

快速上手概述

案例一：

该案例将带您熟悉如何从零开始建立一个简单的静力学分析模型（包括几何模型创建、属性赋予、网格划分、载荷及边界条件施加），并对 FPM 软件求解后的结果进行后处理展示与分析；旨在带您快速上手 FPM 软件的重要功能及使用流程。

注：想要更深入的掌握 FPM 软件，可查看软件“开始”选项卡下的“使用指南”所对应文档。

1. 模型分析

模型分析是为了确定建模过程中的几何模型，适用的材料、单元类型、截面、工况等；该模型为一个轴类实体零件，如图 1 所示轴两端固定，中间施加 1000N 的集中力，其几何尺寸如下图 2 所示，需要的属性参数：

- 材料参数定义
 - 材料：40Cr
 - 密度：7.850e-9tone/mm3
 - 杨氏模量：2.1e5MPa
 - 泊松比：0.3
- 单元类型（四面体实体单元）
- 截面（实体截面）

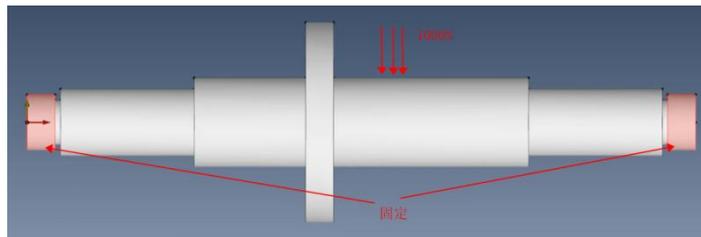


图 1 轴工况

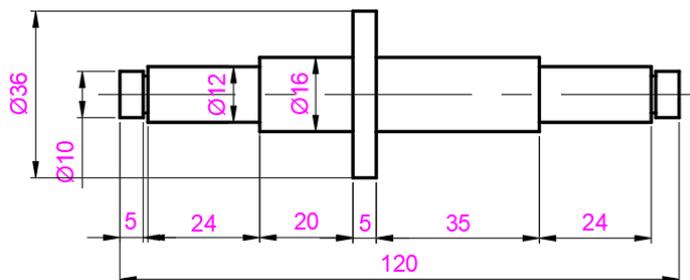


图 2 轴尺寸

2. 第一步，新建项目

打开软件后，进入初始界面，点击“开始”选项卡下的新建项目，即可创建新项目，如图 3 所示；或者打开文件菜单选择新建项目，如图 4 所示。

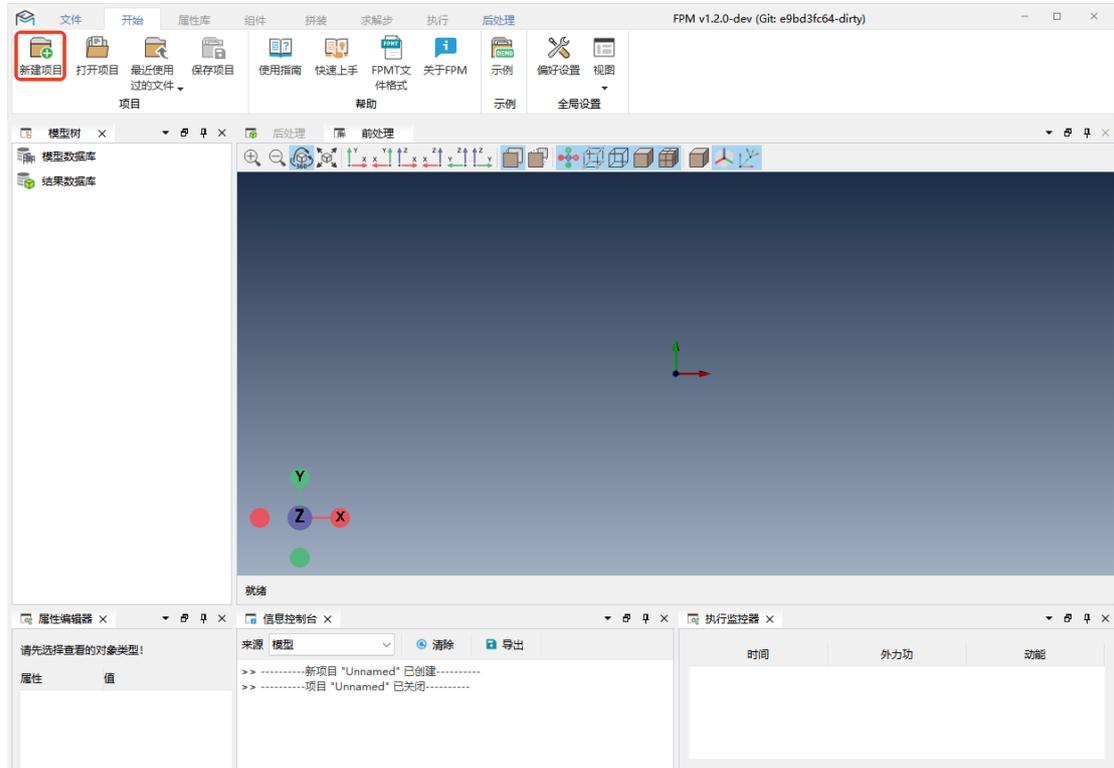


图 3 开始-新建项目

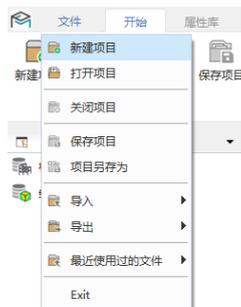


图 4 文件-新建项目

3. 第二步，创建材料

1) 双击模型树“材料”或者点击“属性库”选项卡下“材料”，弹出“编辑材料”对话框，见下图，

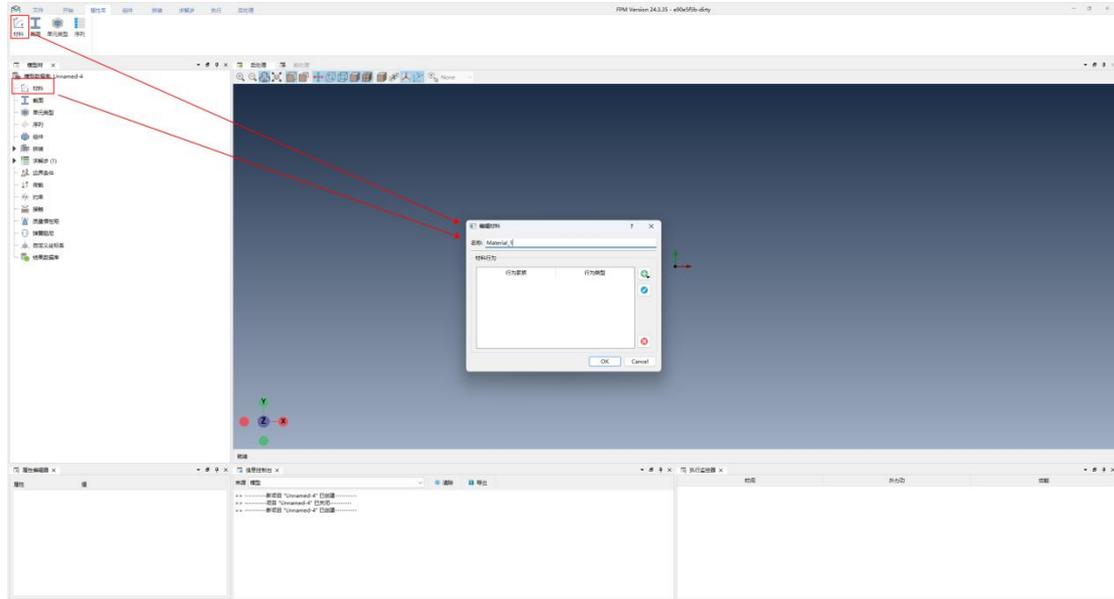


图 5 编辑材料

2) 添加材料密度:



图 6 添加材料密度

3) 添加材料线弹性行为:

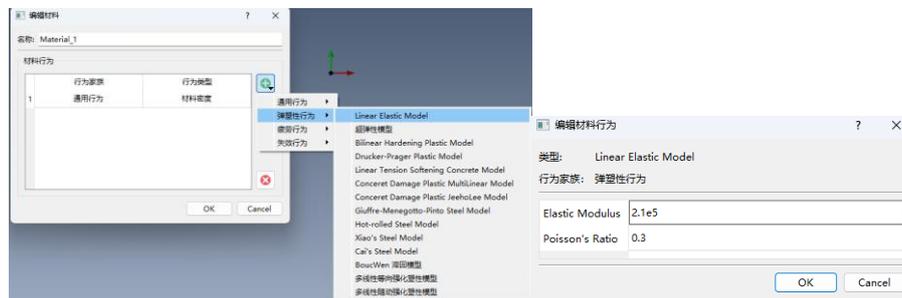


图 7 添加材料线弹性行为

3) 完成材料创建

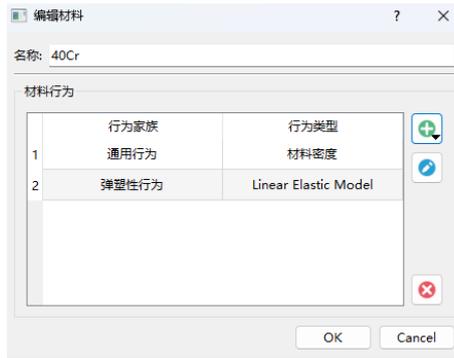


图 8 完成材料创建

4. 第三步，创建截面

1) 双击模型树“截面”或者点击“属性库”选项卡下“截面”，弹出“创建截面”对话框，见下图，选择“实体”--“普通截面”；

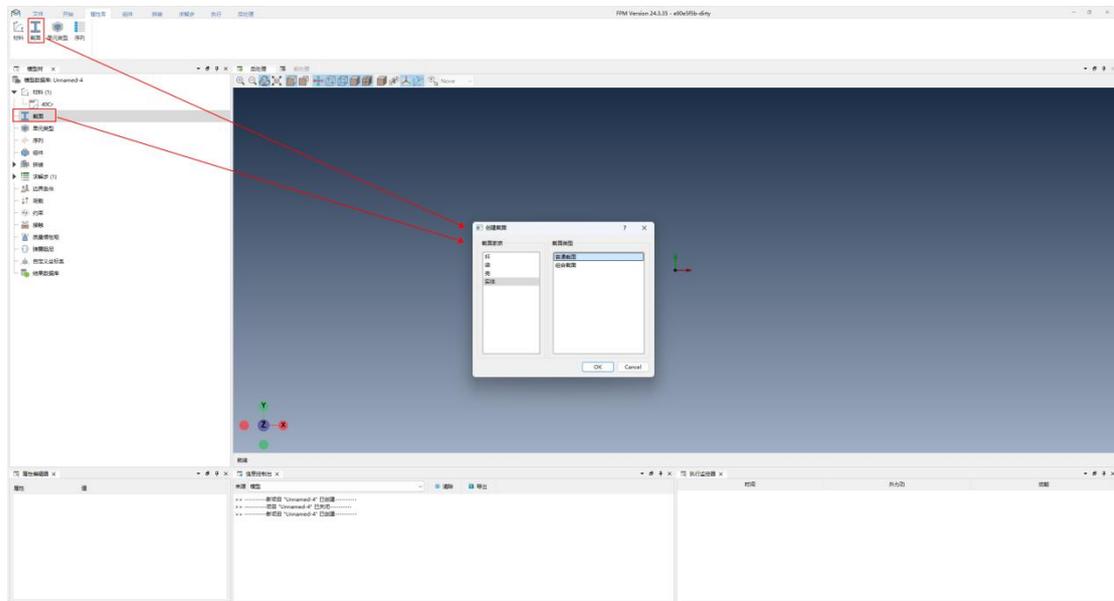


图 9 创建截面

2) 为截面赋予材料
 点击“加号”添加上一步创建的实体材料“40Cr”；

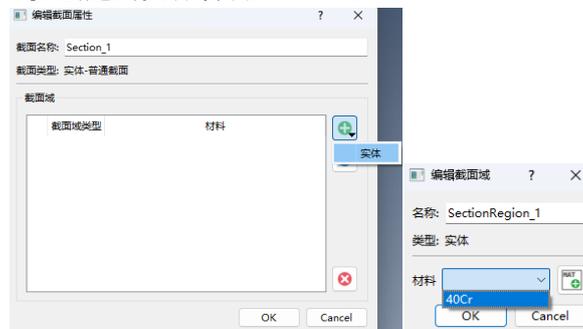


图 10 指派截面材料

3) 完成截面创建
 点击确定完成截面创建；

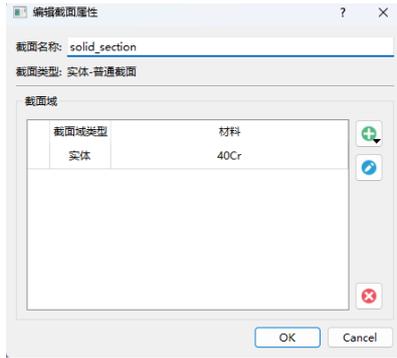


图 11 完成截面创建

5. 第四步，创建单元类型

1) 双击模型树“单元类型”或者点击“属性库”选项卡下“单元类型”，弹出“创建单元类型”对话框，见下图，选择“实体”--“一阶四面体实体单元”；

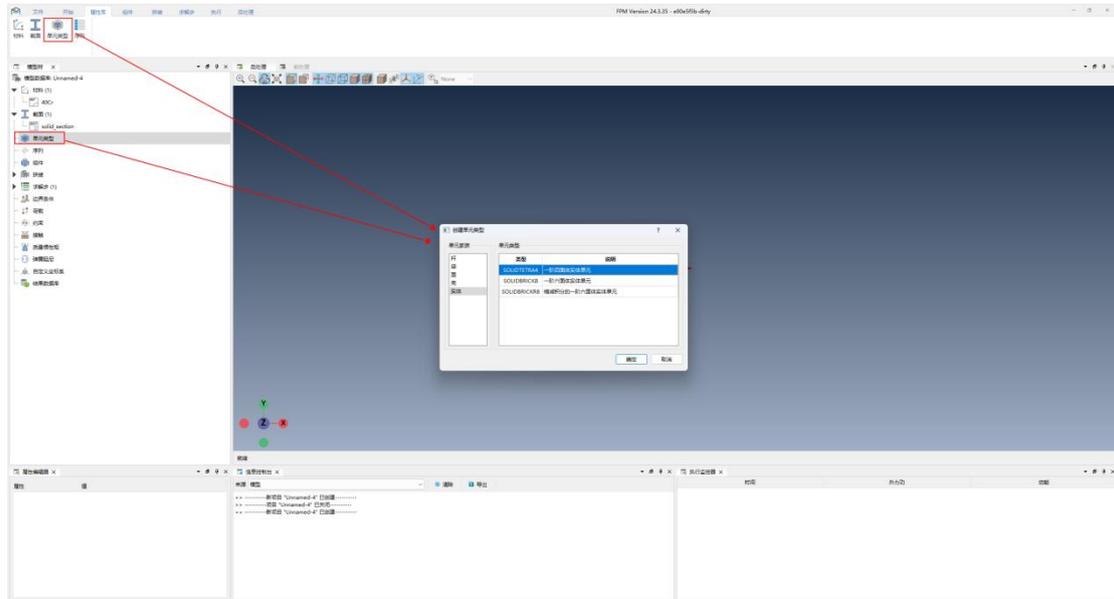


图 12 创建单元类型

2) 编辑单元类型

选择默认参数--“确定”后完成单元类型创建；

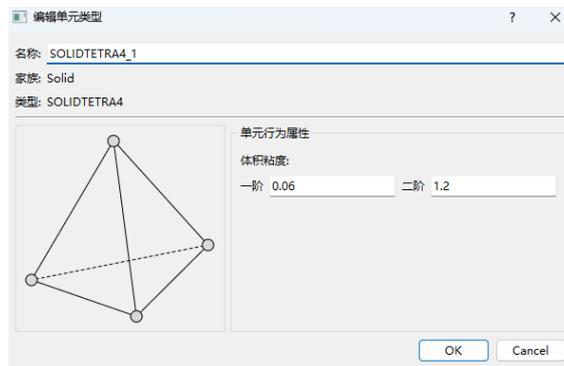


图 13 编辑单元类型参数

6. 第五步，创建组件（建立轴的几何模型）

1) 双击模型树“组件”或者点击“组件”选项卡下“新建组件”，弹出“设置组件名称”对话框，见下图，选择“确定”完成组件创建：

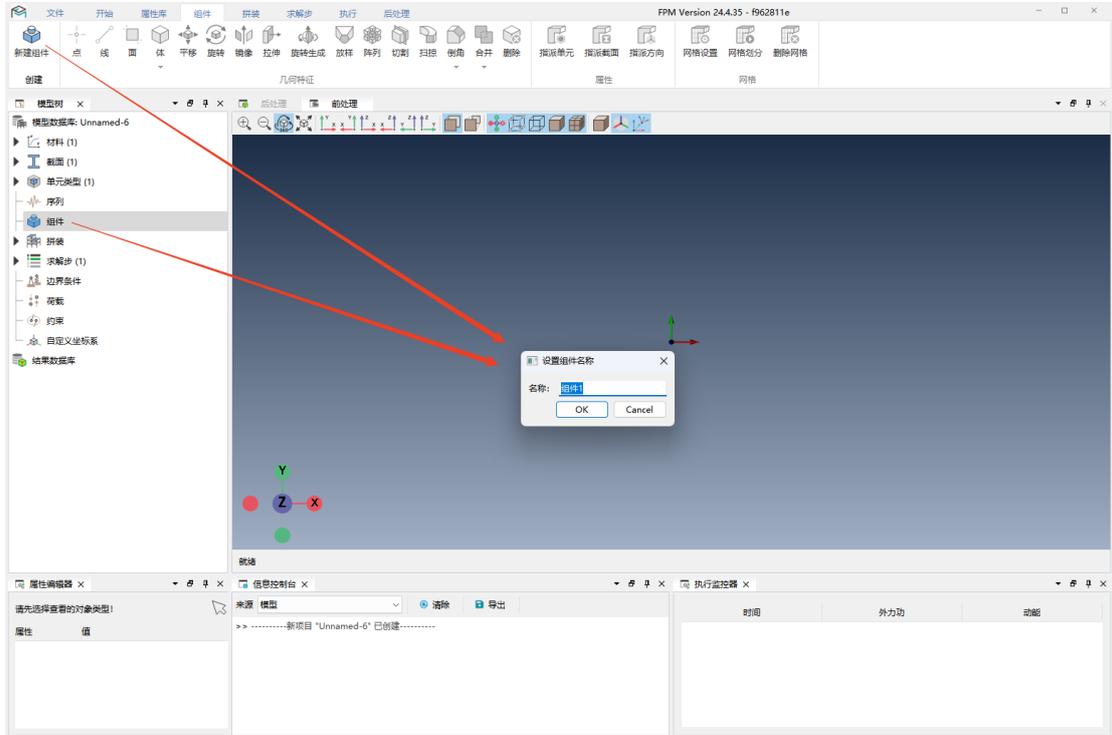


图 14 创建组件

2) 创建几何线轮廓

点击“组件”选项卡下的“线”按钮，同时线段起点的坐标值（0，0，0），如下图：

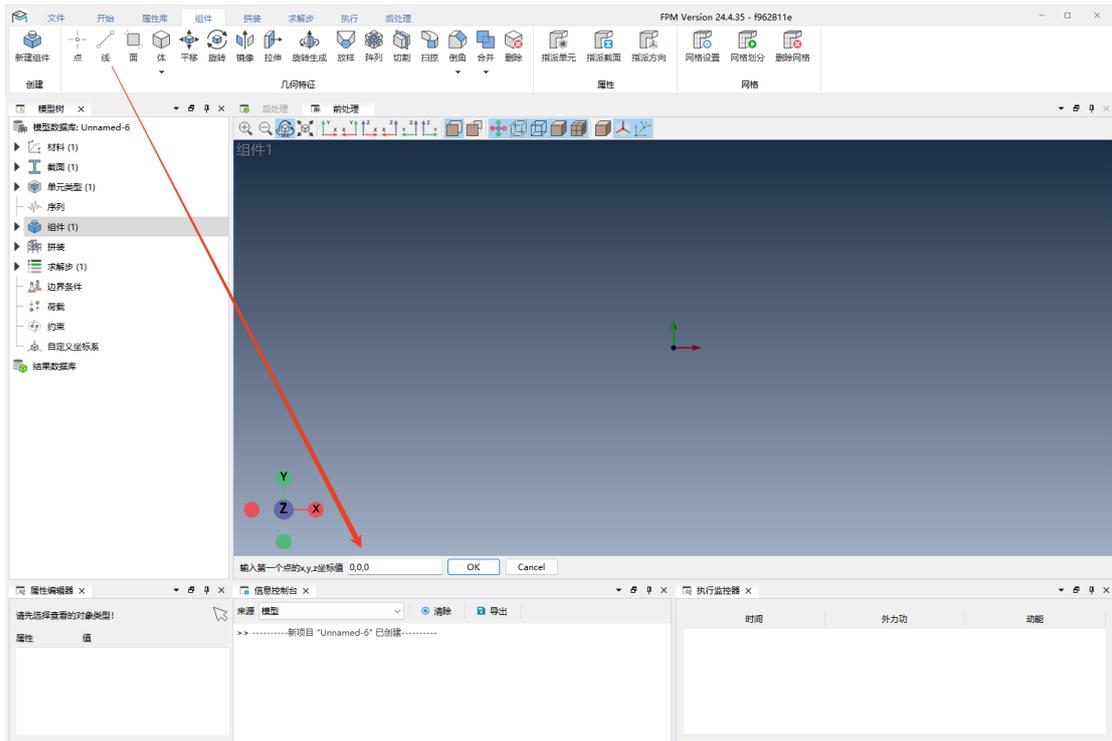


图 15 创建几何轮廓线

再输入线段终点的数值 (0, 1, 0, 5)，意味着终点是在起点的基础上沿着 Y 轴正方向平移 5 个单位长度距离；

注：第二个点（线段终点）的数值有两种输入方式，其一是绝对坐标值例如 (10, 10, 10)；其二是上面 (0, 1, 0, 5) 这种方式，详见软件《使用指南》；

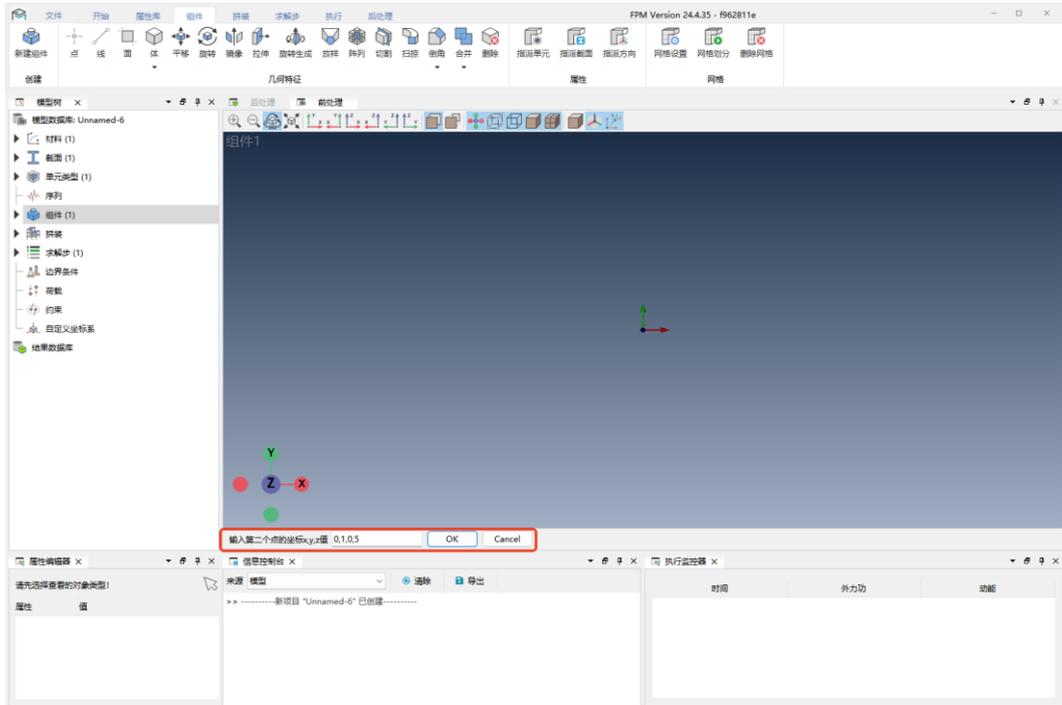


图 16 创建几何轮廓线

确定后完成第一条线段创建后，直接选中该线段的终点作为第二条线段的起始点；接着输入第二个点的坐标为 (1, 0, 0, 5)，意味着第二个点是在第一个点的基础上沿着 X 轴方向平移 5 个单位长度距离；

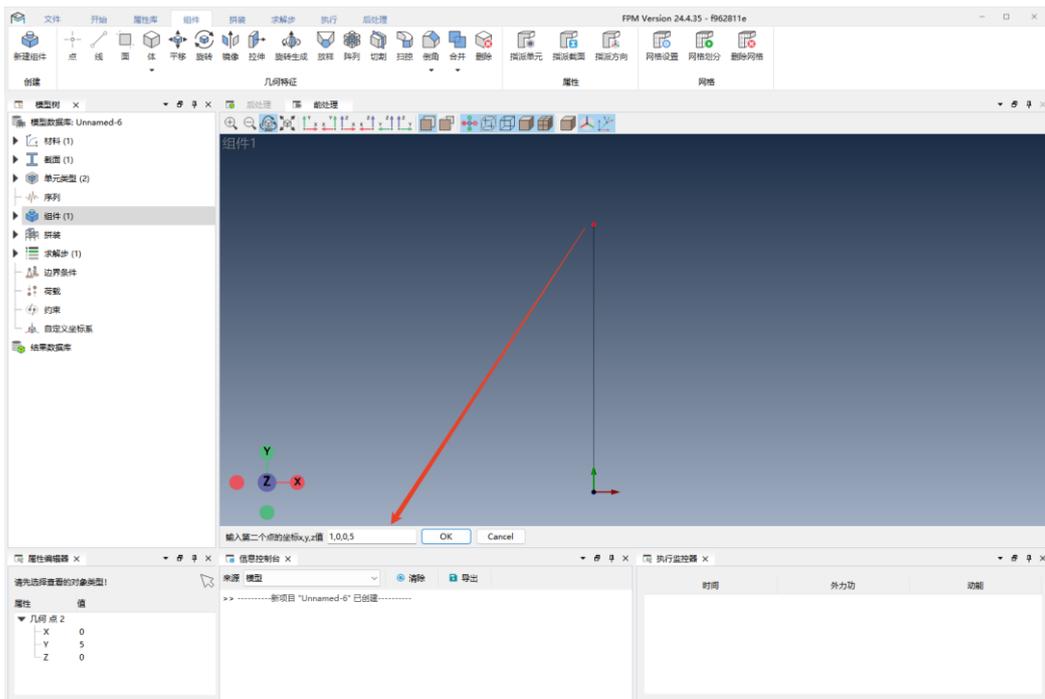


图 17 创建几何轮廓线

即完成第二条线段轮廓的创建。

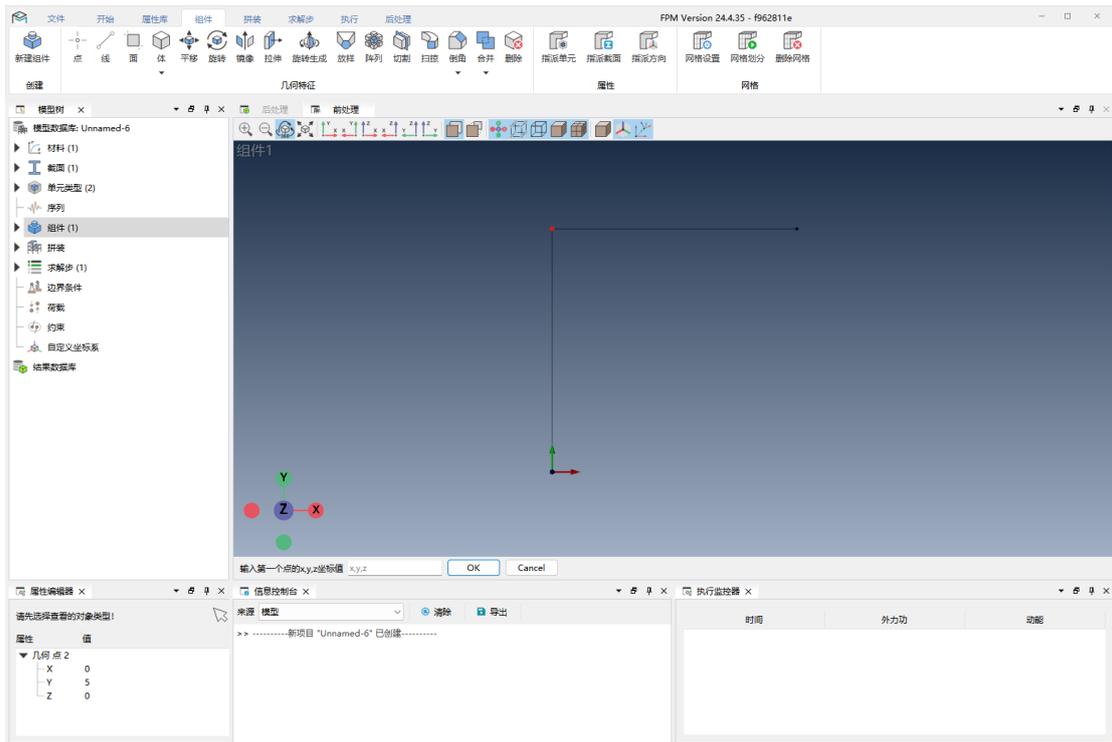


图 18 创建几何轮廓线

按照以上操作完成轴的几何轮廓线创建后，点击“组件”选项卡下的“旋转生成”按钮，弹出旋转生成对话框，按照图中步骤一一选择对象并设置旋转角度和选中“生成实体”，确定后生成旋转体；

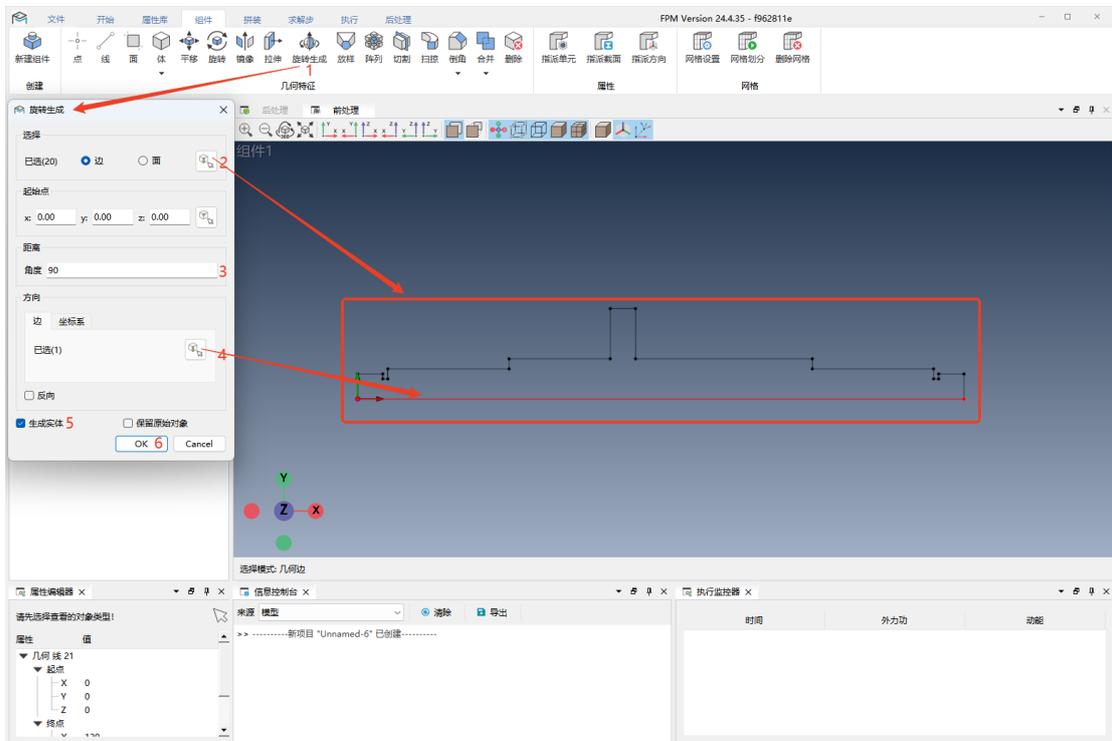


图 19 创建旋转实体

2) 指派截面

选择几何体，选择截面类型后确定，即指派成功；

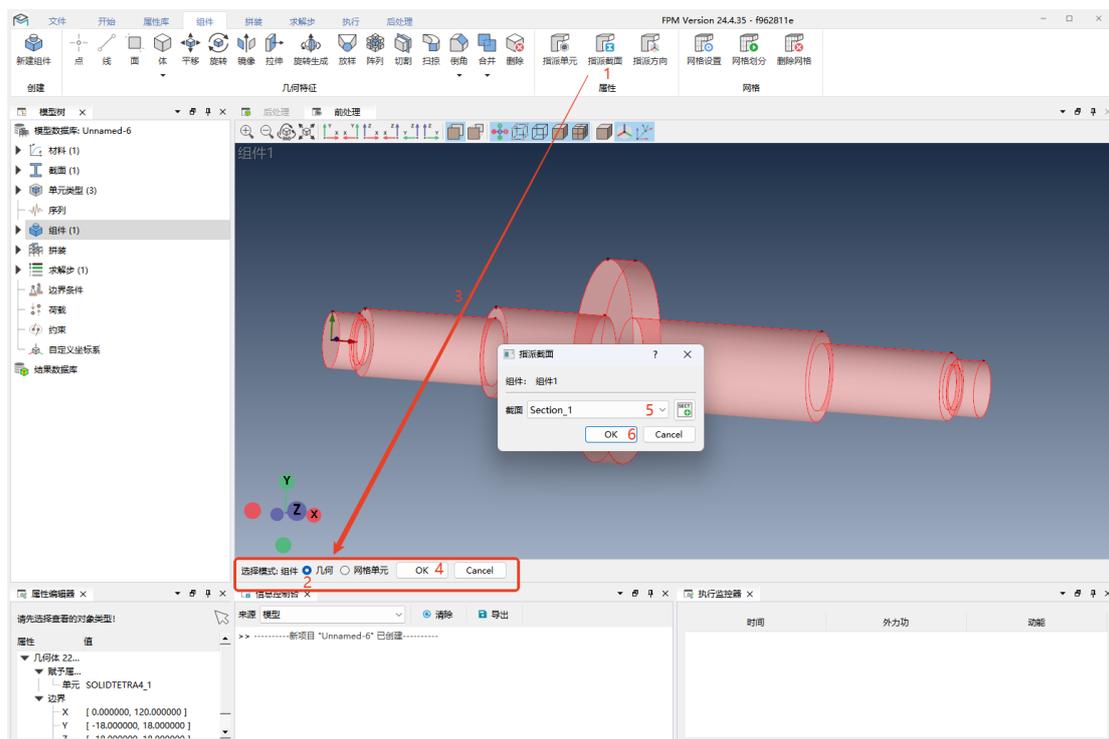


图 22 组件指派截面

8. 第七步，网格划分

1) 网格参数设置

点击“组件”选项卡下的“网格设置”功能，弹出网格设置对话框，进一步选择对象，网格“尺寸因子”设置为 0.2（若要进一步设置网格参数，详见《使用指南》），确定后完成网格设置；

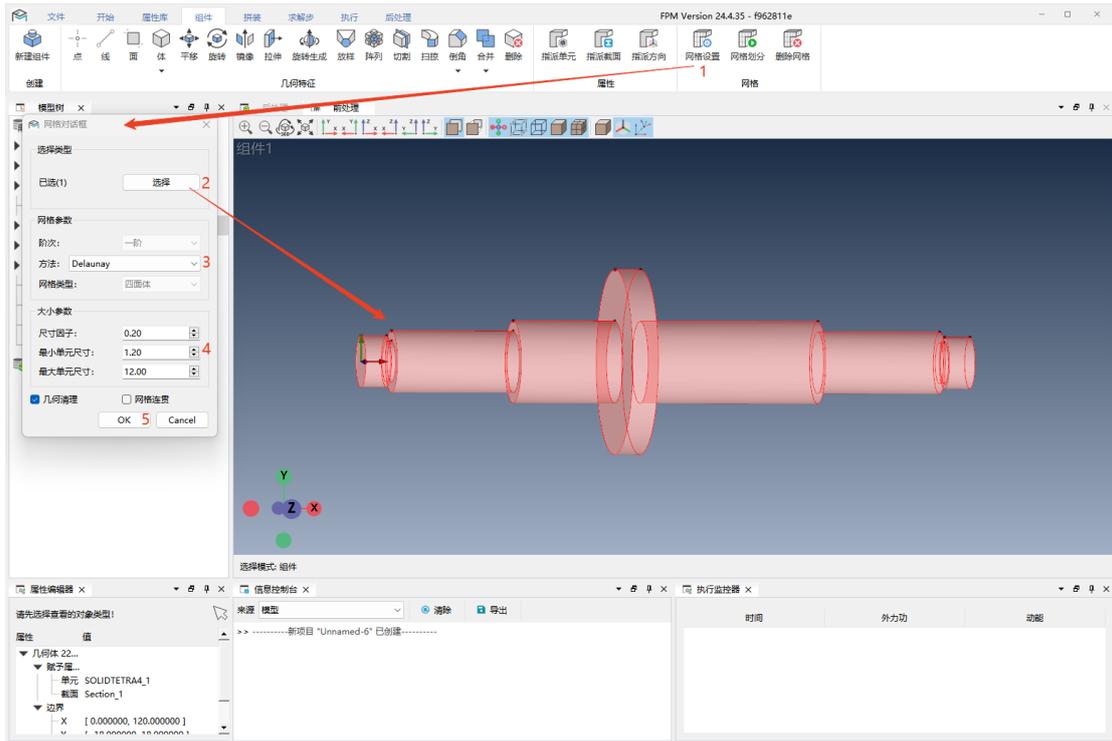


图 23 网格参数设置

2) 网格划分

点击“组件”选项卡下的“网格划分”功能，即可后台自动完成网格划分；

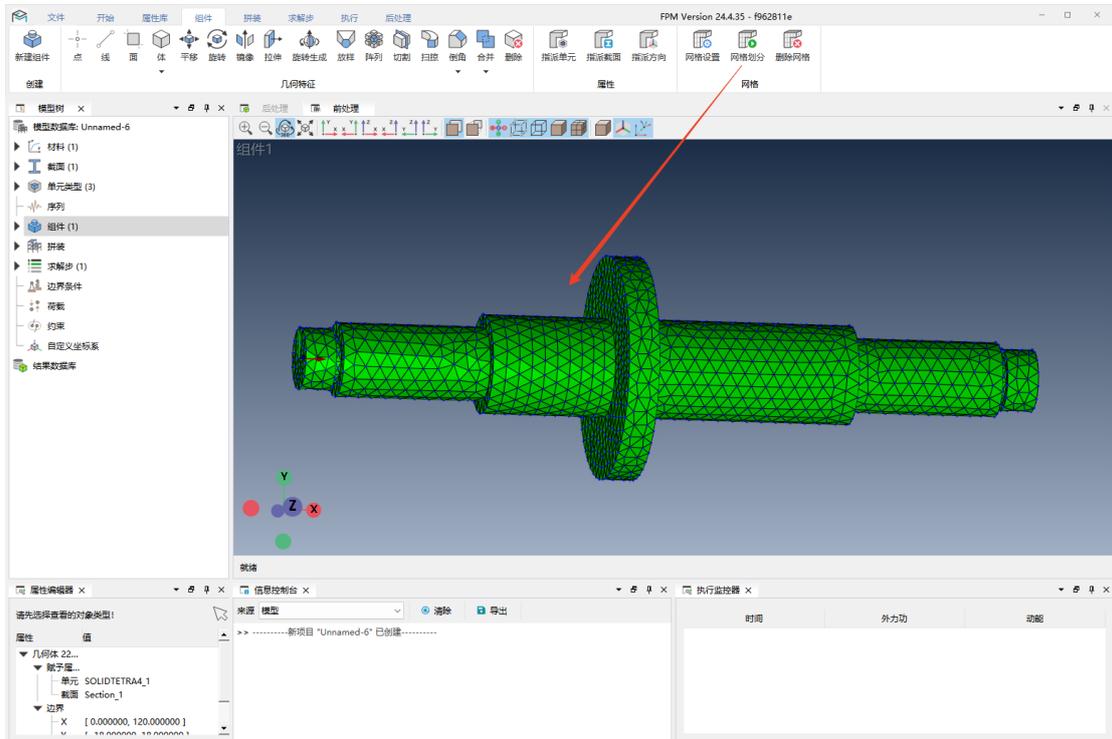


图 24 网格划分

9. 第八步，创建拼装实例

双击模型树“组件实例”或者点击“拼装”选项卡下“新建实例”，弹出“新建组件实例”对话框，见图 25，选择组件后确定即可创建成功，进入拼装模式如图 26 所示；

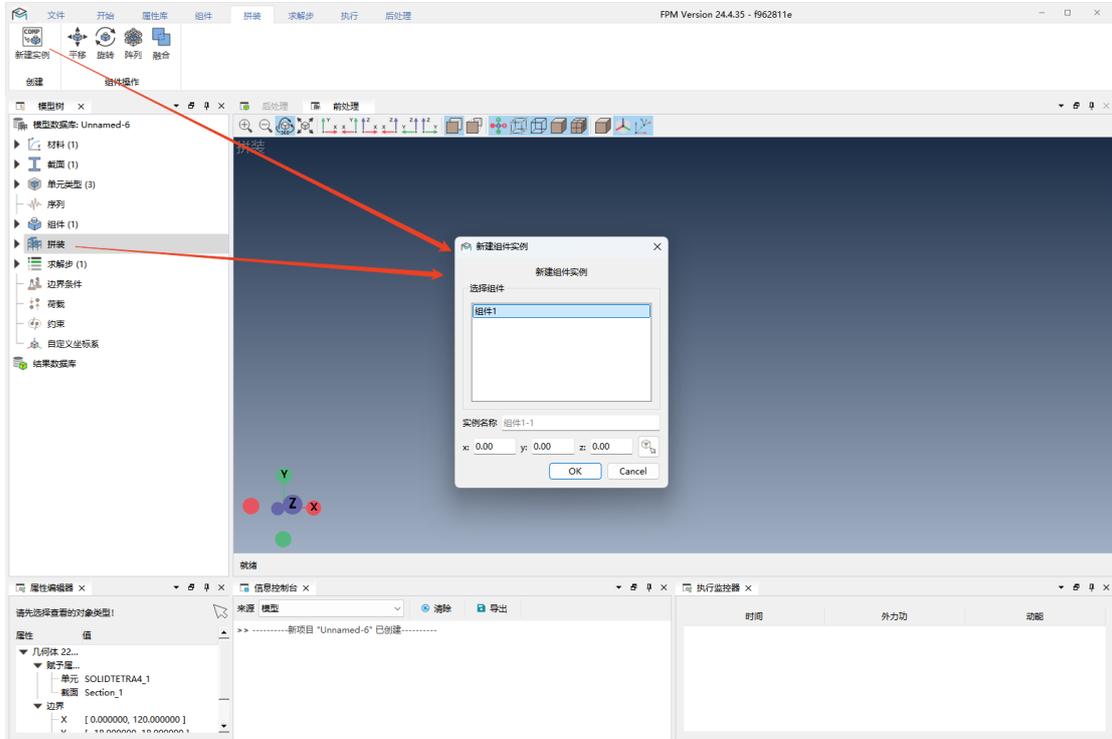


图 25 创建拼装实例

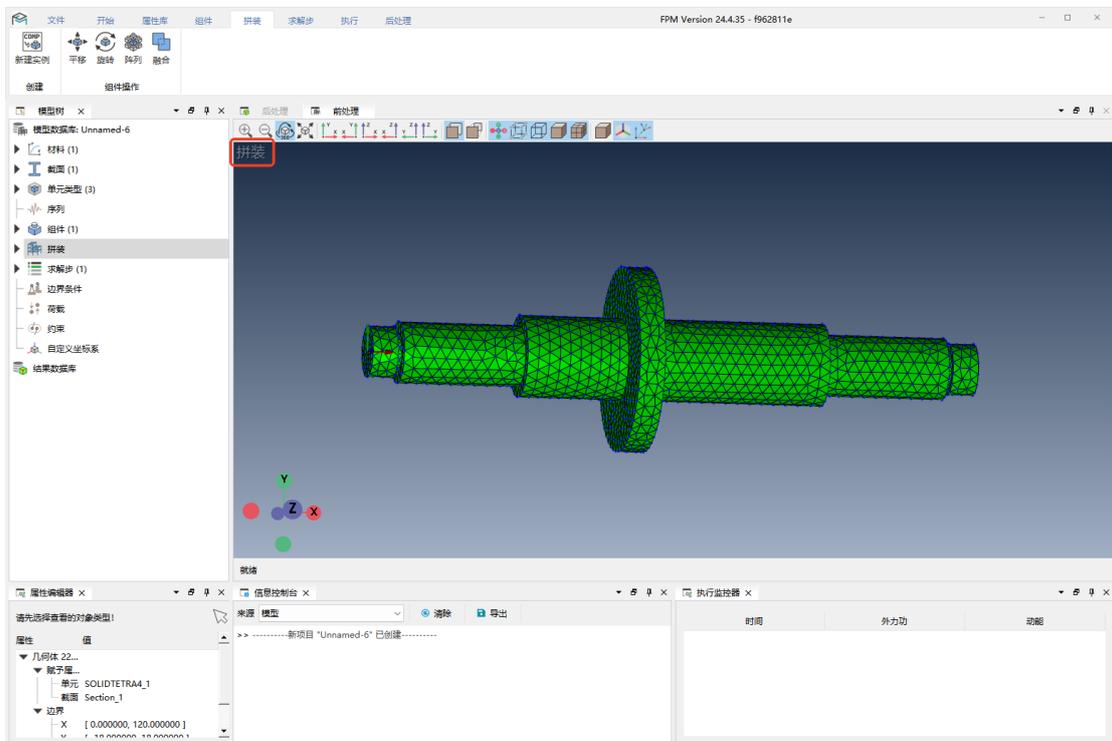


图 26 创建拼装实例后进入拼装模式

10. 第九步，创建求解步

1) 双击模型树“求解步”或者点击“求解步”选项卡下“创建求解步”，弹出“创建求解步”对话框，见图 27，选择求解步类型后确定即可创建成功；

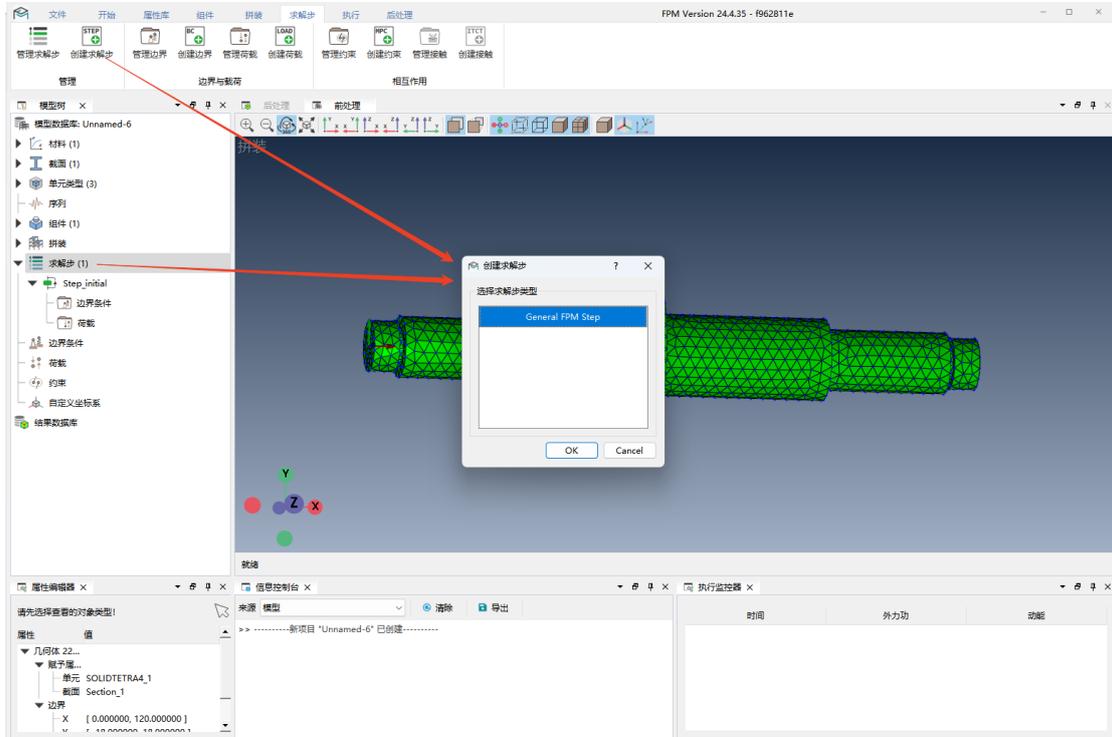


图 27 创建求解步

2) 求解步参数设置--时间

设置求解总时间；计算临界步长后，时间步长输入值小于临界步长，否则计算发散；

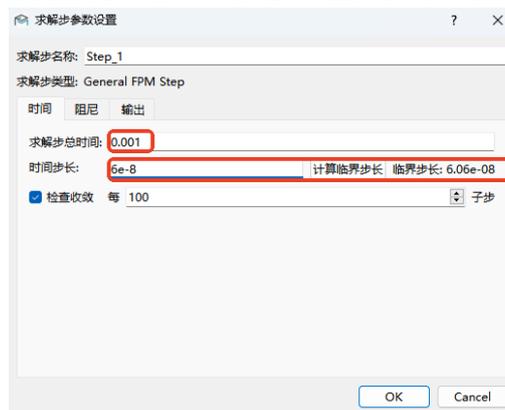


图 28 求解步参数设置

3) 求解步参数设置--输出

选择上“平动位移”、“质点合力”、“单元内力”、“质点反力”

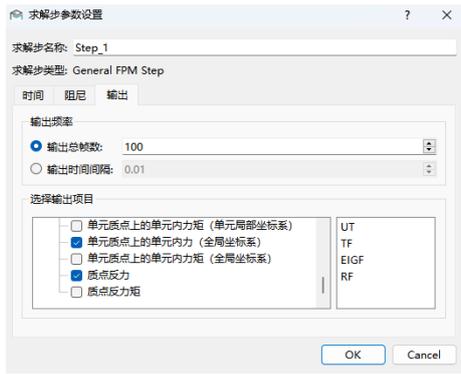


图 29 求解步输出设置

11. 第十步，添加边界条件

1) 双击模型树“边界条件”或者点击“求解步”选项卡下“创建边界条件”，弹出“创建边界条件”对话框，见下图，选择“位移”确定；

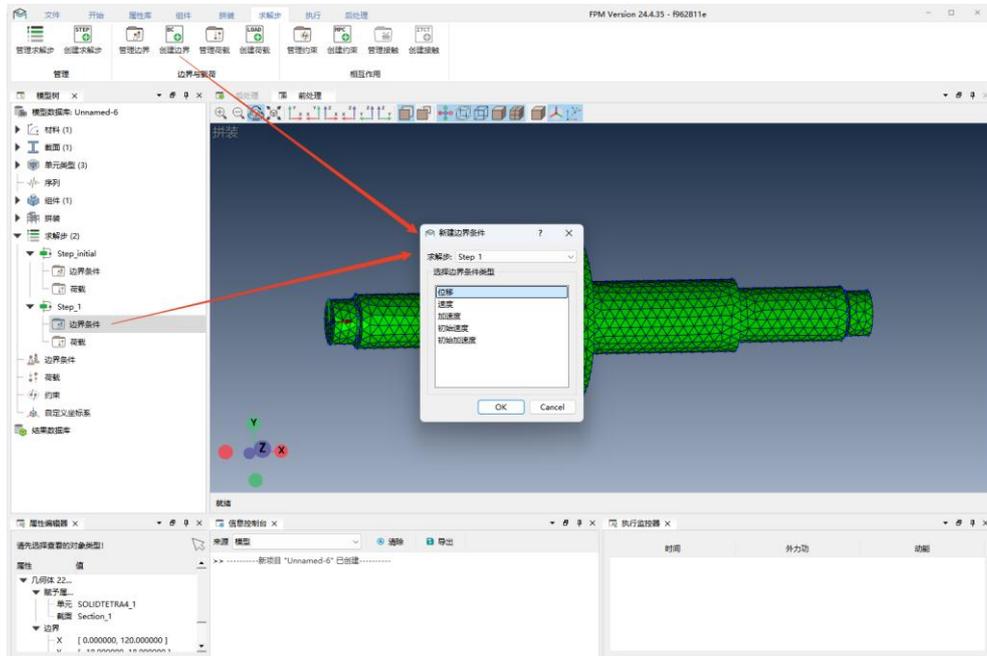


图 30 创建边界条件

2) 编辑边界条件--选择对象组

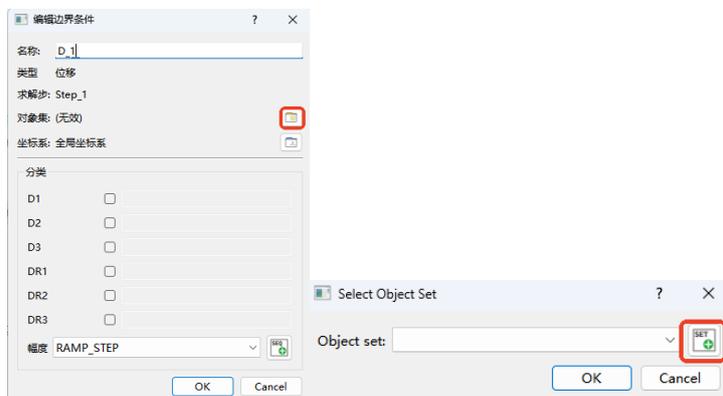


图 31 编辑边界条件

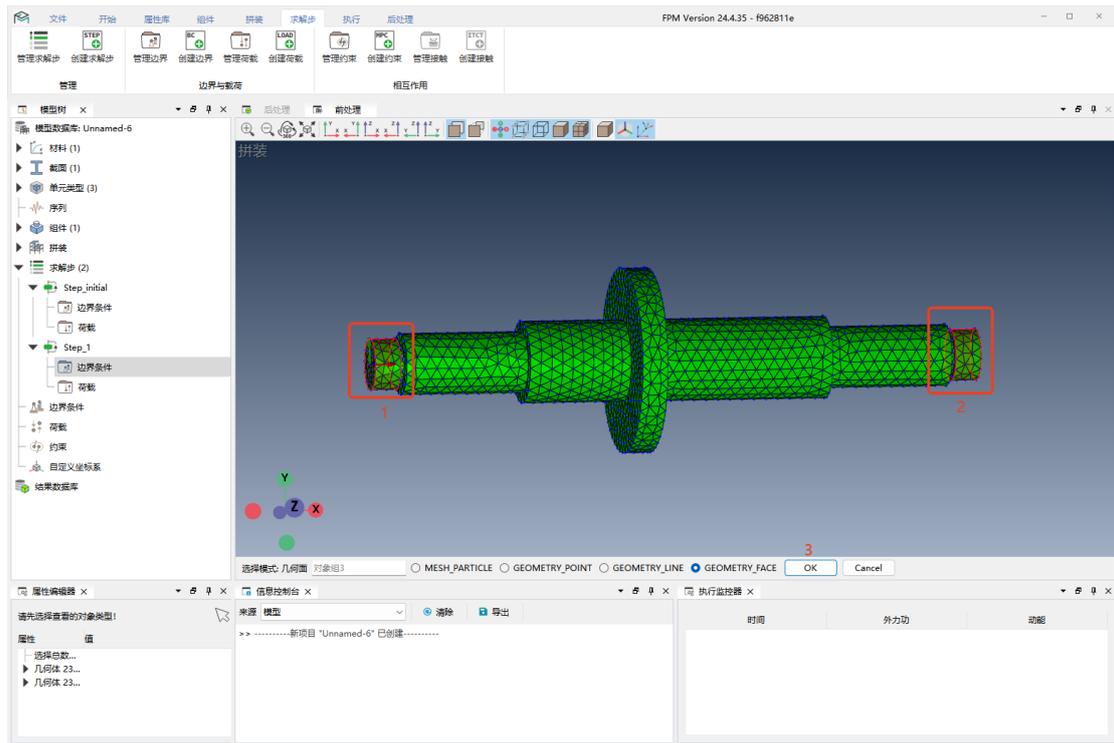


图 32 选择边界对象组

3) 编辑边界条件--约束位移



图 33 约束位移边界条件

4) 确定后即可创建位移约束边界条件

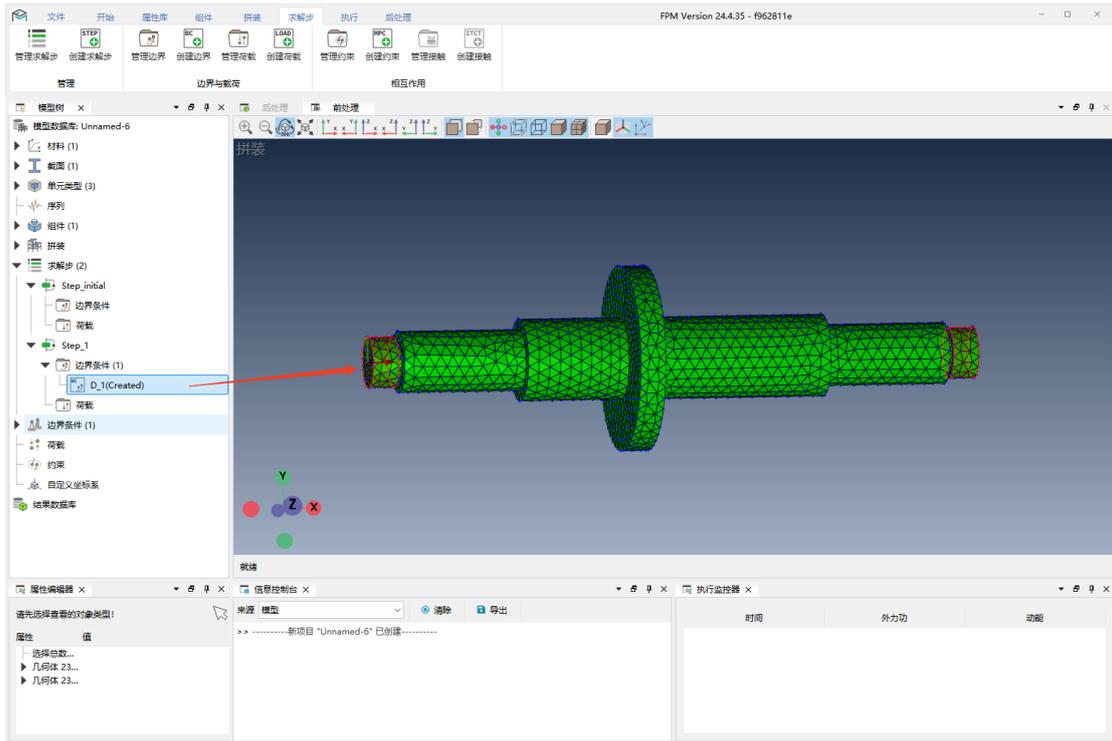


图 34 完成边界条件创建

12. 第十一步，添加载荷

1) 切换视角方便选择对象；

点击工具栏中的“正视图”按钮切换视角；

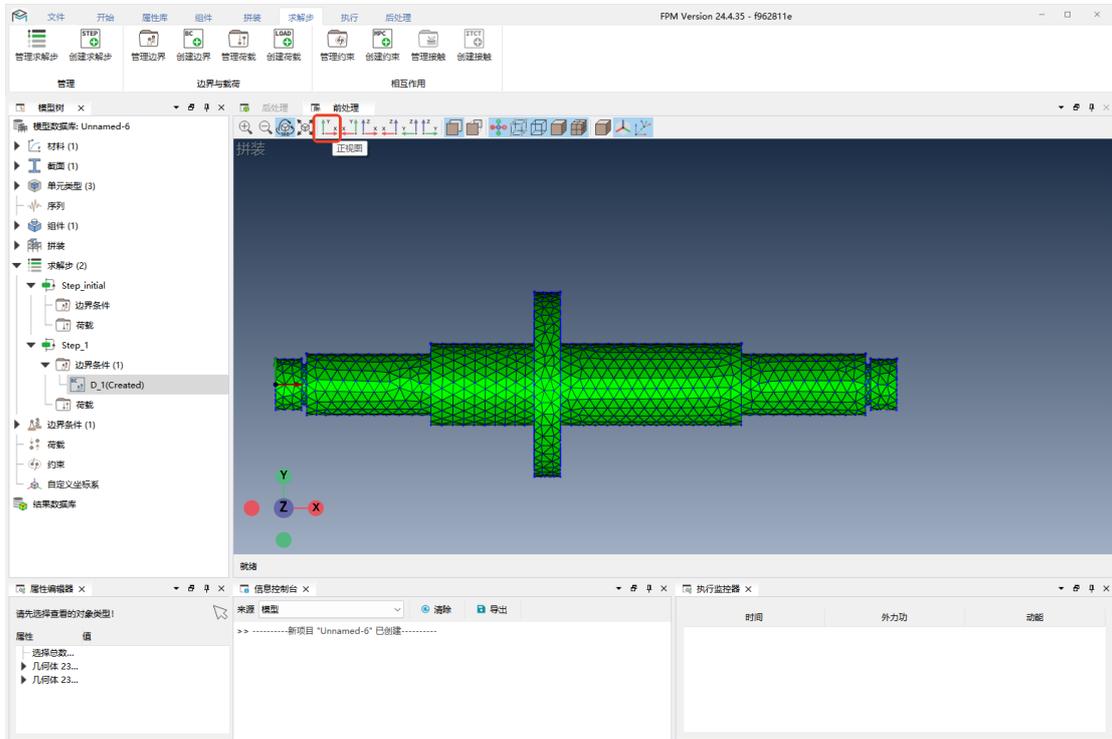


图 35 切换正视图视角

2) 双击模型树“荷载”或者点击“求解步”选项卡下“创建荷载”，弹出“创建荷载”对话框，见下图，选择“集中力/力矩”确定；

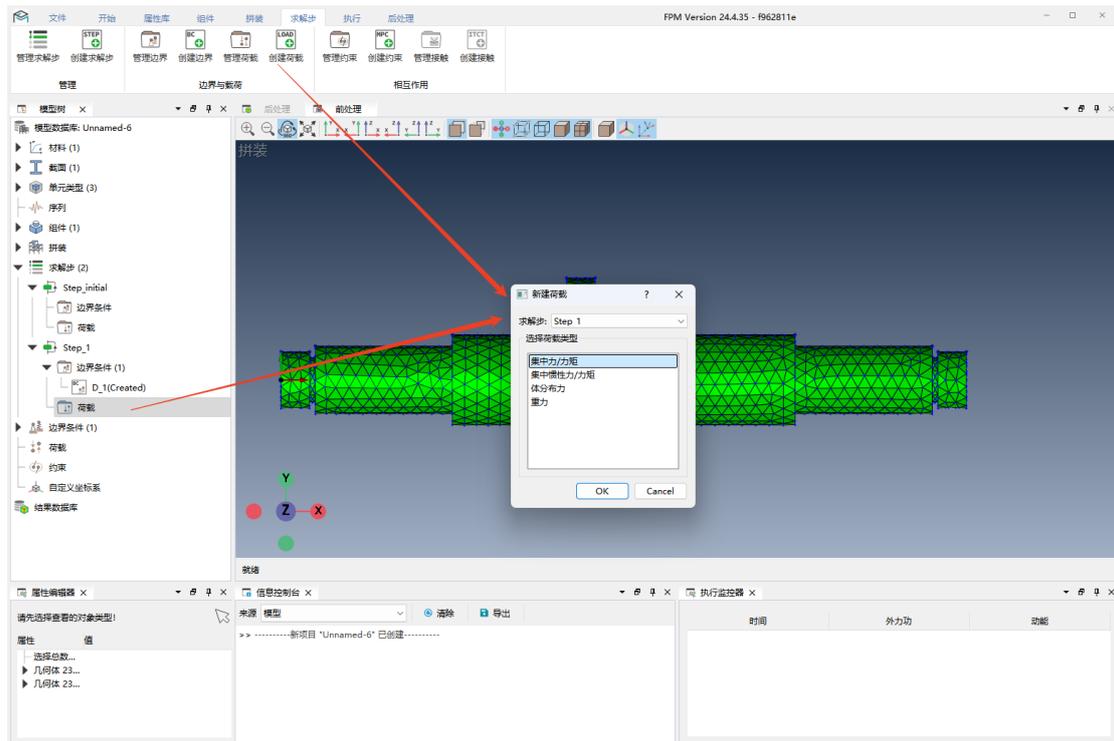


图 36 创建荷载

3) 编辑荷载--选择对象组

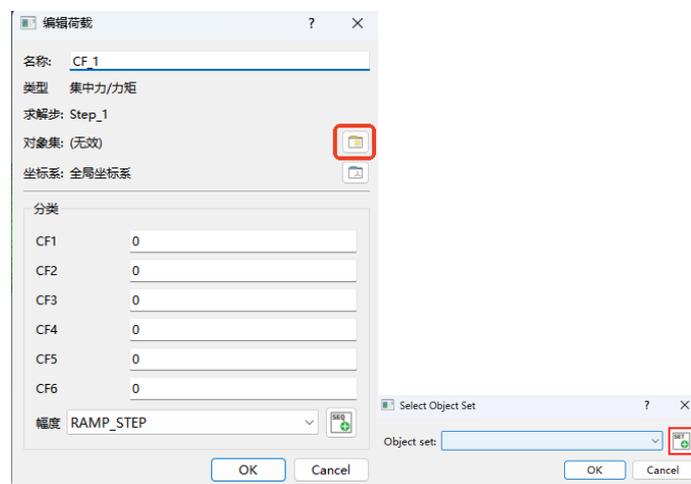


图 37 编辑荷载对象组

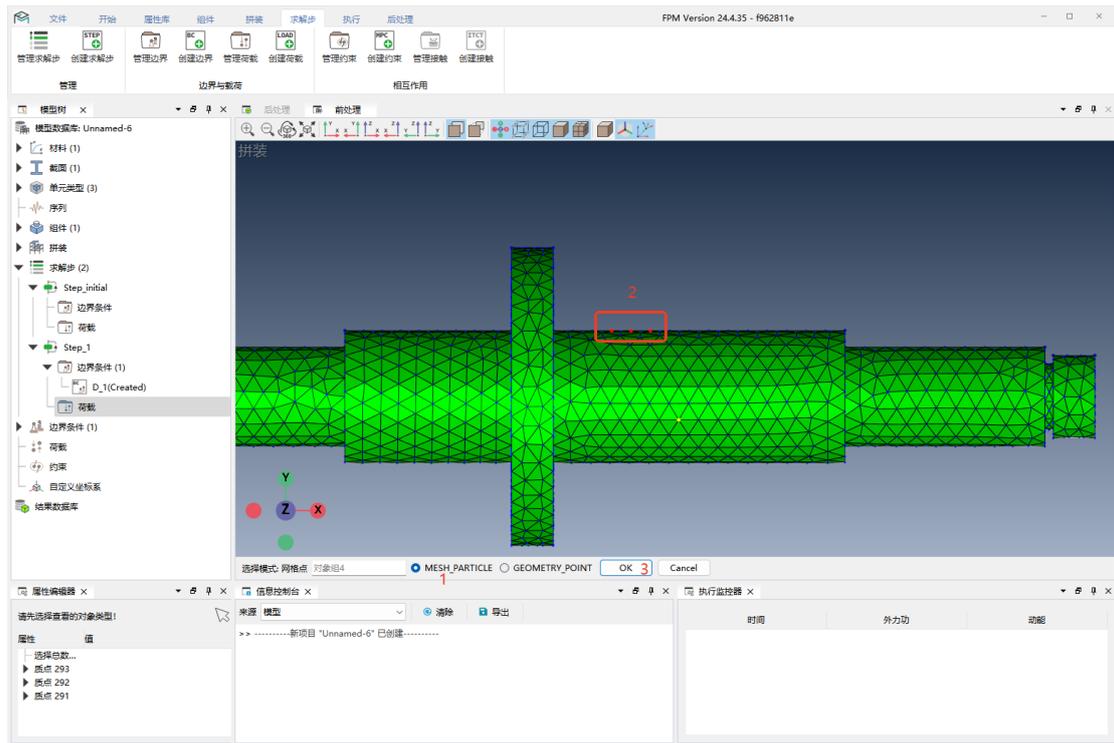


图 38 选择和创建载荷对象组

4) 编辑载荷--设置 Y 负方向集中力大小

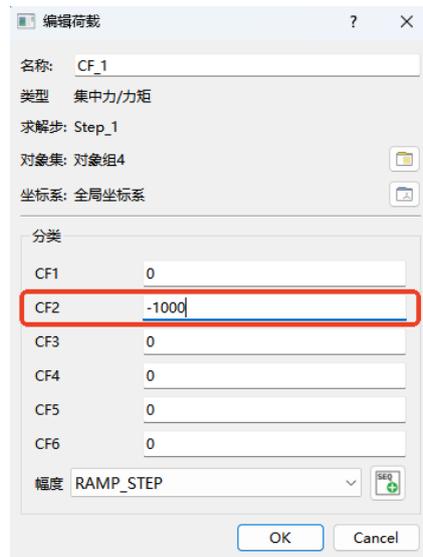


图 39 约束载荷大小

5) 确定后即可成功创建载荷;

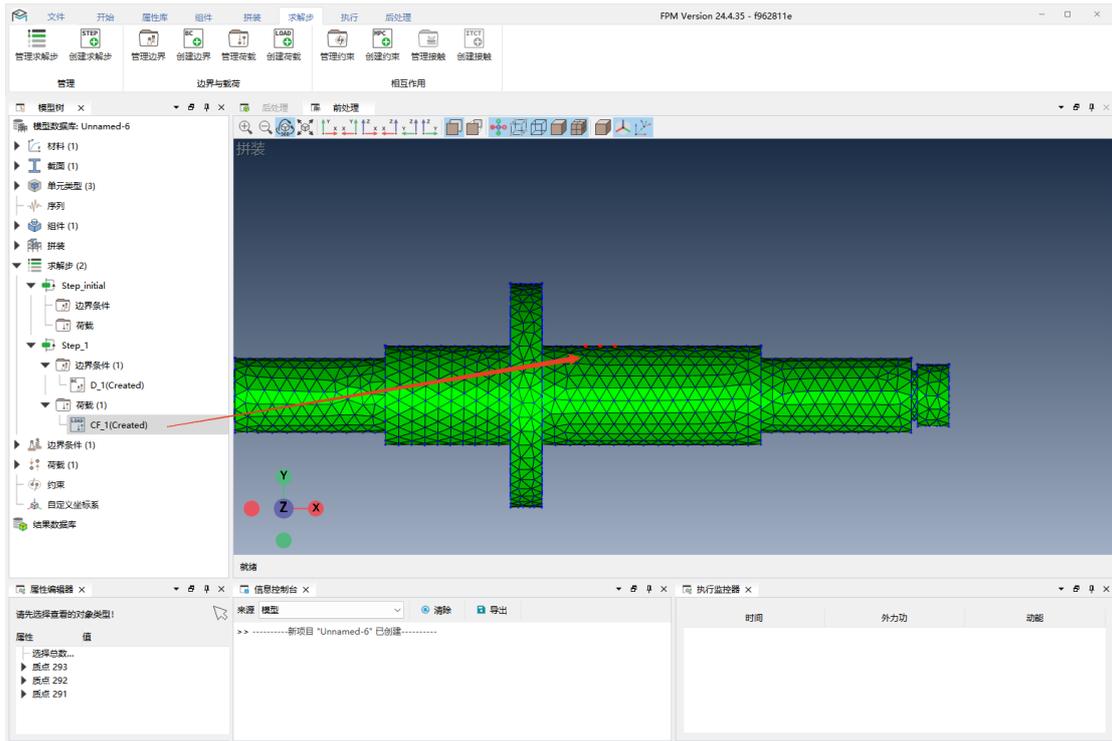


图 40 完成载荷创建

13. 第十二步，执行分析

完成以上步骤后，点击“执行”选项卡下的“开始”功能，即可开始求解；

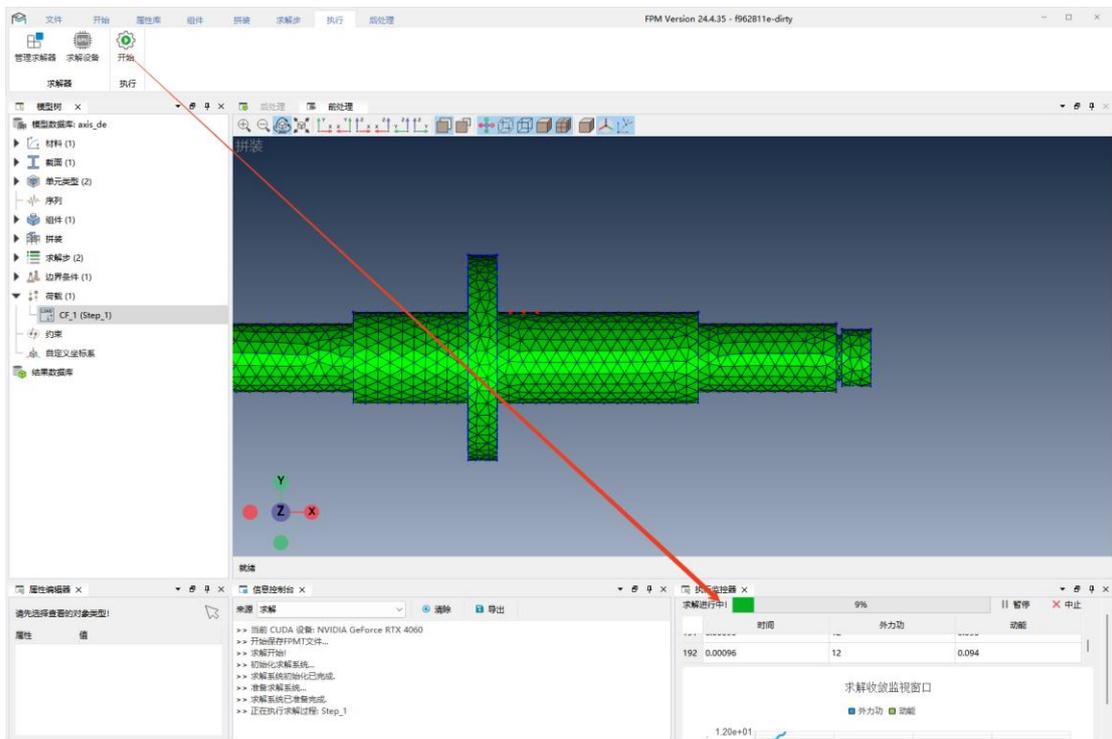


图 41 开始计算

14. 第十三步，数据后处理

求解完成后即可跳转到后处理窗口，查看输出的数据（“平动位移”、“质点合力”、“单元内力”、“质点反力”）云图，如图 42 所示。

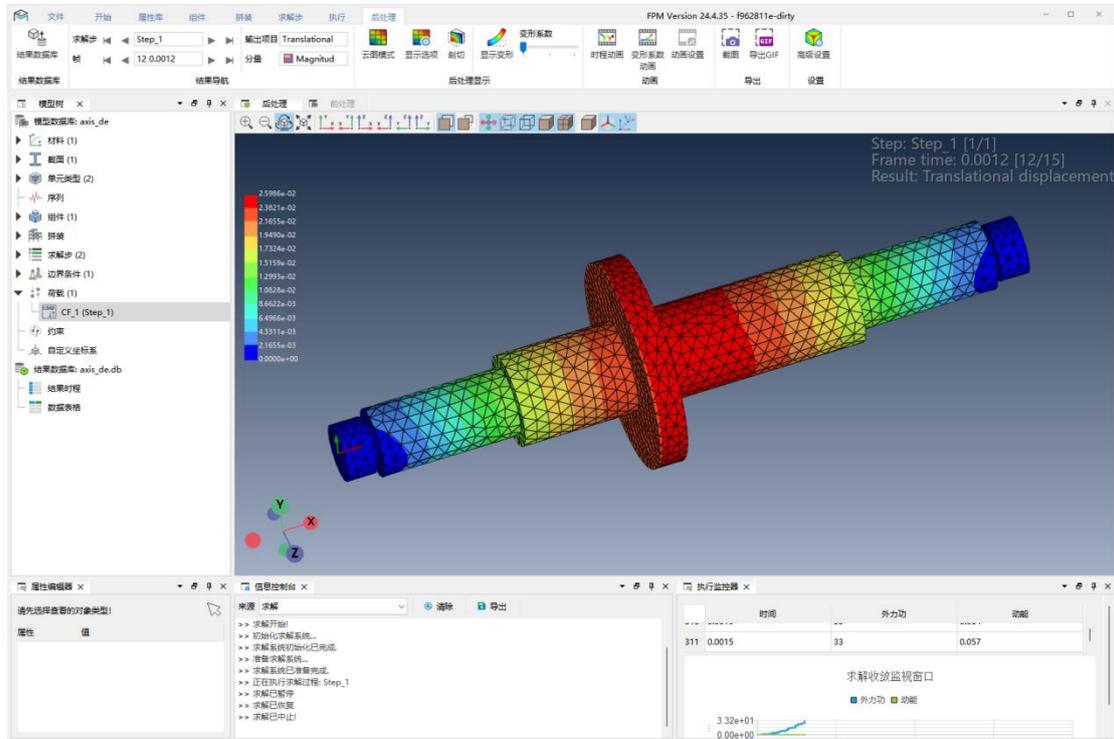


图 42 后处理云图

案例二：

2.1 案例介绍

2.1.1 学习目标

通过本案例的引导学习，您可以初步掌握 FPMCAE 柔性结构找形分析的操作流程；

柔性结构是由索、杆、梁、膜四类构件中的部分构件或全部构件组成的结构，其主要特征是在无初始内力作用时本身几乎没有承压能力，只有在施加预应力后才能形成稳定的几何形状，具有承受自重和外荷载作用所需的刚度。因此，这类结构初始状态下的形状和预应力分布密切相关。

本案例主要介绍如何使用 FPMCAE 软件平台计算伞状索杆膜结构找形分析。柔性结构的初始形态分析（即找形过程分析）就是在满足建筑造型和功能要求的结构几何形状的条件下寻找与之相对应的自平衡内力（即初始预应力）。由于索膜材料具有柔性且抗弯刚度极小（或忽略不计），其初始形状并非预先固定，而是由内部预张力决定，属于典型的几何非线性问题。有限质点法能够方便地处理结构找形过程中的结构大变形问题，同时在预应力的引入和调整以及结构刚体位移的处理上具有优势，因而适用于柔性结构的初始形态分析问题。

2.1.2 案例描述

- a. 本例聚焦以柔性索为边界的四边形索杆膜结构，核心目标是确定预张力作用下膜面的三维平衡形态，重点求解飞柱（浮动支承）在力平衡状态下的最终空间坐标，并验证应力分布的均匀性。此类结构常见于体育场馆、交通枢纽（如世博轴）及景观遮阳设施中。
- b. 本例中伞形索杆膜结构的索杆部分由 4 根自由斜索和 1 根飞柱组成，膜片部分用 4 根边索加强，同时伞顶端到四个角点用 4 根脊索连接。计算模型的初始假定形状见图 1。本案例需要的参数信息如下表：

单元类型	膜、杆、梁混合单元		
材料与截面	膜	尺寸 10m×10m 厚 $h=1.3\text{mm}$ 面密度 $\rho_3=1.45\text{kg/m}^2$ 弹性模量 $E_3=6\times 10^8\text{Pa}$ 泊松比 $\nu_1=0.3$	初始预应力 $3\times 10^6\text{Pa}$
	斜索	截面积 200mm^2	初始预应力 $4\times 10^8\text{Pa}$

	脊索	弹性模量 $E_1=1.9\times 10^{11}\text{Pa}$	初始预应力 $3\times 10^7\text{Pa}$
	边索	泊松比 $\nu_2=0.3$ 线密度 $\rho_1=1.5\text{kg/m}$	初始预应力 $1\times 10^7\text{Pa}$
	飞柱	长 5m $\Phi 114\times 4$ 空心圆钢管 弹性模量 $E_2=2.06\times 10^{11}\text{Pa}$ 密度 $\rho_2=7.85\times 10^3\text{kg/m}^3$	
分析	找形分析		
边界条件	点 1~4: $D1=D2=D3=DR1=DR2=DR3=0$, 将膜面的四个角点完全固定		

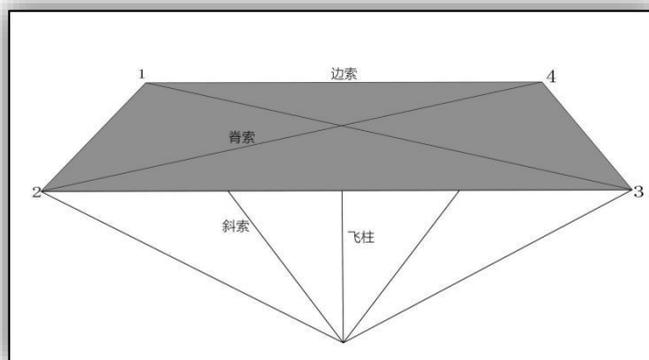


图 1. 伞状索杆膜找形前

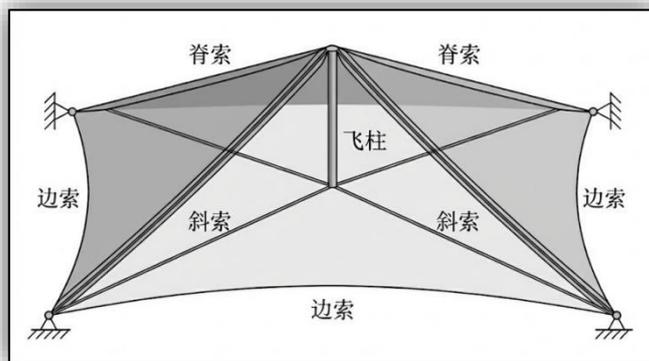


图 2. 伞状索杆膜找形后

2.2 新建项目

a. 设置工作目录：

目的：指定 FPMCAE 文件的保存目录，便于后续搜索与浏览。

操作：进入软件界面，点击顶部选项卡的【开始】，进入【偏好设置】页面，修改【工作区】

参数，设置完成后点击【Apply】或【OK】确认。

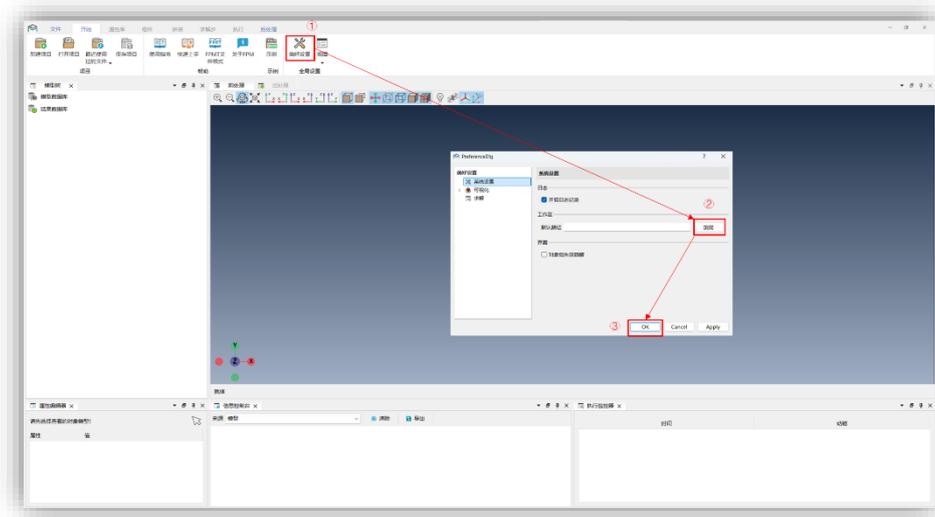


图 3. 设置工作目录

b. 设置求解器：

操作：在【偏好设置】页面点击【求解】，修改【当前设备】，设置完成后点击【Apply】或【OK】确认。

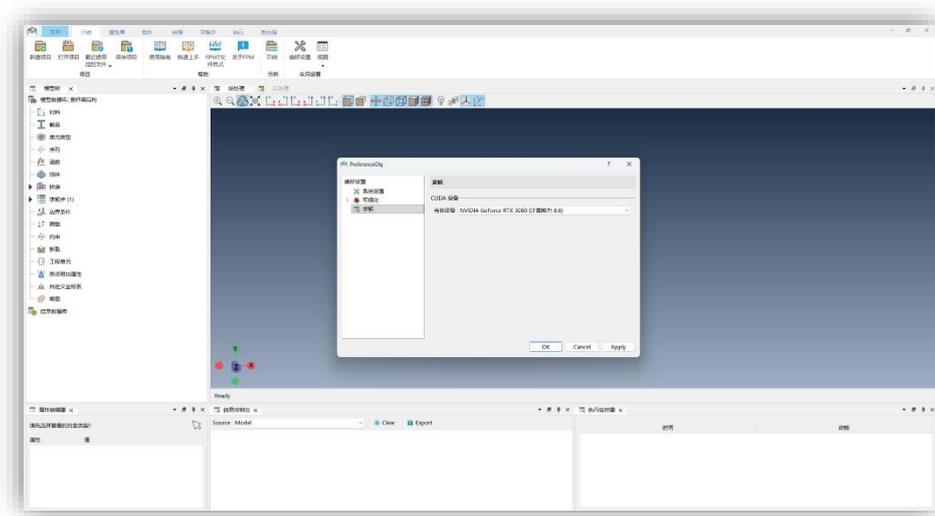


图 4. 设置求解器

c. 新建项目并命名：

操作：点击顶部选项卡【开始】下的【新建项目】，修改项目名称并设置保存路径（若已指定工作目录，可忽略此步骤），点击【OK】完成创建。

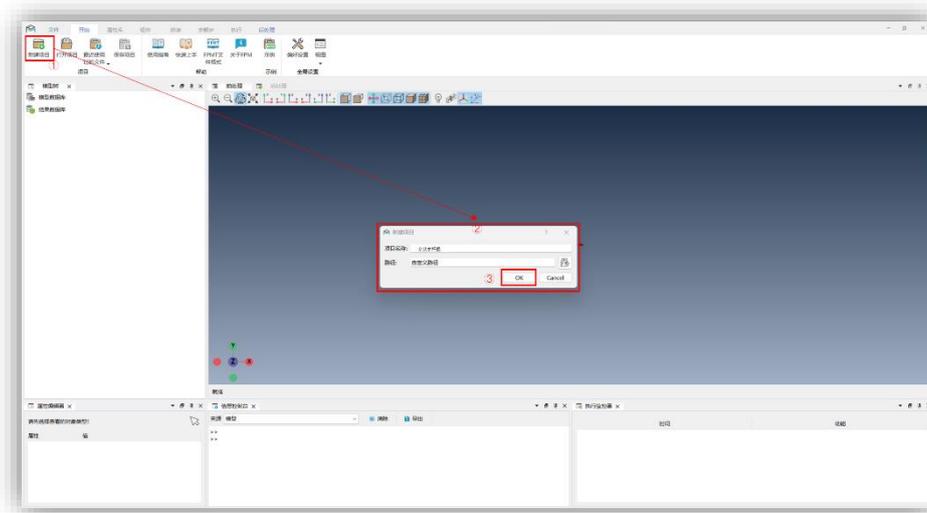


图 5. 新建项目

- c. FPMCAE 软件没有固定的单位制，用户根据需求选用相互匹配的单位即可，本案例采用以下单位制：

物理量	单位	单位符号
长度	米	m
力	牛顿	N
质量	千克	Kg
时间	秒	s
密度	千克/立方米	Kg /m ³
应力	帕	Pa
能量	焦	J

2.3 几何建模

- 将伞状索杆膜结构设计概念转化为三维几何实体，通过创建点、线、面并合并，构建完整初始形态，为后续材料赋予、单元指派等操作提供可靠载体，是连接项目创建与属性定义的关键。

创建组件：点击顶部选项卡的【组件】，选择【新建组件】，输入组件名称“伞状索杆膜”，点击【OK】完成创建。

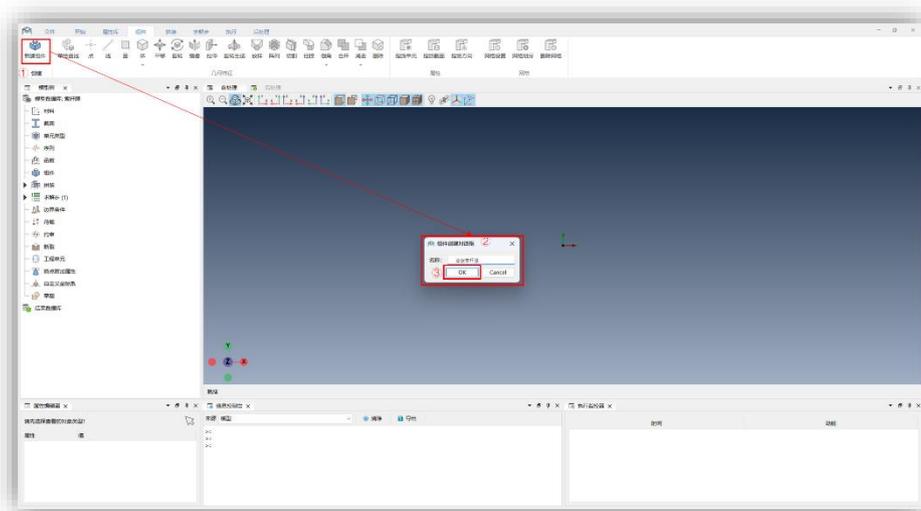
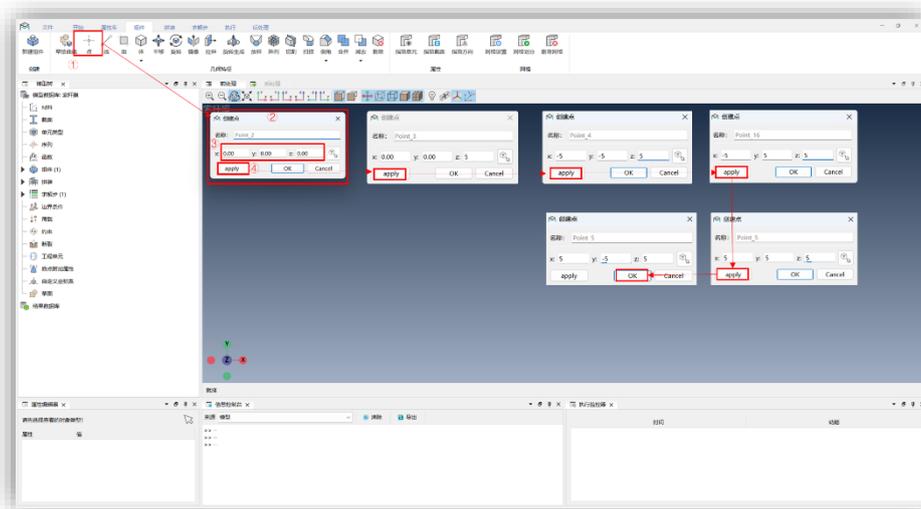


图 6. 创建组件

创建点：在顶部选项卡【组件】的【几何特征】中选择【点】，可输入点名称（或使用默认名称），再输入点坐标，点击【Apply】即可在视图窗口中连续生成点，点击【OK】即生成最后一个点后退出。

tips：按住 shift 可以多选，按住 ctrl 可以减选，本案例的长度单位为 m，各点的坐标分别为： $(0, 0, 0)$ ， $(0, 0, 5)$ ， $(-5, -5, 5)$ ， $(-5, 5, 5)$ ， $(5, 5, 5)$ ， $(5, -5, 5)$ 。



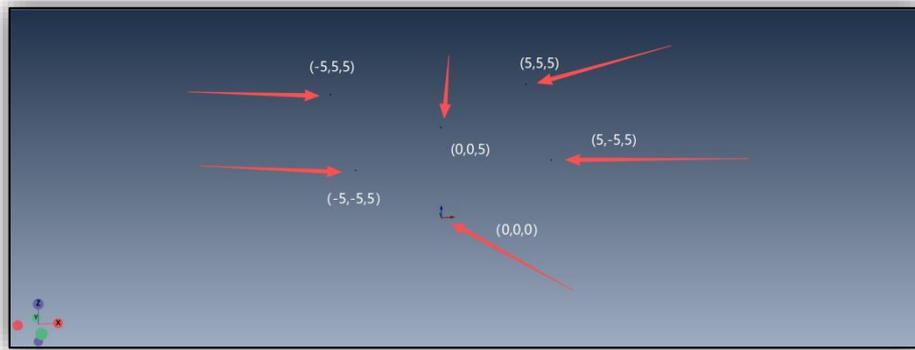


图 7. 创建点

创建线：在几何特征中选择【线】，输入点坐标或在视图窗口中选择两点来连续生成线；

tips：可通过点击视图上方工具栏  旋转按钮对视图进行旋转，按住鼠标中键可以进行平移操作。

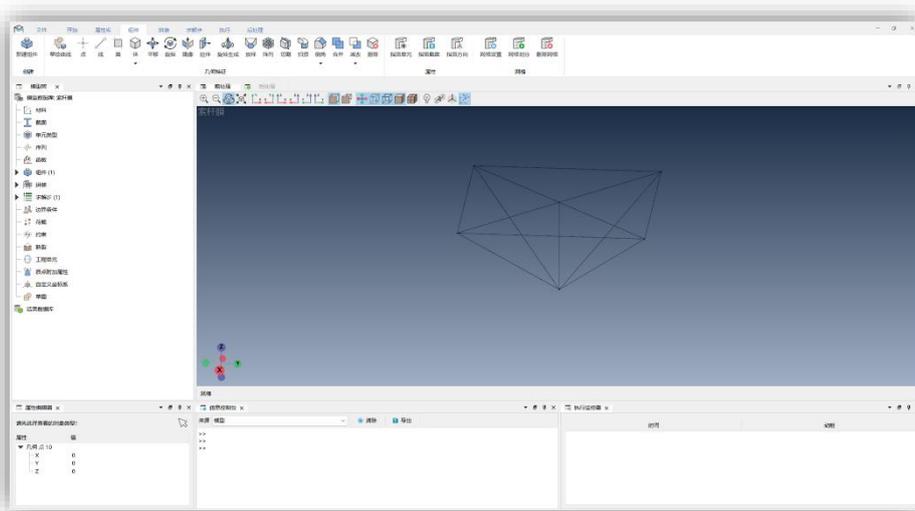


图 8. 生成线

创建面：在几何特征中选择【面】，点击对话框中的  选择线，按住 shift 键选择如图所示的线生成面；

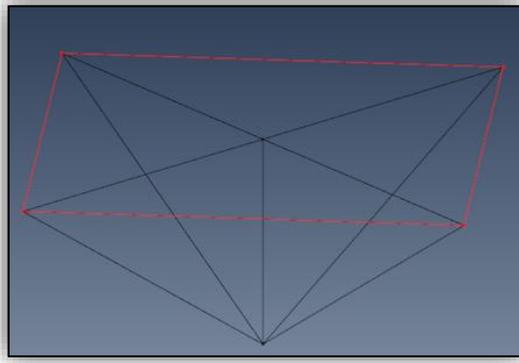


图 9. 生成面

合并几何：建模完成后在几何特征中选择【合并】点击【选择】按钮后框选所有几何，点击【OK】；

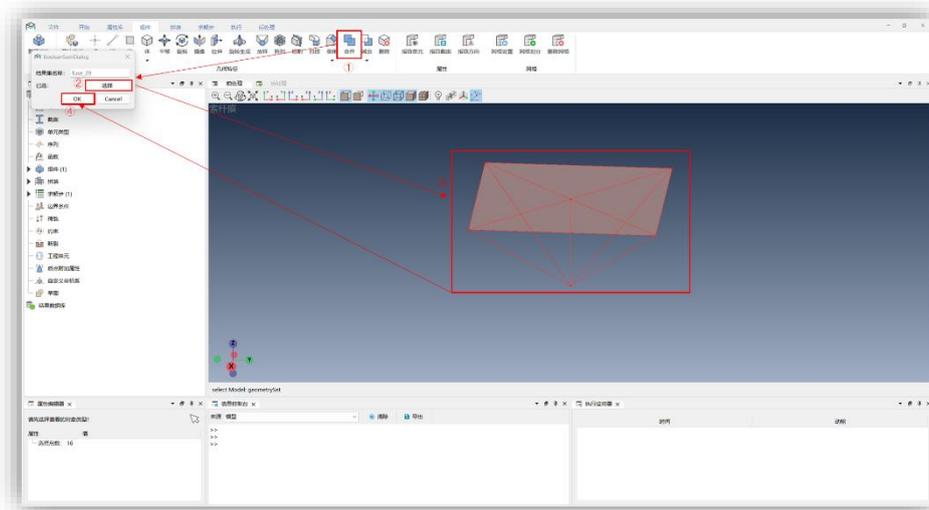


图 10. 合并几何

tips：创建完点、线、面后必须执行“合并”操作，否则软件识别为分散几何体，无法正常划分网格和指派属性。

2.4 创建材料

◇ 定义膜、索、飞柱等部件的核心力学参数（如弹性模量、密度），匹配各部件受力特性，是后续截面绑定与力学计算的基础。

创建膜材料：点击顶部选项卡的【属性库】选项，选择【材料】输入材料名称“membrane”；

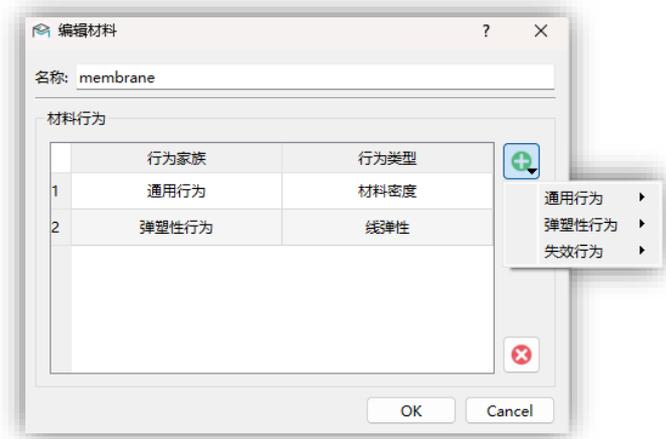


图 11. 创建膜材料

点击对话框右边的【+】按钮，选择通用行为输入质量密度，选择弹塑性行为中的线弹性输入弹性模量、泊松比，本案例的材料参数设置如下表：

材料	材料名称	质量密度	弹性模量	泊松比
膜	membrane	1115.38	6e+8	0.3
斜索、脊索、边索	cable	7500	1.9e+11	0.3
飞柱	column	7850	2.06e+11	0.3

2.5 创建截面

✧ 为各部件匹配适配的截面类型（膜、杆、梁）及参数（厚度、截面积），建立材料与几何体的关联，为截面指派和后续力学计算提供关键依据。

创建截面：点击顶部选项卡【属性库】下的【截面】，依次选择【杆】【梁】【膜】类型创建截面，截面类型均为普通截面，各类型截面预应力单位均为 Pa。

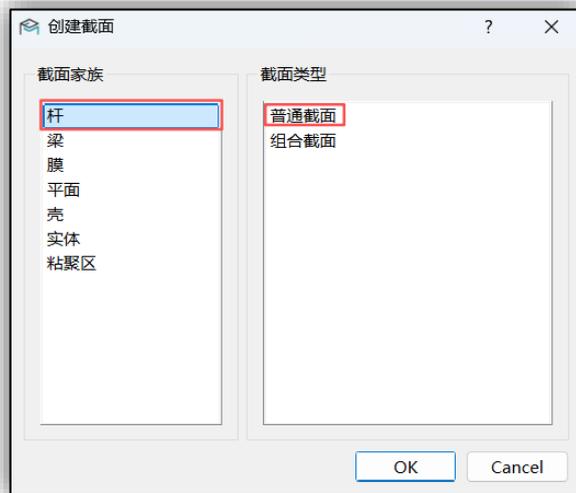


图 12. 创建截面

创建膜截面：输入名称 “membranesection”，点击【编辑截面属性】对话框右侧的【+】按钮，设置膜材料、厚度及找形应力参数。



图 13. 创建膜截面

创建杆截面：依次创建杆截面，截面名称分别为“staycable”（斜拉索）、“ridgecable”（脊索）、“boundarycable”（边索），点击编辑截面属性对话框右边的【+】按钮，截面域类型选择面积，设置材料、面积参数及预应力参数。

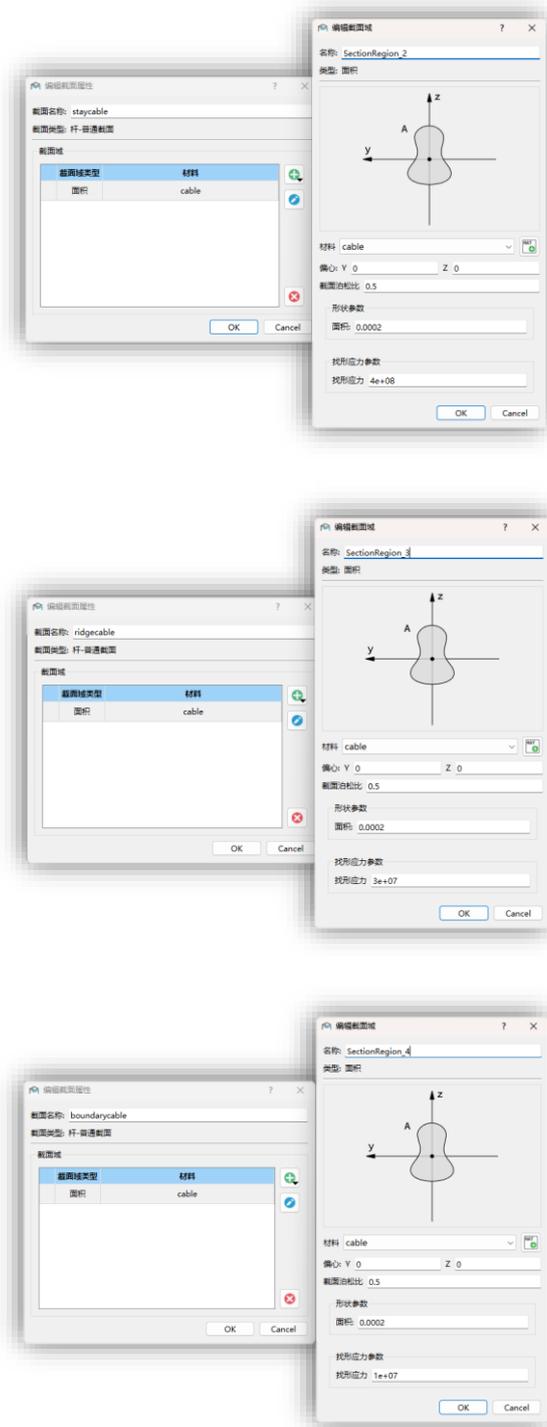


图 14. 创建斜拉索、脊索、边索截面

创建梁截面：输入截面名称“beamsection”，点击编辑界面属性对话框右边的【+】按钮，截面域类型选择圆管，设置材料、外径及厚度参数。

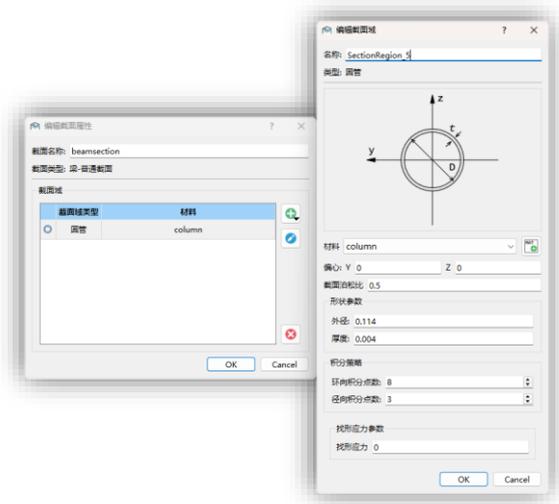


图 15. 创建飞柱截面

2.6 创建单元

✧ 选择适配各部件受力特性的离散单元类型（如索用仅受拉单元），明确结构离散规则，确保找形计算精度。

创建单元： 点击顶部选项卡【属性库】下的单元类型，选择必要的单元类型并设置单元属性

tips： 该案例需要的三种单元类型设置如下：

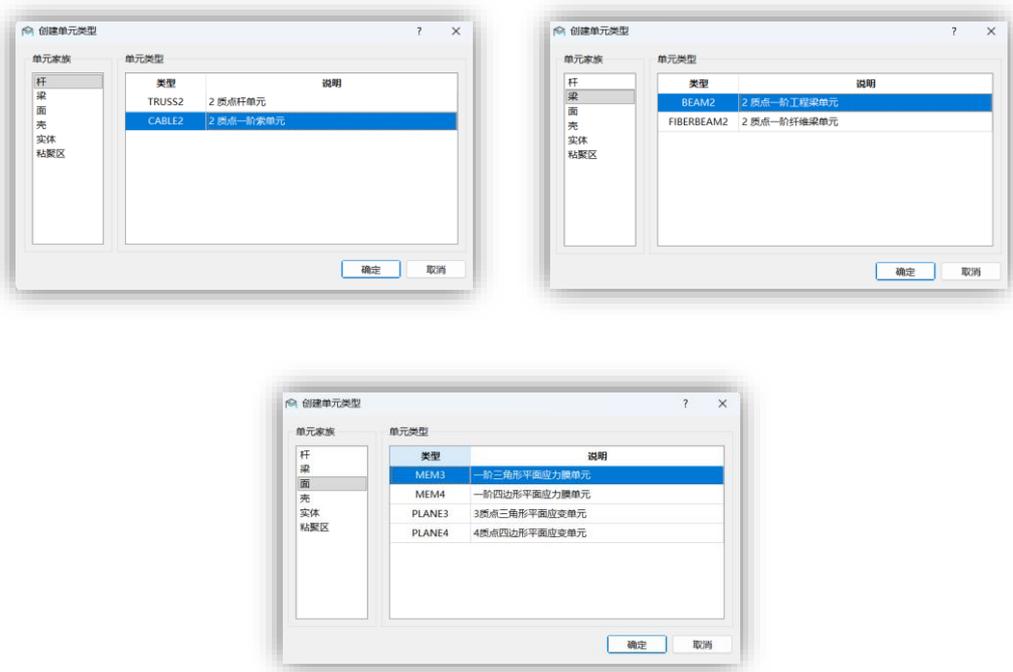


图 16. 创建索、梁、膜单元

2.7 指派单元

- ◇ 将预设单元类型赋予对应几何体，明确膜、索、飞柱的离散计算形式，为网格划分铺垫，是连接单元创建与网格设置的核心环节。

指派单元： 点击顶部选项卡的【组件】选项下的【指派单元】，在视图下方点击将要选取的几何体类型，在视图中选择对应的几何体，点击【OK】进入单元选择，在下拉列表中选择已创建的单元类型后点击【确定】。

tips： 如指派单元时弹出警告【继续设置将删除已有网格!】，点击【OK】。

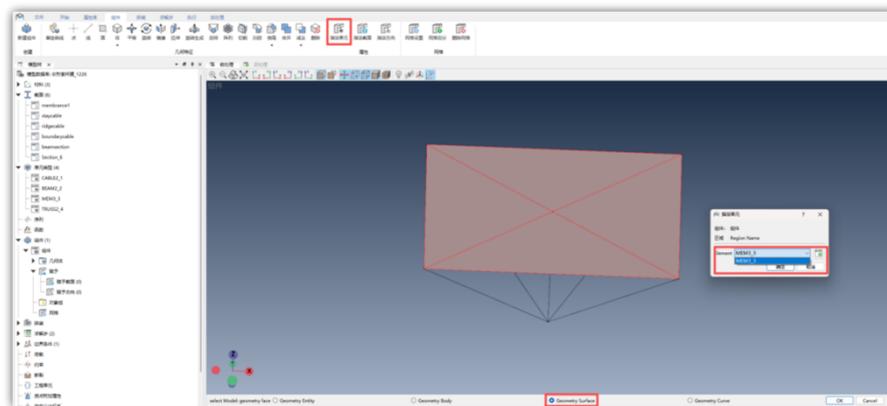


图 17. 指派单元

tips： 该案例需要的各几何体单元指派如下：

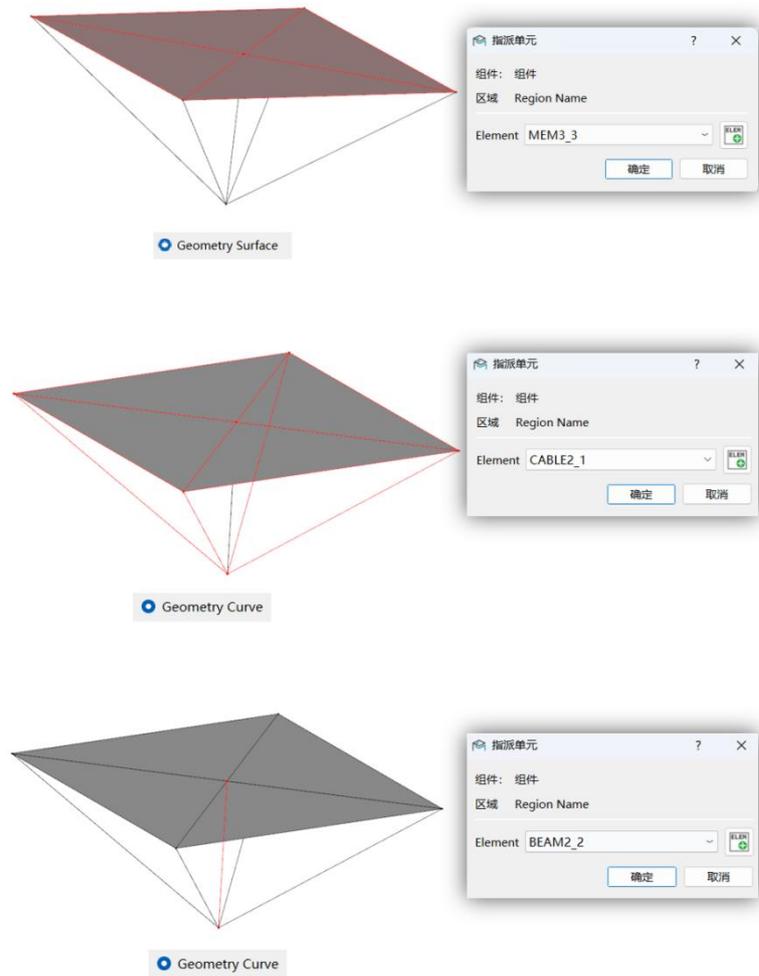


图 18. 单元指派区域及类型

2.8 指派截面

- ◇ 将含材料属性与参数的截面绑定至对应几何体，完成“几何 - 单元 - 截面 - 材料”的完整关联，为网格划分提供完整力学参数支撑。

指派截面： 点击顶部选项卡的【组件】选项下的【指派截面】，在视图下方点击将要选取的几何体类型，在视图中选择对应的几何体，点击【OK】进入截面选择（可不勾选【creat Set】选项），在下拉列表中选择已创建的截面类型后点击【OK】。

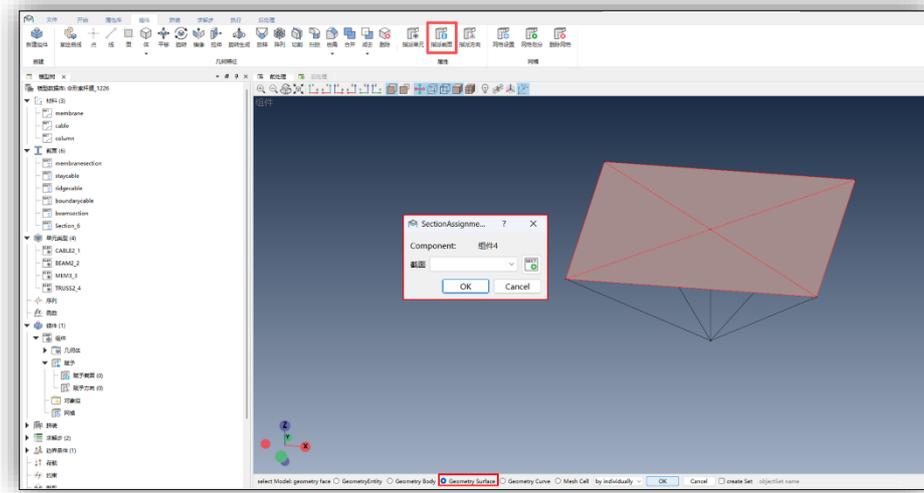


图 19. 指派截面

tips: 该案例需要的各几何体截面指派如下图:

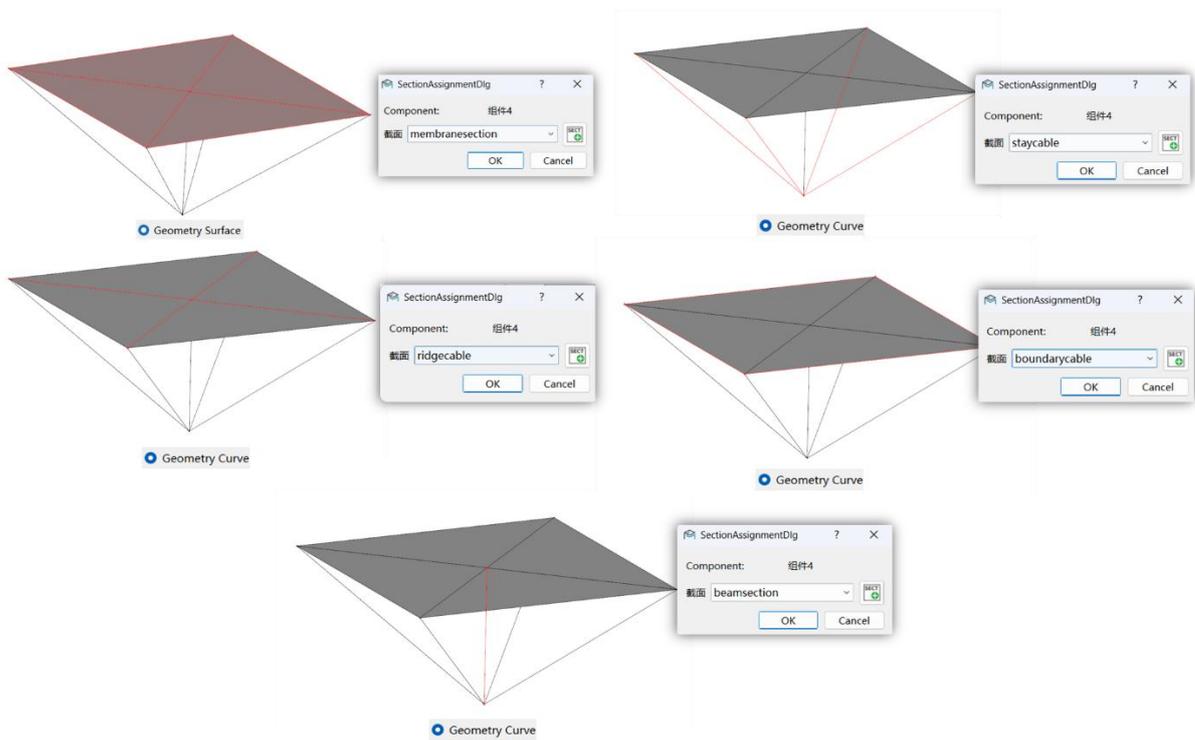


图 20. 截面指派区域及类型

2.9 网格设置

✧ 制定网格划分规则（阶次、尺寸等），平衡计算精度与效率，为后续网格划分明确标准。

操作：点击顶部选项卡的【组件】选项下的【网格设置】，在【选择类型】中点击【选择】按钮，在视图中框选全部几何体，【网格参数】采用默认，【大小参数】根据需求设置，点击【OK】。注意事项：网格设置前必须完成指派单元操作。

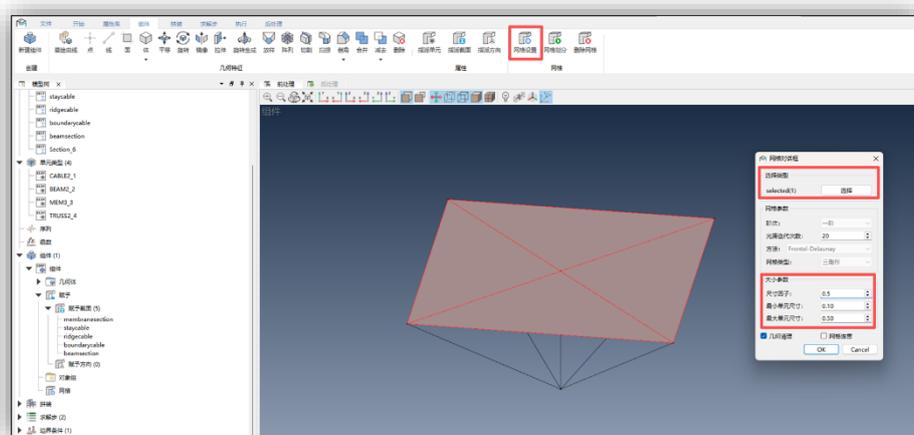


图 21. 网格设置

2.10 网格划分

✧ 将完整模型离散为微小计算单元，网格质量直接影响找形结果准确性，离散后的网格为求解计算提供基础载体。

操作：点击顶部选项卡的【组件】选项下的【网格划分】，可通过视图上方【显示网格】图标或点击左侧模型树【网格】下的【entity】查看网格，如要删除网格可点击【组件】选项下的【删除网格】。

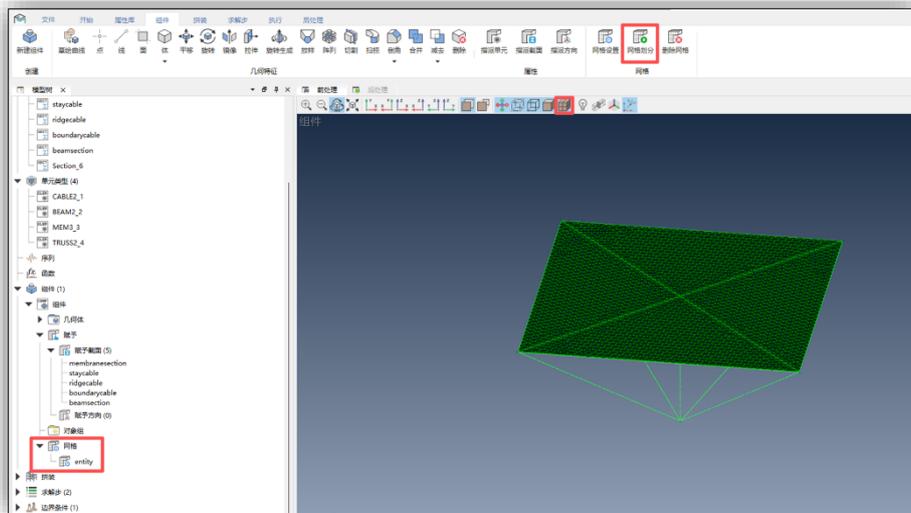


图 22. 网格划分和查看

2.11 创建实例

- ◇ 将组件转化为可求解的模型实体，以便后续施加边界条件、荷载及设置求解步，需创建实例。

操作：点击顶部选项卡的【拼装】选项下的【新建实例】，选择需要进行求解的组件，输入组件名称或者默认，点击【OK】。

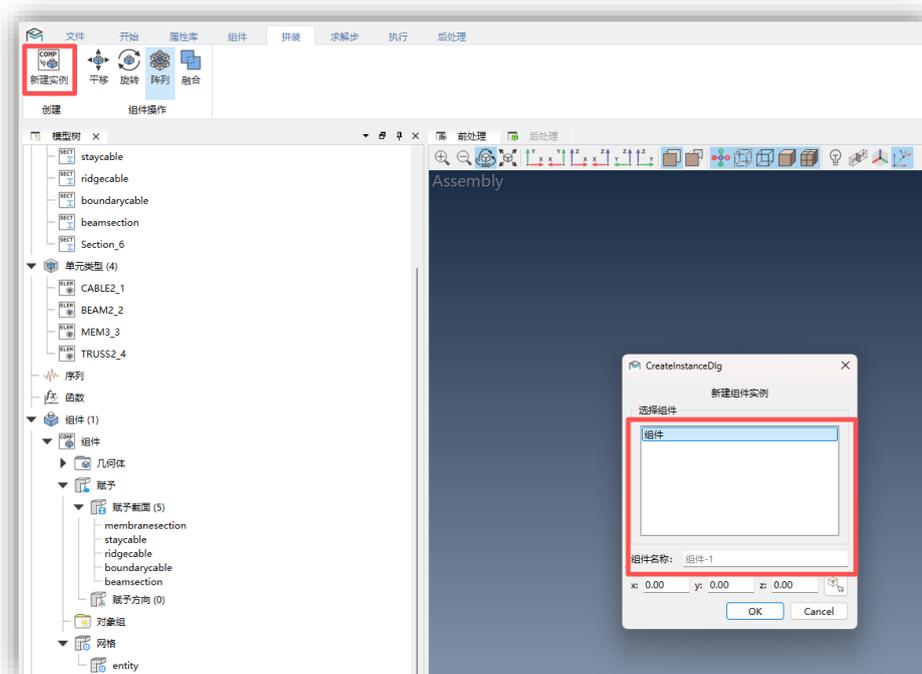


图 23. 创建实例

2.12 创建找形求解步和输出参数

✧ 设定找形计算规则（迭代次数、阻尼等）与结果输出范围（位移、应力），明确求解逻辑，为后续边界条件施加和计算提供依据。

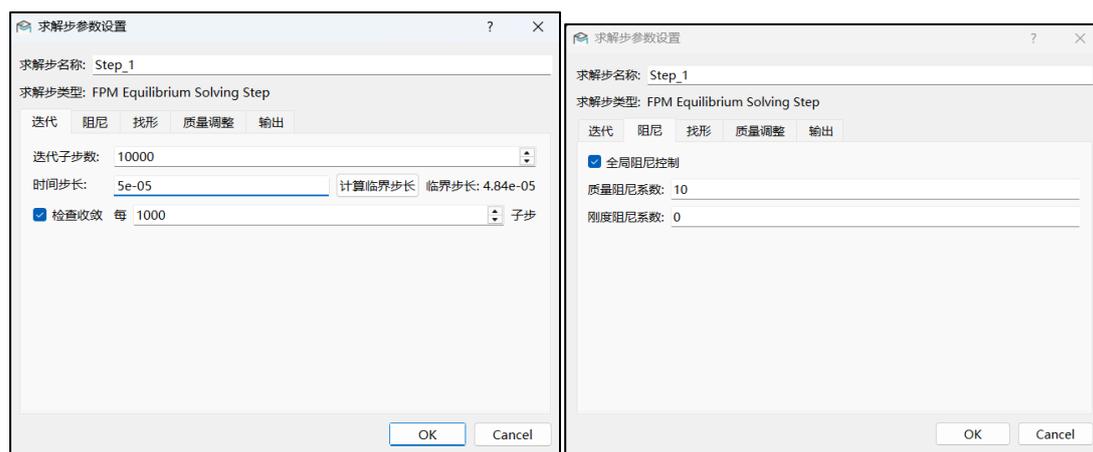
创建求解步：点击顶部选项卡的【求解步】选项下的【创建求解步】，选择【FPM Equilibrium Solving Step】，点击【OK】。



图 24. 创建找形求解步

修改参数：进入求解步参数设置界面，分别在【时间】【阻尼】【找形】【质量调整】【输出】五个模块中修改参数。

tips：本案例求解步的参数设置如下图：



参数模块	参数指标	参数含义
迭代	迭代子步数	求解器将运行的最大循环次数。
	时间步长	每一次迭代模拟的物理时间长度。
	检查收敛	开关项，是否在计算过程中自动检测平衡状态。
阻尼	质量阻尼系	与节点质量成正比的阻尼力。主要抑制低频振动（即整体的大幅

	数	度晃动)，用于找形收敛。
	刚度阻尼系数	与单元刚度成正比的阻尼力。主要抑制高频振动（即局部的细微颤动），用于消除网格噪音。
找形	动态阻尼	加速收敛, 防止模型在找形初“飞出”。
	刚度折减	找形过程中人为降低材料的弹性模量（刚度）。
	截面预应力	控制预应力(Pre-stress)施加的时间历程。
质量调整	按照比例整体调整	将所有质点质量乘以一个固定系数。
	按照目标时间步长调整	根据目标步长自动逆向计算质点所需质量。
	根据迭代步长自动调整	(推荐项) 软件自动识别限制全局步长的微小单元, 仅对这些关键单元的质点进行质量放大。
输出	输出总帧数	将整个计算过程均匀切分为 N 帧进行保存
	时间间隔	每隔固定的物理时间（如 0.01 秒）保存一次。
	选择输出项目	根据需求输出对应的目标结果, 找形大多输出位移变形和应力结果。

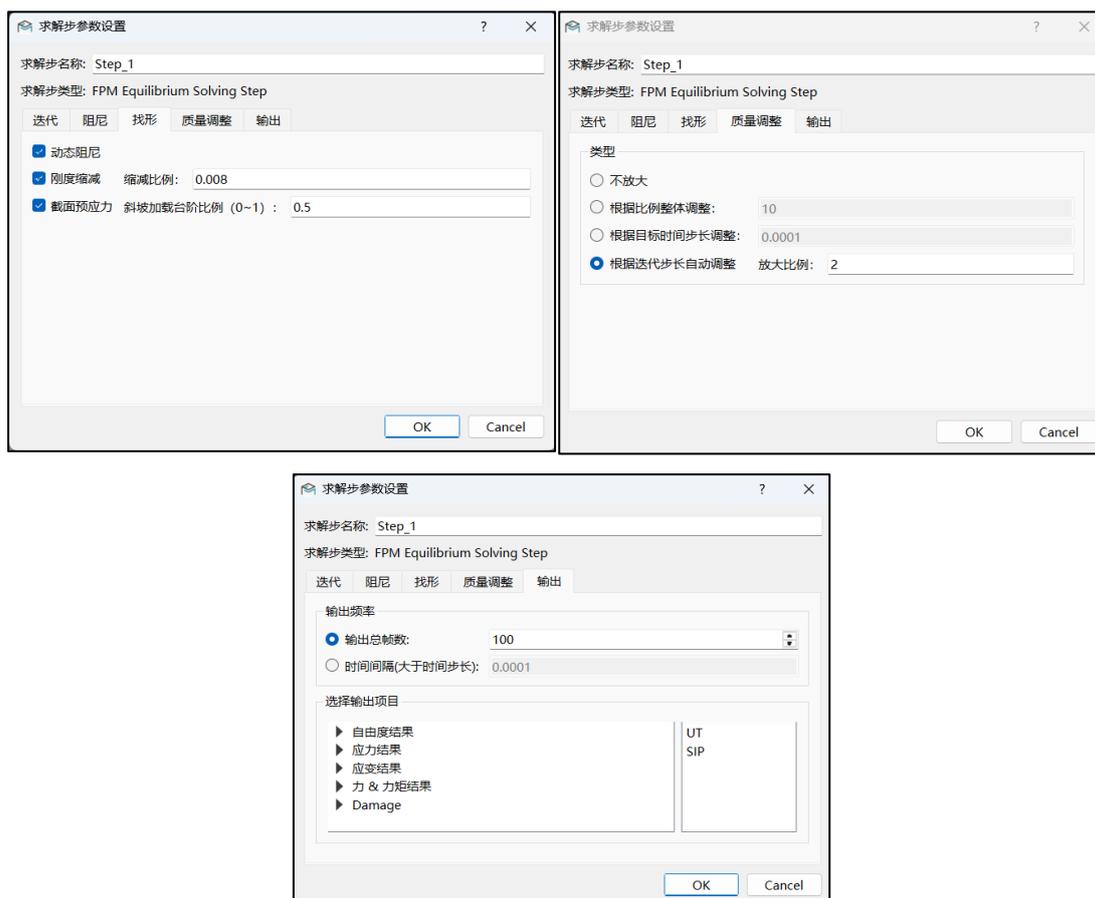


图 25. 求解步参数设置

2.13 设置边界条件

◇ 模拟结构实际锚固约束（固定膜面四角），限制不合理位移，确保找形在符合工程实际的约束下进行。

创建边界： 点击顶部选项卡的【求解步】选项下的【创建边界】，求解步选择【Step_1】，边界条件类型选择【位移】，进入【编辑边界条件】对话框后，点击对象集右侧的图标，随后在视图下方选择【Mesh Node】，在视图中选中面的四个角点，点击【OK】返回【编辑边界条件】对话框后设置各分量位移均为 0，幅度为 INSTANT，点击【OK】。

tips： 本案例边界位置选择和设置如下图：

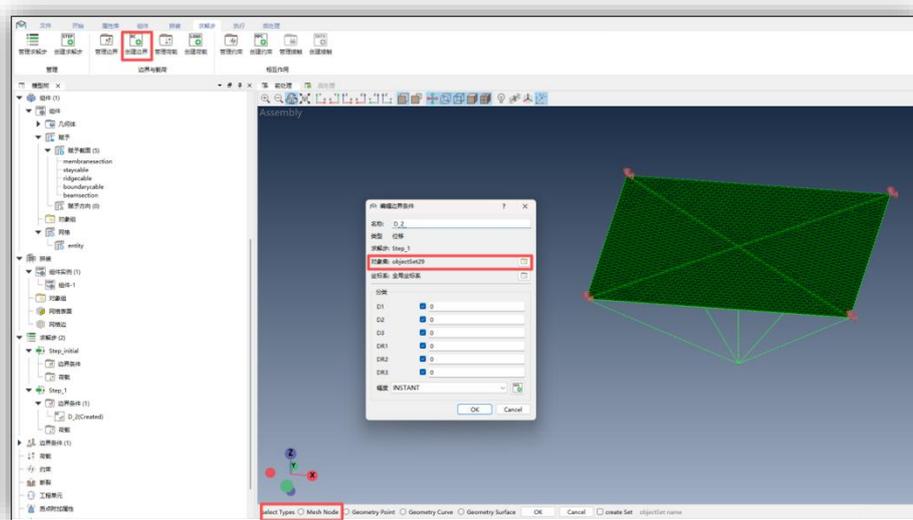


图 26. 边界位置选择和设置

2.14 求解

◇ 基于前处理所有设置（几何、材料、约束等）执行迭代计算，模拟结构从初始形态到平衡形态的演化，是转化前处理参数为分析结果的核心环节。

操作： 点击顶部选项卡的【执行】选项下的【开始】进行求解，该案例求解过程展示如下。



图 27. 求解过程

2.15 结果查看

✧ 通过云图等可视化方式，验证膜面平衡形态、飞柱坐标及应力均匀性，评估分析是否达成目标，为工程应用或优化提供关键依据。

操作：求解完成后，点击顶部选项卡的【后处理】，勾选【显示变形】与【云图模式】以显示结果；可根据需求调整输出项目、分量及结果帧。选择位移及幅值 Magnitude 做为云图的显示参数。本案例的后处理结果查看设置如图所示：

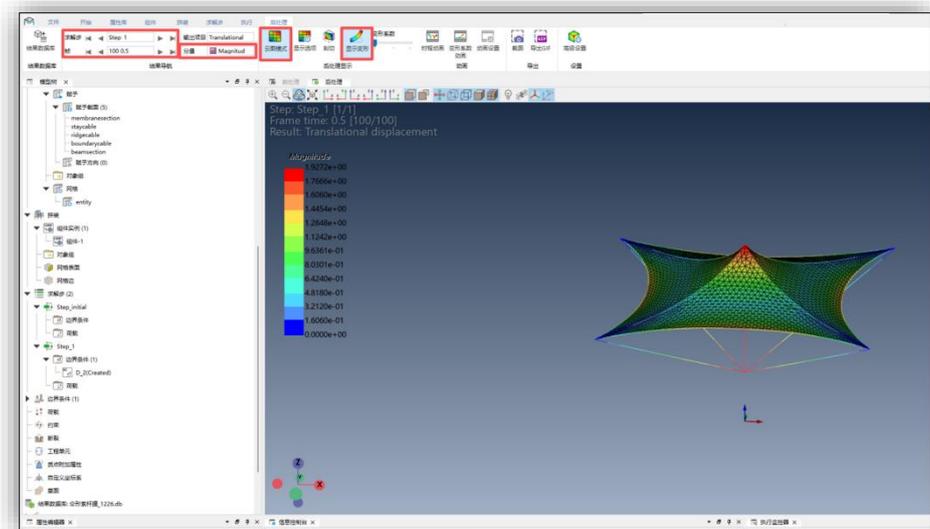


图 28. 结果查看