云道智造
Internet Based Engineering

Simdroid用户使用手册

目录

第一章 简介 1

（一） 关于 Simdroid 1

（二） Simdroid 文档简介 1

（三） Simdroid 用户手册概览 2

第二章 Simdroid 2

（一） 快速指南 3

1. 如何新建工程 3

2. 如何打开已有工程 4

3. 视图快捷键 4

4. 功能区 5

（二） 可视化和选择工具 22

1. 几何对象的选择 22

2. 几何对象的隐藏和显示 24

3. 几何对象的颜色 24

4. 集合的用法 26

第三章 预定义 27

（一） 参数 27

（二） 函数 29

1. 分段线性函数 29

2. 坐标函数 30

3. 反应谱函数 32
4. 功率谱密度函数 32
5. 自定义函数 33
（三） 坐标系 34
1. 笛卡尔坐标系 35
2. 柱坐标系 36
3. 球坐标系 37
（四） 集合功能 38
1. 集合 38
2. 表面集合 39
（五） 截面 40
（六） 网络标记区域 44
第四章 几何建模 46
（一） 创建二维模型 46
（二） 创建三维模型 46
（三） 草图 47
（四） 草图功能 48
1. 草图几何 48
2. 草图约束 54
3. 草图工具 60
（五） 几何图元 63

1. 二维建模中的几何图元.....64
2. 三维建模中的几何图元.....65
（六） 几何操作.....72
1. 二维建模中的几何操作.....72
2. 三维建模中的几何操作.....78
（七） 集合功能.....90
1. 集合.....90
2. 重合识别.....91
（八） 测量功能.....91
1. 距离测量.....92
2. 角度测量.....92
3. 清除所有标注.....92
第五章 材料和材料库.....93
（一） 创建材料.....93
（二） 从库添加.....95
（三） 导入材料.....97
（四） 材料库.....99
1. 导入材料库.....100
2. 导出材料库.....100
3. 新建材料库.....100
（五） 材料曲线拟合.....101

（六） 材料本构说明.....103
1. 基本属性.....104
2. 固体属性.....105
3. 热分析.....149
4. 低频电磁分析.....错误！未定义书签。
5. 高频电磁分析.....错误！未定义书签。
6. 流体分析.....错误！未定义书签。
第六章 网格剖分.....151
（一） 网格剖分的步骤.....151
1. 网格剖分步骤（非流体场）.....151
2. 网格剖分步骤（流体场）.....152
（二） 网格剖分的功能.....152
1. 网格剖分的功能（非流体场）.....152
2. 网格剖分的功能（流体场）.....163
3. 网格模型导入.....172
第七章 物理场和分析.....173
（一） 低频电磁分析.....173
1. 低频电磁分析类型.....173
2. 低频电磁分析功能区各项功能.....185
3. 低频电磁分析结果.....233

（二） 高频电磁分析.....233
1. 高频电磁分析类型.....233
2. 高频电磁分析功能区各项功能.....234
（三） 隐式结构分析.....260
1. 结构分析类型.....261
2. 结构分析功能区各项功能.....292
（四） 显式动力分析.....368
1. 显式动力分析功能区各项功能.....368
（五） 流体分析.....409
1. 流动分析类型.....409
2. 流体分析菜单栏各项功能.....446
（六） 热分析.....483
1. 热分析的分析类型.....484
2. 热分析菜单栏各项功能.....489
（七） 多体动力学分析.....506
1. 简介.....506
2. 多体动力学分析功能区各项功能.....508
（八） 耦合分析.....613
1. 耦合分析类型.....613
2. 耦合分析步骤.....614

（九） 更改分析模型和分析类型 615
1. 更改分析模型 615
2. 更改分析类型 615
第八章 结果分析和展示 616
（一） 查看结果的步骤 616
（二） 查看结果的功能 617
1. 云图 617
2. 云图选择 618
3. 切片 621
4. 剪切面 622
5. 流线 625
6. 等值线 627
7. 矢量 628
8. 选点曲线 630
9. 沿线曲线 632
10. 文件曲线 633
11. 曲线图 635
（三） 结果工具 637
1. 计算方法（隐式结构分析） 637
2. 模态分析结果（隐式结构分析） 638

3. 屈曲分析结果（隐式结构分析）.....**639**

4. 疲劳（隐式结构分析）.....**640**

5. 应力线性化（隐式结构分析）.....**642**

6. 派生结果（隐式结构分析）.....**644**

7. 局部坐标系查看结果（隐式结构分析）.....**645**

8. 隐式结构分析物理量说明（结构）.....**646**

9. 热结构分析物理量说明（热）.....**648**

10. 电磁参数（低频电磁）.....**649**

11. 网格参数（高频电磁）.....**650**

12. 三维远场图（高频电磁）.....**651**

13. 二维天线方向图（高频电磁）.....**652**

14. 二维雷达散射截面（高频电磁）.....**654**

（四） 工具栏按钮.....**657**

1. 将当前视图保存为图像.....**657**

2. 快速查看.....**657**

3. 拾取类型.....**658**

4. 后处理原始模型样式.....**658**

5. 后处理对象样式切换.....**658**

6. 框选.....**658**

7. 适应视图 658
8. 框选放大 658
9. 后处理视图方向 658
10. 距离测量 658
11. 顺时针 659
12. 逆时针 659
13. 分析步 659
14. 录制 659
15. 动画播放 659
16. 色条属性 660
第九章 APP 开发器 662
（一） 仿真 APP 封装步骤 662
（二） APP 开发器功能 663

第一章　简介

（一）　关于 Simdroid

Simdroid 是一款通用多物理场仿真平台，且具备仿真 APP 开发功能，支持在 Windows 和 Linux 操作系统环境下运行，且能够支持 x86、ARM 等 CPU 架构。

用户可借助 Simdroid 开发环境创建物理场仿真模型和仿真 APP。Simdroid 提供了建模工作流程中从几何建模、网格剖分、材料参数、物理场设置到结果后处理所有步骤的相应工具；基于仿真模型，还可以使用 APP 开发器，非常方便地将模型转换成仿真 APP。

仿真 APP 管理器，可以查看并运行本地的仿真 APP。Simdroid 开发的仿真 APP 均可在 APP 管理器中打开。

Simapps 为仿真 APP 商店 https://www.simapps.com，用户可以在 Simapps 上进行 APP 的分享和交易，用户在 Simapps 上传自己开发完成的仿真 APP，供其他人购买并在线计算和查看已购买的仿真 APP。

Simdroid 的理念为“开放、分享、合作”：可实现对工业产品的功能、性能与安全可靠性、工艺及流程进行分析、仿真、预测和评价，同时 Simdroid 能够帮助工程师将仿真知识和经验转化为仿真 APP，为企业和用户开发随时可用的定制的仿真 APP，从而降低仿真工作的技术门槛和时间成本，拓展仿真在工程上的应用。

（二）　Simdroid 文档简介

本文档为 Simdroid 用户手册，对 Simdroid 各模块功能和操作步骤进行了详细介绍，通过阅读参考本文档用户可以对 Simdroid 有全面了解，并独立完成仿真 APP 的开发。

（三） Simdroid 用户手册概览

本文档总共包含 9 章内容。

第一章为简介，简单介绍了 Simdroid 及本文档编写的主要目的。

第二章为 Simdroid，包含 Simdroid 快速使用指南，用户通过阅读此章节可以对 Simdroid 各个模块有初步认识。

第三章为预定义，本章详细介绍了预定义选项卡中各命令的功能及使用方法，通过阅读此章节可对此模块的功能有深入的了解。

第四章为几何建模，本章详细介绍了二维、三维几何建模及草图模块的功能及使用方法，通过阅读此章节用户可以对 Simdroid 建模有深入的了解。

第五章为材料和材料库，本章详细介绍了材料和材料库的创建及使用方法，通过阅读此章节可了解如何在 Simdroid 中为几何施加材料。

第六章为网格剖分，本章节分别介绍了非流体场和流体场中网格剖分的方法和步骤。

第七章为物理场和分析，本章节分别介绍了低频电磁、高频电磁、隐式结构、显式动力、流体、热及多体动力学七个物理场功能模块所包含的分析类型及创建分析步骤，通过阅读此章节，新手用户可以在 Simdroid 中独立完成一个仿真分析流程。

第八章为结果分析和展示，本章节介绍了七个物理场所有的结果查看功能及方法。

第九章为 APP 开发器，本章介绍了完成仿真流程后，如何在 APP 开发器模块进行 APP 的封装及 APP 开发器模块的各功能。

第二章 Simdroid

Simdroid 用于创建仿真模型、计算、查看计算结果和开发仿真 APP，并提供了一系列仿真工具，包括预定义、几何模型、材料和材料库、网格剖分、求解设置、边界/载

荷设置、后处理工具和 APP 开发工具等。

用户可在 Simdroid 中进行低频电磁、高频电磁、隐式结构、显式动力、流体、热、多体动力学七大物理场仿真，并将仿真模型、仿真经验和仿真流程封装生成仿真 APP。

（一） 快速指南

1. 如何新建工程

新建工程的步骤：

1. 在 Simdroid 新建界面中，选择“分析类型”；

2. 选择“空间维度”；

3. 输入“分析名称”；

4. 单击【浏览】，在弹出窗口中选择用于保存工程的工作空间路径；

5. 单击【确定】，完成新建工程，进入开发环境。

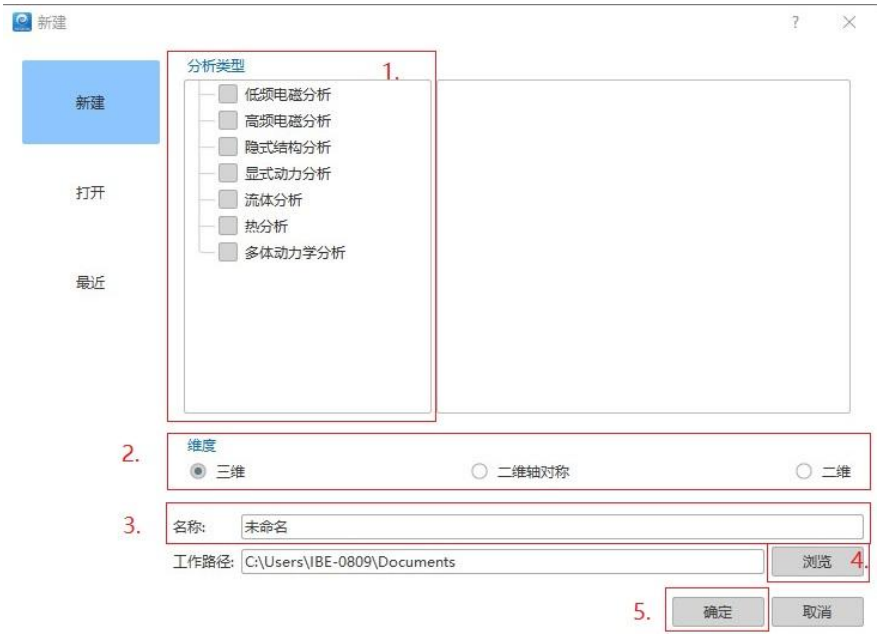


图 1 新建工程

2. 如何打开已有工程

用户可以在 Simdroid 新建界面，单击【打开】，通过浏览窗口选择需要打开的 ibe 工程文件。

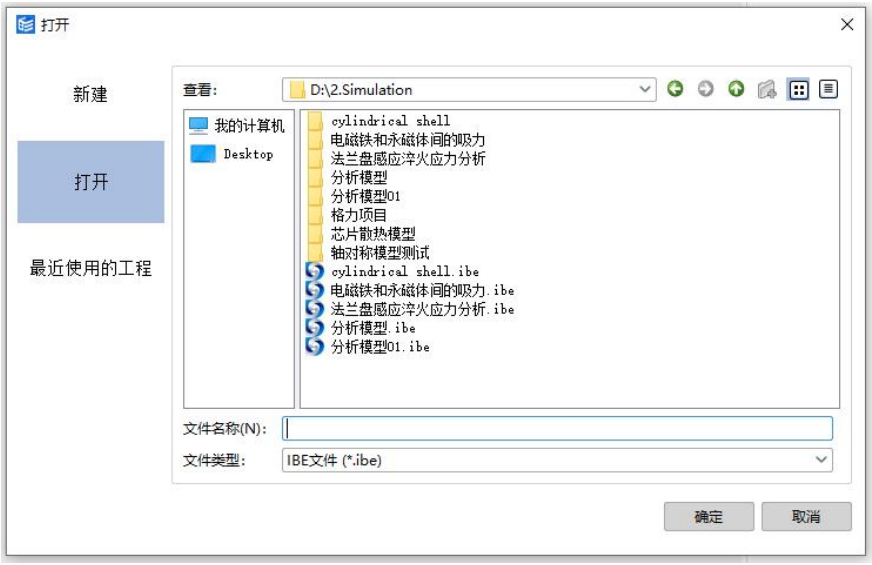


图 2　打开已有工程

3. 视图快捷键

视图区的快捷操作包括平移、旋转、放大/缩小、打印、绘制样式、框选、所有对象自适应屏幕、选择对象自适应屏幕、显示全部几何模型、切换几何模型可见性、隐藏选中的面/恢复隐藏的面。

表 1　视图区快捷操作

操作		快捷键
平移		鼠标左键
旋转		鼠标右键
放大		鼠标滚轮前滚
缩小		鼠标滚轮后滚
打印		Ctrl+P
绘制样式	默认（有边框）	V,1
	有边框	V,2
	无边框	V,3

	线框	V,4
	点	V,5
框选放大		Ctrl+B
所有对象自适应屏幕		V,F
选择对象自适应屏幕		V,S
显示全部几何模型		P,A
切换几何模型可见性		P,S
隐藏选中的面/恢复隐藏的面		S,P

4. 功能区

4.1 主屏幕

图 3　主屏幕

主屏幕面板主要包含【APP 开发器】、【复制】、【粘贴】、【删除】、【坐标轴】、【切换可见性】、【可选择性】、【平行视图】、【透视视图】、【参数】、【分段线性函数】、【坐标系】、【导入】、【导出】命令。

【APP 开发器】：通过单击 APP 开发按钮进入 APP 开发环境。

【复制】：选中几何对象，单击复制按钮实现几何的复制。

【粘贴】：与复制按钮配合使用，粘贴已复制的几何对象。

【删除】：选中几何对象，单击删除按钮实现几何的删除。

【坐标轴】：坐标轴用来控制原始坐标系的显示与隐藏。

【切换可见性】：可见性用来控制所选几何对象或网格模型的显示和隐藏。

【可选择性】：可选择性用来控制几何对象是否可被选择。

【平行视图】：以平行视图显示模型。

【透视视图】：以透视视图显示模型。

【参数】：参数用来创建参数列表，用于参数化模型。

【分段线性函数】：分段线性函数用来创建离散函数。

【坐标系】：坐标系功能用于定义局部坐标系，支持定义笛卡尔坐标系和柱坐标系。

【导入】：导入按钮用来导入几何文件、结果文件或函数文件等。

【导出】：导出按钮用来将选中的几何对象导出。

4.2 预定义

图 4　预定义（实例一）

图 5　预定义（实例二）

预定义模块包含【参数】、【分段线性函数】、【坐标函数】、【反应谱函数】、【功率谱密度函数】、【自定义函数】、【坐标系】、【集合】、【表面集合】、【截面】、【网络标记区域】命令，各分析场根据需求包含相关命令。

【参数】：参数功能用于定义单独的标量参数，用于模型的参数化建模。

【分段线性函数】：分段线性函数即离散函数，通过定义多个离散点的自变量和因

变量值来定义该函数，两个离散点之间的函数值采用线性插值方法计算。

【坐标函数】：坐标函数是基于坐标位置或单元/节点分布而变化的函数。采用“坐标”形式时，所选对象包含的节点数值会根据输入的坐标函数进行插值得到；采用“单元/节点号”时，所选对象包含的节点数值会根据输入的坐标函数进行识别匹配，没有提供函数值的节点将按 0 处理。

【反应谱函数】：反应谱函数用于反应谱分析中提供阻尼比、频率和函数值的关系曲线。

【功率谱密度函数】：功率谱密度函数用于随机响应分析中提供位移、速度或加速度的功率谱密度函数。

【自定义函数】：自定义函数通过 Python 语言设置自变量和函数表达式来定义该函数。

【坐标系】：坐标系功能用于定义局部坐标系，支持定义笛卡尔坐标系和柱坐标系。

【集合】：集合用于定义一组类型相同的数据，用于后续调用，输出为点集或单元集。

【表面集合】：表面集合用于定义一组考虑方向的面集合，用于后续调用，输出为表面单元集。

【截面】：截面用于三维结构分析中壳、杆、梁单元的界面类型定义。

【网格标记区域】：网格标记区域标记了流体网格区域内的一部分网格。在初始场局部定义、设置源项时，可通过网格标记区域将局部网格区域初始化或设置源项条件。

4.3 几何建模

几何建模模块用于创建进行仿真分析的几何模型。二维几何模型使用二维建模进行创建，三维几何模型使用三维建模进行创建。以下三张界面图分别为三维建模面板、三维草图面板和二维建模面板。具体的功能介绍详见第四章 几何建模。

图 6　三维建模

图 7　二维草图

图 8　二维建模

4.4　材料和材料库

图 9　添加材料

材料属性模块包含【创建材料】、【从库添加】、【导入材料】和【材料库】四个命令。

【创建材料】：创建材料用于新建一个材料，给材料赋予相应的属性，并将材料与所对应几何体相关联。

【从库添加】：Simdroid 内置 Simdroid 常用材料库，内含多种常用材料，可以用于常用材料的添加。

【导入材料】：导入材料用于将预先定义或由其他项目导出的“.IBEMat”或“.xml”格式材料文件导入当前项目。

【材料库】：Simdroid 内置了常用材料库，用户可以在其中添加自定义的新材料和材料库。

4.5 网格剖分

由于流体算法的需求与其他物理场不同，因此流体的网格剖分方式与其他物理场不同。下面分为两部分来简单介绍网格剖分功能。

图 10 低频电磁/高频电磁/隐式结构/显式动力/热网格划分

低频电磁、高频电磁、隐式结构、显式动力、热五个场中网格剖分面板主要包含【整体剖分】、【单体剖分】、【映射剖分】、【扫掠剖分】、【体控制】、【面控制】、【边控制】、【网格匹配】命令。

【整体剖分】：整体剖分用于对几何模型所有部件进行网格剖分。

【单体剖分】：单体剖分用于对指定的几何部件单独进行网格剖分。

【映射剖分】：映射剖分用于对规则几何模型进行四边形或六面体网格剖分。

【扫掠剖分】：扫掠剖分用于对模型进行六面体或棱柱网格剖分。

【体控制】：体控制用于设置几何实体的网格剖分单元尺寸。

【面控制】：面控制用于设置几何面的网格剖分单元尺寸。

【边控制】：边控制用于设置几何边的网格剖分单元尺寸或分段数。

【网格匹配】：网格匹配一般用于周期性边界，能够使得计算结果更加准确。

图 11　流体网格划分

流体剖分面板主要包含【边界条件】、【边界层设置】、【设置笛卡尔网格】、【体加密】、【边控制】、【面控制】、【各向异性】、【笛卡尔网格】、【导入网格】、【检查网格】命令。

【边界条件】：边界条件用于命名几何边界，为边界条件设置准备数据。

【边界层设置】：边界层设置用于设置边界处网格膨胀，可设置边界层层数，增长率以及首层厚度。需在“设置笛卡尔网格”节点下使用。

【设置笛卡尔网格】：设置笛卡尔网格是使用笛卡尔方法剖分网格，用于设置流体网格的全局参数。

【体加密】：体加密用于对几何模型的局部区域进行加密细化设置。

【边控制】：边控制用于对几何模型的边进行自定义设置。

【面控制】：面控制用于对几何模型的面进行自定义设置。

【各向异性】：各向异性用于对不同维度的网格尺寸进行进一步的控制。各向异性仅在二维网格剖分中出现。

【笛卡尔网格】:笛卡尔网格用于对几何模型以笛卡尔网格剖分方式进行网格剖分。

【导入网格】：导入网格用于外部导入网格文件。目前支持的网格类型有.msh、.cas文件，需导入 ASCII 格式文件。

【检查网格】：网格检测用于报告网格质量，包括网格正交性等。

4.6 分析

4.6.1 低频电磁分析

图 12 低频电磁分析

分析面板主要包含【添加物理场】、【创建分析】。

【添加物理场】：添加物理场用来变更分析场的类型，可以更改为单场或多场分析。

【创建分析】：添加分析类型：静电场分析，静磁场分析，时谐磁场分析，瞬态磁场分析，直流传导场分析，交流传导场分析，瞬态电场分析。

4.6.2 高频电磁分析

图 13 高频电磁分析

分析面板主要包含【添加物理场】、【创建分析】、【计算】。

【添加物理场】：添加物理场用来变更分析场的类型，可以更改为单场或多场分析。

【创建分析】：添加分析类型：频域有限元分析。

【计算】：计算用于进行分析模型的求解计算。

4.6.3 隐式结构分析

图 14 结构分析

分析面板主要包含【添加物理场】、【创建部件】、【指定梁截面方向】、【耦合连接】、【接触】、【嵌入连接】、【接地弹簧】、【移动副】、【常规约束】、【初始温度】、【集中质量】、【预应力场】、【超单元】、【创建分析】、【计算监控】、【求解设置】和【计算】命令。

【添加物理场】：添加物理场用来变更分析场的类型，可以更改为单场或多场分析。

【创建部件】：创建部件功能用于给模型赋予“单元算法”、“材料”、“截面”等属性。

【指定梁截面方向】：指定梁截面方向用于确定梁的截面方向。

【耦合连接】：耦合连接用于设置两个目标对象之间的自由度耦合关系。

【接触】：接触用于设置两组目标对象之间的接触关系。

【嵌入连接】：嵌入连接用于将离散钢筋或钢筋层嵌入到母体中的连接方式。

【接地弹簧】：接地弹簧为一端固定于地面的弹簧。

【移动副】：移动副为连接两个部件的运动副，包含 2 个平动约束和 3 个转动约束。

【常规约束】：常规约束用于设置分析模型的边界约束，常规约束设置后在整个分析过程中均存在。

【初始温度】：初始温度用于设置分析模型的初始温度，一般用于热应力分析。

【集中质量】：集中质量用于将复杂模型简化为一个带有质量的点。

【预应力场】：预应力场用于设置分析模型的初始应力，在有应力状态的前提下进行第一个分析步的计算。

【超单元】：超单元是一种模型降解求解方法，是将大量单元组成的多自由度复杂结构的行为降解为少量自由度表征的行为。该降解过程就将复杂模型凝聚为超单元的过程。

【创建分析】：创建分析用于添加计算分析步。

【计算监控】：计算监控是用来监测计算过程中某些物理量的变化情况，在计算过程中将以曲线的形式展示。

【求解设置】：求解设置是用来控制计算输出的场变量，设置并行计算。每个物理场的场变量不同。

【计算】：计算用于进行分析模型的求解计算。

4.6.4 显式动力分析

图 15 结构分析

分析面板主要包含【添加物理场】、【创建部件】、【沙漏控制】、【状态方程】、【轴向弹簧】、【接触】、【刚性连接】、【常规约束】、【初速度】、【指定位移】、【指定速度】、【指定加速度】、【集中力】、【压力】、【弯矩】、【加速度场】、【角加速度场】、【分布质量】、【计算监控】、【求解设置】、【重启动】和【计算】命令。

【添加物理场】：添加物理场用来变更分析场的类型，可以更改为单场或多场分析。

【创建部件】：创建部件功能用于给模型赋予“单元算法”、“材料”、“截面”、“沙漏控制”等属性。

【沙漏控制】：沙漏控制功能用于减少减缩积分单元出现没有刚度的零能模式而导致的严重网格畸变。

【状态方程】：状态方程功能用于精确模拟某些特定情况下材料的变形行为。

【轴向弹簧】：轴向弹簧也叫两点弹簧，是连接两个点的弹簧。

【接触】：接触用于设置两组目标对象之间的接触关系，或者自身变形使得不同部分之间的接触关系。

【刚性连接】：刚性连接是节点自由度耦合的一种方式。

【常规约束】：常规约束用于设置分析模型的边界约束。常规约束设置后在整个分析过程中均存在。

【初速度】：初始速度用于设置分析模型的初始速度。

【指定位移】：指定位移用于设置目标几何的位移条件，位移大小可以在时间历程内变化。

【指定速度】：指定速度用于设置目标对象的速度条件，速度大小可以在时间历程内变化。

【指定加速度】：指定加速度用于设置目标对象的加速度条件，加速度大小可以在时间历程内变化。

【集中力】：集中力用于设置目标对象所受的力载荷。力载荷的大小可以在时间/迭代历程内变化。

【压力】：压力用于设置目标对象所受的压力载荷。压力载荷的大小可以在空间位置和时间/迭代历程内变化。

【弯矩】：弯矩用于设置目标对象所受的弯矩载荷。弯矩载荷的大小可以在时间/迭代历程内变化。

【加速度场】：加速度场用于设置目标对象所受到的加速度。加速度的大小可以在时间/迭代历程内变化。

【角加速度场】：角速度场用于设置目标对象的角速度。角速度的大小可以在时间/迭代历程内变化。

【分布质量】：分布质量用于设置离散的质量点的分布情况。质量点通常用于模拟体积可忽略但质量不可忽略的对象，其总质量将被均匀分布于所选的目标对象。

【计算监控】：计算监控用来监测计算过程中某些物理量的变化情况，在计算过程中将以曲线的形式展示。

【求解设置】：求解设置用来指定显式动力分析中通用的分析控制参数。

【重启动】：重启动用来重新提交计算控制文件以完成续算任务。

【计算】：计算用于求解计算。

4.6.5 流体分析

图 16 流体分析

流体分析面板主要包含【添加物理场】、【创建流动分析】、【局部设定】、【接触面设置】、【源项】、【多参考系】、【滑移网格】、【监测点】、【面统计】、【体统计】、【通量】、【力】、【输出】、【仅计算】、【检查模型】、【初始化】、【计算】命令。

【添加物理场】：添加物理场用来变更分析场的类型，可以更改为单场或多场分析。

【创建流动分析】：创建流动分析用于设置流动分析求解器，IBECFD 求解器包括稳态单相流，瞬态单相流，瞬态多相流，可以选择是否求解能量方程。

【局部设定】：局部设定用于设定局部网格上的初值条件。

【接触面设置】：用于设置相互接触的边界对，从而组成周期边界、内部壁面或者内部流动边界

【源项】：源项用于在求解域的网格区域或网格标记区域上设置源项条件。

【多参考系】：多参考系用于给指定的网格区域设置局部参考系。一个网格区域只可被设置一个多参考系。

【滑移网格】：滑移网格用于将指定的网格区域设置为旋转运动的状态。若使用滑移网格，分析类型必须设置为瞬态分析。

【监测点】：监测点用于监测计算域内某一位置的物理量的变化规律，可同时添加多个监测点。

【面统计】：面统计用于统计各边界上的物理量变化，可统计的类型有最大值、最小值、平均值、面积加权平均、质量加权平均。

【体统计】：体统计用于统计各网格区域中的物理量变化，可统计的类型有最大值、最小值、平均值、体积加权平均、质量加权平均。

【通量】：通量用于监测边界处的通量变化，可监测的通量有质量流量和总热流密度。

【力】：力用于监测壁面边界的作用力。

【输出】：输出用于写出供求解计算的前处理文件，即控制文件。

【检查模型】：用于检查流体材料、分析模型、边界条件等设置是否合理

【初始化】：可清除当前的已有计算结果，并按照初始场设置，生成各物理量的初始分布文件。

【计算】：计算用于进行分析模型的求解计算。

4.6.6 热分析

图 17 热分析

热分析面板主要包含【添加物理场】、【创建部件】、【接触】、【腔体辐射】、【物理常数】、【初始温度】、【创建分析】、【计算监控】、【求解设置】、【计算】命令。

【添加物理场】：添加物理场用来变更分析场的类型，可以更改为单场或多场分析。

【创建部件】：创建部件功能用于给模型赋予“单元算法”、“材料”、“截面”等属性。

【接触】：接触用于设置两个相邻目标对象之间的热接触连接关系，适用于模拟两个存在接触关系的独立对象之间的传热情况。

【腔体辐射】：腔体辐射用于设置封闭或不封闭腔体内的辐射关系。

【物理常数】：物理常数包括绝对零度与玻尔兹曼常数。

【初始温度】：初始温度为模型确定初始时刻的温度状态。

【创建分析】：创建分析用于添加计算分析步。

【求解设置】：用于指定需要输出的物理量，以及并行核数。

【计算】：计算用于进行分析模型的求解计算。

4.6.7　多体动力学分析

图 3-23 多体动力学分析通用模块

通用模块面板主要包含【参考点】、【实体】、【约束】、【力元】、【联合仿真】等几大命令。

【参考点】：参考点功能用于创建参考点。

【实体】：实体功能用于创建不同几何外形的实体，包含【连杆】、【立方体】、【圆柱体】、【球体】、【圆环】、【圆锥】、【棱柱】、【弧】、【B 样条】、【刚体】。

【约束】：约束功能用于创建各个实体之间的运动副，包含【移动副】、【圆柱副】、【平面副】、【螺旋副】、【旋转副】、【球副】、【万向副】、【胡克副】、【方向定位约束】、【共面约束】、【共线约束】、【平行约束】、【垂直约束】、【点线高副】。

【力元】：力元用于创建施加在构件上的力，包含【单向力】、【单向力矩】、【三向力】、【三向力矩】、【广义力】、【弹簧阻尼器】、【卷簧】、【衬套】。

4.7　结果展示

图 18　低频电磁分析模块结果展示面板

图 19　高频电磁分析模块结果展示面板

图 20　隐式结构分析模块结果展示面板

图 21　显式动力分析模块结果展示面板

图 22　流体分析模块结果展示面板

图 23　热分析模块结果展示面板

结果展示面板主要包含【云图】、【云图选择】、【切片】、【剪切面】、【等值线】、【矢量】、【流线】、【模态分析结果】、【屈曲分析结果】、【选点曲线】、【电磁参数】、【网格参数】、【远场图】、【雷达散射截面】、【天线方向图】命令，多体动力学的结果展示面板只有【曲线图】，曲线图的功能详见第八章。

【云图】：将各种计算结果用彩色云图的方式表现出来。

【云图选择】：对所选择的局部单元进行云图显示。

【切片】：切片用于观察模型内部截面的计算结果。

【剪切面】：剪切面用于观察截面正方向或反方向上模型的计算结果。

【等值线】：将计算结果采用等值线的方式表现出来。

【矢量】：将各种计算结果用矢量图的方式表现出来。

【流线】：将某一时刻的流场以若干条曲线的方式表现出来。

【模态分析结果】：模态分析结果可以输出模态分析频率、周期和振型信息结果。

【屈曲分析结果】：屈曲分析结果可以输出屈曲分析各阶振型和放大系数等结果。

【选点曲线】：可以创建曲线图，用来描述多个点或某条线上用户指定物理量的变化。

【电磁参数】：主要描述电磁计算的物理量，诸如：电容矩阵，电导矩阵，电感矩阵，力，力矩，磁链，欧姆损耗等。

【网格参数】：网络参数按钮用于查看微波网络参数结果，包括 SYZ 参数的幅值和实部虚部、以及对幅值取十倍对数等常用功能。

【远场图】：三维远场图按钮用于查看天线方向图和雷达散射截面结果的三维渲染效果图。

【雷达散射截面】：二维雷达散射截面按钮用于查看雷达散射截面结果的二维渲染效果图。

【天线方向图】:二维天线方向图按钮用于查看天线方向图结果的二维渲染效果图。

4.8 APP 开发器

图 24 APP 开发器

APP 开发器是通过创建表单，加入功能区等方式创建 APP，并且可以测试和导出创建的 APP。

APP 开发器面板主要包含【关闭】、【新建表单】、【文件菜单】、【页面菜单】、【分组】、【命令】、【标签】、【按钮】、【属性集】、【分割线】、【输入框】、【文本框】、【网格】、【图表】、【几何】、【表单集合】、【结果】、【表格】、【监控曲线】、【输入控件】、【预览表单】、【测试 APP】、【导出 APP】、【编译器】命令。

【关闭】：关闭 APP 开发器面板。

【新建表单】：新建表单用于创建一个新的显示页面。

【文件菜单】：文件菜单用于创建 APP 顶部文件菜单。

【页面菜单】：功能区用于创建 APP 顶部选项卡。

【分组】：分组用于创建 APP 功能区面板的不同功能栏。

【命令】：命令用于在不同功能区栏创建常用仿真命令。

【标签】：用户在页面中创建标签。

【按钮】：用户在页面中创建命令按钮。

【属性集】：用户在页面中创建属性框。

【分割线】：用户在页面中创建分割线。

【输入框】：用户在页面中创建输入框。

【文本框】：用户在页面中创建文本框。

【网格】：用户在页面中创建网格视图。

【图表】：用户在页面中创建图表。

【几何】：用户在页面中创建几何视图。

【表单集合】： 用户可以创建多个页面。

【结果】：用户在页面中创建结果视图。

【表格】：用户在页面中创建表格。

【监控曲线】：用户在页面中创建监控曲线。

【输入控件】：用户在页面中创建参数输入框。

【预览表单】：预览表单用于查看已经设置完成的表单界面是否符合预期。

【测试 APP】：测试 APP 用于测试 APP 界面和功能是否符合预期。

【导出 APP】：导出 APP 用于将已开发完成的 APP 文件导出为.app 文件，用于上传及分享。

【编译器】：编译器可导出可独立运行的 APP。

（二） 可视化和选择工具

1. 几何对象的选择

Simdroid 中提供了点选和框选两种选择几何对象的方式，默认选择方式是点选，即鼠标左键单击选择。在三维模型中默认选择体对象，在二维模型中默认选择面对象。

1.1 点选

视图区鼠标左键单击选择。

1.2 框选

框选工具位于视图区工具栏，提供了框选【顶点】、框线【边】、框选【面】和框选【实体】四种功能。

框选操作步骤：

1. 单击【视图区】>【框选】下拉菜单，选择框选方式；

2. 在视图区进行框选操作。

注意：框选为一次操作，如需继续框选，需要再次单击【框选】按钮。

1.3 网格框选

网格框选工具位于视图区工具栏，提供了框选【节点】、框线【单元】、框选【网格表面】三种功能。

框选操作步骤：

1. 单击【视图区】>【网格框选】下拉菜单，选择框选方式；

2. 在视图区进行框选操作。

注意：框选为一次操作，如需继续框选，需要再次单击【框选】按钮。

1.4 网格沿角度选择

网格沿角度选择工具位于视图区工具栏，提供了【沿面选择】、【沿线选择】两种功能。

网格沿角度选择操作步骤：

1. 单击【视图区】>【网格沿角度选择】按钮，弹出选择方式对话框；

2. 输入角度值，选择【沿面选择】或【沿线选择】；

2. 在视图区进行点选操作。

2. 几何对象的隐藏和显示

几何模型的隐藏和显示可以通过选中模型树上的几何节点，右键选择“可见性”，或其快捷键“空格键”来实现。同时，在视图区提供六种功能，便于整体可见性的切换，分别为【显示全部几何】、【切换几何模型可见性】、【显示全部网格】、【切换网格可见性】、【隐藏选中的面】、【恢复隐藏的面】。

3. 几何对象的颜色

生成的几何对象默认颜色为灰色，如下图所示。用户可以通过 4 种方式修改几何对象的显示颜色。

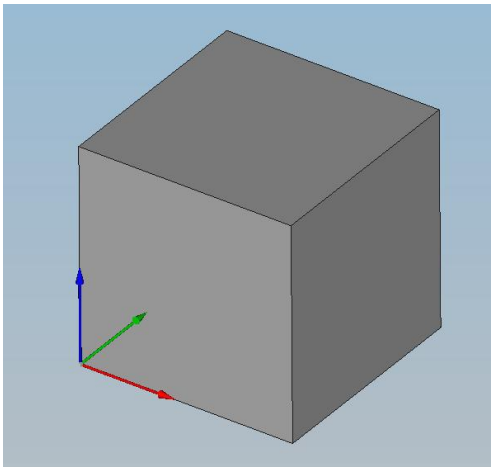


图 25　几何对象默认颜色

3.1　第 1 种颜色修改方式

选中模型树上的几何对象节点，在属性栏>视图面板，单击几何颜色的色块，选择想要修改的颜色，单击【确定】。

图 26　几何对象属性栏视图面板

3.2　第 2 种颜色修改方式

选中模型树上的几何对象节点，右键选择“设置颜色”，打开设置面板。视图区点选或通过“框选”按钮选择多个面进行颜色设置。也可以单击“设置为默认”按钮恢复所选面的颜色。

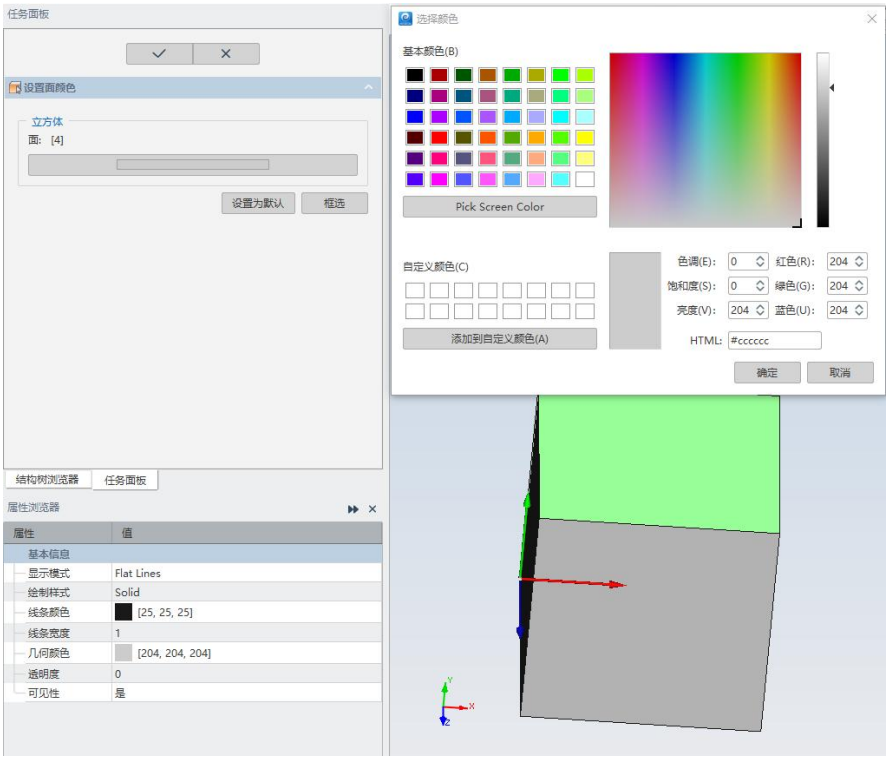


图 27　设置颜色面板

3.3　第 3 种颜色修改方式

选中模型树上的几何对象节点，右键选择“外观”，打开设置面板。通过修改“材质”模块中的材质样式下拉表、修改“形状颜色”或“线条颜色”来修改几何对象的显示颜色。另外可以在此设置界面修改“显示样式”、“点大小”、“线宽”、“透明度”等属性。

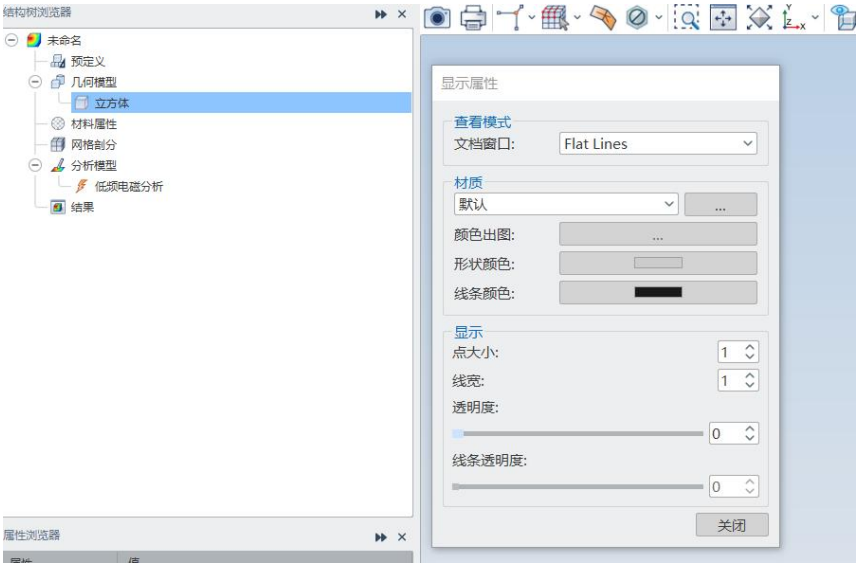


图 28　外观设置面板

3.4　第 4 种颜色修改方式

选中模型树上的几何对象节点，右键选择“随机颜色”，即可为选中的几何对象设置随机颜色。这种方式最快捷，如果给定的随机颜色不符合用户的期望，可以重复此步骤改变几何的随机显示颜色。

4.　集合的用法

集合功能用于对点、线、面、体创建几何组件，在施加边界条件和荷载时可直接调用集合。

第三章　预定义

Simdroid 的预定义模块用于定义全局参数、函数、局部坐标系、集合和截面，辅助进行参数化模型的建立和分析以及 APP 制作。

图 29　预定义（示例 1）

图 30　预定义（示例 2）

（一）　参数

参数功能定义单独的标量参数，用于模型的参数化建模。

图 31　定义参数的表格

在参数表格内定义参数，可手动输入，也可导入 txt、csv 及 xlsx 格式的文件。

1. 第一列为名称，输入参数名称，参数名称由英文字母和数字组成，首位为字母，区分大小写，不能包含特殊符号及上标，软件定义的快捷键字母（如：大写字母 A、W、V 等)及所有的基本单位（如：m、g、kg、s、mol 等）；

2. 第二列为表达式，输入参数数值或参数表达式，允许输入参数的单位；

3. 第三列为值，根据第二列的输入展示参数表达式的计算值，即所定义的参数大小；

4. 第四列为描述，可输入参数的描述，支持中英文。

已定义的参数列表可导出为 txt 或 csv 或 xlsx 格式保存。

参数表达式支持基础的函数运算，目前支持的函数包括常用的三角函数和反三角函数、幂函数和对数函数等，支持的运算包括加、减、乘、除，还支持两个数学常数。

表 2　**支持的函数**

函数	描述
ceil(x)	返回 x 的上限浮点数值，即大于等于 x 的最小整数的浮点数值。
floor(x)	返回 x 的下限浮点数值，即小于等于 x 的最大整数的浮点数值。
trunc(x)	返回实数 x 的整数部分(通常是长整型)。
exp(x)	返回 e 的 x 次幂。
log(x)	返回以 e 为底的 x 的自然对数。
$\log_{10}(x)$	返回以 10 为底的 x 的对数。
sqrt(x)	返回 x 的平方根。
acos(x)	返回 x 的反余弦函数值，值为角度。
asin(x)	返回 x 的反正弦函数值，值为角度。
atan(x)	返回 x 的反正切函数值，值为角度。
atan2(y, x)	返回 y/x 的反正切函数值，值为角度。在 y 与 x 之间输入空格。
cos(x)	返回角度 x 的余弦函数值。
sin(x)	返回角度 x 的正弦函数值。
tan(x)	返回角度 x 的正切函数值。
cosh(x)	返回 x 的双曲余弦函数值。

sinh(x)	返回 x 的双曲正弦函数值。
tanh(x)	返回 x 的双曲正切函数值。
常数	描述
pi	数学常数 π = 3.141592…的可用精度值
e	数学常数 e = 2.718281…的可用精度值
运算	描述
+、-、*、/、^	

定义参数操作步骤：

1. 在功能区【预定义】>单击【参数】；

2. 在【任务面板】>输入名称、表达式和参数描述等，支持参数的导入/导出；

3. 单击【√】完成参数定义。

删除参数

双击模型树上【参数】节点，进入参数定义界面。右键单击将要删除的参数行最左侧的参数行序号，选择“删除行”进行删除。

（二） 函数

函数功能用于定义全局函数，支持定义分段线性函数、坐标函数、反应谱函数、功率谱密度函数以及自定义函数。定义完成的函数可用于定义仿真模型随时间变化的激励或非线性荷载等。

1. 分段线性函数

分段线性函数即离散函数，通过定义多个离散点的自变量和因变量值来定义该函数，两个离散点之间的函数值采用线性插值方法计算。

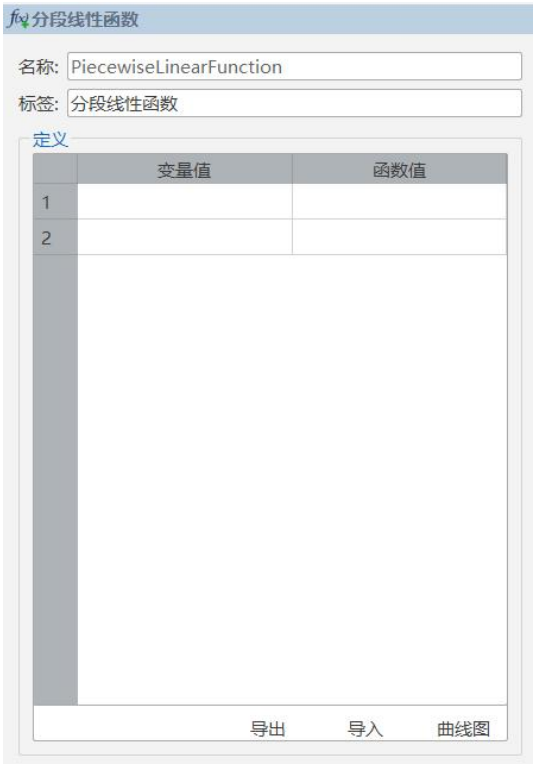


图 32　分段线性函数定义界面

在函数表格内定义函数，第一列为变量值，第二列为对应的函数值，支持手动输入，也支持导入.func 文件。

定义分段线性函数操作步骤：

1. 在功能区【预定义】>单击【分段线性函数】；

2. 在【任务面板】>输入函数标签、变量值和函数值；

3. 点击【曲线图】按钮，按照表格中的数值绘制关系曲线；

4. 单击【√】完成函数定义。

2.　坐标函数

坐标函数是随坐标位置或单元/节点分布而变化的函数。采用“坐标”形式时，界面支持输入坐标值与函数值，后续施加到所选对象时，包含的节点函数值会根据输入的

坐标函数进行插值得到；采用“单元/节点号”时，界面支持输入局部单元/节点号与函数值，后续施加到所选对象时，包含的节点函数值会根据输入的坐标函数进行识别匹配，没有提供函数值的节点将按 0 处理。

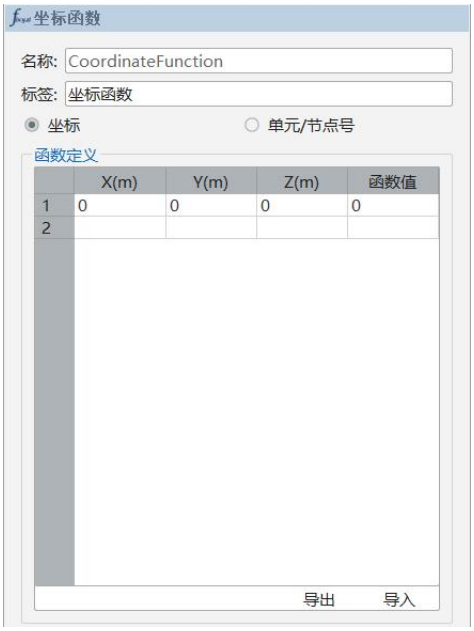


图 33　坐标函数定义界面（按坐标值）

图 34　坐标函数定义界面（按单元/节点号）

定义坐标函数操作步骤：

1. 在功能区【预定义】>单击【坐标函数】；

2. 在【任务面板】>输入函数标签，选择类型“坐标”或“单元/节点号”，输入变量值和函数值；

3. 单击【√】完成函数定义。

注意：采用“单元/节点号”时需要输入局部网格节点编号，该节点编号可通过【集合】面板中的【导出节点信息】功能获得。

3. 反应谱函数

反应谱函数仅存在于结构分析模块，针对反应谱分析进行设置。提供阻尼比、频率和函数值的关系曲线，支持输入位移、速度和加速度三种类型。

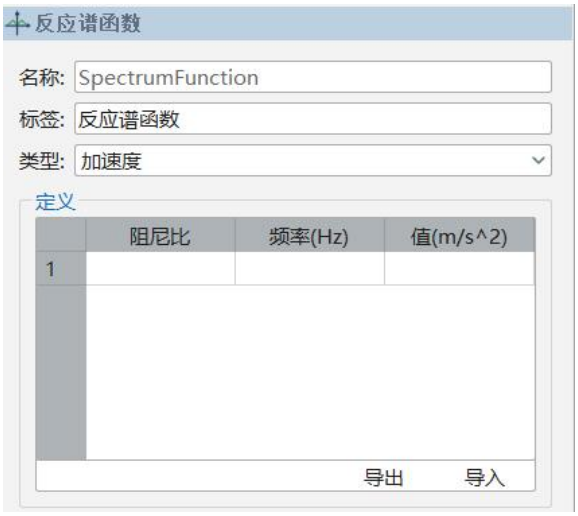


图 35　反应谱函数定义界面

定义坐标函数操作步骤：

1. 在功能区【预定义】>单击【反应谱函数】；

2. 在【任务面板】>输入函数标签，选择类型是“位移”、“速度”或“加速度”，输入不同阻尼比下频率和函数值的关系数据；

3. 单击【√】完成函数定义。

4. 功率谱密度函数

功率谱密度函数仅存在于结构分析模块，针对随机响应分析进行设置。

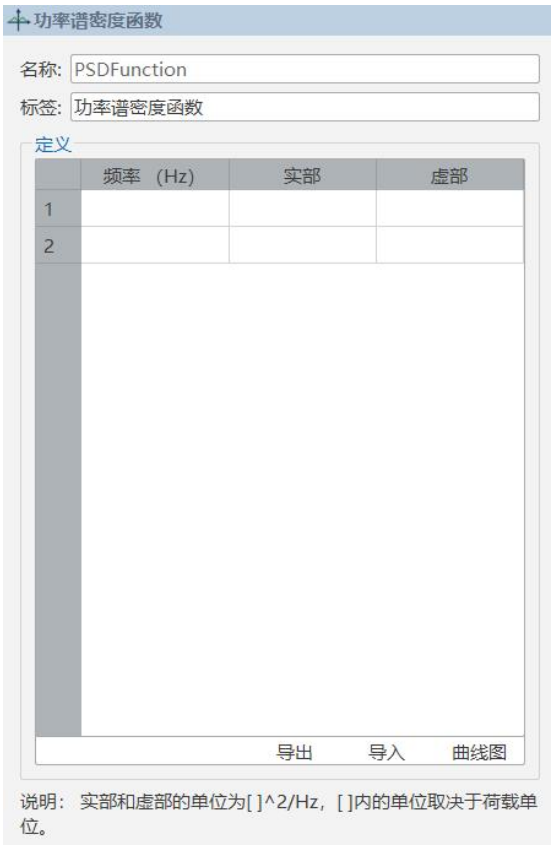


图 36　功率谱密度函数定义界面

定义功率谱密度函数操作步骤：

1. 在功能区【预定义】>单击【功率谱密度函数】；

2. 在【任务面板】>输入函数标签、频率、实部与虚部值；

3. 点击【曲线图】按钮，按照表格中的数值分别绘制频率与实部、频率与虚部的关系曲线；

4. 单击【√】完成函数定义。

5.　自定义函数

自定义函数支持使用 python 语法定义函数表达式，需要设置自变量并写出 python 形式函数定义，支持 math 库所含所有内置函数，python 语句需要空格对齐。

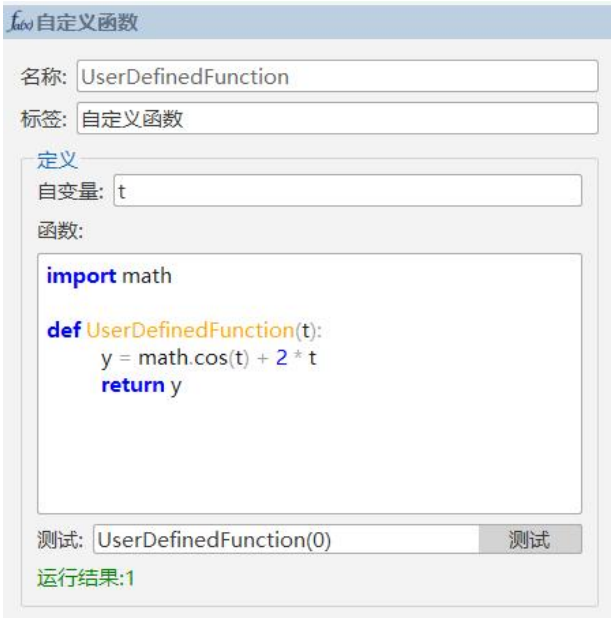


图 37　自定义函数定义界面

测试函数模块，自变量给定任意数值，单击【测试】按钮，如语法无错误，会返回运行结果。

定义自定义函数操作步骤：

1. 在功能区【预定义】>单击【自定义函数】；

2. 在【任务面板】>输入函数标签、自变量，在函数输入框使用 python 语句定义所需函数；

3. 将测试框中函数自变量修改为特定数值，单击【测试】按钮，如语法正确，会返回运行结果；

4. 单击【√】完成函数定义。

（三）　坐标系

坐标系功能用于定义局部坐标系，支持定义笛卡尔坐标系、柱坐标系和球坐标系。定义好的坐标系可用于指定仿真模型的截面方向、材料方向或荷载方向等。

1. 笛卡尔坐标系

笛卡尔坐标系即为直角坐标系，在三维模型中定义三维直角坐标系，在二维模型中定义二维直角坐标系。

图 38　笛卡尔坐标系定义界面

定义笛卡尔坐标系操作步骤：

1. 在功能区【预定义】>单击【坐标系】；

2. 在【任务面板】>设置坐标系标签，通过下拉菜单选择坐标系类型为“笛卡尔坐标系”；

3. 设置“原点”坐标、“X 轴方向上的一点”和“Y 轴方向上的一点”；

4. 单击【√】完成局部笛卡尔坐标系的定义。

注意：坐标点数值以默认的全局笛卡尔坐标系为基准。

2. 柱坐标系

柱坐标系是使用 ϕ=0 方向上一点和 Z 方向来定义的三维坐标系。

图 39　柱坐标系定义界面

定义柱坐标系操作步骤：

1. 在功能区【预定义】>单击【坐标系】；

2. 在【任务面板】>设置坐标系标签，通过下拉菜单选择坐标系类型为“柱坐标系”；

3. 设置“原点”坐标、“Z 轴方向上的一点”和“ ϕ=0 方向上的一点”；

4. 单击【 √ 】完成局部柱坐标系的定义。

3. 球坐标系

球坐标系是使用 θ =0 赤道上一点和 Z 方向来定义的三维坐标系。

图 40 球坐标系定义界面

定义球坐标系操作步骤：

1. 在功能区【预定义】>单击【坐标系】；

2. 在【任务面板】>设置坐标系标签，通过下拉菜单选择坐标系类型为“球坐标系”；

3. 设置“原点”坐标、“Z 轴方向上的一点”和“ θ =0 赤道上的一点”；

4. 单击【 √ 】完成局部球坐标系的定义。

（四） 集合功能

集合功能用于对点、线、面、体、网格节点、单元及表面创建组件，在指定材料、施加边界条件、荷载或后处理结果查看时可直接调用集合。集合功能包括集合和表面集合。

1. 集合

集合功能用于对点、线、面、体、网格节点及网格单元创建组件，在指定材料、施加边界条件、荷载或后处理结果查看时可直接调用集合。

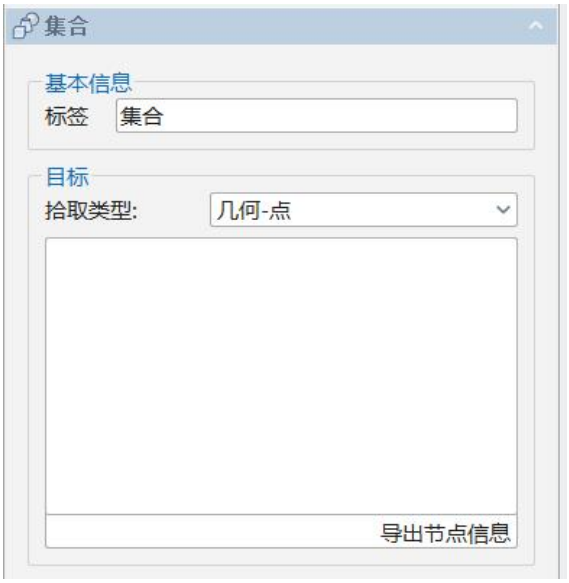


图 41 集合界面

集合操作步骤：

1. 在功能区【预定义】>单击【集合】；

2. 在【任务面板】，“拾取类型”下拉菜单中选择集合对象；

✧ 默认为几何-点对象；

✧ 在二维建模中可选几何-点、几何-边、几何-面、网格-节点、网格-单元对象；

✧ 在三维建模中可选几何-点、几何-边、几何-面、几何-体、网格-节点、网格-单元对象；

3. 在视图区域，单击选择目标对象；

4. 单击【√】完成集合的创建。

注意：

1. 三维模型创建面集合时，拾取内部面时需要首先使用视图区工具栏>【隐藏面】功能将遮挡模型的外表面隐藏。

2. 【导出节点信息】功能用于导出已选择对象的局部网格节点编号和坐标值信息，可用于【坐标函数】中“单元/节点号”形式下的输入。

2. 表面集合

表面集合功能用于对表面单元创建组件，在施加边界条件、荷载或后处理结果查看时可直接调用表面集合。

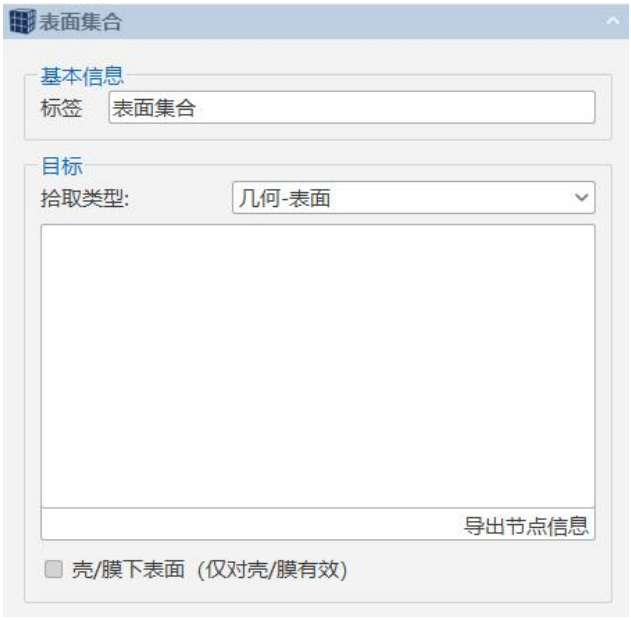


图 42 表面集合界面

表面集合操作步骤：

1. 在功能区【预定义】>单击【表面集合】；

2. 在【任务面板】，“拾取类型”下拉菜单中选择集合对象；

✧ 默认为几何-表面对象；

✧ 在二维建模中可选几何-边；

✧ 在三维建模中可选几何-表面、网格-表面对象；

3. 在视图区域，单击选择目标对象；

4. 单击【√】完成集合的创建。

注意：

1. 三维模型创建表面集合时，拾取内部面时需要首先使用视图区工具栏>【隐藏面】功能将遮挡模型的外表面隐藏。

2. 【导出节点信息】功能用于导出已选择对象的局部网格节点编号和坐标值信息，可用于【坐标函数】中“单元/节点号”形式下的输入。

3. 表面集合选择的是壳或者膜的上表面或下表面，通过勾选“壳/膜下表面（仅对壳/膜有效）”实现面的反转。

（五） 截面

截面主要用于三维结构分析和三维热分析中。三维结构分析中需要对壳、钢筋层、杆和梁单元定义截面类型，截面类型包括壳、膜、钢筋层、杆、圆形、环形、矩形、箱形、工型、L 型、T 型、U 型、通用截面和弹簧；三维热分析中需要对膜和杆单元的截面类型进行定义。

“壳”用来定义壳体的截面属性；

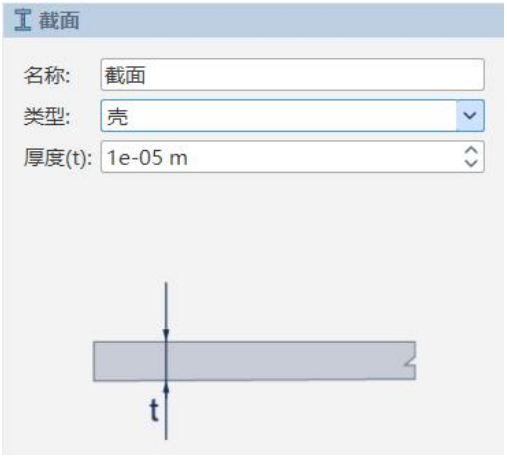
“膜”用来定义膜的截面属性；

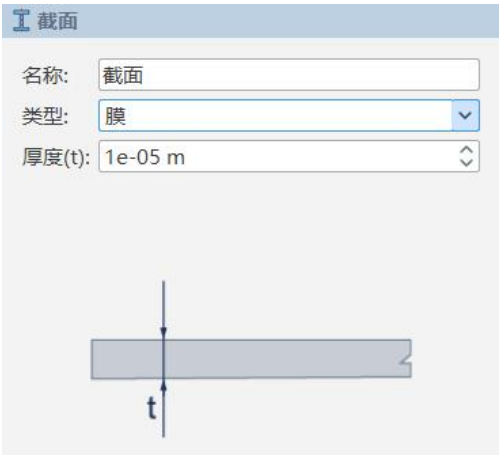
“钢筋层”用来定义线钢筋的截面属性；

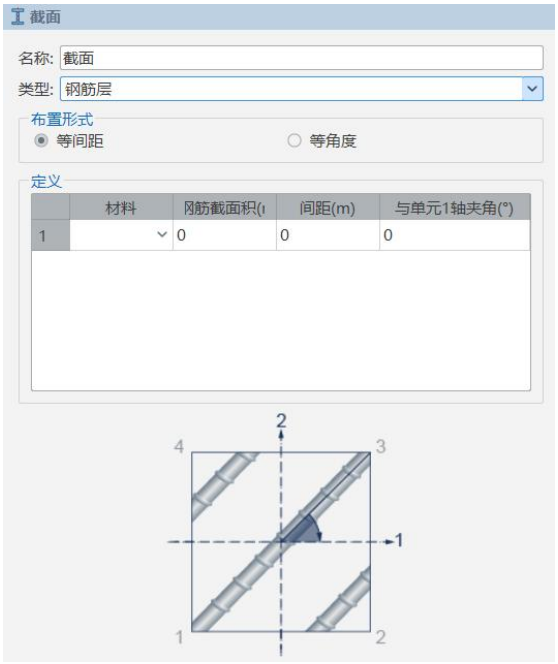
“杆”用来定义结构和热杆单元截面属性；

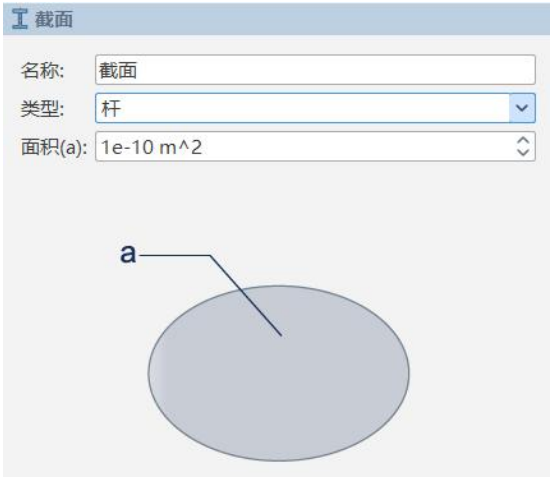
“弹簧”用来定义线弹簧的属性；

其余截面类型均用来定义梁单元截面。







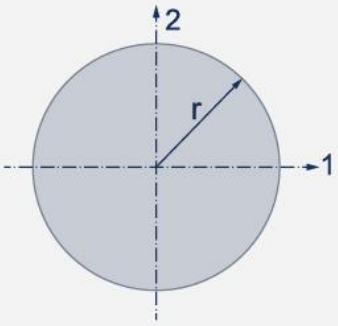


截面

名称: 截面

类型: 圆形

半径(r): 1e-05 m



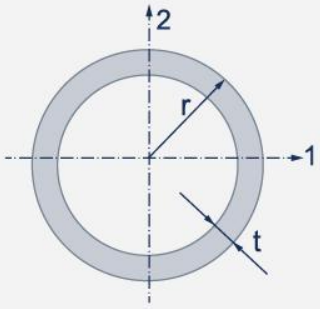
截面

名称: 截面

类型: 环形

外径(r): 0.0001 m

厚度(t): 0.0001 m



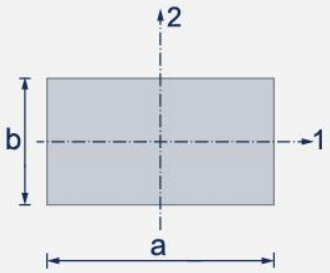
截面

名称: 截面

类型: 矩形

宽度(a): 1e-05 m

高度(b): 1e-05 m



截面

名称: 截面

类型: 箱形

宽度(a): 0.0001 m

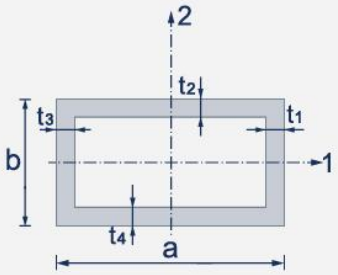
高度(b): 0.0001 m

左侧厚度(t3): 1e-05 m

右侧厚度(t1): 1e-05 m

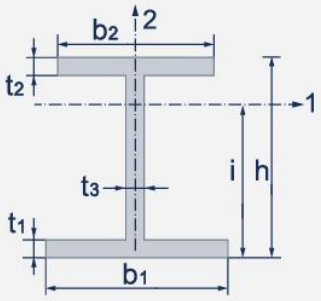
上部厚度(t2): 1e-05 m

下部厚度(t4): 1e-05 m



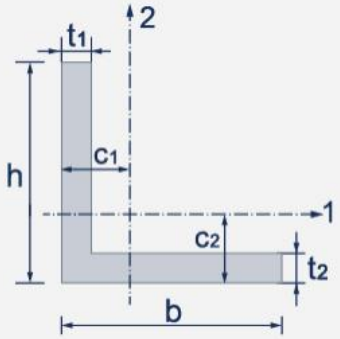
截面

名称:	截面
类型:	工型
高度(h):	0.0001 m
腹板宽度(t3):	1e-05 m
上翼缘宽度(b2):	0.0001 m
上翼缘厚度(t2):	1e-05 m
下翼缘宽度(b1):	0.0001 m
下翼缘厚度(t1):	1e-05 m
中性轴位置	默认



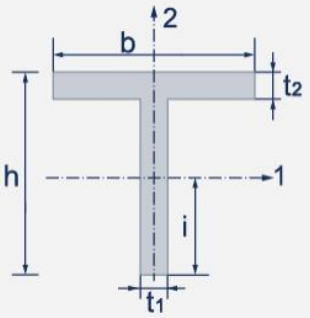
截面

名称:	截面
类型:	L型
高度(h):	0.0001 m
宽度(b):	0.0001 m
厚度1(t1):	1e-05 m
厚度2(t2):	1e-05 m
中性轴位置	默认



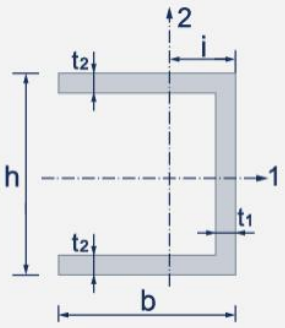
截面

名称:	截面
类型:	T型
高度(h):	0.0001 m
宽度(b):	0.0001 m
厚度1(t1):	1e-05 m
厚度2(t2):	1e-05 m
中性轴位置	默认



截面

名称:	截面
类型:	U型
高度(h):	0.0001 m
宽度(b):	0.0001 m
厚度1(t1):	1e-05 m
厚度2(t2):	1e-05 m
中性轴位置	默认



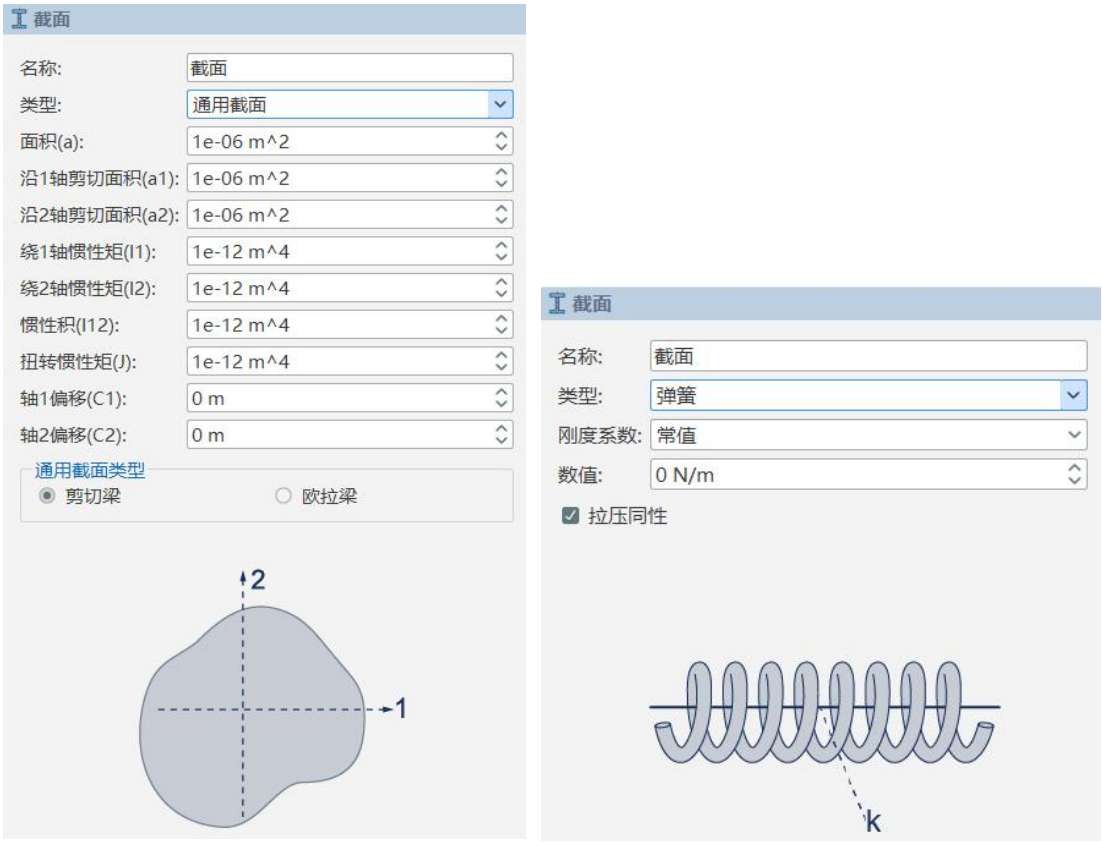


图 43　截面界面

截面创建步骤：

1. 在功能区【预定义】>单击【截面】，打开任务面板；

2. 输入名称，选择截面类型，根据对应的截面类型，输入对应的参数；

3. 单击【√】完成截面的定义。

（六）　网络标记区域

网格标记区域标记了流体网格区域内的一部分网格。在初始场局部定义、设置源项时，可通过网格标记区域将局部网格区域初始化或设置源项条件。

网格标记区域的设置方法如下：

1.在【预定义】选项卡下点击【网格标记区域】。

2.在【任务面板】中选择区域形状并输入几何参数，单击【√】。

图 44　网格标记区域设置面板

3.开启网格标记区域后，视图区将高亮显示它的几何外形。

第四章　几何建模

Simdroid 的几何建模模块用于创建进行仿真分析的几何模型。二维几何模型使用二维建模进行创建，三维几何模型使用三维建模进行创建。几何模型可以包含多个部件。

（一）　创建二维模型

二维模型是点、边、面的集合。工作平面为全局坐标系的 XY 平面。需要注意的是，二维轴对称模型的对称轴为 Y 轴，几何模型需建立在 X≥0 的位置。

创建面，选择以下两种路径的一种：

(1) 通过草图创建一个封闭的轮廓，填充形成面。

注意：一个草图只能填充一个封闭轮廓形成面。

(2) 通过二维图元快速创建圆面、矩形面或和椭圆面等。

对面进行布尔操作，获取目标模型。

（二）　创建三维模型

三维模型是点、边、面、体的集合，默认在全局笛卡尔坐标系下创建模型。

创建三维模型的操作步骤：

1. 通过以下两种途径之一创建基础实体：

✧ 通过三维图元直接创建立方体、圆柱体、球体和圆环等基础实体；
✧ 创建草图轮廓，基于草图进行拉伸、旋转等操作创建三维实体或曲面。

2. 对三维实体进行布尔操作，获得目标实体。

（三） 草图

绘制草图是创建三维模型的基础，也是创建二维模型最常用的一种方式，尤其是针对复杂轮廓，在草图中创建更为便捷。

创建草图

在二维建模环境中，单击功能区【二维建模】选项卡下的【创建轮廓】，进入草图编辑环境。

在三维建模环境中，单击功能区【三维建模】选项卡下的【创建 2D 草图】，在弹出窗口中确定草图所依附的平面，单击【确定】，进入草图编辑环境。

在三维建模环境中，可首先在视图区域选中草图所依附的平面，然后单击【三维建模】选项卡下的【创建 2D 草图】，在弹出窗口中选择依附方式，单击【确定】，进入草图编辑环境。

完成草图

完成草图绘制后，可通过以下两种方式完成草图编辑，退出草图编辑环境：

- ✧ 在二维建模环境中单击【二维建模】选项卡下的【完成轮廓】，在三维建模环境中单击【草图】选项卡下的【完成草图】，完成创建草图。
- ✧ 单击【组合浏览器】>【任务】面板上的【关闭】，完成创建草图。

编辑草图

在【组合浏览器】的管理树上双击草图节点，或右键单击【编辑草图】，即进入草图编辑界面。

删除草图

在【组合浏览器】的管理树上单击草图节点，按【delete】键或右键单击【删除】，即可删除该草图。

（四） 草图功能

1. 草图几何

草图几何用于创建包围形成轮廓的线条，其功能包含创建各种基本形状和对形状进行修剪，如点、直线、圆、弧、椭圆、B 样条、折线、矩形、多边形、圆槽、圆角、修剪、外部几何体、切换辅助线。

表 3 草图几何

按钮	名称	按钮	名称
	点		矩形
	直线		多边形
	弧		圆槽
	圆		圆角
	椭圆		修剪
	B-样条		切换辅助线
	折线		外部几何体

1.1 点

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境中的功能区【草图】>单击【点】；

2. 在视图区域，选在一个位置，单击，创建点；

3. 根据需要，继续创建点；

4. 若要退出操作，请按 Esc 键或单击其他命令。

1.2 线

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境中的功能区【草图】>单击【线】；

2. 在视图区域，第一次单击选择起点，第二次单击选择终点；

3. 根据需要，继续创建直线；

4. 若要退出操作，请按 Esc 键或单击其他命令。

1.3 弧

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境中的功能区【草图】，进行下列操作之一：

- ✧ 单击选择【中心点和端点】，在视图区域，第一次单击选择圆心，第二次单击选择弧的起点，第三次单击选择弧的终点。
- ✧ 单击选择【端点和边缘点】，在视图区域，第一次单击选择弧的起点，第二次单击选择弧的终点，第三次单击确定弧上一点。

2. 根据需要，继续创建弧；

3. 若要退出操作，请按 Esc 键或单击其他命令。

1.4 圆

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境中的功能区【草图】，进行下列操作之一：

- ✧ 单击选择【圆心和边缘】，在视图区域，第一次单击确定圆心，第二次单击确定圆上一点。

✧ 单击选择【3 个边缘点】，在视图区域，第一次单击确定圆上一点，第二次单击确定圆上第二点，第三次单击确定圆上第三点。

2. 根据需要，继续创建圆；

3. 若要退出操作，请按 Esc 键或单击其他命令。

1.5 椭圆

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境中的功能区【草图】，进行下列操作之一：

✧ 单击选择【通过中心，主要半径，点确定椭圆形状】，在视图区域，第一次单击确定圆心，第二次单击确定长轴起点，第三次单击确定椭圆上一点。
✧ 单击选择【通过近拱点，远拱点和小半径创建椭圆】，在视图区域，第一次单击确定长轴起点，第二次单击确定长轴终点，第三次单击确定椭圆上一点。
✧ 单击选择【通过中心点、大半径和端点创建椭圆弧】，在视图区域，第一次单击确定椭圆中心，第二次单击确定任一轴起点，第三次单击确定椭圆弧的起始点，第四次单击确定椭圆弧的终点。

2. 根据需要，继续创建椭圆；

3. 若要退出操作，请按 Esc 键或单击其他命令。

1.6 B-样条

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境中的功能区【草图】进行下列操作之一：

✧ 单击选择【由控制点生成的 B 样条】，在视图区域，第一次单击确定起点，第二次单击确定样条曲线的第一个拐点，第三次单击确定第二个拐点，以此类推。
✧ 单击选择【周期 B 样条的控制点】，在视图区域，第一次单击确定起点，第二次单击确定样条曲线的第一个拐点，第三次单击确定第二个拐点，以此类推。

2. 在视图窗口，第一次单击确定起点，第二次单击确定样条曲线的第一个拐点，

第三次单击确定第二个拐点，以此类推；

3. 按 Esc 键退出当前样条的绘制。根据需要，继续创建样条曲线；

4. 若要退出操作，请按 Esc 键或单击其他命令。

1.7 折线

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境中的功能区【草图】>单击【折线】；

2. 在视图窗口，第一次单击确定起点，第二次单击确定第一条折线终点和第二条折线起点，第三次单击确定第二条折线终点和第三条折线起点；

3. 根据需要，继续创建折线；

4. 若要退出操作，请按 Esc 键或单击其他命令。

1.8 矩形

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境中的功能区【草图】>单击【矩形】；

2. 在视图窗口，第一次单击确定矩形起点，第二次单击确定矩形对角点；

3. 根据需要，继续创建矩形；

4. 若要退出操作，请按 Esc 键或单击其他命令。

1.9 多边形

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境中的功能区【草图】，进行下列操作之一：

- ✧ 单击选择【三角形】，在视图区域，第一次单击确定中心点，第二次单击确定一个角点。
- ✧ 单击选择【正方形】，在视图区域，第一次单击确定中心点，第二次单击确定一个角点。
- ✧ 单击选择【五边形】，在视图区域，第一次单击确定中心点，第二次单击确定一个角点。
- ✧ 单击选择【六边形】，在视图区域，第一次单击确定中心点，第二次单击确定一个角点。
- ✧ 单击选择【七边形】，在视图区域，第一次单击确定中心点，第二次单击确定一个角点。
- ✧ 单击选择【八边形】，在视图区域，第一次单击确定中心点，第二次单击确定一个角点。

2. 根据需要，继续创建多边形；

3. 若要退出操作，请按 Esc 键或单击其他命令。

1.10 圆槽

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境中的功能区【草图】>单击【圆槽】；

2. 在视图窗口，第一次单击确定圆槽中心点，第二次单击确定圆槽边点；

3. 根据需要，继续创建圆槽；

4. 若要退出操作，请按 Esc 键或单击其他命令。

1.11 圆角

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境中的功能区【草图】>单击【圆角】；

2. 在视图窗口，第一次单击选择圆角的一条边，第二次单击选择圆角的另一条边，

完成创建圆角；

3. 根据需要，继续创建圆角；

4. 若要退出操作，请按 Esc 键或单击其他命令。

1.12 修剪

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境中的功能区【草图】>单击【修剪】；

2. 在视图窗口，单击要修剪的目标，完成修剪；

3. 根据需要，继续修剪；

4. 若要退出操作，请按 Esc 键或单击其他命令；

1.13 切换辅助线

切换辅助线用于改变草图中几何的格式。草图几何的格式有两种：草图几何元素和辅助线。

草图几何元素用于构建轮廓，填充生成面或拉伸生成几何实体和曲面。

辅助线为构造辅助线，可用于定位，辅助草图几何的绘制。

通过以下两种途径可实现切换辅助线：

- ✧ 单击【切换辅助线】，创建草图元素，即为辅助线，线条颜色变为蓝色。
- ✧ 在视图操作区域选择要切换为辅助线的草图几何，单击【切换辅助线】，可将该几何元素转换为辅助线，线条颜色变为蓝色。

注意：【切换辅助线】命令单击一次，即更改一次几何元素的格式。

1.14 删除草图元素

在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境中的功能区【草图】任务状态下，选择以下操作方式的一种：

- ✧ 在【组合浏览器】>任务>元素>单击目标元素>按 delete 键删除。
- ✧ 在【组合浏览器】>任务>元素>右击目标元素>单击【删除】。
- ✧ 在视图区域，单击选择目标元素，按 delete 键删除。

2. 草图约束

草图约束用于控制几何元素的大小、位置和相互关系等。采用草图约束可以建立参数化草图，进而建立参数化的几何模型。

2.1 重合

图 45 重合约束

对多个点施加重合约束，使后面的点与第一个点重合。

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境中的功能区【草图】任务状态下，在视图区域，依次单击需要重合约束的多个点。

2. 在【草图约束】面板>单击【重合】，选择的所有点重合于第一个点的位置。

2.2 点线

图 46 点线约束

对点和线施加点线约束，将点固定在线上。

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草图】任务状态下，在视图区域，依次单击需要点线约束的点和线。

2. 在【草图约束】面板>单击【点线】。

2.3 竖直

图 47 竖直约束

对直线施加竖直约束，使直线保持竖直状态，平行于全局坐标系的 Y 轴。

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草图】任务状态下，在视图区域，依次单击需要竖直约束的直线。

2. 在【草图约束】面板>单击【竖直】。

2.4 水平

图 48 水平约束

对直线施加水平约束，使直线保持水平状态，平行于全局坐标系的 X 轴。

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草图】任务状态下，在视图区域，依次单击需要水平约束的直线。

2. 在【草图约束】面板>单击【水平】。

2.5 平行

图 49　平行约束

对两条直线施加平行约束，使对象保持平行。

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草图】任务状态下，在视图区域，依次单击需要平行约束的两条直线。

2. 在【草图约束】面板>单击【平行】。

2.6　垂直

图 50　垂直约束

对两条直线施加垂直约束，使对象保持垂直。

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草图】任务状态下，在视图区域，依次单击需要垂直约束的两条直线。

2. 在【草图约束】面板>单击【垂直】。

2.7　相切

图 51　相切约束

相切约束使两个对象保持相切状态（两条直线的相切为共线）。

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草图】任务状态下，在视图区域，依次单击需要相切约束的两条线。

2. 在【草图约束】面板>单击【相切】。

2.8 相等

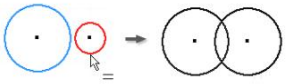


图 52 相等约束

相等约束使两个约束对象（相似几何图元）尺寸相等。

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草图】任务状态下，在视图区域，依次单击需要相等约束的两个图元。

2. 在【草图约束】面板>单击【相等】。

2.9 对称

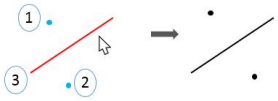


图 53 对称约束

对称约束使两个点对象相对于一条直线对称，或两点相对于一点对称，或一条直线相对于一点对称（点位于直线中点）。

1. 二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草图】任务状态下，对以下三种情况进行对称约束：

- ✧ 在视图区域，依次单击需要对称约束的两点和一条直线（对称线）；
- ✧ 在视图区域，依次单击需要对称约束的两点和一个点（对称点）；
- ✧ 在视图区域，依次单击需要对称约束的直线和一个点（对称点）；

2. 在【草图约束】面板>单击【对称】。

2.10 锁定

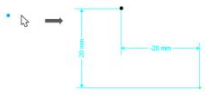


图 54　锁定约束

锁定全局坐标系原点外的任意顶点位置（增加一个距原点的水平距离约束和垂直距离约束）。

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草图】任务状态下，在视图区域，单击需要锁定约束的一点。

2. 在【草图约束】面板>单击【锁定】。

2.11 水平距离

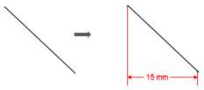


图 55　水平距离约束

约束两点之间的水平距离。

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草图】任务状态下，在视图区域，单击需要添加水平距离尺寸的直线或者两点。

2. 在【草图约束】面板>单击【水平距离】。

2.12 垂直距离

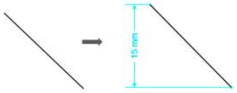


图 56　垂直距离约束

约束两点之间的垂直距离。

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草图】任务状态下，在视图区域，单击需要添加垂直距离尺寸的直线或者两点。

2. 在【草图约束】面板>单击【垂直距离】。

2.13 距离

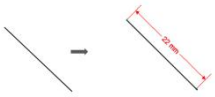


图 57　距离约束

约束直线长度或点到线的距离。

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草图】任务状态下，在视图区域，单击需要添加距离尺寸的直线或者两点。

2. 在【草图约束】面板>单击【距离】。

2.14 半径

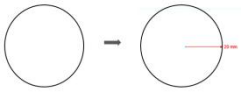


图 58　半径约束

约束圆或圆弧的半径大小。

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草图】任务状态下，在视图区域，单击需要添加半径尺寸的圆或弧。

2. 在【草图约束】面板>单击【半径】。

2.15 角度

图 59　角度约束

约束一条直线与全局坐标系 X 轴的角度，或两条直线的夹角，或一段圆弧的角度。

1. 二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草

图】任务状态下，对以下三种情况进行对称约束：

- ✧ 在视图区域，单击选择需要添加角度的一条直线；
- ✧ 在视图区域，单击选择需要约束夹角的两条直线；
- ✧ 在视图区域，单击选择需要约束角度的一段圆弧；

2. 在【草图约束】面板>单击【角度】。

2.16 编辑约束和尺寸

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草图】任务状态下，在视图区域，双击需要编辑的尺寸/约束。

2. 在弹出的对话框中输入更改的数值。

3. 草图工具

草图工具用于对已创建的草图几何进行编辑，如创建对称、复制、矩形阵列等。

3.1 创建对称

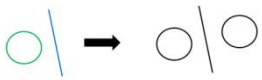


图 60 创建对称

选择已创建的草图几何，创建一个相对于指定直线或指定点对称的元素。

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草图】任务状态下，在视图区域，单击选择目标几何元素，再次单击选择对称直线或对称点。

2. 在【草图工具】面板>单击【创建对称】。

3.2 复制/克隆

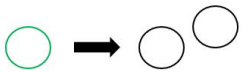


图 61 复制/克隆

复制或克隆已有草图元素。克隆时会在原草图图元和克隆图元之间添加相等约束。

1. 二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草图】任务状态下，在视图区域，单击选择目标几何图元。

2. 在【草图工具】面板>单击【复制】或【克隆】。

3. 在视图区域，单击放置复制图元。

3.3 矩形阵列

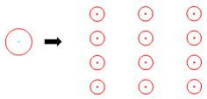


图 62 矩形阵列

基于已创建的草图元素复制创建矩形阵列。

1. 在二维建模环境的功能区【二维建模】>【创建轮廓】或三维建模环境的功能区【草图】任务状态下，在视图区域，单击选择目标几何元素。

2. 在【草图工具】面板>单击【矩形阵列】。

3. 在弹出的对话框，设置阵列行、列的数量。

4. 在视图区域，单击放置阵列图元。

注意：阵列的图元之间具备位置约束和尺寸约束关系。

3.4 外部几何体

外部几何体为三维建模中草图的投影功能，在草图上创建一条与草图外部几何体相关联的边。

外部几何体操作步骤：

1. 在草图编辑环境下，单击【外部几何体】；

2. 在视图区域内单击要投影的目标几何体的边界，即可完成当前对象的投影；

3. 若要继续投影其他边界，继续第 2 步操作；若要退出外部几何体操作，单击其他草图功能或按 Esc 键退出。

3.5 将几何体转换为 B 样条

将几何体转换为 B 样条为三维建模中草图的功能，将草图中由外部几何体投影得到的线转化为 B 样条曲线。

将几何体转换为 B 样条操作步骤：

1. 在草图编辑环境下，选择由外部几何体投影得到的线；

2. 单击【将几何体转换为 B 样条】；

3.6 正视草图

正视草图为三维建模中草图的功能，可以将草图视图回正到默认刚进入草图编辑界面状态。

正视草图操作步骤：

1. 在草图编辑环境下，单击【正视草图】即可回正草图视图。

3.7 切面视图

切面视图为三维建模中草图的功能，可以将草图编辑界面的外部几何体进行剖面显示，避免遮挡草图元素的显示。

切面视图操作步骤：

1. 在草图编辑环境下，单击【切面视图】即可对外部几何体进行剖面显示，避免遮挡草图中几何元素。

3.8 交换几何 ID

交换几何 ID 为三维建模中草图的功能，可以将草图中两个几何元素的 ID 号进行交换。

交换几何 ID 操作步骤：

1. 在草图编辑环境下，选择需要交换 ID 的两个几何元素；

2. 单击【交换几何 ID】即可将两元素的 ID 号交换，在左侧任务栏>元素>拓扑名可以查看 ID 号。

3.9 删除约束和尺寸

- ✧ 在二维【创建轮廓】或三维【草图】任务状态下，在视图区域，单击需要删除的约束或尺寸，按【delete】键删除。
- ✧ 在二维【创建轮廓】或三维【草图】任务状态下，在【组合浏览器】>【任务】面板>【约束】栏>单击目标约束>按【delete】键删除。
- ✧ 在二维【创建轮廓】或三维【草图】任务状态下，在【组合浏览器】>【任务】面板>【约束】栏>右击目标约束>单击【删除】选项。

（五） 几何图元

几何图元提供了一系列快速创建一维、二维和三维模型的基础几何图元工具，利用

几何图元工具可快速创建基础的几何模型，用户可以对这些几何图元进行布尔操作和其他几何操作，从而获得其他形状的几何实体。

二维建模环境中的图元目前仅提供矩形、圆形和椭圆三个工具。

三维建模环境中的几何图元工具包括点、直线、平面、立方体、圆柱体、球体、圆环、圆锥、棱柱、楔形、三维螺旋线、二维螺旋线、圆、椭圆、正多边形。

1. 二维建模中的几何图元

1.1 矩形

矩形用于快速创建矩形面。

1. 在功能区【二维建模】选项卡>单击【矩形】，视图区出现默认的矩形面;

2. 单击【组合浏览器】中管理树上创建的矩形节点，在下方【属性栏】面板中对矩形的长度和宽度进行编辑。

1.2 圆形

圆用于快速创建圆面。

1. 在功能区【二维建模】选项卡>单击【圆】，视图区出现默认的圆形面;

2. 单击【组合浏览器】中管理树上创建的圆节点，在下方【属性栏】面板对圆的半径、圆弧的起始角度和终止角度进行编辑。

1.3 椭圆

椭圆用于快速创建椭圆面。

1. 在功能区【二维建模】选项卡>单击【椭圆】，视图区出现默认的椭圆面;

2. 单击【组合浏览器】中管理树上创建的椭圆节点，在下方【属性栏】面板对椭圆的主半径、次半径进行编辑，设置椭圆弧的起始角度和终止角度。

2. 三维建模中的几何图元

2.1 点

点用于快速创建三维几何点。

点创建步骤：

1. 在【三维建模】>单击【点】，打开任务面板；

通过以下两种方式进行点的创建：

✧ 直接输入 X、Y、Z 三个方向坐标值；
✧ 拾取视图区中已经存在的一个几何点；

2. 任务面板单击【√】，完成点的创建。

注：绑定拾取的几何元素选项可以控制通过拾取几何点而创建的点是否与原几何点绑定。

2.2 边中点

边中点用于在几何边上快速创建点。

边中点创建步骤：

1. 在【三维建模】>单击【边中点】，打开任务面板；

2. 拾取视图区中已经存在的一条几何边；

3. 任务面板单击【√】，完成点的创建。

注：绑定拾取的几何元素选项可以控制通过拾取几何点而创建的点是否与原几何点绑定。

2.3 圆心

圆心用于快速创建几何圆周的圆心。

圆心创建步骤：

1. 在【三维建模】>单击【圆心】，打开任务面板；

2. 拾取视图区中已经存在的圆周边线；

3. 任务面板单击【√】，完成点的创建。

注：绑定拾取的几何元素选项可以控制通过拾取几何点而创建的点是否与原几何点绑定。

2.4 平面中心

平面中心用于快速创建几何平面中心点。

平面中心创建步骤：

1. 在【三维建模】>单击【平面中心】，打开任务面板；

2. 拾取视图区中已经存在的任意平面；

3. 任务面板单击【√】，完成点的创建。

注：绑定拾取的几何元素选项可以控制通过拾取几何点而创建的点是否与原几何点绑定。

2.5 直线

直线用于快速创建几何线。

点创建步骤：

1. 在【三维建模】>单击【直线】，打开任务面板；

通过以下两种方式进行直线的创建：

✧ 直接输入 X、Y、Z 三个方向坐标值；
✧ 拾取视图区中已经存在的一个几何点；

2. 任务面板单击【√】，完成点的创建。

注：“绑定拾取的几何元素”选项可以控制通过拾取几何点而创建的点是否与原几何点绑定。

2.6 平面

平面用于快速创建几何面。

平面创建步骤：

在【三维建模】>单击【平面】，打开任务面板；

通过以下七种方式进行平面的创建：

✧ X-Y 平面：输入平面长度和平面宽度，单击【√】，在原始坐标 X-Y 平面处创建了输入尺寸大小的三维面；
✧ Y-Z 平面：输入平面长度和平面宽度，单击【√】，在原始坐标 Y-Z 平面处创建了输入尺寸大小的三维面；
✧ Z-X 平面：输入平面长度和平面宽度，单击【√】，在原始坐标 Z-X 平面处创建了输入尺寸大小的三维面；
✧ 偏移平面：在视图区拾取要偏移的基准平面，选择偏移的方向（正向/反向），根据偏移方向输入偏移距离，最后输入偏移后的平面长度和宽度，单击【√】，在对应位置生成三维面；
✧ 平行通过点：在视图区选择偏移后平面通过的一点和平行的平面，输入偏移后的平面长度和宽度，单击【√】，在对应位置生成三维面；

✧ 通过三个点：在视图区选择三个点确定平面位置，输入平面长度和宽度，单击【√】，在对应位置生成三维面；

✧ 曲线的法线：在视图区拾取一条曲线，输入曲线参数（曲线整体长度为 1，曲线参数为大于 0 且小于 1 的长度比例值），输入平面长度和宽度，单击【√】，在对应位置生成三维面；

2.7 立方体

立方体用于快速创建三维实体立方体。

立方体创建步骤：

1. 在【三维建模】>单击【图元】>【立方体】，即可在全局坐标系原点创建一个边长为 0.01m 的立方体；

2. 单击【组合浏览器】的管理树上的立方体节点，在【属性】面板修改该立方体的长度、宽度和高度。

2.8 圆柱体

圆柱体用于快速创建三维实体圆柱体。

圆柱体创建步骤：

1. 在【三维建模】>单击【图元】>【圆柱体】，即可在全局坐标系原点创建一个半径为 0.002m、高度为 0.01m 的圆柱体；

2. 单击【组合浏览器】的管理树上的圆柱体节点，在【属性】面板修改该圆柱体的半径和高度。

2.9 球体

球体用于快速创建三维实体球体。

球体创建步骤：

1. 在【三维建模】>单击【图元】>【球体】，即可在全局坐标系原点创建一个半径为 0.005m 的球体；

2. 单击【组合浏览器】的管理树上的球体节点，在【属性】面板修改该球体的半径、角度等。

2.10 圆环

圆环用于快速创建三维实体圆环。

圆环创建步骤：

1. 在【三维建模】>单击【图元】>【圆环】，即可在全局坐标系原点创建一个半径为 0.002m、0.01m 的圆环；

2. 单击【组合浏览器】的管理树上的圆环节点，在【属性】面板修改该圆环的半径、角度等。

2.11 圆锥

圆锥用于快速创建三维实体圆锥。

圆锥创建步骤：

1. 在【三维建模】>单击【图元】>【圆锥】，即可在全局坐标系原点创建一个半径为 0.002m 和 0m、高度为 0.01m 的圆锥；

2. 单击【组合浏览器】的管理树上的圆锥节点，在【属性】面板修改该圆锥的半径、高度和角度等。

2.12 棱柱

棱柱用于快速创建三维实体棱柱。

棱柱创建步骤：

1. 在【三维建模】>单击【图元】>【棱柱】，即可在全局坐标系原点创建一个半径为 0.002m、高度为 0.01m 的 6 边形棱柱；

2. 单击【组合浏览器】的管理树上的棱柱节点，在【属性】面板修改该棱柱的半径、高度和边数等。

2.13 楔形

楔形用于快速创建三维楔形实体。

楔形创建步骤：

1. 在【三维建模】>单击【图元】>【楔形】，即可在全局坐标系原点创建一个楔形实体；

2. 单击【组合浏览器】的管理树上的楔形节点，在【属性】面板修改该楔形的尺寸参数等。

2.14 三维螺旋线

三维螺旋线用于快速创建三维螺旋线体。

三维螺旋线体创建步骤：

1. 在【三维建模】>单击【图元】>【三维螺旋线】，即可在全局坐标系原点创建一个三维螺旋线体；

2. 单击【组合浏览器】的管理树上的三维螺旋线节点，在【属性】面板修改该螺旋线的局部坐标系、螺距、高度、半径和角度等。

2.15 二维螺旋线

二维螺旋线用于快速创建二维螺旋线体。

二维螺旋线体创建步骤：

1. 在【三维建模】>单击【图元】>【二维螺旋线】，即可在全局坐标系原点创建一个二维螺旋线体；

2. 单击【组合浏览器】的管理树上的二维螺旋线节点，在【属性】面板修改该螺旋线的螺距、半径和转数等。

2.16 圆

圆用于快速创建圆形面。

圆创建步骤：

1. 在【三维建模】>单击【图元】>【圆】，即可在全局坐标系原点创建一个圆形面；

2. 单击【组合浏览器】的管理树上的圆节点，在【属性】面板修改该圆形面的半径和角度等。

2.17 椭圆

椭圆用于快速创建椭圆形面。

椭圆创建步骤：

1. 在【三维建模】>单击【图元】>【椭圆】，即可在全局坐标系原点创建一个椭圆形面；

2. 单击【组合浏览器】的管理树上的椭圆节点，在【属性】面板修改该椭圆形面的半径和角度等。

2.18 正多边形

正多边形用于快速创建正多边形面。

正多边形创建步骤：

1. 在【三维建模】>单击【图元】>【正多边形】，即可在全局坐标系原点创建一个正多边形面；

2. 单击【组合浏览器】的管理树上的正多边形节点，在【属性】面板修改该正多边形面的圆半径和边数等。

（六） 几何操作

几何操作提供了一系列对几何元素进行布尔运算和其他修改的工具，从而得到其他形状的几何实体，最终得到目标模型。

二维建模环境中提供的几何操作工具包括并集、差集、交集、分割、移动、转动、镜像、阵列、填充、组合等。

三维建模环境中提供的几何操作工具具体包括拉伸、旋转、放样、扫掠、组合体、倒角、圆角、并集、差集、交集、交叠、移动、转动、镜像、阵列、填充、生成线、空气域、分割、截面等。

1. 二维建模中的几何操作

1.1 并集

并集用于对面进行求并操作，生成新的面图元。

并集操作有 3 种操作方式：

✧ 第 1 种方式：

1. 在功能区【二维建模】选项卡>单击【并集】；

2. 在【组合浏览器】>【任务】面板>设置是否勾选“保留内部边界”；

✧ 默认不勾选，生成一个没有内部边界线的面图元；
✧ 勾选，生成一个含有多个面域的并集，可对每一个面域指定不同的材料和边界。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板>【形体】窗口内选择需要进行并集操作的各实体；

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

保留内部边界：勾选后进行并集运算，会保留几何实体面相交接的几何特征，二维模型中进行并集操作时保留内部边界，后续网格剖分时在交接边上网格会自动匹配。

✧ 第 2 种方式：

1. 在视图区 Ctrl 多选需要进行并集的面，单击功能区【二维建模】选项卡>【并集】;

2. 所选面对应的几何形成了并集，可在属性栏进行选项的修改；

✧ 第 3 种方式：

1. 在【组合浏览器】>模型树上 Ctrl 多选需要进行并集的几何节点，单击功能区【二维建模】选项卡>【并集】；

2. 所选几何节点形成了并集，可在属性栏进行选项的修改；

1.2 差集

差集用于对面进行求差操作，生成新的图元。

1. 在功能区【二维建模】选项卡>单击【差集】；

2. 在【组合浏览器】>【任务】面板>设置是否勾选“保留工具实体”；

✧ 默认不勾选，工具实体将在差集操作完成后删除；
✧ 勾选，工具实体将在差集操作完成后保留。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板>【源实体】窗口内选择需要进行差集操作的源实体；

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>【工具实体】窗口内选择需要进行差集操作

的工具实体；

5. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

1.3 交集

交集用于对面进行求交操作，生成新的图元。

交集操作有 3 种操作方式：

✧ 第 1 种方式：

1. 在功能区【二维建模】选项卡>单击【交集】；

2. 在【组合浏览器】>【任务】面板>【形体】窗口内选择需要进行交集操作的各实体；

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

注意：是否勾选“保留内部边界”对交集运算结果没有影响，此项不需要设置。

✧ 第 2 种方式：

1. 在视图区 Ctrl 多选需要进行交集的面，单击功能区【二维建模】选项卡>【交集】;

2. 所选面对应的几何形成了交集，可在属性栏进行选项的修改；

✧ 第 3 种方式：

1. 在【组合浏览器】>模型树上 Ctrl 多选需要进行交集的几何节点，单击功能区【二维建模】选项卡>【交集】；

2. 所选几何节点形成了交集，可在属性栏进行选项的修改；

1.4 分割

分割用于对面进行分割操作，生成新的图元。

1. 在功能区【二维建模】选项卡>单击【分割】；

2. 在【组合浏览器】>【任务】面板>设置是否勾选“输出单一结果”；

✧ 默认勾选，分割后的实体在模型树上形成一个节点；
✧ 不勾选，源实体被分割成几部分则模型树上挂载几个几何节点。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板>【源实体】窗口内选择需要进行分割操作的源实体；

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>【工具实体】窗口内选择需要进行分割操作的工具实体；

5. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

注意：是否勾选“保留内部边界”对分割运算结果没有影响，此项不需要设置。

在二维建模中，如果不勾选“输出单一结果”，则源实体被分割剩下的所有面都会生成单独的几何节点。

1.5 移动

移动已创建的几何面。

移动操作步骤：

1. 在视图区域选择目标几何图元或者选中【组合浏览器】>模型树上几何图元；

2. 功能区【二维建模】选项卡>单击【移动】，在任务面板输入“沿 x 轴平移量”和“沿 y 轴平移量”；

3. 单击【√】完成移动操作。

1.6 转动

平面内转动已创建的几何图元。

转动操作步骤：

1. 在视图区域选择目标几何图元或者选中【组合浏览器】>模型树上几何图元；

2. 功能区【二维建模】选项卡>单击【转动】，坐标输入旋转中心或者视图区选择旋转中心，输入旋转角度；

3. 单击【√】完成旋转操作。

1.7 镜像

镜像用于创建指定几何图元相对于指定直线的镜像体。

镜像操作步骤：

1. 在视图区域选择目标几何图元或者选中【组合浏览器】>模型树上几何图元；

2. 在功能区【二维建模】选项卡>单击【镜像】；

3. 在【组合浏览器】选项卡>【任务】面板，输入“原点的 x 坐标”、“原点的 y 坐标”、“沿 x 轴的方向”、“沿 y 轴的方向”，定义镜像对称轴；

4. 在【任务】面板，单击【√】。

1.8 阵列

阵列用于对指定的几何对象创建矩形阵列或环形阵列。

矩形阵列操作步骤：

1. 在视图区域选择目标几何图元或者选中【组合浏览器】>模型树上几何图元；

2. 在功能区【二维建模】选项卡>单击【阵列】；

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板，输入“沿 x 轴间隔”、 “沿 y 轴间隔”、 “沿 x 轴向数量”、“沿 y 轴向数量”，勾选“结果合并”选项；

4. 在【任务】面板，单击【√】。

环形阵列操作步骤：

1. 在视图区域选择目标几何图元或者选中【组合浏览器】>模型树上几何图元；

2. 在功能区【二维建模】选项卡>单击【阵列】；

3. 在【组合浏览器】选项卡>【任务】面板，勾选“环形阵列”，输入“角度”、 “数量”、 “原点的 x 坐标”、“原点的 y 坐标”， 勾选“结果合并”选项；

4. 在【任务】面板，单击【√】。

注意：勾选“结果合并”选项相当于对阵列得到的几何模型进行了并集操作。

1.9 填充

填充用于将草图闭合轮廓填充生成面。

填充操作步骤：

1. 在视图区域选择目标几何图元或者选中【组合浏览器】>模型树上几何图元；

2. 在功能区【二维建模】选项卡>单击【填充】。

注意：必须保证草图轮廓为闭合轮廓。

1.10 组合

组合体用于将多个几何面设置为一个组合体，网格剖分时，接触位置网格节点匹配。

组合体操作步骤：

1. 在视图区域，使用 ctrl+鼠标左键，依次单击选择目标面；

2. 在功能区【二维建模】选项卡>单击【组合体】。

注意：必须保证各几何实体没有相交或干涉，且在接触的几何边界上特征一致。

2. 三维建模中的几何操作

2.1 拉伸

拉伸用于对草图轮廓拉伸创建三维实体或曲面。

拉伸操作步骤：

1. 在视图区单击选择拉伸草图或在【组合浏览器】的模型树上单击选择拉伸草图；

2. 在【三维建模】>单击【拉伸】；

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板>设置拉伸方向、拉伸长度，选择是否创建实体；

- ✧ 拉伸方向有沿法向拉伸、沿边线拉伸和自定义拉伸方向三种方式，选择沿边方式时，需要选择拉伸路径；勾选反向拉伸可以调整当前拉伸方向为相反方向。
- ✧ 拉伸长度需要设置正向长度、反向长度两个方向的拉伸长度，勾选对称时，沿拉伸方向的正向和反向各拉伸一半长度。
- ✧ 勾选创建实体时，拉伸创建三维实体，此时若拉伸对象为草图，草图轮廓必须封闭；不勾选时，拉伸创建曲面（壳）。

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

2.2 旋转

旋转用于将二维形体绕轴旋转生成三维实体或曲面，对草图轮廓进行旋转操作。

旋转操作步骤：

1. 在视图区单击选择旋转草图或在【组合浏览器】的模型树上单击选择旋转草图；

2. 在【三维建模】>单击【旋转】；

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板>设置旋转轴，输入旋转角度，选择是否创建实体；

- ✧ 设置旋转轴有拾取旋转轴和自定义旋转轴两种方式。
- ✧ 勾选对称时，旋转对象将绕旋转轴逆时针、顺时针各旋转定义角度的一半。
- ✧ 勾选创建实体时，旋转创建三维实体，此时若旋转对象为草图，草图轮廓必须封闭；不勾选时，旋转创建曲面（壳）。

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

2.3 放样

放样用于将一个二维形体作为沿某条路径的剖面，生成一个复杂三维实体或曲面，同一条路径上可以在不同的段给予不同的二维形体，对草图轮廓进行放样操作。

放样操作步骤：

1. 在【三维建模】>单击【放样】；

2. 在【组合浏览器】>【任务】面板，依次将左侧列表中待放样的二维形体通过“→”移至右侧列表中，勾选或不勾选创建实体、直纹曲面；

- ✧ 勾选创建实体，放样创建三维实体；不勾选时，放样创建曲面（壳）。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

注意：列表框中间“→”、“←”、“↑”、“↓”四个箭头分别可以调整对象的右移、左移、上移和下移。

2.4 扫掠

扫掠用于将一个二维形体作为某条路径的剖面，生成一个三维实体或曲面，对草图轮廓进行扫掠操作。

扫掠操作步骤：

1. 在【三维建模】>单击【扫掠】；

2. 在【组合浏览器】>【任务】面板，选择扫掠截面和扫掠路径，勾选或不勾选创建实体、弗莱纳（Frenet）；

✧ 勾选创建实体，扫掠创建三维实体；不勾选时，扫掠创建曲面（壳）。
✧ 勾选弗莱纳（Frenet），扫掠表面为弗莱纳表面。

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

2.5 组合体

组合体用于将多个三维实体设置为一个组合体，网格剖分时，接触位置网格节点匹配。

组合体操作步骤：

1. 在视图区域，使用 ctrl+鼠标左键，依次单击选择目标体；

2. 在【三维建模】>单击【组合体】。

注意：必须保证各几何实体没有相交或干涉，且在接触的几何边界上特征一致。

2.6 倒角

倒角用于将三维实体的棱角处切削成一定角度的斜面。

倒角操作步骤：

1. 在【组合浏览器】的管理上单击节点选择需要做倒角的三维实体对象，或在视图区域单击选择需要做倒角的边对象或边所属面对象；

2. 在【三维建模】>单击【倒角】；

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板，选择倒角模型，设置倒角参数；

- ✧ 在选择模型下拉菜单中更换倒角对象：
- ✧ 在倒角参数>选择中切换边/面选择方式，当要对一个面上的多条边倒角时，可切换至选择面的方式，然后在视图区选择面对象；
- ✧ 在倒角参数>倒角类型切换固定长度倒角和可变长度倒角，在下方列表窗口中设置相应的倒角长度。

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

2.7 圆角

圆角用于将三维实体的棱角处切削成圆弧面。

圆角操作与倒角类似，具体操作步骤：

1. 在【组合浏览器】的管理上单击节点选择需要做圆角的三维实体对象，或在视图区域单击选择需要做圆角的边对象或边所属面对象；

2. 在【三维建模】>单击【圆角】；

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板，选择圆角模型，设置圆角参数；

- ✧ 在选择模型下拉菜单中更换圆角对象：
- ✧ 在圆角参数>选择中切换边/面选择方式，当要对一个面上的多条边切削圆角时，可切换至选择面的方式，然后在视图区选择面对象；
- ✧ 在圆角参数>圆角类型切换固定半径圆角和可变半径圆角，在下方列表窗口中设置相应的圆角半径。

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

2.8 并集

并集用于对体进行求并操作，生成一个新的体。

生成并集有两种操作方式：

✧ 第一种并集操作方式：

1. 在功能区【三维建模】选项卡>单击【并集】；

2. 在【组合浏览器】>【任务】面板>设置是否勾选“保留内部边界”；

✧ 默认不勾选，生成一个表面没有内部边界线的新的体；
✧ 勾选，保留图元表面的内部边界线对象，内部面对象不保留。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板>【源实体】列表框内勾选需要进行并集操作的各实体；

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

✧ 第二种并集操作方式：

1. 在视图区 Ctrl 多选几何对象或在【组合浏览器】的模型树上选择多个几何节点；

2. 在【三维建模】>单击【并集】；

2.9 差集

差集用于对体进行求差操作，生成新的体。

1. 在功能区【三维建模】选项卡>单击【差集】；

2. 在【组合浏览器】>【任务】面板>【源实体】窗口内选择需要进行差集操作的源实体；

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板>【工具实体】窗口内选择需要进行差集操作

的工具实体；

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

注意：是否勾选“保留内部边界”对差集运算结果没有影响，此项不需要设置。

2.10 交集

交集用于对体进行求交操作，生成新的体。

生成交集有两种操作方式：

✧ 第一种交集操作方式：

1. 在功能区【三维建模】选项卡>单击【交集】；

2. 在【组合浏览器】>【任务】面板>【源实体】列表框内选择需要进行交集操作的各实体；

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

注意：是否勾选“保留内部边界”对交集运算结果没有影响，此项不需要设置。

✧ 第二种交集操作方式：

1. 在视图区 Ctrl 多选几何对象或在【组合浏览器】的模型树上选择多个几何节点；

2. 在【三维建模】>单击【交集】；

2.11 交叠

交叠用于将多个体和体之间的重叠部分根据内部边界拆分成更多体。

生成交叠有两种操作方式：

✧ 第一种交叠操作方式：

1. 在功能区【三维建模】>单击【交叠】；

2. 在【组合浏览器】>【任务】面板>【源实体】列表框内勾选多个进行交叠操作的几何体；

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

注意：是否勾选“保留内部边界”对交叠运算结果没有影响，此项不需要设置。

勾选“输出单一结果”可以将交叠后的多个几何体归于一个几何节点下；不勾选“输出单一结果”则有几个交叠对象模型树上相应挂几个几何节点。

✧ 第二种交叠操作方式：

1. 在视图区 Ctrl 多选几何对象或在【组合浏览器】的模型树上选择多个几何节点；

2. 在【三维建模】>单击【交叠】；

2.12 移动

移动用于在三维空间内移动已创建的几何体。

移动操作步骤：

1. 在视图区单击选择目标体；

2. 在功能区【三维建模】>单击【移动】；

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板>输入“沿 x 轴平移量”、“沿 y 轴平移量”和“沿 z 轴平移量”；

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

2.13 转动

转动用于在三维空间内转动已创建的几何体。

转动操作步骤：

1. 在视图区单击选择目标体；

2. 在功能区【三维建模】>单击【转动】；

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板>选择旋转轴，或选择旋转轴中心、定义旋转轴方向，然后输入旋转角度；

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

2.14 镜像

镜像用于创建指定几何体相对于指定平面的镜像体。

镜像操作步骤：

1. 在视图区域，单击选择目标体；

2. 在功能区【三维建模】选项卡>单击【镜像】；

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板，选择镜像平面，输入“沿 x 轴偏移量”、“沿 y 轴偏移量”和“沿 z 轴偏移量”；

4. 在【任务】面板，单击【√】。

注意：当前版本的三维镜像功能的镜像平面仅支持全局笛卡尔坐标系的 XY 平面、YZ 平面、ZX 平面和这些平面的偏移平面。

2.15 阵列

阵列用于对指定的几何对象创建矩形阵列或环形阵列。

矩形阵列操作步骤：

1. 在视图区域，单击选择目标实体；

2. 在功能区【三维建模】>单击【阵列】；

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板，输入“沿 x 轴间隔”、“沿 y 轴间隔”、“沿 z 轴间隔”、“沿 x 轴向数量”、“沿 y 轴向数量”、“沿 z 轴向数量”；

4. 在【任务】面板，单击【√】。

环形阵列操作步骤：

1. 在视图区域，单击选择目标实体；

2. 在功能区【三维建模】>单击【阵列】；

3. 在【组合浏览器】选项卡>【任务】面板，勾选“环形阵列”，输入“角度”、“数量”、“原点的 x 坐标”、“原点的 y 坐标”、“原点的 z 坐标”、“沿 x 轴的方向”、“沿 y 轴的方向”、“沿 z 轴的方向”；

4. 在【任务】面板，单击【√】。

2.16 填充

填充与二维建模环境中的填充作用相同，将草图闭合轮廓填充生成面。

填充操作步骤：

1. 在视图区域，单击选择草图对象；

2. 在功能区【三维建模】选项卡>单击【填充】。

注意：必须保证草图轮廓为闭合轮廓。

2.17 偏移

偏移功能是对体进行编辑修改的一个功能。可以对选中的面体进行加厚，或对选中的实体进行扩大或缩小的工具。

偏移的操作步骤是：

1. 在视图区域通过单击选择，或【结构树浏览器】上单击节点选择，需要进行编辑的面体或实体。

2. 在【三维建模】命令面板上，单击处于“激活”状态的【偏移】命令。

3. 通过【任务面板】上有修改或应用默认给定的【偏移方式】和【偏移数值】，单击面板上的【确认】接受预显操作结果，完成操作；或点击【取消】拒绝结果，完成操作。

【偏移方式】有两种：

- 【圆角过渡】实现面面边相连处添加圆角过渡面的效果；
- 【直角过渡】不添加圆角过度面，保持面面边连接。

2.18 内部抽取

内部抽取功能是一个实体生成工具。通过对含有贯穿空洞的体提取内部边界生成内部空腔实体。

内部提取的操作步骤是：

1. 在视图区域通过单击选择，或【结构树浏览器】上单击节点选择，需要进行编辑的面体或实体。使【三维建模】命令面板上，【内部提取】命令处于“激活”状态。

2. 单击【内部提取】进入命令，显示【任务面板】，单击【外部面】列表框，在视图区域单击点选含有内环的实体表面，弹出自动识别处内环边的提示对话框，询问是否自动将内环边加入到【任务面板】的【分割边】列表框中。点击【是】添加；点击【否】，用户需要手动，单击【分隔边】列表框，手动从视图区点选拾取封闭内环边。

3. 如果在内环里还有其他的体对象，可选点击【任务面板】上的【内部对象】将

空洞内对象移除。

4. 完成定义对象指定后，单击【任务面板】顶端的【确认】接受预显操作结果，完成操作；或点击【取消】拒绝结果，完成操作。

2.19 生成线

生成线用于将草图轮廓生成线体，后续可进行梁单元剖分。

生成线操作步骤：

1. 在【组合浏览器】的管理树上单击节点选择草图对象，或在视图区域单击选择草图对象；

2. 在功能区【三维建模】选项卡>单击【生成线】；

注意：草图对象必须生成线才能进行梁单元剖分。

2.20 空气域

空气域用于快速创建模型的求解域，在创建电磁分析模型时提供。空气域形状提供立方体和球体。

空气域操作步骤：

1. 在视图区域，按住 Ctrl，鼠标左键单击选择需要创建空气域的几何体；

2. 在功能区【三维建模】>单击【空气域】；

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板>设置空气域类型和大小；

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

注：空气域仅允许创建一个，模型尺寸改变时通过“刷新”按钮更新空气域；

立方体和球体空气域都是基于全局坐标系下的模型包围盒创建的。

2.21 分割

分割功能是用一个参考平面或闭合的参考曲线将几何体分割形成多个新的体。

分割操作步骤：

1. 在功能区【三维建模】选项卡>单击【分割】；

2. 在【组合浏览器】>【任务】面板>设置是否勾选“输出单一结果”；

✧ 默认勾选，分割后的实体在模型树上形成一个节点；
✧ 不勾选，源实体被分割成几部分则模型树上挂载几个几何节点。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板>【源实体】窗口内选择需要进行分割操作的源实体；

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>【工具实体】窗口内选择需要进行分割操作的工具实体；

5. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

注意：是否勾选“保留内部边界”对分割运算结果没有影响，此项不需要设置。

2.22 截面

截面用于三维结构分析中壳、杆、梁单元的界面类型定义。截面类型包括壳、杆、圆形、环形、矩形、箱形、工型、L 型、T 型、U 型和通用截面。

“壳”用来定义三维壳体的截面；

“杆”用来定义杆单元截面；

其余截面类型均用来定义梁单元截面。

截面创建步骤：

1. 在功能区【三维建模】>单击【截面】，打开任务面板；

2. 输入名称，选择截面类型，根据对应的截面类型，输入对应的参数；

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【√】。

（七） 集合功能

集合功能用于对点、线、面、体创建几何组件，在指定材料、施加边界条件、荷载或后处理结果查看时可直接调用集合。集合功能包括集合、重合识别、路径和切面。

1. 集合

集合功能用于对点、边、面、体创建几何组件，在指定材料、施加边界条件、荷载或后处理结果查看时可直接调用集合。

集合操作步骤：

1. 在功能区【二维建模】/【三维建模】>单击【集合】；

2. 在【组合浏览器】>【任务】面板，“部件”下拉菜单中选择集合对象；

✧ 默认为点对象；
✧ 在二维建模中可选点、边、面对象；
✧ 在三维建模中可选点、边、面、体对象；

3. 在视图区域，单击选择目标几何实体；

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

注意：三维模型创建面集合时，拾取内部面时需要首先使用视图区工具栏>【隐藏面】功能将遮挡模型的外表面隐藏。

2. 重合识别

重合识别功能用于耦合分析中耦合边界的自动识别，识别出来的边界分别以集合的形式存储。

重合识别操作步骤：

1. 在功能区【二维建模】/【三维建模】>单击【重合识别】；

2. 在【组合浏览器】>【任务】面板，“几何类型”下拉菜单中选择识别面还是识别边（一般三维识别面，二维识别边）；“重合方式”选择完全重合还是包含重合，默认完全重合；“判断方法”选择普通包围盒还是有向包围盒，默认为普通包围盒；输入识别容差；

3. 在“识别主模型”区选择类型为普通几何还是“组合体”，勾选对应的几何对象；

4. 在“识别副模型”区选择类型为普通几何还是“组合体”，勾选对应的几何对象；

5. 在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【应用】，识别出的耦合边界将出现在“重合结果”列表框中，判断识别出的耦合边界是否与预期一致，可以通过调整“识别容差”或者修改“重合方式”或者修改“判断方法”来重新识别耦合边界；

6. 在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】，在【组合浏览器】>模型树【几何模型】>【对象】节点下生成“重合集合“和”重合集合 1“两个节点。

注意：生成的“重合集合“和”重合集合 1“可以通过双击节点打开任务面板进行对象的增加和删除。

（八） 测量功能

测量工具用于测量几何图元之间的距离或者角度。

具体功能包括：距离测量、角度测量、清除所有标注、切换所有标注、切换直接标注、切换间接标注。

1. 距离测量

距离测量用于测量两个图元（点、线、面）之间的最近距离、水平距离和垂直距离。

距离测量操作步骤：

1. 在功能区【二维建模】/【三维建模】>单击【线性测量】；

2. 在视图区域，单击选择第一个几何图元；

3. 在视图区域，单击选择第二个几何图元，视图窗口将出现测量尺寸。

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【取消】，关闭窗口。

2. 角度测量

角度测量用于测量两条直线之间或两个平面之间的夹角。

角度测量操作步骤：

1. 在功能区【二维建模】/【三维建模】>单击【角度测量】；

2. 在视图区域，单击选择第一条直线或第一个平面；

3. 在视图区域，单击选择第二条直线或第二个平面；

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>单击【取消】，关闭窗口。

3. 清除所有标注

清楚所有标注用于清除所有已经标注的测量尺寸。

单击【清除所有标注】图标即可实现该操作。

第五章　材料和材料库

Simdroid 的材料模块用于定义分析模型所需的材料模型，并将材料赋予相应的几何对象。材料模块具有默认材料库，可从材料库中直接选择材料添加到仿真模型中，同时支持用户自定义材料。

（一）　创建材料

创建材料用于新建一个材料，给材料赋予相应的属性。

图 63　创建材料设置面板

材料可以由多个属性构成。如一个用于热分析的材料，其属性可以由密度、导热系

数和比热容等多种参数组成。

创建材料的步骤如下：

1. 单击【材料属性】选项卡>单击【创建材料】。

2. 在【任务】面板>【标签】栏输入框可以自定义所创建材料名称。

3. 在【任务】面板>【属性】栏，可以单击展开各项材料属性如基本属性、电磁属性等，展开至所需属性，双击属性名称，即可将属性添加至材料，此时【参数】栏显示所选材料属性。

4. 在【任务】面板>【参数】栏，各材料属性可以展开，属性下拉列表选择【常值】，可以对该属性直接赋值或修改；属性下拉列表选择【温度相关】，可以单击【编辑】按钮添加材料属性随温度变化曲线。注意此处仅可修改材料属性值，无法进行材料参数绑定，绑定操作需参见 6。

5 属性添加完毕后，单击【√】。

6. 在【结构树浏览器】>【模型】>【材料属性】栏下，单击选中所添加材料名称，在下方【属性】栏内可以输入参数数据或绑定已定义参数完成材料参数设置。

选项说明：

【标签】：定义材料的名称，材料名称不可相同。

【属性】：为材料的属性参数，所有属性的单位为国际单位制。用于根据分析类型，选择合适的材料属性。可以添加的材料属性有：基本属性、电磁属性、固体属性、流体属性及热属性。

【参数】：显示材料已经添加的属性。用户可根据此列表判断所需参数是否已添加完整。各材料属性所对应单位在此处展示。可以在该处进行材料属性值的修改以及温度相关性设置。

注意：

1. 若材料的属性添加存在问题，可以在【结构树浏览器】>【模型】>【材料属性】目录下双击材料名称，重新打开创建材料对话框进行属性的添加。

2. 在【结构树浏览器】>【模型】>【材料属性】目录下右击材料名称，出现【导出】、【抑制】、【删除】、【重命名】选项，可进行相对应操作。

3. 材料的导出：在【结构树浏览器】>【模型】>【材料属性】目录下右击材料名称>单击【导出】，选择目标路径，可导出材料文件，格式为“.xml”。

4. 材料参数绑定仅能在【结构树浏览器】>【模型】>【材料属性】目录下，选中材料名称，在下方【属性】窗口进行绑定。在【结构树浏览器】>【任务】>【参数】栏下仅能修改材料属性值不能进行参数绑定。

（二） 从库添加

Simdroid 内置 Simdroid 常用材料库，内含多种常用材料，可以用于常用材料的添加。

图 64　从库添加设置面板

从材料库添加材料步骤如下：

1. 单击【材料属性】选项卡>单击【从库添加】。

2. 在【组合浏览器】>【任务】面板，【选择材料】下拉列表默认选择为“Simdroid常用材料库”。在【材料列表】框内可以单击展开各类材料，单击选中所需材料名称，下方【参数】框内显示对应各项材料属性及其默认设定值。

3. 选中所需材料后单击右下方【使用此材料】，在下方【已选择】中会出现此材

料，单击【√】即可将材料由材料库导入。

4. 在【组合浏览器】>【任务】>【材料属性】栏，双击所导入材料名称，即可进行材料属性编辑界面，各项操作同【创建材料】。需要在【目标】栏拾取所需赋予的几何体完成【从库添加】操作。

注意：

1. 选中材料后需单击【使用此材料】以完成材料添加；【已选择】中可以右键点击此材料删除。

3. 从库添加的材料同样支持在【模型】>【材料属性】>材料名下进行各项参数的修改。

（三） 导入材料

导入材料用于将预先定义或由其他项目导出的“.xml”格式材料文件导入当前项目。

图 65　导入材料设置面板

操作步骤如下：

1. 单击【材料属性】选项卡>单击【导入材料】。

2. 单击文件栏【浏览】，选择所需“.xml”格式材料文件，选择【打开】进行导入。

3. 单击【√】完成材料导入。

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>【材料属性】栏>双击所导入材料名称，即可进行材料属性编辑界面，各项操作同【创建材料】。需要在【目标】栏拾取所需赋予的几何体以完成完整的【导入材料】操作。

注意：

1. 导入材料文件需为“.xml”格式，可以由其他项目材料导出得到。

2. 导入材料后需要拾取所需赋予材料的几何体以完成完整材料操作过程。

（四） 材料库

材料库功能用于对材料库进行维护操作，包括导入材料库、导出材料库、新建材料库等功能。

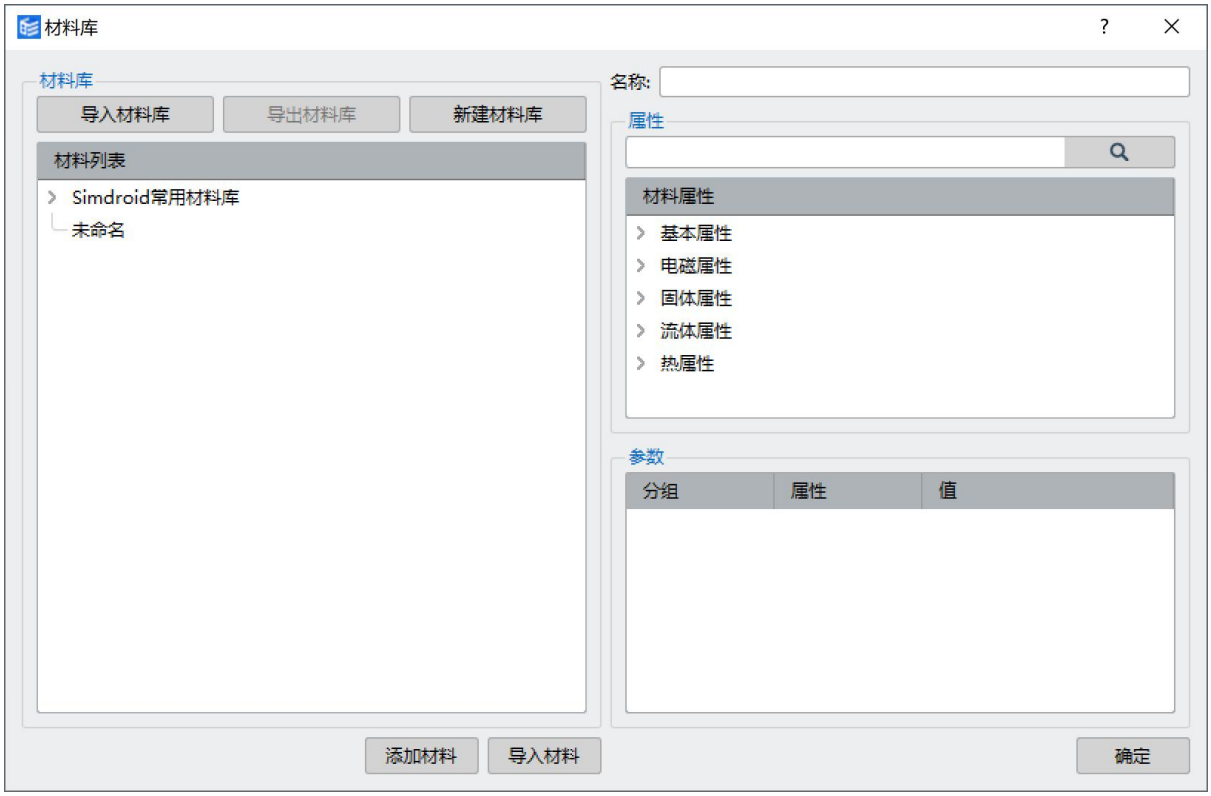


图 66 材料库设置面板

材料库存储于以材料库名称命名的本地文件夹中，材料库中每一种材料均以该材料名称命名的 xml 文件格式存储于该文件夹下。默认“Simdroid 常用材料库”不可进行导入导出与添加材料以及修改数值操作，仅可以进行查看。

1. 导入材料库

单击【导入材料库】，在弹出窗口中选中本地材料库文件夹，单击【选择文件夹】，即可将本地材料库导入当前项目。

单击所导入材料库名称对应展开按钮，可以展开查看该材料库所包含材料。选中任意材料，可以在右侧【属性】栏选择所需添加的材料属性双击添加至该材料，也可以在【参数】栏对特定材料属性进行数值修改，或者右键该属性名称删除该属性，操作同【创建材料部分】。

选中所导入材料库名称，单击下方【添加材料】按钮可以在该材料库内新建材料。可以在右侧【名称】栏修改该新建材料名称，在【属性】栏选择添加材料属性，在参数栏修改对应材料属性值。

选中所导入材料库名称，单击下方【导入材料】按钮可以将本地“.xml”格式材料文件添加至当前材料库内。

单击右下角【确定】可以完成材料库的修改维护。

2. 导出材料库

选中除“Simdroid 常用材料库”以外的材料库名称，单击【导出材料库】按钮，可以将该材料库以文件夹形式导出存储在本地以备其他项目使用。

3. 新建材料库

单击【新建材料库】按钮可以在【材料列表】中创建新材料库，可以在右侧【名称】栏进行新建材料库的命名。

选中该新建材料库，可以单击【添加材料】或【导入材料】按钮将新建材料添加至该新建材料库内，相关操作可以参见“导入材料库”部分。

（五） 材料曲线拟合

本章节用来介绍针对各种超弹性材料试验曲线的参数拟合功能。

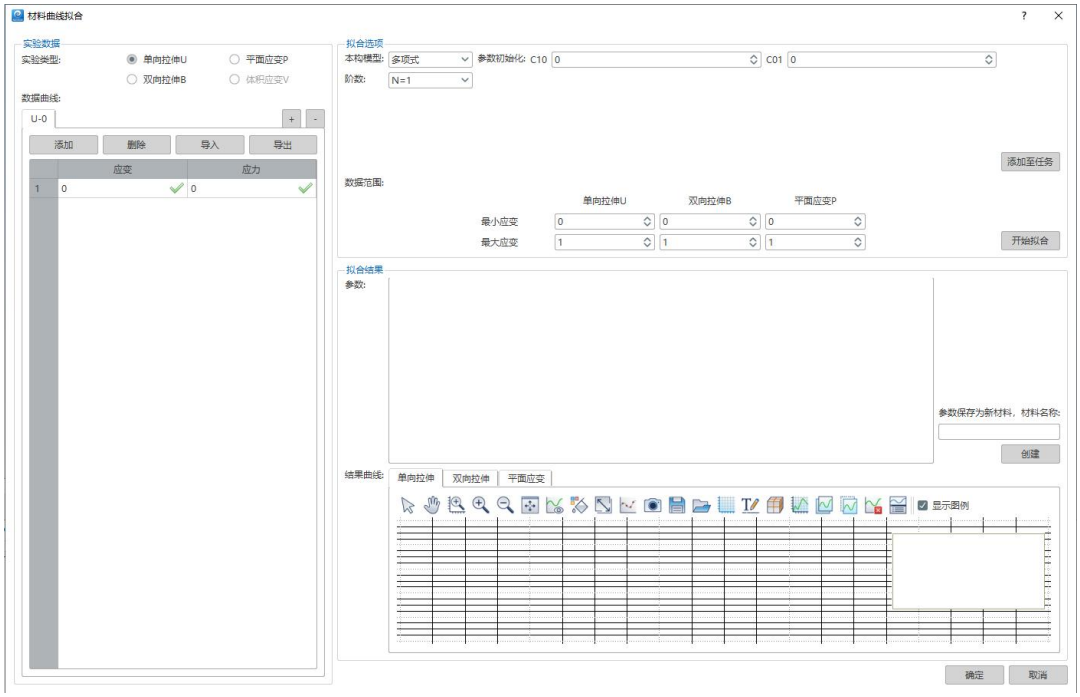


图 67 材料曲线拟合设置面板

曲线拟合的操作步骤如下：

1. 在实验数据区域，选择实验类型，在列表中填入相应的一条或多条曲线数据；

2. 在拟合选项区域，选择本构模型，再选择所需的拟合阶数；

3. 在参数初始化区域，设置合适的拟合参数初始值；点击“添加至任务”按钮，将初值填到下方“拟合结果-参数”的参数展示区域。

4. 修改需要拟合的参数范围。拟合程序将在设定的范围内，通过最小二乘法找到最合适的参数组合。

5. 点击“开始拟合”按钮，等待拟合程序运行结束，并在“拟合结果-参数”区域展示拟合出的本构参数。在“拟合结果-结果曲线”区域，可以查看相应的拟合结果曲

线和实验数据点曲线。

6. 如果拟合结果满足要求，可以把当前结果（“拟合结果-参数”面板当前所展示的结果）保存为对应本构的材料模型，用户可以自定义该材料的名称，点击“创建”按钮即可完成材料生成。

注意：

1. 支持用户输入拟合所需的 3 种类型实验数据：单向测试（Uniaxial Tensile，简称 U）、平面测试（Planner Strain，简称 P）、双向测试（Biaxial Stretching，简称 B）。输入的应变数据为工程应变，即伸长量\压缩量除以变形原始长度；应力数据为工程应力，即截面力除以原始截面积。

图 68　支持 3 种实验类型的数据输入

2. 在同一种实验类型下，用户可通过点击右侧的“+”号输入多条数据曲线，以满足重复多次实验的数据需求；多条曲线的数据将会以散点的方式合并起来进行拟合。

图 69　支持同种实验类型多条数据的输入

3. 初始化的参数值，会影响拟合是否成功。当拟合结果中出现“nan”数值错误时，可考虑修改参数初始值重新拟合。

4. 支持用户同时拟合多种阶数和多种材料本构，每一种“本构+阶数”将作为一个拟合任务被添加到面板中。拟合完成后，不同任务的结果将同时展示在“拟合结果-参数”和“拟合结果-结果曲线”区域。

（六） 材料本构说明

本章节用来介绍各物理场分析可支持的材料本构。

图 70 材料属性面板

1. 基本属性

1.1 密度

密度用来定义材料的密度属性，一般需要配合其他材料本构使用。

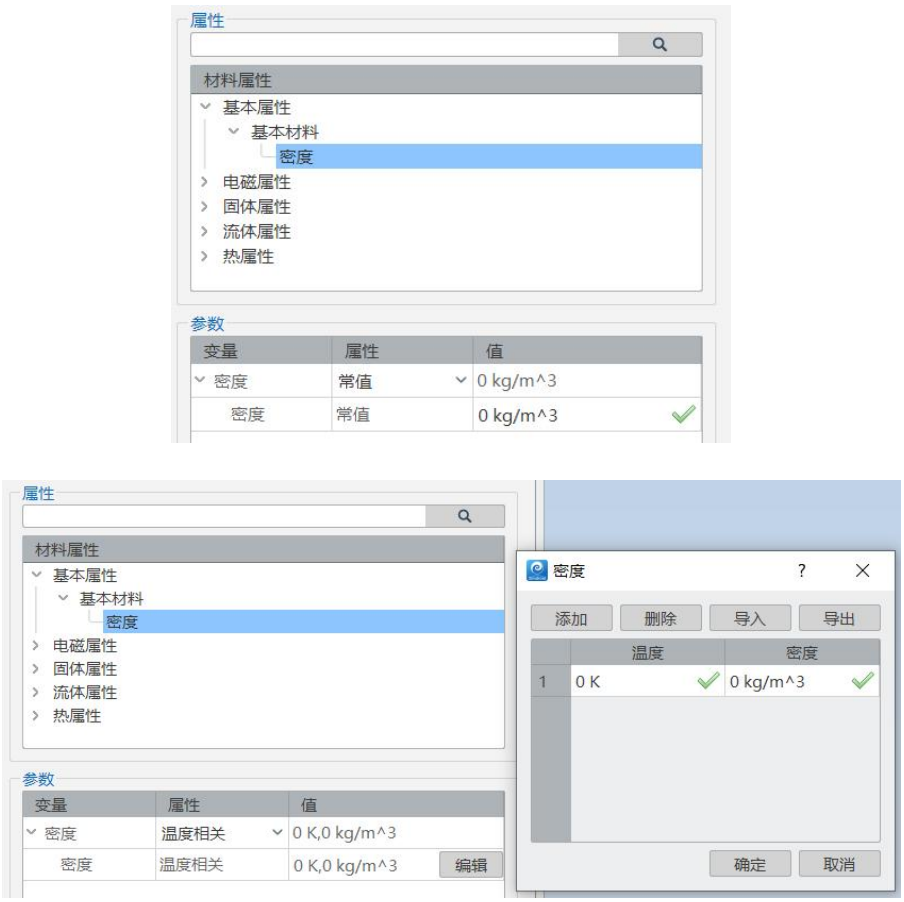


图 71 密度参数（上：常值；下：温度相关）

参数说明：

属性：包括“常值”和“温度相关”两种类型。当选择“温度相关”时，用户需要输入“温度”与“密度”的相关数据。

注意：密度的取值范围为>=0。如果用户输入了不在允许范围内的数据，点“√”时会弹出警告提醒。

2. 固体属性

本小节主要介绍隐式结构分析所支持的材料本构。

2.1 线弹性

2.1.1 各向同性(通用)

各向同性材料的线弹性性质完全由杨氏模量和泊松比确定，剪切模量可由杨氏模量和泊松比表示。

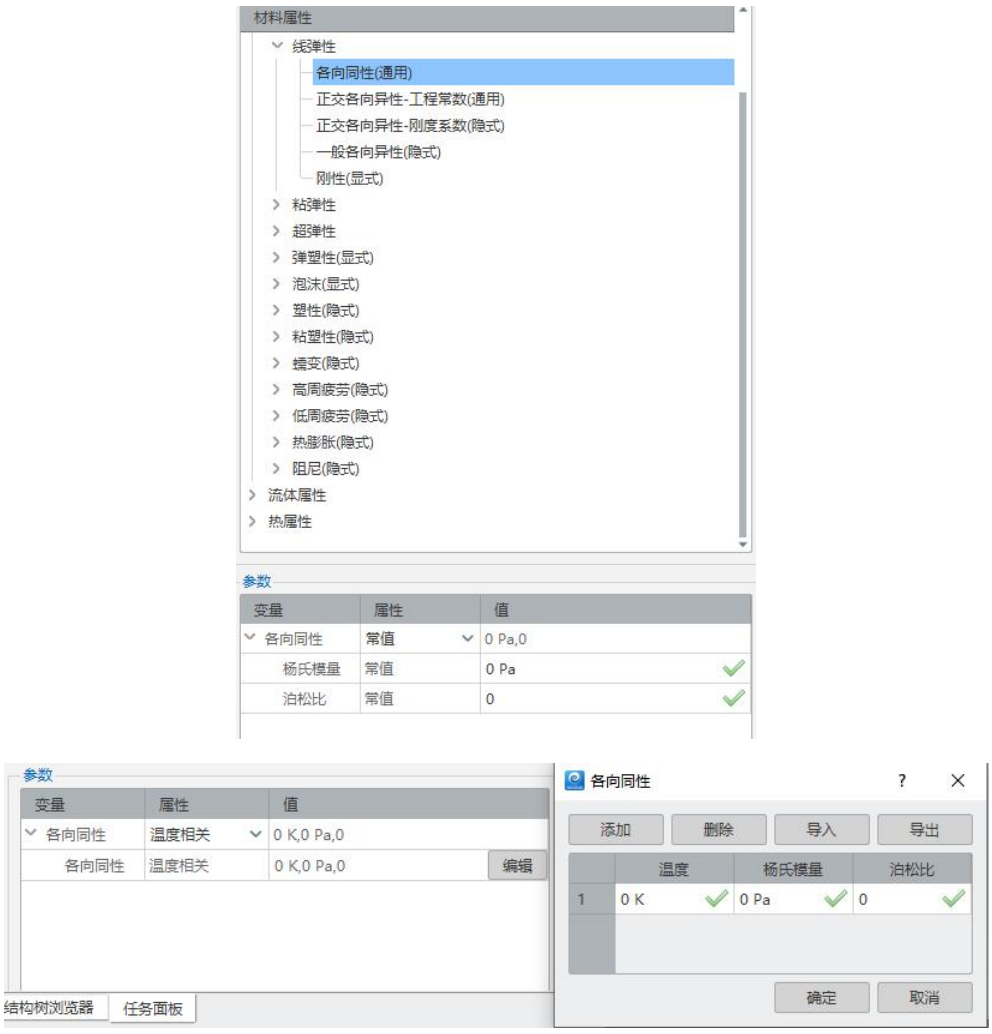


图 72　各向同性线弹性参数（上：常值；下：温度相关）

参数说明：

属性：包括“常值”和“温度相关”两种类型。当选择“温度相关”时，用户需要输入“温度”、“杨氏模量”和“泊松比”的相关数据。通过“添加”和“删除”命令可添加或删除行数。

注意：泊松比的取值范围为(-1, 0.5]。如果用户输入了不在允许范围内的数据，点“√”时会弹出警告提醒。

2.1.2　正交各向异性-工程常数（通用）

正交各向异性材料的线弹性性质可以通过 9 个独立的工程常数确定，其中包括 3 个方向的杨氏模量 E_x、E_y 和 E_z，3 个泊松比 v_{xy}、v_{xz} 和 v_{yz}，和 3 个剪切模量 G_{xy}、G_{xz} 和 G_{yz}。

图 73　正交各向异性线弹性参数（上：常值；下：温度相关）

参数说明：

属性：包括“常值”和“温度相关”两种类型。当选择“温度相关”时，用户需要输入“温度”、“杨氏模量”、“泊松比”和“剪切模量”的相关数据。通过“添加”和“删除”命令，可添加或删除行数。

注意：一般来说，$v_{ij} \neq v_{ji}$，但是，$v_{ij}/E_i = v_{ji}/E_j$。杨氏模量、剪切模量的取值范围为>0，泊松比的取值范围为$(-1, 0.5]$。如果用户输入了不在允许范围内的数据，点“√”时会弹出警告提醒。

2.1.3　正交各向同性-刚度系数(通用)

正交各向异性材料的线弹性性质可以通过 9 个独立的弹性刚度常数确定，包括 D1111、D1122、D2222、D1133、D2233、D3333、D1212、D1313、D2323。

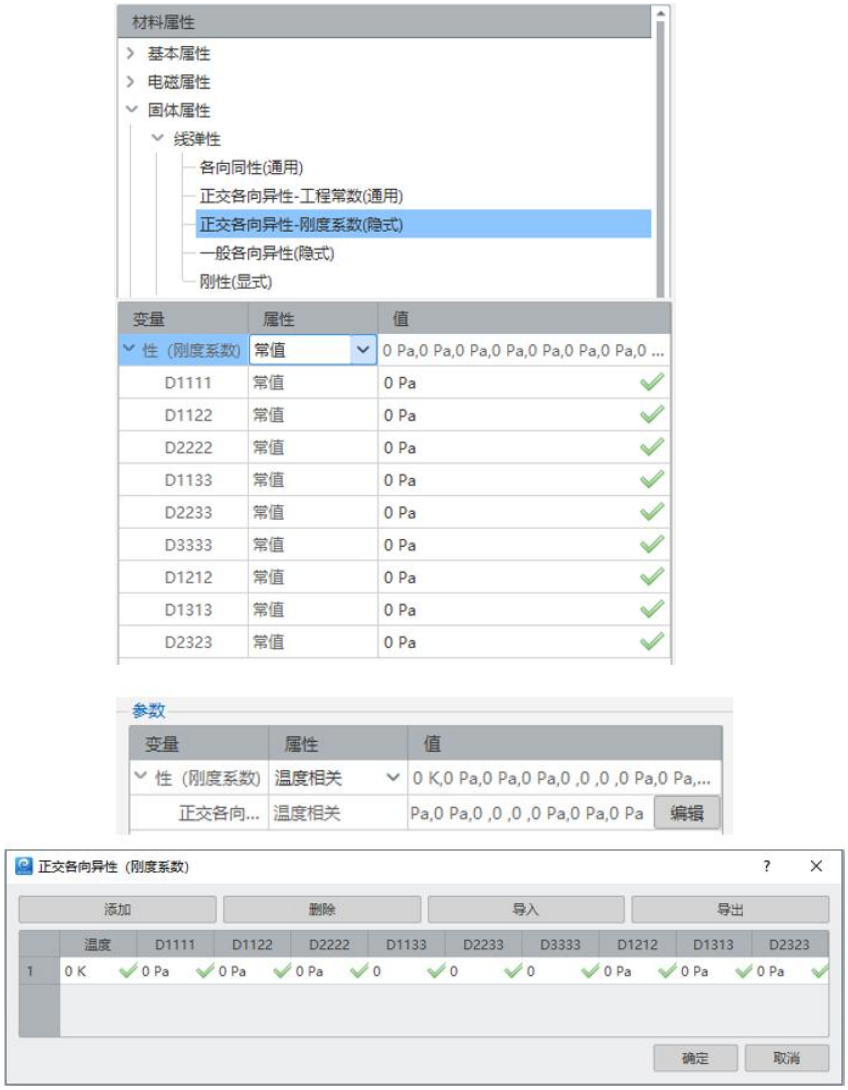


图 74　正交各向异性线弹性参数（上：常值；下：温度相关）

参数说明：

属性：包括“常值”和“温度相关”两种类型。当选择“温度相关”时，用户需要输入“温度”、和 9 个弹性刚度常数的相关数据。

2.1.4　一般各向同性(隐式)

一般各项异性材料的线弹性性子由 21 个弹性刚度系数确定，包括 D1111、D1122、D2222、D1133、D2233、D3333、D1112、D2212、D3312、D1212、D1123、D2223、D3323、D1223、D2323、D1131、D2231、D3331、D1231、D2331、D3131。

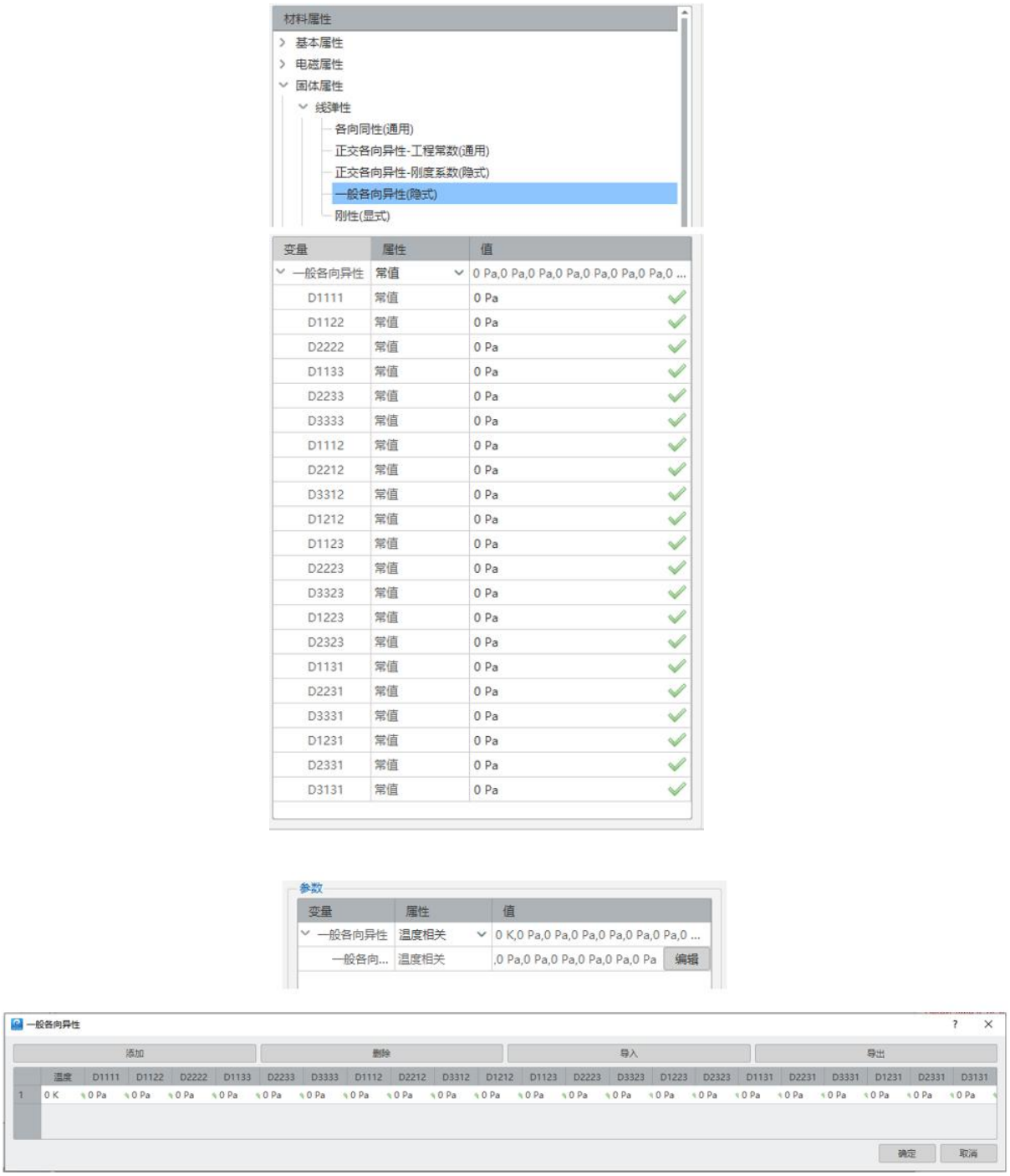


图 75　一般个性异性线弹性常数（上：常值；下：温度相关）

参数说明：

属性：包括“常值”和“温度相关”两种类型。当选择“温度相关”时，用户需要输入“温度”与 21 个弹性刚度常数的相关数据。

2.1.5 刚性(显式)

材料在分析过程中不发生变形，但仍需定义弹性模量E及泊松比v对接触力进行计算。

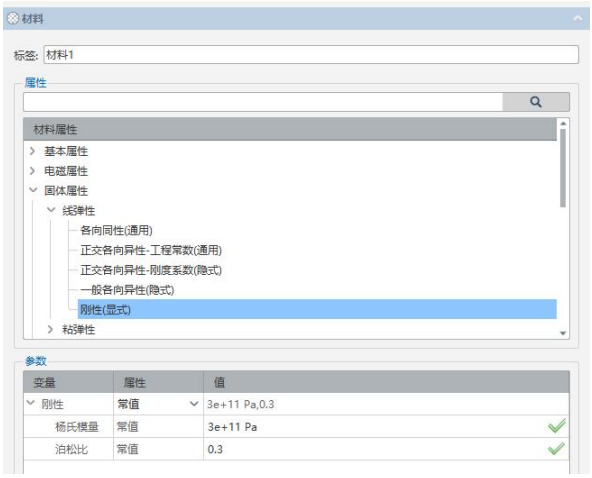


图 76　刚性材料定义参数

参数说明：

属性：只有“常值”一种类型。用户需要定义弹性模量和泊松比，用于接触刚度的定义。

注意：杨氏模量的取值范围为>0，泊松比的取值范围为$(-1, 0.5)$。如果用户输入了不在允许范围内的数据，点“√”时会弹出警告提醒。

2.2 粘弹性

2.2.1 Prony 级数(隐式)

粘弹性材料由无量纲松弛模量的 Prony 级数定义，包括剪切松弛模量系数、体积松弛模量系数和时间周期。只考虑几何线性、时域和温度无关情况。

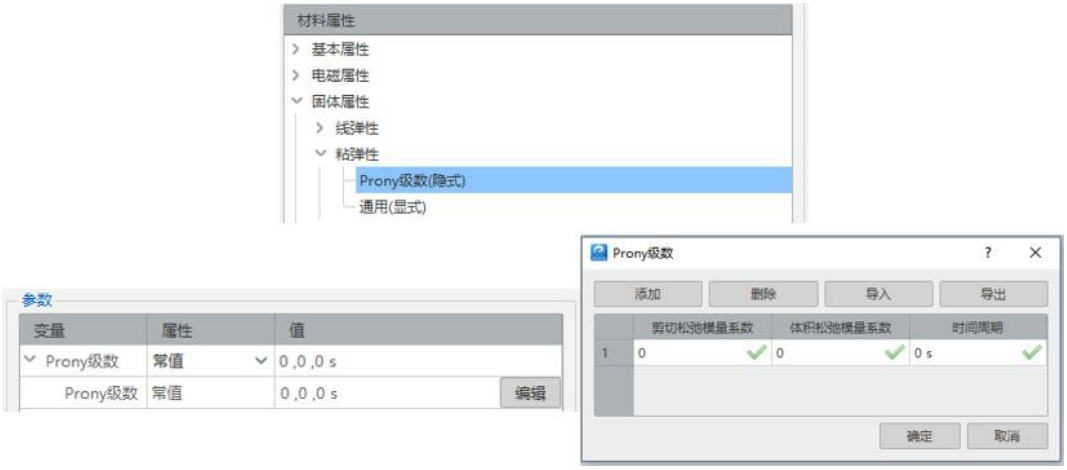


图 77　粘弹性本构：Prony 级数

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“剪切松弛模量系数”、“体积松弛模量系数”和“时间周期”的相关数据。

2.2.2　通用（显式）

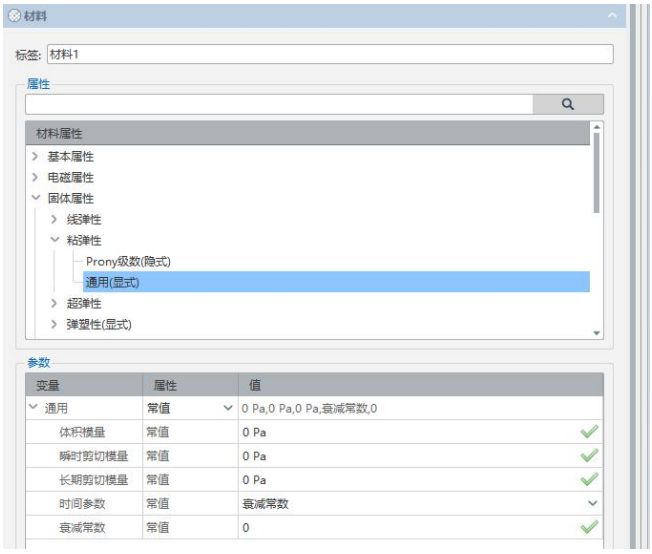


图 78　粘弹性材料通用参数

参数说明：

粘弹性材料的偏应力可以写为

$$s_{ij} = 2\int_0^t G(t-\tau)\dot{e}_{ij}d\tau$$

其中，剪切松弛函数为

$$G(t) = G_\infty + (G_0 - G_\infty)e^{-\beta t}$$

$\dot{e}_{ij}$是偏应变率，G_0和G_∞分别是瞬时剪切模量和长期剪切模量。

粘弹性材料的体积响应是弹性的，因此压力的计算公式为

$$p = -K\varepsilon_v$$

其中，K 是弹性体积模量，ε_v是体积应变。

属性：只有“常值”一种类型。其中“时间参数”可选“衰减常数”或“松弛时间”，分别输入衰减常数或松弛时间。

注意：体积模量、瞬时剪切模量、长期剪切模量的取值范围均为>0。松弛时间的取值范围为>=0。如果用户输入了不在允许范围内的数据，点“√”时会弹出警告提醒。

2.3 超弹性

2.3.1 Mooney-Rivlin(通用)

通过定义参数C_{10}, C_{01}, 及D_1来模拟橡胶材料。

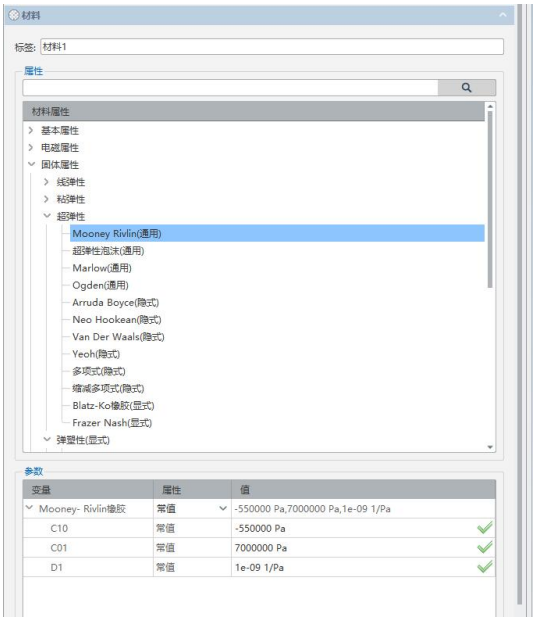


图 79　Mooney-Rivlin 橡胶的参数设定

参数说明：

Mooney-Rivlin 的势函数为：

$$U = C_{10}(\bar{I}_1 - 3) + C_{01}(\bar{I}_2 - 3) + \frac{1}{D_1}(J-1)^2$$

属性：只有“常值”一种类型。

注意：D_1取值范围均为>0。如果用户输入了不在允许范围内的数据，点“√”时会弹出警告提醒。当$C_{01} = 0$ 时，简化为 Neo-Hookean 模型。

2.3.2　超弹性泡沫(通用)

与一般的超弹性本构不同，超弹性泡沫（HyperFoam）模型为高可压缩性的材料模型，用于泡沫材料的仿真。

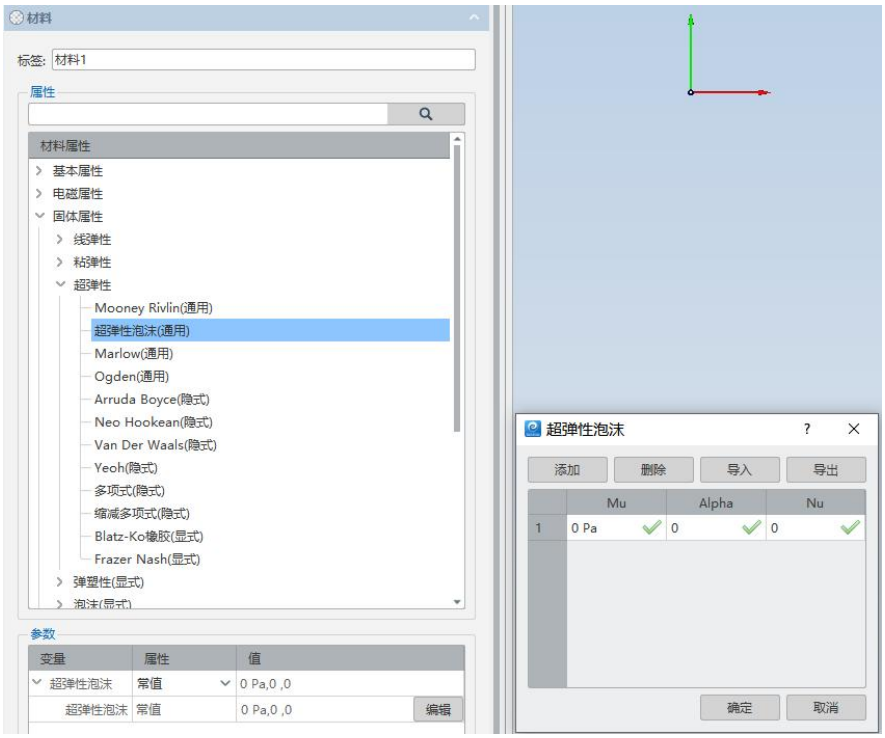


图 80　超弹性泡沫的参数设定

参数说明：

Hyperfoam 为 Ogden 材料的可压缩扩展，其势函数为：

$$U=\sum_{i=1}^{N} J^{\frac{\alpha_i}{3}}\frac{2\hat{\mu}_i}{\alpha_i^2}(\bar{\lambda}_1^{\alpha_i}+\bar{\lambda}_2^{\alpha_i}+\bar{\lambda}_3^{\alpha_i}-3)+\sum_{i=1}^{N}\frac{2\hat{\mu}_i}{\alpha_i^2}[3(J^{\frac{\alpha_i}{3}}-1)+\frac{1}{\beta_i}(J^{-\alpha_i\beta_i}-1)]$$

属性：只有“常值”一种类型，但需要用户点击“编辑”以输入参数μ、α、ν。通过“添加”和“删除”命令，可添加或删除行数。

注意：μ取值范围为>0。如果用户输入了不在允许范围内的数据，点“√”时会弹出警告提醒。三个数组大小一致。

2.3.3 Marlow(通用)

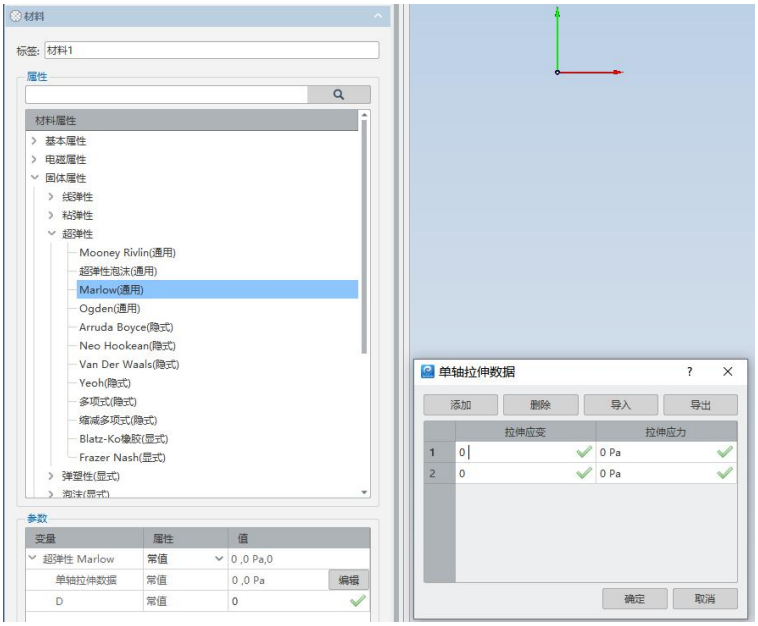


图 81　Marlow 的参数设定

参数说明：

属性：只有“常值”一种类型，但需要用户点击“编辑”以定义单轴拉伸数据：“拉伸应变”和“拉伸应力”。通过“添加”和“删除”命令，可添加或删除行数。

注意：拉伸应变和拉伸应力取值范围为>=0，且数据点数量>=2。

2.3.4 Ogden(通用)

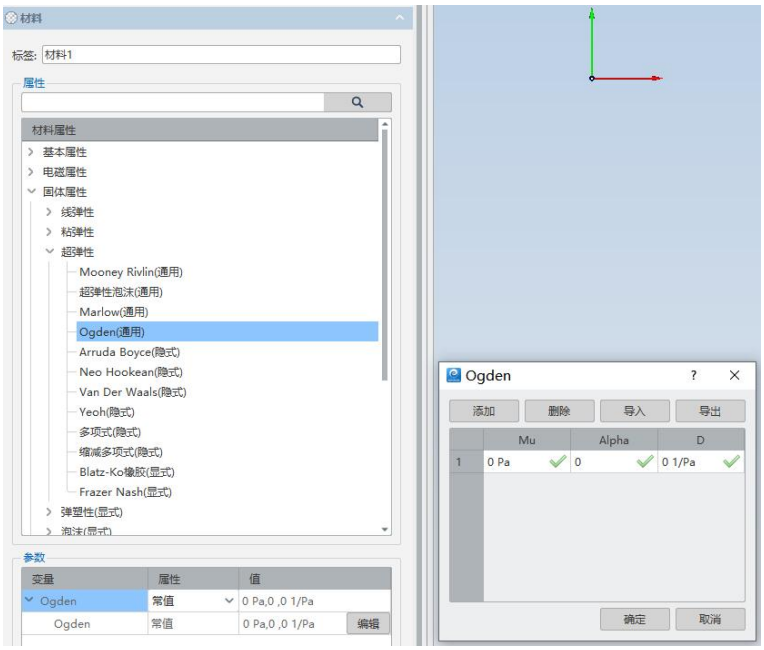


图 82　Ogden 的参数设定

参数说明：

Ogden 本构的势函数写为 B 的特征值λ_i的函数，λ_i也被称为主拉伸率，表达式为：

$$U=\sum_{i=1}^{N}\frac{2\hat{\mu}_i}{\alpha_i^2}(\bar{\lambda}_1^{\alpha_i}+\bar{\lambda}_2^{\alpha_i}+\bar{\lambda}_3^{\alpha_i}-3)+\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{D_i}(J-1)^{2i}$$

其中：

$$\bar{\lambda}_i=J^{-\frac{1}{3}}\lambda_i$$

$$\bar{\lambda}_1\bar{\lambda}_2\bar{\lambda}_3=1$$

属性：只有“常值”一种类型，但需要用户点击“编辑”以定义参数μ、α、D。通过“添加”和“删除”命令，可添加或删除行数。

注意：三个数组大小一致。

2.3.5 Arruda-Boyce(隐式)

Arruda-Boyce 超弹性本构关系有 3 个常数，分别是初始剪切模量 Mu、极限网络伸长 Lamda_m 和材料不可压缩参数 D。

图 83 **超弹性本构：**Arruda-Boyce

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“初始剪切模量”、“极限网络伸长”和“材料不可压缩参数”的相关数据。

2.3.6 Neo Hookean(隐式)

Neo Hookean 超弹性本构关系包含 2 个常数，分别是 C10 和 D1，其中，C10 是初始剪切模量的一半，D1 为材料不可压缩参数。

图 84　**超弹性本构**：Neo Hookean

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“C10”和“D1”的相关数据。

2.3.7　Van Der Waals(隐式)

Van Der Waals 超弹性本构关系包含 5 个常数，其中，Mu 是初始剪切模量，Lamda_m 是自锁伸长量，Alpha 是整体相互作用参数，Beta 是不变混合参数，D 是材料不可压缩参数。

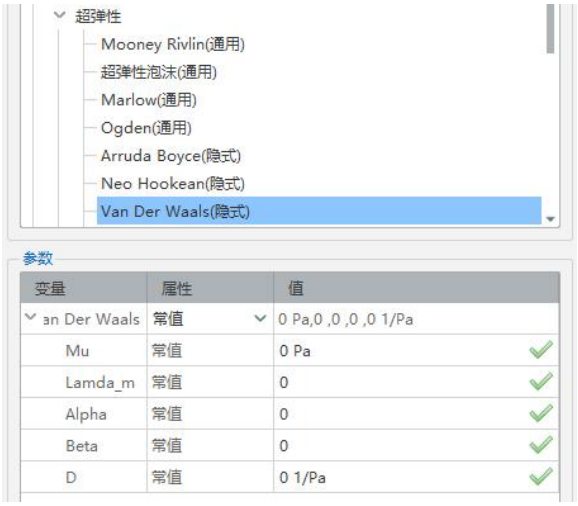


图 85　**超弹性本构**：Van Der Waals

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“Mu”，“Lamda_m”，“Alpha”，“Beta”，“D”的相关数据。

2.3.8 Yeoh(隐式)

Yeoh 超弹性本构关系包含 6 个常数，分别是材料常数 C10，C20，C30 和 D1，D2，D3，其中，C10 是初始剪切模量的一半，D1 为初始体积模量倒数的 2 倍。

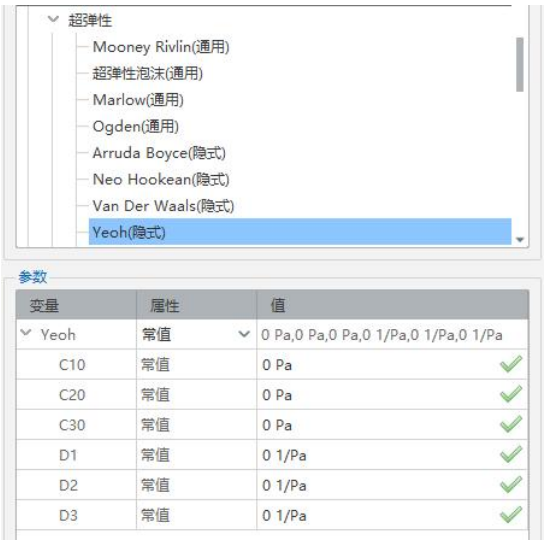


图 86　超弹性本构：Yeoh

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“C10”、“C20”、“C30”和“D1”、“D2”、“D3”的相关数据。

2.3.9 多项式(隐式)

多项式超弹性本构关系包含的常数根据应变势能的阶数的不同而不同：

- ✓ 应变势能阶数=1，包含 3 个常数，分别是 D1、C10 和 C01，其中，C10 与 C01 之和的一半等于初始剪切模量，D1 为初始体积模量倒数的 2 倍；
- ✓ 应变势能阶数=2，包含 7 个常数，分别是 D1、D2 和 C10、C20、C01、C11、C02；

✓ 应变势能阶数=3，包含 12 个常数，分别是 D1、D2、D3 和 C10、C20、C30、C01、C11、C21、C02、C12、C03；

✓ ……

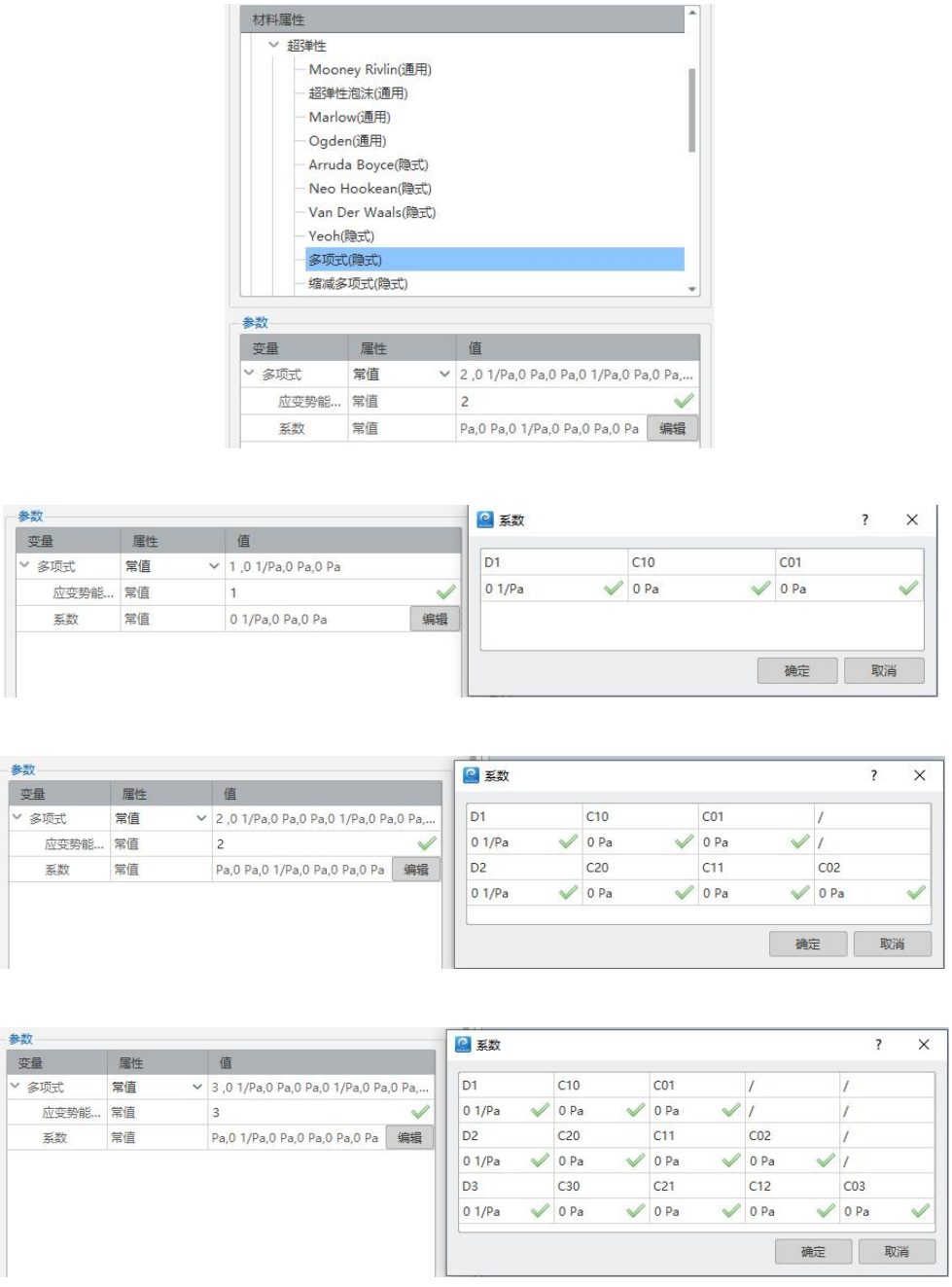


图 87　超弹性本构：多项式

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“C”系列和“D”系列的相关数据。

注意：n<=6。

2.3.10 缩减多项式(隐式)

缩减多项式超弹性本构关系包含的常数根据应变势能的阶数的不同而不同：

- ✓ 应变势能阶数=1，包含 2 个常数，分别是 D1 和 C10，其中，C10 是初始剪切模量的一半，D1 为初始体积模量倒数的 2 倍；
- ✓ 应变势能阶数=2，包含 4 个常数，分别是 D1、D2 和 C10、C20；
- ✓ 应变势能阶数=3，包含 6 个常数，分别是 D1、D2、D3 和 C10、C20、C30；
- ✓ ……

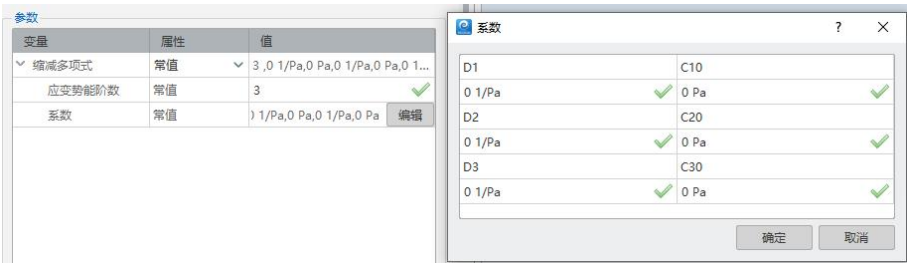


图 88 超弹性本构：缩减多项式

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“C”系列和“D”系列的相关数据。

注意：n<=6。

2.3.11 Blatz-Ko 橡胶（显式）

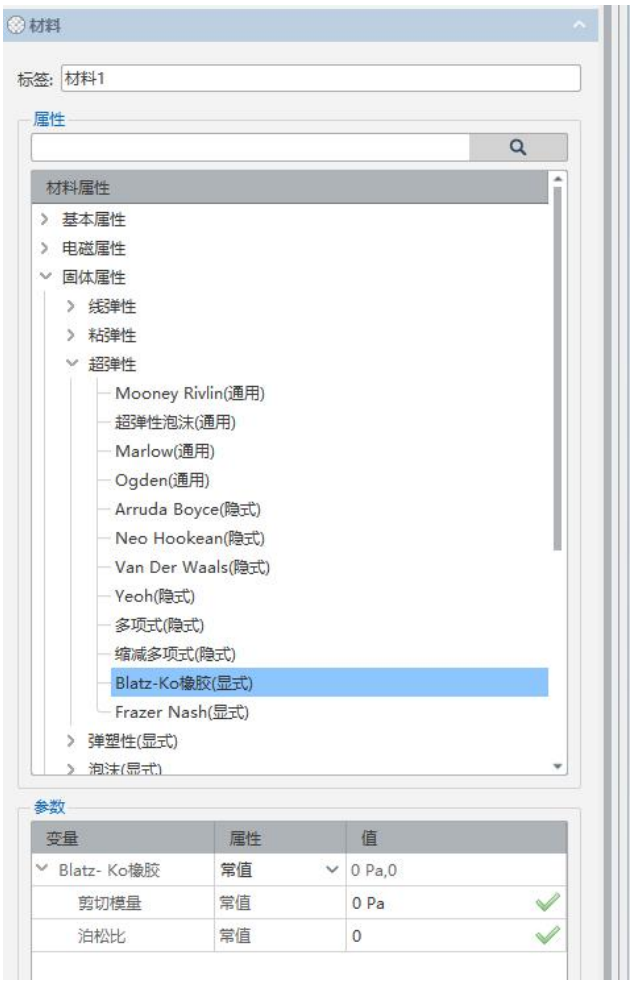


图 89　Blatz-Ko 橡胶的参数设定

参数说明：

Blatz-Ko 超弹性材料的第二类 Piola-Kirchhoff 应力可以表示为

$$\tau_{ij} = G(\frac{1}{v}B_{ij} - V^{\frac{-1}{1-2v}}\delta_{ij})$$

其中，G 是剪切模量，ν是泊松比。通过第二类 Piola-Kirchhoff 应力可以得到柯西应力

$$\boldsymbol{\sigma} = \frac{1}{J}\mathbf{F}\boldsymbol{\tau}\mathbf{F}^T$$

其中，F 是变形梯度张量，J 是它的行列式的值。

属性：只有“常值”一种类型，需要用户定义剪切模量 G 及泊松比v。

注意：剪切模量的取值范围为>0，泊松比的取值范围为$(-1，0.5]$。如果用户输入了不在允许范围内的数据，点“√”时会弹出警告提醒。

2.3.12 Frazer Nash（显式）

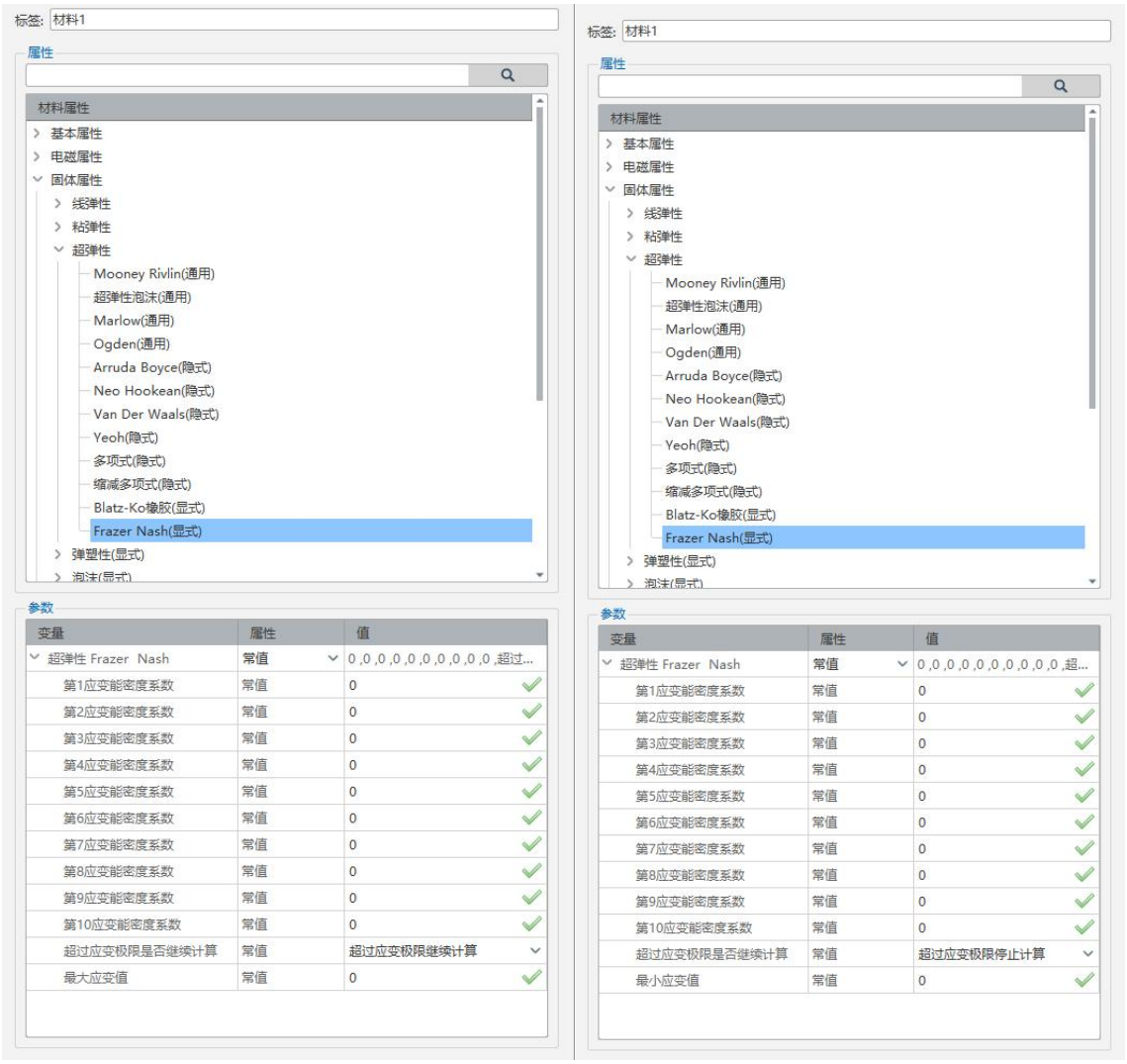


图 90　Frazer Nash 橡胶的参数设定（左：继续计算；右：停止计算）

参数说明：

Frazer Nash 材料模型的势函数为：

$$W = C_{100}I_1 + C_{200}I_1^2 + C_{300}I_1^3 + C_{400}I_1^4 + C_{010}I^2 + C_{020}I_2^2 + C_{110}I_1I_2 + C_{210}I_1^2I_2 + C_{001}I_3 + C_{101}I_1I_3$$

其中，C_{100}，C_{200}，C_{300}，C_{400}，C_{010}，C_{020}，C_{110}，C_{210}，C_{001}，C_{101}为弹性参数。

属性：只有“常值”一种类型，需要用户定义第 1-9 应变能密度系数。并选择超过应变极限是否继续计算：“超过应变极限继续计算”或“超过应变极限停止计算”。并分别设置“最大应变值”或“最小应变值”。

2.4 弹塑性(显式)

弹塑性是指应力超过屈服应力后，材料的刚度下降，应变包括塑性应变和弹性应变两部分；在卸载后弹性应变消失，而塑性应变不可恢复的性能。

2.4.1 Johnson Cook

Johnson Cook 弹塑性模型用于描述材料在大应变（large strains）、高应变率（high strain rates）、高温（high temperatures）环境下材料（一般常用于金属）的强度极限以及失效过程。

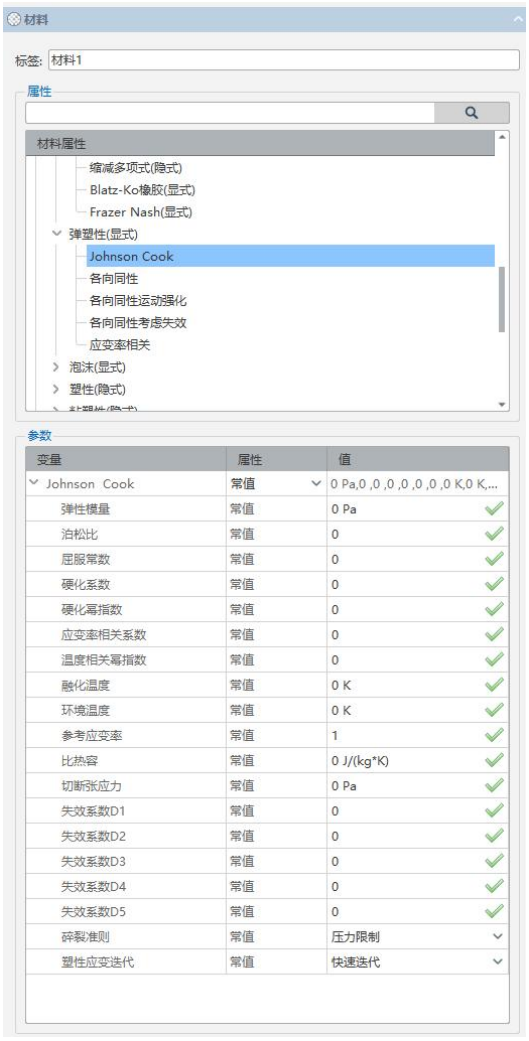


图 91　Johnson Cook 的参数设定

参数说明：

Johnson-Cook 弹塑性材料的屈服应力为

$$\sigma_y = [A + B(\bar{\varepsilon}^p)^n][1 + C ln(\dot{\varepsilon}^*)][1 - (T^*)^m]$$

其中 A 是初始屈服应力，B 是硬化常数，C 是应变率常数，n 是硬化指数，m 是温度软化指数。T^*的定义方式为

$$T^* = \frac{T - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}}$$

其中T_{room}是环境温度，T_{melt}是材料融化温度，T是当前温度。

Johnson-Cook 弹塑性材料的失效应变为

$$\varepsilon_f = [D_1 + D_2 exp(D_3 \sigma^*)][1 + D_4 ln(\dot{\varepsilon}^*)][1 + D_5 T^*]$$

其中，σ^*是压力和等效应力之比

$$\sigma^* = \frac{p}{\bar{\sigma}}$$

Johnson-Cook 弹塑性材料的损伤因子计算方式为

$$D = \sum \frac{\Delta \bar{\varepsilon}^p}{\varepsilon_f}$$

当损伤因子大于 1 时，材料发生断裂，该材料的应力被一直置为 0.同时所有拉伸压力被置为 0，材料只能出现压缩压力。

材料碎裂有三种模式：

1、压力限制：如果拉伸压力超过了设置值P_{min}，则拉伸压力被重置为P_{min}。

2、最大住应力：如果材料的最大主应力超过了设置值，则其偏应力被置为 0，且不再允许静水张力（大于 0 则置为 0）。

3、静水张力：如果拉伸压力超过了设置值P_{min}，其偏应力被置为 0，且不再允许静水张力（大于 0 则置为 0）

属性：只有“常值”一种类型。其中“破碎准则”包括“压力限制”，“最大主应

力”，和“静水张力”；“塑性应变迭代”包括：“快速迭代”和“精确迭代”。

注意：弹性模量、比热容的取值范围为>0，泊松比的取值范围为(－1，0.5]，融化温度与环境温度的取值范围为>-273。压力截断的取值范围为<=0，参考应变率的取值范围为>=0，默认取 1。如果用户输入了不在允许范围内的数据，点“√”时会弹出警告提醒。

2.4.2 各向同性

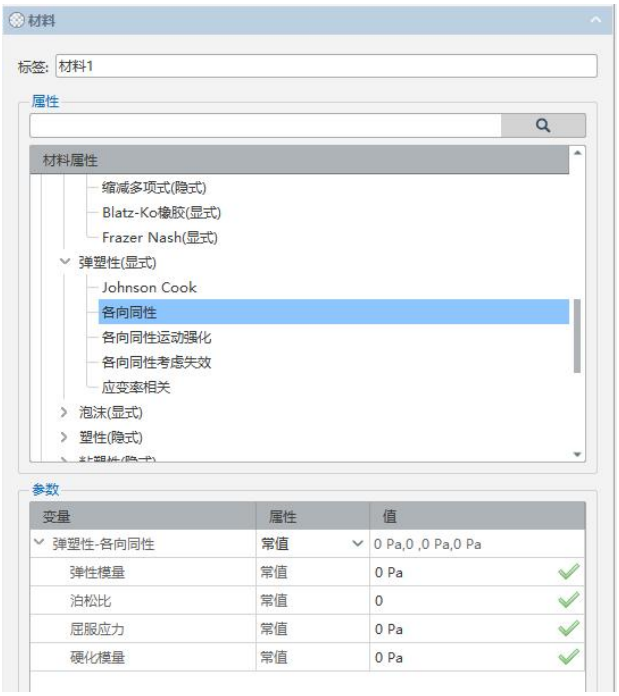


图 92 各向同性的参数设定

参数说明：

属性：只有“常值”一种类型。

注意：弹性模量、屈服应力的取值范围为>0，泊松比的取值范围为(－1，0.5]。硬化模量>=0。如果用户输入了不在允许范围内的数据，点“√”时会弹出警告提醒。

2.4.3 各向同性运动强化

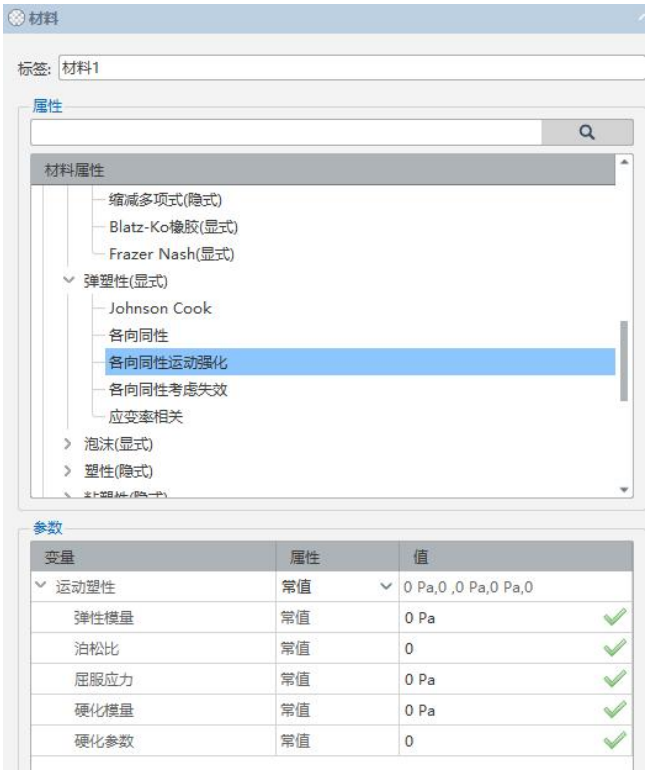


图 93 各向同性运动强化的参数设定

参数说明：

硬化参数 Beta 决定了运动硬化和各向同性硬化的比例

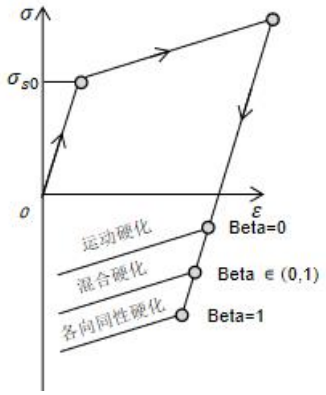


图 94 硬化参数 Beta 设定

属性：只有“常值”一种类型。

注意：弹性模量、屈服应力的取值范围为>0，泊松比的取值范围为(－1，0.5]。硬化模量>=0，硬化参数取值范围为[0,1]。如果用户输入了不在允许范围内的数据，点“√”时会弹出警告提醒。

2.4.4 各向同性考虑失效

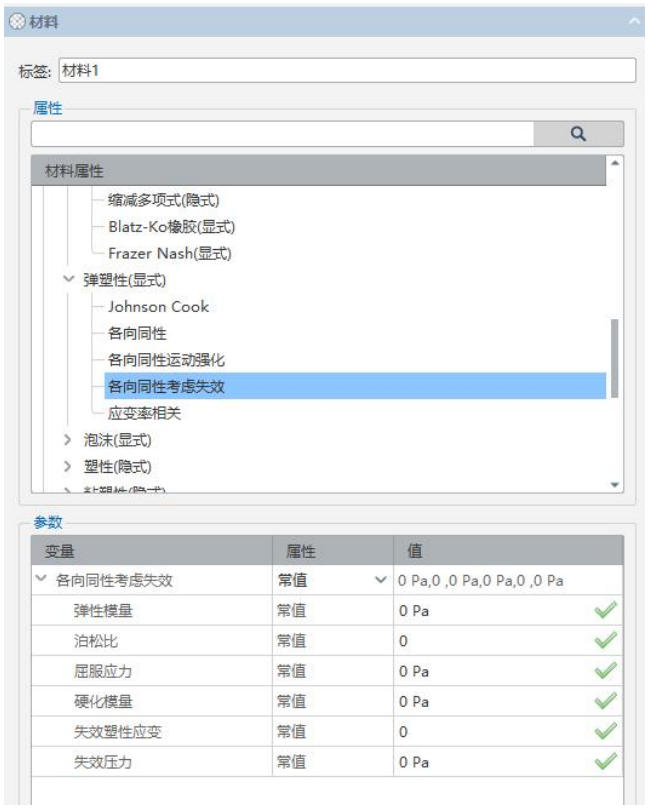


图 95 各向同性考虑失效的参数设定

参数说明：

属性：只有“常值”一种类型。

注意：弹性模量、屈服应力、失效塑性应变的取值范围为>0，泊松比的取值范围为(－1，0.5]，失效压力的取值范围为<=0。如果用户输入了不在允许范围内的数据，点“√”时会弹出警告提醒。

2.4.5 应变率相关

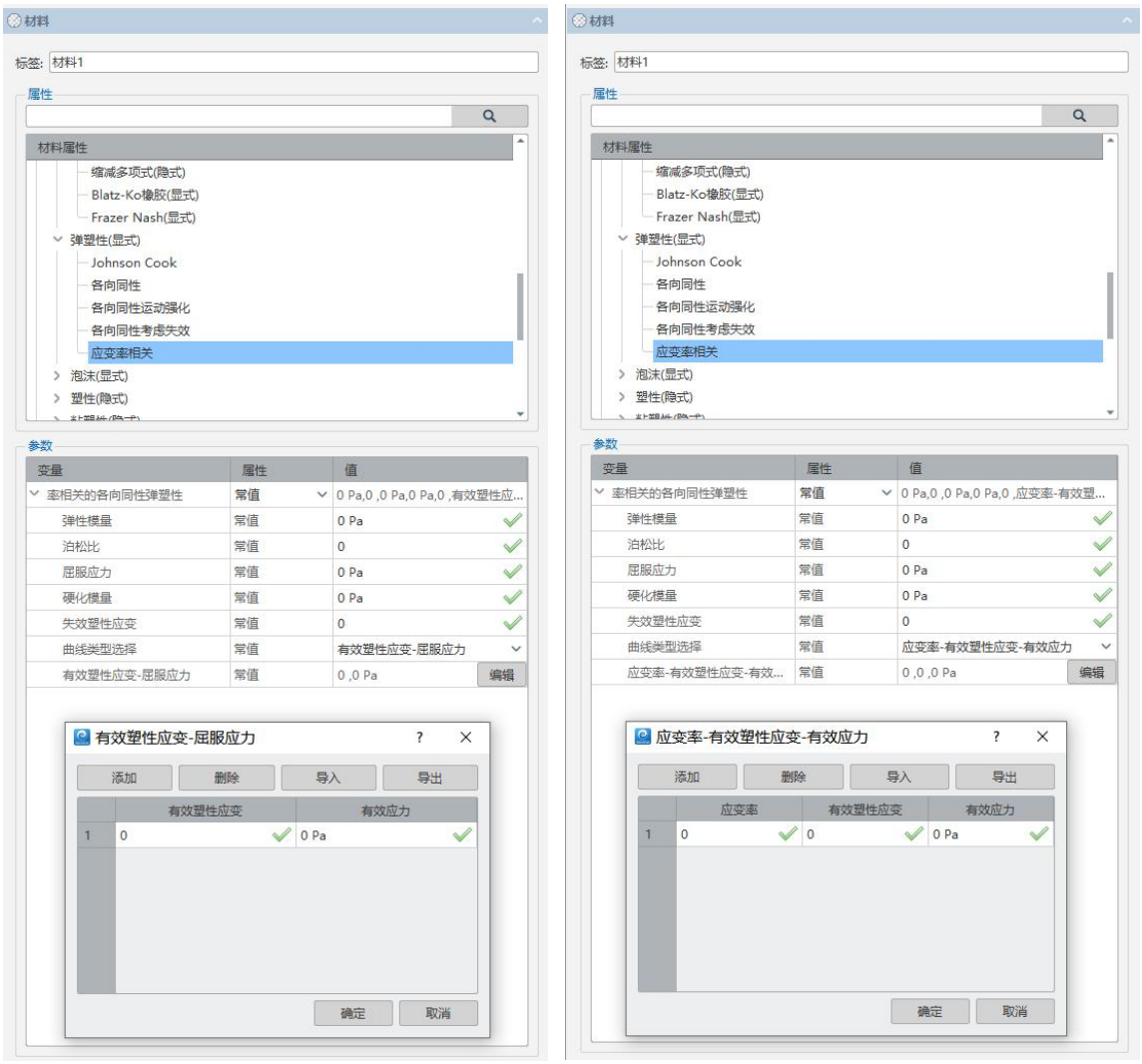


图 96 应变率相关的参数设定（左：有效塑性应变-应力曲线；右：应变率-有效塑性应变-有效应力曲线）

参数说明：

属性：只有“常值”一种类型。曲线类型可选：“有效塑性应变-屈服应力”或“应变率-有效塑性应变-有效应力”。需要客户输入相关参数，并通过“添加”和“删除”命令添加或删除行数。

注意：弹性模量的取值范围为>0，屈服应力、硬化模量、失效塑性应变的取值范围为>=0，泊松比的取值范围为$(-1, 0.5]$，。如果用户输入了不在允许范围内的数据，

点“√”时会弹出警告提醒。

2.5 泡沫(显式)

2.5.1 考虑失效可压溃

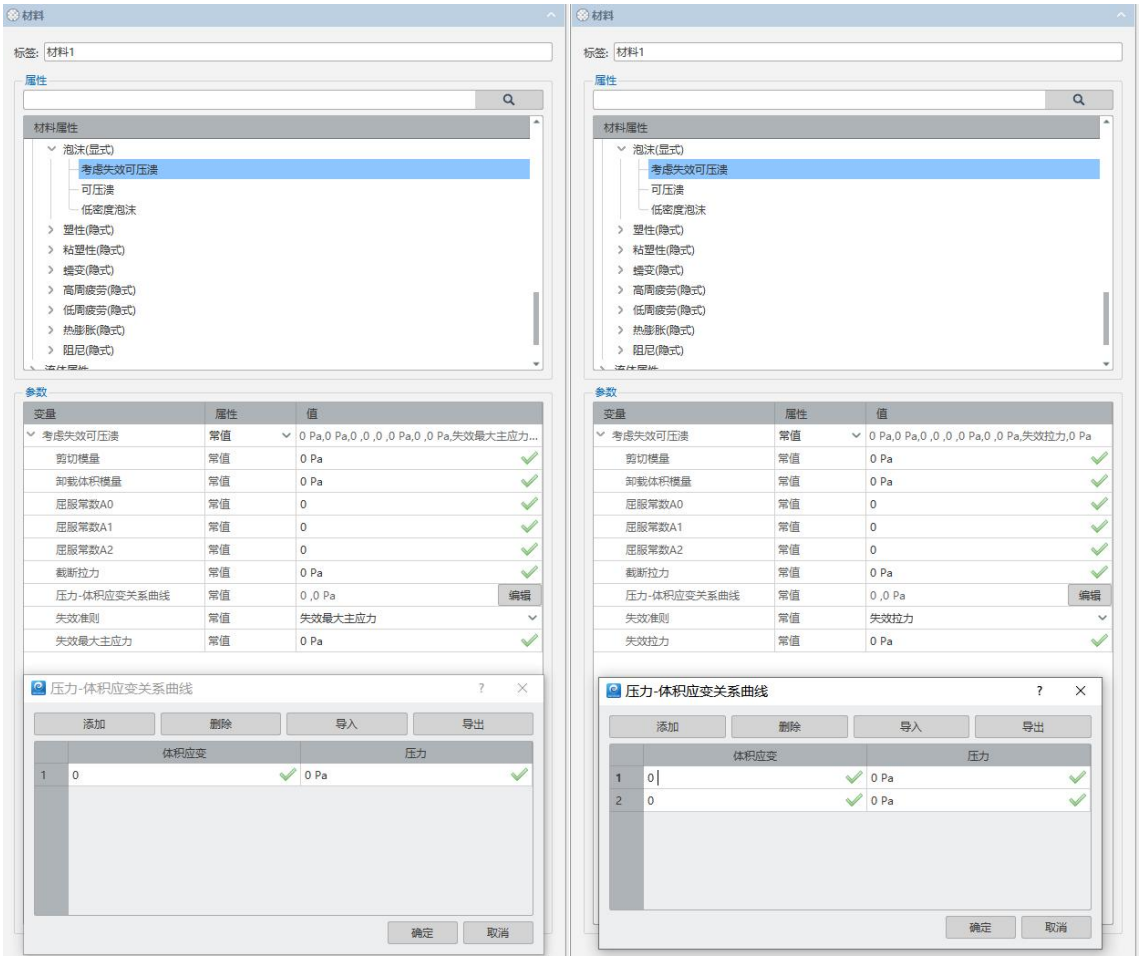


图 97 考虑失效可压溃的参数设定（左：失效最大主应力；右：失效拉力）

参数说明：

模型的压力部分是通过压力和体积应变曲线给出的，体积应变为相对体积的自然对数。

屈服函数为

$$\phi = J_2 - [a_0 + a_1 p + a_2 p^2]$$

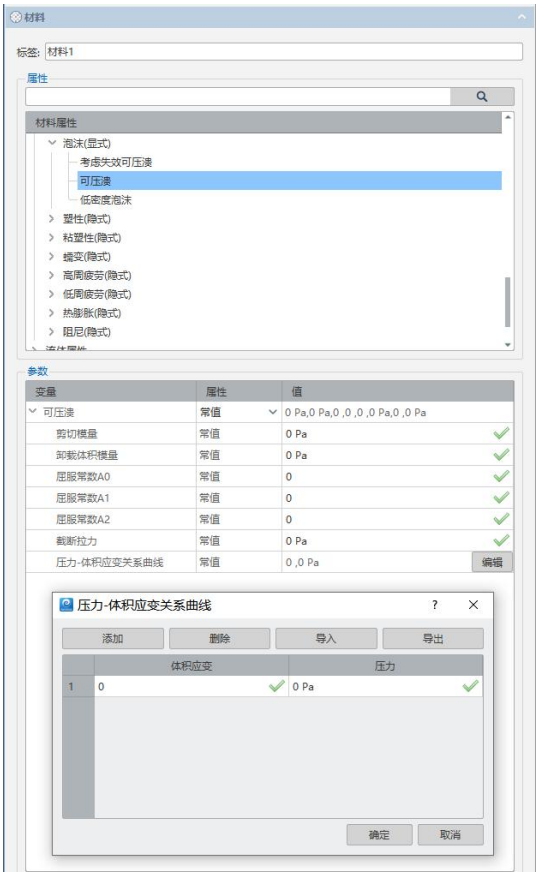
其中，a_0,a_1,a_2是材料常数，p 是压力，J_2是偏应力张量的第二不变量。

对于静水拉伸失效，一旦单元压力大于设置的失效压力，单元所有的应力被置为 0，之后单元只能承受静水压力，不能承受静水拉力和剪应力。对于最大主应力失效，一旦失效发生，单元偏应力在一些时间步内被置为 0，而静水压力保持不变。

属性：只有“常值”一种类型。失效准则可选：“最大失效主应力”或“失效拉力”。“压力-体积应变关系曲线”一项中需要客户输入“体积应变”和“压力”，并通过“添加”和“删除”命令添加或删除行数。

注意：剪切模量、卸载体积模量的取值范围为>0，截断拉力的取值范围为<=0。如果用户输入了不在允许范围内的数据，点“√”时会弹出警告提醒。

2.5.2 可压溃

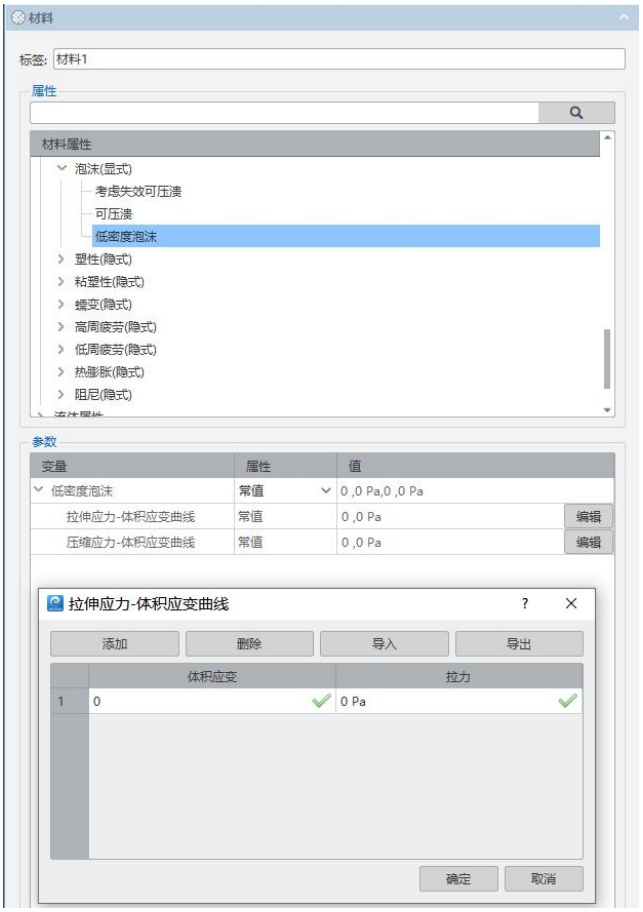


参数说明：

属性：只有“常值”一种类型。“压力-体积应变关系曲线”一项中需要客户输入“体积应变”和“压力”值，并通过“添加”和“删除”命令添加或删除行数。

注意：剪切模量、卸载体积模量的取值范围为>0，截断拉力的取值范围为<=0。如果用户输入了不在允许范围内的数据，点“√”时会弹出警告提醒。

2.5.3 低密度泡沫



参数说明：

属性：只有“常值”一种类型。“拉伸应力-体积应变曲线”和“压缩应力-体积应变曲线”中需要客户输入相应参数值，并可通过“添加”和“删除”命令添加或删除行数。

2.6 塑性(隐式)

2.6.1 Mises 等向硬化

Mises 等向硬化塑性材料本构关系需要输入塑性应变和屈服强度，可以是常值，也可以随温度变化。

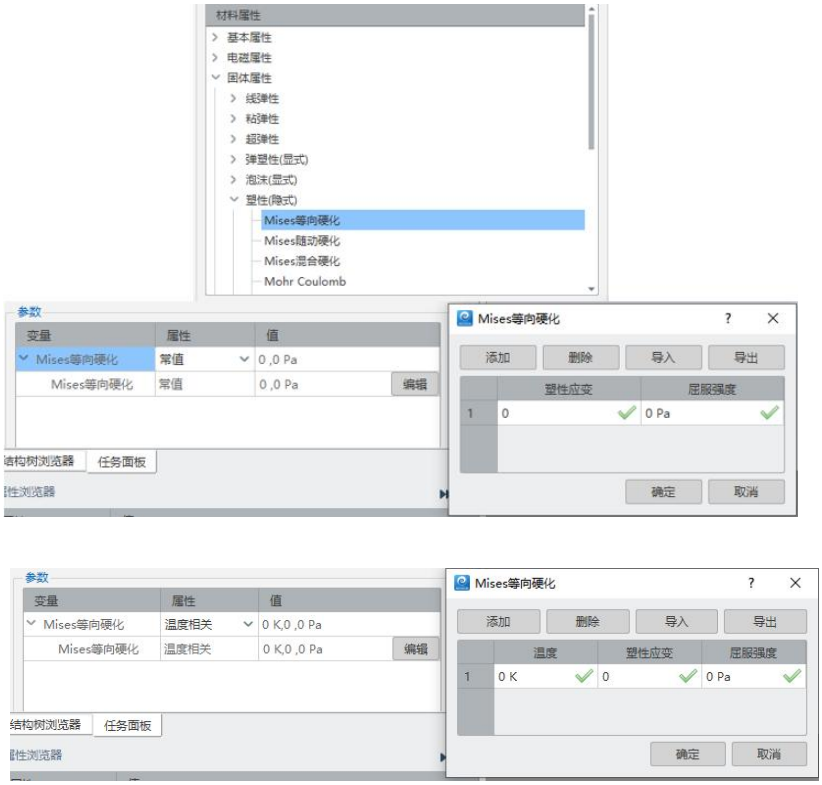


图 98　塑性：Mises 等向硬化（上：常值；下：温度相关）

参数说明：

属性：包括“常值”和“温度相关”两种类型。当选择“温度相关”时，用户需要输入“温度”、“塑性应变”和“屈服强度”的相关数据。

2.6.2　Mises 随动硬化

Mises 随动硬化塑性材料本构关系需要输入屈服强度和硬化模量。

图 99　塑性：Mises 随动硬化

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“屈服强度”和“硬化模量”的相关数据。

2.6.3　Mises 混合硬化

Mises 等向硬化塑性材料本构关系需要输入塑性应变、屈服强度和背应力。

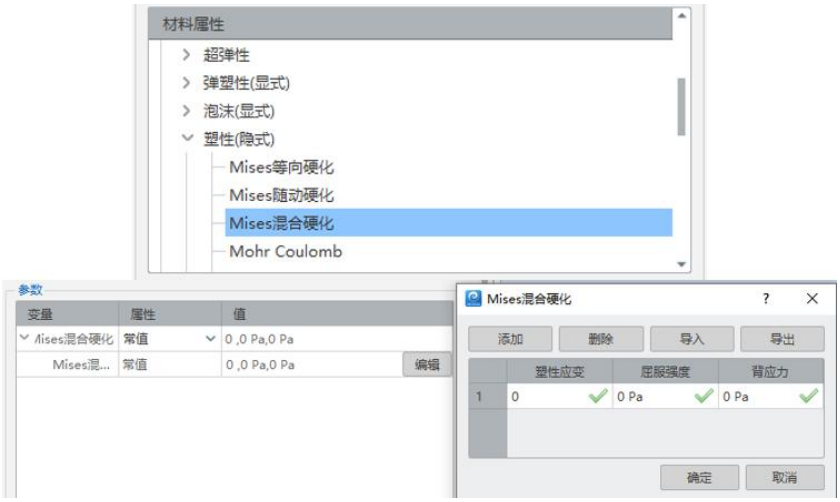


图 100　塑性：Mises 混合硬化

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“塑性应变”、“屈服强度”和“背应力”的相关数据。

2.6.4　Mohr Coulomb

Mohr Coulomb 塑性材料本构关系需要输入塑性应变和粘聚力。

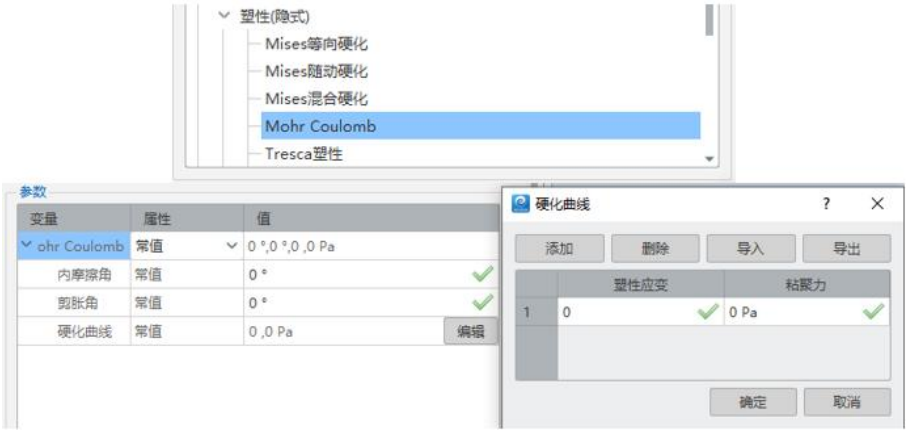


图 101 **塑性**：Mohr Coulomb

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“塑性应变”和“粘聚力”的相关数据。

2.6.5 Tresca 塑性

Tresca 塑性材料本构关系需要输入塑性应变和屈服强度。

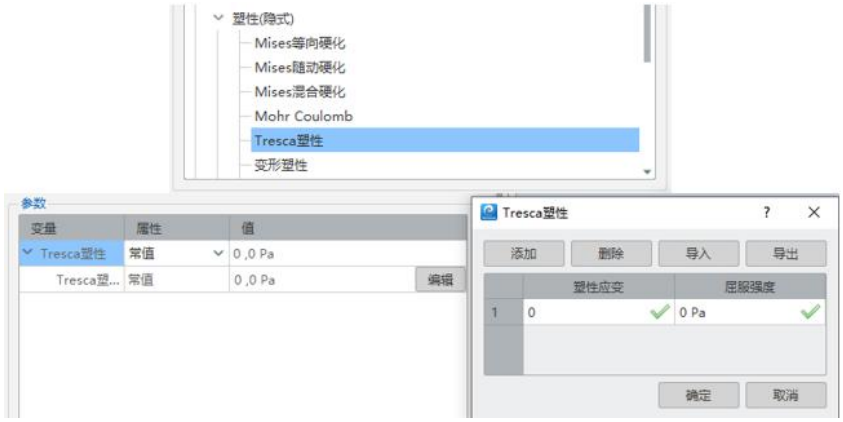


图 102 **塑性**：Tresca

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“塑性应变”和“屈服强度”的相关数据。

2.6.6 变形塑性

变形塑性材料本构关系需要输入屈服偏移系数、屈服强度和硬化幂指数。

图 103 塑性：变形塑性

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“屈服偏移系数”、“屈服强度”和“硬化幂指数”的相关数据。

2.6.7 Drucker Prager

Mohr Coulomb 塑性材料本构关系需要输入内摩擦角、剪胀角和硬化曲线。

图 104 塑性：Drucker-Prager

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“内摩擦角”、“剪胀角”和“硬化曲线”的相关数据。

2.7 粘塑性(隐式)

2.7.1 Peric

粘塑性材料本构（Peric）输入如下信息：粘塑性表（包括塑性应变和屈服强度）、粘性相关系数和率敏感度系数。

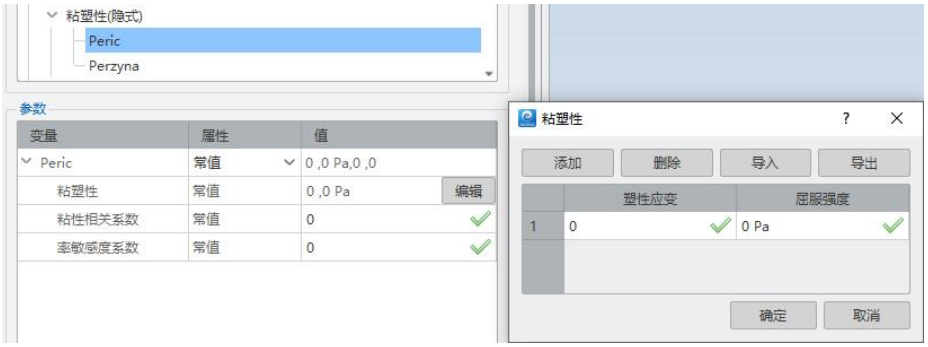


图 105 **粘塑性本构**：Peric

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“塑性应变-屈服强度表”、“粘性相关系数”和“率敏感度系数”的相关数据。

2.7.2 Perzyna

粘塑性材料本构（Perzyna）输入如下信息：粘塑性表（包括塑性应变和屈服强度）、粘性相关系数和率敏感度系数。

图 106 **粘塑性本构**：Peric

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“塑性应变-屈服强度表”、“粘性相关系数”和“率敏感度系数”的相关数据。

2.8 蠕变(隐式)

2.8.1 时间硬化

蠕变（时间硬化）本构关系输入系数、等效应力幂指数和蠕变时间幂指数。

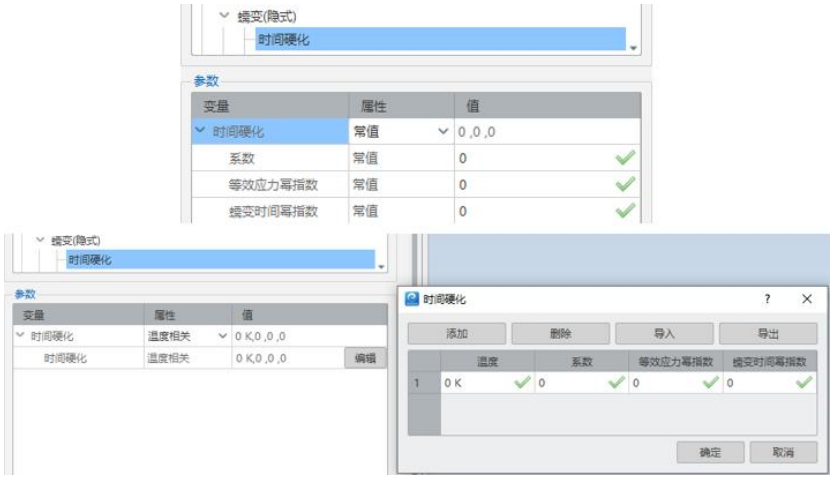


图 107 蠕变：时间硬化

参数说明：

属性：包括“常值”和“温度相关”两种类型。当选择“温度相关”时，用户需要输入“温度”、“系数”、“等效应力幂指数”和“蠕变时间幂指数”的相关数据。

2.8.2 应变硬化

蠕变（应变硬化）本构关系需要输入系数、等效应力幂指数和蠕变时间幂指数。

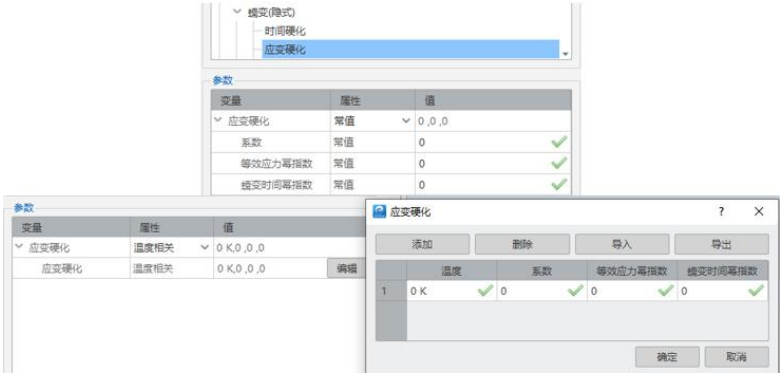


图 108 蠕变：应变硬化

参数说明：

属性：包括“常值”和“温度相关”两种类型。当选择“温度相关”时，用户需要输入“温度”、“系数”、“等效应力幂指数”和“蠕变时间幂指数”的相关数据。

2.8.3 双曲正弦硬化

蠕变（双曲正弦硬化）本构关系需要输入系数、参考应力和等效应力幂指数。

图 1 蠕变：双曲正弦硬化

参数说明：

属性：只包括“常值”的情况，用户需要输入“系数”、“参考应力”和“等效应力幂指数”的相关数据。

2.8.4 双幂模型

蠕变（双幂模型）本构关系需要输入第一项系数、第一项温度、第一项幂指数、第二项系数、第二项温度、第二项幂指数和参考应力σ_0。

图 2　蠕变：双幂模型

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“第一项系数”、“第一项温度”、“第一项幂指数”、“第二项系数”、“第二项温度”、“第二项幂指数”和“参考应力σ_0”的相关数据。

2.8.5 Anand 模型

蠕变（Anand 模型）本构关系需要输入初始抗力 s0、活化能/普适气体常数 Q/R、预指数因子 A、应力乘子 xi、应变率敏感度 m、硬化（软化）常数 h0、抗力饱和系数 sh、饱和抗力的应变率敏感度 n 和硬化（软化）应变率敏感度 a。

图 3　蠕变：Anand 模型

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“初始抗力 s0”、“活化能/普适气体常数 Q/R”、“预指数因子 A”、“应力乘子 xi”、“应变率敏感度 m”、“硬化（软化）常数 h0”、“抗力饱和系数 sh”、“饱和抗力的应变率敏感度 n”和“硬化（软化）应变率敏感度 a”的相关数据。

2.8.6　Darveaux 模型

蠕变（Darveaux 模型）本构关系需要输入稳态蠕变预因子 Css、活化能/普适气体常数 Q/R、稳态参考应力σ_0、参数 n、参数 eT 和参数 B。

图 4　蠕变：Darveaux 模型

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“稳态蠕变预因子 Css”、“活化能/普适气体常数 Q/R”、“稳态参考应力σ_0”、“参数 n”、“参数 eT”和“参数 B”的相关数据。

2.9　高周疲劳(隐式)

2.9.1　应力疲劳

高周疲劳（应力疲劳）需要输入如下参数：应力和循环次数表、屈服强度、抗拉强度、疲劳极限、极限循环次数以及是否采用钢材。

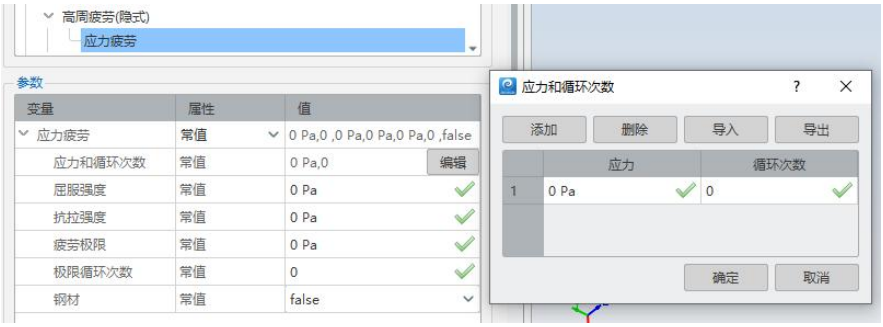


图 5　高周疲劳（应力疲劳）

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“应力和循环次数表”、“屈服强度”、“抗拉强度”、“疲劳极限”、“极限循环次数”和“钢材”的相关数据。

2.10 低周疲劳(隐式)

2.10.1　应变疲劳

低周疲劳（应变疲劳）需要输入如下参数：疲劳强度系数、疲劳强度幂指数、疲劳塑性系数、疲劳塑性幂指数、应变强化系数、应变硬化指数以及判断是否使用钢材。

图 6　低周疲劳（应变疲劳）

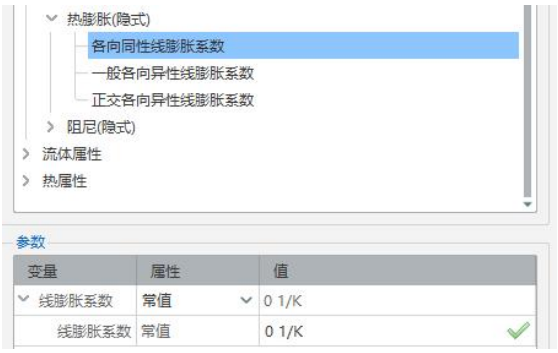
参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“疲劳强度系数”、“疲劳强度幂指数”、“疲劳塑性系数”、“疲劳塑性幂指数”、“应变强化系数”、“应变硬化指数”和“钢材”的相关数据。

2.11 热膨胀(隐式)

2.11.1 各向同性线膨胀系数

线膨胀系数用于定义结构的热膨胀，各向同性热膨胀只需要一个线膨胀系数。



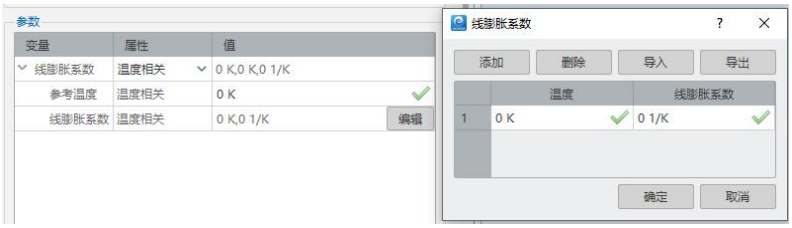


图 7　各向同性线膨胀系数（上：常值；下：温度相关）

参数说明：

属性：包括“常值”和“温度相关”两种类型。当选择“温度相关”时，用户需要输入“温度”与“线膨胀系数”的相关数据。

2.11.2　一般各向异性线膨胀系数

线膨胀系数用于定义结构的热膨胀，一般各向异性热膨胀需要 6 个线膨胀系数。

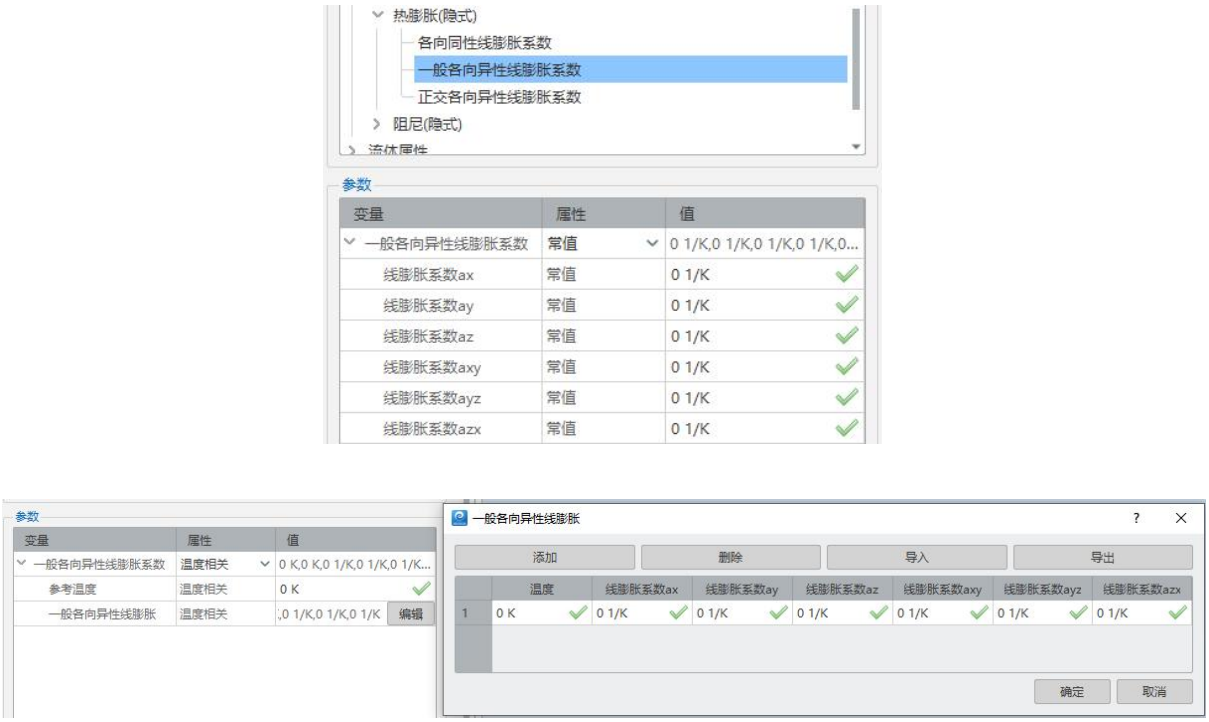


图 8　一般各向异性线膨胀系数（上：常值；下：温度相关）

参数说明：

属性：包括“常值”和“温度相关”两种类型。当选择“温度相关”时，用户需要输入“温度”与 6 个“线膨胀系数”的相关数据。

2.11.3　正交各向异性线膨胀系数

线膨胀系数用于定义结构的热膨胀，正交各向异性热膨胀需要 3 个线膨胀系数。

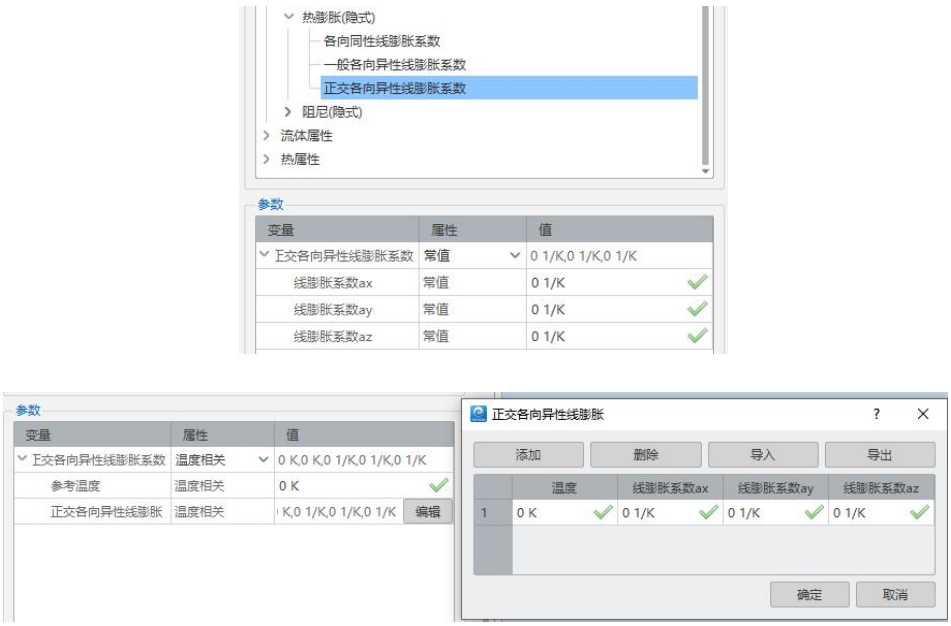


图 9　正交各向异性线膨胀系数（上：常值；下：温度相关）

参数说明：

属性：包括“常值”和“温度相关”两种类型。当选择“温度相关”时，用户需要输入“温度”与 3 个“线膨胀系数”的相关数据。

2.12 阻尼(隐式)

2.12.1　阻尼

阻尼包括瑞利阻尼和材料阻尼比，其中瑞利阻尼可以用瑞利质量系数和瑞利刚度系数表示。

图 10　阻尼

参数说明：

属性：只考虑“常值”的情况，用户需要输入“瑞利质量系数”、“瑞利刚度系数”和“材料阻尼比”的相关数据。

3. 热分析

本小节主要介绍热分析所支持的材料本构。

3.1 导热系数

3.1.1 各向同性导热系数

各向同性热传导只需要一个导热系数。

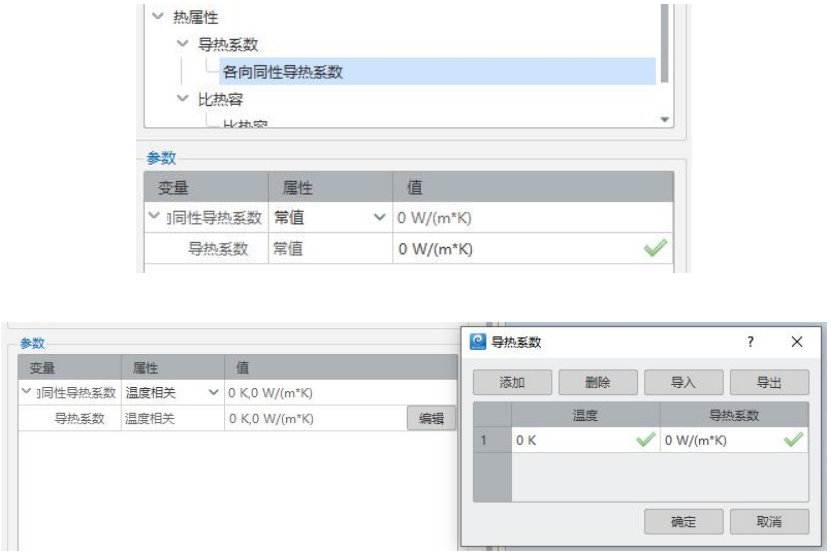


图 11 各向同性导热系数（上：常值；下：温度相关）

参数说明：

属性：包括“常值”和“温度相关”两种类型。当选择“温度相关”时，用户需要输入“温度”与“导热系数”的相关数据。

3.2 比热容

3.2.1 比热容

比热容可定义为温度升高 1 度的单位质量所获得的热量。

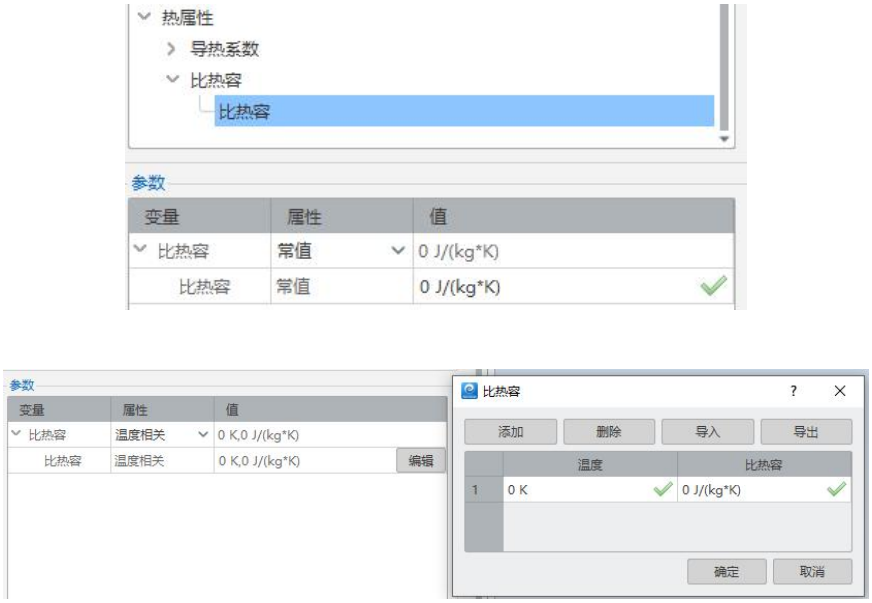


图 12　比热容（上：常值；下：温度相关）

参数说明：

属性：包括“常值”和“温度相关”两种类型。当选择“温度相关”时，用户需要输入“温度”与“比热容”的相关数据。

第六章　网格剖分

Simdroid 的网格模块用于对几何模型进行网格剖分，创建离散模型。

由于流体算法的需求与其他物理场不同，因此流体的网格剖分方式与其他物理场不同。

网格剖分必须在具备几何模型的情况下进行。

（一）　网格剖分的步骤

本流程是最基本的网格剖分过程。分为网格剖分步骤（非流体场：低频电磁、高频电磁、隐式结构、显式动力、热）和网格剖分步骤（流体场）。

1.　网格剖分步骤（非流体场）

电磁、结构与热等物理场的网格剖分方法相同，一般为以下步骤：

1. 对几何模型设置网格控制参数，如不同的网格剖分尺寸、网格匹配对象等。

2. 进行网格剖分。

注意：

如果几何模型是组合体，可以对组合体进行整体剖分也可以对组合体的单个体分别剖分来保证接触面的网格节点匹配。

几何模型为组合体，必须保证不同部件的接触面有相同的几何特征。如：部件 1 与部件 2 接触，接触面分别为部件 1 的面 A 和部件 2 的面 B，面 A 有一条特征线，面 B 在相同位置也要有一条特征线。

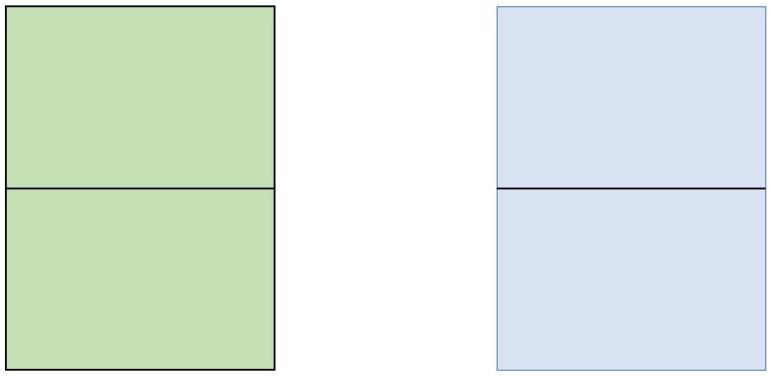


图 13　接触面 A 和 B

2.　网格剖分步骤（流体场）

流体的网格剖分方法与其他物理场不同。

二维的流体网格剖分一般为以下步骤：

(1) 对几何模型设置网格参数，如单元尺寸。
(2) 对几何边界进行边界命名和边界类型设定。
(3) 进行网格剖分。
(4) 进行网格检测。

三维的流体网格剖分一般为以下步骤：

(1) 对几何模型设置全局网格参数。
(2) 对几何边界进行边界命名和边界类型设定。
(3) 若需要对一部分网格进行操作，如搅拌器旋转域，则需要指定网格区域。
(4) 进行网格剖分。
(5) 进行网格检测。

（二）　网格剖分的功能

1.　网格剖分的功能（非流体场）

设置网格控制参数的功能有：体控制（仅限三维）、面控制、边控制、网格匹配。

网格剖分的功能有：整体剖分、单体剖分、映射剖分和扫掠剖分（仅限三维）。

1.1 体控制

体控制用于设置三维几何实体的网格剖分单元尺寸。

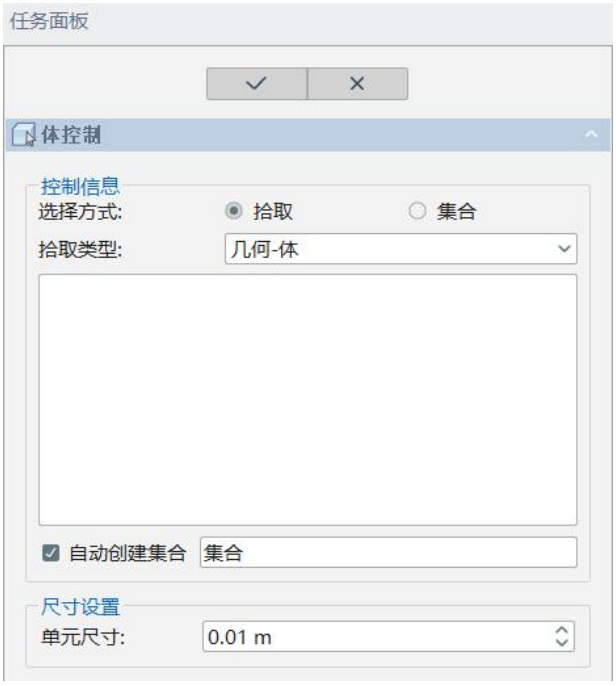


图 14　体控制设置面板

体控制的设置步骤如下：

1. 单击【网格剖分】选项卡>【体控制】；

2. 在视图交互区域，单击选择目标实体或通过集合选择；

3. 在【尺寸设置】框输入“单元尺寸”的数值；

4. 单击【√】完成体控制操作。

注意：

几何模型为二维时，【体控制】功能不可用。

1.2 面控制

面控制用于设置几何面的网格剖分单元尺寸。

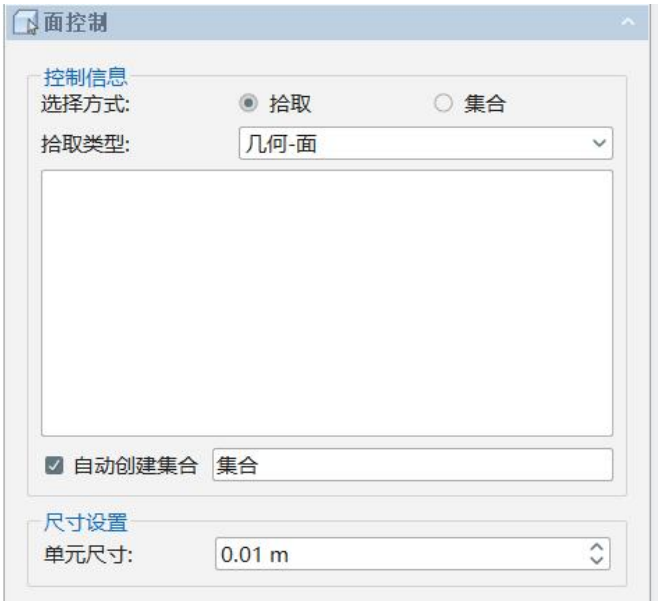


图 15 面控制设置面板

【面控制】的设置步骤如下：

1. 单击【网格剖分】选项卡>【面控制】；

2. 在视图交互区域，单击选择目标面或通过集合选择；

3. 在【尺寸设置】框输入“单元尺寸”的数值。

4. 单击【√】完成面控制操作。

注意：面控制的优先级高于体控制。

1.3 边控制

边控制用于设置几何边的网格剖分单元尺寸或剖分段数。

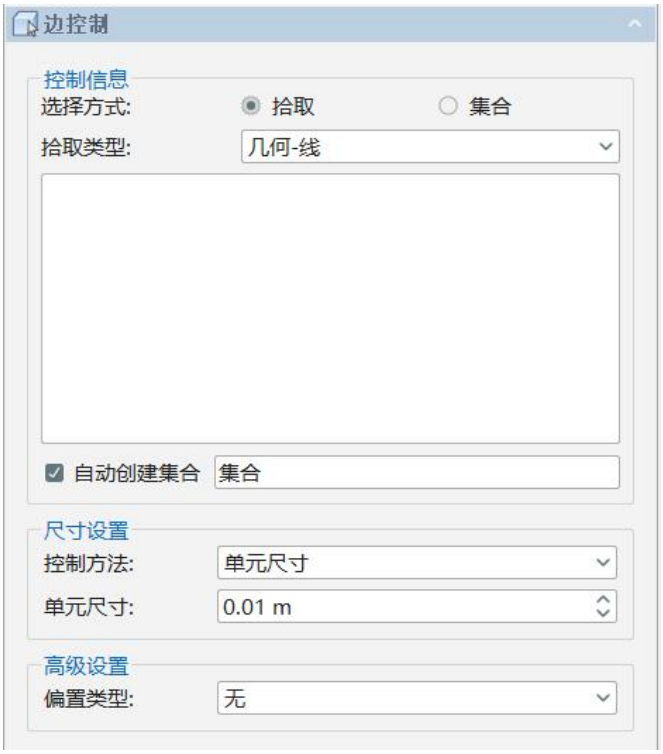


图 16　边控制设置面板

【边控制】的设置步骤如下：

1. 单击【网格剖分】选项卡>【边控制】；

2. 在视图交互区域，单击选择目标边或通过集合选择；

3. 在【尺寸设置】框中“控制方法”选项选择“单元尺寸”或“剖分段数”，输入对应的数值；

4. 在【高级设置】框中“偏置类型”选项选择偏置样式，根据选择的偏置类型输入对应的参数；

5. 单击【√】完成线控制操作。

注意：

1. 边控制的优先级高于面控制。

2. 设置“偏置类型”支持对选择的几何边进行不均匀布点，实现网格边线的局部

加密或稀疏控制。

1.4 网格匹配

网格匹配一般用于周期性边界，能够使得计算结果更加准确。在二维模型中，可以对赋予周期性边界的两条边做网格匹配，使其网格节点相互匹配。在三维模型中，可以对赋予周期性边界的两个面做网格匹配，使其网格节点相互匹配。

图 17　网格匹配设置面板

网格匹配的设置步骤如下：

1. 单击【网格】选项卡>【网格匹配】；

2. 在视图交互区域，单击选择“目标-主面”（在二维模型中，为“目标-主边“）；

3. 在【任务】面板，单击“目标-从面”下空白区域，激活从面选择区域；

4. 在视图交互区域，单击选择“目标-从面”（在二维名中，为“目标-从边“）；

5. 单击【√】完成网格匹配操作。

注意：

主边/面和从边/面的几何拓扑必须相同，且满足以下任一要求：

对象平行且外法向相反；

对象相对于某轴对称。

1.5 整体剖分

整体剖分用于对几何模型所有部件进行网格剖分。

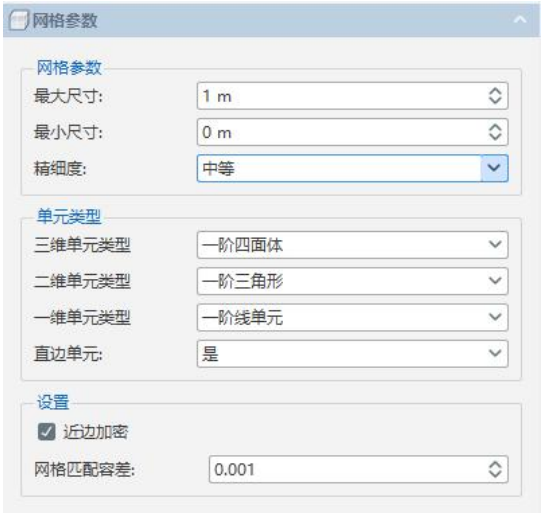


图 18 整体剖分设置面板

【整体剖分】的操作步骤如下：

1. 单击【网格剖分】选项卡>【整体剖分】；

2. 在【任务】面板，输入“最大尺寸”，“最小尺寸”参数，设置“精细度”参数，选择单元类型，最后进行“近边加密”选项的设置；

3. 单击【√】完成整体剖分。

选项说明：

最大尺寸：默认剖分单元的最大尺寸为 1000mm，可根据几何模型进行修改。

最小尺寸：最小尺寸用来控制模型剖分时的最小网格尺寸，避免网格尺寸过小而网

格数量太大。

精细度：有“非常粗糙”、“粗糙”、“中等”、“精细”、“非常精细”和“自定义”六个选项。前五个选项的剖分尺寸由软件根据几何模型的特征自动调整。“自定义”为用户设置，包括“渐变系数”、“全局边分段数”和“曲率放大系数”。

三维单元类型：仅存在于三维分析中，包含一阶四面体和二阶四面体两种体单元类型。

二维单元类型：仅存在于三维分析中，包含一阶三角形、一阶四边形、二阶三角形和二阶四边形四种单元类型。

一维单元类型：仅存在于三维分析中，包含一阶线单元和二阶线单元两种单元类型。

面单元类型：仅存在于二维分析中，包含一阶三角形、一阶四边形、二阶三角形和二阶四边形四种单元类型。

直边单元：直边单元选项用于控制二阶单元的中点是否与几何边重合。

近边加密：勾选后，程序会对几何特征密集的区域进行网格加密。

网格匹配容差：只适用于组合体，用于匹配组合体界面的网格。

注意：支持多选几何对象采用整体剖分，即可对选择的对象一起按照相同的设置参数进行剖分。

1.6 单体剖分

单体剖分用于对指定的几何部件单独进行网格剖分。

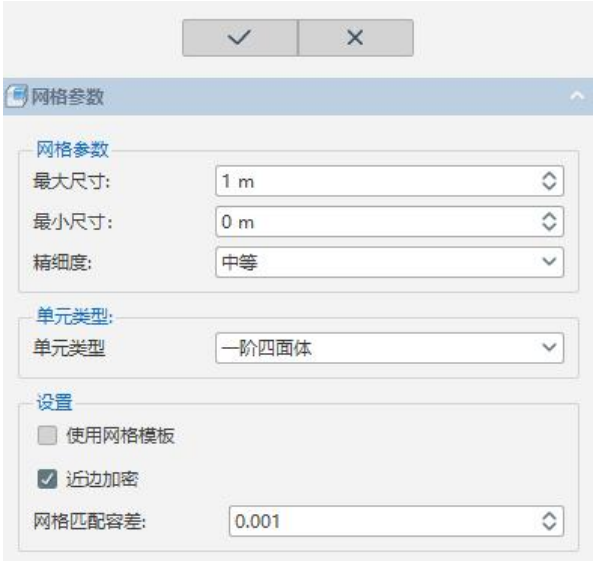


图 19　单体剖分设置面板

【单体剖分】的操作步骤如下：

1. 在视图交互区域，单击选择几何部件（二维选择面，三维选择实体）；

2. 单击【网格剖分】选项卡>【单体剖分】；

3. 在【任务】面板，输入“最大尺寸”，“最小尺寸”参数，设置“精细度”参数，选择单元类型，最后进行“近边加密”选项的设置；

4. 单击【√】完成单个对象的网格剖分。

选项说明：

最大尺寸：默认剖分单元的最大尺寸为 1000mm，可根据几何模型进行修改。

最小尺寸：最小尺寸用来控制模型剖分时的最小网格尺寸，避免网格尺寸过小而网格数量太大。

精细度：有“非常粗糙”、“粗糙”、“中等”、“精细”、“非常精细”和“自定义”六个选项。前五个选项的剖分尺寸由软件根据几何模型的特征自动调整。“自定义”为用户设置，包括“渐变系数”、“全局边的分段数”和“曲率放大系数”。

单元类型：三维分析中，包含一阶四面体和二阶四面体两种单元类型；二维分析中，包含一阶三角形、一阶四边形、二阶三角形和二阶四边形 4 种单元类型。

使用网格模板：勾选后，程序会自动判断当前选择的待剖分对象是否为扇形、半圆或圆形，如果是，则会按照钱币状全四边形进行网格剖分。

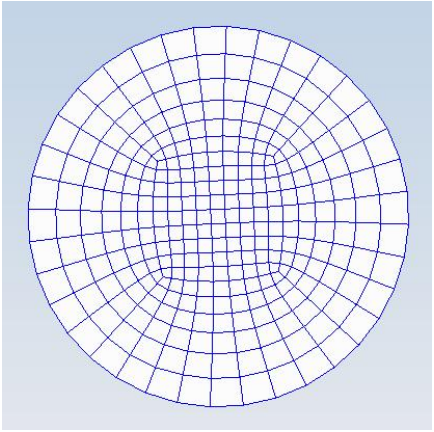


图 20　使用网格模板剖分网格

近边加密：勾选后，程序会对几何特征密集的区域进行网格加密。

网格匹配容差：只适用于组合体，用于匹配组合体界面的网格。

1.7　映射剖分

映射剖分用于对规则几何模型进行四边形或六面体网格剖分。

图 21　映射剖分设置面板

【映射剖分】的操作步骤如下：

1. 在视图交互区域，单击选择几何部件（二维选择面，三维选择实体）；

2. 单击【网格剖分】选项卡>单击【映射剖分】；

3. 在【任务】面板，输入轴向“u”、“v”、“w”三个方向的分段数，视图区会相应的高亮显示；

4. 选择单元类型；

5. 单击【√】完成映射网格剖分。

选项说明：

单元类型：三维分析中，如果映射剖分的几何为实体，则包含一阶六面体和二阶六面体单元；三维分析中，如果映射剖分的几何为壳体，则包含一阶四边形和二阶四边形单元；二维分析中包含一阶四边形和二阶四边形单元。

厚度方向：只对实体壳单元有效，用于指定实体壳的厚度方向，可以在下拉菜单中进行选择，根据视图区红色箭头的指向选择正确的厚度方向。

网格匹配容差：只适用于组合体，用于匹配组合体界面的网格。

全局分段数：只适用于三维壳结构和二维平面结构，用于指定结构的网格剖分段数。

1.8 扫掠剖分

扫掠剖分用于三维建模中对模型进行六面体或棱柱网格剖分。

图 22 扫掠剖分设置面板

【扫掠剖分】的操作步骤如下：

1. 在视图交互区域，单击选择几何部件（选择实体）；

2. 单击【网格剖分】选项卡>【扫掠剖分】；

3. 在【任务】面板，分别拾取源面和目标面，也可以通过“集合”按钮进行选择；

4. 设置源面网格尺寸和最小尺寸，输入扫掠层数，选择网格精细度，选择单元类型；

5. 单击【√】完成扫掠剖分。

选项说明：

源面网格尺寸：默认源面剖分单元最大尺寸为 1m，可根据几何模型进行修改。

源面最小尺寸：最小尺寸用来控制源面剖分时的最小网格尺寸，避免网格尺寸过小而网格数量太大。

扫掠层数：控制从源面到目标面的路径上网格剖分层数。

精细度：有“非常粗糙”、“粗糙”、“中等”、“精细”、“非常精细”和“自定义”六个选项。前五个选项的剖分尺寸由软件根据几何模型的特征自动调整。“自定义”为用户设置，包括“渐变系数”、“全局边线段数量”和“曲率放大系数”。

单元类型：扫掠剖分的单元类型包含一阶六面体、二阶六面体、一阶锲形体和二阶锲形体。

网格匹配容差：只适用于组合体，用于匹配组合体界面的网格。

使用网格模板：勾选后，程序会自动判断当前选择的待剖分对象的源面是否为扇形、半圆或圆形，如果是则会按照钱币状全四边形进行网格剖分。

2. 网格剖分的功能（流体场）

流体网格剖分功能被分为三个部分：边界控制、网格控制及网格生成。具体如下表

所示。

表 4　流体网格剖分功能

	模型维度	功能类型									
		边界控制		网格控制					网格生成		
功能名称	二维模型	边界条件	边界层设置	设置笛卡尔网格	体加密	边控制	面控制	各向异性	笛卡尔网格	导入网格	检查网格

2.1　边界条件

边界条件用于命名几何边界，为边界条件设置准备数据。

图 23　二维（左）和三维（右）边界条件任务面板

边界条件操作步骤如下：

1. 单击【网格剖分】选项卡>单击【边界条件】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标边或面。

3. 在【任务面板】，查看目标，输入边界名称。

4. 单击【√】。

2.2 边界层设置

边界层设置用于设置边界处网格膨胀，可设置边界层层数，增长率以及首层厚度。需在“设置笛卡尔网格”节点下使用。

图 24　边界层设置任务面板

边界层设置操作步骤如下：

1. 选中【结构树浏览器】中【设置笛卡尔网格】节点>单击菜单栏【网格剖分】选项卡>单击菜单栏功能【边界层设置】。

2. 在【任务面板】，选中已定义的目标边界条件，设置“边界层层数”，“增长率”及“首层厚度”。

3. 单击【√】。

2.3　设置笛卡尔网格

设置笛卡尔网格是使用笛卡尔方法剖分网格，用于设置流体网格的全局参数。在这里仅介绍必须设置的参数，其余通常采用默认值即可。

图 25　二维（左）和三维（右）设置笛卡尔网格任务面板

设置笛卡尔网格步骤如下：

1. 单击【网格剖分】选项卡>单击【设置笛卡尔网格】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标面或体。

3. 在【任务面板】>单击【通用设置】>单元尺寸：表示剖分过程的初始尺寸，后续所有的加密等级 n 的实际作用尺寸为单元尺寸除以 2 的 n 次方。

3. 单击【√】。

2.4　体加密

体加密用于对几何模型的局部区域进行加密细化设置。

图 26　体加密任务面板

局部加密设置操作步骤如下：

1. 选中【结构树浏览器】中【设置笛卡尔网格】节点>单击菜单栏【网格剖分】选项卡>单击【体加密】。

2. 在【任务面板】>单击【局部细化】>体类型，选择合适的区域类型。区域类型共有长方体、圆柱体、球三种。若类型为长方体，则需要设置体心和边长；若类型为圆柱体，则需要设置轴向起点、轴向终点和半径，即圆柱体上下表面圆心坐标和半径大小；若类型为球，则需要设置球心和半径，即球心的坐标和其半径大小。

3. 单击【局部细化】>控制类型，选择加密的方式。加密方式有单元尺寸和细化等级两种。

4. 单击【√】。

2.5 边控制

边控制用于对几何模型的边进行自定义设置。

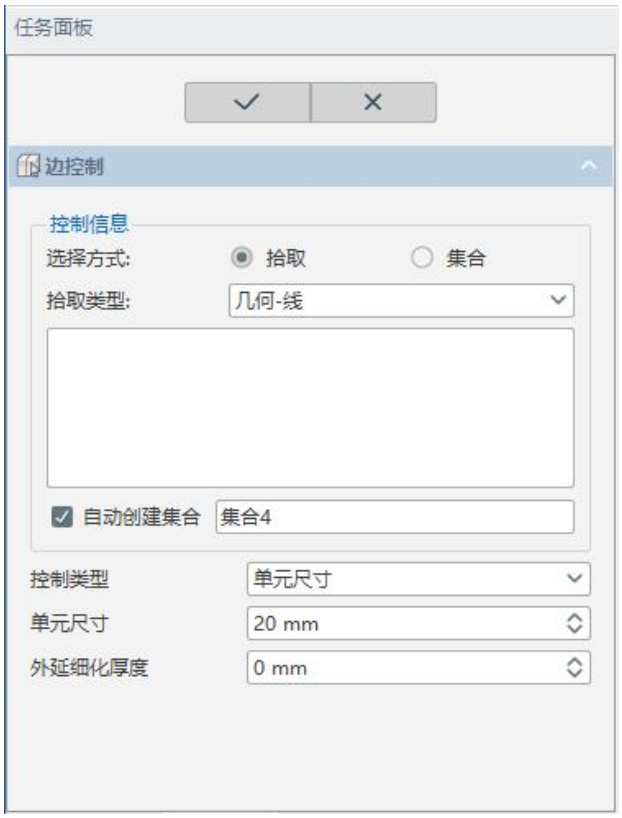


图 27 边控制任务面板

1. 选中【结构树浏览器】中【设置笛卡尔网格】节点>单击菜单栏【网格剖分】选项卡>单击【边控制】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标边。

3. 在【任务面板】，查看目标，选择控制类型。控制类型有单元尺寸和细化等级两种。

4. 单击【√】。

2.6 面控制

面控制用于对几何模型的面进行自定义设置。

图 28 面控制任务面板

1. 选中【结构树浏览器】中【设置笛卡尔网格】节点>单击菜单栏【网格剖分】选项卡>单击【面控制】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标面。

3. 在【任务面板】，查看目标，选择控制类型。控制类型有单元尺寸和细化等级两种。

4. 单击【√】。

2.7 各向异性

各向异性用于对不同维度的网格尺寸进行进一步的控制。各向异性仅在二维网格剖分中出现。

图 29 各向异性任务面板

1. 选中【结构树浏览器】中【设置笛卡尔网格】节点>单击菜单栏【网格剖分】选项卡>单击【各向异性】。

2. 在【任务面板】>单击【局部细化】>类型，选择合适的细化类型。细化类型共有长方体、平面两种。若类型为长方体，则需要设置体心和边长，以及三个轴向的缩放系数；若类型为平面，则需要设置起始位置、法向量、缩放距离和缩放系数。

3. 单击【√】。

2.8 笛卡尔网格

笛卡尔网格用于对几何模型以笛卡尔网格剖分方式进行网格剖分。

笛卡尔网格的操作步骤如下：

1. 单击【网格剖分】选项卡>单击【笛卡尔网格】，生成网格。

2.9 导入网格

导入网格用于外部导入网格文件。目前支持的网格类型有.msh、.cas 文件，需导入 ASCII 格式文件。

2.10 检查网格

网格检测用于报告网格质量，包括网格正交性等。

3. 网格模型导入

可导入 inp 格式的网格文件（包含网格和集合）。

第七章　物理场和分析

（一）　低频电磁分析

低频电磁分析主要针对静态和准静态物理，可用于计算电磁设备的电磁特性。

仿真开发环境的低频电磁场分析有以下分析类型：

- 静电场分析
- 直流传导场分析
- 交流传导场分析
- 瞬态电场分析
- 静磁场分析
- 时谐磁场分析
- 瞬态磁场分析

用户可以根据需求，选择适当的电磁分析类型。

1.　低频电磁分析类型

1.1　静电场分析

静电场分析用于计算由电荷密度或电势所引起的空间电场分布，可以计算电势、电场强度、电通密度、力、力矩、电容、能量等物理量。

创建静电场分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析模型”选择“电磁分析”，“维度”选择“三维”/“二维轴对称”/“二维”几何维度，确定分析名称和保存位置路径。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建电磁材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，单击【创建分析】，【分析类型】任务窗口内，双击选择“静电场”，并单击【√】。

5. 在【组合浏览器】模型管理树上双击【静电场】节点，在【静态场分析】任务窗口内设置静电场分析参数。如下图，左图是三维和二维轴对称静电场，右图是二维静电场。

图 30　三维和二维轴对称静电场（左）、二维静电场（右）

【标签】：当前分析名称，可更改。

【模型分数】：设置周期模型个数。

【Z 方向厚度】：二维静电场时，设置 Z 方向厚度。

6. 单击【材料给赋】，在任务窗口中分别选择几何体赋予对应的材料。

7. 在【分析】选项卡，选取设置边界条件：【电力线平行】，【电力线垂直】，【悬浮电位】，【开放边界】，【周期边界】。

8. 在【分析】选项卡，选取设置激励类型：【电荷】，【电荷密度】，【电压】。

9. 在【分析】选项卡，选取设置计算参数：【电磁力】，【力矩】，【电容】。

10. 在【分析】选项卡，单击【计算】，执行分析。

1.2　直流传导场分析

直流传导场分析用于计算直流电流或直流电压作用于导体上的稳态电流场分布。

创建直流传导场分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析模型”选择“电磁分析”， “维度”选择“三维”/“二维轴对称”/“二维”几何维度，确定分析名称和保存位置路径。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建电磁材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，单击【创建分析】，【分析类型】任务窗口内，双击选择“直流传导场”，并单击【√】。

5. 在【组合浏览器】模型管理树上双击【直流传导场】节点，在【静态场分析】任务窗口内设置直流传导场分析参数。如下图，左图是三维和二维轴对称直流传导场，右图是二维直流传导场。

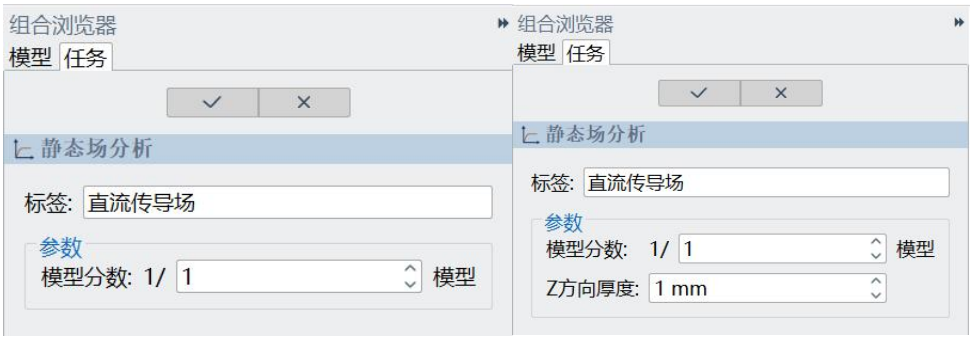


图 31　三维和二维轴对称直流传导场（左）、二维直流传导场（右）

【标签】：当前分析名称，可更改。

【模型分数】：设置周期模型个数。

【Z 方向厚度】：二维直流传导场时，设置 Z 方向厚度。

6. 单击【材料给赋】，在任务窗口中分别选择几何体赋予对应的材料。

7. 在【分析】选项卡，选取设置边界条件：【电力线平行】，【电力线垂直】，【开放边界】，【周期边界】，【接触电阻】。

8. 在【分析】选项卡，选取设置激励类型：【电流】，【电压】。

9. 在【分析】选项卡，选取设置计算参数：【电导】，【欧姆损耗】。

10. 在【分析】选项卡，单击【计算】，执行分析。

1.3 交流传导场分析

交流传导场分析用于计算低频余弦电流或余弦电压作用于导体上的准直流传导场分布。

创建交流传导场分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析模型”选择“电磁分析”，“维度”选择“三维”/“二维轴对称”/“二维”几何维度，确定分析名称和保存位置路径。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建电磁材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，单击【创建分析】，【分析类型】任务窗口内，双击选择“交流传导场”，并单击【√】。

5. 在【组合浏览器】模型管理树上双击【交流传导场】节点，在【时谐分析】任务窗口内设置交流传导场分析参数。如下图，左图是三维和二维轴对称交流传导场，右图是二维交流传导场。

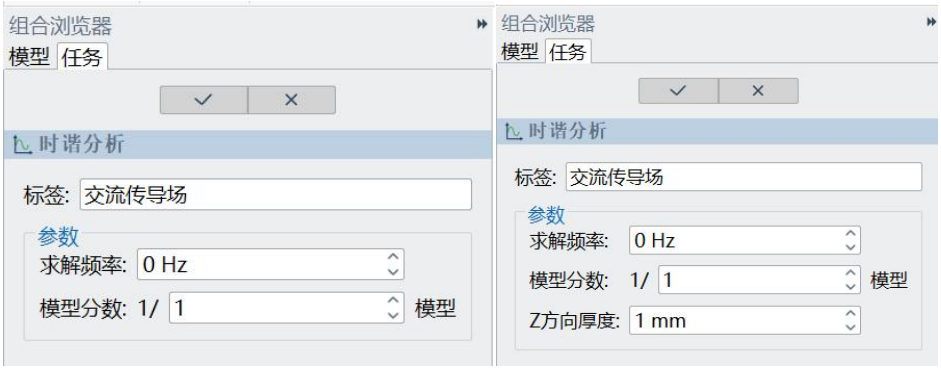


图 32　三维和二维轴对称交流传导场（左）、二维交流传导场（右）

【标签】：当前分析名称，可更改。

【求解频率】：励磁电流或励磁电压的频率。

【模型分数】：设置周期模型个数。

【Z 方向厚度】：二维交流传导场时，设置 Z 方向厚度。

6. 单击【材料给赋】，在任务窗口中分别选择几何体赋予对应的材料。

7. 在【分析】选项卡，选取设置边界条件：【电力线平行】，【电力线垂直】，【开放边界】，【周期边界】，【接触电阻】。

8. 在【分析】选项卡，选取设置激励类型：【电流】，【电压】。

9. 在【分析】选项卡，选取设置计算参数：【导纳】，【欧姆损耗】。

10. 在【分析】选项卡，单击【计算】，执行分析。

1.4　瞬态电场分析

瞬态电场分析用于计算任意时变电流或电压作用于导体上的电流场分布。

创建瞬态电场分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析模型”选择“电磁分析”，“维度”选择“三维”/“二维轴对称”/“二维”几何维度，确定分析名称和保存位置路径。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建电磁材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，单击【创建分析】，【分析类型】任务窗口内，双击选择“瞬态电场”，并单击【√】。

5. 在【组合浏览器】模型管理树上双击【瞬态电场】节点，在【瞬态分析】任务窗口内设置瞬态电场分析参数。如下图，左图是三维和二维轴对称瞬态电场，右图是二维瞬态电场。

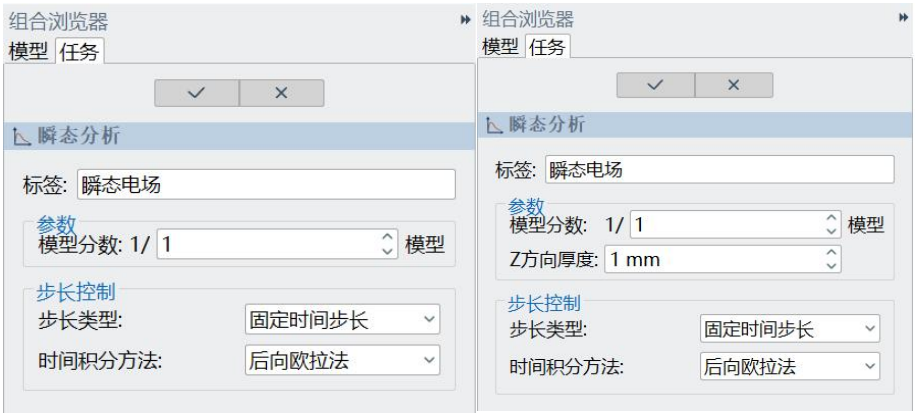


图 33　三维和二维轴对称瞬态电场（左）、二维瞬态电场（右）

【标签】：当前分析名称，可更改。

【模型分数】：设置周期模型个数。

【Z 方向厚度】：二维瞬态电场时，设置 Z 方向厚度。

【步长类型】：设置瞬态分析步长类型，可选择固定时间步长或自适应时间步长。

【时间积分方法】：设置时间积分方法，可选择后向欧拉法或梯形法。

6. 单击【材料给赋】，在任务窗口中分别选择几何体赋予对应的材料。

7. 在【分析】选项卡，单击【分析步】，弹出任务窗口如下图，设置相关参数，单击【√】。

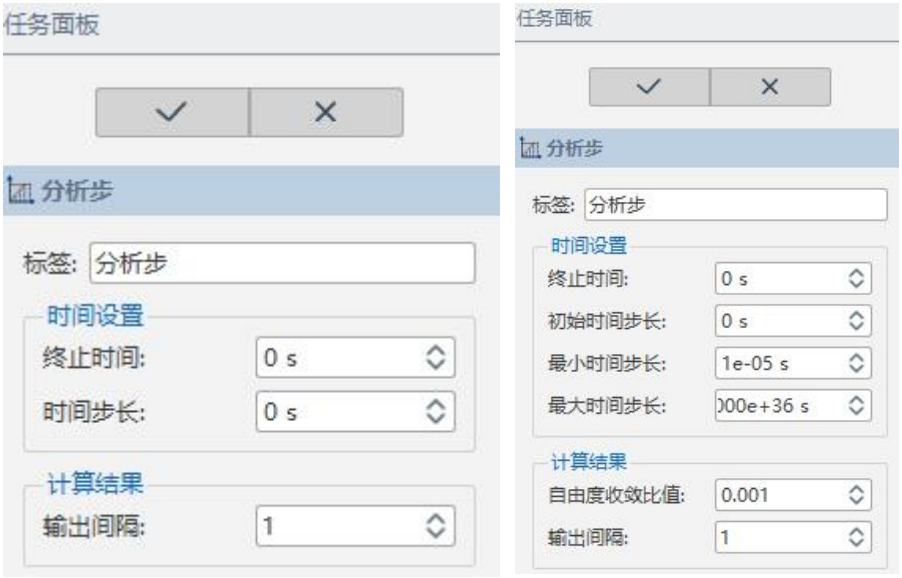


图 34　固定时间步长载荷步设置和自适应步长载荷步设置

【终止时间】：设置瞬态场当前载荷步的结束时间，单位为 s。

【时间步长】：设置固定时间步长时瞬态场当前载荷步的子步长，单位为 s。

【初始时间步长】、【最小时间步长】和【最大时间步长】为自适应时间步长时的相关设置，初始时间步长由用户自定义，应大于 0。

【输出间隔】：指的是每隔指定步数输出/保存一次计算结果。

8. 在【分析】选项卡，选取设置边界条件：【电力线平行】，【电力线垂直】，【开放边界】，【周期边界】。

9. 在【分析】选项卡，选取设置激励类型：【电流】，【电压】。

10. 在【分析】选项卡，选取设置计算参数：【欧姆损耗】。

11. 在【分析】选项卡，单击【计算】，执行分析。

1.5　静磁场分析

静磁场分析用于计算由直流电流或永磁体所引起的空间磁场分布，可以计算磁矢势、磁场强度、磁通密度、电流密度、力、力矩、电感、能量、欧姆损耗等物理量。

创建静磁场分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析模型”选择“电磁分析”，“维度”选择“三维”/“二维轴对称”/“二维”几何维度，确定分析名称和保存位置路径。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建电磁材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，单击【创建分析】，【分析类型】任务窗口内，双击选择“静磁场”，并单击【√】。

5. 在【组合浏览器】模型管理树上双击【静磁场】节点，在【静态场分析】任务窗口内设置静磁场分析参数。如下图，左图是三维和二维轴对称静磁场，右图是二维静磁场。

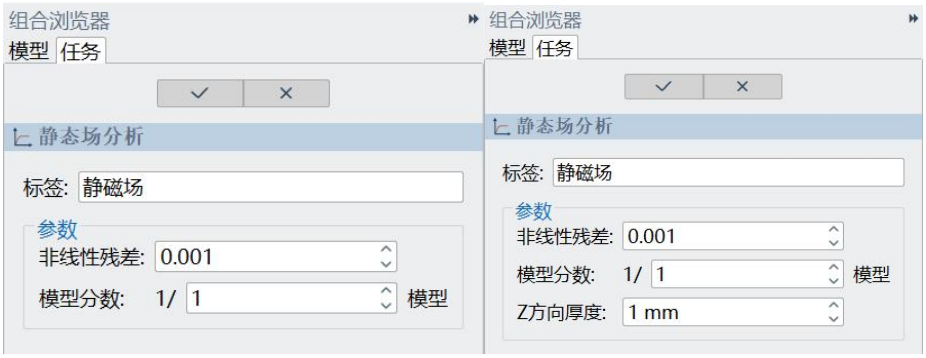


图 35　三维和二维轴对称静磁场（左）、二维静磁场（右）

【标签】：当前分析名称，可更改。

【非线性残差】：非线性迭代的收敛判据，一般为 0.001。

【模型分数】：设置周期模型个数。

【Z 方向厚度】：二维静磁场时，设置 Z 方向厚度。

6. 单击【材料给赋】，在任务窗口中分别选择几何体赋予对应的材料。

7. 在【分析】选项卡，选取设置边界条件：【磁力线平行】，【磁力线垂直】，【开放边界】，【周期边界】。

8. 在【分析】选项卡，选取设置激励类型：【电流密度】，【电流激励】，【线圈】，【绕组】，【外加磁场】。

9. 在【分析】选项卡，选取设置计算参数：【电磁力】，【力矩】，【电感】，【欧姆损耗】。

10. 在【分析】选项卡，单击【计算】，执行分析。

1.6 时谐磁场分析

时谐磁场分析用于计算由低频余弦电流或余弦电压生成的磁场。

创建时谐磁场分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析模型”选择“电磁分析”，“维度”选择“三维”/“二维轴对称”/“二维”几何维度，确定分析名称和保存位置路径。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建电磁材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，单击【创建分析】，【分析类型】任务窗口内，双击选择“时谐磁场”，并单击【√】。

5. 在【组合浏览器】模型管理树上双击【时谐磁场】节点，在【时谐分析】任务窗口内设置时谐磁场分析参数。如下图，左图是三维和二维轴对称时谐磁场，右图是二维时谐磁场。

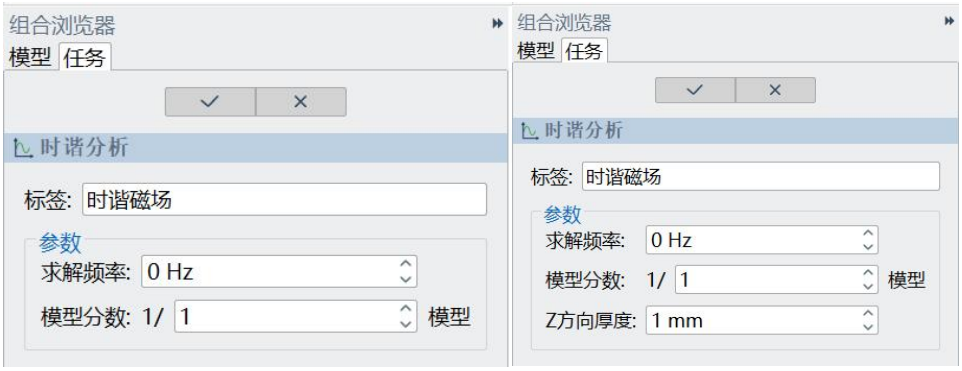


图 36　三维和二维轴对称时谐磁场（左）、二维时谐磁场（右）

【标签】：当前分析名称，可更改。

【求解频率】：励磁电流或励磁电压的频率。

【模型分数】：设置周期模型个数。

【Z 方向厚度】：二维时谐磁场时，设置 Z 方向厚度。

6. 单击【材料给赋】，在任务窗口中分别选择几何体赋予对应的材料。

7. 在【分析】选项卡，选取设置边界条件：【磁力线平行】，【磁力线垂直】，【开放边界】，【周期边界】。

8. 在【分析】选项卡，选取设置激励类型：【电流密度】，【电流激励】，【电压激励】，【线圈】，【绕组】，【涡流选项】，【外加磁场】。

9. 在【分析】选项卡，选取设置计算参数：【电磁力】，【力矩】，【电感】，【欧姆损耗】。

10. 在【分析】选项卡，单击【计算】，执行分析。

1.7　瞬态磁场分析

瞬态磁场分析用于计算由时变电流或时变电压、永磁体生成的磁场。

创建瞬态磁场分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析模型”选择“电磁分析”，“维度”选择“三维”/“二维轴对称”/“二维”几何维度，确定分析名称和保存位置路径。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建电磁材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，单击【创建分析】，【分析类型】任务窗口内，双击选择“瞬态磁场”，并单击【√】。

5. 在【组合浏览器】模型管理树上双击【瞬态磁场】节点，在【瞬态分析】任务窗口内设置瞬态磁场分析参数。如下图，左图是三维和二维轴对称瞬态磁场，右图是二维瞬态磁场。

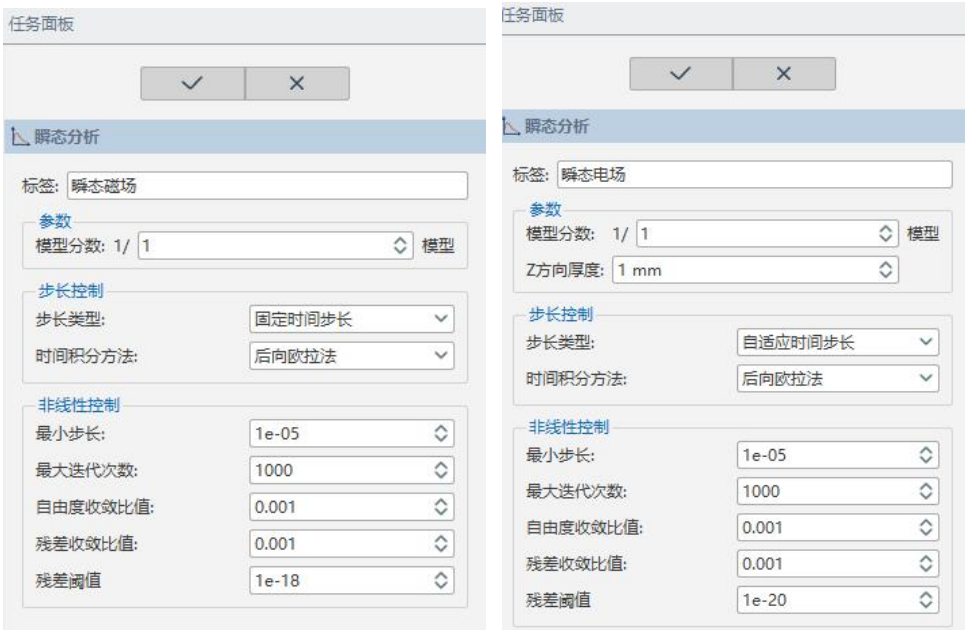


图 37　三维和二维轴对称瞬态磁场（左）、二维瞬态磁场（右）

【标签】：当前分析名称，可更改。

【模型分数】：设置周期模型个数。

【Z 方向厚度】：二维瞬态磁场时，设置 Z 方向厚度。

【步长类型】：设置瞬态分析步长类型，可选择固定时间步长或自适应时间步长。

【时间积分方法】：设置时间积分方法，可选择后向欧拉法或梯形法。

【最小步长】、【最大迭代次数】、【自由度收敛比值】、【残差收敛比值】和【残差阈值】为非线性控制设置，一般采用默认值即可。

6. 在【分析】选项卡，单击【分析步】，弹出对话框如下图，设置参数，单击【√】。

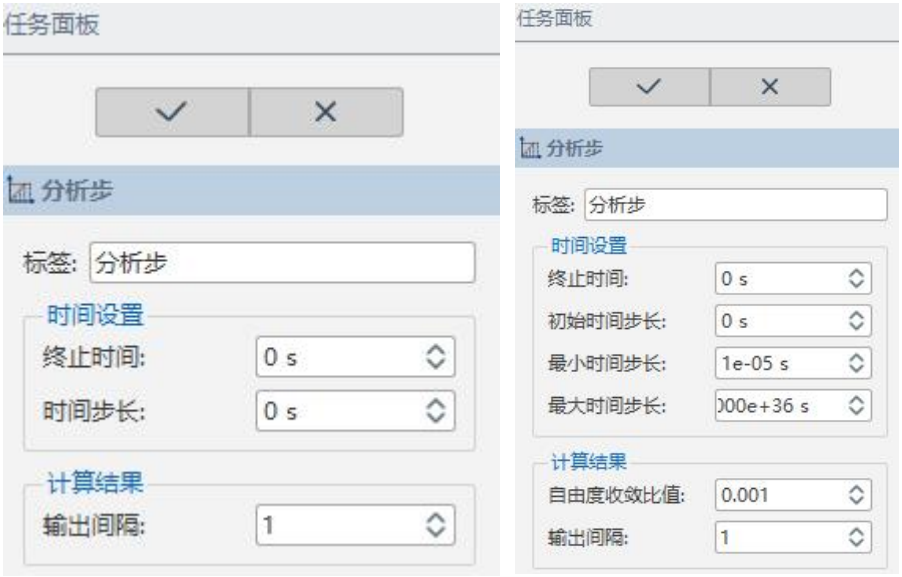


图 38　固定时间步长时载荷步设置（左）、自适应时间步长时载荷步设置（右）

【终止时间】：设置瞬态场当前载荷步的结束时间，单位为 s。

【时间步长】：设置固定时间步长时瞬态场当前载荷步的子步长，单位为 s。

【初始时间步长】、【最小时间步长】和【最大时间步长】为自适应时间步长时的相关设置，初始时间步长应大于 0。

【输出间隔】：指的是每隔指定步数输出/保存一次场量计算结果，电磁参数的计算结果不受输出间隔影响。

7. 单击【材料给赋】，在任务窗口中分别选择几何体赋予对应的材料。

8. 在【分析】选项卡，选取设置边界条件：【磁力线平行】，【磁力线垂直】，【开放边界】，【周期边界】，【滑移界面】。

9. 在【分析】选项卡，选取设置激励类型：【电流密度】，【电流激励】，【电压激励】，【线圈】，【绕组】，【端部连接】，【涡流选项】，【运动】，【电路】，【耦合电流】。

10. 在【分析】选项卡，选取设置计算参数：【电磁力】，【力矩】，【磁链】，【欧姆损耗】，【铁芯损耗】。

11. 在【分析】选项卡，单击【计算】，执行分析。

2. 低频电磁分析功能区各项功能

2.1 材料给赋

材料给赋是给模型包含的每个几何单独施加对应的材料。

支持的分析类型：静电场分析，直流传导场分析，交流传导场分析，瞬态电场分析，静磁场分析，时谐磁场分析和瞬态磁场分析。

图 39　材料给赋设置面板

施加材料给赋的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【材料给赋】。

2. 在视图交互区域单击选择目标面或目标体。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 从【材料坐标系】中选择对应的坐标系。

4. 从【材料】下拉框中选择对应的材料。

5. 在【组合浏览器】>任务面板，单击【√】。

注意：用户在给不同几何施加充磁方向时，可以将材料中矫顽力的方向设为（1，0，0），然后在几何体上分别定义局部坐标系，局部坐标系的 X 轴方向分别对应其充磁方向。在材料给赋设置时，不同几何的坐标系分别选择预定义的局部坐标系即可。

2.2 电力线平行

电力线平行是对模型的外边界施加，保证边界处的电力线平行于该边界。自然边界条件，可不做设置。

支持的分析类型：静电场分析，直流传导场分析，交流传导场分析和瞬态电场分析。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为边；在三维模型中，施加的几何对象为面。

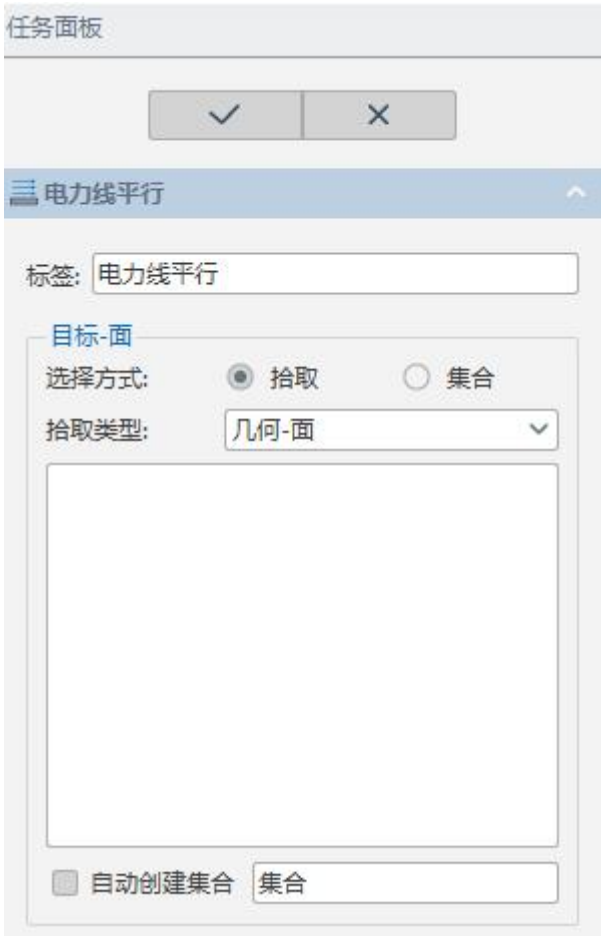


图 40 电力线平行设置面板

施加电力线平行的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【电力线平行】。

2. 在视图交互区域单击选择目标边或目标面。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【组合浏览器】>任务面板，单击【√】。

2.3 电力线垂直

电力线垂直是对模型的边界施加，保证边界处的电力线垂直于该边界，即该边界上为电压等值边界。

支持的分析类型：静电场分析，直流传导场分析，交流传导场分析和瞬态电场分析。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为边；在三维模型中，施加的几何对象为面。

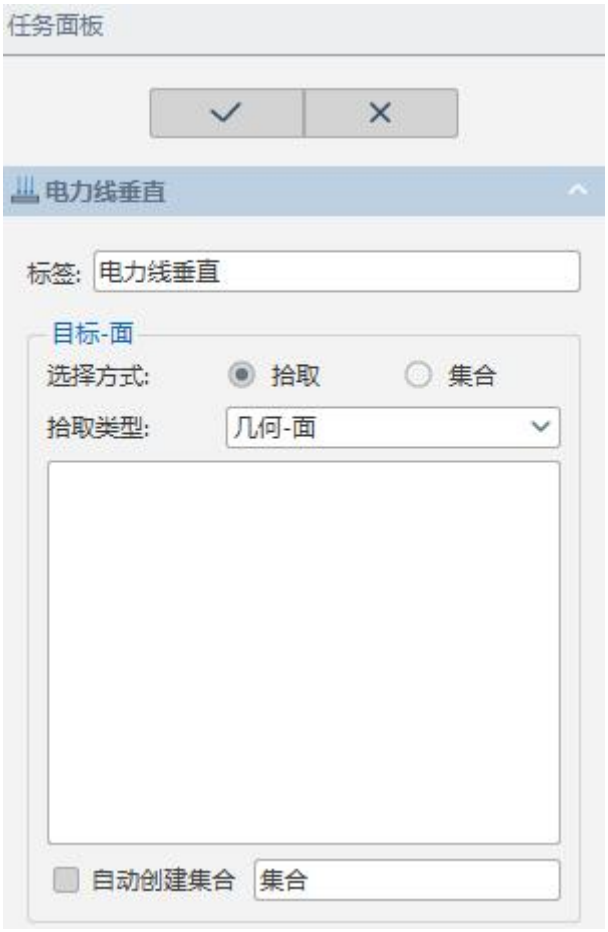


图 41　电力线垂直设置面板

施加电力线垂直的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【电力线垂直】。

2. 在视图交互区域单击选择目标边或目标面。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【组合浏览器】>任务面板，单击【√】。

2.4　悬浮电位

悬浮电位是对模型的几何对象施加，设置电压未知的理想导体。

支持的分析类型：静电场分析。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为边、面；在三维模型中，施加的几何对象为面、体。

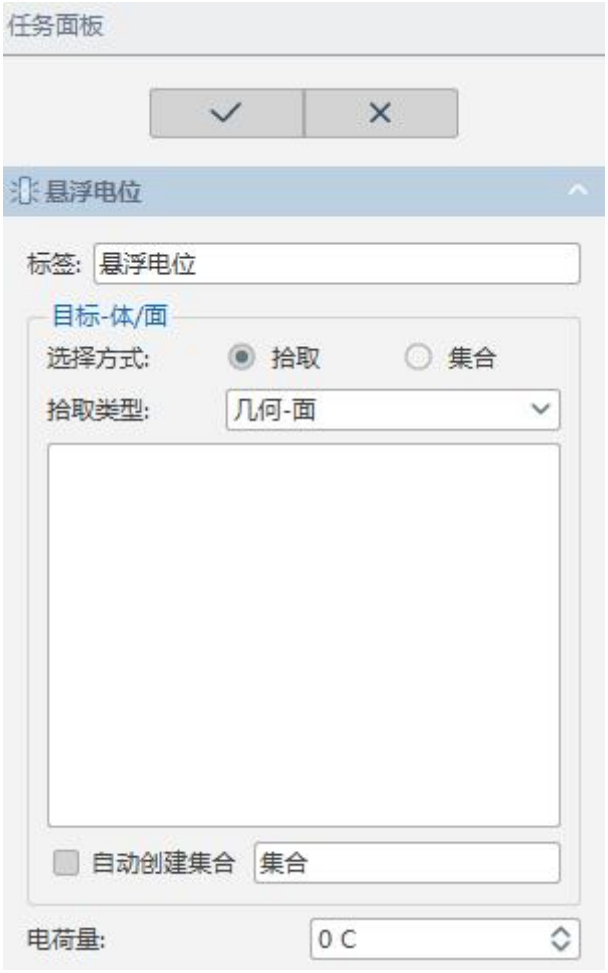


图 42　悬浮电位设置面板

施加悬浮电位的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【悬浮电位】。

2. 在视图交互区域单击选择目标对象。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【电荷量】中输入对应的电荷值。

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

2.5 自定义电压

自定义电压是对模型的几何对象施加，设置的电压值是与位置坐标有关的函数。

支持的分析类型：静电场分析。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为边；在三维模型中，施加的几何对象为面。

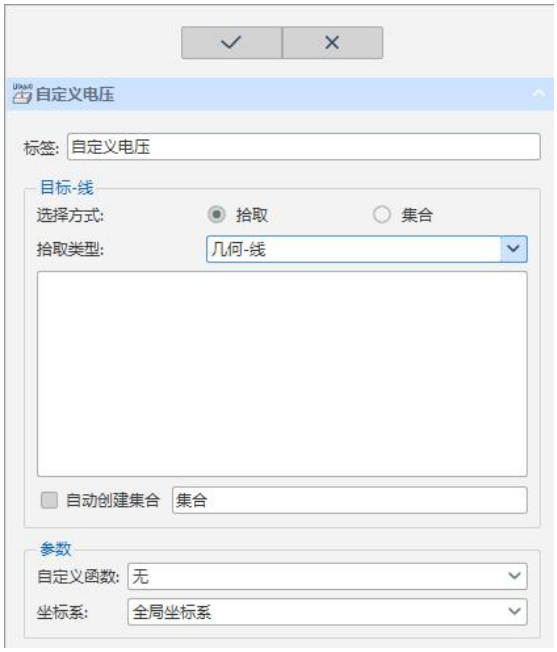


图 43 自定义电压设置面板

施加自定义电压的操作步骤：

1. 在【预定义】>【自定义函数】中定义一个和位置坐标有关的函数。

2. 在【分析】选项卡，单击【自定义电压】。

3. 在视图交互区域单击选择目标对象。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

4. 在【参数】>【自定义函数】中选择已定义好的函数，在【坐标系】中选择提前

定义好的坐标系。

4.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

2.6 磁力线平行

磁力线平行是对模型的边界施加，保证边界处的磁力线平行于该边界。

支持的分析类型：静磁场分析，时谐磁场分析和瞬态磁场分析。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为边；在三维模型中，施加的几何对象为面。

图 44 磁力线平行设置面板

施加磁力线平行的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【磁力线平行】。

2. 在视图交互区域单击选择目标线或目标面。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【荷载设置】中输入 X、Y、Z 方向对应的荷载值。

4.【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

2.7 磁力线垂直

磁力线垂直是对模型的边界施加，保证边界处的磁力线垂直于该边界。自然边界条件，可不做设置。

支持的分析类型：静磁场分析，时谐磁场分析和瞬态磁场分析。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为边；在三维模型中，施加的几何对象为面。

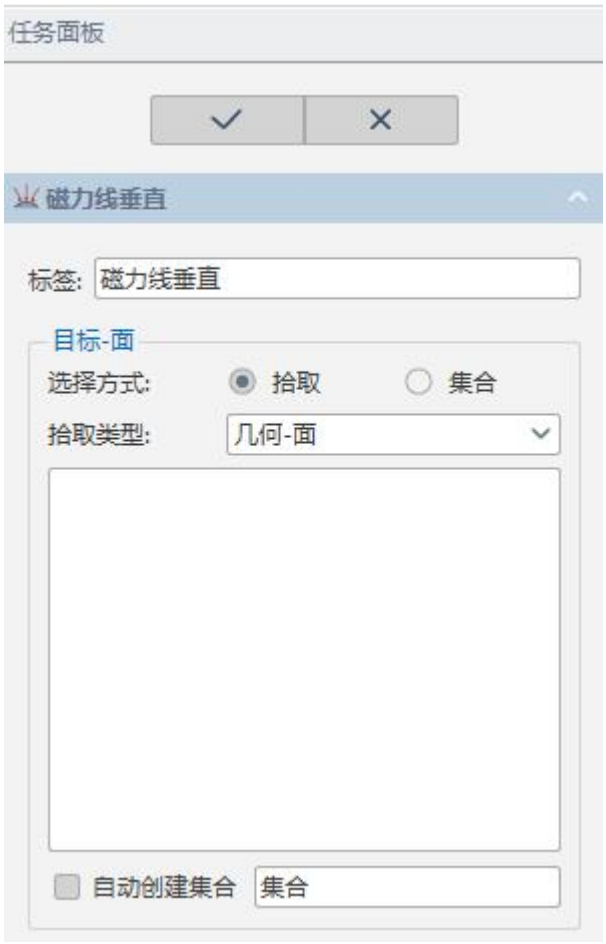


图 45　磁力线垂直设置面板

施加磁力线垂直的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【磁力线垂直】。

2. 在视图交互区域单击选择目标线或目标面。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

2.8　开放边界

开放边界是对模型的边界施加，模拟无限大求解区。开放边界有两种：电场开放边界，磁场开放边界。

支持的分析类型：静电场分析、直流传导场分析、交流传导场分析、瞬态电场分析、静磁场分析、时谐磁场分析和瞬态磁场分析。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为边；在三维模型中，施加的几何对象为面。

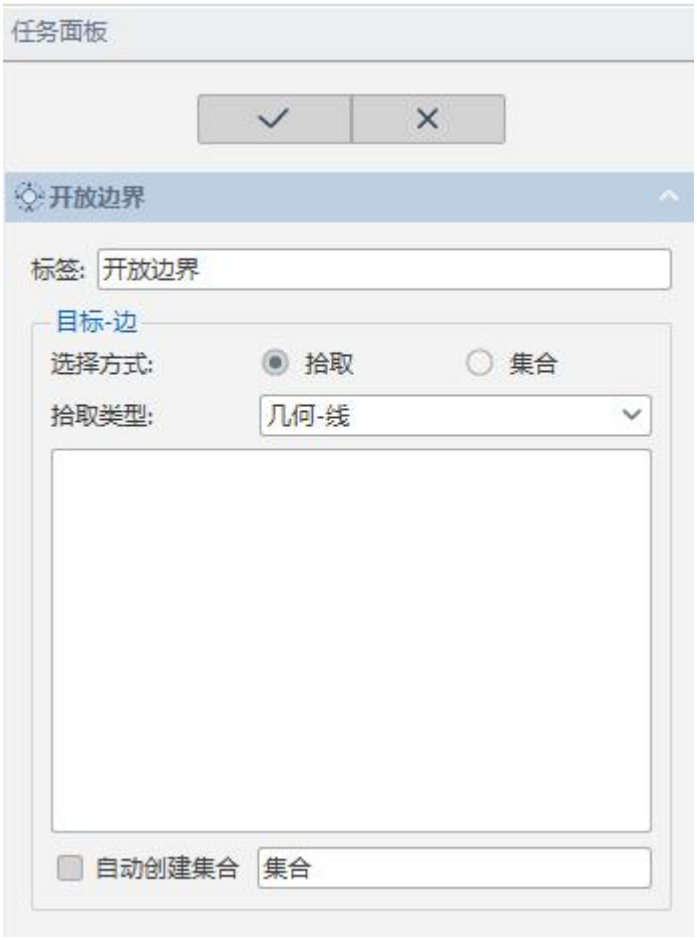


图 46　开放边界设置面板

施加开边界条件的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【开放边界】。

2. 在视图交互区域单击选择目标线或目标面。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

2.9 周期边界

周期边界是对模型的边界施加，模拟周期性结构的对称边界，使主边界和从边界具有相同的幅值，相同或相反的方向。

支持的分析类型：静电场分析、直流传导场分析、交流传导场分析、瞬态电场分析、静磁场分析、时谐磁场分析和瞬态磁场分析。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为边；在三维模型中，施加的几何对象为面。

图 47 周期边界设置面板

施加周期边界的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【周期边界】。

2.在视图交互区域单击选择目标线或目标面，选定主边/面。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

4.在【组合浏览器】>【任务】面板>【目标-主面】和【目标-从面】窗口中单击可切换选选取对象。

5.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

注意：网格剖分时，主边/面和从边/面必须做网格匹配。

2.10 接触电阻

接触电阻边界条件用来对阻抗高于周围介质的薄层材料进行近似处理。对于两个相互接触的导体，在接触面上的电阻和电容会影响两个导体之间通过的电流，两个导体的接触面上回存在电压的跃变。

支持的分析类型：直流传导场分析、交流传导场分析

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为边；在三维模型中，施加的几何对象为面。在设置接触电阻时，接触电阻两侧的网格应为非协调网格，所以接触电阻两侧的几何不应设为一个组合体。

图 48　接触电阻设置面板

施加接触电阻的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【接触电阻】。

2. 在视图交互区域单击选择目标线或目标面，选定主边/面。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3.在【组合浏览器】>【任务】面板>【目标-主面】和【目标-从面】窗口中单击可切换选选取对象。

4.在【参数】窗口中输入表面电阻和表面电容的数值。

5.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

注意：网格剖分时，主边/面和从边/面不能网格匹配。

2.11 电荷密度

电荷密度是对模型的几何对象施加，设置目标对象的线电荷密度、面电荷密度或体电荷密度，电荷密度可以为一个常数，也可以为随位置坐标变化的函数。

支持的分析类型：静电场分析。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为边、面；在三维模型中，施加的几何对象为面、体。

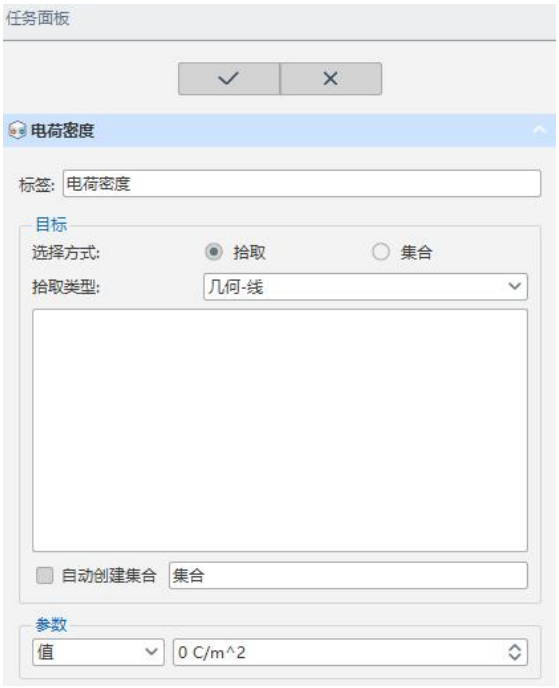


图 49　电荷密度设置面板

施加电荷密度的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【电荷密度】。

2. 在视图交互区域单击选择目标线，目标面，或目标体。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【参数】窗口中，若施加的电荷密度为常数值，则选择【值】，并输入对应的电荷密度数值；若施加的电荷密度为随位置变化的函数，则选择【自定义】，并选择提前定义好的函数和坐标系。

4.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

2.12 电流密度

电流密度是对模型的几何对象施加，设置目标对象的电流密度。

支持的分析类型：静磁场分析，时谐磁场分析和瞬态磁场分析。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为边、面，在三维模型中，施加的几何对象为面、体。

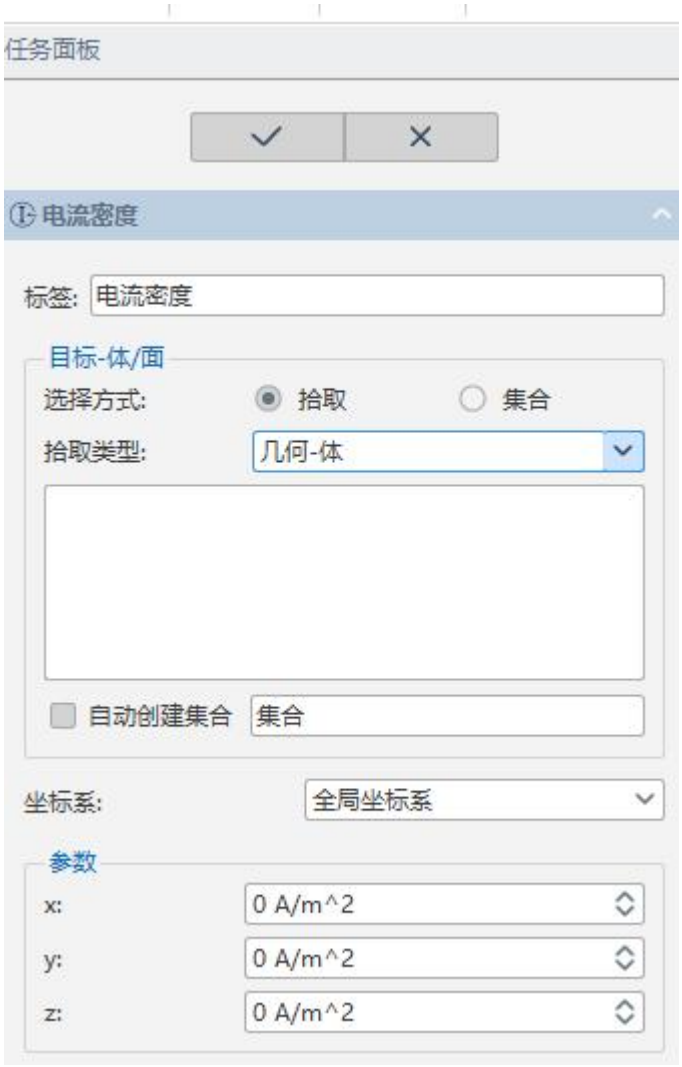


图 50　电流密度设置面板

施加电流密度的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，【电流密度】。

2. 在视图交互区域单击选择目标线，或目标面，或目标体。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板中设置电流密度数值。

4.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

注意：在二维分析模型中，工作平面为全局 XY 平面，电流密度仅 Z 轴分量有效，正值表示电流流入+Z 方向，负值表示电流流入-Z 方向；在二维轴对称分析模型中，工作平面同样为全局 XY 平面，Y 轴为对称轴。

2.13 电流激励

电流激励是对模型的几何对象施加，设置目标对象的电流值。电流的单位是 A。

支持的分析类型：直流传导场分析、交流传导场分析、瞬态电场分析、静磁场分析、时谐磁场分析和瞬态磁场分析。

边界特征：在二维磁场模型中，施加的几何对象为面，在三维磁场模型中，施加的几何对象为体。在二维电流场模型中，施加的几何对象为边，在三维电流场模型中，施加的几何对象为面。

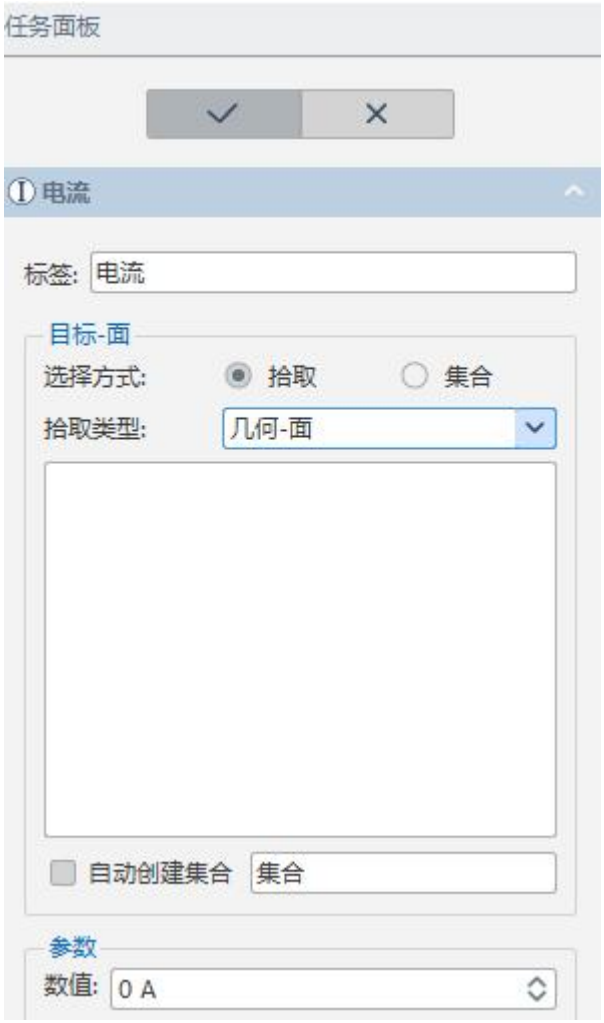


图 51　电流场分析中电流设置面板

在电流场分析模型中施加电流激励的操作步骤：

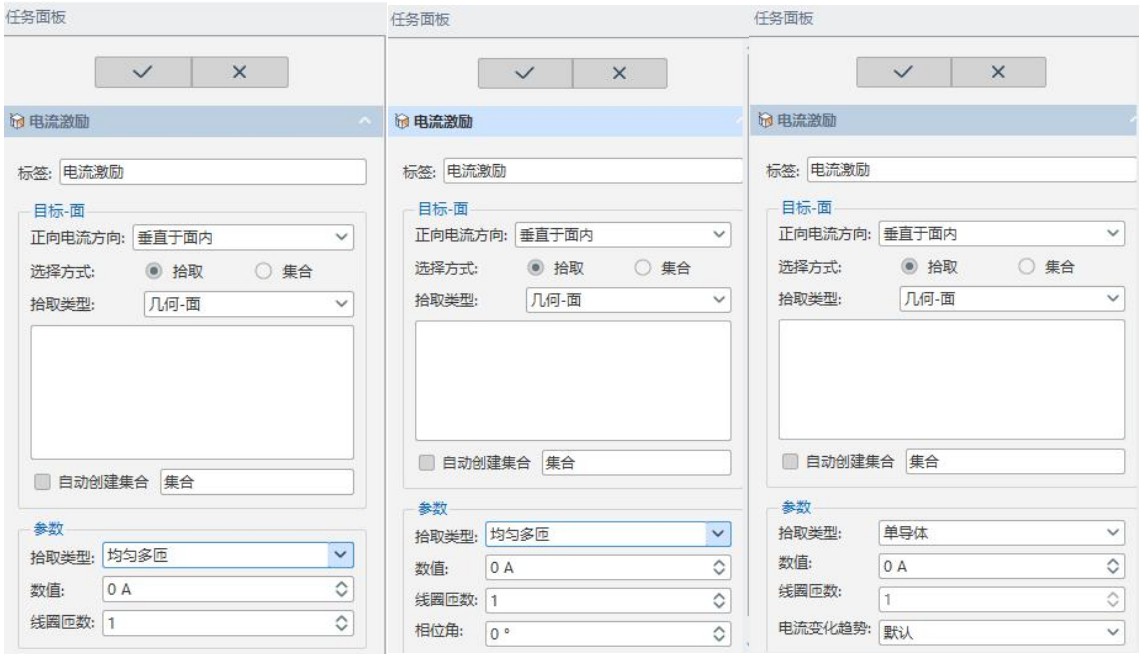
1. 在【分析】选项卡，单击【电流激励】。

2. 在视图交互区域单击选择目标边，或目标面。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板中设置电流值。

4.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。



(1) 静磁场　　(2) 时谐磁场　　(3) 瞬态磁场

图 52　二维或轴对称磁场分析中电流激励设置面板

在二维或二维轴对称磁场模型中施加电流激励的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【电流激励】。

2. 在视图交互区域单击选择目标面。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板中设置拾取类型、线圈匝数、正向电流方向和电流值。

拾取类型分为均匀多匝和单导体，单导体考虑涡流效应。

4.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

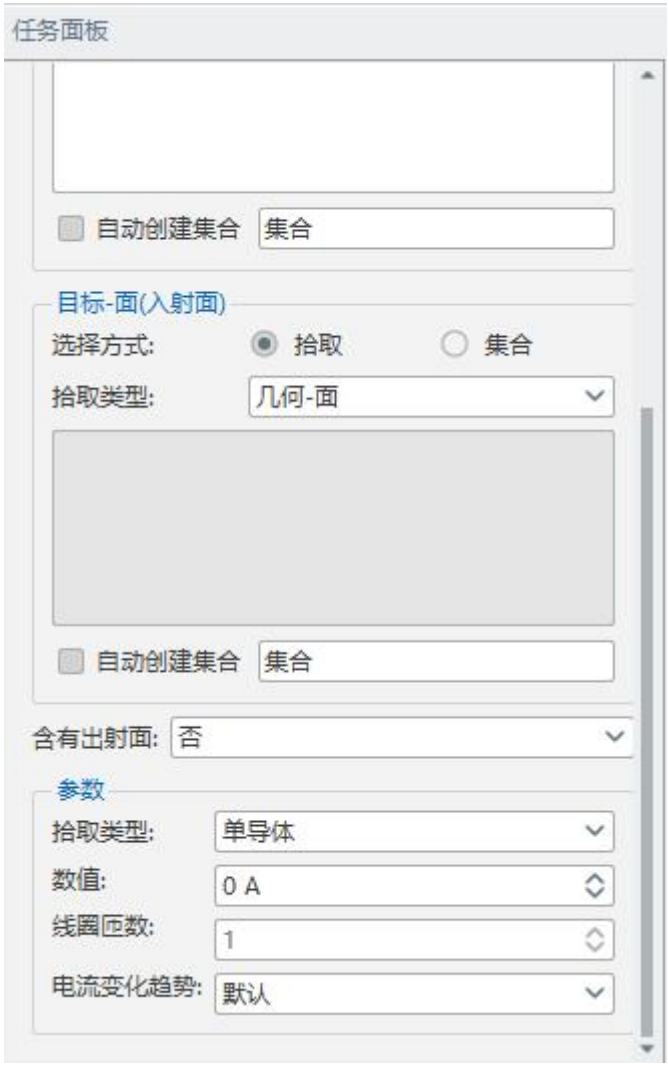


图 53　三维磁场分析中电流激励设置面板

在三维磁场模型中施加电流激励的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【电流激励】。

2.在视图交互区域单击选择目标体、入射面和出射面。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板中的【目标-体】和【目标-面】窗口中单击可切换选择对象。

4.在【组合浏览器】>【任务】面板中设置拾取类型、线圈匝数、电流值和电流变化趋势。

5.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

注意：时谐磁场分析中，电流激励需声明电流幅值和相角；瞬态磁场分析中，电流激励需通过自定义函数声明电流变化波形。

若电流回路是一个完整的闭合回路，只需设置入射电流方向，即设置【目标-面（入射面）】，无需设置出射面，即【含有出射面】选否。

2.14 电压激励

电压激励是对模型的几何对象施加，设置目标对象的电压值。电压的单位是V。

支持的分析类型：静电场分析、直流传导场分析、交流传导场分析、瞬态电场分析、静磁场分析、时谐磁场分析和瞬态磁场分析。

边界特征：在二维磁场模型中，施加的几何对象为面，在三维磁场模型中，施加的几何对象为体。在二维电流场模型中，施加的几何对象为边或面，在三维电流场模型中，施加的几何对象为面或体。

图 54　静电场或电流场分析中电压设置面板

在静电场模型或电流场模型中施加电压激励的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【电压激励】。

2. 在视图交互区域单击选择目标边，或目标面，或者目标体。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板中设置电压值。

4.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

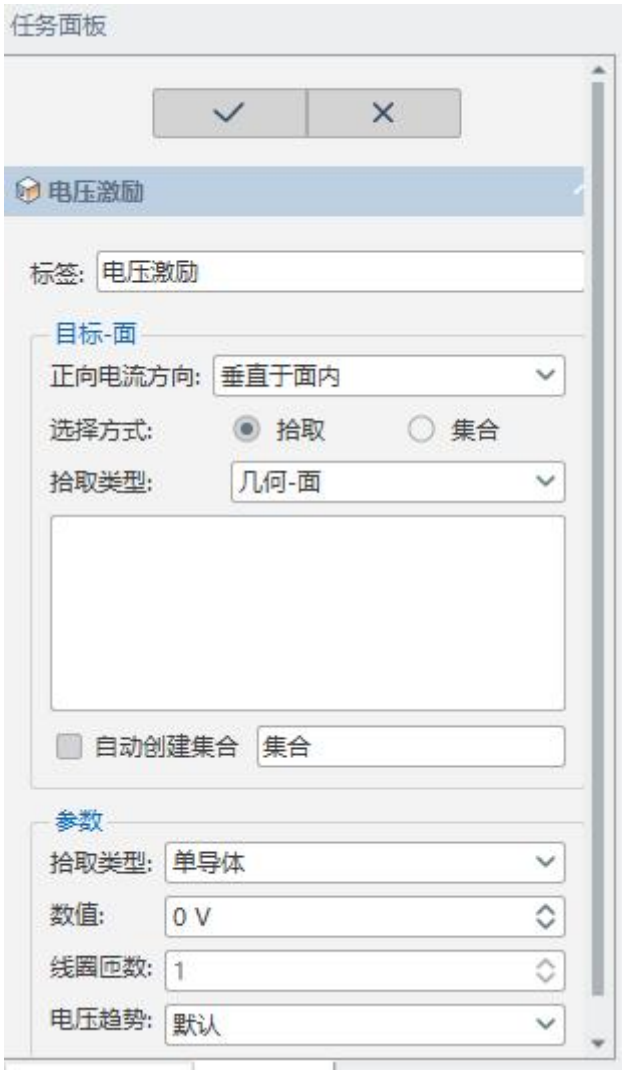


图 55　二维或轴对称磁场电压激励设置面板

在二维或二维轴对称磁场模型中施加电压激励的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【电压激励】。

2. 在视图交互区域单击选择目标面。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板中设置拾取类型、线圈匝数、正向电流方向和电压值。

拾取类型分为均匀多匝和单导体，单导体考虑涡流效应。

4.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

图 56　三维磁场分析中电压激励设置面板

在三维模型磁场分析中施加电压激励的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【电压激励】。

2.在视图交互区域单击选择目标体、入射面和出射面。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板中的【目标-体】和【目标-面】窗口中单击可

切换选择对象。

4.在【组合浏览器】>【任务】面板中设置拾取类型、线圈匝数、电压值。

5.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

注意：时谐磁场分析中，电压激励需声明电压幅值和相角；瞬态磁场分析中，电压激励需通过已定义离散函数声明电压变化波形。

若电压回路是一个完整的闭合回路，只需设置入射电流方向，即设置【目标-面（入射面）】，无需设置出射面，即【含有出射面】选否。

2.15 线圈

线圈施加在几何上，是绕制的具有一定匝数的导线。

支持的分析类型：静磁场分析，时谐磁场分析和瞬态磁场分析。

边界特征：在二维磁场模型中，施加的几何对象为面，在三维磁场模型中，施加的几何对象为体。

图 57　二维或轴对称磁场分析中线圈设置面板

在二维磁场模型中设置线圈的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【线圈】。

2. 在视图交互区域单击选择目标面。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板中设置拾取类型、线圈匝数、填充系数、极性、并联支路数、电阻类型和电阻值。

其中线圈拾取类型分为单导体和均匀多匝，当线圈类型为均匀多匝时，该线圈的电

阻类型分为测量值和估算值，选估算值的时候线圈电阻由软件自动计算得到，选测量值的时候由用户输入线圈的电阻值。电流极性分为正极性和负极性，正极性表示电流垂直纸面向外，负极性表示电流垂直纸面向内。

4.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

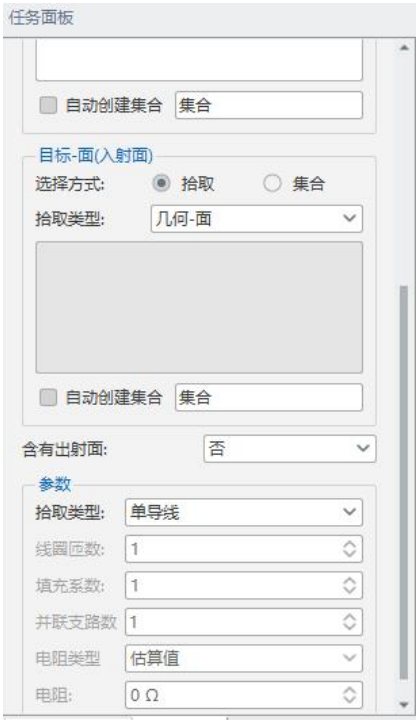


图 58　三维磁场分析中线圈设置面板

在三维模型中设置线圈的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【线圈】。

2.在视图交互区域单击选择目标体、入射面和出射面。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板中的【目标-体】和【目标-面】窗口中单击可切换选择对象。

4.在【组合浏览器】>【任务】面板中设置拾取类型、线圈匝数、填充系数、极性、

并联支路数、电阻类型和电阻值。

其中线圈拾取类型分为单导体和均匀多匝，当线圈类型为均匀多匝时，该线圈的电阻类型分为测量值和估算值，选估算值的时候线圈电阻由软件自动计算得到，选测量值的时候由用户输入线圈的电阻值。电流极性分为正极性和负极性，正极性表示电流垂直纸面向外，负极性表示电流垂直纸面向内。

5.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

2.16 绕组

采用已定义的线圈，可定义载压绕组、载流绕组或接入外电路的绕组。

支持的分析类型：静磁场分析，时谐磁场分析和瞬态磁场分析。

图 59　绕组设置面板

在磁场模型中设置绕组的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【绕组】。

2. 在【目标】单击选择已定义的线圈。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板中设置激励类型和相应的电流值、电压值、端部电阻、端部电感等参数。

【激励】：电流，电压；瞬态分析中，另有电路选项，用于与电路模型耦合。

【电流】或【电压】：设置电流/电压数值；

【端部电阻】：设置端部电阻值；

【端部电感】：设置端部电感值。

4.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

注意：时谐磁场分析中，需声明电流或电压幅值和相位角；瞬态磁场分析中，电流或电压需通过已定义离散函数声明变化趋势。

在瞬态磁场分析中，支持外接电路。

2.17 端部连接

端部连接施加在几何面上，几何面表示感应电机鼠笼转子导条的截面，端部连接描述相邻转子导条之间的电阻和电感。

支持的分析类型：二维瞬态磁场分析。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为面。

图 60　端部连接设置面板

施加端部连接的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【端部连接】。

2. 在视图交互区域单击选择目标几何。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板中设置端部电阻和端部电感。

4.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

2.18 涡流选项

涡流选项是对模型的几何对象施加，对目标对象设置涡流选项，考虑其涡流效应。

支持的分析类型：时谐磁场分析和瞬态磁场分析。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为面；在三维模型中，施加的几何对象为体。

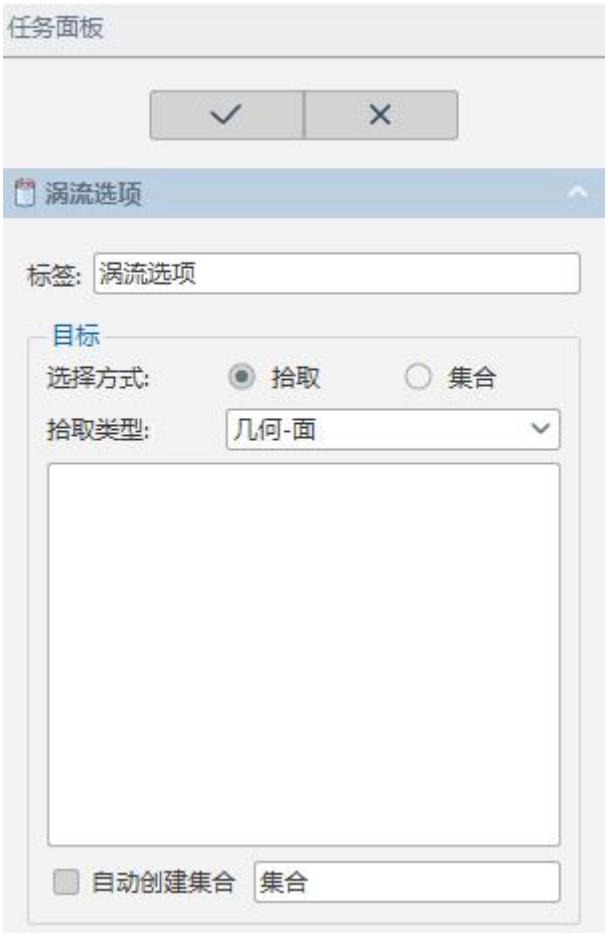


图 61　涡流选项设置面板

施加涡流选项的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【涡流选项】。

2. 在视图交互区域单击选择目标几何。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

2.19 滑移界面

滑移边界是对模型的边或面施加，施加在运动几何和静止几何的交界面。

支持的分析类型：二维、三维瞬态磁场分析。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为边；在三维模型中，施加的几何对象为面。

图 62　滑移界面设置面板

施加滑移边界的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【滑移边界】。

2. 在视图交互区域单击选择目标界面 1 和目标界面 2。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3.在【组合浏览器】>【任务】面板中【目标-界面 1-边】和【目标-界面 2-边】窗口中单击可切换选择对象。

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

2.20 运动

运动是对模型的几何施加，明确模型中的运动部分，设置运动参数。目前运动仅支持旋转运动或平移运动。

支持的分析类型：瞬态磁场分析。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为面；在三维模型中，施加的几何对象为体。

图 63　运动设置面板

施加运动的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【运动】。

2. 在视图交互区域单击选择目标面。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3.在【组合浏览器】>【任务】面板中设置运动类型。

4.在【组合浏览器】>【任务】面板中从已定义的滑移界面中选择当前运动的关联滑移界面。

5.在【组合浏览器】>【任务】面板中设置参考坐标系以及在此坐标系下的运动参数。

6. 在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

注意：平动时选笛卡尔坐标系，正方向应设置为 X 轴；转动时应选择柱坐标系。

2.21 电路

电路描述励磁电路的拓扑关系，主要包括电阻、电容、电感、开关、受控开关，直流电源、交流电源、脉冲电源、受控电源、二极管、三极管等元件。用户可以根据需要，编辑不同的电路用于场路耦合。

创建电路的操作步骤：

1.在【分析】选项卡>，单击【电路】，弹出创建电路面板。

2.在弹出的电路面板中，创建需要的电路，然后保存为.sch 文件，关闭电路面板。

3.在【组合浏览器】>【模型管理树】上展开【分析】项，单击【电路】。

4.在【属性栏】中，单击“电路文件”的浏览按钮，选择保存的电路文件进行导入。

注意：导入电路文件后，模型管理树的【电路】下，会出现导入的电路元件，在此可以绑定电路参数。

2.22 耦合电流

采用耦合电流实现有限元模型中的绕组与电路模型中电感元器件的耦合。

边界特征：二维模型中，施加的几何对象为面；三维模型中，施加的几何对象为体。

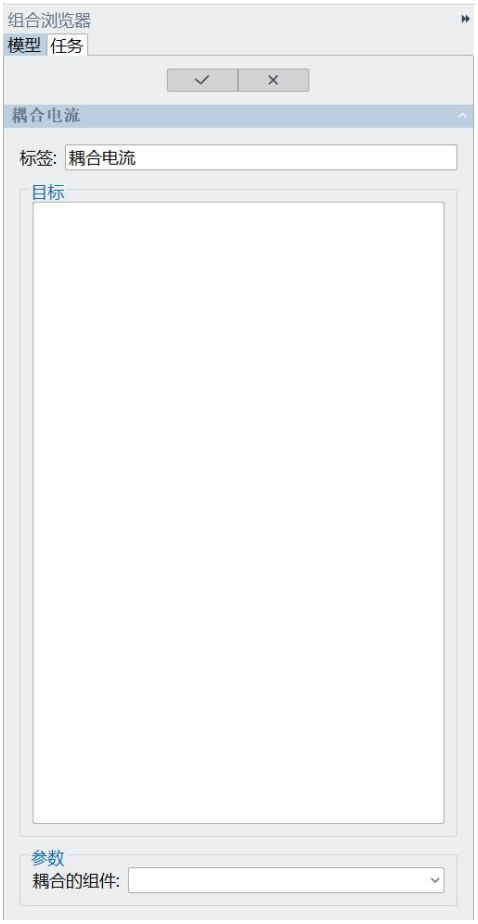


图 64　耦合电流设置面板

施加耦合电流的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【耦合电流】。

2. 在【组合浏览器】>【任务】面板中选择已定义的绕组。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板中的耦合组件下拉菜单中选择已导入的电路模型中的电感元器件。

4.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

2.23 外加电场

外加电场是在整个空间添加一个设定大小的场强。

支持的分析类型：静电场

图 65　外加电场设置面板

施加外加电场的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【外加电场】。

2. 在【组合浏览器】>【任务】面板中设置 x、y、z 三个方向场强值的大小。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

2.24 外加磁场

外加磁场是在整个空间添加一个设定大小的磁感应强度，磁感应强度可以恒定也可以随时间变化。

支持的分析类型：静磁场、时谐磁场和瞬态磁场

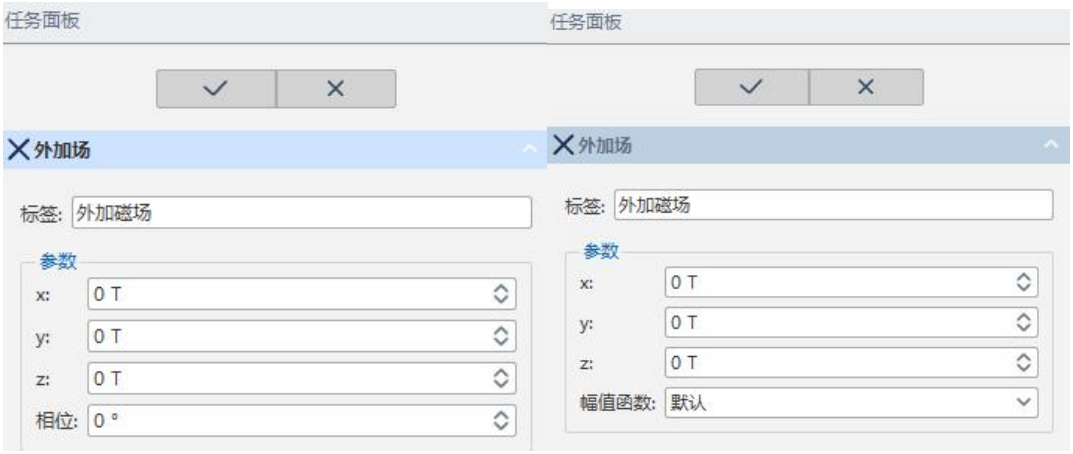


图 66　时谐磁场、瞬态磁场外加电场设置面板

施加外加磁场的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【外加磁场】。

2. 在【组合浏览器】>【任务】面板中设置 x、y、z 三个方向磁感应强度值的大小。其中时谐磁场需要设置相位，瞬态磁场需要在幅值函数中设置曲线函数类型。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

2.25 电容

电容是静电场的重要参数。对于多导体系统，可在静电场分析中对模型进行计算，提取多导体系统的电容系数矩阵。

支持的分析类型：静电场分析

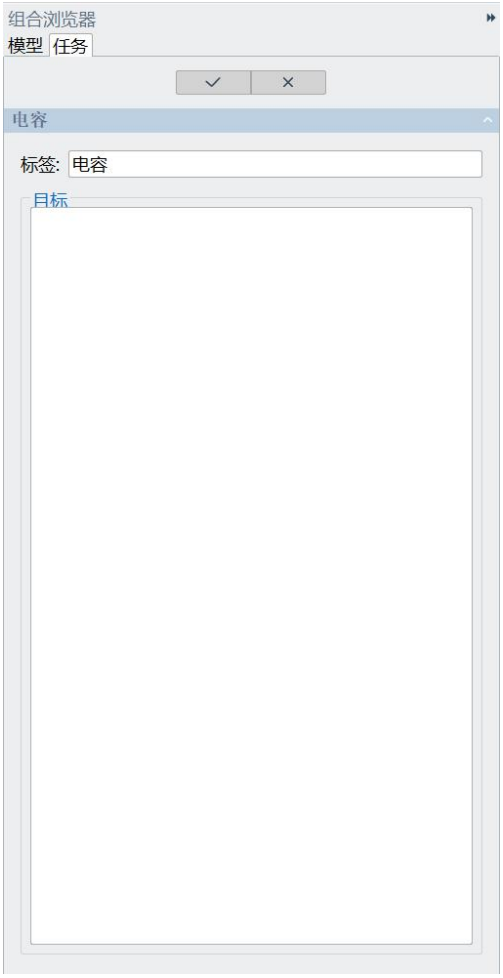


图 67　电容设置面板

设置电容的操作步骤：

1.在【分析】选项卡，单击【电容】。

2.在【组合浏览器】>【任务】面板中选择需要提取电容系数的导体（以所赋电压表示）。

3.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

注意：需预定义电压激励。

电容矩阵在【结果】选项卡，【电磁参数】中查看。

2.26 电感

电感用于计算载流线圈的电感矩阵。

支持的分析类型：静磁场分析。

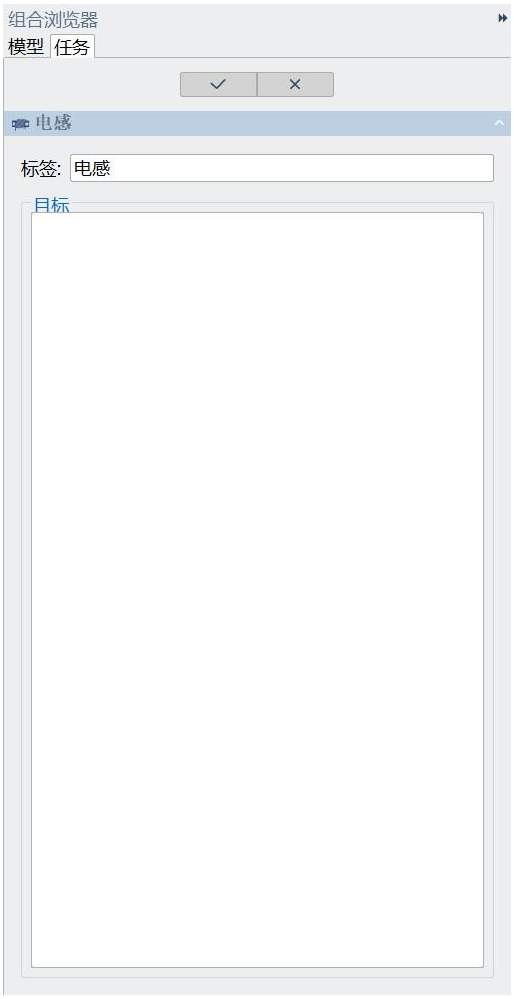


图 68　电感设置面板

设置电感的操作步骤：

1.在【分析】选项卡，单击【电感】。

2.在【组合浏览器】>【任务】面板中选择需提取电感的载流线圈（以所赋电流表示）。

3.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

电感矩阵在【结果】选项卡，【电磁参数】中查看。

2.27 电导

电导是直流传导场的重要参数。对于多导体系统，可在直流传导场分析中对模型进行计算，得到多导体系统的电导矩阵。

支持的分析类型：直流传导场分析。

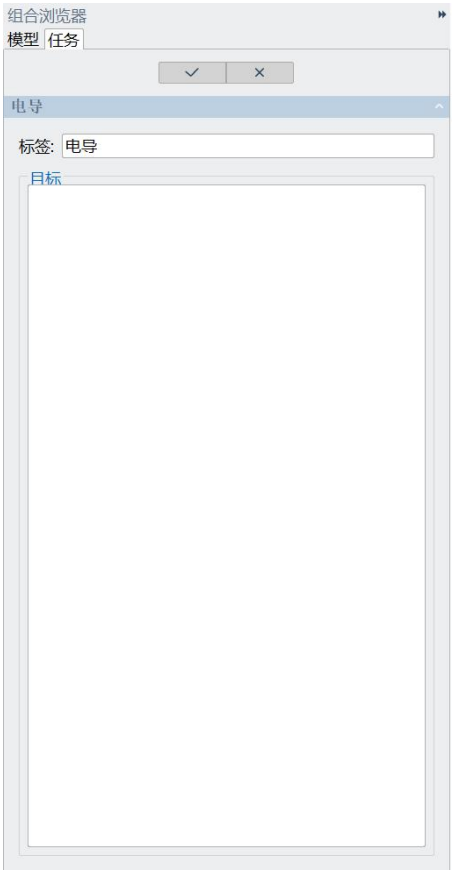


图 69　电导设置面板

设置电导的操作步骤：

1.在【分析】选项卡，单击【电导】。

2.在【组合浏览器】>【任务】面板中选择需提取电导的导体（以所赋电压表示）。

3.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

电导矩阵在【结果】选项卡，【电磁参数】中查看。

注意：勾选电压时，不勾选电势为零的导体。

电导矩阵在【结果】选项卡，【电磁参数】中查看。

2.28 电磁力

电磁力是对模型的几何对象施加，求解目标对象受到的电磁力。

支持的分析类型：静电场分析，静磁场分析，时谐磁场分析和瞬态磁场分析。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为面；在三维模型中，施加的几何对象为体。

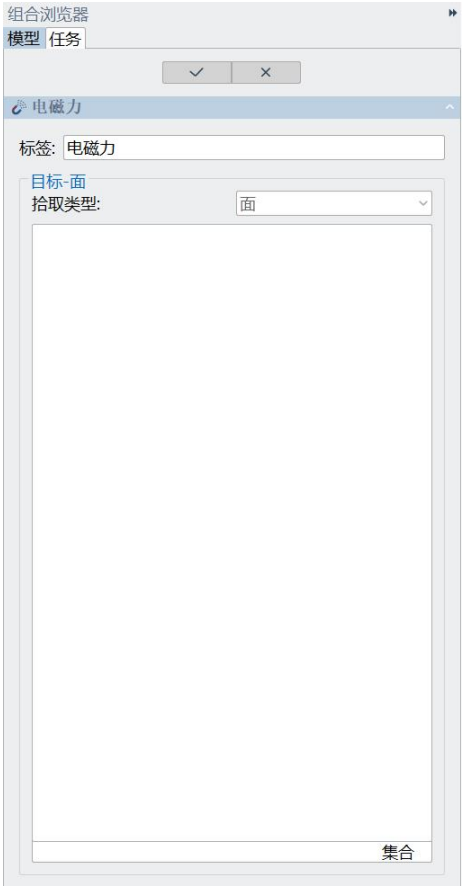


图 70　电磁力设置面板

施加电磁力的操作步骤：

1.在【分析】选项卡，单击【电磁力】。

2.在视图交互区域单击选择目标几何。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

电磁力结果在【结果】，【电磁参数】中查看。

2.29 力矩

力矩是对模型的几何对象施加，计算几何对象受到的力矩。

支持的分析类型：静电场分析，静磁场分析，时谐磁场分析和瞬态磁场分析。

力矩计算不支持二维轴对称模型，力矩计算需提前设置柱坐标系。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为面；在三维模型中，施加的几何对象为体。

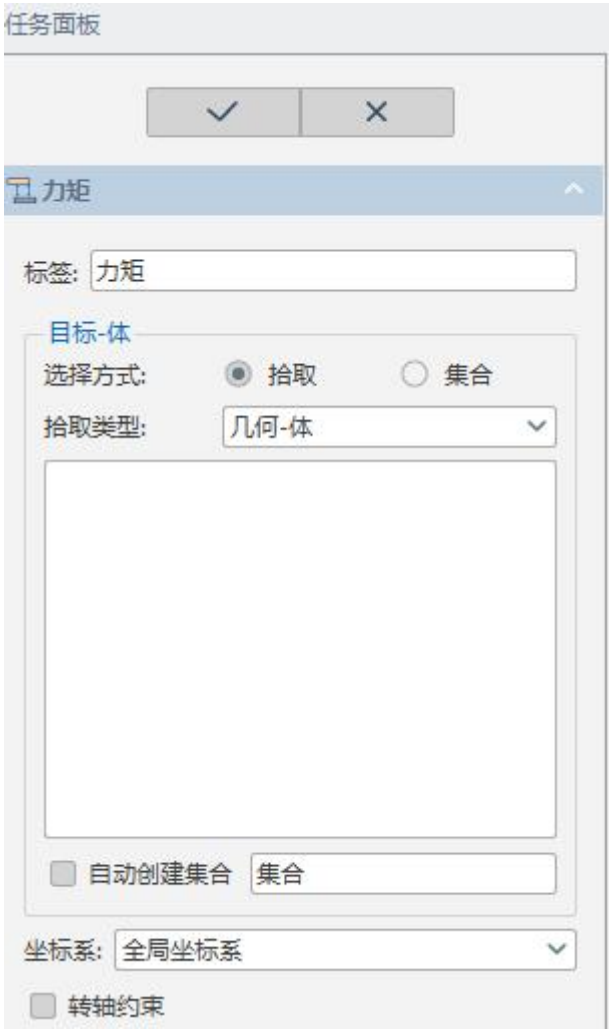


图 71　力矩设置面板

施加力矩的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【力矩】。

2. 在视图交互区域单击选择目标几何。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【组合浏览器】>【任务】面板，设置“坐标系”，选择是否约束转轴。

不勾选转轴约束时，所得力矩为目标实体受到的实际力矩；勾选转轴约束时，所得力矩为引起目标实体转动的有效力矩分量。

4.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

力矩结果在【结果】，【电磁参数】中查看。

2.30 磁链

磁链是对模型中的绕组施加，求解目标绕组所链环的磁通量。

支持的分析类型：瞬态磁场分析。

图 72　磁链设置面板

设置磁链的操作步骤：

1.在【分析】选项卡，单击【磁链】。

2.在【组合浏览器】>【任务】面板中选择需计算磁链的绕组。

3.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

磁链结果在【结果展示】选项卡，【电磁参数】中查看。

2.31 欧姆损耗

欧姆损耗是对模型中的几何对象施加，求解目标几何的损耗，单位是是 W/m^3。

支持的分析类型：直流传导场，交流传导场，瞬态电场，静磁场，时谐磁场和瞬态磁场。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为面；在三维模型中，施加的几何对象为体。

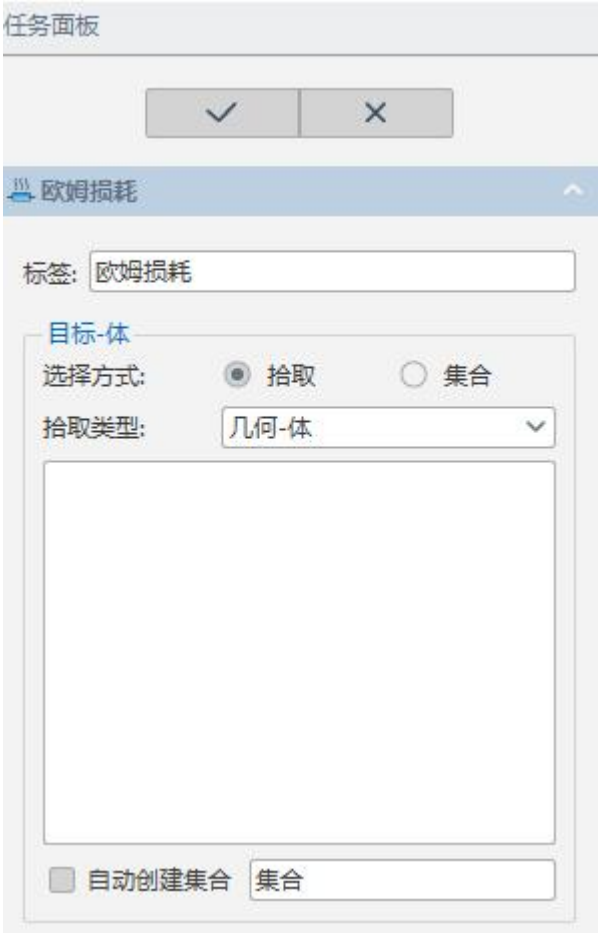


图 73　欧姆损耗设置面板

施加欧姆损耗的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【欧姆损耗】。

2. 在视图交互区域单击选择目标几何。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3.在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

2.32 铁芯损耗

铁芯损耗是对模型中的几何对象施加，求解目标几何的铁芯损耗，单位是是 W/m^3。

支持的分析类型：时谐磁场、瞬态磁场。

边界特征：在二维模型中，施加的几何对象为面；在三维模型中，施加的几何对象为体。

图 74　铁芯损耗设置面板

施加铁芯损耗的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【铁芯损耗】。

2. 在视图交互区域单击选择目标几何。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 【计算公式】中默认的选项为 Steinmetz 公式，若用户想输入自定义的铁芯损耗计算公式，需在【预定义】>【自定义函数】中进行计算公式的定义，定义时在【自变量】定义两个字母，第一个字母代表磁感应强度 B，第二个字母代表 dB/dt。

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板，单击【√】。

3. 低频电磁分析结果

电磁分析结果展示，可通过【结果】>【电磁参数】实现，包含力、力矩、欧姆损耗、磁链、感应电压、转速、电路的电流等。

（二） 高频电磁分析

高频电磁分析是基于麦克斯韦方程组在一般电磁波领域内求解电磁问题，例如射频、微波、光学问题等，可以应用于天线、雷达、电磁兼容、汽车电子、IC、生物医疗等多个领域内。

当前 Simdroid 的高频电磁分析有以下分析类型：

- 频域有限元分析

1. 高频电磁分析类型

1.1 频域有限元分析

频域有限元分析是基于有限元法和四面体网格在频域内求解电磁波问题，计算结果精确可靠，比较适用于电小尺寸即几何尺寸在 2 倍波长以内的物体。

创建频域有限元分析的步骤：

1. 新建一个工程，“分析类型”选择“高频电磁分析”，“维度”默认为“三维”，确定分析名称和保存位置路径。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建电磁材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，单击【创建分析】，【分析类型】任务窗口内，双击选择“频域有限元”，并单击【√】。

5. 在【分析】选项卡，设置【材料赋予】为电磁材料指定几何对象。

6. 在【分析】选项卡，选取设置边界条件：【理想电边界】，【理想磁边界】，【辐射边界】，【完美匹配层】。

7. 在【分析】选项卡，选取设置激励类型：【集总端口】，【波端口】，【电流源】，【平面波】。

8. 在【分析】选项卡，选取设置监视器进行输出控制：【网络参数】，【场监视器】，【天线方向图】，【雷达散射截面】。

9. 在【分析】选项卡，单击【求解设置】，选取设置扫频类型和仿真开始频率、结束频率等。

10. 在【分析】选项卡，单击【计算】，执行分析。

2. 高频电磁分析功能区各项功能

2.1 材料赋予

材料赋予是为几何对象指定材料。

图 75 材料赋予设置面板

进行材料赋予的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【材料赋予】。

2. 在视图交互区域单击选择目标几何体。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【参数】-【材料】下拉框中选择对应材料。

可选择默认材料或在【材料】选项卡下先创建材料。

4. 在【任务面板】，单击【√】。

【材料赋予】提供【真空】、【PEC 材料】两种默认材料：

1. 【真空】材料即其相对介电常数、相对磁导率均为 1，电导体为 0 S/m。

2. 【PEC 材料】即将几何体外表面全部赋予【理想电边界】，几何体材料实质为【真空】。

注：建议不要将属于同一种材料的多个几何体分开进行多次材料赋予，否则可能会影响计算精度。

2.2 边界条件

边界条件是用于定义求解区域边界及不同物体交界处的电磁场特性。其主要作用有两个，一是创建开放或封闭的电磁模型，二是简化电磁模型的电磁或几何复杂性。

当前 Simdroid 的高频电磁分析有以下边界条件：

- 理想电边界
- 理想磁边界
- 辐射边界
- 完美匹配层向导
- 完美匹配层

用户可以根据需求，选择使用适当的边界条件。

2.2.1 理想电边界

理想电导体边界条件简称理想电边界，这种边界条件用于表征理想导体结构的表面，即电场矢量垂直于物体表面。

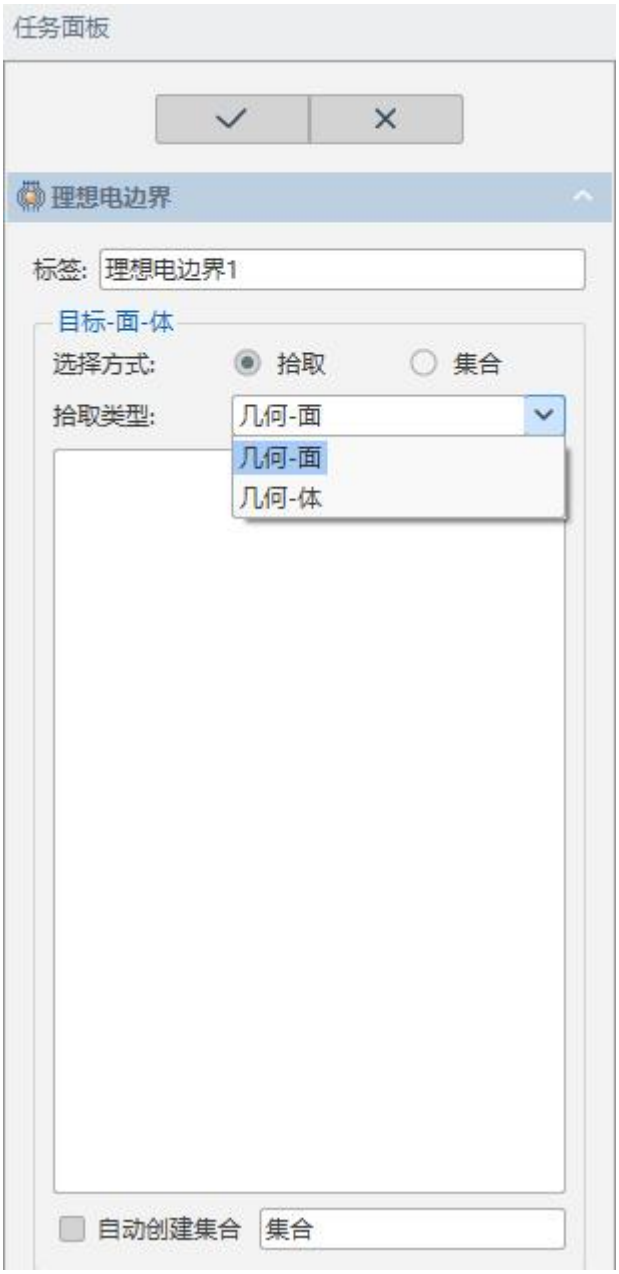


图 76 理想电边界设置面板

施加理想电边界的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【理想电边界】。

2. 在视图交互区域单击选择目标几何面或几何体。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【任务面板】，单击【√】。

注：【理想电边界】目标选择几何体实质是对几何体外表面赋予边界条件。

2.2.2 理想磁边界

理想磁边界条件是一种理论上的约束条件，这种边界条件的电场矢量与物体表面相切，磁场矢量与物体表面垂直。

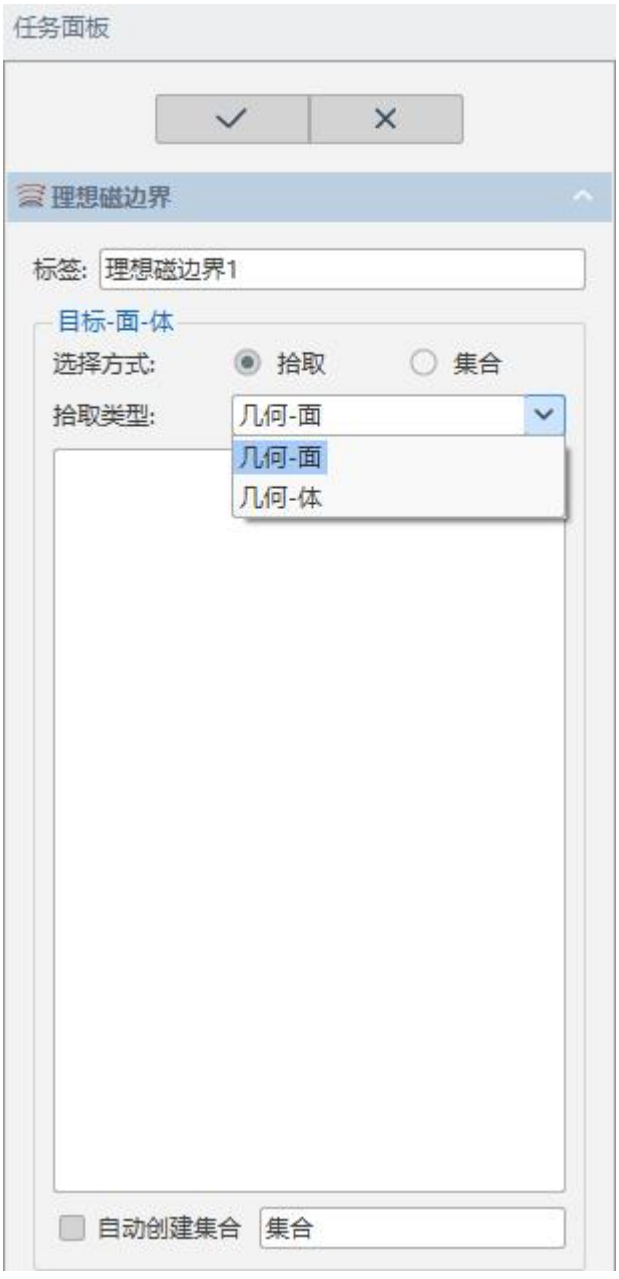


图 77 理想磁边界设置面板

施加理想磁边界的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【理想磁边界】。

2. 在视图交互区域单击选择目标几何面或几何体。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【任务面板】，单击【√】。

注：【理想磁边界】目标选择几何体实质是对几何体外表面赋予边界条件。

2.2.3 辐射边界

辐射边界条件也可称为吸收边界条件，表征系统在边界处吸收了电磁波，用于模拟电磁波辐射到空间的无限远处。

在分析辐射、散射类问题时可以使用辐射边界条件来模拟开放的自由空间，为了保证计算结果的准确度，建议辐射边界表面设置距离辐射源至少四分之一波长，对于相近尺寸的空气域使用球形空气域的计算精度更高。

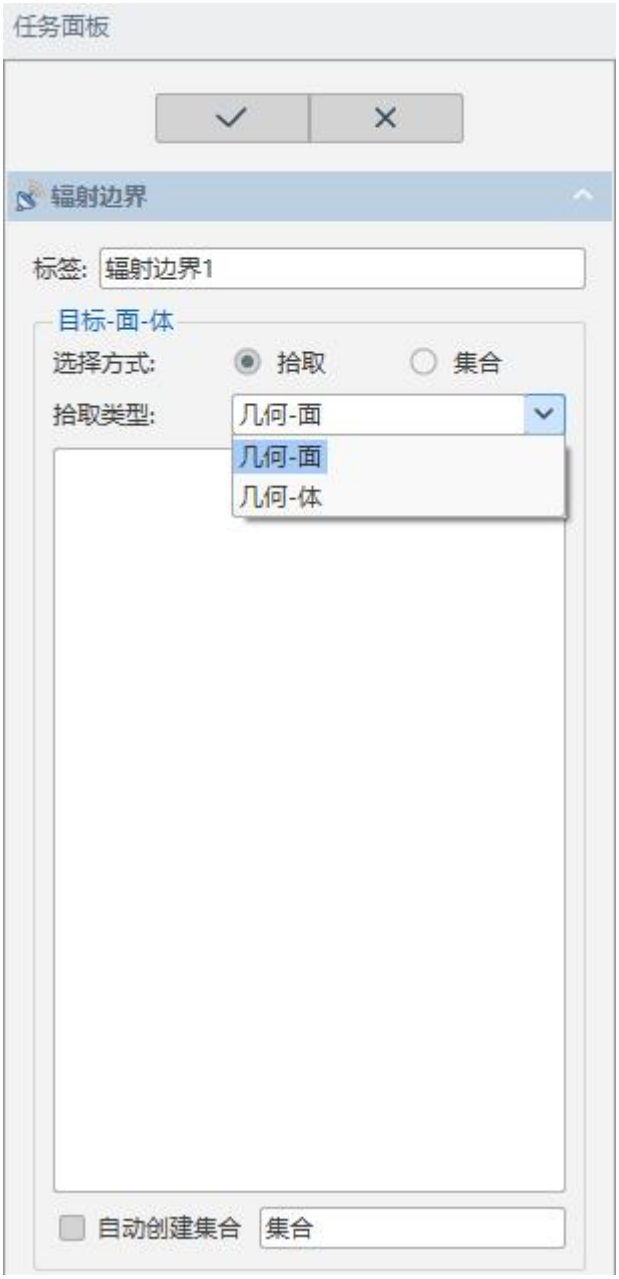


图 78 辐射边界设置面板

施加辐射边界的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【辐射边界】。

2. 在视图交互区域单击选择目标几何面或几何体。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【任务面板】，单击【√】。

注：【辐射边界】目标选择几何体实质是对几何体外表面赋予边界条件。

2.2.4 完美匹配层

完美匹配层边界条件是一种能完全吸收入射电磁波的虚构材料，是一种带有各向异性和复数介电常数的理想区域。

完美匹配层边界条件有两种典型应用，一是用于外场问题中的自由空间截断，其作用类似于辐射边界条件，但完美匹配层能够完全吸收入射的电磁波，因此计算结果更精确；同时完美匹配层表面可以距离辐射源更近，约十分之一波长即可。二是作为导波问题中的吸收负载，用于模拟导波结构均匀地延伸到无穷远处。

完美匹配层边界条件当前包含【完美匹配层向导】和【完美匹配层】两个功能，【完美匹配层向导】功能为一键生成环绕目标对象的 26 个长方体区域；【完美匹配层】功能为将选中几何体对象设置为完美匹配层。

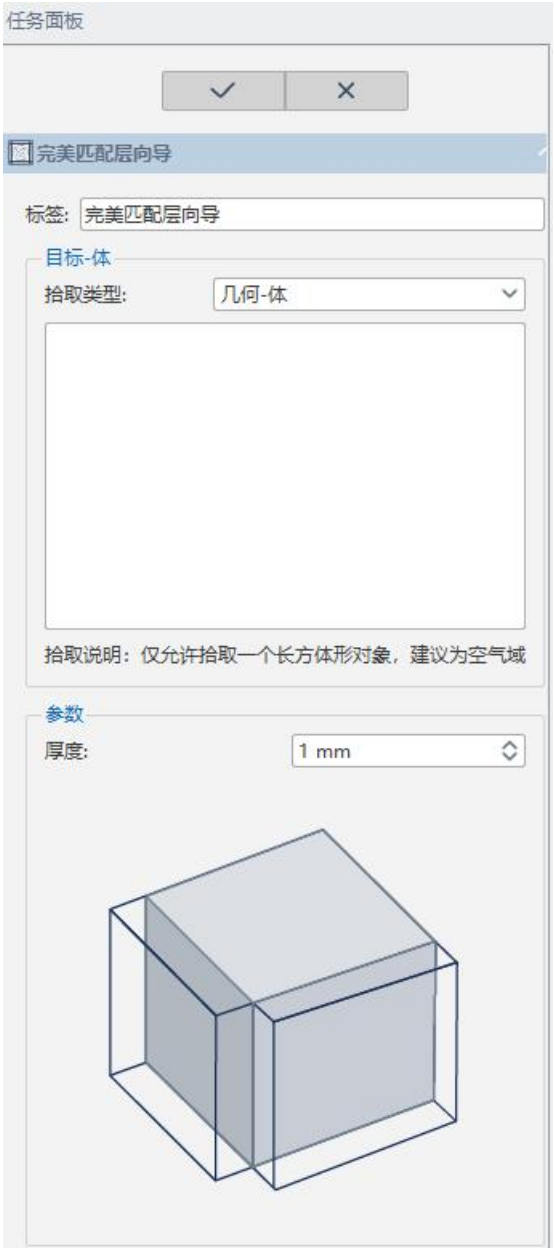


图 79 完美匹配层向导设置面板

设置完美匹配层向导的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【完美匹配层向导】。

2. 在视图交互区域单击选择目标几何体。

当前仅允许拾取一个外部为长方体形状的目标几何体，建议先建立矩形【空气域】后拾取空气域即可。

用户也可使用【差集】等几何功能手动构造空气域，但空气域需平行于全局坐标系，否则会生成“空几何”导致计算有误。

3. 完美匹配层厚度会自动生成，用户也可手动设置完美匹配层的延展厚度。

4. 在【任务面板】，单击【√】。

注：对生成的 26 个几何体也需要进行网格剖分

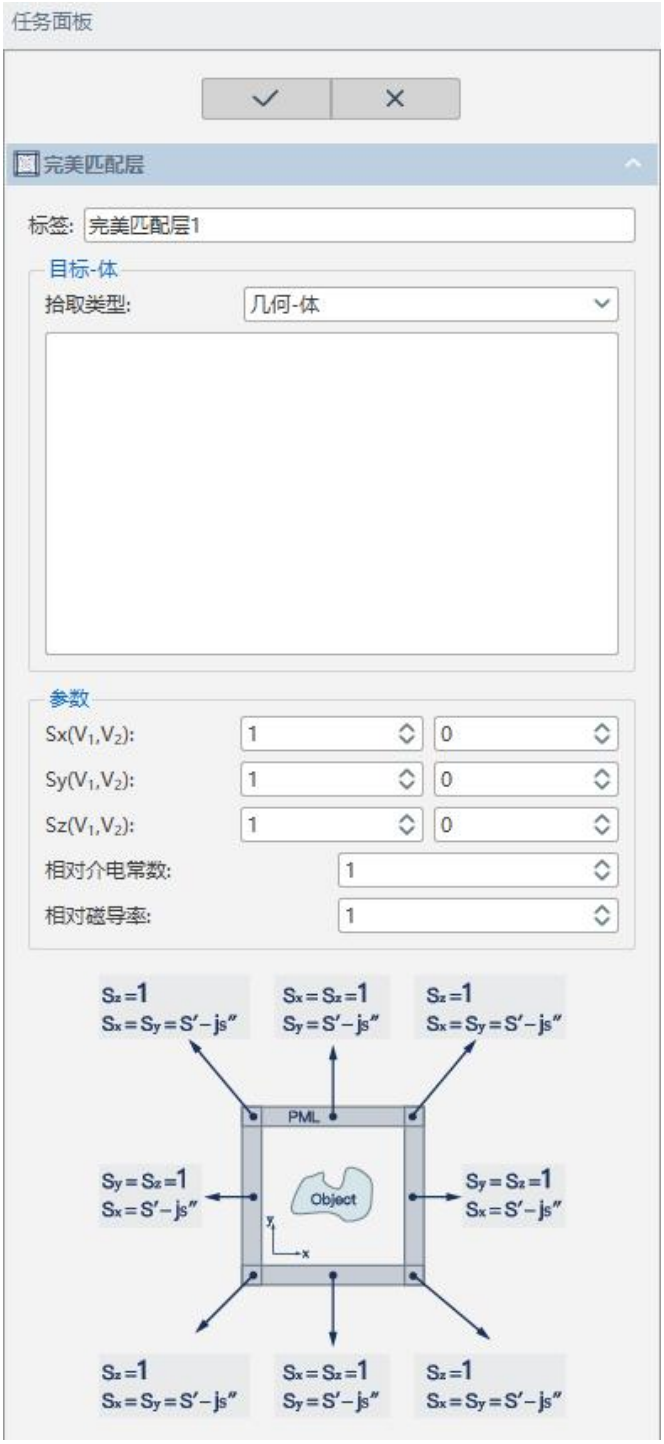


图 80 完美匹配层设置面板

设置完美匹配层的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【完美匹配层】。

2. 在视图交互区域单击选择目标几何体。

单击【集合】按钮可从已定义集合中选取目标对象。

3. 在【参数】框内设置完美匹配层材料属性。

S_x（V_1，V_2）、S_y（V_1，V_2）、S_z（V_1，V_2）为拉伸系数。例如目标对象 x 方向的外表面有位于模型外侧的则设为（1,1），均和其他面重叠没有位于模型外侧的则设为（1,0）。

相对介电常数和相对磁导率的设置与相邻对象保持一致，例如默认完美匹配层与空气相邻，相对介电常数和相对磁导率都设置为 1。

4. 在【任务面板】，单击【√】。

2.2.5 集总 RLC 边界

集总 RLC 边界条件是用一组并联的电阻、电感和电容来模拟物体表面。

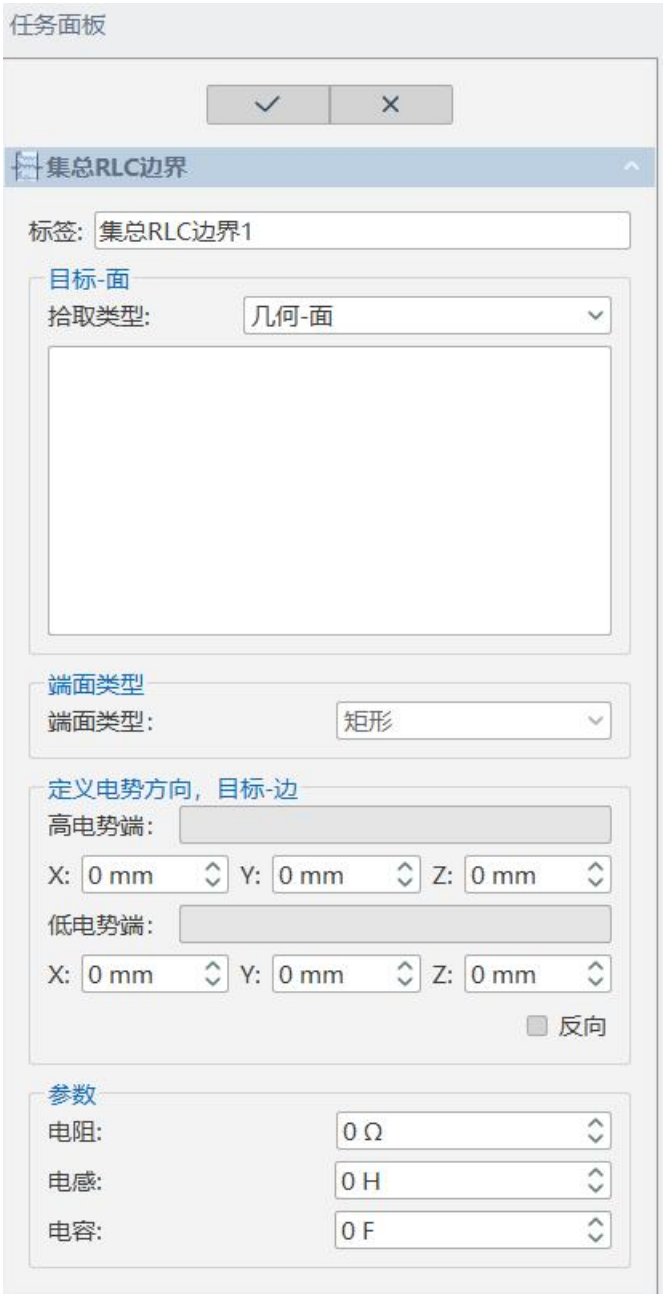


图 81 集总 RLC 边界条件设置面板

设置集总 RLC 边界条件的操作步骤与矩形集总端口相似：

1. 在【分析】选项卡，单击【集总 RLC 边界】。

2. 在视图交互区域单击选择目标几何面。

目前仅允许选择一个几何面。

3. 依次顺序点击目标的两条边从而依据边中点定义电势方向。

4. 输入相应的【电阻】/【电感】/【电容】。

5. 在【任务面板】，单击【√】。

2.3 激励

激励是一种定义在物体表面或物体上的激励源，这种激励源可以是电磁场、电压源、电流源或者电荷源。

当前 Simdroid 的高频电磁分析有以下激励：

- 集总端口
- 波端口
- 电流源
- 平面波

用户可以根据需求，选择使用适当的激励。

2.3.1 集总端口

集总端口是一个表示信号通过其输入或输出对象的内部表面，它实质上是激励器件和测量 S 参数的集总元件。

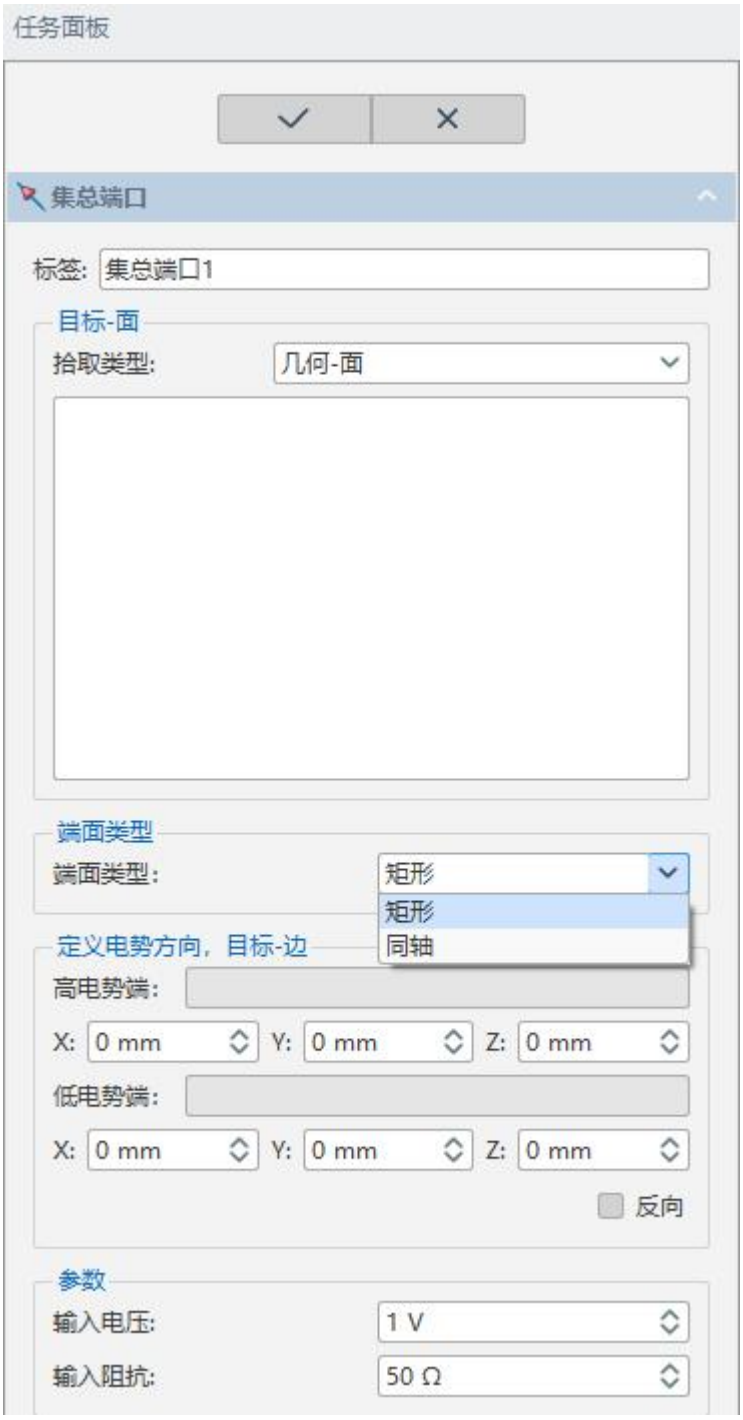


图 82 集总端口设置面板

施加集总端口激励的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【集总端口】。

2. 在视图交互区域单击选择目标几何面。

目前仅允许选择一个几何面。

3. 依次顺序点击目标的两条边从而依据边中点定义电势方向。

4. 选择端面几何形状【矩形】或是【同轴】。

5. 参数定义，包括【输入电压】和【输入阻抗】。

6. 在【任务面板】，单击【√】。

2.3.2 波端口

波端口是一个表示信号通过其输入或输出对象的端面，其实质上是一个附在模型上的半无限长波导，该波导具有与端口相同的横截面和材料特性。

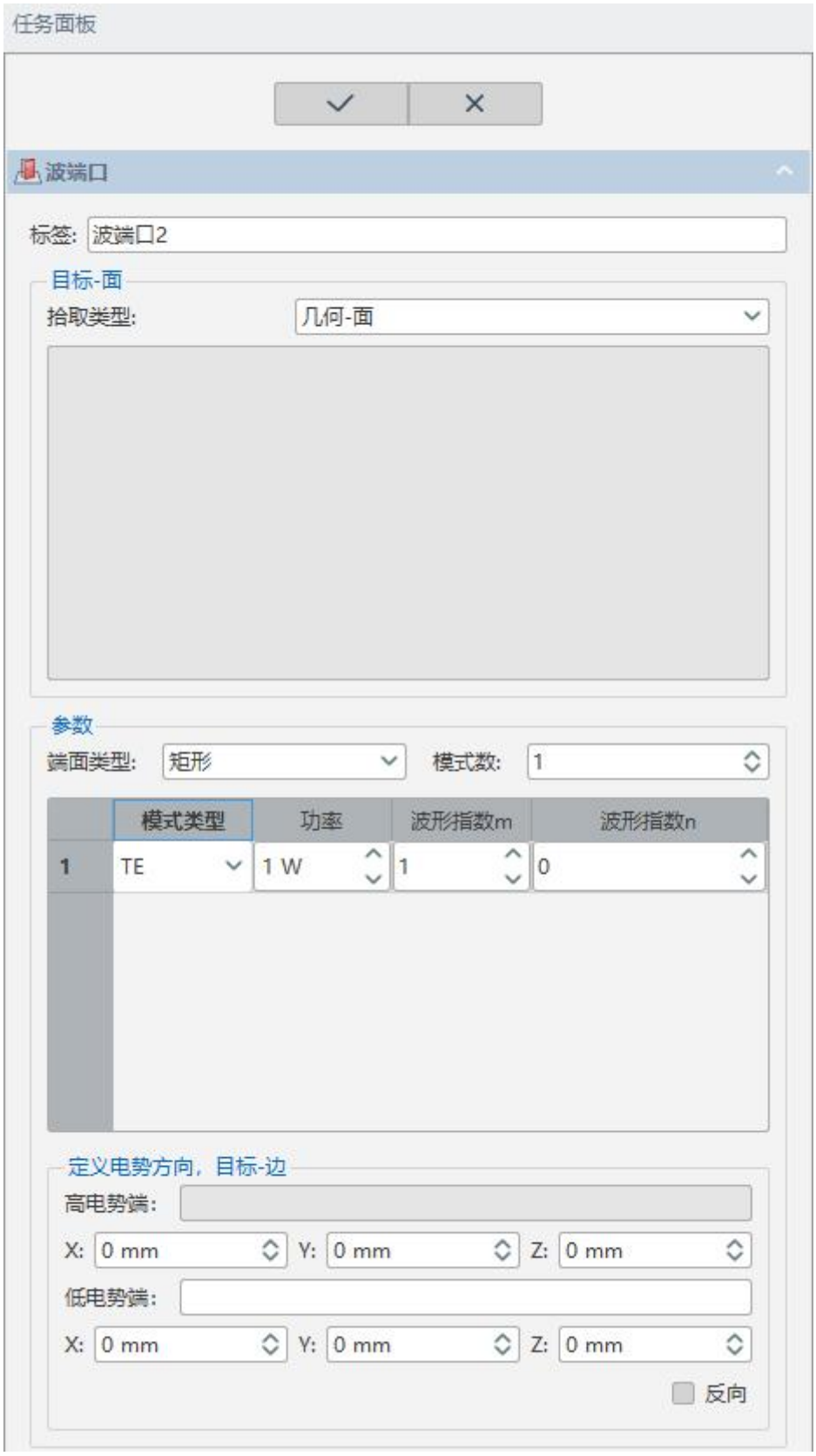

任务面板
波端口
标签: 波端口2
目标-面
拾取类型: 几何-面
参数
端面类型: 矩形
模式数: 1
模式类型
功率
波形指数m
波形指数n
1
TE
1 W
1
0
定义电势方向，目标-边
高电势端:
X: 0 mm
Y: 0 mm
Z: 0 mm
低电势端:
X: 0 mm
Y: 0 mm
Z: 0 mm
反向

图 83 波端口设置面板

施加波端口激励的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【波端口】。

2. 在视图交互区域单击选择目标几何面。

默认拾取一个几何面，若需要拾取多个相邻的几何面，重复点击一次拾取框即可。

3. 依次顺序点击目标的两条边从而依据边中点定义电势方向。

4.【端面类型】中选择矩形、同轴或圆形。

5. 通过【模式类型】、【功率】、【波形指数】m、n 定义端口激励的模态。

6. 在【任务面板】，单击【√】。

注：目前波端口不支持对微带线激励；

模式数目前仅支持为 1。

2.3.3 电流源

电流源是在馈电几何上激励的恒定电流源。

电流源激励分为线电流源激励和面电流源激励。

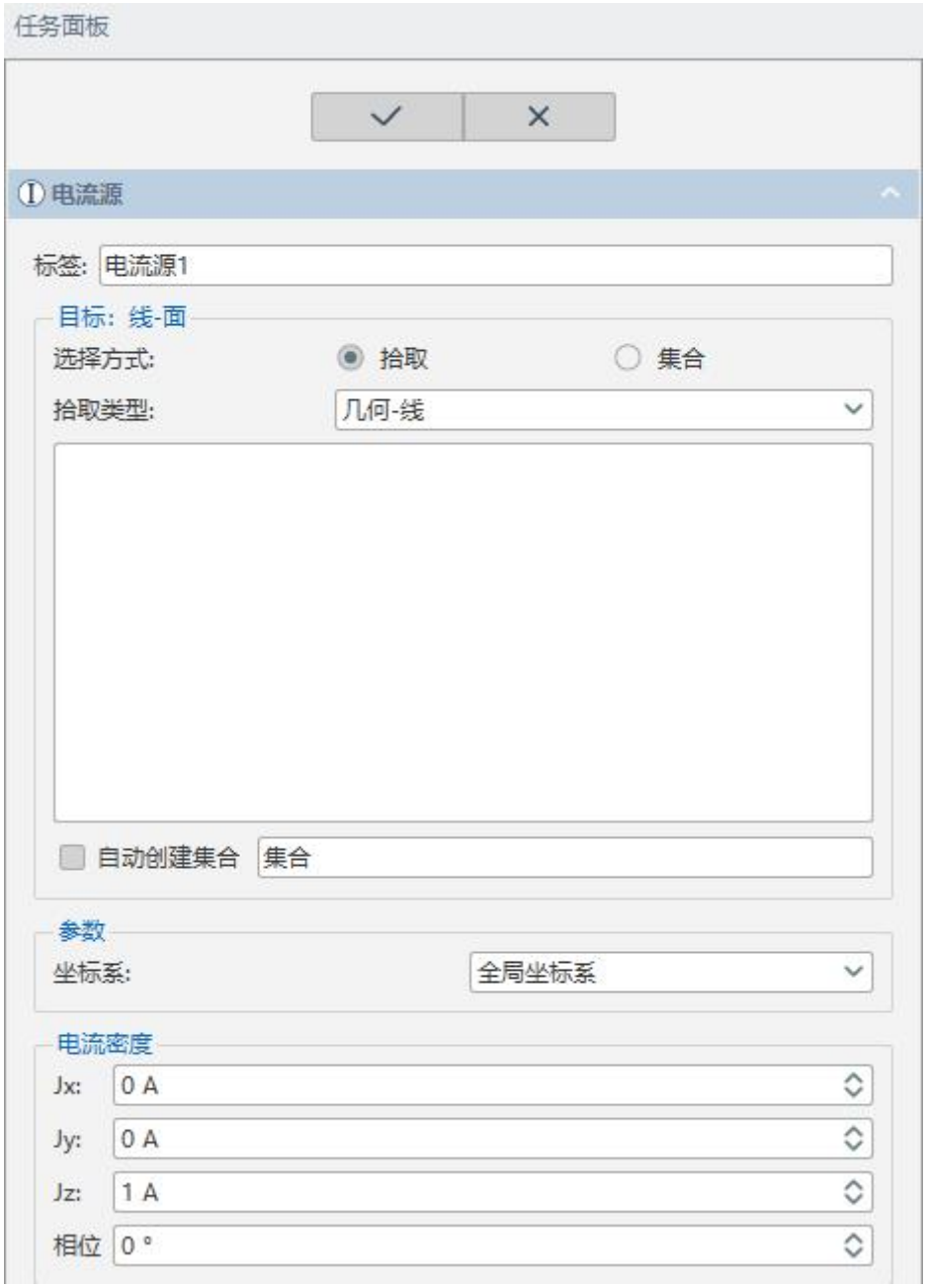


图 84 线电流源设置面板

施加线电流源激励的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【电流源】，拾取类型选择【几何-线】。

2. 在视图交互区域单击选择目标几何线。

3. 在【电流密度】Jx、Jy、Jz 定义电流矢量，【相位】定义电流源初相位。

4. 【坐标系】定义【电流密度】所依据的坐标系。

默认为全局坐标系，若需要使用其他坐标系，需先在【预定义】选项卡中定义局部坐标系。

5. 在【任务面板】，单击【√】。

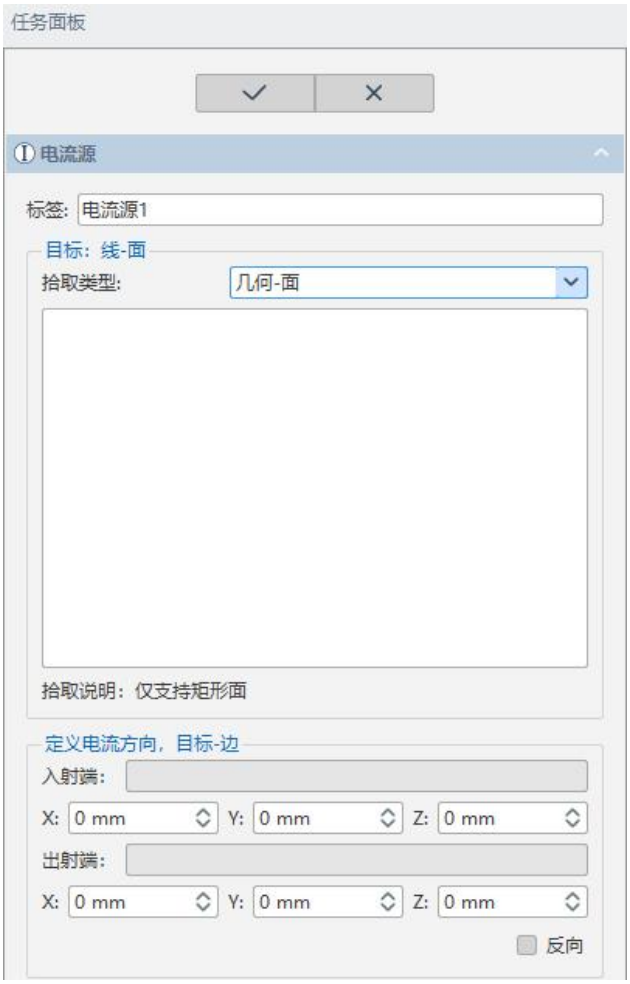


图 85 面电流源设置面板

施加面电流源激励的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【电流源】，拾取类型选择【几何-面】。

2. 在视图交互区域单击选择目标矩形几何面。

3. 顺序依次单击几何面的两条边从而定义电流方向。

4. 在【任务面板】，单击【√】。

2.3.4 平面波

平面波是一种沿固定方向传播的电磁波，其电场和磁场在横向平面内彼此垂直。

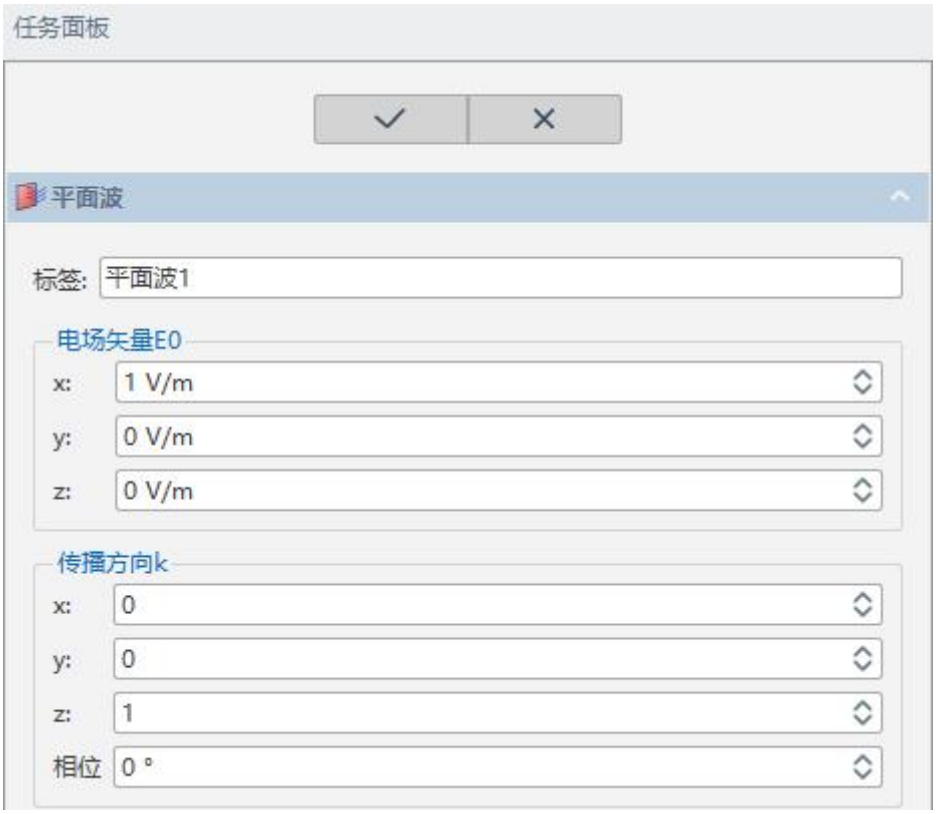


图 86 平面波设置面板

施加平面波的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【平面波】。

2. 设置全局坐标系下的电场矢量 E0 和波矢方向 k。

3. 设置初相位。

4. 在【任务面板】，单击【√】。

2.4 监视器

监视器是用于控制输出结果类型和输出数据量

当前仿真开发环境的高频电磁分析有以下监视器：

- 场监视器
- 网络参数
- 天线方向图
- 雷达散射截面

2.4.1 场监视器

场监视器用于控制输出场量类型和其数据量，目前场监视器中不含有对远场结果的控制。

图 87 场监视器设置面板

设置场监视器的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【场监视器】。

2. 在【输出场变量】选择后续要查看的结果类型。

3. 【场数据输出间隔】参照计算步长设置，设置值越大，则输出场量频点数越少。

4. 【并行核数】为计算机核数的一半。

5. 在【任务面板】，单击【√】。

2.4.2 网络参数

网络参数监视器用于选择输出某几个端口的微波网络参数，包括 S 参数、Y 参数、Z 参数等。

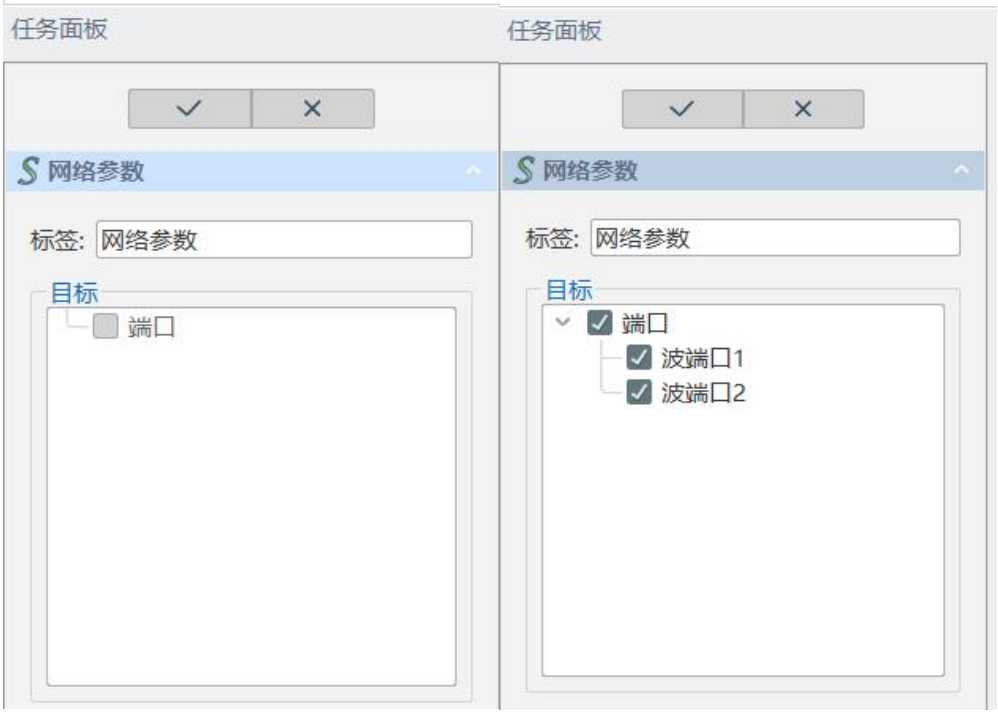


图 88 网络参数设置面板

设置网络参数监视器的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【网络参数】。

2. 在前级设置了【波端口】或【集总端口】后，勾选想要查看结果的端口。

3. 在【任务面板】，单击【√】。

2.4.3 天线方向图

天线方向图监视器用于选择近远场变换的表面和控制天线方向图的计算输出。

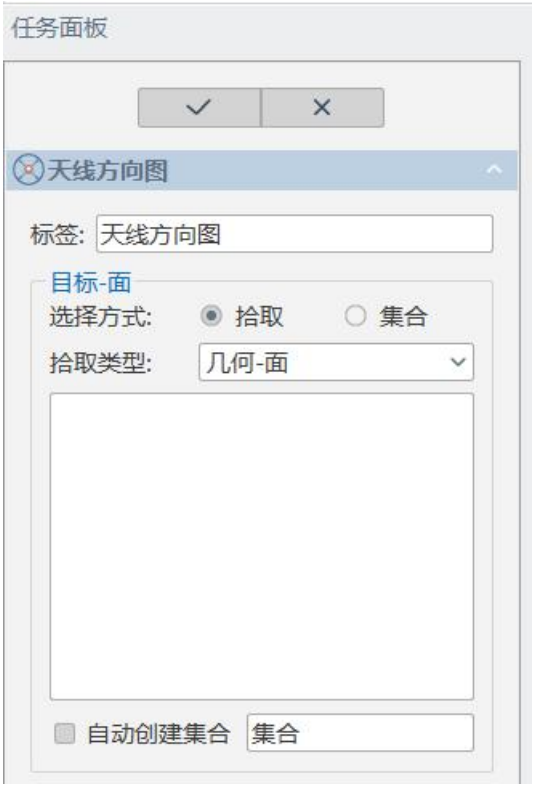


图 89 天线方向图设置面板

设置天线反向图监视器的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【天线方向图】。

2. 在视图交互区域单击选择目标几何面作为近远场变换的表面。

近远场变换表面一般为吸收边界表面，在前级设置了【辐射边界】或【完美匹配层向导】等吸收边界条件后，打开按钮拾取框默认提供吸收边界的表面，无需再次拾取几何面。

3. 在【任务面板】，单击【√】。

2.4.4 雷达散射截面

雷达散射截面监视器用于选择近远场变换的表面和控制雷达散射截面的计算输出。

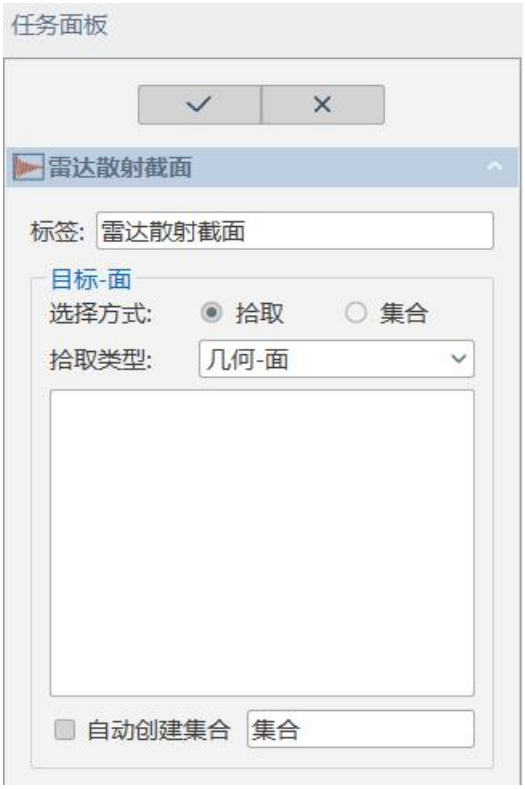


图 90 雷达散射截面设置面板

设置雷达散射截面监视器的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【雷达散射截面】。

2. 在视图交互区域单击选择目标几何面作为近远场变换的表面。

近远场变换表面一般为吸收边界表面，在前级设置了【辐射边界】或【完美匹配层

向导】等吸收边界条件后，打开按钮拾取框默认提供吸收边界的表面，无需再次拾取几何面。

3. 在【任务面板】，单击【√】。

2.5 求解设置

求解设置是设置计算分析的范围和计算间隔。

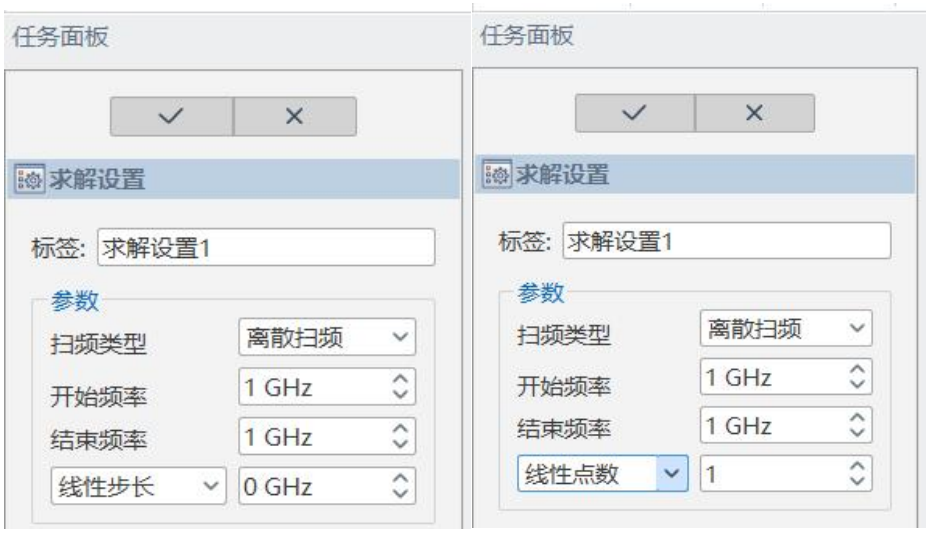


图 91 求解设置设置面板

添加求解设置的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡，单击【求解设置】。

2. 设置【开始频率】、【结束频率】。

3. 分析计算间隔通过【线性步长】或【线性点数】设置。

4. 在【任务面板】，单击【√】。

2.6 高频电磁分析结果

高频电磁分析结果展示包括通用结果展示和专用结果展示。

通用结果展示包括云图、矢量图等，可参照结果展示说明即可实现，此处不再一一介绍。

当前仿真开发环境的高频电磁分析有以下专用结果展示：详见第八章。

- 网络参数
- 远场图-三维
- 天线方向图-二维
- 雷达散射截面-二维

（三） 隐式结构分析

结构分析是计算结构的力学特性，可用于计算各种产品装备的静力学和动力学特性。如结构强度、结构频率、结构屈曲临界载荷、谐响应、反应谱分析等。

Simdroid 的结构物理场分析有以下分析类型：

- 通用静力分析
- 准静力分析
- 非线性屈曲分析
- 隐式动力分析
- 线性静力分析
- 线性屈曲分析
- 频率分析
- 谐响应分析

- 反应谱分析
- 线性动力分析
- 随机响应分析

用户可以根据需求，选择合适的结构分析类型。

1. 结构分析类型

1.1 通用静力分析

通用静力分析用于计算静态加载情况下，结构的位移、应力、应变等响应。静力分析是最基本也是应用最广泛的分析类型之一。

创建通用静力分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析类型”选择“隐式结构分析”。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建结构材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，【创建部件】给模型设置单元算法、材料等属性。当有壳/膜单元或梁/杆单元时，需要选择对应截面来设置截面属性。

5. 单击【分析】选项卡，当有梁单元时，使用【指定截面方向】命令，指定梁单元的截面方向。

6. 在【分析】选项卡，使用【耦合连接】、【接触】、【嵌入连接】等命令设置分析模型各部件的关系。

7. 在【分析】选项卡，使用【常规约束】、【初始温度】、【集中质量】、【预应力场】等为模型添加初始条件约束。

7. 单击【创建分析】，在任务面板“分析步类型”选择“通用静力分析”，单击

【添加】或者双击所选的分析类型，然后单击【√】。

8. 在【结构树浏览器】>【隐式结构分析】项下，双击【step-1：通用静力分析】。

9. 在【任务】面板，输入“标签”名称，输入各项控制参数，单击【√】。

10. 在【分析】选项卡下使用荷载命令为模型添加边界条件和荷载。

11. 在【分析】选项卡>单击【计算】。

通用静力步参数说明：

图 92　通用静力分析步参数设置面板

【标签】：当前分析步名称，可更改。

【链接至上一步】：继承上一分析步的计算结果，不可更改。当前分析步的计算是在上一分析步的结果基础上进行的。

【子步周期】：当前分析步的时间周期。对于通用静力分析而言，时间为虚拟时间，此处子步周期仅影响非线性计算时间增量步长的控制。

【增量控制】：设置迭代计算的控制参数，分为“自动”和“手动”两种。当为自动时，程序自动根据每一步迭代的收敛情况，确定时间增量，进行计算。当为手动时，用户需要手动输入相关控制参数。

【初始时间增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时第一步的时间增量值。当非线性行为剧烈时，减小此数值。

【最小时间增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时，允许的最小时间增量。如果小于此时间增量时，迭代仍然不收敛，则停止计算。当非线性行为剧烈时，减小此数值。

【最大时间增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时，允许的最大时间增量。

【最大增量数】：迭代控制为自动时，输入此参数。迭代计算时，允许的最大增量次数。当超出此数时，迭代计算仍然不收敛，则停止计算。

【输出间隔】：控制输出结果的增量间隔，通过此参数可以调控结果文件的大小。

【增量数】：迭代控制为手动时，输入此参数。此数即为固定的迭代增量次数。当前子步的计算必须为此增量数。

【最大迭代次数】：每一个增量步内平衡迭代的最大迭代次数。

【几何非线性】：可选“是”和“否”。当“是”时，程序启用几何非线性计算。当“否”时，程序不启用几何非线性计算。

【位移收敛比值】：迭代计算过程中，位移收敛的判定值。当迭代计算的位移增量

除以一个增量步内总位移增量小于此值时，即认为收敛。

【转动收敛比值】：迭代计算过程中，转动收敛的判定值。当迭代计算的转角增量除以一个增量步内总转角增量小于此值时，即认为收敛。

【残值收敛比值】：迭代计算过程中，残余力收敛的判定值。当残余力除以总外力小于此值时，即认为收敛。

【绝对残余力容差】：迭代计算过程中，残余力收敛的判定值。当残余力小于此值时，即认为收敛。

【启用线性预测】：勾选此选项时，求解器将判断当前工程是否为线性分析，如果为线性分析将按照线性求解，效率比非线性分析要高。

1.2 准静力分析

准静力分析用于计算准静力荷载作用于结构或部件上引起的结构响应（位移、应变和应力等），忽略结构的惯性效应。准静力分析是一个非线性分析类型，支持率相关非线性材料，分析中的时间为真实时间，荷载可以为关于时间的任意函数。

创建准静力分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析类型”选择“隐式结构分析”。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建结构材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，【创建部件】给模型设置单元算法、材料等属性。当有壳/膜单元或梁/杆单元时，需要选择对应截面来设置截面属性。

5. 单击【分析】选项卡，当有梁单元时，使用【指定截面方向】命令，指定梁单元的截面方向。

6. 在【分析】选项卡，使用【耦合连接】、【接触】、【嵌入连接】等命令设置

分析模型各部件的关系。

7. 在【分析】选项卡，使用【常规约束】、【初始温度】、【集中质量】、【预应力场】等为模型添加初始条件约束。

8. 单击【创建分析】，在任务面板“分析类型”选择“准静力分析”，单击【添加】或者双击所选的分析类型，然后单击【√】。

9. 在【结构树浏览器】>【隐式结构分析】项下，双击【step-1：准静力分析】打开【任务】面板。

10. 在【任务】面板，输入“标签”名称，输入各项控制参数，单击【√】。

11. 在【分析】选项卡下使用荷载命令为模型添加边界条件和荷载。

12. 在【分析】选项卡>单击【计算】。

准静力步参数说明：

图 93　准静力步参数设置面板

【标签】：当前分析步名称，可更改。

【链接至上一步】：继承上一分析步的计算结果，不可更改。当前分析步的计算是在上一分析步的结果基础上进行的。

【子步周期】：当前子步的时间周期。对于准静态分析而言，时间为真实时间。

【增量控制】：设置迭代计算的控制参数，分为“自动”和“手动”两种。当为自动时，程序自动根据每一步的收敛情况，确定时间增量，进行计算。当为手动时，用户需要手动输入相关控制参数。

【初始时间增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时第一步的时间

增量值。当非线性行为剧烈时，减小此数值。

【最小时间增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时，允许的最小时间增量。如果小于此时间增量时，迭代仍然不收敛，则停止计算。当非线性行为剧烈时，减小此数值。

【最大时间增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时，允许的最大时间增量。

【最大增量数】：迭代控制为自动时，输入此参数。迭代计算时，允许的最大增量次数。当超出此数时，迭代计算仍然不收敛，则停止计算。

【输出间隔】：控制输出结果的增量间隔，通过此参数可以调控结果文件的大小。

【增量数】：迭代控制为手动时，输入此参数。此数即为固定的迭代增量次数。当前子步的计算必须为此增量数。

【最大迭代次数】：每一个增量步内平衡迭代的最大迭代次数。

【几何非线性】：可选“是”和“否”。当“是”时，程序启用几何非线性计算。当“否”时，程序不启用几何非线性计算。

【位移收敛比值】：迭代计算过程中，位移收敛的判定值。当迭代计算的位移增量除以一个增量步内总位移增量小于此值时，即认为收敛。

【转动收敛比值】：迭代计算过程中，转动收敛的判定值。当迭代计算的转角增量除以一个增量步内总转角增量小于此值时，即认为收敛。

【残值收敛比值】：迭代计算过程中，残余力收敛的判定值。当残余力除以总外力小于此值时，即认为收敛。

【绝对残余力容差】：迭代计算过程中，残余力收敛的判定值。当残余力小于此值时，即认为收敛。

【启用线性预测】：勾选此选项时，求解器将判断当前工程是否为线性分析，如果

为线性分析将按照线性求解，效率比非线性分析要高。

1.3 非线性屈曲分析

非线性屈曲分析可以计算结构在某个载荷模式下达到失稳状态的临界载荷以及失稳后的变形情况。

非线性屈曲分析采用修正的 riks 方法求解，能够得到结构的屈曲后特性，可以考虑初始缺陷对屈曲的影响。进行非线性屈曲分析前通常先进行线性屈曲预测结构的临界载荷，以便在非线性分析中输入大于临界载荷的值来查看屈曲后变形。

创建非线性屈曲分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析类型”选择“隐式结构分析”。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建结构材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，【创建部件】给模型设置单元算法、材料等属性。当有壳/膜单元或梁/杆单元时，需要选择对应截面来设置截面属性。

5. 单击【分析】选项卡，当有梁单元时，使用【指定截面方向】命令，指定梁单元的截面方向。

6. 在【分析】选项卡，使用【耦合连接】、【接触】、【嵌入连接】等命令设置分析模型各部件的关系。

7. 在【分析】选项卡，使用【常规约束】、【初始温度】、【集中质量】、【预应力场】等为模型添加初始条件约束。

8. 在【分析类型】面板>单击【创建分析】。

9. 在任务面板中，“分析类型”选择“非线性屈曲分析”，单击【添加】，然后单击【√】。

10. 在【结构树浏览器】>【隐式结构分析】项下，双击【非线性屈曲分析】。

11. 在【任务】面板，输入“标签”名称，输入各项控制参数，单击【√】。

12. 在【分析】选项卡，使用荷载命令为非线性屈曲分析步添加与线性屈曲步相同的荷载。

13. 在【分析】选项卡>【计算】面板，单击【计算】。

非线性屈曲步参数说明：

图 94　非线性屈曲分析步参数设置面板

【标签】：当前分析步名称，可更改。

【最大荷载乘子】：计算停止条件之一，如果计算的载荷大小超过施加的载荷与最大荷载乘子的乘积，则停止计算。

【最大位移】：计算停止条件之一，如果计算的位移大小超过输入的最大位移值，则停止计算。

【弧长增量控制】：设置迭代计算的控制参数，分为“自动”和“手动”两种。当

为自动时，程序自动根据每一步迭代的收敛情况，确定弧长增量，进行计算。当为手动时，用户需要手动输入相关控制参数。

【初始弧长增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时第一步的弧长增量值。当非线性行为剧烈时，减小此数值。

【最小弧长增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时，允许的最小弧长增量。如果小于此弧长增量时，迭代仍然不收敛，则停止计算。当非线性行为剧烈时，减小此数值。

【最大弧长增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时，允许的最大弧长增量。

【最大增量数】：迭代控制为自动时，输入此参数。迭代计算时，允许的最大增量次数。当超出此数时，迭代计算仍然不收敛，则停止计算。

【输出间隔】：控制输出结果的增量间隔，通过此参数可以调控结果文件的大小。

【固定弧长增量】：迭代控制为手动时，输入此参数。

【最大迭代次数】：每一个增量步内平衡迭代的最大迭代次数。

【期望迭代次数】：每一个增量步内平衡迭代的期望迭代次数。

【几何非线性】：可选“是”和“否”。当“是”时，程序启用几何非线性计算。当“否”时，程序不启用几何非线性计算。

【位移收敛比值】：迭代计算过程中，位移收敛的判定值。当迭代计算的位移增量除以一个增量步内总位移增量小于此值时，即认为收敛。

【残值收敛比值】：迭代计算过程中，残余力收敛的判定值。当残余力除以总外力小于此值时，即认为收敛。

【缺陷位移场】：默认为“无”，下面表格为灰色不可用状态。当选择的缺陷位移场为“频率分析”或“线性屈曲分析”时，对应“模态号”-“缺陷值”的表格可用，

需要填入缺陷值；当选择的缺陷位移场为“线性静力分析”类型时，对应“工况号”-“缺陷系数”的表格可用，需要输入缺陷所在分析类型的工况和系数大小。

1.4 隐式动力分析

隐式动力分析用于计算动力载荷作用在结构上引起的响应，如结构的位移、应力、应变等响应。隐式动力分析是非线性分析，可以考虑材料非线性、几何非线性、接触非线性的影响。

创建隐式动力分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析类型”选择“隐式结构分析”。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建结构材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，【创建部件】给模型设置单元算法、材料等属性。当有壳/膜单元或梁/杆单元时，需要选择对应截面来设置截面属性。

5. 单击【分析】选项卡，当有梁单元时，使用【指定截面方向】命令，指定梁单元的截面方向。

6. 在【分析】选项卡，使用【耦合连接】、【接触】、【嵌入连接】等命令设置分析模型各部件的关系。

7. 在【分析】选项卡，使用【常规约束】、【初始温度】、【集中质量】、【预应力场】等为模型添加初始条件约束。

8. 单击【创建分析】，在任务面板“分析步类型”选择“隐式动力分析”，单击【添加】或者双击所选的分析类型，然后单击【√】。

9. 在【结构树浏览器】>【隐式结构分析】项下，双击【step-1：隐式动力分析】。

10. 在【任务】面板，输入“标签”名称，输入各项控制参数，单击【√】。

11. 在【分析】选项卡下使用荷载命令为模型添加边界条件和荷载。

12. 在【分析】选项卡>单击【计算】。

隐式动力步参数说明：

图 95 隐式动力分析步参数设置面板

【标签】：当前分析步名称，可更改。

【链接至上一步】：继承上一分析步的计算结果，不可更改。当前分析步的计算是在上一分析步的结果基础上进行的。

【子步周期】：当前分析步的时间周期。

【增量控制】：设置迭代计算的控制参数，分为“自动”和“手动”两种。当为自动时，程序自动根据每一步迭代的收敛情况，确定时间增量，进行计算。当为手动时，用户需要手动输入相关控制参数。

【初始时间增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时第一步的时间增量值。当非线性行为剧烈时，减小此数值。

【最小时间增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时，允许的最小时间增量。如果小于此时间增量时，迭代仍然不收敛，则停止计算。当非线性行为剧烈时，减小此数值。

【最大时间增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时，允许的最大时间增量。

【最大增量数】：迭代控制为自动时，输入此参数。迭代计算时，允许的最大增量次数。当超出此数时，迭代计算仍然不收敛，则停止计算。

【输出控制】：控制结果输出的方式，可以选择按“固定步输出”或者按“固定时间输出”。

【固定步输出】：控制输出结果的增量步间隔，默认为 1，通过此参数可以调控结果文件的大小。

【固定时间输出】：控制输出结果的增量时间间隔，默认为 0.01s，通过此参数可以调控结果文件的大小。

【增量数】：迭代控制为手动时，输入此参数。此数即为固定的迭代增量次数。当前子步的计算必须为此增量数。

【最大迭代次数】：每一个增量步内平衡迭代的最大迭代次数。

【几何非线性】：可选“是”和“否”。当“是”时，程序启用几何非线性计算。当“否”时，程序不启用几何非线性计算。

【位移收敛比值】：迭代计算过程中，位移收敛的判定值。当迭代计算的位移增量除以一个增量步内总位移增量小于此值时，即认为收敛。

【转动收敛比值】：迭代计算过程中，转动收敛的判定值。当迭代计算的转角增量除以一个增量步内总转角增量小于此值时，即认为收敛。

【残值收敛比值】：迭代计算过程中，残余力收敛的判定值。当残余力除以总外力小于此值时，即认为收敛。

【绝对残余力容差】：迭代计算过程中，残余力收敛的判定值。当残余力小于此值时，即认为收敛。

1.5 线性静力分析

线性静力分析用于计算多个工况静态加载情况下，结构的位移、应力、应变等响应。线性静力分析的不同工况之间的结果相互独立。

创建线性静力分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析类型”选择“隐式结构分析”。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建结构材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，【创建部件】给模型设置单元算法、材料等属性。当有壳/膜单元或梁/杆单元时，需要选择对应截面来设置截面属性。

5. 单击【分析】选项卡，当有梁单元时，使用【指定截面方向】命令，指定梁单元的截面方向。

6. 在【分析】选项卡，使用【耦合连接】、【接触】、【嵌入连接】等命令设置分析模型各部件的关系。

7. 在【分析】选项卡，使用【常规约束】、【初始温度】、【集中质量】、【预应力场】等为模型添加初始条件约束。

8. 单击【创建分析】，在任务面板“分析步类型”选择“线性静力分析”，单击【添加】或者双击所选的分析类型，然后单击【√】。

9. 在【分析】选项卡>单击【工况】，为线性静力分析创建工况，请重复此步骤创建多个工况。

10. 在【分析】选项卡下使用荷载命令为分别为不同的工况添加边界条件和荷载。

11. 在【分析】选项卡>单击【计算】。

1.6 线性屈曲分析

线性屈曲分析可以计算结构在某个载荷模式下达到失稳状态的线性临界载荷以及失稳模态。

线性屈曲分析得到的临界载荷为理论值，要大于结构实际的失稳载荷。

创建线性屈曲分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析类型”选择“隐式结构分析”。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建结构材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，【创建部件】给模型设置单元算法、材料等属性。当有壳/膜单元或梁/杆单元时，需要选择对应截面来设置截面属性。

5. 单击【分析】选项卡，当有梁单元时，使用【指定截面方向】命令，指定梁单

元的截面方向。

6. 在【分析】选项卡，使用【耦合连接】、【接触】、【嵌入连接】等命令设置分析模型各部件的关系。

7. 在【分析】选项卡，使用【常规约束】、【初始温度】、【集中质量】、【预应力场】等为模型添加初始条件约束。

8. 在【分析类型】面板>单击【创建分析】。

9. 在弹出对话框中，“分析类型”选择“线性屈曲分析”， 单击【添加】，然后单击【√】。

10. 在【结构树浏览器】>【隐式结构分析】项下，双击【线性屈曲分析】。

11. 在【任务】面板，输入“标签”名称，输入需要求解的屈曲模态数，单击【√】。

12. 在【分析】选项卡，使用荷载命令为模型添加荷载。

13. 在【分析】选项卡>单击【计算】。

线性屈曲步参数说明：

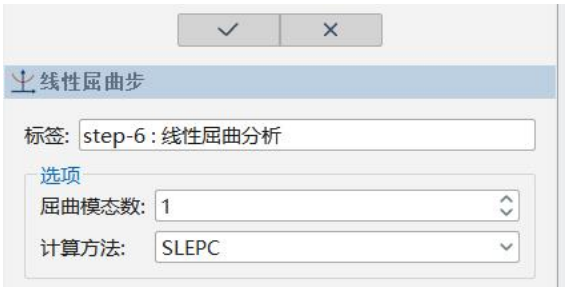


图 96　线性屈曲分析步参数设置面板

【标签】：当前分析步名称，可更改。

【屈曲模态数】：需要计算的屈曲振型个数，用户可以根据需要输入。

【计算方法】：频率分析所采用的矩阵求解方法，不可更改。

1.7 频率分析

频率分析是最基本的动力分析，用于分析结构的自振特性，包括固有频率和振型。除了常规的模态分析外，Simdroid 还可以计算考虑预应力的频率分析，即考虑应力对结构刚度的影响。

创建频率分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析类型”选择“隐式结构分析”。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建结构材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，【创建部件】给模型设置单元算法、材料等属性。当有壳/膜单元或梁/杆单元时，需要选择对应截面来设置截面属性。

5. 单击【分析】选项卡，当有梁单元时，使用【指定截面方向】命令，指定梁单元的截面方向。

6. 在【分析】选项卡，使用【耦合连接】、【接触】、【嵌入连接】等命令设置分析模型各部件的关系。

7. 在【分析】选项卡，使用【常规约束】、【初始温度】、【集中质量】、【预应力场】等为模型添加初始条件约束。

8. 在【分析类型】面板>单击【创建分析】。

9. 在弹出对话框中，“分析类型”选择“频率分析”，单击【添加】，然后单击【√】。

10. 在【结构树浏览器】>【隐式结构分析】项下，双击【step-1：频率分析】。

11. 在【任务】面板，输入“标签”名称，输入各项控制参数，单击【√】。

12. 在【分析】选项卡单击【计算】。

频率步参数说明：

图 97　频率步参数设置面板

【标签】：当前分析步名称，可更改。

【质量矩阵类型】：选择质量矩阵类型，包含“集中质量矩阵”和“协调质量矩阵”两种。

【设置频率区间】：该选项控制频率分析采用的是频率区间的形式还是振型数的形式，默认为“否”。

【振型数】：需要计算的振型个数，用户可以根据需要输入。

【最小频率】：当“设置频率区间”选项为“是”时，需要输入计算的最小频率值。

【最大频率】：当“设置频率区间”选项为“是”时，需要输入计算的最大频率值。

【计算方法】：频率分析所采用的求解方法，包括“SLEPC”和“Lanczos”两种方法，其中“SLEPC”支持自由模态的求解。

注意：当频率步之前存在通用静力步，且通用静力步开启了几何非线性，或模型设置了【预应力】，频率分析步的结果为预应力频率。

1.8 谐响应分析

谐响应分析是计算结构在简谐荷载下的响应。求解方法包括“直接积分法”和“模态叠加法”。当采用“模态叠加法”时，需要先创建一个频率分析步。荷载包含实部和虚部。

创建谐响应分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析类型”选择“隐式结构分析”。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建结构材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，【创建部件】给模型设置单元算法、材料等属性。当有壳/膜单元或梁/杆单元时，需要选择对应截面来设置截面属性。

5. 单击【分析】选项卡，当有梁单元时，使用【指定截面方向】命令，指定梁单元的截面方向。

6. 在【分析】选项卡，使用【耦合连接】、【接触】、【嵌入连接】等命令设置分析模型各部件的关系。

7. 在【分析】选项卡，使用【常规约束】、【初始温度】、【集中质量】、【预应力场】等为模型添加初始条件约束。

8. 在【分析类型】面板>单击【创建分析】。

9. 在弹出对话框中，“分析类型”选择“频率分析”，单击【添加】，或者不创建频率分析步；然后选择“谐响应分析”， 单击【添加】，然后单击【√】。

10. 在【结构树浏览器】>【隐式结构分析】项下，双击【频率分析】（当创建了频率分析时）。

11. 在【任务】面板，输入“标签”名称，输入各项控制参数，单击【√】。

12. 在【结构树浏览器】>【隐式结构分析】项下，双击【谐响应分析】。

13. 在【任务】>面板，输入“标签”名称，输入各项控制参数，单击【√】。

14. 在【分析】选项卡下使用荷载命令为模型添加边界条件和荷载。

15. 在【分析】选项卡单击【计算】。

谐响应分析步参数说明：

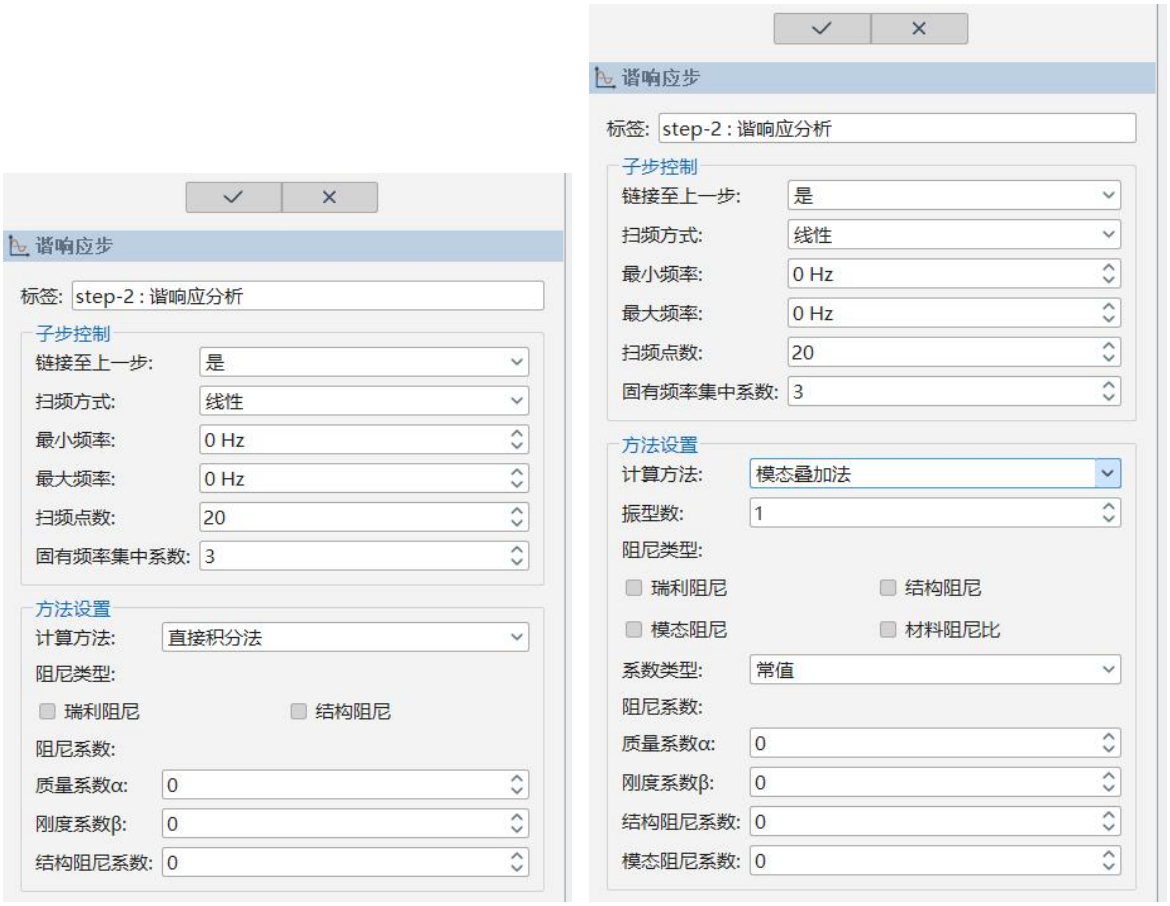


图 98　谐响应分析步参数设置面板（左：直接积分法；右：模态叠加法）

【标签】：当前分析步名称，可更改。

【链接至上一步】：继承上一分析步的计算结果，不可更改。当前分析步的计算是在上一频率分析步的结果基础上进行的。

【扫频方式】：目前只有线性扫频方式。

【最小频率】：扫频的最低频率值，应输入大于 0 的数。

【最大频率】：扫频的最高频率值，应输入大于【最小频率】的数值。

【扫频点数】：相邻两特征频率间给出的计算频率个数。

【固有频率集中系数】：控制扫频点数的分布情况；当此系数为 1 时，扫频点在两个固有频率间均匀分布，当此系数大于 1 时，数值越大，表示在固有频率附近布置更多的计算频率点，远离固有频率处布置更少的频率点，从而使共振频率附近的计算更加精确，建议取 3。

【计算方法】：包括“直接积分法”和“模态叠加法”两种。

【振型数】：参与谐响应计算的振型阶数。应小于或等于频率分析步输入的振型数。

【瑞利阻尼】：控制计算时是否添加瑞利阻尼。

【结构阻尼】：控制计算时是否添加结构阻尼。

【模态阻尼】：控制计算时是否添加模态阻尼。

【材料阻尼比】：控制计算时是否采用材料阻尼比。

【瑞利阻尼】：瑞利阻尼假设结构的阻尼矩阵是质量矩阵和刚度矩阵的组合。对应阻尼系数包含质量系数α和刚度系数β。

【结构阻尼】：对应结构阻尼系数。

【模态阻尼】：对应模态阻尼系数。

【系数类型】：包含“常值”和“表格”，当系数类型为常值时各项阻尼参数为常数，当系数类型为表格时阻尼参数随着振型发生变化，需要设置不同振型频率下的阻尼参数。

【质量系数α】：采用瑞利阻尼时其质量系数的取值。当系数类型为“表格”时需要设置不同频率下的质量系数。

【刚度系数β】：采用瑞利阻尼时其刚度系数的取值。当系数类型为“表格”时需要设置不同频率下的刚度系数。

【结构阻尼系数】：为结构阻尼系数，当系数类型为“表格”时需要设置不同频率下的结构阻尼系数。

【模态阻尼系数】：为模态阻尼系数，当系数类型为“表格”时需要设置不同频率下的模态阻尼系数。

注意：谐响应分析中三种阻尼允许同时存在。当勾选了“材料阻尼比”后将采用模态分析计算得到的阻尼比进行谐响应分析的计算，其他阻尼将不起作用。

1.9 反应谱分析

反应谱分析建立在振型分解反应谱理论基础上。振型分解理论将结构的地震作用响应分解为各振型分量的叠加，即对应每个振型都有一个地震作用，然后通过一定的组合方法叠加结构各振型的地震响应得到最终总的响应值。求解时需要先创建一个频率分析步。

创建反应谱分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析类型”选择“隐式结构分析”。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建结构材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，【创建部件】给模型设置单元算法、材料等属性。当有壳/膜单元或梁/杆单元时，需要选择对应截面来设置截面属性。

5. 单击【分析】选项卡，当有梁单元时，使用【指定截面方向】命令，指定梁单元的截面方向。

6. 在【分析】选项卡，使用【耦合连接】、【接触】、【嵌入连接】等命令设置分析模型各部件的关系。

7. 在【分析】选项卡，使用【常规约束】、【初始温度】、【集中质量】、【预应力场】等为模型添加初始条件约束。

8. 在【分析类型】面板>单击【创建分析】。

9. 在弹出对话框中，“分析类型”选择“频率分析”，然后选择“反应谱分析”，单击【添加】，然后单击【√】。

9. 在【结构树浏览器】>【隐式结构分析】项下，双击【频率分析】。

10. 在【任务】面板，输入“标签”名称，输入各项控制参数，单击【√】。

11. 在【结构树浏览器】>【隐式结构分析】项下，双击【反应谱分析】。

12. 在【任务】面板，输入“标签”名称，输入各项控制参数，单击【√】。

13. 在【分析】选项卡下使用荷载命令为模型添加边界条件和荷载。

14. 在【分析】选项卡单击【计算】。

反应谱分析步参数说明：

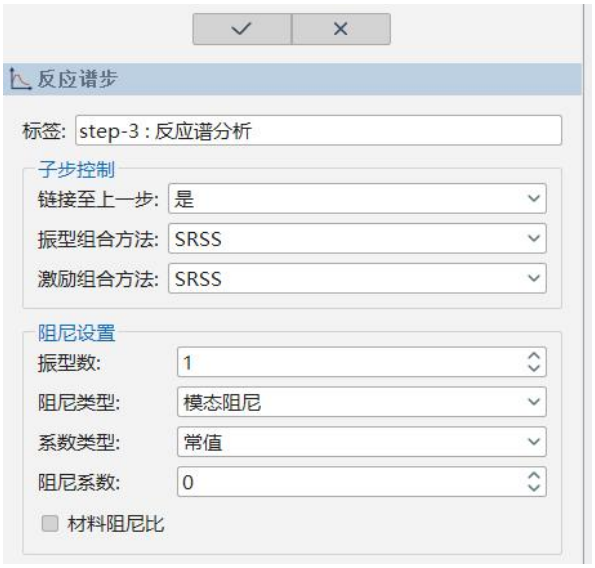


图 99　反应谱分析步参数设置面板

【标签】：当前分析步名称，可更改。

【链接至上一步】：继承上一分析步的计算结果，不可更改。当前分析步的计算是在上一频率分析步的结果基础上进行的。

【振型组合方法】：叠加结构各振型的地震响应得到最终总的结构地震响应的组合方法，包含 SRSS、CQC、ABS 三种方法供用户选择。SRSS 法假设所有最大模态值都是相互独立的，通过求参与组合的各个振型的均方根来进行组合，CQC 法以概率理论为基础，考虑了振型阻尼引起的邻近振型间的静态耦合效应，ABS 法假设所有振型的最大模态值都发生在同一个时间点上，通过求它们的绝对值之和来进行振型叠加。

【激励组合方法】：激励的叠加方法，包含 SRSS、ABS 两种方法供用户选择。SRSS 法不考虑两个方向地震作用出现峰值在统计上的相关性，因此组合值相对比较保守，但相对于 ABS 法而言算是比较优化的方法；ABS 法假设两个方向最大值发生在同一个时间点上，通过求它们的绝对值之和来进行激励方向的组合，这种方法比较保守。

【振型数】：参与谐响应计算的振型阶数。应小于或等于频率分析步输入的振型数。

【阻尼类型】：目前仅包含“模态阻尼”。

【系数类型】：包含“常值”和“表格”，当系数类型为常值时各项阻尼参数为常

数，当系数类型为表格时阻尼参数随着振型发生变化，需要设置不同振型频率下的阻尼参数。

【阻尼系数】：为模态阻尼系数，当系数类型为“常值”时不同频率下的阻尼系数为一定值，当系数类型为“表格”时需要设置不同频率下的模态阻尼系数。

【材料阻尼比】：控制计算时是否采用材料阻尼比。

注意：当勾选了“材料阻尼比”后将采用模态分析计算得到的阻尼比进行反应谱分析的计算，其他阻尼将不起作用。

1.10 线性动力分析

线性动力分析用于计算动力荷载作用于结构上引起的结构响应（位移、应变和应力等）。它是一个线性分析，包含直接积分法和模态叠加法两种求解方法。

创建线性动力分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析类型”选择“隐式结构分析”。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建结构材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，【创建部件】给模型设置单元算法、材料等属性。当有壳/膜单元或梁/杆单元时，需要选择对应截面来设置截面属性。

5. 单击【分析】选项卡，当有梁单元时，使用【指定截面方向】命令，指定梁单元的截面方向。

6. 在【分析】选项卡，使用【耦合连接】、【接触】、【嵌入连接】等命令设置分析模型各部件的关系。

7. 在【分析】选项卡，使用【常规约束】、【初始温度】、【集中质量】、【预应力场】等为模型添加初始条件约束。

8. 在【分析类型】面板>单击【创建分析】。

9. 在弹出对话框中，“分析类型”选择“线性动力分析”， 单击【添加】，然后单击【√】。

10. 在【结构树浏览器】>【隐式结构分析】项下，双击【线性动力分析】。

11. 在【任务】面板，输入“标签”名称，输入各项控制参数，单击【√】。

12. 在【分析】选项卡下使用荷载命令为模型添加边界条件和荷载。

13. 在【分析】选项卡单击【计算】。

线性动力分析步参数说明：

图 100 线性动力步参数设置面板

【标签】：当前分析步名称，可更改。

【链接至上一步】：继承上一分析步的计算结果，不可更改。当前分析步的计算是在上一分析步的结果基础上进行的。

【子步周期】：当前子步的时间周期。对于线性动力分析而言，时间为真实时间。

【积分步长】：求解计算时的时间增量。

【输出间隔】：控制输出结果的增量间隔，通过此参数可以调控结果文件的大小。

【计算方法】：包含“直接积分法”和“模态叠加法”，“模态叠加法”需要前置频率分析步。

【阻尼类型】：包含瑞利阻尼和模态阻尼。

【质量系数α】：采用瑞利阻尼时其质量系数的取值。

【刚度系数β】：采用瑞利阻尼时其刚度系数的取值。

1.11 随机响应分析

随机响应分析也称为功率谱密度分析，是一种基于概率统计学理论的谱分析。随机响应分析是一种频域分析，需要先创建一个频率分析步。可以定义多组荷载工况，并可以定义各个工况的相关性和荷载的功率谱密度函数。

创建随机响应分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析类型”选择“隐式结构分析”。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建结构材料（详细见材料功能），创建网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，【创建部件】给模型设置单元算法、材料等属性。当有壳/膜单元或梁/杆单元时，需要选择对应截面来设置截面属性。

5. 单击【分析】选项卡，当有梁单元时，使用【指定截面方向】命令，指定梁单元的截面方向。

6. 在【分析】选项卡，使用【耦合连接】、【接触】、【嵌入连接】等命令设置

分析模型各部件的关系。

7. 在【分析】选项卡，使用【常规约束】、【初始温度】、【集中质量】、【预应力场】等为模型添加初始条件约束。

8. 在【分析类型】面板>单击【创建分析】。

9. 在弹出对话框中，“分析类型”选择“频率分析”，单击【添加】，然后选择“随机响应分析”，单击【添加】，然后单击【√】。

10. 在【结构树浏览器】>【隐式结构分析】项下，双击【频率分析】。

11. 在【任务】面板，输入“标签”名称，输入各项控制参数，单击【√】。

12. 在【结构树浏览器】>【隐式结构分析】项下，双击【随机响应分析】。

13. 在【任务】面板，输入“标签”名称，输入各项控制参数，单击【√】。

14. 在【分析】选项卡下使用荷载命令为模型添加边界条件和荷载。

15. 在【分析】选项卡单击【计算】。

随机响应分析步参数说明：

图 101 随机响应分析步参数设置面板

【标签】：当前分析步名称，可更改。

【链接至上一步】：继承上一分析步的计算结果，不可更改。当前分析步的计算是在上一频率分析步的结果基础上进行的。

【扫频方式】：目前只有线性扫频方式。

【最小频率】：扫频的最低频率值，应输入大于 0 的数。

【最大频率】：扫频的最高频率值，应输入大于【最小频率】的数值。

【扫频点数】：相邻两特征频率间应给出计算的频率个数。

【固有频率集中系数】：控制扫频点数的分布情况；当此系数为 1 时，扫频点在两个固有频率间均匀分布，当此系数大于 1 时，数值越大，表示在固有频率附近布置更多

的计算频率点，远离固有频率处布置更少的频率点，从而使共振频率附近的计算更加精确，建议取 3。

【振型数】：参与随机响应计算的振型阶数。应小于或等于频率分析步输入的振型数。

【瑞利阻尼】：控制计算时是否添加瑞利阻尼。瑞利阻尼假设结构的阻尼矩阵是质量矩阵和刚度矩阵的组合。对应阻尼系数包含质量系数α和刚度系数β。

【结构阻尼】：控制计算时是否添加结构阻尼。

【模态阻尼】：控制计算时是否添加模态阻尼。

【类型】：包含“常值”和“表格”，当系数类型为“常值”时各项阻尼参数为常数，当系数类型为“表格”时阻尼参数随着振型发生变化，需要设置不同振型频率下的阻尼参数。

【质量系数α】：采用瑞利阻尼时其质量系数的取值。当系数类型为“表格”时需要设置不同频率下的质量系数。

【刚度系数β】：采用瑞利阻尼时其刚度系数的取值。当系数类型为“表格”时需要设置不同频率下的刚度系数。

【结构阻尼系数】：为结构阻尼系数，当系数类型为“表格”时需要设置不同频率下的结构阻尼系数。

【模态阻尼系数】：为模态阻尼系数，当系数类型为“表格”时需要设置不同频率下的模态阻尼系数。

注意：随机响应分析中三种阻尼允许同时存在。

2. 结构分析功能区各项功能

2.1 创建部件

创建部件功能用于给模型赋予“单元算法”、“材料”、“截面”等属性。

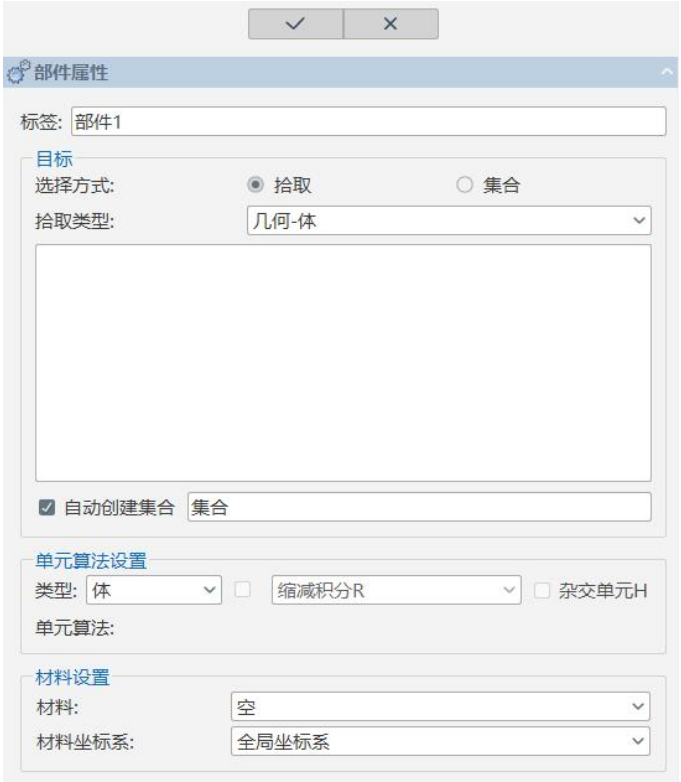


图 102 创建部件设置面板

设置【创建部件】的操作步骤：

1. 单击【分析】选项卡>【创建部件】。

2. 在【任务】面板>选择不同的“拾取类型”。在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 如果选择的目标对象已经完成了网格剖分，则根据网格剖分类型自动过滤出“单元算法”。

4. 在“材料设置”部分选择创建好的材料，默认“材料坐标系”为“全局坐标系”，“绕 Z 轴的转角”为 0°，如果不涉及各向异性材料可以保持默认值即可。

5. 如果拾取的目标对象为“壳”和“梁/杆”时，需要在“截面设置”>“截面选择”下拉菜单处，选择已创建的截面。

6. 单击【√】完成创建部件操作。

注意：壳/膜截面只能赋给“面”对象；梁/杆、弹簧截面只能赋给“线”对象。

2.2 指定截面方向

指定截面方向用于确定梁截面的方向。

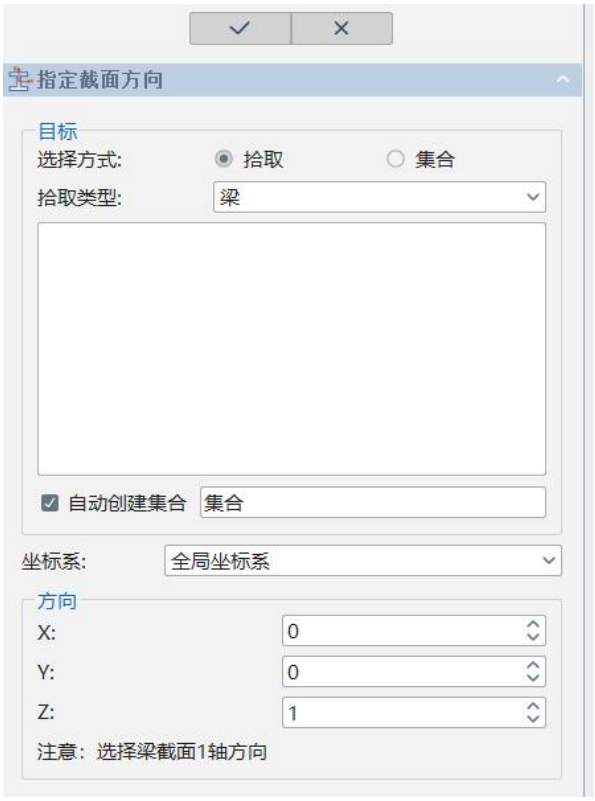


图 103 指定截面方向设置面板

设置【指定截面方向】的操作步骤：

1. 单击【分析】选项卡>【指定截面方向】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 选择“坐标系”，默认为全局坐标系，支持下拉选择创建好的局部坐标系。

4. 在“方向”框内，输入方向向量 x，y，z 的值确定梁截面 1 轴方向。

5. 单击【√】完成指定截面方向操作。

注意：指定截面方向仅能赋给“线”对象，且只有梁需要指定截面方向。

2.3 耦合连接

耦合连接用于设置两个目标对象之间的自由度耦合关系。

耦合连接
标签: 耦合连接
连接类型: 运动耦合
目标-主边界
选择方式: 拾取 集合
拾取类型: 几何-点
自动创建集合 集合
目标-从边界
选择方式: 拾取 集合
拾取类型: 几何-点
自动创建集合 集合
刚度系数
坐标系: 全局坐标系
Ux Uy Uz Rx Ry Rz
拉格朗日乘子法: 否
罚系数: 0

耦合连接
标签: 耦合连接
连接类型: 分布耦合
目标-主边界
选择方式: 拾取 集合
拾取类型: 几何-点
自动创建集合 集合
权重类型: 面积平均
目标-从边界
选择方式: 拾取 集合
拾取类型: 几何-表面
自动创建集合 集合

耦合连接
标签: 耦合连接
连接类型: 杆连接
目标-主边界
选择方式: 拾取 集合
拾取类型: 几何-点
自动创建集合 集合
目标-从边界
选择方式: 拾取 集合
拾取类型: 几何-点
自动创建集合 集合
刚度系数
弹簧刚度: 刚性

图 104 耦合连接设置面板

支持的几何特征：

主边界：支持的对象为“几何-点”、“网格-点”。

从边界：支持的对象为“几何-点”、“几何-边”、“几何-面”、“几何-体”及“网格-点”。

设置【耦合连接】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【耦合连接】。

2. 根据工程需要选择“连接类型”。

3. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，设置为“目标-主边界”。

4. 在【任务】面板，单击“目标-从边界”下的空白区域激活从边界的选择。

5. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，设置为“目标-从边界”。

6. 设置所选择的“连接类型”对应的参数。

7. 单击【√】完成耦合连接的设置。

选项说明：

【连接类型】：有“运动耦合”、“分布耦合”、“杆连接”、“梁连接”和“刚体约束”5种。“运动耦合”将从边界节点的运动约束为主边界节点的运动，刚度系数默认全为“刚性”。用户可以选择相对于全局或局部坐标系下指定自由度的刚度约束。“分布耦合”将从边界节点的运动约束为主边界节点的运动。目前通过“权重类型”来控制负载的传输方式，“权重类型”支持“面积均匀”和“节点平均”，主边界节点处的力和力矩等于从边界节点处的合力。“杆连接”的连接为杆，可设置杆的刚度。“梁连接”的连接为梁，可以设置梁的刚度。“刚体约束”将从边界节点的所有自由度约束为主边界的节点运动。与“运动耦合”相比，无法选择约束自由度。

注意：

1. “目标-主边界”仅允许选择一个几何点或者网格点。

2.4 多点耦合

多点耦合用于设置多个目标对之间的自由度耦合关系。

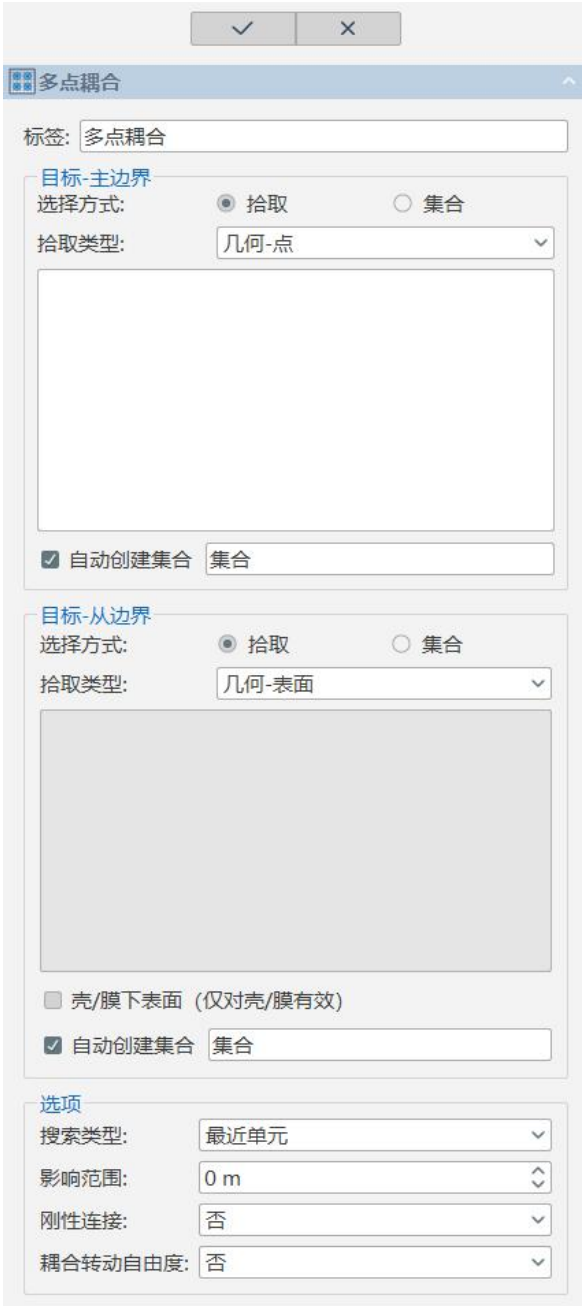


图 105 多点耦合设置面板

支持的几何特征：

主边界：支持的对象为“几何-点”、“网格-点”。

从边界：支持的对象为“几何-表面”与“网格-表面”。

设置【多点耦合】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【多点耦合】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，设置为“目标-主边界”。

3. 在【任务】面板，单击“目标-从边界”下的空白区域激活从边界的选择。

4. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，设置为“目标-从边界”。

5. 设置“选项”框中对应的参数。

6. 单击【√】完成多点耦合的设置。

选项说明：

【搜索类型】：包含“最近单元”和“半径”两种方式。当选择“最近单元”时，主边界将会按“影响范围”搜索距离最近的单元，与最近单元的所有节点进行连接。当选择“半径”时，主边界将会按半径为“影响范围”的区域搜索范围内的单元，与搜索到的所有节点进行连接。

【耦合转动自由度】： 默认为“否”，支持用户修改。该选项用来控制是否耦合主从边界的转动自由度。

2.5 接触

接触用于设置两组目标对象之间的接触关系。

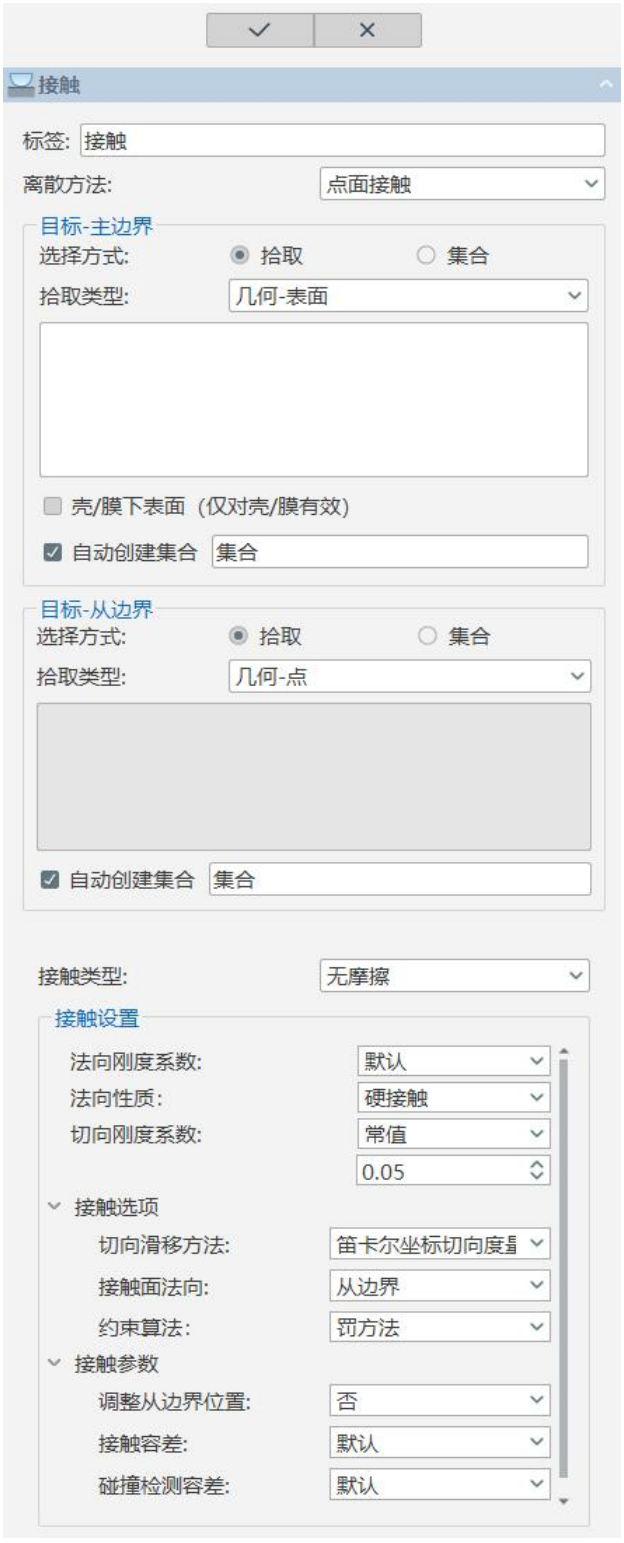


图 106 接触设置面板

支持的几何特征：

主边界：支持的特征为“几何-表面”与“网格-表面”。

从边界：支持的离散方法包括“点面接触”和“面面接触”。“点面接触”时支持的特征为“几何-点”、“几何-边”、“几何-面”与“网格-点”，“面面接触”时支持的特征为“几何-表面”与“网格-表面”。

设置【接触】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【接触】。

2. 在【任务】面板，选择“离散方法”。

3. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，设置为“目标-主边界”。

4. 在【任务】面板，单击“目标-从边界”下的空白区域激活从边界的选择。

5. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，设置为“目标-从边界”。

6. 设置“接触类型”和“接触设置”。

7. 单击【√】完成接触设置。

可勾选左下角的“壳/膜下表面”改变主边界接触方向。

选项说明：

【离散方法】：包含“点面接触”和“面面接触”两种方法。“点面接触”方法为从边界的节点向主边界的表面进行映射，再通过各项参数判断是否为接触状态；“面面接触”方法为从边界的积分点向主边界的表面进行映射，再通过各项参数判断是否为接触状态。

【壳/膜下表面（仅对壳/膜有效）】：勾选该选项可以将壳或膜的上表面调整为下表面。壳或膜分为上/下两个表面，需要指定是哪个表面参与接触。

【接触类型】：有“无摩擦”、“粗糙”、“库仑摩擦”、“绑定”和“无分离”5种。“无摩擦”为接触面法向不可穿透，切向可以自由滑移。“粗糙”为接触面不会发生相对滑动。“库仑摩擦”为接触面存在恒定的摩擦系数，摩擦系数可设置。“绑定”为两个接触面为绑定关系，不可分离。“无分离”为接触面法向不分离，切向可以相对滑动。

【法向刚度系数】：垂直于接触面方向的刚度系数。

【法向性质】：包括“硬接触”和“指数型”，其中“指数型”为软接触的一种。

【切向刚度系数】：平行于接触面方向的刚度系数。

【产生压力时的间隙】：当“法向性质”为“指数型”时，需要输入该参数确定产生压力时的间隙量。

【接触穿透为0时的压力】：当“法向性质”为“指数型”时，需要输入该参数确定接触穿透为0时的压力值。

【切向滑移方法】：包括“笛卡尔坐标切向度量”、“局部笛卡尔坐标切向度量”、“等参坐标曲面度量”和“等参坐标空间度量”4种。

【接触面法向】：包括“从边界”和“主边界”两种，控制接触面的法向方向。

【约束算法】：包括“罚方法”、“增广拉格朗日乘子法”和“障碍函数法”。

【压力收敛容差】：当“约束算法”为“增广拉格朗日乘子法”时，需要输入该参数确定压力收敛性。

【摩擦收敛容差】：当“约束算法”为“增广拉格朗日乘子法”时，需要输入该参数确定摩擦收敛性。

【最大穿透量】：当“约束算法”为“增广拉格朗日乘子法”时，需要输入该参数

确定允许的最大穿透量。

【最大迭代次数】：当“约束算法”为“增广拉格朗日乘子法”时，需要输入该参数确定接触收敛允许的最大迭代次数。

【松弛系数】：当“约束算法”为“障碍函数法”时，需要输入该参数确定松弛系数。

【参考压力】：当“约束算法”为“障碍函数法”时，需要输入该参数确定参考压力。

【调整从边界位置】：该选项控制在接触搜索过程中是否调整从边界位置至主边界表面。

【调整距离】：接触面之间有缝隙时的调整距离，仅在“接触类型”为“接触绑定”时输入。

【接触容差】：当两接触面间距小于等于 0 时，发生接触（接触闭合）；当两接触面间距大于接触容差时，接触分离；当两接触面间距小于接触容差但大于 0 时，逐渐减少接触刚度直到接触分离或接触闭合。

【摩擦系数】：仅在“库仑摩擦”类型下可用，为接触面的摩擦系数。

【碰撞检测容差】：该参数用于碰撞检测。

【积分类型】：包括“高斯”和“Mortar”两种积分类型。

2.6 接触（自动）

接触（自动）用于程序自动搜索目标对象之间的接触关系，并将搜索到的接触对挂载在模型树上。

2.7 绑定

绑定用于设置两组目标对象之间的绑定连接关系。

图 107 绑定设置面板

支持的特征：

主边界：支持的特征仅为“几何-表面”、“网格-表面”。

从边界：支持的离散方法包括“点面接触”和“面面接触”。“点面接触”时支持的特征为“几何-点”、“几何-边”、“几何-面”与“网格-点”，“面面接触”时支持的特征为“几何-表面”与“网格-表面”。

设置【绑定】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【绑定】。

2. 在【任务】面板，选择“离散类型”。

3. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，设置为“目标-主边界”。

4. 在【任务】面板，单击“目标-从边界”下的空白区域激活从边界的选择。

5. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，设置为“目标-从边界”。

6. 设置“参数”框中各项控制参数。

7. 单击【√】完成固定连接的设置。

选项说明：

【离散类型】：包含“点面绑定”和“面面绑定”两种。

【连接类型】：有“绑定”和“壳/实体绑定”两种。“壳/实体绑定”指的是壳的边和实体的面之间进行绑定。

【法向影响范围】：主边界法向距离小于影响范围的位置均绑定。

【切向范围外扩系数】：主边界最外侧单元向外扩展系数，该参数用于确保落在主边界外的从边界能正常绑定。

【拉格朗日乘子法】：该选项控制绑定的算法方法是否采用拉格朗日乘子法。默认采用的是罚方法。

【罚系数】：当“拉格朗日乘子法”选项为“否”时，需要输入该参数。

【绑定转动自由度】：该参数用于控制是否需要绑定主从边界的转动自由度。

【接触面法向】：包括“从边界”和“主边界”两种，控制接触面的法向方向。

【积分类型】：包括“积分”、“高斯”和“Mortar”三种积分类型。

2.8 绑定（自动）

绑定（自动）用于程序自动搜索目标对象之间的绑定连接关系，并将搜索到的对象挂载在模型树上。

2.9 嵌入连接

嵌入连接用于将离散钢筋或钢筋层嵌入到母体中的连接方式。

图 108 嵌入连接设置面板

支持的几何特征：

主边界：支持的特征为“几何-体”、“壳”、“梁/杆”与“网格-单元”。

从边界：支持的特征为“壳”、“梁/杆”与“网格-单元”。

设置【嵌入连接】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【嵌入连接】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，设置为“目标-主边界”。

3. 单击【√】完成嵌入连接的设置。

注意：当从边界目标类型为“壳”时，主边界支持的目标类型为“几何-体”、“壳”与“网格-单元”；当从边界目标类型为“梁/杆”时，主边界支持的目标类型为“几何-体”、“壳”、“梁/杆”与“网格-单元”。

2.10 接地弹簧

接地弹簧为一端固定于地面的弹簧。

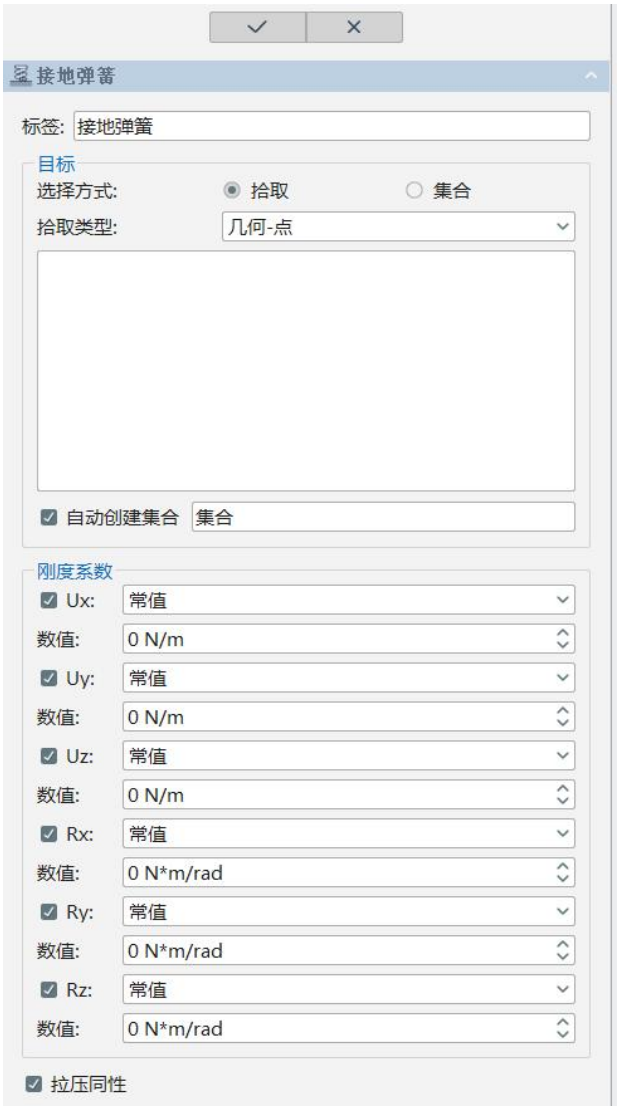


图 109 接地弹簧设置面板

设置【接地弹簧】的操作步骤：

1. 单击【分析】选项卡>【接地弹簧】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置各方向的刚度系数，默认为“常值”，可以修改为“位移-荷载曲线”的形式，选择一条创建好的分段线性函数，实现非线性弹簧的设置。

4. 单击【√】完成接地弹簧设置。

选项说明：

【拉压同性】：该选项用于控制弹簧的压刚度与拉刚度是否一致，用户可以不用输入抗压时的刚度。

2.11 轴向弹簧

轴向弹簧也叫两点弹簧，是连接两个点的弹簧。

图 110 轴向弹簧设置面板

设置【轴向弹簧】的操作步骤：

1. 单击【分析】选项卡>【轴向弹簧】，选择“创建方式”。

2. 当选择“节点对”时，可以在视图交互区域选择几何点或网格节点，创建多对轴向弹簧。

3. 当选择“点-点”时，在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，设置为目标 1。

4. 在【任务】面板，单击“目标 2”下的空白区域激活第 2 个点的选择。

5. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，设置为目标 2。

6. 设置刚度系数，默认为“常值”，可以修改为“位移-荷载曲线”的形式，选择一条创建好的分段线性函数，实现非线性弹簧的设置。

7. 单击【√】完成轴向弹簧设置。

选项说明：

【拉压同性】：该选项用于控制弹簧的压刚度与拉刚度是否一致，用户可以不用输入抗压时的刚度。

2.12 移动副

移动副为连接两个部件的运动副，包含 2 个平动约束和 3 个转动约束。

图 111 移动副设置面板

设置【移动副】的操作步骤：

1. 单击【分析】选项卡>【移动副】，选择“创建方式”。

2. 当选择“装配”时，在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，分别创建耦合点 1 和耦合点 2 与各自耦合区域的连接。

3. 当选择“点-点”时，在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，分别创建耦合点 1 和耦合点 2。

4. 单击【√】完成移动副设置。

选项说明：

【创建方式】：包括“装配”和“点-点”。选择“装配”时用户可以不用提前创建耦合点和耦合区域的耦合连接；选择“点-点”时用户需要单独创建耦合点与耦合区域的连接。

2.13 旋转副

旋转副为连接两个部件的运动副，包含 3 个平动约束和 2 个转动约束。

图 112 旋转副设置面板

设置【旋转副】的操作步骤：

1. 单击【分析】选项卡>【旋转副】，选择“创建方式”。

2. 当选择“装配”时，在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，分别创建耦合点 1 和耦合点 2 与各自耦合区域的连接。

3. 当选择“点-点”时，在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，分别创建耦合点 1 和耦合点 2。

4. 单击【√】完成旋转副设置。

选项说明：

【创建方式】：包括“装配”和“点-点”。选择“装配”时用户可以不用提前创建耦合点和耦合区域的耦合连接；选择“点-点”时用户需要单独创建耦合点与耦合区域的连接。

2.14 圆柱副

圆柱副为连接两个部件的运动副，相当于旋转副的退化，包含 2 个平动约束和 2 个转动约束。

图 113 圆柱副设置面板

设置【圆柱副】的操作步骤：

1. 单击【分析】选项卡>【圆柱副】，选择“创建方式”。

2. 当选择“装配”时，在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方

式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，分别创建耦合点 1 和耦合点 2 与各自耦合区域的连接。

3. 当选择“点-点”时，在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，分别创建耦合点 1 和耦合点 2。

4. 单击【√】完成圆柱副设置。

选项说明：

【创建方式】：包括“装配”和“点-点”。选择“装配”时用户可以不用提前创建耦合点和耦合区域的耦合连接；选择“点-点”时用户需要单独创建耦合点与耦合区域的连接。

2.15 球铰副

球铰副为连接两个部件的运动副，包含 3 个平动约束。

图 114 球铰副设置面板

设置【球铰副】的操作步骤：

1. 单击【分析】选项卡>【球铰副】，选择“创建方式”。

2. 当选择“装配”时，在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，分别创建耦合

点 1 和耦合点 2 与各自耦合区域的连接。

3. 当选择“点-点”时，在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，分别创建耦合点 1 和耦合点 2。

4．单击【√】完成球铰副设置。

选项说明：

【创建方式】：包括“装配”和“点-点”。选择“装配”时用户可以不用提前创建耦合点和耦合区域的耦合连接；选择“点-点”时用户需要单独创建耦合点与耦合区域的连接。

2.16 平面副

平面副为连接两个部件的运动副，可以看做旋转副的退化，包含 1 个平动约束，2 个平动约束。

图 115 平面副设置面板

设置【平面副】的操作步骤：

1. 单击【分析】选项卡>【平面副】，选择“创建方式”。

2. 当选择“装配”时，在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方

式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，分别创建耦合点 1 和耦合点 2 与各自耦合区域的连接。

3. 当选择“点-点”时，在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，分别创建耦合点 1 和耦合点 2。

4. 选择“坐标系”。

5．单击【√】完成平面副设置。

选项说明：

【创建方式】：包括“装配”和“点-点”。选择“装配”时用户可以不用提前创建耦合点和耦合区域的耦合连接；选择“点-点”时用户需要单独创建耦合点与耦合区域的连接。

【坐标系】：默认为全局坐标系，可以选择局部坐标系，约束的是当前坐标系下 x 方向的平动自由度。

2.17 万向副

万向副为连接两个部件的运动副，包含 4 个约束。

图 116 万向副设置面板

设置【万向副】的操作步骤：

1. 单击【分析】选项卡>【万向副】，选择“创建方式”。

2. 当选择“装配”时，在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，分别创建耦合点 1 和耦合点 2 与各自耦合区域的连接。

3. 当选择“点-点”时，在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，分别创建耦合点 1 和耦合点 2。

4. 选择“坐标系”。

5. 单击【√】完成万向副设置。

选项说明：

【创建方式】：包括“装配”和“点-点”。选择“装配”时用户可以不用提前创建耦合点和耦合区域的耦合连接；选择“点-点”时用户需要单独创建耦合点与耦合区域的连接。

【坐标系】：默认为全局坐标系，可以选择局部坐标系，约束的是当前坐标系下 x 方向的平动自由度。

说明：两个耦合点需要坐标位置重合。

2.18 常规约束

常规约束用于设置分析模型的边界约束。常规约束设置后在整个分析过程中均存在。

图 117 常规约束设置面板

支持的几何特征：

支持的几何特征为“几何-点”、“几何-线”、“几何-面”、“几何-体”及“网格-点”。

设置【常规约束】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【常规约束】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 在“自由度约束类型”选项中选择对称约束模板，或在“约束自由度”框内选

择勾选需约束的自由度。

4. 单击【√】完成常规约束操作。

选项说明：

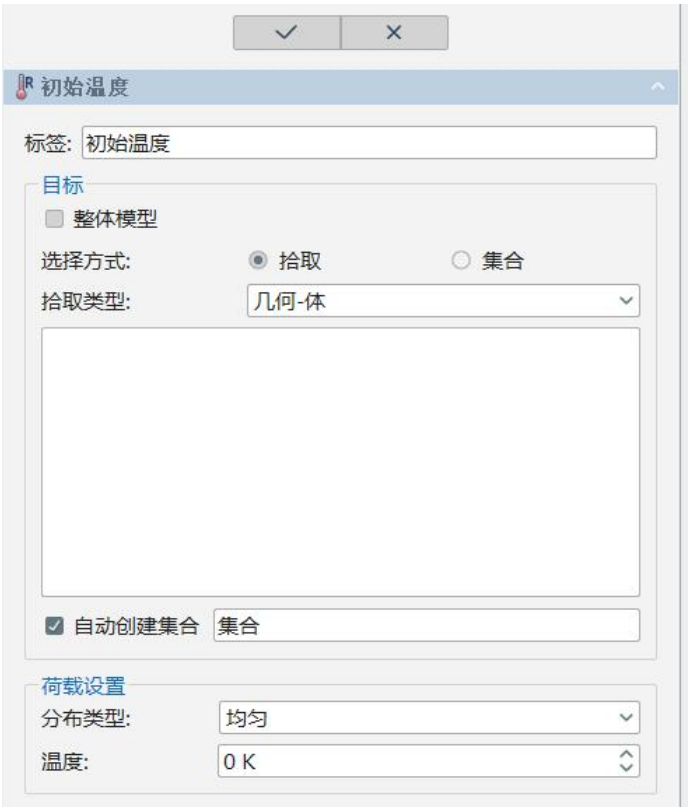
【坐标系】：设置约束的坐标系，默认为全局坐标系，常规约束在分析初始消去了受约束的自由度，不支持局部坐标系。

【自由度约束类型】：包括“默认”、“YZ 平面对称”、“XZ 平面对称”、“XY 平面对称”。

【约束自由度】：Tx，Ty，Tz 分别为 x，y，z 方向的平动自由度，Rx，Ry，Rz 分别为绕 x 轴，y 轴，z 轴的旋转自由度。

2.19 初始温度

初始温度用于设置分析模型的初始温度，一般用于热应力分析。



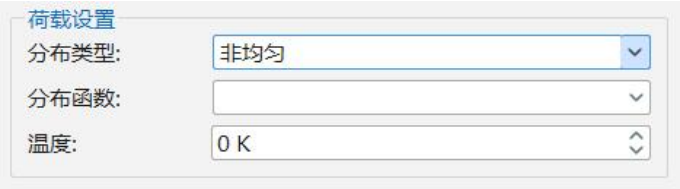


图 118 初始温度设置面板

设置【初始温度】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【初始温度】。

2. 在【任务】面板根据使用需要勾选“整体模型”选项。

3. 当不勾选“整体模型”选项时，在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

4. 在“荷载设置”框输入初始温度值。

5. 单击【√】完成初始温度设置。

选项说明：

【整体模型】：勾选该选项后即在该工程中所有网格点上都施加了相同的初始温度，不用再进行目标对象的选择。

【分布类型】：包括“均匀”和“非均匀”两种。当选择“均匀”时，所选择目标对象施加的均为同一初始温度值；当选择“非均匀”时，用户可以选择定义好的“分布函数”实现不同位置变化的初始温度。该“分布函数”可以通过“坐标函数”和有 3 个变量的“自定义函数”实现。

2.20 集中质量

集中质量用于将某个部件的质量集中到一个点上，一般用于简化建模。

图 119 集中质量设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-点”和“网格-点”。

设置【集中质量】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【集中质量】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 在“数值”框设置质量各分量的数值。

4. 单击【√】完成集中质量的设置。

选项说明：

【数值】：mx，my，mz 分别为 x，y，z 方向的平动质量，Jx，Jy，Jz 分别为绕 x 轴，y 轴，z 轴的转动惯量。

2.21 预应力场

预应力场用于设置分析模型的初始应力，在有应力状态的前提下进行第一个分析步的计算。

图 120 预应力场设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-体”、“壳”、“梁”与“网格-单元”。

设置【预应力场】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【预应力场】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 在“数值”框设置预应力各分量的数值。

4. 单击【√】完成预应力场的设置。

选项说明：

【数值】：预应力分量包含σxx、σyy、σzz、σxy、σyz、σxz，对于实体单元，预应力为全局坐标系下的分量，对于杆/梁/壳单元，预应力为单元局部坐标系下的分量。

2.22 超单元

超单元是一种模型降解求解方法，是将大量单元组成的多自由度复杂结构的行为降解为少量自由度表征的行为。该降解过程就将复杂模型凝聚为超单元的过程。

图 121 超单元设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-体”、“壳”、“梁”与“网格-单元”。

设置【超单元】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【超单元】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 单击【√】完成超单元的设置。

2.23 保留自由度

保留自由度是针对已经创建好的超单元选择需要保留的自由度，参与刚度矩阵的计算。

图 122 保留自由度设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-点”、“几何-线”、“几何-面”、“几何-体”与“网格-点”。

设置【保留自由度】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【保留自由度】。

2. 在“超单元”下拉框选择创建好的超单元。

3. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

4. 设置需要保留的自由度。

5. 单击【√】完成保留自由度的设置。

注意：保留自由度选择的目标对象需要属于当前选择的超单元对象。

2.24 初始速度

初始速度用于设置分析模型的初始速度，一般用于隐式动力分析。

图 123 初始速度设置面板

设置【初始速度】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【初始速度】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 在“速度向量”框输入初始速度值。

4. 单击【√】完成初始速度设置。

2.25 指定位移

指定位移用于设置目标几何的位移条件，位移大小可以在时间/迭代历程内变化。

图 124 指定位移设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-点”、“几何-线”、“几何-面”、“几何-体”及“网格-点”。

设置【指定位移】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【指定位移】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置“坐标系”，设置“分析步”，输入“位移矢量”参数。

4. 单击【√】完成指定位移的设置。

选项说明：

【坐标系】：设置指定位移的坐标系，默认为全局坐标系，用户可以根据需要在【预定义】选项卡创建局部坐标系。

【分析步】：指定位移开始施加的分析步。

【位移矢量】：设置荷载的大小和历程函数，其中数值为荷载的大小，函数为荷载的幅值曲线。

2.26 指定速度

指定速度用于设置目标对象的速度条件，速度大小可以在时间历程内变化。用于线性动力分析和隐式动力分析中。

图 125 指定速度设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-点”、“几何-线”、“几何-面”、“几何-体”及“网格-点”。

设置【指定速度】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【指定速度】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置“坐标系”，设置“分析步”，输入“速度矢量”参数。

4. 单击【√】完成指定速度的设置。

选项说明：

【坐标系】：设置指定速度的坐标系，默认为全局坐标系，用户可以根据需要在【预定义】选项卡创建局部坐标系。

【分析步】：指定速度开始施加的分析步。

【速度向量】：设置荷载的大小和时间历程，其中数值为荷载的大小，函数为荷载的时程幅值曲线。

2.27 指定加速度

指定加速度用于设置目标对象的加速度条件，加速度大小可以在时间历程内变化。用于线性动力分析和隐式动力分析中。

图 126 指定加速度设置面板

支持的几何特征：

支持的特征为“几何-点”、“几何-线”、“几何-面”、“几何-体”及“网格-点”。

设置【指定加速度】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【指定加速度】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置“坐标系”，设置“分析步”，输入“加速度向量”参数。

4. 单击【√】完成指定加速度的设置。

选项说明：

【坐标系】：设置指定加速度的坐标系，默认为全局坐标系，用户可以根据需要在【预定义】选项卡创建局部坐标系。

【分析步】：指定加速度开始施加的分析步。

【加速度向量】：设置荷载的大小和时间历程，其中数值为荷载的大小，函数为荷载的时程曲线。

2.28 集中力

集中力用于设置目标对象所受的力载荷。力载荷的大小可以在时间/迭代历程内变化。

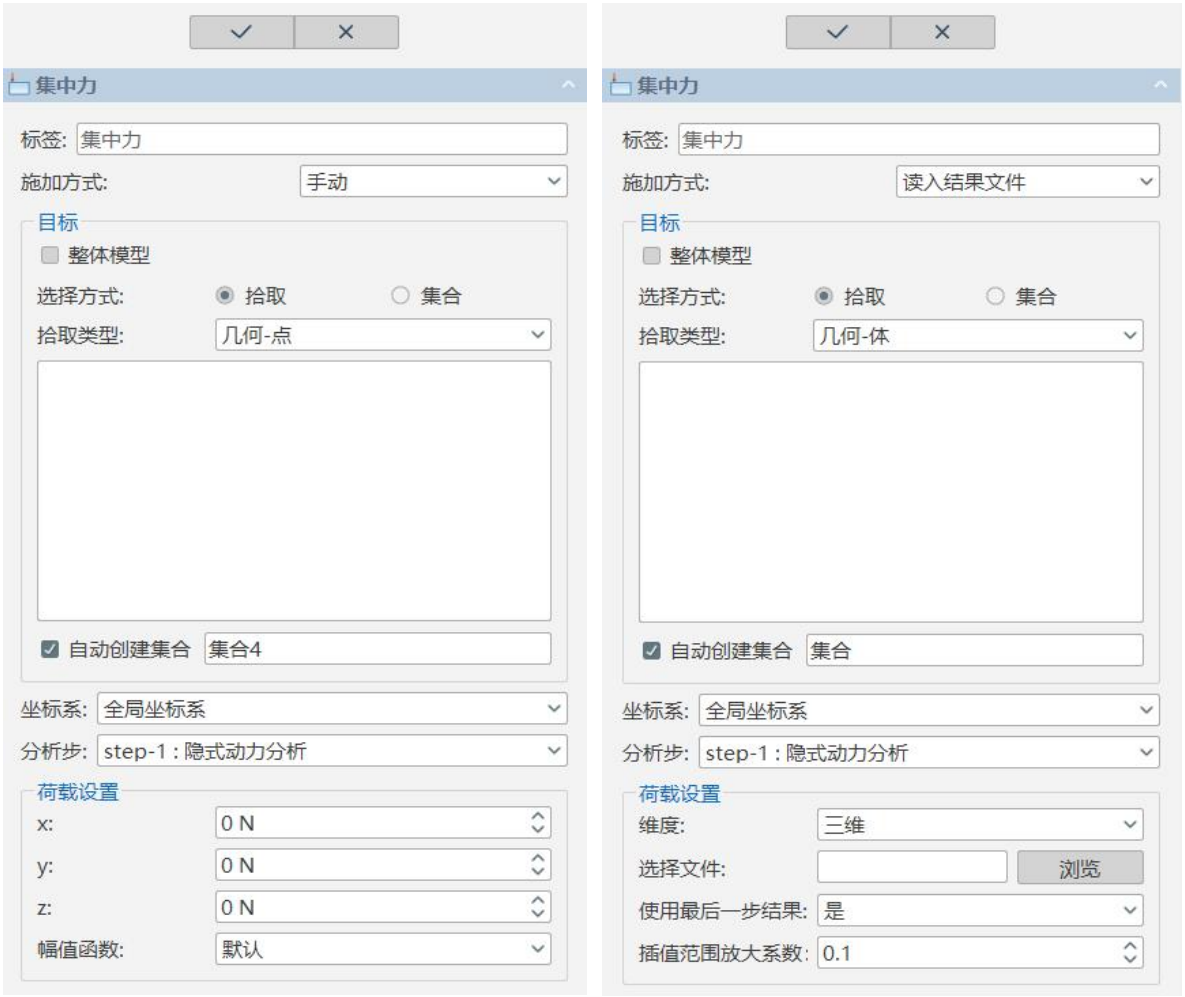


图 127 集中力载荷设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-点”、“网格-点”。

设置【集中力】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【集中力】。

2. 选择“施加方式”，默认为“手动”，可以选择“读入结果文件”。

3. 当“施加方式”为“手动”时，在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

4. 设置“坐标系”，设置“分析步”，输入“荷载设置”参数。

5. 当“施加方式”为“读入结果文件”时，需要导入电磁或流体计算得到的节点力结果文件，并设置相关参数。

6. 单击【√】完成集中力的载荷施加。

选项说明：

【施加方式】：包括“手动”和“读入结果文件”两种方式。当选择“读入结果文件”时，可以选择电磁计算得到的电磁力结果文件或流体计算得到的节点力结果文件。

【坐标系】：设置力的坐标系，默认为全局坐标系，用户可以根据需要在【预定义】选项卡创建局部坐标系。

【维度】：默认为“三维”，可以选择“二维轴对称”或“二维”。如果当前模型为三维模型，导入一个二维的结果文件，求解器将自动把二维结果扩展到三维。二维轴对称同理。

【分析步】：集中力开始施加的分析步。

【荷载设置】：设置荷载的大小和时间历程。

【使用最后一步结果】：该选项控制使用的是导入结果的所有计算步还是最后一步结果作为该集中力载荷。

【插值范围放大系数】：对于当前模型与导入的结果文件网格不匹配时，需要用到该放大系数确保所选目标对象都能正确插值。

2.29 压力

压力用于设置目标对象所受的压力载荷。压力载荷的大小可以在空间位置和时间/迭代历程内变化。

图 128 压力载荷设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-表面”、“几何-边”与“网格-表面”。

设置【压力】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【压力】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。可以通过左下角的“壳/膜下表面

（仅对壳/膜有效）”选项进行上下表面的交换。

3. 设置“分析步”，输入“荷载设置”参数。

4. 单击【√】完成压力载荷的设置。

选项说明：

【分析步】：压力开始施加的分析步。

【分布类型】：包含“均匀”和“非均匀”两种。当选择“均匀”时，所选择目标对象施加的均为同一压力值；当选择“非均匀”时，用户可以选择定义好的“分布函数”实现不同位置变化的压力。该“分布函数”可以通过“坐标函数”和有 3 个变量的“自定义函数”实现。

2.30 面力

压面力用于设置目标对象所受的沿某一特定方向的压力载荷。载荷的大小可以在空间位置和时间/迭代历程内变化。

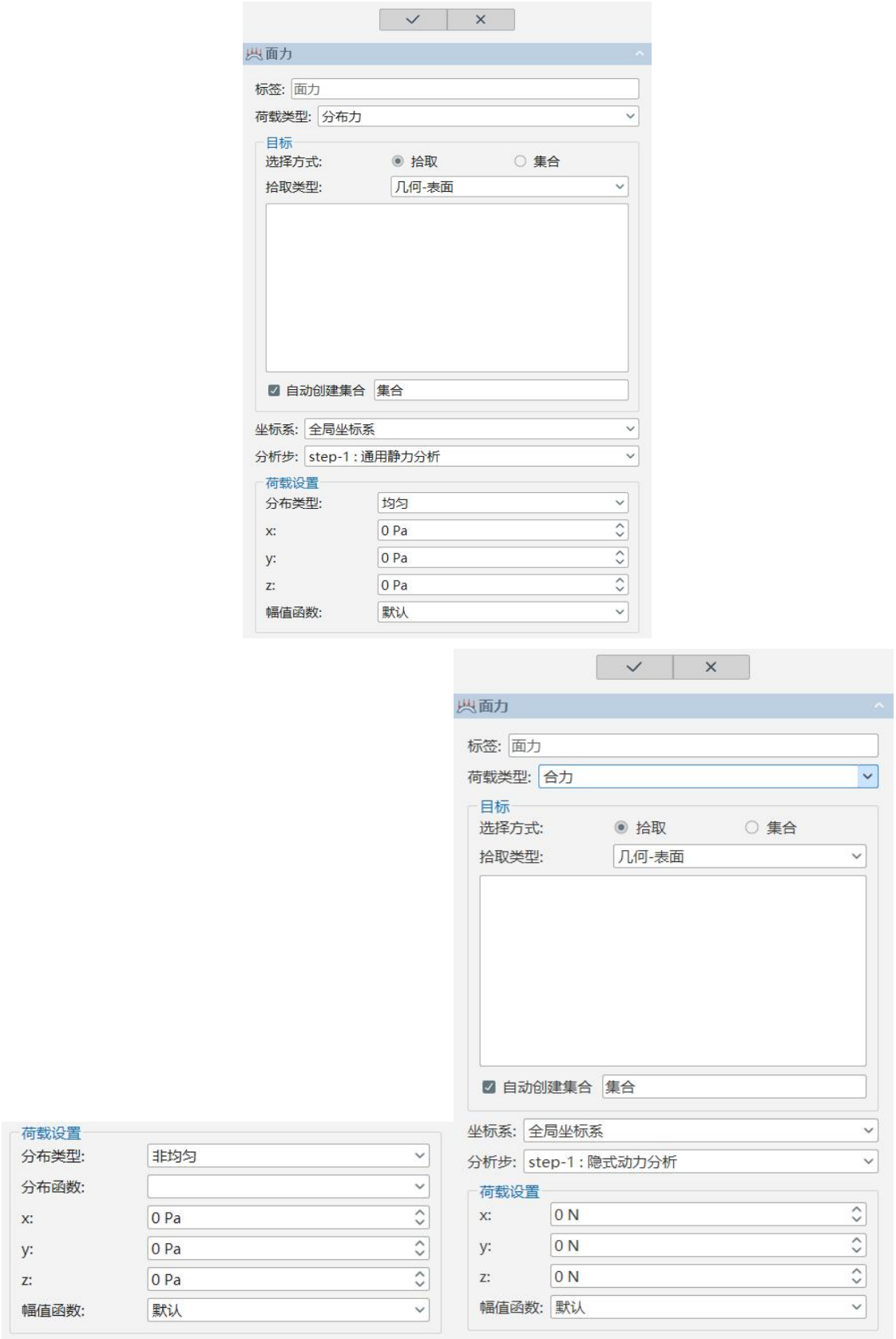


图 129 面力载荷设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-表面”、“几何-边”与“网格-表面”。

设置【面力】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【面力】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 选择“坐标系”，设置“分析步”，输入“荷载设置”参数。

4. 单击【√】完成面力载荷的设置。

选项说明：

【荷载类型】：包括“分布力”和“合力”。当选择“分布力”时，需要设置的载荷单位为 Pa；当选择“合力”时，需要设置的载荷单位为“N”。

【坐标系】：设置面力的坐标系，默认为全局坐标系，用户可以根据需要在【预定义】选项卡创建局部坐标系。

【分析步】：面力开始施加的分析步。

【分布类型】：包含“均匀”和“非均匀”两种。当选择“均匀”时，所选择目标对象施加的均为同一压力值；当选择“非均匀”时，用户可以选择定义好的“分布函数”实现不同位置变化的压力。该“分布函数”可以通过“坐标函数”和有 3 个变量的“自定义函数”实现。

2.31 力矩

力矩用于设置目标对象所受的弯矩载荷。力矩载荷的大小可以在时间/迭代历程内变化。

图 130 力矩载荷设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-点”和“网格-点”。

设置【力矩】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【力矩】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置“坐标系”，选择“分析步”，输入“荷载设置”参数。

4. 单击【√】完成力矩载荷的设置。

选项说明：

【坐标系】：设置力矩的坐标系，默认为全局坐标系，用户可以根据需要在【预定义】选项卡创建局部坐标系。

【分析步】：弯矩开始施加的分析步。

【荷载设置】：设置荷载的大小和时间/迭代历程。

2.32 重力

重力用于设置目标对象所受的重力载荷。重力载荷的大小可以在时间/迭代历程内变化。

图 131 重力载荷设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-体”、“壳”、“梁”、“质量点”和“网格-单元”。

设置【重力】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【重力】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置“坐标系”，设置“分析步”，输入“荷载设置”参数。

4. 单击【√】完成重力载荷的设置。

选项说明：

【整体模型】：该选项控制是否在整体模型上施加重力场。如果不勾选“整体模型”选项，则需要用户在视图区拾取对象或者从集合中选择。

【坐标系】：设置重力的坐标系，默认为全局坐标系，用户可以根据需要在【预定义】选项卡创建局部坐标系。

【分析步】：重力开始施加的分析步。

【荷载设置】：设置荷载的大小和时间/迭代历程。

2.33 离心荷载

离心荷载用于设置目标对象所受的离心力。离心荷载的大小可以在时间/迭代历程内变化。

图 132 离心荷载设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-体”、“壳”、“梁”、“质量点”和“网格-单元”。

设置【离心荷载】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【离心荷载】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置“分析步”，输入“转动轴”参数，输入“转动中心点”参数，输入“转动设置”参数。

4. 单击【√】完成离心载荷的设置。

选项说明：

【分析步】：离心荷载开始施加的分析步。

【转动轴】：离心荷载的转动轴方向矢量。

【转动中心点】：离心荷载转动轴上一点。

【转动设置】：可以设置转动的角速度和角加速度。用户可以根据需要设置不同的荷载历程。

2.34 温度荷载

温度荷载用于设置目标对象所达到的温度。温度荷载的大小可以在空间位置和时间/迭代历程内变化。温度变化即是温度荷载与初始温度之差。

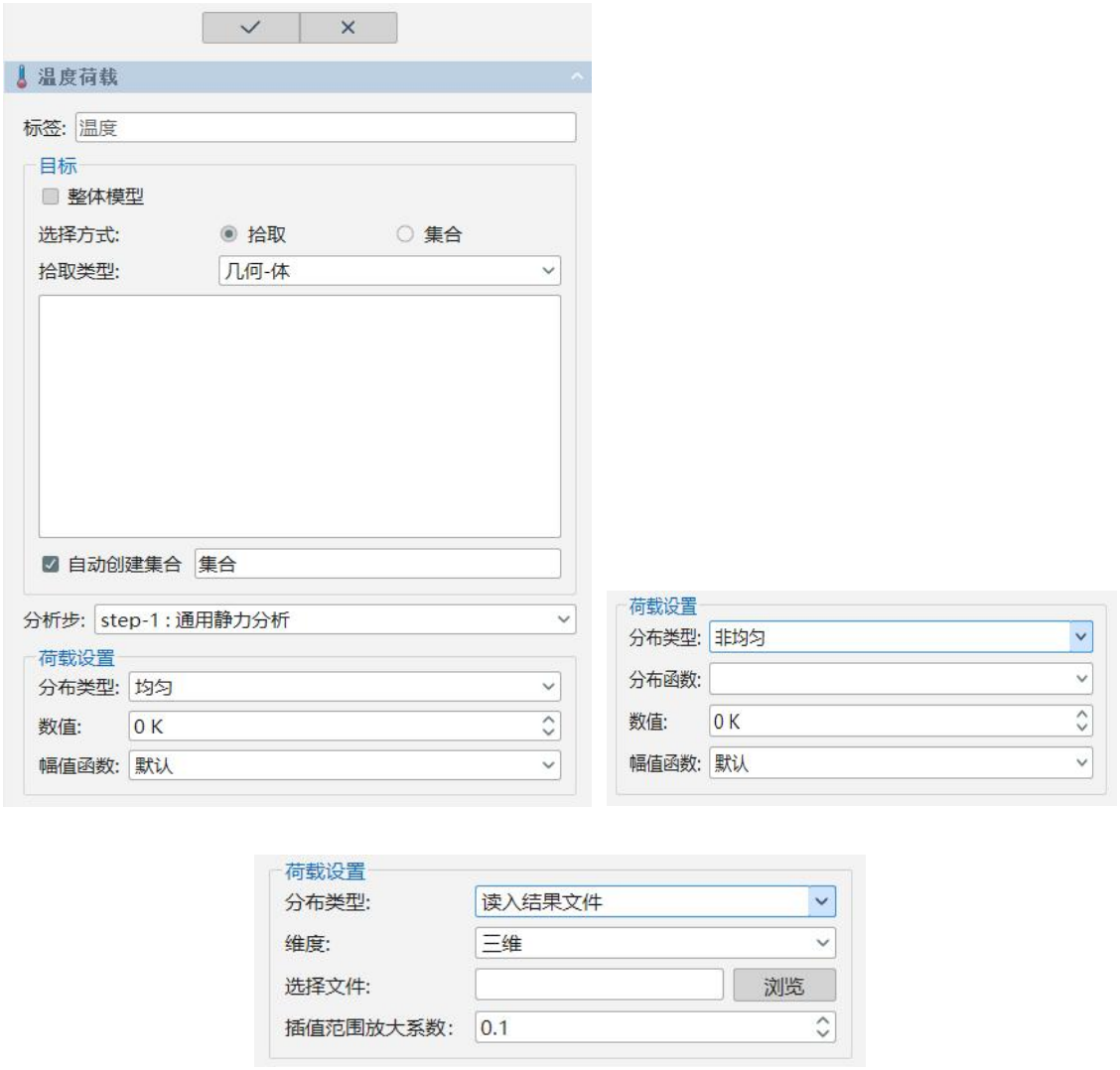


图 133 温度荷载设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-体”、“壳”、“梁”和“网格-点”。

设置【温度荷载】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【温度】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置“分析步”，输入“荷载设置”参数。

4. 单击【√】完成温度载荷的设置。

选项说明：

【分析步】：温度荷载开始施加的分析步。

【分布类型】：包括“均匀”、“非均匀”和“读入结果文件”三种。当选择“均匀”时，所选择目标对象施加的均为同一温度值；当选择“非均匀”时，用户可以选择定义好的“分布函数”实现不同位置变化的压力。该“分布函数”可以通过“坐标函数”和有 3 个变量的“自定义函数”实现。当选择“读入结果文件”时，用户可以导入温度场计算的温度分布结果（.h5 文件），作为结果分析的温度载荷分布。

【维度】：当“分布类型”选择“读入结果文件”时，可以选择该选项明确所导入的结果文件维度。如果当前结构分析为三维，导入的是二维或二维轴对称结果文件，求解器将自动将导入的结果向三维进行映射。

【使用最后一步结果】：该选项控制使用的是导入结果的所有计算步还是最后一步结果作为该集中力载荷。

【插值范围放大系数】：插值时范围的放大倍数。

2.35 弹性支承

弹性支承用于设置目标对象与地面之间的弹簧连接。

图 134 弹性支承设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-点”与“网格-点”。

设置【弹性支承】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【弹性支承】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置“分析步”，输入“荷载设置”参数。

4. 单击【√】完成弹性支承的设置。

选项说明：

【分析步】：弹性支承开始施加的分析步。

【荷载设置】：设置弹性支承各个自由度的刚度。

2.36 反应谱

反应谱是自变量为周期，因变量为加速度、速度或位移的谱函数，用于抗震分析中，可以多个方向的谱函数进行叠加。仅在工程中创建了“反应谱分析”后，菜单栏才会出现“反应谱”荷载选项。反应谱分析中仅能创建一个“反应谱”荷载。

图 135 反应谱设置面板

支持的特征：

支持的特征为整体模型，无需进行目标对象指定。

设置【反应谱】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【反应谱】。

2. 选择“分析步”，设置“荷载设置”参数。

3. 单击【√】完成反应谱载荷的设置。

选项说明：

【方向余弦】：选择谱函数的方向，可多选。

【荷载放大系数】：荷载的放大倍数，实际荷载大小为荷载放大系数与谱函数的乘积。

【谱函数】：反应谱荷载。需要先定义函数设定谱函数，谱函数自变量为周期，因变量为加速度、速度或位移。

2.37 静水压力

静水压力用于设置与液体相接触的容器表面受到液体的法向压力，液体不同深度对壁面产生的压力不同。

图 136 静水压力设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-表面”和“网格-表面”。

设置【静水压力】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【静水压力】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 在【任务】面板，设置“分析步”，输入“零压力点”、“梯度方向”及“梯度设置”参数。

4. 单击【√】完成静水压力的设置。

选项说明：

【零压力点】：自由液面上一点的坐标，此液面对壁面产生的压力为零。

【梯度方向】：液体深度方向。

【梯度设置】：液体沿深度方向产生的压力梯度，为ρ*g。

2.38 支座运动（谐响应分析）

支座运动是位移、速度或加速度的简谐荷载，包含实部和虚部。在工程中创建了“谐响应分析”后，菜单栏出现“支座运动”荷载选项。谐响应分析中仅能创建一个“支座运动”。

图 137 支座运动设置面板

支持的特征：

支持的特征为整体模型，无需进行目标对象指定。

设置【支座运动】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【支座运动】。

2. 在【任务】面板，选择“坐标系”，输入“方向”，进行支座运动的“值设置”参数。

3. 单击【√】完成支座运动的设置。

选项说明：

【坐标系】：设置支座运动的坐标系，默认为全局坐标系，用户可以根据需要在【预定义】选项卡创建局部坐标系。

【方向】：支座运动的方向，可设置多个方向。

【值设置】：荷载类型包括“位移”、“速度”和“加速度”，分别输入“实部”和“虚部”的数值大小。

2.39 工况

工况用于线性静力分析和随机响应分析中，用来进行多工况的计算。直接单击【分析】>【工况】即可。

2.40 相关系数

相关系数仅用于随机响应分析中。“相关系数”是每个工况必须设置的参数，且每个工况可设置多于 1 个。

图 138 相关系数设置面板

支持的特征：无需进行目标对象指定。

设置【相关系数】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【相关系数】。

2. 在【任务】面板，选择“分析步”和该分析步对应的“工况”，设置相关系数值，进行谱函数的设置。

3. 单击【√】完成相关系数的设置。

选项说明：

【分析步】：只能选择“随机响应分析”，且仅“随机响应分析”会出现在下拉框中。

【工况】：选择指定好的分析步的对应工况。

【系数设置】：勾选“相关”复选框，默认状态为勾选。分别输入“实部系数”和“虚部系数”。

【谱函数设置】：输入“参考重力加速度“，选择设定好的 PSD 函数。

2.41 支座运动（随机响应分析）

支座运动是位移、速度或加速度的荷载，包含实部和虚部，该界面只需要选择载荷类型即可。在工程中创建了“随机响应分析”后，菜单栏出现“支座运动”荷载选项。随机响应分析的每个工况中仅能创建一个“支座运动”，且如果该工况已经创建了非支座运动载荷，则无法再在此工况创建支座运动载荷。

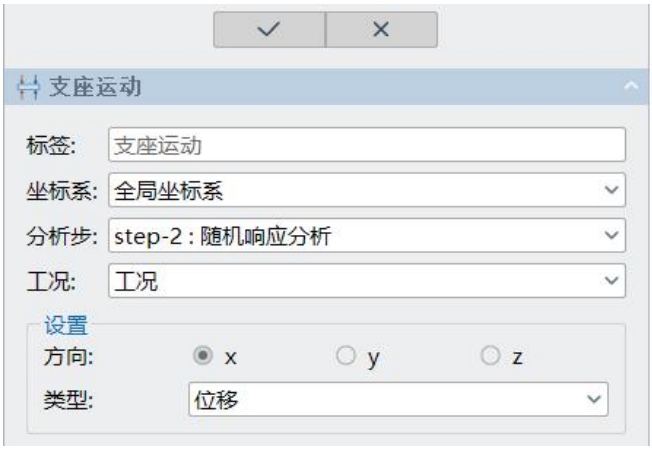


图 139 支座运动设置面板

支持的特征：

支持的特征为整体模型，无需进行目标对象的指定。

设置【支座运动】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【支座运动】。

2. 在【任务】面板，选择“分析步”和该分析步的“工况”，选择“方向”，进行支座运动载荷类型的选择。

3. 单击【√】完成支座运动的设置。

选项说明：

【工况】：选择指定分析步下对应的工况。

【方向】：支座运动的方向。

【类型】：荷载类型包括“位移”、“速度”和“加速度”。

2.42 生死单元

生死单元通过设置单元的“生”或“死”来模拟一些特殊的工况。

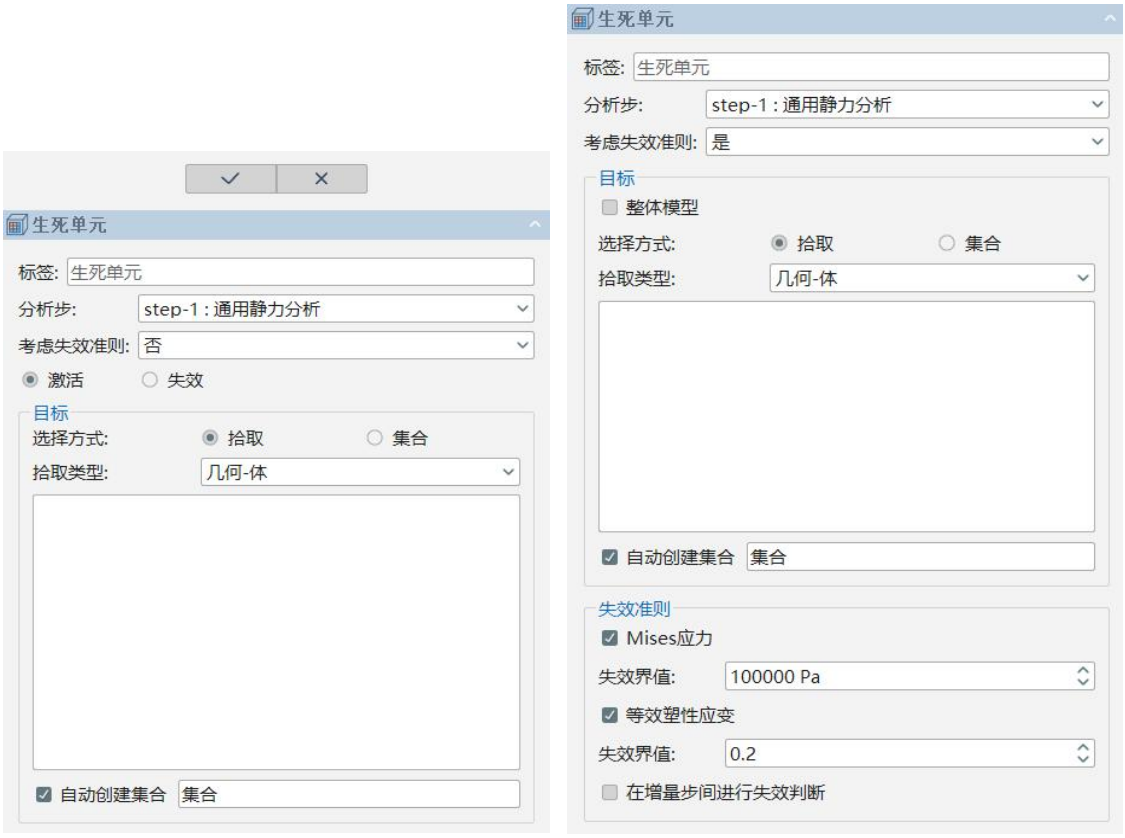


图 140 生死单元设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-体”、“壳”、“梁”和“网格-单元”。

设置【生死单元】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【生死单元】。

2. 选择是否“考虑失效准则”。

3. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

4. 根据是否勾选了“考虑失效准则”选项，设置“失效准则”参数。

4. 单击【√】完成生死单元的设置。

选项说明：

【考虑失效准则】：该选项控制模型计算中是否考虑失效准则。如果设置为“否”，则只需要选择目标对象设置为“激活”或“失效”即可。如果设置为“是”，则需要针对选择的目标对象给定失效准则。

【整体模型】：该选项控制是否在整体模型上施加失效准则。如果不勾选“整体模型”选项，则需要用户在视图区拾取对象或者从集合中选择。

【失效准则】：包括“Mises 应力”和“等效塑性应变”两种。用户可以根据工程需要进行选择设置。

【在增量步间进行失效判断】：该选项控制是否在计算增量步间就按照失效准则进行失效判断。

2.43 折减系数

折减系数用来控制生死单元计算中的折减。

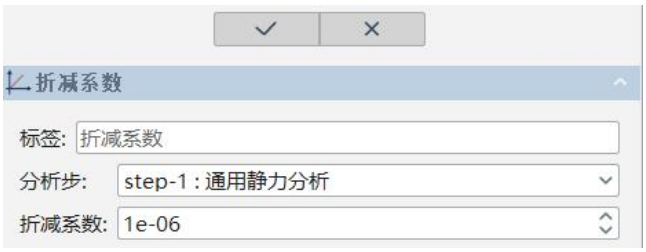


图 141 折减系数设置面板

设置【折减系数】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【折减系数】。

2. 选择“分析步”，输入“折减系数”参数。

3. 单击【√】完成折减系数的设置。

2.44 螺栓预紧力

螺栓预紧力支持对螺栓施加预紧力、预紧位移和锁死三种状态。采用螺栓预紧单元的形式进行施加，约束采用拉格朗日乘子法实现。

图 142 螺栓预紧力设置面板

支持的特征：

支持的特征为几何-表面或网格-表面。

设置【螺栓预紧力】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【螺栓预紧力】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置“载荷设置”相关参数，包括“力”、“调整距离”和“锁死”三种状态。

4. 单击【√】完成螺栓预紧力的设置。

选项说明：

【荷载类型】：包括“力”、“调整距离”和“锁死”三种状态。第一个螺栓预紧力仅支持加在第一个分析步中，且第一个分析步不能使用“锁死”状态。

注意：创建螺栓预紧力时需要将螺栓在施加预紧力的部位割开，两个面网格需要匹配但不共节点，支持四面体网格。

2.45 计算监控

计算监控是用来监测计算过程中某些物理量的变化情况，在计算过程中将以曲线的形式展示。

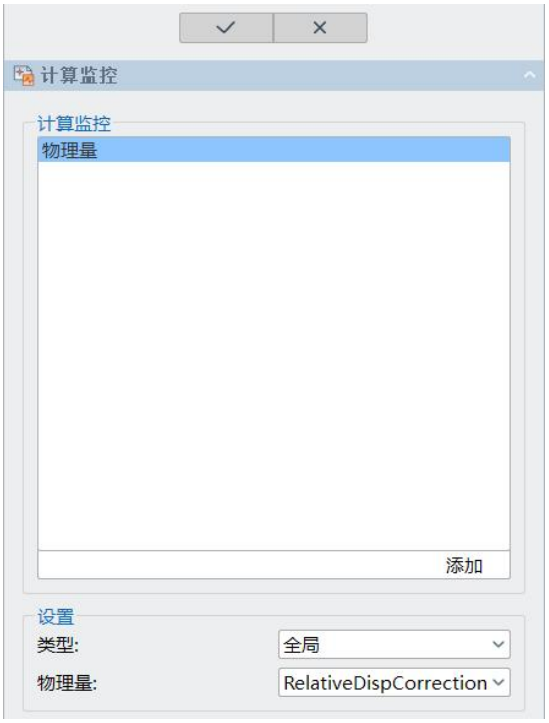


图 143 计算监控设置面板

设置【计算监控】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【计算监控】。

2. 在【任务】面板，单击“添加“按钮，添加一个“物理量”对象。

3. 选择监控类型和对应物理量。

4. 单击【√】完成计算监控的设置。

选项说明：

【添加】：此按钮用来新增加监控对象。

【类型】：包含“全局”和“局部”两类。选择“局部”时需要选择监控目标对象。

【物理量】： 不同物理场的监控物理量不同。

注意：当监控中已经创建了一个“全局”监控对象，则无法在同一个监控中再监控“局部”监控对象，需要创建新的监控。

2.46 求解设置

求解设置是用来控制计算输出的场变量,设置并行计算。每个物理场的场变量不同。

图 144 求解设置设置面板

设置【计算监控】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【求解设置】。

2. 在【任务】面板，选择要输出的场变量，默认全部输出。

3. 输入并行计算核数，选择结果文件格式。

4. 单击【√】完成求解设置。

2.47 计算

计算用于求解计算。包含三个选项“计算”、“提交计算”、“导入文件计算”、“输出控制文件”。

计算：先输出控制文件再计算。

提交计算：调用本地文件夹内的控制文件进行计算。

导入文件计算：选择本地的 control 文件进行计算，计算结果将存储在 control 所在的同路径下。

输出控制文件：仅输出控制文件不计算。

（四） 显式动力分析

显式动力分析用来求解高度非线性瞬态动力学问题，支持碰撞、跌落、金属成型、大变形过程等仿真分析。

1. 显式动力分析功能区各项功能

1.1 创建部件

创建部件功能用于给模型赋予“单元算法”、“材料”、“截面”、“沙漏控制”等属性。

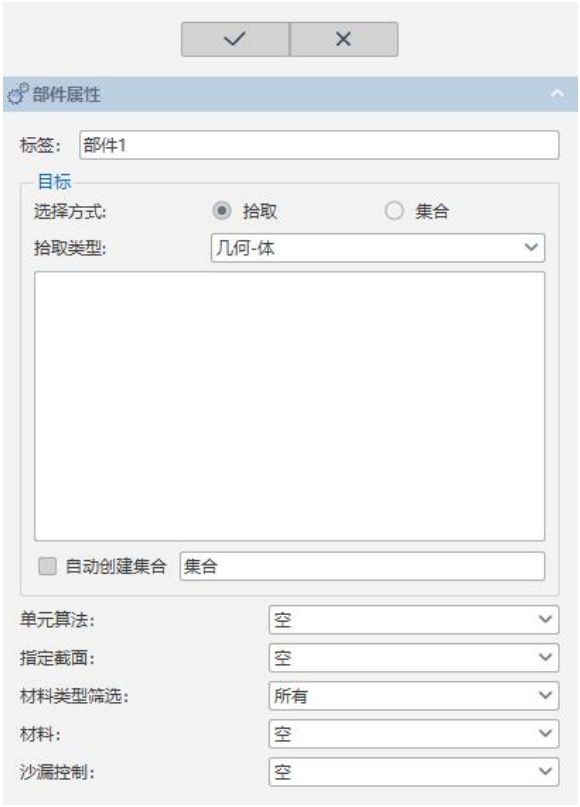


图 145 创建部件设置面板

设置【创建部件】的操作步骤：

1. 单击【分析】选项卡>【创建部件】。

2. 在【任务】面板>选择不同的“拾取类型”。在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。拾取类型具体包括“几何-体”、“壳”、“梁/杆”、“网格单元”。

3. 如果选择的目标对象已经完成了网格剖分，则根据网格剖分类型自动过滤出“单元算法”。

拾取类型为“壳”，对应单元算法包括“Hughes-Liu”、“Belytshko-Tsay”、“BCIZ 三角形壳单元”、“C0 三角形壳单元”、“膜单元”、“YASE”等。

拾取类型为“体”，对应单元算法包括“一阶缩减积分体单元”、“一阶非协调体单元”等。

拾取类型为“梁/杆”，对应单元算法包括“Hughes-Liu”、“Belytshko-Tsay”、“杆单元”等。

4. 如果拾取的目标对象为“壳”和“梁/杆”时，需要在“截面设置”>“截面选择”下拉菜单处，选择已创建的截面。

5. 如果拾取的目标对象为“梁/杆”，且单元算法为“Hughes-Liu”或者“Belytshko-Tsay”，需定义截面方向。

图 146 梁截面方向定义

6. “材料类型筛选”可方便对材料库进行初步筛选，“材料”处选择创建好的材料。筛选类型包括“所有”、“弹性”、“弹塑性”、“粘弹性”、“超弹性”、“泡沫”等。

7. 如果部件指定的材料为“刚性材料”，在界面可以设置“刚性体初速度”和“刚性体惯量”。

刚性体旋转初速度的旋转中心默认为“刚体质心”，不可更改。

刚性体惯量的“平动质量”和“质心坐标”可点击“自动计算”而获得。

图 147 刚性体初速度

图 148 刚性体惯量

8. 如果部件指定的材料为“正交各向异性-工程常数（通用）”，拾取类型为“壳”或者“网格”-壳网格，则可选择“材料坐标系”，默认为“全局坐标系”，可设置“绕法向的转角”，默认为 0°。

拾取类型为“几何-体”或者“网格”-体网格，则可选择“材料坐标系”，默认为“全局坐标系”，可设置“绕 Z 轴旋转角”，默认为 0°。

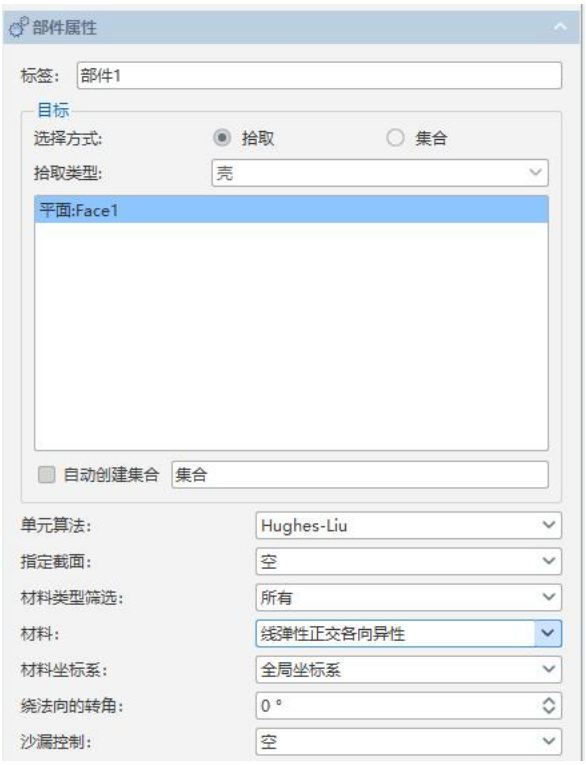


图 149 壳-各向异性材料坐标系设置

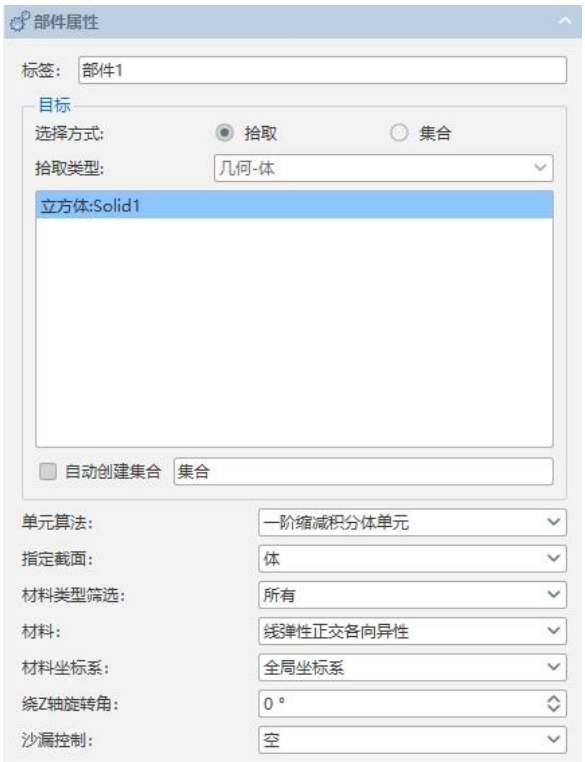


图 150 体-各向异性材料坐标系设置

7. 如果部件指定的材料为“Johnson Cook”，拾取类型为“壳”或者“网格”-壳网格，可指定状态方程，也可不指定；拾取类型为“几何-体”或者“网格”-体网格，则必须指定状态方程，否则会弹出错误提示。

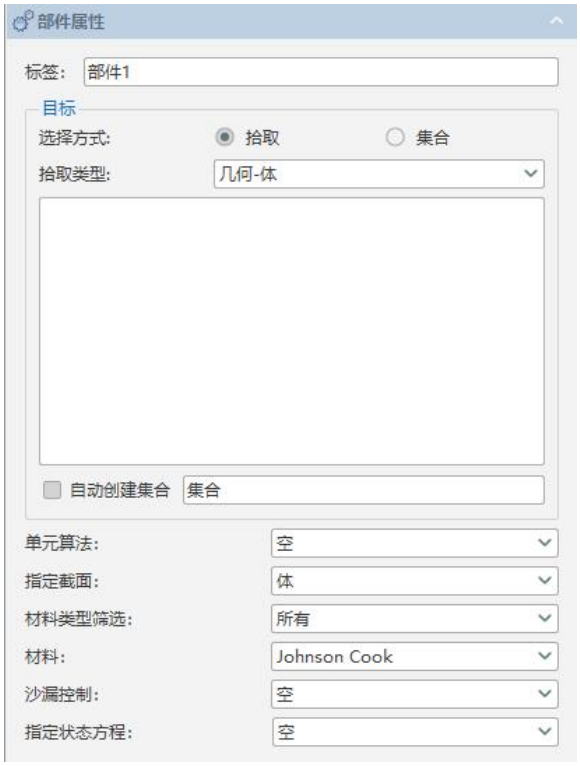


图 151 指定状态方程

图 152 部件的状态方程错误弹窗

8. 在“沙漏控制”选择创建好的沙漏设置。

9. 单击【√】完成创建部件操作。

注意：壳/膜截面只能赋给“面”对象；梁/杆截面只能赋给“线”对象。

指定截面方向仅能赋给“线”对象，且只有梁需要指定截面方向。

1.2 沙漏控制

沙漏控制功能用于减少减缩积分单元出现没有刚度的零能模式而导致的严重网格畸变。

设置【沙漏控制】的操作步骤：

1. 单击【分析】选项卡>【沙漏控制】。

2. 在【任务面板】>选择不同的“沙漏类型”。沙漏控制类型具体包括“标准粘性”、“Flanagan-Belytschko 粘性”、“精确体积积分粘性”、“Flanagan-Belytschko 刚性”和“精确体积积分刚性”。每种沙漏控制皆包括“稳定系数”、“二次体积粘度”和“一次体积粘度系数”，其默认值分别为 0.1、1.5 和 0.06。

图 153 沙漏控制

3. 单击【√】完成沙漏控制设置。

1.3 状态方程

状态方程功能用于精确模拟某些特定情况下材料的变形行为。状态方程通过计算材料所受压力与密度或者能量和温度之间的关系来确定材料的变形行为。对于非气态材料来说，线性多项式、Gruneisen 是最常用的两种状态方程。Gruneisen 参数适用于包括金属在内的许多材料。

设置【状态方程】的操作步骤：

1. 单击【分析】选项卡>【状态方程】。

2. 在【任务面板】>选择不同的“状态方程”。状态方程类型具体包括“线性多项式”、“Gruneisen”、“多项式比率”、“考虑能量耗散的多项式”、“压缩列表”和“JWL”。其设置参数的具体含义详见理论手册。

图 154 线性多项式状态方程

图 155 Gruneisen 状态方程

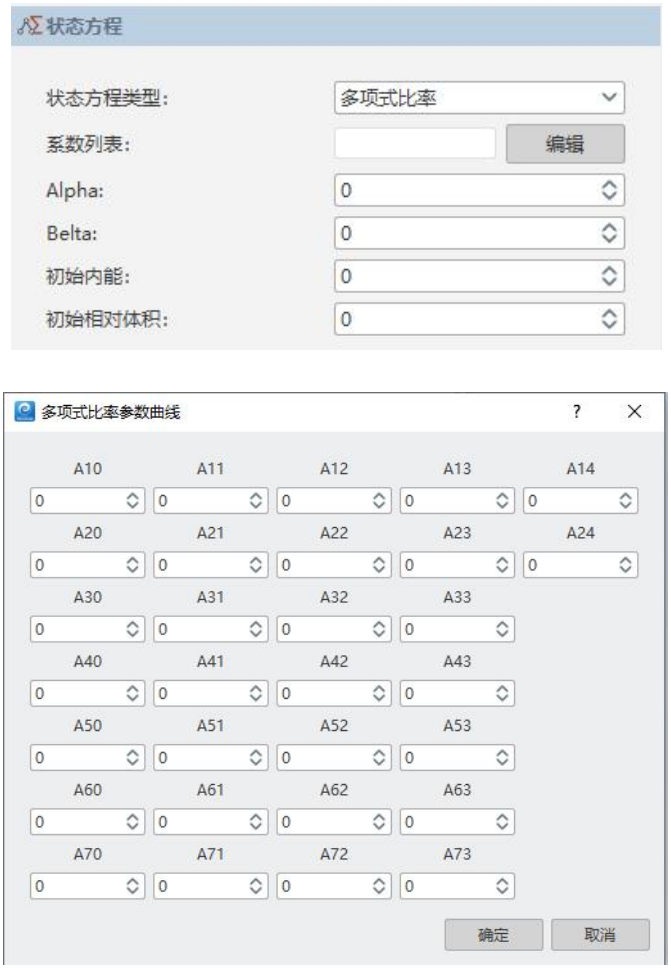


图 156 多项式比率状态方程

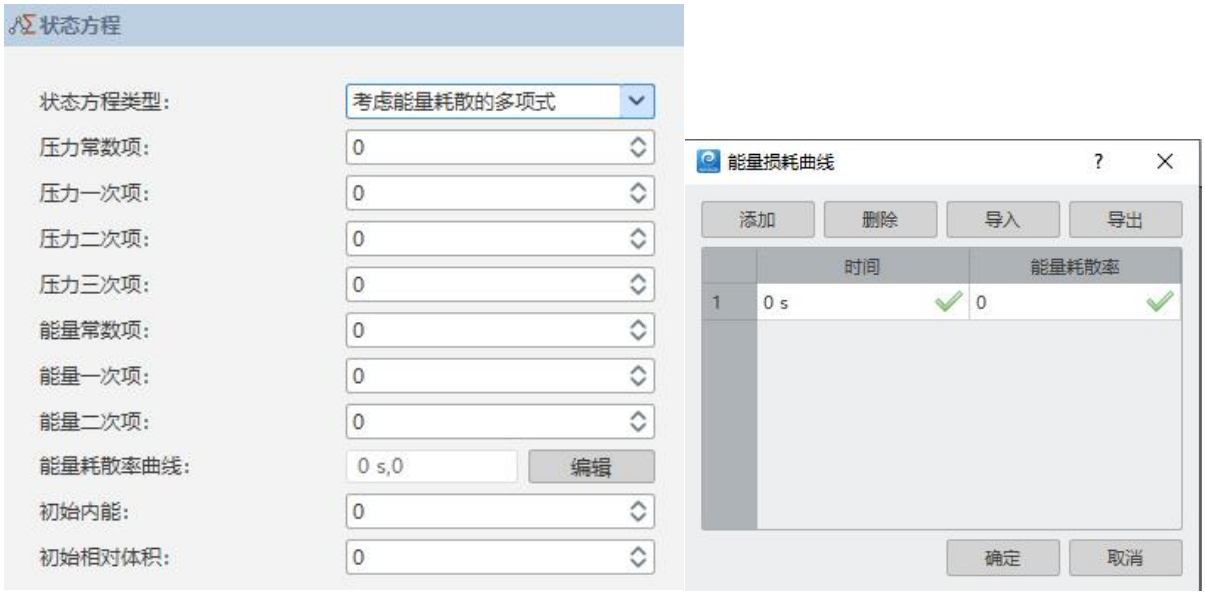


图 157 考虑能量耗散的多项式状态方程

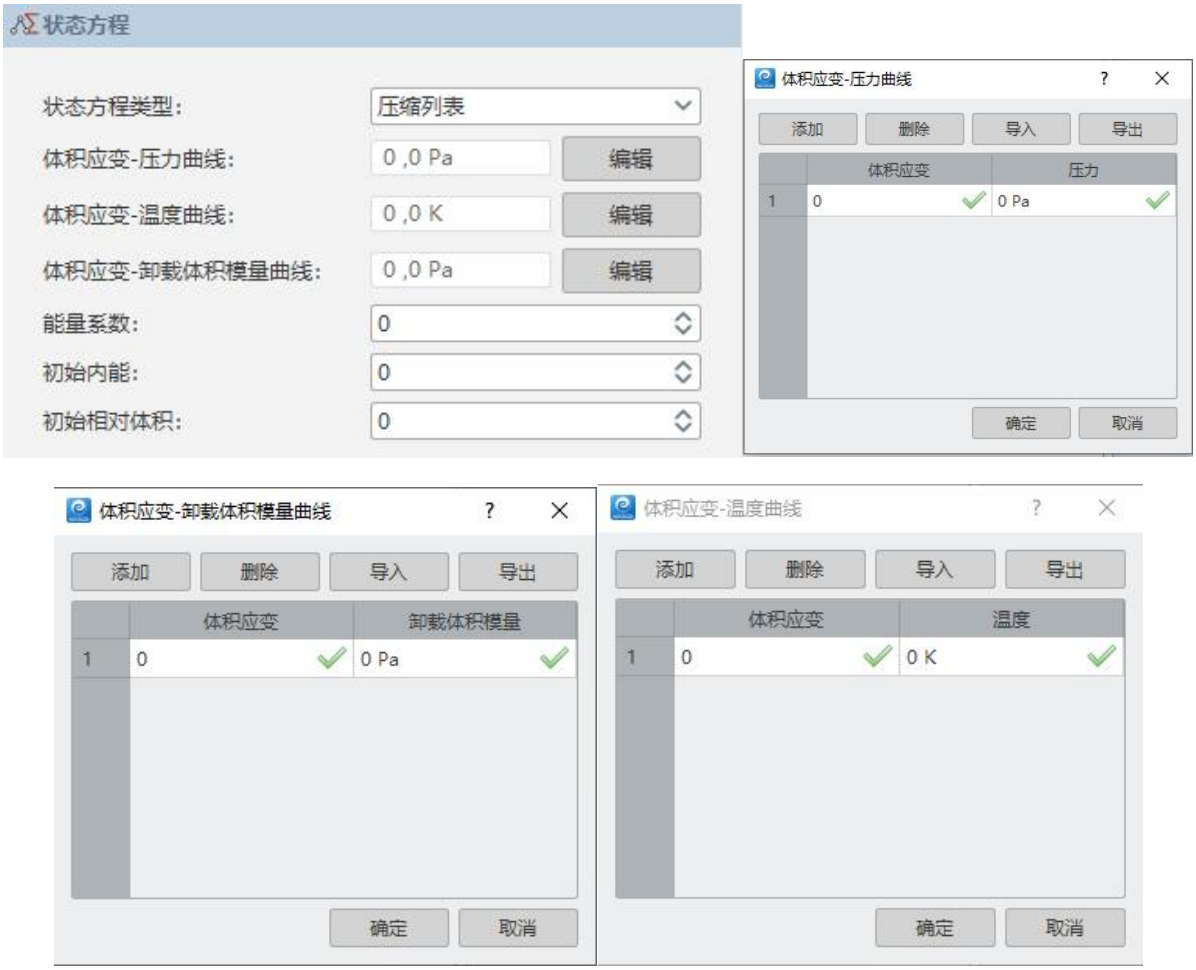


图 158 压缩列表状态方程

图 159 JWL 状态方程

3. 单击【√】完成沙漏控制设置。

注意：目前版本支持状态方程的，只有 Johnson Cook 材料，需在部件的任务面板进行关联。

1.4 轴向弹簧

轴向弹簧也叫两点弹簧，是连接两个点的弹簧。

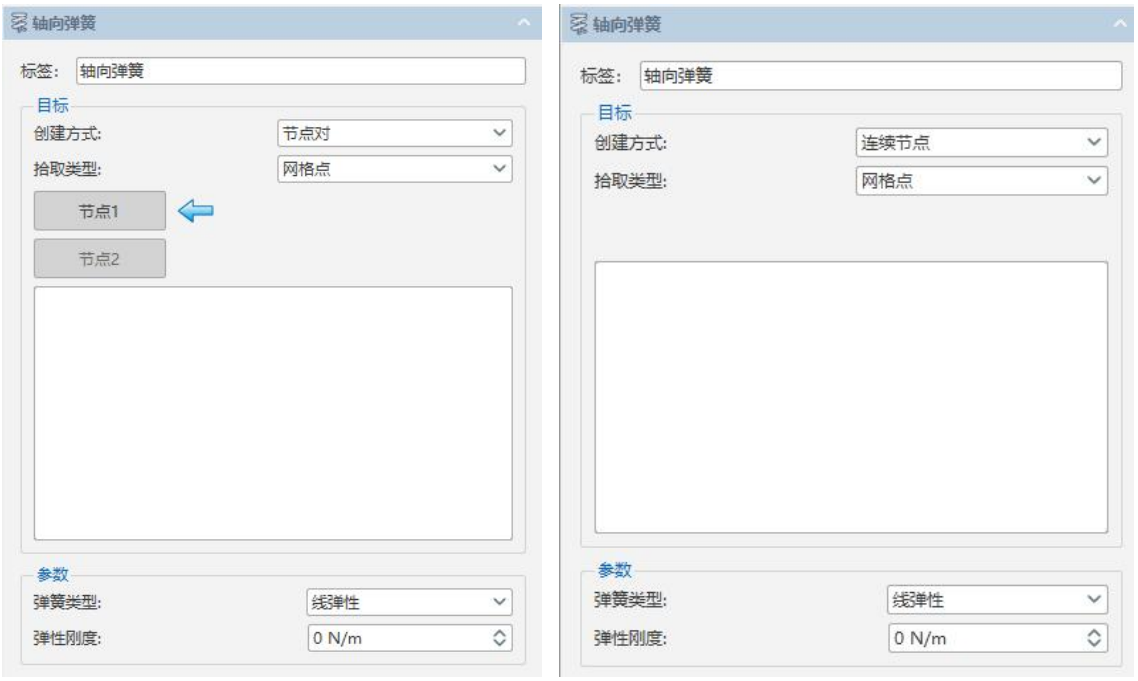


图 160 轴向弹簧设置面板

设置【轴向弹簧】的操作步骤：

1. 单击【分析】选项卡>【轴向弹簧】，选择“创建方式”和“拾取类型”。创建方式包括“节点对”和“连续节点”；拾取类型包括“网格点”和“几何点”。

2. 当选择“节点对”时，可以在视图交互区域选择网格节点或几何点，创建多对轴向弹簧。创建后，通过右键点击序列号可进行该节点对的删除；可按住 Shift 多行选择，右键进行多对的删除。

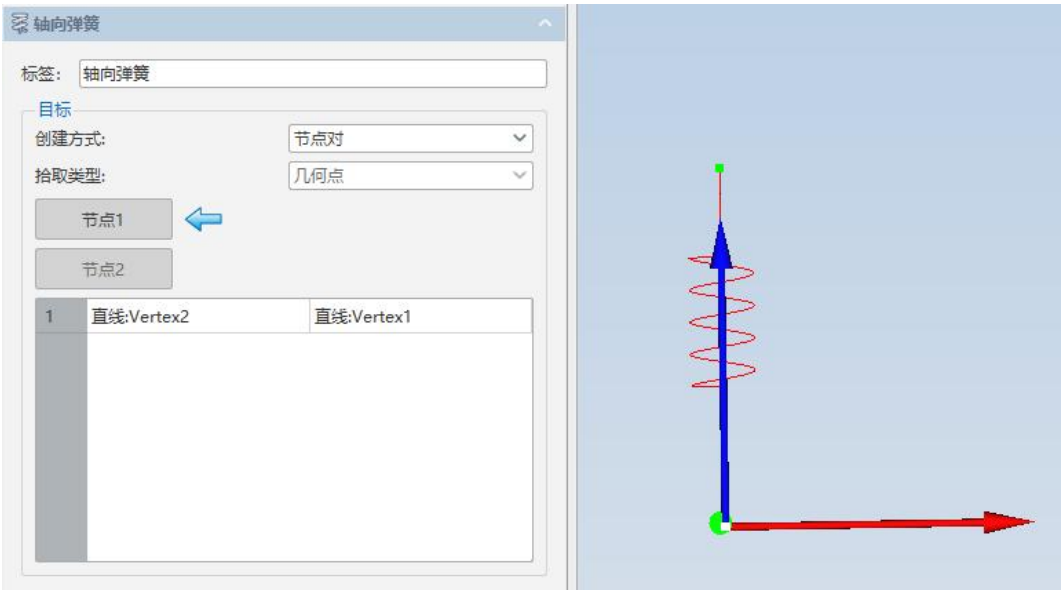


图 161 轴向弹簧-节点对

3. 当选择“连续节点”时，在视图交互区域，单击选择目标对象。点击视图区工具栏的“网格沿角度选择”，点击边界，建立多个轴向弹簧。

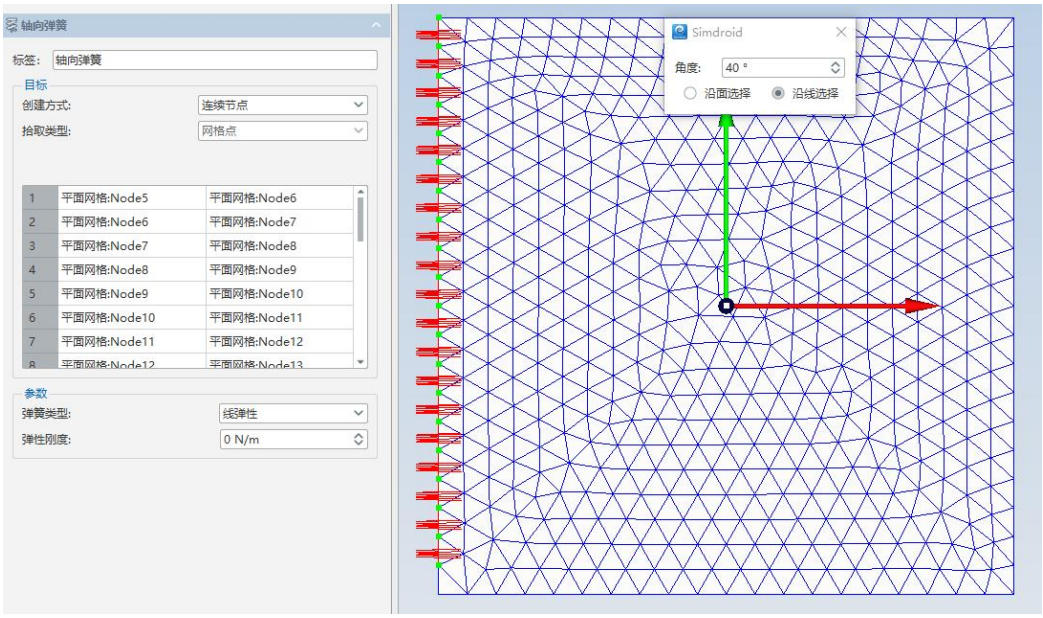


图 162 轴向弹簧-连续节点

4. 设置弹簧系数，弹簧类型具体包括“线弹性”、“线粘性”、“弹塑性”、“通用非线性”、“非线弹性”和“非线粘性”，其设置参数的具体含义详见理论手册。

图 163 线弹性弹簧

图 164 线粘性弹簧

图 165 弹塑性弹簧

图 166 通用非线性弹簧

图 167 非线弹性弹簧

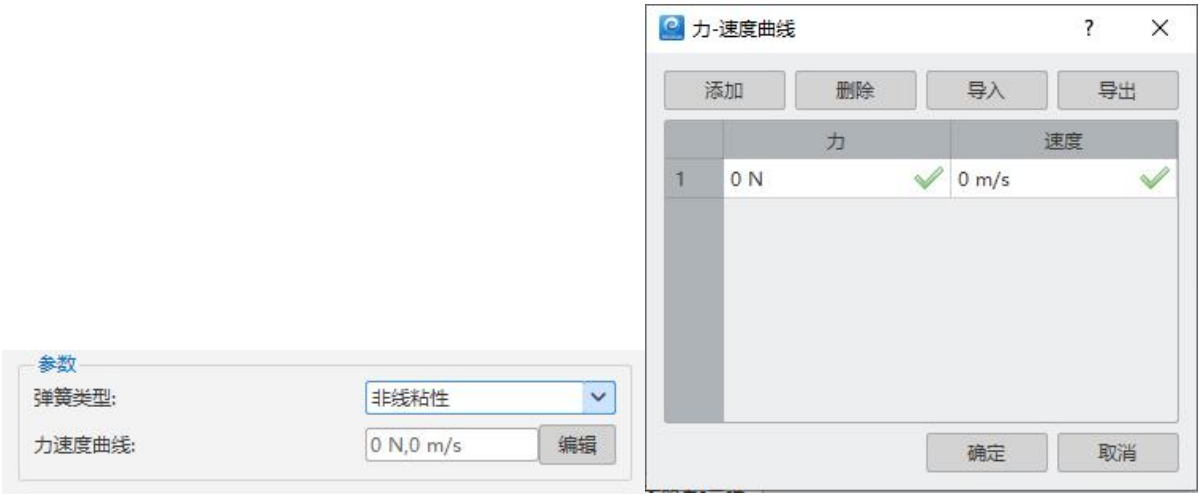


图 168 非线粘性弹簧

5. 单击【√】完成轴向弹簧设置。在结构浏览器中，“部件”下会挂载“轴向弹簧”的节点。

注意：轴向弹簧节点对的删除，只能成对删除，无法对某个节点进行操作。

1.5 接触

接触用于设置两组目标对象之间的接触关系，或者自身变形使得不同部分之间的接触关系。

图 169 接触设置面板

支持的几何特征：

主边界：支持的特征为“几何-表面”、“网格-表面”或“部件”。

从边界：支持的接触类型包括“点面接触”和“面面接触”。“点面接触”时支持的特征为“几何-点”、“几何-线”、“几何-面”、“网格-点”或“部件”，“面面接触”时支持的特征为“几何-表面”、“网格-表面”或“部件”。

设置【接触】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【接触】。

2. 在【任务】面板，选择“接触类型”。

3. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，设置为“目标-主边界”。自接触只需一次性选择目标。

4. 在【任务】面板，单击“目标-从边界”下的空白区域激活从边界的选择。

5. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，设置为“目标-从边界”。

6. 设置“接触选项”。

7. 单击【√】完成接触设置。

可勾选左下角的“壳/膜下表面”改变主边界接触方向。

选项说明：

【接触类型】：包含“点面接触”、“面面接触”、“自接触”三种方法。“点面接触”方法为从边界的节点向主边界的表面进行映射，再通过各项参数判断是否为接触状态；“面面接触”方法为从边界的积分点向主边界的表面进行映射，再通过各项参数判断是否为接触状态。

【壳/膜下表面（仅对壳/膜有效）】：勾选该选项可以将壳或膜的上表面调整为下表面。壳或膜分为上/下两个表面，需要指定是哪个表面参与接触。

1.6 绑定

“绑定”用于设置两组目标对象之间的绑定连接关系。“滑动不分离”为接触面法向不分离，切向可以相对滑动。

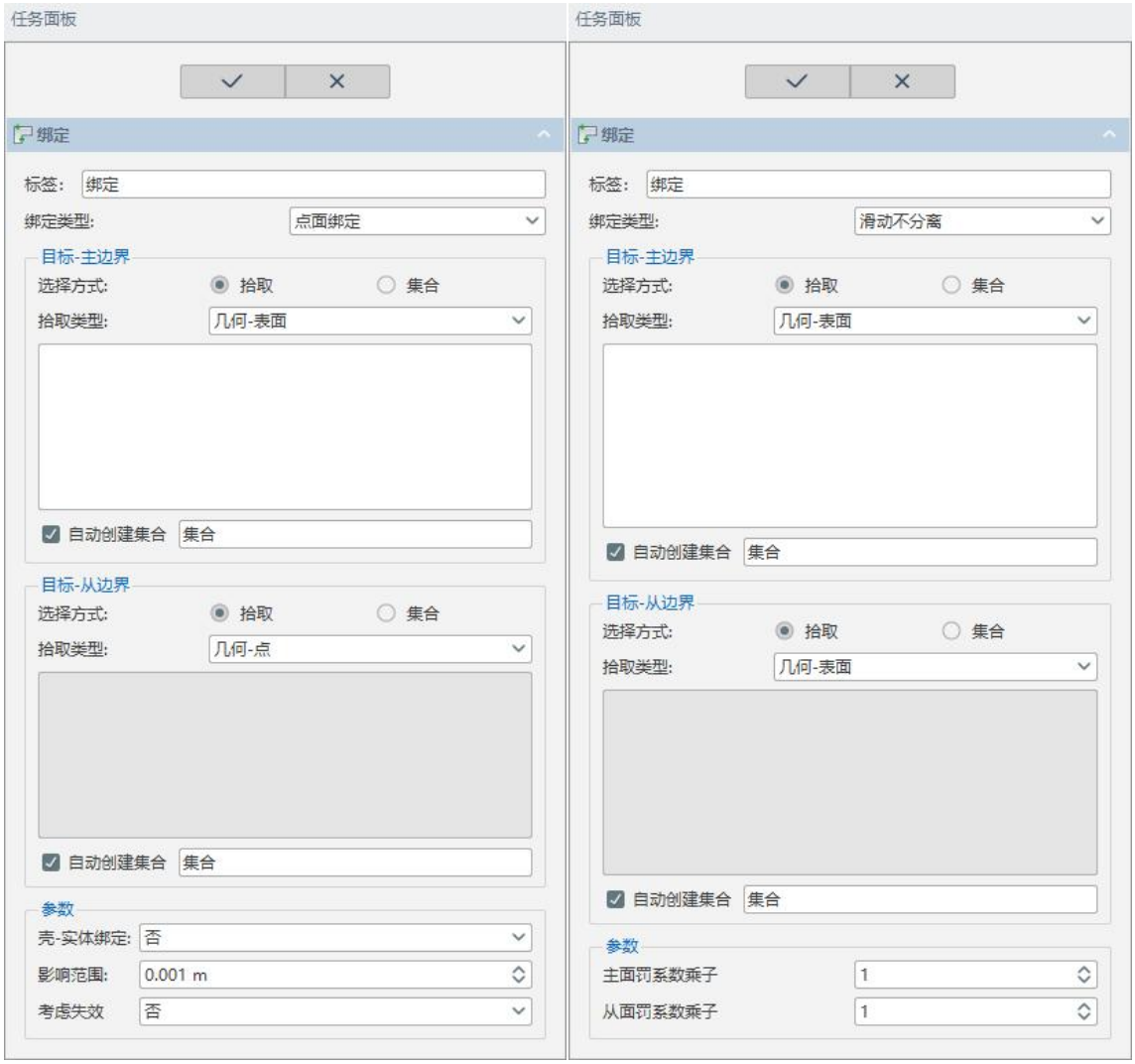


图 170 绑定设置面板

支持的特征：

主边界：支持的特征仅为“几何-表面”、“网格-表面”。

从边界：支持的绑定方法包括“点面接触”、“面面接触”和“滑动不分离”。“点面接触”时支持的特征为“几何-点”、“几何-线”、“几何-面”与“网格-点”，“面

面接触”“滑动不分离”时支持的特征为“几何-表面”与“网格-表面”。

设置【绑定】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【绑定】。

2. 在【任务】面板，选择“绑定类型”。

3. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，设置为“目标-主边界”。

4. 在【任务】面板，单击“目标-从边界”下的空白区域激活从边界的选择。

5. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，设置为“目标-从边界”。

6. 设置“参数”框中各项控制参数。

7. 单击【√】完成固定连接的设置。

选项说明：

【绑定类型】：包含“点面绑定”、“面面绑定”、“滑动不分离”。

【壳-实体绑定】：指的是壳的边和实体的面之间进行绑定。

【影响范围】：主边界法向距离小于影响范围的位置均绑定。

【考虑失效】：不考虑失效，则绑定后不再分离；考虑失效，则通过失效准则判断。

1.7 刚性连接

“刚性连接”是节点自由度耦合的一种方式。

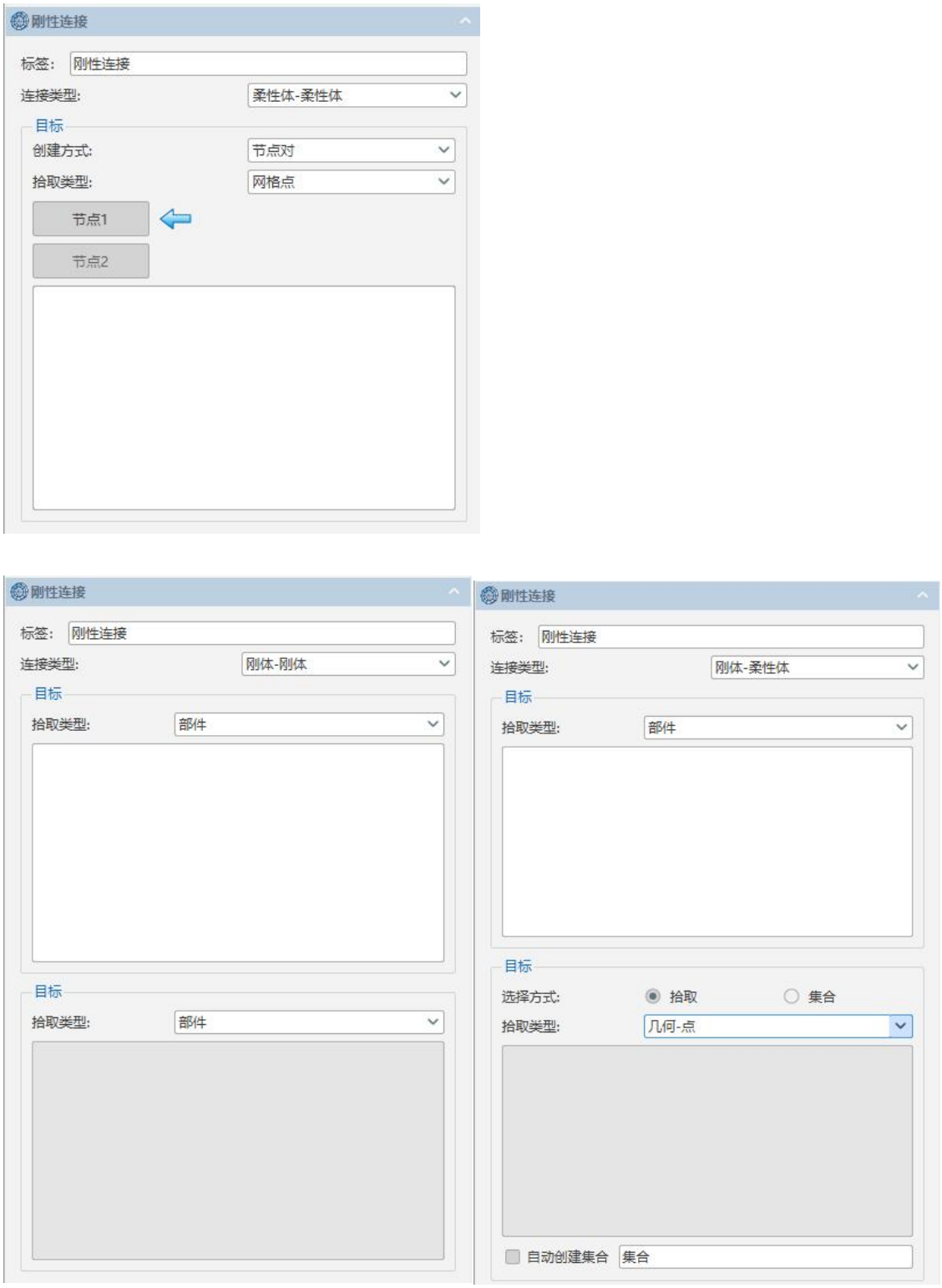


图 171 刚性连接设置面板

设置【刚性连接】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【刚性连接】。

2. 在【任务】面板，选择“连接类型”。

3. 如果连接类型是“柔性体-柔性体”，创建方式可以是“节点对”或“多节点”。“节点对”下，拾取类型可以是“网格点”或“几何点”。 “多节点”下，拾取类型是“网格点”在视图交互区域，单击选择目标对象。

4. 如果连接类型是“刚体-刚体”，拾取类型为“部件”，在视图交互区域，单击选择目标对象。

5. 如果连接类型是“刚体-柔性体”，“目标-部件”处，选择相应的刚体部件，“目标-点”，在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

6. 单击【√】完成固定连接的设置。

1.8 常规约束

常规约束用于设置分析模型的边界约束。常规约束设置后在整个分析过程中均存在。

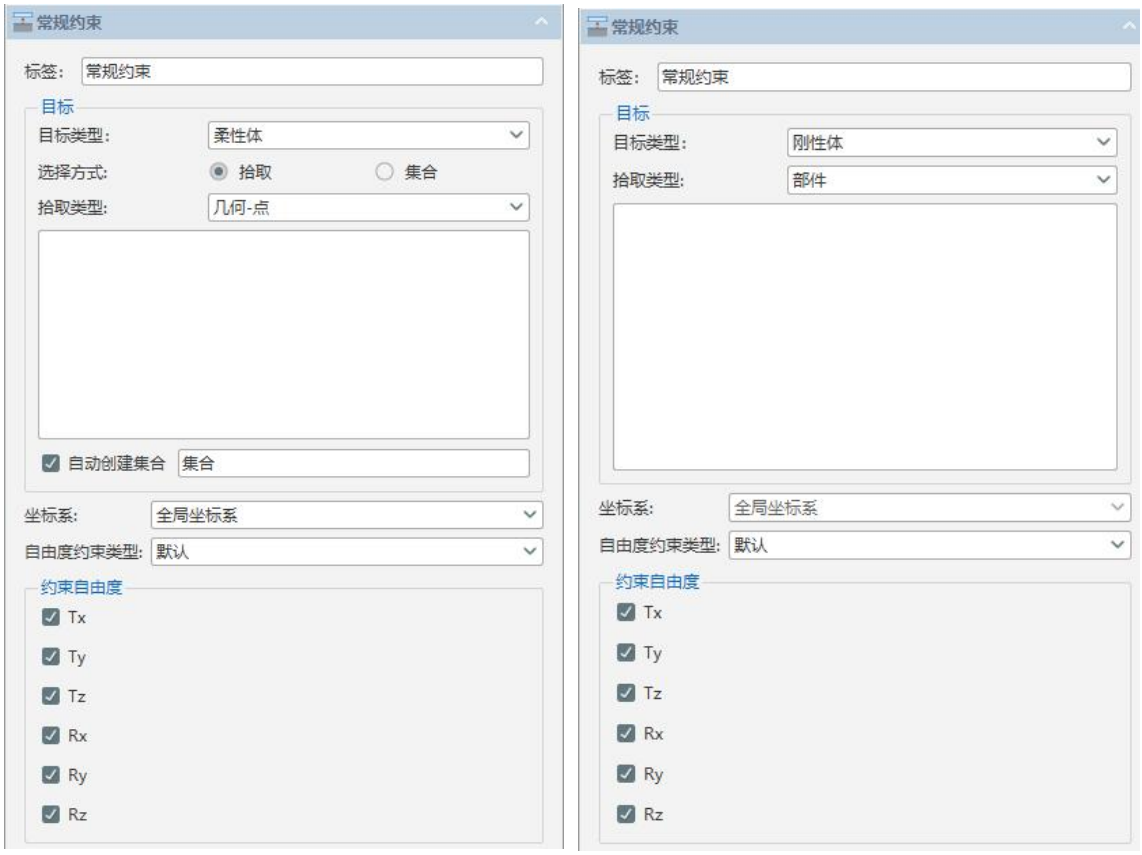


图 172 常规约束设置面板

支持的几何特征：

目标类型为“柔性体”，支持的几何特征为“几何-点”、“几何-线”、“几何-面”、“几何-体”、“网格-点”和“部件”；目标类型为“刚性体”，支持的几何特征为“网格-点”、和“部件”。

设置【常规约束】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【常规约束】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 在“自由度约束类型”选项中选择对称约束模板，或在“约束自由度”框内选择勾选需约束的自由度。

4. 单击【√】完成常规约束操作。

选项说明：

【坐标系】：设置约束的坐标系，默认为全局坐标系，常规约束在分析初始消去了受约束的自由度，不支持局部坐标系。

【自由度约束类型】：包括“默认”、“YZ 平面对称”、“XZ 平面对称”、“XY 平面对称”。

【约束自由度】：Tx，Ty，Tz 分别为 x，y，z 方向的平动自由度，Rx，Ry，Rz 分别为绕 x 轴，y 轴，z 轴的旋转自由度。

1.9 初速度

初始速度用于设置分析模型的初始速度。

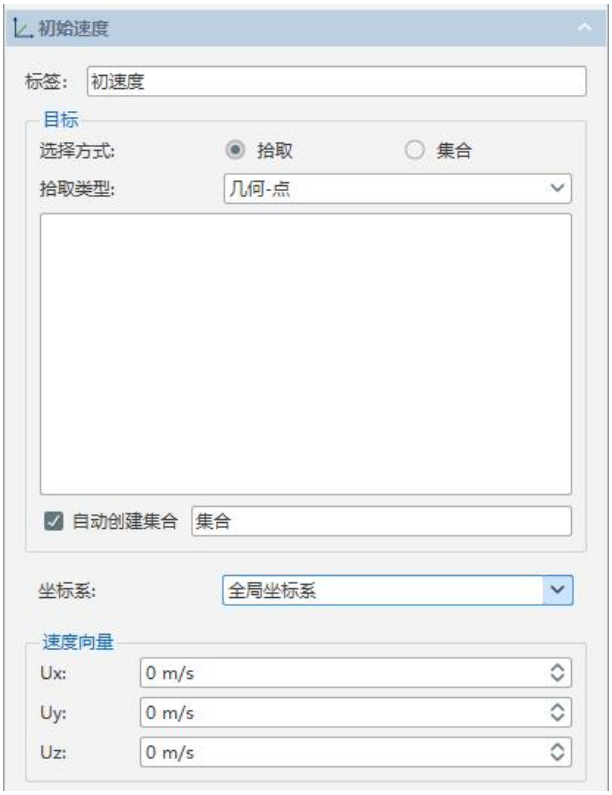


图 173 初始速度设置面板

设置【初始速度】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【初始速度】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 在“速度向量”框输入初始速度值。

4. 单击【√】完成初始速度设置。

1.10 结果映射

结果映射用于将其他分析的结果映射到当前分析的初始状态。

设置【结果映射】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【结果映射】。

2. 点击“结果文件”的选择按钮，选择用于映射的结果文件，*.h5 格式。

3. 保留“映射设置”中的默认容差和外扩系数。

4. 单击【√】完成结果映射设置。

注意：

1. 目前可支持的物理量结果包括位移 Disp、应力 Stress、应变 Strain 和速度 Vel，结果中不包含的物理量则被自动忽略。

2. 目前该功能仅支持单核计算，不支持 MPI 并行计算，核数>1 时无法调用。

1.11 指定位移

指定位移用于设置目标几何的位移条件，位移大小可以在时间历程内变化。

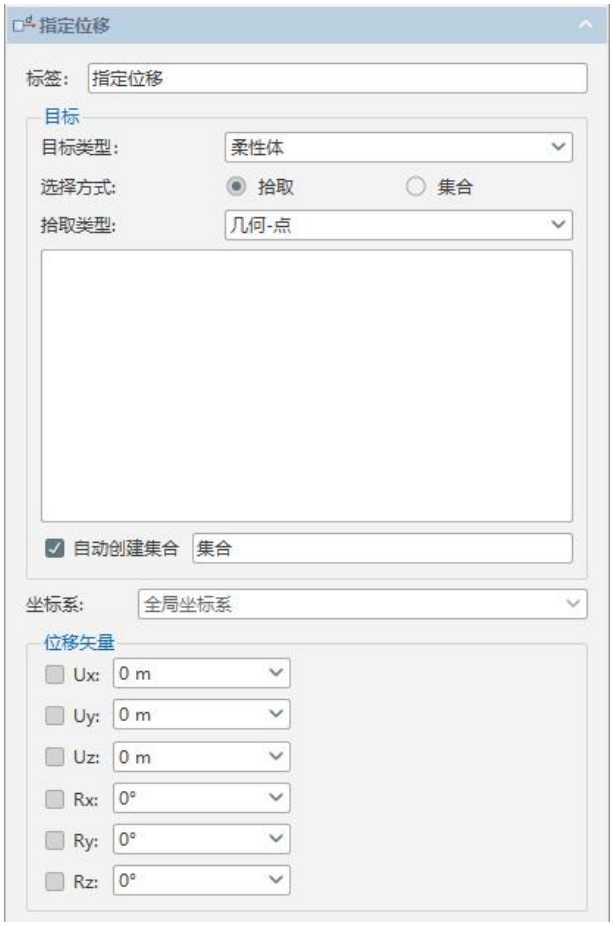


图 174 指定位移设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-点”、“几何-线”、“几何-面”、“几何-体”、“网格-点”和“部件”。

设置【指定位移】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【指定位移】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置“坐标系”，输入“位移矢量”参数。

4. 单击【√】完成指定位移的设置。

选项说明：

【坐标系】：设置指定位移的坐标系，默认为全局坐标系，用户可以根据需要在【预定义】选项卡创建局部坐标系。

【位移矢量】：设置位移的大小和历程函数，其中数值为位移的大小，函数为位移的幅值曲线。

1.12 指定速度

指定速度用于设置目标对象的速度条件，速度大小可以在时间历程内变化。

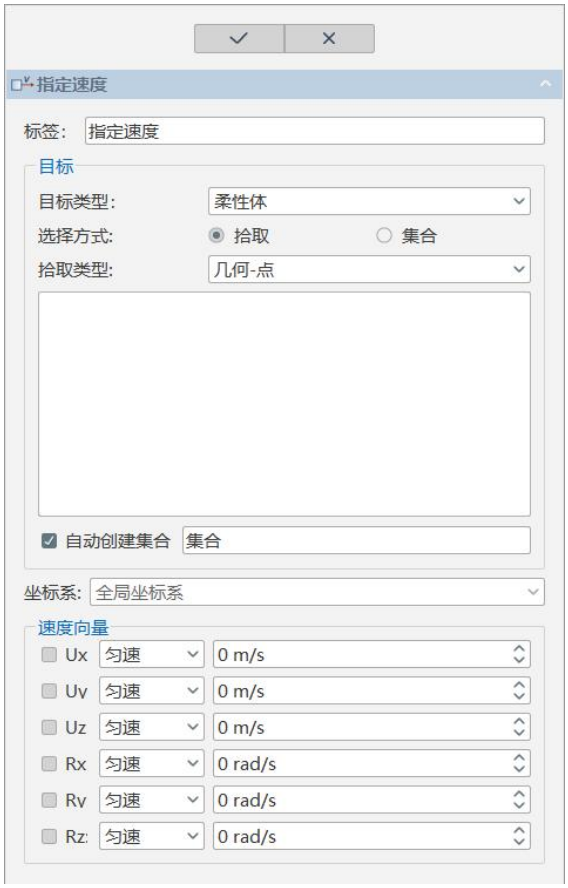


图 175 指定速度设置面板

目标类型：根据对象是否为刚性体（不可变形）或柔性体（可变形）对选择框中的对象进行筛选，不符合条件的对象则不可选中。

支持的特征：

支持的特征为“几何-点”、“几何-线”、“几何-面”、“几何-体”、“网格-点”及“部件”。

设置【指定速度】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【指定速度】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置“坐标系”，设置“分析步”，输入“速度向量”参数。

4. 单击【√】完成指定速度的设置。

选项说明：

【坐标系】：设置指定速度的坐标系，默认为全局坐标系，用户可以根据需要在【预定义】选项卡创建局部坐标系。

【速度向量】：设置荷载的大小和时间历程，其中数值为荷载的大小，函数为载荷的时程幅值曲线。

1.13 指定加速度

指定加速度用于设置目标对象的加速度条件，加速度大小可以在时间历程内变化。

图 176 指定加速度设置面板

目标类型：根据对象是否为刚性体（不可变形）或柔性体（可变形）对选择框中的对象进行筛选，不符合条件的对象则不可选中。

支持的特征：

支持的特征为“几何-点”、“几何-线”、“几何-面”、“几何-体”、“网格-点”及“部件”。

设置【指定加速度】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【指定加速度】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置“坐标系”，设置“分析步”，输入“加速度向量”参数。

4. 单击【√】完成指定加速度的设置。

选项说明：

【坐标系】：设置指定速度的坐标系，默认为全局坐标系，用户可以根据需要在【预定义】选项卡创建局部坐标系。

【加速度向量】：设置荷载的大小和时间历程，其中数值为荷载的大小，函数为荷载的时程幅值曲线。

1.14 集中力

集中力用于设置目标对象所受的力载荷。力载荷的大小可以在时间/迭代历程内变化。

图 177 集中力载荷设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-点”、“网格-点”。

设置【集中力】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【集中力】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置“坐标系”，输入“载荷设置”参数。

4. 单击【√】完成集中力的载荷施加。

选项说明：

【坐标系】：设置力的坐标系，默认为全局坐标系，用户可以根据需要在【预定义】选项卡创建局部坐标系。

【载荷设置】：设置载荷的大小和时间历程，其中数值为载荷的大小，函数为载荷的时程幅值曲线。

1.15 压力

压力用于设置目标对象所受的压力载荷。压力载荷的大小可以在空间位置和时间/迭代历程内变化。

图 178 压力载荷设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-表面”与“网格-表面”。

设置【压力】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【压力】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。可以通过左下角的“壳/膜下表面（仅对壳/膜有效）”选项进行上下表面的交换。

3. 输入“荷载设置”参数。

4. 单击【√】完成压力载荷的设置。

选项说明：

【分布类型】：“均匀”，即所选择目标对象施加的均为同一压力值。

【荷载设置】：设置载荷的大小和时间历程，其中数值为载荷的大小，函数为载荷的时程幅值曲线。

1.16 弯矩

弯矩用于设置目标对象所受的弯矩载荷。弯矩载荷的大小可以在时间/迭代历程内变化。

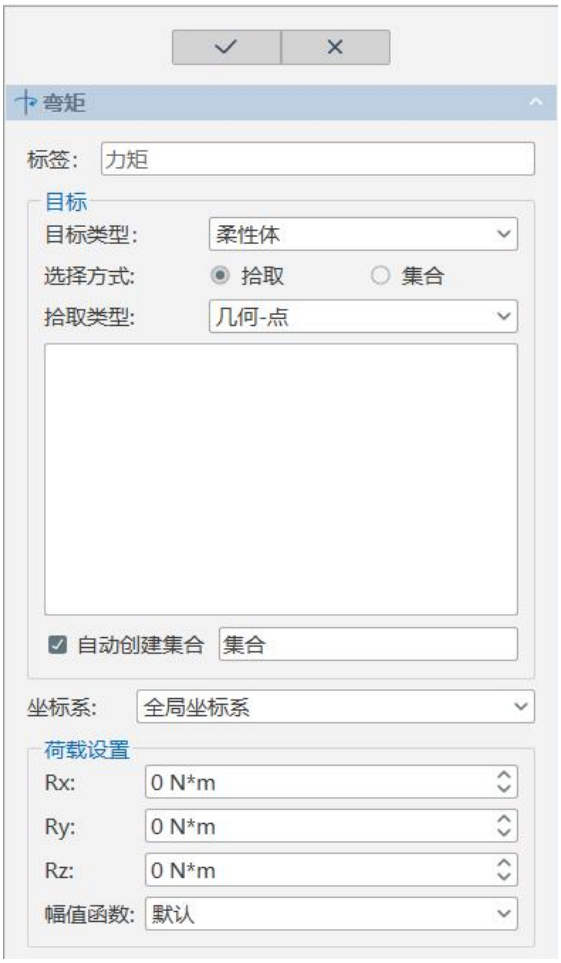


图 179 弯矩载荷设置面板

目标类型：根据对象是否为刚性体（不可变形）或柔性体（可变形）对选择框中的对象进行筛选，不符合条件的对象则不可选中。

支持的特征：

支持的特征为“几何-点”和“网格-点”。

设置【力矩】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【力矩】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置“坐标系”，选择“分析步”，输入“荷载设置”参数。

4. 单击【√】完成弯矩载荷的设置。

选项说明：

【坐标系】：设置力矩的坐标系，默认为全局坐标系，用户可以根据需要在【预定义】选项卡创建局部坐标系。

【荷载设置】：设置荷载的大小和时间/迭代历程。

1.17 加速度场

加速度场用于设置目标对象所受到的加速度。加速度的大小可以在时间/迭代历程内变化。

图 180 加速度场设置面板

目标类型：默认勾选的“整体模型”表示加速度场将施加在整个模型中，常见的如重力加速度的施加；取消默认勾选后，可以对单个目标对象施加加速度场，常见的如加速度边界条件的设置。

支持的特征：

支持的特征为“几何-体”、“壳”、“梁”、“质量点”和“网格-单元”。

设置【加速度场】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【加速度场】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置“坐标系”，输入“荷载设置”参数。

4. 单击【√】完成加速度场的设置。

选项说明：

【坐标系】：设置力矩的坐标系，默认为全局坐标系，用户可以根据需要在【预定义】选项卡创建局部坐标系。

【荷载设置】：设置荷载的大小和时间/迭代历程。

1.18 角速度场

角速度场用于设置目标对象的角速度。角速度的大小可以在时间/迭代历程内变化。

图 181 角速度场设置面板

目标类型：默认勾选的“整体模型”表示角速度场将施加在整个模型中；取消默认勾选后，可以对单个目标对象施加角速度场。

支持的特征：

支持的特征为“几何-体”、“壳”、“梁”、“质量点”和“网格-单元”。

设置【角速度场】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【角速度场】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置“旋转轴”，“旋转中心”，输入“旋转设置”参数。

4. 单击【√】完成角速度场的设置。

选项说明：

【旋转轴】：设置旋转所绕轴的方向矢量，注意旋转轴矢量的三个分量不能同时为0。

【旋转中心】：旋转中心在全局坐标下的坐标值。

【旋转设置】：设置角速度的大小和时间/迭代历程。

1.19 分布质量

分布质量用于设置离散的质量点的分布情况。质量点通常用于模拟体积可忽略但质量不可忽略的对象，其总质量将被均匀分布于所选的目标对象。

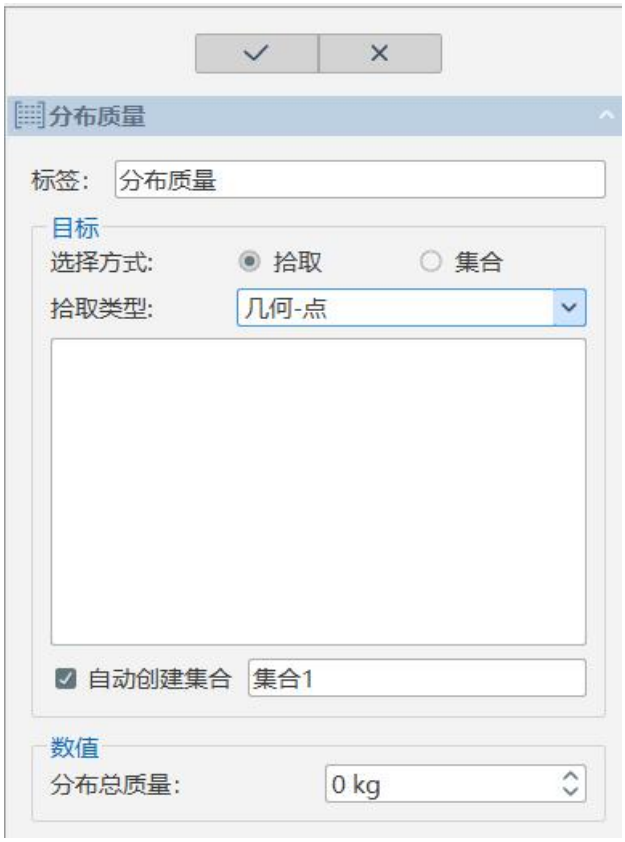


图 182 分布质量设置面板

支持的特征：

支持的特征为“几何-点”、“网格-点”和“部件”。

设置【分布质量】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【分布质量】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 设置“数值”中的“分布总质量”。

4. 单击【√】完成分布质量的设置。

1.20 计算监控

计算监控用来监测计算过程中某些物理量的变化情况，在计算过程中将以曲线的形式展示。

图 183 计算监控设置面板

设置【计算监控】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【计算监控】。

2. 在【任务】面板，单击“添加“按钮，添加一个“物理量”对象。

3. 设置区域拾取需要监控的对象，可监控的物理量为平均位移。

4. 单击【√】完成计算监控的设置。

选项说明：

【添加】：此按钮用来新增加监控对象。

【物理量】： 不同物理场的监控物理量不同，显式 4.1 版本仅支持“DispAverage 平均位移”物理量。

1.21 求解设置

求解设置用来指定显式动力分析中通用的分析控制参数。

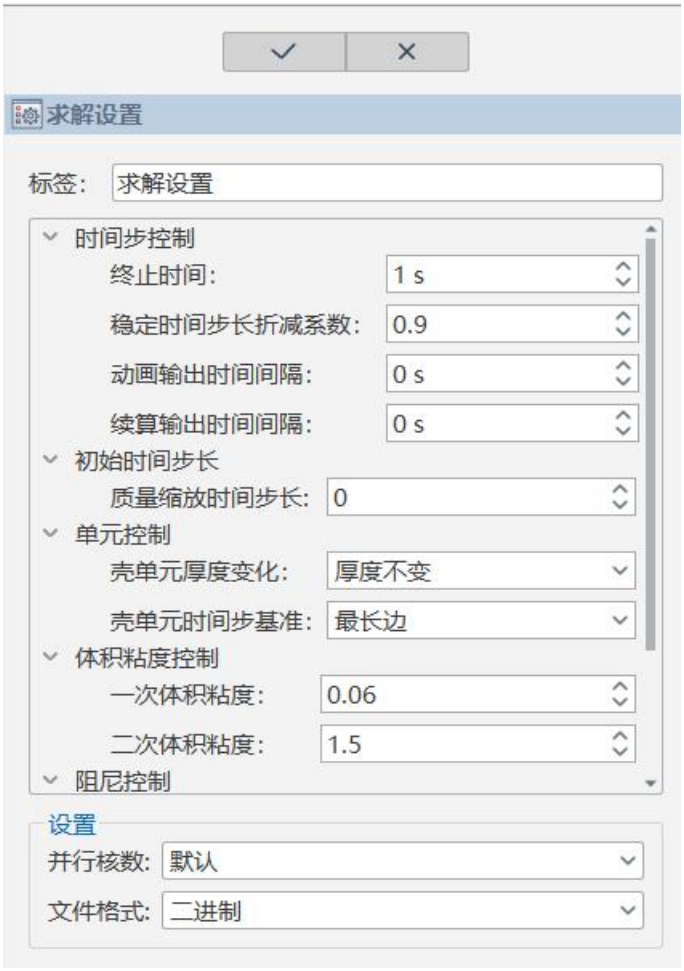


图 184 求解设置面板

设置【求解设置】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【求解设置】。

2. 在【任务】面板，单击展开显示出所需设定的子项。 通常需要设置“时间步控制”和“初始时间步长”，其他选项采用默认即可。

3. 如果需要 MPI 并行计算以提升效率，则需要单独选择“并行核数”。文件格式按默认“二进制”即可。

4. 单击【√】完成求解设置。

选项说明：

【时间步控制-终止时间】：该计算任务的计算终止时间。

【稳定时间步长折减系数】：质量缩放时间步长乘以折减系数，等于计算过程中的稳定时间步长 dt，默认为 0.9。

【动画输出时间间隔】：结果动画的输出时间间隔，默认输出 20 个动画。

【续算输出时间间隔】：按设定的时间间隔输出 dump 文件，用于后续进行续算。

【质量缩放时间步长】：求解器在计算过程中会把时间步长低于该设定值的单元进行质量缩放，使该单元的时间步长满足设定要求。

【单元控制-壳单元厚度变化】：默认设置为厚度不变，即壳单元仅更新面内的应变而不更新厚度的变化，厚度始终等于初始值，常见于壳单元的碰撞、跌落分析。改为厚度可变后，厚度方向上的应变会用于实时更新壳单元的厚度（节点厚度），常见于壳单元的成形分析。

【单元控制-壳单元时间步长基准】：时间步长的计算依赖于单元特征长度。针对壳单元，其特征长度有三种表征方式，分别是最长边、最长对角线和基于横波波速算法的方式。

【体积粘度控制】：体积粘度控制通过体积应变引入了阻尼，可以提高模型在高速动态分析中的响应。其中，一次（线性）体积粘度用于控制数值截断误差引起的高频振荡，默认值 0.06；二次体积粘度用于控制实体单元受压时的应变状态，让单元在高速变形过程中不容易产生负体积，默认值 1.5。

【阻尼控制】：系统阻尼由质量阻尼和刚度阻尼两部分按照相应系数线性组合在一

起。

【沙漏稳定系数】：跟沙漏定义中的稳定系数相同。求解设置中的稳定系数设定优先级低于独立的沙漏定义。

【接触罚系数】：决定了接触刚度大小。求解设置中的接触罚系数优先级低于独立的接触定义。

1.22 重启动

重启动用来重新提交计算控制文件以完成续算任务。重启动时，支持对新的计算控制文件做少量修改，如任务中新的关键变量或者选取新的控制文件来进行重启动计算。

设置【重启动】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【重启动】。

2. 在【任务】面板，根据需要设置新的“终止时间”、“稳定时间步长折减系数”和“质量缩放时间步长”。

3. 单击【√】完成重启动的设置。

说明：

【续算】：是指继续计算上一次的提交任务。当用户在上一次提交计算的求解设置中设定了合适的续算输出时间间隔之后，求解过程会按照设定的间隔输出 dump 文件，每一个 dump 文件记录了当前计算时刻内存中的所有计算信息。用户续算时，软件会自动读取最后输出的 dump 文件并恢复彼时内存中的所有计算信息，以此作为续算的起点（dump 文件中记录的计算时刻仍会被保留下来），并按照新的控制文件内容进行续算。

1.23 计算

计算用于求解计算。包含四个选项“计算”、“提交计算”、“导入文件计算”、“输出控制文件”。

计算：先输出控制文件再计算。

提交计算：调用本地文件夹内的控制文件进行计算。

导入文件计算：选择本地的 control 文件进行计算，计算结果将存储在 control 所在的同路径下。

输出控制文件：仅输出控制文件不计算。

（五） 流体分析

1. 流动分析类型

创建流动分析的基本步骤：

1. 新建一个工程文件，“分析模型”选择“流体分析”，“维度”选择“三维”/“二维轴对称”/“二维”几何维度，确定分析名称和保存位置路径。

2. 创建或导入几何（详细见几何建模功能）。

3. 创建流体材料，创建或导入网格（详细见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，单击【创建分析】，【分析类型】任务窗口内，设置求解器类型、物理模型等内容，并单击【√】。

5. 在【组合浏览器】模型管理树上双击【网格区域】节点，在【网格区域】任务窗口内绑定材料。

6、在【组合浏览器】模型管理树上双击【边界条件】节点下边界，在【边界条件】

任务窗口内设置流动、热、辐射、湍流、多相和组分的边界条件。

7、在【组合浏览器】模型管理树上双击【初始场】，在【初始场】任务窗口内通过用户自定义或自动计算，设置合适的初始场。

8、在【组合浏览器】模型管理树上双击【计算控制】，在【计算控制】任务窗口内设置终止时间、输出间隔、并行核数等参数。

9. 在【分析】选项卡，单击【计算】，执行分析。

1.1 基本流动

Simdroid 流体分析模块支持流体流动基本的物理模型。本章节将介绍层流和可压缩流的概念与基本设置。

1.1.1 层流

层流是流体的一种流动状态，在流动过程中没有明显的不规则脉动。与层流对应的另一种流动状态是湍流，湍流状态下的流体流动存在随机性质的旋涡结构，这些涡结构在流体内运动，促进流体内的动量、能量等的交换和脉动，使得湍流具有一些层流所不具备的现象和特征。流体流动状态是否是层流一般用雷诺数Re来判断，雷诺数的定义为

$$Re = \frac{\rho UL}{\mu}$$

其中，ρ为流体密度，U为流体速度，L为流体所在空间的特征尺寸，μ为流体的动力粘度。

对于内流而言，一般可认为层流到湍流的临界雷诺数在 2300 左右；对于外流而言，一般可认为层流到湍流的临界雷诺数在 500,000 左右。

基本设置

计算层流仅需要在【分析】选项卡>【分析设置】中不勾选“湍流”。

图 185 层流模型设置

1.1.2 可压缩流

真实的流体一般都是认为可压缩的，具有可压缩性。然而在很多场景中，流体的可压缩性对流动的影响并不明显，更多地在高速或者高压差时才会有明显的作用。此时，流体的密度变化会对流场中流体的速度、压力、温度产生明显的影响。在计算流体力学中，流体是否可压一般用马赫数M来判断，马赫数的定义为

$$M = \frac{U}{c}$$

其中，U 为流体速度，c 为音速。

当$M < 0.1$ 时，流体可压缩性可以忽略不计。随着M逐渐接近 1（跨音速范围），可压缩性慢慢变得不可忽视。当 M 大于，或远大于 1 时（超音速、高超音速范围），流体的可压缩性影响将变得十分明显。

基本设置

计算可压缩流需要进行如下设置：

1. 在【材料属性】选项卡>选择“流体属性”>展开“状态方程”>理想气体。

2. 在【分析】选项卡>【分析设置】中勾选“能量方程”。

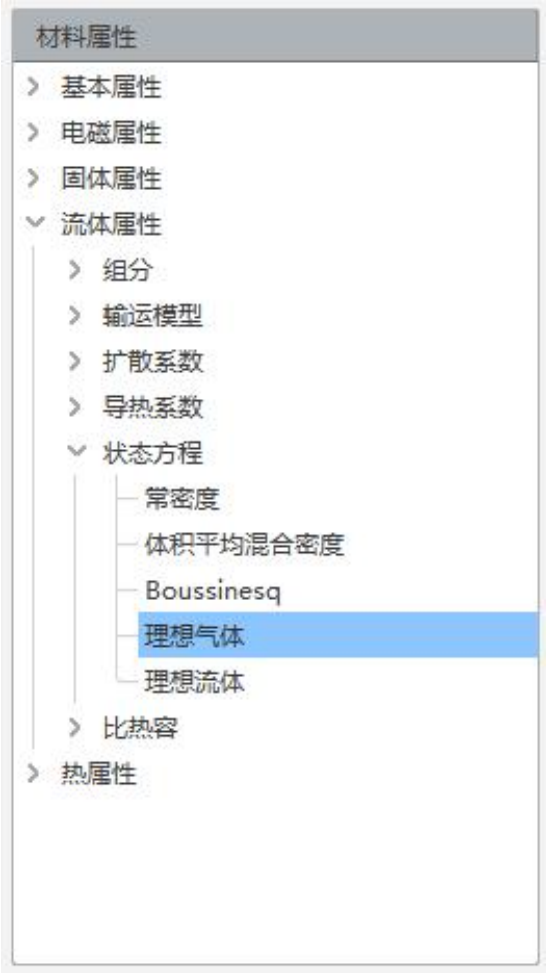


图 186 可压缩模型设置

1.2 传热

空间中的物质存在温度差时所引起的能量传递，可以统称为传热。传热的方式有三种：热传导、热对流和热辐射。三种方式中，热传导涉及的物理模型相对简单，热对流和热辐射涉及的物理模型相对复杂。Simdroid 流体分析模块支持上述的三种传热方式，也支持计算固体区域和流体区域之间的传热。

1.2.1 热传导和热对流

用户若计算热传导和热对流问题，需要在软件中完成在材料属性、分析设置、边界条件中进行相关的设置，设置内容详见基本设置。

基本设置

计算热传导和热对流需要进行如下设置：

1. 在【结构树浏览器】>【材料属性】中的材料必须具备比热容、导热系数两个参数。

2. 在【分析】选项卡>【分析设置】中勾选“能量方程”。

3. 在【结构树浏览器】>【边界条件】中，展开“热”窗口，设置合适的数值边界，包括：

- 温度：设置边界的固定温度
- 热通量：设置边界的固定热通量
- 对流：设置边界的对流换热系数和环境温度
- 耦合（共轭传热）：设置边界为流固交界面

图 187 热边界条件设置

自然对流和浮力驱动流设置

当流体的密度因温度而变化时，由于重力作用，流体进行的流动被称为自然对流。计算自然对流问题需要进行如下设置：

1. 在【结构树浏览器】>【材料属性】中的材料设置“状态方程”为理想气体、理想流体或者 Boussinesq。

2. 在【分析】选项卡>【分析设置】中勾选“重力”，设置合适的重力方向和大小。

图 188 重力设置

1.2.2 热辐射

热辐射是物体由于具有温度而向外辐射电磁波的现象。物体温度越高，因辐射而传递的能量会明显增加。所以在高温且非等温的环境下，建议开启辐射。而在温度较低的场景中，因热辐射而进行的能量传递不明显，热传导和热对流是主要的传热方式。当前 Simdroid 支持的辐射模型包括：

- DO 辐射模型
- 太阳辐射模型

基本设置

计算热辐射时需要在进行热传导和热对流的基础上进行如下设置：

1. 在【分析】选项卡>【分析设置】中勾选“辐射”，

2. 在【结构树浏览器】>【边界条件】中，展开“辐射”窗口，对辐射边界条件进行设置，包括：

- 发射率：物体表面的材料属性，仅与物体表面材料相关。
- 若需要考虑与外部的辐射，勾选“与外部的辐射传热”，设置外部环境的温度。

图 189 辐射边界设置

离散坐标（DO）辐射模型

计算热辐射时若选择 DO 辐射模型，用户需要在上述基本设置的基础上，进一步完成如下设置：

1. 在【分析】选项卡>【分析设置】>“辐射”中选择 DO 辐射模型，点击辐射右侧的设置按钮，对辐射参数进行设置，包括：

- 求解频率：设置辐射传递方程求解的频率，即每几步计算一次。
- Phi 角分割数和 Theta 角分割数：设置每 45° 角空间离散时的控制角个数，数值越大，角空间的离散越细，对温度的计算更准确，但是也会花费更多的时间。
- 吸收率：介质对于辐射的吸收率，单位为 1/m
- 发射率：介质的发射率，单位为 1/m

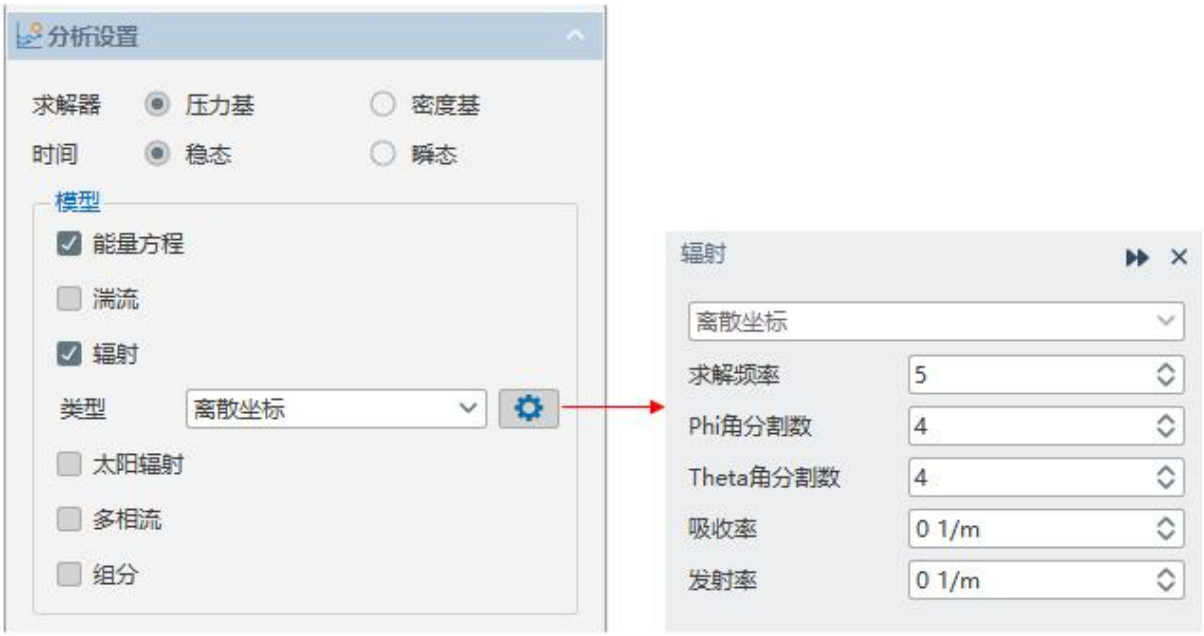


图 190 离散坐标设置

太阳辐射模型

计算热辐射时若选择太阳辐射模型，用户必须在【分析】选项卡>【分析设置】中先勾选“重力”，对重力进行设置。然后用户可以勾选“太阳辐射”，对太阳辐射参数进行设置，包括：

- 当用户选择“用户定义”时，用户可以自行定义太阳方向、太阳直射强度。

太阳方向代表从太阳指向物体的矢量。

- 当用户选择“自动计算”时点击太阳辐射右侧的设置按钮，输入地理位置、时间、正北方向和太阳因子，由软件自动计算太阳方向和太阳直射强度。注意，这里的正北方向指模型所在的正北方向矢量。太阳因子用于衡量太阳辐射经过大气层和模型周围环境时正常穿透抵达物体表面的强度比例，取值在0~1之间，越接近1表示越多的太阳辐射成功穿透到物体表面。

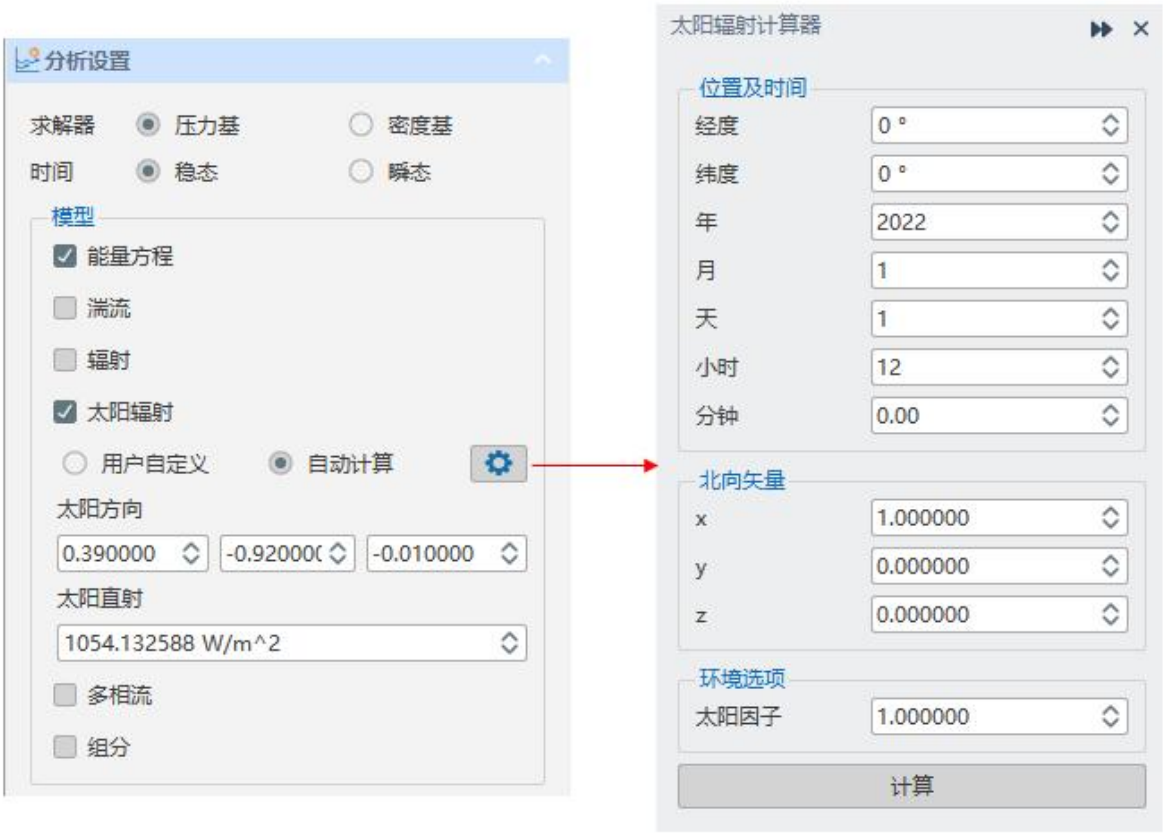


图 191 太阳辐射设置

1.3 湍流

湍流是一种在时间上无序，在空间上不规则的流体运动。与层流相比，湍流一般出现于中等或高雷诺数的流动场景中。传统流体力学场景中，湍流由 Navier-Stokes 方程（N-S 方程）描述。根据对湍流处理尺度的不同，可以将描述湍流的方法分为雷诺平均方法（RANS）、大涡模拟（LES）、和直接数值模拟（DNS）。DNS 可以直接对 N-S

方程进行求解，没有任何的假设和简化，理论上可以得到精确的结果，但是由于用 DNS 计算需要极其庞大的计算资源，现阶段在工业界并不适合直接通过 DNS 进行仿真计算。RANS 则是通过求解均化的 N-S 方程，得到时间平均。然而，在均化的处理上，输运方程会增加新的未知量，此时需要新的方程（湍流模型）以完成方程的封闭。所以，在这几十年来计算流体力学领域提出了众多的 RANS 湍流模型，如 k-epsilon 模型、k-omega 模型、雷诺应力模型等。RANS 模型对计算资源的需求较低，且能计算得到大部分工业上工程师关注的结果，在工业界的应用最为广泛。LES 则依据湍动能的传输机制，直接计算大尺度涡的运动，模化小尺寸涡。所以其湍流的细节相较于 RANS 更为丰富，计算资源高于 RANS，但仍远小于 DNS。值得注意的是，许多介于 LES 和 RANS 之间的混合方法，如分离涡模拟（DES），开始广泛地在工业界中使用。

目前流体分析中具备的湍流模型包括：

- LVEL
- Spalart-Allmaras
- 标准 K-Epsilon
- Realizable K-Epsilon
- Launder-Sharma K-Epsilon
- 标准 K-Omega
- K-Omega SST
- K-Omega SSTSAS
- K-Omega SSTLM
- Smagorinsky-Lilly
- 动态 Smagorinsky-Lilly

- WALE
- K Equation
- 动态 K Equation
- Spalart-Allmaras DES
- Spalart-Allmaras DDES
- Spalart-Allmaras IDDES
- K-Omega SST DES
- K-Omega SST DDES
- K-Omega SST IDDES

1.3.1 基本设置

计算湍流时需要在进行如下设置：

1. 在【分析】选项卡>【分析设置】中勾选“湍流”，选择合适的类型和湍流模型。

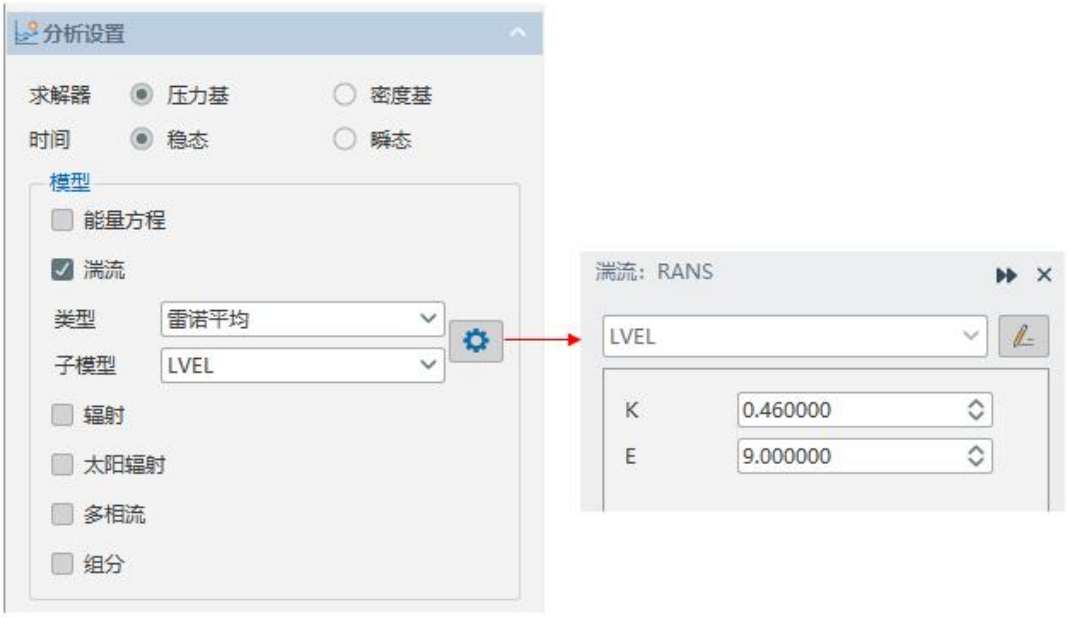


图 192 湍流设置窗口

2. 在【结构树浏览器】>【边界条件】中，展开“湍流”窗口，设置合适的数值边界，包括四种类型：

- 湍流强度和湍流尺度：湍流强度是速度脉动的均方根和平均速度的比值，湍流尺度是湍流中与大涡尺寸相关的物理尺寸。湍流强度的默认值为 5%，湍流尺度的默认值为 1m。

- 湍流变量：直接定义湍流模型中的未知量，如 K-Epsilon 模型中的湍动能 K 和湍流耗散率 Epsilon。默认值皆为 1。

- 湍流强度和水利直径：水利直径是在湍流尺度基础上，根据内流场景增加的参数。在充分发展的内流中，湍流尺度等于水利直径。水利直径默认值为 1m。

- 湍流强度和湍流粘度比：湍流粘度比是湍流粘度和动力粘度的比重。湍流粘度比默认值为 10。

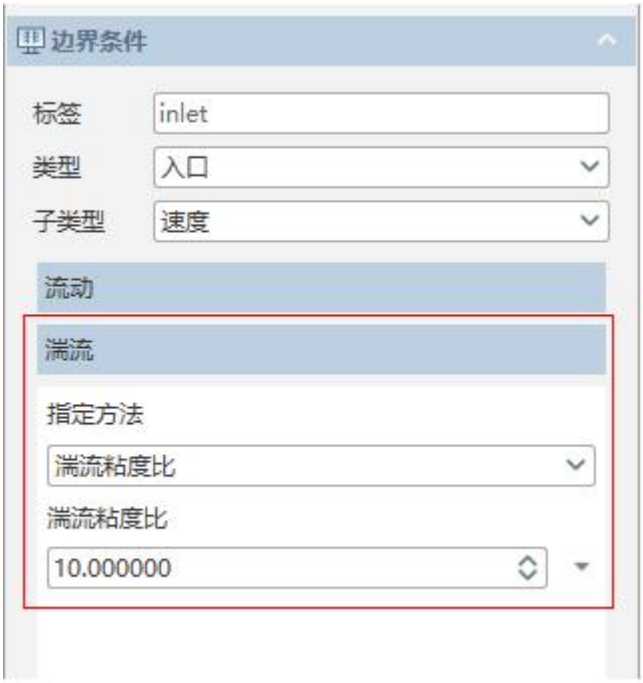


图 193 湍流边界条件设置

1.3.2 RANS 模型

LVEL 模型

LVEL 模型是一种零方程模型，该模型适用于计算共轭传热问题。

在【分析】选项卡>【分析设置】>“湍流”>类型中选择雷诺平均，模型中选择“LVEL”。点击右侧的设置按钮，可在湍流窗口中对模型参数进行设置。

LVEL 模型无需在【边界条件】中进行特殊设置。

Spalart-Allmaras 模型

Spalart-Allmaras 模型是一种一方程模型，该模型适用于描述近壁面的湍流流动，在航空航天领域应用较多。但是在很多场景中，如剪切流，计算的误差较大。

在【分析】选项卡>【分析设置】>“湍流”>类型中选择雷诺平均，模型中选择“Spalart-Allmaras”。点击右侧的设置按钮，可在湍流窗口中对模型参数进行设置。

在【结构树浏览器】>【边界条件】中，展开“湍流”窗口，设置的内容与湍流的基本设置类似，湍流变量是湍流粘度，设置湍流粘度比时无需再设置湍流强度。

标准 K-Epsilon 模型、Realizable K-Epsilon 模型和 Launder-Sharma K-Epsilon 模型

K-Epsilon 模型是一种两方程模型，是应用最广泛的湍流模型之一，适用于常见的流体流动和传热仿真中。K-Epsilon 模型的缺点主要是无法准确预测逆压梯度和边界层分离的场景。流体分析中现提供了标准 K-Epsilon 模型、Realizable K-Epsilon 模型和 Launder-Sharma K-Epsilon 模型，这里推荐用户使用该模型 Realizable K-Epsilon 模型。

在【分析】选项卡>【分析设置】>“湍流”>类型中选择雷诺平均，模型中选择“标准 K-Epsilon/Realizable K-Epsilon/Launder-Sharma K-Epsilon”。点击右侧的设置按钮，可在湍流窗口中对模型参数进行设置。用户可以勾选“耦合”，耦合计算 K 和 Epsilon 方程。

在【结构树浏览器】>【边界条件】中，展开“湍流”窗口，设置的内容与湍流的

基本设置类似，湍流变量是湍动能和湍流耗散率。

标准 K-Omega 模型和 K-Omega SST 模型

K-Omega 模型是一种两方程模型，是应用最广泛的湍流模型之一。相较于 K-Epsilon 模型，K-Omega 模型在近壁面处的预测较为准确。标准 K-Omega 模型计算对来流的 K 和 Omega 的数值较为敏感，所以在这里不推荐作为常用模型使用。SST 模型可以很好的弥补上述的问题，现阶段也是工业界使用最为广泛、适用性最好的湍流模型之一，其在边界层上的预测好于 Spalart-Allmaras 模型。在部分 K-Omega 模型中，勾选“间歇过渡模型”意味着在原有两方程的基础上新增γ方程，用于预测转戾过程。

在【分析】选项卡>【分析设置】>“湍流”>类型中选择雷诺平均，模型中选择“标准 K-Omega/K-Omega SST”。点击右侧的设置按钮，可在湍流窗口中对模型参数进行设置。用户可以勾选“耦合”，耦合计算 K 和 Omega 方程。选择标准 K-Omega 模型时，用户可以勾选“低雷诺数修正”。 低雷诺数修正用于更好地预测层流到湍流的转戾过程。选择 K-Omega SST 模型时，用户可以勾选“间歇过渡模型”，用于预测层流到湍流的转戾过程。

在【结构树浏览器】>【边界条件】中，展开“湍流”窗口，设置的内容与湍流的基本设置类似，湍流变量是湍动能和比耗散率。

K-Omega SSTSAS 模型

K-Omega SSTSAS 模型是一种两方程模型。该模型在 SST 模型的基础上在 Omega 方程中引入了 von Karman 长度尺度，使得在预测不稳定区域时，模型表现更像是 LES，而在稳定区域类似于 RANS。当不稳定区域流体流动的不稳定性较弱时，SAS 模型会仍处于 RANS 的模式，导致预测不稳定流动的精度下降。

在【分析】选项卡>【分析设置】>“湍流”>类型中选择雷诺平均，模型中选择“K-Omega SSTSAS”。点击右侧的设置按钮，可在湍流窗口中对模型参数进行设置。用户可以勾选“耦合”，耦合计算 K 和 Omega 方程。用户可以勾选“间歇过渡模型”，用于预测层流到湍流的转戾过程。

在【结构树浏览器】>【边界条件】中，展开“湍流”窗口，设置的内容与湍流的基本设置类似，湍流变量是湍动能和比耗散率。

K-Omega SSTLM 模型

K-Omega SSTLM 模型是一种四方程模型，用于预测层流到湍流的转戾过程。

在【分析】选项卡>【分析设置】>“湍流”>类型中选择雷诺平均，模型中选择“K-Omega SSTLM”。点击右侧的设置按钮，可在湍流窗口中对模型参数进行设置。用户可以勾选“耦合”，耦合计算 K 和 Omega 方程。

在【结构树浏览器】>【边界条件】中，展开“湍流”窗口，设置的内容与湍流的基本设置类似，湍流变量是湍动能、比耗散率、间隙因子和动量厚度雷诺数。

1.3.3 LES 模型

LES 模型当前存在以下限制：

- 用户需要在【分析设置】面板的“时间”选项上选择瞬态。

Smagorinsky-Lilly 模型和动态 Smagorinsky-Lilly 模型

Smagorinsky-Lilly 模型是一种代数亚格子尺度模型，该模型的主要缺点是方程中的C_s系数（详见理论文档）是均一的，而实际情况中，该系数在不同的流动区域是不同的，例如在层流中应该是 0。所以，动态 Smagorinsky-Lilly 模型被提出来用于弥补这一严重缺陷。动态 Smagorinsky-Lilly 模型可以通过对当地流场的过滤，计算出局部C_s系数。

在【分析】选项卡>【分析设置】>“湍流”>类型中选择大涡模拟，模型中选择“Smagorinsky-Lilly 模型/动态 Smagorinsky-Lilly 模型”。点击右侧的设置按钮，可在湍流窗口中对模型参数进行设置。用户可以选择“体积立方根法”或“最大尺寸法”。体积立方根法计算公式

$$\Delta = V^{\frac{1}{3}}$$

Δ是截断尺寸，V是网格体积。

最大尺寸法计算公式

$$\Delta = \max(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$$

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$是网格沿 X，Y，Z 三个方向的尺寸。

WALE 模型

相较 Smagorinsky 模型而言，WALE（壁面适应局部涡粘度, Wall-Adapting Local Eddy-Viscosity）亚格子尺度模型应用更为广泛。WALE 模型在层流区域能更好处理湍流粘度，即使用 WALE 模型计算时，在层流区域的湍流粘度为 0。

在【分析】选项卡>【分析设置】>“湍流”>类型中选择“大涡模拟”，模型中选择“WALE”。点击右侧的设置按钮，可在湍流窗口中对模型参数进行设置。用户可以选择“体积立方根法”或“最大尺寸法”。

K Equation 模型和动态 K Equation 模型

K Equation 模型和动态 K Equation 模型是一种一方程亚格子尺度模型。相较于 Smagorinsky 模型/动态 Smagorinsky 模型，通过求解亚格子湍动能输运方程，K Equation 模型和动态 K Equation 模型能更好地预测湍动能的变化。

在【分析】选项卡>【分析设置】>“湍流”>类型中选择“大涡模拟”，模型中选择“K Equation 模型/动态 K Equation 模型”。点击右侧的设置按钮，可在湍流窗口中对模型参数进行设置。用户可以选择“体积立方根法”或“最大尺寸法”。

在【结构树浏览器】>【边界条件】中，展开“湍流”窗口，设置的内容与湍流的基本设置类似，湍流变量是亚格子湍动能。

1.3.4 DES 模型

DES 模型当前存在以下限制：

- 用户需要在【分析设置】面板的“时间”选项上选择瞬态。

Spalart-Allmaras DES 模型和 K-Omega SST DES 模型

分离涡模拟（Detached Eddy Simulation，DES）通过比较湍流尺度和网格尺度，进行 LES 和 RANS 模型的切换。在近壁面处，湍流尺度较小，此时会切换使用 RANS 模型，而远壁面处使用 LES 模型。

在【分析】选项卡>【分析设置】>“湍流”>类型中选择“分离涡模拟”，模型中选择“Spalart-Allmaras DES 和 K-Omega SST DES”。点击右侧的设置按钮，可在湍流窗口中对模型参数进行设置。用户可以选择“体积立方根法”或“最大尺寸法”。

在【结构树浏览器】>【边界条件】中，展开“湍流”窗口，设置的内容与对应的 RANS 模型一致。

Spalart-Allmaras DDES 模型和 K-Omega SST DDES 模型

延迟分离涡模拟（Delayed Detached Eddy Simulation，DDES）在 DES 基础上，增加一个开关函数，在边界层附近强制调用 RANS 模型，用于处理 DES 无法解决的 Grid Induced Separation(GIS)问题。

DDES 模型下需要设置的内容与 DES 模型设置基本一致。

Spalart-Allmaras IDDES 模型和 K-Omega SST IDDES 模型

改进延迟分离涡模拟（Improved Delayed Detached Eddy Simulation，IDDES）是在 DES 基础上，与 LES 中的 Wall-Modeled Large Eddy Simulation (WMLES)方法结合，使得模型能够在部分边界层区域采用 WMLES 模型。

IDDES 模型下需要设置的内容与 DES 模型设置基本一致。

1.4 多相流

多相流广泛地存在于生活和工业中，如在石油输送管道中含杂质的石油流动、大气尘埃流动、北冰洋上的冰-水流动。Simdroid 流体分析模块支持 VOF 和 Euler 多相流模型。本章节将讨论进行多相流仿真时需要进行的设置。

多相流模型当前存在以下限制：

- 不支持压力远场和质量出口边界条件
- 不支持密度基求解器
- 无法与多组分同时开启
- 不支持 LES 和 DES 模型
- 不支持在湍流模型中开启间歇过渡模型
- 速度-压力耦合方法不支持 Coupled 耦合式

1.4.1 基本设置

计算湍流时需要在进行进行如下设置：

1. 在【分析】选项卡>【分析设置】中勾选“多相”，选择合适的多相流模型，并在多相流设置界面进行设置。

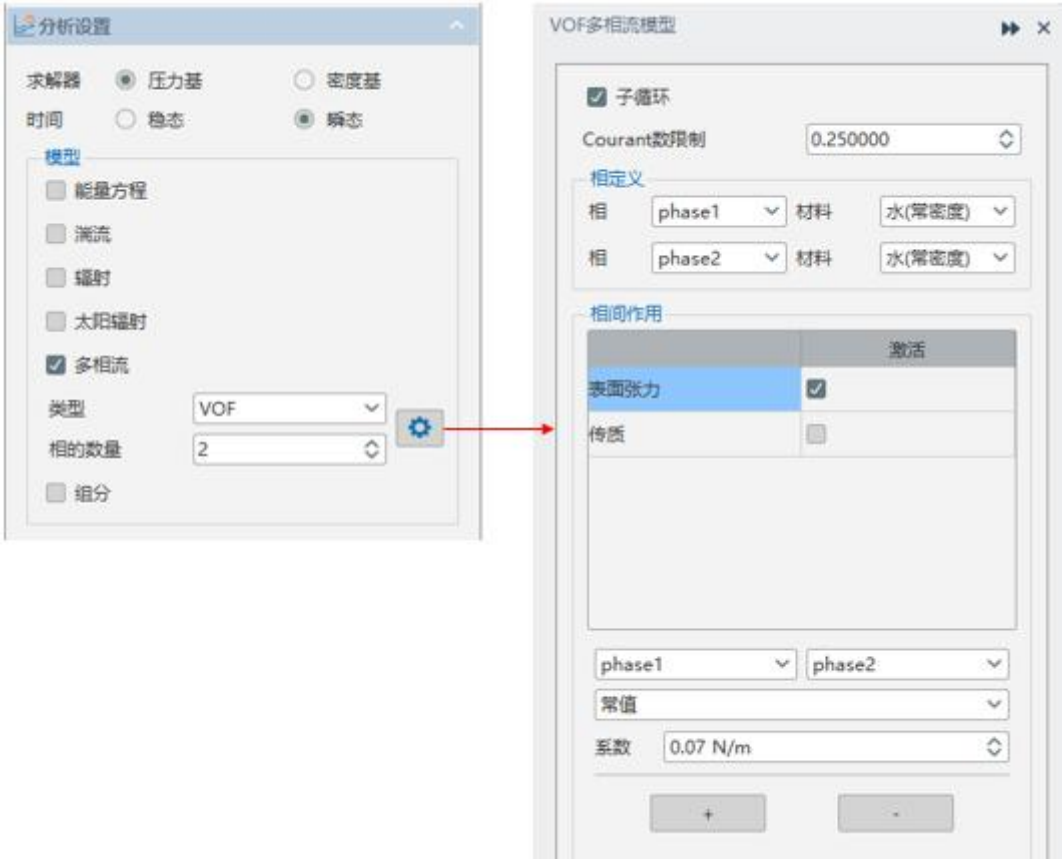


图 194 多相模型选择及设置

2. 在【结构树浏览器】>【边界条件】中，双击每个边界条件的子节点，在“边界条件”面板的“多相”窗口，设置合适相体积分数。注意，第一个子节点表示连续相，不需要对其设置相体积分数，该相的体积分数计算公式为

$$\alpha_1 = 1 - \sum_{i=2} \alpha_i$$

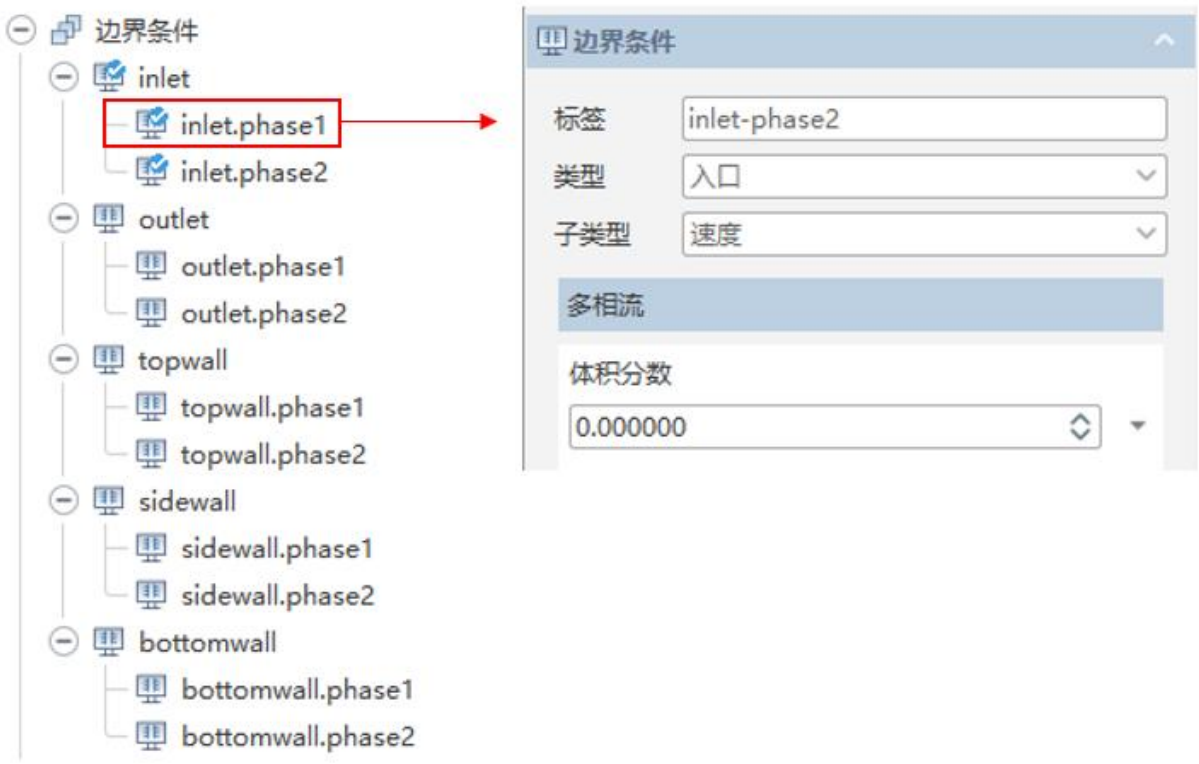


图 195 多相边界条件设置

3. 在很多多相流仿真场景中，用户会对相体积分数的初始场进行局部设定，此时需要在【分析】选项卡>点击【局部设定】，设置局部的相体积分数。注意，局部设定中的网格标记区域需要用户提前在预定义中设置。

4. 在【结构树浏览器】>双击【初始场】，进入界面后设置多相流相体积分数的初值。

1.4.2 VOF 模型

在计算互不相溶的多相流体时，VOF 模型是应用最广泛的模型之一。常见的应用场景有大气泡在液体中的运动、液体在空气中的流动等。

在【分析】选项卡>【分析设置】勾选“多相”，并选择“VOF 模型”，在“相的数量”中设定相的个数。点击右侧的设置按钮，在多相流弹窗中可进行如下设置：

1、子循环：开启后会在相方程计算时根据界面中的库朗数限制，计算子时间步长。

该设置可以保证计算时界面的稳定性，所以一般建议开启该功能。库朗数限制的默认值为 0.25。

2、相定义：用于定义相的材料

3、相间作用：相与相之间的作用力，包括表面张力和传质。

- 表面张力：用于设置相与相之间的表面张力，目前支持常数设置。
- 传质：目前传质可以设置蒸发-冷凝模型，可选的模型包括 Lee 和压力基，用户可以定义蒸汽相和液相，设置冷凝系数、蒸发系数、汽化焓值等参数。

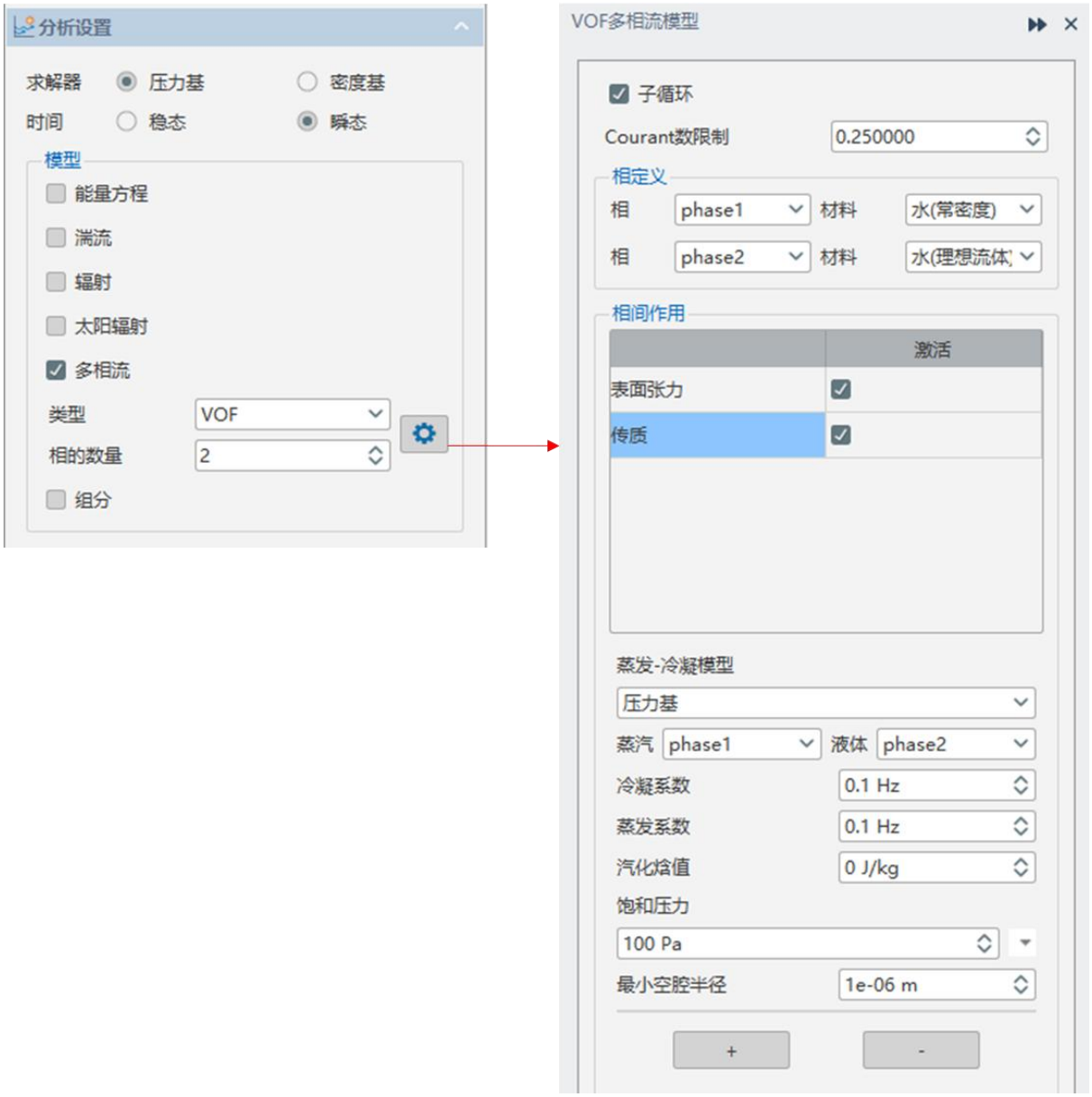


图 196 VOF 模型设置

在【结构树浏览器】>【边界条件】中，此时每个边界条件会生成一个主节点和子节点。其中，主节点可以设置流动、热、湍流、辐射等边界。在子节点中，第一个子节点表示连续相，用于设置连续相的边界条件，VOF 模型中无需对连续相进行设置。除第一个子节点外，其他子节点表示离散相，用户可以在这些子节点中设置各相的相体积分数。

1.4.3 Euler 模型

Euler 模型是适用性很强的多相流模型，能模拟气、液、固之间的两相或者多相流动。常见的应用场景有流化床、鼓泡塔、沉淀等。Euler 模型主要用于解决在连续相中存在若干离散相的仿真场景，一般要求离散相的相体积分数远小于连续相。目前 Euler 模型的湍流仅在连续相中计算，离散相的湍流将通过连续相的湍流结果进一步计算得到。该方法在离散相的湍流比较明显时会存在精度的问题。

在【分析】选项卡>【分析设置】勾选“多相”，并选择“Euler 模型”，在“相的数量”中设定相的个数。点击右侧的设置按钮，在多相流弹窗中可进行如下设置：

1、相定义：用于定义相的材料和离散相（如气泡、液滴）的直径。

2、相间作用：相与相之间的作用力，包括表面张力和传质。

- 虚拟质量力：当离散相相对连续相进行加速运动时，需要考虑该作用力。当离散相的密度远小于连续相时，其作用会变得十分重要，一般建议激活该作用力。用户需要指定虚拟质量系数，默认值为 0.5。

- 曳力：用于描述相与相之间的动量传递。目前软件支持的模型有 Schiller-Naumann、Eurgun、Gibilaro 和 Wen-Yu。软件默认模型是 Schiller-Naumann，该模型的适用性更为广泛。

- 升力：用于描述离散相在连续相中由于速度梯度而受到的力。一般升力都远小于曳力，所以建议默认不需要激活。而当升力很大时（如有很大的速度梯度），需要考虑该作用力。目前软件支持的模型有常值、Legendre-Magnaudet、Moraga、Saffman-Mei 和 Tomiyama。软件默认模型是常值。

- 湍流耗散力：用于描述多相流流动处于湍流状态时的相间动量交换。目前软件支持的模型有常值，系数默认值为 0.5。用户还可以通过勾选“限制”，实现湍流耗散力的局部应用。

- 壁面润滑力：用于描述气-液流动中离散相与壁面的作用力。目前软件支持的模

型有 Antal et al.、Tomiyama 和 Frank 模型

- 相间接触面积：指两相之间的接触面积，是用于预测相间质量、动量和能量交换的重要参数。目前软件支持的模型有 ia-particle 模型。

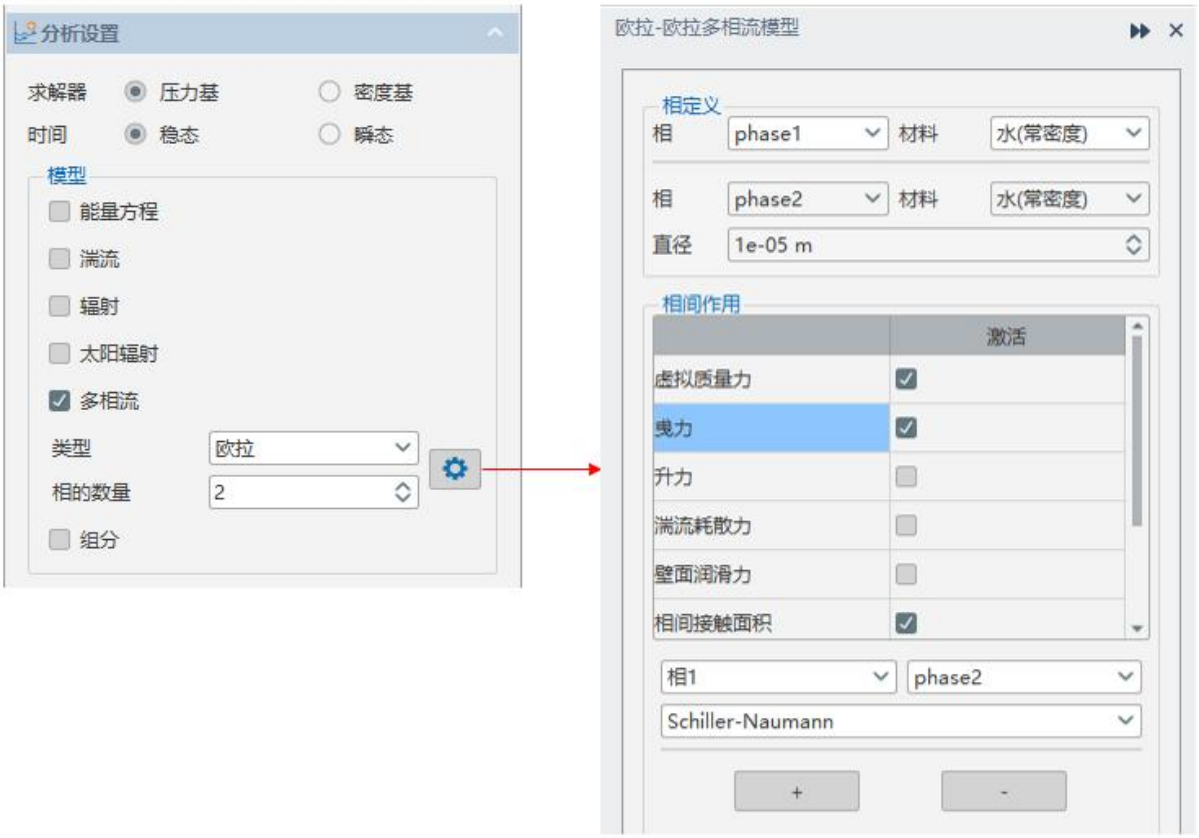


图 197 Euler 模型设置

在【结构树浏览器】>【边界条件】中，此时每个边界条件会生成一个主节点和所有相的子节点。其中，除壁面、对称等特殊边界条件外，流动中的速度、热、湍流、辐射等边界都在子节点中设置。注意，湍流的边界条件将在连续相子节点中设置，其他离散相的湍流将由连续相的湍流设置计算得到。在主节点中，主要用于设置所有相共享的压力边界。

在【结构树浏览器】>【初始场中】，与 VOF 模型不同，共享的场仅有压力这一项，其余场的初值需要在每一相中进行设置。

1.5 多组分及燃烧

在天然气运输与储存、发动机缸内燃烧、化学反应等多个领域场景中，流体仿真常常会涉及到流体多组分混合系统。此时，在求解器计算中需要考虑物质输运方程。如果涉及到化学反应、燃烧，还需要增加描述反应速率的模型。

多组分当前存在以下限制：

- 暂不支持多相流
- 不支持密度基
- 湍流模型支持 RANS 模型中的标准 K-Epsilon 模型、Realizable K-Epsilon 模型和 Launder-Sharma K-Epsilon 模型，其余暂时不支持。

1.5.1 基本设置

计算多组分时需要在进行进行如下设置：

1. 在【分析】选项卡>点击【创建流动分析】，勾选“组分”。

2. 在“混合物材料”中选择合适的材料作为混合物物性参数。用户可以通过指定材料库中材料和导入两种方式。

3. 若采用指定材料的方式，用户可以点击右侧的设置按钮，在混合物组分窗口选择材料，点击“>>”选择作为该混合物的组分。用户也可以通过选择“已选择材料”中的“<<”取消作为该混合物的组分。

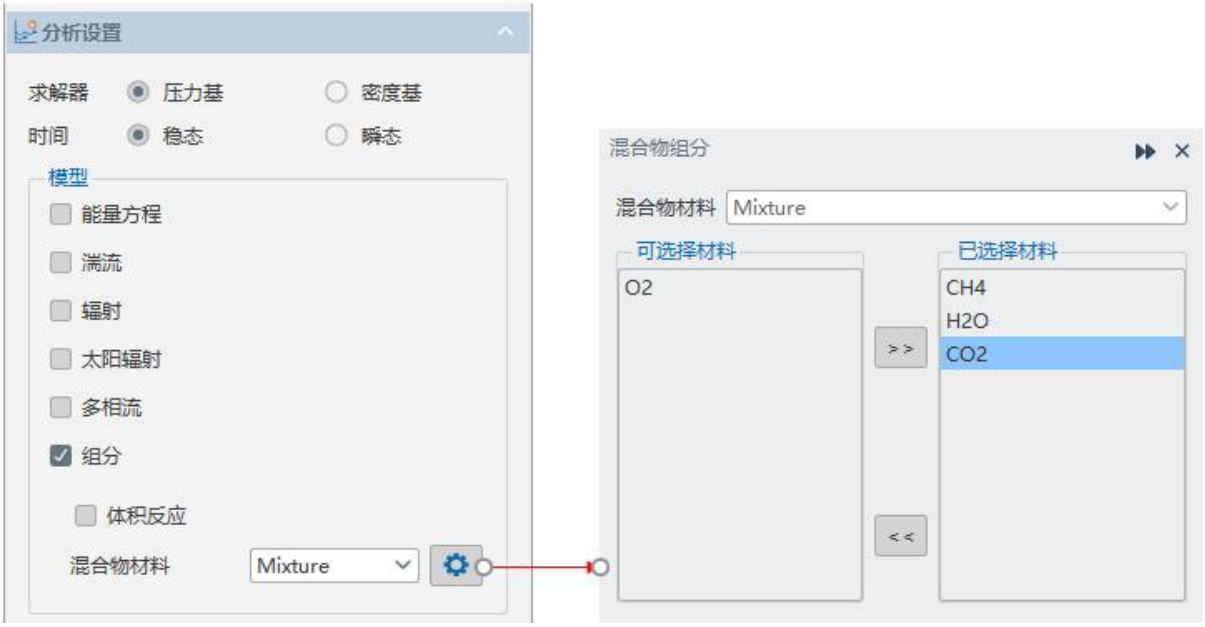


图 198 组分设置

4. 若采用导入的方式，用户可以通过导入 CHEMKIN 数据文件，导入混合物以及组分的物性参数。成功导入后，相应的材料将会在【结构树浏览器】>【材料属性】中生成。

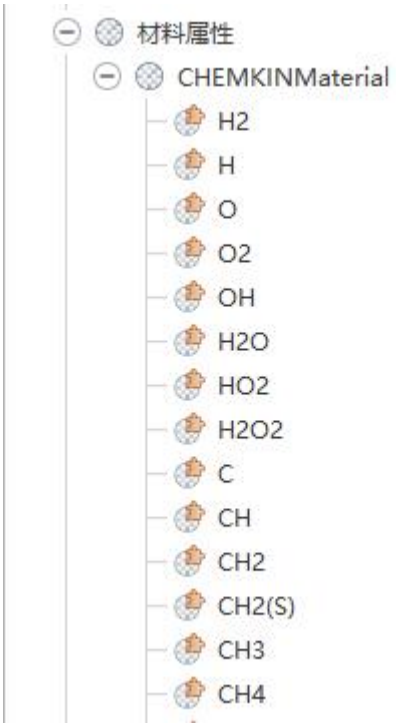


图 199 组分材料结构树

图 200 导入 CHEMKIN 设置

5. 在【结构树浏览器】>【边界条件】中，展开“组分”窗口，对各个组分的质量分数进行设置。

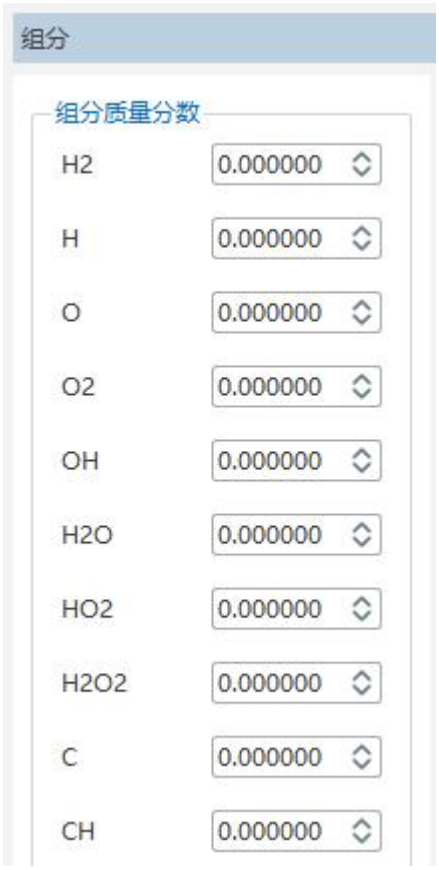


图 201 组分边界条件设置

6. 在【结构树浏览器】>【初始场】中，点击“质量分数”按钮，在“质量分数设置”窗口对各个组分质量分数的初值进行设置。

图 202 质量分数初始场设置界面

1.5.2 燃烧

计算燃烧时除了上述多组分中的基本设置外，还需要进行如下设置：

1. 在【分析】选项卡>【分析设置】面板的组分下，勾选“体积反应”。

2. 当前描述反应速率可选的模型有涡-耗散模型（Eddy-Dissipation Model, EDM）和有限速率化学模型(Finite-Rate Chemistrty Model, FRCM)。其中，有限速率化学模型的反应速率将根据 Arrhenius 公式确定，会忽略湍流脉动的影响。该模型推荐在层流或者湍流流动的时间尺度远小于化学反应时间尺度时使用。涡-耗散模型假设整体反应速率由湍流控制，认为化学反应动力学速率可以相对被忽略。该模型一般适用于燃料快速燃烧的场景中。

3. 点击混合物材料下拉选项选择合适的混合物材料，点击右侧的设置按钮，完成组分设置

4. 点击模型右侧的按钮，打开混合物反应面板，用户可进行反应的设置。

- 反应物：用户指定反应物数量。完成设置后下方表单中会生成对应数量的反应

物表格，设置合适的反应物、化学计量系数和速率指数。

- 生成物：用户指定生成物数量。完成设置后下方表单中会生成对应数量的反应物表格，设置合适的生成物和化学计量系数。

- Arrhenius 反应速率：当用户选择有限速率化学模型时，需要对 Arrhenius 公式中的指数前因子、活化能和温度指数进行设置。详细公式见理论文档。

- 混合速率：当用户选择涡-耗散时需要对混合速率公式中的两个经验常数 A 和 B 进行设置，默认值分别为 4.0 和 0.5。

图 203 反应设置界面

1.6 FW-H 声信号计算

运动的流体介质对声音的产生和传播有着重要的影响，比如航空发动机的射流噪声、机翼噪声等。Simdroid 目前仅提供了 FW-H 方法，可进行中-远场的噪音分析，该分析需要通过非稳态的湍流计算从而获取到近场的流动结果，然后利用流动结果进行声压计算。

FW-H 声信号计算当前存在以下限制：

- 仅可以分析预测开放空间中的声音传播。

1.6.1 基本设置

声信号计算可以分两种计算方式，第一种方式是在流场计算时同时进行声信号计算；第二种方式是先进行流场计算，然后单独进行声信号计算。具体设置如下：

图 204 声学设置界面

1. 在【分析】选项卡>点击【创建流动分析】，勾选“声学”。

2. 打开【声学模型设置】面板，在【声源】列表中，列出了所有的边界，用户可以选择边界作为声源面。当声源面是内部面时，用户需要在【内部声源面所在网格区域选择】中，为内部声源面选择一个合适的声信号传播的网格区域。

3. 在【声学模型设置】面板中，用户可以勾选“在计算流场的同时进行声信号计算”，如果该选项未勾选，那么“保存声源面数据”的勾选项会强制处于勾选状态，这一限制是为了保证用户进行声信号计算前，可以获取到必要的声源数据。

4. 在【声学模型设置】面板中，用户需要输入声源面数据的取样【起始时间】、【终止时间】和【取样频率】。

5. 在【声学模型设置】面板中，用户需要设置【远场的流场条件】，包括密度、压力、声速、参考声压。如果勾选了【对流效应】，还需要设置远场的三个方向对流速度。

如果用户在计算流场的时候，没有同时进行声信号计算，那么后续单独进行声信号计算的具体步骤如下：

1. 在流体分析树中，点击【声信号】节点，在其设置面板中，用户可以选择【有效声源】，定义声信号【接收器】，并设置 FFT 计算。

2. 【有效声源】列表中列出了用户在【声学模型设置】中已经选择好的声源边界，用户可以在该列表中再次选择声信号计算的有效声源。

3. 【定义接收器】中，用户可以设置任意多个探测点的位置，并且可以选择勾选这些探测点是否运动，如果运动，还需要设置运动速度。

4. 用户点击【声信号计算】，可以启动声信号计算，软件会输出探测点的声音信号文件，包括取样时间的声压、不同频率下的声压水平。

5. 在计算过程中，用户可以在【曲线图】窗口中，实时查看声压和声压水平变化曲线；也可以在计算完成后，通过后处理模块中的【文件曲线】功能，导入声音信号相关的数据文件查看。

1.7 多参考系

Simdroid 流体分析模块默认求解建立在静止的参考系下。在搅拌机、离心风扇、飞机螺旋桨等存在物体运动的场景中，动参考系的引入会使求解器的方程求解更加简单易

理解。

多参考系用稳态近似的方法，指定独立网格区域的相对旋转/平移速度。该区域的控制方程将在动参考系下求解。由于“运动”的网格区域并没有发生实际的相对于相邻网格区域的运动，多参考系方法更多的是以近似的仿真结果，预测流体流动。

多参考系模型当前存在以下限制：

- 暂不支持平移
- 指定的网格区域若是以旋转的形式运动，该网格区域的形状必须是圆（二维）/圆柱（三维）

1.7.1 基本设置

计算多参考系时需要在进行进行如下设置：

1. 在【分析】选项卡>点击【多参考系】。

2. 在【多参考系】面板中，用户可进行网格区域、除外边界、旋转轴原点与方向、旋转速度的设置。

- 网格区域：指定动参考系的网格区域，用户可以对相同设置的区域进行多选。
- 除外边界：指定网格区域中不参与运动的边界。
- 旋转轴原点与旋转轴方向：指定网格区域做旋转运动时的旋转轴方向和旋转原点。
- 旋转速度：指定网格区域的旋转速度，数值大于 0 时是逆时针运动，小于 0 时是顺时针运动。

多参考系
网格区域
Fluid
除外边界
inlet
upperwall
lowerwall
outlet
sidewall
旋转轴原点
X
0 m
Y
0 m
Z
0 m
旋转轴方向
X
0.000000
Y
0.000000
Z
1.000000
旋转速度
速度
0 rad/s

图 205 多参考系界面

1.8 滑移网格

不同于多参考系，滑移网格将指定网格区域节点以特定的方式进行刚性运动。网格节点的位置将在每个时间步更新。需要注意的是，网格的运动必须保证交界面的接触，任何使交界面不再接触的运动将会滑移网格失效。在交界面上的网格节点将不共享拓扑，数据信息也将通过插值的方式完成交换。

滑移网格模型当前存在以下限制：

- 暂不支持平移
- 时间类型必须是瞬态

1.8.1 基本设置

计算滑移网格时需要在进行进行如下设置：

1. 在【分析】选项卡>【分析设置】面板中选择“瞬态”。
2. 在【分析】选项卡>点击【滑移网格】。
3. 在【滑移网格】面板中，用户可进行网格区域、相对于网格区域、旋转轴原点与方向、旋转速度的设置。

- 网格区域：指定滑移网格的网格区域。
- 相对于：指定该网格区域是否是相对于其他网格区域的运动，若选择“绝对”，则表示设置的该网格区域是相对于绝对坐标系下的运动。若选择其他网格区域，则表示设置的该网格区域是相对于其他区域的运动。
- 旋转轴原点与旋转轴方向：指定网格区域做旋转运动时的旋转轴方向和旋转原点。
- 旋转速度：指定网格区域的旋转速度，数值大于 0 时是逆时针运动，小于 0 时是顺时针运动。

2. 流体分析菜单栏各项功能

2.1 网格单元条件

网格单元条件可设置网格区域的材料、源项、多参考系、滑移网格。

2.1.1 网格区域

网格区域用于设置求解域的流、固类型和材料。

网格区域的设置方法如下：

1.创建完一个 CFD 分析后，【结构树浏览器】中会自动挂载【网格单元条件】节点与其子节点【网格区域】。

2.双击【网格区域】，选择某个区域，比如下图中的“default”，在类型下拉列表中选择流体或固体，在材料中选择已定义的材料。

图 206 网格区域设置面板

2.1.2 网格标记区域

网格标记区域标记了流体网格区域内的一部分网格。在初始场局部定义、设置源项时，可通过网格标记区域将局部网格区域初始化或设置源项条件。

网格标记区域的设置方法如下：

1.在【预定义】选项卡下点击【网格标记区域】。

2.在【任务面板】中选择区域形状并输入几何参数，单击【√】。

图 207 网格标记区域设置面板

3.开启网格标记区域后，视图区将高亮显示它的几何外形。

2.1.3 源项

源项用于在求解域的网格区域或网格标记区域上设置源项条件。

源项的设置方法如下：

1.在【分析】选项卡下点击【源项】。

2.在【任务面板】中的列表内选择网格区域或网格标记区域。

3.在变量的下拉列表中可选总功率、功率密度、流动阻力，均需设置相应的输入值。

4.单击【√】。

图 208 源项设置面板

2.1.4 多参考系

多参考系用于给指定的网格区域设置局部参考系。一个网格区域只可被设置一个多参考系。

多参考系的设置方法如下：

1.在【分析】选项卡下点击【多参考系】。

2.在【任务面板】中的列表内选择网格区域，若该区域的部分边界不跟随使用局部参考系，则需要在不包括的边界列表中将其选中。

3.设置旋转轴原点、旋转轴方向、旋转速度。

4.单击【√】。

图 209 多参考系设置面板

2.1.5 滑移网格

滑移网格用于将指定的网格区域设置为旋转运动的状态。若使用滑移网格，分析类型必须设置为瞬态分析。

滑移网格的设置方法如下：

1.在【分析】选项卡下点击【滑移网格】。

2.在【任务面板】中的列表内选择网格区域，并选择其相对运动的参考系，可选绝对参考系或者其他网格区域。

3.设置旋转轴原点、旋转轴方向、旋转速度。

4.单击【√】。

图 210 多参考系设置面板

2.2 边界条件

计算前需要对每个变量设置边界条件，IBECFD 边界条件根据所求解的方程可总分为流动（速度和压力）、热（温度）、湍流（湍流参数）、辐射（辐射和太阳辐射参数）、多相流（多相流各相）、组分（组分质量分数）。根据边界类型可细分为：入口、出口、

压力远场、自由出流边界、壁面、对称、交界面。

除“交界面”类型的边界外，其他类型边界的设置【边界条件】的步骤如下：

1. 在【结构树浏览器】>【分析模型】>【流体分析】>【边界条件】下，双击某个边界。

2. 在【任务面板】中，设置“类型”和“子类型”，设置各物理量的边界条件。

3.单击【√】。

2.2.1 速度入口边界条件

可用于速度已知但是压力未知的情形，是最常见的入口边界条件。

流动参数设置

速度入口边界的流动参数包括速度、流动进口类型和初始表压。速度指定方法有法相流动和速度分量两种。若选择法相流动，则需要输入速度值；若选择速度分量，则需要输入三个轴向速度分量。流动进口类型可选亚音速和超音速两种。

图 211 速度入口的流动参数设置

热参数设置

速度入口边界的热参数能够被定义的有温度。

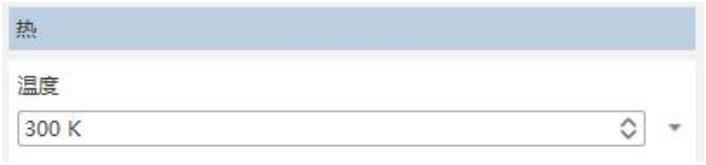


图 212 速度入口的热参数设置

湍流参数设置

速度入口边界的湍流变量根据选择不同的湍流模型而不同。关于不同湍流模型各自的湍流变量，请参考本手册湍流模型部分。

速度入口边界的流动参数需根据不同的指定方法设置（若使用 LVEL 湍流模型则无需在此设置）。目前的指定方法包括湍流强度和湍流尺度、湍流变量、湍流强度和水力直径、湍流强度和湍流粘度比。以标准 k-epsilon(2 eqn)湍流模型为例，若指定方法为湍流变量，对应的所需输入的变量为湍动能和湍流耗散率。

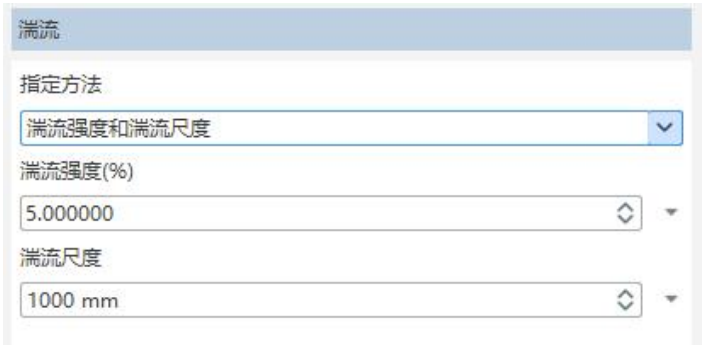


图 213 速度入口的湍流参数设置

辐射参数设置

速度入口边界的辐射参数根据选择不同的辐射模型而不同。目前的支持的辐射模型为离散坐标模型。离散坐标模型需要设置的参数有外部黑体温度类型和发射率。外部黑体温度类型可选边界温度和指定温度；若选择指定温度，则还需要输入指定温度值。

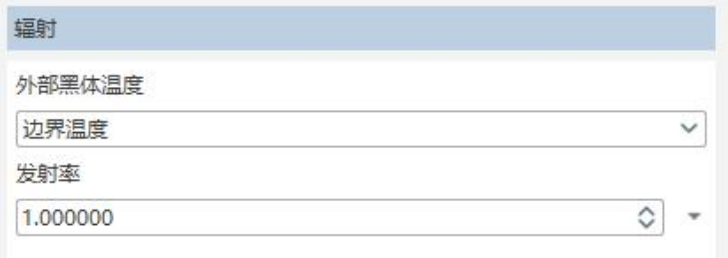


图 214 速度入口的辐射参数设置

多相流参数设置

速度入口边界的多相流参数需要在边界名称节点下的多相子节点中设置。目前使用的 VOF 模型和欧拉模型在设置上有差异。

若使用 VOF 模型，在流动分析中设置的第一相为主相，不需要设置体积分数，其余所有相都需要设置各自的体积分数。

图 215 速度入口的多相流参数设置

若使用欧拉模型，在边界名称父节点内仅可以设置一部分流动参数，包括流动进口类型和初始表压；流动参数中的速度指定方法和速度值、热参数、湍流参数、多相流参数均需要在多相子节点中设置。其中，湍流参数仅在主相中设置，其余各相均使用与主相相同的湍流参数，无需设置；多相流参数依旧在除主相外的其余相中设置。

组分参数设置

速度入口边界的组分参数需要定义的是组分质量分数。

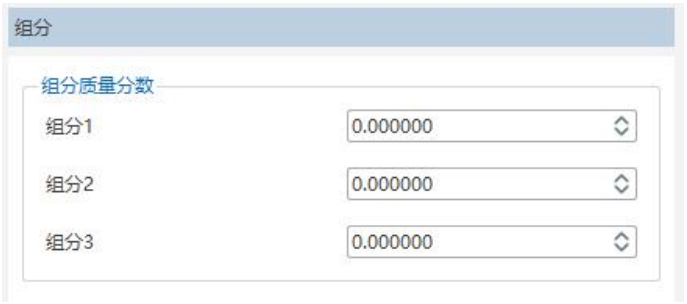


图 216 速度入口的多相流参数设置

2.2.2 压力入口边界条件

可用于压力已知但是流动速度未知的情况。

流动参数设置

压力入口边界的流动参数包括入口流量类型、总表压、初始表压、流动方向。此外还有抑制回流的选项可供勾选。入口流量类型包括亚音速和超音速；流动方向可选法线方向和方向向量两种，若选择方向向量，则需要额外输入向量值。

图 217 压力入口的流动参数设置

热参数设置

压力入口边界的热参数设置方法与速度入口边界一致。

湍流参数设置

压力入口边界的湍流参数设置方法与速度入口边界一致。

辐射参数设置

压力入口边界的辐射参数设置方法与速度入口边界一致。

多相流参数设置

压力入口边界的多相流参数设置方法与速度入口边界一致。

组分参数设置

压力入口边界的组分参数设置方法与速度入口边界一致。

2.2.3 质量入口边界条件

主要用于可压缩流动，给出进口的质量流量。对于不可压缩流动，没有必要给出该边界条件，因为密度是常数，我们可以用速度入口条件。

流动参数设置

质量入口边界的流动参数包括入口指定方法、流动方向类型、流动进口类型。质量入口指定方法有质量流量和质量通量两种，需按照选择的方法输入对应的值。流动方向可选择法线流动或手动输入方向向量。流动进口类型可选亚音速或超音速，分别需要输入初始表压或表压。

图 218 质量入口的流动参数设置

热参数设置

质量入口边界的热参数设置方法与速度入口边界一致。

湍流参数设置

质量入口边界的湍流参数设置方法与速度入口边界一致。

辐射参数设置

质量入口边界的辐射参数设置方法与速度入口边界一致。

多相流参数设置

质量入口边界的多相流参数设置方法与速度入口边界一致。

组分参数设置

质量入口边界的组分参数设置方法与速度入口边界一致。

2.2.4 压力出口边界条件

压力出口边界需要指定出口处的总压或静压。

流动参数设置

压力出口边界的流动参数包括回流压力设置类型、回流方向类型。回流压力设置类型可选总压或静压，均需输入相应的压强值。回流方向可选择法相流动或手动输入方向向量。

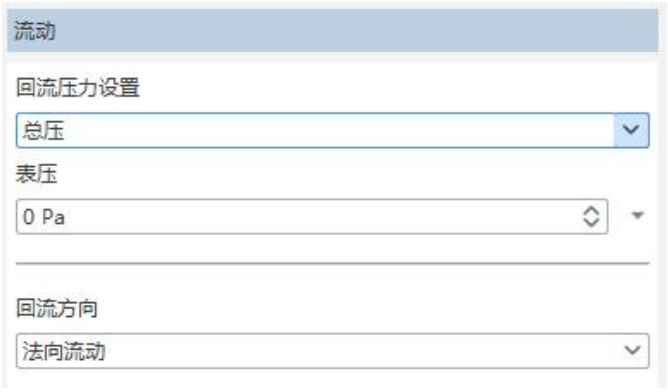


图 219 压力出口的流动参数设置

热参数设置

压力出口边界的热参数能够被定义的有回流总温度。

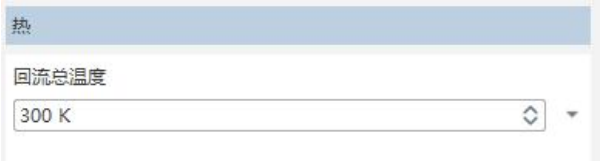


图 220 压力出口的热参数设置

湍流参数设置

压力出口边界的湍流参数设置方法与入口边界一致。

辐射参数设置

压力出口边界的辐射参数设置方法与入口边界一致。

多相流参数设置

压力出口边界的多相流参数需要在边界名称节点下的多相子节点中设置。目前使用的 VOF 模型和欧拉模型在设置上有差异。

若使用 VOF 模型，在流动分析中设置的第一相为主相，不需要设置回流体积分数，其余所有相都需要设置各自的回流体积分数。

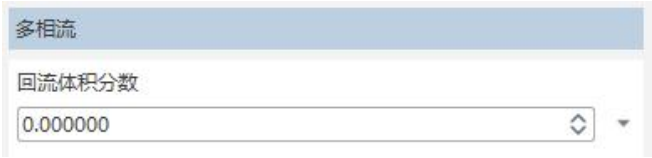


图 221 压力出口的多相流参数设置

若使用欧拉模型，在边界名称父节点内仅可以设置一部分流动参数，包括回流压力设置类型和压强值；流动参数中的速度指定方法、热参数、湍流参数、多相流参数均需要在多相子节点中设置。其中，湍流参数仅在主相中设置，其余各相均使用与主相相同的湍流参数，无需设置；多相流参数依旧在除主相外的其余相中设置。

组分参数设置

压力出口边界的组分参数设置方法与入口边界一致。

2.2.5 质量出口边界条件

质量出口一般用于将指定质量流量或质量通量的流体泵出流域。

流动参数设置

质量出口边界的流动参数包括指定方法类型和流动方向类型。质量出口边界的指定方法可选质量流量或质量通量，均需设置对应的输入值。流动方向可选法向流动或手动输入方向向量。

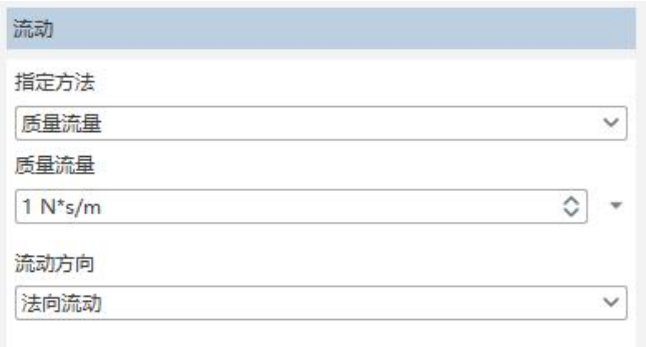


图 222 质量出口的流动参数设置

热参数设置

质量出口边界无需设置热参数。

湍流参数设置

质量出口边界无需设置湍流参数。

辐射参数设置

质量出口边界的辐射参数设置方法与入口边界一致。

多相流参数设置

质量出口边界与多相不能共同使用。若勾选多相，已有的质量出口会自动改为压力出口。

组分参数设置

质量出口边界无需设置组分参数。

2.2.6 压力远场边界条件

压力远场边界条件用于模拟无穷远处的自由流动。

流动参数设置

压力远场边界的流动参数包括表压、马赫数、流动方向类型。流动方向可选法向流动或手动输入方向向量。

图 223 压力远场的流动参数设置

热参数设置

压力远场边界的热参数能够被定义的有温度。

湍流参数设置

压力远场边界的湍流参数设置方法与入口边界一致。

辐射参数设置

压力远场边界的辐射参数设置方法与入口边界一致。

多相流参数设置

压力远场不支持多相流模型，所以当用户勾选多相流模型时，边界条件类型中将不会有压力远场类型。

组分参数设置

压力远场边界无需设置组分参数。

2.2.7 自由出流边界条件

自由出流边界一般用于出口处的速度和压强未知的情况。

流动参数设置

自由出流边界无需设置流动参数。

热参数设置

自由出流边界无需设置热参数。

湍流参数设置

自由出流边界无需设置湍流参数。

辐射参数设置

自由出流边界无需设置辐射参数。

多相流参数设置

自由出流边界无需设置多相流参数。

组分参数设置

自由出流边界无需设置组分参数。

2.2.8 壁面边界条件

流动参数设置

壁面边界的流动参数包括壁面移动类型和剪切状态。壁面移动类型可选固定壁面或移动壁面。若选择固定壁面，剪切状态可选择无滑移或滑移。若选择移动壁面，需选择移动方式为平移或旋转。选择平移则需要输入速度和方向向量；选择旋转则需要输入转速、旋转中心、旋转轴。使用移动壁面时，剪切状态锁定为无滑移。

图 224 壁面的流动参数设置

热参数设置

壁面边界的热参数包括热条件类型、壁面厚度、材料名称。热条件类型可选择温度、热通量、耦合、对流项。若选择温度或热通量，则需输入对应的参数；耦合类型是供解决流固耦合问题时选择；若选择对流项，则需要输入换热系数和来流温度。

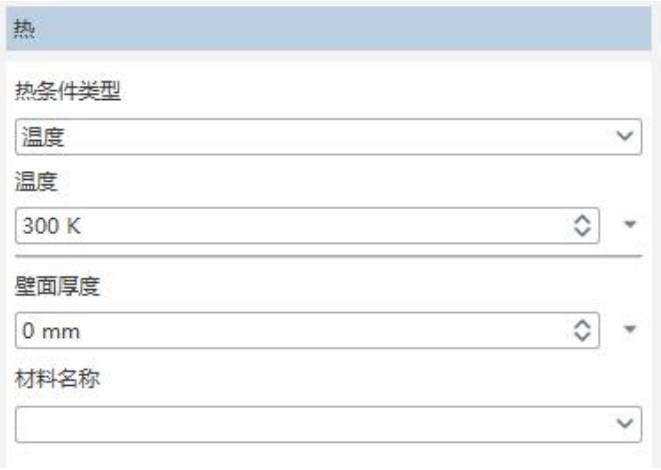


图 225 壁面的流动参数设置

湍流参数设置

壁面边界无需设置湍流参数。

辐射参数设置

壁面边界的辐射参数分为辐射和太阳辐射。目前的支持的辐射模型为离散坐标模型。离散坐标模型需要设置的参数有外部黑体温度类型和发射率，其中，外部黑体温度仅在勾选了与外太空的辐射传热时才能输入。太阳辐射需要设置的参数有太阳能吸收率、太阳能透射率、以及考虑太阳辐射的勾选框。

图 226 壁面的流动参数设置

多相流参数设置

壁面边界无需设置多相流参数。

组分参数设置

壁面边界无需设置组分参数。

2.2.9 对称边界条件

流动参数设置

对称边界无需设置流动参数。

热参数设置

对称边界无需设置热参数。

湍流参数设置

对称边界无需设置湍流参数。

辐射参数设置

对称边界无需设置辐射参数。

多相流参数设置

对称边界无需设置多相流参数。

组分参数设置

对称边界无需设置组分参数。

2.2.10 周期交界面边界条件

周期边界条件一般用于几何流场和目标流动或热力具有周期性重复特性的情况。周期边界需要指定平移或旋转。

周期交界面的设置方法如下：

1.在【分析】选项卡下单击【接触面设置】。

2.在【任务面板】中，交界面区域面 1 和面 2 的列表中，分别选择目标交界面。

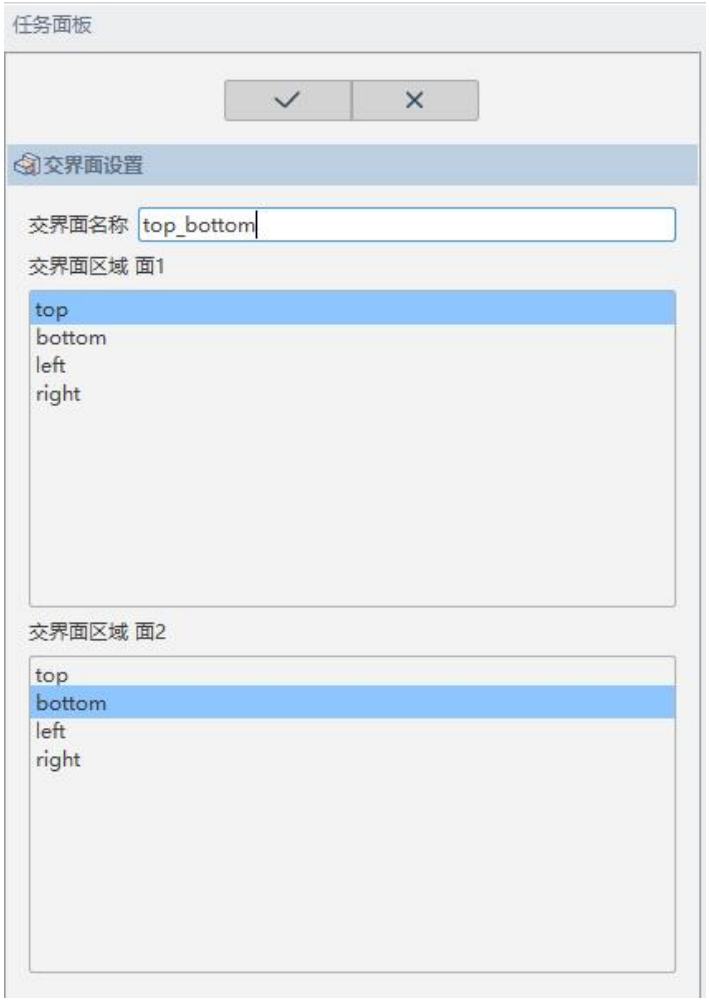


图 227 接触面设置任务面板

3.输入交界面名称，单击【√】。

4.在【结构树浏览器】中，双击定义的交界面。

5.在【任务面板】中，勾选周期性条件，可选择类型为平移或旋转。

平移周期边界

平移周期边界用于周期平面在直线性方向延伸的情况下。选择平移类型周期边界，需要输入面 1 到面 2 偏移量。

图 228 平移周期边界的设置

旋转周期边界

旋转周期边界用于延轴向平面形成部分角度的旋转对称情况下。选择旋转类型周期边界，需要输入旋转轴原点、旋转轴方向。

图 229 旋转周期边界的设置

2.2.11 内壁面交界面边界条件

内壁面交界面一般用于将求解域内部的一个面和它的影子面定义为一对壁面。

内壁面交界面的设置方法如下：

1.在【分析】选项卡下单击【接触面设置】。

2.在【任务面板】中，交界面区域面 1 和面 2 的列表中，分别选择目标交界面。

3.输入交界面名称，单击【√】。

4.在【结构树浏览器】中，在定义的交界面节点下，双击子节点面中的任意一个，子类型选择内壁面，依照壁面边界条件相同的方法设置，单击【√】。

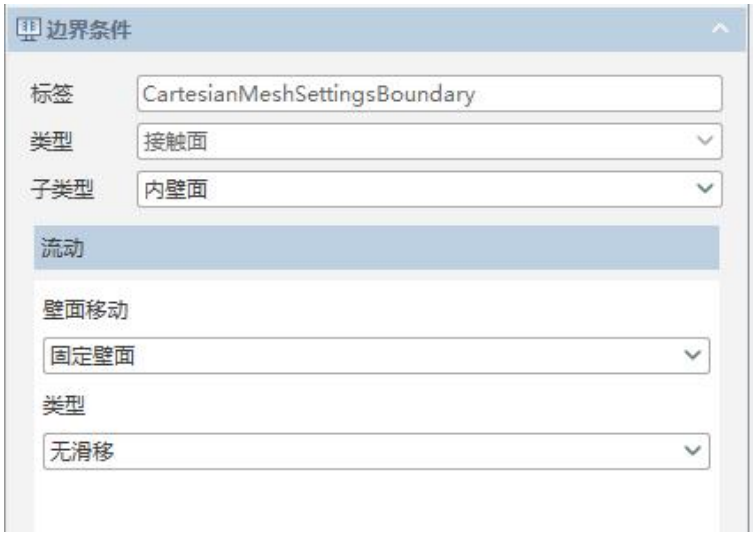


图 230 内壁面交界面的设置

5.设置完一对面中的一个后，另一个面会自动使用相同设置。

2.2.12 内部面交界面边界条件

内部面交界面一般用于将求解域内部的一个面和它的影子面定义为一对内部面，以使求解域的信息可以在两个面之间传递。例如，若使用滑移网格，则需要交界面处存在定义的一对内部面。

内部交界面的设置方法如下：

1.在【分析】选项卡下单击【接触面设置】。

2.在【任务面板】中，交界面区域面 1 和面 2 的列表中，分别选择目标交界面。

3.输入交界面名称，单击【√】。

4.在【结构树浏览器】中，在定义的交界面节点下，双击子节点面中的任意一个，子类型选择内部，单击【√】。

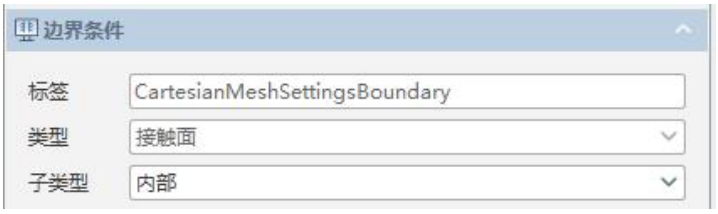


图 231 内部面交界面的设置

2.3 初始条件

初始条件为计算开始前在求解域中定义的条件。用户可通过设置初始场和局部设定对初始条件进行定义。

2.3.1 初始场

初始场在创建流动分析后自动生成，设置方法为在【结构树浏览器】中双击【初始场】进行设置。初始场【任务面板】中的参数由创建时的模型选择确定，可以分为压力、速度、温度、湍流、多相、组分六个类别。

压力和速度为一般设置下的通用初始场参数。其余初始场参数，包括温度、湍流、多相、组分的使用需先激活相应的分析模型。参数的计算方法会受到边界所在网格区域绑定的流体材料的影响。

初始场可选择自动生成。

图 232 自动设置初始场

初始场还可根据边界条件生成。

若想采用根据边界生成，需在初始值下拉框中选择标准，在边界条件下拉框中选择目标边界，点击下方用户自定义按钮。

图 233 根据边界生成初始场

开启多相流分析后，需分别设置各相的初始场，体积分数需在除主相的其余各相中设置。湍流参数仅需在主相中设置。

图 234 多相流初始场设置

开启组分分析后，需在初始场【任务面板】中点击下方【质量分数】按钮，对个组分的质量分数进行设置。

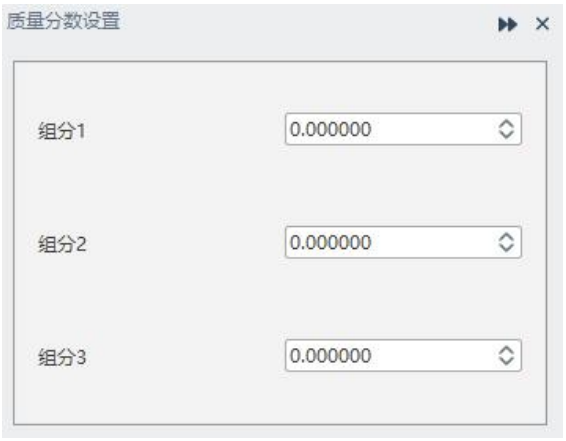


图 235 质量分数初始场设置

2.3.2 局部设定

局部设定用于设定局部网格上的初值条件。

设置【局部设定】的步骤如下：

1. 单击【分析】选项卡下单击【局部设定】。

2. 在【任务面板】中，在网格区域列表中选择网格区域，或在网格标记区域列表中选择网格标记区域，设置局部区域的变量类型和数值。

3.单击【√】。

图 236 局部设定设置面板

2.4 求解器参数设置

求解器参数设置用于在选定了分析模型之后，设置进行计算的方法。

2.4.1 求解器类型

求解器类型分为压力基求解器和密度基求解器，可在【分析设置】的【任务面板】中进行求解器类型选择。

目前版本在使用密度基时，需要注意以下问题：

1.密度基开启时，不支持源项。

2.密度基开启时，材料必须是理想气体

3.密度基不支持辐射、太阳辐射、多相流、组分分析。

2.4.2 时间

时间类型包括稳态分析和瞬态分析，可在【分析设置】的【任务面板】中进行时间类型选择。

2.4.3 环境压力

环境压力又名参考压力，可在【分析设置】的【任务面板】中进行数值设置。也可输入高度参考数值对环境压力进行设置。

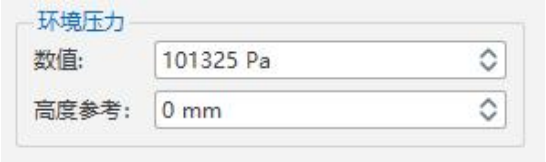


图 237 环境压力设置

2.4.4 方程耦合

方程耦合用于设置压力和速度的求解方式，需在【结构树浏览器】中，双击【方程耦合】进行设置。根据选择的分析模型和求解器类型不同，方程耦合可选择的方法有差异。

使用压力基时，压力和速度耦合方式可选耦合和分离式。开启能量方程分析后，会有能量耦合的勾选框可供勾选。

图 238 初始场设置面板

使用密度基时，会默认开启能量方程，此时【方程耦合】的【任务面板】中会默认使用耦合并勾选能量耦合，且无法被修改。

2.4.5 松弛因子

松弛因子用于设置求解进行过程中的各参数的松弛系数，需在【结构树浏览器】中，双击【松弛因子】进行设置。

在使用压力基的情况下，通用的可设置松弛因子的参数包括密度、压力、速度。此外，能量方程、湍流参数、多相流参数、组分参数的松弛因子，需开启各自的分析模型后才能被设置。

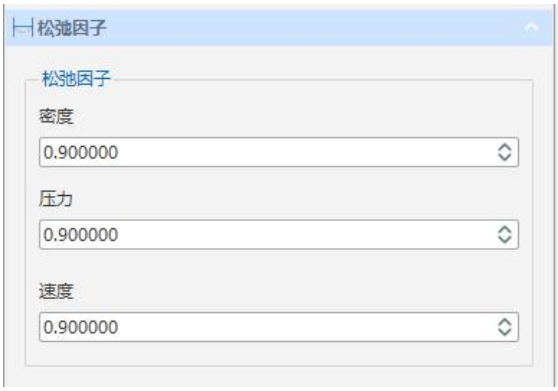


图 239 初始场设置面板

在使用密度基的情况下，目前仅可以设置密度的松弛因子。

2.4.6 离散方法

离散方法按方程中项的特征，分为梯度项、对流项、时间项的离散。

梯度

梯度用于选择变量在网格中的梯度计算方法，需在【结构树浏览器】中，双击【梯度】进行设置。目前只的梯度方法有高斯和最小二乘法。同时还可选择面法向梯度为正交或是畸形度修正。

图 240 梯度设置面板

对流项

对流项用于设置求解变量的对流格式，需在【结构树浏览器】中，双击【对流项】进行设置。

在使用压力基时，通用的可设置对流项的参数有压力和速度。此外，能量方程、湍流参数、多相流参数、组分参数的对流项，需开启各自的分析模型后才能被设置。目前支持的对流格式包括一阶迎风、二阶迎风、Van leer、Minmod、Muscl、QUICK、线性、比热比、Osher、Van Albada、Super Bee。可勾选偏度矫正，开启后可选是否采用隐式算法。

图 241 压力基情况下对流项设置面板

使用密度基时，可选择通量类型为 RoeTurkel 或 HLLCTurkel；重构变量下拉框中可选基本量或守恒量。通用的可设置对流项的参数有流动，支持的对流格式包括一阶迎风、Van leer、Minmod、MUSCL、比热比、Osher、Van Albada、Super Bee。此外，开启湍流模型后会提供湍流的对流格式选择，包括一阶迎风、二阶迎风、Van leer、Minmod、MUSCL、QUICK、线性、Gamma、Osher、Van Albada、Super Bee。

图 242 密度基情况下对流项设置面板

时间项

时间项用于设置求解时是否加入虚拟时间步，需在【结构树浏览器】中，双击【时间项】进行设置。

在【任务面板】中的默认设置下，勾选虚拟时间步，即可为所有求解变量使用虚拟时间步，可自定义的参数包括最大库朗特数、最大时间步长、松弛步数、松弛开始步数。若想仅对部分变量使用虚拟时间步，可在详细设置下添加变量进行设置。

图 243 密度基情况下时间项设置面板

2.4.7 线性求解器

线性求解器用于选择求解矩阵方程使用的矩阵运算方法，需在【结构树浏览器】中，双击【线性求解器】进行设置。

在使用压力基时，求解器可使用 CG 或 BiCGStab；求解器设置中，预处理器可选 AMG 或 BlockJacobi，可自定义的参数包括最大迭代数、容差、相对容差。

压力基情况下，通用的变量类型有压力和速度；其余变量类型还有能量方程、湍流、组分，只能在开启对应的分析模型后才能设置。另外，若在【方程耦合】中选择了耦合，则压力和速度将会绑定使用同一求解器类型和设置；若开启了能量耦合，则压力，速度和能量将会绑定。

图 244 压力基下线性求解器设置面板

在密度基情况下，通用变量类型只有流动，可使用的求解器类型有 GMRES 和 BiCGStab，预处理器只可用 BlockJacobi。在开启湍流分析后可设置湍流的求解器类型，只可使用 BiCGStab，预处理器可用 AMG 或 BlockJacobi。

图 245 密度基下线性求解器设置面板

2.5 监测

监测模块可提供求解域内的变量信息，包括监测点、面统计、体统计、通量、力。

2.5.1 监测点

监测点用于监测计算域内某一位置的物理量的变化规律，可同时添加多个监测点。

设置【监测点】的步骤如下：

1. 单击【分析】选项卡 >单击【监测点】。

2. 在【任务面板】中，在变量下拉框中选择目标变量，设置监测点位置坐标。

3.单击【√】。

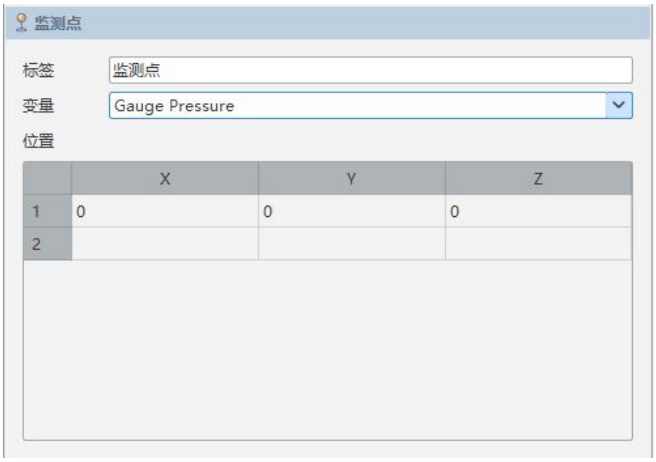


图 246 监测点设置面板

2.5.2 面统计

面统计用于统计各边界上的物理量变化，可统计的类型有最大值、最小值、平均值、面积加权平均、质量加权平均。

设置【面统计】的步骤如下：

1. 单击【分析】选项卡>单击【面统计】。

2. 在【任务面板】中，设置统计类型，设置目标变量，在边界列表中选择要统计的边界，可勾选是否将结果打印在报告浏览器。

3.单击【√】。

图 247 面统计设置面板

2.5.3 体统计

体统计用于统计各网格区域中的物理量变化，可统计的类型有最大值、最小值、平均值、体积加权平均、质量加权平均。

设置【体统计】的步骤如下：

1. 单击【分析】选项卡>单击【体统计】。

2. 在【任务面板】中，设置统计类型，设置目标变量，在网格区域列表中选择要统计的网格区域，可勾选是否将结果打印在报告浏览器。

3.单击【√】。

图 248 体统计设置面板

2.5.4 通量

通量用于监测边界处的通量变化，可监测的通量有质量流量和总热流密度。

设置【通量】的步骤如下：

1. 单击【分析】选项卡>单击【通量】。

2. 在【任务面板】中，设置通量类型选项，在边界列表中选择要统计的边界，可勾选是否将结果打印在报告浏览器。

3.单击【√】。

图 249 通量设置面板

2.5.5 力

力用于监测壁面边界的作用力，可检测的类型有力和力矩。

设置【力】的步骤如下：

1. 单击【分析】选项卡>单击【力】。

2. 在【任务面板】中，设置力类型选项。若类型为力，则需设置力的方向；若类型为力矩，则需设置力矩中心和力矩方向。

3. 在壁面边界列表中，选择目标边界，可勾选是否将结果打印在报告浏览器。

4. 单击【√】。

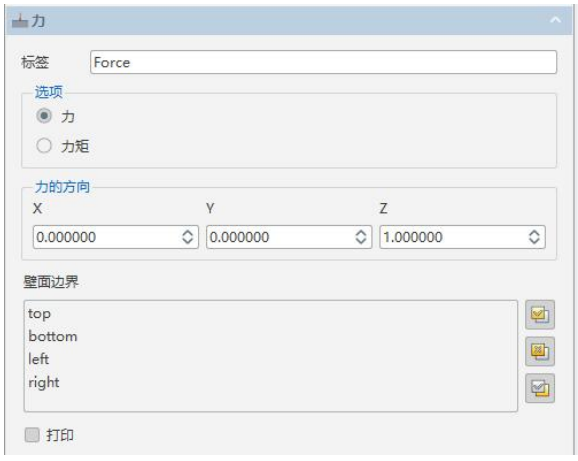


图 250 力设置面板

2.6 计算控制

计算控制用于设置迭代控制、输出控制、串并行运行设置，瞬态计算时还包括时间设置。

设置【计算控制】的步骤如下：

1. 单击【结构树浏览器】>双击【计算控制】。

2. 在【任务面板】中，进行迭代设置、输出控制以及串并行运行设置。

3.单击【√】。

图 251 稳态计算控制任务面板

当进行瞬态计算时，还需在时间设置内设置步长和终止时间，在迭代控制内可设置最大内迭代数。

图 252 瞬态计算控制任务面板

2.7 收敛条件

收敛条件用于设置求解器判断计算收敛的条件，包括残差控制和检测器控制两种方式，当用户勾选的条件都满足时，求解器将认为计算达到收敛。

在残差控制方式中，用户可设置求解变量的绝对残差收敛标准；若勾选了缩放因子，则可设置缩放类型为全局或当地，收敛方式为绝对残差；若勾选了归一化，则可设置归一化时使用的初始迭代步数、求解变量的相对残差收敛标准，此时收敛方式也可选择绝对残差、相对残差、绝对残差或相对残差。

在检测器的控制方式中，用户可勾选已经定义好的监测目标，包括监测点、面统计、体统计、通量、力，作为求解器的收敛判断条件。可设置停止标准和迭代步数，当监测目标值达到停止标准，且计算已经达到了相应的迭代步数，求解器认为该收敛条件达到满足。

设置【收敛条件】的步骤如下：

1. 单击【结构树浏览器】>双击【收敛条件】。

2. 在【任务面板】中，设置残差控制，检测器中的各个收敛条件。

3.单击【√】。

图 253 收敛条件设置面板

2.8 计算

设置【计算】的步骤如下：

在【分析】面板>单击【计算】开始计算。

（六） 热分析

热分析是计算固体的温度场分布，一般用于计算各种加热部件的热效率、评价保温设备的保温性能、确定温度是否超标等。

Simdroid 的热分析有以下分析类型：

- 稳态热分析
- 瞬态热分析

稳态热分析主要用于分析系统最终的稳定状态而不考虑中间过程。瞬态热分析则可以考虑系统随时间的变化,适用于时变系统全过程热分析仿真模拟。用户可以根据需求,选择合适的热分析类型。

1. 热分析的分析类型

1.1 稳态热分析

稳态热分析用于计算热平衡状态下的温度场。

创建稳态热分析的步骤:

1. 新建一个分析模型,“分析类型”选择“热分析”。

2. 创建或导入几何(参见几何建模功能)。

3. 创建热材料(参见材料功能),创建网格(参见网格功能)。

4. 单击【分析】选项卡,【创建部件】给模型设置单元算法、材料等属性。当有膜单元和杆单元时,需要选择对应截面,指定膜单元及杆单元的截面。

5. 在【分析】选项卡,使用【接触】、【腔体辐射】等命令设置分析模型各部件的关系。

6. 在【分析】选项卡,使用【初始温度】为模型添加初始条件约束。

7. 单击【创建分析】,在任务面板“分析步类型”选择“稳态分析”,单击【添加】或者双击所选的分析类型,然后单击【√】。

8. 在【结构树浏览器】>【热分析】项下,双击【step-1:稳态分析】。

9. 在【任务】面板,输入“标签”名称,输入各项控制参数,单击【√】。

10. 在【分析】选项卡下使用荷载命令为模型添加边界条件和荷载。

11. 在【分析】选项卡>单击【计算】。

稳态分析步参数说明：

图 254 稳态分析参数设置面板

【标签】：当前分析步名称，可更改。

【链接至上一步】：继承上一分析步的计算结果，不可更改。当前分析步的计算是在上一分析步的结果基础上进行的。

【子步周期】：当前子步的时间周期。对于稳态分析而言，时间为虚拟时间，此处子步周期仅影响非线性计算时间增量步长的控制。

【迭代控制】：设置迭代计算的控制参数，分为“自动”和“手动”两种。当为自动时，程序自动根据每一步迭代的收敛情况，确定时间增量，进行计算。当为手动时，用户需要手动输入相关控制参数。

【初始时间增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时第一步的时间增量值。当非线性行为剧烈时，减小此数值。

【最小时间增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时，允许的最小时间增量。如果小于此时间增量时，迭代仍然不收敛，则停止计算。当非线性行为剧烈时，减小此数值。

【最大时间增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时，允许的最大时间增量。

【最大增量数】：迭代控制为自动时，输入此参数。迭代计算时，允许的最大增量次数。当超出此数时，迭代计算仍然不收敛，则停止计算。

【输出间隔】：控制输出结果的增量间隔，通过此参数可以调控结果文件的大小。

【增量数】：迭代控制为手动时，输入此参数。此数即为固定的迭代增量次数。当前子步的计算必须为此增量数。

【最大迭代次数】：每一个增量步内平衡迭代的最大迭代次数。

【非线性】：是否考虑非线性影响。

【温度收敛比值】：迭代计算过程中，温度收敛的判定值。当一次迭代计算得到的温度修正量除以一个增量步内总温度增量小于此值时，即认为收敛。

1.2 瞬态热分析

瞬态热分析用于计算随时间变化的温度场。

创建瞬态热分析的步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析类型”选择“热分析”。

2. 创建或导入几何（参见几何建模功能）。

3. 创建热材料（参见材料功能），创建网格（参见网格功能）。

4. 单击【分析】选项卡，【创建部件】给模型设置单元算法、材料等属性。当有膜单元和杆单元时，需要选择对应截面，指定膜单元及杆单元的截面。

5. 在【分析】选项卡，使用【接触】、【腔体辐射】等命令设置分析模型各部件的关系。

6. 在【分析】选项卡，使用【初始温度】为模型添加初始条件约束。

7. 单击【创建分析】，在任务面板“分析步类型”选择“稳态分析”，单击【添加】或者双击所选的分析类型，然后单击【√】。

8. 在【结构树浏览器】>【热分析】项下，双击【step-1：瞬态分析】。

9. 在【任务】面板，输入“标签”名称，输入各项控制参数，单击【√】。

10. 在【分析】选项卡下使用荷载命令为模型添加边界条件和荷载。

11. 在【分析】选项卡>单击【计算】。

瞬态分析步参数说明：

图 255 瞬态分析参数设置面板

【标签】：当前分析步名称，可更改。

【链接至上一步】：继承上一分析步的计算结果，不可更改。当前分析步的计算是在上一分析步的结果基础上进行的。

【子步周期】：当前子步的时间周期。对于瞬态分析而言，时间为真实时间。

【迭代控制】：设置迭代计算的控制参数，分为“自动”和“手动”两种。当为自动时，程序自动根据每一步迭代的收敛情况，确定时间增量，进行计算。当为手动时，用户需要手动输入相关控制参数。

【初始时间增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时第一步的时间增量值。

【最小时间增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时，允许的最小

时间增量。如果小于此时间增量时，迭代仍然不收敛，则停止计算。当非线性行为剧烈时，减小此数值。

【最大时间增量】：迭代控制为自动时，输入此参数。为迭代计算时，允许的最大时间增量。

【最大增量数】：迭代控制为自动时，输入此参数。迭代计算时，允许的最大增量次数。当超出此数时，停止计算。

【输出间隔】：控制输出结果的增量间隔，通过此参数可以调控结果文件的大小。

【增量数】：迭代控制为手动时，输入此参数。此数即为固定的迭代增量次数。当前子步的计算必须为此增量数。

【最大迭代次数】：每一个增量步内平衡迭代的最大迭代次数。

【非线性】：是否考虑非线性影响。

【温度收敛比值】：迭代计算过程中，温度收敛的判定值。当一次迭代计算得到的温度修正量除以一个增量步内总温度增量小于此值时，即认为收敛。

2. 热分析菜单栏各项功能

2.1 创建部件

创建部件功能用于给模型赋予“单元算法”、“材料”、“截面”等属性。

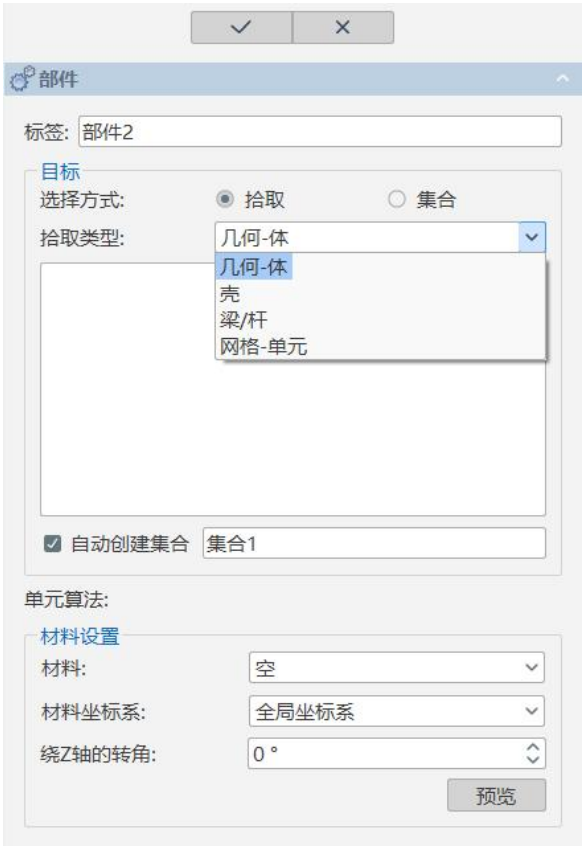


图 256 创建部件设置面板

设置【创建部件】的操作步骤：

1. 单击【分析】选项卡>【创建部件】。

2. 在【任务】面板>选择不同的“拾取类型”。在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 如果选择的目标对象已经完成了网格剖分，则根据网格剖分类型自动过滤出“单元算法”。

4. 在“材料设置”部分选择创建好的材料，默认“材料坐标系”为“全局坐标系”，“绕 Z 轴的转角”为 0°，如果不涉及各向异性材料可以保持默认值即可。

5. 如果拾取的目标对象为“壳”和“梁/杆”时，需要在“截面设置”>“选择截面”

下拉菜单处，选择已创建的截面。

6. 单击【√】完成创建部件操作。

注意：膜截面只能赋给“面”对象；杆截面只能赋给“线”对象。

2.2 接触

接触用于设置两个相邻目标对象之间的热接触连接关系，适用于模拟两个存在接触关系的独立对象之间的传热情况。

图 257 热接触设置面板

支持的特征：

主边界：支持的特征为“几何-表面”与“网格-表面”。

从边界：支持的离散方法包括“点面接触”和“面面接触”。“点面接触”时支持的特征为“几何-点”、“几何-线”、“几何-面”与“网格-点”，“面面接触”时支

持的特征为“几何-表面”与“网格-表面”。

接触容差用以设定接触距离阈值，接触导热系数可定义为常值或随距离变化的函数。

热接触设置的操作步骤为：

1. 在【分析】选项卡>单击【接触】。

2. 在【任务】面板，选择“离散方法”。

3. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，设置为“目标-主边界”。

4. 在【任务】面板，单击“目标-从边界”下的空白区域激活从边界的选择。

5. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象，设置为“目标-从边界”。

6. 设置“接触选项”的各项参数。

7. 单击【√】完成接触设置。

选项说明：

【接触容差】：为热接触判定时所依据的距离阈值，可选择【默认】容差也可选择【常值】并输入自定义容差数值。

【接触导热系数类型】：定义热接触导热系数。可选择“常值”并在“数值”框输入自定义数值，也可选择“函数”，此时需要定义距离变化函数，该导热系数随距离变化函数需要在【预定义】模块通过【自定义函数】或【分段线性函数】进行预先定义。

2.3 腔体辐射

腔体辐射用于设置封闭或不封闭腔体内的辐射关系。

图 258 腔体辐射设置面板

腔体辐射设置的操作步骤为：

1. 在【分析】选项卡>单击【腔体辐射】。

2. 在【任务】面板，选择“求解方法”等一系列参数设置。

3. 选择“对称平面”（针对对称和轴对称模型）。

4. 单击【√】完成腔体辐射设置。

选项说明：

【求解方法】：支持三种辐射求解方法，包括消去法、半隐式迭代法和显式迭代法。其中消去法为完全耦合求解，求解最精确且收敛最快，但单步求解耗时最长。显式迭代法单步求解最快，但对于一些不定的问题可能不收敛。半隐式迭代法介于两者之间，并可以求解不定问题。

【视因子方法】：包括半立方投影法、射线追踪法和周线积分法。其中半立方投影法和射线追踪法可以求解存在辐射遮挡的情况。由于采用了近似计算方法，对于两个大表面间的辐射角系数的计算存在一定误差。显式迭代法可以精确计算出任何表面间的辐

射角系数，但不能考虑辐射遮挡。

【闭合腔体】：当腔体为闭合腔体时，每个表面的所有方向均可以“看见”其他表面，辐射角系数矩阵按行求和应为 1.0；当为非闭合腔体时，会发生部分对环境的辐射，此时用户需要输入辐射的环境温度。

2.4 腔体子表面

腔体子表面用于设置封闭或不封闭腔体内的辐射表面。

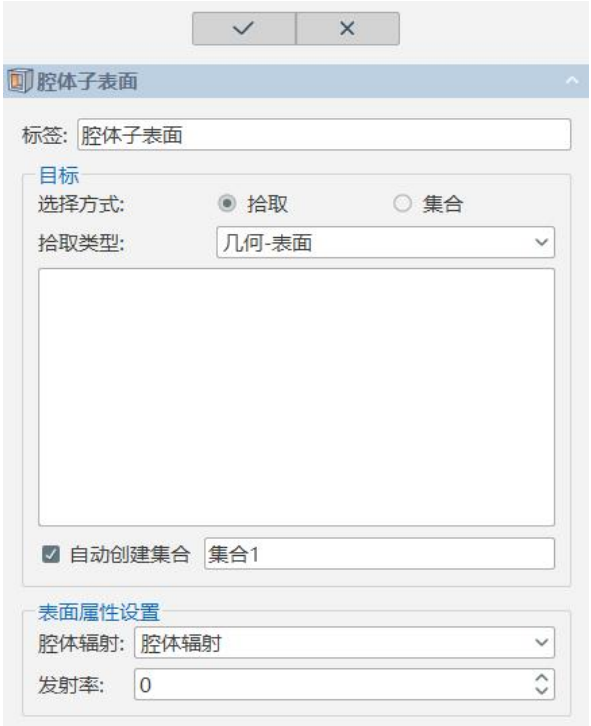


图 259 腔体子表面设置面板

腔体子表面设置的操作步骤为：

1. 在【分析】选项卡>单击【腔体子表面】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 在【任务】面板，选择模型树上挂载的“腔体辐射”节点，并输入所选面的“发

射率”。

4. 单击【√】完成腔体子表面设置。

说明：

需要先设置了【腔体辐射】，上方工具栏才会出现【腔体子表面】。

2.5 物理常数

物理常数包括绝对零度与玻尔兹曼常数。

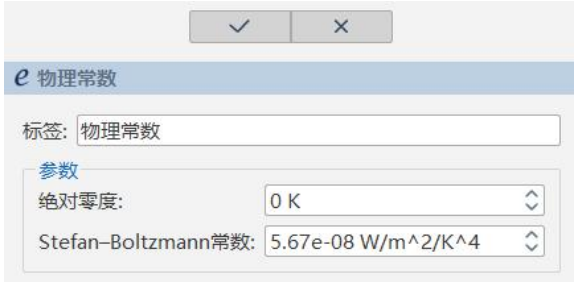


图 260 物理常数设置面板

操作步骤为：

1. 在【分析】选项卡>单击【物理常数】。

2. 在【任务】面板，输入“绝对零度”和“Stefan-Boltzmann 常数”。

3. 单击【√】完成物理常数的设置。

注意：当用户不设置物理常数时，软件将按默认值输出“绝对零度”和“Stefan-Boltzmann 常数”至控制文件。

2.6 初始温度

初始温度为模型确定初始时刻的温度状态。

支持的特征：

支持的特征为“几何-体”、“杆”、“膜”和“网格-点”。

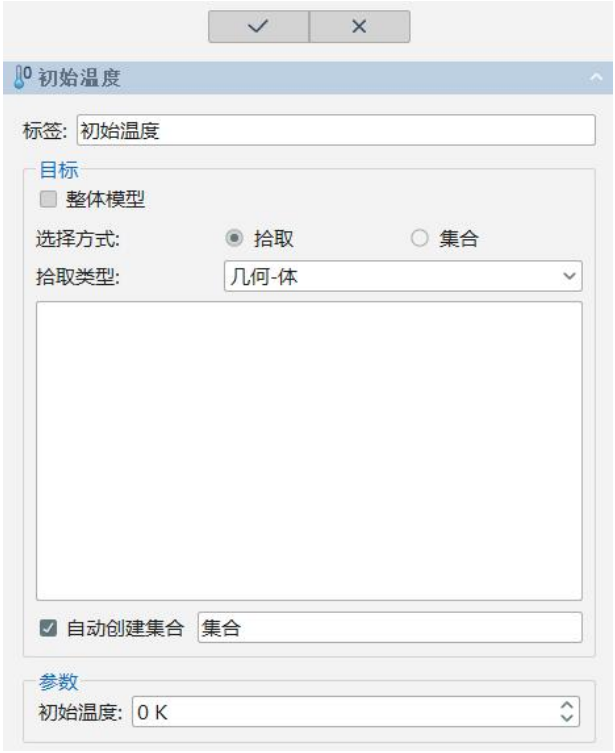


图 261 初始温度设置面板

操作步骤为：

1. 在【分析】选项卡>单击【初始温度】。

2. 在【任务】面板根据使用需要勾选“整体模型”选项。

3. 当不勾选“整体模型”选项时，在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

4. 在“荷载设置”框输入初始温度值。

5. 单击【√】完成初始温度设置。

选项说明：

【整体模型】：勾选该选项后即在该工程中所有网格点上都施加了相同的初始温度，不用再进行目标对象的选择。

2.7 温度

温度为热分析模型指定温度边界。

支持的特征：

支持的特征为“几何-点”、“几何-线”、“几何-面”、“几何-体”及“网格-点”。

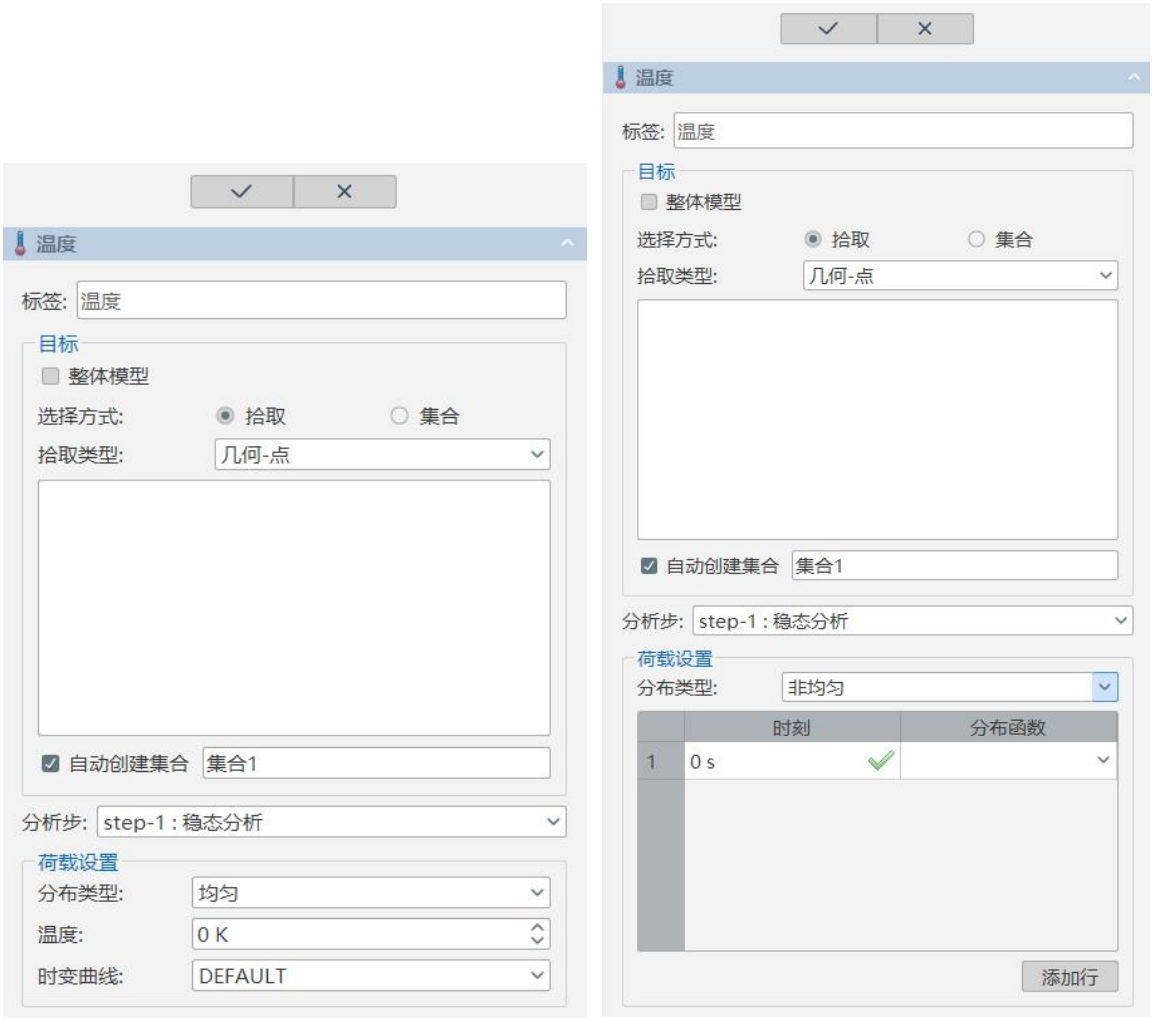


图 262 温度设置面板

温度设置的操作步骤为：

1. 在【分析】选项卡>单击【温度】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 在【任务】面板，设置“分析步”，输入“荷载设置”参数。

4. 单击【√】完成温度的设置。

选项说明：

【分布类型】：包括“均匀”和“非均匀”选项。当选择“非均匀”时，用户可以输入不同时刻的分布函数。

【时变曲线】：当“分布类型”为“均匀”时存在，为温度随时间的变化曲线。对于稳态分析无影响，对于瞬态热分析，“DEFAULT”为默认曲线即温度随时间保持恒定，如已在【预定义】部分定义函数，则在此处可以选择用户所定义函数作为时变曲线。

2.8 对流

对流为热分析模型指定的对流边界。

支持的特征：

支持的特征为“几何-表面”和“网格-表面”。

图 263 对流设置面板

操作步骤为：

1. 在【分析】选项卡>单击【对流】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 在【任务】面板，设置“分析步”，输入“荷载设置”参数。

4. 单击【√】完成对流设置。

选项说明：

【分布类型】：包括“均匀”和“非均匀”选项。当选择“非均匀”时，用户可以输入不同时刻的分布函数。

【对流换热系数】：为对流边界的换热系数。

【温变曲线】：为对流换热系数随固体表面温度的变化曲线。

【冷源温度】：为对流边界的外部环境温度。

【时变曲线】：为瞬态分析环境温度随时间的变化曲线。

2.9 辐射

辐射为热分析模型指定的辐射边界。

支持的特征：

支持的特征为“几何-表面”和“网格-表面”。

图 264 辐射设置面板

操作步骤为：

1. 在【分析】选项卡>单击【辐射】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 在【任务】面板，设置“分析步”，输入“荷载设置”参数。

4. 单击【√】完成辐射设置。

选项说明：

【考虑余弦效应】：如果勾选该选项，则支持模拟点热源辐射的情况；如果不勾选该选项，则支持环境辐射。

【发射率】:为物体在某一温度时的辐射能量与同温度下黑体的相应辐射量的比值。

【辐射环境温度】：为辐射边界的外部环境温度。

【时变曲线】：为瞬态分析环境温度随时间的变化曲线。

2.10 热生成率

热生成率为热分析模型指定发热的功率密度。

支持的特征为“几何-体”和“网格-单元”。

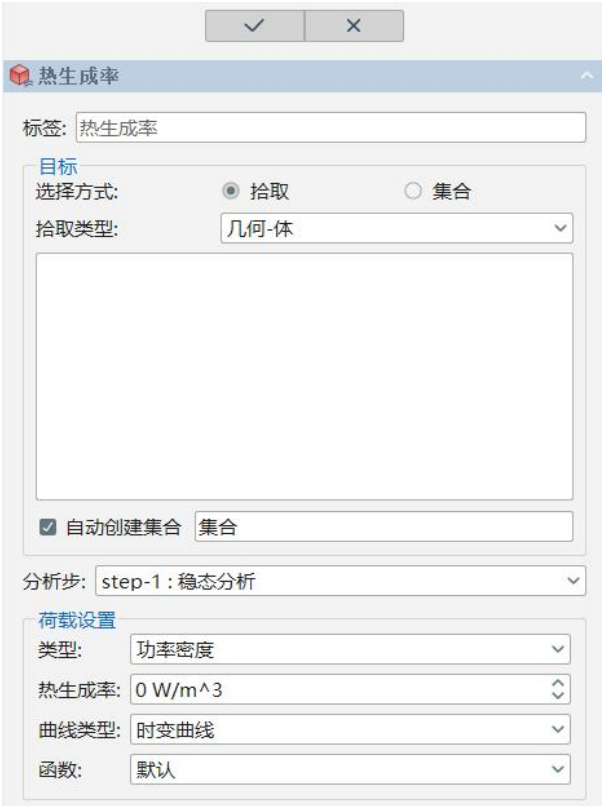


图 265 热生成率设置面板

操作步骤为：

1. 在【分析】选项卡>单击【热生成率】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 在【任务】面板，选择“类型”，确定热生成率的曲线类型与对应函数。

4. 单击【√】完成热生成率的设置。

选项说明：

【类型】：为指定目标的发热功率，有两种输入形式：功率密度（单位为 W/m^3）和总功率（单位为 W）。

【曲线类型】：“时变曲线”表示热生成率随时间变化，“温变曲线”表示热生成率随温度变化，所对应的函数由下方的【函数】部分确定。

【函数】：“默认”表示热生成率保持恒定，不随温度或时间变化。可以选择用户定义函数表征时变曲线或温变曲线。

2.11 热流密度

热流密度为热分析模型指定流入或流出的热流功率密度。

支持的特征为“几何-表面”和“网格-表面”。

图 266 热流密度设置面板

操作步骤为：

1. 在【分析】选项卡>单击【热流密度】。

2. 在视图交互区域，单击选择目标对象，或者修改“选择方式”为“集合”，单击右下角的“集合”按钮，选择设置好的集合对象。

3. 在【任务】面板，进行荷载设置。

4. 单击【√】完成热流密度的设置。

选项说明：

【热流密度】：设置流入指定几何目标的功率密度，有两种输入形式：热流密度（单位为 W/m^2）和总热通量（单位为 W）。

【时变曲线】：为瞬态分析热流密度随时间的变化曲线。

（七） 多体动力学分析

1. 简介

多体动力学分析（Multibody Dynamics Analysis）用于研究多个物体按照确定方式连接组成系统的运动规律及其受力环境，可对位移、速度、加速度、力等进行求解计算，为系统中构件的强度、疲劳和可靠性设计提供受力特性预测。

机械系统各部件之间的连接物称为铰或运动副，不同形式的运动副允许所连接的构件作不同的相对运动，如滑移、定轴转动、定点转动、纯滚动、又滚又滑等。对于许多复杂的机械系统，若变形对物体质心位置、转动惯量的影响可以忽略，或系统转动速度不高，以至于物体的弹性运动对物体运动的惯性力可以忽略，则可将其视为多刚体系统，如飞机起落架、汽车悬架、机械臂、机器人等，将多体系统中的构件视为刚体，可以较大程度上简化分析和求解过程。

Simdroid 多体分析模块基于绝对坐标方法，实现了 Newmark、HHT-I3、Euler 和 Runge-Kutta 等积分器，能够对任意拓扑构型的空间多刚体系统进行动力学分析、运动学分析、静平衡分析，可与控制系统进行联合仿真，支持光滑和非光滑接触分析，支持几何实体、约束副、驱动和力元等多体要素的鼠标交互创建，方式灵活，具备仿真结果的实时显示和强大的后处理功能。

在 Simdroid 平台中创建多刚体系统动力学分析（运动学分析、静平衡分析）模型的步骤如下：

1. 新建一个分析模型， 【分析类型】选择“多体动力学分析”；

2. 创建或导入几何（详见几何建模功能），并将几何添加到刚体中成为实体，或在【分析】中直接创建连杆、立方体、圆柱等基本几何外形实体；

3. 【分析】中搭建运动副、驱动、外力、柔性连接、接触等元素；

4.【分析】-【求解设置】中，设置仿真时间（默认“5s”）和仿真步长（默认“0.01s”），分析类型包含“通用分析”、“动力学分析”、“运动学分析”、“静平衡分析”四种，并在求解器设置中选择相应积分方法（默认“HHTI3”）和求解方法（默认“PARDISO”）；

5. 在【分析】选项卡>单击【计算】。

【求解设置】参数说明：

图 267 求解设置面板

【仿真控制】“结束时间”用于指定仿真过程持续时间，即仿真时长,默认为 5s；“步长”指每个步长的初始大小，默认为 0.01s；“步数”指仿真时长内的仿真步数，默认为 50 步。实际仿真过程中，需依据多体模型特点，适当增减“步长”或“步数”；

【分析类型】中，“通用分析”为计算默认项，由程序判断分析类型并计算；“动力学分析”为载荷驱动下的仿真和计算；“运动学分析”为位移或速度驱动下的仿真和计算；“静力学分析”为外力作用下多体机构平衡状态计算；

【预分析控制】仿真前先对模型进行预分析，例如对于有预载或不平衡的多体系统

进行静平衡分析，再将预分析后的模型作为仿真的起始状态；

【显示仿真动画】设置是否显示实时仿真动画；

【显示图标】设置是否在实时仿真动画中显示图标；

【求解器设置】积分方法包括“HHTI3”和“Implicit”，默认采用“HHTI3”；求解方法包括“PARDISO”、“MUMPS”和“MKSPGBB”。

2. 多体动力学分析功能区各项功能

2.1 参考点

参考点功能用于创建参考点。

图 268 参考点创建设置面板

创建【参考点】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【参考点】；

2. 选择【附属于】选项，默认选择“地面”；

3. 选择【方向】选项，默认选择为“全局坐标系 XY 平面”；

4. 在视图交互区域单击选择任意位置，完成创建。

选项说明：

【附属于】：有“地面”、“构件”两种。“地面”为创建的参考点附属于地面。“构件”为创建的参考点附属于选择的已有构件。

【方向】：有“全局坐标系 XY 平面”、“全局坐标系 XZ 平面”、“局坐标系 YZ 平面”、“当前视图”、“X 轴，Y 轴”、“X 轴，Z 轴”、“Y 轴，X 轴”、“Y 轴，Z 轴”、“Z 轴，X 轴”、“Z 轴，Y 轴”、“X 轴”、“Y 轴”、“Z 轴”共十三种。

其中，“全局坐标系 XY 平面”表示参考点的姿态为全局坐标系 XY 平面的姿态，“全局坐标系 XZ 平面”、“全局坐标系 YZ 平面”等表示方式同上。

“当前视图”表示参考点的姿态为当前视图的栅格平面所在全局坐标系的方向。

“X 轴，Y 轴”表示视图交互区域自定义选择参考点 X 轴与 Y 轴的方向，其操作方式为：在视图区点选三个点，参考点原点位置由第一个点确定，X 轴由第一、第二点连线方向 **e1** 去定义， 第一、第三点连线方向 **e2**，由 **e1**×**e2** 得到三个点所在平面的法向 **e3** 即为参考点的 Z 轴方向，进一步叉乘 **e3**×**e1** 得到 **e2'**，即为参考点 Y 轴方向。

“X 轴，Z 轴”、“Y 轴，X 轴”、“Y 轴，Z 轴”、“Z 轴，X 轴”、“Z 轴，Y 轴”、“Z 轴，Y 轴”等定义方式同上。

“X 轴”表示视图交互区域自定义选择参考点 X 轴的方向，其定义为：在视图区点选两个点，参考点原点位置由第一个点确定，X 轴由第一、第二点连线方向 **e1** 去定义，记过参考点且垂直于 **e1** 的平面为 W，过参考点且与全局坐标系 XOZ 平面平行的面为 Q，则 W 与 Q 的交线即为参考点 Z 轴方向，Y 轴根据右手定则确定。

“Y 轴”表示视图交互区域自定义选择参考点 Y 轴的方向，其定义为：在视图区点选两个点，参考点原点位置由第一个点确定，Y 轴由第一、第二点连线方向 **e1** 去定义，记过参考点且垂直于 **e1** 的平面为 W，过参考点且与全局坐标系 XOY 平面平行的面为 Q，则 W 与 Q 的交线即为参考点 X 轴方向，Z 轴根据右手定则确定。

“Z 轴”表示视图交互区域自定义选择参考点 Z 轴的方向，其定义为：在视图区点选两个点，参考点原点位置由第一个点确定，Z 轴由第一、第二点连线方向 **e1** 去定义，记过参考点且垂直于 **e1** 的平面为 W，过参考点且与全局坐标系 XOZ 平面平行的面为 Q，则 W 与 Q 的交线即为参考点 X 轴方向，Y 轴根据右手定则确定。

编辑参考点功能用于编辑参考点。

图 269 参考点编辑面板

编辑【参考点】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的参考点；

2. 面板中【对象】显示当前参考点的名称，【ID】显示当前参考点的 ID 号（鼠标悬浮于图标上即可显示），【附属于】显示当前参考点的附属对象；

3. 面板中【X】、【Y】、【Z】显示当前参考点的坐标信息，【位置-参考基准】显示当前参考点位置的参考对象信息，可以通过修改【X】、【Y】、【Z】和【位置-参考基准】来修改当前参考点的位置；

4. 面板中【α】、【β】、【γ】显示当前参考点的欧拉 313 角信息，【方向-参考基准】显示当前参考点位置的参考对象信息，可以通过修改【α】、【β】、【γ】和【方向-参考基准】来修改当前参考点的姿态；

5. 单击【√】。

2.2 实体

2.2.1 连杆

连杆功能用于创建连杆。

图 270 连杆创建面板

创建【连杆】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【连杆】；

2. 选择“附属于”选项，默认选择“新建”；

3. 选择“基本信息”：“长度固定”、“宽度固定”、“深度固定”表示固定连杆的长度、宽度以及深度，“长”、“宽”、“深”的数值表示连杆的长度、宽度以及深度的数值，只有在勾选“长度固定”、“宽度固定”、“深度固定”后对应的数值方可生效，默认均不勾选；

4. 在视图交互区域单击选择任意 2 个位置，完成创建。（可根据视图区预览及左下角操作提示来完成创建）

选项说明：

【附属于】：有“新建”、“构件”、 “地面”三种。“新建”表示新创建一个连杆以及构件；“构件”表示创建的连杆附属于已有构件，需在视图交互区单击选择所附属构件；“地面”表示创建的连杆附属于地面。

编辑连杆功能用于编辑连杆：

图 271 连杆属性编辑面板

编辑【连杆】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“连杆”；

2. 面板中“对象”显示当前连杆的名称；

3. 修改面板中的“基本信息-宽”的数值可修改当前连杆的宽度，修改“基本信息-深” 的数值可修改当前连杆的深度；

4. 修改面板中“基准参考”与“辅助参考”可修改当前连杆的基准参考点与辅助参考点；

5. 单击【√】。

2.2.2 立方体

立方体功能用于创建立方体。

图 272 立方体创建面板

创建【立方体】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【立方体】；

2. 选择“附属于”选项，默认选择“新建”；

3. 选择“基本信息”：“长度固定”、“高度固定”、“深度固定”表示固定立方体的长度、高度以及深度，“长”、“高”、“深”的数值表示立方体的长度、高度以及深度的数值，只有在勾选“长度固定”、“高度固定”、“深度固定”后对应的数值方可生效，默认均不勾选；

4. 在视图交互区域单击选择 2 个位置点，完成创建。（可根据视图区预览及左下角操作提示来完成创建）

选项说明：

【附属于】：有 “新建”、“构件”、“地面”三种。“新建”表示新创建一个立方体（构件）；“构件”表示创建的立方体附属于已有构件，需在视图交互区单击选择所附属构件；“地面”表示创建的立方体附属于地面。

编辑立方体功能用于编辑立方体：

图 273 立方体属性编辑面板

编辑【立方体】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的立方体；

2. 面板中“对象”显示当前立方体的名称；

3. 修改面板中的“基本信息-长”的数值可修改当前立方体的长度，修改“基本信息-高”的数值可修改当前立方体的高度，修改“基本信息-深” 的数值可修改当前立方体的深度；

4. 修改面板中“几何参考”可修改当前立方体的几何参考点；

5. 单击【√】。

2.2.3 圆柱体

圆柱体功能用于创建圆柱体。

图 274 圆柱体创建面板

创建【圆柱体】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【圆柱体】；

2. 选择“附属于”选项，默认选择“新建”；

3. 选择“基本信息”：“长度固定”、“半径固定”表示固定圆柱体的长度以及半径，“长”和“半径”的数值表示圆柱体的长度以及半径的数值，只有在勾选“长度固定”、“半径固定”后对应的数值方可生效，默认均不勾选；

4. 在视图交互区域单击选择 2 个位置点，完成创建。（可根据视图区预览及左下角操作提示来完成创建）

选项说明：

【附属于】：有“新建”、“构件”、“地面”三种。“新建”为新创建一个圆柱体（构件）；“构件”为创建的圆柱体附属于已有构件，需在视图交互区单击选择所附属构件；“地面”为创建的圆柱体附属于地面。

编辑圆柱体功能用于编辑圆柱体：

图 275 圆柱体属性编辑面板

编辑【圆柱体】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的圆柱体；

2. 面板中“对象”显示当前圆柱体的名称；

3. 修改面板中的“基本信息-长”的数值可修改当前圆柱体的长度，“基本信息-半径”的数值可修改当前圆柱体的半径，修改“基本信息-回转角度” 的数值可修改当前圆柱体的回转角度；

4. 修改面板中“几何参考”可修改当前圆柱体的几何参考点；

5. 单击【√】。

2.2.4 球体

球体功能用于创建球体。

图 276 球体创建面板

创建【球体】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【球体】；

2. 选择“附属于”选项，默认选择“新建”；

3. 选择“基本信息”：“半径固定”表示固定球体的半径，“半径”的数值表示球体的半径的数值，只有在勾选 “半径固定”后对应的数值方可生效，默认均不勾选；

4. 在视图交互区域单击选择 2 个位置点，完成创建。（可根据视图区预览及左下角操作提示来完成创建）

选项说明：

【附属于】：有 “新建”、“构件”、“地面”三种。“新建”表示新创建一个球体（构件）；“构件”表示创建的球体附属于已有构件，需在视图交互区单击选择所附属构件；“地面”表示创建的球体附属于地面。

编辑球体功能用于编辑球体：

图 277 球体属性编辑面板

编辑【球体】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的球体；

2. 面板中“对象”显示当前球体的名称；

3. 修改面板中的“基本信息-半径”的数值可修改当前球体的半径；

4. 修改面板中“几何参考”可修改当前球体的几何参考点；

5. 单击【√】。

2.2.5 圆环

圆环功能用于创建圆环。

图 278 圆环创建面板

创建【圆环】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【圆环】；

2. 选择“附属于”选项，默认选择“新建”；

3. 选择“基本信息”，“主半径”和“次半径”的数值表示圆环的主半径以及次半径的数值，只有在勾选“主半径固定”、“次半径固定”后对应的数值方可生效，默认均不勾选；

4. 在视图交互区域单击选择 2 个位置点，完成创建。（可根据视图区预览及左下角操作提示来完成创建）

选项说明：

【附属于】：有“新建”、“构件”、“地面”三种。“新建”表示新创建一个圆环（构件）；“构件”表示创建的圆环附属于已有构件，需在视图交互区单击选择所附属构件；“地面”表示创建的圆环附属于地面。

编辑圆环功能用于编辑圆环：

图 279 圆环属性编辑面板

编辑【圆环】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的圆环；

2. 面板中“对象”显示当前圆环的名称；

3. 修改面板中的“基本信息-主半径”的数值可修改当前圆环的主半径，修改“基本信息-次半径”的数值可修改当前圆环的次半径，修改“基本信息-回转角度”的数值可修改当前圆环的回转角度；

4. 修改面板中“几何参考”可修改当前圆环的几何参考点；

5. 单击【√】。

2.2.6 圆锥

圆锥功能用于创建圆锥。

图 280 圆锥创建面板

创建【圆锥】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【圆锥】；

2. 选择“附属于”选项，默认选择“新建”；

3. 选择“基本信息”：“长度固定”、“顶半径固定”、“底半径固定”表示固定圆锥的长度、顶半径以及底半径，“长”、“顶半径”、“底半径”的数值表示圆锥的长度、顶半径以及底半径的数值，只有在勾选“长度固定”、“顶半径固定”、“底半径固定”后对应的数值方可生效，默认均不勾选；

4. 在视图交互区域单击选择 2 个位置点，完成创建。（可根据视图区预览及左下角操作提示来完成创建）

选项说明：

【附属于】：有“新建”、“构件”、“地面”三种。“新建”表示新创建一个圆锥（构件）；“构件”表示创建的圆锥附属于已有构件，需在视图交互区单击选择所附属构件；“地面”表示创建的圆锥附属于地面。

编辑圆锥功能用于编辑圆锥：

图 281 圆锥属性编辑面板

编辑【圆锥】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的圆锥；

2. 面板中“对象”显示当前圆锥的名称；

3. 修改面板中的“基本信息-长”的数值可修改当前圆锥的长度。“基本信息-顶半径”的数值可修改当前圆锥的顶半径，修改“基本信息-底半径”的数值可修改当前圆锥体的底半径，修改面板中的“基本信息-回转角度”的数值可修改当前圆锥的回转角度；

4. 修改面板中“几何参考”可修改当前圆锥的几何参考点；

5. 单击【√】。

2.2.7 棱柱

棱柱功能用于创建棱柱。

图 282 棱柱创建面板

创建【棱柱】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【棱柱】；

2. 选择“附属于”选项，默认选择“新建”；

3. 选择“基本信息”：“多边形”表示该棱柱的底面边数，默认为 6 边形，“长度固定”、“半径固定”表示固定棱柱的长度以及半径，“长”和“半径”的数值表示棱柱的长度以及半径的数值，只有在勾选“长度固定”、“半径固定”后对应的数值方可生效，默认均不勾选；

4. 在视图交互区域单击选择 2 个位置点，完成创建。（可根据视图区预览及左下角操作提示来完成创建）

选项说明：

【附属于】：有“新建”、“构件”、“地面”三种。“新建”表示新创建一个棱柱（构件）；“构件”表示创建的棱柱附属于已有构件，需在视图交互区单击选择所附属构件；“地面”表示创建的棱柱体附属于地面。

图 283 棱柱属性编辑面板

编辑【棱柱】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的棱柱；

2. 面板中“对象”显示当前棱柱的名称；

3. 修改面板中的“基本信息-长”的数值可修改当前棱柱的长度。“基本信息-半径”的数值可修改当前棱柱的半径。修改“基本信息-多边形” 的数值可修改当前棱柱底面的边数；

4. 修改面板中“几何参考”可修改当前棱柱的几何参考点；

5. 单击【√】。

2.2.8 弧

弧功能用于创建弧。

图 284 弧创建面板

创建【弧】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【弧】；

2. 选择“附属于”选项，默认选择“新建”；

3. 选择“基本信息”：“圆”表示创建的弧为一封闭的圆；“半径固定”表示弧的半径固定不变，“半径”表示弧半径的大小，只有在勾选 “半径固定”后对应的数值方可生效，默认均不勾选；“起始角”表示该圆弧起始位置所具有的角度，“终止角”表示该圆弧终止位置所具有的角度；

4. 在视图交互区域单击选择 2 个位置点，完成创建。（可根据视图区预览及左下角操作提示来完成创建）

选项说明：

【附属于】：有“新建”、“构件”、“地面”三种。“新建”表示新创建一个弧（构件）；“构件”表示创建的弧附属于已有构件，需在视图交互区单击选择所附属构件；“地面”表示创建的弧附属于地面。

图 285 弧属性编辑面板

编辑【弧】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的弧；

2. 面板中“曲线名称”显示当前弧的名称，“ID”显示当前弧的 ID 号；

3. 修改面板中的“基本信息-角度”的数值可修改当前弧的角度（终止角-起始角）。“基本信息-半径”的数值可修改当前弧的半径；

4. 修改面板中“参考点”可修改当前弧的参考点；

5. 修改面板中“闭合”可修改当前弧是否闭合，【闭合】有“是”和“否”两种；

6. 单击【√】。

2.2.9 折线

折线功能用于创建折线。

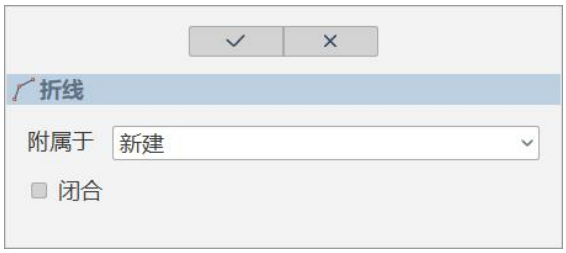


图 286 折线创建面板

创建【折线】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【折线】；

2. 选择“附属于”选项，默认选择“新建”；

3. 选择“基本信息”：“闭合”表示创建的折线是否闭合；

4. 在视图交互区域单击选择任意至少 2 个位置；

5. 单击【√】或右键完成创建。

选项说明：

【附属于】：有“新建”、“构件”、“地面”三种。“新建”表示新创建一个折线（构件）；“构件”表示创建的折线附属于已有构件，需在视图交互区单击选择所附属构件；“地面”表示创建的折线附属于地面。

编辑折线功能用于编辑折线：

图 287 折线属性编辑面板

编辑【折线】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的折线；

2. 面板中“曲线名称”显示当前折线的名称，“ID”显示当前折线的 ID 号；

3. 修改面板中的“基本信息-位置列表”的数值可修改当前折线中各个点的坐标信息，从而修改折线；

4. 修改面板中“参考基准”可修改当前折线的参考基准（参考点）；

5. 修改面板中“闭合”可修改当前折线是否闭合，【闭合】有“是”和“否”两种；

6. 单击【√】。

2.2.10 B 样条

B 样条功能用于创建 B 样条。

图 288 B 样条曲线创建面板

创建【B 样条】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【B 样条】；

2. 选择“附属于”选项，默认选择“新建”；

3. 选择“基本信息”：“闭合”表示创建的 B 样条是否闭合；

4. 在视图交互区域单击选择任意至少 4 个位置；

5. 单击【√】或右键完成创建。

选项说明：

【附属于】：有“新建”、“构件”、“地面”三种。“新建”表示新创建一个 B 样条（构件）；“构件”表示创建的 B 样条附属于已有构件，需在视图交互区单击选择所附属构件；“地面”表示创建的 B 样条附属于地面。

编辑 B 样条功能用于编辑 B 样条：

图 289 B 样条曲线属性编辑面板

编辑【B 样条】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的 B 样条；

2. 面板中“曲线名称”显示当前 B 样条的名称，“ID”显示当前 B 样条的 ID 号；

3. 修改面板中的“基本信息-位置列表”的数值可修改当前 B 样条中各个点的坐标信息，从而修改 B 样条；

4. 修改面板中“参考基准”可修改当前 B 样条的参考基准（参考点）；

5. 修改面板中“闭合”可修改当前 B 样条是否闭合，【闭合】有“是”和“否”两种；

6. 单击【√】。

2.2.11 刚体

刚体功能用于创建一个自定义的构件。

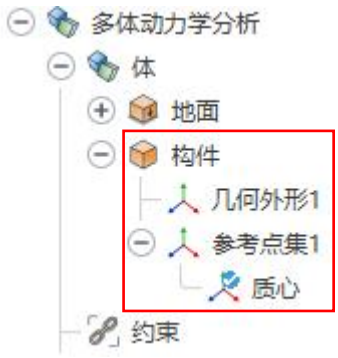


图 290 刚体的创建

创建【刚体】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【刚体】；

2. 软件自动在多体动力学分析结构树的【体】下生成一个空的【构件】。

说明：所有通过【分析】中添加的基本几何类型实体，都会在多体动力学分析结构树的【体】下新建或添加一个“构件”，实体的几何信息作为该构件的“几何外形”，“构件”中“参考点集”的“质心”参数随几何信息的变化而变化。

选项说明：

新建【刚体】有质心参考点，但无几何外形，所以系统无法自动计算质量、惯量、质心位置。此时用户可通过两种方式为其添加几何外形：一是通过【文件】>【导入】stp 或 iges 等文件，先添加到结构树的“几何模型”中，再选中“构件”的“几何外形”并右键单击，选择【添加几何外形】选项进行添加；二是通过【三维建模】的方式新建几何模型文件，再通过右键单击“构件”的“几何外形”，选择【添加几何外形】选项进行添加。

完成“几何外形”的添加后，Simdroid 将自动计算出该几何体的质心位置，并更新“构件”中“参考点集”的“质心”参数。

编辑【构件】功能用于编辑构件参数：

图 291 构件位置属性编辑面板

图 292 构件质量属性编辑面板

图 293 构件初始位置属性编辑面板

图 294 构件初始速度属性编辑面板

编辑【构件】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的【构件】；

2. 面板中“构件名称”显示当前构件的名称；

3. 【构件属性】：共有三类属性可供编辑，分别是【位置】、【质量属性】、【初始位置】和【初始速度】。

其中，【位置】可修改构件相对“参考基准”的“位置”和欧拉角“方向”，在选择“参考基准”时，可在视图交互区通过右键拾取的方式选择构件或参考点；【质量属性】中定义构件的“质量计算方法”有三种：“材料”、“材料密度”、“用户自定义”；【初始位置】可定义构件在装配过程中的初始位置条件；【初始速度】可修改构件相对于全局坐标系和参考坐标系的初始“平移速度”以及相对于质心坐标系和参考坐标系的“角速度”。

4. 单击【√】。

2.3 约束

2.3.1 低副

2.3.1.1 固定副

固定副用于创建两个构件之间无法平动也无法转动的约束关系，可视作将两个构件完全固结为一个整体。当创建固定副时，位置和方向通常并不影响仿真计算。

图 295 固定副创建面板

创建【固定副】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【固定副】；

2. 创建方法有两种，默认选择“2 个构件和 1 个定位点”选项；

3. 方向定义有两种方式，默认选择“垂直于工作平面”；

4. 在视图交互区域，依次点选两个构件及构件间的一个位置。

选项说明：

【创建方法】中

“1 个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立连接，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将该“构件”和“地面”间的固定副；

“2 个构件和 1 个定位点”方式，用户需要先后选定两个“构件”以及所需要放置的位置点。

【方向】用于确定固定副放置的方法。其中

“垂直于工作平面”方法需要事先定义好工作平面的方向；

“自定义”方法目前仅允许用户通过两点连线方式定义出该“固定副”的放置方向；

结构树上双击已建好的“固定副”可用于编辑。

图 296 固定副属性编辑面板

编辑【固定副】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“固定副”；

2. 面板中“约束名称”显示当前“固定副”的名称。“ID”显示当前“固定副”的 ID 号；

3. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前“固定副”中的主构件或从构件；

4.单击【√】。

2.3.1.2 移动副

移动副用于创建两个构件之间沿着一个向量相对滑动的约束关系，这两个构件之间只能相对平动，没有转动。

图 297 移动副创建面板

当创建移动副时，用户需要先指定其位置和方向。移动副指定的位置仅确定放置该移动副的位置，并不影响其运动约束，移动副的方向确定了两个构件相对滑动轴的方向。创建的移动副应平行于滑移轴的方向且过其指定位置。

创建【移动副】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【移动副】；

2. 创建方法有两种，默认选择“2 个构件和 1 个定位点”选项；

3. 方向定义有两种方式，默认选择“自定义”；

4. 在视图交互区域，依次点选两个构件、构件间的 1 个定位点、滑移轴方向的定位点；

5. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】中

1. “1 个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立连接，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将定义该“构件”和“地面”间的移动副；

2. “2 个构件和 1 个定位点”方式，用户需要先后选定两个“构件”以及滑移轴

上一点，此时指定的滑移轴将始终固定在第一个构件上，并相对第二个构件移动。

【方向】用于确定滑移轴方向的方法。其中，“垂直于工作平面”方法需要事先定义好工作平面的方向；“自定义”方法目前仅允许用户通过两点连线方式定义出该滑移轴的方向；

结构树上双击已建好的移动副可用于编辑。

图 298 移动副属性编辑面板

编辑【移动副】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“移动副”；

2. 面板中“约束名称”显示当前移动副的名称。“ID”显示当前移动副的 ID 号；

3. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前“移动副”中的主构件或从构件。

4.单击【√】。

2.3.1.3 圆柱副

圆柱副用于创建两个构件可沿轴线方向相对滑动和绕同一轴线相对转动的约束关系，其约束两个构件之间的 2 个平动自由度和 2 个旋转自由度。

图 299 圆柱副创建面板

创建【圆柱副】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【圆柱副】；

2. 创建方法有两种，默认选择“2 个构件和 1 个定位点”；

3. 方向定义方式有两种，默认选择“自定义”；

4. 在视图交互区域，依次点选两个构件、构件间的 1 个定位点、滑移（旋转）轴方向的定位点；

5. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】中“1 个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立连接，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将定义该“构件”和“地面”间的圆柱副；“2 个构件和 1 个定位点”方式，用户需要先后选定两个“构件”以及滑移（旋转）轴上一点，此时指定的滑移（旋转）轴将始终固定在第一个构件上，并相对第二个构件移动和转动。

【方向】用于确定滑移（旋转）轴方向的方法。其中，“垂直于工作平面”方法需要事先定义好工作平面的方向；“自定义”方法目前仅允许用户通过两点连线方式定义出该滑移（旋转）轴的方向。

结构树上双击已建好的圆柱副可用于编辑。

图 300 圆柱副属性编辑面板

编辑【圆柱副】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“圆柱副”；

2. 面板中“约束名称”显示当前圆柱副的名称。“ID”显示当前圆柱副的 ID 号；

3. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前“圆柱副”中的主构件或从构件；

4. 单击【√】。

2.3.1.4 平面副

平面副用于创建一个构件只能在另一个构件的某一面内运动的约束关系，其约束两个构件之间的 1 个平动自由度和 2 个旋转自由度。

图 301 平面副创建面板

创建【平面副】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【平面副】；

2. 创建方法有三种，默认选择“2 个构件和 1 个定位点”；

3. 方向定义方式有两种，默认选择“垂直于工作平面”；

4. 在视图交互区域，依次点选两个构件和构件间的 1 个定位点；

5. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】中“1 个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立连接，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将定义该“构件”和“地面”间的平面副；“2 个构件和 1 个定位点”方式，用户依次点选主构件和从构件，以及两构件之间的 1 个定位点，浮动参考点 j-marker 与 i-marker 初始位置相同，当系统运动时， i-marker 随主构件运动，j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动；“2 个构件和 2 个定位点”方式，用户需要先后选定主构件和从构件，并先后在主、从构件上选定两个不同的作用点，作为两构件的 i-marker 和 j-marker，当系统运动时，i-marker 随主构件运动，j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动。

【方向】用于确定旋转轴方向，平面副约束下两构件只能在同一个平面内（绕一个旋转轴）做相对旋转运动以及在同一平面内做平移运动。其中，“垂直于工作平面”方

法需要事先定义好工作平面的方向；“自定义”方法目前仅允许用户通过两点连线方式定义出旋转轴的方向。

结构树上双击已建好的平面副可用于编辑。

图 302 平面副属性编辑面板

编辑【平面副】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“平面副”；

2. 面板中“约束名称”显示当前平面副的名称。“ID”显示当前平面副的 ID 号；

3. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前“平面副”中的主构件或从构件；

4. 单击【√】。

2.3.1.5 螺旋副

螺旋副约束的两个构件之间沿轴向既可以相对平动，也可以转动，但这 2 个自由度之间满足一定的相互耦合关系，即两个构件相对旋转 360° 时，相对滑移一个螺距的距离，因此，在 Simdroid 里将螺旋副视为约束 5 个自由度，保留 1 个旋转自由度。

图 303 螺旋副创建面板

创建【螺旋副】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【螺旋副】；

2. 创建方法有两种，如上图，默认选择“2 个构件和 1 个定位点”；

3. 方向定义方式有两种，如上图，默认选择“垂直于工作平面”；

4. 在视图交互区域，依次点选两个构件、构件间的 1 个定位点；

5. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】中“1 个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立连接，这里一般选择最靠近定位点的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将定义该“构件”和“地面”间的螺旋副；“2 个构件和 1 个定位点”方式，用户需要先后选定两个“构件”以及旋转轴上一点，此时指定的旋转轴将始终固定在第一个构件上，并相对第二个构件移动和转动。

【方向】用于确定旋转轴方向。其中，“垂直于工作平面”方法需要事先定义好工作平面的方向；“自定义”方法目前仅允许用户通过两点连线方式定义出该旋转轴的方向，且 i-marker 与 j-marker 的 Z 轴需指向同一个方向。

结构树上双击已建好的螺旋副可用于编辑。

图 304 螺旋副属性编辑面板

编辑【螺旋副】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“螺旋副”；

2. 面板中“约束名称”显示当前螺旋副的名称。“ID”显示当前螺旋副的 ID 号；

3. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前“螺旋副”中的主构件或从构件；

4. 面板中“螺距”选项可修改螺旋副的螺距大小；

5. 单击【√】。

2.3.1.6 旋转副

旋转副功能用于创建一个构件相对另一个构件绕其共同转轴转动的运动副。

图 305 旋转副创建面板

创建【旋转副】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【旋转副】；

2. 创建方法有两种，默认选择“2 个构件和 1 个定位点”选项；

3. 方向定义有两种方式，默认选择“垂直于工作平面”；

4. 在视图交互区域，依次点选两个构件及构件间的 1 个位置；

5. 单击【√】。

选项说明：

【创建方法】中“一个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立连接，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将定义该“构件”和“地面”间的旋转副；“2 个构件和 1 个定位点”方式，用户需要先后选定两个“构件”以及旋转轴上一点，此时指定的旋转轴将始终固定在第一个构件上，并相对第二个构件转动；

【方向】用于确定转轴方向的方法。其中，“垂直于工作平面”方法需要事先定义好工作平面的方向；“自定义”方法目前仅允许用户通过两点连线方式定义出该旋转轴的方向；

双击已建好的旋转副可用于编辑。

图 306 旋转副属性编辑面板

编辑【旋转副】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“旋转副”；

2. 面板中“约束名称”显示当前旋转副的名称。“ID”显示当前旋转副的 ID 号；

3. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前“旋转副”中的主构件或从构件；

4.单击【√】。

2.3.1.7 球副

球副用于创建两个构件间只能旋转不能移动的约束关系，其约束两个构件之间的 3 个平动自由度，两构件之间仅有 3 个旋转自由度。

图 307 球副创建面板

创建【球副】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【球副】；

2. 创建方法有三种，默认选择“2 个构件和 1 个定位点”；

3. 方向定义方式有两种，默认选择“垂直于工作平面”；

4. 在视图交互区域，依次点选两个构件和构件间的 1 个定位点；

5. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】中

“1 个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立连接，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将定义该“构件”和“地面”间的球副；

“2 个构件和 1 个定位点”方式，用户依次点选主构件和从构件，以及两构件之间的 1 个定位点，浮动参考点 j-marker 与 i-marker 初始位置相同，当系统运动时，i-marker 随主构件运动，j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动；

“2 个构件和 2 个定位点”方式，用户需要先后选定主构件和从构件，并先后在主、从构件上选定两个不同的作用点，作为两构件的 i-marker 和 j-marker，当系统运动时，

i-marker 随主构件运动，j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动。

【方向】用于确定球副 Z 轴方向，其中

“垂直于工作平面”方法需要事先定义好工作平面的方向；

“自定义”方法需要通过点选工作平面中的点来确定球副 Z 轴方向，Z 轴方向为 i-marker 点与所选择点连线的方向。

结构树上双击已建好的球副可用于编辑。

图 308 球副属性编辑面板

编辑【球副】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“球副”；

2. 面板中“约束名称”显示当前球副的名称，“ID”显示当前球副的 ID 号；

3. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前“球副”中的主构件或从构件；

4. 单击【√】。

2.3.1.8 万向副

万向副用于约束两个构件之间的 3 个平动自由度和 1 个旋转自由度，两构件之间仅有绕中间十字方向的 2 个旋转自由度。

图 309 万向副创建面板

创建【万向副】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【万向副】；

2. 创建方法有三种，默认选择“2 个构件和 1 个定位点”；

3. 方向定义方式有两种，默认选择“垂直于工作平面”；

4. 在视图交互区域，依次点选两个构件和构件间的 1 个定位点；

5. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】中

“1 个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立连接，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将定义该“构件”和“地面”间的万向副；

“2 个构件和 1 个定位点”方式，用户依次点选主构件和从构件，以及两构件之间

的 1 个定位点，浮动参考点 j-marker 与 i-marker 初始位置相同，当系统运动时，i-marker 随主构件运动，j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动；

“2 个构件和 2 个定位点”方式，用户需要先后选定主构件和从构件，并先后在主、从构件上选定两个不同的作用点，作为两构件的 i-marker 和 j-marker，当系统运动时，i-marker 随主构件运动，j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动。

【方向】用于确定万向副 Z 轴（中间十字交叉轴）方向，其中“垂直于工作平面”方法需要事先定义好工作平面的方向，垂直于工作平面的轴默认为 Y 轴（万向副两个杆的方向）；“自定义”方法需要通过点选工作平面中的点来确定万向副 Z 轴方向，Z 轴方向为 i-marker 点与所选择点连线的方向（需选择两个点，分别对应万向副中间十字两个 Z 轴方向）。

结构树上双击已建好的万向副可用于编辑。

图 310 万向副属性编辑面板

编辑【万向副】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“万向副”；

2. 面板中“约束名称”显示当前万向副的名称。“ID”显示当前万向副的 ID 号；

3. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前“万向副”中的主构件或从构件；

4. 单击【√】。

2.3.1.9 胡克副

胡克副与万向副类似，用于约束两个构件之间的3个平动自由度和1个旋转自由度，两构件之间仅有2个旋转自由度。其区别在于，两者的旋转轴不一样，万向副的旋转轴沿中间十字方向，胡克副的旋转轴沿两个杆的方向。

图 311 胡克副创建面板

创建【胡克副】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【胡克副】；

2. 创建方法有三种，默认选择“2个构件和1个定位点”；

3. 方向定义方式有两种，默认选择“垂直于工作平面”；

4. 在视图交互区域，依次点选两个构件和构件间的1个定位点；

5. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】中

“1 个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立连接，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将定义该“构件”和“地面”间的胡克副；

“2 个构件和 1 个定位点”方式，用户依次点选主构件和从构件，以及两构件之间的 1 个定位点，浮动参考点 j-marker 与 i-marker 初始位置相同，当系统运动时，i-marker 随主构件运动，j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动；

“2 个构件和 2 个定位点”方式，用户需要先后选定主构件和从构件，并先后在主、从构件上选定两个不同的作用点，作为两构件的 i-marker 和 j-marker，当系统运动时，i-marker 随主构件运动，j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动。

【方向】用于确定胡克副 Z 轴（两个杆的轴向）方向，其中“垂直于工作平面”方法需要事先定义好工作平面的方向，垂直于工作平面的轴默认为 Z 轴；“自定义”方法需要通过点选工作平面中的点或参考点来确定胡克副 Z 轴方向，Z 轴方向为 i-marker 点与所选点连线的方向（需选择两个点建立两个 Z 轴，胡克副两个杆的方向分别对应两个 Z 轴的正方向与负方向）。

结构树上双击已建好的胡克副可用于编辑。

图 312 胡克副属性编辑面板

编辑【胡克副】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“胡克副”。

2. 面板中“约束名称”显示当前胡克副的名称。“ID”显示当前胡克副的 ID 号。

3. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前“胡克副”中的主构件或从构件。

4. 单击【√】。

2.3.2 基本副

2.3.2.1 方向约束

方向约束用于创建两个构件之间只能相对平动而不能转动的约束关系，其约束两个构件之间的 3 个旋转自由度，两构件之间具有 3 个平动自由度。

图 313 方向约束创建面板

创建【方向约束】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【方向约束】；

2. 创建方法有两种，默认选择“2 个构件和 1 个定位点”；

3. 方向定义方式有两种，默认选择“垂直于工作平面”；

4. 在视图交互区域，依次点选两个构件、构件间的 1 个定位点；

5. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】中

“1 个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立连接，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将定义该“构件”和“地面”间的方向约束；

“2 个构件和 1 个定位点”方式，用户依次点选主构件和从构件，以及两构件之间的 1 个定位点，浮动参考点 j-marker 与 i-marker 初始位置相同，当系统运动时，i-marker 随主构件运动，j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动，i-marker 的 3 个坐标轴与 j-marker 的 3 个坐标轴始终平行。

【方向】用于确定方向约束 Z 轴方向。其中“垂直于工作平面”方法需要事先定义好工作平面的方向；“自定义”方法需要通过点选工作平面中的点或参考点来确定 Z 轴方向，Z 轴方向为 i-marker 点与所选点连线的方向。

结构树上双击已建好的方向约束可用于编辑。

图 314 方向约束属性编辑面板

编辑【方向约束】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“方向约束”；

2. 面板中“约束名称”显示当前方向约束的名称。“ID”显示当前方向约束的 ID 号；

3. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前“方向约束”中的主构件或从构件；

4. 单击【√】。

2.3.2.2 共面约束

共面约束用于创建一个构件的某点只能在另一构件某个平面内运动的约束关系，其约束了两个构件之间的 1 个平动自由度，两构件之间具有 2 个平动自由度和 3 个旋转自由度。

图 315 共面约束创建面板

创建【共面约束】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【共面约束】；

2. 创建方法有两种，默认选择“2 个构件和 1 个定位点”；

3. 方向定义方式有两种，默认选择“垂直于工作平面”；

4. 在视图交互区域，依次点选两个构件、构件间的 1 个定位点；

5. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】中

“1 个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立连接，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将定义该“构件”和“地面”间的共面约束；

“2 个构件和 1 个定位点”方式，用户依次点选主构件和从构件，以及两构件之间的 1 个定位点，浮动参考点 j-marker 与 i-marker 初始位置相同，当系统运动时，i-marker 随主构件运动，j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动，i-marker 点始终在 j-marker 的 XY 平面内。

【方向】用于确定共面约束 Z 轴方向。其中“垂直于工作平面”方法需要事先定义好工作平面的方向；“自定义”方法需要通过点选工作平面中的点或参考点来确定 Z 轴方向，Z 轴方向为 i-marker 点与所选点连线的方向。

结构树上双击已建好的共面约束可用于编辑。

图 316 共面约束属性编辑面板

编辑【共面约束】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“共面约束”；

2. 面板中“约束名称”显示当前共面约束的名称。“ID”显示当前共面约束的 ID 号；

3. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前“共面约束”中的主构件或从构件；

4. 单击【√】。

2.3.2.3 共线约束

共线约束用于创建一个构件的某点只能在另一构件某个方向上运动的约束关系，其约束了两个构件之间的 2 个平动自由度，两构件之间具有 1 个平动自由度和 3 个旋转自由度。

图 317 共线约束创建面板

创建【共线约束】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【共线约束】；

2. 创建方法有两种，默认选择“2 个构件和 1 个定位点”；

3. 方向定义方式有两种，默认选择“垂直于工作平面”；

4. 在视图交互区域，依次点选两个构件、构件间的 1 个定位点；

5. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】中

“1 个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立连接，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将定义该“构件”和“地面”间的共线约束；

“2 个构件和 1 个定位点”方式，用户依次点选主构件和从构件，以及两构件之间的 1 个定位点，浮动参考点 j-marker 与 i-marker 初始位置相同，当系统运动时，i-marker 随主构件运动，j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动，i-marker 点始终在 j-marker 的 Z 轴方向上。

【方向】用于确定共线约束 Z 轴方向。其中“垂直于工作平面”方法需要事先定

义好工作平面的方向；“自定义”方法需要通过点选工作平面中的点或参考点来确定 Z 轴方向，Z 轴方向为 i-marker 点与所选点连线的方向。

结构树上双击已建好的共线约束可用于编辑。

图 318 共线约束属性编辑面板

编辑【共线约束】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“共线约束”；

2. 面板中“约束名称”显示当前共线约束的名称。“ID”显示当前共线约束的 ID 号；

3. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前“共线约束”中的主构件或从构件；

4. 单击【√】。

2.3.2.4 平行约束

平行约束用于创建一个构件的某个方向始终与另一构件某个方向平行的约束关系，其约束了两个构件之间的 2 个旋转自由度，两构件之间具有 3 个平动自由度和 1 个旋转

自由度。

图 319 平行约束创建面板

创建【平行约束】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【平行约束】；

2. 创建方法有两种，默认选择“2 个构件和 1 个定位点”；

3. 方向定义方式有两种，默认选择“自定义”；

4. 在视图交互区域，依次点选两个构件、构件间的 1 个定位点、Z 轴（平行轴）方向点；

5. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】中

“1 个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立连接，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将定义该“构件”和“地面”间的平行约束；

“2 个构件和 1 个定位点”方式，用户依次点选主构件和从构件，以及两构件之间的 1 个定位点，浮动参考点 j-marker 与 i-marker 初始位置相同，当系统运动时，i-marker 随主构件运动，j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动，i-marker 点

的 Z 轴始终与 j-marker 的 Z 轴平行。

【方向】用于确定平行约束 Z 轴方向，即平行线方向。其中“垂直于工作平面”方法需要事先定义好工作平面的方向；“自定义”方法需要通过点选工作平面中的点或参考点来确定 Z 轴方向，Z 轴方向为 i-marker 点与所选点连线的方向。

结构树上双击已建好的平行约束可用于编辑。

图 320 平行约束属性编辑面板

编辑【平行约束】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“平行约束”；

2. 面板中“约束名称”显示当前平行约束的名称。“ID”显示当前平行约束的 ID 号；

3. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前“平行约束”中的主构件或从构件；

4. 单击【√】。

2.3.2.5 垂直约束

垂直约束用于创建一个构件的某个方向始终与另一构件某个方向垂直的约束关系，其约束了两个构件之间的 1 个旋转自由度，两构件之间具有 3 个平动自由度和 2 个旋转自由度。

图 321 垂直约束创建面板

创建【垂直约束】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【垂直约束】；

2. 创建方法有两种，如上图，默认选择“2 个构件和 1 个定位点”；

3. 方向定义方式有两种，如上图，默认选择“自定义”；

4. 在视图交互区域，依次点选两个构件、构件间的 1 个定位点、第一个 Z 轴方向点、第二个 Z 轴方向点（两 Z 轴相互垂直）；

5. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】中

“1 个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立连接，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将定义该“构件”和“地面”间的垂直约束；

“2 个构件和 1 个定位点”方式，用户依次点选主构件和从构件，以及两构件之间的 1 个定位点，浮动参考点 j-marker 与 i-marker 初始位置相同，当系统运动时，i-marker 随主构件运动，j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动，i-marker 点的 Z 轴始终与 j-marker 的 Z 轴垂直。

【方向】用于确定垂直约束的 Z 轴方向，即两垂直轴的方向。其中“垂直于工作平面”方法需要事先定义好工作平面的方向；“自定义”方法需要通过点选工作平面中的两个点来确定两个 Z 轴的方向，Z 轴方向由 i-marker 点与所选点连线的方向确定。

结构树上双击已建好的垂直约束可用于编辑。

图 322 垂直约束属性编辑面板

编辑【垂直约束】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“垂直约束”；

2. 面板中“约束名称”显示当前垂直约束的名称。“ID”显示当前垂直约束的 ID 号；

3. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前“垂直约束”

中的主构件或从构件；

4. 单击【√】。

2.3.2.6 等距约束

等距约束用于创建一个构件的某参考点始终与另一构件某参考点之间距离为定值的约束关系，其约束了两个构件之间的 1 个平动自由度，两构件之间具有 2 个平动自由度和 3 个旋转自由度。

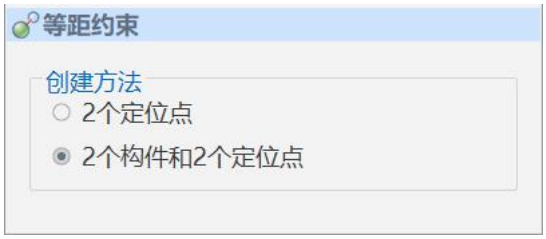


图 323 等距约束创建面板

创建【等距约束】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【等距约束】；

2. 创建方法有两种，如上图，默认选择“2 个构件和 2 个定位点”；

3. 在视图交互区域，依次点选 2 个构件、2 个定位点；

4. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】中

“2 个定位点”方式，用户依次点选“主构件”和“从构件”几何形状内部各自 1 个定位点，这里建议通过在构件上待选点附近右键选出定位点，Simdroid 将选择两个点附近的构件作为主、从构件，若所选点附近无构件，则自动选择地面来定义构件与地面之间的等距约束，注意两个定位点不能均附属于地面且不能为同一位置。

“2 个构件和 2 个定位点”方式，用户依次点选主构件和从构件，以及两构件上的 2 个定位点（不能为相同位置），当系统运动时，i-marker 随主构件运动，j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动，i-marker 点始终与 j-marker 点保持固定距离。

结构树上双击已建好的等距约束可用于编辑。

图 324 等距约束属性编辑面板

编辑【等距约束】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“等距约束”；

2. 面板中“约束名称”显示当前等距约束的名称。“ID”显示当前等距约束的 ID 号；

3. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前“等距约束”中的主构件或从构件；

4. 单击【√】。

2.3.3 点线高副

点线高副（柱销-滑槽副）用于创建一个构件的某个点始终在另一构件的一条曲线上移动的约束关系，曲线可以是平面曲线，也可以是空间曲线，可以封闭，也可以不封闭。其约束了两个构件之间的 2 个平动自由度，两构件之间具有 1 个平动自由度和 3 个旋转自由度。

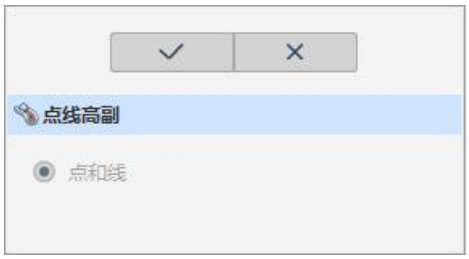


图 325 点线高副创建面板

创建【点线高副】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【点线高副】；

2. 创建方法为选择“点”和“线”；

3. 在视图交互区域，依次点选构件上的“点”以及另一构件上的“线”；

4. 单击【√】完成创建。

选项说明：

选择主构件上的“点”时，系统自动在该点处创建 i-marker，其可以沿着曲线移动，在“点”与曲线的瞬时接触点创建 j-marker，j-marker 初始位置与 i-marker 相同，并随着 i-marker 位置的变化而变化；

选择“线”时，需要用户事先创建好弧线或 B 样条曲线（具体可参考本章 2.2 节中弧和 B 样条的创建方法）。

结构树上双击已建好的点线高副可用于编辑。

图 326 点线高副属性编辑面板

编辑【点线高副】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“点线高副”；

2. 面板中“约束名称”显示当前点线高副的名称。“ID”显示当前点线高副的 ID 号；

3. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前“点线高副”中的主构件或从构件。

4. 单击【√】。

2.3.4 耦合副

耦合副用于约束 2 个或 3 个旋转副或移动副之间的自由度成一定比例，可用于关联平动和旋转运动的组合，例如平动与平动、旋转与旋转、平动与旋转，且旋转轴或平移轴可不共面。

图 327 耦合副创建面板

创建【耦合副】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【耦合副】；

2. 创建方法有两种，如上图，默认选择“2 个约束”；

3. 在视图交互区域，依次点选两个运动副（只能为旋转副、移动副、圆柱副）；

4. 创建完成。

选项说明：

“2 个约束”方式，需要选择两个运动副，即驱动副和从动副；

“3 个约束”方式，需要选择三个运动副，即驱动副、从动副一和从动副二；

结构树上双击已建好的耦合副可用于编辑。

图 328 耦合副属性编辑面板

编辑【耦合副】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的“耦合副”；

2. 面板中“约束名称”显示当前耦合副的名称。“ID”显示当前耦合副的 ID 号；

3. 面板中“创建方法”可切换耦合副所关联的运动副个数为“3 个约束”，“定义方法”当前仅支持定义“比例因子”；

4. 面板中驱动副和从动副分别表示耦合副所关联的运动副，当运动副为圆柱副时，自由度类型可选择“旋转”或“移动”，比例因子默认为“-1”和“1”，表示两运动副 i-Marker 相对于 j-Marker 的平移或旋转位移与比例因子的乘积之和为零，其中当运动副为旋转运动时，对应位移为弧度。

5. 单击【√】。

2.4 驱动

2.4.1 移动副驱动

移动副驱动可对具有单一平动自由度的运动副（移动副、圆柱副）添加驱动，使得运动副参考点沿着 Z 轴方向以某一确定的方式平动，从而带动构件的运动。

图 329 移动副驱动创建面板

创建【移动副驱动】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【移动副驱动】；

2. 创建方法为“施加在移动副或圆柱副”，如上图；

3. 初始创建时的【幅值】默认为匀速 0.1m/s，如上图，用户可自定义大小；

4. 在视图交互区，点选所要施加移动副驱动的运动副；

5. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】用于限定驱动所施加的运动副类型，包含移动副和圆柱副两种；

【幅值】用于确定移动副驱动的幅值大小，默认为“0.1m/s”，用户可自定义大小，或者后期通过编辑修改为函数表达式。

在结构树上双击已建好的移动副驱动可用于编辑。

图 330 移动副驱动属性编辑面板

编辑【移动副驱动】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的移动副驱动；

2. 面板中【驱动名称】显示当前移动副驱动的名称，“ID”显示当前移动副驱动的 ID 号；

3. 修改面板中【运动副名称】后的内容可更改当前移动副驱动所关联的运动副，鼠标单击方框后，在视图区点选所要更换的运动副（只能为移动副或圆柱副）即可替换，当选择圆柱副时，【方向】可选择“平动”和“转动”，若选择“转动”，则切换为旋转副驱动；

4. 修改面板中【幅值】的内容，可通过定义函数表达式（时间“t”为自变量）的形式来设置移动副驱动的大小；

5.【驱动方式】可选择“位移”、“速度”、“加速度”三种，当选择“位移”时，

位移初值和速度初值不可输入，当选择“速度”时，可输入位移初值（默认为“0”）而不可输入速度初值，当选择“加速度”时，位移初值和速度初值均可输入（默认均为“0”）；

6.单击【√】。

2.4.2 旋转副驱动

旋转副驱动可对具有单一转动自由度的运动副（旋转副、圆柱副）添加驱动，使得运动副参考点绕 Z 轴方向以某一确定的方式转动，从而带动构件的运动。

图 331 旋转副驱动创建面板

创建【旋转副驱动】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【旋转副驱动】；

2. 创建方法为“施加在旋转副或圆柱副”，如上图；

3. 初始创建时的【幅值】默认为匀速 0.1rad/s，如上图，用户可自定义大小；

4. 在视图交互区，点选所要施加旋转副驱动的运动副；

5. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】用于限定驱动所施加的运动副类型，包含旋转副和圆柱副两种；

【幅值】用于确定旋转副驱动的幅值大小，默认为“0.1rad/s”，用户可自定义大小，或者后期通过编辑修改为函数表达式。

在结构树上双击已建好的旋转副驱动可用于编辑。

图 332 旋转副驱动属性编辑面板

编辑【旋转副驱动】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的旋转副驱动；

2. 面板中【驱动名称】显示当前旋转副驱动的名称，“ID”显示当前旋转副驱动的 ID 号；

3. 修改面板中【运动副名称】后的内容可更改当前旋转副驱动所关联的运动副，鼠标单击方框后，在视图区点选所要更换的运动副（只能为旋转副或圆柱副）即可替换，当选择圆柱副时，【方向】可选择“平动”和“转动”，若选择“平动”，则切换为移动副驱动；

4. 修改面板中【幅值】的内容，可通过定义函数表达式（时间“t”为自变量）的形式来设置旋转副驱动的大小；

5.【驱动方式】可选择“位移”、“速度”、“加速度”三种，当选择“位移”时，位移初值和速度初值不可输入，当选择“速度”时，可输入位移初值（默认为“0”）而不可输入速度初值，当选择“加速度”时，位移初值和速度初值均可输入（默认均为“0”）；

6.单击【√】。

2.4.3 单向驱动

单向驱动用于定义两构件之间沿着单个方向的平移或旋转运动驱动。

图 333 单向驱动创建面板

创建【单向驱动】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【单向驱动】；

2. 创建方法有三种，如上图，默认为“2 个构件和 1 个定位点”；

3. 初始创建时的【方向】定义方式有两种，如上图，默认选择“自定义”；

4. 幅值定义中“方向”包括平动和转动，默认为“平动”，平均速度默认为“0.1m/s”，用户可自定义其数值大小；

5. 在视图交互区，依次点选主构件和从构件，以及两构件之间的 1 个定位点、方向参考点；

6. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】中用于确定单向驱动的作用构件和作用点位置，其中

“1 个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立单向驱动，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将在该“构件”和“地面”间定义单向驱动。注意这种由 Simdroid 来确定两个构件的方式，仅适用于两个构件足够近，且对主、从构件关系不太关注的情况；

“2 个构件和 1 个定位点”方式，用户依次点选主构件和从构件，以及两构件之间的 1 个定位点。浮动参考点 j-marker 与 i-marker 初始位置相同，当系统运动时，i-marker 随主构件运动，浮动参考点 j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动；

“2 个构件和 2 个定位点”方式，用户需要先后选定主构件和从构件，并先后在主、从构件上选定两个不同的作用点，作为单向驱动的 i-marker 和 j-marker 定位点，当系统运动时，i-marker 随主构件运动，浮动参考点 j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动；

【方向】用于确定单向驱动的方向，其中，

“垂直于工作平面”方法，需要事先定义好工作平面的方向，单向驱动作用点的 Z 轴方向垂直于工作平面，X 轴沿工作栅格平面的 X 轴方向；

“自定义”方法，通过点选工作平面中的点来确定单向驱动 Z 轴方向，Z 轴方向为 i-marker 点与所选择点连线的方向。

在结构树上双击已建好的单向驱动可用于编辑。

图 334 单向驱动属性编辑面板

编辑【单向驱动】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的单向驱动；

2. 面板中【驱动名称】显示当前单向驱动的名称，“ID”显示当前单向驱动的 ID 号，主从参考点分别表示单向驱动的 i、j-marker 点；

3. 修改面板中【幅值】的内容，可修改单向驱动方向（包括沿 X、Y、Z 轴的平动和转动共六个方向），可通过定义函数表达式（时间“t”为自变量）的形式来设置单向驱动的大小；

4.【特征】中“驱动方式”可选择“位移”、“速度”、“加速度”三种，当选择“位移”时，位移初值和速度初值不可输入，当选择“速度”时，可输入位移初值（默认为“0”）而不可输入速度初值，当选择“加速度”时，位移初值和速度初值均可输入（默认均为“0”）；

5.单击【√】。

2.4.4 六向驱动

六向驱动用于定义两构件之间沿着多个个方向的平移或旋转运动驱动。

图 335 六向驱动创建面板

创建【六向驱动】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【六向驱动】；

2. 创建方法有三种，如上图，默认为“2 个构件和 1 个定位点”；

3. 初始创建时的【方向】定义方式有两种，如上图，默认选择“垂直于工作平面”；

4. 特征中包含沿着 X、Y、Z 轴的平动和转动初始值定义，默认“平动”为 0.1m/s

匀速移动，“转动”为 0.5rad/s 匀速转动，用户可自定义其数值大小；

5. 在视图交互区，依次点选主构件和从构件，以及两构件之间的 1 个定位点；

6. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】中用于确定六向驱动的作用构件和作用点位置，其中

“1 个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立六向驱动，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将在该“构件”和“地面”间定义六向驱动。注意这种由 Simdroid 来确定两个构件的方式，仅适用于两个构件足够近，且对主、从构件关系不太关注的情况；

“2 个构件和 1 个定位点”方式，用户依次点选主构件和从构件，以及两构件之间的 1 个定位点。浮动参考点 j-marker 与 i-marker 初始位置相同，当系统运动时，i-marker 随主构件运动，浮动参考点 j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动；

“2 个构件和 2 个定位点”方式，用户需要先后选定主构件和从构件，并先后在主、从构件上选定两个不同的作用点，作为六向驱动的 i-marker 和 j-marker 定位点，当系统运动时，i-marker 随主构件运动，浮动参考点 j-marker 将按照约束关系与从构件一起相对 i-marker 运动；

【方向】用于确定单向驱动的方向，其中，

“垂直于工作平面”方法，需要事先定义好工作平面的方向，六向驱动作用点的 Z 轴方向垂直于工作平面，X 轴沿工作栅格平面的 X 轴方向；

“自定义”方法，通过点选工作平面中的点来确定六向驱动 Z 轴方向，Z 轴方向为 i-marker 点与所选择点连线的方向。

在结构树上双击已建好的六向驱动可用于编辑。

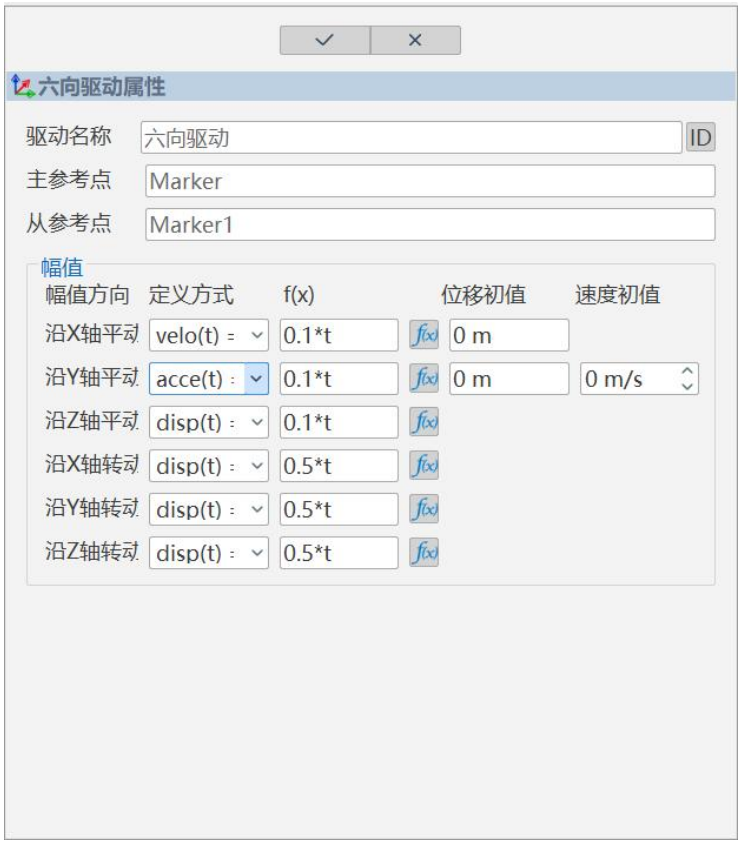


图 336 六向驱动属性编辑面板

编辑【六向驱动】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的六向驱动；

2. 面板中【驱动名称】显示当前六向驱动的名称，“ID”显示当前六向驱动的 ID 号，主从参考点分别表示六向驱动的 i、j-marker 点；

3. 修改面板中【幅值】的内容，可修改六向驱动（包括沿 X、Y、Z 轴的平动和转动共六个方向）的幅值大小，可通过定义函数表达式（时间“t”为自变量）的形式来设置六向驱动各个分量的大小；

4.【幅值】中“定义方式”可选择“free”、“disp(t)”、“velo(t)”、“acce(t)”四种，当选择“free”时，表示在该分量上不受约束，释放该方向上的自由度；当选择“disp(t)”时，位移初值和速度初值不可输入；当选择“velo(t)”时，可输入位移初值（默认为“0”）而不可输入速度初值；当选择“acce(t)”时，位移初值和速度初值均

可输入（默认均为“0”）；

5.单击【√】。

2.5 力元

2.5.1 单向力/力矩

施加在构件上的单向力/力矩。

用户需要首先确定出单向力/力矩的加载构件、位置、方向以及幅值大小。

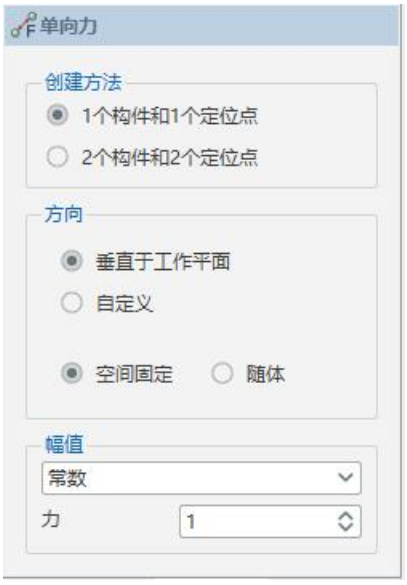


图 337 单向力创建面板

创建【单向力/力矩】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【单向力/力矩】；

2. 创建方法有两种，如上图，默认选择“1 个构件和 1 个定位点”选项；

3. 初始创建时的【方向】定义有两种方式，如上图，默认选择“垂直于工作平面”；

4. 运动时的【方向】定义有两种方式，如上图，默认选择“空间固定”；

5. 单向力/力矩大小由【幅值】来确定，默认选择“常数”，且大小为 1N 或 1N·m，用户可自定义大小；

6. 在视图交互区域，依次点选主构件及 1 个定位点位置；

7. 单击【√】。

选项说明：

【创建方法】中用于确定单向力/力矩的作用构件和作用点位置，其中

“1 个构件和 1 个定位点”方式，用户需要先后选定主构件以及单向力/力矩作用点，此时指定的单力/力矩固定在主构件上；

“2 个构件和 2 个定位点”方式，用户需要先后选定主构件和从构件，并先后在主、从构件上选定两个作用点，作为两构件的 i-marker 和 j-marker，两参考点连线的方向作为单向力/力矩方向。

【方向】用于确定单向力/力矩方向的方法，目前仅用于“1 个构件和 1 个定位点”情况。其中，

“垂直于工作平面”方法，需要事先定义好工作平面的方向，单向力/力矩作用点的 Z 轴方向垂直于工作平面，X 轴沿工作栅格平面的 X 轴方向；

“自定义”方法，通过两点连线的方式确定出单向力/力矩的 Z 轴方向；

“空间固定”方法，在仿真过程中，单向力/力矩的方向始终保持初始方向，甚至不随构件及其参考点的运动而改变；

“随体”方法，仿真过程中，单向力/力矩的方向始终由构件上用于定义单向力/力矩初始方向的参考点的方向确定，并随着构件的运动而变化。

【幅值】用于确定单向力/力矩的大小，默认选择“常数”，且大小为 1N 或 1N·m，用户可自定义大小，或者后期修改为函数表达式。

结构树上双击已建好的单向力/力矩可用于编辑。

图 338 单向力属性编辑面板

编辑【单向力/力矩】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的单向力/力矩；

2. 面板中【力的名称】显示当前单向力/力矩的名称，“ID”显示当前单向力/力矩的 ID 号；

3. 修改面板中的【主构件】“构件”或【从构件】“构件”的内容可修改当前单向力/力矩中的主构件或从构件；

4. 修改面板中【幅值定义】的内容可通过定义函数表达式的形式来设置单向力/力矩的大小；

5.【显示设置】可设置仿真过程是否显示单向力/力矩的变化情况，目前暂不支持显示；

6.单击【√】。

2.5.2 三向力/力矩

施加在构件上的三向力/力矩。

用户需要首先确定出三向力/力矩的加载构件、位置以及方向。三向力/力矩的大小初始可以指定为一个常量，或者后期修改为函数表达式。

图 339 三向力创建面板

创建【三向力/力矩】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【三向力/力矩】；

2. 【创建方法】有三种，默认选择“2 个构件和 1 个定位点”选项；

3. 初始创建时的【方向】定义有两种，默认选择“垂直于工作平面”；

4. 外力大小由【幅值】来确定，默认选择“常数”，且大小均为 1N/1Nm，用户也可自定义大小；

5. 在视图交互区域，依次点选主构件和从构件，及两构件之间的 1 个定位点；

6. 单击【√】。

选项说明：

【创建方法】中用于确定三向力/力矩的作用构件和作用点位置，其中

“1 个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立外力连接，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将在该“构件”和“地面”间定义外力。注意这种由 Simdroid 来确定两个构件的方式，仅适用于两个构件足够近，且对主、从构件关系不太关注的情况；

“2 个构件和 1 个定位点”方式，用户依次点选主构件和从构件，及两构件之间的 1 个定位点。浮动参考点 j-marker 与 i-marker 初始位置相同，当系统运动时， i-marker 随主构件运动，浮动参考点 j-marker 将在从构件上移动以保持与 i-marker 位置始终重叠，系统在 j-marker 对从构件施加反作用力，这将意味着反作用力的作用点 j-marker 位置并不会固定在从构件上，可能会在从构件上移动；

“2 个构件和 2 个定位点”方式，用户需要先后选定主构件和从构件，并先后在主、从构件上选定两个不同的作用点，作为两构件的 i-marker 和 j-marker，当系统运动时，i-marker 随主构件运动，系统移动浮动参考点 j-marker 使其与 i-marker 位置始终重叠，系统在 j-marker 对从构件施加反作用力，这将意味着反作用力的作用点 j-marker 位置并不会固定在从构件上，可能会在从构件上移动。

【方向】用于确定三向力/力矩方向的方法，其中，

“垂直于工作平面”方法，需要事先定义好工作平面的方向，三向力/力矩作用点的 Z 轴方向垂直于工作平面，X 轴沿工作栅格平面的 X 轴方向；

“自定义”方法，通过三点来定义出三向力/力矩的方向 Reference-Marker，具体可参看 2.1 节参考点的“X 轴，Y 轴”的确定方法；

三向力/力矩的原点放在 i-marker 位置，但三个分量方向与 Reference-Marker 的方向相同，且在运动过程中随其变化而变化。

【幅值】用于确定三向力/力矩的大小，默认选择“常数”，且大小为 1N/1Nm，用户可自定义大小，或者后期修改为函数表达式。

结构树上双击已建好的三向力/力矩可用于编辑。

图 340 三向力属性编辑面板

编辑【三向力/力矩】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的三向力/力矩；

2. 面板中【力的名称】显示当前三向力/力矩的名称，“ID”显示当前三向力/力矩的 ID 号；

3. 修改面板中的【主构件】“构件”或【从构件】“构件”的内容可修改当前三向力/力矩中的主构件或从构件；

4. 修改面板中【幅值定义】的内容可通过定义函数表达式形式（参本章 2.5 节函数

编辑器），设置三向力/力矩分量的幅值大小；

5.【显示设置】可设置仿真过程是否显示三向力/力矩的变化情况，目前暂不支持显示；

6.单击【√】。

2.5.3 六向力

施加在构件上的六向力的 6 个分量，包括三个平动方向和三个转动方向。

用户需要首先确定出六向力的加载构件、位置、方向及幅值大小。

图 341 六向力创建面板

创建【六向力】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【六向力】；

2. 【创建方法】有三种，默认选择“2 个构件和 1 个定位点”选项；

3. 初始创建时的【方向】定义有两种，默认选择“垂直于工作平面”；

4. 六向力的大小由【幅值】来确定，默认选择“常数”，且大小为 1N 和 1Nm，用户

也可自定义大小；

5. 在视图交互区域，依次点选主构件和从构件，以及两构件之间的 1 个定位点；

6. 单击【√】。

选项说明：

【创建方法】中用于确定六向力的作用构件和作用点位置，其中，

“1 个定位点”用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立外力连接，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有一个构件，则 Simdroid 将在该“构件”和“地面”间定义外力。注意这种由 Simdroid 来确定两个构件的方式，仅适用于两个构件足够近，且对主、从构件关系不太关注的情况；

“2 个构和与 1 个定位点”方式，用户依次点选主构件和从构件，及两构件之间的 1 个定位点。浮动参考点 j-Marker 与 i-marker 初始位置相同，当系统运动时， i-marker 随主构件运动,浮动参考点 j-marker 将在从构件上移动以保持与 i-marker 位置始终重叠，系统在 j-marker 对从构件施加反作用力，这将意味着反作用力的作用点 j-marker 位置并不会固定在从构件上，可能会在从构件上移动；

“2 个构件和 2 个定位点”方式，用户需要先后选定主构件和从构件，并先后在主、从构件上选定两个不同的作用点，作为两构件的 i-marker 和 j-marker，当系统运动时，i-marker 随主构件运动，系统移动浮动参考点 j-marker 使其与 i-marker 位置始终重叠，系统在 j-marker 对从构件施加反作用力，这将意味着反作用力的作用点 j-marker 位置并不会固定在从构件上，可能会在从构件上移动。

【方向】用于确定六向力方向的方法，其中，

“垂直于工作平面”方法，需要事先定义好工作平面的方向，六向力作用点的 Z 轴方向垂直于工作平面，X 轴沿工作栅格平面的 X 轴方向；

“自定义”方法，通过三点来定义出六向力的方向 Reference-Marker，具体可参看 2.1 节参考点的“X 轴，Y 轴”的确定方法；

六向力的原点放在 i-marker 位置，但三个分量方向与 Reference-Marker 的方向相同，且在运动过程中随其变化而变化。

【幅值】用于确定六向力的大小，默认选择“常数”，且大小为 1N/1Nm，用户可自定义大小，或者后期修改为函数表达式。

结构树上双击已建好的六向力可用于编辑。

图 342 六向力属性编辑面板

编辑【六向力】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的六向力；

2. 面板中【力的名称】显示当前六向力的名称。“ID”显示当前六向力的 ID 号；

3. 修改面板中的【主构件】“构件”或【从构件】“构件”的内容可修改当前六向力中的主构件或从构件；

4. 修改面板中【幅值定义】的内容可通过定义函数表达式形式（参见 2.5 节函数表达式），设置六向力分量的幅值大小；

5.【显示设置】可设置仿真过程是否显示六向力的变化情况，目前暂不支持显示；

6.单击【√】。

2.5.4 柔性连接

2.5.4.1 弹簧

弹簧用于创建两个构件之间沿着指定的方向随距离变化的力的关系。

图 343 弹簧创建面板

创建【弹簧】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【弹簧】；

2. 【创建方法】有两种，默认选择“2 个定位点”选项；

3. 【基本信息】默认弹簧刚度为 100N/m，阻尼系数为 1N*s/m，用户可以自定义其大小；

4. 在视图交互区域，依次点选“主构件”和“从构件”几何形状内部各自 1 个定

位点；

5. 创建完成。

选项说明：

【创建方法】中

“2 个定位点”，依次点选“主构件”和“从构件”几何形状内部各自 1 个定位点，作为弹簧的两个安装位置，两点连线方向作为作用力方向，这里建议通过在构件上待选点附近右键选出定位点；

“2 个构件和 2 个定位点”，首先依次点选“主构件”和“从构件”，然后再在构件几何形状内部各自点选 1 个定位点，作为弹簧的两个安装位置，两点连线方向作为作用力方向，这里建议通过在构件上待选点附近右键选出定位点。

结构树上双击已建好的【弹簧】可用于编辑。

图 344 弹簧属性编辑面板

编辑【弹簧】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的弹簧；

2. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前弹簧中的主构件或从构件；

3. 【幅值定义】中，可修改“弹簧刚度”的大小，也可以修改为“无弹簧刚度”，描述没有弹簧的情况；可修改“阻尼系数”的大小，也可以修改为“无阻尼系数”，描述没有阻尼器的情况；“预载”用于指定弹簧在安装长度情况下的预载大小；“自由长度”用于指定弹簧在自由无负载情况下的静置长度；“预载”和“自由长度”都可以指定弹簧的初始载荷状态，二选一即可；

4. 【显示设置】中，暂时不支持 “显示力”功能；“弹簧外径”、“弹簧匝数”、

“阻尼器直径”用于修改弹簧的几何显示效果；

5.单击【√】。

2.5.4.2 卷簧

卷簧用于创建两个构件之间沿着指定的扭转方向随转角变化的力矩载荷关系。

图 345 卷簧创建面板

创建【卷簧】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【卷簧】；

2. 【创建方法】有两种，默认选择“2 个构件 1 个定位点”选项；

3. 【方向】有两种，默认选择“垂直于工作平面”；

4. 【基本信息】中，默认卷簧刚度 K 为 572.9577951 N*m/rad，阻尼系数 C 为 5.729577951 N*m*s/rad，用户可以自定义其大小；

5. 在视图交互区域，依次点选“主构件”、“从构件”及两者间的 1 个定位点；

5. 单击【√】。

【创建方法】中

“1 个定位点” 用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立连接，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有 1 个构件，则 Simdroid 将该“构件”和“地面”间定义卷簧；

“2 个构件和 1 个定位点”，依次点选“主构件”、“从构件”及两构件间的 1 个定位点，作为卷簧的安装位置，这里建议通过在构件上待选定位点附近右键选出定位点。

【方向】用于确定转轴方向的方法，其中“垂直于工作平面”方法需要事先定义好工作平面的方向；“自定义”方法目前仅允许用户通过两点连线方式定义出该卷簧旋转轴，即主/从参考点 i/j-marker 的 Z 轴方向。

结构树上双击已建好的【卷簧】可用于编辑。

图 346 卷簧属性编辑面板

编辑【卷簧】的操作步骤：

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的卷簧；

2. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前卷簧中的主

构件或从构件；

3. 【参数设置】中，可修改“卷簧刚度”的大小，也可以修改为“无卷簧”，描述没有卷簧的情况；可修改“阻尼系数”的大小，也可以修改为“无阻尼”，描述没有阻尼的情况；“预载”用于指定卷簧在安装角度情况下的预载大小；“自由角度”用于指定卷簧在自由/无负载情况下的角度；“预载”和“自由角度”都可以指定卷簧的初始载荷状态，二选一即可；

4. 【显示设置】目前版本暂时不支持 “显示力”功能；

5.单击【√】。

2.5.4.3 衬套

衬套用于定义随两个构件运动的两个参考点坐标系之间力和力矩大小，共有六个分量（*Fx*、 *Fy*、 *Fz*、 *Tx*、 *Ty* 和 *Tz*），分别代表三个平动位移/速度和三个转动角度/角速度的线性函数。

$$\begin{pmatrix} Fx \\ Fy \\ Fz \\ Tx \\ Ty \\ Tz \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & KT_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & KT_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & KT_{66} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ a \\ b \\ c \end{pmatrix} - \begin{bmatrix} C_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & CT_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & CT_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & CT_{66} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} Vx \\ Vy \\ Vz \\ Wx \\ Wy \\ Wz \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \\ T1 \\ T2 \\ T3 \end{pmatrix}$$

其中，

Fx、*Fy* 和 *Fz* 是从构件上参考点 j-Marker 坐标系下的线载荷各分量大小；

x、*y* 和 *z* 是 j-Marker 坐标系下的衬套变形分量；

Vx、*Vy* 和 *Vz* 上述变形分量各自的时间导数；

*F*1、*F*2 和 *F*3 是 j-Marker 坐标系下的各预载平动分量大小；

Tx、*Ty* 和 *Tz* 是 j-Marker 坐标系下的扭转载荷各分量大小；

a、*b* 和 *c* 是 i-Marker 相对于 j-Marker 坐标系下的衬套扭转角度分量；

Wx、*Wy* 和 *Wz* 是 i-Marker 相对于 j-Marker 转动角速度，在 j-Marker 坐标系下的分量；

*T*1、*T*2 和 *T*3 是从构件上参考点 j-Marker 坐标系下的各预载扭转分量大小。

图 347 衬套创建面板

创建【衬套】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【衬套】；

2. 【创建方法】有两种，默认选择“2 个构件 1 个定位点”选项；

3. 【方向】有两种，默认选择“垂直于工作平面”；

4. 【基本信息】中，默认衬套平动刚度 K 为 100 N/m，平动阻尼系数 C 为 1 N*s/m，转动角刚度 KT 为 2.864788976 N*m/rad，转动角阻尼系数 CT 为 0.028647913 N*m*s/rad，用户可以自定义其大小；

5. 在视图交互区域，依次点选“主构件”、“从构件”及两者间的 1 个定位点；

6. 单击【√】。

【创建方法】中

“1 个定位点” 用于让 Simdroid 来确定哪两个构件建立连接，这里一般选择最靠近的两个构件；如果只有 1 个构件，则 Simdroid 将该“构件”和“地面”间定义出衬套；

“2 个构件和 1 个定位点”，依次点选“主构件”、“从构件”及两构件间的 1 个定位点，作为衬套的安装位置，这里建议通过在构件上待选定位点附近右键选出定位点。

【方向】用于确定转轴方向的方法。其中，“垂直于工作平面”方法需要事先定义好工作平面的方向；“自定义”方法目前仅允许用户通过两点连线方式定义出该衬套安装轴，即主/从参考点 i/j-marker 的 Z 轴方向。

编辑【衬套】的操作步骤：

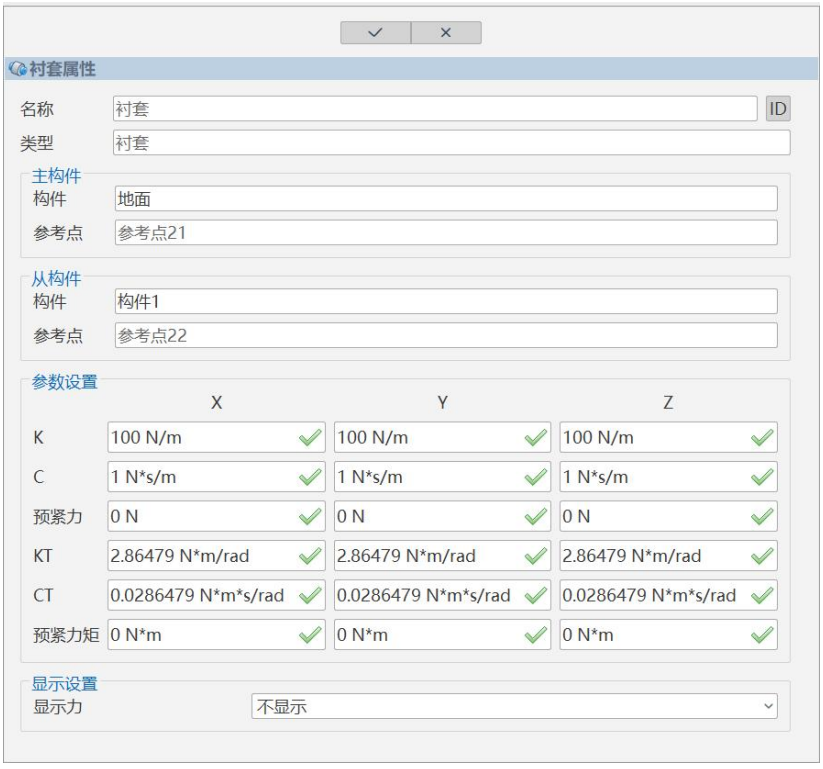


图 348 衬套属性编辑面板

1. 在【结构树浏览器】中双击需要编辑的【衬套】；

2. 修改面板中的“主构件-构件”或“从构件-构件”的内容可修改当前衬套中的主构件或从构件；

3. 【参数设置】中，可修改 X、Y、Z 三向的平动“衬套刚度 K”、“阻尼系数 C”以及“衬套扭转刚度 KT”、“扭转阻尼系数 CT”的系数大小；“预紧力”用于指定衬套在安装方位下的平动预载大小；“预紧力矩”用于指定衬套在安装方位下的转动预载大小；这个两个预载在构件相对运动过程中保持常量大小；

4. 【显示设置】目前版本暂时不支持 “显示力”功能；

5.单击【√】。

2.5.5 特殊力

2.5.5.1 接触属性

在创建接触之前，需要先进行【接触属性】设置。按照接触类型的不同，可分为“光滑接触”和“非光滑接触”，两者的接触属性、及其参数均不相同，用户需依据情况选择。

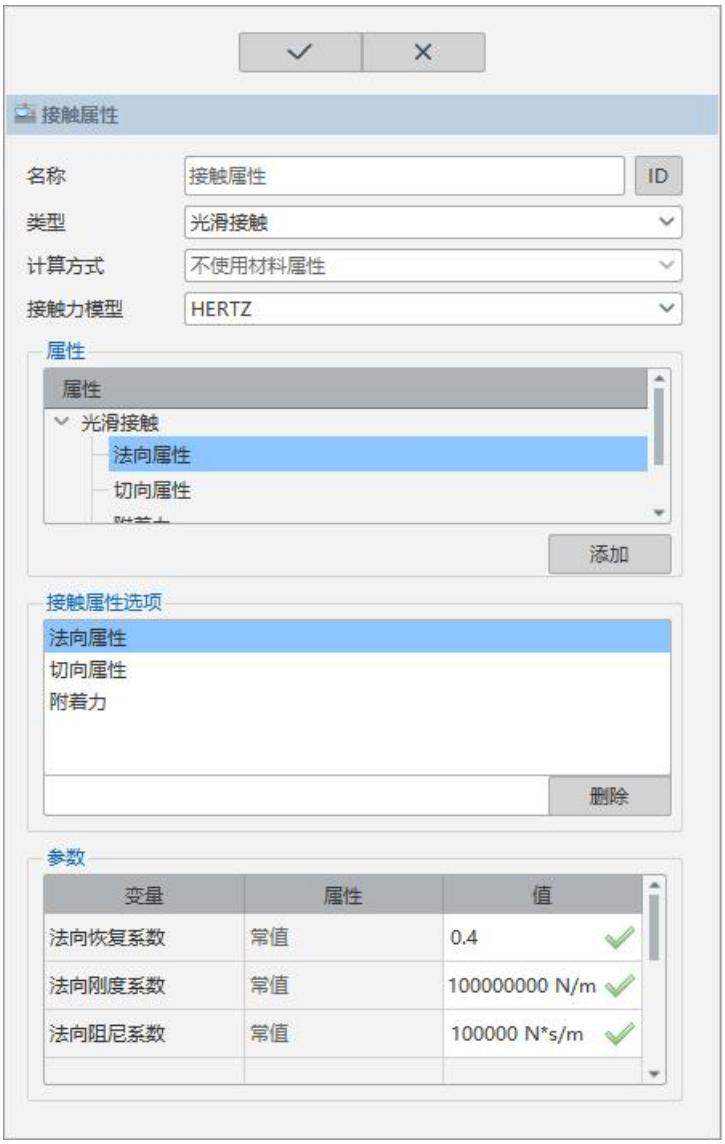


图 349 接触属性创建面板

创建【接触属性】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【接触属性】；

2. 【名称】和【计算方式】目前版本暂不支持修改；

3. 【接触属性】有“光滑接触”和“非光滑接触”两种，默认“光滑接触”；

4. 【接触力模型】仅用于“光滑接触”，可选“COULOMB”和“HERTZ”模型，默认 “COULOMB”；

5. 【属性】提供了“光滑接触”支持的属性项，用户可以双击或“添加”；

6. 【接触属性选项】提供了“法向属性”、“切向属性”、“附着力”等属性项的编辑，用户可以点选不同的属性项，并在下面相应的【参数】中进行设置和修改；

7. 单击【√】。

修改【接触属性】【类型】选择“非光滑接触”，可进行相应的属性设置，具体操作及属性详情与上述“光滑接触”基本一致。

在【结构树浏览器】中双击已建好的【接触属性】可用于编辑，操作同接触属性编辑面板。

【接触属性】中各参数的默认值及取值范围如下表：

表 5　接触属性参数的默认值及取值范围

类型	属性	接触属性	取值范围	默认值	单位
光滑接触	法向属性	法向恢复系数	[0,1]	0.4	-
		法向刚度系数	[0,+∞)	1.00E+08	N/m
		法向阻尼系数	[0,+∞)	1.00E+05	Ns/m
	切向属性	摩擦系数	[0,1]	0	-
		最小滑移速度	(0,+∞)一个较小的值	1.00E-03	m/s
		切向刚度系数	[0,+∞)	1.00E+08	N/m
		切向阻尼系数	[0,+∞)	1.00E+05	Ns/m
	附着力	附着力	[0,+∞)	0	N
非光滑接触	法向属性	法向恢复系数	[0,1]	0.4	-
		法向刚度系数	[0,+∞)	1.00E+08	N/m
	切向属性	静摩擦系数	[0,1]	0.6	-
		切向刚度系数	[0,+∞)	1.00E+08	N/m
	阻尼	阻尼系数	[0,+∞)	0	Ns/m
	粘性力	粘性力	[0,+∞)	0	N

2.5.5.2 接触

“接触”用于对实体之间的接触关系进行初始设置。

图 350 接触创建面板

创建【接触】的操作步骤：

1. 在【分析】选项卡>单击【接触】；

2. 【接触名称】用于显示接触的名称；

3. 【接触类型】目前版本仅支持“实体接触”选项；

4. 【主接触几何】用户可鼠标左键点选“接触”发生时的主构件，可添加多个几何体，但必须都属于同一个构件；

5. 【从接触几何】操作同上，且不能与主接触几何构件相同；

6. 【接触属性】用户需要选择应用已经创建好的“接触属性”；

7. 【接触力设置】目前版本暂不支持显示摩擦力；

8. 单击【√】。

在【结构树浏览器】中双击已建好的【接触】可用于编辑，操作同接触创建面板。

2.6 函数编辑器

提供了两类函数的编辑：设计过程函数和运行过程函数。

2.6.1 设计过程函数

设计过程函数用于在设计建模过程中对模型进行定义，在仿真分析过程中无需再进行计算更新。设计函数可用来将模型参数化以便进行优化和灵敏度分析，在仿真计算过程中其值不可变。

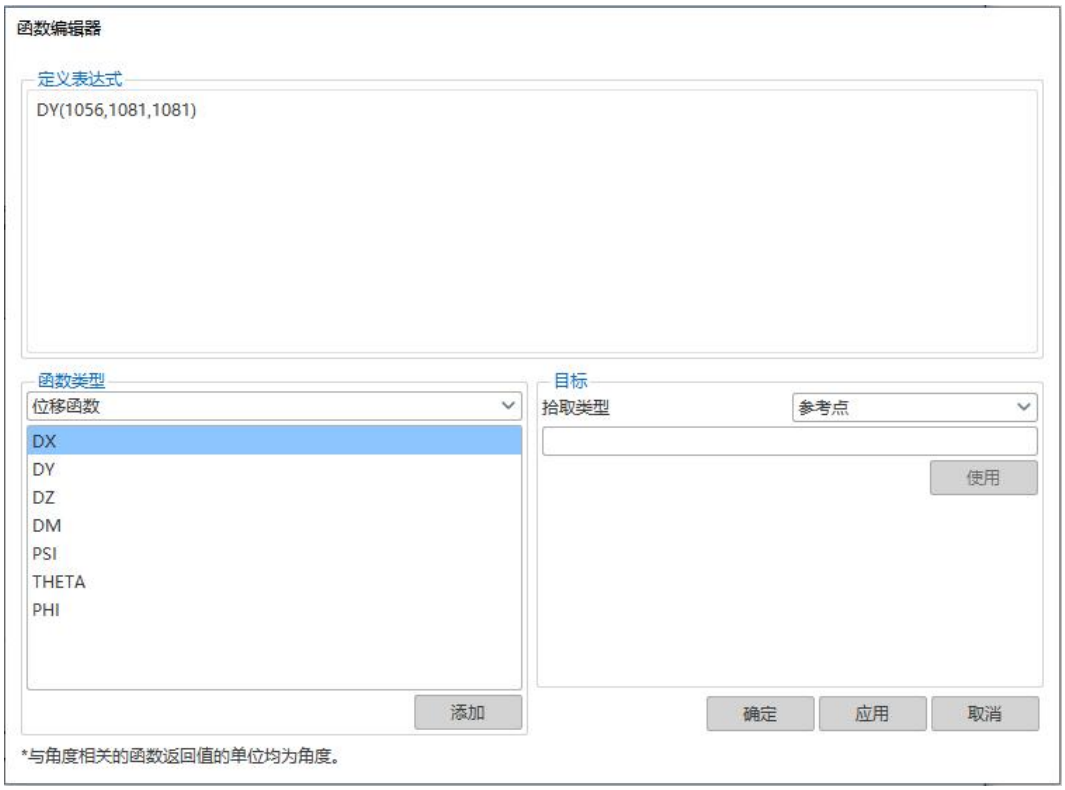


图 351 函数编辑器/函数表达式创建面板

在设置参考点位置、方向、几何外形尺寸、构件质量、惯量时可使用函数编辑

器，建立设计过程函数。该函数的输入参数可以选择参考点、构件、预定义参数等。

目前 Simdroid 多体模块提供的函数有：数学函数、位移函数等。

1. 数学函数（Math Functions）:数学函数适用于对标量和矩阵进行数学计算，如果输入变量为标量其返回值就是标量，如果输入变量为矩阵其返回值就是矩阵。

基本数学函数：

LOG(x) 返回参数 x 的自然对数值；

LOG10(x) 返回参数 x 的以 10 为底的对数值；

SQRT(x) 返回非负参数 x 的平方根值。

三角函数：

SIN(x) 返回参数 x 的正弦值；

SINH(x) 返回参数 x 的双曲正弦值；

COS(x) 返回参数 x 的余弦值；

COSH(x) 返回参数 x 的双曲余弦值；

TAN(x) 返回参数 x 的正切值；

TANH(x) 返回参数 x 的双曲正切值；

ASIN(x) 返回参数 x 的反正弦值；

ACOS(x) 返回参数 x 的反余弦值；

ATAN(x) 返回参数 x 的反正切值；

ATAN2(y, x) 返回 y/x 的反正切函数值。

2. 位移函数属于建模函数，运动学建模函数返回 marker 点或构件之间位移的度量。这些函数有些与运行过程函数重名，但只是计算设计函数在前后关系中的瞬时值，只在模型定义时起作用，而不在仿真分析的时间步中起作用。

位移函数的参数可以选择任一参考坐标系：

DX(To Marker, From Marker, Along Marker) 返回位移矢量在参考坐标系 A-Marker 的 X 轴方向的位移分量；

DY 用法同上，返回位移矢量在参考坐标系 A-Marker 的 Y 轴方向的位移分量；

DZ 用法同上，返回位移矢量在参考坐标系 A-Marker 的 Z 轴方向的位移分量；

DM(To Marker, From Marker) 返回两 Marker 之间的位移。

2.6.2 运行过程函数

运行过程函数用于对仿真计算过程中模型行为的定义，其依赖于模型仿真过程的时间或模型在仿真过程中的状态，在仿真的不同时刻其值不同。运行过程函数在仿真计算的过程中参与计算，并随着时间的变化而变化。位移函数也属于运行过程函数，与设计过程函数重名。

线位移函数：DX、DY、DZ、DM 用法同上；

按 313 顺序的角位移：

PSI (To Marker, From Marker) 按照 313 旋转顺序，返回指定坐标系相对于参考坐标系的第一旋转角度；

THETA 按照 313 旋转顺序，返回指定坐标系相对于参考坐标系的第二旋转角度；

PHI 按照 313 旋转系列，返回指定坐标系相对于参考坐标系的第三旋转角度。

线速度函数：

VX (To Marker, From Marker, Along Marker, Reference Frame) 返回两坐标系相对于指定坐标系的速度矢量差在 X 轴的分量；Reference Frame 用于计算时间导数的参考坐标系；

VY 用法同上，返回两坐标系相对于指定坐标系的速度矢量差在 Y 轴的分量；

VZ 用法同上，返回两坐标系相对于指定坐标系的速度矢量差在 Z 轴的分量；

VM(To Marker, From Marker, Reference Frame) 返回两坐标系相对于指定坐标系的速度矢量差的幅值；

VR 用法同上，返回两坐标系的径向相对速度。

角速度函数：

WX(To Marker, From Marker, About Marker) 返回两坐标系的相对于指定坐标系的角速度矢量差在 X 轴的分量；

WY 同上，返回两坐标系的相对于指定坐标系的角速度矢量差在 Y 轴的分量；

WZ 同上，返回两坐标系的相对于指定坐标系的角速度矢量差在 Z 轴的分量；

WM(To Marker, From Marker) 返回两坐标系的角速度矢量差的幅值。

线加速度函数：

ACCX (To Marker, From Marker, Along Marker, Reference Frame) 返回两坐标系的加速度矢量差在相对于指定坐标系 X 轴的分量；

ACCY 同上，返回两坐标系的加速度矢量差在相对于指定坐标系 Y 轴的分量；

ACCZ 同上，返回两坐标系的加速度矢量差在相对于指定坐标系 Z 轴的分量；

ACCM(To Marker, From Marker, Reference Frame) 返回两坐标系的加速度矢量差的幅值。

角加速度函数：

WDX (To Marker, From Marker, About Marker, Reference Frame) 返回两坐标系的角加速度矢量差在相对于指定坐标系 X 轴的分量；

WDY 用法同上， 返回两坐标系的角加速度矢量差在相对于指定坐标系 Y 轴的分量；

WDZ 用法同上， 返回两坐标系的角加速度矢量差在相对于指定坐标系 Z 轴的分量；

WDM(To Marker, From Marker, Reference Frame) 返回两坐标系的角加速度矢量差的幅值。

数据单元函数：

PIN(输入变量 ID 号) 用于仿真过程中的数据单元函数。

广义力函数：

JOINT(Joint_Name,On_Body,Component,Axes) 返回运动副所传递的力或力矩，其中第一个参数表示需要测量力的运动副名称，第二个参数表示运动副约束力所在的构件，第三个参数表示需要测量的力或力矩的分量，共包含 FM/FX/FY/FZ/TM/TX/TY/TZ 共 8 个分量，分别对应数字 1-8，第四个参数表示用于测量的参考坐标系，通过鼠标在视图区点选获取，若为 0 则表示默认大地参考坐标系；

SPDP(Force_Name,On_Body,Component,Axes) 用法同上， 返回弹簧/卷簧所传递的力或力矩；

BUSH(Force_Name,On_Body,Component,Axes) 用法同上， 返回衬套所传递的力或力矩；

SFORCE(Force_Name,On_Body,Component,Axes) 用法同上， 返回单向力/力

矩作用下两构件间的力或力矩；

GFORCE(Force_Name,On_Body,Component,Axes) 用法同上，返回六向力作用下两构件间的力或力矩；

VFORCE(Force_Name,On_Body,Component,Axes) 用法同上，返回三向力作用下两构件间的力或力矩；

VTORQ(Force_Name,On_Body,Component,Axes) 用法同上， 返回三向力矩作用下两构件间的力或力矩。

拟合函数：

BSPLINE(FuncName, Indep_Var)返回采用 B 样条方法拟合的单变量表格函数，第一个参数表示函数名称，第二个参数表示自变量，一般为时间“TIME()”；

LAGRANGE 用法同上，返回采用 LAGRANGE 方法拟合的单变量表格函数；

LINEAR 用法同上，返回采用线性方法拟合的单变量表格函数。

2.7 输出请求

输出请求允许用户按照自己定义的方式输出仿真结果中的位移、速度、加速度、力等参数的结果。

图 352 输出请求创建面板-标准定义方法

创建【输出请求】的操作步骤：

1. 在【预定义】选项卡>单击【输出请求】；

2. 【定义方法】有三种，默认选择“标准”选项；

3. 【输出类型】随定义方法而不同，默认选择“位移”；

4. 【参考点】用户需要填入或鼠标在视图交互区域点选出“主参考点”、“从参考点”和“引用参考点”。Simdroid 将在“引用参考点”坐标系下，输出仿真过程中“主参考点”相对于“从参考点”的位移值；

5. 单击【√】。

选项说明：

【定义方法】中

“标准”用于用户按照自己定义的方式输出仿真结果中的“位移、速度、加速度”等参数的结果。“力”定义时需要选择对象的类型，例如约束或者接触，并填入约束或接触的名称；

“函数表达式”用于用户使用函数表达式创建输出请求；

图 353 输出请求创建面板-函数表达式定义方法

“变量”用于用户使用既有变量创建输出请求；

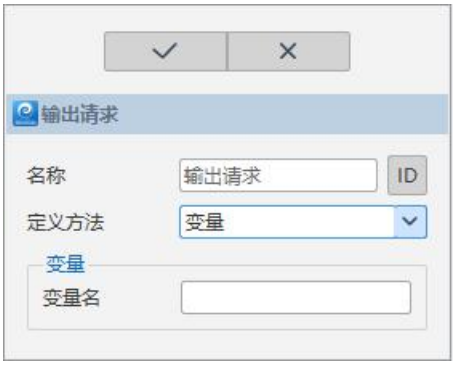


图 354 输出请求创建面板-变量定义方法

在【结构树浏览器】中双击已建好的【输出请求】可用于编辑，操作同输出请求创建面板。

2.8 联合仿真

联合仿真功能包含【输入变量】、【输出变量】、【Simulink】三部分，分别用于设置从Simulink输入的变量、输出给Simulink的变量以及由Simulink控制启动的模型.m文件。输入、输出变量通常是Simdroid多体系统中构件的位移、速度、加速度或力元等状态变量的函数，通过微分方程、传递函数、线性系统方程等确定其与系统外Simulink控制程序之间的关系，建立控制方案，从而建立模型中元素与模型外元素之间的作用关系。

2.8.1 输入变量

用于设置从Simulink输入的变量。创建【输入变量】的步骤如下：

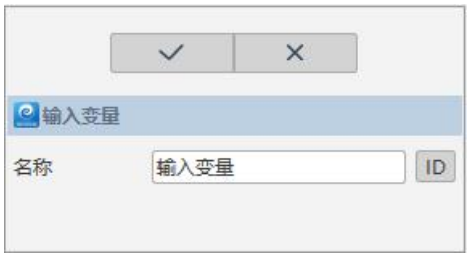


图355 联合仿真输入变量定义方法

1. 单击【分析】选项卡>单击【输入变量】；

2. 设置输入变量的名称；

3. 单击【√】创建结束。

在【结构树浏览器】中双击已建好的【输入变量】可用于编辑，操作方式同其创建面板，鼠标悬于输入变量名称的右侧【ID】按钮上方可获得该输入变量的编号。

该“输入变量”仅仅用于获取从Simulink输入的变量值，后面还需要与多体模型中的外力或位移建立关联。比如，某联合仿真模型中输入变量ID为1078，需要与Simdroid多体模型中的某一单分量力矩关联起来，仿真过程中该单分量力矩的取值将来自此输入变量，设置如下：

图 356 输入变量与多体模型某分量力矩的关联

2.8.2 输出变量

用于设置从 Simdroid 输出给 Simulink 的变量。

创建【输出变量】的步骤如下：

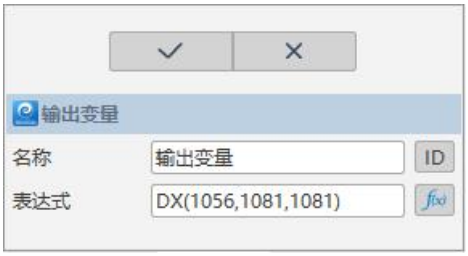


图 357 联合仿真输出变量的创建

1. 单击【分析】选项卡>单击【输出变量】；

2. 设置输出变量的名称。该“输出变量”用于将多体模型的某些仿真结果或组合提交给 Simulink；

3.【表达式】可通过函数表达式 *f(x)* 方式定义。 可以是当前多体的 AX/TX 等结果，

可以是 measure 的结果，也可以是函数表达式等。上图中“表达式”DX(To_Marker, From_Marker, Along_Marker) 用来描述两参考点之间沿着 Along_Marker 坐标系 X 轴方向的距离，表达式中的参考点可用其 ID 号来标识。函数表达式的使用详见“函数编辑器”小节；

4. 单击【√】创建结束。

在【结构树浏览器】中双击已建好的【输出变量】可用于编辑，操作方式同输出变量的创建面板。

鼠标悬于输出变量名称的右侧【ID】按钮上方可获得该输出 ID 的编号。

2.8.3 Simulink 联合仿真

用于 Controls 控制模块的生成及与 Simulink 联合仿真过程控制。

创建【Simulink】联合仿真的步骤如下：

1. 单击【分析】选项卡>单击【Simulink】；

2. 【控制模型名称】控制系统默认名称 controlPlant1，可重新命名；

3. 【.m 文件名称】导出控制参数时生成的.m 文件名称，默认 controlPlant1，可重新命名；

4. 【仿真时间间隔】设置数据交互频率，默认 0.01，表示每隔 0.01s 在 MATLAB 和 Simdriod 之间进行一次数据交换；

5. 将在前两节中已经创建好的【输入变量】和【输出变量】添加到对应列表框；

6. 【静平衡计算】确定是否首先进行静平衡计算，默认不进行静平衡计算，仅进行装配计算；

7. 【分析类型】非线性、【求解器】MKL 等目前版本均保持默认值；

8. 【主机地址】如果是同一台计算机上进行联合仿真，默认为空即可；如果是在网络上进行联合仿真，则需要输入相应的计算机名全称和域名；

9. 单击【√】完成初始创建。

图 358 与 Simulink 联合仿真导出模型参数的设置

与 Simulink 联合仿真的过程步骤如下：

完成以上创建步骤后，仿真模型的“工作路径”…\Solving\ SolvingDomain\下将生成如下联合仿真用控制文件。

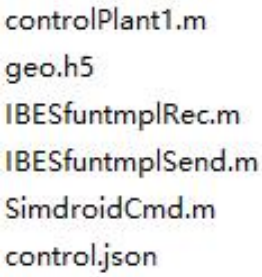


图 359 联合仿真用控制文件

1. 打开 Matlab 并将工作路径设置为上述联合仿真用控制文件所在目录，即 Simdroid 多体模型的工作目录；

2. Matlab 的命令行窗口运行生成的 controlPlant1.m 文件（该文件名来自上文【导出模型参数】中的.m 文件名称），将生成仿真用的同名控制文件 controlPlant1.slx，同时弹出一个新的窗口，该窗口是 MATLAB/Simulink 的选择窗口。其中 Simdroid Multibody 方框表示 Simdroid 的多体非线性模型，即进行动力学计算的模型，MATLAB Funciton1 表示 Simdroid 的多体模型的线性化模型，用 Simdroid Multibody 方框替换控制程序中的方框；

3. 在 Simulink 窗口下【运行】该联合仿真模型，Simulink 将驱动 Simdroid 完成联合仿真过程；

4. 在仿真过程中 Simdroid 与 Simulink 控制程序进行数据交换，由 Simdroid 求解器求解系统的方程，由 Simulink 控制程序求解控制方程，共同完成整个控制过程的计算；

5. 联合仿真结束后，可通过【结果】查看仿真动画和【曲线图】。

2.9 求解设置与计算

求解设置用于设置仿真时间、分析类型、积分方法等。详见本章第一节【求解设置】参数说明。

【初始化】用于让界面中仿真结束的模型回到初始可编辑状态。

【计算】用于求解计算模型，包含“计算”、“导入文件计算”以及“输出控制文

件”。其中，“计算”表示开始计算，同时会弹出暂停与终止按钮，可对计算中的模型进行暂停和终止操作，暂停后再次点击计算为续算；“导入文件计算”表示导入控制文件进行计算；“输出控制文件”表示输出当前模型对应的控制文件。

（八） 耦合分析

1. 耦合分析类型

耦合分析用来分析多个物理场同时存在互相影响的耦合问题。Simdroid 支持的耦合分析类型包括热力耦合（隐式结构分析+热分析）、流热耦合（流体分析+热分析）、电热耦合（低频电磁分析+热分析）、电磁流体热耦合（低频电磁分析+流体分析+热分析）、电磁结构热耦合（低频电磁分析+隐式结构分析+热分析）等多种（暂不支持流固耦合分析）。

耦合分析的创建需要在新建项目时勾选相应的分析类型。如图所示创建一个热力耦合案例，需要同时勾选隐式结构分析与热分析类型，单击【确定】即可新建一个热力耦合分析项目。

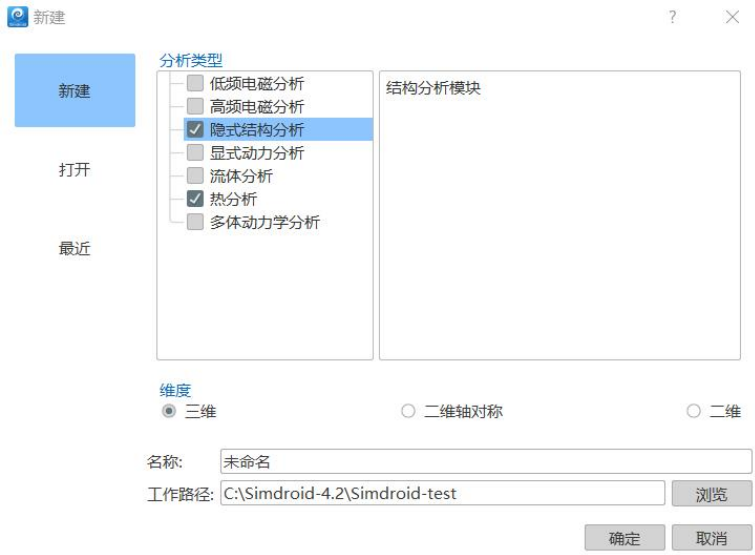


图 360 新建项目耦合场选择

2. 耦合分析步骤

耦合分析操作步骤与其他单独分析类型有所不同，主要体现在耦合分析时，除了设置各物理场的边界条件和载荷以外，还需进行耦合设置。

以下以热力耦合分析为例介绍创建耦合分析的操作步骤：

1. 新建一个分析模型，“分析类型”选择“隐式结构分析”与“热分析”。

2. 创建或导入耦合分析所需几何体（参见几何建模功能）。

3. 创建耦合分析所需材料，进行热力耦合分析时，需要选择材料的【固体属性】和【热属性】对应的参数。

4. 创建耦合分析的网格。（参见网格剖分功能）。

5. 创建隐式结构分析，选中【结构树浏览器】>【隐式结构分析】，在该节点下可以完成结构分析相关设置，包括设置边界条件，创建分析类型，施加载荷等操作，具体参见“结构分析”章节。

6. 创建热分析，选中【结构树浏览器】>【热分析】。在该节点下可以完成热分析相关设置，包括设置边界条件，创建分析类型，施加载荷等操作，具体参见“热分析”章节。

7. 创建耦合分析，单击【结构树浏览器】>【耦合】，在【分析】选项卡，单击【耦合设置】,在【任务面板】>【求解域耦合】,单击添加,在下拉菜单中选择“StaticThermal”;在视图区选择所有模型做为“耦合区域”；【时间步】为“1s”，最大时间改为“1s”，单击“√”，完成热力耦合分析设置。如图所示耦合设置窗口。

8. 在【分析】选项卡>单击【计算】，在报告浏览器查看计算过程输出。

图 361 耦合设置

（九） 更改分析模型和分析类型

1. 更改分析模型

更改分析模型的方式有两种：一是，通过新建一个工程更改分析模型；二是，在分析面板单击【添加物理场】进行分析模型的更改。

2. 更改分析类型

更改分析类型可以通过删掉当前分析类型，再创建一个新的分析类型的方式来更改。

第八章　结果分析和展示

Simdroid 的结果模块用于查看计算结果。

结果模块支持云图、云图选择、切片、剪切面、等值线、矢量、选点曲线、沿线曲线、文件曲线、流线派生结果等功能。

用户可以根据需求，采用不同的方式查看计算结果。

（一）　查看结果的步骤

查看结果的步骤：

1. 建立一个分析模型，并计算完成。

2. 计算完成后，程序自动进入结果环境。或单击【结果】选项卡，进入结果环境。

3. 单击【结果】选项卡，单击需要查看的结果项，进行设置查看。

注意：

不同的物理场，含有各自物理场的特有后处理功能。

创建的后处理节点可以通过选中模型树上该节点，空格键进行隐藏/显示；当查看不同的物理量时，视图区会显示多个色条。

双击模型树上不同的结果模型或切换视图区工具栏的“分析步”，即可查看该结果模型下的各项结果。

（二） 查看结果的功能

1. 云图

云图为将 Part 或 Set 的结果采用彩色云图的方式表现出来。

支持的分析类型：所有分析类型。

图 362 云图设置面板

建立云图的操作步骤：

1. 计算完成一个分析模型；

2. 单击【结果】选项卡>单击【云图】；

3. 【结构树浏览器】>【任务】面板>选择“数据集”设置云图显示对象；

4. 选择“物理场”，设置“显示样式”和“填充方式”；

5. 勾选“变形”选项，输入变形系数。如果不勾选则变形系数不可修改，云图不变形；

6. 单击【预览】，可以在视图区显示当前设置下的云图；

7. 单击【√】，完成参数设置，关闭【云图】面板。

云图选项说明：

【物理场】：不同分析类型的物理场不同，用户可根据需要选择。

【显示样式】：用来显示云图的不同样式，有带边渲染、着色渲染、网格显示、线框显示和半透明几种类型。

【填充方式】：包括“节点插值”和“网格填充”，“节点插值”是按插值后的节点数据进行渲染，“网格填充”是按单元的数据进行渲染。

【变形】：显示位移变形的结果。

【系数】：按照输入值放大变形。

2. 云图选择

云图选择为将单元的结果采用彩色云图的方式表现出来。

支持的分析类型：所有分析类型。

图 363 云图设置面板

建立云图的操作步骤：

1. 计算完成一个分析模型；

2. 单击【结果】选项卡>单击【云图选择】；

3. 【结构树浏览器】>【任务】面板>选择“数据集”设置云图显示对象，可以鼠标在视图区点选单元，也可以借助视图区工具栏的“框选”按钮选择部分单元；

4. 选择“物理场”，设置“显示样式”和“填充方式”；

5. 勾选“变形”选项，输入变形系数。如果不勾选则变形系数不可修改，云图不变形；

6. 单击【预览】，可以在视图区显示当前设置下的云图；

7. 单击【√】，完成参数设置，关闭【云图选择】面板。

选项说明：

【物理场】：不同分析类型的物理场不同，用户可根据需要选择。

【显示样式】：用来显示云图的不同样式，有带边渲染、着色渲染、网格显示、线框显示和半透明几种类型。

【填充方式】：包括“节点插值”和“网格填充”，“节点插值”是按插值后的节点数据进行渲染，“网格填充”是按单元的数据进行渲染。

【变形】：显示位移变形的结果。

【系数】：按照输入值放大变形。

【清除所选单元】：该功能用于清除掉当前渲染的单元，用户可以重新选择单元进行渲染。

【反向选择单元】：该功能用于选择当前已选中单元的剩余部分。

【显示所有网格】：勾选该选项可以将选中的和未选中的单元全部显示在视图区，不勾选该选项则视图区只显示选中的单元。

3. 切片

切片为将实体剖开显示内部切片的结果。

支持的分析类型：所有分析类型。

支持的几何空间类型：三维。

图 364 切片图设置面板

建立切片图的操作步骤：

1. 计算完成一个分析模型；

2. 单击【结果】选项卡>单击【切片】；

3. 【结构树浏览器】>【任务】面板>选择“数据集”设置切片图显示对象；

4. 选择“物理场”，设置“显示样式”及“填充方式”；设置“平面”选项；

5. 勾选“变形”选项，输入变形系数。如果不勾选则变形系数不可修改，云图不变形；

6. 单击【预览】，可以在视图区显示当前设置下的切片；

7. 单击【√】，完成参数设置，关闭【切片】面板。

选项说明：

【物理场】：不同分析类型的物理场不同，用户可根据需要选择。

【显示样式】：用来显示云图的不同样式，有带边渲染、着色渲染、网格显示、线框显示和半透明几种类型。

【填充方式】：包括“节点插值”和“网格填充”，“节点插值”是按插值后的节点数据进行渲染，“网格填充”是按单元的数据进行渲染。

【变形】：显示位移变形的结果。

【系数】：按照输入值放大变形。

【平面】：此选项用来确定平面位置与方向，可以输入位置和方向确定平面位置。

4. 剪切面

剪切面是在某一位置绘制切片。

支持的分析类型：所有分析类型。

支持的几何空间类型：三维。

图 365 剪切面设置面板

建立剪切面的操作步骤：

1. 计算完成一个分析模型；

2. 单击【结果】选项卡>单击【剪切面】；

3. 【结构树浏览器】>【任务】面板>选择“数据集”设置剪切面显示对象；

4. 选择“物理场”，设置“显示样式”及“填充方式”；设置“平面”选项；

5. 勾选“变形”选项，输入变形系数。如果不勾选则变形系数不可修改，云图不变形；

6. 单击【预览】，可以在视图区显示当前设置下的切片；

7. 单击【√】，完成参数设置，关闭【切片】面板。

选项说明：

【物理场】：不同分析类型的物理场不同，用户可根据需要选择。

【显示样式】：用来显示云图的不同样式，有带边渲染、着色渲染、网格显示、线框显示和半透明几种类型。

【填充方式】：包括“节点插值”和“网格填充”，“节点插值”是按插值后的节点数据进行渲染，“网格填充”是按单元的数据进行渲染。

【变形】：显示位移变形的结果。

【系数】：按照输入值放大变形。

【平面】：此选项用来确定平面位置与方向，可以输入位置和方向确定平面位置。

5. 流线

流线是将某一时刻的流场以若干条曲线的方式表现出来。

支持的分析类型：流体分析。

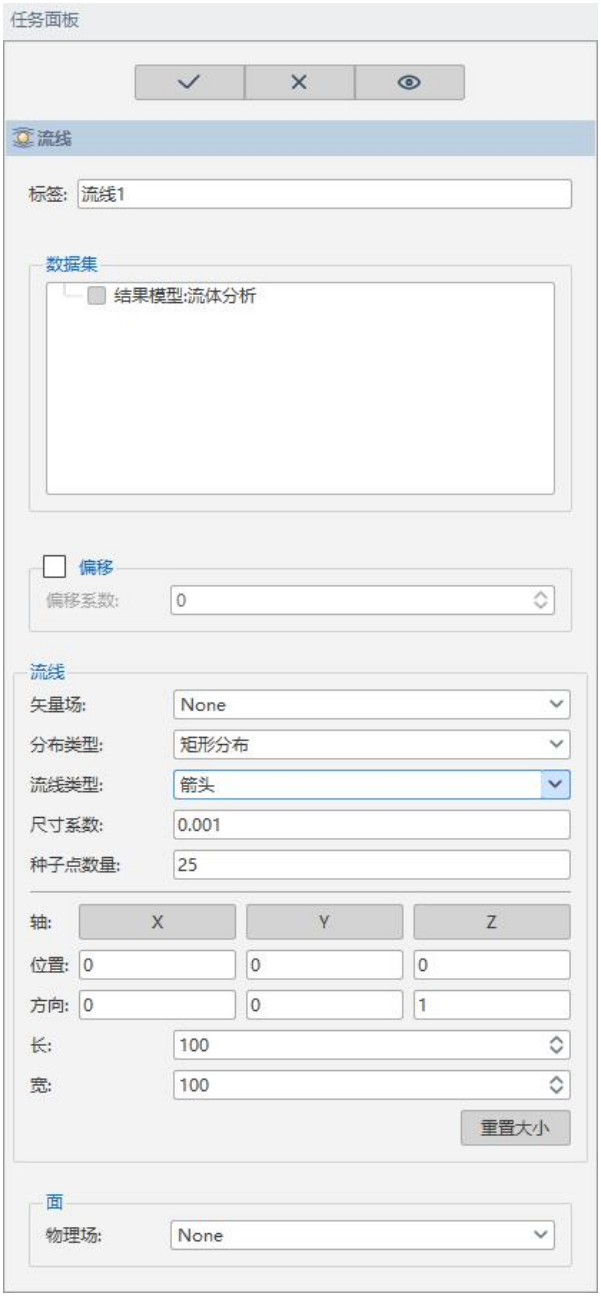


图 366 流线图设置面板

建立流线图的操作步骤：

1. 计算完成一个分析模型后；

2. 单击【结果展示】选项卡>单击【流线】；

3. 【组合浏览器】>【任务】面板>数据集中勾选数据对象；

4. 在【组合浏览器】>【任务】面板>偏移中，选择是否显示网格的偏移；

5. 在【组合浏览器】>【任务】面板>流线中，设置流线的种子点分布和流线的显示；

6. 在【组合浏览器】>【任务】面板>面中，设置流线上分布的物理量；

7. 单击【预览】，可以在视图区显示当前设置下的流线；

8. 单击【√】，完成参数设置，关闭【流线】面板。

流线的设置说明：

【矢量场】：选择矢量场来生成相应的流线，可以选择所有节点的速度矢量场或者仅网格单元的速度矢量场。

【分布类型】：流线种子点在某个平面内的分布，包括矩形、十字、水平和竖直分布。

【流线类型】：选择流线的渲染类型，包括直线、圆管和箭头。

【尺寸系数】：选择流线的尺寸。

【种子点数量】：即生成流线的数量。

【轴】：流线种子面的朝向。

【位置】：流线种子面需要通过一个包围盒来设置，在此处设置包围盒的起始位置。

【方向】：流线种子面的法向方向。

【长】：种子面的长度。

【宽】：种子面的宽度。

6. 等值线

等值线为将结果采用等值线的方式表现出来。

支持的分析类型：所有分析类型。

图 367 等值线设置面板

建立等值线结果的操作步骤：

1. 计算完成一个分析模型；

2. 单击【结果】选项卡>单击【等值线】；

3. 【结构树浏览器】>【任务】面板>选择“数据集”设置显示对象；

4. 选择“物理量”，输入等值线数量；

5. 勾选“变形”选项，输入变形系数。如果不勾选则变形系数不可修改，云图不变形；

6. 单击【预览】，可以在视图区显示当前设置下的等值线；

7. 单击【√】，完成参数设置，关闭【等值线】面板。

7. 矢量

矢量为将结果采用矢量图的方式表现出来。

支持的分析类型：所有分析类型。

图 368 矢量图设置面板

建立矢量图的操作步骤：

1. 计算完成一个分析模型；

2. 单击【结果】选项卡>单击【矢量】；

3. 【结构树浏览器】>【任务】面板>选择“数据集”设置矢量图显示对象；

4. 设置“矢量”选项，包括“矢量场”、“分布模式”、“采样数量”及“尺寸系数”；

5. 勾选“变形”选项，输入变形系数。如果不勾选则变形系数不可修改，云图不

变形；

6. 单击【预览】，可以在视图区显示当前设置下的矢量图；

7. 单击【√】，完成参数设置，关闭【矢量】面板。

矢量图选项说明：

【分布模式】：此选项用来控制矢量箭头的分布模式，可以选择所有点都带箭头或者均匀分布箭头。

【采样数量】：当“分布模式”选择“均匀分布”时，可以修改采样数量控制箭头疏密。

【尺寸系数】：尺寸系数即是按照倍数放大矢量箭头。

【均匀显示箭头大小】：该选项用来控制箭头是否大小一致。如果勾选此选项则所有箭头等大，可以通过箭头方向和“面”物理量来确定该矢量。

8. 选点曲线

选择模型上一点或多点查看计算结果。

图 369 选点曲线设置面板

创建选点曲线的操作步骤：

1. 计算完成一个分析模型；

2. 单击【结果】选项卡>【选点曲线】；

3. 勾选“变形”选项，输入变形系数。如果不勾选则变形系数不可修改，云图不变形；

4. 选择 X 轴变量和 Y 轴变量，X 轴变量默认为“时间/频率”；

5. 在视图交互区域，单击选择节点，可多选；

6. 选择“按坐标”或“按节点号”绘制曲线；

7.单击【预览】，可以在视图区显示当前设置下的曲线图；

8. 单击【√】，完成参数设置，关闭【选点曲线】面板。

9. 沿线曲线

在模型中选择一条直线或者弧线显示其计算结果。

图 370 沿线曲线设置面板

创建沿线曲线的操作步骤：

1. 计算完成一个分析模型；

2. 单击【结果】选项卡>单击【沿线曲线】；

3. 选择 X 轴变量和 Y 轴变量，X 轴变量默认为“弧长”；

4. 选择曲线类型，设置插值精度节点数，并根据需要设置是否封闭线；

5. 根据选择的曲线类型拾取点，单击【预览】，可以在视图区显示当前设置下的曲线图；

6. 单击【√】，完成参数设置，关闭【沿线曲线】面板。

10. 文件曲线

通过导入外部数据文件创建结果曲线。

图 371 文件曲线设置面板

创建文件曲线的操作步骤：

1. 计算完成一个分析模型；

2. 单击【结果】选项卡>单击【文件曲线】；

3. 单击“打开”按钮选择本地文件夹中的文本文件；

4. 在变量选项区域显示 X 轴变量和 Y 轴变量；

5.单击【预览】，可以在视图区显示当前打开的曲线图；

6. 单击【√】，关闭【文件曲线】面板。

11. 曲线图

曲线图功能包括：滚动缩放、拖拽、拉框放大、放大缩小、复位、显示/隐藏曲线、设置曲线颜色、对数/常数显示、显示/隐藏散点、输出图片、输出文件、外部曲线预览、坐标轴编辑、页眉页脚编辑、网格线编辑、曲线编辑、显示标签、显示数据表格等功能。

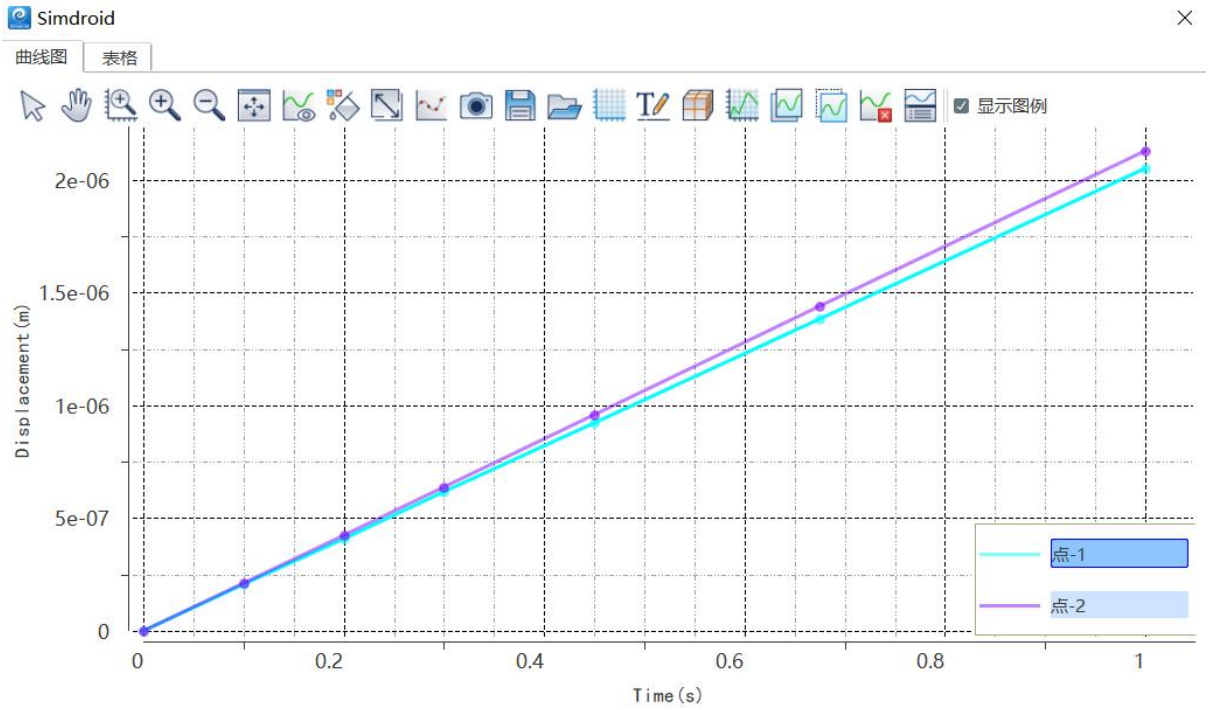


图 372 沿线曲线的右键功能

【滚动缩放】：采用鼠标中键滚动操作，对曲线进行缩小或放大。

【拖拽】：对曲线进行上下或左右拖拽。

【拉框放大】：局部放大显示曲线图。

【放大】：放大显示曲线图。

【缩小】：缩小显示曲线图。

【复位】：将曲线图复位。

【显示隐藏】：显示、隐藏曲线。

【设置颜色】：为选中曲线设置颜色。

【对数/常数显示】：以对数/常数显示曲线。

【显示/隐藏散点】：显示/隐藏曲线上散点。

【输出图片】：将曲线图以 png 格式输出。

【输出文件】：将曲线图以 csv 格式输出。

【曲线预览】：导入外部 csv 格式的曲线，进行显示。

【编辑坐标轴】：对横坐标和纵坐标进行设置：坐标轴名称、字号、字体、颜色、有效位。

【编辑页眉页脚】：对页眉页脚进行设置：名称、字号、字体、颜色及显示与隐藏。

【网格编辑】：对坐标轴的主网格、次网格进行设置：网格数、网格线宽、线型、颜色及显示与隐藏。

【曲线编辑】：对曲线的设置与操作：曲线名称、颜色、线型、线宽、偏移与缩放、滤波，以及曲线的显示与隐藏、拷贝、粘贴及删除。

【拷贝曲线】：对选中曲线进行拷贝。

【粘贴曲线】：将所拷贝的曲线粘贴在曲线图中。

【删除曲线】：删除所选中的曲线。

【显示数据表格】：以表格形式显示曲线的数据。

【显示图例】：标签的显示与隐藏。

对于多体动力学的曲线图，绘制多个不同单位的物理量时，还可采用多 Y 轴显示功能，显示多条 Y 轴，分别对应不同的物理量。

表格的右键功能：选中表格中数据以 csv 格式输出到本地、复制数据。

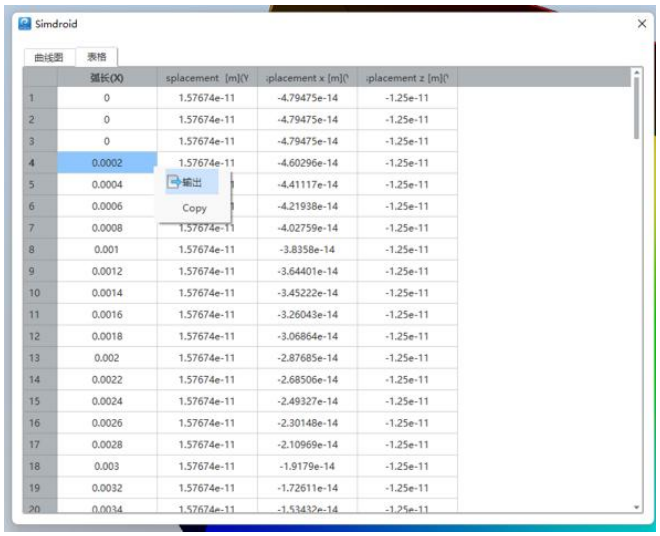


图 373 表格右键菜单

（三） 结果工具

本小结介绍的结果工具均为某物理场特有的结果查看功能。

1. 计算方法（隐式结构分析）

计算方法可以设置部分物理量的渲染方法。

设置计算方法的步骤：

1. 完成一个分析计算；

2. 在【结构树浏览器】>【结果】>【隐式结构分析结果】右键“编辑”，打开任务面板。

3. 可以选择是否勾选“积分点数据外插”，选择“平均方法”。

4. 如果模型中有梁，可以勾选“梁截面渲染”在后处理视图中渲染梁的截面。

5. 点“√”，完成计算方法的设置与结果数据更新。

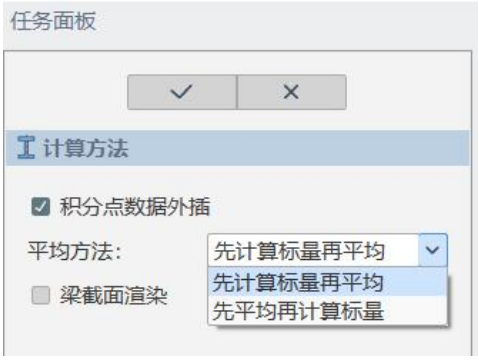


图 374 计算方法

说明：

积分点数据外插：勾选此选项时，节点上数据则由积分点处数据向外插值得来；不勾选此选项时，节点上数据则由积分点处数据平均得来。

平均方法：包括“不平均”、“先计算标量再平均”和“先平均再计算标量”三种。选择“不平均”时，只能不勾选“积分点数据外插”，此时按单元进行数据渲染，即一个单元内为相同的云图分布。选择“先计算标量再平均”时，每个节点处相连单元的节点数据先计算出各自的标量值，再对标量值求平均作为该节点的标量值。选择“先平均再计算标量”时，每个节点处相连单元的节点数据先进行平均，再根据平均值求解标量值作为该节点的标量值。

对于共节点的但材料不同的多个部件，如果采用“先计算标量再平均”时，共节点位置不会做平均处理。

2. 模态分析结果（隐式结构分析）

输出模态分析的分析结果，包括频率、周期和振型信息等。

使用模态分析结果的步骤：

1. 完成一个模态分析计算；

2. 在【结果】选项卡>单击【模态分析结果】。

图 375 频率分析结果

3. 屈曲分析结果（隐式结构分析）

输出屈曲分析的各项结果，包括屈曲分析各阶振型和放大系数等结果。

使用屈曲分析结果的步骤：

1. 完成一个屈曲分析计算；

2. 在【结果】选项卡>单击【屈曲分析结果】。

图 376 屈曲分析结果

4. 疲劳（隐式结构分析）

结构在长时间交变载荷作用下，即使载荷幅值小于材料的极限载荷，往往也会最终发生破坏，这就是疲劳破坏。

疲劳分析的目的是预测结构在达到破坏前能够承受给定的交变载荷历程作用的次数，根据交变载荷历程的周期则可以根据次数确定以时间描述的疲劳寿命。

Simdroid 提供两种疲劳寿命预测的方法：

（1）应力疲劳法：基于 S-N 曲线（即是“应力-循环次数”曲线）进行疲劳寿命预测。S-N 曲线描述了应力幅值对应的疲劳循环次数。应力疲劳法假定应力处于弹性范围内，适用于疲劳循环次数 1e4 次以上，尤其是 1e5 次以上的情况。

（2）应变疲劳法：基于 E-N 曲线（即是“应变-循环次数”曲线）进行疲劳寿命预测。E-N 曲线描述了应变幅值对应的疲劳循环次数。应变疲劳法可以考虑材料的塑性变形，对于可能引起局部屈服的循环载荷作用下的疲劳计算精度更高。

注意：使用疲劳分析前需要确保前处理材料定义添加了“高周疲劳”或“低周疲劳”的材料属性。

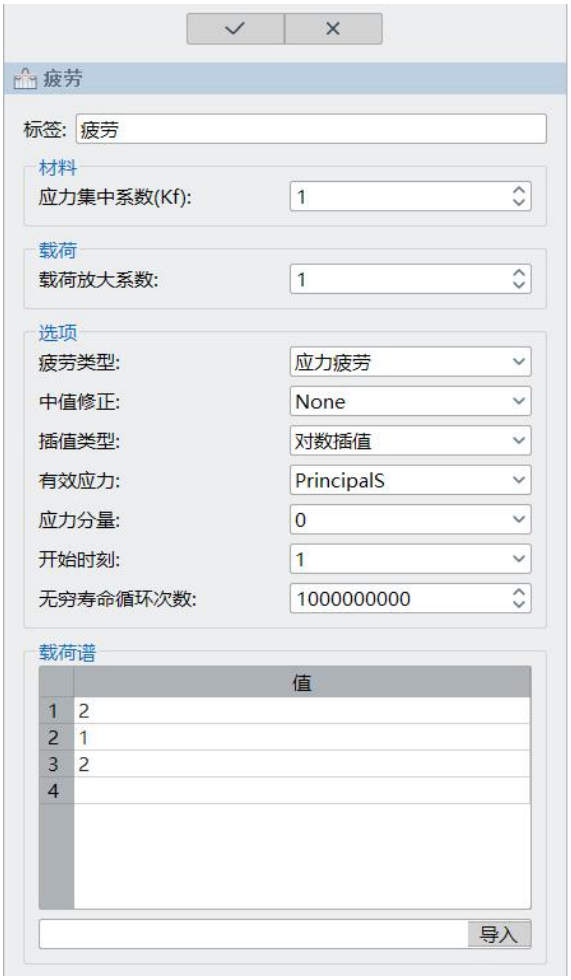


图 377 疲劳参数设置面板

使用【疲劳】的操作步骤：

1. 完成一个结构通用静力计算；

2. 单击【结果】选项卡>【结果模型】树节点，激活【疲劳】功能并单击；

3. 在【任务】面板，输入“应力集中系数”、“载荷放大系数”；

4. 选择“疲劳类型”，选择“中值修正方法”，选择“插值类型”，选择“有效应力”，设置“应力分量”，选择“开始时刻”，输入“无穷寿命循环次数”；

5. 输入“载荷谱”，或单击右下角“导入”按钮从外部导入载荷谱文件；

6. 单击【√】启动疲劳计算；

7. 计算完成后，点击【云图】查看寿命和损伤的结果。

疲劳分析选项说明：

【应力集中系数】：如果需要对有限元计算出的应力进行修正，则输入应力集中系数。

【载荷放大系数】：如果需要对有限元计算的应力进行放大，则输入载荷放大系数。

【疲劳类型】：可选择“应力疲劳”或“应变疲劳”。

【中值修正】：材料的寿命曲线基于中值应力为零的交变载荷情况。由于非零的中值应力对疲劳寿命有着明显的影响，需要采用适当的方法予以考虑。当疲劳类型为应力疲劳时，中值修正提供 None、Gerber、Goodman 和 Soderberg 四种修正方法，其中 None 为不做修正；当疲劳类型为应变疲劳时，中值修正提供 None、Morrow、和 SWT 三种修正方法，其中 None 为不做修正。用户可以根据载荷的情况选用合适的修正方法。

【插值类型】：包含“对数插值”和“线性插值”两类。“对数插值”为先对数据取对数再进行插值，“线性插值”为直接进行插值。

【有效应力】：用于疲劳分析的应力类型选择。用户需要根据材料寿命曲线的情况选择合适的应力类型。

【应力分量】：对应有效应力类型，有效应力选择不同，其应力分量不同。

【开始时刻】：选择载荷谱的开始时刻。

【无穷寿命循环次数】：认为材料疲劳寿命无穷时的循环次数。

【载荷谱】：用于疲劳计算的载荷谱，数值为荷载的峰值-时间曲线。

5. 应力线性化（隐式结构分析）

应力线性化是压力容器设计分析中的一种必不可少的规范校验方法。应力线性化是基于应力分类线进行计算。应力分类线是用户定义的一条线段，通常是结构最危险部位

界面内外壁两点的连线。

图 378 应力线性化设置面板

使用应力线性化的步骤：

1. 完成一个结构通用静力计算；

2. 在【结果】选项卡>单击【应力线性化】；

3. 在【结构树浏览器>【任务】面板，在视图工具栏，单击“拾取点”，在视图交互区域，单击选择节点，为点 1；

4. 在【任务】面板，单击“终点”按钮，在视图交互区域，选择节点，为点 2；

5. 输入“内插点个数”，单击【预览】，可以在视图区显示曲线图；

6. 单击【√】，关闭【应力线性化】面板。

应力线性化结果说明：

应力分类结果会显示局部坐标系下应力分量沿应力分类线的分布曲线。可以选择显示【膜应力】、【弯曲应力】、【膜-弯曲应力】、【峰值应力】、【总应力】。

6. 派生结果（隐式结构分析）

该功能支持用户对同一结果文件的不同计算步间进行基础的运算得到新的结果文件，继而导入新结果文件进行结果查看。

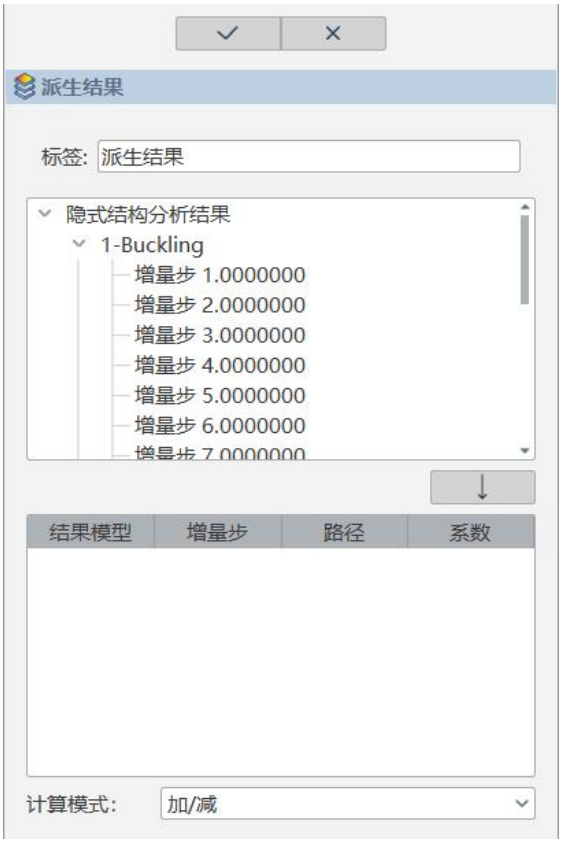


图 379 派生结果面板

派生结果计算的操作步骤：

1. 计算完成一个分析模型；

2. 单击【结果】选项卡>【派生结果】；

3. 选择需要的分析步下的增量步，点↓的箭头将选中的增量步添加到下方的表格中；

4. 设置表格中各增量步的“系数”，选择“计算模式”；

5. 单击【√】进行结果模型运算，根据弹出框提示是否切换到新结果文件。

选项说明：

【计算模式】：包含“加/减”、“最小值”、“最大值”及“绝对值最大”4 种模式。

7. 局部坐标系查看结果（隐式结构分析）

该功能支持在选定的局部坐标系下查看结果。

图 380 局部坐标系查看结果面板

创建局部坐标系查看结果的操作步骤：

1. 计算完成一个分析模型；

2. 单击【结果】选项卡>【局部坐标系查看结果】；

3. 在表格中勾选需要查看结果的坐标系；

4. 单击【√】完成局部坐标系的选定。

说明：选定了坐标系后，再进行云图等结果的查看，将会得到选定坐标系下的结果。

8. 隐式结构分析物理量说明（结构）

本小结介绍的是隐式结构分析后处理所展示的物理量。

CPressure：接触面上的应力分布。

Displacement：位移矢量。

Displacement x/ Displacement y/ Displacement z：位移分量。

E xx/ E xy/ E xz/ E yy/ E yz/ E zz：实体单元应变分量。

Fiber1_E 11/Fiber1_E 12/Fiber1_E 13/Fiber1_E 22/Fiber1_E 23/ Fiber1_E 33：梁的纤维 1 处应变分量。

Fiber1_Mises：梁的纤维 1 处 Mises 应力。

Fiber1_S 11/Fiber1_S 12/Fiber1_S 13/Fiber1_S 22/Fiber1_S 23/ Fiber1_S 33：梁的纤维 1 处应力分量。

Fiber2_E 11/Fiber2_E 12/Fiber2_E 13/Fiber2_E 22/Fiber2_E 23/ Fiber2_E 33：梁的纤维 2 处应变分量。

Fiber2_Mises：梁的纤维 2 处 Mises 应力。

Fiber2_S 11/Fiber2_S 12/Fiber2_S 13/Fiber2_S 22/Fiber2_S 23/ Fiber2_S 33：梁的纤维 2 处应力分量。

Fiber3_E 11/Fiber3_E 12/Fiber3_E 13/Fiber3_E 22/Fiber3_E 23/ Fiber3_E 33：梁的纤维 3 处应变分量。

Fiber3_Mises：梁的纤维 3 处 Mises 应力。

Fiber3_S 11/Fiber3_S 12/Fiber3_S 13/Fiber3_S 22/Fiber3_S 23/ Fiber3_S 33：梁的纤维 3 处应力分量。

Fiber4_E 11/Fiber4_E 12/Fiber4_E 13/Fiber4_E 22/Fiber4_E 23/ Fiber4_E 33：梁的纤维 4 处应变分量。

Fiber4_Mises：梁的纤维 4 处 Mises 应力。

Fiber4_S 11/Fiber4_S 12/Fiber4_S 13/Fiber4_S 22/Fiber4_S 23/ Fiber4_S 33：梁的纤维 4 处应力分量。

LayerBottom_E xx/ LayerBottom_E xy/ LayerBottom_E xz/ LayerBottom_E yy/ LayerBottom_E yz/ LayerBottom_E zz：壳的上（或下）表面应变分量。

LayerBottom_Mises：壳的下表面 Mises 应力。

LayerBottom_PrincipalE Max/ LayerBottom_ PrincipalE Mid/ LayerBottom_ PrincipalE Min：壳的下表面主应变分量。

LayerBottom_PrincipalS Max / LayerBottom_ PrincipalS Mid/ LayerBottom_ PrincipalS Min：壳的下表面主应力分量。

LayerBottom_S xx/ LayerBottom_S xy/ LayerBottom_S xz/ LayerBottom_S yy/ LayerBottom_S yz/ LayerBottom_S zz：壳的下表面应力分量。

LayerTop_E xx/ LayerTop_E xy/ LayerTop_E xz/ LayerTop_E yy/ LayerTop_E yz/ LayerTop_E zz：壳的上表面应变分量。

LayerTop_Mises：壳的上表面 Mises 应力。

LayerTop_PrincipalE Max/ LayerTop_ PrincipalE Mid / LayerTop_ PrincipalE Min：壳的上表面主应变分量。

LayerTop_PrincipalS Max / LayerTop_ PrincipalS Mid / LayerTop_ PrincipalS Min：壳的上表面主应力分量。

LayerTop_S xx/ LayerTop_S xy/ LayerTop_S xz/ LayerTop_S yy/ LayerTop_S yz/ LayerTop_S zz：壳的上表面应力分量。

Mises：实体单元 mises 应力。

Principal_E_Max / Principal_E_Mid / Principal_E_Min：实体单元主应变分量。

Principal_S_Max / Principal_S_Mid / Principal_S_Min：实体单元主应力分量。

ReactForce：支反力。

ReactForce x/ ReactForce y/ ReactForce z：支反力分量。

ReactMoment：支反弯矩。

ReactMoment x/ ReactMoment y/ ReactMoment z：支反弯矩分量。

Rotation：旋转伪矢量。

Rotation x/ Rotation y/ Rotation z：旋转分量。

S xx/S xy/S xz/S yy/S yz/S zz：实体单元应力分量。

SecF_Shell xx/ SecF_Shell xy/ SecF_Shell xz/ SecF_Shell yy/ SecF_Shell yz/ SecF_Shell zz：实体壳内力分量。

SecM_Shell xx/ SecM_Shell xy/ SecM_Shell xz/ SecM_Shell yy/ SecM_Shell yz/ SecM_Shell zz：实体壳弯矩分量。

SecF_Beam 1/ SecF_Beam 2/ SecF_Beam 3：梁单元内力分量。

SecM_Beam 1/ SecM_Beam 2/ SecM_Beam 3：梁单元弯矩分量。

9. 热结构分析物理量说明（热）

本小结介绍的是热分析后处理所展示的物理量。

HeatFlux：热流密度矢量。

HeatFlux x/ HeatFlux y/ HeatFlux z：热流密度分量。

HeatGrad：温度梯度矢量。

HeatGrad x/ HeatGrad y/ HeatGrad z：温度梯度分量。

T：温度。

10. 电磁参数（低频电磁）

电磁参数主要描述电磁计算的物理量，诸如：电容矩阵，电导矩阵，电感矩阵，力，力矩，磁链，欧姆损耗等。

使用电磁参数的步骤：

1. 完成一个电磁分析计算；

2. 在【结果】选项卡>单击【电磁参数】。

电磁参数显示栏中可以看到转矩、电容等值，用户可以通过单击不同页签查看不同的电磁参数值，还可以通过 Ctrl+鼠标左键选择多个数值，进行复制（Ctrl+C）和粘贴（Ctrl+V）操作。

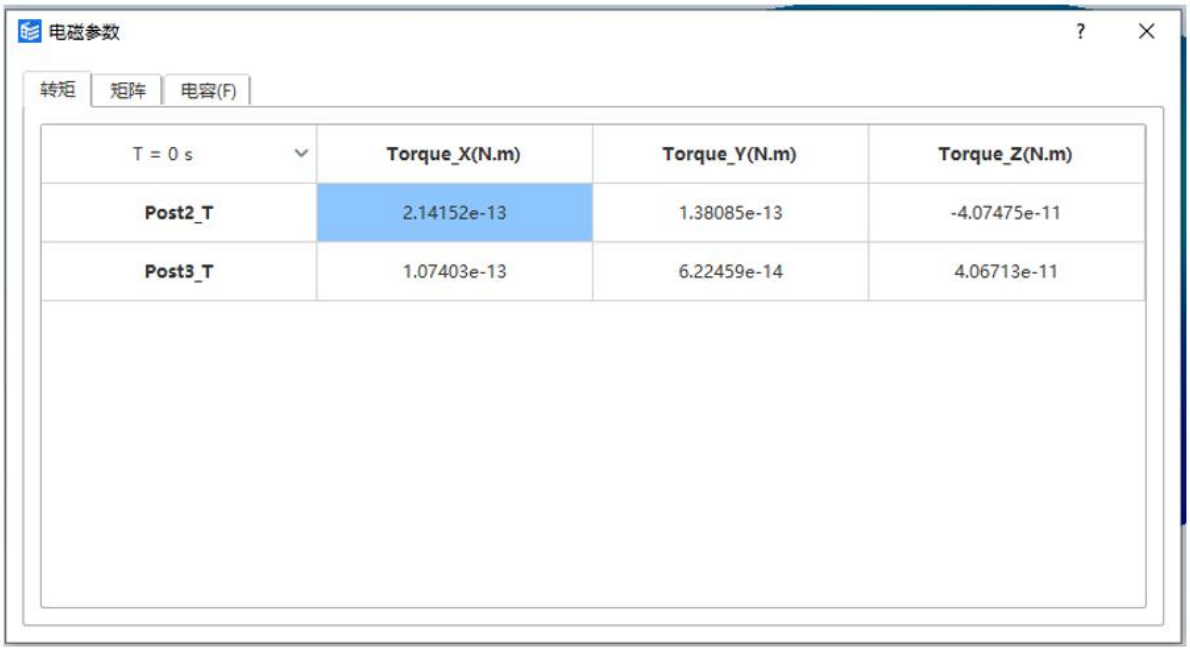


图 381 电磁参数显示栏

对于瞬态电场和瞬态磁场，用户选择一个或多个数值后，右键，单击【绘图】操作，界面显示对应电磁参数随时间变化的曲线图。单击【表格】页签，界面显示曲线图对应的数据，右键，单击【输出】，选择对应的存储路径后，曲线图对应数据会以.csv 格式保存。

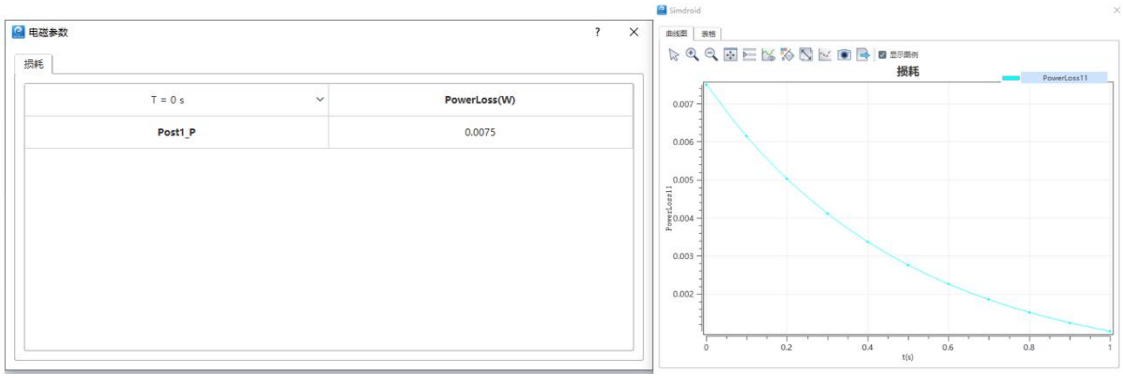


图 382 电磁参数画图展示

注意：对于磁场分析，磁链（Flux）和绕组感应电动势（EMF）在电磁参数的【矩阵】页签下，绕组页签下为该绕组包含的每个线圈对应的电流、电压和电阻，铁芯损耗和涡流损耗位于【损耗】页签下。

11. 网格参数（高频电磁）

网络参数按钮用于查看微波网络参数结果，包括 SYZ 参数的幅值和实部虚部、以及对幅值取十倍对数等常用功能。

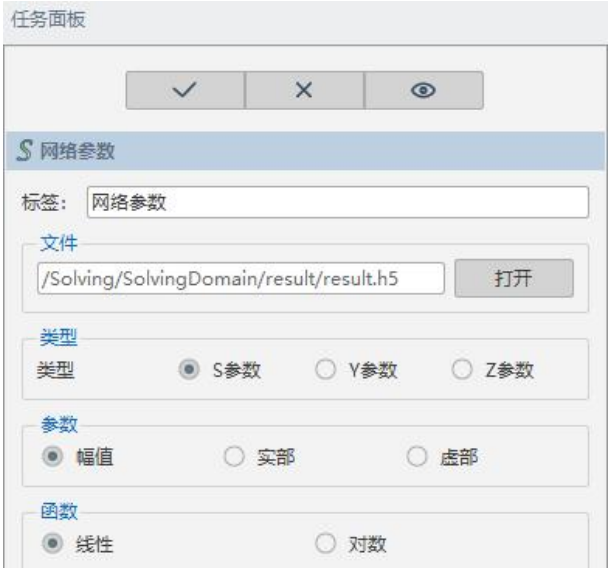


图 383 网络参数结果设置面板

查看网络参数结果的操作步骤：

1. 在【结果】选项卡，单击【网络参数】。

2. 【打开】结果.h5 文件路径，默认打开当前工程的结果文件。

3. 【类型】选择想要查看的是 S 参数、Y 参数、Z 参数。

4. 【函数】选择查看线性结果还是取十倍对数的结果；选择查看的是幅值还是实部或虚部的结果。

5. 在【任务面板】，单击眼睛形按钮，弹出结果对话框。

6. 在【任务面板】，单击【√】，将结果挂载到结构树上。

12. 三维远场图（高频电磁）

三维远场图按钮用于查看天线方向图和雷达散射截面结果的三维渲染效果图。

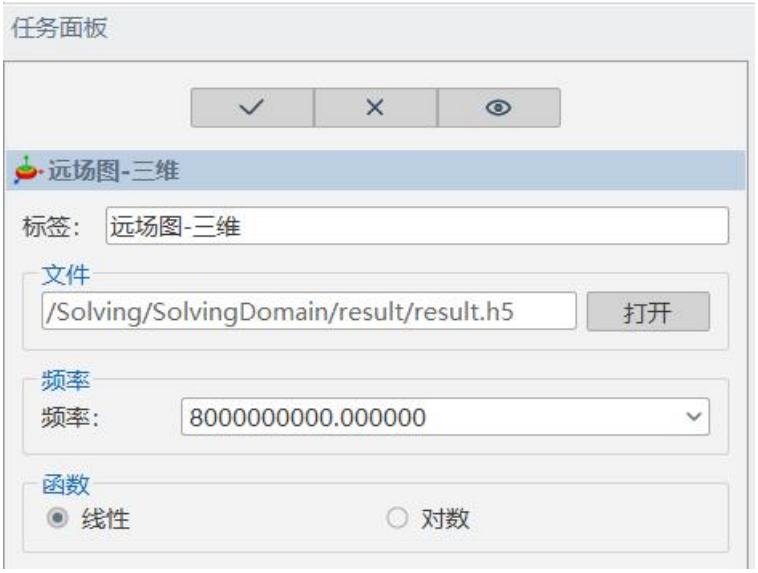


图 384 远场图-三维结果设置面板

查看三维远场图结果的操作步骤：

1. 在【结果】选项卡，单击【远场图-三维】。

2. 【打开】结果.h5 文件路径，默认打开当前工程的结果文件。

3. 【频率】下拉框选择需要查看的频点。

4. 【函数】选择查看线性结果还是取十倍对数的结果。

5. 在【任务面板】，单击眼睛形按钮，弹出结果对话框。

6. 在【任务面板】，单击【√】，将结果挂载到结构树上。

13. 二维天线方向图（高频电磁）

二维天线方向图按钮用于查看天线方向图结果的二维渲染效果图。

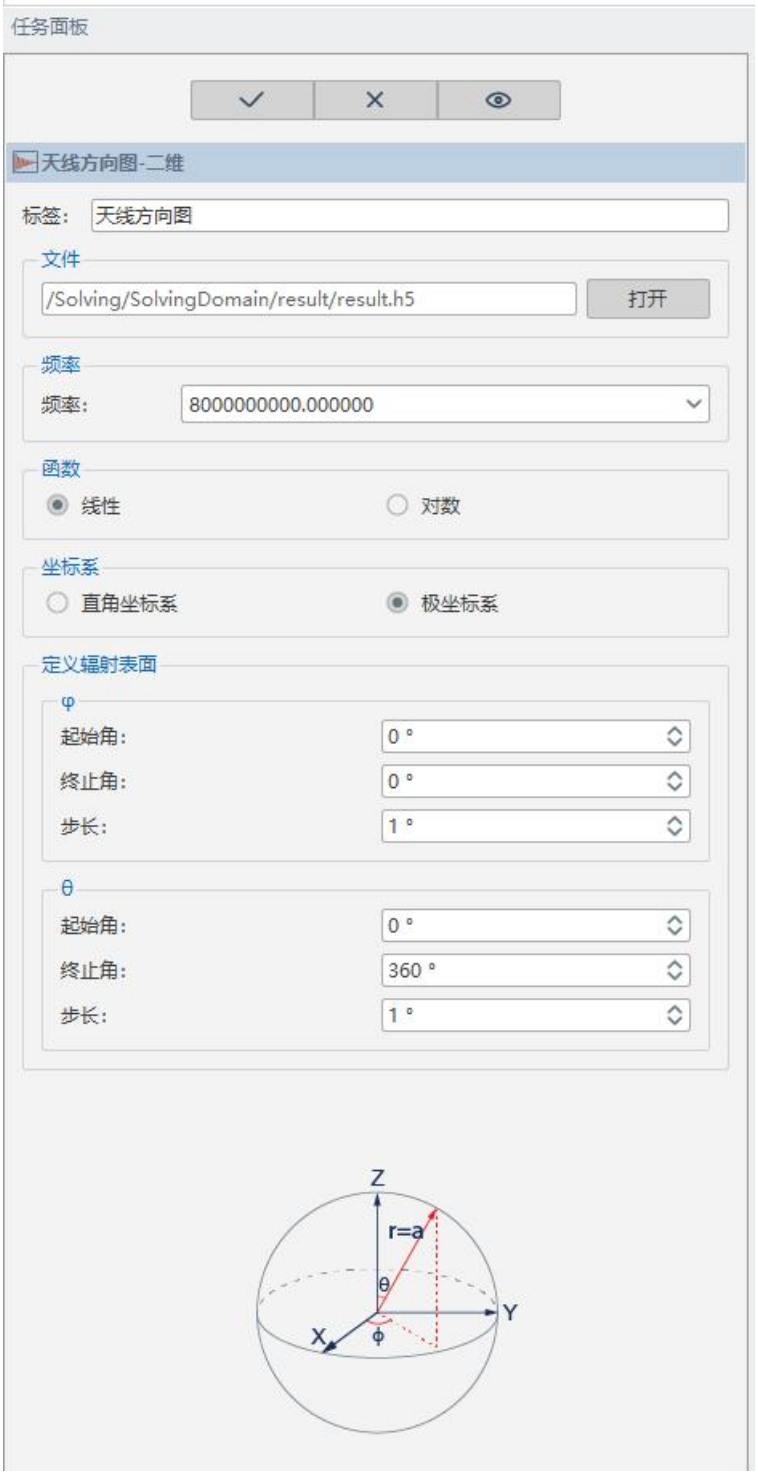


图 385 天线方向图-二维结果设置面板

查看二维天线方向图结果的操作步骤：

1. 在【结果】选项卡，单击【天线方向图-二维】。

2. 【打开】结果.h5 文件路径，默认打开当前工程的结果文件。

3. 【频率】下拉框选择需要查看的频点。

4. 【函数】选择查看线性结果还是取十倍对数的结果；

5. 【坐标系】选择结果的展示方式，采用直角坐标系展示还是极坐标系展示。

6. 【定义辐射表面】选择需要查看的切面。

例如默认值即是 XOZ 面的曲线，设置多个 phi 角可以同时查看多条曲线。

7. 在【任务面板】，单击眼睛形按钮，弹出结果对话框。

8. 在【任务面板】，单击【√】，将结果挂载到结构树上。

注：目前【定义辐射表面】查看不了 XOY 面。

14. 二维雷达散射截面（高频电磁）

二维雷达散射截面按钮用于查看雷达散射截面结果的二维渲染效果图。

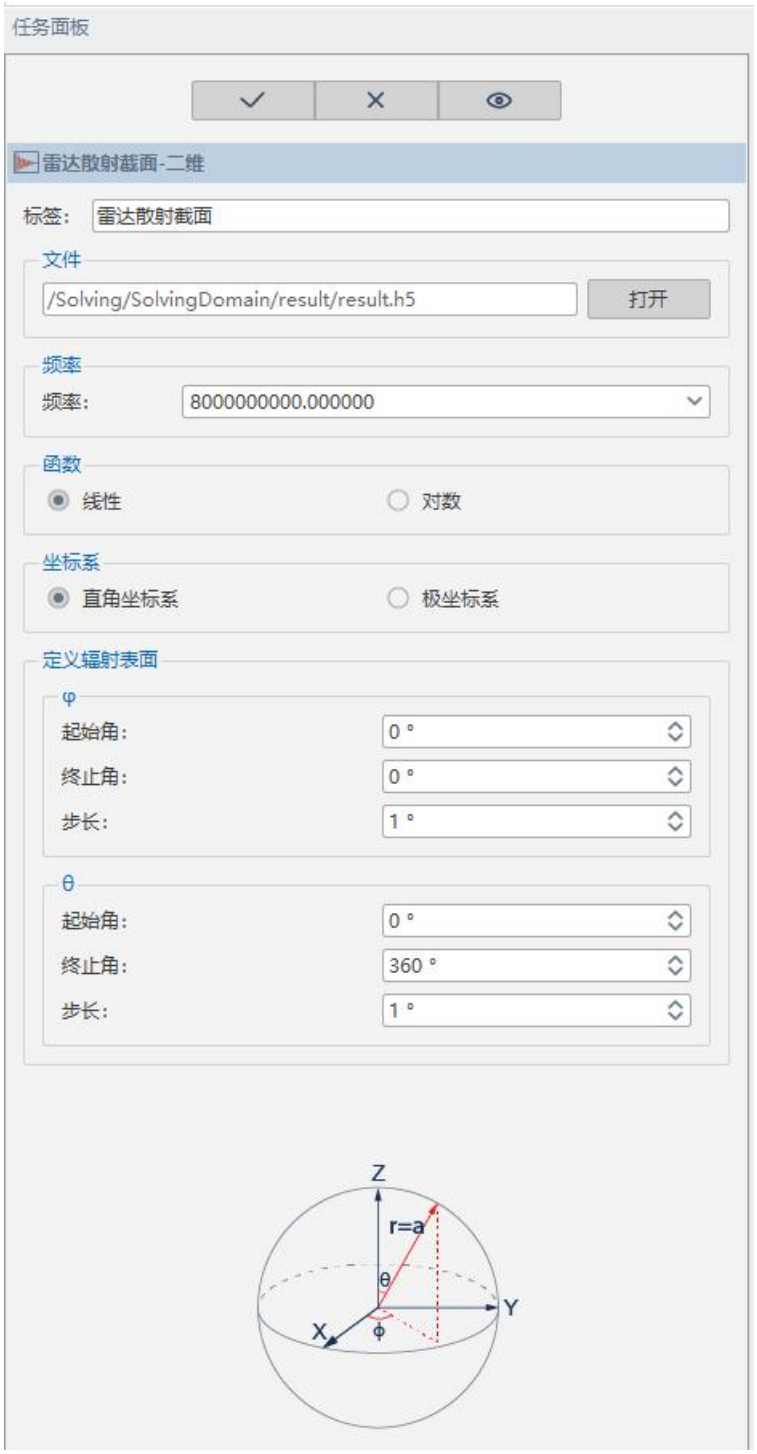


图 386 雷达散射截面-二维结果设置面板

查看二维雷达散射截面结果的操作步骤：

1. 在【结果】选项卡，单击【雷达散射截面-二维】。

2. 【打开】结果.h5 文件路径，默认打开当前工程的结果文件。

3. 【频率】下拉框选择需要查看的频点。

4. 【函数】选择查看线性结果还是取十倍对数的结果；

5. 【坐标系】选择结果的展示方式，采用直角坐标系展示还是极坐标系展示。

6. 【定义辐射表面】选择需要查看的切面。

例如默认值即是 XOZ 面的曲线，设置多个 phi 角可以同时查看多条曲线。

7. 在【任务面板】，单击眼睛形按钮，弹出结果对话框。

8. 在【任务面板】，单击【√】，将结果挂载到结构树上。

注：目前【定义辐射表面】查看不了 XOY 面。

（四） 工具栏按钮

本小结介绍的是后处理视图区工具栏的命令按钮。

图 387 后处理视图区工具栏

1. 将当前视图保存为图像

将当前视图保存为图像功能用来将当前的后处理视图保存为 png 格式的图片。

2. 快速查看

快速查看功能用来快速查看结果模型上任意节点、单元或对象的各物理量属性信息。勾选“视图区显示”选项时，可以在视图区显示选中点的各向结果信息。“导出”功能可以将表格中数据导出为 csv 文件。

图 388 快速查看命令

3. 拾取类型

拾取类型功能用来切换当前对象的拾取类型。包含禁用选择、选择节点、选择单元和选择对象 4 种方式。

4. 后处理原始模型样式

原始模型外观功能用来调整当前视图区原始模型的显示样式。包含隐藏原始模型、原始模型带边渲染、原始模型着色渲染、原始模型网格显示、原始模型半透明和原始模型线框显示 6 种样式。

5. 后处理对象样式切换

此功能用来调整当前视图区变形模型的显示样式。包含带边渲染、着色渲染、网格显示、半透明、线框显示 5 种样式。

6. 框选

此功能用来框选网格单元，用于“云图选择”功能。

7. 适应视图

适应视图功能用来将后处理结果模型进行自适应显示。

8. 框选放大

框选放大功能用于将框选的部位放大显示。

9. 后处理视图方向

该功能用来将后处理结果模型以不同的视角显示，方便用户查看。包含轴测视图、正视图、顶视图、右视图、后视图、底视图、左视图 7 种视图。

10. 距离测量

该功能用来测量两个节点间在当前时刻的距离。

图 389 距离测量

11. 顺时针

顺时针旋转功能用来将结果模型在视图区内按顺时针方向以 90° 为单位进行旋转。

12. 逆时针

逆时针旋转功能用来将结果模型在视图区内按逆时针方向以 90° 为单位进行旋转。

13. 分析步

在分析步选项中可以选择不同的分析步，以查看当前分析步下的结果。

14. 录制

录制功能用来将视图区当前显示结果导出为 mp4 视频文件。

15. 动画播放

动画播放组件用来对当前后处理视图区显示模型的某一物理量结果以动画形式进行播放。

动画播放组件包括时间/频率、播放时刻滑块、帧数、视频录制、第一帧、上一帧、播放、下一帧、最后一帧、循环播放及播放速度命令。

多体动力学的仿真动画具有回放功能，并可控制播放的进度、速度和循环播放等。

图 390 动画播放组件

16. 色条属性

色条属性功能用来对色条的样式进行设置，双击色条即可打开属性设置框。

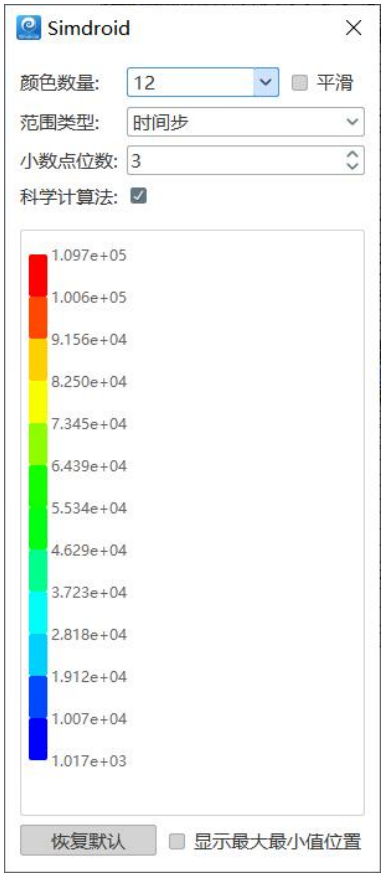


图 391 色条设置命令

色条设置功能可以对色条进行颜色数量设置，勾选视图是否平滑渲染；可以选择范围类型修改云图的渲染方式，当选择“自定义”时，用户可以修改下方色条的每个色块颜色及数值；可以点击“恢复默认”按钮恢复对色条的颜色和数值修改；可以修改色条

的小数点位数；可以设置是否按科学计算法显示数据；可以勾选“显示最大最小值位置”在视图区显示最大最小值。

第九章　APP 开发器

APP 开发器用于将 Simdroid 中完成的仿真模型、仿真流程定制用户界面封装形成仿真 APP。APP 开发器采用图形交互式开发环境，定制界面的界面控件如输入框、标签等均采用鼠标拖拽、键盘输入的方式进行布局和设置。

（一）　仿真 APP 封装步骤

完成仿真模型的建立、计算和结果提取后，在【结果展示】中单击【APP 开发器】进入仿真 APP 开发环境。

1. 在功能区单击【新建表单】，生成“新建表单”的弹出窗口。

2. 在弹出窗口中设置需要在 APP 界面中展示的参数输入/输出窗口、图形显示界面、仿真常用命令。

3. 在功能区单击【标签】等各类控件，向表单中插入标签、输入框、各种说明文本和显示图形等。

4. 在功能区单击【文件菜单】，设置 APP 顶部文件菜单。

5. 在功能区单击【页面菜单】，设置 APP 顶部选项卡。

6. 在功能区单击【分组】，设置 APP 顶部不同功能区栏。

7. 在功能区单击【命令】，在功能区设置常用仿真命令。

8. 在功能区单击【预览表单】，查看已经设置完成的表单界面是否符合预期。

9. 在功能区单击【测试 APP】，测试 APP 的功能。

10. 在功能区单击【导出 APP】，导出 APP，需结合仿真安卓开发环境运行。

11. 在功能区单击【编译器】，导出可独立运行的 APP。

（二） APP 开发器功能

1.1 主窗口功能区

主窗口功能区用于创建选项卡，功能区面板和功能命令。

图 392 主窗口功能区

创建主窗口的操作步骤：

1. 创建一个表单。

2. 在主窗口功能区，单击【文件菜单】。

3. 在【组合浏览器】中选择“模型”一栏，在现有仿真任务下找到【APP 开发器】管理树，选择【主窗口】>【文件菜单】，在下方浏览窗口中输入【标签】的值，即为文件菜单选项卡的名称。

4. 在主窗口功能区，单击【页面菜单】。

5. 在【组合浏览器】中选择“模型”一栏，在现有仿真任务下找到【APP 开发器】管理树，选择【主窗口】>【页面菜单】，在下方浏览窗口中输入【标签】的值，即为页面菜单选项卡的名称。

6. 选中上一步骤建立的页面菜单选项卡的名称后，单击【分组】，在下方浏览窗口中输入【标签】的值，即为功能栏名称。

7. 选中上一步骤建立的功能栏名称，在主窗口面板单击【命令】，单击选择需要链接的命令，即建立 APP 界面功能区命令按钮。

1.2 测试功能

1.2.1 预览表单

单击【预览表单】，可查看已设置完毕的表单界面是否符合设置预期，但无法测试APP内部相关功能。

1.2.2 测试APP

单击【测试APP】，通过更改输入参数，单击相关命令，可测试APP界面和功能是否符合预期。

1.3 导出APP

单击【导出APP】，在信息对话框设置文件导出路径，输入作者、公司、说明信息，加载APP图片，单击【确定】。用于将已开发完毕的APP导出为.app文件，需结合仿真安卓开发环境方可运行。

1.4 表单功能

1.4.1 新建表单

新建表单用于创建一个新的显示页面。新建表单时，可单击功能区“新建表单”按钮，也可通过树结构下表单节点右键菜单：“新建表单”。

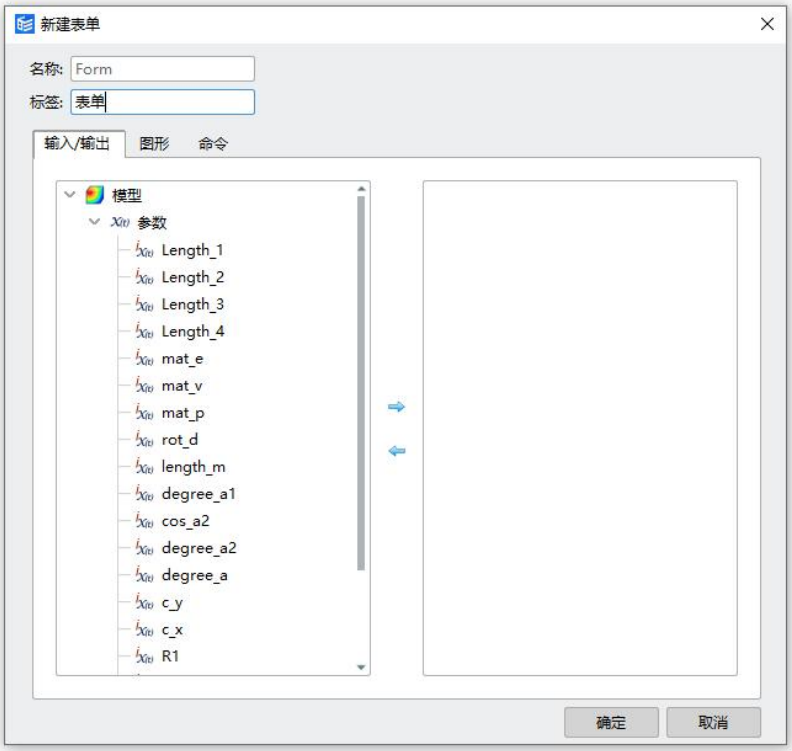


图 393 新建表单设置面板

新建表单的操作步骤：

1. 在【表单】面板，单击【新建表单】，弹出【新建表单】对话框；

2. 在【新建表单】对话框，输入“标签”名称；在“输入/输出”框下，选择 APP 需要设置的参数，单击“→”，将参数移动至右侧面板；

3. 在【新建表单】对话框，单击【图形】，在左侧面板内，选择需要在 APP 中显示的图形窗口，单击“→”，将图形窗口移动至右侧面板；

4. 在【新建表单】对话框，单击【命令】，在左侧面板内，选择需要在 APP 中显示的命令，单击“→”，将图形窗口移动至右侧面板；

5. 在【新建表单】对话框，单击【确定】。

新建表单选项说明：

【输入/输出】：此选项为在仿真模型中定义和绑定的参数，用户可以有选择地将参数放置在新建表单中。参数必须绑定后才有效。

【图形】：图形为视图交互窗口，“几何”图形显示的是模型的几何窗口；“网格”图形显示的模型的网格窗口；“结果”图形显示的模型计算后的结果窗口。

【命令】：命令为仿真过程中使用到的常用命令，包括“生成几何”、“生成网格”、“计算”和“退出”。

1.4.2 表单节点

表单节点右键菜单命令包括：新建表单、空白表单、表单分组和粘贴。

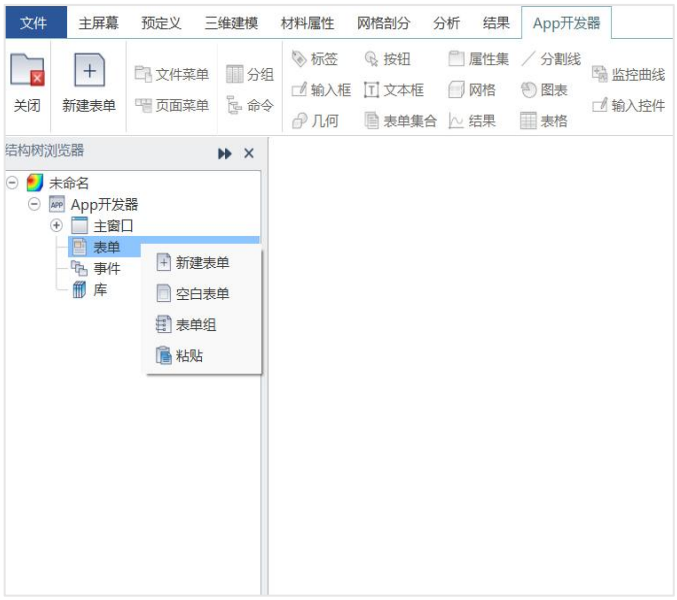


图 394 表单节点右键菜单

【新建表单】同功能区新建表单一致。

【空白表单】用于创建一个空的显示页面。

【表单组】用于将创建的表单进行分组或创建一个表单组。

【粘贴】用于在表单主节点下粘贴表单及表单组。

1.4.3 控件

控件包含：标签、输入框、几何、按钮、文本框、表单集合、属性集、网格、结果、分割线、图表、表格、监控曲线、输入控件。

控件的使用说明：

1.【标签】：可设置标签的文本、提示、图像。

2.【输入框】：用于界面参数输入，并可通过过滤器设置数值类型和范围。

3.【几何】：用于展示几何模型。

4.【按钮】：可设置按钮的文本和图像。按钮功能包括：退出、生成几何、清除几何、生成网格、计算、一键计算、模态分析结果、屈曲分析结果、疲劳、导出参数、导入参数、显示日志、弹出表单。

5.【文本框】：可进行文字编辑。

6.【表单集合】：可将建立的多个表单合成在一起，在同一个窗口中自由切换不同页面。

7.【属性集】：可将一部分参数定义为一个集合。

8.【网格】：用于展示网格模型。

9.【结果】：用于展示结果图。

10.【分割线】：可设置文本，用于分割区域或标识。

11.【图表】：用于展示结果中的图表，以曲线图、直方图或表格形式表示参数变化。

12.【表格】：用于展示前处理中使用了表格输入数据的参数，目前是只读模式，不可修改。

13.【监控曲线】：用于展示计算时的监控曲线。

14.【输入控件】：用于界面参数输入，比【输入框】功能齐全，可设置滑动条、键盘步进参数，以及输入框的可见、只读属性。

图 395 控件示意图

1.5 编译器

点击【编译器】，选择导出目录，运行环境目录为“默认”，点击确定，即可在相关目录下生成 exe 文件，双击即可运行。

自主匠心　普惠仿真

联系方式

地 址： 北京市海淀区永泰庄北路1号东升国际科学园5号楼A座1层

电 话： 010-82363065

邮 箱： info@ibe.cn

官 网： www.ibe.cn

公众号

微博

商务咨询