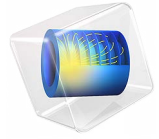


在 COMSOL Multiphysics 6.2 版本中创建



门式起重机的应力分析

简介

门式起重机，也称为龙门吊，通常用于搬运重物，例如在港口和工业场地。门式起重机大体上是一个矩形框架，有效载荷从一个吊车上吊起，吊车沿着称为桥梁的上部水平梁运行。通常，起重机在垂直于框架的轨道上运行。



图 1：贝尔法斯特哈兰德与沃尔夫造船厂的龙门吊。

本例中我们使用“梁”接口分析门式起重机。起重机承受自重、有效载荷和热膨胀的载荷。

模型定义

几何结构

起重机的几何结构如图 2 所示，其中使用了三种不同的梁横截面：

- 主水平梁、桥梁、具有 HEA500 剖面。
- 支撑柱的箱形横截面从地面的 100 mm x 100 mm 到桥梁连接处的 200 mm x 100 mm 不等。壁厚为 10 mm。
- 柱之间的水平横杆具有方形框截面，80 mm x 80 mm，壁厚为 8 mm。

几何结构被参数化，并使用以下值：

- 桥宽：12 m。
- 吊机高度：5 m。
- 接地平面上的柱间距：2 m。

所有构件的材料都是钢。

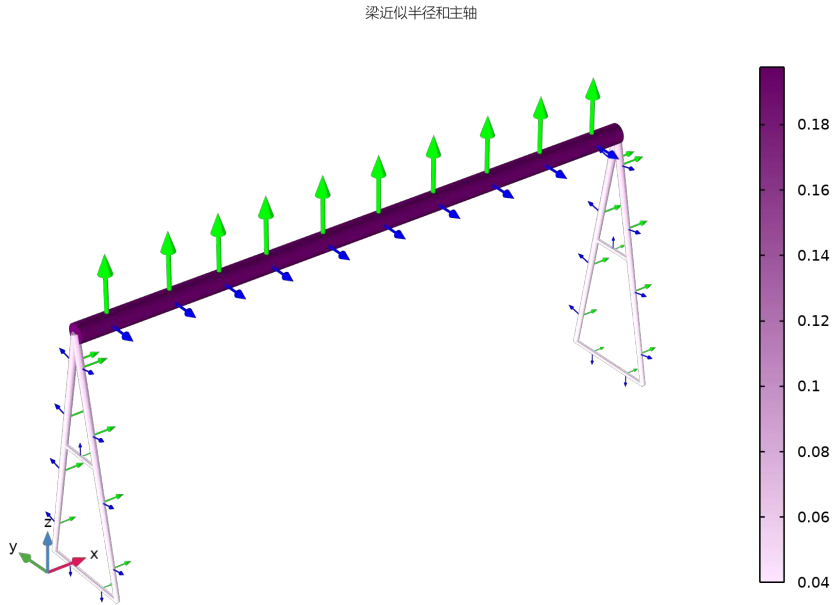


图2：起重机的草图，其中标明了构件的刚度（使用大小、彩色表面和主方向的箭头）。

边界条件

假定柱在轨道上运行。垂直位移和横向位移被约束在柱的所有四个下端。另外，轨道方向上的位移受到两个柱的约束，以使模型稳定。由于所有载荷都沿垂直方向作用，因此这不会影响结果。

桥梁的一端与支撑柱铰接在一起。由于结构是对称的，因此可以任意选择位置。

载荷

分析了三种不同的载荷工况：

- 热载荷：在大热天，起重机的最高温度可升至 50 °C。无应力装配温度设置为 20 °C。
- 自重：除了框架的重量外，还分析了承载有效载荷的吊车的重量 (200 kg)。
- 有效载荷：15 吨均匀载荷施加在桥梁上间距 0.8 m 的长度范围内，与吊车的宽度对应。吊车的中心位于距桥梁的铰接端 3 m 处。

结果与讨论

由于框架是静定的，因此热膨胀不会引起任何应力。获得静定结构是在这种类型的框架中引入铰链的原因之一。静定的结构具有多个优点

- 安装过程中不会产生应力，即使在由于制造容差而导致几何结构不匹配的情况下也不会。
- 温度均匀升高不会产生任何应力。
- 应力分析得以简化，这是因为力的分布不受单个构件和接头刚度的影响。

自重和有效载荷引起的应力分布分别如[图 3](#)和[图 4](#)所示。

自重

线: von Mises 应力 (MPa)

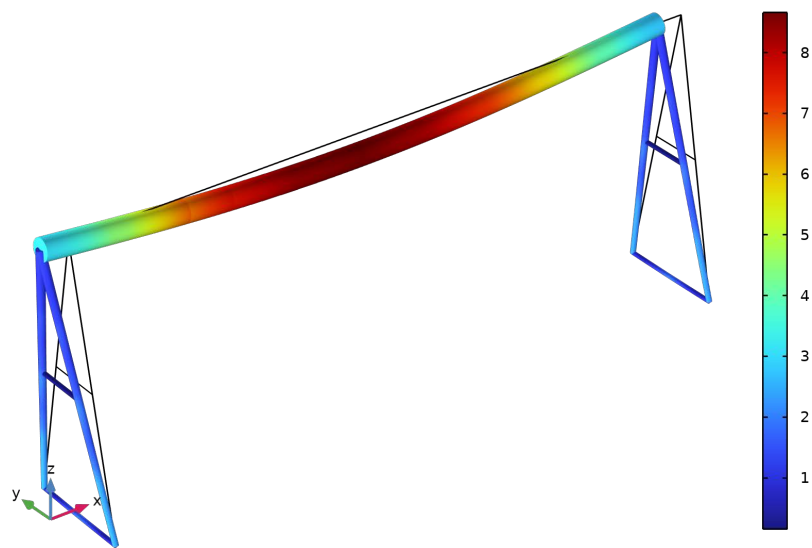


图3: 自重引起的等效应力。

有效载荷

线: von Mises 应力 (MPa)

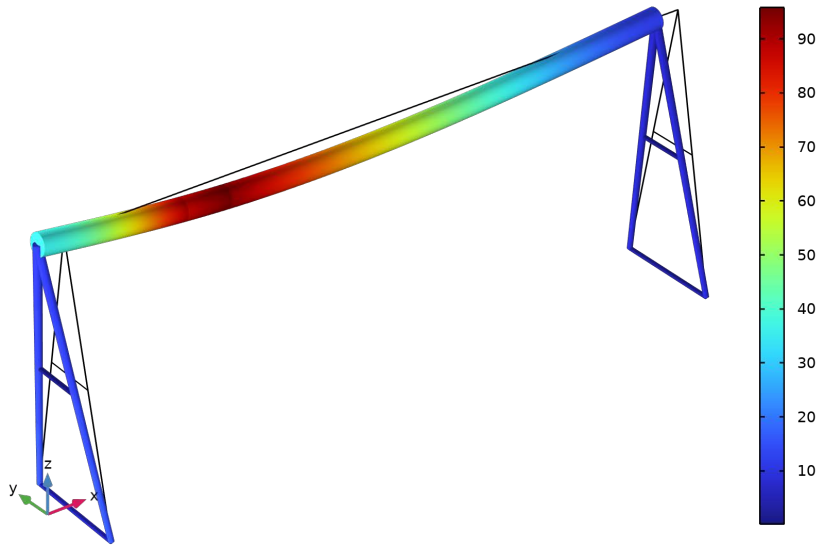


图4：有效载荷引起的等效应力。

在对这种结构的现实分析中，还必须考虑其他几种影响。例如：

- 有效载荷的动态效应。通常可以将其视为安全系数允许动态效应的的静载荷。
- 不同的吊车位置。
- 疲劳，原因是吊车在移动。
- 柱与桥梁连接处的局部应力。
- 吊车下方桥梁上的局部应力。

COMSOL 软件功能实现说明


梁端释放节点用于插入铰链。当两个以上的梁在某个自由度解耦的点相交时，需要指定梁的相互连接方式，这是通过添加**边分组**子节点来实现的。在单个边分组中选择的所有边都被视为在接头处彼此牢固连接。在这种情况下，两个柱梁放置在一个边分组中。

案例库路径: Structural_Mechanics_Module/Beams_and_Shells/portal_crane




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 > 梁 (beam)**。
- 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**。

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 单击  **从文件加载**。
- 4 浏览到该 App 的“案例库”文件夹, 然后双击文件 portal_crane_parameters.txt。

几何 1

多边形 1 (pol1)

- 1 在**几何**工具栏中单击  **更多体素**, 然后选择**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：

x (m)	y (m)	z (m)
0	columnDistance/2	0
0	columnDistance/4	height/2
0	0	height
0	-columnDistance/4	height/2
0	-columnDistance/2	0

4 定位到**结果实体的选择**栏。找到**累积选择**子栏。单击**新建**。

5 在**新建累积选择**对话框中，在**名称**文本框中键入“柱”。

6 单击**确定**。

7 在**多边形的设置**窗口中，单击  **构建选定对象**。

线段 1 (ls1)

1 在**几何**工具栏中单击  **更多体素**，然后选择**线段**。

2 在对象 **pol1** 中，选择“点”5。

3 在**线段的设置**窗口中，定位到**终点**栏。

4 单击以选择**终止顶点**的  **激活选择**切换按钮。

5 在对象 **pol1** 中，选择“点”1。

6 定位到**结果实体的选择**栏。找到**累积选择**子栏。单击**新建**。

7 在**新建累积选择**对话框中，在**名称**文本框中键入“横杆”。

8 单击**确定**。

线段 2 (ls2)

1 在**几何**工具栏中单击  **更多体素**，然后选择**线段**。


2 在对象 **pol1** 中，选择“点”4。

3 在**线段的设置**窗口中，定位到**终点**栏。

4 单击以选择**终止顶点**的  **激活选择**切换按钮。

5 在对象 **pol1** 中，选择“点”2。



6 定位到**结果实体的选择**栏。找到**累积选择**子栏。从**影响对象**列表中选择**横杆**。

7 单击  **构建所有对象**。


复制 1 (copy1)

1 在**几何**工具栏中单击  **变换**，然后选择**复制**。


2 在**复制的设置**窗口中，定位到**位移**栏。

- 3 在 **x** 文本框中键入 “width”。
- 4 单击**图形**窗口，然后按 Ctrl+A 选择所有对象。
- 5 单击  **构建选定对象**。
- 6 在**图形**工具栏中单击  **缩放到窗口大小按钮**。



多边形 2 (pol2)

- 1 在**几何**工具栏中单击  **更多体素**，然后选择**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：

x (m)	y (m)	z (m)
0	0	height
trolleyPos-trolleyWidth/2	0	height
trolleyPos+trolleyWidth/2	0	height
width	0	height

- 4 单击  **构建所有对象**。

添加材料

- 1 在**主屏幕**工具栏中，单击  **添加材料**以打开**添加材料**窗口。
- 2 转到**添加材料**窗口。
- 3 在模型树中选择**内置材料**>**Structural steel**。
- 4 右键单击并选择**添加到 “组件 1 (comp1)”**。
- 5 在**主屏幕**工具栏中，单击  **添加材料**以关闭**添加材料**窗口。

梁 (BEAM)

横截面：桥

- 1 在**横截面数据**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “横截面：桥”。
- 2 定位到**横截面定义**栏。从**截面类型**列表中选择 **H 型**。
- 3 在 h_y 文本框中键入 “490[mm]”。
- 4 在 h_z 文本框中键入 “300[mm]”。
- 5 在 t_y 文本框中键入 “23[mm]”。
- 6 在 t_z 文本框中键入 “12[mm]”。


截面方向 1

- 1 在**模型开发者**窗口中，单击**截面方向 1**。

- 2 在**截面方向**的**设置**窗口中，定位到**截面方向**栏。
- 3 从**定向方法**列表中选择**定向矢量**。
- 4 将 V 矢量指定为

0	X
0	Y
1	Z

横截面：柱


- 1 在**物理场**工具栏中单击  **边**，然后选择**横截面数据**。
- 2 在**横截面数据**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入“横截面：柱”。
- 3 定位到**边选择**栏。从**选择**列表中选择**柱**。
- 4 定位到**横截面定义**栏。从**截面类型**列表中选择**箱形**。
- 5 在 h_y 文本框中键入“100[mm]+100[mm]*(Z/height)”。
- 6 在 h_z 文本框中键入“100[mm]”。
- 7 在 t_y 文本框中键入“10[mm]”。
- 8 在 t_z 文本框中键入“10[mm]”。

截面方向 1

- 1 在**模型开发器**窗口中，单击**截面方向 1**。
- 2 在**截面方向**的**设置**窗口中，定位到**截面方向**栏。
- 3 从**定向方法**列表中选择**定向矢量**。
- 4 将 V 矢量指定为

1	X
0	Y
0	Z

横截面：横杆

- 1 在**物理场**工具栏中单击  **边**，然后选择**横截面数据**。
- 2 在**横截面数据**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入“横截面：横杆”。
- 3 定位到**边选择**栏。从**选择**列表中选择**横杆**。
- 4 定位到**横截面定义**栏。从**截面类型**列表中选择**箱形**。
- 5 在 h_y 文本框中键入“80[mm]”。
- 6 在 h_z 文本框中键入“80[mm]”。

7 在 t_y 文本框中键入 “8[mm]”。

8 在 t_z 文本框中键入 “8[mm]”。

截面方向 1

1 在**模型开发器**窗口中，单击**截面方向 1**。


2 在**截面方向的设置**窗口中，定位到**截面方向**栏。

3 从**定向方法**列表中选择**定向矢量**。

4 将 V 矢量指定为

1	X
0	Y
0	Z

销住 1

1 在**物理场**工具栏中单击  点，然后选择**销住**。

2 选择 “点” 1 和 8。

指定位移 / 旋转 1

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

2 选择 “点” 5 和 12。

3 在**指定位移 / 旋转**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 **z 方向的位移**列表中选择**指定**。

梁端释放 1

1 在**物理场**工具栏中单击  点，然后选择**梁端释放**。

2 选择 “点” 3。

3 在**梁端释放**的**设置**窗口中，定位到**释放设置**栏。

4 找到**旋转子**栏。选中在 **Y 方向释放**复选框。

边分组 1


1 在**物理场**工具栏中单击  属性，然后选择**边分组**。

由于三根梁在铰链处相交，因此必须指出它们的连接方式。

2 选择 “边” 3 和 5。

重力 1

1 在**物理场**工具栏中单击  全局，然后选择**重力**。

2 单击  载荷组，然后选择新载荷组。


全局定义

载荷组：重力



- 1 在模型开发器窗口的全局定义 > 载荷与约束组节点下，单击载荷组 1。
- 2 在载荷组的设置窗口中，在标签文本框中键入“载荷组：重力”。
- 3 在参数名称文本框中键入“lgG”。

梁 (BEAM)


吊车自重

- 1 在物理场工具栏中单击  边，然后选择边载荷。
- 2 在边载荷的设置窗口中，在标签文本框中键入“吊车自重”。
- 3 选择“边” 8。
- 4 定位到力栏。从载荷类型列表中选择总力。
- 5 将 F_{tot} 矢量指定为

0	x
0	y
$-\text{trolleyWeight} * g_const$	z

- 6 定位到边选择栏。单击  创建选择。
- 7 在创建选择对话框中，在选择名称文本框中键入“吊车”。
- 8 单击确定。
- 9 在物理场工具栏中单击  载荷组，然后选择轴向拉伸。

有效载荷

- 1 在物理场工具栏中单击  边，然后选择边载荷。
- 2 在边载荷的设置窗口中，在标签文本框中键入“有效载荷”。
- 3 定位到边选择栏。从选择列表中选择吊车。
- 4 定位到力栏。从载荷类型列表中选择总力。
- 5 将 F_{tot} 矢量指定为

0	x
0	y
$-\text{payload} * g_const$	z

6 在物理场工具栏中单击  载荷组，然后选择新载荷组。

全局定义

载荷组：有效载荷



- 1 在模型开发器窗口的全局定义 > 载荷与约束组节点下，单击载荷组 2。
- 2 在载荷组的设置窗口中，在标签文本框中键入“载荷组：有效载荷”。
- 3 在参数名称文本框中键入“lgP”。

梁 (BEAM)

线弹性材料 1

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

热膨胀 1

- 1 在物理场工具栏中单击  属性，然后选择热膨胀。
- 2 在热膨胀的设置窗口中，定位到模型输入栏。
- 3 在温度右侧单击  切换到源。


全局定义

默认模型输入

- 1 在模型开发器窗口的全局定义节点下，单击默认模型输入。
- 2 在默认模型输入的设置窗口中，定位到浏览模型输入栏。
- 3 找到剩余选择的表达式子栏。在温度文本框中键入“maxTemp”。

梁 (BEAM)

热膨胀 1

- 1 在模型开发器窗口的组件 1 (comp1) > 梁 (beam) > 线弹性材料 1 节点下，单击热膨胀 1。
- 2 在物理场工具栏中单击  载荷组，然后选择新载荷组。

全局定义

载荷组：温度

- 1 在模型开发器窗口的全局定义 > 载荷与约束组节点下，单击载荷组 3。
- 2 在载荷组的设置窗口中，在标签文本框中键入“载荷组：温度”。
- 3 在参数名称文本框中键入“lgT”。

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**研究扩展栏**。
- 3 选中**定义载荷工况**复选框。
- 4 单击 **+** 添加。
- 5 在表中输入以下设置：

载荷工况	lgG	权重	lgP	权重	lgT	权重
自重	√	1.0		1.0		1.0

- 6 单击 **+** 添加。
- 7 在表中输入以下设置：

载荷工况	lgG	权重	lgP	权重	lgT	权重
有效载荷		1.0	√	1.0		1.0



- 8 单击 **+** 添加。
- 9 在表中输入以下设置：

载荷工况	lgG	权重	lgP	权重	lgT	权重
温度		1.0		1.0	√	1.0

- 10 在主屏幕工具栏中单击 **=** 计算。

结果

线 1

- 1 在**模型开发器**窗口中展开**应力 (beam)**节点，然后单击**线 1**。
- 2 在**线**的**设置**窗口中，定位到**表达式**栏。
- 3 从**单位**列表中选择 **MPa**。
- 4 在**图形**工具栏中单击  **显示栅格**按钮。
- 5 在**应力 (beam)**工具栏中单击  **绘制**。

默认绘图显示了最后的载荷工况：热载荷。由于框架是静定的，因此应力基本为零。接下来，分析自重情况。


6 单击  绘制第一个。

自重产生的应力也很小。这就是起重机的预期作用，它应该可以增加较大的有效载荷。接下来，分析有效载荷的结果。

7 单击  绘制下一个。

检查梁方向是否正确。


添加预定义的绘图

1 在主屏幕工具栏中，单击  添加预定义的绘图以打开添加预定义的绘图窗口。

2 转到添加预定义的绘图窗口。


3 在模型树中选择研究 1/ 解 1 (sol1) > 梁 > 梁方向 (beam)。

4 单击窗口工具栏中的添加绘图。

5 在主屏幕工具栏中，单击  添加预定义的绘图以关闭添加预定义的绘图窗口。

结果

梁方向 (beam)

1 在梁方向 (beam) 工具栏中单击  绘制。

绿色箭头表示局部 Y 方向，蓝色箭头表示局部 Z 方向。箭头大小表示每个方向的刚度（实际上表示的是刚度的平方根，以使箭头更清晰可见）。梁结构的半径和灰度表示梁的尺寸。请注意柱垂直方向的刚度梯度。

