

PhySpire

AI工业设计仿真平台

用户操作说明书

版本V1.0.0

近蓝科技（上海）有限公司

发布日期：2026 年7 月1 日

版权声明

PhySpireAI工业设计仿真平台（简称PhySpire）及其配套文档的著作权归近蓝科技（上海）有限公司（下称：公司）所有。未经著作权人书面授权，未经公司明确书面授权，任何单位或个人不得以任何形式复制、传播、转让、出租、修改、反编译、逆向工程或以其他方式使用本软件产品的全部或部分内容。PhySpire 是近公司的注册商标，本文档中提及的其他所有商标、商号或公司名称，均为其各自所有者的财产。本软件产品按‘现状’提供，不作任何明示或暗示的担保。在任何情况下，公司均不对因使用或无法使用本软件产品而导致的任何直接、间接、附带、特殊或后果性损害负责。

本说明书中提及的第三方软件和开源组件（包括但不限于 SALOME、OpenCASCADE、Code_Aster、Code_Saturne、Qt，以及 Hermes 通用 Agent 上游框架 MIT 许可部分）各自遵循其原著作权人的许可证条款，不在本著作权声明范围内。

PhySpire 的几何建模、仿真设置、智能体对话与求解编排等功能，为近蓝科技在通用平台基础上独立开发实现；SALOME 等第三方平台安装组件不在本著作权声明范围内。

如您对本软件产品的版权有任何疑问，请联系：postmaster@physpire.com



目录

版权声明	2
第一章 软件概述	4
第二章 安装与激活	9
第三章 界面布局	12
第四章 AI 交互式工程设计与仿真	16
第五章 三维几何建模	20
第六章 几何质量检查与修复	25
第七章 网格生成	27
第八章 仿真设置与求解	31
第九章 结果分析与后处理	37
第十章日常办公 AI 助手	39
第十一章常见问题	40
附录 A 技术规格	43
附录 B AI 全流程仿真验收统计	45

第一章 软件概述

软件简介

PhySpire 是一款以 AI 对话操作为主的工程三维设计仿真软件。软件将智能几何理解、仿真前处理、网格划分、求解计算与结果解读集成在同一界面，帮助工程师用日常语言完成从几何创建到仿真报告的全流程；同时提供手动仿真面板，满足逐步精细控制的需求。

PhySpire团队在开发了AI的3D几何识别、3D精确编辑和修复、完整仿真链路几个模块开的全链路工程工具系统，AI Agent统一编排系统，实现从性能目标制定到产品方案交付的完整工程设计闭环。

软件将三维几何建模、有限元分析、计算流体力学和AI智能辅助融于一体，用户无需在多个工具间切换即可完成从概念设计到仿真验证的全流程工作。自然语言交互入口降低专业工程软件的使用门槛，使工程师可以专注于工程本身而非工具操作。

本软件的 AI 设计仿真功能覆盖全部22种仿真类型。每个仿真类型都进行了至少3个典型工况的真实环境测试并通过验收（从几何创建到最终求解交付的AI全链路全自主规划执行交付，详见附录B）。

诚实声明：AI 执行任务无法保证完全合理和严谨，实际生产环境请注意检查甄别

主要功能

1. 3D 几何模块：

- 1) AI 建模与精确编辑：可用自然语言或图片生成三维模型；导入 STEP 后可在软件内按章节式目录快速定位零件与特征，修改关键尺寸或结构，保存后自动校验能否正确重新导入。
- 2) AI 与三维视口联动：在视口中选中面、体或特征即可发送给 AI；系统自动识别对象名称、几何编号及工程含义（如约束面、接触面）。
- 3) 智能几何理解：综合结构树、尺寸度量、视口截图与模型「说明书式」索引，自动了解装配关系、干涉与贴合、外表面及面组，便于设置边界条件与接触。
- 4) 仿真前几何准备：自动检查模型缺陷、识别工程特征、处理零部件接触与压印、整理面组；必要时可一键修复并再次验收，减少手工排查。

5) 工业格式：支持 STEP/IGES/BREP/STL 导入导出；导出时建立可检索索引，便于后续查改。

2.有限元仿真：

AI 仿真时会自动分析合理的仿真方案，确认后自动推进执行：了解模型与工况→检查并处理几何→生成合适密度网格→填写并核对仿真设置→调用求解器→解读并评估结果；覆盖 22 类仿真场景。

手动仿真面板与 AI 使用同一套数据：选定几何、分析类型、材料与边界、生成网格、运行求解；网格更新后，材料与边界条件会自动与当前网格对齐，无需重复录入。

内置>1000 种常用材料专业物性参数可供一般仿真使用

支持的仿真类型如下：

- 1) 热分析：稳态热传导、瞬态热传导、非线性热
- 2) 结构静力学：线性静力分析、非线性静力分析、接触非线性分析、疲劳分析、损伤分析
- 3) 动力学分析：线性瞬态动力分析、非线性瞬态动力分析、谐波响应分析
- 4) 模态分析：模态分析、屈曲分析
- 5) 热-结构耦合：顺序热-结构耦合、直接热-结构耦合、强类型热-结构耦合
- 6) CFD：不可压缩流、可压缩流、热流分析、湍流分析、多相流分析、燃烧分析

3.AI 工程设计：

用户以自然语言描述工程需求，系统自动完成工程产品调研→完整性能目标定义→完整理论设计校核→3D 建模→与仿真验证，在中间环节异常时自动分析原因并修正，形成设计—仿真—验证—修正的自主闭环。

4. AI 工程问题分析与办公助手：

对用户工程问题（文字描述/图片等）：主动进行分析，规划解决方案并进行仿真验证。

日常办公助手：系统AI 支持文件/PPT 编辑整理、数据分析、代码开发等。

适用领域

领域	典型应用场景
机械设计与制造	零件/部件结构强度验证、疲劳寿命预测、运动机构仿真

航空航天	气动外形设计、热防护分析、结构轻量化优化
汽车工业	车身结构分析、碰撞仿真、热管理设计
能源装备	压力容器分析、管道应力评估、热交换器设计
土木建筑	建筑结构静力/动力分析、风载荷评估、地震响应仿真
船舶与海洋工程	船体结构强度分析、流场模拟、腐蚀疲劳评估
一般工程设计开发场景	3D 建模、仿真、日常办公

运行环境

操作系统	Windows1064-bit (21H2 及以上) 或 Windows 1164-bit
CPU	IntelCorei5 或 AMD Ryzen5 及以上 (x86-64)
内存	8GB (几何建模) / 16GB (含仿真求解) / 24 GB (推荐)
硬盘	50GB 可用空间
显卡	支持 OpenGL3.3 及以上
WSL	WSL2+Ubuntu22.04 (仿真求解器运行环境), 软件安装时自动安装

产品核心功能

PhySpire 面向工程设计工程师，在通用三维平台之上提供两大 AI 功能：「几何识别、检查与修复」与「仿真全程可交给 AI」。下列功能均可在界面或对话中直接使用，无需了解内部实现细节。

1.几何建模与智能识别

- 导入装配体后，系统会创建 **stp** 几何 **text** 源码指针，同时借助结构树获取、几何详细信息获取、截图视觉识别等方式，AI 可以快速理解 **STEP** 结构全貌和支持定点精确提取拓扑结构信息，并配合视口截图与尺寸测量交叉核对。
- 在视口中点选即可告诉 AI 「是哪一块零件、哪一张面」，避免反复描述坐标。
- 支持对 **STEP** 做精确改尺寸、改结构，改完自动验证能否重新导入，并可按步骤撤销。
- 仿真前自动检查缺陷，并处理多体接触的压印与面组整理。

功能	具体说明
结构树与属性	识别装配层级、包围盒、体积与质心，便于定分析范围
接触与干涉检查	自动找出零部件干涉、贴合与可设边界的外表面
产品级理解	结合行业经验提示仿真关注点与关键零件
模型目录检索	大装配体按章节快速定位实体，不必整文件搜索
视口选面送 AI	点选即引用，减少「左侧第三个孔」类模糊描述
仿真就绪检查	进入仿真前确认几何信息足够，避免重复全盘扫描

STEP 精确查改

能力	用户价值
全书目录	STEP 导入后生成带章节、页码的目录，便于 LLM 形成全局观和精确索引识别细节特征
片段阅读	只读取相关片段，大模型响应更快、修改更准
精确改参数	改孔径、厚度、倒角等实体参数，保存后自动试导入验证
改错可回退	每次修改前自动留备份，可恢复到任意一步

2.仿真自动化与一键求解

- 描述工况后，AI 按「认识模型→分析仿真方案→处理几何→划分网格→填写设置→计算→看结果」顺序推进，缺一步会提示补全。
- 22 类仿真（热/结构/动力/模态/耦合/流体等）会根据模型尺寸与工况自动给出合适网格密度，接触面、壁面等处自动加密。
- 多体装配自动识别接触关系、整理面组，生成网格后仿真设置里的材料与边界仍与面组对应，不用重新点选。
- 手动仿真面板与 AI 共用同一份设置：在面板里改材料，AI 侧立即一致；AI 改完，面板同步可编辑。

功能模块	工作
几何质量检查	六步流水线检查无效体、自由边、干涉与自交，并给出是否可仿真结论
装配关系分析	识别零部件贴合、干涉与接触类型，为压印与网格做准备
工程特征识别	自动标注圆柱面、平面、倒角、螺纹孔、加强筋等，便于设边界
多体装配整理	将多零件合并为可仿真的整体，并绑定当前分析类型
接触区域发现	找出零部件相互接触的区域，供后续压印与设接触
接触压印处理	在接触处自动划分共享拓扑，支持绑定、滑动等仿真接触类型
面组整理	压印后自动迁移「约束面」「载荷面」等语义，减少手工重选
压印质量验收	压印完成后检查面组是否完整，避免网格阶段才发现问题

按类型生成网格	依据 22 类仿真与模型尺寸自动定单元大小，关键区域加密
网格导出与刷新	生成权威网格文件并同步到仿真设置面板
仿真设置写入	材料、边界、载荷写入面板，手动与 AI 共用
生成求解文件	按当前设置自动生成结构/流体求解输入
启动求解	在后台调用求解器并回收结果文件
查看求解状态	查询是否在算、是否收敛、失败原因摘要
结果场读取	从结果文件中读取应力、温度、位移等用于报告
结果合理性评估	对照材料极限与工况做常识检查，标记可疑结果

第二章 安装与激活

系统要求

安装PhySpire前请确认系统满足以下最低要求：

操作系统：Windows1064-bit（21H2 及以上）或Windows1164-bit

处理器：IntelCorei5或AMDRyzen5及以上（推荐i7或Ryzen7）

内存：最低8GB，仿真求解推荐16GB及以上

硬盘：安装约需15GB，运行需要额外临时空间

显卡：支持OpenGL3.3的独立显卡或集成显卡

PhySpire 采用 Inno Setup 打包，安装流程如下：

步骤 1： 双击 PhySpire_Setup.exe 启动安装程序

步骤 2： 阅读并同意许可协议



图 2-1 用户许可协议

步骤 3： 选择安装路径（默认 C:\PhySpire\，建议保持默认）

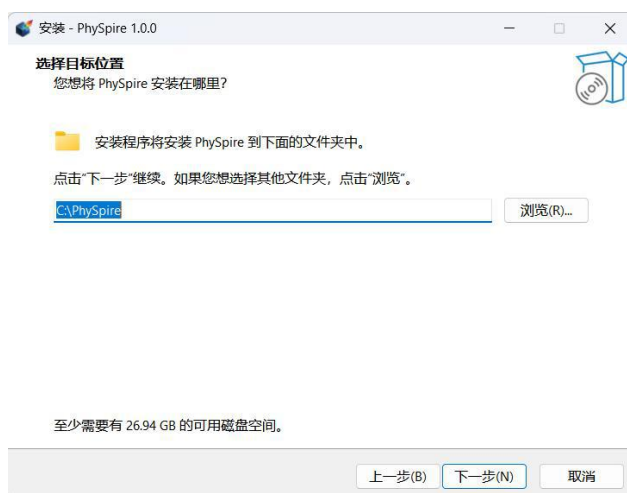


图 2-2 选择安装路径

步骤 4: 选择安装路径（默认 C:\PhySpire\，可自选安装地址，限盘符根目录）

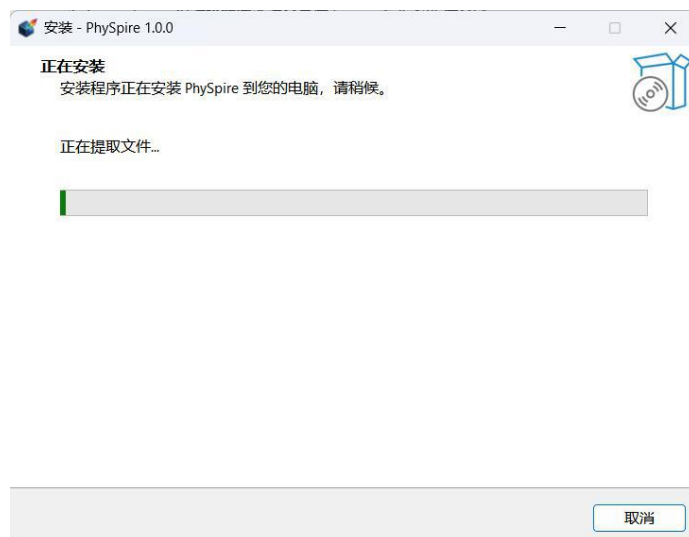


图 2-3 正在安装

步骤 5: 安装完成后，桌面将生成 PhySpire 快捷方式图标



图 2-4 桌面快捷入口

账户注册与登录

PhySpire 采用商业授权模式，首次使用需注册账户并登录。

1.在登录对话框中输入手机号和密码

- 2.勾选隐私协议同意框
- 3.点击「登录」按钮
- 4.系统验证账户状态后进入主界面



图2-5 登录对话框



图2-6 注册对话框

第三章 界面布局

主窗口概览

区域	位置与功能
3D 视口	窗口中央大面积区域，显示三维几何模型、网格、仿真结果，窗口底部有工具栏 网格窗口/求解结果 paraview 窗口也在此并列显示
对象浏览器	左侧树形面板，管理几何对象、网格等工程对象
AI 交互面板	右侧停靠面板，提供 AI 对话主功能，并提供添加对话、对话历史、导入/导出/保存工程数据、手动仿真、单位、余额、语言设置、隐私协议、法律文件、账户登录工具

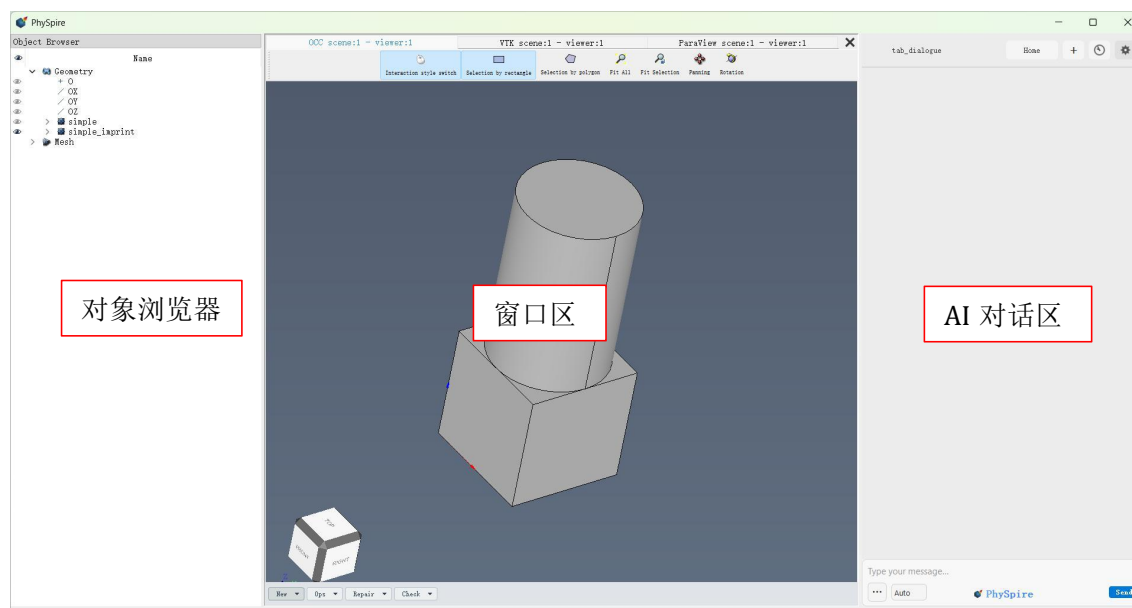


图3-1 主界面窗口

3D视口区域

3D视口是PhySpire的核心可视化区域，基于内置三维视图技术实现：

- 鼠标左键拖拽—旋转模型视角
- 鼠标中键拖拽—平移模型视角
- 鼠标中键滚轮—缩放模型

鼠标右键点击—弹出选项卡（发给AI、定位结构树、几何选择模式...）
点击左键—选择几何对象（面、边、体）
Ctrl+左键—多选几何对象

AI 交互面板

组件	功能说明
AI 输出区域	展示 AIAgent 回复内容（文字、代码块、状态提示）
消息输入区域	底部文本输入框，支持自然语言和代码输入 附件按钮：支持图片、视频、文件等附件，触发多模态识别
标题栏	对话框标签 工作区 添加对话 对话历史 设置按钮

消息输入区域

消息输入区域位于AI面板底部，是用户发送指令的核心入口。主要元素：多行文本编辑框（Enter发送，Shift+Enter换行）、附件按钮（支持导入一般文件及数模/结果文件/网格文件）、发送按钮。

对话管理

新建对话—创建新的空白会话
切换对话—从历史列表中恢复已保存的对话
对话标题编辑—双击标题栏可自定义对话名称
对话删除—从历史列表中删除不再需要的对话
工作区关联—每个对话绑定到特定工程工作区

设置按钮

组件	功能说明
----	------

导入	打开系统文件选择框，统一导入入口。支持：PhySpire 工程（.phyproj）、CAD 几何（STEP/IGES/BREP/STL/XAO 等）、HDF 工程、求解结果（.med/.rmed）、CFD 结果（.case）。与输入框附件按钮使用同一套导入逻辑。
	展开或收起 AI 面板顶部的「手动仿真」工具条（manual_sim_0）。展开后在 Header 上方显示五步仿真设置条（几何、类型、材料、网格、运行），不依赖当前对话 Tab。
保存	保存当前 PhySpire 工程。若已有保存路径则直接覆盖；否则走保存流程。
另存工程	弹出对话框，将当前工程另存为新等）。
导出几何 ►	导出为 STEP/IGES/BREP/STL/XAO 格式
语言 • 简体中文（或当前语言） ►	子菜单切换界面语言：简体中文/ English。写入配置后需重启 PhySpire 才生效。
设置 • mm（或当前单位） ►	子菜单切换几何长度单位：毫米生效；若已切换但未重启，菜单项会显示为灰色。
余额	显示余额，点击弹出官网用户账单；未登录时显示；点击会提示前往官网注册/登录
隐私数据	子菜单： 匿名使用数据收集：可勾选开关。控制是否向 PhySpire 上报匿名使用遥测数据；切换后会有气泡提示。 隐私政策（打开官网在线法律文档） 用户协议（打开官网在线法律文档）
关于 ►	子菜单，打开官网在线法律文档：检查更新、关于 PhySpire 关于 PhySpire

登录 PhySpire	点击弹出官网登录入口，登录后显示用户账户名称
-------------	------------------------

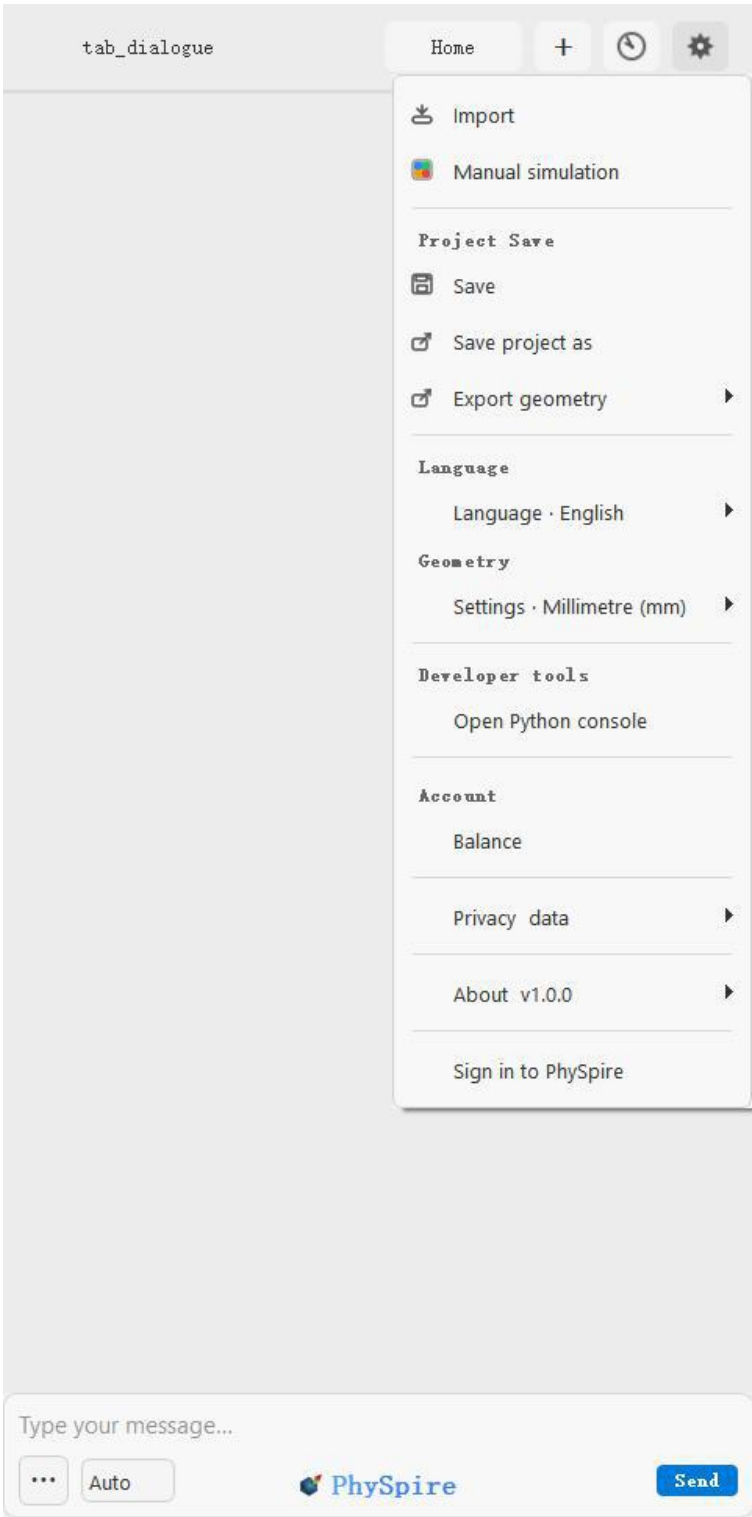


图3-2 AI 面板设置按钮

第四章 AI交互式工程设计与仿真

自然语言指令

用户在 AI 面板输入框中输入自然语言指令即可触发自动化操作：

指令类型	示例
建模指令	创建 L 型支架厚度 5mm/导入 bracket.stp/打直径 20 的通孔
分析指令	检查几何质量/线性静力分析/底面固定顶面施加 1000N 力
查询指令	最大应力在哪里/分析结果合理性/安全系数多少
综合指令	设计 1000N 载荷的 304 不锈钢支架/优化设计减轻重量

AI 驱动全流程

AI 驱动全流程是 PhySpire 的推荐使用方式，用户只需描述工程需求：

- 1.用户在AI面板输入自然语言工程指令
- 2.AI Agent 解析工程意图，制定执行计划
- 3.顺序执行几何建模、材料定义、网格划分、求解设置 4.3D 视口实时反馈每步执行结果
- 5.操作状态条显示每步状态，支持查看详情和撤销 6.求解完成后自动提取关键指标并生成分析报告
- 7.可随时暂停 Agent 并切换为专家模式手动微调

工程设计闭环

闭环阶段	说明
目标制定	以物理原理为锚点，根据产品用途推导性能目标体系
理论校核	逐项理论校核目标可行性
三维建模	AI 根据目标参数创建初始设计
仿真验证	自主激活渐进式仿真：轻量快筛趋势->精细局部强化->验收对账

回退修正	未达标指标自动触发回退，AI 分析根因后重迭代
交付验收	全部性能目标达标方允许交付，输出验收报告

模型选择与路由

触发条件	路由目标
纯文本指令	通用推理模型（深度思考、工程设计、仿真分析）
含代码指令	代码模型（Python 脚本、建模代码、仿真配置）
含图片附件	视觉多模态模型（图片识别、截图解读）
含视频附件	视觉多模态模型（视频帧分析）
用户手选	优先使用用户手动选择的模型类别

附件与多模态交互

- 图片附件（PNG/JPG）—AI自动识别几何形状、标注、工程图纸
- 视频附件（MP4）—AI分析视频帧中的动态过程
- 文件附件（STEP/IGES/BREP）—AI自动导入并分析

AI 产品设计&仿真示例



图4-1 AI 指令输入 (产品设计+仿真案例)

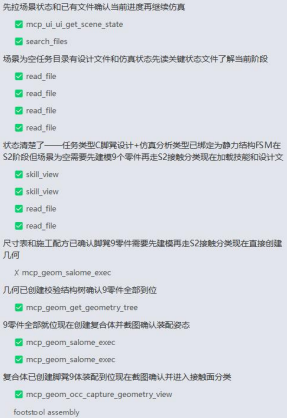


图4-2 AI 设计建模及几何检查与修复

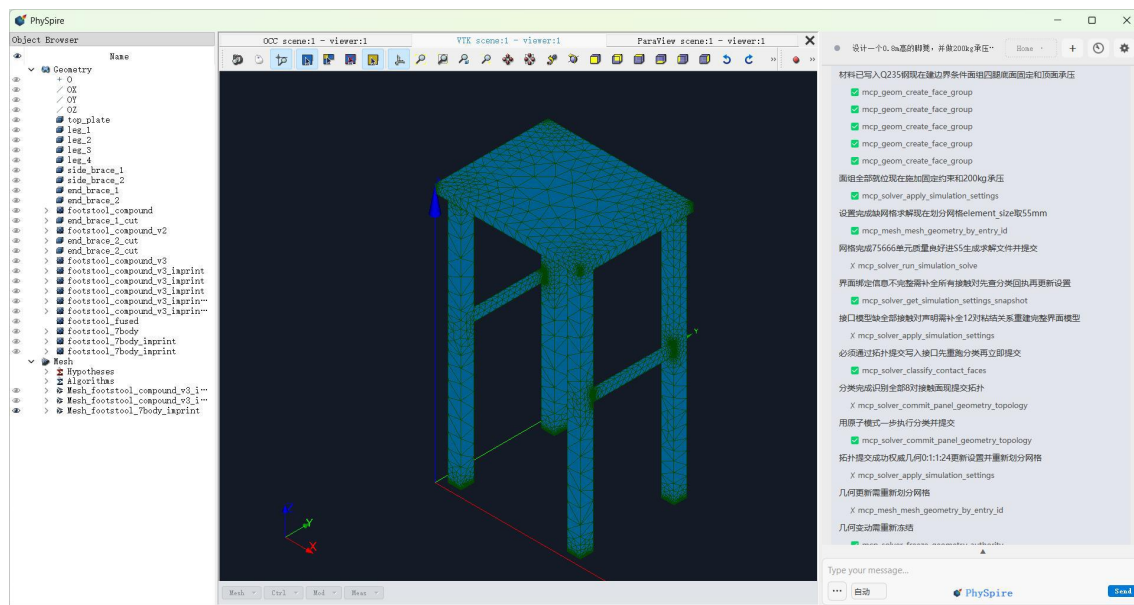


图4-3 AI 网格生成

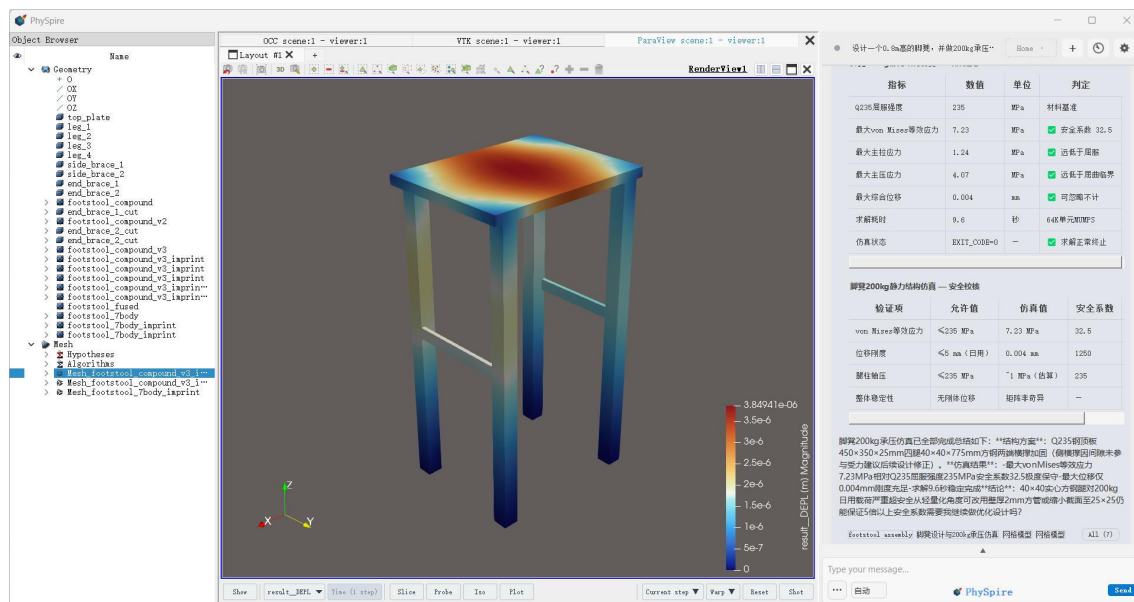


图4-4 求解结果显示与分析优化

第五章 三维几何建模

5.1 软件基础能力

体素创建

体素是三维建模的基本构建单元。PhySpire 支持以下体素类型：

体素名称	命令关键词	创建方式
长方体	Box	指定长、宽、高创建矩形体素
圆柱体	Cylinder	指定半径、高度创建圆柱体素
球体	Sphere	指定半径创建球体体素
圆锥体	Cone	指定底面半径、顶面半径、高度创建圆锥体素
圆环体	Torus	指定主半径、次半径创建圆环体素

布尔运算

运算类型	功能说明
并集 (Fuse)	将两个或多个几何体合并为一个整体

差集 (Cut)	从一个几何体中减去另一个几何体的体积
交集 (Common)	提取两个几何体的重叠部分
分割 (Partition)	用一个几何体作为分割工具切割另一个几何体

特征建模

特征类型	功能说明
拉伸 (Extrusion)	将二维轮廓沿指定方向拉伸为三维实体
旋转体 (Revolution)	将二维轮廓绕轴线旋转生成三维实体
放样 (Loft)	通过多个截面轮廓渐变过渡生成三维实体
扫掠 (Sweep)	将轮廓沿路径曲线扫掠生成实体

管道 (Pipe)	沿路径生成空心或实心的管状结构
填充 (Filling)	用面填充封闭轮廓围成的空间
抽壳 (ThickShell)	将实体转化为薄壳结构
厚度 (Thickness)	为面赋予指定厚度生成薄壁实体

几何变换与阵列

变换类型	功能说明
平移 (Translation)	沿指定方向移动几何体
旋转 (Rotation)	绕指定轴旋转几何体
镜像 (Mirror)	关于指定平面生成镜像副本
缩放 (Scale)	按比例缩放几何体尺寸
线性阵列	沿直线方向生成多个等距副本
环形阵列	绕轴线生成多个等角度副本

模型导入与导出

PhySpire 支持主流工业 CAD 格式的导入与导出：

格式	支持方式	说明
STEP (.stp/.step)	导入/导出	ISO10303 标准，工业通用三维数据交换格式
IGES (.igs/.iges)	导入/导出	美国标准，曲面与曲线数据交换格式
BREP (.brep)	导入/导出	OpenCASCADE 原生边界表示格式
STL (.stl)	导出	三角面片网格格式，用于 3D 打印等

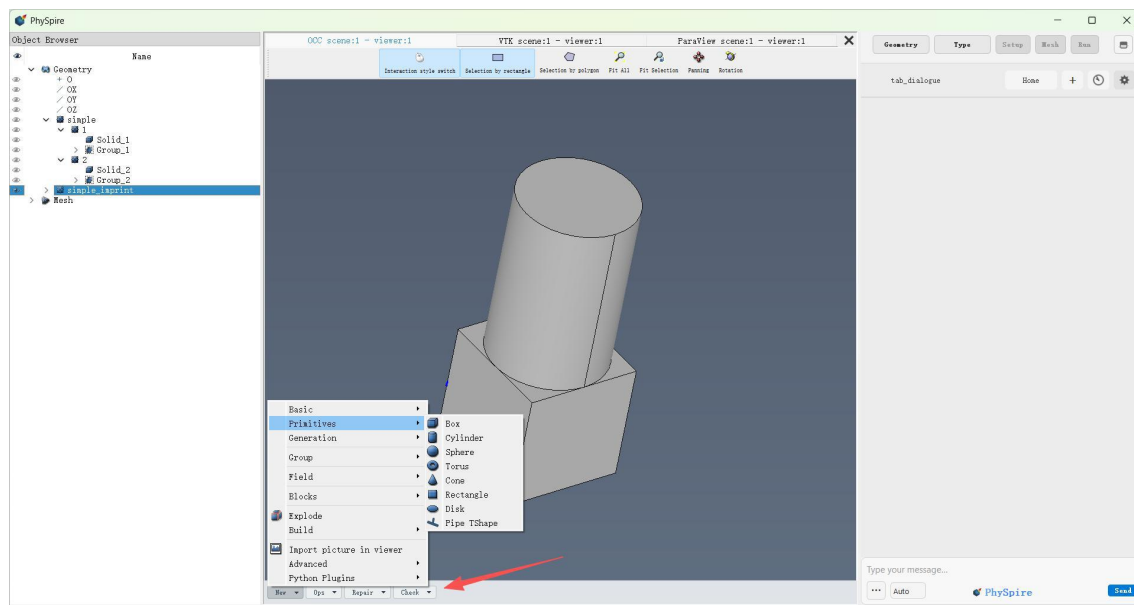


图5-1 几何编辑与检查

5.2 AI 建模能力

可通过 AI 输入框输入几何建模要求，AI 会自动分析并创建符合要求的几何，支持多轮修改和指

定特征修改：3D 窗口或对象浏览器右键将几何对象发送给AI

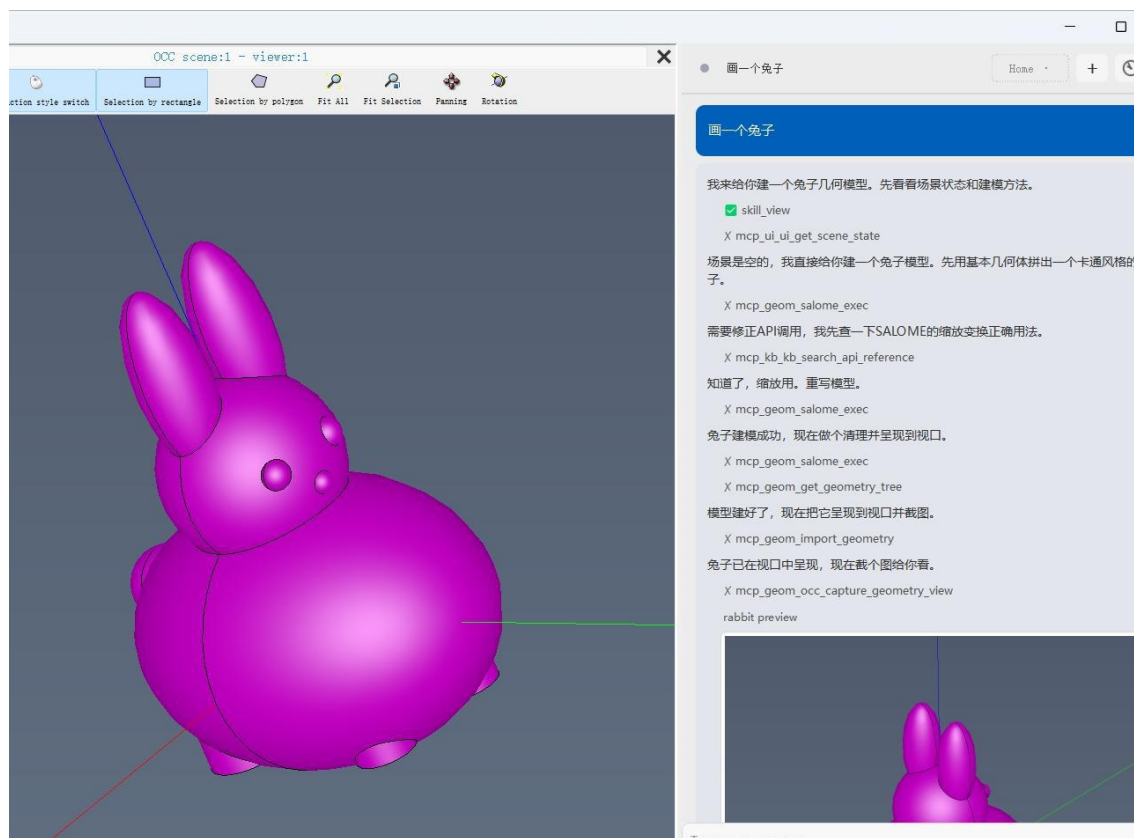


图5-2 AI 建模

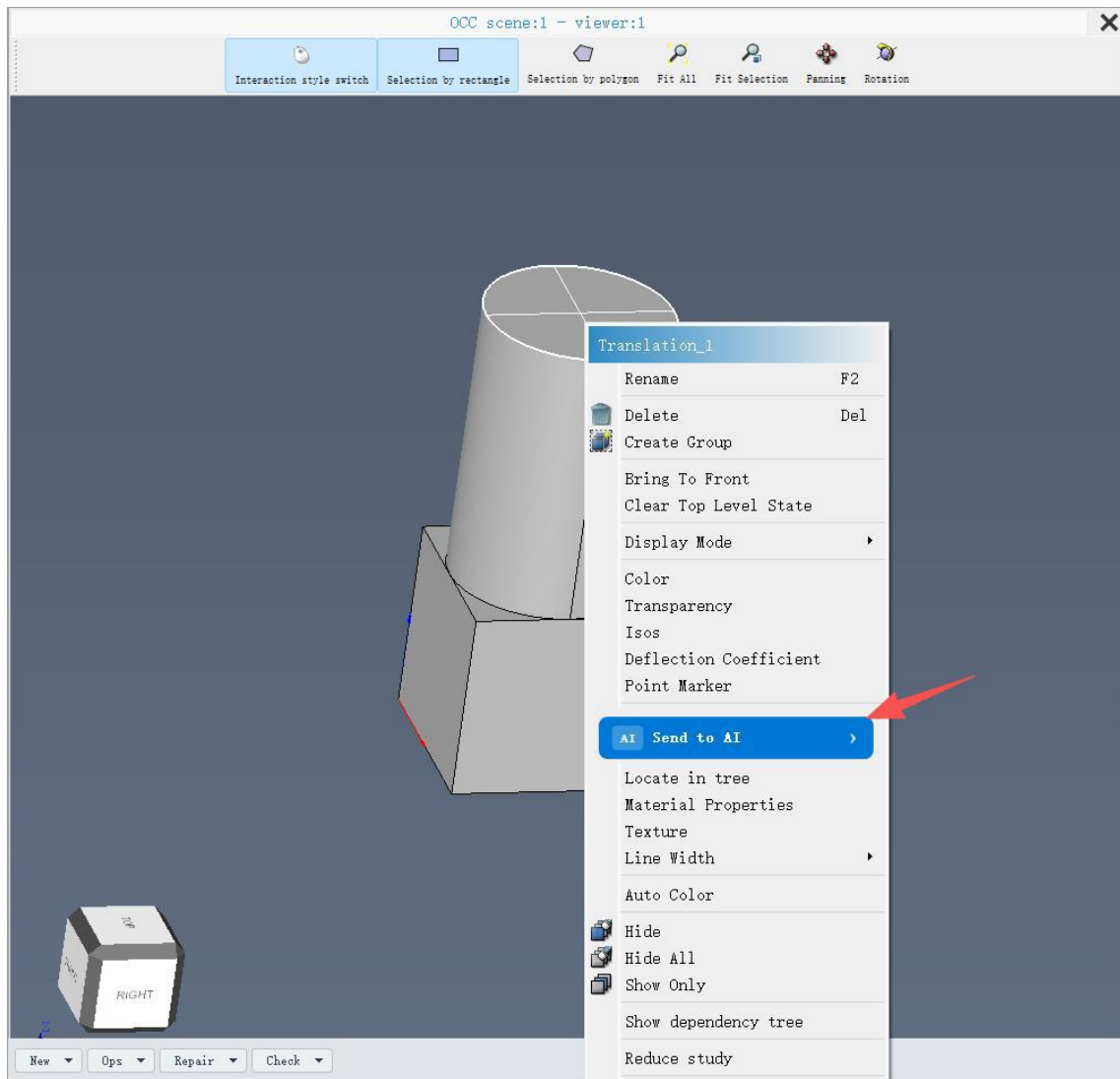


图5-3 发送几何对象给AI

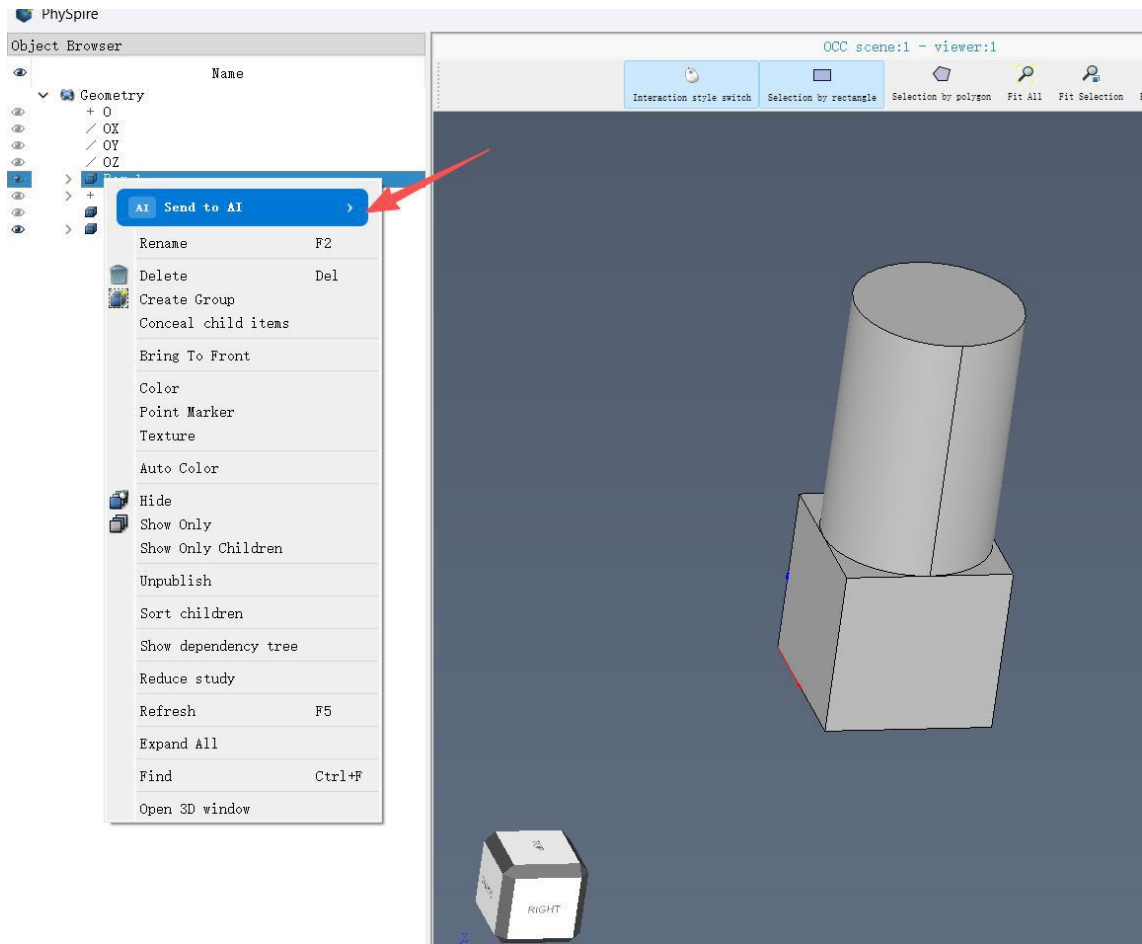


图5-4 发送几何对象给AI

第六章 几何质量检查与修复

几何质量检查与修复是仿真前处理的关键环节，耗时且易遗漏。PhySpire 提供自动化检查与修复工具链。

6.1 几何质量检查

PhySpire 采用六阶段几何质量检查流水线，依次执行：

检查阶段	功能说明
1. 形状有效性校验	检查几何体的拓扑完整性，识别无效形状
2. 自由边检测	查找不属于任何面的游离边线
3. 体对粗筛	快速识别可能存在干涉的体对
4. 体对分类	将干涉体对分为体积干涉、共面接触、贴合面等类别
5. 单体自交检测	检查单个几何体是否存在自相交面
6. 综合验收裁决	汇总所有检查结果，给出合格/不合格判定

检查结果支持两种验收标准模式：

- 基础模式 — 允许小面积贴合面和轻微干涉，适用于大多数仿真场景
- 严格分区模式 — 要求精确的拓扑分区，适用于接触非线性等高精度仿真

6.2 自动修复工具

PhySpire 提供六类拓扑修复工具，可按缺陷类型自动匹配修复策略：

修复类型	功能说明
形状修复	修复无效的几何形状结构
几何缝合	将分离的面缝合为连续的闭合体
拓扑愈合	修复拓扑连接异常（游离边、重复面等）
干涉裁切	裁切体积干涉区域，消除重叠
面边粘合	合并共面/共边的冗余几何元素
内部线移除	清除模型内部不必要的线元素

6.3 装配体接触压印

针对多体装配仿真，PhySpire 装配体接触处理，自动识别零部件间接触区域并执行拓扑压印，为接触非线性、绑定约束与面组边界条件建立准确拓扑关系。多体仿真前通常无需手工逐一处理接触面。

步骤	功能说明
接触面发现	识别共面接触、贴合面、干涉体对等装配关系
拓扑压印	在接触区域执行压印分区，生成可用于网格与仿真的共享拓扑
面组迁移	将原始面组语义迁移至压印后几何，供边界条件与 生成求解输入引用
验收回执	输出压印质量与面组清单，供 AI 与手动仿真设置面板共用

第七章 网格生成

网格划分是把连续三维模型离散成有限单元的基础步骤。PhySpire 支持手动面板与 AI 对话两种入口，并会根据您选择的仿真类型、模型尺度和几何特征（单零件、多体装配、接触面、薄壁、曲面等）自动匹配网格策略与生成算法。

7.1 网格参数与单元类型

常用网格参数如下（可在仿真设置面板中查看或调整）：

参数	说明
单元类型	四面体（NETGEN 1D-2D-3D，默认）、六面体（规则扫掠区域可选）；复杂曲面可切换 Gmsh 算法
全局尺寸	单元 characteristic size，与模型坐标同尺度（通常为 mm）
最小尺寸	局部加密下限，防止过小单元导致计算爆炸
局部加密	对应力集中、接触区、倒角/小孔等设置更小尺寸
曲率自适应	按曲面曲率自动缩小单元，保证弯曲区域形状逼真
CFD 壁面层	流体壁面附近生成渐进加密层，满足壁面剪切与 y^+ 要求
增长率	从加密区过渡到全局尺寸的平滑系数

7.2 按仿真类型自动匹配网格策略

软件将 22 种仿真子类型归纳为 9 类「网格策略族」。切换分析类型后，系统会据此选择单元拓扑、默认算法和密度基准，无需您记忆每种仿真的网格细节。

仿真大类（示例）	自动策略要点	首选算法
稳态 / 瞬态 / 非线性热	整体共形四面体；温度梯度大的区域适当加密	NETGEN 1D-2D-3D
线性 / 非线性静力、疲劳、损伤	整体共形；应力集中与载荷面附近加密	NETGEN 1D-2D-3D
接触非线性、多体装配	识别绑定 / 滑动接触；必要时分区生成再装配，接触面共享拓扑	NETGEN 分体 + 合并
瞬态 / 非线性动力、谐响应	兼顾最低可用频率或波长；边	NETGEN 1D-2D-3D

	界加载面加密	
模态 / 屈曲	密度不宜过粗，避免漏掉低阶模态或屈曲形态	NETGEN 1D-2D-3D
热-结构耦合（顺序 / 直接）	热场与结构场共用同一套网格	NETGEN 1D-2D-3D
CFD（不可压 / 可压 / 热流）	流体域整体网格 + 壁面边界层	NETGEN + 壁面子网格
CFD 湍流	在壁面 y^+ 目标下加密近壁层	NETGEN + 壁面子网格
CFD 多相 / 燃烧	相界面与薄层区域额外加密	NETGEN + 壁面子网格

7.3 按几何特征选择算法与拓扑

除仿真类型外，软件还会读取几何结构（单实体、装配体、压印后接触关系等）决定网格拓扑：

几何特征	软件处理方式
单零件 / 无接触	一次生成整体共形四面体网格
多体绑定接触	压印后统一拓扑，共形网格覆盖全部零件
滑动 / 非共形接触	可按零件分区生成，节点不强制合并，满足接触求解要求
薄壁、窄缝	按厚度方向至少分层，必要时局部 Sub-mesh 加密
高曲率曲面、倒角	曲率自适应 + 局部尺寸控制
CFD 壁面	壁面法向边界层网格，湍流工况按 y^+ 估算首层高度

7.4 AI 智能网格：先预估单元数，再迭代优化

在 AI 驱动仿真链路中，网格阶段遵循「先估后算、不达标再优化」的流程，您通常只需描述工程目标，不必手工填写单元尺寸：

步骤	软件做什么
① 测量模型尺度	读取包围盒，得到特征长度 L （最大边长或对角线）
② 按类型推荐尺寸	根据分析类型查内置密度表，计算 $h \approx L/N$ 作为初始单元尺寸
③ 预估单元数量	在真正生成前调用网格 Evaluate，估算四面体数量级（不占用长时间计算）

④ 密度合理性检查	对比预估单元数与期望范围；过粗时提示加密，过密时提示放粗以节约时间
⑤ 正式生成网格	按选定算法（默认 NETGEN）后台生成，界面不阻塞
⑥ 质量验收	检查负体积、极端长宽比等硬指标；对长宽比/扭曲等给出优化建议
⑦ 导出并同步设置	写入权威网格文件，并刷新仿真设置面板中的面组与材料引用
⑧ 迭代优化（如需）	若质量建议或后续求解提示网格不足，AI 调整尺寸 / 局部加密 / 换算法后重新生成

各仿真类型的推荐密度基准（N 值越大，网格越细）：

仿真类型	推荐 N（约）	适用说明
稳态热	20	简单热传导可略粗；温度梯度大时 AI 会自动加密
瞬态 / 非线性热	15	时间变化区域需要更细单元
线性静力	18	常规结构强度校核
非线性静力 / 接触	14 - 15	塑性、接触非线性需更密网格
瞬态 / 谐响应动力	12 - 14	需捕获主要频率成分
模态 / 屈曲	16 - 18	过低密度可能漏掉低阶模态
热-结构耦合	16	热场与应力场同网格
CFD 各类	14 + 壁面层	另按 y^+ 与壁面剪切单独加密

7.5 手动生成与质量评估

手动方式：在对象浏览器选中几何，于仿真设置面板设置参数后点击「生成网格」。若首次生成失败，面板链路会自动尝试放粗尺寸、分离式 NETGEN 或 Gmsh 等备选方案。AI 方式：由智能体按上一节流程自动定参、生成、检查并在需要时迭代优化。

典型操作步骤：

1. 确认几何已通过质量检查并完成接触压印（多体工况）
2. 在仿真设置中选择分析类型与材料、边界条件
3. 点击「生成网格」或向 AI 发送「按当前工况划分网格」
4. 查看状态栏进度；完成后在三维视口预览网格
5. 阅读质量报告；若有警告，按建议加密或调整参数后重划

6. 网格验收通过后，继续生成求解输入并运行计算

主要质量指标：

指标	含义	经验参考
长宽比	单元最长边与最短边之比	越接近 1 越好；过大表示单元过于狭长
雅可比	单元体积变化程度	应大于 0；接近 0 或负值表示单元翻转
扭曲度	单元偏离理想形状的程度	0 为理想；偏高需局部 remesh

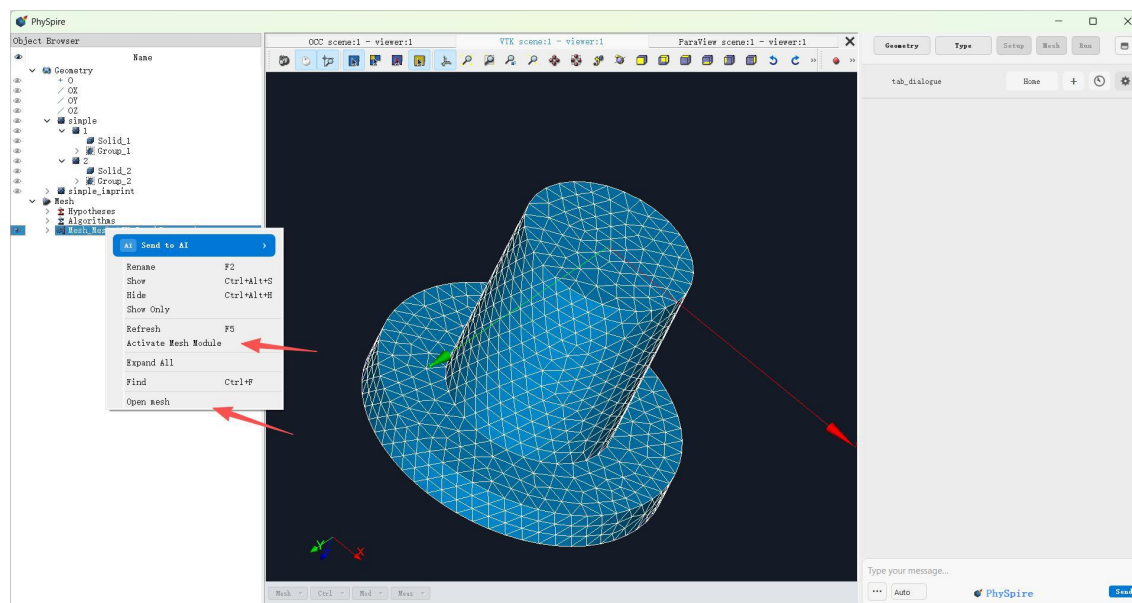


图7-1 网格查看与编辑

第八章 仿真设置与求解

仿真类型概览

PhySpire支持六大类仿真分析，涵盖结构、热、流体和耦合领域，共22种分析子类型：

大类	子类型
热分析	稳态热传导/瞬态热传导/非线性热
结构静力学	线性静力分析/非线性静力分析/接触非线性分析/疲劳分析/损伤分析
动力学分析	线性瞬态动力分析/非线性瞬态动力分析/谐波响应分析
模态分析	模态分析/屈曲分析
热-结构耦合	顺序热-结构耦合/直接热-结构耦合/强类型热-结构耦合
计算流体力学	不可压缩流/可压缩流/热流分析/湍流分析/多相流分析/燃烧分析

材料属性定义

本构类型	关键参数与适用场景
线弹性	弹性模量 E、泊松比、密度—适用于大多数金属材料
弹塑性	屈服应力、硬化参数—适用于超过弹性极限的变形分析
超弹性	Mooney-Rivlin 参数—适用于橡胶等高分子材料
热材料	导热系数、比热容、线膨胀系数—适用于热分析

边界条件设置

边界条件类型	功能说明
--------	------

位移约束	固定约束、铰接约束、指定位移—模型受限边界
力载荷	集中力、分布力—外力作用

压力载荷	面压力—均布或非均布压力
温度边界	指定温度—热分析初始/边界温度
对流换热	换热系数、环境温度—表面散热条件
重力	重力加速度—自重载荷

求解执行与监控

1. AI 或用户在仿真设置面板完成材料、边界与载荷填写后，系统自动生成求解器输入文件。
2. 软件通过 WSL 2 环境调用 Linux 原生求解器（Code_Aster / Code_Saturne）进行计算，并根据分析类型自动分配 CPU 核数。
3. 计算过程中状态栏实时显示进度。
4. 计算完成后，结果文件自动回收并加载到后处理视口。
5. 若计算失败，系统分析原因并给出建议（如网格不足则提示加密后重试）。

手动仿真设置面板

除 AI 驱动方式外，PhySpire 提供统一仿真设置面板，按逻辑步骤组织：分析类型选择、几何选择、材料定义、边界条件设置、求解参数、求解执行。面板兼容全部 22 种仿真类型。

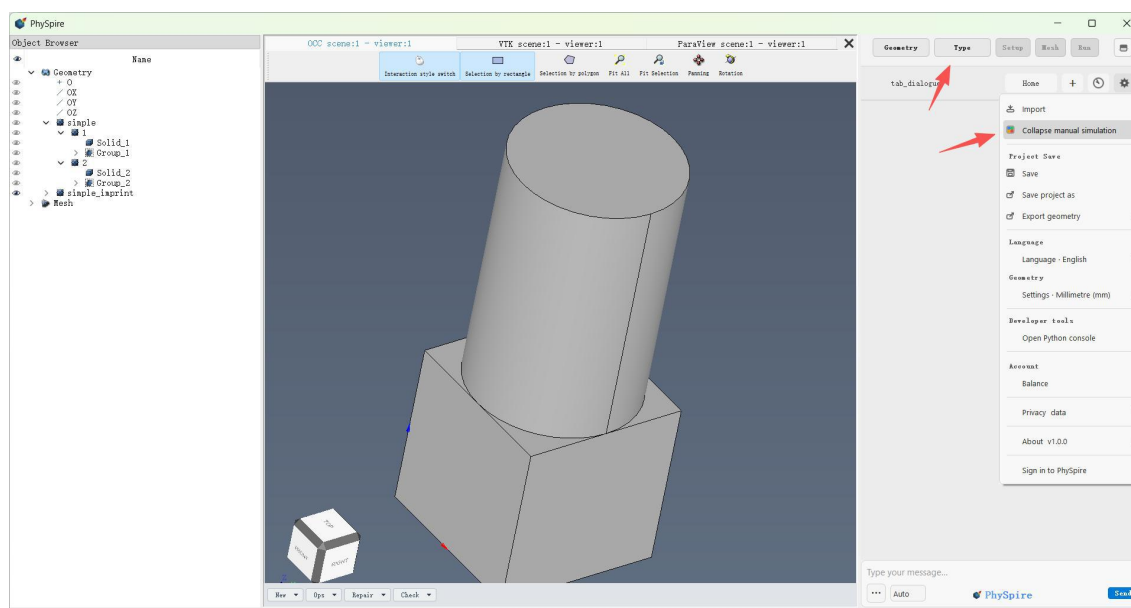


图8-1 打开/关闭手动仿真面板

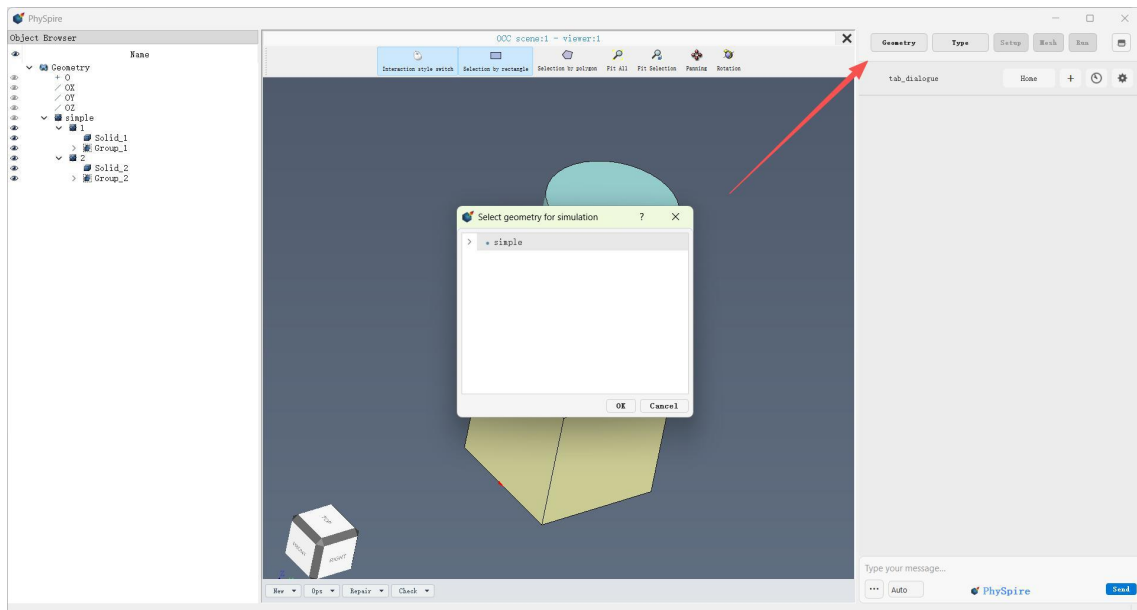


图8-2 选择求解几何

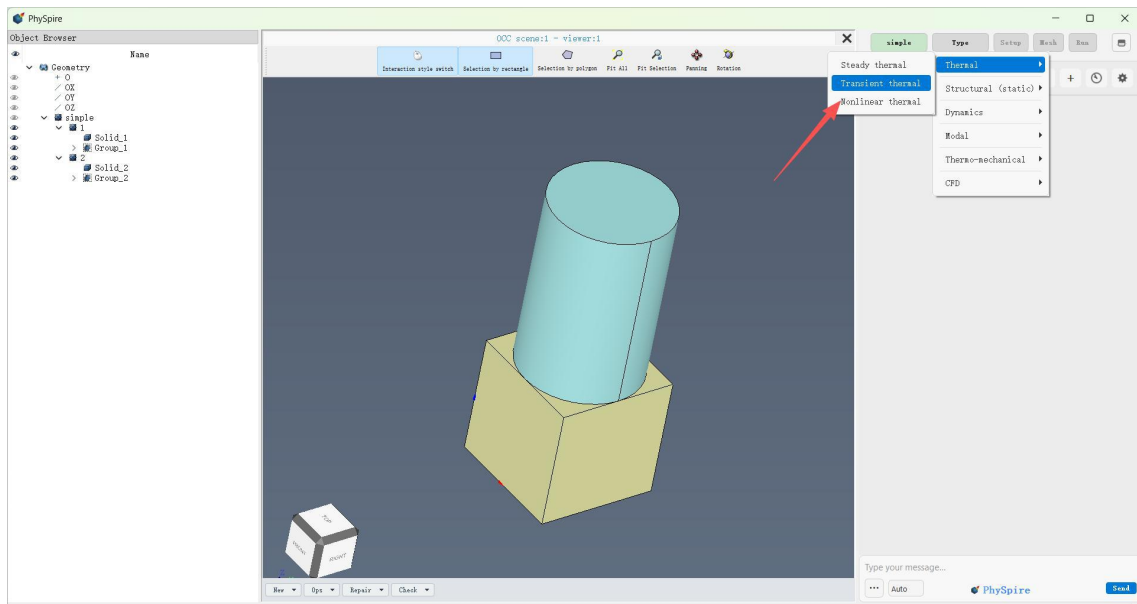


图8-3 选择仿真类型

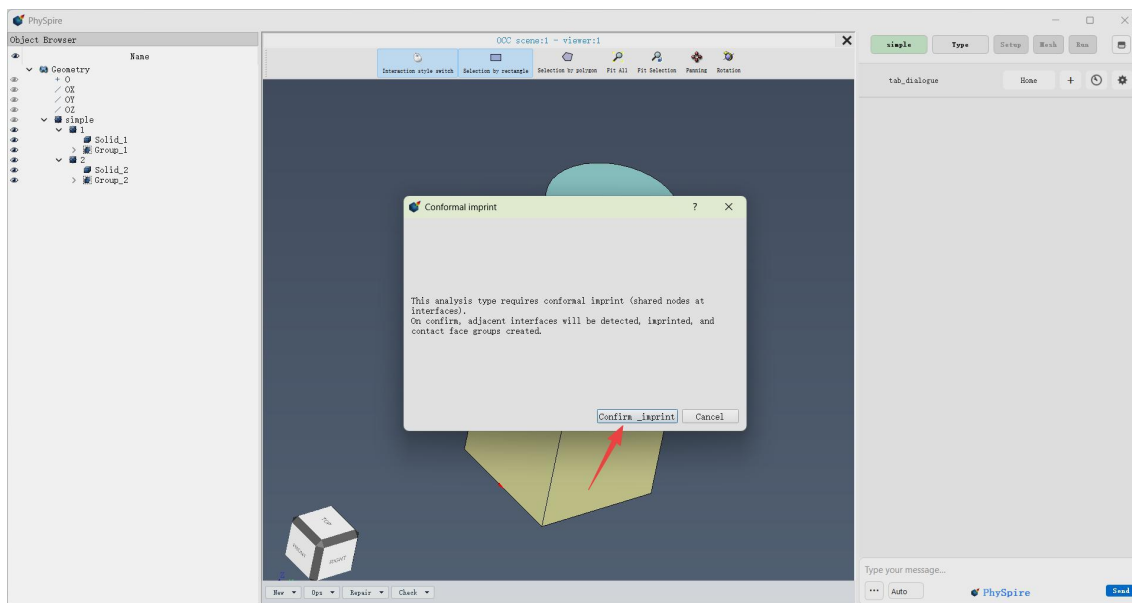


图8-4 拓扑处理确认

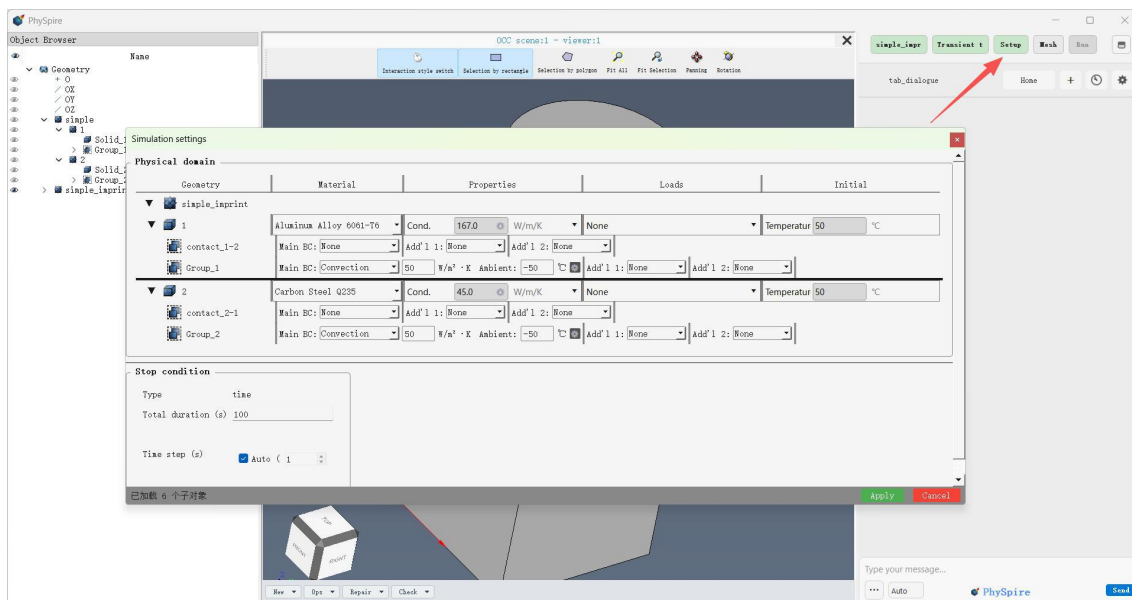


图8-5 仿真设置（材料/物性/载荷/初始条件/边界设置）

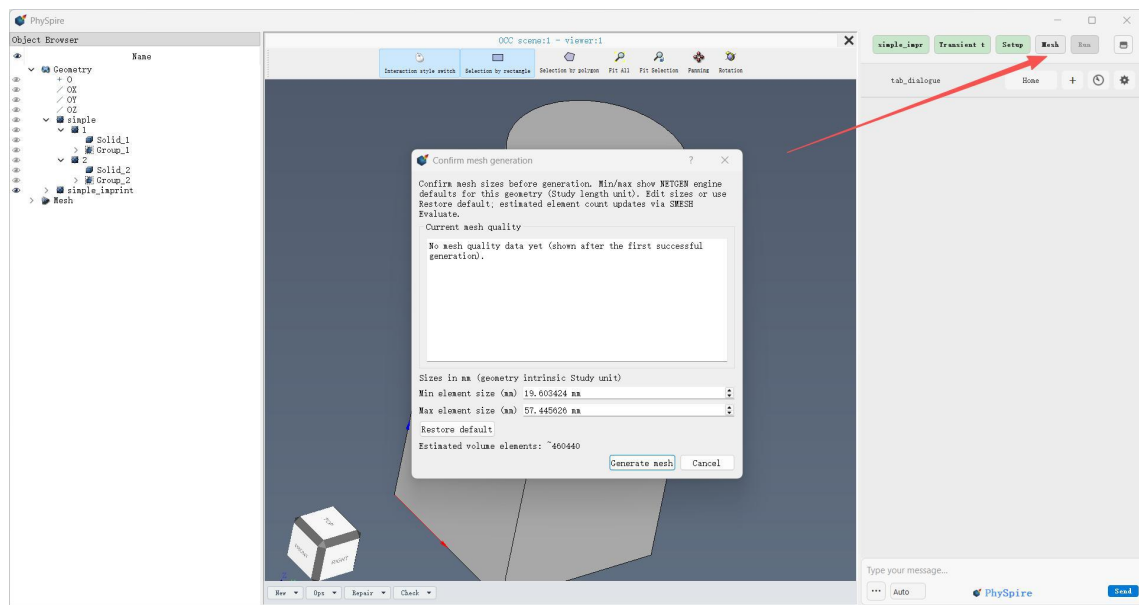


图8-6 生成网格

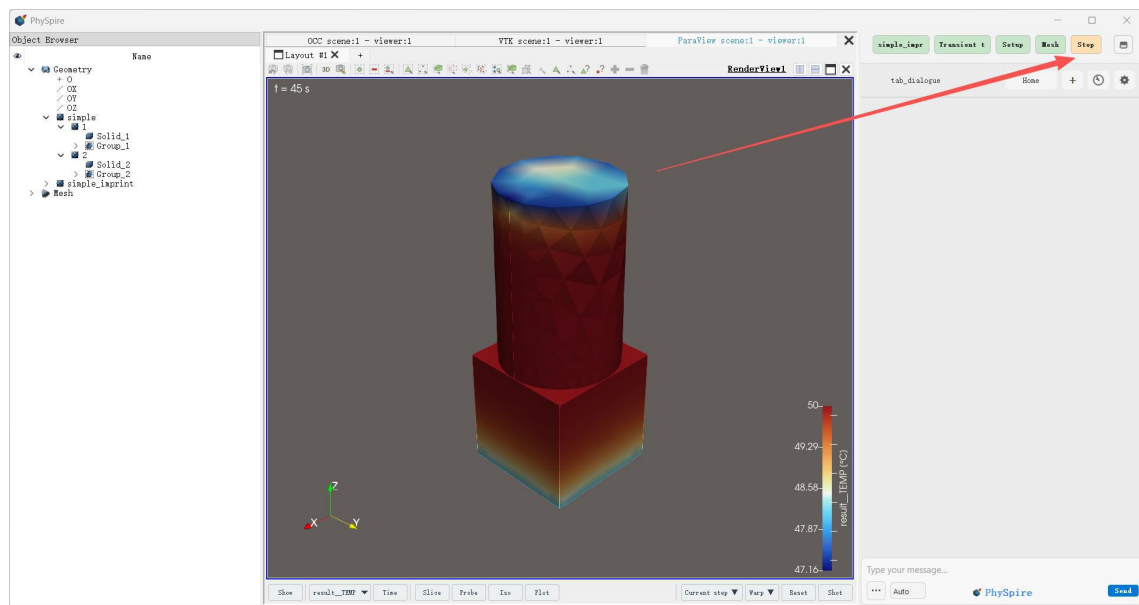


图8-7 求解

8.5 仿真求解与运行

PhySpire 在 Windows 界面中完成建模与设置，通过 WSL 2 调用结构/流体求解器；用户手动运行与 AI 自动化使用同一套流程：

步骤	说明
写入仿真设置	面板金标准校验通过后写入权威仿真配置

生成求解输入_file	按仿真类型自动生成 求解输入文件 求解文件（内嵌 预校验 校验）
启动求解	WSL 内 求解器调度程序启动计算，回收 结果文件 与诊断日志
check_solver_status	读取 EXIT_CODE 与 stdout 判定收敛与验收

8.6 仿真自动化主链路

AI 驱动仿真时，系统按七个阶段顺序推进：认识模型→绑定类型→几何检查→处理接触→生成网格→求解计算→结果评估；每步完成前置检查，避免遗漏：

阶段	说明
认识模型与工况	理解几何结构，对齐分析类型、材料、边界与工程目标
几何检查与整理	质量检查、装配体合并、拓扑问题排查
接触与面组准备	接触压印、面组绑定、为边界条件准备面
网格生成与核对	生成网格、与仿真设置对齐、确认网格可用
求解计算	写入设置、生成求解输入、启动计算
结果分析	提取关键指标、合理性评估与交付说明

8.7 手动与 AI 双轨

手动专家模式与 AI 自动化共用同一份仿真设置与网格数据，避免「面板一套、AI 一套」不一致：

模式	说明
共用	同一份网格与仿真设置、同一套生成与求解入口
AI 对话模式	用自然语言描述需求，软件按步骤自动调用各项能力
手动面板模式	在仿真设置面板逐步填写，点击运行触发与 AI 相同的计算流程

第九章 结果分析与后处理

结果可视化

可视化类型	说明
应力云图	显示 vonMises 应力或主应力分布，彩色渐变映射
位移矢量图	显示变形方向和大小，箭头表示位移矢量
应变云图	显示等效应变分布
模态振型动画	播放各阶固有频率对应的振动形态
温度分布图	热分析结果，显示温度梯度
流场流线图	CFD 结果，显示流体运动轨迹
切面图	在指定截面位置显示内部应力/温度分布
变形叠加图	变形后形状叠加到原始几何上对比

关键指标提取

结果分析功能自动从仿真结果中提取关键工程指标：最大应力及位置、最大位移及位置、安全系数（屈服应力/最大应力）、疲劳寿命、固有频率、温度极值、流速分布等。

结果合理性评估

- 物理检查—验证应力是否超过材料极限、变形范围、能量守恒等
- AI判定—结合工程经验和规范标准，评估结果是否满足设计要求
- 异常识别—自动识别不收敛、奇异结果、网格不足等问题
- 诊断建议—对异常结果给出改进建议（加密网格、调整载荷等）

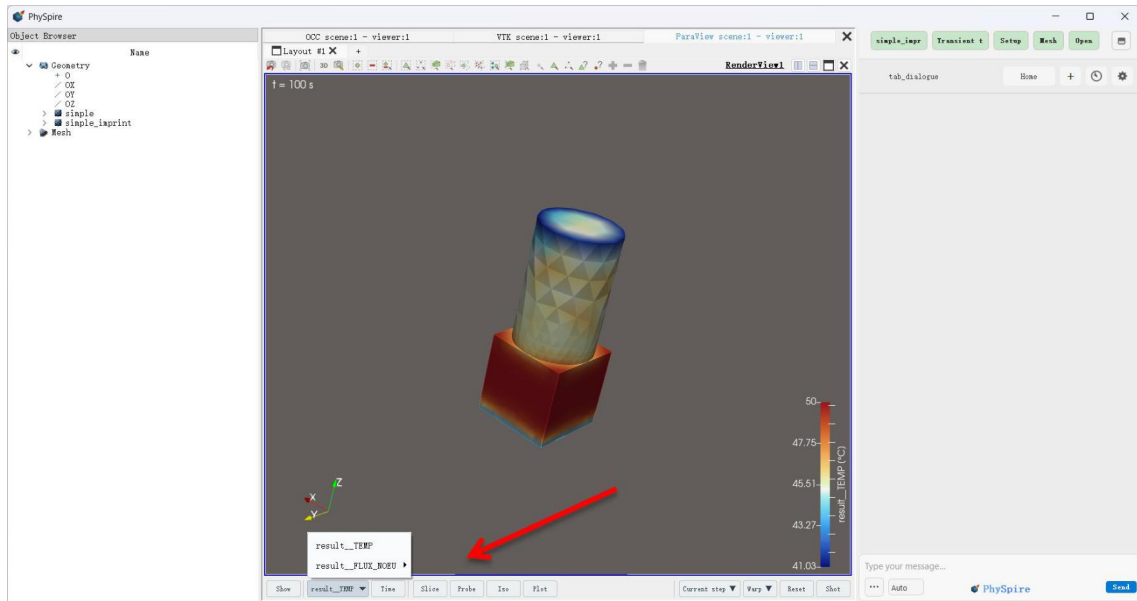


图9-1 结果查看与分析工具

第十章日常办公AI 助手

文件编辑—支持word/excell/PPT 等多种常用文件编辑

数据或工程问题分析—支持附件上传AI 分析，必要时AI 可自动创建几何和仿真进行深入分析并给出建议

代码编程—AI 支持代码编程

知识库检索-操作指引、材料属性数据库、工程规范

第十一章常见问题

Q:如何设置仿真边界面?

对象浏览器点击目标几何右键创建面组，然后在3D 窗口中选择对应的面创建面组，也支持选中目标几何发送给AI 创建面组。

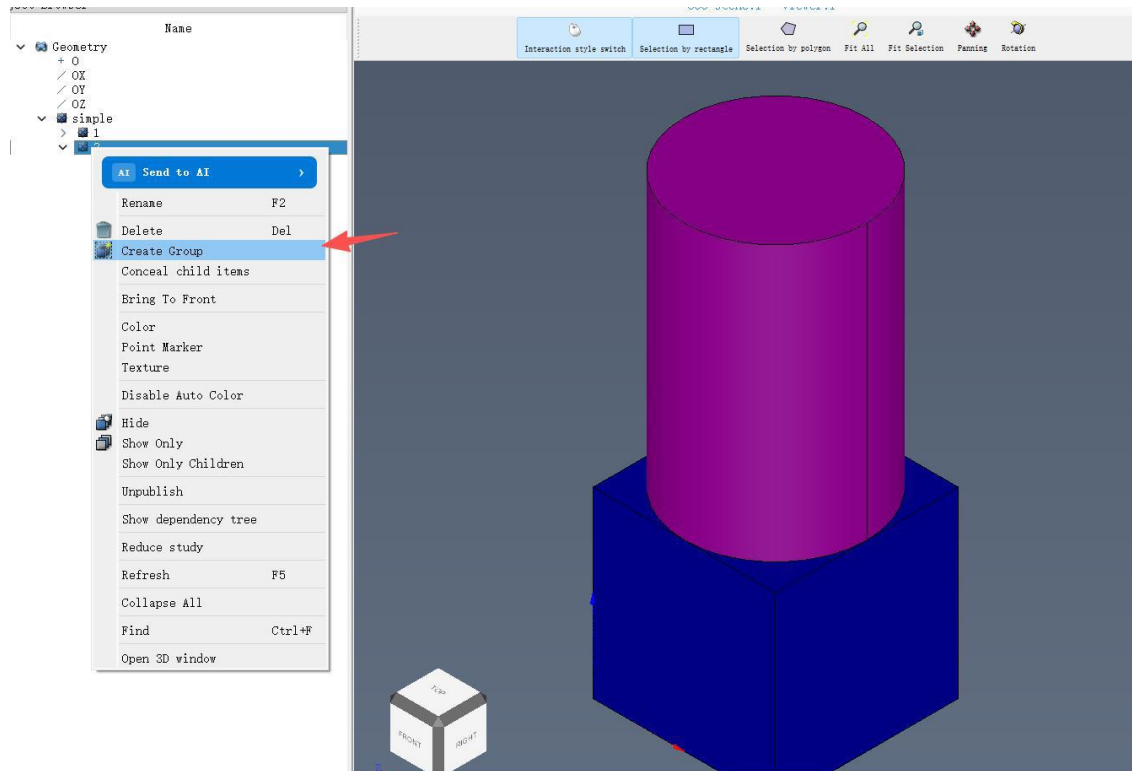


图11-1 创建面组

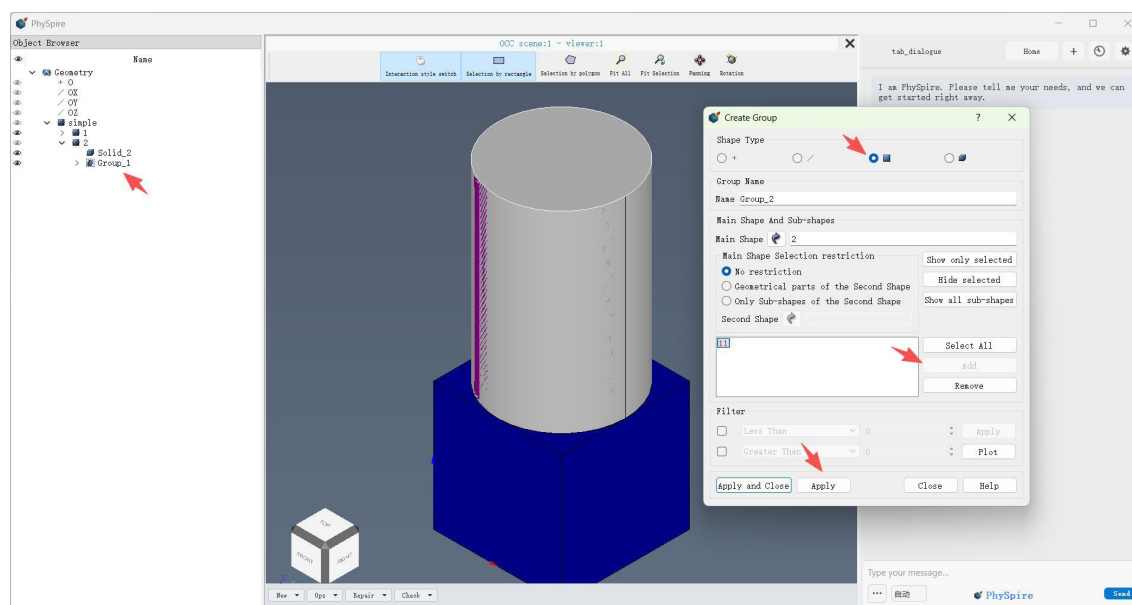


图11-2 创建面组

Q:AI 仿真如何进行仿真设置？

可通过对话框语义输入或附件输入，也支持任务附件中的仿真设置面板输入。

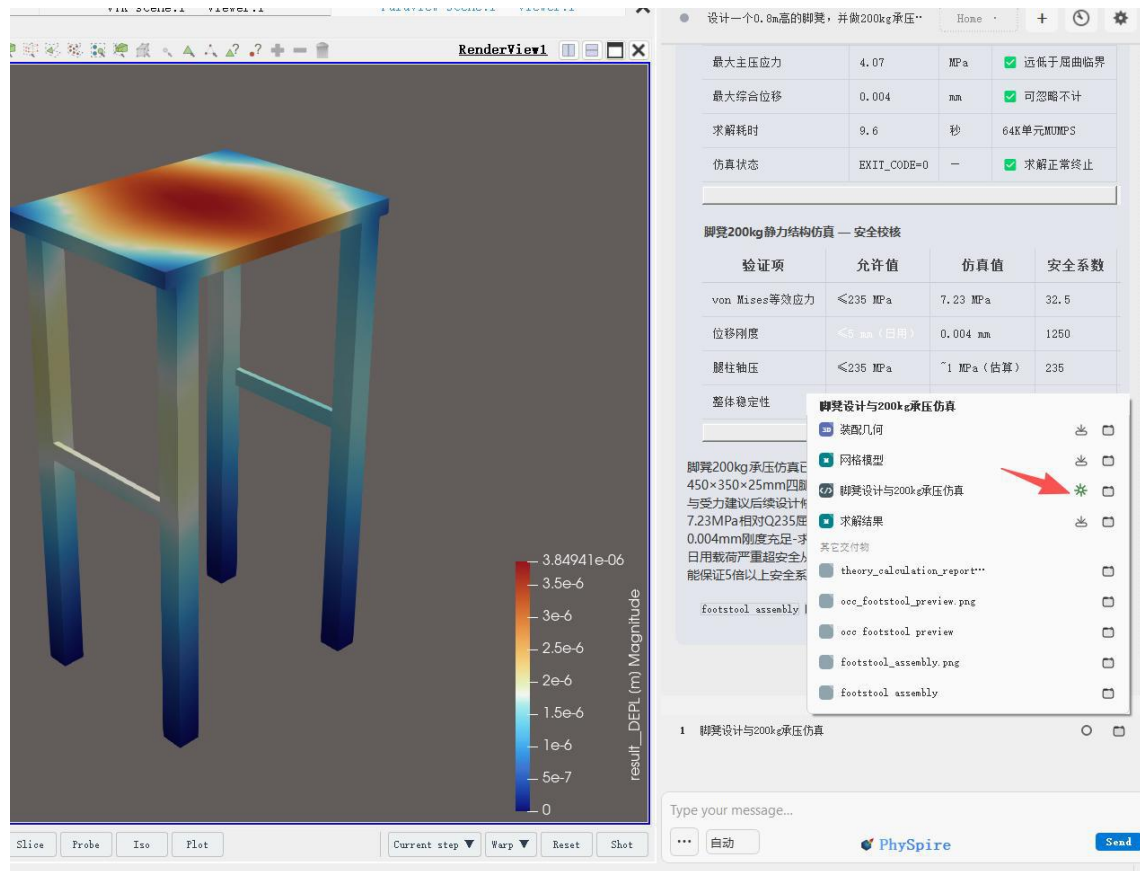


图11-3 AI 仿真设置

Q:任务结果如何查找和导入？

对应对话框底部任务栏的附件按钮中可查找输出物文件夹或直接点击导入。

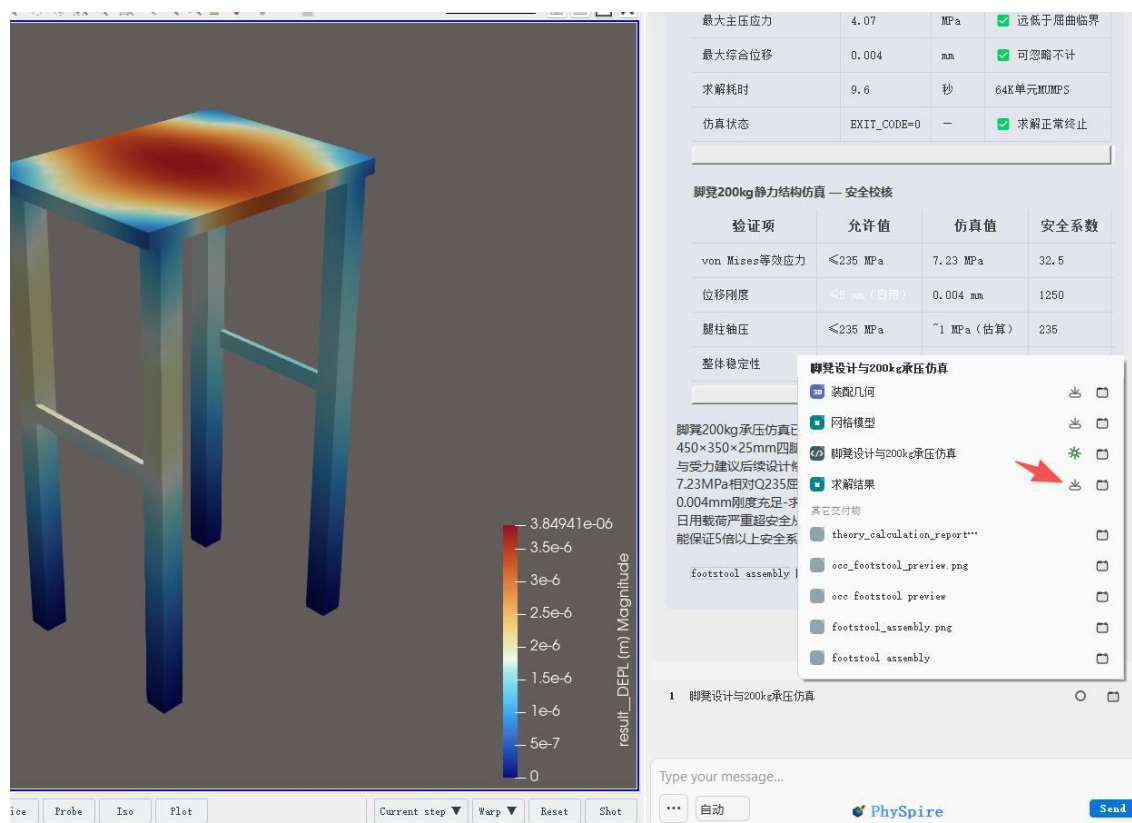


图11-4 AI 仿真结果文件查看导入

Q:对话内容会自动保存吗?

对话内容会软件会自动保存，重启软件后会全量恢复，包括底部任务栏的所有任务输出物。

Q:几何导入后模型显示异常怎么办?

使用AI指令执行几何质量检查，发现缺陷后使用修复指令自动修复。

Q:网格生成时间过长怎么办?

适当增大网格尺寸或减少局部加密区域。网格生成采用异步机制，不会阻塞界面操作。

Q:求解失败怎么办?

系统会自动分析失败原因。常见原因包括网格质量不足、边界条件错误等。AI Agent会自动尝试修复后重新求解。

Q:如何保存和恢复工程?

通过菜单栏【文件】-【保存工程】保存当前工作状态。下次启动时通过【文件】-【加载工程】恢复。

Q:支持哪些CAD格式?

支持STEP(.stp/.step)、IGES(.igs/.iges)、BREP(.brep)的导入和导出，以及STL (.stl)的导出。

附录A技术规格

组件版本

组件	版本	许可证
SALOME	9.15.0	LGPLv2.1
OpenCASCADE	7.7	LGPLv2.1
Code_Aster	16.7.0	GPLv3+
Code_Saturne	9.0.1	GPLv2+
Qt	5.15	LGPLv3
PyQt5	5.15	GPLv3
Python	3.9.14	PSFLicense
NETGEN	6.2	LGPLv2.1

软件架构

层次	组成与作用
用户交互层	图形界面、AI 对话面板与脚本控制台
智能体层	AI 智能体衔接几何、网格、仿真设置与求解等全流程能力
工程能力层	几何建模、质量检查、网格生成、仿真设置与求解编排
求解器层	结构/热/耦合（Code_Aster）与流体（Code_Saturne）
几何内核	OpenCASCADE 参数化建模与 BREP 表示
平台层	SALOME 模块管理、对象树、三维视口与工程数据持久化

开发与运行环境

项目	规格
开发硬件	IntelCorei7-13650HX, 24GBDDR5, 1TB NVMeSSD, RTX4060

开发操作系统	Windows11 专业版 64-bit+Ubuntu22.04 LTS (WSL2)
开发工具	VSCode、PyCharm、Git、CMake3.24、SWIG
运行操作系统	Windows10/1164-bit+WSL2 (Ubuntu 22.04)
编程语言	Python、C++、C

附录 B AI 全流程仿真验收统计

B.1 统一测试与验收方法

本节工况均来自 PhySpire 全面仿真验证测试库。测试目标为：在真实图形环境中，仅向 AI 发送一条日常语言描述的仿真需求，由 AI 自主完成从几何到结果交付的全流程，中间无人工逐步操作、无预装几何或网格。

统一测试方法：

项目	说明
测试环境	标准图形界面冷启动，AI 智能体在独立对话页中执行
输入内容	首条消息仅含：任务描述、几何要求、材料牌号、边界条件自然语言表述
测试原则	不向 AI 提供逐步操作指令、内部工具名或输出路径，模拟真实用户使用方式
初始状态	空白工程；几何由 AI 按测试用例要求自行创建，非预先载入
执行方式	AI 自主推进：质检→压印→网格→仿真设置→生成求解输入→计算→结果分析
会话要求	单次对话内连续推进至交付报告；测试程序不在中途替 AI 完成主链步骤
重跑清场	复测前归档旧产物并清空输出目录；表中「通过」均指该轮全新跑次结论

统一验收判定：

维度	判定依据
端到端通过	几何创建/几何检查/网格/求解/提取/交付链完整
物理合理	端到端通过即表示求解结果已通过自动化测试且物理合理性验收
求解收敛	优先读取启动求解_stdout 中 EXIT_CODE/DIAGNOSTIC；模态/谐响应/耦合等可能无求解日志和逐条残差，以正常结束计
明细表纳入	凡 自动化测试 判定 overall_passed=true 的工况均列入；物理合理、求解收敛列与端到端结论一致

B.2 工况规模与对账说明

全面仿真验证库 当前 测试清单 共 70 个工况，每个仿真类型至少覆盖 3 个典型工况。

序号	工况名称	理论/参考值	求解结果	求解收敛	求解 VS 理论 偏差率	物理合理	端到端通
----	------	--------	------	------	-----------------	------	------

							过
1	屈曲分析·轴向压力线性屈曲	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 1.0000$ m (非	$\sigma_{\max}=-$; $u_{\max}=1.0000$ m	收敛/正常结束 (启动求解 _stdout EXIT_CO...)	u 占上限 =100.0000%	是	是
2	屈曲分析·轴向压力 + 几何缺陷	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 1.0000$ m (非	$\sigma_{\max}=-$; $u_{\max}=1.0000$ m	收敛/正常结束 (启动求解 _stdout EXIT_CO...)	u 占上限 =100.0000%	是	是
3	屈曲分析·复杂载荷屈曲	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 1.0000$ m (非	$\sigma_{\max}=-$; $u_{\max}=1.0000$ m	收敛/正常结束 (bound_测试清单 _success (无 ...))	u 占上限 =100.0000%	是	是
4	燃烧·管道流动 (直管层流 (单流体域, 入口 x...)	见 测试清单 s6 准则 (CFD/多物理场无闭式理论解)	VELOCITY_X: min=-0.0943 max=0.1518; VELO	收敛/正常结束 (bound_测试清单 _success (无 ...))	—	是	是
5	燃烧·绕流问题 (绕流 (流体域内障碍物, 入口 ...)	见 测试清单 s6 准则 (CFD/多物理场无闭式理论解)	VELOCITY_X: min=-0.0647 max=0.1124; VELO	收敛/正常结束 (bound_测试清单 _success (无 ...))	—	是	是
6	燃烧·内部流动 (长直管内部流动 (单流体域, 入...)	见 测试清单 s6 准则 (CFD/多物理场无闭式理论解)	VELOCITY_X: min=-1.2987 max=3.5844; VELO	收敛/正常结束 (bound_测试清单 _success (无 ...))	—	是	是
7	可压流·管道流动 (直管层流 (单流体域, 入口 ...)	见 测试清单 s6 准则 (CFD/多物理场无闭式理论解)	VELOCITY_X: min=-0.3164 max=0.4233; VELO	收敛/正常结束 (bound_测试清单 _success (无 ...))	—	是	是
8	可压流·绕流问题 (绕流 (流体域内障碍物, 入口...)	见 测试清单 s6 准则 (CFD/多物理场无闭式理论解)	VELOCITY_X: min=-0.6069 max=1.4980; VELO	收敛/正常结束 (bound_测试清单 _success (无 ...))	—	是	是
9	可压流·内部流动 (长直管内部流动 (单流体域, ...)	可压流 — 内部流动 (长直管内部流动 (单流体域, 入口 xmin / 出口 xma	—	收敛/正常结束 (bound_测试清单 _success (无 ...))	—	是	是
10	不可压流·管道流动 (直管层流 (单流体域, 入口...)	见 测试清单 s6 准则 (CFD/多物理场无闭式理论解)	VELOCITY_X: min=-0.3937 max=1.2879; VELO	收敛/正常结束 (bound_测试清单 _success (无 ...))	—	是	是

11	不可压流・绕流问题（绕流（流体域内障碍物，入口…	见 测试清单 s6 准则（CFD/多物理场无闭式理论解）	VELOCITY_X: min=-57.8000 max=128.0400; V	收敛/正常结束（bound_测试清单 _success （无 …）	—	是	是
12	不可压流・内部流动（长直管内部流动（单流体域…	不可压流 — 内部流动（长直管内部流动（单流体域，入口 xmin / 出口 xmax	—	收敛/正常结束（bound_测试清单 _success （无 …）	—	是	是
13	多相流・管道流动（直管层流（单流体域，入口 …	见 测试清单 s6 准则（CFD/多物理场无闭式理论解）	VELOCITY_X: min=-0.0016 max=0.0262; VELO	收敛/正常结束（bound_测试清单 _success （无 …）	—	是	是
14	多相流・绕流问题（绕流（流体域内障碍物，入口…	见 测试清单 s6 准则（CFD/多物理场无闭式理论解）	VELOCITY_X: min=-4.4788 max=10.6300; VEL	收敛/正常结束（bound_测试清单 _success （无 …）	—	是	是
15	多相流・内部流动（长直管内部流动（单流体域，…	见 测试清单 s6 准则（CFD/多物理场无闭式理论解）	VELOCITY_X: min=0.0923 max=1.2671; VELOC	收敛/正常结束（bound_测试清单 _success （无 …）	—	是	是
16	热流・管道流动（直管层流（单流体域，入口 x…	见 测试清单 s6 准则（CFD/多物理场无闭式理论解）	VELOCITY_X: min=0.0012 max=0.0146; VELOC	收敛/正常结束（bound_测试清单 _success （无 …）	—	是	是
17	热流・绕流问题（绕流（流体域内障碍物，入口 …	见 测试清单 s6 准则（CFD/多物理场无闭式理论解）	VELOCITY_X: min=-1.2093 max=2.1096; VELO	收敛/正常结束（bound_测试清单 _success （无 …）	—	是	是
18	热流・内部流动（长直管内部流动（单流体域，入口…	热流 — 内部流动（长直管内部流动（单流体域，入口 xmin / 出口 xmax	—	收敛/正常结束（bound_测试清单 _success （无 …）	—	是	是
19	湍流・管道流动（直管层流（单流体域，入口 x…	见 测试清单 s6 准则（CFD/多物理场无闭式理论解）	VELOCITY_X: min=-1.5349 max=1.8314; VELO	收敛/正常结束（bound_测试清单 _success （无 …）	—	是	是
20	湍流・绕流问题（绕流（流体域内障碍物，入口…	见 测试清单 s6 准则（CFD/多物理场无闭式理论解）	VELOCITY_X: min=-0.8676 max=4.0525; VELO	收敛/正常结束（bound_测试清单 _success （无 …）	—	是	是

	□ ...			(无 ...)			
21	湍流 • 内部流动 (长直管内部流动 (单流体域, 入...	湍流 — 内部流动 (长直管内部流动 (单流体域, 入口 xmin / 出口 xmax	—	收敛/正常结束 (bound_测试清单 _success (无 ...)	—	是	是
22	接触非线性 • 两体多接触对/复杂接触行为	接触非线性 — 多接触对	—	正常结束	—	是	是
23	接触非线性 • 两体接触分离与预紧	接触非线性 — 接触分离 + 预紧力	—	正常结束	—	是	是
24	四体混合接触 • 粘接 + 滑动 + 预紧/分离	见 测试清单 s6 准则 (CFD/多物理场无闭式理论解)	displacement: min=-3.7392e-05 max=1.1165	正常结束	—	是	是
25	损伤分析 • 单调位移驱动损伤演化	循环载荷下损伤场>0 (测试清单 定性)	DOMMAGE_max=—; ENDOMAG_max=—	正常结束 (启动求解 _stdout EXIT_CO...)	—	是	是
26	损伤分析 • 循环加载疲劳损伤	循环载荷下损伤场>0 (测试清单 定性)	DOMMAGE_max=—; ENDOMAG_max=—	正常结束 (启动求解 _stdout EXIT_CO...)	—	是	是
27	损伤分析 • 复杂载荷路径损伤	循环载荷下损伤场>0 (测试清单 定性)	DOMMAGE_max=—; ENDOMAG_max=—	正常结束 (启动求解 _stdout EXIT_CO...)	—	是	是
28	疲劳分析 • 变幅载荷损伤累积	循环载荷下损伤场>0 (测试清单 定性)	DOMMAGE_max=7.8978e-09; ENDOMAG_max=—	收敛/正常结束 (启动求解 _stdout EXIT_CO...)	—	是	是
29	疲劳分析 • 多轴疲劳	循环载荷下损伤场>0 (测试清单 定性)	DOMMAGE_max=1.0688e+08; ENDOMAG_max=—	收敛/正常结束 (启动求解 _stdout EXIT_CO...)	—	是	是
30	谐波响应 • 简谐力 10 - 100Hz	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 1.0000$ m (非	$\sigma_{\max}=—$; $u_{\max}=6.4828e-08$ m	收敛/正常结束 (启动求解 _stdout EXIT_CO...)	u 占上限 =6.4828e-06%	是	是
31	谐波响应 • 简谐位移激励	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 0.0025$ m (非	$\sigma_{\max}=—$; $u_{\max}=0.0010$ m	收敛/正常结束 (启动求解 _stdout EXIT_CO...)	u 占上限 =41.9058%	是	是
32	谐波响应 • 多激励	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$	$\sigma_{\max}=—$; $u_{\max}=0.3271$ m	收敛/正常结束 (bound_测	u 占上限 =32.7111%	是	是

	点 + 相位差	Pa; $u \leq 1.0000$ m (非		试清单 _success (无 ...)			
33	模态分析·自由模态 (单实体钢块, 无任何位移/...	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 1.0000$ m (非	$\sigma_{\max}=-$; $u_{\max}=1.0000$ m	收敛/正常结束 (启动求解_stdout EXIT_CO...)	u 占上限 =100.0000%	是	是
34	模态分析·固定底部模态	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 1.0000$ m (非	$\sigma_{\max}=-$; $u_{\max}=1.0000$ m	收敛/正常结束 (启动求解_stdout EXIT_CO...)	u 占上限 =100.0000%	是	是
35	模态分析·预应力模态	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 1.0000$ m (非	$\sigma_{\max}=-$; $u_{\max}=1.0000$ m	正常结束 (启动求解_stdout EXIT_CO...)	u 占上限 =100.0000%	是	是
36	线性瞬态动力·冲击载荷时程 (table 压力)	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 1.0000$ m (非	$\sigma_{\max}=-$; $u_{\max}=6.1270e-04$ m	收敛/正常结束 (启动求解_stdout EXIT_CO...)	u 占上限 =0.0613%	是	是
37	线性瞬态动力·正弦激励	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 69.4454$ m (	$\sigma_{\max}=-$; $u_{\max}=2.8325e-05$ m	收敛/正常结束 (启动求解_stdout EXIT_CO...)	u 占上限 =4.0787e-05%	是	是
38	线性瞬态动力·地震时程	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 1.0000$ m (非	$\sigma_{\max}=-$; $u_{\max}=2.4417e-04$ m	收敛/正常结束 (solver 测试清单 success)	u 占上限 =0.0244%	是	是
39	非线性瞬态动力·冲击 + 材料非线性	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 1.0000$ m (非	$\sigma_{\max}=1.4576e+08$ Pa; $u_{\max}=2.0200e-04$ m	收敛/正常结束 (启动求解_stdout EXIT_CO...)	σ 占上限 =2.9152%; u 占上限 =0.0202%	是	是
40	非线性瞬态动力·四体 hybrid	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 2777.7788$	$\sigma_{\max}=-$; $u_{\max}=-$	收敛/正常结束 (启动求解_stdout EXIT_CO...)	—	是	是
41	非线性瞬态动力·复杂动态载荷	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 1.0000$ m (非	$\sigma_{\max}=644064.6075$ Pa; $u_{\max}=6.6114e-07$ m	收敛/正常结束 (solver 测试清单 success)	σ 占上限 =0.0129%; u 占上限 =6.6114e-05%	是	是
42	线弹性静力·两体 Steel - Al 装配; 底...	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 1.0000$ m (非	$\sigma_{\max}=4.3337e+07$ Pa; $u_{\max}=3.2123e-05$ m	收敛/正常结束 (启动求解_stdout EXIT_CO...)	σ 占上限 =0.8667%; u 占上限 =0.0032%	是	是
43	线弹性静力·底部固定 + 顶部集中力	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 1.0000$ m (非	$\sigma_{\max}=551050.8593$ Pa; $u_{\max}=8.3500e-07$ m	收敛/正常结束 (启动求解_stdout EXIT_CO...)	σ 占上限 =0.0110%; u 占上限 =8.3500e-05%	是	是

	10kN						
44	线弹性静力・底部固定 + 顶部位移约束 0. ...	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 1.0000$ m (非	$\sigma_{\max}=-$; $u_{\max}=-$	收敛/正常结束 (bound_测试清单 _success (无 ...))	—	是	是
45	非线性静力・塑性均布压力	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 1.0000$ m (非	$\sigma_{\max}=4.4282e+09$ Pa; $u_{\max}=0.0032$ m	收敛/正常结束 (启动求解 _stdout EXIT_CO...)	σ 占上限 =88.5635%; u 占上限 =0.3238%	是	是
46	非线性静力・大变形几何非线性	测试清单上限 $\sigma \leq 5.0000e+09$ Pa; $u \leq 1.0000$ m (非	$\sigma_{\max}=138793.5073$ Pa; $u_{\max}=1.7652e-07$ m	收敛/正常结束 (启动求解 _stdout EXIT_CO...)	σ 占上限 =0.0028%; u 占上限 =1.7652e-05%	是	是
47	非线性静力・材料非线性超弹性	见 测试清单 s6 准则 (CFD/多物理场无闭式理论解)	result_DEPL: min=-5.2114e-09 max=6.2506	正常结束	—	是	是
48	非线性热・温度相关材料属性	$T \in [278.1500K, 398.1500K]$; $T_{\text{init}}=293.150$	$T_{\min}=293.1500K$; $T_{\max}=393.1500K$	收敛/正常结束 (启动求解 _stdout EXIT_CO...)	$T_{\max}$ 相对 BC=2.8917e-14%	是	是
49	非线性热・相变问题	$T \in [258.1500K, 410.2929K]$; $T_{\text{init}}=273.150$	$T_{\min}=273.1500K$; $T_{\max}=319.8538K$	收敛/正常结束 (启动求解 _stdout EXIT_CO...)	$T_{\max}$ 相对 BC=9.1093%	是	是
50	非线性热・非线性辐射	$T \in [278.1500K, 478.1500K]$; $T_{\text{init}}=293.150$	$T_{\min}=293.1261K$; $T_{\max}=473.1500K$	正常结束	$T_{\max}$ 相对 BC=4.8055e-14%	是	是
51	稳态线性热・底部对流 + 顶部热流	$T \in [473.1500K, 548.1500K]$; $T_{\text{init}}=293.150$	$T_{\min}=486.8192K$; $T_{\max}=533.4489K$	收敛/正常结束 (启动求解 _stdout EXIT_CO...)	$T_{\min}$ 相对 $T_{\text{eq}}=-$ 0.2726%	是	是
52	稳态线性热・复杂边界 + 辐射	$T \in [278.1500K, 358.1500K]$; $T_{\text{init}}=293.150$	$T_{\min}=298.7660K$; $T_{\max}=373.1500K$	正常结束	$T_{\max}$ 相对 BC=5.6633%	是	是
53	直接热-结构・直接耦合	$T \in [278.1500K, 458.1500K]$; $T_{\text{init}}=293.150$	$T_{\min}=298.1500K$; $T_{\max}=453.1500K$	收敛/正常结束 (启动求解 _stdout EXIT_CO...)	$T_{\max}$ 相对 BC=2.5088e-14%	是	是
54	直接热-结构・温度相关材料	$T \in [278.1500K, 478.1500K]$; $T_{\text{init}}=293.150$	$T_{\min}=298.1500K$; $T_{\max}=473.1500K$	收敛/正常结束 (启动求解 _stdout EXIT_CO...)	$T_{\max}$ 相对 BC=2.4028e-14%	是	是
55	直接热-结构・复杂相互作用	$T \in [278.1500K, 298.1500K]$; $T_{\text{init}}=293.150$	$T_{\min}=293.1500K$; $T_{\max}=293.1502K$	收敛/正常结束 (bound_测试清单 _success	在 测试清单 温度范围内	是	是

				(无 ...)			
56	顺序热-结构耦合 (仿真类型固定为 therm...	见 测试清单 s6 准则 (CFD/多物理场无闭式理论解)	THERM_STEP_FLUX: min=-2.0598e+06 max=961	收敛/正常结束 (启动求解 stdout EXIT_CO...)	—	是	是
57	顺序热-结构 • 瞬态热 + 热应力	$T \in [283.1500K, 428.1500K]$; $T_{init}=298.150$	$T_{min}=298.1500K$; $T_{max}=423.1500K$	收敛/正常结束 (启动求解 stdout EXIT_CO...)	T_{max} 相对 BC=2.6867e-14%	是	是
58	顺序热-结构 • 复杂热-结构耦合	$T \in [278.1500K, 318.1500K]$; $T_{init}=293.150$	$T_{min}=293.1189K$; $T_{max}=313.1500K$	收敛/正常结束 (启动求解 stdout EXIT_CO...)	T_{max} 相对 BC=3.6304e-14%	是	是
59	强耦合热-结构 • 强耦合迭代	$T \in [278.1500K, 398.1500K]$; $T_{init}=293.150$	$T_{min}=293.0817K$; $T_{max}=393.1500K$	收敛/正常结束 (启动求解 stdout EXIT_CO...)	T_{max} 相对 BC=2.8917e-14%	是	是
60	强耦合热-结构 • 非线性热-结构	$T \in [278.1500K, 528.1500K]$; $T_{init}=293.150$	$T_{min}=293.1494K$; $T_{max}=523.1500K$	收敛/正常结束 (启动求解 stdout EXIT_CO...)	T_{max} 相对 BC=4.3462e-14%	是	是
61	强耦合热-结构 • 复杂强耦合	$T \in [278.1500K, 338.1500K]$; $T_{init}=293.150$	$T_{min}=293.1500K$; $T_{max}=333.1500K$	收敛/正常结束 (启动求解 stdout EXIT_CO...)	T_{max} 相对 BC=3.4125e-14%	是	是
62	瞬态线性热 • 瞬态加热 + 对流冷却	$T \in [278.1500K, 412.4357K]$; $T_{init}=298.150$	$T_{min}=298.0784K$; $T_{max}=311.2469K$	收敛/正常结束 (启动求解 stdout EXIT_CO...)	T_{min} 相对初温=-0.0240%; 瞬态: 不以 T_{eq} 与 T_m	是	是
63	瞬态线性热 • 周期性热载荷	$T \in [278.1500K, 401.7214K]$; $T_{init}=293.150$	$T_{min}=293.1500K$; $T_{max}=299.4749K$	收敛/正常结束 (启动求解 stdout EXIT_CO...)	T_{min} 相对初温=-6.4254e-06%	是	是
64	瞬态线性热 • 复杂瞬态热边界	$T \in [278.1500K, 378.1500K]$; $T_{init}=293.150$	$T_{min}=293.1498K$; $T_{max}=373.1500K$	正常结束	T_{min} 相对初温=-7.0928e-05%	是	是