8.1 进入工程分析模块

8.2 施加约束

8.3 施加载荷

8.4 静态有限元计算过程和后处理

8.5 动态分析的前处理和显示计算结果

8.6 有限元分析实例

习题

工程分析指的是有限元分析，包括静态分析（**Static Analyses**）和动态分析。动态分析又分为限制状态固有频率分析（**Frequency Analyses**）和自由状态固有频率分析（**Free Frequency Analyses**），前者在物体上施加一定约束，后者的物体没有任何约束，即完全自由。

8.1 进入工程分析模块

1. 进入工程分析模块前的准备工作

（**1**）在三维实体建模模块建立形体的三维模型，为三维形体添加材质，见**4.7**。

（**2**）将显示模式设置为**Shading**（着色）和**Materials**（材料），这样才能看到形体的应力和变形图，详见**2.11.6**。

2. 进入工程分析模块

选择菜单【Start】→【Analysis & Simulation】→【Generative Structural Analysis】弹出图8-1所示新的分析实例对话框。

在对话框中选择静态分析（Static Analyses）、限制状态固有频率分析（Frequency Analyses）还是自由状态固有频率分析（Free Frequency Analyses），单击OK按钮，将开始一个新的分析实例。

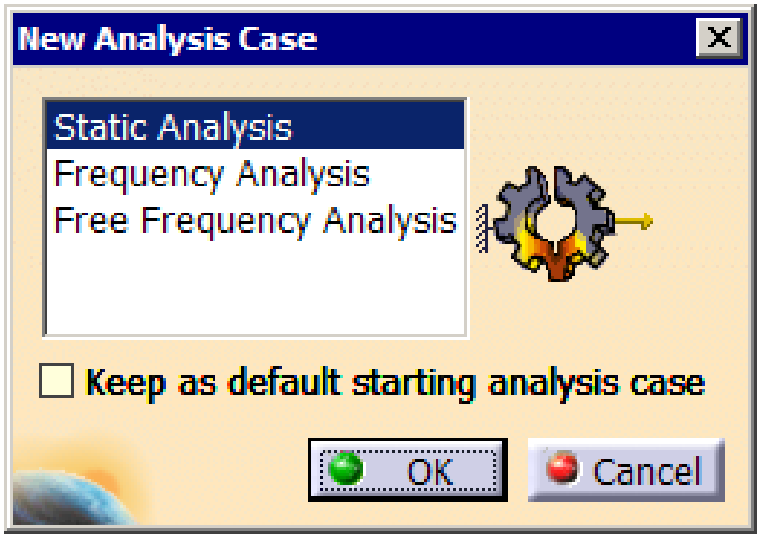


图8-1新的分析实例对话框

3. 有限元分析的过程

有限元分析的一般流程为：

（1）从三维实体建模模块进入有限元分析模块。

（2）在形体上施加约束。

（3）在形体上施加载荷。

（4）计算（包括网格自动划分），解方程和生成应力应变结果。

（5）分析计算结果，单元网格、应力或变形显示。

（6）对关心的区域细化网格、重新计算。

上述（1）~（3）过程是有限元分析预（前）处理，（4）是计算过程，（5）、（6）是有限元后处理。有限元文件的类型为 **CATAnalysis**。

8.2 施加约束

1. 夹紧约束 

该约束施加于形体表面或边界，使其上的所有节点的位置固定不变（三个平移自由度全部约束）。施加夹紧约束的过程是：（1）单击该图标，弹出图8-2所示夹紧约束对话框。（2）选择约束对象（曲面或边界），例如选择形体的一个表面，单击OK按钮。在所选形体表面和特征树的相应节点处产生了夹紧约束标记，见图8-3。

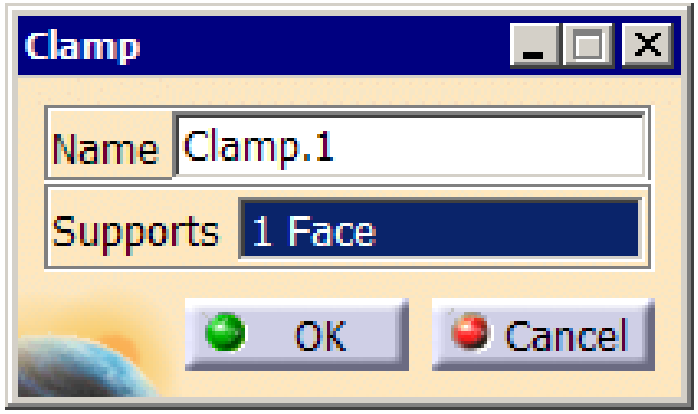
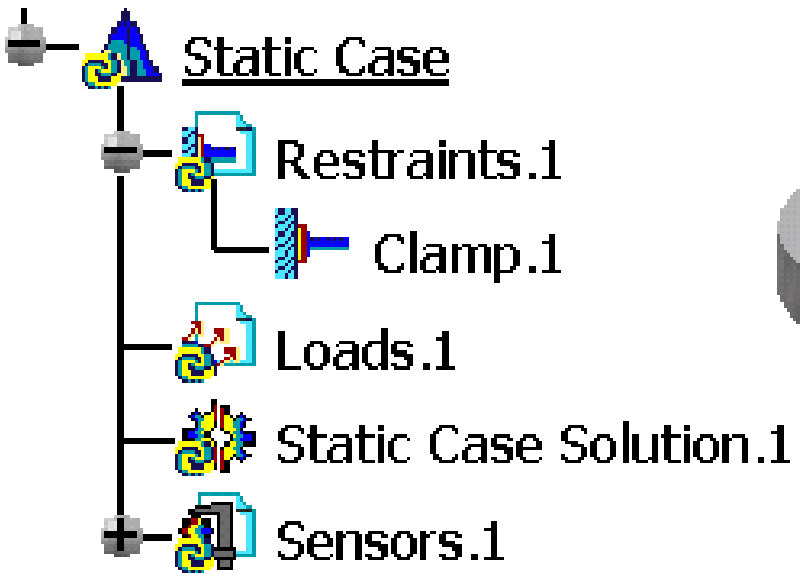


图8-2夹紧约束对话框



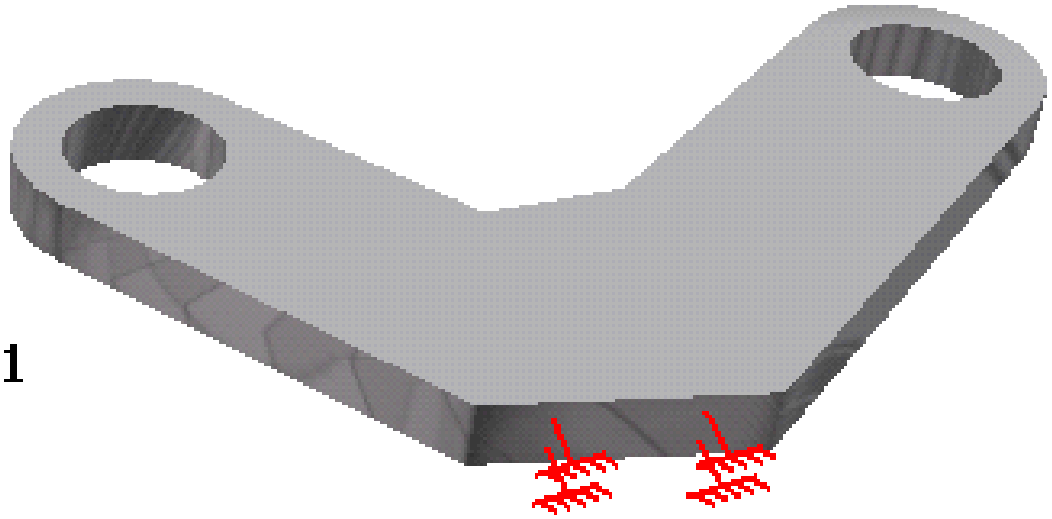


图8-3选择夹紧约束表面

2. 表面滑动约束 

该约束施加于形体表面，使得表面上的节点只能沿着与此表面滑动，而不能沿此表面有法线方向的运动。施加此约束的过程是：（1）单击该图标，弹出与图8-2类似的表面滑动约束对话框。（2）选择约束对象（形体表面），单击OK按钮。在所选形体表面和特征树的相应节点处产生了滑动约束的标记，见图8-4。

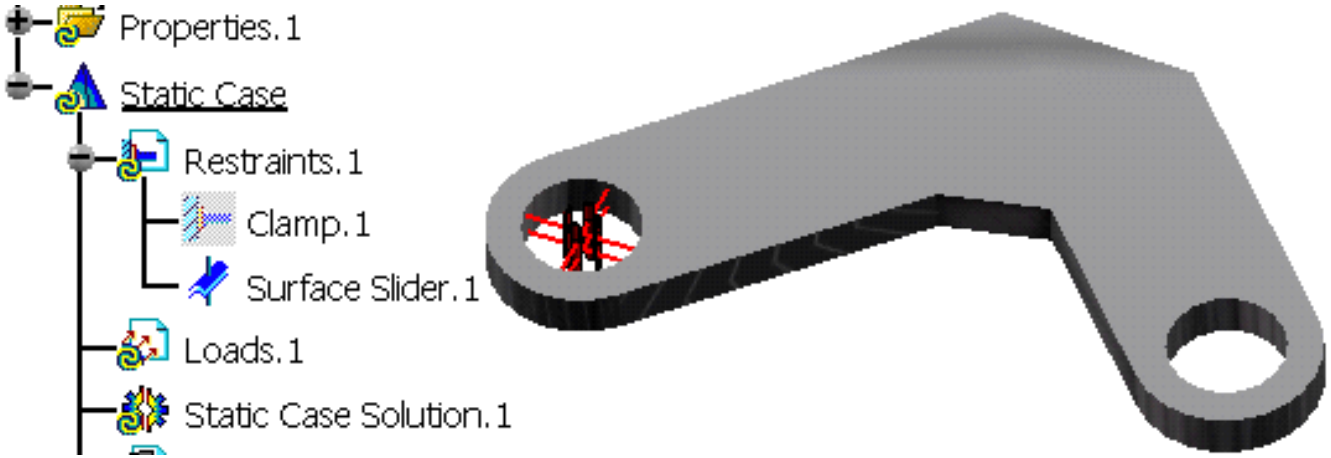


图8-4选择滑动约束表面

3. 高级约束

该功能提供了对任意节点的（平移）自由度的约束控制。施加此约束的过程是：（1）单击该图标，弹出图8-5所示高级约束对话框。（2）选择约束对象（曲面或棱边）。（3）选择坐标系类型，其中**Implicit**：隐含（局部）坐标系、**Global**：全局坐标系、**User**：用户定义坐标系。（4）选择要约束的自由度（旋转自由度只对壳体单元或虚拟实体起作用），

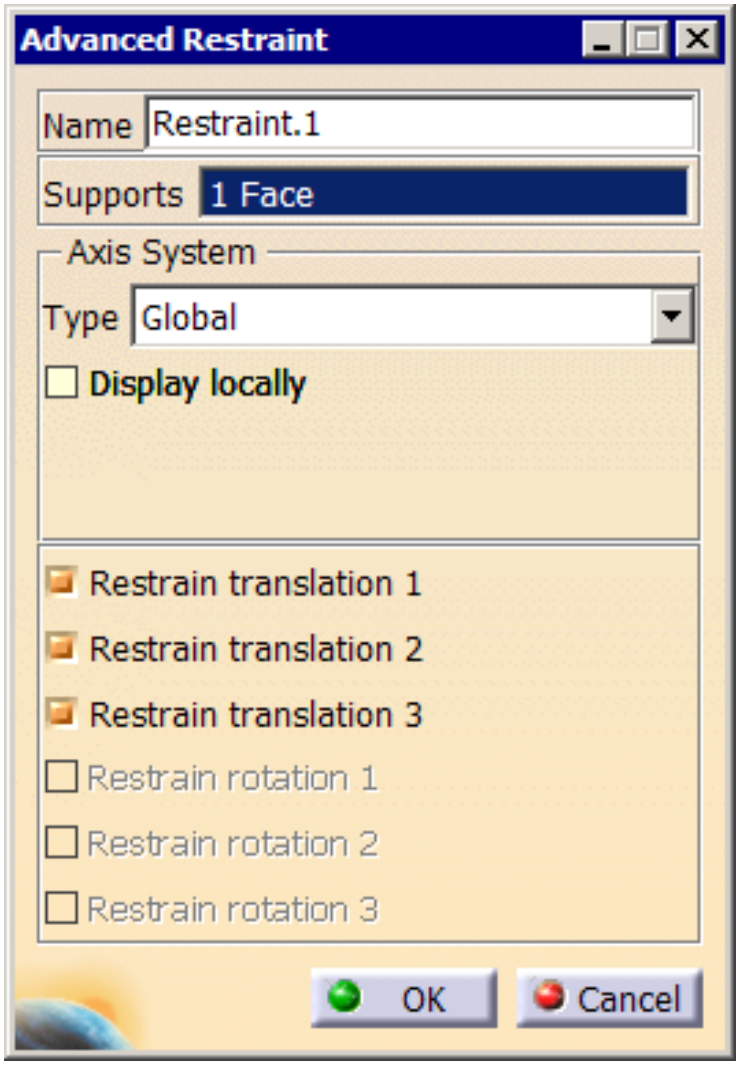


图8-5高级约束对话框

例如约束图8-6所示形体外棱边的2（Y方向）和3（Z方向）的平移自由度，第一自由度（X方向）未被约束，因此X轴上无箭头。

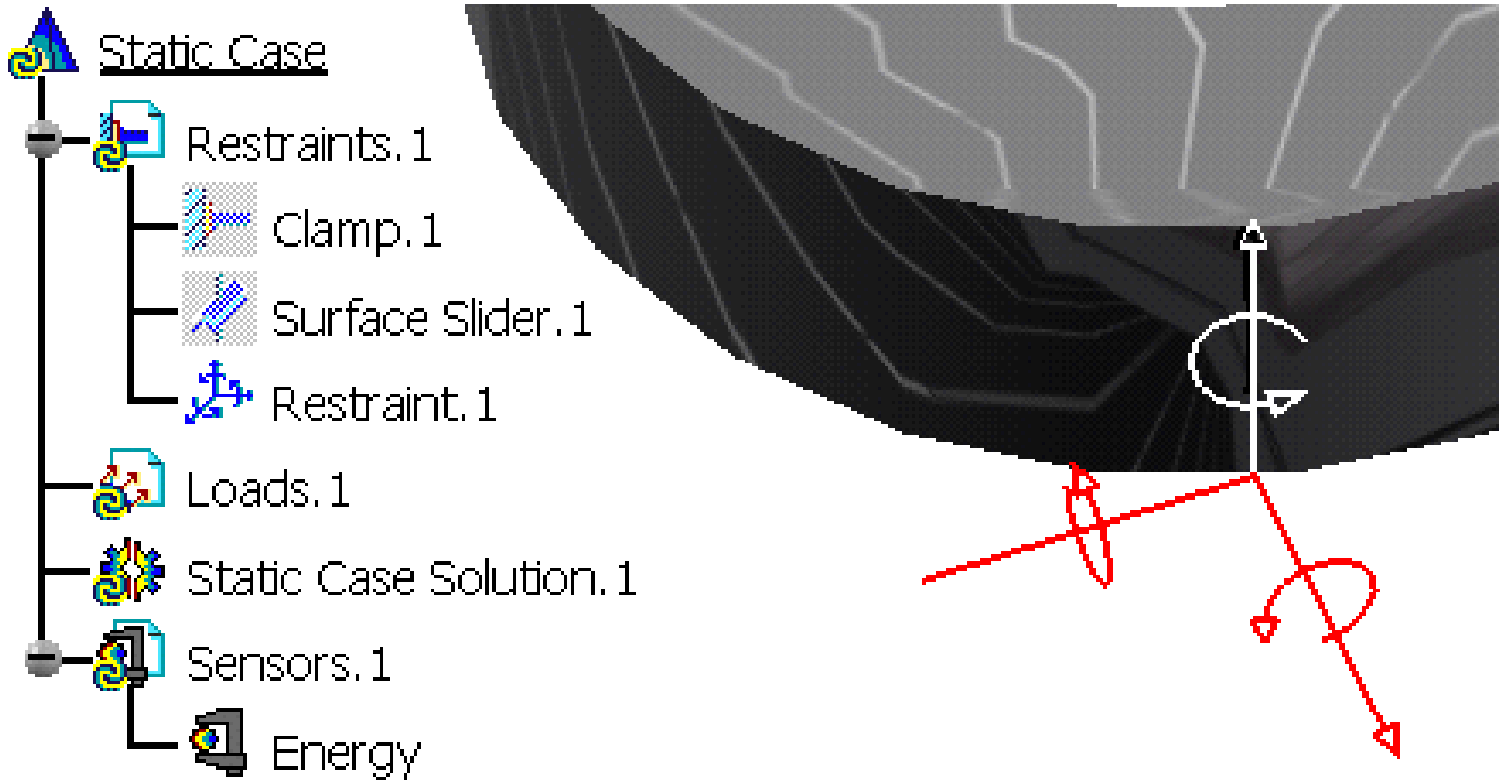


图8-6　选择棱边为高级约束

4. 静态约束 

该功能使形体不能产生刚体运动，成为静定状态（约束平移和旋转自由度）。操作步骤是：（1）单击图标 ，弹出对话框。（2）选择约束对象，同时在形体附近显示静态约束标记 。

8.3 施加载荷

1. 均匀压力载荷 

该载荷施加于曲面或平面，均匀分布，方向为表面的法向方向。操作步骤为：（1）单击该图标  弹出图8-7所示施加压力载荷对话框。（2）选择施加对象（表面）。（3）输入压力数值（压强），参照图8-8。

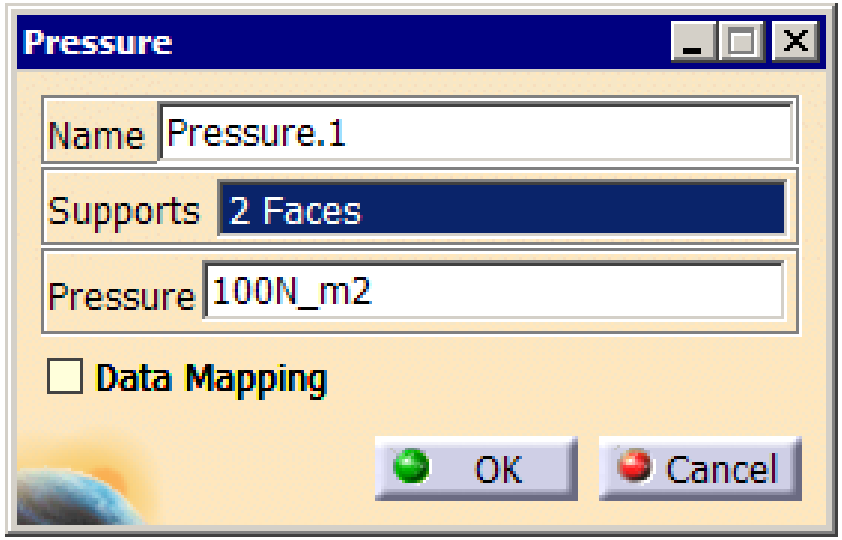


图8-7施加压力载荷对话框



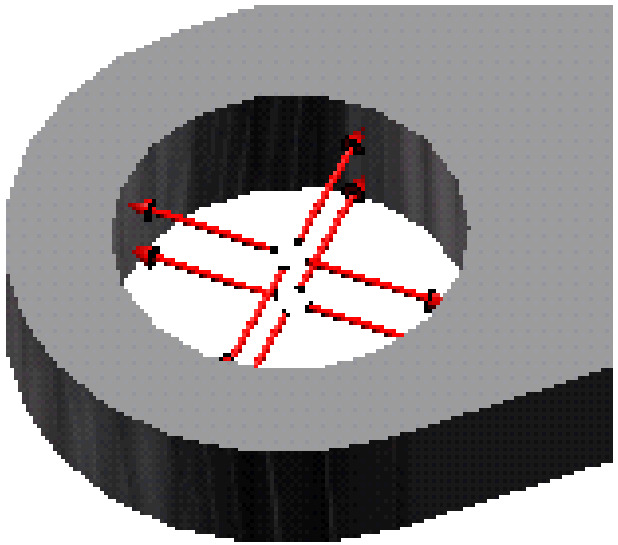


图8-8 选择施加均匀压力载荷的表面

2. 分布力  扭矩  轴承载荷

该类载荷作用于点、表面或虚拟单元，等价于节点上的力和力矩。施加方法是：（1）单击图标 （或   弹出图**8-9**所示施加载荷的对话框。（2）选择施加对象（表面或棱边）。（3）选择力的坐标系。（4）输入力或力矩的大小和方向。图**8-10**是在形体的内孔处施加轴承载荷后的结果。



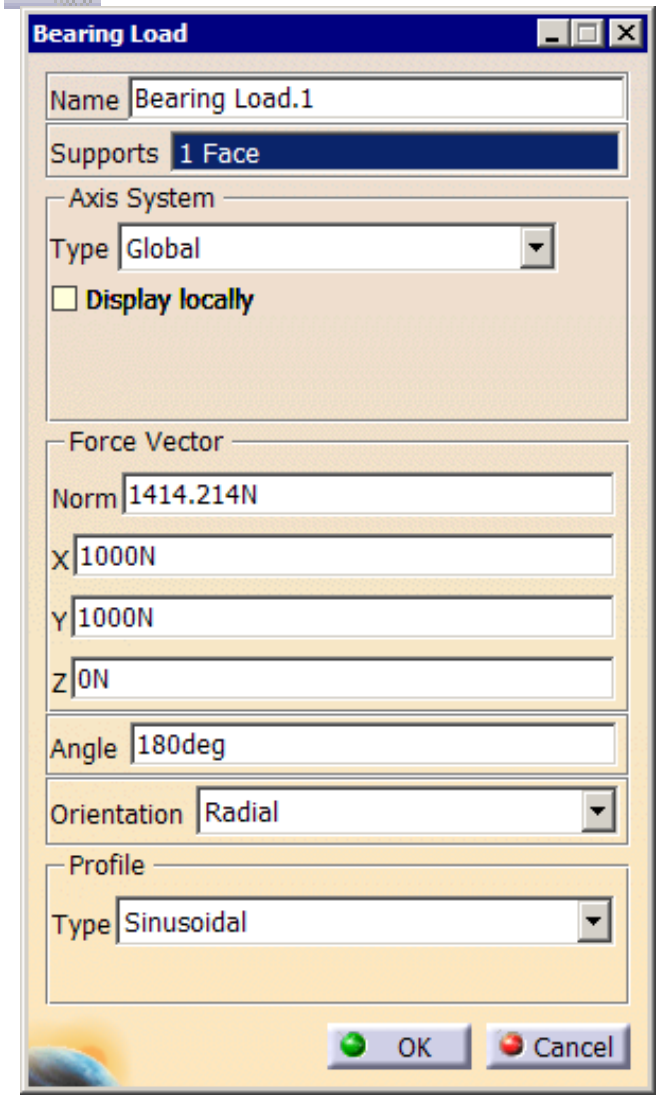


图**8-9** 施加载荷的对话框

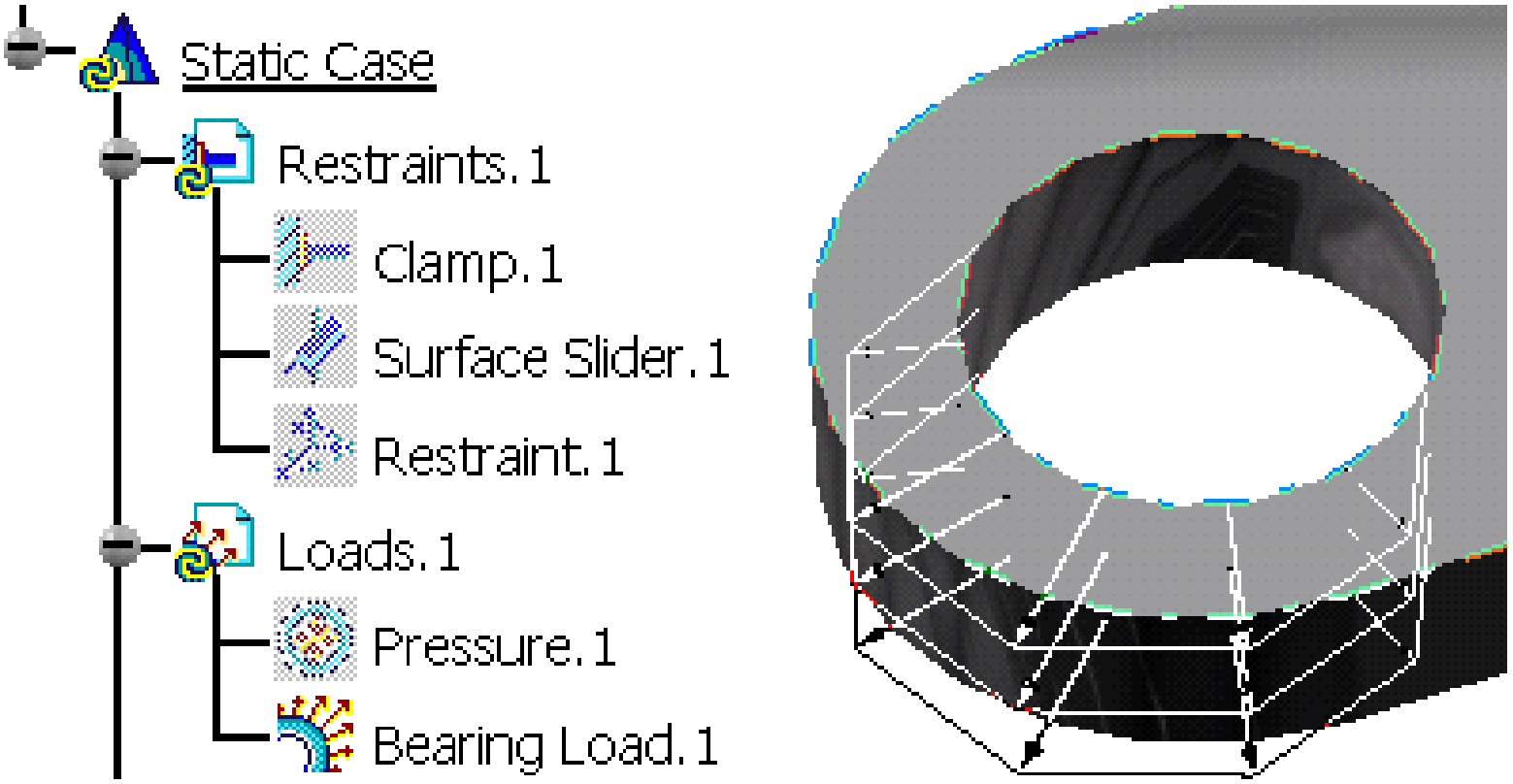
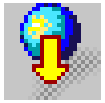

Static Case
Restraints.1
Clamp.1
Surface Slider.1
Restraint.1
Loads.1
Pressure.1
Bearing Load.1

图8-10施加轴承载荷

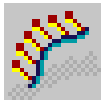
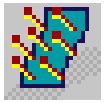
3.加速度载荷（形体的重力）

该功能提供了施加惯性力或重力的方法。一般流程是：（1）单击图标  。（2）选择施加对象。（3）选择坐标轴。（4）输入加速度x、y、z方向载荷的分量。

4. 离心（向心）力

定义由于旋转产生的离心力。一般的流程是：（1）单击图标  。2）选择形体。（3）选择旋转轴。（4）输入角速度和角加速度值。

5. 力密度

力密度包括： 线密度力  、 面密度力  和体密度力  。是施加于直线、曲面或实体上的均匀载荷。一般流程是：（1）单击力密度图标。（2）选择施加对象(曲线,表面或形体)。（3）选择轴系。（4）选择力的方向和密度。（5）选择坐标系类型，其中：**Implicit**为隐含（局部）坐标系、**Global**为全局坐标系、**User**为用户定义坐标系。

6. 位移载荷

该载荷在前面施加的约束基础上给定强制位移，等价于在实体约束表面施加载荷，例如一个表面施加了夹紧（clamp）约束后可以给定此表面上的三个平移位移一定的数值，相当于对此表面施加了一定的载荷。一般的流程是：（1）单击该图标，弹出图8-11所示位移载荷对话框。（2）选择已施加的约束。（3）输入每个约束自由度的位移值，参照图8-12。

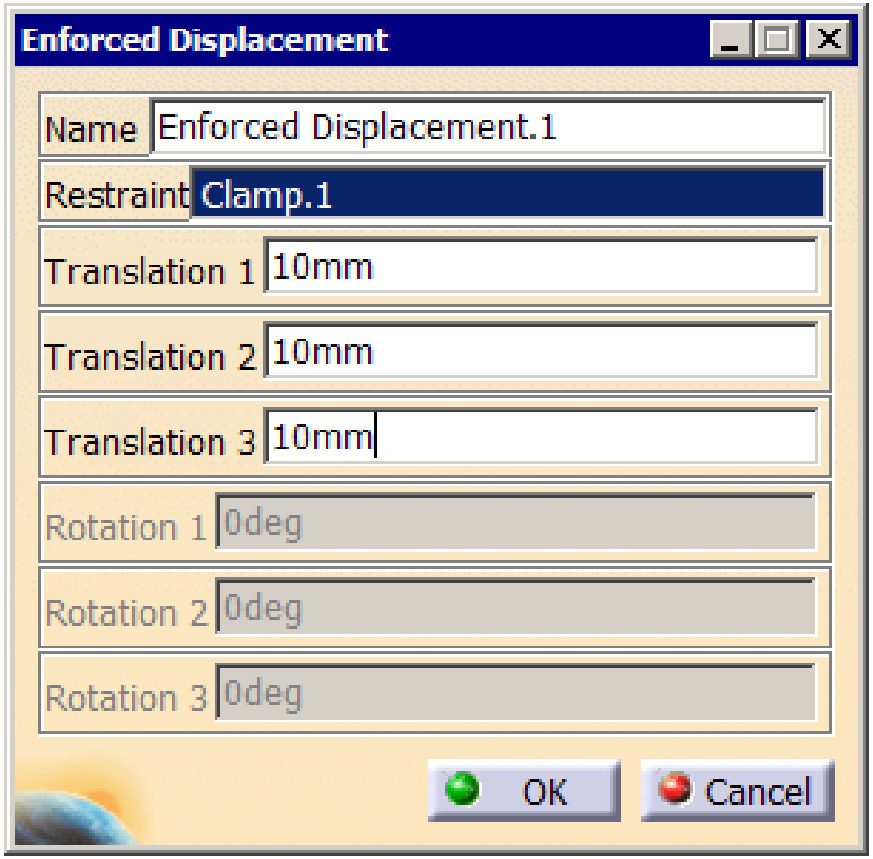
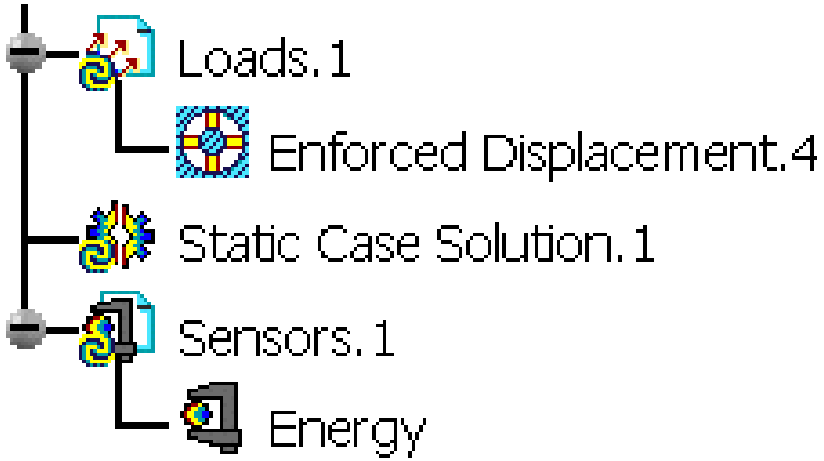


图8-11位移载荷对话框



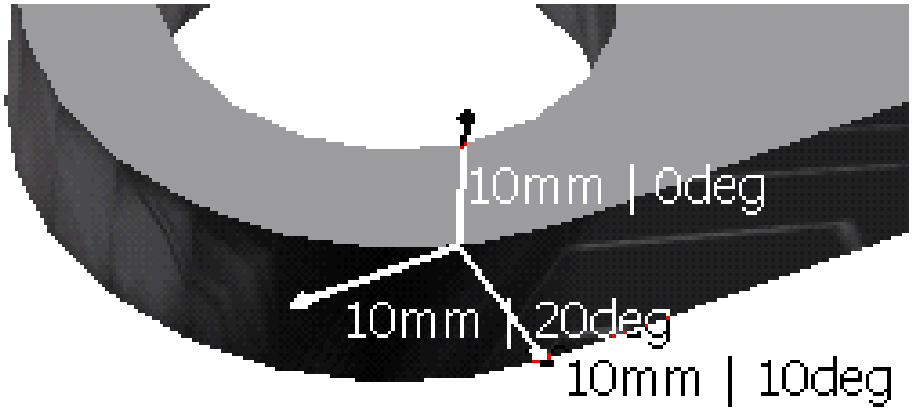


图8-12在夹紧约束上施加位移载荷

8.4 静态有限元计算过程和后处理

如果在进入工程分析模块时选择了**Static Analyses**（见图**8-1**所示对话框），在确定了约束条件和施加载荷之后就可以进行静态有限元计算和后处理工作。

例如上述零件的底部选择了夹紧约束，左孔施加了**X**、**Y**分量均为**-1000N**的轴承载荷，右孔施加了**X**分量为**1000N**、**Y**分量为**-1000N**的轴承载荷，见图**8-13**。

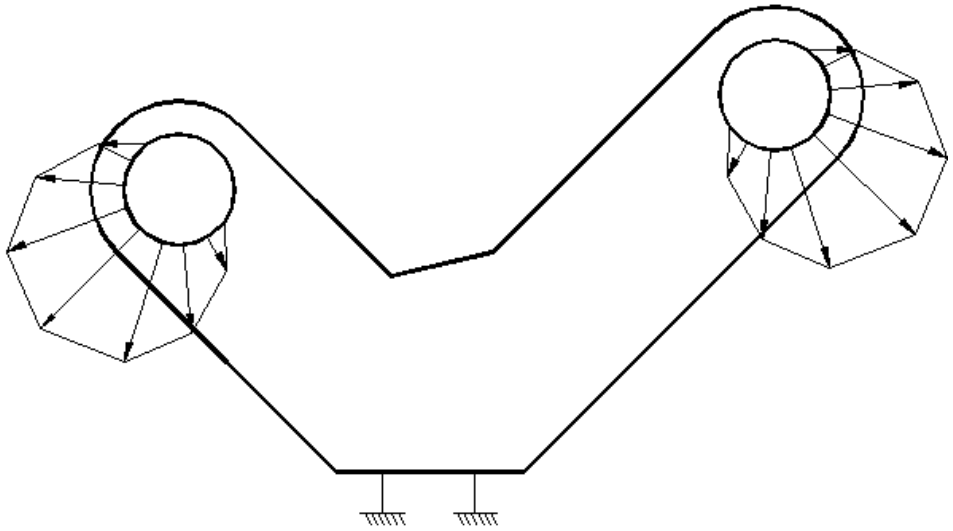


图**8-13**选择了夹紧约束和施加了轴承载荷的零件

8.4.1计算

1. 确定存放计算数据和计算结果文件的的路径.

可以通过下面两种方法指定计算数据和结果存储路径：

（1）选择图标 ，通过随后弹出的图8-14所示的确定存储路径对话框输入计算数据和计算结果文件的的路径。

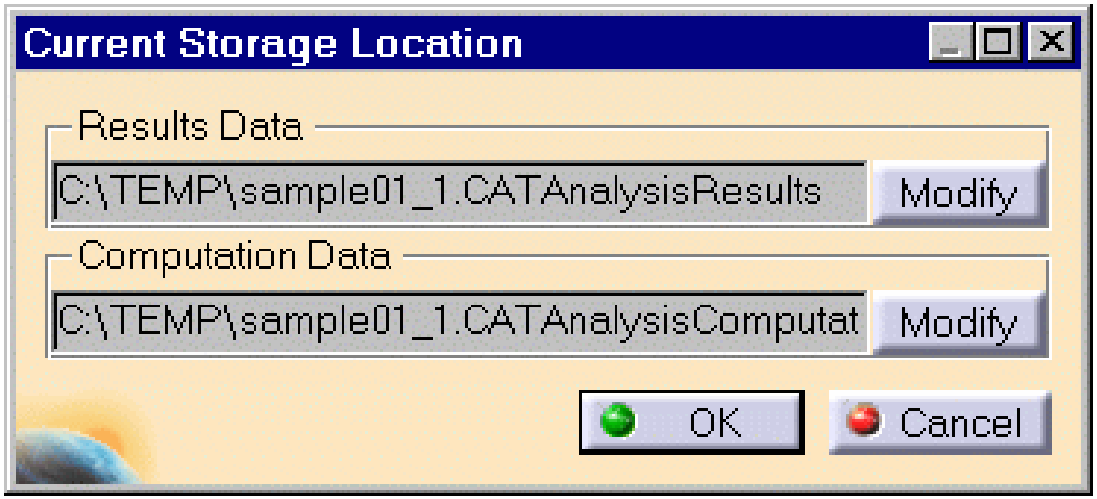


图8-14确定存储路径对话框

（2）通过图8-15特征树Links Manager节点的目录，双击该目录的分支，即可更改存储路径。

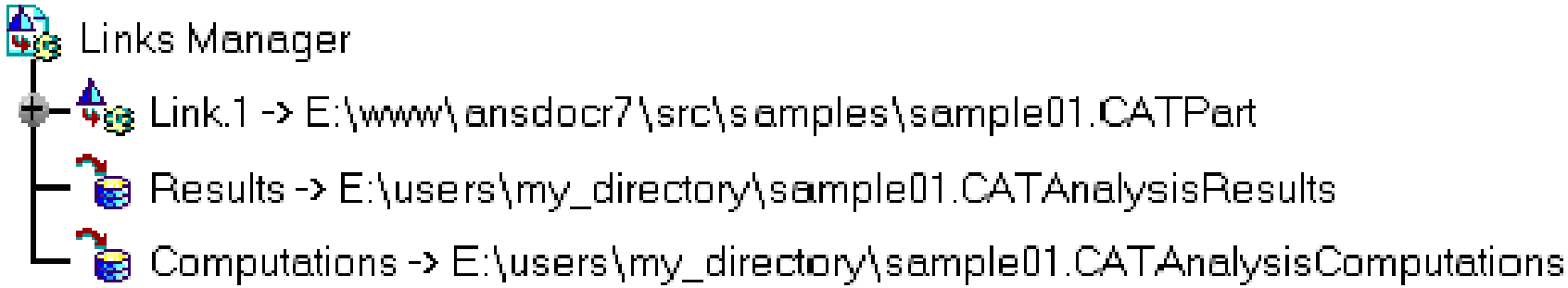
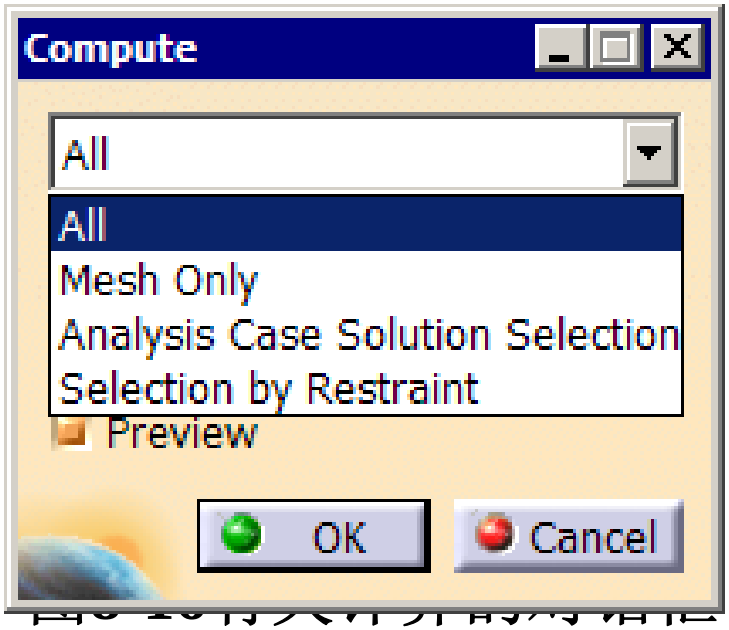


图8-15特征树的Links Manager节点

2. 启动有限元计算功能

单击该图  单出图**8-16**所示有关计算的对话框，在该对话框的下拉列表里选择**All**，单击**OK**按钮即可开始计算，完成计算后，有关显示有限元分析结果的图标改变为可用的状态。



8.4.2 显示静态分析结果

1. 产生/显示自动划分的网格 

单击该图标，显示了增添网格后的形体，网格是CATIA自动划分的，见图8-17。

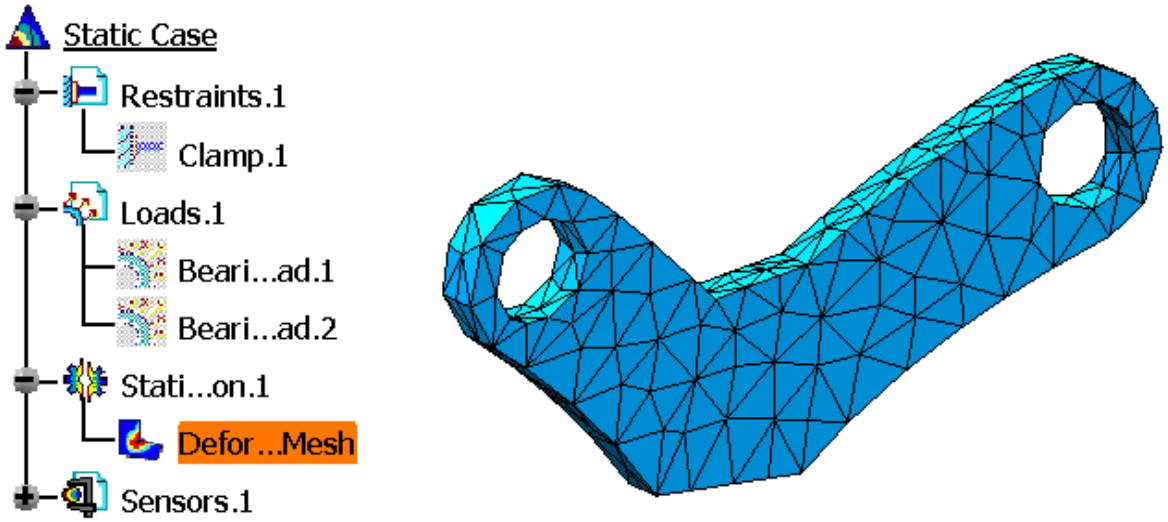
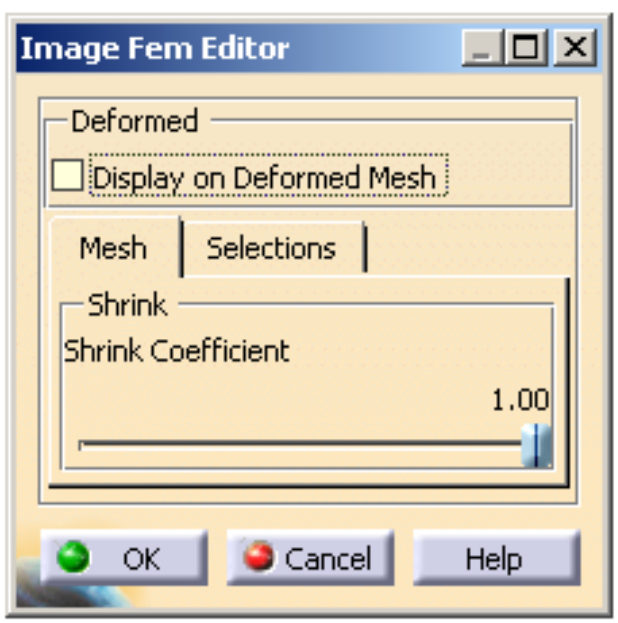
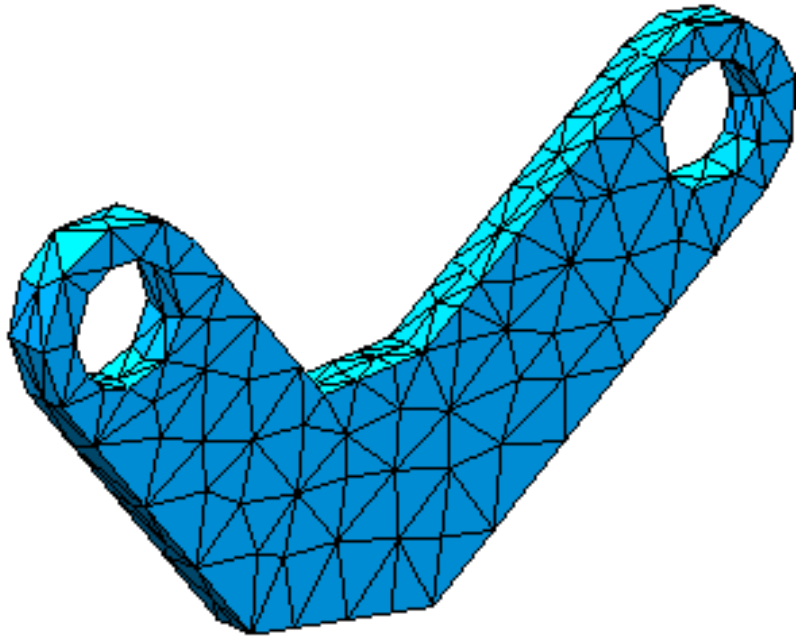


图8-17增添网格后的形体

将光标移至形体或特征树的节点 上面之后单击鼠标右键，在随后弹出的上下文相关菜单中选择【Deformed Mesh object】→【Definition ...】，将弹出图8-18（a）所示控制网格效果的

对话框。若切换开关**Display on Deformed Mesh**为开，显示变形后的形体，见图**8-17**，否则显示变形前的形体，见图**8-18（b）**。





（a） （b）

图**8-18**控制网格效果的对话框

1. 冯米斯应力（Stress Von Mises）显示

单击  图标，显示了冯米斯应力图，见图8-19。冯米斯应力图用于评价应力分布情况，右面是CATIA自动生成的调色板，颜色从蓝到红，表示应力逐渐变大。当鼠标指向节点时，显示此节点的冯米斯应力值。

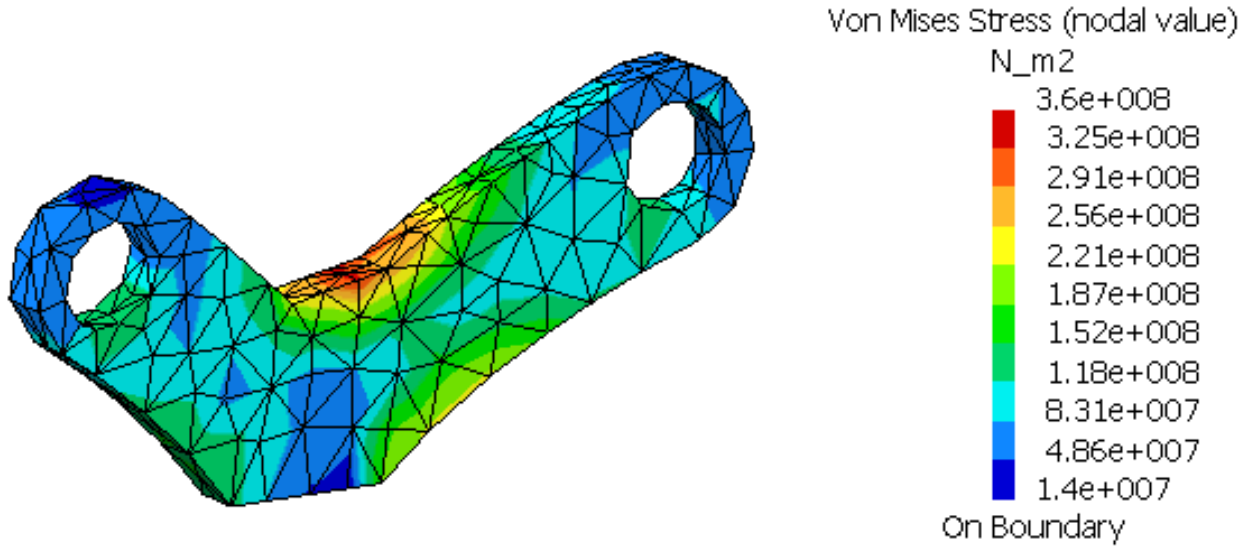


图8-19冯米斯应力图

1. 位移显示

单击　　图标，显示了位移图，见图**8-20**。位移显示代表变形情况，也是用颜色代表位移值，自动产生调色板，代表一定范围的位移值；鼠标在节点上，可显示此点的位移值。

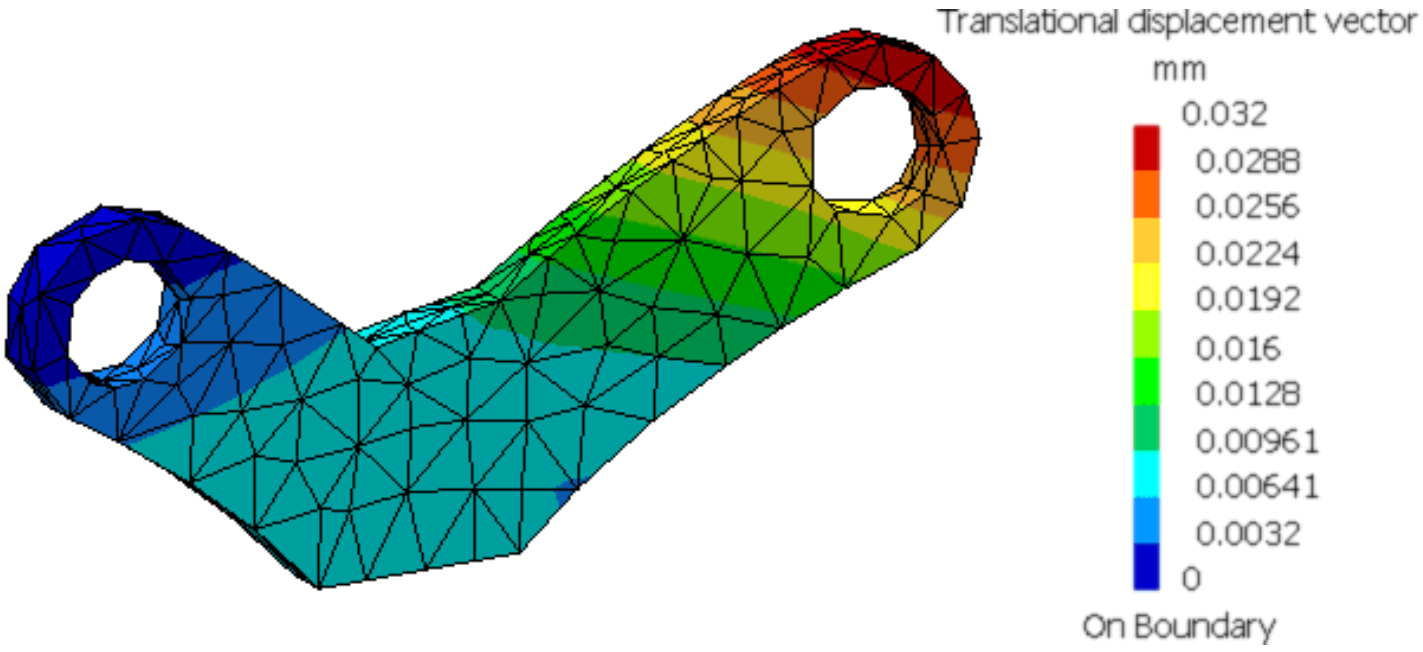
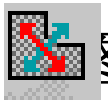


图**8-20**位移显示图

4. 主应力张量显示

单击  图标，显示了主应力张量图，见图**8-21**。该功能显示节点处应力张量的符号，从整个显示图可以看到形体承接载荷的路径和状态，颜色从蓝到红，表示应力逐渐变大。

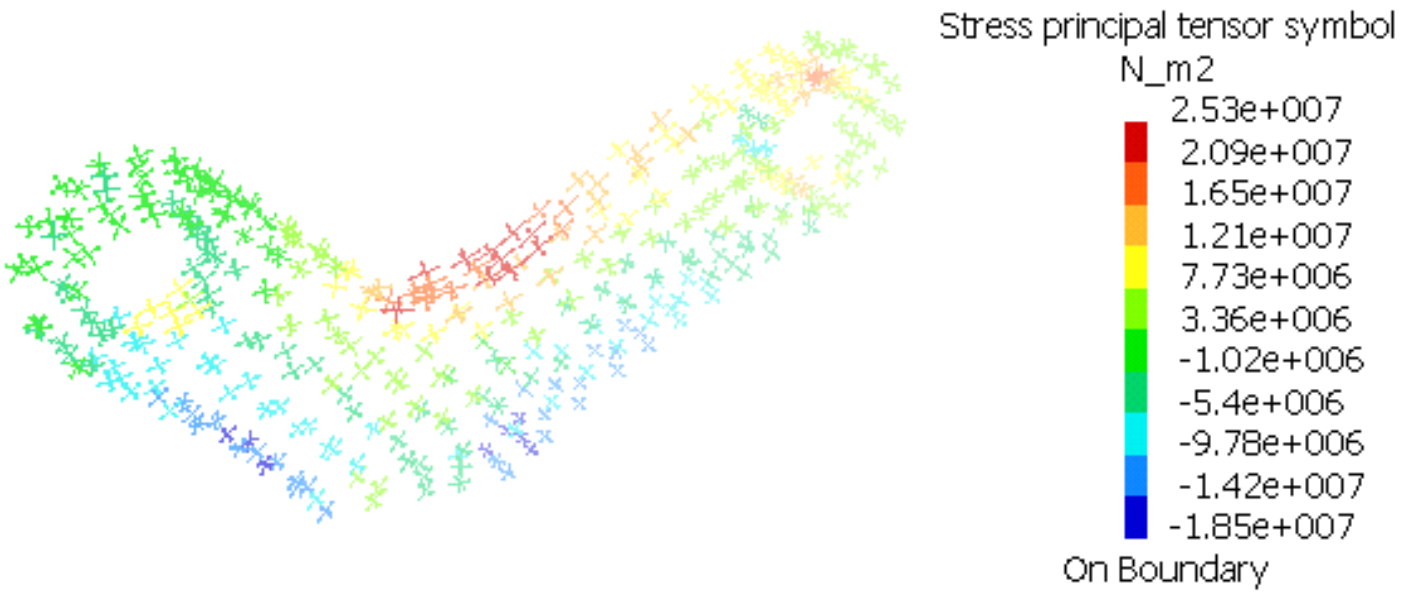
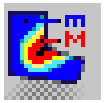


图8-21主应力张量显示图

5. 显示位移或应力的最大最小值

单击  图标，可以在位移或应力图上标注位移或应力的最大最小值，见图**8-22**。

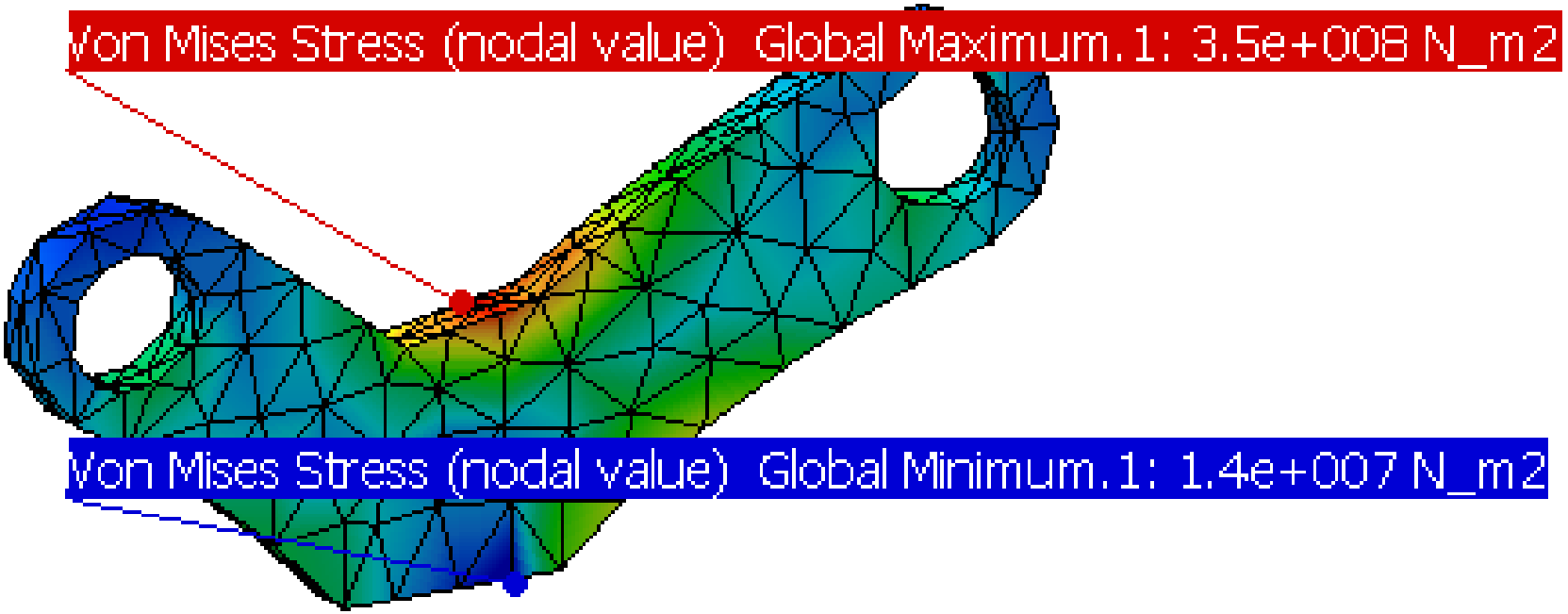


图**8-22**显示应力的最大最小值

8.5 动态分析的前处理和显示计算结果

如果在进入工程分析模块时选择了**Frequency Analyses**或**Free Frequency Analyses**（见图**8-1**所示对话框），将进行形体的动态分析。**Frequency Analyses**和**Free Frequency Analyses**都是形体的固有频率分析，但前者需要对形体施加一定的约束，后者完全自由。

8.5.1动态分析前处理

1. 施加约束

动态分析中约束有**clamp**（夹紧）、**Surface Slider**（曲面滑动）和**Advanced Restraints**（高级自由度约束）三种类型。如果在进入工程分析模块时选择了**Frequency Analyses**，就需要对形体施加一定的约束，施加约束的方法同静态分析。

2. 附加质量

通过Mass工具栏  形体附加质量。

（1）附加分布质量 

分布质量施加于形体表面或虚拟单元上，代表着节点上的附加质量，计算中等价到各个节点之上。

单击  图标，弹出图**8-23**所示分布质量对话框。选择形体表面、棱边或虚拟单元，在对话框中输入质量数值。例如选择了图**8-24**所示零件的右孔表面，输入**1kg**的质量，单击**OK**按钮，结果见图**8-24**。

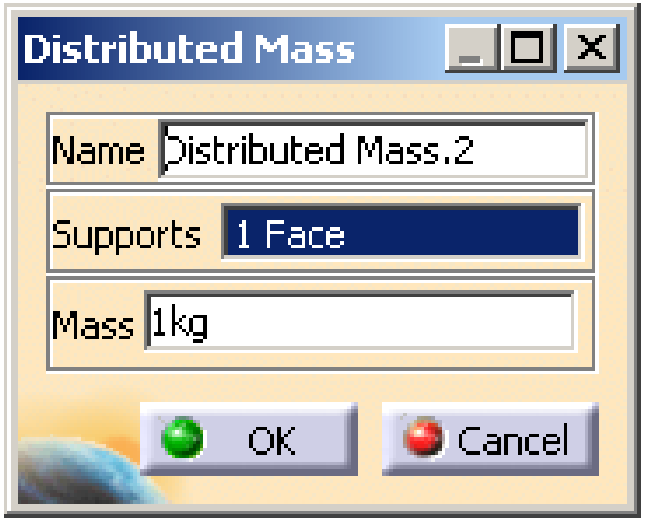


图**8-23** 分布质量对话框

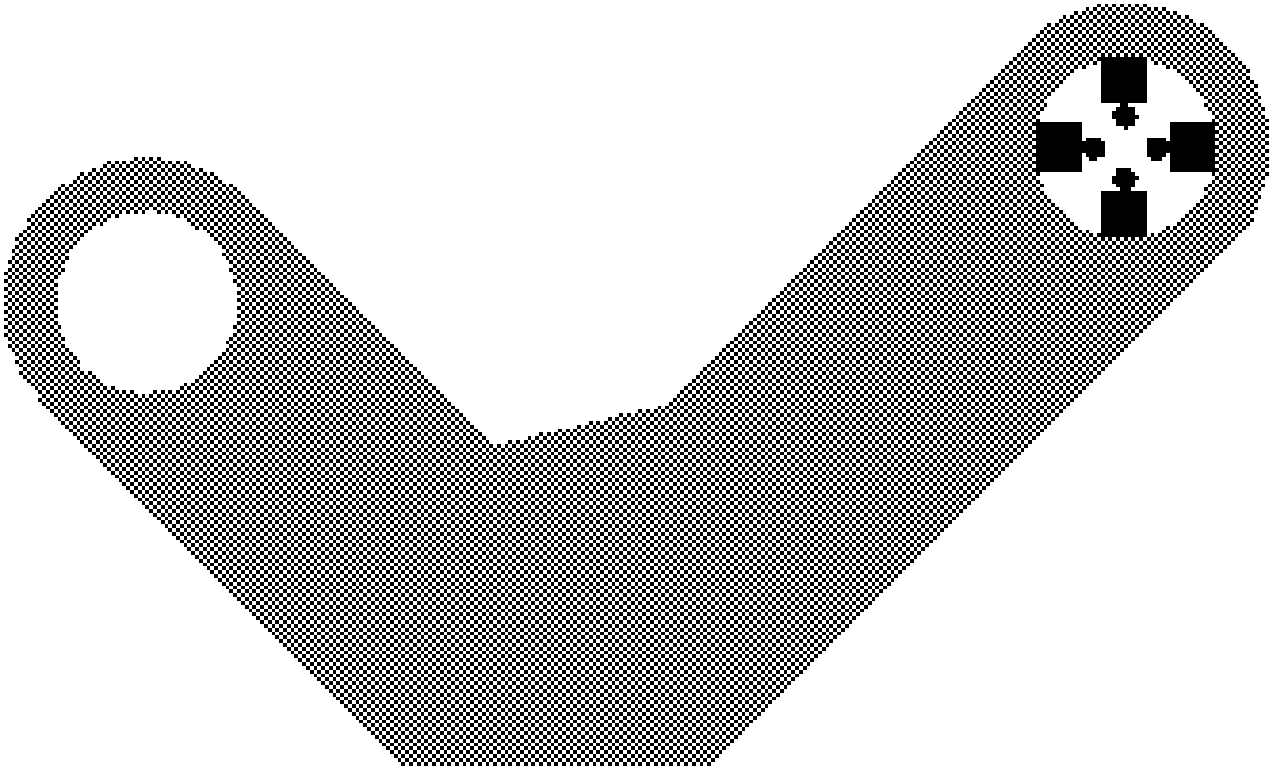


图8-24施加分布质量后的零件

（3）附加面质量密度 

以单位面积的方式为形体附加质量。单击  图标，弹出与图**8-25**所示对话框类似的面线质量密度对话框。选择形体的表面，输入面质量密度数值即可。

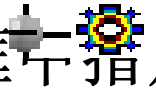
上述约束施加方法和静态分析施加约束方法.

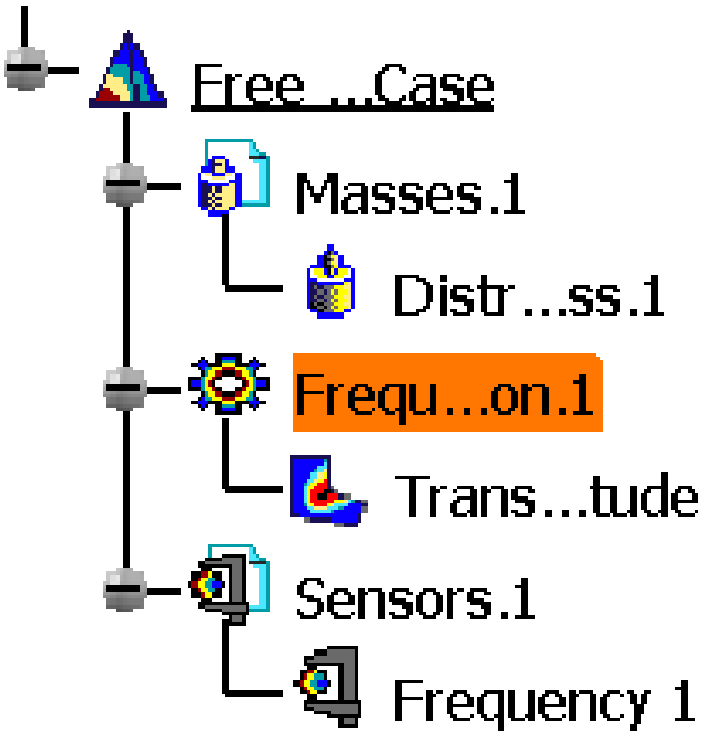
8.5.2计算

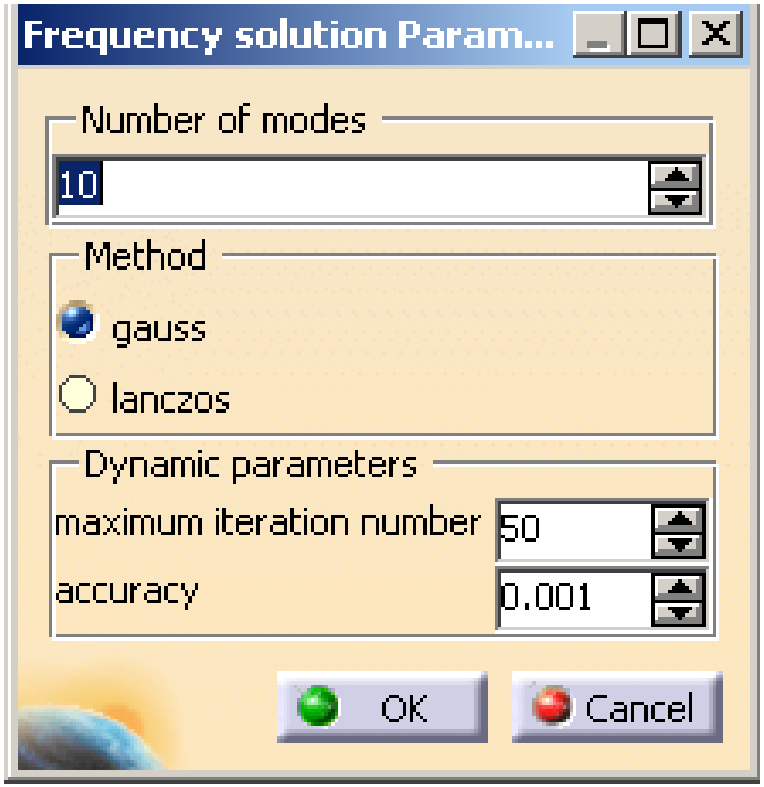
1. 确定存放计算数据和计算结果文件的的路径（同静态分析）。

2. 确定计算模态的最高阶数

双击图**8-26(a)**所示特征树上频率分析工况节点，弹出图**8-26(b)**所示频率参数对话框，在对话框中指定计算模态的最高阶数，例如**10**。







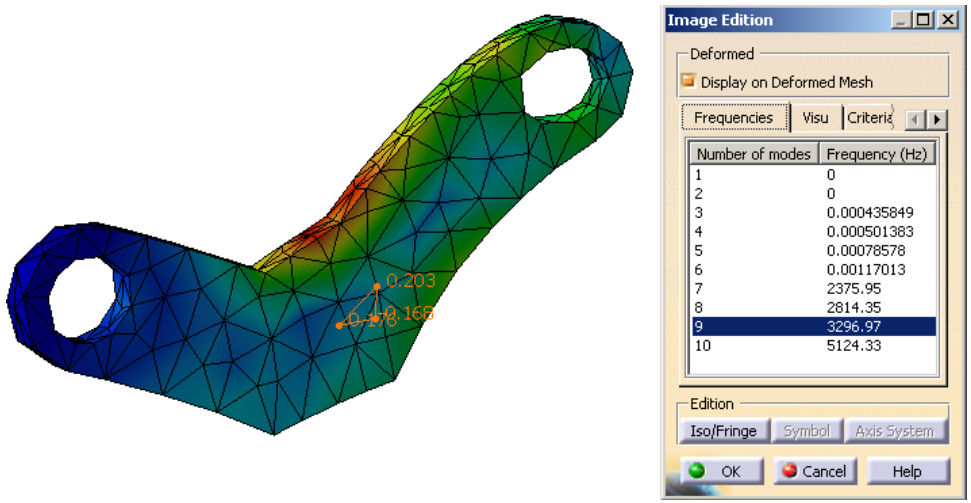
（a） （b）

图8-26特征树和频率参数对话框

8.5.3显示动态分析结果

1. 冯米斯应力（Stress von Mises）显示

单击 图标，显示形体的冯米斯应力图，见图8-27（a）。双击该应力图或特征树的节点 Von M...lue)，将弹出图8-27（b）所示图像编辑对话框。通过该对话框选择不同的频率阶数，即可得到相应的应力图。



（a） （b）

图8-27形体的冯米斯应力图和图像编辑对话框

2. 位移显示（模态显示）

单击该图标，显示形体的位移图，见图**8-28**。双击该应力图或特征树的 节点，将弹出图**8-27**（**b**）所示图像编辑对话框。通过该对话框选择不同的频率阶数，即可得到相应的位移图。图**8-28**是频率阶数为**10**时形体的位移图。

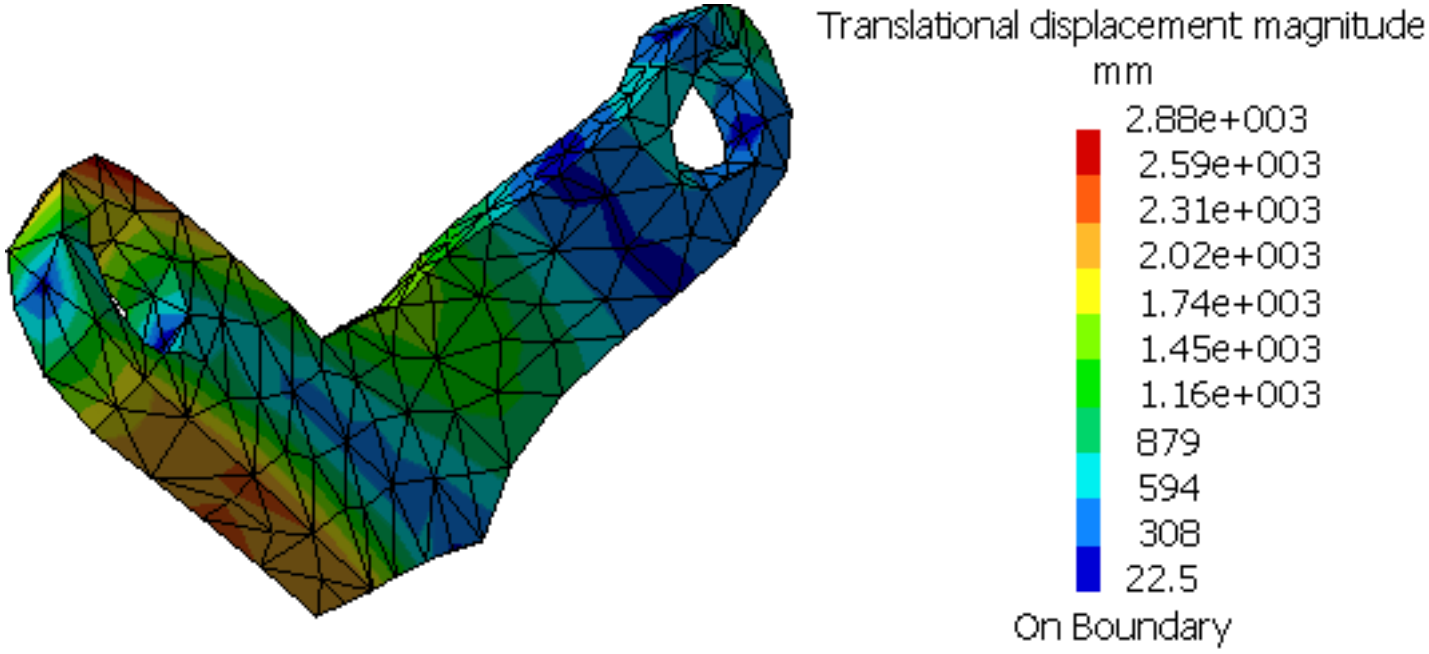
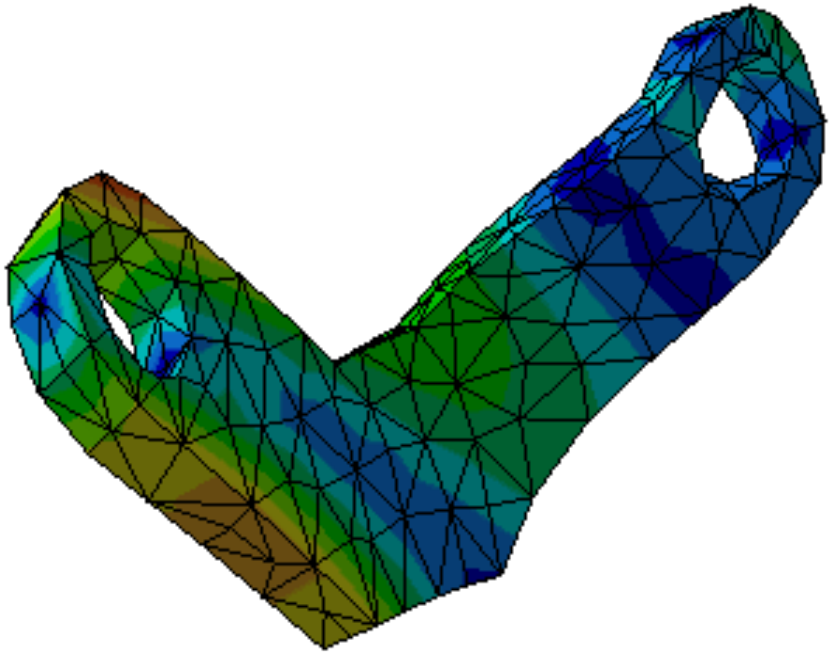


图**8-28**形体的位移显示图

3. 模态的动画显示 

单击该图标，弹出图8-29（b）所示动画窗口。该窗口的图像按钮与播放影像设备的按钮用法相同。通过这些按钮详细地观察形体在不同时刻应力或位移的变化。



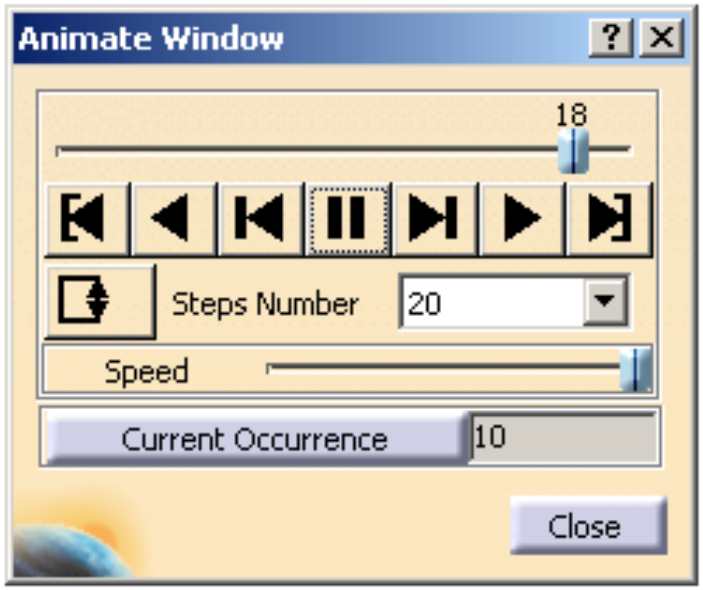


图8-29动画窗口

8.6 有限元分析实例

[例8-1] 以第4章建立的摇杆为例，演示有限元分析的过程。

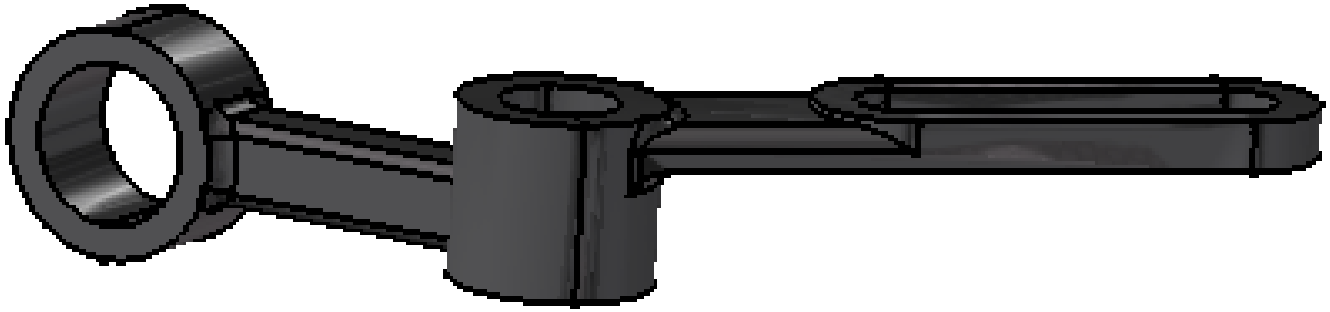


图8-30摇杆

1. 进入有限元分析模块前的准备工作

（1）首先打开摇杆的三维形体文件**YaoGan.CATPart**，显示了图**8-30**所示的摇杆。选择摇杆，单击图标  ，在随后弹出的图**8-31**所示材料库的【**Library**】对话框中选择**Steel**（钢）。

（2）（2）将显示模式设为 。

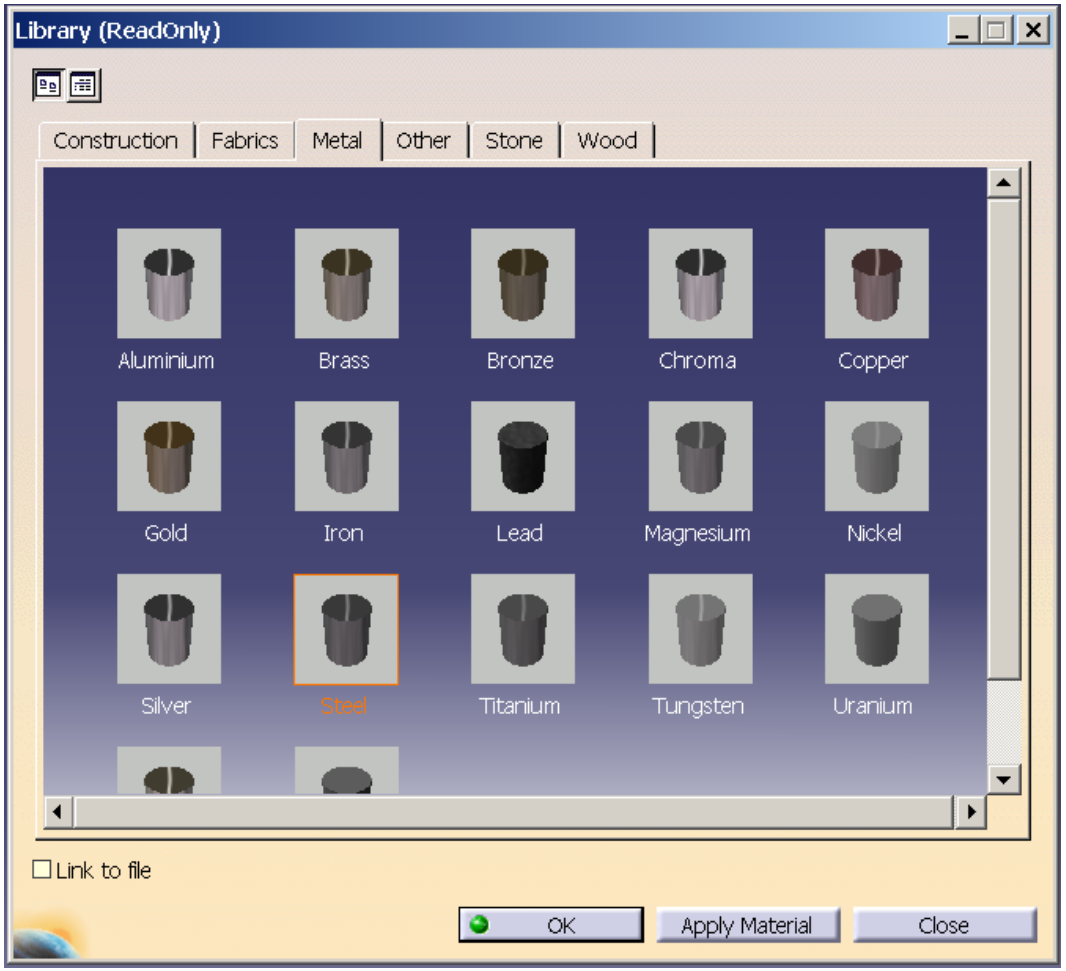
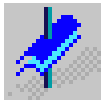


图8-31【Library】对话框

（3）选择菜单【Start】→【Analysis & Simulation】→【General Structure Analysis】，在图8-1所示对话框中选择Static Analysis（静态分析），进入有限元分析模块，将产生一个新的CATAnalysis文件。

2. 施加约束

单击图标  选择摇杆中心孔，为摇杆施加滑动约束，见图8-32。

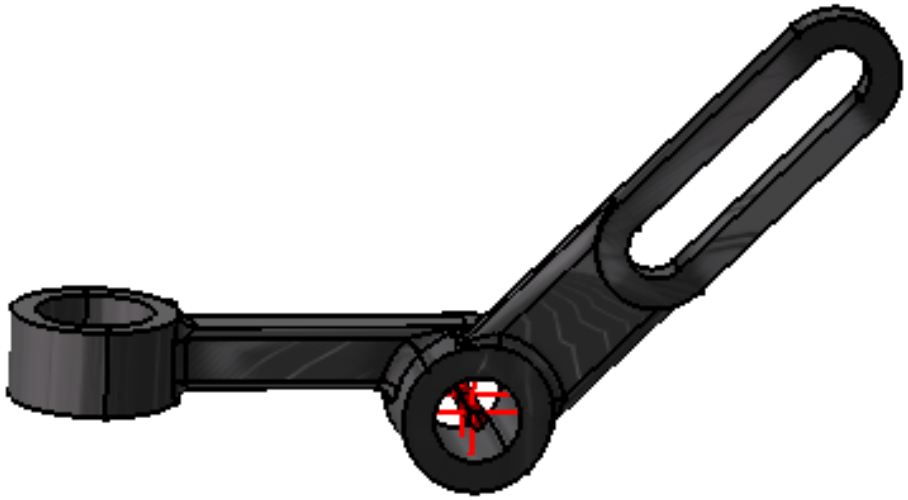


图8-32在摇杆中心孔施加滑动约束

单击图标  选择摇杆左孔，为摇杆施加夹紧约束，见图**8-33**。

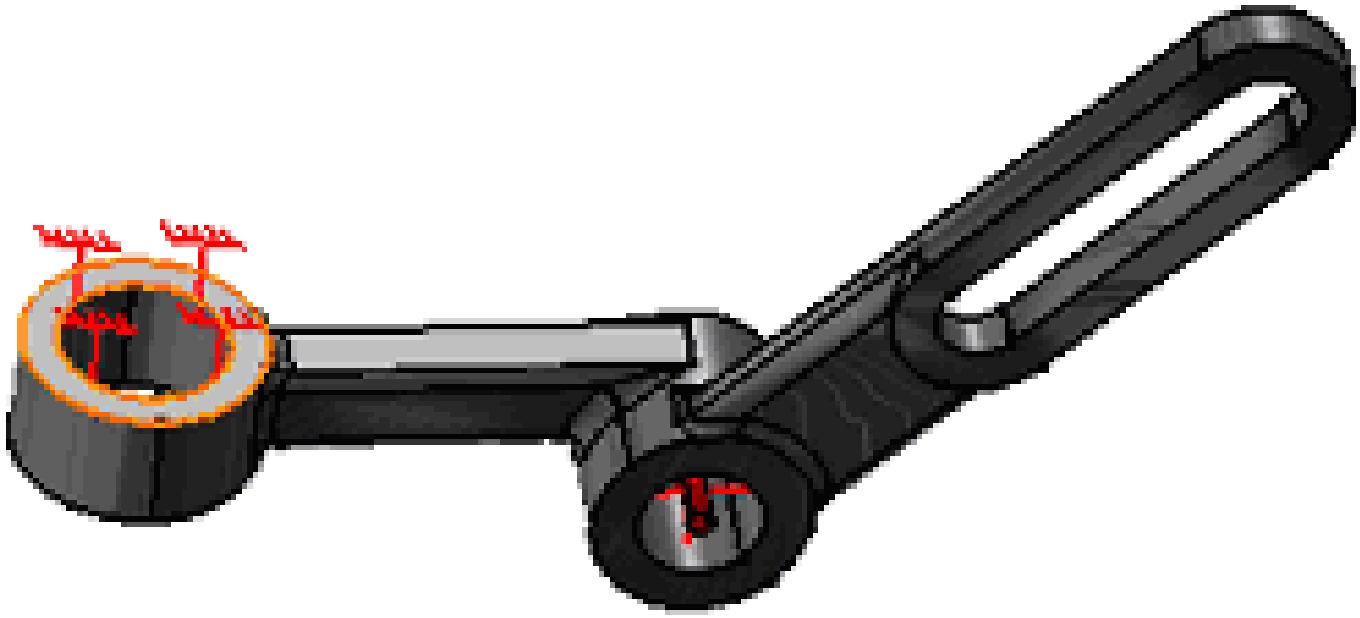
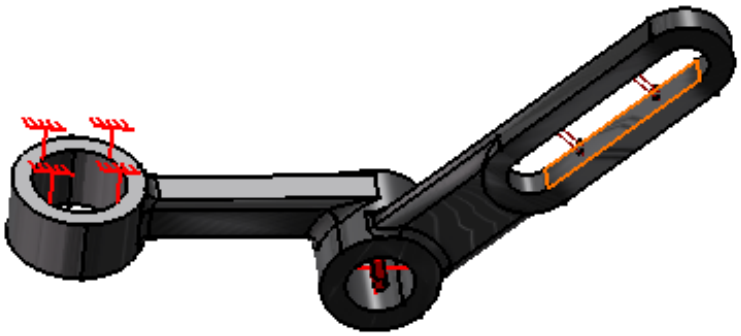


图**8-33**在摇杆左孔施加夹紧约束

3. 单击图标  选择摇杆右边的长孔，在分布载荷对话框内输入**X**轴反方向、大小为**1500N**的分布载荷，见图**8-34**。



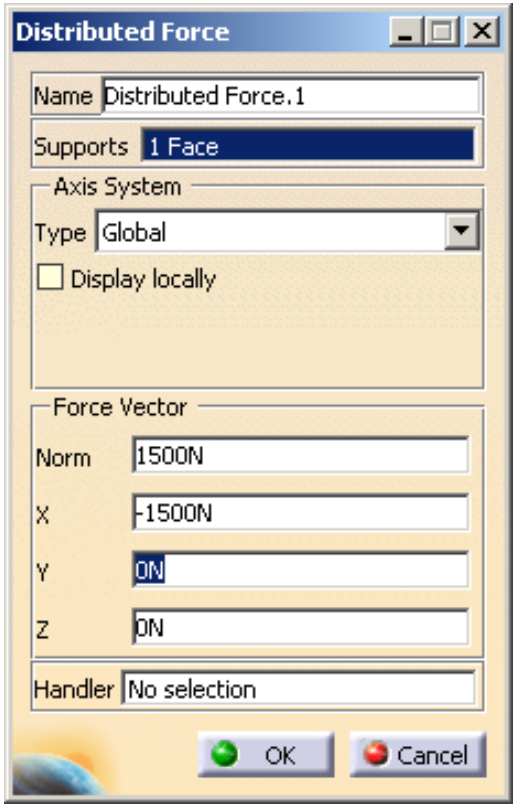
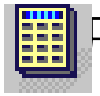


图**8-34**在摇杆右边的长孔施加载荷

4. 单击图标  通过图**8-15**所示的确定存储路径对话框输入计算数据和计算结果文件的的路径。

5. 单击图标  开始计算。

6. 显示分析结果

单击图标  显示摇杆的网格变形图，见图**8-35**。

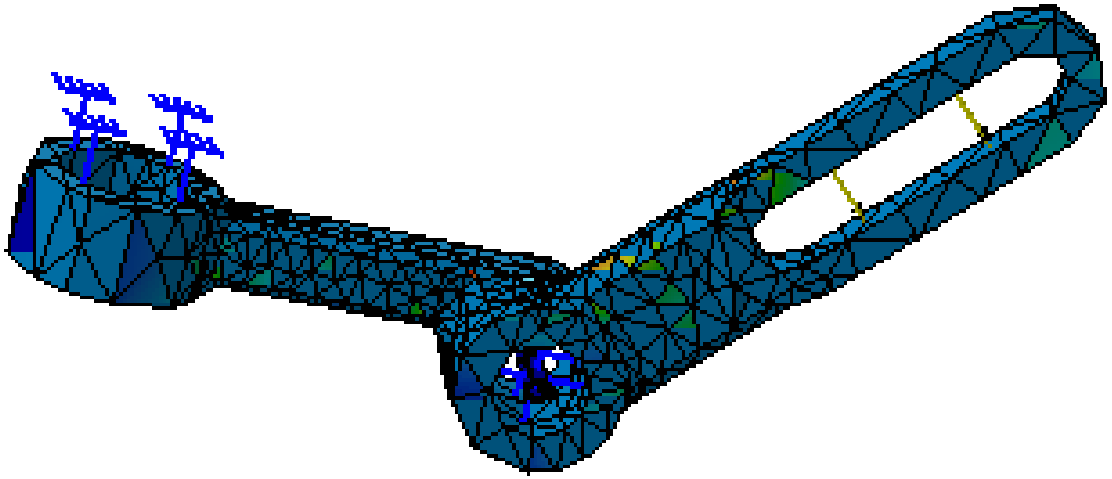


图**8-35**摇杆网格变形图

习　　题

1．孔板（取四分之一）见图**8-86**，边界条件为沿着平面滑动，作孔板受压力应力分析。

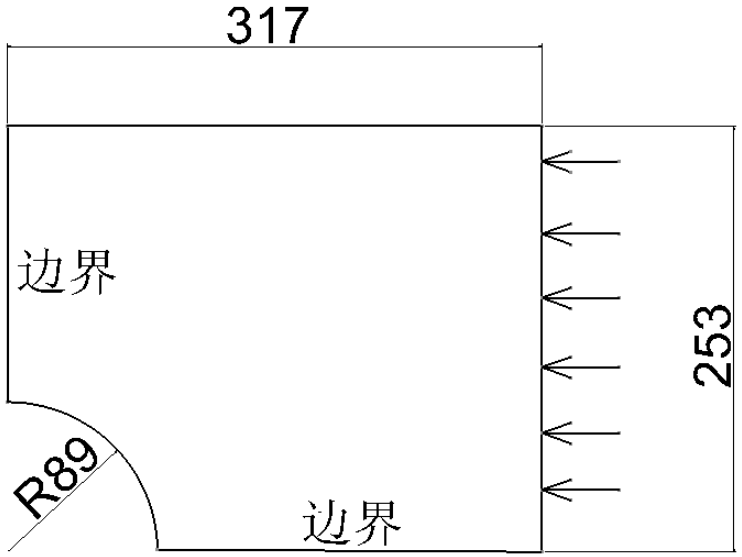


图8-86

2．图8-87为球冠受力图，已知球冠的材料为钢，F=3000N均匀分布。作球冠应力和变形分析。

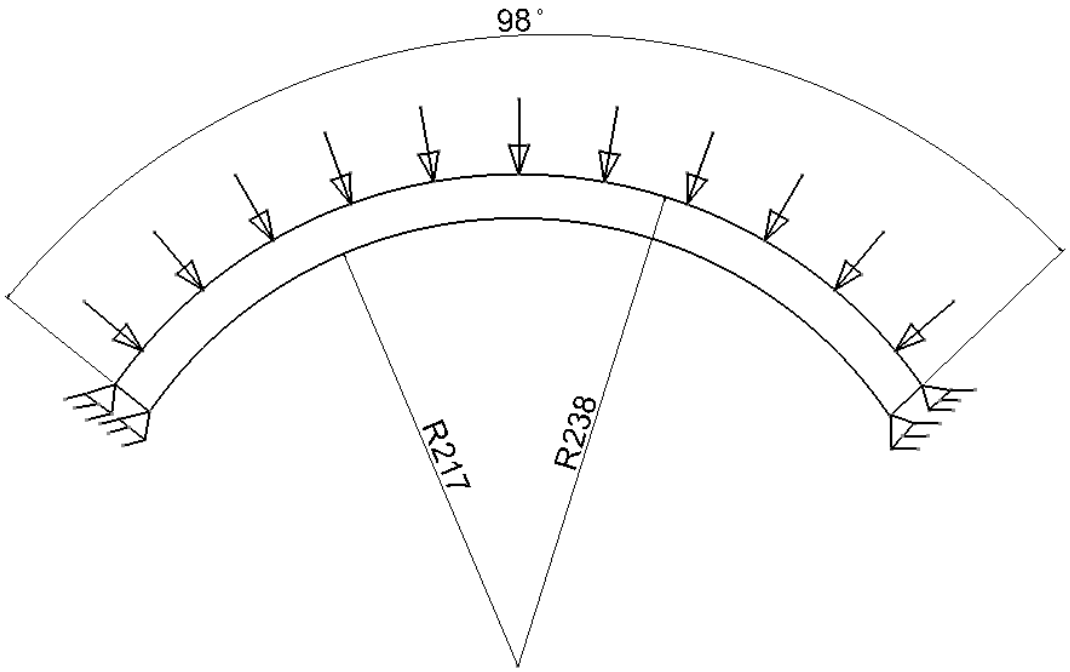


图8-87

3．钢材悬臂梁的尺寸见图8-88，做该悬臂梁的特征值分析。

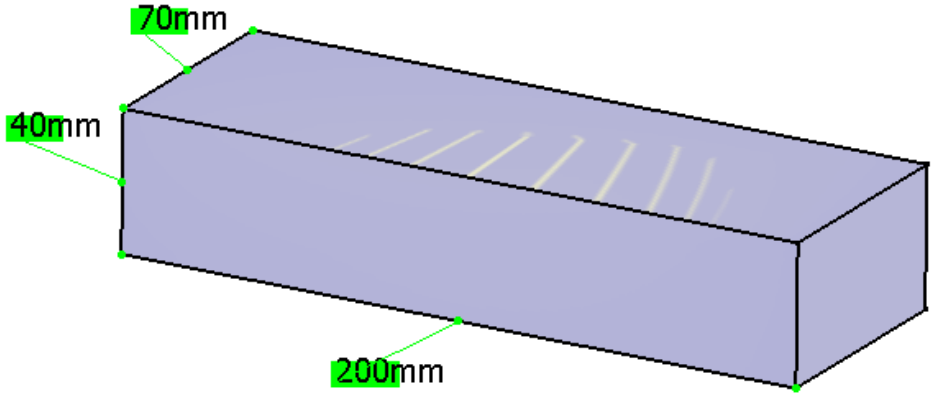


图8-88

4．四边刚性固定的方形板，尺寸为200×200×2.5。表面均匀压力=1600N，材料为钢材，求解中心挠度。

5．图8-89所示连杆，材料为钢材，厚度为6 mm，两端孔受杆轴线方向压力F=980N，求解应力和变形。