

目录

1. 几何	2
1.1. 添加	2
1.1.1. 点	2
1.1.2. 直线	2
1.1.3. 圆弧	2
1.1.4. 矩形	2
1.1.5. 圆	2
1.2. 删除	2
2. 网格	3
2.1. 2D	3
2.2. 网格约束	3
2.3. 网格重组	3
2.4. 网格优化	3
2.5. 质量检查	3
3. 求解器	5
3.1. 加载网格	5
3.2. 初始化	5
3.3. 边界条件	5
3.3.1. 力边界	5
3.3.2. 位移边界	5
3.4. 求解	5
4. 后处理	6
5. 常规	7
5.1. TubeOracle 工程	7
5.1.1. 新建	7
5.1.2. 打开	7
5.2. 模型选项（可更改）	7
5.2.1. 几何选项	7
5.2.2. 网格选项	8
5.2.3. 求解器选项	10
5.2.4. 后处理选项	11
5.3. 更多帮助	11
5.3.1. 文档	11
5.3.2. 快捷键	11
5.3.3. 颜色	12
5.3.4. 关于 TubeOracle	13

1. 几何

TubeOracle 的约定坐标系统：x 轴向右为正，y 轴向下为正。在建模过程中以及其它涉及坐标计算的场景时请注意辨别。

1.1. 添加

1.1.1. 点

向当前几何模型添加一个二维点实体，输入 (x, y, lcc) ，输入方式：键盘输入，其中 lcc 为该几何点构建网格时的网格大小约束。理论上允许同一位置的重复点存在，但这会为模型本身和计算带来额外的负担（其他实体亦如此）。

1.1.2. 直线

向当前几何模型添加一条一维直线，输入（点 1，点 2），输入方式：鼠标输入。

1.1.3. 圆弧

向当前几何模型添加一条一维圆弧线，输入（起点，圆心，终点），输入方式：鼠标输入。添加圆弧线的最大范围为 180° ，由起点逆时针方向指向终点。注意：此方法必须提前添加圆心，故在网格构建中可能产生圆心位置的无用节点。

1.1.4. 矩形

向当前几何模型添加一个矩形，输入 (x, y, w, h) ，其中第一第二参数为矩形的左上端点坐标，第三第四参数为矩形的宽高，输入方式：键盘输入。此方法的本质实为添加矩形的四个端点和四条直线边，不包含曲线环路和二维平面。

1.1.5. 圆

向当前几何模型添加一个圆，输入 (x, y, r) ，其中第一第二参数为圆心坐标，第三参数为此圆的曲率半径，输入方式：键盘输入。此方法的本质实为四段四分之一圆弧，其中包含圆弧与圆心正交系的四个交点以及对应四段圆弧，不包含曲线环路和平面。

1.2. 删除

删除当前几何模型中的指定实体（暂未支持）。

2. 网格

2.1. 2D

构建二维网格，由 gmsh 网格生成器自动构建基于当前几何模型的 2D 网格（默认为三角形单元），无输入。此方法可由 Mesh 选项设置用户需要的 2D 网格算法，成功返回时自动将网格文件写入当前工作目录。

2.2. 网格约束

设置曲线网格约束，指定曲线上的最大网格节点数量（曲线上的最大网格数量 = 最大节点数量 - 1），输入 (n, curve1, curve2, ...)，输入方式：键盘+鼠标输入。此方法依靠鼠标选择模式，支持为多条曲线同时设置网格约束。

2.3. 网格重组

对当前网格进行网格重组以提升网格质量，无输入。此方法可由 Mesh 选项设置用户需要的网格重组算法，成功返回时自动将新的网格写入当前工作目录（此方法未实现）。

2.4. 网格优化

对当前网格进行优化以提升网格质量，无输入。此方法可由 Mesh 选项设置用户需要的 2D 网格优化算法，成功返回时自动将新的网格写入当前工作目录。

2.5. 质量检查

网格质量检查，无输入。此方法将计算当前 2D 网格单元的质量参数，包括但不限于 (minDetJac, maxDetJac, minSJ, minSICN, minSIGE, gamma, minIsotropy, angleShape)。以下是对部分列举指标的简明解释：

"minDetJac"和"maxDetJac"：取值范围是 $[0, \infty)$ ，其中 0 表示元素退化为线或点，值越接近 1 表示元素形状较好，值越大表示元素扭曲程度越严重。

"minSJ"：取值范围是 $[0, 1]$ ，值越接近 1 表示网格元素形状较好，值越小表示网格元素扭曲程度越严重。

"minSICN"：取值范围是 $[0, \infty)$ ，值越大表示网格元素数值稳定性越差。

"minSlGE": 取值范围是 $[0, \infty)$, 值越大表示梯度误差越大。

"gamma": 取值范围是 $[0, 1]$, 值越接近 1 表示网格元素形状越好。

"minIsotropy": 取值范围是 $[0, \infty)$, 值越大表示网格元素各向同性程度越好。

"angleShape": 取值范围是 $[0, \pi/2]$, 值越接近 0 表示网格元素角度形状越好。

目前提供 gamma 值的质量检查直方图。

3. 求解器

3.1. 加载网格

加载正确的网格数据到 TubeOracle，将网格拓扑结构在视图层渲染以获取元素输入句柄。此过程是求解器工作的必要步骤。

3.2. 初始化

此方法用于有限元求解器。对已加载的有效网格数据进行读取并合并，初始化总刚度矩阵。此过程是有限元法求解的必要步骤。注意：该过程会自动剔除包含在网格数据中的无效值，如孤立节点和孤立单元。

3.3. 边界条件

3.3.1. 力边界

力边界是为网格加载外力的过程，输入：（节点，力），输入方式：鼠标+键盘输入。其中，集中力支持多点共享同一集中力边界，即可以由鼠标选择模式批量输入指定节点，再由键盘输入集中力值进行统一边界计算。分布力输入包含分布端点、分布力值，采用等效集中力方式分配分布力边界。注意：分布力目前只支持水平和竖直直线边界。

3.3.2. 位移边界

位移边界包含水平和竖直位移量，以及固定边界。其中，水平和竖直位移分别考虑了节点位置的初始位移量（如热效应、磁效应），固定边界即水平或竖直边界位移为 0。实际上，水平和竖直位移已经包含了固定约束。有限元法的边界设置，本质上是对刚度矩阵的修改，即在不同的边界环境下，模型整体的刚度受到其内部有限单元刚度的影响。

3.4. 求解

TubeOracle 求解器的求解模块设计为有限元法和物质点法（暂未支持）。其中有限元法为当前求解的默认方法。考虑到求解效率问题，TubeOracle 引入矩阵运算工具 Eigen，并以 MKL 作为 Eigen 底层以提高运算效率，当前版本下，仅支持高斯消去法（默认）和 Eigen（with MKL）两种有限元求解算法。

4. 后处理

后处理模块支持求解结果输出(默认格式为.txt)和数据点云图的绘制与保存(默认格式为.png)。数据输出包含“位移.txt”和“应力应变.txt”两份文本文件，详细格式请见具体输出文件。图像输出包含三向应力应变共六份数据点云图，程序结束前或保存前可根据色条再适应需要的颜色分布。图像默认分辨率为 800x600。

5. 常规

5.1. TubeOracle 工程

5.1.1. 新建

自定义工程名称和路径，新建一个工程目录并初始化同名几何文件（.geo），同步加载几何模型，工作台启动（未加载几何模型前工作台不可用）。

5.1.2. 打开

打开现有几何文件（.geo）并加载同步几何模型，工作台启动。

5.2. 模型选项（可更改）

5.2.1. 几何选项

外观：

- **点大小（实体）**

- 值： 0-99.99 (double)
- 描述： 该属性定义了用于绘制实体点的画笔宽度。
- 默认值： 4.00

- **选中点大小**

- 值： 0-99.99 (double)
- 描述： 该属性定义了用于绘制被选中的实体点的画笔宽度。
- 默认值： 5.00

- **线宽（实体）**

- 值： 0-99.99 (double)
- 描述： 该属性定义了用于绘制实体一维曲线的画笔宽度。包括直线和圆弧两种一维曲线。
- 默认值： 2.00

- **选中线宽**

- 值： 0-99.99 (double)
- 描述： 该属性定义了用于绘制被选中的实体曲线的画笔宽度。
- 默认值： 2.50

- **几何缩放**

- 值： 0-999.99 (double)
- 描述： 该属性定义了当前视图上实体和元素绘制位置相对于原始坐标位置（值为 1）的倍数，此属性将在模型视图非常大或非常小而无法清晰渲染时产生作用。
- 默认值： 50.00

- **平面效果**
 - 值: cross
solid
 - 描述: 该属性定义了几何平面的渲染效果, 若值为 cross, 则平面将以轮廓虚线呈现; 若值为 solid, 则平面以特定的颜色完全填充。
 - 默认值: cross

视图过滤: (暂未支持)

- **点标签 (实体)**
 - 值: 选中
不选中
 - 描述: 该属性定义了是否显示所有点的标签。你可以根据需要在任何时间更改选中状态。
 - 默认值: 不选中
- **线标签 (实体)**
 - 值: 选中
不选中
 - 描述: 该属性定义了是否显示所有一维曲线的标签。一维曲线包括所有直线和圆弧。你可以根据需要在任何时间更改选中状态。
 - 默认值: 不选中
- **平面标签 (实体)**
 - 值: 选中
不选中
 - 描述: 该属性定义了是否显示所有二维平面的标签。你可以根据需要在任何时间更改选中状态。
 - 默认值: 不选中

5.2.2. 网格选项

一般:

- **2D 算法**
 - 值: MeshAdapt
Automatic
Delaunay
Frontal-Delaunay
BAMG
Frontal-Delaunay for Quads
 - 描述: 该属性定义了网格生成器将使用的二维网格算法。MeshAdapt 算法是一种自适应网格生成和优化算法, 能够动态调整网格结构以提高数值模拟的准确性和效率。优点包括提高模拟准确性、节省计算资源和自动化操作, 但缺点是计算复杂度高且需要合适的误差估计方法。Automatic 算法是一种自动网格生成算法, 能够根据

几何形状和边界条件自动生成适合数值模拟的网格结构。该算法具有自动化操作、适用于各种几何形状和边界条件等优点，但可能受到网格质量和计算效率的限制。Delaunay 算法是一种用于三角形网格生成的算法，通过构建 Delaunay 三角剖分来生成网格。该算法具有生成简洁且高质量的三角形网格、数学性质良好等优点，但在处理复杂几何形状时可能存在挑战。Frontal-Delaunay 算法是一种改进的 Delaunay 算法，能够在生成三角形网格的同时保持网格的 Delaunay 性质。该算法具有生成高质量的三角形网格、较好的数学性质等优点，但在处理大规模数据时可能会受到计算效率的限制。BAMG 算法是一种基于解可压缩流体动力学方程的网格生成算法，能够生成适用于流体动力学模拟的高质量网格。该算法具有适用于复杂流场模拟、高质量网格生成等优点，但在处理非结构化网格时可能存在一些挑战。Frontal-Delaunay for Quads 算法是一种用于四边形网格生成的算法，能够生成高质量的四边形网格结构。该算法具有生成简洁且高质量的四边形网格、适用于各种几何形状等优点，但可能在处理复杂几何形状时存在一些限制。

- 默认值: Frontal-Delaunay
- **2D 优化算法**
 - 值: Default tetrahedral
Netgen
HighOrder
HighOrderElastic
HighOrder-FastCurving
Laplace2D
QuadQuasiStructured
 - 描述: 该属性定义了网格生成器将使用的二维网格优化算法。Default tetrahedral 算法是一种默认的四面体网格优化算法，用于优化生成的四面体网格结构。该算法通常用于简单几何形状和边界条件下，具有简单易用的特点，但在复杂几何形状和高精度要求下可能表现不佳。Netgen 算法是一种通用的网格生成和优化算法，能够生成适用于各种数值模拟的高质量网格结构。该算法具有适用性广泛、生成高质量网格等优点，但在处理大规模数据时可能会受到计算效率的限制。HighOrder 算法是一种高阶网格生成和优化算法，能够生成高阶元素网格用于高阶数值模拟。该算法具有适用于高阶数值方法、提高数值模拟精度等优点，但在处理复杂几何形状时可能需要更多计算资源。HighOrderElastic 算法是一种用于弹性力学问题的高阶网格优化算法，能够生成适用于弹性力学模拟的高阶网格结构。该算法具有适用于弹性力学问题、提高模拟精度等优点，但在处理大规模数据时可能会受到计算效率的限制。HighOrder-FastCurving 算法是一种快速曲线高阶网格生成算法，能够快速生成用于高阶数值模拟的曲线网格结构。该算法具有快速生成高阶曲线网格、适用于复杂几何形状等优点，但可能在处理非结构化数据时存在一些挑战。Laplace2D 算法是一种基

于拉普拉斯方程的二维网格优化算法，能够优化生成的二维网格结构。该算法具有简单易用、适用于二维问题等优点，但在处理三维问题时不适用。QuadQuasiStructured 算法是一种用于四边形准结构化网格的优化算法，能够优化生成的四边形网格结构。该算法具有生成简洁且高质量的四边形网格、适用于准结构化网格等优点，但可能在处理复杂几何形状时存在一些限制。

- 默认值: Netgen

外观:

- **节点大小**

- 值: 0-99.99 (double)
- 描述: 该属性定义了用于绘制元素节点的画笔宽度。
- 默认值: 3.00

- **边线宽度**

- 值: 0-99.99 (double)
- 描述: 该属性定义了用于绘制元素边线的画笔宽度。
- 默认值: 1.00

视图过滤: (暂未支持)

- **节点标签**

- 值: 选中
不选中
- 描述: 该属性定义了是否显示所有网格节点的标签。
- 默认值: 不选中

- **2D 单元标签**

- 值: 选中
不选中
- 描述: 该属性定义了是否显示所有二维网格单元的标签。
- 默认值: 不选中

- **2D 单元表面**

- 值: 选中
不选中
- 描述: 该属性定义了是否显示所有二维网格单元的表面填充。
- 默认值: 不选中

5.2.3. 求解器选项

暂无

5.2.4. 后处理选项

暂无

5.3. 更多帮助

5.3.1. 文档

打开此软件的说明文档“TubeOracle.pdf”，这应当在指定的安装目录下搜索（如果存在的话）。

5.3.2. 快捷键

TubeOracle 为用户提供了部分快捷键以更便捷地完成工作。

Keys	Function	Keys	Function
Ctrl+N	新建工程	Alt+O	打开选项面板
Ctrl+O	打开工程	Alt+D	打开说明文档
Ctrl+M	窗口最大化	Alt+K	查看快捷键说明
E/e	确认将选中要素加入几何模型	Alt+C	查看颜色说明
Q/q	退出鼠标选择模式	Alt+A	关于
Alt+R	重置视图缩放和旋转		

5.3.3. 颜色

TubeOracle 为不同几何实体提供了用于区分的特征颜色。

Color Type	Explain
Point	RGB[90, 90, 90]
Line	RGB[0, 0, 255]
Node	RGB[255, 120, 0]
Edge	RGB[0, 255, 192]
Geo Surface	RGB[128, 128, 128]
Mesh Surface	RGB[0, 255, 132]

5.3.4. 关于 TubeOracle

TubeOracle

Version : 1.0

Copyright (C) 2024

Zihao Cai , Dianyong Zhu and Qiongyong Guo

Please report all issues on
zihao cai0305300@gmail.com

- Build OS* : Windows x64
- Build date* : 20240415
- Gmsh Version* : 4.12.1
- QT Version* : 5.14.2
- OCC version* : 7.7.2
- Qcustomplot Version* : 2.1.1
- License* : GNU General Public License
- Packaged by* : HM NIS Edit 2.0.3