

Scordelis-Lo 屋面壳体基准模型

本模型基于《COMSOL 软件许可协议》 6.3 版本授权。
所有商标均为其各自所有者的财产。请参见 cn.comsol.com/trademarks。

简介

在以下示例中，您将使用 “壳”接口构建三维壳模型并求解。本例是一个广泛使用的基准模型，称为 Scordelis-Lo 屋面，其中将计算出的最大 *z* 变形与参考资料 1 中给出的值进行比较。

模型定义

几何结构

几何结构由一个曲面组成，如图 1 所示。由于对称性，这里仅分析四分之一的几何结构。

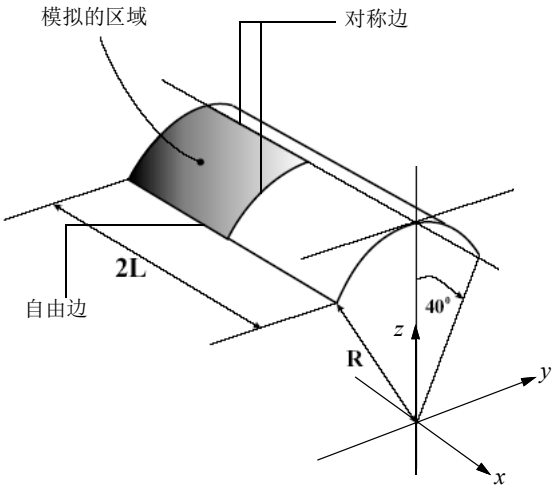


图 1：Scordelis-Lo 屋面壳体基准模型的几何结构。

- 屋面长度 $2L = 50$ m
- 屋面半径 $R = 25$ m。

材料

- 材料为各向同性材料，杨氏模量设为 $E = 4.32 \cdot 10^8$ N/m^2。
- 泊松比设为 $\nu = 0.0$。

约束

- 外直边为自由边。
- 外曲边受到约束，无法沿 *y* 和 *z* 方向平移。
- 屋面顶部的直边受到对称边约束。
- 内曲边也受到对称约束。

载荷

在表面的 *z* 方向施加单位面积力 –90 N/m^2。

结果与讨论

默认网格设置下全局 *z* 方向的最大变形如图 2 所示。计算出的值为 –0.303 m。

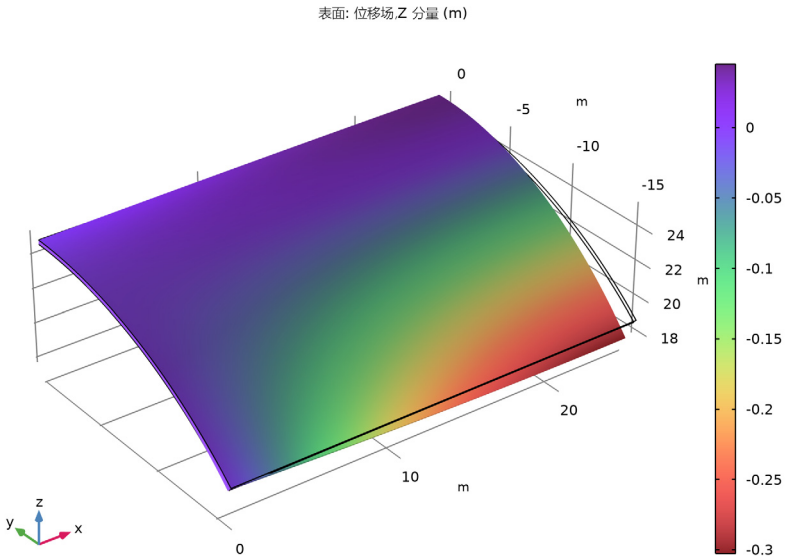


图 2：含 176 个三角形单元的 z 向位移。

改为映射网格后，将使用效率更高的四边形单元。结果为 –0.301 m，如图 3 所示。使用非常细化的网格的情况下，该值收敛为 –0.302 m，如图 4 所示。参考资料 1 中引用的中间垂直位移的参考解为 –0.3086 m。事实上，在其他已发表的基准结果中该值为

–0.302 m，被视为此问题的收敛值。不同单元类型和网格密度的性能汇总见表格 1。可以看出，即使网格相当粗化，结果仍非常理想。

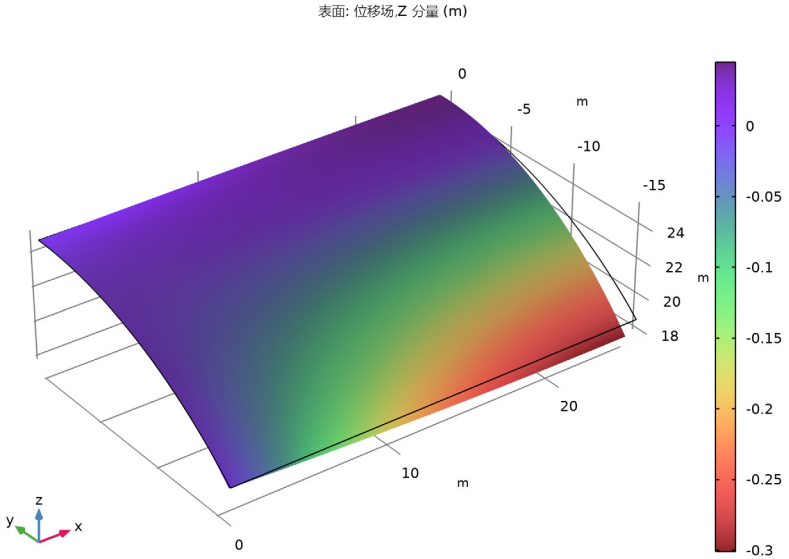


图 3：含 70 个四边形单元的 z 向位移。

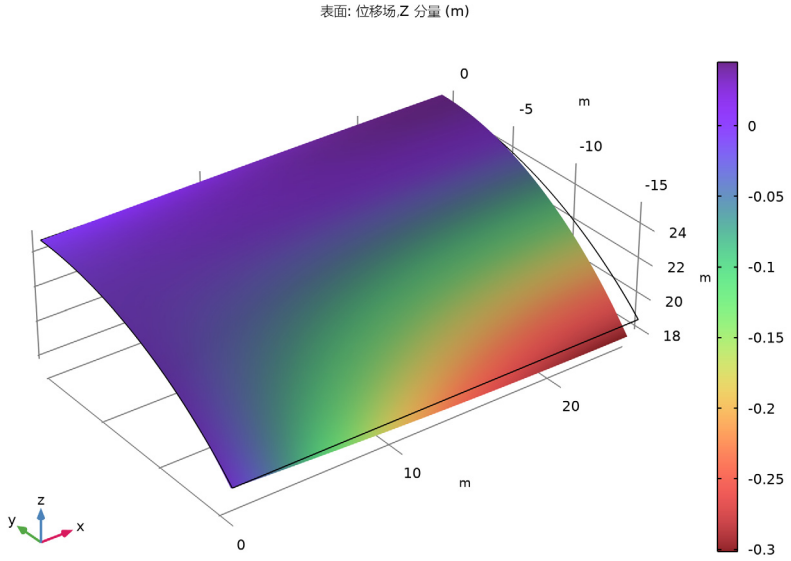


图 4：含 580 个四边形单元的 z 向位移。

表格 1：中点垂直位移的收敛性。

网格大小设置	单元类型	单元数	中点位移
更粗	三角形	64	-0.304
更粗	四边形	24	-0.300
常规	三角形	176	-0.303
常规	四边形	70	-0.301
超细	三角形	1384	-0.302
超细	四边形	580	-0.301

参考资料

1. R.H. MacNeal and R.L. Harder, *Proposed Standard Set of Problems to Test Finite Element Accuracy*, Finite Elements in Analysis and Design, 1, 1985.

案例库路径：`Structural_Mechanics_Module/Verification_Examples/scordelis_lo_roof`

建模操作说明

从**文件**菜单中选择**新建**。

新 建

在**新建**窗口中，单击 **模型向导**。

模 型 向 导

1 在**模型向导**窗口中，单击 **三维**。

2 在**选择物理场**树中选择**结构力学** > **壳 (shell)**。

3 单击**添加**。

4 单击 **研究**。

5 在**选择研究**树中选择**一般研究** > **稳态**。

6 单击 **完成**。

几 何 1

工作平面 1 (wp1)

1 在**几何**工具栏中单击 **工作平面**。

2 在**工作平面**的**设置**窗口中，单击 **转到平面几何**。

工作平面 1 (wp1) > 平面几何

在**模型开发器**窗口中，单击**平面几何**。

工作平面 1 (wp1) > 多边形 1 (pol1)

1 在**工作平面**工具栏中单击 **多边形**。

2 在**多边形**的**设置**窗口中，定位到**坐标**栏。

3 在表中输入以下设置：

xw (m)	yw (m)
0	25
25	25

4 右键单击**多边形 1 (pol1)** 并选择**构建所有对象**。

回转 1 (rev1)

1 在**模型开发器**窗口的**组件 1 (comp1)** > **几何 1**节点下，右键单击**工作平面 1 (wp1)**并选择**回转**。

2 在**回转**的**设置**窗口中，定位到**旋转角度**栏。

3 单击**角度**按钮。

4 在**起始角度**文本框中键入 “90”。

5 在**终止角度**文本框中键入 “90+40”。

6 定位到**旋转轴**栏。找到**旋转轴方向**子栏。在 **xw** 文本框中键入 “1”。

7 在 **yw** 文本框中键入 “0”。

8 单击 **构建选定对象**。

9 在**图形**工具栏中单击 **缩放到窗口大小**按钮。

形成联合体 (fin)

1 在**模型开发器**窗口中，单击**形成联合体 (fin)**。

2 在**形成联合体 / 装配**的**设置**窗口中，单击 **构建选定对象**。

壳 (SHELL)

厚度和偏移 1

1 在**模型开发器**窗口的**组件 1 (comp1)** > **壳 (shell)** 节点下，单击**厚度和偏移 1**。

2 在**厚度和偏移**的**设置**窗口中，定位到**厚度和偏移**栏。

3 在 d_0 文本框中键入 “0.25”。

对称 1

1 在**物理场**工具栏中单击 **边**，然后选择**对称**。

2 选择 “边” 3 和 4。

指定位移 / 旋转 1

1 在**物理场**工具栏中单击 **边**，然后选择**指定位移 / 旋转**。

2 选择 “边” 1。

3 在**指定位移 / 旋转**的**设置**窗口中，定位到**指定位移**栏。

4 从 **y 方向的位移**列表中选择**指定**。

5 从 **z 方向的位移**列表中选择**指定**。

面载荷 1

1 在**物理场**工具栏中单击 **边界**，然后选择**面载荷**。

2 选择 “边界” 1。

3 在**面载荷**的**设置**窗口中，定位到**力**栏。

4 将 $\mathbf{f}_A$ 矢量指定为

0	x
0	y
-90	z

材料

材料 1 (mat1)

1 在**模型开发器**窗口的**组件 1 (comp1)** 节点下，右键单击**材料**并选择**空材料**。

2 在**材料**的**设置**窗口中，定位到**材料明细**栏。

3 在表中输入以下设置：

属性	变量	值	单位	属性组
杨氏模量	E	4.32e8	Pa	杨氏模量和泊松比
泊松比	nu	0	1	杨氏模量和泊松比
密度	rho	1	kg/m³	基本

网格 1

首先，使用默认的三角形网格计算结果。

自由三角形网格 1

1 在**网格**工具栏中单击 **更多生成器**，然后选择**自由三角形网格**。

2 在**自由三角形网格**的**设置**窗口中，定位到**边界选择**栏。

3 从**选择**列表中选择**所有边界**。

4 单击 **全部构建**。

研究 1：三角形单元，常规

1 在**模型开发器**窗口中，单击**研究 1**。

2 在**研究**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “研究 1：三角形单元，常规”。

3 在**研究**工具栏中单击 **计算**。

结 果

垂直位移

在**三维绘图组**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “垂直位移”。

表面 1

1 在**模型开发器**窗口中展开**垂直位移**节点，然后单击**表面 1**。

2 在**表面**的**设置**窗口中，单击**表达式**栏右上角的**替换表达式**。从菜单中选择**组件 1 (comp1) > 壳 > 位移 > 位移场 - m > w - 位移场，Z 分量**。

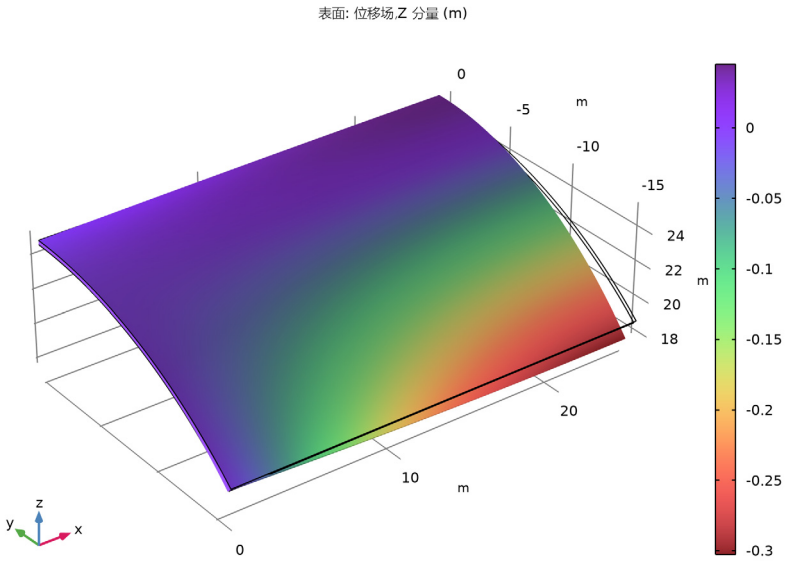
3 定位到**着色和样式**栏。从**颜色表**列表中选择 **SpectrumLight**。

4 从**颜色表转换**列表中选择**反转**。

垂直位移

1 在**模型开发器**窗口中，单击**垂直位移**。

2 在**垂直位移**工具栏中单击 **绘制**。



三角形单元，常规

1 在**模型开发器**窗口中展开**结果 > 数据集**节点，然后单击**研究 1：三角形单元，常规 / 解 1 (sol1)**。

2 在**解**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “三角形单元，常规”。

切换为更有效的四边形网格单元。

三角形单元，常规

1 在**模型开发器**窗口的**组件 1 (comp1)** 节点下，单击**网格 1**。

2 在**网格**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入“三角形单元，常规”。

四边形单元，常规

1 在**网格**工具栏中单击**添加网格**，然后选择**添加网格**。

2 在**网格**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入“四边形单元，常规”。

映射 1

1 在**网格**工具栏中单击 **更多生成器**，然后选择**映射**。

2 在**映射**的**设置**窗口中，定位到**边界选择**栏。

3 从**几何实体层**列表中选择**剩余部分**。

4 单击 **全部构建**。

添加研究

1 在**主屏幕**工具栏中，单击 **添加研究**以打开**添加研究**窗口。

2 转到**添加研究**窗口。

3 找到**研究**子栏。在**选择研究**树中选择**一般研究** > **稳态**。

4 单击窗口工具栏中的**添加研究**。

5 在**主屏幕**工具栏中，单击 **添加研究**以关闭**添加研究**窗口。

研究 2：四边形单元，常规

1 在**研究**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入“研究 2：四边形单元，常规”。

2 定位到**研究设置**栏。清除**生成默认绘图**复选框。

3 在**研究**工具栏中单击 **计算**。

结果

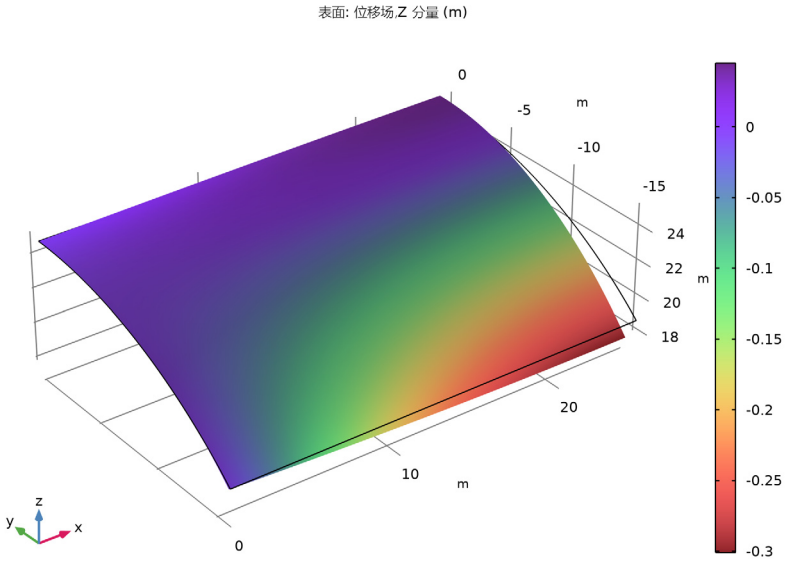
垂直位移

1 在**模型开发器**窗口的**结果**节点下，单击**垂直位移**。

2 在**三维绘图组**的**设置**窗口中，定位到**数据**栏。

3 从**数据集**列表中选择**研究 2：四边形单元，常规 / 解 2 (sol2)**。

4 在**垂直位移**工具栏中单击 **绘制**。



四边形单元，常规

1 在**模型开发器**窗口的**结果** > **数据集**节点下，单击**研究 2: 四边形单元，常规 / 解 2 (sol2)**。

2 在**解**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “四边形单元，常规”。

使用细化的四边形网格检验收敛良好的结果。

四边形单元，常规

在**模型开发器**窗口的**组件 1 (comp1)** > **网格**节点下，右键单击**四边形单元，常规**并选择**复制粘贴**。

四边形单元，超细

在**网格**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “四边形单元，超细”。

大小

1 在**模型开发器**窗口中展开**四边形单元，超细**节点，然后单击**大小**。

2 在**大小**的**设置**窗口中，定位到**单元大小**栏。

3 从**预定义**列表中选择**超细**。

4 单击 **全部构建**。

添加研究

1 在**主屏幕**工具栏中，单击 **添加研究**以打开**添加研究**窗口。

2 转到**添加研究**窗口。

3 找到**研究**子栏。在**选择研究**树中选择**一般研究** > **稳态**。

4 单击窗口工具栏中的**添加研究**。

5 在**主屏幕**工具栏中，单击 **添加研究**以关闭**添加研究**窗口。

研究 3：四边形单元，超细

1 在**研究**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “研究 3：四边形单元，超细”。

2 定位到**研究设置**栏。清除**生成默认绘图**复选框。

3 在**研究**工具栏中单击 **计算**。

结果

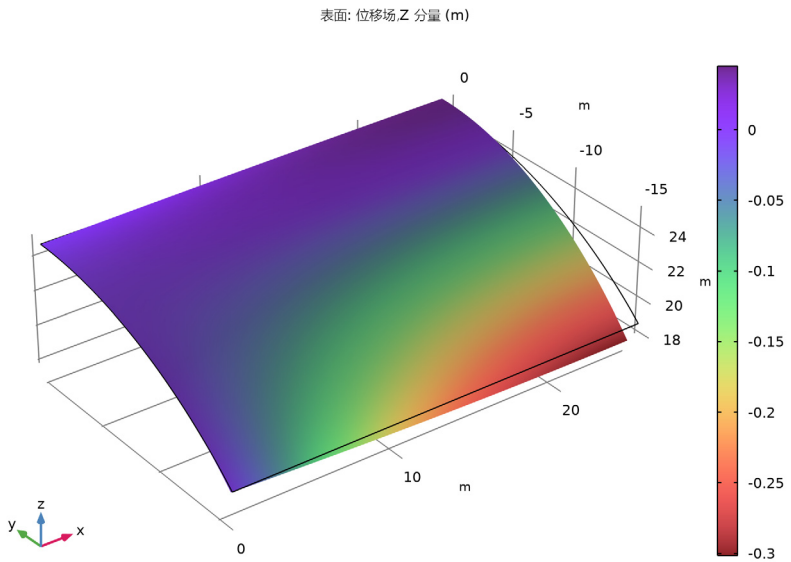
垂直位移

1 在**模型开发器**窗口的**结果**节点下，单击**垂直位移**。

2 在**三维绘图组**的**设置**窗口中，定位到**数据**栏。

3 从**数据集**列表中选择**研究 3：四边形单元，超细 / 解 3 (sol3)**。

4 在**垂直位移**工具栏中单击 **绘制**。



四边形单元，超细

1 在**模型开发器**窗口的**结果** > **数据集**节点下，单击**研究 3：四边形单元，超细 / 解 3 (sol3)**。

2 在**解**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “四边形单元，超细”。

使用三角形网格检验收敛良好的结果。

三角形单元，常规

在**模型开发器**窗口的**组件 1 (comp1)** > **网格**节点下，右键单击**三角形单元，常规**并选择**复制粘贴**。

三角形单元，超细

在**网格**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “三角形单元，超细”。

大小

1 在**模型开发器**窗口中展开**三角形单元，超细**节点，然后单击**大小**。

2 在**大小**的**设置**窗口中，定位到**单元大小**栏。

3 从**预定义**列表中选择**超细**。

4 单击 **全部构建**。

添加研究

1 在**主屏幕**工具栏中，单击 **添加研究**以打开**添加研究**窗口。

2 转到**添加研究**窗口。

3 找到**研究**子栏。在**选择研究**树中选择**一般研究** > **稳态**。

4 单击窗口工具栏中的**添加研究**。

5 在**主屏幕**工具栏中，单击 **添加研究**以关闭**添加研究**窗口。

研究 4：三角形单元，超细

1 在**研究**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “研究 4：三角形单元，超细”。

2 定位到**研究设置**栏。清除**生成默认绘图**复选框。

3 在**研究**工具栏中单击 **计算**。

结果

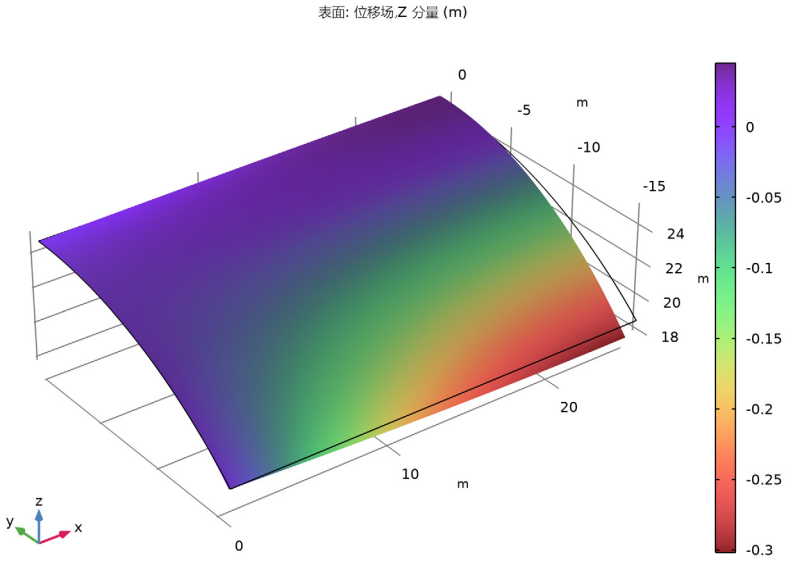
垂直位移

1 在**模型开发器**窗口的**结果**节点下，单击**垂直位移**。

2 在**三维绘图组**的**设置**窗口中，定位到**数据**栏。

3 从**数据集**列表中选择**研究 4：三角形单元，超细 / 解 4 (sol4)**。

4 在**垂直位移**工具栏中单击 **绘制**。



三角形单元，超细

1 在**模型开发器**窗口的**结果** > **数据集**节点下，单击**研究 4 三角形单元，超细 / 解 4 (sol4)**。

2 在**解**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “三角形单元，超细”。

研究在使用非常粗化的网格时这些单元的效果如何。

三角形单元，常规

在**模型开发器**窗口的**组件 1 (comp1)** > **网格**节点下，右键单击**三角形单元，常规**并选择**复制粘贴**。

三角形单元，更粗

在**网格**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “三角形单元，更粗”。

大小

1 在**模型开发器**窗口中展开**三角形单元，更粗**节点，然后单击**大小**。

2 在**大小**的**设置**窗口中，定位到**单元大小**栏。

3 从**预定义**列表中选择**更粗**。

4 单击 **全部构建**。

添加研究

1 在**主屏幕**工具栏中，单击 **添加研究**以打开**添加研究**窗口。

2 转到**添加研究**窗口。

3 找到**研究**子栏。在**选择研究**树中选择**一般研究** > **稳态**。

4 单击窗口工具栏中的**添加研究**。

5 在**主屏幕**工具栏中，单击 **添加研究**以关闭**添加研究**窗口。

研究 5：三角形单元，更粗

1 在**研究**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “研究 5：三角形单元，更粗”。

2 定位到**研究设置**栏。清除**生成默认绘图**复选框。

3 在**研究**工具栏中单击 **计算**。

结果

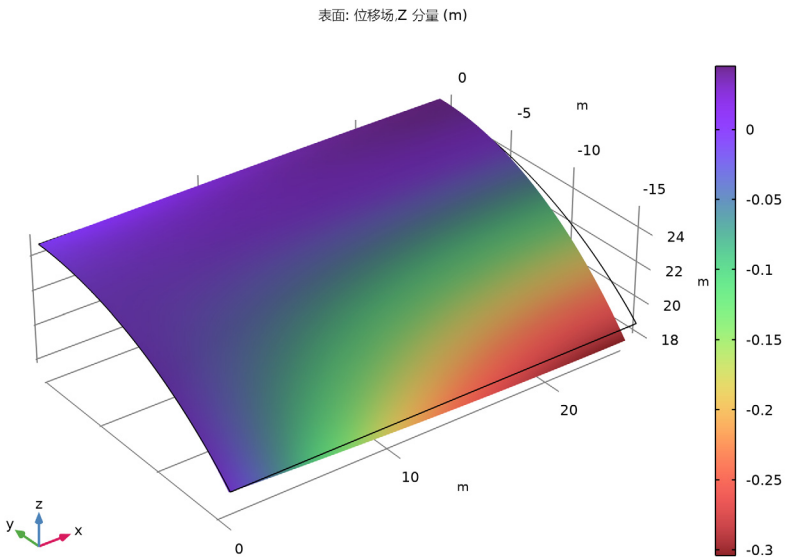
垂直位移

1 在**模型开发器**窗口的**结果**节点下，单击**垂直位移**。

2 在**三维绘图组**的**设置**窗口中，定位到**数据**栏。

3 从**数据集**列表中选择**研究 5：三角形单元，更粗 / 解 5 (sol5)**。

4 在**垂直位移**工具栏中单击 **绘制**。



三角形单元，更粗

1 在**模型开发器**窗口的**结果** > **数据集**节点下，单击**研究 5: 三角形单元，更粗 / 解 5 (sol5)**。

2 在**解**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “三角形单元，更粗”。

四边形单元，常规

在**模型开发器**窗口的**组件 1 (comp1)** > **网格**节点下，右键单击**四边形单元，常规**并选择**复制粘贴**。

四边形单元，更粗

在**网格**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “四边形单元，更粗”。

大小

1 在**模型开发器**窗口中展开**四边形单元，更粗**节点，然后单击**大小**。

2 在**大小**的**设置**窗口中，定位到**单元大小**栏。

3 从**预定义**列表中选择**更粗**。

添加研究

1 在**主屏幕**工具栏中，单击 **添加研究**以打开**添加研究**窗口。

2 转到**添加研究**窗口。

3 找到**研究**子栏。在**选择研究**树中选择**一般研究** > **稳态**。

4 单击窗口工具栏中的**添加研究**。

5 在**主屏幕**工具栏中，单击 **添加研究**以关闭**添加研究**窗口。

研究 6：四边形单元，更粗

1 在**研究**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “研究 6：四边形单元，更粗”。

2 定位到**研究设置**栏。清除**生成默认绘图**复选框。

3 在**研究**工具栏中单击 **计算**。

结果

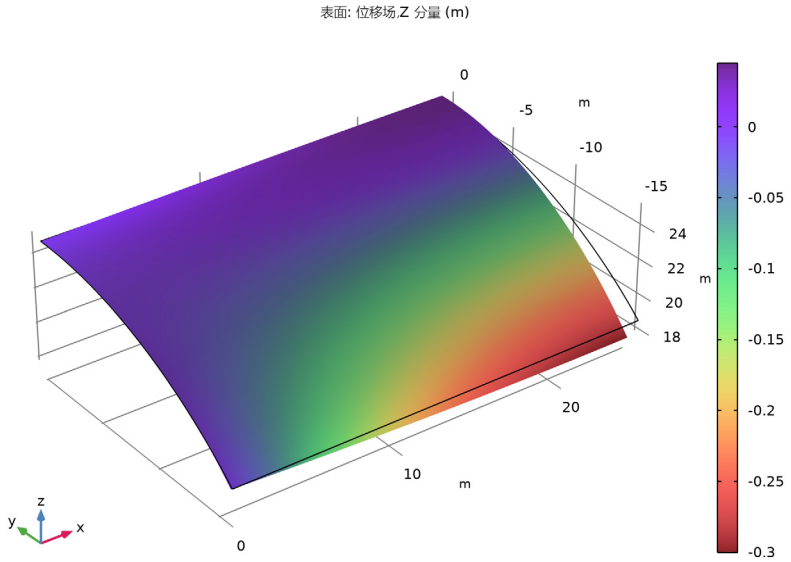
垂直位移

1 在**模型开发器**窗口的**结果**节点下，单击**垂直位移**。

2 在**三维绘图组**的**设置**窗口中，定位到**数据**栏。

3 从**数据集**列表中选择**研究 6：四边形单元，更粗 / 解 6 (sol6)**。

4 在**垂直位移**工具栏中单击 **绘制**。



四边形单元，更粗

1 在**模型开发器**窗口的**结果** > **数据集**节点下，单击**研究 6 四边形单元，更粗 / 解 6 (sol6)**。

2 在**解**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “四边形单元，更粗”。

下节比较不同单元类型和网格密度下垂直方向中点的最大变形。

点计算 1

1 在**结果**工具栏中单击 **点计算**。

2 选择 “点” 3。

3 在**点计算**的**设置**窗口中，定位到**表达式**栏。

4 在表中输入以下设置：

表达式	单位	描述
w	m	中点位移，三角形单元，常规

5 单击 **计算**。

点计算 2

1 右键单击**点计算 1** 并选择**复制粘贴**。

2 在**点计算**的**设置**窗口中，定位到**数据**栏。

3 从**数据集**列表中选择**四边形单元，常规 (sol2)**。

4 定位到**表达式**栏。在表中输入以下设置：

表达式	单位	描述
w	m	中点位移，四边形单元，常规

5 单击 **计算**旁边的 ▼，然后选择**表格 1 - 点计算 1**。

点计算 3

1 右键单击**点计算 2** 并选择**复制粘贴**。

2 在**点计算**的**设置**窗口中，定位到**数据**栏。

3 从**数据集**列表中选择**四边形单元，超细 (sol3)**。

4 定位到**表达式**栏。在表中输入以下设置：

表达式	单位	描述
w	m	中点位移，四边形单元，超细

5 单击 **计算**旁边的 ▼，然后选择**表格 1 - 点计算 1**。

点计算 4

1 右键单击**点计算 3** 并选择**复制粘贴**。

2 在**点计算**的**设置**窗口中，定位到**数据**栏。

3 从**数据集**列表中选择**三角形单元，超细 (sol4)**。

4 定位到**表达式**栏。在表中输入以下设置：

表达式	单位	描述
w	m	中点位移，三角形单元，超细

5 单击 **计算**旁边的 ▼，然后选择**表格 1 - 点计算 1**。

点计算 5

1 右键单击**点计算 4** 并选择**复制粘贴**。

2 在**点计算**的**设置**窗口中，定位到**数据**栏。

3 从**数据集**列表中选择**三角形单元，更粗 (sol5)**。

4 定位到**表达式**栏。在表中输入以下设置：

表达式	单位	描述
w	m	中点位移，三角形单元，更粗

5 单击 **计算**旁边的 ▼，然后选择**表格 1 - 点计算 1**。

点计算 6

1 右键单击**点计算 5** 并选择**复制粘贴**。

2 在**点计算**的**设置**窗口中，定位到**数据**栏。

3 从**数据集**列表中选择**四边形单元，更粗 (sol6)**。

4 定位到**表达式**栏。在表中输入以下设置：

表达式	单位	描述
w	m	中点位移，四边形单元，更粗

5 单击 **计算**旁边的 ，然后选择**表格 1 - 点计算 1**。