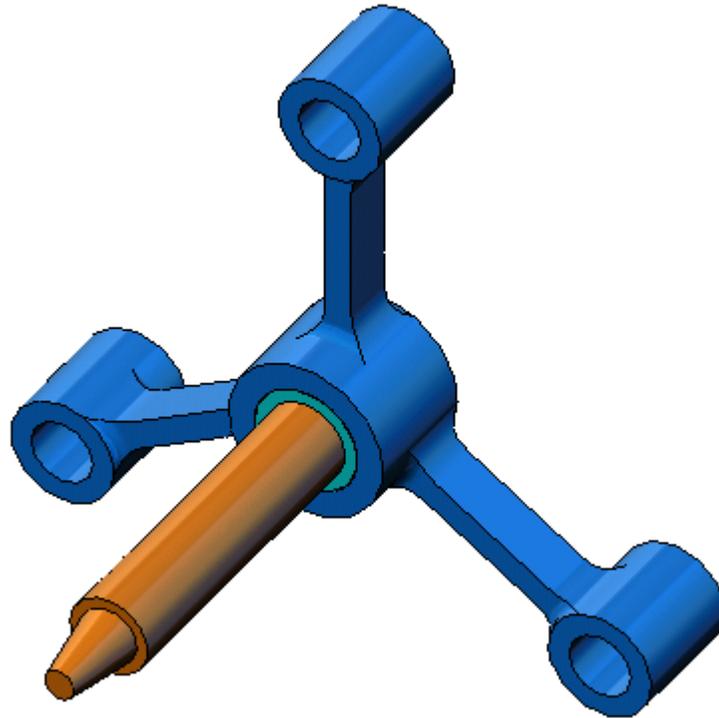




使用 SolidWorks Simulation 进行应力分析的简介， 学员指南



© 1995-2010, Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, a Dassault Systèmes S.A. company, 300 Baker Avenue, Concord, Mass. 01742 USA。保留所有权利。

本文件中提及的信息和本软件如有变更，恕不另行通知，Dassault Systèmes SolidWorks Corporation (DS SolidWorks) 对此不承担任何义务。

未经 DS SolidWorks 明确书面许可，不得出于任何目的，以任何形式或手段（电子或机械）复制或传播任何材料。

本文件中提及的本软件是通过颁发许可证的形式提供的，使用或复制本软件都应遵循本许可中的条款。许可协议中规定了 DS SolidWorks 为本软件和文档提供的所有担保，本文件或其内容的任何声明或暗示均不得被理解为或视为对许可协议中任何条款（包括担保）做出的修改或更正。

专利通告

SolidWorks® 3D 机械 CAD 软件受美国专利 5,815,154、6,219,049、6,219,055、6,611,725、6,844,877、6,898,560、6,906,712、7,079,990、7,477,262、7,558,705、7,571,079、7,590,497、7,643,027、7,672,822、7,688,318、7,694,238、7,853,940 和外国专利（如 EP 1,116,190 和 JP 3,517,643）的保护。

eDrawings® 软件受美国专利 7,184,044、7,502,027 及加拿大专利 2,318,706 的保护。

某些美国和国外专利正在申请中。

SolidWorks 产品和服务的商标及产品名称

SolidWorks、3D PartStream.NET、3D ContentCentral、eDrawings 和 eDrawings 徽标是 DS SolidWorks 的注册商标，FeatureManager 是 DS SolidWorks 的共有注册商标。

CircuitWorks、Feature Palette、FloXpress、PhotoWorks、TolAnalyst 和 XchangeWorks 是 DS SolidWorks 的商标。

FeatureWorks 是 Geometric Software Solutions Ltd. 的注册商标。

SolidWorks 2011、SolidWorks Enterprise PDM、SolidWorks Simulation、SolidWorks Flow Simulation 和 eDrawings Professional 是 DS SolidWorks 的产品名称。

其他品牌或产品名称是其各自所有者的商标或注册商标。

商用计算机软件 - 所有权

美国政府有限权利。政府的使用、复制或泄露行为受 FAR 52.227-19（商用计算机软件 - 有限权利）、DFARS 227.7202（商用计算机软件和商用计算机软件文档）以及许可协议中的相应限制条款的约束。

承包商 / 制造商：

Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, 300 Baker Avenue, Concord, Massachusetts 01742 USA

SolidWorks Standard、Premium、Professional 和 Education 产品的版权通告

本软件的某些部分属于 © 1986-2010 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. 所有。保留所有权利。

本软件的某些部分属于 © 1986-2010 Siemens Industry Software Limited 所有。保留所有权利。

本软件的某些部分属于 © 1998-2010 Geometric Ltd. 所有。

本软件的某些部分属于 © 1996-2010 Microsoft Corporation 所有。保留所有权利。

本软件的部分集成了 PhysX™ by NVIDIA 2006-2010。

本软件的某些部分属于 © 2001 - 2010 Luxology, Inc. 所有。保留所有权利，专利正在申请中。

本软件的某些部分属于 © 2007 - 2010 DriveWorks Ltd. 所有。

版权所有 1984-2010 Adobe Systems Inc. 及其许可证颁发机构。保留所有权利。受美国专利 5,929,866、5,943,063、6,289,364、6,563,502、6,639,593、6,754,382 保护；专利正在申请中。

Adobe、Adobe 徽标、Acrobat、Adobe PDF 徽标、Distiller 和 Reader 是 Adobe Systems Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标或商标。

有关版权的详细信息，请参见“帮助”>“关于 SolidWorks”。

SolidWorks Simulation 产品版权通告

本软件的某些部分属于 © 2008 Solversoft Corporation 所有。

PCGLSS © 1992-2007 Computational Applications and System Integration, Inc. 保留所有权利。

Enterprise PDM 产品版权通告

Outside In® Viewer Technology, © 版权所有 1992-2010, Oracle

© 版权所有 1995-2010, Oracle。保留所有权利。

本软件的某些部分属于 © 1996-2010 Microsoft Corporation 所有。保留所有权利。

eDrawings 产品版权通告

本软件的某些部分属于 © 2000-2010 Tech Soft 3D 所有。

本软件的某些部分属于 © 1995-1998 Jean-Loup Gailly and Mark Adler 所有。

本软件的某些部分属于 © 1998-2001 3Dconnexion 所有。

本软件的某些部分属于 © 1998-2010 Open Design Alliance 所有。保留所有权利。

本软件的某些部分属于 © 1995-2009 Spatial Corporation 所有。

本软件基于 Independent JPEG Group 的部分工作。

关于此课程

使用 *SolidWorks Simulation* 进行应力分析的简介及其辅助资料旨在帮助您在教学环境下学习 SolidWorks Simulation。

联机教程

使用 *SolidWorks Simulation* 进行应力分析的简介是一种配套资源，SolidWorks Simulation 联机教程是对它的有力补充。

访问教程

要启动联机教程，请依次单击**帮助、SolidWorks 教程、所有 SolidWorks 教程**。系统会调整 SolidWorks 窗口的大小并在它的旁边显示另一个窗口，在当中列出可用教程。将鼠标指针移到链接上时，该窗口的底部会显示相应的教程图示。单击所需的链接即可启动相应的教程。

惯例

为了优化教程的显示效果，请将屏幕分辨率设置为 1280 x 1024。

教程中会出现以下图标：

 移到教程中的下一个屏幕。

 表示注释或提示。它并非链接，其说明信息位于图标右侧。注释与提示提供了节省时间的操作步骤和实用启示。

 您可以单击课程中出现的大多数工具栏按钮以显示相应的 **SolidWorks** 按钮。首次单击这些按钮时，会显示一条有关 **ActiveX** 控件的消息：在此页上的 **ActiveX** 控件和本页上的其它部份的交互可能不安全。您想允许这种交互吗？这只是一种标准的预防措施。联机教程中的 **ActiveX** 控件并不会危害您的系统。单击**否**可禁用该主题脚脚本。单击**是**则运行脚本并显示按钮。



➔ **打开文件**或**设置此选项**会自动打开文件或者设置选项。

🎥 **视频示范**会显示该步骤的相关视频。

🔍 **深入了解...**会链接到与某一主题相关的更多信息。尽管对完成教程的学习而言并非必要，但它可有助您了解某个主题的详细信息。

❓ **为什么...**会链接到某个操作过程的相关详细信息以及需要采用某种方法的原因。这些信息并不是完成教程所必需的。

打印教程

如果需要，您可以按照下面的步骤打印联机教程：

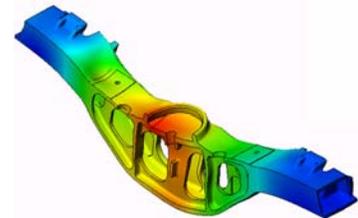
- 1 在教程的导航工具栏上，单击**显示** 。
- 2 右击您想打印的课程所对应的书状图标，然后从快捷菜单中选择**打印**。此时会显示**打印主题**对话框。
- 3 选择**打印所选的标题和所有副标题**，然后单击**确定**。
- 4 对要打印的每个课程重复此过程。

SolidWorks Simulation 产品线

虽然此课程会集中介绍如何使用 SolidWorks Simulation 来进行弹性体的静态线性模拟，但整条产品线将涵盖多个不同的分析领域。下面列出了 SolidWorks Simulation 软件包和模块所提供的全部内容。

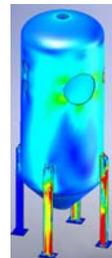
静态算例所提供的工具，可用于分析零件和装配体在承受静态载荷时的线性应力。需要使用此类算例回答的典型问题包括：

- 零件在正常工作载荷下会否断裂？
- 模型的设计是否超出负荷？
- 能否通过修改设计来提高其安全系数？



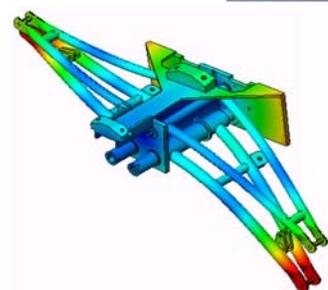
扭曲算例可用于分析薄壁零件在加压情况下的性能。需要使用此类算例回答的典型问题包括：

- 强度足以应付屈服应力的容器脚，能否在丧失稳定性的情况下也不会垮塌？
- 能否通过修改设计来确保装配体中薄壁零部件的稳定性？



频率算例所提供的工具，可用于分析自然模式和自然频率。这对于同时以静态和动态方式载荷的设计或许多零部件都十分重要。需要使用此类算例回答的典型问题包括：

- 零件在正常工作载荷下会否共振？
- 零部件的频率特性是否适合给定的应用？
- 能否通过修改设计来提高其频率特性？



热算例所提供的工具，可用于分析通过传导、对流及辐射所产生的热传递。需要使用此类算例回答的典型问题包括：

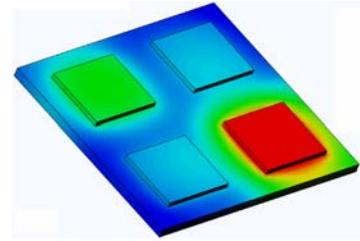
温度的改变会否对模型产生影响？

模型在温度不稳定的环境中如何运作？

模型经过多长时间就会降温或过热？

温度的改变是否会使模型的体积膨胀？

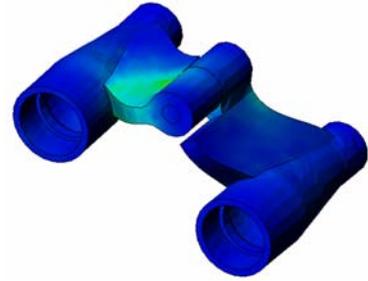
由温度改变所产生的应力是否会使产品失败（回答此问题需结合使用静态算例和热算例）？



掉落测试算例可用于分析运动中的零件和撞击到障碍物的装配体所受到的应力。需要使用此类算例回答的典型问题包括：

如果产品在运输途中处理不当或发生掉落，情况将会怎样？

产品在掉落到硬木地板、地毯或水泥地时会出现什么情况？



优化算例可通过选择一系列标准（如最大应力、重量、最佳频率等），改善（优化）您的原始设计。需要使用此类算例回答的典型问题包括：

能否在满足设计意图的同时改变模型的形状？

能否在保证性能和强度的前提下设计出更为轻盈、小巧及经济的产品？



疲劳算例可分析零件和装配体在长时间重复载荷下的韧度。需要使用此类算例回答的典型问题包括：

能否准确估算产品的使用寿命？

修改目前的设计是否有助延长产品寿命？

在承受长时间不稳定的力载荷或温度载荷时，产品是否安全？

重新设计模型是否有助降低由不稳定的力或温度所造成的损害？



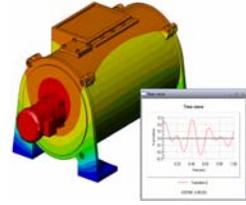
非线性算例所提供的工具，可用于分析零件和装配体在剧烈载荷或严重变形时所受到的应力。需要使用此类算例回答的典型问题包括：

用橡胶（如 O 形环）或泡沫材料制成的零件能否在承受给定载荷的情况下保持良好的性能？

模型在正常工作条件下是否会过度折弯？

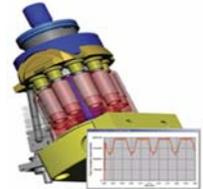


动态算例可分析载荷作用力会随时间改变的物体。典型例子包括车辆零部件的突加载荷、涡轮上的摆动载荷、航天器零部件上的无规则载荷等。线性（轻微结构变形、基本材料模型）和非线性（严重结构变形、剧烈载荷和高级材料）均有提供。需要使用此类算例回答的典型问题包括：



当车辆开过路面大坑时，其中承受突加载荷的零部件的设计能否确保其安全性？它在此类情况下会发生多大程度的变形？

运动模拟可以帮助用户分析机构的运动和动力行为。接榫和惯性力随后会传送到 SolidWorks Simulation 算例中以继续应力分析。需要使用此模量回答的典型问题包括：



在设计中应使用多大的马达或制动器？

在连杆机构设计中，齿轮或锁扣机构是否是最理想的？

机构零部件的位移、速度和加速度分别是多少？

机构是否有效？能否提高效果？

复合模量可让用户模拟由分层复合材料制成的模型。

需要使用此模量回答的典型问题包括：

复合模型在给定载荷下是否失败？

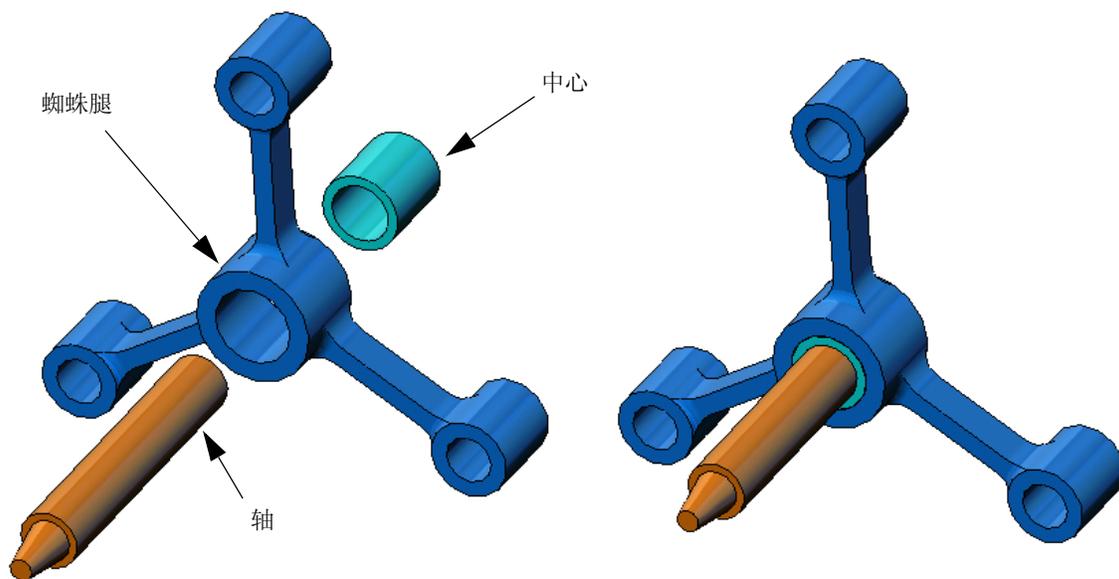
使用复合材料能否在保证强度和安全的条件下制造出更轻的模型？

分层符合材料的各层可以分开吗？



课程 1: SolidWorks Simulation 的基本功能

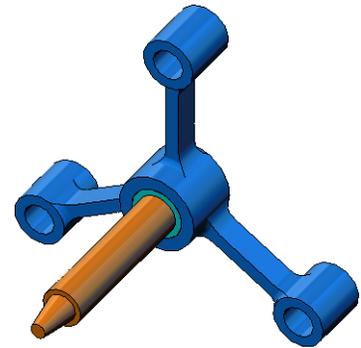
完成学习后，您便可理解 SolidWorks Simulation 的基本功能并对以下装配体执行静态分析。



主动式练习学习法 — 执行静态分析

使用 SolidWorks Simulation 在 Spider.SLDASM 装配体（如右侧所示）上执行静态分析。

详细步骤说明如下所示。



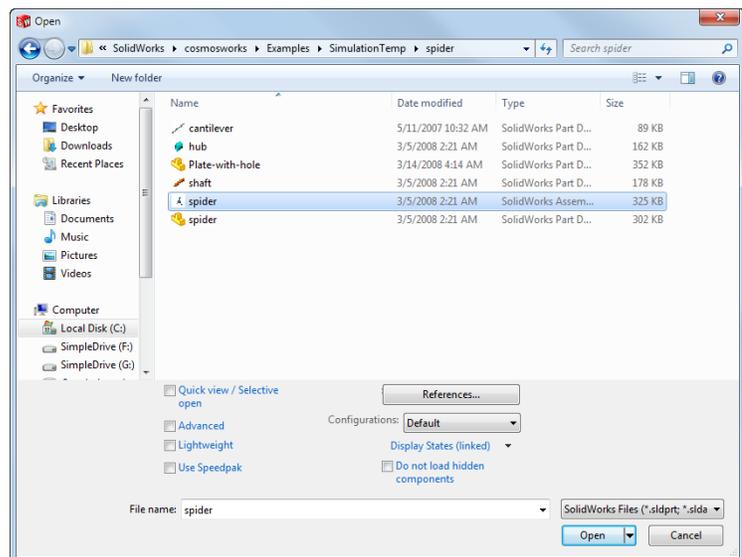
创建 SimulationTemp 目录

我们建议将 SolidWorks Simulation Education Examples 保存到保存原始副本的临时目录中，以便重复利用。

- 1 在 SolidWorks Simulation 安装目录的 Examples 文件夹中创建一个名为 SimulationTemp 的临时目录。
- 2 将 SolidWorks Simulation Education Examples 目录复制到 SimulationTemp 目录中。

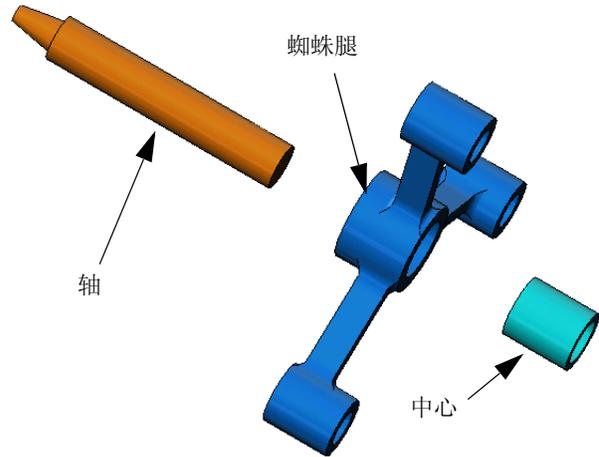
打开 Spider.SLDASM 文档

- 1 单击常用工具栏上的 。此时将显示 **打开** 对话框。
- 2 导航到 SolidWorks Simulation 安装目录的 SimulationTemp 文件夹。
- 3 选择 Spider.SLDASM
- 4 单击 **打开**。



此时将打开 spider.SLDASM 装配体。

蜘蛛型装配体具有三个零部件：
轴、中心和蜘蛛腿。下面的分解图显示了装配体的各零部件。



检查 SolidWorks Simulation 菜单

如果正确安装了 SolidWorks Simulation, SolidWorks Simulation 菜单会显示在 SolidWorks 菜单栏中。否则:

- 1 单击**工具、插件**。

此时将显示**插件**对话框。

- 2 选中 SolidWorks Simulation 旁边的复选框。

如果列表中没有 SolidWorks Simulation, 则需要安装 SolidWorks Simulation。

- 3 单击**确定**。

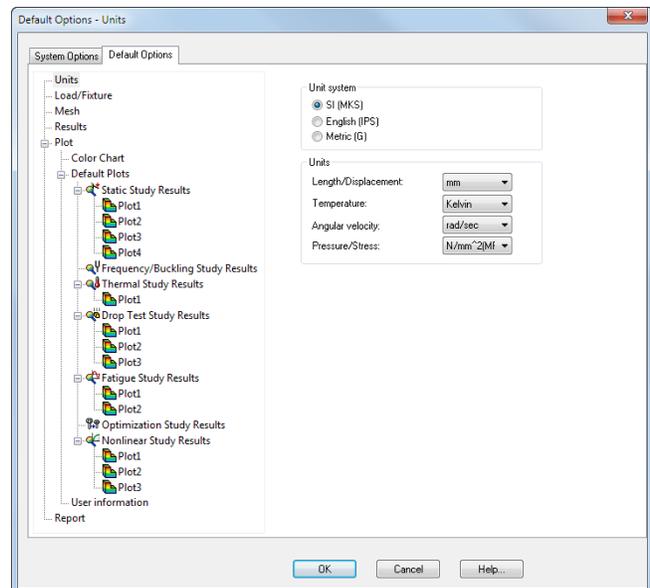
Simulation 菜单会显示在 SolidWorks 菜单栏中。



设置分析单位

在开始此课程之前, 我们将设置一些分析单位。

- 1 在 SolidWorks 菜单栏上, 单击 **Simulation、选项**。
- 2 单击**默认选项**选项卡。
- 3 在**单位系统**下, 选择 **SI (MKS)**。
- 4 分别在**长度/位移**和**压力/应力**字段中选择 **mm** 和 **N/mm²(MPa)**。
- 5 单击**确定**。



步骤 1: 生成算例

执行分析的第一步是生成算例。

- 1 单击屏幕顶部的 SolidWorks 主菜单中的 **Simulation**、**算例**。

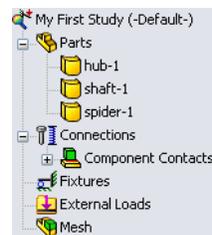
此时会显示**算例 PropertyManager**。

- 2 在**名称**下，键入我的第一个算例。

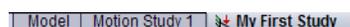
- 3 在**类型**下，选择**静态**。

- 4 单击**确定**。

SolidWorks Simulation 会在 FeatureManager 设计树的下方创建一个 Simulation 算例。



窗口底部还会创建一个新选项卡，以便您在模型和多个算例之间导航。



步骤 2: 分配材料

所有装配体零部件都是由合金钢制成的。

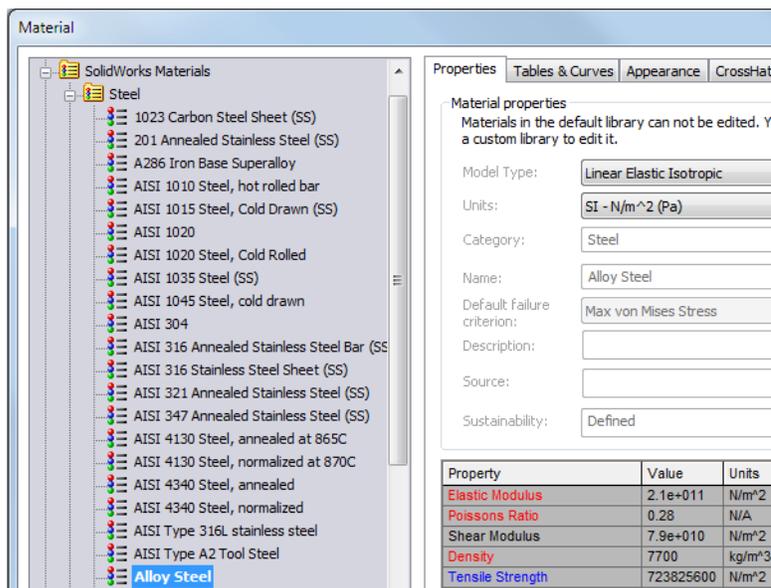
将合金钢分配给所有部件

- 1 在 SolidWorks Simulation 管理器树中，右键单击零件文件夹，然后单击**应用到所有材料**。

此时将显示材料对话框。

- 2 执行以下操作：

- a) 展开 SolidWorks 材料库文件夹。
- b) 展开钢类别。
- c) 选择**合金钢**。

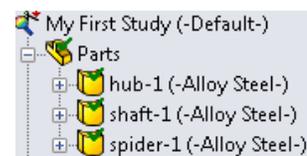


注意：合金钢的机械和物理属性显示在右侧的表中。

- 3 单击**应用**。

- 4 关闭**材料**窗口。

这样就将合金钢分配给了所有零部件，且每个零部件的图标上都会显示一个复选标记。注意，分配的材料名称将显示在零部件名称旁边。



步骤 3: 应用夹具

我们将固定三个孔。

- 1 使用**箭头**键可以旋转装配体，如图所示。
- 2 在 Simulation 算例树中，右键单击夹具文件夹，然后单击**固定几何体**。
此时会显示**夹具 PropertyManager**。
- 3 确保将**类型**设置为**固定几何体**。
- 4 在图形区域，单击三个孔的面，如下图所示。
面 <1>、面 <2> 和面 <3> 会显示在**夹具的面、边线、顶点**框中。
- 5 单击 。

固定夹具随即应用，其符号会显示在选定的面上。

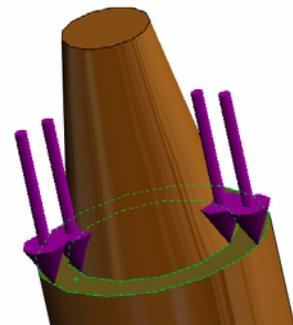
此外，夹具 1 项也会显示在 Simulation 算例树的夹具文件夹中。夹具的名称可以随时修改。

**步骤 4: 应用载荷**

我们将对面垂直施加 2250 N (505.82 lbf) 磅的力，如图所示。

- 1 单击图形区域顶部的**局部缩放**  图标，并放大轴的锥形部分。
- 2 在 SolidWorks Simulation 管理器树中，右键单击外部载荷文件夹，然后选择**力**。
此时会显示**力 / 扭矩 PropertyManager**。
- 3 在图形区域中，单击如图所示的面。
面 <1> 会显示在**法向力的面和壳体边线**列表框中。
- 4 确保选择**法向**作为方向。
- 5 确保**单位**被设置为 **SI**。
- 6 在**力值**  框中，键入 **2250**。
- 7 单击 。

SolidWorks Simulation 将对所选的面施加力，力 1 项会显示在外部载荷文件夹中。



要隐藏夹具和载荷符号:

在 SolidWorks Simulation 管理器树中, 右键单击夹具或外部载荷文件夹, 然后单击**全部隐藏**。

步骤 5: 网格化装配体

网格化可将模型分成许多小块, 这些小块称为元素。SolidWorks Simulation 会根据模型的几何维度给出了建议的默认元素大小 (在此示例中为 4.564mm), 并允许根据需要更改这一大小。

- 1 在 Simulation 算例树中, 右键单击网格图标, 然后选择**生成网格**。

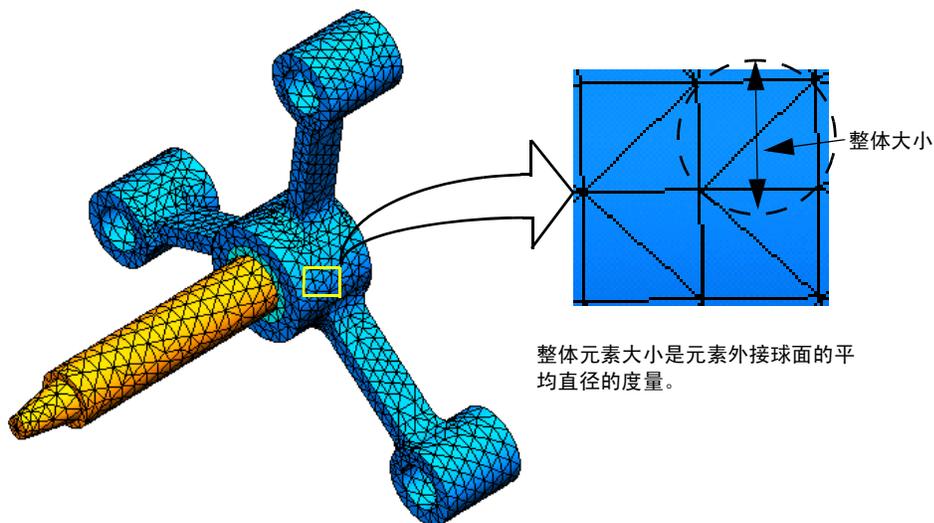
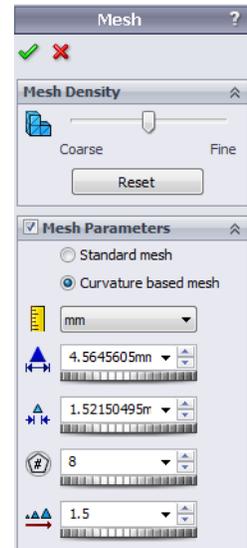
此时会显示**网格 PropertyManager**。

- 2 选中**网格参数**复选框将其展开。

确保选择**基于曲率的网格**。

保留程序建议的默认**最大元素大小** 、**最小元素大小** 、**圆中最小的元素个数**  和**元素大小增长比率** 。

- 3 单击**确定**以开始网格化。



步骤 6: 运行分析

在 Simulation 算例树中, 右键单击我的第一个算例图标, 然后单击**运行**以开始分析。

分析结束后, SolidWorks Simulation 会自动生成默认的结果图解并将它们存储在结果文件夹中。

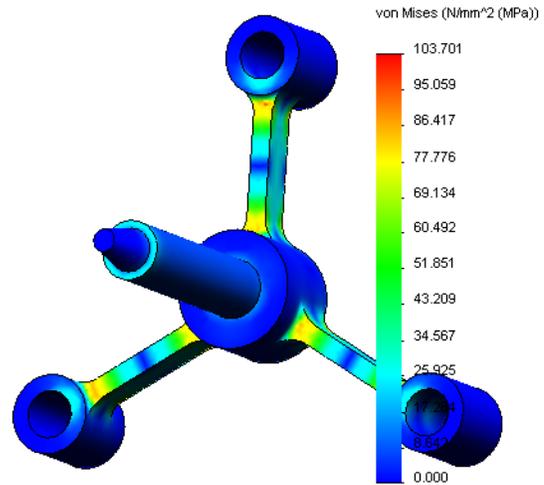
步骤 7: 生成可视化结果

von Mises 应力

- 1 单击结果文件夹旁边的加号 。
所有的默认图解图标将显示出来。

注意: 如果没有显示默认的图解, 请右键单击结果文件夹, 然后选择**定义应力图解**。在 PropertyManager 中设置选项, 然后单击 .

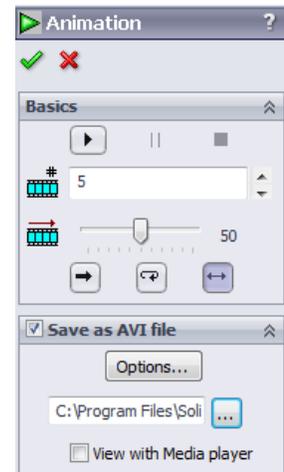
- 2 双击 Stress1 (-vonMises-) 以显示应力图解



注意: 要显示图解中表明最小值和最大值的注解, 请双击图例并选中**显示最小值注解**和**显示最大值注解**复选框, 然后单击 .

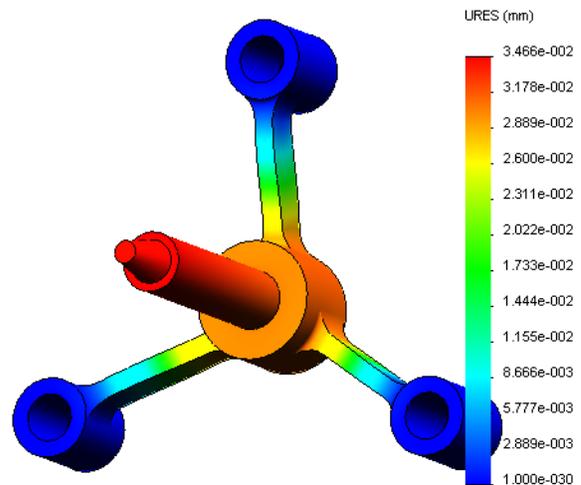
动画播放图解

- 1 右键单击 Stress1 (-vonMises-) 并单击**动画**。
此时会显示**动画 PropertyManager** 并自动播放动画。
- 2 单击**停止按钮**  可以停止播放动画。
您必须在停止播放动画后, 才能将 AVI 文件保存到磁盘中。
- 3 选择**保存为 AVI 文件**并单击  浏览, 然后选择要保存 AVI 文件的目标文件夹。
- 4 单击  **播放动画**。
动画将在图形区域内播放。
- 5 单击  **停止动画**。
- 6 单击  关闭**动画 PropertyManager**。



生成可视化位移

- 1 双击 Displacement1 (-Res disp-) 图标以显示位移图解。



设计是否安全?

安全系数向导可帮助您回答此问题。我们将使用此向导来估算模型中每个点的安全系数。在此过程中，您需要选择屈服失败准则。

- 1 右键单击结果文件夹，然后选择**定义安全系数图解**。

安全系数向导**步骤 1 (共 3 步)** PropertyManager 将显示出来。

- 2 在**准则**  下，单击**最大 von Mises 应力**。

注意: 有几个屈服准则可供使用。其中，von Mises 准则常常用来检查延性材料的屈服失败。



3 单击  下一步。

安全系数向导步骤 2 (共 3 步) PropertyManager 将显示出来。

4 将单位  设置为 **N/mm² (MPa)**。

5 在**设定应力极限为下**，选择**屈服强度**。

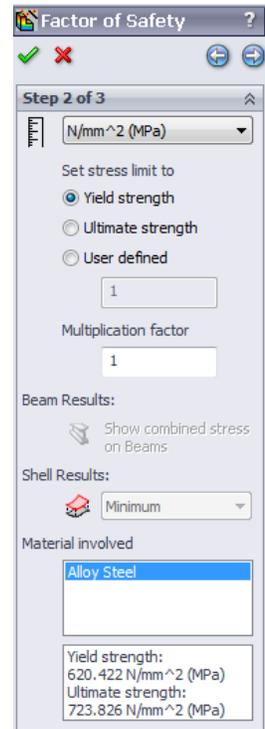
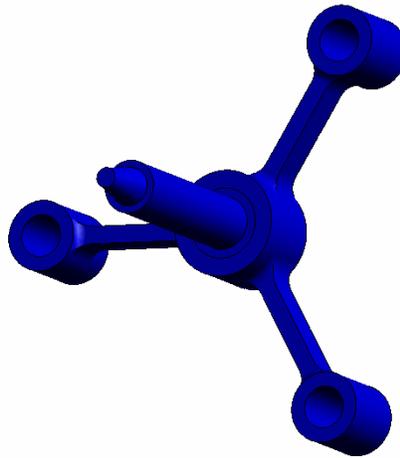
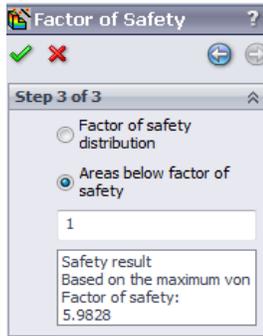
注意: 当屈服时，材料会继续以更快的速率发生塑性变形。在极端的情况下，即使载荷没有增大，材料也会继续变形。

6 单击  下一步。

安全系数向导步骤 3 (共 3 步) PropertyManager 将显示出来。

7 选择**安全系数以下的区域**，然后输入 **1**。

8 单击  以生成此图解。



检查模型，然后查找显示为红色的非安全区域。通过观察可以看出，此图解中没有出现红色，表示所有的位置都是安全的。

安全度有多高？

1 右键单击结果文件夹，然后选择**定义安全系数图解**。

安全系数向导步骤 1 (共 3 步) PropertyManager 将显示出来。

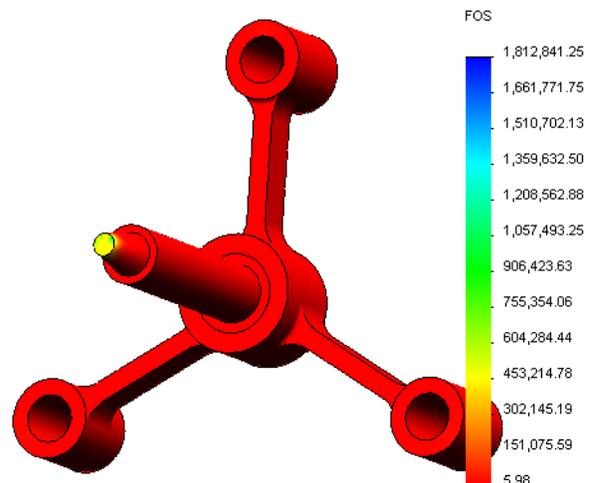
2 在**准则列表**中，选择**最大 von Mises 应力**。

3 单击**下一步**。

安全系数向导步骤 2 (共 3 步) PropertyManager 将显示出来。

4 单击**下一步**。

安全系数向导步骤 3 (共 3 步) PropertyManager 将显示出来。



5 在**图解结果**下，单击**安全系数分布**。

6 单击 。

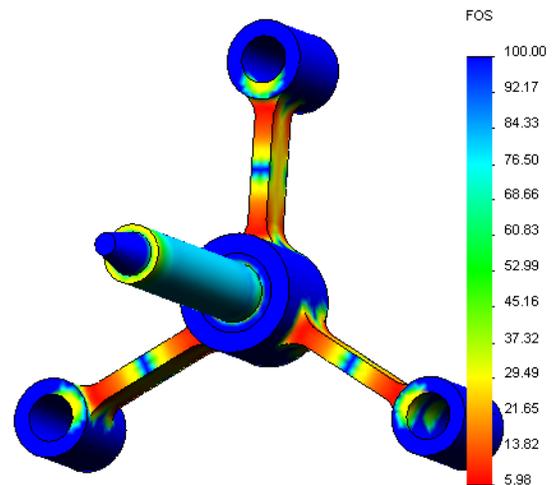
生成的图解将显示安全系数的分布。最小的安全系数大致为 5.98。

注意：如果某一位置安全系数为 1.0，则意味着材料刚开始屈服。例如，安全系数为 2.0 表示此位置的设计是安全的，如果将载荷加倍，材料将开始屈服。

由于模型的某些区域遇到的应力很小，因此安全系数的最大值很大（大于 1,800,000）。为使图解更有意义，我们将图例的最大值改为 100。

7 双击图例，单击**已定义**并在**最大值**字段中输入 **100**。

8 单击  以显示修改的图解。



保存生成的所有图解

- 1 右键单击我的第一个算例图标，然后单击**保存所有图解为 JPEG 文件**。此时将显示**浏览文件夹**窗口。
- 2 浏览到要保存所有结果图解的目录。
- 3 单击**确定**。

生成算例报告

报告实用程序可以帮助您将每个算例的工作快速、系统地编成文档。程序以 Word 文档形式生成结构化的报告，描述与算例相关的所有方面。

- 1 单击屏幕顶部的 SolidWorks 主菜单中的 **Simulation、报告**。

此时将显示**报告选项**对话框。

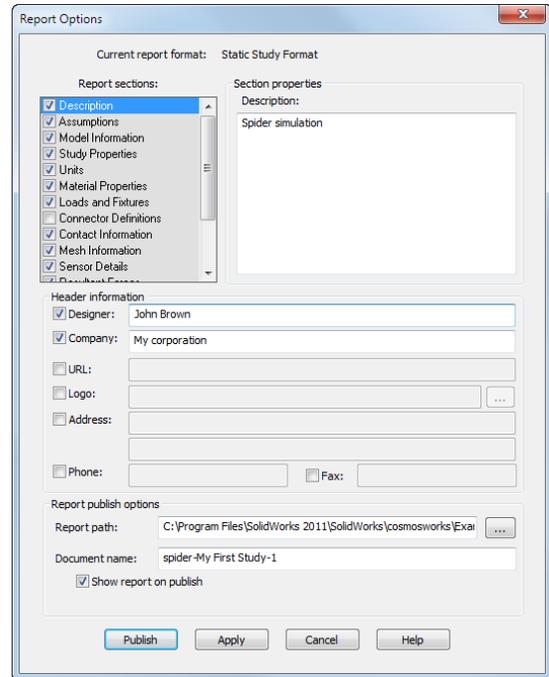
报告部分让您选择要包含在生成的报告中的部分。每个部分旁边的复选框可用于在报告中包含或排除该部分。

- 2 报告中的每个部分均可自定义。例如，选择**报告部分**下的**说明**部分，并且在**部分属性**字段中键入任何文本。其余部分以相同的方式自定义。
- 3 **设计师**和**公司名称**、**徽标**及其它所有权信息在**标题信息**部分输入。注意，可接受的徽标文件格式为**JPEG 文件 (*.jpg)**、**GIF 文件 (*.gif)** 或**位图文件 (*.bmp)**。
- 4 在**报告出版选项**下，指定用于保存该 Word 文档的**报告路径**，并选中**出版时显示报告**复选框。
- 5 单击**出版**。

此报告将在 Word 文档中打开。请根据需要编辑 Word 文档，完成报告。

本程序也会在 SolidWorks Simulation 管理器树中的报告文件夹中创建图标 。

要编辑报告的任何部分，请右键单击“报告”图标，然后单击**编辑定义**。修改此部分，然后单击**确定**替换现有的报告。



步骤 8: 保存工作并退出 SolidWorks

- 1 单击**标准**工具栏上的 ，或者单击**文件、保存**。
- 2 单击主菜单上的**文件、退出**。

5 分钟评估

1 如何启动一个 SolidWorks Simulation 会话?

2 如果 SolidWorks Simulation 菜单不在 SolidWorks 菜单栏中, 该怎么办?

3 SolidWorks Simulation 可以分析哪些类型的文档? _____

4 什么是分析? _____

5 为什么分析如此重要? _____

6 什么是分析算例? _____

7 哪些类型的分析可以在 SolidWorks Simulation 中执行? _____

8 静态分析将计算什么? _____

9 什么是应力? _____

10 执行分析过程中有哪些主要步骤? _____

11 如何更改零件的材料? _____

12 设计检查向导可在某些位置显示安全系数 0.8。您的设计是否安全? _____

项目一（由于端面压力而产生的）钢梁挠度

有些简单的问题有确切的答案。其中一个就是在顶点钢梁的载荷力，如图所示。我们将使用 SolidWorks Simulation 来解决此问题，并将其结果与确切的解算进行比较。

任务

- 1 打开 Front_Cantilever.sldprt 文件，此文件位于 SolidWorks Simulation 安装目录的 Examples 文件夹下。
- 2 测量悬臂的宽度、高度和长度。
- 3 用另一个名称保存该零件。
- 4 生成静态算例。
- 5 将合金钢分配给此零件。弹性模量的值是什么（单位是 psi）？

回答: _____

- 6 固定悬臂的其中一个端面。
- 7 对其他端面的上边线应用向下的力，幅值为 **500 N**。
- 8 网格化此零件，然后运行分析。
- 9 按 Y 方向绘制位移图解。悬臂自由端的最大 Y 位移是多少？

回答: _____

- 10 使用以下公式计算自由端的理论垂直位移：

$$UY_{Theory} = \frac{4FL^3}{Ewh^3}$$

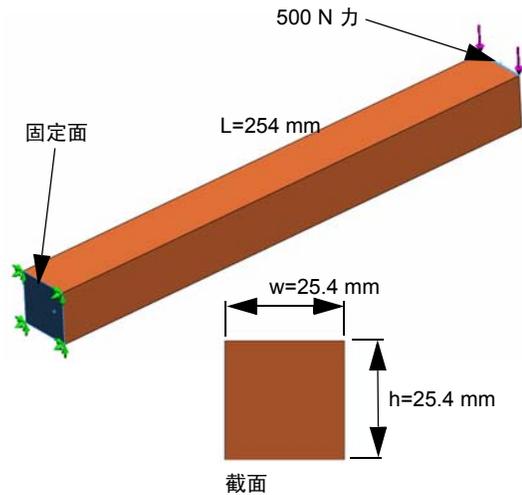
其中 F 表示力， L 表示钢梁的长度， E 表示弹性模量， w 和 h 分别表示钢梁的宽度和高度。

回答: _____

- 11 使用以下公式计算垂直位移的误差：

$$ErrorPercentage = \left(\frac{UY_{Theory} - UY_{COSMOS}}{UY_{Theory}} \right) 100$$

回答: _____



课程 1 词汇表

姓名 _____ 班级: _____ 日期: _____

用适当的词填空。

- 1 在 SolidWorks 中生成模型、制造原型和进行测试的顺序: _____
- 2 分析类型、材料、夹具和载荷的假设分析方案: _____
- 3 SolidWorks Simulation 用来执行分析的方法: _____
- 4 计算位移、应变和应力的算例类型: _____
- 5 将模型分成若干小块的过程: _____
- 6 在网格化过程中形成的简单形状的小块: _____
- 7 元素共享的常用点称为: _____
- 8 作用于面积上的力除以该面积: _____
- 9 由于轴压缩载荷而突然合并较薄的设计: _____
- 10 计算设计热度的算例: _____
- 11 提供应力状态一般描述的数字: _____
- 12 使应力消失的基准面上的标准应力: _____
- 13 实体振动的频率: _____
- 14 帮助避免谐振的分析类型: _____

课程 1 小测验

姓名 _____ 班级: _____ 日期: _____

说明: 答题时, 请将正确答案写在空白处。

- 1 您会通过创建算例来测试设计。那么, 什么是算例? _____

- 2 哪些类型的分析可以在 SolidWorks Simulation 中执行? _____

- 3 如果在获取算例结果后更改了材料、载荷和 / 或夹具, 是否要再次进行网格化?

- 4 如果在网格化某算例后更改了几何体, 是否要再次进行网格化? _____

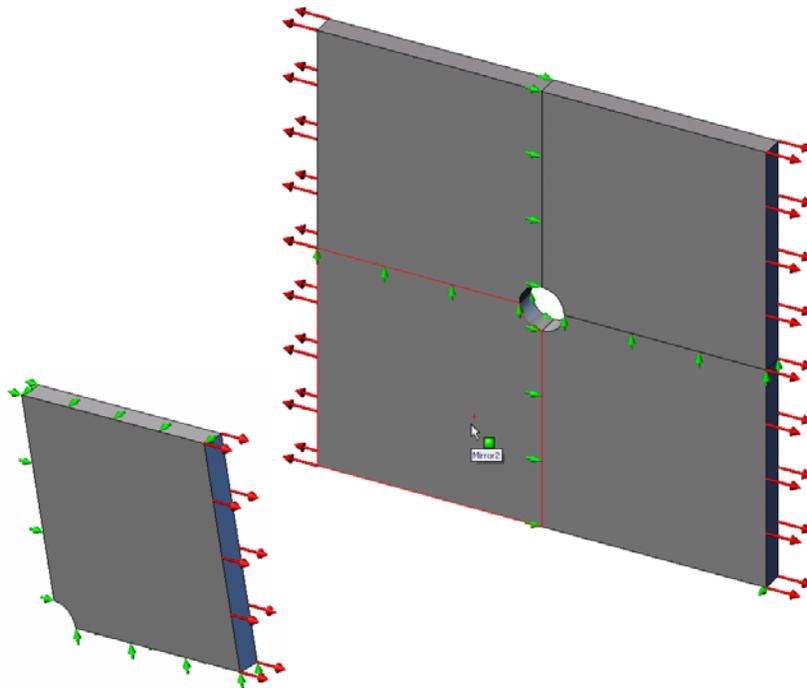
- 5 如何生成一个新的静态算例? _____

- 6 什么是网格? _____

- 7 在装配体中, 您在实体文件夹应该看到多少个图标? _____

课程 2: SolidWorks Simulation 中的自适应方法

成功完成本课程之后，您将可以 (a) 使用自适应方法来提高结果的准确性，(b) 应用对称夹具来分析四分之一的原始模型。



您将计算 500mm x 500mm x 25mm (19.68 英寸 x 19.68 英寸 x 0.98 英寸) 方形板的应力，其中心有一个 25mm (0.98 英寸) 半径的孔。板受到的拉伸压力是 1 MPa (145.04 psi)。

您需要比较此孔承受的应力与根据已知理论得出的结果。

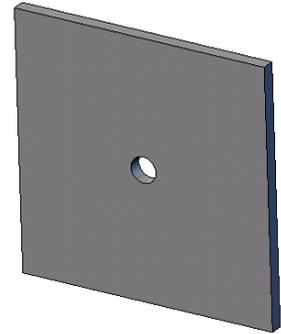
主动式练习学习法 — 第一部分

使用 SolidWorks Simulation 可以在 Plate-with-hole.SLDPRT 零件（如右侧所示）上执行静态分析。

您将计算 500mm x 500mm x 25mm（19.68 英寸 x 19.68 英寸 x 0.98 英寸）方形板的应力，其中中心有一个 25mm（0.98 英寸）半径的孔。板受到的拉伸压力是 1 MPa (145.04 psi)。

您需要比较此孔承受的应力与根据已知理论得出的结果。

详细步骤说明如下所示。



创建 Simulationtemp 目录

我们建议将 SolidWorks Simulation Education Examples 保存到保存原始副本的临时目录中，以便重复利用。

- 1 在 SolidWorks Simulation 安装目录的 Examples 文件夹中创建一个名为 Simulationtemp 的临时目录。
- 2 将 SolidWorks Simulation Education Examples 目录复制到 Simulationtemp 目录中。

打开 Plate-with-hole.SLDPRT 文档

- 1 单击常用工具栏上的**打开** 。此时将显示**打开**对话框。
- 2 导航到 SolidWorks Simulation 安装目录的 Simulationtemp 文件夹。
- 3 选择 Plate-with-hole.SLDPRT。
- 4 单击**打开**。

此时将打开 Plate-with-hole.SLDPRT 零件。

注意，此零件具有两个配置：(a) 四分之一板和 (b) 整块板。确保整块板配置处于活动状态。

注意：文档的配置在左侧窗格顶部的 ConfigurationManager 选项卡  下面列出。

检查 SolidWorks Simulation 菜单

如果安装了 SolidWorks Simulation, SolidWorks Simulation 菜单会显示在 SolidWorks 菜单栏中。否则:



- 1 单击**工具、插件**。
此时将显示**插件**对话框。
- 2 选中 SolidWorks Simulation 旁边的复选框。
如果列表中没有 SolidWorks Simulation, 则需要安装 SolidWorks Simulation。
- 3 单击**确定**。
SolidWorks Simulation 菜单会显示在 SolidWorks 菜单栏中。

设置分析单位

在开始此课程之前, 我们将设置一些分析单位。

- 1 单击 **Simulation、选项**。
- 2 单击**默认选项**选项卡。
- 3 选择**单位系统**中的 **SI (MKS)**, 并分别选择 **mm** 和 **N/mm²(MPa)** 作为长度和应力单位。
- 4 单击 。

步骤 1: 生成算例

执行分析的第一步是生成算例。

- 1 单击屏幕顶部的 SolidWorks 主菜单中的**模拟、算例**。
此时会显示**算例 PropertyManager**。
- 2 在**名称**下, 键入整块板。
- 3 在**类型**下, 选择**静态**。
- 4 单击 。
SolidWorks Simulation 会在 FeatureManager 设计树的下方创建一个 Simulation 算例。

步骤 2: 分配材料

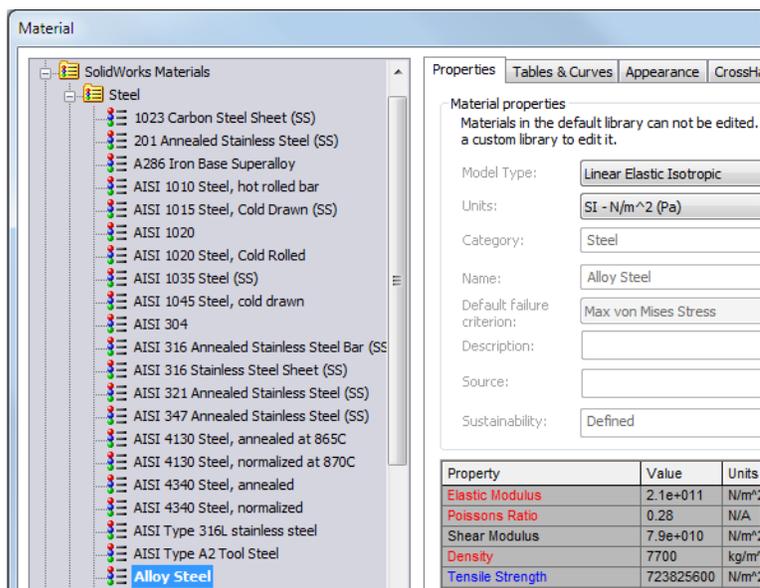
分配合金钢

- 1 在 SolidWorks Simulation 管理器树中, 右键单击有孔板文件夹, 然后单击**应用材料到所有实体**。

此时将显示**材料**对话框。

- 2 执行以下操作:

- a) 展开 SolidWorks 材料库文件夹。
- b) 展开钢类别。
- c) 选择**合金钢**。



注意: 合金钢的机械和物理属性显示在右侧的表中。

- 3 单击**确定**。

步骤 3: 应用夹具

您可以应用夹具来防止基准面外旋转和自由体运动。

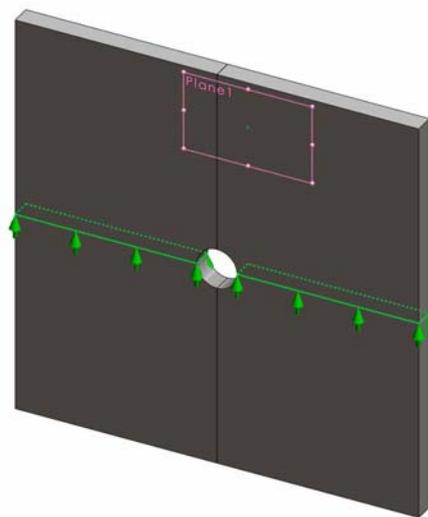
- 1 按空格键, 然后选择**方向**菜单中的 ***上下二等角轴测**。

模型方向如图所示。

- 2 在 Simulation 算例树中, 右键单击夹具文件夹, 然后单击**高级夹具**。

此时会显示**夹具 PropertyManager**。

- 3 确保将**类型**设置为**使用参考几何体**。
- 4 在图形区域中, 选择如图所示的 8 条边线。
边线 <1> 到边线 <8> 显示在**夹具的面、边线、顶点**框中。
- 5 在**方向的面、边线、基准面、基准轴**框中, 选择弹出 FeatureManager 树中的 Plane1。
- 6 在**平移**下, 选择**沿基准面方向 2** 。

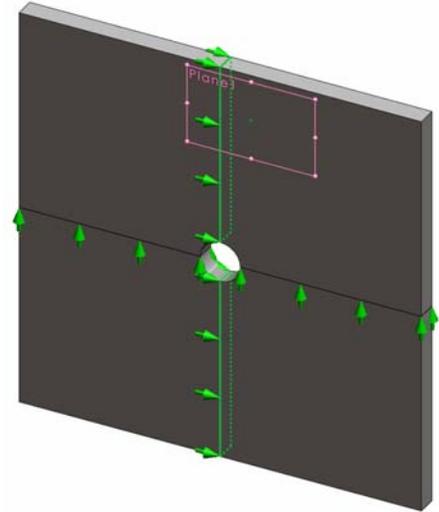


7 单击 。

将应用夹具，并且其图标显示在选定边线上。

一个夹具图标  (Reference Geometry-1) 也会显示在夹具文件夹中。

以同样的方式执行步骤 2 到 7，将夹具应用到一组垂直边线（如图所示）中，以便**沿基准面方向 1** （在 Plane1 上）约束这 8 条边线。



要防止模型在整体 Z 方向位移，必须在下图所示的顶点处定义一个夹具。

1 在 SolidWorks Simulation 管理器树中，右键单击夹具文件夹，然后单击**高级夹具**。

此时会显示**夹具 PropertyManager**。

2 确保将**类型**设置为**使用参考几何体**。

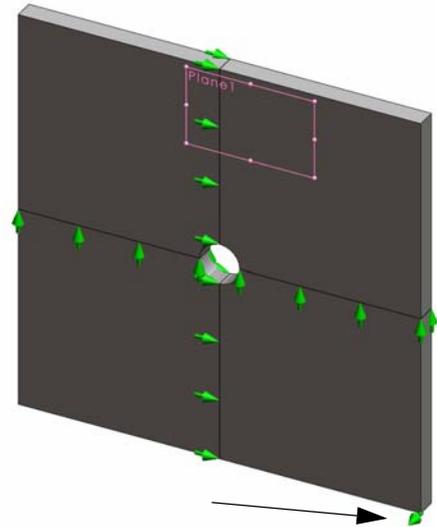
3 在图形区域中，单击如图所示的顶点。

顶点 <1> 显示在**夹具的面、边线、顶点**框中。

4 在**方向的面、边线、基准面、基准轴**框中，选择弹出 FeatureManager 树中的 Plane1。

5 在**平移**下，选择**垂直于基准面** 。

6 单击 。



步骤 4: 应用压力

您可以将 1 MPa (145.04 psi) 压力垂直应用到面，如图所示。

- 1 在 SolidWorks Simulation 管理器树中，右键单击外部载荷文件夹，然后单击**压力**。

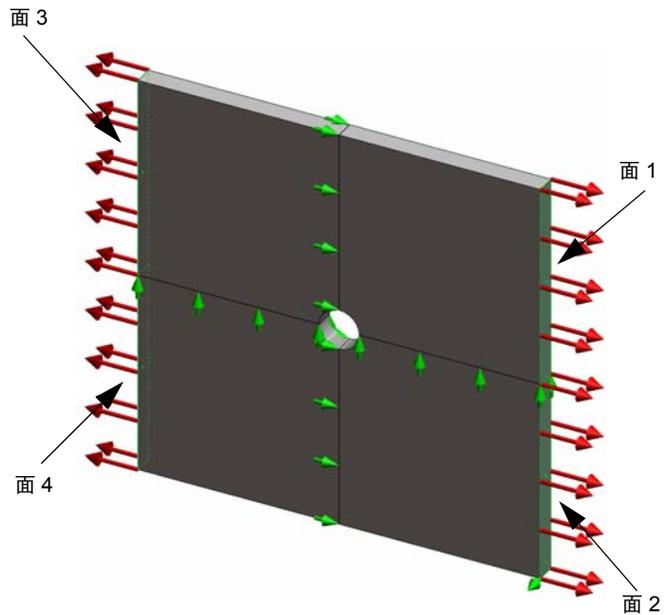
此时会显示**压力** PropertyManager。

- 2 在**类型**下，选择**垂直于所选面**。
- 3 在图形区域中，选择如图所示的四个面。

面 <1> 到面 <4> 会显示在**压力的面**列表框中。

- 4 确保将**单位**设置为 **N/mm² (MPa)**。
- 5 在**压力值**框  中，键入 **1**。
- 6 选中**反向**框。
- 7 单击 。

SolidWorks Simulation 将对所选的面施加法向压力，Pressure-1 图标  将显示在外部载荷文件夹中。



要隐藏夹具和载荷符号

在 SolidWorks Simulation 管理器树中，右键单击夹具或外部载荷文件夹，然后单击**全部隐藏**。

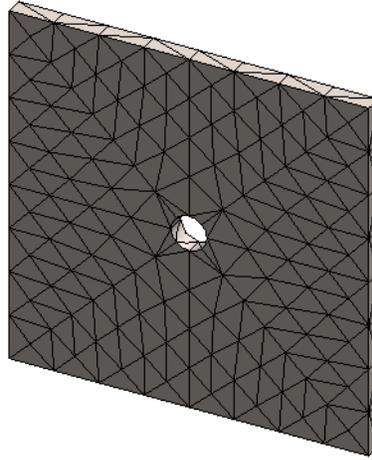
步骤 5: 网格化模型，并运行分析

网格化可将模型分成许多小块，这些小块称为元素。SolidWorks Simulation 会根据模型的几何维度给出了建议的默认元素大小，并允许根据需要更改这一大小。

- 1 在 SolidWorks Simulation 管理器树中，右键单击网格图标，然后选择**生成网格**。
此时会显示**网格** PropertyManager。
- 2 选中**网格参数**复选框将其展开。
确保选择**基于曲率的网格**。
- 3 为**最大元素大小**  键入 **50mm**，并且接受其余参数（**最小元素大小** 、**圆中最小的元素个数**  和**元素大小增长比率** ）的默认值。

- 4 选中**选项**下的**运行 (求解) 分析**，然后单击 。

注意：要查看网格图解，请右键单击网格文件夹，然后选择**显示网格**。



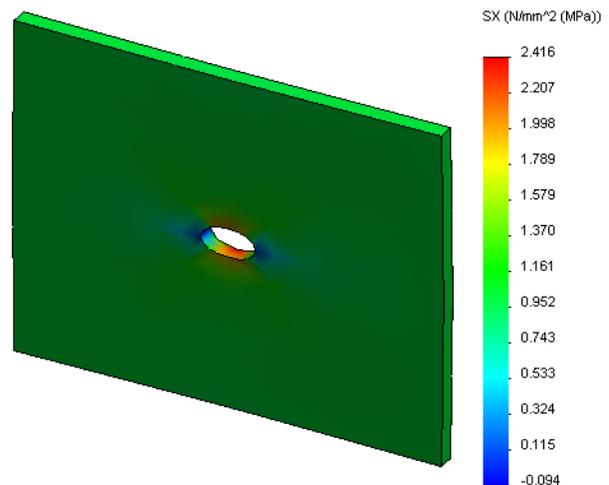
步骤 6: 生成可视化结果

整体 X 方向的法向应力。

- 1 右键单击结果文件夹 ，然后选择**定义应力图解**。
此时将显示**应力图解** PropertyManager。
- 2 在**显示**下，
 - a) 选择 **SX: X 法向应力**（在**分量**字段中）。
 - b) 选择 **N/mm² (MPa)** 作为**单位**。
- 3 单击 。

X 方向法向应力的图解随即显示。

注意，此区域中的应力集中于孔的周围。



步骤 7: 验证结果

具有矩形截面板的最大法向应力 σ_{max} 和中心圆孔按以下参数给定:

$$\sigma_{max} = k \cdot \left(\frac{P}{t(D-2r)} \right) \qquad k = 3.0 - 3.13 \left(\frac{2r}{D} \right) + 3.66 \left(\frac{2r}{D} \right)^2 - 1.53 \left(\frac{2r}{D} \right)^3$$

其中:

D = 板宽度 = 500mm (19.69 英寸)

r = 孔半径 = 25mm (0.98 英寸)

t = 板厚度 = 25mm (0.98 英寸)

P = 拉伸轴心力 = 压力 * (D * t)

最大法向应力的分析值是 $\sigma_{max} = 3.0245 \text{ MPa}$ (438.67 psi)。

SolidWorks Simulation 结果 (不使用任何自适应方法) 是 $SX = 2.416 \text{ MPa}$ (350.41 psi)。

此结果与理论解算偏移了大概 20.1%。您很快就会看到这个显著的偏差会导致网格粗糙化。

主动式练习学习法 — 第二部分

在第二部分的练习中，您将通过对称夹具对四分之一板建模。

注意：对称夹具可用于仅分析模型的一部分。这种方法可以节省大量分析时间，在处理大的模型时尤为有用。

对称情况要求几何体、载荷、材料树形和夹具在对称基准平面中都是相等的。

步骤 1: 激活新的配置

- 1 单击 ConfigurationManager 选项卡 。
- 2 在 **ConfigurationManager** 树中，双击四分之一板图标。



四分之一板配置将会激活。

四分之一板模型会显示在图形区域中。

注意：要访问与非活动的配置相关联的算例，请右键单击其图标，然后选择**激活 SW 配置**。



步骤 2: 生成算例

生成的新算例基于四分之一板配置。

- 1 单击屏幕顶部的 SolidWorks 主菜单中的**模拟、算例**。
此时会显示**算例 PropertyManager**。
- 2 在**名称**下，键入四分之一板。
- 3 在**类型**下，选择**静态**。
- 4 单击 。

SolidWorks Simulation 将在屏幕底部的一个选项卡中创建一个算例的代表树。



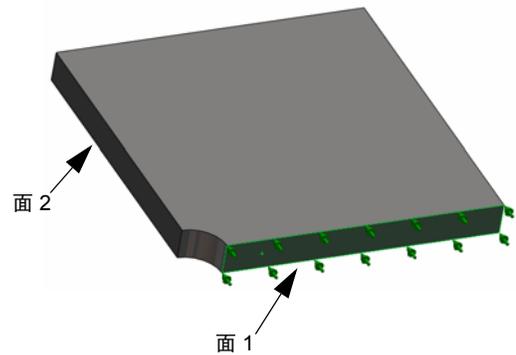
步骤 3: 分配材料

按第一部分中步骤 2 描述的过程分配**合金钢**材料。

步骤 4: 应用夹具

您可以对对称面应用夹具。

- 1 使用**箭头**键可以旋转模型，如图所示。
- 2 在 Simulation 算例树中，右键单击夹具文件夹，然后选择**高级夹具**。
此时会显示**夹具 PropertyManager**。

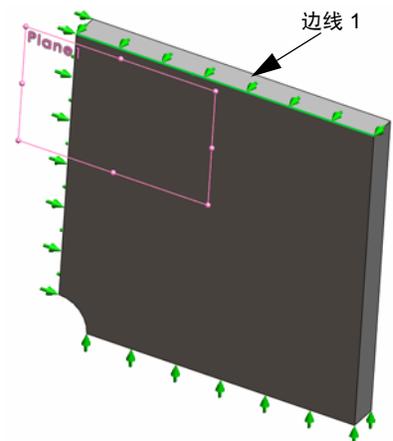


- 3 将**类型**设置为**对称**。
- 4 在图形区域中，单击如图所示的面 1 和面 2。
面 <1> 和面 <2> 显示在**夹具的基准面框**中。
- 5 单击 。

接下来可以约束板的**上边线**，以防止整体 Z 方向的位移。

要约束上边线，请执行以下操作：

- 1 在 SolidWorks Simulation 管理器树中，右键单击夹具文件夹，然后选择**高级夹具**。
将**类型**设置为**使用参考几何体**。
- 2 在图形区域中，单击如图所示的板的**上边线**。
边线 <1> 显示在**夹具的面、边线、顶点框**中。
- 3 在**方向的面、边线、基准面、基准轴框**中，选择弹出 FeatureManager 树中的 Plane1。
- 4 在**平移**下，选择**垂直于基准面** 。确保已停用另外两个零部件。
- 5 单击 。

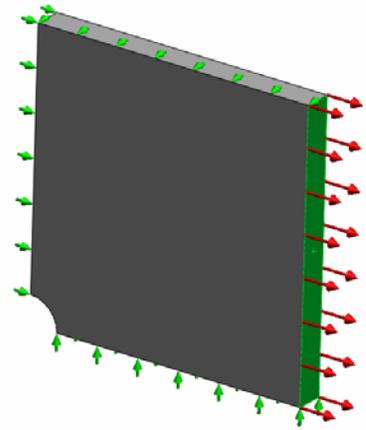


应用了所有夹具后，两个图标：(Symmetry-1) 和 (Reference Geometry-1) 会显示在夹具文件夹中。

步骤 5: 应用压力

您可以应用 1 MPa (145.04 psi) 压力，如下图所示：

- 1 在 SolidWorks Simulation 管理器树中，右键单击外部载荷，然后选择**压力**。
- 此时会显示**压力 PropertyManager**。
- 2 在**类型**下，选择**垂直于所选面**。
- 3 在图形区域中，选择如图所示的面。
- 4 面 <1> 会显示在**压力的面**列表框中。
- 5 将**单位**  设置为 **N/mm² (MPa)**。
- 6 在**压力值**框  中，键入 1。
- 7 选中**反向**框。
- 8 单击 。

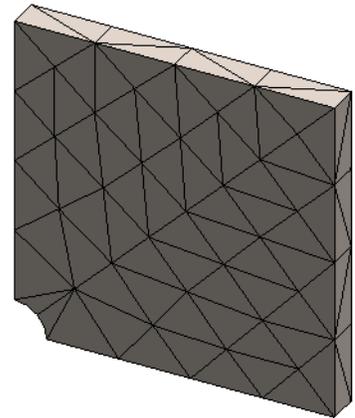


SolidWorks Simulation 将对所选的面施加法向压力，Pressure-1 图标  将显示在外部载荷文件夹中。

步骤 6: 网格化模型，并运行分析

根据第 2 到 7 页第一部分中步骤 5 “网格化模型，并运行分析”所描述的过程应用相同的网格设置，然后**运行分析**。

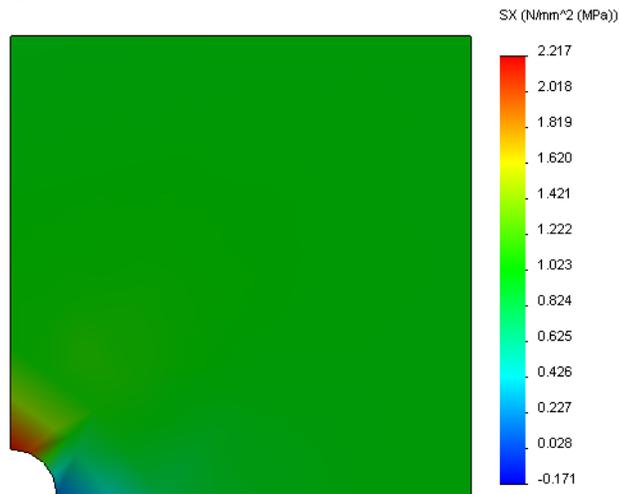
网格图解如图所示。

**步骤 7: 查看整体 X 方向的法向压力**

- 1 在 Simulation 算例树中，右键单击结果文件夹 ，然后选择**定义应力图解**。
- 2 在**应力图解 PropertyManager** 中的**显示**下：
 - a) 选择 **SX: X 法向应力**。
 - b) 选择 **N/mm² (MPa)** 作为**单位**。
- 3 在**变形形状**下，选择**真实比例**。
- 4 在**属性**下：
 - a) 选择**将图解与名称视图方向关联**。
 - b) 从菜单中选择 *** 前视**。

5 单击 。

实际已变形的板上将显示 X 方向的法向应力。



步骤 8: 验证结果

对于四分之一模型，最大法向 SX 应力是 2.217 MPa (321.55 psi)。此结果相当于整块板的结果。

此结果与理论解算偏移了大概 36%。如本课程第一部分的结论中所述，您很快就会看到此偏差会导致计算网格粗糙化。您可以使用更小的元素大小或使用自动自适应方法来提高准确度。

在第三部分中，您将使用 h 自适应方法来提高准确性。

主动式练习学习法 — 第三部分

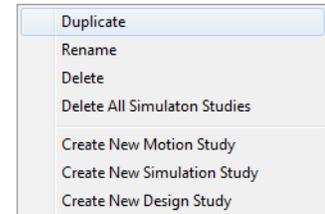
在第三部分中，您可以应用 h 自适应方法来解决同样的四分之一板配置问题。

要演示 h 自适应方法的功能，首先要使用较大的元素大小来对模型进行网格化，然后注意 h 方式是如何通过更改网格大小来提高结果的准确性的。

步骤 1: 定义新算例

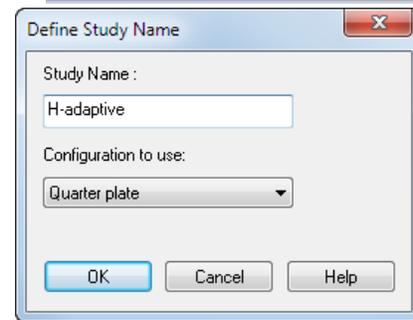
您可以通过复制以前的算例来生成新算例。

- 1 右键单击屏幕底部的四分之一板算例，然后选择**复制**。



此时将显示**定义算例名称**对话框。

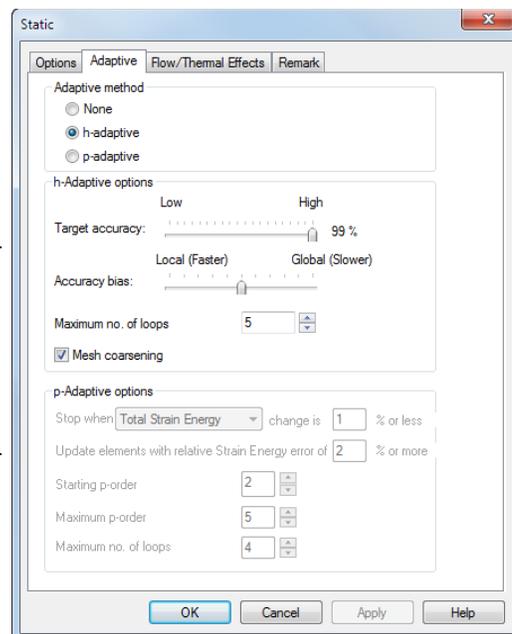
- 2 在**算例名称**框中，键入 H 自适应。
- 3 在**要使用的配置**下：选择**四分之一板**。
- 4 单击**确定**。



步骤 2: 设置 h 自适应参数

- 1 在 Simulation 算例树中，右键单击 H 自适应，然后选择**属性**。
- 2 在该对话框的**选项**选项卡上，选择**解算器**下的 **FFEPlus**。
- 3 在**自适应**选项卡的**自适应方法**下，选择 **H 自适应**。
- 4 在 **H 自适应**选项下，执行以下操作：
 - a) 将**目标准确度**滑块移到 **99%**。
 - b) 将**最大循环数**设置为 **5**。
 - c) 选择**网格粗糙化**。
- 5 单击**确定**。

注意： 复制算例之后，原算例的所有文件夹都将复制到新的算例中。只要新算例的属性保持不变，您就不需要重新定义材料属性、载荷、夹具等。



步骤 3: 重新网格化模型, 并运行分析

- 1 在 SolidWorks Simulation 管理器树中, 右键单击网格文件夹, 然后选择**生成网格**。

此时将显示一条警告消息, 说明重新网格化将删除算例的结果。

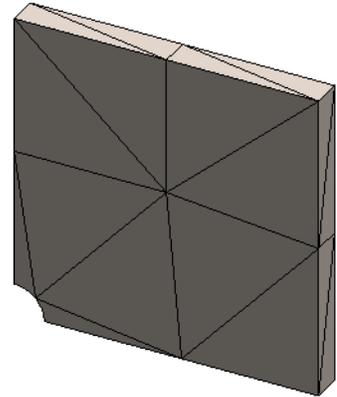
- 2 单击**确定**。

此时显示**网格 PropertyManager**。

- 3 为**最大元素大小**  键入 **125mm** (4.92 英寸), 并且接受其余参数 (**最小元素大小** 、**圆中最小的元素个数**  和**元素大小增长比率** ) 的默认值。

整体元素大小的这个较大值用于说明 H 自适应方法如何通过细化网格来获得更为准确的结果。

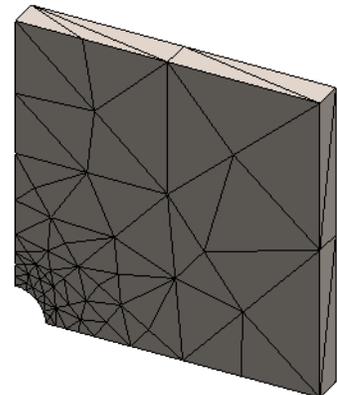
- 4 单击 。上图显示了最初的粗糙网格。
- 5 右键单击 **H 自适应** 图标, 然后选择**运行**。



步骤 4: 查看结果

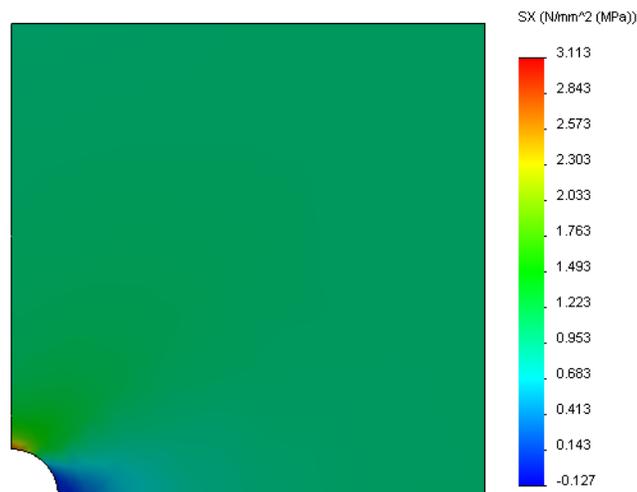
通过应用 H 自适应方法, 原始网格尺寸将减小。注意网格大小从粗糙网格 (板边界) 过渡到中心孔位置的细化网格。

要查看转换的网格, 请右键单击网格图标, 然后选择**显示网格**。



查看整体 X 方向的法向应力

在 SolidWorks Simulation 管理器树中, 双击结果文件夹  中的 **Stress2 (X 法向)** 图解。



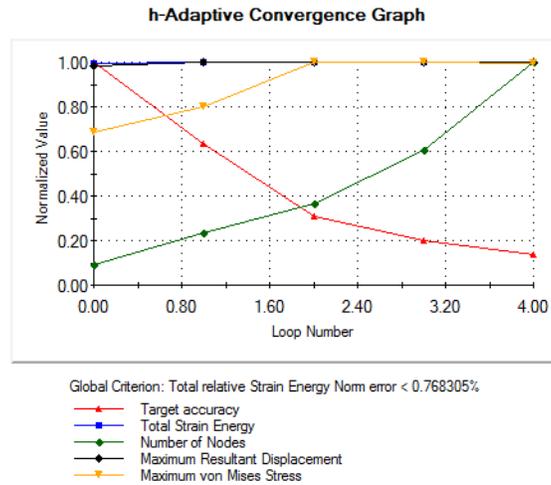
最大法向应力的分析值是 $\sigma_{\max} = 3.113 \text{ MPa}$ (451.5) psi。

应用 H 自适应方法所得的 SolidWorks Simulation 结果是 $SX = 3.113 \text{ MPa}$ ，这更接近于分析解算（大致的误差：2.9%）。

注意：算例属性中设置的所需精度（在您的示例中为 99%）并不意味着最终的应力处于最大误差 1% 以内。在有限元素方法中，会使用除应力以外的度量来评估解算的精度。但可以断定，如果自适应算法细化了网格，应力解算将会更精确。

步骤 9: 查看收敛图表

- 1 在 Simulation 算例树中，右键单击结果文件夹 ，然后选择**定义自适应收敛图表**。
 - 2 在 PropertyManager 中，选择所有选项，然后单击 。
- 此时将显示所有选定数量的收敛图表。



注意：为了进一步提高解算的精度，可通过开始运行后续算例来继续使用 H 自适应迭代。每次运行后续算例时，都会将来自上次运行时使用的最后一个迭代的最终网格用作本次运行时的初始网格。要尝试此操作，请再次**运行** H 自适应算例。

5 分钟评估

- 1 如果修改了材料、载荷或夹具，结果将无效，但网格有效，为什么？ _____

- 2 更改维度是否会使当前网格无效？ _____

- 3 如何激活配置？ _____

- 4 什么是刚性运动？ _____

- 5 什么是 h 自适应方法，何时使用它？ _____

- 6 与使用网格控制相比较，使用 H 自适应来提高准确性的优势是什么？

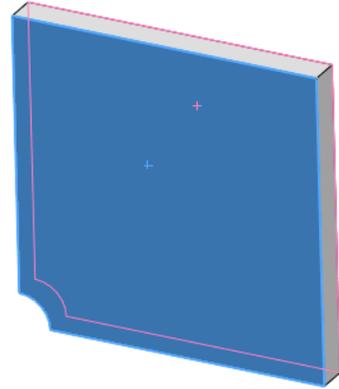
- 7 元素个数是否会改变 P 自适应方法的迭代数？ _____

项目 — 使用壳网格对四分之一板建模

使用壳网格对四分之一板模型求解。您将应用网格控制，以提高结果的准确度。

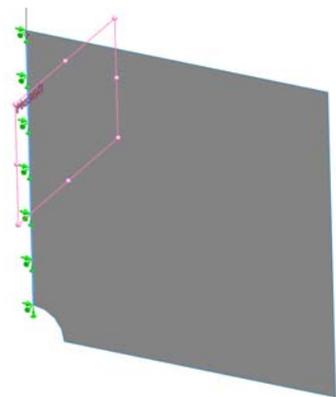
任务

- 1 单击屏幕顶部的 SolidWorks 主菜单中的**插入、曲面、中面**。
- 2 选择板的正面和背面，如图所示。
- 3 单击**确定**。
- 4 生成名为 Shells-quarter 的**静态**算例。
- 5 展开有孔板文件夹并右键单击实体，然后选择**从分析中排除**。
- 6 定义 **25 mm**（**薄壁变形**）壳。要进行此操作：
 - a) 右键单击 Simulation 算例树的有孔板文件夹中的曲面实体，然后选择**编辑定义**。
 - b) 在**壳体定义** PropertyManager 中，选择 **mm**，然后为**抽壳厚度**键入 **25 mm**。
 - c) 单击 。
- 7 将**合金钢**分配给壳。要进行此操作：
 - a) 右键单击有孔板文件夹，然后选择**应用材料到所有实体**。
 - b) 展开 SolidWorks 材料库，并从钢类别中选择**合金钢**。
 - c) 选择**应用及关闭**。
- 8 将对称夹具应用于两条边线上，如图所示。

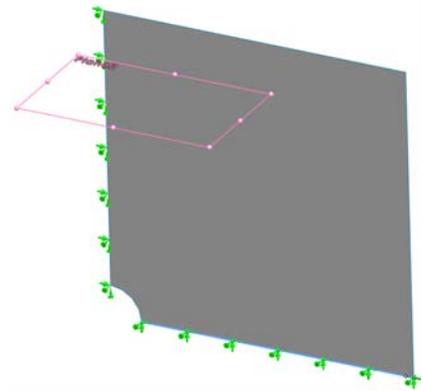


注意：对于壳网格，可以充分约束一条边线，但不是面。

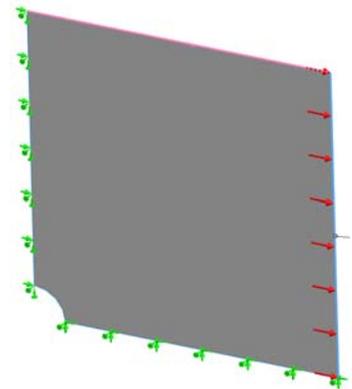
- a) 右键单击夹具文件夹，然后选择**高级夹具**。
- b) 在**夹具的面、边线、顶点**字段中，选择图中所示的边线。
- c) 在**方向的面、边线、基准面、基准轴**字段中，选择 Plane3。
- d) 约束**垂直于基准面**平移以及**沿基准面方向 1**和**沿基准面方向 2**旋转。
- e) 单击 。



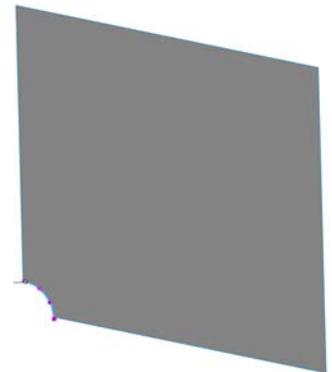
- 9 按同样的步骤对图中所示的其他边线应用对称夹具。这次对**方向的面、边线、基准面、基准轴**字段使用 Plane2 特征。



- 10 对图中所示的边线应用 $1 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$ 的压力。
- a) 右键单击外部载荷文件夹，然后选择**压力**。
 - b) 在**类型**下，选择**使用参考几何体**。
 - c) 在**压力的面、边线**字段中，选择图中所示的垂直边线。
 - d) 在**方向的面、边线、基准面、基准轴**字段中，选择图中所示的边线。
 - e) 在**压力值**对话框中指定 $1 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$ 。
 - f) 单击 。



- 11 对图中所示的边线应用网格控制。使用更小的元素大小可以提高准确性。
- a) 在 Simulation 算例树中，右键单击网格图标，然后选择**应用网格控制**。此时会显示**网格控制 PropertyManager**。
 - b) 选择图中显示的孔边线。
 - c) 单击 。



- 12 网格化此零件，然后运行分析。
- a) 在 Simulation 算例树中，右键单击网格图标，然后选择**应用网格控制**。此时会显示**网格控制 PropertyManager**。
 - b) 选择图中显示的孔边线。
 - c) 单击 。

- 13 按 X 方向绘制应力图解。最大 SX 应力是多少？

回答: _____

14 使用以下公式计算 SX 法向应力的误差:

$$ErrorPercentage = \left(\frac{SX_{Theory} - SX_{SIMULATION}}{SX_{Theory}} \right) 100$$

回答: _____

课程 2 词汇表

姓名 _____ 班级: _____ 日期: _____

用适当的词填空。

1 通过在应力集中区域自动细化网格来改善应力结果的方法:

2 通过增大多项式阶数改善应力结果的方法:

3 四面体元素节所具有的自由度类型:

4 壳元素节所具有的自由度类型:

5 在各个方向具有相等弹性属性的材料:

6 适用于大容量模块的网格类型:

7 适用于薄壁模块的网格类型:

8 适用于具有薄壁的或大容量零件的模型的网格类型:

课程 2 小测验

姓名 _____ 班级: _____ 日期: _____

说明: 答题时, 请将正确答案写在空白处。

1 轴和高品质壳元素中有多少个节?

2 更改壳厚度是否需要重新网格化?

3 什么是自适应方法, 其公式的基本理念是什么?

4 在算例中使用多个配置的优点有哪些?

5 如何快速创建一个新的与现有算例差别较小的算例?

6 在自适应方法不可用时, 如何使结果具有置信度?

7 本程序计算应力、位移和应变的顺序是什么?

8 在自适应解算中, 哪些数量收敛更快: 位移还是应力?
