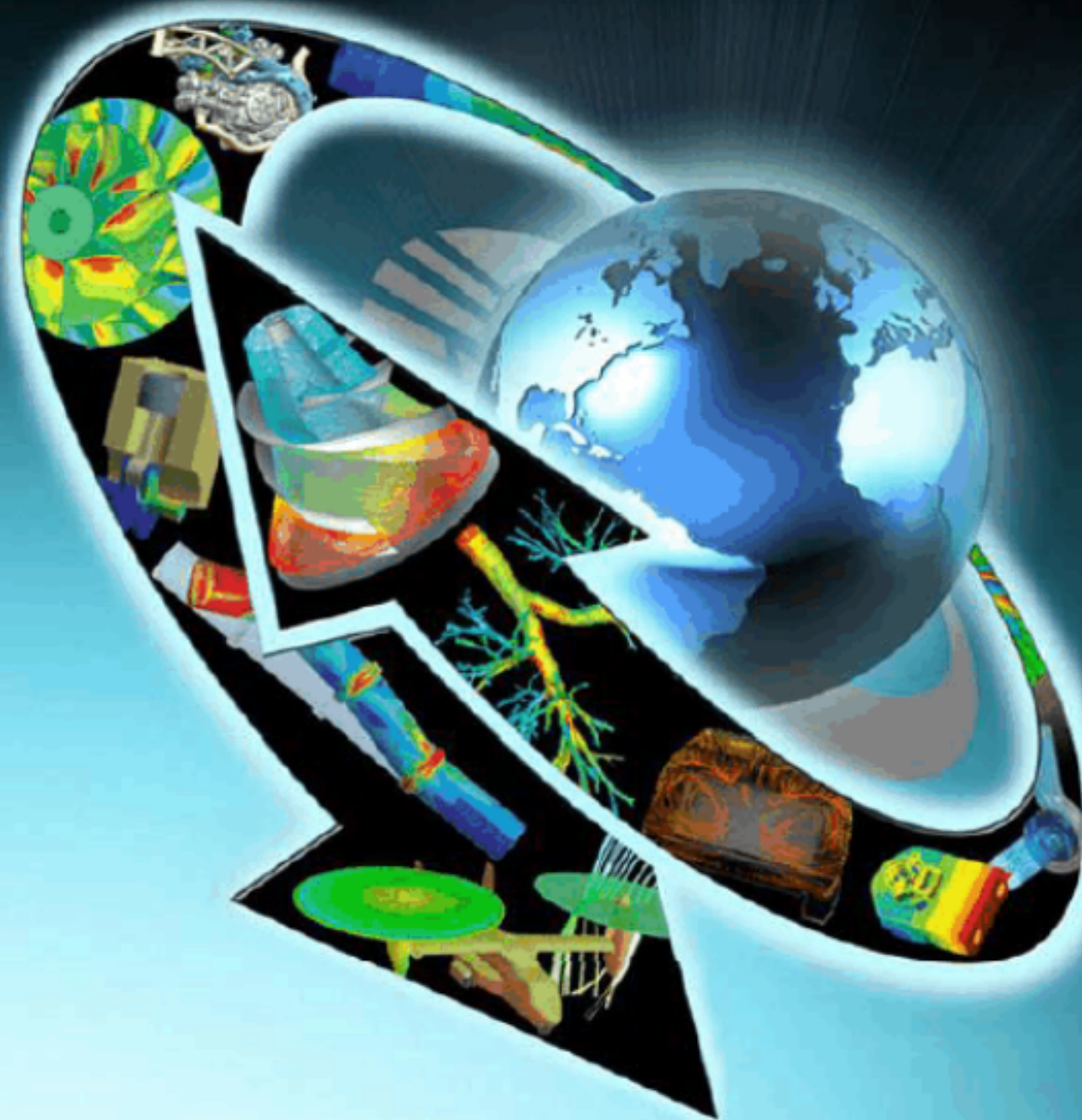




# Workbench - Mechanical Introduction

## 目录



# Table of Contents

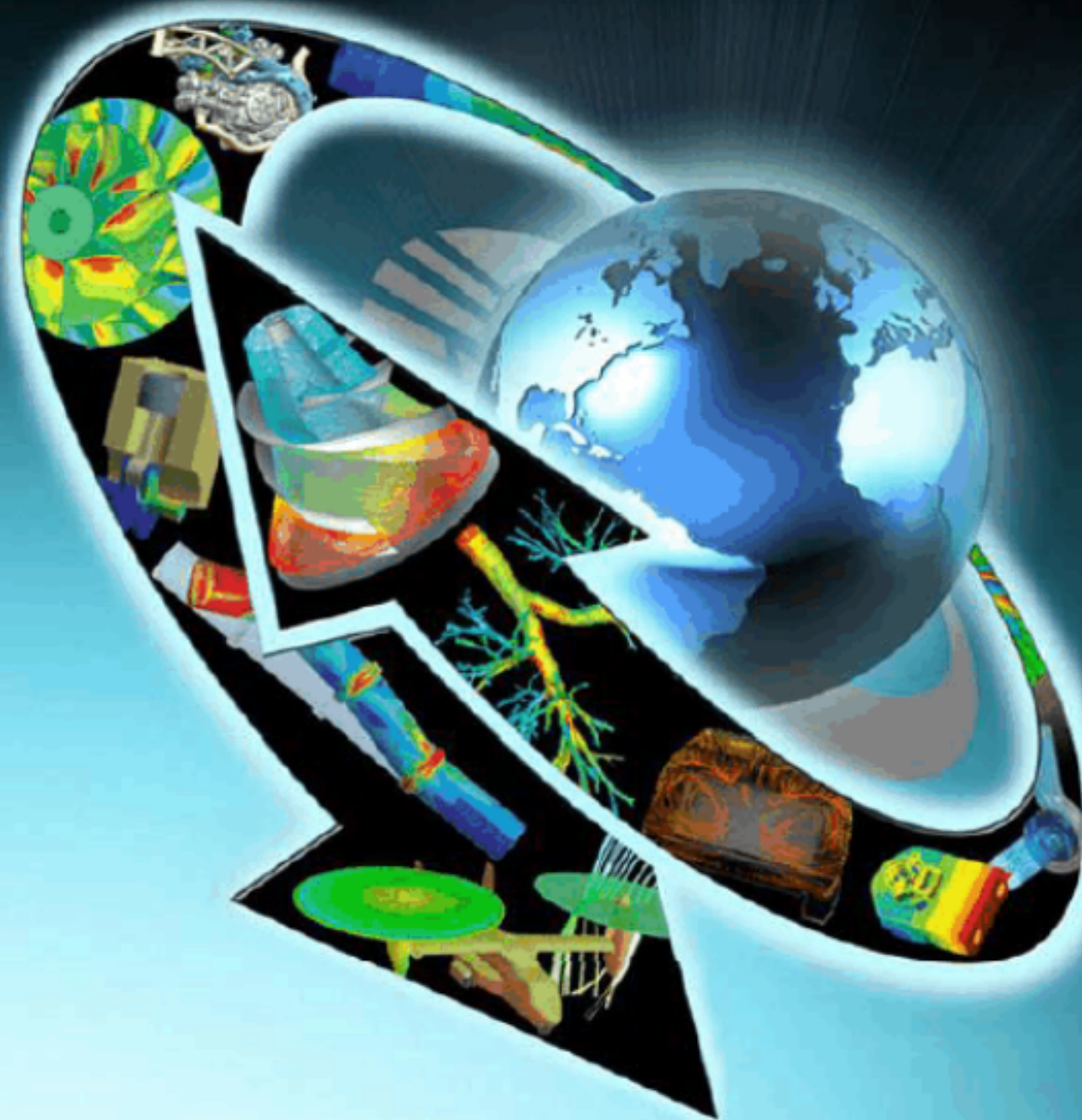
|    |                                       |      |    |                          |      |
|----|---------------------------------------|------|----|--------------------------|------|
| 1. | 简介                                    | 1-1  | 6. | 热分析                      | 6-1  |
|    | A. ANSYS 公司简介                         | 1-6  |    | A. 几何                    | 6-5  |
|    | B. ANSYS Workbench 简介                 | 1-12 |    | B. 装配体 – 实体接触            | 6-7  |
|    | C. ANSYS Mechanical 简介                | 1-14 |    | C. 热载荷                   | 6-14 |
|    | D. 启动 Mechanical                      | 1-18 |    | D. 解决途径                  | 6-20 |
|    | E. Workbench 环境                       | 1-19 |    | E. 结果与后处理                | 6-22 |
|    | F. Workbench 文件管理                     | 1-30 |    | F. Workshop 6.1 – 稳态热分析  | 6-26 |
|    | G. 单位制                                | 1-34 | 7. | 线性屈曲分析                   | 7-1  |
|    | H. License 许可文件                       | 1-36 |    | A. 屈曲分析背景                | 7-3  |
| 2. | Mechanical 简介                         | 2-1  |    | B. 屈曲分析步骤                | 7-7  |
|    | A. 启动 Mechanical                      | 2-3  |    | C. Workshop 7.1 – 线性屈曲分析 | 7-18 |
|    | B. Mechanical 应用向导                    | 2-13 | 8. | 结果后处理                    | 8-1  |
|    | C. 基本步骤                               | 2-15 |    | A. 结果观察                  | 8-3  |
|    | D. 技术规范                               | 2-28 |    | B. 区域结果显示                | 8-21 |
|    | E. Workshop 2.1 – ANSYS Mechanical 基础 | 2-36 |    | C. 结果输出                  | 8-28 |
| 3. | 通用前处理器                                | 3-1  |    | D. 坐标系                   | 8-30 |
|    | A. 几何分支                               | 3-5  |    | E. 结果组合                  | 8-32 |
|    | B. 接触                                 | 3-11 |    | F. 应力奇异                  | 8-35 |
|    | C. Workshop 3.1 – 接触控制                | 3-22 |    | G. 误差评价                  | 8-38 |
|    | D. 网格划分                               | 3-23 |    | H. 收敛性                   | 8-40 |
|    | E. 命名选择                               | 3-48 |    | I. Workshop 8.1 – 结果后处理  | 8-46 |
|    | F. 坐标系                                | 3-52 | 9. | CAD & 参数                 | 9-1  |
|    | G. Workshop 3.2 – 网格划分控制              | 3-55 |    | A. CAD 交互性               | 9-3  |
| 4. | 静力结构分析                                | 4-1  |    | B. 定义参数                  | 9-13 |
|    | A. 几何                                 | 4-4  |    | C. Workshop 9.1 – 参数管理   | 9-20 |
|    | B. 装配体 – 实体接触                         | 4-7  |    |                          |      |
|    | C. 分析设置                               | 4-14 |    |                          |      |
|    | D. 装载和支撑                              | 4-19 |    |                          |      |
|    | E. Workshop 4.1 – 线性结构分析              | 4-39 |    |                          |      |
|    | F. 结果和后处理                             | 4-40 |    |                          |      |
|    | G. Workshop 4.2 – 二维结构分析              | 4-49 |    |                          |      |
| 5. | 模态分析                                  | 5-1  |    |                          |      |
|    | A. 模态分析过程                             | 5-4  |    |                          |      |
|    | B. Workshop 5.1 – 模态分析                | 5-11 |    |                          |      |
|    | C. 预应力模态分析                            | 5-12 |    |                          |      |
|    | D. Workshop 5.2 – 预应力模态分析             | 5-16 |    |                          |      |





# Workbench – Mechanical Introduction

## 第一章 简介



? 什么是 ANSYS Workbench ?

- ANSYS Workbench 中提供了与 ANSYS 系统求解器的强大交互功能的方法。这个环境提供了一个独特的 CAD 及设计过程的集成系统。

? ANSYS Workbench 由多种的应用模块组成 ( 例子 ) :

- Mechanical : 利用 ANSYS 的求解器进行结构和热分析。  
? 网格划分也包含在 Mechanical 应用中。
- Mechanical APDL : 采用传统的 ANSYS 用户界面对高级机械和多物理场进行分析。
- Fluid Flow (CFX) : 利用 CFX 进行 CFD 分析。
- Fluid Flow (FLUENT) : 使用 FLUENT 进行 CFD 分析。
- Geometry (DesignModeler) : 创建几何模型 ( DesignModeler ) 和 CAD 几何模型的修改
- Engineering Data : 定义材料性能。
- Meshing Application : 用于生成 CFD 和显示动态网格。
- Design Exploration : 优化分析。
- Finite Element Modeler (FE Modeler) : 对 NASTRAN 和 ABAQUS 的网格进行转化以进行 ansys 分析。
- BladeGen (Blade Geometry) : 用于创建叶片几何模型。
- Explicit Dynamics : 具有非线性动力学特色的模型用于显式动力学模拟。

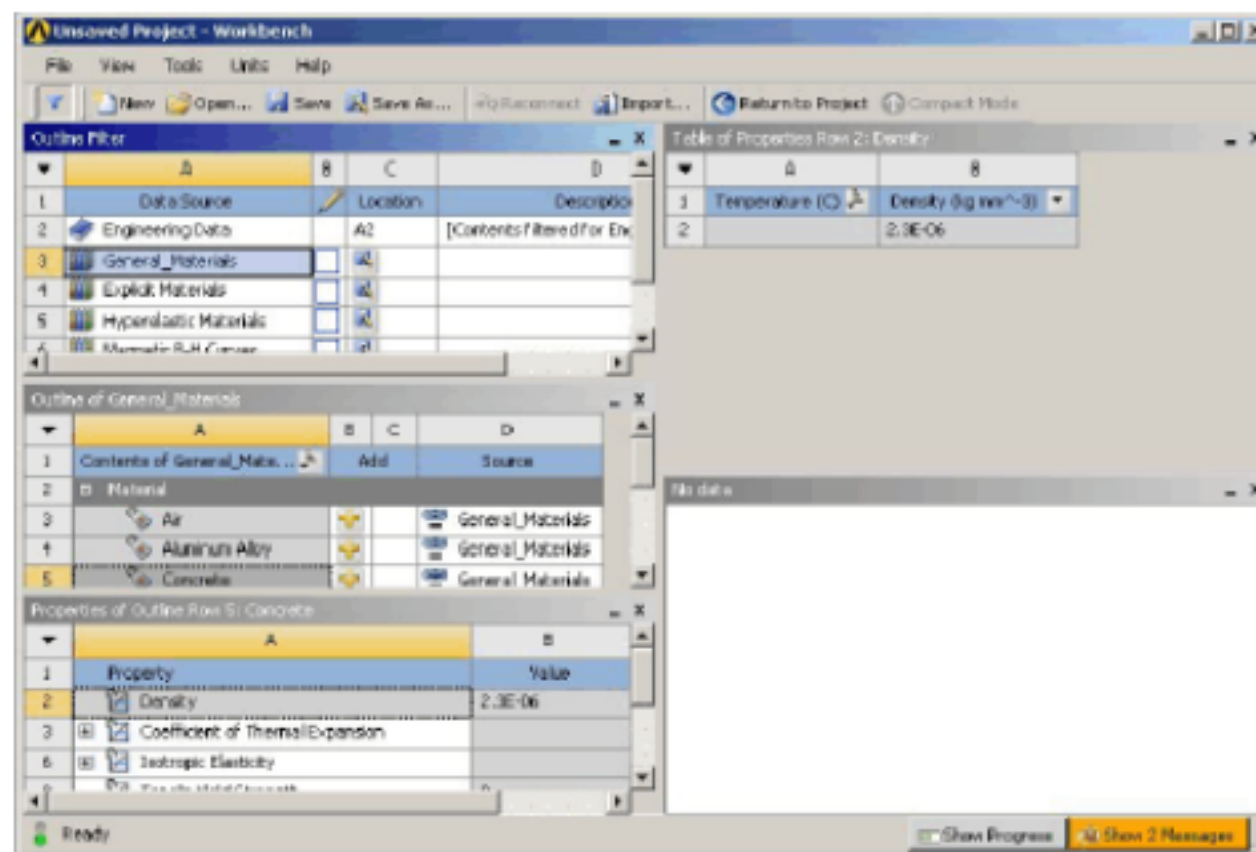


? Workbench 环境支持两种类型的应用程序：

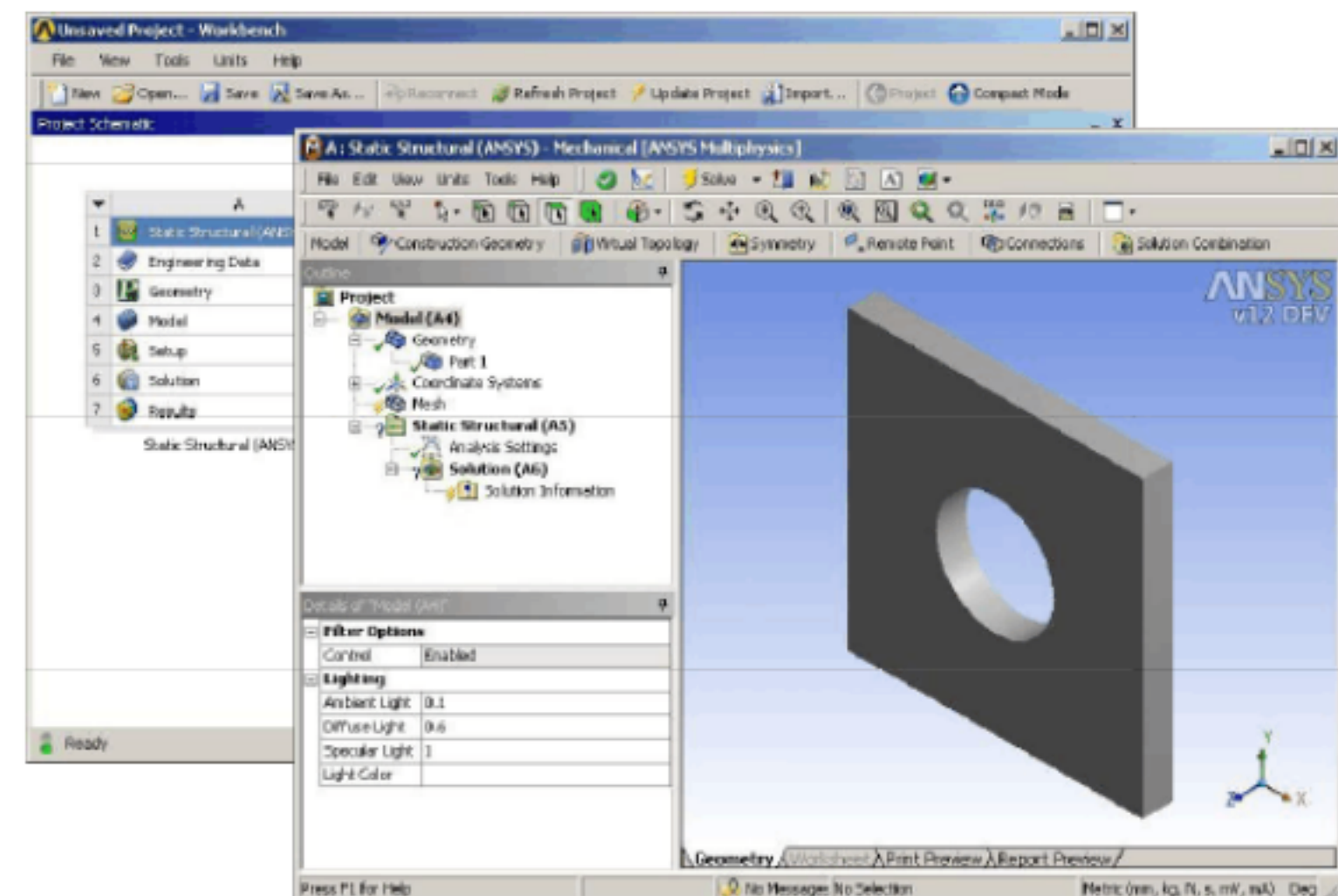
– 本地应用 (workspaces): 目前的本地应用包括工项目管理，工程数据和优化设计

? 本机应用程序的启动，完全在 Workbench 窗口运行。

– 数据综合应用：目前的应用包括 Mechanical, Mechanical APDL, Fluent, CFX, AUTODYN 和其他。



本地应用



数据综合应用

? Workbench –Mechanical 的分析类型：?

– 结构分析 (静态和瞬态):

? 线性和非线性结构分析 .

– 动力学分析：

? 模态，谐波，随机振动，柔体和刚体动力学。

– 热传递（稳态和瞬态）：

– 静磁场求解温度场和热流。与温相关的导热系数、对流系数的材料。

? 执行三维静磁场分析。

– 形状优化：

? 使用拓扑优化技术显示可能发生体积减小的区域。

?注意，以上的可用功能由用户的  
课程。

ANSYS 许可文件决定。并非所有列出的功能已涵盖在此入

门



### ? Mechanical Application

- 自动仿真环境，并可以方便与 ANSYS 的求解器技术进行结合使用。
- 以前称为 simulation 模块。

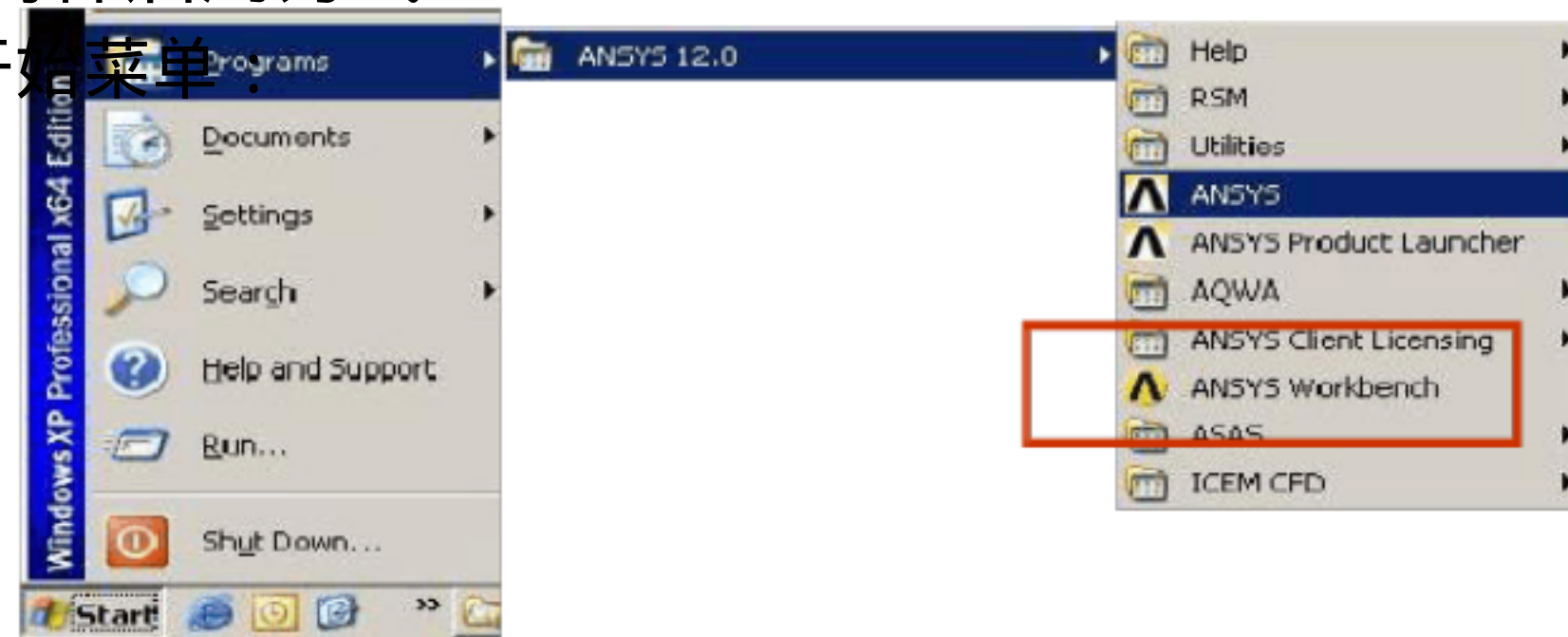
### ? Mechanical APDL Application

- 用户界面环境，主要通过命令流、自定义和脚本语言实现。
- 以前称为 ANSYS PREP7/POST1 接口。

## D. 启动 Mechanical

? Workbench 有两种启用方式：

– 从 Windows 开始菜单：



– 从 CAD 系统：



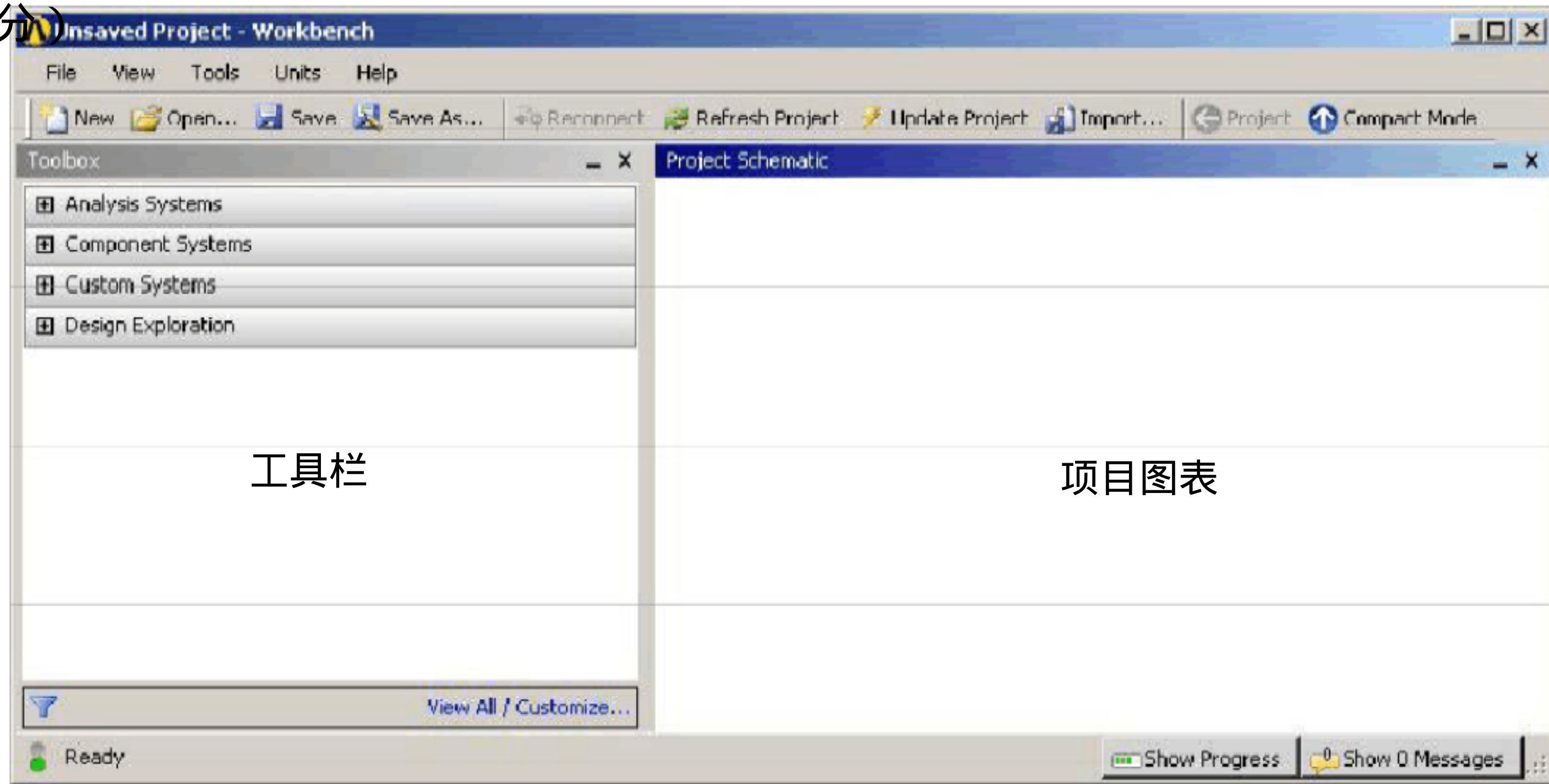


# 简介

## E. Workbench 环境

Training Manual

? 大多数的 Workbench 界面主要分为 2 部分，（一会儿还有其他可选的部分）



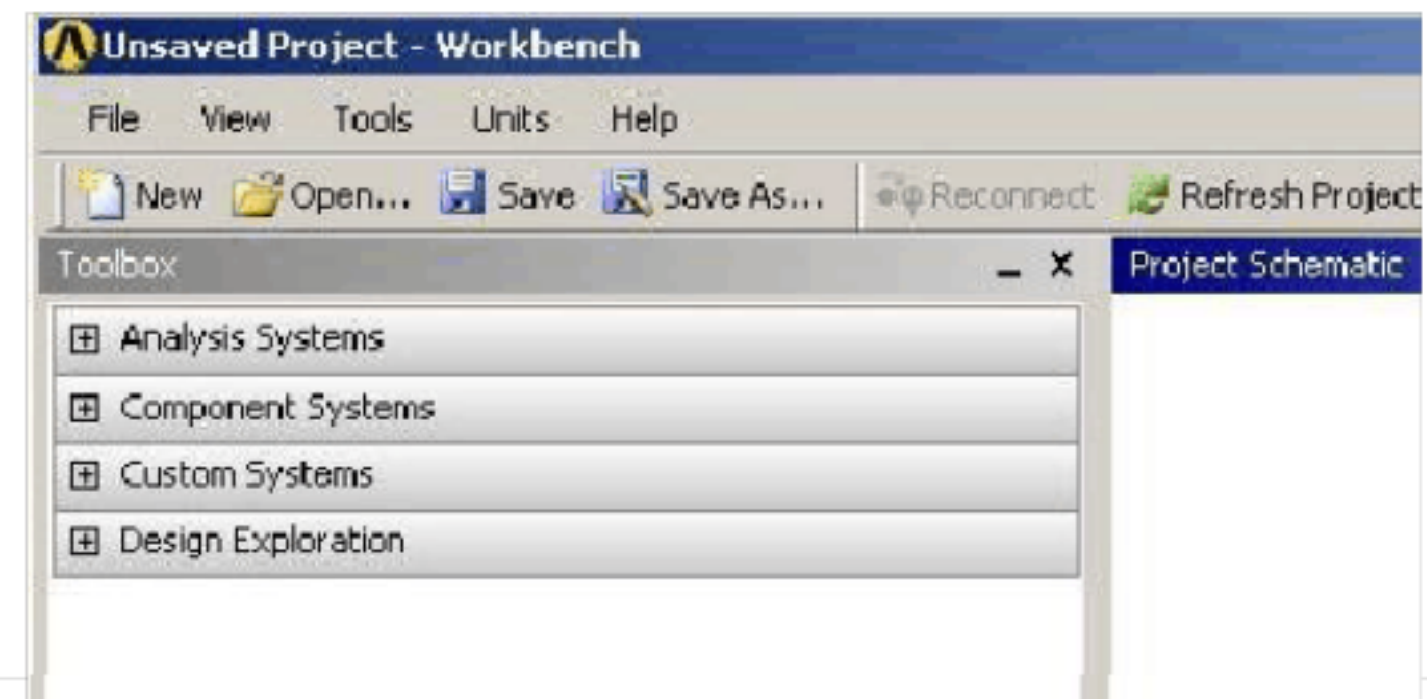
? 工具栏包括四部分 :

? Analysis systems :可以直接在项目中  
使用预先定义好的模板。

? Component systems :建立、扩展分析  
系统的各种应用程序。

? Custom Systems : 应用于耦合 (FSI,  
热应力,等 )分析的预先定义好的模板。  
用户也可以创建自己的预定义系统。

? Design Exploration : 参数管理和优化  
工具

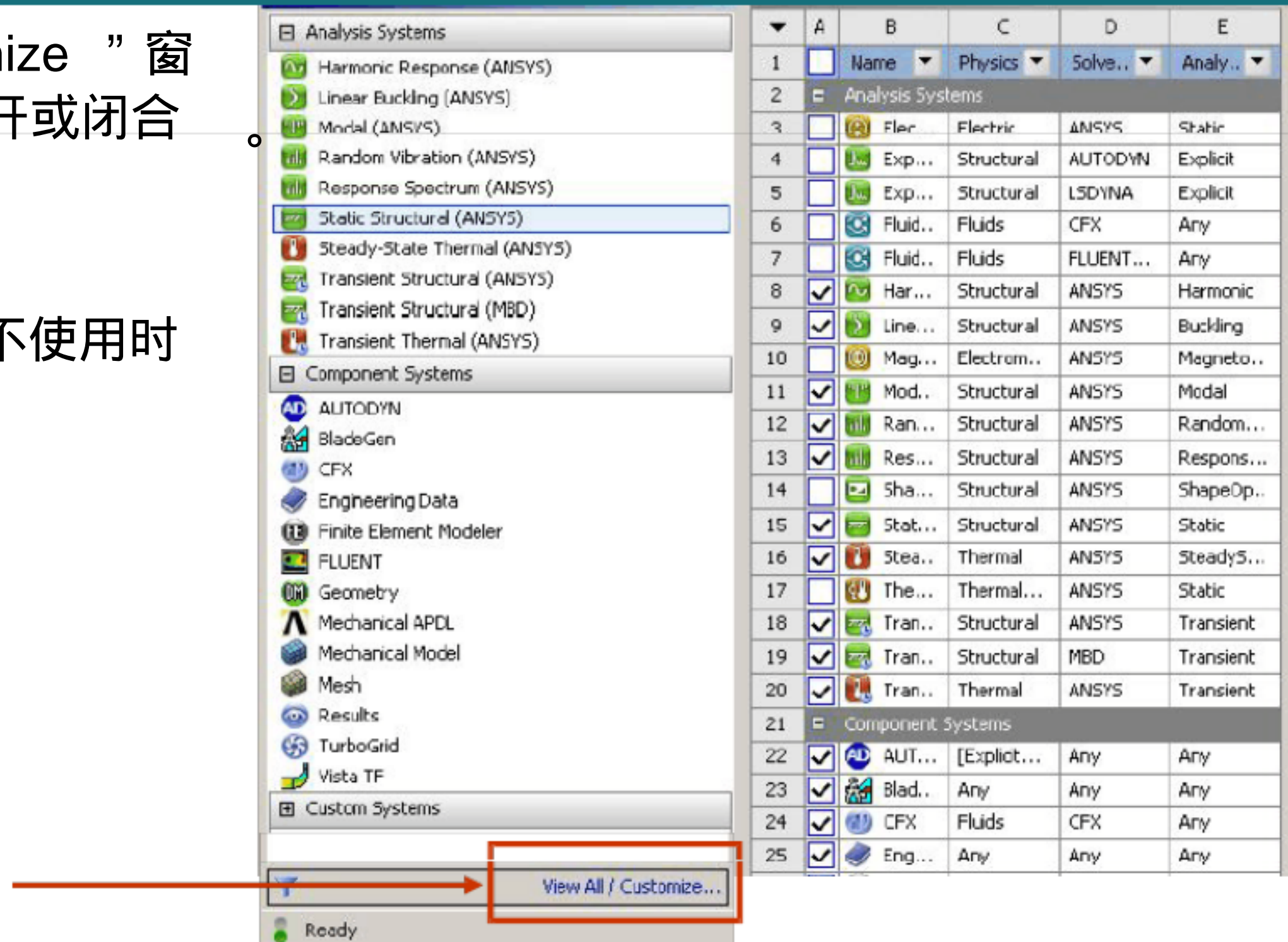




简介  
 ? 显示在工具箱的 systems 和 components 取决于安装的产品  
 ... 工具栏

? 用 “ View All / Customize ” 窗口的控制按钮，可以展开或闭合显示在工具箱的项。

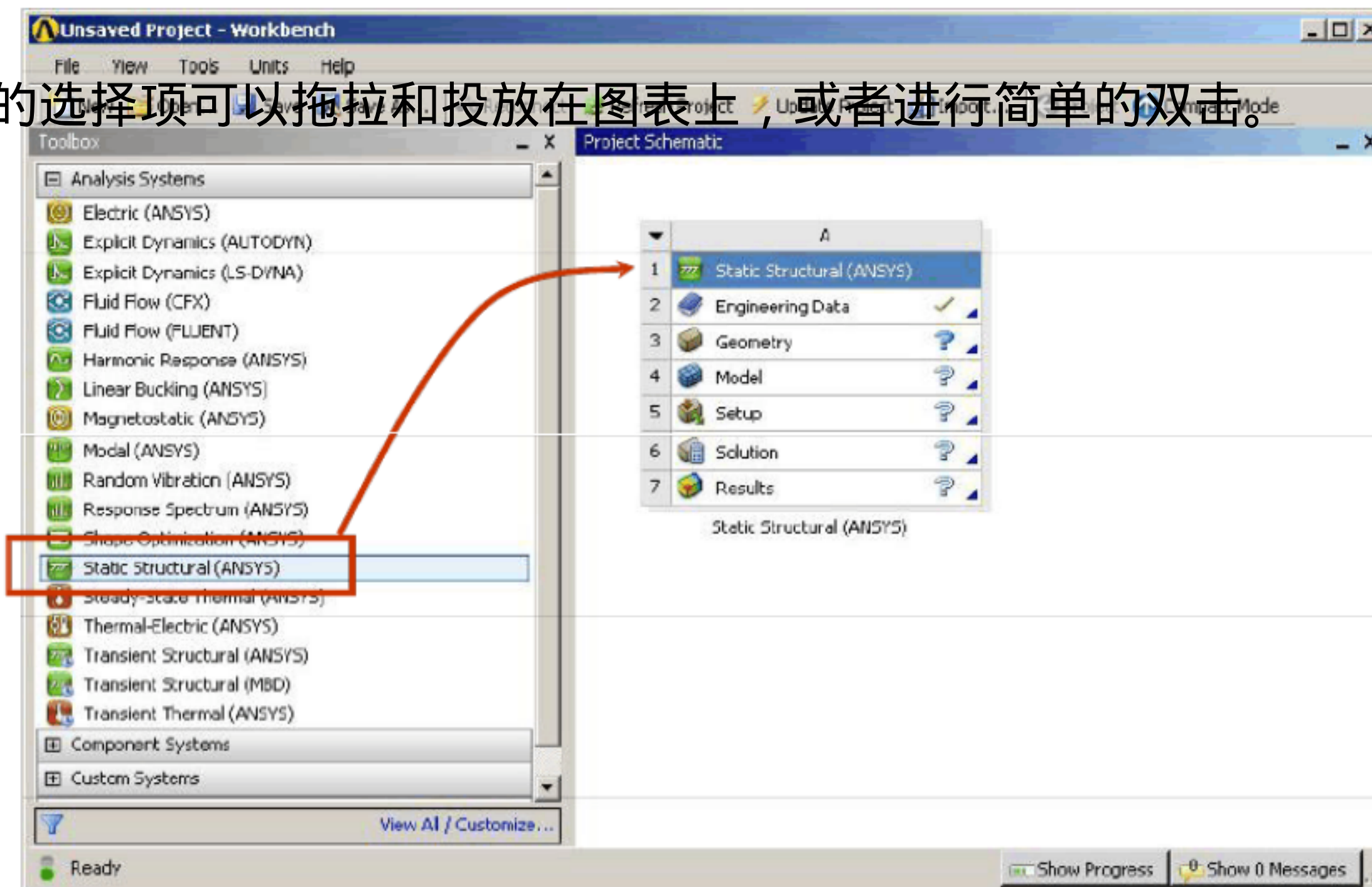
? 左边的工具箱专用窗口不使用时通常是关闭的。



- ? Workbench 项目示图区是定义一个 system 或一组 system 操作流程的图示 法。
- ? 项目示图区的操作总是从左到右。
- ? Workbench 有几个本地应用程序，即完全在 Workbench 窗口运行的：
  - Project Schematic, Engineering Data and Design Exploration
- ? 非本地应用程序（叫做数据集成）在各自的窗口运行：
  - Mechanical (formerly Simulation), Mechanical APDL (formerly ANSYS), ANSYS Fluent, ANSYS CFX, Etc . . .
- ? 存储单元可以通过 RMB 菜单选择来删除。

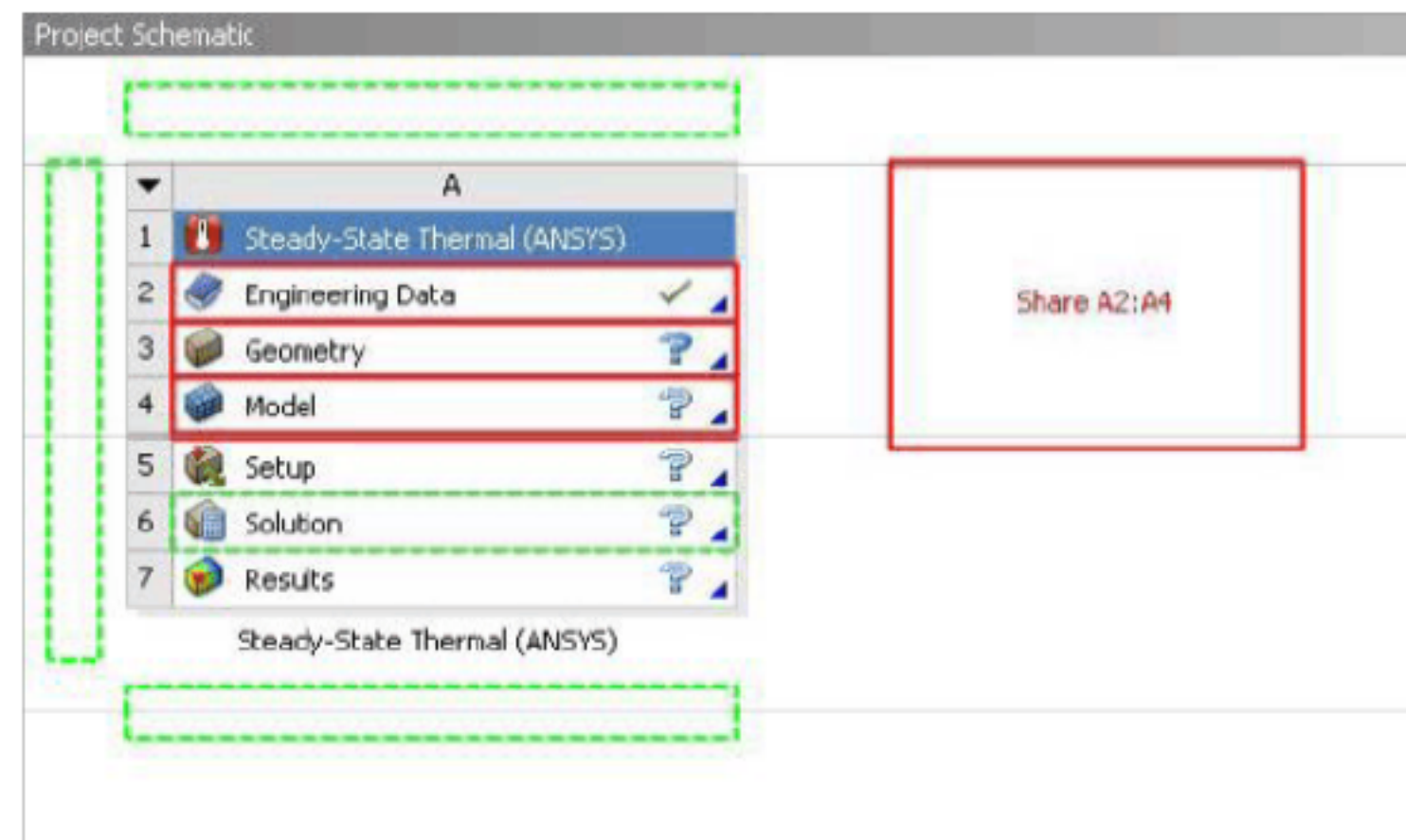
? 这是为项目图表所选择的静力结构分析的例子。

? 工具栏中的选择项可以拖拉和投放在图表上，或者进行简单的双击。

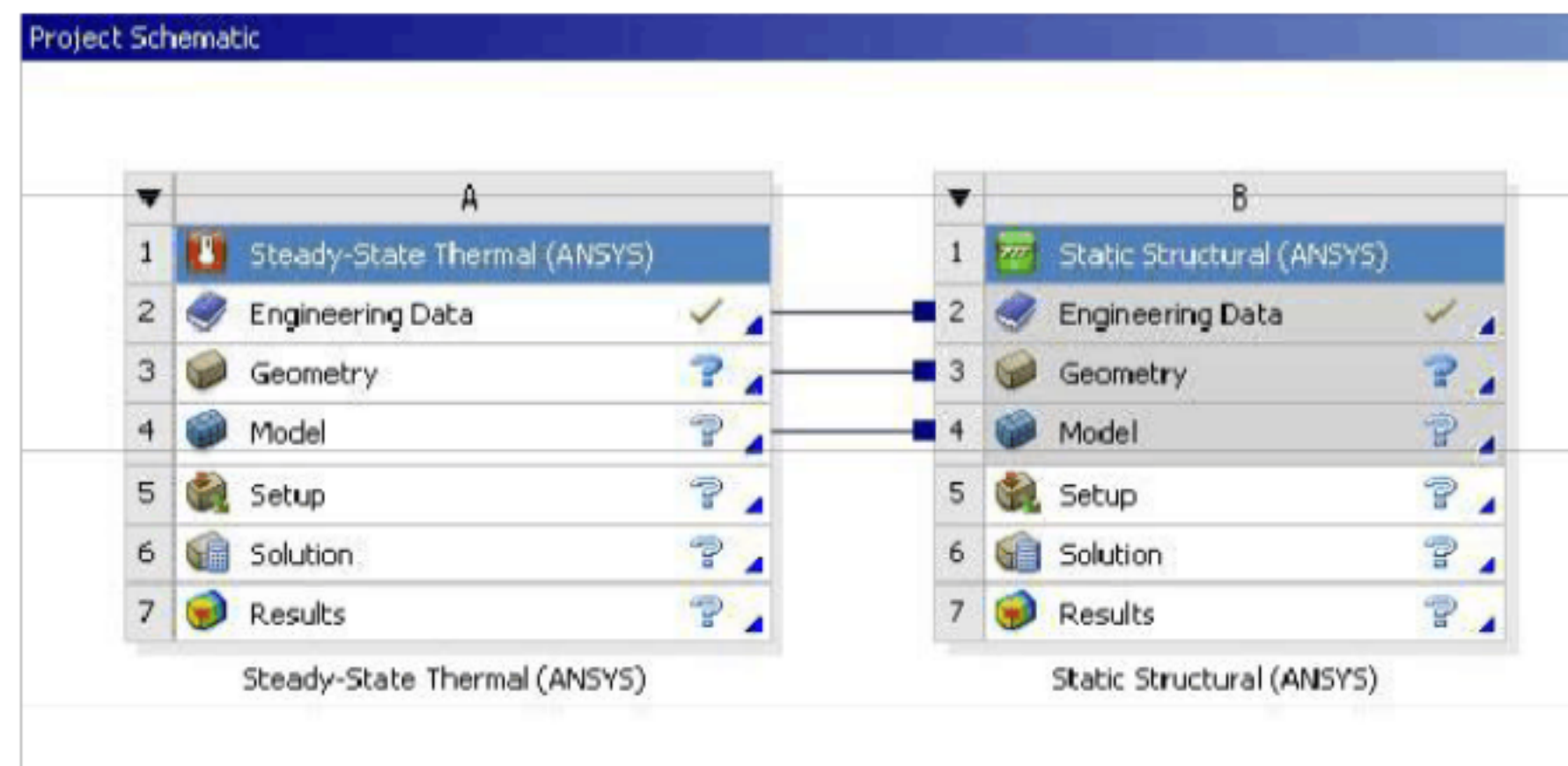




- ? 在项目表中拖放应用组件和 /或系统到任意位置，一个完整的分析项目就定义好了。
- ? ‘连接’表明系统之间的协作程度。
- ? 下面的例子中，拖拉和投放结构分析流程到热分析的A4下。
- ? 在完成操作之前，注意有不同的“投放目标”，以便在系统与系统之间提供不同分析类型之间的联系（下一页继续）。

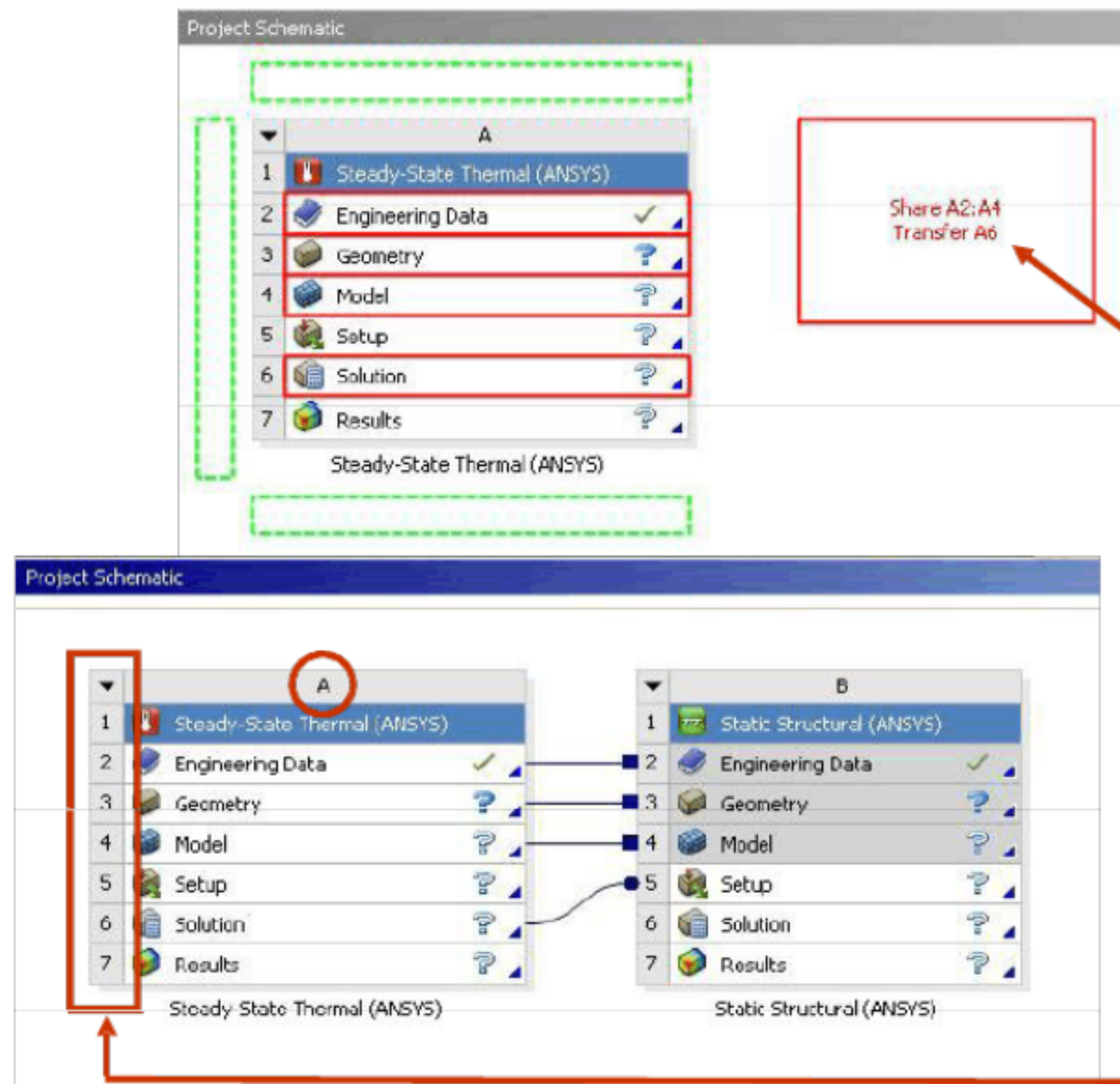


? 完成前面的操作之后，请注意这里的联系只在 model 及以上的等级。  
? 这样就不存在热 / 结构耦合。



? 注意每个系统板块是给了字母标号的 (A, B, C, 等)。

? 在 “Solution” 处投放结构系统，我们得到结构与热的耦合分析求解。

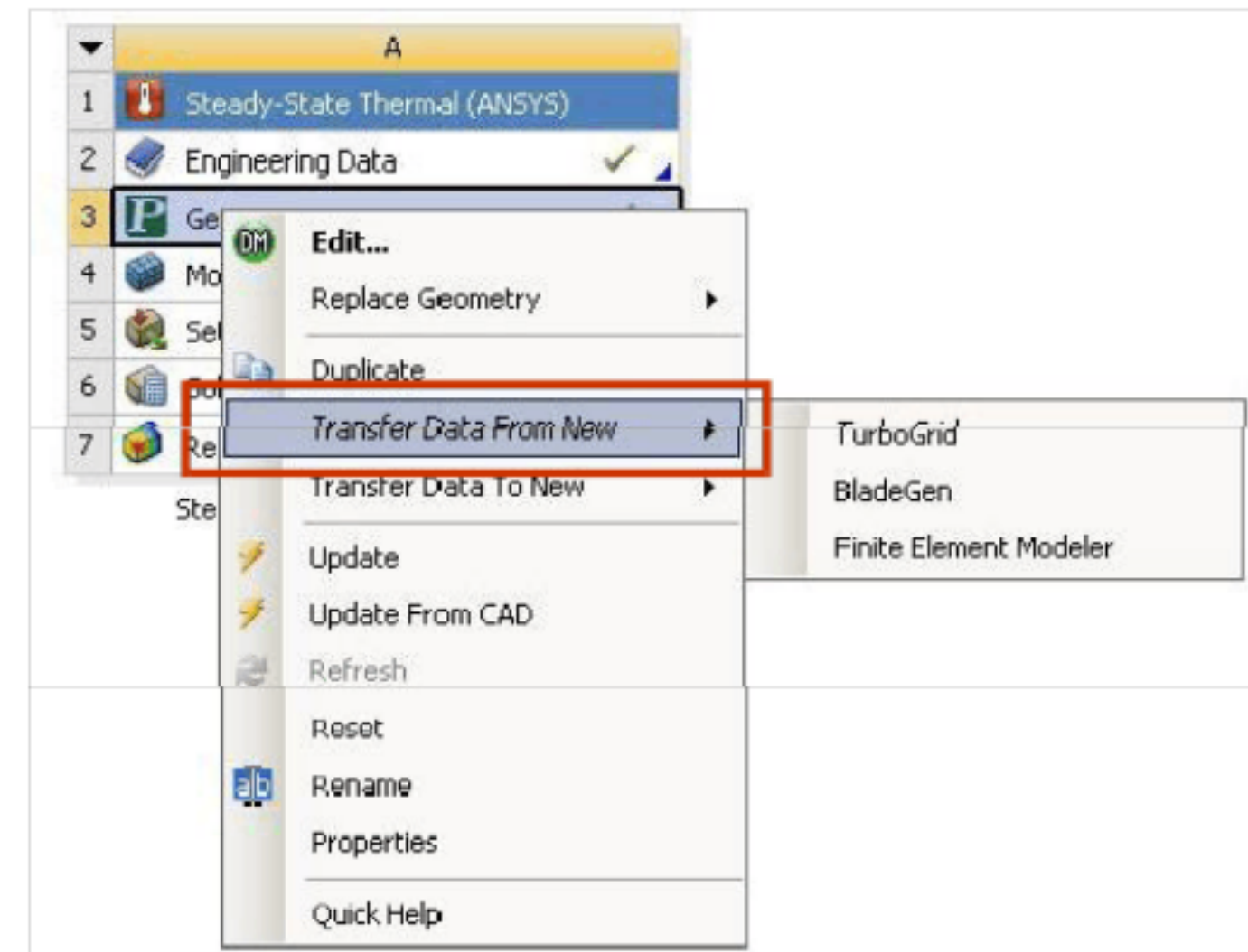
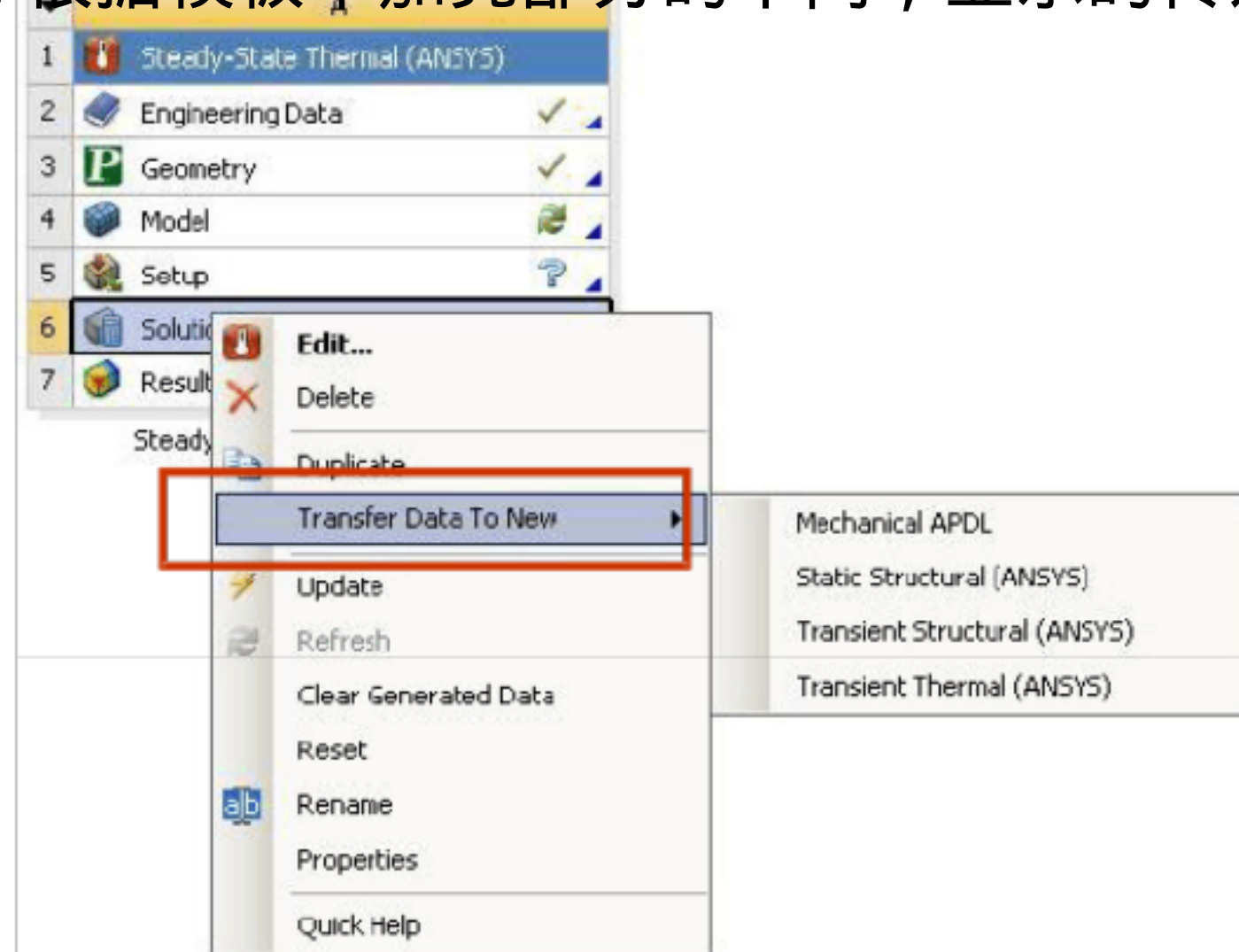


注意，可选的“投放目标”表示数据将在 A2 至 A4 区共享，并在 A6 区转移。



## ... 项目图表

- ? 工作流程也可以由 RMB 建立，选择 “Transfer Data To New” 或者 “Transfer Data From New”。
- ? 使用 RMB 建立系统流程图，仅显示可用的传递模块。
- ? 根据模板中加亮部分的不同，显示的传递模块即不同。



? 识别板块的状态 :



? 无法执行 : 缺少数据。



? 需要注意 : 需要修正或更新板块。



? 需要刷新 : 上行数据发生了变化。需要刷新板块 (更新也会刷新板块)。



? 需要更新 : 数据已更改, 必须重新生成板块的输出。



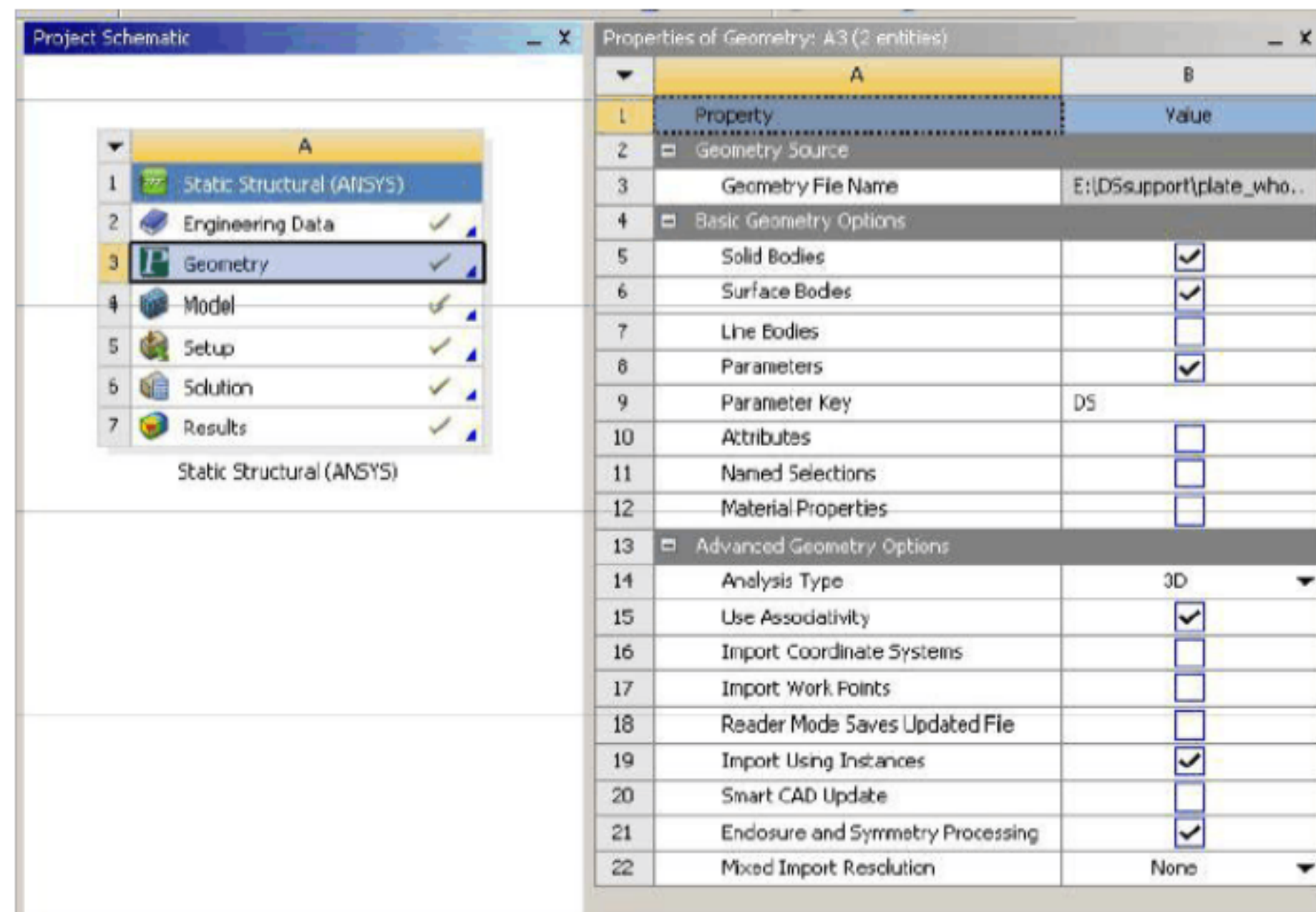
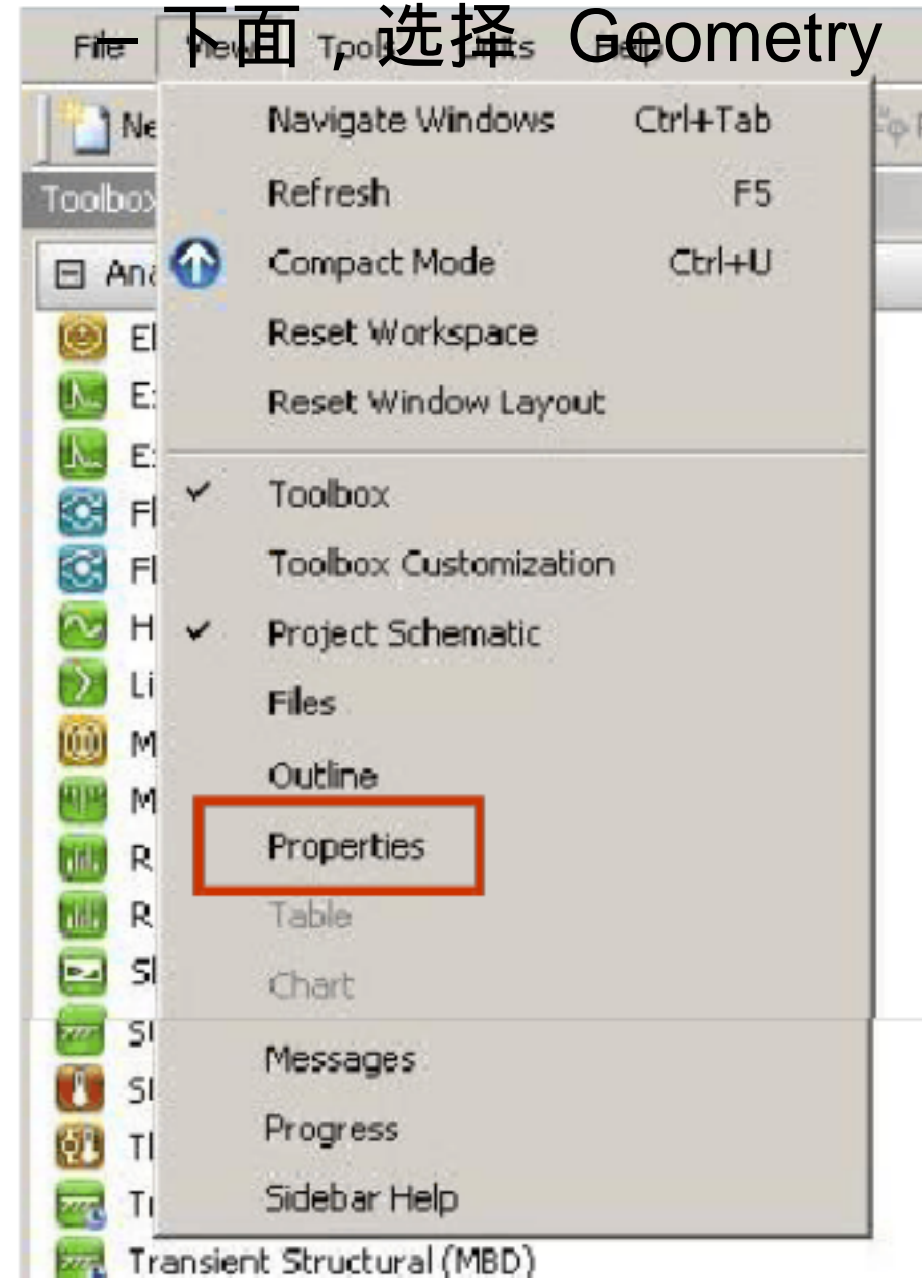
? 数据确定。



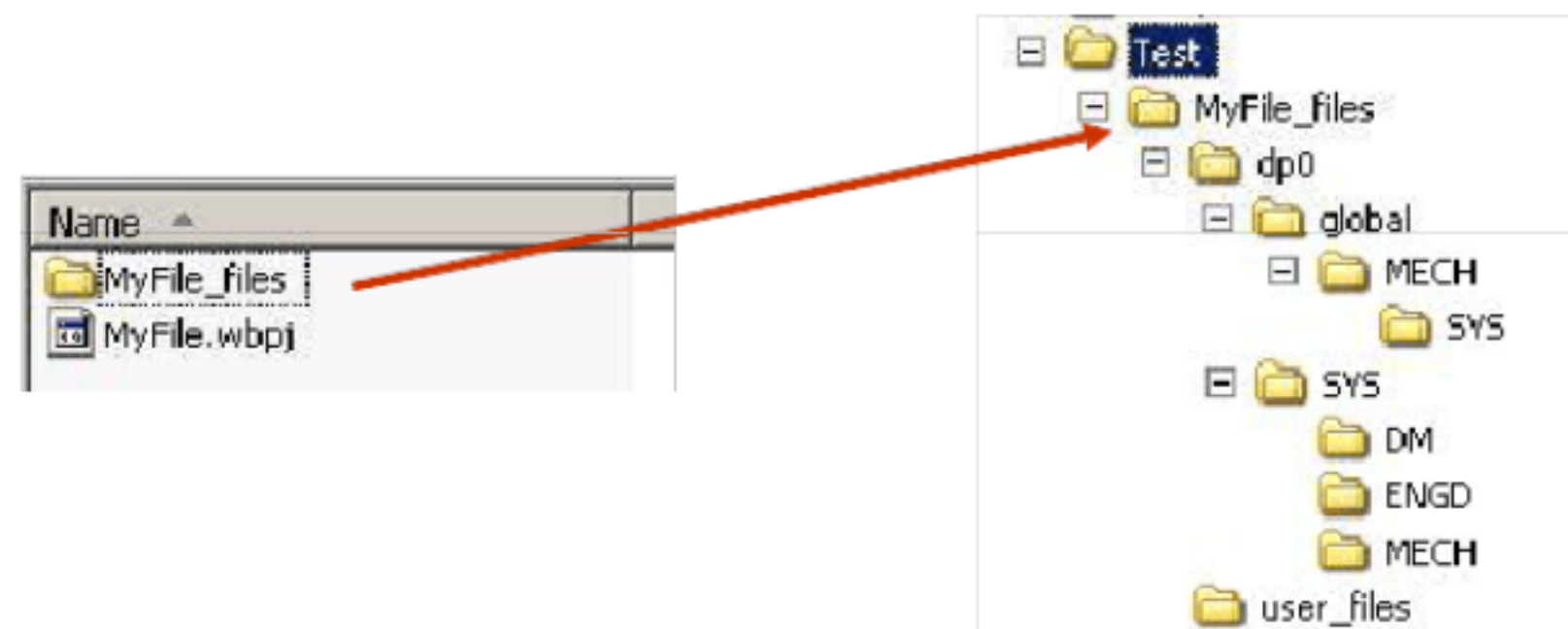
? 输入变化 : 板块需要局部更新, 但当下一个执行更新是由于上游的改变时可能会发生变化。

## 可选择的 Workbench 窗

“ View 菜单 ( 和 RMB ) 允许的其他信息在 Workbench 环境中显示。  
下面, 选择 Geometry 和属性显示。



- ? Workbench 创建一个项目文件和一系列的子目录去管理所有相关文件。
- ? 使用者应允许 Workbench 管理这些目录的内容。请不要手动修改项目目录的内容或结构。
- ? 例如在 MyFile.wbpj 中, 会创建项目文件 ( .wbpj ), 使用用户指定的文件名 ( 例如 MyFile.wbpj )。
- ? 使用项目名创建一个项目目录。在上面的例子中, 该目录应该为 MyFile\_files 。
- ? 子目录会在项目目录里被创建 ( 下面解释 )。



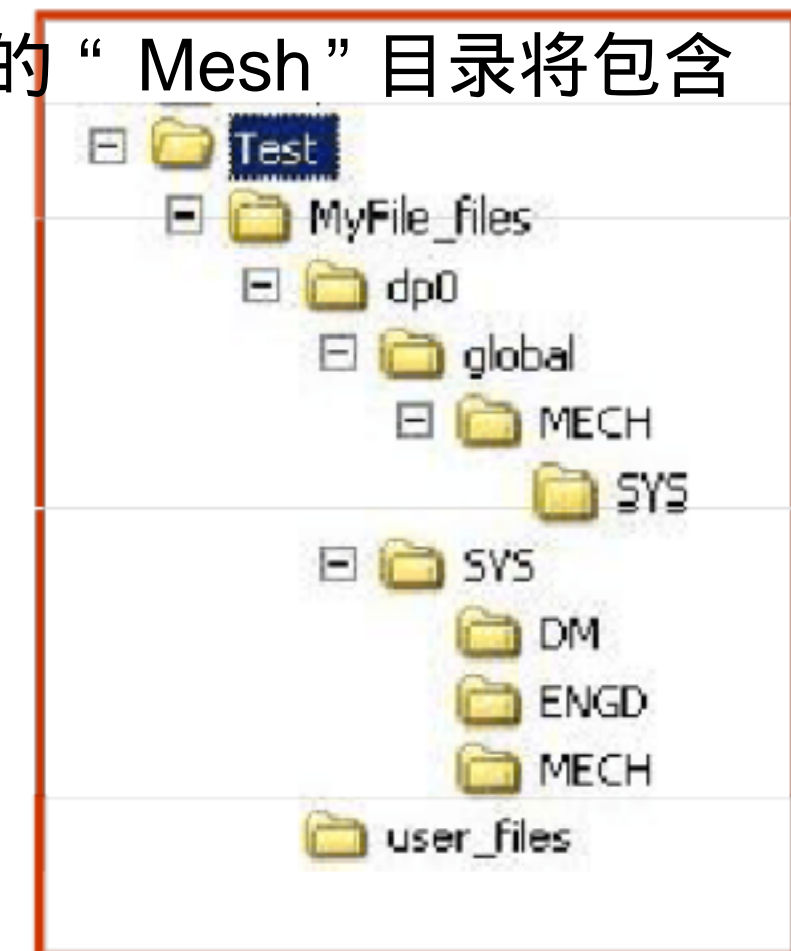


## ... Workbench 文件管理

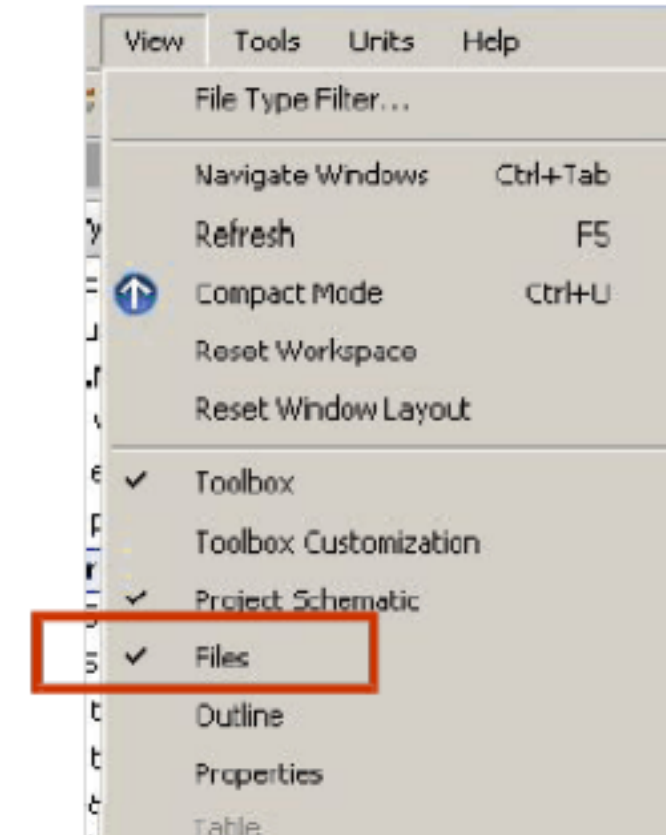
? 目录结构 :

- dpn: 这是设计点目录。这基本上是特定分析下的所有参数状态。一个单独的分析中，将只有一个 “ dp0 ” 目录。
- global: 包含每个分析中每个程序的子目录。比如，右侧数据库，和其他相关文件。
- SYS: “ “ SYS” 目录包含项目中每个系统类型的子目录 (e.g. Mechanical, Fluent, CFX, etc.) 。每个系统子目录包含求解详细文件。例如 MECH 子目录包含结果文件 ds.dat 文件，和 solve.out 文件等。
- user\_files: 包含和项目相关的输入文件和用户宏文件。

的 “ Mesh ” 目录将包含



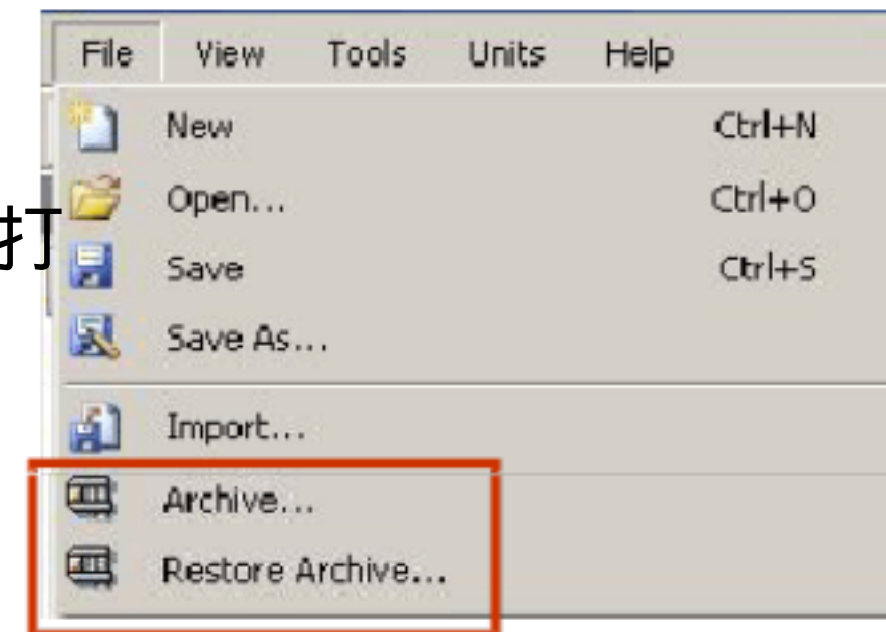
? 从 Workbench “View” 菜单启动 “Files” 选项，会出现一个窗口，包含所有文件的详细信息和位置。



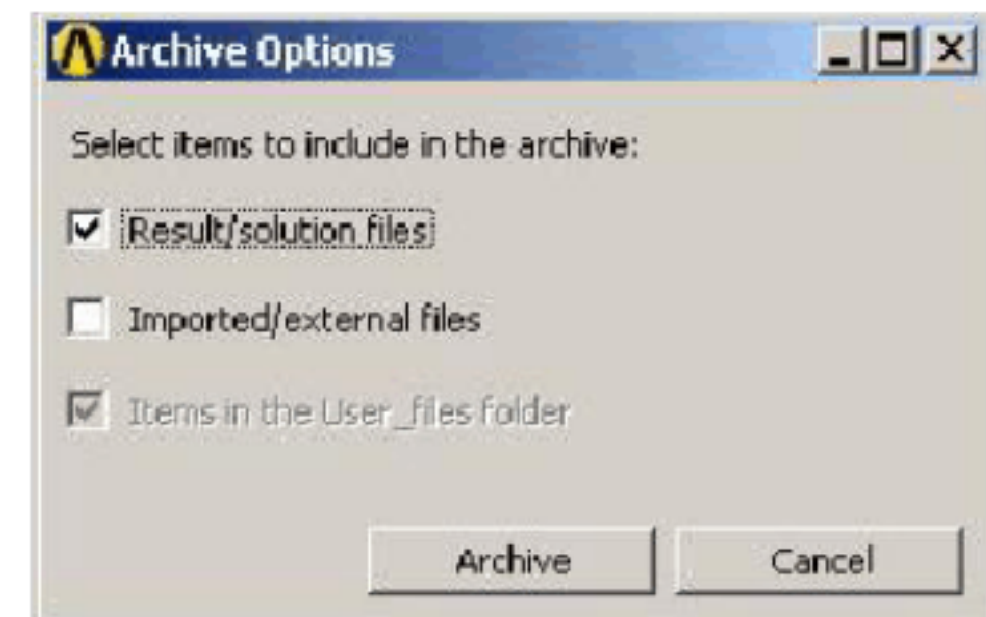
| Files View |                     |         |            |        |                           |                       |                                      |
|------------|---------------------|---------|------------|--------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
|            | A                   | B       | C          | D      | E                         | F                     | G                                    |
| 1          | Name                | Cell ID | Design P.. | Size   | Type                      | Date Modified         | Location                             |
| 2          | plate_whole.agdb    | A3      |            | 12 KB  | Geometry File             | 1/17/2005 11:20:03 AM | E:\DSsupport                         |
| 3          | material.engd       | A2      | Current    | 13 KB  | Engineering Data File     | 12/8/2008 9:54:24 AM  | E:\Test\MyFile_files\dp0\SYS\ENGD    |
| 4          | SYS.engd            | A4      | Current    | 13 KB  | Engineering Data File     | 12/8/2008 9:54:24 AM  | E:\Test\MyFile_files\dp0\global\MECH |
| 5          | MyFile.wbpj         |         |            | 50 KB  | ANSYS Project File        | 12/8/2008 9:55:55 AM  | E:\Test                              |
| 6          | SYS.mechdb          | A4      | Current    | 92 KB  | Mechanical Database Files | 12/8/2008 9:55:54 AM  | E:\Test\MyFile_files\dp0\global\MECH |
| 7          | EngineeringData.xml | A2      | Current    | 13 KB  | Engineering Data File     | 12/8/2008 9:55:54 AM  | E:\Test\MyFile_files\dp0\SYS\ENGD    |
| 8          | designPoint.wbdp    |         | Current    | 200 KB | Design Point File         | 12/8/2008 9:55:55 AM  | E:\Test\MyFile_files\dp0             |
| 9          | CAERep.xml          | A       | Current    | 13 KB  | CAERep File               | 12/8/2008 9:55:07 AM  | E:\Test\MyFile_files\dp0\SYS\MECH    |
| 10         | ds.dat              | A       | Current    | 282 KB | .dat                      | 12/8/2008 9:55:08 AM  | E:\Test\MyFile_files\dp0\SYS\MECH    |
| 11         | file.BCS            | A       | Current    | 2 KB   | .BCS                      | 12/8/2008 9:55:10 AM  | E:\Test\MyFile_files\dp0\SYS\MECH    |
| 12         | file.err            | A       | Current    | 599 B  | [ANSYS File Type]         | 12/8/2008 9:55:10 AM  | E:\Test\MyFile_files\dp0\SYS\MECH    |
| 13         | file.rst            | A       | Current    | 1 MB   | ANSYS Result File         | 12/8/2008 9:55:10 AM  | E:\Test\MyFile_files\dp0\SYS\MECH    |
| 14         | solve.out           | A       | Current    | 20 KB  | .out                      | 12/8/2008 9:55:10 AM  | E:\Test\MyFile_files\dp0\SYS\MECH    |

？存档：快速生成包含所有相关文件的压缩文件。

- 文件是压缩格式，可以使用 WB2 或任何解压缩程序打开 “Restore Archive ...”



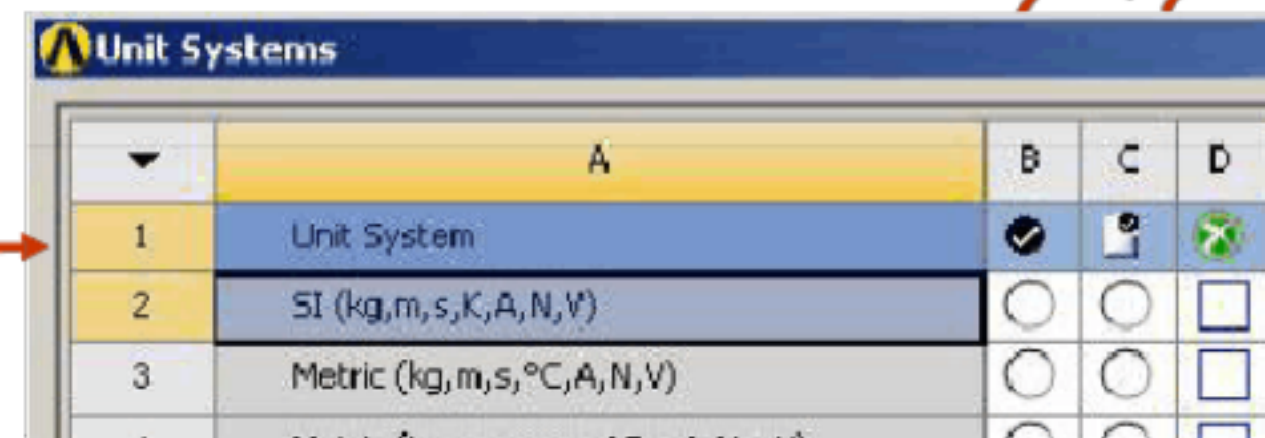
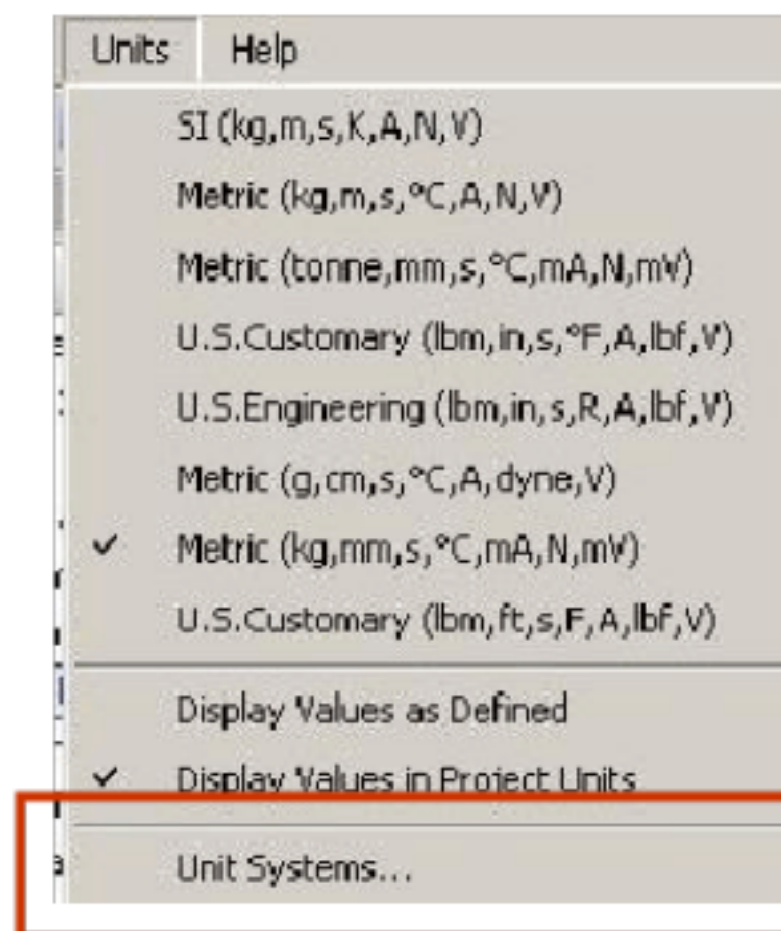
- 当存档系统窗口打开时，可有几种选择。





## ? Workbench 单位制 :

- 允许访问预定义的单位系统。
- 允许自定义单位的创建。
- 控制显示工程数据，参数和图表的单位。
- 激活单位系统对话框去控制。



- ✓ Display Values as Defined
- Display Values in Project Units

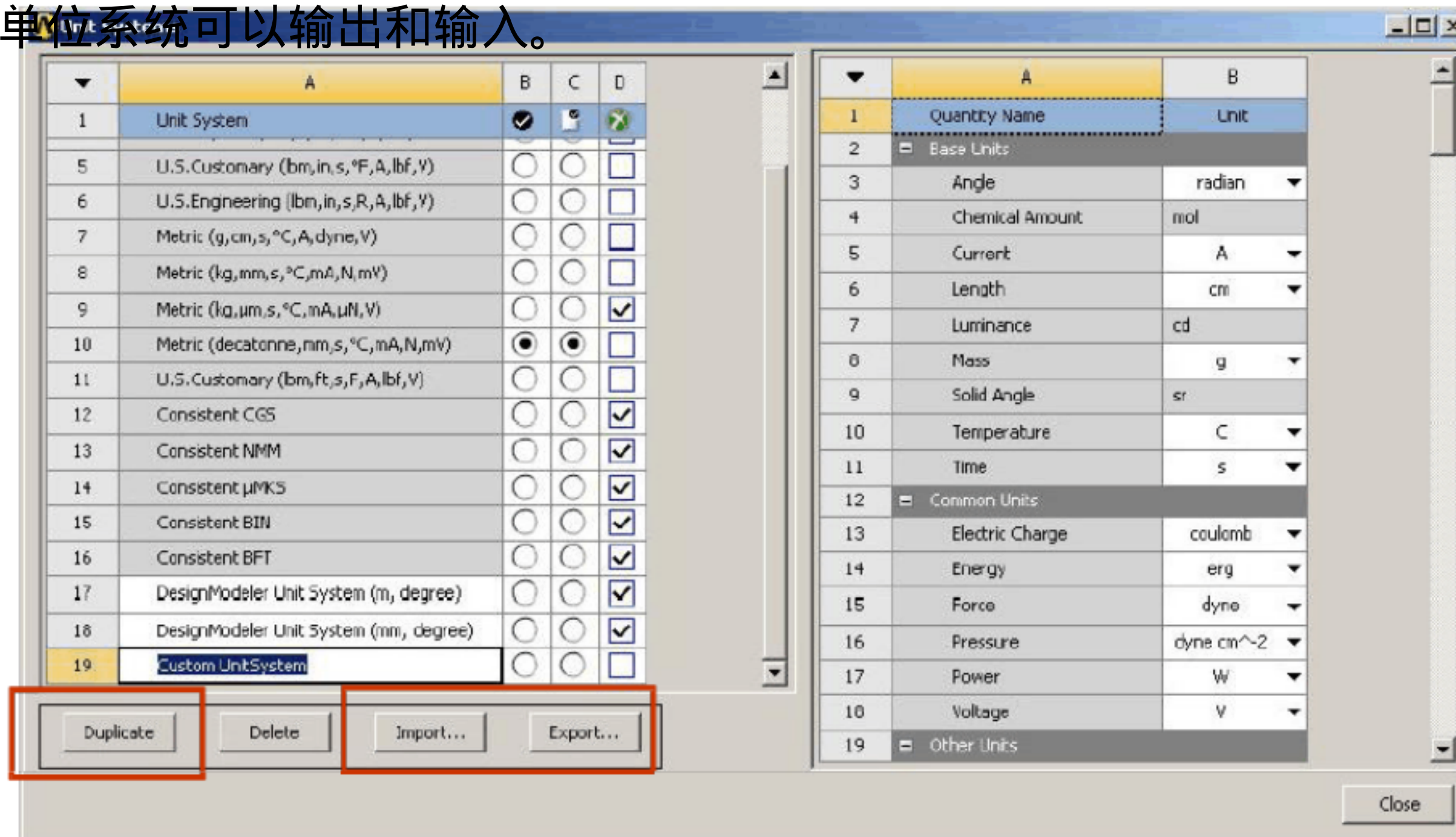
Units can be displayed in the active Project system or as they were defined in their source (e.g. CAD system).

Active Project  
Default Unit System  
Suppress Unit Display



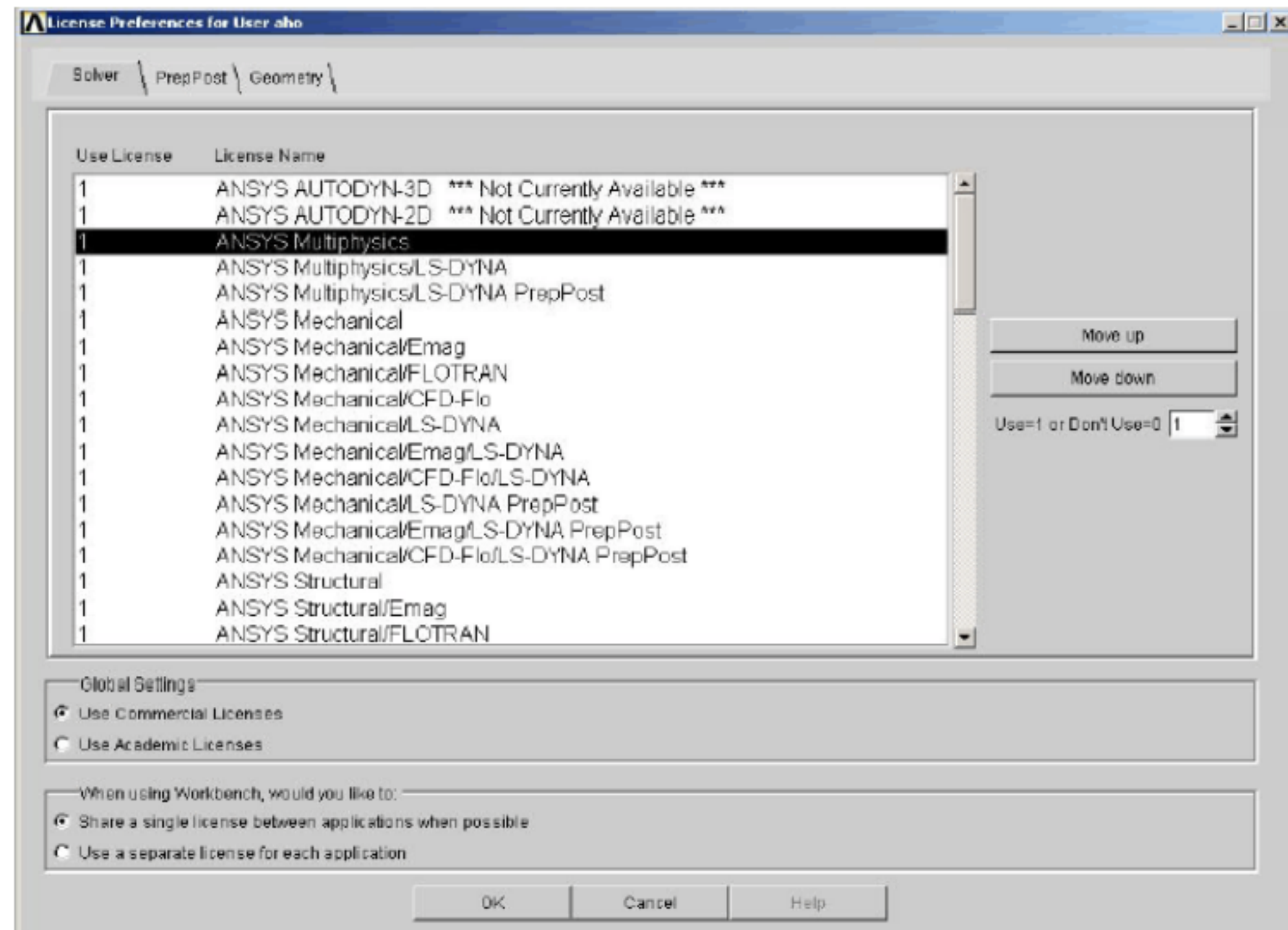
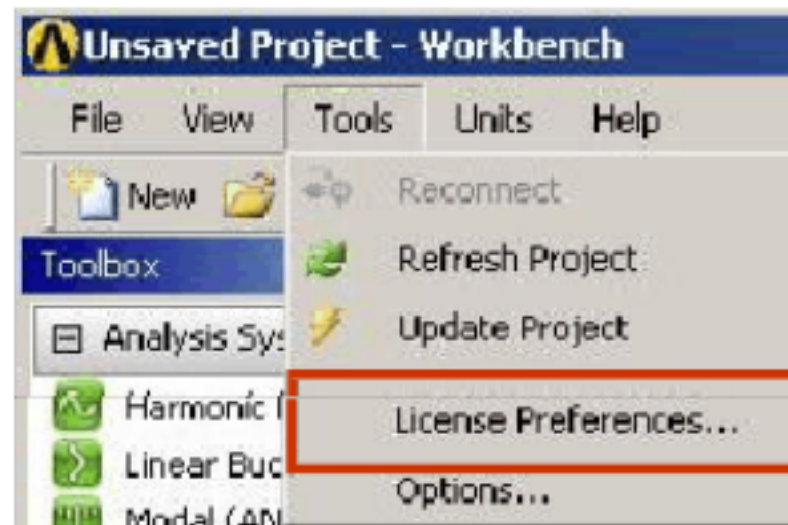
? 复制现有的单位系统，以创建用户单位系统，然后修改。

? 用户单位系统可以输出和输入。



件

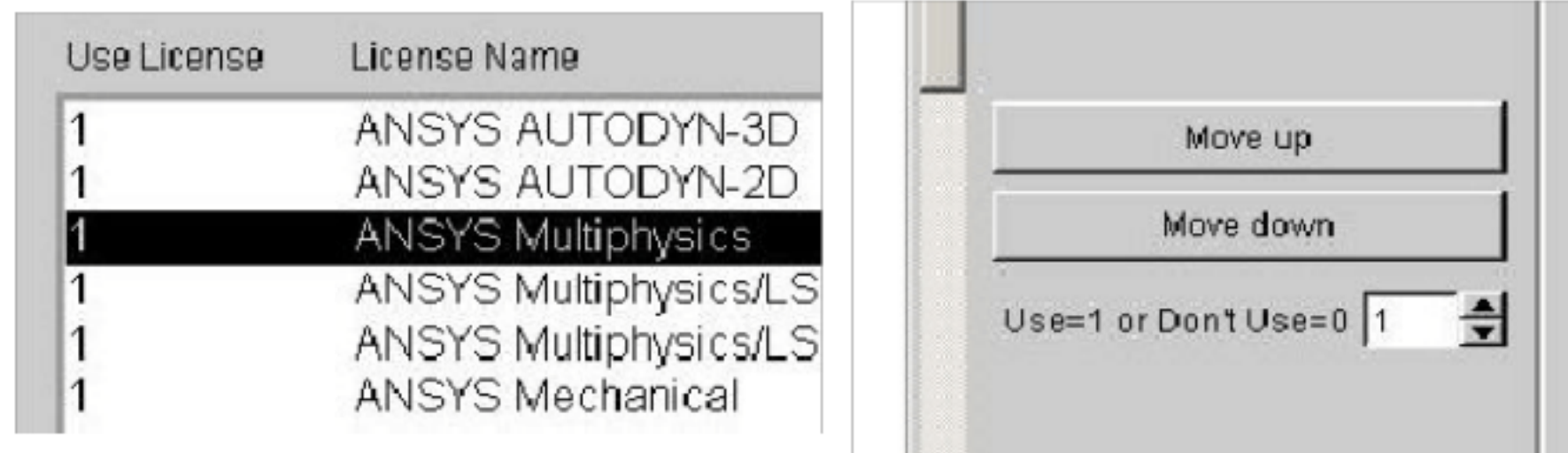
? Workbench 许可证管理也可通过如下所示的用户界面，从 Workbench 项目 页面激活 ( “ Tools > License Preferences . . . ” ).



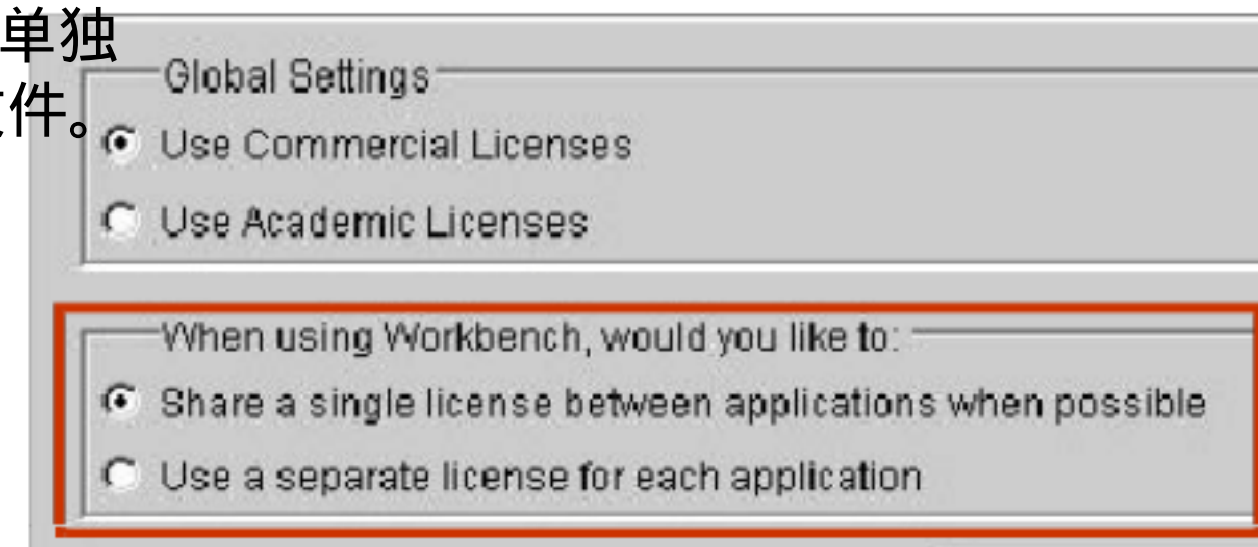
件

? 可用许可显示，激活和 “ use order ” 可以使用向上 / 向下箭头指定。

- 0 = off, 1 = on
- 许可文件的顺序代表授权许可使用的优先顺序。

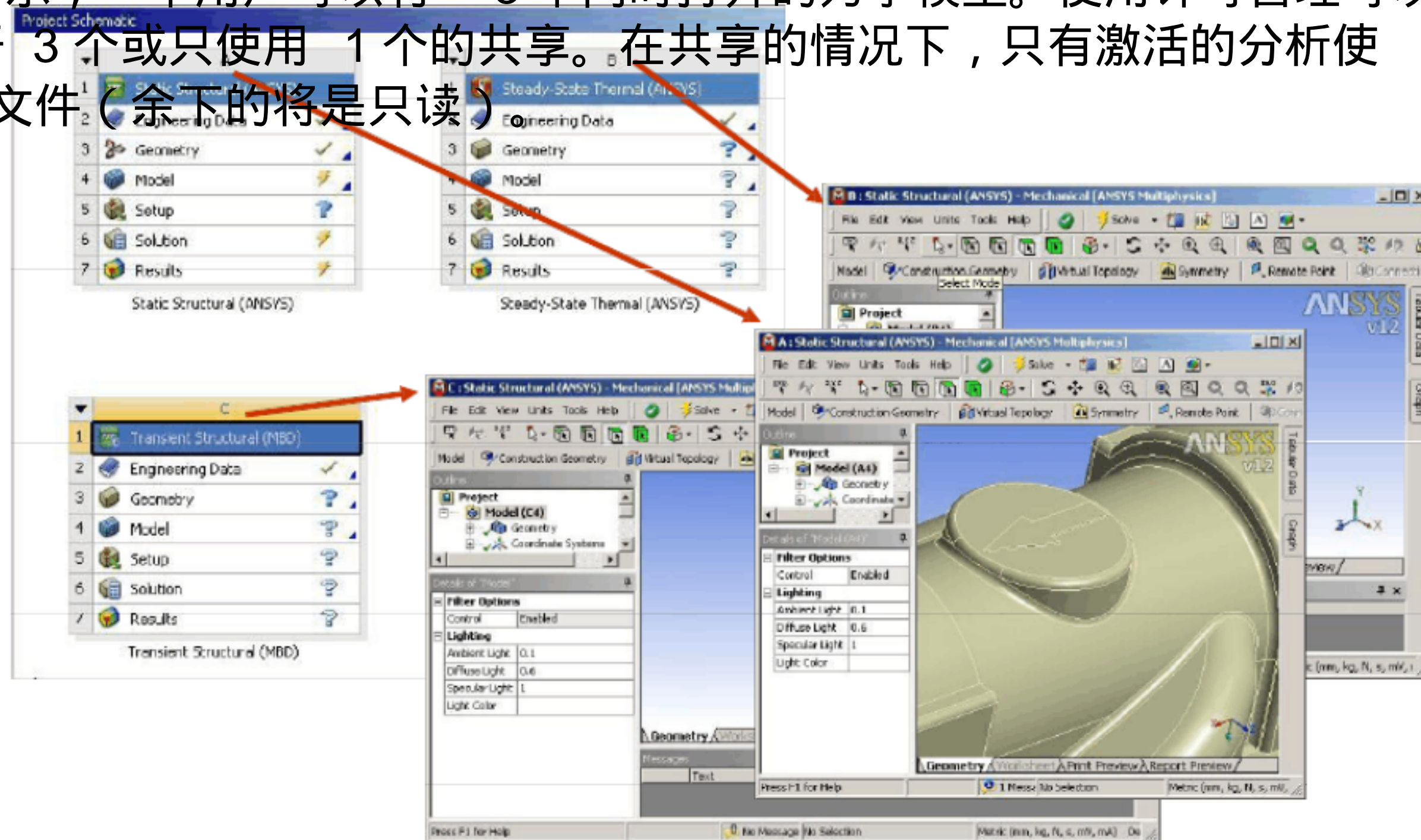


? 当多个应用程序打开， Workbench 用户可指定一个 单独的许可证，或所有打开的应用程序使用各自的许可文件。





件? 如下图所示, 一个用户可以有 3 个同时打开的力学模型。使用许可管理可以选择打开 3 个或只使用 1 个的共享。在共享的情况下, 只有激活的分析使用许可文件 (余下的将是只读)。

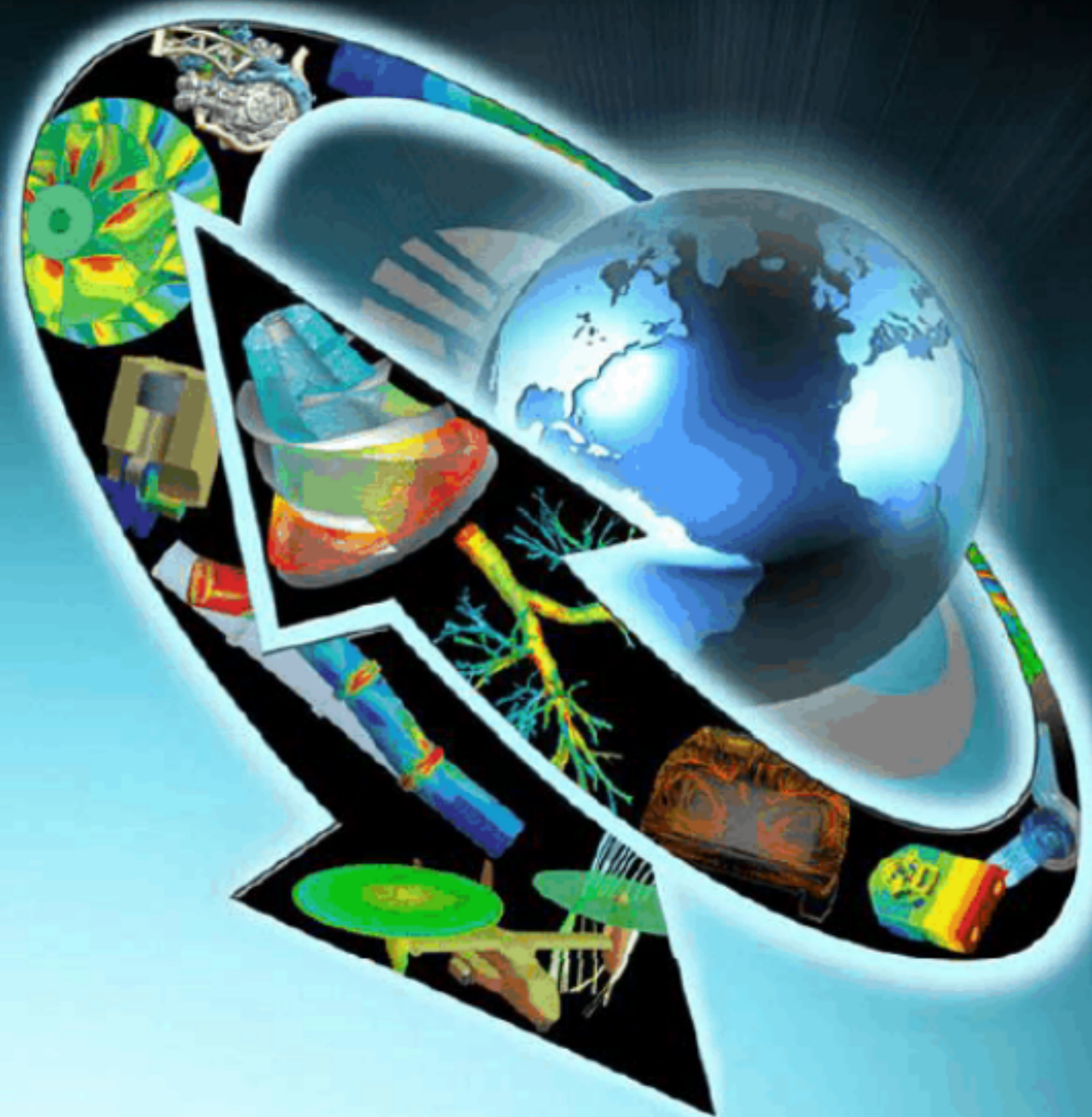




## Workbench - Mechanical Introduction

### 第二章

### Mechanical 基础



- ? 在这一章中，将涉及 Mechanical 的基础应用，其中包括：
  - A. 启动 Mechanical
  - B. Mechanical 应用向导
  - C. 基础数据应用
  - D. 基础数据应用
  - E. Workshop 2.1 –ANSYS Mechanical 基础
- ? 本章所描述的能力是 ANSYS DesignSpace Entra 普遍适用的许可和以上的能力，除了标记的。



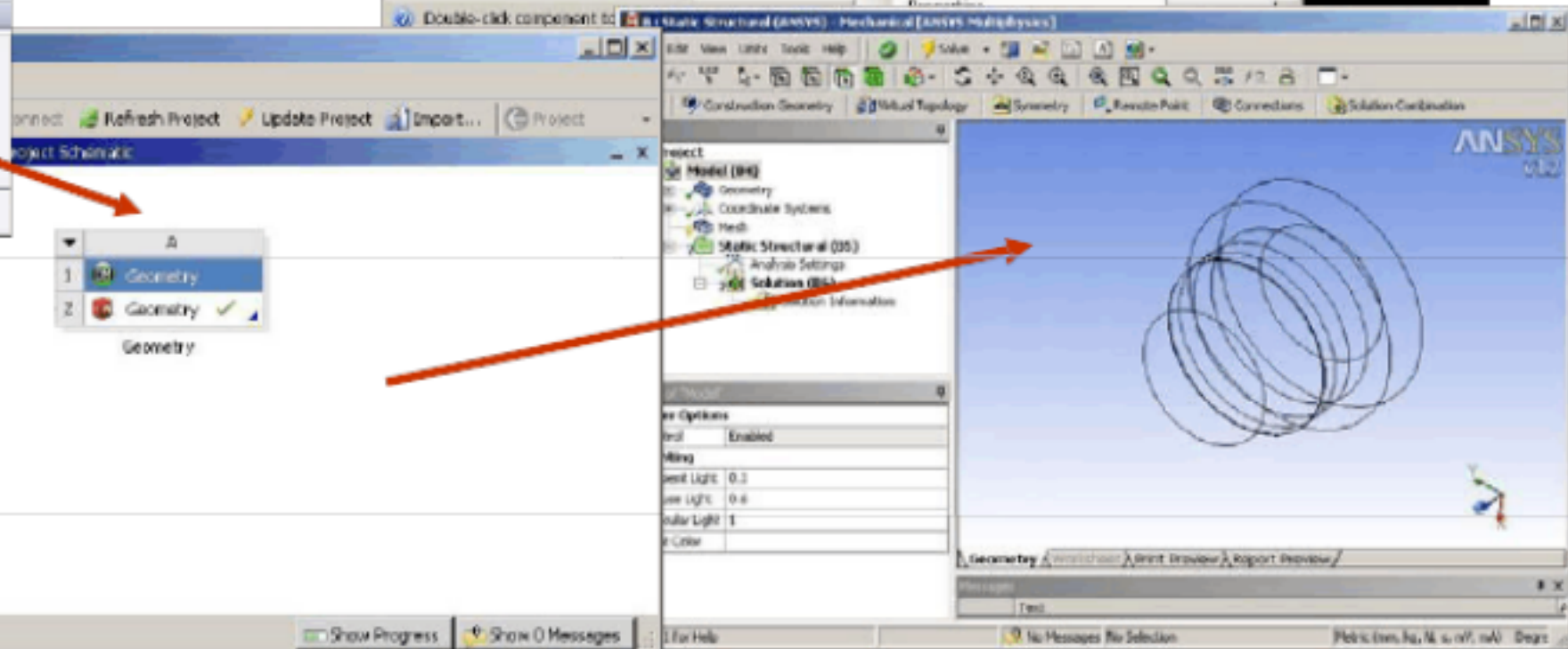
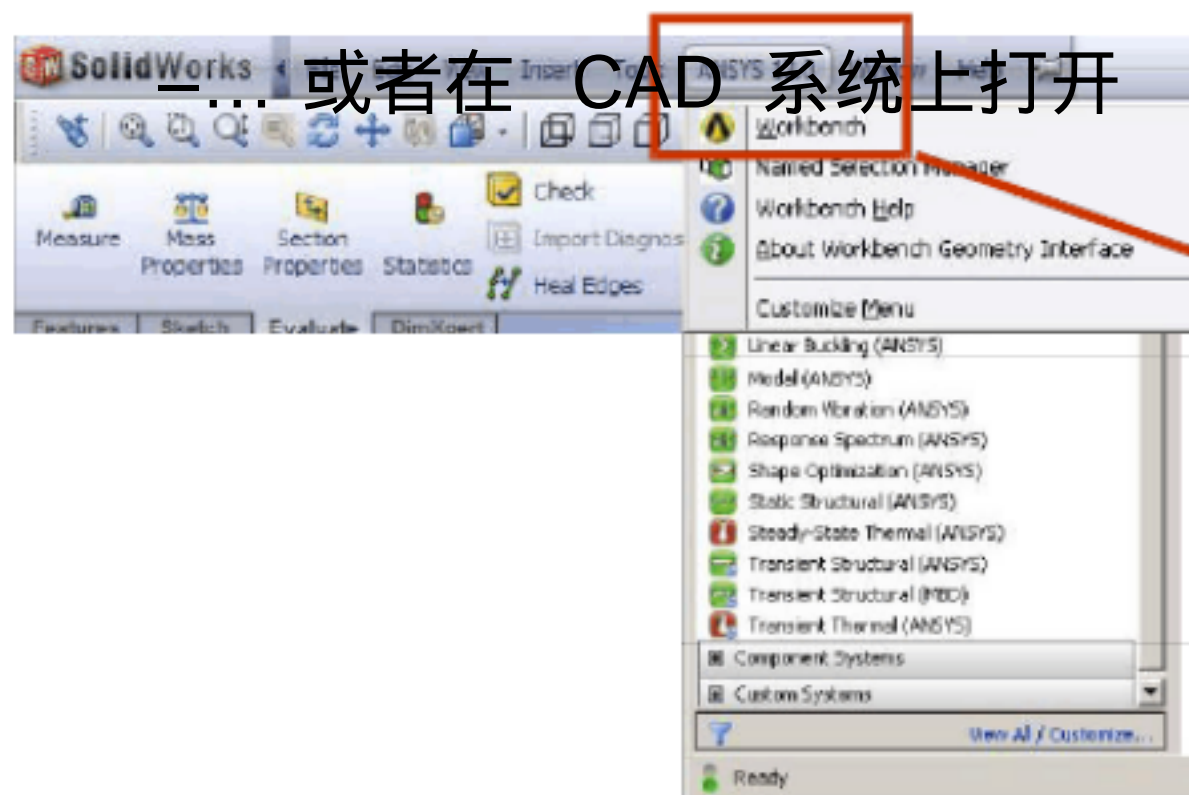
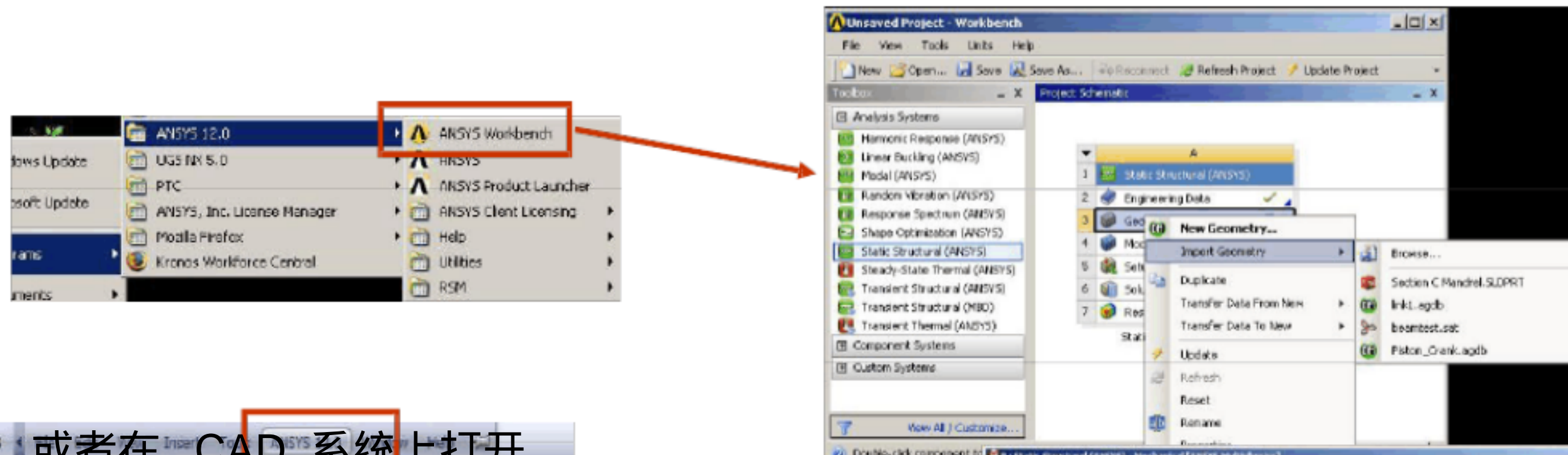
# Basics

## A. 启动

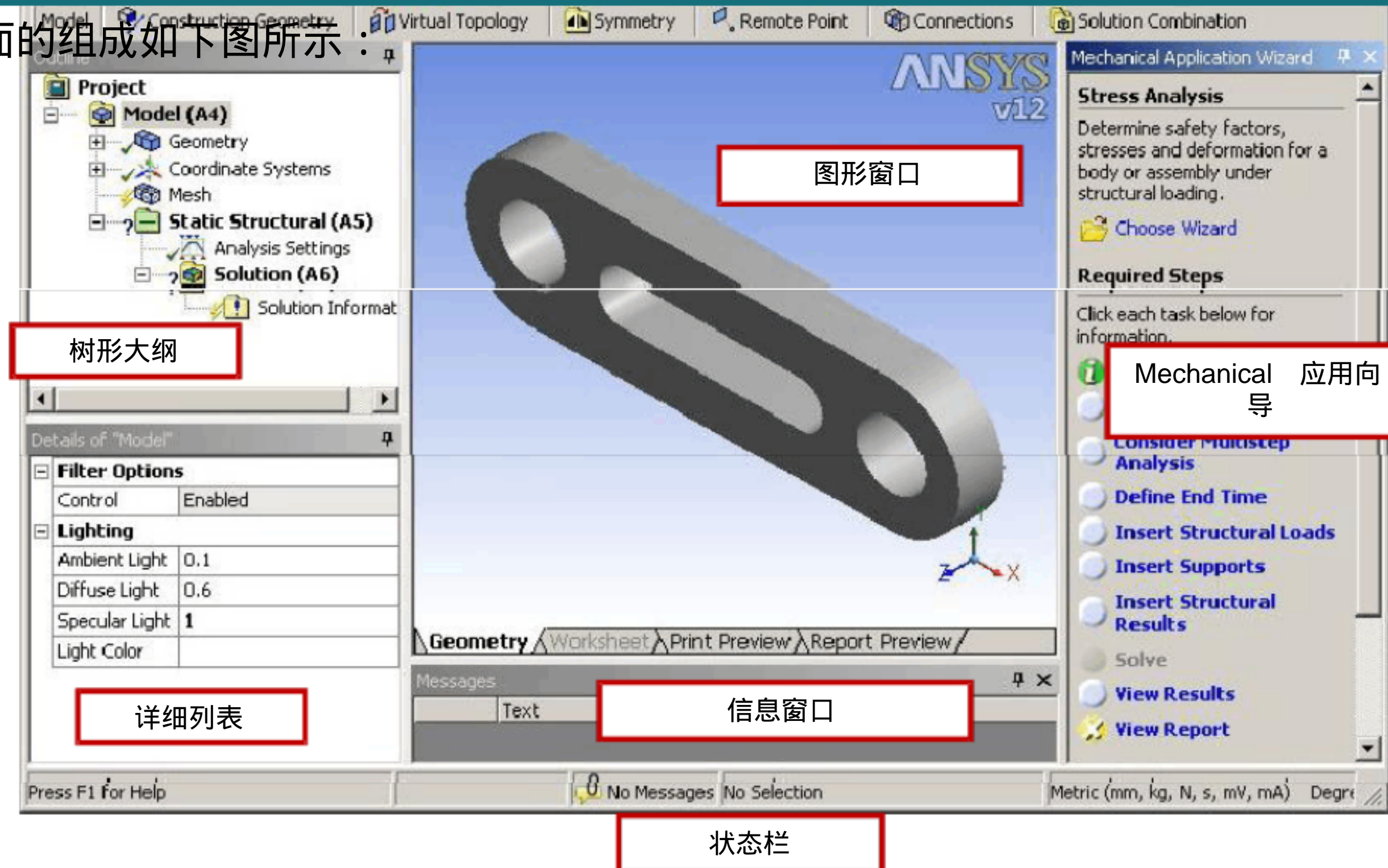
Training Manual

启动 Mechanical, 有两个运行 Mechanical 的方式:

- 在 ANSYS Workbench 上打开 ...



? 用户界面的组成如下图所示:





## ... GUI – 菜单

? 菜单提供很多 Mechanical 功能。比较常用的菜单项如下：

- 标题栏列出分析类型、产品名和 ANSYS 许可。
- “File > Clean” 是删除网格划分和 /或结果产生的数据库。
- “Units” 可以改变单位。
- “Tools > Options” ...可以自己设置和选择。
- “Help > Mechanical Help” 进入帮助。





？有一些工具栏为用户提供快速访问功能，在菜单中也可以找到。

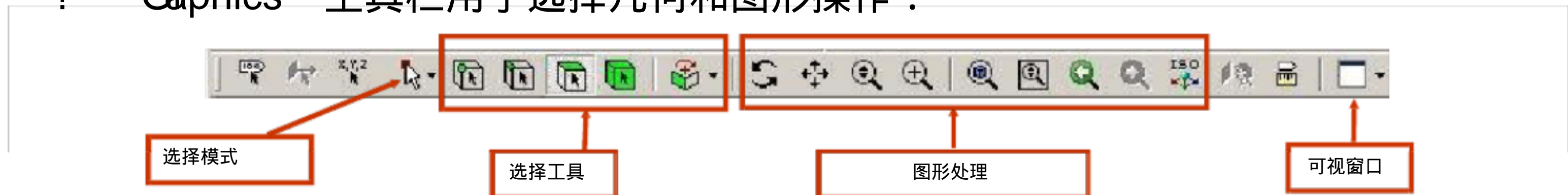


- 工具栏可以在 Mechanical 窗口的顶部的任何地方重新定位。
- “Context” 工具条，其更新将决定于当前 “Outline” tree 的分支。
- 如果光标在工具栏按钮上，出现功能提示。

? “Standard” 工具栏如下：



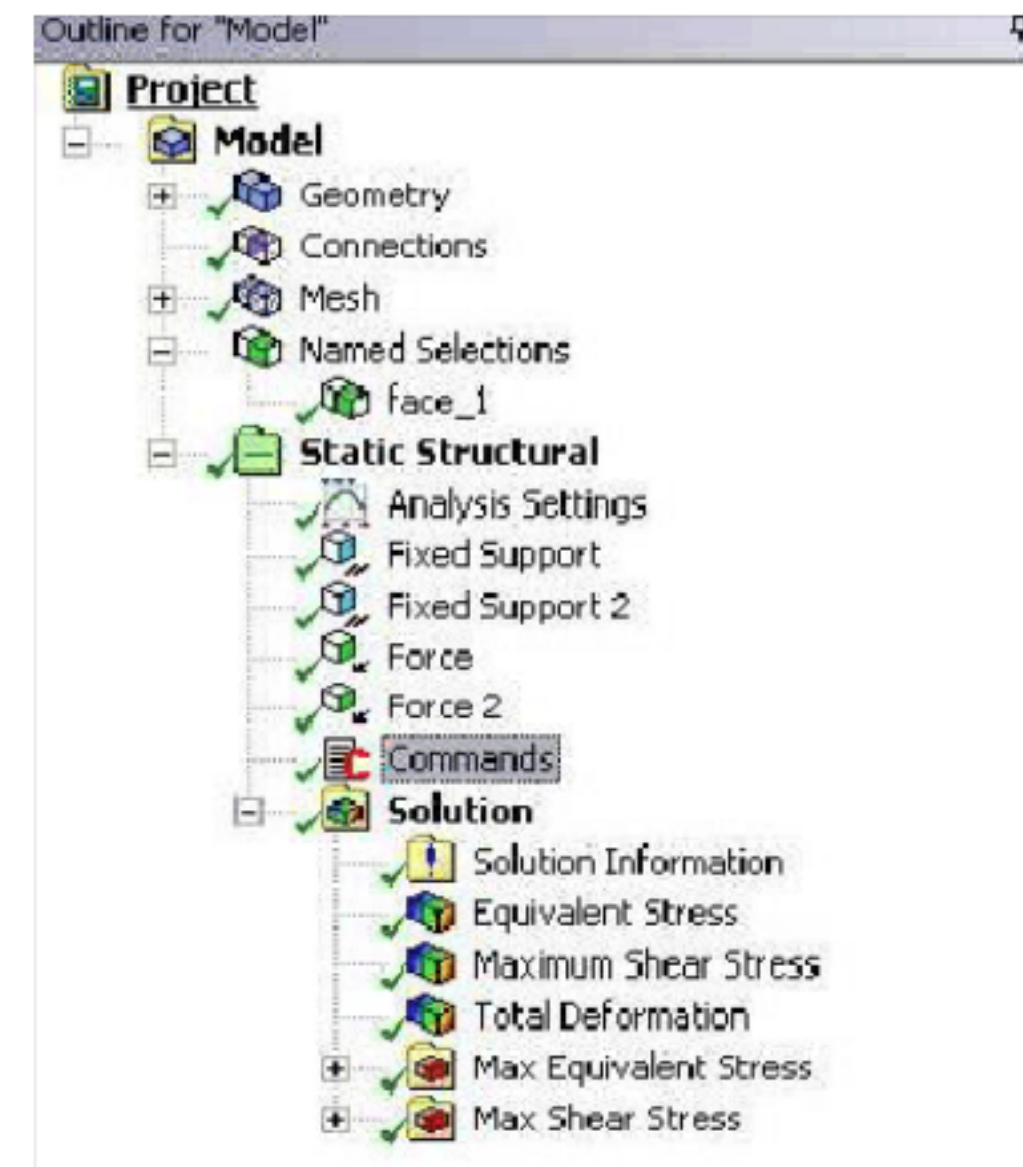
? “Graphics” 工具栏用于选择几何和图形操作：



- 鼠标左键可以是在 选择 模式或 图形操作 模式切换。上面的工具栏按钮归类为“实体选择”和“图形操作”的控制两类。”
- 图形的选择可以做到用单个的选择或框选择。主要受“选择模式”图标控制。

?纲要树提供了一个简单的进行模型、材料、网格、载荷和求解管理的方法。

- “ Model 分支包含分析中所需的输入数据。
- “ Static Structural 分支包含载荷和分析有关边界条件。
- “ Solution 分支包含结果和求解信息。
- 其他分支 (这不包括的 )也是可用的。





? 纲要树显示每个分支的图标，以单表其状态。图标例子如下：



– 对号表明分支完全定义 /OK



– 问号表示项目数据不完全（需要输入完整的数据）



– 闪电表明需要解决



– 感叹号意味着存在问题



– “X”意思是项目抑制（不会被求解）



– 透明对号为全体或部分隐藏



– 绿色闪电表示项目目前正在评估



– 减号意味着映射面网格划分失败



– 斜线标记表明部分结构以进行网格划分

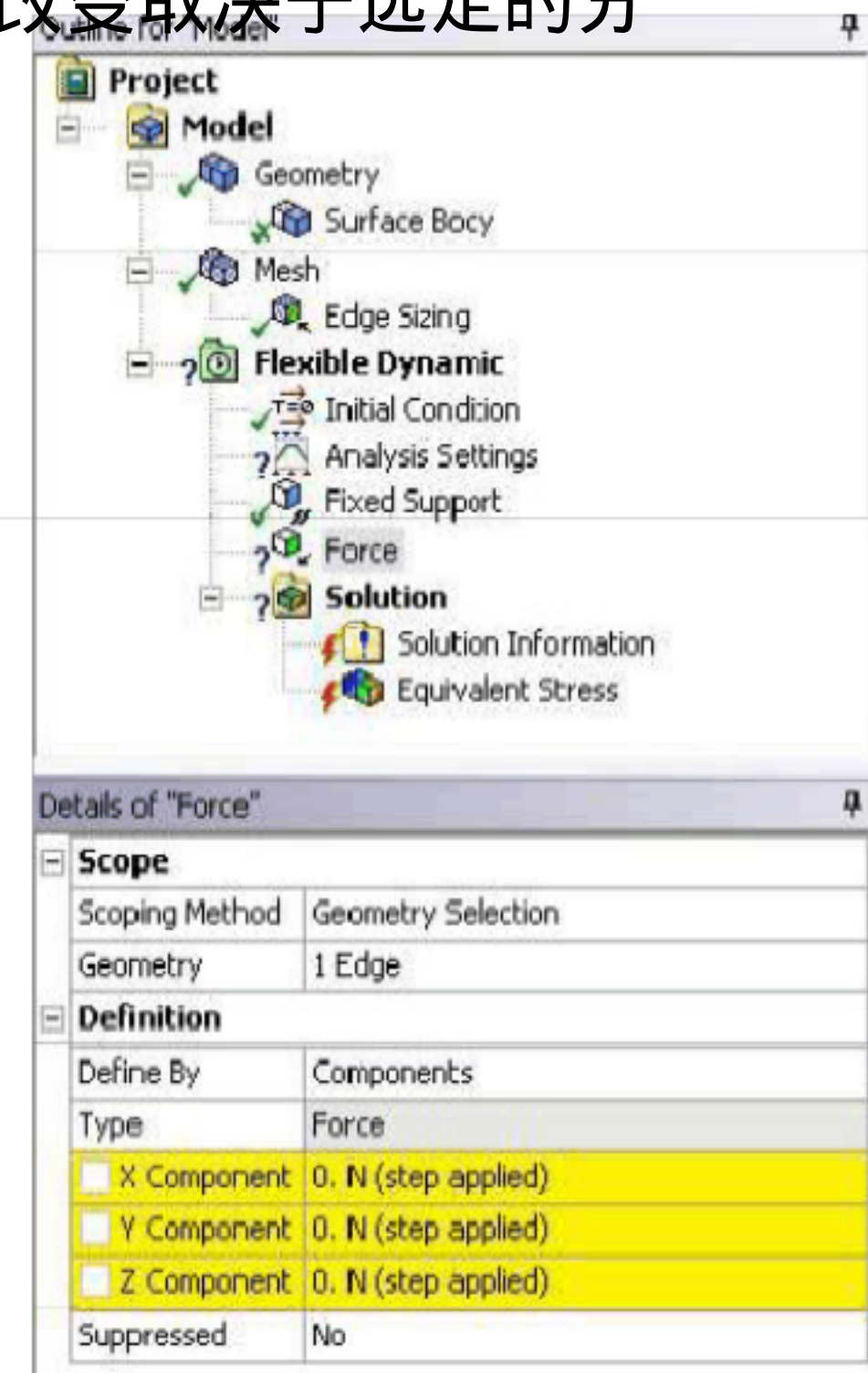


– 红色闪电表示失败的解决方案

在熟悉基本的状态符号之前，允许使用者进行快速调试

? The **Details View** 包含数据输入和输出区域。内容的改变取决于选定的分支  
 支 ? 白色文本区域下的数据在编辑。

- 。 – 灰色 (红色) 区域：信息显示  
 ? 在灰色领域的的数据不能修改。
- 黄色区域：不完整的输入信息  
 ? 黄色领区域的数据显示信息丢失。



# Basics

## ... GUI – 图形窗口

Training Manual

? 图形窗口中显示几何和结果。还有列出工作表（表格），HTML 报告，以及打印预览选项的功能。

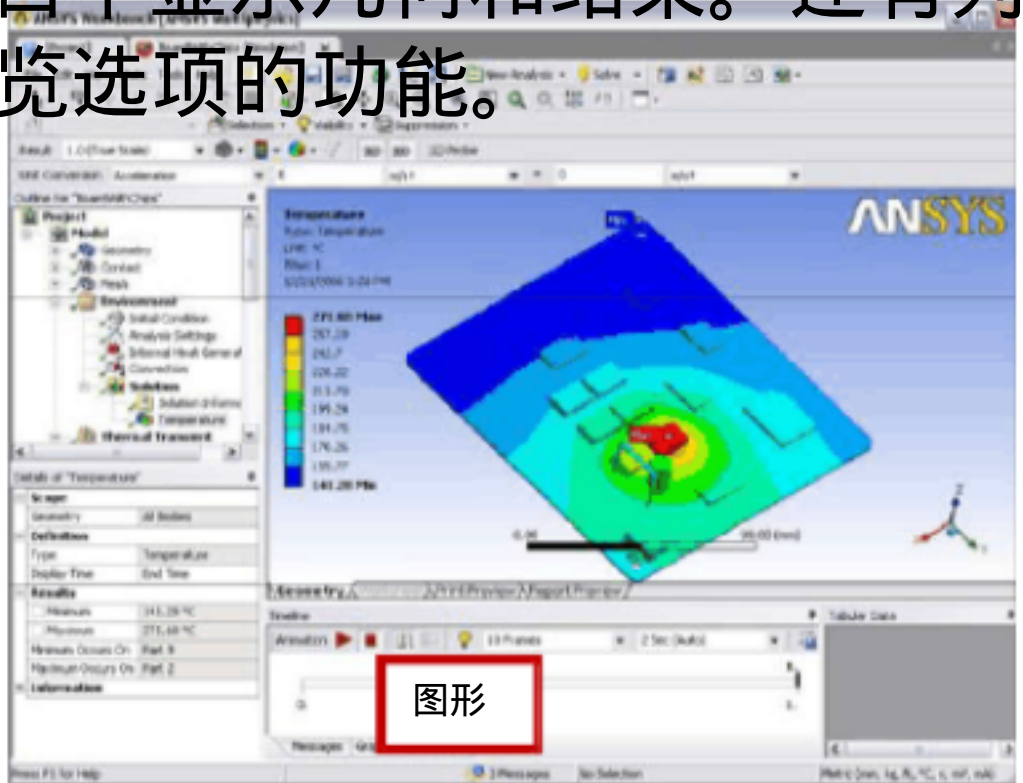


Figure 3: ANSYS Workbench interface showing a table of material properties. The table lists various material properties for different parts of the model. A red box highlights the 'Worksheet' (工作表) label at the bottom.



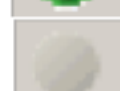

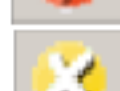
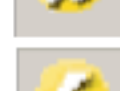
| Part    | Material         | Volume (mm³) | Mass (kg)   | Nodes | Elements | Stress        | Strain | Displacement (mm) | Factor | Factor |
|---------|------------------|--------------|-------------|-------|----------|---------------|--------|-------------------|--------|--------|
| Part 1  | Structural Steel | 675          | 5.2500e-003 | 979   | 270      | Not supported | Yes    | Part 1            |        |        |
| Part 2  | Structural Steel | 675          | 5.2500e-003 | 979   | 270      | Not supported | Yes    | Part 2            |        |        |
| Part 3  | Structural Steel | 675          | 5.2500e-003 | 979   | 270      | Not supported | Yes    | Part 3            |        |        |
| Part 4  | Structural Steel | 675          | 5.2500e-003 | 979   | 270      | Not supported | Yes    | Part 4            |        |        |
| Part 5  | Structural Steel | 675          | 5.2500e-003 | 979   | 270      | Not supported | Yes    | Part 5            |        |        |
| Part 6  | Structural Steel | 675          | 5.2500e-003 | 979   | 270      | Not supported | Yes    | Part 6            |        |        |
| Part 7  | Structural Steel | 675          | 5.2500e-003 | 979   | 270      | Not supported | Yes    | Part 7            |        |        |
| Part 8  | Structural Steel | 675          | 5.2500e-003 | 979   | 270      | Not supported | Yes    | Part 8            |        |        |
| Part 9  | Structural Steel | 675          | 5.2500e-003 | 979   | 270      | Not supported | Yes    | Part 9            |        |        |
| Part 10 | Structural Steel | 675          | 5.2500e-003 | 979   | 270      | Not supported | Yes    | Part 10           |        |        |
| Part 11 | Structural Steel | 675          | 5.2500e-003 | 979   | 270      | Not supported | Yes    | Part 11           |        |        |
| Part 12 | Structural Steel | 675          | 5.2500e-003 | 979   | 270      | Not supported | Yes    | Part 12           |        |        |
| Part 13 | Structural Steel | 675          | 5.2500e-003 | 979   | 270      | Not supported | Yes    | Part 13           |        |        |
| Part 14 | Structural Steel | 675          | 5.2500e-003 | 979   | 270      | Not supported | Yes    | Part 14           |        |        |
| Part 15 | Structural Steel | 675          | 5.2500e-003 | 979   | 270      | Not supported | Yes    | Part 15           |        |        |
| Part 16 | Structural Steel | 675          | 5.2500e-003 | 979   | 270      | Not supported | Yes    | Part 16           |        |        |





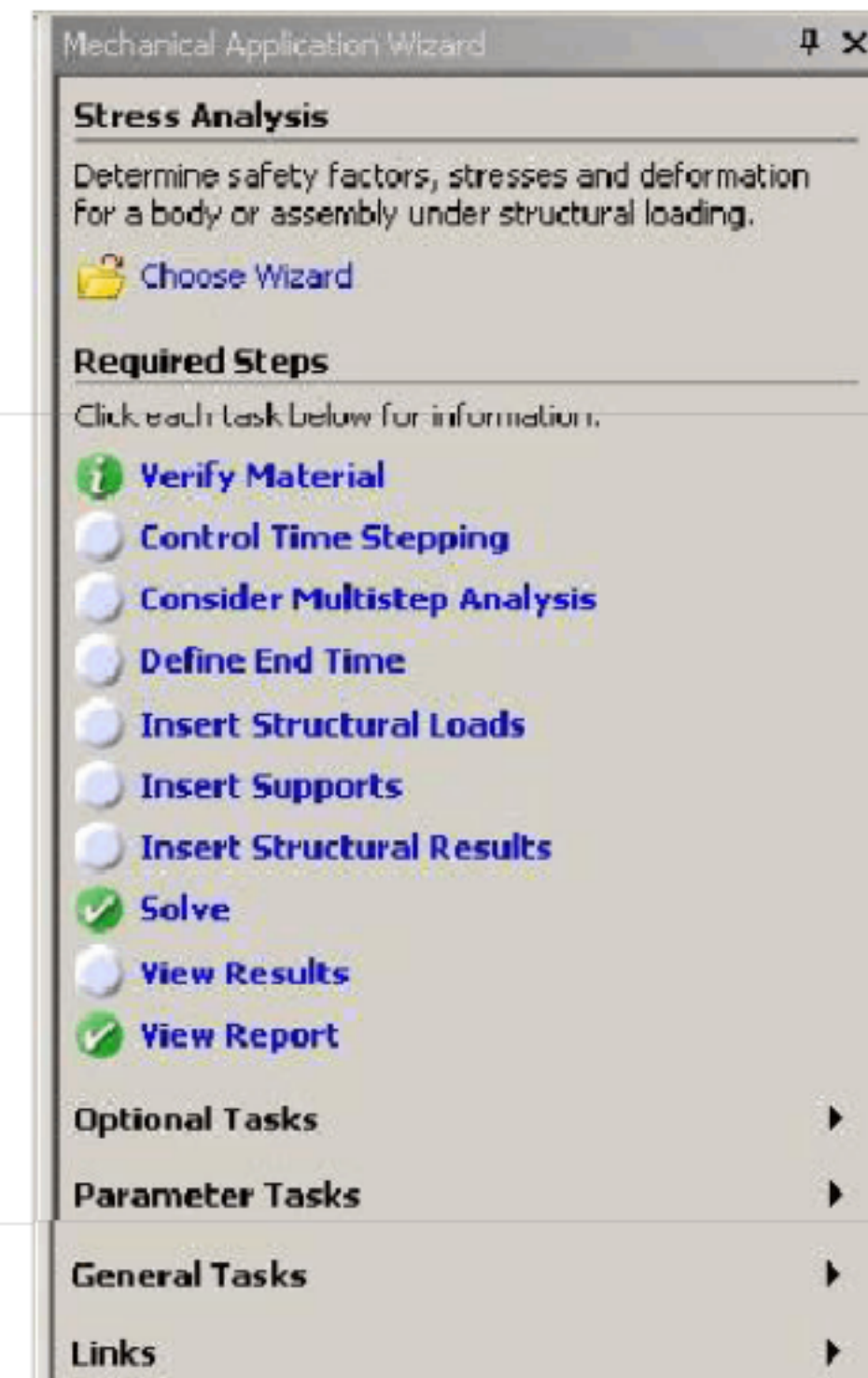
? 分析向导是一个可选组件，可提醒用户完成分析所需要的步骤。

– 分析向导提供了一个必要的步骤清单和它们的图标符号。

-  – 绿色对号表示该项目已完成
-  – 绿色的“i”显示了一个信息项目
-  – 灰色的符号表示该步骤无法执行
-  – 一个红色的问号的意思是指一个不完整的项目
-  – 一个“X”是指该项目还没有完成
-  – 闪电表示该项目准备解决或更新

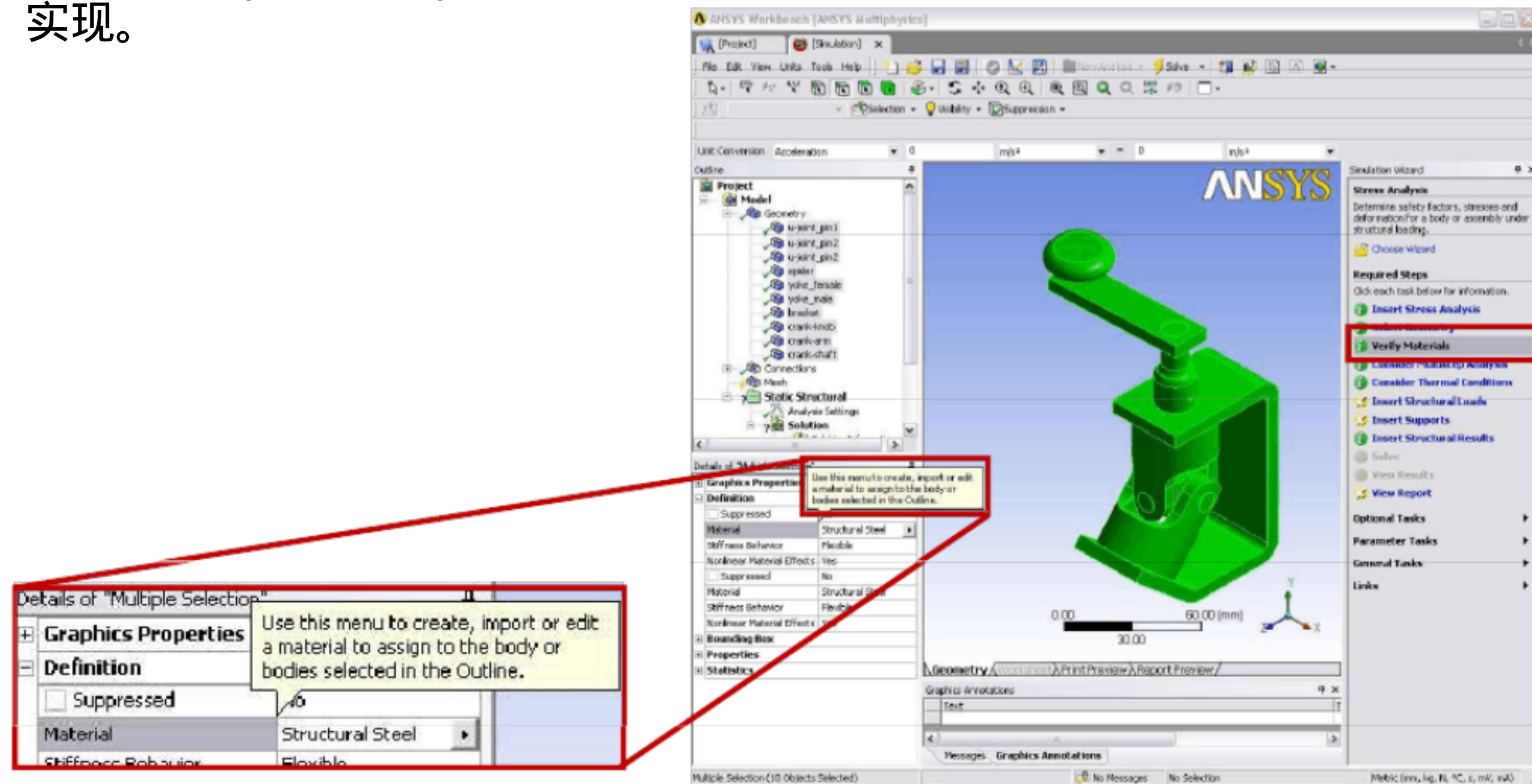
? 分析向导可以通过  按钮切换开启 / 关闭。

? 分析向导菜单上的选项将根据分析的类型而改变。



## Basics

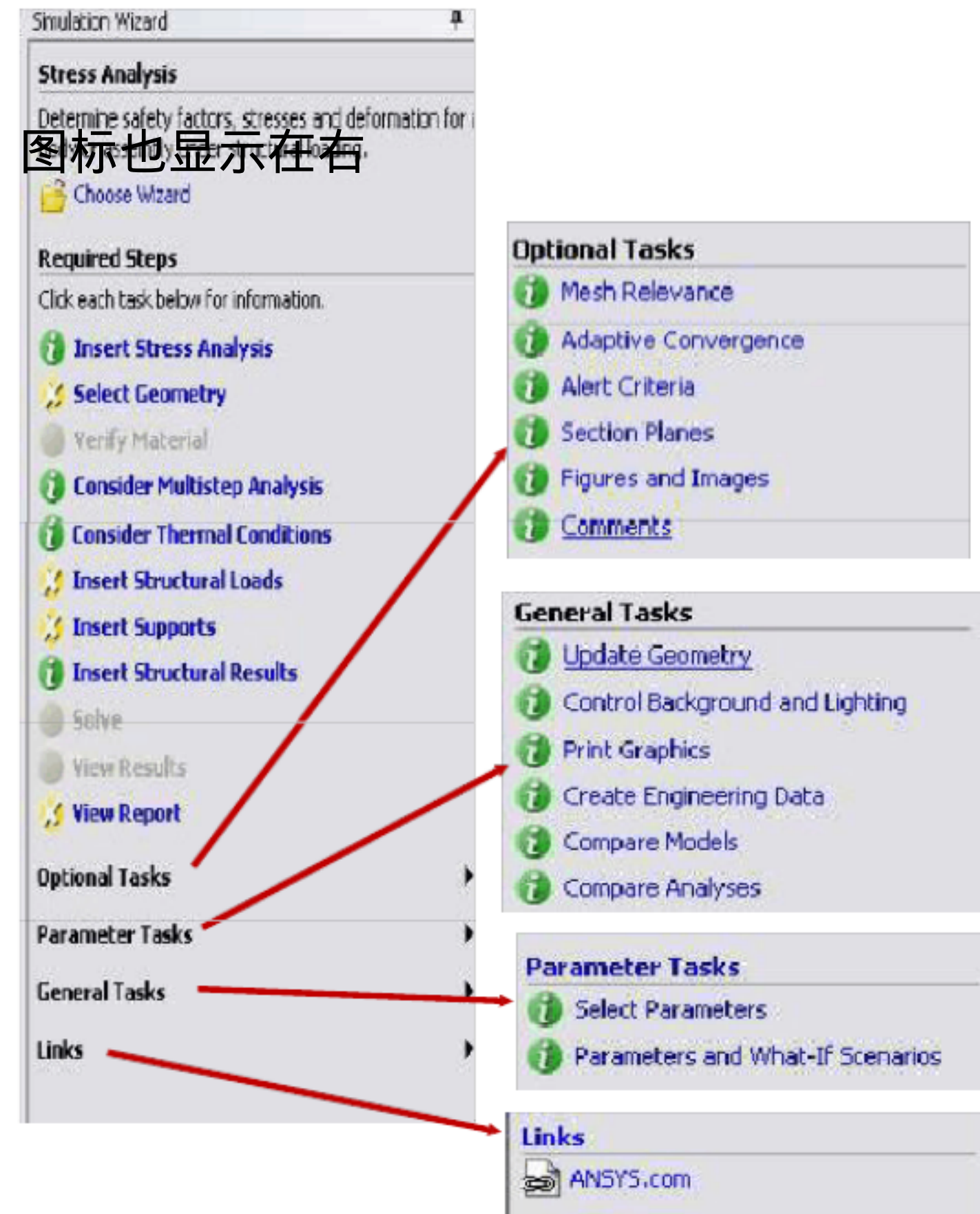
B. Mechanical 在下面的例子 应用向“Verify Materials”，并标注说明用户在什么地方可以改变  
导? 选择“Required Steps”清单上的一个项目，则出现提示框，解释功能如何实现。





? Mechanical 向导方便那些不熟悉 Mechanical 的用户。

—除了基本的功能，还有更多高级选项的侧的图中。



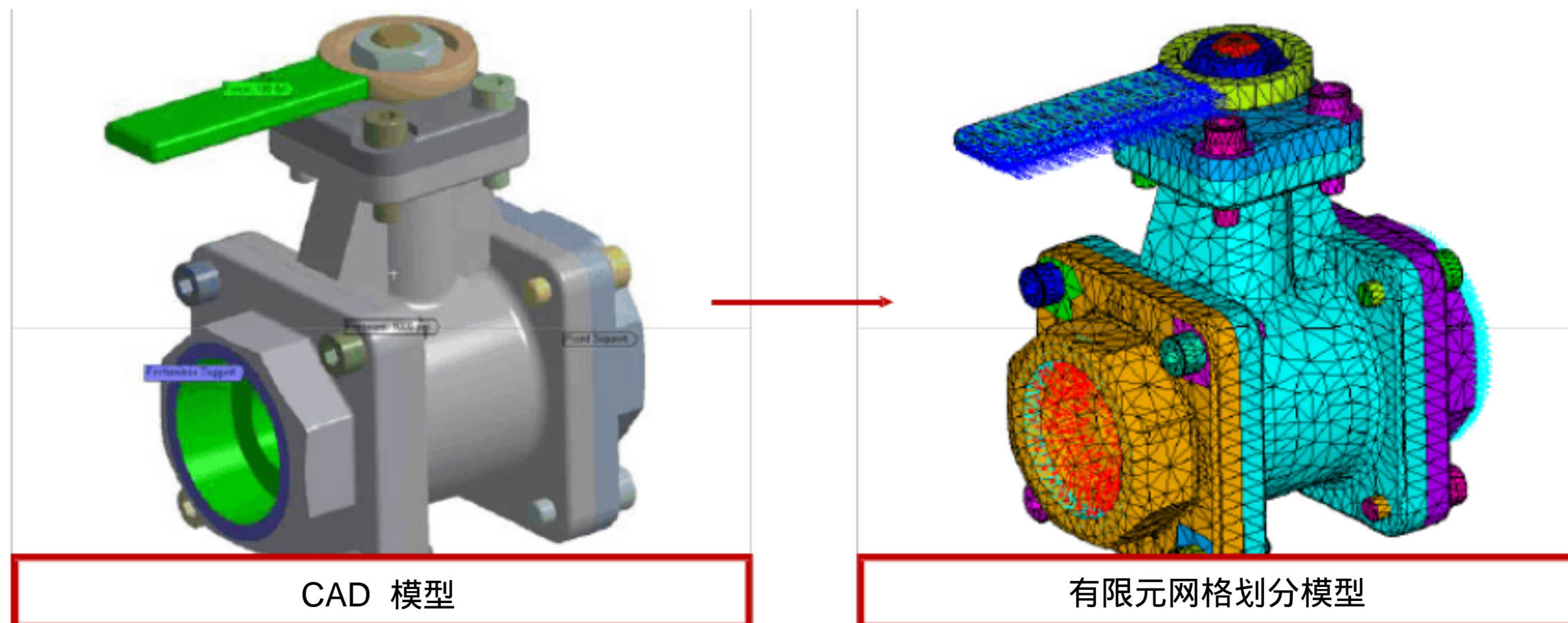


## C. 基本分析步骤

? 分析的目的是确定基于一些激励或加载类型系统下的响应。

? 数学模型：

- CAD 几何模型是理想的物理模型
- 网格模型是一个 CAD 模型的数学表达方式
- 计算求解的精度取决于各种因素：
  - ? 如何很好的用物理模型代替取决于怎么假设。
  - ? 数值精度是由网格密度决定。



？每个分析都分为四步：

- ？什么类型的分析：静态，模态，等？
- ？怎么构建模型：部分或整体？
- ？什么单元：平面或实体机构？

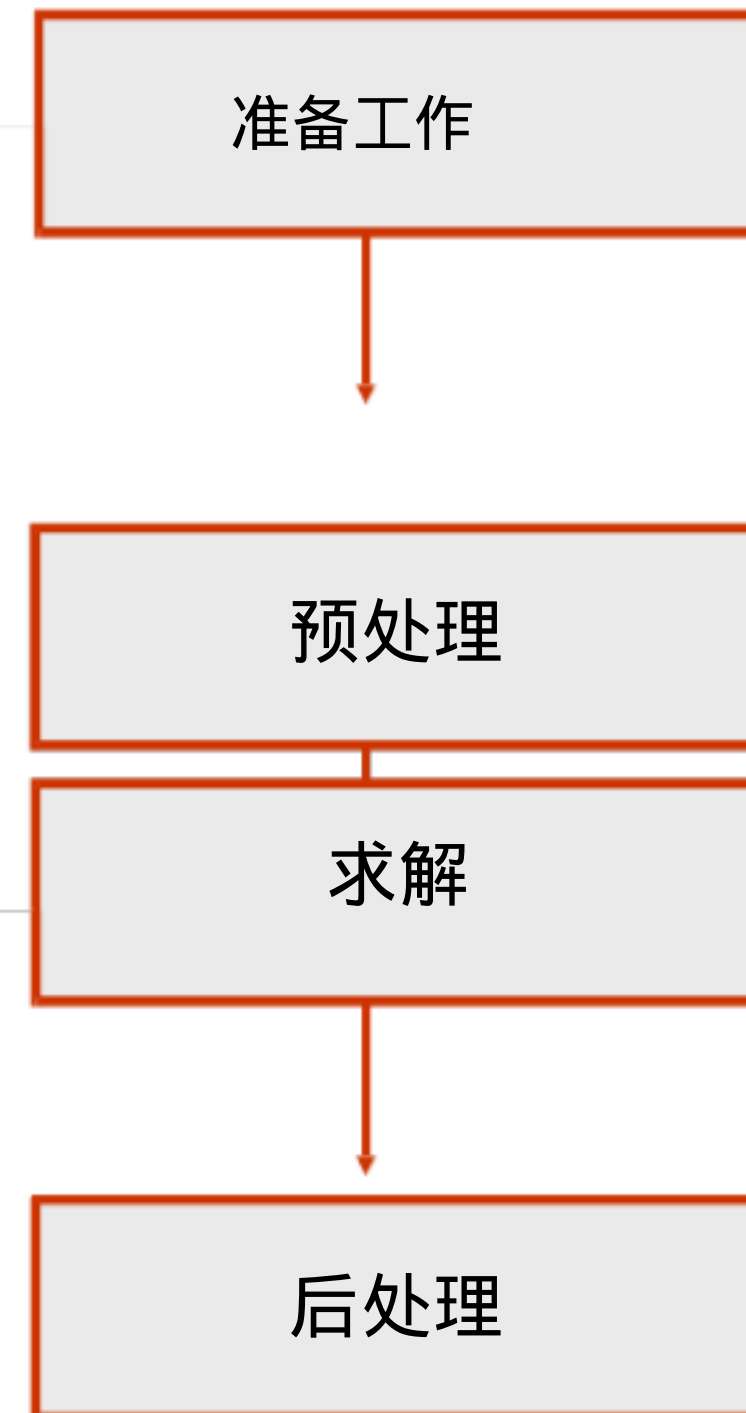
#### — 预处理

- ？几何模型导入
- ？定义和分配部件的材料特性
- ？施加的负载和支撑
- ？模型的网格划分
- ？需要查看的结果

#### — 求解模型

#### — 后处理

- ？检查结果
- ？检查求解的合理性



? Mechanical 中的向导帮助用户在以下的基础分析模块上进行预先讨论：

- 附加/输入几何体
- 选择材料特性
- (划分网格)
  - ? 如果这一部没有执行手动操作， Mechanical 将会执行默认的网络划分。
- 施加载荷和支撑
- 需要查看的结果
- 求解计算
- 检查结果/后处理

? 接下来的几个例题会使用到 Mechanical 向导 ...

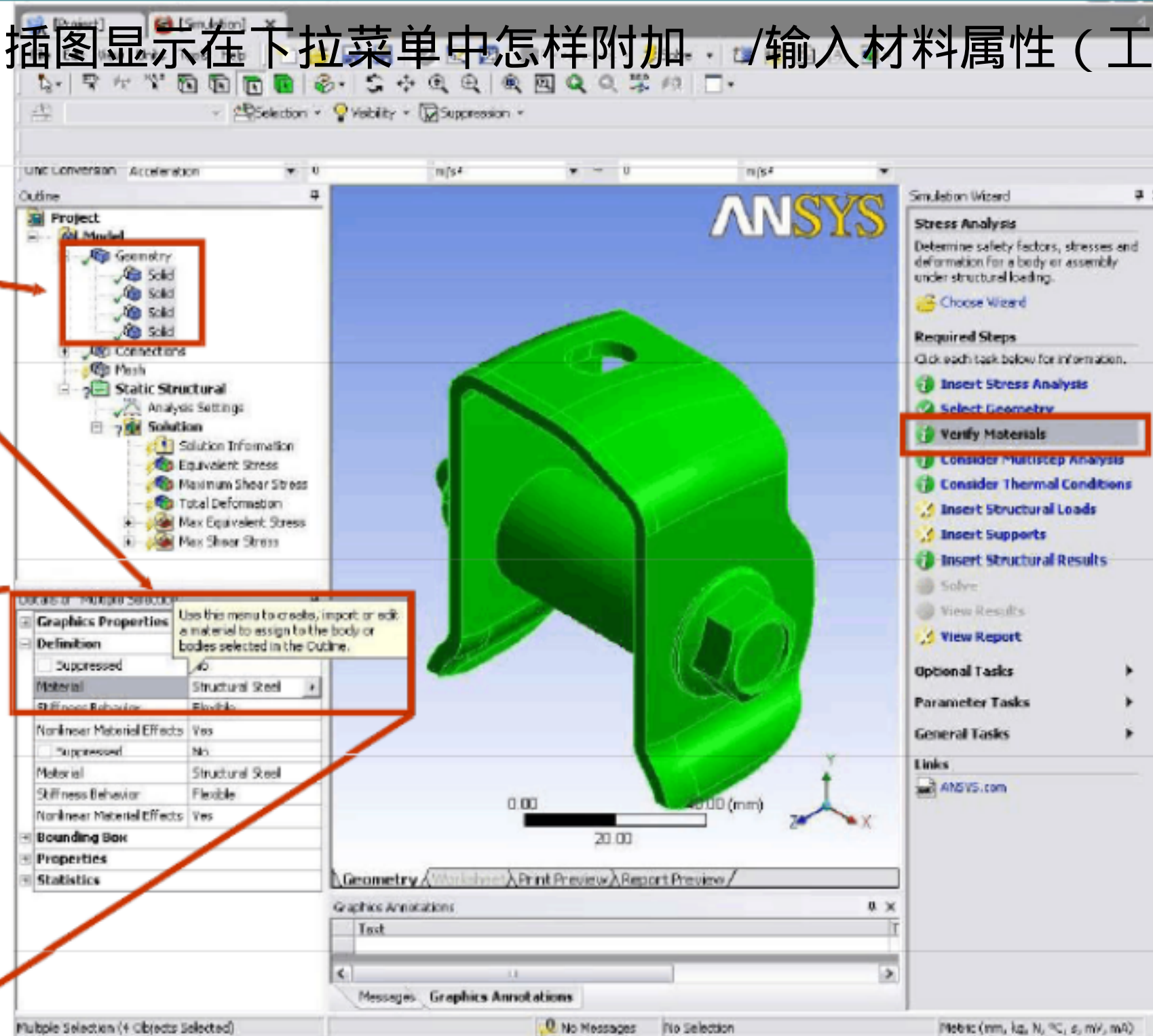
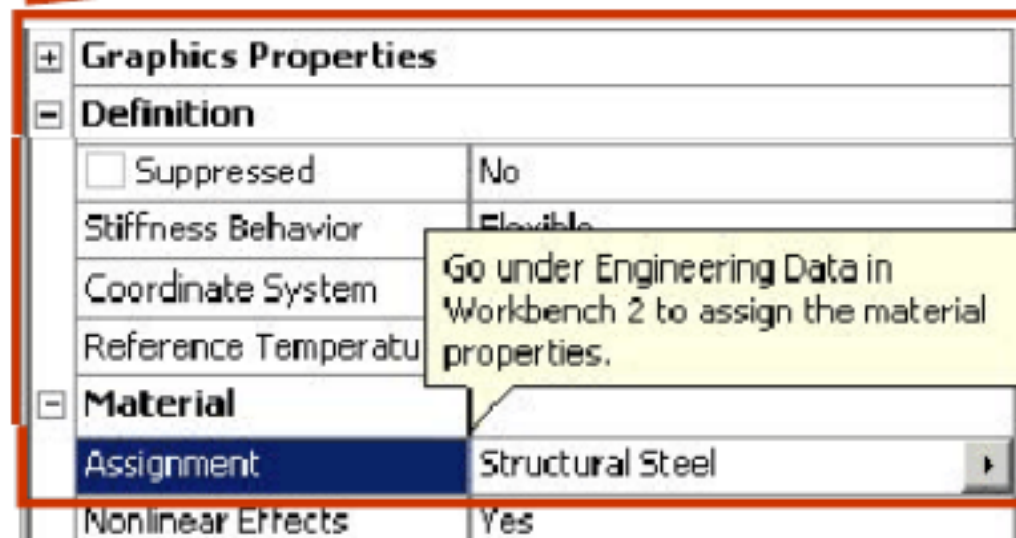


## ... 向导例题 :附加 /输入几何体

? 选择 “ Verify Materials ” 并用插图显示在下拉菜单中怎样附加 /输入材料属性（工程数据会在这章的后面提及）。

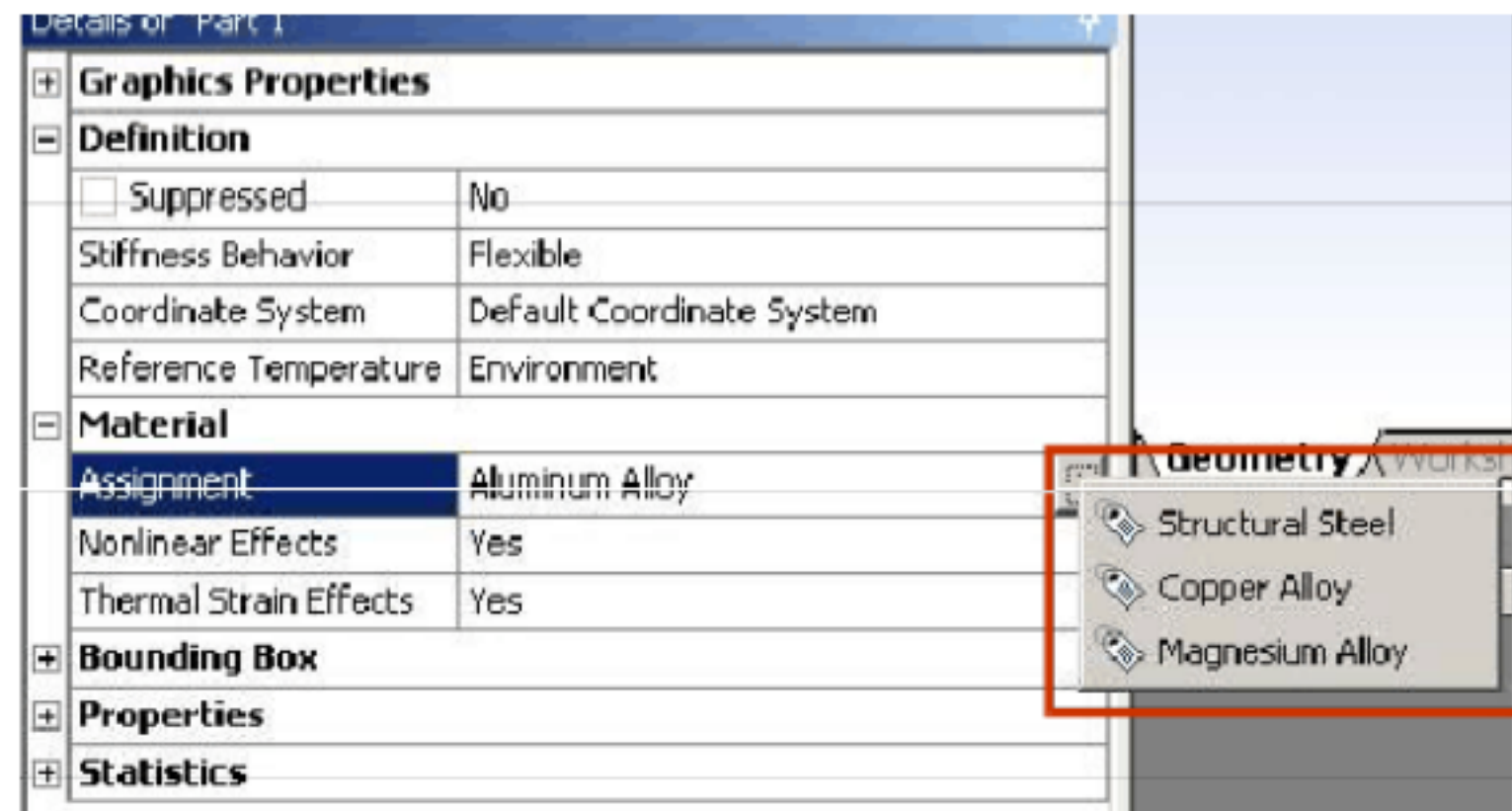
在选择 “ Verify Materials ” 之

后，所有 “ Geometry ” 分支的部分突出，并且 Details view 显示可选的材料。



## ... 向导例题 : 选择材料特性

- ? 弹出的窗口消息表明，用户应该回到 Workbench 接口来访问工程数据
- 默认的材料是 Structural Steel，但可以改变。
  - 作为加到项目中的材料，将会出现在材料分配详情区域。

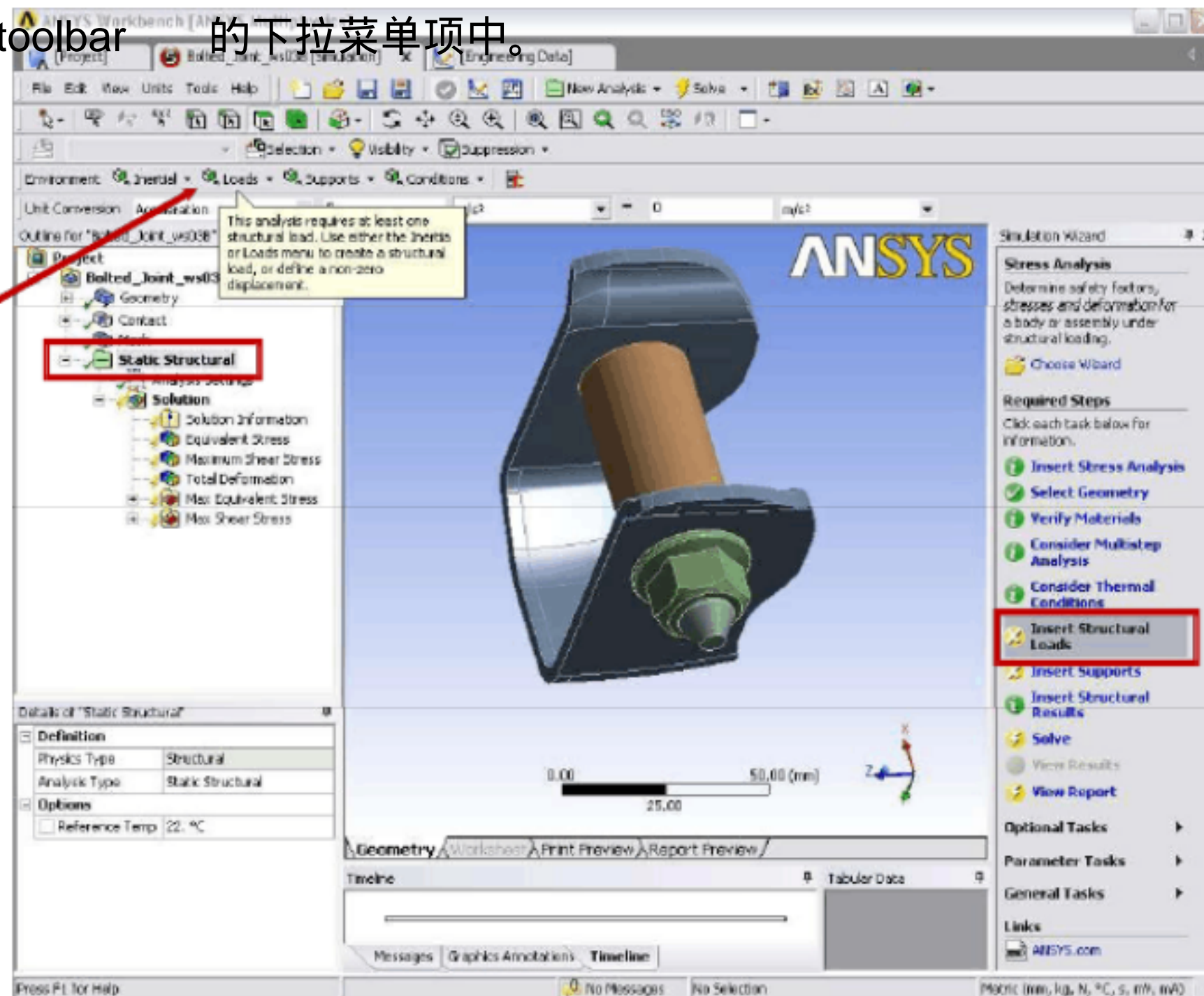


- 上图显示的 Mechanical 材料仅供演示。用户可以修改材料属性值。

- ？在指定和确认材料后，从 Stress Wizard 中选择 “Insert Structural Loads”。
- 荷载的应用是在 Context toolbar 的下拉菜单项中。

在选择 “Insert Loads” 后，注意 “Environment” 分支是突出的。

通过突出的 “Environment” 分支，改变 Context toolbar 和 Details view。

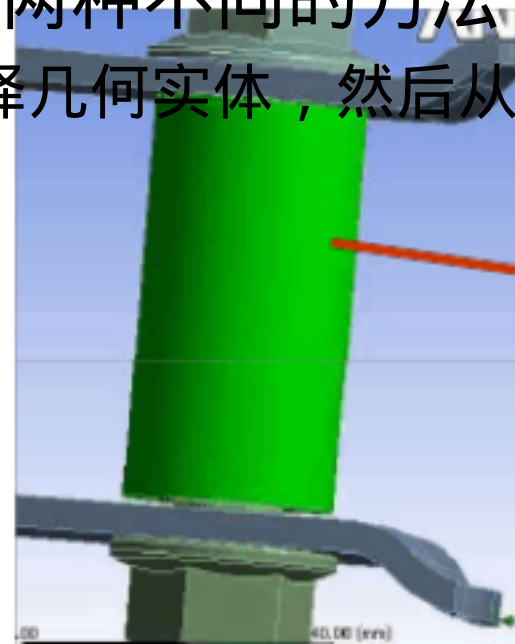




## 添加载荷和支撑

？载荷和支撑的施加有两种不同的方法：

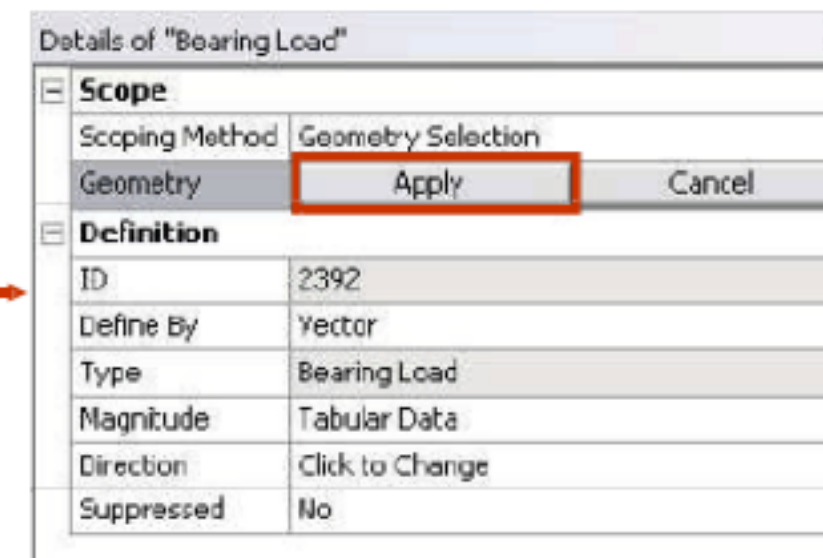
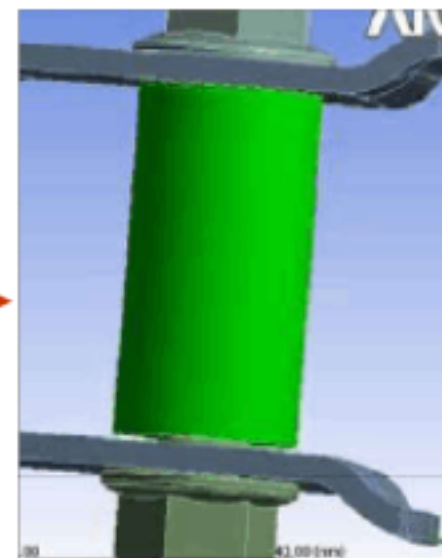
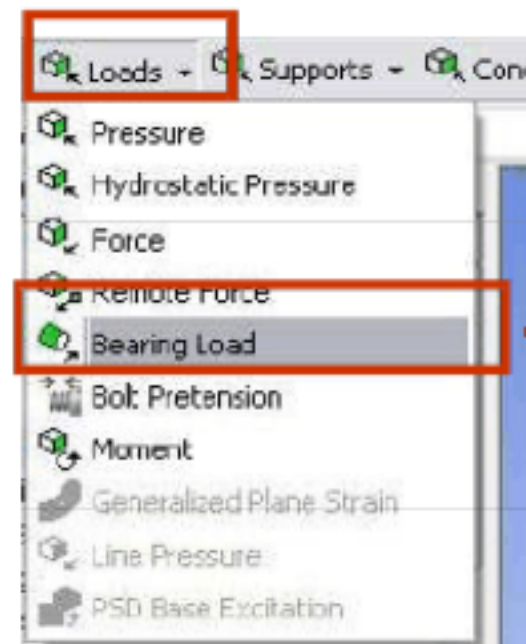
- 预先在图形窗口选择几何实体，然后从



Context Toolbar 选择载荷和支撑



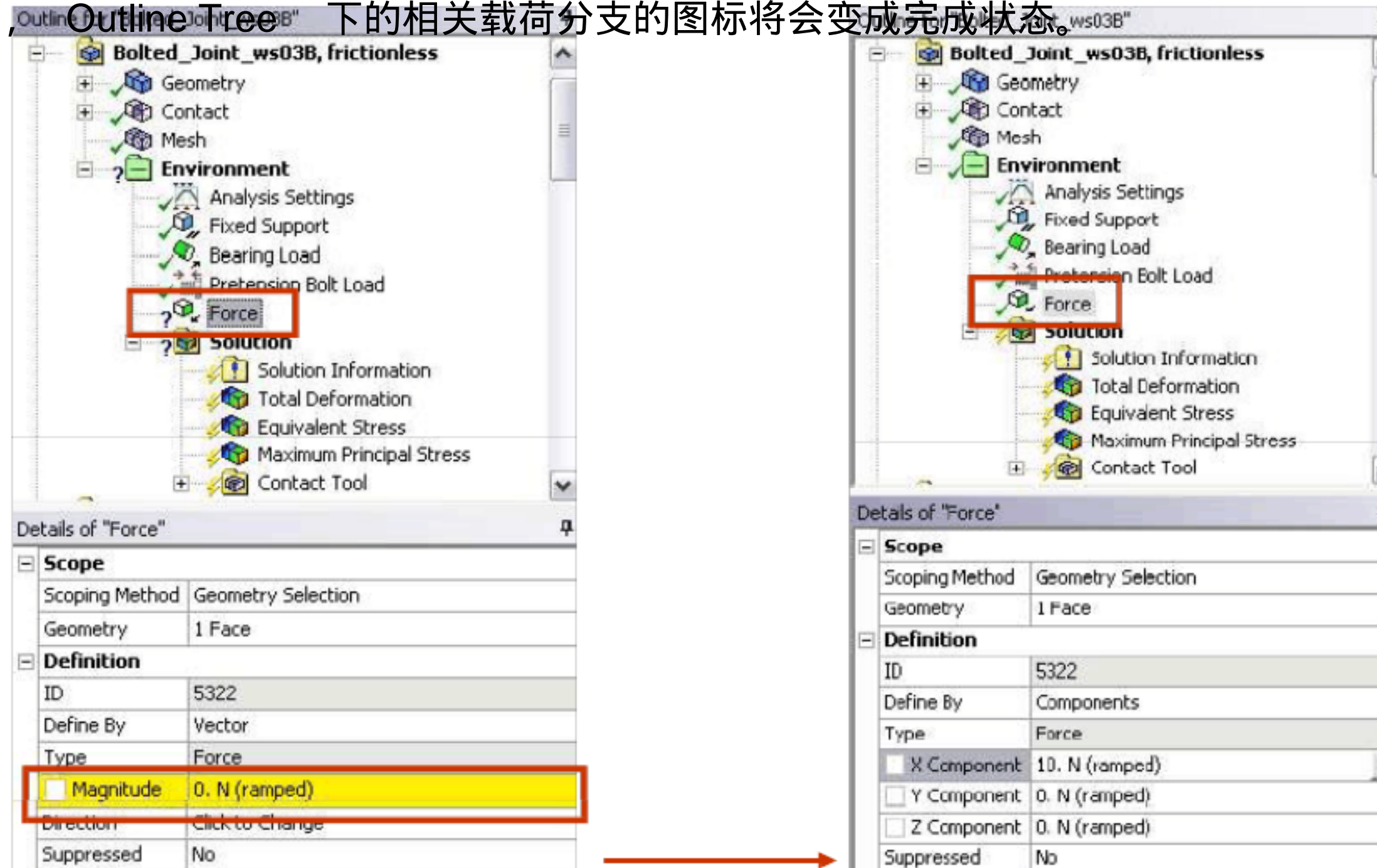
- 或者，从 Context Toolbar 中选择载荷和支撑，然后在图形窗口选择几何实体，最后在中



## ... 施加荷载和支撑

? 指定荷载类型之后，需要在 Details view 输入详细的数据。

- 注意，Outline Tree 下的相关荷载分支的图标将会变成完成状态。



? 结构载荷的施加方向 :

? 若选择 “ Components ” , 键入 X, Y, 或 Z 向载荷大小

? 若选择 “ Vector ” 选择确定载荷方向的几何并值

? 可以通过 “ Tools > Options ...

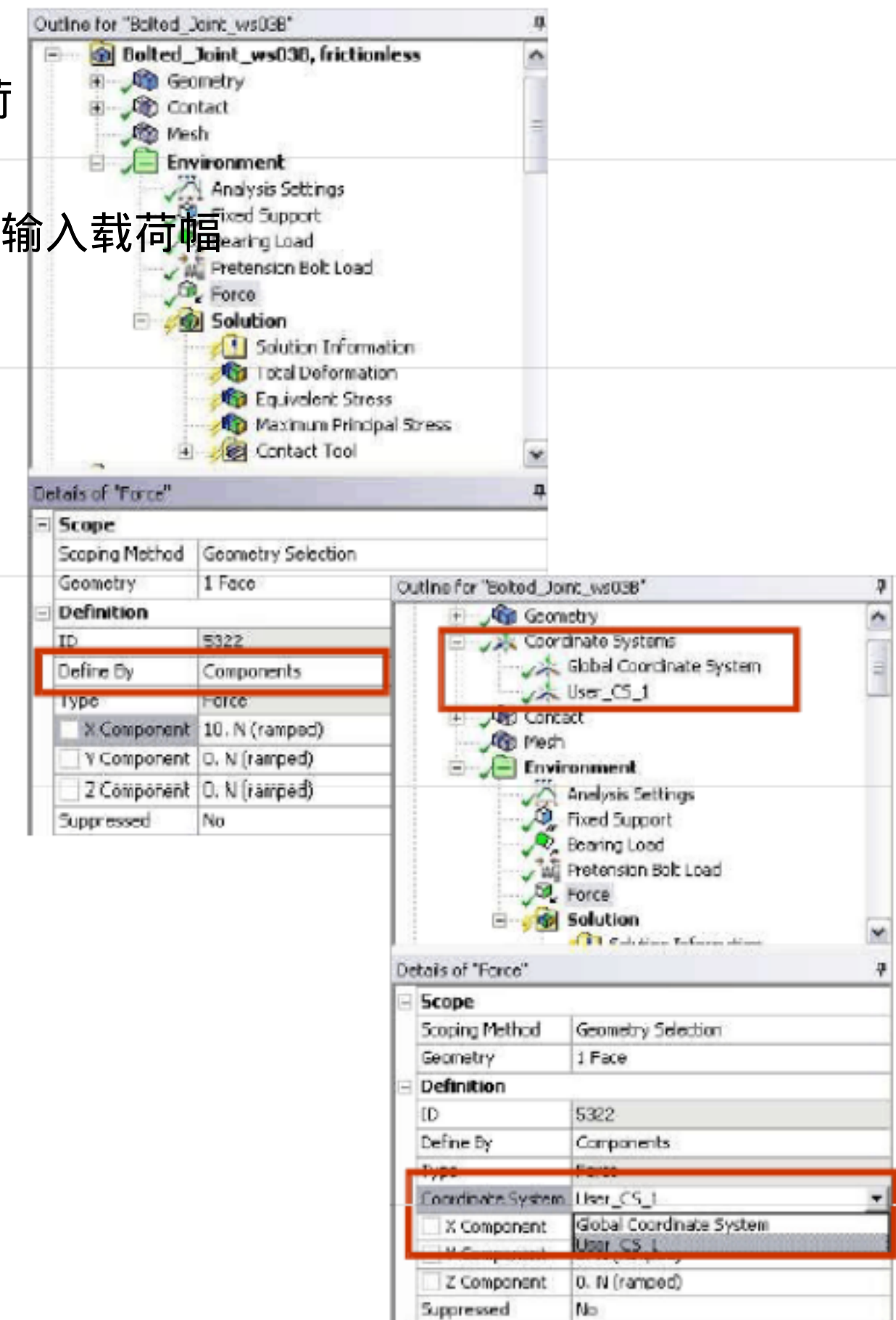
> Mechanical: Miscellaneous

> Load Orientation Type ” 改变默认选项

— 可以选择使用总体坐标系或用户自定义坐标系

? 用户定义坐标系在后面讨论

输入载荷幅





## ...施加载荷和支撑

? 几何可以用于控制载荷方向 :

? 在 “ Details ” 窗口, 选择 “ Define By: Vector ”。

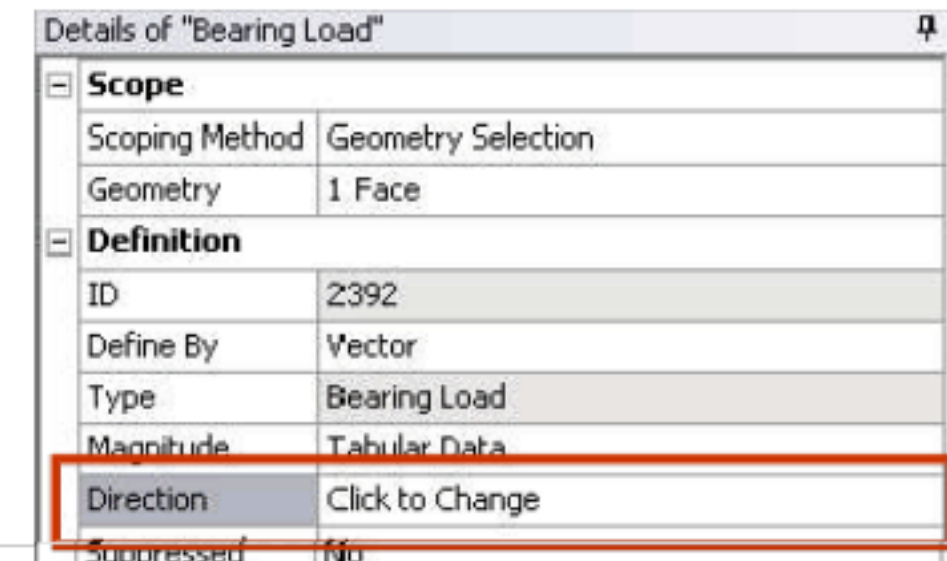
? 可利用三种类型的几何:

- 垂直于面或沿着圆柱面的轴向
- 沿着直线或垂直于圆柱边
- 两点定义的矢量 方向

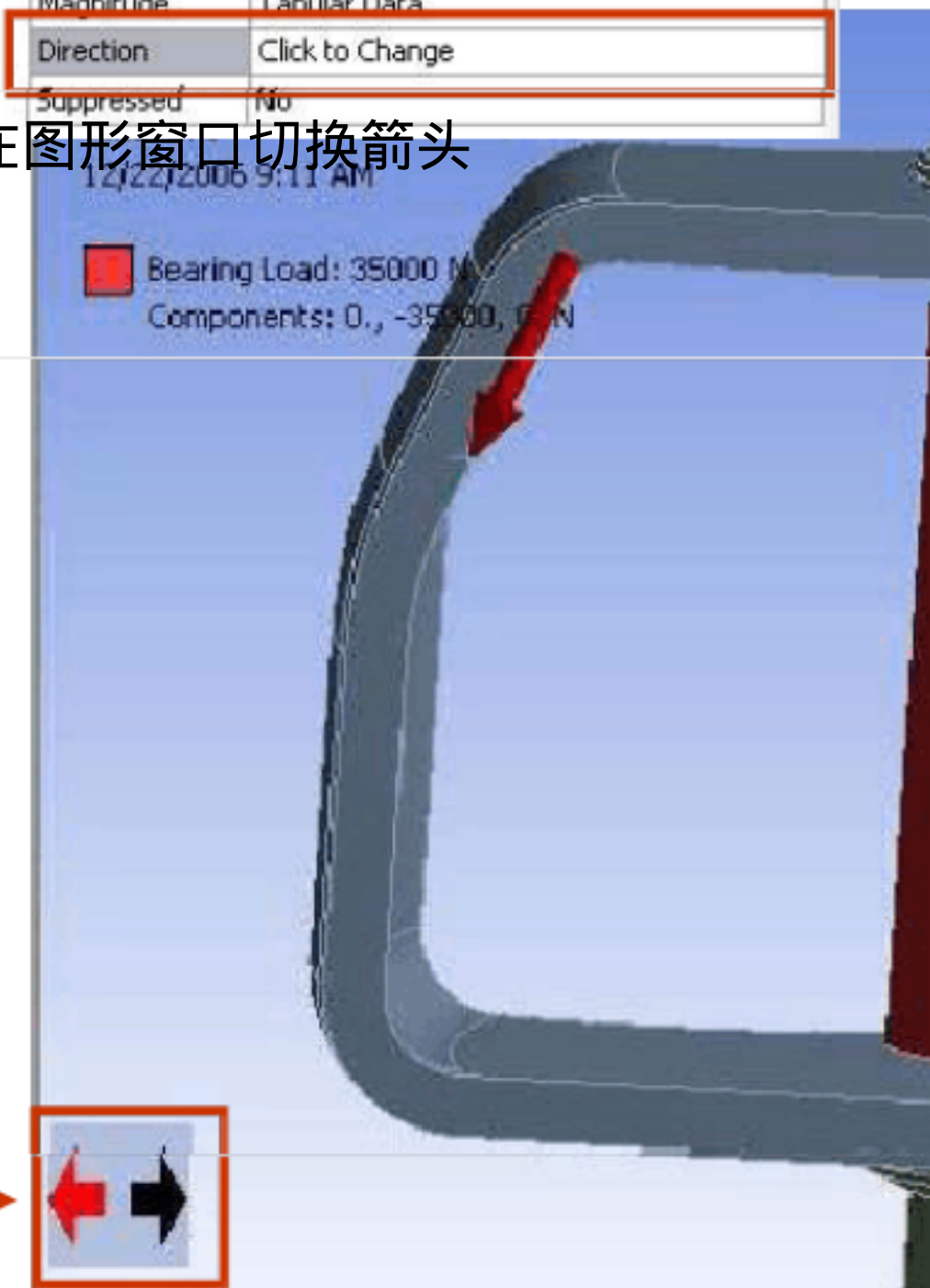
? 点击 “ Direction ” 并选择用于定义方向的几何体的方向。

? 结束时按 “ Apply ”。

? 输入载荷大小。



在图形窗口切换箭头



箭头按钮可以调整载荷的方向



- 鼠标右键用来选择几何实体或控制曲线生成。

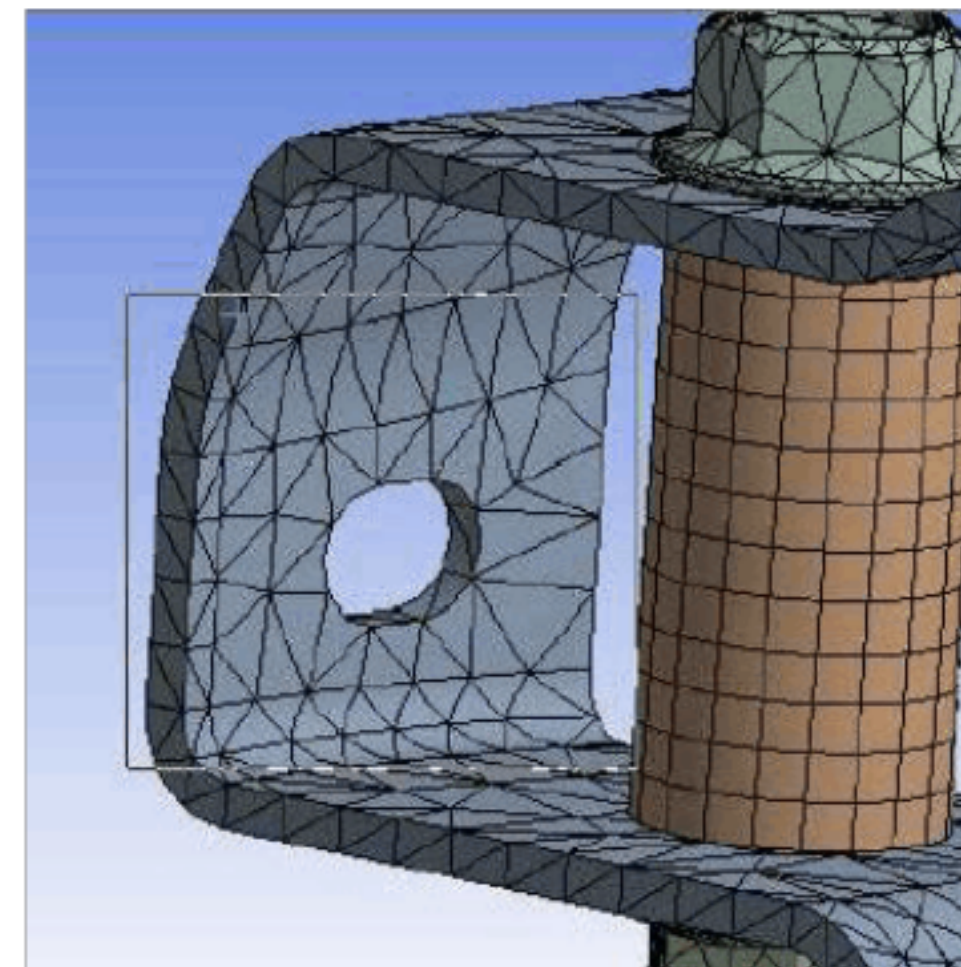
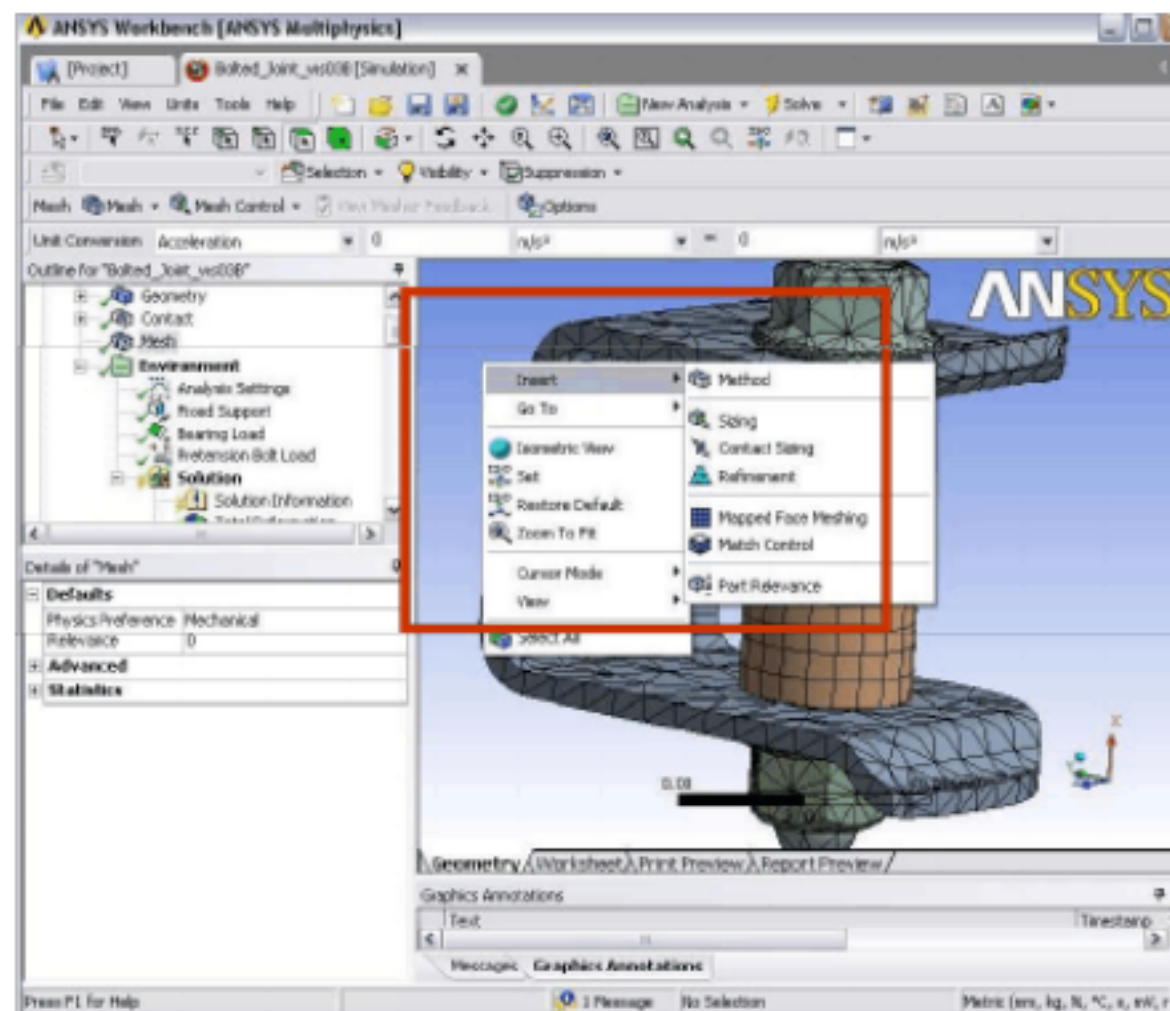


- 用户可以选择几何项目（顶点，边，面，体）或操纵视图（旋转，平移，放大 / 缩小，框放大）
- 选择方式可以进行单个或框选：
  - ？ 单个选择方式，按住鼠标左键拖拉进行多选
  - ？ 在单个选择模式下，可以用按 **Ctrl** 键和鼠标左键来选择或不选多个实体
    - 在框选模式，从左向右拖动鼠标，选中完全在边界框的实体。
    - 在框选模式，由右至左拖动鼠标，选中部分在边界框选择部分的任何实体。



## ... 鼠标控制（捷径）

- ？ 在选择模式下鼠标中键提供了图形操作的捷径
  - 点击 + 拖拉鼠标的中键 = 动态旋转
  - CTRL+ 鼠标的中键 = 拖动
  - Shift + 鼠标的中键 = 动态缩放
  - 滚动鼠标中键可以用来放大 / 缩小
  - RMB + 拖拉 = 框放大
  - 点击一次鼠标右键，选择 “Fit”，实现全窗口显示

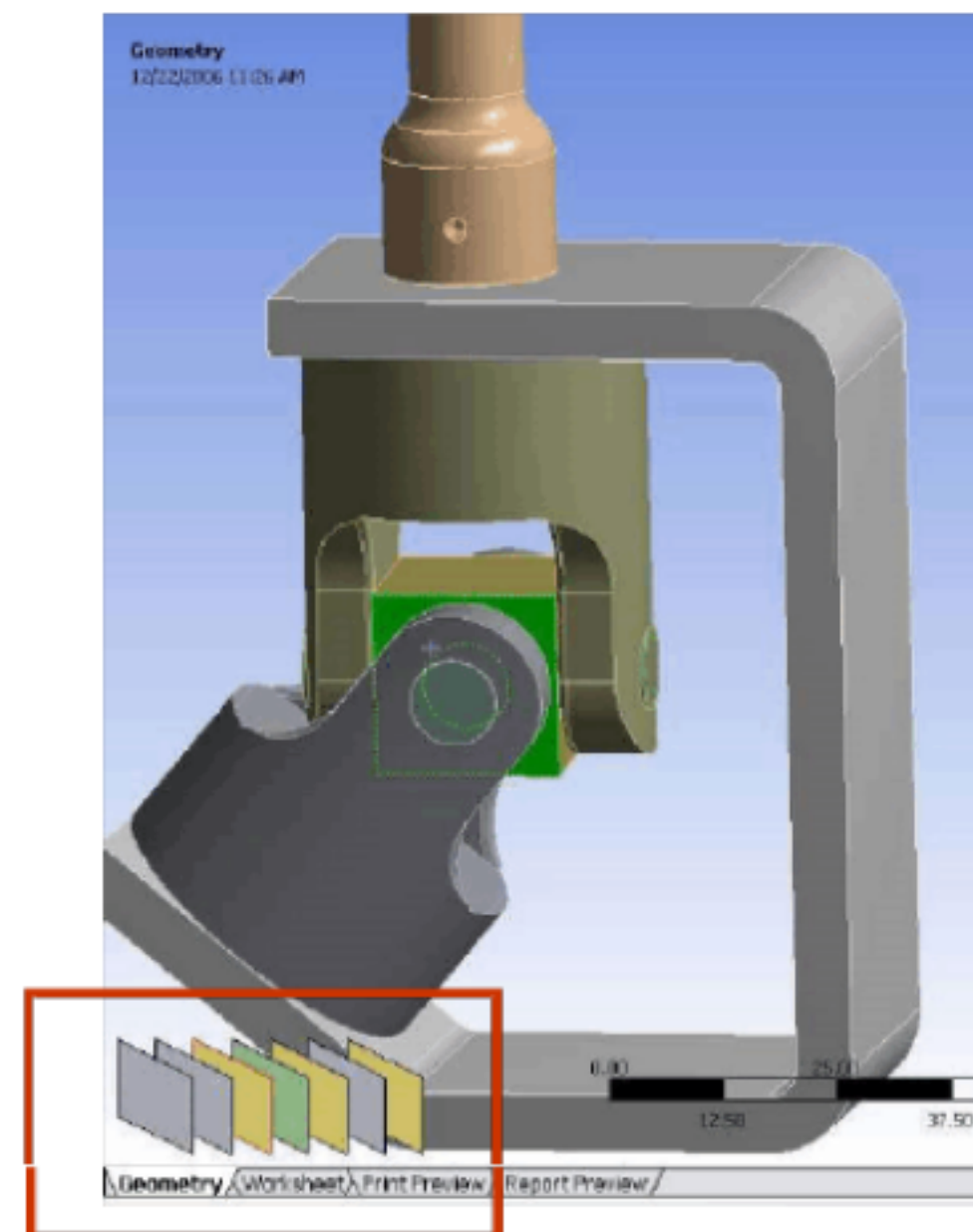
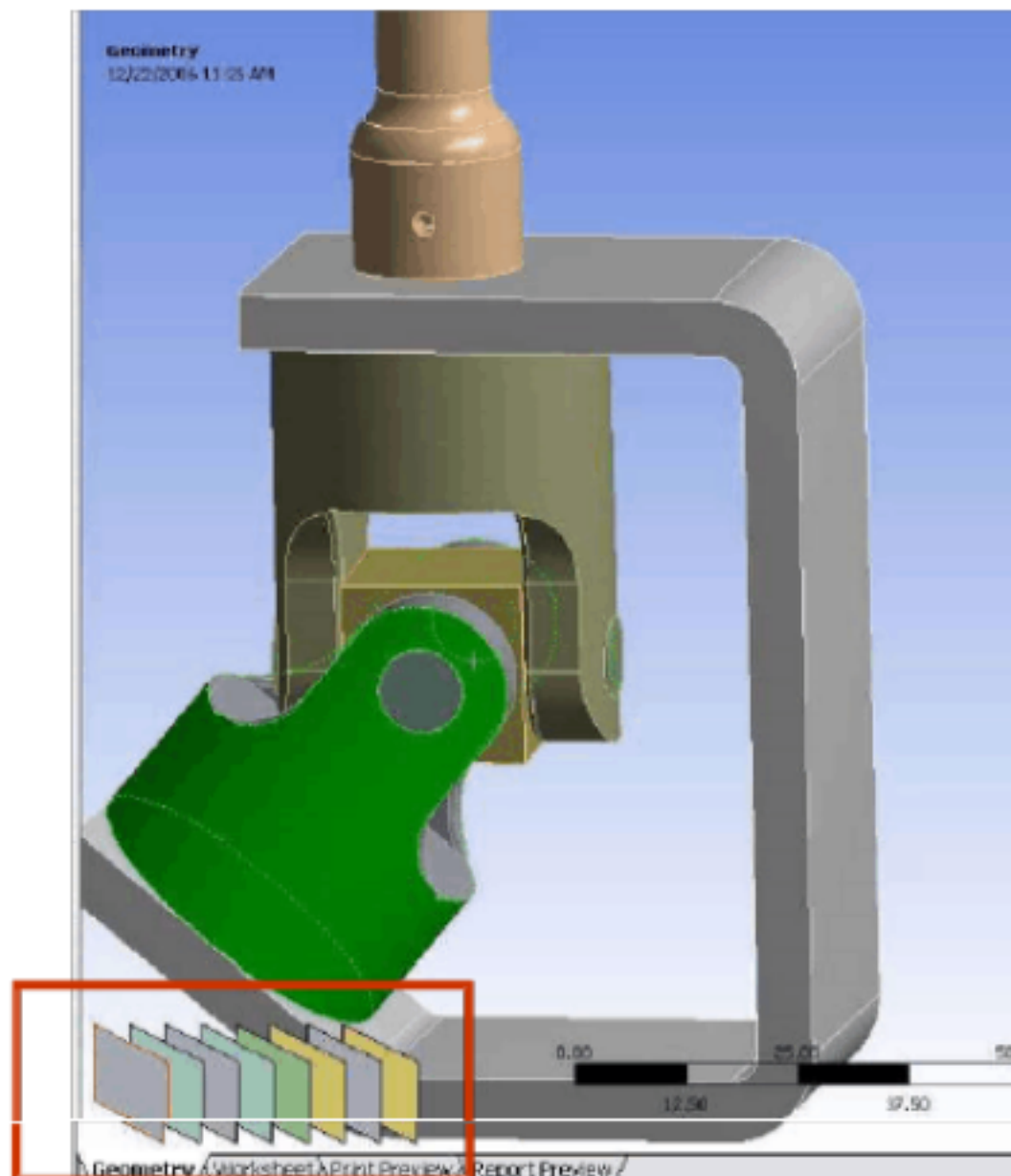




? 选择平面允许用户方便地选择在其他表面看不到的表面。

- 当用户选择面时，如果在指针下面隐藏更多的面，选择面板就会出现。选择面板的颜色与它所代表的面的颜色相同，同时指针所指的方向按厚度排列

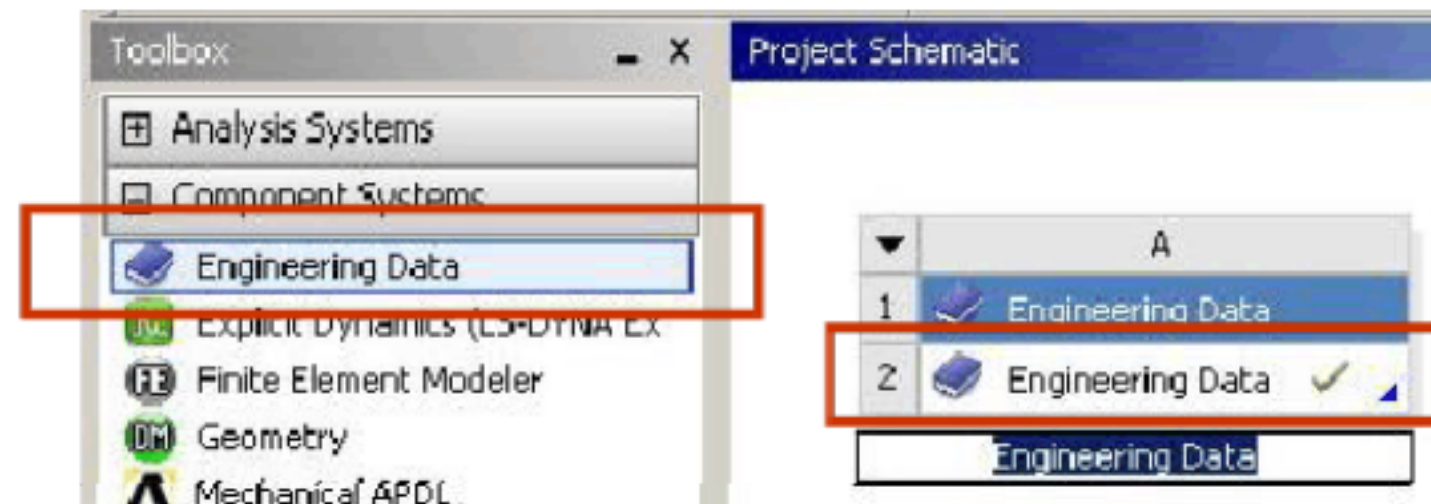
与



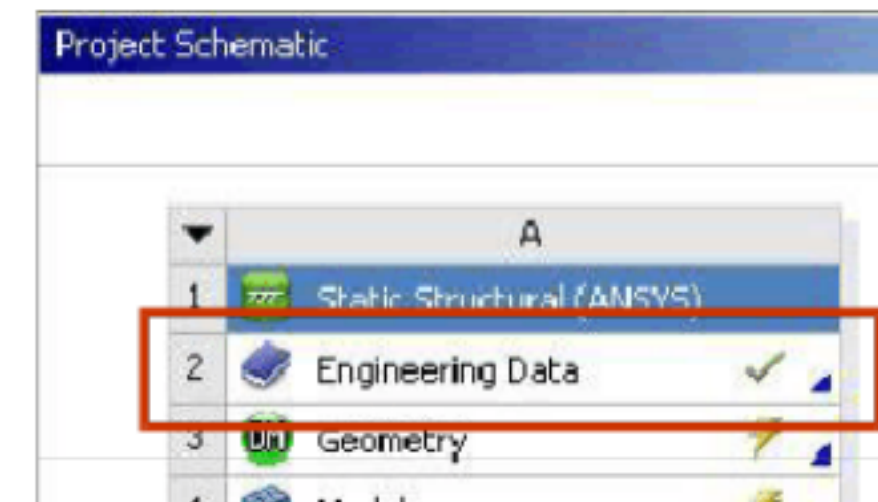
# D. Engineering Data

? The Engineering Data 的应用提供了对材料属性的全面控制。

- Engineering data 是每项工程分析的必须部分。
- Engineering data 可以单独打开（作为分析项目的开始）。



要打开独立的 Engineering Data ，  
添加工具箱中的组件系统（拖 /放或  
双击  
），然后 RMB> 编辑或双击。



要在项目 RMB 中编辑  
Engineering Data> “编辑  
或双击

? Engineering Data 的应用程序显示如下。

The screenshot shows the ANSYS Engineering Data application window. The interface includes a menu bar (File, View, Tools, Units, Help), a toolbar, and several panes. The left pane is the 'Toolbox' containing various material property categories. The middle pane is the 'Outline Filter' table, which lists data sources. The right pane is the 'Table of Properties' for the selected material. The bottom pane is the 'Engineering Data Chart' showing a graph of Density vs. Temperature. Red arrows point from the Chinese labels to the corresponding UI elements.

工具栏

总过滤器

选定以下材料属性

过滤材料列表

选定材料的性能

属性表

|   | A               | B                             |
|---|-----------------|-------------------------------|
| 1 | Temperature (C) | Density (kg m <sup>-3</sup> ) |
| 2 |                 | 2770                          |

|    | A                                | B       | C    |
|----|----------------------------------|---------|------|
| 1  | Property                         | Value   | Unit |
| 2  | Density                          |         |      |
| 3  | Coefficient of Thermal Expansion |         |      |
| 6  | Isotropic Elasticity             |         |      |
| 9  | Alternating Stress R-Ratio       | Tabular |      |
| 13 | Tensile Yield Strength           | 2.8E+08 | Pa   |
| 14 | Compressive Yield Strength       | 2.8E+08 | Pa   |
| 15 | Tensile Ultimate Strength        | 3.1E+08 | Pa   |
| 16 | Compressive Ultimate Strength    |         |      |

| Temperature (C) | Density (kg m <sup>-3</sup> ) |
|-----------------|-------------------------------|
| -1              | 2.7                           |
| -0.5            | 2.7                           |
| 0               | 2.7                           |
| 0.5             | 2.7                           |
| 1               | 2.7                           |



? 窗口交互显示层叠数据。

? 查看或修改材料属性的一般工作流程如下所示： 材料

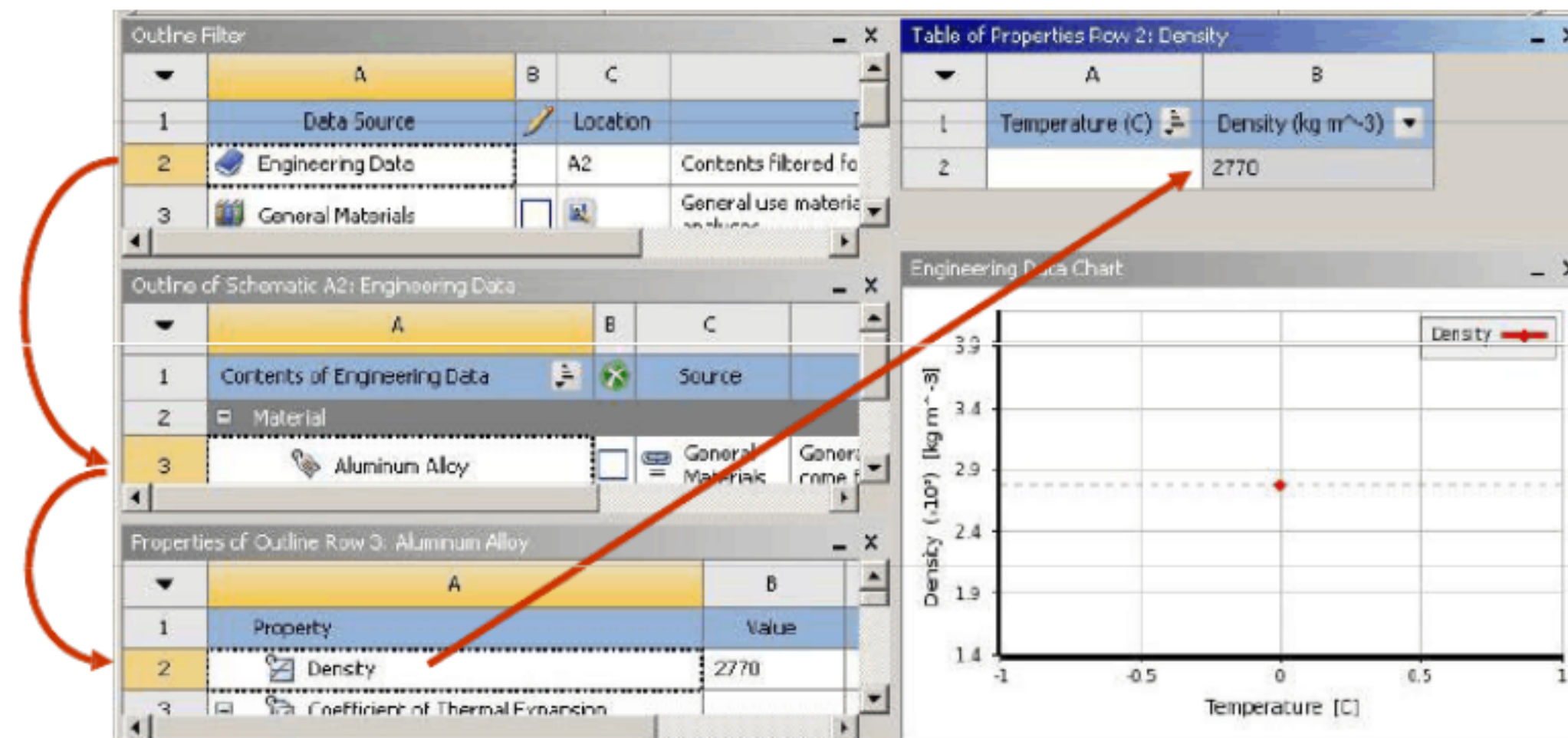
数据库 > 选择材料 > 材料属性

以表格和图形格式 显示属性

选择数据库

选择材料

选择属性



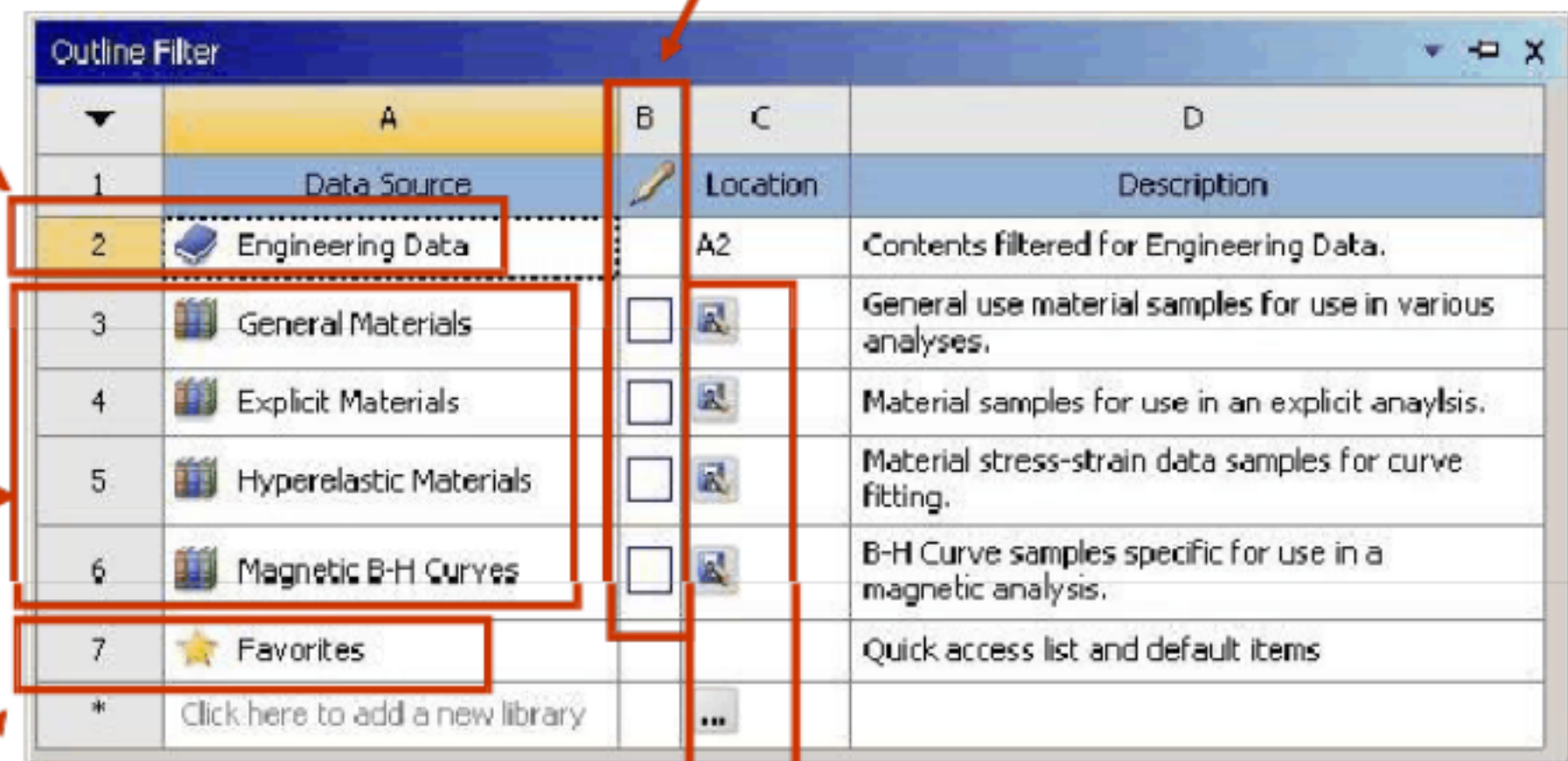
## 总过滤器

Engineering Data 区包含已在当前项目中使用的材料清单。

复选框允许对资料库编辑锁定。

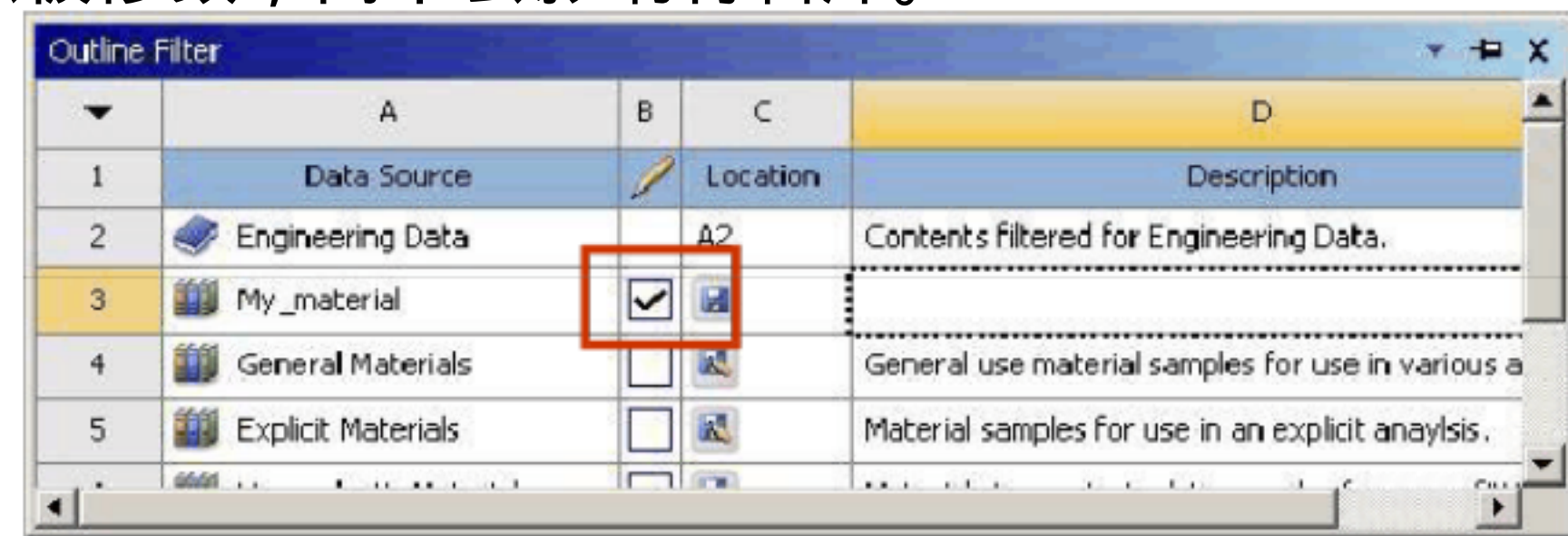
显示现有材料库的清单。这些是 ANSYS 软件提供的或用户定义

Favorites 是每个项目都有的，无需由资料输出的材料。



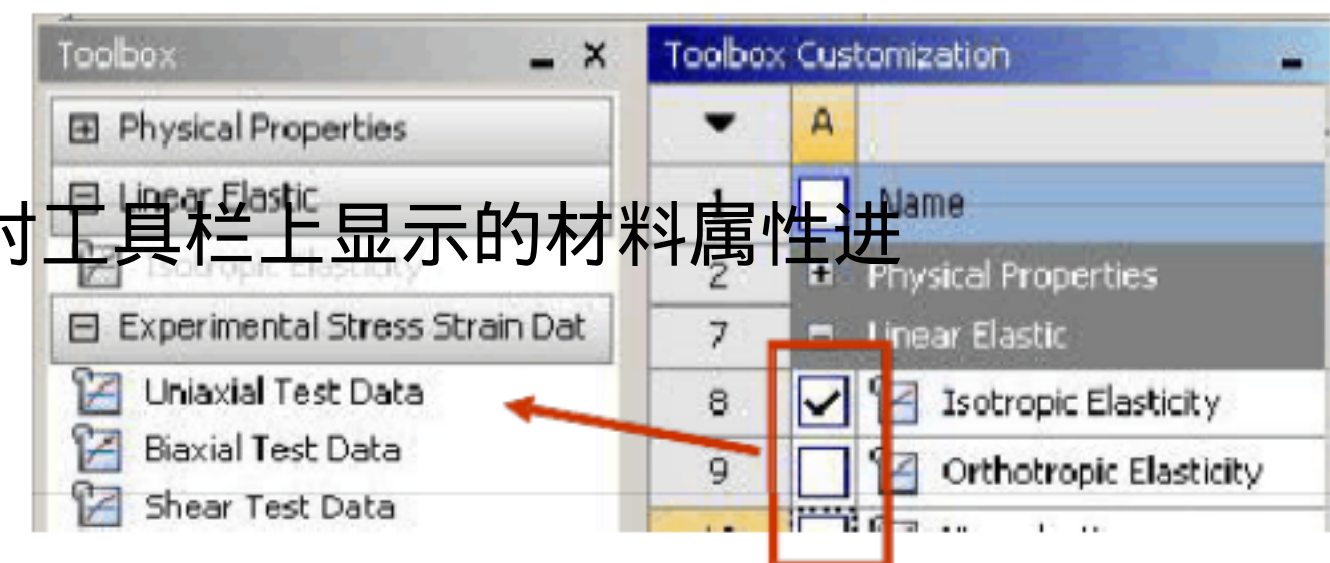
浏览现有的材料库，或选择材料库的位置。

- ? 工具箱提供了大量的材料属性，可以添加现有的或新材料的定义。
- ? 要修改材料现有的材料库必须要解锁，（注意这是永久修改，材料存储在 该资料库）。
- ? 当前项目中的工程数据资料可以被修改，而不会影响材料库。



The Toolbox Customization  
行过滤。

设置允许 对工具栏上显示的材料属性进





? 若要在当前项目现有的资料库中增加一种 (+)。

? 在当前项目中定义的任何材料将被标记，  
示。

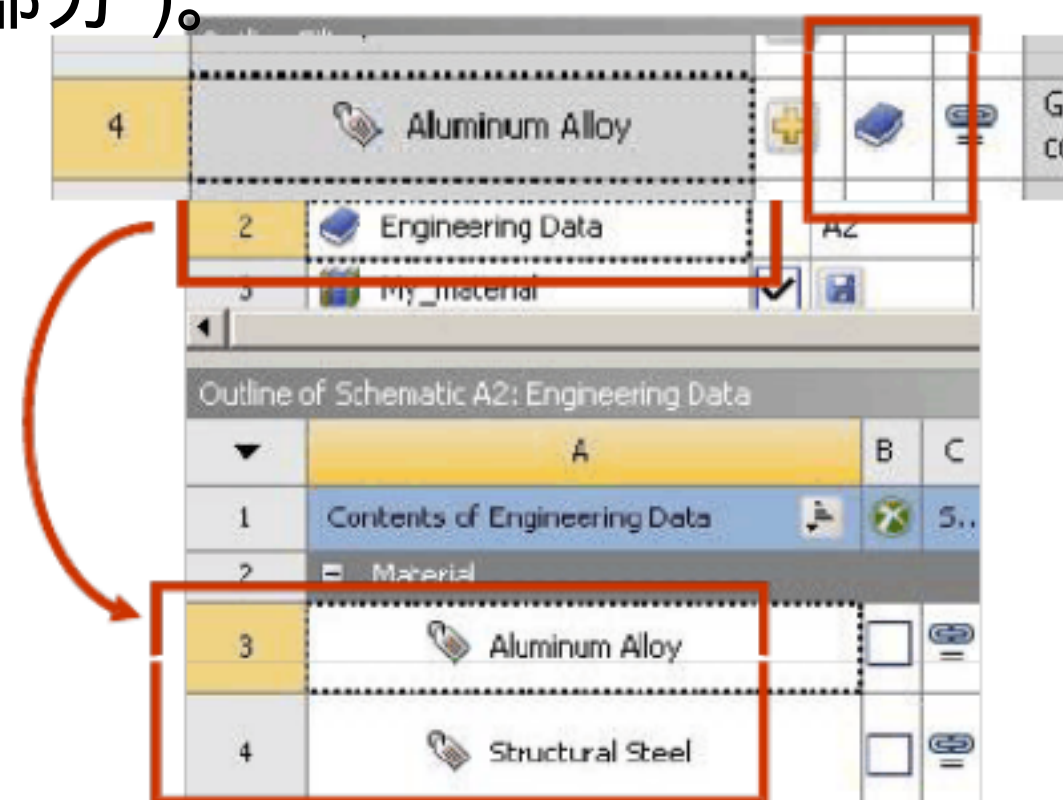
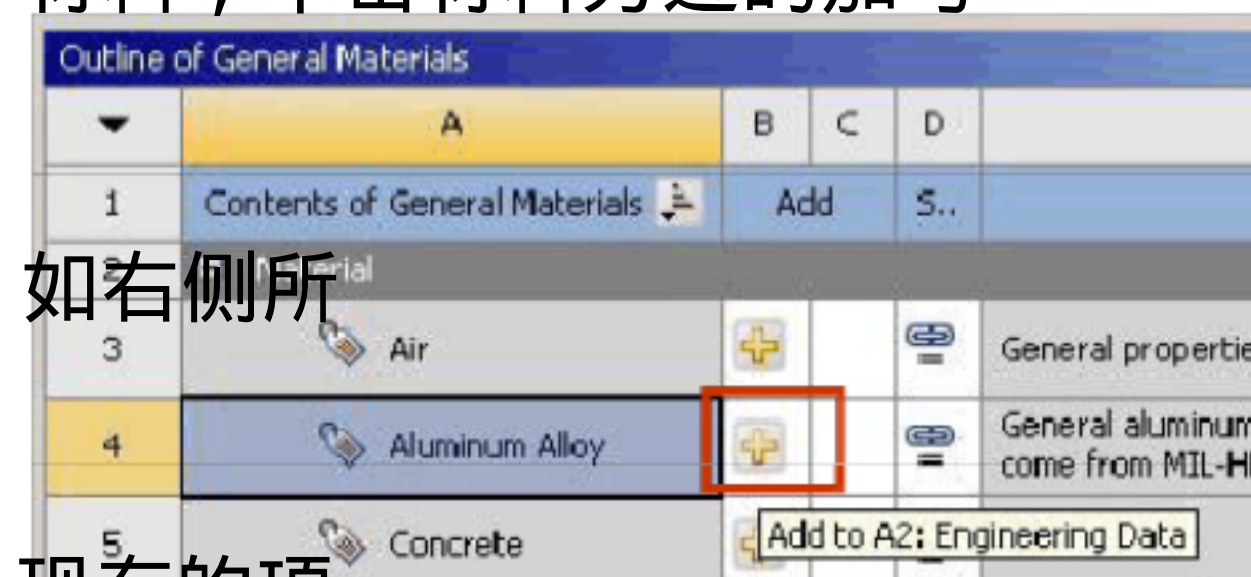
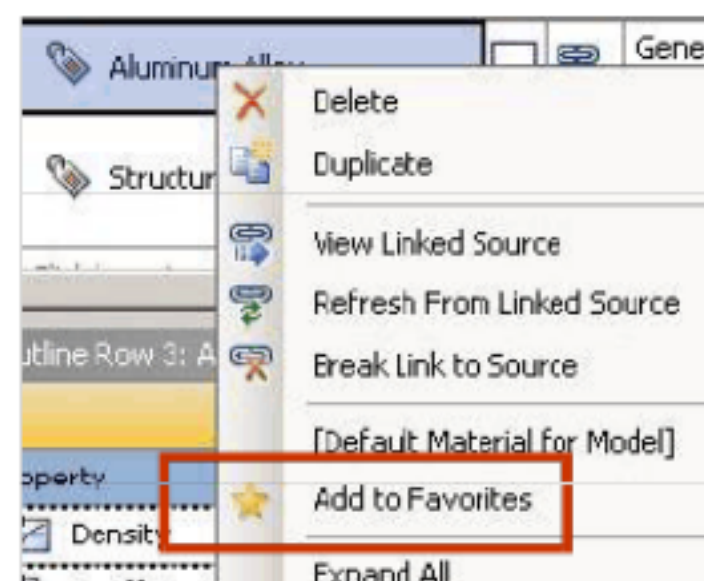
? 如果 “added” 每一种材料将可以应用在  
目上 (他变成现有 “Engineering Data” 的一部分)。

材料，单击材料旁边的加号

如右侧所

现有的项

注意，添加材料到  
“Favorites” 列表  
中，RMB 材料和  
添加。

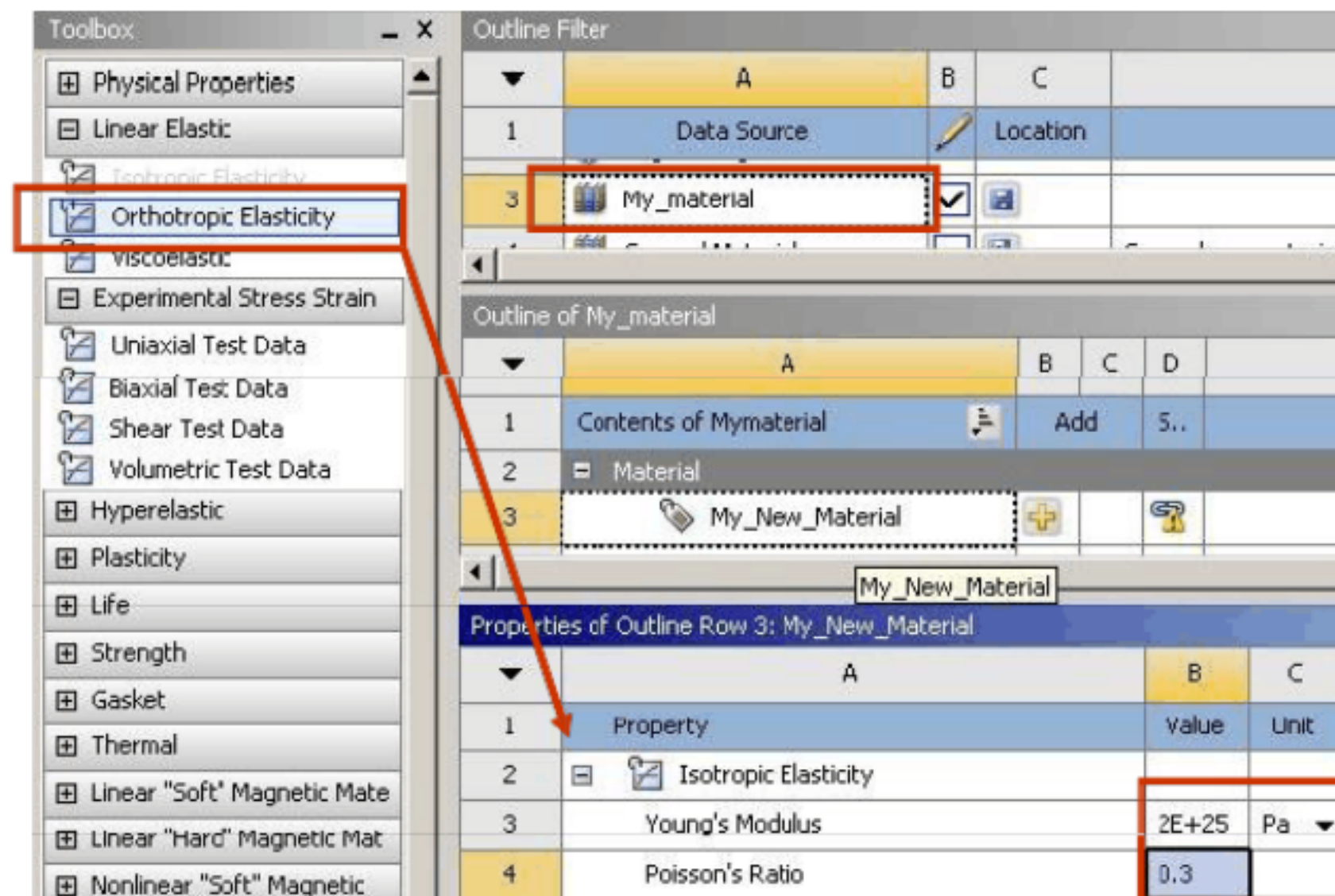
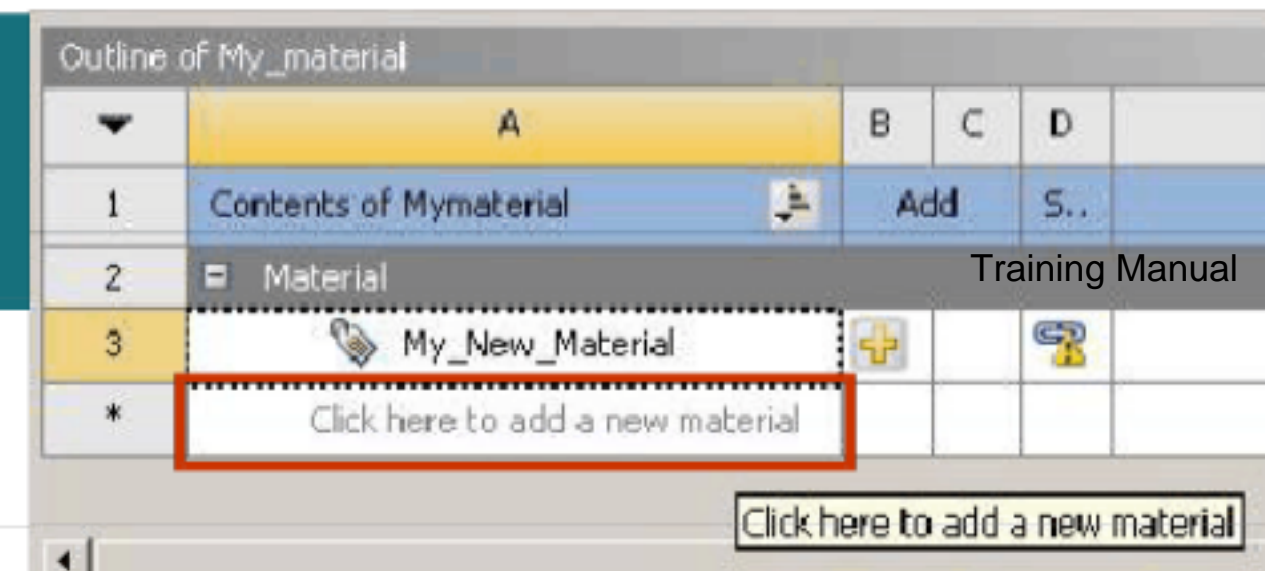


Basics  
? 要创建新的材料首先选择材料库的存储路径（或当前项目的工程数据 Engineering Data

? 输入一个名称，对新材料进行说明。

? 从工具箱中双击或拖放所需的属性。

? 最后输入属性的值。





? Engineering Data 的单位制 :

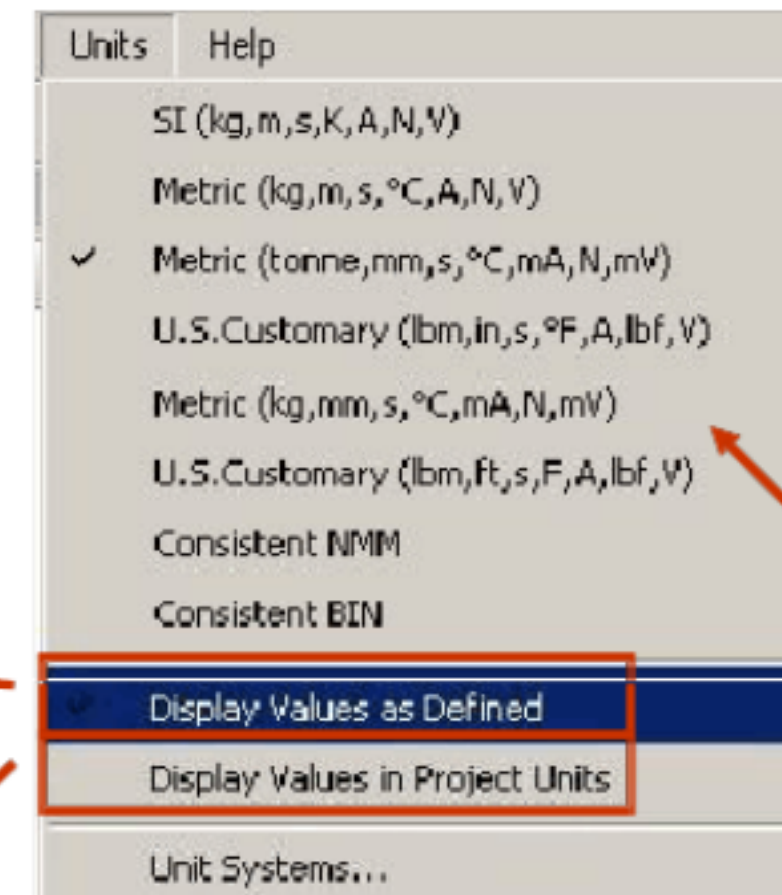
- 您可以选择显示 “ Values as Defined ” or “ Values in Project Units ” .
- “ AsDefined ”单位是单独约束的。

Properties of Chart : Density My Test Material

|   | A                    | B     | C                  | D | E |
|---|----------------------|-------|--------------------|---|---|
| 1 | Property             | Value | Unit               |   |   |
| 2 | Density              | 7400  | kg m <sup>-3</sup> |   |   |
| 3 | Isotropic Elasticity |       |                    |   |   |
| 4 | Young's Modulus      | 2E+05 | Pa                 |   |   |
| 5 | Poisson's Ratio      |       |                    |   |   |

Properties of Chart : Density My Test Material

|   | A                    | B       | C                   | D | E |
|---|----------------------|---------|---------------------|---|---|
| 1 | Property             | Value   | Unit                |   |   |
| 2 | Density              | 7.4E-06 | kg mm <sup>-3</sup> |   |   |
| 3 | Isotropic Elasticity |         |                     |   |   |
| 4 | Young's Modulus      | 0.2     | MPa                 |   |   |
| 5 | Poisson's Ratio      |         |                     |   |   |



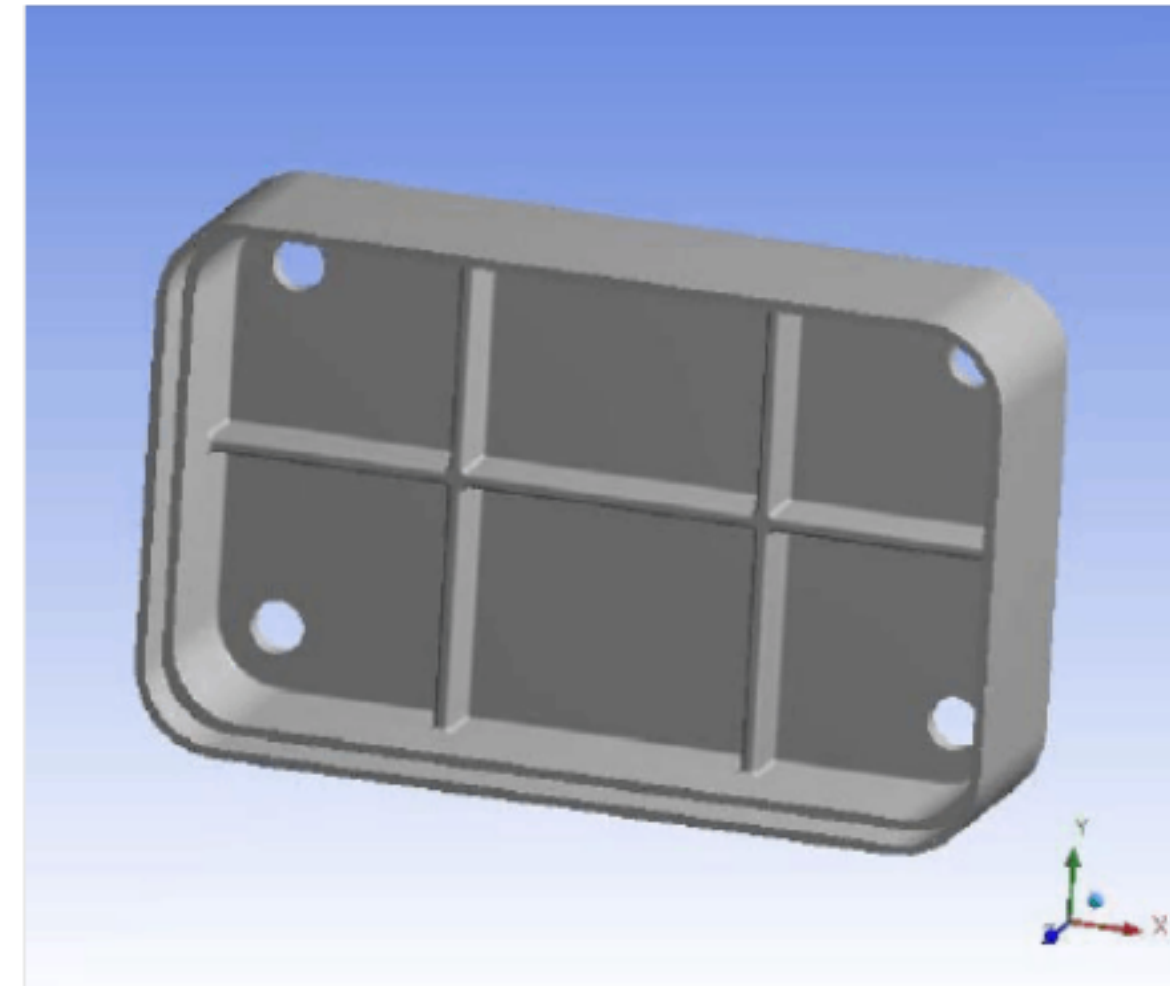
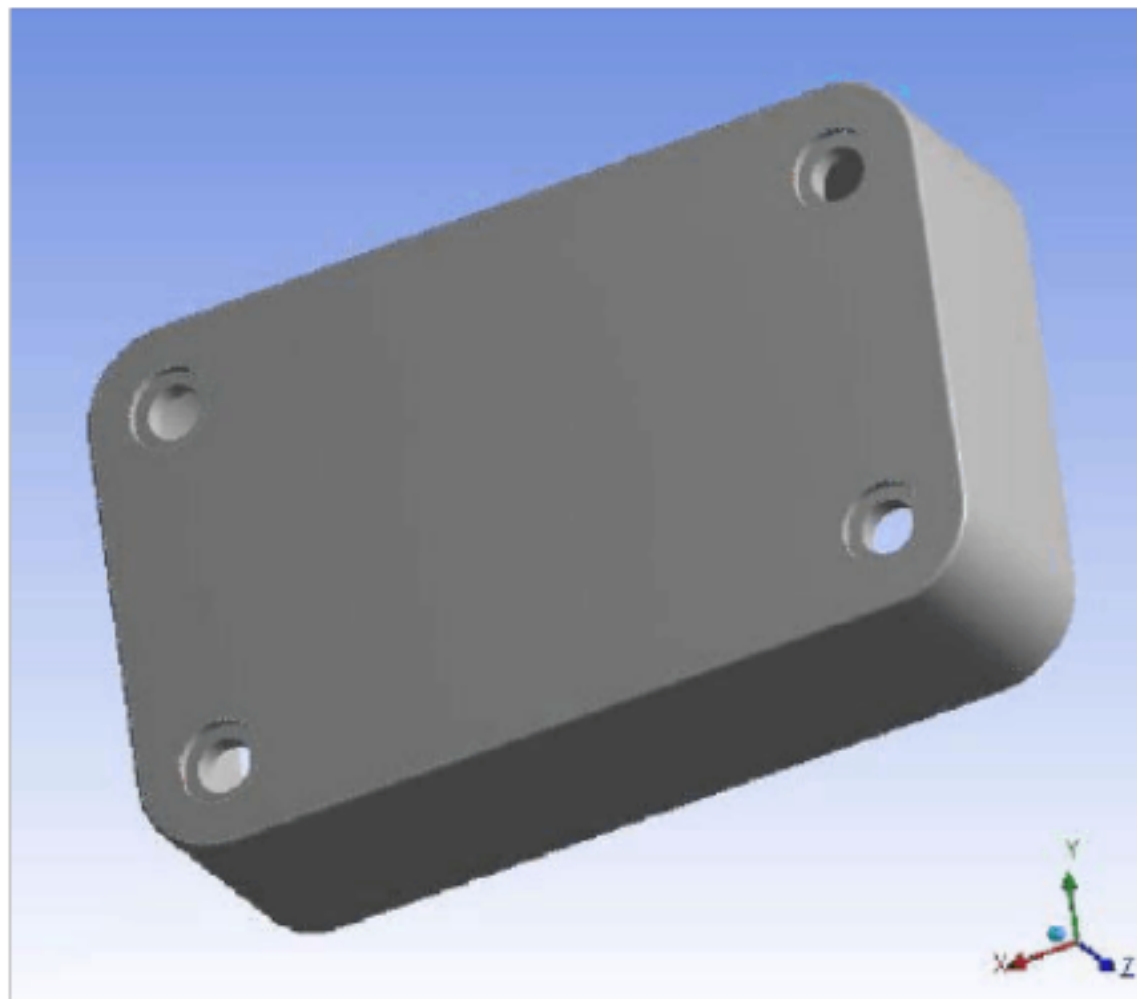
“ Project Units ”采用通用的单位菜单选项。



? Workshop 2.1 –Mechanical 基础

? 目标:

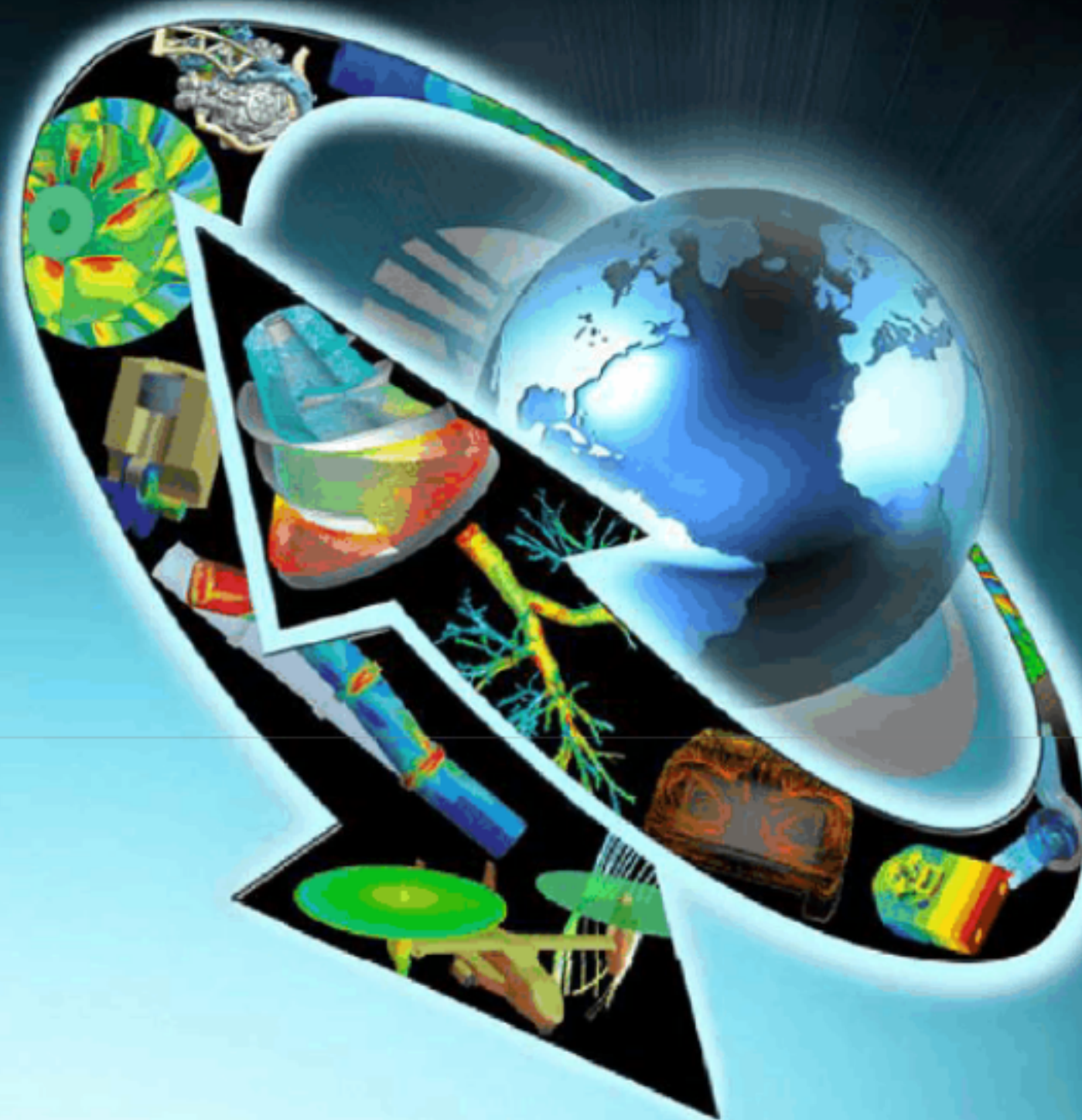
–应用 Stress Wizard, 建立模型, 并求解结构模型的应力, 位移和安全系数。





## 作业 2.1

# ANSYS Mechanical 基础



## 对作业 2.1 的提

示

? 第一个作业包含了大量的信息，练习时，可以更加的熟悉基本的 Workbench Mechanical 功能（菜单位置等），因此后续的作业就包含了较少的细节描述。

? 整个作业的菜单路径将被记录如下：“Firstpick > Second pick > etc.”.

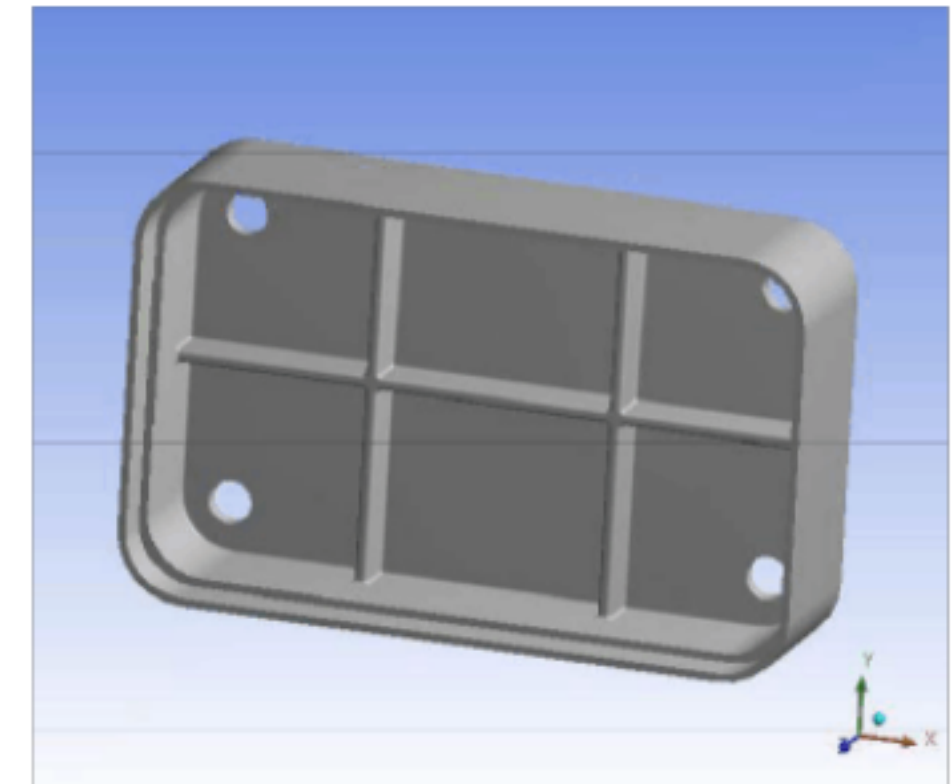
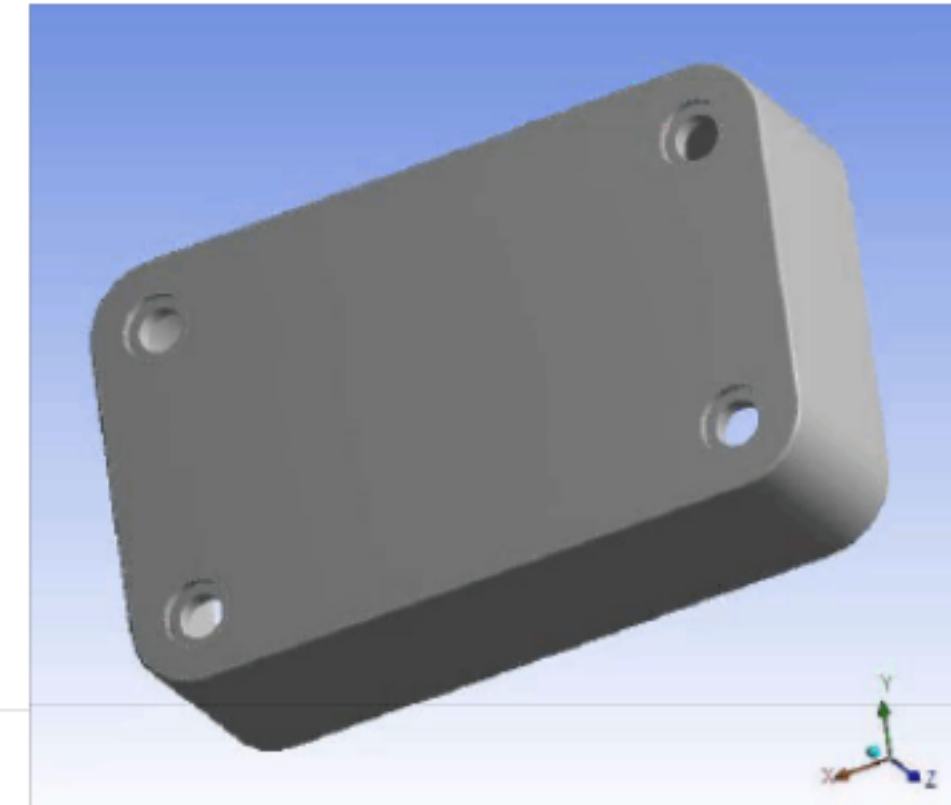


## 作业 2.1 – 目标

? 使用 Stress Wizard , 建立求解结构模型的应力、变形和安全因子。

? 问题描述 :

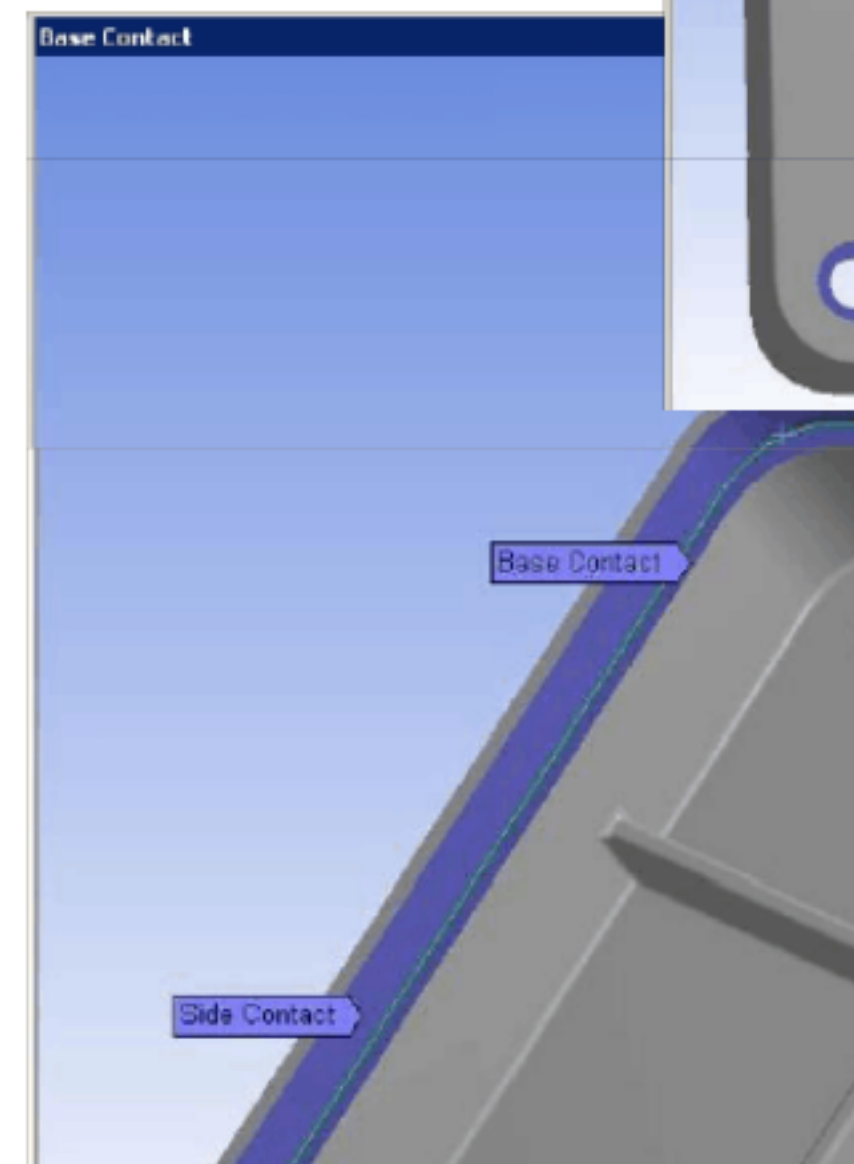
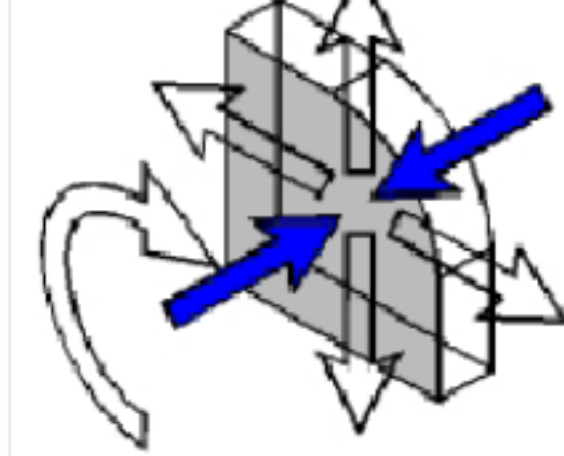
- 模型是由 Parasolid 文件得到的一个控制箱盖子 ( 如图所示 )。盖子假设是在一个外压下使用 ( 1 Mpa/145 psi ) 。
- 盖子是由铝合金制成的。
- 我们的目标是确定这个部件能在假设的环境下使用。



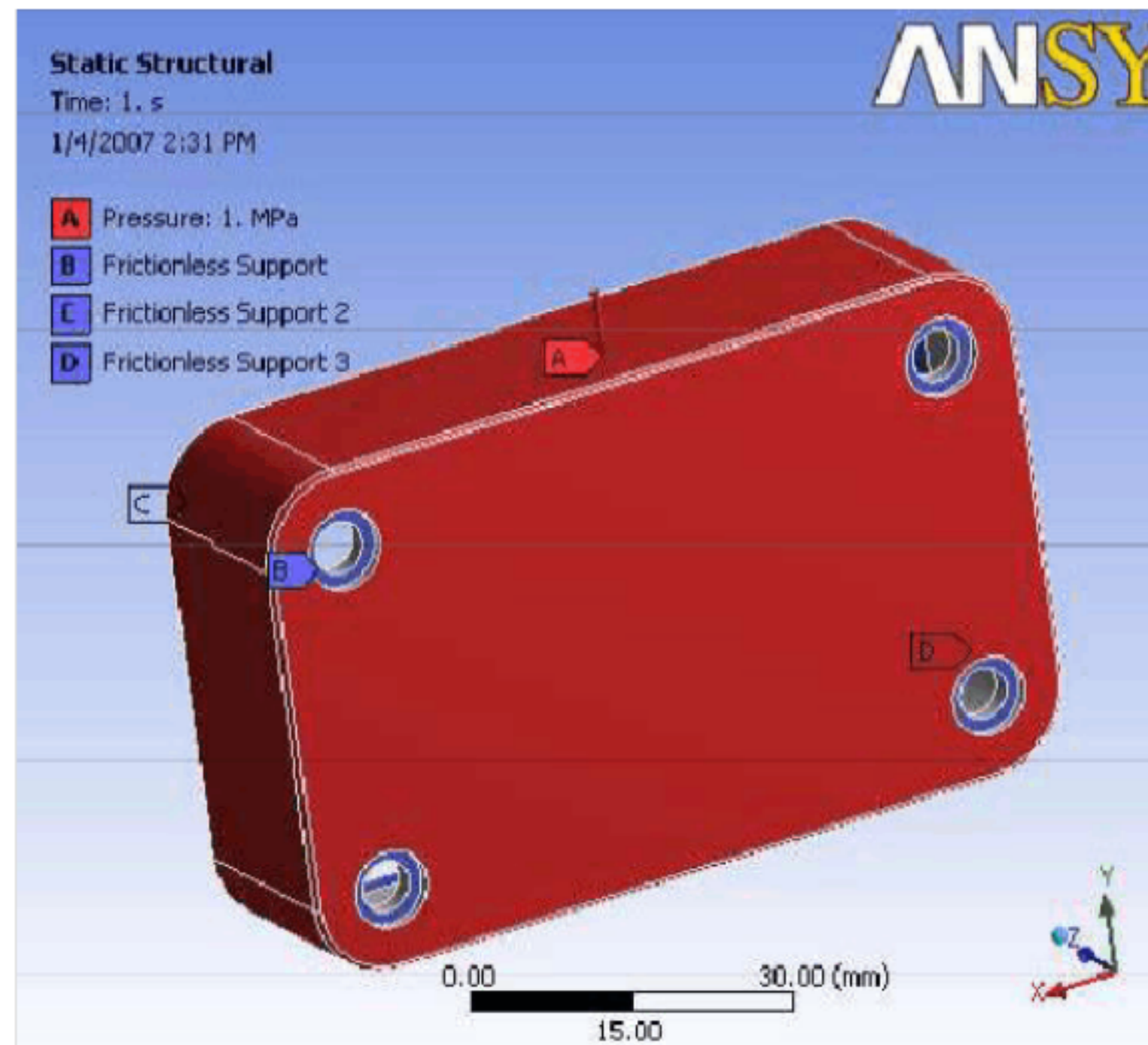
? 在深孔施加约束，接合面及内表面使用无摩擦约束。

- 无摩擦支撑约束是一种施加在整个面的法线方向上的约束。除了支撑面的正、负法线方向，该约束允许其余各方向的平移。这是一种保守的方法。

摩擦支撑约束



? 载荷: 载荷为 1MPa 的压力, 作用在外壳的 17 个外表面上.



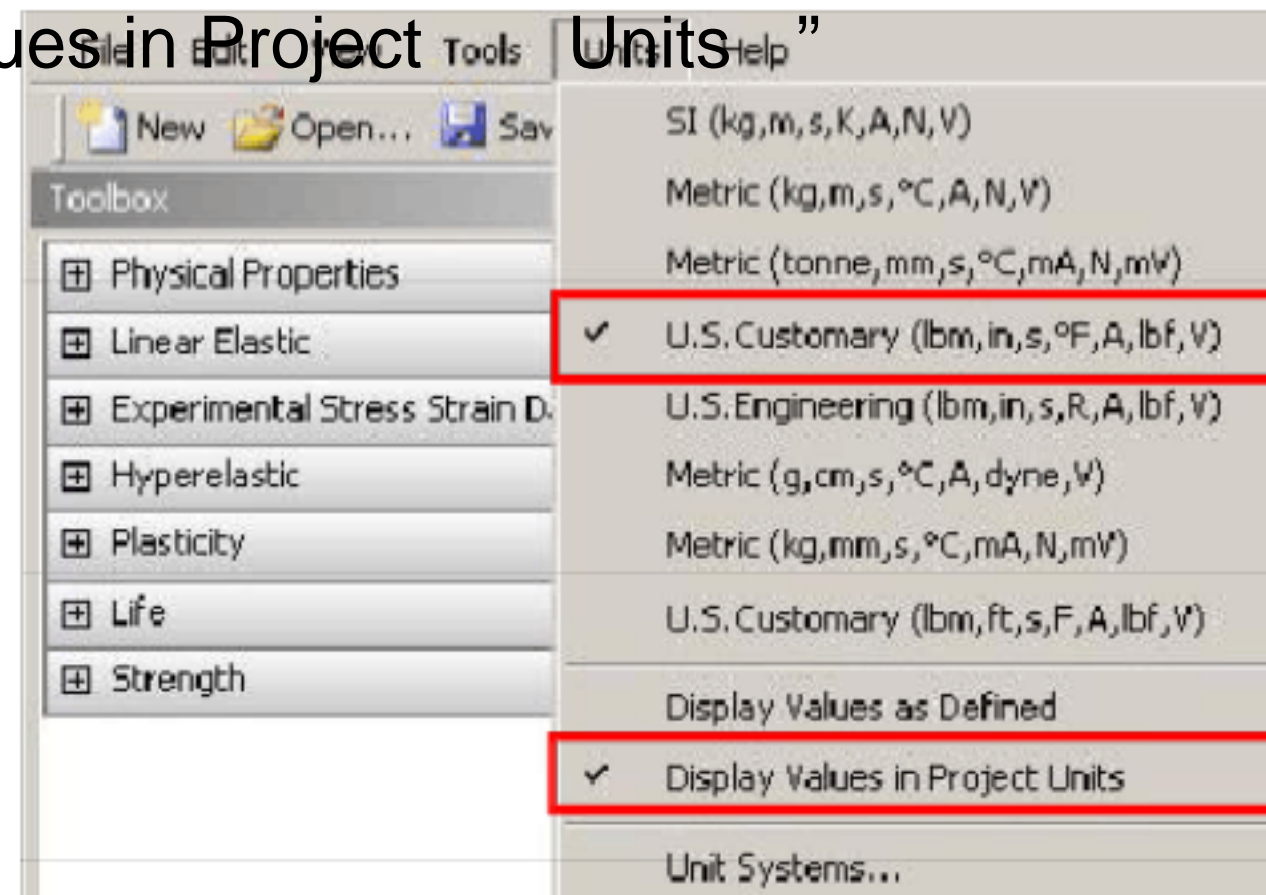


## 作业 2.1 – Project Schematic

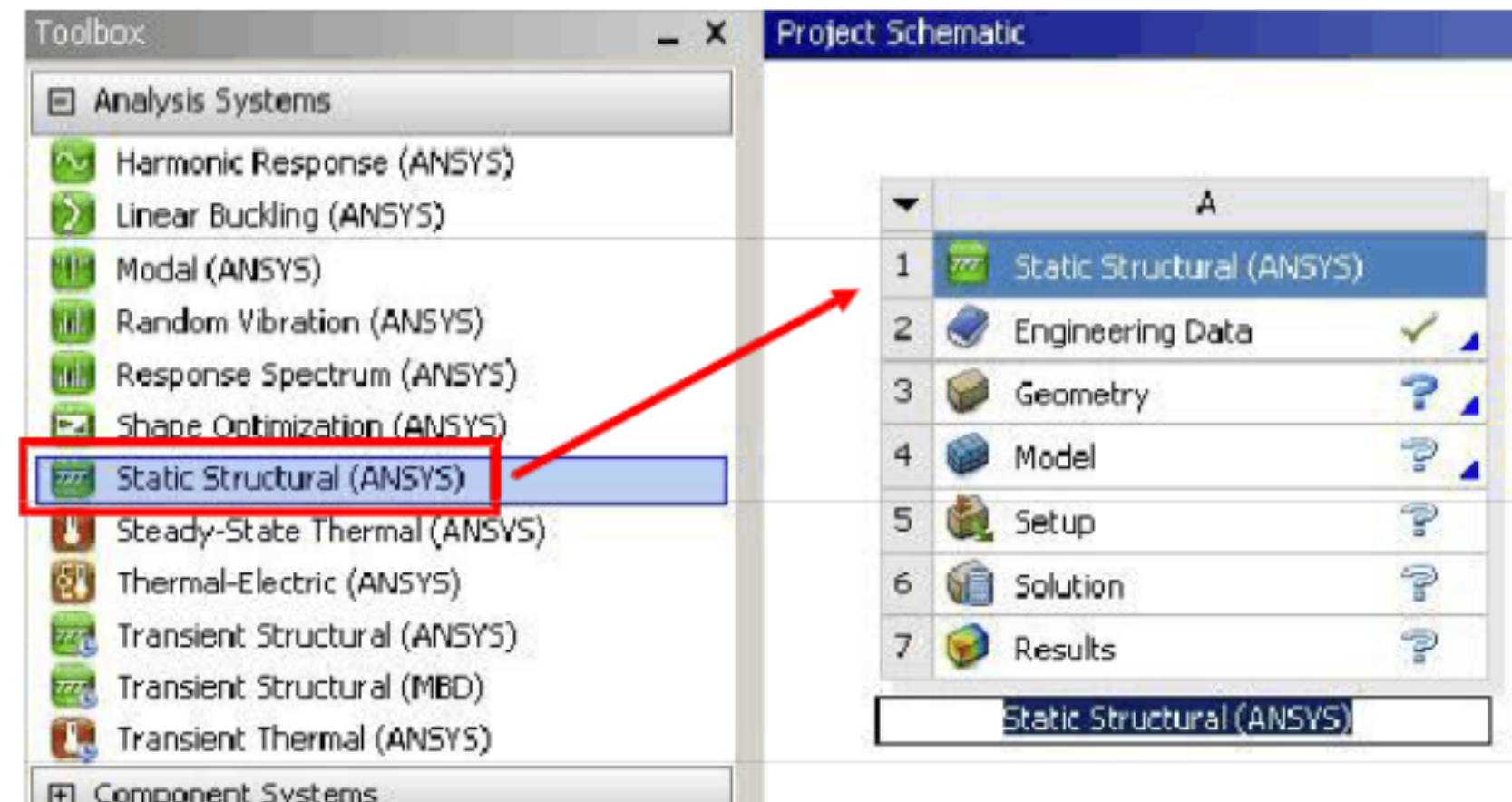
? 打开 Project page （项目页）

? 在 Units 菜单中确定：

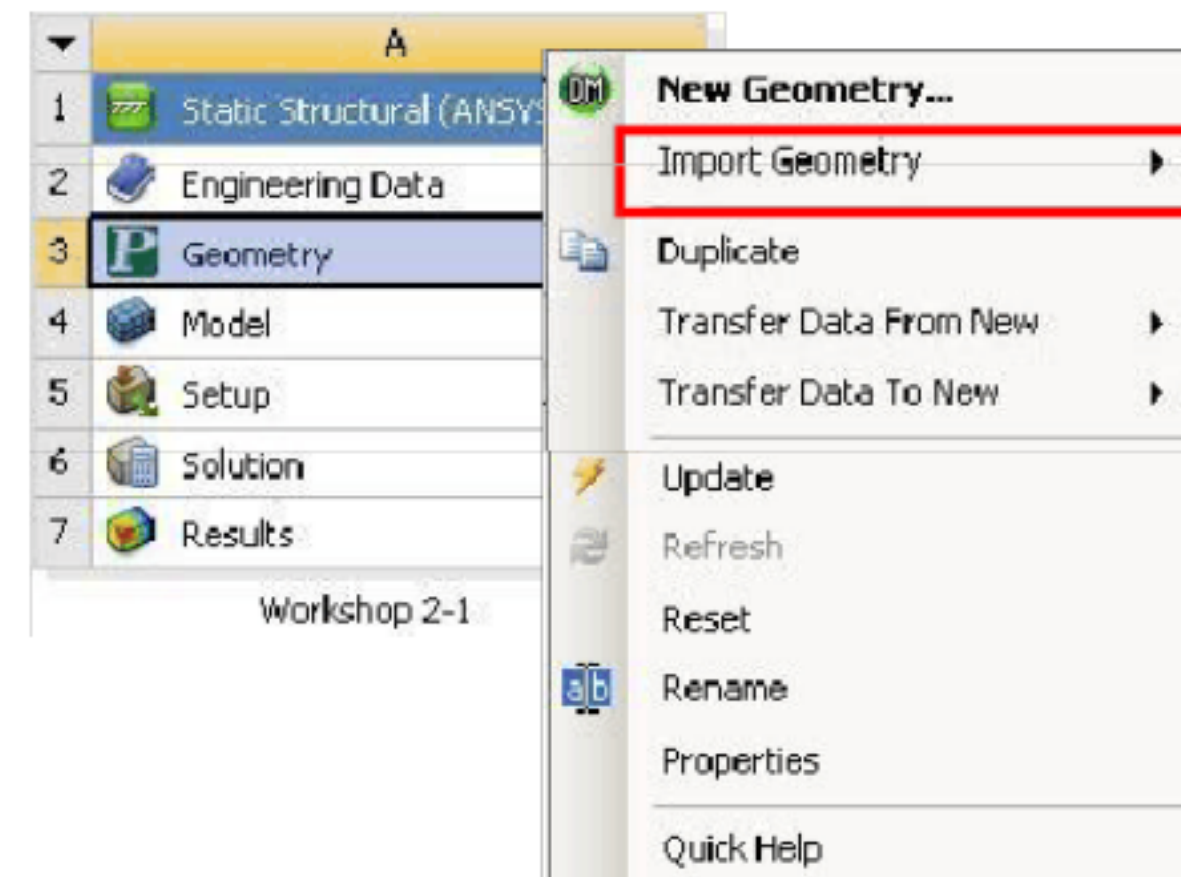
- Project 单位设为 US Customary (lbm, in, s, F, A, lbf, V).
- 选择 “ Display Values in Project Units ”



1. 在 Toolbox 中建立一个 Static Structural 系统（通过拖放或点击鼠标右键选择）

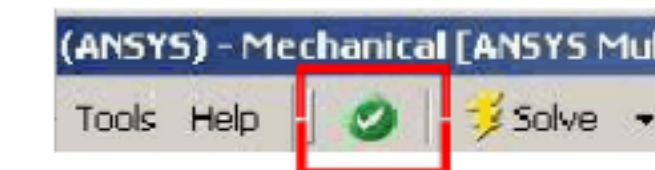
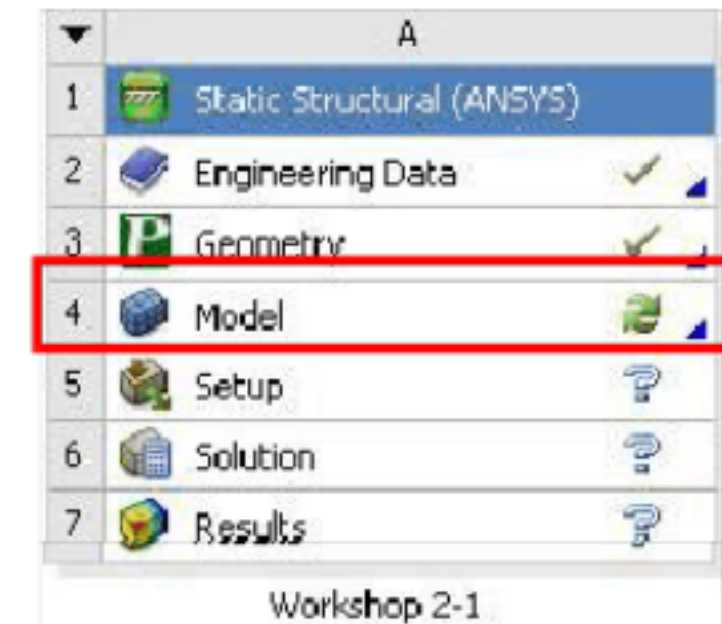
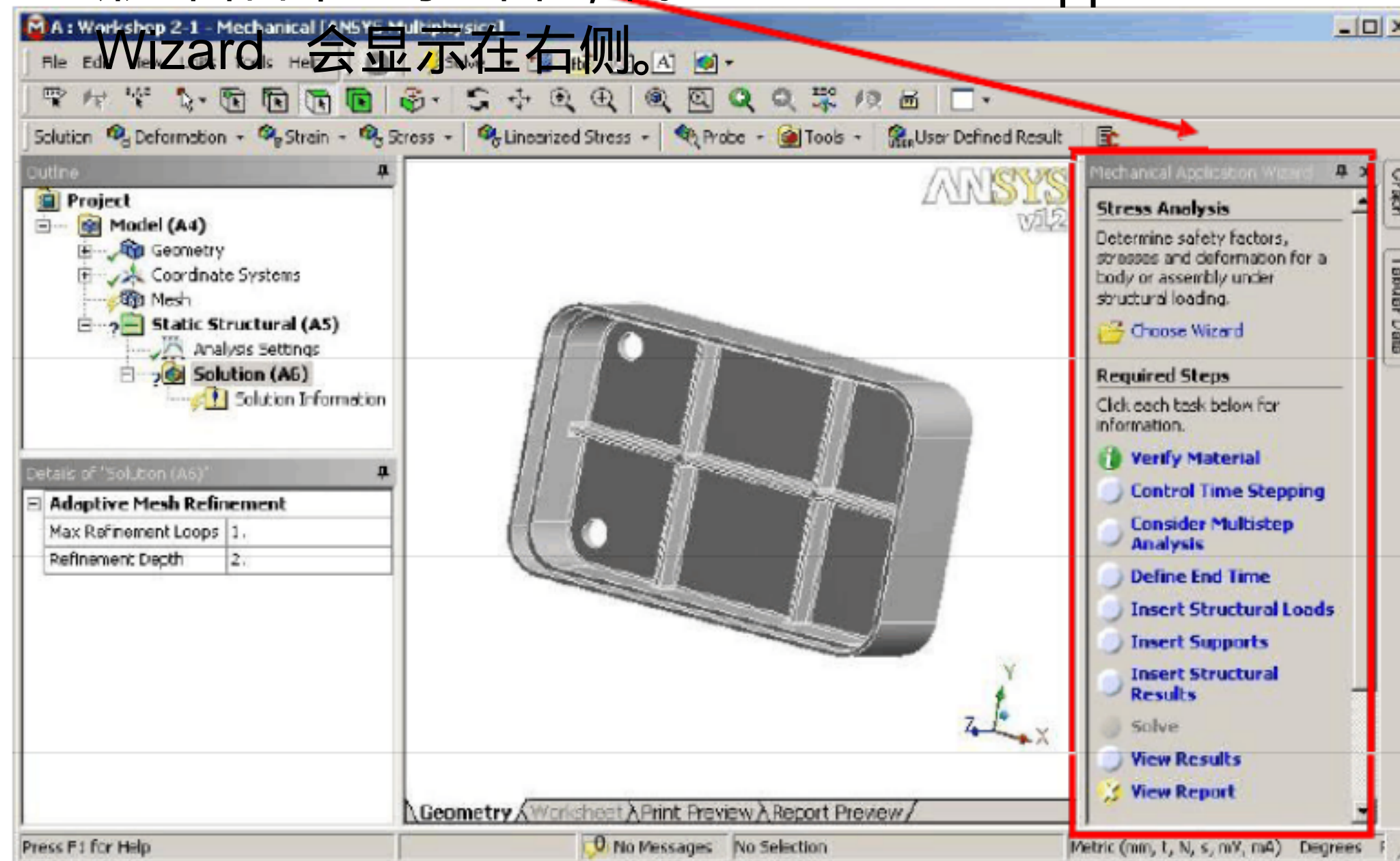


2. 在 Geometry 子模块上点击鼠标右键选择 Import Geometry，选择导入“Cap\_fillet.x\_t”文件





3. 双击 Model 打开 Mechanical application.
4. 当 Mechanical application 打开模型时，会在图形窗口中显示出来，而 Mechanical Application Wizard 会显示在右侧。

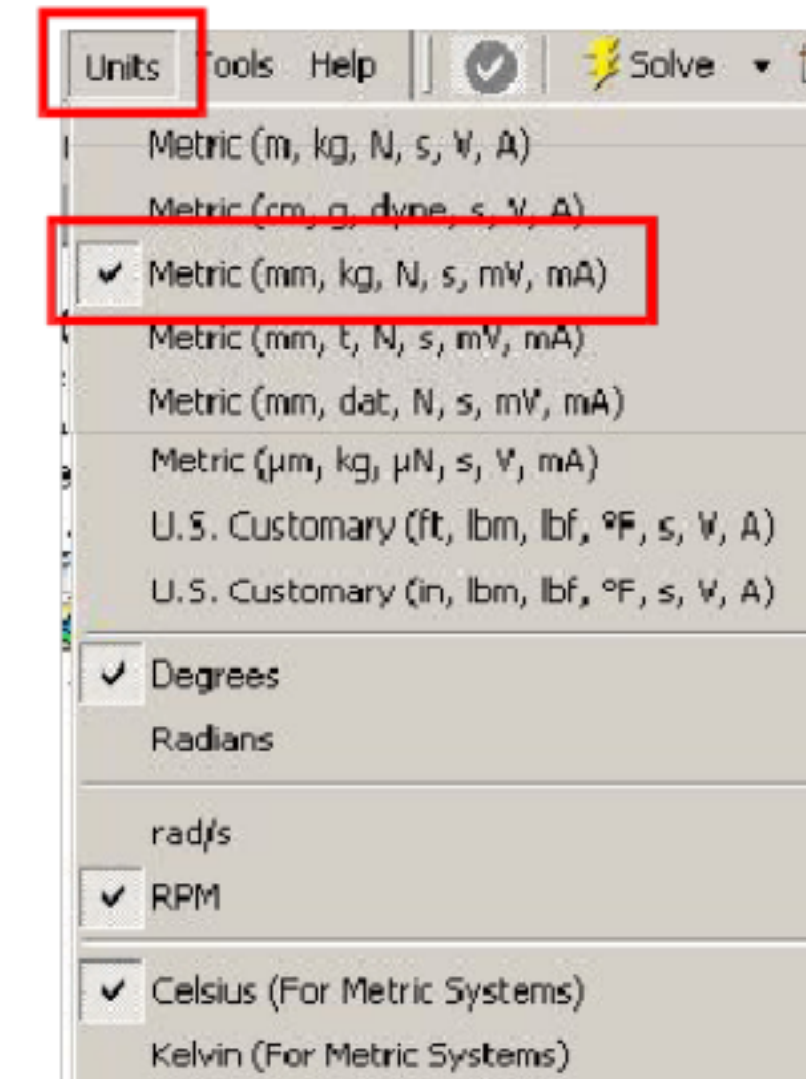


当 Mechanical 开始时而 Wizard 没有显示，则通过图标打开它。



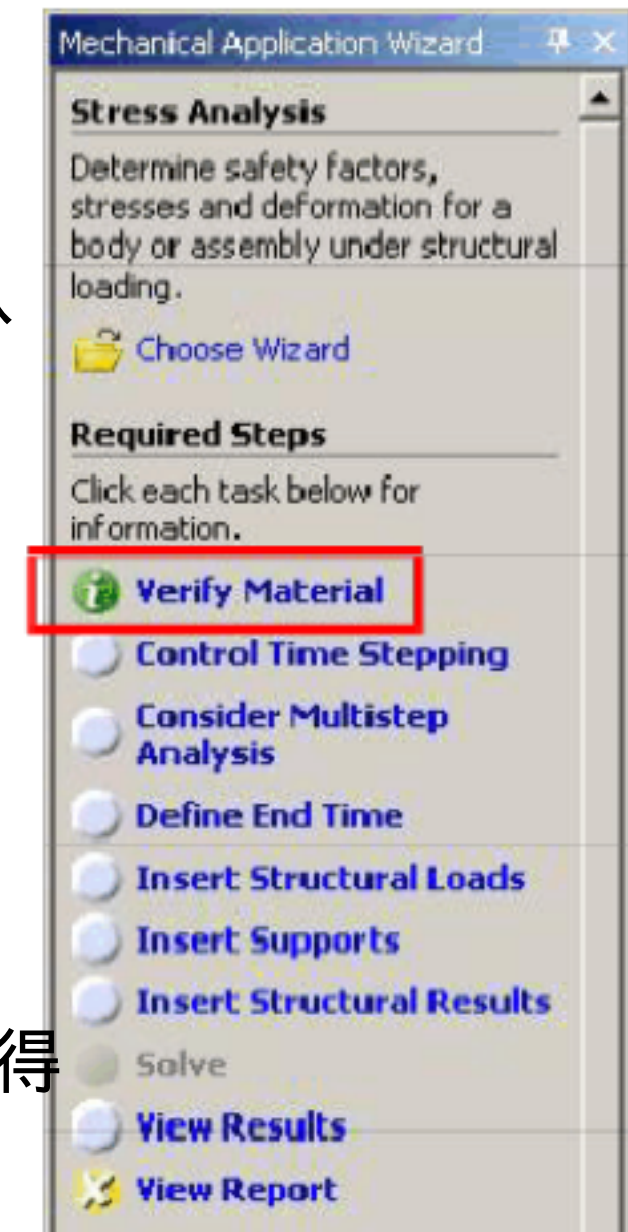
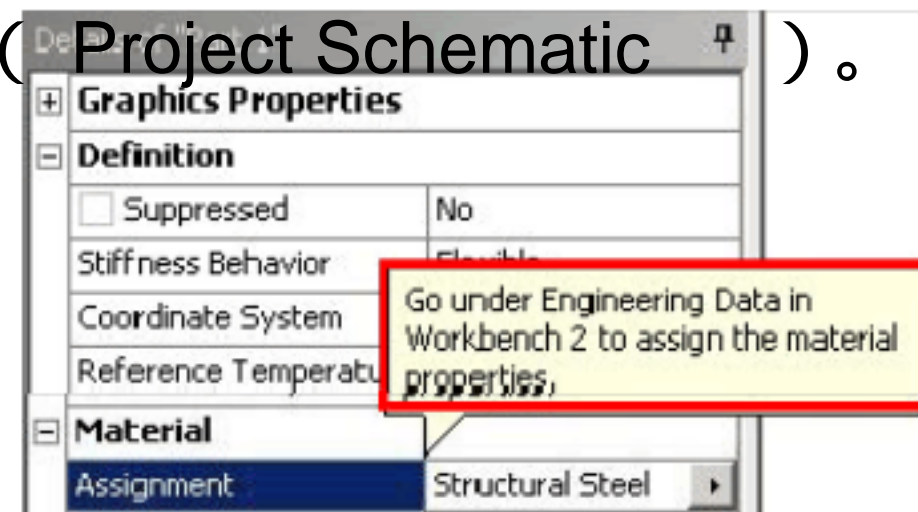
## 5. 设置单位系统：

? 在主菜单中选择 Units > Metric (mm, kg, N, s, mV, mA).



6. 为部件选择一个合适的材料：

- 在 Mechanical Wizard 选择 “Verify Material”
- 请注意标注框中显示的 Engineering Data （工程数据），是从 WB2 中得到的（Project Schematic）。



- 返回到 Project schematic 窗口并双击 “Engineering Data” 得到它的材料特性

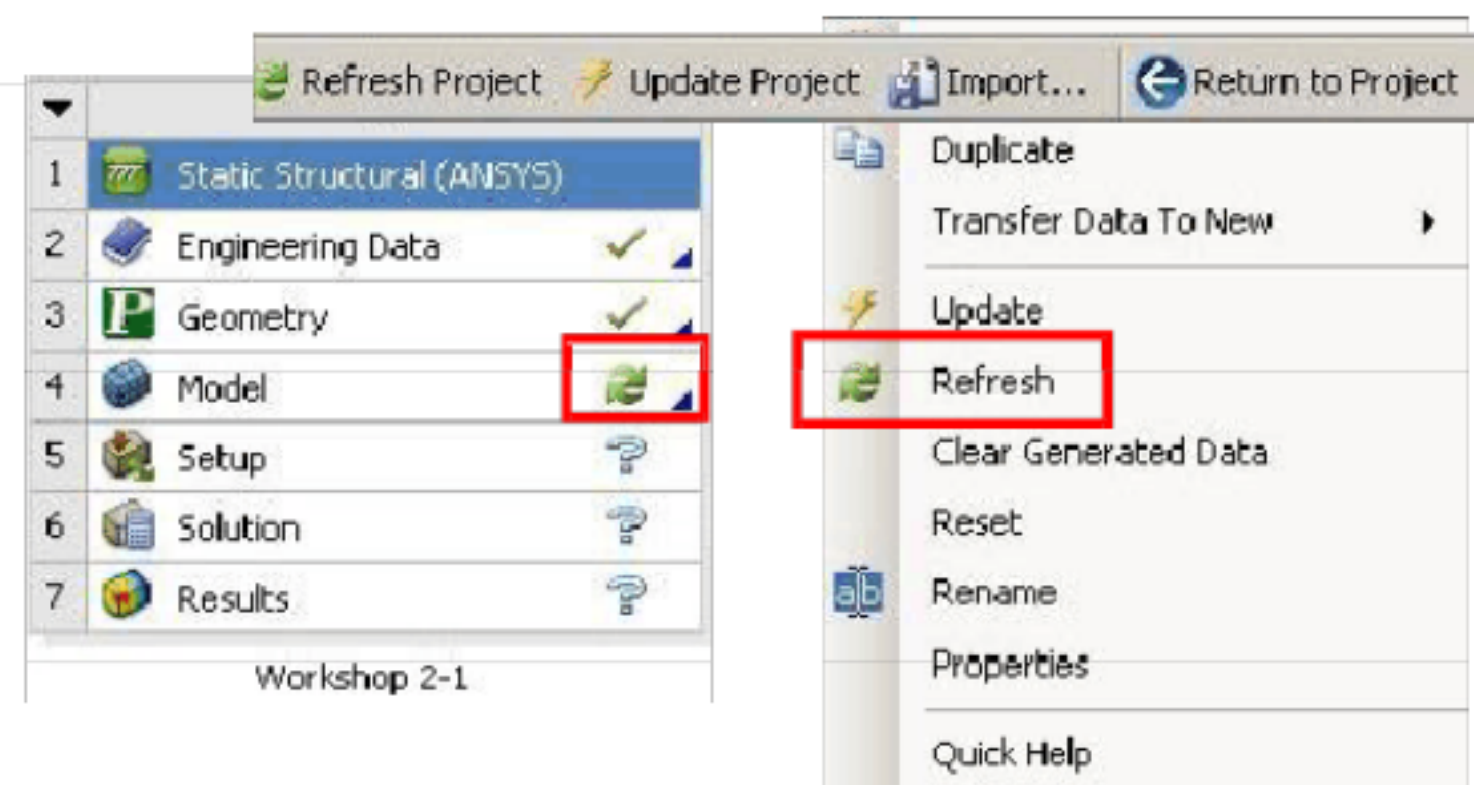
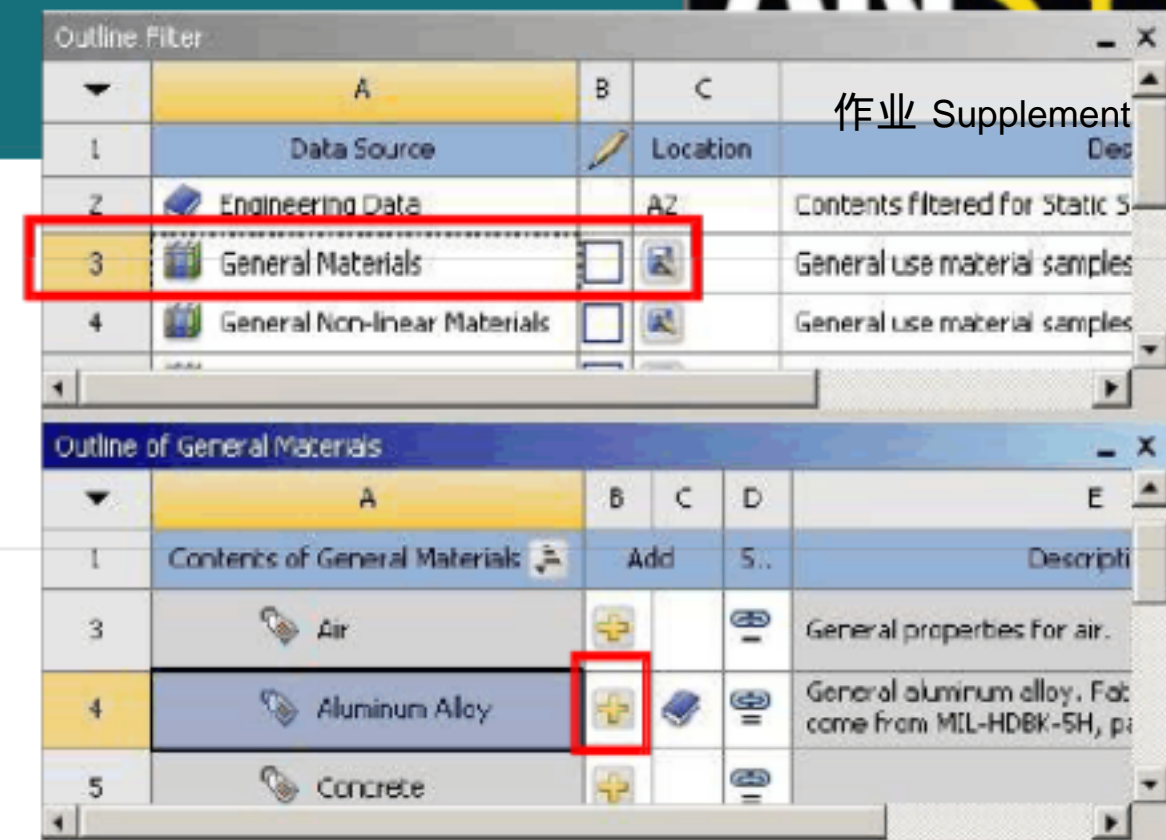


7. 作业 Supplemental 点亮的同时点击 “Aluminum Alloy” 旁边的 “+” 将这个材料添加到当前项目。

8. 返回到 Project (项目)

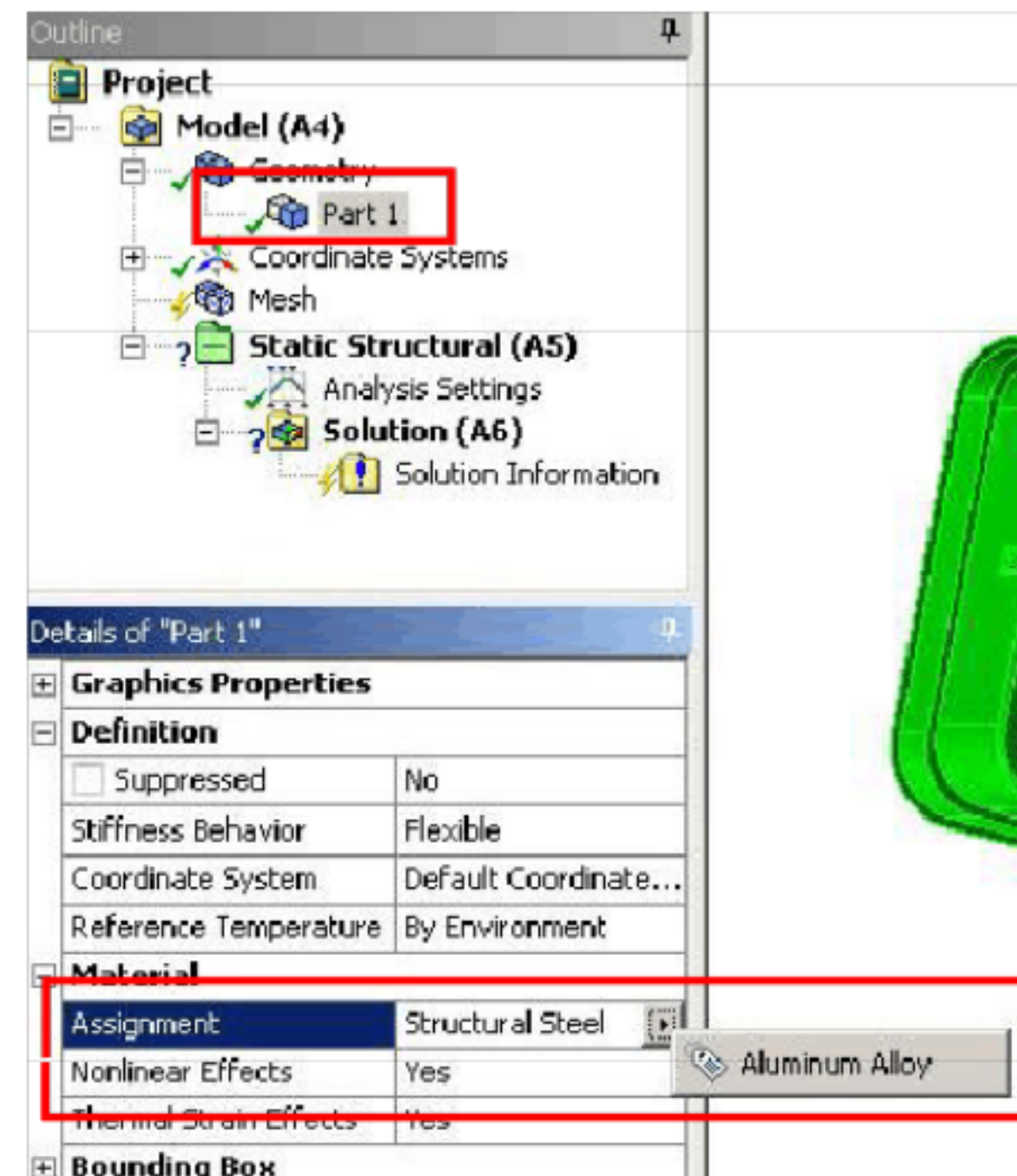
? 请注意 Model 模块指出需要进行一次刷新。

9. 刷新 Model cell (点击鼠标右键选择)



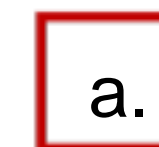
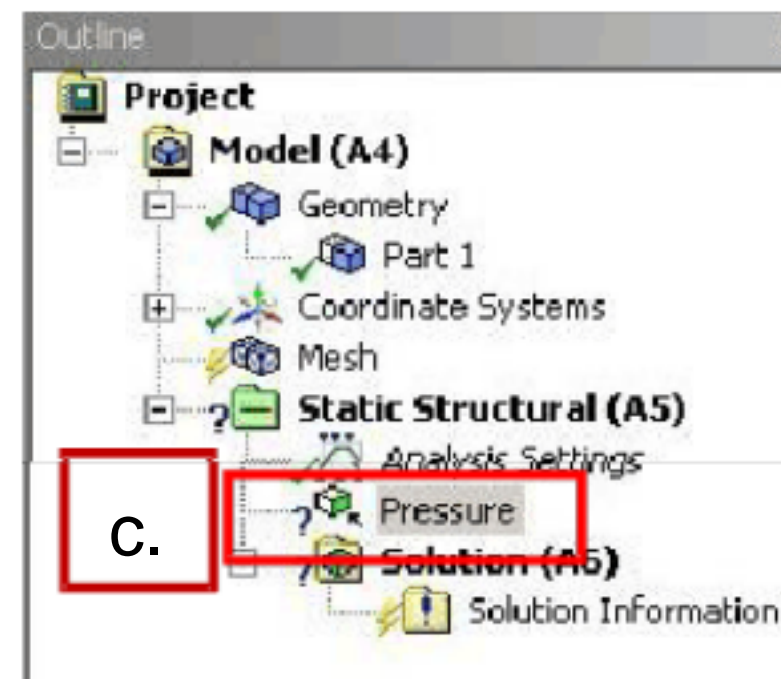


10. 点亮 “ Part 1 ” 并选择 “ Material > Assignment ” 栏来改变铝合金的材料特性。



## 11. 插入载荷：

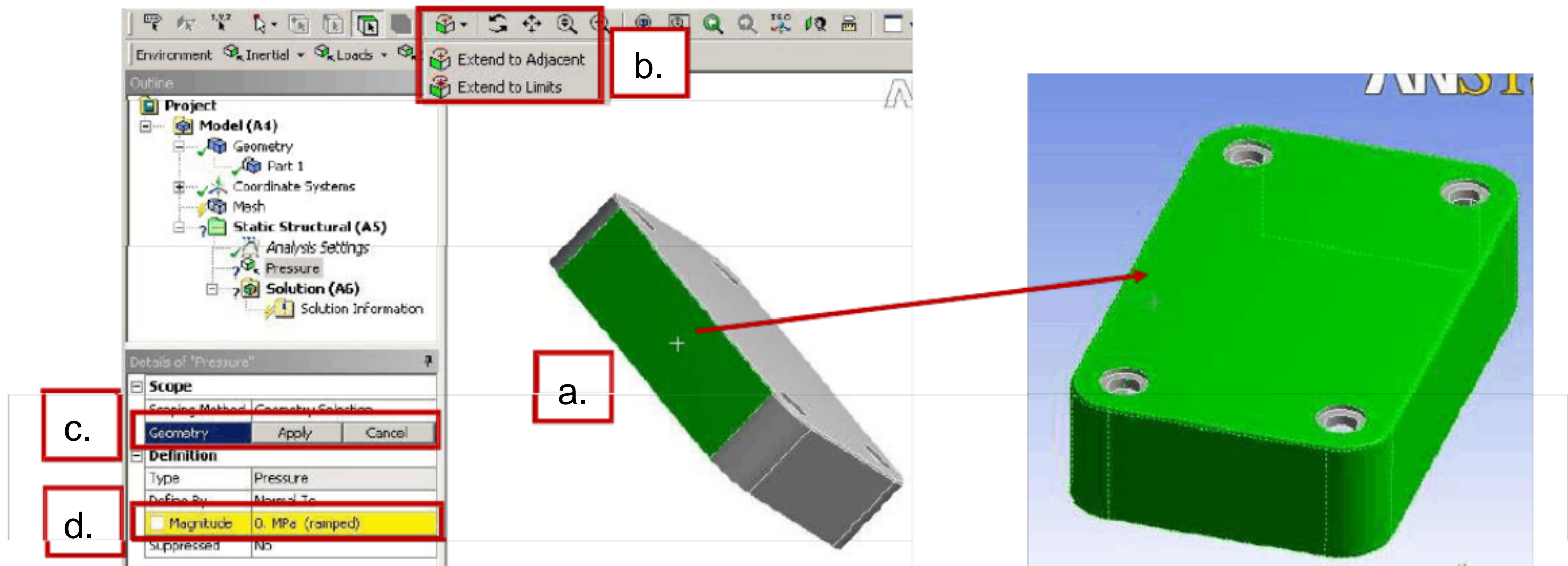
- 在 Wizard 中选择 “Insert Structural Loads”
- 按照提示框来插入一个 “Pressure” (压力载荷)
- 在 “Static Structural” 中将出现一个 Pressure 选项



## ... 作业 2.1 - 前处理

## 12. 施加载荷到几何模型上：

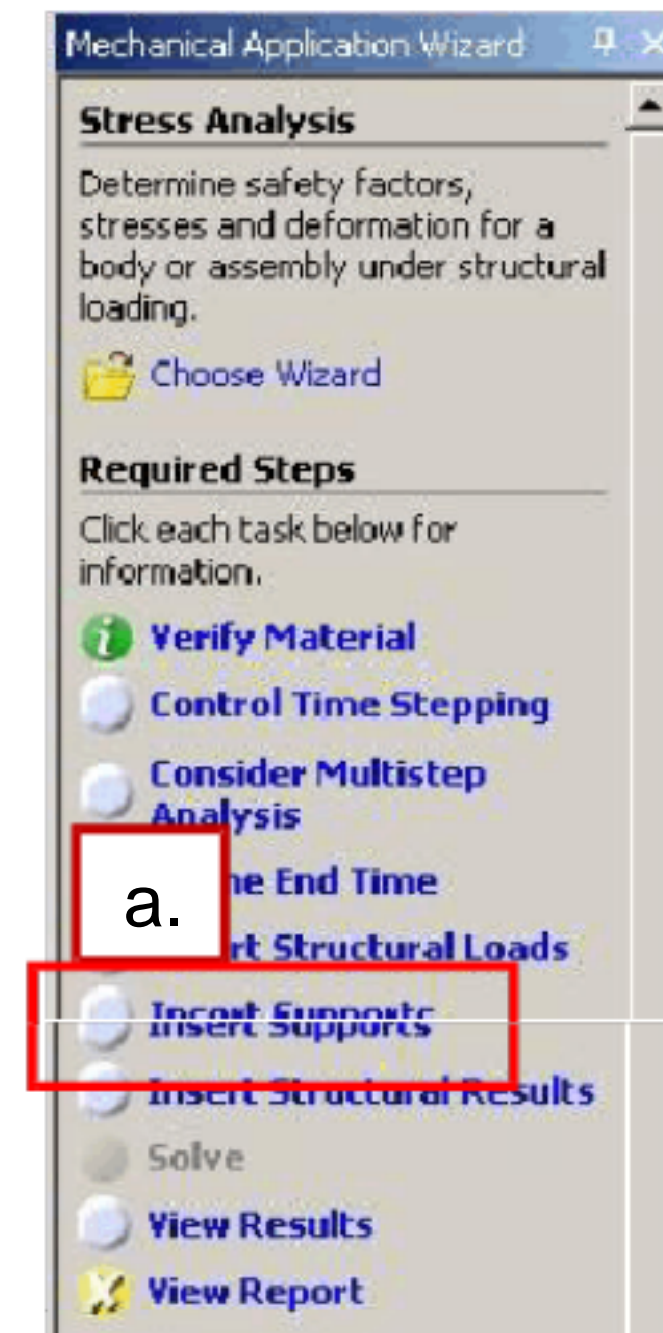
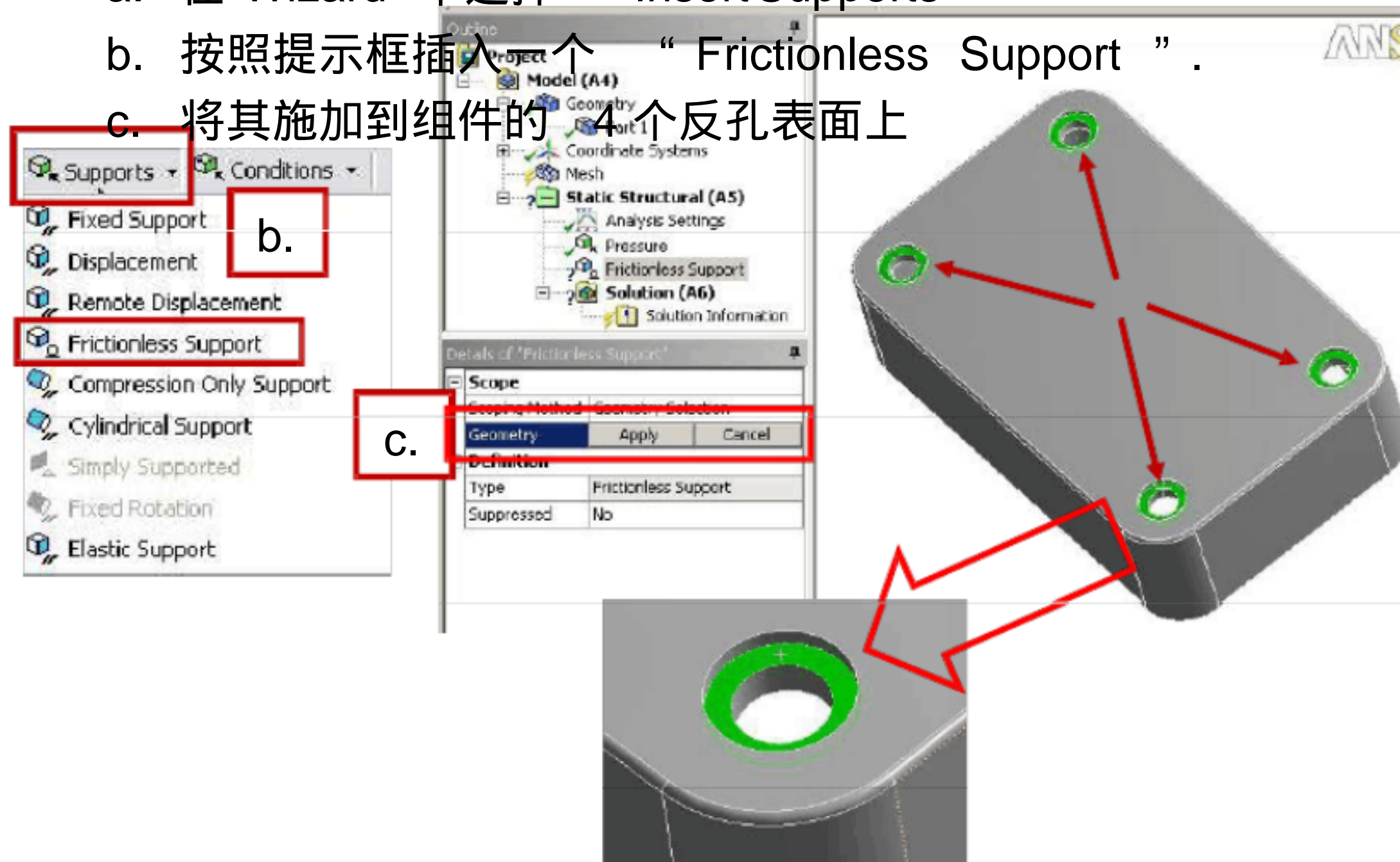
- 选择部件的一个外表面
- 通过 Extend to Limits 图表选择余下的 16 个表面（共选择了 17 个面）
- 点击 “Apply”
- 在 “Magnitude” 中输入 1MPa.





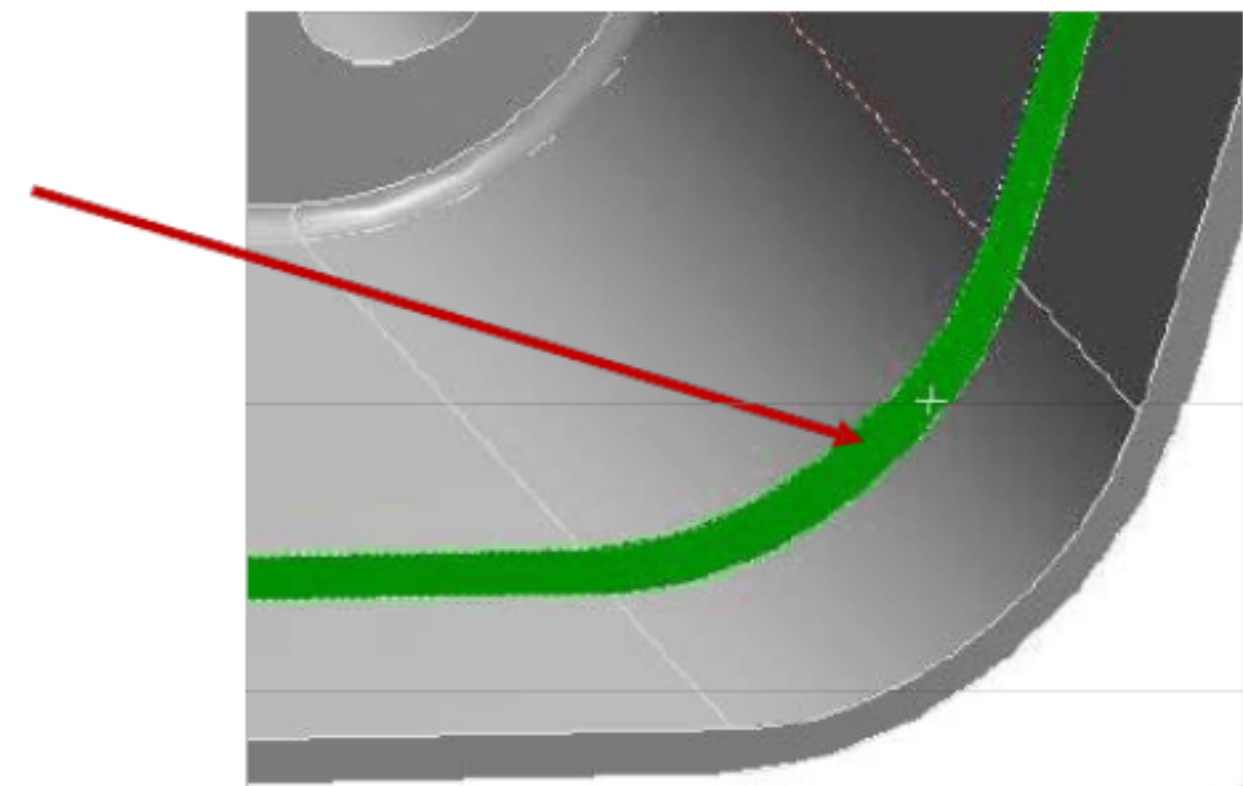
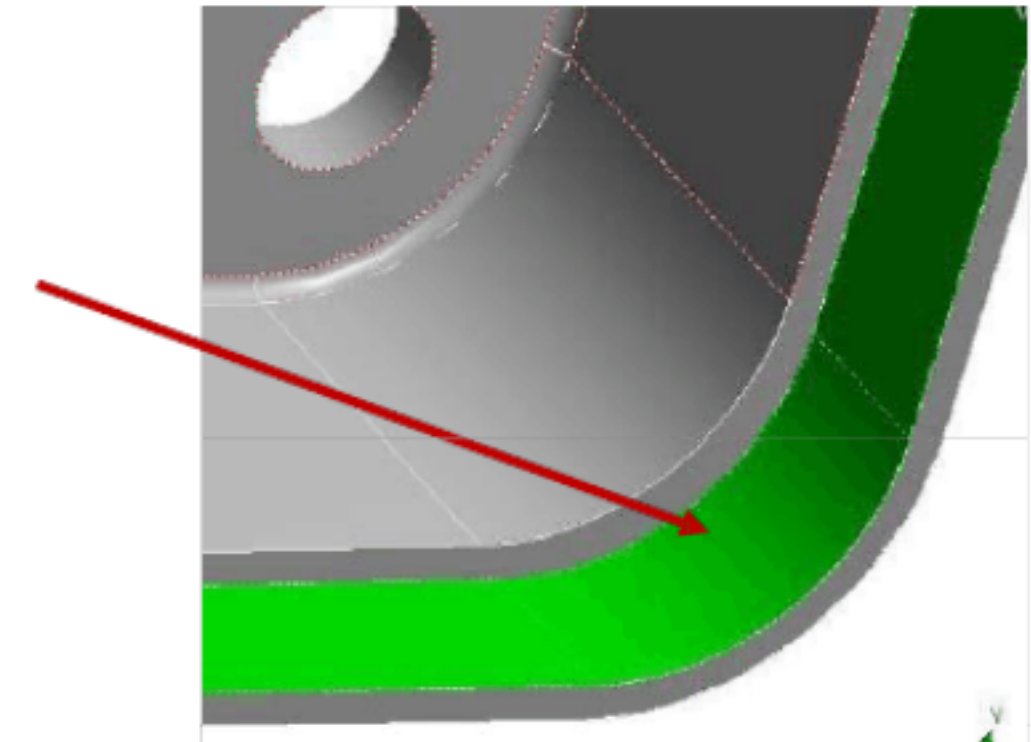
## 13. 给部件施加约束：

- 在 Wizard 中选择 “Insert Supports”
- 按照提示框插入一个 “Frictionless Support”。
- 将其施加到组件的 4 个反孔表面上



## ... 作业 2.1 - 前处理

14. 重复步骤 13.a 和 13.b , 将 “ Frictionless Support ” ( 无摩擦约束 ) 施加到底部隐窝的内表面上 ( 在选择了其中一个内表面后使用 extend to limits 选择其它面 ) 。
15. 重复步骤 13.a 和 13.b , 将 “ Frictionless Support ” ( 无摩擦约束 ) 施加到底部凹进去的刃面上。

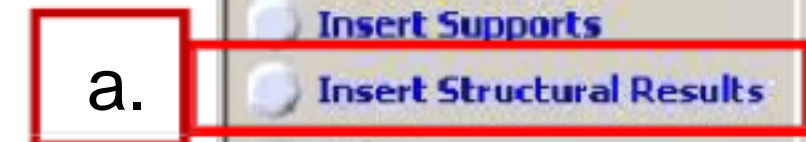
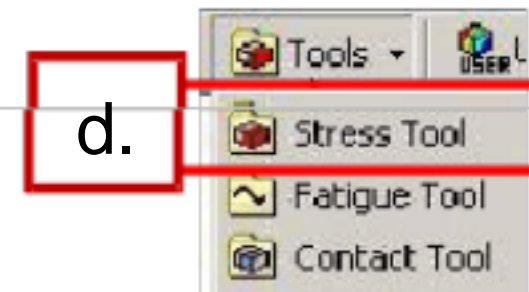
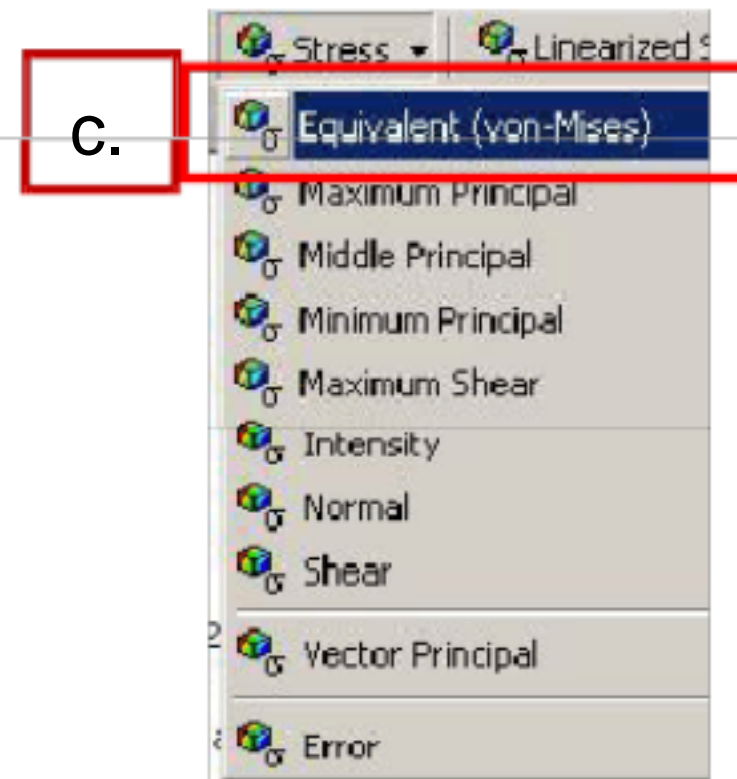
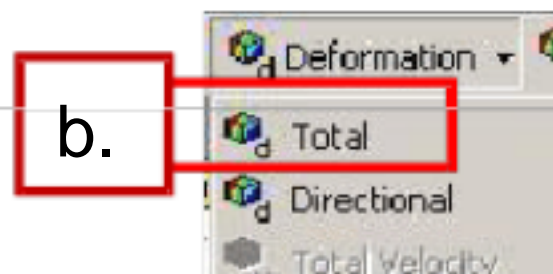
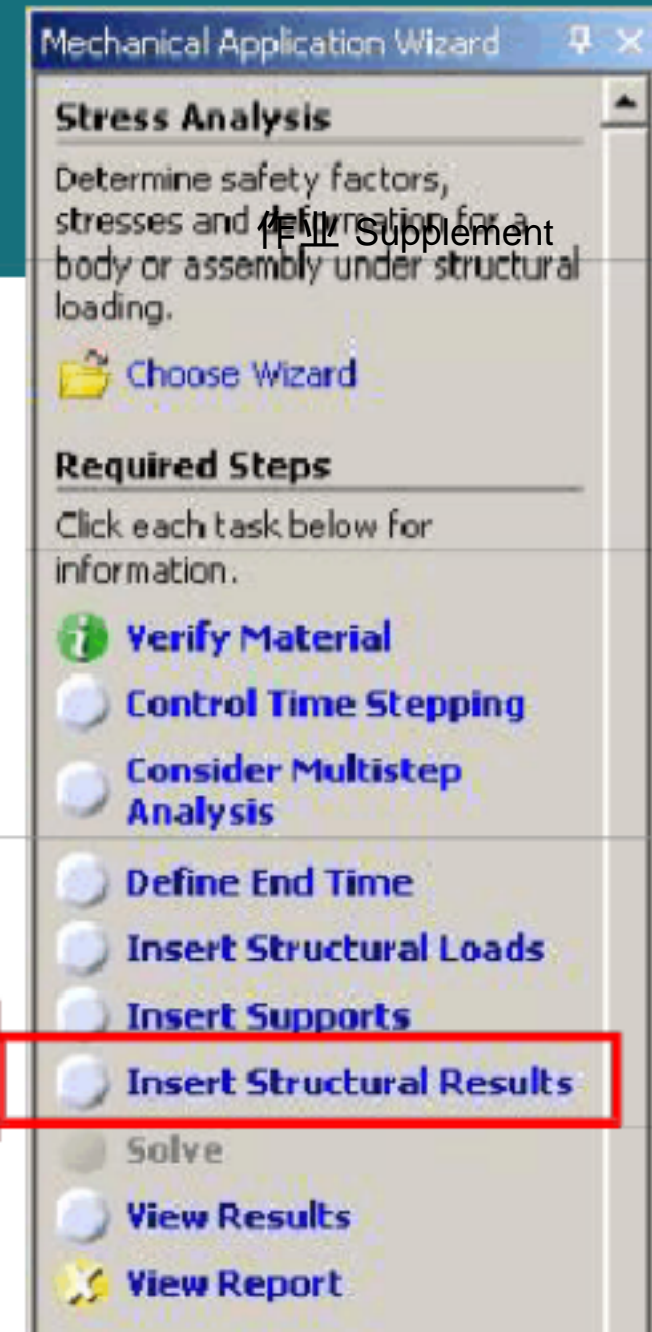




W16.1在Mechanical Wizard 中要求：

... 作业 2.1 - 前处理  
插入 Structural Results (结构结果) (提示使用 Solution toolbar)

- b) Deformation > Total.
- c) Stress > Equivalent (von-Mises).
- d) Tools > Stress Tool.



注意 Stress Tool detail 允许 4 个不同的配置 (后面解释)。 本作业我们定义为  
Max Equivalent Stress "theory (最大等效应力理论) 。

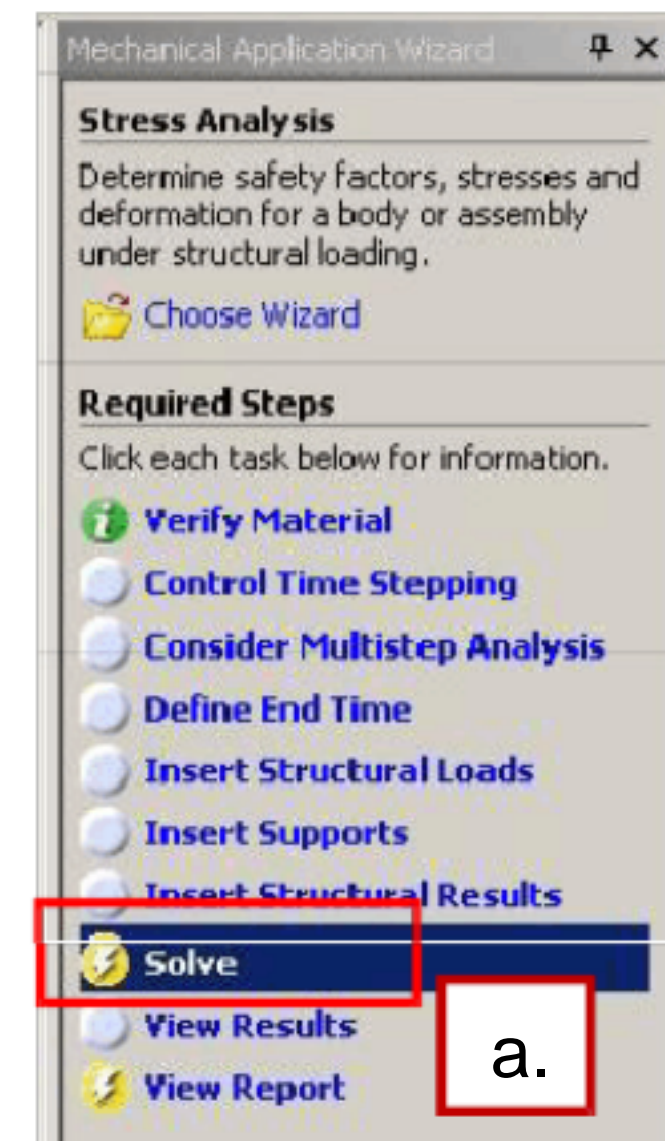
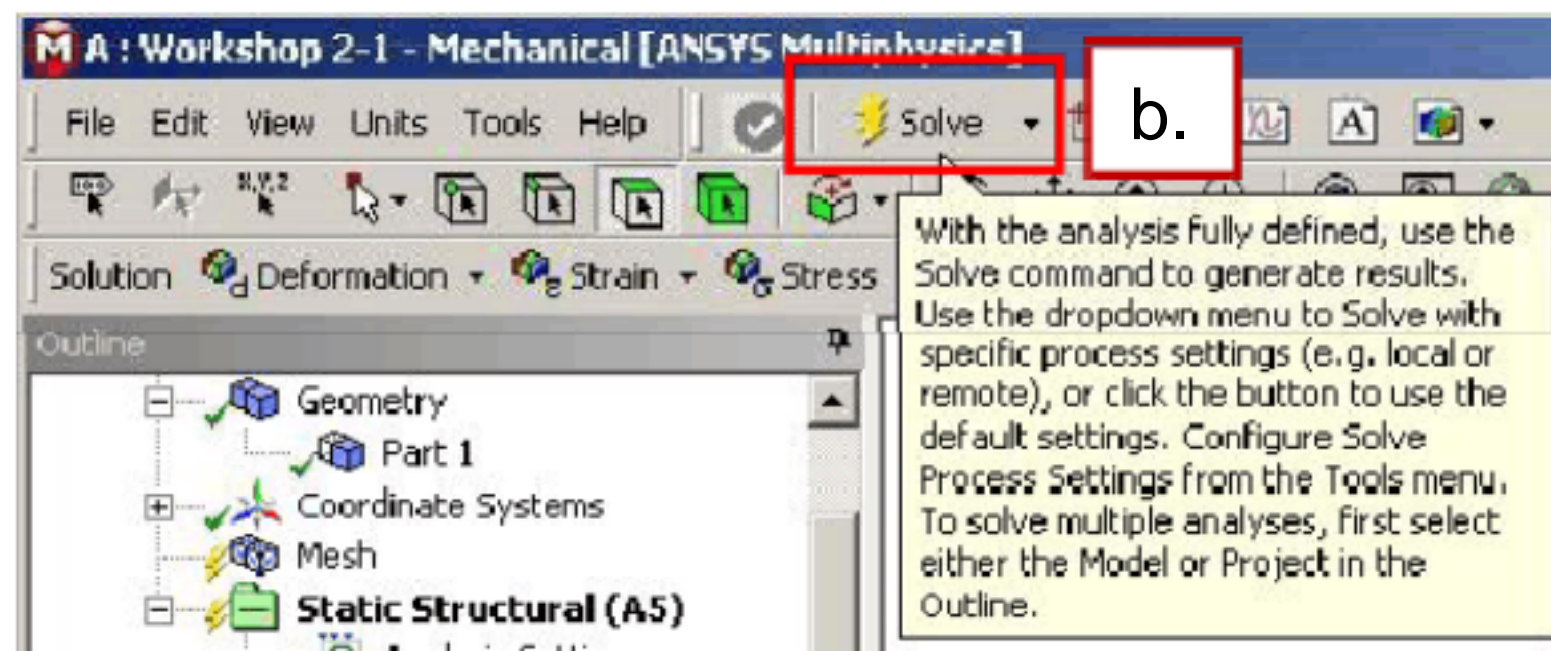
“

| Details of "Stress Tool" |                            |
|--------------------------|----------------------------|
| Definition               |                            |
| Theory                   | Max Equivalent Stress      |
| Stress Limit Type        | Tensile Yield Per Material |



## 17. 求解模型：

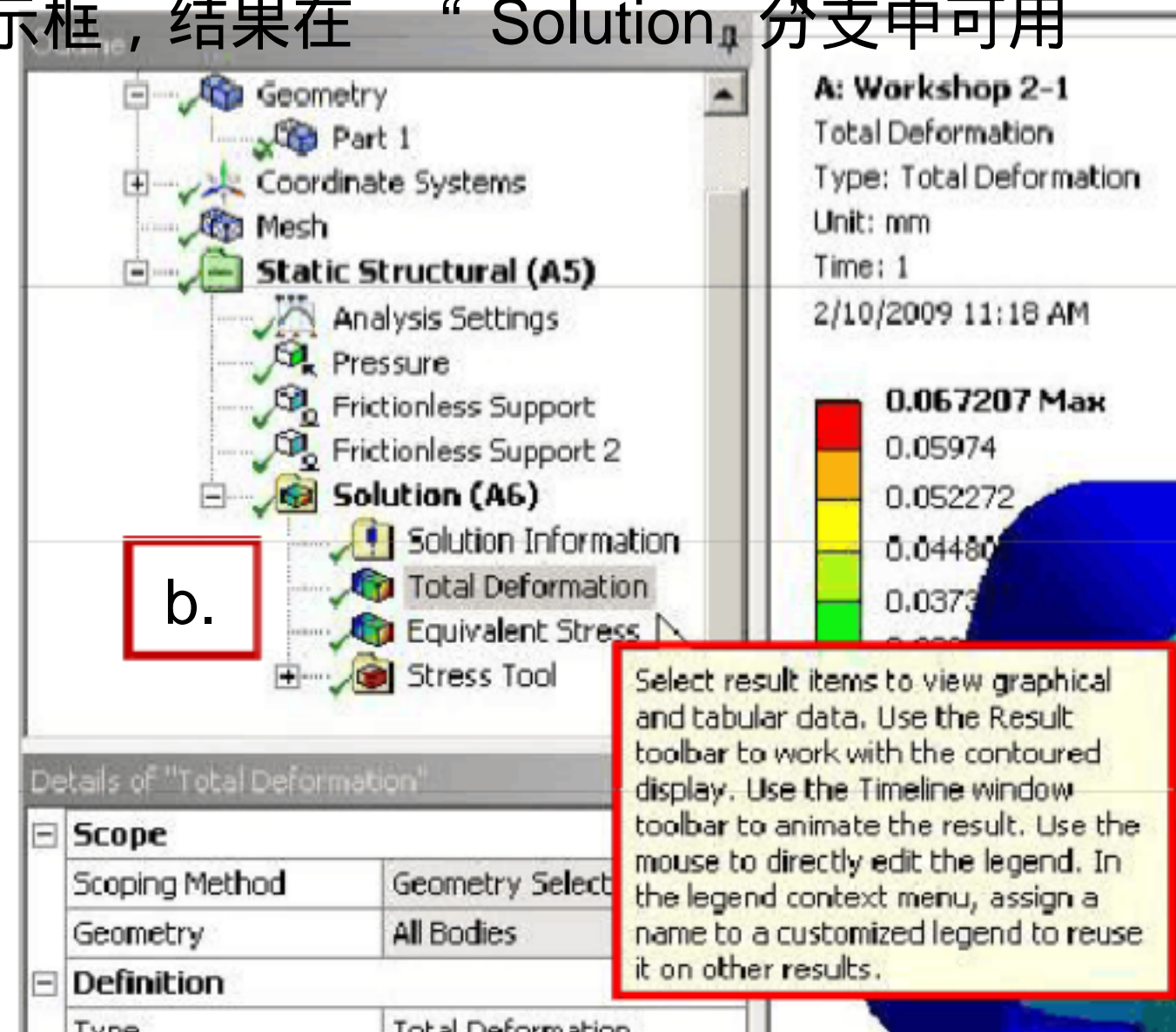
- 在 Wizard 中选择 “ Solve ”
- 按照提示点击 “ Solve ” .



? 注意在 Wizard 中不管怎样点击 “ Solve ” 也不会自动启动求解模型，而是给出一个 “ solve 图标。相反，应该通过 “ outline 的任何分支上点击右键选择 “ solve ”

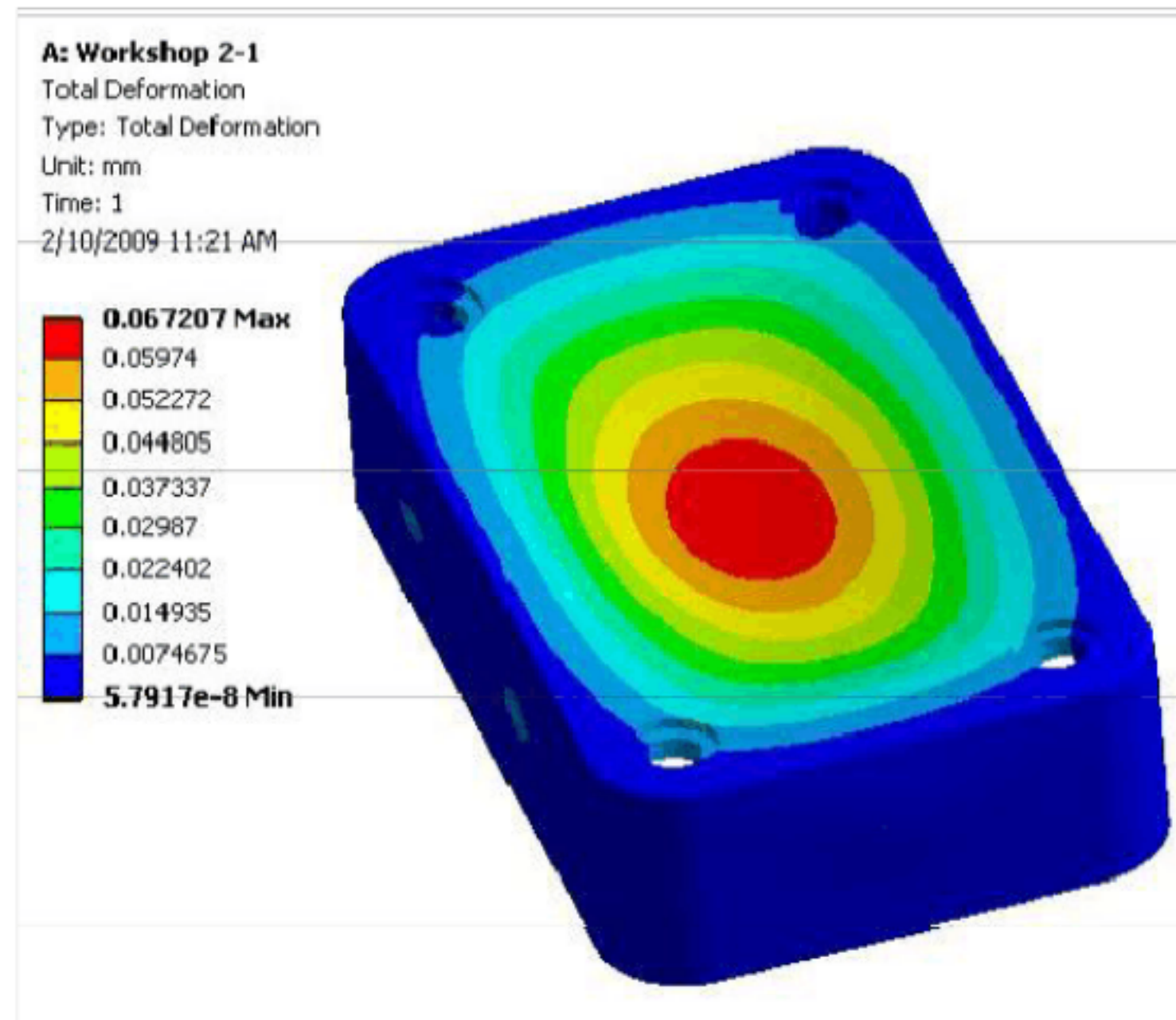
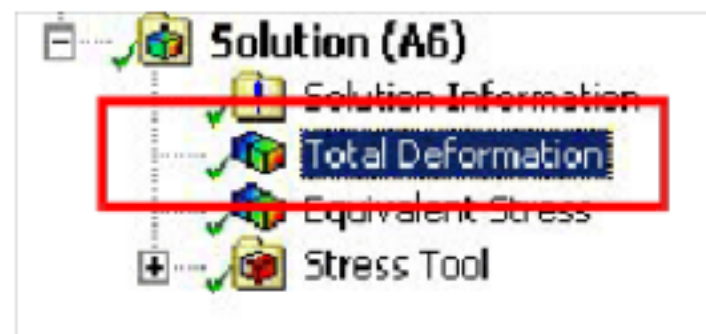
## 18. 查看结果：

- 在 Wizard 中点击 “View Results”
- 按照提示框，结果在 “Solution” 分支中可用



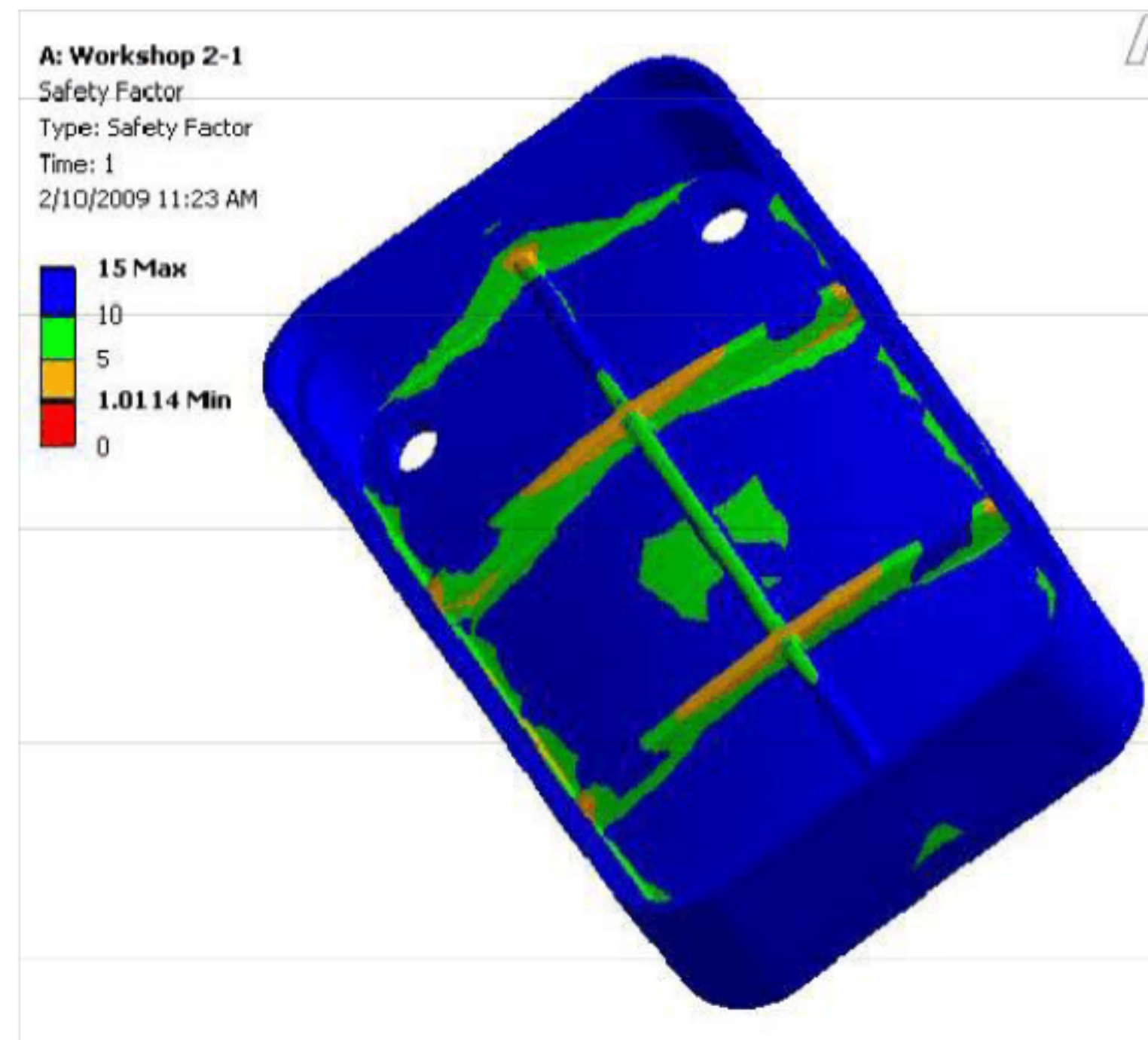


? 绘制模型的变形图，常在 structural analysis （结构分析中）提供了真实变形结果显示。检查变形的一般特性（方向和大小）可以避免建模步骤中的明显错误。常常使用动态显示。





? 在查看了应力结果后，展开 safety tool 并绘制安全因子（ safety factor ）图。注意所选失效准则给出的最小安全因子刚刚超过 1。

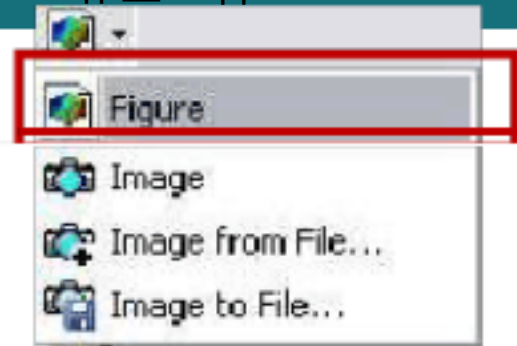


## 作业 2.1 - 报告

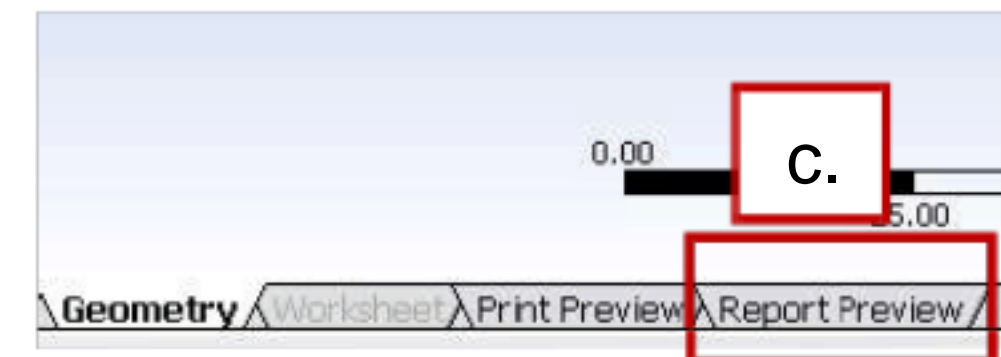
19. <sup>a.</sup> 首先选择需要放在报告中的绘图项，通过选择对应的分支和绘图方式实现（这是你的选择）
- b. 接着，从 toolbar 中插入一个 “Figure”
- c. 点击 “Report Preview” 生成报告

作业 Supplement

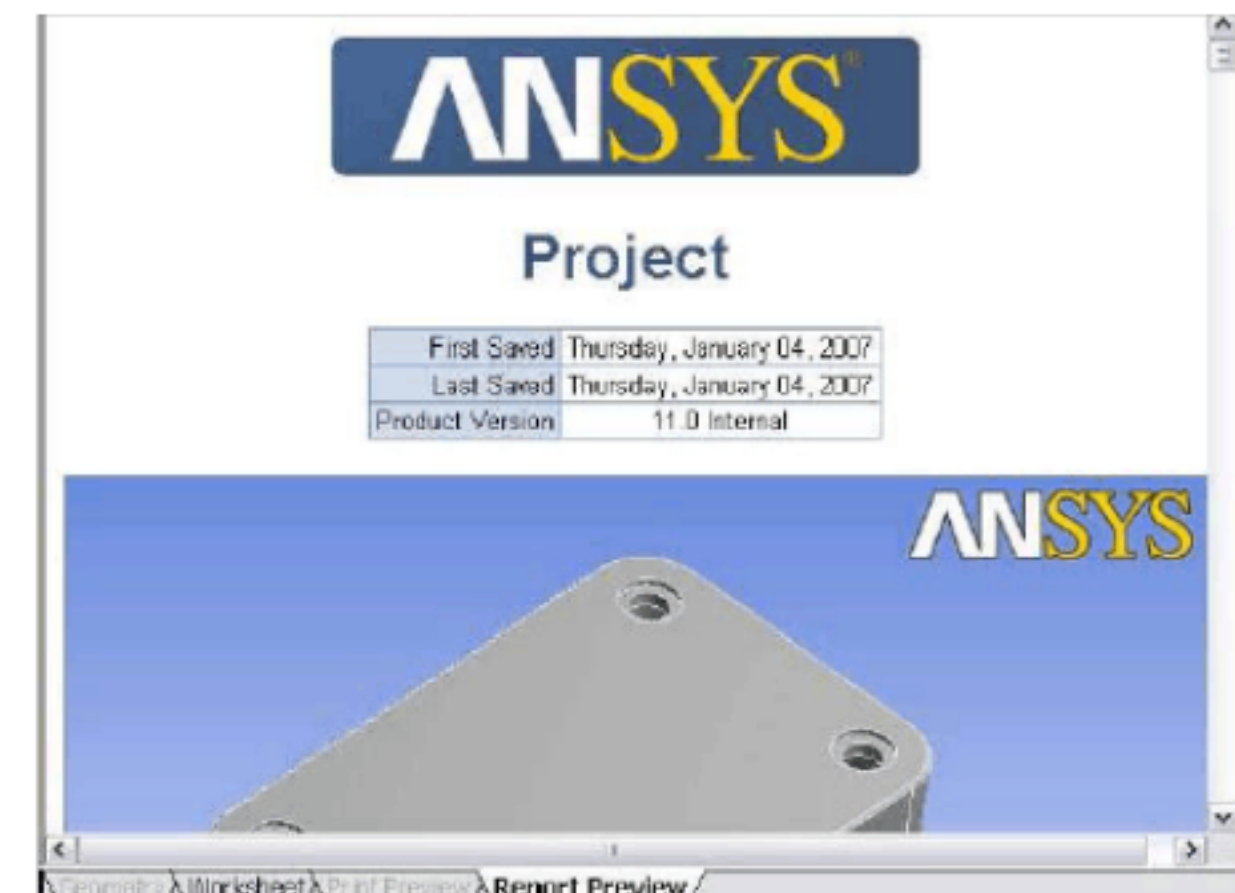
b.



c.



a.



Figures 简介：

- ? Figures 并不局限于结果。例如，添加一个 environment （环境分支）的图形，在报告中将包括模型的边界约束。
- ? Figures 是独立的。你可以建立独立的图形，并可以查看它们的方向、放大程度等，而不用考虑实际模型的方向或其它图形。
- ? 独立的分支可以包含多个 Figures （图形）。

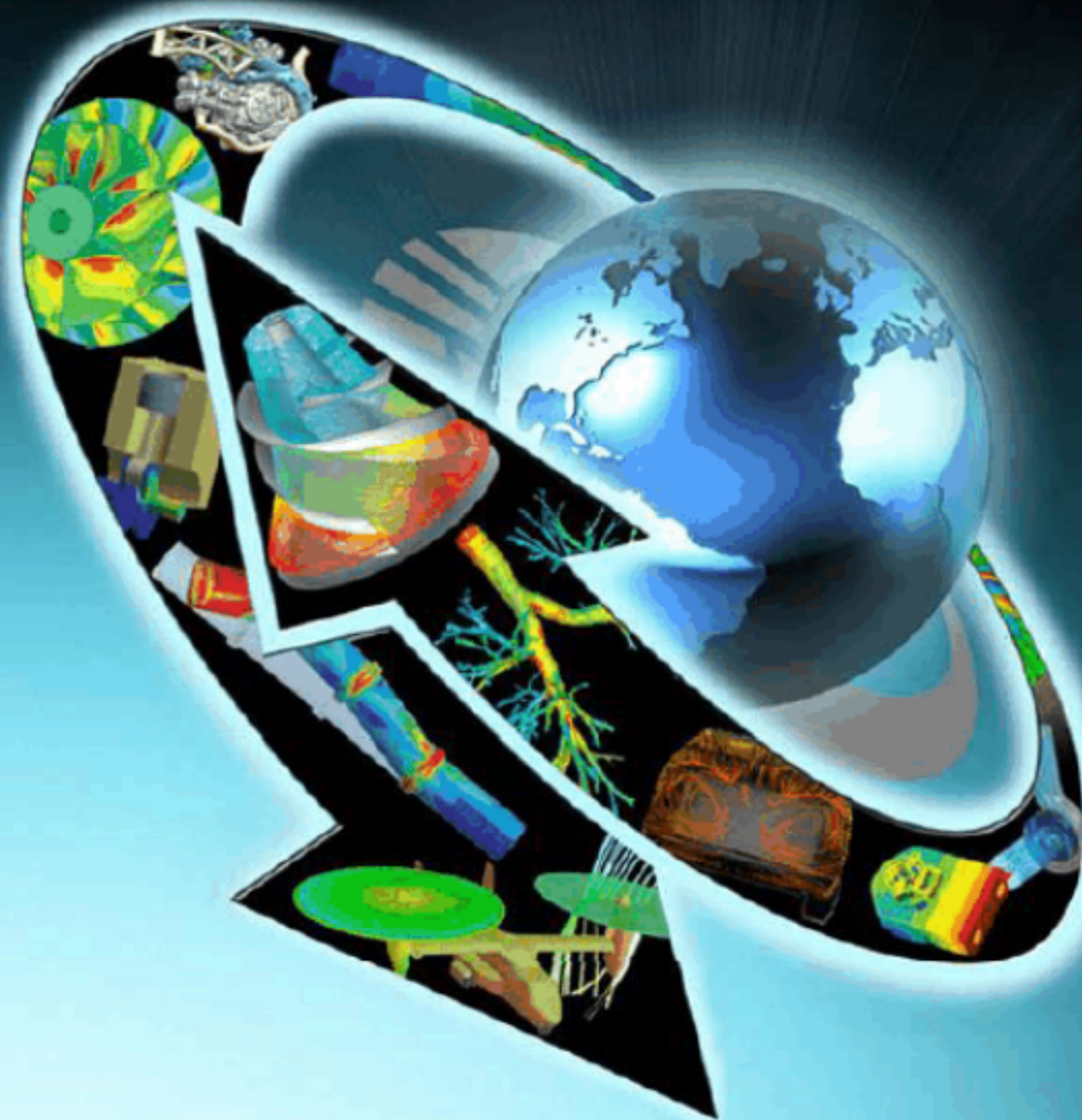




## Workbench - Mechanical Introduction

### 第三章 前

### 处理



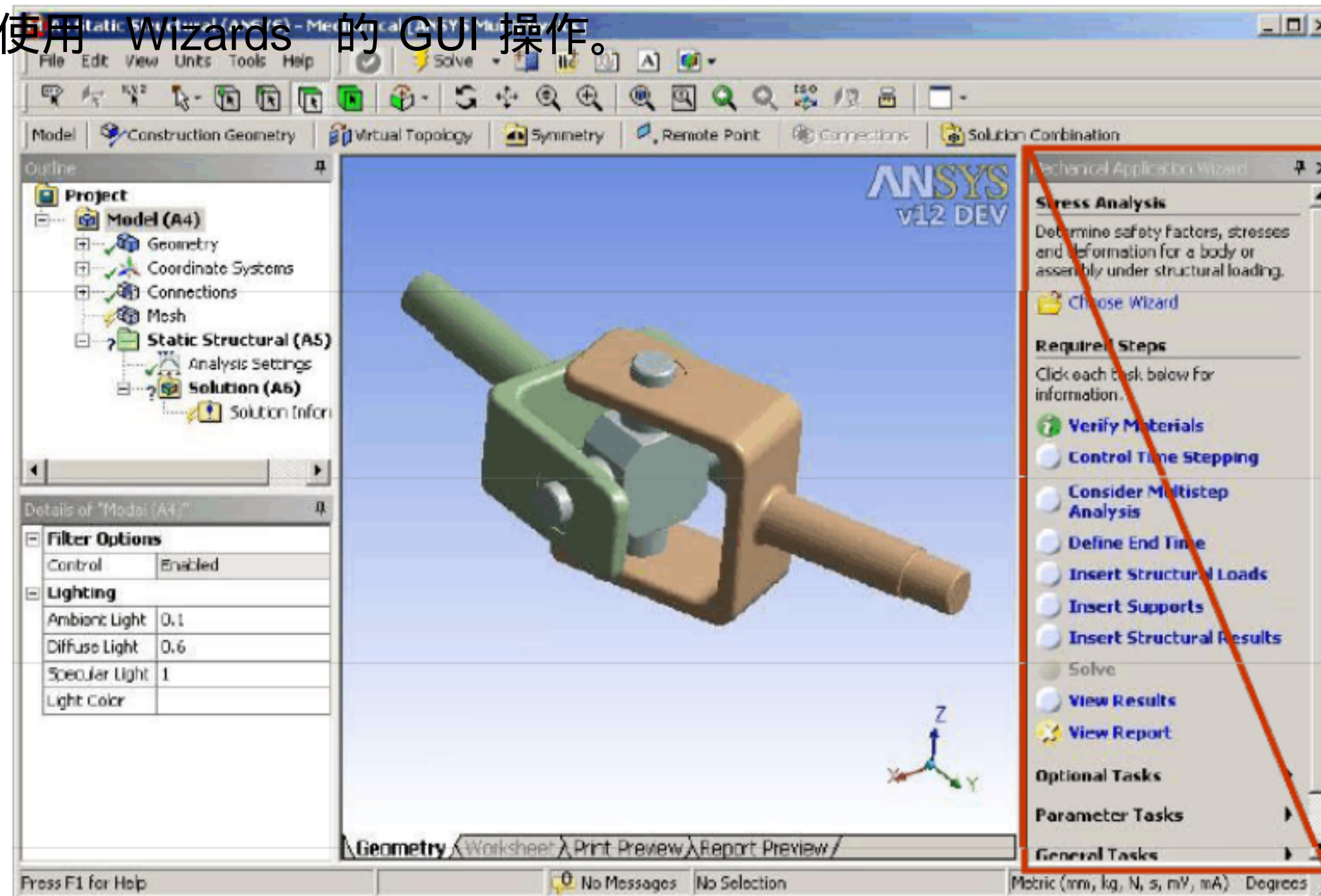


- ? 在这一章，将会涵盖不使用 Wizards 的使用特征：
- ? 内容：
  - A. 几何
  - B. 接触 3-1, “接触控制”
  - C. 接触 3-1, “接触控制”
  - D. 网格划分
  - E. 命名选择
  - F. 坐标系
  - G. 作业 3-2, “网格控制”
- ? 这一章介绍的功能会应用在 ANSYS DesignSpace Entra 和更高级的产品 的许可中。



? 上一章，通过使用 Mechanical Wizards 介绍 Mechanical GUI。

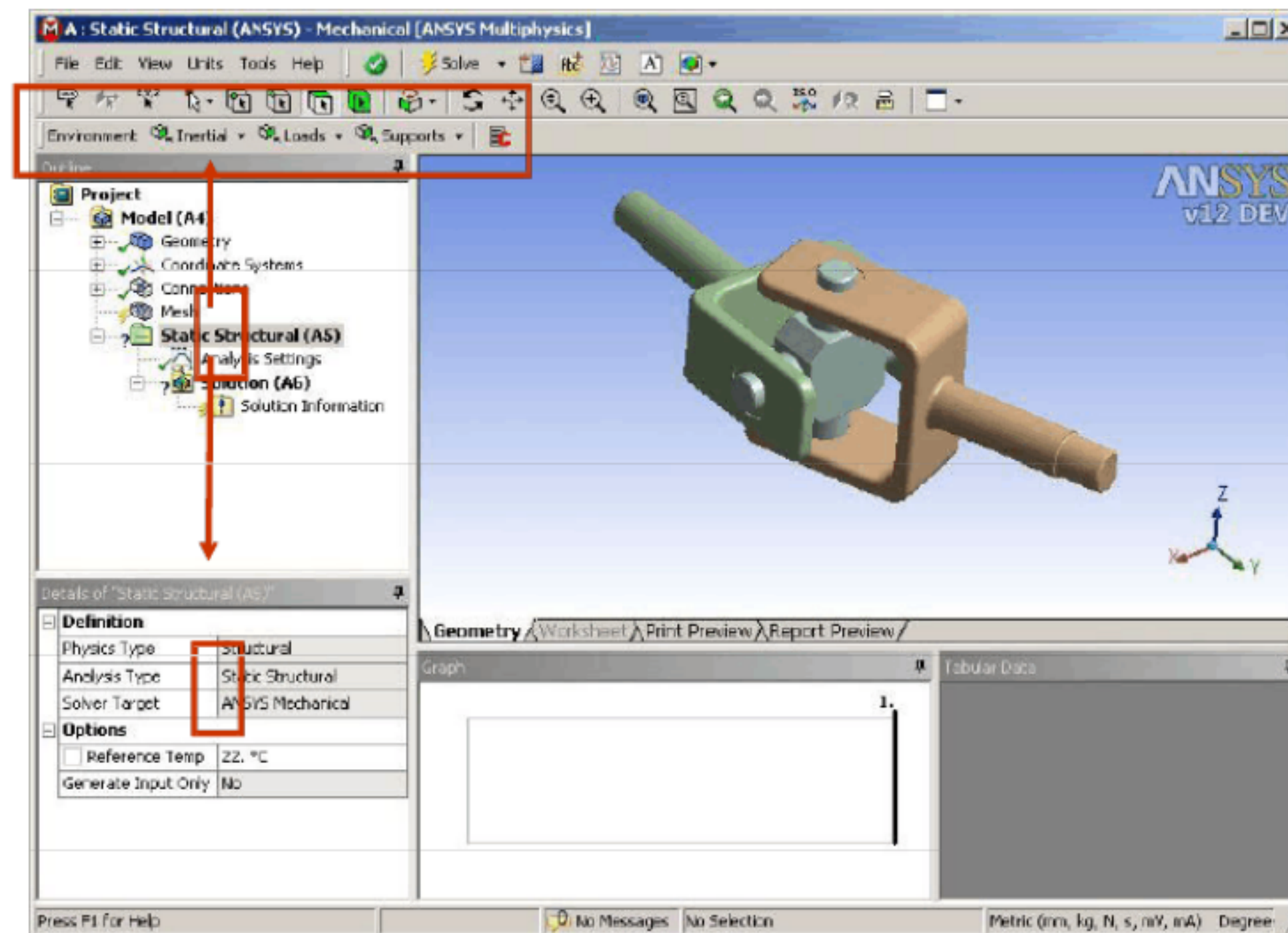
? 本章介绍不使用 Wizards 的 GUI 操作。



? The Outline Tree 是进行分析的基本步骤

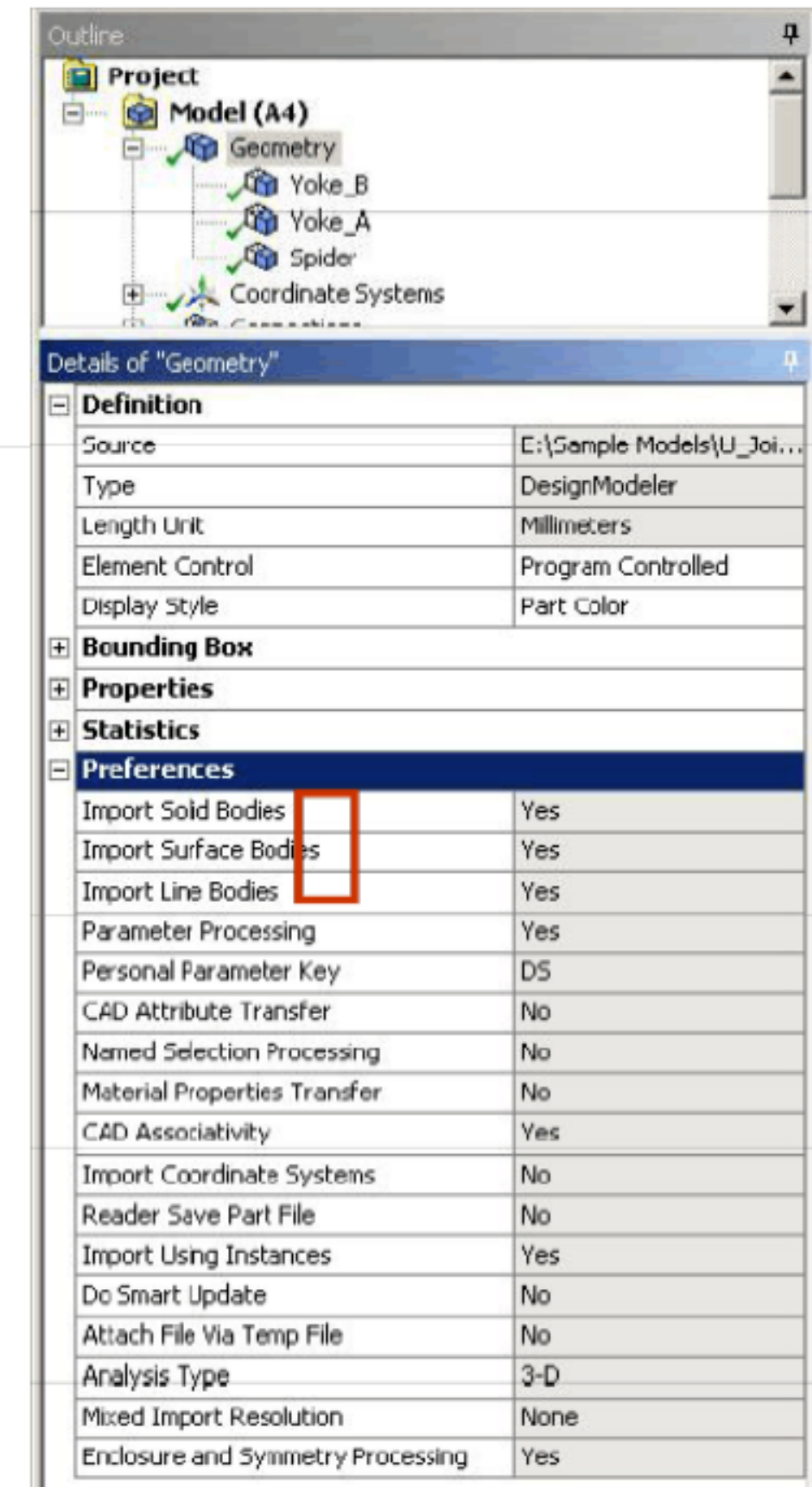
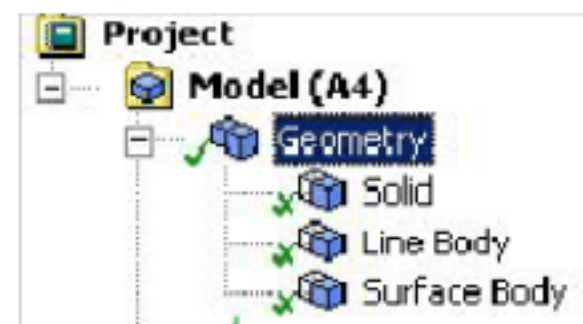
- The Context Toolbar, Details View, 和 Graphics Window 的更新，都是靠 Outline Tree 的分支进行选择。
- 本章将会重点使用 Outline Tree 。

使用Outline Tree 意味着用户导航会通过 Simulation GUI.



## A. 几何分支

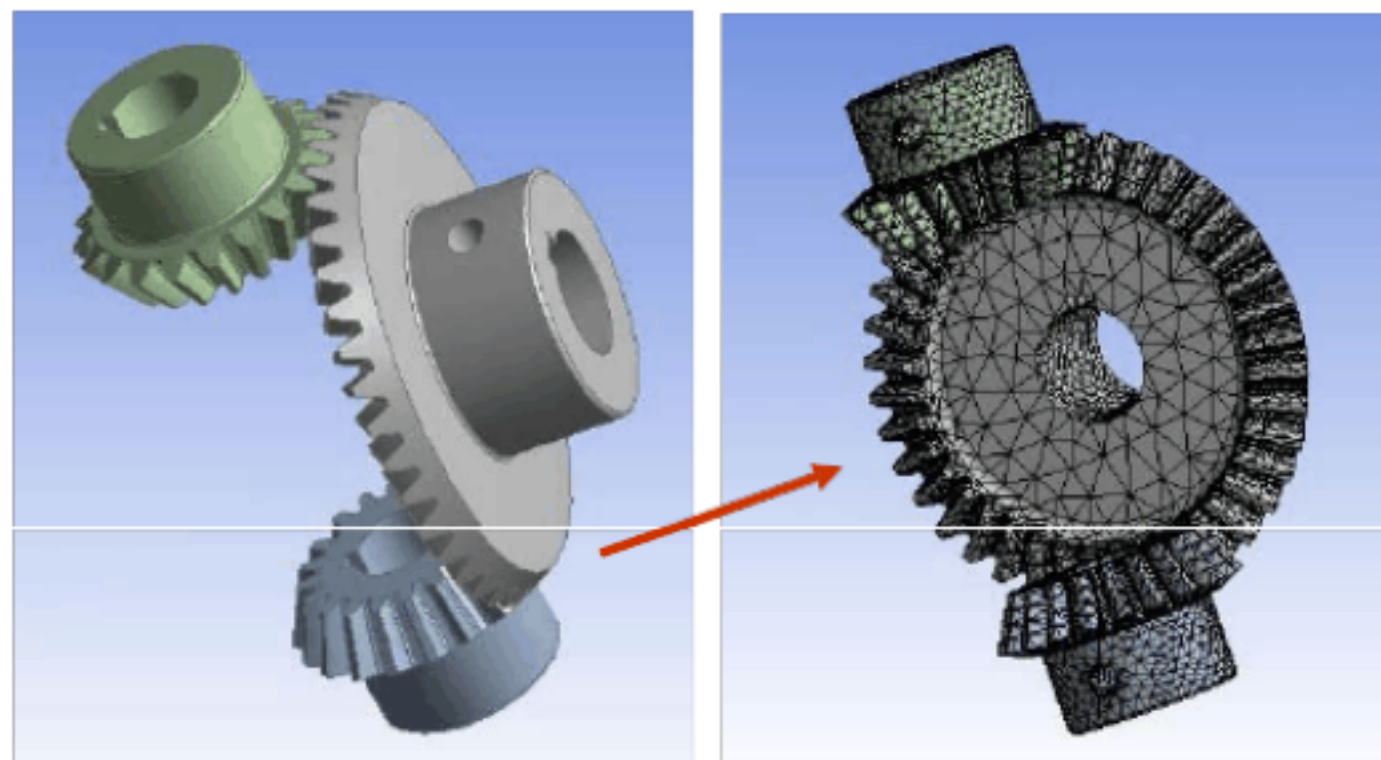
- ? Geometry 分支列出了模型的组成部分。
- ? 在模拟过程中，有三种类型的实体会被分析到：
- 实体一般是 3D 或 2D 体/面/部件
  - 只由面组成的面体
  - 只由线组成的线体
  - 后面将一一进行讲解



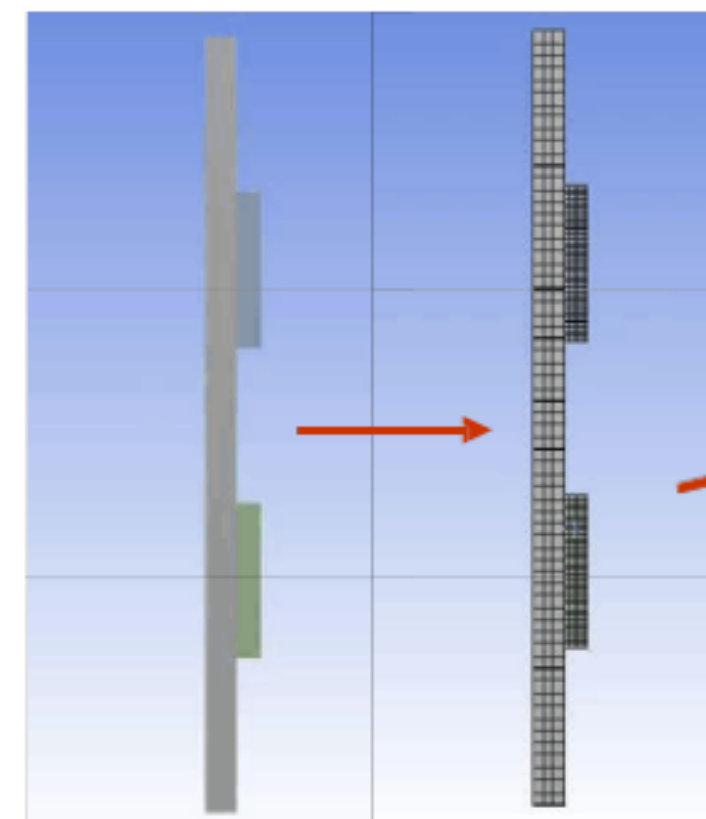


? 实体一般为 3D 或 2D:

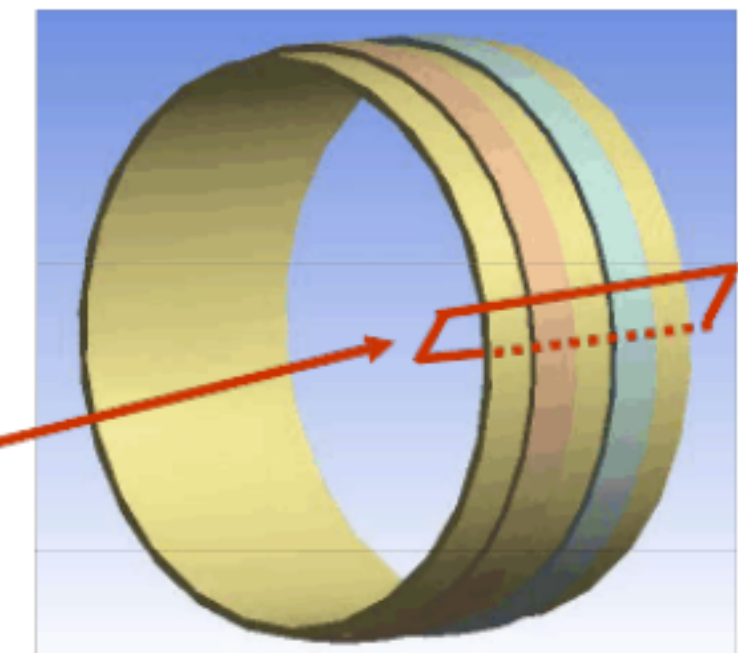
- 3D 实体是由带有二次状态方程的高阶四面体或六面体实体单元进行网格划分的。
- 2D 实体是由带有二次状态方程的高阶三角形或四边形实体单元进行网格划分的。
  - ? “2D开关设置在 Project 页输入。
  - ? 几何导入后, 不能将几何类型由 2D 变成 3D 。
- 结构的每个节点含有三个平动自由度 ( DOF ) 或对热场有一个温度自由度。



三维实体



二维实体



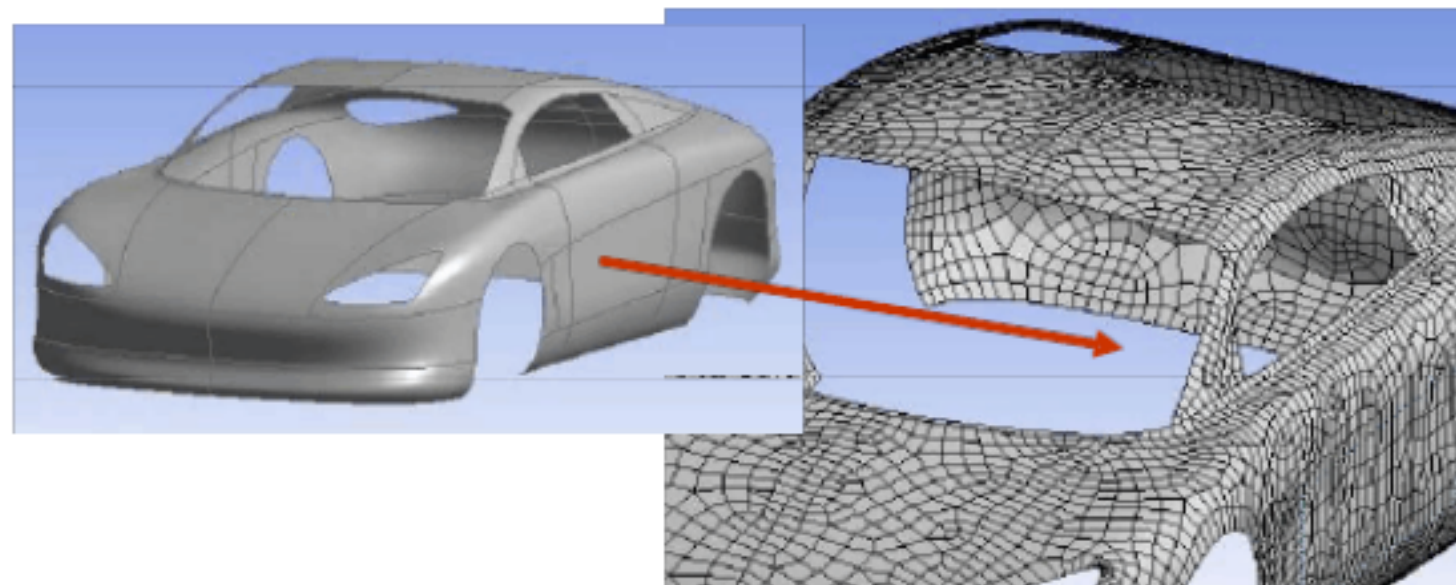
轴对称横截面

? 面体素 是指几何上为 2D , 空间上为 3D 的体素 :

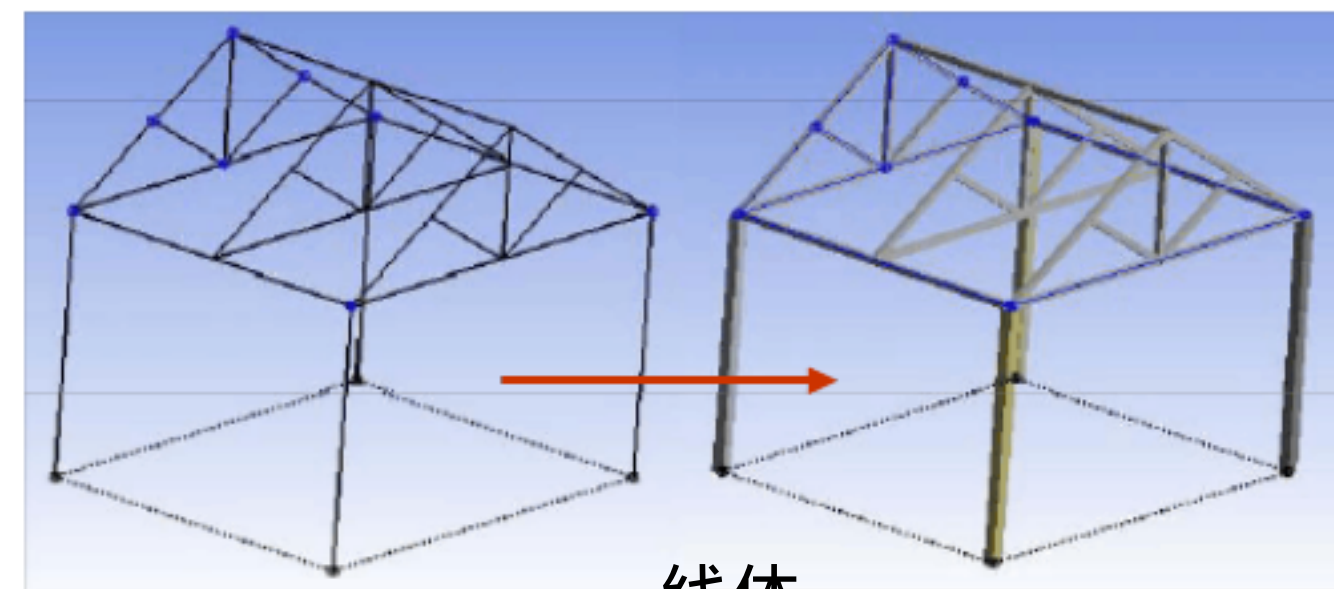
- 面体为有一层薄膜 ( 有厚度 ) 的结构 , 厚度作为输入值提供。
- 面体由带有 6 个自由度 (UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ) 的线性壳单元进行网格划分。

? 线体素 是指几何上为一维空间上为三维的结构 :

- 是用来描述与长度方向相比较其他两个方向的尺寸很小的结构 , 截面的形状不会显示出来。
- 线体由带有个 6 个自由度 (UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ) 的线性梁单元行网格划分。



表面体



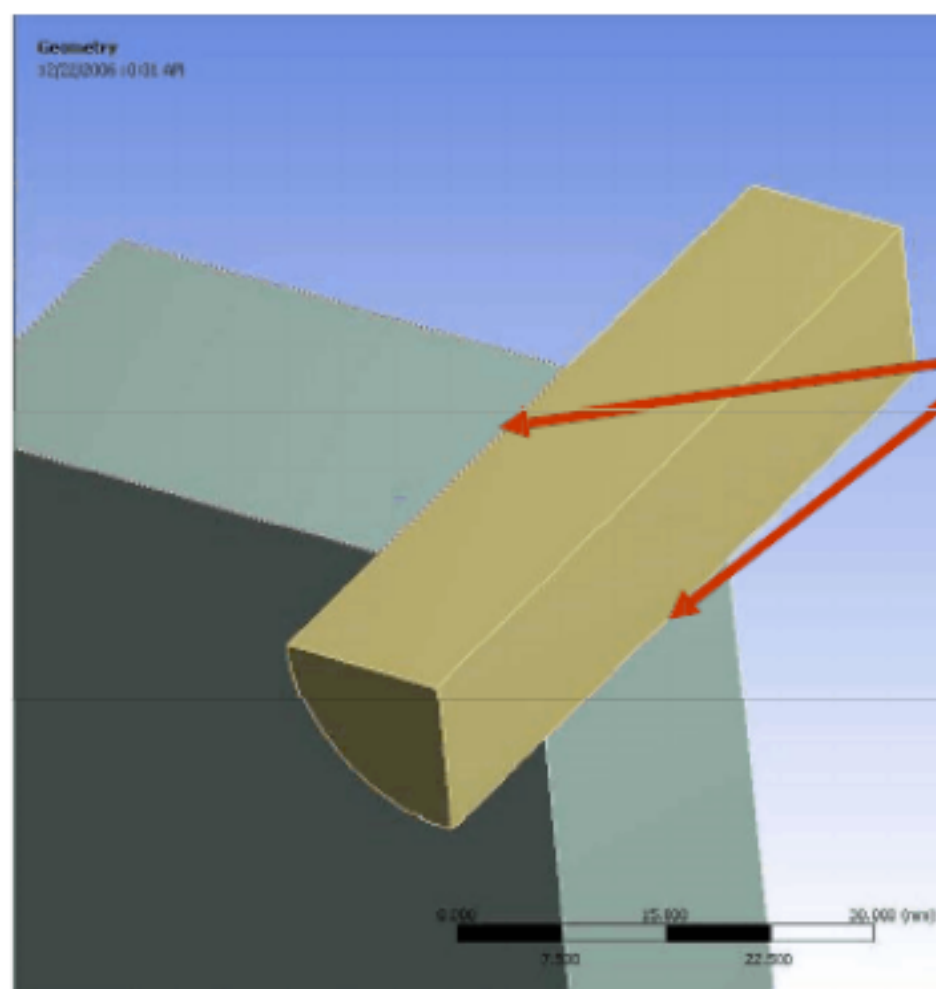
线体

？在很多应用程序中，体素（ bodies ）和 部件（ parts ）是一样的。但在 DM 中可以有多

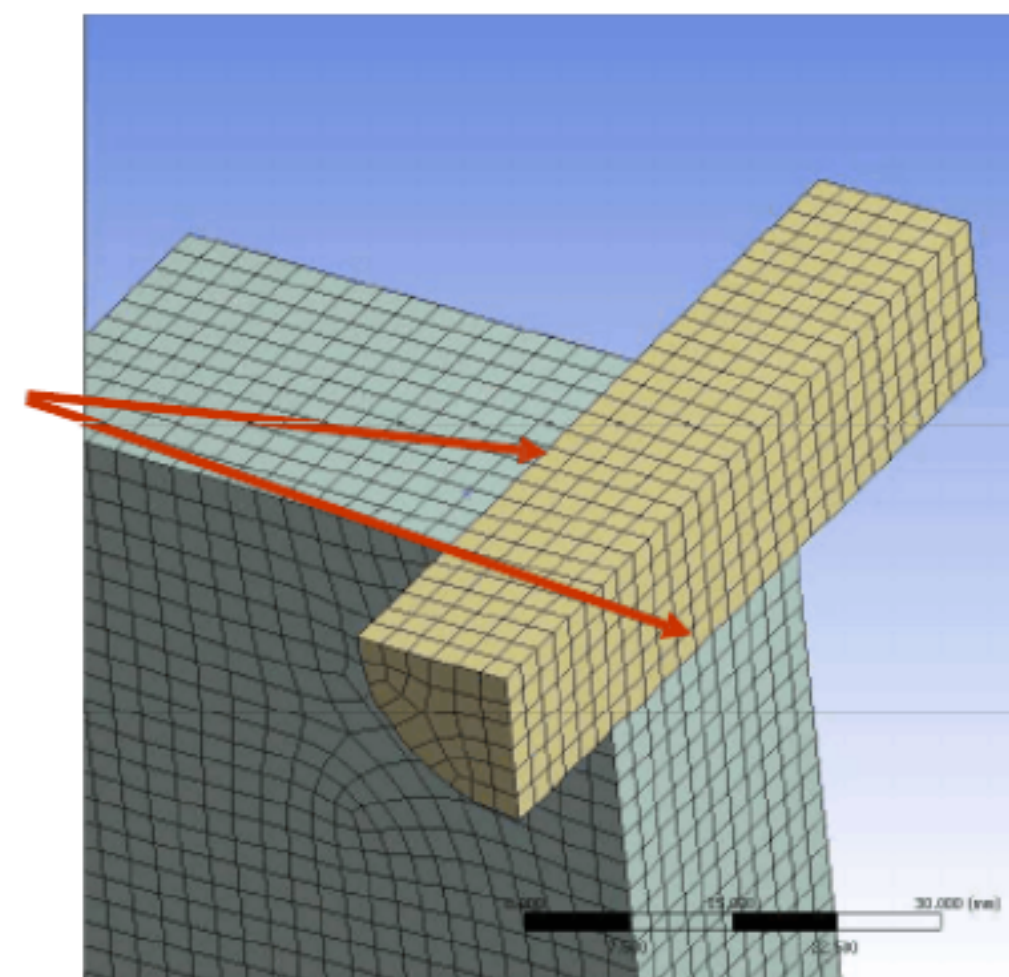
？体部件存在  
？多体部件中共用边界的地方，在公共界面上的节点是共用的。

？如果节点是共享的，在这种情况下是不需要定义接触的。

？例子：



相邻体上共用节点

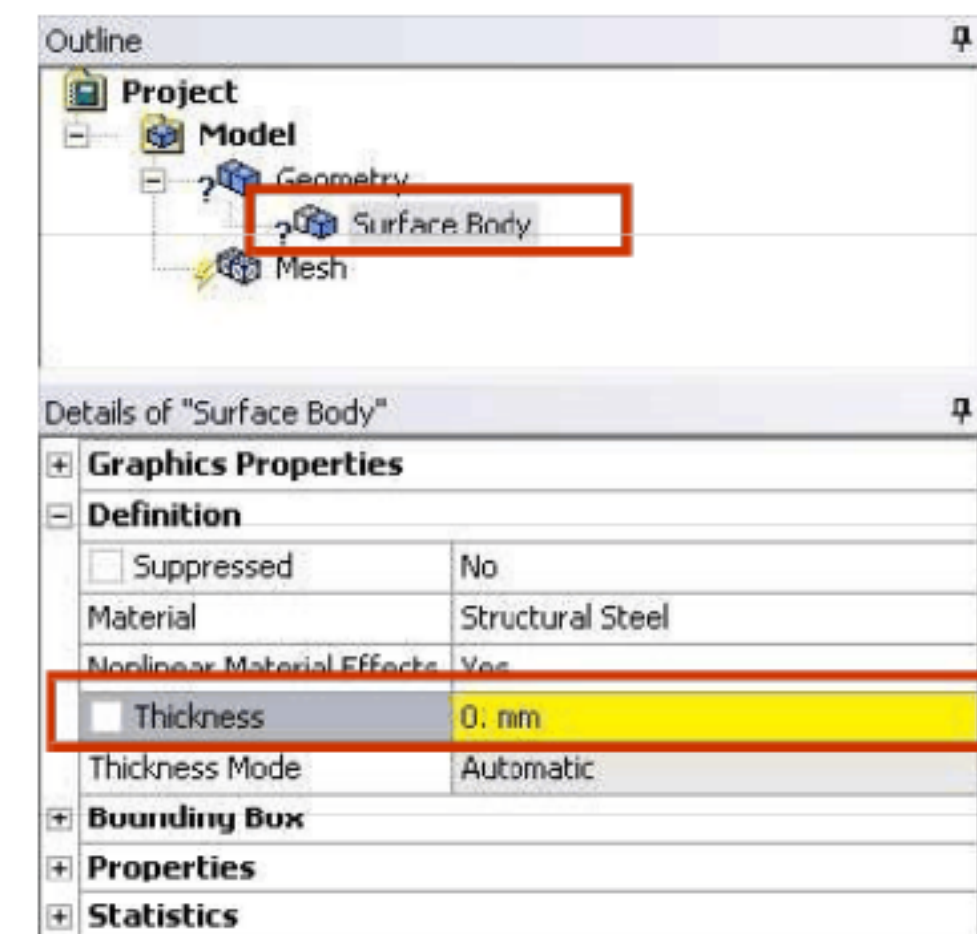
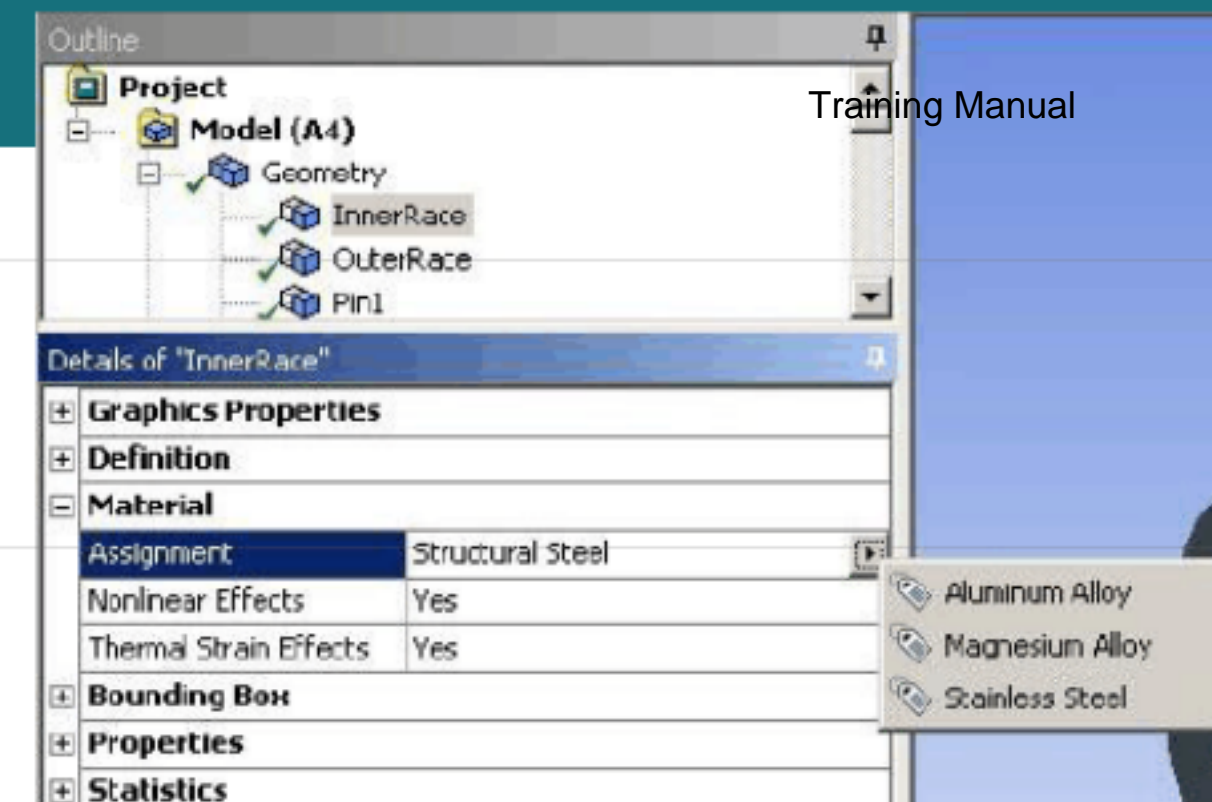




## General Preprocessing

...? 材料属性，从目录树中选取体，然后在  
下拉菜单中选取 “Material”

- 新的材料数据可以在 “Engineering Data” 下添加和输入。然后新的材料就可以从下拉菜单中得到。
- 对于 surface bodies，如上所讲，定义一个厚度是必要的。



? 提供体素和已经定义的材料总表

- 选择 “Geometry” 分支和 “Worksheet”

**Geometry**

| Name      | Assignment       | Volume (mm <sup>3</sup> ) | Mass (kg)  | Nodes | Elements | Status         | Lines |
|-----------|------------------|---------------------------|------------|-------|----------|----------------|-------|
| InnerRace | Structural Steel | 2748.9                    | 2.1579e-01 | 2872  | 451      | Not suppressed | Yes   |
| OuterRace | Magnesium Alloy  | 4319.7                    | 7.7754e-01 | 2624  | 378      | Not suppressed | Yes   |
| Pin1      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 518   | 80       | Not suppressed | Yes   |
| Pin2      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 853   | 160      | Not suppressed | Yes   |
| Pin3      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 585   | 96       | Not suppressed | Yes   |
| Pin4      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 518   | 80       | Not suppressed | Yes   |
| Pin5      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 518   | 80       | Not suppressed | Yes   |
| Pin6      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 585   | 96       | Not suppressed | Yes   |
| Pin7      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 585   | 96       | Not suppressed | Yes   |
| Pin8      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 585   | 96       | Not suppressed | Yes   |
| Pin1      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 853   | 160      | Not suppressed | Yes   |
| Pin2      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 853   | 160      | Not suppressed | Yes   |
| Pin3      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 853   | 160      | Not suppressed | Yes   |
| Pin4      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 585   | 96       | Not suppressed | Yes   |
| Pin5      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 853   | 160      | Not suppressed | Yes   |
| Pin6      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 853   | 160      | Not suppressed | Yes   |
| Pin7      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 585   | 96       | Not suppressed | Yes   |
| Pin8      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 518   | 80       | Not suppressed | Yes   |
| Pin1      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 853   | 160      | Not suppressed | Yes   |
| Pin2      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 585   | 96       | Not suppressed | Yes   |
| Pin3      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 853   | 160      | Not suppressed | Yes   |
| Pin4      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 585   | 96       | Not suppressed | Yes   |
| Pin5      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 853   | 160      | Not suppressed | Yes   |
| Pin6      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 585   | 96       | Not suppressed | Yes   |
| Pin7      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 853   | 160      | Not suppressed | Yes   |
| Pin8      | Stainless Steel  | 98.175                    | 7.6085e-01 | 853   | 160      | Not suppressed | Yes   |

**Details of "Geometry"**

**Definition**

|                 |                                       |
|-----------------|---------------------------------------|
| Source          | E:\Sample Models\Bearing\Bearing.agdb |
| Type            | DesignModeler                         |
| Length Unit     | Millimeters                           |
| Element Control | Program Controlled                    |
| Display Style   | Part Color                            |

**Bounding Box**

**Properties**

**Statistics**

**Preferences**

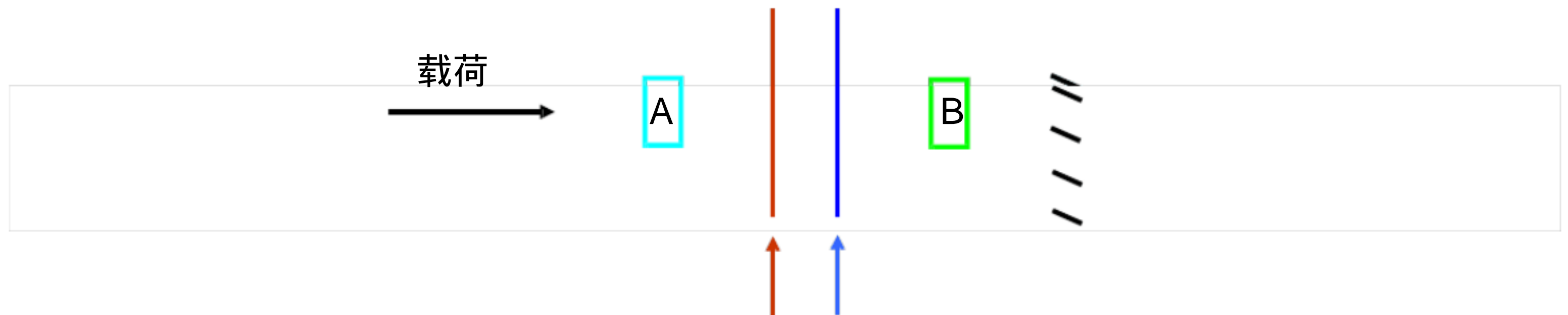
Geometry **Worksheet** Print Preview Report Preview

? 存在多个部件时，需要确定部分之间的相互关系。

- 接触区域定义部件是如何相互作用的。

? 若不进行接触或点焊设置，部件将不会相互影响：

- 在结构分析，接触和点焊防止部件防止部件的相互渗透，同时也提供了部件之间荷载传递的方法。
- 在热分析，接触和点焊允许部件之间的热传递。
- 多体部件不需要接触或点焊。



表面接触单元可以看作是“皮肤”，它覆盖的地区将发生接触。



### ... 实体接触

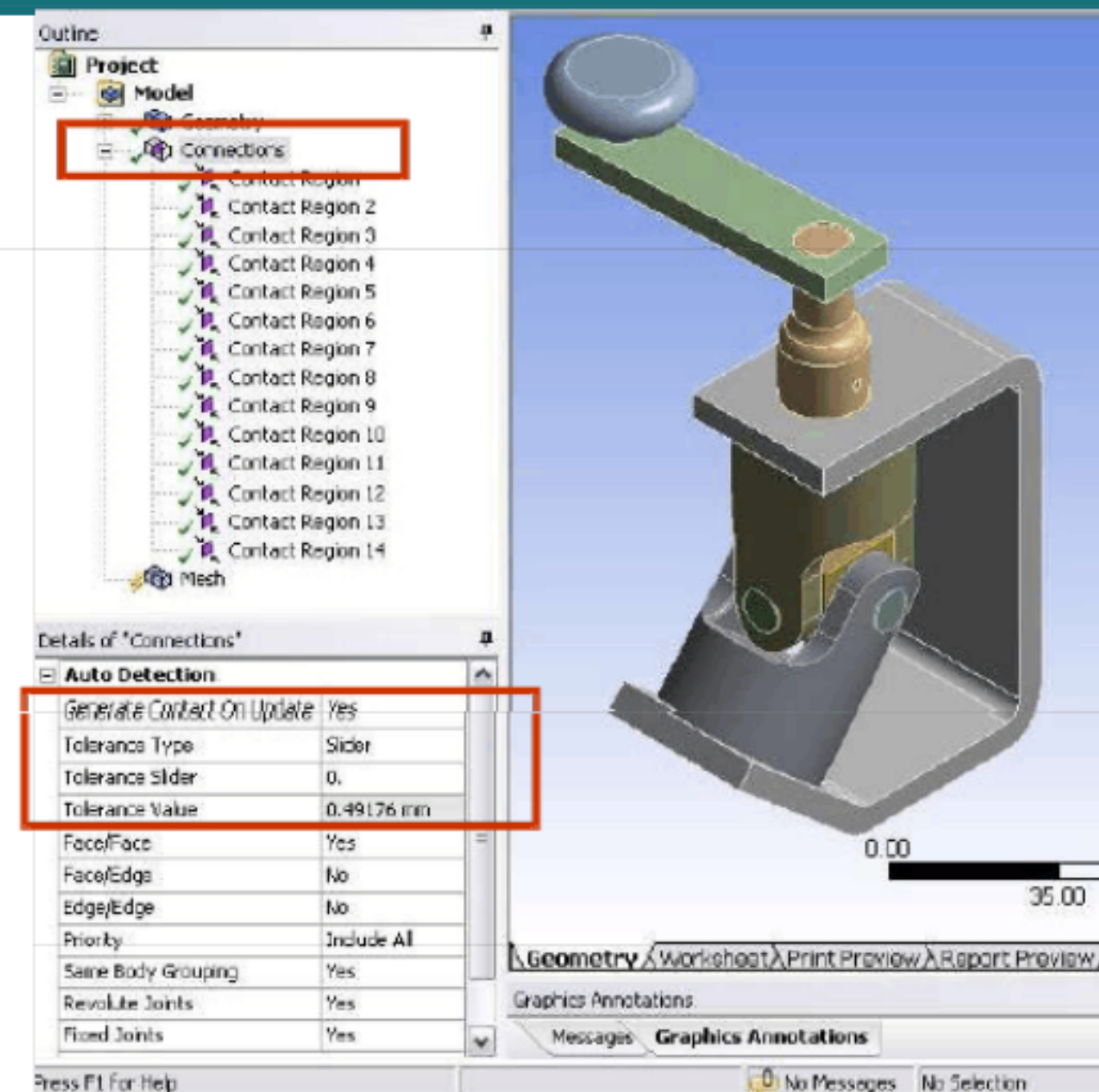
— 临近面用于检测接触状态。接触探测公差在

? 输入装配体, 自动检测接触面并生成接触对。

? 接触也是使用的二维几何体。接触“面”是指的边界。

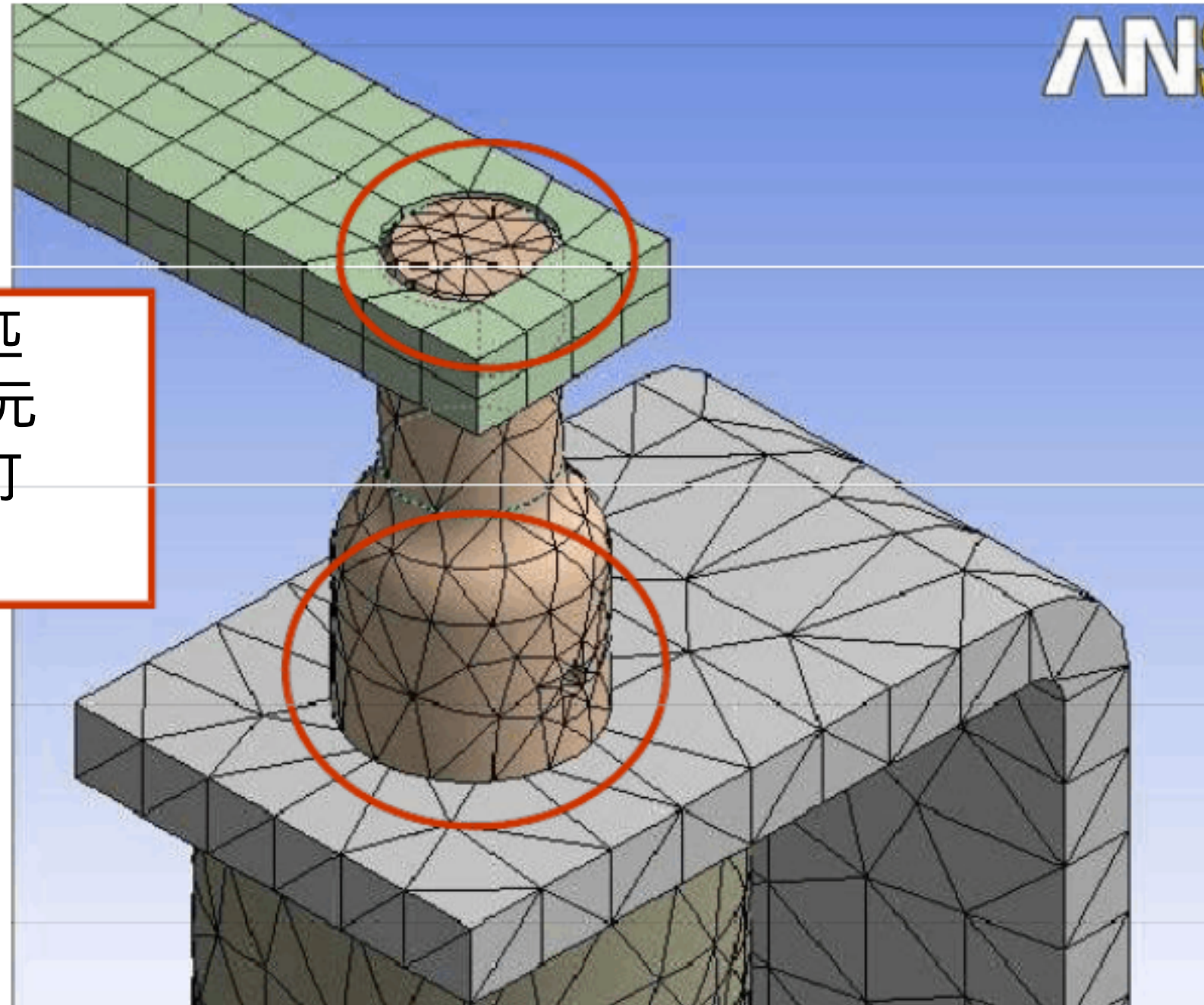
? 某些许可允许表面到边缘, 边缘到边缘和混合体 / 面接触。

? 请注意, 需要在进行分析之前检查自动生成的接触对。



- 接触单元提供部件间的连接关系。
- 每个部分维持独立的网格。这意味着，小体和大体没必要保持一致的网格精度。

注意在不部件接口处不匹配的网格。四面体单元和六面体单元组合是可能的。



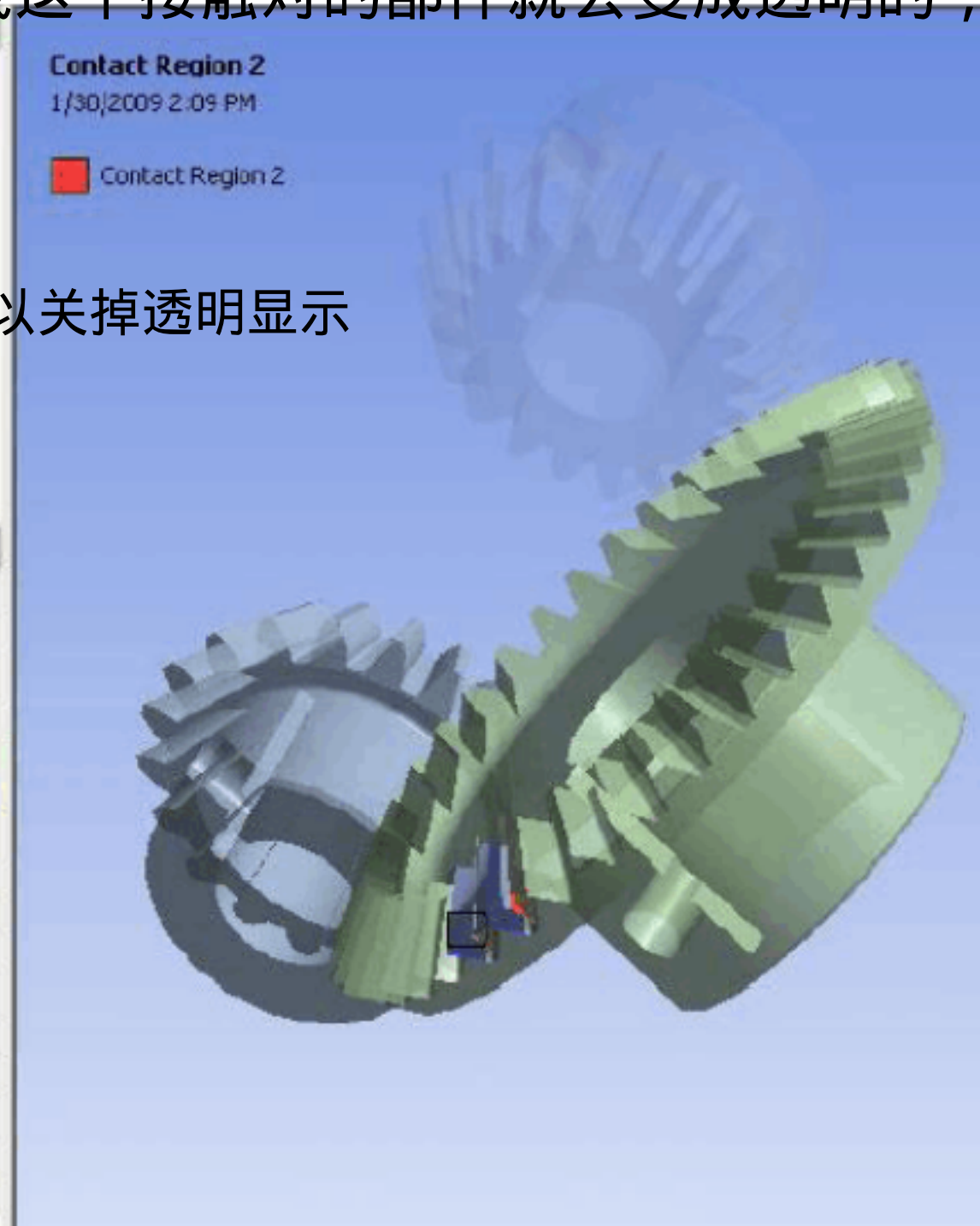


## 实体接触

... 选取一个接触对，与该接触对无关的部件变成透明的。

透明度可以通过 “Tools > Options > Simulation: Contact: Transparency” 控制。在 “contact” 分支点击某个接触对，构成这个接触对的部件就会变成透明的，以便观察。

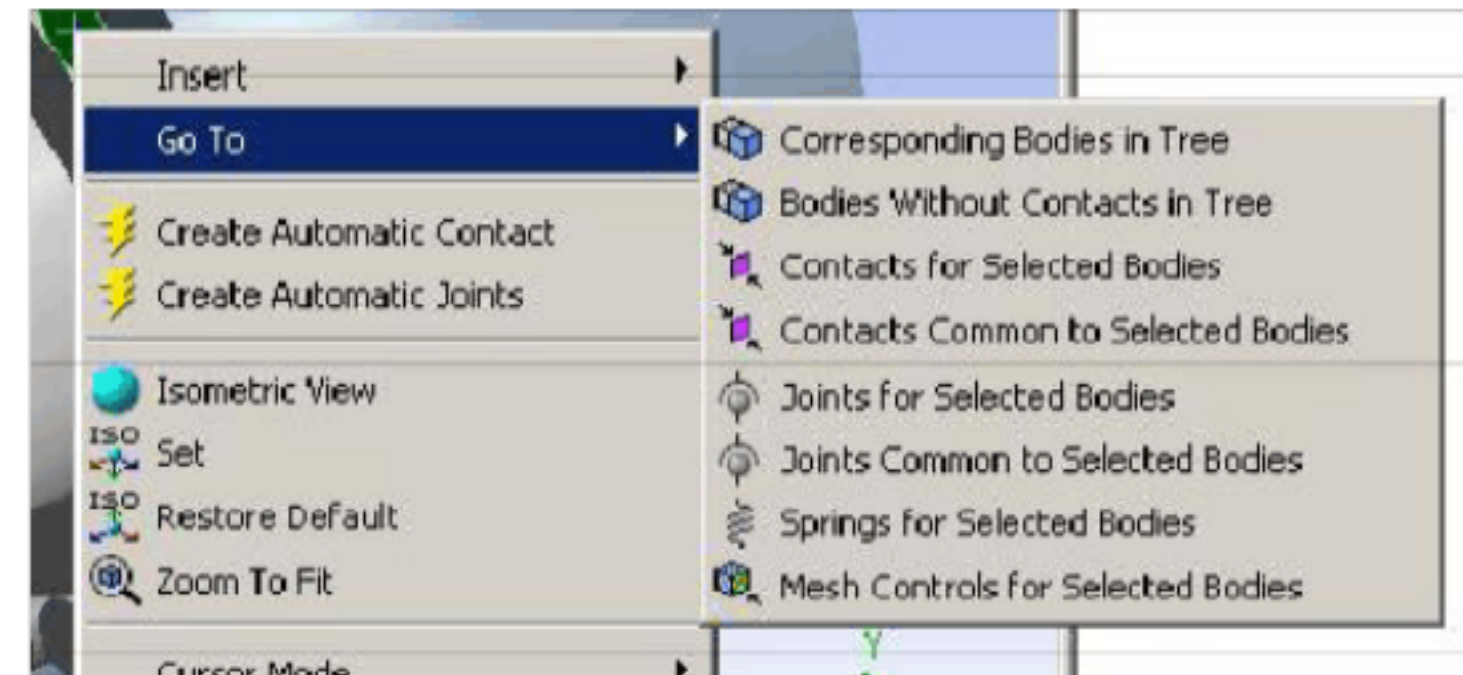
Contact 分支的 Detail view 中可以关掉透明显示





? “Go To” 的作用是允许接触定义时有更多的细节描述 :

- corresponding bodies in tree
- Bodies without contact
- Contact regions for selected bodies
- Contacts common to selected bodies



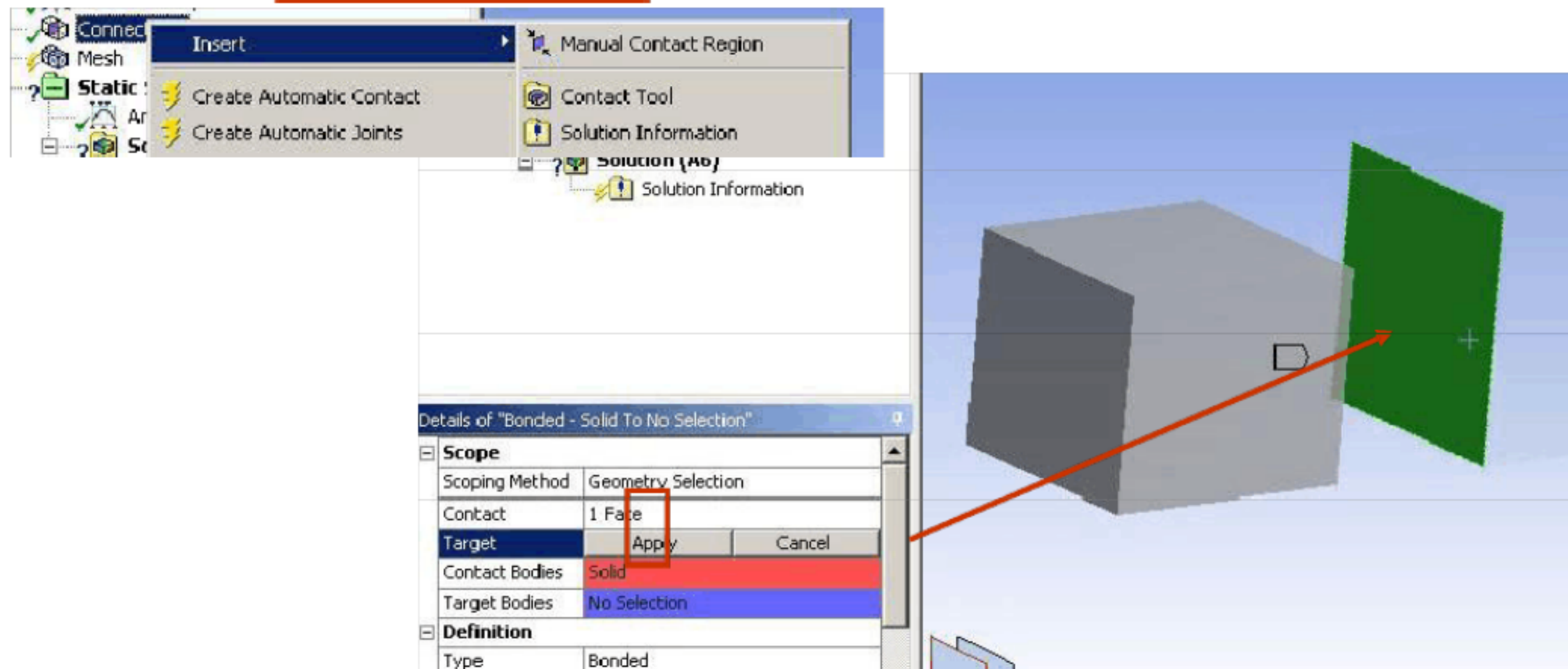
- 接触可以基于部件名称进行快速的重命名。



RMB

? 选择 “contact” 和 “target” 面手动定义接触对。

点击鼠标右键选择



? 对 ANSYS Professional 许可和以上，高级接触操作是可行的：

- 自动检测尺寸和滑动
- 不对称接触
- 接触结果工具
- 更多接触可用公式
- Pinball 控制

|                            |             |
|----------------------------|-------------|
| <b>Auto Detection</b>      |             |
| Generate Contact On Update | Yes         |
| Tolerance Type             | Slider      |
| Tolerance Slider           | 0.          |
| Tolerance Value            | 0.49176 mm  |
| Face/Face                  | Yes         |
| Face/Edge                  | No          |
| Edge/Edge                  | No          |
| Priority                   | Include All |
| Same Body Grouping         | Yes         |
| Revolute Joints            | Yes         |
| Fixed Joints               | Yes         |
| <b>Transparency</b>        |             |
| Enabled                    | Yes         |

|                   |                                     |
|-------------------|-------------------------------------|
| <b>Scope</b>      |                                     |
| Scoping Method    | Geometry Selection                  |
| Contact           | 9 Faces                             |
| Target            | 7 Faces                             |
| Contact Bodies    | SW3dPS-Bevel gear assembly_20Bevel2 |
| Target Bodies     | SW3dPS-Bevel gear assembly_40Bevel  |
| <b>Definition</b> |                                     |
| Type              | Bonded                              |
| Scope Mode        | Automatic                           |
| Behavior          | Symmetric                           |
| Suppressed        | Asymmetric                          |
| <b>Advanced</b>   |                                     |
| Formulation       | Pure Penalty                        |
| Normal Stiffness  | Program Controlled                  |
| Update Stiffness  | Never                               |
| Pinball Region    | Program Controlled                  |

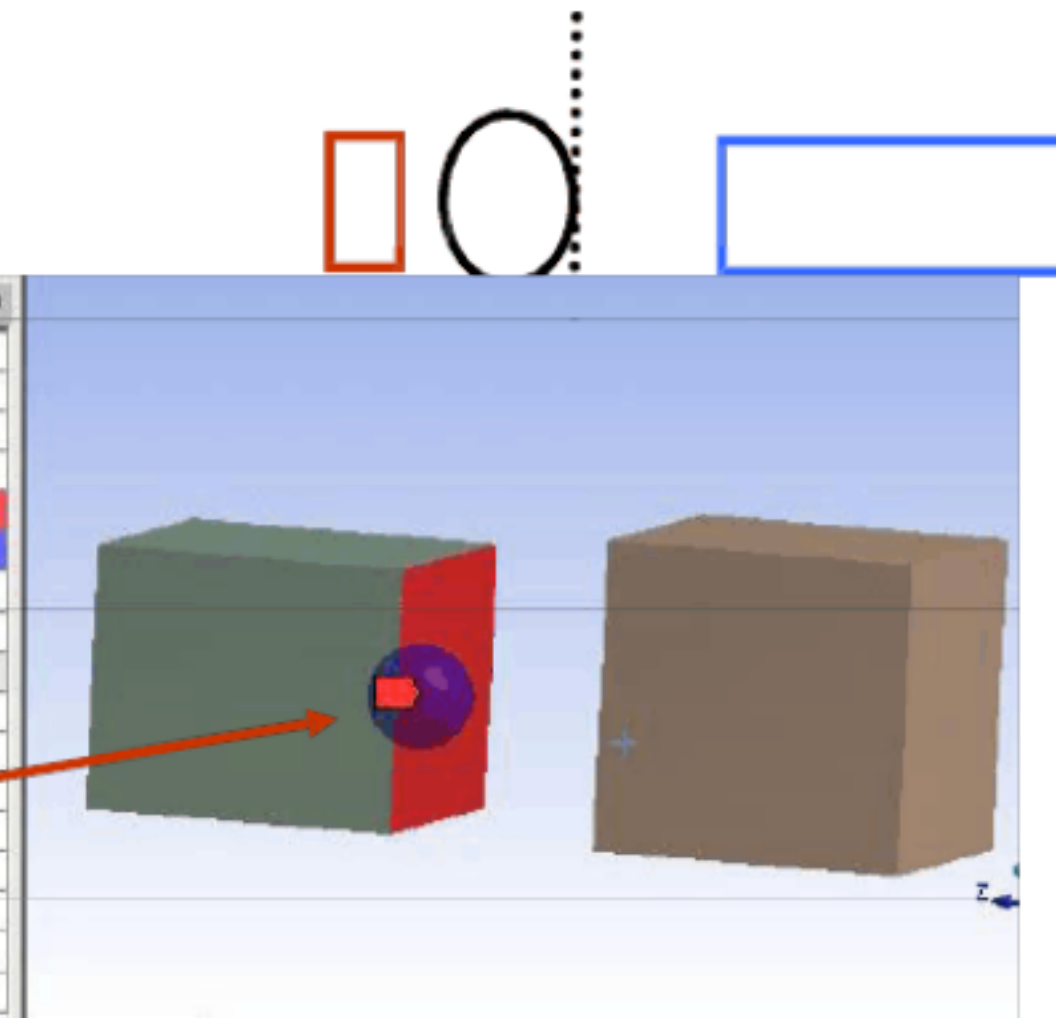


? Pinball 区域表示接触探测区域：

- 当接触间隙在 pinball 半径内进行接触计算 / 检测。
- 可输入 Pinball 半径尺寸，以确保粘性接触是一个大间隙或裂口问题成立。
- Pinball 半径以球形显示在图形窗口中。
- 四种接触状态：近场，远场，关闭 / 滑动，关闭 / 粘着。

| Details of "Contact Region 4" |                    |
|-------------------------------|--------------------|
| <b>Scope</b>                  |                    |
| Scoping Method                | Geometry Selection |
| Contact                       | 1 Face             |
| Target                        | 1 Face             |
| Contact Bodies                | u-joint_pin2       |
| Target Bodies                 | yoke_female        |
| <b>Definition</b>             |                    |
| Type                          | Bonded             |
| Scope Mode                    | Automatic          |
| Behavior                      | Symmetric          |
| Trim Contact (Beta)           | Program Controlled |
| Suppressed                    | No                 |
| <b>Advanced</b>               |                    |
| Formulation                   | Pure Penalty       |
| Normal Stiffness              | Program Controlled |
| Update Stiffness              | Never              |
| Thermal Conductance           | Program Controlled |
| Pinball Region                | Radius             |
| Pinball Radius                | 2. mm              |

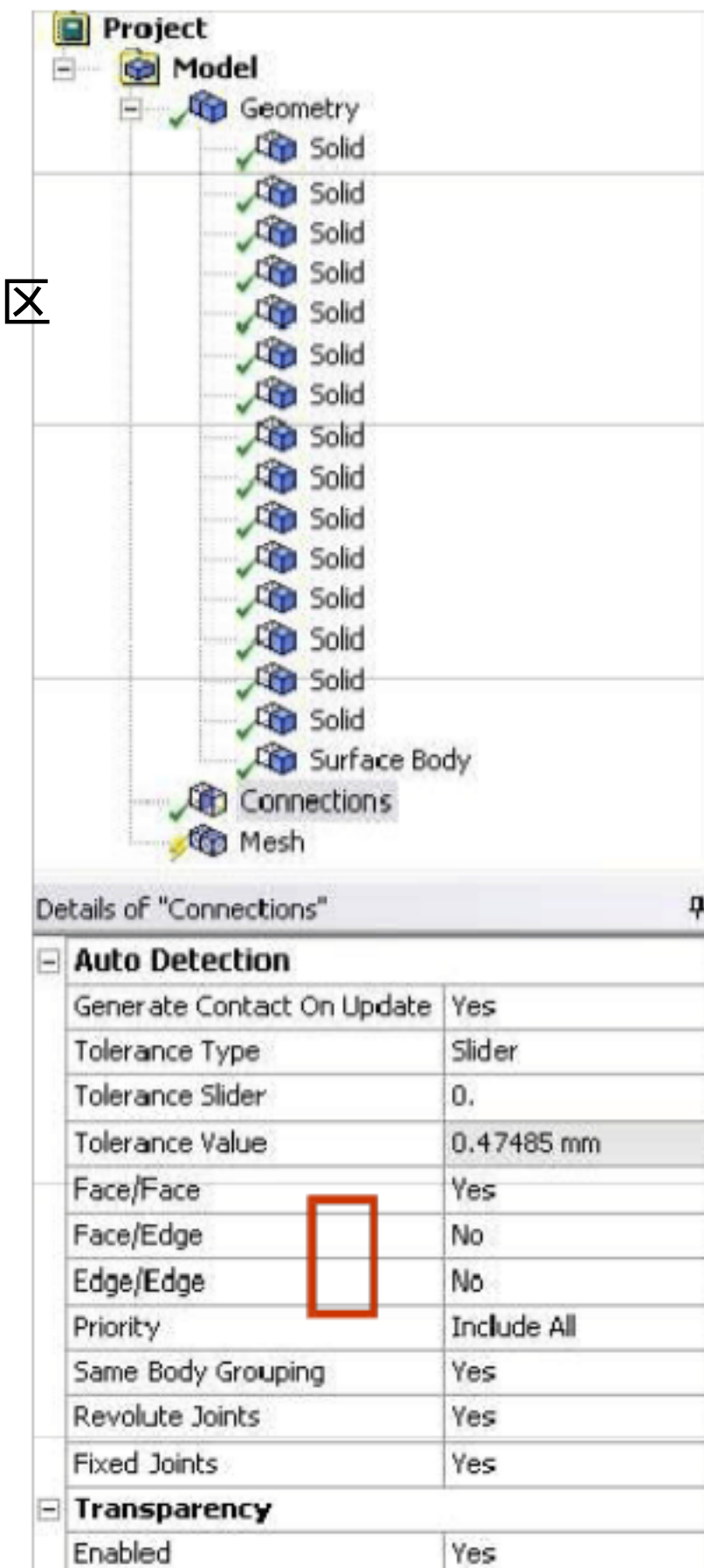
| Details of "Bonded - Solid To Solid" |                    |
|--------------------------------------|--------------------|
| <b>Scope</b>                         |                    |
| Scoping Method                       | Geometry Selection |
| Contact                              | 1 Face             |
| Target                               | 1 Face             |
| Contact Bodies                       | Solid              |
| Target Bodies                        | Solid              |
| <b>Definition</b>                    |                    |
| Type                                 | Bonded             |
| Scope Mode                           | Manual             |
| Behavior                             | Symmetric          |
| Suppressed                           | No                 |
| <b>Advanced</b>                      |                    |
| Formulation                          | Pure Penalty       |
| Normal Stiffness                     | Program Controlled |
| Update Stiffness                     | Never              |
| Pinball Region                       | Radius             |
| Pinball Radius                       | 5. mm              |



? 壳接触，包括线与面或线与线接触：

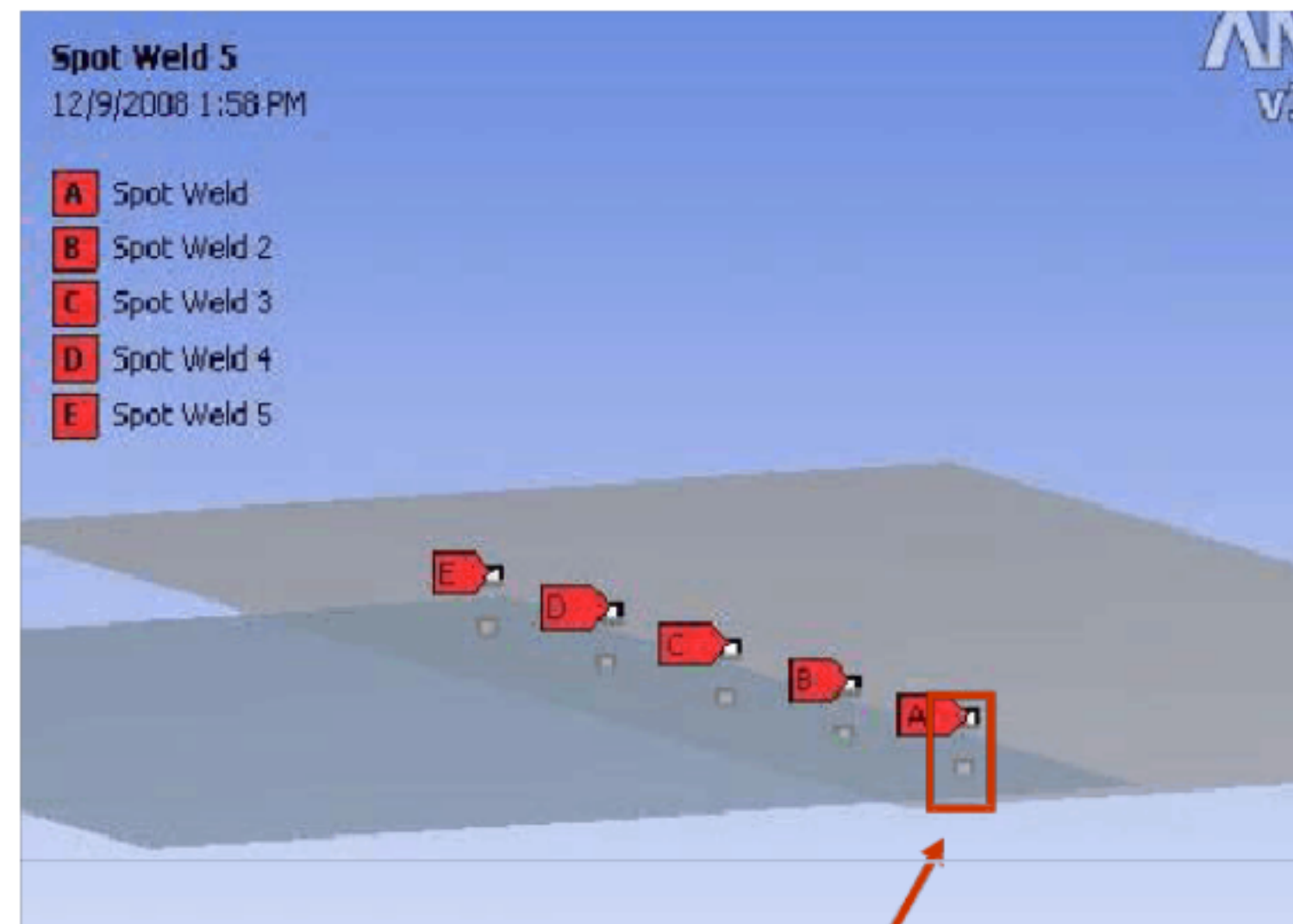
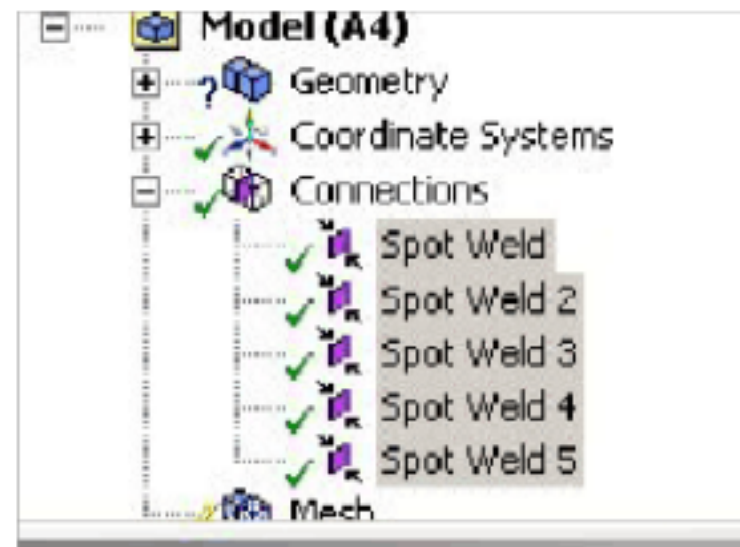
- 壳接触的默认项是关闭的。
- 用户可以打开面与线或线与线接触。
- 设置优先级防止在给定设置优先级的区域的生成多个域。

接触区



? 点焊连接提供了离散点接触组装的方法：

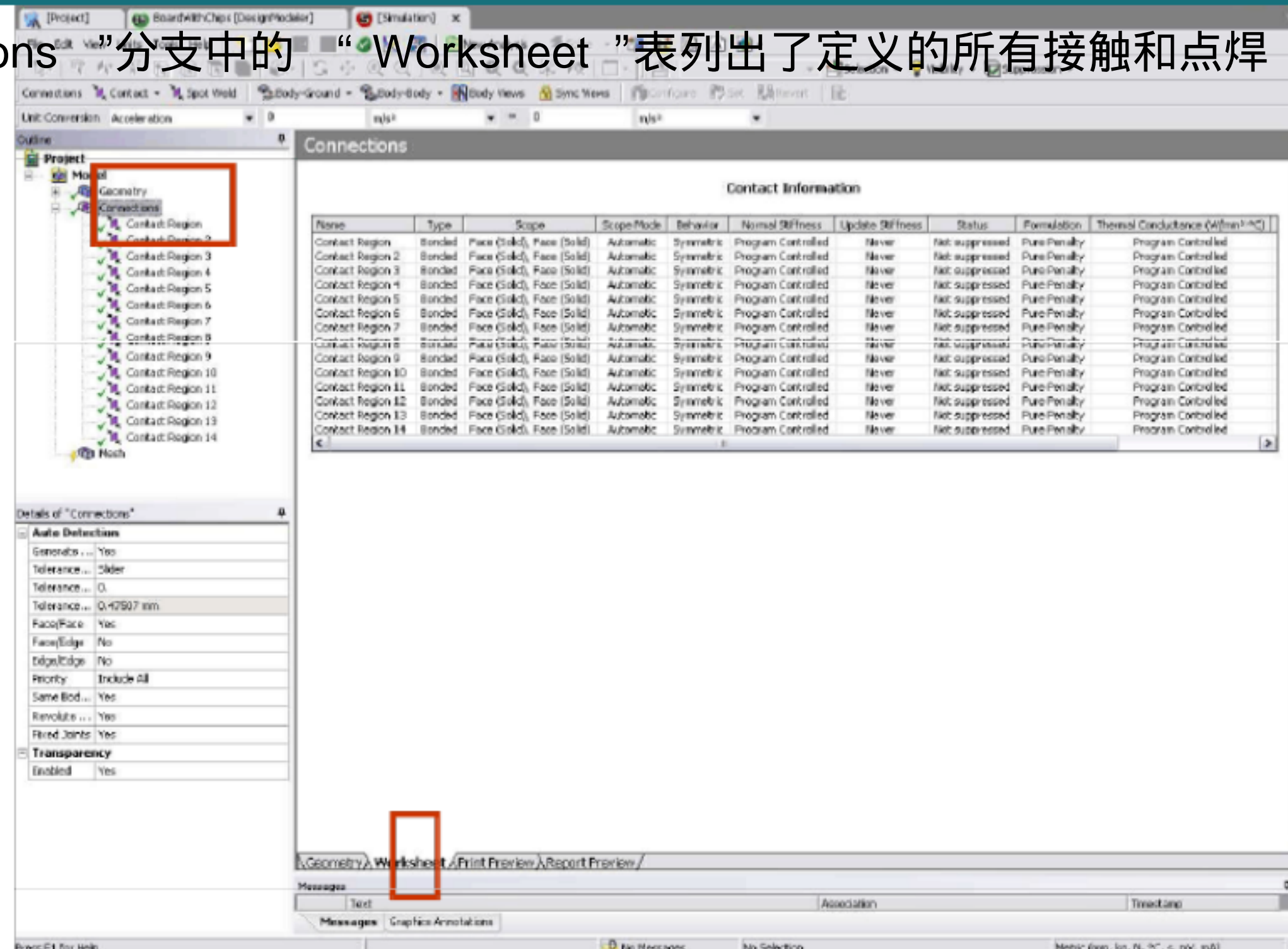
- 点焊是在 CAD 软件中定义的。目前，只有在 Mechanical 支持的 DesignModeler 和 Unigraphics 中可以定义点焊。



点焊对



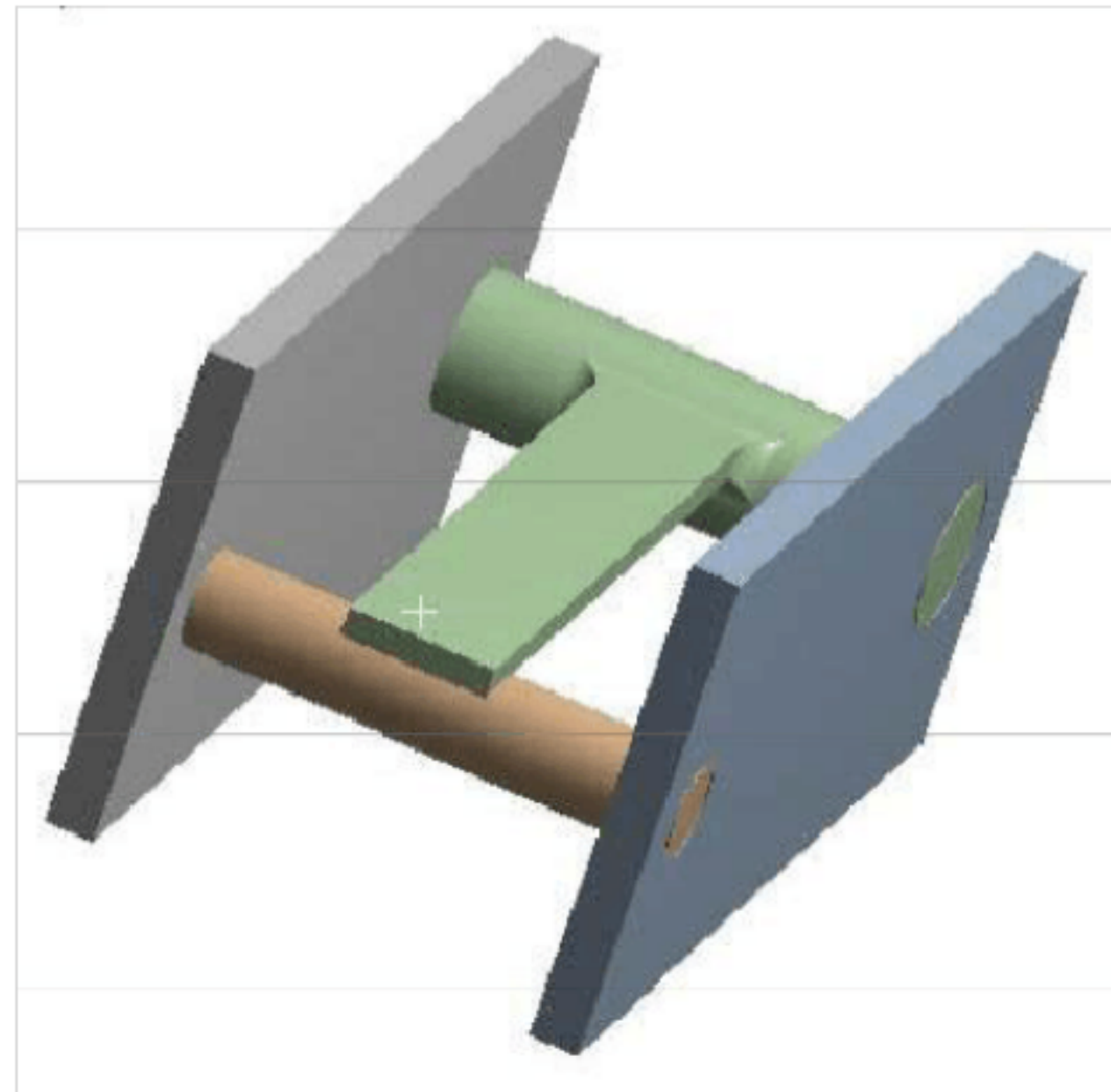
? “Connections”分支中的“Worksheet”表列出了定义的所有接触和点焊。



? Workshop 3.1 –接触控制

? 目标:

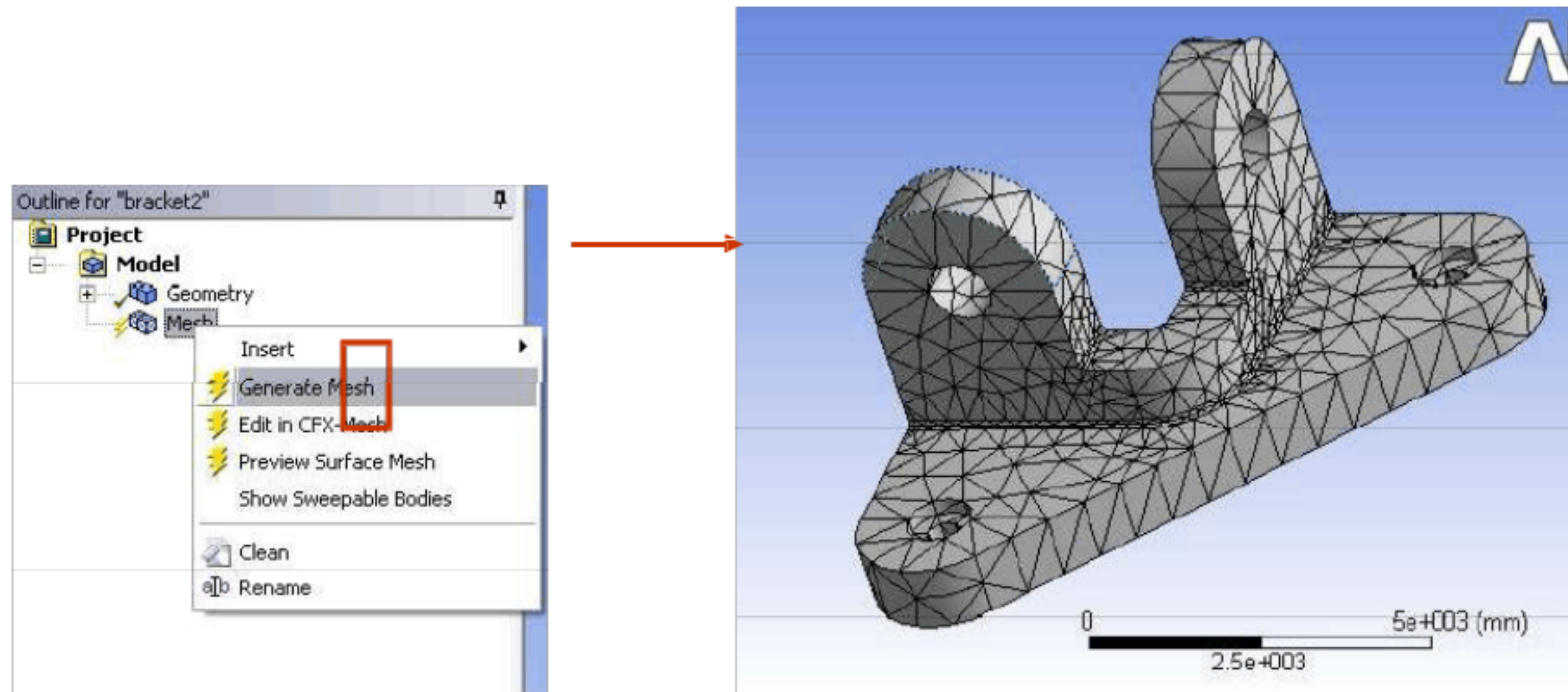
– 研究多种接触的行为。



## D. 网格划分

？节点和单元是几何模型网格划分的组成：

- 在求解开始时自动生成默认网格。
- 用户可以在“生成”网格之前，去检查网格控制设置。
- 较细的网格产生更精确的解，但也会增加 CPU 时间以及对内存要求。



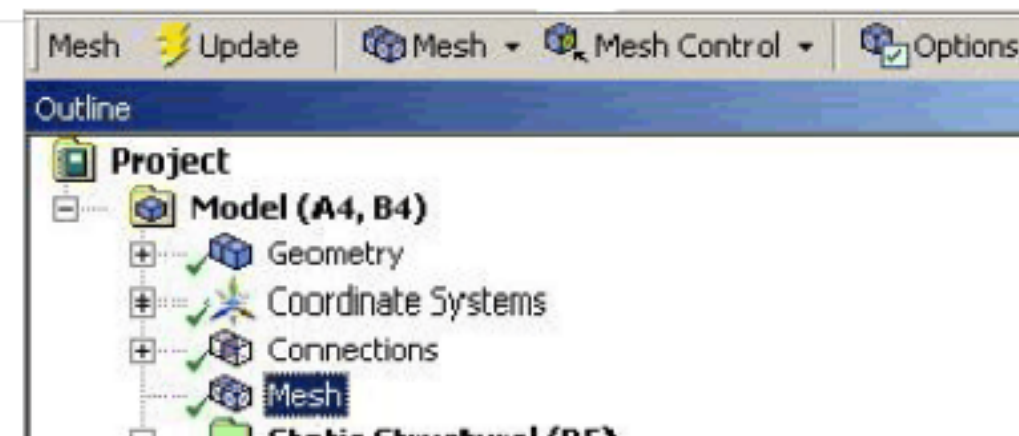


General Preprocessing  
? 基于物理场的网格划分允许用户指定物理场，选择如下  
的场类型控制选项：  
... 整体网格划分控制

- 单元形状检查
- 类型转换

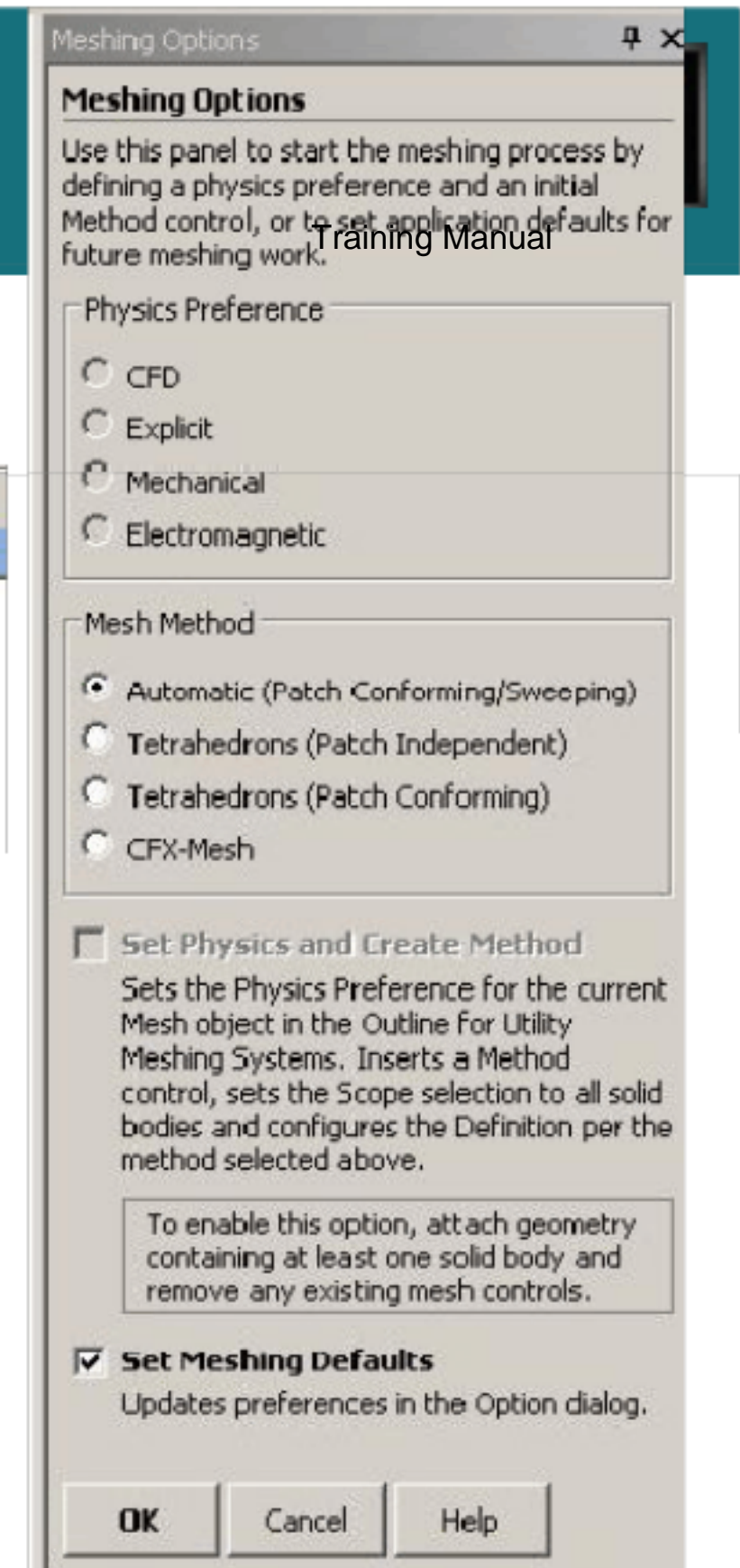
? 物理场包括：

- 结构
- 电磁
- 流体
- 显示



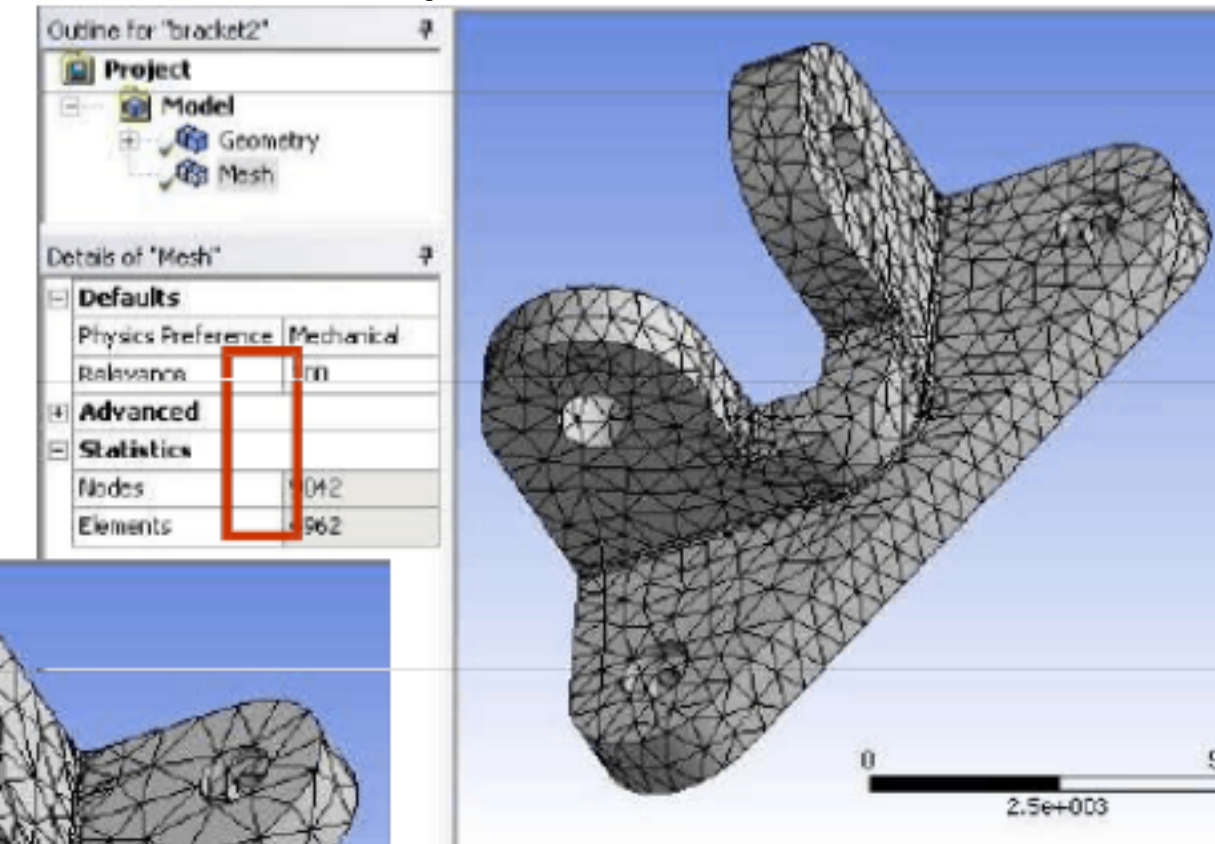
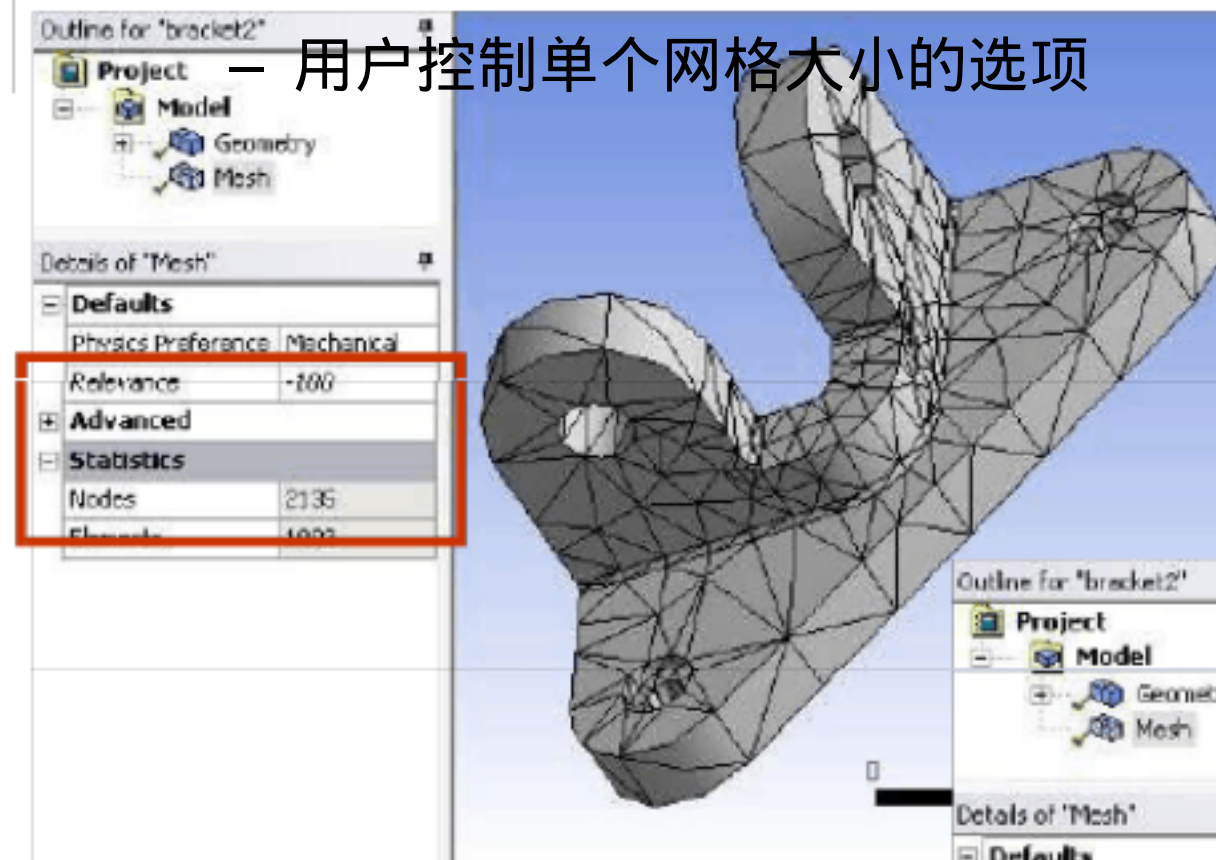
? 物理场设置将预先配置高级网格缺省设置，这些将在随后讲述

? 注意：本章只论述结构网格。



...整体网格划分控制在 -100 与 +100 之间

? 基本网格划分控制在 “ Mesh” 分支下的 “ Defaults ” 中是可用的。



- Relevance = 粗划分

+ Relevance = 细划分





? 高级全局控制：

- Relevance Center : 设置关联性滑块点
- Element Size : 为整个模型定义单元大小。
- Shape Checking :

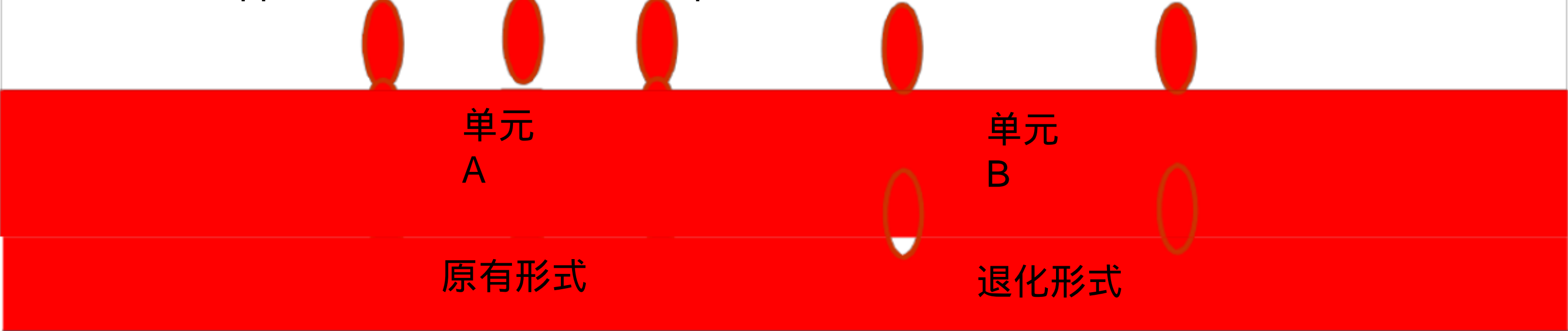
| Details of "Mesh"           |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| [-] Defaults                |                     |
| Physics Preference          | Mechanical          |
| Relevance                   | 100                 |
| [-] Advanced                |                     |
| Relevance Center            | Coarse              |
| Element Size                | Default             |
| Shape Checking              | Standard Mechanical |
| Solid Element Midside Nodes | Program Controlled  |
| Straight Sided Elements     | No                  |
| Initial Size Seed           | Active Assembly     |
| Smoothing                   | Low                 |
| Transition                  | Fast                |
| [-] Statistics              |                     |

? Standard Mechanical –适用于线性应力，线性模型和线性热分析

? Aggressive Mechanical –适用于大变形和材料非线性

– Program Controlled (程序控制) (默认选项)

? Solid Element Midside Nodes or Kept (原有形式)





## ...整体网格划分控制

? Straight Sided Elements :

- 当模型中存在实体或存在由 DesignModeler 得到的场体时进行显示。电磁分析时必须使用。

? Initial Size seed :

- 控制着每个部件网格的初始大小。（更多细节参  
页）

见下一

? Smoothing :

- 尝试通过移动节点位置来提高单元质量。可设置  
中、高）。

平滑迭代次数（低、

? Transition :

- 控制单元增长速率（平缓、快速）。



? Initial Size Seed (初始种子大小) :

— Active Assembly (默认) :

? 初始网格大小将由激活的部件 (未抑制的) 决定。

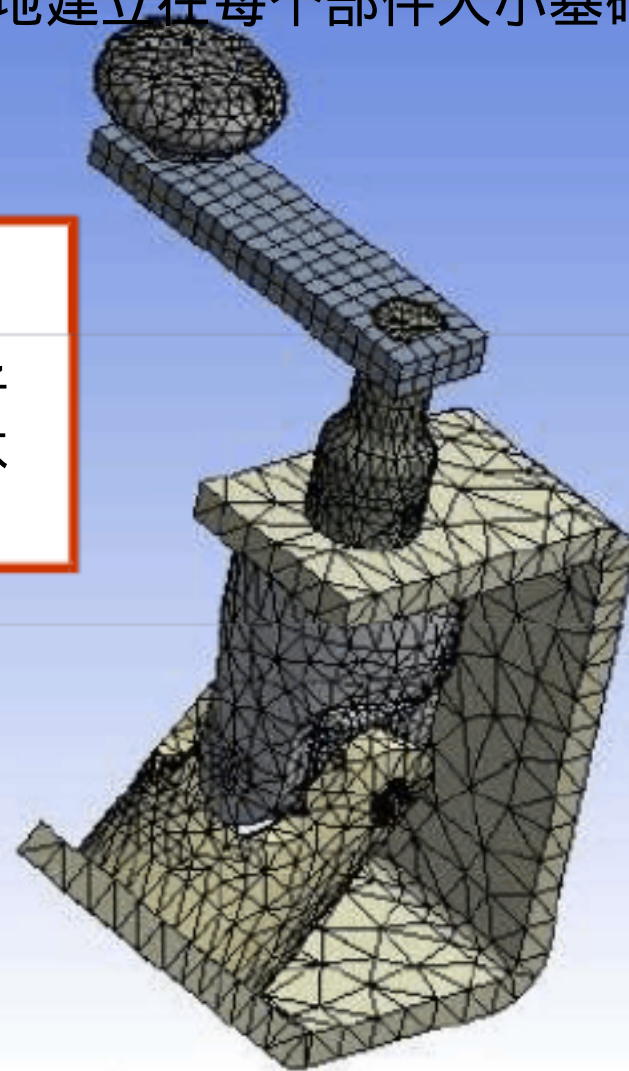
— Full Assembly (整个组件) :

? 初始网格大小不会受部件的状态 (抑制或活动) 的影响。

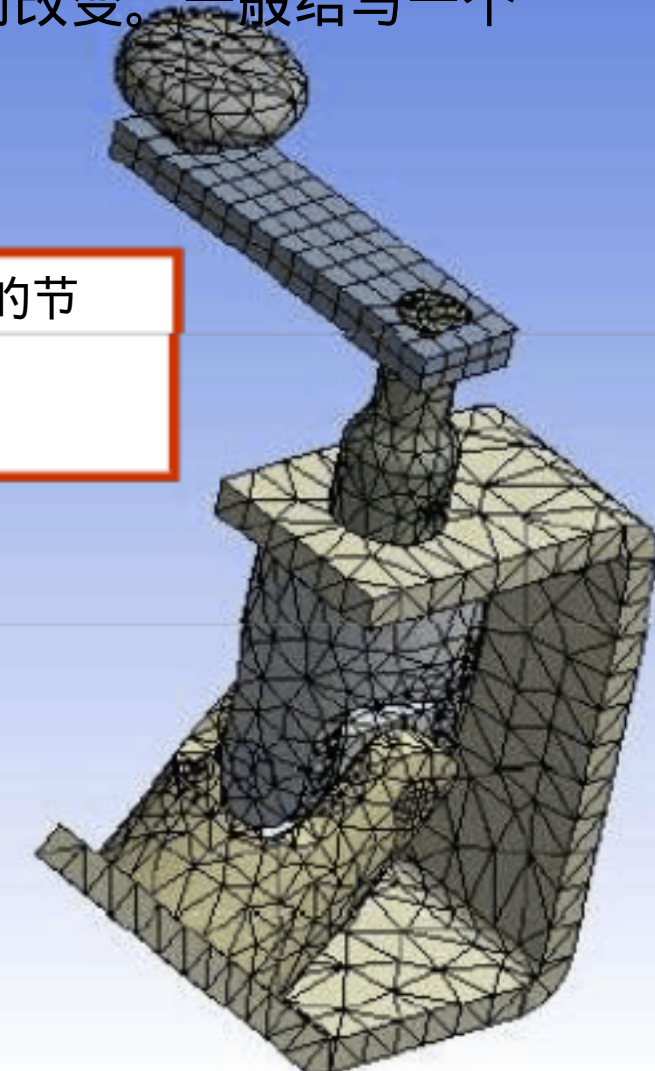
— Parts (部件) :

? 初始种子独立地建立在每个部件大小基础上, 且网格不会因为部件受抑制而改变。一般给与一个细化的网格。

基于部件网格种子划分得到的节点数: 44,013  
(网格划分建立在部件种子的基础上, 因此部件间不太统一。)



基于组件的网格种子划分得到的节点数: 15,670  
(部件间的网格划分更统一)



? 局部的 Mesh Controls (网格控制) 可以应用于选择的几何模型或一个命名的选择集。只有选中了 Mesh，这些功能才可行。可行的控制包括：

- Method Control (方法控制)
- Sizing Control (大小控制)
- Contact Sizing Control (接触大小控制)
- Refinement Control (加密控制)
- Mapped Face Meshing (面映射网格划分 (不包括 EMAG 和循环))
- Inflation Control (膨胀控制)
- Pinch Control (修剪控制)
- Gap Tool (只不包括 EMAG)



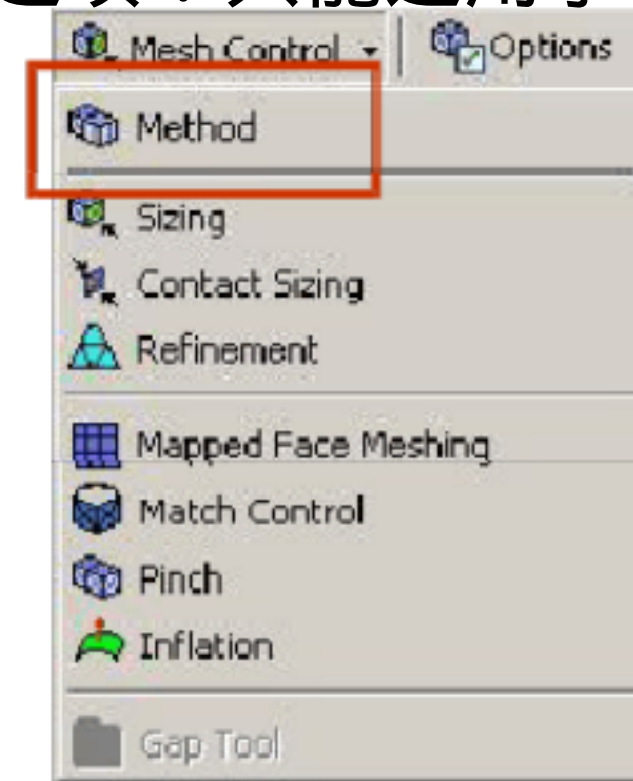


? Method Control : 为用户提供了如何划分实体模型的实体。

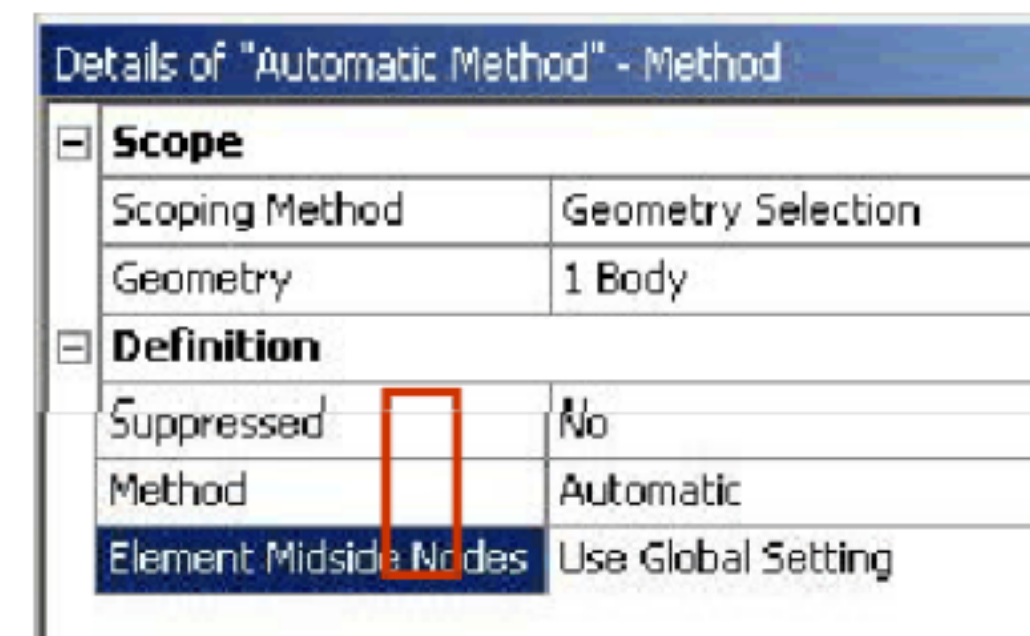
? Automatic (默认选项) :

- 若可以的话, 物体将被扫掠划分网格。否则, 将使用 Tetrahedrons 下的 Patch Conforming 网格划分器。

选项：只能适用于



? 接下来 .....



## ...局部网格划分控制：方法（继续）

? Tetrahedrons :

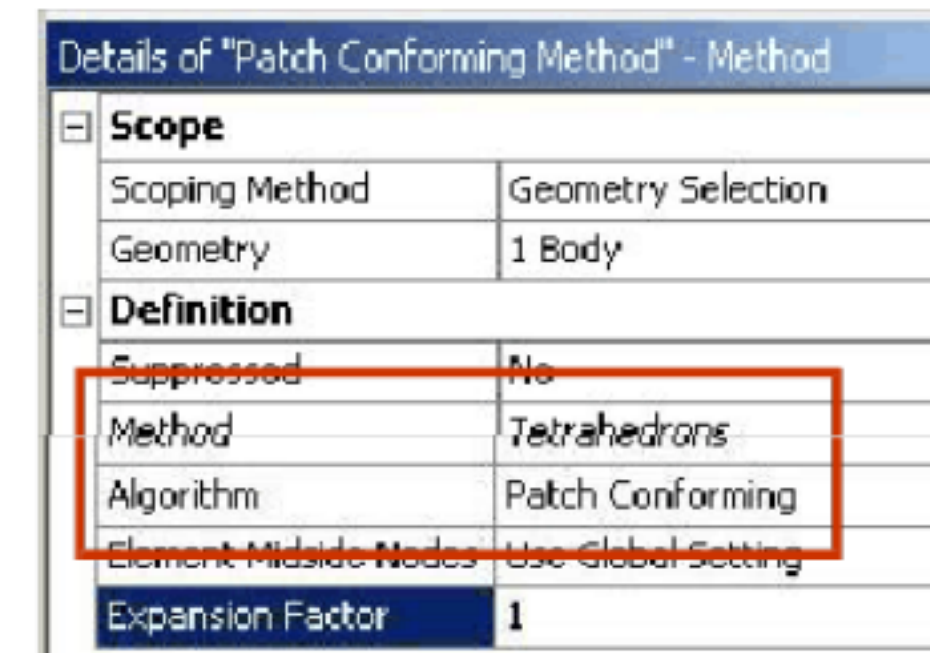
- 完全进行四面体网格划分。

? Patch Conforming :

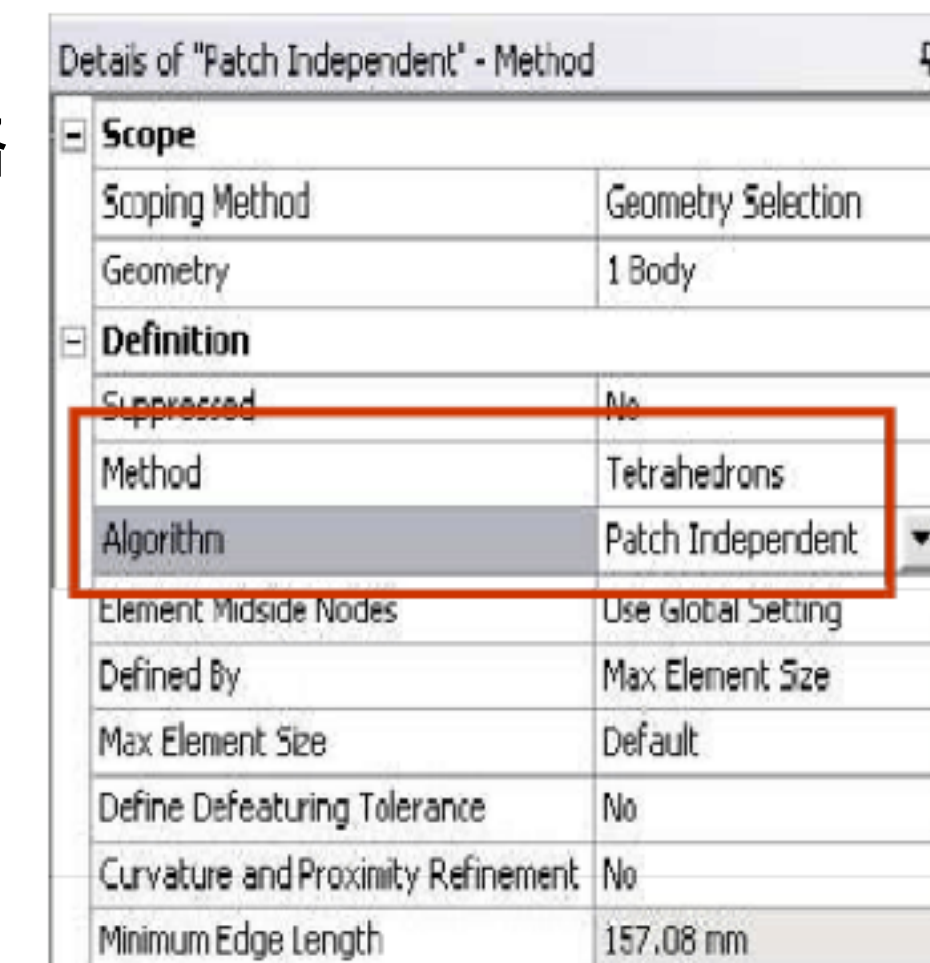
- Expansion Factor （扩展因子） 控制着四面体单元的内在增长速率。

? Patch Independent 网格划分：

- 在进行网格划分时，可能忽略面以及它的边界。
- 只有当面上施加了边界条件时，它的边界是不能忽略的。
- 参见下一页 Patch Independent 选项



略



### ...局部网格划分控制：方法（继续）

#### ? Patch Independent 选项：

- Maximum Element Size : 初始单元划分的大小
- Approx Number of Elements : 模型中期望的单元数目（可以被其它网格划分控制覆盖）
- Define defeaturing Tolerance –根据大小和角度过滤掉几何边。如果设为 Yes , 会出现一个 Defeaturing Tolerance 栏，可以输入一个数值。

? 提示： defeaturing 可以使网格划分忽略掉 small features , 而跳过它们进行网格划分。 Simulation （模拟）文件夹包含有完整的描述和示例。

? 接下来 .....



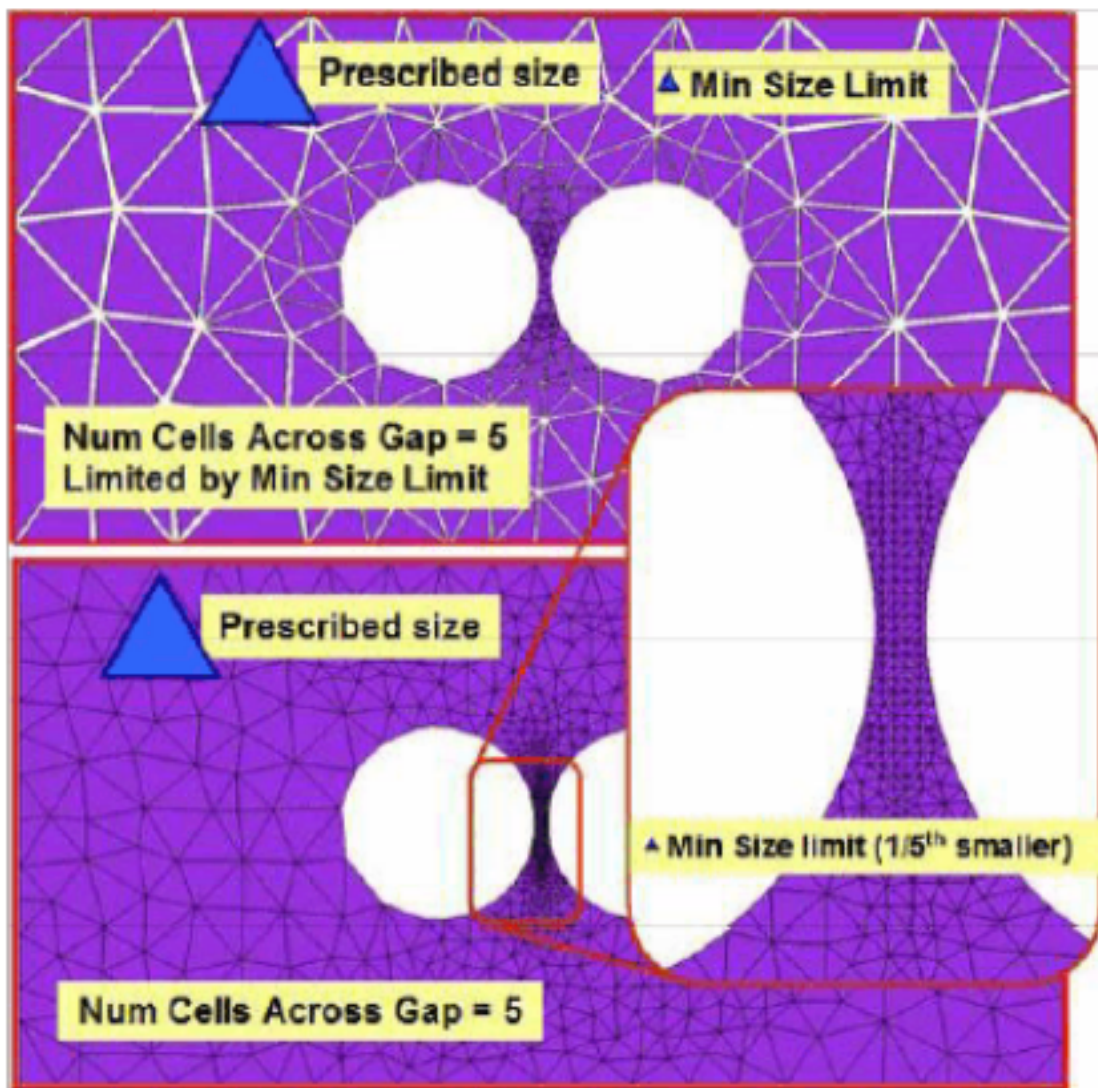
## ...局部网格划分控制：方法（继续）

? Curvature and Proximity Refinement 设为 Yes :

- Define by : 最大单元大小或单元数目近似值
- Defeaturing Tolerance (若为 yes) : 为 defeature 边添加误差控制。
- Curvature and Proximity : 基于 features 的曲率和近似, 自动加密网格。
- Num Cells across Gap – 指定在狭窄空隙中的单元数目。加密受限于 Min Size Limit

– Span Angle – 网格将在弯曲区域进行划分, 直到每个单元都在指定角度跨度内。受限  
于 Min Size Limit.

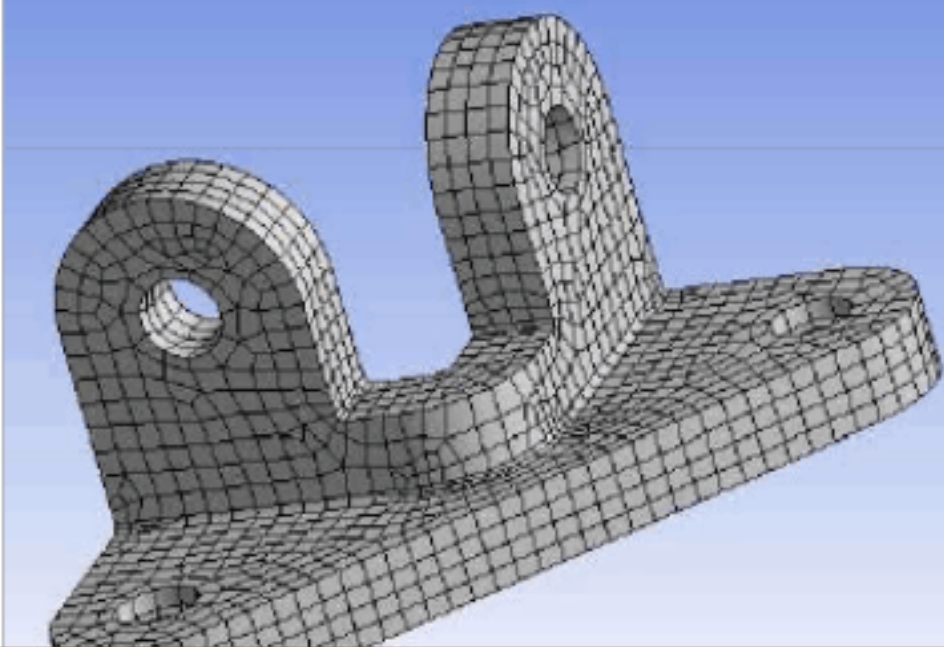
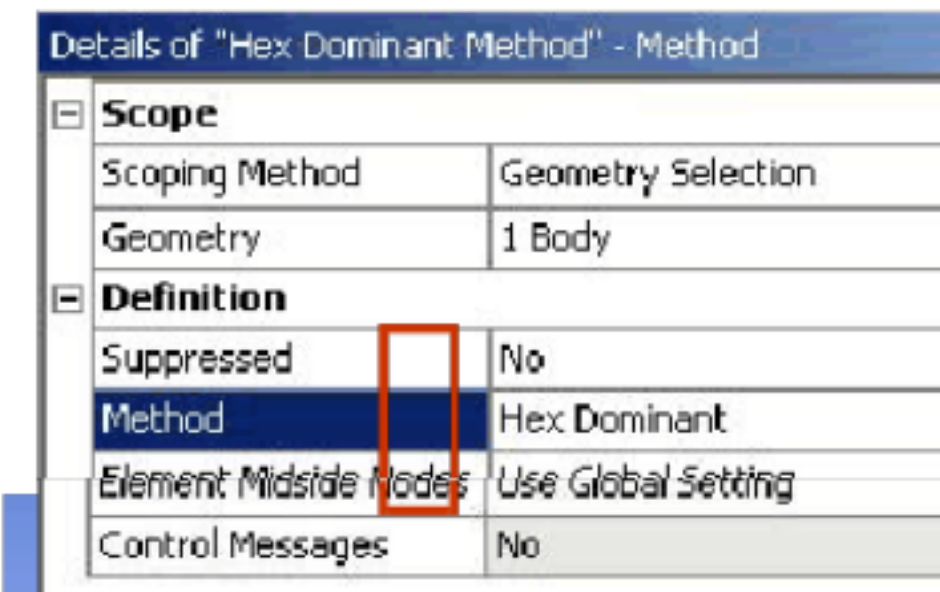
| Details of "Patch Independent" Method |                    |
|---------------------------------------|--------------------|
| Scope                                 | Geometry Selection |
| Geometry                              | 1 Body             |
| Definition                            |                    |
| Suppressed                            | No                 |
| Method                                | Tetrahedrons       |
| Algorithm                             | Patch Independent  |
| Element Midside Nodes                 | Use Global Setting |
| Advanced                              |                    |
| Defined By                            | Max Element Size   |
| Max Element Size                      | 3. mm              |
| Define Defeaturing Tolerance          | No                 |
| Curvature and Proximity Refinement    | Yes                |
| Min Size Limit                        | 1. mm              |
| Num Cells Across Gap                  | 2                  |
| Curvature Normal Angle                | 5.0 °              |
| Minimum Edge Length                   | 0.5 mm             |



? Hex Dominant：主要使用六面体进行自由网格划分。  
对不能进行扫掠划分的实体模型划分网格很有用。  
(只能在 ANSYS Structural 或更高版本中使用)

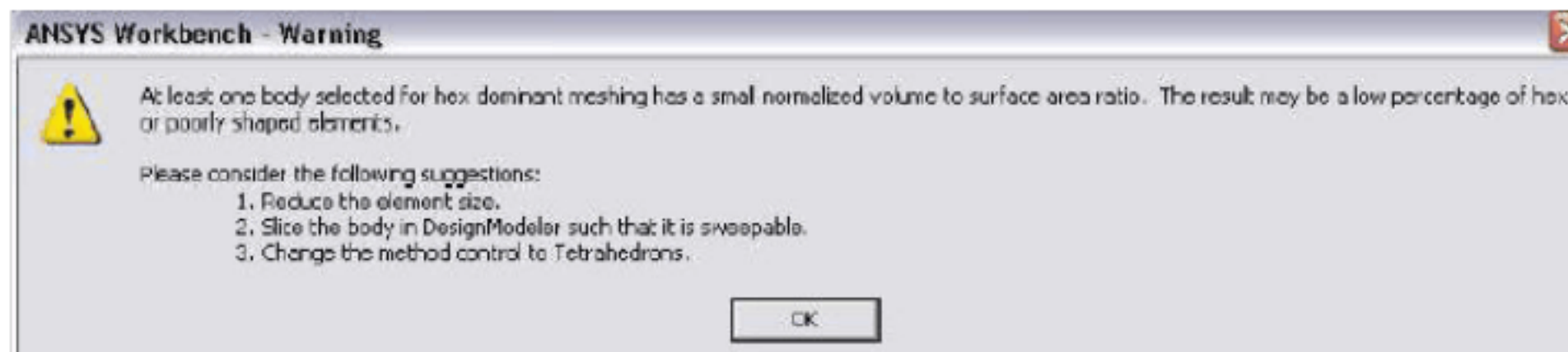
? hex-dominant 网格划分的算法，是先主要使用四边形生成一个面网格，然后根据需要填充锥体和四面体单元。

? 如果实体可能不适合进行 hex-dominant 网格划分，将提醒用户。



采用 Hex-Dominated 网格划分的实体模型：

|                    |             |
|--------------------|-------------|
| Tetrahedrons (四面体) | -443 (9%)   |
| Hexahedron (六面体)   | -2801 (62%) |
| Wedge (楔形体)        | -124 (2%)   |
| Pyramid (锥体)       | -1107 (24%) |





? Sweep（扫掠划分）：

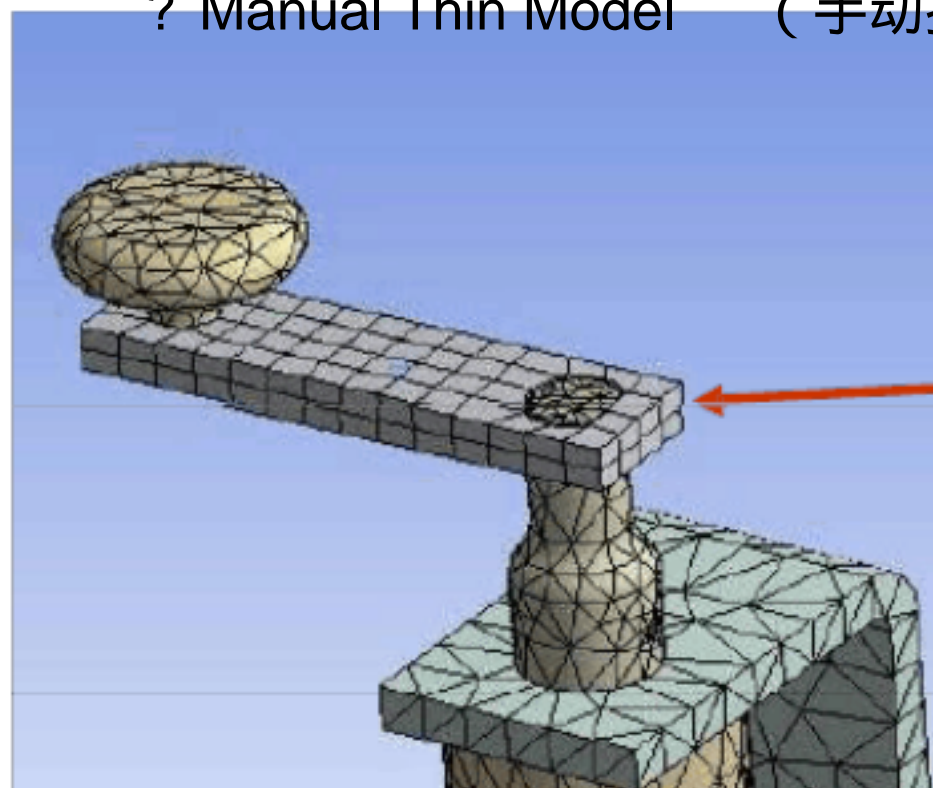
= 扫掠划分单元（六面体，也可能是楔形体），否则就是四面体。  
在 mesh 上点击鼠标右键选择 Show Sweepable Bodies。

- Type：扫掠方向上的划分数目或单元大小。
- Sweep Bias Type：扫掠方向上的间隔比例
- Src/Trg Selection：

? Automatic（自动选择），manual source（手动选择源面）或 manual source and target（手动选择源面和目标面）

? Automatic Thin Model（自动指定厚度模型）—在厚度方向上就一个六面体或楔形体单元。可以在实体壳单元（ SOLSH190 ）和实体单元（ Solid185 ）之间选择。

? Manual Thin Model（手动指定厚度模型）—允许选择一个源面



中间的实体采用的是扫掠划分，而其它实体是四面体单元划分。

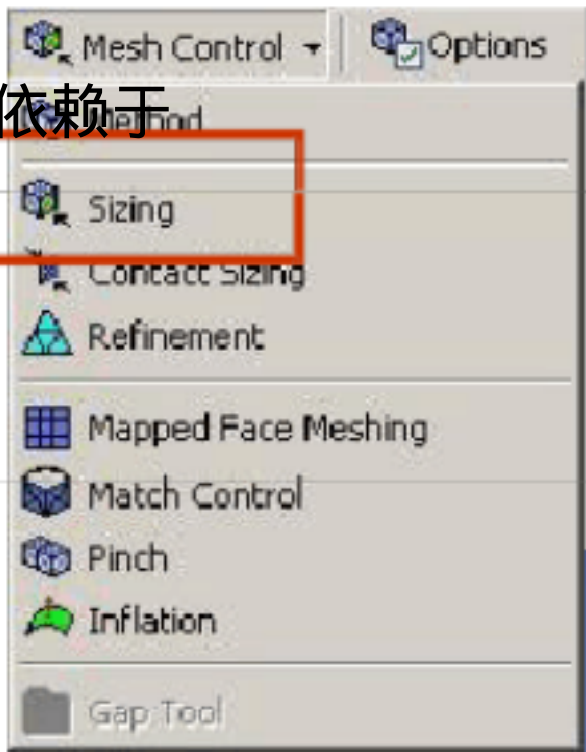
| Details of "Sweep Method" - Method |                          |
|------------------------------------|--------------------------|
| Scope                              |                          |
| Scoping Method                     | Geometry Selection       |
| Geometry                           | 1 Body                   |
| Definition                         |                          |
| Suppressed                         | No                       |
| Method                             | Sweep                    |
| Element Midside Nodes              | Use Global Setting       |
| Src/Trg Selection                  | Manual Source and Target |
| Source                             | 1 Face                   |
| Target                             | 1 Face                   |
| Type                               | Element Size             |
| Sweep Element Size                 | Please Define            |
| Sweep Bias Type                    | No Bias                  |



? Sizing :

- “ Element Size 指定平均单元长度或划分数目 ( 几何模型选集 )
- “ Soft 控制可以被其它网格控制覆盖 , 而 “ Hard 控制不会。
- 可以进行网格偏置划分。
- 上面可行的选项依赖于选定的实体 :

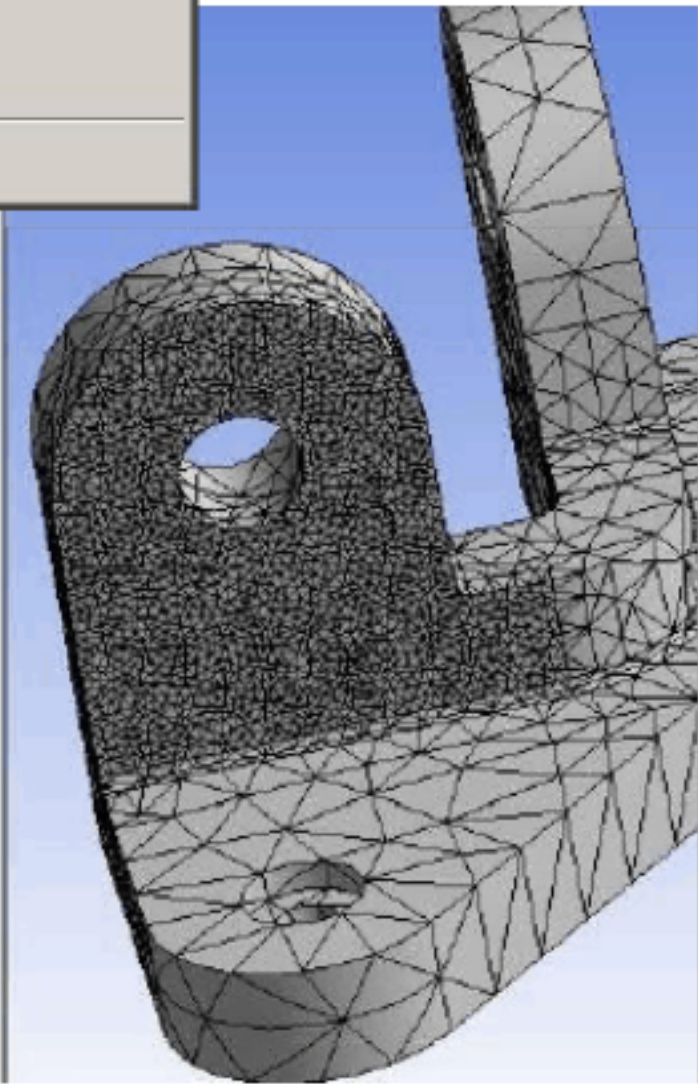
选择依赖于



? Sphere of Influence sizing, 参见下一页。

| Entity   | Element Size | # of Elem. Division | Sphere of Influence |
|----------|--------------|---------------------|---------------------|
| Bodies   | x            |                     | x                   |
| Faces    | x            |                     | x                   |
| Edges    | x            | x                   | x                   |
| Vertices |              |                     | x                   |

在一个部件上使用了 Face Sizing



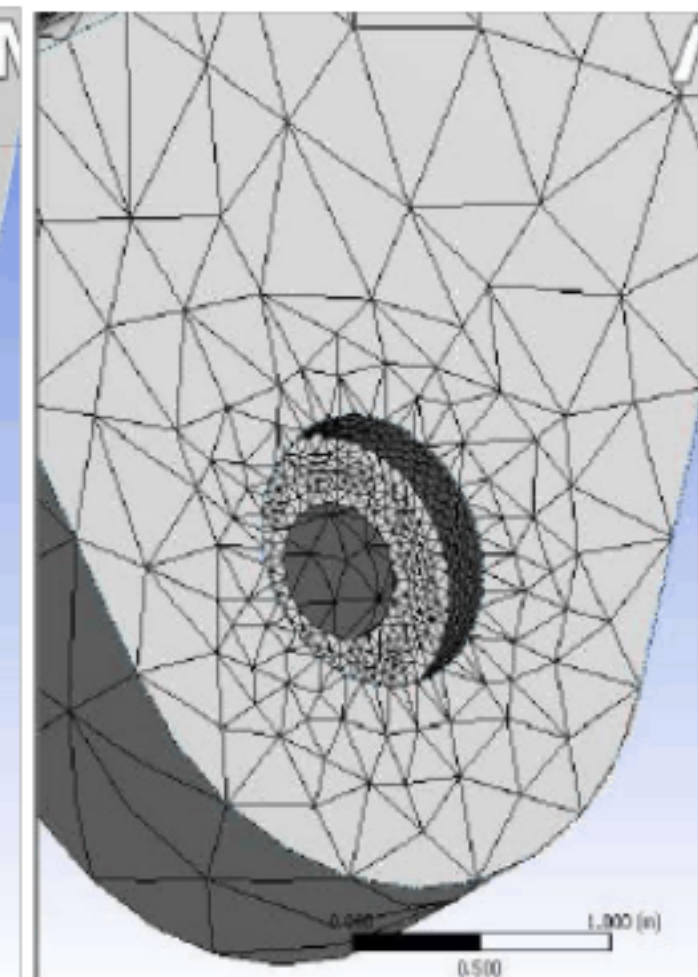
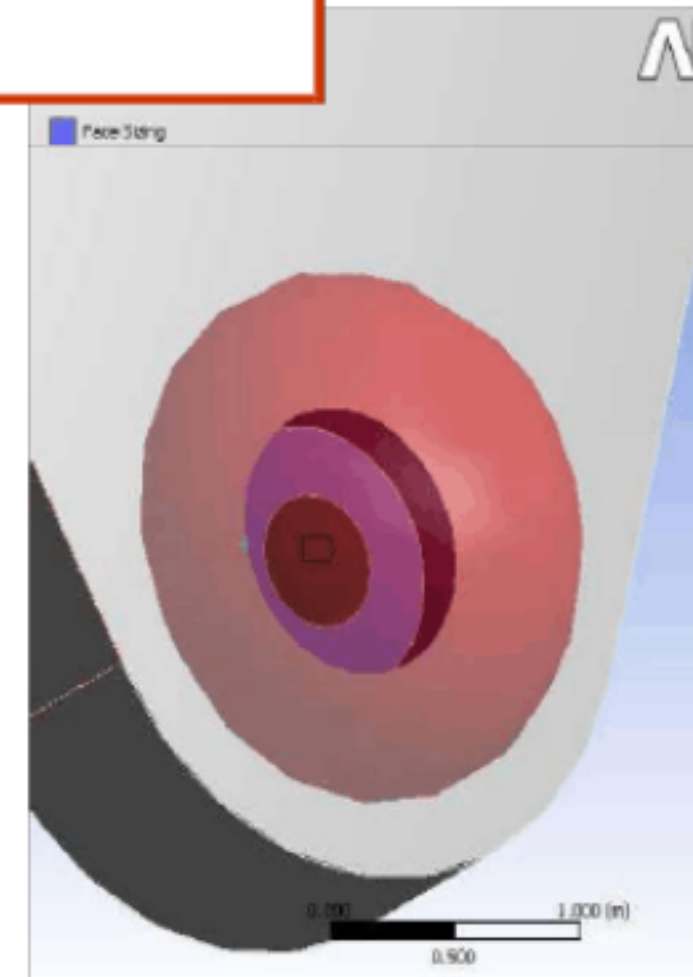
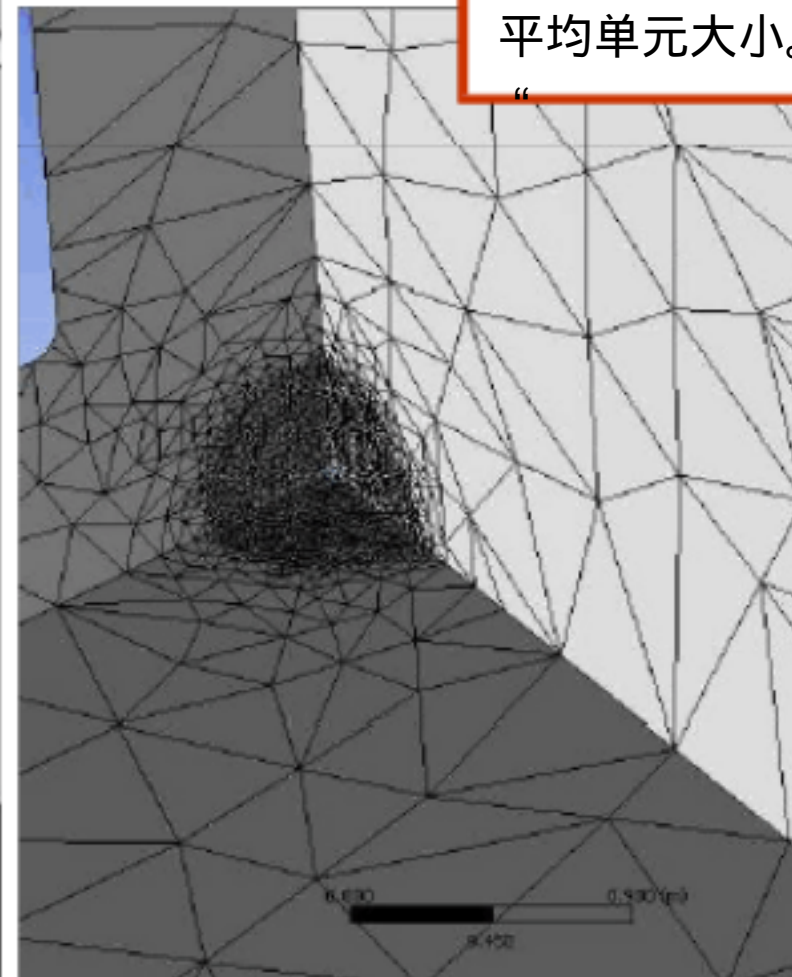
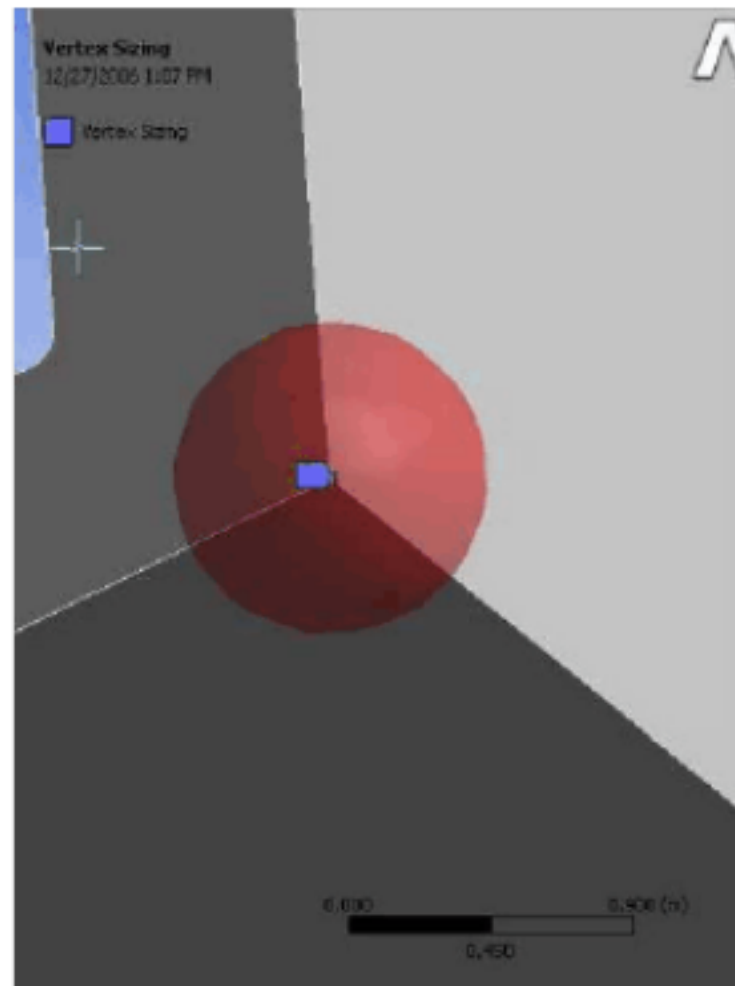
## ? Sphere of Influence:

- 使用局部坐标系确定中心。

- 球体内的所有关注的实体都会受到网格大小设置的影响。

Sphere of Influence (红圈所示)  
关注实体的单元大小是给定的  
平均单元大小。

关注于两个面

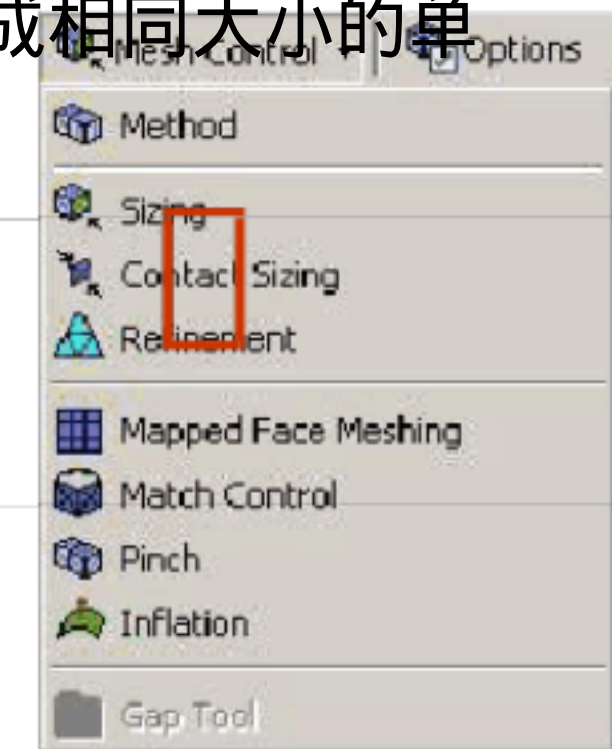




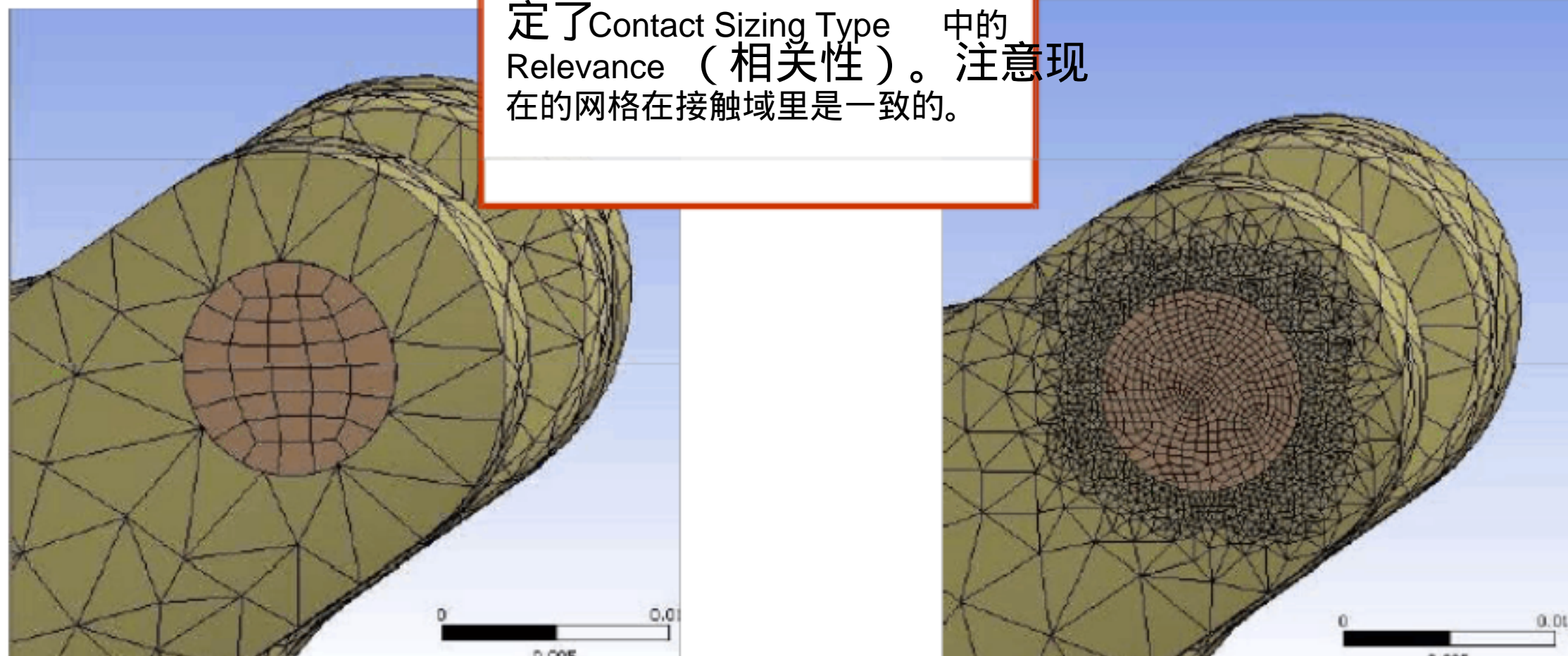
? Contact Sizing : 对于面面接触或面边接触区域，在接触面上生成相同大小的单元。

- 可以指定 “ Element Size ” 或 “ Relevance ”
- 选择 Mesh Control 菜单下的 Contact Sizing 来指定接触区域
- 或把 Contact Region Objects (接触域对象) 拖放到 Mesh Objects (网格划分对象) 中。

成相同大小的单元。



本例中，两个部件间的接触域指定了Contact Sizing Type 中的 Relevance (相关性)。注意现在的网格在接触域里是一致的。

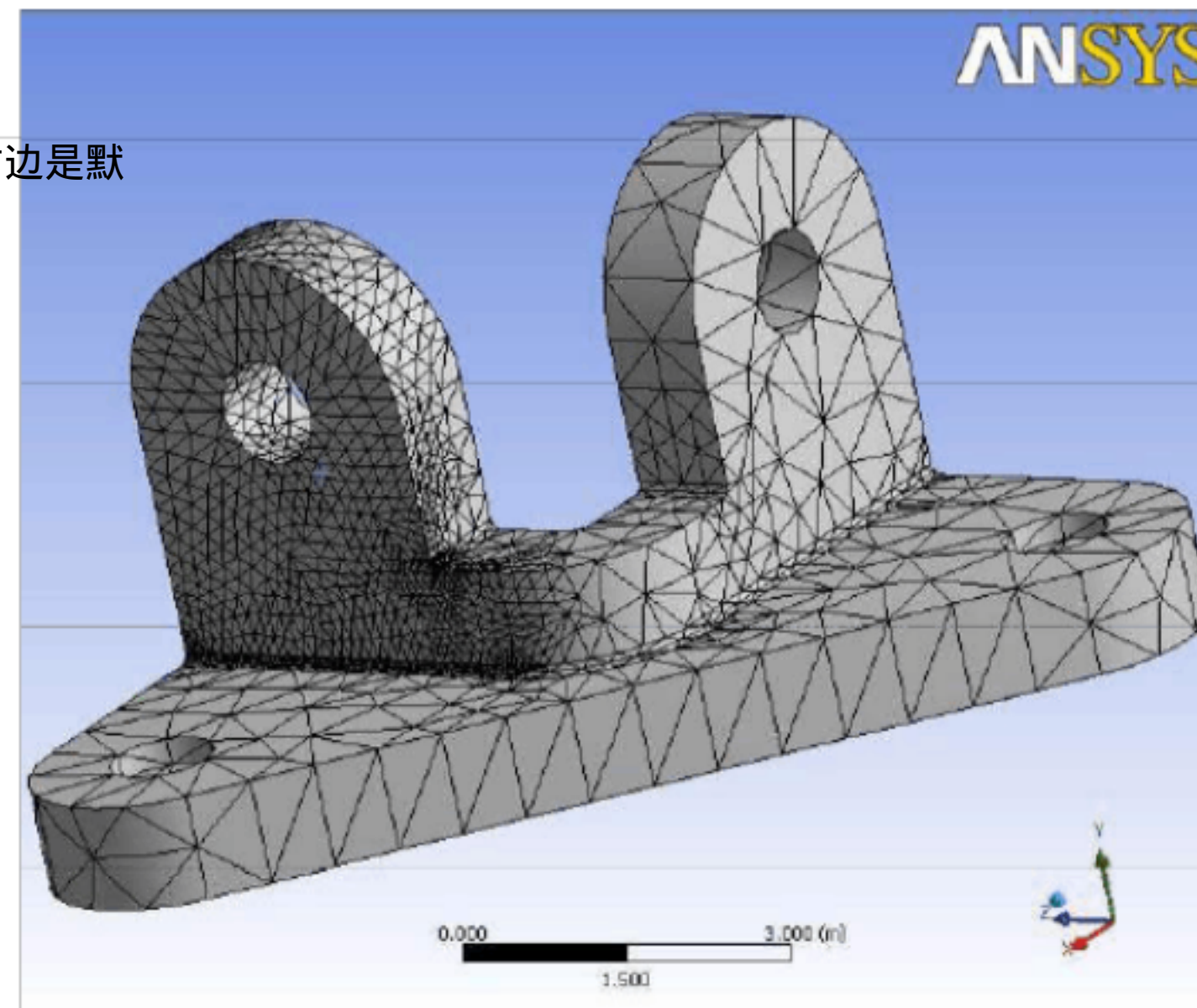




### ? Element refinement 细化已经存在的网格

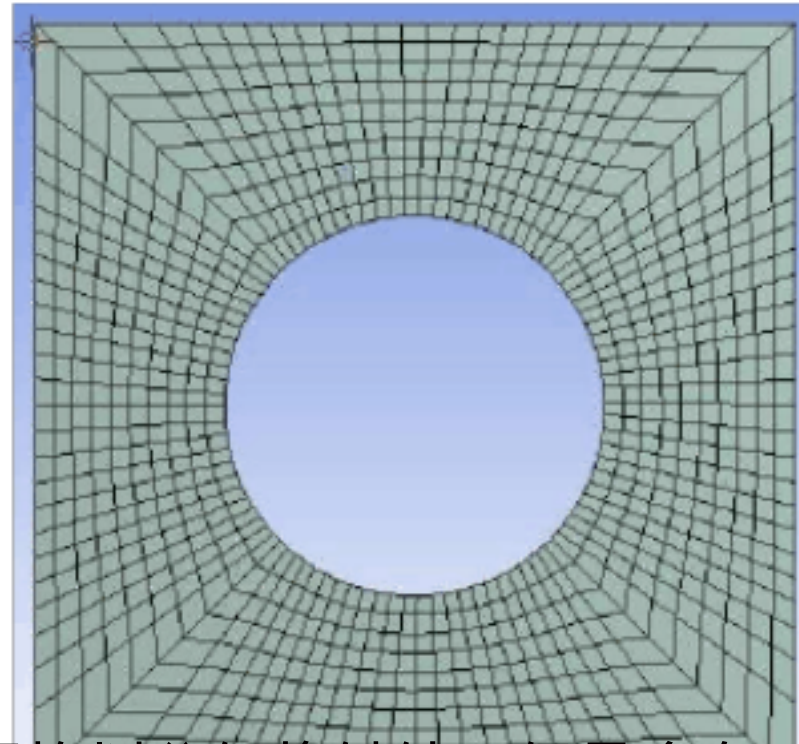
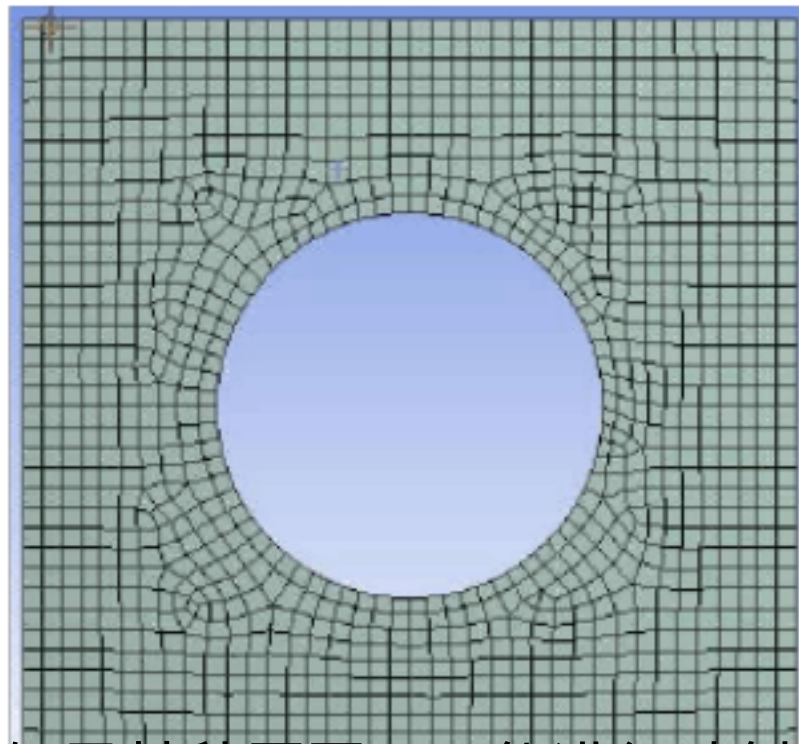
- 首先用 global and local size controls （整体和局部网格大小控制）创建一个初始网格，然后在指定位置应用 element refinement （单元加密）。
- 加密系数范围是 1~3 （最小到最大）。加密控制把初始网格的单元边分割为两半。加密水平控制加密迭代的次数。

图示例子中，左边的加密水平为 2，而右边是默认的网络设置。



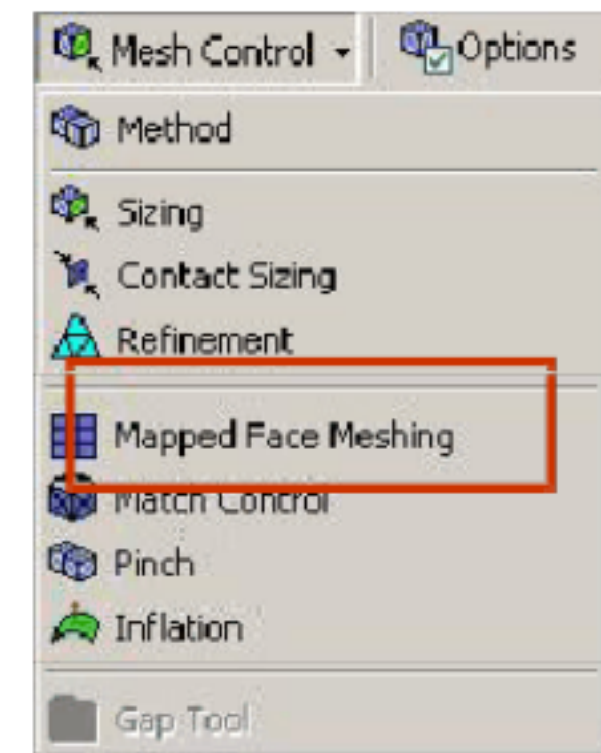
? 面映射网格划分：在面上生成规则的网格：

- 下面例子中，外表面的面映射网格划分得到了更均匀的网格。



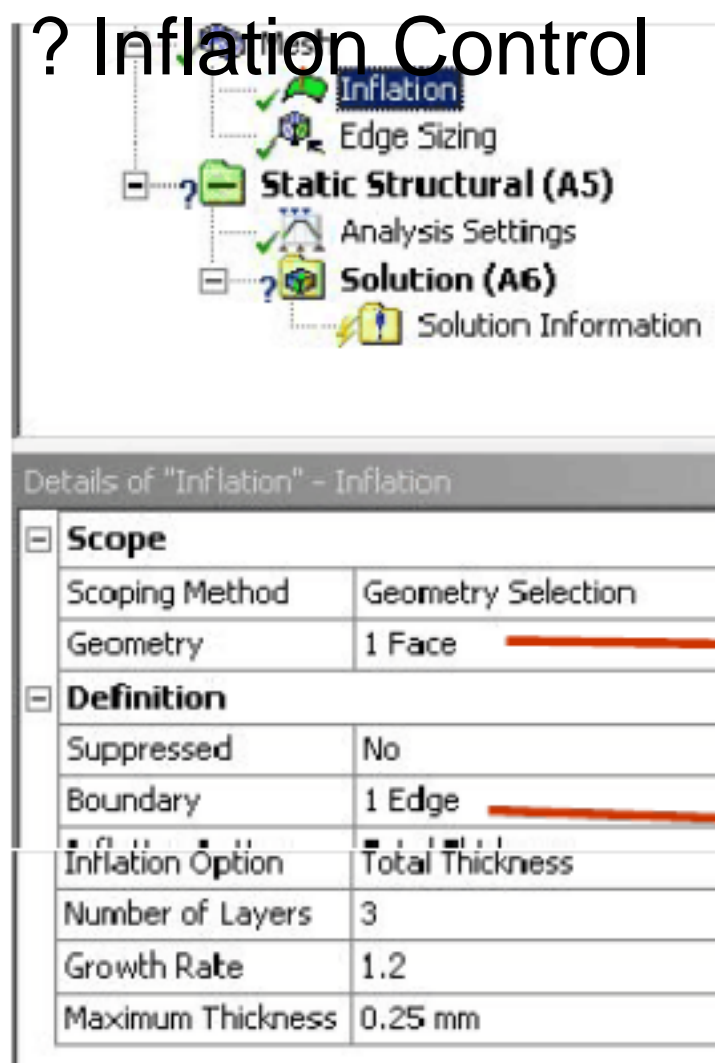
- 如果某种原因下不能进行映射划分，网格划分仍将继续，但是会在 Outline Tree 中以图标形式显示出来：

? 对于面实体，三角形映射划分和四边形映射划分都可行。

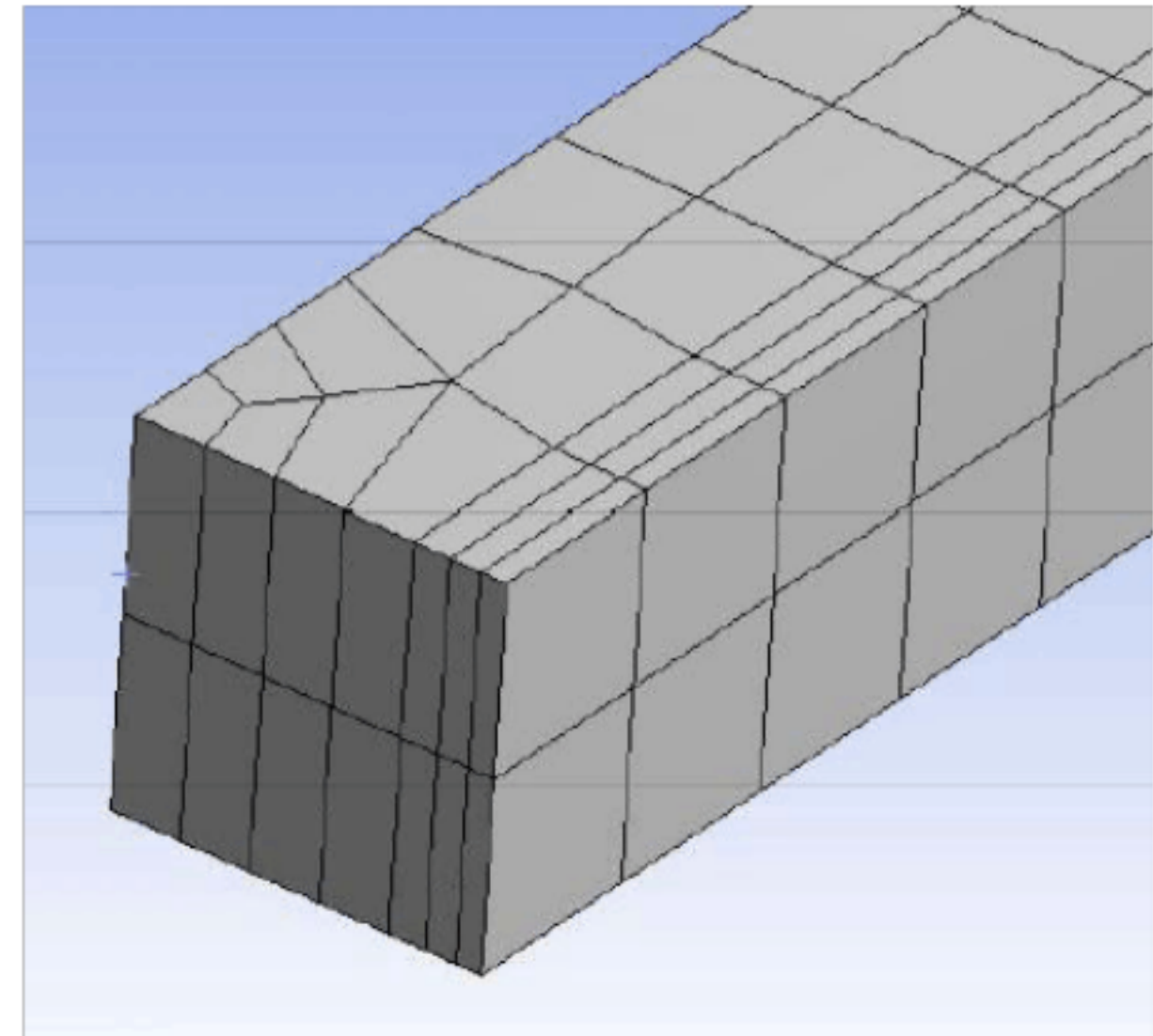
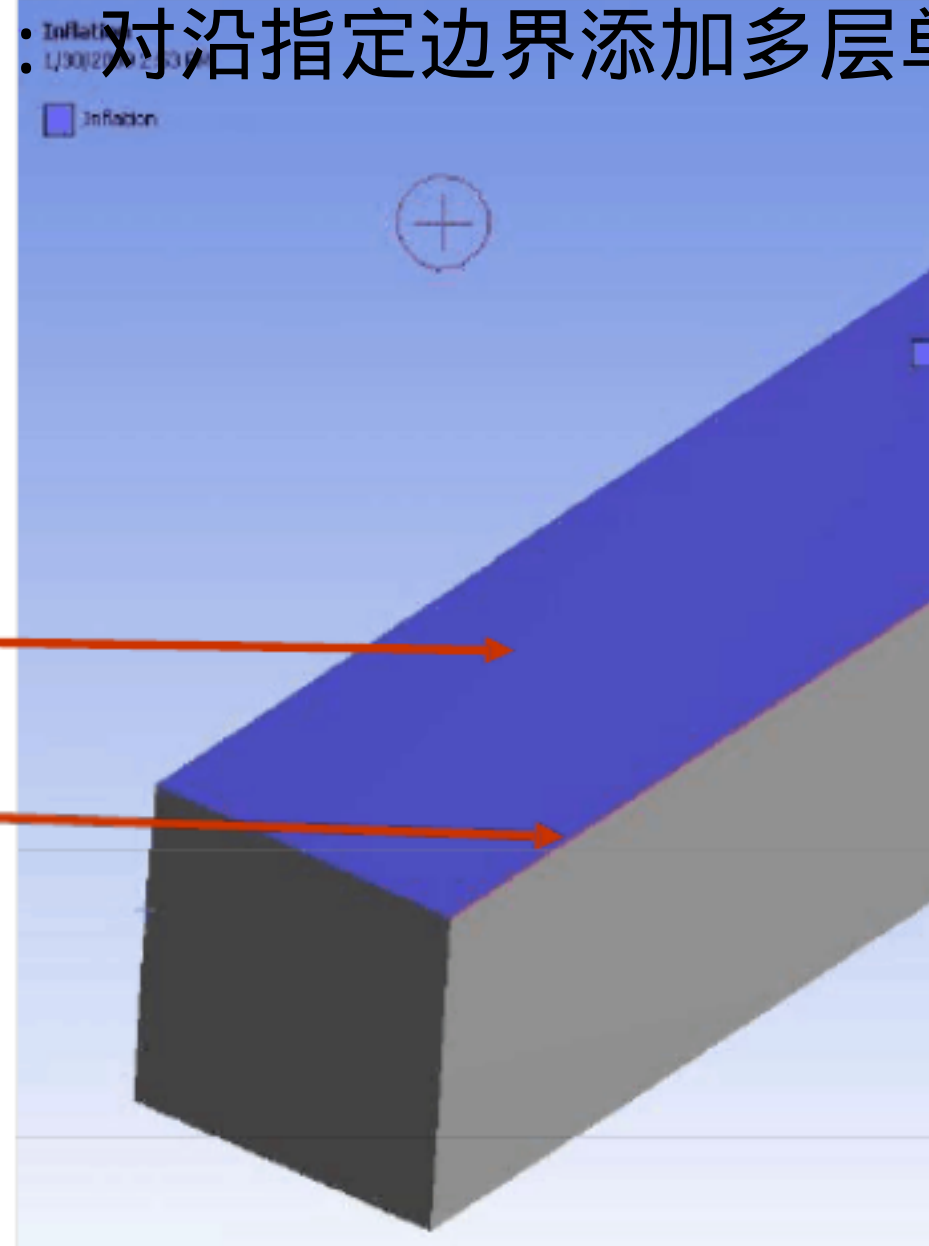




## ? Inflation Control



对沿指定边界添加多层单元有用。



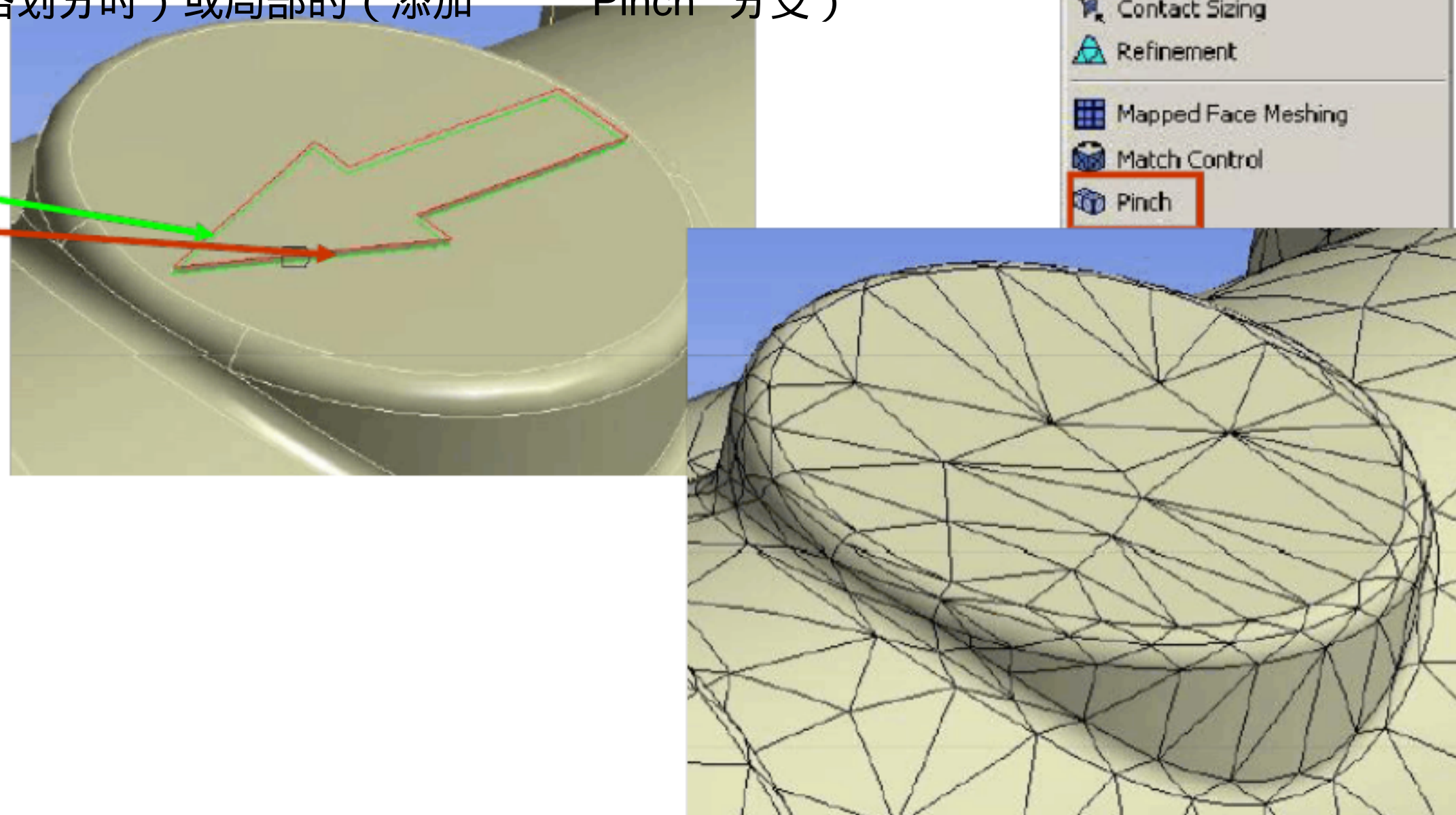
提示： Inflation 更常用在 CFD 和 EMAG 中，但可能对结构应用中的应力集中等也有帮助。



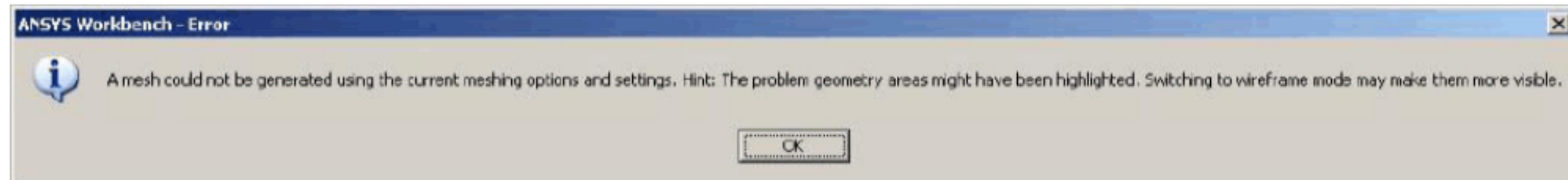
? Pinch : 允许删除小线和点以去除 小的特征

- Master: 保留原几何配置的几何模型
- Slave : 向 master 改变对齐的几何模型
- 可以是自动的 ( 网格划分时 ) 或局部的 ( 添加 Pinch 分支 )

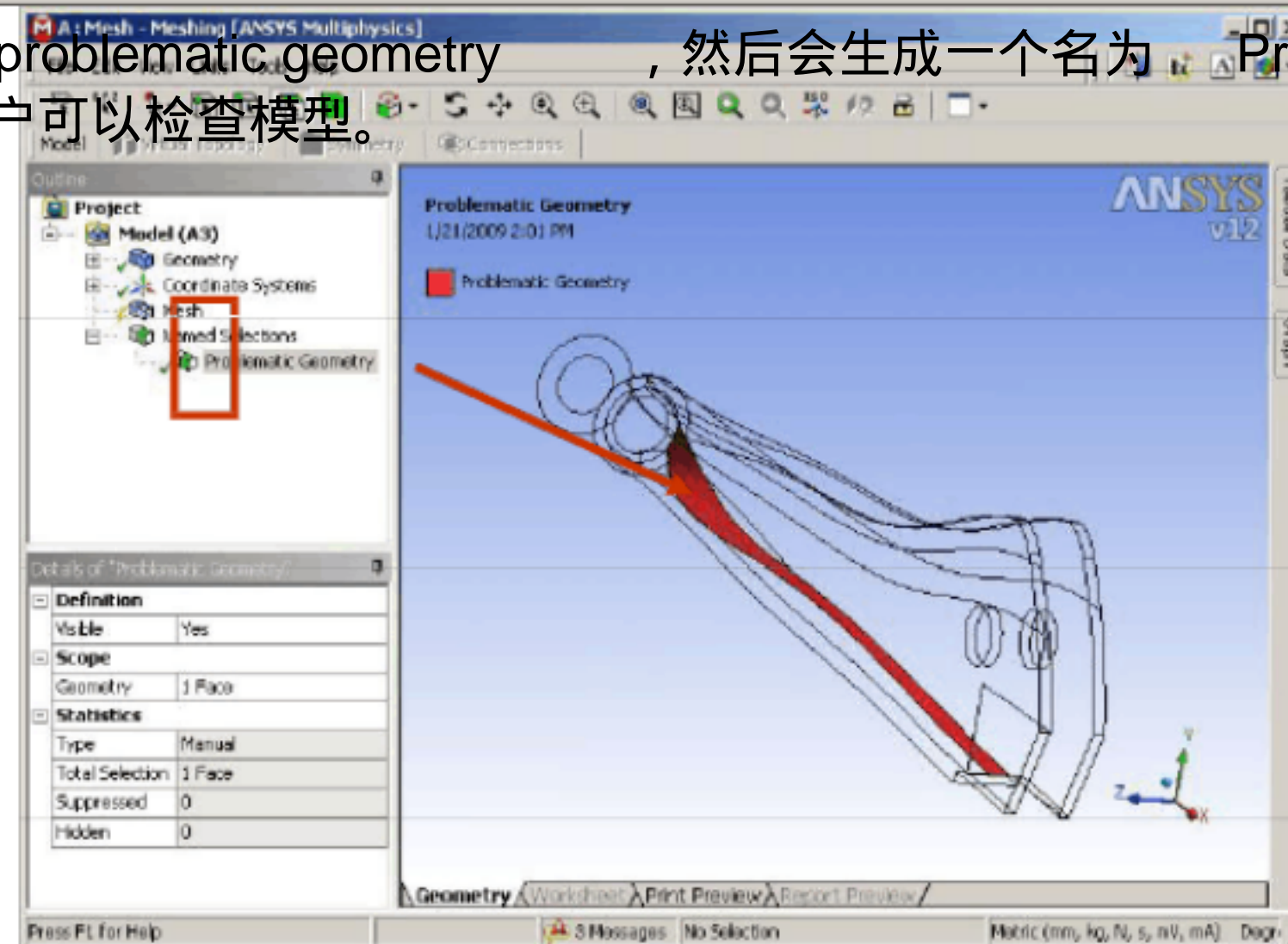
| Details of "Pinch" - Pinch |         |
|----------------------------|---------|
| Scope                      |         |
| Master Geometry            | 7 Edges |
| Slave Geometry             | 7 Edges |
| Definition                 |         |
| Suppressed                 | No      |
| Tolerance                  | 0.1 mm  |
| Scope Method               | Manual  |



? 如果不能得到很好形状的单元，会出来一个错误信息：



— 在屏幕中，选中 problematic geometry，然后会生成一个名为 Problematic Geometry 的选择集，这样用户可以检查模型。



? 网格划分失败的原因有很多：

- 在面上指定了不一致的大小控制，会导致形状很差的单元出现。
- 非常复杂的 CAD 几何模型，如小长条或扭曲的面。
- 严格的网格形状检查（在 Mesh 中的 Aggressive 设置）。

? 一些避免网格划分失败的方法：

- 给几何模型指定可行的网格大小。
- 指定小一点的网格大小，让网格划分得到形状较好的单元。
- 在 CAD 系统中，使用消除隐藏线图形查看，来搜索并删除长条状的或不想要的几何。
- 使用虚拟子块来组合细长条的或非常小的面。
  - 后面讨论这个选项



? Virtual Topology : 为进行网格控制组合面和边 :

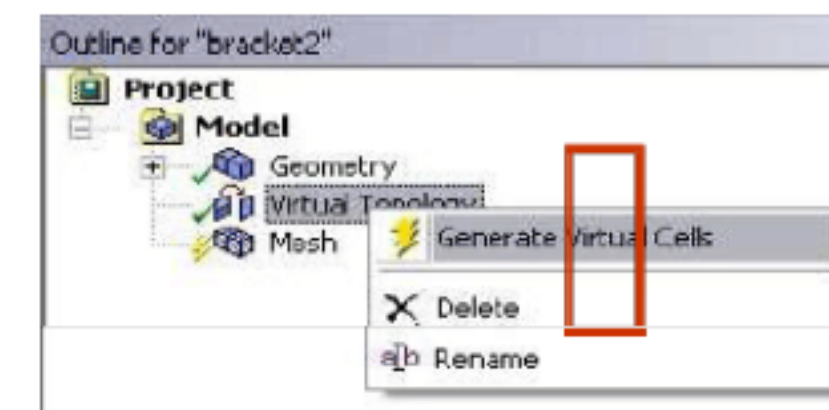
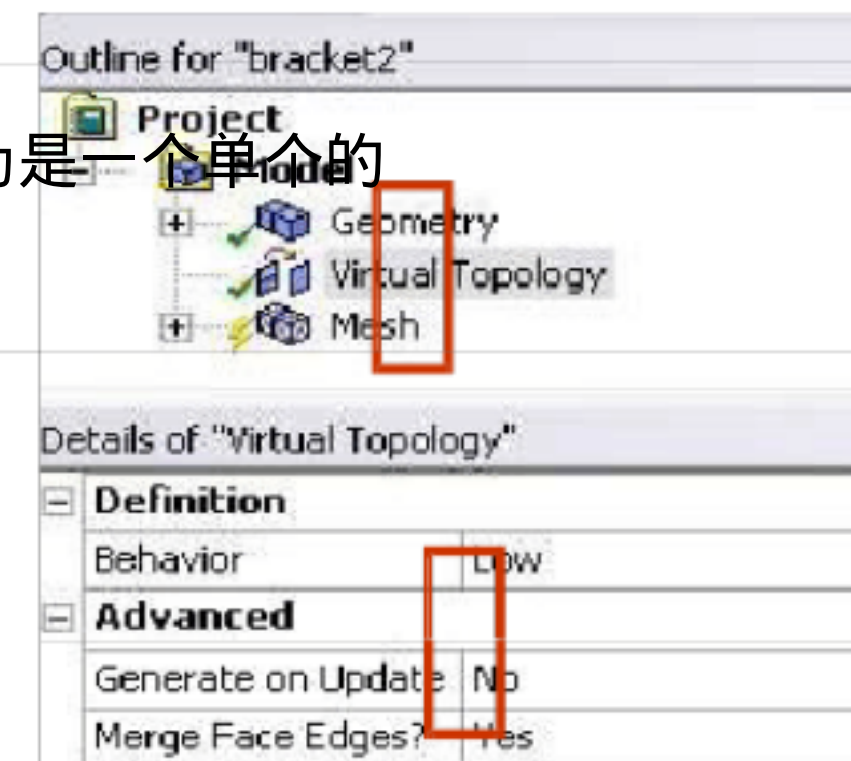
- 把 “ Virtual Topology ” 添加到 “ Model ” 上。
- 一个 “ Virtual Cell ” ( 虚拟子块 ) 就是把一组相邻的面作为一个单独的面来发挥作用。
- 在网格划分过程中 , 原始面内部的线会被永远忽略掉。
- 对于其它操作 , 如施加载荷和约束 , 一个虚拟子块可以被认作是一个单独的实体。
- 虚拟子块可以通过点击鼠标右键选择自动生成 :

? “ Behavior ” 控制着自动执行 Merge Face Edges 的程度。

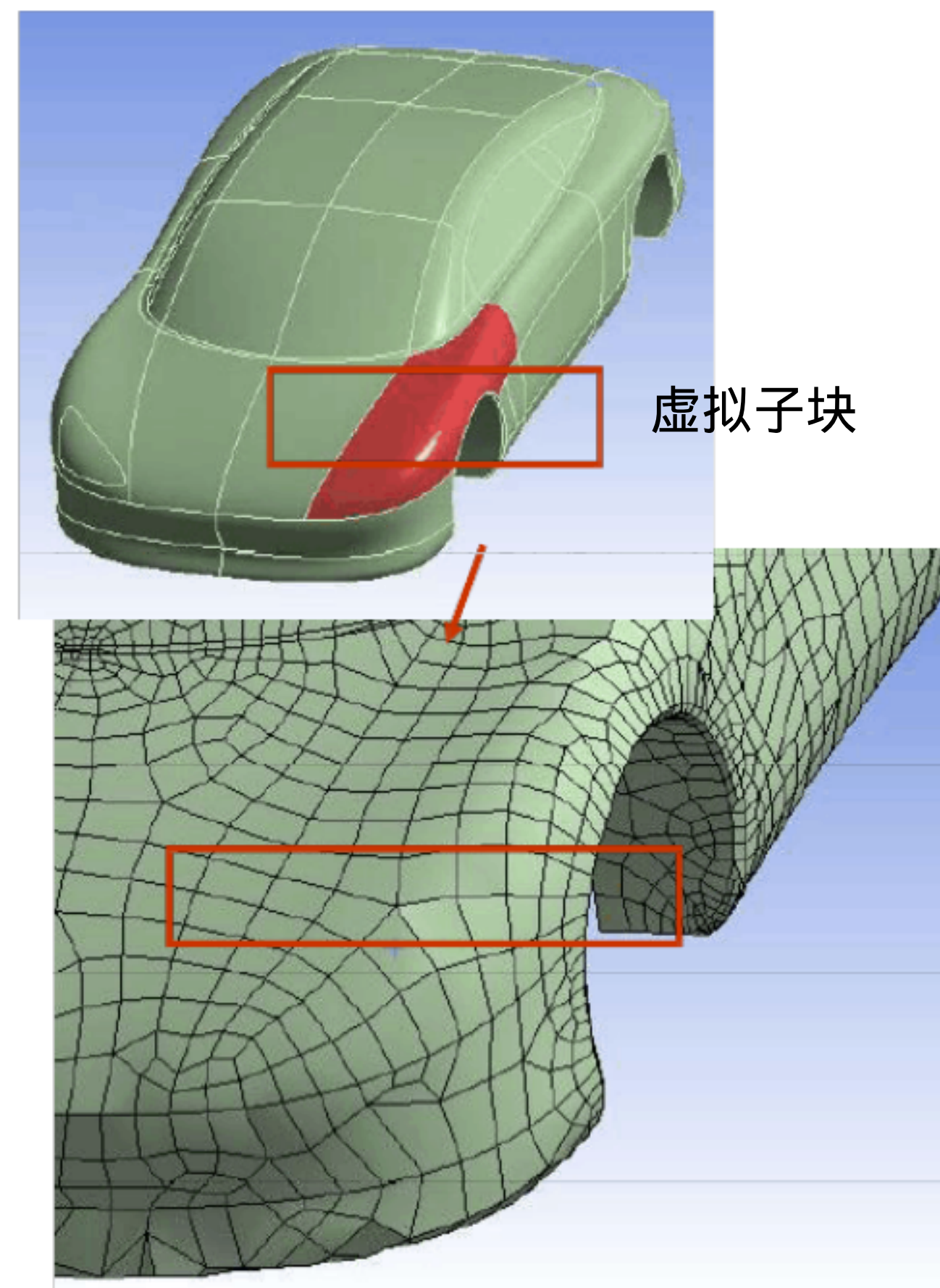
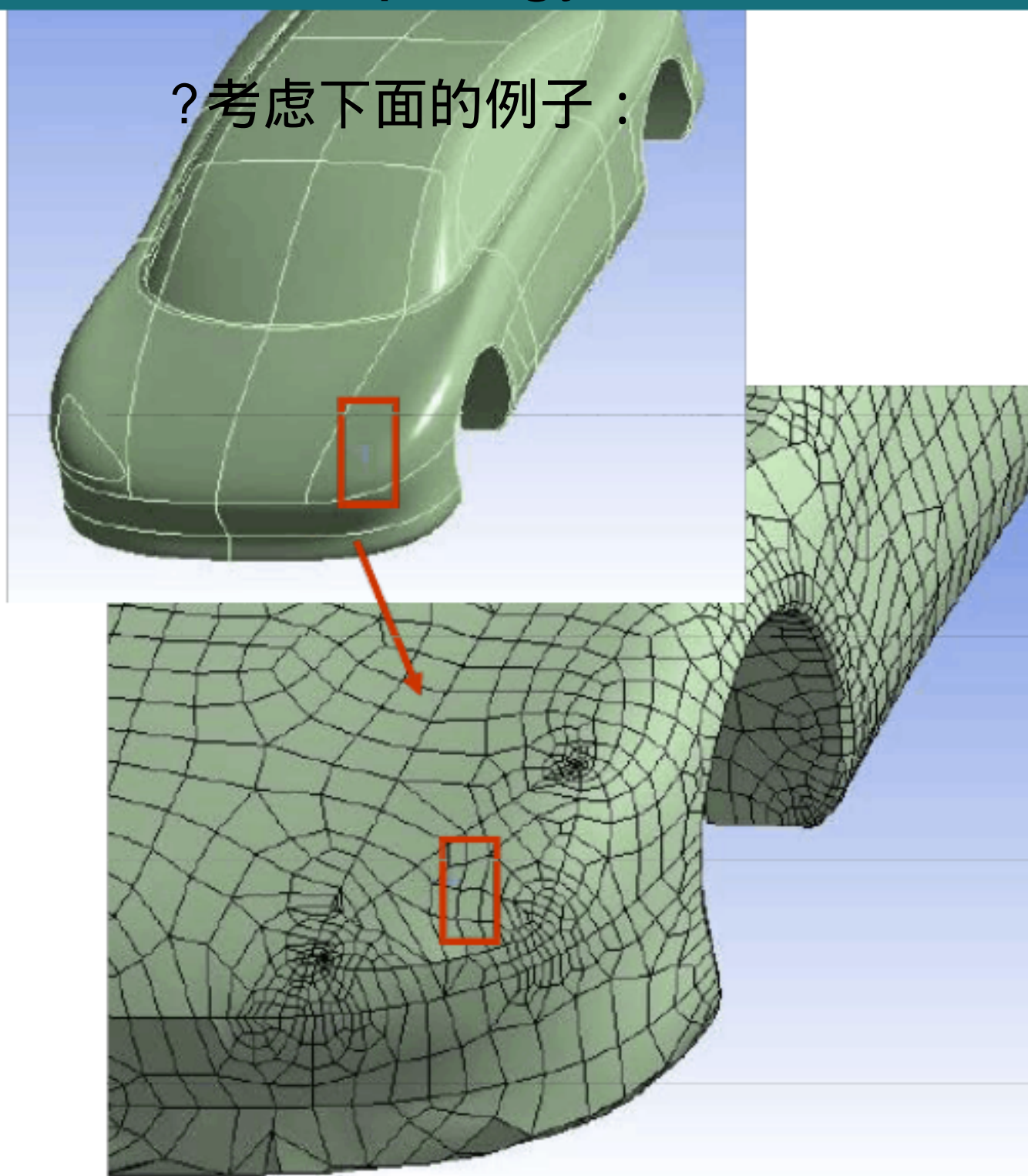
? 示例 ...

一个单独的面来发

为是一个单独的



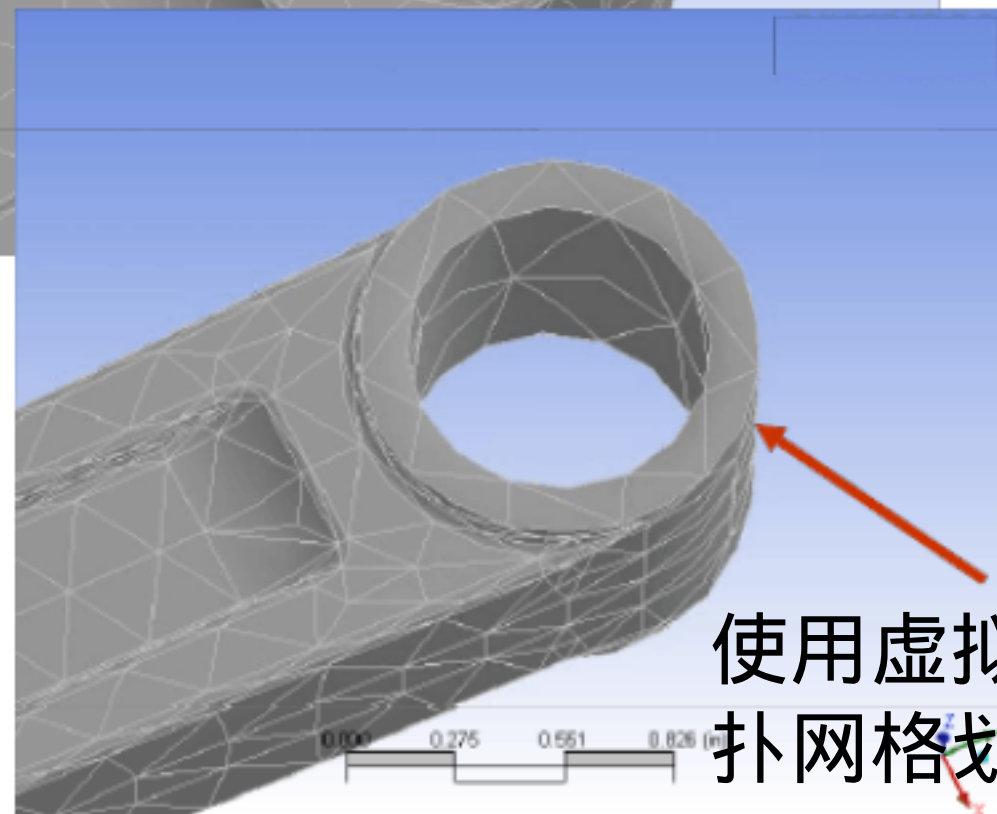
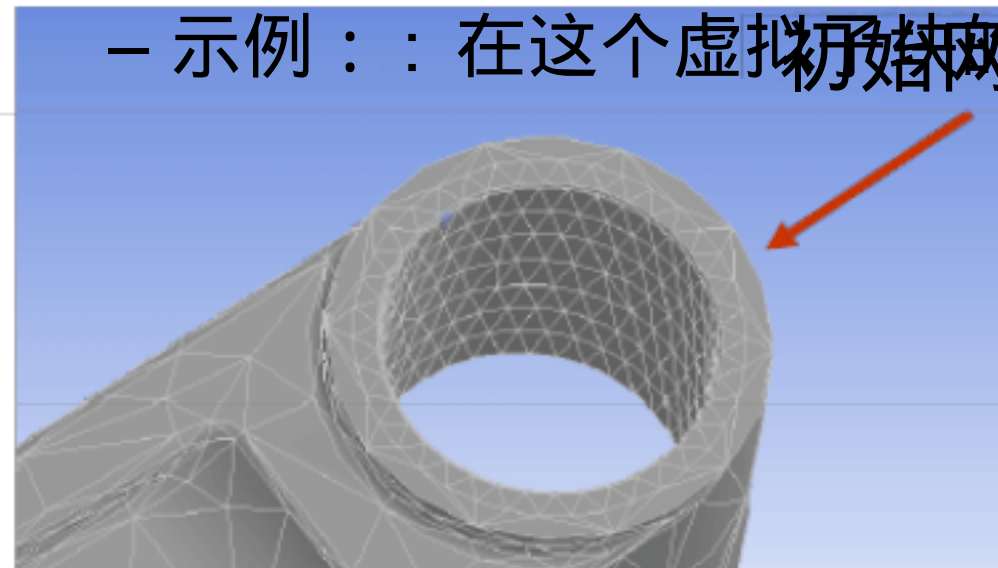
?考虑下面的例子：





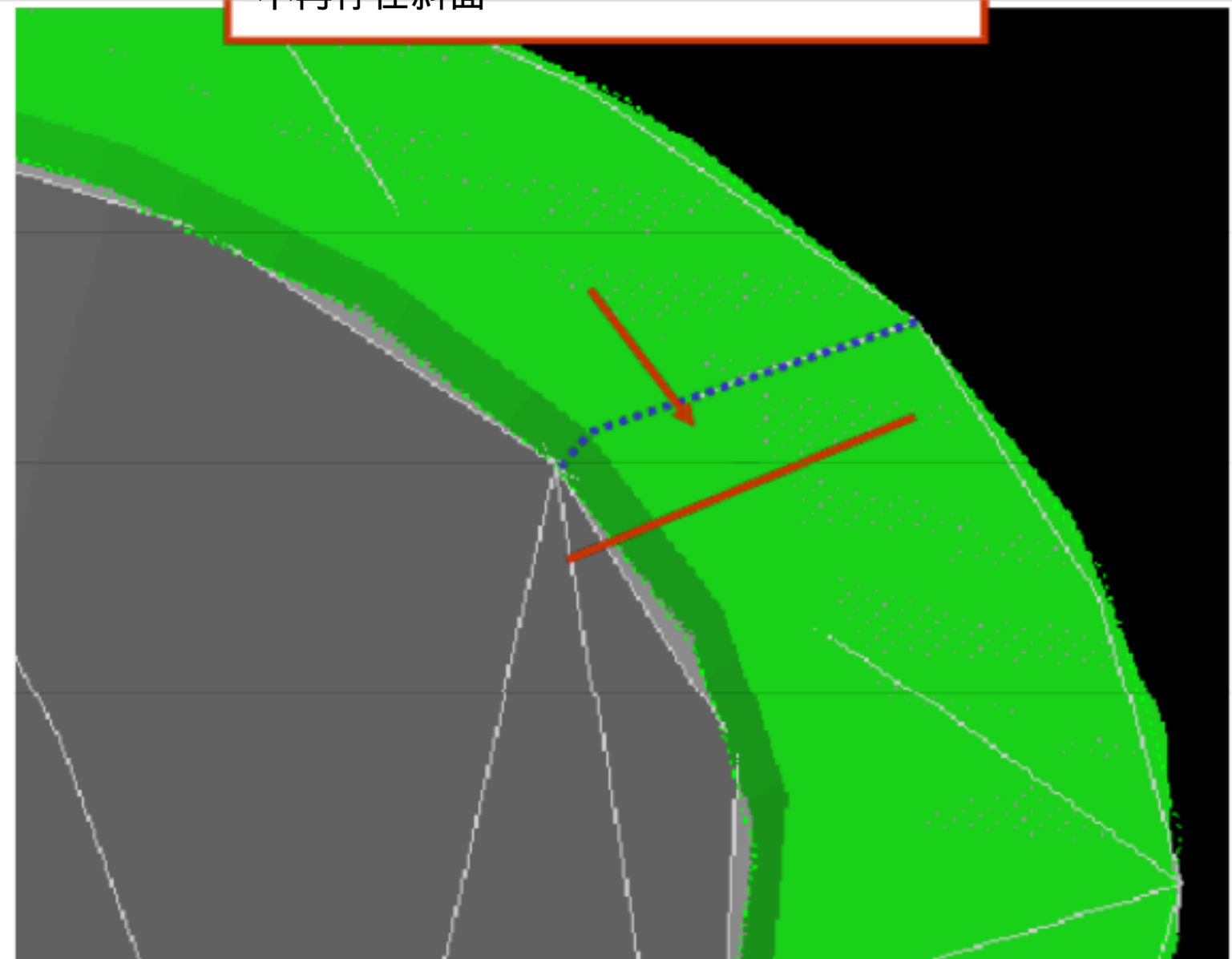
？记住拓扑可以改变！

– 示例：：在这个虚拟初始网格表面上添加了一个斜面，就不能再识别内部的线。



使用虚拟拓扑网格划分

单元的边用实线表示而原来的斜面和顶面都显示为蓝色虚线。不再存在斜面





## E. 命名选择集

? 命名选择集工具栏为组合几何实体提供了很好的功能!



- 命名选择集允许把点，边，面或实体组合在一起。
- 它可用于网格加密控制，施加载荷和约束等。
- 为需要经常选择的几何集提供了一个简便方法
  - ? 定义接触域
  - ? 指定结果

? 等

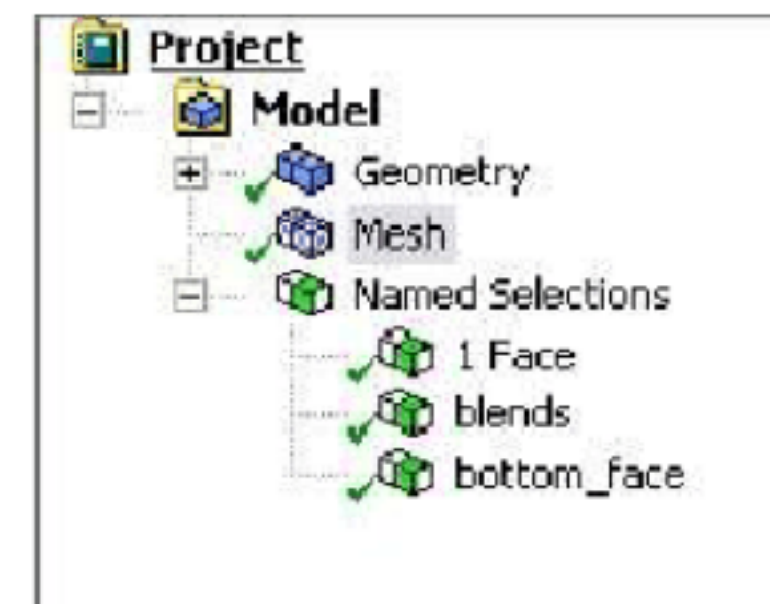
- 提示， visibility 和 suppression 只能应用在实体命名选择集。

### ? 创建命名选择集：

- 选择感兴趣的点、边、面或实体，然后点击  Selection Group 图标
- 在对话框中输入一个名称
- 新的命名集将出现在  Named Selection Toolbar (命名选择集工具栏) 和  Outline Tree (大纲树) 下。

### ? 提示：

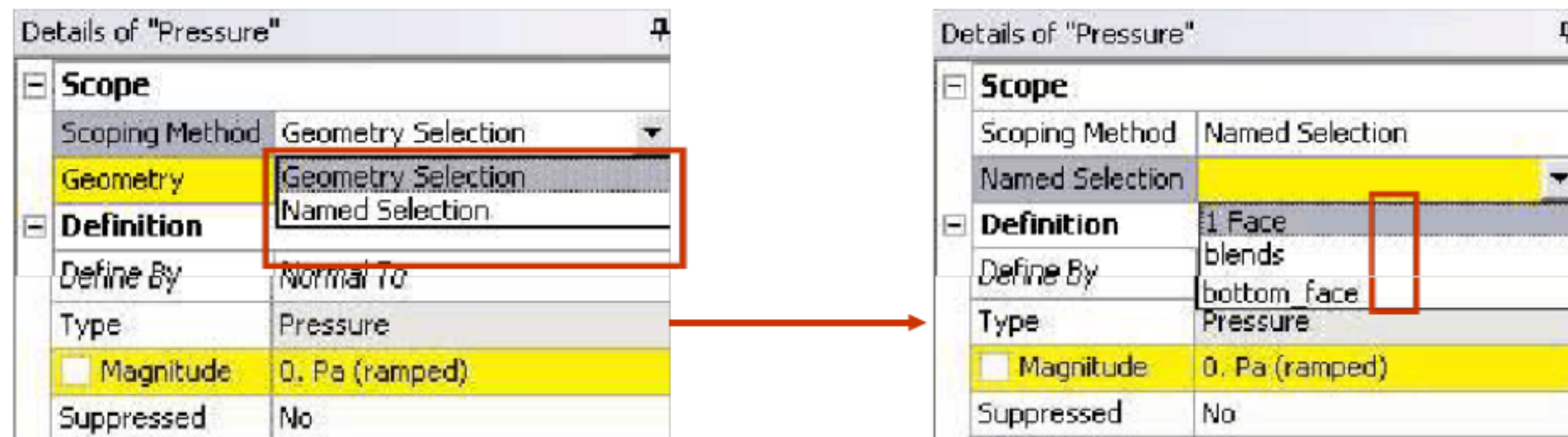
- 在一个指定的命名选择集里只允许出现一种实体类型。例如，在相同的命名集里就不能同时出现点和边。
- 命名选择集可以通过 CAD 系统导入（见第十章）。



? 在很多细节窗口中可以直接引用命名选择集：

? 示例（压载荷）：

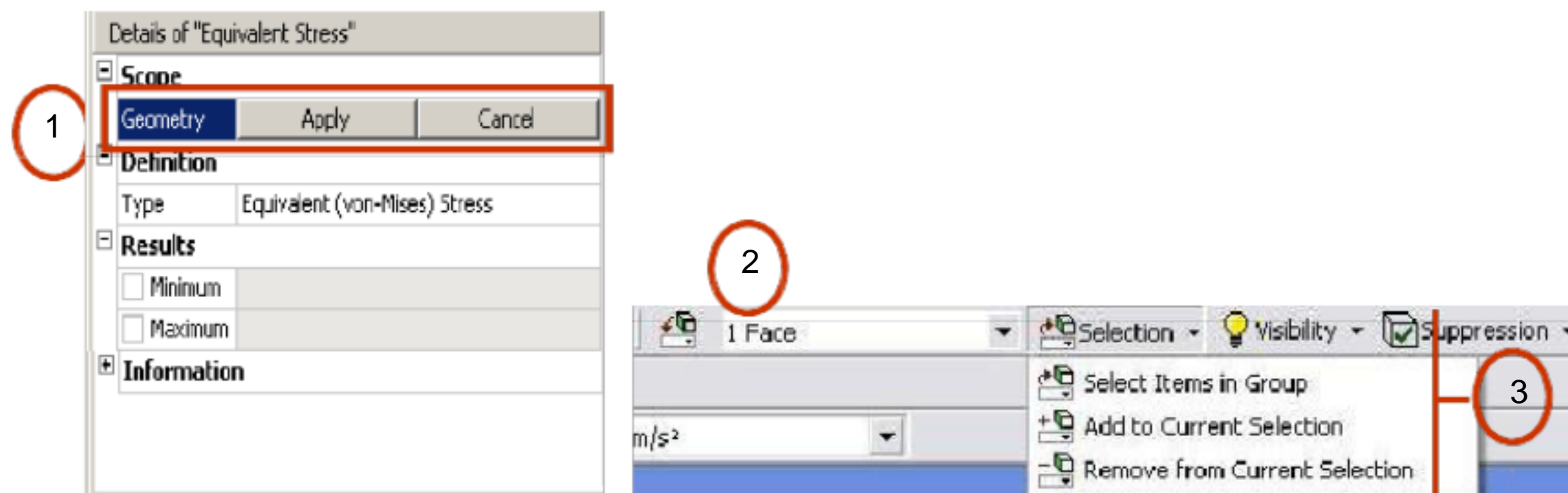
- 在 Details of Pressure 中，把 Method 由 Geometry Selection 换成 Named Selection
- 从下拉菜单中选择 Named Selection
  - ? 模拟时会过滤掉不能使用的命名选择集类型





? 在点中了 geometry 的时候，命名选择集还可以用在其它情况：

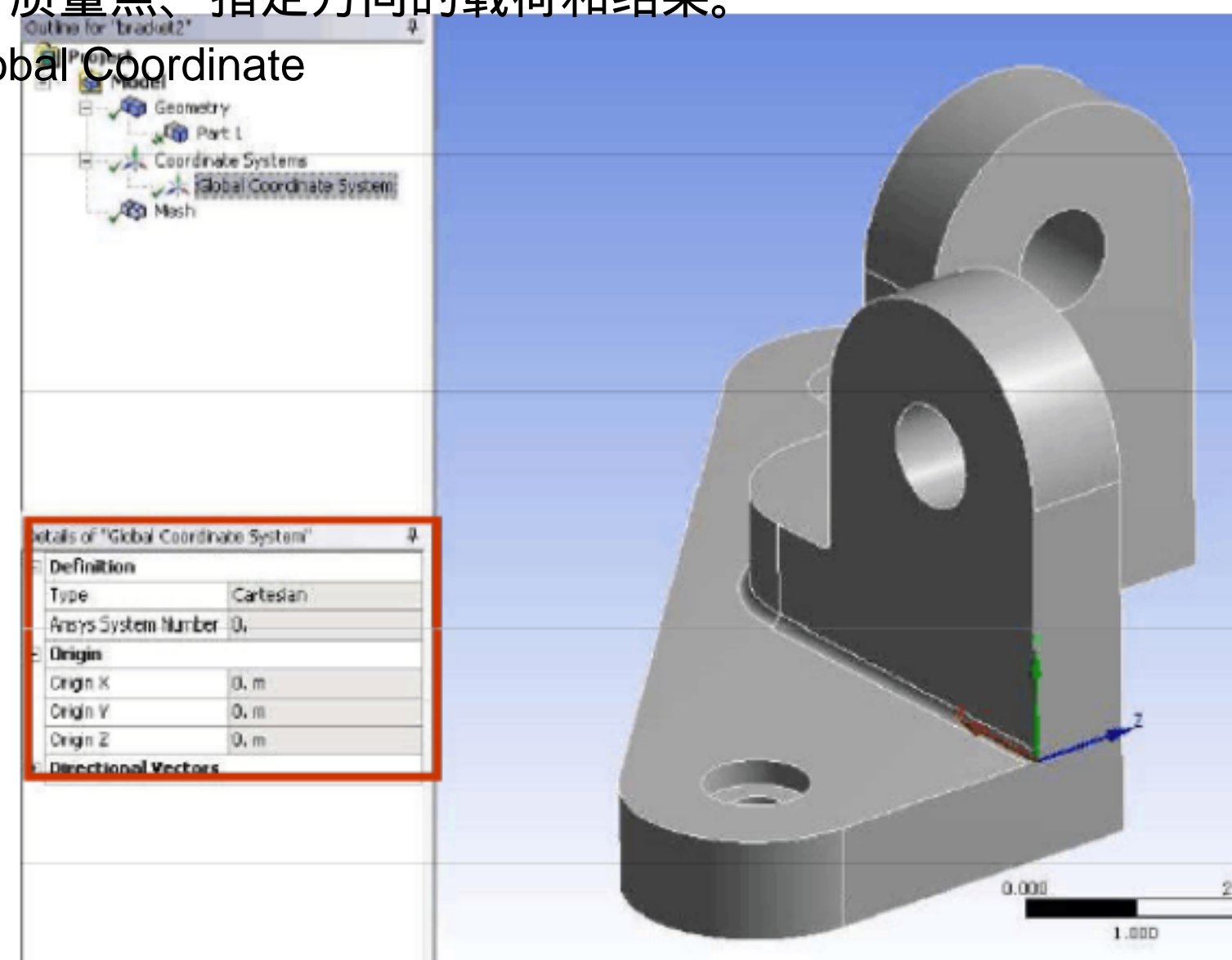
- 选择细节窗口中的 Geometry，进入采集模式
- 切换到命名选择集工具栏
- 选择可使用的选项：
- 然后单击细节窗口中的“Apply”，“Add to Current Selection”，“Remove from Selection”



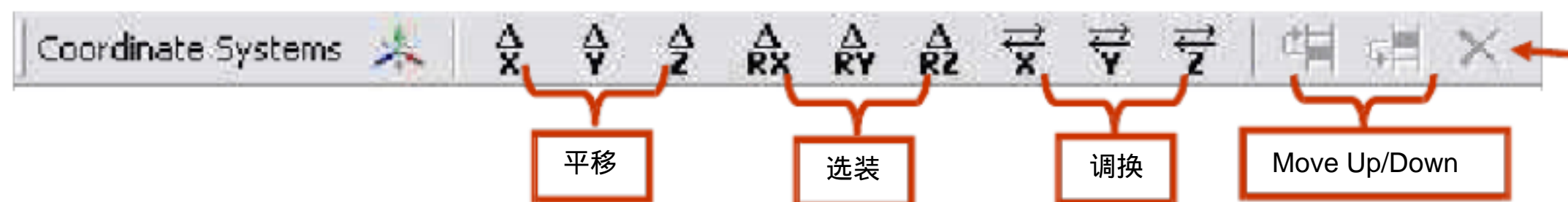
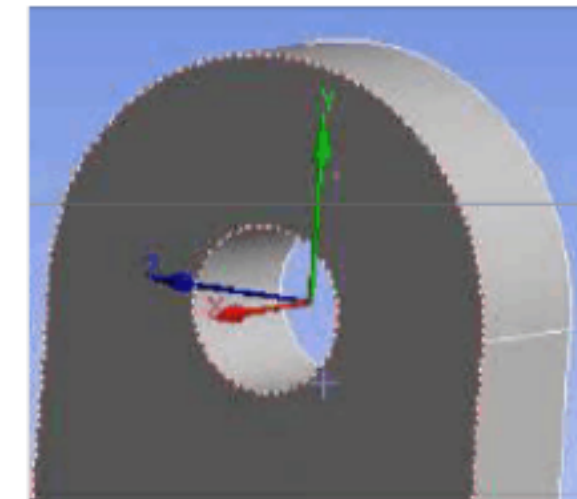
? Coordinate Systems 通常默认的是不显示，但是可以在 Model 下进行添加得到。



- Coordinate systems 可以从 CAD 系统中导入 Local Coordinate Systems (局部坐标系) 可用于网格控制、质量点、指定方向的载荷和结果。  
(参见 Simulation (模拟) 文件夹)
- ? 基于 CAD 原始模型，开始就添加了 Global Coordinate

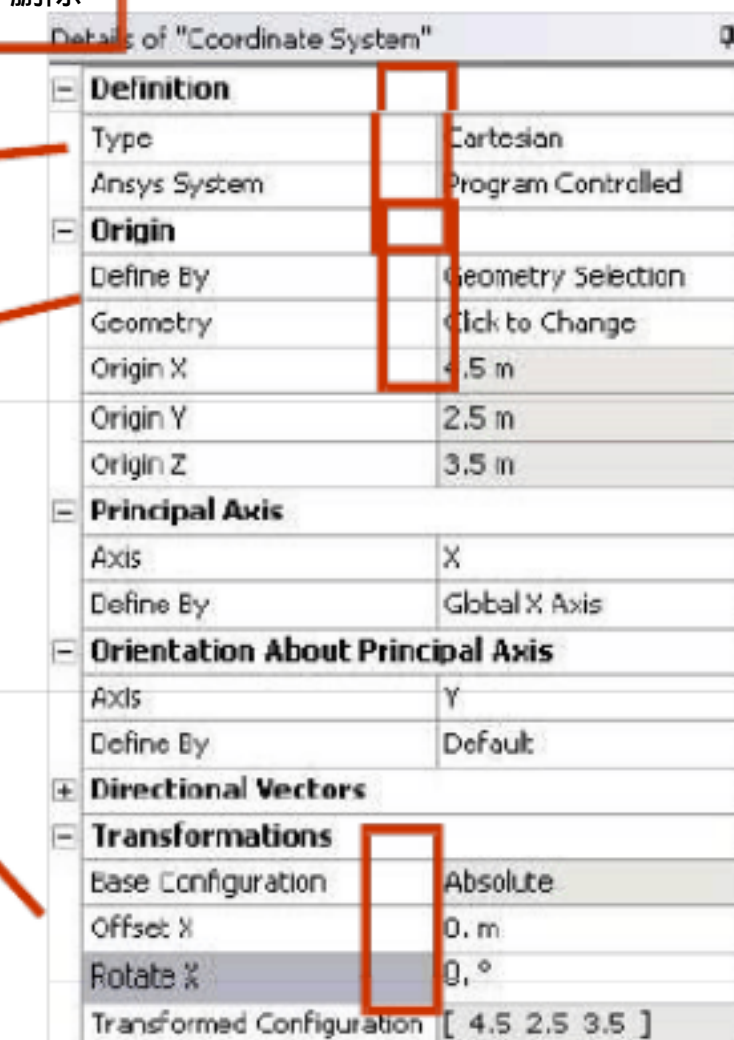


- ? 坐标系可以通过点击 环境工具栏上的 Coordinate System 图标
- ? 可以是直角坐标或柱坐标
- ? 在定义了坐标系以后，就会出现响应的工具栏。



? 可以通过下面任意一种方式定义局部坐标系：

- 选择几何（结合坐标系 Associative Coordinate System）。坐标系会移动到几何上，它的平移和旋转都依赖于几何模型。
- 指定坐标（没有结合坐标系 Non-Associative Coordinate System）。坐标系将保持原有的定义：它独立于几何模型。





？在各种应用中的细节窗口的下拉菜单中都可以使用坐标系（见下面例子）：

Details of "Normal Stress"

**指定方向结果**

|                    |                                  |                          |
|--------------------|----------------------------------|--------------------------|
| <b>Scope</b>       | Geometry                         | All Bodies               |
| <b>Definition</b>  | Type                             | Normal Stress            |
|                    | Orientation                      | Y Axis                   |
|                    | Coordinate System                | Global Coordinate System |
|                    | Display Time                     | Global Coordinate System |
| <b>Results</b>     |                                  | Coordinate System        |
|                    |                                  | Coordinate System 2      |
|                    | <input type="checkbox"/> Minimum |                          |
|                    | <input type="checkbox"/> Maximum |                          |
| <b>Information</b> |                                  |                          |

Details of "Point Mass"

**质量点**

|                   |                                       |                          |
|-------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| <b>Scope</b>      | Geometry                              |                          |
|                   | Coordinate System                     | Global Coordinate System |
|                   | <input type="checkbox"/> X Coordinate | Global Coordinate System |
|                   | <input type="checkbox"/> Y Coordinate | Coordinate System        |
|                   | <input type="checkbox"/> Z Coordinate | Coordinate System 2      |
|                   | Location                              | Click to Change          |
| <b>Definition</b> |                                       |                          |
|                   | <input type="checkbox"/> Mass         | 0. kg                    |
|                   | Mass Moment of Inertia X              | 0. kg m <sup>2</sup>     |
|                   | Mass Moment of Inertia Y              | 0. kg m <sup>2</sup>     |
|                   | Mass Moment of Inertia Z              | 0. kg m <sup>2</sup>     |
|                   | Suppressed                            | No                       |
|                   | Behavior                              | Deformable               |

Details of "Face Sizing" - Sizing

**Sizing w/ Sphere of Influence Option**

|                   |                |                          |
|-------------------|----------------|--------------------------|
| <b>Scope</b>      | Scoping Method | Geometry Selection       |
|                   | Geometry       | 1 Face                   |
| <b>Definition</b> | Suppressed     | No                       |
|                   | Type           | Sphere of Influence      |
|                   | Sphere Center  | None                     |
|                   | Sphere Radius  | Global Coordinate System |
|                   | Element Size   | Coordinate System        |
|                   |                | Coordinate System 2      |

Details of "Force"

**指定方向载荷**

|                   |                                      |                          |
|-------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| <b>Scope</b>      | Scoping Method                       | Geometry Selection       |
|                   | Geometry                             | 1 Face                   |
| <b>Definition</b> | Define By                            | Components               |
|                   | Type                                 | Force                    |
|                   | Coordinate System                    | Global Coordinate System |
|                   | <input type="checkbox"/> X Component | Global Coordinate System |
|                   | <input type="checkbox"/> Y Component | Coordinate System        |
|                   | <input type="checkbox"/> Z Component | Coordinate System 2      |
|                   |                                      | 0. N (ramped)            |
|                   | Suppressed                           | No                       |

Details of "Displacement"

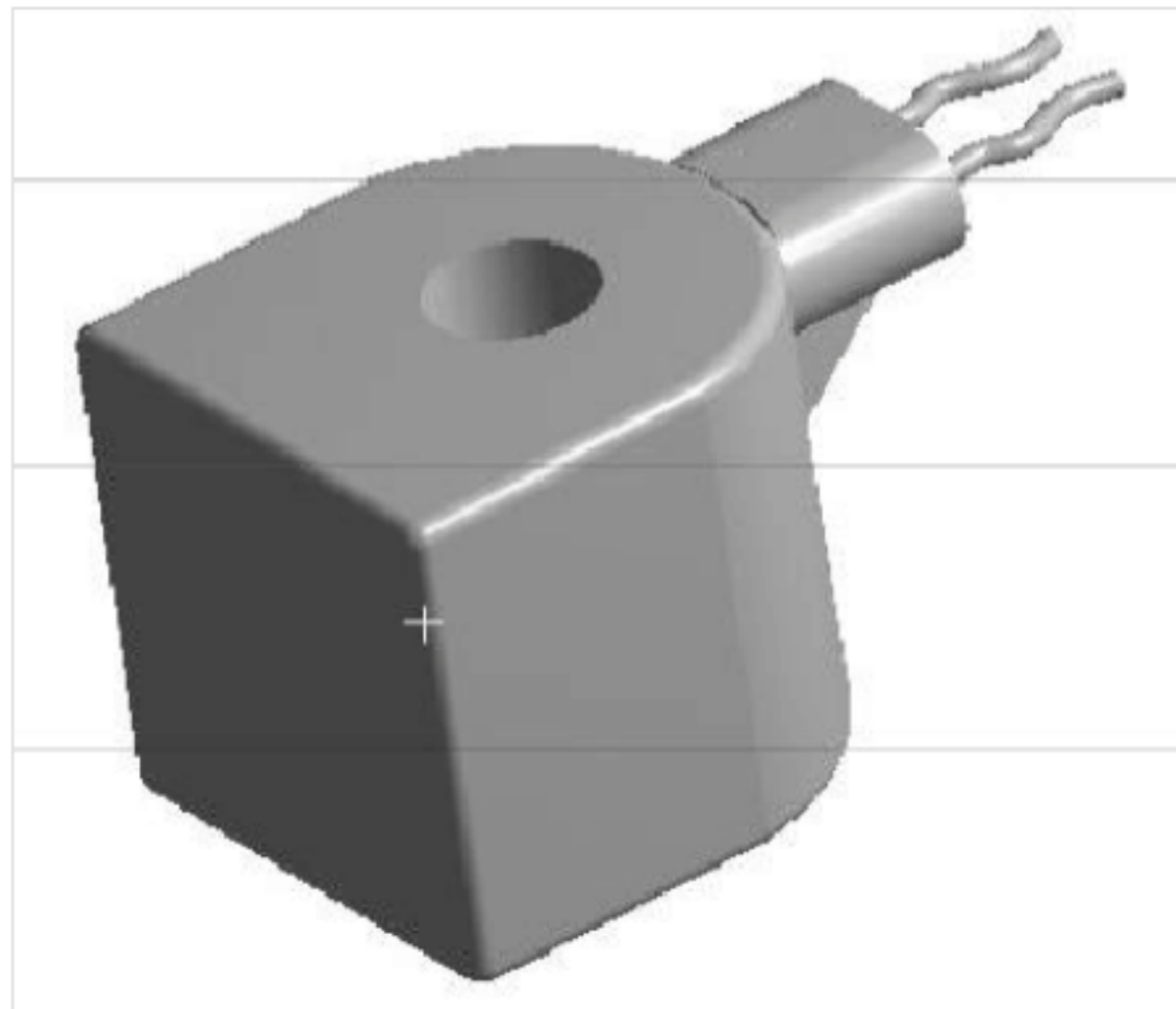
**指定方向位移**

|                   |                   |                          |
|-------------------|-------------------|--------------------------|
| <b>Scope</b>      | Scoping Method    | Geometry Selection       |
|                   | Geometry          | 1 Face                   |
| <b>Definition</b> | Define By         | Components               |
|                   | Type              | Displacement             |
|                   | Coordinate System | Global Coordinate System |
|                   | X Component       | Global Coordinate System |
|                   | Y Component       | Coordinate System        |
|                   | Z Component       | Free                     |
|                   | Suppressed        | No                       |

? 作业 3.2 – 网格控制

? 目标:

– 使用不同的网格控制，加强对螺线管模型网格划分。





General Preprocessing



## Workbench - Mechanical Introduction

作业 3.1

接触控制







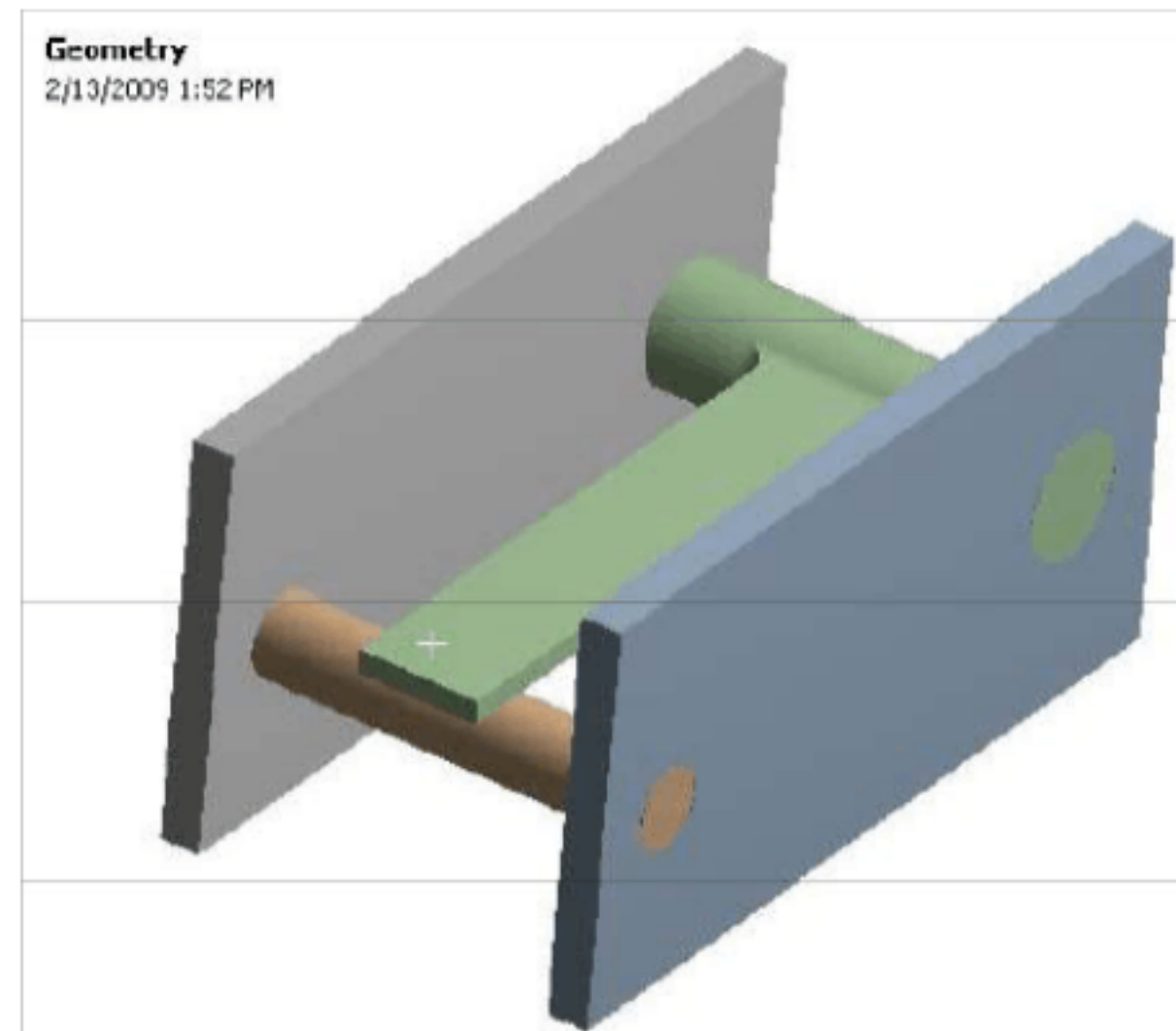
## 作业 3.1 – 目标

? 作业 3.1 调查了一个简单组件的接触行为。 目的是为了说明由于不当接触导致的刚体运动是怎么产生的。

– 我们的目标是在组件的各部件中建立接触，查看非对称加载对结果有何影响

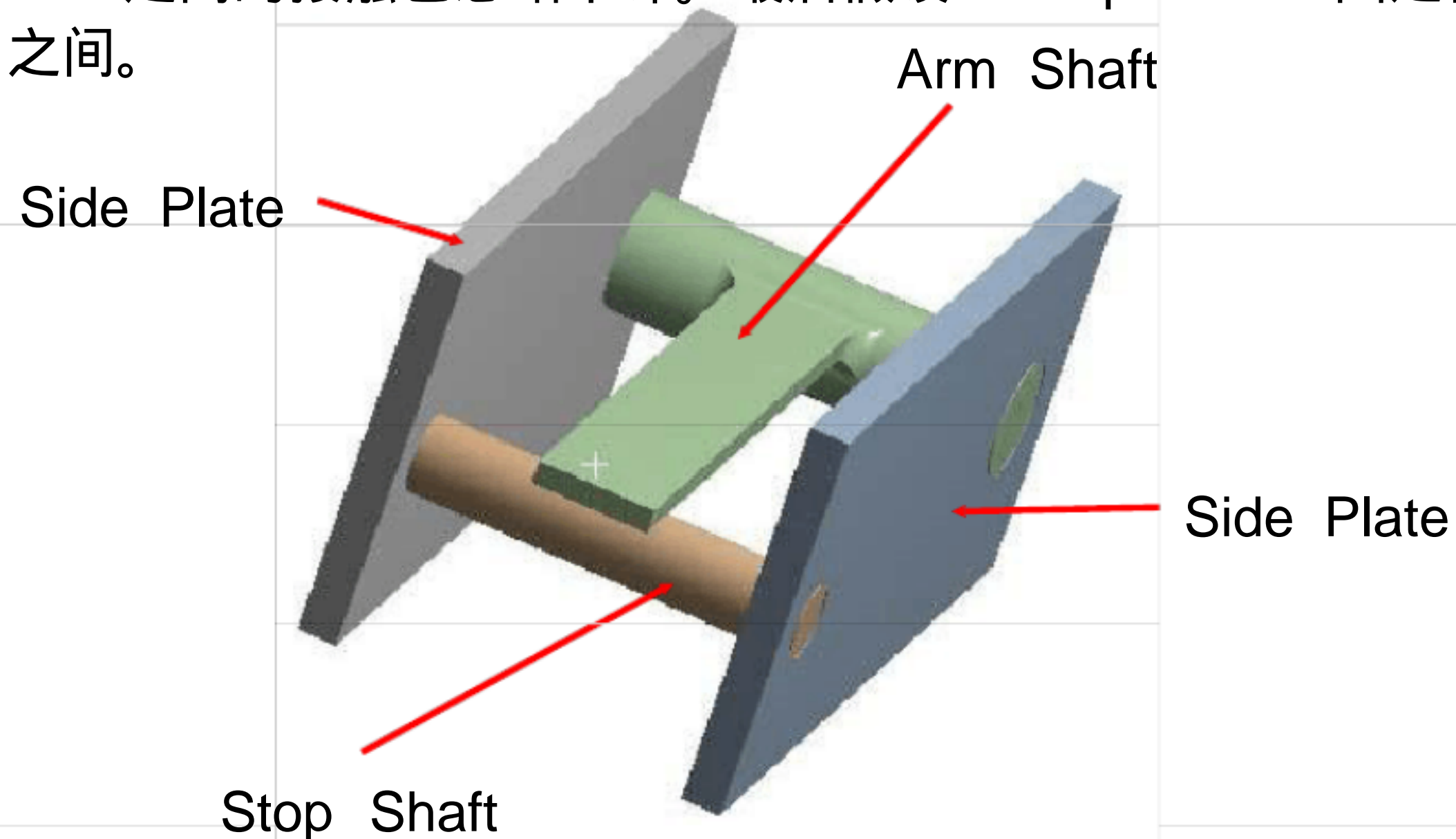
? 问题描述：

– 模型从一个简单 Parasolid 组件文件获得



## 作业 3.1 – 假设

? 假设 arm shaft 和 side plate 上的孔间的摩擦忽略不计，同样 arm shaft 和 stop shaft 之间的接触也忽略不计。最后假设 stop shaft 固定在两个 side plate 之间。



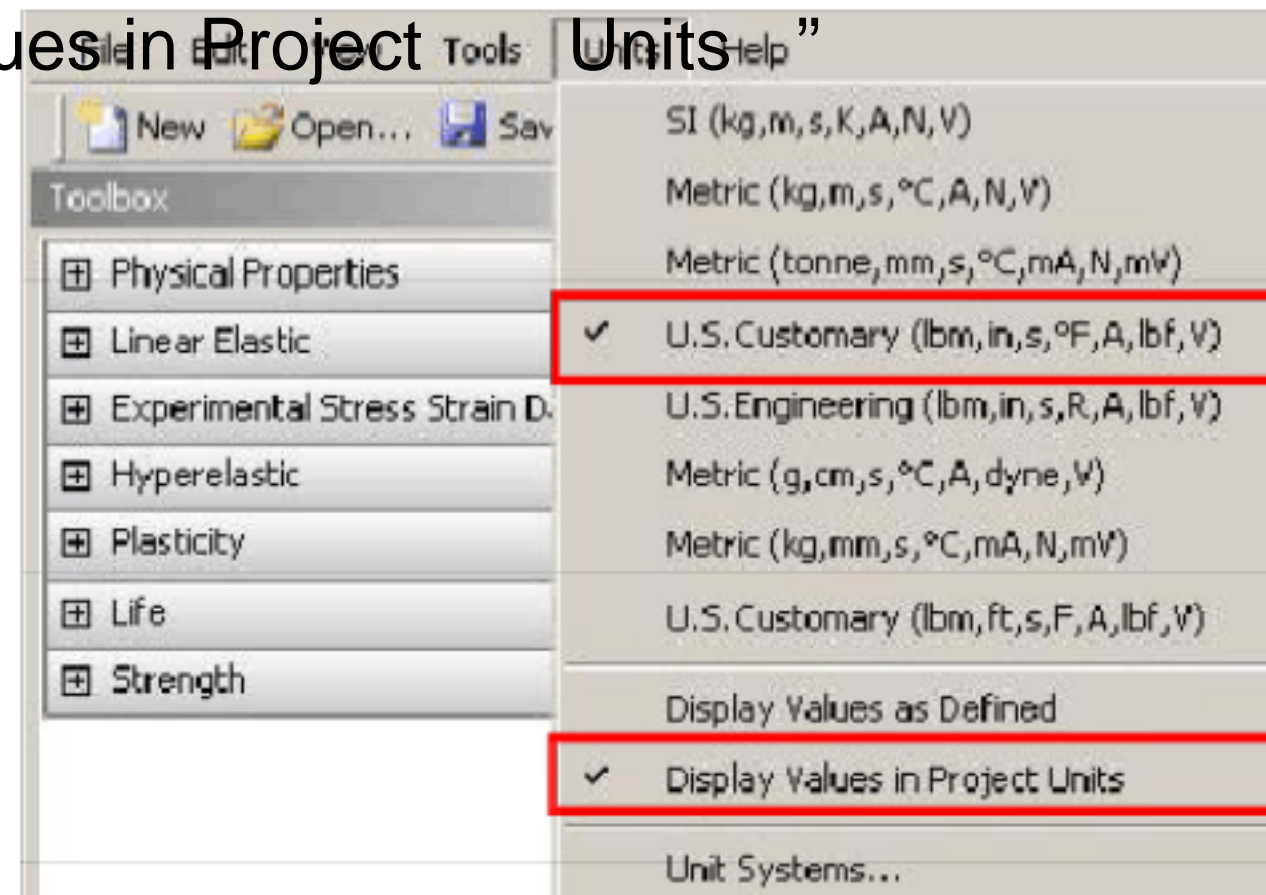


## 作业 3.1 – Project Schematic

? 打开 Project page （项目页）

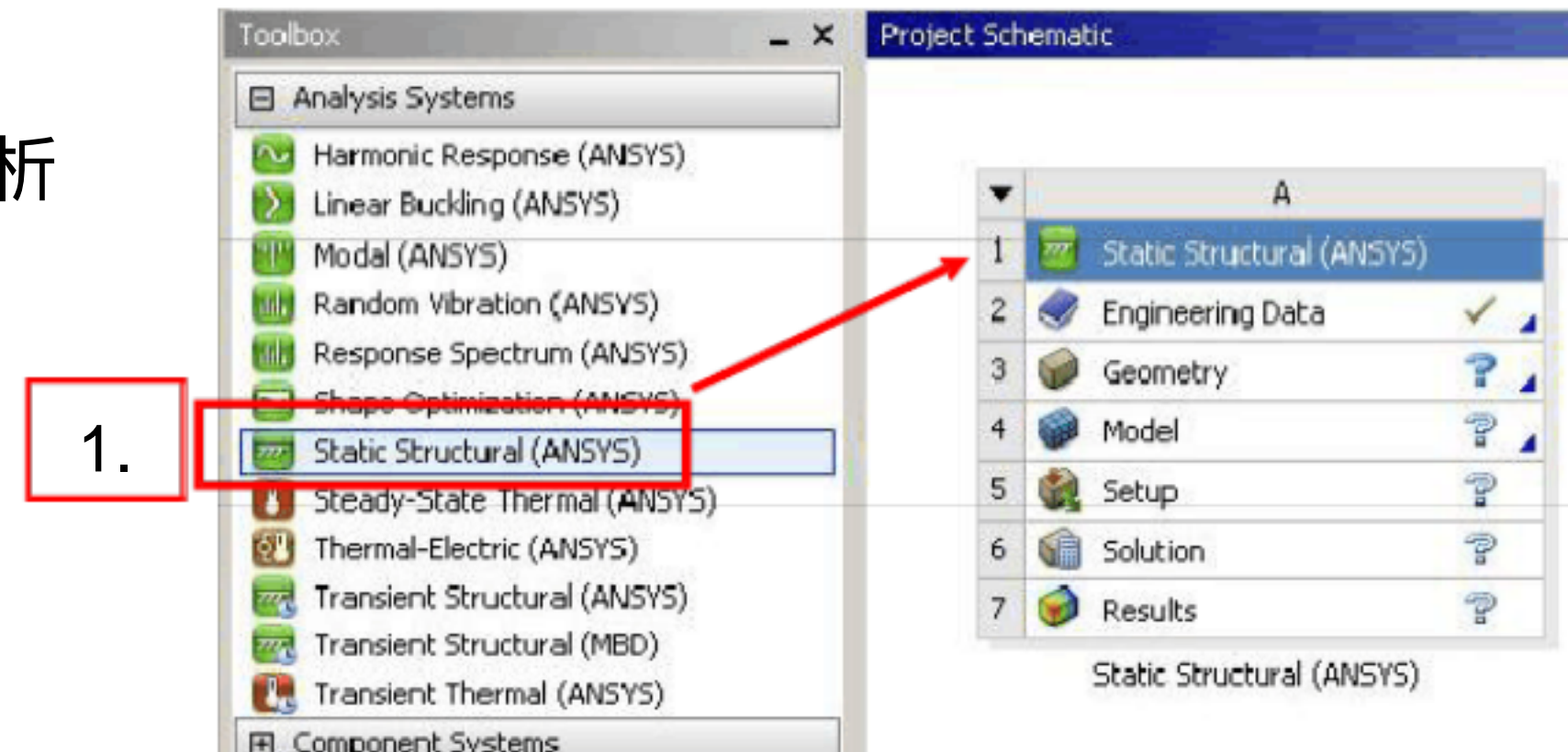
? 通过 “ Units ”菜单确定：

- Project 单位设置为 “ US Customary (lbm, in, s, F, A, lbf, V). ”
- 选择 “ Display Values in Project Units ”

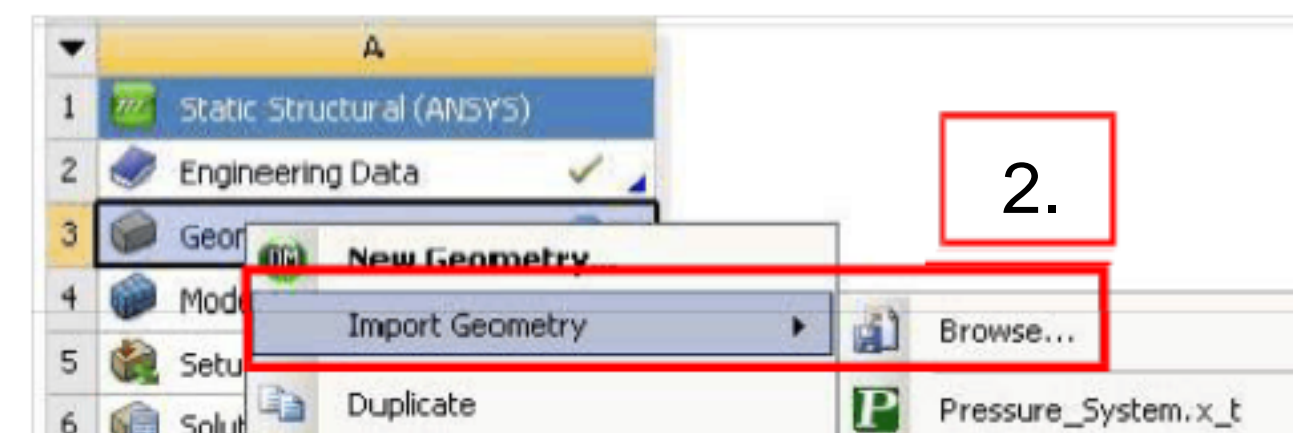


## ...作业 3.1 –Project Schematic

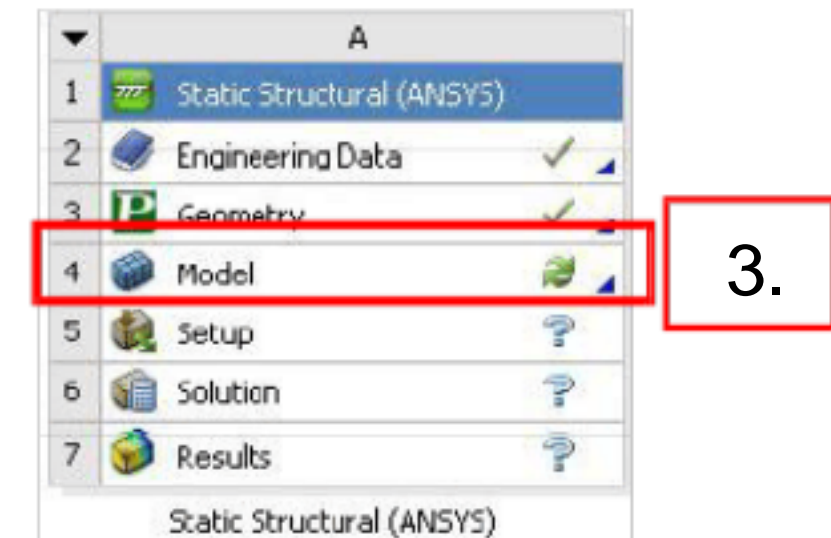
1. 在 Toolbox （工具箱）中双击  
Static Structural 建立新的分析  
系 统



2. 在 Geometry 上点击鼠标右键选  
择 Import Geometry 导入  
Contact\_Arm.x\_t 文件

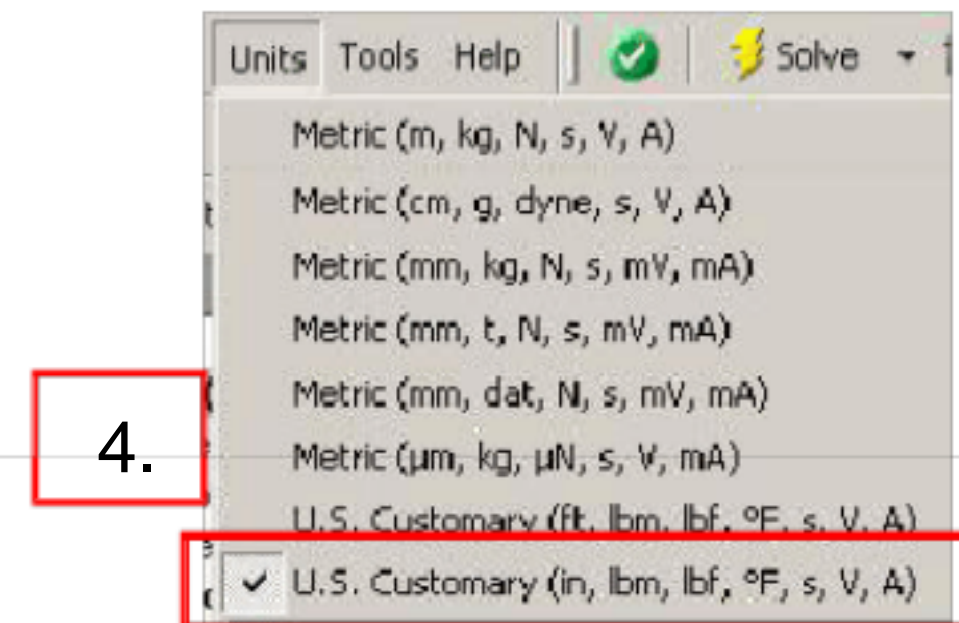


3. 双击 Model 打开 Mechanical application.



4. 设置作业单位制系统：

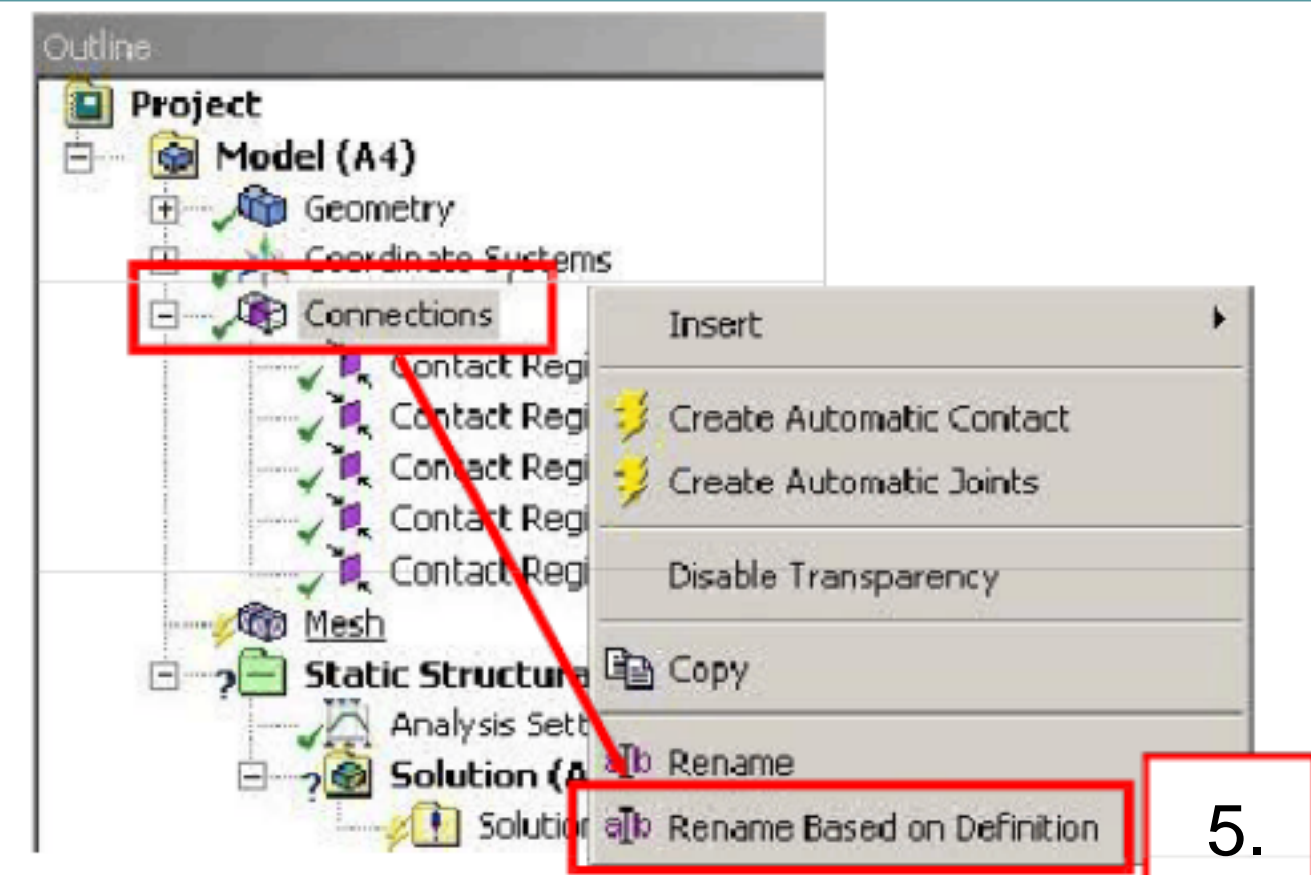
– Units > U.S Customary (in, lbm, lbf, ° F, s, V, A)



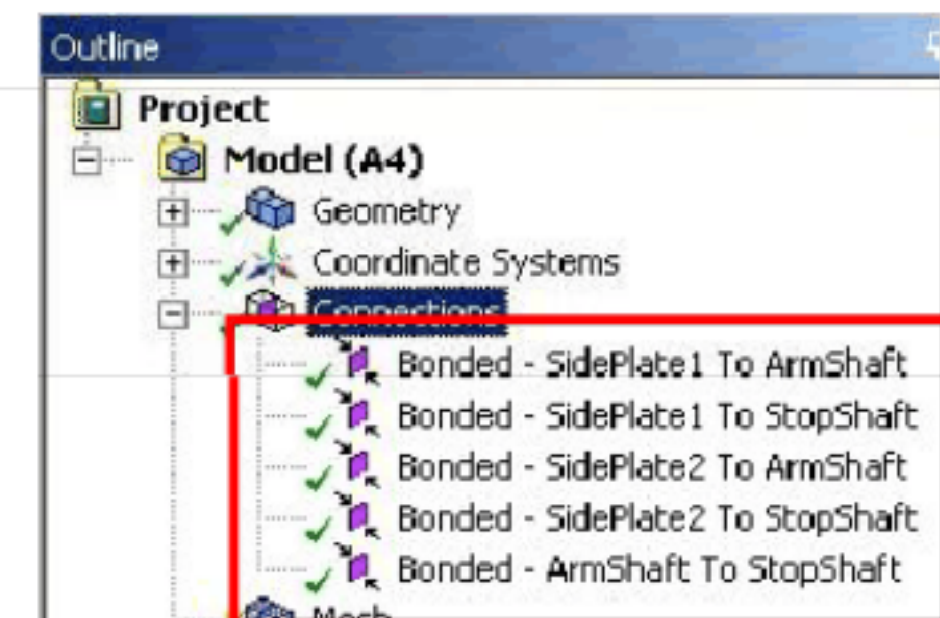


5. 在 Connections 上点击鼠标右键选择

Rename Based on Definition



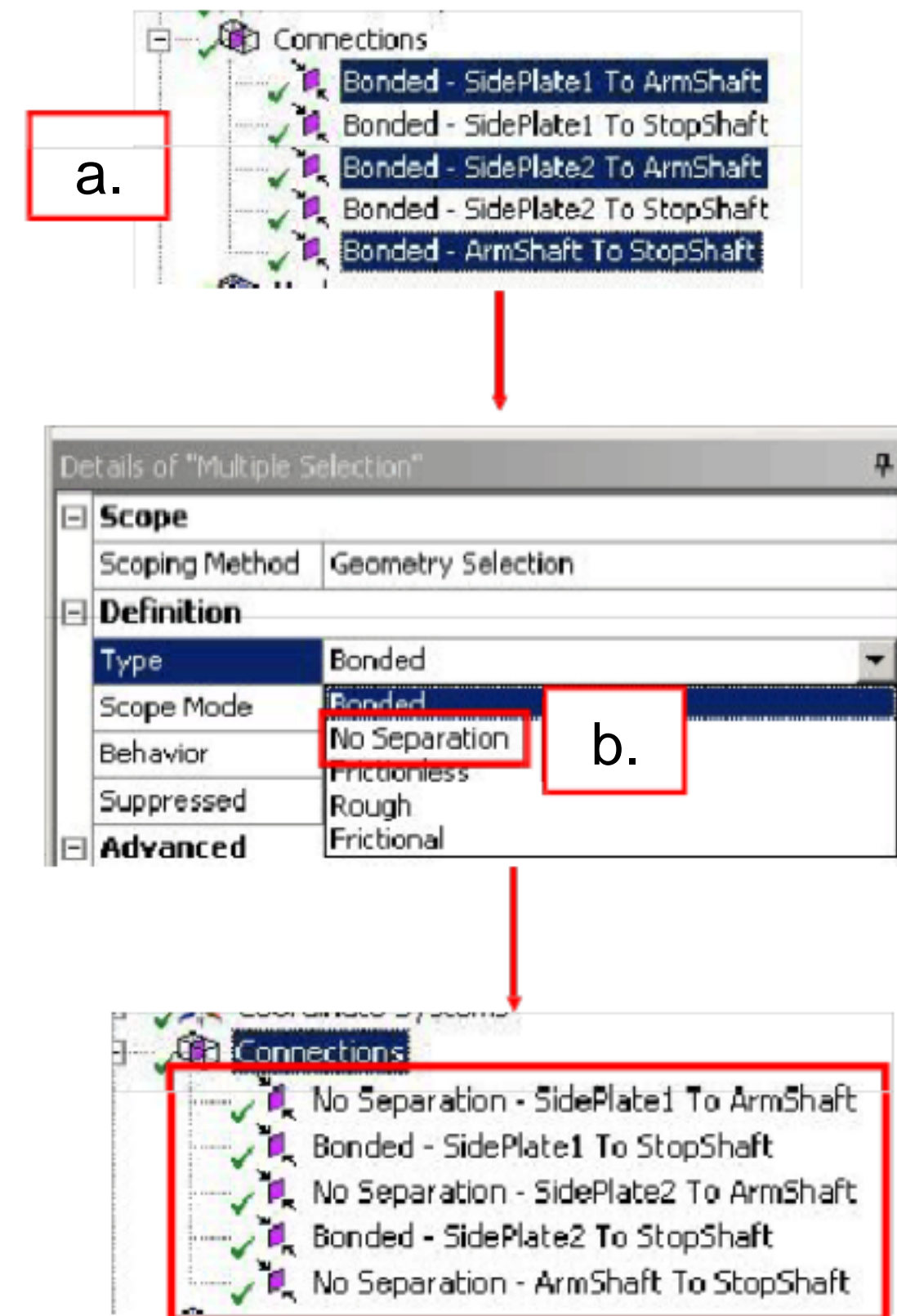
- ? 在各个部件彼此之间都定义了接触。  
注意还显示了接触的类型（如 bonded 等）



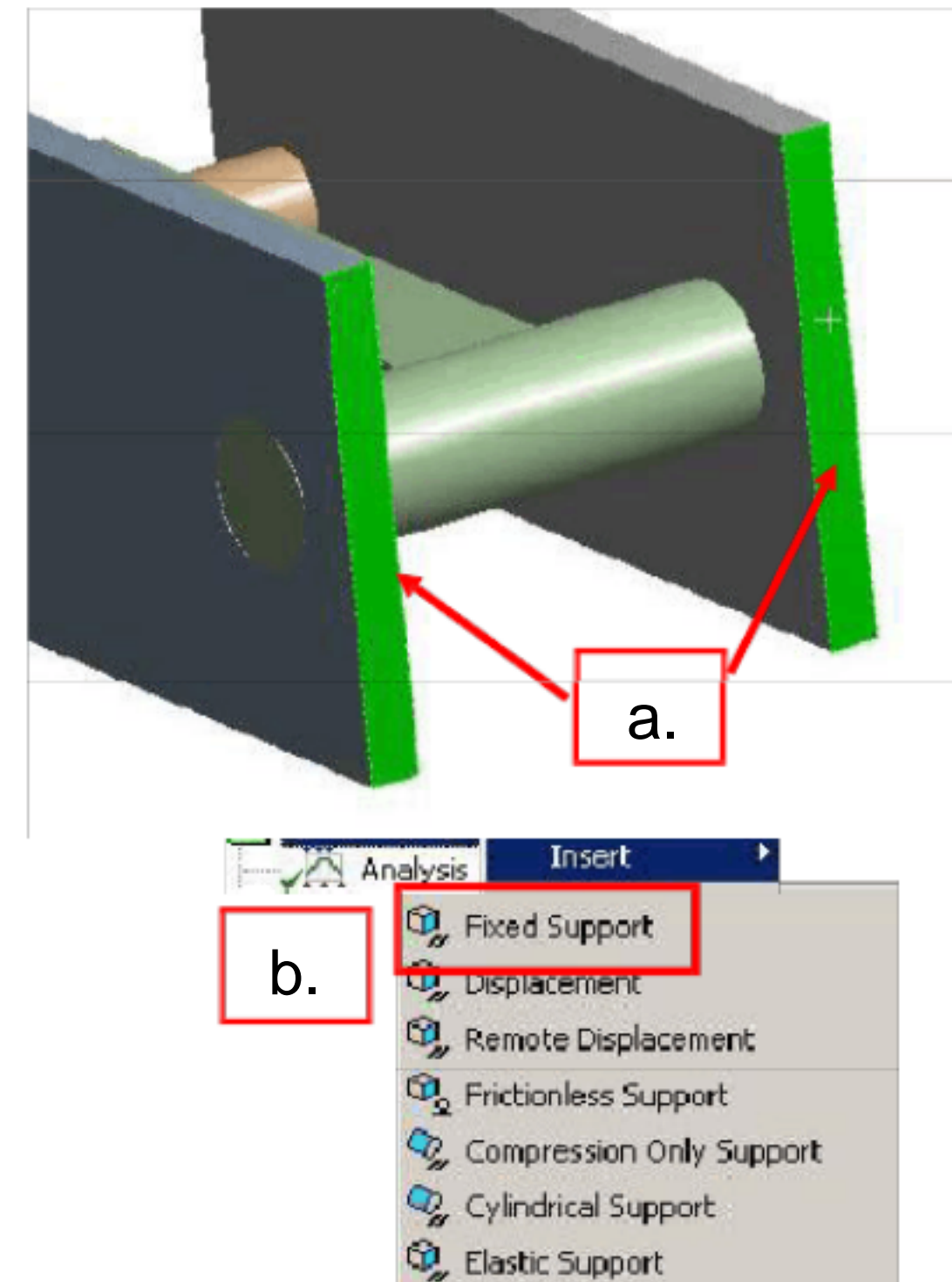
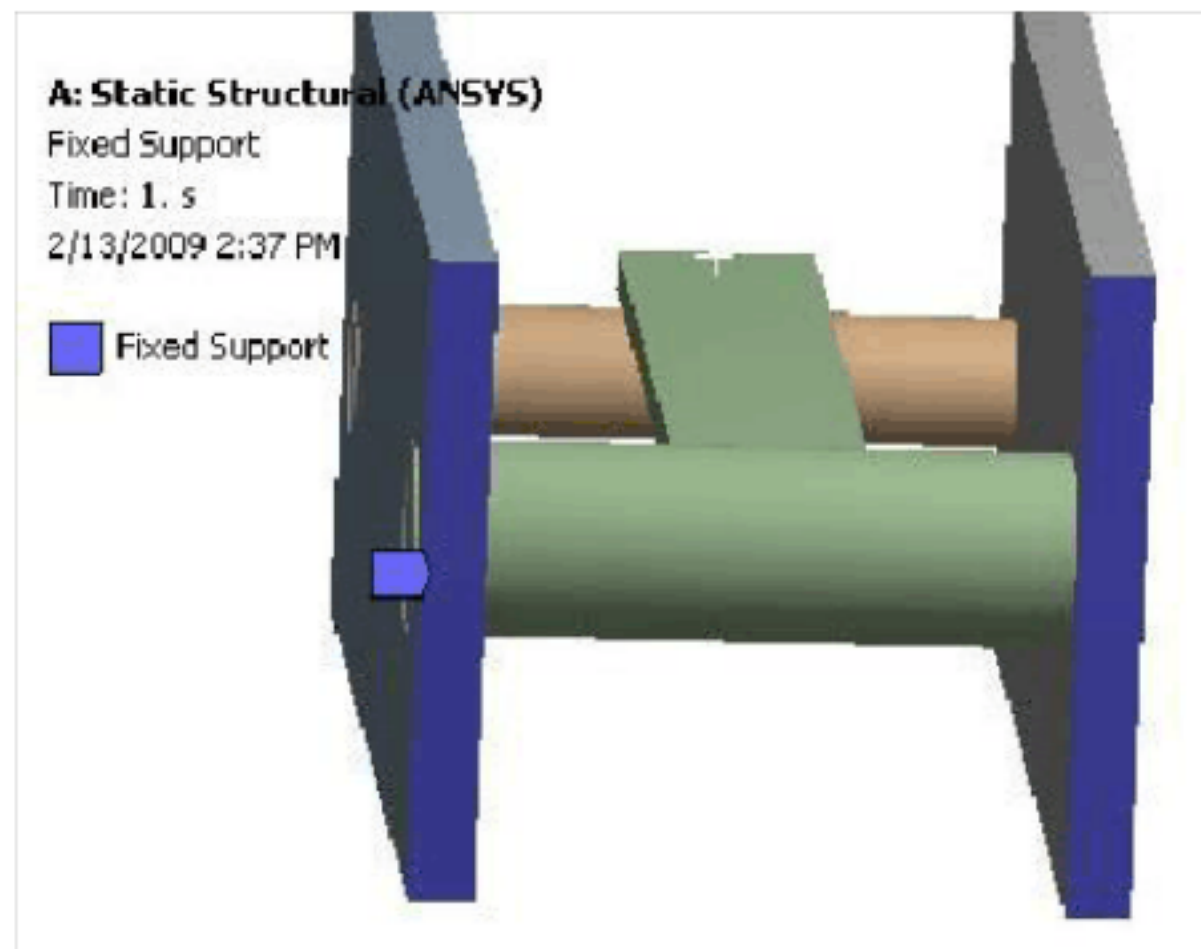
6. 在前面假设的基础上改变其中 3 个接触区域为 “NoSeparation”：

- 使用 CTRL 关键字来选择所示的 3 个接触区域
- 在细节描述里改变类型为 No Separation

? 每个接触区域也可以分别修改，不过一下选择其中 3 个节省了时间



7. 固定组件 ( 选择 Static Structural branch (A5) ) :
- a. 选择 Side Plates 的两个端面
  - b. RMB ( 点击鼠标右键 ) > Insert > Fixed Support.





## WS3.1: Contact Control

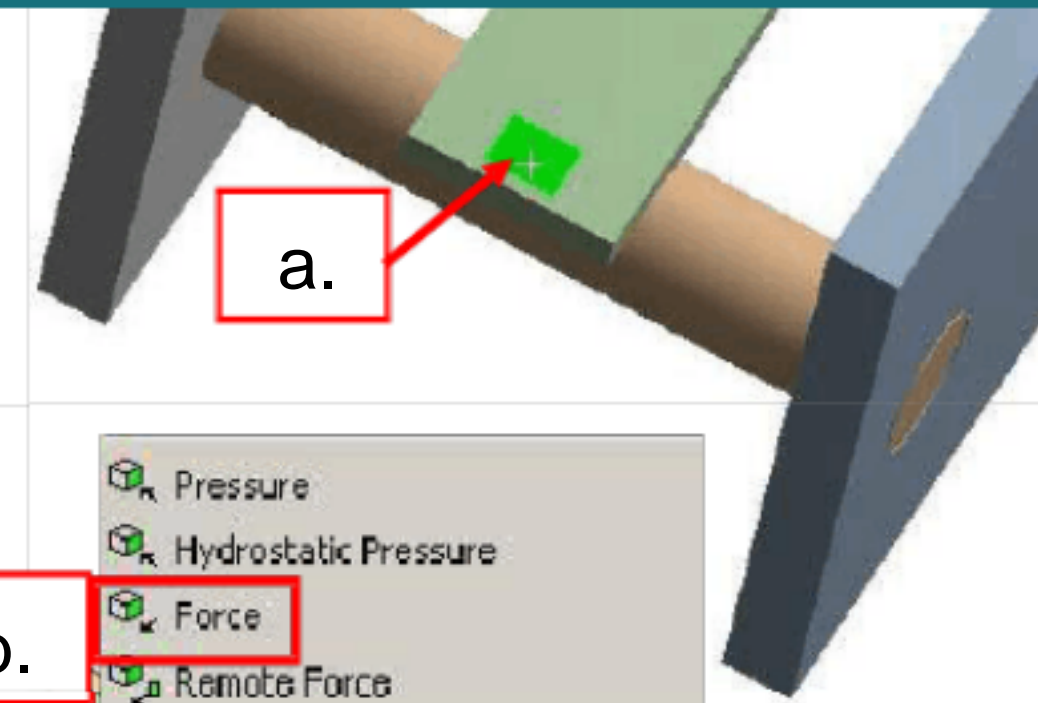
Workshop Supplement

### 8. 在 ArmShaft 环境施加一个集中力：

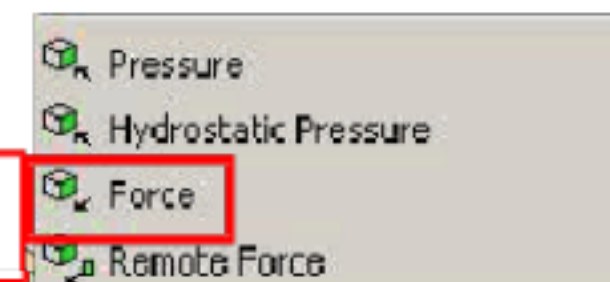
- 选择 ArmShaft 的上表面
- RMB ( 点击鼠标右键选择 ) > Insert > Force.
- 在 detail of force 里选择 Component
- 设置如下：

? Y component = - 10 lbf (minus 10)

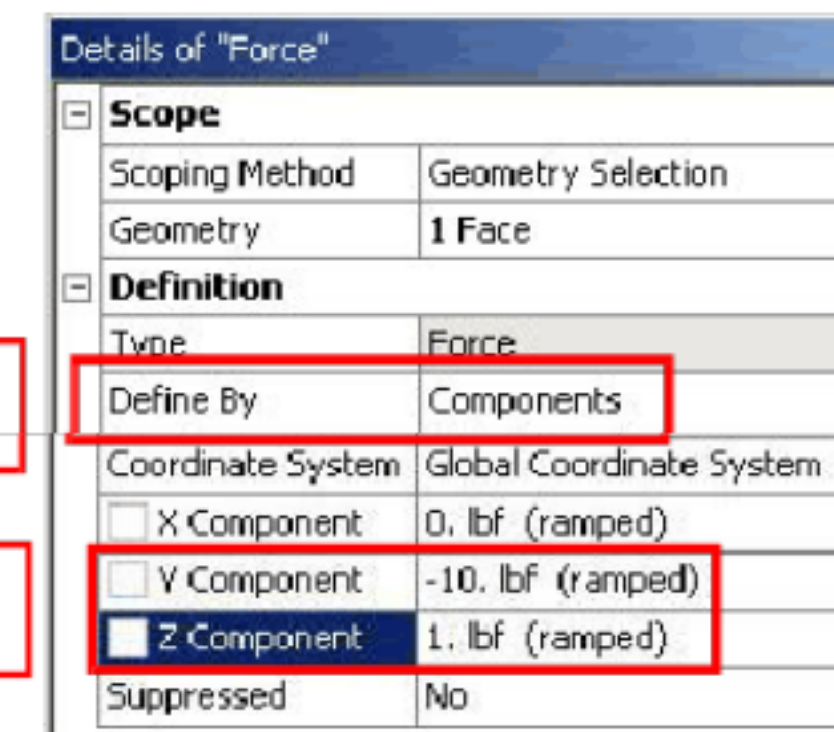
? Z component = +1



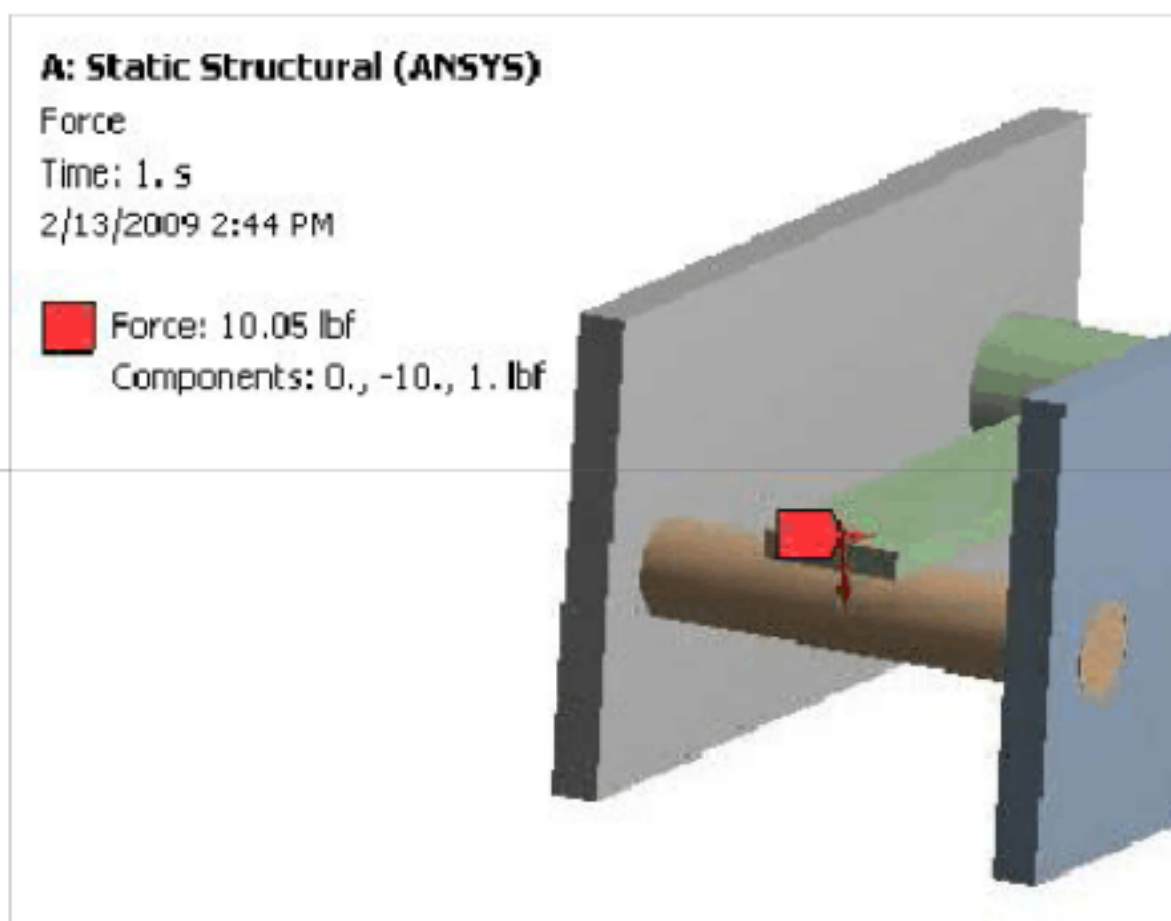
b.



c.



d.



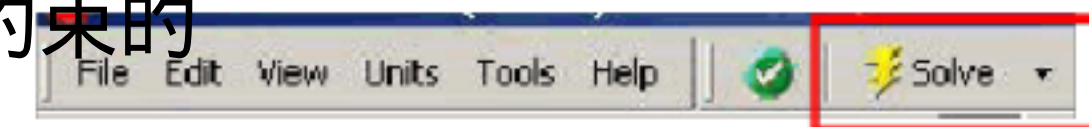
# 作业 3.1 – 初始求解

9. 选择 Solution branch (A6) 并 RMB  
( 点击鼠标右键选择 ) > Insert >  
Deformation > Total.

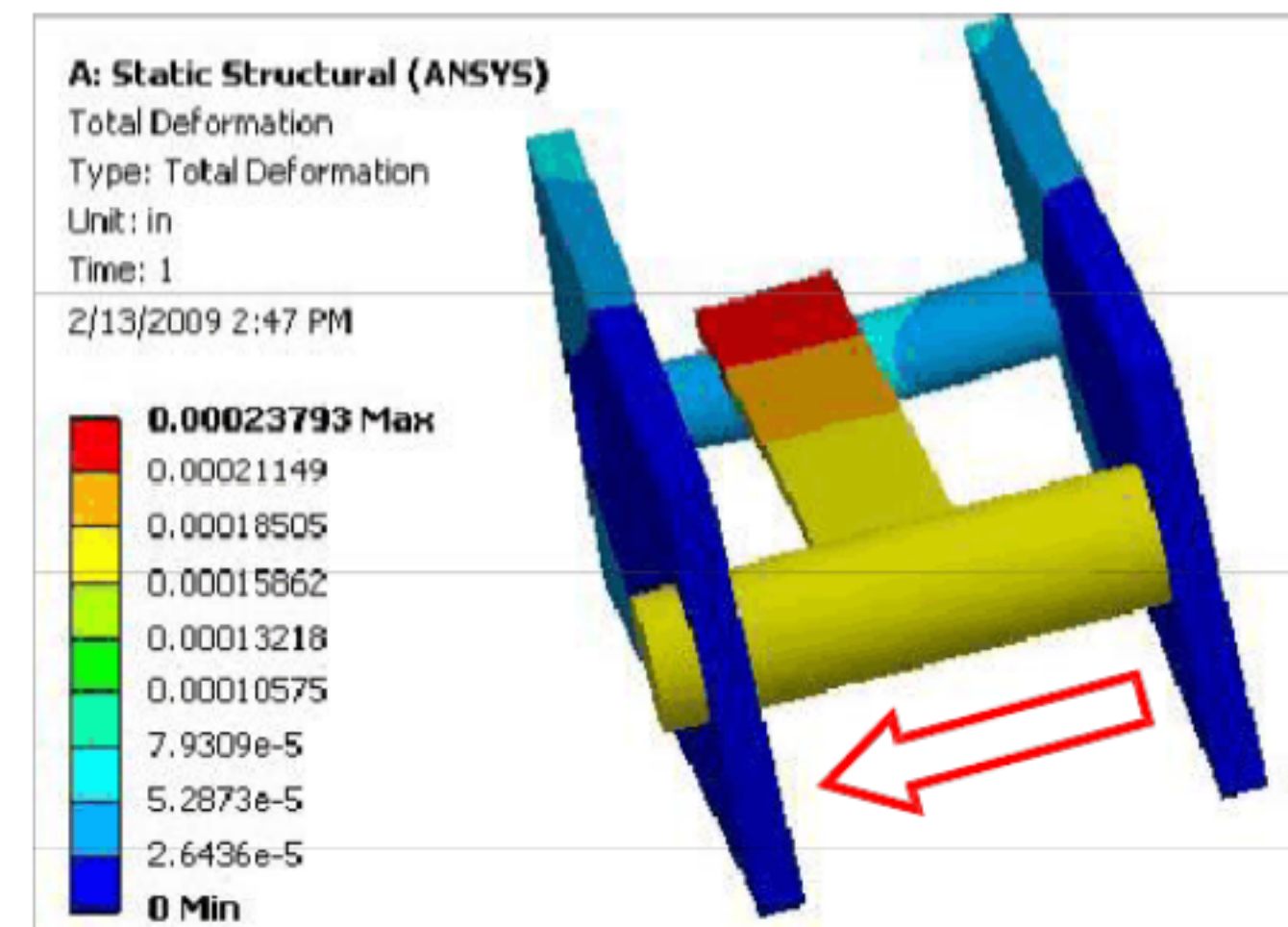


10. Solve ( 求解 ) ( 你会看到模型可能  
警告信息 )  
– 选择 “ Total Deformation ” 查看结果

没有约束的



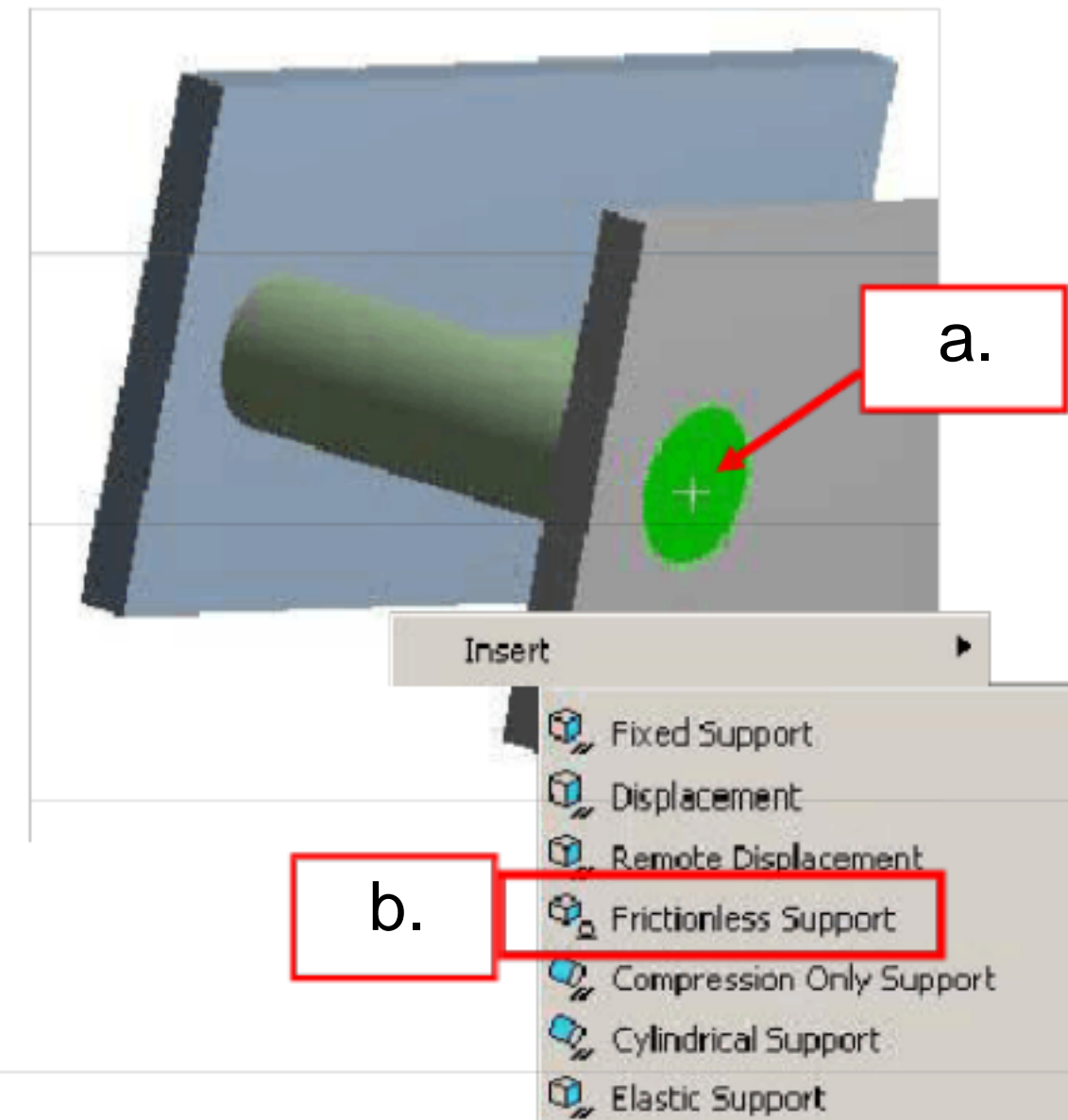
- 尽管轻微，但我们可以发现  
ArmShaft 开始向一边移动。目前的设  
置还没有 接触或边界条件来阻止移  
动。如果载 荷值足够大，求解就会失  
败。



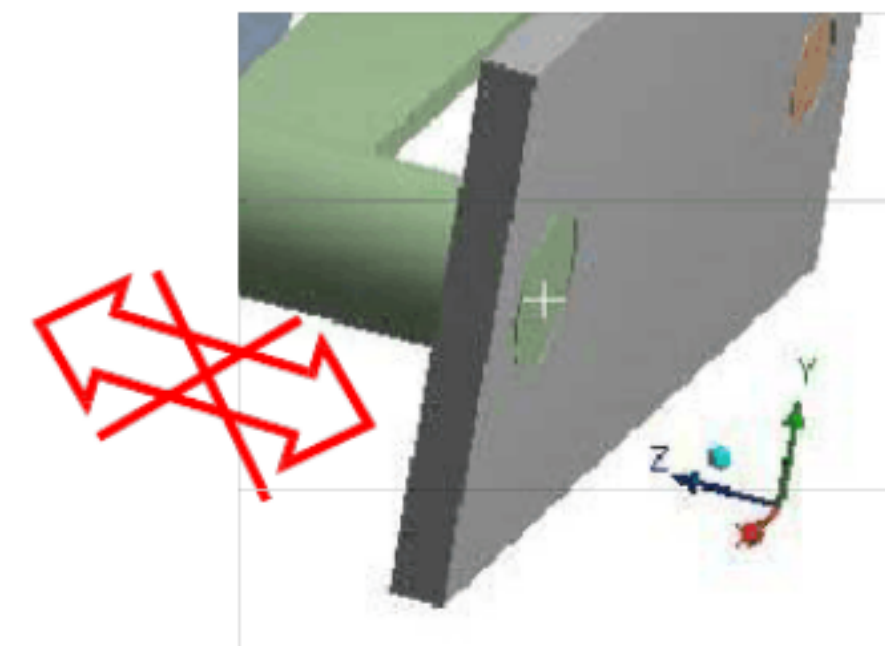
## 作业 3.1 – 改变环境

11. 在 ArmShaft 上施加一个无摩擦约束：

- a. 选择 ArmShaft 其中一个轴端面
- b. RMB ( 点击鼠标右键选择 ) > Insert  
>Frictionless Support.  
? 可以选择轴的任意端

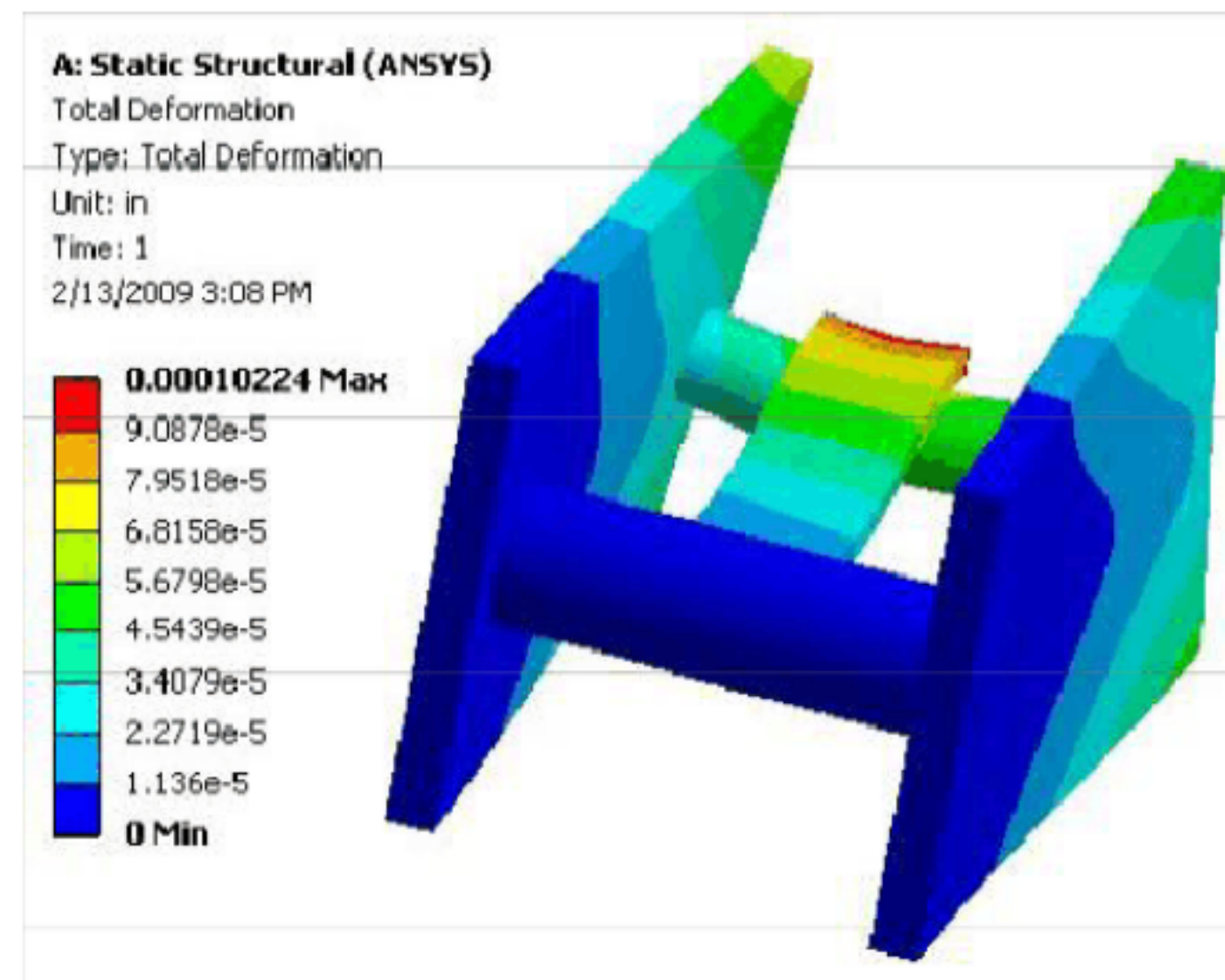
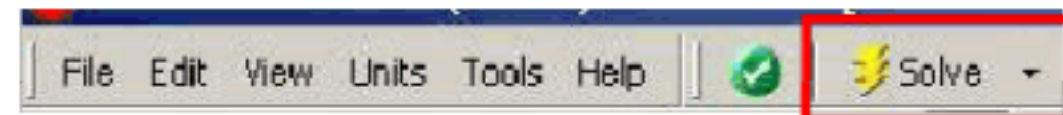


? 无摩擦约束给施加面上提供了垂直方向的限制。这样，轴就可以自由转动而不会跑到平面外（即限制了 Z 方向的位移）





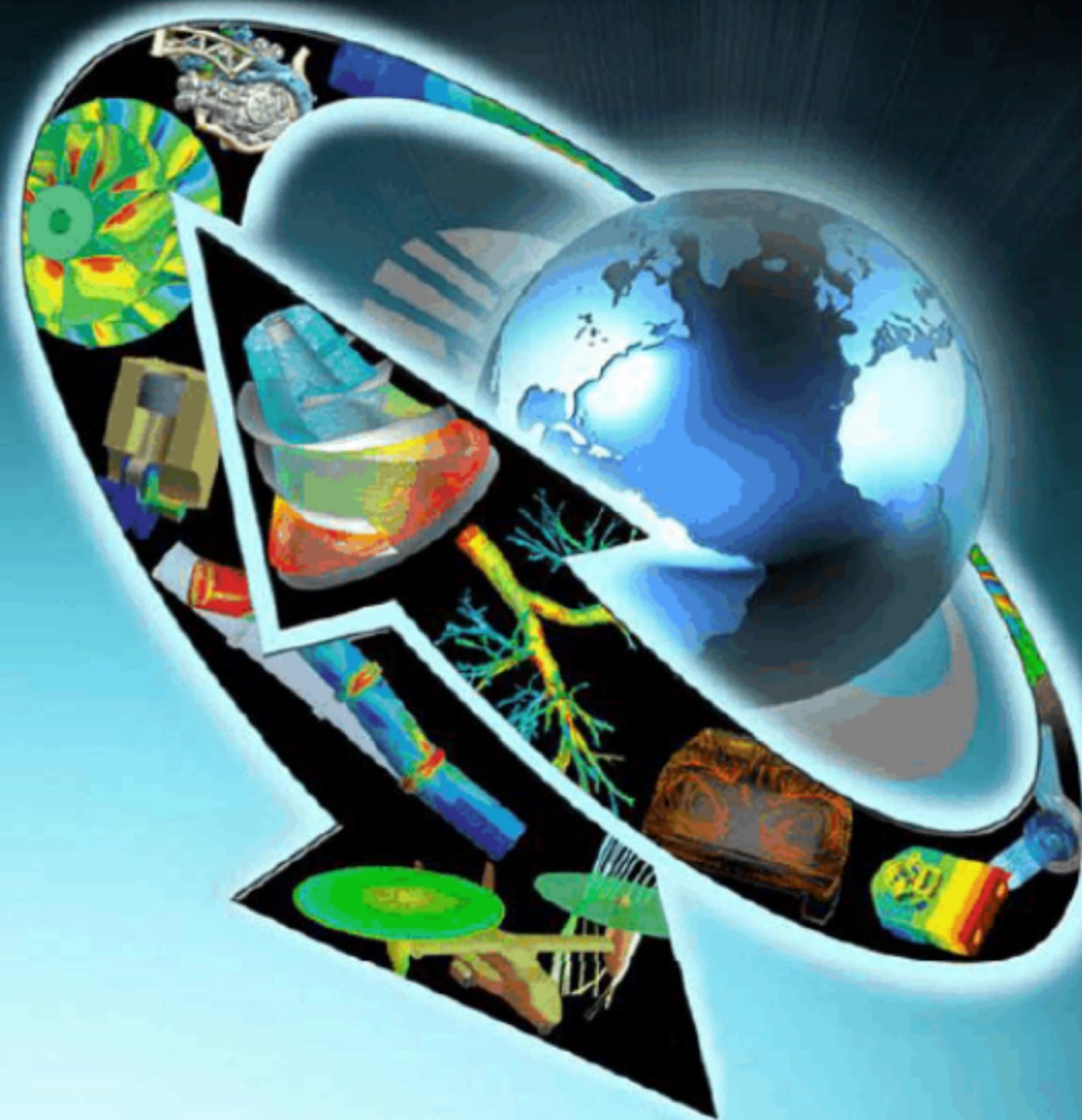
- ? 再次求解模型和查看变形，发现 ArmShaft 没有发生移动。
- 建立接触模型时，把握住什么运动需要考虑或不考虑是很重要的。





## Workbench - Mechanical Introduction

### 第四章 静力结 构分析







? 本章，将练习线性静力结构分析，模拟过程中包括：

A. 几何和单元

B. 组件和接触类型

C. 分析设置  
D. 环境，如载荷和约束

E. 求解模型

F. 结果和后处理

? 本节描述的应用一般都能在 ANSYS DesignSpace Entra 或更高版本中使用。

– 尽管本章中讨论的一些选项可能需要更高级的许可，但都给了提示。

? 对于一个线性静态结构分析 ( Linear Static Analysis ) , 位移 {x} 由下面的矩阵方程解出 :

$$K x = F$$

假设 :

- [K] 是一个常量矩阵
  - ? 假设是线弹性材料行为
  - ? 使用小变形理论
  - ? 不包含一些非线性边界条件
- {F} 是静态加在模型上的
  - ? 不考虑随时间变化的力
  - ? 不包含惯性影响 ( 质量、阻尼 )

? 记住关于线性静态结构分析的假设是很重要的。非线性静态分析和动态分析在后面章节讲解。

## A. 几何模型

? 在结构分析中，可能模拟各种类型的实体。

? 对于面实体，在 Details of surface body 中一定要指定厚度值。

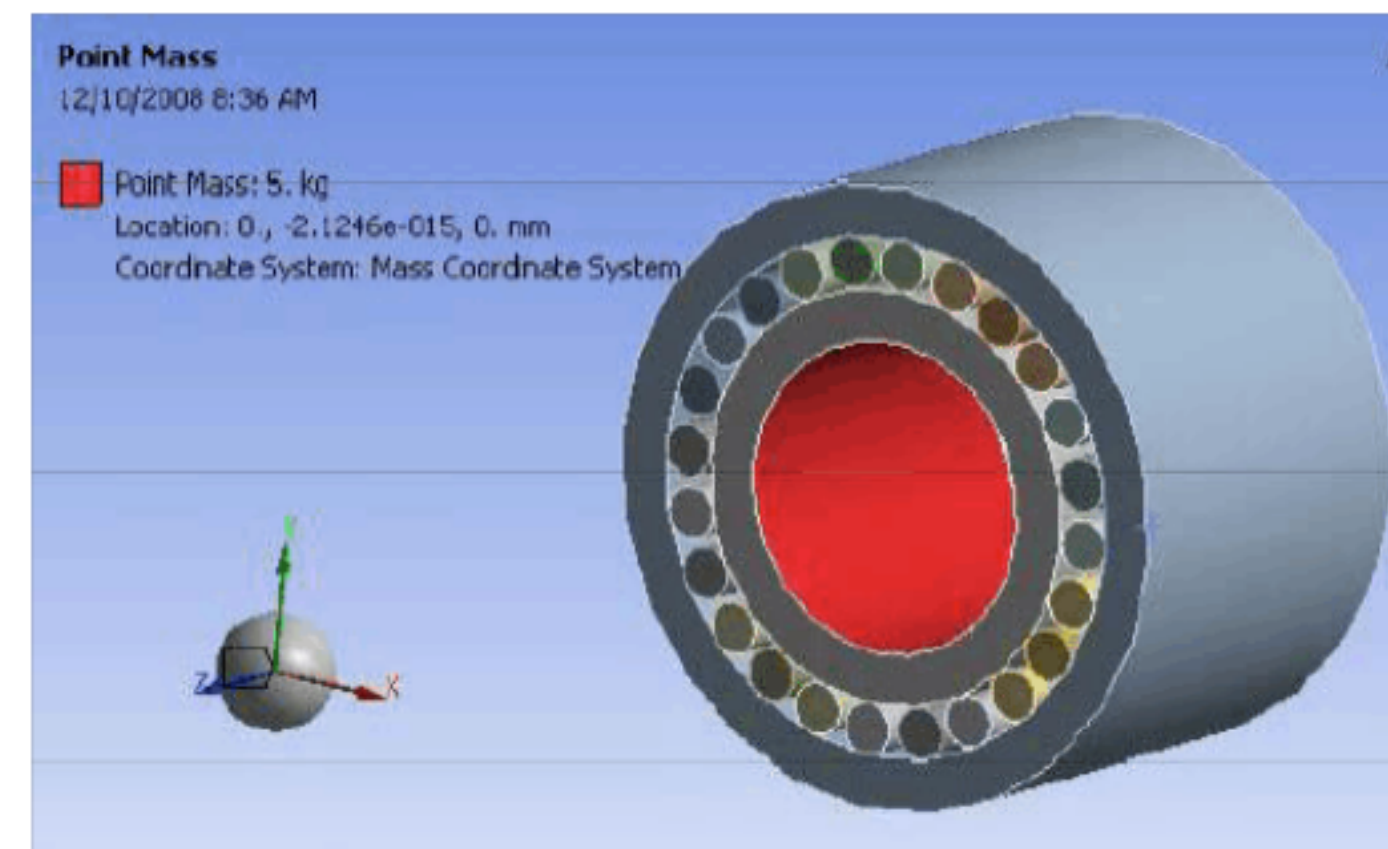
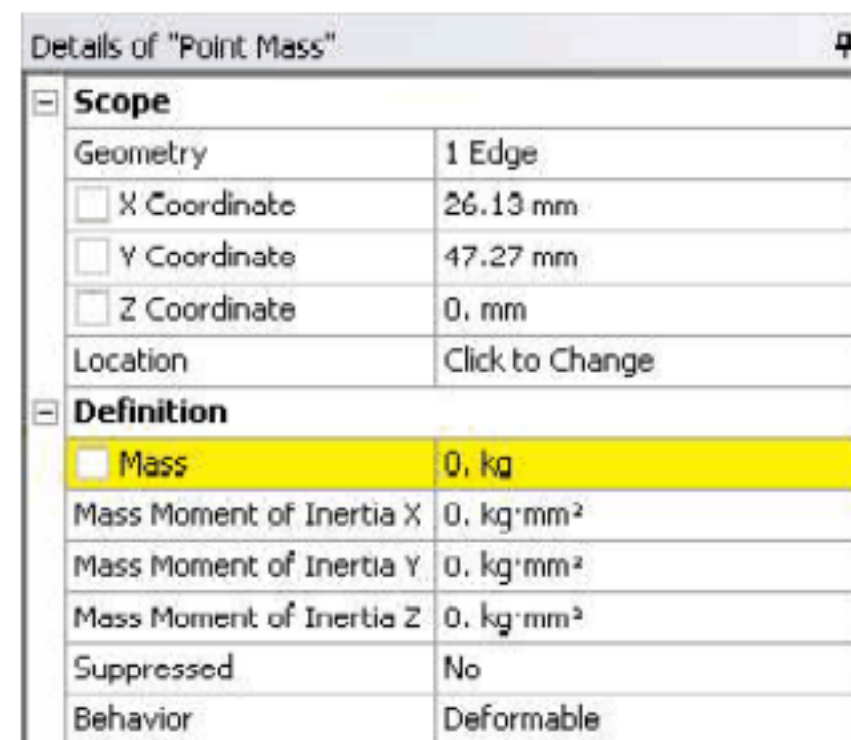


? 线实体的截面和方向，在 DesignModeler 里进行定义，并自动导入到 Simulation （模拟）中。



？ 在模型中添加一个质量点来模拟结构中没有明确建模的重量体：

- 质量点只能和面一起使用。
- 它的位置可以通过下面任一种方法指定：
  - ？ 用户自定义的坐标系中指定 (  $x$  ,  $y$  ,  $z$  ) 坐标值
  - ？ 通过选择顶点 / 边 / 面指定位置
- 质量点只受包括加速度、重力加速度和角加速度的影响。
- 质量是与选择的面联系在一起的，并假设它们之间没有刚度。
- 不存在转动惯性



? 在线性静态结构分析中需要给出杨氏模量和泊松比 :

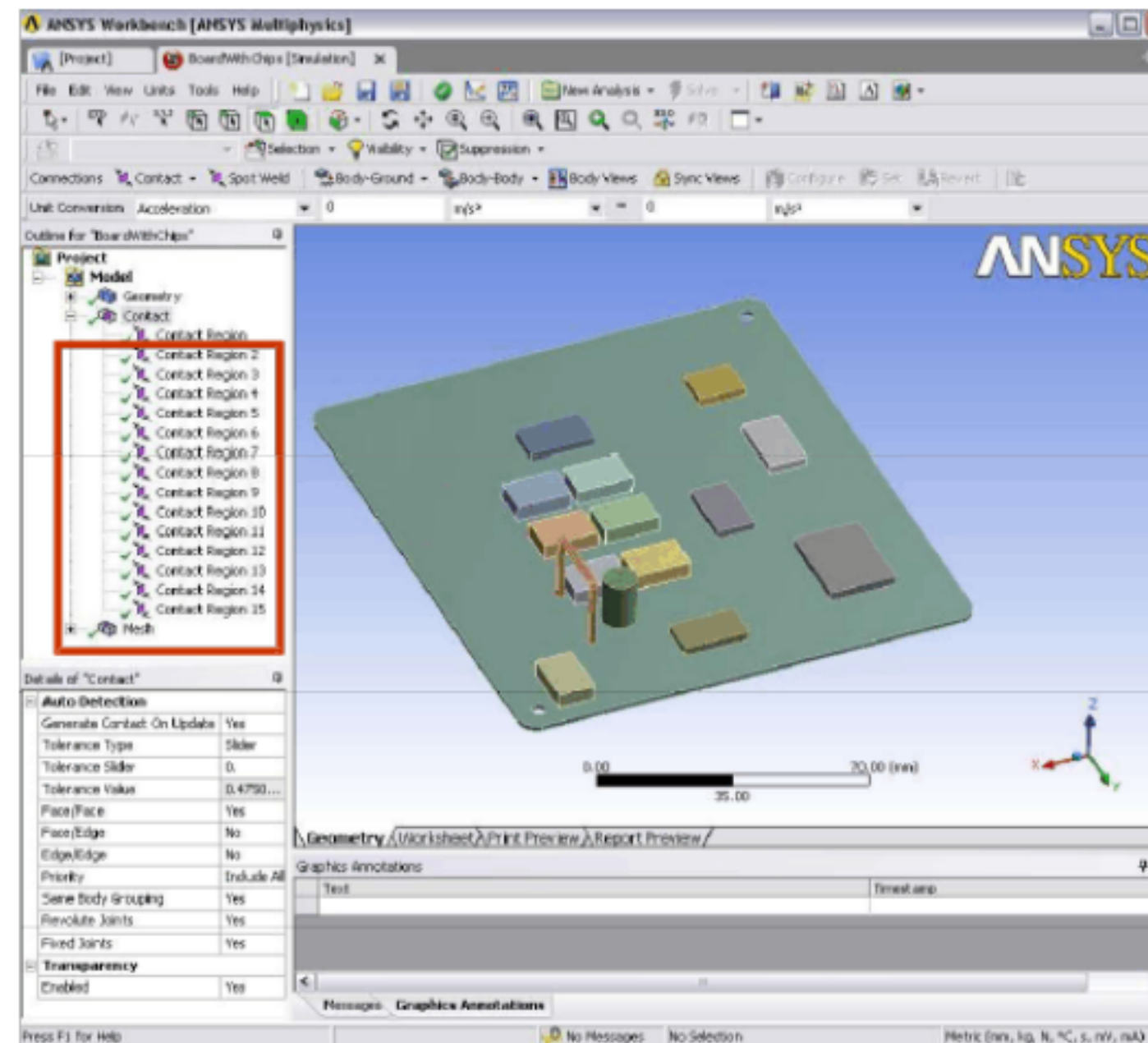
- 在 Engineering Data 中输入材料参数
- 存在惯性时, 需要给出材料密度
- 当施加了一个均匀的温度载荷时, 需要给出热膨胀系数
- 在均匀温度载荷条件下, 不需要指定导热系数
- 想得到应力结果, 需要给出应力极限
- 进行疲劳分析时需要定义疲劳属性
  - ? 在许可协议中需要添加疲劳分析模块

## B. 组件 – 实体接触

? 在导入实体装配体时，在实体之间会自动创建接触对。

– 面对面接触允许在两个实体边界划分的单元不匹配

– Contact 下的 Tolerance controls （容差控制），可以让用户使用滚动条指定自动接触检查的容差





？在模拟中，每个接触对都要定义接触面和目标面：

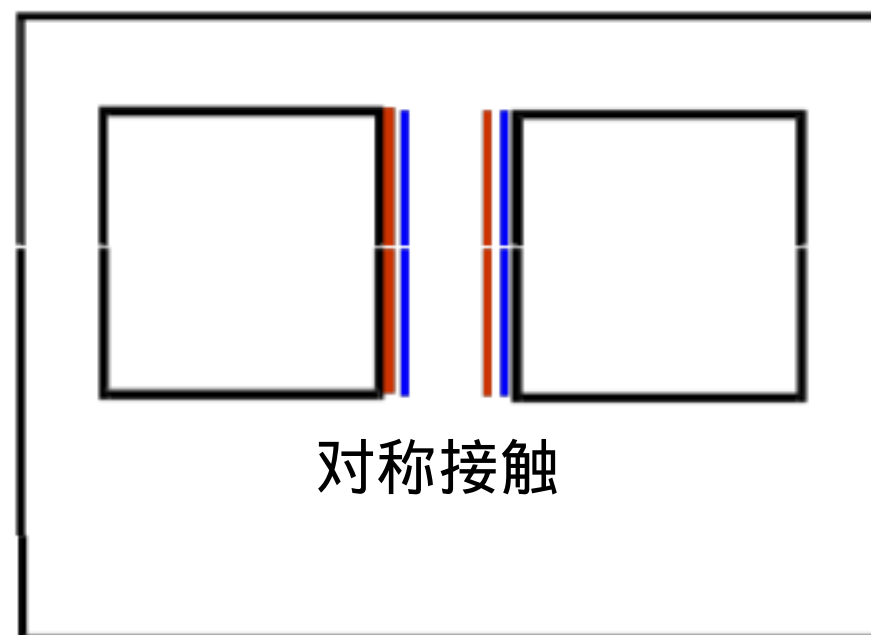
– 接触区域的一个表面视作接触面，另一表面即为目标面

– 接触面不能穿透目标面

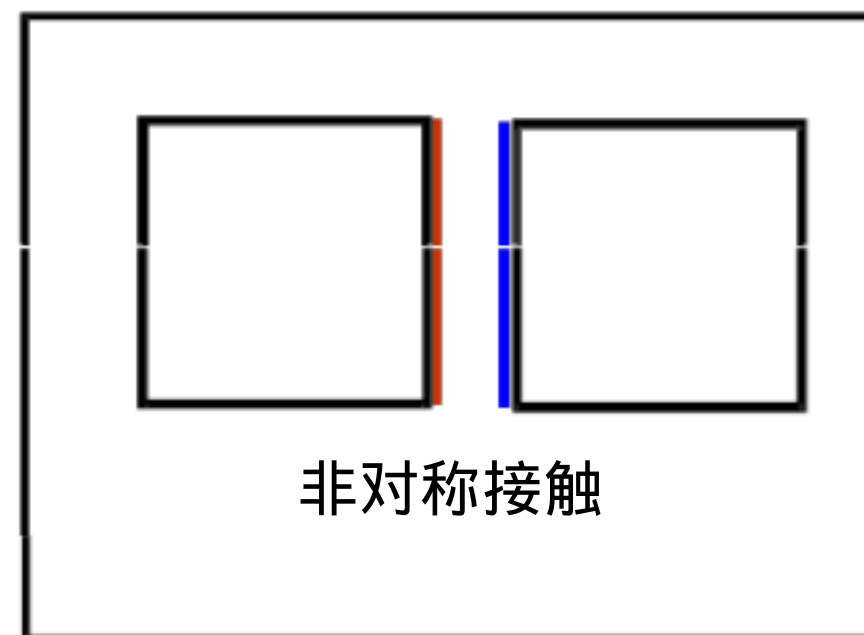
？默认情况下，两个接触面之间的接触是对称接触（ANSYS Professional 或更高版本）

？用户可以根据需要指定接触类型，将接触类型改为非对称接触（这就是非对称接触）

？如果两边互为接触面（ C ）和目标面（ T ），那就叫对称接触



对称接触



非对称接触

| Details of "Contact Region" |                    |
|-----------------------------|--------------------|
| Scope                       |                    |
| Scoping Method              | Geometry Selection |
| Contact                     | 1 Face             |
| Target                      | 1 Face             |
| Contact Bodies              | Part 1             |
| Target Bodies               | Part 9             |
| Definition                  |                    |
| Type                        | Bonded             |
| Scope Mode                  | Automatic          |
| Behavior                    | Symmetric          |
| Suppressed                  | No                 |
| Advanced                    |                    |
| Formulation                 | Pure Penalty       |
| Normal Stiffness            | Program Controlled |
| Update Stiffness            | Never              |
| Thermal Conductance         | Program Controlled |
| Pinball Region              | Program Controlled |



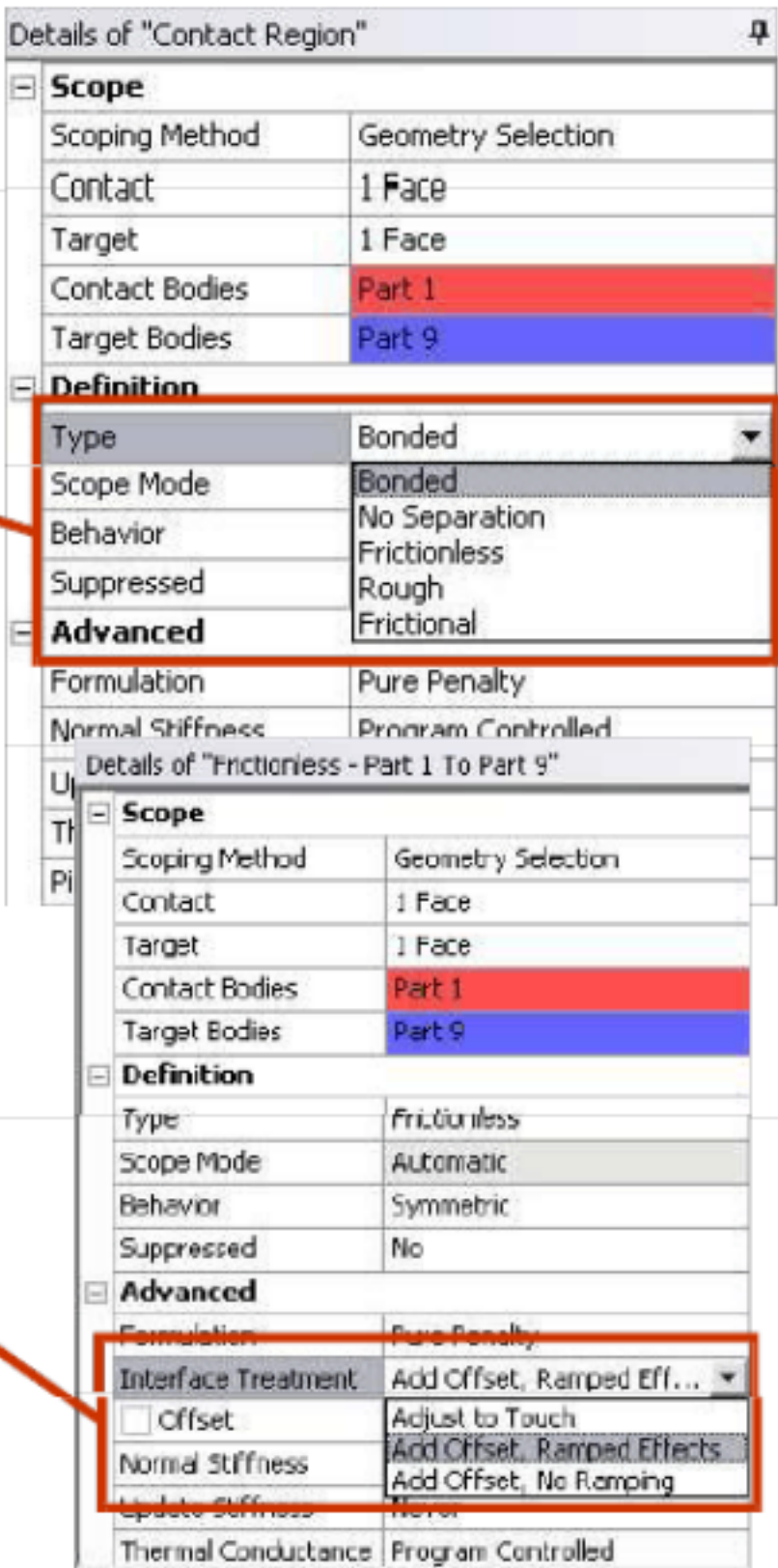
？ 可以使用的五种接触类型：

| Contact Type  | Iterations | Normal Behavior (Separation) | Tangential Behavior (Sliding) |
|---------------|------------|------------------------------|-------------------------------|
| Bonded        | 1          | No Gaps                      | No Sliding                    |
| No Separation | 1          | No Gaps                      | Sliding Allowed               |
| Frictionless  | Multiple   | Gaps Allowed                 | Sliding Allowed               |
| Rough         | Multiple   | Gaps Allowed                 | No Sliding                    |
| Frictional    | Multiple   | Gaps Allowed                 | Sliding Allowed               |

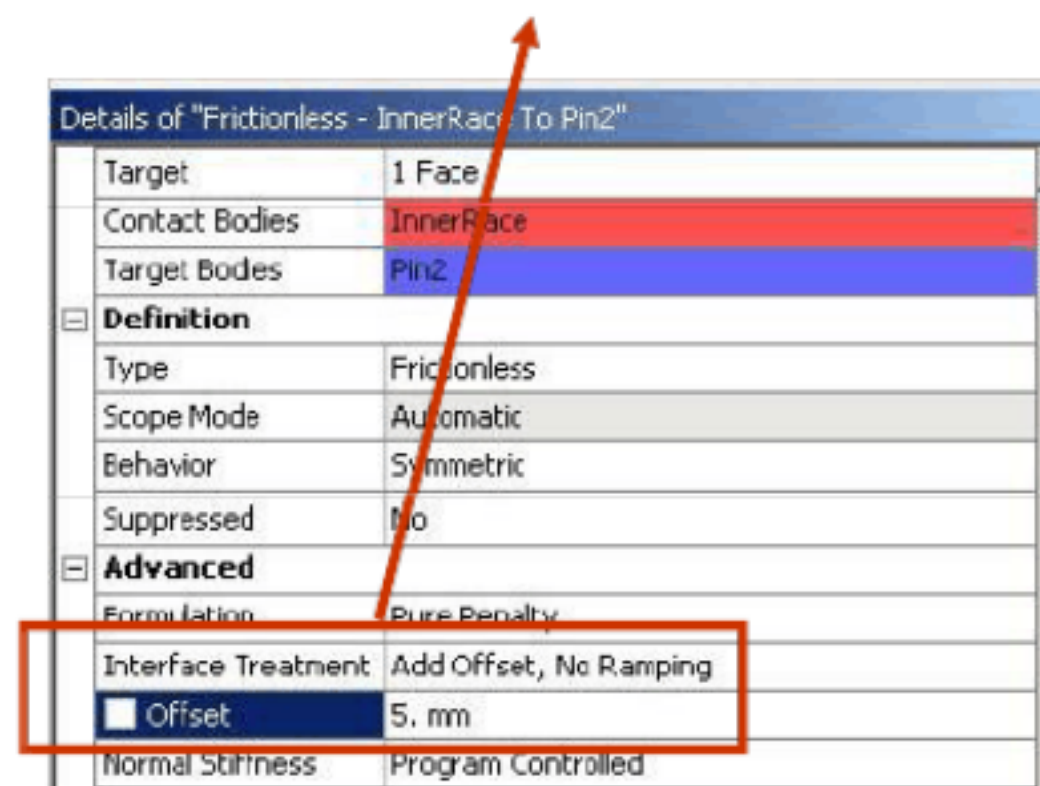
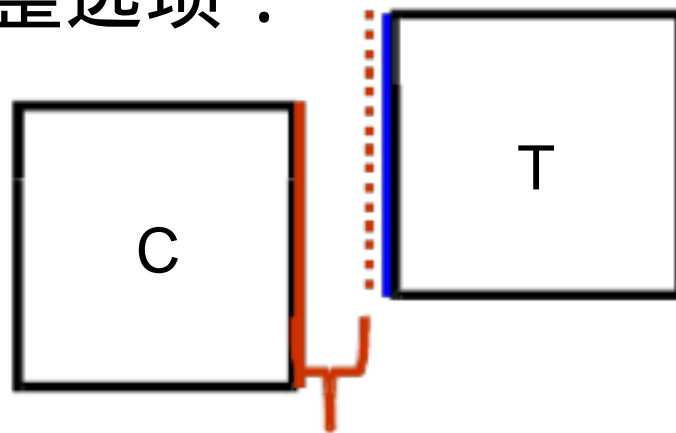
- Bonded 和 No Separation 是线性接触并只需要一次迭代
- Frictionless , Rough 和 Frictional 是非线性接触并需要多次迭代

？ 非线性接触类存在一个 Interface Treatment （界面处理）选项：

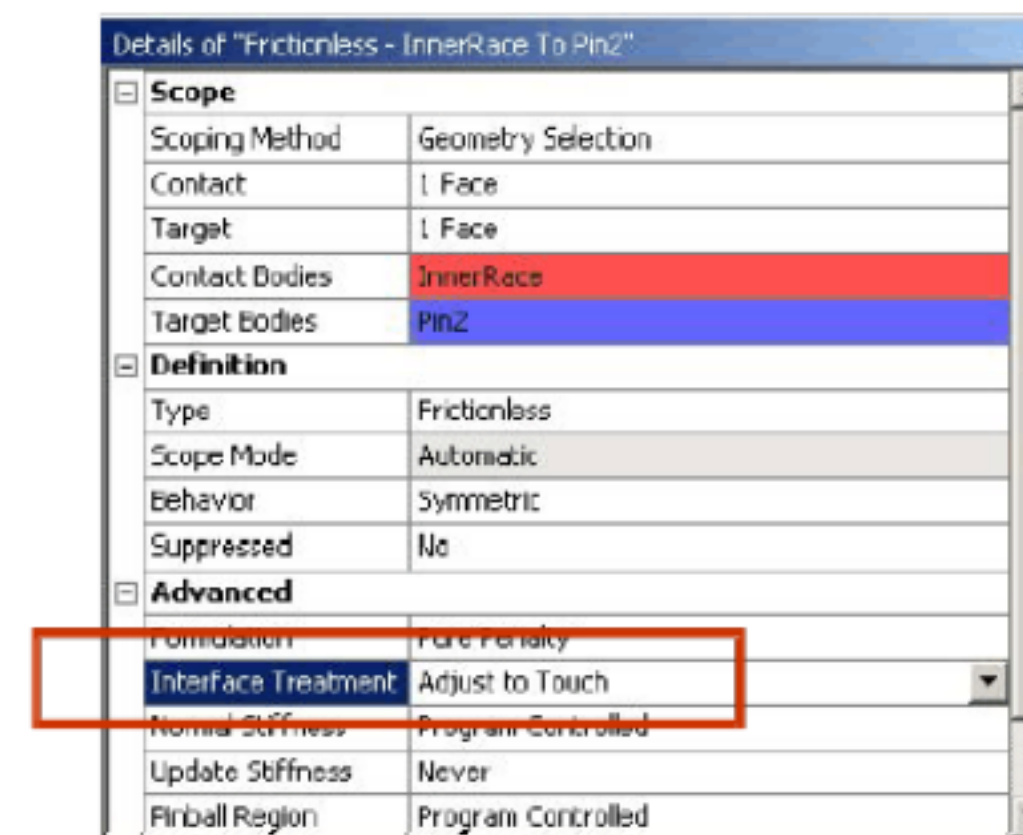
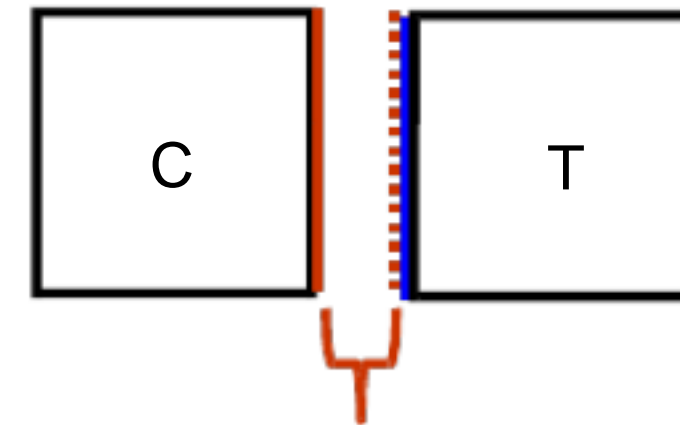
- ？ Offset ：给初始调整指定一个 0 或非 0 的值
- ？ Adjusted to Touch ： ANSYS 把间隔缩小到恰好接触的位置 （ANSYS Professional 或更高版本）



? 界面调整选项 :



Offset : 接触面在正向或相反方向上偏移一个指定的距离 (可以程序设置偏移量)



Adjusted to touch : 不考虑实际的间距, 把接触面移向目标面, 给出一个初始接触



? Advanced 选项（更多细节参见第三章的 pinball 区域的细节设置）：

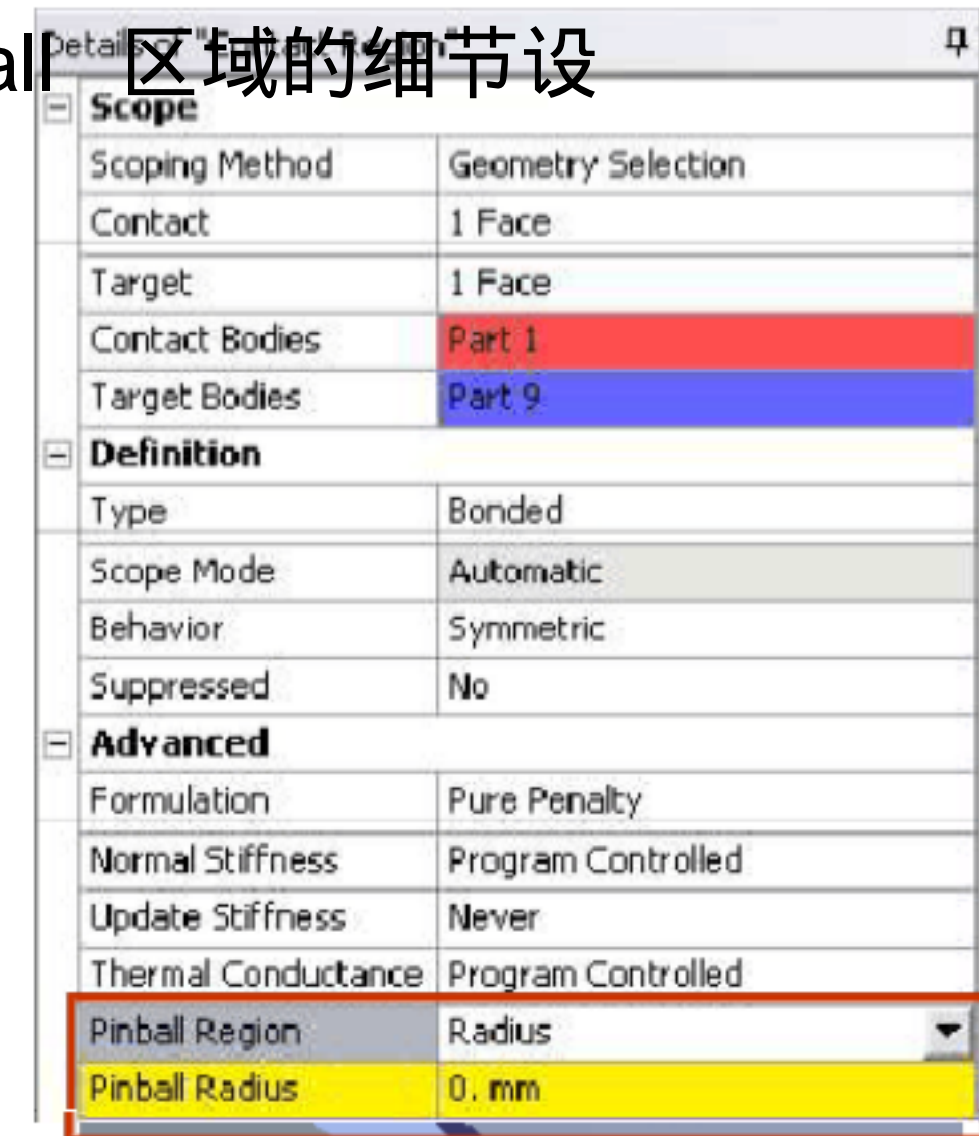
– Pin Ball Region :

? Inside pinball = near-field contact

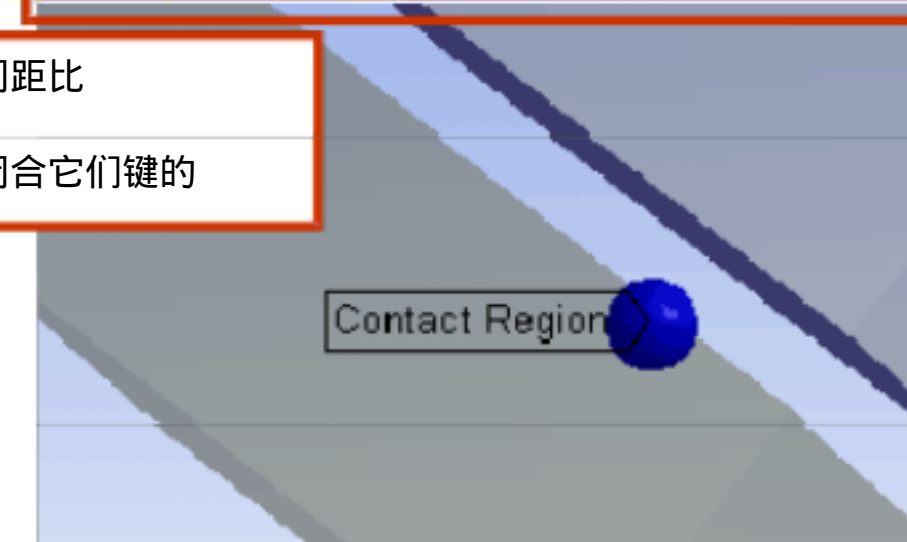
? Outside pinball = far-field contact

? 使求解器更有效的进行接触计算

? 对 ANSYS Professional 或更高版本而言，支持壳体和实体的混合组件与更多的接触选项

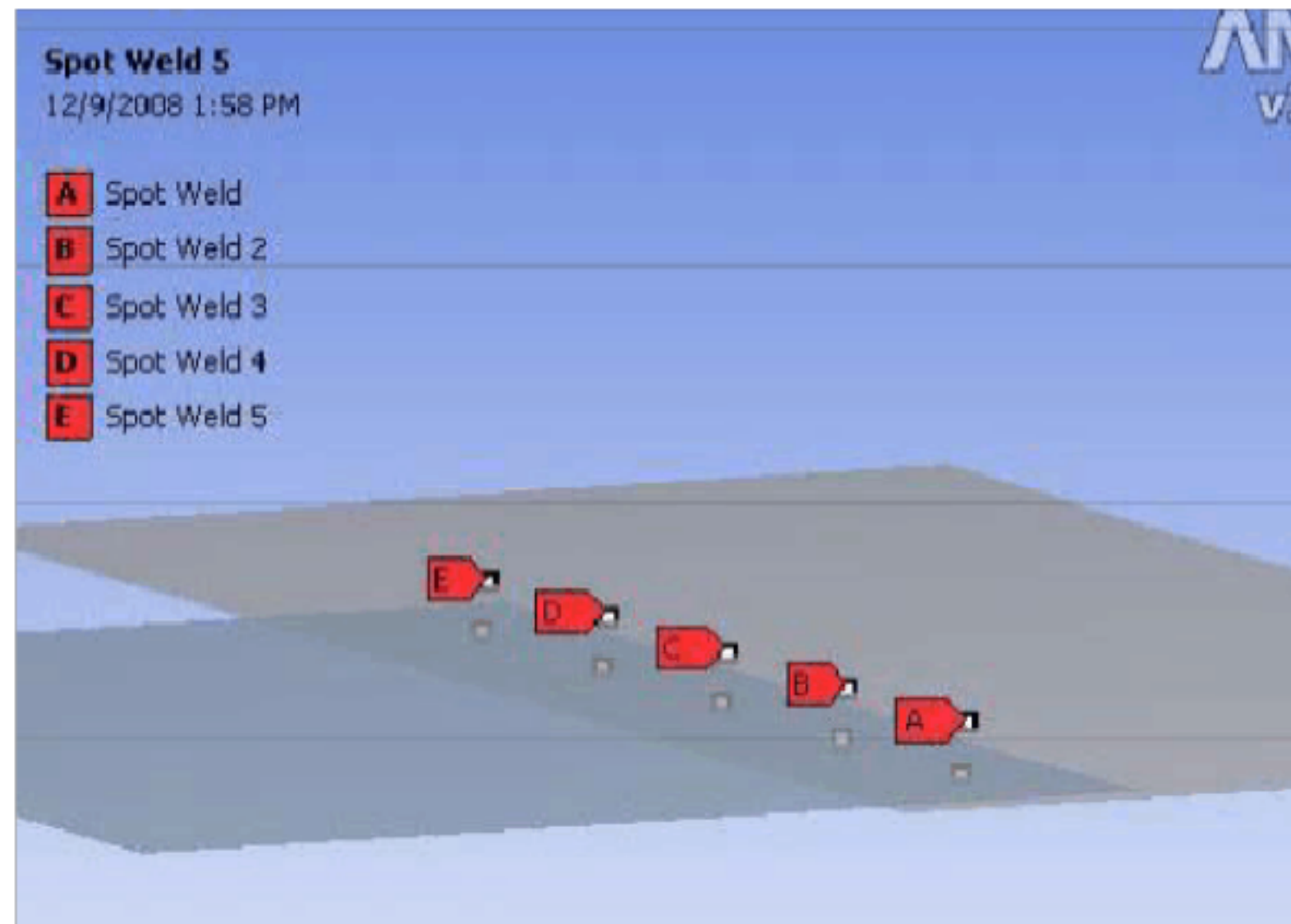


本例中，两部件间的间距比 pinball 区域大，故不会自动闭合它们键的间隔。



? Spot weld 提供了在分离点上连接壳体组件的方法：

- Spotweld 在 CAD 软件中进行定义。目前，只有 DesignModeler 和 Unigraphics 支持点焊定义（Spotweld）。



？在模拟中可以使用的接触类和选项的总结：

| Contact Geometry                   | Solid Body Face (Scope = Contact)      | Solid Body Edge (Scope = Contact) | Surface Body Face (Scope = Contact)    | Surface Body Edge (Scope = Contact)                    |
|------------------------------------|--|-----------------------------------|--|--|
| Solid Body Face (Scope = Target)   | All types                              | Bonded, No Separation             | All types                              | Bonded   |
|                                    | All formulations                       | All formulations                  | All formulations                       | MPC formulation  |
|                                    | Symmetry respected                     | Symmetry NOT respected            | Symmetry respected                     | Symmetry NOT respected                                 |
| Solid Body Edge (Scope = Target)   | Not supported for solving <sup>1</sup> | Bonded, No Separation             | Not supported for solving <sup>1</sup> | Bonded   |
|                                    |  | All formulations                  |  | MPC formulation  |
|                                    |  | Symmetry NOT respected            |  | Symmetry NOT respected                                 |
| Surface Body Face (Scope = Target) | All types                              | All types                         | All types                              | Bonded   |
|                                    | All formulations                       | All formulations                  | All formulations                       | Augmented Lagrange, Pure Penalty, and MPC formulations |
|                                    | Symmetry respected                     | Symmetry NOT respected            | Symmetry respected                     | Symmetry NOT respected                                 |
| Surface Body Edge (Scope = Target) | Not supported for solving <sup>1</sup> | Bonded                            | Not supported for solving <sup>1</sup> | Bonded   |
|                                    |  | MPC formulation                   |  | Augmented Lagrange, Pure Penalty, and MPC formulations |
|                                    |  | Symmetry NOT respected            |  | Symmetry NOT respected                                 |

1 – 对于面边接触，面通常被设计为目标面而边被指定为接触面



## C. 分析设置

? details of Analysis Settings 中提供了一般的求解过程控制：

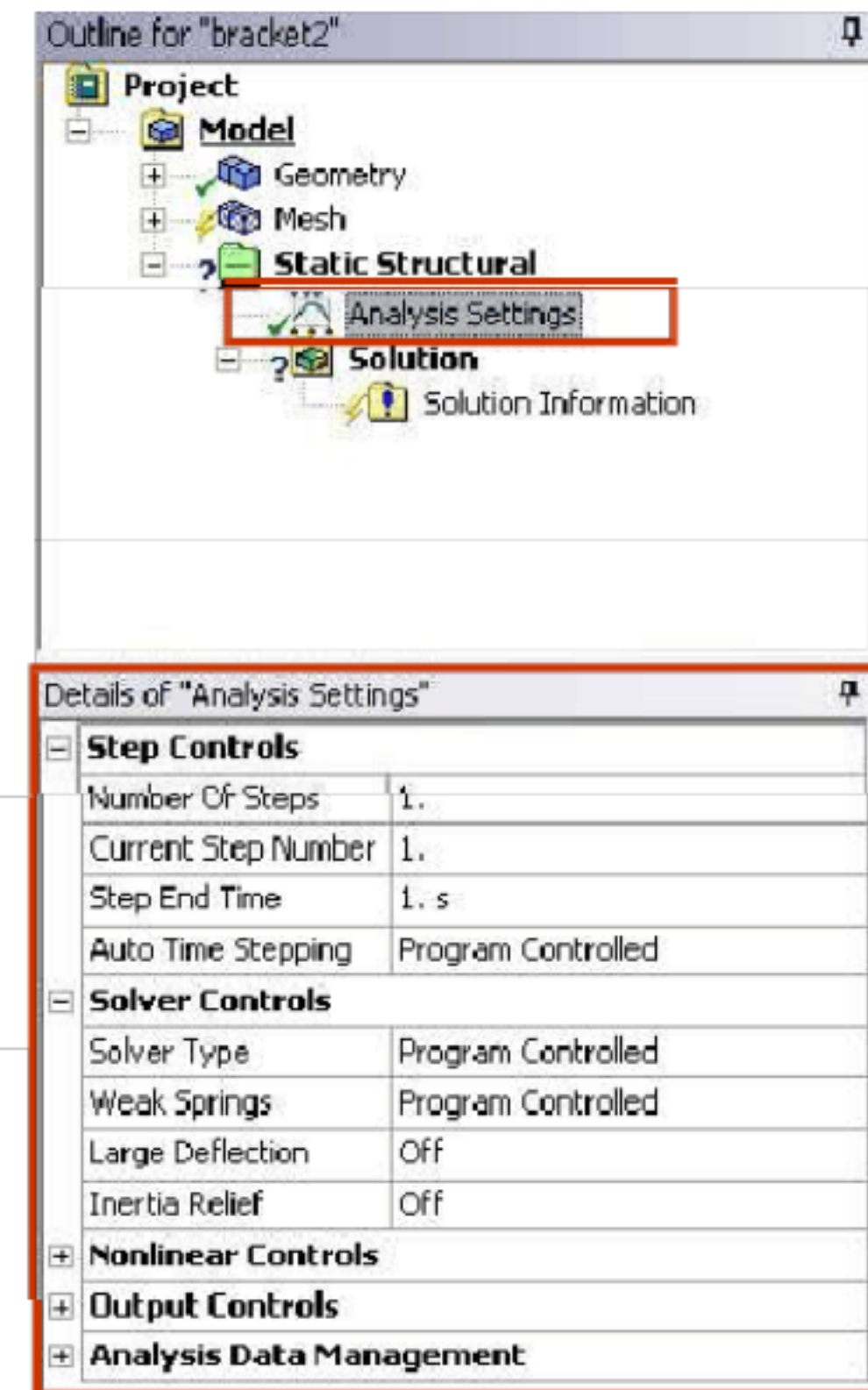
? Step Controls （求解步控制）：

- 人工时间步控制和自动时间步控制
- 指定分析中的分析步数目和每个步的终止时间
- 在静态分析里的时间是一种跟踪机制（后面讨论）

? Solver Controls （求解控制）：

- 两种求解方式（默认是 Program Controlled ）：
  - ? 直接求解 （ANSYS 中是稀疏矩阵法）
  - ? 迭代求解 （ANSYS 中是 PGC（预共轭梯度法））。
- Weak springs ：

? 尝试模拟得到无约束的模型



? Analysis Data Management (分析数据管理器) :

- Solver Files Directory : 给出了相关分析文件的保存路径
- Future Analysis : 指定求解中是否要进行后续分析 (如预应力模型)。如果在 project schematic 里指定了耦合分析, 将自动设置该选项。
- Scratch Solver Files Directory : 求解中的临时文件夹
- 保存 ANSYS DB 分析文件
- Delete Unneeded Files : 在 Mechanical APDL 中, 可以选择保存所有文件以备后用
- Solver Units : Active System 或 manual.
- Solver Unit System : 如果以上设置是人工的, 那当 Mechanical APDL 共享数据的时候, 就可以选择 8 个求解单位系统中的一个来保证一致性 (在用户操作界面中不影响结果和载荷显示)

| Details of "Analysis Settings" |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| Step Controls                  |                         |
| Number Of Steps                | 1.                      |
| Current Step Number            | 1.                      |
| Step End Time                  | 1. s                    |
| Auto Time Stepping             | Program Controlled      |
| Solver Controls                |                         |
| Solver Type                    | Program Controlled      |
| Weak Springs                   | Program Controlled      |
| Large Deflection               | Off                     |
| Inertia Relief                 | Off                     |
| Nonlinear Controls             |                         |
| Output Controls                |                         |
| Analysis Data Management       |                         |
| Solver Files Directory         | D:\Solver_Temp\WB_PGHX6 |
| Future Analysis                | Prestressed analysis    |
| Scratch Solver Files Directory |                         |
| Save ANSYS db                  | Yes                     |
| Delete Unneeded Files          | Yes                     |
| Nonlinear Solution             | No                      |
| Solver Units                   | Active System           |
| Solver Unit System             | mm                      |

# Static Structural Analysis

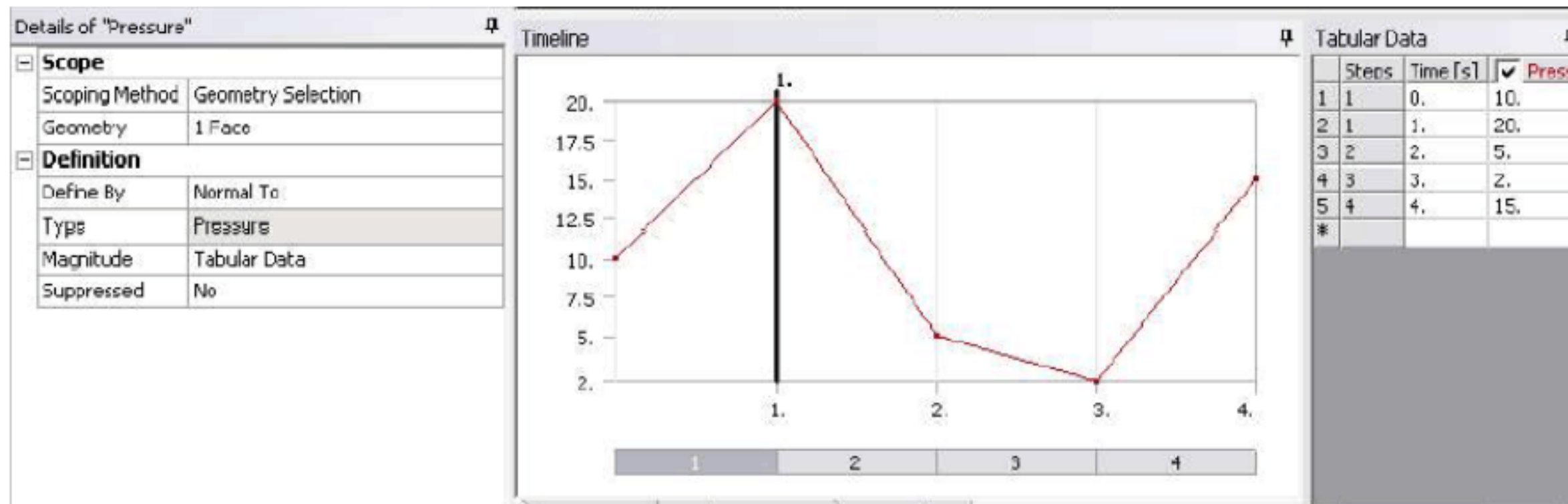
Training Manual

## ... 分析设置 - 分析步控制

- 在静态分析中允许设置多个分析步，并一步一步的求解。
- ? Step Controls (分析步控制):
  - 对于静态分析，终止时间被用作确定载荷步和载荷子步的追踪器。
  - 可以一个分析步一个分析步的查看结果。 在给出的 Tabular Data 里可以指定每个分析步的载荷值。

| Details of "Analysis Settings" |                    |
|--------------------------------|--------------------|
| Step Controls                  |                    |
| Number Of Steps                | 10.                |
| Current Step Number            | 4.                 |
| Step End Time                  | 13. s              |
| Auto Time Stepping             | Program Controlled |
| Solver Controls                |                    |

在图形窗口中给出了时间和载荷值的关系图



**Pressure**  
Time: 1. s  
12/28/2006 9:51 AM  
Pressure: 20. MPa



# Static Structural Analysis

## ... 多个分析步

Training Manual

? 通过选择 Analysis Type , 然后选择 Worksheet 表单查看所有不同分析步。

The screenshot displays the ANSYS Workbench environment for a project named "bracket2". On the left, the Project Outline shows the hierarchy: Project > Model > Static Structural > Analysis Settings (highlighted with a red box). The main area shows the "Analysis Settings" table, which is divided into four columns: Properties, Step 1, Step 2, Step 3, and Step 4. The table is organized into three sections: Step Controls, Nonlinear Controls, and Output Controls. The bottom pane shows the "Details of 'Analysis Settings'" with the "Worksheet" tab selected (highlighted with a red box).

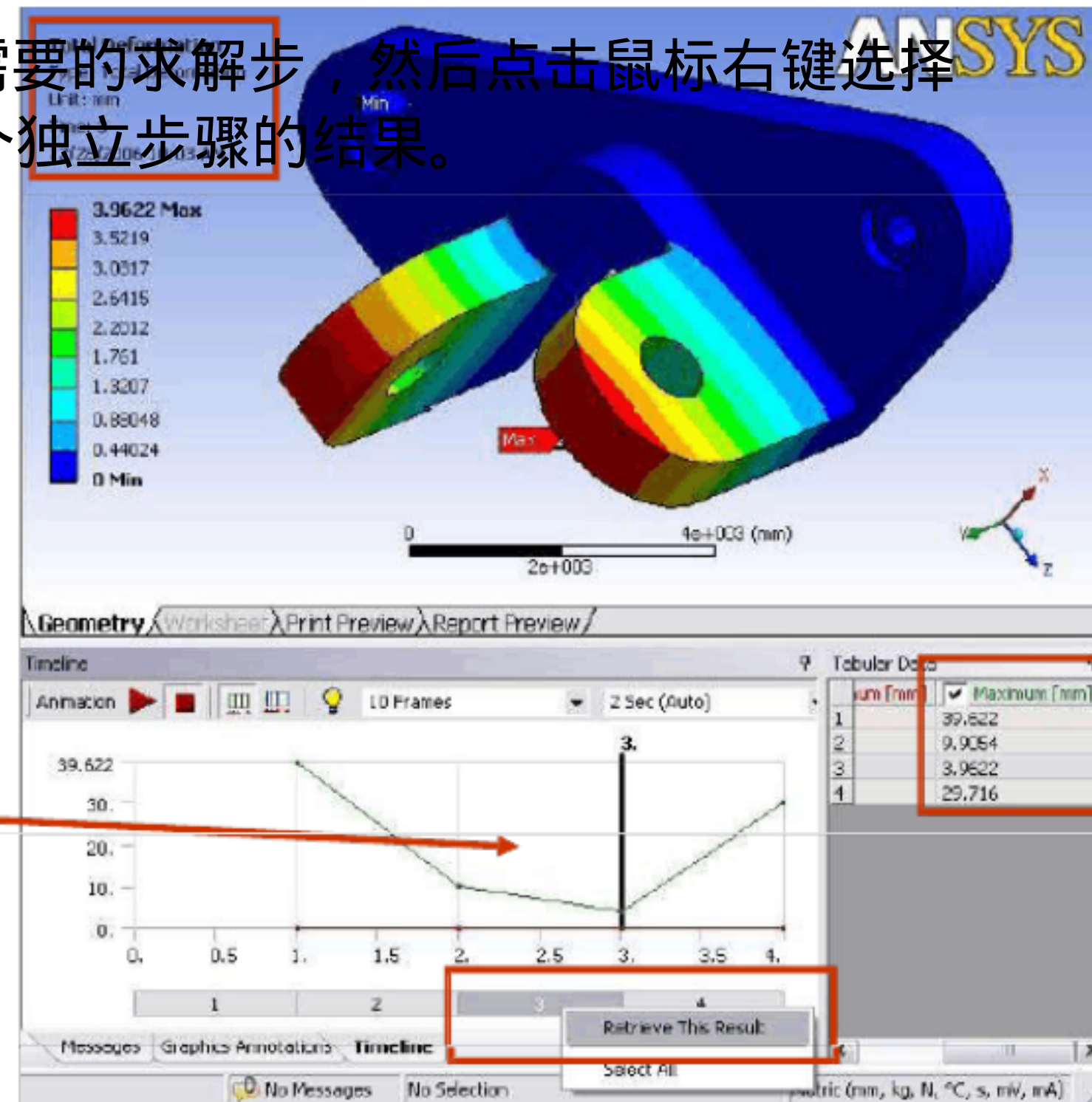
| Properties                | Step 1             | Step 2             | Step 3             | Step 4             |
|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Step Controls</b>      |                    |                    |                    |                    |
| Step End Time             | 1.                 | 2.                 | 3.                 | 4.                 |
| Auto Time Stepping        | Program Controlled | Program Controlled | Program Controlled | Program Controlled |
| <b>Nonlinear Controls</b> |                    |                    |                    |                    |
| Force Convergence         | Program Controlled | Program Controlled | Program Controlled | Program Controlled |
| Moment Convergence        | Program Controlled | Program Controlled | Program Controlled | Program Controlled |
| Displacement Convergence  | Program Controlled | Program Controlled | Program Controlled | Program Controlled |
| Rotation Convergence      | Program Controlled | Program Controlled | Program Controlled | Program Controlled |
| Line Search               | Program Controlled | Program Controlled | Program Controlled | Program Controlled |
| <b>Output Controls</b>    |                    |                    |                    |                    |
| Calculate Stress          | Yes                | Yes                | Yes                | Yes                |
| Calculate Strain          | Yes                | Yes                | Yes                | Yes                |
| Calculate Results At      | All Time Points    | All Time Points    | All Time Points    | All Time Points    |

Details of "Analysis Settings"

Genetrv & Worksheet & Print Preview & Report Preview

? 求解完成后，可以选择需要的求解步，然后点击鼠标右键选择 Retrieve This Result，查看每个独立步骤的结果。

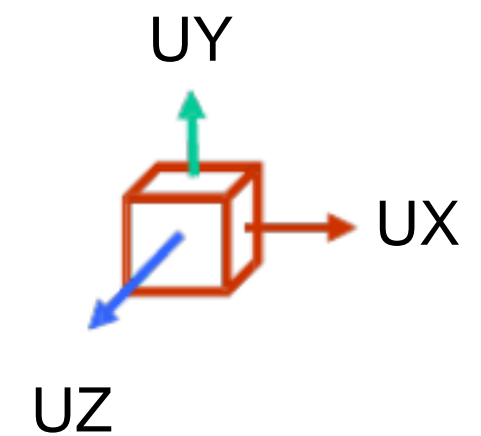
选择需要的求解步，  
然后点击鼠标右键  
选择 Retrieve  
This Result



## D. 载荷和约束

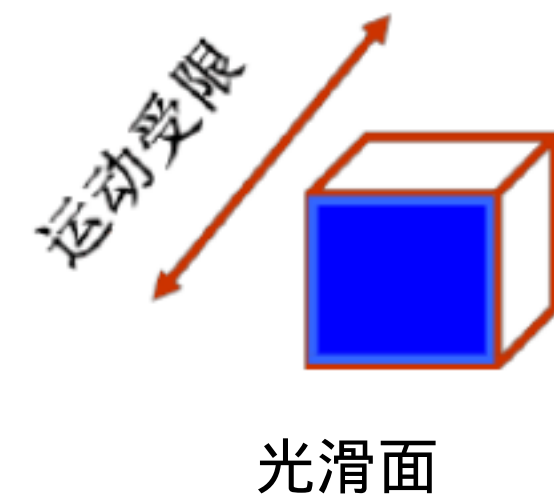
? 载荷和约束是以所选单元的自由度的形式定义的。

? 实体的自由度是  $x$  ,  $y$  和  $z$  方向上的平移 (壳体还得加上旋转自由度, 绕  $x$  ,  $y$  和  $z$  轴的转动)



? 约束, 不考虑实际的名称, 也是以自由度的形式定义的。  
。

? 例如, 在块体的  $z$  面上施加一个光滑约束, 表示它  $z$  方向上的自由度不再是自由的 (其它自由度是自由的)。





？ 载荷类型：

— 惯性载荷：

？ 这些载荷施加在整个模型上

？ 对于惯性计算时需要知道密度

？ 这些载荷专指施加在定义好的质量点上的力 ( Point Masses )

— 结构载荷：

？ 施加在系统部件上的力或力矩

— 结构约束：

？ 防止在某一特定区域上移动的约束

— 热载荷：

？ 热载荷会产生一个温度场，使模型中发生热膨胀或热传导。

？载荷和约束的方向分量可以在整体坐标系或局部坐标系中定义：

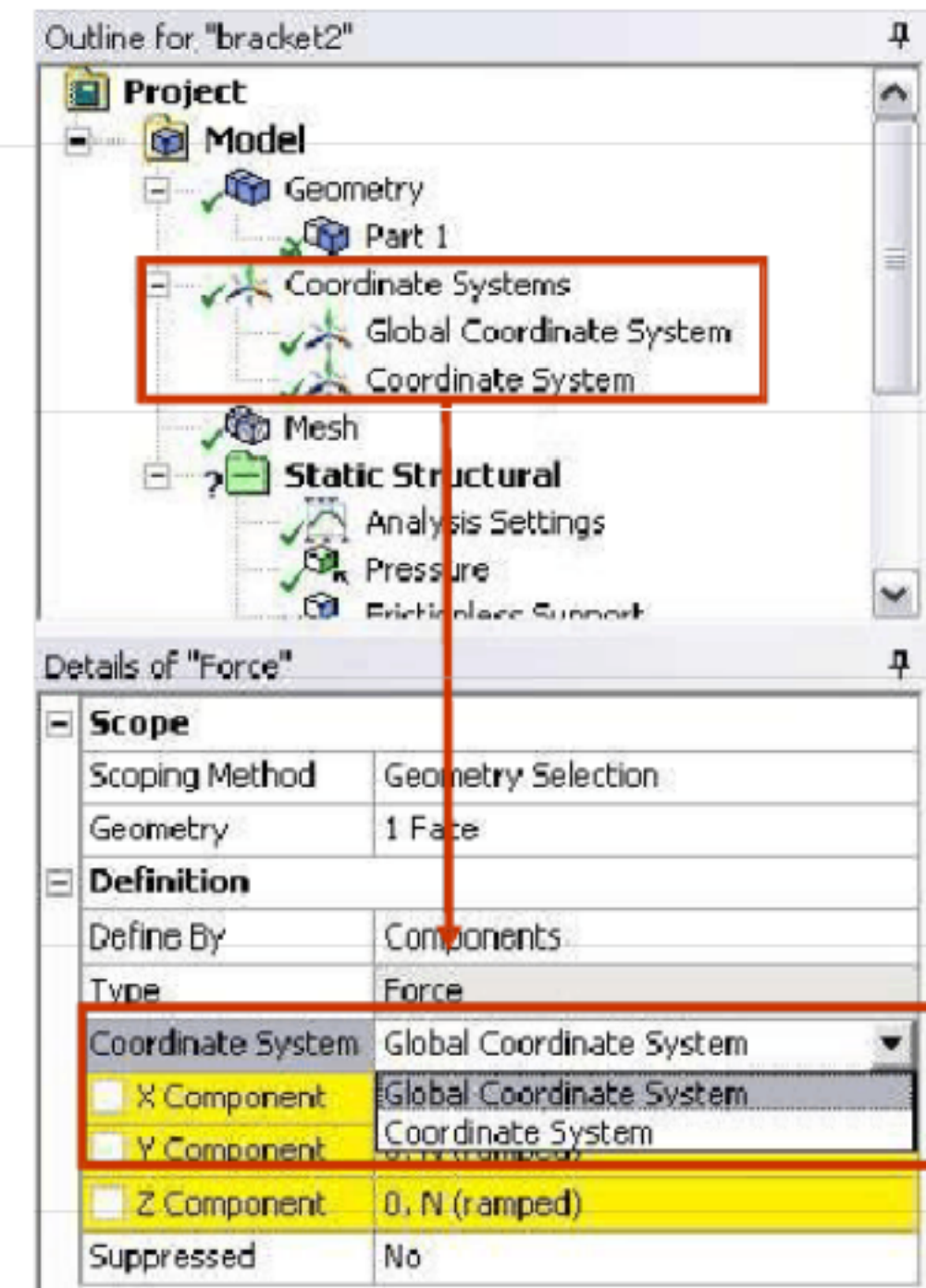
– 在细节窗口中，把 Define 改为 Component ，然后

B

通过下拉菜单选择坐标系

| Load                   | SupportsCoordinateSystems |
|------------------------|---------------------------|
| Acceleration           | No                        |
| Standard Earth Gravity | Yes                       |
| Rotational Velocity    | Yes                       |
| Force                  | Yes                       |
| Remote Force           | Location of Origin Only   |
| Bearing Load           | Yes                       |
| Moment                 | Yes                       |
| Given Displacement     | Yes                       |

系中



? 加速度 :  Acceleration

- 施加在整个模型上，单位是长度比上时间的平方。
- 加速度可以定义为分量或矢量的形式。
- 物体运动方向为加速度的反方向。

? 重力加速度 :  Standard Earth Gravity

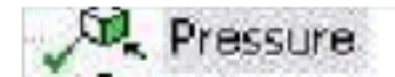
- 根据所选的单位制系统确定它的值。
- 重力加速度的方向定义为整体坐标系或局部坐标系的其中一个坐标轴方向。
- 物体运动方向与重力加速度的方向相同。

? 角加速度 :  Rotational Velocity

- 整个模型以给定的速率绕轴转动。
- 以分量或矢量的形式定义。
- 输入单位可以是弧度每秒（默认选项），也可是度每秒。



? 施加压力：



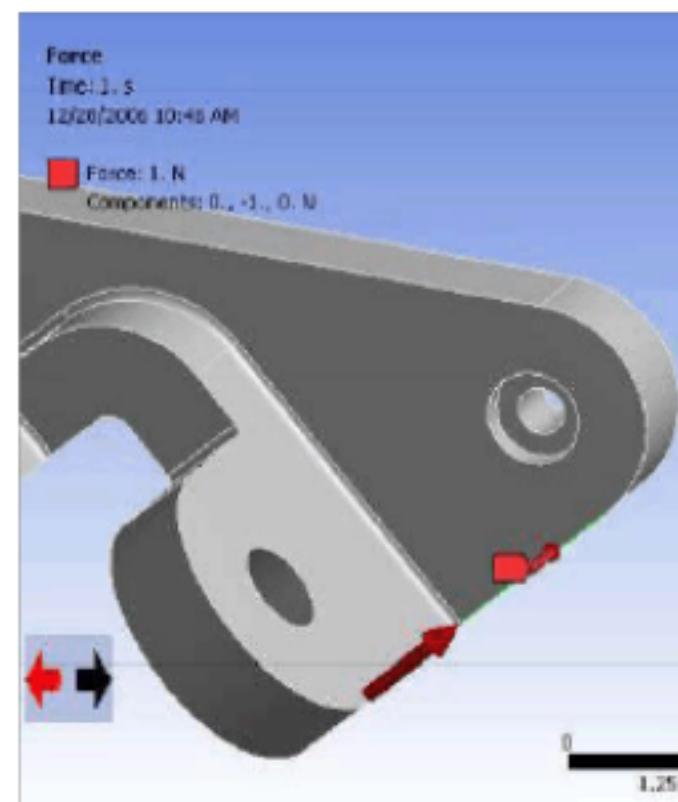
- 以与面正交的方向施加在面上。
- 指向面内为正，反之为负。

单位是单位面积的力。

? 施加集中力：



- 集中力可以施加在点、边或面上。
- 它将均匀的分布在所有实体上，单位是  $\text{mass} \cdot \text{length} / \text{time}^2$ 。
- 可以以矢量或分量的形式定义集中力。



## Static Structural Analysis

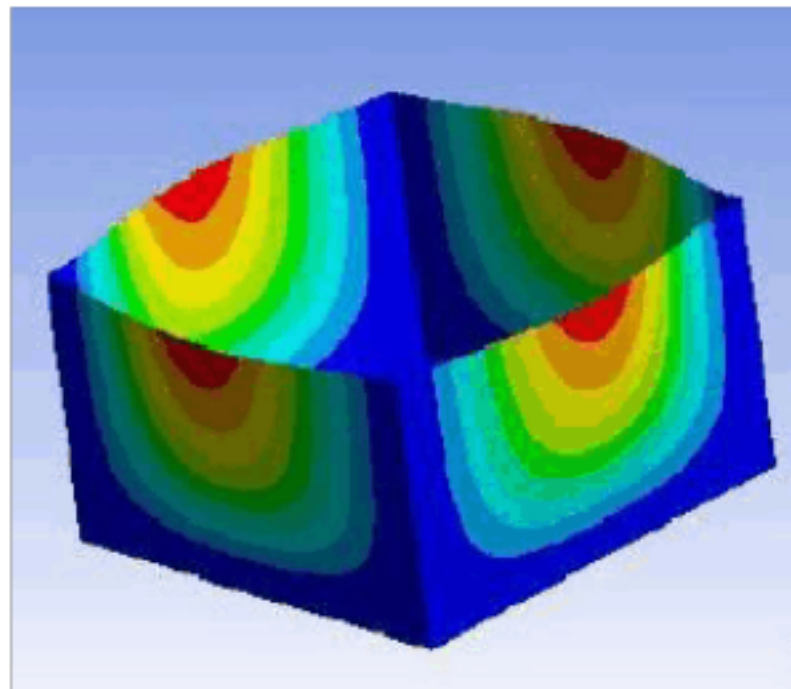
– 在面（实体或壳体）上施加一个线性变化的力，模拟结构上的流体载荷。

... 静水压力

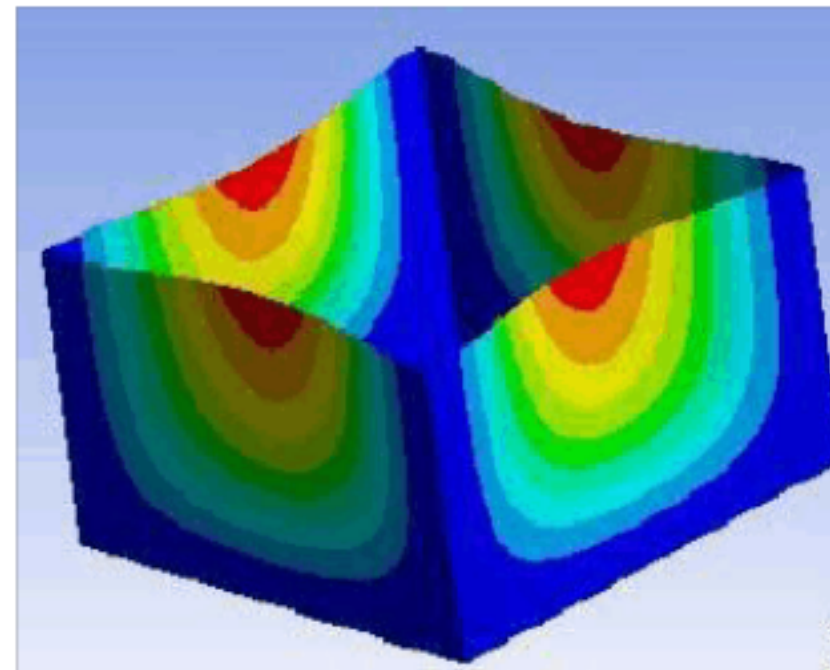
– 流体可能处于结构内部或外部

? 静水压力? 用户指定:

- 加速度的大小和方向
- 流体密度
- 代表流体自由面的坐标系
- 对于壳体，提供了一个顶面 / 底面选项

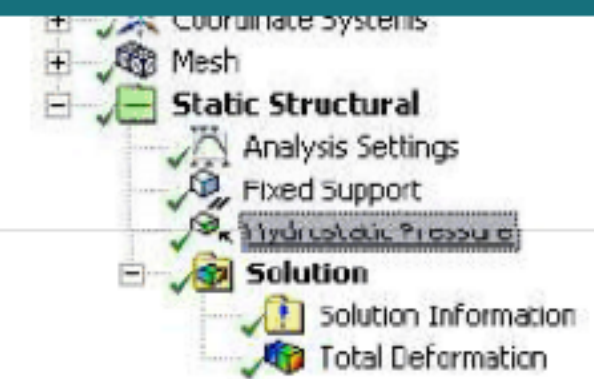


内部



外部

Training Manual



Details of "Hydrostatic Pressure"

|                                 |                         |
|---------------------------------|-------------------------|
| <b>Scope</b>                    |                         |
| Scoping Method                  | Geometry Selection      |
| Geometry                        | 5 Faces                 |
| Shell Face                      | Top                     |
| <b>Hydrostatic Acceleration</b> |                         |
| Define By                       | Vector                  |
| Magnitude                       | 9.8 m/s <sup>2</sup>    |
| Direction                       | Click to Change         |
| <b>Definition</b>               |                         |
| Type                            | Hydrostatic Pressure    |
| Suppressed                      | NO                      |
| Fluid Density                   | 1000. kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Free Surface Location</b>    |                         |
| Coordinate System               | Coordinate System       |
| X Coordinate                    | 0. m                    |
| Y Coordinate                    | 0. m                    |
| Z Coordinate                    | 0. m                    |
| Location                        | Click to Change         |

# Static Structural Analysis

— 使用投影面的方法将力的分量按照投影面积分布在压边上

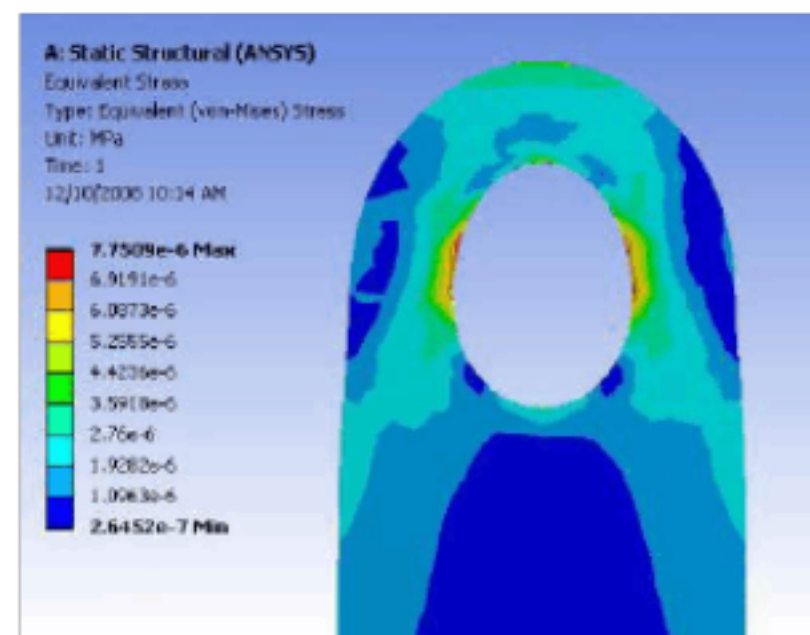
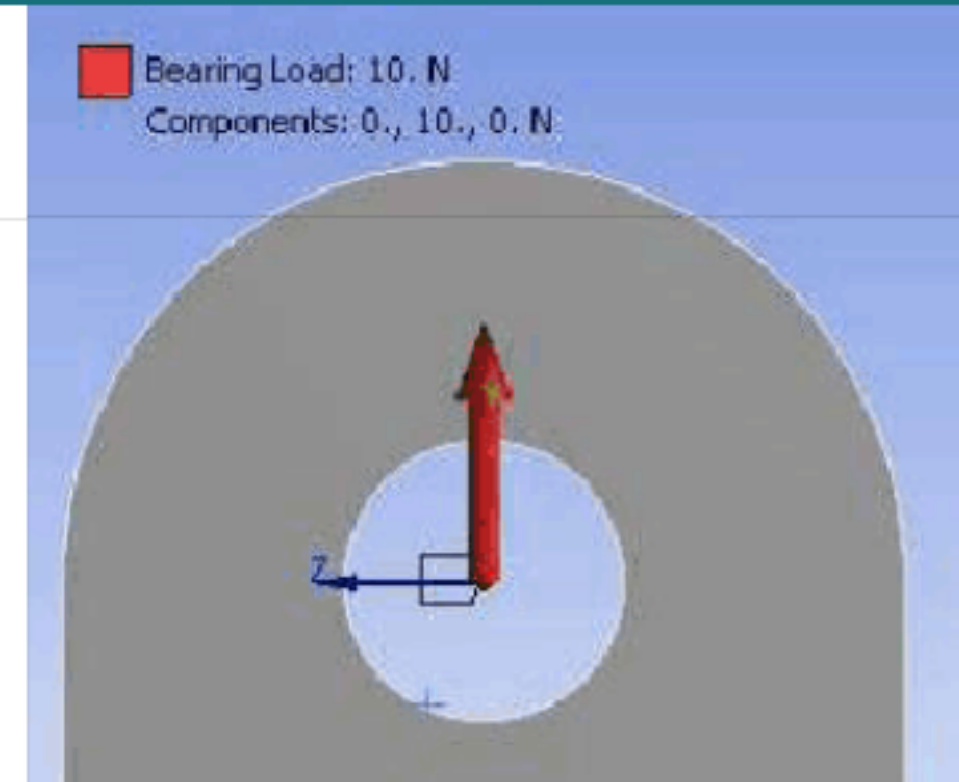
## ... 轴承负载

Training Manual

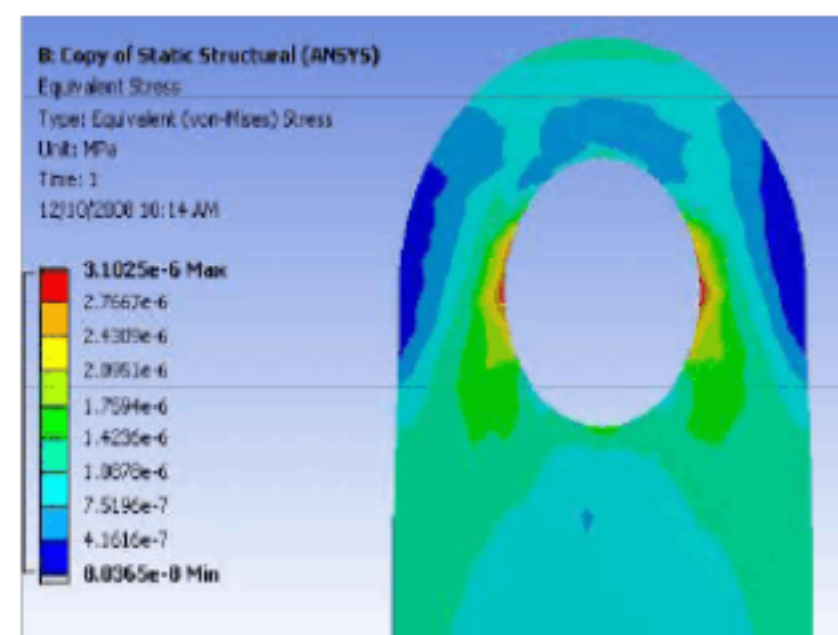
？ 不允许存在轴向分量  
？ 轴承负载每个圆柱面上只能使用一个轴承负载。

— 在施加该载荷时，若圆柱面是分裂的，一定要选中它的两个半圆柱面。

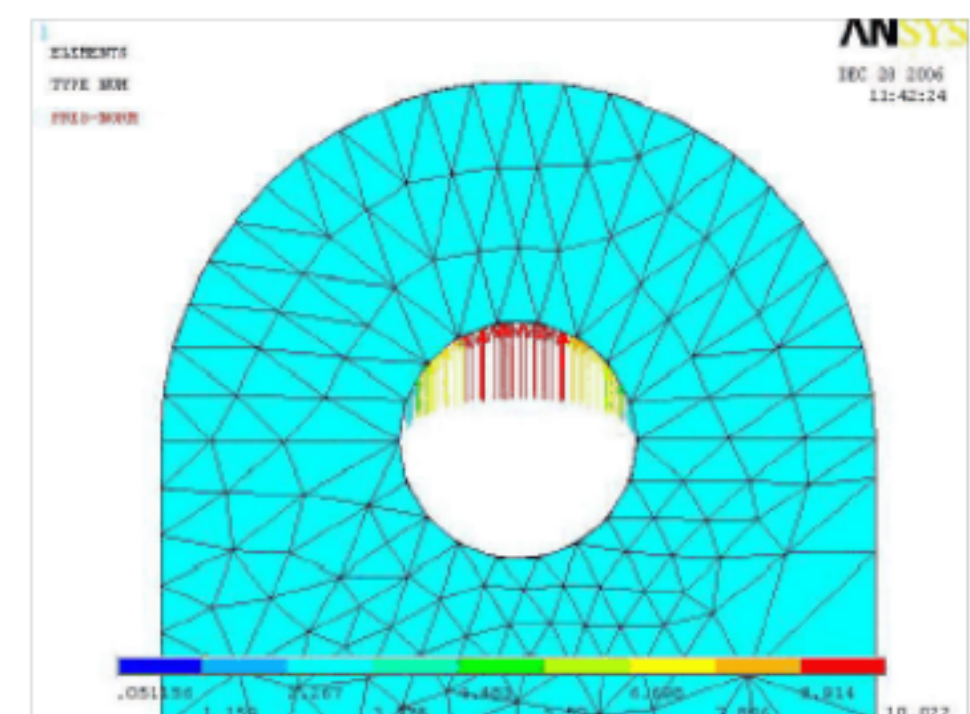
— 轴承负载可以矢量或分量的形式定义。



轴承负载



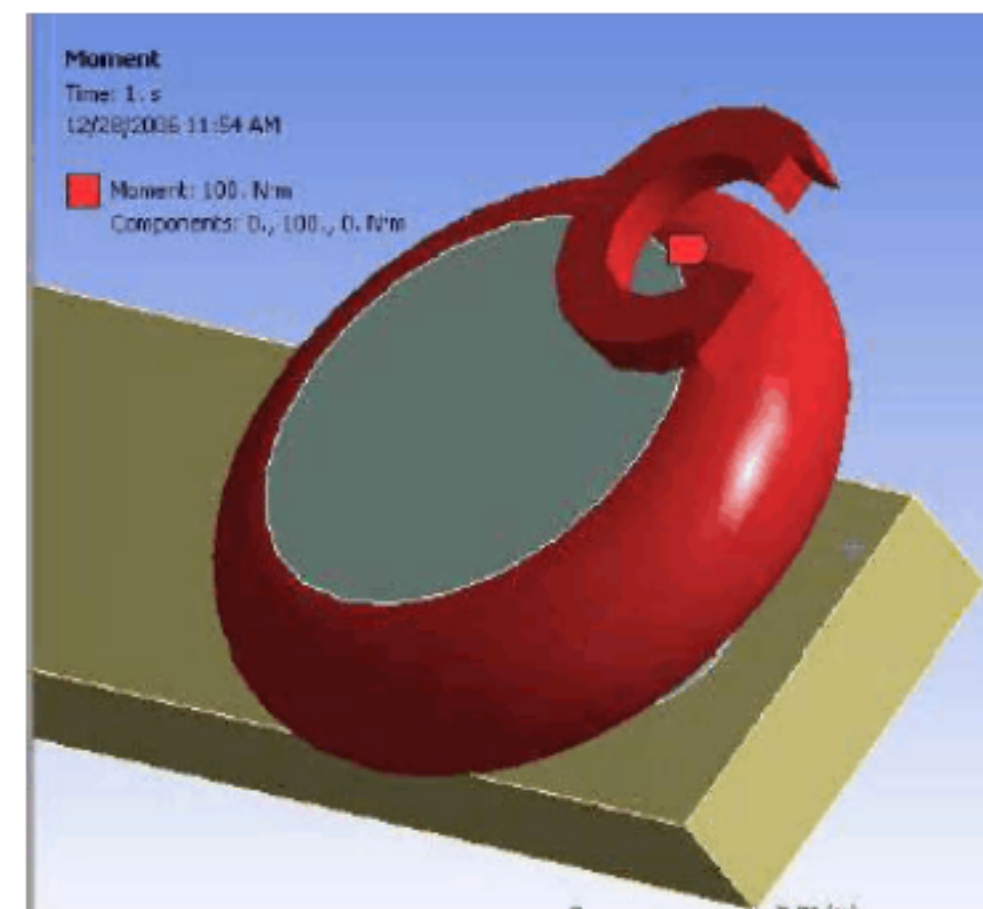
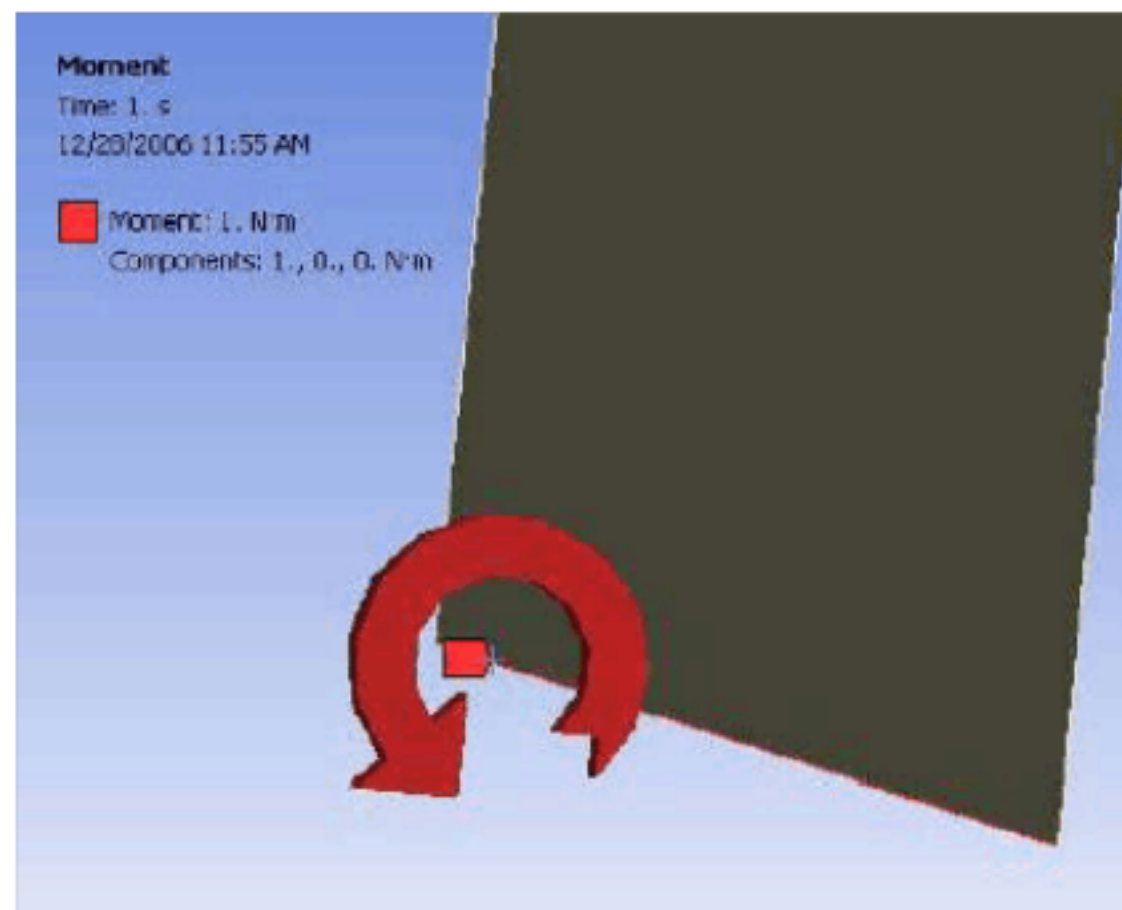
集中力






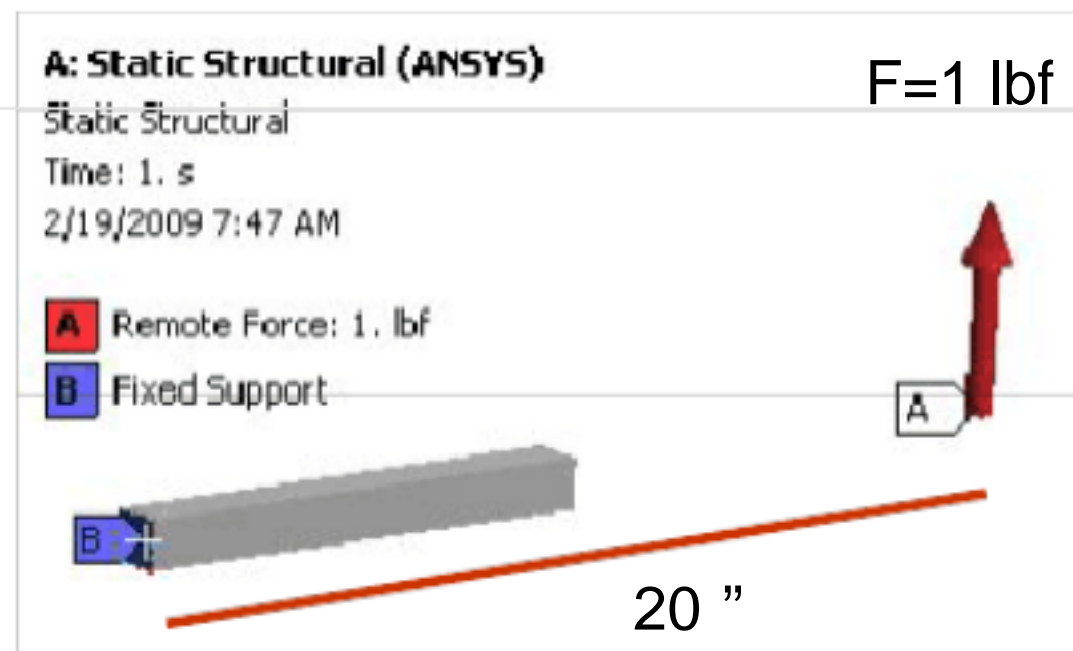
? 力矩载荷:  Moment

- 对于实体，力矩只能施加在面上。
- 如果选择了多个面，力矩则均匀分布在多个面上。
- 可以根据右手法则以矢量或分量的形式定义力矩。
- 对于面，力矩可以施加在点上、边上或面上。
- 力矩的单位是力乘上距离。



? 远程载荷：  Remote Force

- 给实体的面或边施加一个远离的载荷。
- 用鼠标指定载荷的筋线（附着于其上或用坐标指定）
- 可以以矢量或分量的形式定义。
- 例如： 在一个 10 英寸的梁端的范围内施加了一个 1 lbf 的远程载荷，且远程载荷距离固支端 20 英寸。

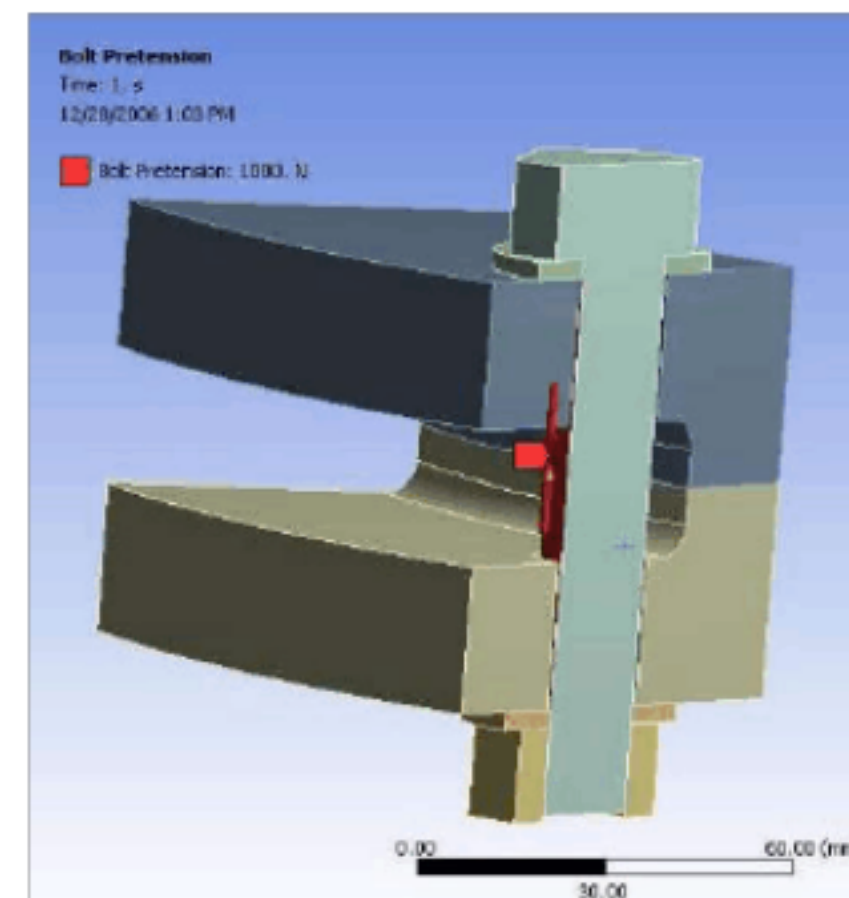
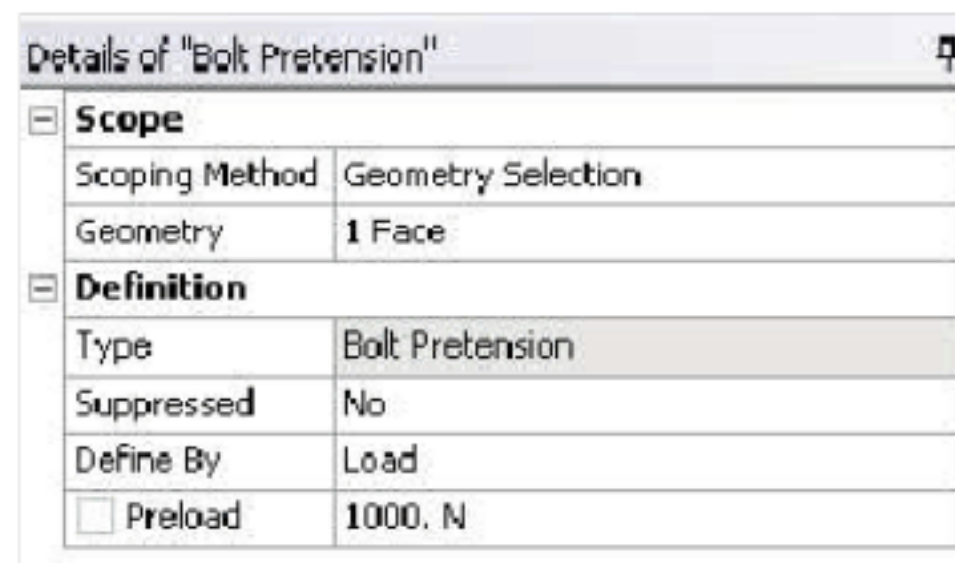


| Details of "Moment Reaction"               |                     |
|--|---------------------|
| Options                                    |                     |
| Results                                    |                     |
| <input checked="" type="checkbox"/> X Axis | 20. lbf·in          |
| <input type="checkbox"/> Y Axis            | 3.488e-009 lbf·in   |
| <input type="checkbox"/> Z Axis            | -2.1246e-007 lbf·in |
| <input type="checkbox"/> Total             | 20. lbf·in          |

反作用力矩

### ? 螺栓预紧力 : Bolt Pretension

- 给圆柱形截面上施加预紧力以模拟螺栓连接：
  - ? 预紧力（集中力）
  - ? 或者
  - ? 调整量（长度）
- 需要给物体指定一个局部坐标系统（在 Z 方向上的预紧力）
- 自动生成两个载荷步求解：
  - ? LS1：施加有预紧力、边界条件和接触条件
  - ? LS2：预紧力部分的相对运动是固定的并施加了一个外部载荷
- 对于顺序加载，还有其它额外选项（见下一页）





# Static Structural Analysis

螺栓预紧力在顺序模拟的 Define By 选项提供了如下选项：

- Load 或 Adjustment : 如前面所讲定义
- Lock : 固定所有位移（载荷施加和保持）
- Open : 保持预紧力 “ open ”（即无预紧力）

Training Manual

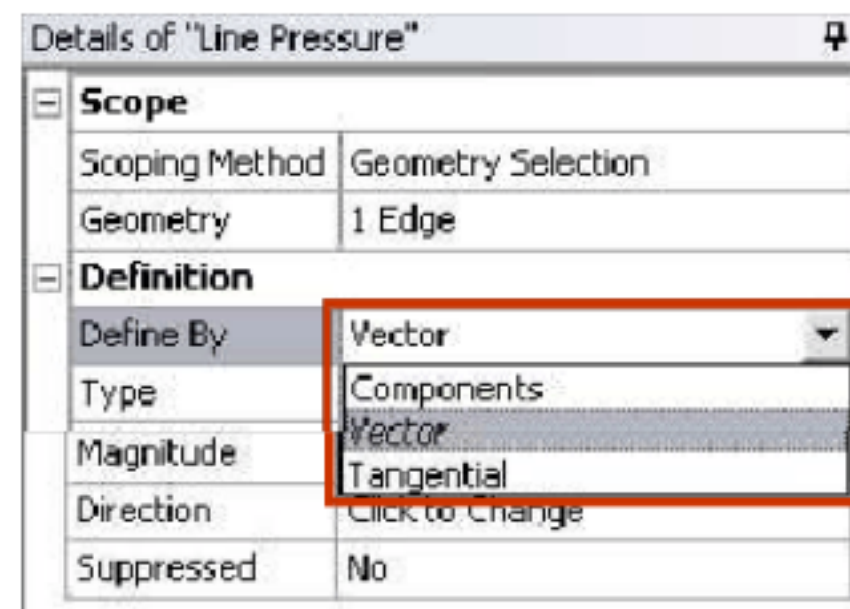
The screenshot displays the ANSYS interface for defining Bolt Pretension. On the left, the 'Details of "Bolt Pretension"' panel shows the 'Scope' (Geometry Selection, 1 Face) and 'Definition' (Type: Bolt Pretension, Suppressed: No). The 'Define By' dropdown is set to 'Load', and the 'Preload' dropdown is also set to 'Load'. A red box highlights these two dropdowns. In the center, the 'Timeline' panel shows a sequence of four steps, with the 'Define By' dropdown for step 4 also set to 'Load'. A red box highlights this dropdown. On the right, the 'Tabular Data' panel shows a table with columns for Steps, Define By, Preload [N], and Adjustment [mm]. The table contains four rows, all with 'Load' in the 'Define By' column. A red box highlights the 'Define By' column. In the bottom left, a 3D model of a bolted flange assembly is shown, with labels 1, 2, 3, and 4 indicating different parts. A label 'Bolt: 100 N' is visible on the model.

？ 螺栓载荷提示：

- 只用于三维模拟
- 只用于圆柱形面体或实体
- 需要精确的网格划分（在轴向上至少得有 2 个单元）

? 线压力载荷：  Line Pressure

- 只能用于三维模拟中，通过载荷密度形式给一个边上施加一个分布载荷
- 单位是单位长度上的载荷
- 可按以下方式定义：
  - ? 幅值和向量
  - ? 幅值和分量方向（总体或者局部坐标系）
  - ? 幅值和切向



## ? 固定约束：



- 实体：限制 x、y 和 z 方向上的移动
- 限制面体和线体的所有自由度，和 z 方向上的移动和绕各轴的转动

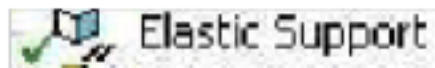
## ? 已知位移：



- 在点、边或面上施加已知位移
- 允许给出 x、y 和 z 方向上的平动位移（在用户定义坐标系下）
- “0”表示该方向是受限的，而空白表示该方向自由。

| Details of "Displacement" |                    |
|---------------------------|--------------------|
| <b>Scope</b>              |                    |
| Scoping Method            | Geometry Selection |
| Geometry                  | 1 Face             |
| <b>Definition</b>         |                    |
| Define By                 | Components         |
| Type                      | Displacement       |
| X Component               | 0. mm (ramped)     |
| Y Component               | Free               |
| Z Component               | Free               |
| Suppressed                | No                 |

## ? 弹性约束：



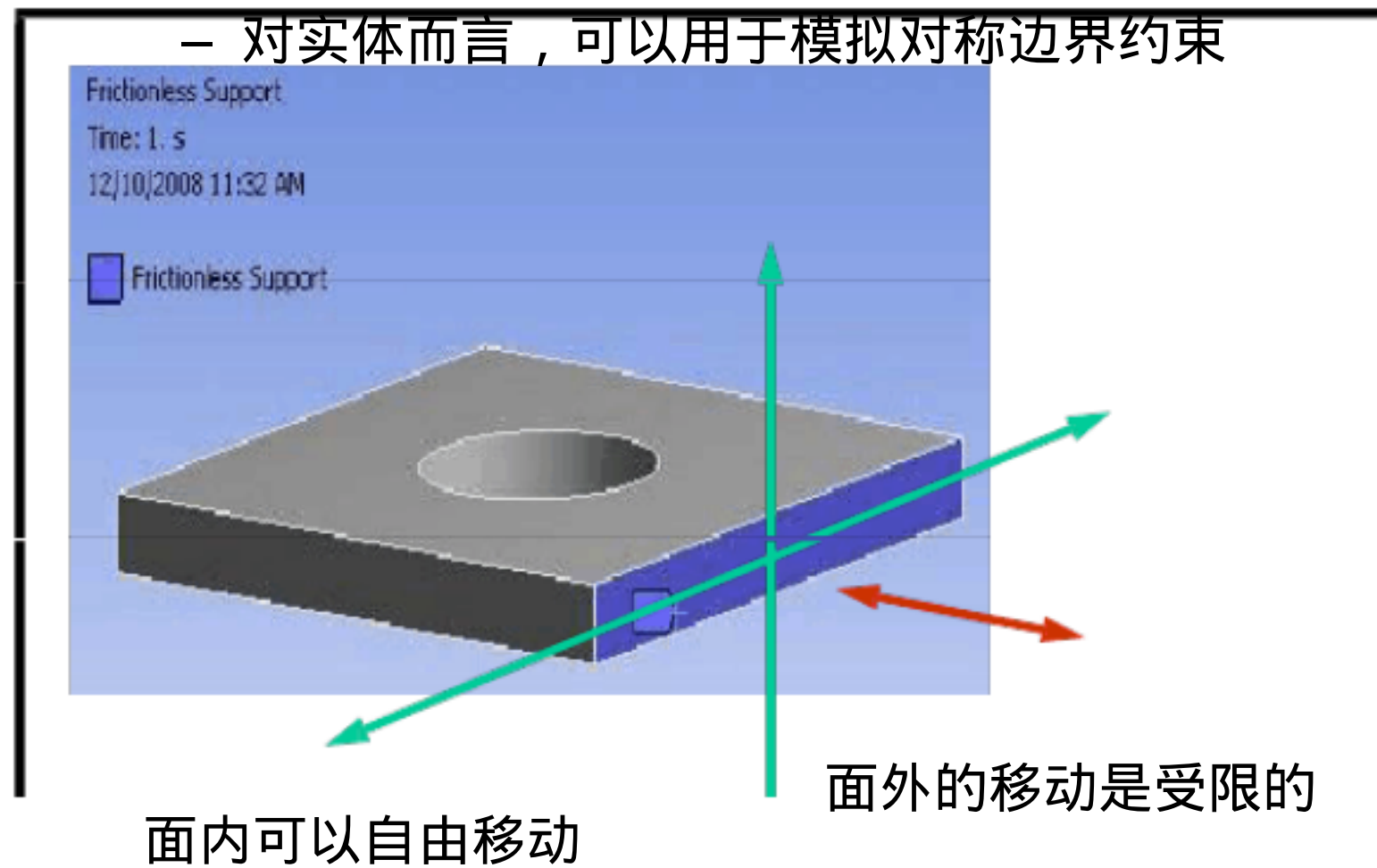
- 允许在面 / 边界上模拟弹簧行为
- 基础的刚度为使基础产生单位法向偏移所需要的压力

| Details of "Elastic Support" |                      |
|------------------------------|----------------------|
| <b>Scope</b>                 |                      |
| Scoping Method               | Geometry Selection   |
| Geometry                     | 1 Face               |
| <b>Definition</b>            |                      |
| Type                         | Elastic Support      |
| Suppressed                   | No                   |
| Foundation Stiffness         | 1. N/mm <sup>3</sup> |

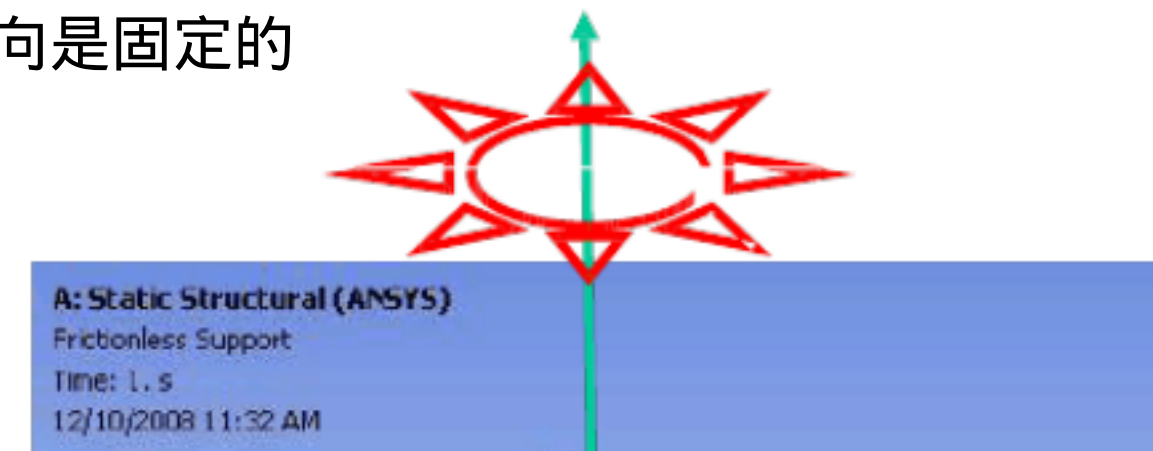


? 无摩擦约束 Frictionless Support

- 在面上施加法向约束（固定）
- 对实体而言，可以用于模拟对称边界约束



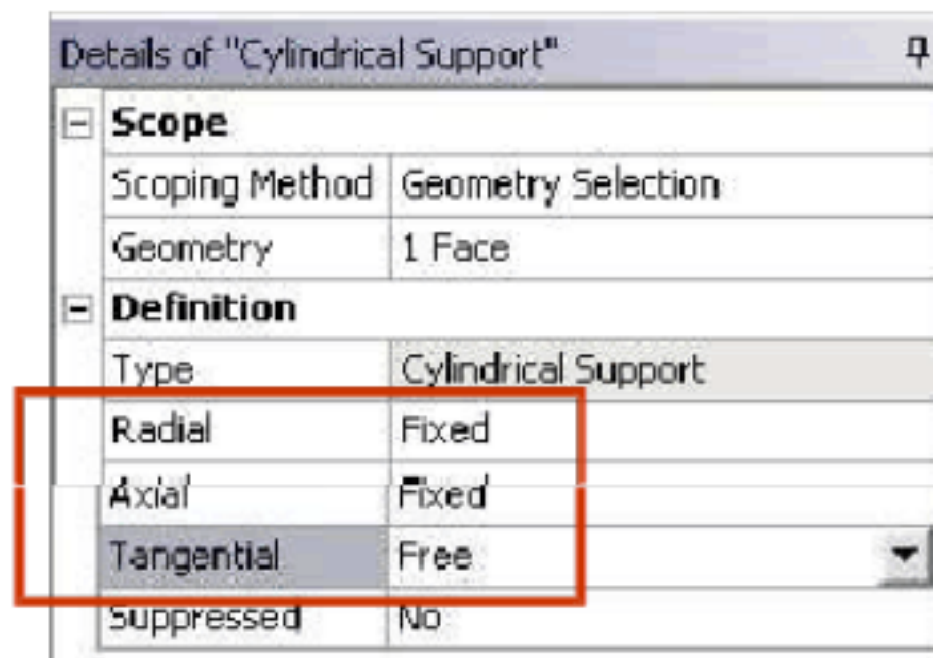
在径向是固定的



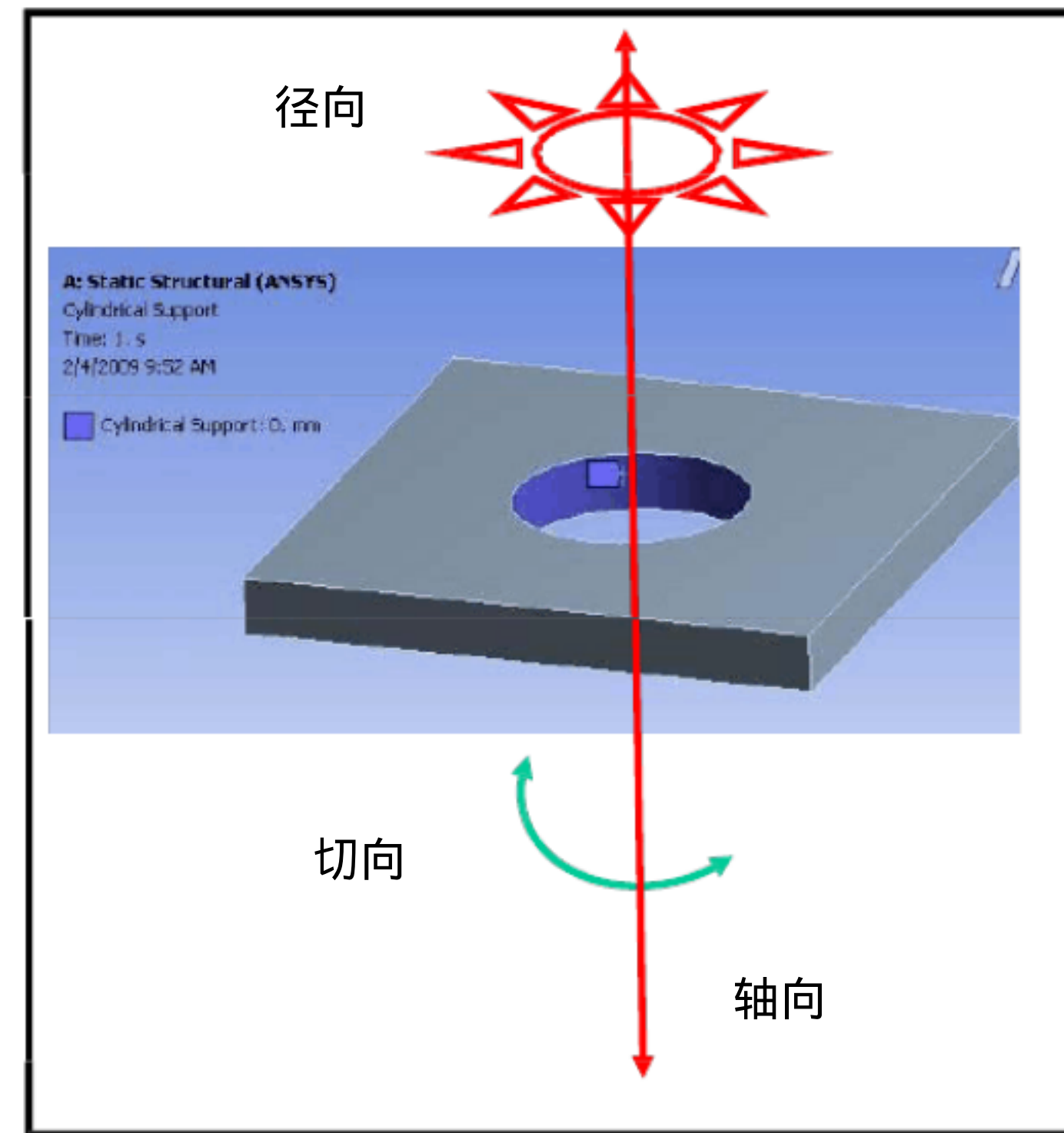
在轴向和切向是自由的

? 圆柱面约束: Cylindrical Support

- 为轴向、径向或切向约束提供单独控制
- 施加在圆柱面上



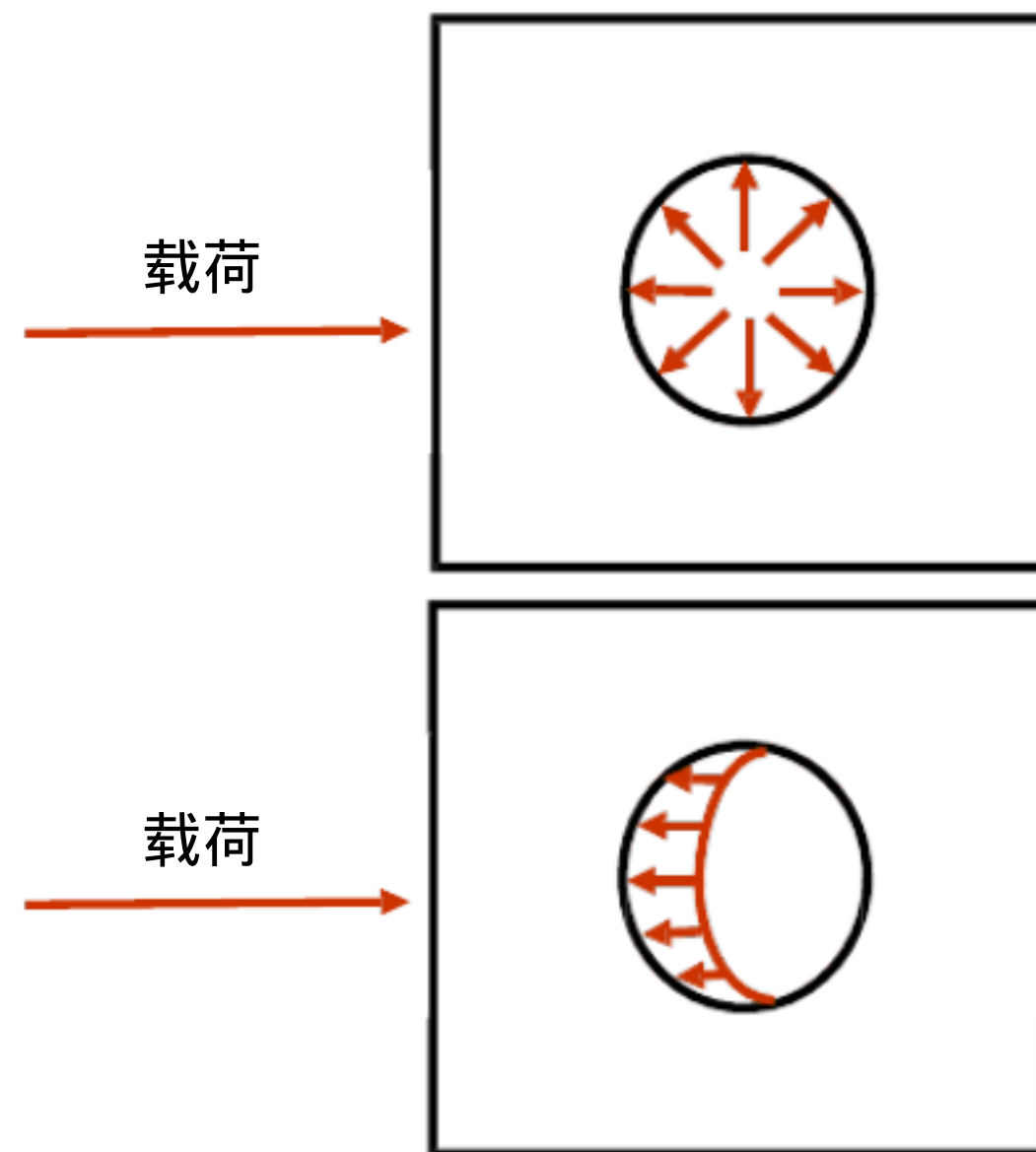
例如...



? 仅有压缩的约束：

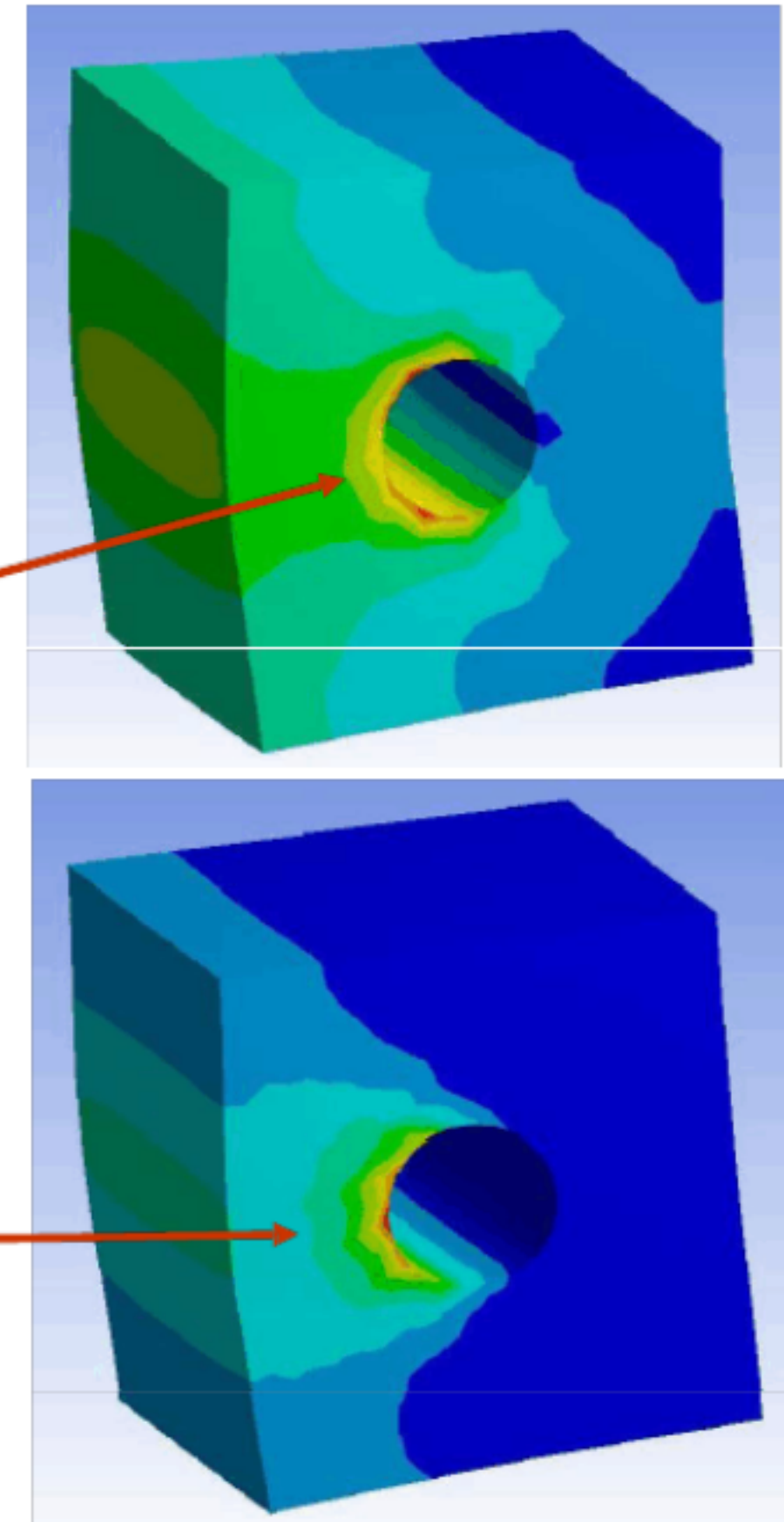


- 只能在正常压缩方向施加约束
- 可以模拟圆柱面上受 销钉、螺栓等的作用
- 需要进行迭代（非线性）求解



固定

只可压缩

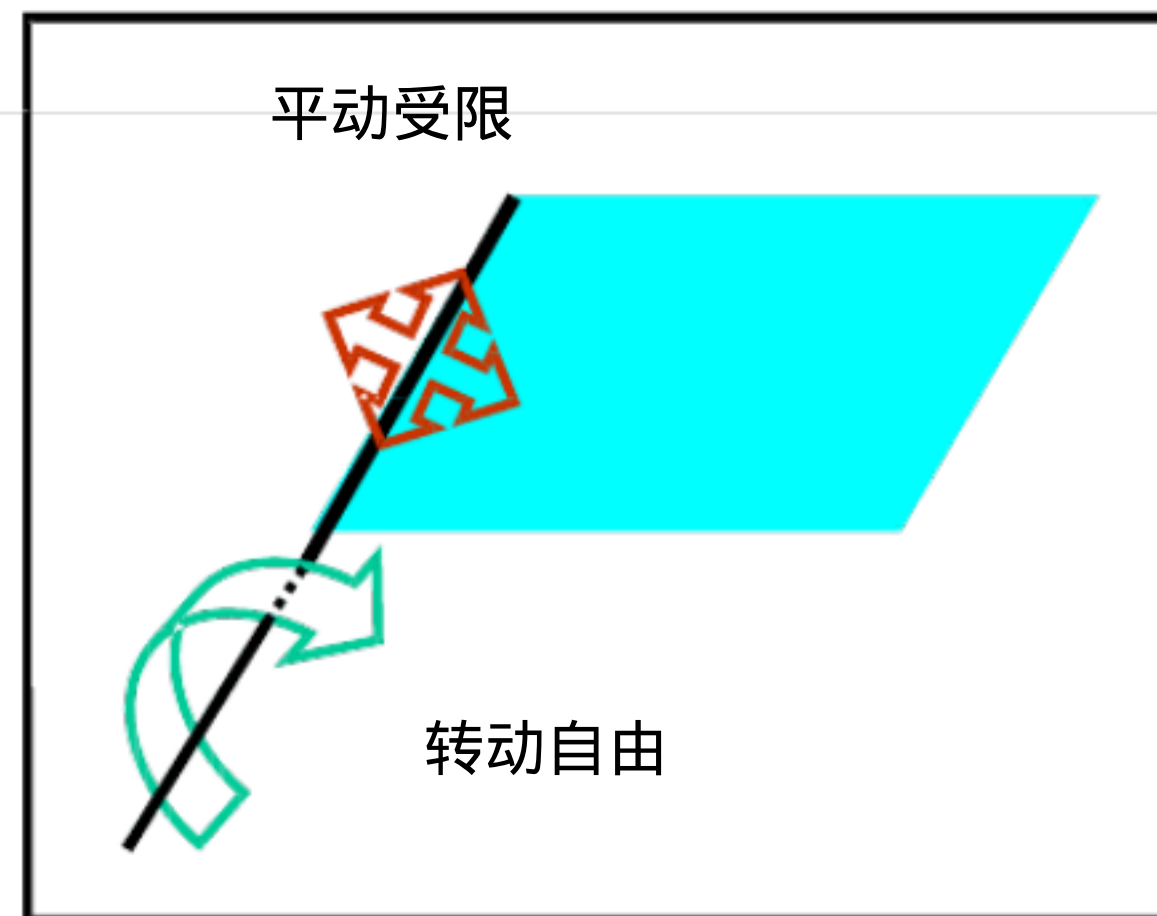




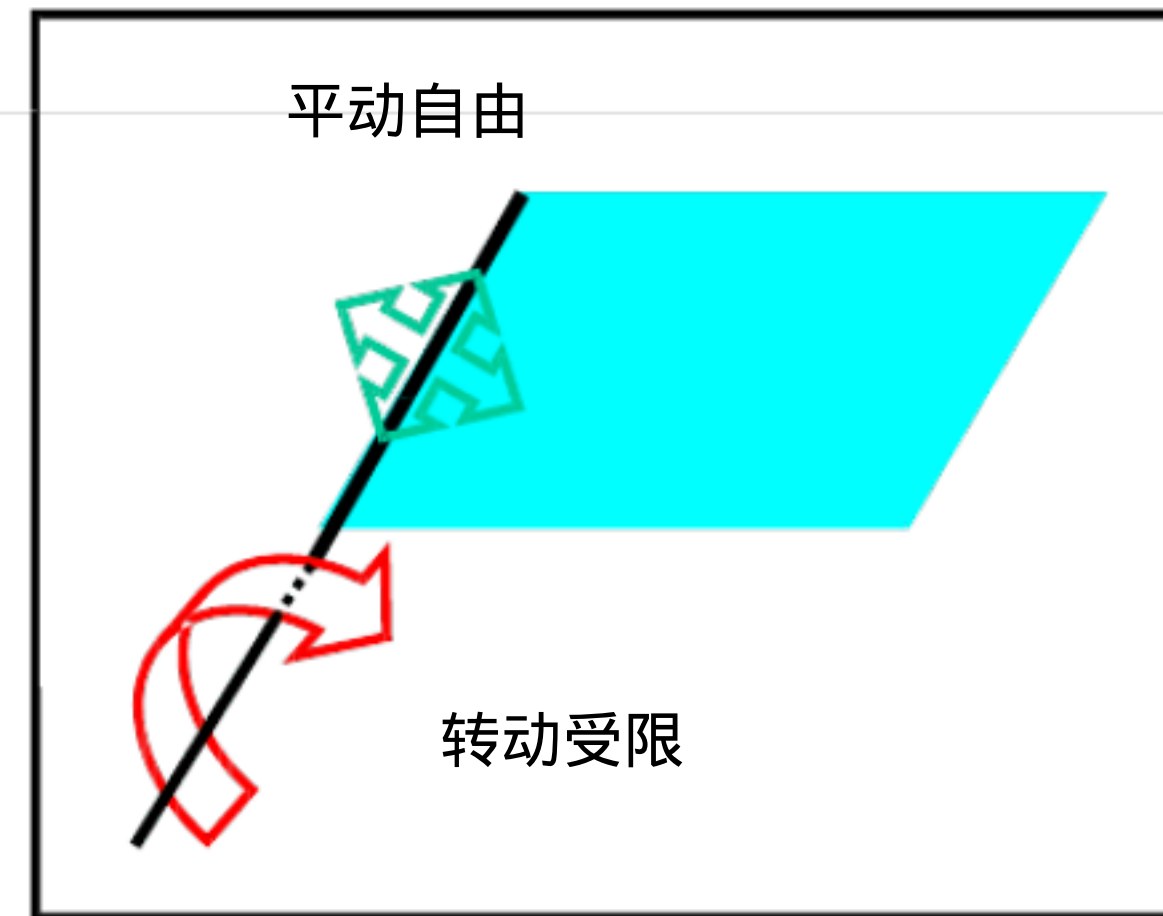
? 简单约束:  Simply Supported

- 可以施加在梁或壳体的边缘或者顶点上
- 限制施加在梁或壳体的边缘或者顶点上

? 约束转动, 但是平移不限制



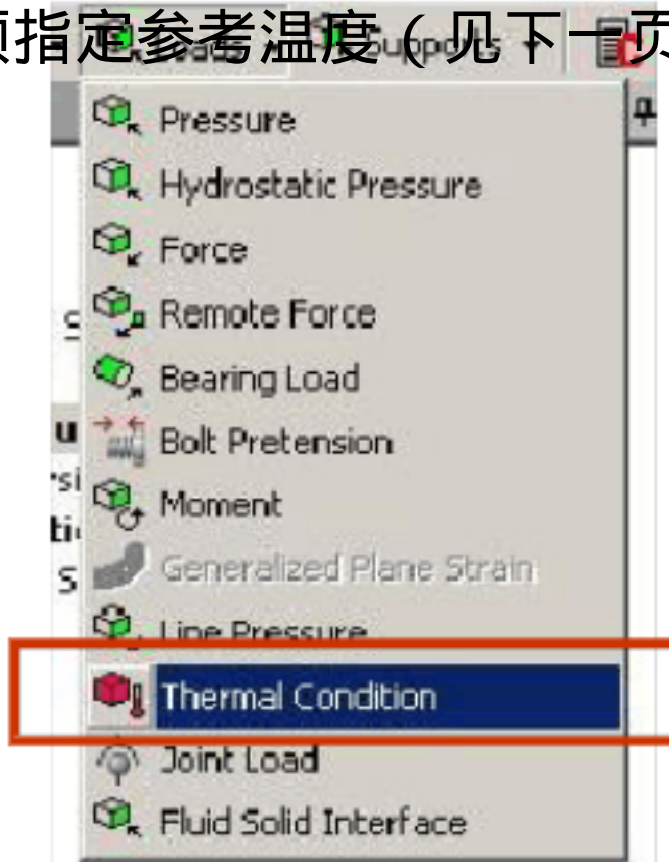
简单约束边



约束转动边

? 热条件：

- 在结构分析中施加一个均匀温度
- 出现在结构分析的 Loads 下拉选项中
- 必须指定参考温度 (见下一页)



| Details of "Thermal Condition"                |                    |
|---|--------------------|
| Scope   |                    |
| Scoping Method                                | Geometry Selection |
| Geometry                                      | 1 Body             |
| Definition                                    |                    |
| Type  | Thermal Condition  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Magnitude | 100. °C (ramped)   |
| Suppressed                                    | No                 |

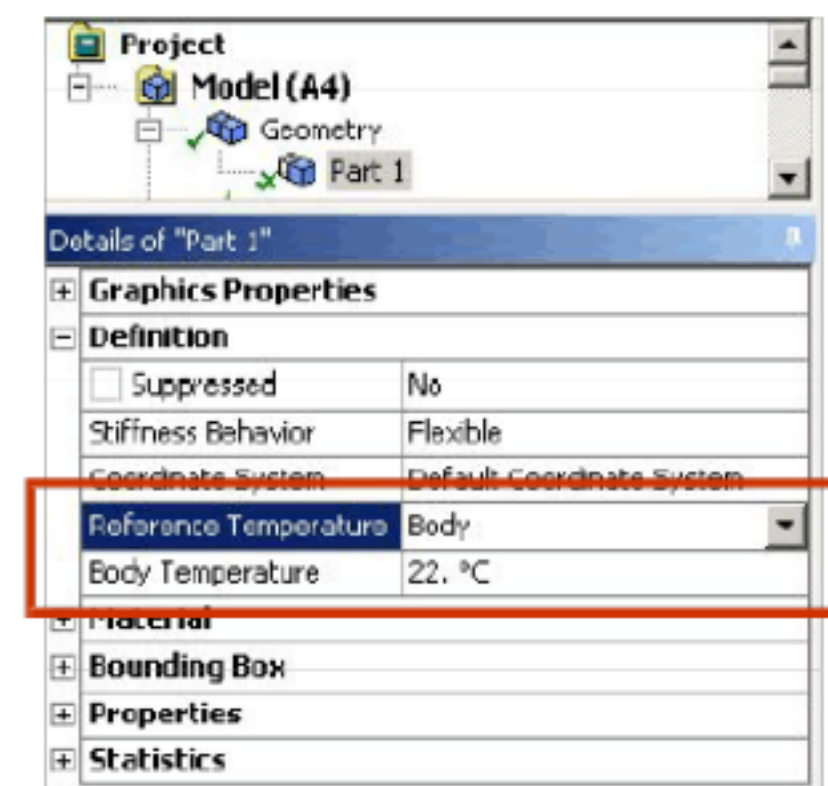
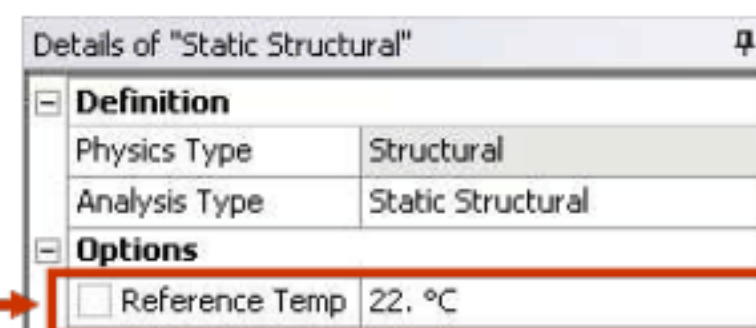
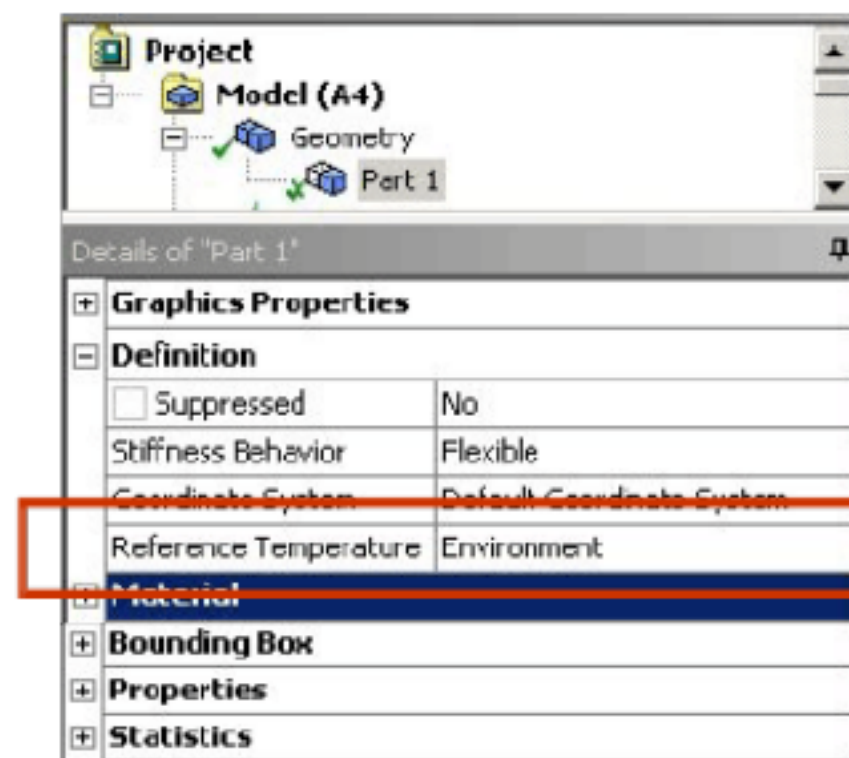
? 温度差会在结构中导致热膨胀或热传导 :

– 热应变 (  $\epsilon_{th}$  ) 按下式计算 :

$$\epsilon_{th} = \alpha (T - T_{ref})$$

- $\alpha$  热膨胀系数 ( CTE 材料特性 )
- $T_{ref}$  参考温度 ( 热应变为 0 时的温度 )
- $T$  施加的温度 ( 见前面页 )

– 在整体环境中定义参考温度，或把它作为单个实体的特性进行定义。

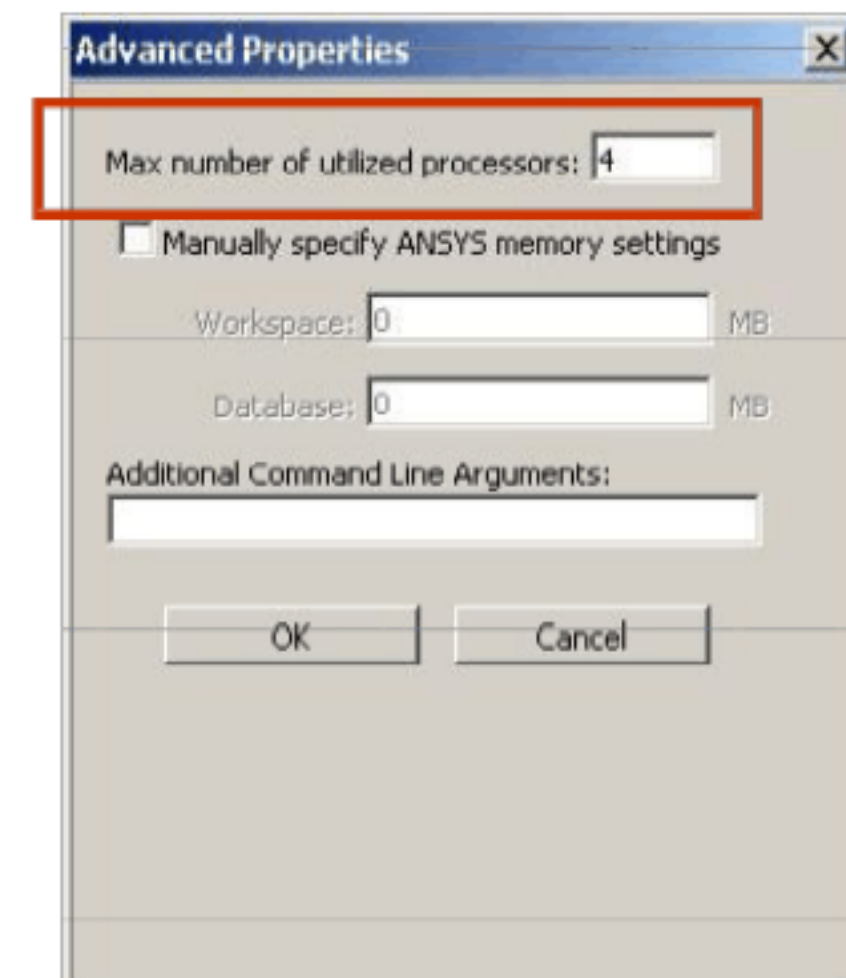
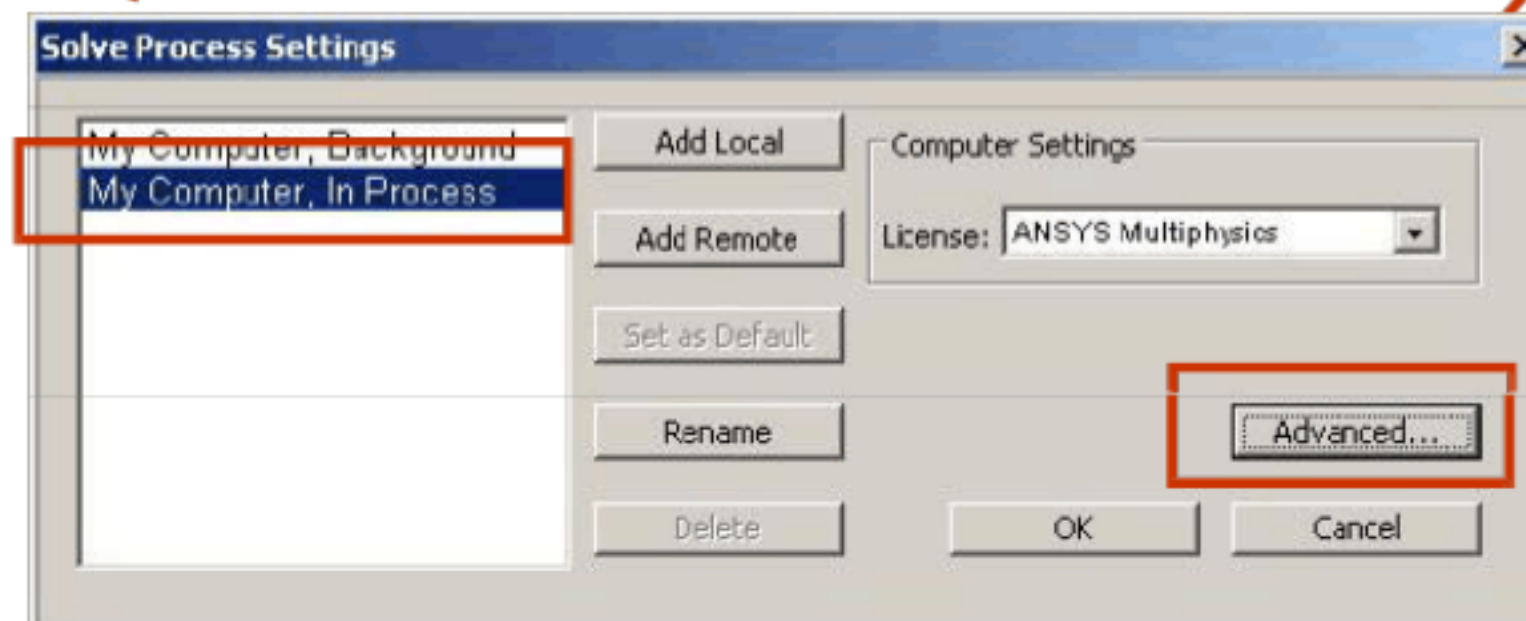
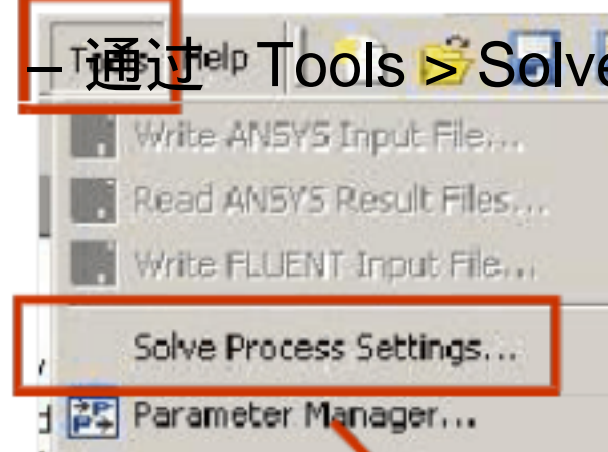




? 点击在标准工具箱里的 Solve 按钮，求解模型：

– 默认两个处理器进行求解

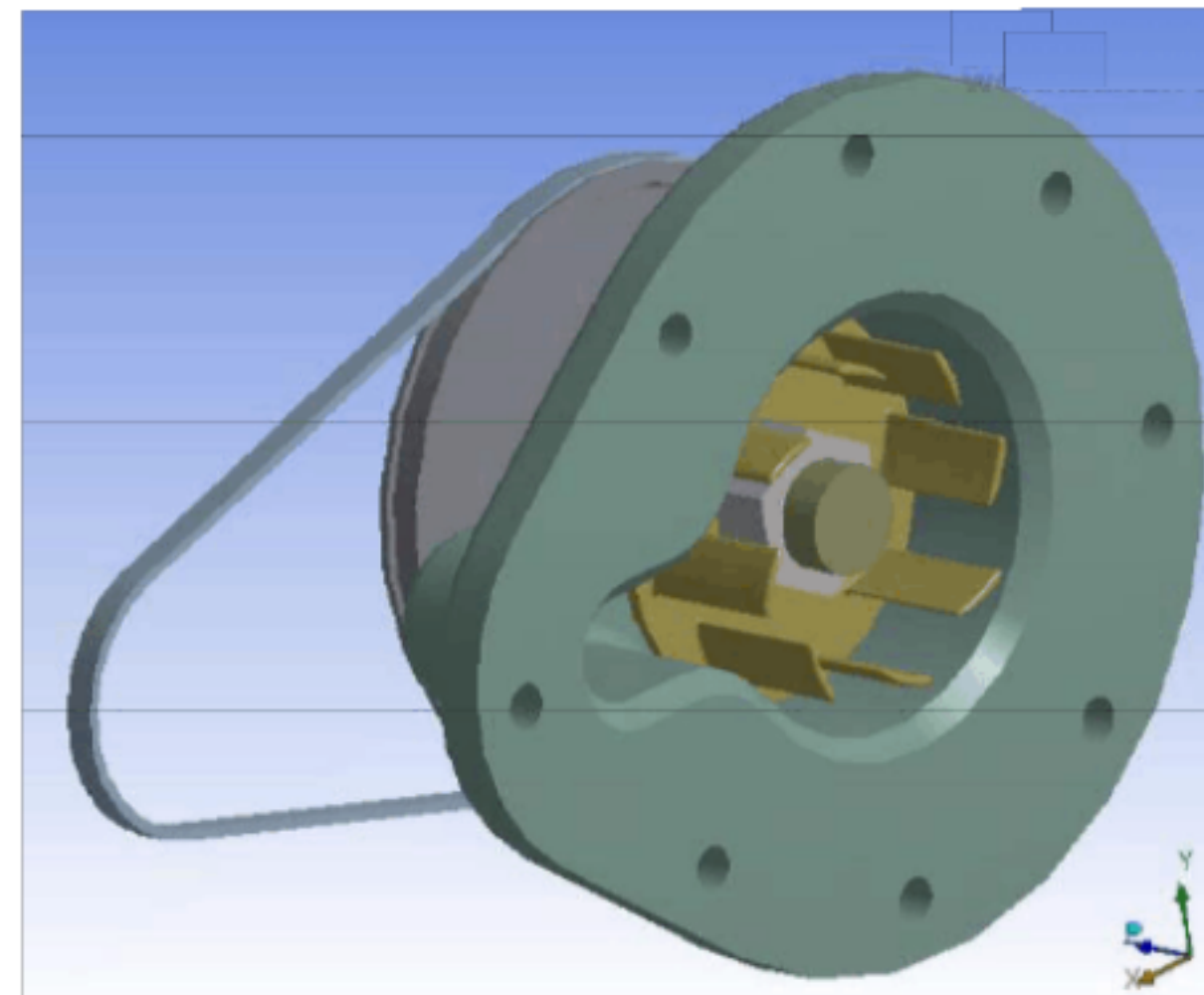
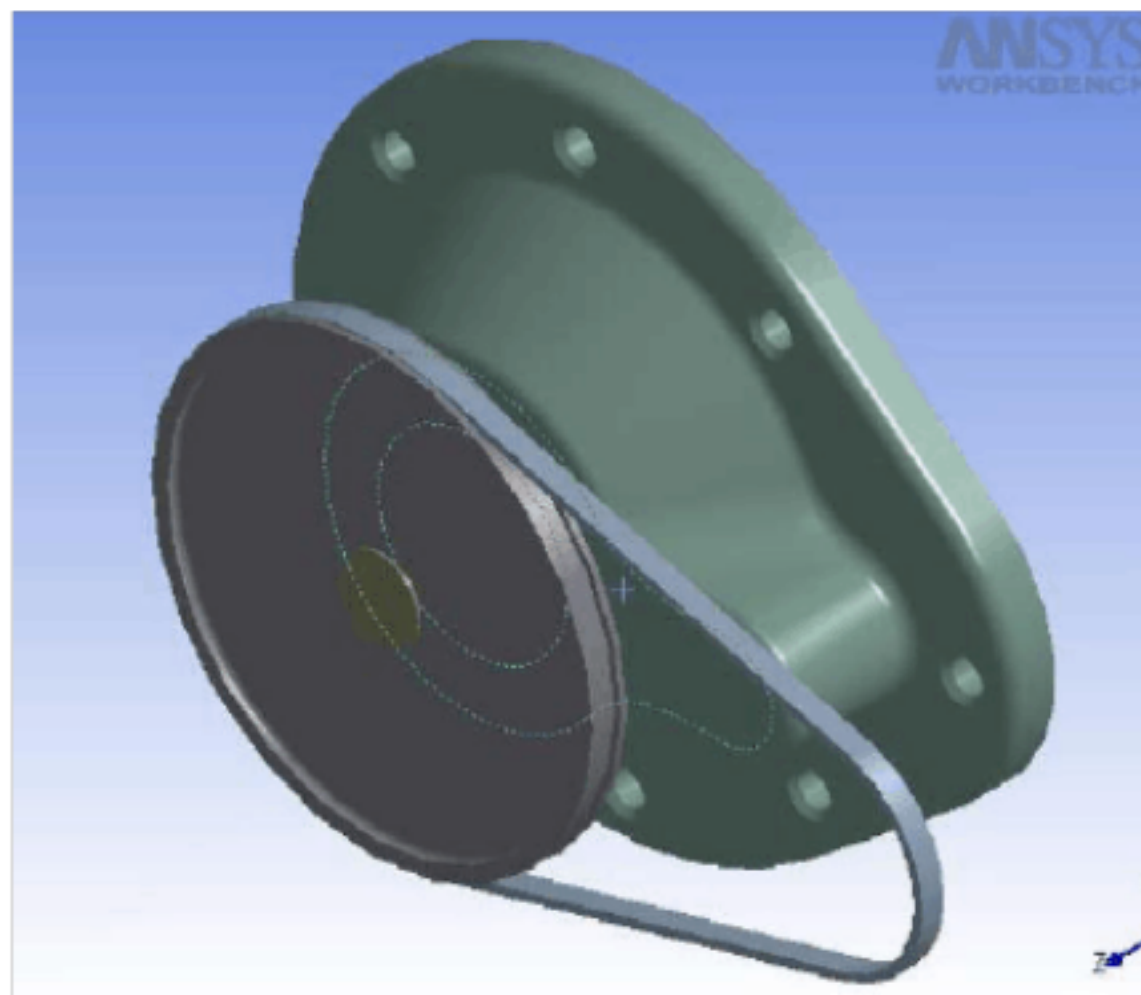
– 通过 Tools > Solve Process Settings 设置使用的处理器个数



### ? 作业 4.1 – 线性结构分析

#### ? 目标：

- 分析由 5 部分组成的叶轮式泵模型，在皮带上有一个 100N 的预紧力。




? 在后处理中可以得到多种不同的结果：

- 各个方向变形及总变形
- 应力应变分量、主应力应变或者应力应变不变量。
- 接触输出
- 支反力

? 在 DS 中，结果通常是在计算前指定的，但是它们也可以在计算完成后指定

。

- 如果求解一个模型后再指定结果，可以点击 Solve 按钮 ，然后就可以检索结果。
- 不需要新的求解

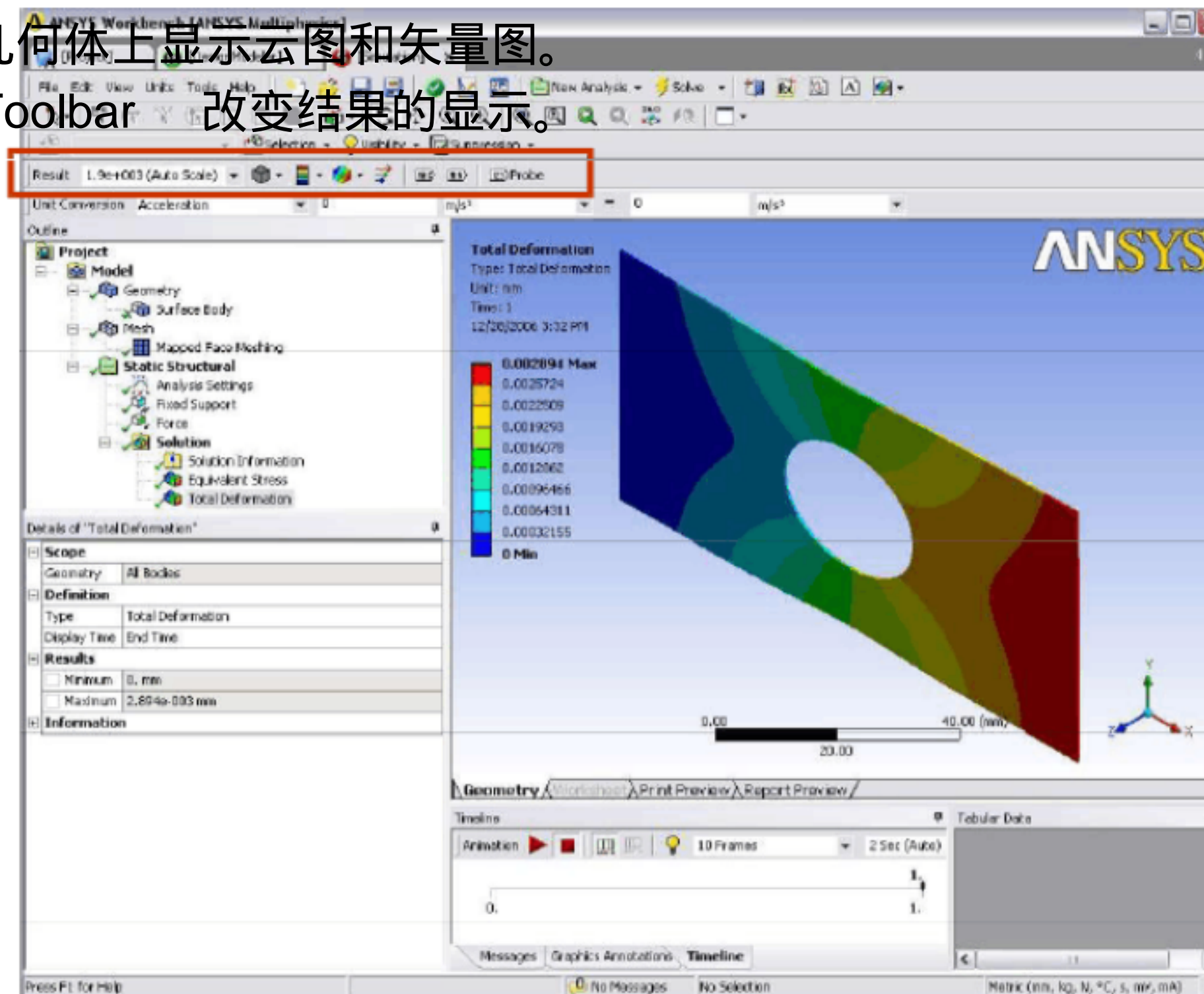


# Static Structural Analysis

## ... 显示结果

Training Manual

- ? 经常在变形的几何体上显示云图和矢量图。
- ? 利用 Context Toolbar 改变结果的显示。



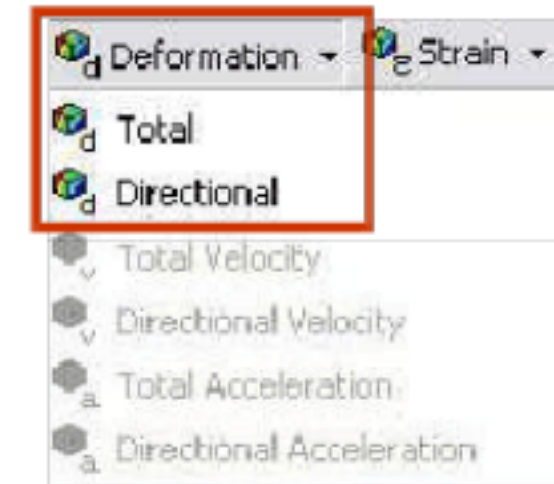
? 可以显示模型的变形：

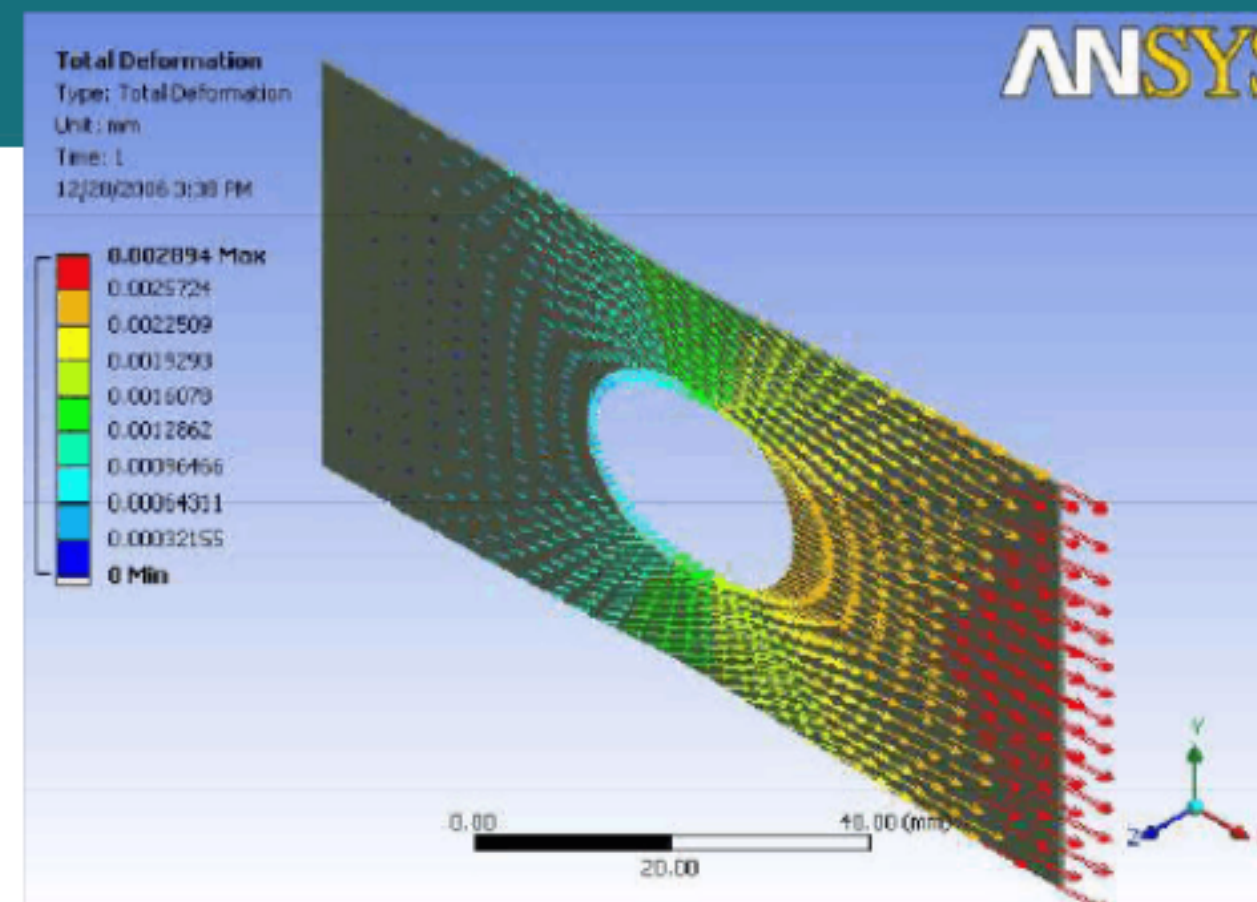
- 整体变形是一个标量：

$$U_{\text{total}} = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2}$$

- 在 Directional 里可以指定变形的  $x$  ,  $y$  和  $z$  分量 , 显示在整体或局部坐标系中。

- 可以得到变形的矢量图 ( 如下 )

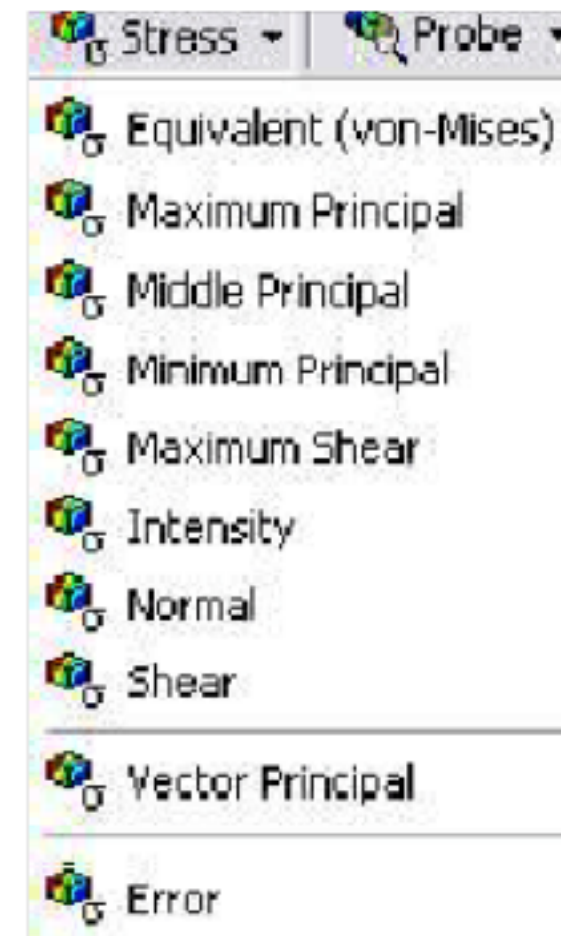
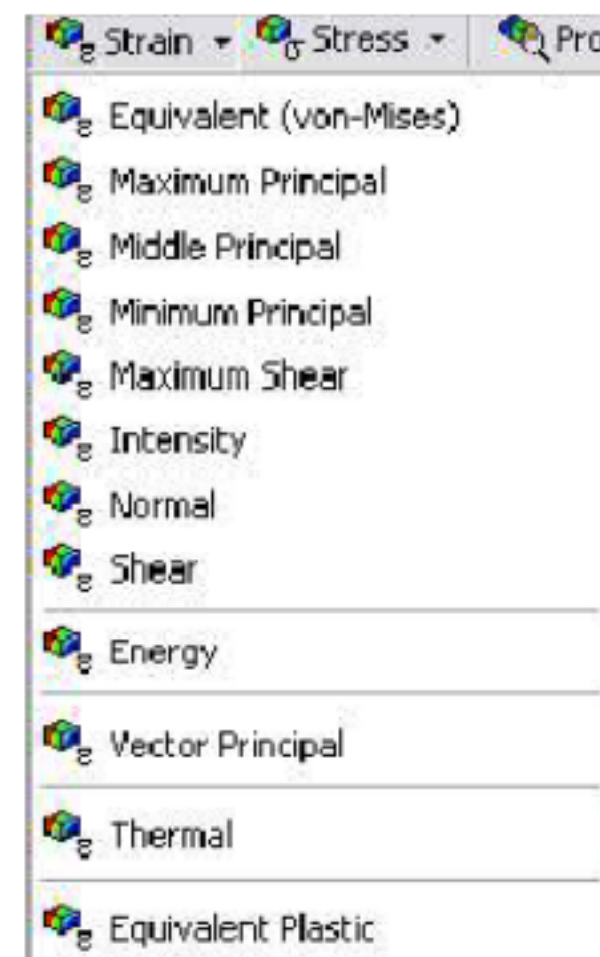






? 应力和应变：

- 应力和弹性应变有六个分量 (x, y, z, xy, yz, xz) , 而热应变有三个分量 (x, y, z) 。
- 强度和应变面值的最大绝对值可以在 Normal 和 Shear 里指定, 而对于热应变, 在 Thermal 中指定。
- 主应力关系 :  $s_1 > s_2 > s_3$



? 安全系数 (应用 4 种失效理论) :

– 柔性理论 :

? 最大等效应力

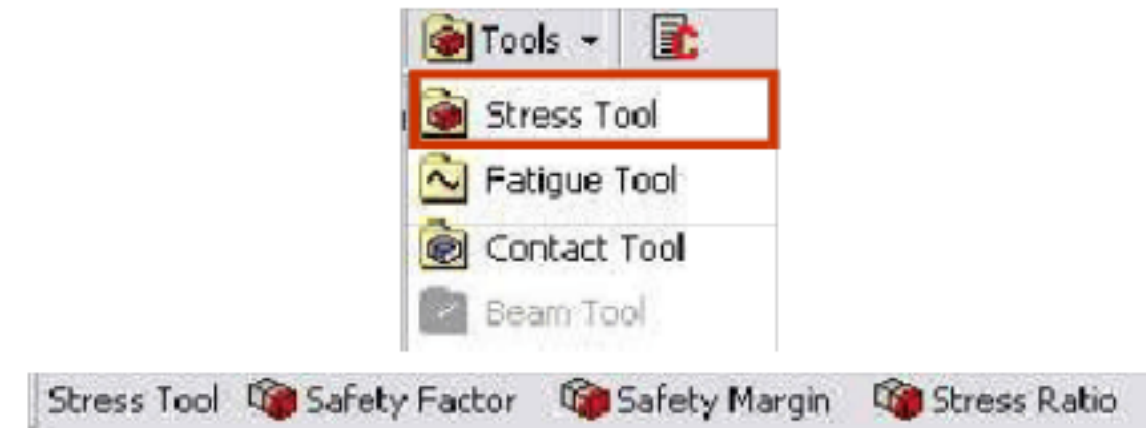
? 最大剪切应力

– 脆性理论 :

? Mohr-Coulomb 应力

? 最大拉伸应力

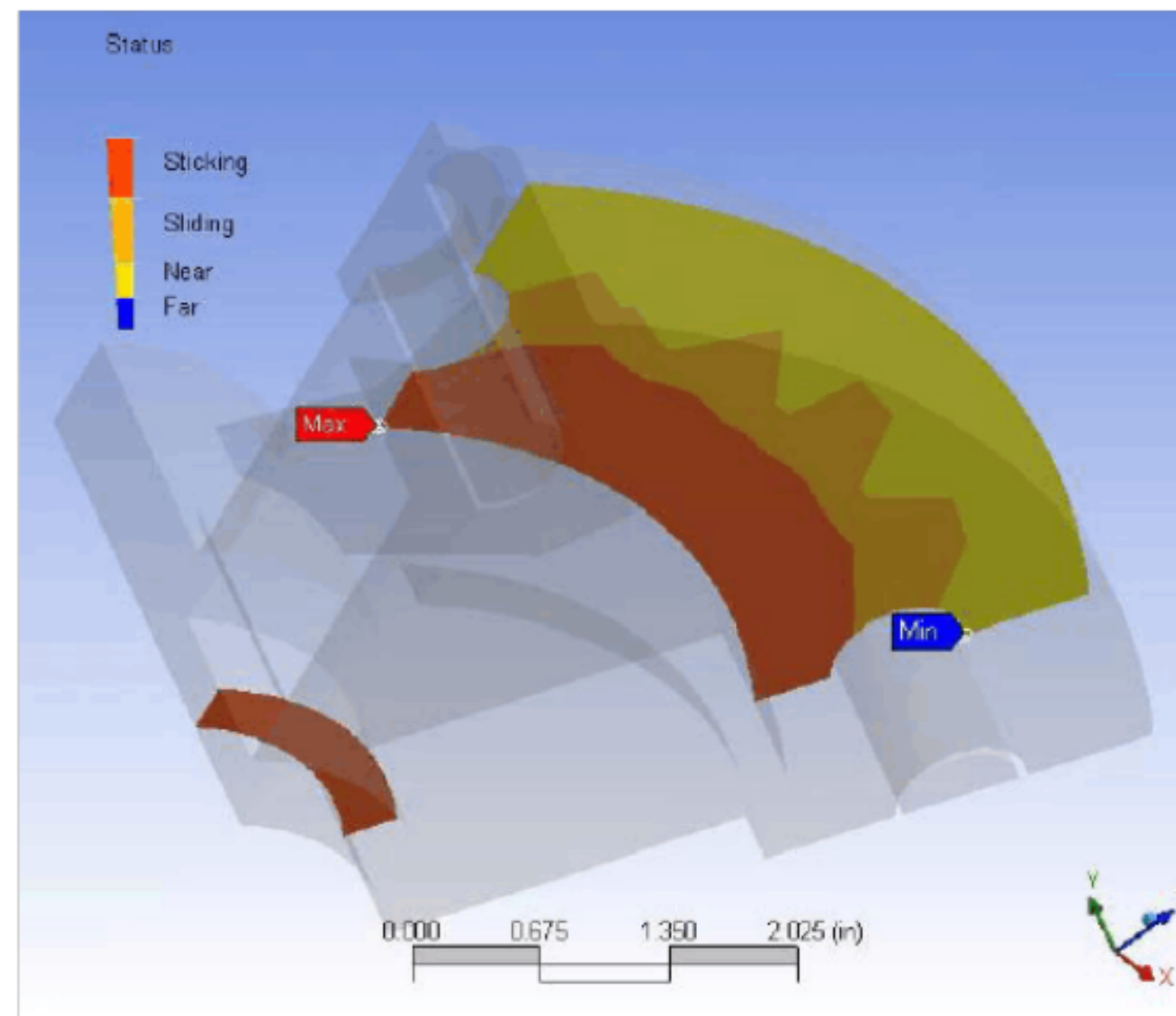
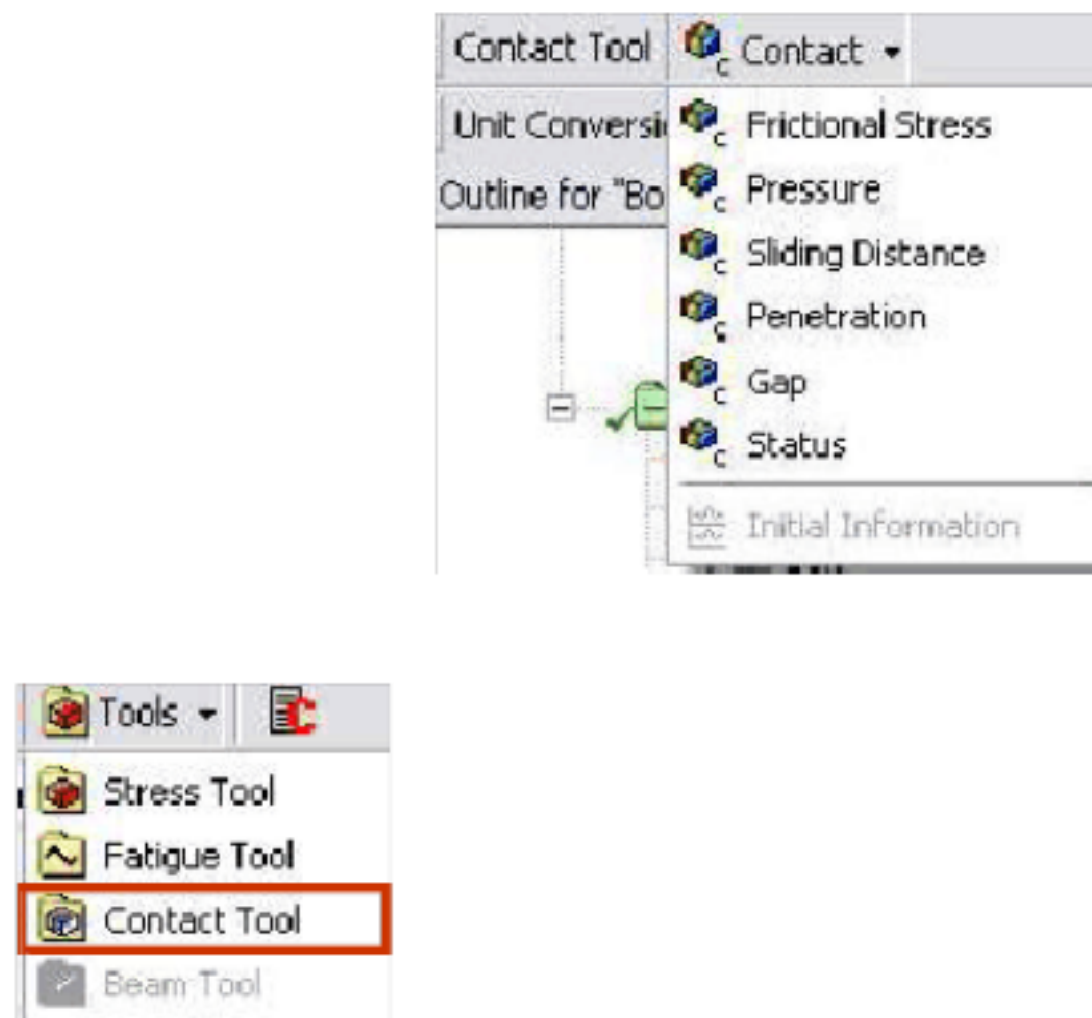
– 使用每个安全因子的应力工具，都可以绘制出安全和应力比。



边界

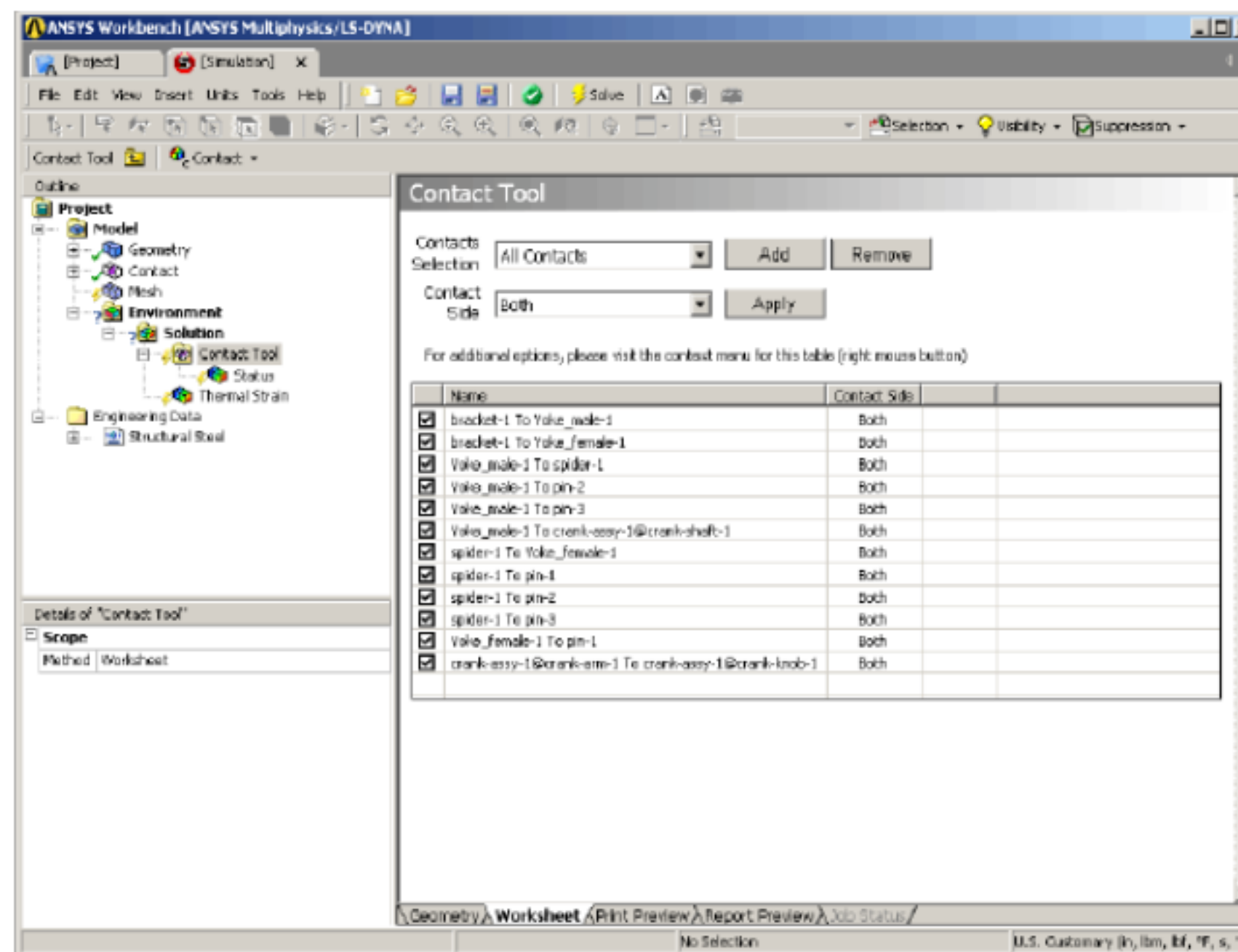


? 通过 Solution 下的 Contact Tool 可以得到接触结果





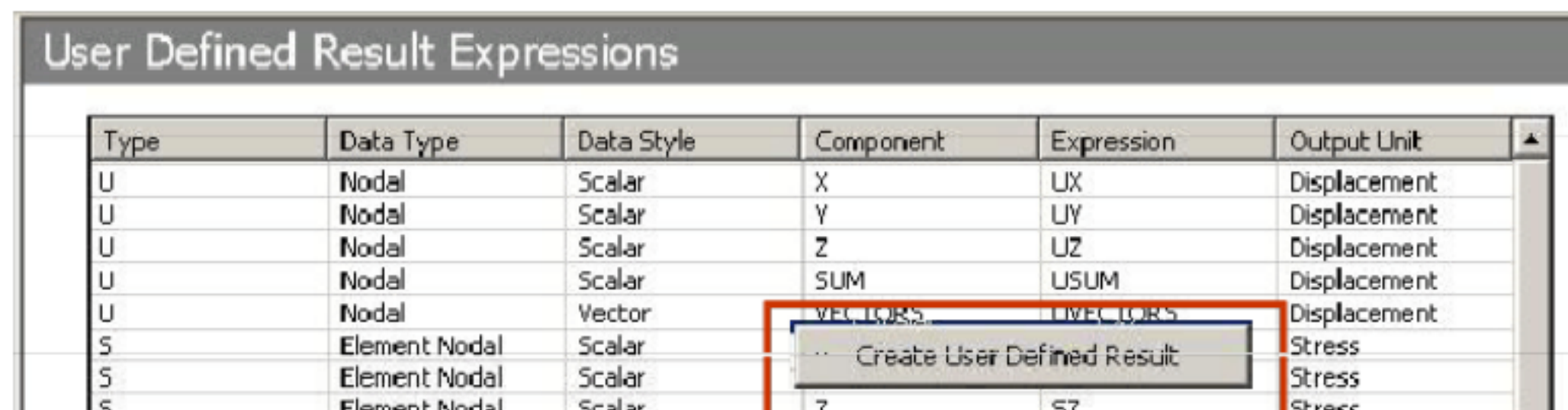
- ？ 为 Contact Tool 选择接触域（ 2 种方法 ）：
1. Worksheet view (details) ： 从表单中选择接触域  
？ 接触面，目标面或同时选择两者
  2. Geometry ： 在图形窗口中选择接触域



- ? 除了标准结果，用户可以插入自定义结果
- ? 可以包括数学表达式和多个结果的组合
- ? 按两种方式定义：
  - 选择 solution 菜单中的 User Defined Result



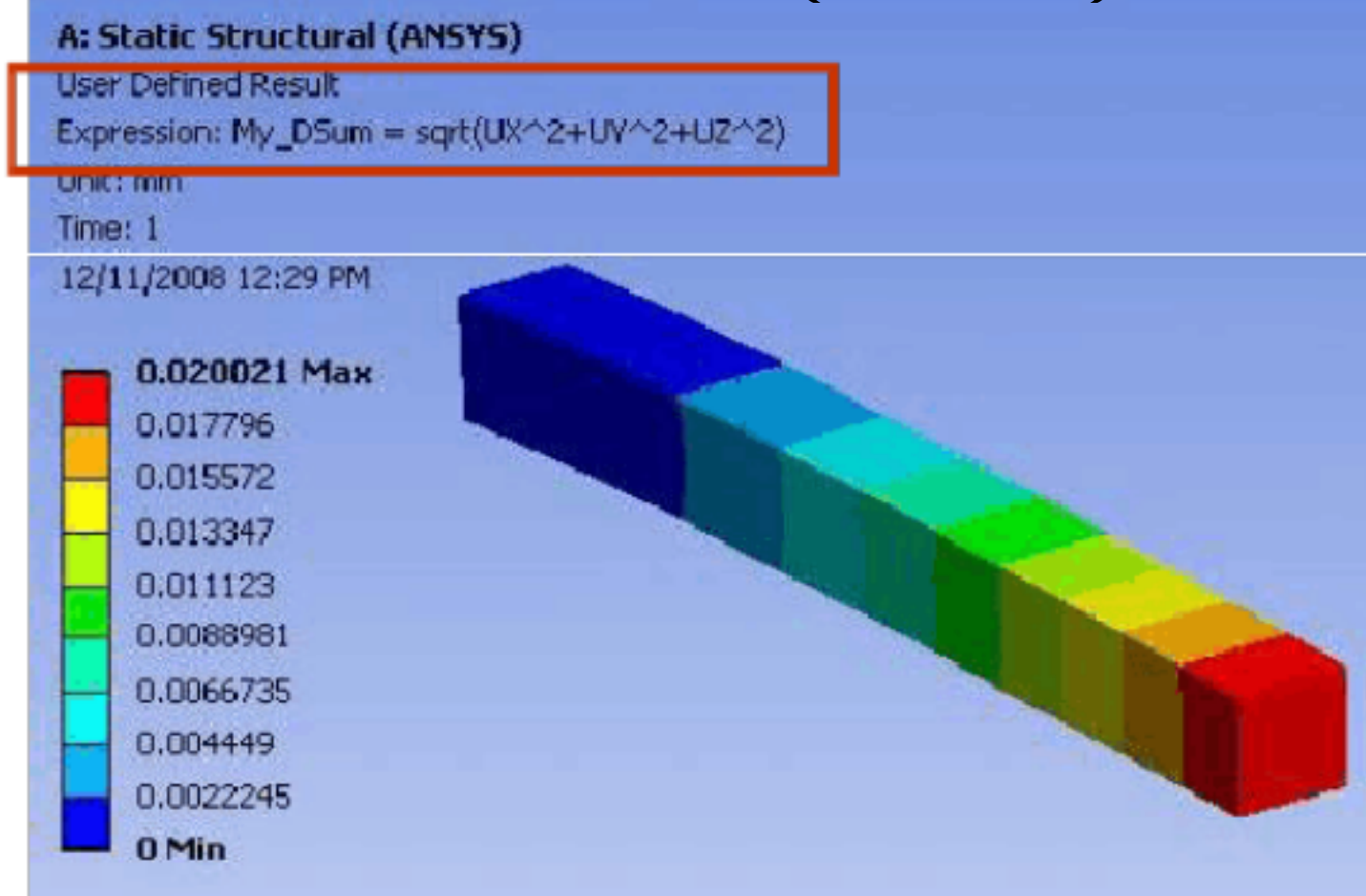
- 或在 Solution Worksheet 中选中结果后点击鼠标右键选择 Create User Defined Result.



? 在 Details of User Defined Result 中，表达式 允许使用各种数学操作符号，包括平方根、绝对值，指数等。

? 用户定义结果可以用一种 Identifier （标识符）来标注

? 结果图例包含 identifier （标识符）和表达式



Solution

- Solution Information
- Total Deformation
- Equivalent Stress
- Linearized Equivalent Stress
- User Defined Result
- Total Deformation 2
- Equivalent Stress 2
- Total Deformation 3
- EPEL1

Details of "User Defined Result"

|                        |                               |
|------------------------|-------------------------------|
| <b>Scope</b>           |                               |
| Scoping Method         | Geometry Selection            |
| Geometry               | All Bodies                    |
| <b>Definition</b>      |                               |
| Type                   | User Defined Result           |
| Expression             | $\sqrt{UX^2 + UY^2 + UZ^2}$   |
| Input Unit System      | Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) |
| Output Unit            | Displacement                  |
| By                     | Time                          |
| Display Time           | Last                          |
| Coordinate System      | Global Coordinate System      |
| Calculate Time History | Yes                           |
| Identifier             | My_DSum                       |
| <b>Results</b>         |                               |
| Minimum                | 0. mm                         |
| Maximum                | 2.0021e-002 mm                |

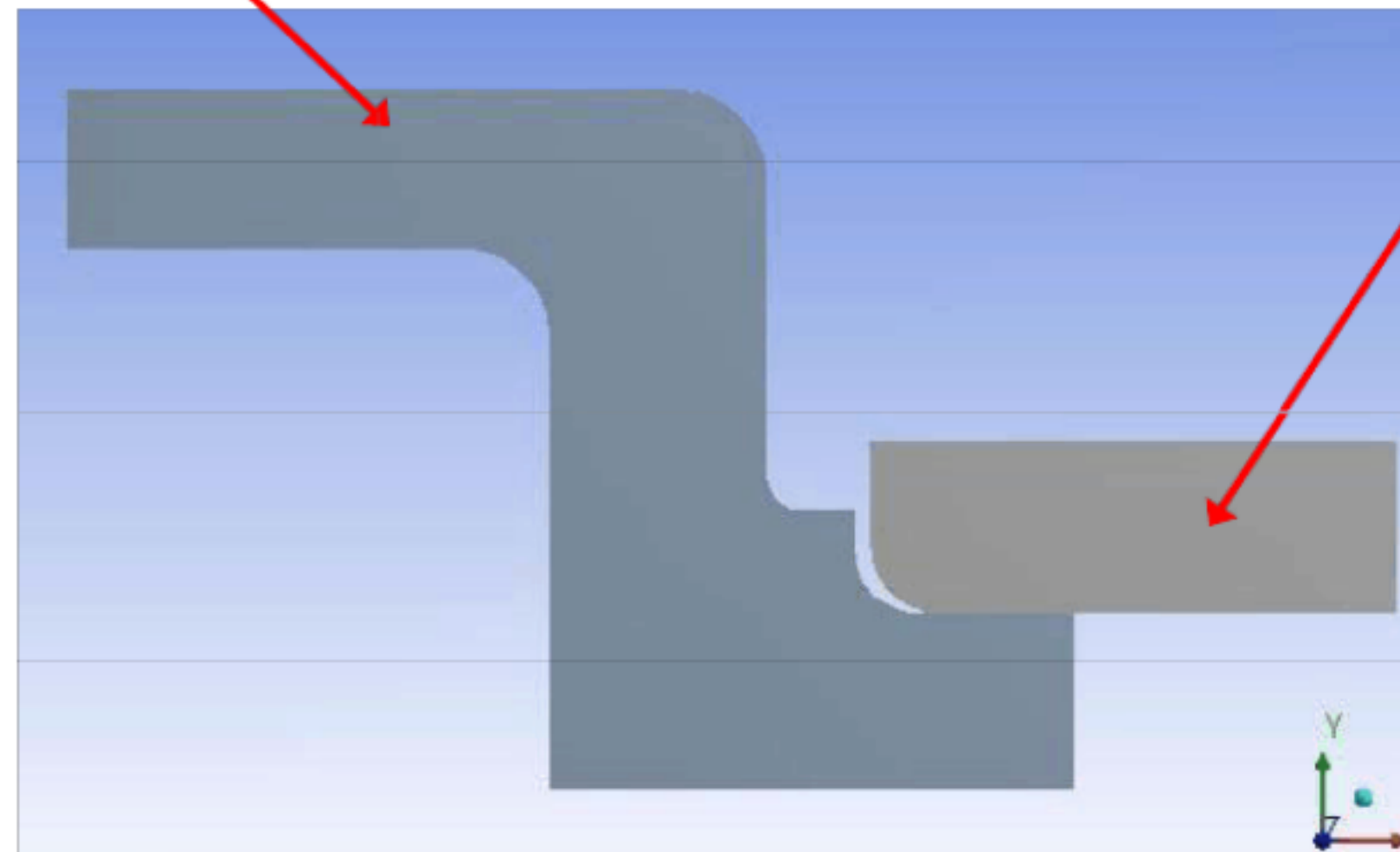


## G. 作业 4.2 – 二维结构分析

- ? 作业 4.2 – 二维结构分析
- ? 二维结构分析
- ? 这里给出的是二维轴对称模型

压力盖

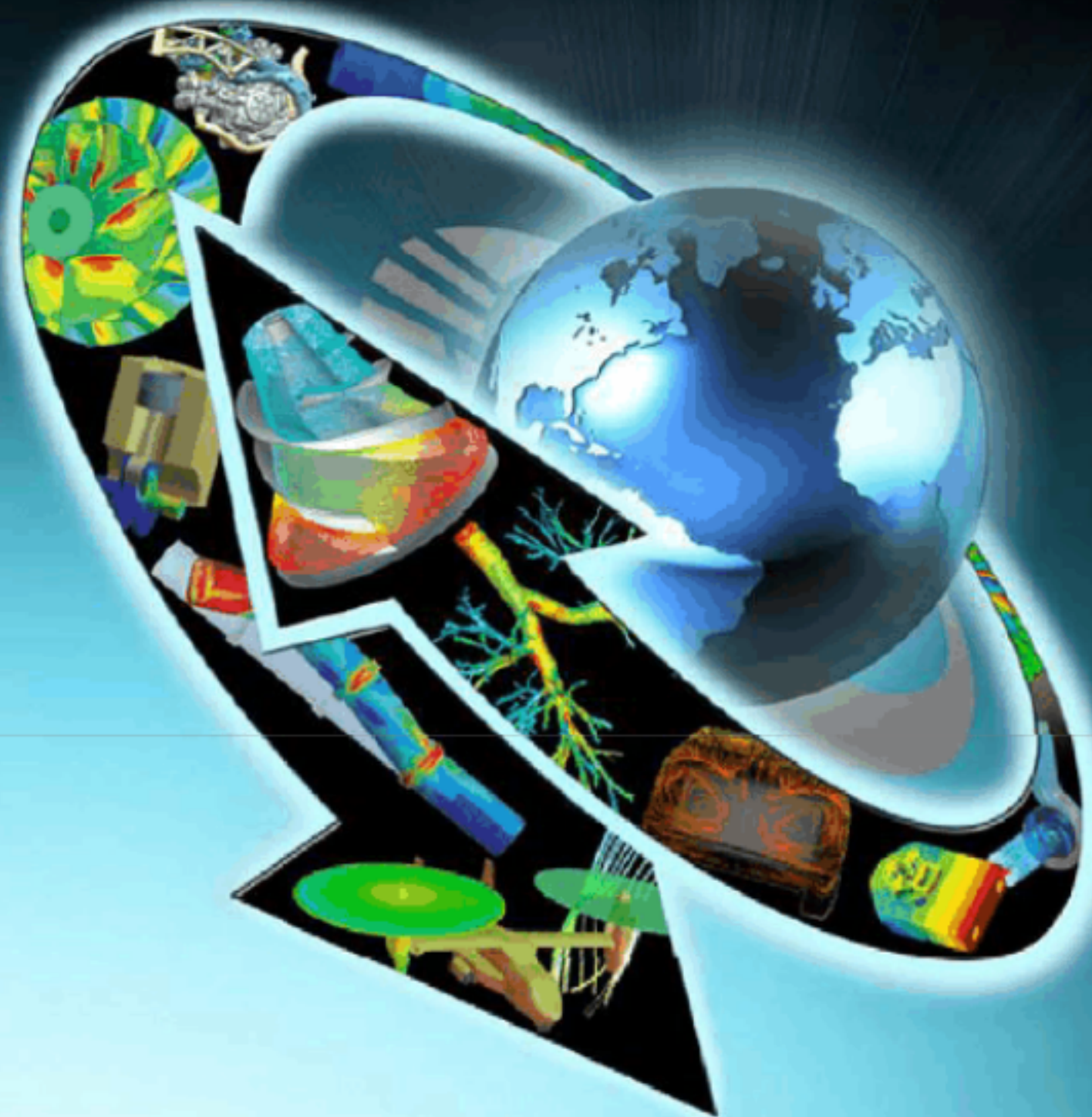
弹簧卡环





## Workbench - Mechanical Introduction

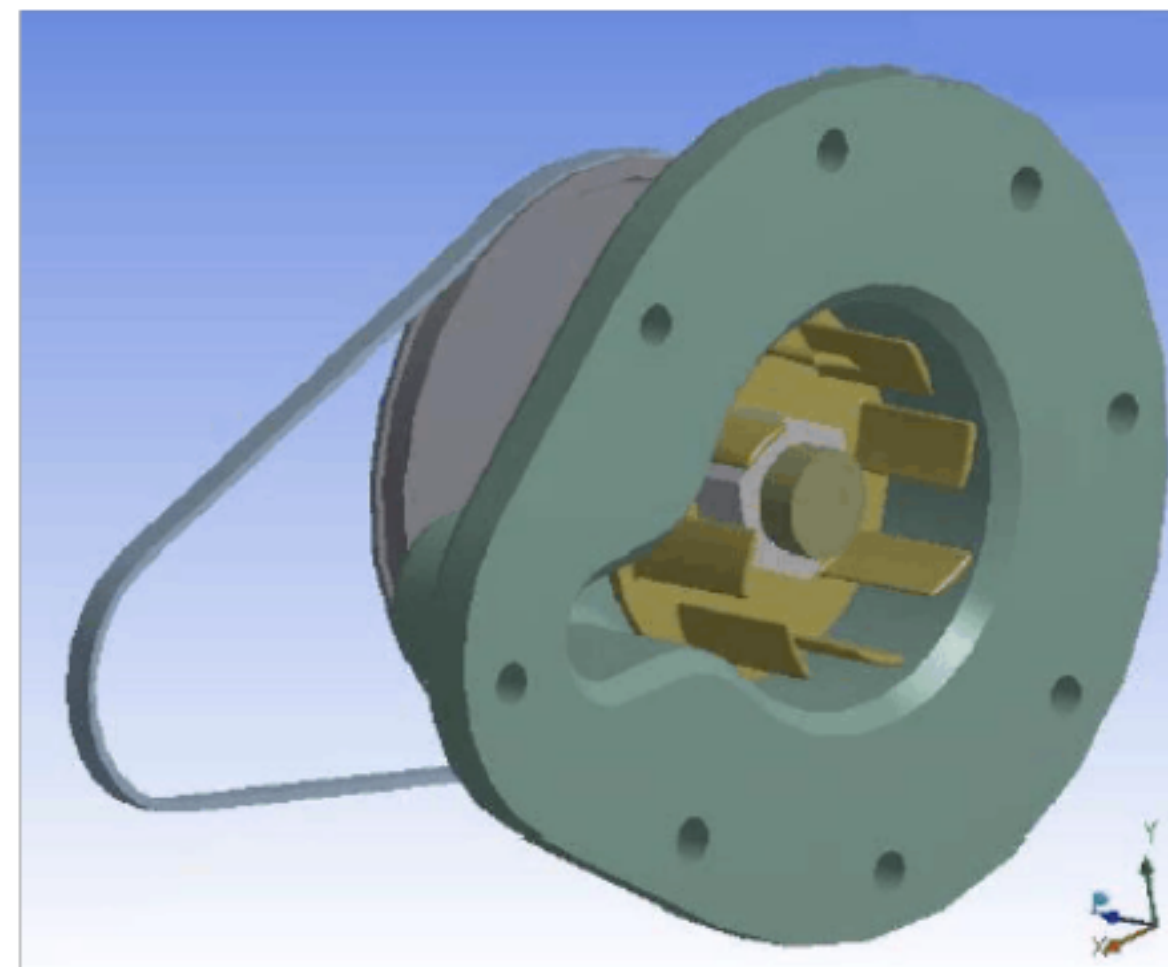
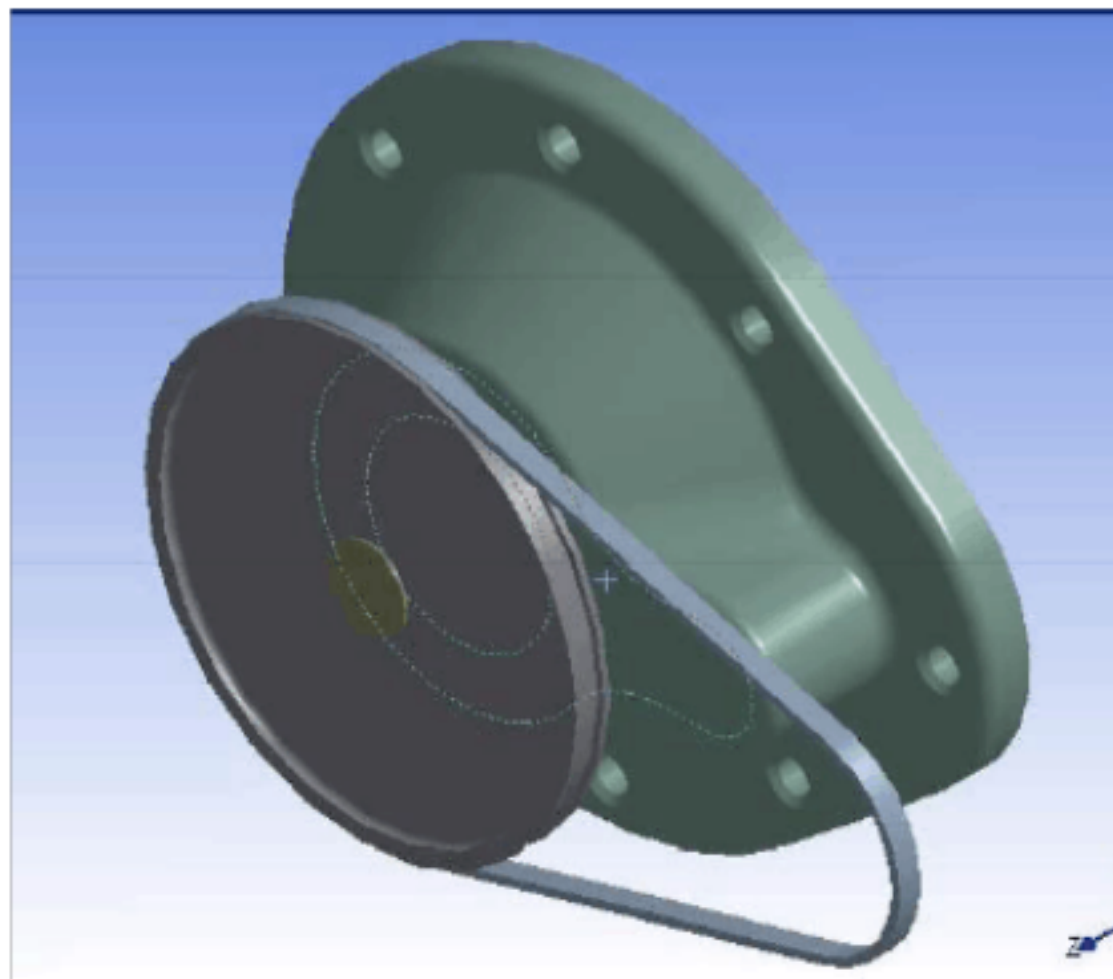
### 作业 4.1 线性 结构分析



## 作业 4.1 – 目标

? 作业 4 是一个叶轮式泵，它是一个由 5 部分组成的组件。目标是组件在皮带上受一个 100N 的预紧力时，分析测试：

- 负载下，叶轮不会发生超过 0.075mm 的偏离
- 使用塑料泵壳时，在安装孔周围不会超过材料的弹性极限



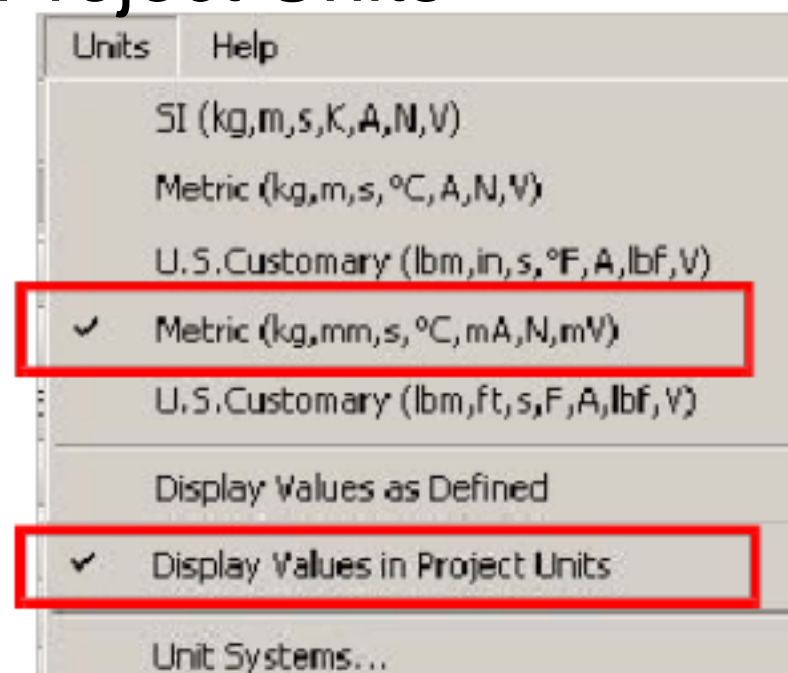


- ? 假设泵壳相对其它部件是刚性的。为了模拟它，需要在安装面上施加一个无摩擦约束。
- ? 类似的，无摩擦接触用来模拟螺栓和安装孔间的接触。（注意如果想在安装孔处获得精确的应力，最好选择 `compression only` （只承受压缩）约束。）
- ? 最后，用一个轴承载荷力（ $X = 100\text{ N}$ ）模拟传动带产生的力。轴承载荷均匀分布在与皮带接触的滑轮面。

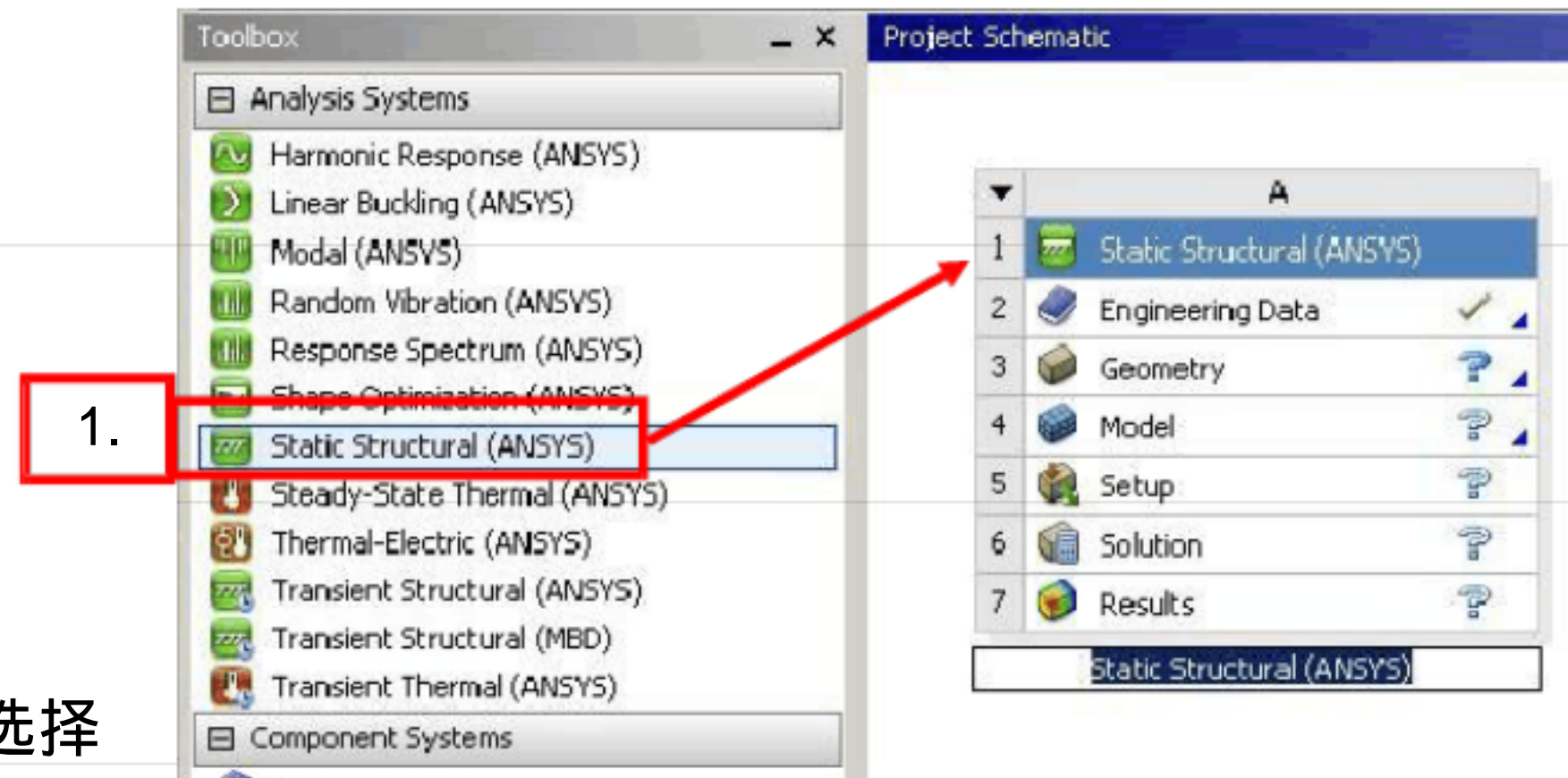
?打开 Project 页.

?在 Units 菜单确定：

- 项目单位设为 Metric (kg, mm, s, C, mA, mV)
- 选择 Display Values in Project Units

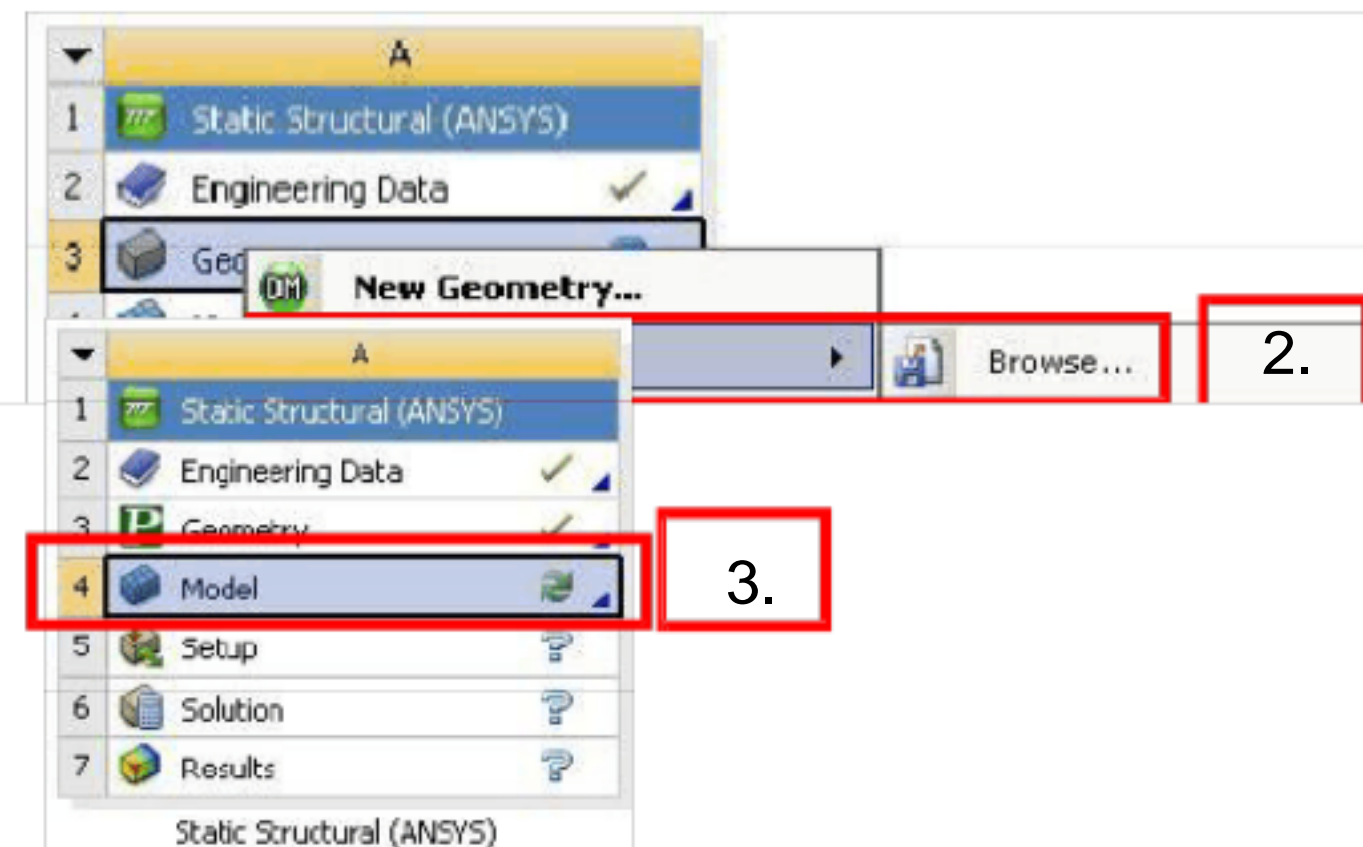


1. 从 Toolbox 中插入一个 Static Structural 系统到 Project Schematic



2. 在 Geometry 上点击鼠标右键选择 Import Geometry > Browse 。导入文件 Pump\_assy3.x\_t 。

3. 双击 Model 启动 Mechanical application





## 4. 设置作业单位制系统：

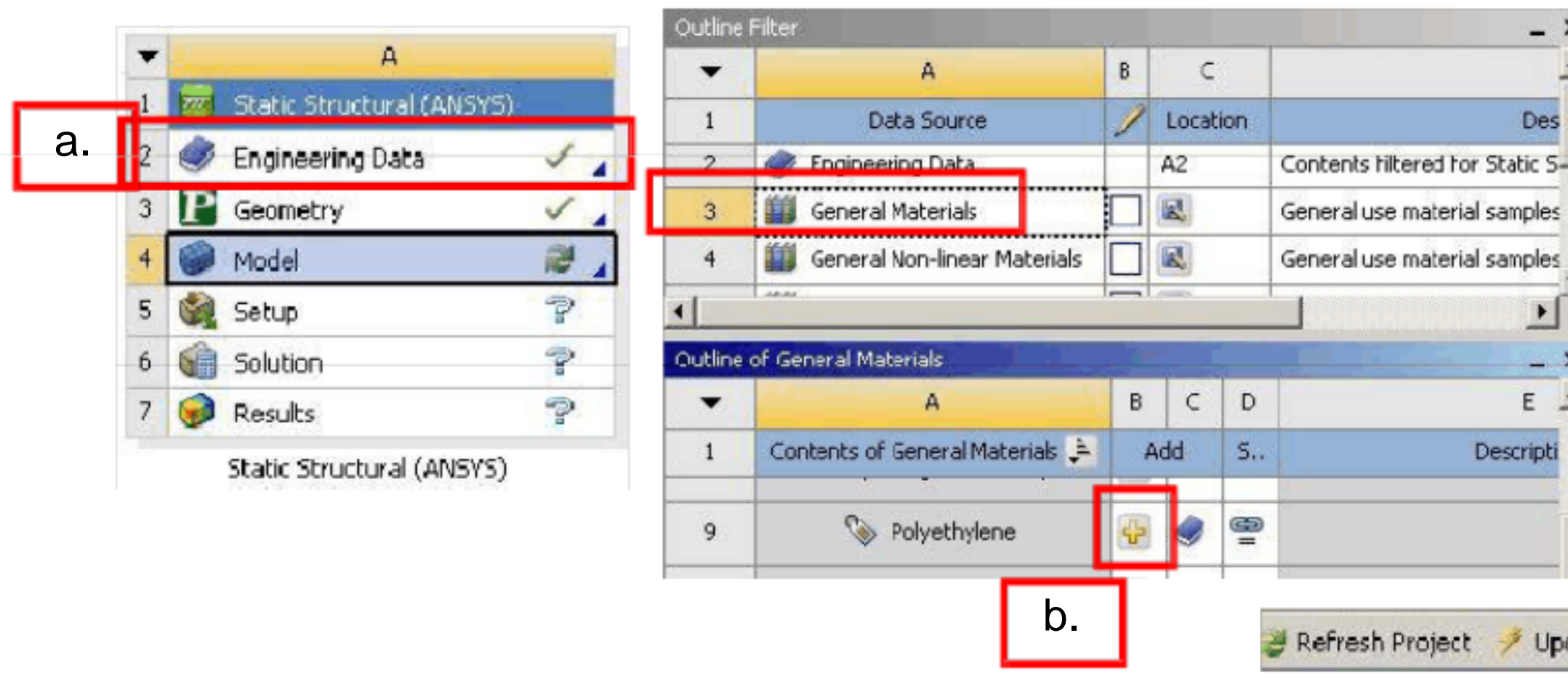
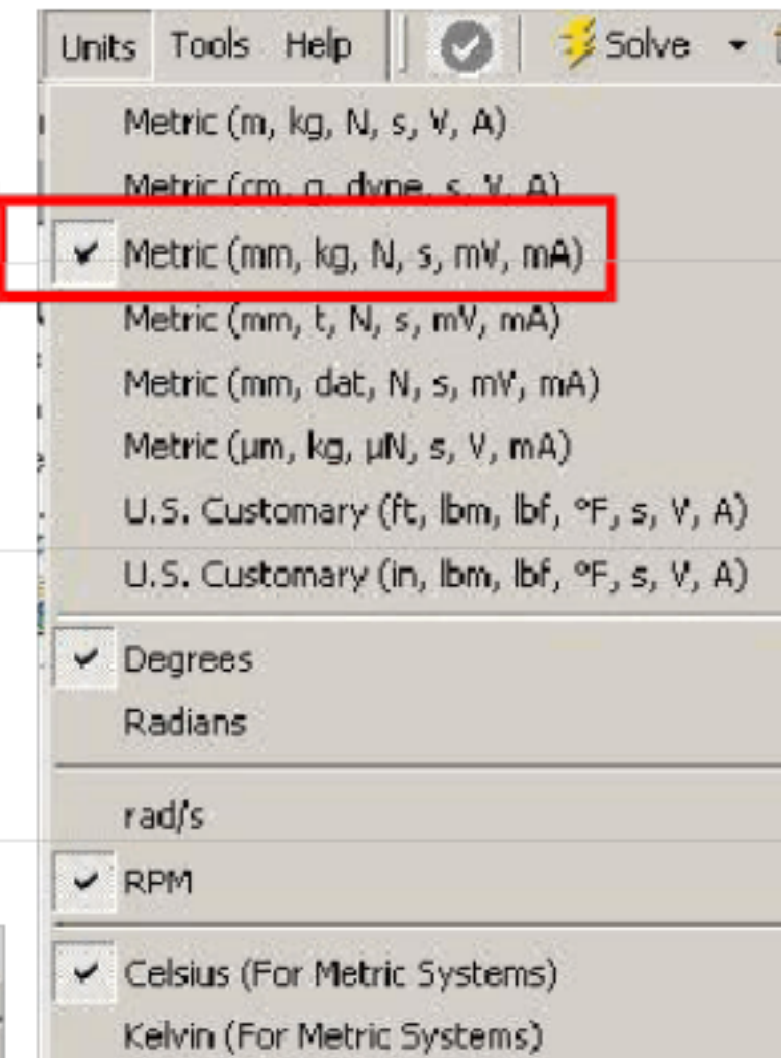
? Units > Metric (mm, kg, N, s, mV, mA)

## 5. 把 Engineering Data 添加到 Polyethylene (返回到 Workbench 窗口)：

a. 双击 Engineering Data

b. 选择 General Materials , 点击 Polyethylene 附近的 “+”图标

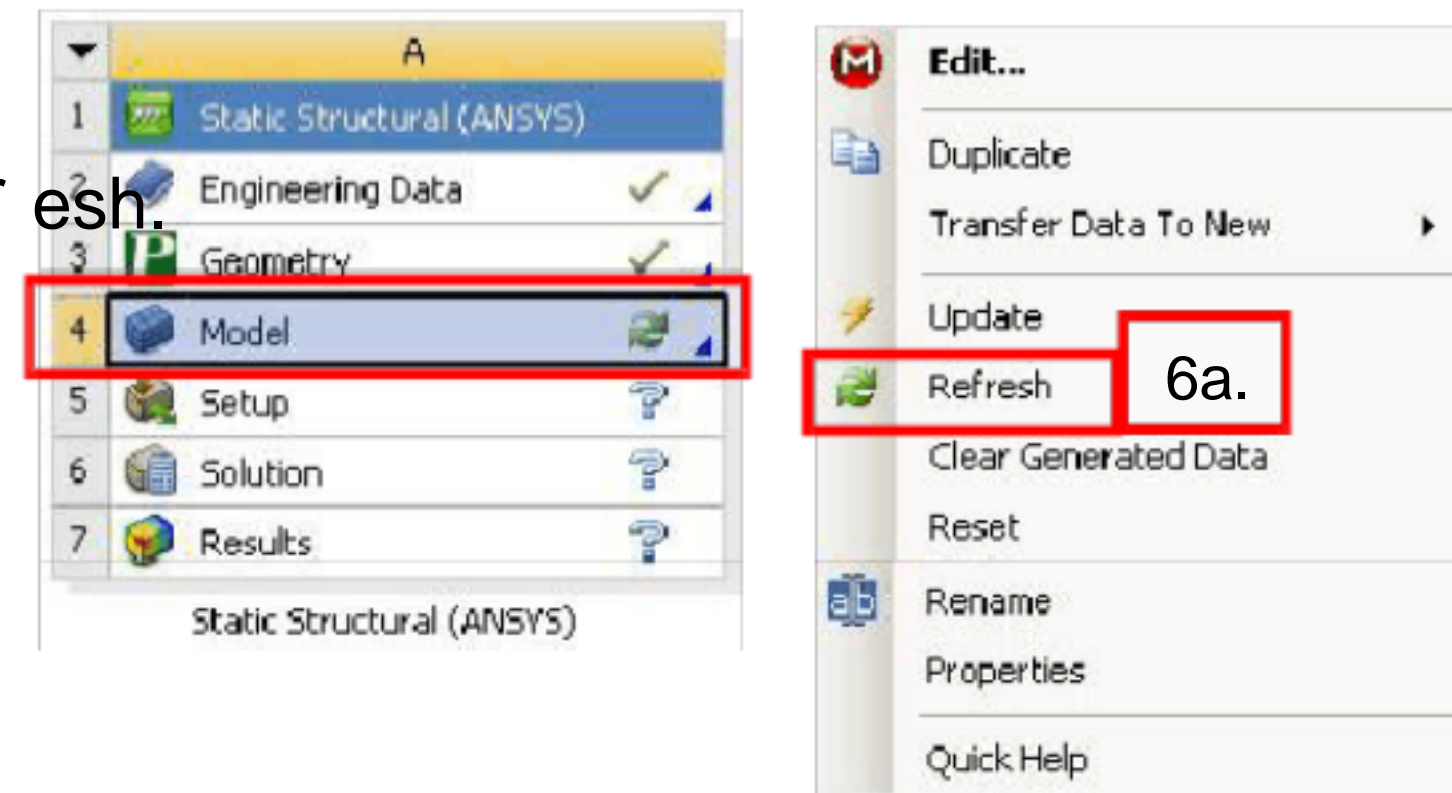
c. 返回到 Project 页



# 作业 4.1 – 前处理

## 6. 刷新 Model 模块：

a. RMB ( 点击鼠标右键选择 ) > Refresh.

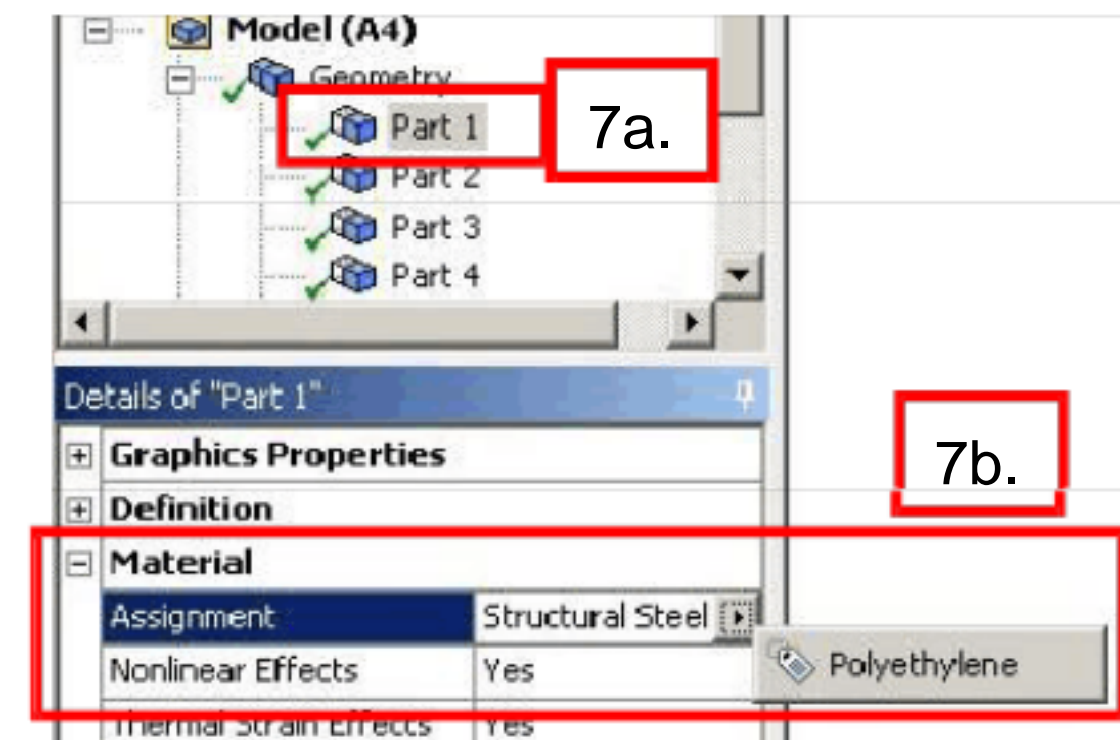


? 返回到 Mechanical 窗口

## 7. 该表泵壳上的材料 ( Part 1 )：

a. 在 geometry 下选中 Part 1

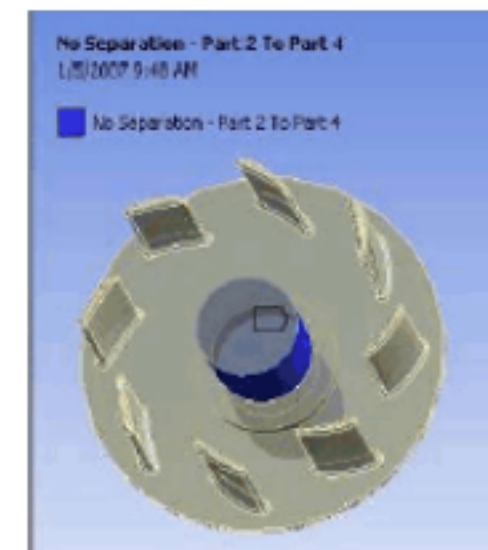
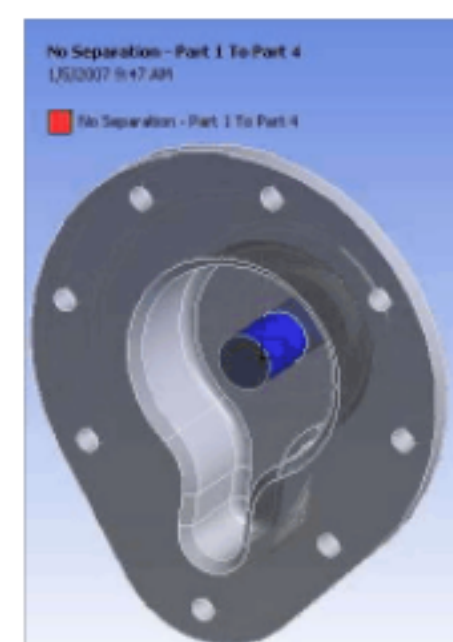
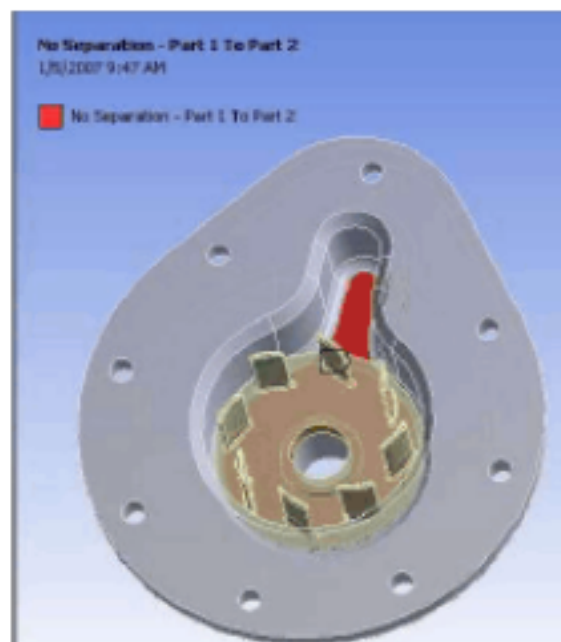
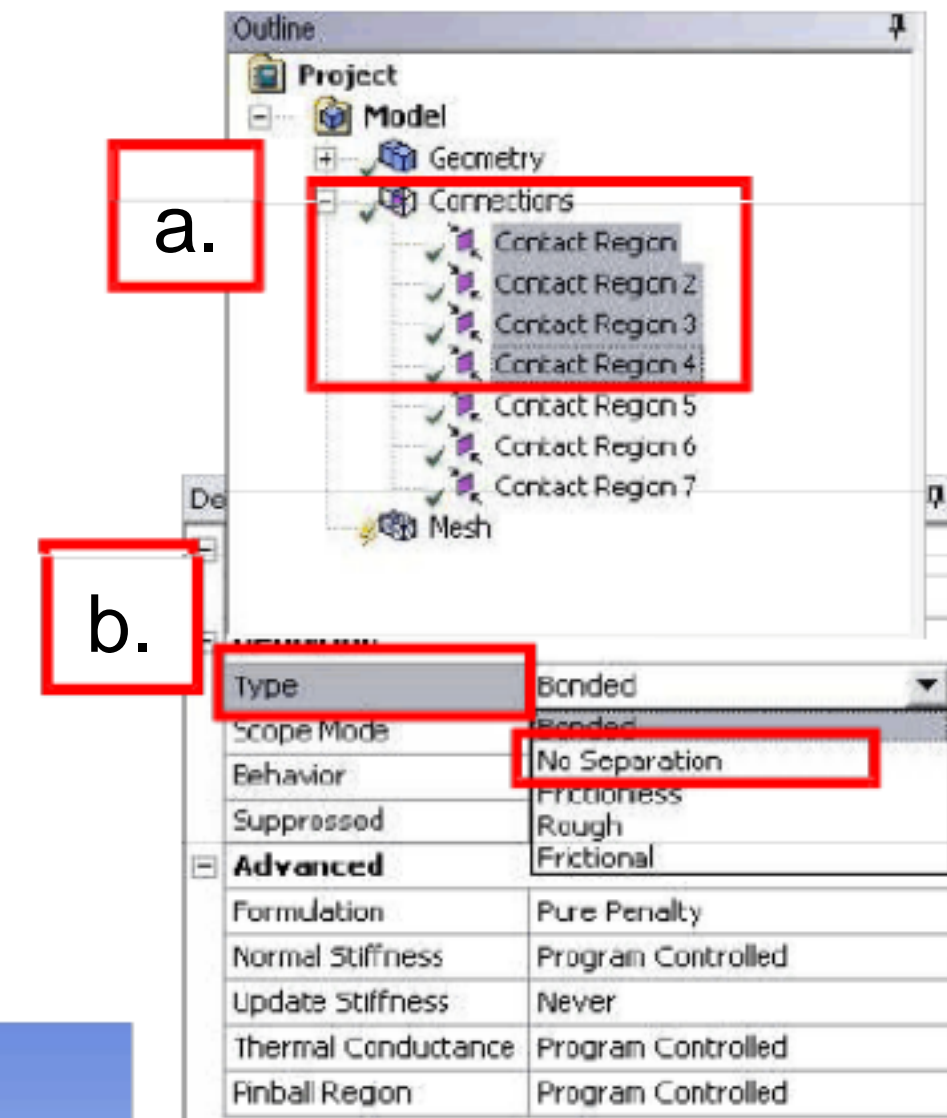
b. 在 Details of Part 1 中把材料设为 Polyethylene





8. 改变前面 4 个接触区域的接触行为（下面所示）：

- 按住 shift 键选中前面 4 个接触
  - 从 Details of multiple selection 中改变接触类型为 no separation
- ? 余下接触仍为 bonded





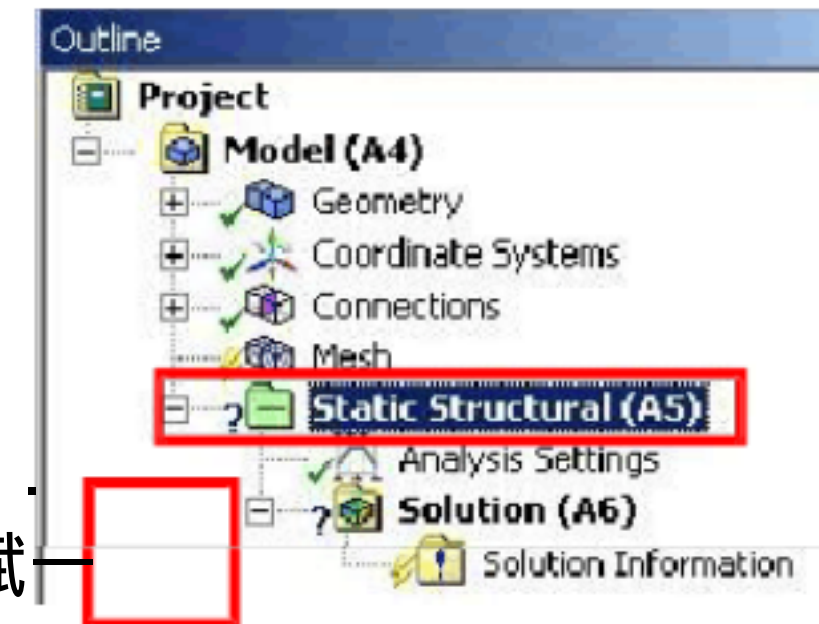
9. 在滑轮上施加一个轴承载荷：

a. 选中 Static

Structural b. 选中滑轮的沟面

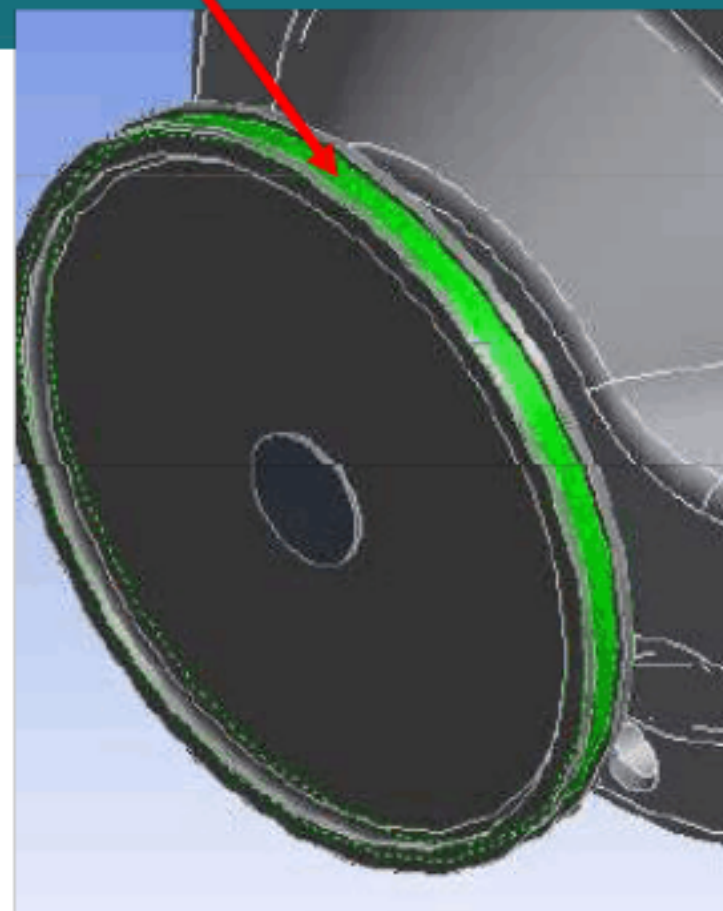
c. RMB（点击鼠标右键选择）> Insert > Bearing Load”

d. 从 Details of bearing load 窗口中给 X Components 赋100 N 的力



a.

## WS4.1: Linear Structural Analysis



Insert

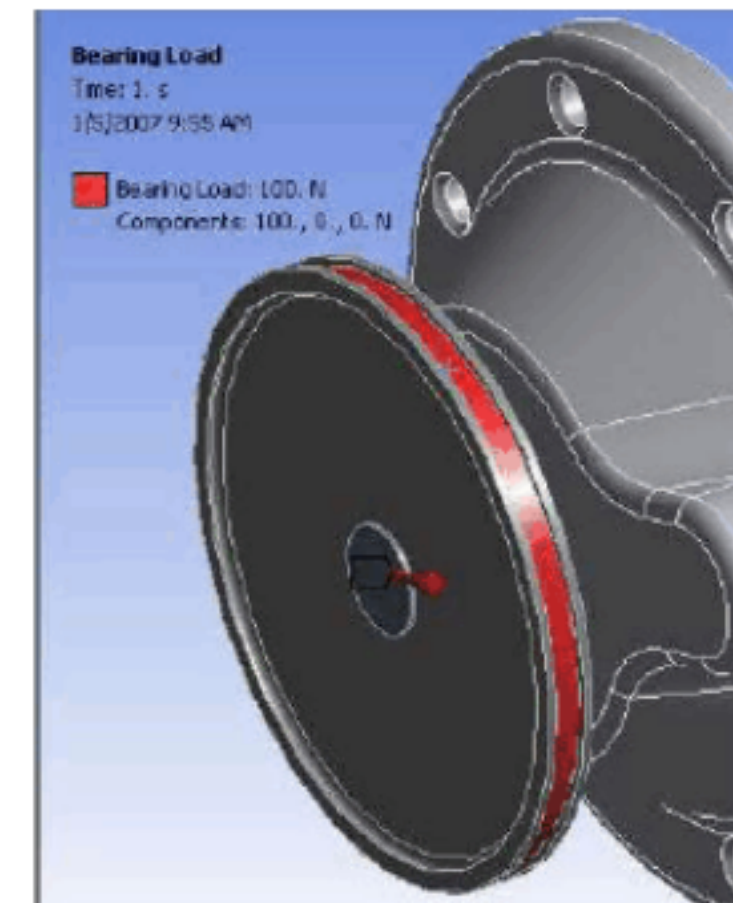
c.

- Acceleration
- Standard Earth Gravity
- Rotational Velocity
- Force
- Remote Force
- Bearing Load**
- Bolt Pretension
- Moment
- Joint Load
- Fluid Solid Interface
- Fixed Support
- Displacement
- Remote Displacement
- Frictionless Support
- Compression Only Support
- Cylindrical Support
- Elastic Support
- Commands

Details of "Bearing Load"

d.

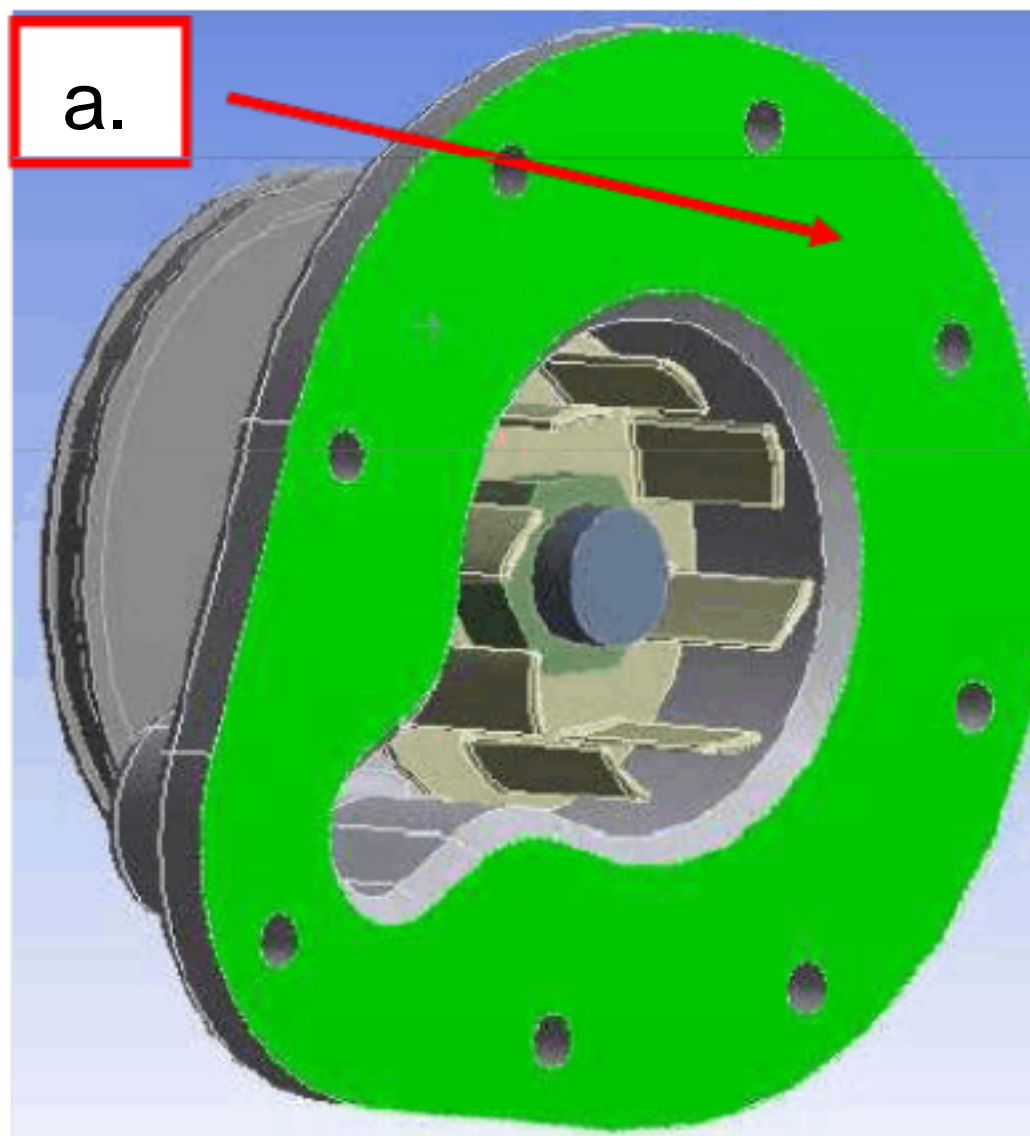
| Scope                                |                    |
|--------------------------------------|--------------------|
| Scoping Method                       | Geometry Selection |
| Geometry                             | 1 Face             |
| Definition                           |                    |
| Define By                            | Components         |
| Type                                 | Bearing Load       |
| <input type="checkbox"/> X Component | 100. N             |
| <input type="checkbox"/> Y Component | 0. N               |
| <input type="checkbox"/> Z Component | 0. N               |
| Suppressed                           | No                 |



10. 给组件施加约束：

a. 选中泵壳（ part 1 ）的装配面

b. RMB（ 点击鼠标右键选择 ） > Insert > Frictionless Suppo



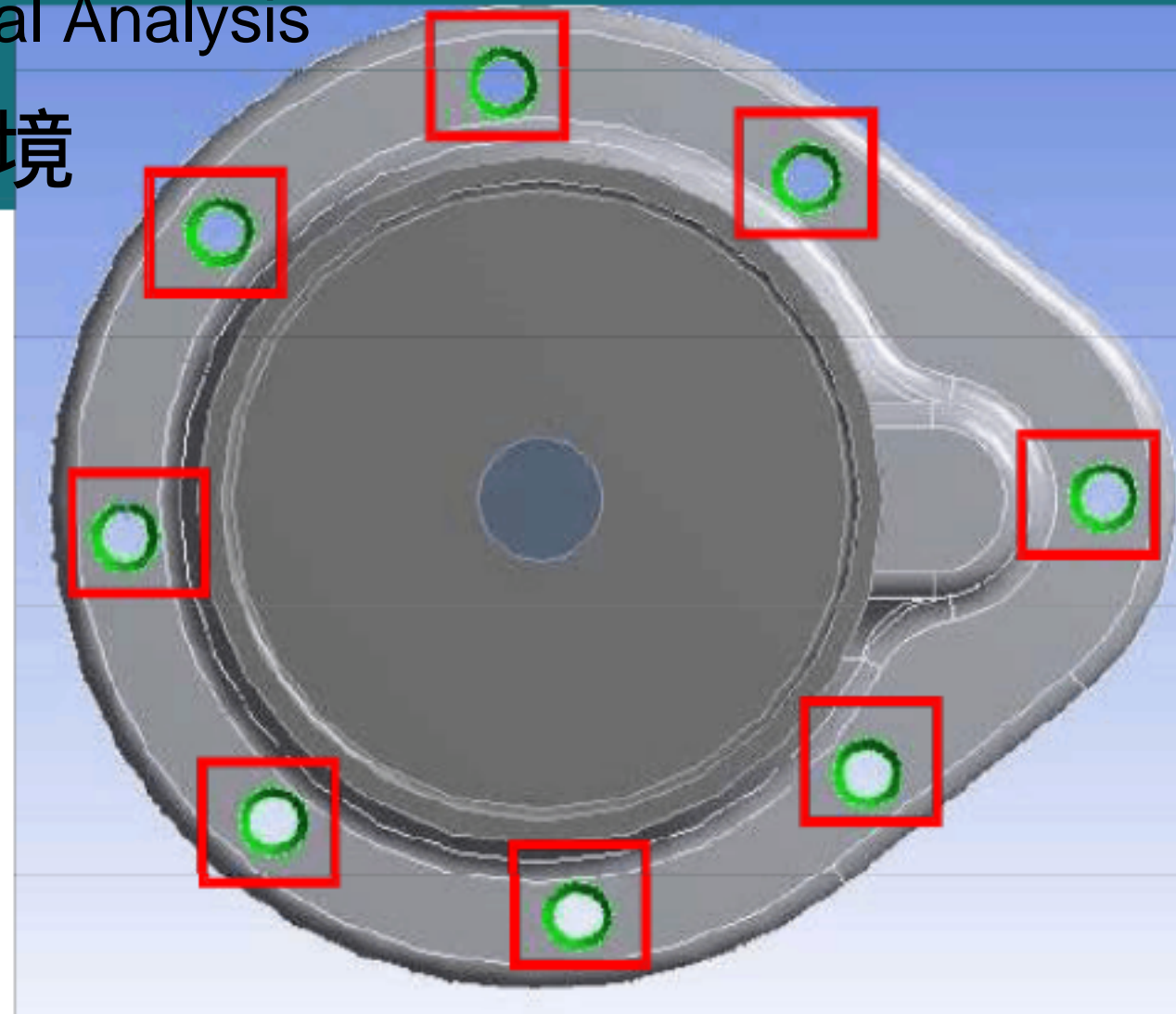
b.





## ...作业 4.1 –环境

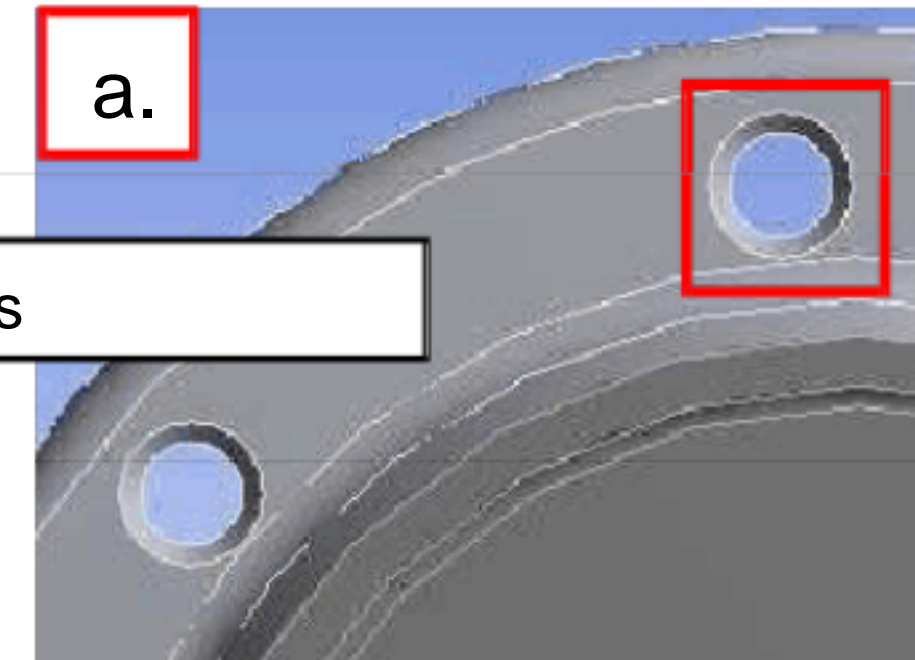
- ? 现在，给装配孔的螺丝孔部分施加无摩擦约束（如图示）。
- ? 每个需要的面需要通过按住 CTRL 键来一一选择，但是也可以使用 DS 提供的宏文件（同过指定大小选择）来选择需要的面。在选择了一个初始面后，运行宏文件选择同样大小的面。注意，宏文件同样适用于边和体的选择。



## ...作业 4.1 – 环境

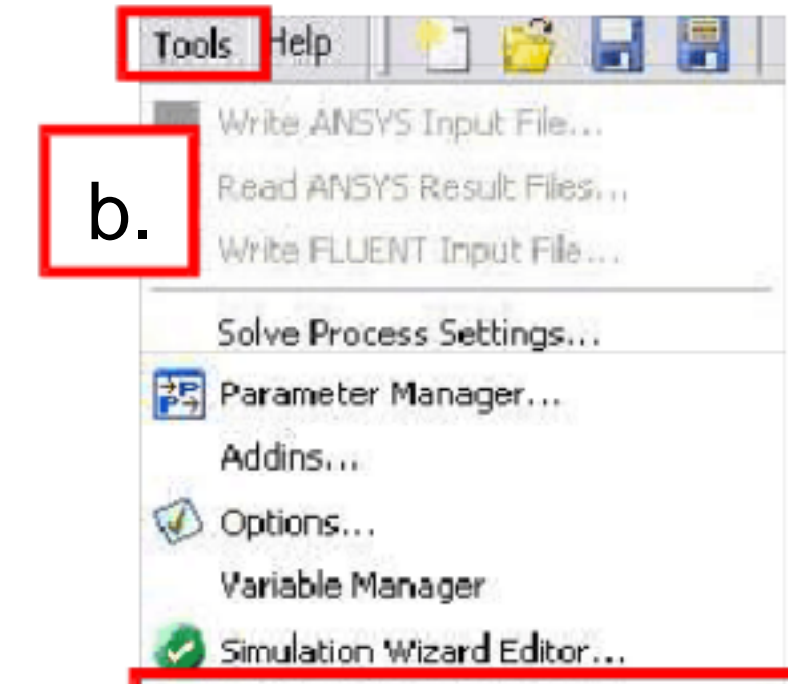
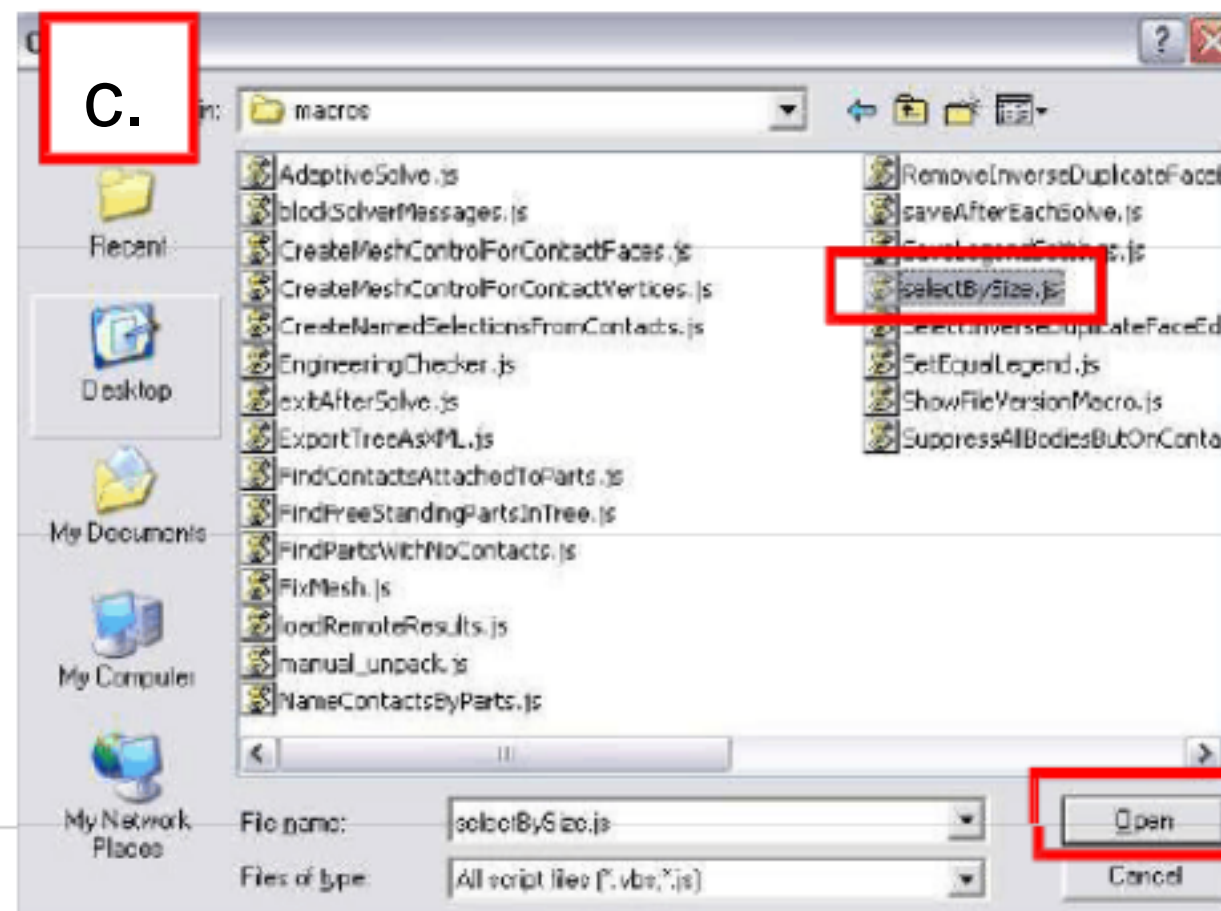
## 11. 选择螺丝孔面（使用指定大小选择的宏文件）：

- a. 选中其中任意一个螺丝孔面
- b. 通过 Tools > Run Macro ... 选



C:\Program Files\ANSYSInc\v120\AISOL\DesignSpace\DSPages\macros

- c. 浏览选择文件 selectBySize.js
- d. 点击 Open

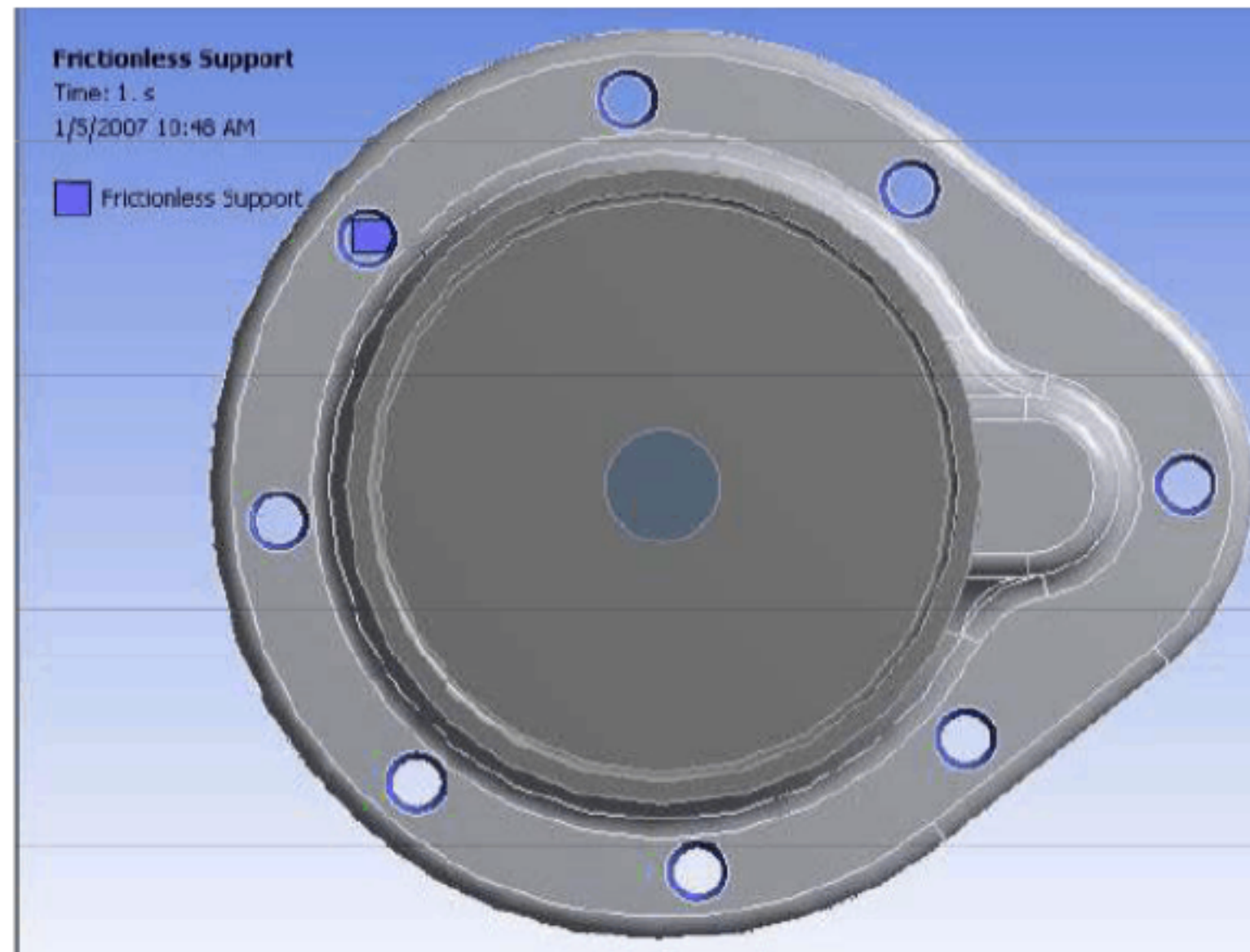
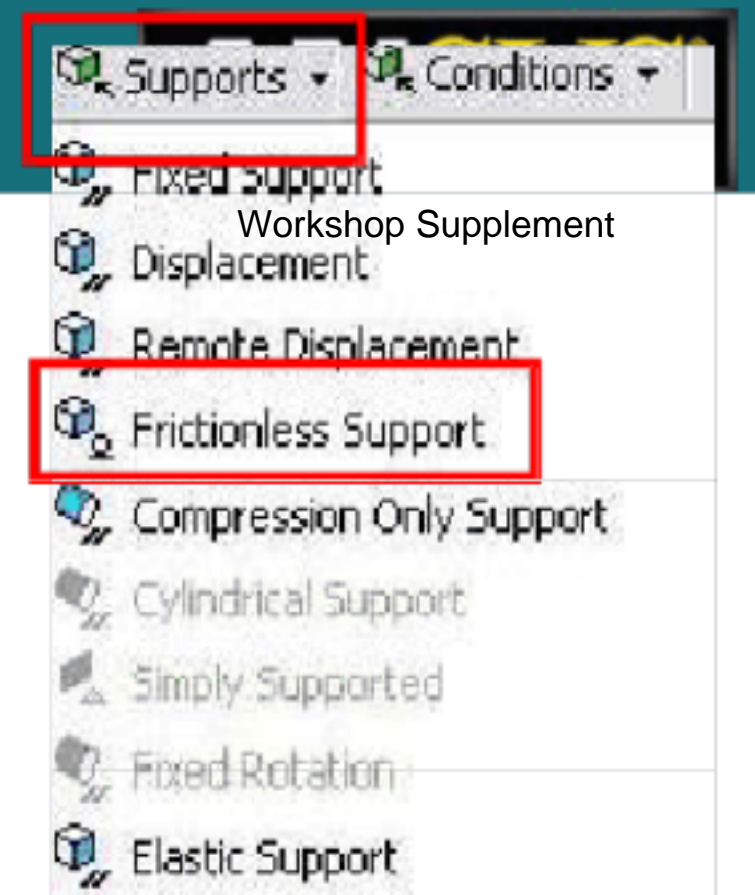




## WS4.1 约束螺丝孔面 Structural Analysis

通过上下文菜单点击 Supports 选择 Frictionless Support , 或 RMB ( 点击鼠标右键 选择 ) > Insert > Frictionless Support

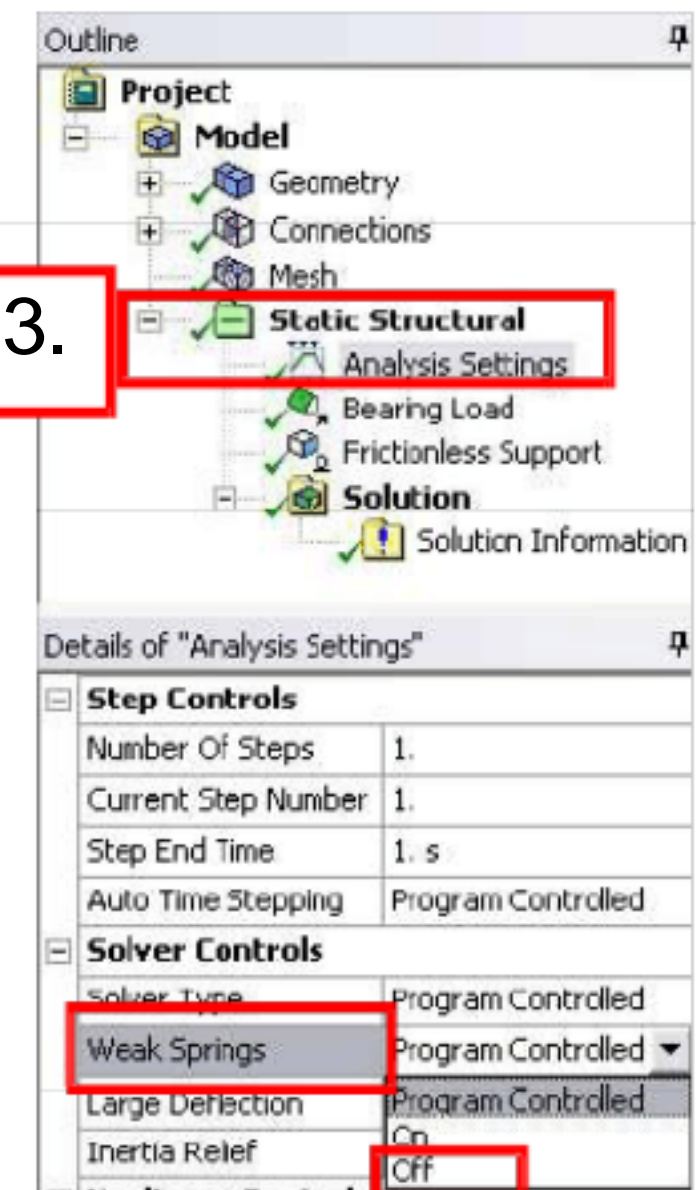
a.



### 13. 选中 Analysis Settings 并在 details of Analysis Settings 窗口中把 Weak Springs 由 Program Controlled 改为 Off

- 注：由于无摩擦约束没有绑到接触上，因此 Workbench-Mechanical 将在求解中选择使用 weak springs。如果知道模型是完全约束的，就可以关掉这个功能。在关掉 weak springs 之前确定没有刚体位移。否则将导致求解不收敛。

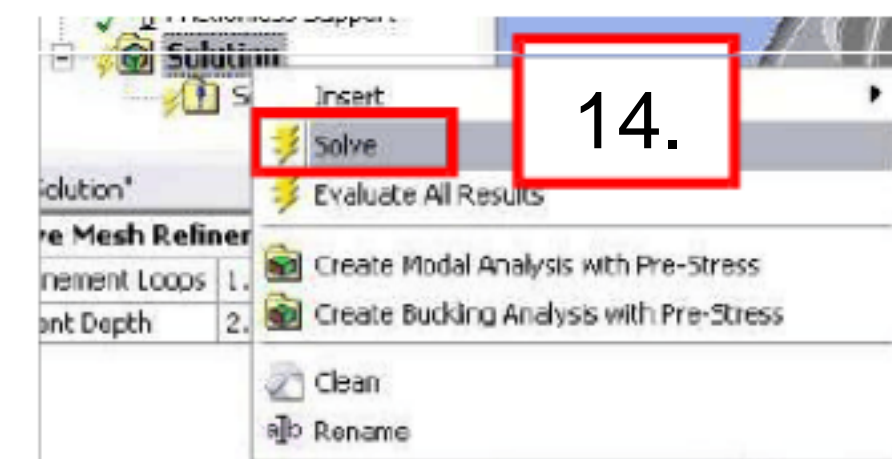
13.



### 14. 求解模型：

- ？ 在工具栏中选择 solve，或则在 Solution 上点击鼠标右键选择 Solve。

14.

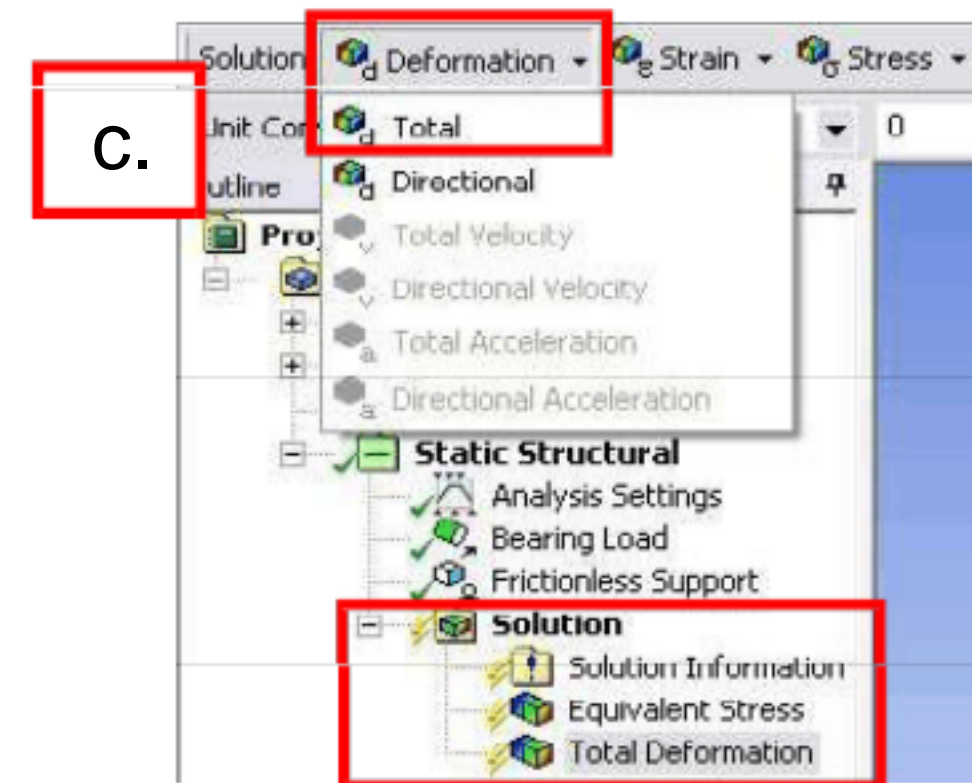
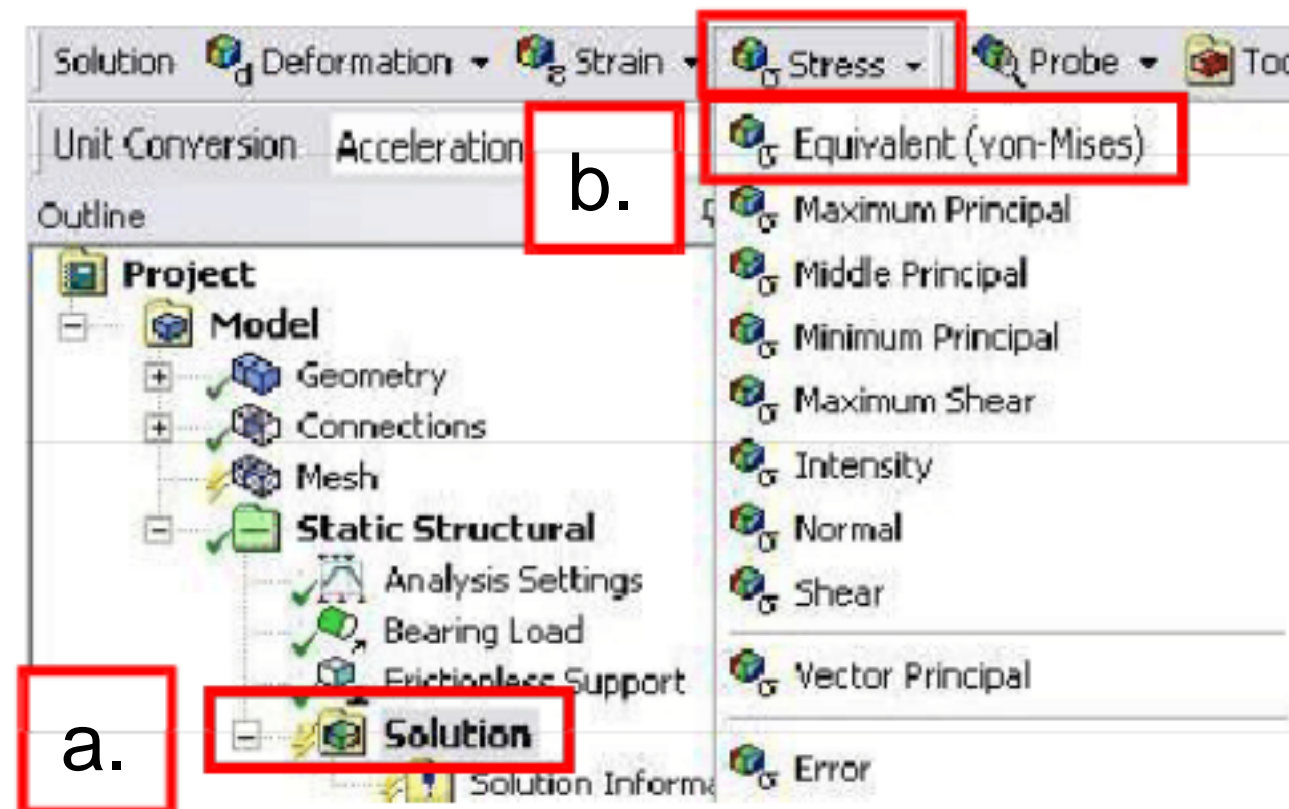


15. 把结果添加到 solution 中：

- 选中 solution
- 从上下文菜单中选择 Stresses > Equivalent (von-Mises) , 或则 RMB ( 点击 鼠标右键选择 ) > Insert > Stress > Equivalent (von-Mises)
- 重复以上步骤, 选择 Deformation > Total Deformation

? 再次求解

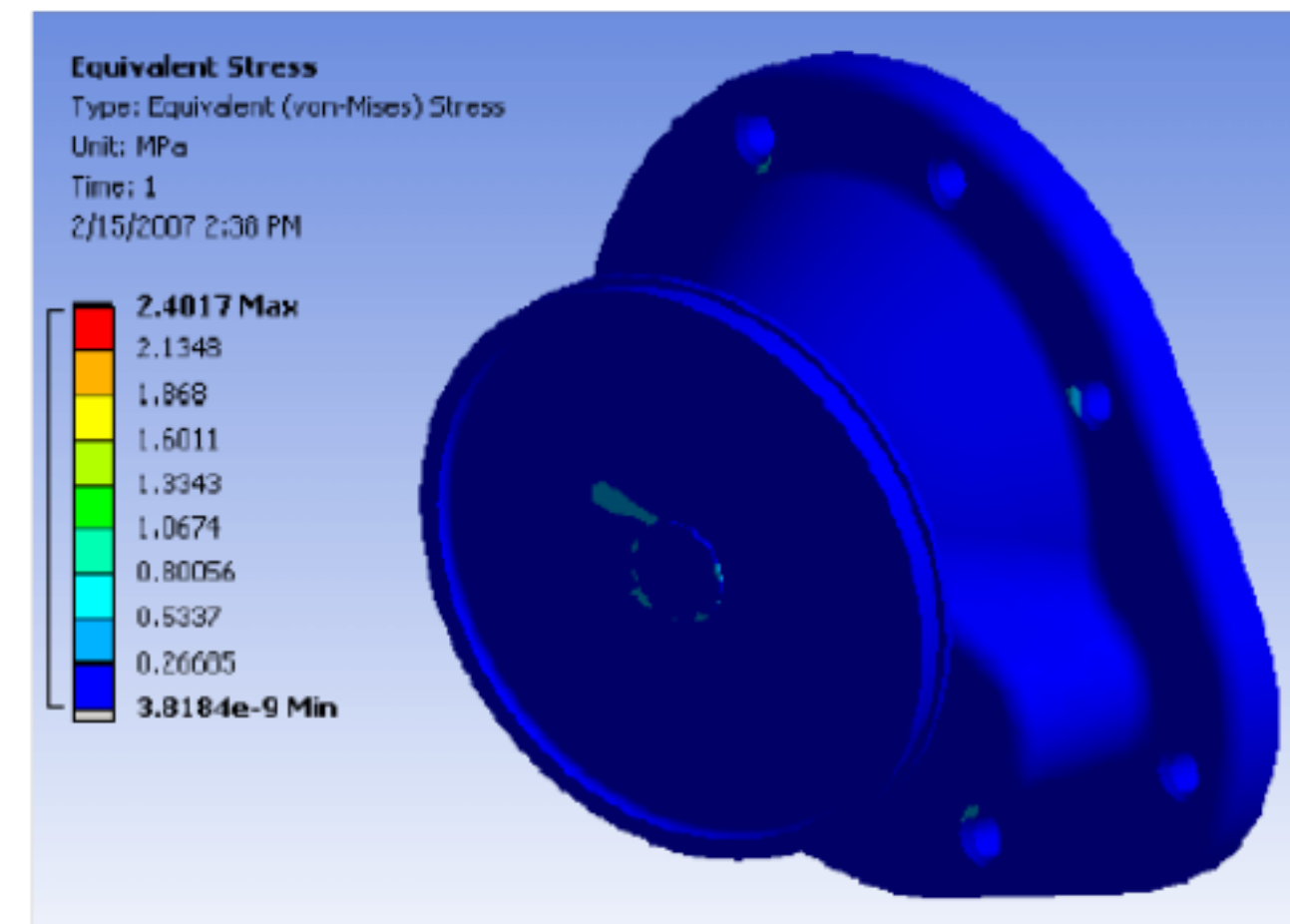
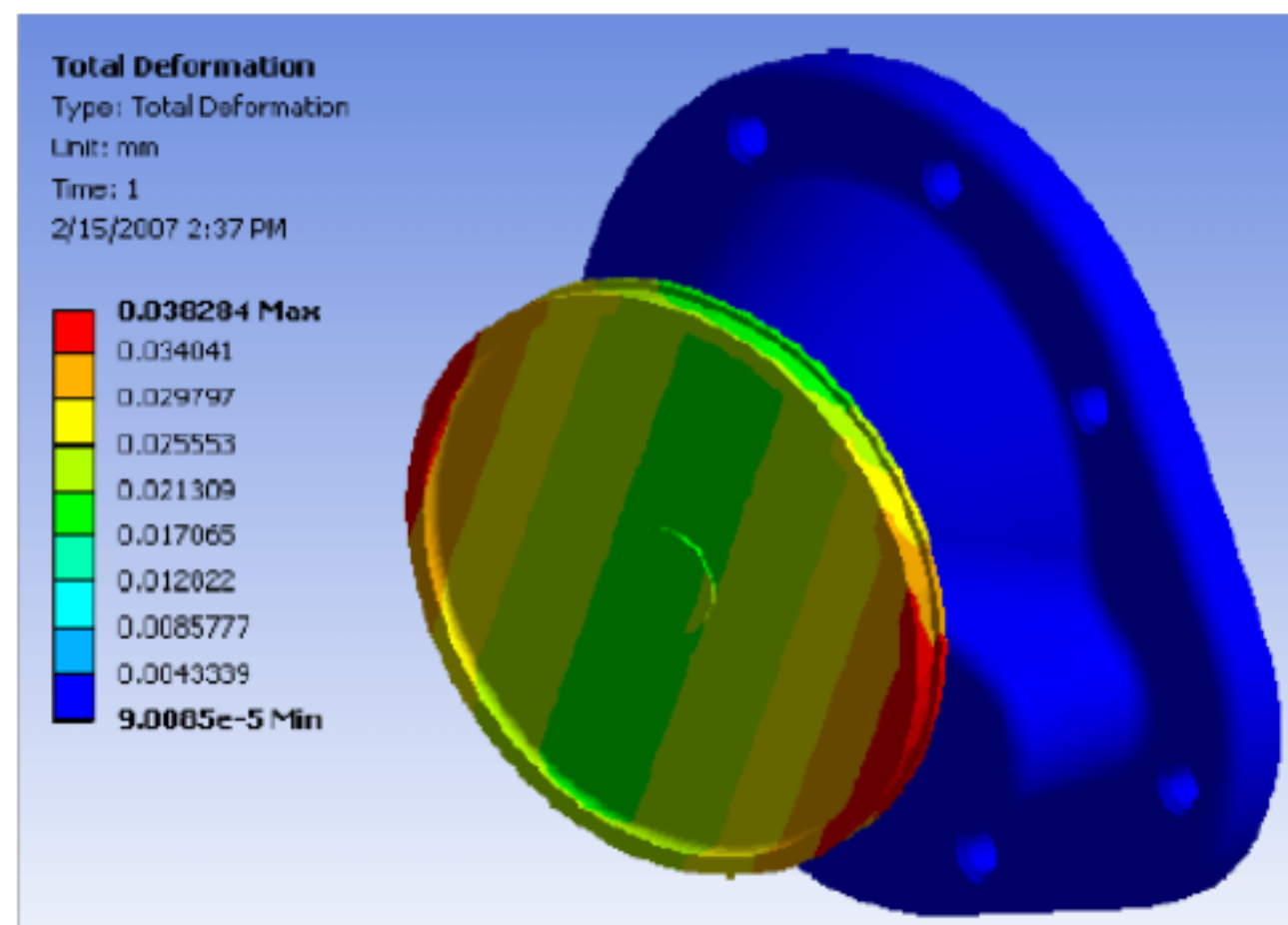
- 注：添加结果并重新求解不会导致完成的求解。结果将保存在数据库，而且重新求解的结果通过更新即可。





## ...作业 4.1 – 后处理

? 尽管整体图形可以作为可靠的检查来验证载荷，但是却不够理想。因为模型的很多部分受到的影响很小。



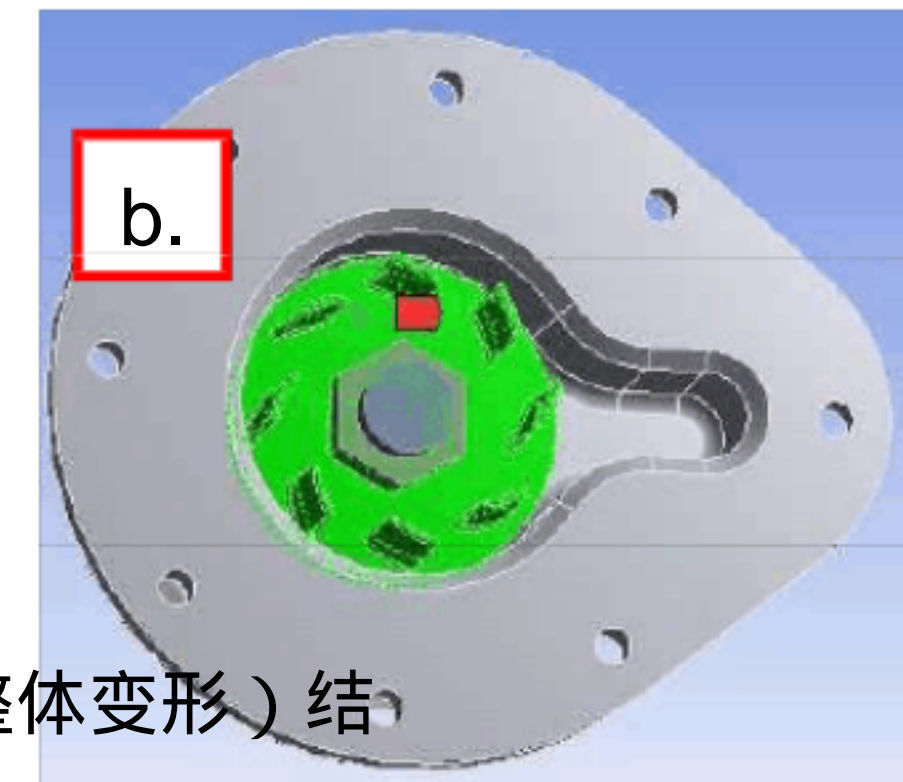
? 为了提高结果的质量，需要查看单个部分的结果。

## ...作业 4.1 – 后处理

## 16. 查看单个实体或面的结果：

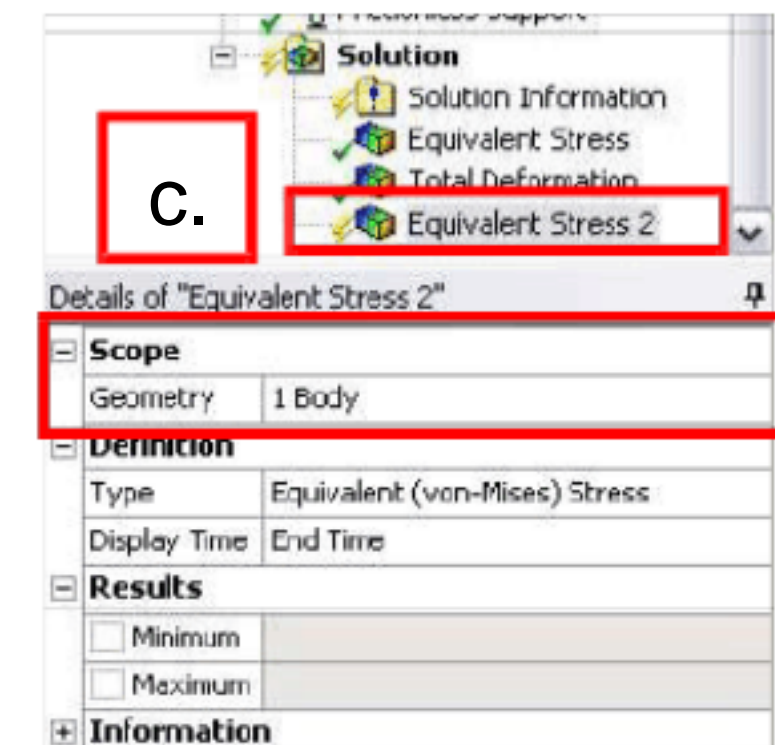
- 选中 Solution 并选择实体选择模式。
- 选择叶轮 ( part 2 )
- RMB ( 点击鼠标右键选择 ) > Insert > Stress > equivalent (von- Mises)

? 注意新结果细节显示的是所查看实体的结果 .



## 17. 重复上面的过程，并插入叶轮的 Total Deformation (整体变形) 结果。

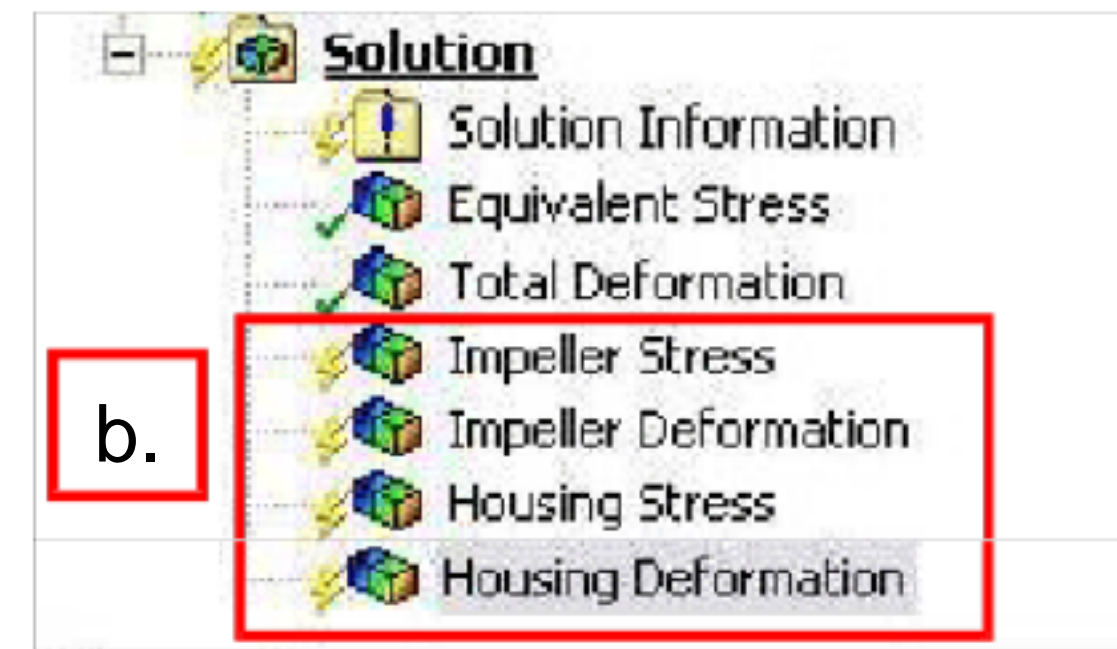
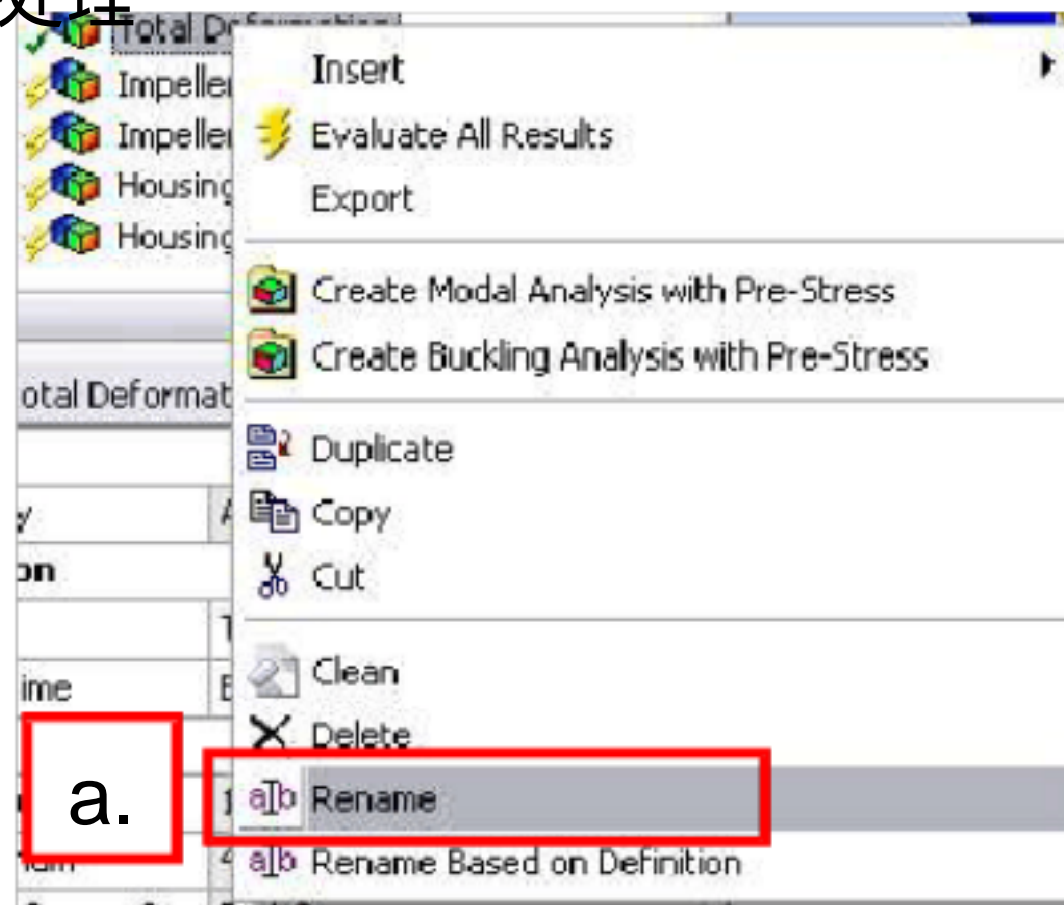
## 18. 重复上面的过程，查看泵壳 ( part 1 ) 的应力和整体变形结果。



## ...作业 4.1 –后处理

## 19. 重命名新结果：

- a. 在 result 上点击鼠标右键选择  
Rename b. 如图所示重命名结果，简化  
后处理

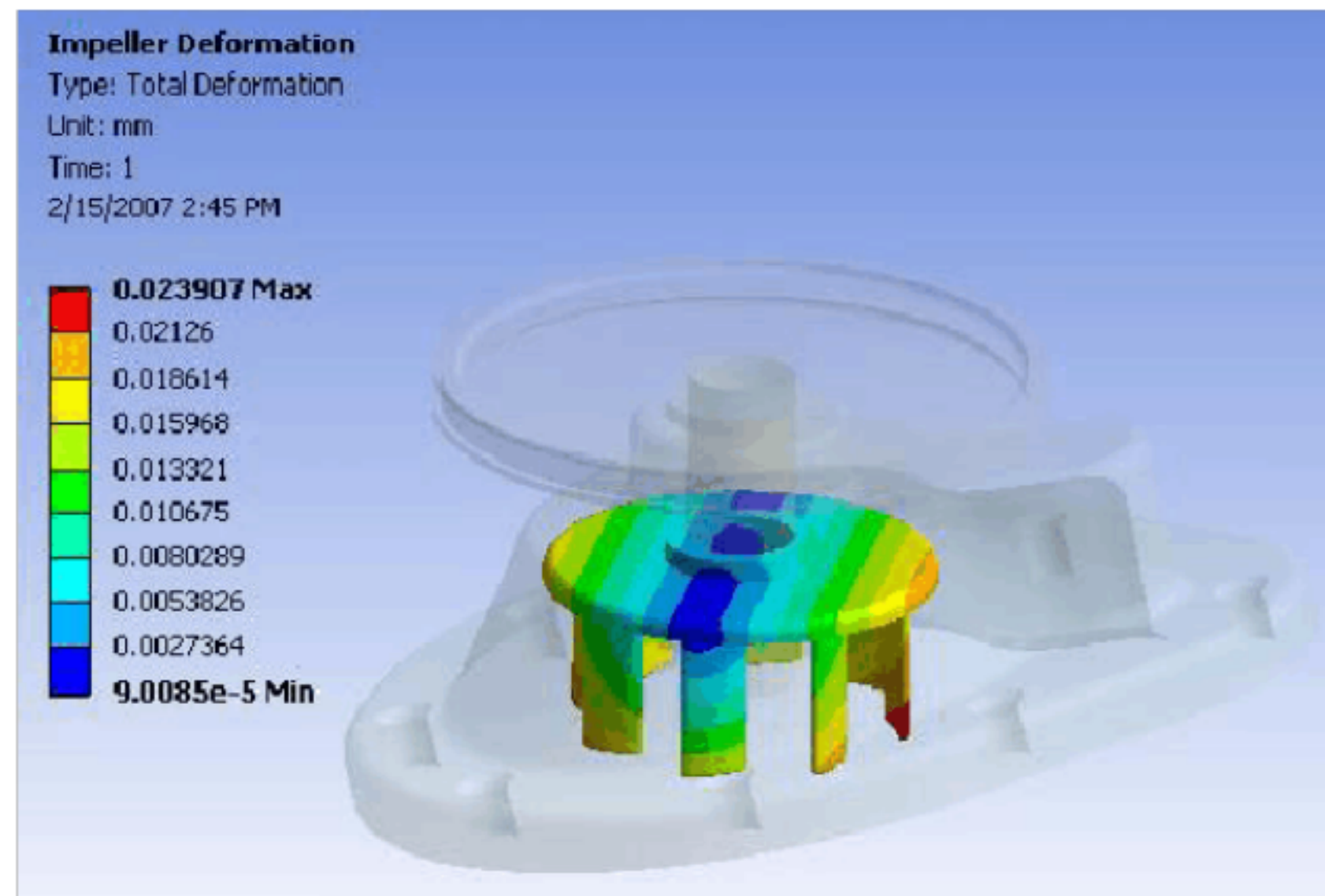


## 20. 求解



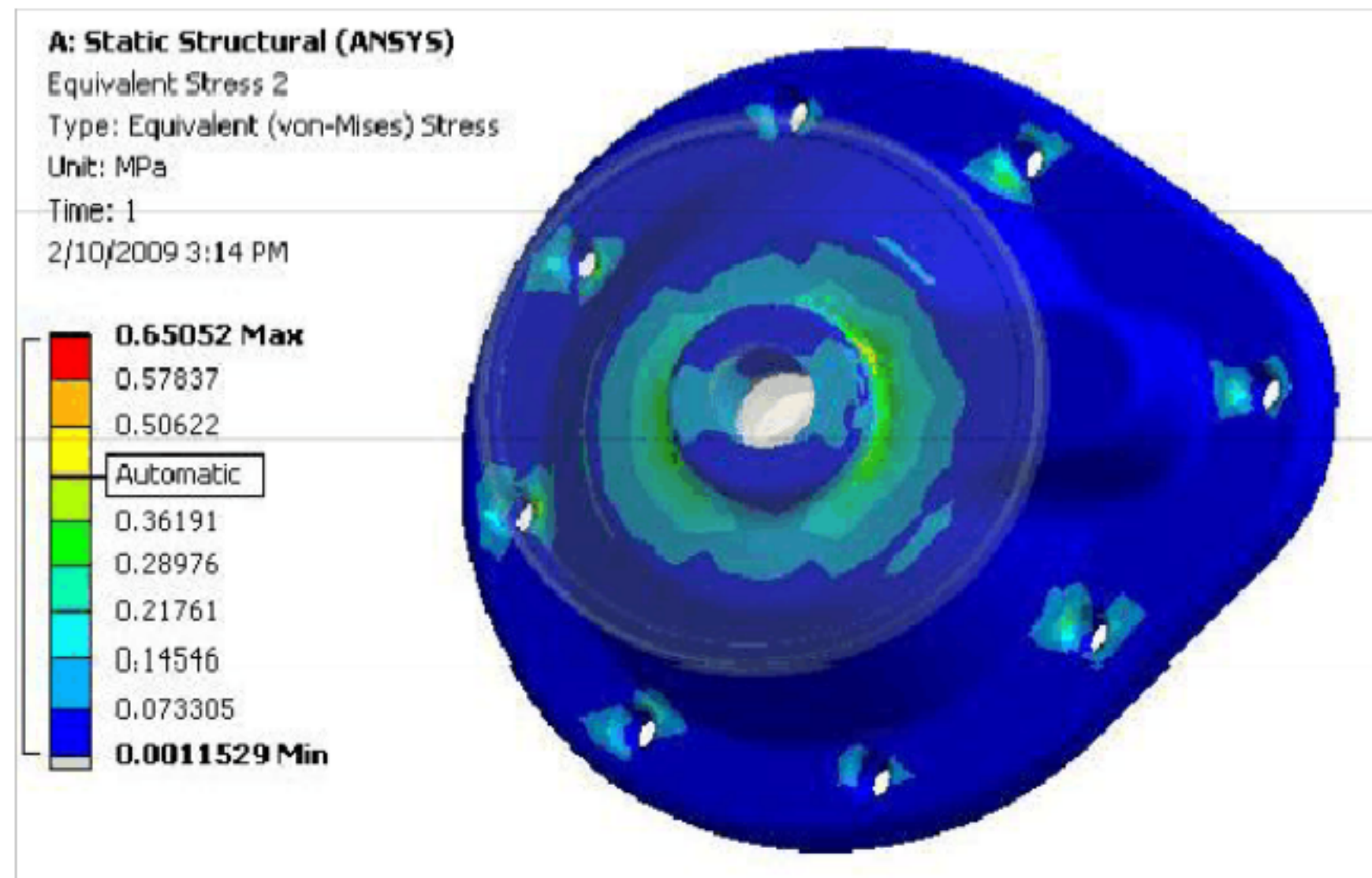
## ...作业 4.1 –后处理

?通过检查叶轮的变形可以确定已达到其中一个目标：最大的变形接近 0.024mm （目标值小于 0.075mm ）。



## ...作业 4.1 – 后处理

?通过泵壳的整体应力图知，其应力水平低于材料的弹性极限（抗拉强度为 25 MPa ）。同样可以查看感兴趣区域的结果图。



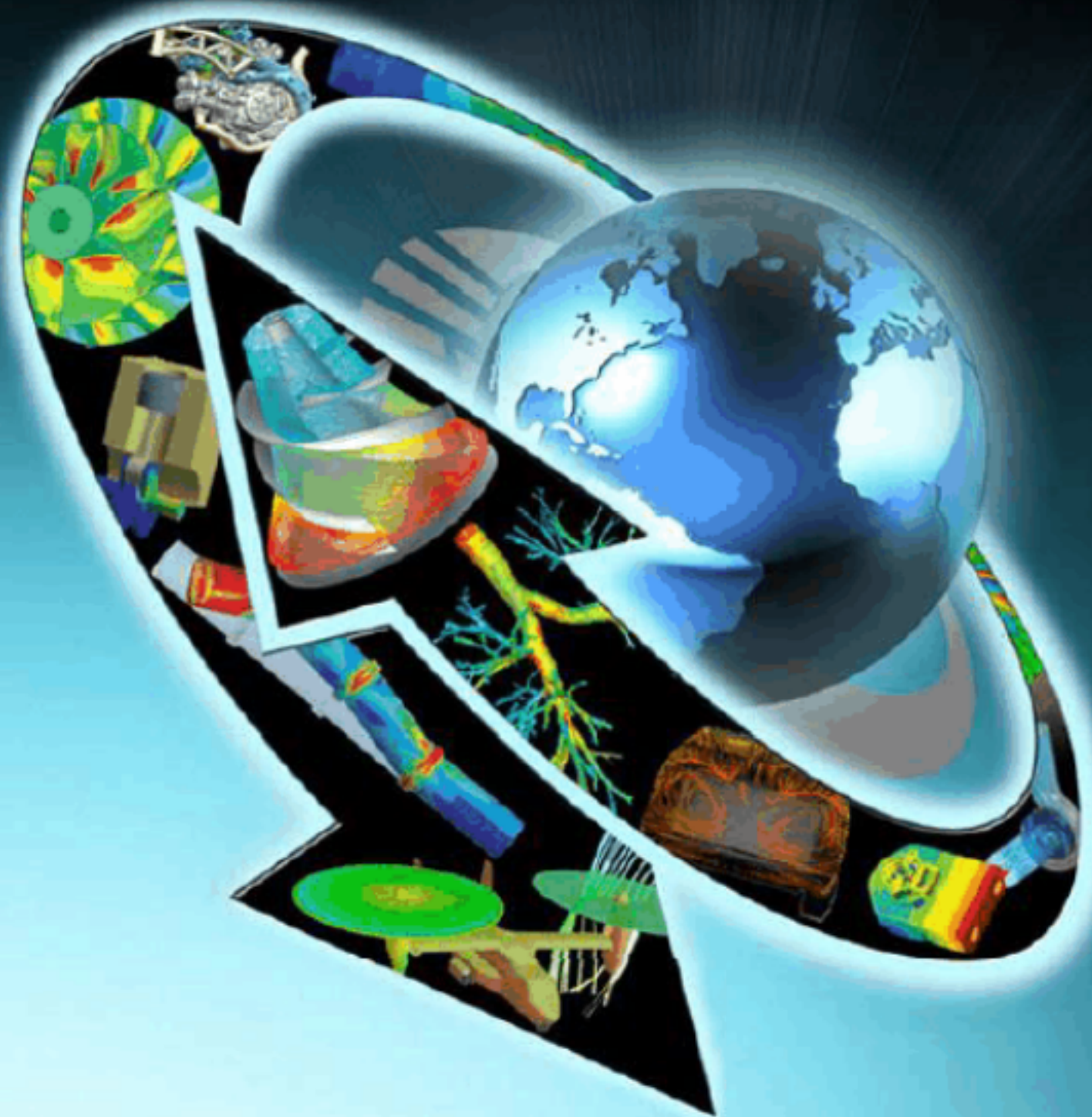




## Workbench - Mechanical Introduction

作业 4.2

二维结构分析

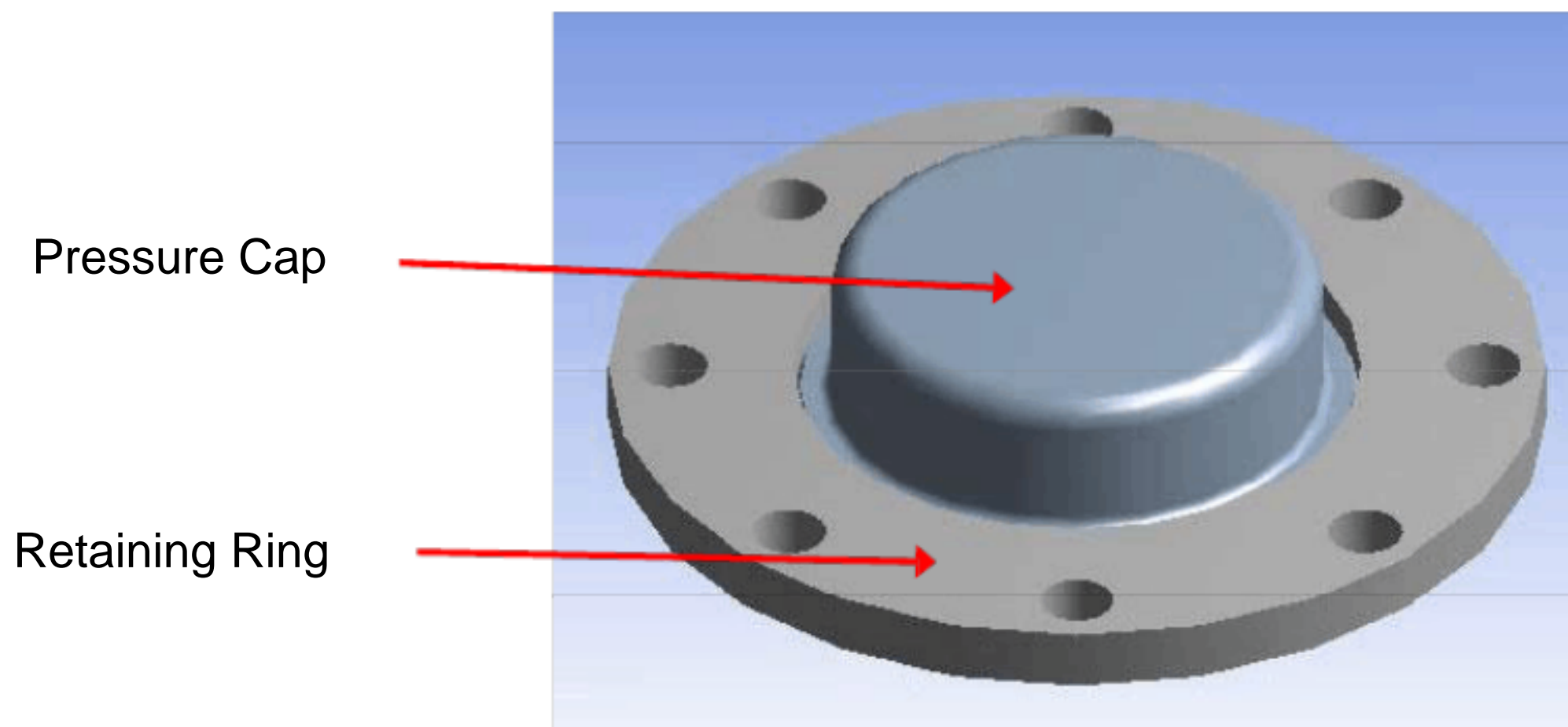




## 作业 4.2 – 目标

? 作业 4.2 的对象是一个有两部分的组件，它们是 pressure cap 和 retaining flange （整体模型如下图）。

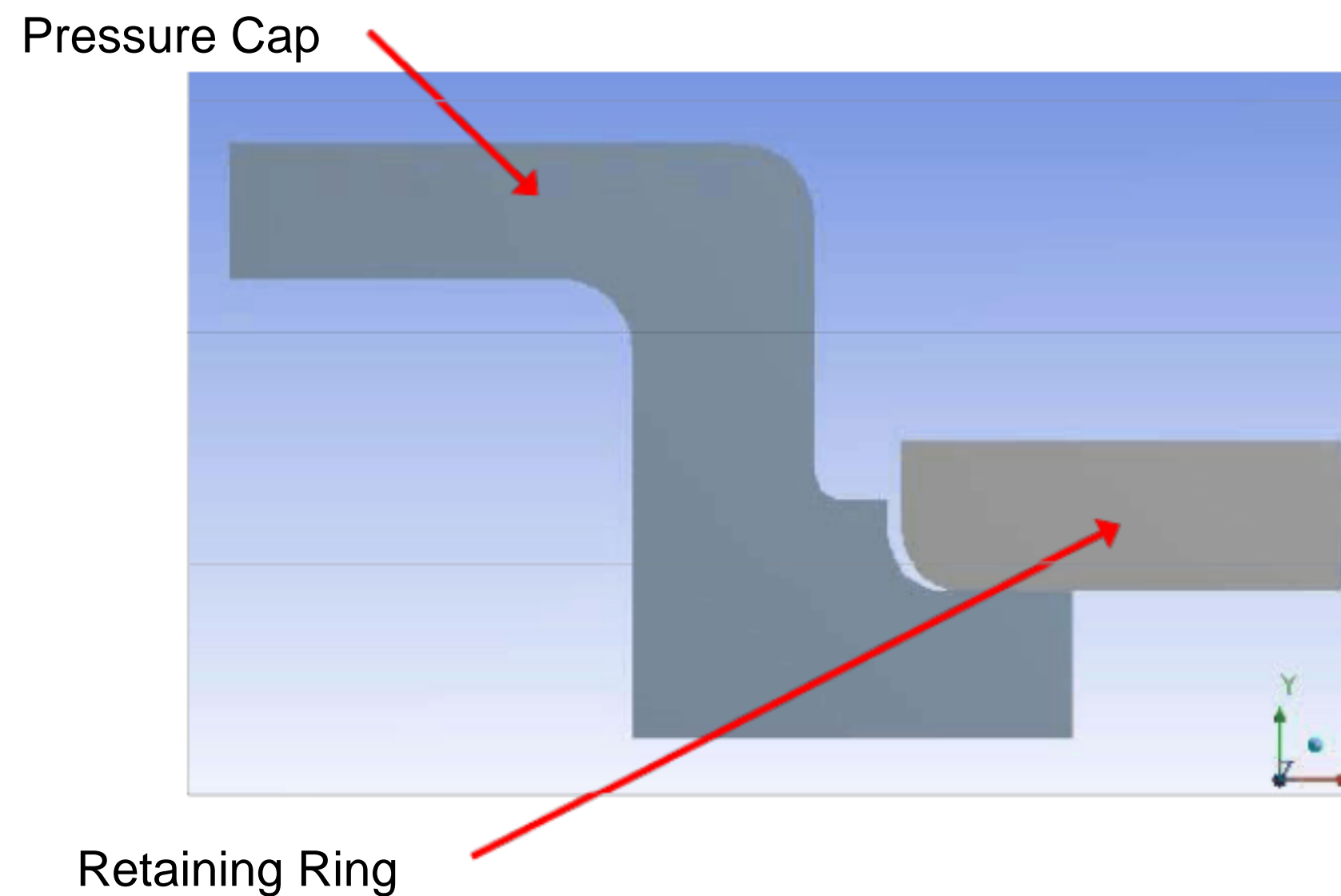
? 按二维轴对称模型求解（在下一页给出）。



整体模型

？ 二维轴对称模型描述：

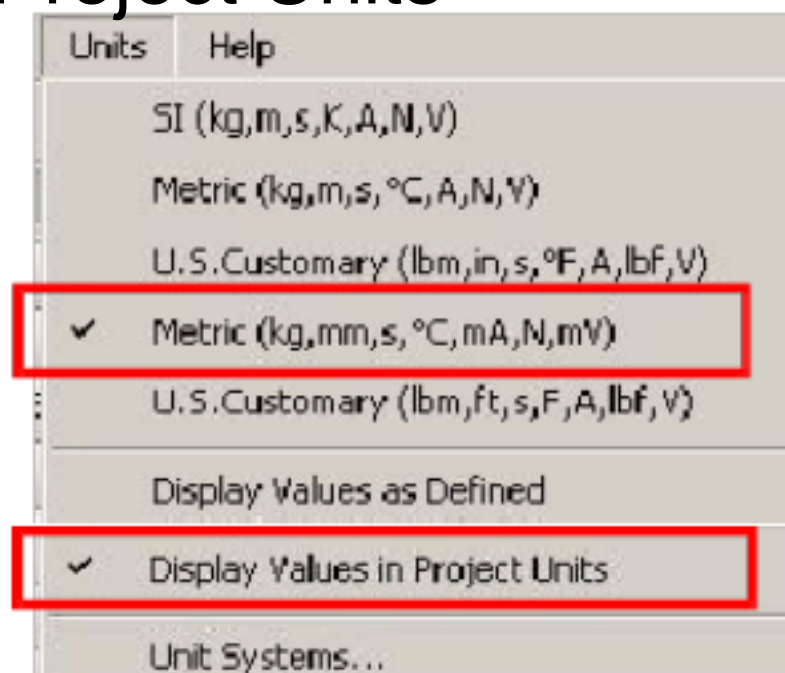
- ？ retaining ring 在它的装配孔处是固定的。
- ？ 部件之间的接触是光滑的。
- ？ pressure cap 的基座是用一个只能受压的支撑约束的。
  - 注：由于存在螺栓孔，故结构不是真正的轴对称。



? 打开 Project 页

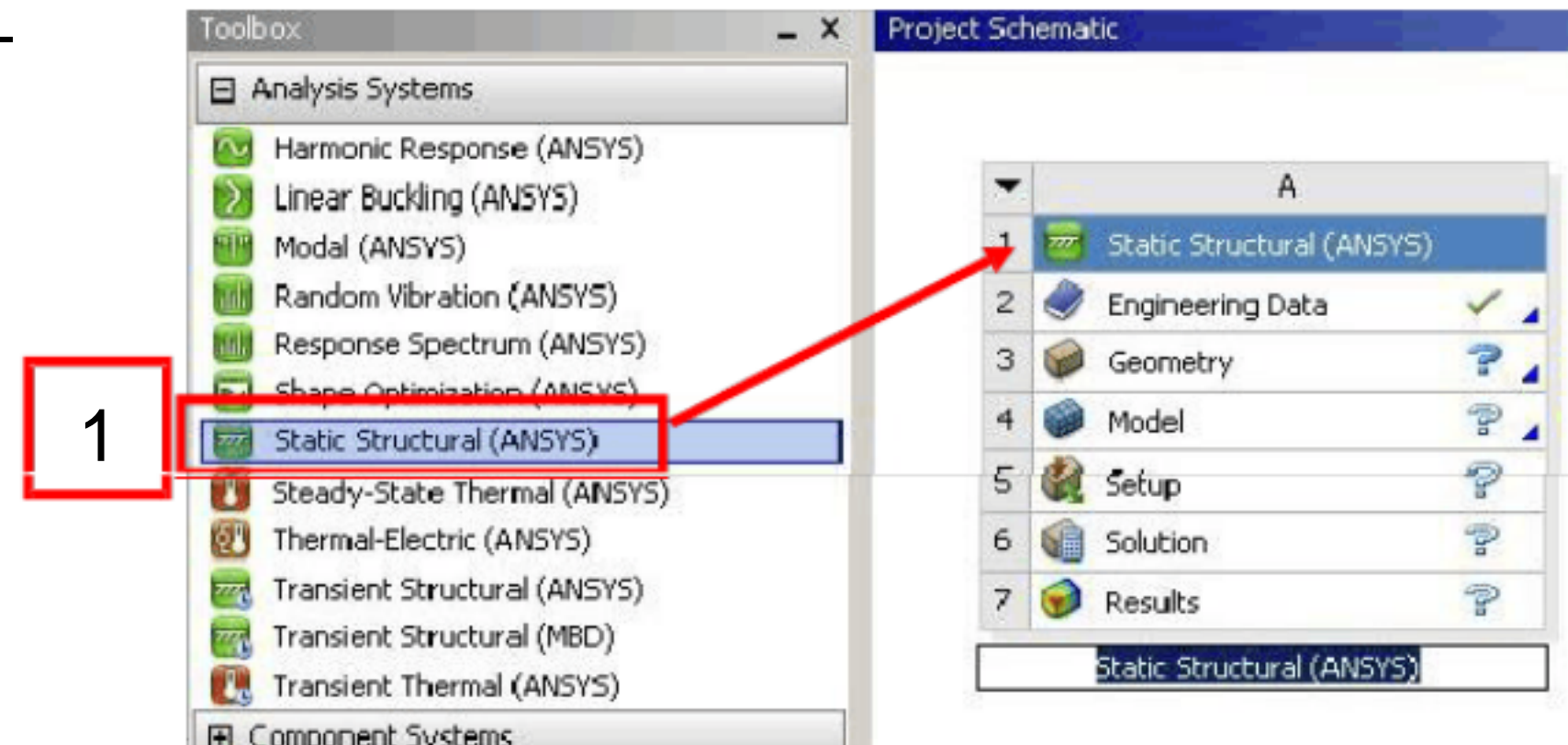
? 在 Units 菜单中确定：

- 项目单位设为 Metric (kg, mm, s, C, mA, mV).
- 选择 Display Values in Project Units

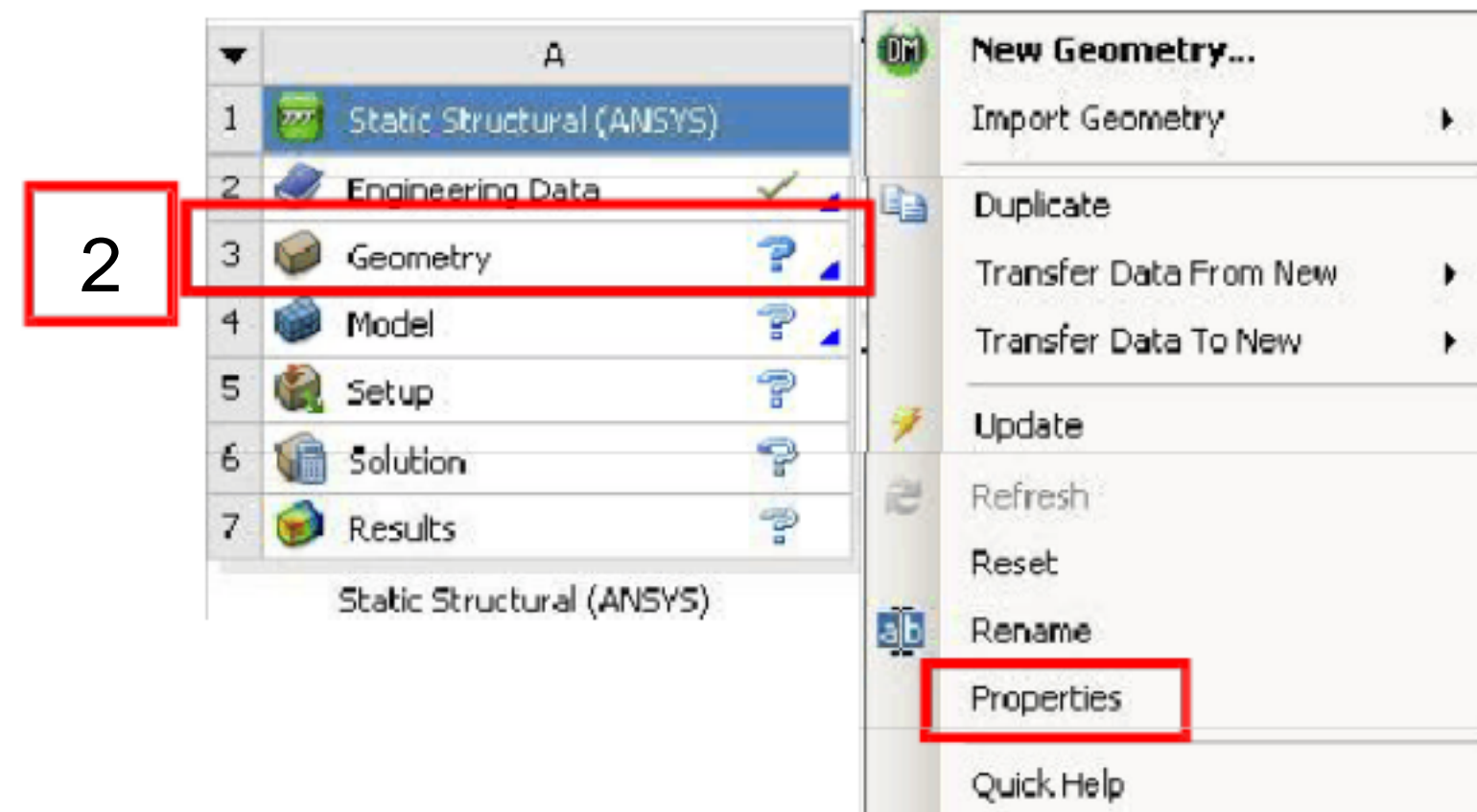




1. 双击 Static Structural 添加一个新的系统



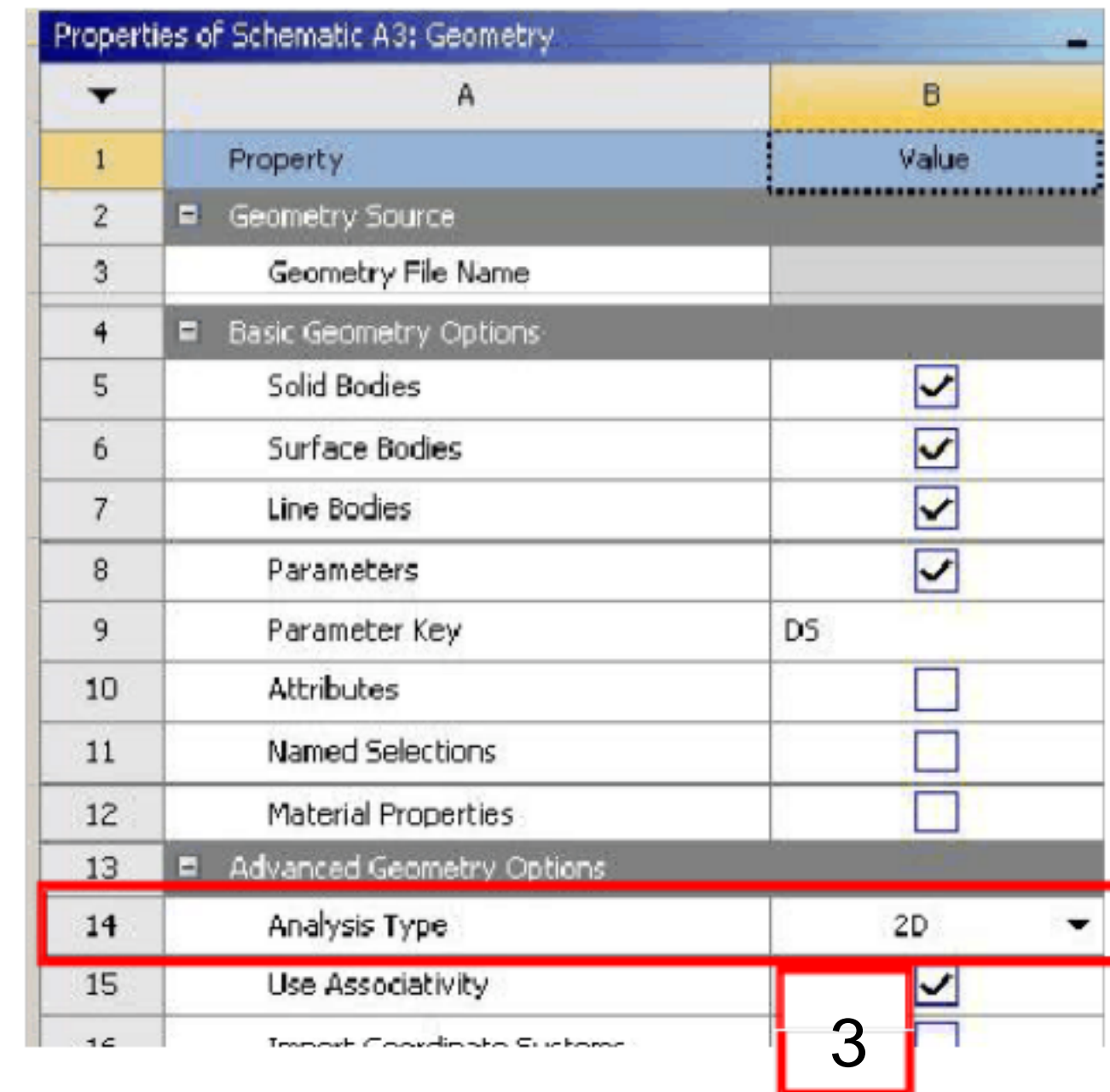
2. 在 Geometry 点击鼠标右键选择 Properties



## 3. 在 Analysis Type 中选择 2D

? 一旦设置好了，就可以关闭 properties 窗口

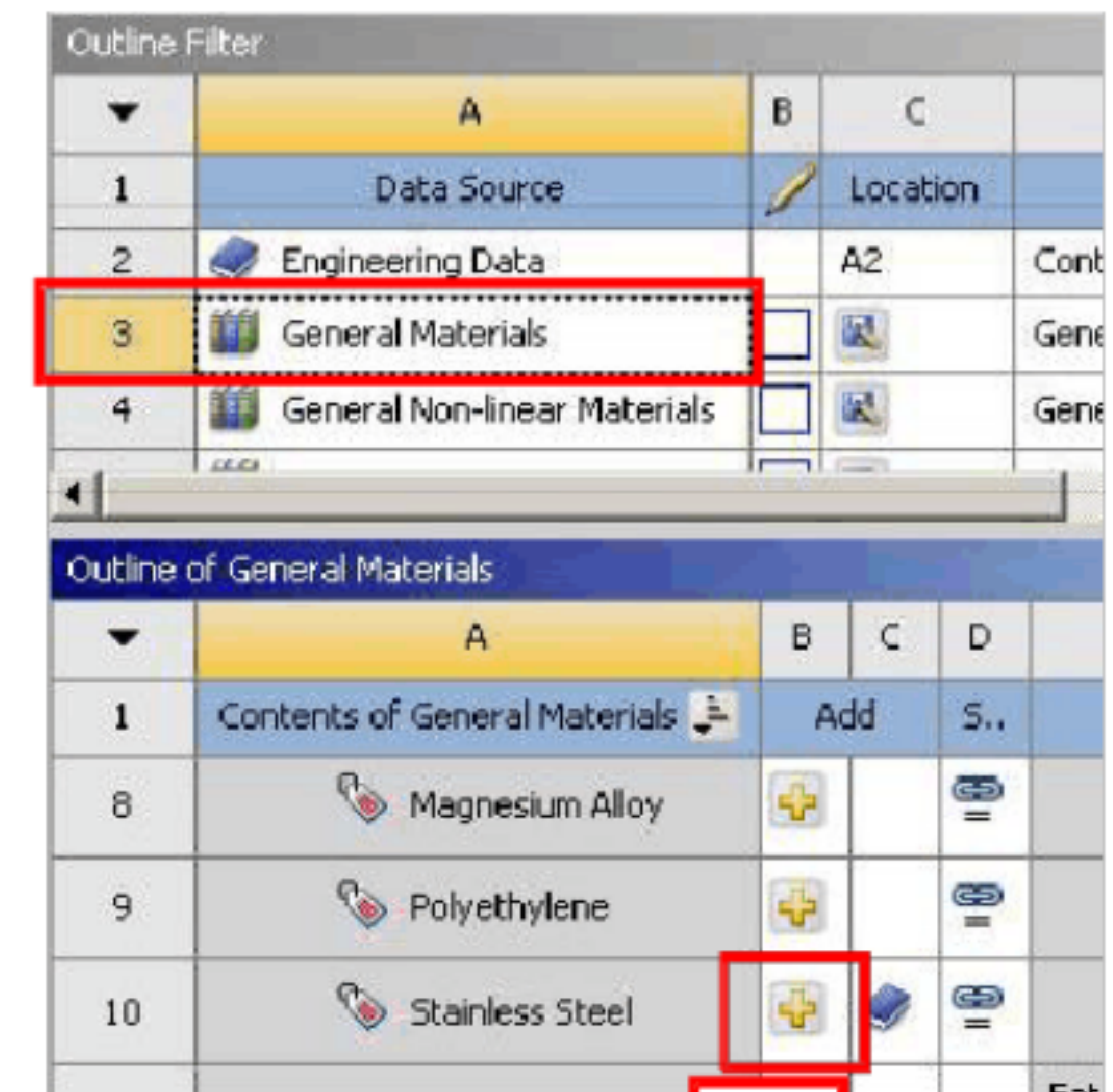
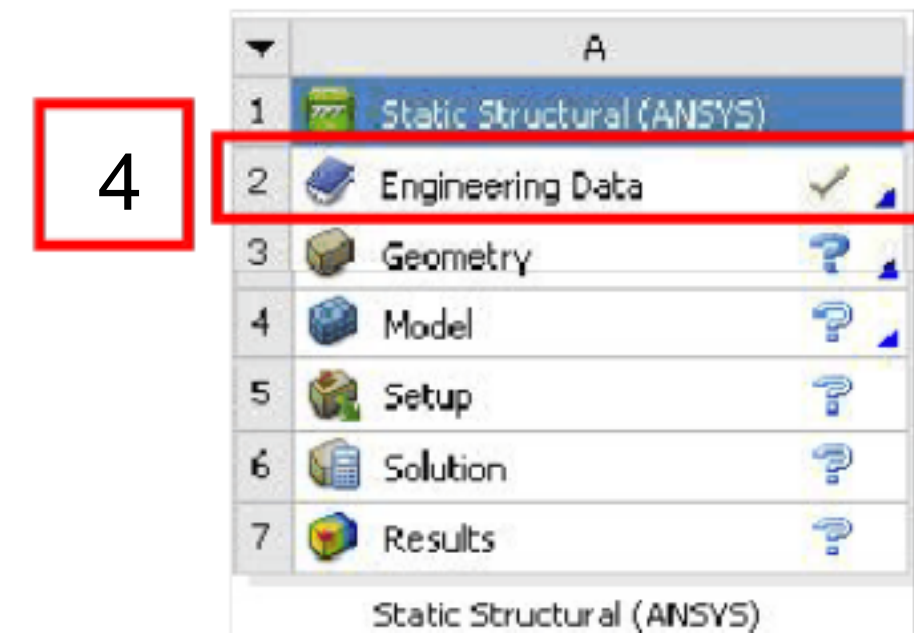
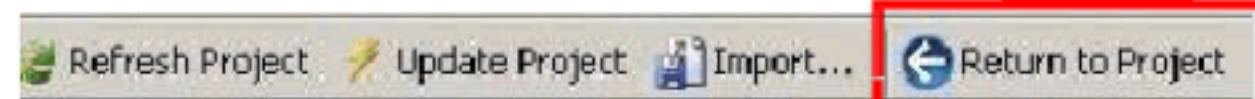
? 注意，这样的设置表示分析的不是三维整体模型而是一个对称截面。在导入几何模型之前就设置好是很重要的，因为在导入后就不能再改变设置。



4. 双击 Engineering Data 添加 material properties (材料特性)

5. 选中 General Materials 的同时点击结构钢 图标 ‘把材料添加到项目中。

6. 返回到 Project

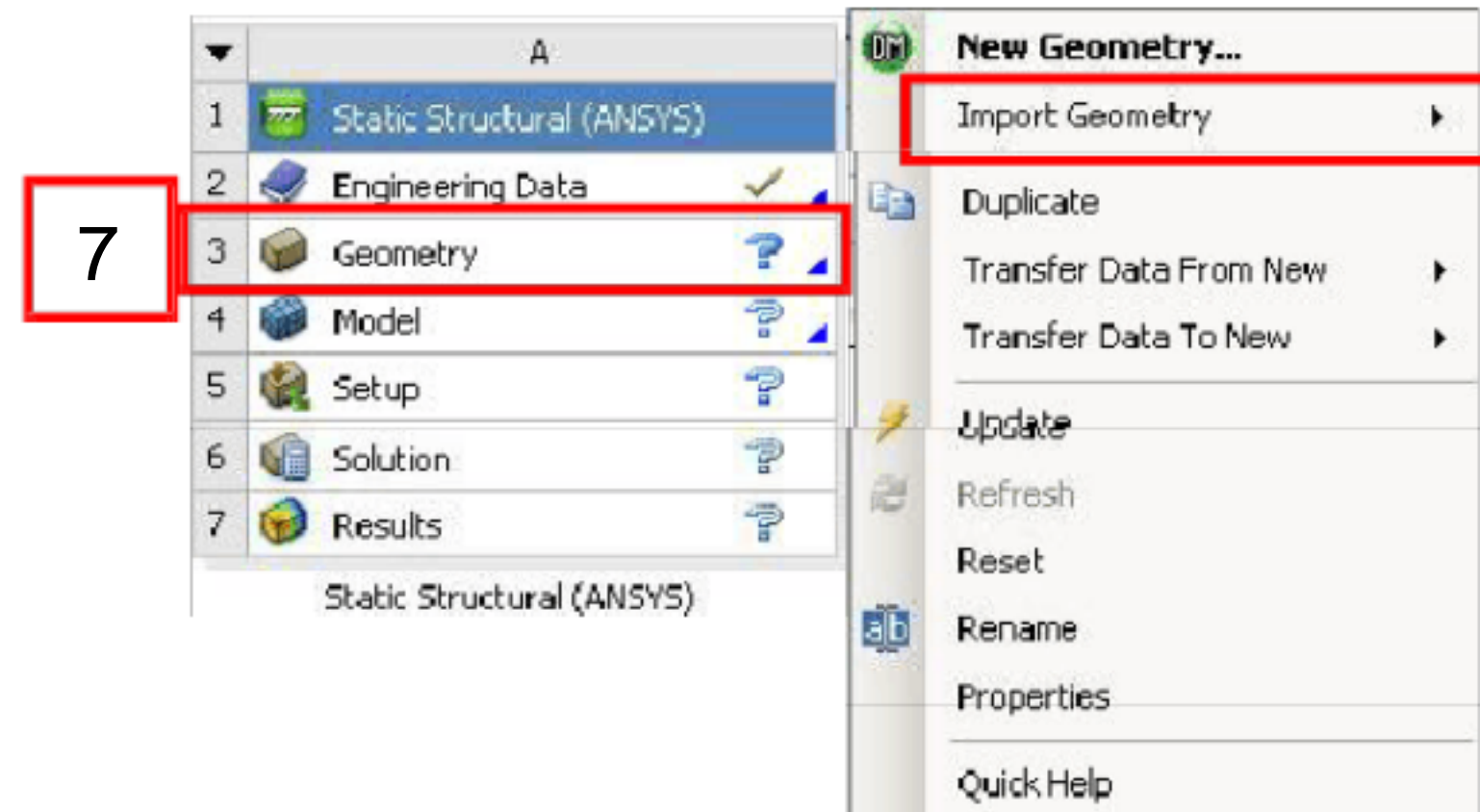




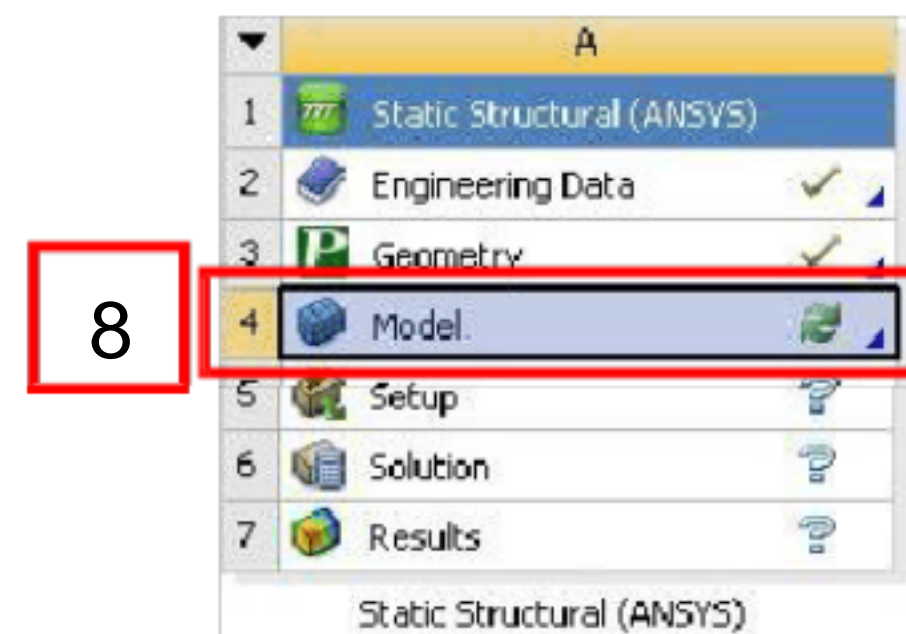
## 作业 4.2 – 几何模型建立步骤

7. 在 Geometry 上点击鼠标右键选择 Import Geometry , 导入文件:

Axisym\_pressure\_2D\_12.x\_t



8. 双击 Model 启动 Mechanical



9. 设置作业单位制系统：

? Units > Metric (mm, kg, N, s, mV, mA)

10. 改变部件特性为轴对称：

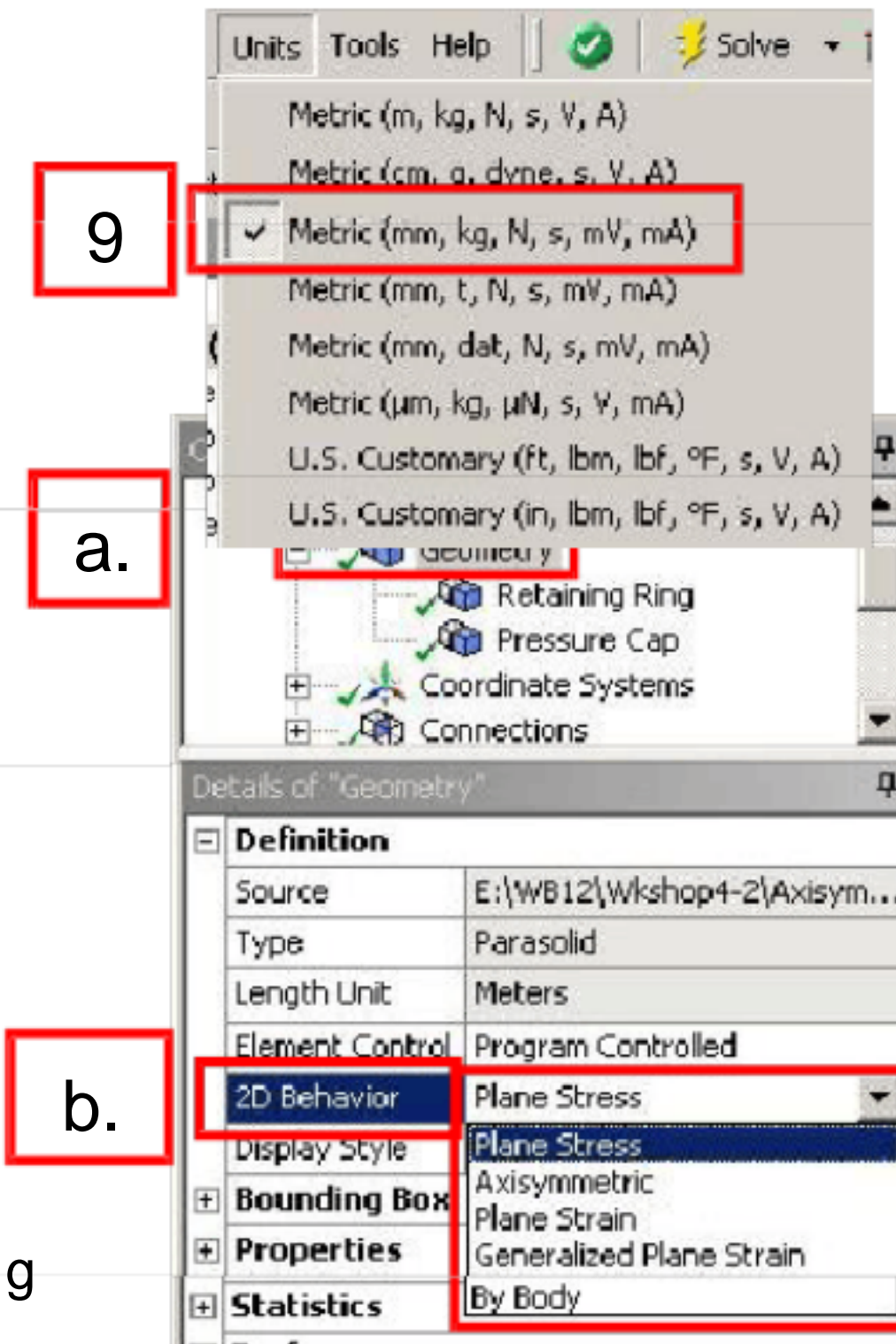
a. 选中 Geometry

b. 在 Details of Geometry 中把 2D Behavior 改为 Axisymmetric

? 部件重命名：

? Part1 : 点击鼠标右键选择 Rename , 重命名为 Retainin

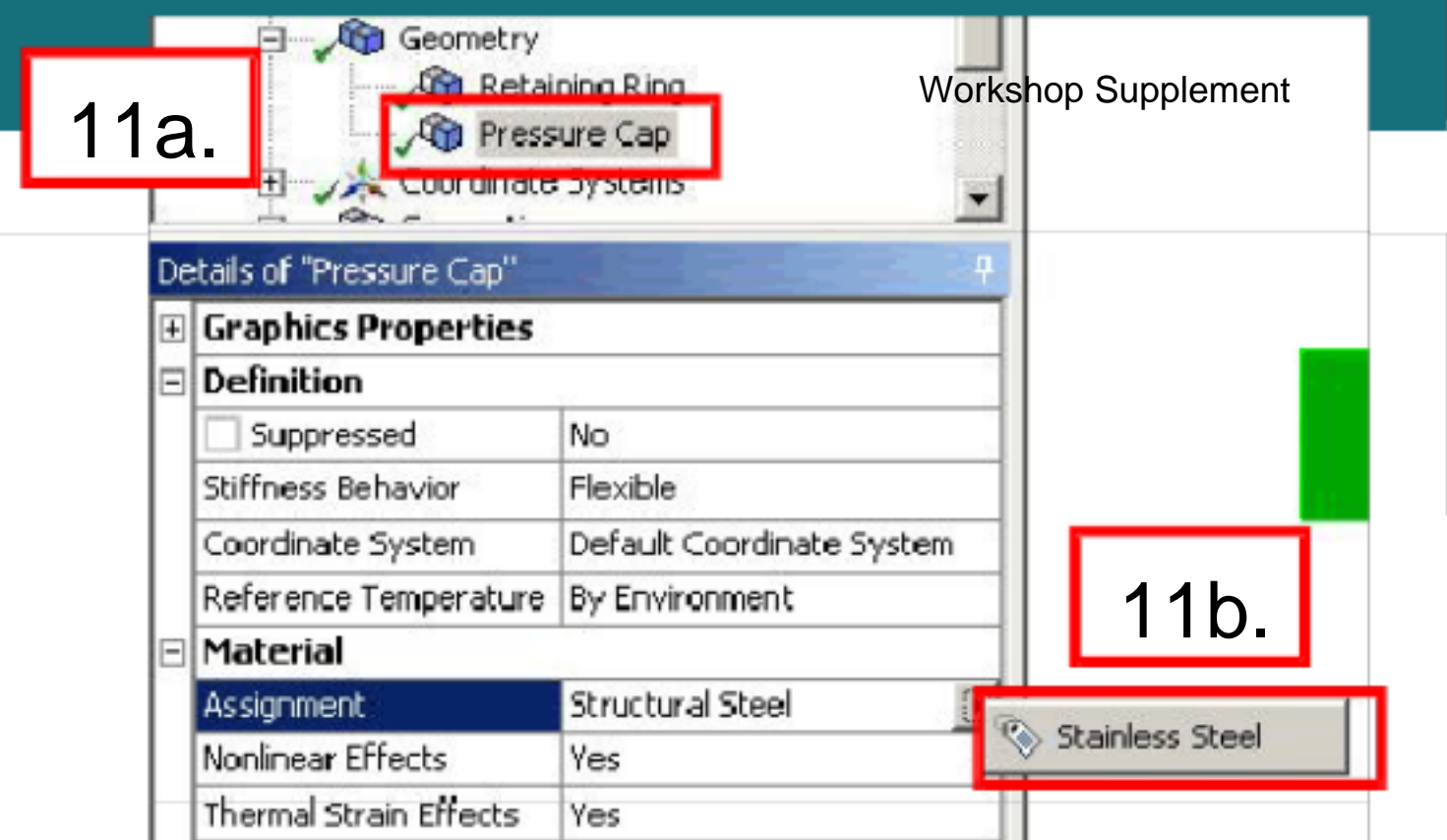
? Ring Part2 : 点击鼠标右键选择 Rename , 重命名为 Pressure Cap



## WS4.2: 2D Structural Analysis

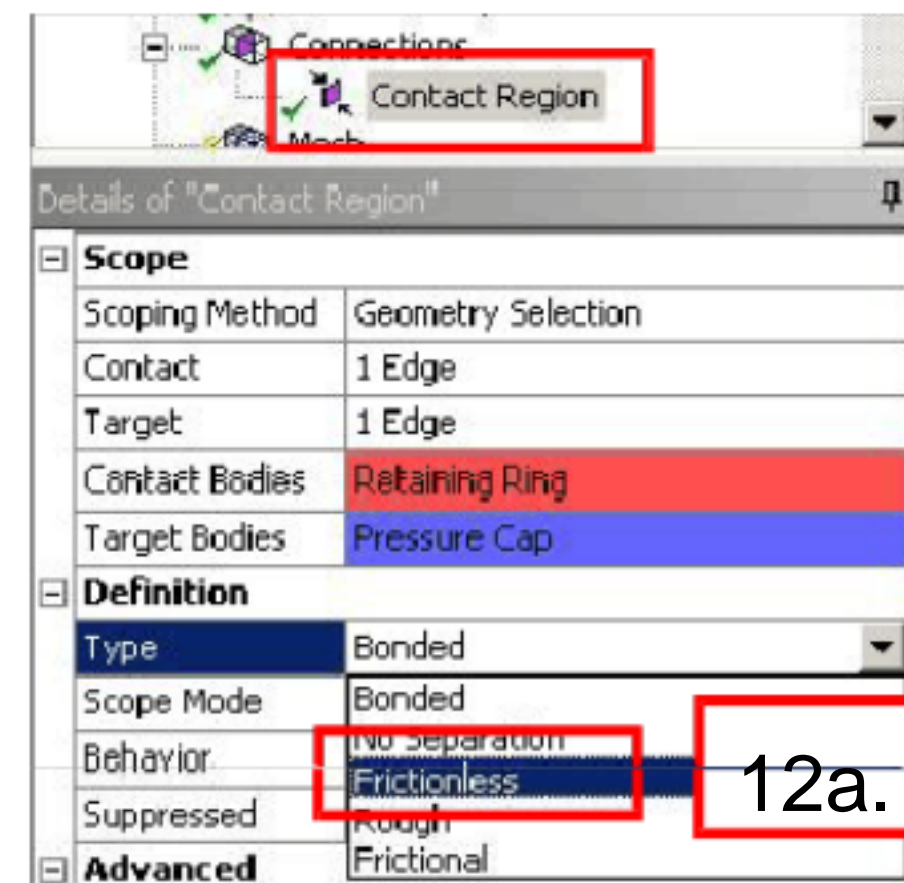
11. 改变 Pressure Cap 的材料：  
... 作业 4.2 - 前处理

8. 选择 Pressure Cap 在 Details of Pressure Cap 中选择 Material , 把 Assignment 设为 Stainless Steel “



## 12. 修改接触行为：

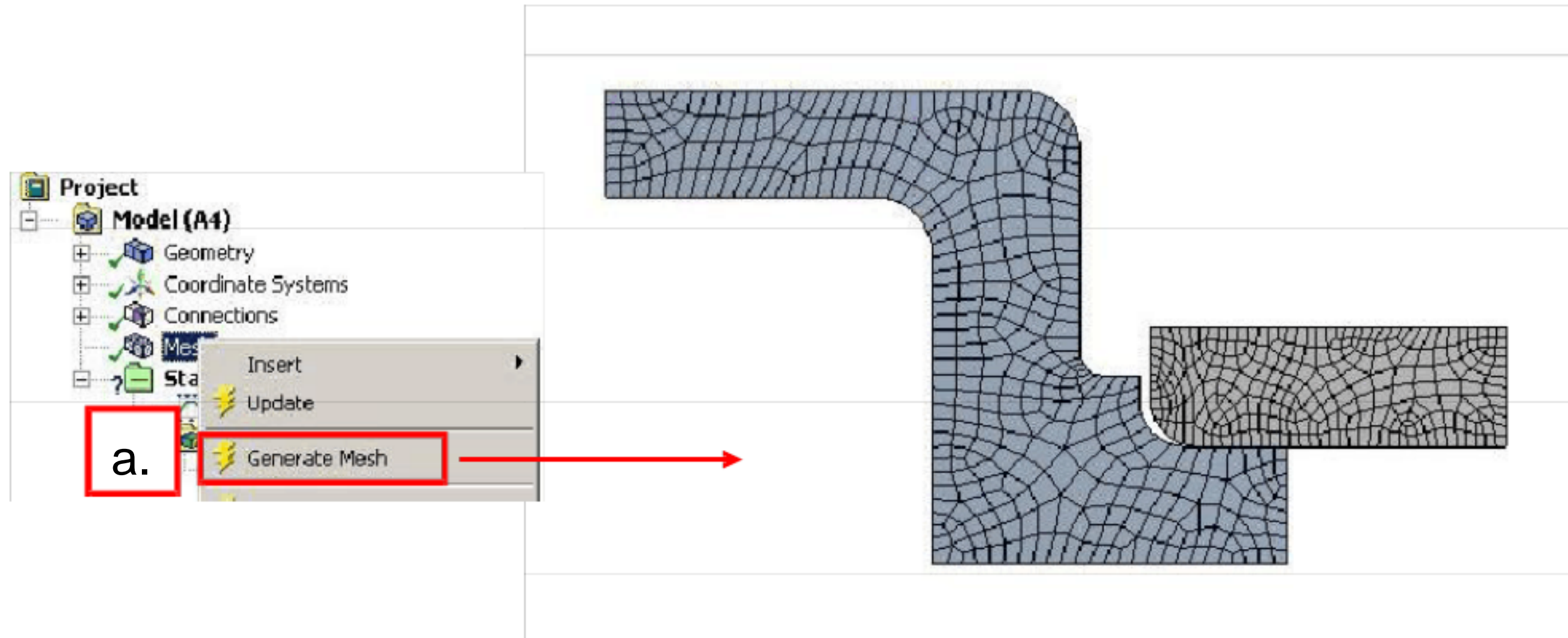
- a. 在 Details of Contact Region 中，把 Type 设为 Frictionless





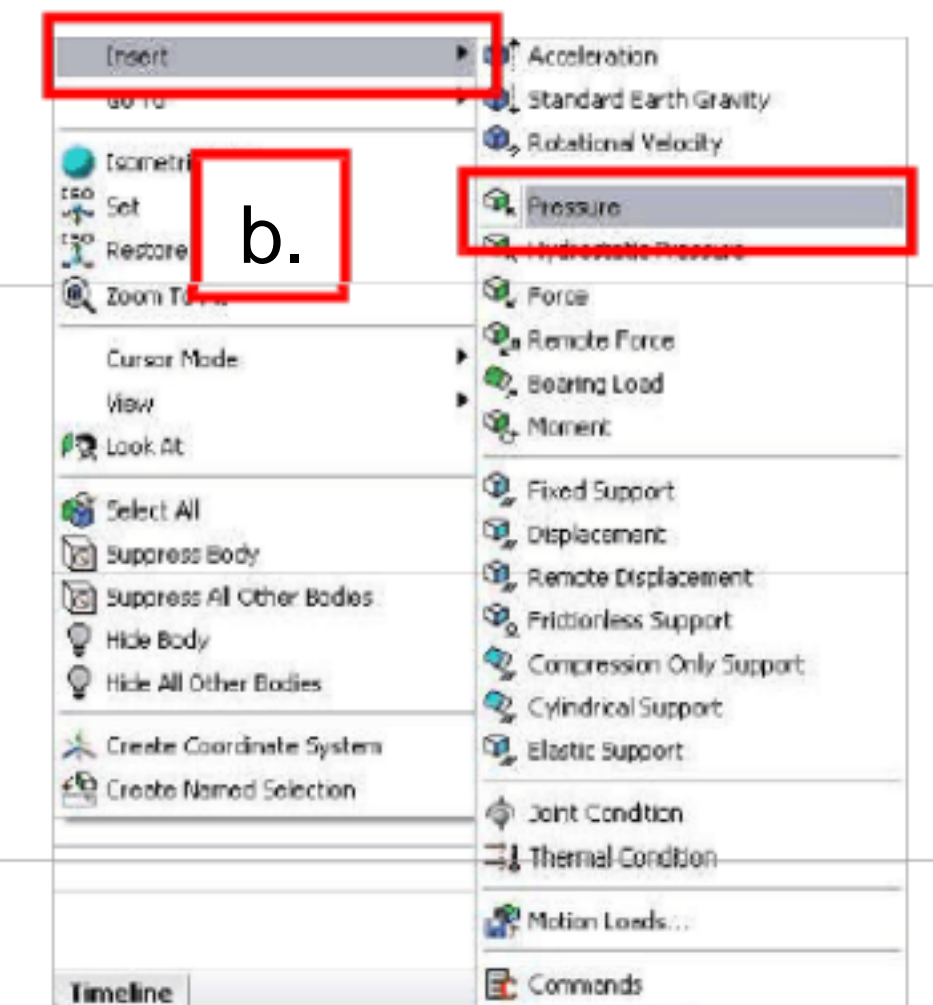
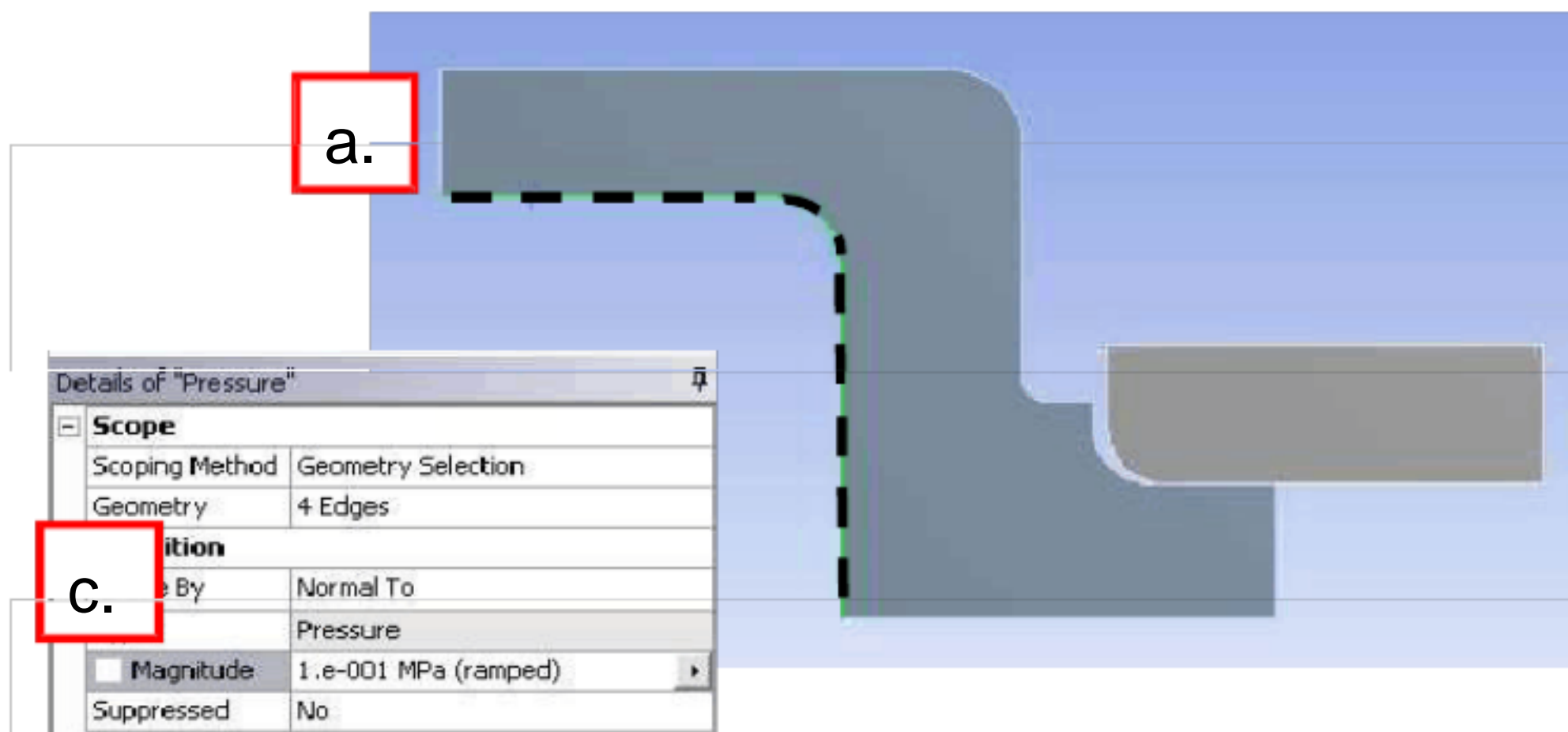
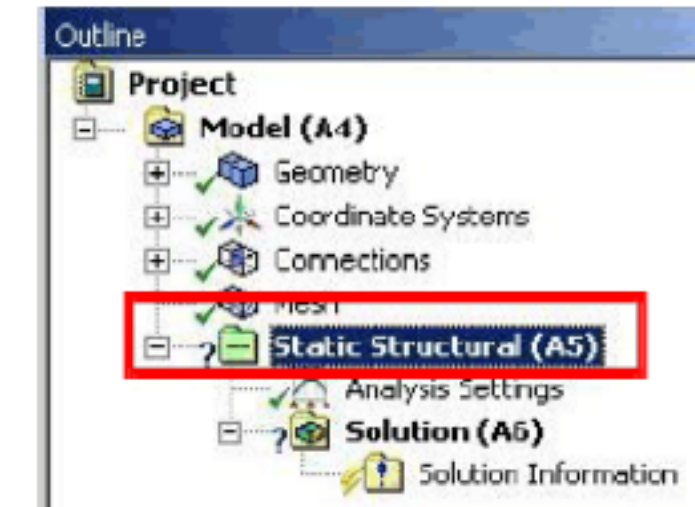
13. 执行网格划分：

a. 在 Mesh 点击鼠标右键选择 Generate Mesh



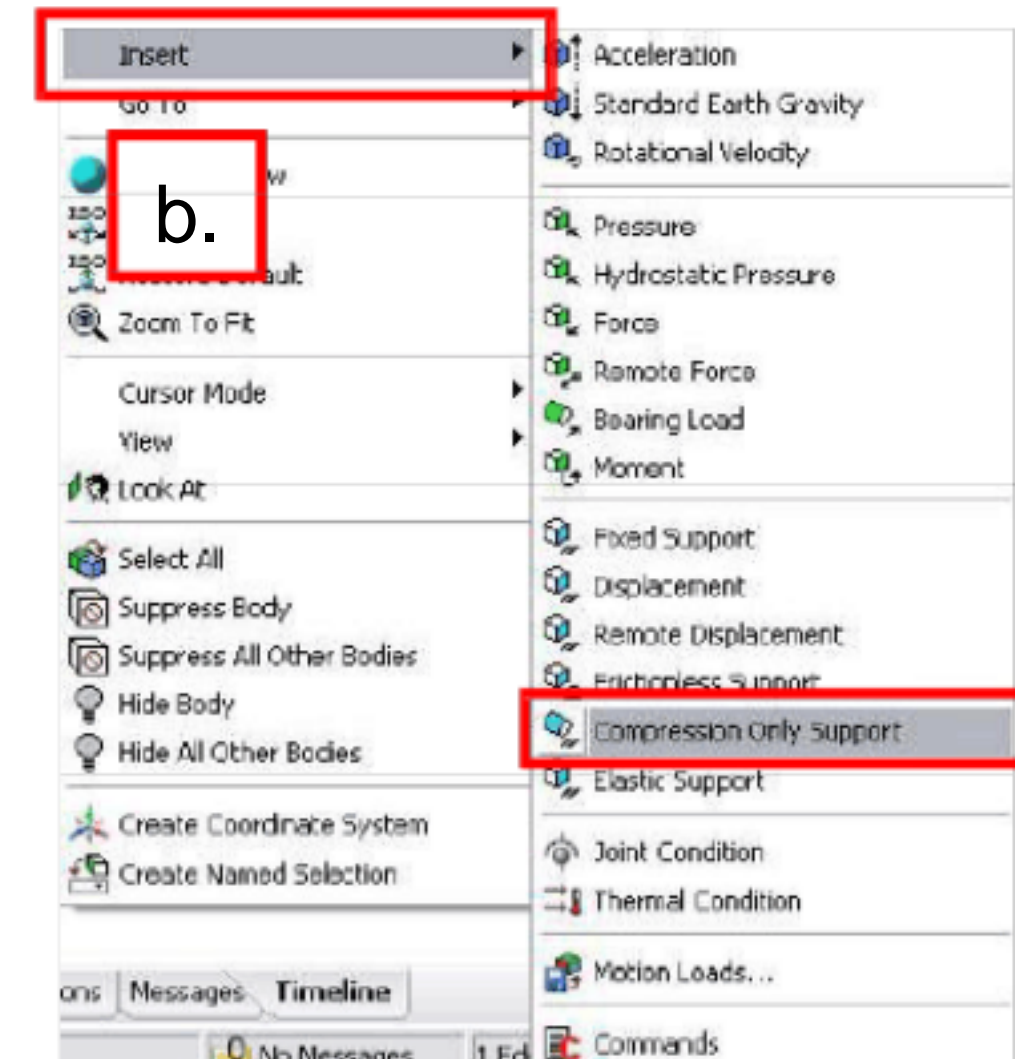
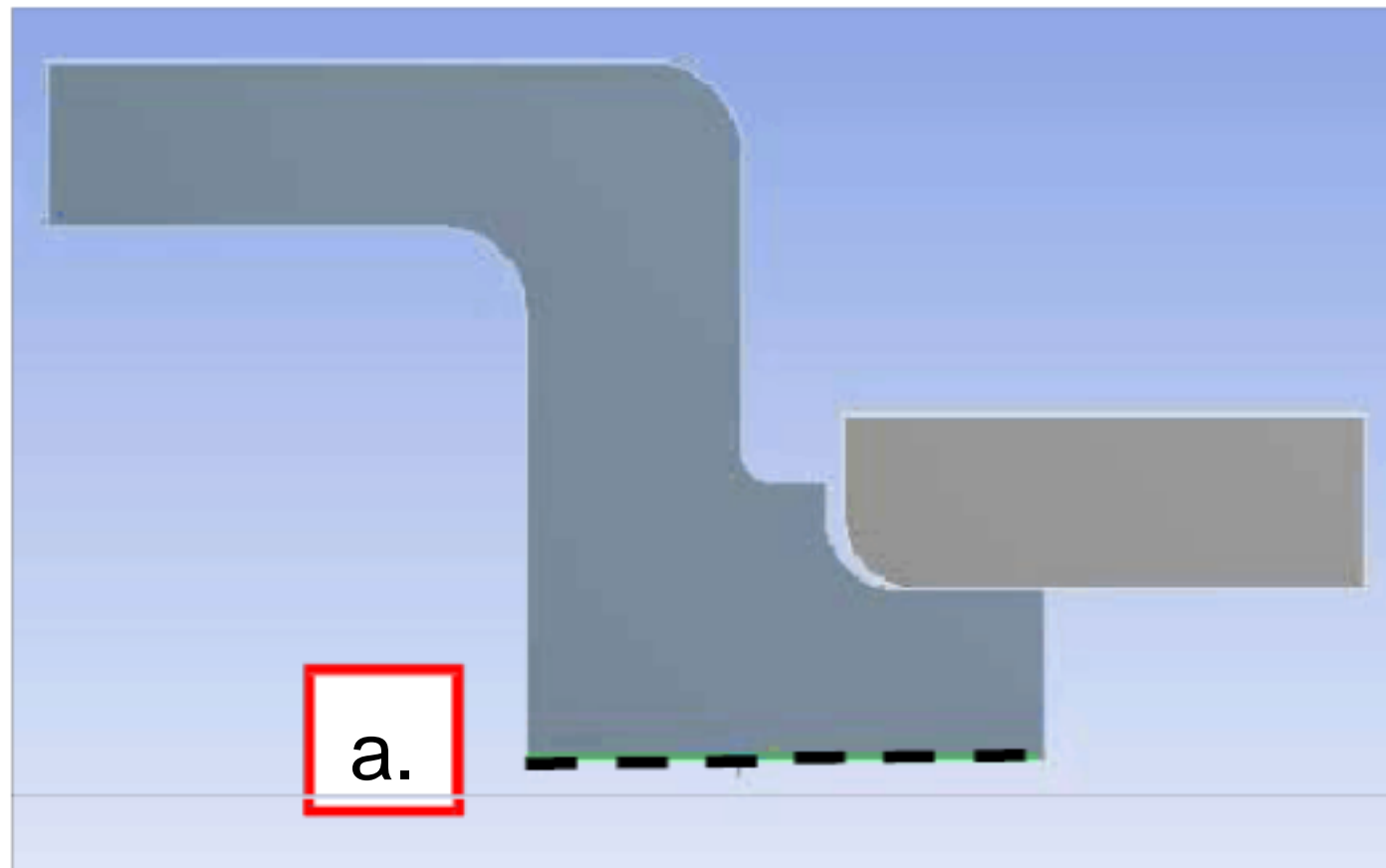
14. 给模型施加载荷（确定选中 Static Structural ）：

- 选择 Pressure Cap 的 4 个内边（如黑色虚线所示）。  
提示：选择其中一个边，在使用 “extend limits”
- RMB（点击鼠标右键选择）> Insert > Pressure
- 这是压力值为 0.1 MPa.



15. 给模型施加约束：

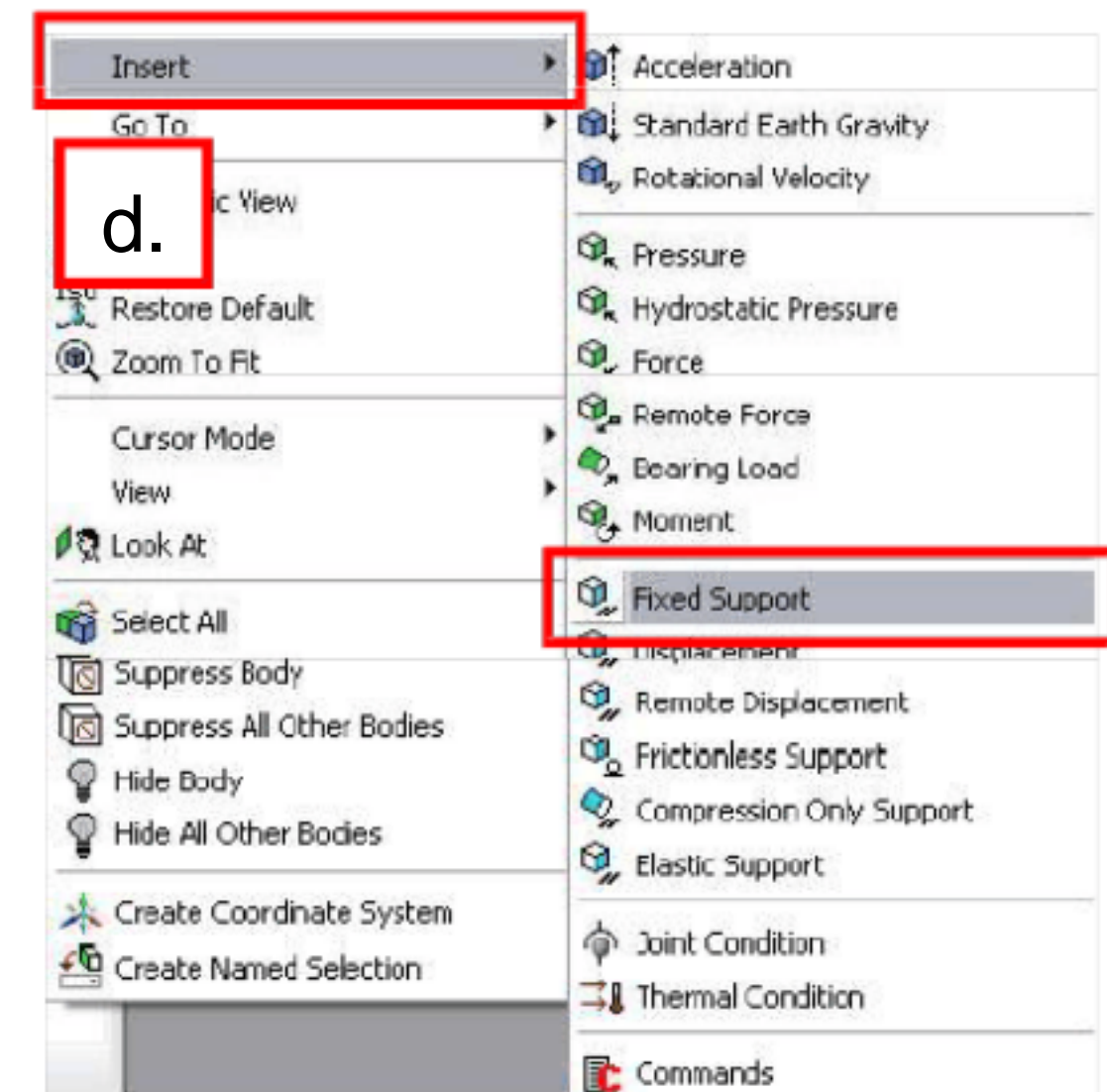
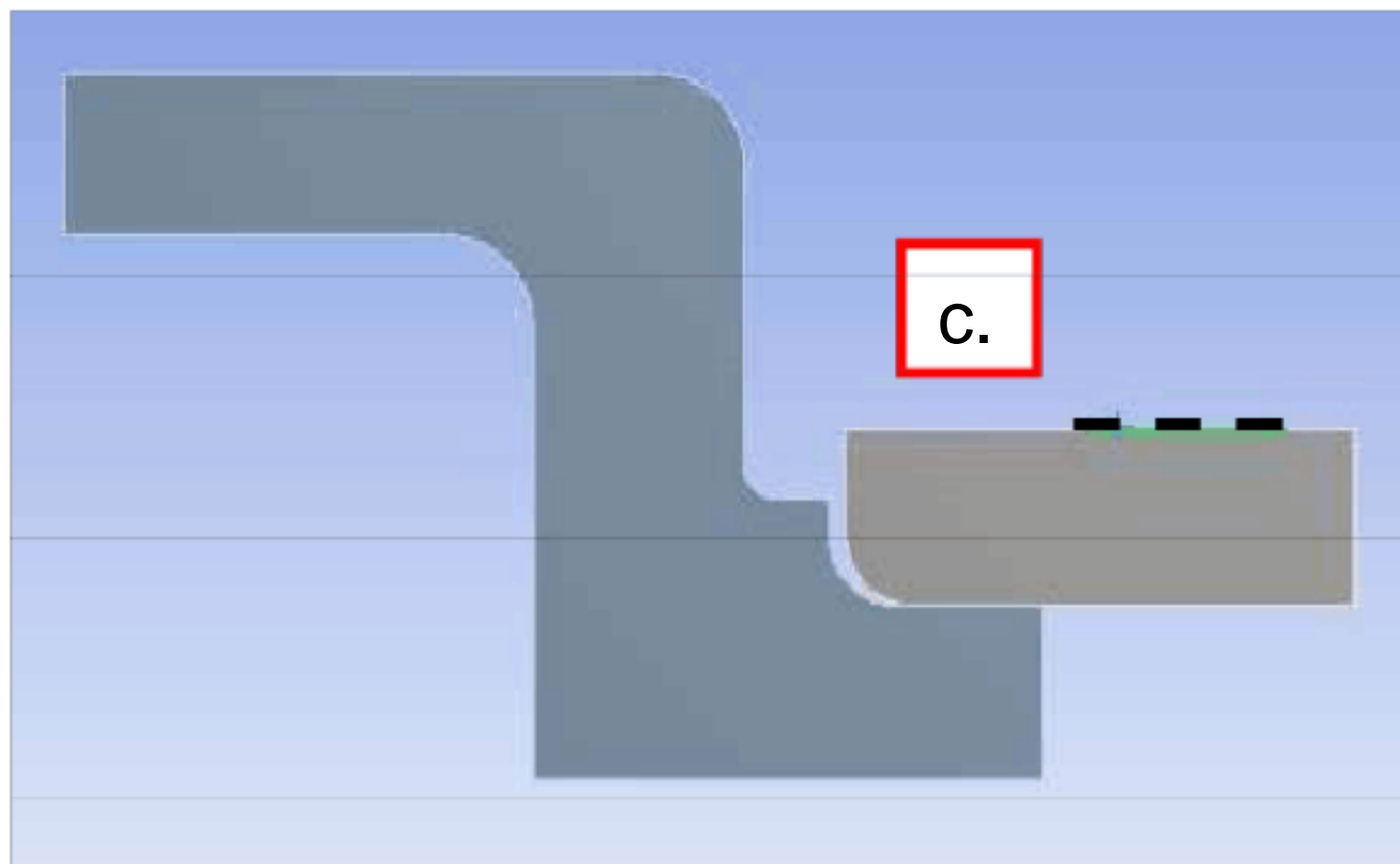
- a. 选中 pressure cap 的底边（如图中所示黑色虚线）
- b. RMB（点击鼠标右键选择） > Insert > Compression Only Support





- c. 选择 retaining ring 上部的中线（如图所示黑色虚线）
- d. RMB（点击鼠标右键选择） > Insert > Fixed Support

？ 注：记住，这里的轴对称假设是指 retaining ring 是一个连续实体。实际上在它的环面上存在螺孔。因此，当模型在里生成时，就有意的生成了一条独立的线来添加约束。



### 作业 4.2 – 求解

#### ? 求解模型

##### ? 轴对称性：

? 注意模型处在 X 正半轴空间内，且 Y 轴是它的旋转轴。此即轴对称性。

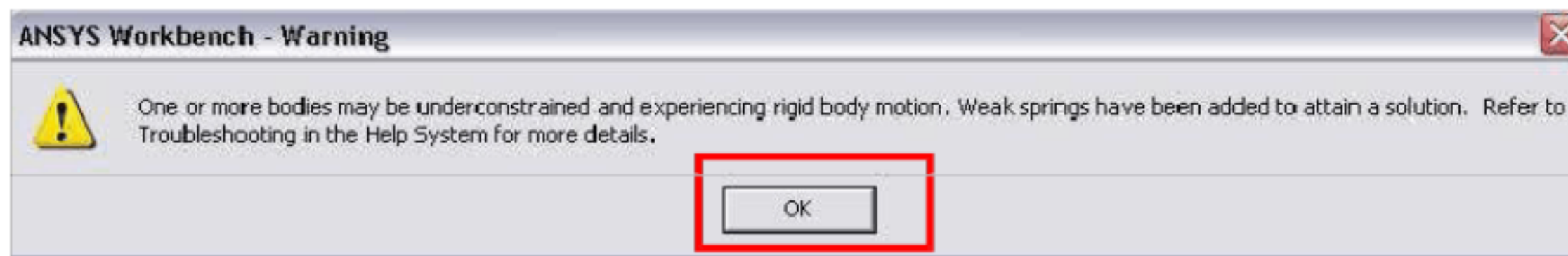
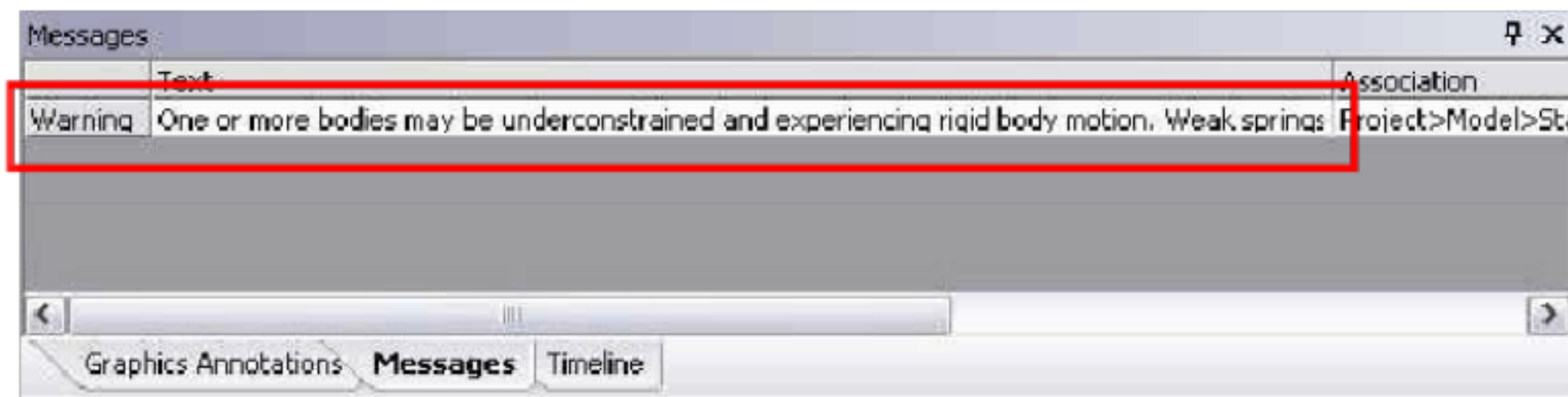
? 轴对称性假设模型是一个完全 360 度模型 因此 在 X 方向上没有限制 在 X 正半轴上的压力假设是和 X 负半轴相同的压力相同。

#### ? 查看警告和错误信息：

a. 在图形窗口的底部的 Messages 中给出了错误和警告信息。

b. 在 message 上双击查看。点击 OK 关闭警告窗。

? 提示：由于是用光滑接触和只受压的支撑来约束 pressure cap 的，因此使用 weak springs 来阻止发生刚体运动。



? 在 Solution 中插入结果：

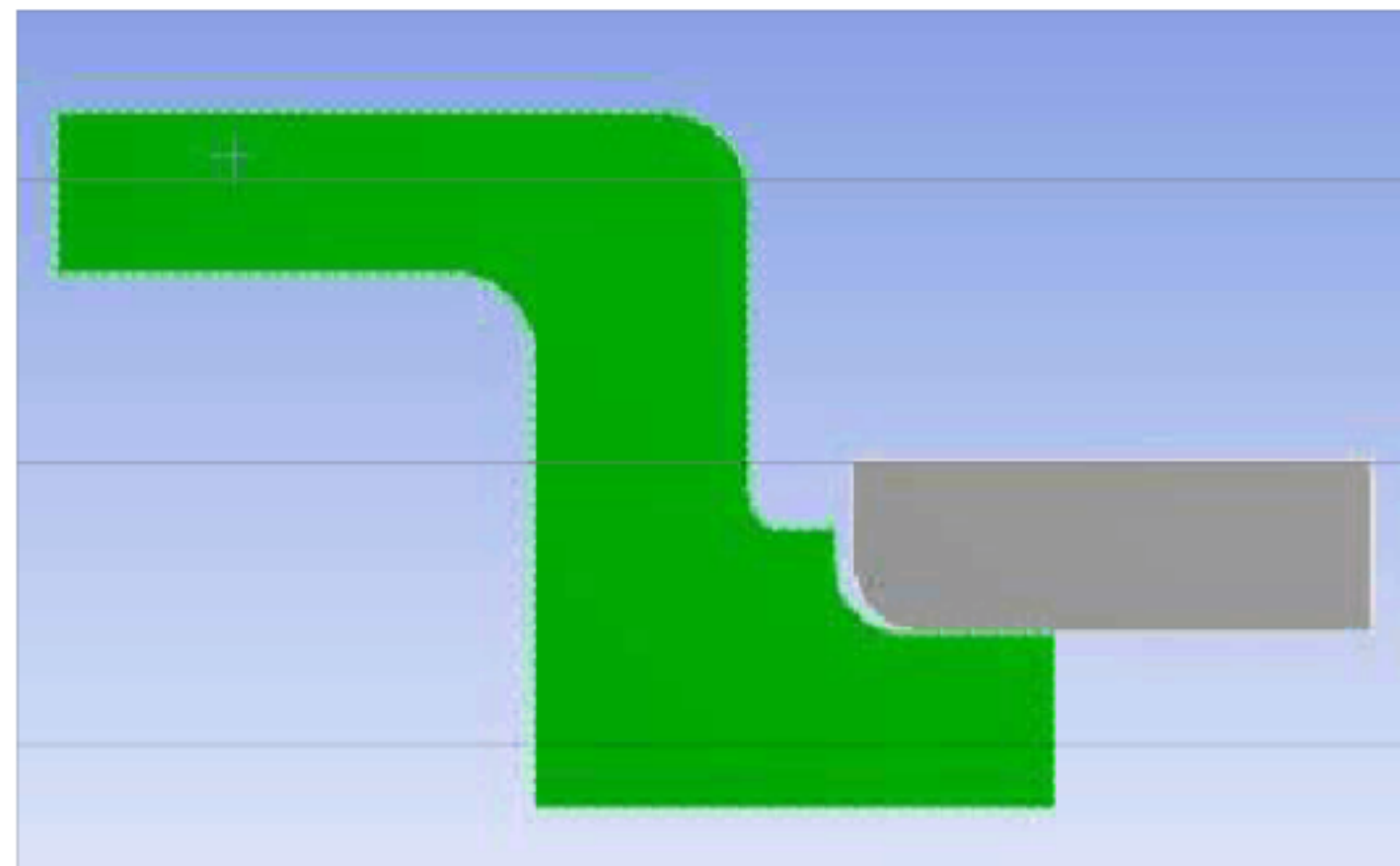
? 选中 Solution ，点击鼠标右键选择 Stress > Equivalent (von-Mises)

? 选中 Solution branch ，点击鼠标右键选择 Insert> Deformation > Total

? 选择实体选择模式，选择 pressure cap ，重复步骤 a. 和 b.

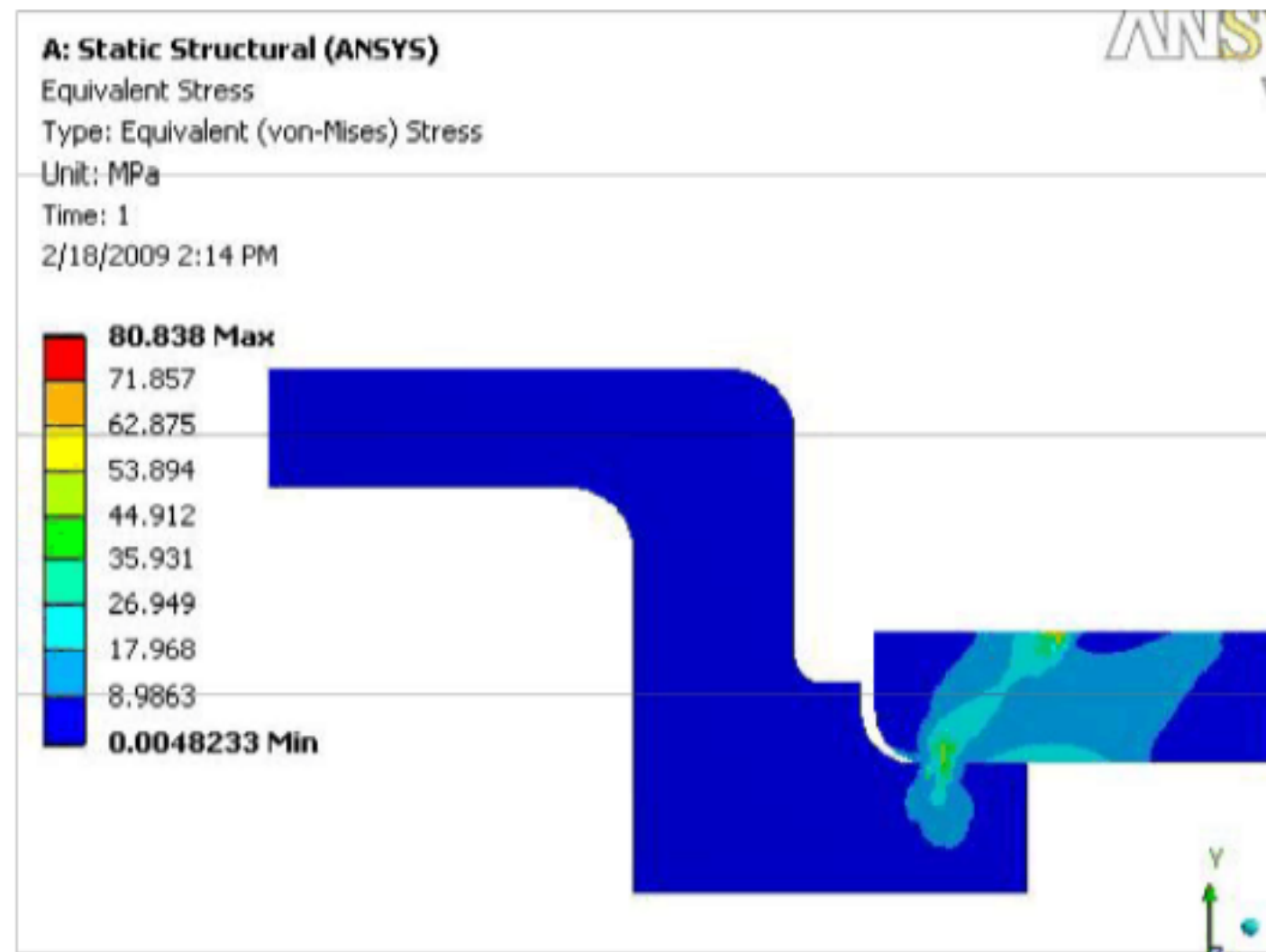
? 提示：现在在 pressure cap 上已经添加了查看刚才选择两个结果。这允许分开查看它的响应。

? 求解

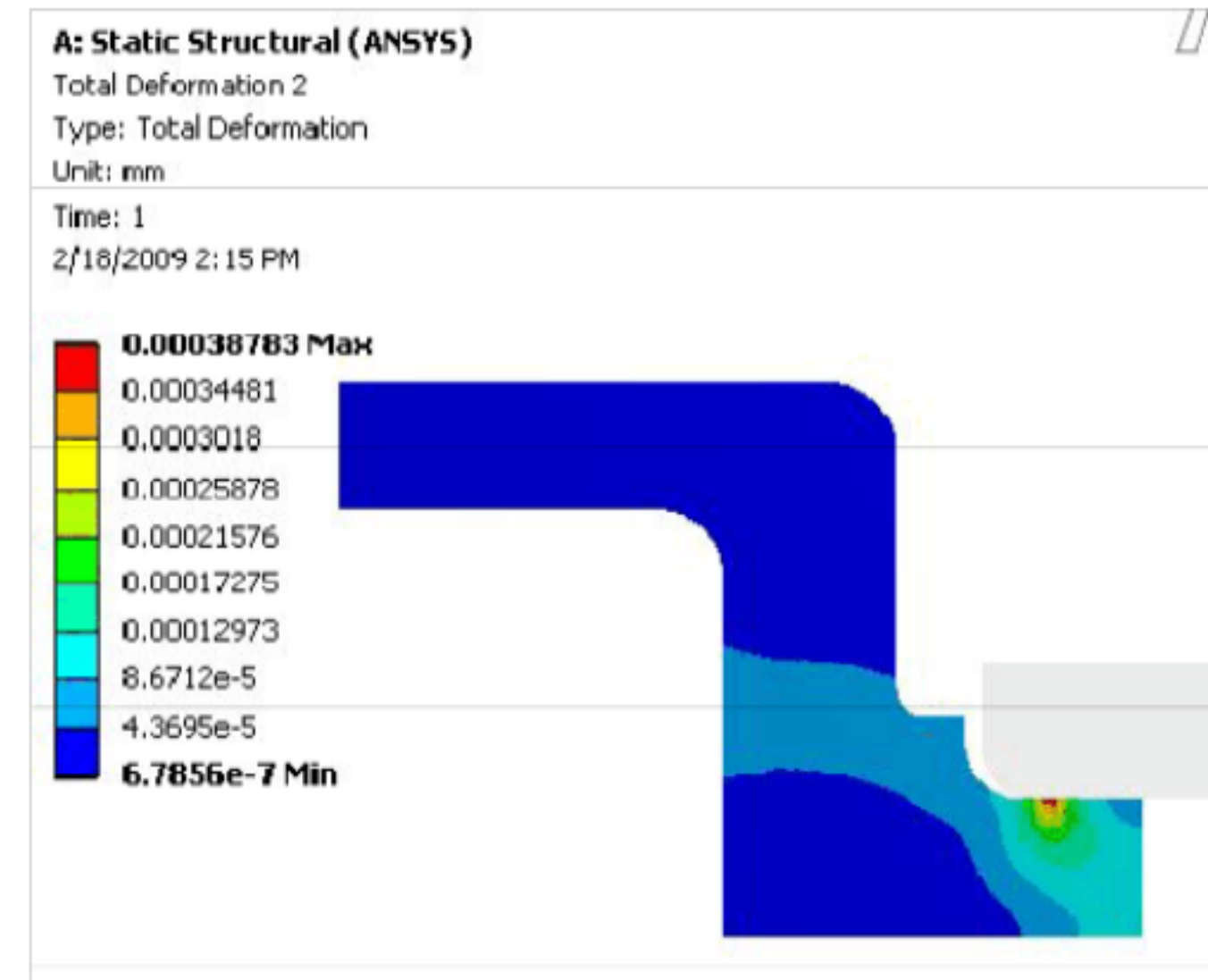




？ 选中查看每个结果对象



所有实体上的等效应力



Pressure Cap 的整体变形

通过选中 Solution Information 查看求解时间：

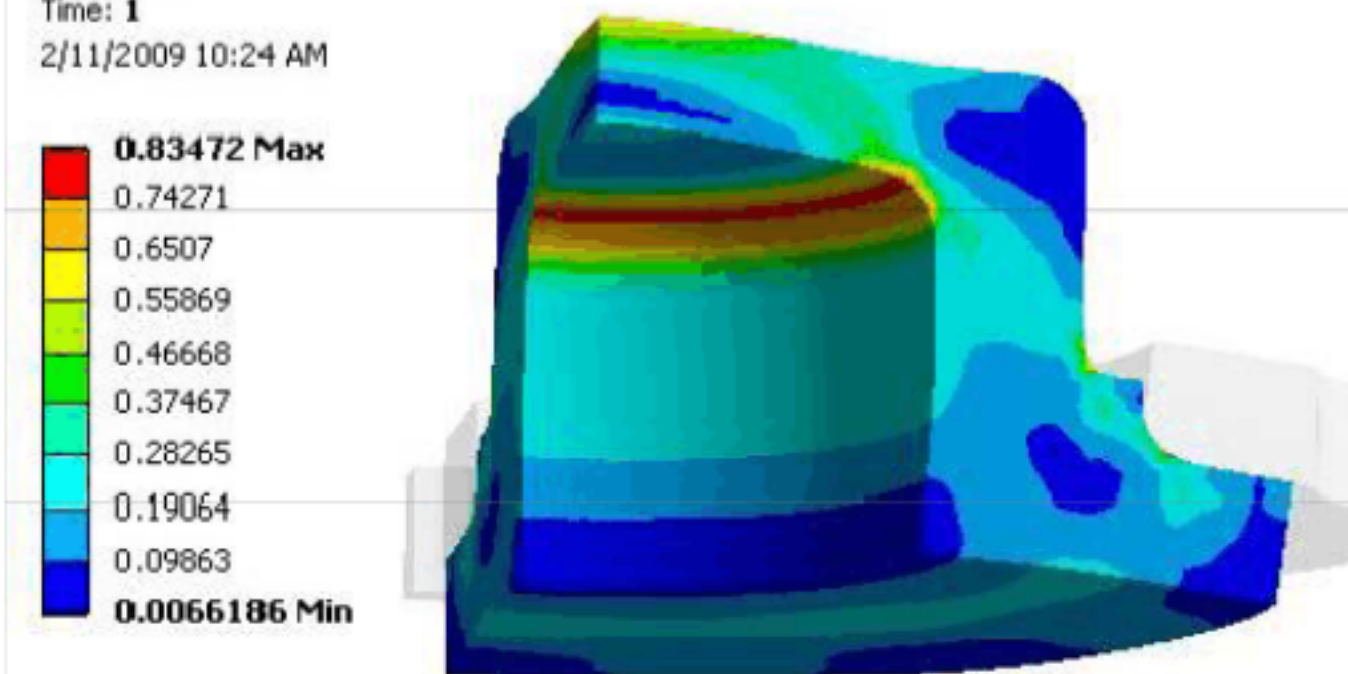
- 图形窗口将变成工作表查看。移到求解信息的底部并注意 Elapsed Time （运行时间）（随机器而改变）。

? 注，CP 时间给出的是整个过程的时间。在 multiprocessor machines 中常会超过运行时间。

|                             |            |                |            |
|-----------------------------|------------|----------------|------------|
| ANSYS RUN COMPLETED         |            |                |            |
| Release 12.0.1              | UP20090205 | WINDOWS x64    |            |
| Maximum Scratch Memory Used | =          | 10720024 Words | 40.894 MB  |
| CP Time (sec) =             | 4.891      | Time =         | 09:05:57   |
| Elapsed Time (sec) =        | 9.000      | Date =         | 02/11/2009 |

？ 对比三维对称模型网格划分的运行时间：

– 2D Elapsed Time = 9.0 seconds.  
– 3D Elapsed Time = 41.0 seconds.



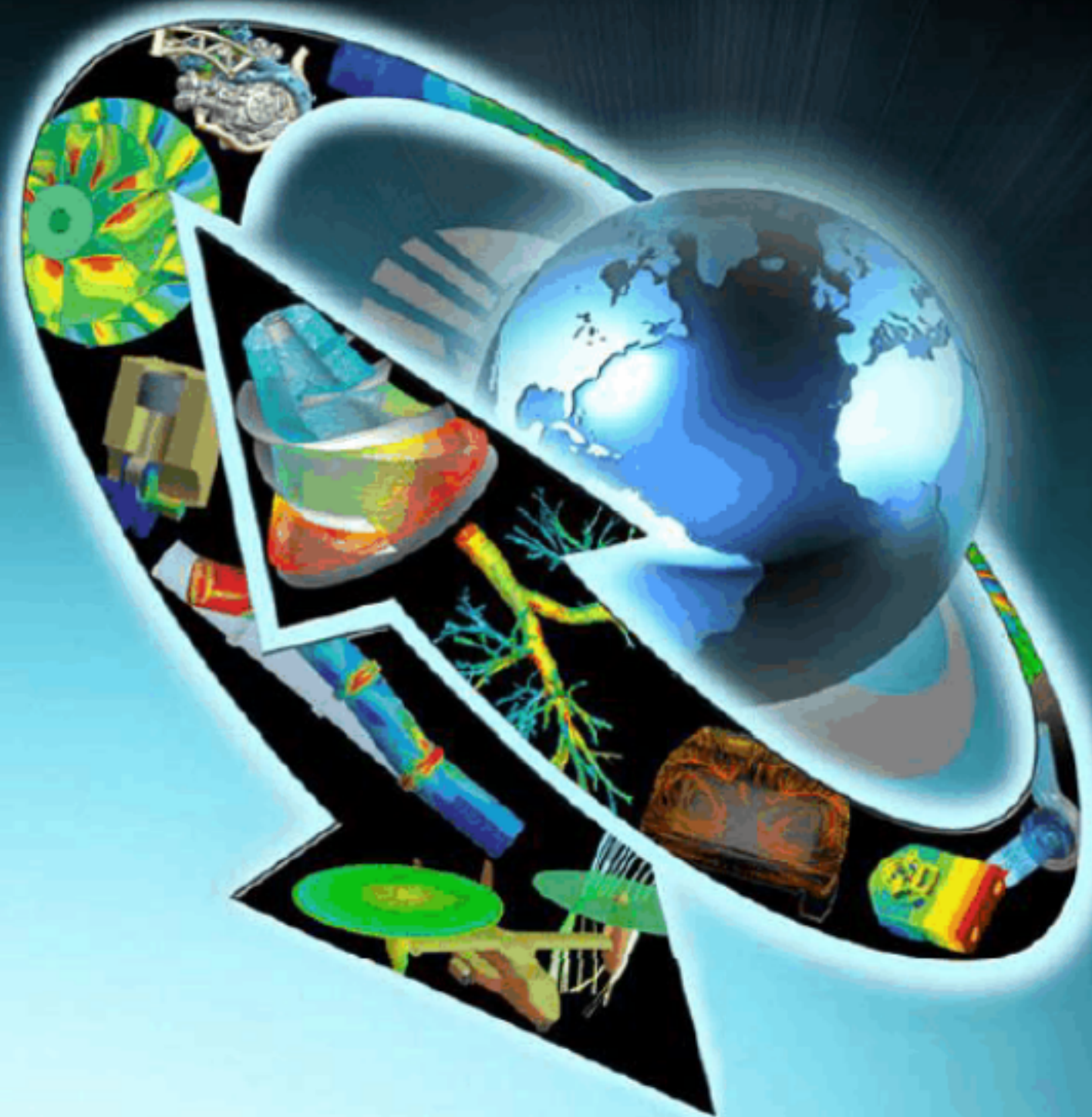
|                             |            |                |                   |
|-----------------------------|------------|----------------|-------------------|
| ANSYS RUN COMPLETED         |            |                |                   |
| Release 12.0.1              | UP20090205 | WINDOWS x64    |                   |
| Maximum Scratch Memory Used | =          | 15610384 Words | 59.549 MB         |
| CP Time (sec)               | =          | 75.094         | Time = 10:21:44   |
| Elapsed Time (sec)          | =          | 41.000         | Date = 02/11/2009 |





## Workbench - Mechanical Introduction

### 第五章 模 态分析





?在这一章中，将介绍模态分析。进行模态分析类似线性静力分析。

– 假设用户已学习了第 4 章线性静力结构分析部分。

? 本章内容：

– 模态分析步骤  
– 有预应力的模态分析步骤

? 本节所述的功能，一般适用于 ANSYS DesignSpace Entra 及以上版本的许可。



? 对于模态分析，振动频率  $\omega_i$  和模态  $\phi_i$  是根据下面的方程计算的出的：

$$[K] \phi_i - \omega_i^2 [M] \phi_i = 0$$

? 假设：

— [K] 和 [M] 不变：

? 利用小位移理论，并且不包括非线性的

? 假设材料为线弹性的

? 不存在 [C]，因此无阻尼

? 无 {F}，因此无激振力

? 结构可以强迫振动也可以不强迫振动

— 模态  $\phi_i$  是相对值，不是绝对值

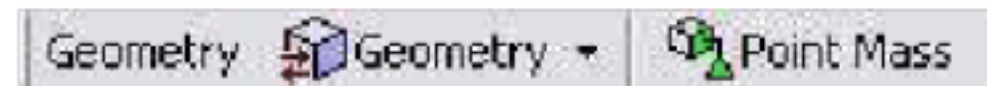
## A. 模态系统分析步骤

? 模态分析与线性静态分析的过程非常相似，因此不对所有的步骤做详细介绍。用蓝色斜体字的步骤是针对模态分析的。

- 附加几何模型
- *设置材料属性*
- *定义接触区域* (如果有的话)
- 定义网格控制 (可选择)
- 定义分析类型
- 加支撑 (如果有的话)
- *求解频率测试结果*
- 求解
- 查看结果

? 模态分析支持各种几何体：  
实体，表面体和线体

? 可以使用质量点：



? 质点在模态分析中只有质量（无硬度）。

? 质量点的存在会降低结构自由振动的频率。

? 材料属性：杨氏模量，泊松比，和 密度是必需的。



？ 模态分析，可能存在接触。然而，由于模态分析是纯粹的线性分析，所以，所采用的接触不同于非线性分析中的接触类型，具体如下表所示：

| Contact Type  | Static Analysis | Modal Analysis     |                       |                        |
|---------------|-----------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
|               |                 | Initially Touching | Inside Pinball Region | Outside Pinball Region |
| Bonded        | Bonded          | Bonded             | Bonded                | Free                   |
| No Separation | No Separation   | No Separation      | No Separation         | Free                   |
| Rough         | Rough           | Bonded             | Free                  | Free                   |
| Frictionless  | Frictionless    | No Separation      | Free                  | Free                   |

？ 接触模态分析和摩擦接触：

？ 将在内部表现为黏结或不分离

？ 如果有间隙存在，非线性接触行为将是自由无约束的（例如，接触不存在）

－ 绑定和不分离的接触情形将取决 pinball 区域的大小。

? 从 Workbench 的工具栏中选择 “Modal” 指定模型的分析类型。

? 在 Analysis Settings 中:

- 提取的模态阶数: 1 到 200 (默认的是 6)。
- 指定频率变化的范围 (默认的是 0 到  $1\text{e}+08\text{Hz}$ )。

The image displays three screenshots from the ANSYS Workbench software interface, illustrating the configuration of a Modal analysis.

**Left Screenshot: Toolbox and Project Schematic**

- The **Toolbox** on the left shows the **Analysis Systems** section with **Modal (ANSYS)** highlighted by a red box.
- The **Project Schematic** on the right shows the model hierarchy: **Model (A4)** containing **Geometry**, **Coordinate Systems**, **Mesh**, **Modal (A5)**, **Pre-Stress (None)**, **Analysis Settings**, **Solution (A6)**, and **Solution Information**. The **Modal (A5)** component is highlighted by a red box.

**Middle Screenshot: Details of "Analysis Settings"**

This panel shows the configuration for the **Modal (A5)** analysis. The **Options** section is expanded, and the **Limit Search to Range** option is highlighted by a red box. The **Max Modes to Find** is set to 6.

| Details of "Analysis Settings"  |                    |
|---------------------------------|--------------------|
| <b>Options</b>                  |                    |
| Max Modes to Find               | 6                  |
| Limit Search to Range           | No                 |
| <b>Solver Controls</b>          |                    |
| Solver Type                     | Program Controlled |
| <b>Output Controls</b>          |                    |
| <b>Analysis Data Management</b> |                    |

**Right Screenshot: Details of "Analysis Settings"**

This panel shows the configuration for the **Modal (A5)** analysis. The **Options** section is expanded, and the **Limit Search to Range** option is highlighted by a red box. The **Max Modes to Find** is set to 6.

| Details of "Analysis Settings"  |                     |
|---------------------------------|---------------------|
| <b>Options</b>                  |                     |
| Max Modes to Find               | 6                   |
| Limit Search to Range           | Yes                 |
| Range Minimum                   | 0. Hz               |
| Range Maximum                   | $1.\text{e}+008$ Hz |
| <b>Solver Controls</b>          |                     |
| Solver Type                     | Program Controlled  |
| <b>Output Controls</b>          |                     |
| <b>Analysis Data Management</b> |                     |

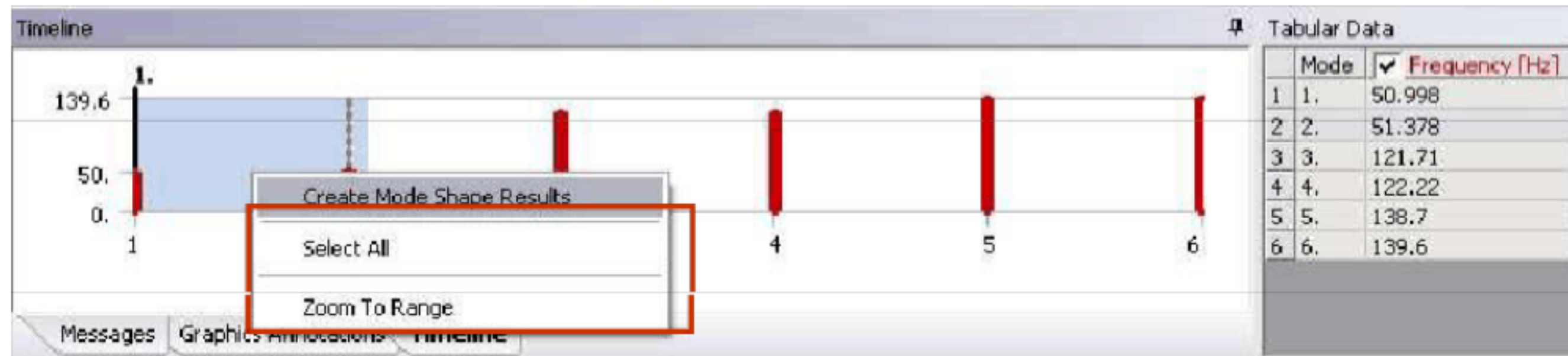
? 结构和热载荷无法在模态中存在。

? 约束:

- 假如没有或者只存在部分的约束，刚体模态将被检测。这些模态将处于 0HZ 附近。与 静态结构分析不同，模态分析并不要求禁止刚体运动。
- 边界条件对于模态分析来说，是很重要的。因为他们能影响零件的振型和固有频率。因此需要仔细考虑模型是如何被约束的。
- 压缩约束是非线性的，因此在此分析中不被使用。



? 求解结束后，求解分支会显示一个图标，显示频率和模态阶数。  
? 求解模型（没有要求的结果）。

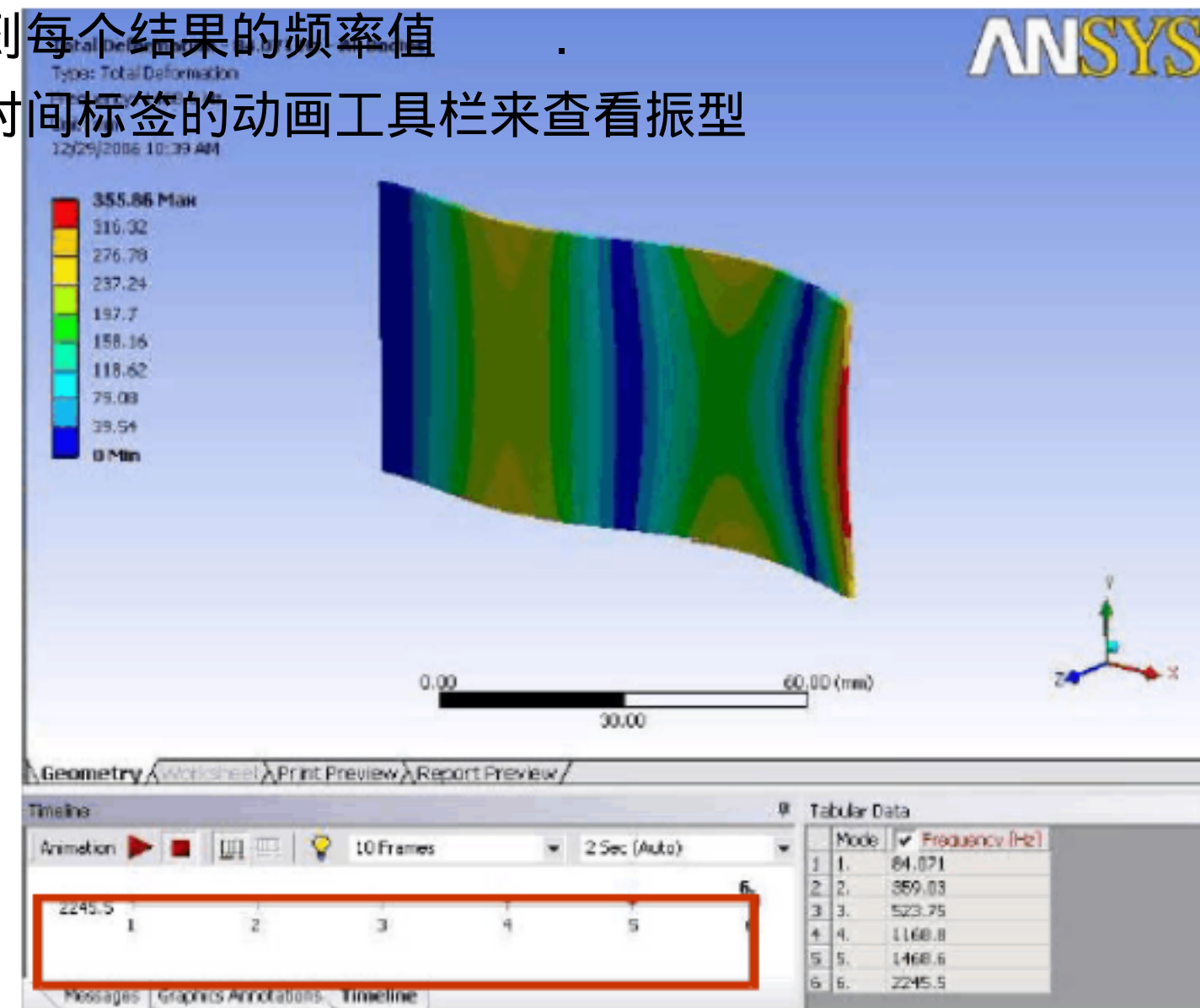


? 可以从图表或者图形中选择需要振型或者全部振型进行显示。

? 嵌入“Total Deformation”结果中需要求解模态。

？ 模态：

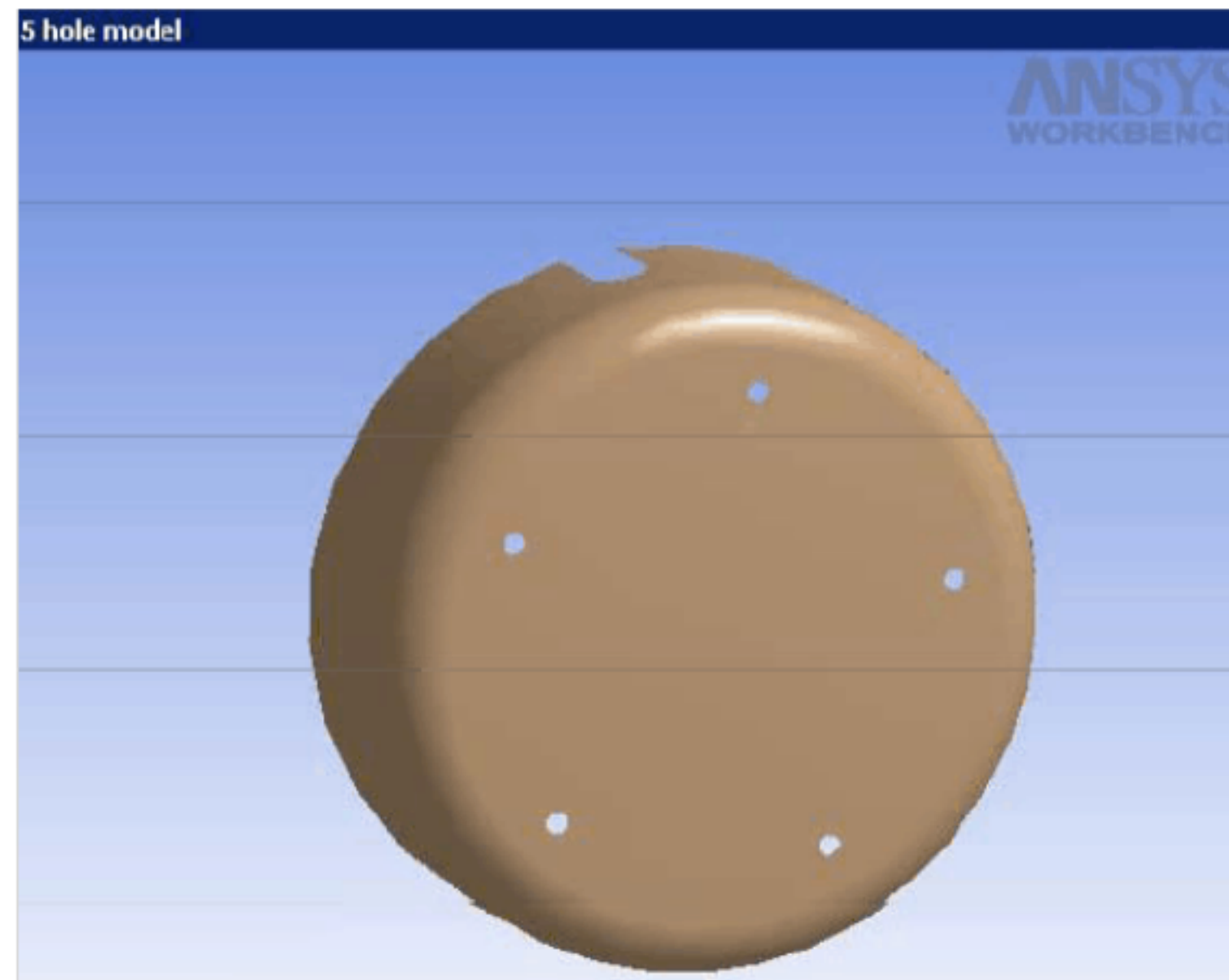
- 由于在结构上没有激励作用，因此振型只是与自由振动相关的相对值。
- 在详细列表里可以看到每个结果的频率值。
- 应用图形窗口下方的时间标签的动画工具栏来查看振型。



? Workshop 5.1 – 模态 分析

? 目标：

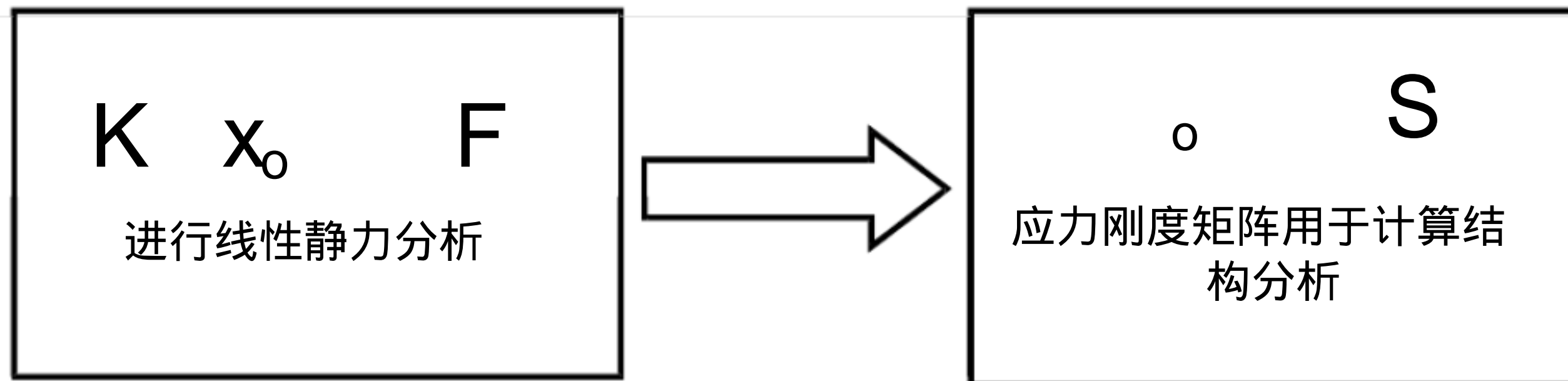
– 检查用 18 号钢制造的马达盖子（如下所示）的振动特性。





## C. 有预应力的模态

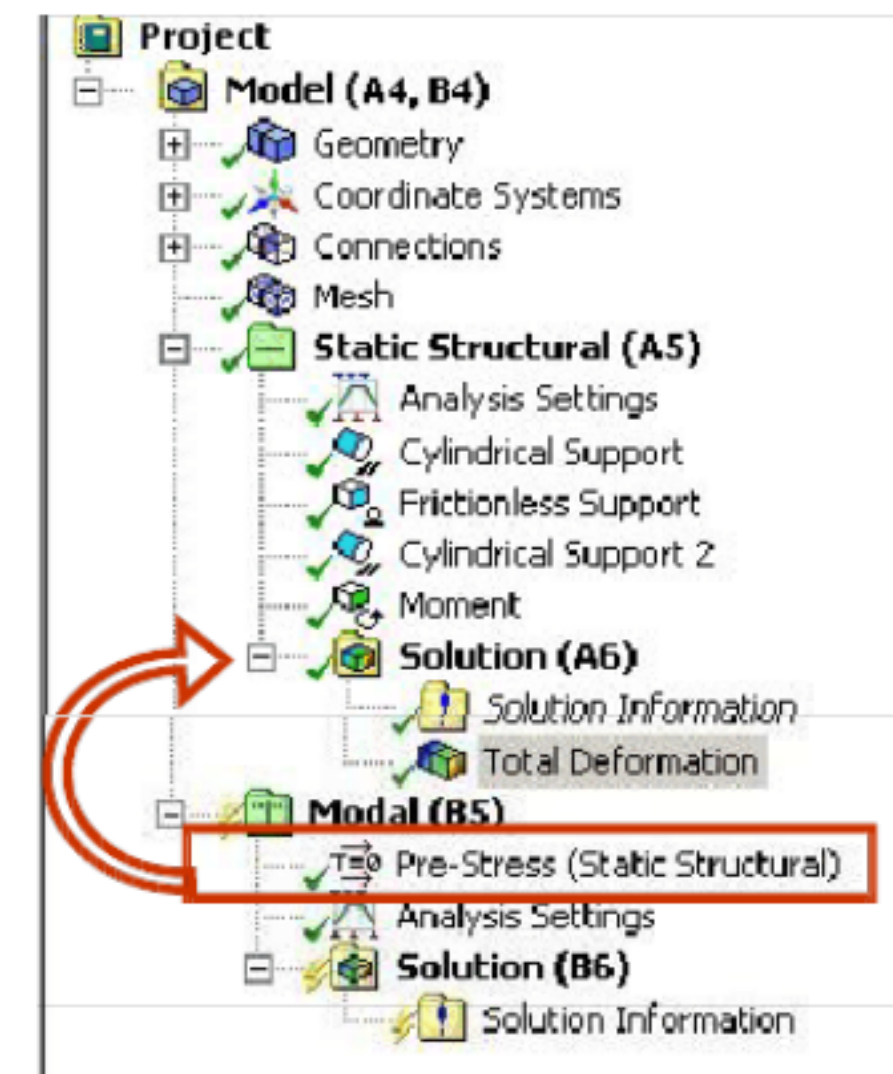
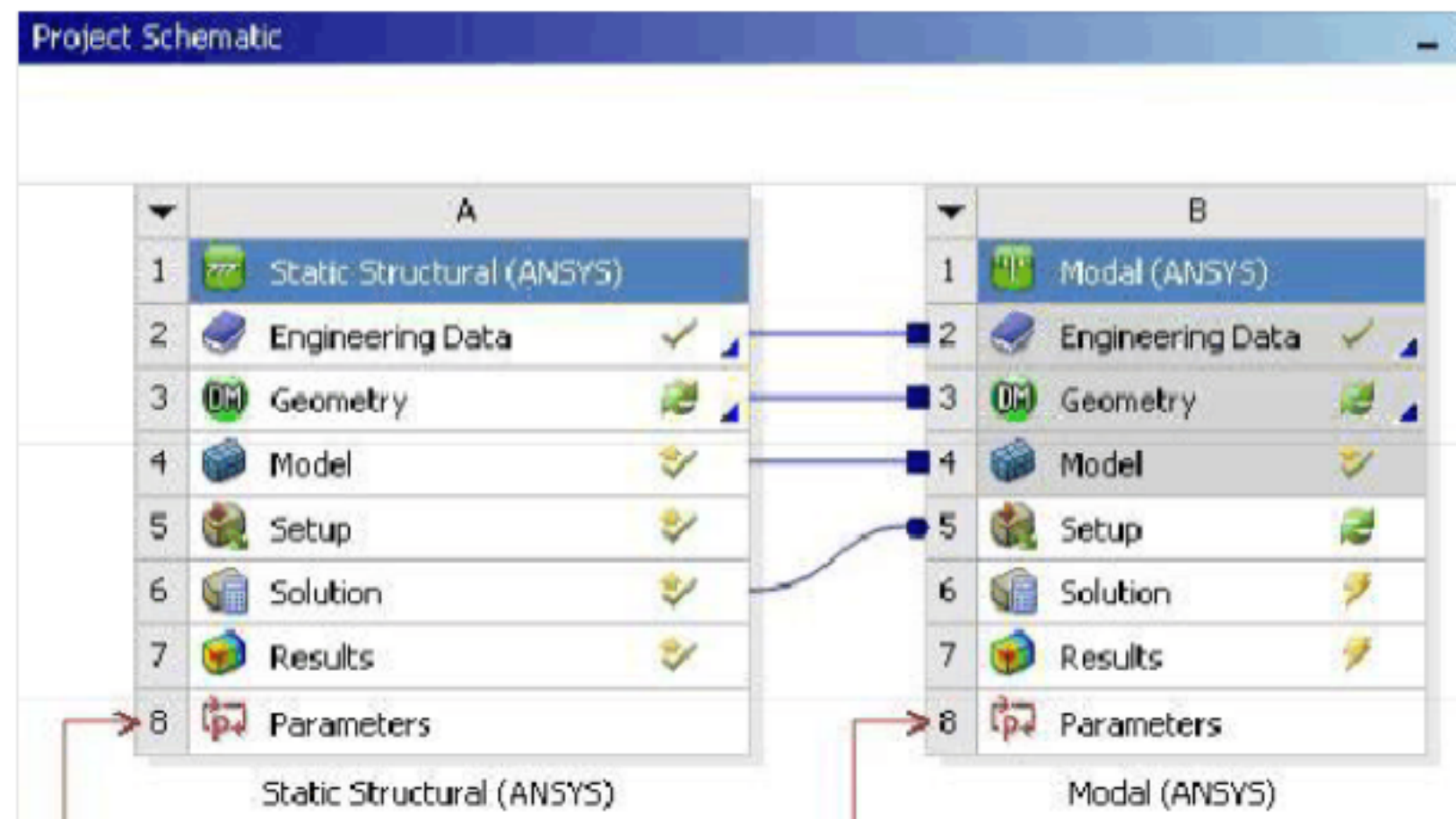
- 处于不变载荷作用的应力作用下的结构可能会影响固有频率，例如吉他调弦？在某些情况下，在执行模态分析时可能需要考虑预应力影响。



$$K + S + \frac{\sigma_i^2}{M_i} = 0$$

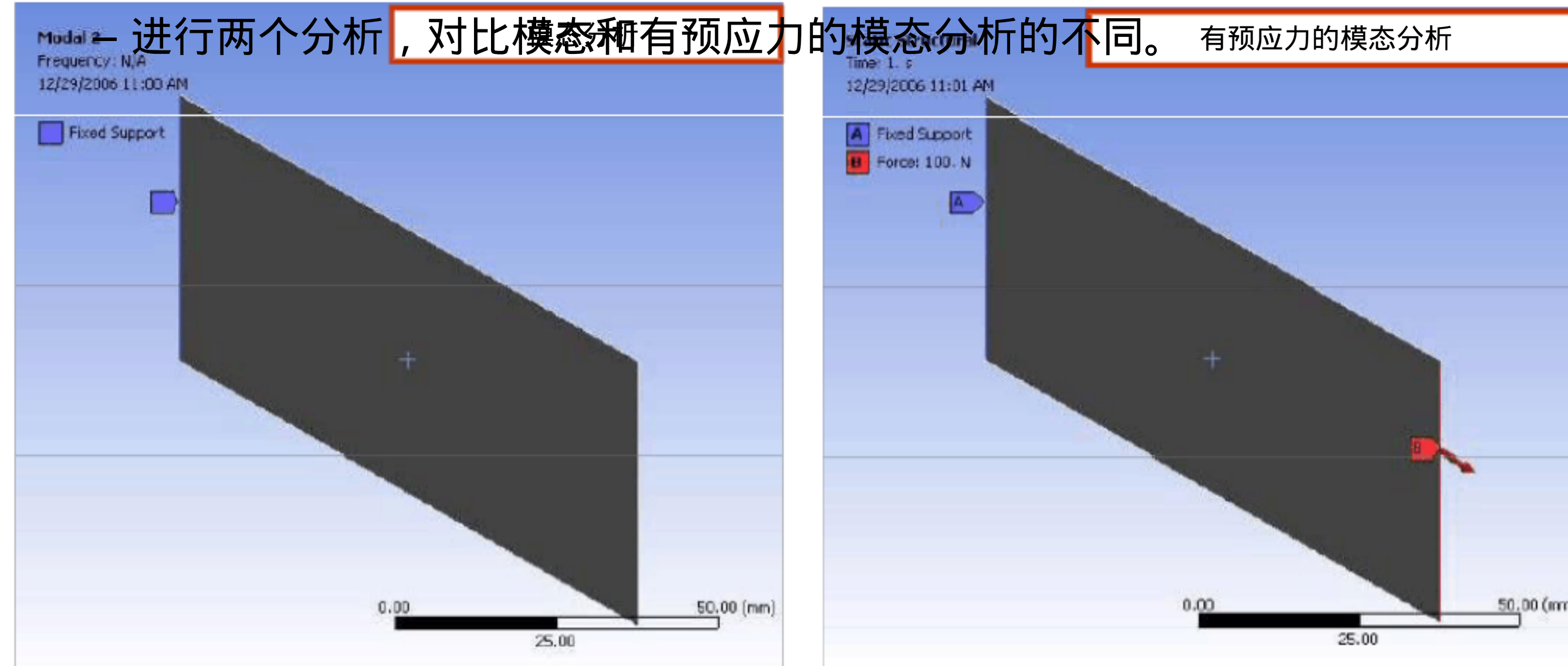
原来的模态方程被修改为包括  $[S]$  阵

?在项目图表里建立一个静力结构与模态分析相结合的并有预应力存在的分析模型。



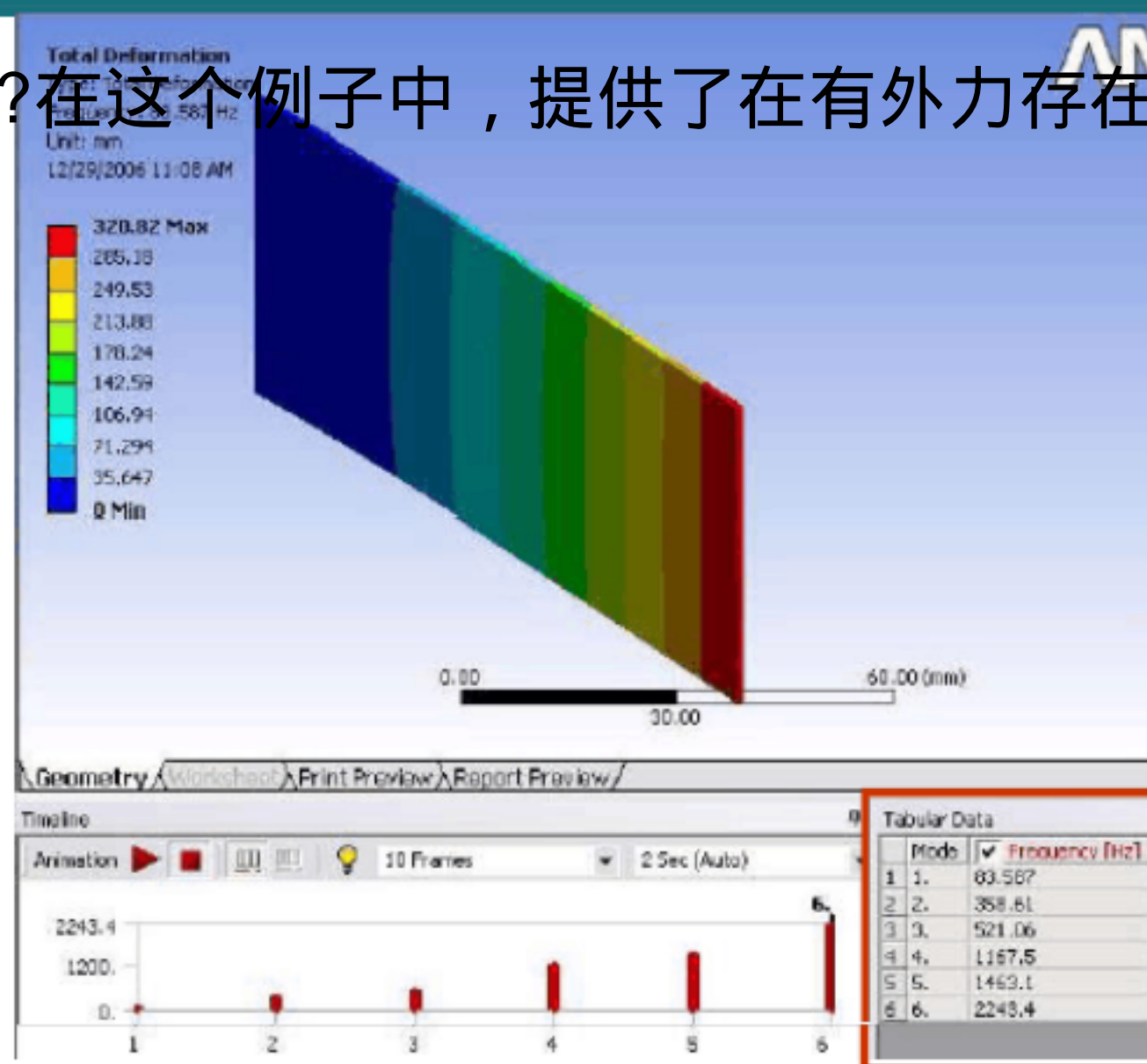
? 注意在模型分支里，结构分析结果变成开始状态的。

? 对一边固支的薄板的结构，简单对比一下两种分析



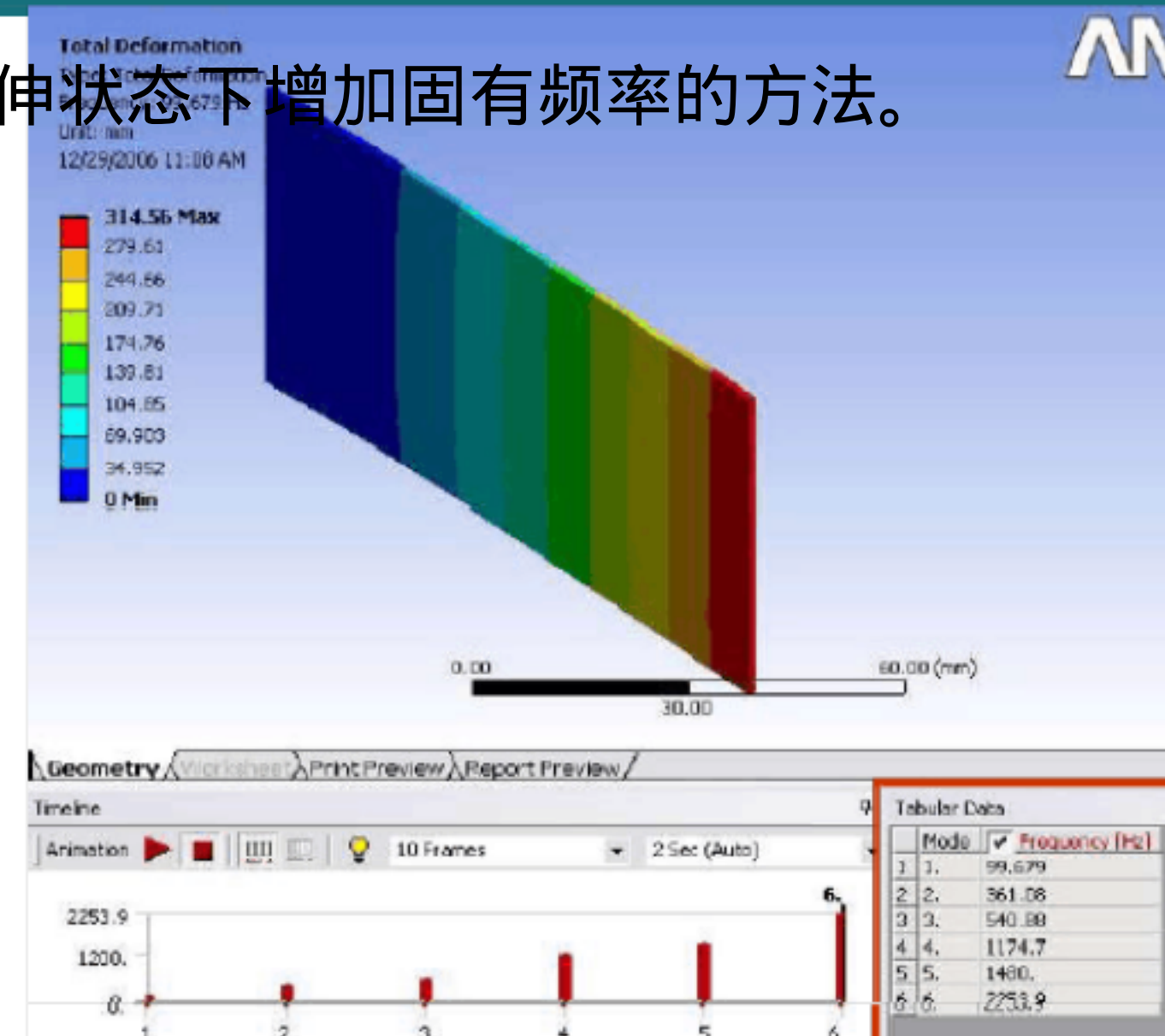


在这个例子中，提供了在有外力存在的拉伸状态下增加固有频率的方法。



模态

第一模态频率：83.587 Hz



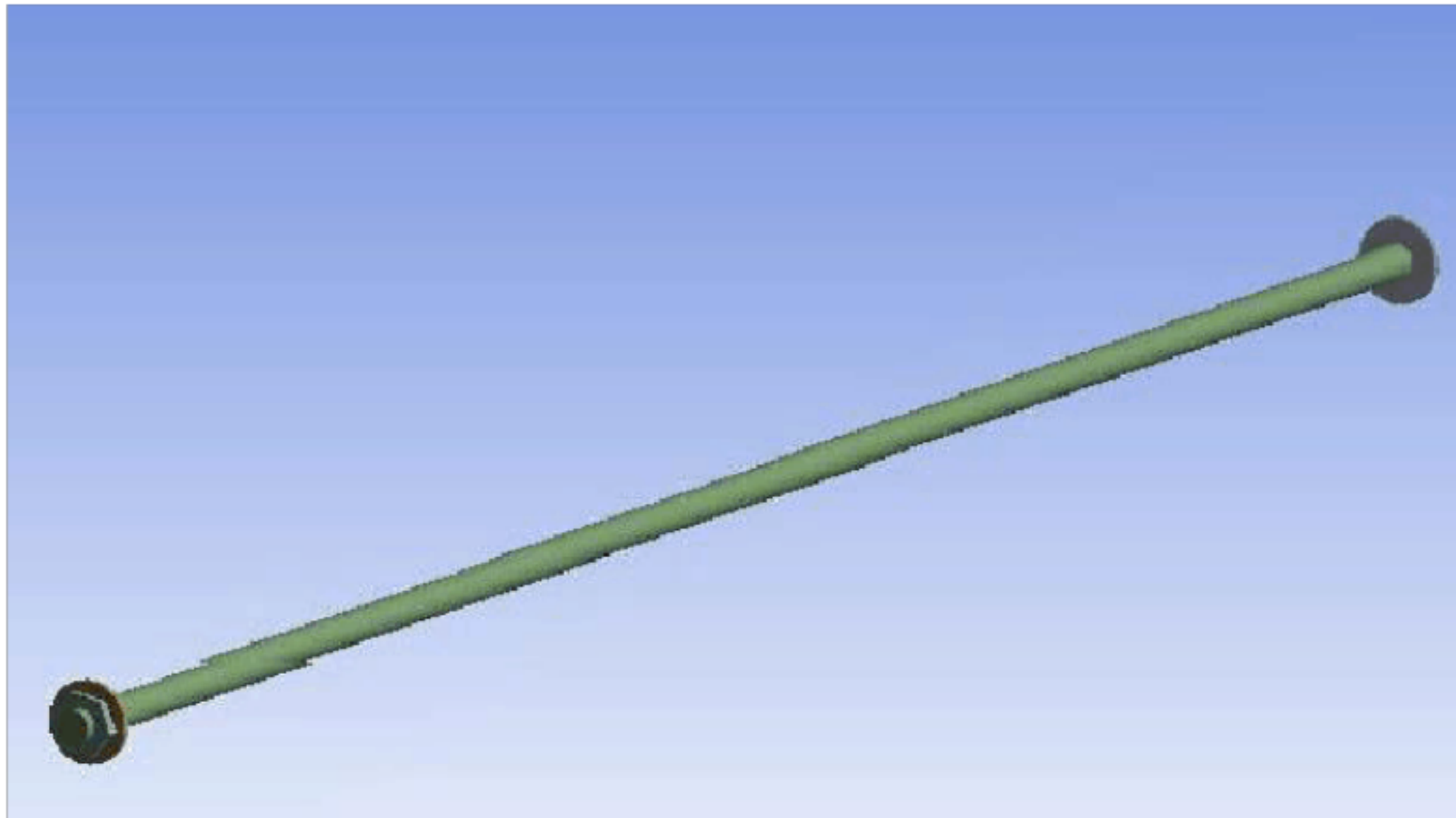
有预应力的模态

第一模态频率：99.679 Hz

## D. 没有预应力作用的例子模态

? Workshop 5.2 – 预应力模态分析

? 目标: 模拟拉杆在有应力和无应力状态下的模态响应 (如下所示)。



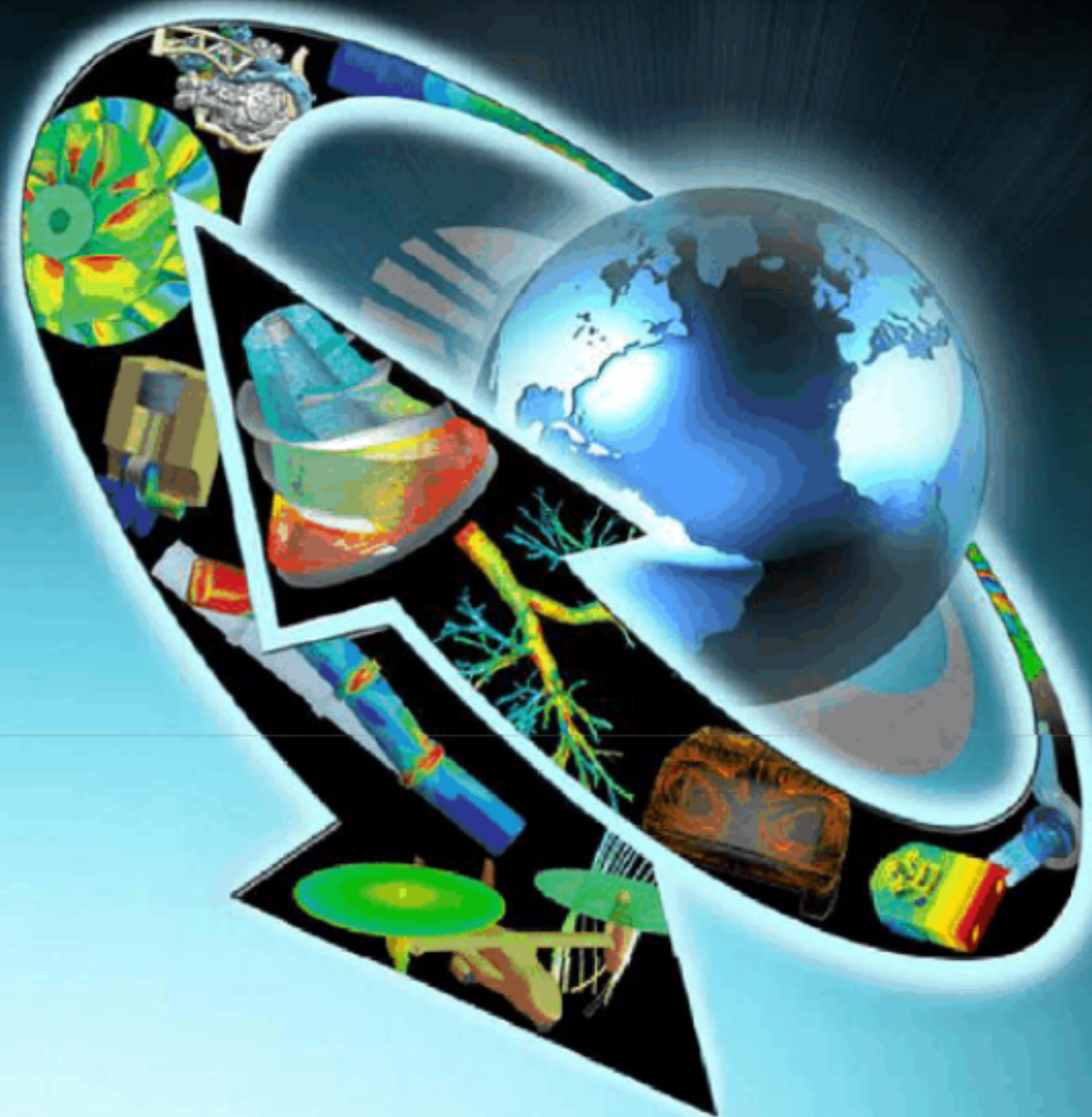
Simulation Analysis



## Workbench - Mechanical Introduction

作业 5.1

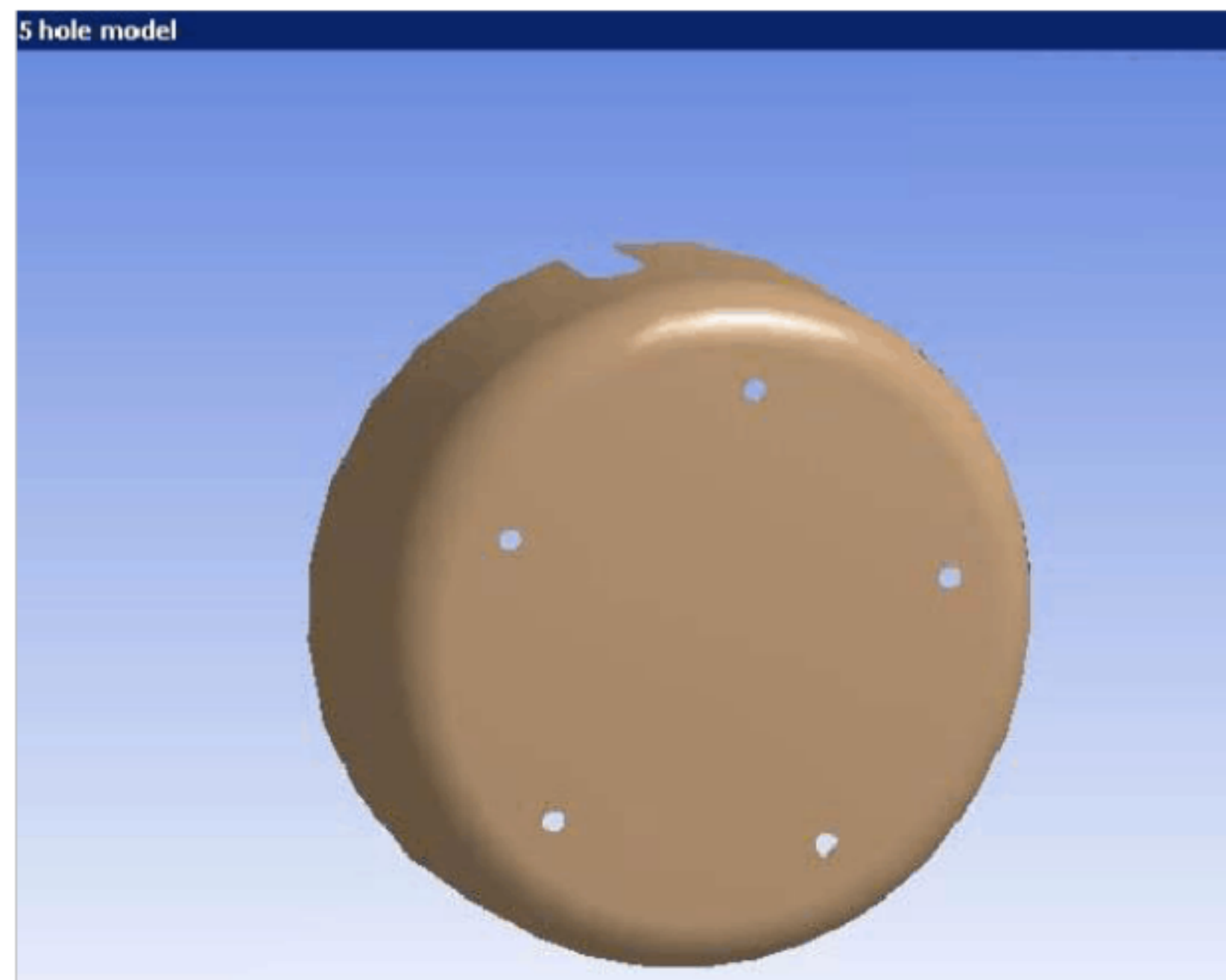
模态分析





## 作业 5.1 – 目标

? 目标是调查一个由 18# 钢制造的发动机盖的振动特性。它被固定在一个工作频率为 1000 Hz 的设备上。

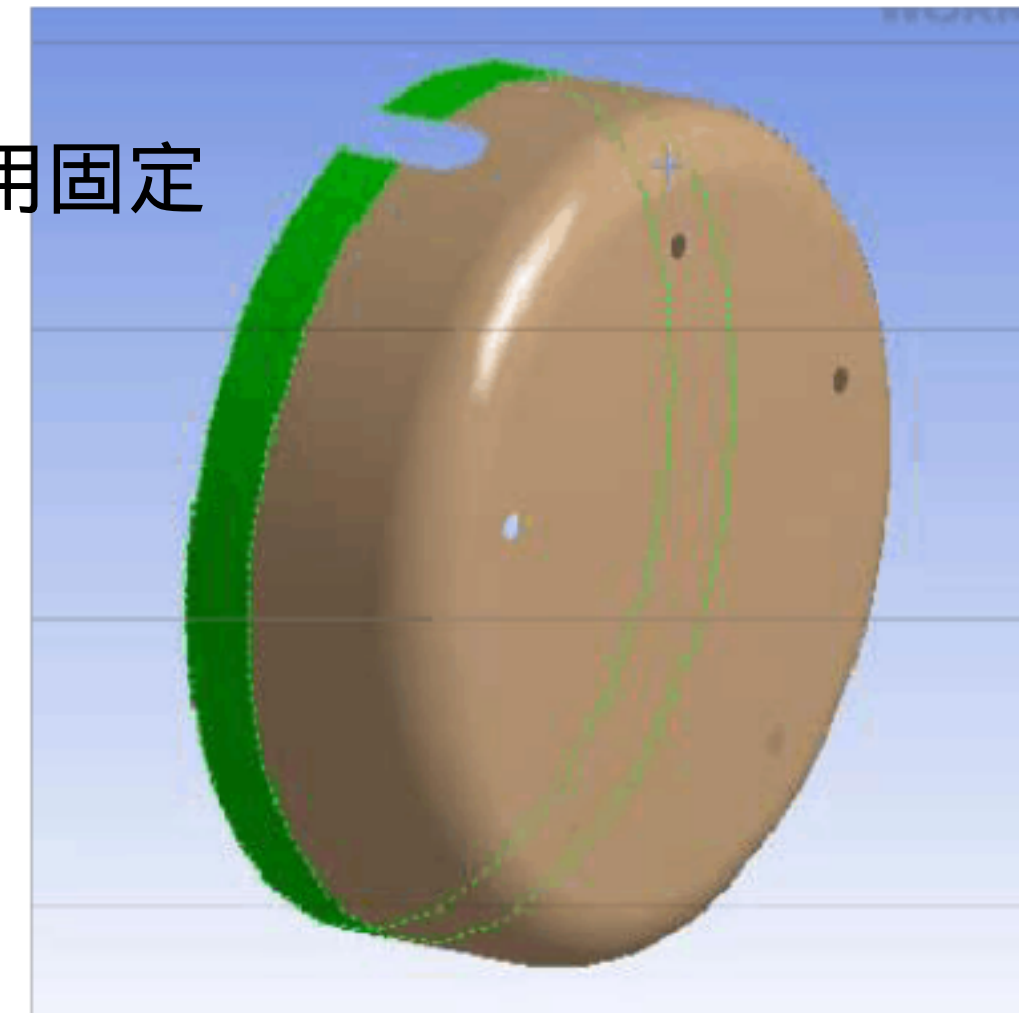


## 作业 5.1 – 假设

? 盖子被嵌套在一个圆柱形裙箍上，而且在螺栓孔处受到约束。为了模拟裙箍的接触区域，其表面被开了一个缺口（如图所示）。在这个面上使用无摩擦约束来模拟接触区域。无摩擦约束限制了面的法向，因此轴向和切向位移是允许的，而不允许出现径向位移。

? 为了模拟螺栓连接处，需要在螺栓孔的边缘

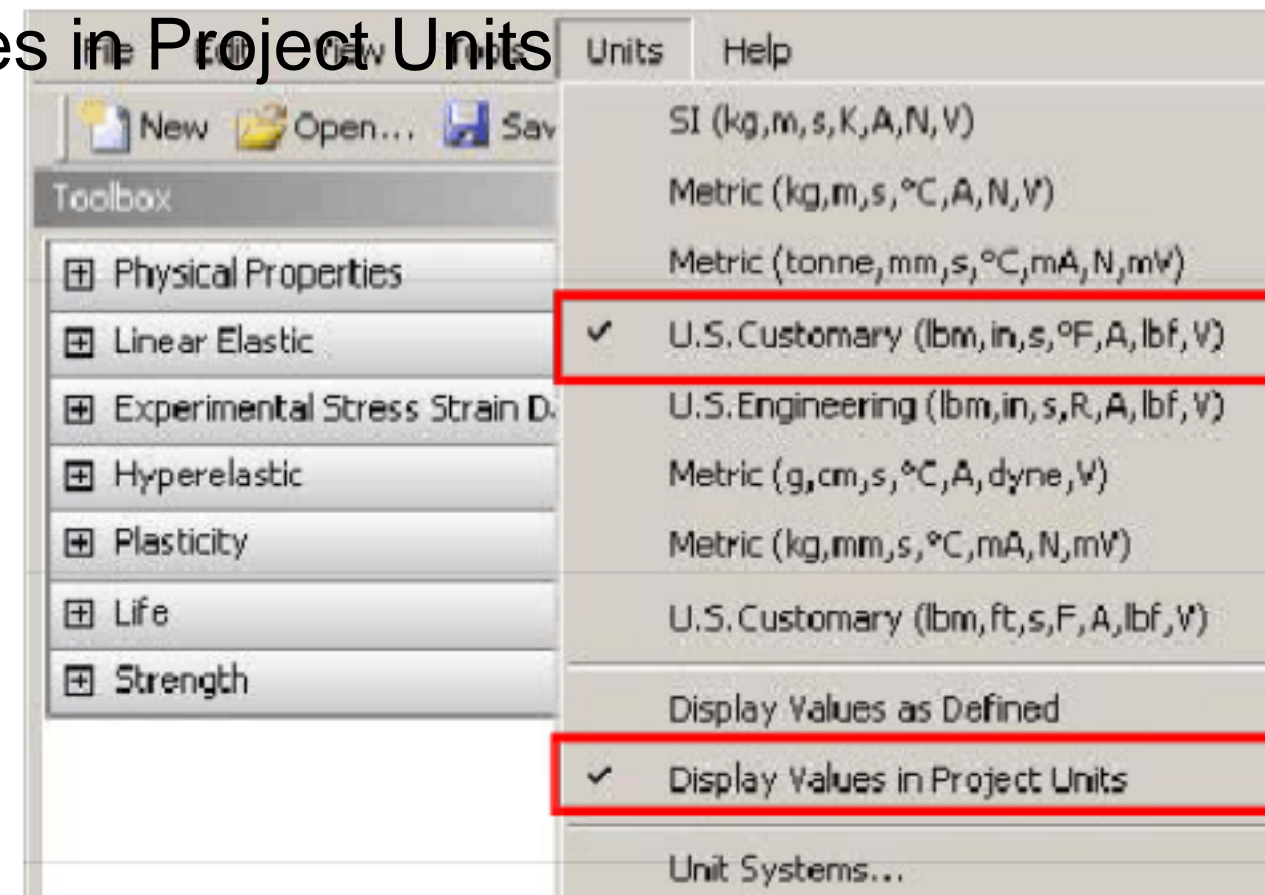
上使用固定



? 打开 Project 页

? 在 Units 菜单中确定：

- 项目单位设为 US Customary (lbm, in, s, F, A, lbf, V)
- 选择 Display Values in Project Units





# 1. 在 Toolbox 中双击 Modal 建立 WS5.1: Basics 一个新的分析系统 作业 5.1 – Project Schematic

2. 在 Geometry 上点击鼠标右键  
选

择导入文件

3. 双击 Model 打开  
Mechanical  
application

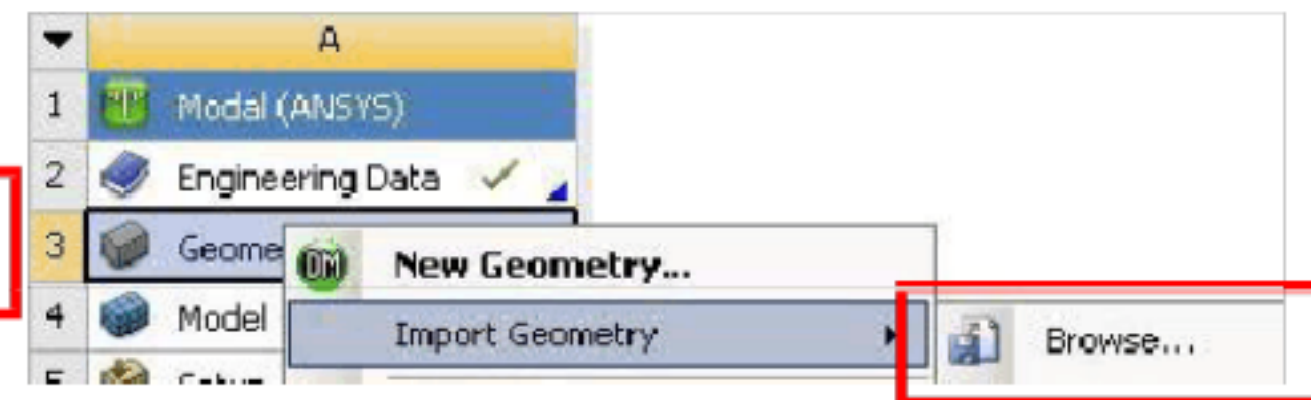
3.



1.



2.

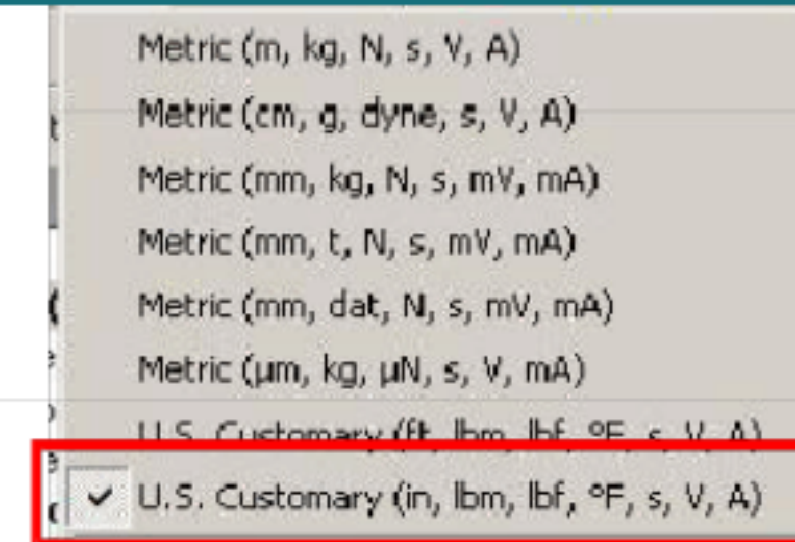


# 作业设置作业步骤制系统：

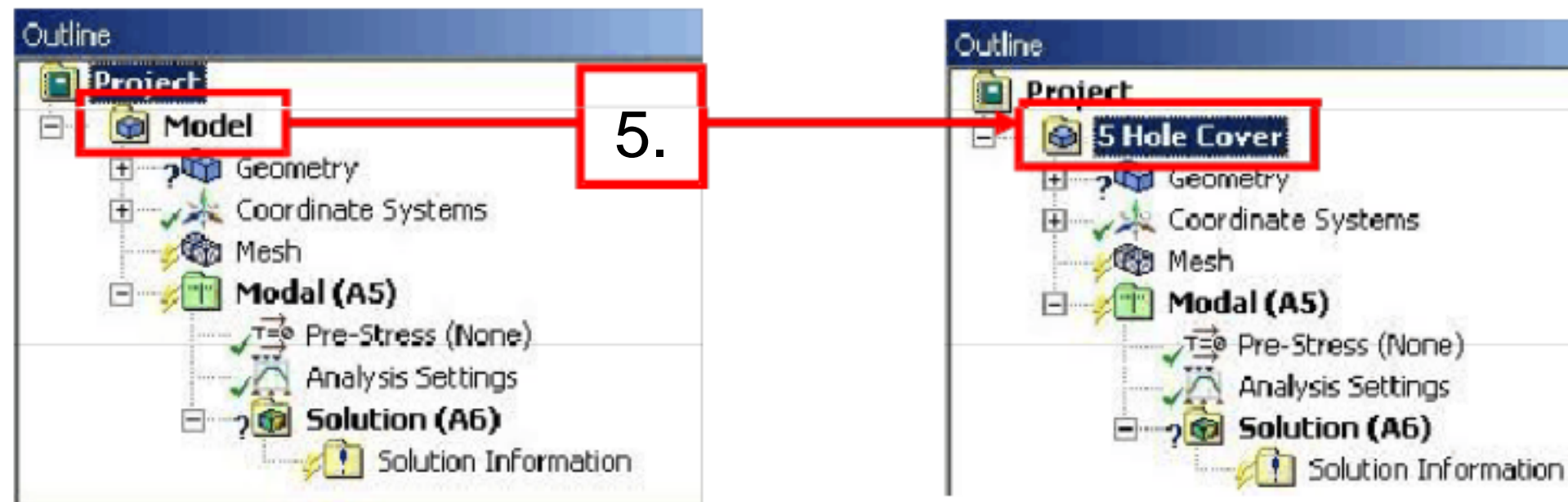
- Units > U.S Customary (in, lbm, lbf, ° F, s, V, A)

## 5. 重命名模型：

- 在 Model 上点击鼠标右键选择 Rename ，重命名为 “ 5 Hole Cover ” 。



4.



## 作业 5.1 – 前处理

? 因为模型是由几何面构成，因此使用壳单元进行网格划分。几何面需要给定厚度尺寸。

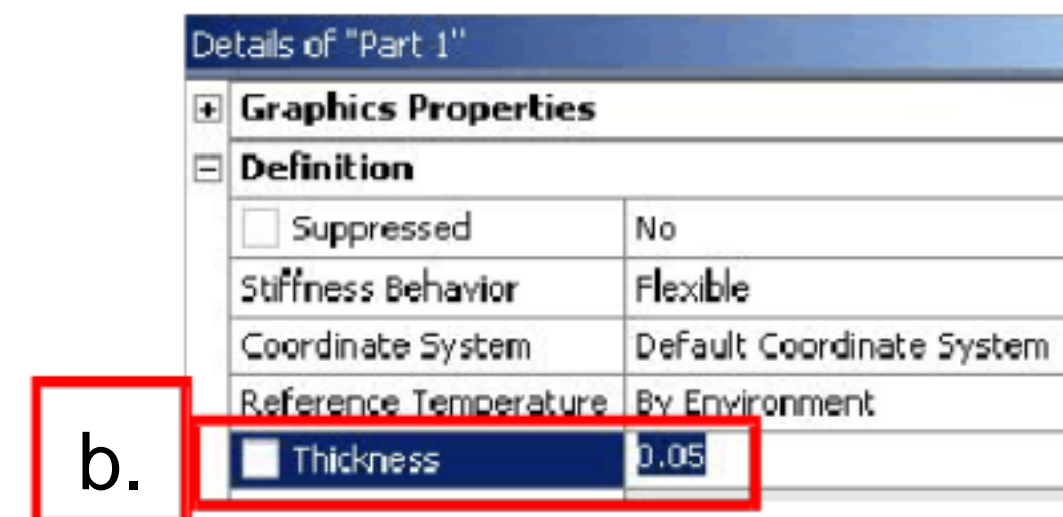
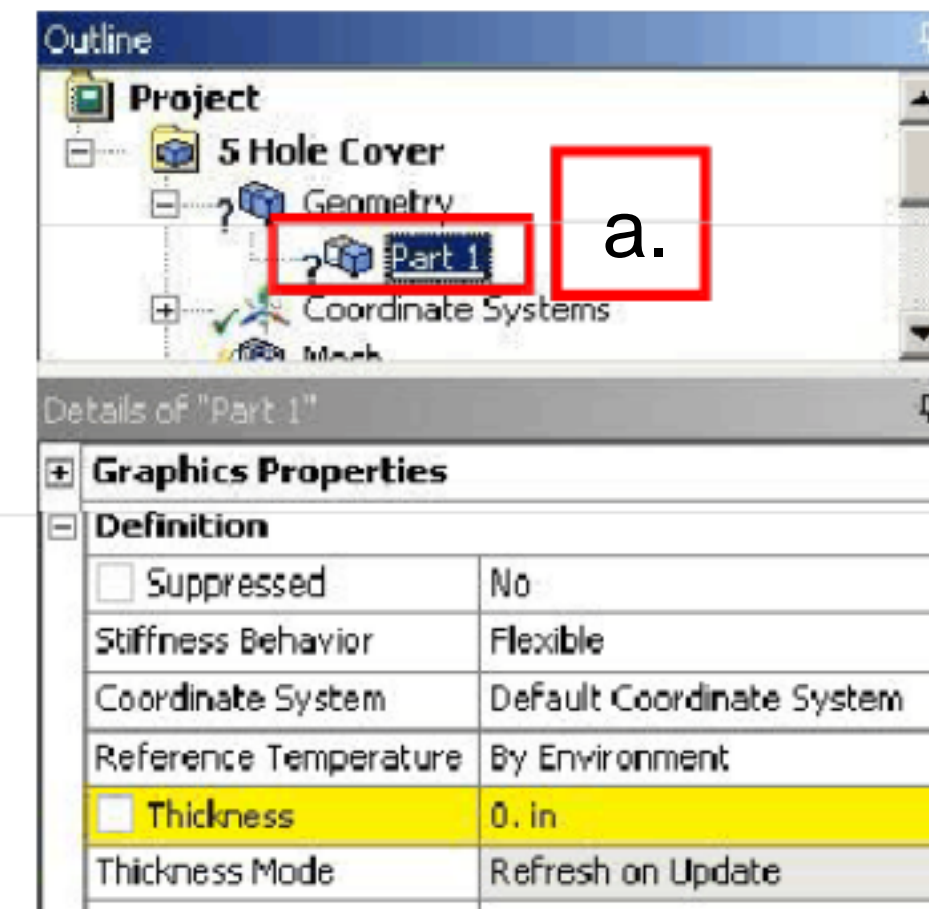
## 6. 指定部件的厚度：

## a. 选中 Part 1

? 提示： Thickness 栏现在是用黄色显示的，表示没有定义。同时，这个部件名旁边还有一个问号表示没有完全定义。

## b. 点击 Thickness 栏，把 Thickness 设为 0.05 in.

? 提示： 输入厚度值把状态标记由问号改为复选标记，表示已经完全定义。





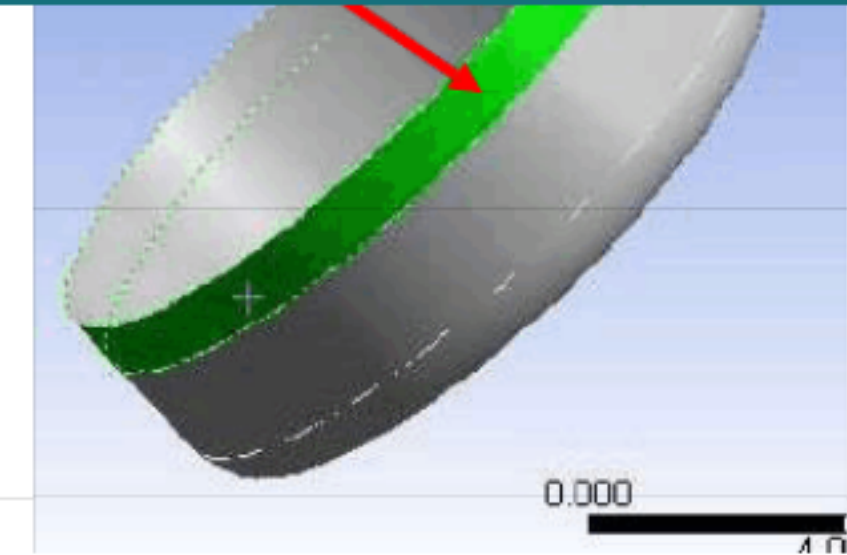
## 7. 给模型施加约束（选中 Modal）：

WS5.1: Basics

作业 5.1 单击鼠标右键选择 Insert > Frictionless Support  
（无摩擦约束）

a.

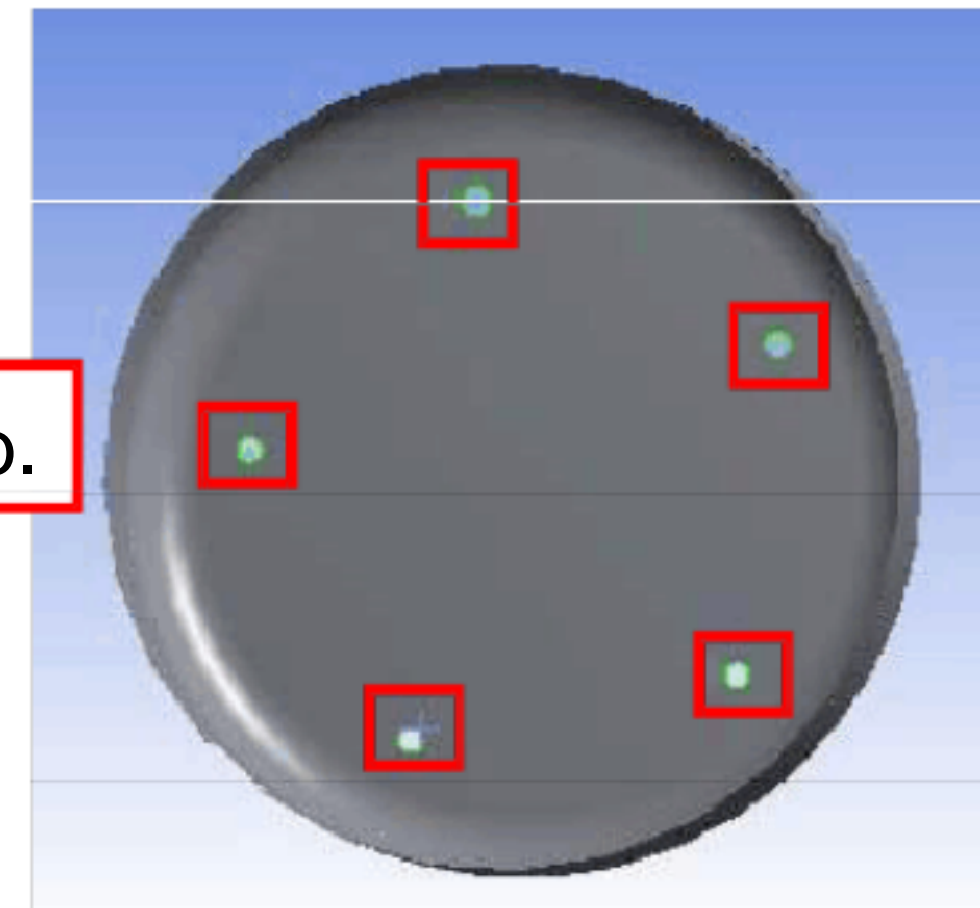
Workshop Supplement



b. 选择边选择模式并选择 5 个空洞的边，点击鼠标  
右键选择 Insert > Fixed Support （固定约束）

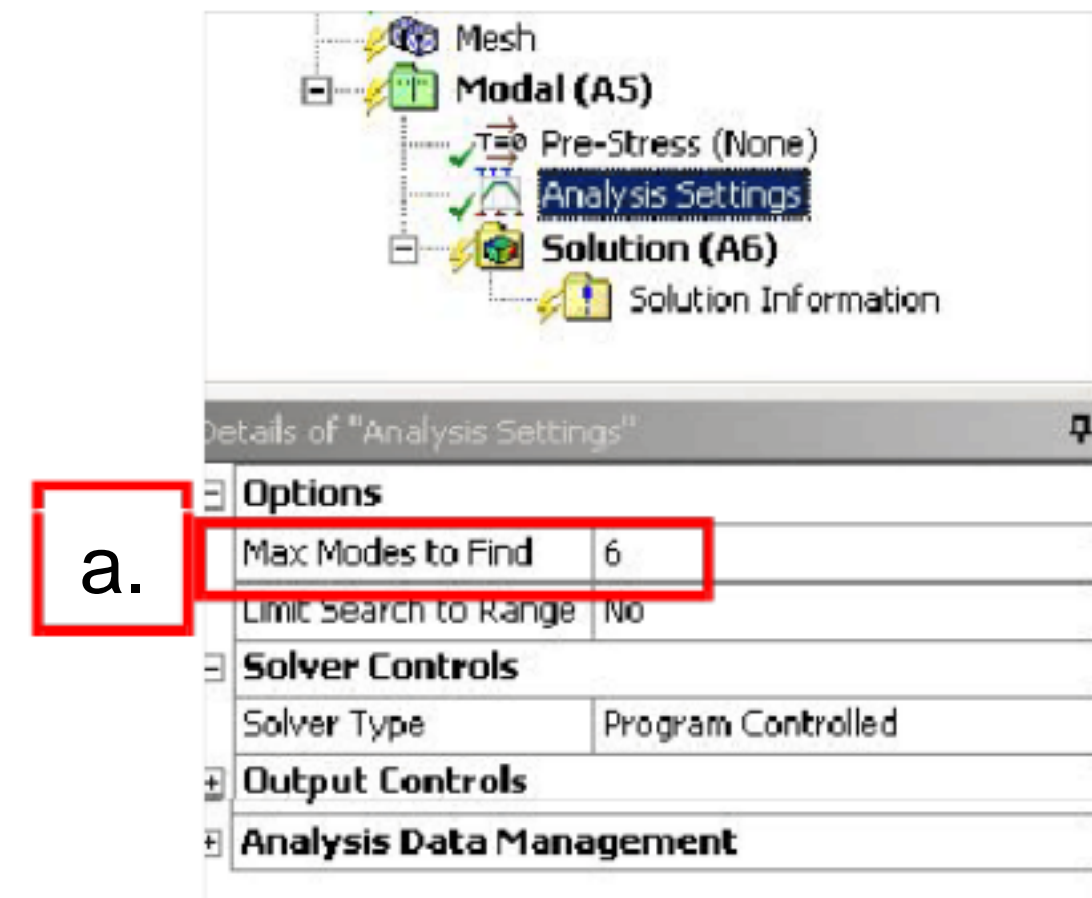


b.



8. 这是模型分析选项：

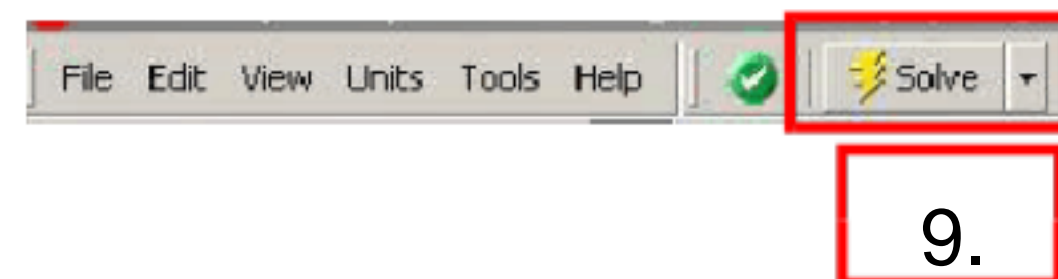
- a. 选择 Analysis Settings 设置 Max modes to Find （最大模态阶数）值（默认是 6 阶）



? 最后检查一下分支的状态图标：

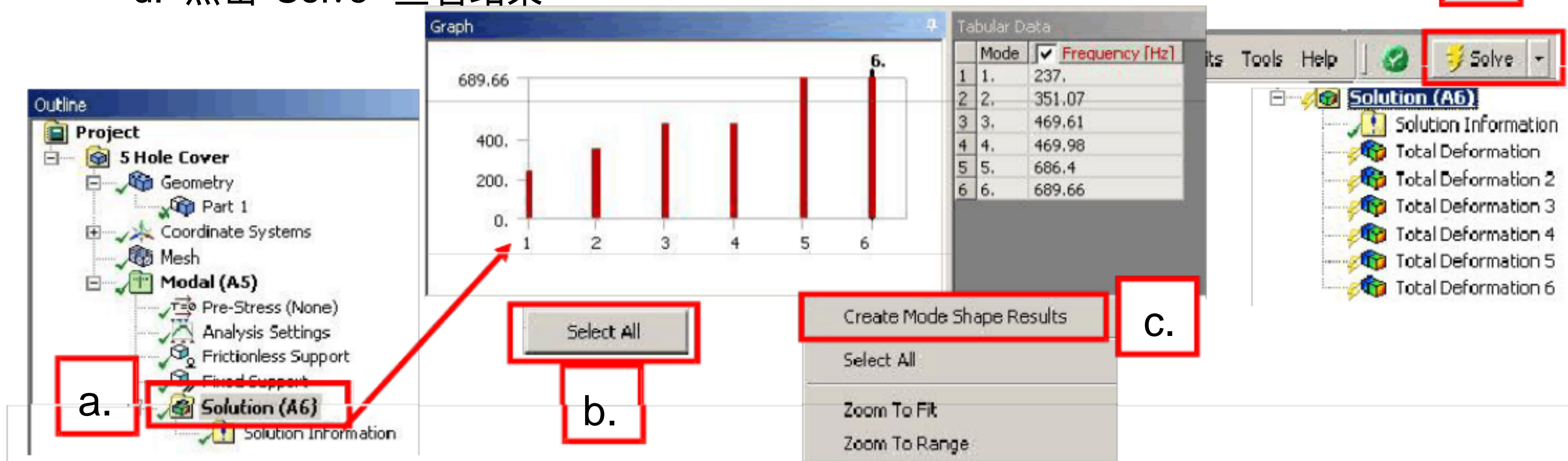
- 黄色闪电符号（将被求解）
- 绿色副选标记（已完全定义）

9. 求解模型



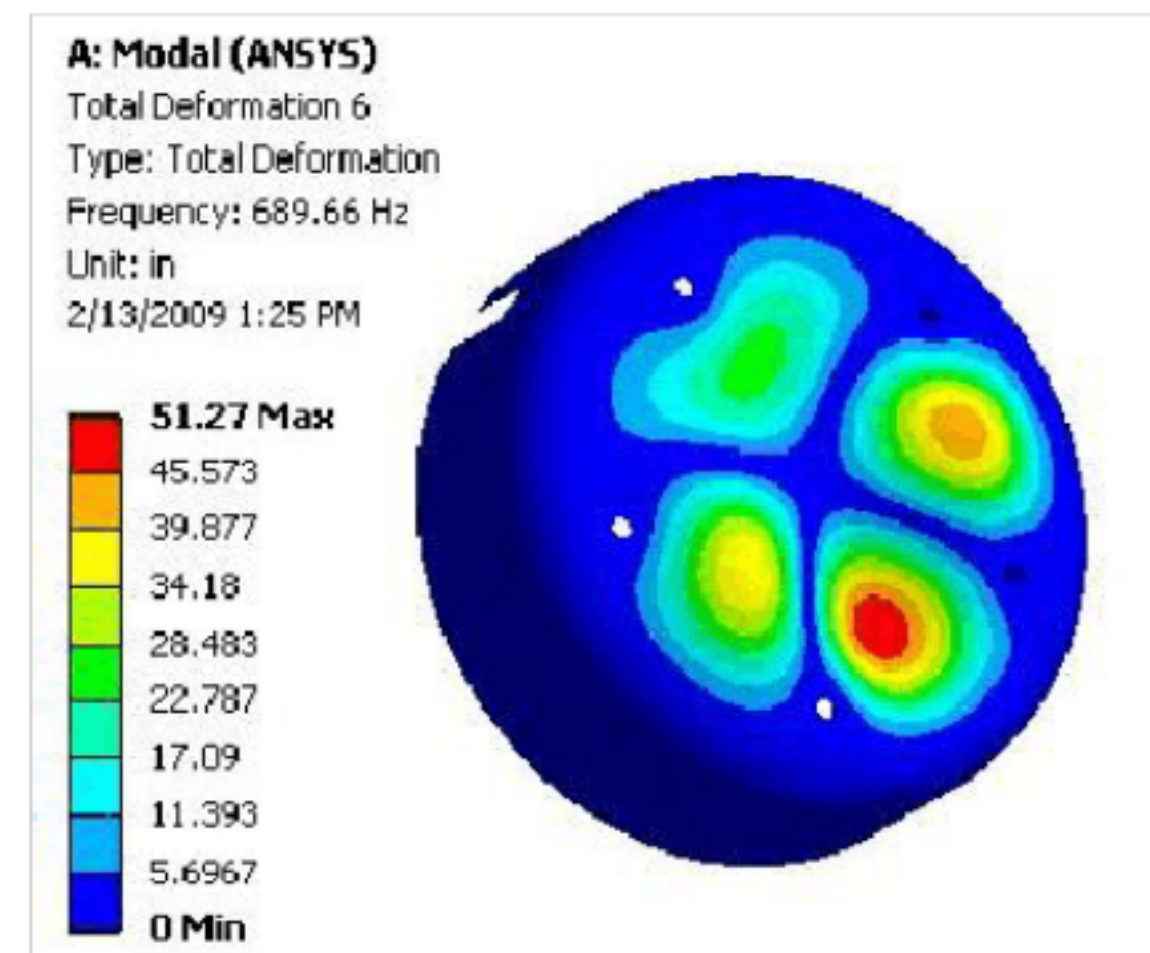
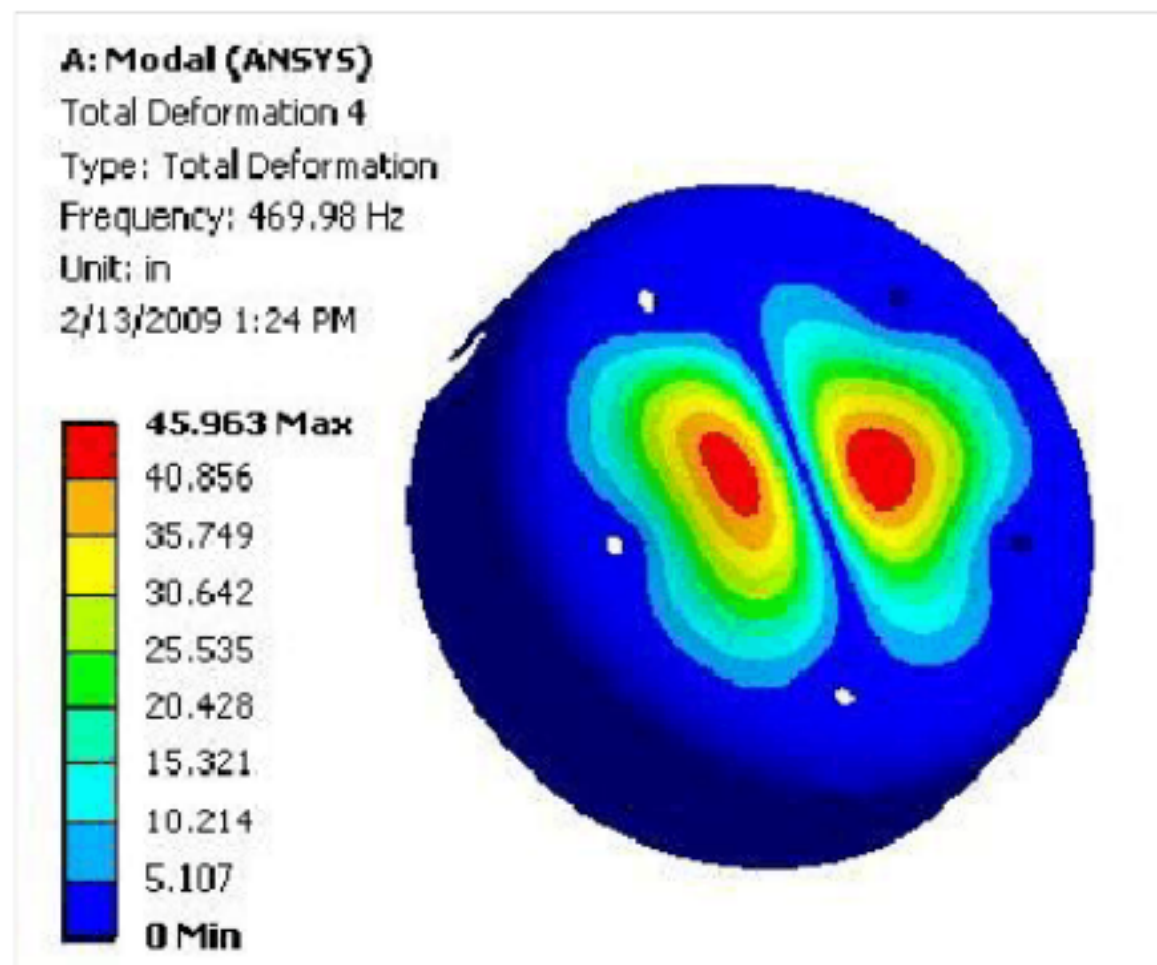
## 10. 选择查看模态的形状：

- 点击 Solution (A6) ，将得到 Timeline 图形和 Tabular Data 表，给出了对应模态的频率表。
- 在 Timeline 上点击鼠标右键选择 Select All ，选择所有的模态  
？提示：这也可以在 Tabular Data 中完成
- 点击鼠标右键选择 Create Mode Shape Results
- 点击 Solve 查看结果





? 查看结果 （选中想要查看的模态）：

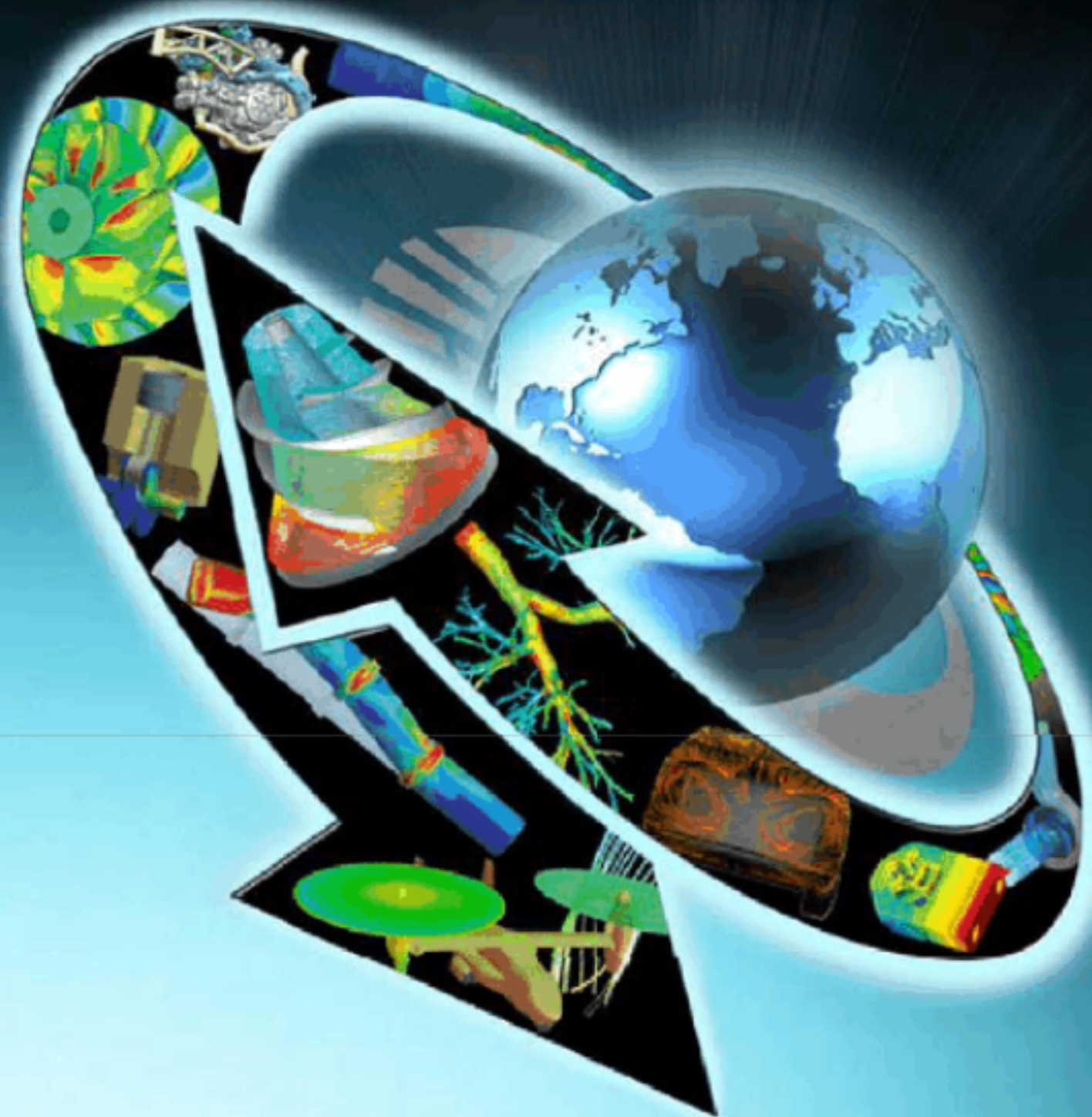


? 提示：模态形状中反映的位移 不代表真实的位移。实际位移依赖于输入到系统的能量。



## 作业 5.2

## 预应力模态分析

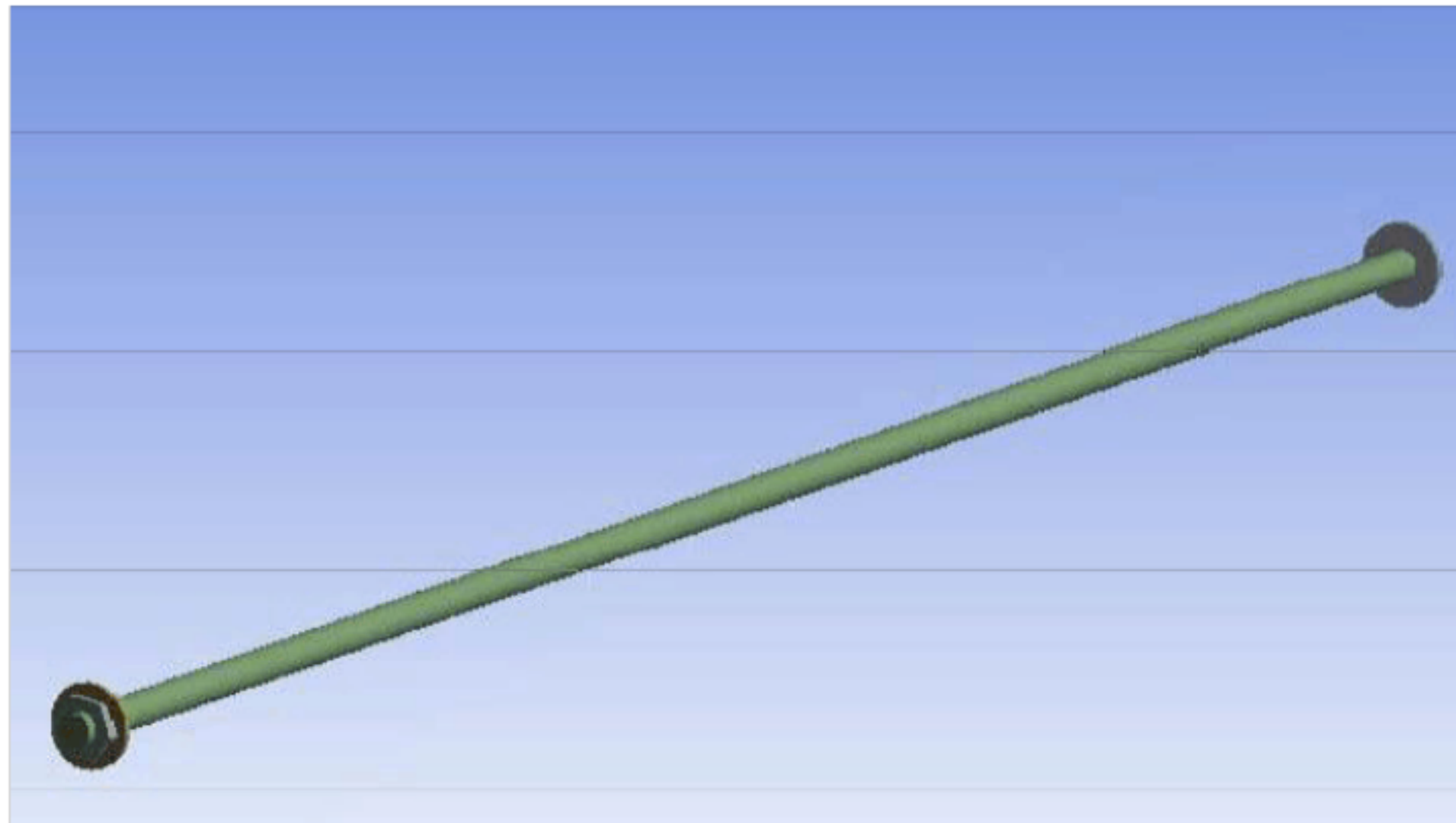




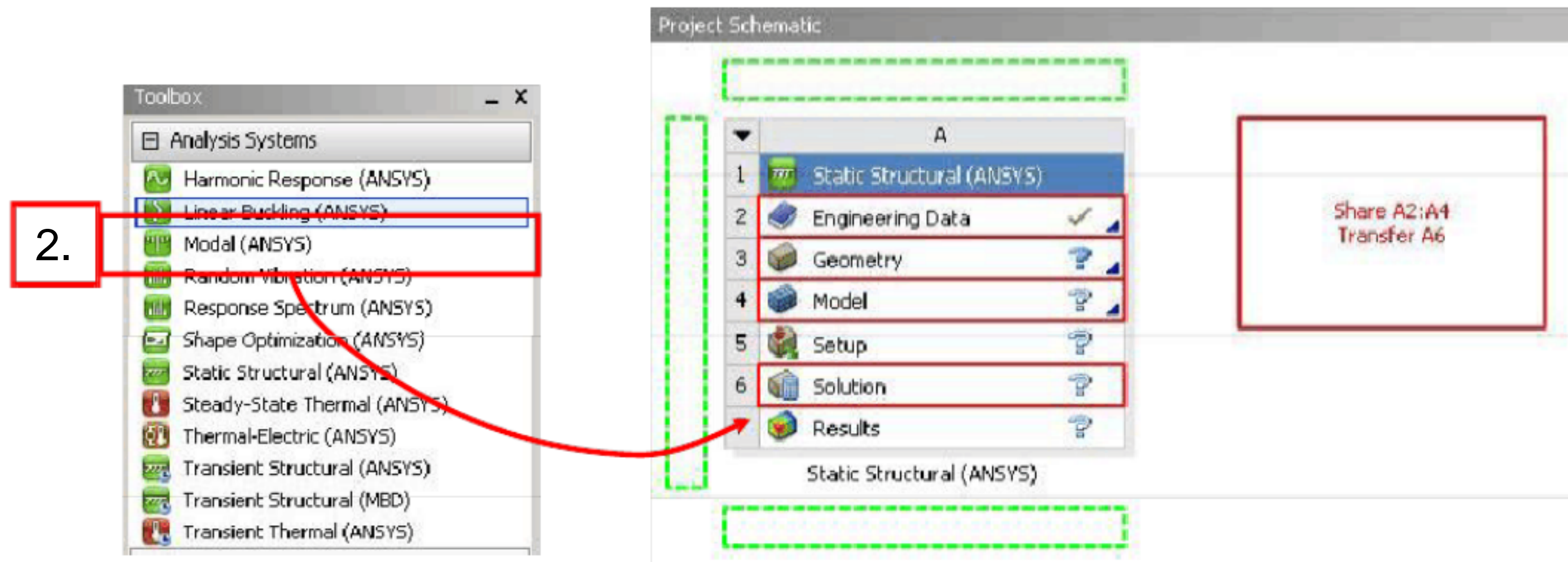
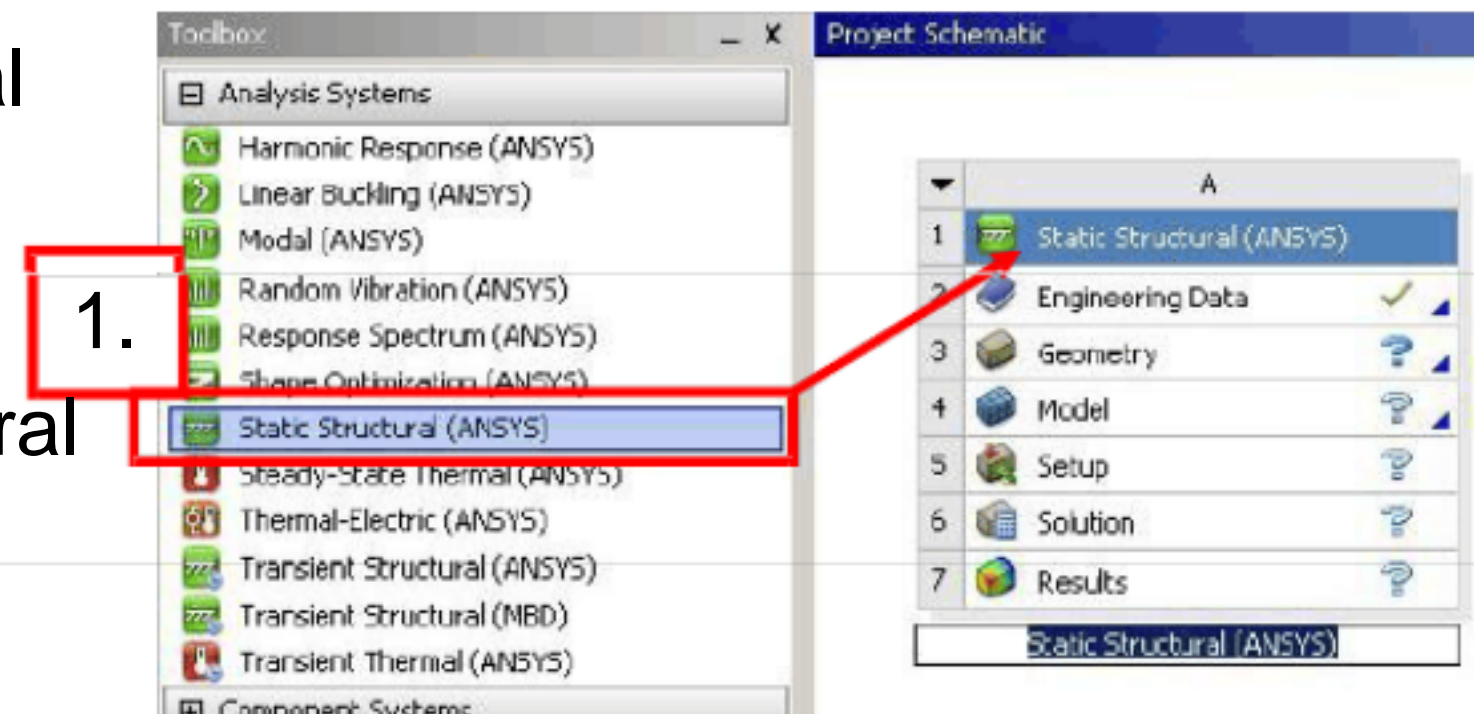


## 作业 5.2 – 目标

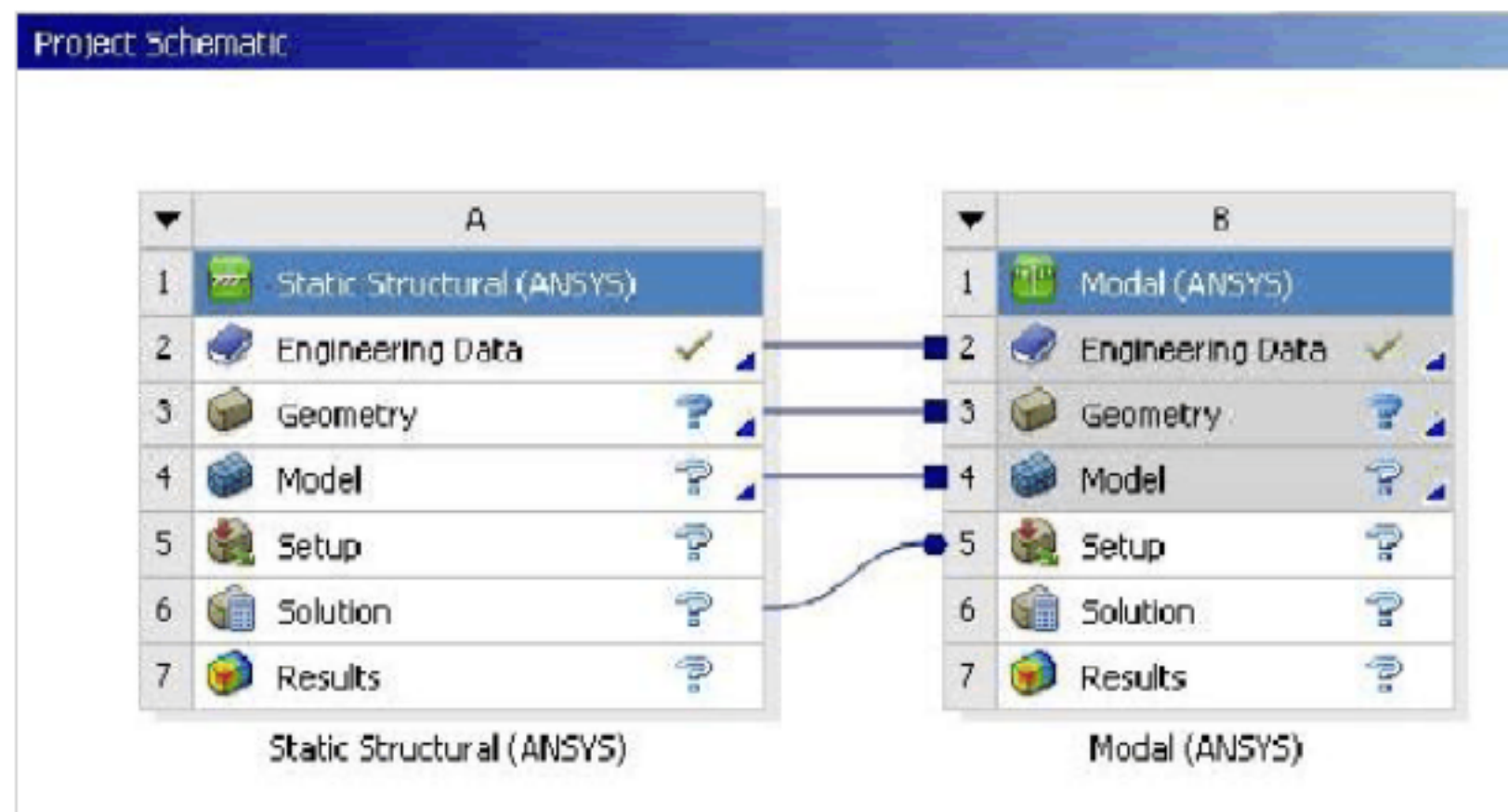
- ? 目标是模拟在有预应力和无预应力两种状态下，拉杆的模态响应。
- ? 确切的说，是给拉杆施加一个 4000N 的拉力，然后同自由状态下的拉杆固有频率作比较。



1. 双击 Toolbox 上的 Static Structural，创建一个新的系统。
2. 把 Modal 系统拖放到 static structural 系统中的 Solution 模块



? 当正确设置了 schematic 后，将显示如下图。

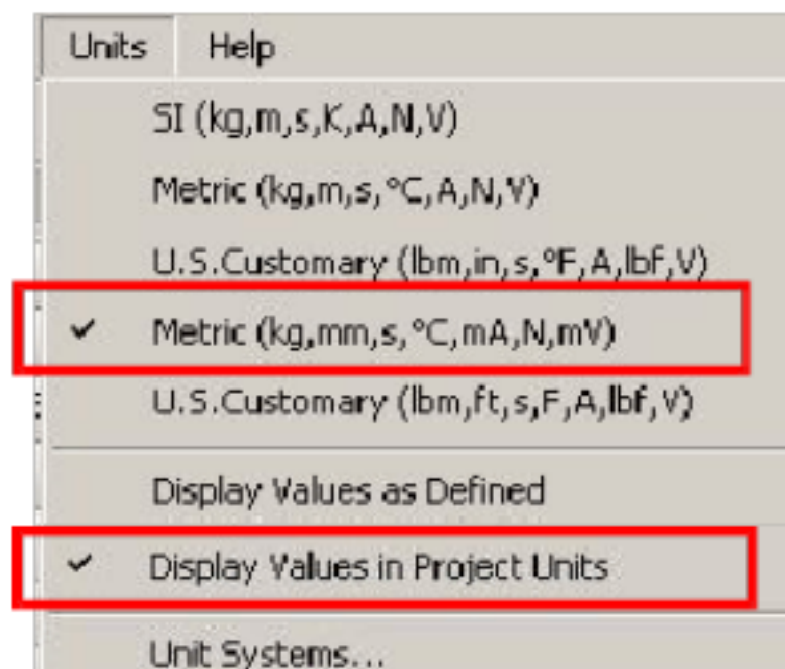


? 上一页的 drop target （拖放目标）表示了拖放操作的结果。 A 系统中的 A2 到 A4 是和系统 B 共享的。同样把 solution (A6) 移到系统 B 设置中。实际上，结构进行的是屈曲分析。

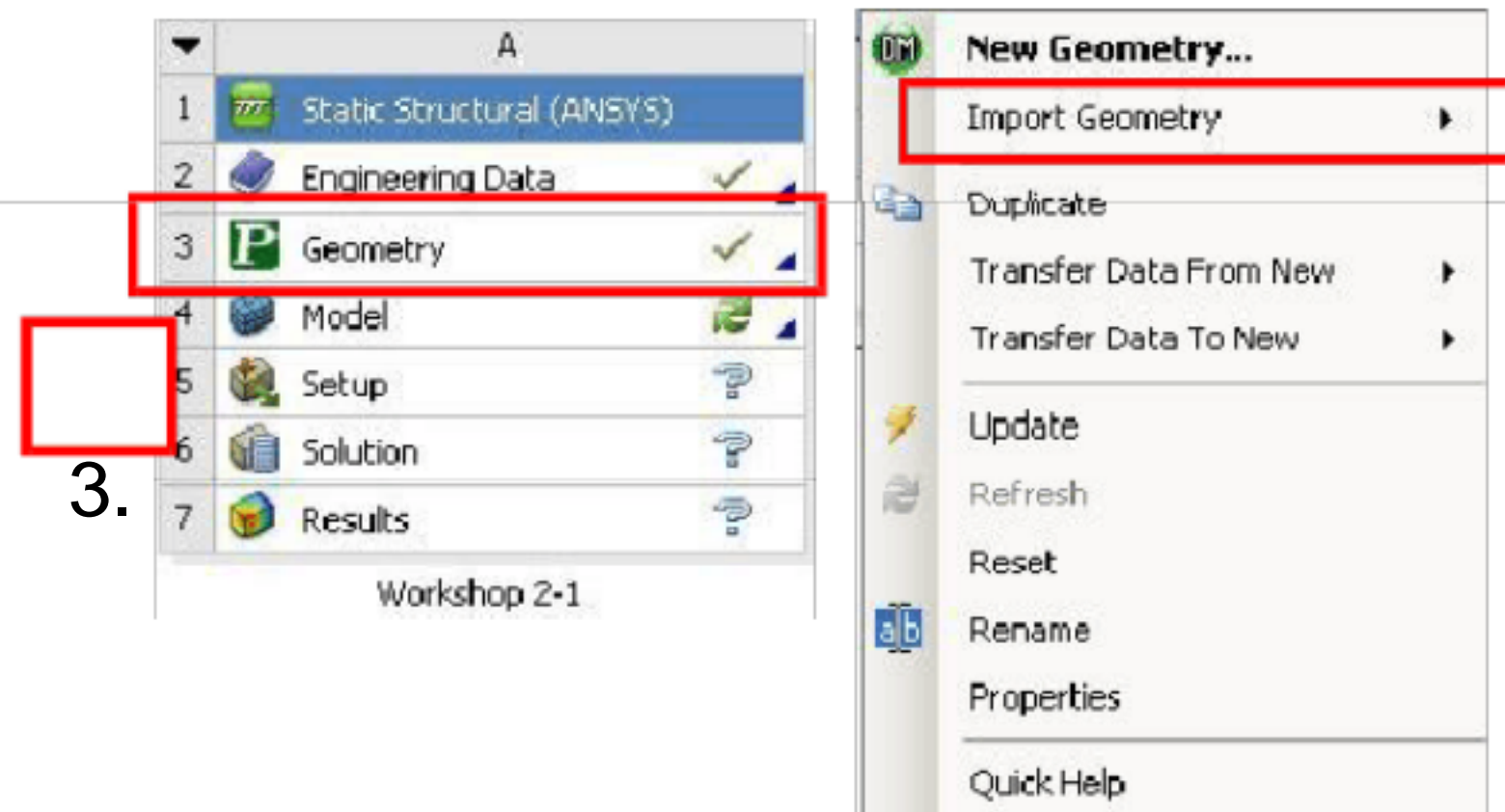


？确定：

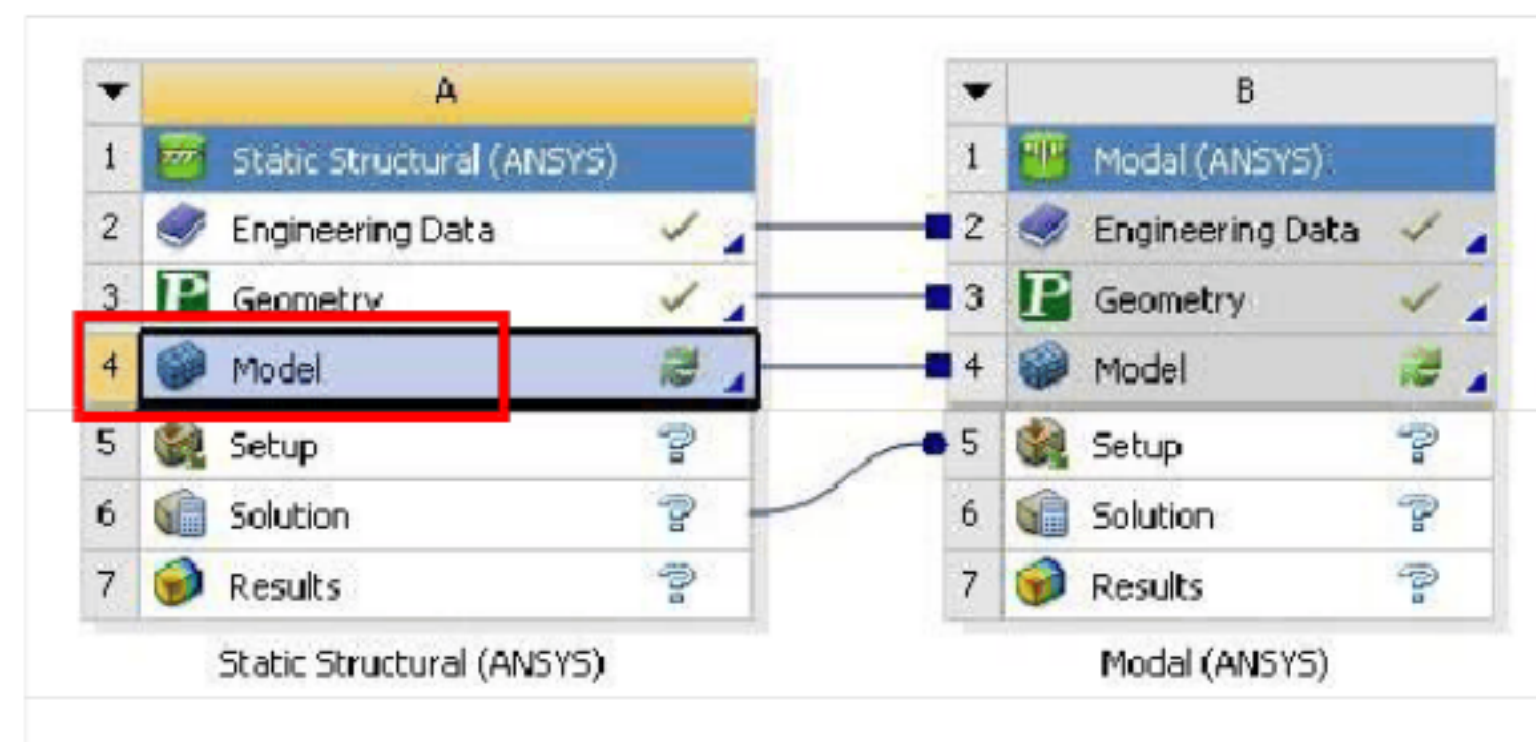
- 项目单位设为 Metric (kg, mm, s, C, mA, mV)
- 选择 Display Values in Project Units



3. 在 static structural system (A) 的  
Geometry 上点击鼠标右键选择  
Import Geometry 导入文件  
tension\_link.x\_t



4. 双击 Model 打开  
Mechanical application



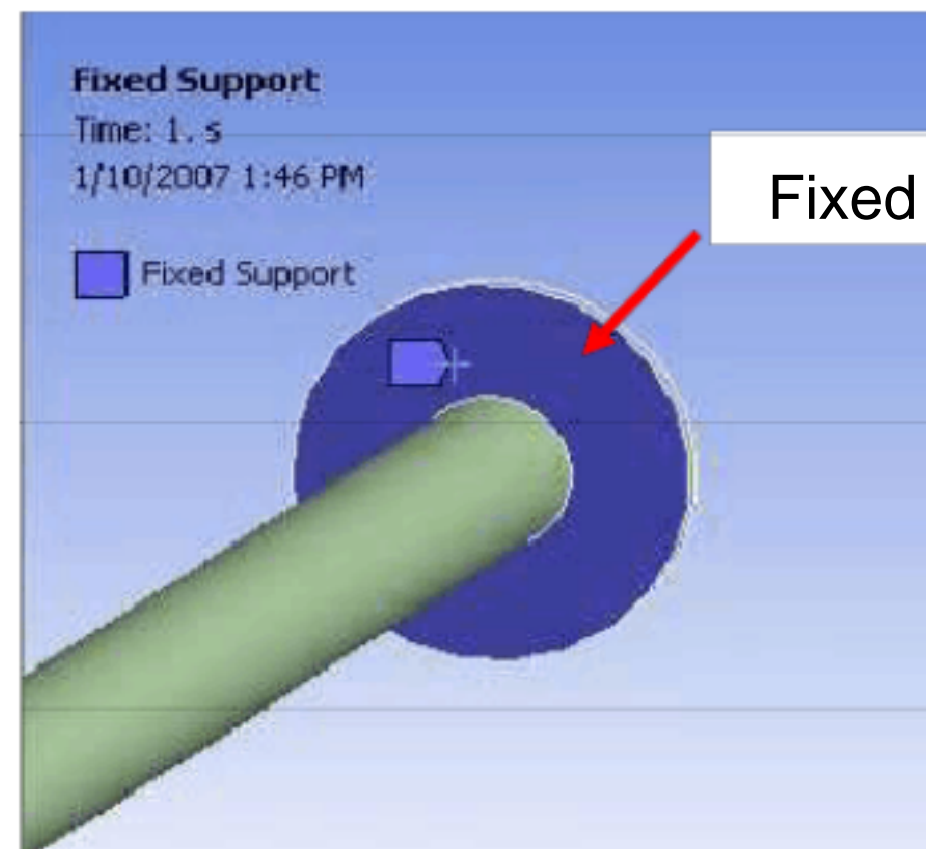
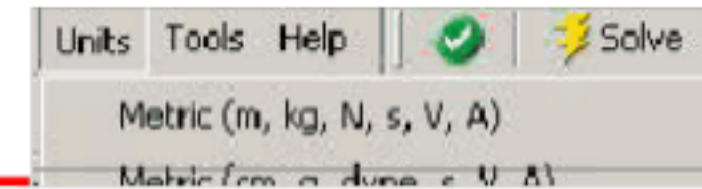
5. 设置作业单位制系统：

– Units > Metric (mm, kg, N, s, mV, mA)

a. 选中一个垫片的一个内表面，然后点击鼠标右键选择 Insert 施加 Fixed Support （固定约束）

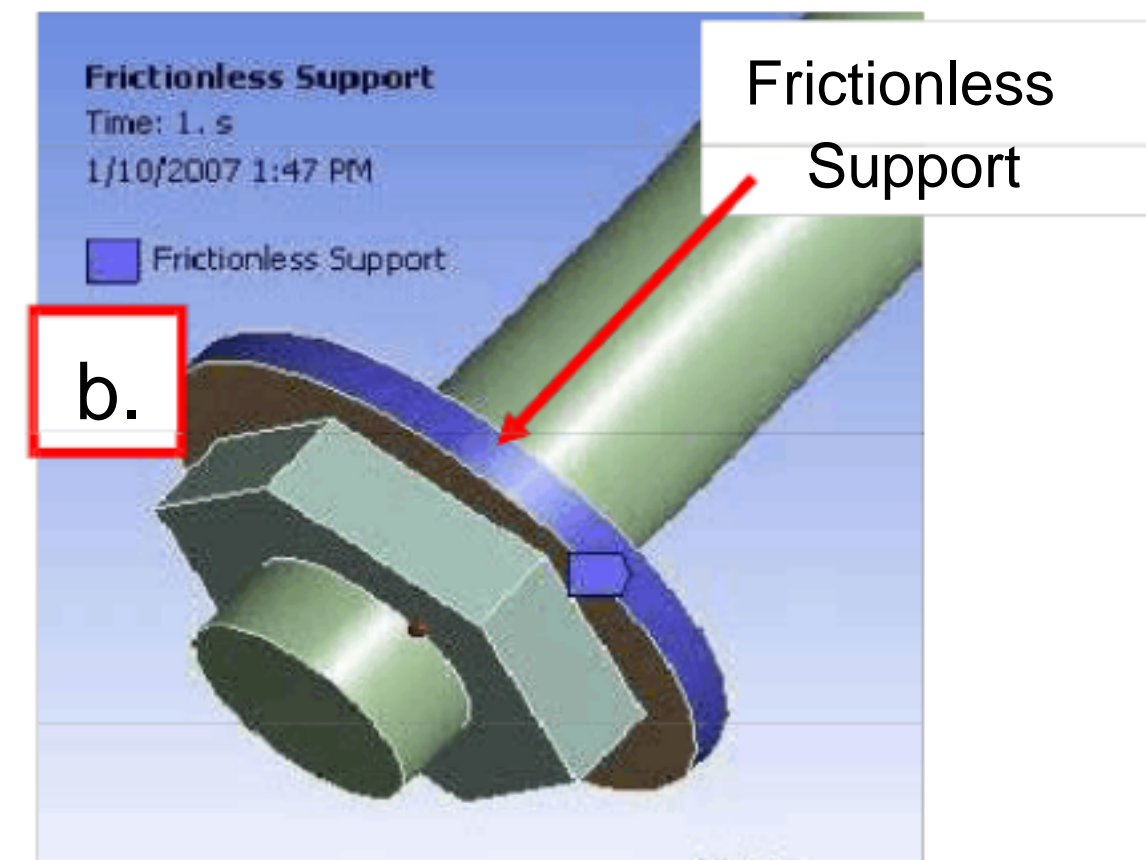
6. 给模型施加约束（选中 Static Structural (A5)）

b. 选中另一个垫片的边缘，然后点击鼠标右键选择 Insert 施加 Frictionless Support （无摩擦约束）



Fixed Support

a.



Frictionless Support

b.



## 7. 给模型施加拉力：

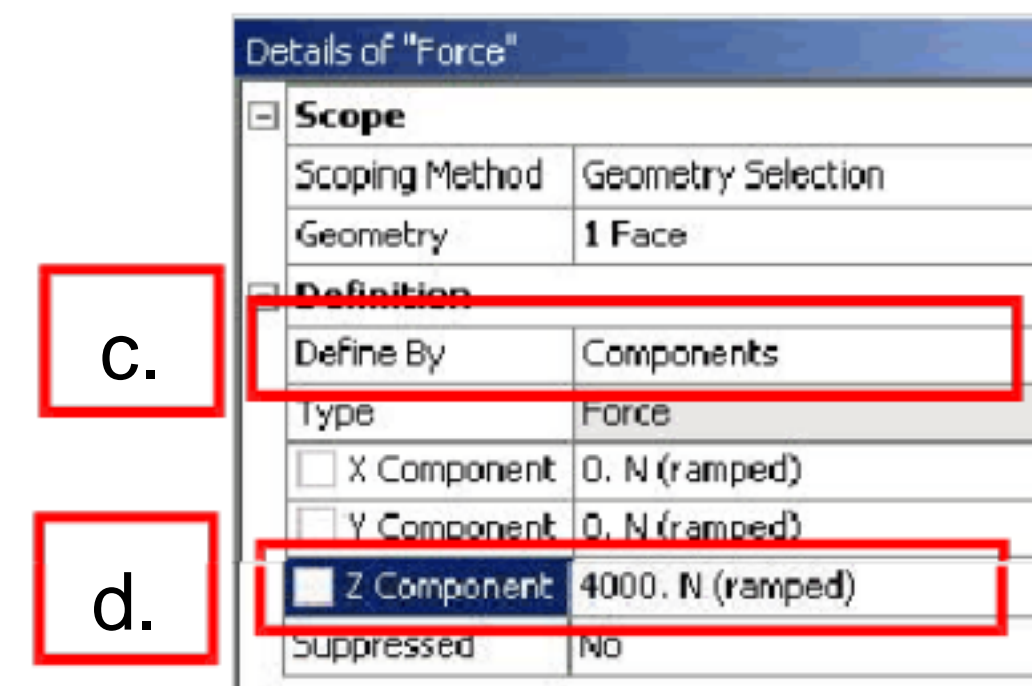
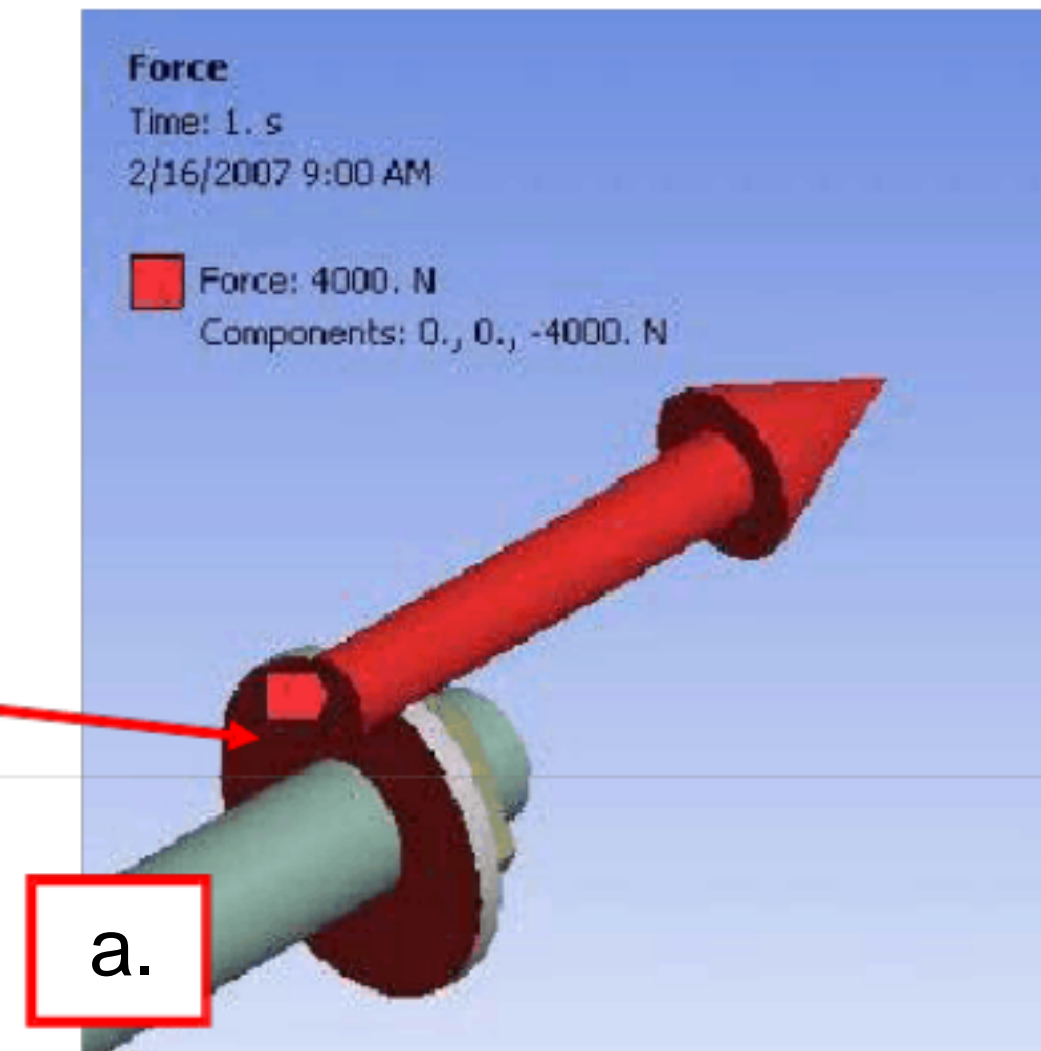
a. 必要时，旋转模型并放大查看垫片的内表面。  
该垫片的边缘施加了光滑约束。

b. RMB（点击鼠标右键选择）> Insert> Force

c. 在 Details of Force 中改变 Components

d. 给 Z component 赋值 4000

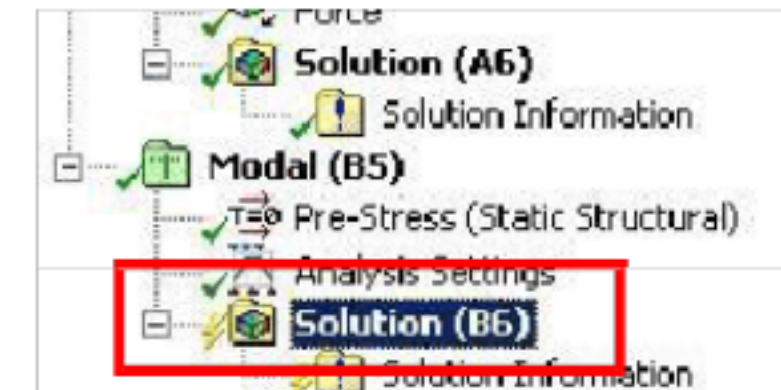
? 提示：根据选择的约束，载荷应定义为 4000N 来拉把杆。



## 作业 5.2 – 分析设置

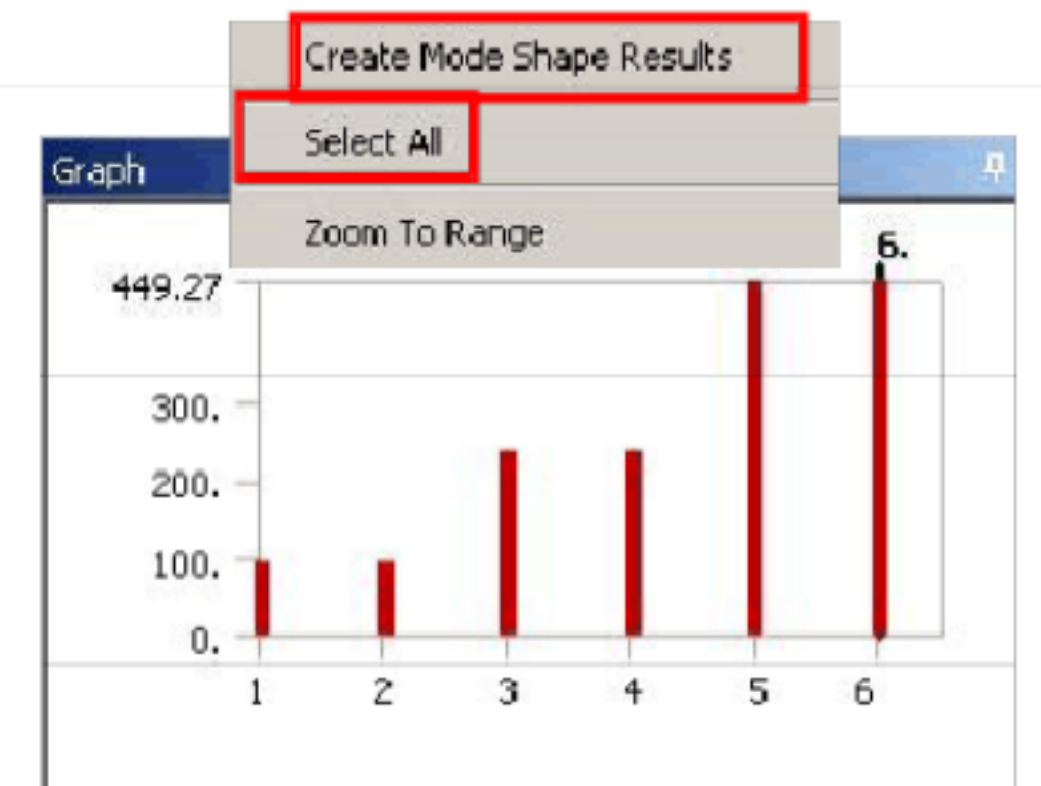
8. 选中 modal 中的 Solution (B6) 和 Solve.

– 在求解结束情况下进行该操作

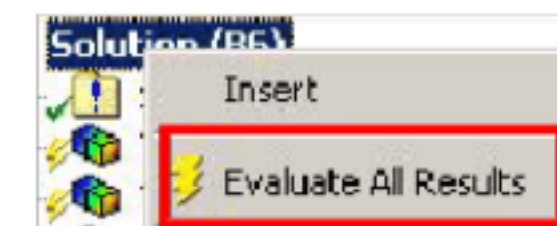


9. 插入模态结果：

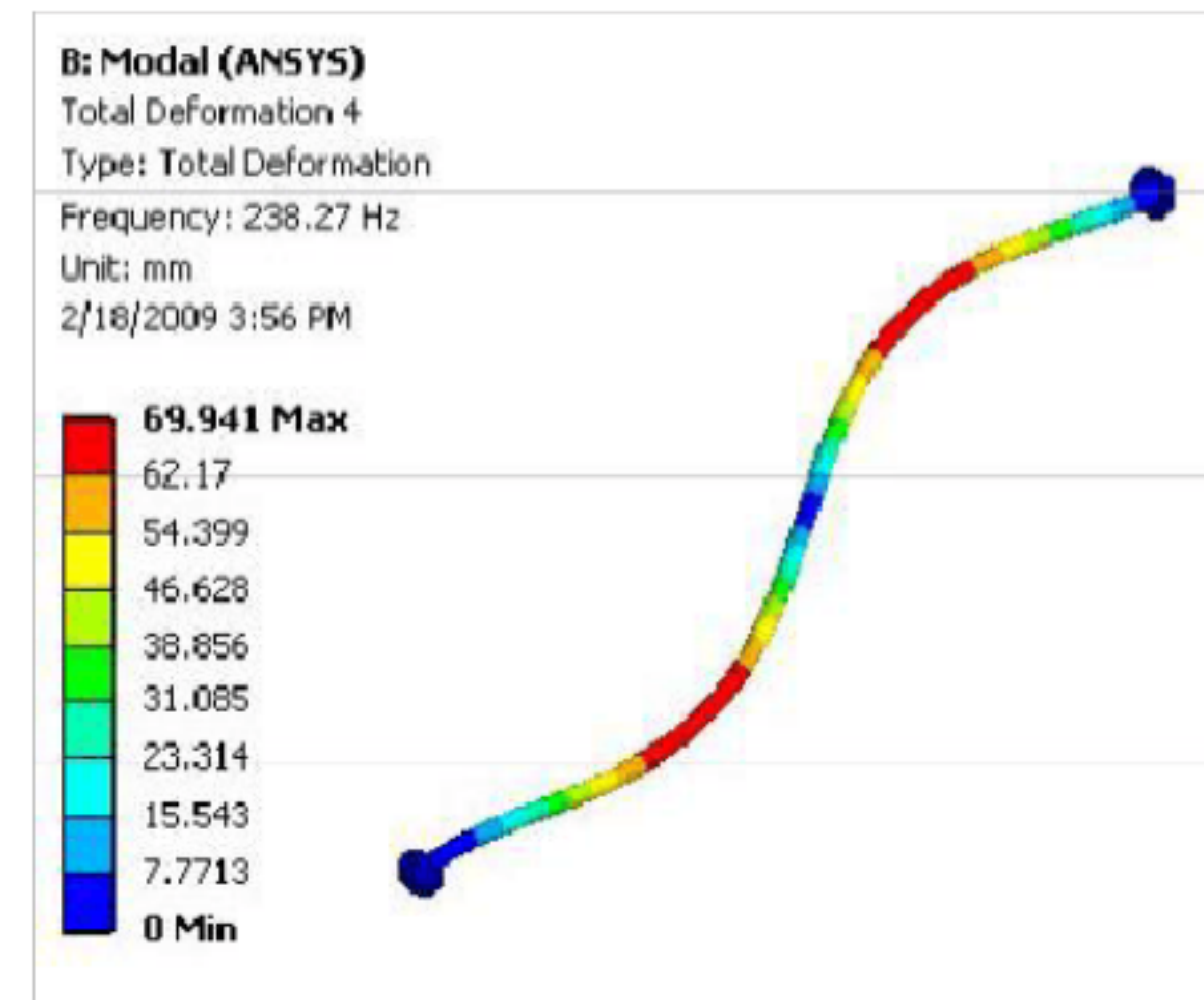
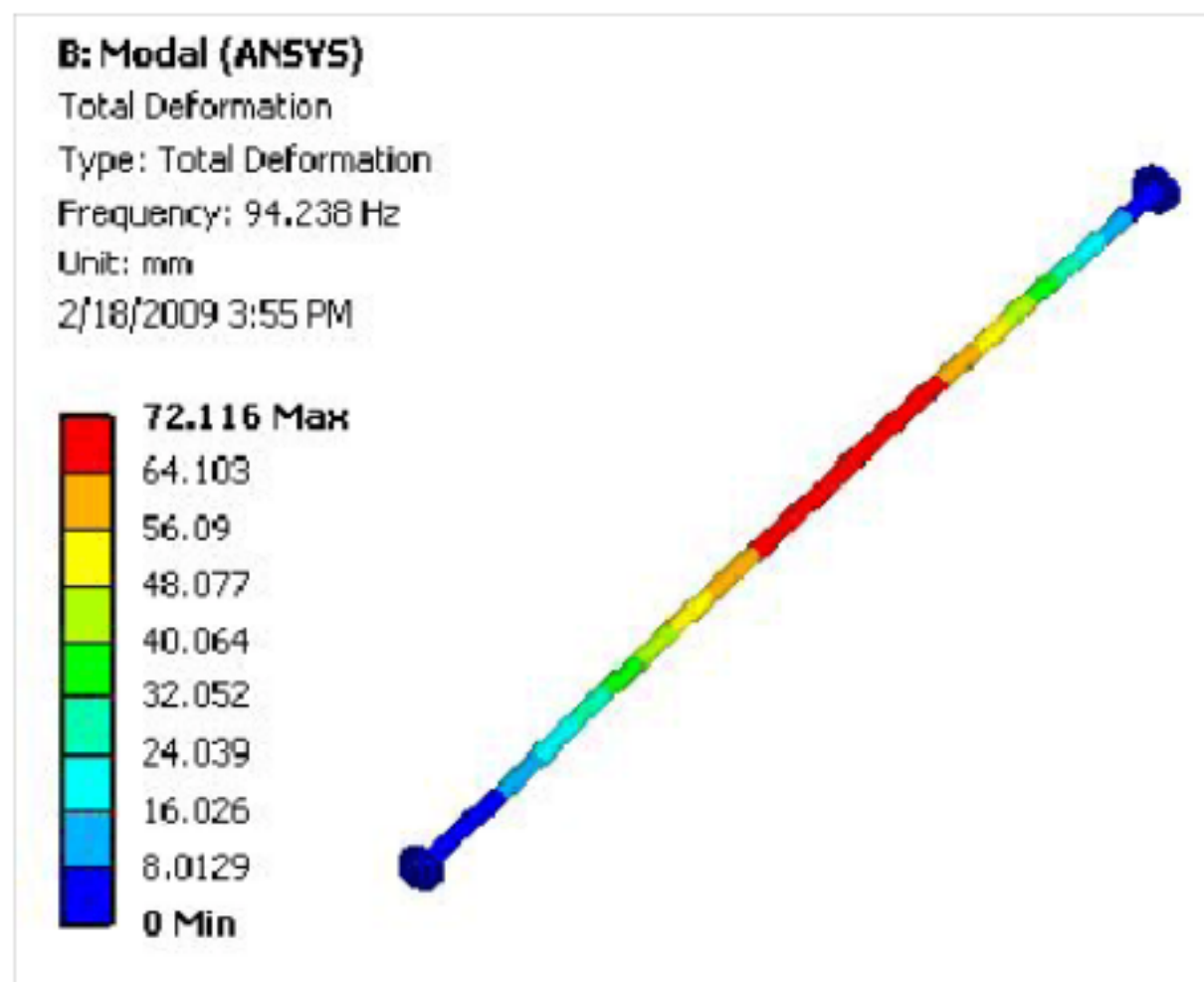
- 在 timeline 上点击鼠标右键选择 Select All
- 在 timeline 上点击鼠标右键选择 Create Mode Shape Results



10. 在 Solution 点击鼠标右键选择 Evaluate All Results

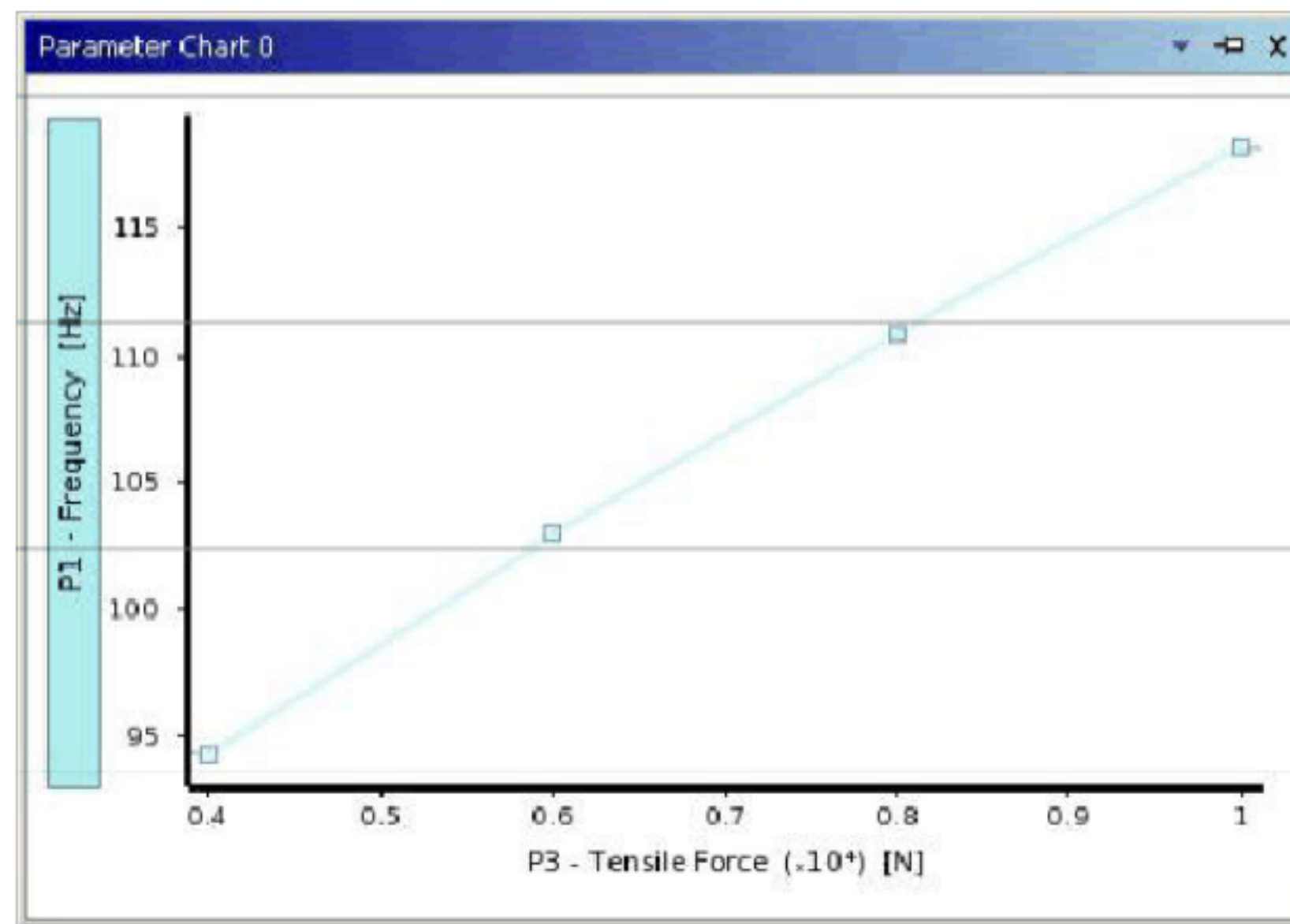


11. 选择不同结果来查看模态形状。





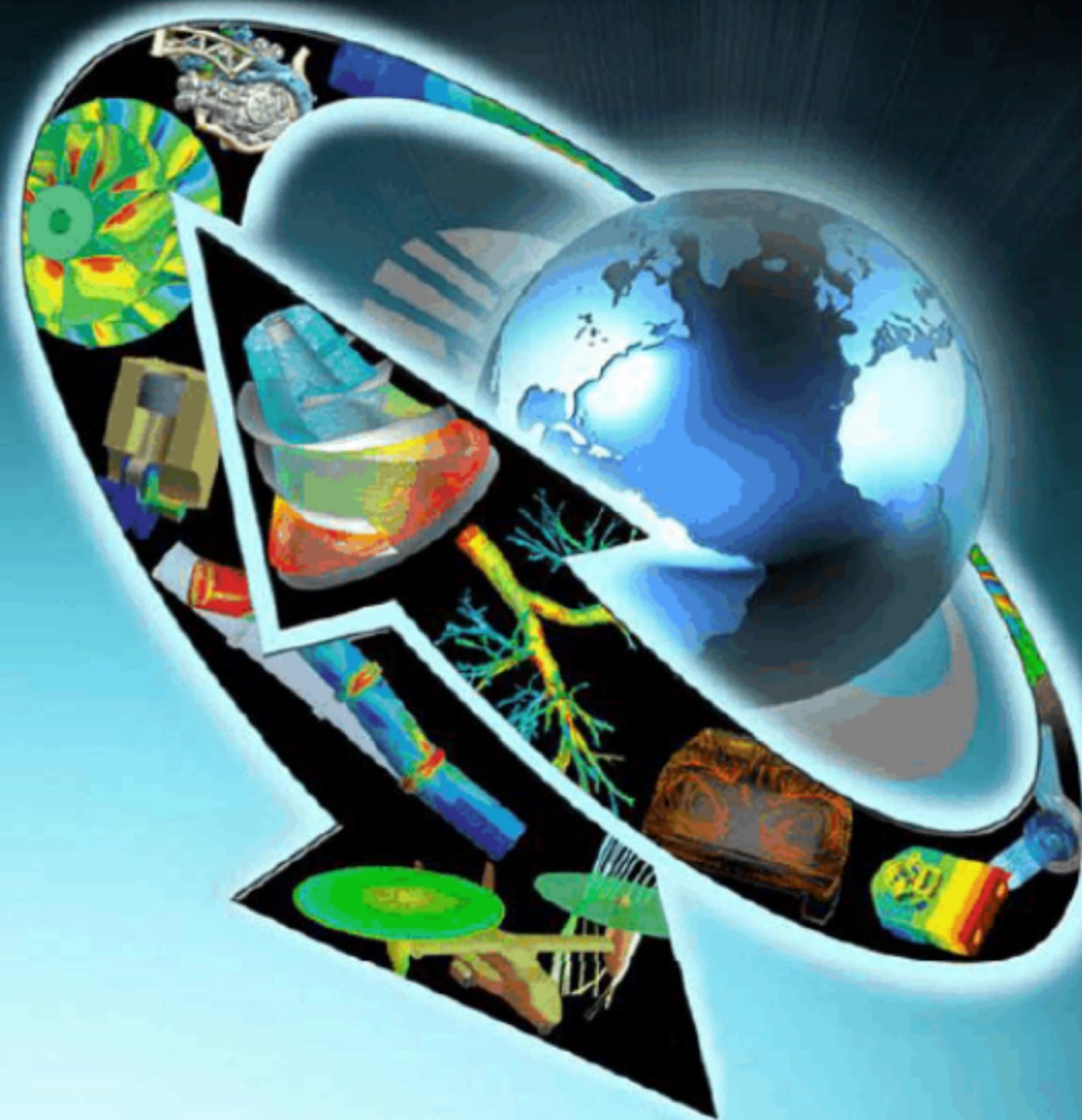
?该表给出了随载荷增加时的一屈固有频率的变化。（注意它只是用来说明的，并不是作业的一部分）





## Workbench - Mechanical Introduction

### 第六章 热 分析







? 本章练习稳态热分析的模拟，包括：

- A. 几何模型
- B. 组件 - 实体接触
- C. 热载荷
- D. 求解选项
- E. 结果和后处理
- F. 作业 6.1

? 本节描述的应用一般都能在 ANSYS DesignSpace    Entra 或更高版本中使用，除了 ANSYS Structural

? 提示：在 ANSYS 热分析 的培训中包含了包括热瞬态分析的高级分析

? 对于一个稳态热分析的模拟，温度矩阵  $\{T\}$  通过下面的矩阵方程解得：

$$[K] \{T\} = \{Q\}$$

? 假设：

- 在稳态分析中不考虑瞬态影响
- $[K]$  可以是一个常量或是温度的函数
- $\{Q\}$  可以是一个常量或是温度的函数

? 上述方程基于傅里叶定律：

- ? 固体内部的热流 ( Fourier ' law ) 是 [K] 的基础；
- ? 热通量、热流率、以及对流 在 {Q} 为边界条件；
- ? 对流被处理成边界条件，虽然对流换热系数可能与温度相关

? 在模拟时，记住这些假设对热分析是很重要的。



？热分析里所有实体类都被约束：

－体、面、线

？线实体的截面和轴向在 DesignModeler 中定义

？热分析里不可以使用点质量（ Point Mass ）的特性

？壳体和线体假设：

－壳体：没有厚度方向上的温度梯度

－线体：没有厚度变化，假设在截面上是一个常量温度

？但在线实体的轴向仍有温度变化

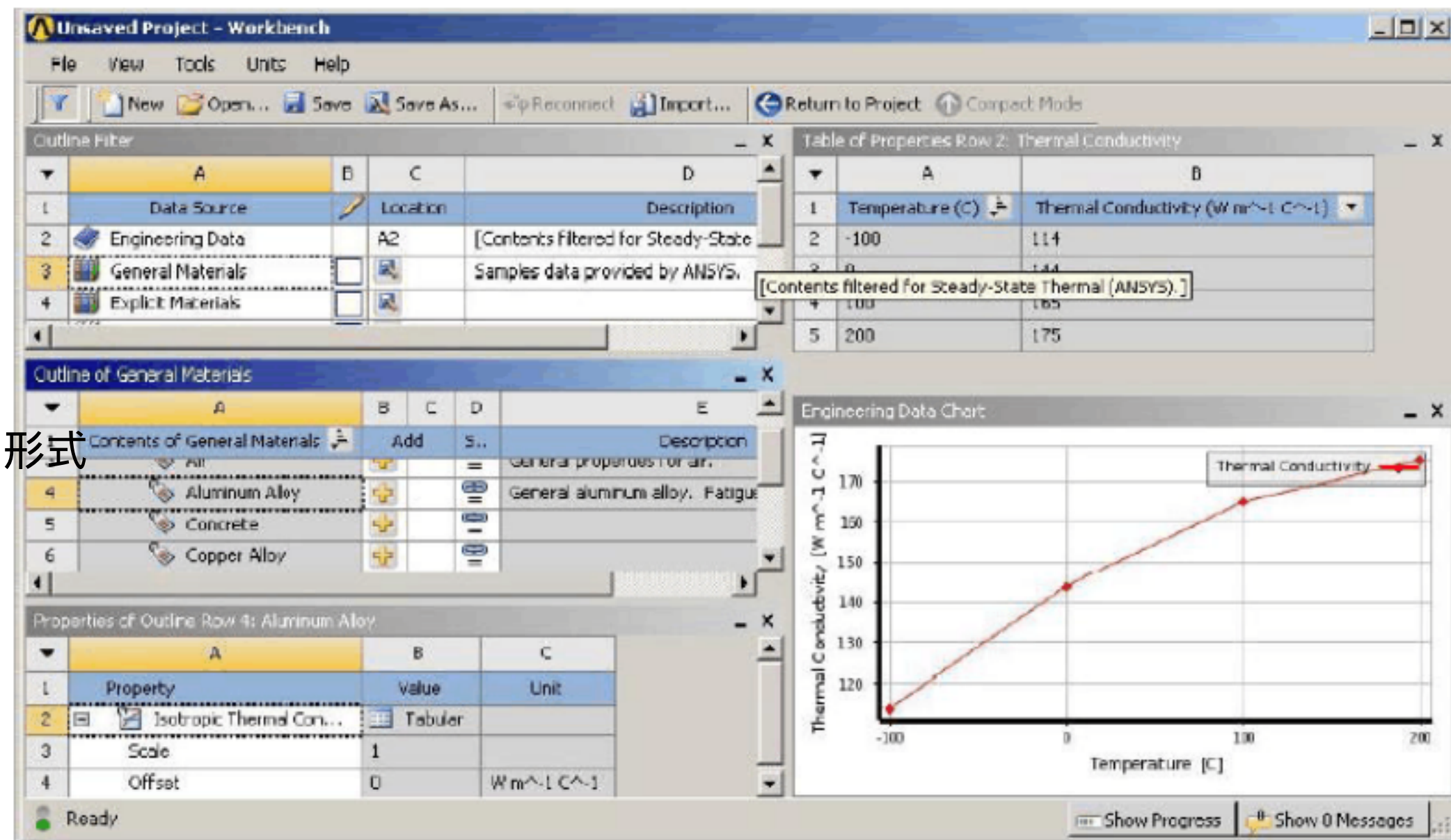
## ... 材料特性

# Training Manual

唯一需要的材料特性是导热性 ( Thermal Conductivity )

? Thermal Conductivity 在  
Engineering Data 中输  
入

? 温度相关的导热性以表格形式输入



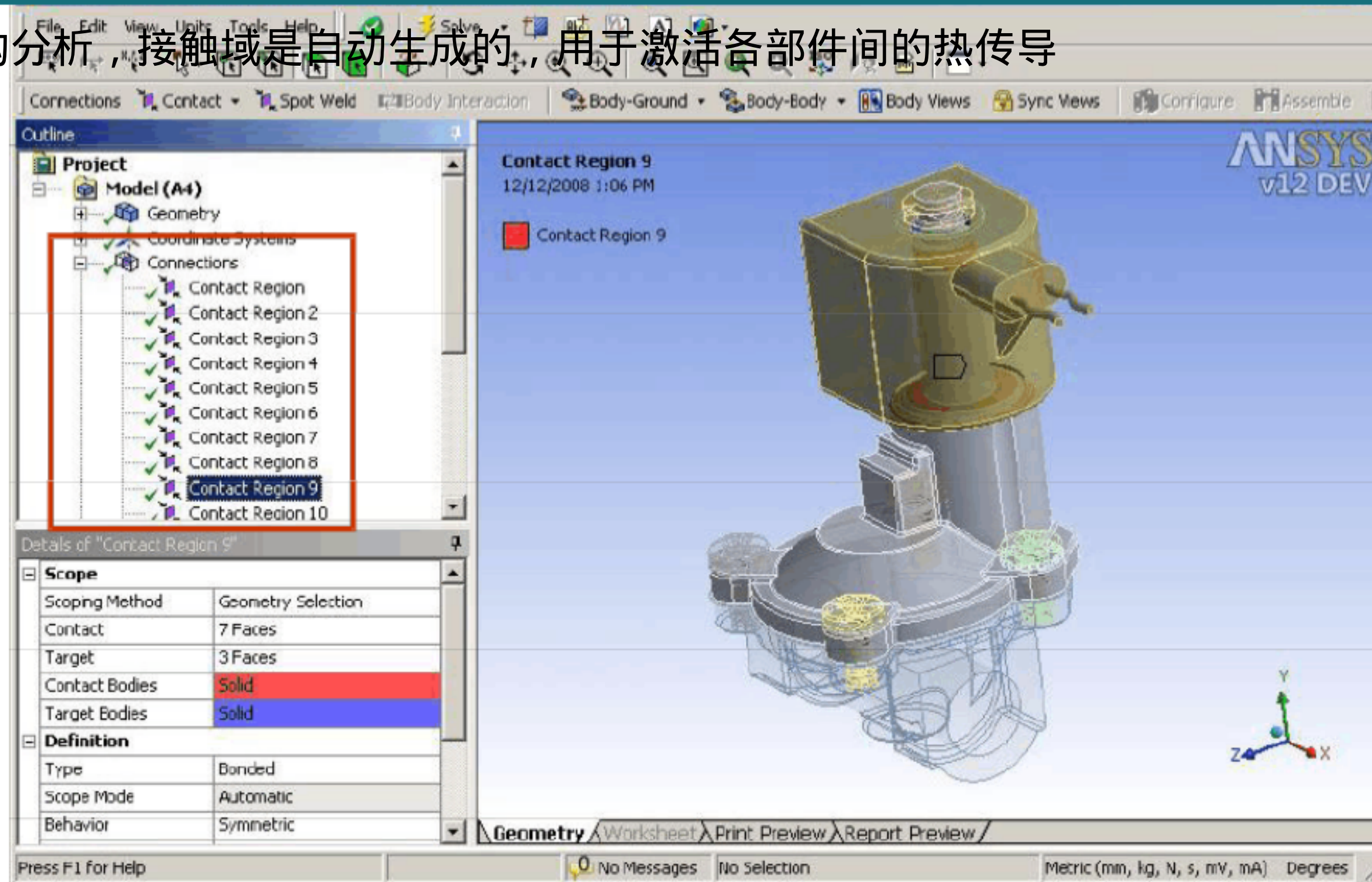
若存在任何的温度相关的材料特性，就将导致非线性求解。

# 热分析

## B. 组件-实体接触

Training Manual

? 对于结构分析, 接触域是自动生成的, 用于激活各部件间的热传导



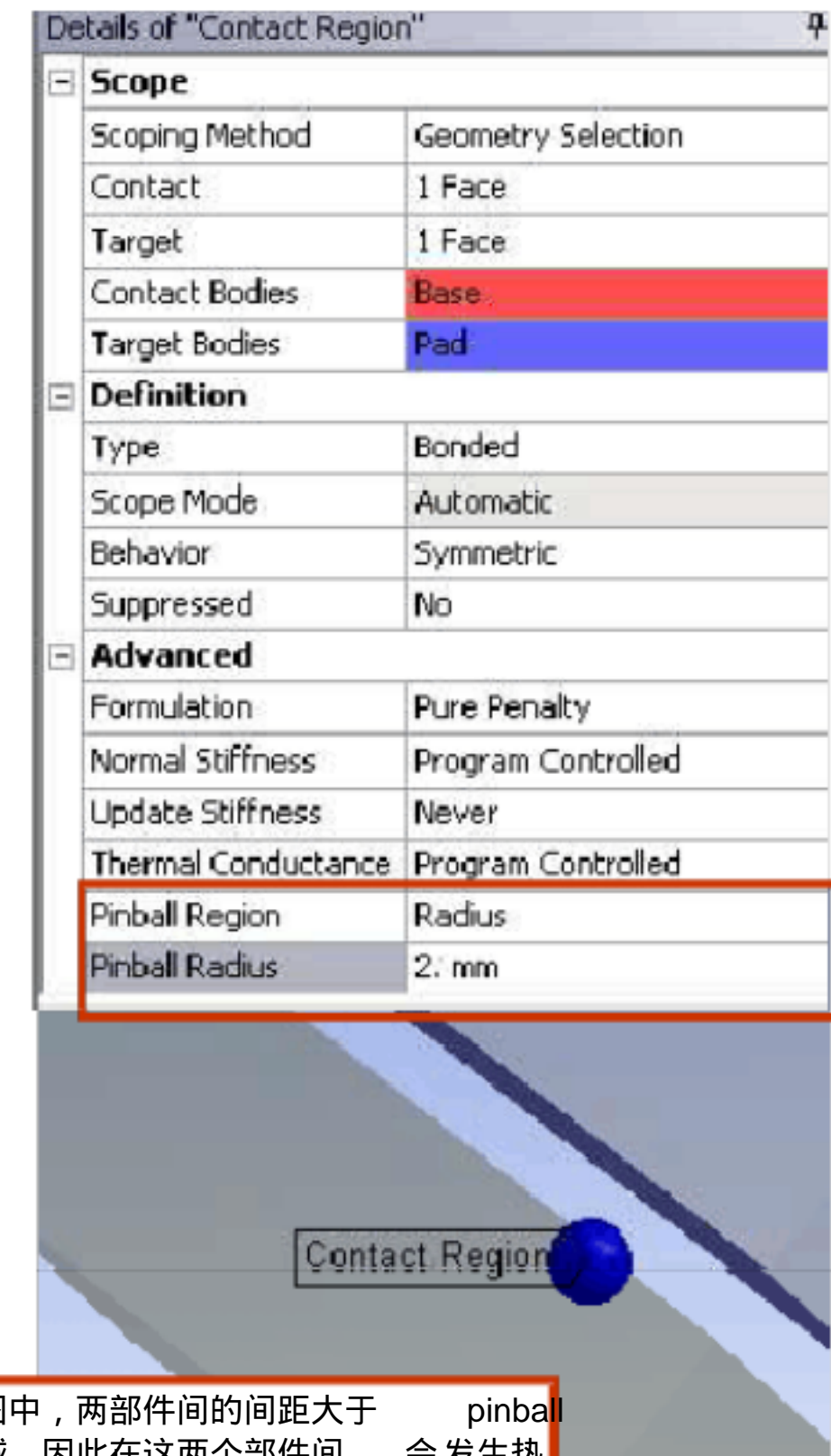
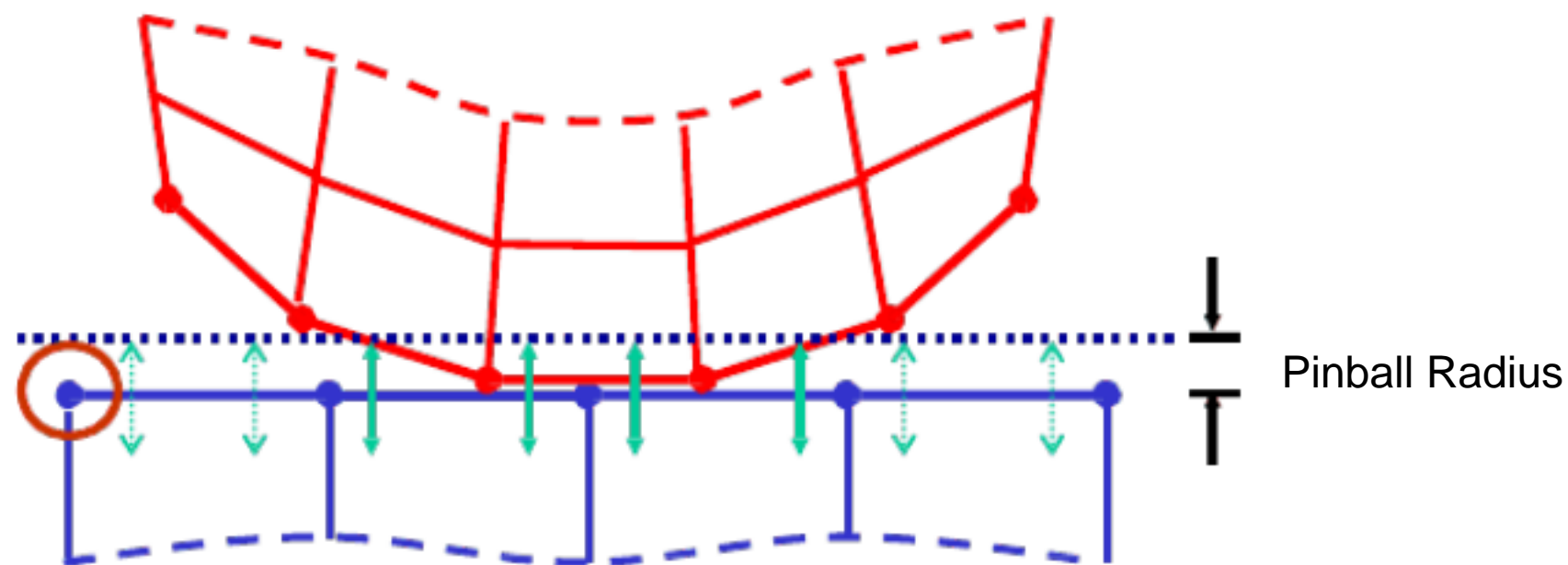


- 如果部件间初始就已经接触，那么就会出现热传导。
- 如果部件间初始就没有接触，那么就不会发生热传导（见下面对 pinball 的解释）。
- 总结：

| Contact Type  | Heat Transfer Between Parts in Contact |                       | Region?                |
|---------------|--|-----------------------|------------------------|
|               | Initially Touching                     | Inside Pinball Region | Outside Pinball Region |
| Bonded        | Yes                                    | Yes                   | No                     |
| No Separation | Yes                                    | Yes                   | No                     |
| Rough         | Yes                                    | No                    | No                     |
| Frictionless  | Yes                                    | No                    | No                     |
| Frictional    | Yes                                    | No                    | No                     |

- Pinball 区域决定了什么时候发生接触，并且是自动定义的，同时还给了一个相对较小的值来适应模型里的小间距。

? 如果接触是 Bonded (绑定的) 或 no separation (无分离的), 那么当面出现在 pinball radius 内时就会发生热传导 (绿色实线表示)。



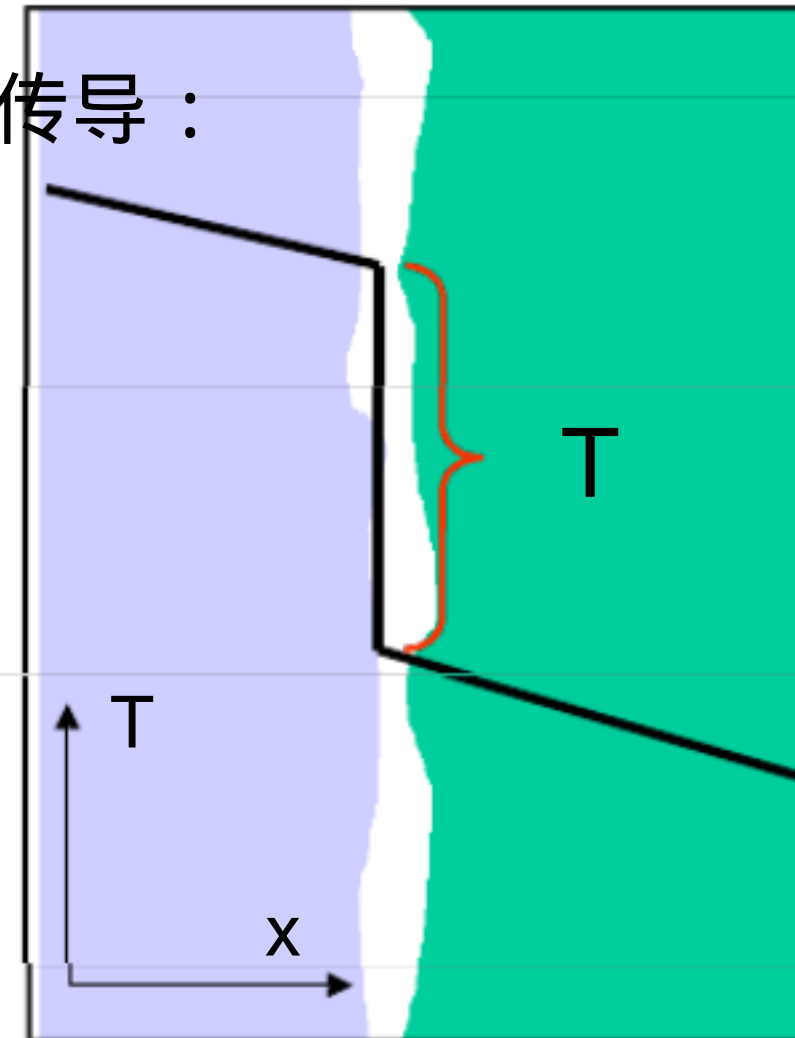
右图中，两部件间的间距大于 pinball 区域，因此在这两个部件间 会发生热传导。

? 默认情况下，假设部件间是完美的热接触传导，意味着界面上不会发生温度降

? 实际情况有些条件削弱了完美的热接触传导：

- 氧化物 包
- 埋液 接触
- 压力 表面
- 温度
- 使用导电脂
- . . . . .

? 接着 .....





- 穿过接触界面的热流速，由接触热通量  $q$  决定：

$$q = TCC (T_{\text{target}} - T_{\text{contact}})$$

- 式中  $T_{\text{contact}}$  是一个接触节点上的温度， $T_{\text{target}}$  是对应目标节点上的温度
- 默认情况下，基于模型中定义的最大材料导热性  $KXX$  和整个几何边界框的对角线  $ASMDIAG$ ， $TCC$  被赋以一个相对较大的值。

$$TCC = KXX \cdot 10,000 / ASMDIAG$$

- 这实质上为部件间提供了一个完美接触传导

? 在 ANSYS Professional 或更高版本，用户可以为纯罚函数和增广拉格朗日方程定义一个有限热接触传导（TCC）。

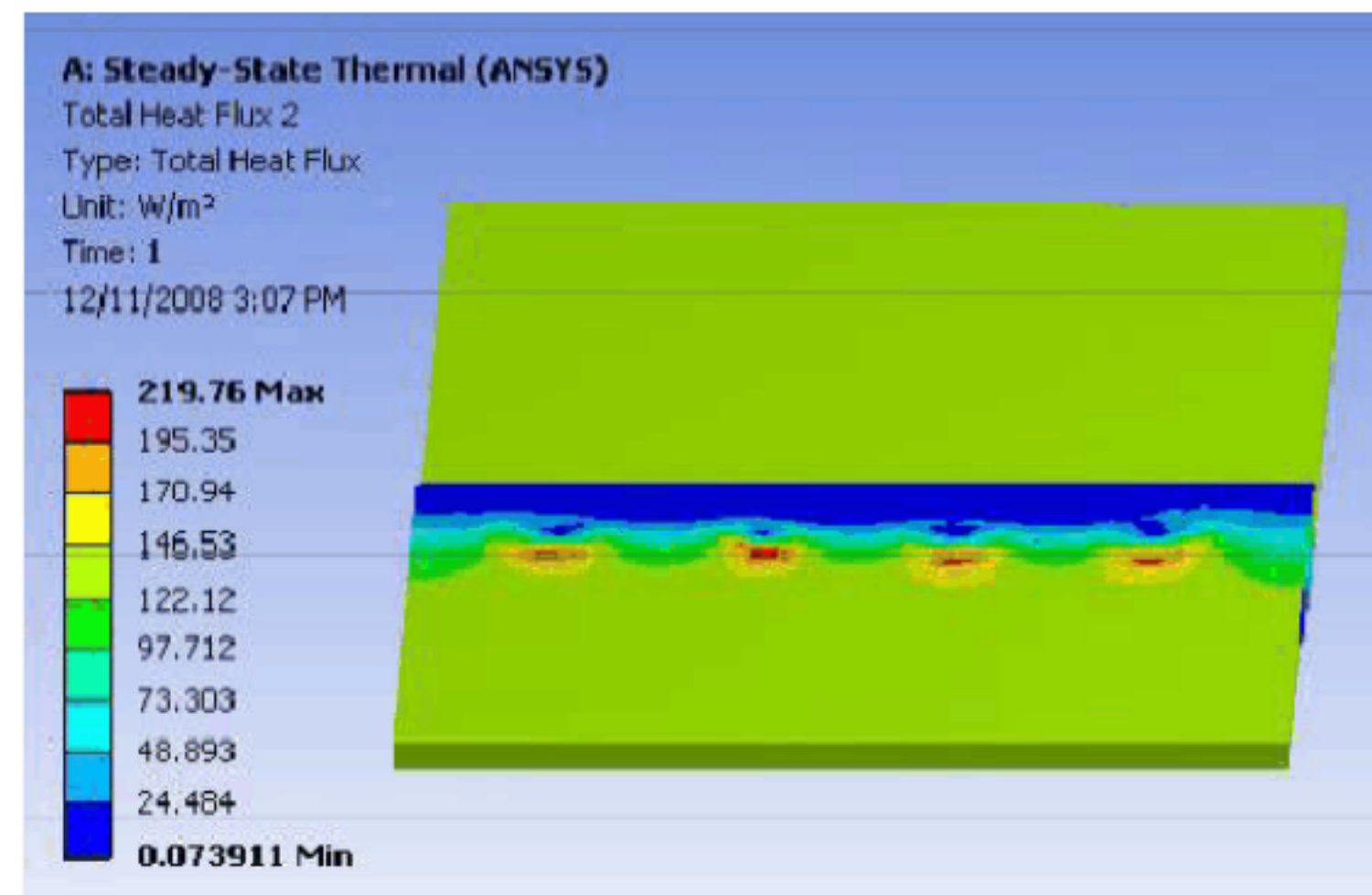
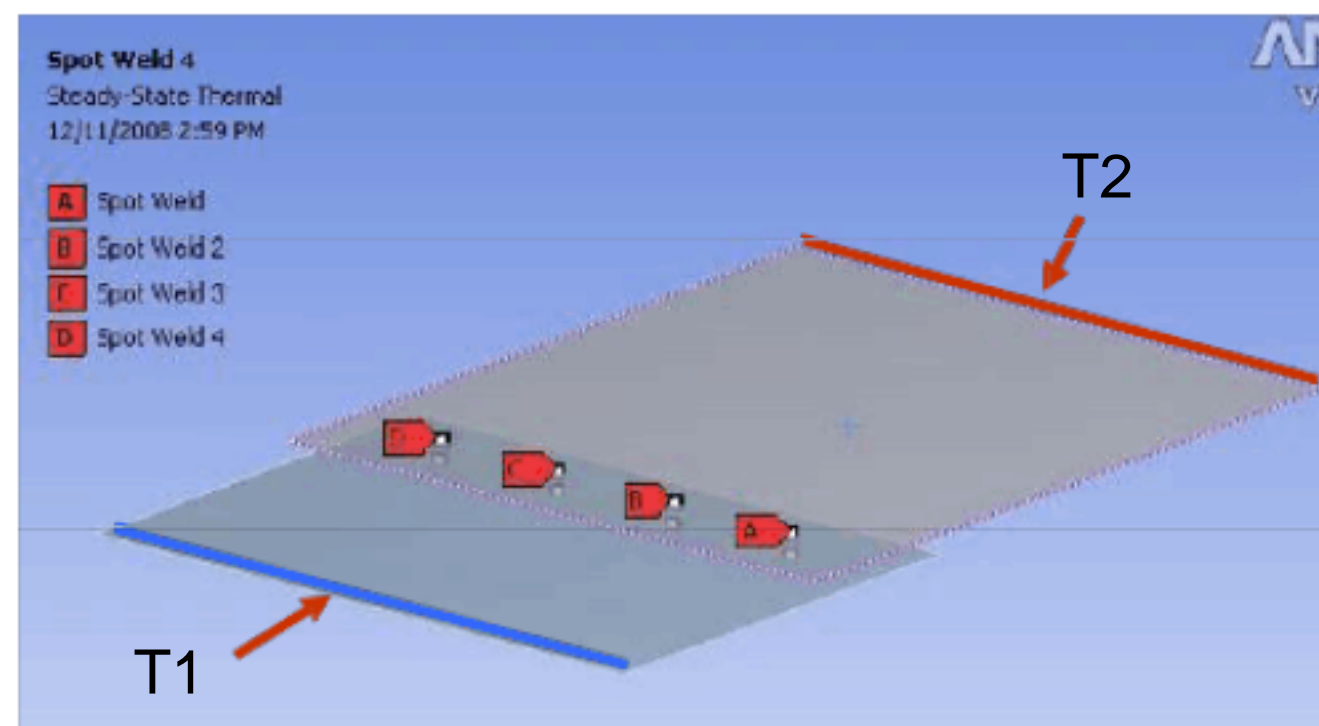
- 在细节窗口，为每个接触域指定 TCC 输入值
- 如果已知接触热阻，那么它的相反数除以接触面积就可得到 TCC 值

在接触界面上，可以像接触热阻一样输入接触热传导

| Details of "Contact Region" |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| [-] Scope                   |                         |
| Contact                     | 2 Faces                 |
| Target                      | 2 Faces                 |
| Contact Bodies              | bracket-1               |
| Target Bodies               | Yoke_male-1             |
| [-] Definition              |                         |
| Type                        | Bonded                  |
| Scope Mode                  | Automatic               |
| Behavior                    | Symmetric               |
| Suppressed                  | No                      |
| [-] Advanced                |                         |
| Formulation                 | Pure Penalty            |
| Normal Stiffness            | Program Controlled      |
| Update Stiffness            | Never                   |
| Thermal Conductance         | Manual                  |
| Thermal Conductance Value   | 0. W/m <sup>2</sup> ·°C |
| Pinball Region              | Program Controlled      |

? Spotweld （点焊）提供了离散的热传导点：


- Spotweld 在 CAD 软件中进行定义（目前只有 DesignModeler 和 Unigraphics 可用）。





? 热流量 :  Heat Flow

- 热流速可以施加在点、边或面上。它分布在多个选择域上。
- 它的单位是能量比上时间 ( energy/time )

? 完全绝热 ( 热流量为 0 ) :  Perfectly Insulated

? 热通量 :  Heat Flux

- 热通量只能施加在面上 ( 二维情况时只能施加在边上 )
- 它的单位是能量比上时间在除以面积 ( energy/time/area )

? 热生成 :

- 内部热生成只能施加在实体上  Internal Heat Generation
- 它的单位是能量比上时间在除以体积 ( energy/time/volume )

正的热载荷会增加系统的能量。

## 温度、对流、辐射：

？至少应存在一种类型的热边界条件，否则，如果热量将源源不断地输入到系统中，稳态时的温度将会达到无穷大。

？另外，给定的温度或对流载荷不能施加到已施加了某种热载荷或热边界条件的表面上。

？完全绝热条件将忽略其它的热边界条件

？给定温度：



- 给点、边、面或体上指定一个温度
- 温度是需要求解的自由度

## ...热边界条件

? 对流:  Convection

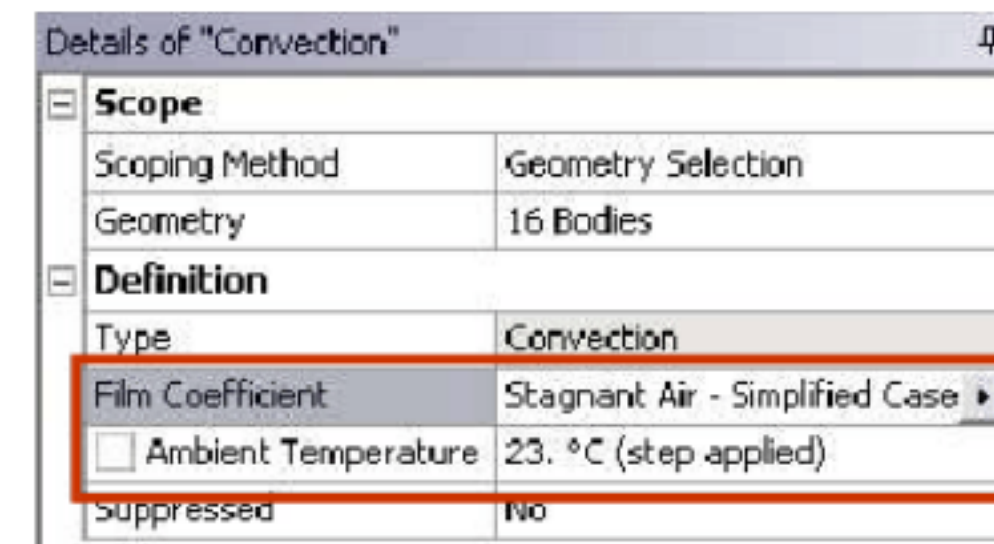
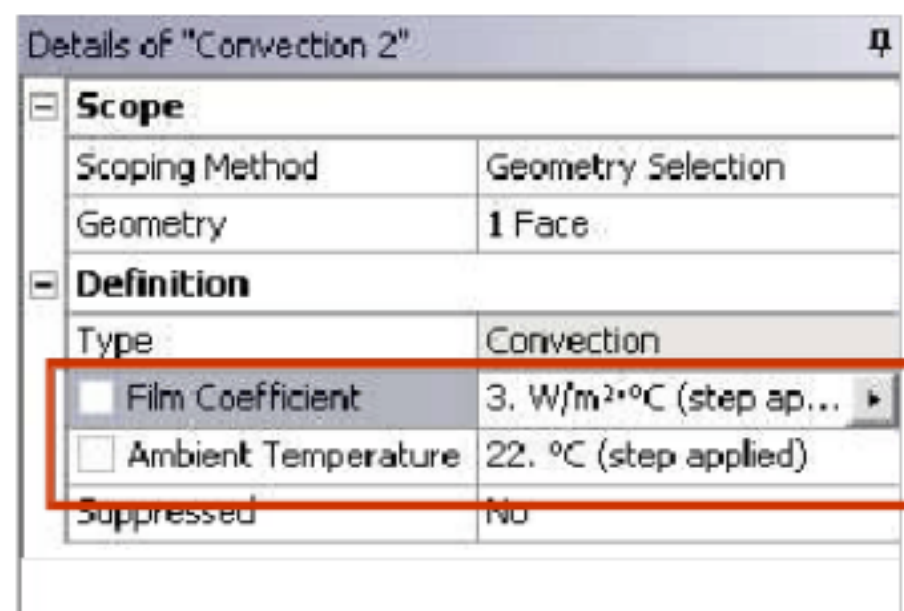
– 只能施加在面上（二维分析时只能施加在边上）

– 对流  $q$  由导热膜系数  $h$ ，面积  $A$ ，以及表面温度  $T_{\text{surface}}$  与环境温度  $T_{\text{ambient}}$  的差值来定义。

$$q = hA(T_{\text{surface}} - T_{\text{ambient}})$$

– “ $h$ ”和“ $T_{\text{ambient}}$ ”是用户指定的值

– 导热膜系数  $h$  可以是常量或是温度的函数

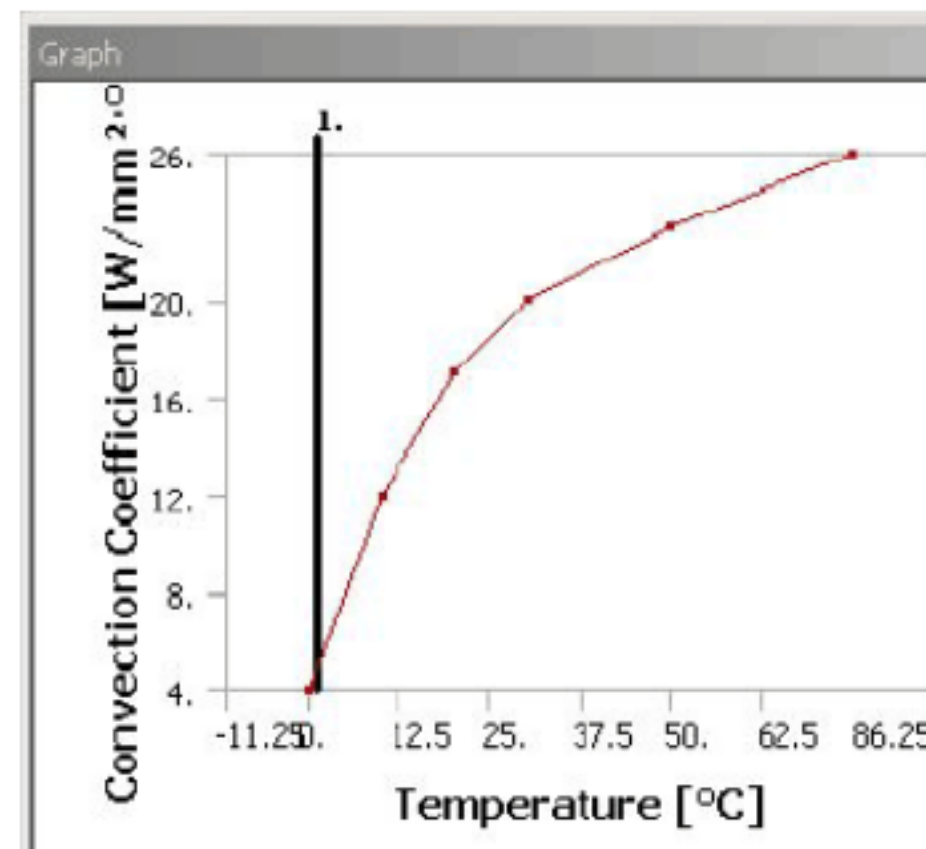
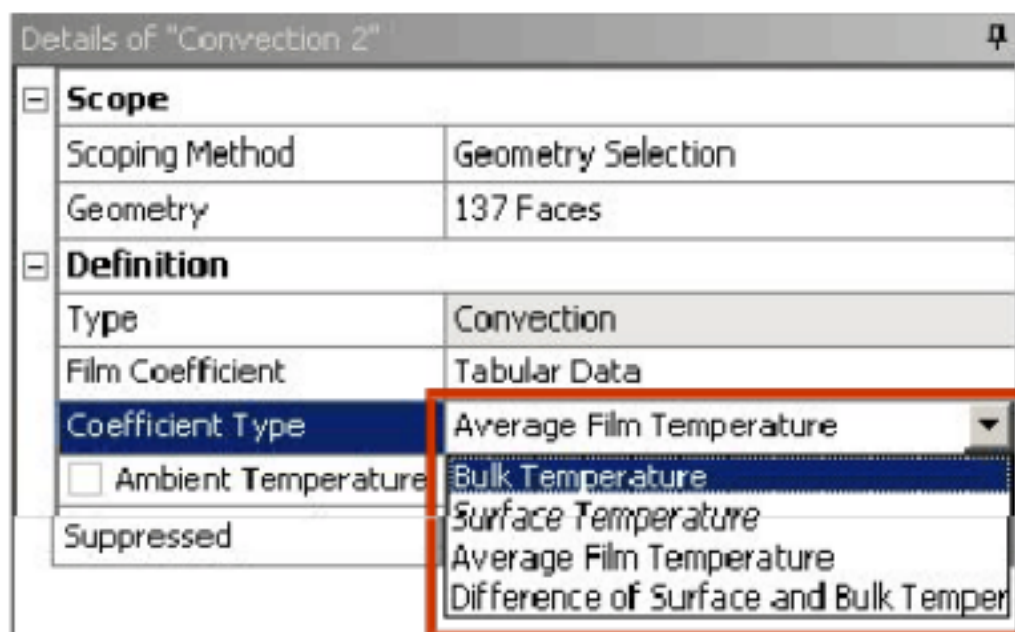
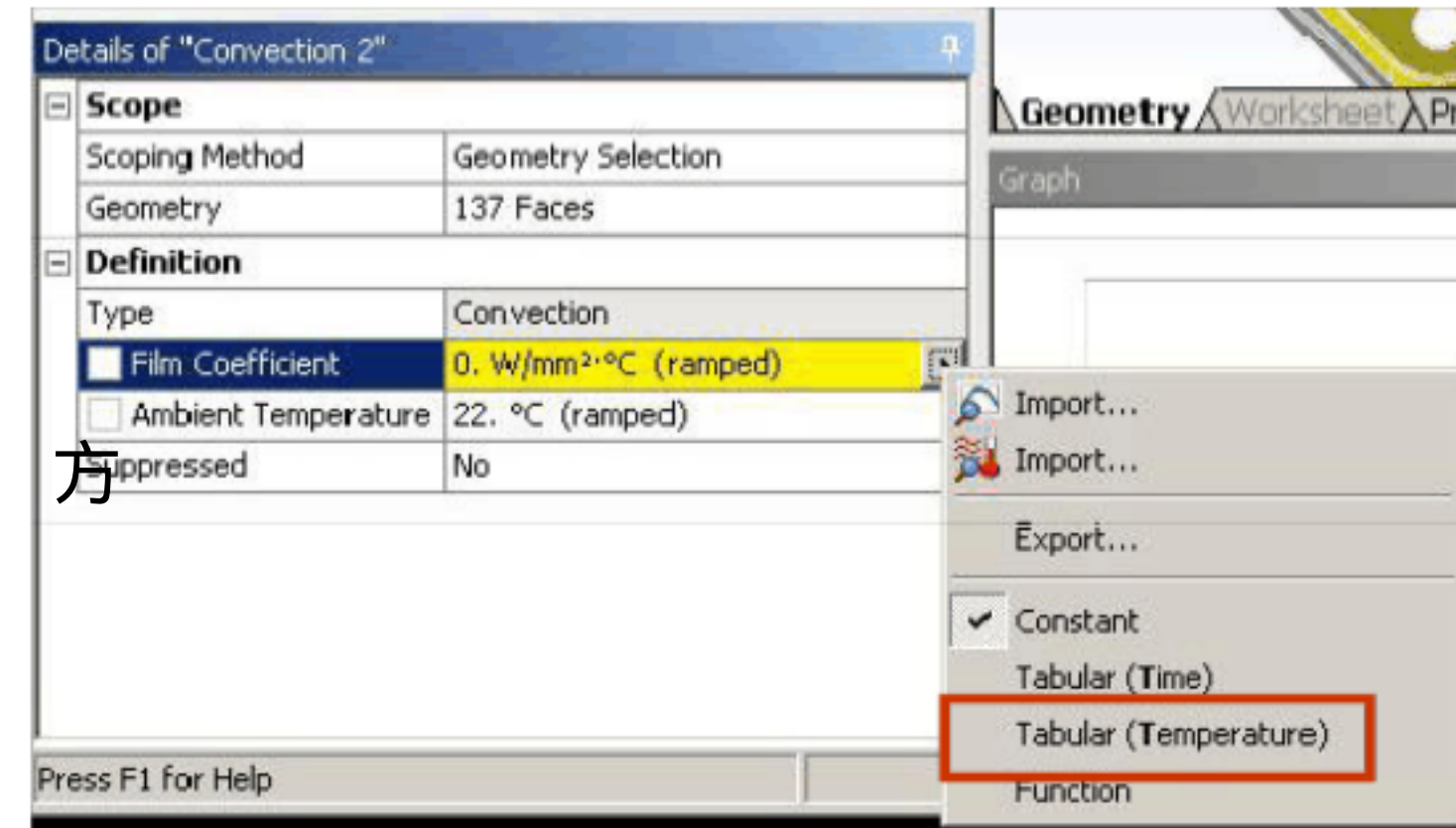




## ...热边界条件

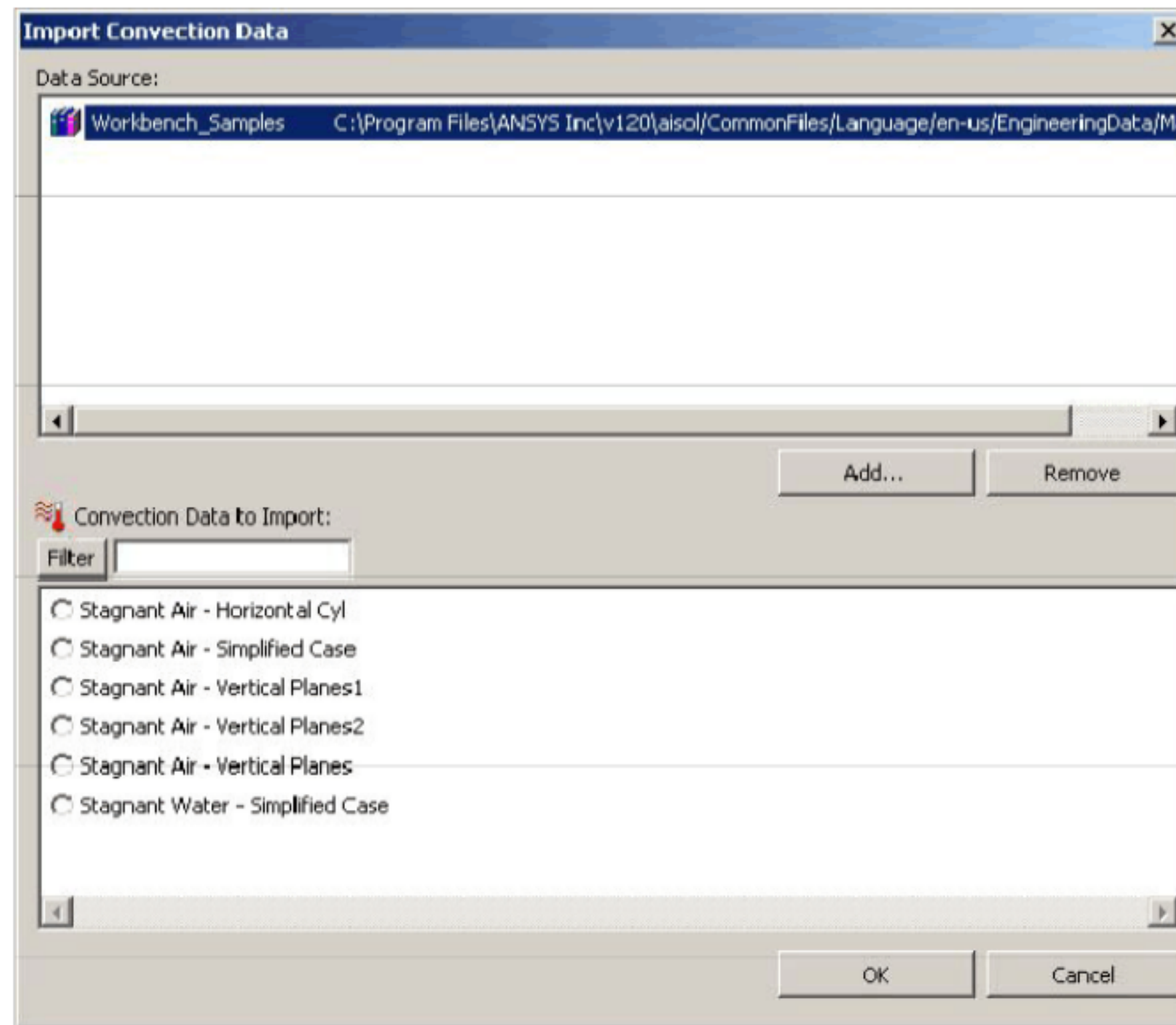
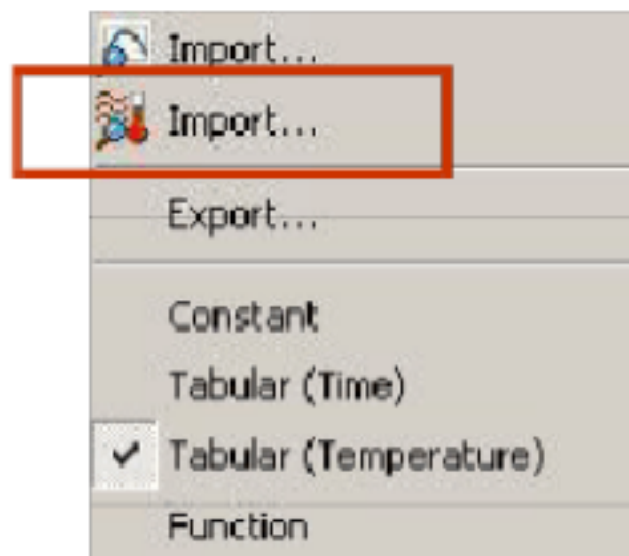
? 与温度相关的对流 :

- 为系数类型选择 Tabular (Temperature)
- 输入对流换热系数 - 温度表格数据
- 在细节窗口中, 为  $h(T)$  指定温度的处理方式



| Tabular Data |                  |                                   |
|--------------|------------------|-----------------------------------|
|              | Temperature [°C] | Convection Coefficient [W/mm²·°C] |
| 1            | 0.               | 4.                                |
| 2            | 10.              | 12.                               |
| 3            | 20.              | 17.                               |
| 4            | 30.              | 20.                               |
| 5            | 50.              | 23.                               |
| 6            | 75.              | 26.                               |
| *            |                  |                                   |

? 几种常见的对流系数可以从一个样本文件中导入。新的对流系数可以保存在文件中。



? 辐射:  Radiation

– 施加在面上 (二维分析施加在边上)

$$Q_R = \epsilon \sigma F A T_{\text{surface}}^4 - T_{\text{ambient}}^4$$

– 式中:

?  $\sigma$  = 斯蒂芬-玻尔兹曼常数

?  $\epsilon$  = 放射率

?  $A$  = 辐射面面积

?  $F$  = 形状系数 (默认是 1)

| Details of "Outer Surface Radiation"         |                 |
|--|-----------------|
| Scope  |                 |
| Scoping Method                               | Named Selection |
| Named Selection                              | NS_RadSurf_1    |
| Definition                                   |                 |
| Type   | Radiation       |
| Correlation                                  | To Ambient      |
| <input type="checkbox"/> Emissivity          | 0.7             |
| <input type="checkbox"/> Ambient Temperature | 25. °C (ramped) |
| Suppressed                                   | No              |

– 只针对环境辐射, 不存在于面面之间 (形状系数假设为 1)

– 斯蒂芬-玻尔兹曼常数自动以工作单位制系统确定



# 热分析

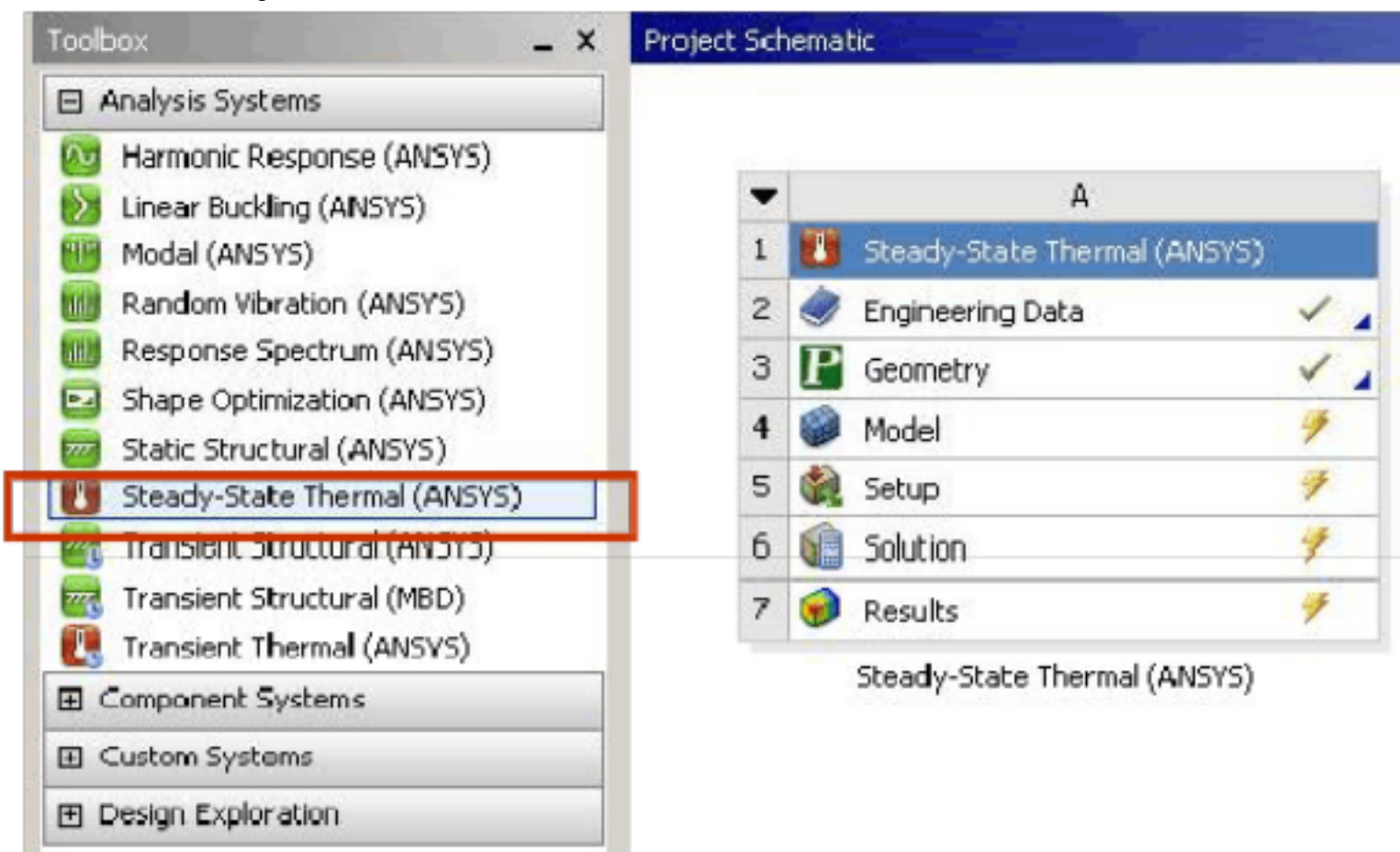
## D. 求解选项

Training Manual

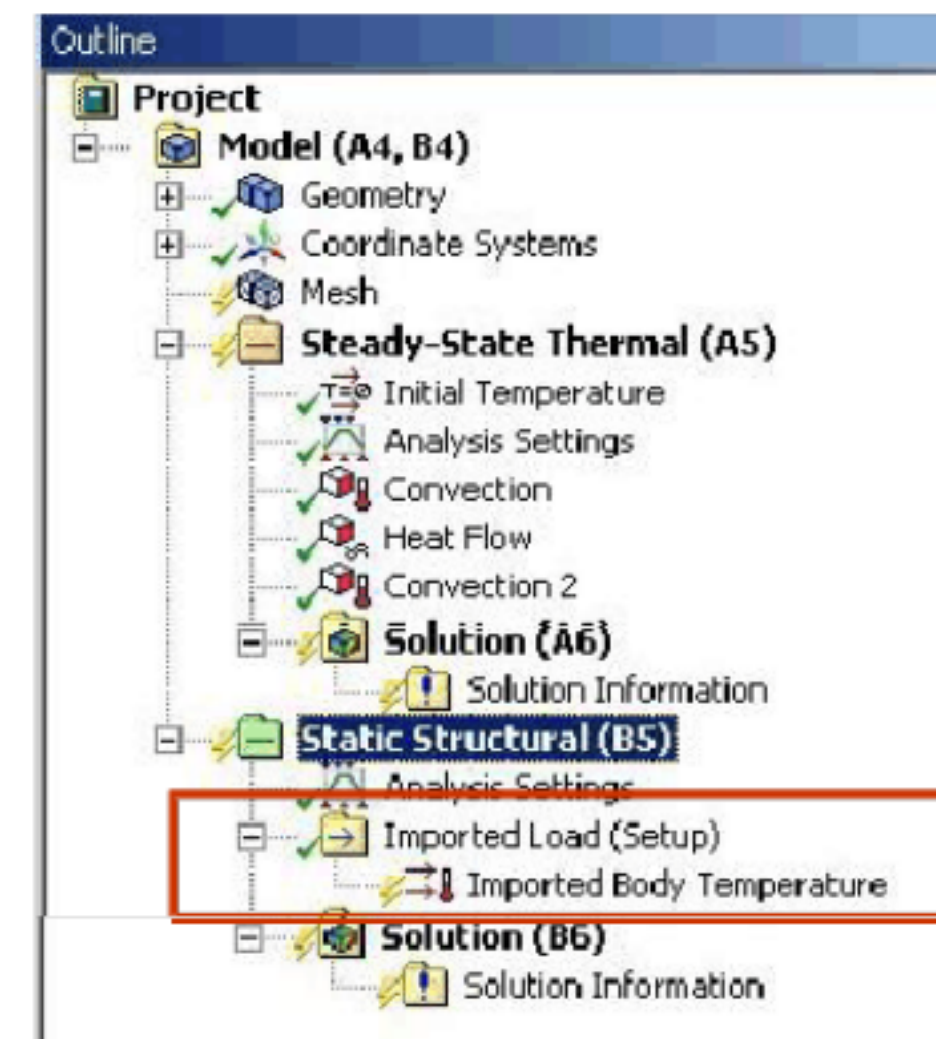
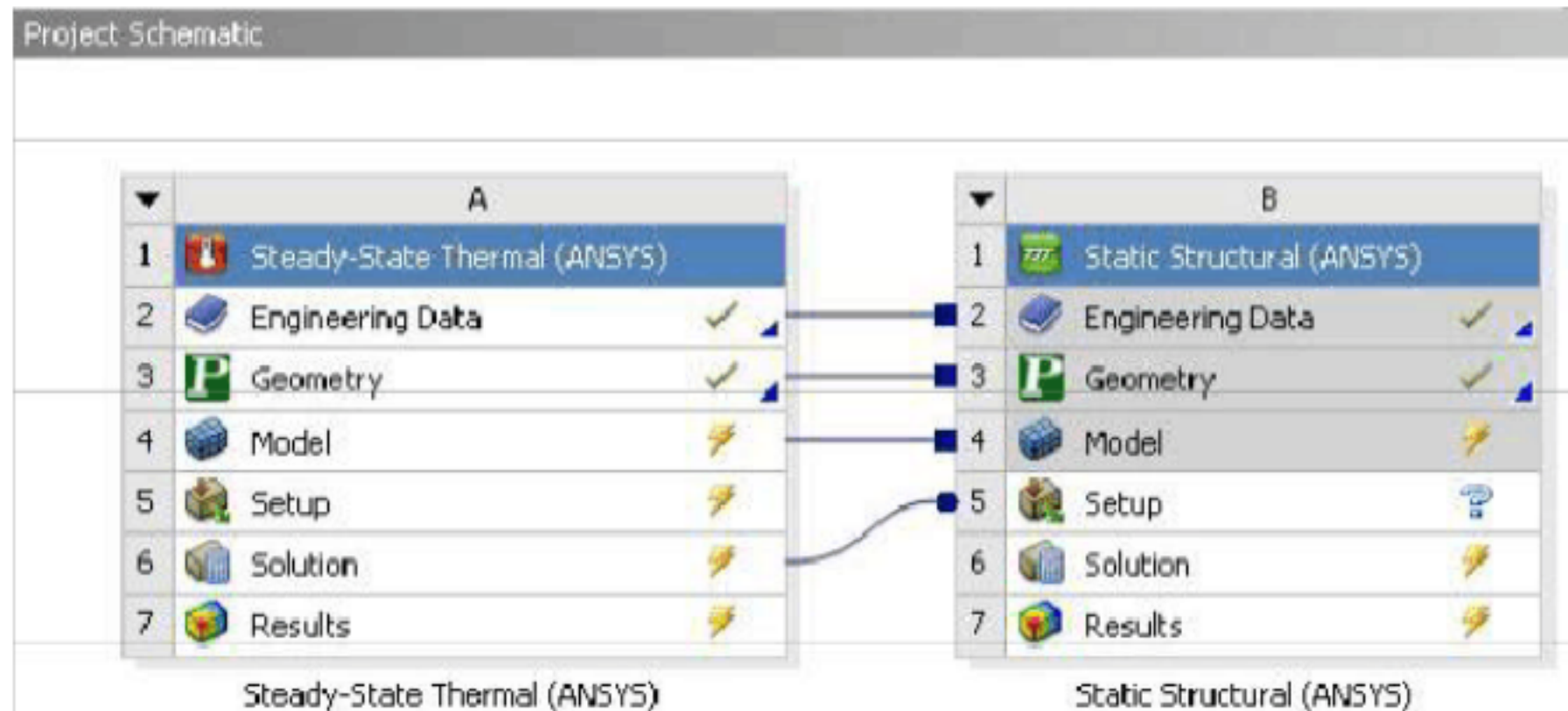
? 从 Workbench toolbox 插入 Steady-State Thermal 将在 project schematic 里建立一个 SS Thermal system (SS 热分析)

? 在 Mechanical 里, 可以使用 Analysis Settings 为热分析设置求解选项。

—注意, 第四章的静态分析中的 Analysis Data Management 选项在这里也可以使用。

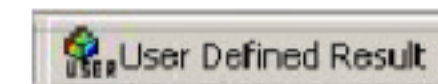
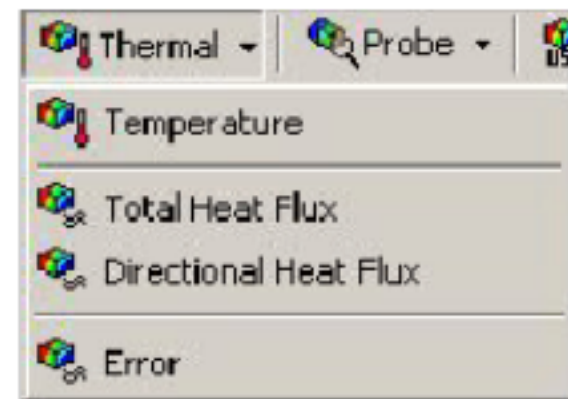


- ? 为了实现热应力求解，需要在求解时把结构分析关联到热模型上。
- ? 在 Static Structural 中插入了一个 imported load 分支，并同时导入了施加的结构载荷和约束。
  - 求解结构



? 后处理可以处理各种结果：

- 温度
- 热通量
- 反作用的热流速
- 用户自定义结果



? 模拟时，结果通常是在求解前指定，但也可以在求解结束后指定。

- 搜索模型求解结果不需要在进行一次模型的求解。



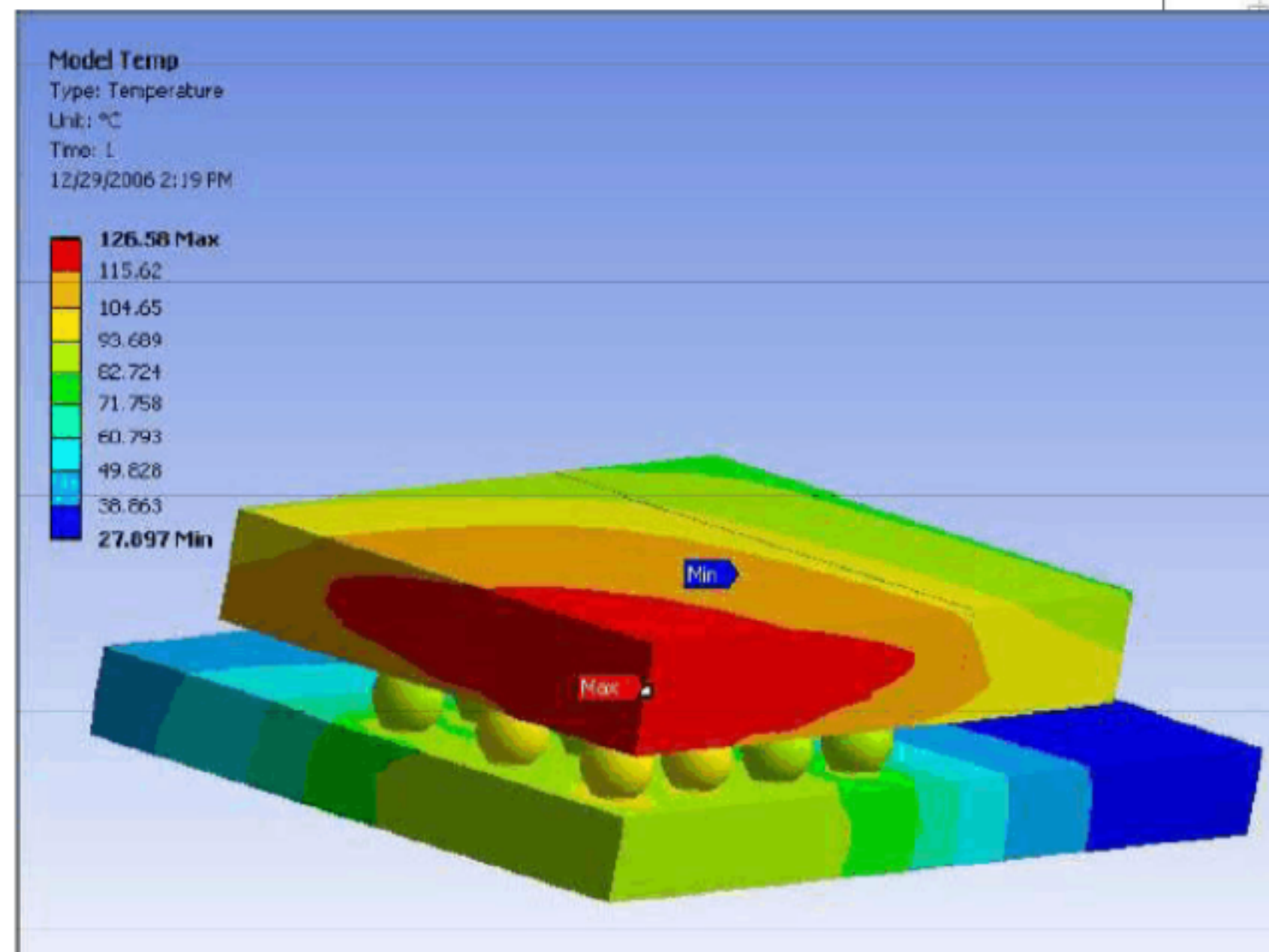
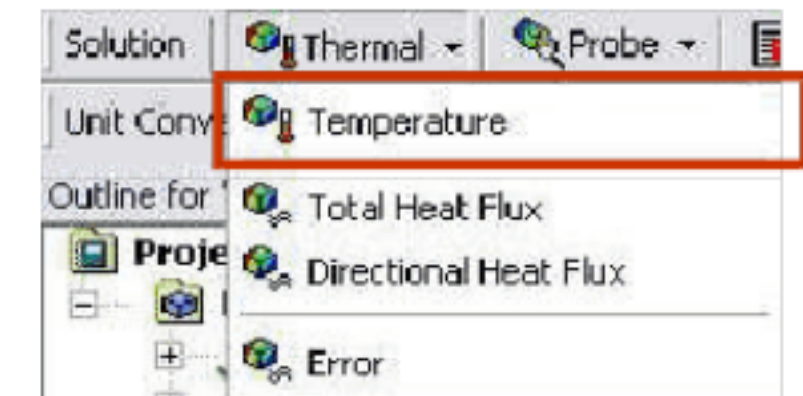
# 热分析

## ... 温度

Training Manual

? 温度 :

— 温度是标量，没有方向



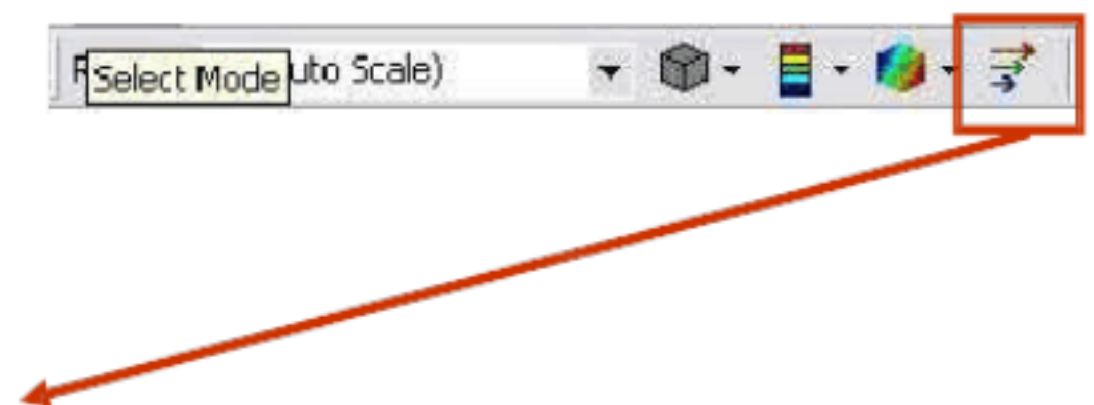
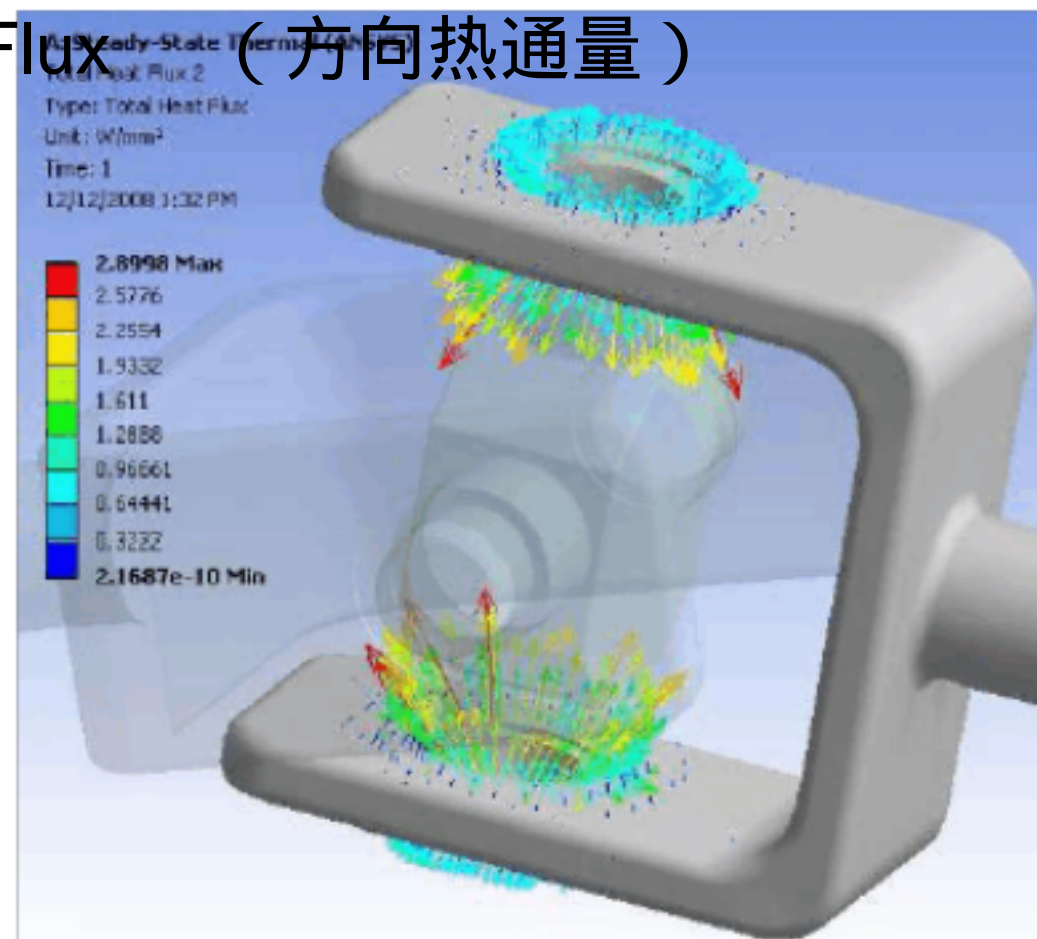
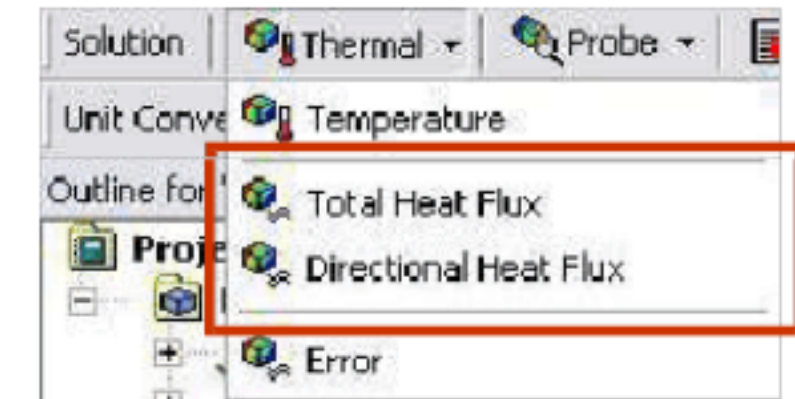


? 可以得到热通量的等高线或矢量图：

— 热通量  $q$  定义为

$$q = -K \frac{\partial T}{\partial x}$$

— 可以激活矢量显示模式显示热通量的大小和方向 (整体热通量) 和 Directional Heat Flux (方向热通量)

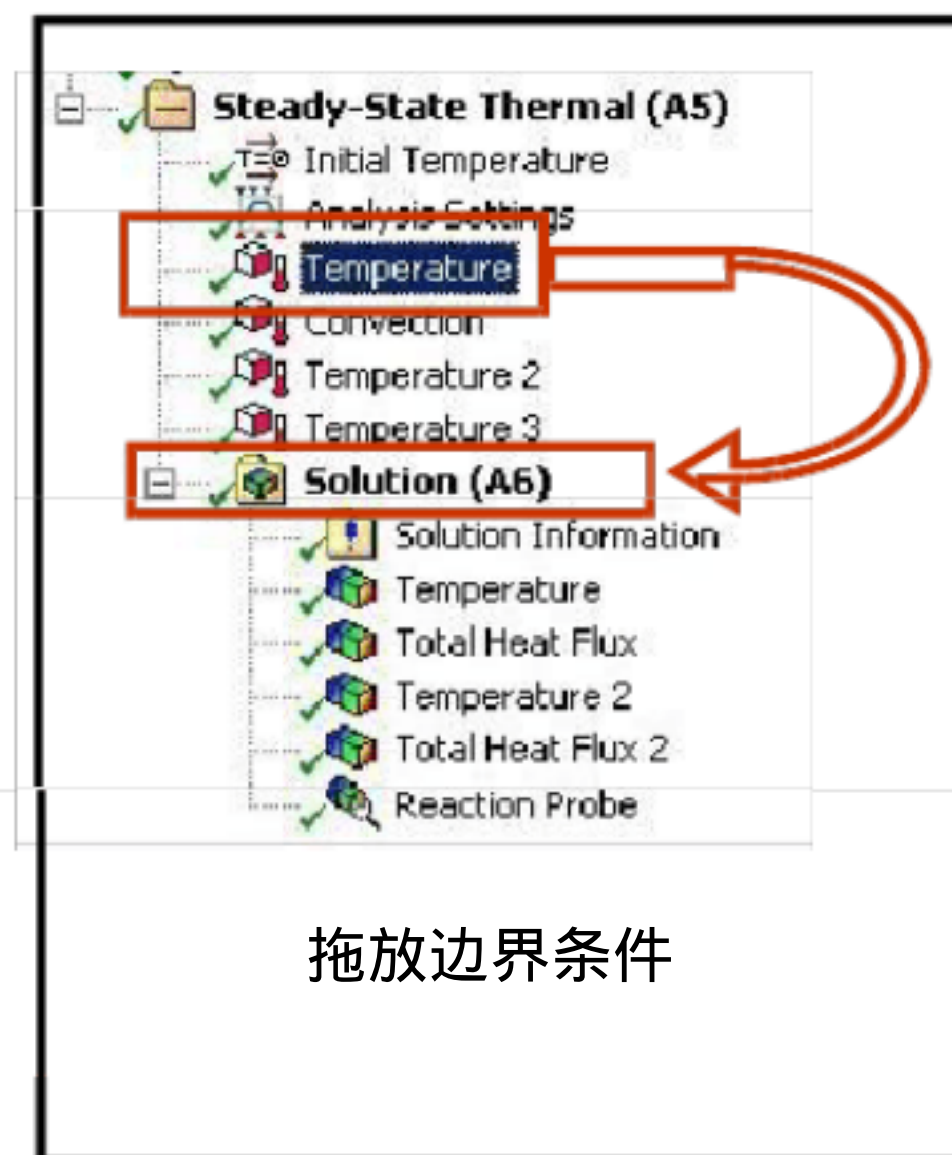


? 对给定的温度、对流或辐射边界条件可以得到响应的热流量：

- 通过插入 probe 指定响应热流量，或
- 用户可以交替的把一个边界条件拖放到 Solution 上后搜索响应



或

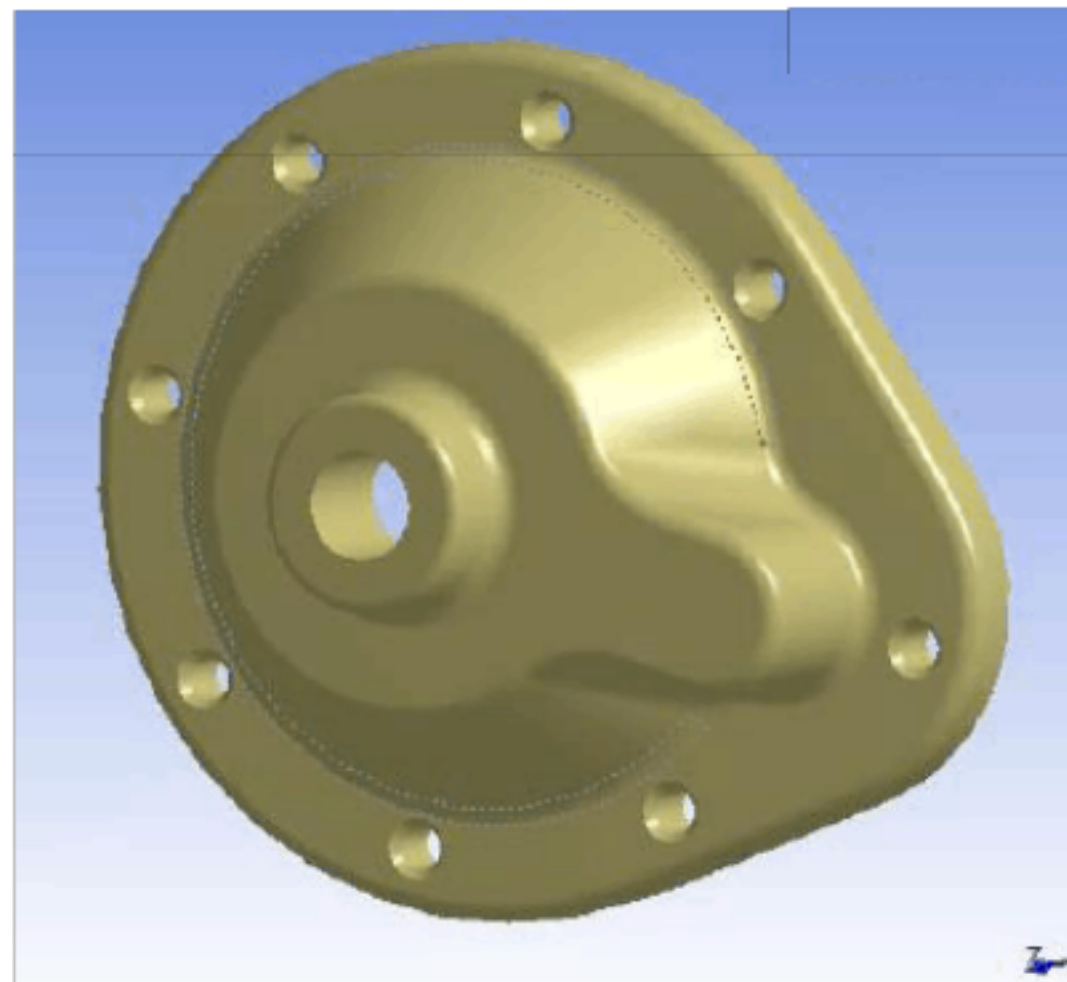


| Details of "Reaction Probe"   |                    |
|-------------------------------|--------------------|
| Definition                    |                    |
| Type                          | Reaction           |
| Location Method               | Boundary Condition |
| Boundary Condition            | Temperature        |
| Options                       |                    |
| Display Time                  | End Time           |
| Results                       |                    |
| <input type="checkbox"/> Heat | 3083.1 W           |
| + Maximum Value Over Time     |                    |
| + Minimum Value Over Time     |                    |
| + Information                 |                    |

### ? 作业 6.1 – 稳态热分析

? 目标：

– 分析图示泵壳的热传导特性



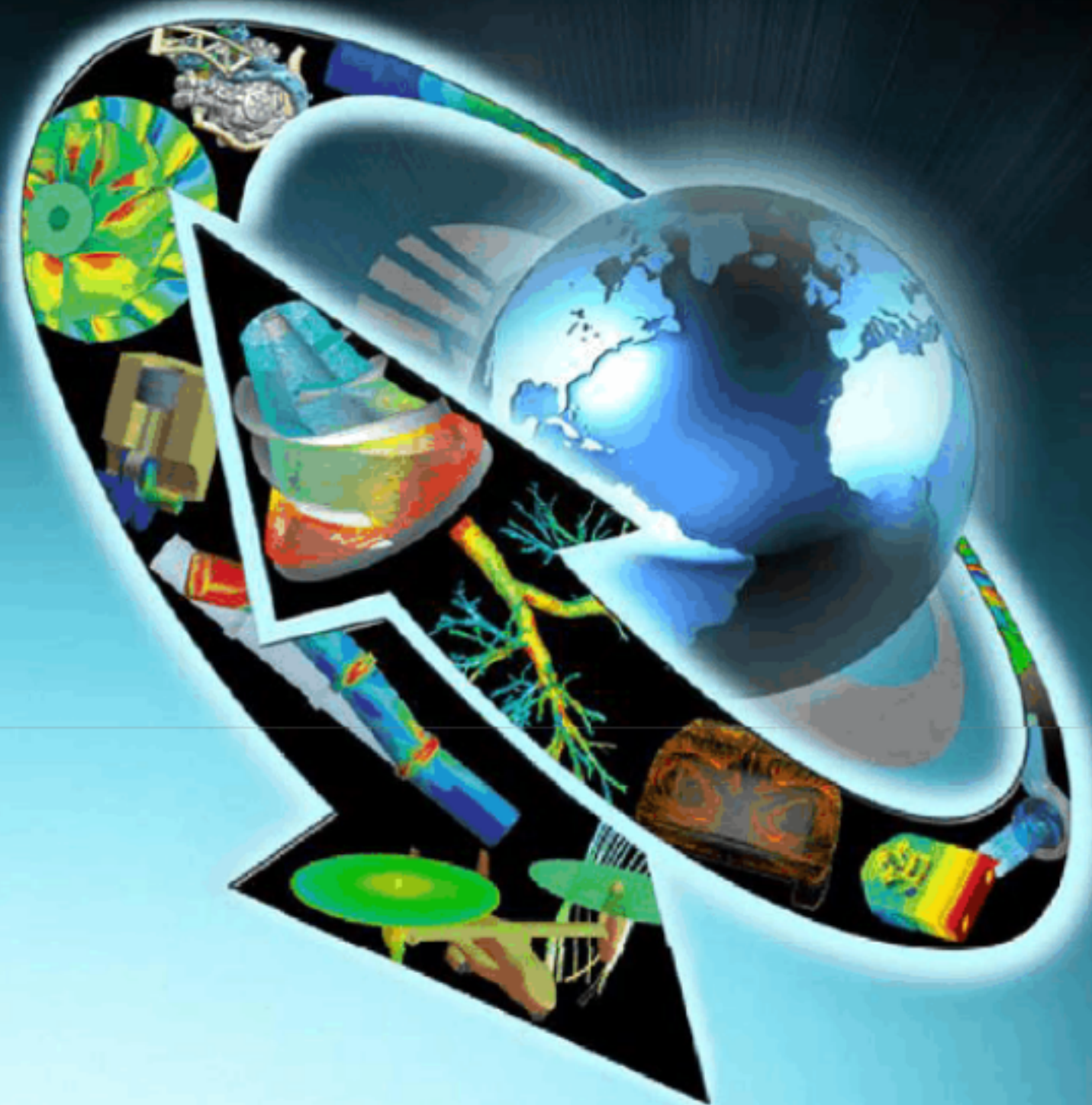




## Workbench - Mechanical Introduction

作业 6.1

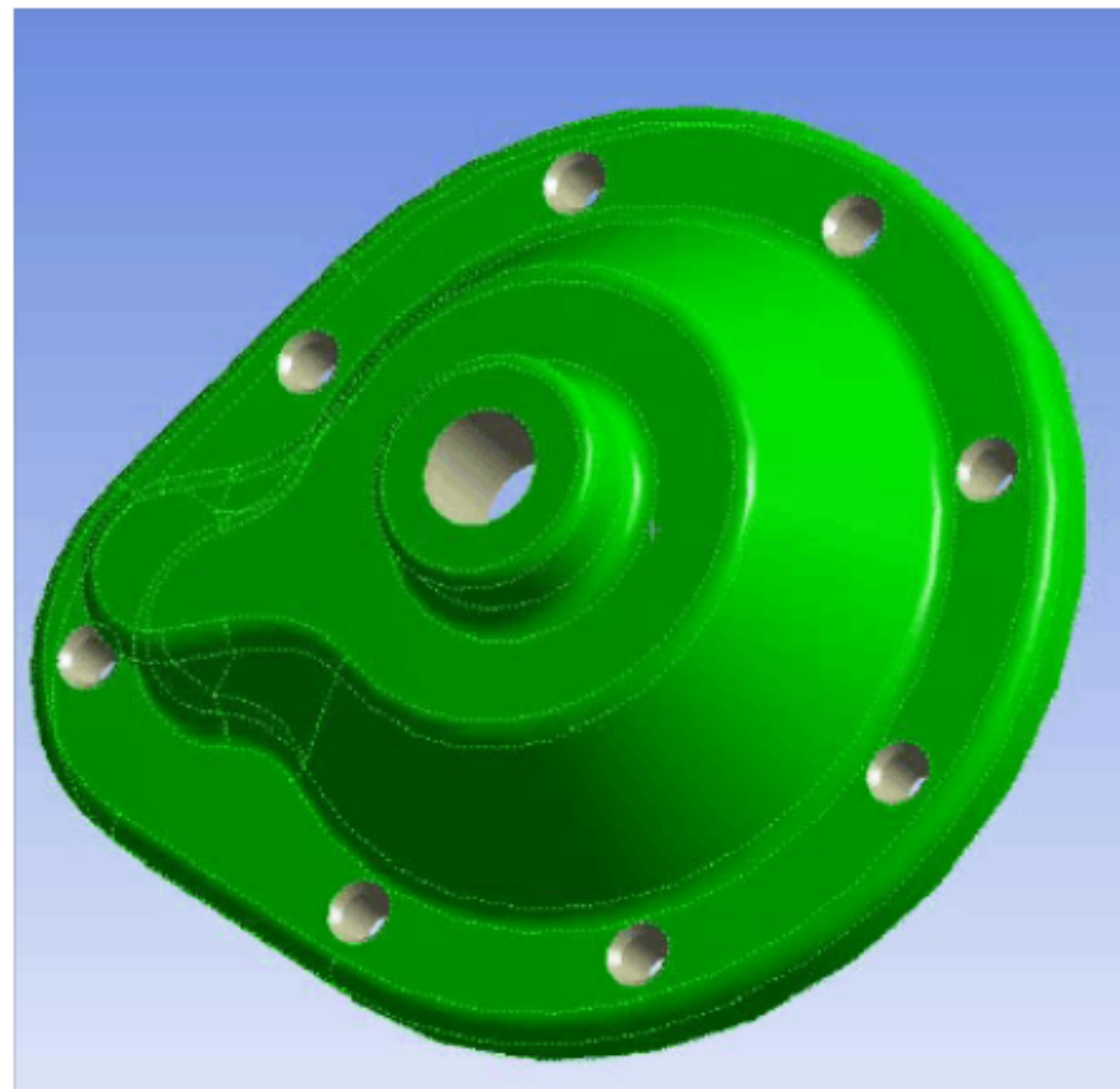
稳态热分析





## 作业 6.1 – 目标

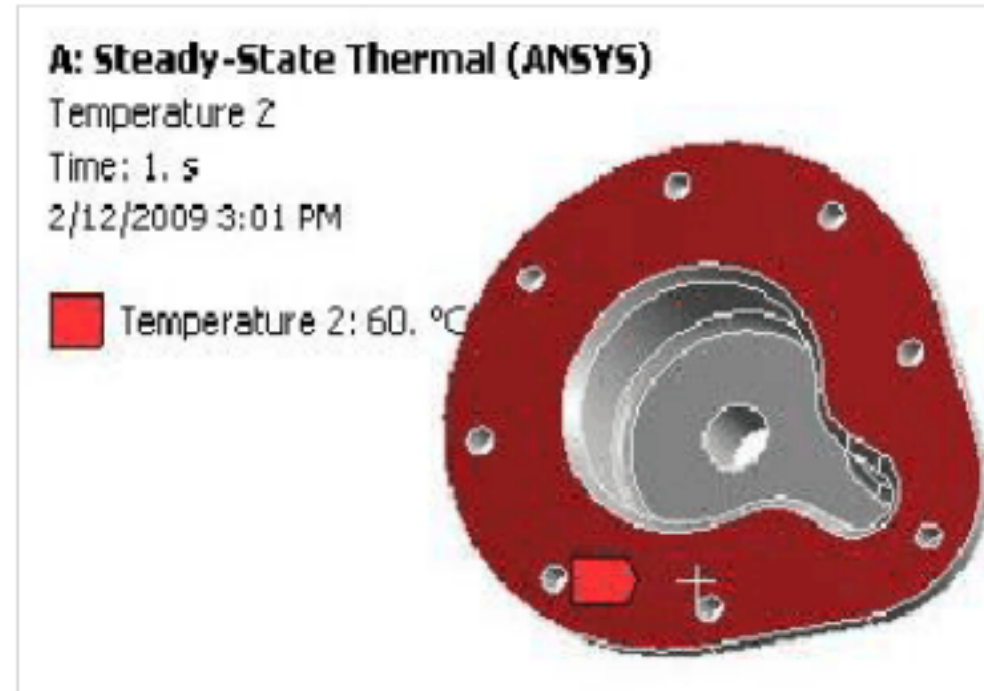
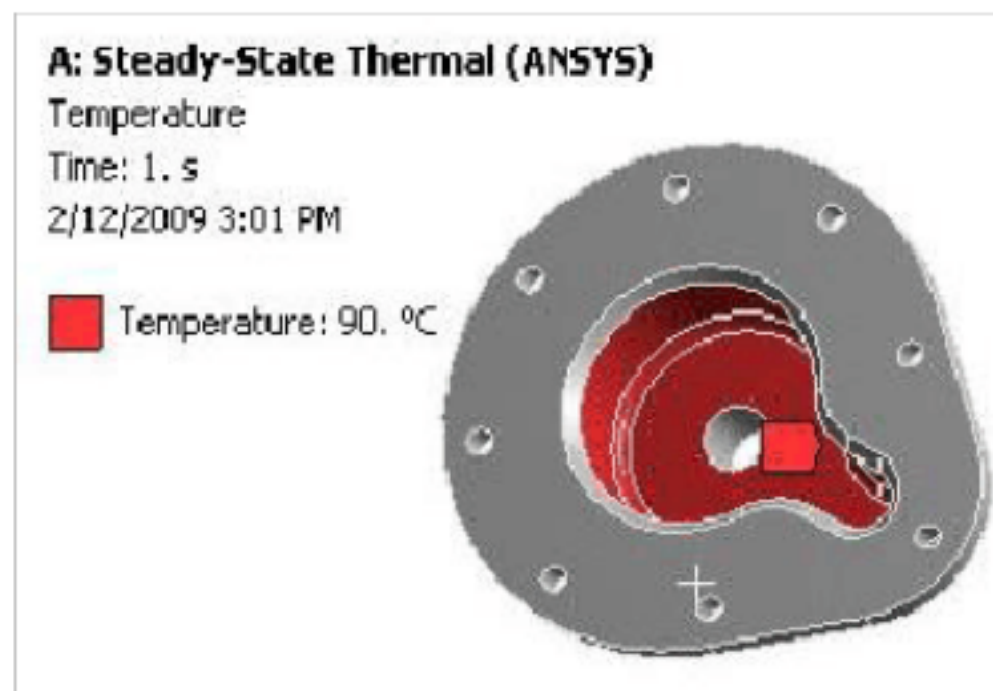
- ? 本作业中，将分析下图所示泵壳的热传导特性。
- ? 确切说是分析相同边界条件下的塑料（ Polyethylene ）泵壳和铝（ Aluminum ）泵壳。
- ? 目标是对比两种泵壳的热分析结果。



### 作业 6.1 – 假设

假设：

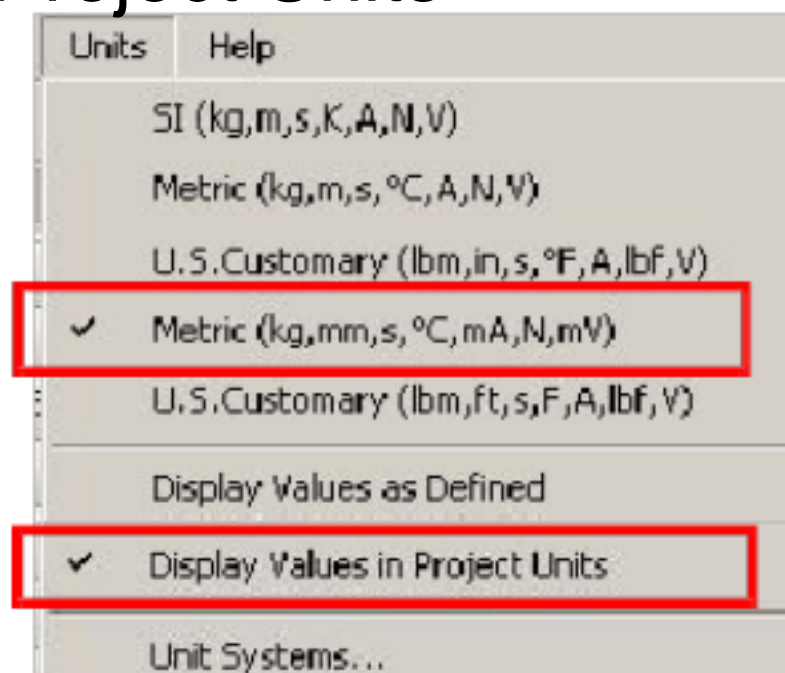
- ? 泵上的泵壳承受的温度为 60 度。假设泵的装配面也处于 60 度下。
- ? 泵的内表面承受 90 度的流体。
- ? 泵的外表面环境用一个对流关系简化了的停滞空气模拟，温度为 20 度。



? 打开 Project 页

? 从 Units 菜单上确定：

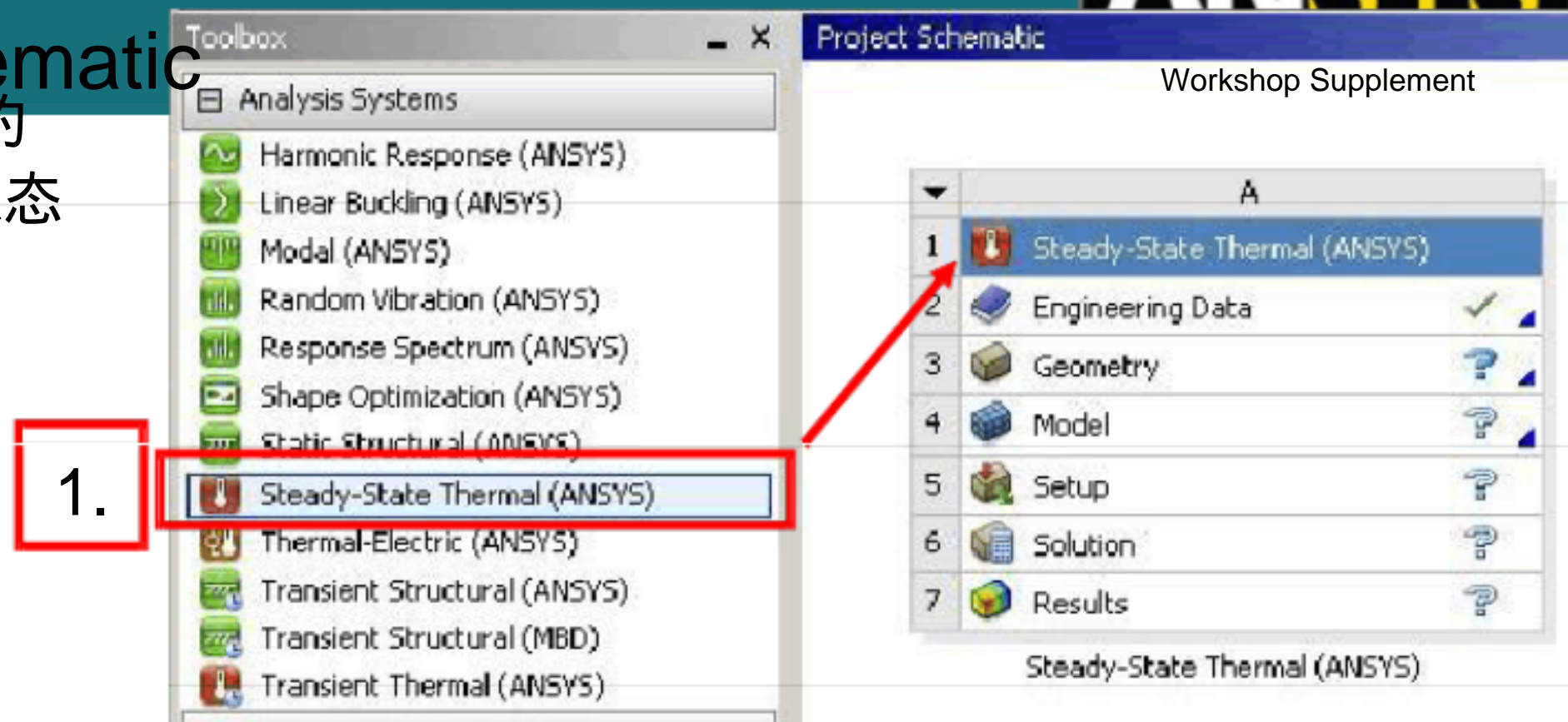
- 项目单位设为 Metric (kg, mm, s, C, mA, mV)
- 选择 Display Values in Project Units



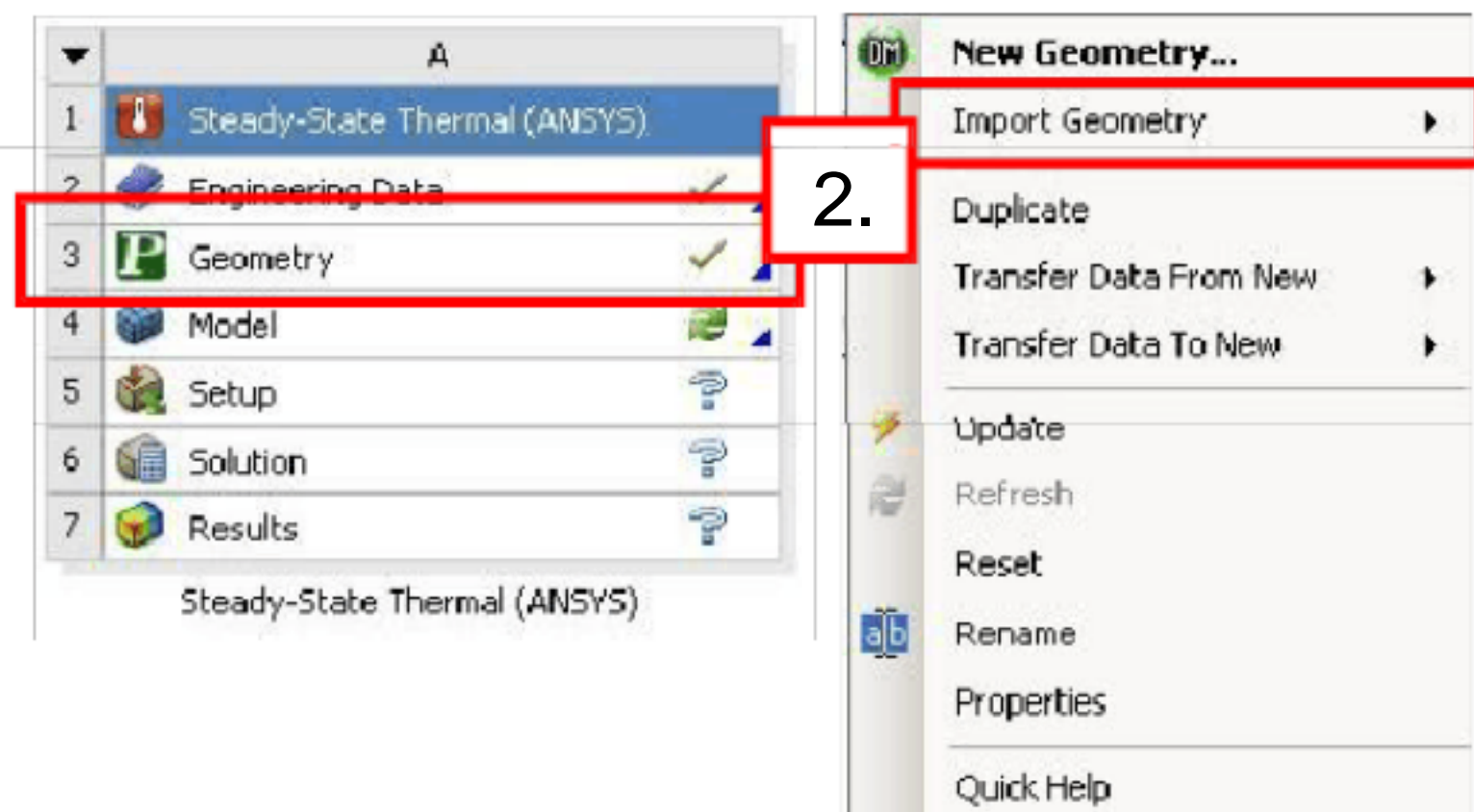


## WS6.1: Steady State Thermal Analysis

1. 在 Toolbox 中双击 Steady-State Thermal 创建一个新的 Steady State Thermal (稳态热分析) 系统。

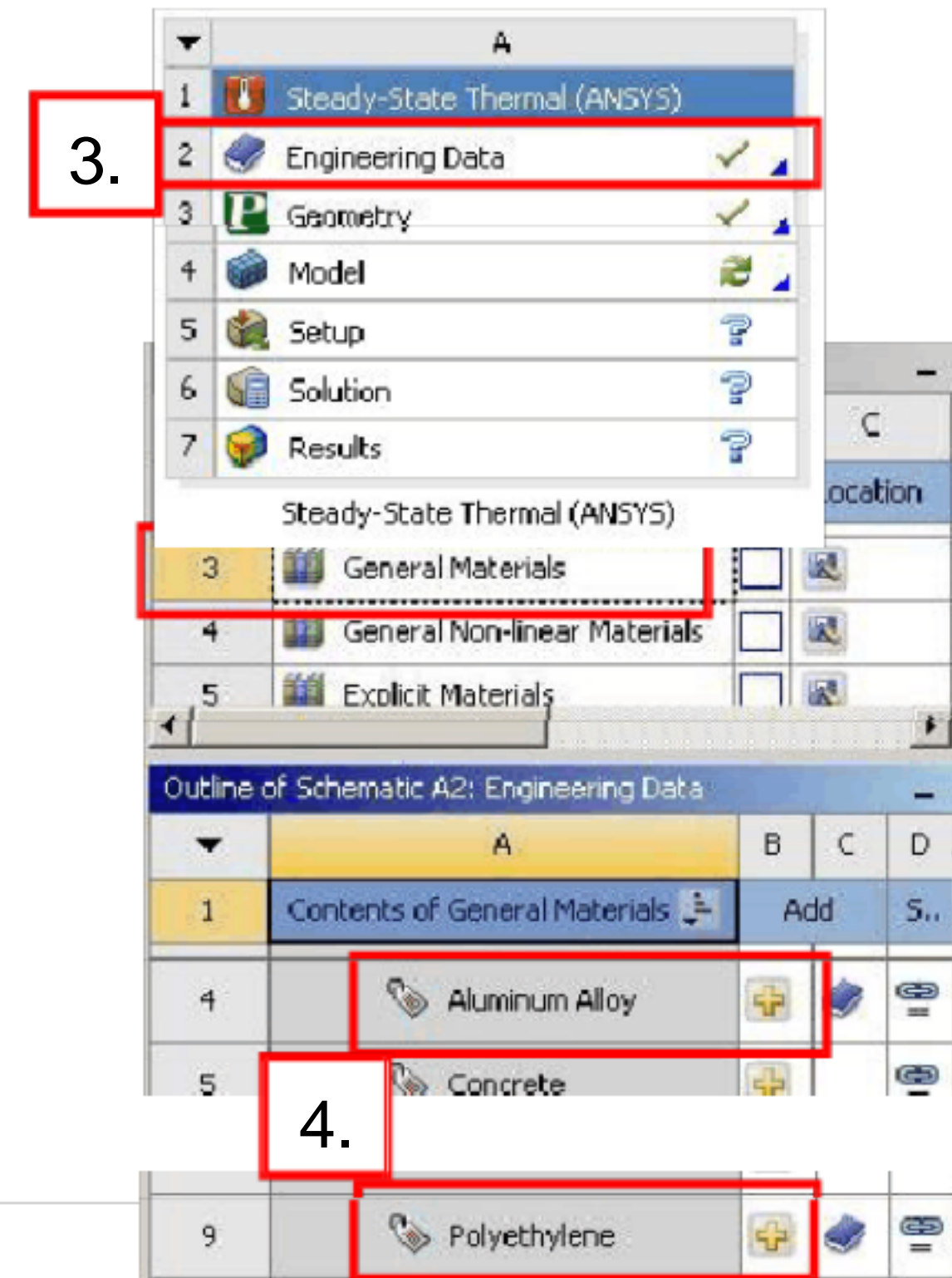


2. 在 Geometry 上点击鼠标右键选择 Import Geometry，导入文件 Pump\_housing.x\_t

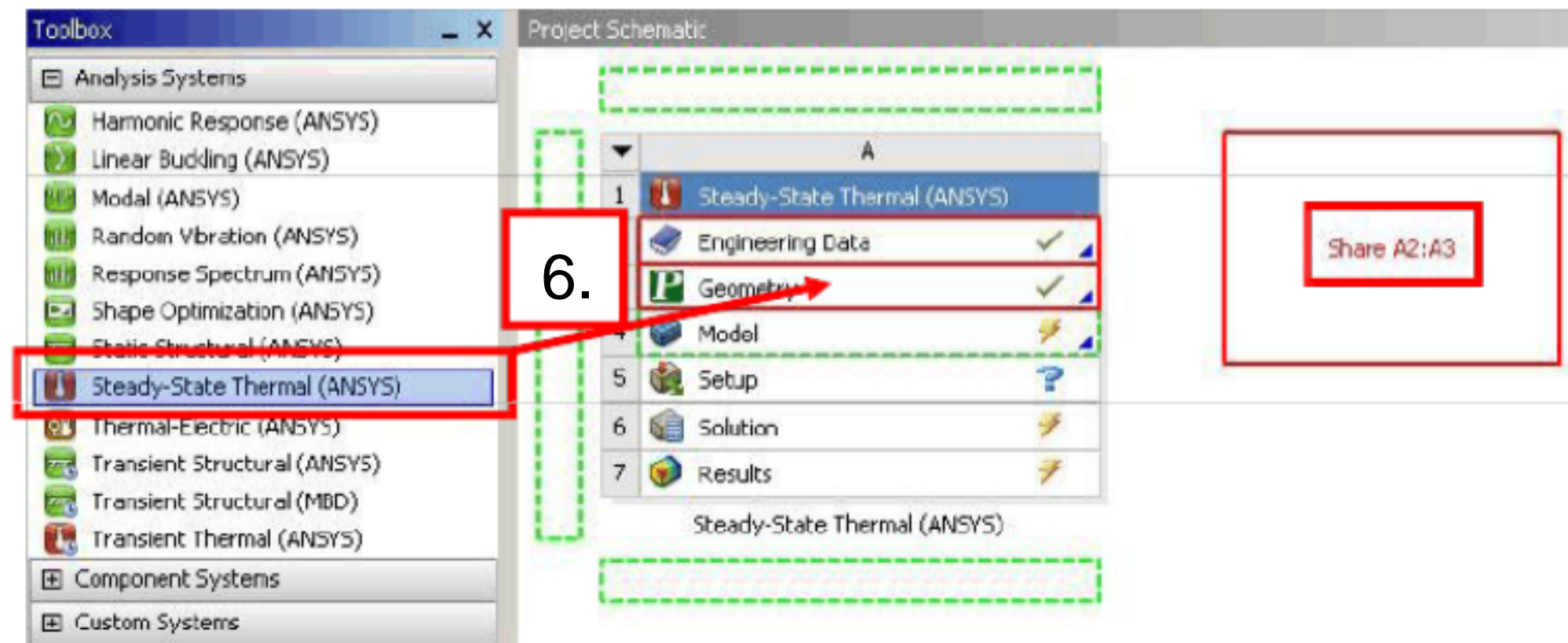




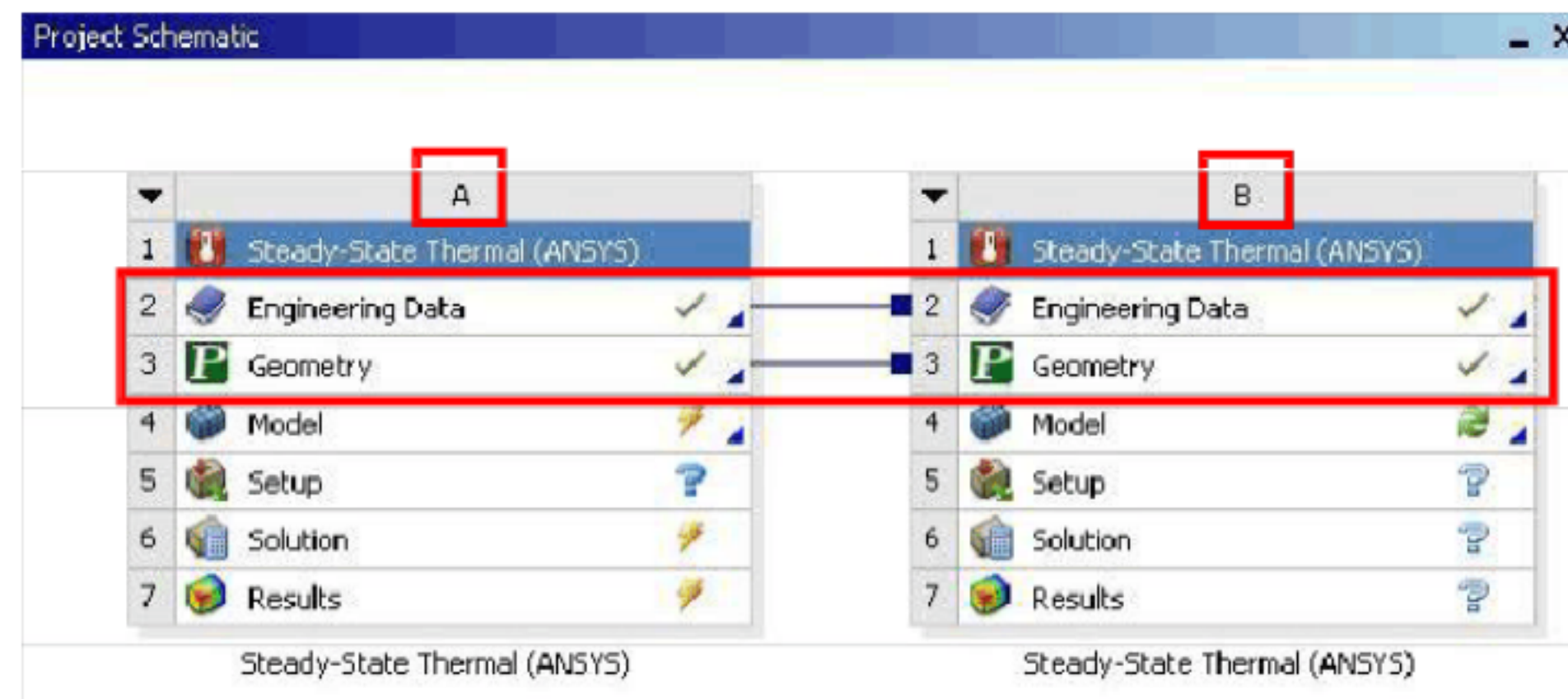
3. 双击 Engineering Data 得到 material properties (材料特性)
4. 选中 General Materials 的同时, 点击 Aluminum Alloy 和 Polyethylene 旁边的 ‘+’ 符号, 把它们添加到项目中。
5. Return to Project (返回到项目)



6. 把 Steady State Thermal 拖放到第一个系统的 Geometry 上。
- 在生成性的系统前，在拖放盒中应包含 A2 和 A3 子模块

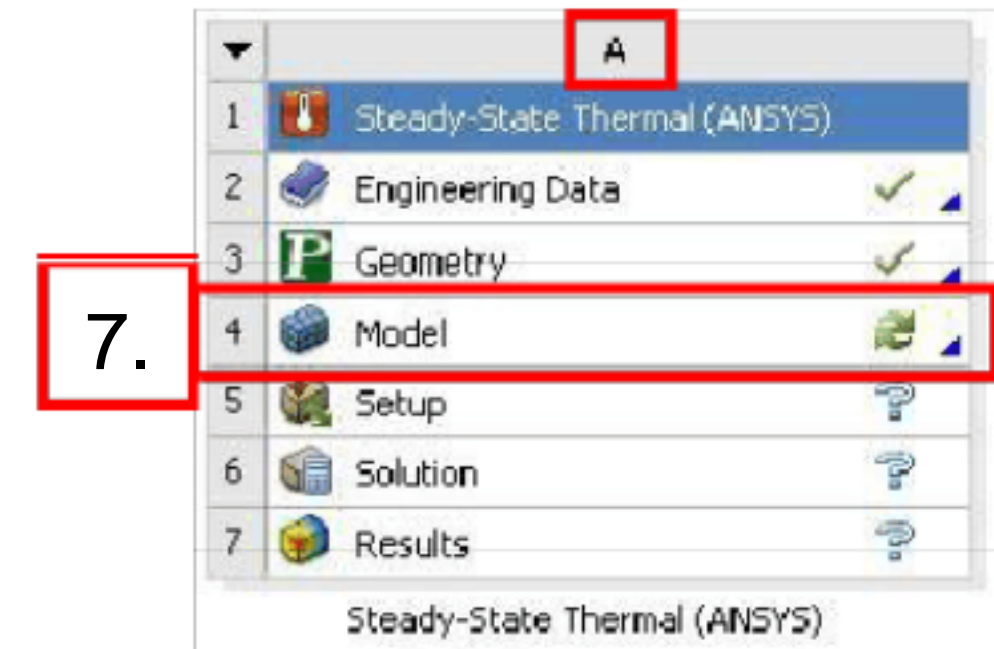


- ? 完成后，在 schematic 中将图形显示如图所示的共享数据（现在出现两个系统：A 和 B）

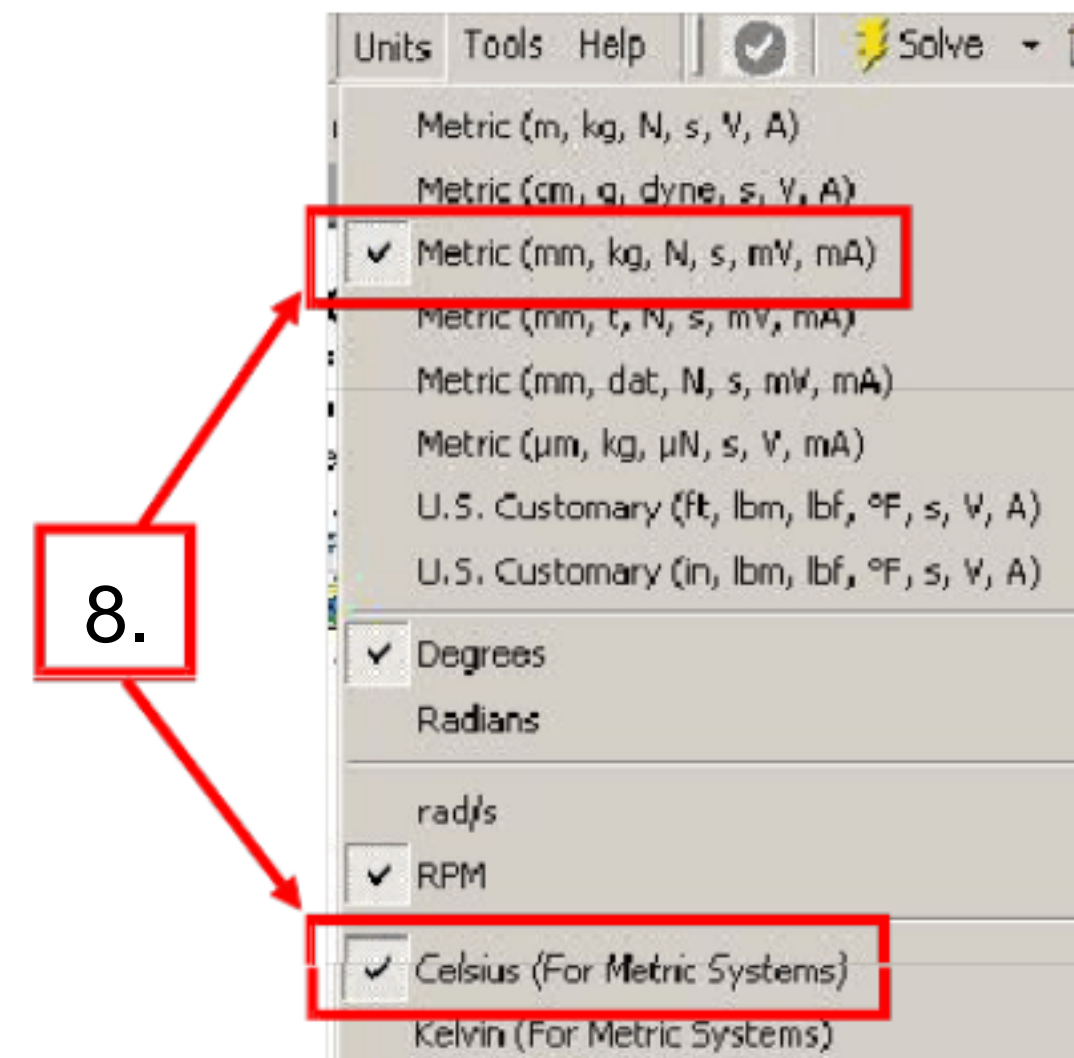




7. 在第一个系统 A 中，双击 Model 打开 Mechanical application.



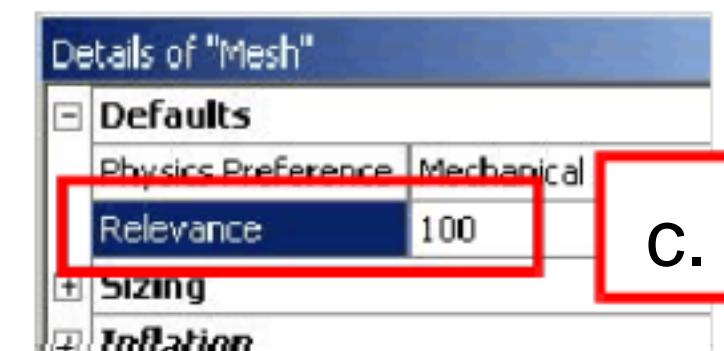
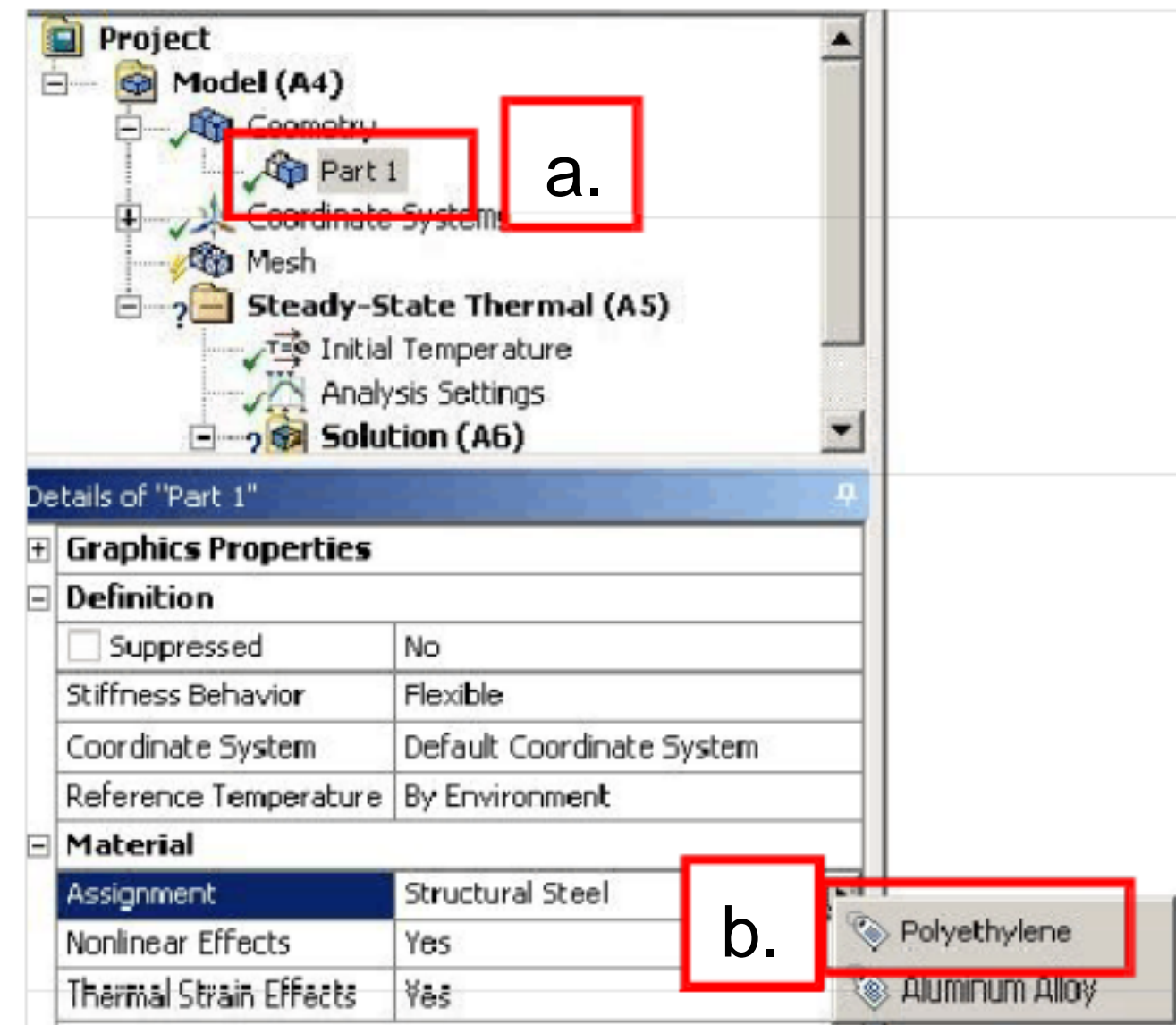
8. 在 Units 菜单中选择：
- Metric (mm, kg, N, s, mV, mA)
  - Celsius (For Metric Systems)



## 作业 6.1 – 前处理

### 9. 改变 material 并对泵壳进行网格划分 ( Part 1 ) :

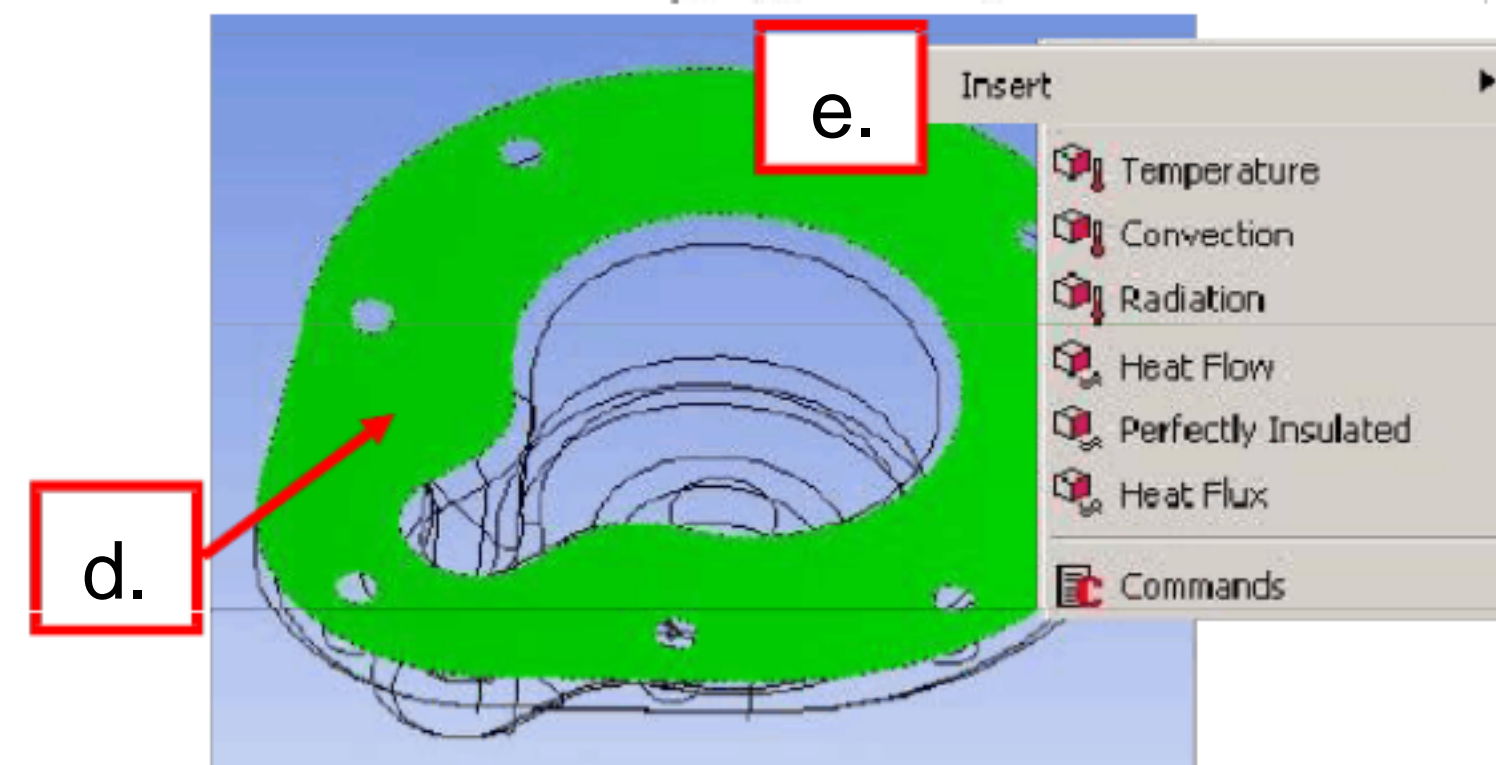
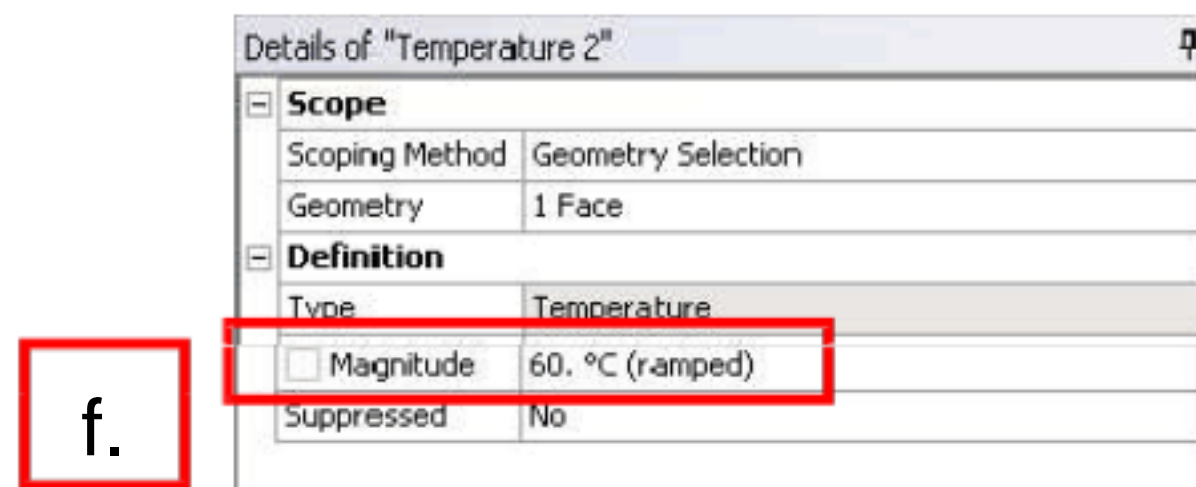
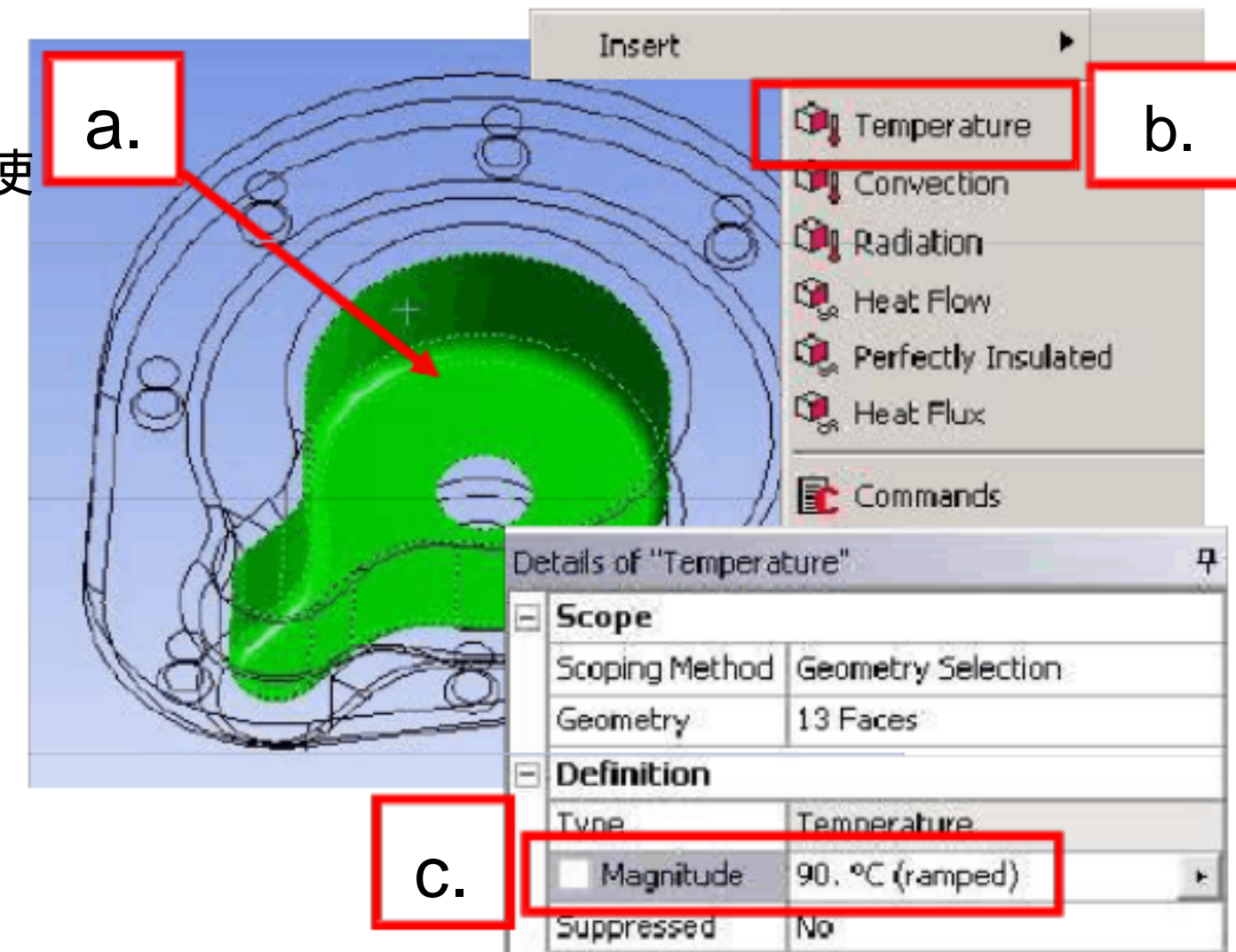
- 选中 geometry 下的 Part 1
- 在 details of Part 1 上导入材料 polyethylene
- 选中 Mesh , 设置 relevance ( 相关系数 ) 为 100.





### 10. 施加温度载荷（选中）：

- 选择泵壳的内表面（ 13 个面 ）（提示：使  
Extend To Limits 选择方
- RMB （ 点击鼠标右键选择 ） > Insert >  
Temperature.
- 把 Magnitude 设为 90 度
- 选择泵壳装配面
- RMB （ 点击鼠标右键选择 ） >  
Insert > Temperature
- 把 Magnitude 设为 60 度

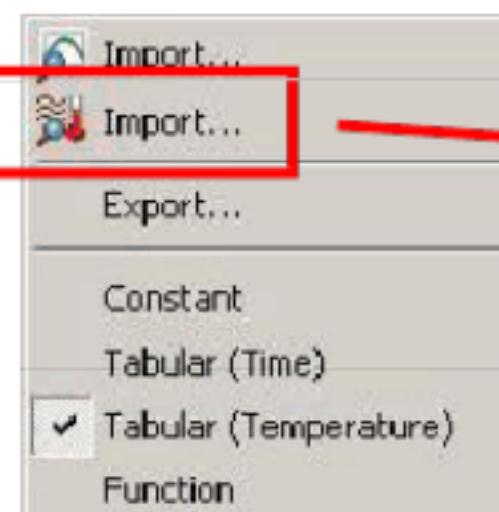
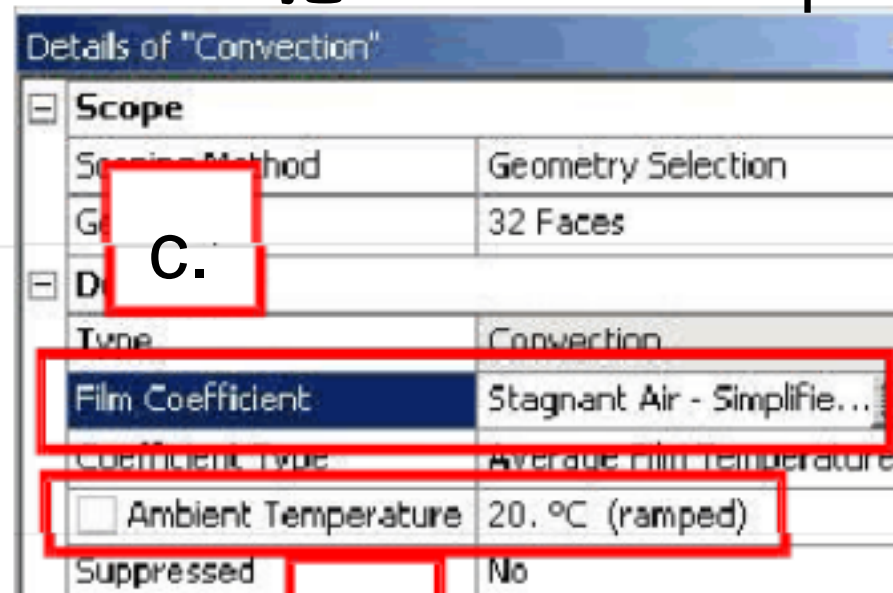
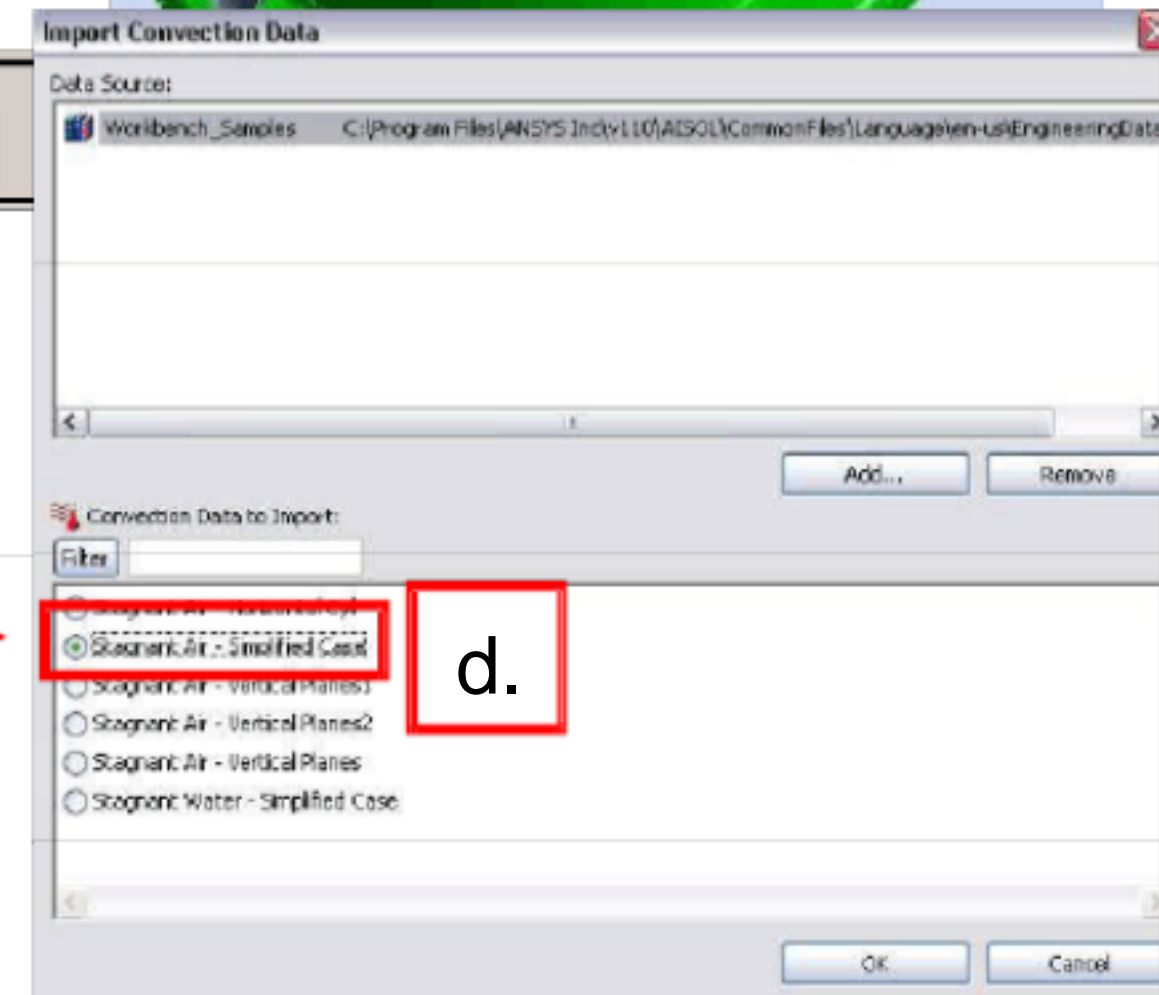
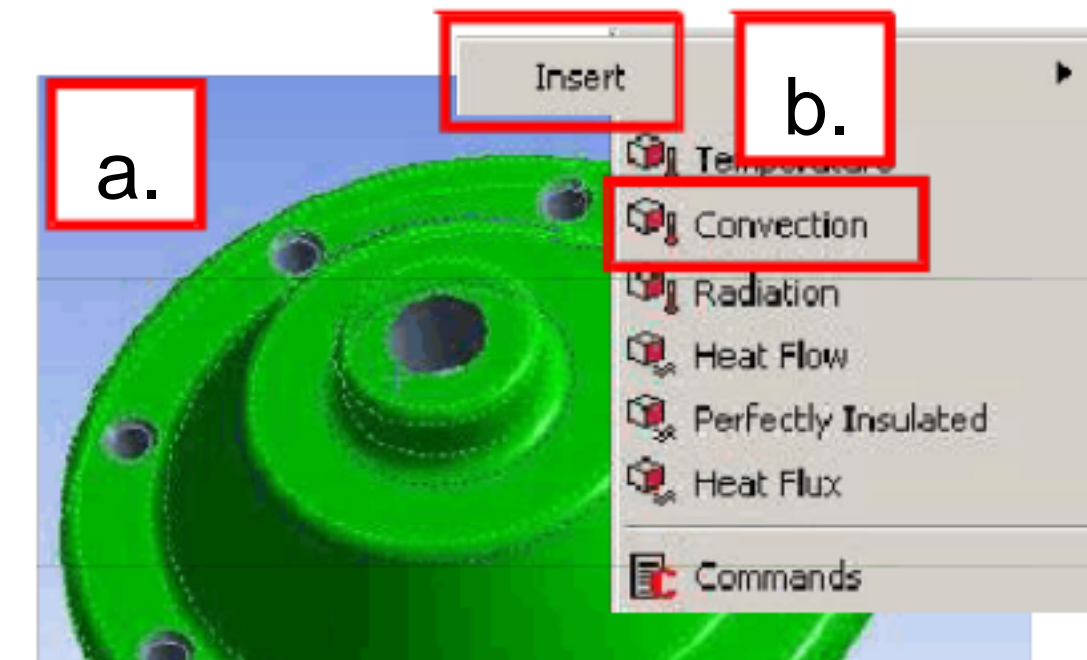


### 11. 施加 Convection (对流载荷) :

- 选择泵壳的外表面 ( 32 个面 ) ( 提示 : 使用 extend to limits 选择方式 )
- RMB ( 点击鼠标右键选择 ) > Insert > Convection
- 在 Details of Convection 中点击 Film Coefficient 选择 Import ...

确定导入对流载荷 Stagnant Air Simplified Case

- 把 Ambient Temperature 设为 20 度

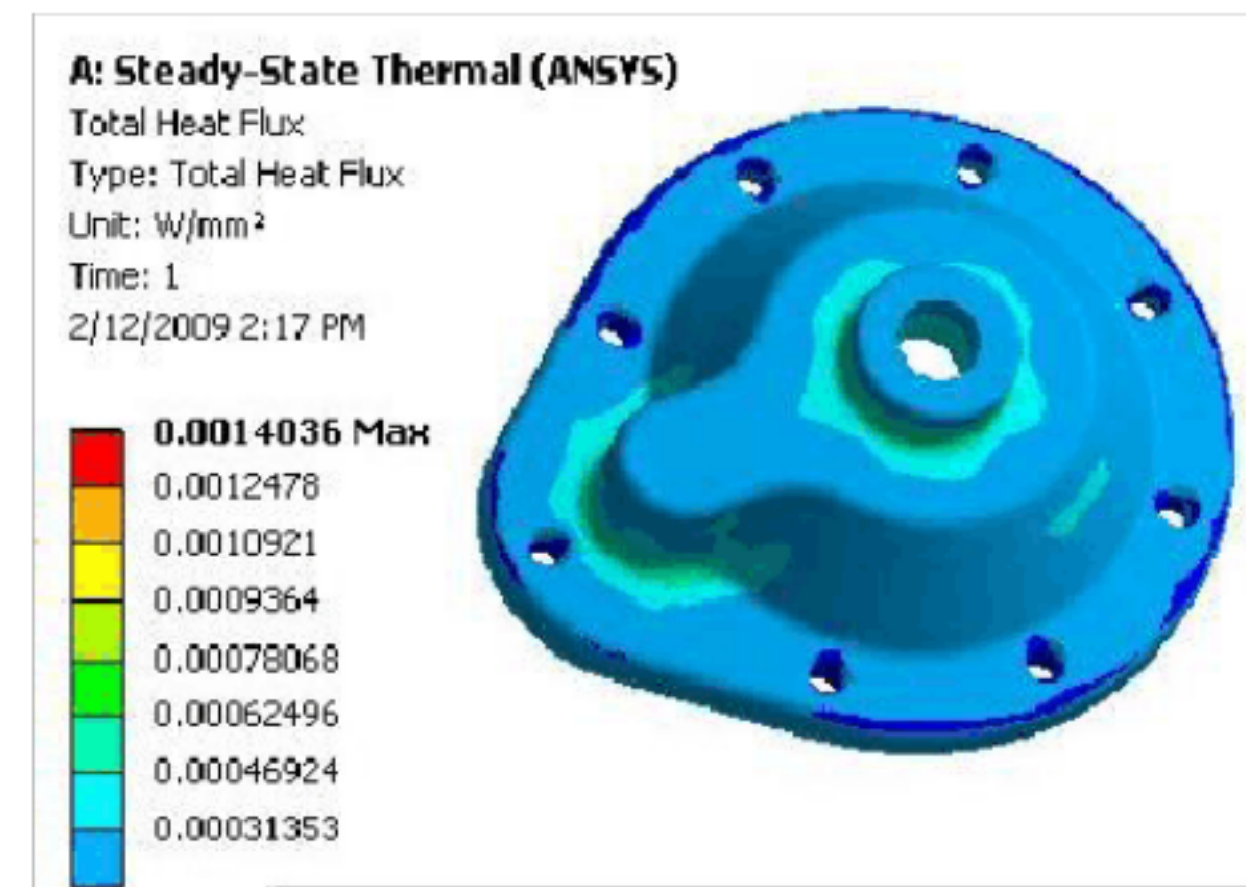
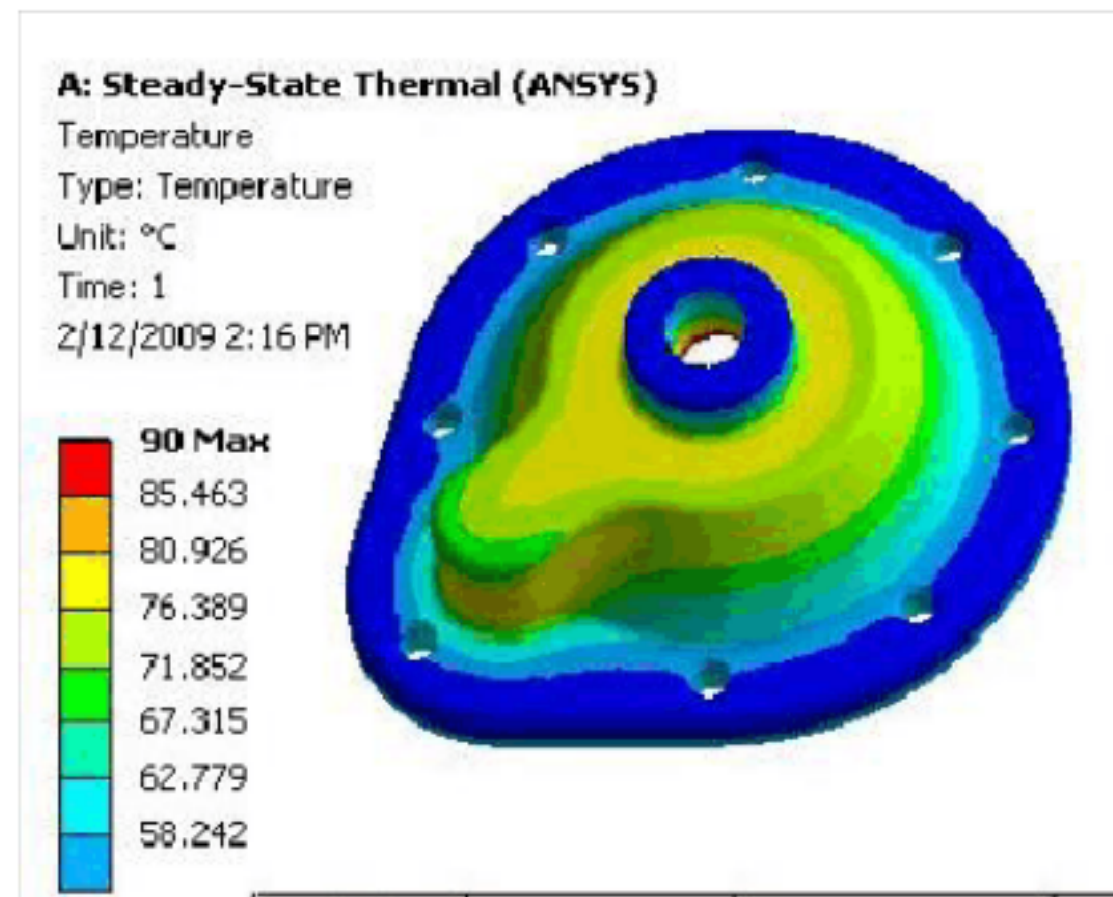
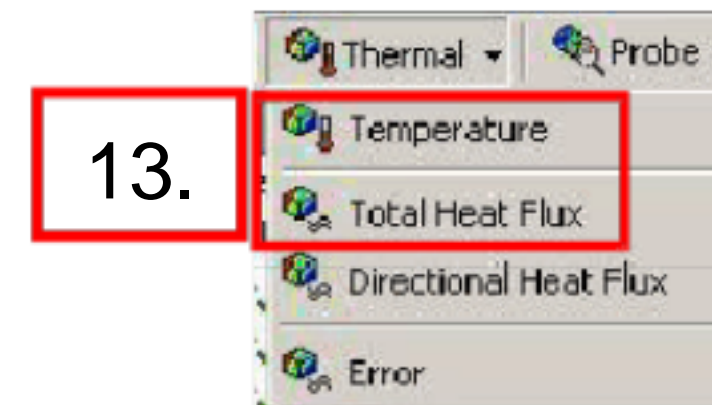




A<sup>12.</sup> 求解模型

13. 当求解结束时导入 Temperature 和 Total Heat Flux 结果（评价结果）。

? 材料为 polyethylene 的分析结果

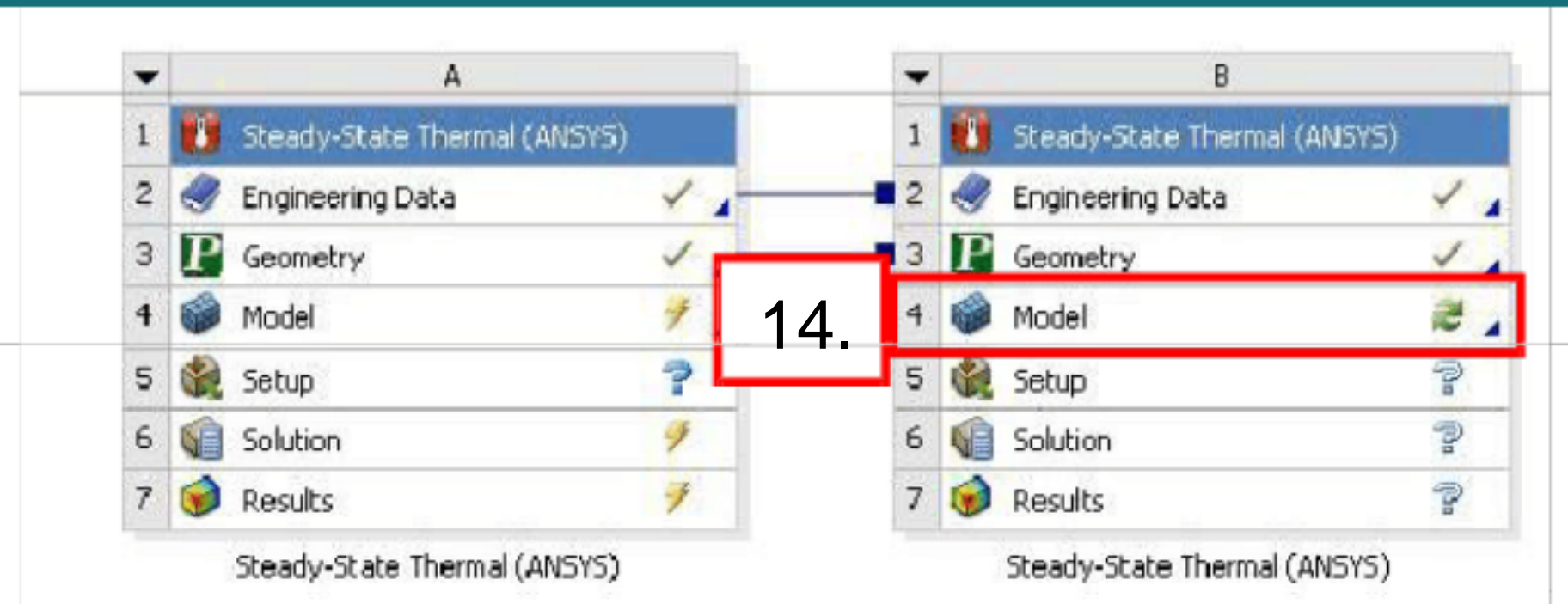




## WS6.1: Steady State Thermal Analysis

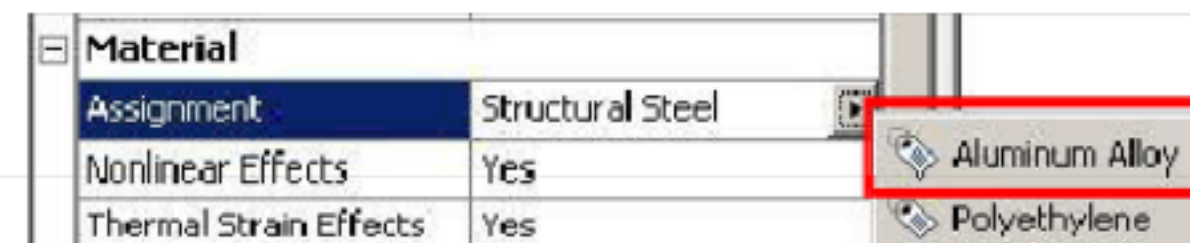
Workshop Supplement

作业在 project schematic 上  
双击 B 系统中的 Model 打  
开 Mechanical application 窗口

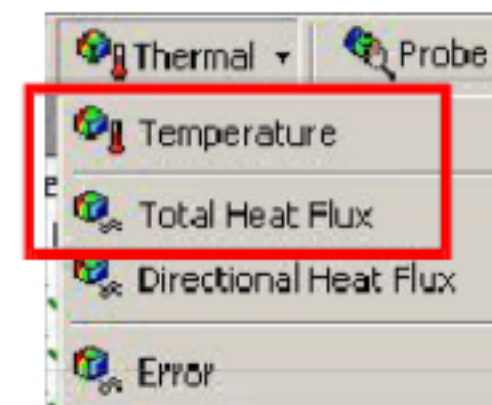


? 重复步骤 9 (a 到 c) 选  
择材料 Aluminum Alloy

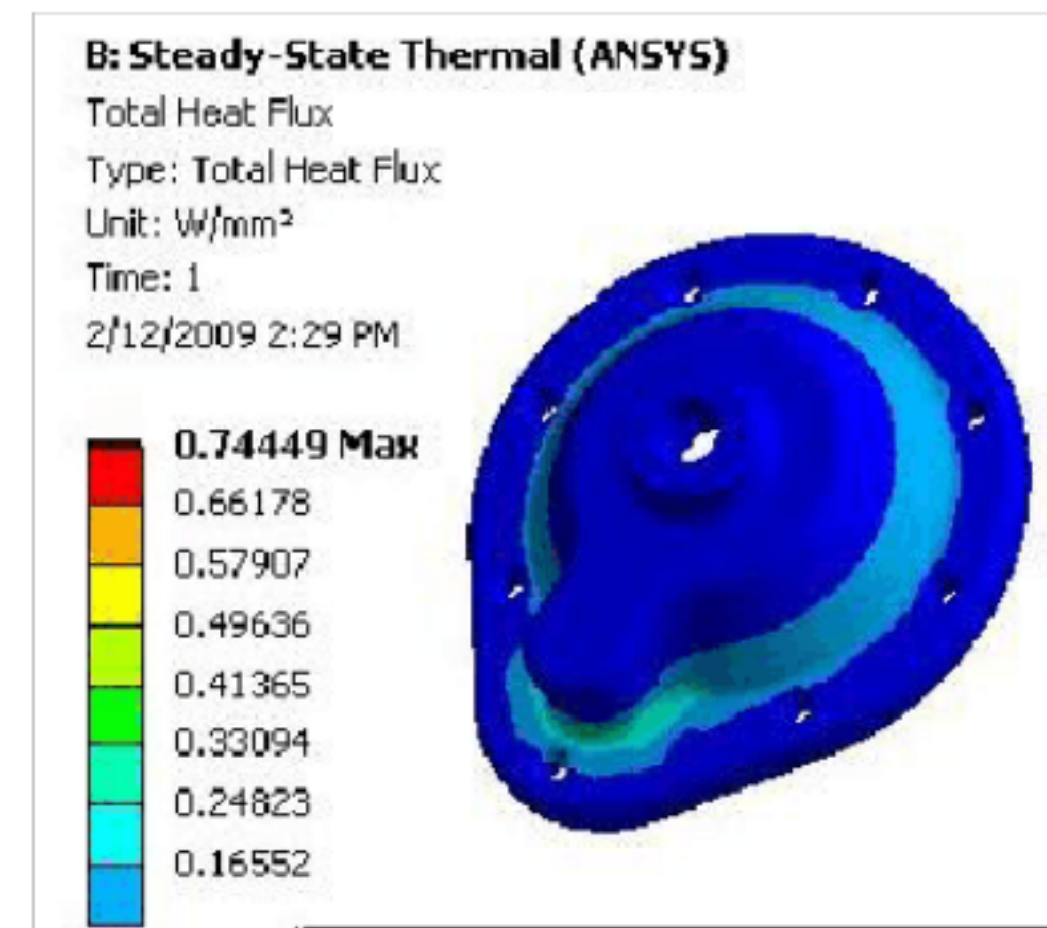
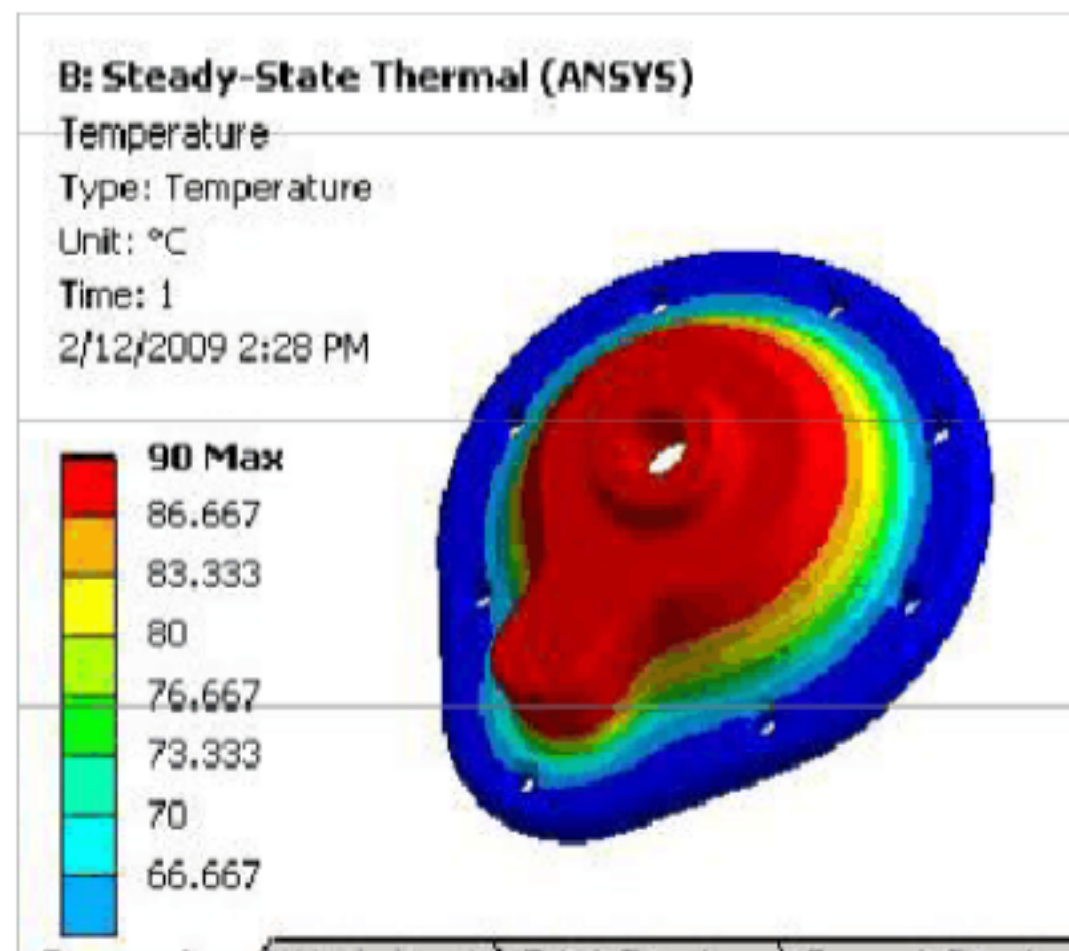
? 重复步骤 10 和 11 给模型  
B 施加同样的边界条件



? 重复步骤 12 和 13 求解和  
查看模型 B 的结果

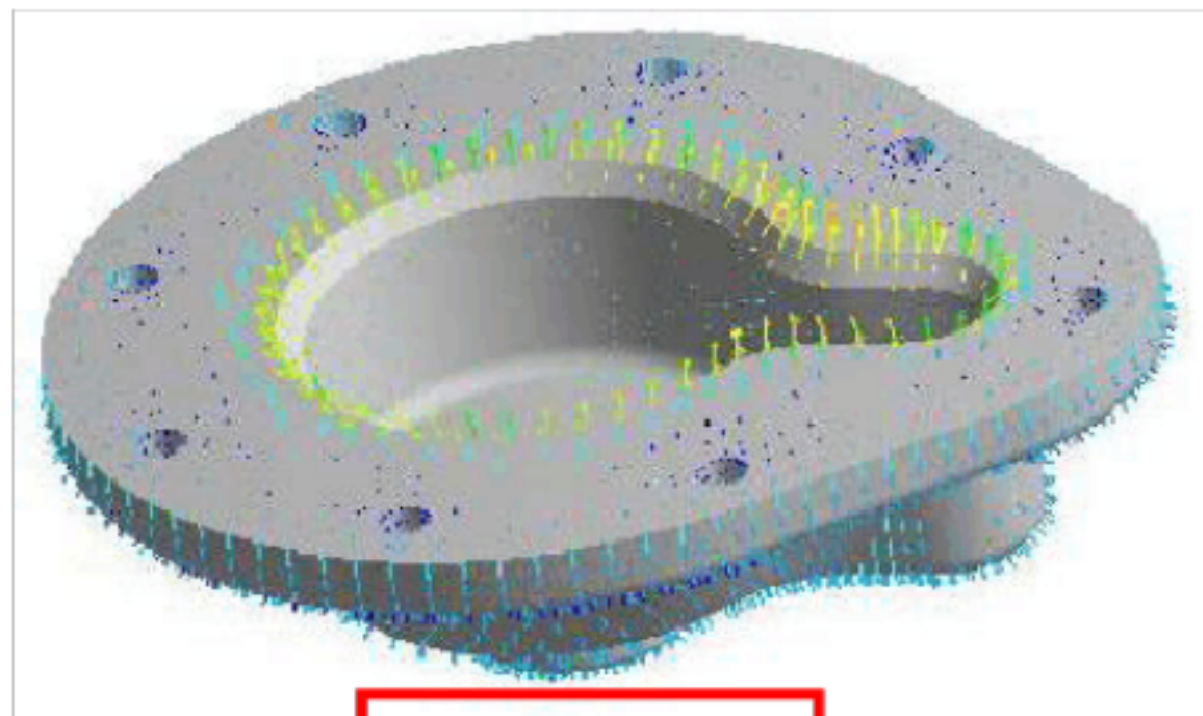


? 材料为 aluminum alloy 的结果

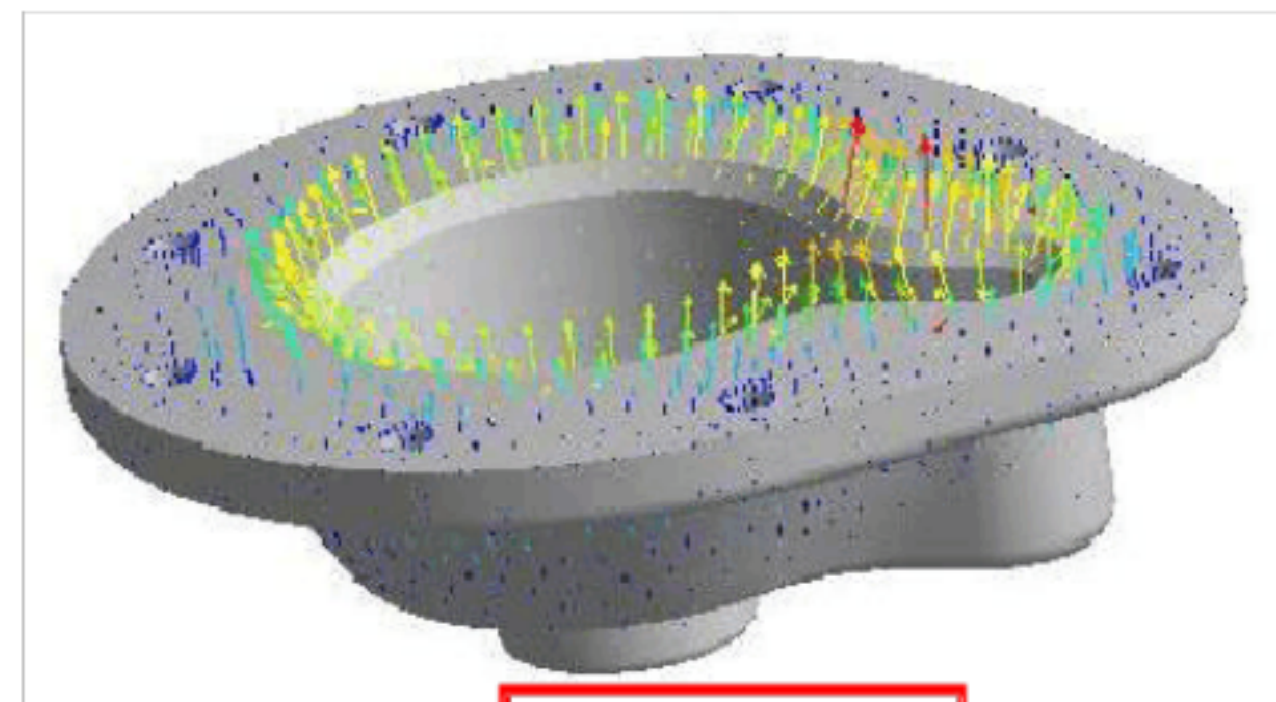


? 对比 Heat Flux (热流) :

? 选中每个模型的 Total Heat Flux 结果, 并选择矢量显示方式。



Polyethylene



Aluminum

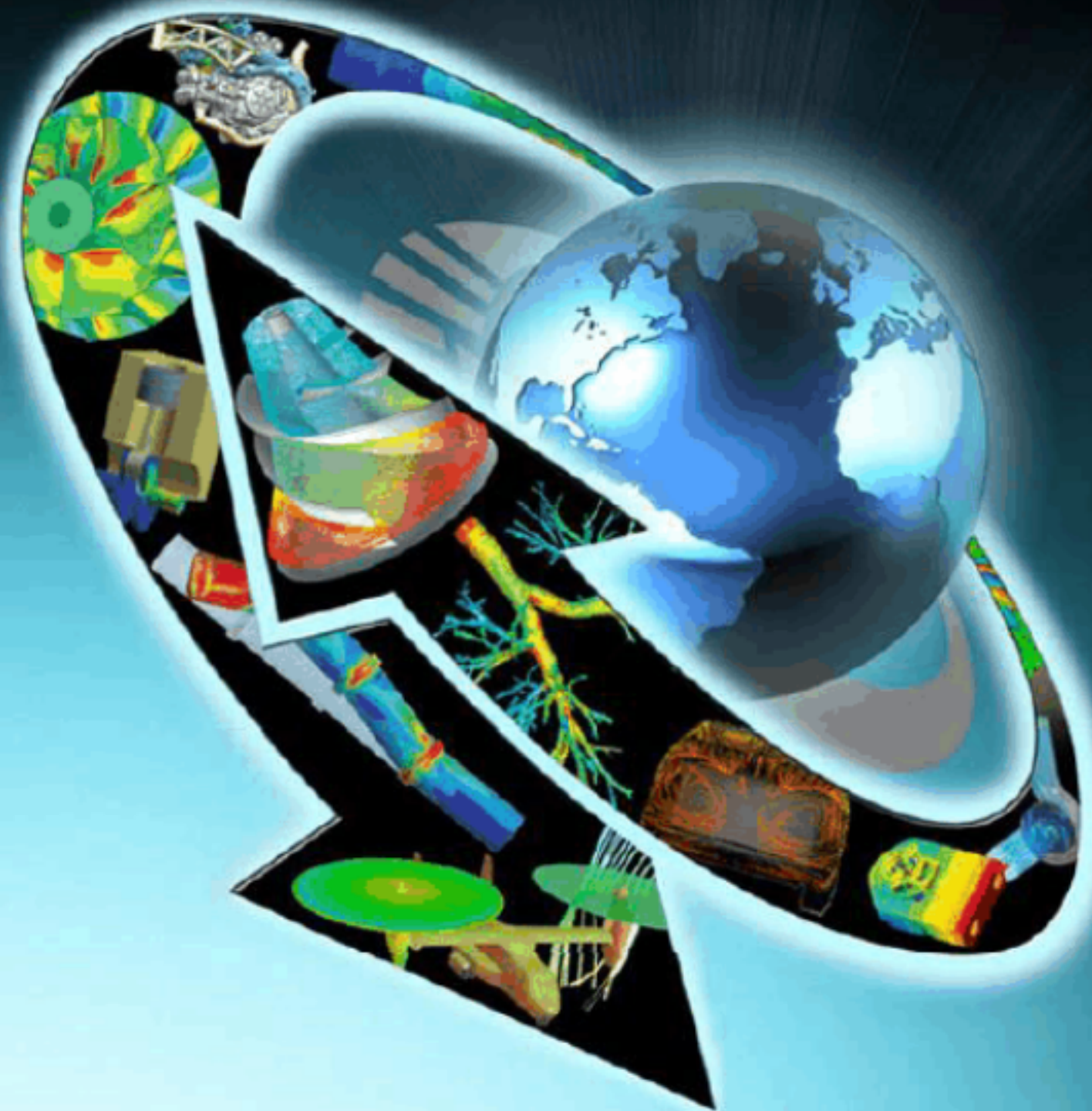


Steady State Thermal



Workbench - Mechanical  
Introduction

## 第七章 线性屈 曲分析





? 本章将介绍线性屈曲分析。

? 内容：

A. 屈曲的背景知识

B. 屈曲分析步骤

C. Workshop 7-1

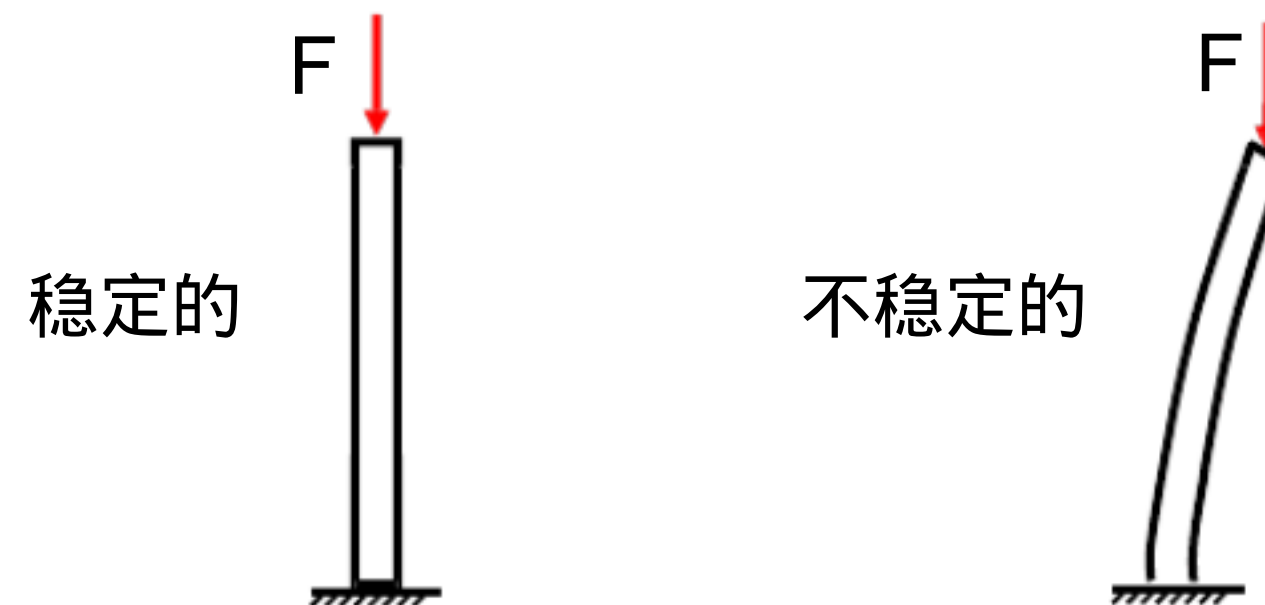
? 本章所述的功能，一般可用于 ANSYS DesignSpace Entra 及以上版本的许可。  
— 本章讨论的某些选项可能需要更高级的许可，但这些都指出相应的许可。



## A. 屈曲的背景知识

?需要评价许多结构的稳定性。在薄柱，压缩部件，和真空罐的例子中，稳定性是重要的。

?失稳（屈曲）的结构，负载基本上没有变化（超出一个小负载扰动）会有一个非常大的变化位移  $\{x\}$ 。



? 特征值或线性屈曲分析预测理想线弹性结构的理论屈曲强度。  
? 此方法相当于教科书上线弹性屈曲分析的方法。

- 用欧拉行列式求解特征值屈曲会与经典的欧拉解一致。

? 缺陷和非线性行为使现实结构无法与它们的理论弹性屈曲强度一致。线性屈曲一般会得出不保守的结果。

? 线性屈曲无法解释的问题

- 非弹性的材料响应。

- 非线性作用。
- 不属于建模的结构缺陷（凹陷等）。

? 尽管不保守，线性屈曲有多种优点：

- 它比非线性屈曲计算省时，并且可以作第一步计算来评估临界载荷（屈曲开始时的载荷）。
- 线性屈曲分析可以用来作为确定屈曲形状的设计工具。  
? 在屈曲分析中做一些对比可以体现二者的明显不同
- ? 结构屈曲的方式可以为设计提供向导



? 对于线性屈曲分析求解特征值要用到屈曲载荷因子  $\lambda_i$  和屈曲模态  $\phi_i$ :

$$[K] \phi_i - \lambda_i [S] \phi_i = 0$$

假设:

– [K] 和 [S] 不变:

? 假定为线弹性材料

? 利用小变形理论并没有包括非线性

? 重要的是要记住与进行线性屈曲分析模拟有关的这些假设。

?需要在屈曲分析之前（或连同）完成静态结构分析。蓝色显示的步骤是屈曲分析特有的。

- 附上几何体
- 指定材料属性
- 定义接触区域（如果合适）
- 定义网格控制（可选）
- 加入载荷与支撑
- 求解静力结构分析
- 链接线性屈曲分析
- 设置初始条件
- 求解
- 模型求解
- 检查结果

? 与线性静力分析类似，任何 DS 支持的类型的几何体都可以使用：

- 壳体（确定适当的厚度）
- 线体（定义适当的横截面）

? 只有屈曲模式和位移结果可用于线体。

? 尽管模型中可以包含点质量，但是由于点质量只受惯性载荷的作用，因此在应用中有一些限制。

? 材料属性，杨氏模量和泊松比是必须有的。



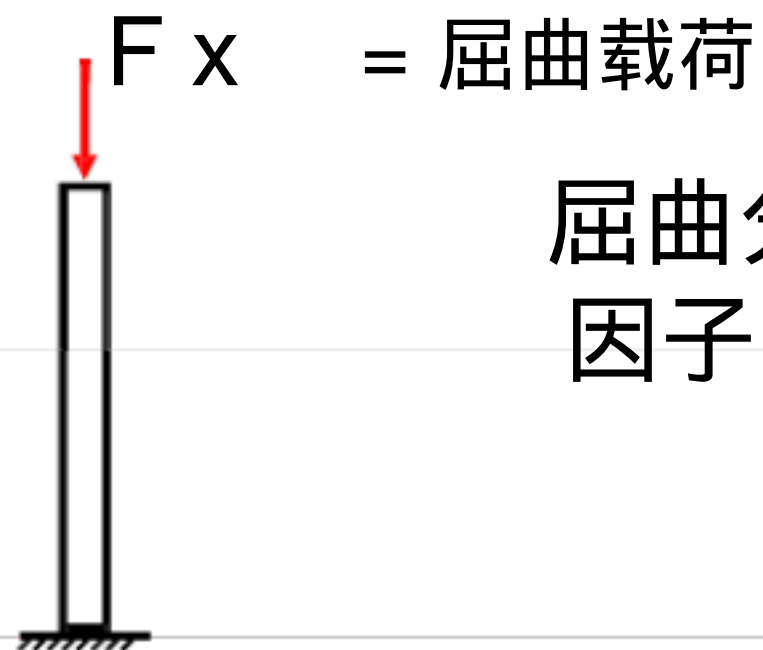
? 屈曲分析中可以定义接触对。但是，由于这是一个的线性分析，因此接触行为不同于非线性接触类型：

? 前提讨论（见表 5）。

| Contact Type  | Linear Buckling Analysis |                       |                        |
|---------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|
|               | Initially Touching       | Inside Pinball Region | Outside Pinball Region |
| Bonded        | Bonded                   | Bonded                | Free                   |
| No Separation | No Separation            | No Separation         | Free                   |
| Rough         | Bonded                   | Free                  | Free                   |
| Frictionless  | No Separation            | Free                  | Free                   |

? 至少需要施加一个能够引起结构屈曲的载荷适用于模型：

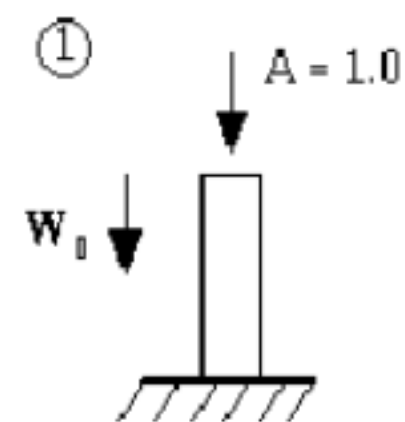
- 所有的结构载荷都要乘上载荷系数来决定屈曲载荷，因此不支持不成比例或常值的载荷（参考下一张幻灯片）
- 不推荐只有压缩的载荷
- 结构可以是全约束，在模型中没有刚体位移。



屈曲分析所有施加载荷（ $F$ ）与载荷因子（ $\lambda$ ）相乘得到屈曲得到临界载荷

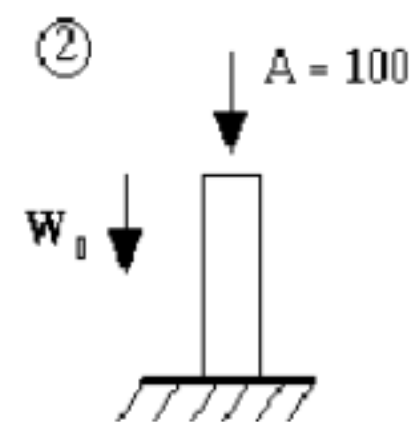
? 如果接触和比例载荷存在应特别考虑。用户可以对屈曲结果进行迭代，调整可变载荷直到载荷乘数变为 1.0 或接近 1.0.

- 以自重  $W_0$  并施加一外力  $A$  得柱子为例。
- 当调整  $A$  的值到  $= 1.0$ ，结果可以达到叠加。这保证自重 = 真实重量或  $W_0^*$   $W_0$ 。



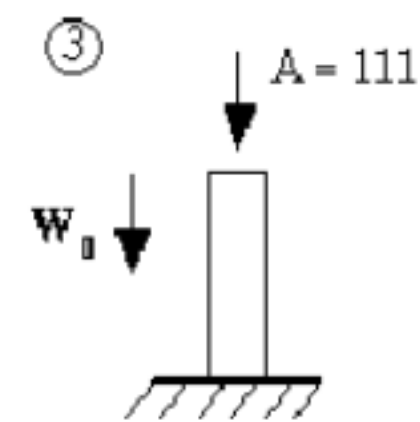
$$\lambda = 1.00:$$

$$F = 100 + 100 W_0$$



$$\lambda = 1.1:$$

$$F = 110 + 1.1 W_0$$

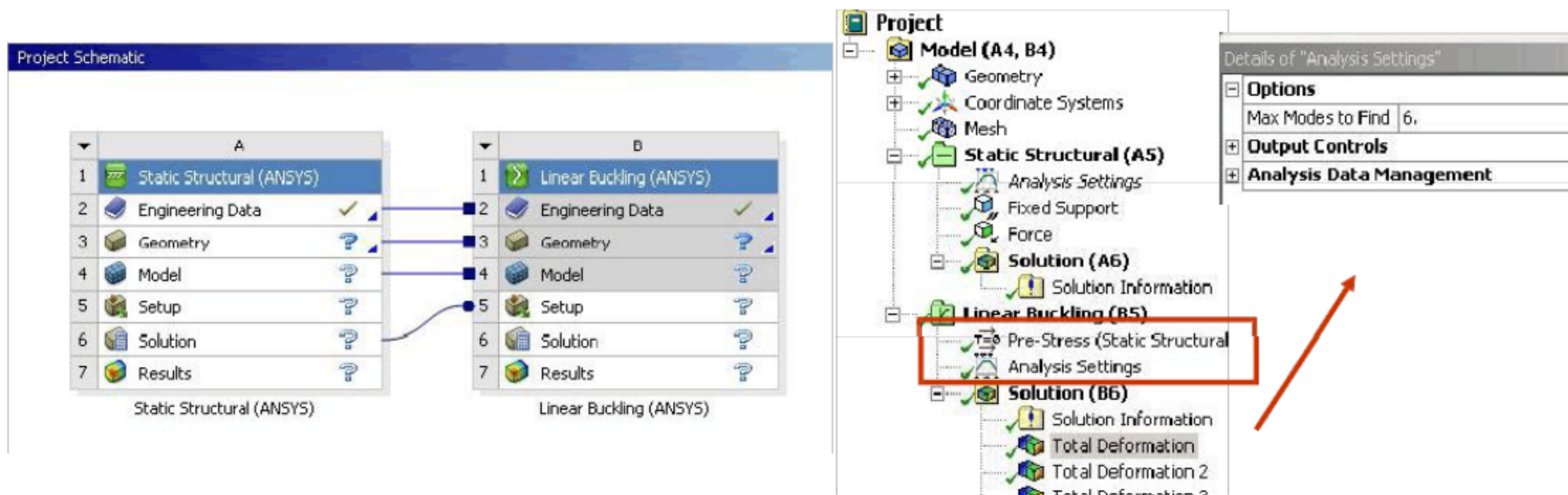


$$\lambda = 0.99:$$

$$F = 110 + .99 W_0$$

在项目图表中屈曲分析经常与结构分析进行耦合。

- 在分支中的“Pre-Stress”项包含结构分析的结果。
- 在线性屈曲分支下的“Analysis Settings”的详细介绍允许用户指定找到的屈曲模型的代号。





- ? 建立屈曲分析模型后可以求解除静力结构分析以外的分析。
- 线性屈曲分析计算机的使用率比相同模型下的静力分析高。
  - The “Solution Information” 分支提供详细的求解输出。

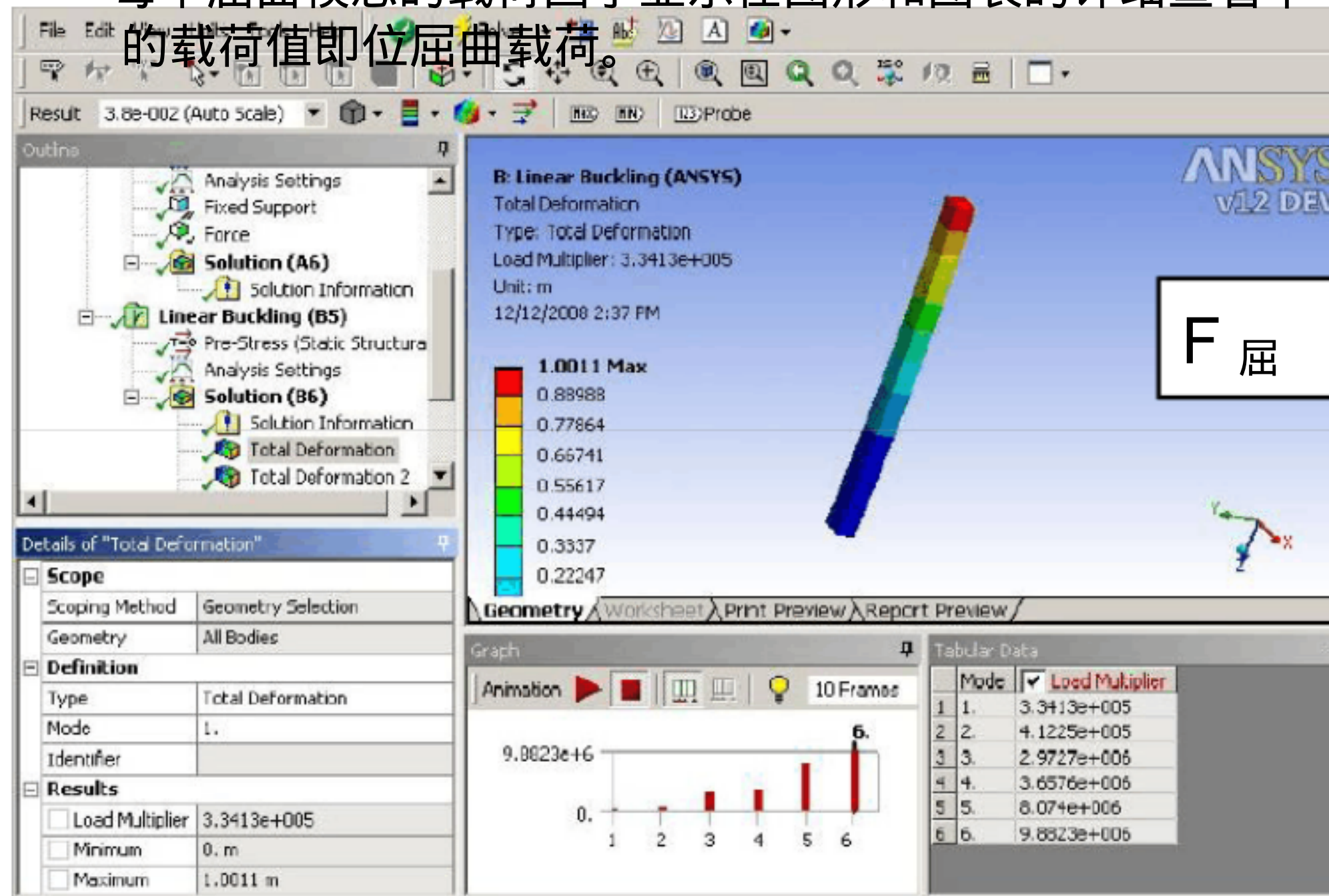
The screenshot displays the ANSYS Workbench interface. On the left, the Project tree shows a hierarchy: Project > Model (A4, B4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Linear Buckling (B5) > Solution (B6). The 'Solution Information' branch under Solution (B6) is highlighted with a red box. Below the tree, the 'Details of "Solution Information"' panel shows 'Solution Output' and 'Newton-Raphson Residuals' set to 0.

On the right, the output window displays the following text:

```
***** EIGENVALUES (LOAD MULTIPLIERS FOR BUCKLING) *****  
*** FROM BLOCK LANCZOS ITERATION ***  
  
SHAPE NUMBER    LOAD MULTIPLIER  
  
1                334125.96  
2                412253.51  
3                2972668.0  
4                3657605.9  
5                8073961.0  
6                9882273.5  
  
*** ANSYS BINARY FILE STATISTICS  
BUFFER SIZE USED= 16384  
0.500 MB WRITTEN ON ELEMENT SAVED DATA FILE: file.esav  
2.312 MB WRITTEN ON ASSEMBLED MATRIX FILE: file.full  
0.125 MB WRITTEN ON MODAL MATRIX FILE: file.mode  
0.250 MB WRITTEN ON RESULTS FILE: file.rst  
  
FINISH SOLUTION PROCESSING
```

？求解完成后，可以检查屈曲模型：

—每个屈曲模态的载荷因子显示在图形和图表的详细查看中，载荷因子乘以施加的载荷值即位屈曲载荷。

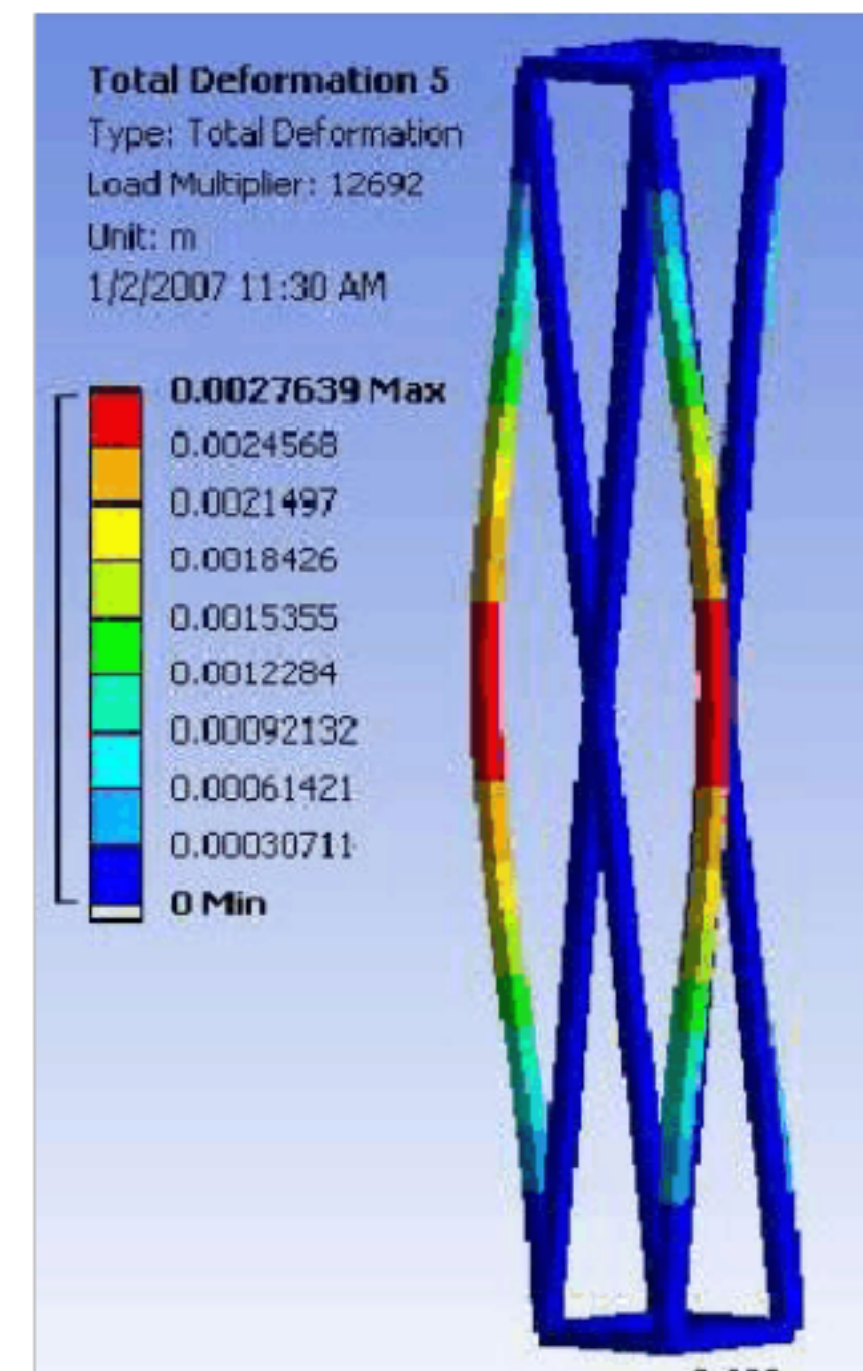


$$F_{\text{屈}} = (F_{\text{施加}} \times$$

)

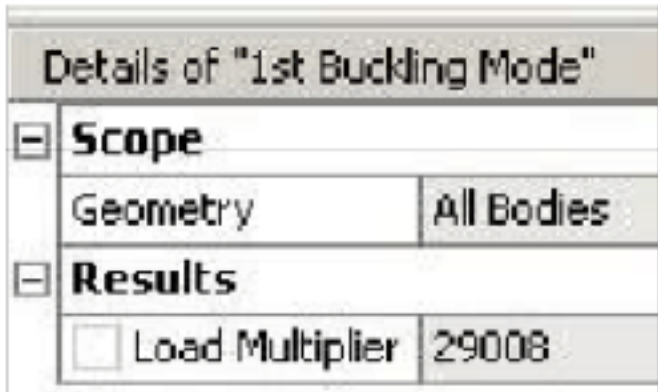
? 载荷因子 ( ):

- 下面塔模型求解了两次。在第一种情况施加单位载荷。第二个施加预测的载荷（见下页）

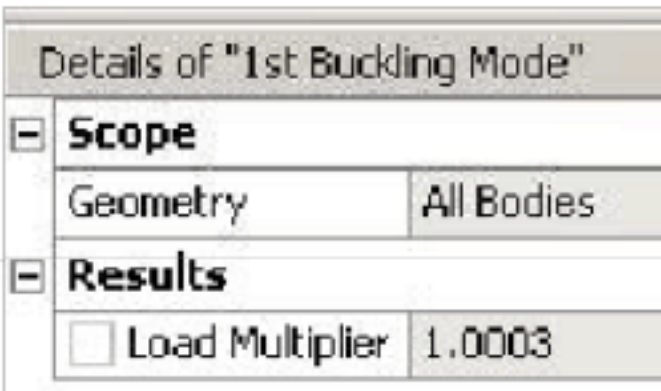




? 载荷因子 ( ):



$$\text{BucklingLoad} \quad * \text{Unit\_Load}$$
$$\text{BucklingLoad}$$



$$\text{BucklingLoad} \quad * \text{Actual\_Load}$$
$$\frac{\text{BucklingLoad}}{\text{Actual\_Load}} \quad \text{Safety\_Factor}$$



? 屈曲载荷因子可以在 “线性屈曲分析” 分析分支下 “Timeline” 的结果中进行检查。

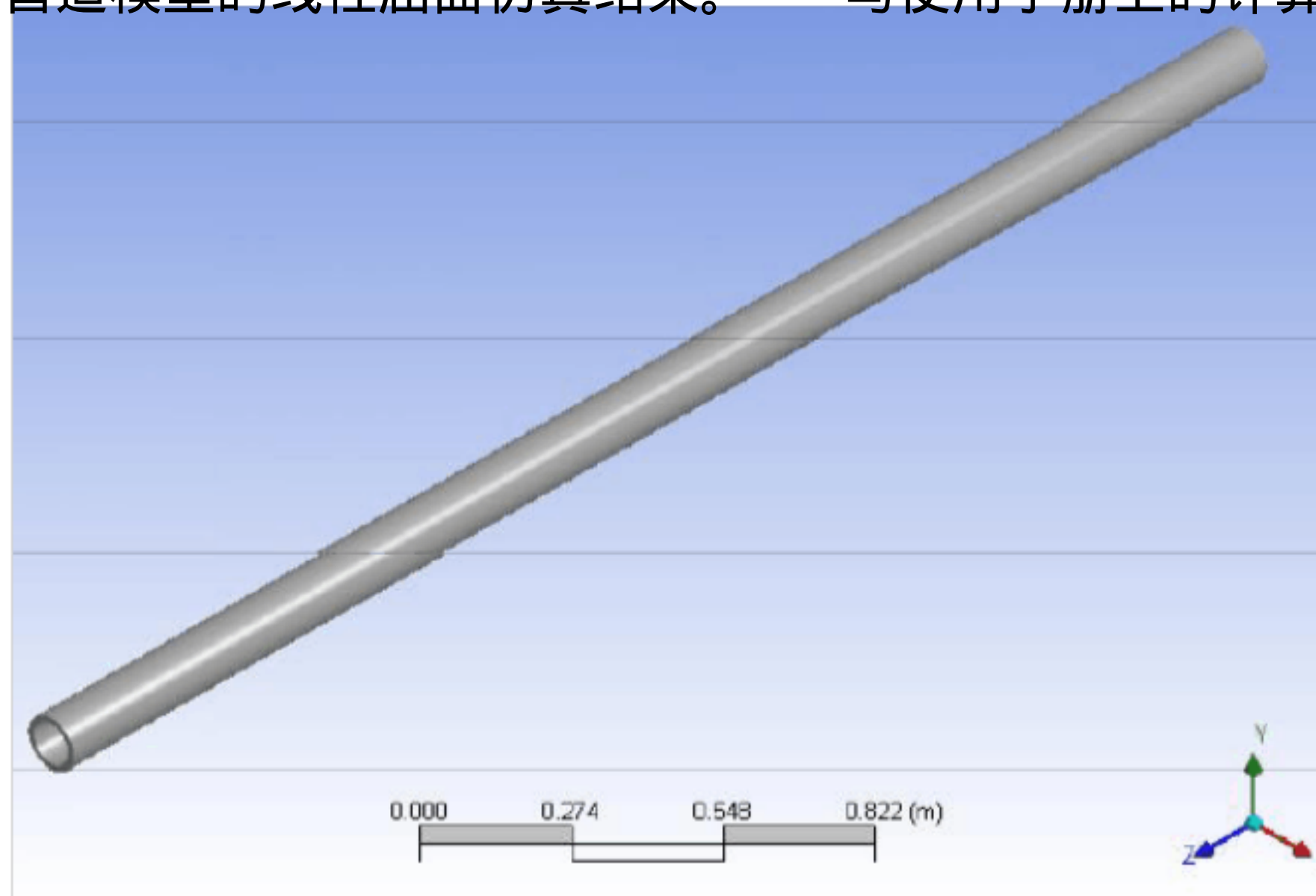
– 这是求解多个屈曲模态的一个很好的方法，以便观察结构屈曲在给定的施加载荷下的多个屈曲模态。



### ? Workshop 7.1 – 线性屈曲

? 目标:

– 验证下图管道模型的线性屈曲仿真结果。 与使用手册上的计算结果进行比较。

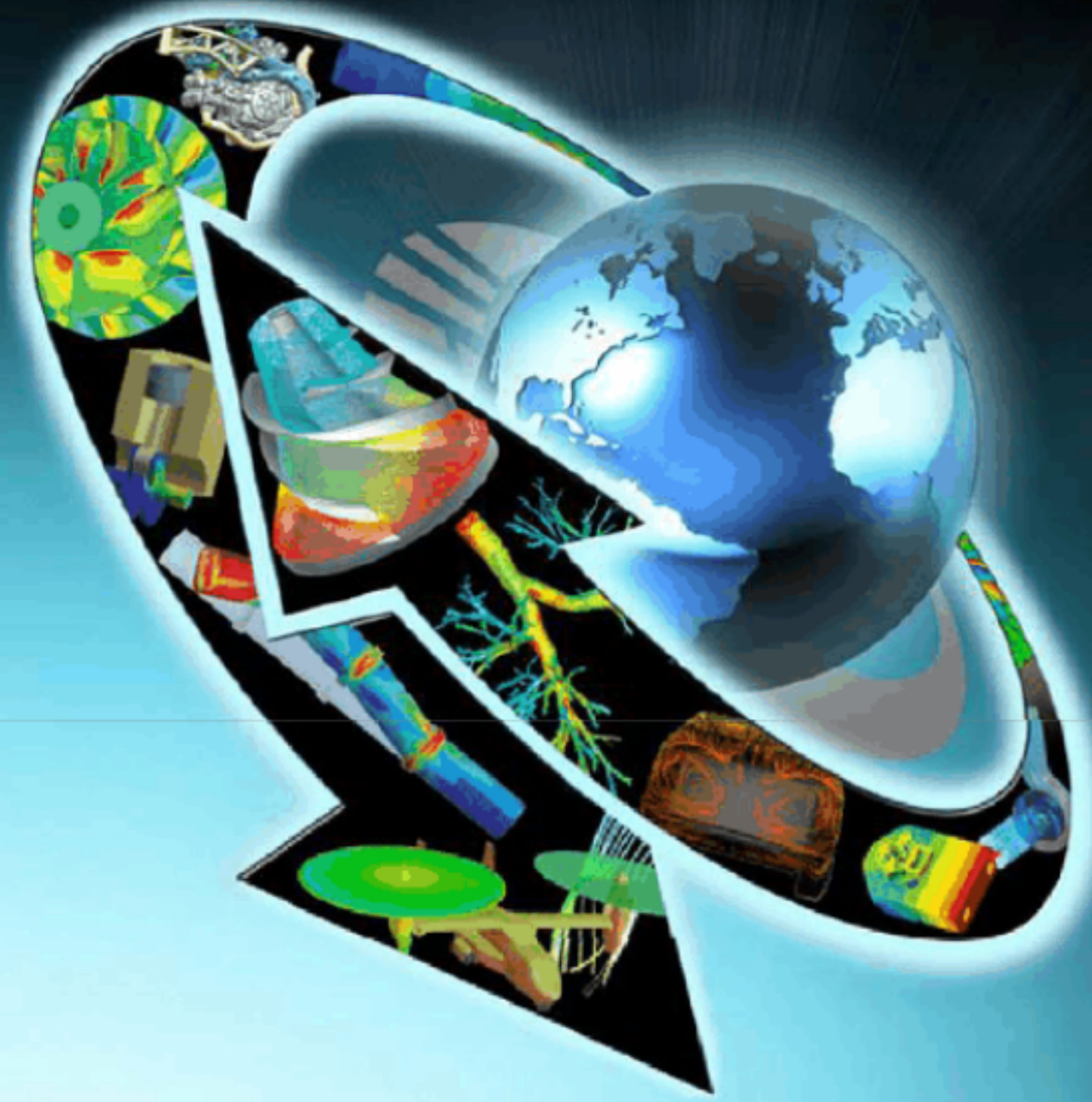




## Workbench - Mechanical Introduction

作业 7

线性屈曲分析



- ? 本作业的目标是在 ANSYS Workbench 中审查线性屈曲结果，并同手册中的封闭形式的解进行对比。
- ? 然后给模型施加一个 10,000 lbf 的力，并给出它的安全因子。
- ? 最后，确定结果在屈曲发生前不会发生破坏失效。



? 模型是一个钢管，假设一端固定而另一端自由，且在自由端施加了一个纯压力。管子的尺寸和特性如：

?  $OD = 4.5 \text{ in}$     $ID = 3.5 \text{ in}$ .  $E = 30e6 \text{ psi}$ ,  $I = 12.7 \text{ in}^4$ ,  $L = 120 \text{ in}$ .

? 此例中，假设管道符合手册中的下列公式，其中  $P$  是临界载荷：

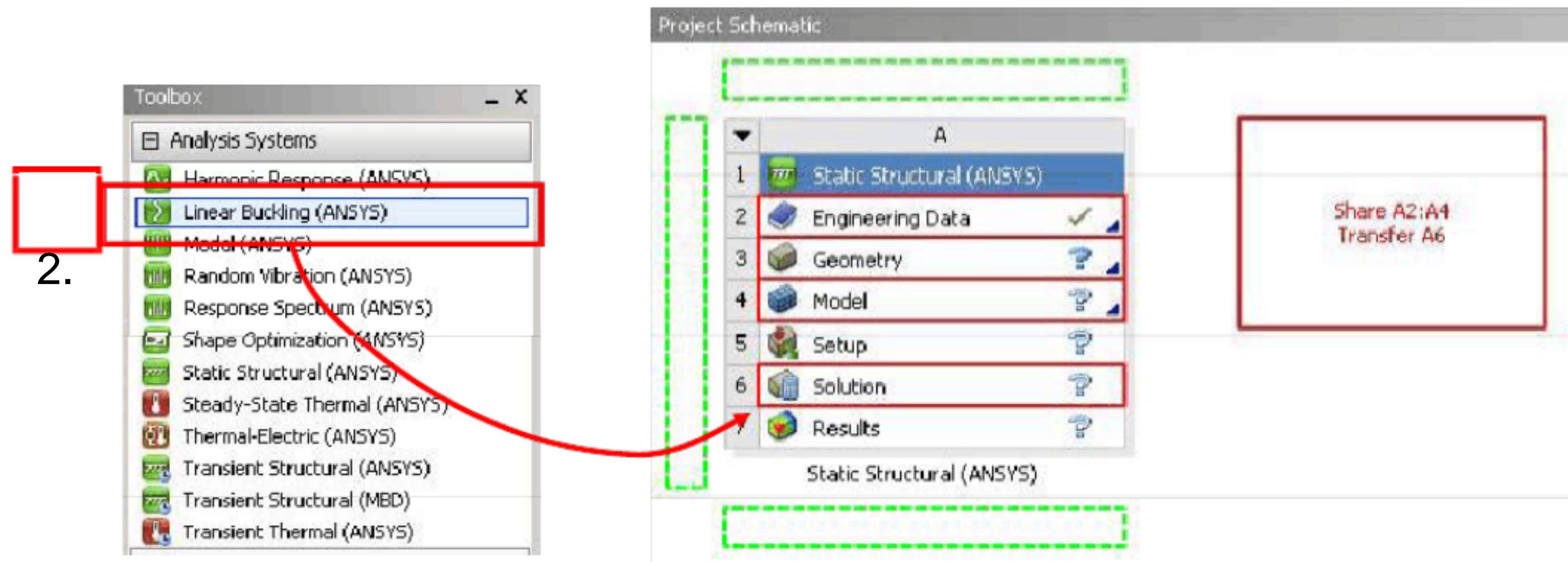
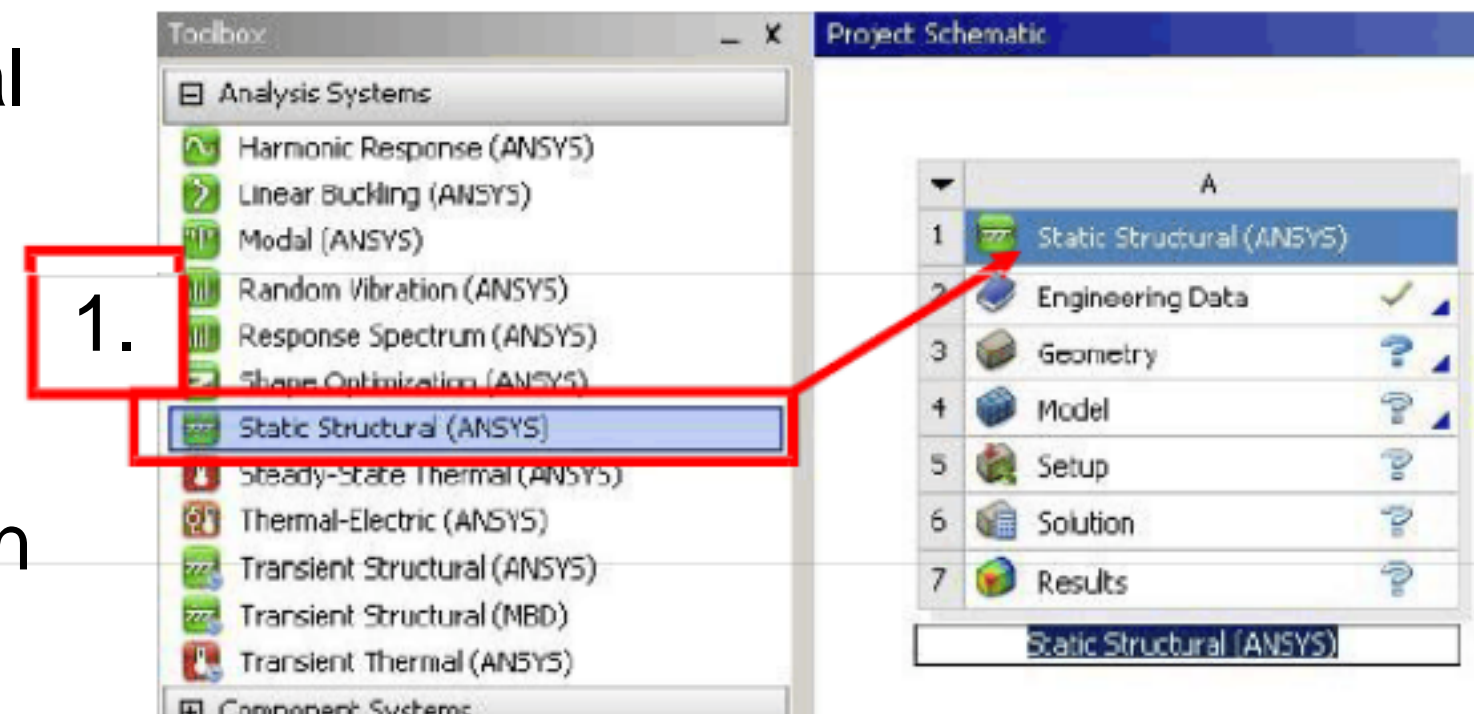
$$P = K \frac{\pi^2 E I}{L^2}$$

? 对于一端固支，一端自由的梁来说，参数  $K = 0.25$ 。

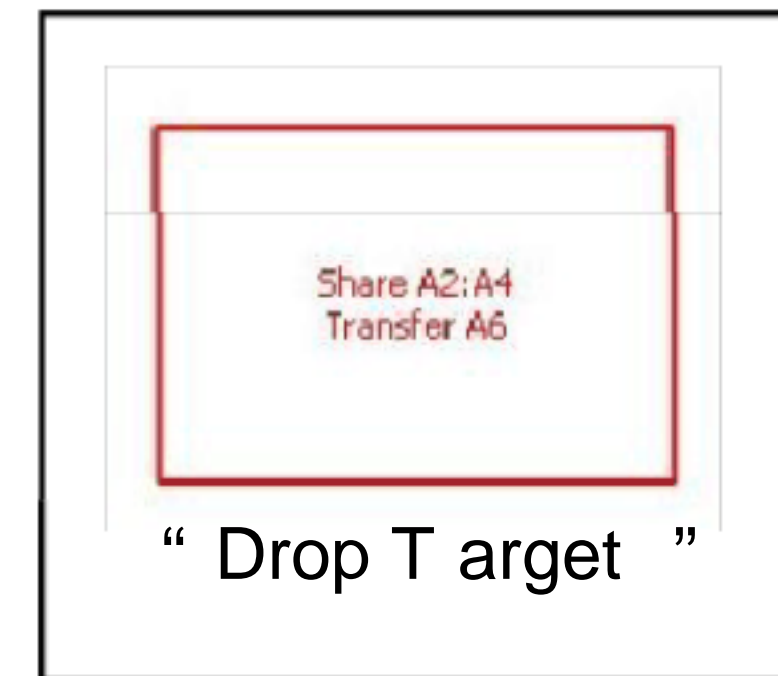
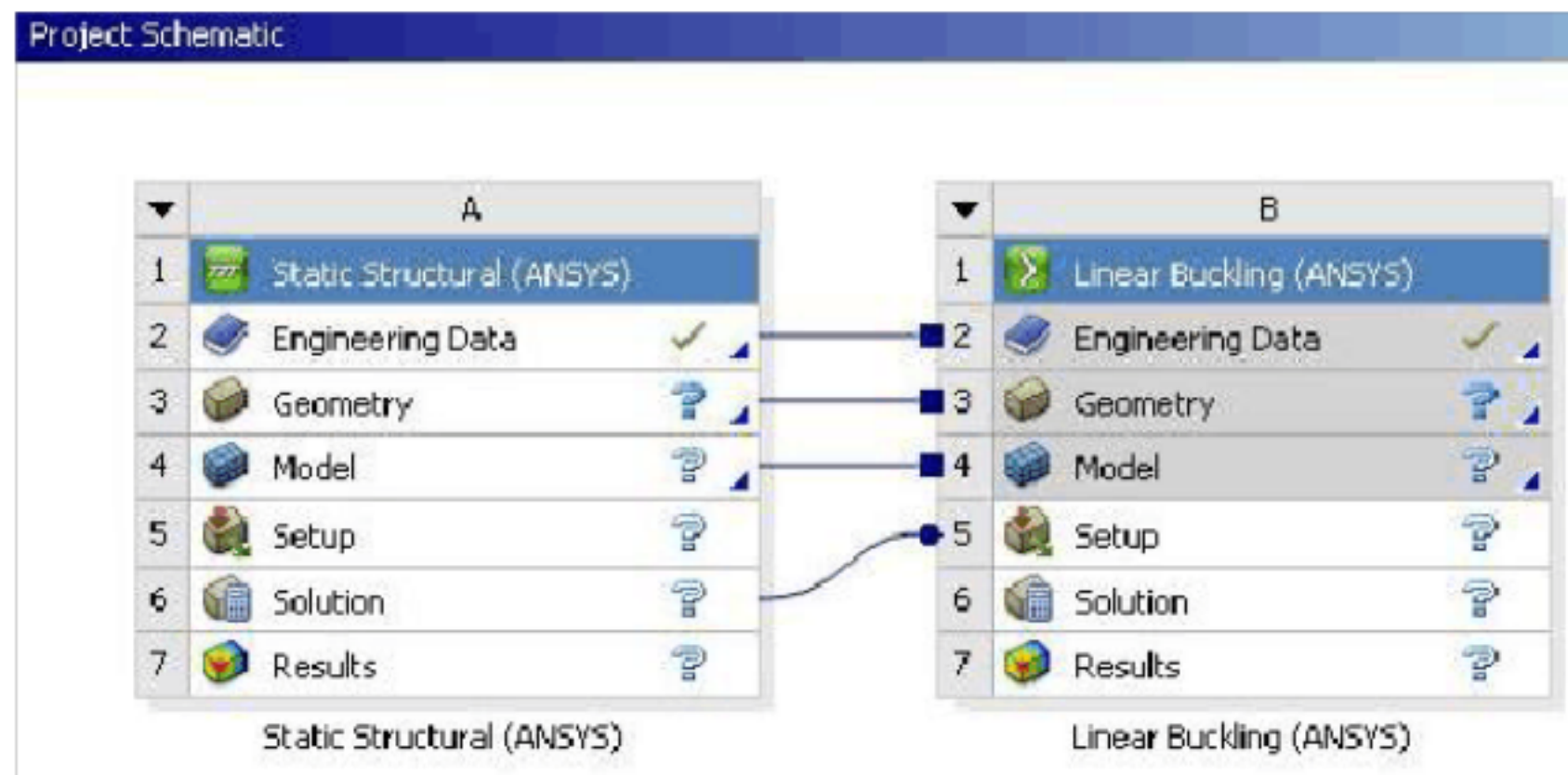
?根据上一页给出的公式和数据可以推导出屈曲载荷为：

$$P' = 0.25 \times \frac{30 \times 10^6 \times 12.771}{(120)^2} = 65648.3 \text{bf}$$

1. 双击 Toolbox 下的 Static Structural 创建一个新系统
2. 把 Linear Buckling 系统拖放到 static structural 系统中的 Solution 模块



? 当 schematic 设置正确时，它将显示如下：

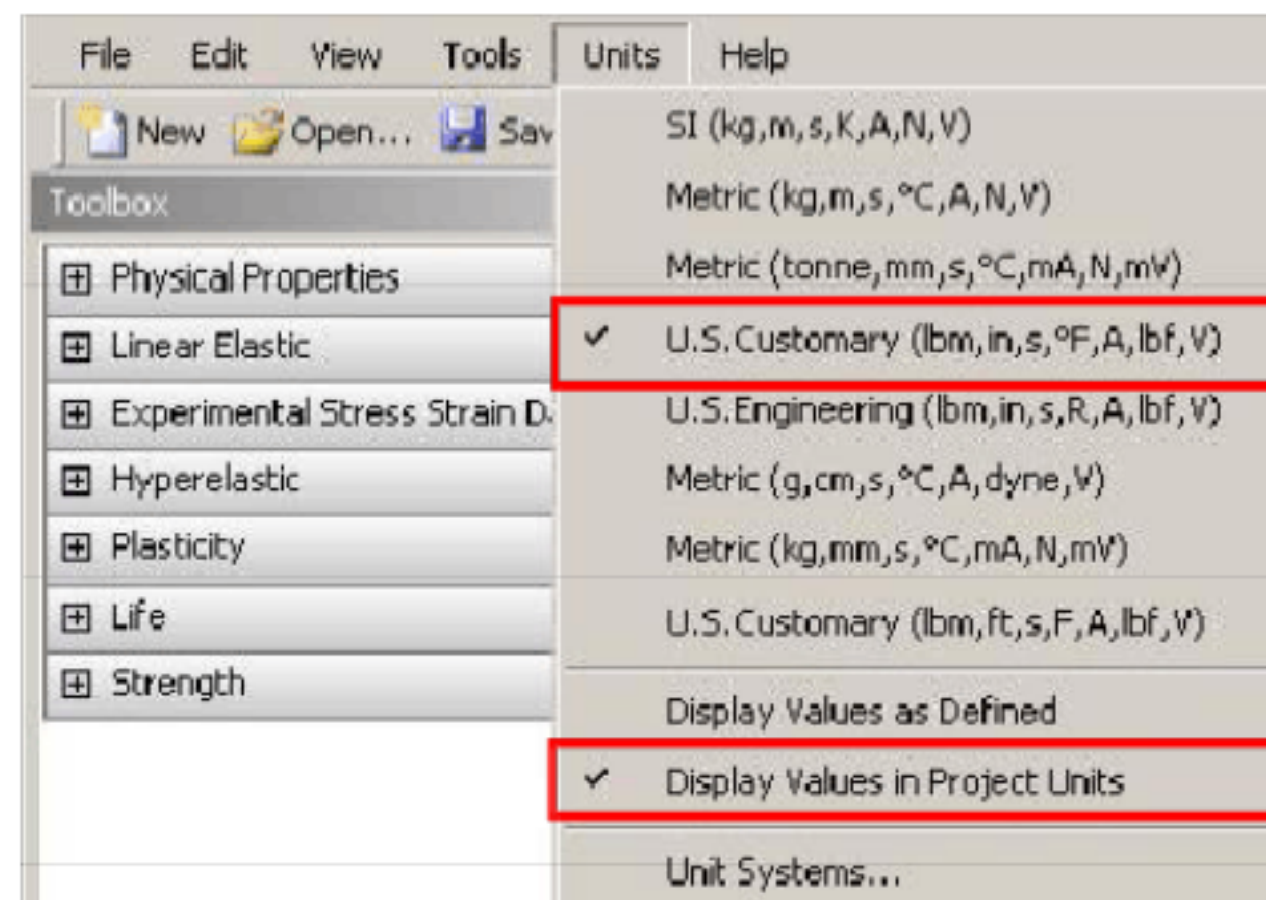


? 上一页的 drop target （拖放目标）表示了拖放操作的结果。 A 系统中的 A2 到 A4 是和系统 B 共享的。同样把 solution (A6) 移到系统 B 设置中。实际上，结构进行的是屈曲分析。



## ...作业 7.1 –Project Schematic

- ? 确定项目单位设为 US Customary (lbm, in, s, F, A, lbf, V)
- ? 确定选择了 Display Values in Project Units



## ...作业 7.1 –Project Schematic

3. 在 static structural system (A) 上双击  
Engineering Data

3.

4. 为了于前面提到的手册中的计算结果匹配，改变 structural steel 的  
Young ' sModulus （杨氏模量）

- a. 选中 Engineering Data

a.

- b. 选中 Structural Steel

- c. 展开 Isotropic Elasticity ， 修改 Young ' s  
Modulus 为 3.0E7 psi.

b.

- ? 提示：在 Engineering Data 中改变它的特性，是不会对一般材料库中 Structural Steel 的值有影响的。为了将来使用某种材料，需要使用 Export 把它的特性作为一个新材料导入到材料库中。因为本作业只需要它的值，故不需要进行上面的操作。

C.

## ...作业 7.1 –Project Schematic

5. 在 A 系统 static structural 的  
Geometry 上点击鼠标右键选择  
Import Geometry 导入文件  
Pipe.x\_t

5.

6. 双击 Model 启动 Mechanical. 6.

? 当 Mechanical application 打开时 ,  
project  
schematic 会随着改变设置。

作业 7.1 – 前处理

7. 把作业单位制系统设为 U.S. customary system:

- a. U.S. Customary (in, lbm, psi, ° F, s, V, A).

8. 给管道施加约束：

- a. 选中 Static Structural (A5).
- b. 选择管道的一个端面
- c. RMB（点击鼠标右键选择） > Insert > Fixed Support（固定约束）

a.

b.

a.

c.



WS7.1: Linear Buckling

作业施加屈曲环境：

Workshop Supplement

- a. 选择管道的另一端面
- b. RMB（点击鼠标右键选择） > Insert > Force
- c. 在 details of force 中把 Define by 设为 Components
- d. 在 details of force 中给 Magnitude 下的 Z Component

a.

c.

d.

b.

...作业 7.1 –环境

10. 求解模型：

- a. 选中 Linear Buckling (B6) 下的 Solution ，点击 Solve  
？ 注意，这将自动启动上面的静态结构分析

11. 当求解完成时：

- a. 选择 Solution (B6)
  - Timeline （时域图）和 Tabular Data （数据表） 给出了 一阶屈曲模态（更多模态也可以得到）
- b. 在 Timeline 上点击鼠标右键选择 Select All
- c. 点击鼠标右键选择 Create Mode Shape Results  
（添 加 Total Deformation 分支）

a.

c.

a.

b.

作业 7.1 – 结果

– 点击 Solve 查看一阶模态

? 醒一 , 于施加的是单位 , 此结果与闭合 65648 lbf 合很 。

WS7.1: Linear Buckling

...作业 7.1 –结果

Workshop Supplement

12. 改变载荷为 10000 lbf :

- a. 选中 Static Structural (A5) 下的 Force
- b. 在 details of force 中改变 Z Component 值为 10000.

13. 求解 :

- a. 选中 Linear Buckling (B6) , 并点击鼠标右键选择 Solve

11a.

12a.

11b.



## ...作业 7.1 – 结果

? 当求解结束时，在 Load Multiplier 中给出了一个值 6.56。因为现在施加的是实际应用中的力，故这个载荷乘子即为施加载荷的屈曲安全因子。

? 根据已经计算得到的屈曲载荷值 65600 lbf，这个结果明显没有价值（ $65600 / 10000$ ）。在这里给出只是为了分析的完整性。

## 作业 7.1 – 验证

? 此例屈曲分析中添加了最后一步，作为最好的实践练习

? 已经得到了预期的屈曲载荷和所加载荷的安全因子。目前为止，这个结果只针对屈曲失效，因此无法判断屈曲载荷对结构的应力和变形有什么影响。

? 选择一个不会导致过大应力和变形的载荷      10000 lbf

## WS7.1: Linear Buckling

### ...作业 7.1 –验证

Workshop Supplement

14. 查看 10,000lbf 载荷下的应力结果：

- a. 选中 Static Structural (A6) 下的 Solution
- b. RMB ( 点击鼠标右键选择 ) > Insert > Stress > Equivalent ( Von-Mises )
- c. RMB ( 点击鼠标右键选择 ) > Insert > Deformation > Total.
- d. 求解

a.

b.

c.

## WS7.1: Linear Buckling

### ...作业 7.1 –验证

Workshop Supplement

? 快速查看应力结果，发现模型没有超过使用材料的力学极限（  
Engineering Data 给出抗压极限为 36,259 psi）

? 正如说的那样，这不是屈曲分析中的必要步骤，但是很好的工程锻炼。



# Workbench - Mechanical Introduction

## 第八章 结

## 果后处理

？在本章里，将介绍后处理部分的内容：

- A. 查看结果
- B. 区域结果显示
- C. 输出结果
- D. 坐标系和指定方向的结果分量
- E. 组合求解
- F. 应力奇异性
- G. 误差评估
- H. 收敛性

？本章本节描述的应用都能在所有 ANSYS 版本中使用，除了注明不可以使用的版本。

A. 查看结果

? 当选择了一个结果项后，上下文工具栏显示了查看结果的方式：

显示比例

显示方法

云图设置

纲要显示

? 另外，Timeline 也有一个动画工具栏，它允许用户设置动画控制

分布

输出

播放

暂停

图标

帧速率控制

## Results Postprocessing

### ... 位移比例

Training Manual

- ? 对于结构分析（静态、模态、屈曲分析），可以改变变形形状：
  - 默认的是一个标量（ multiplies ）乘上实际的位移。
  - 用户可以改为真实比例或显示未变形的模型图

自动选择的位移比例

真实比例



# 图例控制

? 在图形区的图例上点击鼠标右键，可以调整图例控制。



? 然后 .....

... 图例控制

利用图例边界可以更清楚地显示出等高线图的结果分布。

没有改变最大最小值

点击并拖放等高线分配器（或键盘输入一个值）来指定等高线范围。

也可以使用非均匀分布的等高线。

? Independent Bands (独立带) 使用中性色来代表高于或低于指定图例限制的模型区域。

图例等高线范围

... 显示方式

? Geometry 按钮控制着等高线显示方式。有四种可选选择：



“ Exterior ”（外观图）是默认的显示选项，而且是最常用的。

“IsoSurfaces ”（等值面）对现实具有相同值的区域很有用。

“ Capped IsoSurfaces ”（上限等值面）将删除模型中高于（或低于）一个指定值的区域。

“ Slice Planes ”（切面）让用户可以从视觉上穿过模型。同样可以使用 capped slice plane （上限切面）如左图所示。



### ... 显示方式

#### ? Capped IsoSurfaces 通过独立菜单控制操作

- 允许进行 isosurface, top 或 bottom capped 绘图
- 图例中做记号的区域表示该区域不被显示
- 分界值通过调整滑块或者直接输入数值来控制

顶部封顶等值面

底部封顶等值面

? Contours 按钮控制着模型上的等高线显示形式

Smooth Contours  
(平滑等高线)

Contour Bands  
(等高线带)

Isolines  
(等值线)

Solid Fill  
(实芯填充)

# Results Postprocessing

## ... 纲要显示

Training Manual

? Edges 按钮允许显示未变形前的几何或单元

No WireFrame  
( 无线框 )

Show Undefined WireFrame  
( 显示未变形的线框 )

Show Undeformed Model  
( 显示未变形的模型 )

Show Elements  
( 显示单元 )

# 截断面

- ？在前、后处理器中都可以添加和编辑截断面。
- 选择 Draw Section Plane ，然后用鼠标左键点击并拖放该图标，就可以获得一个截断面。
  - 在细节窗口中，可以通过复选框开启或关闭截断面。
  - 使用删除图标删除截断面。
  - 通过选中需要的截断面名称后，再使用图形窗口中操纵器来编辑截断面。

通过拖动操纵起来移动一个切面

Sliced view 前处理器中的几何模型

Sliced view 结果后处理中的模型

点击操纵器的一边，进行上限等高线查看



### Probe 工具

- ? Probe 工具允许指定特定位置的结果并使其参数化。
- ? Probe 工具可限定于几何模型，局部坐标系或使用远程点来指定。
- ? 结果的方向可以以整体或局部坐标系指定。

# Results Postprocessing

## ... Probe 工具

Training Manual

? Probe 工具示例 :

- 如图定义局部坐标系
- Probe 设置在局部坐标系上
- 指定所有应力结果

Probe 位置

局部坐标系

### 图形和表格

?把多分析步（静态或瞬态）的结果数据联合成图形或表格的形式：

- 选择 New Chart and Table 图标
- 在 details of Multiple Selection 中选中需要的结果。
  - ? 按住 CTRL 键选择多个结果
- 在 details of Multiple Selection 中选择需要显示的项目。

- ? Animation 工具可以播放、暂停和停止动画显示
- ? 提示：通过图形屏幕底部的 Timeline 得到动画

开始/暂停/停止

控制分辨率和速度

当结果设置为动画显示求解点时，可以进行分布式动画插值结果。

输出影音文件

注意：在播放过程中可以使用暂停功能



### ... Alert

? Alert ( 报警器 ) 是一种简单的检查方式，查看是否有一个标量结果值满足标准：

- Alerts 可以在等高线结果 (contour results) (除了矢量结果)，接触结果 (Contact Tool results) 和形状搜索上使用 (Shape Finder)。
- 选中特定的结果项，点击鼠标右键选择插入 Alert (报警器)。
- 在细节窗口中，指定标准值。

- 在大纲树下，一个绿色对号表示符合标准，一个红色惊叹号表示不符合标准。

... 矢量图

? 矢量图包含了任意结果的大小和方向，如挠度，主应力和主应变，以及热通量。

– 通过矢量图形图标激活适量大小的矢量。

– 一旦矢量可见，可以通过矢量显示控制改变它们的外观。（见下一页的示例）

矢量长度控制

矢量密度控制

比例矢量

等长度矢量

单元对齐

网格对齐

线形式

实体形式

# Results Postprocessing

... 矢量图

? 示例

Training Manual

实体形式，网格对齐

比例长度

等长度

实体形式，等长度

### ... 多视窗

- ? 多个视窗能够同时显示各种图片（模型或后处理结果）。
- 有利于对比多个结果，如不同环境得到的结果或多个模态形状



### B. 指定结果

? 在后处理中，显示限定结果很有用：

– 指定自动缩放选定区域结果的图例。

? 指定等高线结果：

– 先选中几何模型，然后指定感兴趣的结果。  
– 没有选中的几何模型将显示成半透明的。

# Results Postprocessing

## ... 指定面或部件上的结果

Training Manual

? 指定面或部件上的结果示例 :

指定单个部件上的结果

所选面上的应力结果

单个部件上的主应力矢量

## Results Postprocessing

### ... 指定边和点上的结果

Training Manual

? 可以指定单个边（或点）上的结果：

- 为指定结果选择一条独立边 .

- 将显示出映射到边上的结果路径图。

- ? 对一个图形使用 Worksheet 查看，只显示路径图。

## Results Postprocessing

### ... 指定一条路径上的结果

Training Manual

- ? 结果可以映射到按以下方式定义的路径上：
- ? 一个坐标系统（或多个坐标系统）
- ? 存在的几何模型（边或点）
- ? 存在的点



## Results Postprocessing

### ... 指定一条路径上的结果

Training Manual

? 使用结构几何建立路径。

? 通过坐标系，模型边或存在的点定义路径。

? 示例：

## Results Postprocessing

### ... 指定一条路径上的结果

Training Manual

? 可以以图形形式显示路径结果。

? X 轴可以代表路径位置 ( S ) 或时间 ( 瞬态分析 )。

### ... 线性应力

? 一个线性应力计算可以使用路径显示特点来显示（通常使用各种结构代码如 ASME 表示）

## C. 输出结果

? 输出 Worksheet （工作表）标签信息：

- 选择需要的选项并点击 Worksheet 标签

- 用鼠标右键点击相同选项，并选择 “ Export ”

? 输出等高线结果：用鼠标右键点击感兴趣的结果项并选择 “ Export ” .

? 模拟中的表格数据可以输出到电子表格中：

- 选择要输出的模块

- 点击鼠标右键选择 Copy cell ，复制模块中的所有数据

- 粘贴到电子表格中

输出 Worksheet

输出结果

输出表格



### ... 输出结果

? 为了在结果输出中包含节点的位置和矢量方向，需要把 Include Node Location 选项改为 Yes，通过 “Tools menu > Options ... > Simulation: Export” 实现。

### D. 坐标系

- ? 指定分量的结果可以映射到局部坐标系下：
  - 从细节窗口中的下拉菜单中选定自定义好的坐标系
  - 指定方向的变形、正应力（应变）、切应力（应变）和指定方向的热通量可以使用坐标系。

... 坐标系

? 对于下图所示模型，在局部柱坐标系中的显示结果，同时把应力结果转换到了该系  
统下。

在整体坐标系下 Y 方向上的应  
力

在局部柱坐标系下 Y 方向上的应  
力

### E. 组合求解

? 在 project schematic 中，复制 Model 后面的分析模块（ Setup , Solution 或 Result ） ，允许创建组合求解来快速评价组合结果。

? 组合求解只是用于线性静态结构分析 。

? 不同环境下的约束也应该是一样的（只有加载可以改变）。

? ANSYS Professional 或更高版本。



## Results Postprocessing

### ... 组合求解

选中 Model 的同时，可以在主菜单下选择一个 Solution Combination （组合求解）

在新出现的分支中可以指定和搜索组合结果。

选中 Solution Combination 时，worksheet 查看允许 组合多个环境。提示：在组合中可以包含一个乘子（见 下面）。

Training Manual

$$\text{Solution Combination} = \text{Coeff 1} * \text{Environment 1} + \text{Coef 2} * \text{Environment 2} + \dots$$

在这里的简单示例中， 2 个环境包含着等大反向的载荷。组合的结果肯定就是 0。

组合

### F. 应力奇异性

?在大多数有限元分析中，采用加密网格划分的目的是为了获得更加精确的数值结果。

- 直接求解得到的值（自由度），如位移和温度，通常都容易收敛。
- 当网格加密时，派生值，如应力、应变和热通量也应该是收敛的，但不如自由度那样容易。
- 有些时候，当网格加密了，这些派生值仍然不收敛，甚至可能出现偏离。
- 这些情况，有时是应力奇异性导致的结果。

Force  
Area

As Area

Zero

## ... 应力奇异性

? 在线性结构分析中，下面几种情况可能导致人为高应力：

理想化的几何

点约束

点载荷

? 在上面情况中，在认为高应力区域加密网格，仍将保持应力的提高。



### ... 应力奇异性

？补救措施：

– 如果奇异性没有出现在感兴趣的区域，通常就可以指定感兴趣区域的结果。

– 如果奇异性出现在感兴趣的区域，可以通过下面几种方法获得更精确的应力结果：

？带有倒角或其它细节处理的几何模型，它不会导致几何不连续。

？把力或约束施加在面域上而不是加在点上。

示例

点加载

分布加载

### G. 误差评估

- ? 可以插入一个基于应力（结构分析）或热通量（热分析）的误差结果，帮助确定高误差的区域（见下一页的示例）。
- ? 这些区域显示，模型通过在该区域进行更加密的网格划分，可以获得更加精确的结果。
- ? 如果采用了收敛控制，高误差区域也显示了什么地方需要进行加密控制。

### ...误差评估

- ? 误差图显示了具有高能量单元的区域，在这些地方加密网格可以提高结果的质量。
- ? 在薄板示例中，初始求解得到高能量区域出现在 2 个空洞之间。
- ? 加密网格（底部的图）显示了局部误差的降低。
- ? 请注意，误差是一个相对方法，即单元之间的比较。能量的实际值一般不重要。

### H. 收敛性

- ? 因为网格加密了，显然数值模型变得更精确。然而，存在于细密网格相关的计算成本问题。
- ? 要获得一个优秀的网格，需要如下条件：
  - 需要一个标准来确定网格是否已经足够好。
  - 只在需要的地方划分更多的单元。
- ? 手动执行这些任务是繁琐而不精确的：
  - 用户可能不得不人工加密网格、重新求解后再对比前面的求解结果。
- ? 模拟时可以选择收敛控制，根据用户定义的一个精度水平自动进行网格自动加密。
- ? Convergence controls （收敛控制）不能使用在所有结果项上。



### ... 收敛性

? 选中一个结果项，然后点击鼠标右键选择 **Insert > Convergence** :

- 选择 convergence 的最大最小值和允许的变化（默认是 20% ）。
- 在 Details of Solution 中，输入最大加密循环的值。
  - ? 输入一个可行的值，如 1 到 4 之间的数，这样模拟时不会尝试无限期的进行网格加密。

### ...收敛性

? 模拟过程将自动加密网格和重新求解：

- 至少需要两次迭代步 （初始求解和第一个加密循环）
- 最大加密循环的值控制着允许的迭代步数（ 2 到 4 个循环一般就可以了）。
- 基于误差的近似技术，网格在有必要的区域进行自动加密。
- 收敛状态在 “ Convergence ” 上显示成：
  - ? 不受敛： 出现一个红色惊叹号
  - ? 收敛： 显示出一个绿色对号
- 只显示最后求解得到的结果

### ... 收敛性

? 在求解结束后，可以查看结果和最终的网格：

- 注意，只在高应力区域进行网格加密，如下所示例子。
- Convergence （收敛）给出了每个加密循环的趋势。

Convergence

收敛

Divergence

发散

...收敛性和指定结果

- ?除了添加删除应力奇异性的细节，还可以在指定结果上进行收敛控制。
- ?如果对人为的高应力区域不感兴趣，可以指定所选部件或面上的结果，并只对这些结果进行收敛控制：
  - 二 对需要进行网格加密的地方提供控制
  - 二 忽略不感兴趣的人为高应力区域

— 示例：

可能出现应力奇异性的地方

感兴趣区域



### ...收敛性和指定结果示例

施加在整个模型上的收敛控制

几何不连续导致应力奇异性出现分歧

由于存在应力奇异性，导致求解变得很费时

在指定结果上的收敛控制，允许只在用户指定位置处进行自动加密

提供更多关于网格划分和自动求解的控制

实现感兴趣区域的精确应力

## Results Postprocessing

### I. 作业 8.1 —高级结果后处理

Training Manual

#### ? 作业 8.1 —结果后处理 ? 目标：

- 分析下面所示的高压排气组件，然后使用高级后处理特点来查看应力和变形结果。

# Workbench - Mechanical Introduction

作业 8.1

结果后处理

## 作业 8.1 – 目标

- ? 本作业分析了一个高压排气组件的应力和挠度。
- ? 如果在结果后处理（ postprocessing ）中所有部件都激活的话，部分分析结果很难得到解释。我们的目标是分离模型的部件，使用先进的 Workbench-Mechanical 特性进行结果后处理。



## 作业 8.1 – 假设

- ? 假设：气体是由进气管到膨胀室被排出的。在膨胀室内部，压力比进气管处降低了 20%。
- ? 膨胀室是刚性连接在进气管上的，因此把这里的接触定义为 bonded 。
- ? 支架允许管子出现有限的移动，因此这里使用无分离接触。  
– 查看下一页的接触描述
- ? 用结构钢 ( structural steel ) 模拟进气管和支架，而膨胀室是橡胶 ( Polyethylene )。

Support Bracket  
( 支架 )

No Separation  
Contact  
( 无分离接触 )

Bonded Contact  
( 结合接触 )

Inlet Pipe  
( 进气管 )

## 作业 8.1 –Project Schematic

?打开 Project 页

?在 Units 菜单中确定：

- 项目单位设为 Metric (kg, mm, s, C, mA, mV)
- 选择 Display Values in Project Units

## ... 作业 8.1 –Project Schematic

1. 在 Toolbox 中双击 Static Structural  
创建一个新系统

1.

2. 双击 Engineering Data 得  
到 material properties.

2.

3. 在 General Materials 中点击  
Polyethylene 旁的 ‘+’ 符号，把材  
料 添加到当前系统

3.



... 作业 8.1 –Project Schematic

4. Return to Project ( 返回到项目 )

4.

5. 在 geometry 上点击鼠标右键选择  
Import Geometry , 导入文件  
Pressure\_System.x\_t

5.

6. 双击 Model 打开  
Mechanical  
application

6.

## 作业 8.1 – 前处理

### 7. 设置作业单位制系统：

? Units > Metric (mm, kg, N, s, mV, mA)

7.

### 8. 改变 expansion chamber 的材料：

a. 选中该膨胀室部分

b. 在 details of solid 窗口中点击 material 栏，改变 material assignment 为 Polyethylene

a.

b.

## WS8.1: Results Processing

### ...作业 8.1 – 前处理

Workshop Supplement

#### 9. 根据管的接触行为修整支架：

- a. 选中 Connections 下的 Contact Region 2
- b. 在 Details of Contact Region 2 窗口改变接触类型为 No Separation

a.

b.

10. 给管道施加一个压力：

WS8.1: Results Processing

作业 8.1 一环境

- a. 选中 Static Structural (A5)
- b. 选择管道的 5 个内表面 （提示：使用 Extend to limits ）
- c. RMB （ 点击鼠标右键选择 ） > Insert > Pressure
- d. 输入 Magnitude 值 1MPa

Workshop Supplement

a.

c.

b.

d.



## ...作业 8.1 –环境

11. 给 expansion chamber 施加一个压力：

a. 选择 expansion chamber 的三个内表面

? 提示：使用平面选择，状态栏和 CTRL 键可以简化选择。

? 交替选择 expansion chamber，并点击鼠标右键选择 Hide All Other Bodies，隐藏其它实体。

b. RMB（点击鼠标右键选择）> Insert > Pressure.

c. 给 Magnitude 输入一个值 0.2MPa.

b.

a.

c.

...作业 8.1 –环境

12. 给 pipe 施加约束：

- a. 选择管的端面
  - RMB（点击鼠标右键选择） > Insert > a.  
Fixed Support （固定约束）

13. 给 bracket（支架）装配孔施加约束：

- a. 选择支架上的圆柱面
- b. RMB（点击鼠标右键选择） > Insert >  
Cylindrical Support （选择默认的  
fixed, fixed, fixed ）（固支）

a.

b.

WS8.1/Results Processing  
14. 给 bracket 背面施加约束：

... 作业-8.1-环境  
a. 选择 bracket 的背面

b. RMB（点击鼠标右键选择）> Insert >  
Frictionless Support （光滑约束）

a.

Workshop Supplement

14. 求解模型：

a. 点击 Solve.

b.

a.

作业 8.1 – 求解

16. 查看结果：

- a. 选中 Solution (A6)
- b. RMB ( 点击鼠标右键选择 ) > Insert > Stress > Equivalent ( Von-Mises )
- c. RMB ( 点击鼠标右键选择 ) > Insert > Deformation > Total.

a.

c.

b.

d.



## 作业 8.1 – 结果

- ? 当求解结束时，选择查看两个结果对象。注意整体变形图对组件的 inlet pipe 和 support bracket 部分的细节显示很少。

## ...作业 8.1 – 结果

17. 查看 expansion chamber 的整体变形：

a. 选中 Solution (A6)

b. 选择实体选择模式，并在图形窗口中选中 expansion chamber

c. RMB（点击鼠标右键选择） > Insert > Deformation > Total

– 重复该步骤选择 Stress > Equivalent (von-Mises)

? 重复以上步骤对余下两个部件进行同样的操作。

? 再次求解，并更新结果。

c.

b.

a.

### ...作业 8.1 – 结果

?对比整体结果和独立结果（如下图）。注意在独立结果查看中增加了细节显示。

...作业 8.1 –结果

18. 添加一个截面：
- a. 选择查看 expansion chamber 的应力结果，然后旋转模型并从 Z 方向查看图形（如下图）  
？提示： 屏幕底部的黑框可以便捷的改变模式。

b. 点击 New Section Plane 图标，并按住鼠标左键在图中央绘制一条直线。  
？提示：现在，Section Planes 框中插入了所定义的截面。

a.

b.

添加新截面

删除截面

显示所有单元



## ...作业 8.1 – 结果

### – 旋转模型来查看截面。

- 通过选中截面和点击出现的句柄的任意端虚线，可以激活截面任意边的结果图形。注意此时虚线变成了实线。此即一个切换控制。
- 句柄中心的蓝色方框允许平面被拖动。

句柄

## 作业 8.1 – 截面注释

- ? 可以根据需求建立截面，而且每个都是单独编辑的。这对类似绘制 1/4 部分的结果图的时候很有用。
- ? 在 Section Planes 窗口，通过取消截面名前的复选，可以隐藏一个截面。
- ? 通过拉出几何类型图标选择 exterior，从 section plane（截面）查看返回到 exterior（外部）查看。截面仍然保留在现在的位置，任何需要的时候都可以激活它。。
- ? 不论几何图标是怎么设置的，包含截面的图像都将显示出截面。

## ...作业 8.1 – 结果

19. 选择 IsoSurfaces （等值面） 显示：

- a. 把显示类型由 Slice Planes 改为 Exterior ，并选择显示 support bracket 的 Total Deformation 。
- b. 然后，再改为显示 IsoSurfaces 类型

a.

b.

# Workbench - Mechanical Introduction

## 第九章

### CAD 模型和参数管理





### 简介

- ? 本章主要讨论 CAD 软件和参数的交互性问题。
  - A. CAD 的交互性
  - B. DesignXplorer 参数管理
  - C. Workshop 9-1
  
- ? 本节所述的性能普遍适用于所有 ANSYS 的许可。然而，一些 CAD 功能是特定于某些 CAD 软件，因此这些将指定相应的许可。
  - 并不是所有的 CAD 软件具有相同的功能，因此在 Mechanical 中支持与 CAD 相关的功能性上有一些不同。

### A. CAD 互用性

? 几何接口适用于大多数商业 CAD 系统：

- 关于 CAD 几何接口和支持平台的最新信息，请查看 ANSYS Workbench Mechanical 帮助文件：

? Mechanical Help > CAD Systems

? 几何接口许可对所有指令在只读模式下运行。

? 几何接口在 CAD 软件 “ Associative 列出项时要在嵌入模式下运行 。

? DesignModeler 是 workbench 几何应用程序，并支持所有的功能和商业 CAD 系统中列出的功能。

? 请注意,并不是这里描述的所有输入能力是可以应用在所有的 CAD 系统中。功能取决于 CAD 功能，并由 CAD 厂商的 API 提供支持。

？有迹象表明可以从支持的 CAD 系统输入各种项目：  
CAD and Parameters

... CAD 互用性参数,材料属性,等.

Training Manual

？要访问那些输入的参数，使用在项目图表中的 Geometry properties 进行设置。



### ... 几何输入

? 输入实体，面，或线体：

- 可以导入实体和面体的装配体。
- 选择想要的几何类型可以进行几何过滤。
- 不能输入由实体和面体组成的混合零件。

? Use Associativity:

- 允许在不定义材料属性，载荷，约束等条件下，在 Mechanical 中进行 CAD 几何体的更新。

? 智能 CAD 更新：

- 只仅对装配体中修改的 CAD 模型进行更

? 坐标系：

- 允许从 CAD 模型导入几何局部坐标系。

### ... 参数输入

? CAD 尺寸参数可以导入到 Mechanical :

- 当 “ Yes ”( 默认 ) , 尺寸命名包含 parameter key( 默认为 “ DS” )将会输入到 Mechanical 中。
  - 。
- 若要输入所有的参数 , 使得 parameter key 的 区域空白。
- CAD 参数将会出现在对几何体的详细列表中。

## ...输入命名选择集

? 如果 “groups” 定义在 CAD 包内，它们可以作为 Named Selections 输入！

- “Groups” 的名字包含特定的前缀是在 Named Selection 分支中输入的（默认的为 “NS”）。
- 若要输入所有 groups，使得 named selection key 的空白区域。

### ... 材料属性输入

? 材料属性：允许材料属性从支持的 CAD 系统中输入（看到由不同的 CAD 商支持的当前文档的参数）。

? 材料从 CAD 输入将出现在“Engineering Data”分支，并将指定给个人的部分。

? 注意：

- 如果材料类型在 CAD 中改变，这将会在更新中反应出来。
- 如果材料属性值在 CAD 中改变，这将会不更新。
  - ? 这阻止用户定义值在 Mechanical 重写。



# 更新修改几何体参数

? 更新几何体 :

- 修改原来的几何体后 , 项目图表将显示模型为恢复 /更新状态 (RMB 完成 ).

? 刷新: 读入新的几何模型 , 但是不改变有限元网格。

? 更新: 更新几何模型 , 并且重新进行网格划分。

需要恢复

恢复完成 , 需要更新

更新完毕

RMB 部件

## 更新修改几何体参数

？更新参数值：

- RMB 参数值（或双击），从 “Parameter Set” 到项目图表。

RMB 或双击进入参  
数

参数值显示在 parameter set 的不同地  
方，

均可以进行更改。

## ...更新修改几何体参数

? 当参数更改完成时，回到项目。

? 注意模型和几何体处于恢复 /更新状态。

? 恢复/更新系统时要发送参数信息到原来的几何

? 恢复 /更新模型进行参数改变变为有限元模型。

## 更新几何体记录

? 很大的荷载保持不变：  
– 注意：如果在面上施加压力并且面积变化，压力的值保持不变但是施加在面上的结果改变。

? 载荷的方向保持不变：

– 如果载荷方向是现有几何体指定的，如果几何体改变载荷的方向 不会改变。



### B. 定义参数

Training Manual

? 输入和输出参数由 Mechanical 中通过参数开关按钮进行定义。

输入参数的例子

? 点击正方形蓝色 “ p ”出现，标志着这个值可以像参数一样被操作。

? 材料属性在工程数据应用中参数化。

Example of output parameters

## 使用参数管理

- ? Workbench Mechanical 使用 Workbench Parameter Manager 管理从分析和原来几何体参数化的值。
- ? 可以创建及管理派生参数。

双击或 “ RMB> Edit ”  
“ Parameter Set 访问参数

... 使用参数管理

- ? 参数信息显示在一系列的列表中。
  - 提纲 : 列出所有输入 , 输出或派生的参数。
  - 属性 : 列出关于提纲中参数的信息 。

提纲

DP  
表

表的设计要点 : 允许多个参数配置 , 以在求解前准备。

性质

... 使用参数管理

? 求解多个设计要点后，在参数管理中的几个后处理工具可用。

? Parameter Parallel Chart:





?通过突出显示的参数，选择不同图表形态。

注意突出的 P1，图表选项考虑到这个参数

。

在选择（双击）想要的图表后，提纲（下面）设定这样显示。

### ... 使用参数管理

? 图表创建，它们列在提纲窗口中，并通过在提纲窗口中突出的图表名称进行恢复。

? 通过选择，用户可以建立惯用图表以使用任何参数的组合。

## CAD and Parameters

? 图表可以在窗口下定制。

? “右击 > Edit Properties ”在图表中。

## ? 作业 9.1 – 参数管理

### ? 目标：

- 使用 DesignXplorer 参数管理器来改变指定的负荷大小和所示的模型 材料属性，并在同一时间求解各种情况。



## Workbench - Mechanical Introduction

### 作业 9.1

### 参数管理器

## WS9.1: Parameter Management

### 作业 9.1 – 目标

Workshop Supplement

？目标：

- 使用 Workbench Parameter Manager（参数管理器）（在 Project 页中可用）建立多个方案，并同时对它们求解。

## WS9.1: Parameter Management

### . . . 作业 9.1 –Project Schematic

Workshop Supplement

?打开 Project 页

?在 Units 菜单中确定：

- 项目单位设为 Metric (kg, mm, s, C, mA, mV).
- 选择 Display Values in Project Units

## 作业 9.1 –Project Schematic

1. 在 Toolbox 中双击 Static Structural  
创建一个新系统

1.

2. 在 geometry 上点击鼠标右键选  
择 Import Geometry 导入文件  
Lever.x\_t

2.

3. 双击 Model 打开 Mechanical application.

3.

4. 设置作业单位制系统：

? Units > Metric (mm, kg, N, s, mV, mA)

4.



作业 9.1 –环境

5. 给模型施加约束（选中 Static Structural (A5) ）  
：

a.

- a. 选择大孔的表面
- b. RMB（点击鼠标右键选择）> Insert > Cylindrical Support（圆柱形约束）
- c. 在 details of Cylindrical support 窗口中把 Tangential（切向）设为 Free（自由）
- d. 选中竖直圆柱孔的底面
- e. RMB（点击鼠标右键选择）> Insert > Fixed Support（固定约束）

b.

e.

d.

c.

6. 给模型施加载荷：  
WS9.1: Parameter Management

... 作业 9.1 一环境  
a. 选择图尔小一点的孔的表面  
... RMB ( 点击鼠标右键选择 ) > Insert > Bearing Load ( 弯  
曲力 )

Workshop Supplement

- c. 在 Details of “ Bearing Load ” 中，选择分量方式，
- d. 给 Y 方向指定一个 5000 N 的力
- e. 把 Y Component 前的复选框切换为 P，把力作为一个参  
量。

C.

d.

a.

b.

e.

## WS9.1: Parameter Management

### 作业 9.1 – 边界条件

Workshop Supplement

? 选中 Static Structural (A5)      查看载荷和约束

# WS9.1: Parameter Management

## 作业插入结果求解步骤 (Insertion of results into the solution (A6)) :

Workshop Supplement

- a. RMB ( 点击鼠标右键选择 ) > a.  
Insert > Stress > Equivalent  
(von Mises).
- b. RMB ( 点击鼠标右键选择 ) > b.  
Insert > Deformation > Total.

8. 在每个结果的细节窗口中，通  
过把对应的复选框切换为 ☐ P  
把 “ Maximum” ( 最大结  
果 ) 作 为一个参数。

8.

作业 9.1 –材料参数

9. 返回到 Project Schematic , 启动  
Engineering Data 程序 :

a. 双击 Engineering Data a.

10. 在 Engineering Data 中点击参数材料特性旁的 复选框 , 使其成为一个参  
数 :

- a. Young ' sModulus ( 杨氏模量 )
- b. Density ( 密度 )

提示 : 如果  
Properties 窗口没有  
显示 , 则从 View 菜  
单中切换到  
Properties

- a.
- b.



WS9.1: Parameter Management

作业 9.1 – 参数管理器

Workshop Supplement

1. 进行参数设置管理器由一系列窗口组成，下面分  
开来查看它们。页

a.

b.

## ...作业 9.1 – 参数管理器

? Outline 窗口包含了一个项目中定义的所有参数的表单（包含输入和输出）。如果保存了图形，在这里也能看到它们。

? Properties 窗口包含了 Outline 中的选中项的细节。这里选择了参数 P3。

? 注意，具体的参数个数的显示依赖选择的命令（P1,P2等），可能和图示不同。

...作业 9.1 – 参数管理器

Workshop Supplement

? Table of Design Points 包含了一个所有已定义参数方案的完整表单。  
有原始参数值是定义了的，而在图 B 中给出了多个已定义的设计点。

在图 A 中只

图 A.

图 B.

## WS9.1: Parameter Management

### ...作业 9.1 – 参数

Workshop Supplement

12. 给 bearing load , density 和 Young ' smodulus 按如图所示赋值：

12.

13. Update All Design Points 将让 Mechanical 执行对 table of Design Points 中的每个方案的求解。

13.

## ...作业 9.1 – 参数

? 一旦更新过程开始，将会弹出一个下图示的信息。实际上在更新过程中会关闭 Mechanical application 窗口，这很正常。

? 当更新结束时，Table of Design Points 将给出所有输出参数的计算值。



## WS9.1: Parameter Management

### ...作业 9.1 – 参数

Workshop Supplement

14. 创建一个整体变形随设计点的变化图：

a. 选中 Outline 中的参数 P2

b. 双击 Toolbox 中的 Design Points Vs P2 选项

a.

b.

## ...作业 9.1 – 参数

15. 创建一个并行显示所有参数的图：

a. 双击 Parameters Parallel Chart (all)

a.

图的顶部和底部  
值显示了每个对  
应参数的变化范  
围

图中每个彩线代表了一个设计点，在图的底部分别显示了参数名。

WS9.1: Parameter Management

...作业 9.1 –参数

Workshop Supplement

谐响应分析

Module 3

## 模块 3

# 谐响应分析

Training Manual

- A. 谐响应分析定义以及目的 .
- B. 谐响应分析的基本术语和概念 .
- C. 学习如何在 WorkBench 中进行谐响应分析 .
- D. 进行谐响应分析的练习 .

Workbench

Dynamics

## 谐响应分析

### A. 定义与目的

Training Manual

什么是谐响应分析？谐响应是分析结构在承受一个或多个同频率的正弦（简谐）载荷作用下，确定系统稳态响应的一种技术。

？输入：

- 已知幅值和频率的简谐载荷（力、压力和强迫位移）
- 可以是具有相同频率的多种载荷。力和位移可以同相或者不同相。但是压力分布载荷和体载荷只能指定零相位角。

？输出：

- 在每个自由度的谐响应位移，通常和施加的载荷是不同相的。
- 其它导出值，比如应力和应变。

Workbench

Dynamics



# ... 定义与目的

谐响应分析通常用于如下结构的设计与分析：

- 旋转设备（如压缩机、发动机、泵、涡轮机械等）的支座、固定装置和部件；
- 受涡流（流体的漩涡运动）影响的结构，例如涡轮叶片、飞机机翼、桥和塔等。

Workbench

Dynamics

# 谐响应分析

## ... 定义与目的

Training Manual

？ 为什么要做谐响应分析 ？

—确保一个给定的结构能经受住不同频率的各种正弦载荷（例如以不同速度运行的发动机）；

速度

—探测共振响应，并在必要时避免其发生（例如：借助于阻尼器来避免共振）。

共

Workbench

Dynamics

谐响应分析

## B. 术语和概念

Training Manual

涉及主题

？ 运动方程

？ 谐响应载荷性质

？ 复位移

？ 求解方法

Workbench

Dynamics

# 谐响应分析 –术语和概念

## 运动方程

Training Manual

？运动控制方程：

$$M \ddot{u} + C \dot{u} + K u = F$$

？[F] 和{u} 是谐波形式的：

$$F = F_{max} e^{i \omega t} \quad (F_1 + i F_2) e^{i \omega t}$$

$$u = u_{max} e^{i \omega t} \quad (u_1 + i u_2) e^{i \omega t}$$

Workbench

？谐响应分析的运动方程：

$$(-\omega^2 M + i \omega C + K) \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \end{pmatrix}$$

Dynamics

谐响应分析 术语和概念

# 简谐载荷性质

Training Manual

? 以给定频率呈正弦变化 .

? 相位角 允许可以不同 , 可以施加不同相位载荷 , 默认的相位角为 0.

ANSYS

Real

Workbench

Dynamics



## 复位移

？ 计算得到的位移将会是复数，如果：

- 指定了阻尼。

- 施加的载荷呈复数形式（即虚部不为 0）。

？ 相对于施加的载荷，复数位移会有相位角的延迟。

？ 结果的查看可以以实部 / 虚部方式或幅值 / 相位角的方式。

Workbench

Dynamics

谐响应分析 术语和概念

# 接触区域

Training Manual

？ 接触区域可用在模态分析中，但在线性分析中的接触行为不同于非线性接触问题，如下表所示：

？ 接触行为类似于模态分析。在模态分析中，由于简谐模拟是线性的，非线性接触相对于它的线性对应部件做出了简化。

- 一般在谐分析中不要使用非线性接触

Workbench

Dynamics

# 谐响应分析 –术语和概念

## 求解方法

Training Manual

求解谐响应运动方程的两种方法：

### ？ 完全法

- 所有方法中最简单的。
- 使用完全结构矩阵，允许存在非对称矩阵（如，声学）。

### ？ 模态叠加法

- 从模态分析中叠加模态振型。
- 缺省方法；所有方法中最快的。

Workbench

Dynamics

... 求解方法

？完全法和模态叠加法比较：

|   | Full    | Mode Superposition |
|---|---------|--------------------|
| Relative running time                   | Fast    | Fastest            |
| Relative ease of use                    | Easiest | Easy               |
| Element loads (e.g, pressures) allowed? | Yes     | Yes                |
| Non-zero displacement loading allowed?  | Yes     | No                 |
| Prestressing available?                 | No      | No                 |
| Need to select modes for solution?      | No      | No                 |

Workbench

Dynamics

# 谐响应分析 –术语和概念

## ... 求解方法 –模态叠加法

Training Manual

? 模态叠加法是在模态坐标系中求解谐响应方程的。

– 对于线性系统，用户可以将  $x$  写成关于模态形状的  $\phi_i$  的线性组合的表达式：

– 在关系式中， $y_i$  指模态的坐标（系数）。

? 例如，用户可以通过求解一个模态分析来确定固有频率  $\omega_i$  和相应的模态形状因子  $\phi_i$ 。

? 可以看到，包括的模态  $n$  越多，对  $\{x\}$  逼近越精确。

Workbench

Dynamics



谐响应分析 —术语和概念

... 求解方法 —模态叠加法

Training Manual

? 记住:

- 模态叠加法首先自动进行一次模态分析。
  - ? 程序会自动确定获得准确结果速需要的模态数。
  - ? 虽然首先进行的是模态分析，谐分析部分的求解还是很迅速且高效的，因此，总的来说，模态叠加法通常比完全法要快的多。
- 在由于进行了模态分析，DS 将会获得结构的自然频率。谐响应分析中，响应的峰值是与结构的固有频率相对应。由于自然频率已知，DS 能够将结果聚敛到自然振动频率附近。

Workbench

Dynamics

谐响应分析 术语和概念  
... 求解方法 模态叠加法

Training Manual

Cluster 例子:

In this example, the cluster option captures the peak response better than evenly-spaced intervals (4.51e-3 vs. 4.30e-3)  
The Cluster Number determines how many results on either side of a natural frequency is solved.

Workbench

Dynamics

... 求解方法 –完全法

？完全法也是求解谐分析的一种方法。

–在完全法中，直接在节点坐标系下求解矩阵方程，除了使用了复数基本类似于线性静态分析。

$$\begin{bmatrix} K_C & & \\ & M & \\ & & jC & K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_C \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_C \\ F_1 \\ jF_2 \end{bmatrix}$$

Workbench

Dynamics

## ... 求解方法 –完全法

? 记住:

1. 对每一个频率，完全法必须将  $[K_c]$  因式分解。
  - 在模态叠加法中是求解化简后的非耦合方程；在完全法中，必须将复杂的耦合矩阵  $[K_c]$  因式分解。
  - 因此，完全法一般比模态叠加法更耗计算时间。
2. 支持给定位移约束  
由于对  $\{x\}$  直接求解，允许施加位移约束，并可以使用给定位移约束。
3. 完全法没有计算模态，所以不能采用结果聚敛，只能采用平均分布间隔

Workbench

Dynamics

# C. 步骤

Training Manual

四个主要步骤：

？ 建立模型

？ 选择分析类型与选项

？ 施加简谐载荷与求解

？ 查看结果

Workbench

Dynamics



谐响应分析步骤

# 建立模型

Training Manual

## 模型

- ？ 不允许存在非线性 。
- ？ 在 Module 1 的建模考虑点中的注意内容

Workbench

Dynamics

# 谐响应分析步骤 选择分析类型和选型

Training Manual

## 建立模型

### 选择分析类型与选项

? 选择谐响应分析 Harmonic Response

? 主要的分析选项是求解方法的选择 -在后面讨论

Workbench

? 指定阻尼 -后面讨论

Dynamics

# 谐响应分析步骤

## ...选择分析类型和选型

Training Manual

### 分析选项

- ? 求解方法 –完全法或者模态叠加法。
- ? 对于大模型 (>100 万自由度 ),设置  
“ Store Results at All Frequencies ”为  
“ No” .

### 阻尼

- ? 选择 阻尼和阻尼比（常值阻尼最常使用）

Workbench

Dynamics

# 谐响应分析步骤

## 施加简谐载荷与求解

Training Manual

建立模型

选择分析类型与选项

### 施加简谐载荷与求解

? 结构载荷与支撑可以被使用，但是下面除外：

– 不支持的载荷：

? 重力载荷 Gravity Loads

? 热载荷 Thermal Loads

? 旋转速度 Rotational Velocity

? 螺栓预紧载荷 Pretension Bolt Load

? Compression Only Support ( 如果存在，其行为类似于 Frictionless Support)

? 记住所有的结构载荷将以相同的激励频率呈正弦变化。

Workbench

Dynamics

# 谐响应分析步骤

## ...施加简谐载荷与求解

Training Manual

？所有支持的载荷如下所示：

—并不是所有的载荷都支持相位的输入。加速度载荷、轴承载荷、弯矩载荷的为  $0^\circ$ 。

若有其它载荷存在，改变其它载荷的相位角，加速度载荷、轴承载荷、弯矩的相位角仍然为  $0^\circ$ 。

相位角  
Workbench  
载荷

Dynamics



# 谐响应分析步骤

## ... 施加简谐载荷与求解

Training Manual

？ 简谐载荷需要指定：

- 幅值与相位角
- 频率

？ 载荷在第一个求解间隔即被施加 (stepped )。

？ 幅值与相位角

- 载荷值代表幅值  $F_{max}$ .
- 相位角 是指两个或者多个谐响应载荷之间的相位变换，如果只有一个载荷存在的话就没必要输入。非 的相位角只对力、位移以及压力简谐载荷有效 。

Amplitude

$F2_{max}$

$F1_{max}$

Real

Workbench

Dynamics

谐响应分析步骤

... 施加简谐载荷与求解

Training Manual

- ? 幅值和相位角 (continued)
  - 允许在 Details 窗口中直接输入幅值和相位角。

Amplitude

F2<sub>max</sub>

F1<sub>max</sub>

Real

Workbench

Dynamics

## 谐响应分析步骤

### ...施加简谐载荷与求解

Training Manual

#### ？简谐载荷频率：

- 在谐分析分析设置中，用户能通过输入最大值、最小值来确定激振频率域，并确定求解的步长。
- 比如，0-50Hz 的频率范围，求解间隔为 10，将会得到 5、10、15、...、45 和 50 Hz 的结果。同样地，如果间隔为 1 的话，将只有 50Hz 的结果。

Workbench

Dynamics

# 谐响应分析步骤

## 查看结果

Training Manual

- 建立模型
- 选择分析类型和选项
- 施加简谐载荷与求解

## 查看结果

三个步骤：

- 绘制结构的指定点的位移 - 频率曲线。
- 识别关键频率和相位角。
- 查看结构在关键频率和相位角下的位移和应力。

Workbench

Dynamics

谐响应分析步骤

# 查看结果

Training Manual

绘制结构的指定点的位移 - 频率曲线

- ? 选择变形最大的节点，然后选择自由度方向。
- ? 然后图形显示频率响应。

Workbench

Dynamics



谐响应分析步骤

... 查看结果

Training Manual

识别关键的频率和相位角

? Bode plot 显示了幅值发生的对应频率值

? 峰值发生时的幅值和相位角可以在 Worksheet 中显示

Workbench

Dynamics

谐响应分析步骤

## ... 查看结果

Training Manual

? 下一步是查看整个模型在指定频率和相位角下的位移和应力分布。

? 频率和相位角必须在 Details 窗口中手动输入。

Workbench

Dynamics

谐响应分析步骤

... 查看结果

Training Manual

- ? 谐响应分析产生实部和虚部结果（作为不同的结果集） .
- ? 绘制在指定频率和相位角作用下的变形、应力云图和其它关心的结果 .

Workbench

Dynamics

# 谐响应分析步骤

Training Manual

建立模型

选择分析类型和选项

施加简谐载荷和求解

查看结果

Workbench

Dynamics

# Workshop – 谐响应分析

Training Manual

? 电机支架谐响应分析，具体见 WorkShop12 :  
WS12: Harmonic Analysis - Frame

Workbench

Dynamics



# 随机振动分析

## PSD 分析

### Module 5

# 随机振动分析

Training Manual

主题：

？ 定义和目的

？ WorkBench 分析功能概述

？ 分析步骤

Wo

Dy

## A. 定义和目的

什么是随机振动分析 ？

- 基于概率统计学的谱分析技术。
- 例如火箭在每次发射中由载荷（例如加速度载荷等）产生的不同时间历程

Wo

Dy

Reference: Random vibrations in mechanical systems by Crandall & Mark

什么 PSD?

? PSD记录了激励和响应的均方根值同频率的关系，因此 PSD 是一条功率谱密度值 - 频率值的关系曲线

- PSD曲线下的面积就是方差，即响应标准偏差的平方值
- PSD 的单位是 mean square/Hz （如加速度 PSD 单位  $G^2/Hz$  ）
- PSD 可以是位移、速度、加速度、力或者压力

Wc

Dy

# ... 定义和目的

？ 典型的应用包括：

- 飞机电子封装
- 大气载荷作用下的飞机部件
- 爆破导流片
- 激光制导系统
- 光学望远镜平台
- 大型结构的地震载荷

Wo

Dy



## ... 定义和目的

- ? 由于时间历程不是确定的，所以瞬态分析不是可选的。
- ? 而利用统计学标本功率谱密度 PSD 代表载荷时间历程。

Wo

Dy

Image from "Random Vibrations Theory and Practice" by Wirsching, Paez and Ortiz.

## ... 定义和目的

输入：

- 结构的固有频率和固有模态
- PSD 曲线（后面解释）

输出：

- 1 位移和应力，能够用于疲劳寿命预测

Wo

Dy

# ANSYS Workbench 定义和目的 概述

## 分析功能概

Training Manual

？ 加载：

— 单点激励：施加于所有地面点单点 PSD 激励

？ 求解：

— 相对或者绝对 1 结果输出

— 整体结构的求解结果，如结果能够被绘制成云图

— 结果输出形式： 1 位移、速度、加速度

？ 后处理：

— 1 结果能够像其它分析一样被绘成云图

Wo

Dy

## B. 随机振动分析步骤

? 模型：电线塔。

? 分析：PSD 谱的地面运动的随机振动分析。

? 步骤：建立分析树、进行模态分析和随机振动分析、查看结果

Wo

Dy

# ...随机振动分析步骤

Training Manual

分析首先打开仿真数据库文件 ,  
Tower.dsdb.

? 如果文件不存在则  
选择浏览文件



# ...随机振动分析步骤

Training Manual

? 下一步，点击 “ New Analysis ”工具条，选择 “ Map of Analysis Types ... ”。

Wo

Dy

# ...随机振动分析步骤

Training Manual

- ? 分析类型向导便于建立随机振动分析的步骤
  - ． 向导图显示在随机振动分析之前需要进行模态分析
  - ． 模态分析之前可以进行静力结构分析，比如确定热载荷引起的预应力
  - ．
  
- ? 选择 “ Random Vibration ”, 点击 OK , 然后就会在目录树中创建模态分析和随机振动分析．同时会出现进行模态分析步骤向导
- ．

Wo

Dy

# ...随机振动分析步骤

Training Manual

- ? 当点击 OK 之后，将会出现如右图所示的信息。
- ? 当选择前面要求的 4 个步骤时，注意显示的信息。
- ? 在向导中选择 “Specify Number of Modes”  
，就会出现如下所示的提示，输入所要使用的模态阶数。

Wo

Dy

# ...随机振动分析步骤

Training Manual

? 下一步是插入支撑，所有的支撑点全部为固定约束。

Wo

Dy

# ...随机振动分析步骤

Training Manual

？ 完成了模态分析的准备工作之后，  
求解，获取结果

？ 模态分析结果可以在如右图所示的  
Timeline 和 Tabular Data 窗口  
查 看.

Wo

Dy



# ...随机振动分析步骤

- ? 在向导中选择 “ View Modal Results ” 将会提示显示以两种方式显示模态分析结果 .
- ? 使用 shift 键 , 可以在 Tabular Data 窗口 选取 12 阶频率结果 , 然后右键选择 “ Create Mode Shape Results ” .

# ...随机振动分析步骤

Training Manual

- ? 同样可以在目录树中选择 12 阶模态结果，改变结果类型为 Y 方向的变形。这是随机振动施加的方向，所以比较关心该方向的变形。
- ? 右键单击模态分析结果，选择 “Rename based on definition”，如下所示重新命名模态结果。

Wo

Dy

# ...随机振动分析步骤

Training Manual

？ 第 1 阶模态的结果动画如右图所示 。

Wo

Dy

## ...随机振动分析步骤

Training Manual

- ? 注意随机振动分析的初始条件已经自动设置为前面的模态分析 .
- ? 为了说明的阻尼的效应，将把默认 0 阻尼结果和阻尼比为 0.05 的结果进行对比 .

Wc

Dy

# ...随机振动分析步骤

Training Manual

- ? 右键点击 “ Random Vibration ”, 会出现插入 PSD 基础激励的选项 .
- ? “ PSD Base Excitation ” 的 Details 窗口中选择插入新的 PSD 载荷 .
- ? 典型的 PSD 选项 , 用以  $G^2/Hz$  为单位的 G Acceleration 作为 PSD 输入 谱 .
- ? PSD 表如下所示 .

Wo

Dy



# ...随机振动分析步骤

Training Manual

- ? 将激励方向有默认的 X 方向改为如右图所示 Y 方向 .
- ? 右键点击 Solution, 选择 Solve , 初始化 PSD 求解
- ? 当求解完毕 , 可以在 solution 分支中出入结果 , 比如 Directional Deformation 结果 . 在 Details 窗口 中的 Scale Factor 中将 1 Sigma 改为 3 Sigma.

Wo

Dy

# ...随机振动分析步骤

Training Manual

- ? Directional Deformation 可以如右图所示根据 定义重新命名
- ? PSD 谱 3 UY 位移如右图所示输入 .
- ? 注意在右图所示的最大的 3 UY位移为 5944 mm.
- ? 下一步进行分析设置 , 设置常值阻尼比为 0 .05.

Wo

Dy

# ...随机振动分析步骤

Training Manual

- ? 该分析以 0.05 的阻尼比重新进行计算。
- ? 注意，如右图所示， 3 Y方向位移有了明显的减小。

Wo

Dy

# C. Workshop – 随机振动 (PSD)

Training Manual

？ 在该例中，在于确定加劲梁在加速度 PSD 谱作用下的位移和应力。

## WS7: Response Spectrum (PSD) Analysis of a Girder Assembly

# D. Workshop 随机振动分析步骤 随机振动 (PSD)

Training Manual

？ 在该例中，在于确定机翼模型在已知加速度 PSD 谱作用下的位移和应力。

## WS8: Response Spectrum (PSD) Analysis of Model Airplane Wing

Wo

Dy



# 柔体动力学分析

## Module4

? 柔体动力学分析使用户能够确定结构系统在任何类型的时变载荷作用下的动态响应。

- 与刚体动力学不同的是，物体可以是刚性的还可以是柔性的。对于柔性体，可以包含非线性材料，能够获得应力和应变结果。
- 柔体动力学同时也称为时程分析或者瞬态动力学分析。
- 要进行柔体动力学分析，必须要有以下 license：  
ANSYS Structural，  
ANSYS Mechanical，或者  
ANSYS Multiphysics

Wo

Dy

Assembly shown here is from an Autodesk Inventor sample model

# 主题

Training Manual

- A. 柔体动力学分析介绍
- B. 初步线性动力学探讨
- C. 非线性分析背景
- D. 演示：冲击问题
- E. 零件指定和网格
- F. 非线性材料
- G. 接触、连接和弹簧
- H. 初始条件
- I. 载荷、支撑和连接条件
- J. 阻尼
- K. 柔体动力学分析设置
- L. 查看结果
- M. 演示：刚柔混合动力学

Wo

Dy



# A. 介绍

？柔体动力学分析用于评估惯性效应不可忽视的柔性体系统的动力学响应

- 如果惯性和阻尼效应可以忽略的话，可以考虑用线性或非线性静力分析替代
- 如果载荷呈正弦变化以及响应是线性的，采用谐响应分析会更为有效
- 如果物体可以被认为是刚性体，而且是只关注系统的运动学性能，采用刚体动力学分析能够节省计算成本
- 对于其它情况，则采用柔体动力学分析，因为其是动力学分析的最通用的类型

动力

Wc

Dy



# ...介绍

? 在柔体动力学分析中，Workbench Simulation 是求解如下运动控制方程：

$$M \ddot{x} + C \dot{x} + K x = F(t)$$

几个注意点：

- 施加的载荷和连接条件可以是时间的函数
- 从以上可以看出，惯性和阻尼效应已经被包含，因此必须在模型中输入密度和阻尼
- 通过刚度矩阵的更新，包含非线性效应，比如几何非线性、材料非线性和接触非线性

Wc  
和阻  
  
Dy

？ 柔体动力学分析使用范畴比结构静力分析和刚体动力学分析更广，其允许存在所有的连接类型、载荷和支撑。

？ 进行柔体动力学分析一个很重要的考虑因素就是时间步长：

- 时间步长必须足够小才能正确地描述随时间变化的载荷；
- 时间步长控制着动力学响应的准确性。因此在 Section B 中建议首先进行一次模态分析；
- 时间步长同样控制着非线性系统的准确性和收敛行为。在 Section C 会有 Newton-Raphson 背景信息的相关阐述。

Wc

Dy

## B. 初始模态分析

？ 虽然柔体动力学分析采用自动时间步长，选择合适的初始、最小、最大时间步长对于动力学响应的计算准确性是非常重要的：

– 不同于采用显式时间积分的刚体动力学分析，柔体动力学采用的是隐式时间积分。因此柔体动力学分析的时间步长通常会较大。

– 动力学响应可以认为是结构在载荷激励作用下引起的不同模态振型的组合。时间步需要基于系统的模态（或者固有频率）确定。

– 推荐使用自动时间步长（缺省）：

？ 最大的时间步长根据精度要求确定。该值可以与初始时间步一样或者稍大一点。

？ 最小的时间步长可以用于防止 Workbench Simulation 无限次地进行求解。最小时间步长可以指定为初始时间步长的 1/100 或者 1/1000 。

初始

Wo

Dy

## ... 初始模态分析

Training Manual

？ 初始时间步长选择建议采用以下方程确定：

$$t_{\text{initial}} = \frac{1}{20 f_{\text{response}}}$$

$f_{\text{response}}$  是所关心的最高阶模态振型的频率。

？ 为了确定所关心的最高阶的模态，在柔体动力学分析之前需要首先进行系统的模态分析。

- 通过这种方式，就可以确定结构的振型（即结构动态响应时可能激活的振动形态）。
- 同样可以确定  $f_{\text{response}}$  的具体值。

Wc

Dy

## ... 初始模态分析

注意点：

？自动时间步算法在求解过程中会根据计算的反应频率，增大或者减小时间步长的大小。

- 自动时间步算法仍然依赖于初始、最小、最大的时间步长；
- 如果最小的时间步长被使用，表明初始时间步长被设置得太大了。可以在 Solution Information 分支下的 Details 中，选择 “Solution Output: Time Increment” 显示时间步长的大小。

？当进行模态分析确定合适的反应频率值时，仅获取一些模态并使用计算得到的最大频率，这样做是不充分的。最好是考察不同的模态振型，最后确定哪些模态是对结构的响应的有贡献的，进而确定所关心的最高阶的模态频率。

Wc

Dy



# C. 包含非线性

？非线性的行为具有几种来源，柔体动力学分析通常会包含以下几种非线性：

– 几何非线性:如果结构发生了大变形，变化后的

几何构型会引起非线性行为。

– 材料非线性：非线性的应力应变关系，比如右图所示的金属的塑性，是另外一种非线性的来源。

– 接触：包含接触效应是状态非线性的一种，当部件之间发生接触或者分离的时候引起刚度的突然变化。

Wc

Dy

# ... 包含非线性

? 在线性分析中，施加的力  $F$  和系统的位移  $x$  关系如下：  
如果力的大小增大一倍，则相应的位移、应力和应变也  $F$  增大一倍

- 假设初始和变形后的几何形状改变是可以忽略不计的，因为采用的刚度矩阵  $[K]$  是一样的。

X

? 在非线性分析中，施加的力  $F$  和位移  $x$  的关系事先是未知的

- 因为结构几何发生了大变形，所以刚度矩阵  $[K]$  会发生变化
- 求解非线性问题需要用牛顿-拉普森 ( Newton-Raphson ) 方法求解。

Wc

Dy

X

# ...包含非线性

？非线性分析需要多次求解迭代：

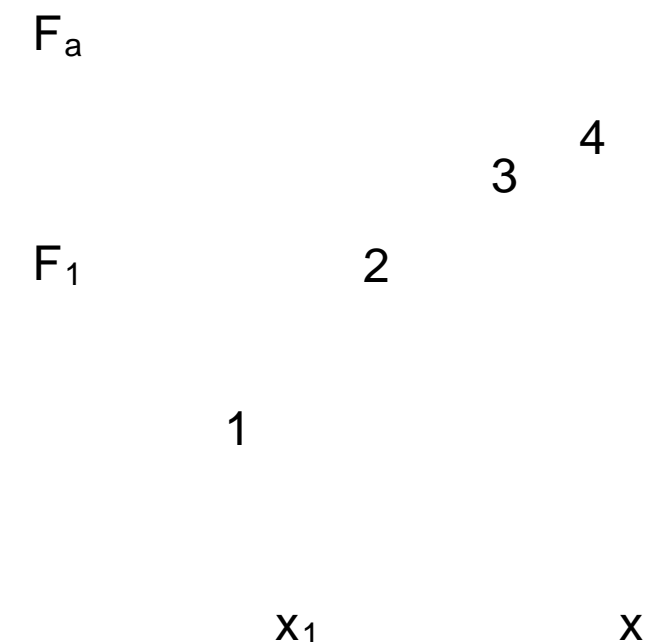
– 施加的载荷与变形的实际关系事先是未知的（如图绿色点划线所示）

– Newton-Raphson 方法,要进行一系列待修正的线性近似

？在 Newton-Raphson 法中，第一次迭代施加全载荷  $F_a$ ，结果为  $x_1$ 。通过位移可计算内力  $F_1$ ，如果  $F_a \neq F_1$ ，系统就不平衡。因此，就要利用当前条件计算新的刚度矩阵（蓝线的斜率）。

？重复上述过程直到  $F_a = F_i$ ，此时解收敛

？有时，需要按照增量形式施加的载荷  $F_a$ ，以保证收敛。因此，对于突变载荷，需要有小的时间步长以保证收敛。



Wc

Dy

## ... 包含非线性

- ? 如前所述，时间步长的大小同样对非线性分析有所影响：
  - 时间步长必须足够小，使 Newton-Raphson 方法获得力的平衡（收敛）
  - 用户也需要基于非线性的考量，指定初始、最小、最大的时间步长
- ? 通常，像在 Section B 中阐述的选择时间步长的考量已经足够充分。
  - 因为 Workbench Simulation 只采用一组时间步长设置，重新求解动力学响应通常能够能为重新求解非线性效应提供足够小的时间步。
  - 根据非线性因素决定时间步长并不像选择动态时间步长直接。因此，用户可以依赖 Workbench Simulation 的自动时间步长算法来保证收敛和精度。

Dy

## ... 包含非线性

? 自动时间步长算法考虑了如下非线性效应：

- 如果不满足力平衡（或者其它收敛准则），时间步长自动二分；
- 如果最大的塑性应变增量超出了 15%，时间步长自动二分；
- 另外：如果接触状态发生突变，时间步长自动二分。

? 二分是自动时间步长算法的一部分。在二分时，求解器退回到前一步时间  $t_i$  的收敛解，采用更小的时间步长  $t_{i+1}$ 。

- 二分提供了一种更准确求解非线性问题或者克服收敛困难的自动方法。
- 注意：二分会导致使用更多的求解时间，因为求解会退回到上一步收敛的解，然后采用更小的时间步长。因此，选择合适的初始和最大的施加步长可以减少二分的次数。

Wc

Dy



# ... 包含非线性

- ? 缺省地，大变形效应和自动时间步长是被激活的：
  - 为了考虑非线性效应，用户并不需要做特别的操作。
    - ? 然而，如前所提，如果非线性占主导，时间步长就以非线性考虑，而不是动态响应。
    - ? 在“Analysis Settings”分支下，大变形效应（Large Deflection）可以在Details窗口中设置。
  - 如果用户想根据接触状态打开时间步长设置，可以在具体接触区域的Details窗口中的“Time Step Controls”设置。
    - ? 使用该选项可以减小时间步长，保证像在冲击问题中正确地传递动量
    - ? 注意：这样时间步长可能会变得非常小，所以通常会不推荐采用，特别在初步分析中。

Wo

Dy

# 演示

## 冲击问题

## D. 演示：概述

Training Manual

在该例中，将会进行一个球体撞击方形箱体的柔体动力学分析：

- 首先会进行模态分析用于确定固有频率；
- 下一步进行包含接触和塑性的柔体动力学分析；

Wo

Dy

# 演示：打开模型

? 打开 “ Impact Problem.wbdb ”

? 从项目页，打开 “ ImpactProblem ”在  
“ Geometry 分支下，可以在 “ Engineering  
Data 检查 “ plate定义为弹塑性双线性各项同性  
强化模型（ BISO ）。  
已经添加网格控制，创建 thin-solid 网格（单元  
类型为实体壳），在撞击点位置的网格进行加  
密处理。

? 从单位工具栏，选择 “ Metric (mm, kg, N, ° C,  
s, mV, mA) 作为单位系统。

Wo

Dy

# 演示：定义模态分析

Training Manual

首先进行 “ plate 部件的模态分析，进而确定结构的自然频率。

？ 从标准工具栏，添加 “ New Analysis > Modal ”

？ 在 “ Analysis Settings 的 Details 中，修改  
“ MaxModes to Find: 20 ”

Wo

Dy



# 演示：施加支撑

? 选择 “ Model 分支，而后选择 “ Supports> Fixed Support ”

为了指定部件底部的约束，之前已经创建命名选择。

? 在 “ Fixed Support ”的 Details 中，选择 “ ScopingMethod: Named Selection ”，然后修改 “ NamedSelection: Fixed\_Base ”

# 演示：获取模态分析结果

Training Manual

- ? 选择 “ Solution 分支, 然后插入 “ Deformation > Total ”

因为只是关心 “ plate ,” 所以将 “ ball 体抑制。

- ? 右键点击 “ Geometry > ball ”; 然后选择 “ Suppress ”。 注意响应的接触对也会被抑制。

- ? 求解模型  
在 3.2 GHz 的 PC 上, 该模型至少要花费 1 分钟进行求解。

Wo

Dy

# 演示：查看模态分析结果

? 选择 “ Total Deformation 分支，查看模态振型

? 选择 “ Solution Information 分支”. 搜索 (Ctrl-F)  
“ ParticipationFactor ”；查看在 Y 方向的参与因子.

注意到第 6 阶振型 (~450 Hz) 具有最大的参与因子。  
根据 Section B 的阐述，我们确定时间步长为  
 $1/20f$  或者为  $1e-4$  s.

( 这里还有高阶模态对该系统的响应有贡献，但是 在该例中，我们只考虑前 6 阶模态 )

Wo

Dy

# 演示：改变分析类型

Training Manual

改变分析类型：从 Modal 改变为 Flexible  
Dynamic Analysis

- ? 选择 “ Modal ”分支, 然后在 Details 中, 修改  
“ Analysis Type: Flexible Dynamic ”

在柔体动力学分析中，球将会冲击平板，所以  
“ ball不能够被抑制。

- ? 单击 “ Geometry > ball ”; 选择 “ Unsupress ”  
注意相应的接触对自动变为非抑制状态。

Wo

Dy

# 演示：分析设置

? 选择 “ Analysis Settings 分支 , 在 Details 中, 改变以下参数 :

- 载荷步结束时间 Step End Time: 5e-3
- 初始时间步长 Initial Time Step: 1e-4
- 最小时间步长 Minimum Time Step: 1e-4
- 最大时间步长 Maximum Time Step: 1e-3

该分析的计算持续时间是 5ms , 根据系统的频率内容 , 选择 0.1ms 是合适的时间步长。

Wo

Dy



# 演示：初始条件

球的初始速度： (0, 5 m/s, 1 m/s)

? 选择 “ Initial Condition ” 分支。在 details 中，设置如下参数：

- Input Type: Constant Velocity
- Define By: Components
- Y Component: -5000
- Z Component: 1000
- Scoping Method: Geometry Selection
- Geometry: [Body- select the “ plate ”]

因为对于 “ plate ” 部件没有任何指定，所以认为其初始处于静止状态。

Wo

Dy

# 演示：添加欲获取的结果

Training Manual

? 选择 “ Solution 分支之后，添加 “ Total Deformation 结果,同时添加其它感兴趣的结果：

- Stress > Equivalent (von-Mises)
- Strain > Equivalent (von-Mises)
- Strain > Equivalent Plastic Strain

? 选择 “ Solution 分支，然后添加 “ Probe > Force Reaction ”在 Details 中，选择 Boundary Condition: Fixed Support ”

Wo

Dy

# 演示：求解柔体动力学问题

Training Manual

？ 单击 “ Solve ”，启动求解过程 。 该柔体动力学分析包含大变形效应、接触和材料 塑性，因此是非线性分析。

通过选择 “ SolutionInformation ” 在 Details 中改变 “ Solution Output: Force Convergence ” 求解过程可以被监控。

该分析在 3.2 GHz 的 PC 上大概要 30 分钟的求解时间。

Wo

Dy

# 演示：获取结果

Training Manual

- ? 当求解完毕，查看结果
- ? 右图所示的为等效应力云图以及动画显示。

Wo

Dy

# 演示：添加变形结果

Training Manual

- ? 将选择改变为 “ BodySelect ”, 只选择 “ plate体”.  
然后, 在 “ Solution ”分支下, 插入 “ Deformation  
> Directional ” 在 Details 中, 改变  
“ Orientation: Y Axis ” 点击右键 “ Retrieve  
Results 。”

Wo

Dy



# 演示：添加曲线图

？ 选择 “ Equivalent Plastic Strain ” 和 “ Directional Deformation ” 然后点击标注工具栏的 “ New Chart and Table ” 图标。

？ 在新添加的 “ Chart ” 分支，在 Details 窗口中改变 “ Output Quantities > Equivalent Plastic Strain (min): Omit ”。

注意观察 Y 方向变形图和等效塑性应变曲线图。  
在 计算中，等效塑性应变随着时间增加直到 0.3ms，而后直到 1.1ms 一直保持为常值，再往后达到最大 塑性应变 2.6%。此后，“ball 体与 “plate 体失去了接触，所以塑性应变不再发展。

# 分析步骤

# E. 零件指定

？ 在柔体动力学分析中，部件可以是柔性或者刚性的：

- 在 “ Geometry ” 分支，“ Stiffness Behavior ” 可以从 “ Flexible ” 改变为 “ Rigid ”
- 在同一个模型中，可以同时存在刚性体和柔性体

？ 柔性体部分需要考虑的内容同静力分析中一样：

- 指定恰当的材料属性，比如密度、弹性模量、泊松比等
- 非线性材料属性，比如塑性或者超弹性

？ 对于刚形体：

- 只有 3D 单体部件可以指定为刚形体；
- 密度是唯一需要的材料属性，用于计算质量属性，其它的材料属性将会被忽略；
- “ Inertial Coordinate System ” 会自动在部件的质心被定义

Wo

Dy

# ...零件指定

？ 对于柔性体，网格密度是基于如下考虑：

- 网格必须足够细，才能捕捉到结构相应的振型（动态响应）；
- 如果关心应力和应变，网格要足够细才能准确捕捉到梯度变化；

？ 对于刚形体，不用产生网格

- 刚形体是刚性的，没有计算应力、应变和相对变形，因此不需要网格；
- 在内部处理中，刚形体是表示为位于惯性坐标系统中中心的点质量。

On the figure on the right, one can see flexible bodies (meshed) and rigid bodies (not meshed) in the same model.

Assembly shown here is from an Autodesk Inventor sample model

Wo

Dy

# F. 非线性材料

Training Manual

？ 对于柔性体，非线性材料可以被指定为：

– 金属塑性：

？ 定义杨氏模量和泊松比；

？ 选择各向同性强化或者各向异性强化，双线性或者多线性应力应变曲线

– 对于多线性应力应变曲线，记住数值必须要以对数应变和真实应力输入

– 超弹性：

？ 选择超弹性模型 (neo-Hookean, Polynomial, Mooney-Rivlin, or Yeoh)

或者

(Ogden):

– 如果材料常数未知，可以输入试验测试数据，然后选择超弹性模型进行曲线拟合；

– 如果材料常数已知，选择相应的超弹性模型，然后输入相关参数；

？ 为了考虑惯性效应，不管对于柔性体还是刚形体，都必须指定密度。

？ 材料阻尼（在 Section I 中讨论），可以在柔性体中输入。



# G. 接触、连接和弹簧

Training Manual

？在柔体动力学分析中，接触、连接或者弹簧是在 “Connections” 分支下定义的。

– 接触只能在 2D 或者 3D 的柔性体之间定义。接触是用于在部件之间的相互作用关系或者零件之间的摩擦效应是重要的情况。

？非线性接触 (rough, frictionless, frictional) 只能用在 3D 体的表面之间或者 2D 体的边之间的接触。

– 连接只能在 3D 刚形体或者柔性体之间定义。连接可以在两个体之间或者体和 Wc 地面之间定义。连接的含义在于当部件之间是相互连接的并且可以发生相对运动是力学建模。

？连接只能在 3D 体的表面之间定义。

– 弹簧只能在 3D 刚形体或者柔性体之间定义。弹簧提供了在指定区域考虑纵向刚 Dy 度和阻尼，在于表示没有建模区域的弹簧阻尼效应。

？弹簧可以定义在 3D bodies 的顶点、边以及表面上。

？所定义的弹簧长度为 0。

# ... 接 触

？ 接触区域可以在柔性体之间定义：

- 接触在接触区域未知的情况下或者接触区域随着分析过程发生变化的情况下是有用的。
- 任何一种接触行为（线性，非线性）都可以指定，包括摩擦效应。

## Play Animation

In the animation, some surfaces of two parts are initially not in contact, but as the analysis progresses, the surfaces come into contact, as shown on the right, allowing for forces to be transmitted between the two bodies.

VSC

imu  
f

on  
Dy

na

# ... 接 触

？ 在接触中，部件之间被放置相互穿透。不同的接触行为在于描述法向分离和切向滑移方向的不同：

|               | Normal Direction | Tangential Direction     |
|---------------|------------------|--------------------------|
| Contact Type  | Separate         | Slide                    |
| Bonded        | no               | no                       |
| No Separation | no               | yes                      |
| Rough         | yes              | no                       |
| Frictionless  | yes              | yes                      |
| Frictional    | yes              | yes (when $F_t \leq N$ ) |

# ... 接 触

？ 不同的接触算法允许建立不同接触体之间的数学关系。

– 对于绑定或者不分离接触，接触区域根据几何和 pinball 可以预先知道。

？ 推荐的接触算法是使用 “ Pure Penalty ” 或者 “ MPC ” 。

– 对于 rough , frictionless 和 frictional 接触，  
接触区域不能预先知道，所以必须进行迭代计算 。

？ 推荐的接触算法是： “ Augmented Lagrange ” 。

Wc

Dy

# ... 连 接

- ? 连接是在不同的体之间或者体跟地面之间定义 :
- 连接在面上定义允许的运动方式 ( 动态约束 )
- 柔性体与刚形体之间可以定义不同的连接类型 :
  - ? Fixed, Revolute, Cylindrical, Translational, Slot, Universal, Spherical, Planar, 或者 General Joints
- 连接的定义以及设置会在另外单独的培训课程 ANSYS 刚柔混合动力学分析 ( ANSYS Rigid and Flexible Dynamic Analysis ) 中涉及
- 不同于刚体动力学分析 , 而是指定实际的自由度 , 而不是相对的自由度 .

The animation on the right shows an assembly using cylindrical and revolute joints

Assembly shown here is from an Autodesk Inventor sample model

Wo

Dy

# ... 连 接

？ 在柔体动力学分析中，还有指定连接行为的另外选项：

- “ Rigid (默认)行为意味着选取的表面不会变形，而当做刚性面。这就意味着在分析过程中，圆柱面仍然保持为圆柱面。
- “ Deformable 行为意味着虽然连接能够满足，但是选取的表面能够自由变形。这就意味着在分析过程当中，圆柱面可能不再保持为圆柱面。

Wo

Dy



# ... 弹 簧

？ 弹簧可以在不同体之间或者体与地面之间定义：

- 弹簧可以定义表面的刚度和阻尼

  - ？ 阻尼的细节参考 Section I

- 弹簧可以在刚形体和柔性体上定义

- 弹簧是纵向的，所以刚度或者阻尼是相对于弹簧的长度改变

  - ？ 弹簧的长度不能为 0

  - ？ 弹簧可以在顶点、边或者面上定义

  - ？ 弹簧的定义以及设置会在另外单独的培训教程

    - ( ANSYS Rigid and Flexible Dynamic Analysis

ANSYS 刚柔混合动力学分析

) 中涉及

Wc

Dy

# H. 初始条件

- ? 对于柔体动力学分析，必须要有初始位移以及初始速度：
- 用户可以在 “ Initial Condition ” 分支下定义初始条件或者采用多个载荷步。

- ? 通过 “ Initial Condition ” 分支定义初始位移和速度：

- 默认的初始条件是所有体都处于静止状态

- ? 无需另外的操作

- 如果有些体初始位移为 0，但是初始速度不为 0，  
可以按照如下输入：

- ? 只有体能够被指定

- ? 输入常值初始速度（这种方法不能输入多个常值初始速度）

Wo

Dy

## ... 初始条件

？通过多个载荷步定义初始位移和速度：

- 对于其它情况，必须采用这种方法
- 让 “ Initial Conditions ” 保持为 “ At Rest. ” 对于 “ Analysis Settings ”，采用在短时间间隔内分两个载荷步：

？ 第一步在 Details 中设置非常小的 “ StepEnd Time ”。同时，第一个载荷步改变 “ Time Integration: Off ” 和 “ Auto Time Stepping: Off ”。修改 “ Define by: Substeps ” 为 “ Number of Substeps: 1 ”。

- 在载荷步 1，施加合适的位移约束值。在载荷步 2，删除该位移。

– 这种方法的理念在于第一个载荷步通过一个很短的时间步长  $t_1$ ，根据施加的强制位移  $x^{\text{initial}}$ ，得到初始位移和速度。

$$\begin{matrix} v^{\text{initial}} & x_1^{\text{initial}} \\ & t_1 \end{matrix}$$

如果时间步长  $t_1$  足够小，对实际结束时间的影响是可以忽略不记的。

Wc  
Dy

# ... 初始条件

Training Manual

- 初始位移 = 0, 初始速度 = 0
  - ? 在很短的时间间隔内施加很小的位移，得到想施加的初始速度。然后在载荷步 2 中，将位移删除。
- 初始位移 = 期望值, 初始速度 = 0
  - ? 在很短的时间间隔内施加期望的位移，得到想施加的初始速度。然后在载荷步 2 中，将位移删除。
- 初始位移 = 期望值, 初始速度 = 期望值
  - ? 需要用两个子步来实现，所加位移在两个子步间是阶跃变化的。如果位移不是阶跃变化的（或只用一个子步），所加位移将随时间变化，从而产生非零初速度。

Wc

Dy

# I. 载荷、支撑和边界条件

Training Manual

？ 对于刚形体，在刚体动力学分析中，只支持惯性载荷、远端载荷和连接条件。

- 刚形体不能够变形，所以不要施加结构和热载荷。

？ 对于变形体，所有载荷类型都可以施加：

- 惯性和结构载荷

- ？ PSD 基础激励只能在随机振动分析中施加，所以其不归于结构载荷。

- 结构支撑

- 连接和热载荷

Wo

Dy

## ... 时变载荷

Training Manual

？ 结构载荷与连接条件能够被表示为随时间变化的载荷历史。

- 当添加一个载荷或者连接条件时，幅值  
可以定义为常值、表格或者方程。
- 值可以直接在 Workbench Simulation GUI  
中输入或者在 Engineering Data 页面中输入

Wo

Dy



# J. 阻 尼

？如在 Section A 所述,柔体动力学分析所求解的方程包含有阻尼项。

？有三种型式的阻尼：

- 材料阻尼

- ？对于每种材料单独指定。

- 单元阻尼

- ？在指定区域的弹簧连接可以包含阻尼效应。

- 全局阻尼

- ？影响整体模型的阻尼。

？阻尼效应是累加的，因此定义 2%的材料和 3%的系统阻尼，则系统将会有 5%的阻尼。

Wc

Dy

# ... 阻尼的定义

Training Manual

?粘性阻尼力  $F_{\text{damp}}$  是同速度成比例的，其中  $c$  为阻尼常数：

$$F_{\text{damp}} = cX$$

– 临界阻尼  $c_{\text{cr}}$  为系统出现振荡和非振荡行为临界状态时的阻尼

– 阻尼比 为实际阻尼  $c$  同临界阻尼  $c_{\text{cr}}$  的比值

$$\frac{c}{c_{\text{cr}}}$$

? 阻尼的常用度量：

– 品质因子  $Q_i = 1/(2 \zeta_i)$

– 损耗因子  $\zeta_i$  等于  $Q$  的倒数或者  $2 \zeta_i$

– 对数衰减率  $\delta_i$  近似等于  $2 \zeta_i$

– 半功率带宽  $\Delta \omega_i$  近似等于  $2 \zeta_i \omega_i$

Wc

Dy

# ... 材料阻尼

? 在 Engineering Data 页面中，可以添加材料阻尼因子：

– 假设阻尼同刚度矩阵成正比：

$$c = k$$

– 如下所示，阻尼比 对于材料阻尼因子 随着频率呈线性增大。因此，材料阻尼对于该种材料会抑制高阶频率。

– 注意采用的单位是 [s / rad]，尽管因子同选择的单位系统无关

– 注意材料输入中的 “Constant Damping Coefficient” 只适用于谐响应分析，而不能用于柔体动力学分析。

Wc

Dy

$$c_{cr} = \frac{2 \sqrt{k_i m_i}}{\omega_i}$$

## ... 单元阻尼

Training Manual

? 如在 Section F 所述, 弹簧连接可以包含纵向阻尼  $c$  的输入.

– 阻尼  $c$  的单位是: [力 / 长度 / 时间]

– 如前面所述, 阻尼比 是阻尼  $c$  同临界阻尼  $c_{cr}$  的比值:

$$\frac{c}{c_{cr}}$$

Wo

Dy

# ... 全局阻尼

? 全局阻尼参数是在 “ Analysis Settings ” 中输入：

– 同材料阻尼相似，阻尼值可以以 因子输入，尽管该阻尼是影响整个模型

– 如果 值未知，可以改变 “ BetaDamping Define By ” 为 “ Damping vs. Frequency. ”

? 在 “ Beta Damping Measure ” 下指定阻尼比 .

在 “ Beta Damping Frequency ” 下指定相应的频率 .

? Workbench Simulation 将会计算合适的 值 .

– 同时可以指定数值阻尼，默认值是 0.1 (10%).

? 数值阻尼来源于 HHT 数值积分方法 .

? 相关细节可以参考 Theory Reference for ANSYS and ANSYS Workbench documentation

Wo

Dy

# K. 分析设置

? 除了阻尼，在 “ Analysis Settings ” 分支下还有其他选项需要用户设置。

? 很重要的一点是，在 “ StepControls ” 中指定求解时间

- “ Number of Steps ” 控制如何分割载荷历史。如在 Section G 所述，可以通过多个载荷步施加初始条件
  - 使用 “ Time Integration ” 控制某个载荷步是否考虑时间积分效应
- “ Step End Time ” 是针对 “ Current Step Number ” 的具体结束时间
- 初始、最小、最大的时间步长必须如在 Sections B & C 中所述的要求定义

Wo

Dy



## ... 分析设置

Training Manual

? “ SolverControls ”中允许用户选择方程求解器，  
是否使用弱弹簧、是否考虑大变形效应

- 柔体动力学分析通常包含大变形效应，所以默认的是打开大变形 “ Large Deflection: On”
- “ Output Controls ”允许用户控制结果数据存入 ANSYS 结果文件的频率，可以只存储最后载荷步的结果。同样可以尽可能地均匀地存储结果（取决于自动时间步长）

Wc

Dy

# L. 查看结果

Training Manual

？ 当求解完毕，查看柔体动力学分析通常包含如下输出：

- 云图以及动画
- 探测和图标

？ 云图以及动画的创建同其它结构分析相似

- 注意刚体的变形位置会在云图结果中显示，  
但是刚体部分并不能任何位移、应力、应变  
的云图，因为它们是刚性体

Wo

Dy

## ... 查看结果

Training Manual

? 探测 (Probes) 在产生时间历程曲线是有用的，便于理解系统的瞬态响应。

一些有用的探测结果如下：

- 变形、应力、应变、速度、加速度
- 力和弯矩反力
- 连接、弹簧和螺栓预紧结果

? 图标对象，可以基于探测结果，添加在报告中或者当做单独的图片

Wo

Dy

# 演示

## 刚柔混合动力学

# M. 演示：概述

Training Manual

在该例中，会进行引擎装配体中的一个零件的柔体动力学分析：

- 同时进行刚体动力学分析和柔体动力学分析
  - ？ 对于柔体动力学分析，连杆的应力最为关注，所以将该零件设置为柔性体
- 连接定义和载荷
- 装配体来自于 Autodesk Inventor 模型文件

Wo

Dy

Assembly shown here is from an Autodesk Inventor sample model

# 演示：打开模型

Training Manual

- ? 打开 “ Engine Assembly Example.wbdb ”
- ? 从项目页，打开仿真数据库 “ Model ”装配体已经被导入.注意装配体初始是没有对齐的 在 “ Geometry ”分支，查看各个零件，注意所有的零件都可以指定为刚体，一些不需用到的已经被抑制。
- ? 注意选择的单位系统一定要为 “ Metricmm, kg, N, ° C, s, mV, mA) ” 。

Wo

Dy



# 演示：连接概述

对于该模型，将会定义 9 对体与体的连接（如左下图所示），描述 9 个体之间的运动约束关系。

两个体对地的连接在 Crank 与 Bore 之间定义（如右下图所示）。

Wo

Dy

# 演示：创建连接

- ? 右键单击 “ Connections ”, 然后选择 “ Create Automatic Joints 根据面与面的相邻关系, 将会自动创建连接 .

尽管连接被自动创建, 通常需要校核一下创建的连接. 在该例中, 一些连接是不需要的, 可以删除; 其它的连接需要被修改 ; 最后一些连接需要手工定义 .

Wc

Dy

# 演示：删除多余的连接

？ 选择如下四个连接，点击右键选择 “ Delete ,删除下面四个连接：

- Revolute - bore:1 To conrod-brg:2
- Fixed - conrod:1 To conrod-brg:1
- Fixed - conrod-cap:1 To conrod-brg:2
- Fixed - conrod-brg:1 To conrod-brg:2

上面的连接是不需要的，所以需要删除。

？ 将下列的连接类型从 “ Revolute ” 变为 “ Fixed ”：

- Revolute - conrod:1 To conrod-brg:2
- Revolute - conrod-cap:1 To conrod-brg:1 选择

如上两个连接，然后在 Details 中，连接类型 从

“ Type: Revolute ” 改变为 “ Type: Fixed ”

Wo

Dy

# 演示：修改连接

- ? 选择 “ Fixed - conrod:1 To conrod- cap:1 ”
- ? 在工具栏，激活 “ BodyViews ”  
当 “ Body Views ”打开后，就能够更容易地查看 和选择连接对中的两个部件中的面 .
- ? 在 Details 中, 选择 “ Reference > Scope: 1 Face ” 按住 <Ctrl> 键选择 “ conrod:1另外一边其它的面 . 保证两边的面都选择，然后点击 “ Apply ” .
- ? 在 Details 中, 选择 “ Mobile > Scope: 1 Face ” 按住 <Ctrl> 键选择 “ conrod:1 另外一边其它的面 . 保证两边的面都选择，然后点击 “ Apply ”
- ? 点击 “ Body Views ”，关闭之 .

Wo

Dy

# 演示：添加 Cylindrical 连接

Training Manual

? 选择 “ bore:1 的内圆柱面和 “ piston:1的外圆柱面

? 从工具栏，选择 “ Body-Body > Cylindrical ”  
这就在 “ piston:1和” bore:1 之间建立一个连接对

.

Wo

Dy

# 演示：添加 Revolute Ground

Training Manual

? 选择 “ crank:1 端部的面 ,从工具栏选择 “ Body Ground > Revolute ” .

Wo

Dy



# 演示：添加 Revolute 连接

Training Manual

- ? 选择 “ conrod- brg:1 的内圆柱面 和 “ crank:1的” 圆柱面 .
- ? 从工具栏，选择 “ BodyBody > Revolute 这就在两个部件之间添加 Revolute 连接 . 此时， 两个部件之间并没有对齐，这在后面会进行更正 .

Wo

Dy

# 演示：添加 Fixed Ground

Training Manual

？ 选择 “ bore:1 的外圆柱面，从工具栏选择  
“ BodyGround > Fixed ”。

？ 这就将 “ bore:1 ”与地面固定。

Wo

Dy

# 演示：将 Rod 和 Crank 对齐

Training Manual

？ 选择 “ Revolute - conrod-brg:2 To crank:1 ” 。

？ 在 Details 中,选择 “ Mobile > Initial Position: Override ” ; 添加 “ Mobile Coordinate System ” 子分支 。

Wo

Dy

# 演示:将 Rod 和 Crank 对齐

Training Manual

- ? 选择 “ Mobile Coordinate System ”
- ? 在 Details 中, 选择 “ Geometry: Click to Change ”.选择在连接定义中所使用的圆柱面 , 如右图所示的圆 .点击 “ Apply ”

Wo

Dy

# 演示：将 Rod 和 Crank 对齐

Training Manual

- ? 从工具栏，点击 “ Configure ” 注意，根据定义的连接，活塞和连杆可以移动（对于曲柄也一样）

使用 Configure Triad, 可以看出只有 RZ 自由度是活动的，可以将部件移动到任一初始位置。对于该例，初始位置并不需要改变。

- ? 点击工具栏的 “ Set ”，确认所做的改变。（因为坐标系统并不是完全相关的，所以会出现 消息窗口。关闭之。）

Wo

Dy

# 演示：连接自由度校核

Training Manual

? 选择 “Connections ”分支, 然后点 击  
“Worksheet ” .

“ Joint DOFChecker ”提供了一 种校核系 统是否 过约 束的方法：  
显示模型的自由度数 . 注意必 须 校核模型的自由度数 -该值 必  
须大于 0.

Wo

Dy



# 演示：刚体动力学设置

- ? 从标准工具栏，选择 “ New Analysis > Rigid Dynamic ”
- ? 在 “ Analysis Settings 分支的 Details 中，将 “ Number of Steps ” 改变为 “ 2 ”
- ? 对于 “ Current Step Number: 1 ” 设置 “ Step End Time ” 为 0.1
- ? 将 “ Current Step Number ” 改变为 “ 2 ” 设置 “ Step EndTime ” 为 0.2 这就定义了刚体动力学分析的两个载荷步，第一个载荷步在 0.1s 后结束，第二个载荷步在 0.2s 后结束。

Wo

Dy

# 演示：添加连接条件

? 从工具栏，选择 “ Condition > Joint Condition ”  
在 Cylindrical 连接上施加力载荷以驱动活塞运动 。

? 在 “ Joint Condition ” 的 Details 中，选择  
“ JointCylindrical - piston:1 To bore:1 ”

? 选择 “ DOF: Z Displacement ”

? 选择 “ Type: Force ”

? 在 Tabular Data 中，输入如下数据：

- For Time: 0, Force: “ 0 ”
- For Time: 0.1, Force: “100 ”
- (Leave Time: 0.2 to “ -400 ” )

Wo

Dy

# 演示：添加连接条件

Training Manual

? 在 Timeline 中选择 “ 2 点击右键选择 “ Activate/Deactivate at this step! ”

-100 N 的载荷只在第一个载荷步施加，第二个载荷步移除该载荷。

Wo

Dy

# 演示：求解刚体动力学

Training Manual

- ? 选择 “ Solution 分支, 从工具栏添加 “ Deformation > Total ”
  - 在 Details 中, “ Boundary Condition ” 设为 “ Revolute - Ground to crank:1 ”
  - 选择 “ Result Type: Relative Rotation ”
  - 选择 “ Result Selection: Z Axis ”

- ? 点击 “ Solve 求解刚体动力学分析

Wo

Dy

# 演示：查看刚体动力学结果

Training Manual

？ 选择 “ Total Deformation ”, 利用 Timeline 的  
控 制按钮显示动画

Wo

Dy

# 演示：复制模型

Training Manual

- ? 右键单击 “ Model ”分支，将其改名为 “ Rigid Dynamic Model ”
- ? 右键单击 “ Rigid Dynamic Model ”, 选择 “ Duplicate ”

- ? 将 “ Rigid Dynamic Model 2 ”重命名为 “ Flexible Dynamic Model ”

后续的步骤都是在新创建的 “ FlexibleDynamic Model ”分支上操作

Wo

Dy



# 演示：柔体部件

Training Manual

? 选择 “ Geometry > conrod :1 ”

? 在 Details 中, 改变其刚度行为为  
“ Stiffness Behavior: Flexible ”

在该分析中, 除了 “ conrod:1 之外的部件都被指  
定为刚体 .

Wo

Dy

# 演示：设置成柔体动力学分析

Training Manual

- ? 选择 “ Rigid Dynamic ” 分支 .
- ? 在 Details 中,改变分析类型为 “ AnalysisType: Flexible Dynamic ” 使用刚体动力学分析中的连接条件和载荷 , 所以 不必重新定义另外的载荷和支撑 .

Wo

Dy

# 演示：柔体动力学分析设置

- ? 选择 “ Analysis Settings ”
  
- ? 在 Details 中, 改变 “ Current Step Number” 为 “ 1 ”
  - 初始时间步长 “ Initial Time Step: 1e- 2 ”
  - 最小时间步长 “ Minimum Time Step: 5e- 3 ”
  - 最大时间步长 “ Maximum Time Step: 0.1 ”
  
- ? 改变 “ Current Step Number” 为 “ 2 ”
  - 初始时间步长 “ InitialTime Step: 1e- 2 ”
  - 最小时间步长 “ MinimumTime Step: 1e- 2 ”
  - 最大时间步长 “ MaximumTime Step: 0.1 ”

柔体动力学的时间步考量同刚体动力学是不同的 .  
参考 Workbench Simulation 11.0 帮助手册中的  
柔体动力学分析时间步长确定分析指南 .

# 演示：求解柔体动力学分析

Training Manual

? 选择 “ Solution 分支, 从工具栏选择 “ Stress> Equivalent (von- Mises) ”

? 从工具栏选择 “ Probe > Energy ”  
获取所感兴趣的结果 .

? 点击 “ Solve ”, 初始化求解

Workbench Simulation 将首先划分柔性体的网格  
, 然后进行求解 .

通过选择 “ Solution Information 分支, 在 Details  
中选取 “ Solution Output: Force Convergence ”, 可  
以监测非线性瞬态分析的进程

.

Wo

Dy

# 演示：查看结果

Training Manual

- ? 选择 “ Equivalent Stress ” 从 Simulation 中查看 等效应力 .
  - 如果想查看指定时间点的应力，从 Timeline 或者 Tabular Data 中选择时间，点击右键选择 “ Retrieve thisResult ”
  - Timeline 中同时显示了云图结果的最大值和最小值 .
  
- ? 动画显示等效应力结果

Wo

Dy

# 演示：查看结果

Training Manual

？ 选择和查看 “ Joint Probe ” 和 “ Energy Probe ” 结果

注意对于能量，在分析中只有动能起作用，因为没有部件产生应变以抵抗活塞的运动（这也是应力值如此低的原因）。

Wo

Dy



# 演示：总结

在该例中，进行了一个装配体的刚体动力学分析和柔体动力学分析。  
有一些注意点值得提醒：

- 连接含有坐标系来使连接的相对自由度相联。最好保证参考坐标系和移动坐标系是相关的。  
？（由于时间的限制，这在练习中并没有进行操作。）
- 对于柔体动力学分析，任何类型的接触、载荷和支撑都可以使用，这些在刚体动力学是不可能的。  
？ 在该例中，只有演示连接和连接条件。
- 刚体动力学分析和柔体动力学分析的“Total Deformation”结果是不同的（77.8 与 79.2）。原因在于刚体动力学的变形只是部件中心的变形，在包含旋转的情况下就会影响变形的结果。

Wc

Dy

# D. Workshop –瞬态分析

Training Manual

？ 在该例中，主要研究脚轮在边缘受到冲击后的动力学响应。

WS6: Transient Analysis of a Caster Wheel

Striker  
Tool

Wc

Wheel

Dy

## 第十二章

# Workbench 谐响应分析练习

## 谐响应分析

### E. 12 –

Training Manual

? 目标：

- 在这个练习，我们的目标是研究如图所示的电机机架 (Frame.x\_t) 的谐响应。在给定频率的作用下，确定机架的频率响应与应力、变形状况。

- ? 假定机架是用结构钢制造。
- ? 假设机架为一焊接件，并是一个连续体（无接触）。
- ? 我们假定机架被设计用于支撑一台设备，该设备在 Y 方向上传递 400N 的力，并以 200Hz 频率运行。该设备被连接在与其它相互作用 60 度相位差的两个不同位置上。
- ? 结构钢的阻尼比率被认为是常数 0.2。
- ? 在进行谐分析前，我们将会对结构进行一次模态分析。虽然在谐分析并不一定要求先进行模态分析，但这样能更好地了解结构的固有频率的情况，这会有助于选择谐分析中被认为更重要的结果。

双击工具栏中的 “ Modal ( ANSYS ) ” ，然后拖动 “ Harmonic Response ( ANSYS ) ” ，将其放置在 A4 上，创建谐响应分析流程



谐响应分析

# 入几何模

Training Manual

在 “ Geometry ” 单元  
格中 RMB ( 单击右  
键  
) , 导入机架几何模  
型 Frame.x\_t

谐响应分析

# 入仿真处理界 Mechanical

Training Manual

双击 Model 单  
元格，进入  
Mechanical  
界面

? 将单位制改为国际单位制

1. “ Units > Metric (m, kg, N, s , V , A) ” .

1.

# 12 – 态分

- 2. 选中 Modal ( A5 ) 命令条 .
- 3. 在图形窗口中选中在机架管子部分的 8 个圆柱孔表面。
- 4. “ RMB > Insert > Cylindrical Supports ” . 2.

4.

3. (8 faces)

5. 在明细表窗口中将圆柱体支撑约束的定义变更为 Fixed/Fixed/Free.

5.

6.

6. 选中 " Analysis Settings "

7. Details 窗口中 " Max Modes to Find ": 10 ( 提取前 10 阶模态 )

求解 Solve .

谐响应分析

## ... 12 – 态分析结

Training Manual

? 模态的结果表明一阶固有频率大约为 150Hz , 主要由 Y 方向的运动控制。



## 谐响应分析

### ...作 12 –环

Training Manual

8.

8. 选中 “ Cylindrical Support ” , RMB->Copy
9. 选中 “ Harmonic Response (B5) ” 命令条 ,RMB  
>Paste, 复制边界条件
10. 在如图所示的角度选中左边安装孔上的两个圆柱面。

10. (2 faces)

9.

谐响应分析

. . . 12 -

11. 选中 “ Harmonic Response (B5) ” 11.
12. “ RMB> Insert > Force ” . 12.
- 从力的明细窗中指明 :
13. 时间类型 :简谐 13.
14. 定义方式 :分量 14.
15. Y 方向分量 : 400 N 15.

谐响应分析

. . . 12 —

16. 在如图所示的角度选中右边安装孔上的两个圆柱面。

16. (2 faces)

谐响应分析

. . . 12 -

17. “ RMB > Insert > Force ” .

从力 2 的明细窗中指明 :

18. 时间类型 : 简谐

19. 定义方式 : 分量

20. Y 方向分量 : 400 N

21. 相位角 : 60 degrees

17.

18.

19.

20.

21.

22. 选中 “ Harmonic Response (B5) ” 的 “ Analysis Settings ”

22.

注意:从之前完成的模态分析中,我们可以了解到,所发生的最高频率(第六阶)是约为 600Hz。由于我们限制了简谐模拟的范围在 800Hz 之内。同样,我们也可以要求在整个频率区间求解 30 个结果,而不是默认的 10 个。

谐响应分析

. . . 12 -

Training Manual

23.

24.

25.

在 “ Analysis Settings ” 明细窗中指定 : 23. 范围最值 :  
800 Hz.

24. Solution Intervals: 30.

25.Constant Damping Ratio: 0.2.



## 谐响应分析

. . . 12 —

Training Manual

26. 选择 “ Solution （ B6 ） ” .

27.

27. 将选择过滤器改变为 “ Edge ” 选择 .

28. 选择如下图安装孔的边

28.

28. 选择如下所示的安装孔的顶边

谐响应分析

... 12 -

29. “ RMB > Insert >Frequency> Deformation ” .

29.

30.

30.在明细窗中将 orientation 设定为 “ Y Axis ” .

谐响应分析

... 12 -

? 选择同第 28 步一样的边

31. “ RMB > Insert > Phase Response > Deformation ” .

31.

32. 在明细窗中将 orientation 设定为 “ Y Axis ”

32.

33.

33. 在 Frequency 区域输入 200.

谐响应分析

. . . 12 —

34. 选择如下所示的安装孔的顶边

35.

? 重复从 30 到 33 , 输入数值同前。

谐响应分析

. . . 12 -

35.选中 “ Solution （ B6 ） ” .

36. “ RMB > Insert > Stress > Normal ” .

? In the detail change the definition to:

37.Orientation: Y Axis

38. Frequency: 200 Hz

37.

38.

36.

谐响应分析

. . . 12 -

39. “ RMB > Insert > Deformation > Directional ” .

? 在明细窗中修改为 :

40.Orientation: Y Axis

41. Frequency: 200 Hz

? 求解

40

41



## 谐响应分析

### 12 —

Training Manual

- ? 选中频率响应对象。默认的格式是 Bode plot ( 见右图 ) , 图中在同一窗口显示了振幅和相位角。
- ? 通过改变明细窗, 可以看到其它结果的信息。

## 谐响应分析

... 12 -

Training Manual

- ? 相位响应图可以看到不同的输入力与结果（在选定点处）的对比。当施加第二个力载荷有 60 度相位角的变化。

谐响应分析

. . . 12 —

? 结果云图可以绘出激励频率为 200 , 相位角为 0 的应力 SY。

谐响应分析

. . . 12 —

? 结果云图可以绘出激励频率为 200 , 相位角为 0 的 Y 方向位移 UY。