



PrePoMax 2.1.0 手册

雅各布·米哈尔斯基、伊霍尔·罗卡赫和马特伊·博罗文谢克
(Jakub Michalski, Ihor Rokach and Matej Borovinšek)

6 月 9 日，2024 年

翻译：朱戈

E-mail: wychs@163.com

内容

1	PrePoMax 是什么?	3
2	当前可用的分析功能	3
3	workflows, 常规选项	5
3.1	文件菜单	7
3.2	编辑菜单	8
3.3	查看菜单	9
3.4	工具菜单	10
3.5	帮助菜单	13
4	几何图形和网格选项	13
4.1	几何图形菜单	13
4.2	网格菜单	14
5	FE 模型选项	18
5.1	模型菜单	18
5.2	属性菜单	20
5.2.1	库	22
5.2.2	库材料部分	22
5.2.3	有限元模型材料部分	22
5.2.4	使用材料库	22
5.2.5	在用户之间交换材料数据	22
5.3	交互菜单	24
5.4	振幅菜单	28
5.5	初始条件菜单	28
5.6	步 (Step) 菜单	29
5.6.1	步 (Step)	30
5.6.2	历史输出	35
5.6.3	场输出	36
5.6.4	边界条件	37
5.6.5	载荷	39
5.6.6	定义场	44
5.7	分析菜单	44
6	结果选项	45
6.1	结果菜单	45

1 PrePoMax 是什么？

PrePoMax 是一个开源的前处理器和后处理器，用于开源有限元分析求解器 **CalculiX CrunchiX**。

PrePoMax 由斯洛文尼亚马里博尔大学的 Matej Borovinšek 博士开发。当前稳定版本为 2.1.0。该程序开发版本的源代码可在 [GitLab 上找到](https://github.com/PrePoMax/PrePoMax)。PrePoMax 提供了一个非常人性化的 GUI，并支持 CalculiX 求解器提供的许多功能。可以从以下网站下载：<https://prepomax.fs.um.si/>。

用户论坛位于：<https://prepomax.discourse.group/>。

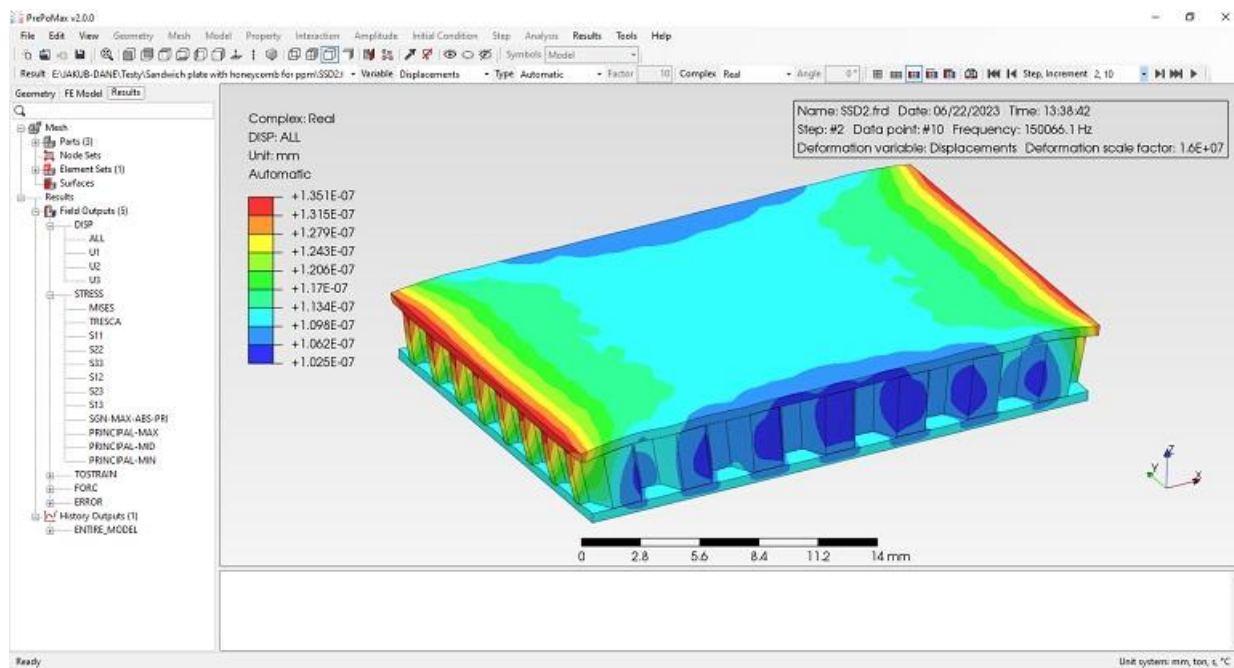


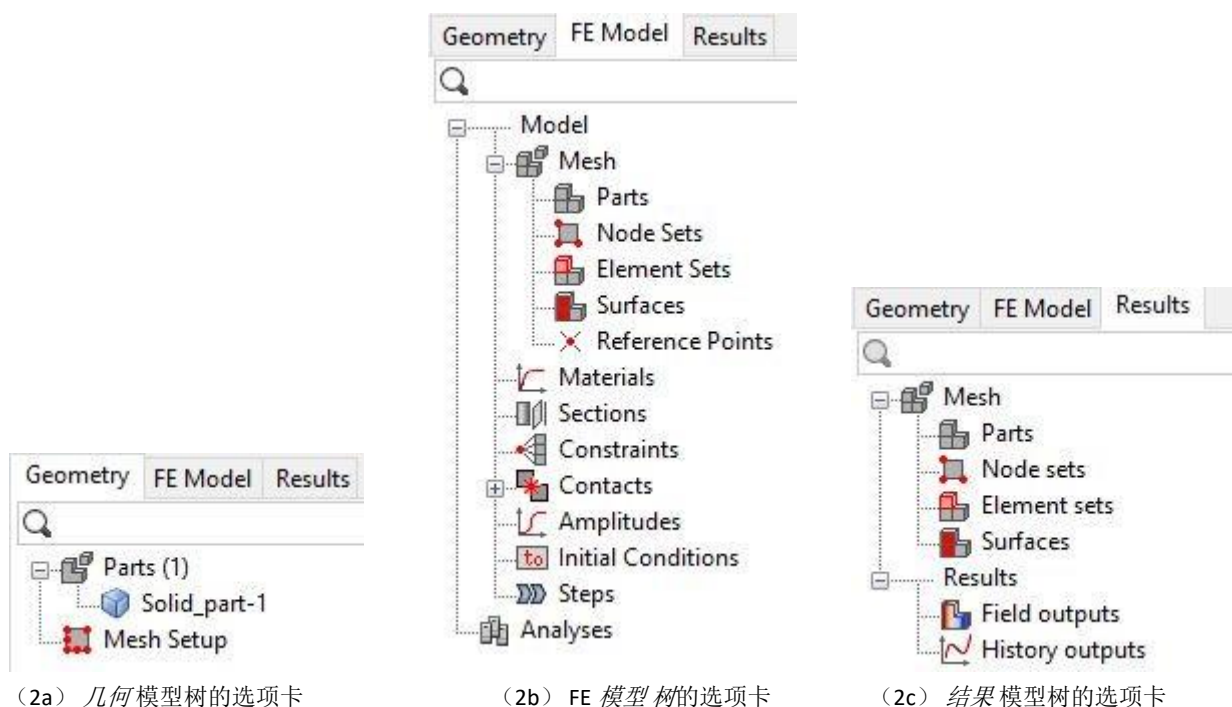
图 1: PrePoMax 用户界面

2 当前可用的分析功能

- 分析步类型：
 - 静态的
 - 固有频率提取
 - 稳态动力学
 - 模态动力学
 - 动态（隐式和显式）
 - 线性屈曲
 - 传热
 - 非耦合温度-位移
 - 耦合温度-位移 – 滑动磨损（基于 Archard 模型）
- 有限元类型：
 - 实心四面体，六面体，金字塔（以折叠边/六面体的形式出现）和楔形/五面体（一阶和二阶）
 - 壳三角形或四边形（一阶和二阶）
 - 薄膜三角形或四边形（一阶和二阶）
 - 平面应力三角形或四边形（一阶和二阶）
 - 平面应变三角形或四边形（一阶和二阶）
 - 轴对称三角形或四边形（一阶和二阶）
- 材料模型（各向同性，具有可选的温度依赖性）：

- 线弹性
- 可塑性
- 热
- 滑动磨损
- 约束:
 - 点弹簧
 - 表面弹簧
 - 刚体
 - 绑定
 - 仅压缩约束
- 相互作用:
 - 接触
 - * 摩擦
 - * 间隙传导
- 初始条件和定义的字段
 - 温度（初始条件和定义的字段）
 - 速度（初始条件）
- 边界条件:
 - 固定
 - 位移/旋转
 - 子模型 – 温度
- 载荷:
 - 集中力
 - 力矩
 - 均匀压力
 - 静水压力
 - 进口压力
 - 表面牵引力
 - 壳边缘正交载荷
 - 重力
 - 离心载荷
 - 预紧力
 - 集中通量
 - 表面通量
 - 体通量
 - 对流
 - 辐射

3 workflows, 常规选项



(2a) 几何模型树的选项卡

(2b) FE 模型树的选项卡

(2c) 结果模型树的选项卡

图 2: 三个 PrePoMax 选项卡

在 PrePoMax 中，模型树的三个选项卡决定了该软件中的工作流程：

1. *几何图形* – 几何图形编辑和网格生成 (图 2a)。
2. *FE 模型* – 分析设置 (前处理)，见图 2b)。
3. *结果* – 后处理 (图 2c)。

每个选项卡还会激活顶部工具栏中的正确菜单。

下面列出了在 PrePoMax 中工作时应遵循的一般步骤：

1. 创建新模型 (File -> New)，然后选择模型空间和单位制。
2. 导入 CAD/STL 几何图形或网格进行分析 (File -> Import)。对于 2D 分析，必须将零件导入为完全位于 XY 平面中的面。此外，对于轴对称分析，代表部件的面必须位于 Y 轴右侧。零件名称旁边的黄色三角形与白色感叹号表示可能需要进一步调查和修复的几何形状潜在问题 (在导入到 PrePoMax 之前在 CAD 软件中修复)。
3. 对于 CAD 和 STL 几何体，准备网格设置 (Mesh -> Mesh Setup Item -> Create) 并生成网格 (Mesh -> Create Mesh)。网格也可以在没有设置项的情况下生成 - 它将使用默认设置。
4. 成功创建网格后，继续进行模型树的 FE 模型部分。
5. 定义用于分析的材料 (Materials -> Create)，添加适当的材料行为：弹性、密度 (用于执行模态分析或使用重力或离心载荷)、塑性 (用于考虑永久变形)、热磨损或磨损。
6. 使用之前定义的材料创建一个新截面 (Section Create)。截面类型可以是实体 (用于使用 3D 或 2D 实体单元)、壳 (用于使用壳单元) 或膜 (用于使用膜单元)。如果使用壳、膜或平面应力/应变单元，也必须指定厚度。选择要为其分配截面的部件。
7. 创建新的分析步。在大多数情况下，默认步设置就足够了。
8. 可选：创建约束 (Constraints -> Create)、定义接触 (展开 Contact 容器，选择 Surface Interactions -> Create 然后选择 Contact pairs -> Create)、初始条件 (Initial conditions -> Create)、定义字段 (Defined fields -> Create) 和/或振幅 (Amplitude -> Create)。

9. 定义边界条件 (BCs -> Create) 和载荷 (Loads -> Create)。有几种可用的类型，它们可以以不同的方式应用于模型 (稍后讨论)。

10. 提交分析 (Analysis-1 -> Run)，完成后可以查看结果 (Analysis-1 -> Results)。各种后处理选项将在后面进行说明。

在 PrePoMax 中，可以使用节点和单元集以及曲面进行工作。可以在创建任何边界条件、荷载、约束或接触之前定义它们，然后在所选特征的定义中引用它们。但是，通常更倾向于在不先创建集/曲面的情况下添加要素。在这种情况下，特征窗口中的选择工具将允许用户根据几何图形或网格选择实体，具体取决于特征的类型。

在 PrePoMax 中有两种主要工作方式 – 使用菜单中可用的选项 (菜单栏和顶部工具栏) 或在模型树中选择它们。一些更高级的选项只能从菜单栏访问。

在 PrePoMax 中查看控件：

- 缩放：鼠标滚动；
- 旋转模型：鼠标中键或键盘箭头；
- 平移 (移动模型)：**Shift**+ 鼠标中键。

在零件上的任意位置按下鼠标中键可将该位置移动到屏幕中心，并将其设置为旋转中心。

对于选择，请使用鼠标左键 (拖动鼠标以使用选择框 - 仅选择完全位于框内的项目)。选择时按住 **Shift** 键可添加实体，而按住 **Ctrl** 键可删除实体。

三个主要选项卡中的每一个顶部都有一个搜索栏。它可用于过滤几何体、有限元模型和结果树。

使用单位的输入字段支持其转换。用户可以输入一个值，编辑显示的默认单位 (例如将 **MPa** 更改为 **GPa**)，按下 **Enter** 后将完成转换 PrePoMax 将以默认单位显示值。

在失败的情况下 (当 PrePoMax 突然关闭时)，系统会询问用户是否应使用崩溃恢复文件来重新生成上一个会话。

可以使用 Windows 命令窗口打开和导入 PrePoMax 支持的文件。语法如下：

```
PrePoMax.exe "file_path\file_name.extension" -us unit_system
```

如果文件与 PrePoMax 可执行文件位于同一位置，则不需要文件路径。单位制类型有：

- **M_KG_S_C**
- **MM_TON_S_C**
- **M_TON_S_C**
- **IN_LB_S_F**
- **UNIT_LESS**

例如，可以使用以下命令打开 PrePoMax 目录的 Models 目录中的 *Assembly.step* 文件：

```
PrePoMax.exe "C: \PrePoMax v1.3.0\Models\Assembly.step" -us M_KG_S_C
```

PrePoMax 支持分析的后处理，在 GUI 中实现的前处理中有一些尚未实现的功能，即灵敏度分析和涉及状态变量 (SDV) 的模拟的可视化。

3.1 文件菜单

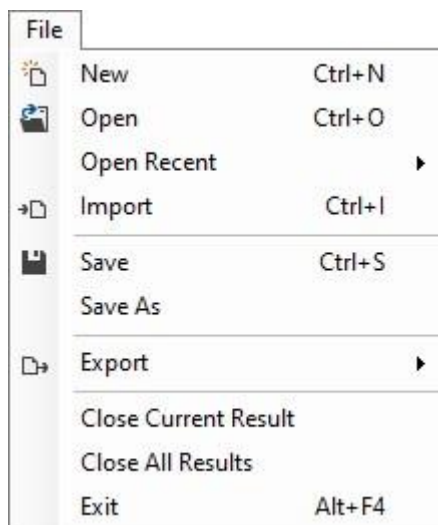


图 3: 文件菜单

File 菜单（图 3）包含以下选项：

- **新建**（Ctrl + N）– 创建新模型。模型空间可以是 3D、2D 平面应力、2D 平面应变或 2D 轴对称。可以使用以下单位制（选择单位制时，将列出派生单位）：
 - 无单位，
 - m, kg, s, °C – 标准 SI 单位，
 - mm, ton, s, °C – 机械工程的典型单位集，
 - m, 吨, s, °C，
 - in, lb, s, °C – 英制单位。
- **打开**（Ctrl + O）– 打开以前创建的模型（.pmx）、历史记录（.pmh）、CalculiX 结果（.frd）或 OpenFOAM 文件（.foam）
- **打开最近** – 打开最近使用的模型之一或清除最近文件的列表。
- **导入**（Ctrl + I）– 导入以下列格式之一保存的 CAD 几何图形、网格或模型：
 - STEP: .stp 和 .step（大多数情况下推荐），
 - IGES: .igs 和 .iges，
 - B-rep: .brep，
 - Stereolithography: .stl，
 - Universal: .unv、
 - Netgen: .vol，
 - Abaqus/CalculiX 输入文件: .inp，
 - Mmg 网格: .mesh。
- **保存**（Ctrl + S）– 保存当前模型中的更改。
- **另存为** – 将模型另存为具有给定名称的 .pmx 文件。
- **导出** – 以下列格式之一导出零件/模型：
 - STEP: .stp，
 - B-rep: .brep，
 - Stereolithography: .stl，
 - CalculiX 输入文件: .inp，

- Abaqus 输入文件（实验性）: .inp、
 - Mmg 网格: .mesh、
 - 变形网格: .inp（考虑到当前的变形比例因子，如果输出设置为 3D 以使用壳单元进行分析，则导出实体单元），
 - 变形可视化: .stl（考虑到当前变形比例因子）。
- **关闭当前结果** – 关闭模型树的后处理部分中当前显示的结果（保存没有结果的 pmx 模型可以减小文件大小）。
 - **关闭所有结果** – 关闭模型树后处理部分的所有结果（保存不包含结果的 pmx 模型可减小文件大小）。
 - **退出**（Ctrl + F4）– 关闭 PrePoMax（系统会询问用户是否应先保存模型）。

3.2 编辑菜单



图 4: 编辑菜单

Edit 菜单（图 4）包含以下选项：

- **撤消** – 撤消最后一个操作。
- **重做** – 重做之前撤消的操作。
- **编辑历史记录** – 打开历史记录编辑器，可以查看已执行操作的历史记录，并通过选择行的第一列并按 **Delete** 键来删除选定的命令条目。可以使用“**全部清除**”按钮删除整个历史记录。更改历史记录将更改“重新生成”功能，因此应谨慎使用。清除很长的历史记录可能有助于提高 PrePoMax 的响应能力，因为在向其添加每个新命令后（即，在将每个特征添加到模型之后），历史记录会保存到文件中。
- **重新生成** – 在出现错误时重新生成模型。
- **使用其他文件重新生成** – 将模型的几何图形与另一个文件中的类似几何图形交换，这样就无需重新定义模型。
- **为重新划分网格划分而重新生成** – 在保留使用基于网格的选择定义的所有节点集、单元集和曲面数据的同时，对模型进行重新划分网格划分（无需重新定义基于几何体的选择，即可对模型进行网格划分）。

3.3 查看菜单

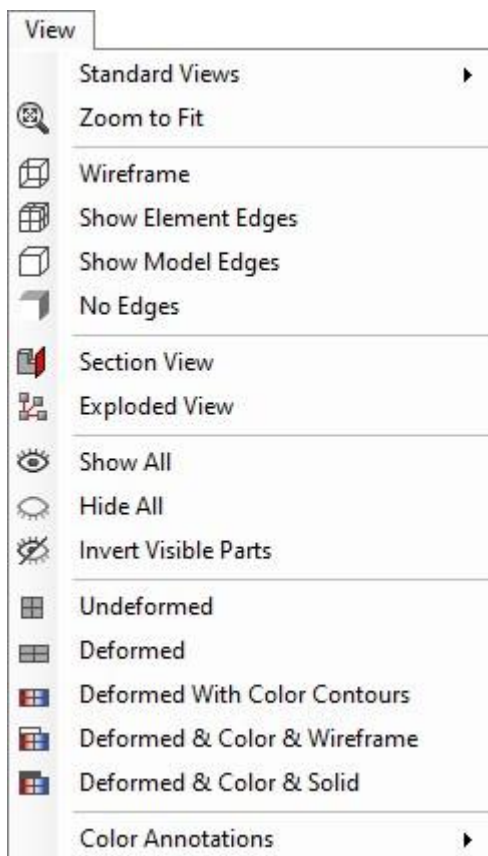


图 5: 视图菜单

View 菜单（图 5）包含以下选项：

- **标准视图** – 应用预定义视图之一：
 - 正面 或 背面，
 - 顶部 或 底部，
 - 向左 或 向右，
 - 正常，
 - 垂直，
 - 等距。
- **缩放以适合** – 以适合窗口的方式缩放模型。
- **线框** – 应用仅显示模型边的视图。
- **显示单元边** – 应用一个视图，显示具有有限元边的模型。
- **显示模型边** – 应用显示模型及其特征边的视图。
- **无边** – 应用显示没有边的模型的视图。
- **剖面视图** – 使用由点和法线定义的平面切割模型，或禁用剖面视图（此选项也可用于后处理） - 警告：在“几何”选项卡中使用剖面视图时，即使是实体零件也会出现空心。
- **分解视图** – 在分解视图中显示装配零件 - 2 种可用方法：
 - 默认值：分解视图方向、放大比例、比例因子、
 - 中心点：X/Y/Z 坐标、爆炸图方向、放大倍率、比例因子。

- **显示全部** – 显示（取消隐藏）模型的所有部分。
- **全部隐藏** – 隐藏模型的所有部分。
- **反转可见零件** – 反转零件的可见性。
- **未变形** – 在结果中显示未变形的模型。
- **变形** – 在结果中显示变形模型。
- **使用颜色等值线变形** – 在结果中显示带有等值线图的变形模型。
- **变形 & 颜色 & 线框** – 在结果中显示变形模型的等值线图和未变形模型的线框表示。
- **变形 & 颜色 & 实心** – 在结果中显示带有等值线图的变形模型和未变形模型的实体表示。
- **颜色注释** – 根据各种标准使用颜色来区分模型的项目：面方向、零件、材料、截面、截面厚度、所有符号、参考点、约束、接触对、BC、荷载。



图 6：文件和视图工具栏

可以从文件和视图菜单中选择的选项直接使用工具栏菜单进行访问，如图 6 所示。此工具栏还包含两个用于查询和注释的按钮，稍后将对此进行讨论。

3.4 工具菜单

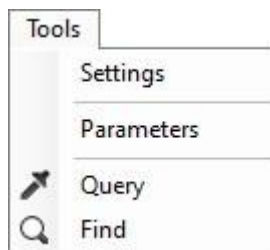


图 7：工具菜单

Tools 菜单（图 7）包含以下选项：

- **设置** - 要将下面列出的任何选项卡中的所有设置重置为默认值，请在空白区域中单击鼠标右键，然后选择“全部重置”
 - 总则
 - * 打开最后一个文件，最后一个文件名。
 - * 将结果保存在 .pmx 文件中。
 - * 压缩 .pmx 文件：不压缩、最快、最佳。
 - * 默认单位系统。
 - * 导入网格 → 边角度。
 - 图形
 - * 背景：类型、顶部颜色、底部颜色。
 - * 几何形状：CAD 挠度。
 - * 照明：环境分量、漫反射分量。
 - * 平滑：点平滑、线平滑。
 - * 小组件：坐标系可见性、比例小组件可见性。
 - 默认颜色

- * 面方向：正面颜色，背面颜色。

- * 常规。

- 注释

- * 设计：背景类型、绘制边框矩形、数字格式、有效位数

- * 边/面注释：显示边/面 ID、显示边/面类型、显示边/面尺寸、显示最大值、显示最小值、显示总值、显示平均值

- * 节点注解：显示节点 ID、显示坐标

- * 部件注释：显示部件名称、显示部件 ID、显示部件类型、显示单元数、显示节点数

- 网格划分 - 网格划分的默认设置

- * 网格尺寸：网格尺寸定义、最大单元因子、最小单元因子、等级、每边单元数、曲率单元数、豪斯多夫因子、

- * 网格优化：优化步 2D、优化步 3D、

- * 网格类型：二阶，几何体上的中侧节点，四元主导网格，

- * 网格操作：分割复合网格、合并复合部分、保持模型边缘。

- 预处理

- * 颜色条：背景类型，绘制边框矩形。

- * 选择：主要/次要/鼠标高亮颜色。

- * 符号：约束/边界条件/载荷颜色、符号大小、节点符号大小、绘制符号边缘。

- 微积分

- * Calculix：工作目录，使用 .pmx 文件夹作为工作目录，可执行文件，默认求解器。

- * 并行化：处理器数量、环境变量。

- * 实验性的：将金字塔单元转换为（折叠的楔形/折叠的千面体）

- 后处理

- * 未变形模型

- 绘制未变形模型：无/线框体/实心体、· 未变形的模型颜色。

- * 极限值

- 显示最小值位置：是/否，

- 显示最大值位置：是/否。

- * 历史输出

- 最大历史输出条目数。

- 图例

- * 色谱设置

- 色谱类型：冷暖、彩虹、彩虹不饱和、暖色、冷色、Cividis、Viridis、等离子、黑体、Inferno、Kindlmann、灰度

- 亮度，

- 反转颜色：是/否，
- 离散颜色的数量 – 在 2-24 的范围内。

- * 色谱值

- 数字格式：科学/通用、
- 符号数字数 – 在 2-8 的范围内，
- 最小/最大限制类型：自动/手动。

- * 设计

- 背景类型：无/白色，
- 绘制边框矩形：是/否。

- 状态块

- * 设计

- 状态块可见性：是/否、
- 背景类型：无/白色，
- 绘制边框矩形：开/关。

• 参数

- 名字
- 值/公式
- 评估结果为

• 查询

- 顶点/节点 – 检查顶点/节点 ID、坐标以及此节点中当前显示的字段输出的值（在结果中）。
- 分面/单元 – 检查分面/单元 ID。
- 边 – 检查边 ID 及其长度，以及沿此边（在“结果”中）当前显示的字段输出的最大值、最小值和总值。
- 表面 – 检查表面 ID 及其面积，以及此表面上当前显示的字段输出的最大值、最小值和总值（在结果中）
- 零件 – 检查零件信息（名称、ID、类型、单元和节点的数量）。
- 装配 – 检查零件、单元和节点的数量。
- 边界框大小 – 检查模型边界框的大小。
- 距离 – 测量两个节点之间的距离。
- 角度 – 使用三个点测量角度。
- 圆 – 测量通过三个选定点的圆的半径。

• 查找

- 项目类型：顶点/节点、小平面/单元、边、曲面、零件。
- 数据：添加注释、项目 ID。

目前，使用 Query 菜单创建的大多数注释 不仅在 PrePoMax 窗口底部的消息区域中显示输出，而且还以附加到模型的标签形式显示输出。右键单击它们会显示“编辑”（手动更改显示的内容）、“重置”和“删除”它们。通过这种方式，也可以访问设置菜单，在那里可以进一步调整注释。单击“查询”窗口底部的“清除”按钮，将

删除所有可见的注释（可以同时显示多个不同类型的注释）。在文件和视图工具栏上还有一个“移除注释”按钮（图 6）。在它旁边，有一个查询按钮，这是 工具-> 查询 的快捷方式。此外，注释保存在 .pmx 文件中。

“查找”工具可用于定位（高亮显示）具有指定 ID 的几何和网格实体。例如，在查找求解器报告为有问题的节点或单元时，它可能很有用。

可以定义无单位参数，然后在方程式中使用这些参数来定义参考点、材料、截面、约束、荷载和边界条件。要添加方程式，应以等号 = 开始输入字段，并从字段中删除单位。这些方程式使用开源的 Ncalc 库，因此支持其函数。

3.5 帮助菜单



图 8: 帮助菜单

Help 菜单（图 8）包含以下选项：

- **顾问** – 打开一个交互式帮助程序，该助手将指导用户完成在 PrePoMax 中设置分析的主要步。
- **主页** – 在默认浏览器中打开 PrePoMax 网站。
- **关于** – 显示标题卡。

4 几何图形和网格选项

模型树的 *Geometry* 选项卡包含两个主要容器 – *Parts* 和 *Mesh Setup*。第一个将所有零件存储在模型中，右键单击零件时，可以使用以下选项：

- **编辑** – 允许编辑零件的名称和颜色（也可以通过双击零件来访问）。
- **查询** – 启用查询工具。
- **预览边缘网格** – 显示将生成的网格中的节点（这样，可以在生成网格之前确定网格的大小是否足够）。
- **创建网格** – 启动网格划分器并为零件创建有限元网格。
- **将几何图形复制到结果** – 允许在后处理中显示几何图形零件。
- **隐藏/显示/仅显示** – 隐藏和显示所选零件的选项，空格键也可用于隐藏和显示零件和其他对象。
- **设置透明度** – 设置零件的半透明性颜色分量。
- **删除** – 删除所选零件。

4.1 几何图形菜单

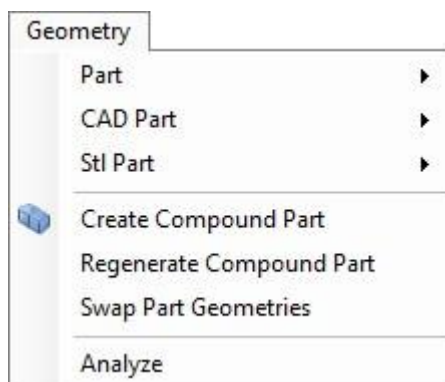


图 9: 几何菜单

Geometry 菜单（图 9）包含以下选项：

- 零件 – 常规零件几何形状选项：
 - 编辑：名称、零件类型、网格、外观、
 - 转换，
 - * 规模。
 - 将几何图形复制到结果中，
 - 隐藏/显示/仅显示，
 - 设置透明度， - 删除。
- CAD 零件 - CAD 零件几何形状选项：
 - 反转面法向 – 翻转壳面方向，
 - 使用两个点分割面 – 通过投影使用两个选定点分割面。
- Stl 零件 - STL 零件几何形状选项：
 - 按角度查找模型边 – 查找符合指定角度标准的模型（特征）边，
 - “翻转零件面法线” – 翻转曲面的方向，
 - 平滑零件 – 对 STL 零件应用平滑处理。
 - 删除零件面 – 删除选定的面。
- 创建复合零件 – 将两个或多个零件合并为一个零件（主体）。
- 再生复合零件 – 再次生成复合物零件。
- 交换零件几何形状 – 在两个零件之间交换零件几何形状。
- 分析 – 检查几何图形中是否存在以下内容：
 - 短于 [指定值] 的边缘，
 - 边缘比 [指定值] 更近，
 - 小于 [指定值] 的面，
 - 带角度的顶点 [指定值]。

4.2 网格菜单

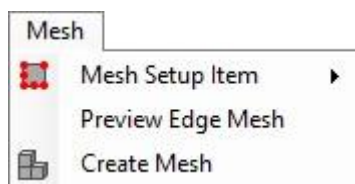


图 10: 网格菜单

Mesh 菜单（图 10）包含以下选项：

- 网格设置项：创建、编辑、复制、删除 - 网格划分器的设置
- 预览边缘网格
- 创建网格

可以创建以下网格设置项：

- 网格划分参数 – 全局网格划分设置：
 - 数据
 - * 名称
 - * 网格设置：基本、高级 – 网格大小

- * 网格尺寸定义：绝对、相对
- * 最大单元尺寸（对于绝对值）或最大单元因子（对于相对值），
- * 最小单元尺寸（对于绝对值）或最小单元因子（对于相对值），
- * 分级：0 – 均匀网格，1 – 激进的局部分级，
- * 每条边的单元数 – 几何体每条边的单元数，
- * 每个曲率的单元 – 每个曲率半径的单元数。
- 网格优化
 - * 优化步 2D – 用于 2D 网格的优化步数，
 - * 优化步 3D – 用于 3D 网格的优化步数。
- 网格类型
 - * 二阶：是/否，
 - * 几何体上的中间节点 – 将中间节点投影到几何体上，选项：是/否，
 - * 四主导网格：是/否（仅适用于壳体和 2D 零件）。
- 网格操作
 - * 分割复合网格：是/否（将复合零件网格分割为非连接零件网格），
 - * 合并复合零件：是/否（将复合零件网格合并为单个网格零件）。
- 网格加密 – 局部网格细化设置：
 - 名称，
 - 单元大小。
- 壳 Gmsh：
 - 名称
 - 2D 网格划分算法：MeshAdapt, Automatic, 仅初始网格, Delaunay, Frontal-Delaunay, 四边形的 Frontal-Delaunay, 平行四边形的堆积, 准结构四边形，
 - 重组算法：None、Simple、Blossom、Simple full-quad、Blossom full-quad、
 - 超限 3 边面：是/否，
 - 超限 4 边面：是/否，
 - 网格优化：
 - * 一阶单元：None、Laplace 2D、Relocate 2D、准结构化四面。
- 加厚壳体网格 – 可用于创建基于准结构化四边形 2D 算法的拉伸网格，而“拉伸网格”功能不支持该算法：
 - 名称，
 - 厚度，
 - 层数，
 - 偏移，
 - 保留模型边缘：是/否。
- 四面体 Gmsh：
 - 姓名、

- 2D 网格划分算法: MeshAdapt, Automatic, 仅初始网格, Delaunay, Frontal-Delaunay, 四边形的 Frontal-Delaunay, 平行四边形的堆积, 准结构四边形,
- 3D 网格划分算法: Delaunay、仅初始网格、Frontal、MMG3D、R 树、HXT、
- 超限 3 边面: 是/否,
- 超限 4 边面: 是/否, - 网格优化:
 - * 一阶单元: None、Gmsh、Netgen、Relocate 3D、
 - * 二阶单元: 无、高阶、高阶弹性、高阶快速弯曲, - 金字塔实验:
 - * 重新组合算法: None、Simple、Blossom、Simple full-quad、Blossom full-quad。
- 超限网格:
 - 名称、
 - 重组: 是/否,
 - 实验性金字塔:
 - * 允许金字塔单元: 否, 是。
- 拉伸网格 - 按自动检测方向 (由粉红色箭头显示) 在选定基础面上创建的表面网格 (可预览):
 - 名称
 - 2D 网格划分算法: MeshAdapt, Automatic, 仅初始网格, Delaunay, Frontal-Delaunay, 四边形的 Frontal-Delaunay, 平行四边形的堆积, 准结构四边形,
 - 重组算法: None、Simple、Blossom、Simple full-quad、Blossom full-quad、
 - 超限 3 边面: 是/否,
 - 超限 4 边面: 是/否, - 特征方向上的单元大小:
 - * 设计依据: 比例因子, 单元数量, 多层
 - * 比例因子 \ 单元数量 \ 相对图层大小, 每层单元数
- 旋转网格 - 按自动检测方向旋转在选定基面上创建的曲面网格 (可预览) (由带有双箭头的粉红色箭头显示):
 - 名称,
 - 2D 网格划分算法: MeshAdapt, Automatic, 仅初始网格, Delaunay, Frontal-Delaunay, 四边形的 Frontal-Delaunay, 平行四边形的堆积, 准结构四边形,
 - 重组算法: None、Simple、Blossom、Simple full-quad、Blossom full-quad、
 - 超限 3 边面: 是/否,
 - 超限 4 边面: 是/否, - 特征方向上的单元大小:
 - * 设计依据: 比例因子, 单元数量, 多层
 - * 比例因子 \ 单元数量 \ 相对图层大小, 每层单元数

相对网格尺寸规范是针对以下情况引入的: 网格应仅针对组件的选定零件更密集, 并且这些零件具有不同的尺寸, 因此没有简单的方法可以通过单一的绝对设置来实现这一点。在这种情况下, 相对设置可以在所有零件上创建同样密集的网格。

“网格细化”选项可用于局部网格控制。可以选择曲面、边或顶点, 并且可以指定局部网格大小。在生成网格之前, 可以预览网格细化。

可以使用三种 Gmsh 网格类型创建六面体网格：超限、拉伸 和 旋转。以下规则适用：

- 默认情况下，从不生成六面体网格，始终需要重新组合（将三角形转换为四边形）。
- 对于**拉伸网格**和**旋转**网格，可以使用超限算法来获得更结构化的网格。
- **拉伸** 和 **旋转** 网格划分不能应用于复合零件，因此应使用基面分区而不是体积分区。应使用例如表面角度选择模式一次性选择这些基面面块。
- **拉伸** 和 **旋转** 网格划分需要具有 3 或 4 条边的面来利用超限算法。
- **超限网格**可以应用于复合零件，因此建议使用体积分区。
- **超限** 网格划分需要具有 5 个或 6 个面生成的体积。这些面每个面都应该有 3 或 4 条边。

以下 YouTube 教程介绍了 PrePoMax 中的 Gmsh 网格划分：

- [PrePoMax & CalculiX - 高级网格划分简介](#)
- [PrePoMax & CalculiX - 超限壳网格](#)
- [PrePoMax & CalculiX - 超限体积网格](#)
- [PrePoMax & CalculiX - 挤压网格](#)
- [PrePoMax & CalculiX - 旋转网格](#)

5 FE 模型选项

切换到 FE 模型选项卡会激活以下菜单：模型、属性、交互作用、振幅、初始条件、步和分析。它们可用于定义各种 FEM 特征。也可以使用模型树创建相同的特征。

5.1 模型菜单

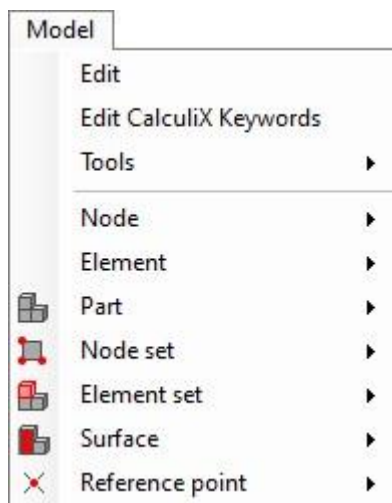


图 11: 模型菜单

Model 菜单 (图 11) 包含以下选项:

- 编辑
 - 名称,
 - 模型空间:
 - * 对于 3D 模型: 3D、
 - * 对于 2D 模型: 2D 平面应力、2D 平面应变 或 2D 轴对称, - 模型类型:
 - * 通用模型,
 - * 子模型:
 - 全局结果 .frd,
 - * 滑穿模型:
 - 结果: 全部/滑动磨损步长/滑动磨损步长的最后增量/最后滑动磨损步的最后增量,
 - 循环次数 - 滑动磨损循环次数,
 - 循环增量 - 滑动磨损周期的增量,
 - 磨损平滑步 - 滑移磨损平滑步的数量,
 - **BDM 重新划分网格**: 开/关 - 启用边界位移方法进行重新划分网格, 因为每个磨损周期后都会产生表面磨损位移, 必须使用边界位移步 (step) 来定义固定的模型区域, 以防止所有刚体运动。
 - 绝对零度 - 用于辐射的绝对零温度值,
 - 斯蒂芬-玻尔兹曼常量 - 用于辐射的斯蒂芬-玻尔兹曼常数的值,
 - 引力常量 - 牛顿引力常数的值.
- 编辑 CalculiX 关键字 — 一个关键字编辑器, 允许添加 PrePoMax 目前不支持的 CalculiX 关键字。
- 工具

- 按角度查找模型边（根据导入网格中的角度搜索特征边缘），
- 创建边界层 - 在表面上创建棱柱形边界层（用于分析螺栓预紧载荷），可以指定层的厚度，预览选项也可用，
- 重新划分单元 - 使用指定的最大/最小元素尺寸和最大豪斯多夫距离（0.01 适用于所有方向上尺寸为 1 的对象）对所选壳体区域进行重网格划分，以逼近边界
- 加厚壳网格 - 访问加厚壳体网格功能，也可作为网格设置项使用，
- 使用曲面分割零件网格 - 可以使用分割面（壳网格）将选定的基础零件区域（体积网格）分割成重合的两区域网格 - 在缺少 CAD 几何图形或需要快速划分网格的各种情况下很有用，
- 从文件更新节点坐标 - 根据节点 ID 从 .inp 文件更新节点网格坐标，可用于根据线性屈曲分析（以前作为变形网格导出为 .inp 文件）的缩放振型，在非线性屈曲分析中引入缺陷。
- 节点
 - 全部重新编号
 - * 启动节点 ID。
- 单元
 - 全部重新编号
 - * 启动单元 ID。
- 零件
 - 编辑：名称、零件类型、网格、单元类型（可以被更改；在轴对称模型的情况下，也可以选择平面应力单元，因为 CalculiX 支持轴对称 + 平面应力混合模型）、外观、
 - 转换：平移、缩放、旋转
 - 合并 - 将多个独立部分的单元分配到一个共同零件，而不改变网格
 - 隐藏、显示和仅显示，
 - 设置透明度，
 - 删除。
- 节点集
 - 创建，
 - 编辑：名称、节点数、重心、边界框中心、
 - 复制
 - 删除。
- 单元集
 - 创建
 - 编辑：名称、单元数量
 - 重复
 - 转换为零件 - 可以删除以这种方式创建的零件以便从模型中删除选定的单元
 - 删除。
- 表面
 - 创建，
 - 编辑：名称、表面类型、区域类型、

- 复制,
- 删除。
- 参考点
 - 创建,
 - 编辑,
 - 复制,
 - 删除。

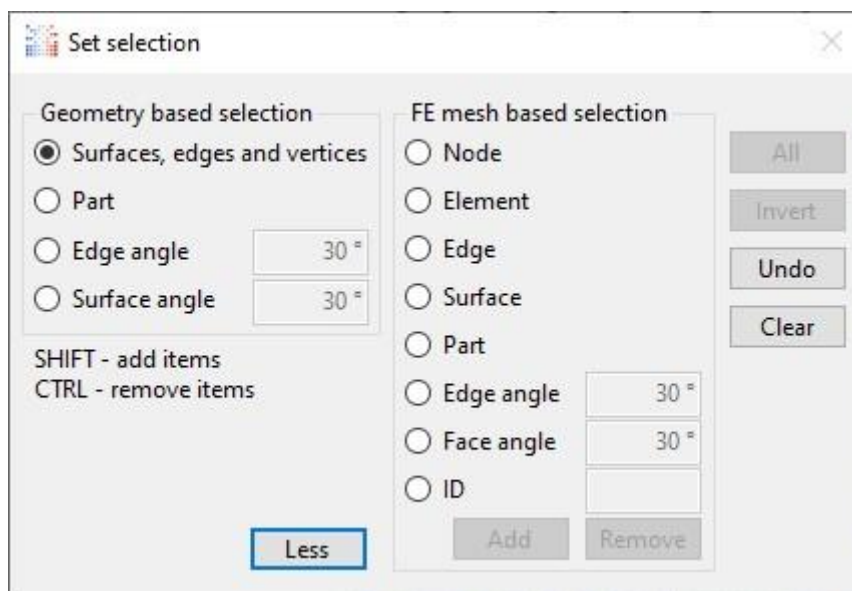


图 12: 设置选择窗口

创建集合和曲面时，将打开一个集合选择窗口（图 12）。集合和曲面是命名的节点/单元和单元面组，用于定义下面讨论的特定 FEM 特征。基于几何的选择在特征方面受到更多限制，但在重新划分模型网格时，其定义不会丢失。基于 FE 网格的选择提供了更多选项，但如果对模型进行网格划分，则选择定义将变得无效，因为网格已更改。

基于有限元网络的设置/曲面创建选择模式中负的面夹角可用于选择单个单元面。

曲面可以是单元类型或节点类型。它们也可以从现有节点集创建。可以使用以下方法之一创建参考点：

- 选择/坐标,
- 在两点之间,
- 圆心 3 点,
- 重心,
- 边界框中心。

用户还可以更改参考点的颜色。

5.2 属性菜单

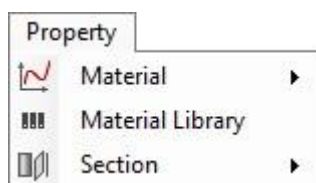


图 13: 属性菜单

Property 菜单（图 13）包含以下选项：

- 材料
 - 创建,
 - 编辑,
 - 重复,
 - 从 .inp 导入,
 - 导出到 .inp,
 - 删除。
- 材料库 – PrePoMax 中内置了多种材料, 用户也可以将新材料添加到库中。
- 截面
 - 创建,
 - 编辑,
 - 重复,
 - 删除。

材料库编辑器 (图 14) 允许访问存储在基础 PrePoMax 目录的 materials.lib 文件中的材料库。库文件是一个基于文本的文件, 可以使用任何 .txt 编辑器 (如 Notepad++) 进行编辑。假设所有材料数据都使用 mm、ton、s、C 单位系统存储。但是, 库文件并不意味着要以这种方式进行编辑, 因为它是使用 JSON 序列化直接从材质对象创建的, 因此不容易阅读。该库旨在使用 PrePoMax 内置材料编辑器进行编辑。

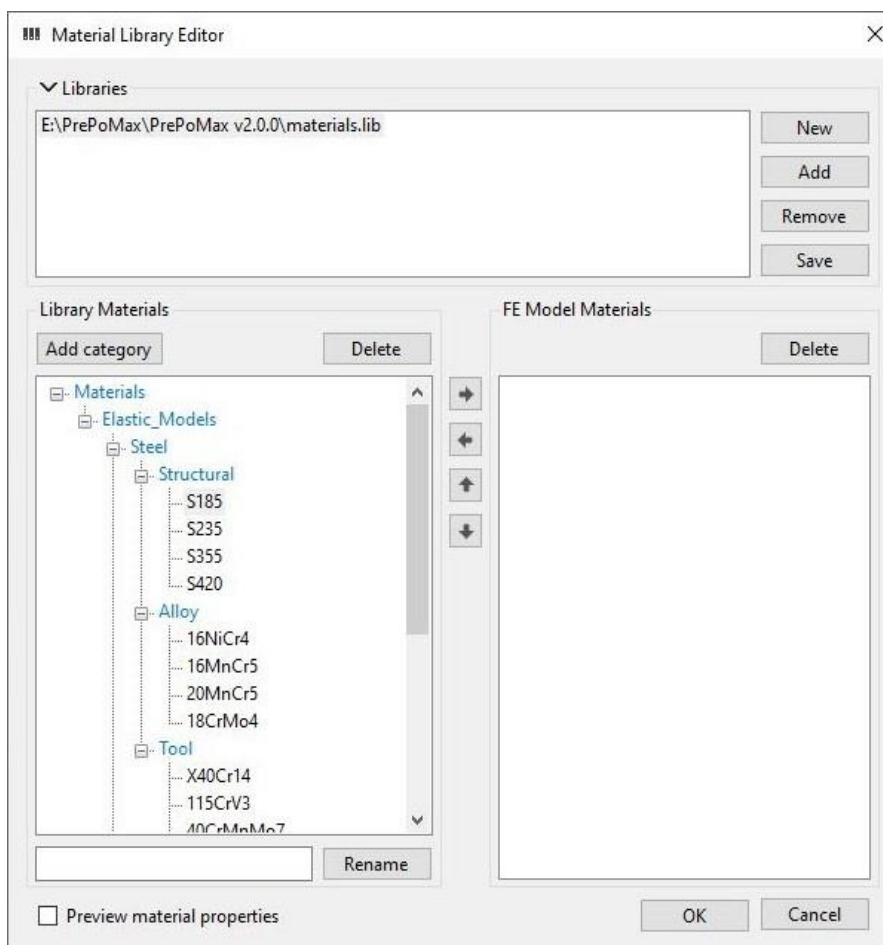


图 14: 材料库

5.2.1 库

可以使用材料库编辑器顶部的“库”部分管理多个材料库。

5.2.2 库材料部分

材料库项目由类别和材料组成。类别用于将材料组织成更小的可管理组。可以使用“添加类别”按钮在现有类别中创建新类别，并使用“删除”按钮从库中删除。库中的每个项目都可以使用底部文本字段和“重命名”按钮进行重命名。如果对库进行了更改，则必须使用“保存”按钮进行保存。一个类别中的所有材料都必须具有唯一的名称。

5.2.3 有限元模型材料部分

模型材料部分仅包含按钮“Delete”，该按钮用于从 FE 模型中删除材料。模型中的所有材料都必须具有唯一的名称。

5.2.4 使用材料库

要在有限元模型中使用现有材料，用户必须首先在库材料部分中选择该材料。使用向右箭头按钮，可以将选定的库材料复制到模型材料中。

要将用户材料添加到材料库中，必须先使用材料编辑器创建材料。然后可以使用材料库编辑器（图 14）将用户材料添加到库中。在材料库编辑器中，必须先选择或创建所需的类别，然后可以使用左箭头按钮将用户材料复制到库中。一旦将材料添加到库中，必须保存更改以备将来使用。

5.2.5 在用户之间交换材料数据

可以通过替换 materials.lib 文件来替换材料库中的所有材料数据。这样整个材料库就可以发送到第二个用户。但是，替换库文件还会删除第二个用户所做的所有更改。

如果仅与第二个用户交换选定的材料，则必须使用 PrePoMax 模型 .pmx 文件。第一个用户创建一个简单的（但不是空的）模型，其中包含选定的用户材料。然后，必须将此文件发送给第二个用户，该用户打开模型文件，并使用材料库编辑器将文件中的用户材料添加到他的材料库中（图 14）。在材质库编辑器的底部有一个复选框，用于启用所选材质的属性预览。

以下视频介绍了材料库的使用方法：[PrePoMax & CalculiX - 材料库](#)。

从 PrePoMax 1.3.0 开始，有两种新的方法可以将材料模型从一个有限元模型转移到另一个有限元模型，或者从一台计算机转移到另一台计算机。第一种可能性是使用材料库文件进行传输，第二种可能性是使用 CalculiX/Abaqus .inp 文件导入/导出材料模型。

材料库： PrePoMax 支持使用内置的材料库编辑器编辑多个材料库（图 14）。添加的“库”组框包含已打开的库文件的列表以及用于操作这些文件的以下按钮：

- 新建 - 创建一个新的空材料库文件。
- 添加 - 将现有材料库文件添加到打开的库列表中。
- 删除（Remove） - 从列表中删除选定的已打开库（不会删除材料库文件）。
- 保存（Save） - 将所选材料库中的更改（在文件名末尾用星号表示）保存到材料库文件中。

要将材料模型从源有限元模型转移到目标有限元模型，可以使用内置的默认材料库，也可以创建新的材料库。然后，首先在打开的库列表中选择库，然后在有限元模型材料组框中选择材料模型，最后按左箭头按钮，将源有限元模型中的材料模型从有限元模型复制到库中。之后，应保存更新的库。

要将保存的材料模型从库复制到目标有限元模型，必须先打开目标有限元模型。然后，应打开材料库编辑器，并在打开的材料库列表中添加或选择适当的材料库。最后，应选择库中的材料模型，并通过按右箭头按钮将其复制到有限元模型中。

为了将材料模型从源计算机传输到目标计算机，应遵循相同的过程。但是在将材料模型保存到库文件后，应将库文件从源计算机发送到目标计算机。

这种方法是单位敏感的，这意味着可以将材料模型从一个有限元模型转移到另一个使用不同单位系统的有限元模型，并且所有材料参数都会相应地转换。


CalculiX/Abaqus .inp 文件: 在 Property -> Material 菜单中添加了其他菜单项。这些新菜单是:

- 从 .inp 导入 - 从选定的 .inp 文件导入所有材料。
- 导出到 .inp - 打开一个选择窗口，应首先从 FE 模型中选择材料，然后保存到新的 .inp 文件中。

将材料模型从一个有限元模型转移到另一个有限元模型，或从一台计算机转移到另一台计算机，其过程与材料库段落中所述的过程相同。此方法不是单位敏感的，这意味着当将材料模型从一个有限元模型转移到另一个使用不同单位系统的有限元模型时，材料属性不会转换。

当创建新材料时，可以定义：

- 密度，
- 防滑磨损
 - 硬度。
 - 磨损系数。
- 弹性
 - 杨氏模量。
 - 泊松比。
- 可塑性
 - 硬化：
 - * 各向同性。
 - * 运动学。
 - * 结合。
 - 数据点（屈服应力与塑性应变）。
- 热性能
 - 热膨胀：
 - * 热膨胀系数。
 - * 零温度。
 - 导热系数。
 - 比热容。

箭头按钮  用于将所选属性添加到新的材料定义中。

还可以指定材料的名称，提供描述并包含温度依赖性（使用温度相关数据点）。

可以使用以下截面类型：

- 实体截面
 - 名称 - 指定部分名称。
 - 材料 - 选择截面的材料。
 - 厚度 - 指定平面应力/应变零件的厚度（仅适用于 2D 模型）。
 - 区域 - 选择分区分配的区域。
- 壳体部分
 - 名称 - 指定部分名称。
 - 材料 - 选择截面的材料。
 - 厚度 - 定义壳体厚度。

- 偏移 – 设置壳体中间表面的偏移量（壳体厚度是单位）。
- 区域 – 选择分区分配的区域。
- 膜部分
 - 名称 – 指定部分名称。
 - 材料 – 选择截面的材料。
 - 厚度 – 定义膜厚度。
 - 偏移 – 设置膜中表面的偏移量（膜厚度是单位）。
 - 区域 – 选择分区分配的区域。
- 点质量
 - 名称 – 指定部分名称。
 - 质量 – 输入要应用于每个选定节点的质量。
 - 区域 – 选择分区分配的区域。
- 分布式质量
 - 名称 – 指定部分名称。
 - 质量 – 输入要分配给所选区域的总质量。
 - 区域 – 选择分区分配的区域。

5.3 交互菜单

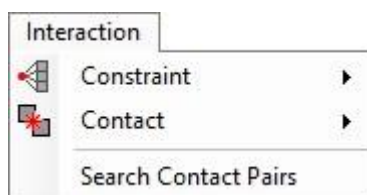


图 15: 交互菜单

Interaction 菜单（图 15）包含以下选项：

- 约束
 - 创建。
 - 编辑。
 - 复制。
 - 交换主/从。
 - 按主/从合并。
 - 隐藏。
 - 显示。
 - 删除。
- 接触：
 - 表面相互作用：
 - * 创建。
 - * 编辑。
 - * 复制。
 - * 删除。

- 接触对:
 - * 创建。
 - * 编辑。
 - * 复制。
 - * 交换主/从。
 - * 按主/从合并。
 - * 隐藏。
 - * 显示。
 - * 删除。

- 搜索联系人对。

可用的约束包括:

- 点弹簧:
 - 名称。
 - 区域。
 - 刚度:
 - * K1 - X 方向上每个节点的刚度。
 - * K2 - Y 方向上每个节点的刚度。
 - * K3 - Z 方向上每个节点的刚度。

- 颜色。

- 表面弹簧:
 - 名称。
 - 区域。
 - 弹簧刚度: 否/是
 - 刚度:
 - * K1 - X 方向的刚度。
 - * K2 - Y 方向的刚度。
 - * K3 - Z 方向的刚度。

- 颜色。

- 仅压缩:
 - 名称。
 - 区域。
 - 弹簧刚度。
 - 拉力。
 - 偏移。
 - 非线性: 否/是

- 颜色。
- 刚体：
 - 名称。
 - 参考点。
 - 区域。
 - 颜色。
- 绑定：
 - 名称。
 - 位置容差 – 从节点将包含在连接约束中的主表面的最大距离（默认值：典型单元尺寸的 2.5%）。
 - 调整 – 从节点在主表面上的投影。
 - 主区域。
 - 从属区域。
 - 主表面颜色。
 - 从属表面颜色。

仅压缩约束在内部使用 GAP 单元，这些单元通过 *EQUATION 连接到其他有限单元。Offset 参数使 GAP 单元的地面节点远离模型，以便更好地可视化结果。在结果中，GAP 单元被合并为一个部分。重要说明：使用仅压缩约束时，应启用几何非线性（NLGEOM）。否则，仅压缩式支撑具有指定刚度的 1/2，并充当表面弹簧支座。将“非线性”选项设置为“是”还可以通过向输入文件添加虚拟非线性材料来避免这种线性化。

刚体约束需要一个参考点，因为它将所选节点的运动约束为参考点的运动。它用于将选定区域定义为无限刚性（不可变形）。例如，它通常用于对制造工具进行建模。但是，它也可以作为一种将力矩和远程负载应用于模型的方法。刚体约束是将扭矩施加到实体零件表面的唯一方法（因为实体单元节点没有旋转自由度）。以下视频介绍了它在上述应用中的使用：[PrePoMax \(CalculiX FEA\) - 教程 8 - 远程加载](#) 和 [PrePoMax \(CalculiX FEA\) - 教程 2 - 椭圆杆的扭转](#)。

绑定约束的工作原理类似于粘合/焊接触点。它以这样一种方式连接两个表面，即它们在分析过程中不能分离或相对移动，它们是永久连接的。拉系约束通常用于连接具有不同网格的零件。

接触是两个表面之间比领带约束更复杂的交互形式。它允许在接触表面之间传递力。然而，接触是一种高度非线性的现象，需要谨慎使用，因为它可能会导致收敛问题。定义接触时，必须首先创建表面交互。有三个选项可用：

- 表面行为 – 接触在正常接触方向上的行为（压力-闭合关系）
 - 很难。
 - 线性。
 - 指数。
 - 表格。
 - 并列。
- 摩擦 – 切向方向的行为
 - 摩擦系数 科学。
 - 棒坡。
- 间隙导率 – 接触界面上的热导率
 - 不断
 - 表格 – 取决于压力和温度

创建表面交互时，可以定义接触对。此处的选项如下：

- 名字
- 表面交互
- 方法

节点到表面 – 使用节点到面对的惩罚公式。

表面对表面 – 使用面对面的惩罚公式。

- Mortar – 使用带有拉格朗日乘数的公式，通常更准确，但需要更多时间来解决，并可能导致收敛问题。
- 线性 Mortar – 仅当 Mortar 失效时才应使用。
- PG 线性砂浆 – 仅当 Mortar 失效时才应使用。

- 小滑动 – 在选择节点到表面方法时可用
- 调整 – 从节点在主表面上的投影。
- 调整大小 – 从节点投影到主表面的距离。
- 主区域 \ 从区域
- 主表面颜色 \ 从表面颜色

以下视频介绍了接触的用法：[PrePoMax & CalculiX - GUI Contact](#) 和 [PrePoMax \(CalculiX FEA\) - 教程 10 - Hertz contact](#)。

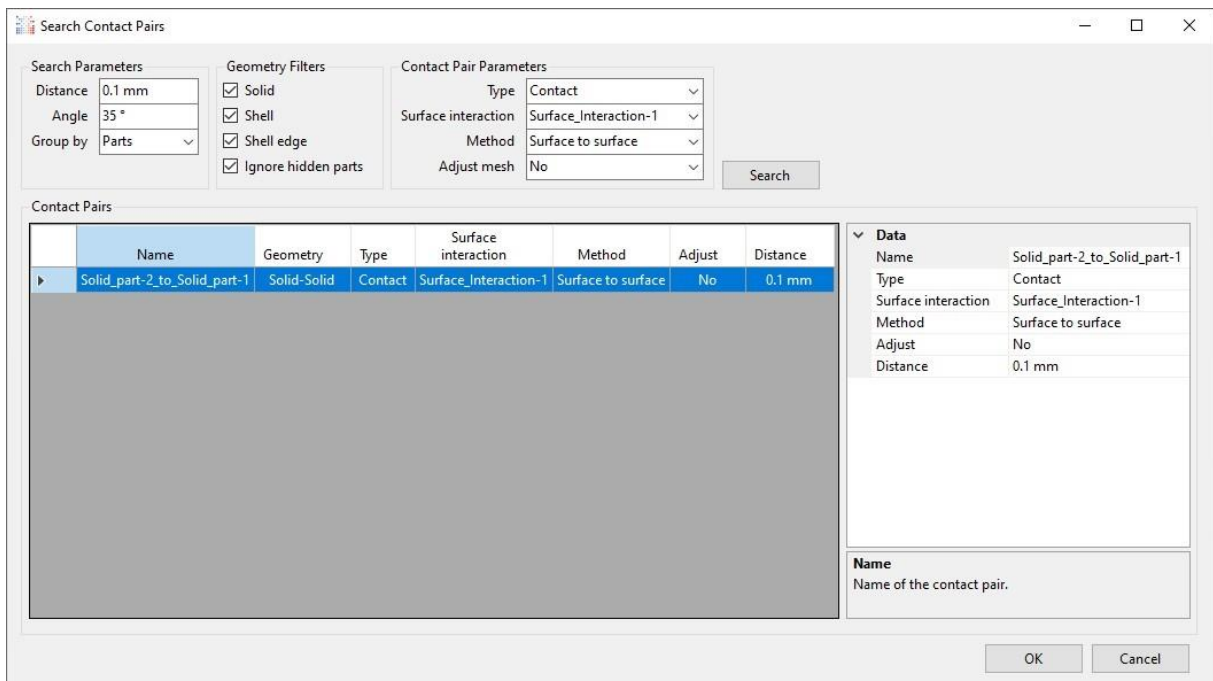


图 16: 搜索联系人对工具

图 16 显示了带有示例输入的 **Search Contact Pairs** 工具。该工具允许用户自动创建接触对和连接约束。单击“搜索”（Search）按钮后，该工具将搜索满足以下条件的曲面对：

- 它们之间的距离小于或等于规定的距离。
- 它们之间的角度小于或等于指定的角度。

除了这些标准之外，用户还可以选择是否按零件对分组。在执行搜索之前，可以更改交互类型（“Contact”或“Tie”），指定以前创建的接触属性定义，并选择接触类型（表面到表面或节点到表面）。对于接触和绑定创建，可以启用或禁用调整。搜索后，用户仍然可以使用工具右侧的“数据”窗口更改上述设置（以及位置公差和货币

对 的名称)。此外，在“接触对”窗口中右键单击该对可提供交换主表面和从表面的选项。当选择了多对时，还可以选择通过主/从进行合并。可以通过选择它们并按 Delete 来从列表中删除对（从而阻止创建它们）。以下视频介绍了此工具的使用方法：[PrePoMax（CalculiX FEA）- 教程 14 - 链节](#) 和 [PrePoMax（CalculiX FEA）- 教程 15 - 壳体到实体连接](#)。

5.4 振幅菜单

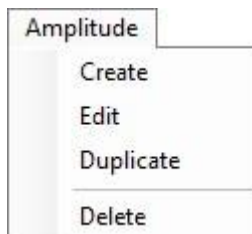


图 17: 振幅菜单

Amplitude 菜单（图 17）包含以下选项：

- 创建。
- 编辑。
- 复制。
- 删除。

可以使用以下振幅类型和设置：

- 表格 – 可用于指定时间/频率 - 振幅值数据点
 - 性能
 - * 名字
 - * 时间跨度：单步时间/总时间
 - * 位移时间
 - * 移位幅度
 - 数据点 - 时间/频率-幅度对形式的表格数据

5.5 初始条件菜单

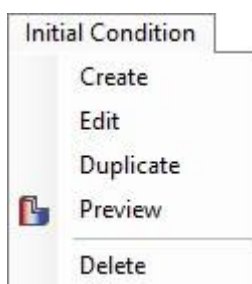


图 18: 初始条件菜单

Initial condition 菜单（图 18）包含以下选项：

- 创建。
- 编辑。
- 复制。
- 预览。
- 删除。

以下初始条件类型和设置可用：

- 温度 – 可用于指定热分析或热机械分析开始时的温度
 - 名称。
 - 区域。
 - 温度。
- 速度 – 可用于指定动态分析开始时的速度
 - 名称。
 - 区域。
 - 速度分量：
 - * V1 - X 轴上的速度。
 - * V2 - Y 轴上的速度。
 - * V3 - Z 轴上的速度。
 - 大小 - 合成速度（当指定了速度的分量时，它会自动计算）。

5.6 步 (Step) 菜单



图 19: 步菜单

Step 菜单（图 19）包含以下选项：

- 步
 - 创建。
 - 编辑。
 - 编辑控件 – 打开步控件编辑器，可以在其中更改高级求解器控件（*CONTROLS 关键字）。可以使用以下控件：重置、时间增量、字段、接触。只有在万不得已的情况下，并且在完全理解其含义的情况下，才应更改这些设置。
 - 复制。
 - 删除。
- 历史输出
 - 创建。
 - 编辑。
 - 复制。
 - 传播 – 将定义传播到后续步。
 - 删除。
- 场输出

- 创建。
- 编辑。
- 复制。
- 传播 – 将定义传播到后续步。
- 删除。
- BC – 边界条件
 - 创建。
 - 编辑。
 - 复制。
 - 传播 – 将定义传播到后续步。
 - 隐藏。
 - 显示。
 - 删除。
- 载荷
 - 创建。
 - 编辑。
 - 复制。
 - 预览 – 可用于在“结果”选项卡中将压力荷载预览为等值线图，对于静水荷载和导入的压力荷载特别有用。
 - 传播 – 将定义传播到后续步。
 - 隐藏。
 - 显示。
 - 删除。
- 定义场
 - 创建。
 - 编辑。
 - 复制。
 - 传播 – 将定义传播到后续步。
 - 预览 – 可用于在“结果”选项卡中以等高线图的形式预览已定义的温度场。选项卡中以等高线图的形式预览已定义的温度场，尤其适用于从结果 (.frd) 文件中定义的温度场。
 - 删除。

5.6.1 步 (Step)

PrePoMax 中可用的步类型及其选项包括：

- 静态步
 - 名称。
 - 求解器：默认、PaStiX、Pardiso、Spooles、迭代缩放、迭代 Cholesky。
 - Nlgeom：开/关（启用或禁用几何非线性 - 大变形和大位移）。
 - 增量：默认/自动/直接（下面列出的增量选项用于自动增量）。

- 最大增量 – 步中的最大增量数。
- 时间段 – 步的时间段。
- 初始时间增量 – 步中时间增量的初始值。
- 最小时间增量 – 允许的最小时间增量。
- 最大时间增量 – 允许的最大时间增量。
- 输出频率 – 整数 N ，表示仅存储每 N 个增量的结果。
- 滑移磨损步
 - 名称。
 - 求解器：默认、PaStiX、Pardiso、Spooles、迭代缩放、迭代 Cholesky。
 - NIgeom：开/关（启用或禁用几何非线性 - 大变形和大位移）。
 - 增量：默认/自动/直接（下面列出的选项用于自动增量）。
 - 最大增量 – 步中的最大增量数。
 - 时间段 – 步的时间段。
 - 初始时间增量 – 步中时间增量的初始值。
 - 最小时间增量 – 允许的最小时间增量。
 - 最大时间增量 – 允许的最大时间增量。
 - 输出频率 – 整数 N ，表示仅存储每 N 个增量的结果。
- 边界位移步
 - 名称。
 - 输出频率 – 整数 N ，表示仅存储每 N 个增量的结果。
- 频率步
 - 名称。
 - 求解器：默认、PaStiX、Pardiso、Spooles、迭代缩放、迭代 Cholesky。
 - 扰动：开/关（当设置为开时，可以包括上一个静态步的预加载）。
 - 存储：是/否 – 将特征值、特征模态、质量和刚度矩阵以二进制形式存储在文件 `jobname.eig` 中，以便在稳态动力学或模态动力学步中进一步使用。
 - 频率数 – 要计算的特征频率数。
 - 频率下限 – 频率范围的下限。
 - 频率上限 – 频率范围的上限。
 - 输出频率 – 整数 N ，表示仅存储每 N 个增量的结果。
- 屈曲步
 - 名称。
 - 求解器：默认、PaStiX、Pardiso、Spooles、迭代缩放、迭代 Cholesky。
 - 扰动：开/关（当设置为开时，可以包括上一个静态步的预加载）。
 - 屈曲因子数 – 所需的屈曲因子数（默认值：1）。
 - 精度 – 所需的精度（默认值为 0.01）。
 - 输出频率 – 整数 N ，表示仅存储每 N 个增量的结果。
- 模态动力学步

- 名称。
- 求解器：默认、PaStiX、Pardiso、Spooles、迭代缩放、迭代 Cholesky。
- 扰动：开/关（当设置为开时，可以包括上一个静态步的预加载）。
- 稳态：开/关（可用于继续进行模态动力学计算，直到达到稳态）。
- 阻尼类型：
 - * 关闭
 - * 常数：阻尼比。
 - * 直接：阻尼比（表格：最低模式、最高模式、阻尼比）
 - * 瑞利：阿尔法、贝塔
- 最大增量 – 步中的最大增量数。
- 初始时间增量 – 步中时间增量的初始值。
- 时间段 – 步的时间段（当稳态关闭时）或 相对误差 – 将解决方案视为稳态的相对误差（当稳态开启时）。
- 输出频率 – 整数 N，表示仅存储每 N 个增量的结果。
- 稳态动力学步
 - 名称。
 - 求解器：默认、PaStiX、Pardiso、Spooles、迭代缩放、迭代 Cholesky。
 - 扰动：开/关（当设置为开时，可以包括上一个静态步的预加载）。
 - 谐波：是/否（在谐波周期性负载和非谐波周期性负载之间切换）。
 - 频率下限 – 频率范围的下限。
 - 频率上限 – 频率范围的上限。
 - 数据点个数 – 频率范围内的数据点数量。
 - 偏置 – 频率范围内数据点的分布偏差（1 表示相等间距）。
 - 阻尼类型：
 - * 关闭
 - * 常数：阻尼比。
 - * 直接：阻尼比（表：最低模式、最高模式、阻尼比）
 - * 瑞利：阿尔法、贝塔
 - 输出频率 – 整数 N，表示仅存储每 N 个增量的结果。
- 动态步长
 - 名称。
 - 求解器：默认、PaStiX、Pardiso、Spooles、迭代缩放、迭代 Cholesky。
 - Nlgeom：开/关（启用或禁用几何非线性 - 大变形和大位移）。
 - Alpha – 数值阻尼量（介于 -1/3 和 0 之间）。
 - 求解步：
 - * Implicit/Implicit – 隐式结构和隐式流体（当前不受支持）计算。
 - * Implicit/Explicit – 隐式结构和显式流体（当前不受支持）计算。
 - * Explicit/Implicit – 显式结构和隐式流体（当前不受支持）计算。
 - * Explicit/Explicit – 显式结构和显式流体（当前不受支持）计算。

- 相对到绝对：开/关（当前一步中的坐标系连接到旋转系统时需要启用，并且当前动态步中的坐标系应该是绝对的）。
- 阻尼类型：
 - * 关闭
 - * 瑞利：阿尔法，贝塔增量：默认/自动/直接（下面列出的增量选项用于自动增量）。
- 最大增量 – 步中的最大增量数。
- 时间段 – 步的时间段。
- 初始时间增量 – 步中时间增量的初始值。
- 最小时间增量 – 允许的最小时间增量，如果要在显式动态计算中使用质量缩放，则应将其设置为所需的最小时间增量。
- 最大时间增量 – 允许的最大时间增量。
- 输出频率 – 整数 N ，表示仅存储每 N 个增量的结果。
- 传热步
 - 名称。
 - 求解器：默认、PaStiX、Pardiso、Spooles、迭代缩放、迭代 Cholesky。
 - 稳态：是/否 – 在稳态和瞬态分析之间切换
 - 增量：默认/自动/直接（下面列出的选项用于自动增量）。
 - 最大增量 – 步中的最大增量数。
 - 时间段 – 步的时间段。
 - 初始时间增量 – 步中时间增量的初始值。
 - 最小时间增量 – 允许的最小时间增量。
 - 最大时间增量 – 允许的最大时间增量。
 - 输出频率 – 整数 N ，表示仅存储每 N 个增量的结果。
- 非耦合温度-位移步
 - 名称。
 - 求解器：默认、PaStiX、Pardiso、Spooles、迭代缩放、迭代 Cholesky。
 - Nlgeom：开/关（启用或禁用几何非线性 - 大变形和大位移）。
 - 稳态：是/否 – 在稳态和瞬态分析之间切换
 - 增量：默认/自动/直接（下面列出的选项用于自动增量）。
 - 最大增量 – 步中的最大增量数。
 - 时间段 – 步的时间段。
 - 初始时间增量 – 步中时间增量的初始值。
 - 最小时间增量 – 允许的最小时间增量。
 - 最大时间增量 – 允许的最大时间增量。
 - 输出频率 – 整数 N ，表示仅存储每 N 个增量的结果。
- 耦合温度-位移步
 - 名称。
 - 求解器：默认、PaStiX、Pardiso、Spooles、迭代缩放、迭代 Cholesky。

- Nlgeom: 开/关 (启用或禁用几何非线性 - 大变形和大位移)。
- 稳态: 是/否 - 在稳态和瞬态分析之间切换
- 增量: 默认/自动/直接 (下面列出的选项用于自动增量)。
- 最大增量 - 步中的最大增量数。
- 时间段 - 步的时间段。
- 初始时间增量 - 步中时间增量的初始值。
- 最小时间增量 - 允许的最小时间增量。
- 最大时间增量 - 允许的最大时间增量。
- 输出频率 - 整数 N, 表示仅存储每 N 个增量的结果。

使用默认增量和振幅时必须小心 - 增量不会自动调整以考虑振幅数据点的分布和范围。应相应地更改时间段、初始时间和最大时间增量。

滑移磨损步和边界位移步 (仅在添加滑移磨损步后可用) 不是标准的 CalculiX 分析程序, 因此需要额外的解释。它们基于 Archard 模型 [1], 可用于估计接触表面之间逐渐发生的滑动磨损。该线性模型预测了由于磨损过程而去除的材料体积。由于该模型忽略了在多个磨损周期中接触表面几何形状的变化, 因此可以使用多步数值过程来更好地确定磨损参数。Archard 的磨损模型是基于干燥条件下金属之间的磨损实验结果开发的。通常, 该模型描述为:

$$V = k * \frac{F}{H} * s \quad (1)$$

式中: V - 磨损体积, k - 无量纲磨损系数, F - 法向接触载荷, H - 磨损表面的硬度, s - 滑动距离。

该方程必须重写为以下形式, 才能在多步数值过程中使用它, 其中必须计算每个磨损周期的磨损深度变化 [2]:

$$h_i = \int \frac{k}{H} * p_i * s \quad (2)$$

式中: h_i - 第 i 次磨损周期内累积的磨损深度, p_i - 法向接触压力。

然后, 通过所有单周期磨损深度的相和来计算多个磨损周期后的磨损深度。

在 PrePoMax 中实施滑动磨损分析在模型几何形状、边界条件和载荷方面是通用的, 并涉及以下假设:

- 零件之间的连续磨损过程可以离散化为几个重复的磨损周期,
- 磨损仅发生在接触对中较软的表面上,
- 接触表面的几何形状在单个磨损周期内不会改变,
- 在整个磨损过程中, 无量纲磨损系数保持不变。

基于这些假设, 首先准备好了单个磨损步的有限元模型。该模型必须准确捕捉接触条件随时间的变化; 因此, 需要进行非线性瞬态分析。磨损计算在分析完成后开始。磨损参数的所有计算都是在从表面的有限元节点中完成的, 这些节点在磨损周期中是接触的。节点压力和滑移值由接触压力滑移场计算得出。然后使用公式

(2) 和接触节点处的材料属性计算节点磨损深度。单个磨损周期的处理通过计算由于磨损引起的接触表面几何形状变化 (由节点磨损位移定义) 完成。单周期磨损位移的计算方法是将标量节点磨损深度值乘以节点表面法线值。然后, 将单个周期的磨损位移与前一个磨损周期的磨损位移相加。

然后, 在为下一个磨损周期准备模型时, 考虑组合磨损位移。考虑模型边界条件, 通过组合节点磨损位移更新模型的初始有限元网格。如果在计算磨损位移分量的节点自由度上规定了零边界条件, 则磨损位移分量将设置为零。以这种方式可以对对称磨损模型进行分析。该过程重复进行, 直到达到最终的磨损周期数。

引用:

一. J. F. Archard 和 W. Hirst, “未润滑条件下金属的磨损”, Proc. R. Soc. 伦敦. Ser. A. Math. Phys. Sci., 第 236 卷, 第 1206 期, 1956 年。

二. X. Shen, L. Cao, and R. Li, “Numerical simulation of sliding wear based on Archard model”, in 2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, MACE2010, 2010.

5.6.2 历史输出

历史输出 用于在后处理中生成 X-Y 图。可用选项包括：

- 节点输出
 - 名称。
 - 要输出的变量
 - * RF – 反作用力。
 - * U – 位移。
 - * V – 速度。
 - * NT – 温度。
 - * RFL – 外部集中热源。
 - 总计：是/仅/否 – 此参数适用于外力，它允许输出集合中所有节点的求和值。
 - 区域 – 用于创建历史输出的区域。
- 单元输出
 - 名称。
 - 要输出的变量
 - * S – 真（柯西）应力。
 - * E – 总拉格朗日应变或总欧拉应变。
 - * ME – 机械拉格朗日应变或机械欧拉应变。
 - * PEEQ – 等效塑性应变。
 - * HFL – 热通量。
 - * ENER – 能量密度。
 - * ELSE – 内能。
 - * ELKE – 动能。
 - * EVOL – 音量。
 - * EBHE – 加热功率。
 - * SDV – 内部状态变量。
 - 总计：是/仅/否 – 此参数适用于整个单元变量（ELSE、EVOL），它允许输出集合中所有单元相加的值。
 - 区域 – 用于创建历史输出的区域。
- 触点输出
 - 名字。
 - 要输出的变量

- * CDIS – 相对接触位移。
- * CSTR – 接触应力。
- * CELS – 接触能量。
- * CNUM – 接触元件的总数。
- * CF – 从属表面上的总接触力。
- 总计：是/仅/否 – 此参数适用于能量（CELS）。
- 接触对 – 用于创建历史输出的接触对。

默认情况下，不会创建任何历史记录输出。

5.6.3 场输出

场输出 用于创建等值线图。可用选项包括：

- 节点输出
 - 名称。
 - 最后迭代：On/Off – 默认情况下禁用，但打开后可以在名为 ResultsForLastIterations.frd 的单独文件中存储最后一次增量的所有迭代结果，有助于调试发散的分析。
 - 接触单元：True/False – 默认情况下禁用，启用此选项可在扩展名为 .cel 的文件中存储接触单元，并在结果中显示它们。
 - 要输出的变量：
 - * RF – 反作用力。
 - * U – 位移。
 - * PU – 位移、大小和相位。
 - * V – 速度。
 - * NT – 温度。
 - * PNT – 温度、幅度和相位。
 - * RFL – 外部集中热源。
- 单元输出
 - 名称
 - 最后迭代：On/Off – 默认情况下禁用，但打开后可以在名为 ResultsForLastIterations.frd 的单独文件中存储最后一次增量的所有迭代结果，有助于调试发散的分析。
 - 接触单元：True/False – 默认情况下禁用，启用此选项可在扩展名为 .cel 的文件中存储接触单元，并在结果中显示它们。
 - 输出（2D/3D）：
 - * 默认值 – 壳单元的结果以扩展的 3D 形式显示，而对于平面应力/应变和轴对称单元，它们以原始 2D 形式显示。
 - * 2D – 所有类型的 2D 单元的结果都以原始 2D 形式显示。
 - * 3D – 所有类型的 2D 单元的结果都以展开的 3D 形式显示。
 - 要输出的变量：

- * S – 应力。
 - * PHS – 应力大小和相位。
 - * E – 总应变。
 - * ME – 机械应变。
 - * PEEQ – 等效塑性应变。
 - * ENER – 能量密度。
 - * HFL – 热通量。
 - * ERR – 用于应力计算的外推误差估计器（ERR 和 ZS 是互斥的）。
 - * HER – 用于热量计算的外推误差估计器（HER 和 ZS 是互斥的）。
 - * ZS – Zienkiewicz-Zhu 改善了压力（ZS 和 ERR 是互斥的）。
 - * SDV – 内部状态变量。
- 接触输出
 - 名称。
 - 最后迭代：On/Off – 默认情况下禁用，但打开后可以在名为 ResultsForLastIterations.frd 的单独文件中存储最后一次增量的所有迭代结果，有助于调试发散的分析。
 - 要输出的变量
 - * CDIS – 相对接触位移。
 - * CSTR – 接触应力。
 - * PCON – 频率计算的接触状态。

默认字段输出是在添加到模型的每个新步中创建的。

5.6.4 边界条件

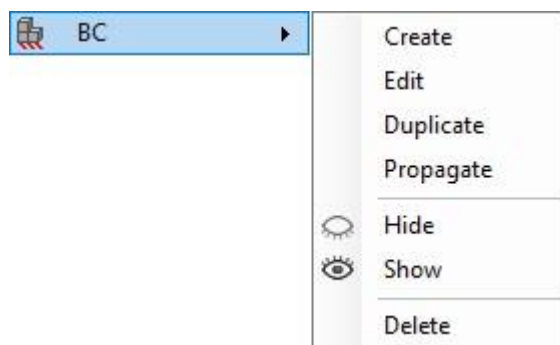


图 20: 边界条件子菜单

BC 子菜单（图 20）包含以下选项：

- 创建。
- 编辑。
- 复制。
- 传播。
- 隐藏/显示。
- 删除。

可以使用以下边界条件类型和设置：

- 固定
 - 名称。
 - 区域。
 - 颜色。
- 位移/旋转
 - 名称。
 - 区域。
 - DOF:
 - * U1 - X 轴平移。
 - * U2 - Y 轴平移。
 - * U3 - Z 轴平移。
 - * UR1 - 绕 X 轴旋转。
 - * UR2 - 绕 Y 轴旋转。
 - * UR3 - 绕 Z 轴旋转。
 - 振幅。
 - 颜色。
- 子模型
 - 名称。
 - 步长编号 - 用于读取位移的全局模型步长编号。
 - 区域。
 - DOF:
 - * U1 - X 轴平移。
 - * U2 - Y 轴上的平移。
 - * U3 - Z 轴平移。
 - * UR1 - 绕 X 轴旋转。
 - * UR2 - 绕 Y 轴旋转。
 - * UR3 - 绕 Z 轴旋转。
 - 颜色。
- 温度
 - 名称。
 - 区域。
 - 量级。
 - 振幅。
 - 颜色。

固定边界条件约束所有可用的自由度 (DOF)。位移/旋转 BC 允许用户选择单个 DOF。每个 DOF 都有以下选项、：

- 不受约束 – 此自由度没有施加边界条件。
- 固定 – 冻结上一步的变形，或者，如果没有上一步，则将其设置为零。
- 值（长度单位/角度单位）——规定的位移值（平移自由度的当前长度单位和旋转自由度的弧度）。

请记住，“固定”选项和“值”选项不能同时用于同一边界条件下的各种自由度。

在子模型边界条件的情况下，每个自由度都有以下两个选项：**Unconstrained** 和 **From global model**。子模型的使用在以下视频中展示：[PrePoMax & CalculiX - 子模型](#) 和 [PrePoMax \(CalculiX FEA\) - 教程 13 - 应力集中子建模](#)。

5.6.5 载荷

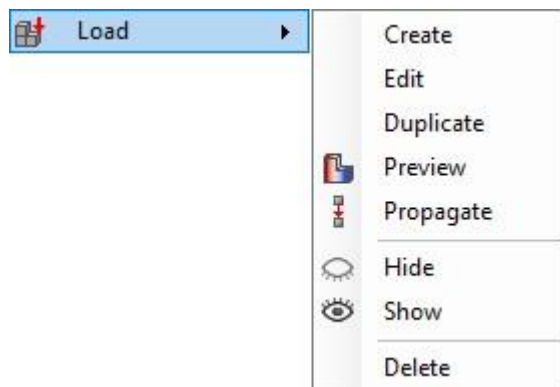


图 21: 载荷子菜单

Load 子菜单（图 21）包含以下选项：

- 创建。
- 编辑。
- 复制。
- 预览。
- 传播。
- 隐藏/显示。
- 删除。

下面列出了负载类型及其选项：• 集中力

- 名称。
- 区域。
- 力分量 – 每个节点的集中力的分量：
 - * F1 – X 轴上的力。 * F2 – Y 轴上的力。 * F3 – Z 轴上的力。
- 大小 – 合力（当指定了力的分量时，它会自动计算）。
- 相位 – 力相位（仅适用于稳态动态）。
- 振幅。
- 颜色。
- 时刻
 - 名称。
 - 区域。

- 力分量 – 每个节点的力分量：
 - * M1 – 围绕 X 轴的力矩。
 - * M2 – 围绕 Y 轴的力矩。
 - * M3 – 围绕 Z 轴的力矩。
- 幅度 – 合成力（当指定了力的分量时，它会自动计算）。
- 相位 – 力相位（仅适用于稳态动态）。
- 振幅。
- 颜色。
- 均匀压力
 - 名称。
 - 区域。
 - 大小 – 压力负载的值。
 - 相位 – 压力阶段（仅适用于稳态动力学）。
 - 振幅。
 - 颜色。
- 静水压力
 - 名称。
 - 区域。
 - 第一点坐标 – 通过选择或直接输入坐标：
 - * X.
 - * Y.
 - * Z.
 - 第一点压力大小 – 第一点处的压力大小。
 - 第二点坐标 – 通过选择或直接输入坐标：
 - * X.
 - * Y.
 - * Z.
 - 第二点压力大小 – 第二点处的压力大小。
 - 压力变化方向 – 通过选择（两点）或按方向分量：
 - * N1 – 第一轴方向的方向分量。
 - * N2 – 第二个轴方向的方向分量。
 - * N3 – 第三轴方向的方向分量。
 - 相位 – 压力阶段（仅适用于稳态动力学）。
 - 截止：无/正截止/ 负截止 - 正压截止将所有正压值设置为 0，而负压截止值将所有负压值设置为 0。
 - 振幅。
 - 颜色。
- 进口压力
 - 名称。

- 区域。
- 自文件导入- 从 OpenFOAM (.foam) 文件导入压力结果。
- 插值器: 最近节点 或 最近点 - 第一种方法从源网格上最近的节点获取值, 而第二种方法插入最接近的三个节点值。
- 幅度因子 - 压力大小比例因子。
- 相位 - 压力阶段 (仅适用于稳态动力学)。
- 比例因子 - 导入的几何比例因子。
- 振幅。
- 颜色。
- 表面牵引力
 - 名称。
 - 区域。
 - 力分量:
 - * F1 - X 轴上的力。
 - * F2 - Y 轴上的力。
 - * F3 - Z 轴上的力
 - 大小 - 合力 (当指定了力的分量时, 它会自动计算)。
 - 相位 - 表面牵引相位 (仅适用于稳态动力学)。
 - 振幅。
 - 颜色。
- 壳体边缘正交载荷
 - 名称。
 - 区域。
 - 大小 - 壳体边缘荷载的值。
 - 相位 - 边缘负载相位 (仅适用于稳态动态)。
 - 振幅。
 - 颜色。
- 重力
 - 名称。
 - 区域。
 - 重力分量:
 - * F1 - X 轴上的重力加速度。
 - * F2 - Y 轴上的重力加速度。
 - * F3 - Z 轴上的重力加速度。
 - 大小 - 合成加速度 (当指定了力的分量时, 它会自动计算)。
 - 相位 - 重力负载相位 (仅适用于稳态动力学)。
 - 振幅。

- 颜色。
- 离心负载
 - 名称。
 - 区域。
 - 旋转中心坐标 – 通过选择或直接输入坐标：
 - * X.
 - * Y.
 - * Z.
 - 旋转轴组件：
 - * N1 – X 轴方向上的轴分量。
 - * N2 – Y 轴方向上的轴分量。
 - * N3 – Z 轴方向上的轴分量。
 - 幅度 – 围绕轴的旋转速度，由点和方向定义。
 - 相位 – 转速相位（仅适用于稳态动态）。
 - 振幅。
 - 颜色。
- 预紧力
 - 名称。
 - 类型：力/位移。
 - 区域。
 - 自动计算：是/否 – 自动计算预紧力方向。
 - 大小 – 预紧载荷的力或位移大小。
 - 振幅。
 - 颜色。
- 集中通量
 - 名称。
 - 添加通量：是/否 – 将通量添加到先前定义通量中。
 - 区域。
 - 通量 – 每个节点的通量值。
 - 振幅。
 - 颜色。
- 表面通量
 - 名称。
 - 区域。
 - 每个区域的通量。
 - 振幅。
 - 颜色。

- 体通量
 - 名称。
 - 区域。
 - 单位体积的通量。
 - 振幅。
 - 颜色。
- 对流系数
 - 名称。
 - 区域。
 - 环境温度。
 - 换热系数。
 - 振幅 – 接收温度振幅。
 - 颜色。
- 辐射
 - 名称。
 - 腔体辐射：是/否 – 使所选表面属于腔体中的辐射的选项（如果此选项切换为“是”，则必须指定腔体名称）
 - 区域。
 - 环境温度。
 - 发射率 – 表面发射率，黑体辐射的特征为 1。
 - 振幅 – 接收温度振幅。
 - 颜色。

集中力载荷将指定的力施加到属于选定区域的每个节点。因此，如果将此载荷施加到表面上，则该表面上的每个节点都将受到通常不希望的指定力。因此，应使用表面牵引载荷对表面施加力。

静水压力是使用具有给定坐标和压力增加方向的两个点的压力大小来定义的（通过选择两个点或直接提供矢量分量来指定）。该工具不仅可以用于定义静水压力，还可以用于定义与流体存在无关的一般线性变化分布荷载（三角形或梯形）。以下视频介绍了此类负载的使用：[PrePoMax & CalculiX 静水压力](#) 和 [PrePoMax \(CalculiX FEA\) - 教程 28 - 静水压力 - 矩形压力容器](#)。

导入的压力使用 OpenFOAM CFD 仿真中的压力结果作为结构分析中的荷载。支持 ASCII 和二进制 OpenFOAM 结果。这种类型的负载需要扩展名为 .foam 的文件。它是一个空的（虚拟的）文件，用于访问具有 OpenFOAM 结果的文件夹。如果 OpenFOAM 分析使用并行处理，则需要 在 CFD 仿真后使用 reconstructPar 命令来合并来自不同处理器的结果。无需导入具有几何图形的相同文件，该文件的几何图形与用于 CFD 分析的几何图形相同，但几何图形必须位于 3D 空间中的同一位置，并使用与 OpenFOAM 中使用的几何图形相同的长度单位。用户需要小心使用单位，因为 OpenFOAM 结果中的压力可能以运动压力（压力除以密度）表示。比例因子可用于补偿这一点。预览选项允许用户确保正确定义导入的压力荷载——施加的压力乘以比例因子以及距离（PrePoMax 网格和 OpenFOAM 网格之间的最最近距离）在那里可视化。这些距离应该很小，因为它们是非重合网格的结果。以下视频介绍了此类负载的使用：[PrePoMax \(CalculiX FEA\) - 教程 32 - 从 CFD 导入压力 \(使用 OpenFOAM 和 FreeCAD\)](#)。

表面牵引载荷在内部对所选表面上的每个节点施加集中力。它们的值相加等于荷载定义窗口中指定的总量级。如果选择了多个表面，作用在每个表面上的载荷总和将达到荷载定义窗口中指定的值。

尽管有这个名字，重力载荷可用于为结构规定任何类型的平移加速度（例如由于车辆的制动或加速而导致的减速）。以下视频介绍了它的用法：[PrePoMax & CalculiX - 重力](#) 和 [PrePoMax \(CalculiX FEA\) - 教程 7 - 重力负载](#)。

预紧力是一种特定类型的负载，需要一些特殊的考虑因素。在定义它之前，需要创建一个边界层。在分析的第二步中，当实际荷载应用于模型时，应禁用预紧荷载。这可以通过将位移型预紧设置更改为固定来实现。以下视频介绍了此类负载的使用方法：[PrePoMax & CalculiX - 预紧 - 螺栓](#) 和 [PrePoMax \(CalculiX FEA\) - 教程 34 带预紧力的螺栓连接](#)。

约束、接触对、步、边界条件和荷载等项目可以激活或停用（从分析中排除，无需完全删除其定义）。

在菜单栏下方有一个“符号”下拉列表，允许选择符号的显示方式（无、模型、步 1 等）。

5.6.6 定义字段

定义的字段用于为节点指定预定义的值。下面列出了预定义字段的类型及其选项：

- 温度 – 可用于指定静态步的温度场
 - 名称。
 - 温度：按值。
 - * 地区。
 - * 温度。
 - 温度：从文件
 - * 结果文件 .frd。
 - * 步编号。

5.7 分析菜单

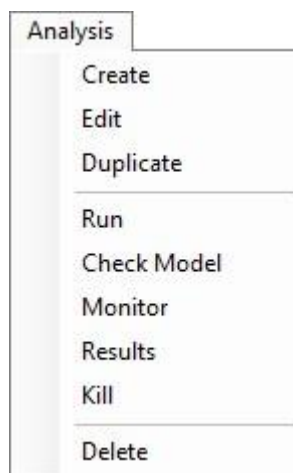


图 22：分析菜单

Analysis 菜单（图 22）包含以下选项：

- 创建。
- 编辑 – 提供对名称、附加 CalculiX 参数和兼容性模式的访问权限（旨在与 Prool 的 CalculiX 可执行文件一起使用，它消除了稳态动力学分析的一些问题）。
- 复制。
- 运行 – 提交分析。
- 检查模型 – 执行输入检查，不执行任何计算。
- 监视器 – 打开显示求解器消息的窗口。
- 结果 – 已完成分析的开放结果。

- 终止 – 在分析完成之前停止分析。
- 删除。

6 结果选项

“结果”树由以下容器组成：

- 网格
 - 零件。
 - 节点集。
 - 单元集。
 - 表面。
- 结果
 - 场输出。
 - 历史输出。

6.1 结果菜单

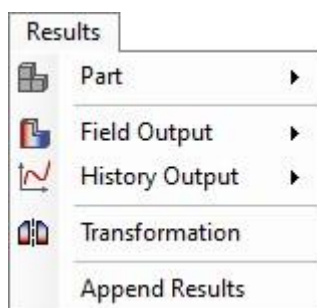



图 23：结果菜单

Results 菜单（图 23）包含以下选项：

- 部分
 - 编辑。
 - 隐藏、显示 和 仅显示。
 - 设置透明度。
 - 颜色轮廓关闭- 仅禁用选定零件的颜色轮廓。
 - 颜色轮廓打开。
 - 删除。
- 场输出
 - 创建。
 - * 限制 - 创建以下等值线图：RATIO（输出除以指定限制）和 SAFETY FACTOR（指定限制除以输出）
 - 属性：名称、字段名称、组件名称、基于的限制（零件/单元集）。
 - 限制值 - 零件极限表。
 - * 信封 - 为选定的输出创建最大、最小和平均值等值线图（数值取自所有帧）
 - 属性：名称、场名称、组件名称。
 - 编辑。
 - 删除 – 可以删除选定的字段输出以减小文件大小。

- 历史输出
 - 创造
 - * 来自场输出的历史输出：名称场名称、组件名称、复数、步长 ID、增量 ID、谐波（是/否）、节点坐标（关闭/未变形/已变形）、区域
 - 删除。
- 转换 – 出于可视化目的，可以将镜像或模式应用于结果（使用按钮将  转换添加到窗口的活动部分以应用它）
 - 对称性 – 必须选择对称点
 - * 名称。
 - * X.
 - * Y.
 - * Z.
 - 模式
 - * 线性
 - 名称。
 - 项目数。
 - 起点。
 - 终点。
 - * 环形
 - 名称。
 - 项目数。
 - 角度。
 - 第一个轴点。
 - 第二个轴点。
- 追加结果 - 从另一个 .frd 文件添加结果。

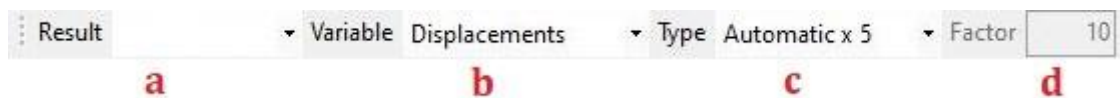


图 24: 结果工具栏 - 第 1 部分



图 25: 结果工具栏 - 第 2 部分

除了这些选项之外，在“结果”树中选择多个零件并右键单击此选择项，用户还可以激活“合并零件”选项，该选项将创建单个结果零件。

选定的后处理选项也可作为“结果”工具栏中的快捷方式使用（图 24、25）。这些选项包括：

- a) 结果 – 选择结果（.frd）文件的下拉列表，可以同时打开多个结果
- b) 变量（用于可视化变形的变量）：位移、力、表面法线、磨损深度、网格变形、位移&变形&深度。

- c) 类型（变形刻度类型）：未变形、真实刻度、自动、自动 x 0.25、自动 x 0.5、自动 x 2、自动 x 5、用户定义。
- d) 因子 – 用户定义类型的变形因子。
- e) 复数（稳态动力学产生的复数形式）：实数、虚数、幅度、相位、角度、最大值、最大角度、最小值角度。
- f) 角 - 角度类型
- g) 未变形。
- h) 变形。
- i) 带颜色轮廓的变形。
- j) 显示未变形的线框模型。
- k) 显示未变形的实体模型。
- l) 转换形态。
- m) 第一个增量。
- n) 上一个增量。
- o) 增量下拉列表。
- p) 下一个增量。
- q) 最后一个增量。
- r) 动画。

有几种设置可用于对结果进行动画处理。它们如图 26 所示。

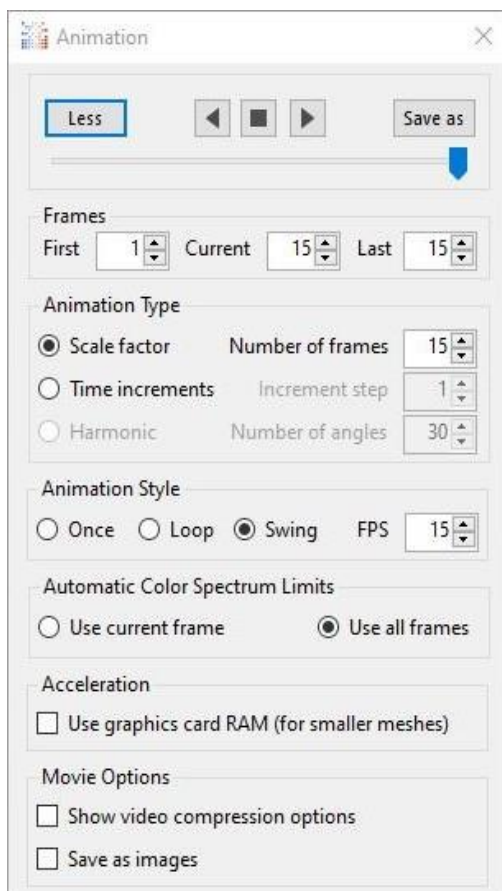


图 26: 动画窗口