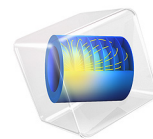


在 COMSOL Multiphysics 6.3 版本中创建



# 弹簧扣

简介

本模型模拟将弹簧扣插入槽中的过程。像这样的紧固件在汽车工业中很常见，例如用于汽车的控制面板上。在本例中，很重要的一点是要知道将弹簧扣放入槽中所必须施加的力，以及取出弹簧扣所需的力。从数值角度来看，这是一种高度非线性的结构分析，主要是因为弹簧扣与槽之间的接触相互作用，其次是为弹簧扣选择的弹塑性本构定律，最后是大位移引起的几何非线性。

模型定义

由于几何具有对称性，因此可以只研究原始弹簧扣几何形状的一半，从而可以缩减模型的大小。图 1 显示模拟的几何形状。

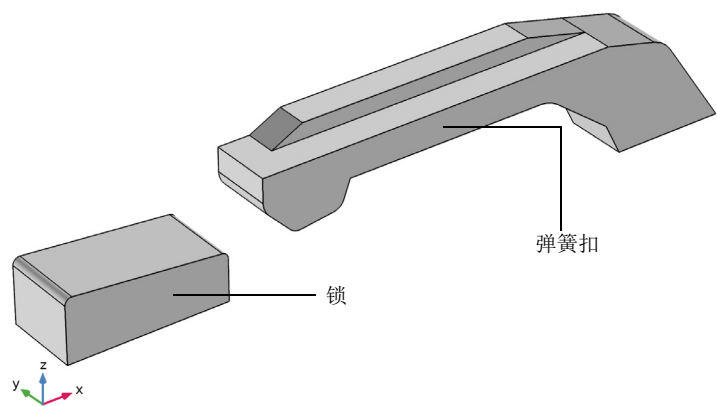


图 1：模拟的弹簧扣和锁紧机构的几何形状。

材料属性

我们假设弹簧扣是一个具有各向同性硬化和恒定切线硬化模量的弹塑性材料模型，其材料属性如下表所示。

材料参数	值
杨氏模量	10 GPa
泊松数	0.35

材料参数	值
屈服应力	120 MPa
各向同性切线模量	1.2 GPa

假定锁是刚性的，因此无需任何物理场或材料属性。

**边界条件**

- 我们将锁紧机构视为刚性，并将其建模为不定义任何物理场的已划分网格的表面。
- 在弹簧扣的最右侧底面上施加一个指定位移边界条件。通过使用参数化求解器逐渐改变  $x$  方向的位移；其他两个位移分量均为零。
- 在与  $xy$  平面对齐的边界上应用对称条件。
- 其他所有边界都是自由边界。不过，我们选择其中多个边界作为接触对的一部分，其目标侧位于弹簧扣表面。
- 弹簧扣与锁之间的接触通过罚公式进行建模，并使用库仑摩擦模型来模拟切向特性。

*结果*

最大 von Mises 应力水平出现在参数步长为 0.66 的位置，刚好在弹簧扣插入槽之前，请参见图 2。

插入和取出紧固件所需的力随位移发生变化，如图 3 所示。从图中可以看到明显的峰值，这些值与弹簧扣进入和脱离锁的实例一致。

弹簧扣的插入使其发生永久变形。如图 4 所示，在取出弹簧扣以后，有一个区域的塑性应变大于零，这说明弹簧扣尚未恢复到原始形状。

para(34)=0.66

体: von Mises 应力 (MPa)

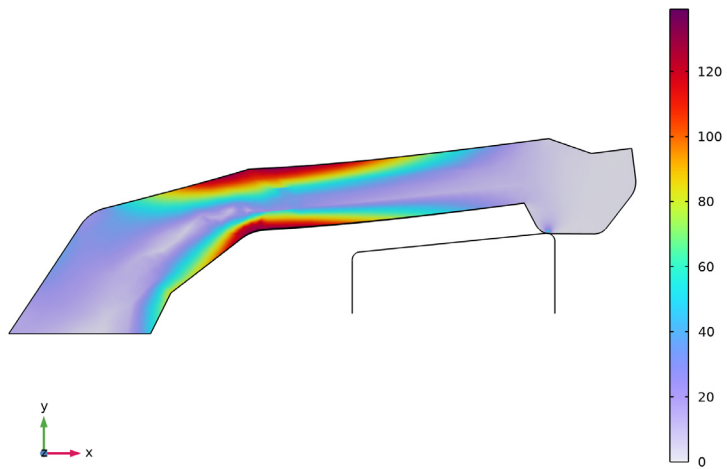


图2：弹簧扣即将进入槽时的 von Mises 应力分布。

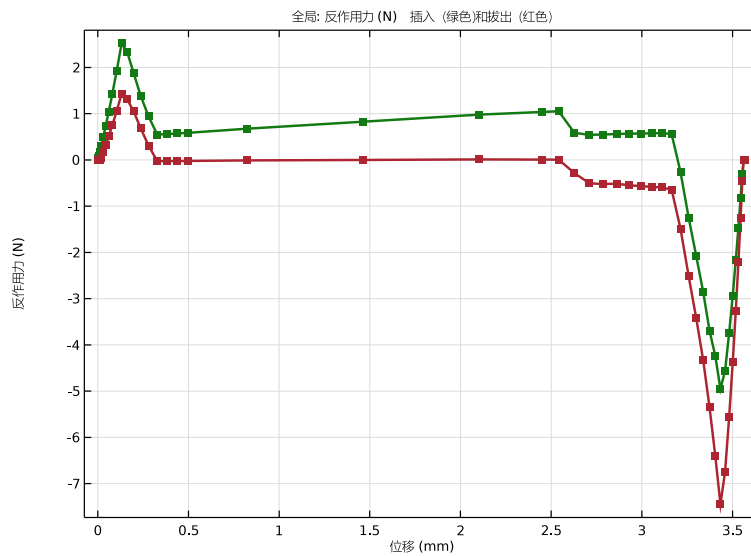


图3：紧固力随位移的变化情况。

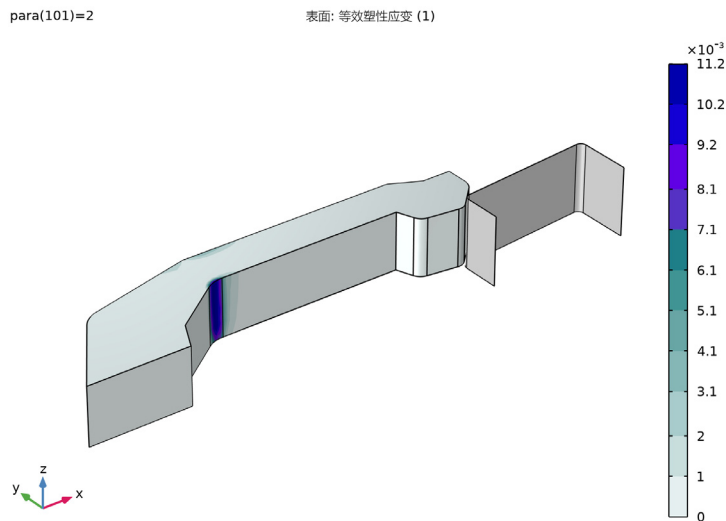


图4：弹簧扣从槽中取出后的等效塑性应变。

---

案例库路径: Nonlinear\_Structural\_Materials\_Module/Plasticity/snap\_hook


---

## 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 > 固体力学 (solid)**。
- 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

### 导入 1 (impl)

- 1 在几何工具栏中单击  导入。
- 2 在导入的设置窗口中，定位到源栏。
- 3 单击  浏览。
- 4 浏览到该 App 的“案例库”文件夹，然后双击文件 snap\_hook.mphbin。
- 5 单击  导入。

### 分割域 1 (pard1)




- 1 在几何工具栏中单击  布尔操作和分割，然后选择分割域。
- 2 在对象 **impl(2)** 中，选择“域”1。
- 3 在分割域的设置窗口中，定位到分割域栏。
- 4 从分割方式列表中选择延伸面。
- 5 在对象 **impl(2)** 中，选择“边界”11。


使用选择列表窗口可以更轻松地选择正确的边界。要打开此窗口，请在主屏幕工具栏中单击窗口，然后选取选择列表。（如果您正在运行跨平台桌面，可以在主菜单中找到窗口。）

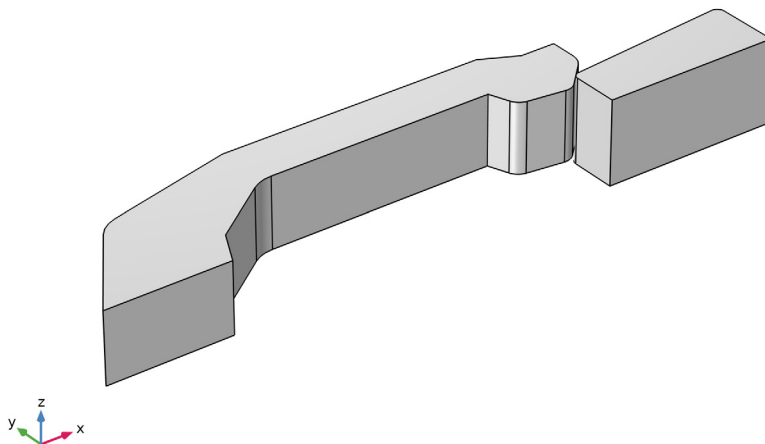
### 形成联合体 (fin)

- 1 在模型开发器窗口的组件 1 (comp1) > 几何 1 节点下，单击形成联合体 (fin)。
- 2 在形成联合体 / 装配的设置窗口中，定位到形成联合体 / 装配栏。
- 3 从动作列表中选择形成装配。
- 4 清除创建对复选框。

### 网格控制域 1 (mcd1)

- 1 在几何工具栏中单击  虚拟操作，然后选择网格控制域。
- 2 在对象 **fin** 中，选择“域”1-3。
- 3 在网格控制域的设置窗口中，单击  构建选定对象。
- 4 在图形工具栏中单击  缩放到窗口大小按钮。

5 在图形工具栏中单击  显示栅格按钮。



### 固体力学 (SOLID)


- 1 在模型开发器窗口的组件 1 (comp1) 节点下，单击固体力学 (solid)。
- 2 在固体力学的设置窗口中，定位到域选择栏。
- 3 从选择列表中选择手动。
- 4 选择“域”1。

在为弹簧扣添加材料之前，请指定塑性模型，这样就可以看到所需的材料参数。

#### 线弹性材料 1

在模型开发器窗口的组件 1 (comp1) > 固体力学 (solid) 节点下，单击线弹性材料 1。

#### 塑性 1

- 1 在物理场工具栏中单击  属性，然后选择塑性。
- 2 在塑性的设置窗口中，定位到域选择栏。
- 3 在列表中选择 2 (不适用)。
- 4 选择“域”1。

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，定位到几何实体选择栏。
- 3 在列表中选择 2。
- 4 选择 “域” 1。
- 5 定位到材料明细栏。在表中输入以下设置：

属性	变量	值	单位	属性组
杨氏模量	E	1e10[Pa]	Pa	杨氏模量和泊松比
泊松比	nu	0.35	1	杨氏模量和泊松比
密度	rho	7850[kg/m^3]	kg/m³	基本

定义

增加接触面附近的初始屈服应力，以避免在接触力计算迭代过程中由于计算误差而可能发生的假塑性变形。为了实现这一点，我们首先定义一个阶跃函数，在弹簧扣尖端附近从 1000 平滑下降到 1，然后将其作为屈服应力的乘数。

阶跃 1 (step1)

- 1 在定义工具栏中单击  更多函数，然后选择阶跃。
- 2 在阶跃的设置窗口中，定位到参数栏。
- 3 在位置文本框中键入 “1.5[mm]”。
- 4 在从文本框中键入 “1e3”。
- 5 单击以展开平滑处理栏。在过渡区大小文本框中键入 “1e-3”。

设置材料定义的屈服应力，并将其乘以阶跃函数。由于负 x 材料坐标沿弹簧扣长度方向增加，因此将其用作变元。

材料

材料 1 (mat1)

- 1 在模型开发器窗口的组件 1 (comp1) > 材料节点下，单击材料 1 (mat1)。
- 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
初始屈服应力	sigmag s	1.2e8[Pa]*step1(-X)	Pa	弹塑性材料模型
各向同性切线模量	Et	1.2e9[Pa]	Pa	弹塑性材料模型

定义



接触，源

- 1 在定义工具栏中单击  显式。
- 2 在显式的设置窗口中，在标签文本框中键入 “接触，源”。
- 3 定位到输入实体栏。从几何实体层列表中选择边界。
- 4 选中按连续相切分组复选框。
- 5 选择 “边界” 22 和 26–29。

接触，目标

- 1 在定义工具栏中单击  显式。
- 2 在显式的设置窗口中，在标签文本框中键入 “接触，目标”。
- 3 定位到输入实体栏。从几何实体层列表中选择边界。
- 4 选择 “边界” 14–16、18 和 19。

接触对 1 (p1)

- 1 在定义工具栏中单击  对，然后选择接触对。
- 2 在对的设置窗口中，定位到源边界栏。
- 3 从选择列表中选择接触，源。
- 4 定位到目标边界栏。选择  激活选择切换按钮。
- 5 从选择列表中选择接触，目标。

全局定义

参数 1




- 1 在模型开发器窗口的全局定义节点下，单击参数 1。
- 2 在参数的设置窗口中，定位到参数栏。

3 在表中输入以下设置：

名称	表达式	值	描述
para	0	0	连续参数

定义

位移

- 1 在定义工具栏中单击  插值。
- 2 在插值的设置窗口中，在标签文本框中键入“位移”。
- 3 定位到定义栏。从数据源列表中选择文件。
- 4 单击  浏览。
- 5 浏览到该 App 的“案例库”文件夹，然后双击文件 snap\_hook\_disp.txt。
- 6 单击  导入。
- 7 在函数名称文本框中键入“disp”。
- 8 定位到内插和外推栏。从插值列表中选择分段三次。
- 9 定位到单位栏。在变元表中，输入以下设置：


变元	单位
t	1

10 在函数表中，输入以下设置：

函数	单位
disp	mm

固体力学 (SOLID)


指定位移 1

- 1 在物理场工具栏中单击  边界，然后选择指定位移。
- 2 选择“边界”2。
- 3 在指定位移的设置窗口中，定位到指定位移栏。
- 4 从 x 方向的位移列表中选择指定。
- 5 从 y 方向的位移列表中选择指定。
- 6 从 z 方向的位移列表中选择指定。
- 7 在  $u_{0x}$  文本框中键入“disp(para)”。


### 接触 1

在**模型开发器**窗口中，单击**接触 1**。

### 摩擦 1

- 1 在**物理场**工具栏中单击  属性，然后选择**摩擦**。
- 2 在**摩擦**的**设置**窗口中，定位到**摩擦参数**栏。
- 3 在  $\mu$  文本框中键入 “0.1”。


### 对称 1

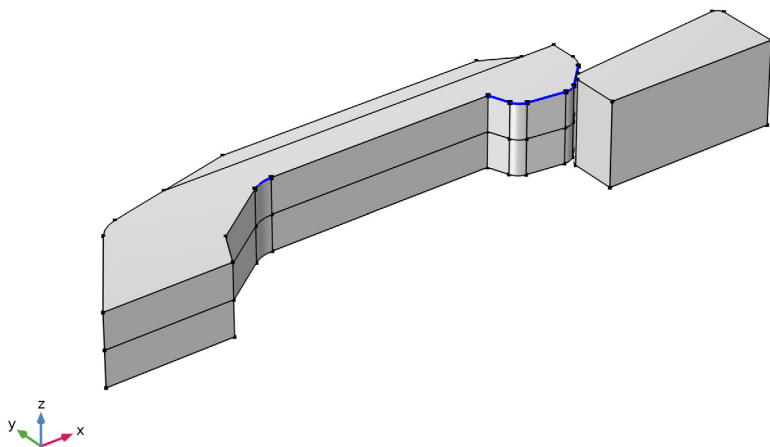
- 1 在**物理场**工具栏中单击  边界，然后选择**对称**。
- 2 选择 “边界” 4。

接下来创建网格，首先在接触区域和预计出现塑性应变的位置定义细化网格。

### 网格 1

#### 边 1

- 1 在**网格**工具栏中单击  **更多生成器**，然后选择**边**。
- 2 选择 “边” 24、33、36、39、45 和 50。



### 大小 1


- 1 右键单击**边 1** 并选择**大小**。
- 2 在**大小**的**设置**窗口中，定位到**单元大小**栏。

- 3 单击**定制**按钮。
- 4 定位到**单元大小**参数栏。
- 5 选中**最大单元大小**复选框。在关联文本框中键入 “4e-5”。
- 6 选中**最小单元大小**复选框。在关联文本框中键入 “1E-5”。
- 7 选中**曲率因子**复选框。在关联文本框中键入 “0.2”。

#### 大小


- 1 在**模型开发器**窗口的**组件 1 (comp1) > 网格 1**节点下，单击**大小**。
- 2 在**大小**的**设置**窗口中，定位到**单元大小**栏。
- 3 单击**定制**按钮。
- 4 定位到**单元大小**参数栏。在**最大单元大小**文本框中键入 “3E-4”。
- 5 在**最小单元大小**文本框中键入 “1e-4”。
- 6 在**最大单元增长率**文本框中键入 “3”。
- 7 在**曲率因子**文本框中键入 “0.3”。

#### 扫掠 1

- 1 在**网格**工具栏中单击  **扫掠**。
- 2 在**扫掠**的**设置**窗口中，定位到**域选择**栏。
- 3 从**几何实体层**列表中选择**域**。
- 4 选择 “域” 1、3 和 4。

#### 映射 1


下面，为锁添加表面网格。请注意，该域不需要网格。


- 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**选择**列表中选择**接触，源**。

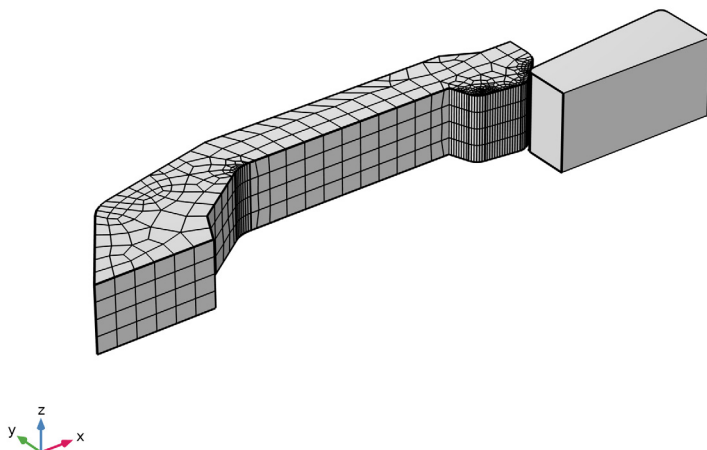
#### 大小 1

- 1 右键单击**映射 1**并选择**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**极粗**。

#### 分布 1


- 1 在**模型开发器**窗口中，右键单击**映射 1**并选择**分布**。
- 2 选择 “边” 65 和 71。
- 3 在**分布**的**设置**窗口中，单击  **全部构建**。

4 在图形工具栏中单击  缩放到窗口大小按钮。




**研究 1**

*步骤 1: 稳态*

- 1 在模型开发器窗口的**研究 1**节点下，单击**步骤 1: 稳态**。
- 2 在**稳态**的**设置**窗口中，单击以展开**求解时显示结果**栏。
- 3 选中**绘制复选框**。  
为 para 参数设置辅助连续扫描。
- 4 单击以展开**研究扩展**栏。选中**辅助扫描复选框**。
- 5 单击  **添加**。
- 6 在表中输入以下设置：

参数名称	参数值列表	参数单位
para (连续参数)	range(0, 2e-2, 2)	

7 在**研究**工具栏中单击  **计算**。

**结果**

*应力 (solid)*

- 1 在**三维绘图组**的**设置**窗口中，定位到**数据**栏。

- 2 从**参数值 (para)** 列表中选择 **0.66**。

#### 体 1

- 1 在**模型开发器**窗口中展开**应力 (solid)** 节点，然后单击**体 1**。
- 2 在**体的设置**窗口中，定位到**表达式**栏。
- 3 从**单位**列表中选择 **MPa**。

#### 应力 (solid)

添加锁的表面图。由于使用了均匀的颜色，因此您可以在表达式栏中写入任意值。

#### 表面 1



- 1 在**模型开发器**窗口中，右键单击**应力 (solid)** 并选择**表面**。
- 2 在**表面的设置**窗口中，定位到**表达式**栏。
- 3 在**表达式**文本框中键入 “1”。
- 4 单击以展开**标题**栏。从**标题类型**列表中选择**无**。
- 5 单击以折叠**标题**栏。定位到**着色和样式**栏。从**着色方式**列表中选择**均匀**。
- 6 从**颜色**列表中选择**灰色**。

#### 选择 1


- 1 右键单击**表面 1** 并选择**选择**。
- 2 在**选择的设置**窗口中，定位到**选择**栏。
- 3 从**选择**列表中选择**接触，源**。

#### 应力 (solid)

创建新的视图来绘制 XY 平面上的应力。

- 1 在**模型开发器**窗口的**结果**节点下，单击**应力 (solid)**。
- 2 在**三维绘图组**的**设置**窗口中，定位到**绘图设置**栏。
- 3 从**视图**列表中选择**新视图**。
- 4 在**应力 (solid)** 工具栏中单击  **绘制**。
- 5 单击  **切换到源**。

#### 三维视图 2

- 1 在**图形**工具栏中单击  **切换到 XY 平面视图**按钮。
- 2 在**模型开发器**窗口的**结果 > 视图**节点下，单击**三维视图 2**。
- 3 在**三维视图**的**设置**窗口中，定位到**视图**栏。
- 4 清除**显示栅格**复选框。

5 选中**锁定相机**复选框。

这有助于确保视图不被意外更改。

### 相机

1 在**模型开发器**窗口中展开**三维视图 2**节点，然后单击**相机**。

2 在**相机**的**设置**窗口中，定位到**相机**栏。

3 从**投影**列表中选择**正交**。

从**结果模板**中添加一个绘图，以显示等效塑性应变。

### 结果模板

1 在**结果**工具栏中，单击  **结果模板**以打开**结果模板**窗口。

2 转到**结果模板**窗口。

3 在模型树中选择**研究 1/解 1 (sol1) > 固体力学 > 等效塑性应变 (solid)**。

4 单击窗口工具栏中的**添加结果模板**。

5 在**结果**工具栏中，单击  **结果模板**以关闭**结果模板**窗口。

### 结果

#### 变形 1

1 在**模型开发器**窗口中展开**结果 > 等效塑性应变 (solid)**节点。

2 右键单击**表面 1**并选择**变形**。

3 在**变形**的**设置**窗口中，定位到**比例因子**栏。

4 选中**比例因子**复选框。在关联文本框中键入“1”。

#### 等效塑性应变 (solid)

添加锁的表面图。由于使用了均匀的颜色，因此您可以在表达式栏中写入任意值。

#### 表面 2

1 在**模型开发器**窗口中，右键单击**等效塑性应变 (solid)**并选择**表面**。

2 在**表面**的**设置**窗口中，定位到**表达式**栏。

3 在**表达式**文本框中键入“1”。

4 单击以展开**标题**栏。从**标题类型**列表中选择**无**。



5 单击以折叠**标题**栏。定位到**着色和样式**栏。从**着色方式**列表中选择**均匀**。

6 从**颜色**列表中选择**灰色**。

#### 选择 1


1 右键单击**表面 2**并选择**选择**。

2 在**选择**的**设置**窗口中，定位到**选择**栏。

- 3 从选择列表中选择**接触，源**。
- 4 在**等效塑性应变 (solid)** 工具栏中单击  **绘制**。
- 5 在**图形**工具栏中单击  **切换到默认视图**按钮，以返回模型的默认视图。

绘制定位弹簧扣所需的反作用力随位移的变化情况。

*反作用力*

- 1 在**结果**工具栏中单击  **一维绘图组**。
- 2 在一**维绘图组**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “反作用力”。
- 3 定位到**图例**栏。清除**显示图例**复选框。

*全局 1*

- 1 右键单击**反作用力**并选择**全局**。
- 2 在**全局**的**设置**窗口中，定位到 **y 轴数据**栏。
- 3 在表中输入以下设置：


表达式	单位	描述
2*solid.RFtotalx	N	反作用力

引入因子 2 可以给出定位弹簧扣所需的总力。由于您利用了对称性，因此计算出的反作用力相当于实际结构的一半。

- 4 定位到 **x 轴数据**栏。从**参数**列表中选择**表达式**。
- 5 在**表达式**文本框中键入 “disp(para)”。
- 6 从**单位**列表中选择 **mm**。
- 7 单击以展开**着色和样式**栏。从**宽度**列表中选择 **2**。
- 8 找到**线标记**子栏。从**标记**列表中选择**点**。

添加颜色表达式以区分插入和拔出路径。

*颜色表达式 1*

- 1 右键单击**全局 1** 并选择**颜色表达式**。
- 2 在**颜色表达式**的**设置**窗口中，定位到**表达式**栏。
- 3 在**表达式**文本框中键入 “para>1”。
- 4 单击以展开**标题**栏。从**标题类型**列表中选择**手动**。
- 5 在**标题**文本区中键入 “插入（绿色）和拔出（红色）”。
- 6 定位到**着色和样式**栏。从**颜色表**列表中选择 **TrafficLight**。
- 7 在**反作用力**工具栏中单击  **绘制**。