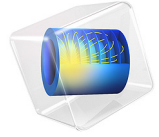


在 COMSOL Multiphysics 6.1 版本中创建



# 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。

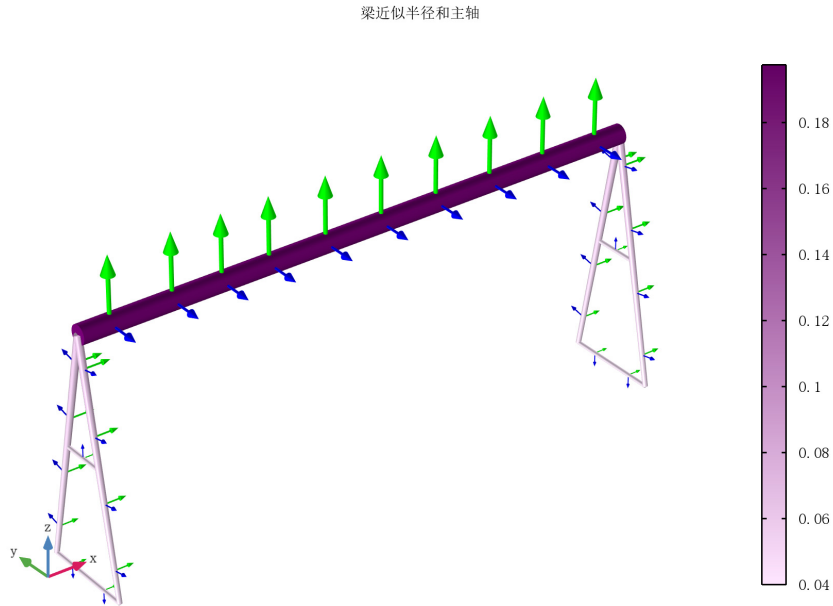


图2：起重机的草图，其中标明了构件的刚度（使用大小、彩色表面和主方向的箭头）。

### 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)

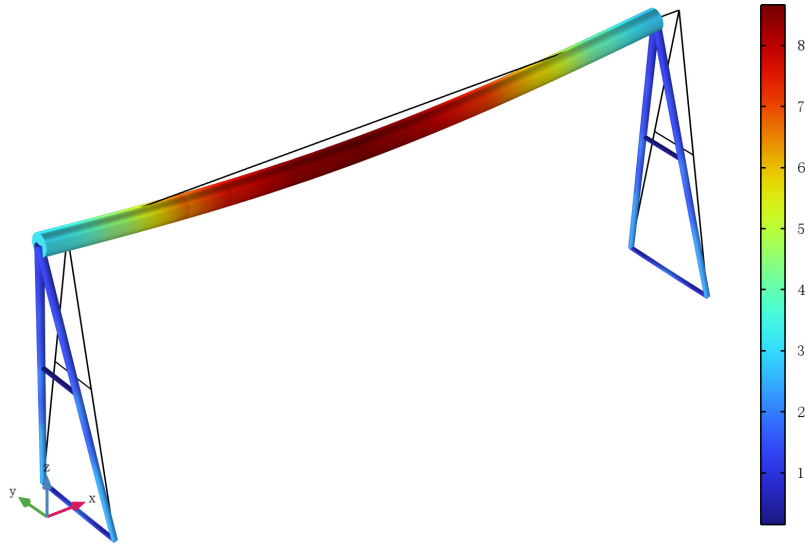


图3: 自重引起的等效应力。

有效载荷

线: von Mises 应力 (MPa)

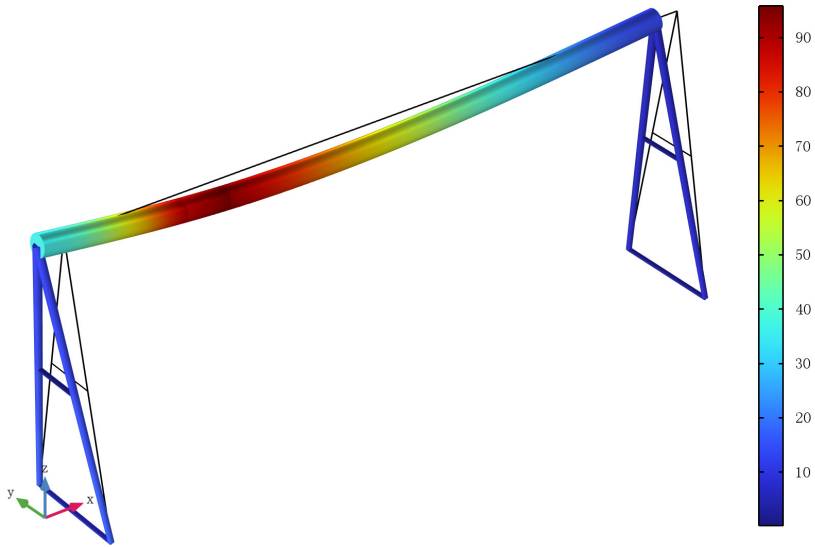


图4：有效载荷引起的等效应力。

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 (poly)



- 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 |




| x (m) | y (m)             | z (m)    |
|-------|-------------------|----------|
| 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 找到终止顶点子栏。选择  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 找到终止顶点子栏。选择  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。从列表中选择常用截面。
- 3 从截面类型列表中选择 H 型。
- 4 在 hy 文本框中键入 “490[mm]”。
- 5 在 hz 文本框中键入 “300[mm]”。
- 6 在 ty 文本框中键入 “23[mm]”。
- 7 在 tz 文本框中键入 “12[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

|   |   |
|---|---|
| 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。从列表中选择常用截面。
- 5 从截面类型列表中选择箱形。
- 6 在 hy 文本框中键入“100[mm]+100[mm]\*(Z/height)”。
- 7 在 hz 文本框中键入“100[mm]”。
- 8 在 ty 文本框中键入“10[mm]”。
- 9 在 tz 文本框中键入“10[mm]”。

##### 截面方向 1

- 1 在模型开发器窗口中展开横截面：柱节点，然后单击截面方向 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。从列表中选择常用截面。
- 5 从截面类型列表中选择箱形。
- 6 在 hy 文本框中键入“80[mm]”。
- 7 在 hz 文本框中键入“80[mm]”。


- 8 在 ty 文本框中键入 “8[mm]”。
- 9 在 tz 文本框中键入 “8[mm]”。

#### 截面方向 1


- 1 在模型开发器窗口中展开横截面：横杆节点，然后单击截面方向 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 Ftot 矢量指定为


|                        |   |
|------------------------|---|
| 0                      | X |
| 0                      | Y |
| -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，然后选择载荷组 1。

### 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 Ftot 矢量指定为

|                  |   |
|------------------|---|
| 0                | X |
| 0                | Y |
| -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。

8 在主屏幕工具栏中单击  添加预定义的绘图。

### 添加预定义的绘图

1 转到添加预定义的绘图窗口。

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


3 单击窗口工具栏中的添加绘图。

4 在主屏幕工具栏中单击  添加预定义的绘图。

### 结果

#### 梁方向 (beam)

1 在模型开发器窗口的结果节点下，单击梁方向 (beam)。

2 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。

