核串行，大于 1 时表示多核并行；
- (3) 日志文件输出：在 temp 临时文件夹下输出的日志文件，【基本日志】表示日志文件只包含错误信息，【详细日志】表示包含详细信息；

(4) 自动保存：自动保存默认 15 分钟保存一次，默认不开启，可根据需求进行勾选开启自动保存功能；

(5) 修改该设置后，点击配置页面的【保存】按钮使修改生效。

注：点击配置页面的【默认】按钮，可将【单位】页面的设置恢复成默认状态，【保存】之后更改生效。

1.4.7.2 视图

视图区功能如下图所示，主要包括缩放、定向、几何显示模式、着色、网格显示模式共五个子功能区，用于几何与网格的视图及显示操作。



图 1-127 高级选项配置页

1.4.7.2.1 缩放

【缩放】用于视图区域模型的缩放，提供了选中放大、局部放大、模型居中三个功能。



图 1-128 高级选项配置页

选中放大、局部放大、模型居中功能如下所示：

- (1) 选中放大：将被选中的几何或者网格，在视图区域内放大显示；
- (2) 局部放大：将框选区域内的几何或者网格，在视图区域内放大显示；
- (3) 模型居中：将几何或者网格在视图区域居中显示。

1.4.7.2.2 视图定向

视图区域模型的各向视图，如下图所示：



图 1-129 高级选项配置页

各向视图区域各参数及功能如下表所示：

表 1-29 各向视图区参数及功能

参数	功能
前视	将模型定向为从正 Z 轴方向查看平行于 XY 平面时的视图。
后视	将模型定向为从负 Z 轴方向查看平行于 XY 平面时的视图。
左视	将模型定向为从负 X 轴方向查看平行于 YZ 平面时的视图。
右视	将模型定向为从正 X 轴方向查看平行于 YZ 平面时的视图。
仰视	将模型定向为从负 Y 轴方向查看平行于 XZ 平面时的视图。
俯视	将模型定向为从正 Y 轴方向查看平行于 XZ 平面时的视图。
等轴视图 X/Y/Z	将模型定向为等轴测视图，X/Y/Z 轴朝上。

1.4.7.2.3 几何显示模式

几何显示模式，如下图所示：



图 1-130 几何显示模式

几何显示模式各参数及功能如下表所示：

表 1-30 几何显示模式参数及功能

参数	功能
边框	将几何模型以线框形式显示。
实体	将几何模型以实体形式显示。
透明	实体模式显示时，可通过拖动移动条来控制几何显示的透明度。
平面着色	将模型以平面着色法显示。简单且最快速的着色方法，每个多边形都被指定一个单一且没有变化的颜色。
高洛德着色	将模型以高洛德着色方法显示，可对 3D 模型各顶点的颜色进行平滑、融合处理。显示效果优于平面着色，显示速度相对更慢。

1.4.7.2.4 网格显示模式

网格显示模式，如下图所示：



图 1-131 网格显示模式

网格显示模式各参数及功能如下表所示：

表 1-31 网格显示模式参数及功能

参数	功能
边框	将网格模型以线框形式显示。
实体	将网格模型以实体形式显示。
透明	实体模式显示时，可通过拖动移动条来控制网格显示的透明度。

1.4.7.3 几何

Ribbon 的几何部分如下图所示，包含修复与编辑、布尔运算、转换以及其他功能，各功能将放置在前处理章节几何部分进行详细介绍。



图 1-132 Ribbon 几何位置

1.4.7.4 网格

Ribbon 的网格部分如下图所示，包含设置、面网格生成、面网格编辑、体网格生成、诊断功能以及 QFlux，各功能将放置在前处理章节网格部分进行详细介绍。



图 1-133 Ribbon 网格位置

1.4.7.5 求解设置

Ribbon 的求解部分如下图所示，包含设置及求解器两部分，各功能将放置在求解设置部分进行详细介绍。



图 1-134 Ribbon 求解设置位置

1.4.7.6 后处理

Ribbon 的后处理部分如下图所示，包含数据可视化、数据分析、动画以及

其他，各功能将放置在后处理章节进行详细介绍。



图 1-135 Ribbon 后处理位置

1.4.7.7 工具

工具区功能如下图所示，主要包括测量、切平面、切换、其他四个子功能区，用于几何对象的测量、几何与网格的剖视、几何网格间转换以及保存特定视角。



图 1-136 Ribbon 工具位置

测量

测量功能包含长度、角度、点坐标、面积四个部分，位置如下图所示：

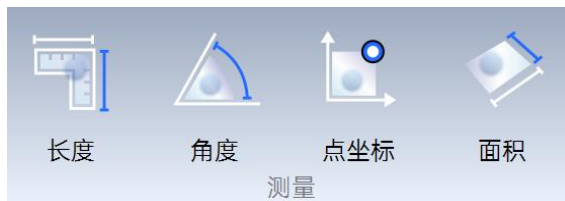


图 1-137 测量功能位置

长度

长度功能用于测量两点之间线段的长度，位置如下图所示：



图 1-138 长度测量功能位置

- (1) 点击【长度】命令按钮，在工具栏激活几何点或网格点类型；
- (2) 在视图区域，点击开始测量的位置点，然后点击结束测量的位置点，这两点之间的距离就会被显示出来，如下图所示；

(3) 点击其他命令按钮或使用【ESC】键退出距离测量命令。

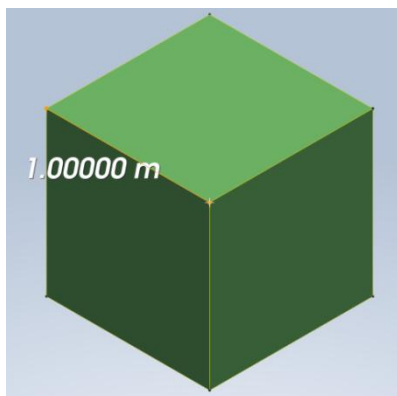


图 1-139 长度测量功能使用

角度

通过点击指定三个点来测量一个角度，位置如下图所示：



图 1-140 角度测量功能使用

点击 Ribbon【工具】，点击【测量】下的角度按钮，在视图区域，依次点击三个位置点，这三点之间角度会被显示出来。

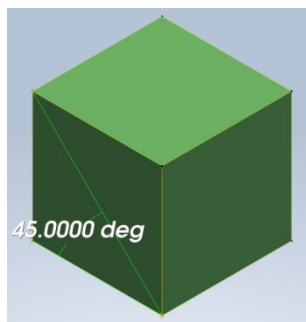


图 1-141 角度测量功能使用

注：点击其他命令按钮或使用【Esc 键】退出角度测量命令。

点坐标

点击点坐标可以显示点的坐标，点坐标功能位置如下所示：

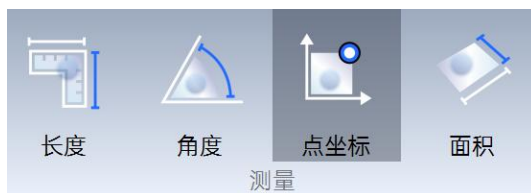


图 1-142 点坐标测量功能位置

下面介绍【点坐标】的操作步骤：

- (1) 模型树勾选点，显示点；
- (2) 点击【点坐标】命令按钮，在工具栏激活几何点或网格点类型，在视图区域，点击某个位置点，相应点的坐标及左下角会有选取点的坐标显示，视图区坐标如下图所示。

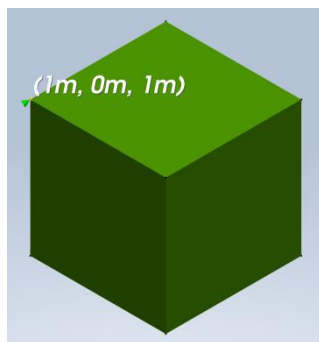


图 1-143 点坐标测量视图区显示

注：

- (1) 点击其他命令按钮或使用【Esc】键退出距离测量命令。
- (2) 当有网格时，需要使用工具栏上的网格选择模式，选则网格节点。

面积

点击面积可以显示所选面的面积，其位置如下所示。



图 1-144 面积测量功能位置

- (1) 点击【面积】命令按钮，在工具栏激活几何面或网格面类型；
- (2) 在视图区域，点击某个几何表面或者网格面，相应面的面积会在视图区及左下角显示出来，如下图所示：

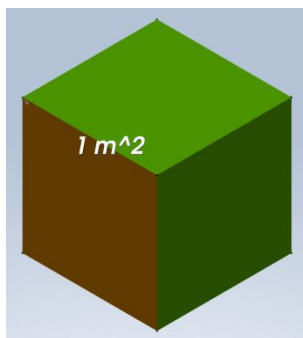


图 1-145 面积测量功能使用

注：当有网格时，需要使用工具栏上的网格选择模式，选则网格面。

点击其他命令按钮或使用【Esc】键退出面积测量命令。

切平面

切平面提供了几何切平面及网格切平面，可以帮助用户显示几何或网格模型的几何剖切图，切平面位置如下图所示：



图 1-146 几何切平面功能位置

几何切平面



图 1-147 几何切平面功能位置

几何切平面操作步骤如下所示：

- (1) 点击【几何】命令按钮，属性页被打开；
- (2) 在属性页区域，确定切平面位置及方向。

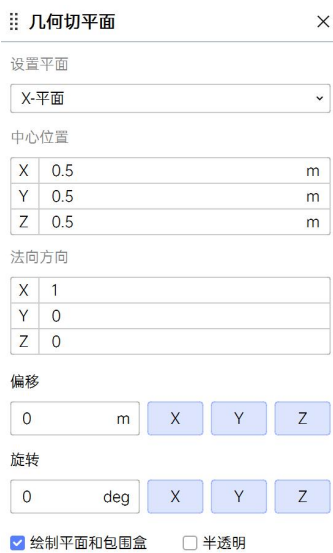


图 1-148 几何切平面功能使用

几何切平面各参数及功能如下表所示：

表 1-32 几何切平面参数及功能

参数	功能
设置平面	可以选择 X-平面，Y-平面或 Z-平面来进行剖切。
中心位置	通过设置 XYZ 坐标值来确定切平面的中心位置。也可以在视图区域直接拖动切平面。
法向	用来设置切平面的法向方向，也可以在视图区域直接拖动法线来确定方向。
偏移	输入偏移量，按下 X/Y/Z 按钮，切平面会在 X/Y/Z 方向进行相应的偏移。
旋转	输入旋转角度，按下 X/Y/Z 按钮，切平面会绕 X/Y/Z 轴进行相应的旋转。
绘制平面和包围盒	控制切平面和包围盒是否显示在视图区域。
半透明	控制视图区域的模型是否以半透明显示

网格切平面

网格切平面可以创建网格剖切图，以便查看模型体网格的内部网格形状，位置如下图所示：



图 1-149 网格切平面功能位置

网格切平面操作步骤如下所示：

- (1) 点击【网格】命令按钮，弹出属性页；
- (2) 在属性页区域，确定切平面位置及方向，点击【抽取】后，视图区会显示相应的网格面，模型树也会生成【切平面】节点，可以对其进行编辑和删除。
- (3) 点击【抽取】按钮，切平面上的网格别抽取出来，同时在模型树上生成了相应的切平面节点，可以对其进行编辑和删除。

⋮ 网格切平面 ×

设置平面

X-平面 ▾

中心位置

X	0.5	m
Y	0.5	m
Z	0.5	m

法向方向

X	1
Y	0
Z	0

偏移

0 m

X

Y

Z

旋转

0 deg

X

Y

Z

☒ 绘制平面和包围盒 ☒ 半透明

应用

图 1-150 网格切平面功能使用

网格切平面各参数及功能如下表所示：

表 1-33 网格切平面参数及功能

参数	功能
设置平面	可以选择 X-平面，Y-平面或 Z-平面来进行剖切。
中心位置	通过设置 XYZ 坐标值来确定切平面的中心位置。也可以在视图区域直接拖动切平面。
法向	用来设置切平面的法向方向，也可以在视图区域直接拖动法线来确定方向。
偏移	输入偏移量，按下 X/Y/Z 按钮，切平面会在 X/Y/Z 方向进行相应的偏移。
旋转	输入旋转角度，按下 X/Y/Z 按钮，切平面会绕 X/Y/Z 轴进行相应的旋转。
绘制平面和包围盒	控制切平面和包围盒是否显示在视图区域。
半透明	控制视图区域的模型是否以半透明显示。

切换

切换下包含网格转几何以及几何转网格两个功能，位置如下所示：



图 1-151 网格切平面功能使用

网格转几何

网格转几何功能通过网格的拓扑结构构建出原始的几何形状，位置如下所示。



图 1-152 网格转几何功能位置

网格转几何功能操作步骤如下：

- (1) 有面网格或体网格的前提下，点击【网格转几何】命令按钮，视图区生成转换后的几何，同时，模型树根据网格节点生成相应的几何节点；
- (2) 也可在模型树上右键【网格】进行网格转几何。



图 1-153 网格转几何前后模型树变化

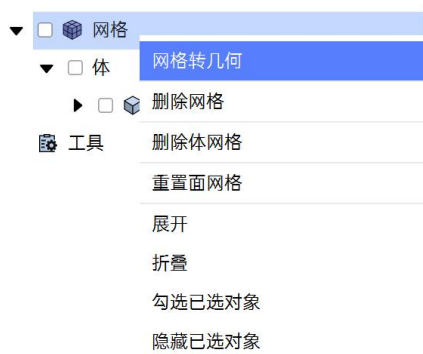


图 1-154 模型树网格右键网格转几何

注：该功能暂不支持多面体网格类型。

几何转网格

几何转网格功能通过离散的几何面的拓扑结构生成面网格，位置如下图所示：



图 1-155 几何转网格功能位置

有几何面的前提下，点击【几何转网格】命令按钮，可以实现几何转网格的操作。



图 1-156 网格转几何前后模型树变化

也可在模型树上右键【几何】进行几何转网格，如下图所示。

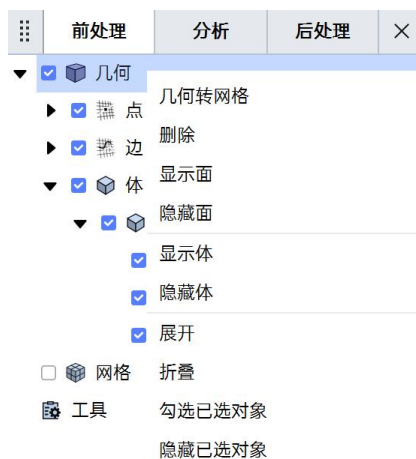


图 1-157 模型树几何右键几何转网格

保存视图

点击保存视图功能可以在模型树工具节点下创建节点。



当点击保存视图后，模型树会创建相应的节点，如下所示：



图 1-158 点击保存视图功能后模型树节点

保存视图功能可以高效的调整一些特定视图下的模型，同时支持该视图下的图片保存，右键模型树节点可以进行视图的重命名、删除、



图 1-159 模型树视图节点右键

1.4.7.8 帮助

帮助页面放置了帮助文档、案例教程、免责声明及关于，位置如下所示：



图 1-160 Ribbon 帮助位置

点击帮助手册、案例教程、免责声明可进行跳转相应的文件，关于内包含版本、版权、许可证到期日、第三方软件的说明。

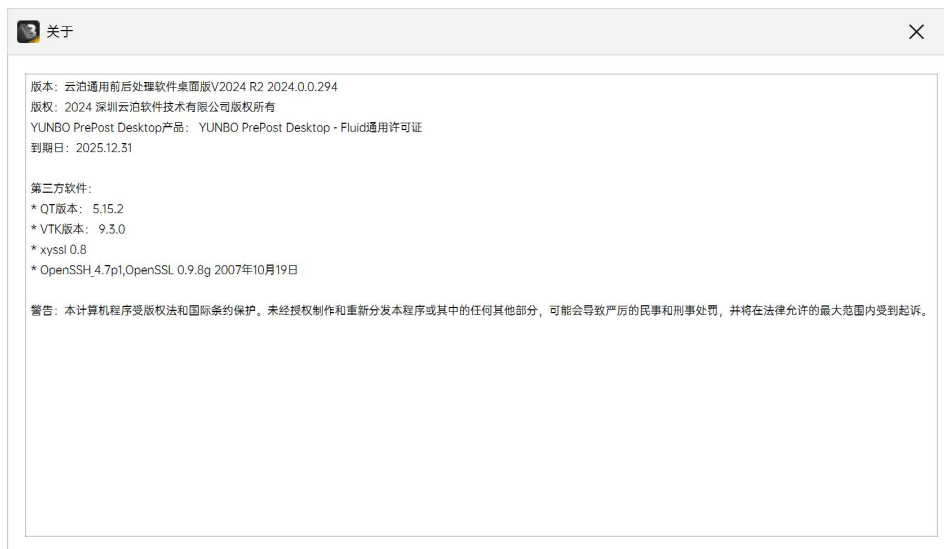


图 1-161 软件关于页面

1.5 前后处理基本步骤

CFD（计算流体动力学）的前后处理是整个仿真过程中不可或缺的部分，它们对于确保模拟结果的有效性和实用性具有重要作用。

在前处理几何建模阶段，创建或导入的几何上的偏差都可能影响到最终的结果。网格划分的高质量的网格不仅能够更好地捕捉流动特征，还能提高解算器的效率和稳定性，因此选择合适的网格类型、密度及分布对于获得准确可靠的解至关重要。定义材料属性（如密度、粘度等）、初始条件以及边界条件是前处理中的另一个关键步骤。这些参数直接影响着问题的数学描述及其解法。

正确的设定可以保证数值解符合实际情况，并且有助于求解过程顺利进行。

而后处理部分是对数据结果的呈现，通过数据可视化，可以通过图表、图像等形式直观展示流场特性，如速度矢量图、压力云图等，使用户能够更容易理解复杂的流动现象。

使用 YUNBO Fluid 做前后处理的基本步骤如下。

（1）清理几何

设计用于制造的几何模型可能会存在间隙或不精确，从而在尝试生成水密网格时产生问题。YUNBO Fluid 提供了一套工具，包括修复、线编辑、面编辑、布尔运算、转换以及其他功能，可帮助用户修复、清理几何，以适合后续工作的网格化。为更好的进行几何修复，YUNBO Fluid 提供了多种几何修复方式，有快速修复、去特征、交叉、缝合、补洞、几何检查、识别体功能。

（2）划分网格

网格区功能如下图所示，主要包括设置、面网格生成、面网格编辑、体网格生成、诊断五个子功能区，QFlux，用于网格参数的设置、面网格与体网格的生成、生成网格后网格的编辑以及网格结果查看。

（3）求解设置

在仿真工作中，前处理、求解运算、后处理都会影响到结果，而求解设置中离散格式、湍流模型、边界条件、初始条件、松弛因子等功能会影响后续计算过程中的收敛性以及最终解的质量，不恰当的设置可能会导致非物理性的解或是难以达到收敛状态。因此，本章将介绍求解设置相关的内容。

（3）将有计算结果的数据导入软件中进行后处理

在已经有求解数据之后，为呈现良好的数据可视化及数据分析功能，在模拟完成时可以对求解结果进行后处理。后处理功能如下图所示，主要包括数据可视化、数据分析、动画及其他四个子功能区。

2 前处理

在仿真工作中，前处理、求解运算、后处理都会影响到结果，而前处理部分作为首当其冲的部分尤为重要，因此，本章将从前处理部分的几何、网格分别来阐述，帮助用户更好的理解并快速的操作应用。

2.1 几何

设计用于制造的几何模型可能会存在间隙或不精确，从而在尝试生成水密网格时产生问题。YUNBO Fluid 提供了一套工具，包括修复、线编辑、面编辑、布尔运算、转换以及其他功能，可帮助用户修复、清理几何，以适合后续工作的网格化。

2.1.1 修复

为更好的进行几何修复，YUNBO Fluid 提供了多种几何修复方式，有快速修复、去特征、交叉、缝合、补洞、几何检查、识别体功能。



图 2-1 修复功能总体概览

2.1.1.1 快速修复

提供诊断检查几何错误，用于评估几何并尝试自动修复它们。通常可以先使用此工具对几何做快速修复，并评估问题的程度和位置，对于【快速修复】无法解决的几何错误，然后使用特定的修复工具来修复它们，【快速修复】位置如下图所示。



图 2-2 修复功能总体概览

注：【快速修复】为您提供用户界面和可视化几何体上问题区域的方法。此工具无法修复大量的、复杂的特定几何错误，但该功能可帮助您识别几何体上的问题区域。对于该功能无法修复的几何错误，可以使用其他几何修复工具（去特征、缝合、交叉、补洞）手动修复。

参数含义

【缝合】功能

- (1) 为交叉或共面的几何面、几何体识别出公共边；
- (2) 合并间距在容差范围内的几何边和几何面；
- (3) 删除容差范围内的几何点、几何边和几何面；
- (4) 对超出容差范围且在几何面上的自由边，自由边对所在的几何面执行面分割；

缝合：将所有的单边进行重叠判断，如果出现重叠情况，进行合并，使得相邻的面在边上拓扑共享。

缝合交叉：除了有缝合的功能，当面存在相交的情况是，求出交线，并根据交线分割面。

去特征：去除短边与细小的面，短边会与相邻的边合并，细小的面会与邻面合并。

去尖角：查找面上是否存在相邻的两条边夹角小于设置的角度值，如果小于，尝试将该面与邻面合并，以到达去除包含尖角的目的。

查找结果化面：用于查找比较规则的曲面，该类型曲面可以用四边形进行划网格。

删除自由点与自由边：清除所有的自由点与自由边。

以下介绍【快速修复】操作使用：

- (1) 点击【快速修复】按钮，打开功能属性页，如图 3 所示；
- (2) 保持快速修复下的默认勾选及数值或按需取消勾选选项以及自定义数

值；

(3) 点击【应用】按钮或按【Enter】键，完成快速修复。

快速修复

修复设置

全局 局部

(模型尺寸: 0.881207 m)

☐ 仅缝合面 ☒ 缝合交叉

缝合

0.000264362 m

☒ 去特征 (移除几何小特征)

去特征

0.00881207 m

☐ 查找结构化面

☒ 删除自由点和自由边

应用

图 2-3 快速修复功能属性页

注：

(1) 快速修复设置下的缝合、去特征、交叉、删除自由点和自由边选项默认全部勾选，可按需取消勾选部分选项；

(2) 查找结构化面默认不勾选，结构化面需要与全三角化匹配，取消勾选全三角化，勾选结构化面为匹配的应用方法；

(3) 当后续为全三角化时，容差设置中的缝合、去特征容差值可沿用默认值，也可输入用户自定义值，自定义值大于等于 0 且小于等于模型尺寸的二十分之一；

2.1.1.2 去特征

去特征允许从几何图形中删除容差范围内的小几何特征，主要是几何点及几何边。



图 2-4 去特征功能位置

参数含义

【去特征】功能

- (1) 该功能针对整个几何模型，不需要选择对象；
- (2) 去特征可删除容差范围内的几何点、几何边；
- (3) 去特征容差超过允许范围时，【去特征】按钮自动置灰，输入框以红色警示，鼠标在输入框内悬停会出现提示框并告知用户合理的输入值范围。

注：和快速修复中的去特征无区别。

以下介绍【快速修复】操作使用：

- (1) 点击【快速修复】按钮，打开功能属性页，如图 3 所示；
- (2) 保持快速修复下的默认勾选及数值或按需取消勾选选项以及自定义数值；
- (3) 点击【应用】按钮或按【Enter】键，完成快速修复。



图 2-5 去特征功能属性页

注：最大容差可沿用默认值，也可输入用户自定义值；

【去特征】功能最大容差的有效作用范围：大于等于 0 且小于等于模型尺寸的二十分之一。

2.1.1.3 缝合

间隙和狭缝是两个紧邻面之间公共边撕裂或断开部分。间隙和狭缝可以是开放的或封闭的，这些间隙通常出现在导入的几何模型上。这些导入的几何模

型由于几何原生格式允许面松弛地拟合在一起出现这些间隙，缝合的位置如下所示。



图 2-6 交叉功能位置

参数含义

【缝合】功能

- (1) 为共面的几何面、几何体识别出公共边；
- (2) 合并间距在容差范围内的几何边和几何面；
- (3) 删除容差范围内的几何点、几何边和几何面；
- (4) 对超出容差范围且在几何面上的自由边，自由边对所在的几何面执行面分割。

注：和快速修复中缝合的区别是此处选择指定的多个面进行缝合。

【缝合】假设面与面之间的间隙不大于【最大容差】，此假设有助于【缝合】功能分割和配对边，以及修改几何。以下介绍【缝合】操作使用：



图 2-7 缝合功能属性页

注：

- (1) 该功能支持撤销/恢复；
- (2) 选择零个或多个几何面时，【缝合】按钮置灰；选择一个几何面，且容差在允许范围内时，【缝合】按钮自动激活。

- (3) 缝合的容差超过允许范围时，【缝合】按钮自动置灰，输入框以红色

警示，鼠标在输入框内悬停会出现提示框并告知用户合理的输入值范围。

2.1.1.4 交叉

有些原生的几何格式允许面松弛地拟合在一起，使得导入的几何模型中存在冗余、错位的面或缺失公共边的相交面，针对上述问题，可以采取修复中的交叉功能，对选定的两个几何面执行相交运算，进而解决该问题。



图 2-8 交叉功能位置

参数含义

【交叉】功能

- (1) 为交叉或共面的几何面、几何体识别出公共边；
- (2) 合并间距在容差范围内的几何边和几何面；
- (3) 删除容差范围内的几何点、几何边和几何面；
- (4) 对超出容差范围且在几何面上的自由边，自由边对所在的几何面执行面分割。

注：和快速修复中交叉的区别是此处选择两个面进行求交，通过交线分割面。

以下介绍【交叉】操作使用：

- (1) 点击【交叉】按钮，打开功能属性页，属性页如下图所示；
- (2) 按住【Ctrl】选中两个相交的几何面，点击【交叉】按钮或按【Enter】键或右键选择【交叉】，完成交叉。



图 2-9 交叉功能属性页

注：

- (1) 【交叉】最大容差可沿用默认值，也可输入用户自定义值，自定义值大于等于 0 且小于等于模型尺寸的二十分之一；
- (2) 该功能支持撤销/恢复；
- (3) 选择零个或一个几何面时，【交叉】按钮置灰；选择两个几何面，且容差在允许范围内时，【交叉】按钮自动激活；
- (4) 交叉的容差超过允许范围时，【交叉】按钮自动置灰，输入框以红色警示，鼠标在输入框内悬停会出现提示框并告知用户合理的输入值范围。

2.1.1.5 补洞

修复中的【补洞】可自动检测并标识几何中所有的封闭单边孔洞，可逐个浏览它们，并提供了两种模式（【选择洞】、【选择面】），在孔洞边环处生成新面填充修补它们，如下图所示：

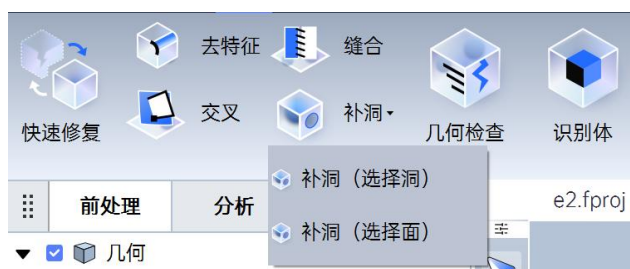


图 2-10 补洞功能位置

补洞（选择洞）

点击【补洞】按钮，在下拉菜单中点击【补洞（选择洞）】选项，打开功能属性页，属性页给出了几何模型存在的洞的数量，查找所有由单边构成的闭环，如果这个闭环不属于任何一个面的外边框，则使用该闭环创建一个曲面。



图 2-11 补洞功能属性页

补洞功能操作如下：

- (1) 点击【补洞】按钮，在下拉菜单中点击【补洞（选择洞）】选项；
- (2) 在属性页中或右键菜单中点击【修复所有】按钮，可一次性修复所有的洞。
- (3) 点击箭头可切换到单个要处理的洞，该洞的红色单边会呈现选中状态，属性页的【填充面】和【缝合边】按钮被激活。

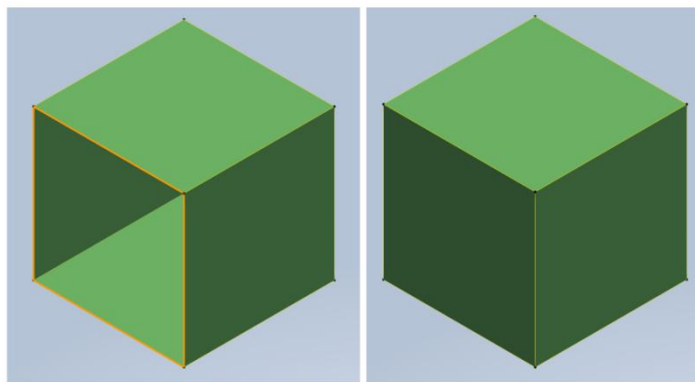


图 2-12 补洞功能使用

注：

- (1) 点击【缝合边】按钮可对狭长的洞完成补洞；
- (2) 执行【填充面】或【缝合边】后，属性页右上角的撤销箭头、恢复箭头被激活，点击可实现撤销、重做当前的补洞操作。
- (3) 该功能支持撤销/恢复；
- (4) 补洞（选择面）支持同时选择多个几何面补洞；
- (5) 【缝合边】选项可以处理狭长的洞，对于圆孔和方形的洞通常处理失败，使用【填充面】选项可以补洞成功；
- (6) 【修复所有】选项适用于洞的最大特征长度小于模型尺寸二十分之一的情况，对于最大特征长度超过模型尺寸二十分之一的洞，可结合【填充面】

选项进行补洞；

(7) 补洞功能仅适用于封闭的单边，某些球面导入软件后，球面上显示出洞，如下图所示，由于洞的边缘并非红色单边，无法对球进行补洞。

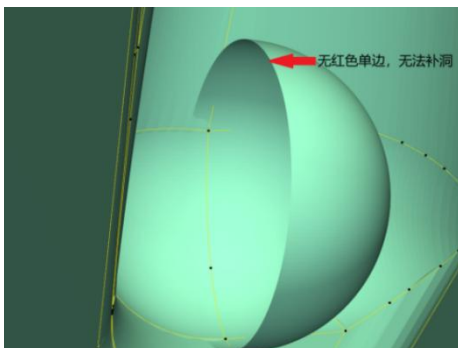


图 2-13 特殊球面的洞

2.1.1.6 几何检查

采用几何检查可以自动查找几何模型中存在的缺陷，可帮助用户查找缺陷几何，方便修复、清理几何。



图 2-14 几何检查功能位置

参数含义

【几何检查】功能

- (1) 默认选中自由点、自由边、自由面、单边、孔洞、短边。
- (2) 上述选项均被默认选中，用户可根据自身需求取消选择部分类型。

以下介绍几何检查的检查逻辑：

自由点：查找所有不属于任何边端点的点（孤立点）。

自由边：查找所有不属于任何面边界的边（孤立边）。

自由面：查找所有孤立的面，即面的边不与其他面共享。

单边：查找所有只属于一个面边界的边。

孔洞：查找所有由单边构成的闭环，且这个闭环不属于任何一个面的外边框。

重叠面：查找所有存在重叠或部分重叠的曲面。



图 2-15 几何检查功能默认状态

以下介绍【几何检查】操作使用：

(1) 点击【几何检查】按钮，打开功能属性页；

(2) 【最大长度】保持默认或者自定义数值，点击应用或者【Enter】键，完成几何检查后，属性页会列出几何缺陷数量，同时视图区并将其高亮显示，结果如下图所示。

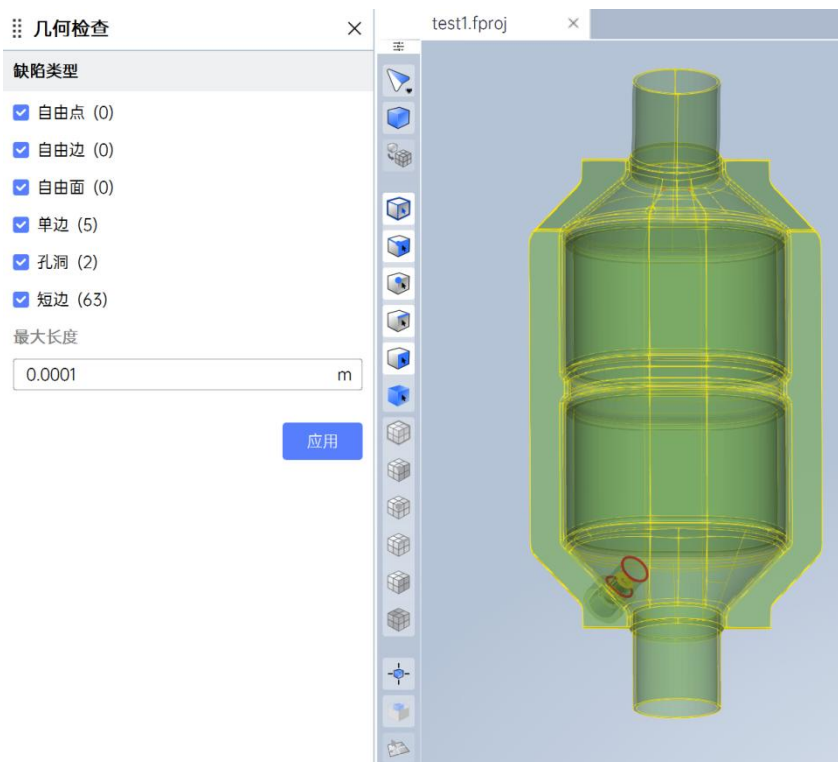


图 2-16 几何检查功能属性页

注：如用户在缺陷类型选中了【短边】，则用户需指定短边的最大长度。

2.1.1.7 识别体

在对几何清理、修复工作结束后，需要将几何识别为体，这一步骤是生成体网格的前提条件，因此，需要利用该功能将已经清理、修复好的几何面识别几何体，为后续生成体网格奠定基础。



图 2-17 识别体功能位置

参数含义

【识别体】功能

(1) 修复中的【识别体】可自动识别几何模型本身或模型内部空间的封闭体积，并用其形成新的独立体。

(2) 新形成的独立体一直延伸到所有组成封闭体积的任意界限。

(3) 此过程通常用于创建表示流体域的几何，随后可以将该几何导入模拟以分析内部或外部流。

注：【识别体】时，该功能将在固体模型内部或周围查找连续的表面并用其创建一个或若干个新体，若表面不连续有漏洞，该功能会执行失败。

以下介绍【识别体】操作使用：

(1) 点击【识别体】，保持默认或创建物质点；

(2) 点击应用或者按【Enter】键。

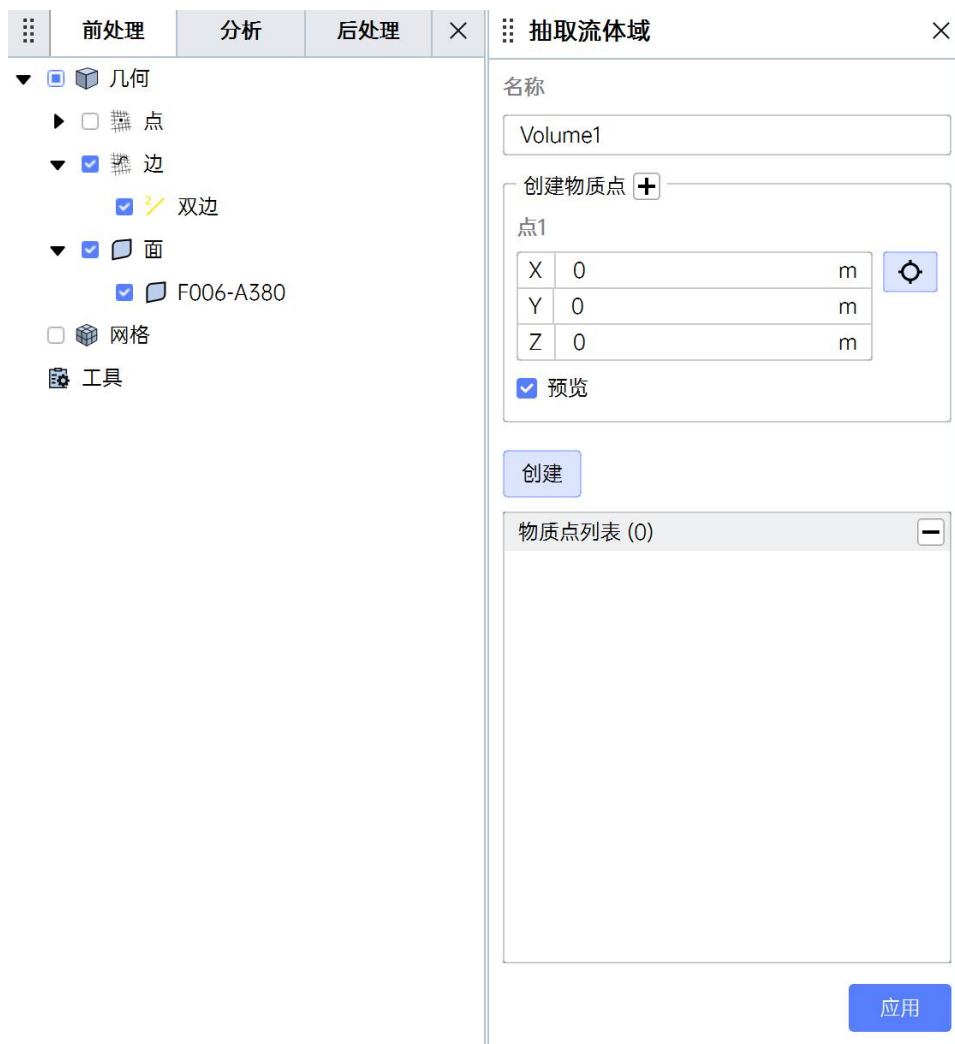


图 2-18 识别体功能属性页

注：点击【识别体】按钮，自动识别几何中的封闭体，模型树中【面】会变为体。



图 2-19 识别体前后模型树状态

当识别体后，想要恢复至面组状态时，可以对模型树相应的体点击鼠标右键，通过【分离体】解散当前封闭体，恢复至面组状态。

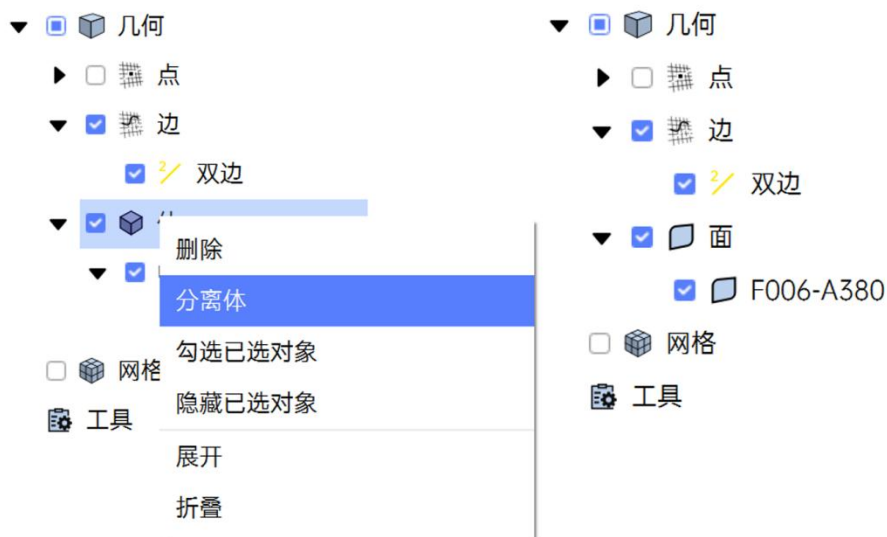


图 2-20 分离体前后模型树状态

注：当有多个体时，可在模型树上一次性选中多个体进行分离体；

几何体是生成体网格的前提条件，生成体网格前须执行该功能；

对模型树下的体进行重命名后，执行分离体后，再识别体时，不会恢复至分离体之前的名称。例如将 Volume1 重命名为 MyVolume，执行分离体后，再识别体时，软件将自动对体进行命名，不会恢复至分离体之前的名称 MyVolume。

创建物质点

创建物质点可以进行抽取流体域。

物质点的操作使用如下：

- (1) 点击创建物质点，增加物质点；
- (2) 点击从 2 个点创建创建物质点；
- (3) 点击应用。

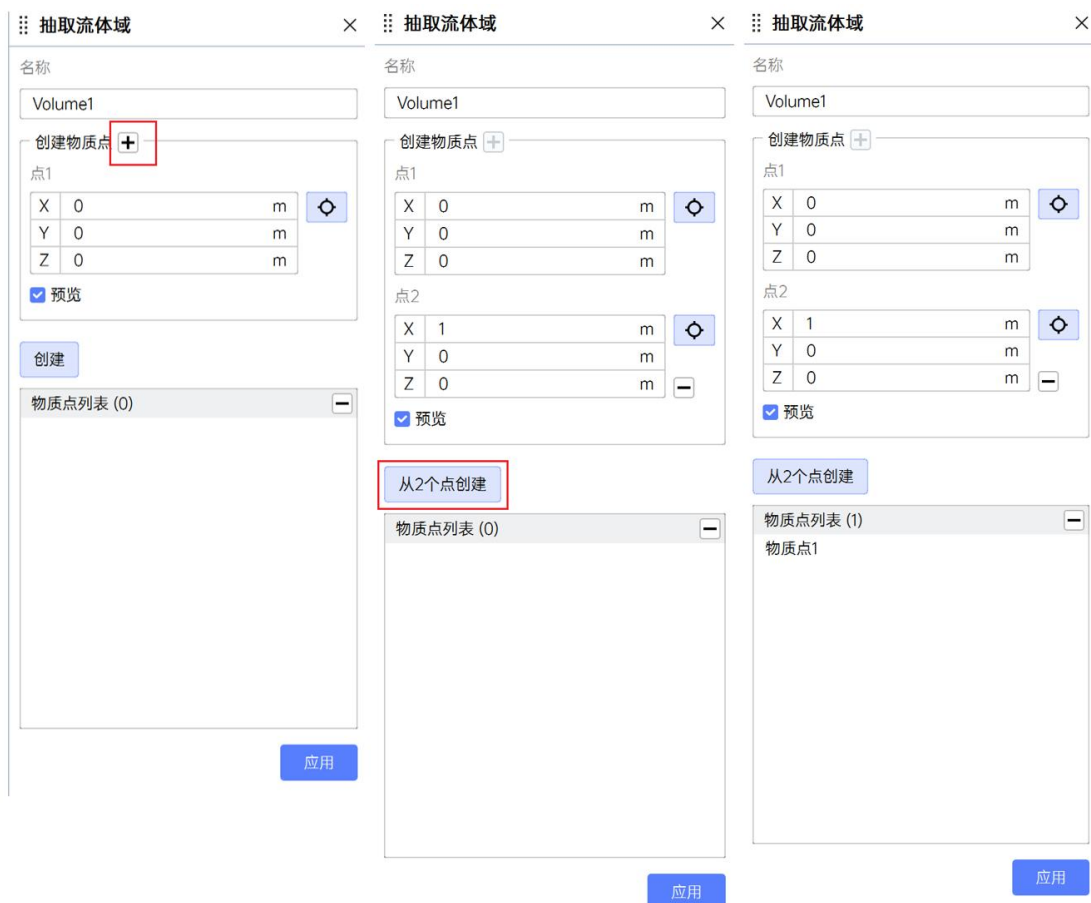


图 2-21 抽取流体域属性页

2.1.2 线编辑

在几何绘制过程中或者在导入外部几何模型后有时会有添加、分割、合并几何边的需求。为解决上述的问题，软件提供了包含线创建、线分割、线合并在内的线编辑功能，用户可通过上述功能满足对于线编辑的需求。

2.1.2.1 创建

在几何绘制过程中有时会有添加几何边的需求，或导入外部几何模型后有时会出现几何边缺失的情况。为解决上述的问题，线编辑中的【创建】提供了通过选定两点创建直线几何边的功能。



图 2-22 线编辑功能位置

参数含义

【线编辑】功能

为选择的两个几何点创建一条几何边。

以下介绍【创建】操作使用：

- (1) 点击线编辑下的【创建】按钮，打开该功能属性页，如下图所示；
- (2) 按住【Ctrl】键，依次选中两个几何点后，属性页中的【应用】按钮将被激活；
- (3) 通过点击【应用】按钮、按【Enter 键】或右键选择【应用】，完成几何边的创建。



图 2-23 线编辑功能属性页

注：

- (1) 该功能操作对象仅为几何点；
- (2) 该功能仅支持选择两个点进行创建；
- (3) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页。

2.1.2.2 分割

在几何绘制和修补过程中有时会有将已有几何边分割的需求，因此为用户

提供了线编辑中的【分割】功能，该功能可用于为下一步的几何建模和几何模型调整做好准备工作。



图 2-24 分割功能位置

参数含义

【分割】功能

线编辑中的【分割】提供了分割几何边的功能，可以通过输入分割点百分比或手动指定分割点位置的方式实现分割边的功能。

以下介绍【分割】操作使用：

- (1) 点击线编辑下的【分割】按钮，打开该功能属性页；
- (2) 选中一条几何边后，属性页中的【应用】按钮将被激活，通过手动输入数值或滑动鼠标的方式确定分割点位置；
- (3) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成几何边的分割。



图 2-25 分割功能属性页

注：该功能操作对象仅为几何边；

该功能每次仅支持选择一条边进行分割；

该功能支持先选中几何对象后再打开属性页；

以下介绍【分割】视图区右键菜单功能：

打开线编辑下的【分割】属性页，选中操作对象后，视图区鼠标右键菜单如下图所示。【应用】与属性页【应用】按钮功能相同；通过【清除选择】可以取消所有已选中的对象；通过【锁定/解锁】可以锁定/取消锁定分割点的位置。

应用
清除选择
锁定/解锁

图 2-26 分割边功能右键菜单

2.1.2.3 合并

在某些几何尤其是外部导入的几何中，一条边可能由多条较短的边组成，而不是一条连续边。这种组合可能会对网格化、自由形式约束和后续几何操作产生负面影响。线编辑中的【合并】功能提供了将多条连续短边合并为一条单边的方式，进而为后续工作奠定基础，合并位置如下图所示。



图 2-27 合并功能位置

参数含义

【合并】功能

合并两条以上相邻几何边并自动移除连接交点。

以下介绍【合并】操作使用：

- (1) 点击线编辑下的【合并】按钮，打开该功能属性页，如下图所示；
- (2) 按住【Ctrl】键，依次选中两条以上相邻的几何边后，属性页中的【应用】按钮将被激活；
- (3) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成几何边的合并。

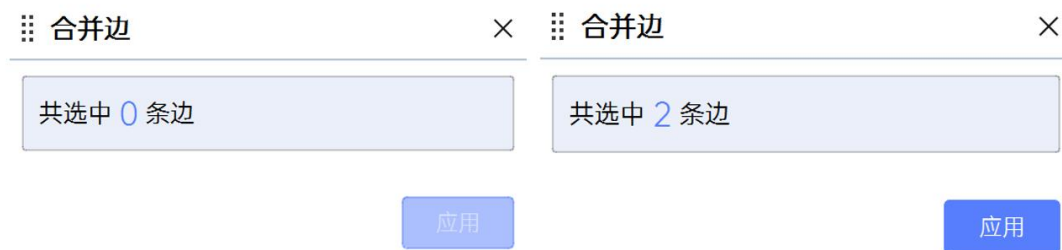


图 2-28 合并功能属性页

注：

- (1) 该功能操作对象仅为几何边；
- (2) 该功能仅支持选择两条以上相邻几何边进行合并，合并后将自动移除连接交点；
- (3) 若选中的边不满足合并条件，例如边未相交或交点不允许移除，则点击【应用】时将弹出警告；
- (4) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页；

2.1.3 面编辑

2.1.3.1 创建面

在几何绘制过程中有时会需要新添加几何面，或导入外部几何模型后有时会出现几何面缺失的情况，面编辑中的【创建】提供了通过选定一组封闭的几何边创建直线几何面的功能，可以满足创建面的需求。



图 2-29 创建功能位置

参数含义

【创建】功能

根据一条以上的几何边生成几何面。

以下介绍【创建】操作使用：

- (1) 点击【面编辑】功能下的【创建】按钮，打开该功能属性页，如下图

所示：

(2) 按住【Ctrl】键，依次选中一条以上几何边，此时属性页中的【应用】按钮将被激活。若打开链式选择开关，则选中一条边后，程序将基于此单边自动选中与该边连接的其他单边。

(3) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成几何面的创建。



图 2-30 创建功能属性页

注：

- (1) 该功能操作对象仅为几何边；
- (2) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页。

2.1.3.2 分割面

几何绘制和几何修复过程中有时会需要将几何面进行分割，例如几何修复时局部表面出现损坏，可分割该表面隔离该区域进行修复。面编辑的【分割】功能通过选择的边分割选定的几何面，从而将该面分割成多个部分。



图 2-31 分割功能位置

参数含义

【分割】功能

通过选择的边分割选定的几何面，从而将该面分割成多个部分。

以下介绍【分割】操作使用：

- (1) 点击面编辑下的【分割】按钮，打开该功能属性页，如下图所示；
- (2) 按住【Ctrl】键，依次选中一条几何边和一个几何面后，属性页中的【应用】按钮将被激活；
- (3) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成几何面的分割。



图 2-32 分割功能属性页

注：

- (1) 该功能操作对象为一条几何边与一个几何面，边须完全在面内；
- (2) 若选中的边、面不满足分割条件，例如边未完全在面内或边的顶点未完全在面的边上，点击【应用】时将弹出警告；
- (3) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页。

2.1.3.3 合并面

在外部导入几何清理修复和几何绘制的过程中，在某些情况下，导入的几何包含小而质量差的面，这些小面可能是冗余的或可能会影响到网格时，有需求将这些若干小面进行合并。面编辑的【合并面】可用于将两个或多个面合并成一个面，此外，还可以使用此功能来移除面上的压印。



图 2-33 合并功能位置

参数含义

【合并】功能

通过选择两个以上相接几何面进行合并，合并后自动移除公共边，实现合并面。

以下介绍【合并】操作使用：

- (1) 点击面编辑下的【合并】按钮，打开该功能属性页；
- (2) 按住【Ctrl】键，依次选中两个以上相邻的几何面后，属性页中的【应用】按钮将被激活；
- (3) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成几何面的合并。



图 2-34 合并功能属性页

注：

- (1) 该功能操作对象仅为几何面；
- (2) 该功能仅支持选择两个以上相接几何面进行合并，合并后将自动移除公共边；
- (3) 若选中的面不满足合并条件，例如面未连接或公共边不允许移除，则点击【应用】时将弹出警告；
- (4) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页。

2.1.3.4 绘制面

在外部导入几何清理修复和几何绘制的过程中，可能会有面缺失的情况，或在删除面后几何出现孔洞的情况，此时需要重新绘制面。面编辑的【绘制面】可通过在空间中连续点击创建点线，首尾闭合后创建几何面。



图 2-35 绘制功能位置

参数含义

【绘制】功能

通过在空间中连续点击，当创建点数量三个以上后，实现创建面的功能。

以下介绍【绘制】操作使用：

- (1) 点击面编辑下的【绘制】按钮，打开功能属性页；
- (2) 在空间中连续点击，当创建点数量三个以上后，属性页中的【应用】按钮将被激活，自动创建点和线；
- (3) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成几何面的合并。



图 2-36 绘制功能属性页

注：

- (1) 在空间中连续点击时，默认创建的点线在同一平面内；
- (2) 连续点击创建点期间，若旋转模型，则再次点击创建的点在新平面内。

以下介绍面编辑下【绘制】视图区右键菜单功能：

点击面编辑下的【绘制】按钮，选中操作对象后，在视图区鼠标右键菜单如下图所示。应用与属性页【应用】按钮功能相同；【清除所有绘制点】可以清空所有的绘制点及其连接线；【回到上一步】可以移除最后一个绘制点及其

连接线；【视图】包含模型各向视图；【边框几何】为几何模型的边框显示模式；【实体几何】为几何模型的实体显示模式；【半透明开关】可以打开或关闭半透明功能。



图 2-37 绘制面功能右键菜单

2.1.3.5 压印面

多个有交集区域的面，面编辑的【压印面】可分别采用这些选定面各自的边去分割其他面。



图 2-38 压印功能位置

以下介绍【压印】操作使用：

- （1）点击面编辑下的【压印】按钮，打开该功能属性页；
- （2）按住【Ctrl】键，依次选中两个以上有交集区域的几何面后，属性页中的【应用】按钮将被激活；
- （3）通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成几何面的压印。



图 2-39 压印功能属性页

注：

- (1) 该功能操作对象仅为几何面；
- (2) 该功能仅支持选择两个以上有交集区域的几何面进行压印；
- (3) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页；

2.1.3.6 拉伸面

拉伸面可以对选中的几何边或面沿指定方向进行拉伸延展，拉伸功能位置如下：



图 2-40 拉伸功能位置

以下介绍【拉伸】操作使用：

- (1) 点击面编辑下的【拉伸】按钮，打开该功能属性页；
- (2) 按住【Ctrl】键，选中一个及以上几何边或面后，属性页中的【应用】按钮将被激活；
- (3) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成几何边或面的拉伸。



图 2-41 拉伸功能属性页

注：

- (1) 该功能适用对象为几何边或面；
- (2) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页。

2.1.3.7 投影

面编辑下的【投影】分为【点投影】和【线投影】模式。对于【点投影】模式，可将一个几何点投影至一条几何边，创建一个新几何点从而分割该几何边，或将一个几何点投影至一个几何面，从而在该几何面上创建几何点；对于【线投影】模式，可将一条几何线投影至一个几何面，创建一条新几何线从而分割该几何面。



图 2-42 投影功能位置

以下介绍【点投影】操作使用：

- (1) 点击面编辑下的【投影】按钮，打开该功能属性页，并点选【点投影】；
- (2) 按住【Ctrl】键，依次选中 1 个几何点与 1 条几何边，或依次选中 1 个几何点与 1 条几何面，属性页中的【应用】按钮将被激活；
- (3) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成

几何点在几何边或几何点在几何面上的投影。



图 2-43 点投影功能属性页

注：

- (1) 投影点功能操作对象为一个几何点与一条几何边，或者一个几何点与一个几何面；
- (2) 将一个几何点投影至一条几何边时，会自动分割几何边；
- (3) 将一个几何点投影至一个几何面时，会生成硬点；
- (3) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页。

以下介绍【线投影】操作使用：

- (1) 点击面编辑下的【投影】按钮，打开该功能属性页，并点选【线投影】；
- (2) 按住【Ctrl】键，依次选中 1 条几何边 与 1 个几何面，属性页中的【应用】按钮将被激活；
- (3) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成几何线在几何面的投影。



图 2-44 线投影功能属性页

2.1.3.8 分组

为了后续网格划分设置和求解设置的顺利进行，几何模型中包含的几何面需要被归纳入不同的集合（组）中以方便浏览和管理。面编辑下的【分组】提供将选定的几何面纳入不同集合（组）的功能，这些集合（组）可以是已存在的也可以是新定义的。



图 2-45 分组功能位置

以下介绍【分组】操作使用：

- （1）点击面编辑下的【分组】按钮，打开该功能属性页；
- （2）按住【Ctrl】键，依次选中一个以上的几何面后，属性页中的【应用】按钮将被激活；
- （3）填写【组名称】，若输入的名称字符不合法，则【应用】按钮自动置灰；
- （4）通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成几何面的分组。



图 2-46 分组功能属性页

注：

- （1）该功能操作对象为几何面；

- (2) 该功能支持先选中几何面后再打开属性页；
- (3) 该功能支持先选中几何面后右键执行【分组】。

2.1.4 布尔运算

2.1.4.1 合并

选择两个有干涉的体进行合并，两个体合并为一个体



图 2-47 合并功能位置

以下介绍【合并】操作使用：

(1) 点击【布尔运算】中的【合并】按钮，打开该功能属性页，选中需要合并的体；

(2) 点击合并属性页中的【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成几何体的合并。合并前后效果如下图所示，灰色重叠部分被合并，两个体变为一个体。

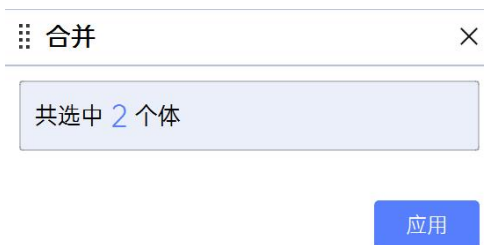


图 2-48 合并功能属性页

注：两个需要合并的体必须存在干涉

体合并后，模型树节点变为 1 个体，如下图所示：

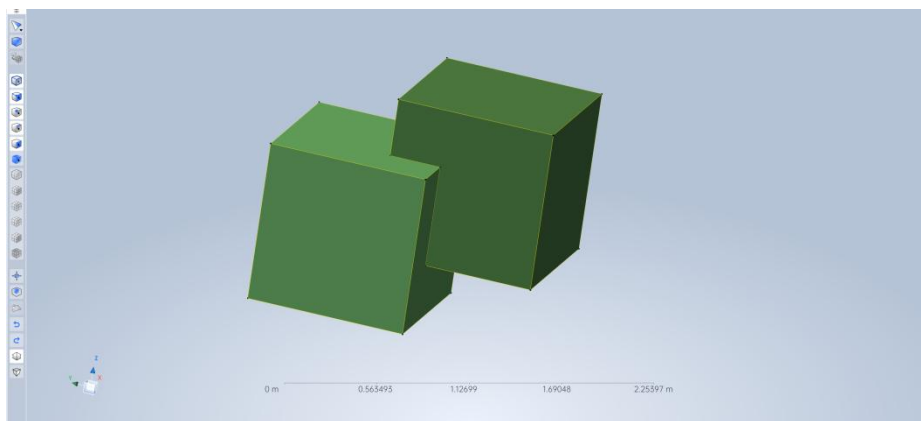


图 2-49 合并功能后效果

2.1.4.2 相交

选择两个有干涉的体进行相交，保留相交的部分作为一个体。



图 2-50 相交功能位置

以下介绍【相交】操作使用：

(1) 点击【布尔运算】中的【相交】按钮，打开该功能属性页，选中需要相交的体；

(2) 点击合并属性页中的【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成几何体的相交。相交前后效果如下图所示，相交的部分变为以个体。

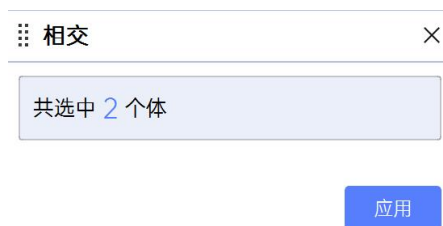


图 2-51 相交功能属性页

注：两个需要相交的体必须存在干涉。

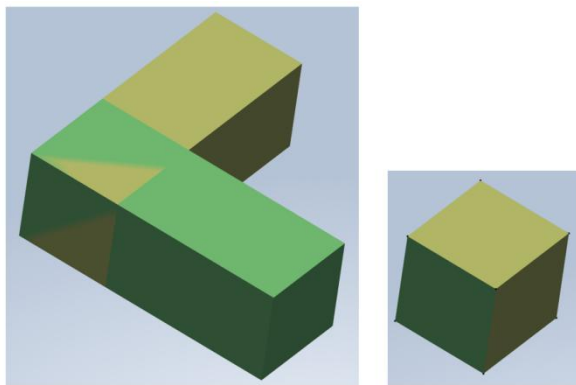


图 2-52 相交功能使用前后视图区变化

2.1.4.3 相减

选择两个有干涉的体进行相减，目标体被工具体减，得到工具体剩下的部分作为一个体，位置如下图所示：



图 2-53 相减功能位置

以下介绍【相减】操作使用：

（1）点击【布尔运算】中的【相减】按钮，打开该功能属性页，选中做裁剪的体和被裁剪的体；

（2）点击合并属性页中的【相减】按钮、按【Enter 键】或右键选择【相减】，完成几何体的相减。相减效果如下图所示，被裁剪的体模型上和做裁剪的体相交的部分被移除。



图 2-54 相减功能属性页

注：两个需要相减的体必须存在干涉。

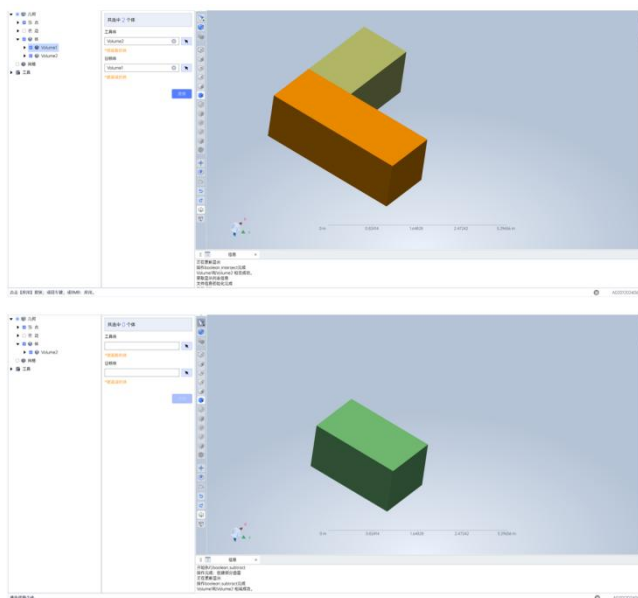


图 2-55 相减功能前后变化

2.1.5 转换

转换下包含平移、镜像、旋转、缩放四个功能，转换功能位置如下。



图 2-56 转换功能位置

2.1.5.1 平移

几何转换下的【平移】可相对于选定坐标系沿指定方向（矢量、两点确定的方向）平移几何对象如：几何点、几何边、几何面。

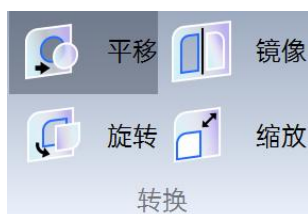


图 2-57 平移功能位置

以下介绍【平移】操作使用：

(1) 点击【平移】按钮，打开该功能属性页；

(2) 选择要平移的几何点、几何线或几何面；

(3) 设置平移方式和平移距离。平移方式分为【偏移】和【矢量】。前者需要定义几何对象在 X、Y、Z 方向上的平移距离；后者需要通过选取两点来定义平移的方向，以及设置该方向上的平移距离；

(4) 可以通过勾选【复制】复选框来设置是否保留原几何；

通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或在右键菜单中选择【应用】，完成几何对象的平移。

Figure 2-58 displays the 'Translate' (平移) function attribute page, showing two panels for different translation methods: 'Offset' (偏移) and 'Vector' (矢量).

Offset Method (Left Panel):

- Method: 偏移 (Offset)
- Translation Distance Table:

X	0	m
Y	0	m
Z	0	m

- Distance: 1 m
- Copy: ☐ 复制
- Apply: 应用

Vector Method (Right Panel):

- Method: 矢量 (Vector)
- Translation Distance Table:

X	1	m
Y	0	m
Z	0	m

- Distance: 1 m
- Copy: ☐ 复制
- Apply: 应用

图 2-58 平移功能属性页

注：

- (1) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页；
- (2) 点选取功能激活后可以捕捉几何点坐标；
- (3) 选取几何对象且设置参数有效后，【应用】按钮才会激活。

2.1.5.2 镜像

几何转换下的【镜像】可使用用户自定义的法向矢量绕平面镜像选定的几何实体。



图 2-59 镜像功能位置

以下介绍【镜像】操作使用：

- (1) 点击转换下的【镜像】按钮，打开该功能属性页；
- (2) 选择镜像的几何点、几何线或几何面；
- (3) 设置镜像面，镜像面的定义方式分为【坐标系平面】和【点和法向】。前者定义镜像面为全局坐标系下的 $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 、 $Y_{\max}$ 、 $Y_{\min}$ 、 $Z_{\max}$ 或 $Z_{\min}$ 平面；后者通过选取一点和一个法向方向矢量来构造镜像面；
- (4) 可以通过勾选【复制】复选框来设置是否保留原几何；
- (5) 通过点击【应用】按钮、按【Enter 键】或在右键菜单中选择【应用】，完成几何对象的镜像。

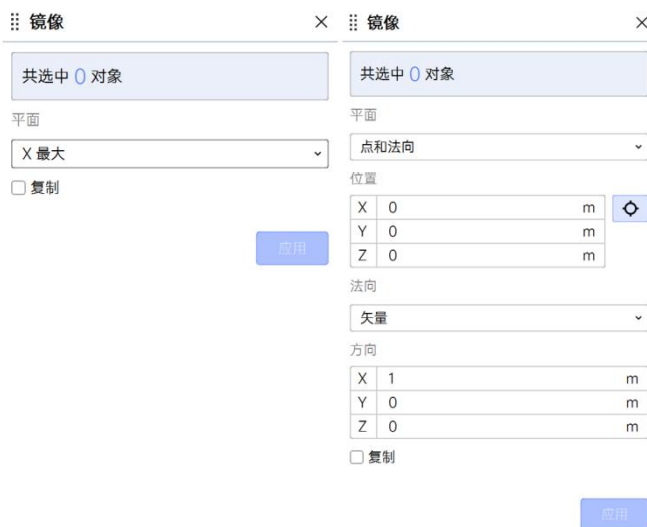


图 2-60 镜像功能属性页

注：

- (1) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页；
- (2) 点选取功能激活后可以捕捉几何点坐标；
- (3) 选取几何对象且设置参数有效后，【应用】按钮才会激活。

2.1.5.3 旋转

几何转换下的【旋转】可绕选定参考坐标系中的坐标轴或矢量分量定义的轴来旋转选定几何对象，旋转遵循右手定则。



图 2-61 旋转功能位置

以下介绍【旋转】操作使用：

- (1) 点击转换下的【旋转】按钮，打开该功能属性页；
- (2) 选择要旋转的几何点、几何线或几何面；
- (3) 设置旋转轴。旋转轴定义方式分为【坐标轴】和【矢量】。前者定义旋转轴为全局坐标系下的 X、Y 或 Z 轴；后者需要通过选取一点和一个方向矢量来定义旋转轴；
- (4) 设置几何绕旋转轴的旋转角度；
- (5) 可以通过勾选【复制】复选框来设置是否保留原几何；
- (6) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或在右键菜单中选择【应用】，完成几何对象的旋转。

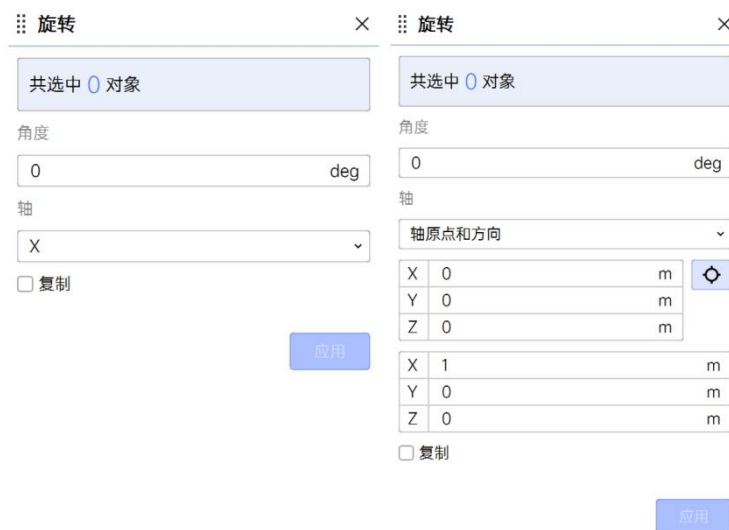


图 2-62 旋转功能属性页

注：

- (1) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页；
- (2) 点选取功能激活后可以捕捉几何点坐标；
- (3) 选取几何对象且设置参数有效后，【应用】按钮才会激活。

2.1.5.4 缩放

几何转换下的【缩放】会将选定几何实体的位置矢量分量乘以用户自定义的缩放系数，从而实现对选定几何实体的缩放操作。



图 2-63 缩放功能位置

以下介绍【缩放】操作使用：

- (1) 点击【缩放】按钮，打开该功能属性页，如图 3-221 所示；
- (2) 选择缩放的几何点、几何线或几何面；
- (3) 设置缩放中心，缩放中心的定义方式分为【原点】和【指定】。前者定义缩放中心为全局坐标系下的（0，0，0）；后者通过选取一点作为缩放中心；
- (4) 设置缩放系数；
- (5) 可以通过勾选【复制】复选框来设置是否保留原几何；
- (6) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或在右键菜单中选择【应用】，完成几何对象的缩放。



图 2-64 缩放功能属性页

注：

- (1) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页；
- (2) 点选取功能激活后可以捕捉几何点坐标；
- (3) 选取几何对象且设置参数有效后，【应用】按钮才会激活；

2.1.6 其他

其他下的一系列功能可以快速创建的简单几何形状。可用的形状零部件包括长方体、圆柱、球体和半球体。通常，形状零部件在导入几何零部件之后创建，用于在引用导入的几何零部件时创建外部流体域。

2.1.6.1 实体

实体下包含立方体、圆柱体、球体、半球体以及圆锥体，实体位置如下：



图 2-65 实体功能位置

其他下的【立方体】可通过指定两点创建几何长方体。



图 2-66 立方体功能位置

以下介绍立方体操作使用：

- (1) 点击【立方体】按钮，打开该功能属性页；
- (2) 默认立方体包围所有几何面，属性页中的【应用】按钮自动激活，可

通过点击几何面、或拖动立方面圆球、或在属性页中修改数值调整立方面的尺寸与位置；

(3) 填写【名称】，若输入的名称字符不合法，则【应用】按钮自动置灰；

(4) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成几何体的创建。

立方体
×

名称

点1

X	0	m
Y	0	m
Z	0	m

点2

X	1	m
Y	1	m
Z	1	m

图 2-67 实体功能属性页

注：

- (1) 支持空文档创建几何；
- (2) 通过选择几何对象创建立方面时，操作对象仅为几何面；
- (3) 通过选择几何对象创建立方面时，操作对象可以为几何点、几何线或几何面；
- (4) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页。

圆柱体

其他下的【圆柱体】可通过指定两点或点和轴创建几何圆柱体。



图 2-68 圆柱体位置

以下介绍圆柱体创建操作：

- (1) 点击【圆柱体】按钮，打开该功能属性页；
- (2) 默认圆柱体基于整个几何模型生成。可通过点击几何对象、或拖动包围盒圆球、或在属性页中修改数值调整圆柱体的尺寸与位置；
- (3) 圆柱体的创建方法分为【两点】和【点和轴】。前者需要定义圆柱上下圆面的圆心坐标和半径值；后者需要定义一个圆面的圆心坐标、圆面半径、圆柱高度以及圆柱中心轴的方向。中心轴的方向可以设置与坐标轴一致，也可通过两点定义。
- (3) 填写【名称】，若输入的名称字符不合法，则【应用】按钮自动置灰；填写【半径】，若输入的数值为非正数，则【应用】按钮自动置灰；定义【方向】，若两点的坐标值一致，则【应用】按钮自动置灰。
- (4) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成几何的创建。

圆柱体

×

名称

Cylinder-1

方法

两点

原点1

X	0	m
Y	0	m
Z	0	m

原点2

X	1	m
Y	0	m
Z	0	m

半径

1 m

应用

图 2-69 圆柱体属性页

注：

- (1) 支持空文档创建几何；
- (2) 通过选择几何对象创建圆柱体时，操作对象可以为几何点、几何线或

几何面；

- (3) 点选取功能激活后可以捕捉几何点坐标；
- (4) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页。

球体

其他下的【球体】可通过指定原点和半径创建几何球体。



图 2-70 球体位置

以下介绍球体创建操作：

- (1) 点击【球体】按钮，打开该功能属性页，如图 3-230 所示；
- (2) 默认球体基于整个几何模型生成。可通过点击几何对象、或拖动包围盒圆球、或在属性页中修改数值调整球体的尺寸与位置；
- (3) 球体的创建需要定义球心坐标和球半径；
- (4) 填写【名称】，若输入的名称字符不合法，则【应用】按钮自动置灰；
填写【半径】，若输入的数值为非正数，则【应用】按钮自动置灰；
- (5) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成几何的创建。



图 2-71 球体属性页

注：

- (1) 支持空文档创建几何；
- (2) 通过选择几何对象创建球体时，操作对象可以为几何点、几何线或几何面；
- (3) 点选取功能激活后可以捕捉几何点坐标；
- (4) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页；

半球体

其他下的【半球体】可通过指定原点、半径和半球面法向轴创建几何半球体，半球体位置如下所示：



图 2-72 半球体位置

以下介绍半球体创建操作：

- (1) 点击【半球体】按钮，打开该功能属性页；
- (2) 默认半球体基于整个几何模型生成。可通过点击几何对象、或拖动包

围盒圆半球、或在属性页中修改数值调整半球体的尺寸与位置；

(3) 半球体的创建需要定义球心坐标、球半径以及半圆的方向。方向的定义方法分为【坐标轴】和【两点】，前者设置方向与坐标轴相同；后者通过两点定义半圆方向；

(4) 填写【名称】，若输入的名称字符不合法，则【应用】按钮自动置灰；填写【半径】，若输入的数值为非正数，则【应用】按钮自动置灰；定义【方向】，若两点的坐标值一致，则【应用】按钮自动置灰。

(5) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成几何的创建。

半球体		
名称		
Hemisphere-1		
原点1		
X	0	m
Y	0	m
Z	0	m
半径		
1		m
轴		
+X		
应用		

图 2-73 半球体属性页

注：

- (1) 支持空文档创建几何；
- (2) 通过选择几何对象创建半球体时，操作对象可以为几何点、几何线或几何面；
- (3) 点选取功能激活后可以捕捉几何点坐标；
- (4) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页；

圆锥体

其他下的【圆锥】可通过指定原点 1、原点 2 和半径创建圆锥，圆锥体的位置如下：



图 2-74 圆锥体位置

- (1) 点击【圆锥】按钮，打开该功能属性页，如图 3-233 所示；
- (2) 默认圆锥基于整个几何模型生成。可通过点击几何对象、或拖动包围盒圆锥、或在属性页中修改数值调整圆锥的尺寸与位置；
- (3) 圆锥的创建方法分为【两点】和【点和轴】。前者需要定义圆锥圆面的圆心坐标、半径及圆锥顶点坐标；后者需要定义圆锥圆面的圆心坐标、半径、以及圆锥高度和圆锥中心轴的方向。中心轴的方向可以设置与坐标轴一致，也可通过两点定义。
- (4) 填写【名称】，若输入的名称字符不合法，则【应用】按钮自动置灰；填写【半径】，若输入的数值为非正数，则【应用】按钮自动置灰；定义【方向】，若两点的坐标值一致，则【应用】按钮自动置灰。
- (5) 通过点击【创建】按钮、按【Enter 键】或右键选择【创建】，完成几何的创建。

圆锥体

×

名称

Cone-1

方法

两点

原点1

X	0	m	
Y	0	m	
Z	0	m	

原点2

X	1	m	
Y	0	m	
Z	0	m	

半径

1m

应用

图 2-75 圆锥体属性页

注：

- (1) 支持空文档创建几何；
- (2) 通过选择几何对象创建半球体时，操作对象可以为几何点、几何线或几何面；
- (3) 点选取功能激活后可以捕捉几何点坐标；
- (4) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页；

2.1.6.2 删除

其他下的【删除】可删除选定的几何对象如点、边、面，删除功能位置如下：



图 2-76 删除功能位置

以下介绍【删除】操作使用：

- (1) 点击【删除】按钮，打开该功能属性页；
- (2) 按住【Ctrl】键，依次选中一个以上的几何点、边、面或体后，属性页中的【应用】按钮将被激活；
- (3) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成几何对象的删除。

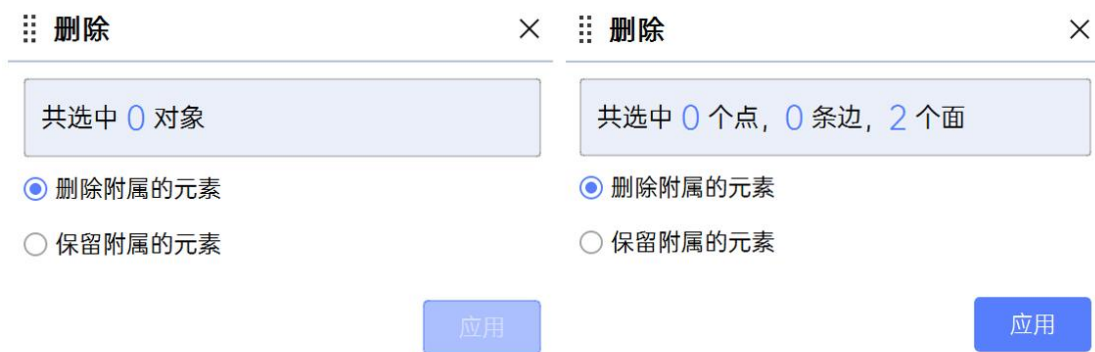


图 2-77 删除功能属性页

注：

- (1) 该功能操作对象为几何点、边、面、体；
- (2) 若选中的几何对象不满足删除条件，点击【删除】时将弹出警告；
- (3) 该功能支持先选中几何对象后再打开属性页；

2.2 网络

网格区功能如下图所示，主要包括设置、面网格生成、面网格编辑、体网格生成、诊断五个子功能区，QFlux，用于网络参数的设置、面网格与体网格的生成、生成网格后网格的编辑以及网格结果查看。网格功能位置如下所示：



图 2-78 网格功能位置总览

2.2.1 设置

设置下包含全局网格尺寸、局部尺寸、边界层、检查、密度盒以及周期功能。

2.2.1.1 全局

设置下的【全局】用于设置全局网格参数，它面向全部几何对象的。



图 2-79 全局网格参数设置功能位置

注：局部尺寸与密度盒功能受全局尺寸功能的限制。

以下介绍【全局】操作使用：

- (1) 点击【全局】按钮，打开该功能属性页，包含基本、高级两个选项卡；
- (2) 使用该功能时，无需选中任何对象，在参数框中填入合法数值，【应用】按钮将自动激活；

⋮ 全局网格设置

×

基本

最大尺寸

0.282308

m

最小尺寸

0.0564616

m

增长率

1.2

高级

曲率法向角

20

deg

☐

邻近控制

☒全部三角形网格

☒网格质量优化

边界层

最低质量

0.1

分离角

45

deg

最大尺寸比

500

☐自动缩减

多面体

☐

剔除低质量单元

☐

剔除楔形单元

应用

图 2-80 全局网格参数设置功能属性页

(3) 若参数框中输入数值不合法，则输入框变为红色，如下图所示。

⋮ 全局网格设置

×

基本

最大尺寸

0.282308

m

最小尺寸

0.0564616

m

增长率

1.2

高级

曲率法向角

20

deg

☐

邻近控制

☒全部三角形网格

☒网格质量优化

边界层

最低质量

0.1

分离角

45

deg

最大尺寸比

500

☐自动缩减

多面体

☐

剔除低质量单元

☐

剔除楔形单元

应用

⋮ 全局网格设置

×

基本

最大尺寸

0.05

m

最小尺寸

0.0564616

m

增长率

1.2

高级

曲率法向角

100

deg

☐

邻近控制

☒全部三角形网格

☒网格质量优化

边界层

最低质量

0.1

分离角

45

deg

最大尺寸比

500

☐自动缩减

多面体

☐

剔除低质量单元

☐

剔除楔形单元

应用

图 2-81 全局网格参数设置不合法提示

注：（1）最大尺寸要大于最小尺寸的值；（2）曲率法向角的取值范围为

(0,90)。

(4) 通过点击【应用】按钮或按【Enter】键，完成全局网格参数的设置。

注：

(1) 网格最大尺寸、最小尺寸是生成网格时的网格尺寸限制值，并不指必然生成该尺寸的网格；

(2) 间隙单元数与最小间隙尺寸用于控制间隙中的网格尺寸，但同时间隙网格尺寸不会小于最小尺寸；

(3) 网格质量优化具体指生成网格后将执行一个增强程序，目的在于提高体单元的网格质量，但执行该程序需要一定时间，建议生成最终体网格时勾选；

全局网格参数含义与取值范围如下表所示：

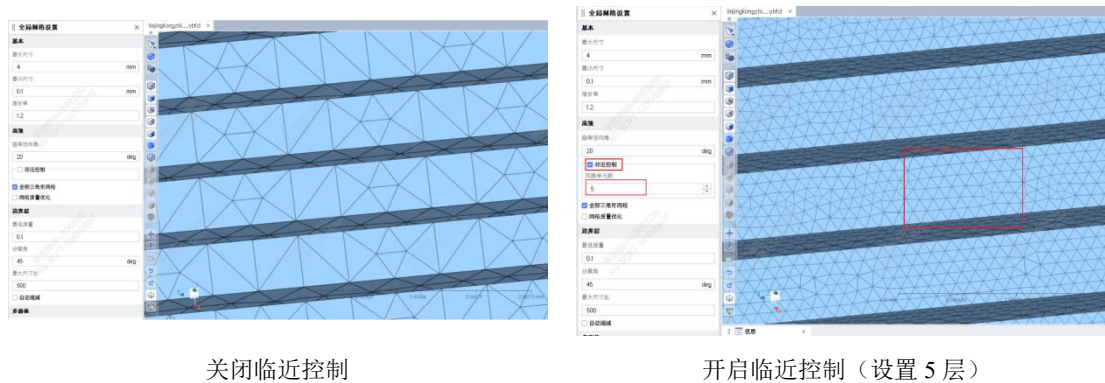
表 2-1 全局网格参数含义与取值范围

选项卡	参数	含义	默认值	取值范围
基本参数	最大尺寸	最大网格单元尺寸	模型尺寸*5%	>0
	最小尺寸	最小网格单元尺寸	模型尺寸*1%	[0, 最大尺寸]
	增长率	相邻网格单元尺寸增长率	1.2	>0
高级参数	曲率法向角	曲面生成面网格时相邻网格法线相交后的锐角上限	20	>0
	间隙单元数	相邻几何面形成的间隙中生成网格单元的数量	1	正整数
	全部三角形网格	生成的面网格全是三角形网格，或是三角形、四边形网格的混合	勾选	/
	网格质量优化	生成网格后自动进行优化	勾选	/
边界层	最低质量	允许生成的边界层网格的最低质量值	0.1	[0, 1]
	分离角	边界层是否沿着相邻边界面生长的临界角度	45°	(0, 90°)
	最大尺寸比	允许生成的最大的边界层单层高度与底部面单元的尺寸比值	1.2	(0, 1000]
	自动缩减	自动减小边界层厚度以生成用户指定层数的边界层	不勾选	/
多面体	剔除低质量单元	剔除不满足质量要求的多面体单元	不勾选	/
	最低质量限制值	最低质量要求	0.02	[0,1]
	剔除楔形单元	剔除不满足角度要求的多面体单元	不勾选	/

选项卡	参数	含义	默认值	取值范围
	最小锐角限制	最小锐角要求	5	[0,45]

邻近控制参数的控制效果

网格的邻近控制主要关注网格单元之间的相对位置和大小，以确保流场的准确捕捉和计算的稳定性。当网格单元之间存在较大的尺寸差异或不规则的形状时，可能会导致计算误差的增加和模拟结果的失真。因此，通过邻近控制来优化网格布局，可以提高模拟结果的准确性和可靠性。邻近控制开启前后对比如下图所示。



关闭邻近控制

开启邻近控制（设置 5 层）

图 2-82 邻近控制设置效果

曲率法向角

曲面生成面网格时相邻网格法线相交后的锐角上限,曲率法向角的取值范围为(0,90)。如下图所示(两个三角面网格法线夹角):



图 2-83 曲率法向角示意图

网格质量优化

勾选网格质量优化，网格质量优化是对生成的网格进行光顺处理，将质量在 0.3 以下的网格进行优化，以减少网格的扭曲和不规则性，提高网格的数值稳定性。

开启网格质量优化前后对比如下图所示。

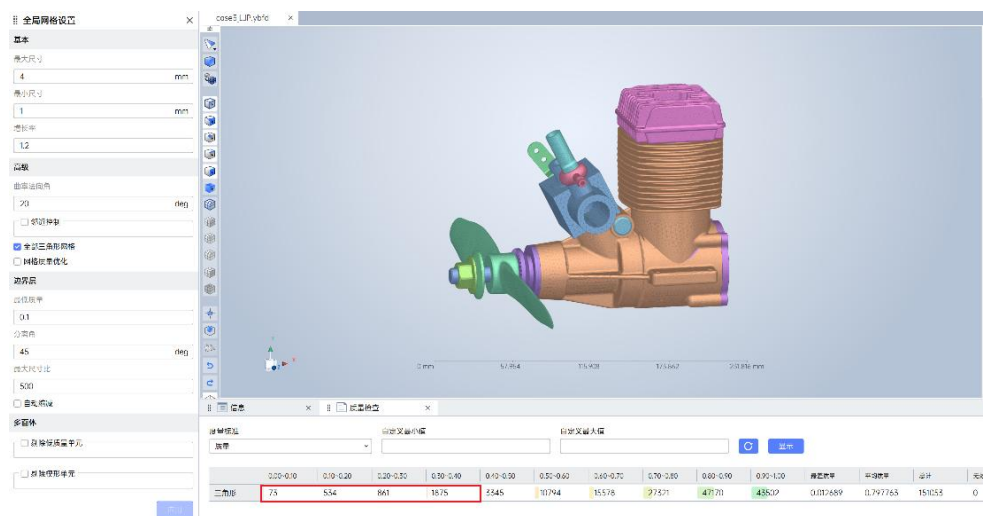


图 2-84 未勾选网格质量优化

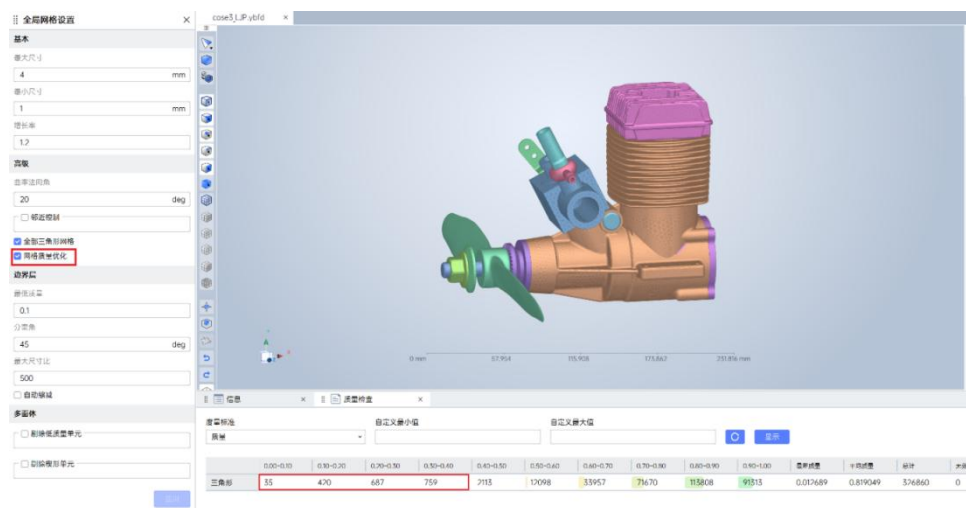


图 2-85 勾选网格质量优化

2.2.1.2 局部尺寸

设置下的【局部尺寸】用于设置局部面组的网格参数，可控制面组网格的尺寸、增长率和曲率法向角。

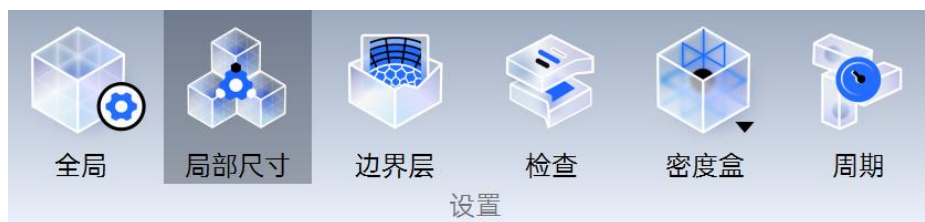


图 2-86 局部尺寸功能位置

以下介绍【局部尺寸】操作使用：

（1）点击【局部尺寸】按钮，打开该功能属性页，包含几何体列表（若有体）、几何面列表两个选框；

（2）选中相应面组后，在参数框中填入合法数值，【应用】按钮将自动激活；

注：

（1）若参数框中输入数值不合法，则输入框变为红色，如下图所示；

（2）最小尺寸不可大于最大值也不可小于 0；

（3）增长率的取值范围为 $(0,+\infty)$ 。

局部尺寸

×

名称

局部尺寸1

组

面

边

体列表

面列表

inlet1

inlet2

out

wall

最大尺寸

0.008

m

最小尺寸

0.00881207

m

增长率

0

曲率法向角

20

deg

应用

图 2-87 局部网格参数设置不合法提示

(3) 通过点击【应用】按钮或按【Enter】键，完成局部网格参数的设置。

⋮ 局部尺寸 ×

名称

局部尺寸1

组面边

体列表

面列表

inlet1
inlet2
out
wall

最大尺寸

0.0440604m

最小尺寸

0.00881207m

增长率

1.2

曲率法向角

20deg

应用

图 2-88 局部网格参数设置功能属性页

注：

- (1) 网格最大尺寸、最小尺寸是生成网格时的网格尺寸限制值，并不指必然生成该尺寸的网格；
- (2) 局部尺寸功能用于局部网格细化，局部最大尺寸小于全局尺寸；若设置的局部最大尺寸大于全局最大尺寸，点击应用后则会有弹窗提示错误“设置尺寸超过全局尺寸，请修改尺寸”；

局部网格尺寸参数含义与取值范围如下表所示：

表 2-2 局部网格尺寸参数含义与取值范围

参数	含义	默认值	取值范围
最大尺寸	最大网格单元尺寸	模型尺寸*5%	>0
最小尺寸	最小网格单元尺寸	模型尺寸*1%	[0, 最大尺寸]
增长率	相邻网格单元尺寸增长率	1.2	>0
曲率法向角	曲面生成面网格时相邻网格法线相交后的锐角上限	20	>0

2.2.1.3 边界层

边界层是指在流体靠近固体物体表面的区域，流体速度逐渐减小，流体粘性起主导作用，流动变得非常复杂。边界层的精确建模对于研究物体表面的细节流动和相关现象（例如壁面摩擦、热传递、质量传递等）至关重要。边界层网格通过在流体靠近物体表面的区域内更密集地划分网格，可以提供更准确和精细的流场分布。设置下的【边界层】提供了设置局部面组边界层网格参数的功能。

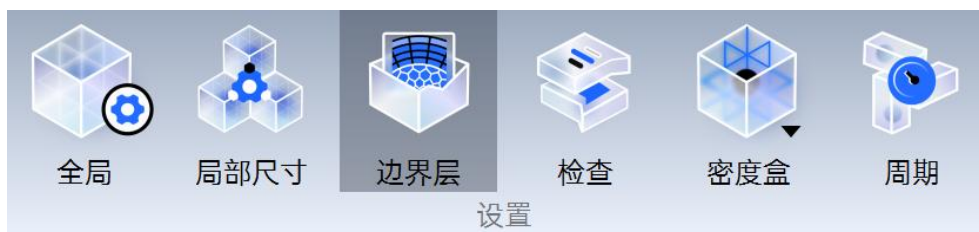


图 2-89 边界层参数设置功能位置

以下介绍【边界层】操作使用：

（1）点击【边界层】，该功能属性页包含几何体列表（若有体）、几何面列表两个选框，默认各面组边界层均关闭，因此按需要选择设置边界层的面；

（2）勾选【边界层选项】，根据实际需要，在参数框中为【层数】、【第一层层高】、【增长率】填入合法数值；



图 2-90 边界层参数设置功能属性页

(3) 若参数框中输入数值不合法，则输入框变为红色，如下图所示：



图 2-91 边界层参数设置不合法提示

(3) 其中【第一层层高】可以通过【y+计算器】进行计算。点击【计算】可以得到所给定参数下的第一层层高，点击应用可以将计算的结果填入边界层属性页中的【第一层层高】中。

⋮ y+计算器

×

选项

相对速度

相对速度

1

m/s

密度

1.225

kg/m^3

动力粘度

1.789e-05

kg/(m s)

相对长度

1

m

所需y+值

1

第一层层高

-

m

计算

应用

⋮ y+计算器

×

选项

雷诺数

雷诺数

5e+06

相对长度

1

m

所需y+值

1

第一层层高

-

m

计算

应用

图 2-92y+计算器属性页

(4) 通过点击【应用】按钮或按【Enter】键，完成边界层参数的设置。

注：

(1) 对于共享面，可在各自的体中设置边界层，且在不同的体中参数允许不同；但是若采用包面网格的方式，则在共享面两侧边界层参数设置必须一致，若填写不一致，则以最后一次填写为准。

(2) 采用包面网格且域定义方式为【外部体】时，体内的共享面不生成边界层网格。

局部网格尺寸参数与取值范围如下图所示：

表 2-3 局部网格尺寸参数含义与取值范围

参数	含义	默认值	取值范围
层数	边界层总层数	3	≥0
第一层层高	第一层边界层网格层高	模型尺寸*5‰	>0
增长率	相邻层网格尺寸增长率	1.2	>0

边界层

最低质量：网格生成过程中对边界层网格质量进行约束，允许生成的边界层网格的最低质量值，默认 0.1，取值[0, 1]。

分离角

边界层是否沿着相邻边界面生长的临界角度是一个复杂的问题，它涉及到流体力学中的多个因素，包括流体的粘性、流速、边界面的形状和粗糙度等。在标准的流体力学理论中，并没有一个固定的临界角度可以准确地描述边界层的生长情况。因此，在边界层网格是否沿着相邻边界面生长给出自定义设置，临界角度(0, 90°)，默认 45°。

最大尺寸比

允许生成的最大的边界层单层高度与底部面单元的尺寸比值，默认 1.2。

允许生成的最大的边界层单层高度与底部面单元的尺寸比值，它通常取决于多个因素，包括流体的物理特性、流速、边界条件以及具体的计算需求等。一般来说，边界层的高度与底部面单元的尺寸比值应该足够小，以确保边界层内的流动特性能够被准确地模拟。如果比值过大，可能会导致边界层内的流动细节被忽略，从而影响计算结果的准确性。然而，确定这个比值的最大允许值并不是一件简单的事情。它通常需要通过实验验证或数值模拟来确定，以确保模拟结果与实际流动情况相符。在实际应用中，可能会根据经验或先前的成功案例来设置一个合理的比值范围。因此，在进行设置时，给出最大尺寸比的自定义值，需要综合考虑多个因素来确保模拟结果的准确性和可靠性。

自动缩减

自动缩减勾选前后对比如下图所示。

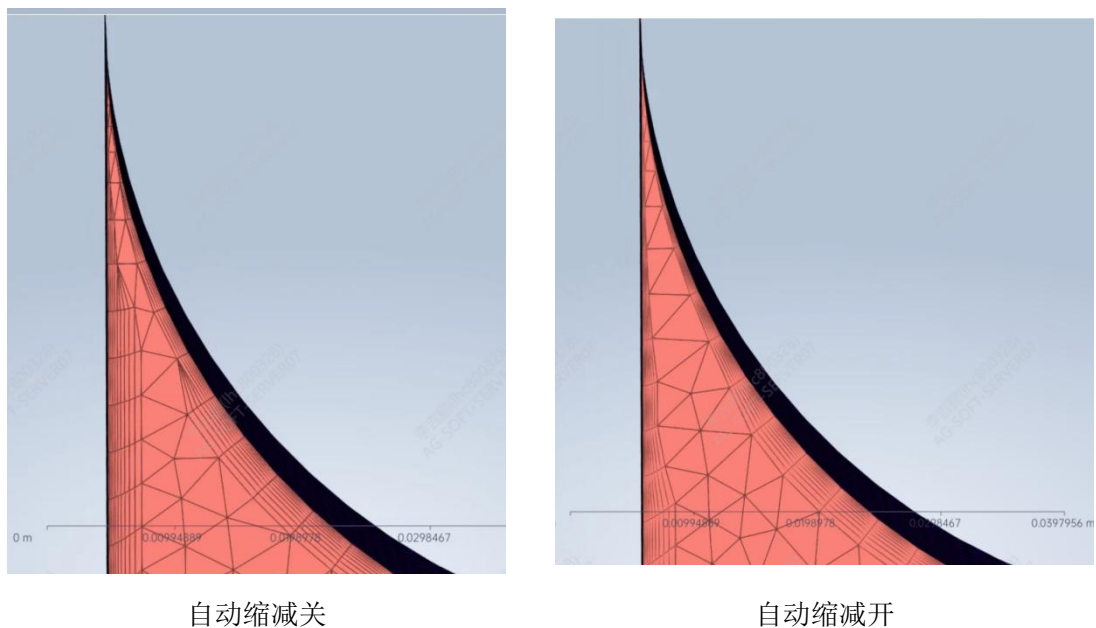


图 2-93 自动缩减开关效果示意图

多面体

剔除低质量单元

剔除多面体体中网格质量低于一定值的网格，默认 0.02，低质量网格单元可能会导致计算误差增大、收敛性问题以及模拟结果的不准确。因此，剔除低质量网格单元是确保模拟结果准确性和稳定性的重要步骤。

剔除楔形单元

楔形单元是一种五面体网格单元，它具有一个四边形底面和四个三角形侧面。这种单元类型在处理复杂几何形状时可能较为方便，因为它可以适应一定的几何变化。然而，楔形单元在计算精度上可能不如其他类型的单元，如四面体或六面体单元。因此，剔除楔形单元（也称为五面体单元）用于提高求解分析的计算精度。

网格划分逻辑

全局、局部、密度盒组合设置时控制的逻辑，优先级如下：

全局尺寸包含网格划分尺寸阈值，其余设置（局部、密度盒）均在最大值和最小值之间。

局部尺寸 $\geq$ 全局尺寸最小值，尺寸上限为全局最大尺寸。

密度盒尺寸 $\geq$ 全局尺寸最小值，尺寸上限为全局最大尺寸、局部最大尺寸、密度盒尺寸三者中的最小值。

2.2.1.4 检查

设置下的【检查】可在信息栏新激活一个参数面板，可查询全部几何对象用户设置的所有网格参数，包括全局、局部尺寸、边界层等，如下图所示。此功能一般用于在设置网格参数时的自查和设置完所有网格参数后的总结。

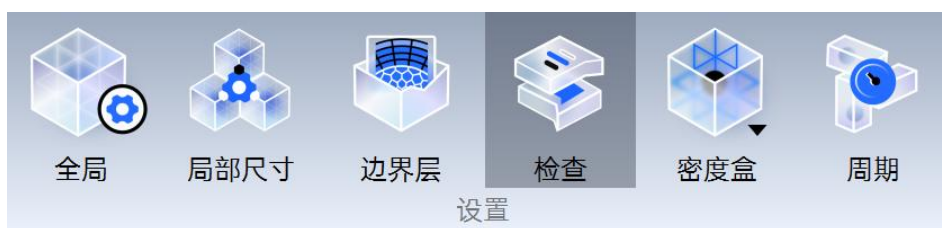


图 2-94 检查功能位置

以下介绍【检查】操作使用：

点击【检查】按钮，打开【设置检查】参数面板，如下图所示；点击右侧【×】可进行关闭；

▼ 全局/局部/边界层								
名称	最大尺寸 (m)	最小尺寸 (m)	曲线法向角 (deg)	增长率	边界层	层数	第一层厚度 (m)	增长率
全局	0.0440604	0.00881207	20	1.2	-	-	-	-
▼ 组								
inlet	-	-	-	-	关闭	3	0.00444858	1.2
outlet	-	-	-	-	关闭	3	0.00444858	1.2
▶ 面尺寸								
▶ 边尺寸								

图 2-95 网格参数设置检查功能面板

注：在参数设置检查面板开启状态下，设置网格参数及配置单位时，面板中数值与单位自动更新。

2.2.1.5 密度盒

网格密度盒是一种在计算流体动力学模拟中常用的网格加密手段，它允许用户在特定区域内控制网格的大小和分布。这种功能对于那些不与任何几何体相邻的体积域网格的细分非常有用，例如汽车尾流区。通过定义一个或多个密

度盒，用户可以在这些区域内部署更细的网格，以便获得更精确的模拟结果，同时保持其他区域的网格相对粗糙，以减少计算成本。设置下的【密度盒】可通过选中几何对象或输入坐标，设置加密局部区域网格的包围盒。如下图所示。根据密度盒的形状，可以分为【长方体密度盒】、【球密度盒】和【圆柱密度盒】。

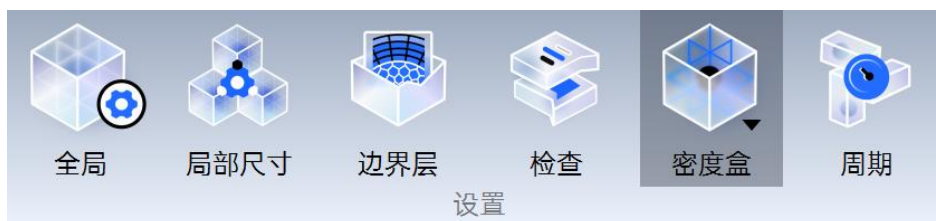


图 2-96 密度盒功能位置

注：在局部网格最大最小值设置，密度盒的尺寸设置时，会进行判断是否超出全局尺寸，若超出时会进行提示“设置尺寸超过全局尺寸，请修改尺寸”。

以下介绍【长方体密度盒】操作使用：

- (1) 点击【长方体密度盒】按钮，打开该功能属性页；
- (2) 按住【Ctrl】键，依次选中几何对象，自动生成包围选中对象的包围盒，可通过修改点1与点2的坐标、拖动包围盒小球位置的方式调整密度盒尺寸，在参数框中填入合法数值，【应用】按钮将自动激活；
- (3) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成密度盒的创建。
- (4) 创建完成后，会在模型树上产生相应名称的密度盒节点，右键节点可以执行【编辑】和【删除】操作。

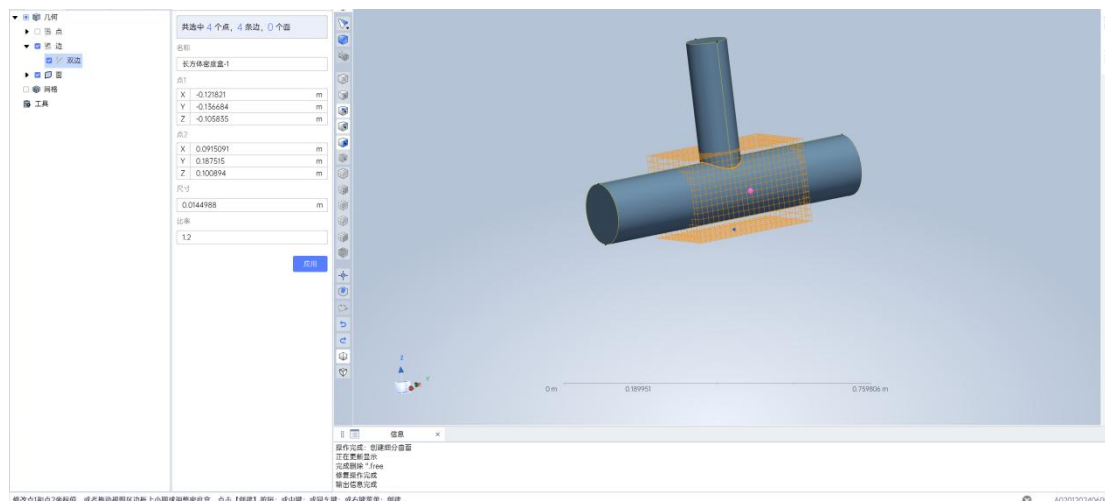


图 2-97 长方体密度盒功能属性页

注：长方体密度盒功能用于局部网格加密，因此，密度盒加密区的网格尺寸上限为全局最大尺寸、局部最大尺寸、密度盒尺寸三者中的最小值。

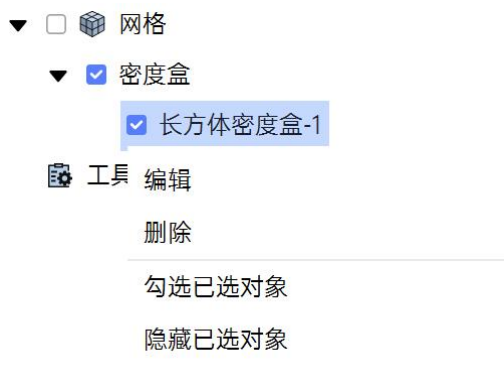


图 2-98 模型树右键密度盒节点

表 2-4 长方体密度盒参数含义与取值范围

参数	含义	默认值	取值范围
尺寸	密度盒网格尺寸	选中对象的包围盒*10%	>0
比率	密度盒与非密度盒过渡区网格增长率	1.2	>1

以下介绍【球密度盒】操作使用：

- （1）点击【球密度盒】按钮，打开该功能属性页；
- （2）按住【Ctrl】键，依次选中几何对象，自动生成包围选中对象的包围盒，可通过修改球心坐标、球半径或拖动包围盒小球位置的方式调整密度盒尺寸，在参数框中填入合法数值，【应用】按钮将自动激活；
- （3）通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成密度盒的创建。
- （4）创建完成后，会在模型树上产生相应名称的密度盒节点，右键节点可以执行【编辑】和【删除】操作。

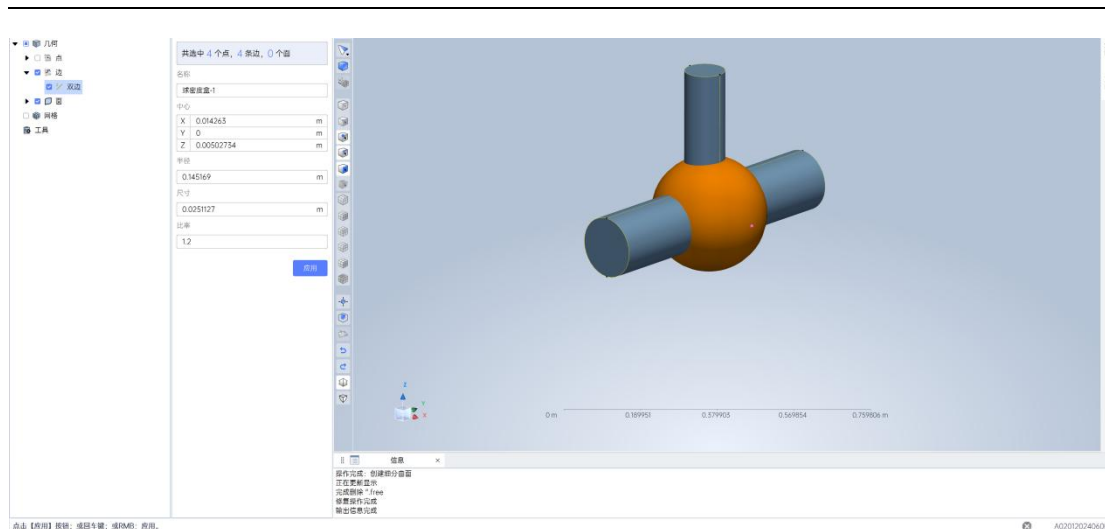


图 2-99 球密度盒功能属性页

注：球密度盒功能用于局部网格加密，因此，密度盒加密区的网格尺寸上限为全局最大尺寸、局部最大尺寸、密度盒尺寸三者中的最小值。

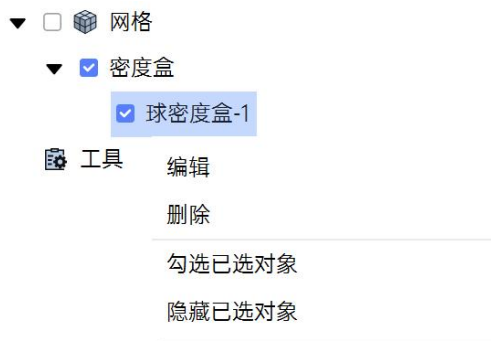


图 2-100 模型树右键密度盒节点

球密度盒参数含义及取值范围如下所示：

表 2-5 球密度盒参数含义与取值范围

参数	含义	默认值	取值范围
中心	球密度盒球心坐标	根据模型计算	/
半径	球密度盒半径	根据模型计算	/
尺寸	密度盒网格尺寸	选中对象的包围盒*10%	>0
比率	密度盒与非密度盒过渡区网格增长率	1.2	>1

以下介绍【圆柱密度盒】操作使用：

- (1) 点击【圆柱密度盒】按钮，打开该功能属性页；
- (2) 按住【Ctrl】键，依次选中几何对象，自动生成包围选中对象的包围盒，可通过修改圆柱起点/终点坐标、圆柱半径或拖动包围盒小球位置的方式调整密度盒尺寸，在参数框中填入合法数值，【应用】按钮将自动激活；

(3) 可激活【旋转密度盒】复选框，对密度盒执行旋转操作。旋转轴的定义方式分为【坐标轴】和【矢量】。前者设置旋转轴与坐标轴方向一致；后者通过两点来定义轴的方向。点击【旋转】按钮执行操作；

(4) 通过点击【应用】按钮、按【Enter】键或右键选择【应用】，完成密度盒的创建；

(5) 创建完成后，会在模型树上产生相应名称的密度盒节点，右键节点可以执行【编辑】和【删除】操作。

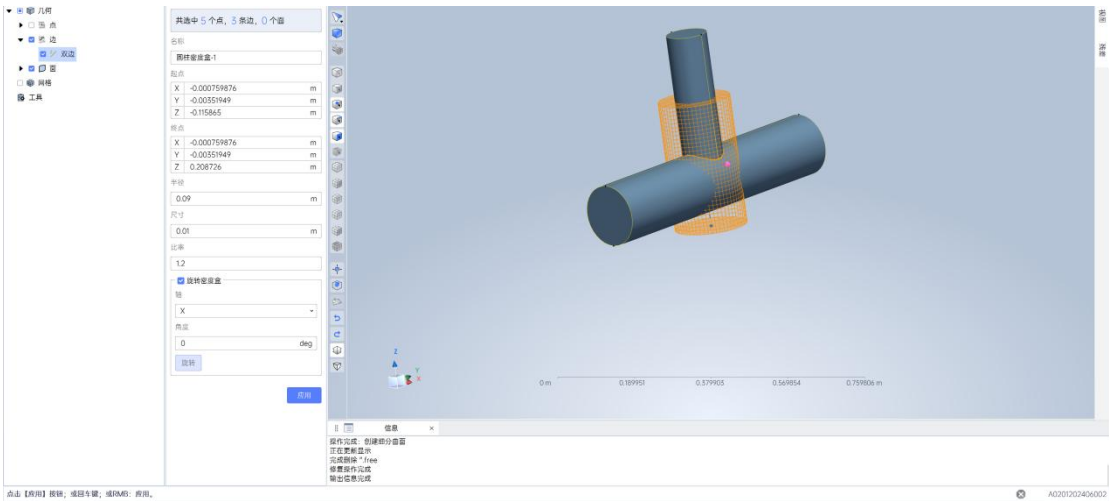


图 2-101 圆柱密度盒功能属性页

注：球密度盒功能用于局部网格加密，因此，密度盒加密区的网格尺寸上限为全局最大尺寸、局部最大尺寸、密度盒尺寸三者中的最小值。



图 2-102 模型树右键密度盒节点

圆柱密度盒参数含义及取值范围如下所示：

表 2-6 圆柱密度盒参数含义与取值范围

参数	含义	默认值	取值范围
起点/终点	圆柱密度盒上下圆面的圆心坐标	根据模型计算	/

半径	圆柱密度盒半径	根据模型计算	/
尺寸	密度盒网格尺寸	选中对象的包围盒*10%	>0
比率	密度盒与非密度盒过渡区网格增长率	1.2	>1

2.2.1.6 周期

周期交界面的几何边界在空间上是物理分离的，但可以通过一些连续的旋转和平移从一个空间映射到另一个空间。周期交界面表示边界之间信息的循环重复，以便将一个边界的通量转换并应用于另一个边界。

这样的处理方式能用有限的模型有效地逼近一个重复几何。例如，可以通过使用一段较短的管道并在两个端口之间应用平移周期交界面来对无限长的管道建模。

若要定义周期交界面，一个边界通过旋转和平移变换后需与另一边界重合，网格生成器在交界面每边生成共形网格，这两个边界在节点位置和面拓扑方面完全匹配。

设置下的【周期】，针对平移后几何可完全重合的 2 个几何面可创建平移周期面，网格划分后，二者的网格平移后完全一致；针对旋转后几何可完全重合的 2 个几何面可创建旋转周期面，网格划分后，二者的网格旋转后完全一致。

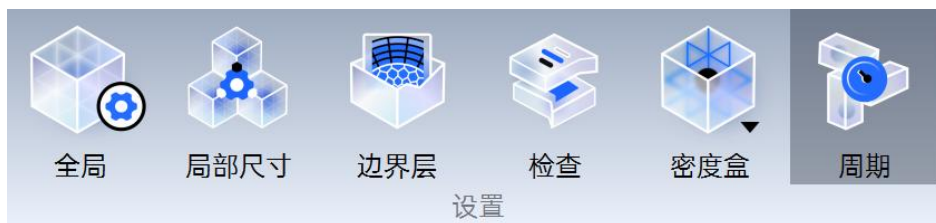


图 2-103 周期功能位置

以下介绍【周期】操作使用：

(1) 类型下拉列表中含平移、旋转 2 个选项，创建平移周期面时，按住 Ctrl 键依次点选 2 个几何面，类型选择平移，点击创建，即可创建平移周期面，此时选中的 2 个几何面基于面的 ID 编号移动到新的分组，模型树新增周期面节点，如下图所示：

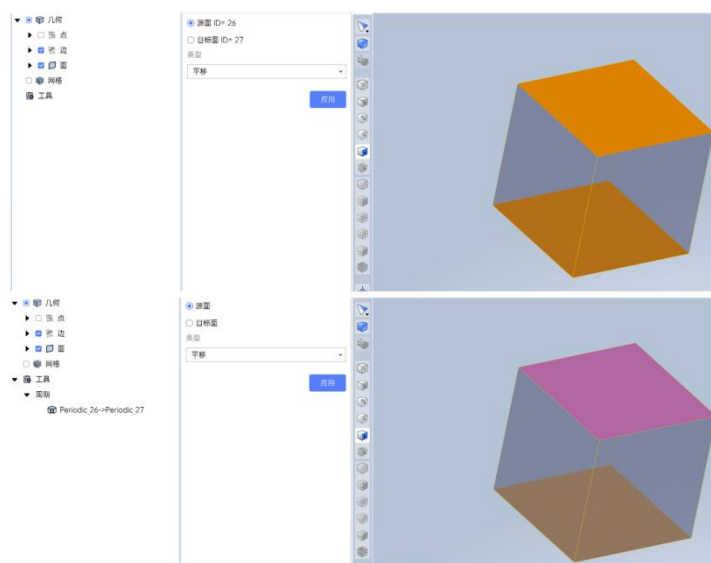


图 2-104 平移周期面

(2) 创建旋转周期面时，按住 Ctrl 键依次点选 2 个几何面，类型选择旋转，点击创建，即可创建旋转周期面，此时选中的 2 个几何面基于面的 ID 编号移动到新的分组，模型树新增周期面节点，如下图所示：

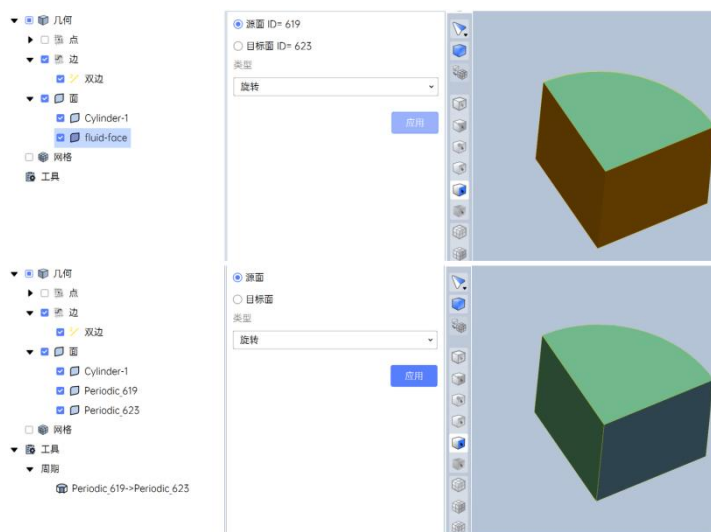


图 2-105 旋转周期面

周期面参数含义如下所示：

表 2-7 周期面参数含义

参数	含义
源面	相应的面设为主面，属性页显示面的 ID 信息，源面的网格拷贝至目标面
目标面	相应的面设为目标面，属性页显示面的 ID 信息，目标面网格与源面网格一致
类型-平移	设定周期面为平移周期面
类型-旋转	设定周期面为旋转周期面

2.2.2 面网格生成

面网格划分工具，可用于在生成体网格之前帮助准备高质量的面网格。根据几何的初始质量，有多个表面网格化工具可用：如【面】、【包面】、【表面重构】。

对于导入几何较简单，或经修复表面质量尚可的几何，【面】提供了基于几何模型的拓扑结构创建面网格的快捷方式。

当导入的几何质量较差（相交表面、孔、间隙等），不能直接用于体网格化时，可使用【包面】。在这些情况下，进行表面修复和重构需要的工作量通常多于获得任何额外保真度所需的工作量。将【包面】与特征提取和特征编辑工具一起使用可确保基础几何的高保真度表示。包面操作的结果是一个闭合（水密）表面，可能需要对其执行进一步的重构来改进网格质量。

【表面重构】用于重新三角形化闭合的初始表面，以获得高质量的面网格。使用【表面重构】可提高【包面】面网格质量或提高所导入网格的质量。直接在导入的几何上使用时，可搭配使用表面修复工具（例如【补洞】和【缝合】工具）得到闭合表面。若搭配使用【快速修复】来自动执行其中的许多修复工具则能尽量减少所需的手动工作。

2.2.2.1 面

面网格生成下的【面】可基于几何模型的拓扑结构创建面网格，



图 2-106 面功能位置

点击【面网格】按钮，实现对几何模型创建面网格，网格划分前后对比如下图所示。

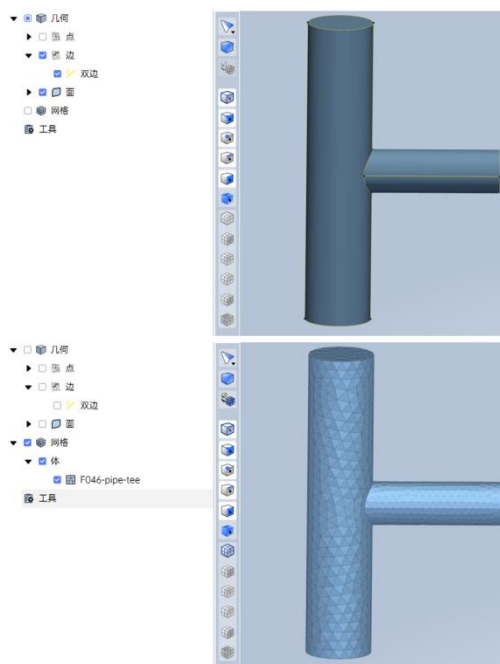


图 2-107 面网格功能使用

注：网格划分过程中，视图区下方的信息栏中会同步给出网格划分步骤，如下图所示：

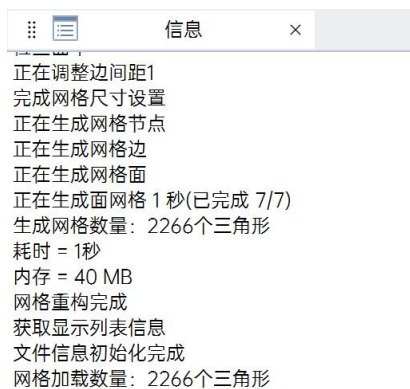


图 2-108 网格划分步骤信息

2.2.2.2 包面

对于脏几何或质量不高的 CAD 数据，若几何细节过于复杂、存在多个零部件相交、间隙数据缺失、表面重复或不匹配且不能轻松手动固定，包面是一种快速高效的表面网格生成方式。

包面能提供闭合、流形、非相交表面，移除并简化几何表面细节特征、去除表面重复或不匹配。但是包面会显著更改特征损失表面细节，若表面细节和精度很重要，则需要配合表面重构对包面生成的面网格进一步改进。

包面的位置如下所示，点击下三角可进行选择包面功能的 2 个子功能，即

【设置包面】与【执行包面】。【设置包面】选择需要进行包面的几何部件，【执行包面】对几何模型创建包面网格



图 2-109 包面功能位置

点击【包面】->【设置包面】，激活如下图所示对话框，勾选需要进行包面的几何部件，点击【应用】或【Enter】即会在左侧模型树【网格】下激活【包面】。

包面的操作步骤如下：

- (1) 包面功能激活成功后，点击左侧模型树【包面】->【基本设置】；
- (2) 进行面向全部几何对象的包面网格参数设置，包含包面前处理参数、包面后处理参数两类。
- (3) 设置完成后，点击【应用】或【Enter】，完成包面基本设置参数的设置。

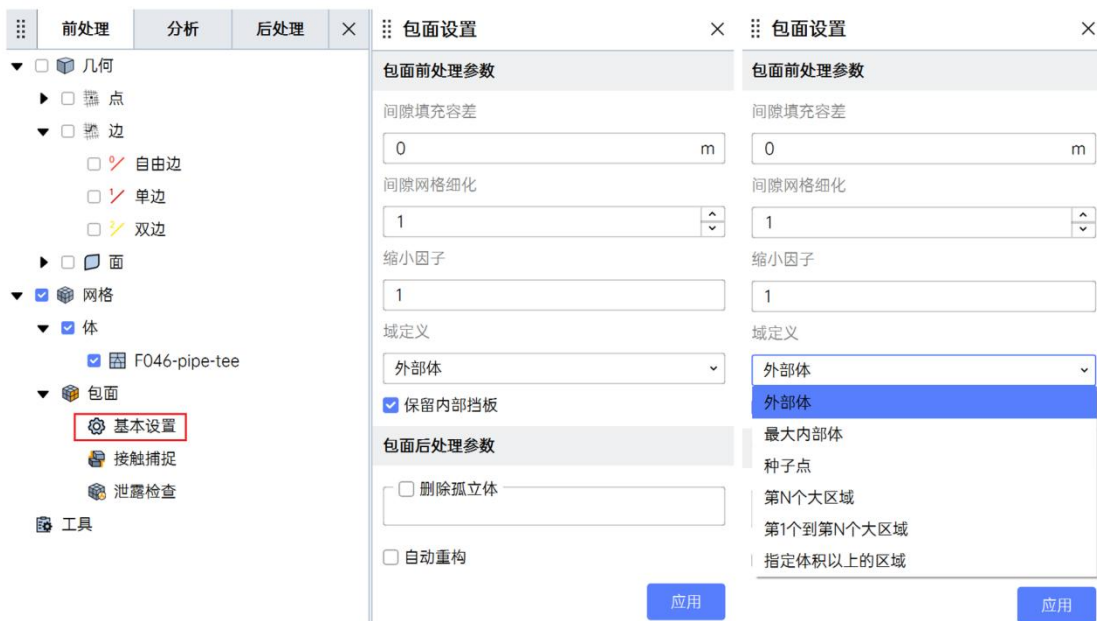


图 2-110 包面基本设置

包面网格基本设置参数含义及取值范围如下表所示：

表 2-8 包面网格基本设置参数含义及取值范围

域定义	参数	含义	默认值	取值范围
前处理参数	间隙填充容差	几何孔尺寸小于该容差值将自动作为闭合处理	0	≥ 0
	间隙网格细化	间隙网格尺寸细化的倍数	1	正整数
	缩小因子	网格尺寸缩小倍数	1	> 0 且 ≤ 1
	保留内部挡板	生成网格时是否忽略孤立的面	勾选	/
后处理参数	删除孤立体	生成面网格后，删除网格单元数小于指定值的孤立体	不勾选	/
	最大单元数量	指定要删除的体的面网格单元数上限	0	≥ 0 且 ≤ 10000

勾选自动重构后，包面生成后自动重构网格，生成网格质量最佳值。

注：

(1) 包面网格法对几何模型要求相对较低，常用于处理几何细节复杂、水密性较差、零部件较多以及几何间隙较多的模型；

(2) 当间隙网格细化值大于 1 时，例如 N，则间隙中网格尺寸将为填 1 时的 1/N 倍；

(3) 缩放因子不为 1 时，例如 X，网格尺寸将为填 1 时的 X 倍；

(4) 各种域定义方式的选择方式和具体含义，如下图和下表所示；

(5) 勾选【删除孤立体】时，会根据生成的面网格单元数是否小于设定的【最大单元数】，判定在生成的面网格中要删除的孤立的体或面；该功能可处理孤立的小面积几何区域；

(6) 若需采用包面网格的方式对共享面生成边界层时，不允许仅在共享面一侧单独生成边界层，且在共享面两侧边界层参数设置必须一致，若填写不一致，则以最后一次填写为准，共享面两侧的边界层结果一致；

(7) 采用包面网格且域定义方式为【外部体】时，体内的共享面不生成边界层网格。



图 2-111 包面基本设置域定义

包面网格不同域定义方式参数含义及取值范围如下表所示：

表 2-9 包面网格不同域定义方式含义

域定义	含义
外部体	抽取模型所有的外表面生成面网格，忽略内部几何体。
最大内部体	选取空间体积最大的体生成面网格，保留内部几何。
种子点	根据种子点位置查找包围种子点的最小体生成面网格。
第 N 个大区域	根据几何体空间体积由大到小排序，对指定序号的体生成面网格，保留内部几何。
第 1 个到第 N 个大区域	根据几何体空间体积由大到小排序，对指定序号范围的体生成面网格，保留内部几何。

点击【包面】->【执行包面】选项，对几何模型创建包面网格，包面网格划分效果如下图所示。

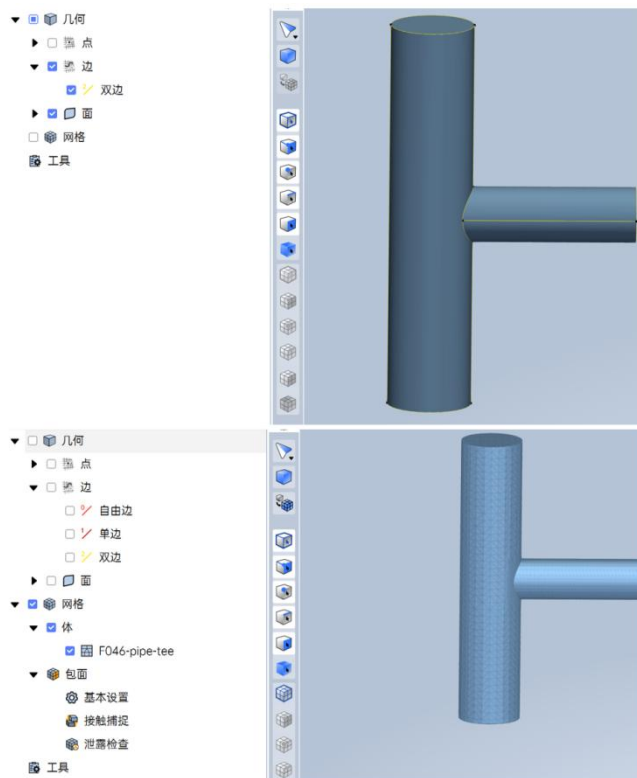


图 2-112 【执行包面】功能使用

【接触捕捉】

接触捕捉能在生成面网格时，自动识别距离相近或相交的面，并加密该位置的网格。点击左侧模型树【包面】->【接触捕捉】如下图所示，打开该功能的属性页，输入接触捕捉节点名称、作用范围，按需求自定义两个接触面组，点击【应用】或【Enter】完成接触捕捉的设置。



图 2-113 包面接触捕捉设置位置

接触捕捉时的【作用范围】是指控制接触侧网格加密程度与范围的数值，其默认值为，取值范围为 ≥ 0 。

注：

(1) 接触捕捉功能作为包面网格参数设置的一种补充，用于对距离相近或相交的面进行局部网格加密，因此仅在包面网格条件下使用；

未设置和设置了接触捕捉的包面网格效果，如下图所示。

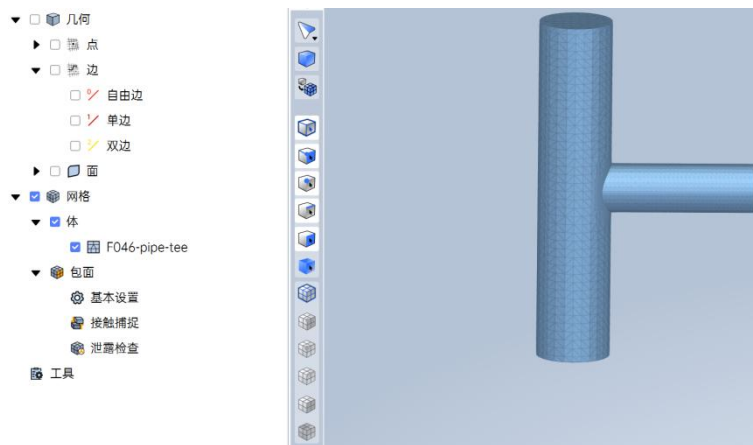


图 2-114 不设置接触捕捉

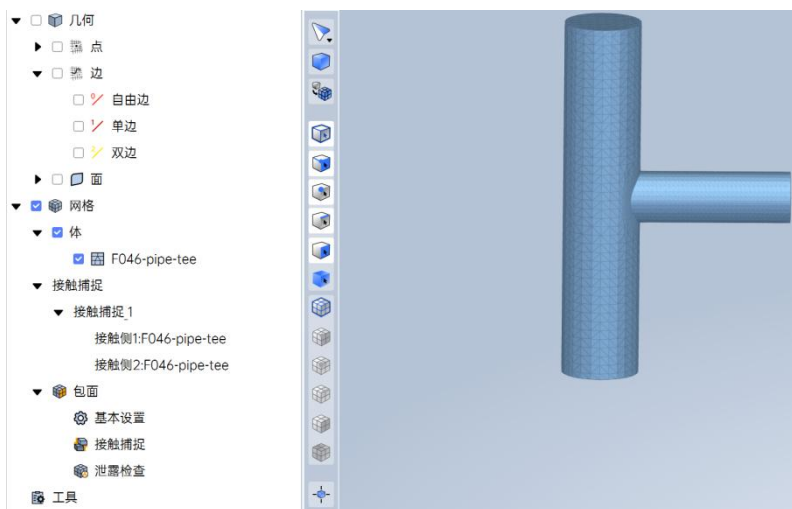


图 2-115 设置接触捕捉

当使用泄露检查时，点击左侧模型树【包面】->【泄露检查】选项，弹出功能属性页。

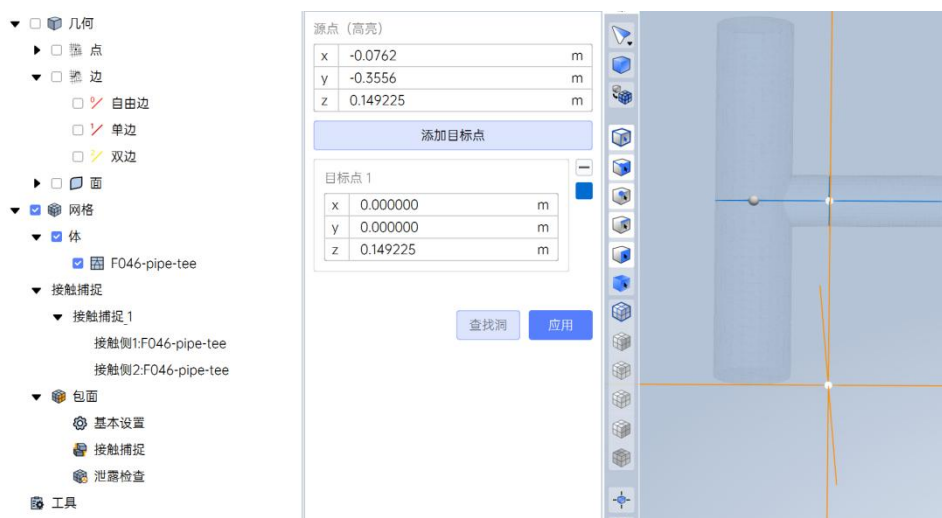


图 2-116 泄漏检查功能使用

属性页中的源点（红色）、目标点分别对应于视图区中红色三轴交汇点和蓝色三轴交汇点。可通过：

- （1）在属性页直接指定 X、Y、Z 坐标值，更改对应点位置；
- （2）光标悬停于试图去中对应点的三轴交汇处，交汇处的红、绿、蓝色箭头（对应 X、Y、Z 方向）将放大显示，拖动箭头即沿对应方向更改点位置，如下图所示；

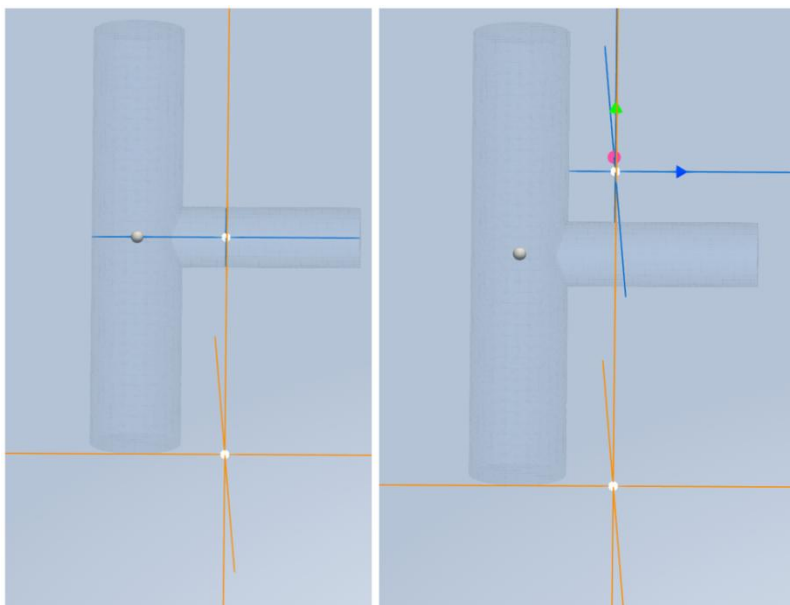


图 2-117 修改坐标值或拖动箭头更改点位置



图 2-118 添加多个目标点

- (1) 在属性页中点击【添加目标点】可增加多个目标点；
- (2) 点击【应用】创建包面网格，并对包面网格进行封闭性检测：
 - (a) 若网格不封闭，视图区展示搜索到的针对每个目标点的泄露路径，状态栏给出提示，如下图所示；
 - (b) 若网格封闭，状态栏给出“没有检测到泄露”提示，如下图所示；

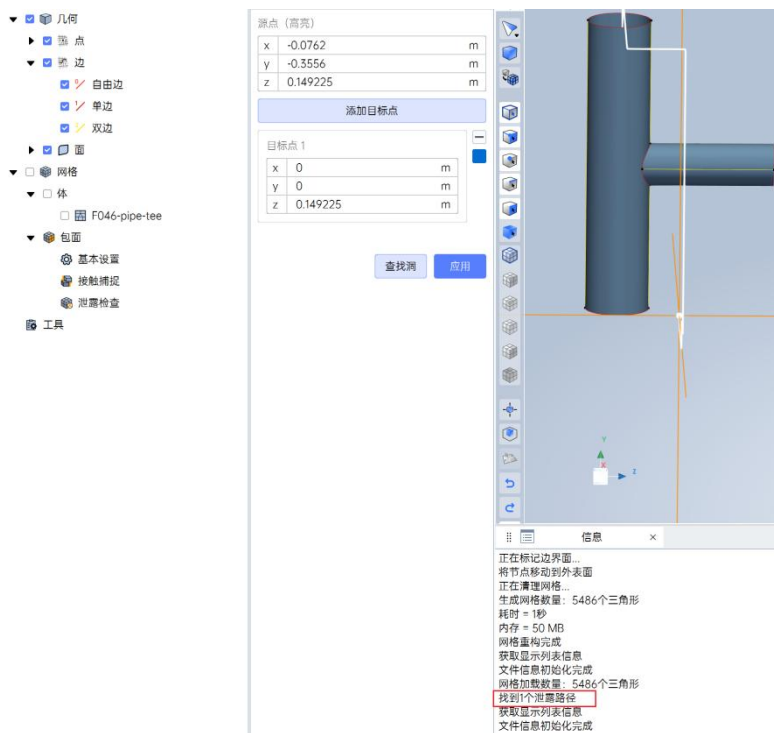


图 2-119 针对每个目标点给出泄露路径

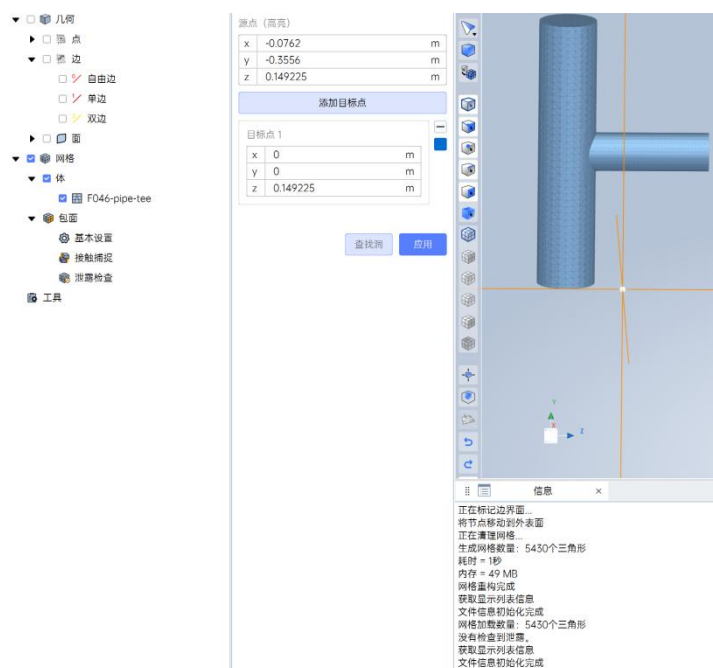


图 2-120 网格封闭无泄漏路径

若网格不封闭，属性页中的【查找洞】按钮会高亮显示，点击【查找洞】后视图区会高亮显示源点附近延泄露方向的网格单元。

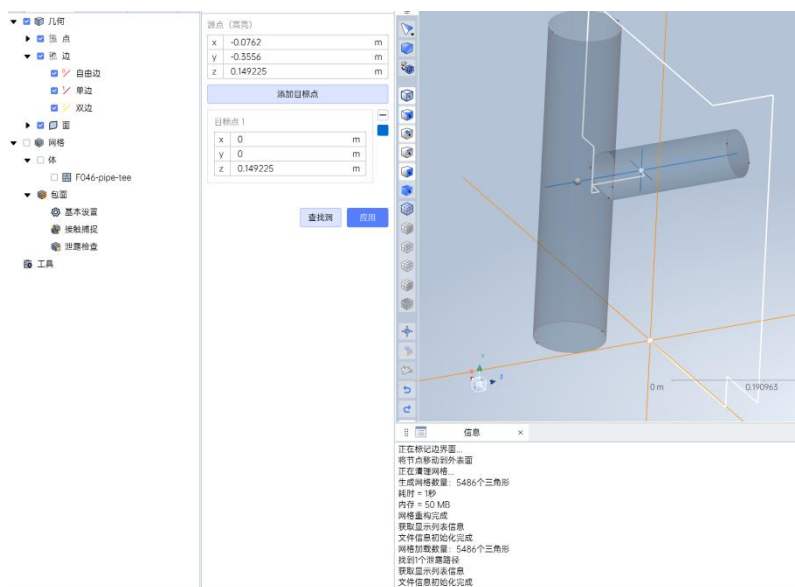


图 2-121 高亮显示泄露方向上距离源点最近的网格单元

注：

- (1) 该功能不支持撤销/恢复；
- (2) 网格划分过程中，视图区下方的信息栏中会同步给出网格划分步骤。

2.2.2.3 重构

面网格重构是对初始生成的网格表面进行再次处理或优化，以提高网格质量和适应特定的复杂几何形状。这一过程涉及网格的细化、光顺以及重新划分操作，包面完成后通常需要网格重构操作。

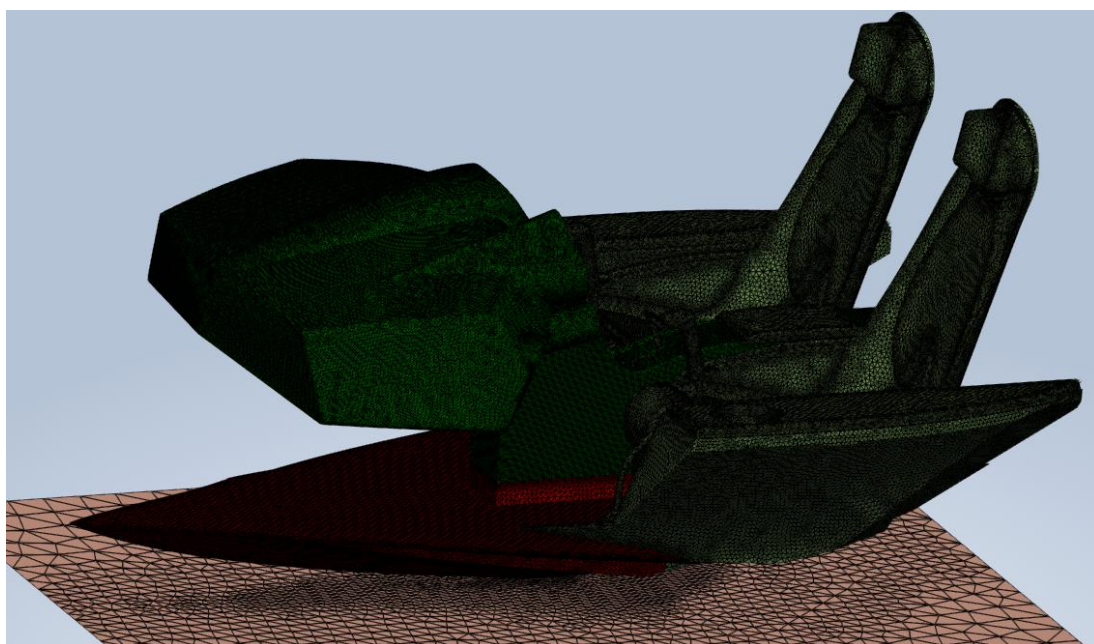
包面网格后需要进行重构提升网格质量，面网格质量的提升关系到体网格质量。为了提高现有曲面的整体质量并针对体积网格模型进行优化，可以使用曲面重构划分器对曲面进行回溯。重构重新划分网格主要基于用户自定义的网格尺寸，还基于几何曲率、几何面邻近度细化，还可以基于几何曲面或边界的局部细化。

面网格生成下的【重构】对拓扑网格或面网格进行全局网格重构，生成新网格，重构功能设置位置如图所示。【重构】通常用于对从【包面】和几何数据输出的曲面进行网格划分。重构位置如下图所示：



图 2-122 重构功能位置

通过执行【网格】→【面网格生成】→【重构】对包面网格进行网格重构，重构后的网格如下图所示：



包面重构后的面网格

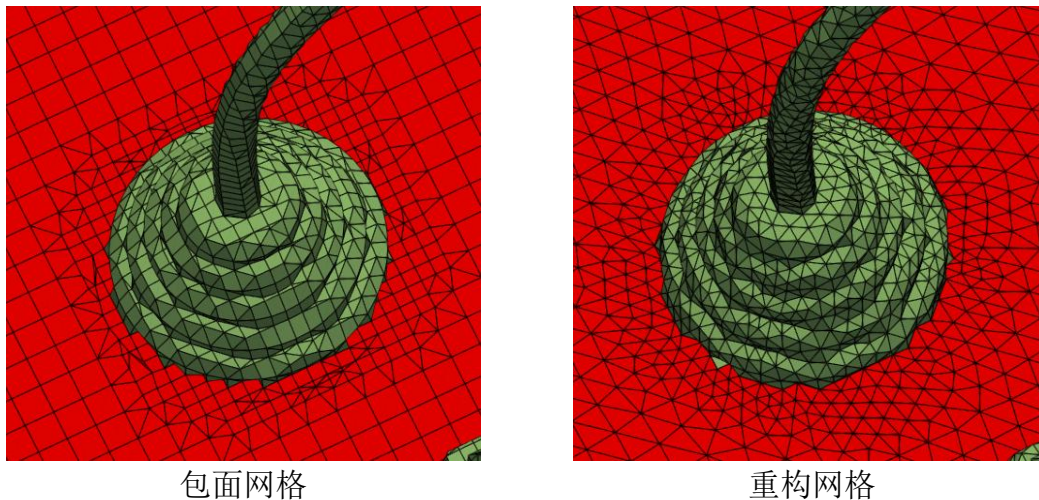


图 2-123 包面和重构的效果对比

注：

- (1) 该功能不支持撤销/恢复；
- (2) 网格划分过程中，视图区下方的信息栏中会同步给出网格划分步骤；
- (3) 该功能主要用于对生成的包面网格进行网格优化调整。

2.2.3 面网格编辑

表面网格化工具用于在任意复杂和非整洁几何上提供高质量三角。可用表面网格化工具包括：表面准备、包面、表面重构、2D 网格生成器等。其中，表面准备可以手动修复和为网格化准备表面（四边形和三角形）；如果从质量不高的 CAD 数据开始，包面则可以提供闭合、流形、非相交表面；表面重构可以为所有体网格类型提供高质量开始表面；2D 网格生成器则在 2D 几何上创建三角和多边网格。

2.2.3.1 创建

创建可以创建三角形单元，其位置如下图所示。



图 2-124 单元面创建功能位置

以下介绍【创建】操作使用：

- (1) 点击面网格编辑中的【创建】按钮，打开功能属性页；
- (2) 选择 3 个单元点或 3 条单元边，【应用】按钮被激活，属性页中同时给出选择的对象数量；



图 2-125 创建功能属性页

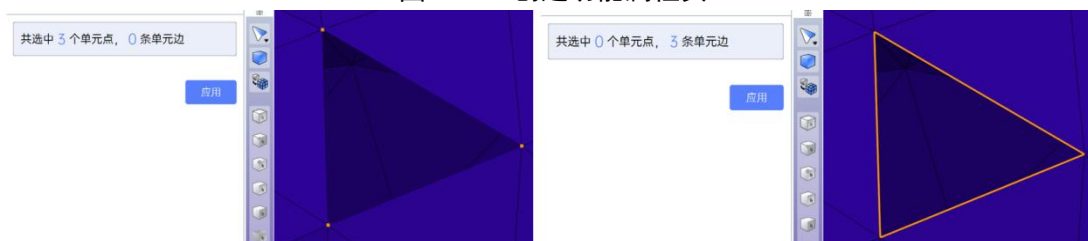


图 2-126 单元面创建功能使用

- (3) 在属性页中或右键菜单中点击【应用】按钮或按【Enter】键，完成单元面创建，创建后如下图所示。

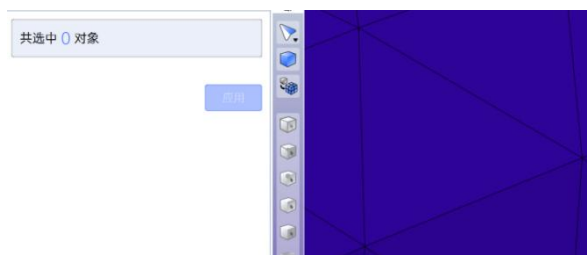


图 2-127 单元面创建功能使用

注：

- (1) 该功能支持撤销/恢复；
- (2) 选择的单元点或单元边数量不等于 3 时，【应用】按钮置灰，无法创建单元面；
- (3) 选择 3 条单元边不封闭时，程序基于第 1 条单元边和第 2 条单元边的某个单元点创建单元面，建议选择 3 条封闭的单元边创建单元面；
- (4) 目前不支持在不同组中选择单元点或单元边创建网格面。

2.2.3.2 分组

分组功能可以将选中的单元面移动到存在的面组或重新定义到一个新的面组，其位置如下图所示。



图 2-128 单元面分组功能位置

以下介绍【分组】操作使用：

- (1) 点击面网格编辑下的【分组】按钮，打开功能属性页；



图 2-129 单元面分组功能属性页

- (2) 选择 1 个或多个单元面后，【应用】按钮被激活，属性页中会给出选择的对象数量；
- (3) 用户需要在属性页的【组名称】中输入一个新的组名称，或在下拉菜单中选取一个已存在的组名称，从而将选中的面网格并入该分组；

(4) 在属性页中或视图区右键菜单中点击【应用】按钮或按【Enter】键，完成单元面分组。

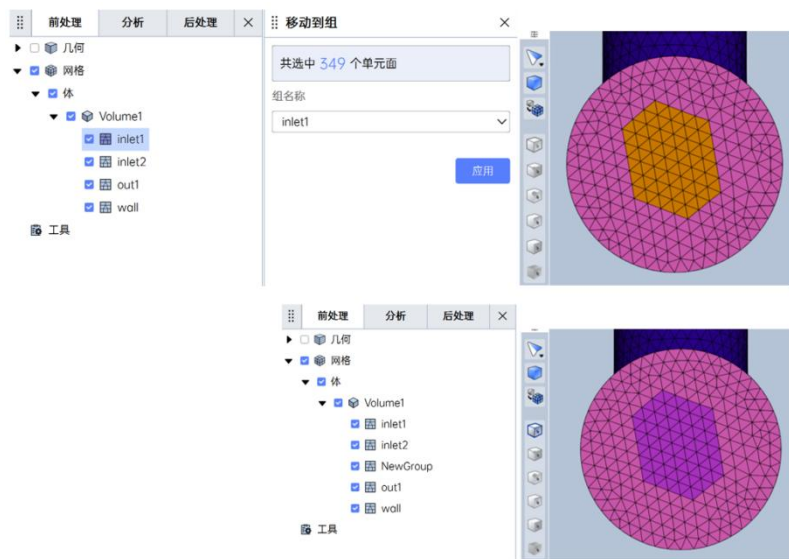


图 2-130 单元面分组功能的使用

注：

- (1) 该功能支持撤销/恢复；
- (2) 不支持选择在不同体上的网格面进行面分组命令；
- (3) 分组命名只支持输入汉字、字母、数字、特殊符号：_ - = () . ~；
- (4) 分组命名首字符只能输入中英文字母；
- (5) 分组命名字符数不能大于 30。

2.2.3.3 补洞

补洞功能可以为存在洞的单元面进行补洞，其位置如下图所示。



图 2-131 补洞功能位置

以下介绍【补洞】操作使用：

- (1) 点击面网格编辑下的【补洞】按钮，打开功能属性页；
- (2) 选择 3 条及以上的单元边，【应用】按钮被激活，属性页中同时给出选择的对象数量。

(3) 在属性页中或右键菜单中点击【应用】按钮或按【Enter】键，完成单元面补洞，补洞前后变化如下图所示。

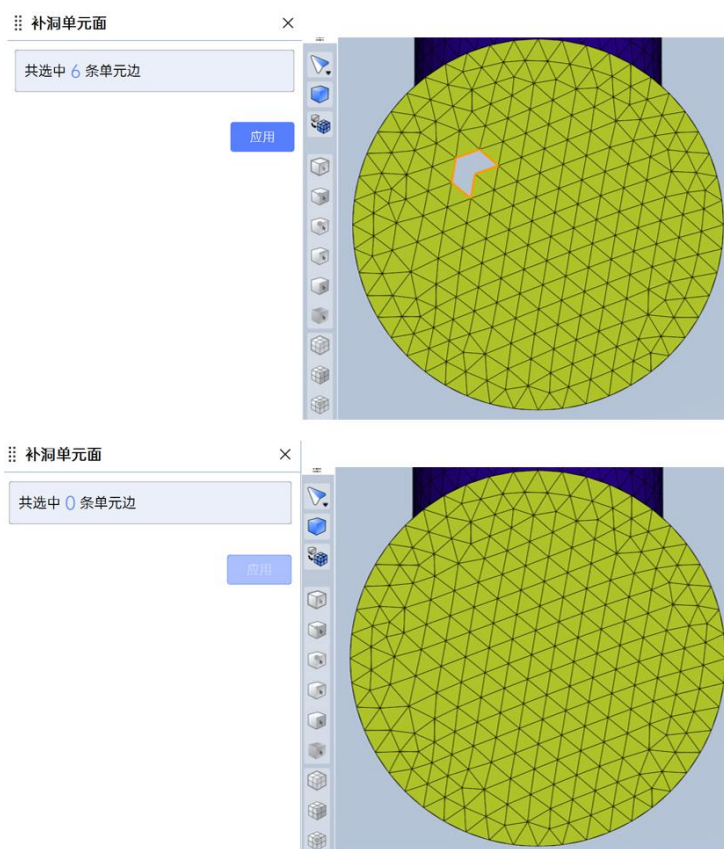


图 2-132 补洞功能属性页

注：

- (1) 补洞时选择的单元边数量小于 3 时，【应用】按钮置灰，无法补洞；
- (2) 选择的单元边不封闭时，可能会出现补洞失败、局部补洞成功等现象，建议选择封闭的单元边进行补洞；
- (3) 补洞功能仅基于单元边执行，不作是否有洞的判断，补洞位置网格面没有洞时也可补洞；
- (4) 补洞功能会将选中单元边的单元点进行连接，不会创建新的单元点，洞的区域较大时，补洞生成的单元质量较差，建议优先进行几何处理；
- (5) 目前不支持在不同组中选择单元边补洞。

2.2.3.4 点投影

点投影可以将选中的网格点投影到指定的位置，其位置如下图所示。



图 2-133 点投影功能位置

以下介绍【点投影】操作使用：

- (1) 点击【点投影】按钮，打开功能属性页；
- (2) 选择 1 个或多个网格节点后，属性页中会给出选择的对象数量；
- (3) 用户需要在属性页中设定投影的位置目标，该目标可以通过几何对象确定或网格对象确定，对应属性页中类型下拉菜单中的几何选项和网格选项。投影模式可选择投影到平面、投影到线、投影到点。不同的投影方式对应不同的定义方式。

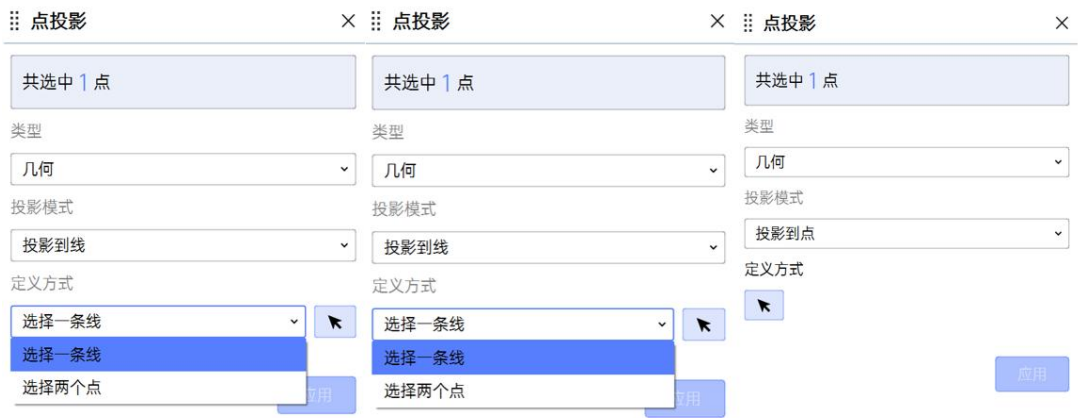


图 2-134 点投影功能的使用——投影到几何



图 2-135 点投影功能的使用——投影到网格

注：

- (1) 该功能支持撤销/恢复；
- (2) 无几何数据时，无法使用本功能。

2.2.3.5 边塌陷

边塌陷可以塌陷选择的网格边，其位置如下图所示。



图 2-136 边塌陷功能位置

以下介绍【边塌陷】操作使用：

- (1) 点击【边塌陷】按钮，打开功能属性页；
- (2) 选择一个或多个网格边，【应用】按钮被激活，属性页中同时给出选择的对象数量；
- (3) 在属性页中或视图区右键菜单中点击【应用】按钮或按【Enter】键，完成网格边塌陷操作，塌陷前后如下图所示。

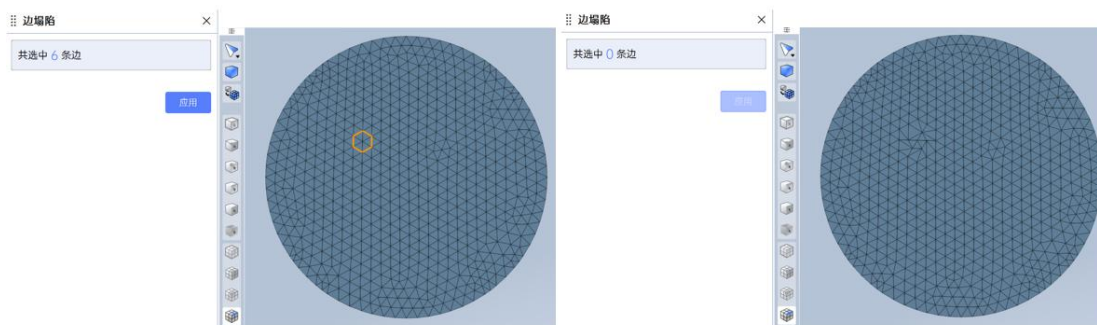


图 2-137 边塌陷功能属性页

注：该功能支持撤销/恢复。

2.2.3.6 三角化

将四边形单元批量转换为三角形单元。



图 2-138 四边形转三角形功能位置

以下介绍【四边形转三角形】操作使用：

- (1) 点击【四边形转三角形】按钮，打开功能属性页；
- (2) 选择一个或多个网格面，【应用】按钮被激活，属性页中同时给出选择的对象数量；
- (3) 在属性页中或视图区右键菜单中点击【应用】按钮或按【Enter】键，完成网格四边形转三角形操作，操作前后如下图所示。

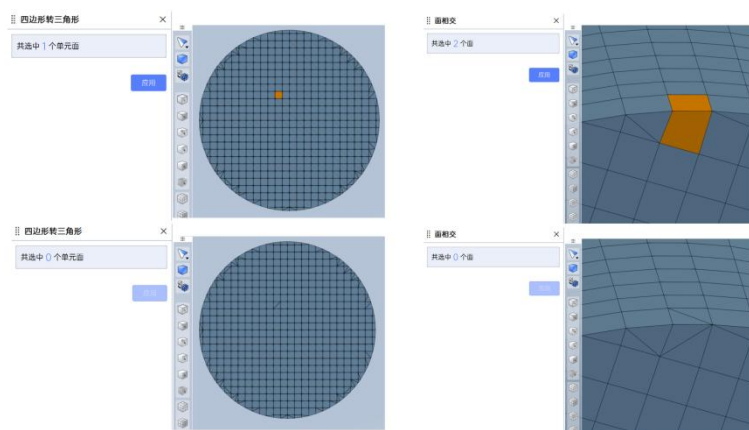


图 2-139 四边形转三角形功能使用前后

注：该功能对于体网格无效。

2.2.3.7 分割

分割功能可以分割选定的网格边或网格面，其位置如下图所示。



图 2-140 分割功能位置

以下介绍【分割】操作使用：

- (1) 点击【分割】按钮，打开功能属性页；
- (2) 选择一个或多个网格边，或者一个或多个网格面，【应用】按钮被激活，属性页中同时给出选择的对象数量；
- (3) 在属性页中或视图区右键菜单中点击【应用】按钮或按【Enter】键，

完成网格面分割操作，分割前后如下图所示。

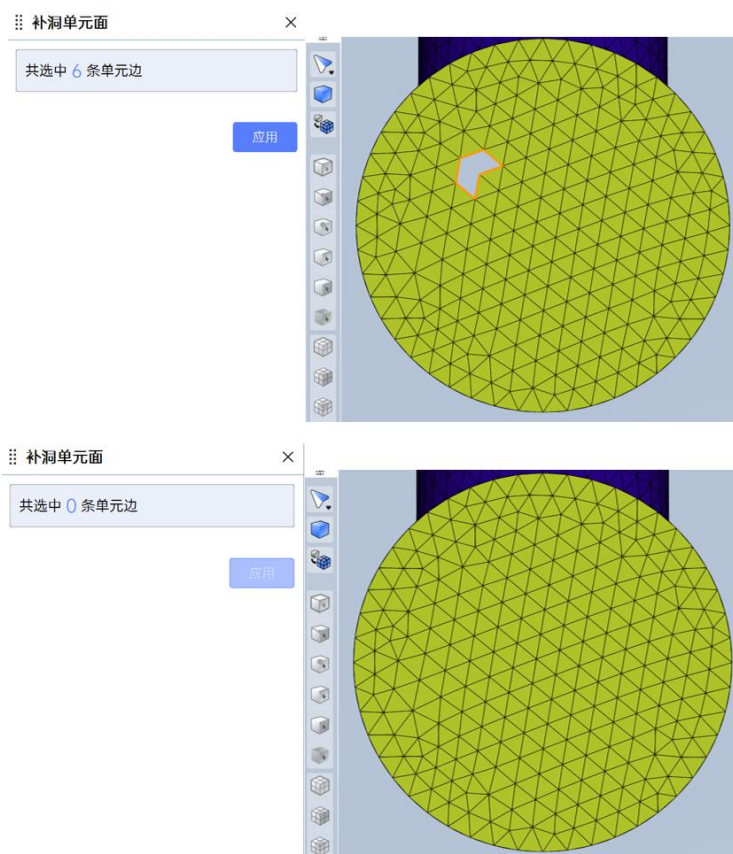


图 2-141 分割功能使用

注：

- (1) 该功能支持撤销/恢复；
- (2) 当属性页有选择对象且为同一种类型时（只是网格面或者网格边），操作才可执行；
- (3) 无几何数据时，无法使用本功能。

2.2.3.8 边交换

边交换可以交换选定的边。



图 2-142 边交换功能位置

以下介绍【边交换】操作使用：

- (1) 点击【边交换】按钮，打开功能属性页；
- (2) 选择一个网格边，【应用】按钮被激活，属性页中同时给出选择的对象数量；
- (3) 在属性页中或视图区右键菜单中点击【应用】按钮或按【Enter】键，完成网格边交换操作，边交换前后如下图所示。

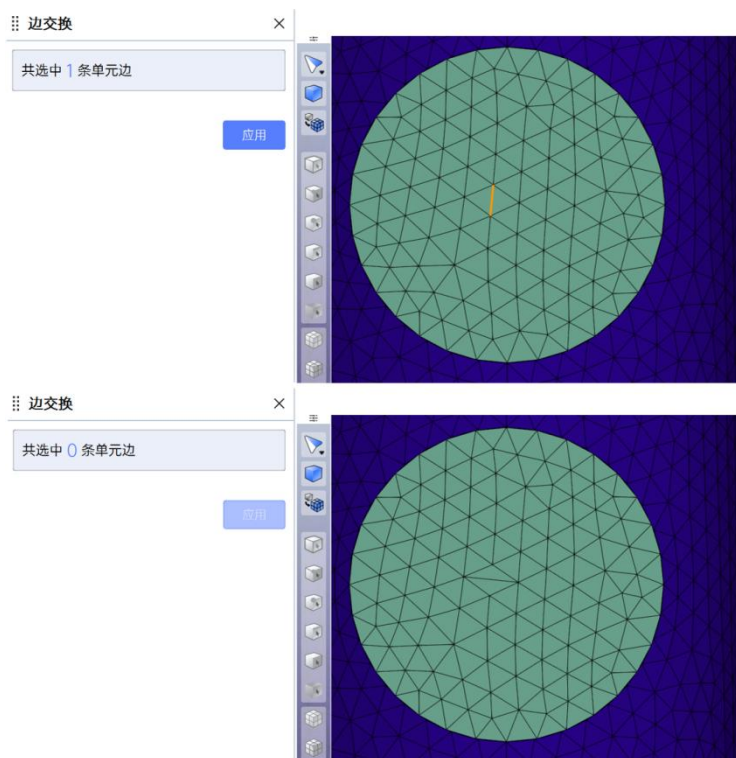


图 2-143 边交换功能使用

注：该功能支持撤销/恢复。

2.2.3.9 光顺

光顺可以将选中的面网格按指定的方式进行网格光顺，其位置如下图所示。



图 2-144 光顺功能位置

以下介绍【光顺】操作使用：

- (1) 点击【光顺】按钮，打开功能属性页；

(2) 选择 1 个或多个网格面后，【应用】按钮被激活，属性页中会给出选择的对象数量；

(3) 用户需要在属性页中设定光顺迭代的步数、是否保留特征边缘、是否重新投影到初始表面；

(4) 在属性页中或视图区右键菜单中点击【应用】按钮或按【Enter】键，完成面网格光顺操作，光顺操作前后的效果如下图所示。

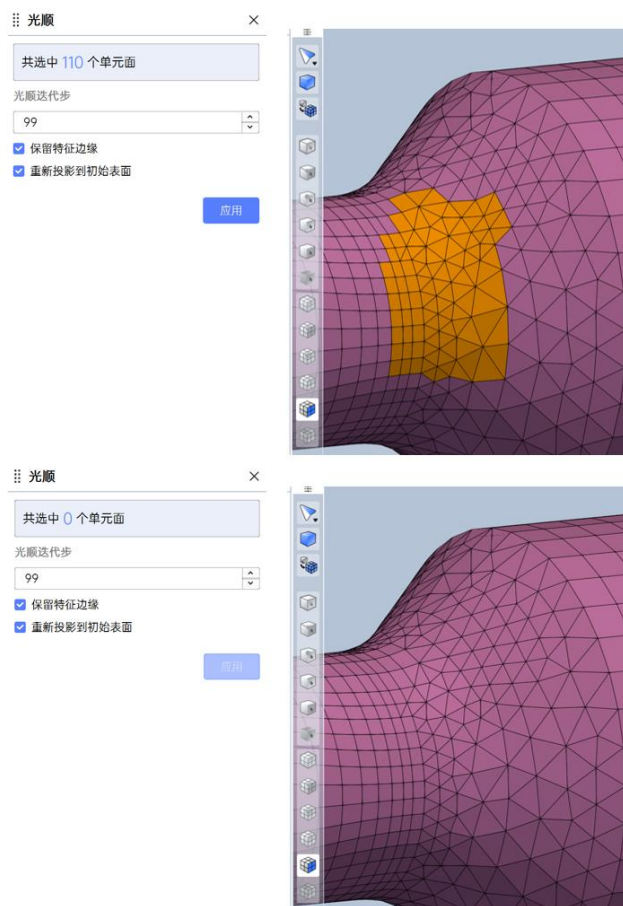


图 2-145 面网格光顺功能使用

注：

- (1) 该功能支持撤销/恢复；
- (2) 光顺迭代步数的最大输入为 99；
- (3) 没有几何数据时，属性页中不会有保留特征边缘、重新投影到初始表面这两个选项。

2.2.3.10 重构

网格重构是一种使用更均匀的拓扑自动重建几何体的技术。网格重构可以

根据定义的分辨率添加或删除拓扑量。此技术对于雕刻特别有用，可在在初始形状基础上生成更好的拓扑，其位置如下图所示。



图 2-146 重构功能位置

以下介绍【重构】操作使用：

- (1) 点击【重构】按钮，打开功能属性页；
- (2) 选择单元面，【应用】按钮被激活，属性页中同时给出选择的对象数量；
- (3) 在属性页中或右键菜单中点击【应用】按钮或按【Enter】键，完成单元面重构，重构前后如下图所示：

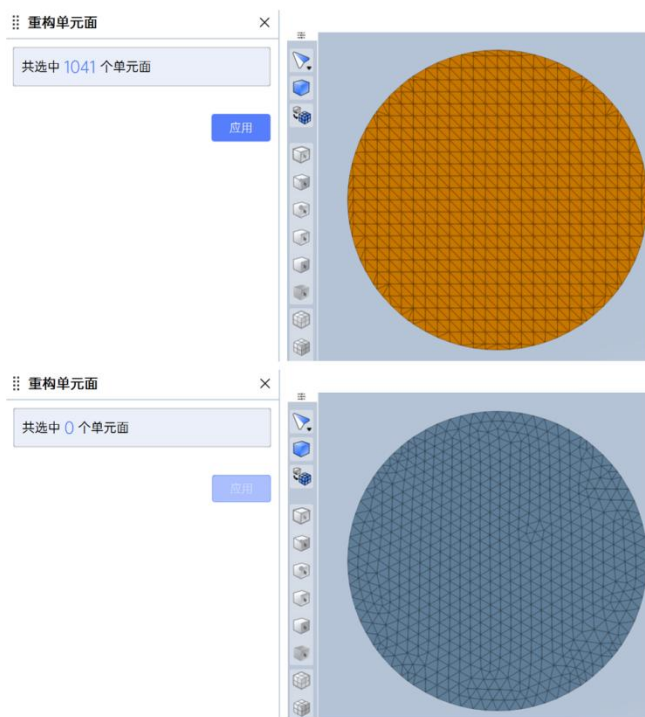


图 2-147 重构功能使用前后

注：

- (1) 该功能支持撤销/恢复；
- (2) 选择多个分散的网格区域时，重构失败；
- (3) 单元面仅共节点，无公共单元边时，重构失败；

(4) 选择对象的单元面夹角过于尖锐时，可能导致重构失败。以下为(2)、(3)失败的情况：

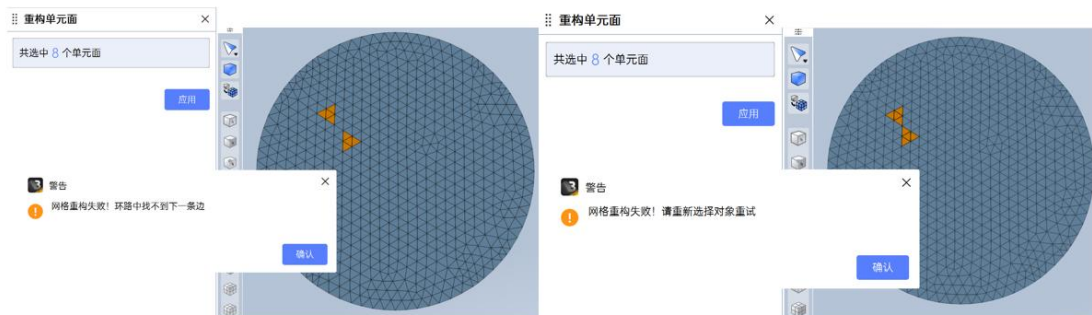


图 2-148 单元面重构失败情况

2.2.3.11 相交

相交使用选定的相交网格分割网格，其位置如下图所示。



图 2-149 相交功能位置

以下介绍【相交】操作使用：

- (1) 点击【相交】按钮，打开功能属性页；
- (2) 选择多个网格面后，【相交】按钮被激活，属性页中会给出选择的对象数量；
- (3) 在属性页中或视图区右键菜单中点击【应用】按钮或按【Enter】键，完成网格面相交操作。

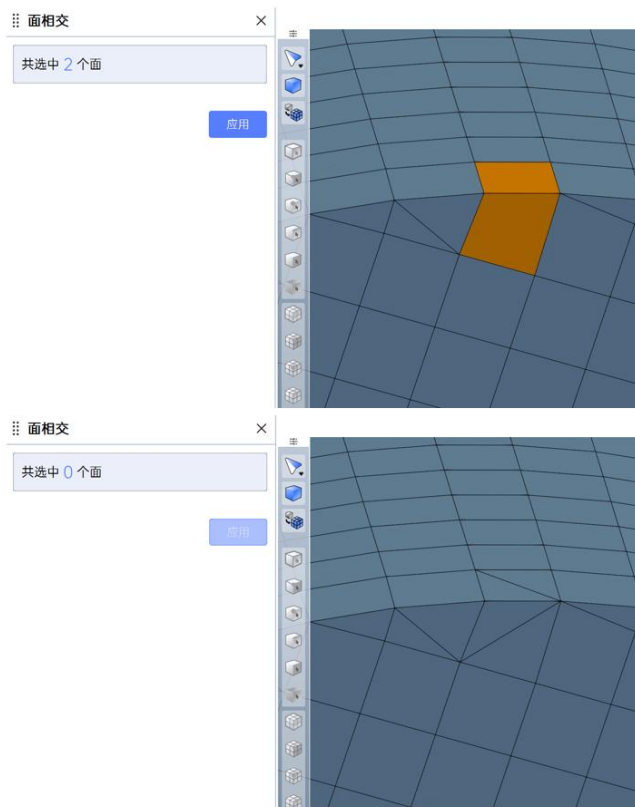


图 2-150 相交功能属性页

注：该功能支持撤销/恢复。

2.2.3.12 删除

删除功能可以删除三角形或四边形单元，其位置如下图所示。



图 2-151 删除功能位置

以下介绍【删除】操作使用：

- (1) 点击【删除】按钮，打开功能属性页；
- (2) 选择单元面，【应用】按钮被激活，属性页中同时给出选择的对象数量；
- (3) 在属性页中或右键菜单中点击【应用】按钮或按【Enter】键，完成单元面删除，删除前后如下图所示。

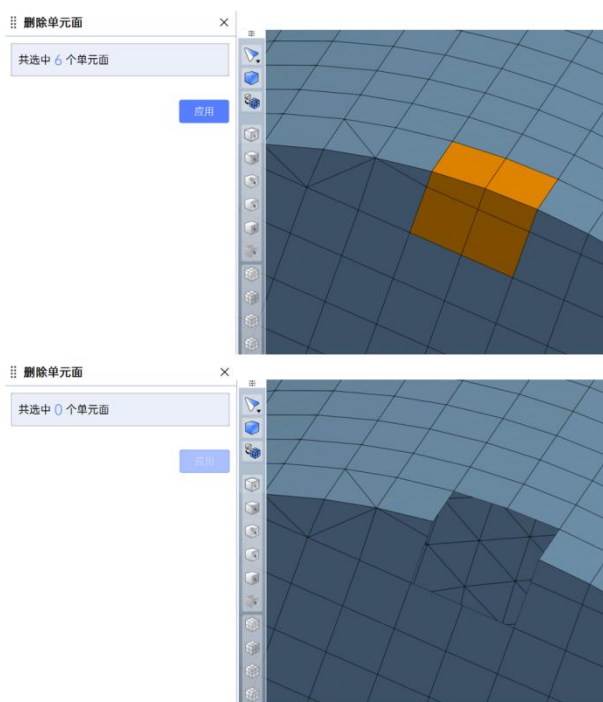


图 2-152 删除功能属性页

注：该功能支持撤销/恢复。

2.2.4 体网格生成

体网格生成前选择将何种网格类型模型用于核心体网格取决于几个因素。以下是其中一些因素：可用于构建网格的处理时间、所需的求解精度和收敛速率、计算机上的可用内存量、要构建的是单区域还是多区域网格、网格的质量。综合上文所列举的因素，选择下文的网格类型以及数量生成体网格。

2.2.4.1 转多面体

多面体网格为复杂网格生成问题提供平稳求解，对于给定的开始表面，多面体网格包含的网格单元数比四面体网格少大约五倍。允许使用具有共形网格交界面的多区域网格。转多面体功能可以将四面体、棱柱层单元批量转换为多面体单元。

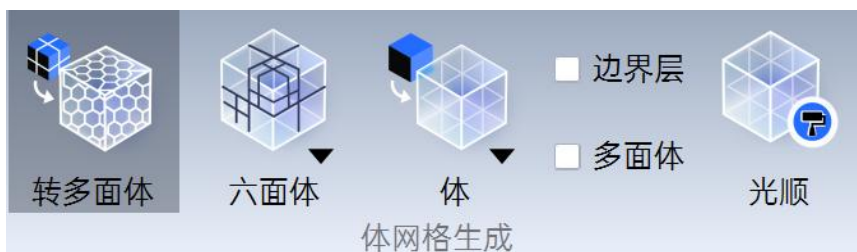


图 2-153 转多面体功能位置

以下介绍【转多面体】操作使用：

(1) 点击【转多面体】按钮，弹出警告信息“此操作可能导致设置变更，是否继续执行？”；

(2) 点击【是】按钮或按【Enter】键，完成转多面体，转多面体前后如下图所示。

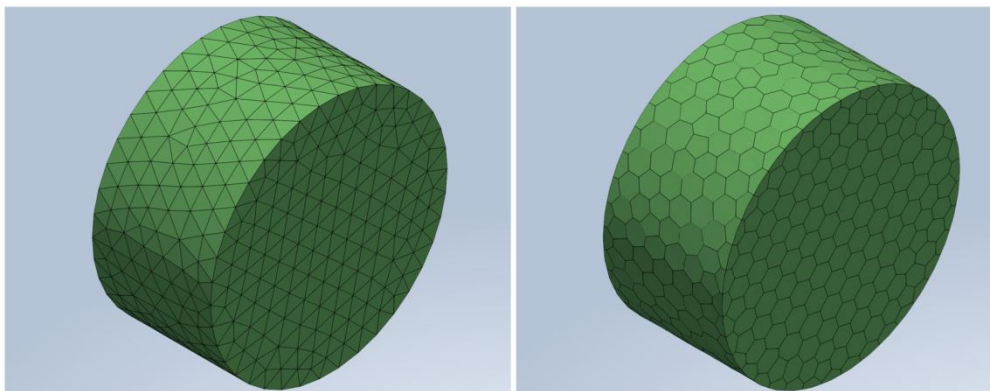


图 2-154 转多面体功能使用前后

注：

- (1) 此功能不支持撤销/恢复；
- (2) 此功能对于包含多面体的体网格无效。

2.2.4.2 六面体

通过八叉树结构对三维空间的几何实体进行体元剖分，每个体元具有相同的时间和空间复杂度。八叉树的数据结构形式生成以六面体网格占优的笛卡尔网格。

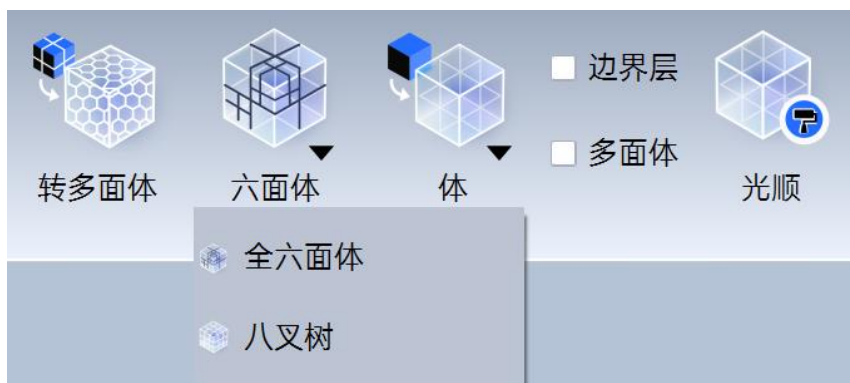


图 2-155 六面体功能位置

全六面体

以下介绍【全六面体】的操作

(1) 点击【全六面体】按钮，生成全六面体网格，生成前后如下图所示。

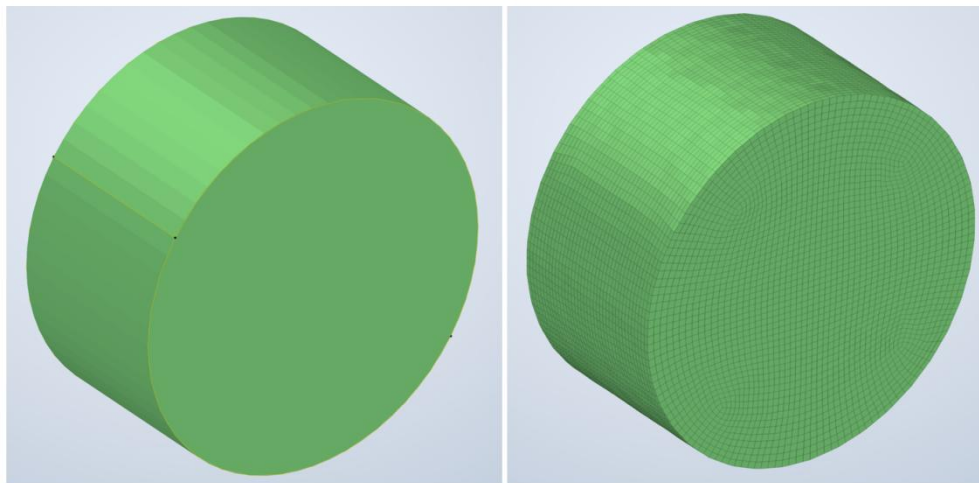


图 2-156 全六面体功能效果

以下介绍【八叉树】操作使用：

(1) 点击【八叉树】按钮，弹窗则显示“正在生成六面体网格中”，生成前后如下图所示。

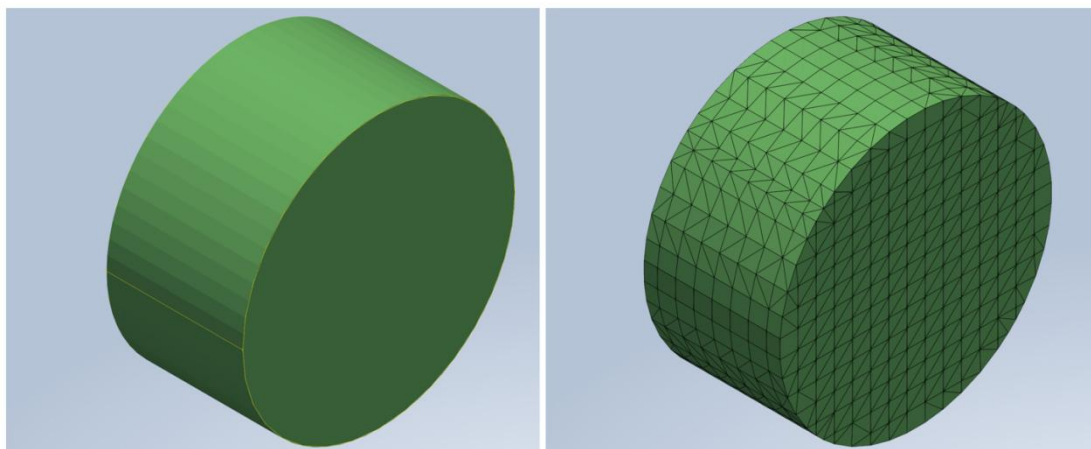


图 2-157 八叉树功能效果

注：

- (1) 此功能不支持撤销/恢复；
- (2) 点击【八叉树】按钮，如果没有网格，会直接以八叉树的形式生成六面体网格；
- (3) 如果存在网格，弹窗提示“网格已经存在，是否要重新划分？”，选择【是】即可生成六面体网格。

2.2.4.3 体网格

网格生成器支持四种类型为四面体、八叉树、多面体、棱柱层网格生成器。其中，四面体是基于四面体网格单元形状的中心网格；八叉树是基于六面体网格单元形状的中心网格；多面体是基于任意多面体网格单元形状的中心网格；棱柱层网格生成器是邻近壁面或边界的直角棱柱网格。

该功能包含 2 个子功能：基于体生成体网格和基于面网格生成体网格。

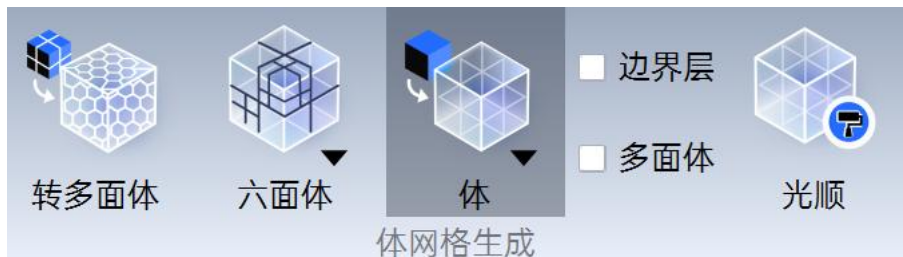


图 2-158 体网格功能位置

以下介绍【基于体】操作使用：

点击【体】按钮，在下拉菜单中点击【基于体】选项，实现对几何体划分体网格，体网格划分前后对比如下图所示。

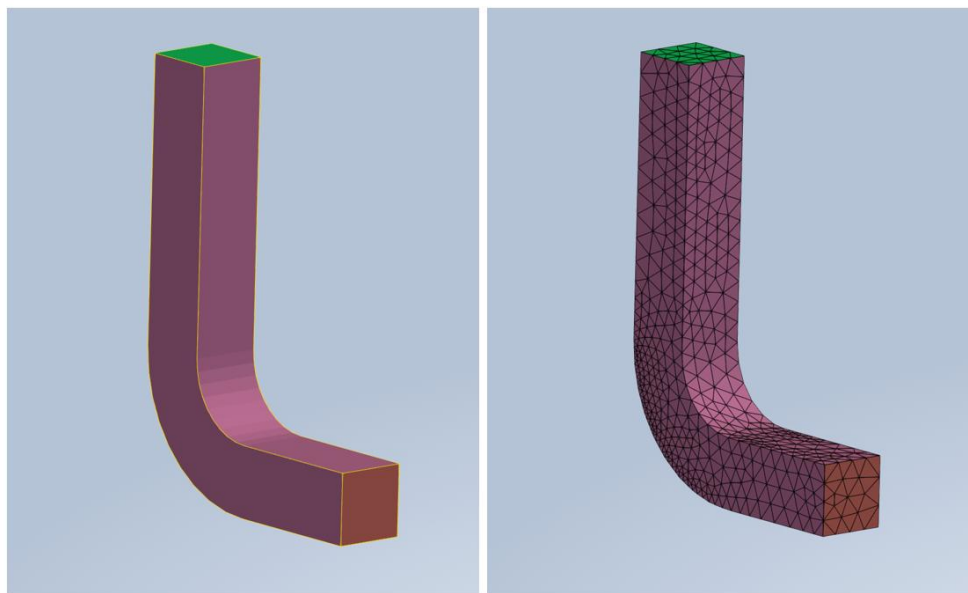


图 2-159 基于体功能使用前后

以下介绍【基于面网格】操作使用：

(1) 点击【体】按钮，在下拉菜单中点击【基于面网格】选项，实现基于

面网格划分体网格，体网格划分前后对比如下图所示。

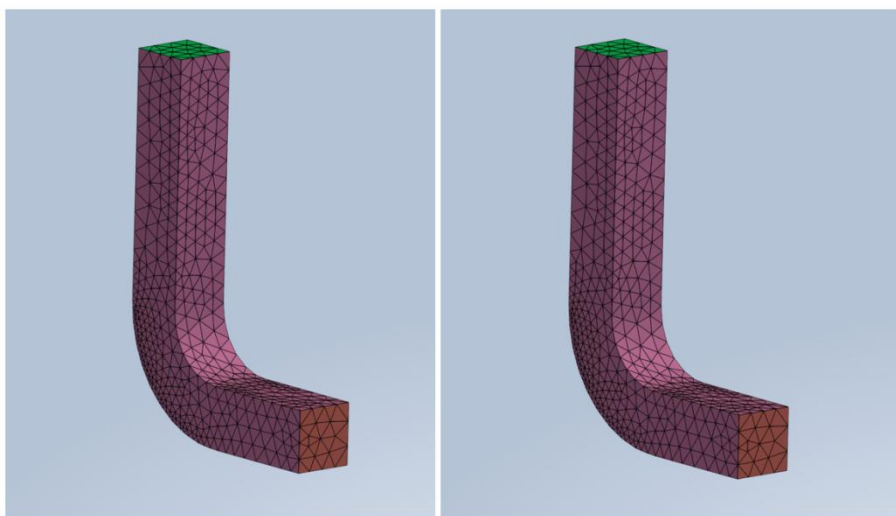


图 2-160 基于面网格功能使用前后

注：

- (1) 该功能不支持撤销/恢复；
- (2) 网格划分过程中，视图区下方的信息栏中会同步给出网格划分步骤；
- (3) 若没有生成体，弹窗提示“没有找到体，是否要自动执行“识别体”？”选择【是】即可生成体网格。创建体网格之前，应先执行创建体或识别体命令，确保模型树中存在体，否则执行体网格命令会出现弹窗；
- (4) 如果存在网格，弹窗提示“网格已经存在，是否要重新划分？”，选择【是】即可生成体网格，点击【否】或弹窗右上角的【关闭】则不执行体网格命令。

2.2.4.4 边界层

边界层是高雷诺数绕流中紧贴屋面的粘性力不可忽略的流动薄层，又称流动边界层、附面层。边界层网格是从边界表面向流场内部延伸的体网格，在体网格和面网格划分完成以后从边界外挤压形成，边界层总厚度由边界网格单元尺寸控制并接近于边界网格单元尺寸，划分边界层网格目的是更精确的捕捉到近壁面的流动情况。

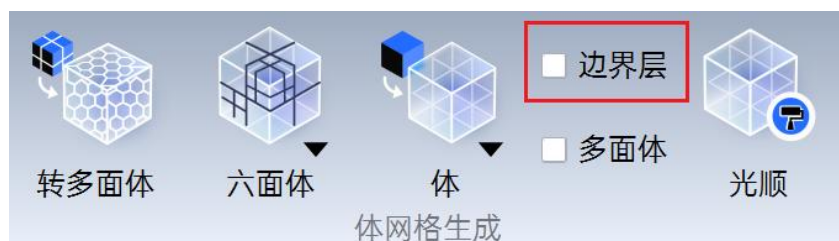


图 2-161 边界层功能位置

注：边界层功能是体网格功能的可选项，勾选该功能，可在已设置边界层参数且开启边界层的面上创建边界层网格

以下介绍【边界层】操作使用：

（1）勾选【边界层】功能；

（2）点击【体】按钮，在下拉菜单中点击【基于体】或【基于面网格】选项，实现对几何体划分体网格，并在设置边界层参数；边界层生成前后如下图所示：

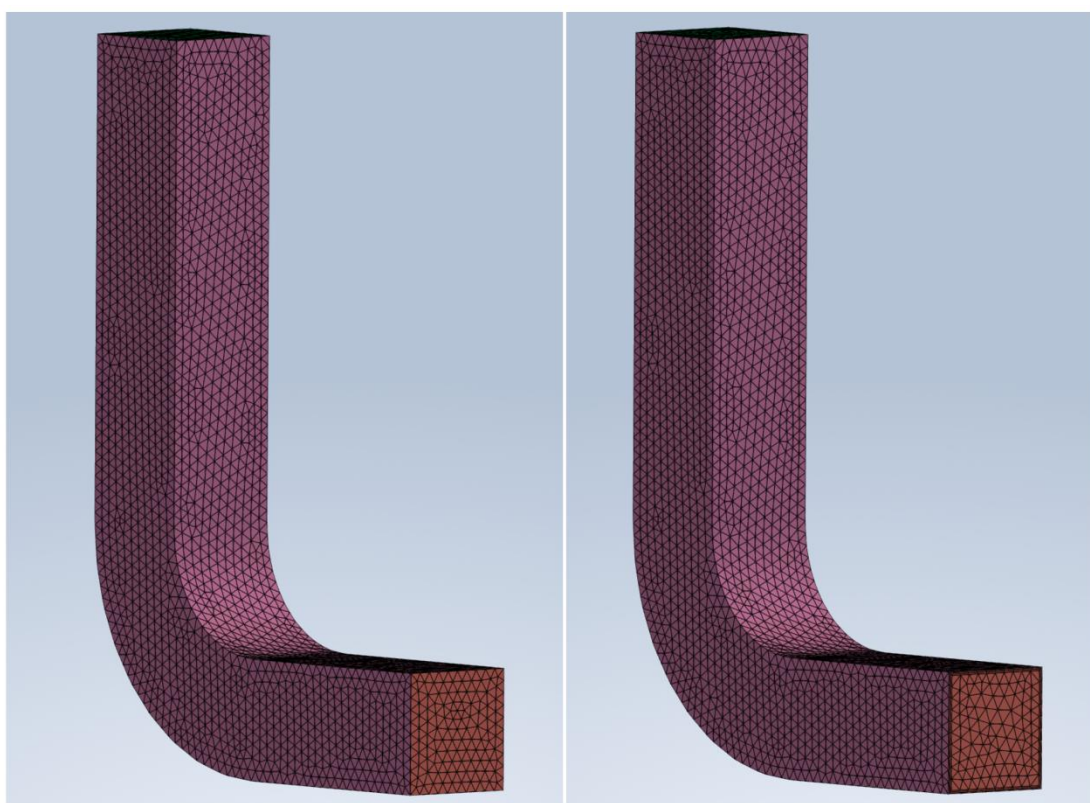


图 2-162 边界层功能使用前后

注：

(1) 该功能不支持撤销/恢复；

(2) 不勾选【边界层】功能，点击【体】按钮，在下拉菜单中点击【基于体】或【基于面网格】选项，实现对几何体划分体网格，在设置边界层参数且开启边界层的面上不会创建边界层网格。

(3) 勾选【边界层】功能，关闭边界层设置，此时【基于体】将创建无边界的体网格；

(4) 勾选【边界层】功能，关闭边界层设置，【基于面网格】创建体网格出现弹窗，点击【是】将创建无边界的体网格，点击【否】或点击弹窗的【关闭】选项，不执行体网格生成命令。

2.2.4.5 多面体

该功能是体网格功能的可选项，如下图所示，勾选该功能，可在几何体内创建多面体网格。

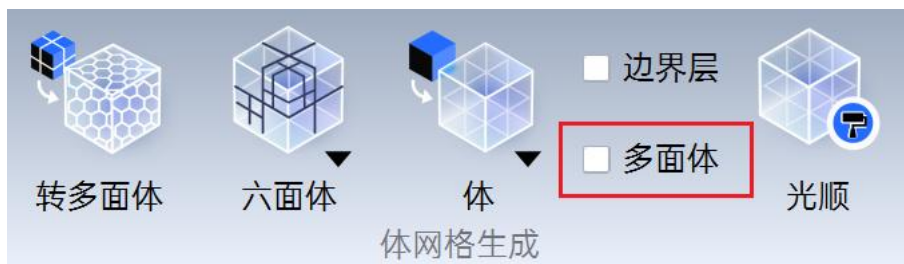


图 2-163 多面体功能位置

以下介绍【多面体】操作使用：

(1) 勾选【多面体】功能，点击【体】按钮；

(2) 在下拉菜单中点击【基于体】或【基于面网格】选项，实现对几何体划分多面体网格，勾选【多面体】与不勾选【多面体】的两种体网格结果如下图所示。

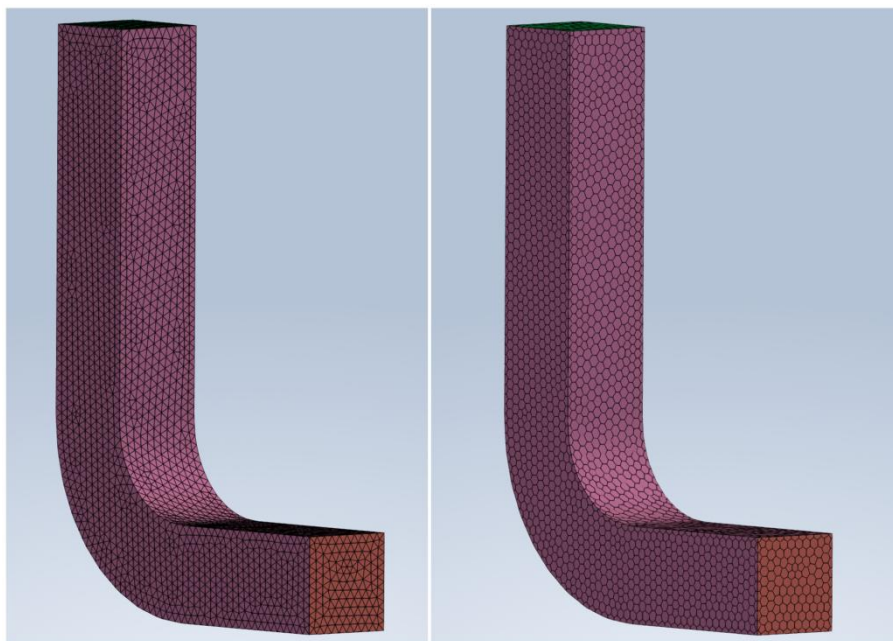


图 2-164 多面体功能属性页

注：

- (1) 该功能不支持撤销/恢复；
- (2) 若当前体网格无多面体网格，勾选【多面体】功能并点击【基于面网格】创建体网格，可基于体网格的表面单元创建多面体网格；
- (3) 若当前网格为多面体网格，勾选【多面体】功能并点击【基于面网格】创建体网格，会触发弹窗，“不支持包含多面形面网格的体网格划分”，警告如下图所示。

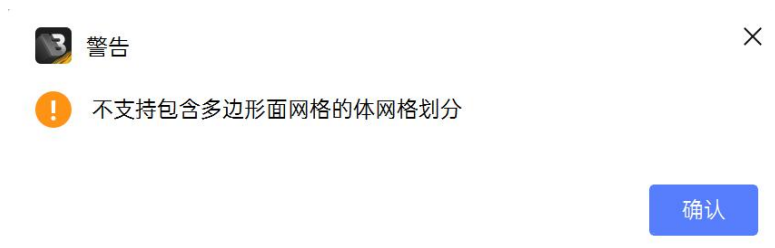


图 2-165 多面体警告弹窗

2.2.4.6 光顺

光顺功能可以改善网格质量，功能包含体网格光顺和面网格光顺。当导入的模型为体网格时，则进行体网格光顺；若导入的模型为面网格时，则进行面网格光顺。



图 2-166 光顺功能位置

以下介绍【光顺】操作使用：

- (1) 点击光顺，输入光顺迭代步、提升目标值；
- (2) 选择光顺的标准，用户可根据需要是否冻结边界；
- (3) 点击应用。



图 2-167 光顺功能属性页

注：冻结边界是边界控制，保持特征线。

光顺迭代步：迭代步是指在网格光顺过程中，算法进行迭代的次数。迭代步数越多，算法对网络的调整就越精细，但计算量也会相应增加。

提升目标值：提升目标值是指在网格光顺过程中，期望达到的网格质量改进程度，这个值用于衡量网格光顺后的质量提升情况。

标准（正交性质量，扭曲度）：光顺目标参数选择。

冻结边界层：冻结边界层是指在网格光顺过程中，保持边界层网格不变或仅进行微小调整的操作。这有助于确保边界层网格的稳定性和准确性，从而避

免在光顺过程中引入不必要的误差。

2.2.5 诊断

2.2.5.1 质量

质量功能给出网格的质量、体积、正交性、扭曲度、长宽比和距离指标的分布，可高亮显示各指标特定质量范围中的单元位置，同时在模型树上创建相应的诊断节点，可对诊断节点进行隐藏、显示、删除操作，其位置如下图所示。

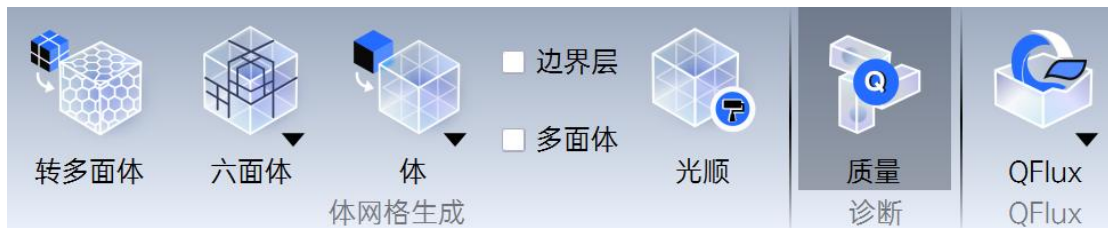


图 2-168 质量功能位置

以下介绍【质量】操作使用：

(1) 创建网格后，点击【质量】按钮，打开功能面板；

(2) 功能面板顶行给出了单元类型，左侧第一列标示了各行数据的类型，例如最优、最差和平均单元质量，超出质量范围的单元数量，底部各行是各个质量范围。鼠标单击某个指标范围，该行将高亮显示，再点击【显示】按钮，视图区将高亮显示满足该质量范围的所有单元，如下图所示，同时左侧模型树上生成了诊断节点，各个子节点分别是满足该质量范围的各种类型单元。

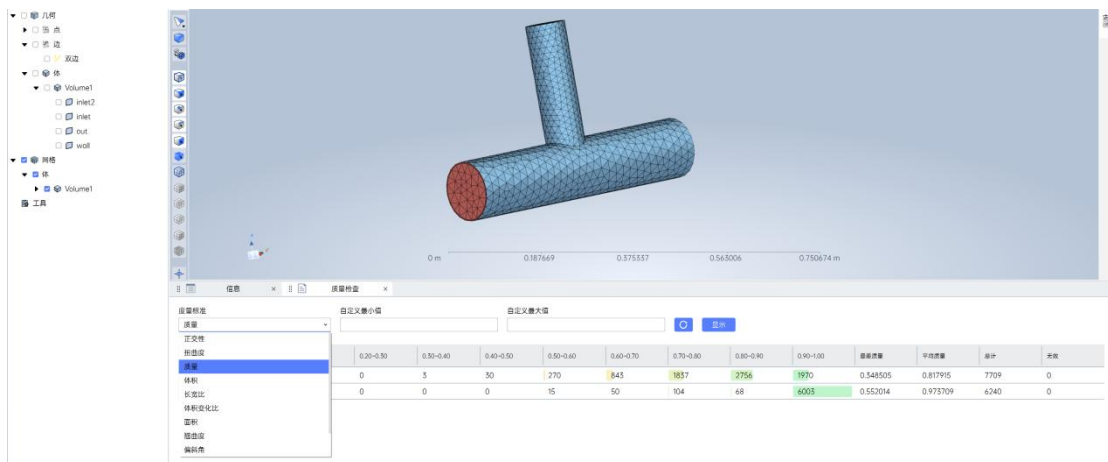


图 2-169 质量检查功能使用

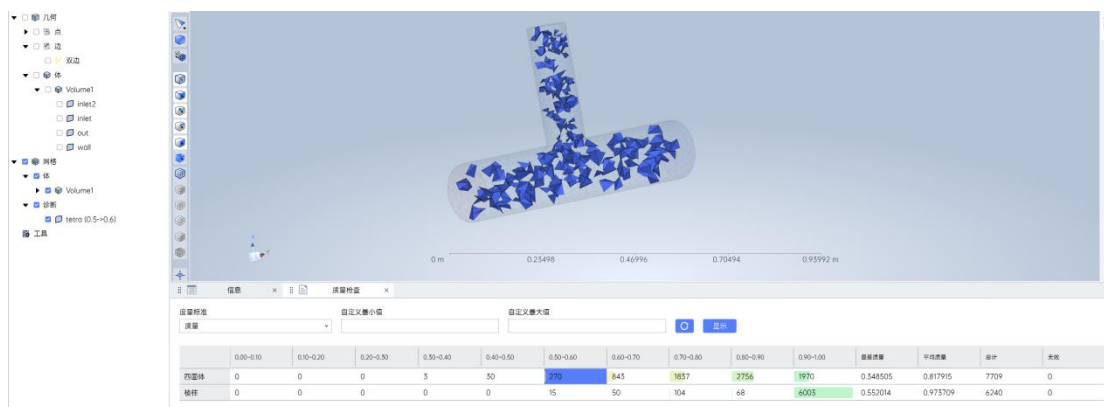


图 2-170 质量检查显示功能使用

(3) 取消勾选诊断节点将隐藏高亮的满足质量范围的单元，显示原始的全部网格，在诊断节点上右键，可对诊断节点执行删除、隐藏或显示，如图所示；

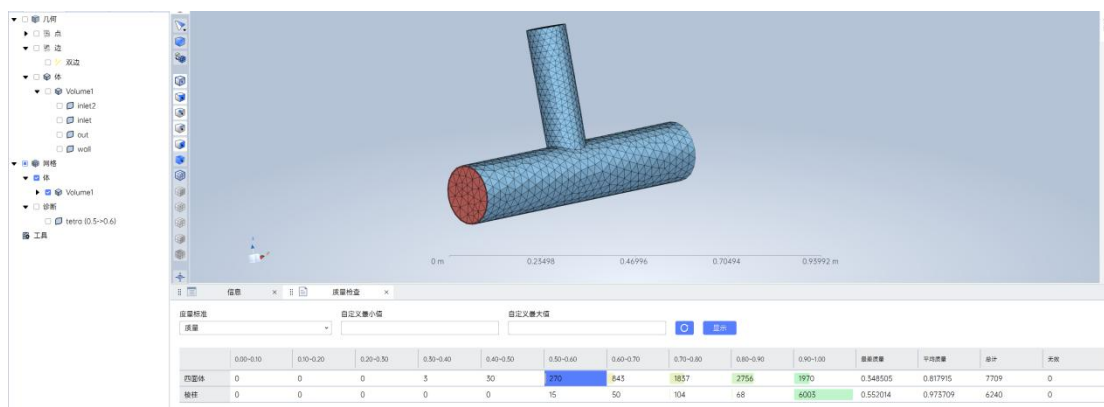


图 2-171 取消勾选质量检查功能使用

(4) 在自定义最小值和自定义最大值的右侧输入框中可输入自定义值，再点击【显示】按钮，视图区将高亮显示自定义质量范围内的单元，左侧模型树中会生成相应质量范围的各种类型单元的节点，如下图所示。

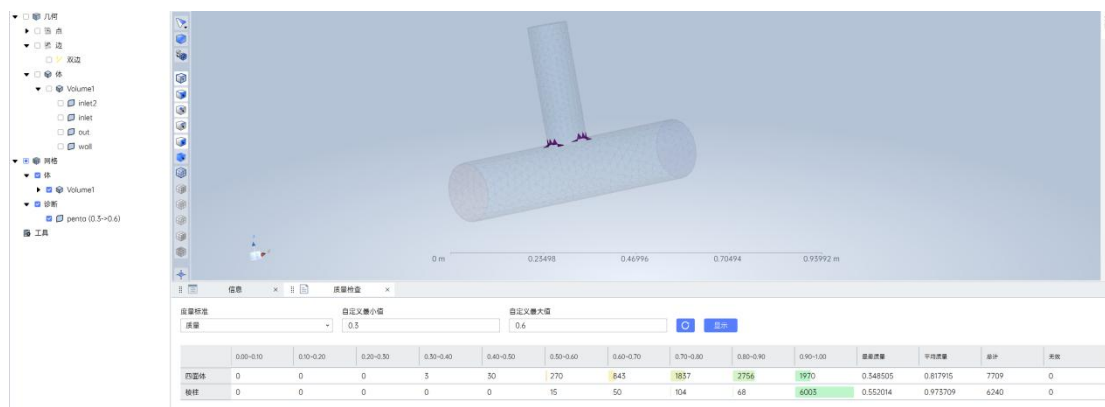


图 2-172 质量检查自定义质量范围

注：

(1) 该功能不支持撤销/恢复；

- (2) 重新创建网格，诊断节点会被自动删除；
- (3) 文件保存关闭时，诊断节点不会被保留；
- (4) 网格体积的数值范围，均采用软件默认单位，在配置中修改单位对其暂不适用。

质量参数含义或功能如下表所示，具体公式见附录：

表 2-10 质量参数含义或功能参数及功能

参数	功能
正交性 Orthogonality	通过计算体单元中心和它的面单元中心组成的向量与该面单元的法向量之间的夹角的度数。取值范围[0,90]，0 是最好，90 是最坏。
扭曲度 Skewness	适用于体单元，通过计算质心与单元子面的面心或者相邻单元质心之间的连线与面法向之间的距离来衡量单元的扭曲度，取值的范围是[0,1]，0 是最好，1 最差。
质量 Quality	一种通用的衡量网格内单元的质量质量。对于三角形单元计算三角形网格单元面积与最长边比。四边形网格单元质量衡量四边形翘曲程度,多边形与体单元则计算正交性质量。
距离 Distance	用于衡量网格的贴体性，仅使用于有几何文件的面网格，统计网格中面单元中心与其投影到几何面上的距离。
长宽比 Aspect Ratio	通过面积或体积来衡量单元与标准单元的差距，具体计算方式如下，实际的面积或体积/均值面积或体积。均值面积或体积=子单元之和*质心到子单元距离之和/子单元个数/单元维数。长宽比的范围[0,1]，1 表示最好，0 表示最坏。
面积 Face Area	仅适用于面单元，对网格中的面单元面积进行数值统计。
正交性质量 Orthogonality Quality	综合考虑单元的等角斜率与正交性，取值范围是[0,1]，1 是最好，0 最差。
/	当出现体网格时，会增加以下质量参数：
体积 Volume	仅适用于体单元，对网格中的体单元面积进行数值统计。
体积变化比 Volume Ratio	体积变化比是相邻单元体积的比值，用于反应网格内三维单元的均匀程度。单元的体积变化比默认是所有相邻单元体积变化比的最小值。体积变化比的范围是[0,1]，1 是最好，0 最差。
偏斜角 Skewness Angle	适用于体单元，通过计算质心与单元子面的面心或者相邻单元质心之间的连线与面法向之间的角度来衡量单元的扭曲度，取值的范围是[0,1]，1 是最好，0 最差。
边界偏斜角 Boundary Skewness Angle	适用于衡量体网格的表面单元，通过计算质心与单元子面的面心或者相邻单元质心之间的连线与面法向之间的角度来衡量单元的扭曲度，取值的范围是[0,1]，1 是最好，0 最差。
/	当出现多面体网格时，会增加以下质量参数：
翘曲度	用于度量网格单元四边形单元的平坦性，取值范围[0,1]，1 是最好，

Warpage	0 是最差。
---------	--------

2.2.6 Qflux

点击 QFlux 按钮可以打开 QFlux。

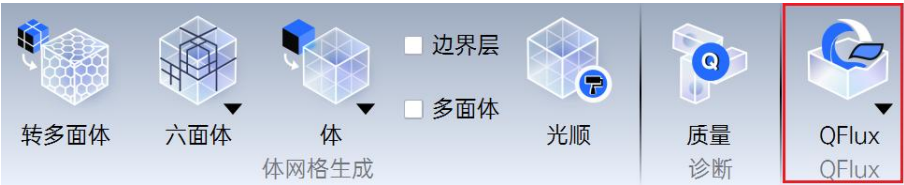


图 2-173QFlux 功能位置

3 求解设置

在仿真工作中，前处理、求解运算、后处理都会影响到结果，而求解设置中离散格式、湍流模型、边界条件、初始条件、松弛因子等功能会影响后续计算过程中的收敛性以及最终解的质量，不恰当的设置可能会导致非物理性的解或是难以达到收敛状态。因此，本章将介绍求解设置相关的内容。

3.1 设置

设置中包含缩放、通用、坐标系、模型、材料、材料库、方法、控制、残差、初始化以及计算功能，方便用户进行相关的设置，其位置如下图所示：



图 3-1 设置功能概览

3.1.1 缩放

缩放功能支持对网格进行放大缩小操作，用户可通过设定缩放因子定义变化幅度，Ribbon 上缩放的位置如下图所示：



图 3-2 缩放功能位置

以下介绍【缩放】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon 【缩放】，弹出缩放的属性页；
- (2) 设置缩放系数；
- (3) 点击缩放。

⋮ 网络缩放 ×

包围盒信息

起点

X	0	m
Y	0	m
Z	0	m

终点

X	1	m
Y	1	m
Z	1	m

缩放

缩放系数

1

缩放

图 3-3 网络缩放功能属性页

缩放参数及功能如下所示：

【包围盒信息】：模型包围盒的最大 X/Y/Z 坐标、最小 X/Y/Z 坐标。该坐标会随着网络缩放结果进行变化；

【缩放系数】：模型缩放的比例。取值(0,1)时为网格缩小操作，越接近 0 缩小幅度越大；取值大于 1 时为网格放大操作，越接近 1 放大幅度越小，1 表示不进行缩放。

3.1.2 通用

通用可以进入通用属性的设置面板，对分析类型，时间依赖、参考压力、浮力模型等进行设置。双击模型树节点或者通过右键菜单中的【编辑】命令可以打开属性页，对设置参数进行编辑。Ribbon 上通用的位置如下图所示：



图 3-4 通用功能位置

以下介绍【通用】操作使用：

- （1）点击 Ribbon【通用】，弹出通用的属性页；
- （2）设置分析类型、时间依赖、参考压力、选项以及浮力模型；

(3) 点击应用。

通用

×

类型

不可压缩

时间

稳态

参考压力

101325Pa

选项

自动

浮力模型

X0m/s^2

Y0m/s^2

Z0m/s^2

参考密度

1.205kg/m^3

X0m

Y0m

Z0m

应用

图 3-5 通用功能属性页

通用参数及功能如下表所示：

表 3-1 通用属性页参数及功能

参数	功能
类型	指定求解类型是可压缩或是不可压缩类型。
时间	指定分析过程是瞬态求解或是稳态求解。
参考压力	指定参考压力的数值。
选项	指定参考压力加载的位置；可设置为【自动】或者自定义位置。
浮力模型	勾选框，勾选后显示并应用浮力模型的各个参数。
重力	设置 X/Y/Z 方向上的重力加速度值。
参考密度	指定参考密度的值。
参考位置	指定密度的参考位置。

3.1.3 坐标系

自定义坐标系功能可以创建和设置用户自定义的坐标系统，并支持用户在其他求解设置中进行引用。Ribbon 上坐标系的位置如下图所示：



图 3-6 坐标系功能位置

以下介绍【坐标系】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon **【坐标系】**，弹出坐标系的属性页；
- (2) 选择定义方法及原点位置；
- (3) 点击创建。

坐标系

通用

名称

坐标系1

参考坐标系

Global

定义方法

笛卡尔

原点

从3个点创建

X	0	m
Y	0	m
Z	0	m

X轴方向

X	1
Y	0
Z	0

Z轴方向

X	0
Y	0
Z	1

☒ 预览

创建

图 3-7 坐标系功能属性页

坐标系参数及功能如下表所示:

表 3-2 坐标系属性页参数及功能

参数	功能
名称	自定义坐标系的名称。
参考坐标系	自定义坐标系参照的坐标系。
定义方法	设定自定义坐标系的类型，如笛卡尔坐标系。
原点	设定自定义坐标系的原点在参照坐标系中的坐标。
X 轴方向	设定自定义坐标系的 X 轴在参照坐标系中同向矢量。
Z 轴方向	设定自定义坐标系的 Z 轴在参照坐标系中同向矢量。
从 3 个点创建	在视图区點選 3 个网格节点后，点击该按钮，可以计算得到自定义坐标系的原点坐标、X 轴方向和 Z 轴方向，并填写到属性页的输入栏中。软件将

	取这 3 个点的外切圆圆心作为自定义坐标系的原点，原点与首个选择的网格点的连线作为 X 轴，通过原点且垂直于 3 点所在平面的射线作为 Z 轴，Z 轴方向根据 3 个点选取顺序形成的右手定则确定。
预览	默认勾选，可以根据用户的输入，在视图区实时预览自定义坐标系的图元。

3.1.4 模型

模型按钮下包括粘度模型、多相流模型以及辐射模型。Ribbon 上模型的位置如下图所示：



图 3-8 模型功能位置

能量模型在模型树节点进行设置，没有在 Ribbon 上进行体现，首先先回顾一下能量模型的几种场景。

能量方程

能量方程（Energy）节点打开后，可以进一步设置与能量或传热相关的参数。可通过能量节点右键菜单来打开或关闭能量方程。

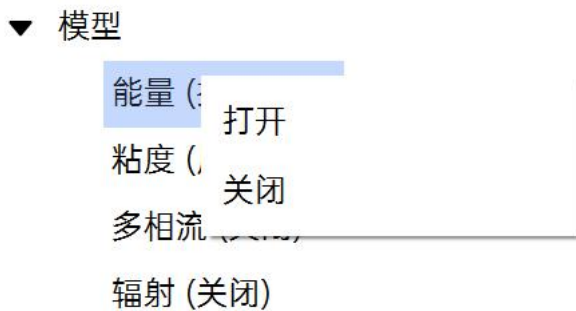


图 3-9 能量方程设置的右键菜单示意图

值得注意的是，以下几种场景能量方程无法关闭：

- （1）通用设置中求解类型为可压缩；
- （2）材料的密度设置为理想气体或布辛尼斯克；
- （3）材料的动力粘度设置为萨瑟兰公式；
- （4）辐射模型已经打开。

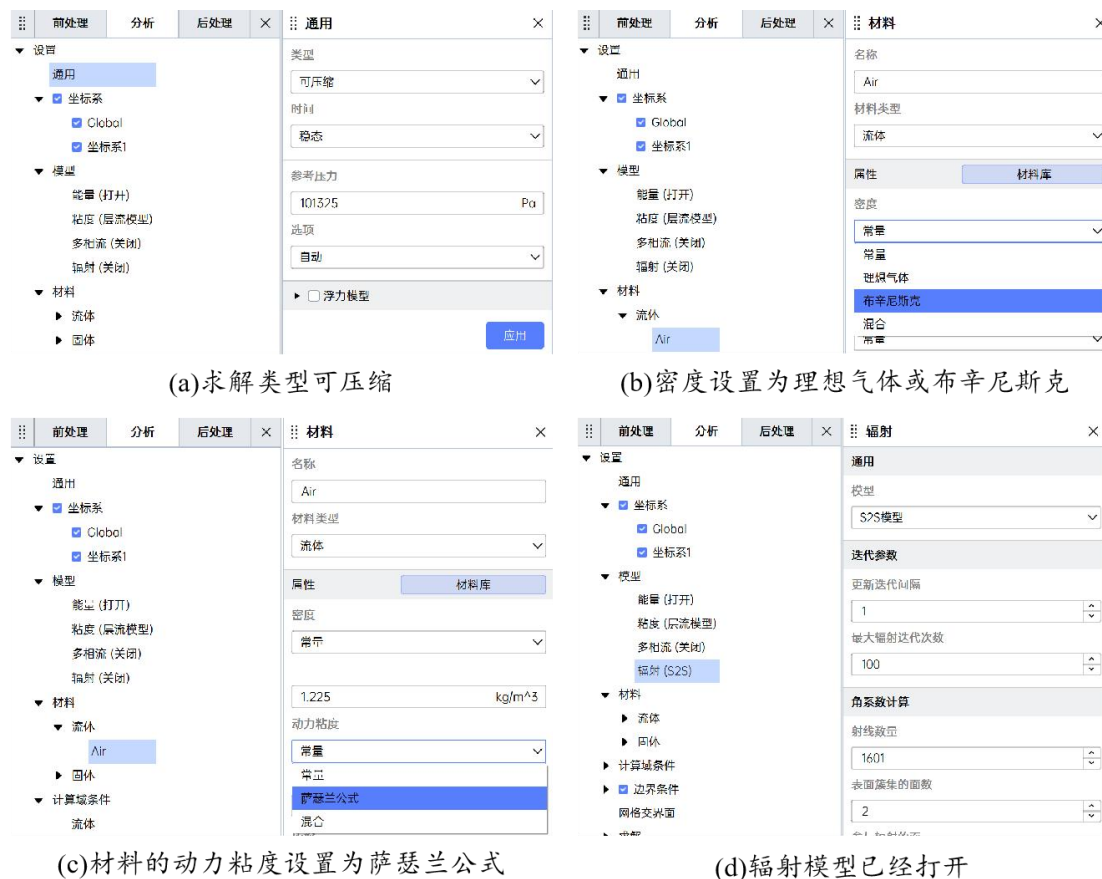


图 3-10 能量方程无法关闭的四种场景

以下将介绍粘度模型、多相流模型以及辐射模型。

粘度模型

粘度模型（湍流模型）设置功能支持用户对流体域求解时使用的粘度模型进行设置。

以下介绍【粘度模型】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon【模型】下的粘度，弹出粘度的属性页；
- (2) 选择模型；
- (3) 点击应用。



图 3-11 粘度功能属性页

注：当 Ribbon 通用或者模型树通用节点下设置时间依赖为瞬态时，则粘度模型中的大涡模拟和分离涡模拟则可进行操作。

粘度模型参数及功能如下表所示：

表 3-3 粘度模型属性页参数及功能

参数	功能
模型	设定粘度模型，软件支持层流（Laminar），S-A 模型（Spalart-Allmaras）、k-ε模型（k-epsilon）、k-ω模型（k-omega）、大涡模拟（LES）、分离涡模拟（DES）、V2F 模型这 7 类，其中的大涡模拟和分离涡模拟仅当分析类型为瞬态时才可以使用。
k-ε模型	设定 k-ε模型的类型，软件支持标准（Standard）、重整化群（RNG）、可实现（Realizable）、低雷诺数（Low-Re）这 4 种。该项仅当模型项选择 k-ε时才可进行配置。
k-ω模型	设定 k-ω模型的类型，软件支持标准（Standard）、剪切应力传输（SST）这 2 种。该项仅当模型项选择 k-ω时才可进行配置。
壁面函数	设定粘度模型的壁面函数。该项仅当模型项选择 k-ω时或模型项选择 k-ε且 k-ε模型不为低雷诺数（Low-Re）时才可进行配置。对 k-ε模型，近壁面处理方法支持标准壁面函数（Standard wall treatment）、双层模型（Two layer wall treatment）、混合壁面函数（Hybrid wall treatment）这 3 种。对 k-ω模型，壁面函数支持标准壁面函数、混合壁面函数这 2 种。
雷诺时均 NS 模型	设定分离涡模拟时使用的雷诺时均 NS 模型的类型，软件支持 S-A 模型和 SST k-ω模型这 2 种。该项仅当模型选择分离涡模拟时，才可进行配置。

DES 模型选项	设定分离涡模拟时是否使用延迟 DES 模型。该项仅当模型选择分离涡模拟时，才可进行配置。
亚格子尺度模型	设定大涡模拟时使用的亚格子尺度模型，目前软件仅支持 Smagorinsky-Lilly 模型这一种。该项仅当模型选择大涡模拟时，才可进行配置

多相流模型

多相流设置功能，可以支持用户对多相流模型进行设置和切换的应用场景。可设置的多选项包括关闭、VOF 模型和欧拉模型 3 种。仅当通用设置中设定计算类型为不可压缩时，欧拉模型才可供选择。仅当通用设置中设定计算类型为不可压缩且是瞬态计算时，VOF 模型才可供选择。多相流模型打开时，对应的属性页示意图。

以下介绍【多相流模型】操作使用：

- （1）点击通用，设置时间依赖为瞬态，点击应用；
- （2）在材料节点，鼠标右键复制材料 Air，从材料库中选择所需流体材料，进行替换编辑 Air1，点击应用；
- （3）点击 Ribbon【模型】下的多相流，弹出多相流的属性页；
- （4）进行相设置以及相间作用进行设置；
- （5）点击应用。

多相流

模型

多相流模型

VOF 模型

相数量

2

相

Phase1-主相

Phase2-分相

相间作用

— 力 —

相间作用对

表面张力系数

值(N/m)

Phase1->Phase2

无

-

N/m

— 质量传递 —

机理数量

1

从

到

机理

操作

Phase1

Phase2

无

编辑

多相流

欧拉模型

相数量

2

相

Phase1-主相

Phase2-分相

相间作用

— 力 —

相间作用对

Phase1->Phase2

曳力系数

无

升力系数

无

虚拟质量力系数

无

— Default Title —

努塞尔数

常量

应用

应用

图 3-12 多相流功能属性页

注：当通用下时间依赖为瞬态时，VOF 模型可以进行编辑，若未开启，属性页 VOF 模型则置灰显示。在使用 VOF 模型前，要在通用属性页下将时间依赖设置为瞬态。

多相流模型参数及功能如下表所示：

表 3-4 多相流模型属性页参数及功能

参数	功能
多相流模型	多相流模型的选择，包括关闭、VOF 模型和欧拉模型。
相数量	设定计算的相的种类数量，支持的相数量为 2。
相	展示全部定义的相的名称和相的类型，类型分为主相（Primary Phase）和分相（Secondary Phase）。

相间作用	设定相与相之间相互作用的相关参数。
力	设定相与相之间力学上相互作用的相关参数。
相间作用对	选取需要设定相间力学相互作用的两个相。
表面张力系数	设定相间表面张力系数的类型，软件支持无张力（None）和定常张力系数（Constant）两种类型的设定方式。当选取定常张力系数时，用户需要输入该系数的数值。
壁面粘附	当用户设定表面张力系数的类型为定常时，会出现壁粘附（Wall Adhesion）项供用户配置，勾选时启用该设置。
质量传递	设定相与相之间在质量传递上的相互作用的相关参数。
机制数量	设定相与相之间在质量传递上的相互作用的配对的个数。
从某项	设定相与相之间在质量传递时的起始相。
到某项	设定相与相之间在质量传递时的到达相。
机理	设定相与相之间在质量传递时的作用机制，软件支持用户对空化作用的设定。
操作	设定相与相之间质量传递机制的详细内容。
曳力系数	设定相间的曳力作用系数的类型，软件支持多种类型的曳力系数的设定，包括无（None）、常量（Constant）、标准（Standard）、气泡（Bubbles）、流化床（Fluidisedbed）、Peebles。当选取定常曳力系数时，用户需要输入该系数的数值。
升力系数	设定相间的升力作用系数的类型，软件支持无升力（None）和定常升力系数（Constant）两种类型的设定方式。当选取定常升力系数时，用户需要输入该系数的数值。
虚拟质量力系数	设定相间的虚拟质量系数的类型，软件支持无虚拟质量（None）和定常虚拟质量系数（Constant）两种类型的设定方式。当选取定常升力系数时，用户需要输入该系数的数值。
湍流曳力	设定相间的湍流曳力模型的开或关，仅当用户的粘度模型设置不为层流时，才可设置该项。
湍流	设定相间的湍流。
湍流关联	设定相间的湍流关联模型，软件支持常量和 ISSA 两种模型。仅当用户的粘度模型设置不为层流时，才可设置该项。
热传递	设定相与相之间热能上相互作用的相关参数。
努塞尔数	设定相间的努塞尔数，软件支持常量、Ranz Marshall 类型，需要用户输入该数值。仅当用户设置能量方程打开时，才可设置该项。

当在【相】中双击相的名称时，将弹出相的详细设定窗口。窗口的内容分别如下图中所示。



图 3-13 相设置的弹窗页面的示意图

相设置参数及功能如下表所示：

表 3-5 相设置参数及功能

参数	功能
名称	设定相的名称。
相材料	设定相的材料。
直径	设定分相的直径，软件支持常量（Constant）类型的定义方法，需要用户输入该数值。

当用户在 VOF 模型的设置中，设定质量传递的机制为空化时，点击操作列中的编辑按钮，将弹出空化模型的详细设定窗口，其弹窗如下图所示。

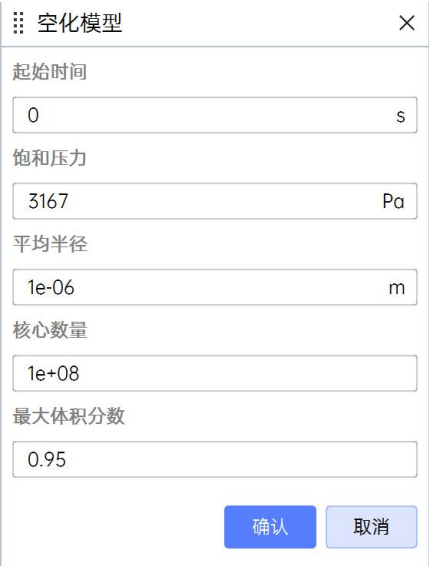


图 3-14 空化模型设置的弹窗页面的示意图

相设置模型参数及功能如下表所示：

表 3-6 多相流模型属性页参数及功能

参数	功能
起始时间	设定空化效应的起始时间。
饱和压力	设定空化效应的饱和压力。

平均半径	设定空化效应的平均半径。
核心数量	设定空化核的数量。
最大体积分数	设定空化效应的最大体积分数。

辐射模型

辐射模型设置（Radiation）节点可以对求解计算使用的辐射模型进行详细设置。该节点的右键菜单内容如下图所示。通过该节点的右键菜单【编辑】按钮可以打开其属性页，对设置参数进行编辑。也可以通过右键菜单中的【模型】按钮对辐射模型进行选择或者关闭。当前选取的辐射模型会在模型树中的辐射模型节点的括号内进行展示。

以下介绍【辐射模型】操作使用：

- （1）模型树点击能量节点，打开能量模型；
- （2）点击 Ribbon【模型】下的辐射模型，弹出辐射模型的属性页；
- （3）选择 S2S 模型，设置模型下的迭代参数及角系数计算相关参数；
- （4）点击应用。

辐射

×

通用

模型

S2S模型

迭代参数

更新迭代间隔

1

最大辐射迭代次数

100

角系数计算

射线数量

1601

表面簇集的面数

2

参与辐射的面

Share_case-pair-1;Share_case-pair-2;Share

应用

图 3-15 辐射功能属性页

注：当能量模型打开时可以进行编辑，若未开启，属性页则置灰显示。

辐射模型参数及功能如下表所示：

表 3-7 辐射模型参数及功能

参数	功能
模型	辐射模型的选择，目前软件仅支持 S2S 这一种模型，并且仅当能量方程打开时，这一模型才可以使用。
更新迭代间隔	用于控制辐射模型的计算更新频率。
最大辐射迭代次数	用于控制辐射模型迭代的最大步数。
射线数量	用于控制角系数计算采用的射线数量。
表面簇集的面数	用于控制生成的面簇中包含的网格单元面的数量，设置此参数并应用后，所有被选中的壁面中对应的设置都更新为此参数。
参与辐射的面	用于控制参与辐射计算的壁面，可多选。若壁面的关联域只有固体域时，对应的壁面名称不出现在列表中。

3.1.5 材料

Ribbon 上材料功能与点击模型树的第三级节点相同，即流体/固体材料子节

点，材料功能用于创建、编辑流体或固体材料，Ribbon 上材料的位置如下图所示：



图 3-16 材料功能位置

以下介绍【材料】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon【材料】，弹出材料的属性页；
- (2) 选择材料类型，设置材料各属性参数；
- (3) 点击应用。

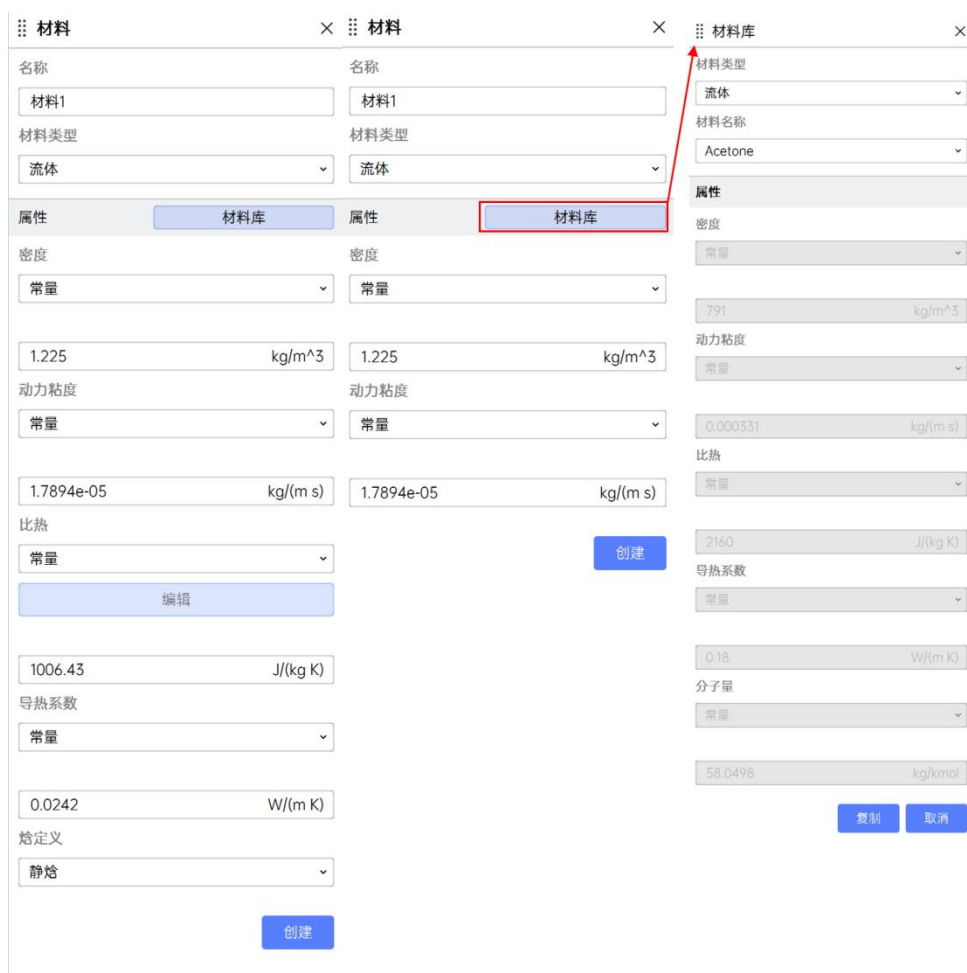


图 3-17 材料属性页

所需设置参数的数量、种类，与能量方程、多相流模型的开启/关闭、不同的密度选项、粘度选项有关，各参数的应用场景及主要含义或功能将进行介绍。

关闭能量方程、多相流模型下材料属性页参数如下表所示：

表 3-8 关闭能量方程、多相流下材料属性页参数及功能

参数	功能
名称	设置当前材料的名称。
材料类型	选择当前材料的类型，下拉单选，包含：流体、固体。
密度	选择当前材料的密度类型，下拉单选，包含：常量、理想气体、布辛尼斯克、混合；选择常量、布辛尼斯克或混合时，下方出现密度参数输入框。
动力粘度	选择当前材料的动力粘度类型，下拉单选，包含：常量、萨瑟兰公式、混合；选择常量、混合时，下方出现粘度参数输入框。
材料库	点击可打开材料库页面，可在材料类型中选择流体或固体，可在材料名称下拉列表中选择某一材料，点击复制可将材料参数复制到属性页中。

开启能量方程下材料属性页如下所示：

表 3-9 开启能量方程下材料属性页参数及功能

参数	功能
比热	选择比热的定义方法，下拉单选，包含：常量、多项式，选择常量选项时，下方出现比热参数输入框。
导热系数	选择导热系数的定义方法，下拉单选，包含：常量、多项式，选择常量选项时，下方出现导热系数参数输入框。
焓定义	选择焓的定义方法，下拉单选，包含：静焓，总焓，转子焓。
编辑	按钮默认置灰，多项式创建入口，【比热】或【导热系数】选择多项式时，按钮激活，点击可打开多项式创建页面。
定义	当前物理量名称，置灰。
根据	当前物理量的自变量，下拉单选，选项为温度。
系数	设定温度变量的系数个数，整数，取值范围[1, 8]，设定 N 个系数时，下方出现 N 个输入框，每个输入框输入相应的系数值。
最小值	设定温度最小值。
最大值	设定温度最大值。
显示曲线	默认勾选，勾选时，右侧显示拟合曲线。
Reference Coordinates	设定固体材料各向异性的导热系数时，选择的参考坐标系。
Conductivity X/Y/Z	设定导热系数的 X/Y/Z 方向分量。

开启能量和多相流、密度选择理想气体或比热选择多项式会出现如下所示：

【分子量】：选择分子量的定义方法，下拉单选，包含：常量，选择常量选项时，下方出现分子量参数输入框。

密度选择布辛尼斯克选项

【热膨胀系数】：选择热膨胀系数的定义方法，下拉单选，包含：常量，

选择常量选项时，下方出现热膨胀系数输入框。

【布辛尼斯克参考温度】：选择布辛尼斯克参考温度的定义方法，下拉单选，包含：常量，选择常量选项时，下方出现布辛尼斯克参考温度输入框。

动力粘度选择萨瑟兰公式选项

【参考粘度】：设定参考粘度值。

【萨瑟兰公式常量】：设定萨瑟兰公式常量。

3.1.6 材料库

材料库中包括大量的流体和固体材料，可以将材料从材料库中创建流体或固体材料，Ribbon 上材料库的位置如下图所示：



图 3-18 材料库功能位置

以下介绍【材料库】操作使用：

- （1）点击 Ribbon 【材料库】，弹出材料库的属性页；
- （2）选择材料；
- （3）点击应用，此时可以在模型树流体/固体材料子节点下看到复制的材料。

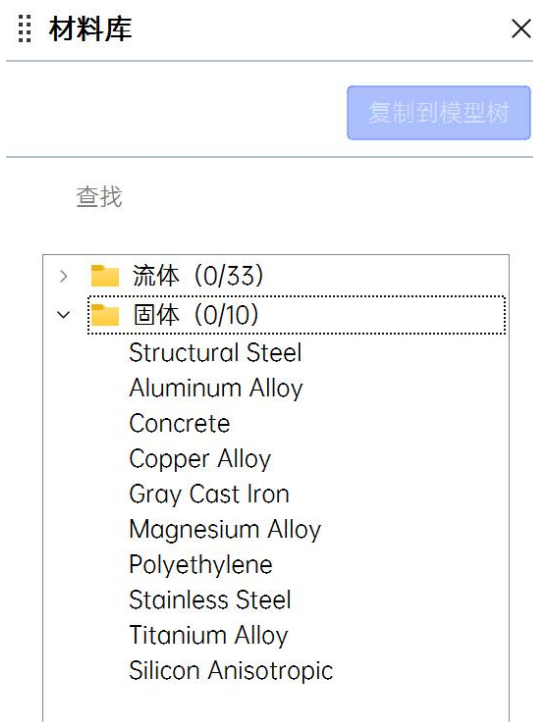


图 3-19 材料库功能属性页

该功能各参数如下：

【查找】：输入框，可输入材料名称字符，在流体、固体材料列表中筛选出包含该字符的材料。

【关于】：对任意一个材料执行右键出现该选项，点击后弹出材料的详细参数页面。

【复制到模型树】：对选中的单个或多个材料执行右键出现该选项，点击后，选中的材料创建到模型树材料节点下。

3.1.7 方法

算法设置，用于定义压力-速度耦合的算法设置和各类变量的空间离散化格式的设置，Ribbon 上方法的位置如下图所示：



图 3-20 方法功能位置

以下介绍【方法】操作使用：

(1) 点击 Ribbon 【方法】，弹出方法的属性页；

- (2) 选择合适的压力速度耦合算法以及空间离散的格式；
- (3) 点击应用。

方法

压力速度耦合

算法

SIMPLE算法

空间离散

动量

一阶迎风格式

体积分数

一阶迎风格式

时间离散

时间

一阶欧拉格式

☐ 伪瞬态方法

应用

方法

压力速度耦合

算法

PISO算法

非正交修正

1

空间离散

动量

一阶迎风格式

体积分数

一阶迎风格式

时间离散

时间

一阶欧拉格式

应用

图 3-21 压力速度耦合的算法设置的属性页的示意图

所需设置参数的数量、种类，与能量方程、多相流模型的开启/关闭以及粘度模型的选取有关，各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

表 3-10 投影属性页参数及功能

参数	功能
压力速度耦合	设置求解运算时采用的压力-速度耦合计算方法的相关参数。
方法	设定压力-速度耦合计算的空间离散格式，包含选项：SIMPLE 算法、PISO 算法。
非正交修正	设定非正交修正的次数。仅当格式设定为 PISO，且通常设置的属性页中设定为瞬态计算，才会出现此项目供用户配置。
空间离散	设置求解运算时采用的空间离散化格式的相关参数。
动量	设定动量的空间离散化格式。包含选项：一阶迎风格式、混合差分格式、二阶迎风格式、中心差分格式、MUSCL 格式、MUSCL+格式、滤波中心差分。当其设定为混合差分或 MUSCL 时，用户需输入相应的系数。滤波中心差分格式仅当粘度模型为大涡模拟或分离涡模拟时可以选择。
密度	设定密度的空间离散化格式。包含选项：混合差分格式、中心差分格式。

	此项仅当计算域引用的材料属性中密度项设置为理想气体（Ideal Gas）时才会出现。当其设定为混合差分格式时，用户需输入对应的系数。
体积分数	设定体积分数的空间离散化格式。包含选项：一阶迎风格式、二阶迎风格式、HRIC 格式。此项仅当多相流模型开启时才会出现，二阶迎风格式仅当多相流模型为欧拉模型时可以选择，HRIC 格式仅当多相流模型为 VOF 模型时可以选择。
湍流	设定湍流项的空间离散化格式。包含选项：一阶迎风格式、二阶迎风格式、MUSCL 格式、MUSCL+格式。此项仅当用户设置的粘度模型不为层流（Laminar）时才会出现。当其设定为 MUSCL 格式时，用户需输入对应的系数。
能量	设定换热相关项的空间离散化格式。包含选项：一阶迎风格式、混合差分格式、二阶迎风格式、中心差分格式、MUSCL 格式、MUSCL+格式。此项仅当用户对能量方程开启时才会出现。当其设定为混合差分或 MUSCL 格式时，用户需输入对应的系数。
时间	设定时间相关项的空间离散化格式。包含选项：一阶欧拉格式、二阶后向格式。此项仅当用户在通常设置的属性页中设定为瞬态计算时才会出现。
伪瞬态方法	此项仅当用户在通常设置的属性页中设定为瞬态计算，且压力速度耦合方法为 SIMPLE 时才会出现。可通过勾选启用该方法。

3.1.8 控制

该功能主要用于设置方程求解过程中各参数的亚松弛因子及相关限制条件。松弛因子影响迭代求解时相邻两计算步参数的变化量，与计算稳定性、计算总时长密切相关。多数情况下，松弛因子默认设置即可满足求解稳定性需求。在计算过程中出现振荡、发散情况时，可通过适当减小松弛因子的数值提高计算收敛性。Ribbon 上控制的位置如下图所示：



图 3-22 控制功能位置

以下介绍【控制】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon 【控制】，弹出控制的属性页；
- (2) 输入合理的亚松弛因子参数；
- (3) 点击应用。

⋮ 控制

×

亚松弛因子

压力

0.3

相动量

0.9

动量

0.7

体积分数

1

湍流

0.7

湍流粘度

1

能量 (流体)

0.95

能量 (固体)

1

辐射

0.3

默认

限值

高级

方程

应用

图 3-23 求解设置控制属性页

所需设置参数的数量、种类，与压力速度耦合方法、能量方程、湍流模型、多相流模型的开启/关闭有关，各参数的应用场景及主要含义或功能如下：

控制属性页参数及功能如下表所示：

表 3-11 控制属性页参数及功能

参数	功能
压力	设置压力项的亚松弛因子，仅适用于压力速度耦合方法为 SIMPLE 的情

	形。
密度	设置密度项的亚松弛因子，仅适用于压力速度耦合方法为 SIMPLE 时可压缩流的情形。
相动量	设置分相动量项的亚松弛因子，仅适用于压力速度耦合方法为 SIMPLE 时欧拉多相流模型的情形。
动量	设置动量项的亚松弛因子，仅适用于压力速度耦合方法为 SIMPLE 的情形。
体积分数	设置体积分数的亚松弛因子，仅适用于压力速度耦合方法为 SIMPLE 时欧拉多相流模型的情形。
湍流	设置湍流参数项的亚松弛因子，仅适用于压力速度耦合方法为 SIMPLE 时湍流计算情形。
湍流粘度	设置湍流参数项的亚松弛因子，仅适用于压力速度耦合方法为 SIMPLE 时湍流计算情形。
能量（流体）	设置流体的能量项的亚松弛因子，仅适用于压力速度耦合方法为 SIMPLE 时能量方程开启的情形。
能量（固体）	设置固体的能量项的亚松弛因子，仅适用于压力速度耦合方法为 SIMPLE 时能量方程开启且含固体域的情形。
辐射	设置固体的能量项的亚松弛因子，仅适用于压力速度耦合方法为 SIMPLE，且辐射模型打开时的情形。
PISO 因子	设置 PISO 因子项的亚松弛因子，仅适用于压力速度耦合方法为 PISO 的情形。
默认	恢复上述设置至默认状态。

设置求解计算时部分参数的限制条件，弹窗如下图所示：

限值

绝对压力下限
50 Pa

绝对压力上限
9e+06 Pa

静温下限
10 K

静温上限
5000 K

密度
0.001 kg/m³

单元至壁面距离
1e-06 m

默认 取消 确认

图 3-24 求解设置控制属性页限制弹窗示意图

【限制】弹窗参数及功能如下表所示：

表 3-12 限制属性页参数及功能

参数	功能
最小绝对压力	设置绝对压力项下限，仅适用于可压缩流的情形。
最大绝对压力	设置绝对压力项上限，仅适用于可压缩流的情形。
最小静温	设置静温项下限，仅适用于能量方程开启的情形。
最大静温	设置静温项上限，仅适用于能量方程开启的情形。
密度	设置密度项限制条件，仅适用于可压缩流的情形。
单元至壁面距离	设置梯度计算时网格至壁面的最小距离。

设置求解计算方程时的求解方法、参数舍入误差及迭代步数等参数，弹窗如下图所示：

高级

方程	方法	标准	截断误差	最大步数
压力	AMG	0.05	1e-16	100
动量	CG	0.01	1e-16	100
能量	CG	0.01	1e-16	100
湍流	CG	0.01	1e-16	100

全局参数

湍流计算起始步0

高阶格式计算起始步20

温度计算起始步0

密度计算起始步0

默认取消确认

图 3-25 求解设置控制属性页限制弹窗示意图

【高级】弹窗参数及功能如下表所示：

表 3-13 高级属性页参数及功能

参数	功能
压力	设置压力方程求解参数。
动量	设置动量方程求解参数。
湍流	设置湍流方程求解参数，仅适用于湍流模型开启的情形。
能量	设置能量方程求解参数，仅适用于能量方程开启的情形。
湍流计算起始步	设置湍流项的求解参数生效起始步，仅适用于湍流模型开启的情形。
高阶格式计算起始步	设置高阶离散方案的求解参数生效起始步，仅适用于至少有一项为二阶以上离散方案的情形
温度计算起始步	设置温度项的求解参数生效起始步，仅适用于能量方程开启的情形。
密度计算起始步	设置密度项的求解参数生效起始步，仅适用于可压缩流的情形。

【方程】设置亚松弛因子等参数的生效方程范围，【方程】弹窗如下图所示：



图 3-26 求解设置控制属性页方程弹窗示意图

【高级】弹窗参数及功能如下表所示：

表 3-14 求解设置控制属性页属性页方程参数及功能

参数	功能
流动	勾选即在求解流动方程中生效。
湍流	勾选即在求解湍流方程中生效，仅适用于湍流模型开启的情形。
能量	勾选即在求解能量方程中生效，仅适用于能量方程开启的情形。
体积分数	勾选即在求解体积分数方程中生效，仅适用于多相流开启的情形。

3.1.9 残差

Ribbon 上残差包括残差和监测子功能。残差功能针对质量、动量、能量、湍流设定统一的收敛标准，在迭代求解过程中生成实时的监测曲线，表示这些物理量的收敛情况；监测点功能支持在计算区域内对用户关注的物理量创建相应的监测点，在迭代求解过程中生成实时的监测曲线，表示这些物理量在各个迭代步的值。Ribbon 上残差的位置如下图所示：



图 3-27 残差功能位置

当监测曲线的残差值满足用户设定的收敛标准时，计算收敛，若迭代计算过程中，残差越来越偏离收敛标准值，计算很可能是发散的。

以下介绍【残差】操作使用：

- （1）点击 Ribbon 【残差】，弹出残差的属性页；
- （2）设置合理参数；
- （3）点击应用。



图 3-28 残差功能属性页

所需设置参数的数量、种类，与能量方程、多相流模型的开启/关闭以及不同湍流模型的选取有关，各参数的应用场景及主要含义或功能如下表所示：

表 3-15 残差属性页参数及功能

参数	功能
收敛标准	设定收敛标准值。
质量	勾选时显示质量的残差曲线，不勾选则计算时不显示对应曲线。
动量	勾选时显示动量的残差曲线，不勾选则计算时不显示对应曲线。
能量	勾选时显示能量的残差曲线，不勾选则计算时不显示对应曲线，该项仅当打开能量方程时，才在属性页中显示。
湍流	勾选时，显示湍流的残差曲线，不勾选则计算时不显示对应曲线，该项仅当粘度模型不为层流时，才在属性页中显示。

通过在视图区右侧侧边栏切换监测点的标签可实时观察不同监测点及残差的监测曲线。该功能支持将物理量的结果数据保存到本地文件中。

监测

通用

名称

监测1

选项

力&力系数

边界列表

Share_case_9-pair-1;Share_case_18-pair-2;...

参考坐标系

Global

X1

Y0

Z0

X0

Y1

Z0

X0

Y0

Z0

m

参考值

面积

1

m^2

密度

1.225

kg/m^3

长度

1

m

速度

1

m/s

☒ 升力

☒ 阻力

☒ 力矩

☒ 升力系数

☒ 阻力系数

☒ 力矩系数

位置更新频率

间隔选项

时间步

更新间隔

1

☐ 保存文件

创建

图 3-29 监测点属性页

- 注：
- (1) 打开多相流，且多相流模型为 VOF 时，暂不支持质量流量监测；

(2) 监测点变量的单位均采用软件默认单位，配置中单位设置对其不适用。

各参数的应用场景及主要含义或功能如下表所示：

表 3-16 监测点属性页参数及功能

参数	功能
----	----

名称	当前监测点的名称。
选项	选择定义监测点的方法，包含：笛卡尔坐标系、力&力系数、质量流。
间隔选项	选择数据更新方法，下拉单选，稳态分析时包含：迭代步，瞬态分析时包含：时间步。
更新间隔	设定输出数据的更新间隔。
保存文件	默认不勾选，勾选时，输入框激活，设置文件保存路径和文件名，将监测点数据保存到本地文件中。
选取	【保存文件】未勾选时置灰，勾选时激活，点击后弹出对话框，选择保存地址并设置文件名称后填充至左侧输入框，左侧输入框也支持手动输入地址和文件名。
参考坐标系	【选项】为笛卡尔坐标系时，选择参考坐标系，包含：全局坐标系、自定义坐标系。
X/Y/Z	【选项】为笛卡尔坐标系时，设定监测点的 X/Y/Z 坐标值。
变量	【选项】为笛卡尔坐标系时，选择监测变量，下拉单选，列表包含速度、压力、温度，其中的温度项仅当能量方程开启时才可选择。
边界列表	【选项】为力&力系数时，选择无滑移壁面边界，下拉多选，包含：所有无滑移壁面。
参考坐标系	选择计算力/力系数使用的参考坐标系，包含：全局坐标系、自定义坐标系。
阻力方向 【X/Y/Z】	设定监测壁面合力的投影方向。
升力方向 【X/Y/Z】	设定监测壁面合力的投影方向。
力矩中心 【X/Y/Z】	计算监测壁面合力矩的参考点位置。
面积	设定相对面积值。
密度	设定相对密度值。
长度	设定相对长度值。
速度	设定相对速度值。
升力	勾选该项，则求解时将分别在视图区标签页和信息窗口监测标签页中显示该监测位置的升力曲线及数值。
升力系数	勾选该项，则求解时将则分别在视图区标签页和信息窗口监测标签页中显示该监测位置的升力系数曲线及数值。
阻力	勾选该项，则求解时将则分别在视图区标签页和信息窗口监测标签页中显示该监测位置的阻力曲线及数值。
阻力系数	勾选该项，则求解时将则分别在视图区标签页和信息窗口监测标签页中显示该监测位置的阻力系数曲线及数值。
力矩	勾选该项，则求解时将则分别在视图区标签页和信息窗口监测标签页中显示该监测位置在 XYZ 三个方向上的力矩分量曲线及数值。
力矩系数	勾选该项，则求解时将则分别在视图区标签页和信息窗口监测标签页中显示该监测位置在 XYZ 三个方向上的力矩系数分量曲线及数值。
相	【选项】为质量流时，下拉单选，包含多相流中的主相、分相，仅当多相流模型选择欧拉多相流时可选择该项。

边界列表	下拉单选，包含所有速度入口、质量流量入口、压力入口、压力出口、出流边界。
------	--------------------------------------

3.1.10 初始化

初始化支持对全局进行初始化赋值，也支持对选定的区域单独进行初始化赋值，初始化的内容与模型设置相关。Ribbon 上初始化的位置如下图所示：



图 3-30 初始化功能位置

以下介绍【初始化】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon【初始化】，弹出初始化的属性页；
- (2) 设置合适的初始值；
- (3) 点击应用；
- (4) 若要设置局部初始化，则点击【局部初始化】，选择初始化位置，设置合理参数；
- (5) 点击局部初始化。



图 3-31 初始化功能属性页

所需设置参数的数量、种类，与能量方程、多相流模型的开启/关闭以及不

同湍流模型的选取有关，各参数的应用场景及主要含义或功能如下表所示：

表 3-17 初始化属性页参数及功能

参数	功能
静压	关闭能量方程、多相流、湍流模型时，设定全局初始化的静压值。
X/Y/Z 方向速度	设定全局初始化的 X/Y/Z 方向速度值。
局部初始化	默认置灰，初始化属性页点击应用后激活，点击可打开局部初始化页面。
初始化区域	选择需要局部初始化的对象，下拉多选，包含：所有的固体域和 Box 选项，固体域支持多选，固体域和 Box 选项互斥；选择 Box 时，页面新增最小【X】、【Y】、【Z】输入框和最大【X】、【Y】、【Z】输入框。
最小【X/Y/Z】	Box 选项包围盒的对角线端点坐标。
最大【X/Y/Z】	Box 选项包围盒的对角线端点坐标。
变量	选择需要局部初始化的变量，所含变量包括压力、速度分量。
值	对局部初始化的变量设定值。
体积分数	打开多相流时，设定全局初始化分相的体积分数。
相	选择局部初始化的相的类型，下拉单选，包含：混合、分相名称。
变量	选择需要局部初始化的变量，所含变量包括压力、速度分量、体积分数。
湍流强度	打开湍流模型时，选择不同湍流模型时，只需设置其中部分项参数。设置全局初始化的湍流强度值。
湍流粘性比	设置全局初始化的全局初始化的湍流强度值。
温度	打开能量方程时，设置全局初始化温度值。
变量	选择需要局部初始化的变量，所含变量包括压力、速度分量、温度。

3.1.11 计算

通过该功能可对迭代步数、迭代信息输出间隔、数据保存间隔、续算等进行设置。编辑参数后，点击【应用】按钮，使设置生效。Ribbon 上计算的位置如下图所示：



图 3-32 计算功能位置

稳态分析时，属性页的参数及功能如下：

⋮ 计算 ×

并行选项

核数

1

^

▼

迭代选项

迭代步数

100

^

▼

报告间隔

1

^

▼

续算起始步

无

▼

数据保存选项

数据保存间隔

0

^

▼

附加变量

☒ 壁面剪切力

☒ 换热系数

应用

图 3-33 稳态计算时的属性页

稳态计算时参数及功能如下表所示：

表 3-18 稳态计算时属性页参数及功能

参数	功能
迭代步数	设置最大迭代步数。
报告间隔	指定计算分析时，在信息窗口输出迭代信息的间隔。
续算起始步	指定从哪步迭代开始重新计算，下拉列表中提供已保存的迭代步数。
数据保存间隔	指定中间结果保存的步数间隔，步数为时，中间结果不保存。
壁面剪切力	勾选时，计算结果输出壁面剪切力数据。
换热系数	勾选时，计算结果将输出换热系数数据。能量方程关闭时，该参数不显示。

瞬态分析时，属性页的参数及功能如下：

计算

并行选项

核数

1

^
v

迭代选项

时间步数

100

^
v

时间步长

0.001

s

报告间隔

1

^
v

最大步数

50

^
v

续算起始步

无

v

数据保存选项

数据保存间隔

0

^
v

附加变量

☒壁面剪切力

☒换热系数

应用

图 3-34 瞬态计算时的属性页

瞬态计算时参数及功能如下表所示:

表 3-19 稳态计算时属性页参数及功能

参数	功能
时间步数	设置最大时间步数。
时间步长	设置时间步长。
报告间隔	指定计算分析时，在信息窗口输出迭代信息的间隔。
最大步数	设置时间步长内最大迭代的步数。当求解方法设置中，勾选了伪瞬态方法时，该参数不显示。
最小步数	设置时间步长内最小迭代的步数。仅当求解方法设置中，压力速度耦合方式设为 PISO 方法时，该参数才显示。
续算起始步	指定重新计算的起始步数，下拉列表中提供已保存的迭代步数。

数据保存间隔	指定中间结果保存的步数间隔，步数为时，中间结果不保存。
壁面剪切力	勾选时，计算结果输出壁面剪切力数据。
换热系数	勾选时，计算结果将输出换热系数数据。能量方程关闭时，该参数不显示。

3.1.12 运行

点击【运行】后，求解器开始求解计算。Ribbon 上计算的位置如下图所示：

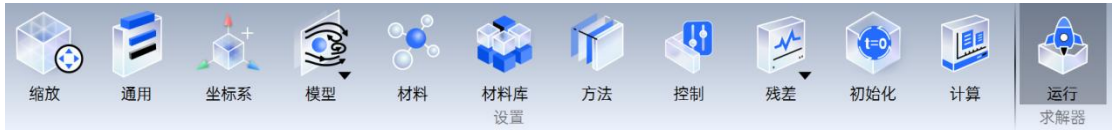


图 3-35 运行计算功能位置

注：当前版本尚未集成求解器，尚不支持求解计算。

4 后处理

在获得计算结果的基础上，为呈现计算结果，提供了大量的数据可视化和数据分析及其他工具，为用户在处理数据及数据分析时提供有力的工具，方便用户进行后处理的操作。

4.1 后处理

在已经有求解数据之后，为呈现良好的数据可视化及数据分析功能，在模拟完成时可以对求解结果进行后处理。后处理功能如下图所示，主要包括数据可视化、数据分析、动画及其他四个子功能区，具体内容如下：



图 4-1 后处理功能概览

YUNBO PrePost Desktop 流体模块后处理采取模型树右键【加载结果】的方式进行加载求解结果文件。加载方式如下图所示：

- (1) 鼠标右键点击模型树【案例】，选择【加载结果】；
- (2) 在弹出的文件夹窗口中，选择 CGNS 文件，若是瞬态求解结果文件，则采用 “-*.cgns” 的方式进行加载；
- (3) 点击确认。



图 4-2 加载求解结果

对于加载稳态求解结果和瞬态求解结果文件如下图所示：

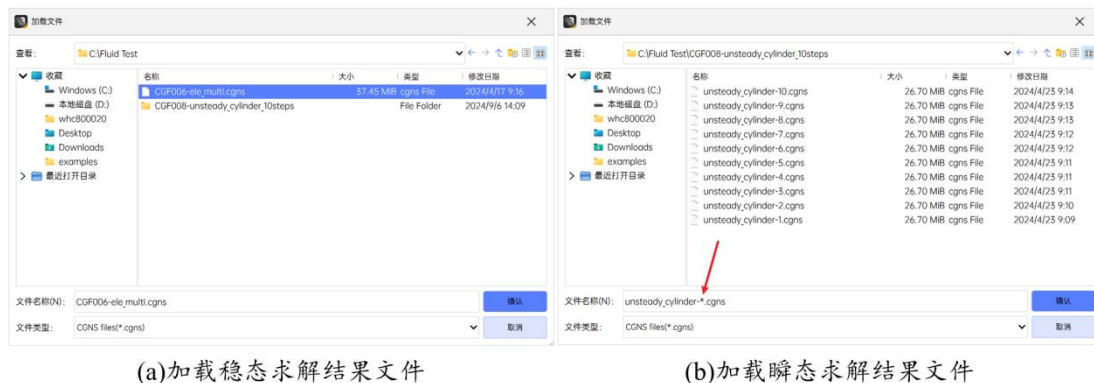


图 4-3 后处理加载求解结果文件

4.1.1 数据可视化

在已经有求解结果之后，可以通过数据可视化对结果数据进行呈现，以达到从模拟数据中查看求解数据的目的。数据可视化的位置如下图所示，数据可视化包含以下功能：点、线、切片、切割、矢量、流线、迹线、等值面、图表。



图 4-4 数据可视化各功能概览

4.1.1.1 点

点功能主要用于创建数据点并提取该坐标位置的结果数据，或创建点云以提取指定球形区域内的结果数据。创建点时可以选择着色变量，以便观察指定变量在某个位置或者某个球形区域内的分布情况。Ribbon 上点的位置如下图所示：



图 4-5 点功能位置

以下介绍【点】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon 【点】，弹出点的属性页；
- (2) 选择区域；

(3) 选择生成点的方法；

当方法选择 XYZ 时，输入中心的数值；若方法选择变量最大值/变量最小值，则选择位置，选择变量；

(4) 选择变量进行着色；

(5) 点击应用。

点

通用

颜色

通用

名称

点2

区域

全部

方法

XYZ

中心

X0.075m

Y-0.05m

Z0.011m

☒ 显示点工具

☐ 点云

应用

点

通用

颜色

通用

颜色

Solid

应用

图 4-6 点功能属性页

点参数及功能如下表所示：

表 4-1 点参数及功能

参数	功能
名称	指定当前点提取节点的名称。
区域	选择要进行点提取的体区域，包含：所有体区域、单个体，支持多选。
方法	指定点提取的方法，可选择指定坐标位置 XYZ、最大变量值、最小变量值。
中心	当选择使用坐标位置进行点提取时，该项用来指定要提取的坐标位置。
位置	当选择使用最大变量值或最小变量值进行数据提取时，该选项指定点提取的位置，包括体区域、边界、以及已经创建的切面、切割、线数据、点数据等。

变量	当选择使用最大变量值或者最小变量值进行数据提取时，指定要使用的变量名称。
显示点工具	勾选此选项时，视图区域显示点的预览，并可进行拖动。
点云	勾选此选项时，可以在指定半径球形区域内进行点提取，数据点在中心点和半径形成的球形空间中均匀分布。
半径	当勾选点云时，指定球形空间的半径值。
点数量	当勾选点云时，指定球形空间中数据点的数量。
颜色	选择着色的变量，下拉单选，所含变量选项与模型设置有关。
全局	使用全局配色对节点进行着色，全局配色下，任一选择相同变量的节点显示风格均相同，全局颜色栏位于模型树【全局图例】，【颜色】选择非默认变量时该选项激活。
用户自定义	使用用户自定义配色对节点进行单独着色，用户自定义颜色栏位于对应节点属性页内，【颜色】选择非默认变量时该选项激活。

在点功能属性页下，用户自定义激活的状态如下图所示：



图 4-7 点-用户自定义页示意图

用户自定义参数及功能如下表所示：

表 4-2 用户自定义参数及功能

参数	功能
颜色-名称	颜色栏名称，【全局】颜色名称以变量命名，【用户自定义】颜色名称以节点名+变量名命名；
颜色-变量	颜色引用的变量，与【颜色】同步，默认置灰；
范围	设置颜色栏的数据范围，包括全局、局部尺寸和用户自定义；
最小	设置颜色栏的数据最小值，默认置灰，【范围】选择用户自定义时激活；
最大	设置颜色栏的数据最大值，默认置灰，【范围】选择用户自定义时激活；
颜色类型	选择颜色显示风格，包括蓝红渐变彩虹、喷气、均匀彩虹、冷暖渐变、翠绿、等离子体、光谱低蓝、黑体辐射、X 光和蓝白渐变，共计 10 种颜色

	风格；
颜色数量	颜色栏显示的颜色数量，默认为 256 色，取消勾选【连续谱】时激活；
标签数量	颜色栏数据标签的数量，默认为 5；
连续谱	颜色过渡是否连续，默认勾选；
文本尺寸	颜色栏文本大小；
文字颜色	颜色栏文字颜色；
精度	颜色栏文字的精度，可选择固定记数或科学记数；
显示图例	在视图区显示颜色栏，默认勾选；

4.1.1.2 线

线功能支持在所选位置生成线并提取线上的求解结果数据，也支持为后续创建图表奠定基础。创建线的方法有两点法与相交法。用户可通过前者设置两点坐标对线进行定义，通过后者可以获取两个面的交线。创建线的时候可以选着着色变量，以便观察该变量在线上的分布情况。Ribbon 上线的位置如下图所示：



图 4-8 线功能位置

以下介绍【线】操作使用：

- (1) 选择区域；
- (2) 选择生成线的方法（两点或者相交）；
- (3) 输入两点坐标；
- (4) 选择变量进行着色；
- (5) 点击应用。

线

通用

颜色

名称

线2

区域

全部

方法

两点

点1

X

-0.025

m

Y

-0.11

m

Z

-0.005

m

点2

X

0.175

m

Y

0.01

m

Z

0.027

m

☒ 显示线工具

样点数

10

应用

线

通用

颜色

通用

颜色

Solid

应用

图 4-9 线功能属性页

线参数及功能如下表所示：

表 4-3 线参数及功能

参数	功能
名称	当前线节点的名称。
区域	选择要与线相交的体区域，包含：所有体区域、单个体。
方法	选择生成线的方法，下拉单选，包含：两点法、面相交法；选择两点法时，下方新增线端点的 X/Y/Z 坐标输入框；选择面相交法时，下方新增两相交面的选择菜单。
点 1-X/Y/Z	设定线的端点之一（点 1）的 X/Y/Z 方向坐标值，仅适用两点法创建线的场景。
点 2-X/Y/Z	设定线的端点之一（点 2）的 X/Y/Z 方向坐标值，仅适用两点法创建线的场景。
显示线工具	用于实时显示线及其端点的位置，仅适用于两点法创建线的场景。

相交面	选择用于创建交线的相交面，下拉单选，选项包含边界面及切面，仅适用于相交法创建线的场景。
边界列表	选择用于创建交线的边界面，下拉多选，选项包含边界面及切面，仅适用于相交法创建线的场景。
样点数	用于设置创建的线上取样点数量，以便基于样本点进行绘制曲线或导出线上变量数据。
用户自定义	使用用户自定义配色对节点进行单独着色，用户自定义颜色栏位于对应节点属性页内【颜色】选择非默认变量时该选项激活。

在线功能属性页下，用户自定义激活的状态如下图所示，各项设置详情参考【点】部分的介绍，在此不在赘述。

线

通用

颜色

通用

颜色

图例设置

颜色

Velocity_mag

图例设置

全局

用户自定义

名称

线1_Velocity_mag

变量

Velocity_mag

范围

全局

最小值~最大值

0 m/s ~ 7.14934 m/s

颜色栏

颜色类型

连续谱

颜色数量

256

标签数量

5

文本尺寸

16

文字颜色

精度

3 固定记数

显示图例

应用

图 4-10 线-用户自定义页示意图

4.1.1.3 切片

切片功能支持提取切片上的求解结果数据，通过创建切片可以观察切片上变量的分布情况。切片功能支持在指定的体区域上生成切片，支持在 X/Y/Z 三个方向或用户自定义位置、方向生成切片，支持选择着色变量，以观察变量在切片上的分布情况，切片可与切割、其他切片、边界交叉生成线。Ribbon 上线的位置如下图所示：



图 4-11 切片功能位置

以下介绍【切片】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon【切片】，弹出切片的属性页；
- (2) 选择区域；
- (3) 选择生成切片的方法（X-平面/Y-平面/Z-平面/点和法向/外部 stl 文件），输入合理参数；
- (4) 选择变量进行着色；
- (5) 点击应用。

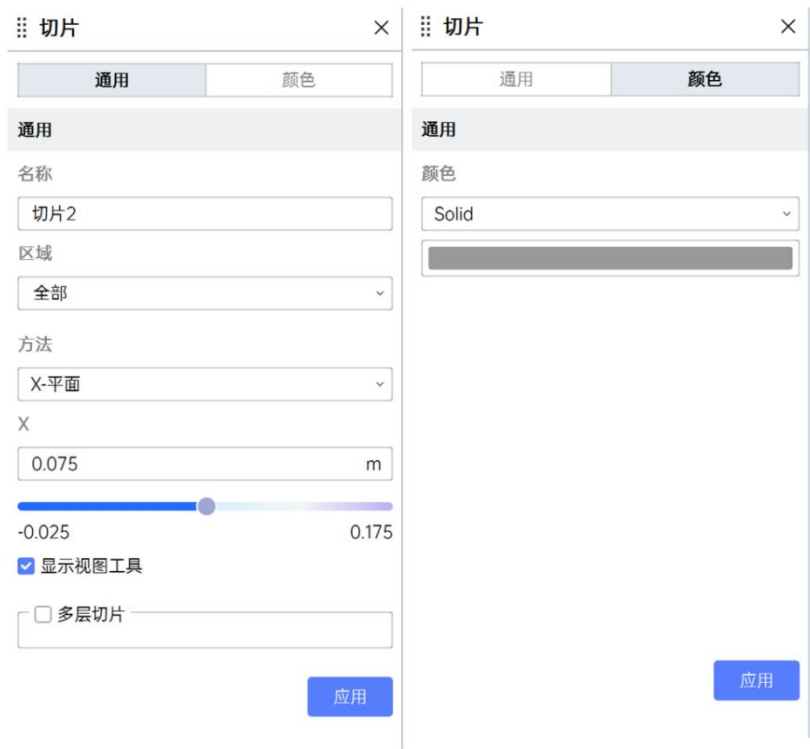


图 4-12 切片功能属性页

切片参数及功能如下表所示：

表 4-4 切片参数及功能

参数	功能
名称	当前后处理节点的名称。
区域	选择生成切片的体区域，包含：所有体区域、各个体、切割。
方法	选择生成切片的方法，下拉单选，包含：X 平面、Y 平面、Z 平面、点和法向，选择 X/Y/Z 平面时，下方新增 X/Y/Z 输入框和滑块；选择点和法向时，下方新增中心点位置的 X/Y/Z 输入框和法向 X/Y/Z 分量输入框。
X/Y/Z	设定切片的 X/Y/Z 方向坐标值（选择【方法】为 X/Y/Z 平面）。
滑块	拖动滑块，用于实时调整切片位置（选择【方法】为 X/Y/Z 平面）。
显示视图工具	默认勾选，在视图区显示切片的预览、位置和方向操纵杆及包围盒，不勾选则不显示。
多层切片	默认不勾选，勾选则激活多重切片设置。
切片数	勾选【多层切片】时，设定生成多个切片的数量。
偏移	勾选【多重切片】时，设定相邻切片之间的间距值。
中心点位置-X/Y/Z	设定切片中心点 X/Y/Z 坐标值（选择【方法】为点和法向）
法向-X/Y/Z	设定切片法向的 X/Y/Z 分量（选择【方法】为点和法向）

在切片功能属性页下，用户自定义激活的状态如下图所示，各项设置详情参考【点】部分的介绍，在此不在赘述。



图 4-13 切片-用户自定义页示意图

4.1.1.4 切割

切割功能主要用于对指定的体区域进行切割，切割后只保留部分体区域，从而便于观察剩余体区域内部参数分布或对其进行参数计算。切割有平面切割与盒切割两种方式，用户可通过参数对平面、盒进行灵活设置。切割的同时需选择着色变量，以便观察该变量在剩余体区域的分布情况。Ribbon 上切割的位置如下图所示：



图 4-14 切割功能位置

以下介绍【切割】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon【切割】，弹出切割的属性页；
- (2) 选择区域；
- (3) 选择生成切割的方法（平面/方盒），输入合理参数；
- (4) 选择变量进行着色；
- (5) 点击应用。

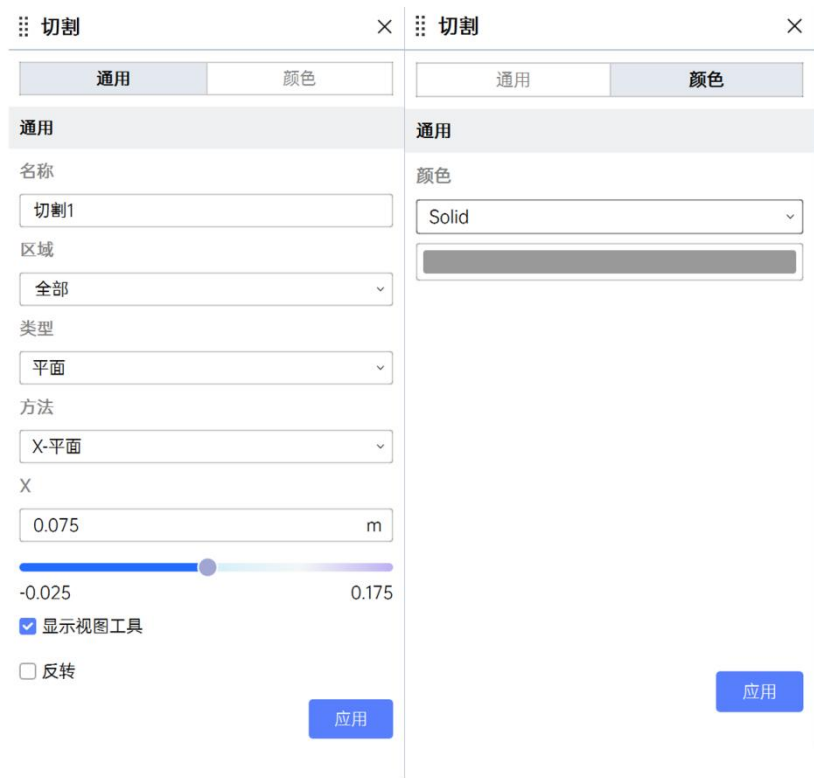


图 4-15 切割功能属性页

切割参数及功能如下表所示：

表 4-5 切割参数及功能

参数	功能
名称	当前切割节点的名称。
区域	选择要切割的体区域，包含：所有体区域、单个体、切割。
类型	选择要切割的类型，包含：平面、方盒。
方法	选择生成切割平面的方法，仅适用于平面切割的情形；下拉单选，包含：X/Y/Z 平面、点和法向；选择 X/Y/Z 平面时，下方新增 X/Y/Z 输入框和滑

	块；选择点和法向时，下方新增中心点位置的 X/Y/Z 输入框和法向 X/Y/Z 分量输入框。
X/Y/Z	设定切片的 X/Y/Z 方向坐标值（选择【方法】为 X/Y/Z 平面）。
滑块	拖动滑块，用于实时调整切片位置（选择【方法】为 X/Y/Z 平面）。
中心点位置-X/Y/Z	设定切割面中心点 X/Y/Z 坐标值，仅适用于利用点和法向方法确定切割平面的场景。
法向-X/Y/Z	设定切割面法向的 X/Y/Z 方向分量，，仅适用于利用点和法向方法确定切割平面的场景。
最小值、最大值	设置切割盒的体对角线的两个端点，仅适用于盒切割时的场景。
显示视图工具	默认勾选，在视图区显示切割平面的预览、位置和方向操纵杆及包围盒，不勾选时则不显示。
反转	默认不勾选，用于控制切割后剩余的体区域。
用户自定义	使用用户自定义配色对节点进行单独着色，用户自定义颜色栏位于对应节点属性页内，【颜色】选择非默认变量时该选项激活

在切割功能属性页下，用户自定义激活的状态如下图所示，各项设置详情参考【点】部分的介绍，在此不在赘述。



图 4-16 切割-用户自定义页示意图

4.1.1.5 矢量

矢量图展示了速度和其他矢量物理量的大小和方向。在矢量图中，箭头的大小代表矢量的强度，而箭头的方向指示了矢量的方向。这有助于观察流体在复杂几何形状周围的流动模式，以及在湍流区域中识别涡旋结构。

矢量功能主要用于在指定的位置生成矢量集。用户可自定义位置、矢量类型，着色变量，显示风格以方便观察变量在矢量上的分布情况。Ribbon 上矢量的位置如下图所示：



图 4-17 矢量功能位置

以下介绍【矢量】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon 【矢量】，弹出矢量的属性页；
- (2) 选择位置列表、矢量场、缩放变量、样点数、缩放系数、宽度、箭头尺寸、投影分量，输入合理参数；
- (3) 选择变量进行着色；
- (4) 点击应用。

⋮ 矢量 ×

通用 颜色

通用

名称
矢量1

区域
全部

位置列表
component1-solid/in

矢量场
Velocity

缩放变量
Magnitude

样点数
25

缩放系数
0.05

宽度
0.1

箭头尺寸
0.35

投影分量
无

应用

图 4-18 矢量功能属性页

矢量参数及功能如下表所示：

表 4-6 矢量参数及功能

参数	功能
名称	当前后处理节点的名称。
区域	选择生成矢量的体区域，包含：所有体区域、各个体、通过分割功能创建的分割体。
位置	选择当前设置的体区域所关联的位置。
矢量场	选择矢量所表达的变量，下拉单选。
缩放变量	设定矢量所表达的变量值的表示方式，下拉单选，选项包括大小和常量。
样点数	设定矢量的样本点数量。
缩放系数	设定矢量线的长度。
宽度	设定矢量线的宽度。
箭头尺寸	设定箭头的大小。
投影分量	选择矢量投影方式，默认为不进行投影，下拉单选，选项包括无、法向、切向。
用户自定义	使用用户自定义配色对节点进行单独着色，用户自定义颜色栏位于对应节点属性页内。

在矢量功能属性页下，用户自定义激活的状态如下图所示，各项设置详情参考【点】部分的介绍，在此不在赘述。



图 4-19 矢量-用户自定义页示意图

4.1.1.6 流线

流线描绘了同一时刻下不同流体质点的运动方向。使用流线功能可以在指定区域、指定位置生成流线，支持选择着色变量，以观察变量在流线上的分布情况；支持流线以线或管道形式显示，并可调整线/管道的宽度。Ribbon 上流线的位置如下图所示：



图 4-20 流线功能位置

以下介绍【流线】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon 【流线】，弹出流线的属性页；
- (2) 选择区域、起始位置、方向、最大步数、时间步长、宽度、流线数量、类型、符号类型，选择合理参数；
- (3) 选择变量进行着色；
- (4) 点击应用。

:: 流线

×

通用

颜色

通用

名称

流线1

区域

全部

起始位置

component1-solid/in

流线矢量

Velocity

定义

方向

双向

最大步数

2000

时间步长

0.01

宽度

1

流线数量

50

类型

线

符号类型

无

应用

图 4-21 流线功能属性页

流线参数及功能如下表所示：

表 4-7 流线参数及功能

参数	功能
名称	指定流线的名字。
区域	指定要生成流线的体区域，支持单选或多选。
起始位置	指定流线生成的位置，支持网格边界信息、体区域，及已创建的切面、切割等。
流线矢量	指定生成流线的向量数组的名称。
方向	指定流线生成的方向。
最大步数	指定流线的最大积分步数，超出此数字的流线积分会被终止。
时间步长	指定最小积分步长。
类型	指定流线的类型，可选择线或者管线。
宽度	指定流线的宽度。
流线数量	指定流线的数量。
用户自定义	使用用户自定义配色对节点进行单独着色，用户自定义颜色栏位于对应节点属性页内，【颜色】选择非默认变量时该选项激活。

在流线功能属性页下，用户自定义激活的状态如下图所示，各项设置详情参考【点】部分的介绍，在此不在赘述。



图 4-22 流线-用户自定义页示意图

4.1.1.7 迹线

迹线是单个质点在连续时间过程内的流动轨迹线。描绘了跟踪随时间移动的流体粒子路径，使用迹线功能可以在指定区域、指定位置生成迹线，支持选择着色变量，以观察变量在迹线上的分布情况；支持迹线以线或管道形式显示，并可调整线/管道的宽度。Ribbon 上迹线的位置如下图所示：



图 4-23 迹线功能位置

以下介绍【迹线】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon 【迹线】，弹出迹线的属性页；
- (2) 选择区域；
- (3) 选择生成迹线的起始位置、类型、宽度以及迹线数量。若是加载 1 个求解结果文件，则最小时间步和最大时间步置灰显示；若导入多个瞬态求解结果文件，则最小时间步和最大时间步可以进行编辑；
- (4) 选择变量进行着色；
- (5) 点击应用。

迹线		迹线	
通用	颜色	通用	颜色
通用		通用	
名称	迹线1	颜色	Velocity_mag
区域	全部	图例设置	
起始位置	Fluid/inlet	☒ 全局	
迹线矢量	Velocity	☐ 用户自定义	
定义			
最大时间步	0		
最小时间步	0		
类型	线		
宽度	1		
迹线数量	50		
应用		应用	

图 4-24 迹线功能属性页

注：流线表示同一时刻不同流体质点的运动方向，迹线是单个质点在不同

时刻的轨迹，因此当求解结果文件为稳态计算时，流线与迹线重合，运动轨迹一致。

迹线参数及功能如下表所示：

表 4-8 迹线参数及功能

参数	功能
名称	指定迹线的名字。
区域	指定要生成迹线的体区域，支持单选或多选。
起始位置	指定迹线生成的位置，支持网格边界信息、体区域，及已创建的切面、切割等。
迹线矢量	指定生成迹线的向量数组的名称。
最大时间步	指定迹线的最大积分步数，超出此数字的迹线积分会被终止。
最小时间步	指定最小积分步长。
类型	指定迹线的类型，可选择线或者管线。
宽度	指定迹线的宽度。
迹线数量	指定迹线的数量。
用户自定义	使用用户自定义配色对节点进行单独着色，用户自定义颜色栏位于对应节点属性页内，【颜色】选择非默认变量时该选项激活。

在迹线功能属性页下，用户自定义激活的状态如下图所示，各项设置详情参考【点】部分的介绍，在此不在赘述。



图 4-25 迹线-用户自定义页示意图

4.1.1.8 等值面

等值面功能主要用于显示不同常量在指定域上的求解结果。用户可自定义位置、体区域、范围、着色变量、显示风格以方便观察等值面上变量的分布情况。Ribbon 上等值面的位置如下图所示：



图 4-26 等值面功能位置

以下介绍【等值面】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon 【等值面】，弹出等值面的属性页；
- (2) 选择区域、变量，取值范围点击【+】；
- (3) 选择变量进行着色；
- (4) 点击应用。

等值面

通用

颜色

通用

名称

等值面1

类型

等值面

区域

全部

变量

Pressure

取值范围: (-14.265018,28.083639)Pa

+ 添加系列变量

范围列表 + -

1 6.909311 -

应用

图 4-27 等值面功能属性页

等值面参数及功能如下表所示：

表 4-9 等值面参数及功能

参数	功能
名称	当前后处理节点的名称。
类型	选择生成等值面或等值线。
区域	选择生成等值面的体区域，包含：所有体区域、各个体、通过分割功能创建的分割体。
变量	选择生成等值面/等值线的变量，下拉单选，所含变量内容与所选模型相关。
取值范围	显示变量对应的等值面/等值线范围和单位，通过【+】添加，【-】删除，

	【×】全部清除。
添加系列变量	用于生成数列。
最小值	修改生成数列的最小值，默认显示取值范围的下限。
最大值	修改生成数列的最大值，默认显示取值范围的上限。
样点数	批量创建时的样点数量。
用户自定义	使用用户自定义配色对节点进行单独着色，用户自定义颜色栏位于对应节点属性页内，【颜色】选择非默认变量时该选项激活。

在等值面功能属性页下，用户自定义激活的状态如下图所示，各项设置详情参考【点】部分的介绍，在此不在赘述。

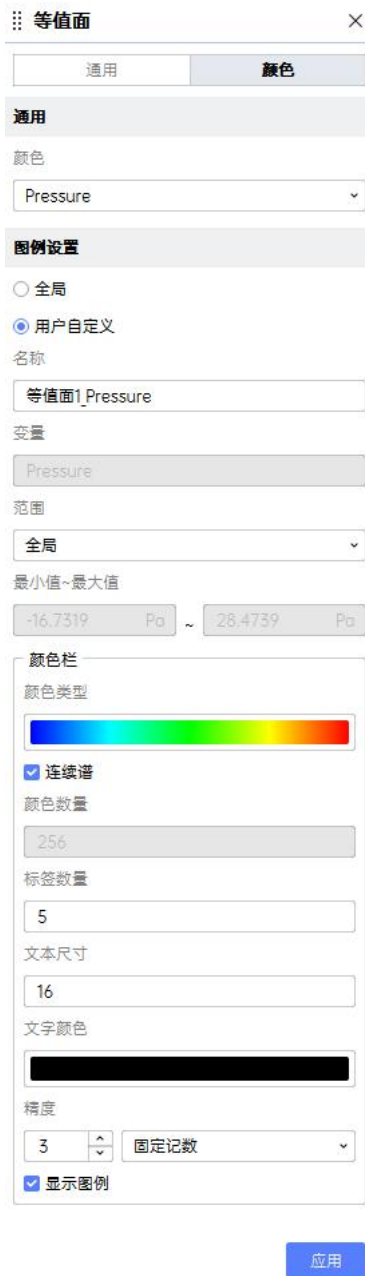


图 4-28 等值面-用户自定义页示意图

4.1.1.9 图表

图表功能主要用于基于已有线，绘制线上变量分布的曲线，以便直观地观察线上不同变量的分布。绘制图表的前提是已经创建了线，绘制图表时除了需设置曲线的颜色、线型等参数外，还需设置 X、Y 坐标轴的相关参数。图表功能属性页如图所示。Ribbon 上图表的位置如下图所示：



图 4-29 图表功能位置

以下介绍【图表】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon 【图表】，弹出图表的属性页；
- (2) 线列表中选择线，设置图例名称、颜色以及线显示；
- (3) 设置 X 轴变量、Y 轴变量，确定合理参数；
- (4) 点击应用。

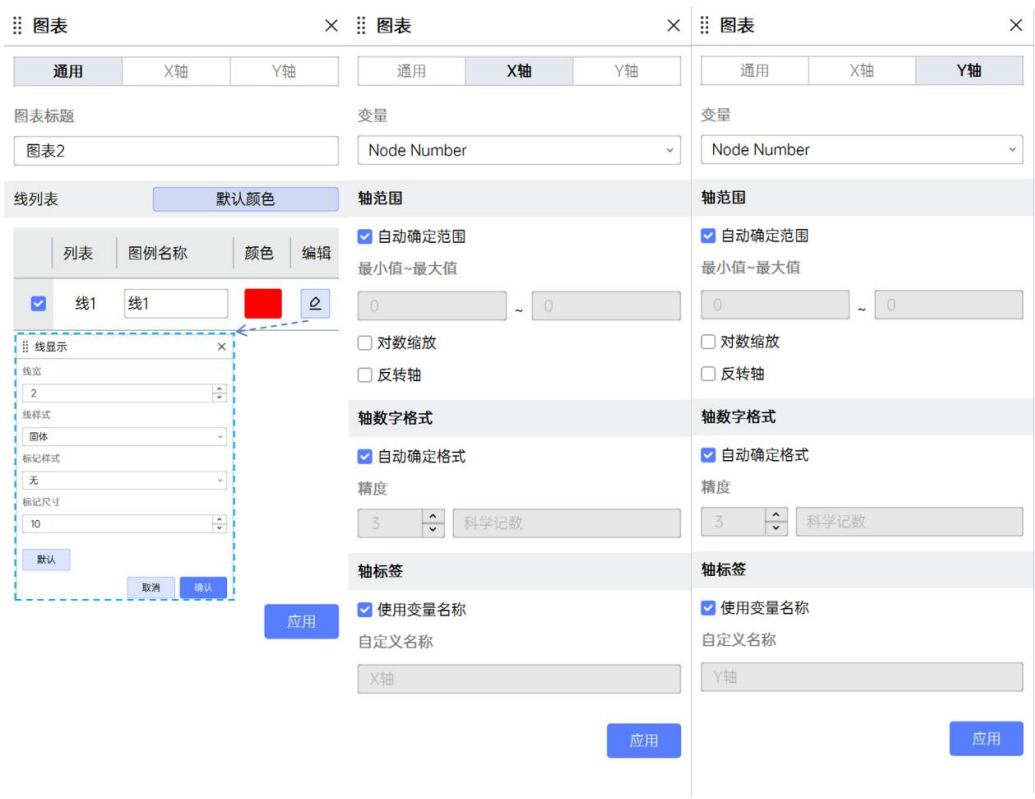


图 4-30 图表功能属性页

注：图表基于已有线进行创建数据。

图表参数及功能如下列两个图表所示：

表 4-10 图表属性页参数及功能

参数	功能
图表标题	当前图表节点的名称，同时也是图表中的标题名称。

列表	包含全部线节点，绘制图表时仅绘制被勾选的线。
图例名称	设置图表中各条线在图例中的名称。
颜色	设置图表中各条线的颜色。
线显示	打开曲线参数设置弹窗。
线宽	设置曲线的粗细值。
线样式	设置线型，包含实线、点划线等。
标记样式	设置曲线上取样点的标签符号，包含圆圈、叉号等。
标签尺寸	设置曲线上取样点标签符号的大小。
默认	用于快速设置各条曲线的颜色为默认样式。

表 4-11 图表属性页线列表参数及功能

参数	功能
变量	选择 X（Y）轴所代表的变量，默认为线取样点数，下拉单选，包含各计算变量，变量种类与模型设置有关。
自动确定范围	默认勾选，根据所选变量的值范围，自动设置坐标轴的最大值和最小值。
最小值、最大值	手动设置 X（Y）轴的范围，仅适用于不勾选【自动确定范围】的场景。
对数缩放	用于设置 X（Y）轴刻度分布形式为以 10 为底的对数形式，默认不勾选，即均匀刻度。
反转轴	用于反转 X（Y）范围，即数值从左到右依次减小，默认不勾选，即数值从左到右依次增大。
自动确定格式	默认勾选，根据所选变量值的数值自动设置精度与数值格式。
精度	用于设置 X 轴数值的显示精度，仅适用于不勾选【自动确定格式】的场景。
数值格式	用于设置 X（Y）轴数值的书写形式，包含科学计数法和固定计数法，仅适用于不勾选【自动确定格式】的场景。
使用变量名称	默认勾选，根据所选变量的名称自动设置坐标轴标签名称。
坐标轴名称	用于自定义 X（Y）轴显示的标签名称，仅适用于不勾选【使用变量名称】的场景。

4.1.2 数据分析

数据分析下包含计算器、积分及涡量，可以对求解结果进行数据分析。

4.1.2.1 计算器

计算器功能支持用户自定义变量名称和计算公式。生成的变量可用于后处理操作。Ribbon 上计算器的位置如下图所示：



图 4-31 计算器功能位置

以下介绍【计算器】操作使用：

- （1）点击 Ribbon【计算器】，弹出计算器的属性页；
- （2）输入合理参数；
- （3）点击应用。

计算器

名称

变量1

表达式

输入新的表达式

清除

(

)

abs

sqrt

+

ceil

floor

-

x^y

exp

*

ln

log10

/

iHat

jHat

kHat

v1.v2

mag

norm

sin

cos

tan

asin

acos

atan

sinh

cosh

tanh

标量

矢量

应用

图 4-32 计算器功能属性页

计算器参数及功能如下表所示：

表 4-12 计算器属性页参数及功能

参数	功能
名称	定义变量的名称
表达式	定义变量的计算公式，支持手动输入和按键输入
功能区	用户可在此区域内选择不同的计算符号和变量来构成完整的计算公式，并将其显示至【表达式】输入框中
标量	标量列表包含已有的标量变量
矢量	矢量列表包含已有的矢量变量

注：用户自定义变量的单位均采用软件默认单位，配置中单位设置对其不适用。

4.1.2.2 积分

积分功能主要用于计算区域内变量积分值，分为面积分、体积分、累积阻力系数三部分。Ribbon 上积分的位置如下图所示：



图 4-33 积分功能位置

以下介绍【面积分】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon 【积分】中的【面积】，弹出面积分的属性页；
- (2) 选择函数类型，若选择面积分、面积加权平均、质量加权平均、最大值、最小值、求和，则选择位置列表、变量；
若选择的是质量流率、面积、则选择位置列表；
若选择的是力，则需选择力选项、力方向、位置列表；
若选择的是力系数，则需要选择力选项、力方向、参考面积、参考密度、参考速度、位置列表；
- (3) 点击应用。

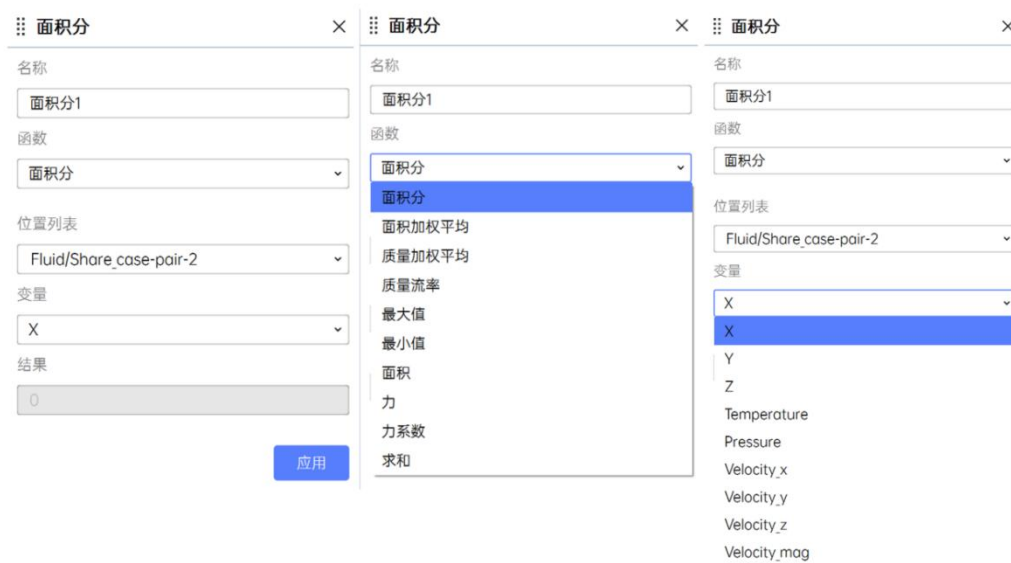


图 4-34 面积分功能

【体积分】也是选择相应的函数、位置列表、变量等后点击应用。

积分参数及功能如下表所示：

表 4-13 积分属性页参数及功能

参数	功能
名称	定义变量的名称
函数	积分运算类型，包括面积分、面积加权平均、质量加权平均、体积分、体积加权平均、基于体的质量加权平均、最大值、最小值、求和
位置	计算的位置，包含边界面、切片、切割、等值面、体等，所含变量与【函数】相关
变量	计算或统计的变量，包含压力、速度、温度、方向、电阻等
方向	【函数】选择力时激活，规定力的法向方向。
结果	变量积分运算的数值结果。

4.1.2.3 涡量

涡量功能主要用于计算涡量结果，支持三种涡量计算方法，涡量、Q 准则以及 Lambda2，计算结果支持计算器和节点着色等功能的引用。Ribbon 上积分的位置如下图所示：



图 4-35 涡量功能位置

以下介绍【涡量】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon【涡量】，弹出涡量的属性页；
- (2) 选择方法（涡量、Q 准则以及 Lambda2）；
- (3) 点击应用。



图 4-36 涡量功能属性页

涡量参数及功能如下：

【名称】：定义变量的名称；

【方向】：涡量的计算方法，基于涡量或基于 Q 准则或基于 Lambda2

4.1.3 动画

动画功能主要用于连续播放瞬态计算结果，并保存视频动画到本地，以便直观地观察和展示所求解时间范围内计算域内参数的连续变化；同时支持设置动画背景颜色和动画视频分辨率等功能。动画功能属性页如下图所示。



图 4-37 动画功能位置

以下介绍【动画】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon【动画】，弹出动画的属性页；
- (2) 选择图像分辨率、文件格式、质量、帧率等参数；
- (3) 设置保存动画路径；
- (4) 点击应用。



图 4-38 动画功能属性页

动画参数及功能如下表所示：

表 4-14 动画属性页参数及功能

参数	功能
图像分辨率	用于自行选择动画的分辨率，包含：HD720P、HD1080P。
白色背景	用于设置动画中背景色为是否为白色。
格式	用于设置保存视频的格式，支持 AVI、MP4 格式。
质量	用于设置保存视频的质量，包括低、中和高 3 种画面质量，质量越好，视频文件尺寸越大。
导出选项	开启分屏后，增加该选项，可以选择将各分屏结果导出成一个视频文件或多个视频文件。
帧率	用于从瞬态计算结果中保存视频的取样频率，默认为 1，即每秒显示 1 个计算结果；
文件	用于指定动画视频保存的路径和文件名称。
从初始结果开始	从第 1 个结果开始生成动画，默认勾选。

4.1.4 其他

其他中包含图片、导出、更新及生成报告功能，可以方便用户进行操作。

4.1.4.1 图片

图片功能主要用于保存视图区域的场景到本地；支持设置背景颜色、图片

分辨率等功能。Ribbon 上图片的位置如下图所示：



图 4-39 图片功能位置

以下介绍【图片】操作使用：

- （1）点击 Ribbon 【图片】，弹出图片的属性页；
- （2）选择图像分辨率、格式、质量等参数；
- （3）选择保存文件位置；
- （4）点击应用。



图 4-40 图片功能属性页

图片参数及功能如下表所示：

表 4-15 图片属性页参数及功能

参数	功能
图像分辨率	用于自行选择图片的分辨率，包含：HD720P、HD1080P、自定义尺寸、屏幕尺寸，选择自定义尺寸时支持用户输入分辨率数值。
白色背景	用于设置图片中背景色为是否为白色，默认勾选。
导出选项	开启分屏后，增加该选项，可以选择将各分屏结果导出成一个图片文件或多个图片文件。
格式	用于设置保存的图片格式，包含 JPEG、PNG、BMP、PDF、SVG 等格式。
质量	用于设置保存图片的质量，包含： 0（质量最差）、1 和 2（质量最好），质量越好，则图片文件大小越大。
文件	用于指定图片保存的路径和文件名称。

4.1.4.2 导出

导出功能主要用于导出点、线、边界面、流线、迹线、体上的计算结果数据，生成本地文件。Ribbon 上导出的位置如下图所示：



图 4-41 导出功能位置

以下介绍【导出】操作使用：

- （1）点击 Ribbon【导出】，弹出导出的属性页；
- （2）点击文件类型、位置列表、变量；
- （3）选择导出 csv 文件路径；
- （4）点击应用。

导出

×

通用

文件类型

CSV Data(.csv)

文件存储选项

位置列表

component1-solid

☒ 点编号

变量

Continuity
Pressure
Velocity_mag
Velocity_x
Velocity_y
Velocity_z

导出选项

文件

D:/FLUID TEST/20240822/b12.csv

应用

图 4-42 导出功能属性页

4.1.4.3 更新

更新功能如下图所示，若模型树节点未勾选，求解、续算或切换步数后不会自动加载该部分数据，相关节点前出现待更新图标，单击功能区【更新】按钮可以更新未显示的节点内容。Ribbon 上更新的位置如下图所示：



图 4-43 更新功能位置

4.1.4.4 报告

在连续进行几何清理、网格生成、求解设置、求解计算、后处理后，可以借助生成报告功能输出仿真自动报告，提供仿真模型的基本信息。该功能位置如下图所示：



图 4-44 生成报告功能位置

以下介绍【报告】操作使用：

- (1) 点击 Ribbon 【报告】，弹出生成报告导出文件窗口；
- (2) 从左侧创建的【用户定义部分】选择需要导出的用户定义部分；
- (3) 点击文件夹按钮可以选择导出文件的位置以及格式，可选.docx 以及.pdf 格式；
- (4) 点击按钮，则会生成“工程文件名称 Simulation report-fluid.docx”的生成报告。



图 4-45 生成报告功能属性页

表 4-16 生成报告内容

参数	功能
报告名称	“工程文件名称” 仿真分析报告。
内容摘要	包括算例名称、文件类型、创建日期、存储路径。
目录	包含前言、网格类型、求解设置、结果数据。可以通过 Ctrl+鼠标左键的方式跳转相应位置。
前言	包含模型对象及使用的物理模型信息。
网格模型	包含网格数量及类型，输出单元数量及最小正交性。
求解设置	包含基本方程、物理模型、数值方法、材料、边界条件、初始化及时间模式信息的输出。
结果数据	当用户在模型树有创建的节点并在视图区进行显示时，可以输出结果数据。

5 附录

5.1 几何缺陷类型说明

尖角：两条相邻的 Edge 的切线夹角极小的情形称为尖角。尖角定义 edge 形成的夹角小于等于 20° ；两个面夹角大于 160° 才做处理。

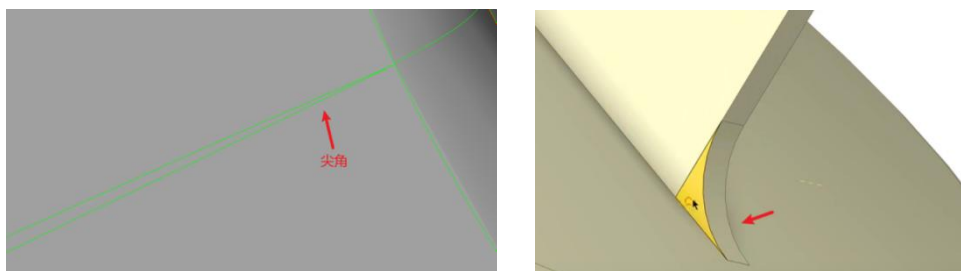


图 5-1 尖角示意图

重合边：两条边存在部分或完全重叠的情形。

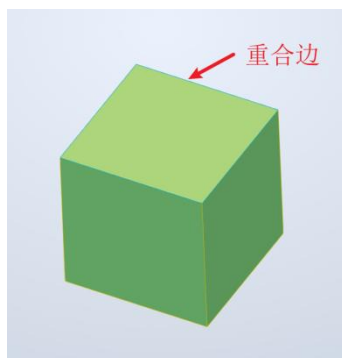


图 5-2 重合边示意图

重叠面：两个面完全重叠或部分重叠的情形。

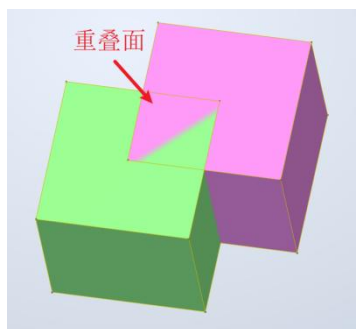


图 5-3 重叠面示意图

缺失面：几何表面上缺失的面，缺失面有两种，一种是洞（hole），一种是裂缝（gap）。缺失面填补以后几何表面变光滑。

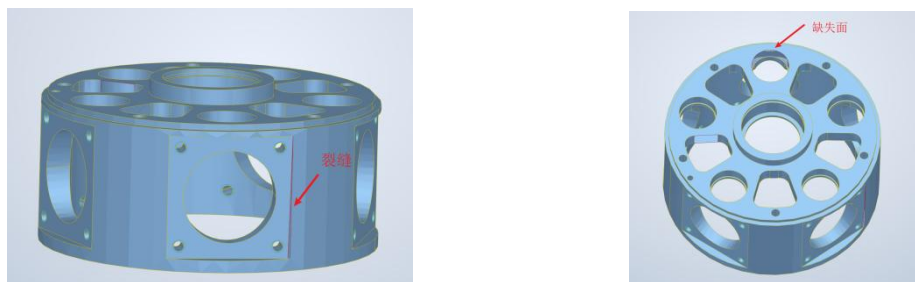


图 5-4 缺失面示意图

短边：长度极小的边。

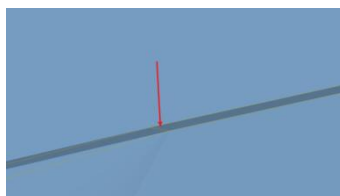


图 5-5 短边示意图

自由边：单独的边，没有被任何面的引用。

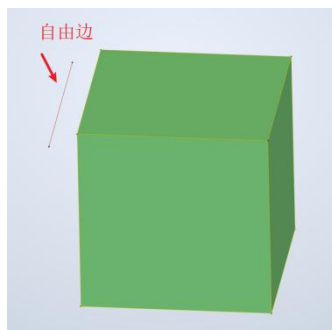


图 5-6 自由边示意图

自由面：单独的面，没有被任何体的引用。

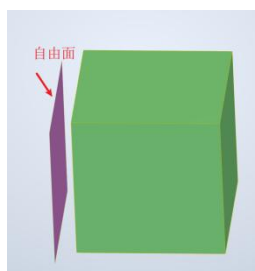


图 5-7 自由面示意图

5.2 网格质量检查公式说明

5.2.1 正交性（Orthogonality）

网格正交性指的是连接两个相邻单元中心的直线和两个单元所共面的法线之间的夹角。这个夹角越接近于 0 度，说明网格的正交性越好，模拟的精度通常也会越高。其表征两个相邻实体单元的形心连线向量与两个单元公共面法线的夹角，值越小表示单元越好。

用途：

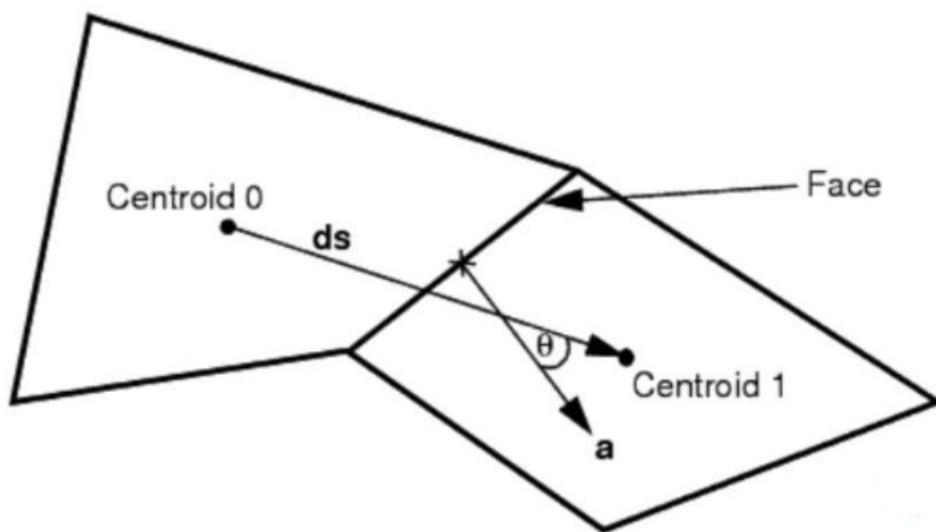
正交性对于模拟精度具有重要影响，因为它与变量梯度、粘性和对流通量的计算息息相关。良好的网格正交性可以减少计算误差，提高模拟结果的准确性。在 CFD 分析中，通常建议网格正交性的夹角小于 70 度（网格体最小夹角大于 20 度且小于 160 度），以确保模拟结果的准确性。

影响：

（1）精度提升：良好的网格正交性可以显著提升模拟结果的精度，特别是在处理复杂流动问题时。

（2）收敛性改善：正交性好的网格通常更容易收敛到稳定的解，减少计算过程中的迭代次数和计算时间。

（3）减少误差：正交性差的网格可能会导致数值扩散和数值耗散等误差，影响模拟结果的准确性。



考虑上图所示的两个实体单元，其公共面的法向量为 a 。两个单元的形心为 Centroid 0 和 Centroid 1，其连线组成的向量为 ds 。单元 i 的偏斜角计算如下：

$$\text{Orthogonality} = \max_{j=1:n} \{\text{angle}(ds_{ij}, a_{ij})\}$$

其中：

n ：单元 i 有 n 个相邻单元

J ：单元 i 的第 j 个相邻单元

ds_{ij} ：单元 i, j 的形心连线组成的向量

a_{ij} ：单元 i, j 的公共平面的法向量

此指标也计算面单元，如果面单元作为体的表面，则体的正交性作为此面的正交性；如果仅有面单元，正交性为 0。

5.2.2 扭曲度 (Skewness)

扭曲度衡量单元与其理想单元的偏差程度。是指网格在拉伸或压缩时的变形程度，通常通过测量相邻网格单元之间的夹角或边长变化来量化。

用途：

如果网格扭曲度较高，可能需要对网格进行优化，如调整网格尺寸、形状或类型，以降低扭曲度并提高模拟精度。一般来说，较低的扭曲度值意味着更好的网格质量和更高的模拟精度，然而，过低的扭曲度要求可能导致网格数量过多，从而增加计算时间和资源需求。

影响：

(1) 精度下降：较高的网格扭曲度可能导致模拟结果的精度下降，因为扭曲的网格单元可能无法准确捕捉流动特性。

(2) 收敛性变差：扭曲度大的网格可能导致求解器在迭代过程中难以收敛到稳定的解，从而增加计算时间和计算资源的需求。

(3) 数值误差：扭曲度还可能引起数值误差，如数值扩散和数值耗散等，这些误差会进一步影响模拟结果的准确性。

5.2.2.1 三角形

衡量其与正三角形的偏差程度，0 为正三角形，值越大，三角形扭曲度越大。

$$\text{skewness} = 1 - \frac{A_{\text{ideal}} - A}{A_{\text{ideal}}}$$

$$A_{\text{ideal}} = \frac{3 \times \sqrt{3} \times r^2}{4}$$

其中：

A: 三角形的面积

r: 三角形外接圆

5.2.2.2 四边形

计算了与 Jacobian 相关的内容。

$$\text{warp} = \min_{j=1:4} \{N_j \cdot (N_i, i = 1:4 \text{ 且 } i \neq j)\}$$

$$\text{normal} = V_{2,1} \times V_{3,0}$$

$$u_{i=1:2} = V_{1+2i, 2i}$$

$$v_{i=1:2} = v_{2+i, i}$$

$$\det_{\min} = \min_{i=1:2} \{\text{tripleCross}(u_i, (v_{j=1:2}), \text{normal})\}$$

$$\det_{\max} = \max_{i=1:2} \{\text{tripleCross}(u_i, (v_{j=1:2}), \text{normal})\}$$

$$\text{skewness} = \min\left(\frac{\det_{\max}}{\det_{\min}}, \text{warp}\right)$$

其中：

N_j ：四边形相邻两条边构成面的法向

warp：衡量四边形的翘曲，如果四边形在平面上，值为 1

$V_{i,j}$ ：第 i 个点和第 j 个点构成的向量

tripleCross：三个向量做三重积

det：衡量四边形偏离正四边形的程度，以及其是否在平面上。如果是正方形且在平面上，值为 1。

5.2.2.3 多边形

衡量多边形的倾斜程度，正多边形为 1，值越小，多边形扭曲度越差。

$$\text{skewness} = \min_{i=1:n} \{V_{i, \text{midP-cent}} \cdot (V_i \times \text{Normal})\}$$

其中：

n ：多边形的边数

$V_{i, \text{midP-cent}}$ ：多边形第 i 条边的中点与三角形形心构成的单位向量

V_i ：多边形第 i 条边的方向向量

Normal：多边形法向

同时计算下式，

表征多边形偏离正多边形以及偏离平面的程度。正多边形且在平面上，值为 1。

$$\text{skewness} = \min_{j=1:n} \{\cos(V_{j-\text{normal}}, V_{j-\text{cent}})\}$$

$$V_{j\text{-normal}} = V_j \times N$$

$$V_{j\text{-cnet}} = E_{cen_j} - F_{cen}$$

其中：

V_j ：第 j 条边的方向向量

N ：面的法向

F_{cen} ：面的形心

E_{cen_j} ：第 j 条边的中心

n ：多边形边的数量

如果上式计算的值 <0 ，则：

$$\text{skewness} = \max_{i=1:n} \left\{ \frac{|\text{equAngle} - \text{angle}_i|}{\text{diff}_i} \right\}$$

$$\text{equAngle} = \frac{(n-2) \times 180}{n}$$

其中：

angle_i ：第 i 个顶点，相连的两条边的内角

如果， $\text{angle}_i < \text{equAngle}$ ， $\text{diff}_i = \text{equAngle}$

否则， $\text{diff}_i = 180 - \text{equAngle}$

5.2.2.4 四面体

计算与给定四面体外接圆半径相等的，正四面体的体积比。

$$\text{skewness} = 1 - \frac{V_{\text{ideal}} - V}{V_{\text{ideal}}}$$

$$V_{\text{ideal}} = \frac{\left(\frac{4 \times r}{\sqrt{6}}\right)^3 \times \sqrt{2}}{12}$$

其中：

V ：四面体的体积

r ：四面体外接球半径

5.2.2.5 六面体

计算每个面与其相邻的四个面的夹角与理想角度的差别，理想角度为 90 度。

$$\text{skewness} = 1 - \max_{i=1:6} \left\{ \frac{|\text{angle}_{j=1:4}\{V_i, V_j\}|}{90} \right\}$$

其中：

i: 六面体的第 i 个面

J: 与第 i 个面不相邻的第 j 个面

5.2.2.6 棱柱、棱锥

分别计算每个面的 skewness，取最大值。

$$\text{skewness} = \max_{i=1:n} \{\text{skeFace}_i\}$$

其中：

skeFace_i: 为第 i 个 face 时值

$$\text{skeFace}_i = \max_{i=1:n} \left\{ \frac{|\text{equAngle} - \text{angle}_i|}{\text{diff}_i} \right\}$$

$$\text{equAngle} = \frac{(n-2) \times 180}{n}$$

其中：

angle_i: 第 i 个顶点，相连的两条边的内角

如果，angle_i < equAngle，diff_i = equAngle

否则，diff_i = 180 - equAngle

5.2.2.7 多面体

对实体单元按表面分别计算，取最小值。

$$\text{skewness} = 1 - \min_{j=1:n} \left\{ \frac{V_{\text{cen-j}} \cdot N_j}{|V_{\text{cen-j}}| \times |N_j|} \right\}$$

其中：

n: 单元有 n 个表面

j: 表示体单元的第 j 个表面

N_j: 第 j 个面的法向

V_{cen-j}: 体单元的形心与第 j 个表面形心的连线组成的向量

5.2.3 质量 (Quality)

通过计算网格单元的各种几何参数来评估网格质量。Quality 图表中的值越接近于 1，说明网格质量越好。对于不同类型的网格（如三角形、四边形、六面体等），采用不同的评估方式。

用途：

在 CFD 模拟中，网格是离散化流体域的基础。网格质量的好坏直接关系到模拟结果的精度和稳定性。高质量的网格能够更准确地捕捉流体的流动特性，提高模拟的准确性；而低质量的网格则可能导致模拟结果失真，甚至无法收敛。

5.2.3.1 三角形

$$\text{quality} = \frac{2 \times A}{\sqrt{3} \times L_{\max}^2}$$

其中：

A: 三角形面积

$L_{\max}$: 最长的边

5.2.3.2 四边形

$$\text{warp} = \min_{j=1:4} \{N_j \cdot (N_i, i = 1:4 \text{ 且 } i \neq j)\}$$

$$\text{normal} = V_{2,1} \times V_{3,0}$$

$$u_{i=1:2} = V_{1+2i, 2i}$$

$$v_{i=1:2} = V_{2+i, i}$$

$$\det_{\min} = \min_{i=1:2} \{\text{tripleCross}(u_i, (v_{j=1:2}), \text{normal})\}$$

$$\det_{\max} = \max_{i=1:2} \{\text{tripleCross}(u_i, (v_{j=1:2}), \text{normal})\}$$

$$\text{quality} = \min\left(\frac{\det_{\max}}{\det_{\min}}, \text{warp}\right)$$

其中：

N_j ：四边形相邻两条边构成面的法向

warp：衡量四边形的翘曲，如果四边形在平面上，值为 1

V_{ij} ：第 i 个点和第 j 个点构成的向量

tripleCross：三个向量做三重积

det：衡量四边形偏离正四边形的程度，以及其是否在平面上。如果是正方形且在平面上，值为 1。

5.2.3.3 四面体、金字塔、棱柱、六面体 、多面体

对实体单元按表面分别计算，取最小值。

$$\text{quality} = \min_{j=1:n} \left\{ \frac{V_{\text{cen-j}} \cdot N_j}{|V_{\text{cen-j}}| \times |N_j|} \right\}$$

其中：

n ：单元有 n 个表面

j ：表示体单元的第 j 个表面

N_j ：第 j 个面的法向

$V_{\text{cen-j}}$ ：体单元的形心与第 j 个表面形心的连线组成的向量

5.2.3.4 多边形

表征多边形偏离正多边形以及偏离平面的程度。正多边形且在平面上，值为 1。

$$\text{quality} = \min_{j=1:n} \{ \cos(V_{j-\text{normal}}, V_{j-\text{cent}}) \}$$

$$V_{j-\text{normal}} = V_j \times N$$

$$V_{j-\text{cnet}} = E_{\text{cen}_j} - F_{\text{cen}}$$

其中：

V_j ：第 j 条边的方向向量

N ：面的法向

Fcen: 面的形心

Ecen_j: 第 j 条边的中心

n: 多边形边的数量

5.2.4 体积 (Volume)

计算实体单元的体积。

5.2.5 长宽比 (Aspect ratio)

网格长宽比 (Aspect Ratio) 是衡量网格单元形状的一个重要参数。它定义为网格单元边长最小值与最大值的比值, 或者在某些情况下, 是网格单元某一方向上的尺寸与其他方向尺寸的比值。长宽比越接近于 1, 表示网格单元越接近正方形 (对于二维网格) 或立方体 (对于三维网格), 这样的网格通常具有更好的计算性能和更高的模拟精度。

用途:

对于大多数 CFD 模拟, 建议网格单元的长宽比保持在一定范围内, 以确保模拟结果的准确性和稳定性。具体的理想范围取决于模拟的具体类型、流体特性以及求解器的要求。一般来说, 长宽比最好限定在较小的范围内 (如 2~5), 以确保网格单元的形状尽可能接近正方形或立方体。然而, 在某些特殊情况下 (如边界层模拟), 可能需要允许更大的长宽比以适应特定的物理现象。

影响:

- 1、计算精度: 长宽比过大的网格单元可能导致流体流动特性在模拟中被过度平滑或失真, 从而影响模拟结果的准确性。
- 2、收敛性: 长宽比不合理的网格可能导致求解器在迭代过程中难以收敛, 增加模拟的计算时间和资源消耗。
- 3、数值稳定性: 长宽比过大的网格单元在模拟过程中可能更容易产生数值不稳定现象, 如震荡或发散。

长宽比用于衡量单元偏离理想形状的程度，对面和体单元均计算。公式对面和体单元通用：

$$\text{aspectRatio}_i = \frac{D \times N \times V}{\left(\sum_{j=1}^N A_j\right) \times \left(\sum_{j=1}^N N_j \cdot \text{Vcen}_{i-j}\right)}$$

其中：

D：单元的维度，面单元时为 2；体单元为 3

N：面单元为边的数量；体单元的面的数量

V：面单元为面积，体单元为体积

A_j ：面单元时，第 j 条边的长度；体单元时，第 j 个面的面积

N_j ：面单元时，第 j 条边的法线；体单元时，第 j 个面的法向

Vcen_{i-j} ：面单元时，第 i 个单元形心与第 j 条边形心连线组成的向量；体单元时，第 i 个单元形心与第 j 个面的形心连线组成的向量。

5.2.6 体积比（Volume ratio）

体积比是两个相邻实体单元的体积之比，用于衡量单元大小的变化程度。

用途：

当网格是非均匀的时，这通常不是直接用于评估网格质量的标准，但可以作为网格细化或自适应网格生成的一个参考指标。网格体积比过大可能意味着在某些区域网格过于稀疏，而在其他区域则过于密集，这可能会影响模拟结果的准确性和稳定性。

公式如下：

$$\text{VolumeRatio}_i = \min_{j=1:n} \left\{ \frac{\min(V_i, V_j)}{\max(V_i, V_j)} \right\}$$

其中：

i ：第 i 个实体单元

n ：第 i 个实体单元有 n 个相邻单元

j ：第 i 个实体单元的第 j 个相邻单元

V_i : 第 i 个单元的体积

故，1 代表两个相邻单元体积相等，0.1 代表体积变化 10 倍，0.01 代表体积变化 100 倍。该值越小，表明两个相邻实体单元体积变化越大。

5.2.7 面积 (Area)

用于计算表面单元的面积。

5.2.8 翘曲度 (Warpage)

翘曲度用于衡量单元的四边形表面的翘曲情况，其表征非平面的四边形偏离其名义平面的程度。指网格单元在空间中相对于其理想平面或形状的偏离程度。这种偏离可能会影响流体流动的模拟精度和数值稳定性。

用途：

网格翘曲度的大小直接影响模拟结果的准确性和稳定性。较小的翘曲度有助于捕捉流体流动的细微特征，提高模拟精度；而较大的翘曲度可能导致流体流动特性在模拟中被过度平滑或失真，从而影响模拟结果的可靠性。因此，在 CFD 模拟中，需要重视网格翘曲度的评估和优化工作，以确保模拟结果的准确性和可靠性。

此指标计算的单元包含四边形单元、金字塔、棱柱和六面体等。对于一个四边形面，计算公式如下。如果有多个四边形表面，取最小值：

$$\text{warp} = 1 - \tan^{-1} \frac{\max_{i=1:4}\{d_i\}}{2A}$$

$$d_i = V_i \cdot N$$

其中：

d_i : 表示四边形的第 i 条边在其法线上的投影距离

A : 四边形的面积

V_i : 四边形的第 i 条边的向量

N: 四边形的法向量

5.2.9 偏斜角 (Skewness angle)

偏斜角用于衡量两个相邻实体单元的偏斜程度，其表征两个相邻实体单元的形心连线向量与两个单元公共面法线的夹角。值越小表示该指标的质量越好。

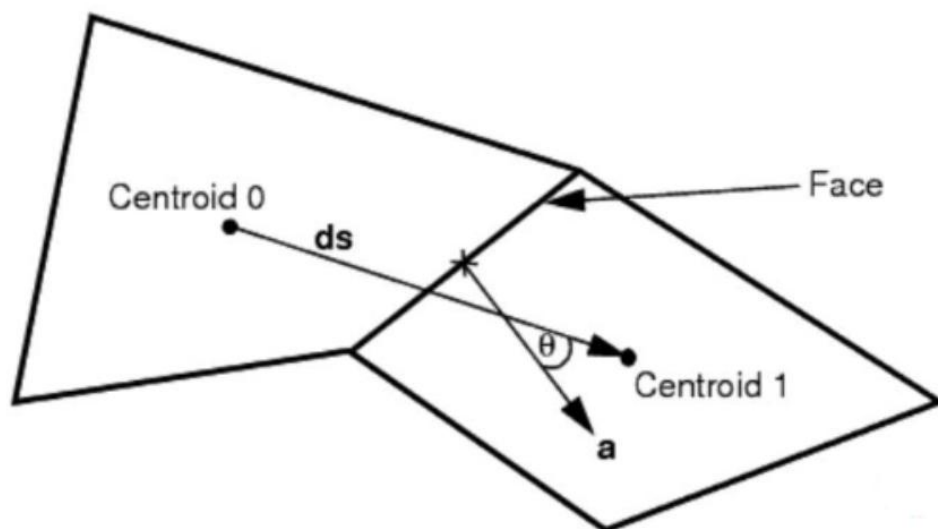
用途：

在 CFD 模拟中，理想的网格单元形状是正方形（对于二维网格）或正六边形（对于三维网格的截面），因为这些形状能够确保流体流动的模拟精度和数值稳定性。然而，在实际应用中，由于几何复杂性、网格细化程度等因素的限制，网格单元往往存在一定的偏斜度。较小的偏斜度有助于捕捉流体流动的细微特征，提高模拟精度；而较大的偏斜度可能导致流体流动特性在模拟中被过度平滑或失真，从而影响模拟结果的可靠性。

影响：

1、几何复杂性：复杂的几何形状可能导致网格单元在生成过程中产生较大的偏斜度。

2、网格细化程度：网格越细化，单元之间的相对位置关系越复杂，可能增加偏斜度的计算难度和大小。



考虑上图所示的两个实体单元，其公共面的法向量为 $\mathbf{a}$ 。两个单元的形心为 Centroid 0 和 Centroid 1，其连线组成的向量为 $\mathbf{ds}$ 。单元 i 的偏斜角计算如下：

$$\text{SkewnessAngle}_i = \max_{j=1:n} \{\text{angle}(\mathbf{ds}_{ij}, \mathbf{a}_{ij})\}$$

其中：

n ：单元 i 有 n 个相邻单元

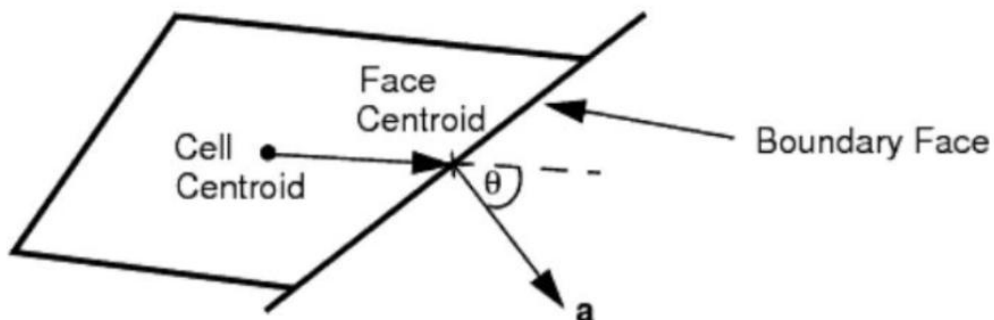
J ：单元 i 的第 j 个相邻单元

$\mathbf{ds}_{ij}$ ：单元 i, j 的形心连线组成的向量

$\mathbf{a}_{ij}$ ：单元 i, j 的公共平面的法向量

5.2.10 边界偏斜角 (Boundary skewness angle)

边界偏斜角与偏斜角的计算类似，仅计算位于模型边界的单元。即实体单元的某个面为边界表面。



计算时，仅需要将偏斜角公式中的 $\mathbf{ds}$ 换为实体单元形心与边界面形心连线组成的向量即可。

5.2.11 正交性质量 (Orthogonality quality)

网格的正交性是指相邻网格单元中心连线和交界面法线之间的夹角。正交性质量是综合考虑网格单元之间的夹角、网格大小、形状等多种因素后得出的一个综合评价指标。它是对网格正交性好坏的一个量化描述。正交性质量的好坏直接影响仿真结果的准确性和计算效率。

用途：

高正交性的网格能够减少计算误差，提高仿真精度，同时也有助于加快计算速度。

影响：

(1) 几何复杂性：复杂的几何形状可能导致网格生成过程中正交性质量下降。

(2) 网格生成算法：不同的网格生成算法对正交性质量有不同的影响。

(3) 网格细化程度：网格越细化，正交性质量的控制越困难。

5.2.11.1 三角形

衡量三角形的倾斜程度，正三角形为 1，值越小，三角形正交性质量越差。

$$\text{OrthQual} = \min_{i=1:3} \{V_{i,\text{midP-cent}} \cdot (V_i \times \text{Normal})\}$$

其中：

$V_{i,\text{midP-cent}}$ ：三角形第 i 条边的中点与三角形形心构成的单位向量

V_i ：三角形第 i 条边的方向向量

Normal：三角形法向

5.2.11.2 四边形

同时还计算了与 Jacobian 相关的内容。

$$\text{warp} = \min_{j=1:4} \{N_j \cdot (N_i, i = 1:4 \text{ 且 } i \neq j)\}$$

$$\text{normal} = V_{2,1} \times V_{3,0}$$

$$u_{i=1:2} = V_{1+2i, 2i}$$

$$v_{i=1:2} = V_{2+i, i}$$

$$\det_{\min} = \min_{i=1:2} \{\text{tripleCross}(u_i, (v_{j=1:2}), \text{normal})\}$$

$$\det_{\max} = \max_{i=1:2} \{\text{tripleCross}(u_i, (v_{j=1:2}), \text{normal})\}$$

$$\text{OrthQual} = \min\left(\frac{\det_{\max}}{\det_{\min}}, \text{warp}\right)$$

其中：

N_j ：四边形相邻两条边构成面的法向

warp：衡量四边形的翘曲，如果四边形在平面上，值为 1

V_{ij} ：第 i 个点和第 j 个点构成的向量

tripleCross：三个向量做三重积

det：衡量四边形偏离正四边形的程度，以及其是否在平面上。如果是正方形且在平面上，值为 1。

5.2.11.3 多边形

衡量多边形的倾斜程度，正多边形为 1，值越小，多边形正交性质量越差。

$$\text{OrthQual} = \min_{i=1:n} \{V_{i \text{ midP-cent}} \cdot (V_i \times \text{Normal})\}$$

其中：

n ：多边形的边数

$V_{i \text{ midP-cent}}$ ：多边形第 i 条边的中点与三角形形心构成的单位向量

V_i ：多边形第 i 条边的方向向量

Normal：多边形法向

同时计算下式：

表征多边形偏离正多边形以及偏离平面的程度。正多边形且在平面上，值为 1。

$$\text{OrthQual} = \min_{j=1:n} \{\cos(V_{j \text{ normal}}, V_{j \text{ cent}})\}$$

$$V_{j \text{ normal}} = V_j \times N$$

$$V_{j \text{ cent}} = E_{\text{cen}_j} - F_{\text{cen}}$$

其中：

V_j : 第 j 条边的方向向量

N : 面的法向

F_{cen} : 面的形心

E_{cen_j} : 第 j 条边的中心

n : 多边形边的数量

两者的区别仅是法向量的区别。

如果上式计算的值 <0 ，则：

$$\text{OrthQual} = \max_{i=1:n} \left\{ \frac{|\text{equAngle} - \text{angle}_i|}{\text{diff}_i} \right\}$$

$$\text{equAngle} = \frac{(n-2) \times 180}{n}$$

其中：

angle_i : 第 i 个顶点，相连的两条边的内角

如果， $\text{angle}_i < \text{equAngle}$ ， $\text{diff}_i = \text{equAngle}$

否则， $\text{diff}_i = 180 - \text{equAngle}$

5.2.11.4 四面体

计算与给定四面体外接圆半径相等的，正四面体的体积比。

$$\text{OrthQual} = \frac{V_{\text{ideal}} - V}{V_{\text{ideal}}}$$

$$V_{\text{ideal}} = \frac{\left(\frac{4 \times r}{\sqrt{6}}\right)^3 \times \sqrt{2}}{12}$$

其中：

V : 四面体的体积

r : 四面体外接球半径

5.2.11.5 六面体

计算每个面与其相邻的四个面的夹角与理想角度的差别，理想角度为 90 度。

$$\text{OrthQual} = \max_{i=1:6} \left\{ \frac{|\text{angle}_{j=1:4}\{V_i, V_j\}|}{90} \right\}$$

其中：

i: 六面体的第 i 个面

j: 与第 i 个面不相邻的第 j 个面

5.2.11.6 多面体

对实体单元按表面分别计算，取最小值。

$$\text{OrthQual} = \min_{j=1:n} \left\{ \frac{V_{\text{cen-j}} \cdot N_j}{|V_{\text{cen-j}}| \times |N_j|} \right\}$$

其中：

n: 单元有 n 个表面

j: 表示体单元的第 j 个表面

N_j : 第 j 个面的法向

$V_{\text{cen-j}}$: 体单元的形心与第 j 个表面形心的连线组成的向量

5.2.12 距离 (Distance)

计算三角形、四边形单元的形心与几何的距离。

$$\text{distance} = \text{dis}(p_{\text{cent}}, \text{project}_p)$$

其中：

p_{cent} : 三角形或四边形单元的形心

project_p : p_{cent} 向几何的投影点

5.2.13 网格指标区别

1、正交性

定义：网格的正交性是指相邻网格单元中心连线和交界面法线之间的夹角。

它是衡量网格单元排列是否规整、是否有利于数值计算的一个重要指标。

重要性：正交性好的网格能够减少数值计算中的误差，提高计算精度和稳定性。同时，它也有助于加快计算速度，因为正交性好的网格在计算过程中更容易处理。

评估方法：通常通过测量网格单元之间的夹角来评估正交性。夹角越接近 0° ，网格的正交性越好。

2、正交性质量

定义：正交性质量是综合考虑网格单元之间的夹角、网格大小、形状等多种因素后得出的一个综合评价指标。它是对网格正交性好坏的一个量化描述。

重要性：正交性质量好的网格能够进一步提高数值计算的精度和稳定性。在 CFD 仿真中，正交性质量是衡量网格质量的一个重要标准。

评估方法：正交性质量的评估方法通常包括测量网格单元之间的夹角、计算网格单元的纵横比、偏斜度等指标，并综合考虑这些因素来得出一个综合评分。

3、质量（网格质量）

定义：网格质量是一个更广泛的概念，它涵盖了网格的多个方面，包括面积、形心、翘曲度、偏离角等。网格质量是衡量网格是否适合进行数值计算的一个综合指标。

重要性：网格质量的好坏直接关系到 CFD 仿真的准确性和效率。高质量的网格能够减少计算误差，提高仿真精度，同时也有助于加快计算速度。

评估方法：网格质量的评估方法通常包括多个方面，如测量网格单元的夹角、纵横比、偏斜度等指标，检查网格的连续性、光滑性等特性，并综合考虑这些因素来得出一个综合评分。此外，还可以使用专业的网格质量评估工具来进行评估。

4、区别

关注点不同：正交性主要关注网格单元之间的夹角是否接近 90° ；正交性质量则是对网格正交性好坏的一个量化描述，同时考虑了其他因素；而网格质

量则是一个更广泛的概念，涵盖了网格的多个方面。

评估方法不同：正交性的评估方法主要通过测量夹角来得出；正交性质量的评估方法则包括测量夹角、翘曲、偏离等指标，并综合考虑这些因素；网格质量的评估方法则更加全面，包括多个方面的检查和测量。

应用场景不同：在 CFD 仿真中，正交性通常作为网格生成和优化过程中的一个参考指标；正交性质量则用于量化评估网格的好坏，以指导网格的改进和优化；而网格质量则是衡量网格是否适合进行数值计算的一个综合指标，对于确保仿真结果的准确性和效率具有重要意义。

5、说明

当进行多面体网格质量检查时，针对多面体质量与正交性质量光顺前数值一致，这是由于光顺前的正交性质量与其他指标均在某个阈值内，质量采用了正交性质量的数值，详见 2.2.3.3 多面体质量计算公式与 5.2.11.6 多面体正交性质量计算公式；当进行光顺时，光顺指标只采用了单一计算公式指标来进行优化（如采用正交性质量进行光顺），与质量（复合公式指标）不再一致，会出现光顺前后差异的现象。

