

第3章

热力学分析

热分析是指将热转化成载荷施加在结构中的分析，本章的主要理论是基于傅里叶定律（Fourier's Law）的热传导方程，分析中传热主要包括4种模式：热传导、热对流、热辐射和相变。其中，热传导、热对流和热辐射又被认为是自然界中热量传递的三种基本方式。

热分析在工程应用中也是至关重要的，可以分析在高温作用下的压力容器，如果温度过高会导致内部气体的膨胀，使压力容器爆裂，刹车片刹车制动时瞬间产生大量的热，容易使刹车片产生热应力。本章主要通过例题的详解来说明热分析的应用。

本章所要学习的内容包括：

- 了解热分析基础
- 掌握 ANSYS Workbench 热命令的应用
- 熟知 ANSYS Workbench 温度场分析的操作步骤
- 掌握 ANSYS Workbench 热载荷施加
- 掌握 ANSYS Workbench 温度场分析的设置及后处理

3.1 热分析基础

在一些变温条件下，工作部件往往受温度应力的影响，正常工况下存在稳态的温度应力，在启动或关闭过程中还会产生随时间变化的瞬态应力，若要计算稳态或瞬态应力，首先要计算稳态或瞬态的温度场。

通常情况下，工程上关心的是结构的温度和热流通率量，同时也能得到热通量。由物理定律可知，通用非线性热平衡矩阵方程为：

$$[C(T)]\{\dot{T}\}+[K(T)]\{T\}=[Q(T)] \quad (3-1)$$

式(3-1)中各个字母代表的含义如下。

$\{T\}$ 表示温度矩阵；

$[C]$ 表示比热矩阵或热容；

$[K]$ 表示热传导矩阵；

$\{Q\}$ 表示热流率载荷向量。

瞬态传热过程是指系统的加热或冷却过程。这个过程系统中的系统温度、热流率、热边界条件以及系统内能随时间都有明显的变化。根据能量守恒原理，瞬态热平衡可以表达为：

$$[C]\{\dot{T}\}+[K]\{T\}=\{Q\} \quad (3-2)$$

式(3-2)中各个字母代表的含义如下。

$[K]$ 表示传导矩阵, 包含导热系数、对流系数及辐射率和形状系数;

$[C]$ 表示比热矩阵, 考虑系统内能的增加;

$\{T\}$ 表示结点温度向量;

$\{\dot{T}\}$ 为温度对时间的导数;

$\{Q\}$ 表示结点热流率向量, 包含热生成。

若系统的净热流率为 0, 即流入系统的热量加上系统自身产生的热量等于留出系统的热量 ($q_{\text{流入}} + q_{\text{生成}} + q_{\text{流出}} = 0$), 则系统处于热稳态, 在热态分析中任一点的温度不随时间变化。稳态热分析的能量平衡方程为:

$$[K]\{T\}=\{Q\} \quad (3-3)$$

式(3-3)中各个字母代表的含义如下。

$[K]$ 表示传导矩阵, 包含导热系数、对流系数及辐射率和形状系数;

$\{T\}$ 表示结点温度向量;

$\{Q\}$ 表示结点热流量向量, 包含热生成。

在稳态热分析中, 所有与时间有关的项都不考虑(当然非线性现象还是有可能存在的)。在 Workbench 的 Mechanical 模块中, 求稳态热分析是做了如下假设。

假设 1: 在稳态热分析中不考虑任何瞬态效应。

假设 2: $[K]$ 可以是常量或温度的函数, 每种材料属性中都可以输入与温度相关的热传导率。

假设 3: 在 ANSYS 程序中利用模型几何参数、材料热性能参数以及所施加的边界条件, 生成 $[K]$ 、 $\{T\}$ 和 $\{Q\}$ 。

上述方程的基础实际是傅里叶定律。这说明 Mechanical 模块中求解的热分析是基于传导方程, 其中固体内部的热流是 $[K]$ 的基础, 且热通量、热流率以及对流在 $\{Q\}$ 中被认为是边界条件。

传热分析与 CFD (Computational Fluid Dynamics, 计算流体力学) 分析是不同的, 因为在传热分析中对流被处理成简单的边界条件(虽然对流传热膜系数有可能与温度有关)。如果需要分析共轭传热/流动问题, 则需要用 CFD 技术, 这些基本概念在进行 FEM 分析之前必须先要了解。

3.2 基本传热方式

工程应用中传热方式主要有热传导 (Conduction)、热对流 (Convection)、热辐射 (Radiation)。

1. 热传导

当物体内部存在温度差时, 热量从高温部分传递到低温部分; 不同温度的物体相接触时, 热量从高温物体传递到低温物体。这种热量传递的方式称为热传导。

热传导遵循傅里叶定律为：

$$q'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (3-4)$$

式(3-4)中各个字母代表的含义如下。

q'' 表示热流密度；单位为 W/m^2 ；

K 表示导热系数，单位为 $W/(m \cdot ^\circ C)$ 。

2. 热对流

对流是指温度不同的各个部分流体之间发生相对运动所引起的热量传递方式。高温物体表面附近的空气因受热而膨胀，密度降低而向上流动，密度较大的冷空气将下降替代原来的受热空气而引发对流现象。热对流分为自然对流和强迫对流。

热对流满足牛顿冷却方程为：

$$q'' = h(T_s - T_b) \quad (3-5)$$

式(3-5)中各个字母代表的含义如下。

h 表示对流换热系数（也称膜系数）；

T_s 表示固体表面温度；

T_b 表示周围流体温度。

3. 热辐射

热辐射是指物体发射电磁能，并被其他物体吸收转变为热的热量交换过程。与热传导和热对流不同，热辐射不需要任何传热介质。

实际上，真空的热辐射效率最高。同一物体，温度不同的热辐射能力不同，温度相同的不同物体的热辐射能力也不一定一样。同一温度下，黑体的热辐射能力最强。

在工程中通常考虑两个或者多个物体之间的辐射，系统中每个物体同时辐射并吸收热量。它们之间的净热量传递可用斯蒂芬玻尔兹曼方程来计算，即：

$$q = \varepsilon \sigma A_1 F_{12} (T_1^4 - T_2^4) \quad (3-6)$$

式(3-6)中各个字母代表的含义如下。

q 表示热流率；

ε 表示辐射率（黑度）；

σ 表示黑体辐射常数 $\sigma \approx 5.67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$ ；

A_1 表示辐射面 1 的面积；

F_{12} 表示辐射面 1 到辐射面 2 的形状系数；

T_1 表示辐射面 1 的绝对温度；

T_2 表示辐射面 2 的绝对温度。

3.2.1 相变

工程上有许多由于相变而产生了热传递，如物体凝聚、物体蒸发、沸腾和凝固或熔化等。通常依靠多相流模型或用户自定义函数来描述相变传热。

3.2.2 热载荷

在 Mechanical 中有以下 4 种形式的热载荷。

(1) 热流量 (Heat Flow)。热流量可以施加到点、边和表面上，当有多次选择时，载荷会分布在这些选择的对象上，其单位是：能量/时间。

(2) 热流率 (Heat Flux)。热流率只能施加到表面上，其单位是：能量/时间/面积。

(3) 完全绝热 (Perfectly Insulated)。完全绝热条件是施加到表面上，可以认为是加载零热流率。

(4) 内部生成热 (Internal Heat Generation)。内部热生成只能施加到体上，其单位是：能量/时间/体积。

3.2.3 热边界条件

在 Mechanical 中有以下三种形式的边界条件。

(1) 温度 (Temperature)。给定温度可以强加温度到点、线或面上（热分析中温度是求解的自由度）。

(2) 对流 (Convection)。对流只能施加到表面上（二维分析时加到边上）。实际上对流将“环境温度”和“表面温度”通过公式 $q=hA(T_{\text{surface}}-T_{\text{ambient}})$ 联系起来。式子中热通量 q 与膜系数 h 、表面积 A 、表面温差 T_{surface} 以及环境温度 T_{ambient} 均有关。 h 和 T_{ambient} 是用户输入的值，对流传热膜系数 h 可以是常量或温度的函数。

(3) 辐射 (Radiation)。辐射施加到表面（2D 分析时加到边上），满足：

$Q_R = \varepsilon\sigma AF(T_{\text{surface}}^4 - T_{\text{ambient}}^4)$ ，式中 σ 为斯蒂芬-玻尔兹曼常数、 ε 为热辐射率（黑度）、 A 为辐射面积、 F 为辐射面的形状系数（默认假定为 1）。

另外还明确，给定的温度或对流载荷不能施加到已经施加了某种热载荷或热边界条件的表面上，如果施加到已经承受热载荷的实体上，温度边界条件将忽略，而完全绝热条件将忽略其他的热边界条件。

3.3 案例图解

3.3.1 SolidWorks 2014 与 ANSYS Workbench 协同仿真传热分析

本节利用 SolidWorks 2014 与 ANSYS Workbench 一起协同仿真一个比较简单的传热分析和热结构耦合分析。

第 1 步：打开 SolidWorks 2014。

打开 SolidWorks 2014，绘制 20mm×10mm 的矩形草图（读者也可以应用其他的三维建模软件），如图 3-1 所示。

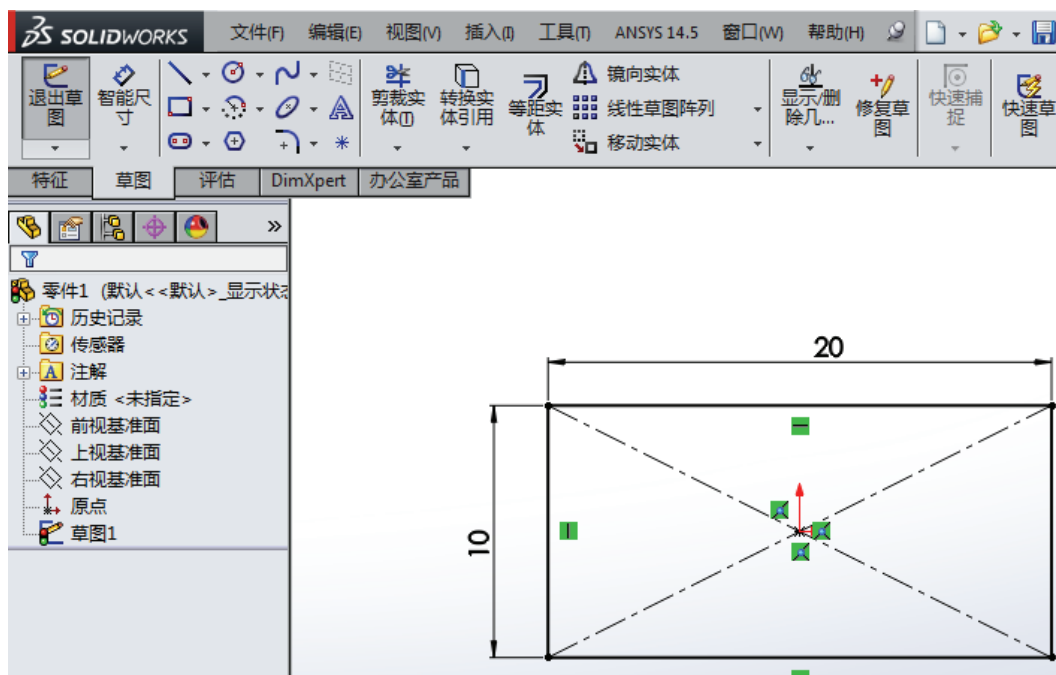


图 3-1 SolidWorks 2014 绘制草图

第 2 步：拉伸草图，生成实体。

选中工具栏中的特征，选择“拉伸”命令，并拉伸 5mm，最后生成一个 $20\text{mm} \times 10\text{mm} \times 5\text{mm}$ 长方体，如图 3-2 所示。

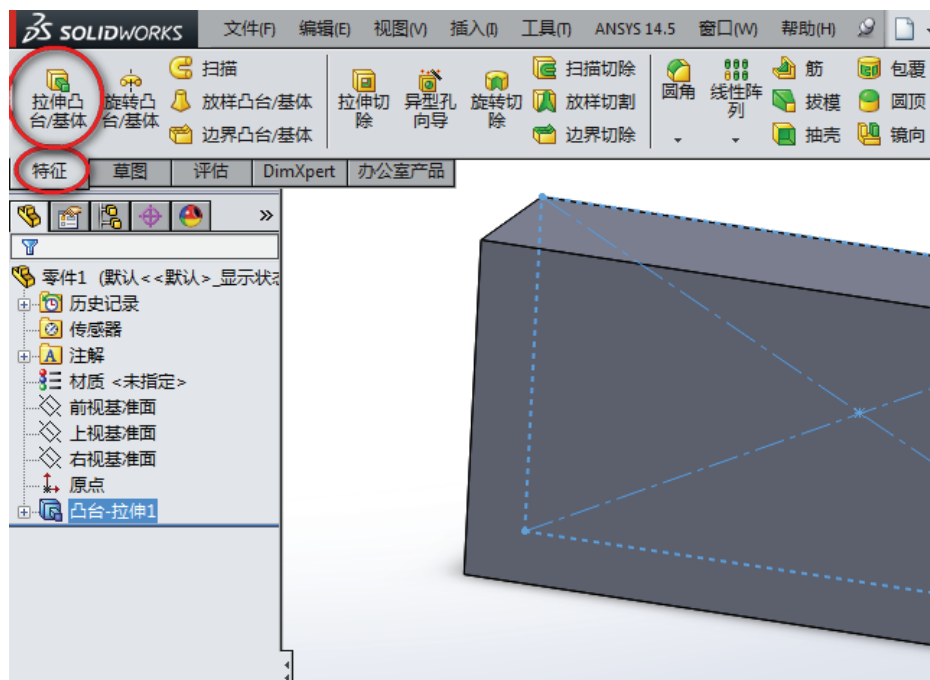


图 3-2 生成实体

第3步：命名各个表面。

在 SolidWorks 2014 主菜单中选择 ANSYS 14.5 下的 Named Selection Manager 命令，选中一个要命名的面，再在随后弹出的对话框中单击 Create 按钮，在弹出的对话框中输入“NS_FRONT”，单击 OK 按钮，命名结束，详细操作如图 3-3 所示。同理将其他 5 个面分别命名为 NS_BACK、NS_BOTTOM、NS_LEFT、NS_RIGHT、NS_UP，详细操作如图 3-4 所示。

104

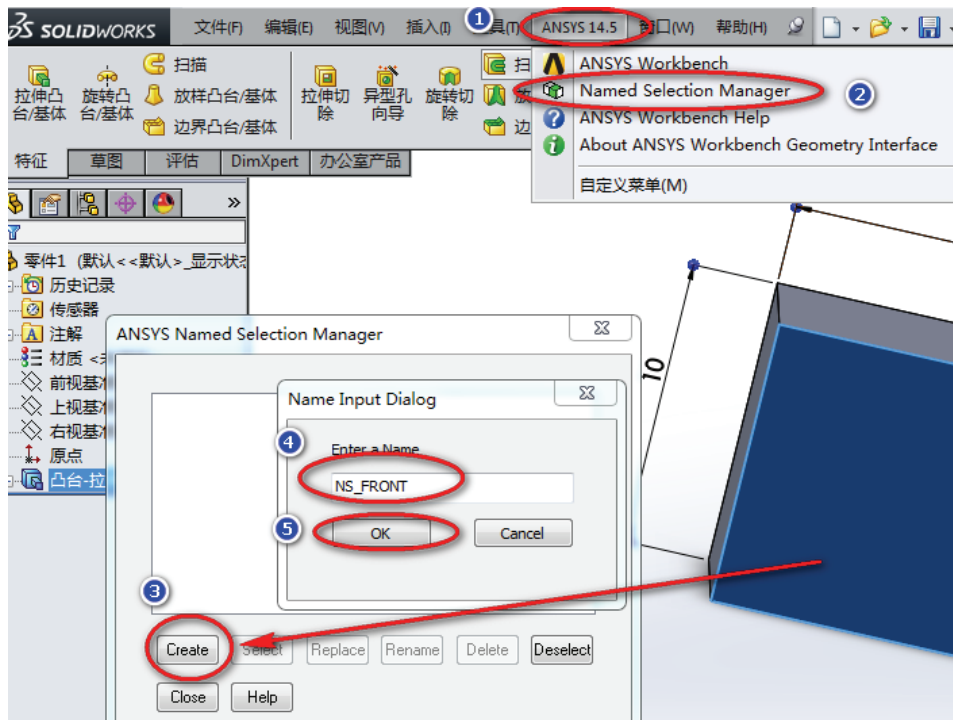


图 3-3 正面命名

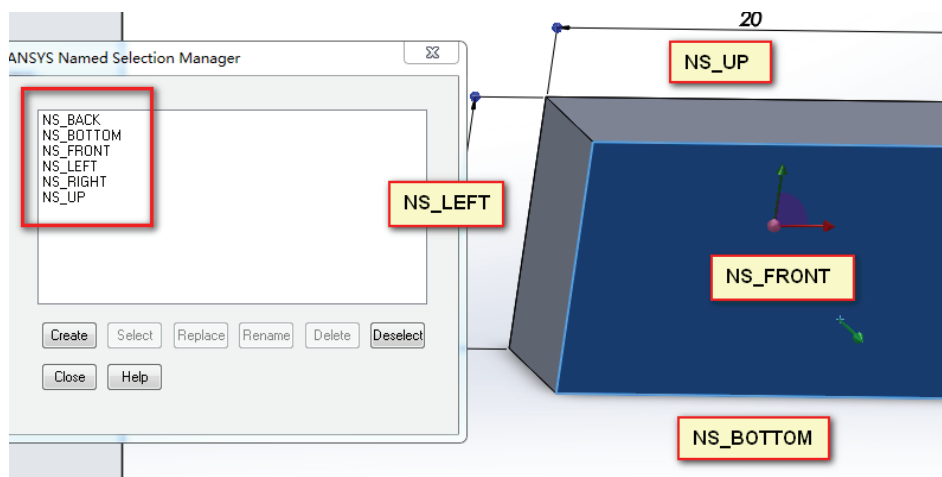


图 3-4 全部命名

第4步：进入 ANSYS Workbench 界面。

在 SolidWorks 2014 主菜单中选择 ANSYS14.5 下的 ANSYS Workbench 命令，进入 ANSYS Workbench 界面，单击 A2 项的 Geometry，然后在 Properties of Schematic A2: Geometry 框中第 19 行 Named Selections 中选中 ，如图 3-5 所示。

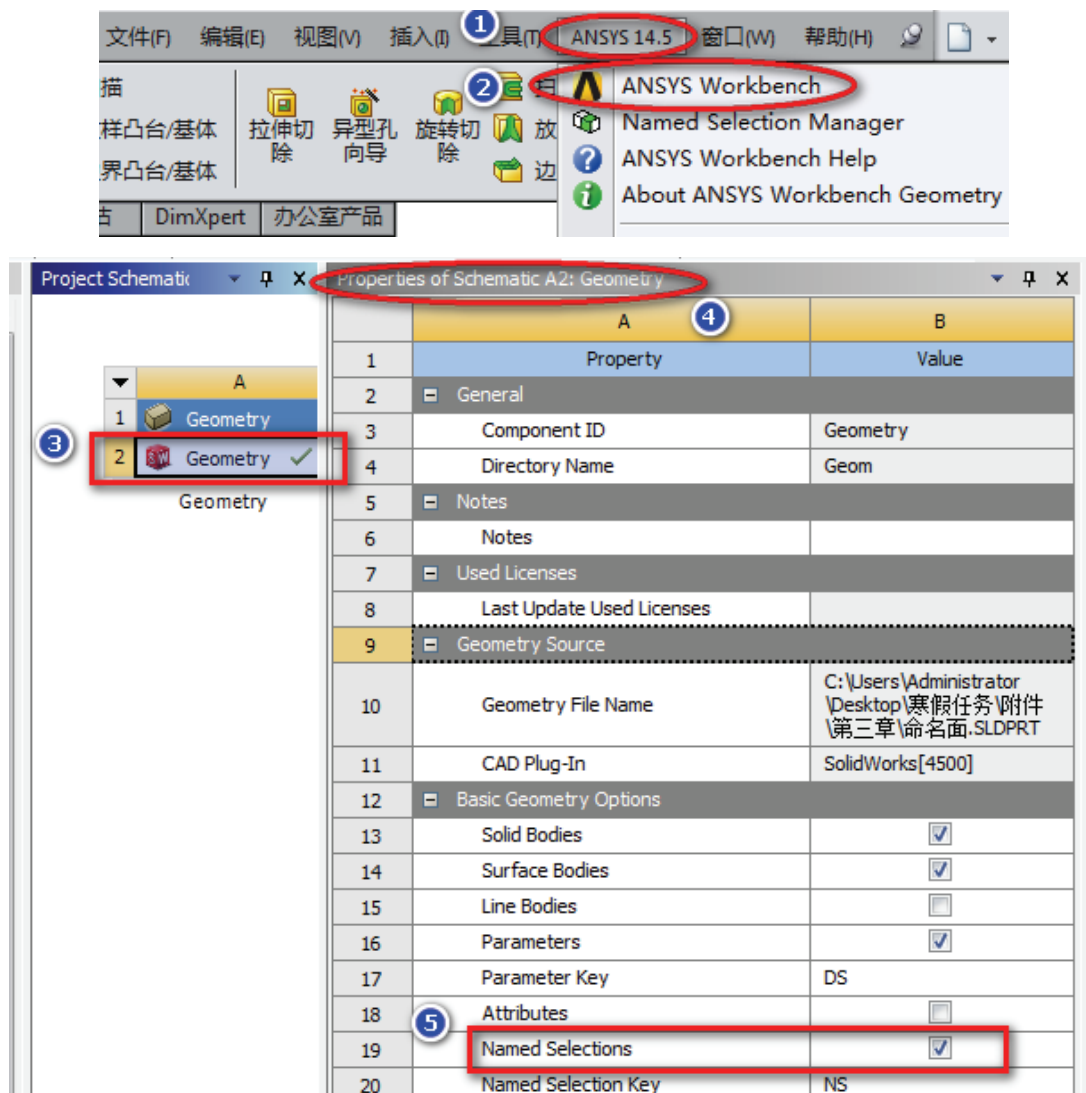


图 3-5 进入 ANSYS Workbench 界面

第5步：创建稳态热

执行 Toolbox→Analysis Systems→Steady-State Thermal 命令，然后单击 Steady-State Thermal 按钮不放，直接拖到 A2 项的 Geometry 项中，操作如图 3-6 所示。

第6步：进入 DM 界面，设置单位。

在 A2 图标上双击，然后会弹出一个对话框，再选择单位 Millimeter，最后单击 OK 按钮，如图 3-7 所示。

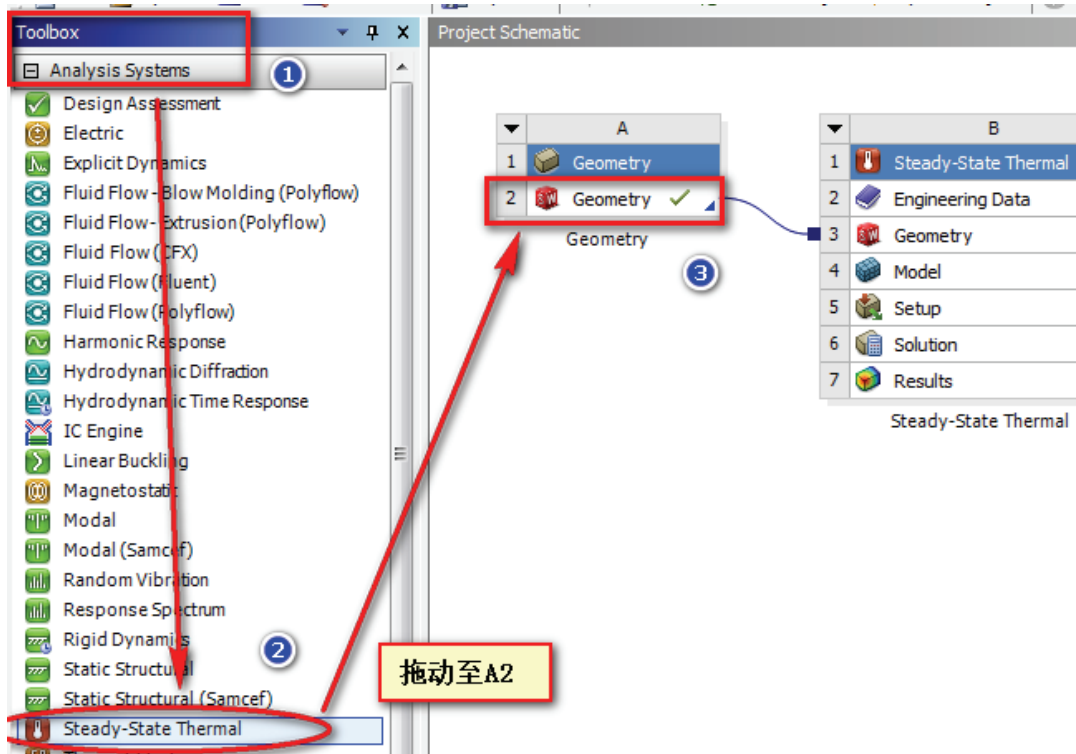


图 3-6 创建稳态热

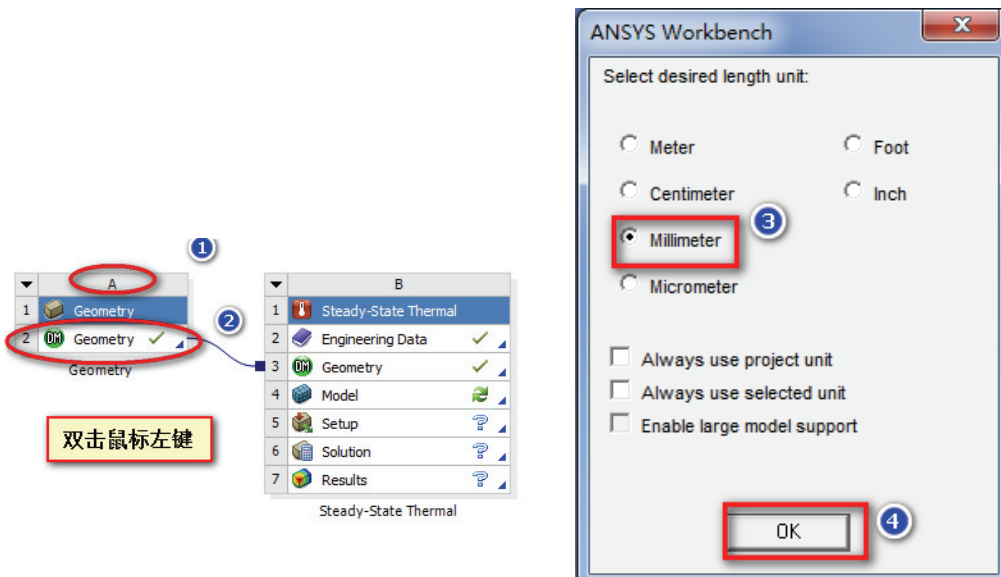


图 3-7 设置单位

第 7 步：生成模型。

进入 DM 界面后，单击菜单工具栏中的 **Generate** 按钮，生成模型如图 3-8 所示。

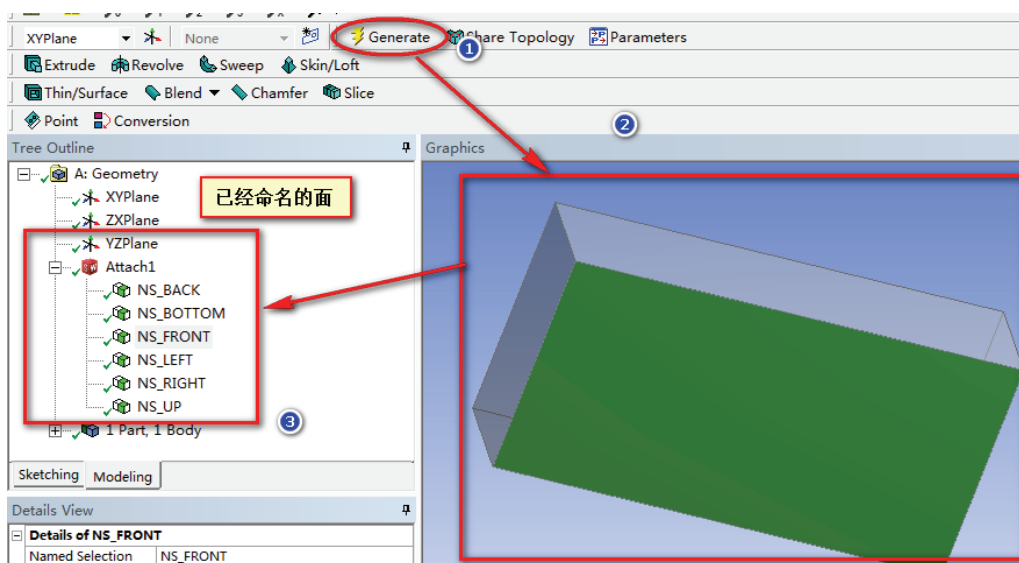


图 3-8 生成模型

第 8 步：进入 Mechanical 界面。

关闭 DM 界面，然后双击 B4 中的 Model，进入 Mechanical 界面，同时会发现 SolidWorks 命名好的各个面，如图 3-9 所示。

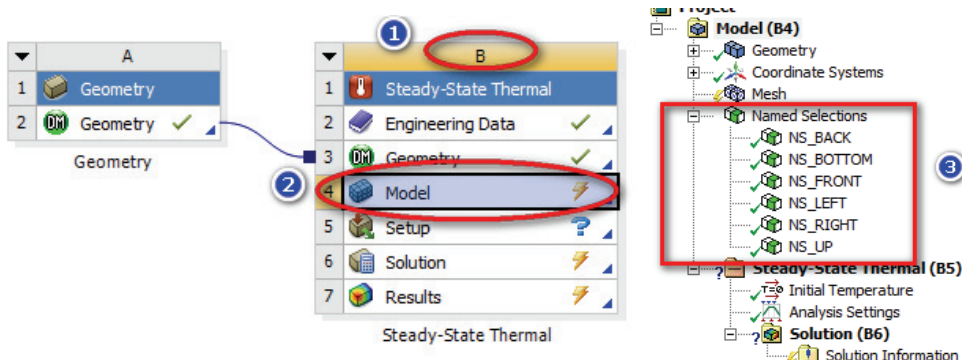


图 3-9 进入 Mechanical 界面

第 9 步：划分网格。

选中 Tree Outline 框中的 Mesh 选项，然后单击右键，选择 Generate Mesh 命令，如图 3-10 所示。

第 10 步：底面温度设置。

选中属性框中的 Steady-State Thermal (B5) 选项，单击工具栏中的 Temperature，在窗口左下角出现的详细栏中进行设置，在 Scoping Method 一栏中设置成 Named Selection”，然后在 Named Selection 一栏中选择 NS_BOTTOM，最后定义温度为 100 °C，操作如图 3-11 所示。

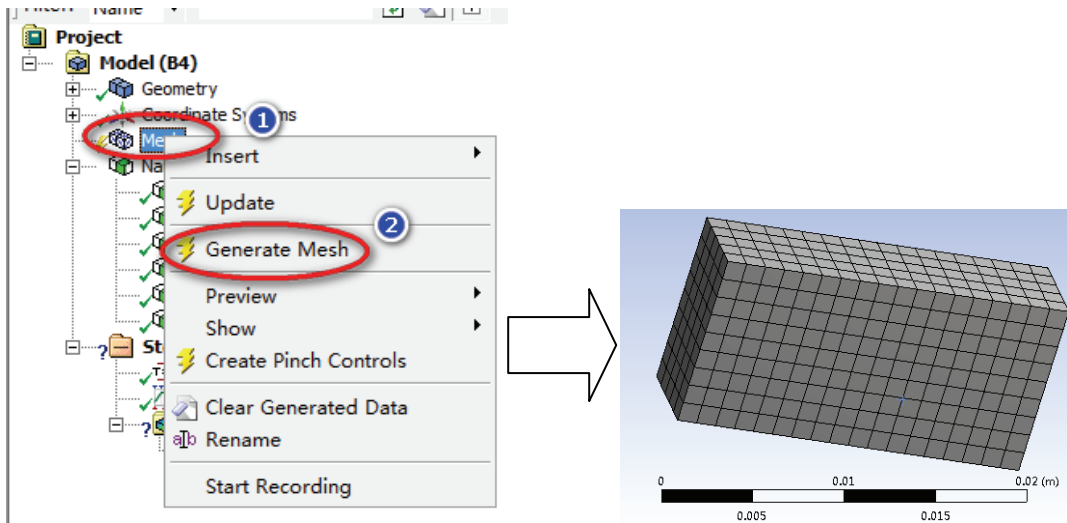


图 3-10 划分网格

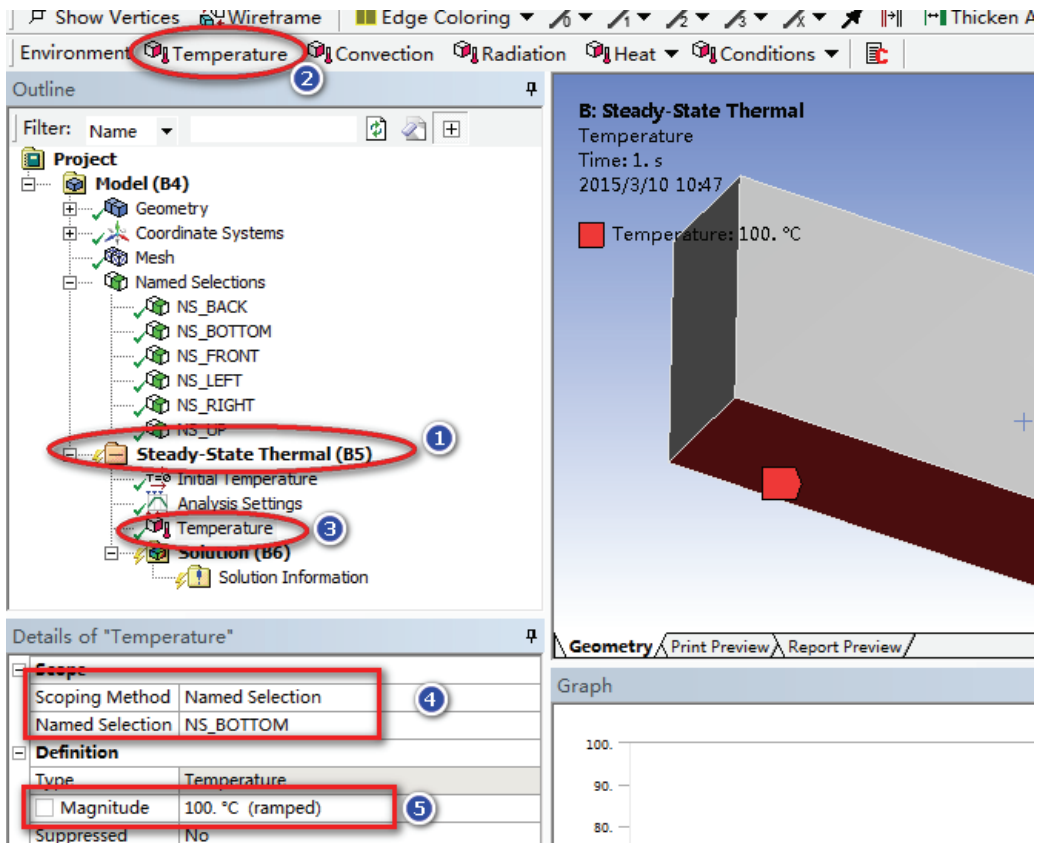


图 3-11 底面温度设置

第 11 步：前面热流率（Heat Flux）设置。

选中属性框中的 Steady-State Thermal (B5) 选项，再在工具栏中选择 Heat 下的 Heat

Flux，窗口左下角出现详细栏对其进行设置，在 Scoping Method 一栏中设置成“Named Selection”，然后在 Named Selection 一栏中选择 NS_FRONT，最后在 Magnitude 一栏中输入“ $1\text{e-}003\text{W/m}^2$ ”，如图 3-12 所示。

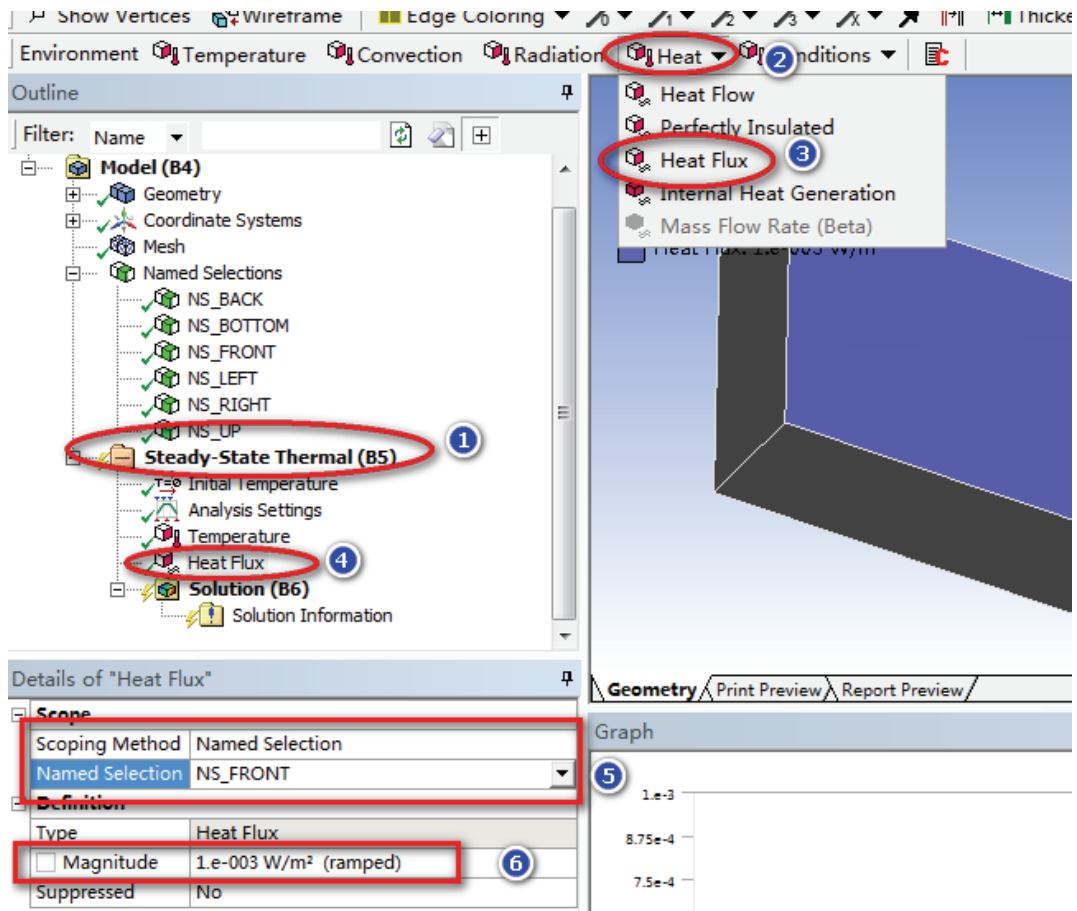



图 3-12 前面热流率 (Heat Flux) 设置

第 12 步：其他 4 个面插入热对流 (Convection)。

选中属性框中的 Steady-State Thermal (B5) 选项，单击工具栏中的 Convection，同时 Tree Outline 框中会出现  Convection 图标，在详细栏中进行设置，单击菜单栏中的面过滤器，然后选择其他没有设置的 4 个面，选择面时按住 Ctrl 键，单击详细栏中 Geometry 一栏中的 Apply 按钮，在 Film Coefficient 一栏中选择 Import...，弹出一个对话框，选中 Stagnant Air-Simplified Case，最后单击 OK 按钮，如图 3-13 所示。

第 13 步：结果后处理。

选中 Tree Outline 框中的 Solution(B6)选项，单击右键，在弹出的快捷菜单中选择 Insert → Thermal → Temperature 命令，如图 3-14 所示。

第 14 步：求解计算。

选中 Tree Outline 框中的 Solution (B6) 选项，单击右键，选择 Solve 命令，如图 3-15 所示。

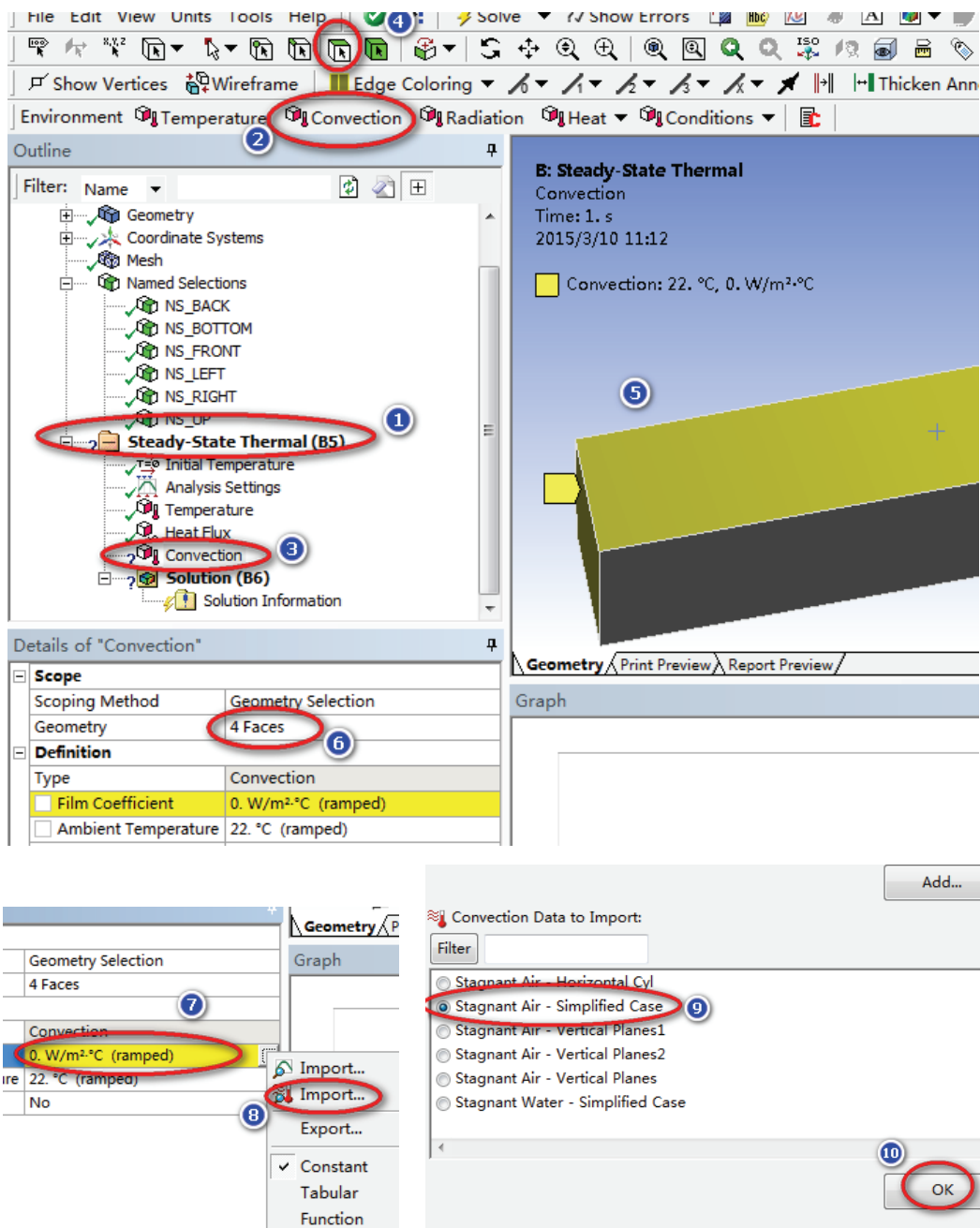


图 3-13 其他 4 个面插入热对流

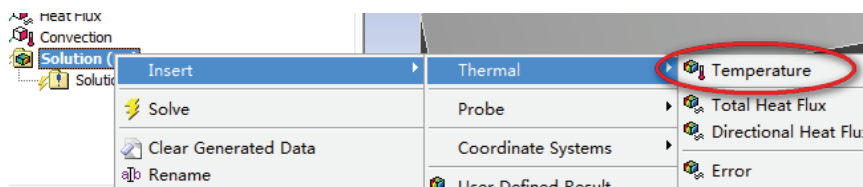


图 3-14 结果后处理

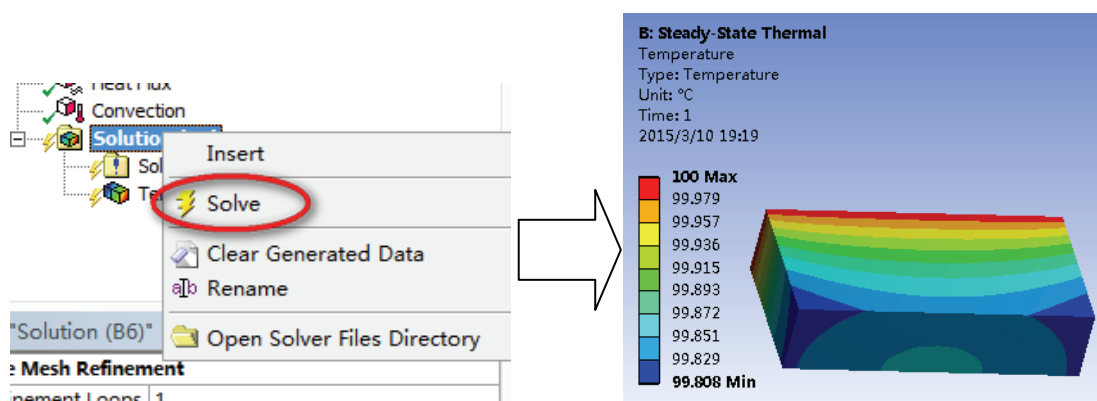


图 3-15 求解计算

第 15 步：创建瞬态热分析。

关闭 Steady-State Thermal-Mechanical 界面，选中 B6 中的 Solution 项，单击右键，选择 Transfer Data To New→Transient Thermal 命令，操作如图 3-16 所示。

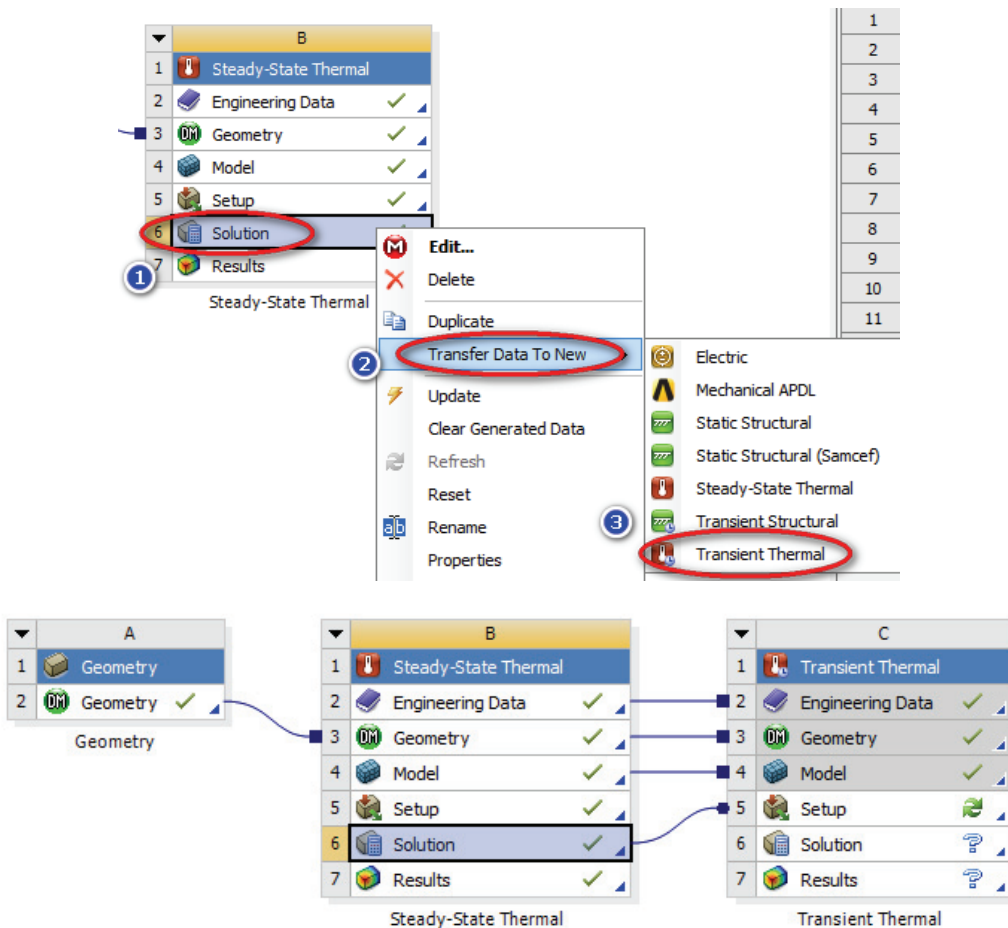


图 3-16 创建瞬态热分析

第 16 步：插入内热生成源。

双击 C5 中的 Setup 项，选中 Tree Outline 框中的 Transient Thermal (C5) 选项，选中菜单栏中的 Heat→Internal Heat Generation 命令，同时在 Tree Outline 框中生成 Internal Heat Generation 图标，选中视图区中的实体，单击详细栏中 Geometry 一栏中的 Apply 按钮，在 Magnitude 一栏中输入 0.00025W/m^3 ，操作如图 3-17 所示。

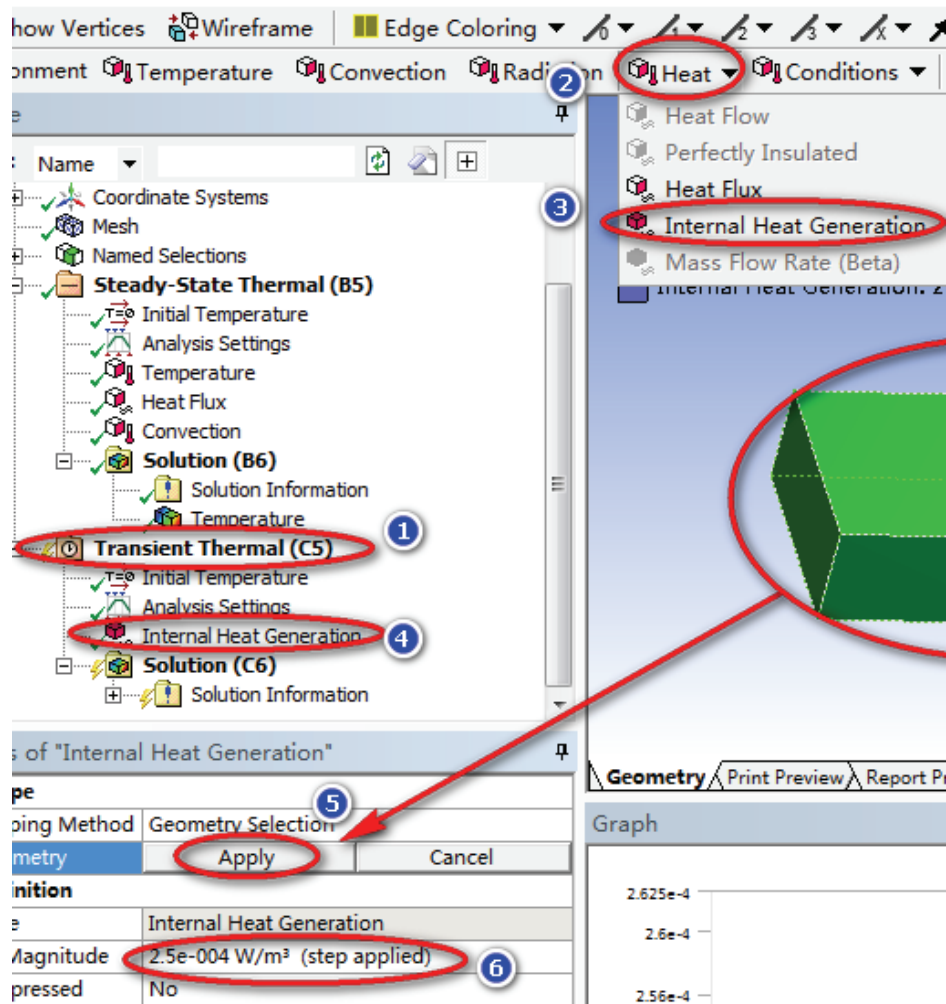


图 3-17 插入内热生成源

第 17 步：底面温度设置。

选中属性框中的 Transient Thermal (C5) 选项，单击工具栏中的 Temperature，在窗口左下角出现的详细栏中进行设置，在 Scoping Method 一栏中设置成 Named Selection，然后在 Named Selection 一栏中选择 NS_BOTTOM，最后定义温度为 $100\text{ }^\circ\text{C}$ ，操作如图 3-18 所示。

第 18 步：结果后处理。

选中 Tree Outline 框中的 Solution (B6) 选项，单击右键，在弹出的快捷菜单中选择 Insert→Thermal→Temperature 命令，操作如图 3-19 所示。

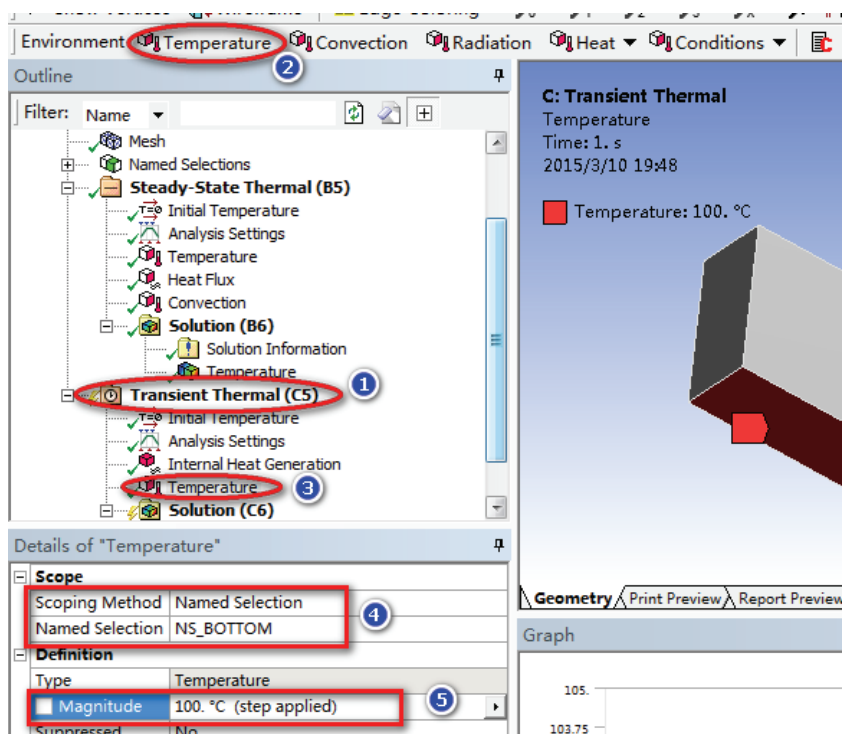


图 3-18 底面温度设置

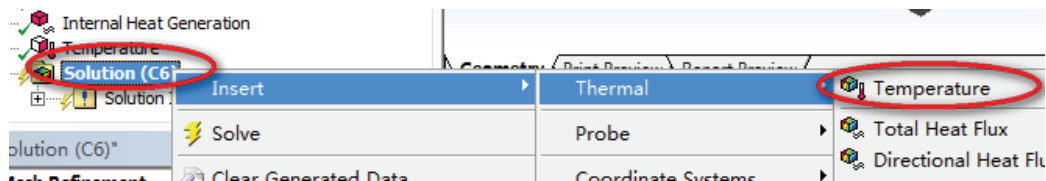


图 3-19 结果后处理

第 19 步：求解计算。

选中 Tree Outline 框中的 Solution (C6) 选项，单击右键，选择 Solve 命令，操作如图 3-20 所示。温度随时间变化的结果如图 3-21 所示。

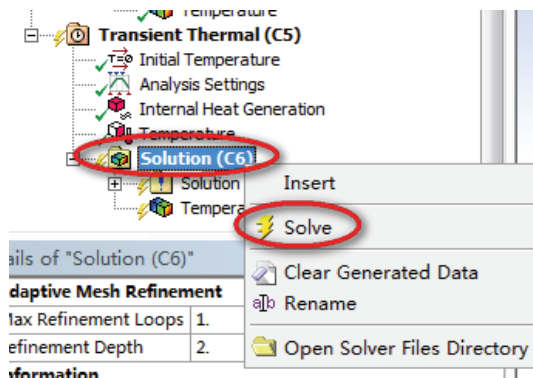


图 3-20 求解计算

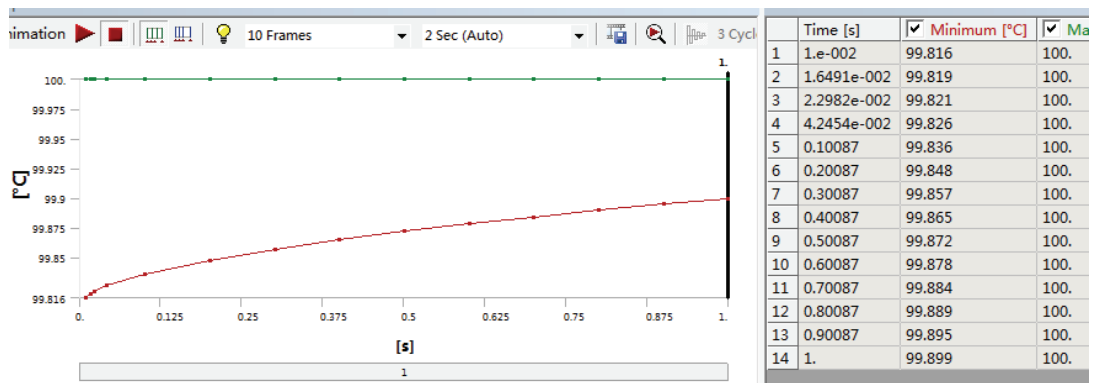


图 3-21 温度随时间变化结果

第 20 步: 创建热-结构耦合分析。

关闭 Multiple Systems-Mechanical 界面, 选中 B6 中的 Solution 项, 单击右键, 选择 Transfer Data to New→Static Structural 命令, 操作如图 3-22 所示。

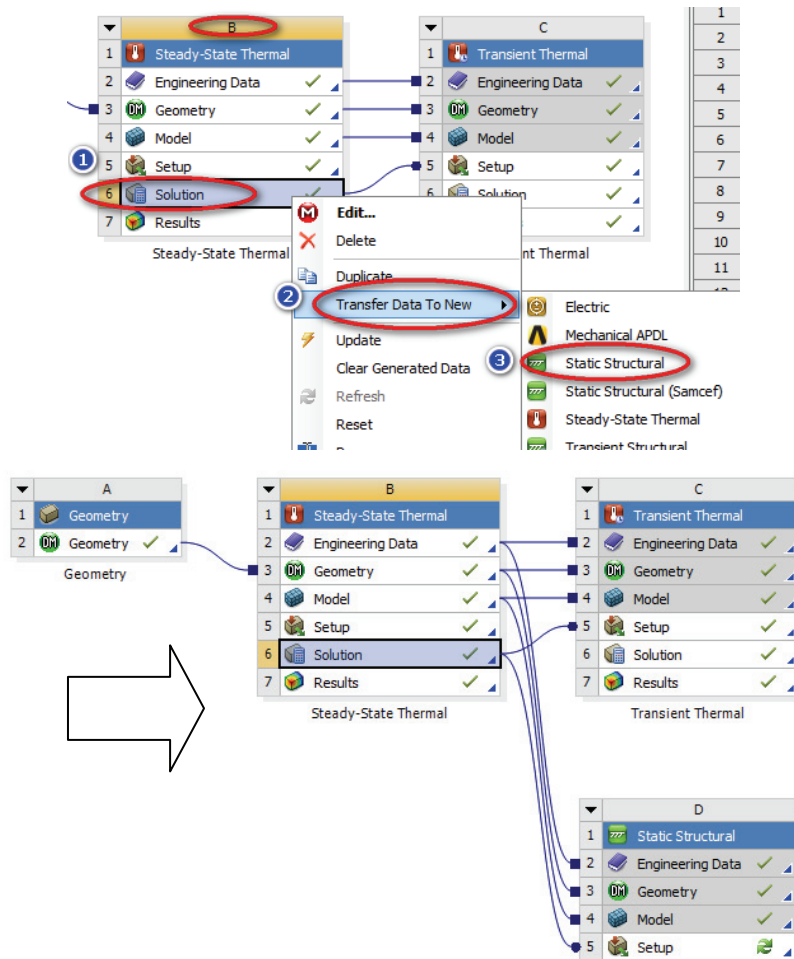


图 3-22 创建热-结构耦合

第 21 步：插入光滑支撑。

双击 D5 中的 Setup 项，进入 Multiple Systems-Mechanical 界面，选择 Tree Outline 框中的 Static Structural (D5) 选项，然后执行菜单栏中的 Support→Frictionless Support 命令，同时在 Tree Outline 框中生成 Frictionless Support 图标，选中实体中的 NS_BOTTOM、NS_UP 两个面，然后单击详细栏中 Geometry 一栏中的 Apply 按钮，操作过程如图 3-23 所示。

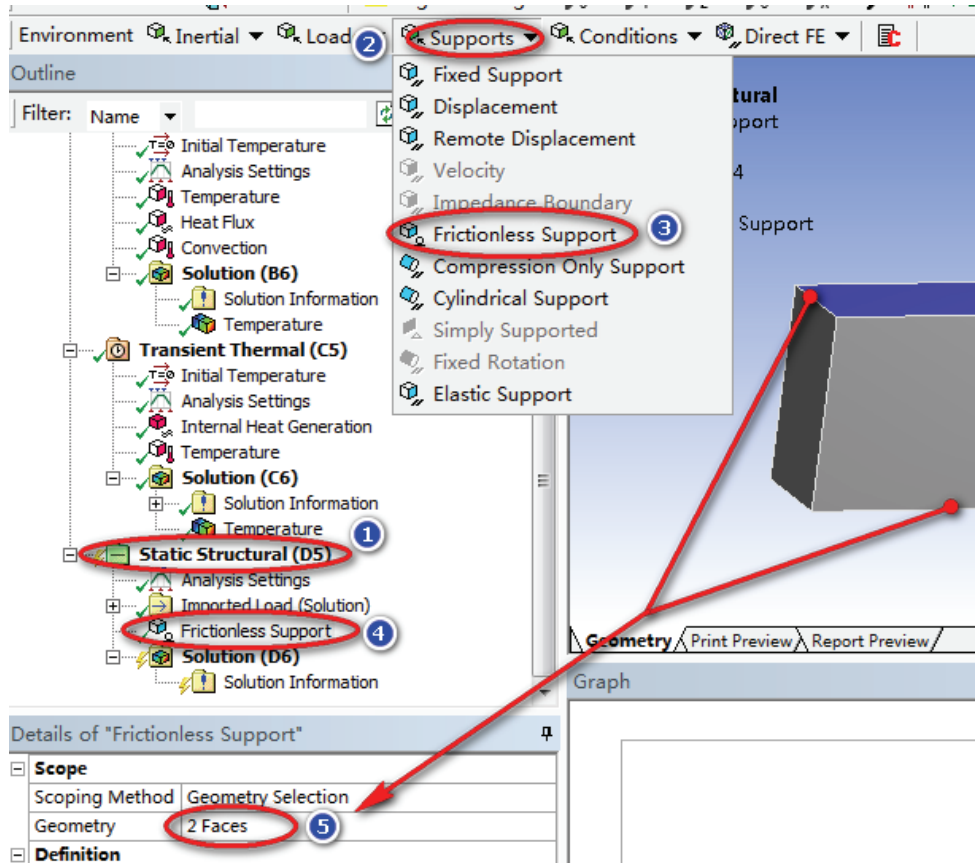



图 3-23 插入光滑支撑

第 22 步：施加位移约束。

为防止模型发生刚体位移，故对任意一顶点给定位移。选择 Tree Outline 框中的 Static Structural (D5) 选项，然后执行 Support→Displacement 命令，同时在 Tree Outline 框中生成一个  Displacement 图标，在过滤器中选择过滤点，再在视图区中选中长方体上的任意一点，单击详细栏中的 Apply 按钮，定义位移为：X=0，Y=0，Z=Free，操作如图 3-24 所示。

第 23 步：结果后处理。

选中 Tree Outline 框中的 Solution (D6) 选项，单击右键，在弹出的快捷菜单中选择 Inset→Stress→Equivalent (von-Mises) 命令，操作如图 3-25 所示。

第 24 步：求解计算。

选中 Tree Outline 框中的 Solution (D6) 选项，单击右键，选择 Solve 命令，操作如图 3-26 所示。温度随时间变化的结果如图 3-27 所示。

第 25 步：保存退出。

单击 Mechanical 界面右上角的“关闭”按钮，返回到 Workbench 界面，单击菜单栏中的 Save 按钮，选择用户要保存的位置，并命名为“SolidWorks 2014 与 ANSYS Workbench 协同仿真传热分析”，保存类型为“wbj”格式，操作如图 3-28 所示。

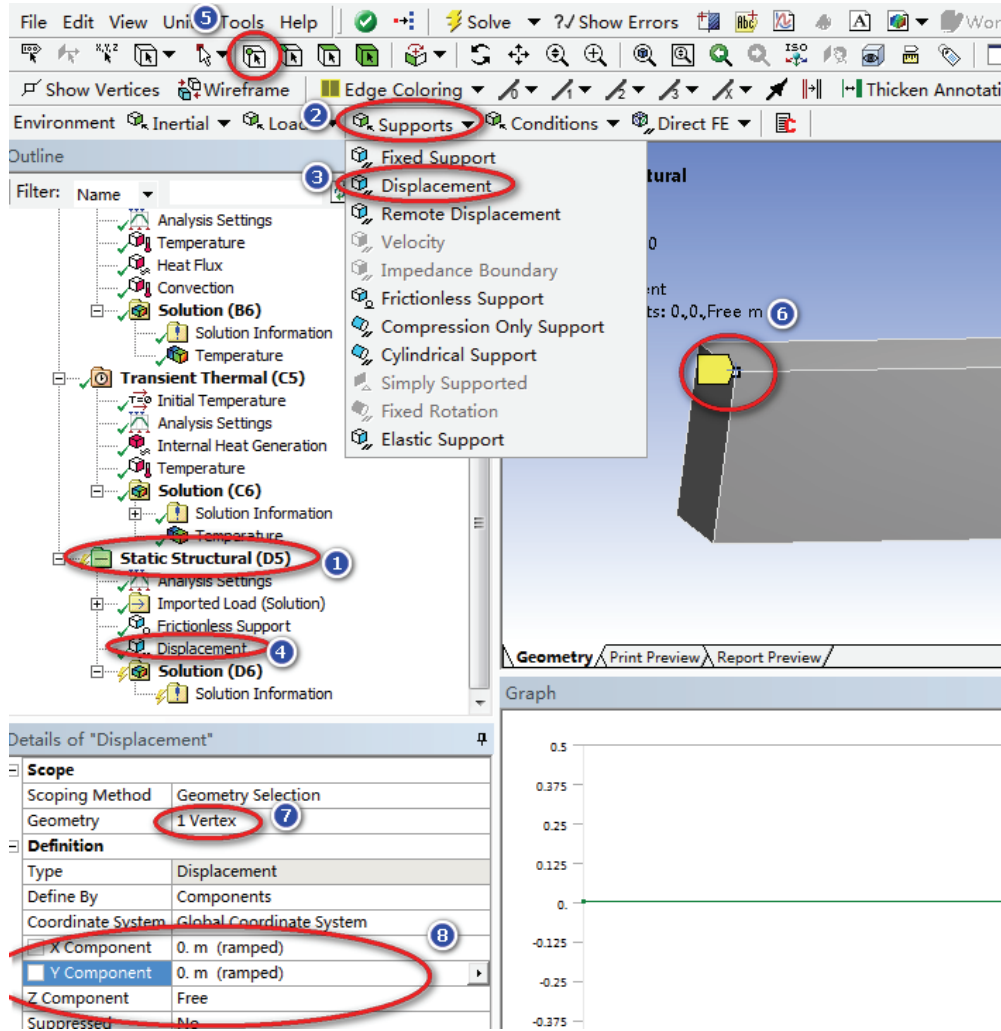


图 3-24 施加位移约束

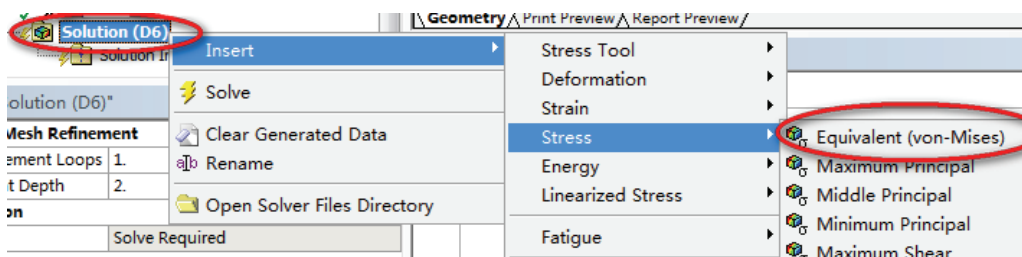


图 3-25 插入等效应力

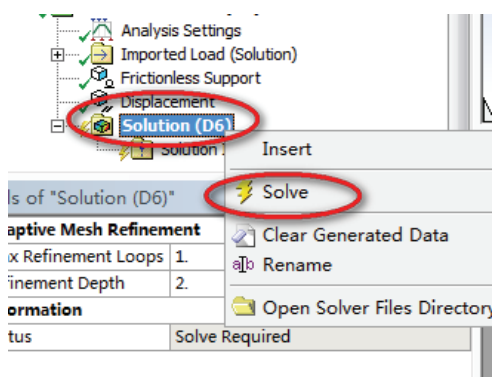


图 3-26 求解计算

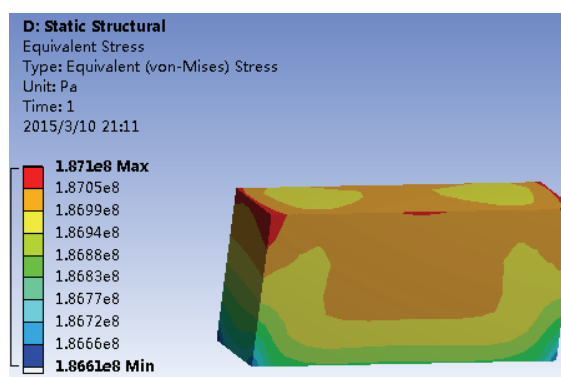


图 3-27 计算结果

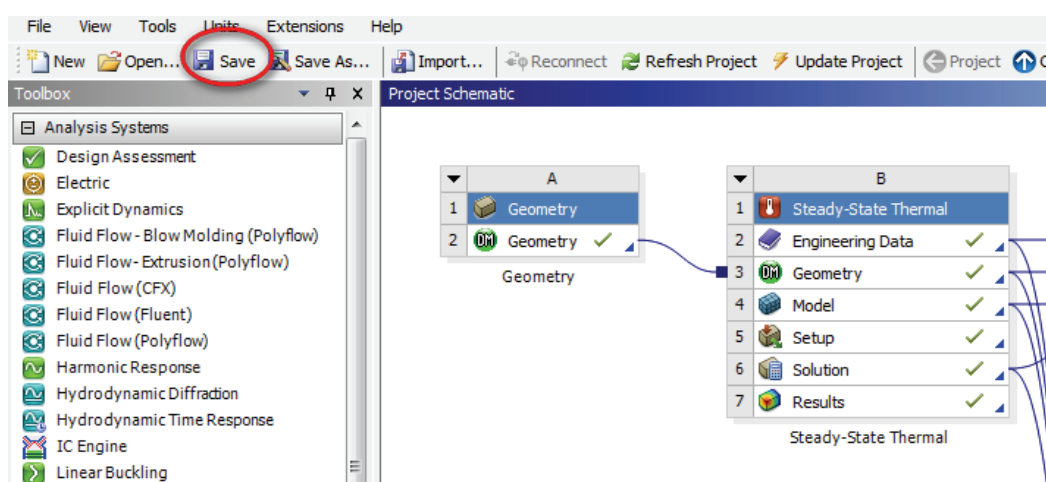


图 3-28 保存文件

3.3.2 稳态热分析

对一个杯子进行稳态热分析，模型如图 3-29 所示。

第 1 步：创建几何项目。

单击 Toolbox 下面的 Component Systems 前面的+按钮，再双击 Component Systems 下面的 Geometry 图标，操作如图 3-30 所示。

第 2 步：导入外部模型。

选中 Geometry 选项，然后单击右键，在弹出的快捷菜单中选择 Import Geometry 后面的 Browse 命令，然后导入“杯子.SLDPRT”文件，如图 3-31 所示。

第 3 步：进入 DM 界面，设置单位。

在 A2 图标上双击，或者单击右键，然后再选择 New Geometry 命令进入到绘图界面，会弹出一个对话框，再选择单位 Millimeter，最后单击 OK 按钮，如图 3-32 所示。

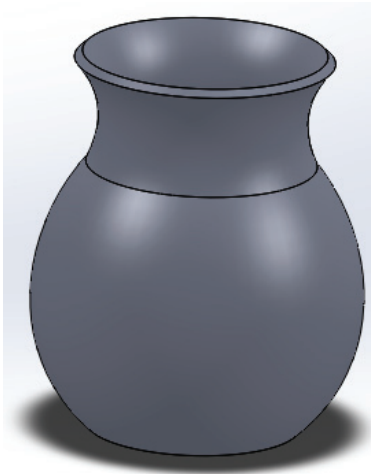


图 3-29 模型

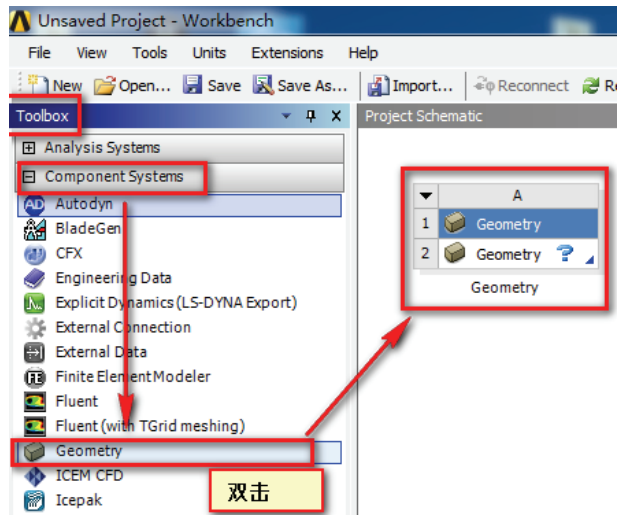


图 3-30 Geometry 打开界面

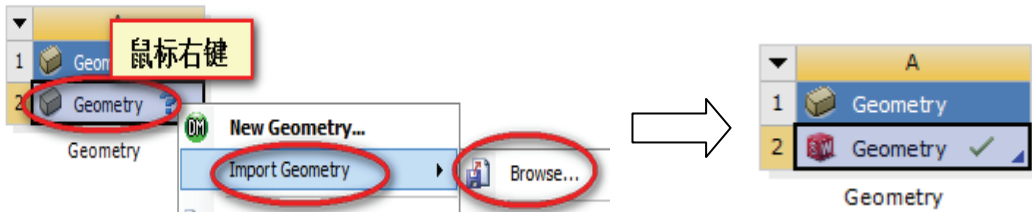


图 3-31 导入外部文件

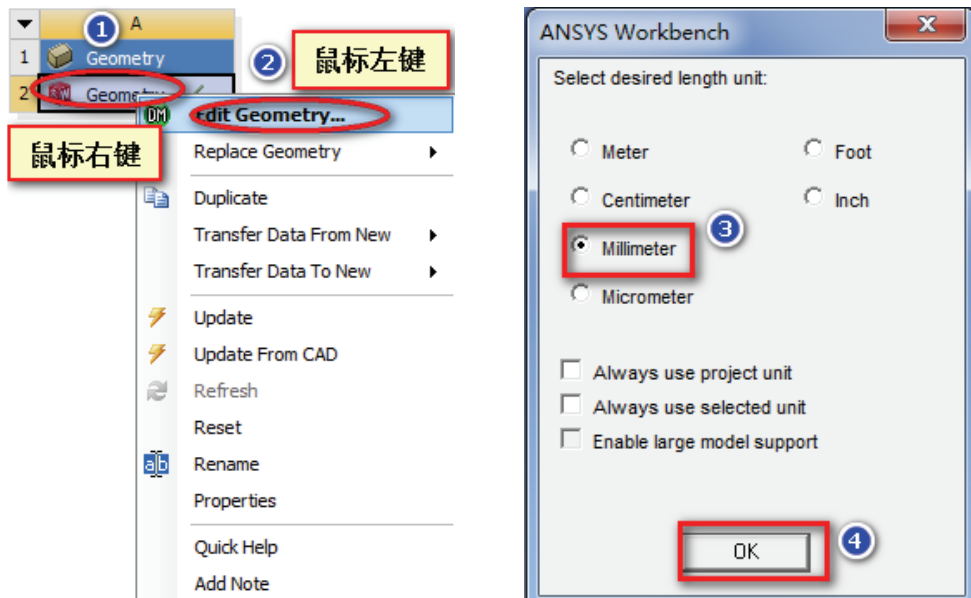


图 3-32 进入 DM 界面

第4步：生成模型。

单击菜单工具栏中的 Generate 按钮，如图 3-33 所示。

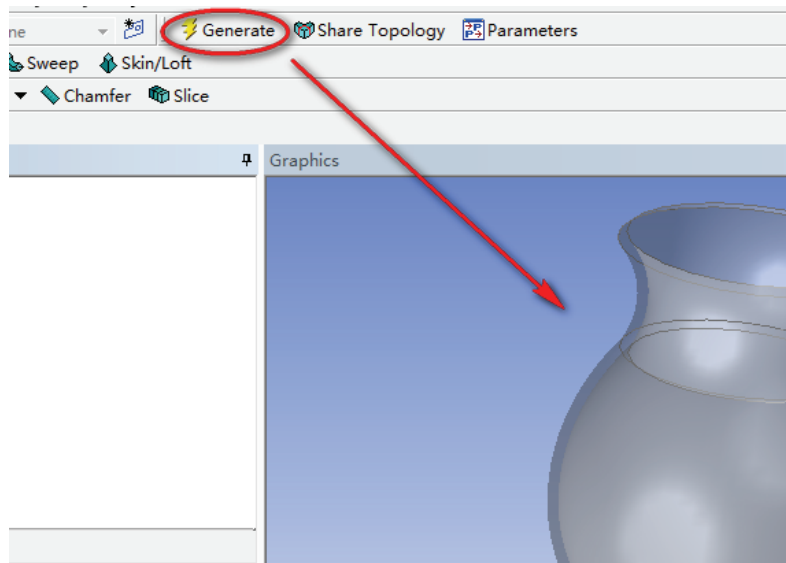


图 3-33 生成模型

第5步：创建稳态热。

关闭 DM 界面，然后执行 Toolbox→Analysis Systems→Steady-State Thermal 命令，然后单击 Steady-State Thermal 按钮不放，直接拖到 A2 项的 Geometry 中，操作如图 3-34 所示。

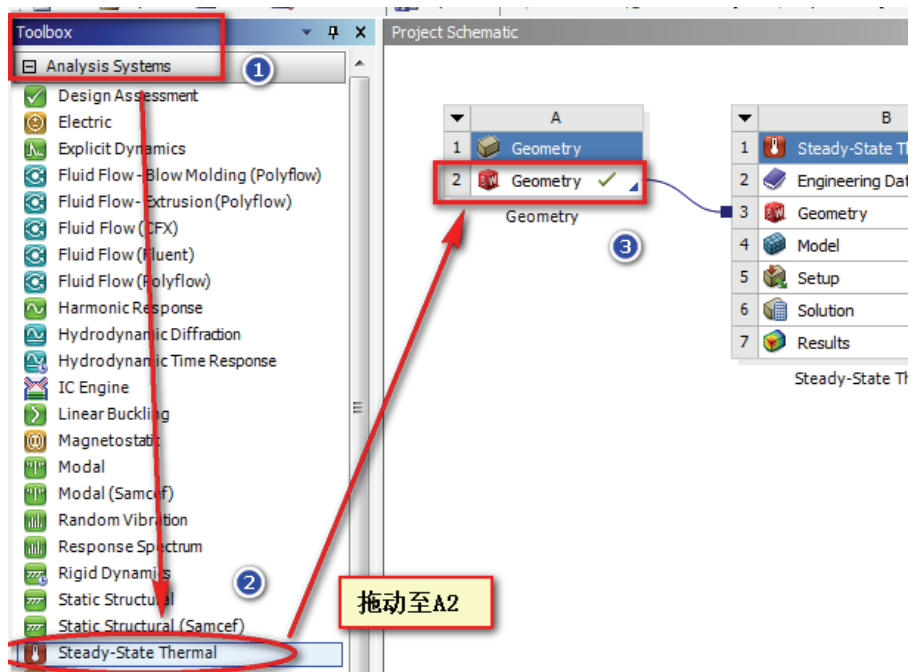


图 3-34 创建稳态热

第 6 步：进入材料编辑界面。

双击 B2 项中的 Engineering Data，进入材料编辑界面，如图 3-35 所示。

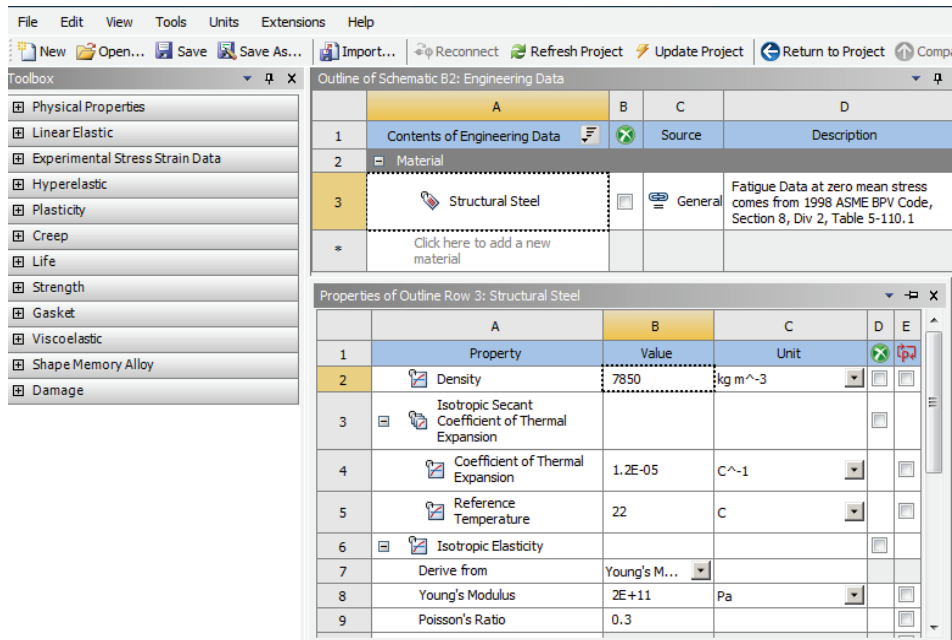


图 3-35 材料编辑界面

第 7 步：材料的设置。

单击菜单栏中的 按钮，然后选择 Engineering Data Sources 框中的 General Materials，此时会生成一个 Outline of General Materials 对话框，然后选择里面的 A4 中的 Structural Steel，单击该栏后面的 按钮，然后会在 C 栏中出现 图标，说明材料已经选中了（结构钢是默认的材料，所以后面的 按钮已经出现），同时单击 A4 栏时，下面会出现结构钢的材料性质介绍栏 Properties of Outline Row 3: Structural Steel，最后单击工具栏中的 Return to Project 命令，操作如图 3-36 所示。

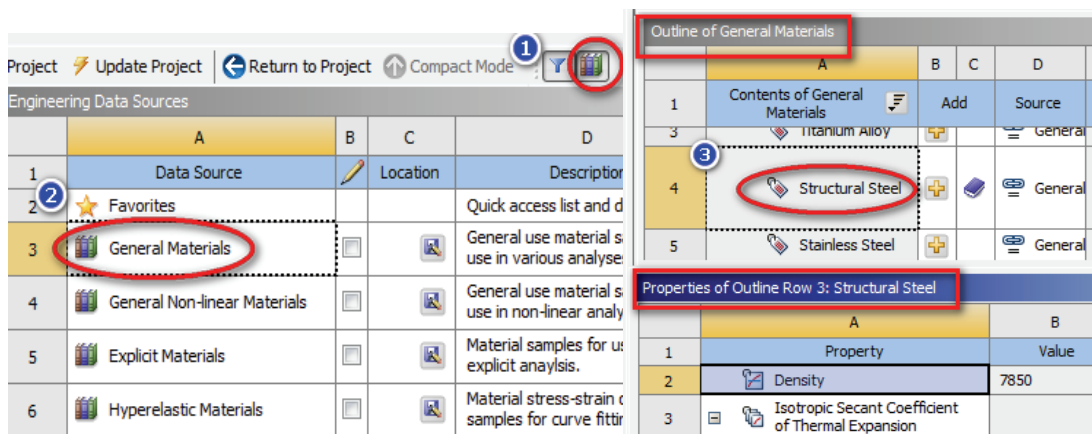


图 3-36 材料的编辑

第8步：进入 Mechanical 界面。

双击稳态热分析流程图中的 B4 栏中的 Model 选项，进入 Mechanical 界面，界面窗口如图 3-37 所示。

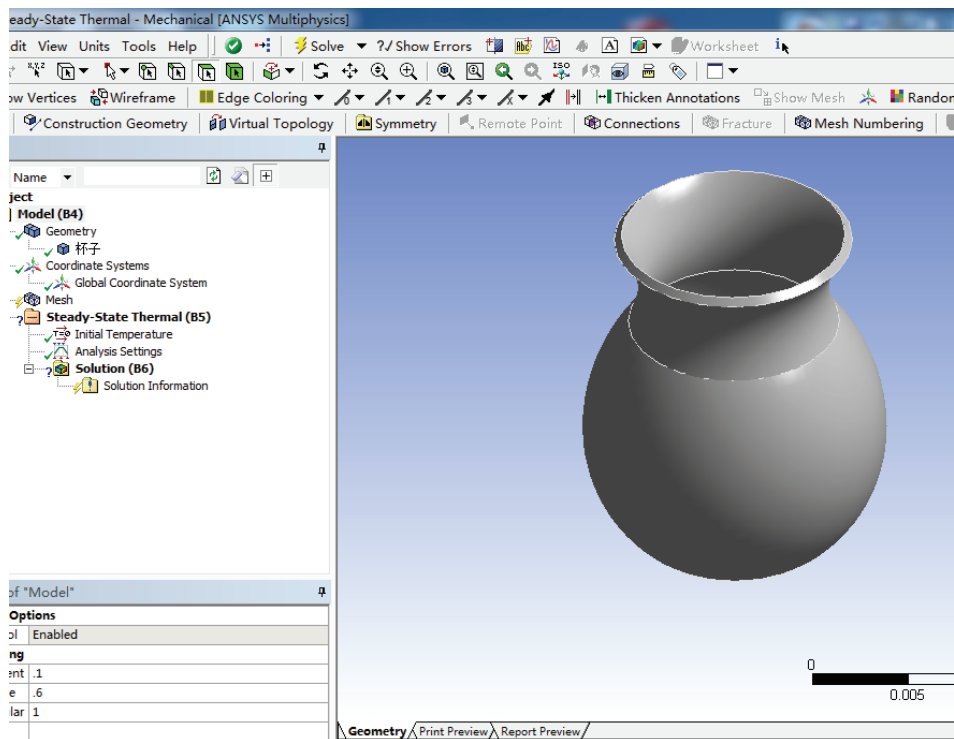


图 3-37 Mechanical 界面

第9步：赋予模型材料。

单击 Tree Outline 框中 Geometry 下的“杯子”选项，然后在窗口左下角出现线体的详细栏，将 Material 栏下的 Assignment 一栏选中第7步中已经编辑好的材料 Structural Steel（注意：结构钢是默认材料，所以在详细栏中显示的即是该材料），操作如图 3-38 所示。

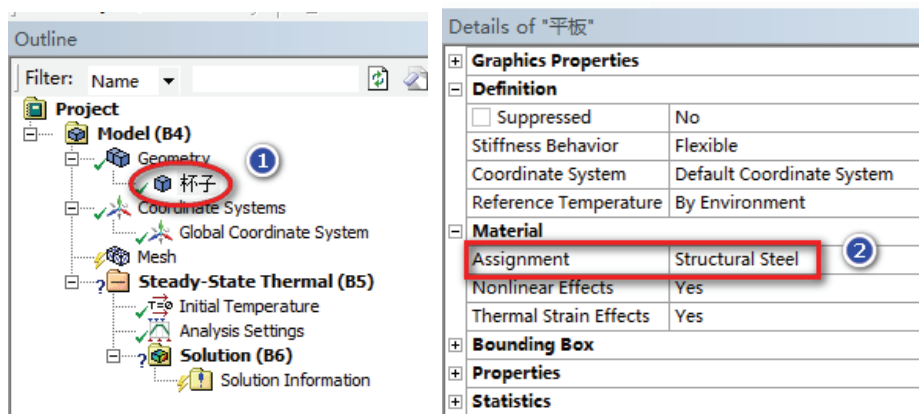


图 3-38 赋予模型材料

第 10 步：划分网格设置。

选中 Tree Outline 框中的 Mesh，然后在窗口左下角出现网格的详细栏，将 Sizing 栏下面的 Relevance Center 一栏设置成 Fine，其他选项保持默认即可，操作如图 3-39 所示。

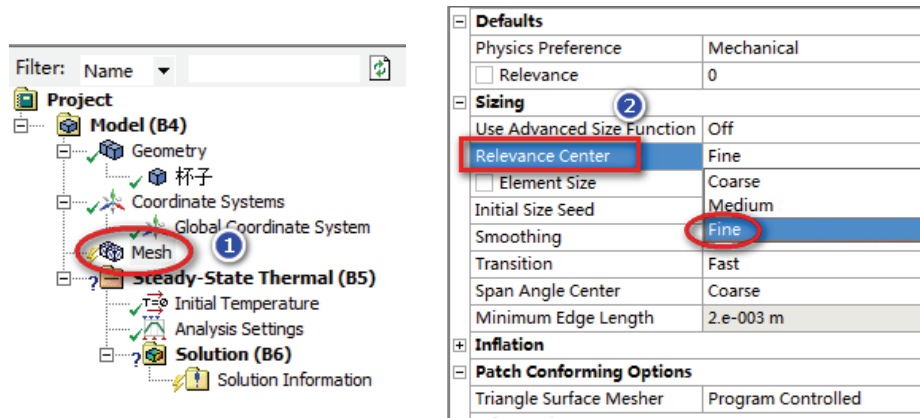


图 3-39 划分网格设置

第 11 步：生成网格。

网格设置完成后，选中 Tree Outline 框中的 Mesh 选项，再单击右键，弹出一个快捷菜单，然后选中 Generate Mesh 命令，操作如图 3-40 所示，最后生成网格如图 3-41 所示。

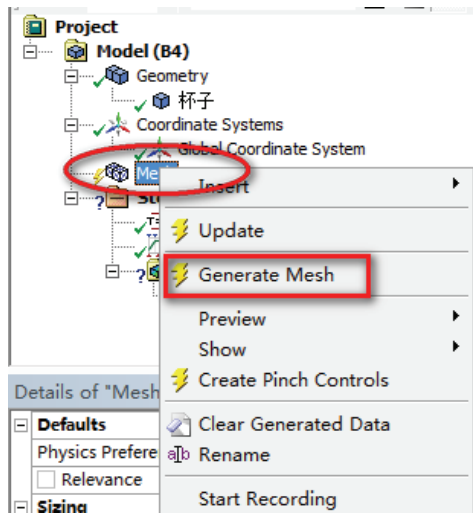


图 3-40 生成网格操作

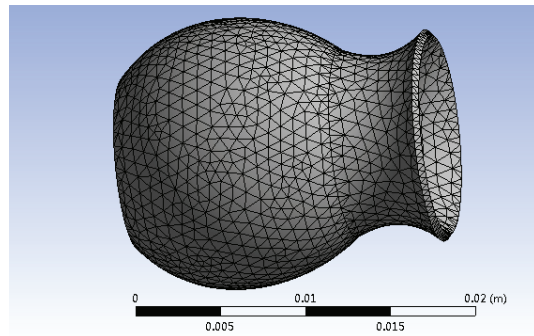



图 3-41 生成的网格

第 12 步：杯底温度设置。

选中属性框中的 Steady-State Thermal (B5) 选项，单击工具栏中的 Temperature，同时在 Tree Outline 框中出现  Temperature 图标，在窗口左下角出现的详细栏中进行设置，选中杯子的底面，然后单击详细栏中的 Apply 按钮，最后在 Magnitude 一栏中定义温度为 100°C，操作如图 3-42 所示。

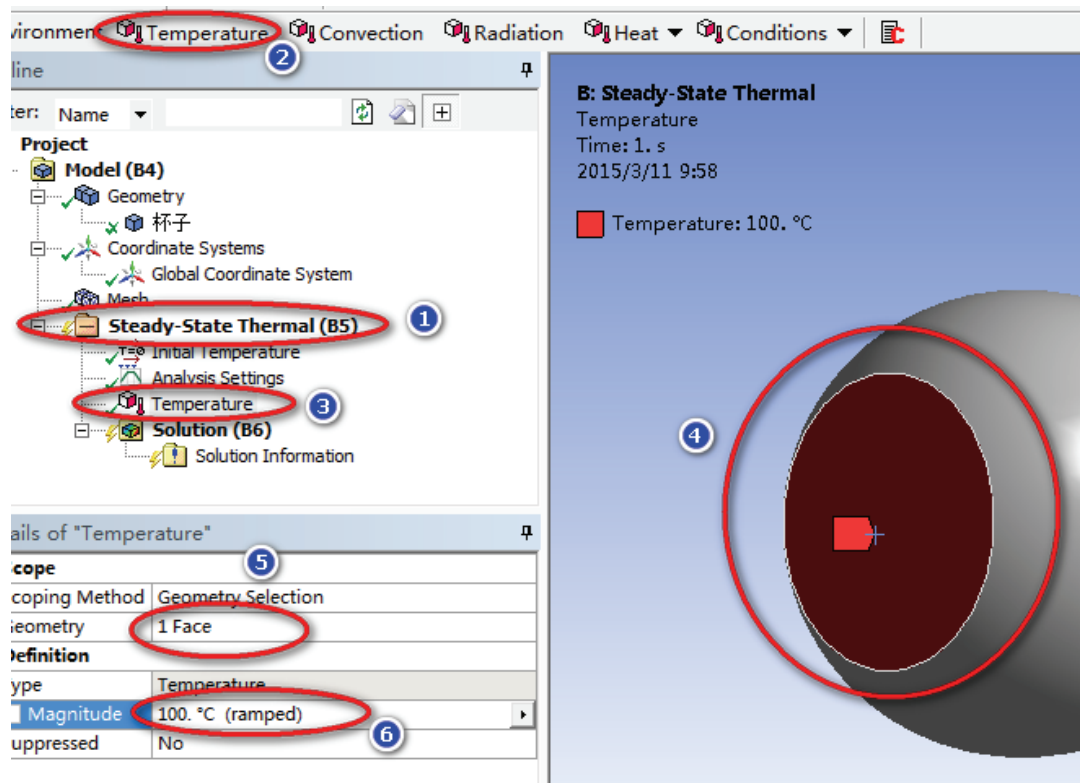



图 3-42 杯底温度设置

第 13 步：添加热对流。

选中属性框中的 Steady-State Thermal (B5) 选项，单击工具栏中的 Convection，同时在 Tree Outline 框中会出现  Convection 图标，在详细栏中进行设置，单击菜单栏中的面过滤，然后选择杯子外表面的两个面，选择面时按住 Ctrl 键，单击详细栏中 Geometry 一栏中的 Apply 按钮，在 Film Coefficient 一栏中选择 Import...，弹出一个对话框，选中 Stagnant Air-Simplified Case，最后单击 OK 按钮，操作如图 3-43 所示。

第 14 步：结果后处理。

选中 Tree Outline 框中的 Solution (B6) 选项，单击右键，在弹出的快捷菜单中选择 Inset → Thermal → Temperature 命令，操作如图 3-44 所示。

第 15 步：求解计算。

选中 Tree Outline 框中的 Solution (B6) 选项，单击右键，选择 Solve 命令，操作如图 3-45 所示。

第 16 步：保存退出。

单击 Mechanical 界面右上角的“关闭”按钮，返回到 Workbench 界面，单击菜单栏中的 Save 按钮，选择用户要保存的位置，并命名为“beizi”，保存类型为“wbpj”格式，操作如图 3-46 所示。

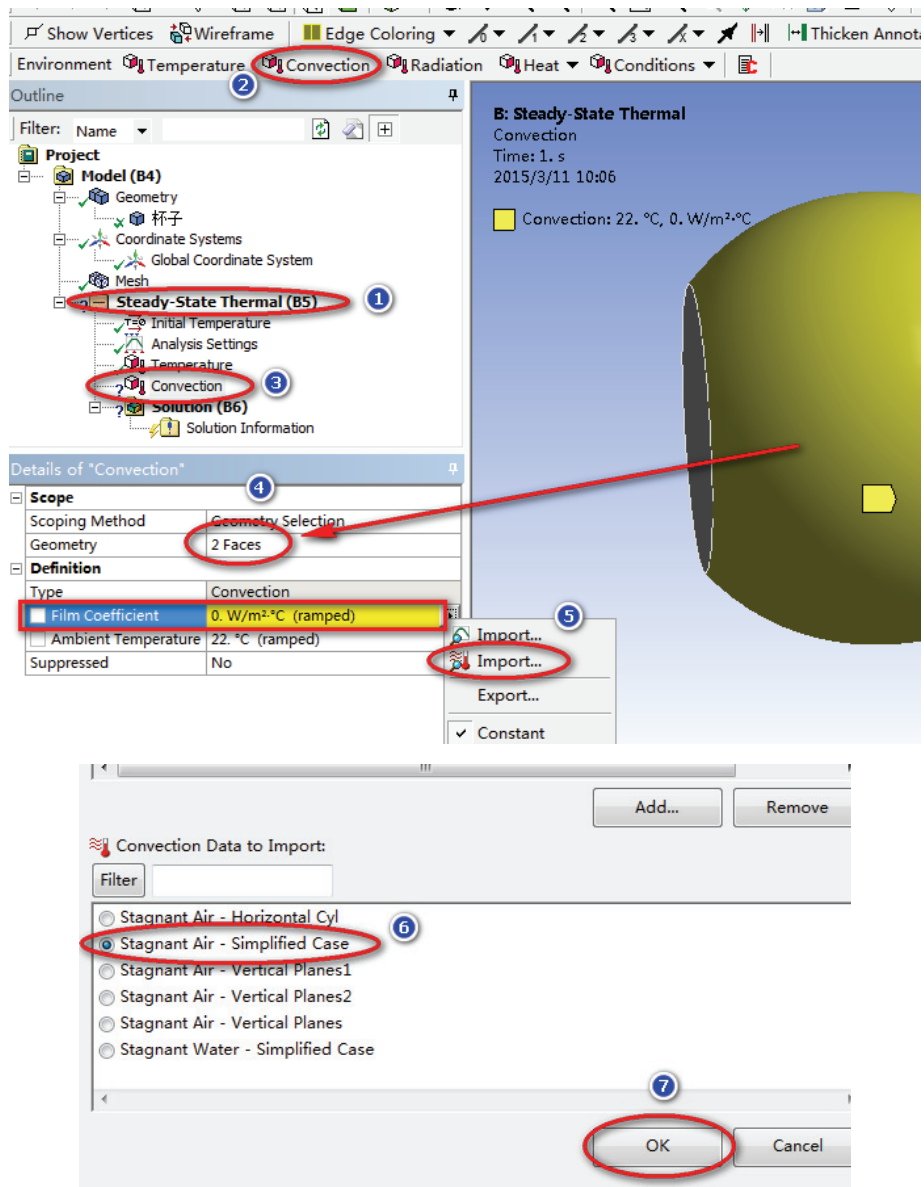


图 3-43 添加对流

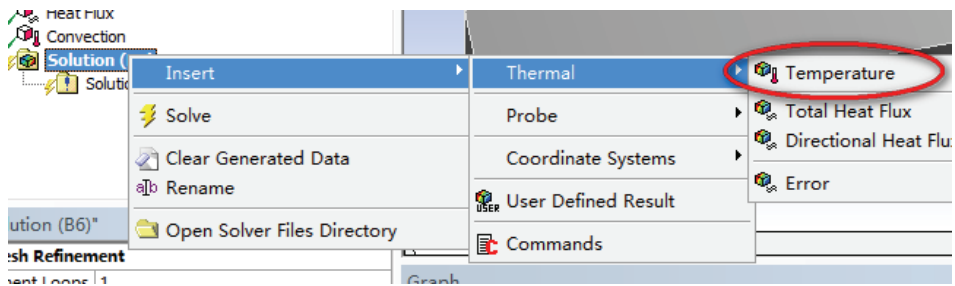


图 3-44 结果后处理

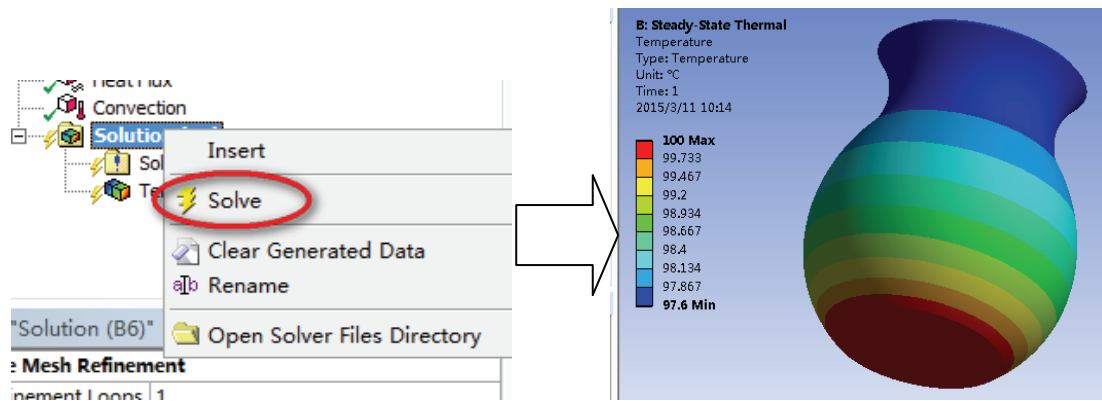


图 3-45 求解计算

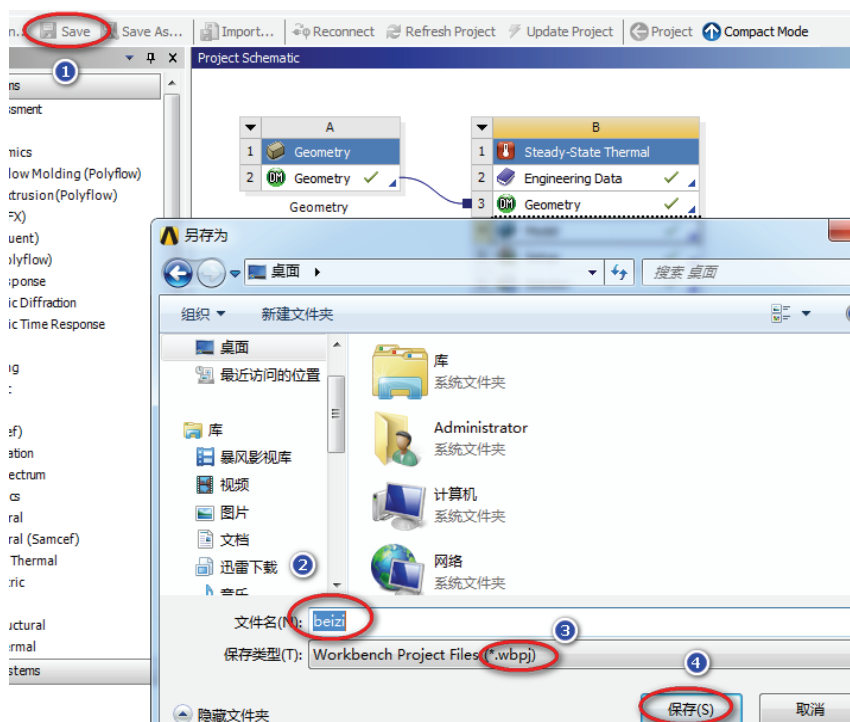


图 3-46 保存文件

3.3.3 高温均质混合器模型热分析

高温均质混合器是某化工厂用于配制试剂配方的工艺模型，如图 3-47 所示。赋予其不锈钢材料，对其进行热稳态分析与热-结构耦合分析。

第 1 步：创建几何项目。

单击 Toolbox 下面的 Component Systems 前面的+按钮，再双击 Component Systems 下面的 Geometry 图标，如图 3-48 所示。

126

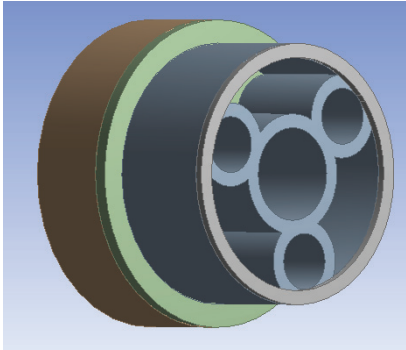


图 3-47 模型

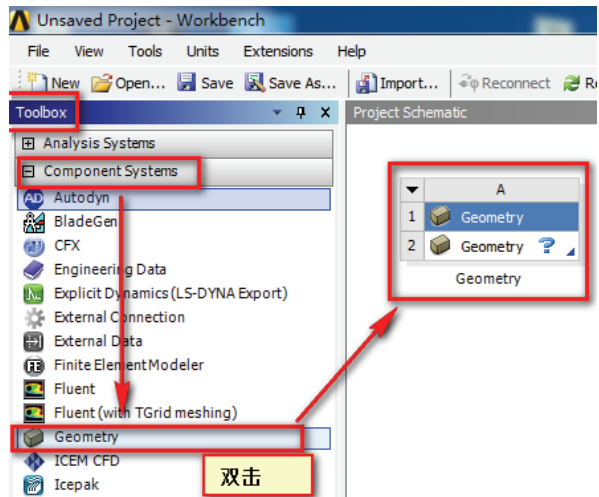


图 3-48 Geometry 打开界面

第 2 步：导入外部模型。

选中 Geometry 选项，然后单击右键，在弹出的快捷菜单中选择 Import Geometry 后面的 Browse 命令，然后导入“hunheqi.x_t”文件，如图 3-49 所示。



图 3-49 导入外部文件

第 3 步：进入 DM 界面，设置单位。

在 A2 图标上双击，或者单击右键，然后再选择 New Geometry 命令进入到绘图界面，会弹出一个对话框，再选择单位 Millimeter，最后单击 OK 按钮，如图 3-50 所示。

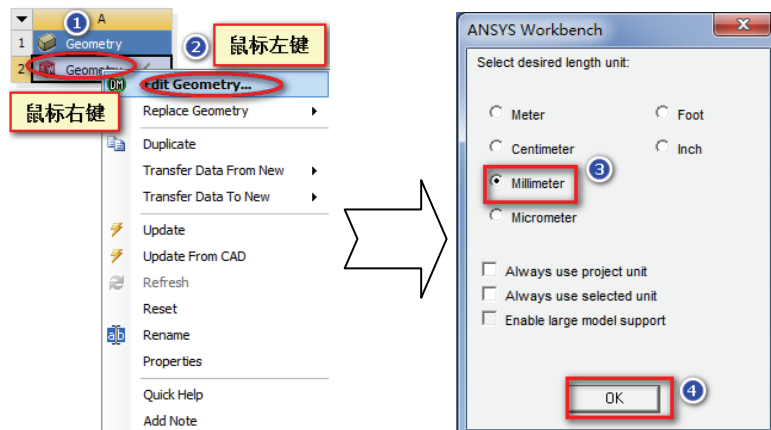


图 3-50 进入 DM 界面

第4步：生成模型。

单击菜单工具栏中的 Generate 按钮，如图 3-51 所示。

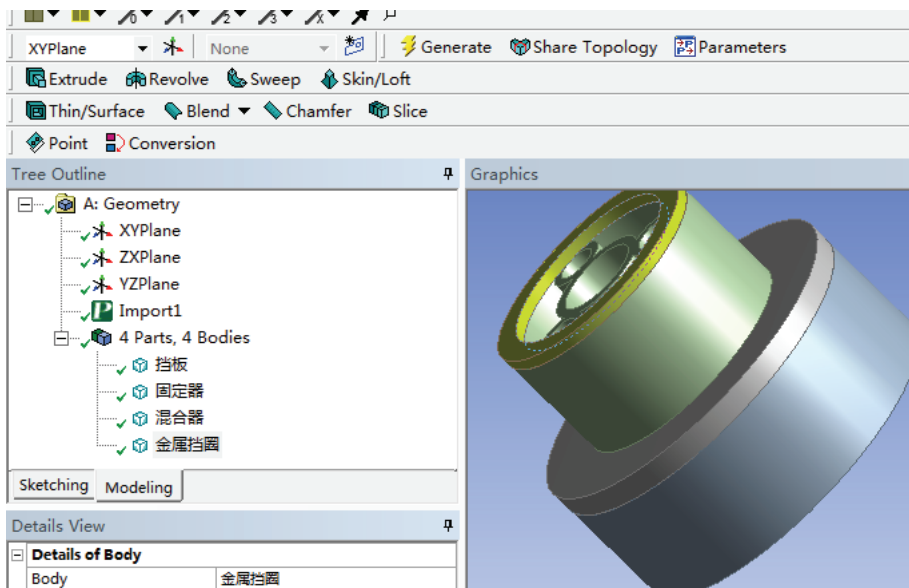


图 3-51 生成模型

第5步：组成多部件体。

在 Tree Outline 框中同时选中 4 个部件，然后单击右键，在弹出的快捷菜单栏中选择 Form New Part 命令，操作如图 3-52 所示。

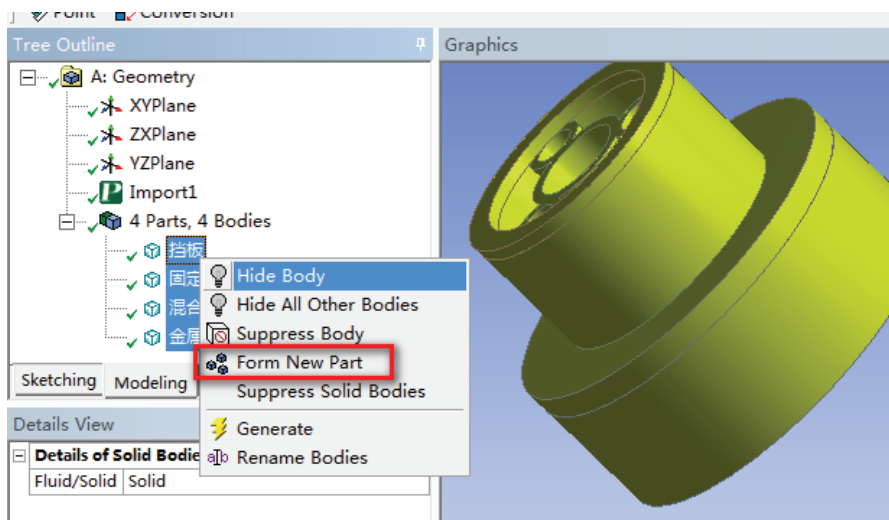


图 3-52 组成多部件体

第6步：创建稳态热。

关闭 DM 界面，然后执行 Toolbox→Analysis Systems→Steady-State Thermal 命令，然后鼠标单击 Steady-State Thermal 按钮不放，直接拖到 A2 项的 Geometry 中，操作如图 3-53 所示。

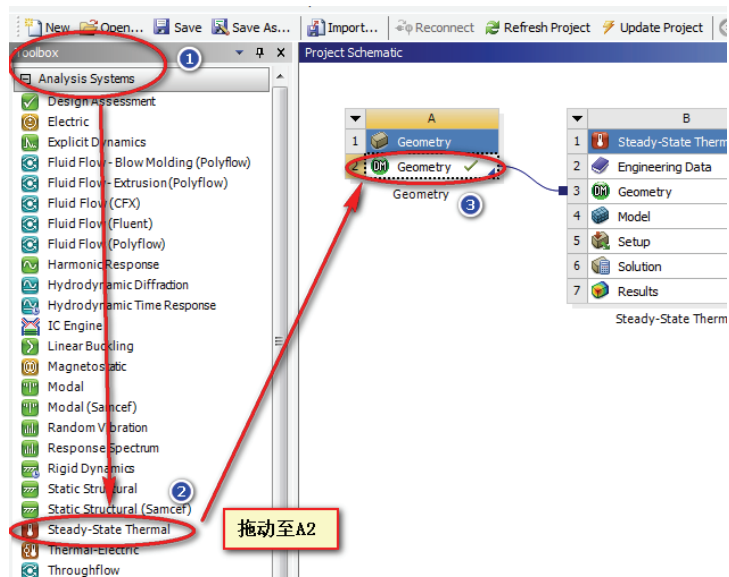


图 3-53 创建稳态热

第 7 步：进入材料编辑界面。

双击 B2 选项 Engineering Data，进入材料编辑界面，如图 3-54 所示。

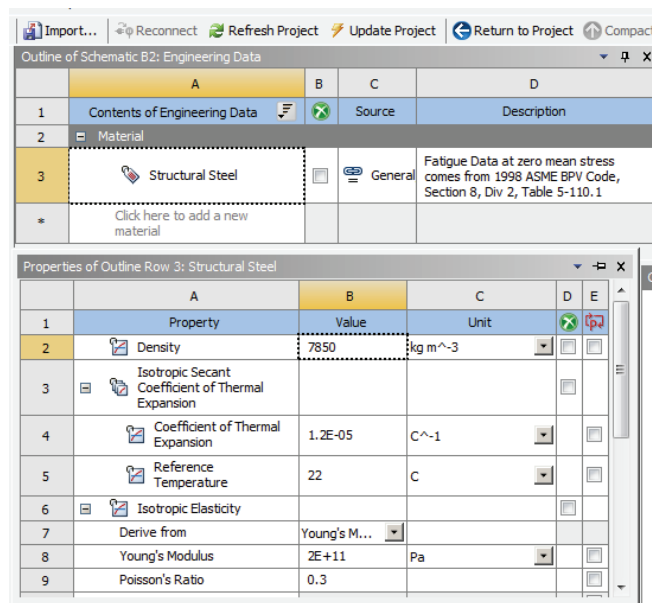





图 3-54 材料编辑界面

第 8 步：材料的设置。

单击菜单栏中的  按钮，然后选择 Engineering Data Sources 框中的 General Materials，此时会生成一个 Outline of General Materials 对话框，然后选择里面的 A5 中的 Stainless Steel，单击该栏后面的  按钮，然后会在 C 栏中出现  图标，说明材料已经选中了，其他保持默认即可，最后单击工具栏中的 Return to Project 命令，操作如图 3-55 所示。

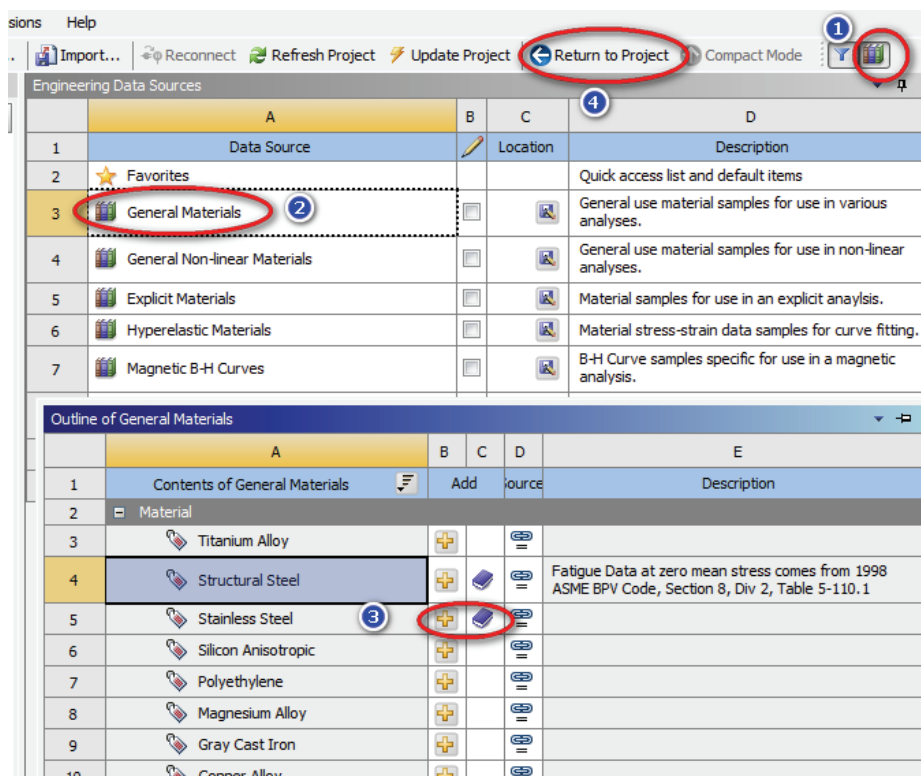


图 3-55 材料的编辑

第9步：进入 Mechanical 界面。

双击稳态热分析流程图中的 B4 栏 Model 选项，进入 Mechanical 界面，界面窗口如图 3-56 所示。

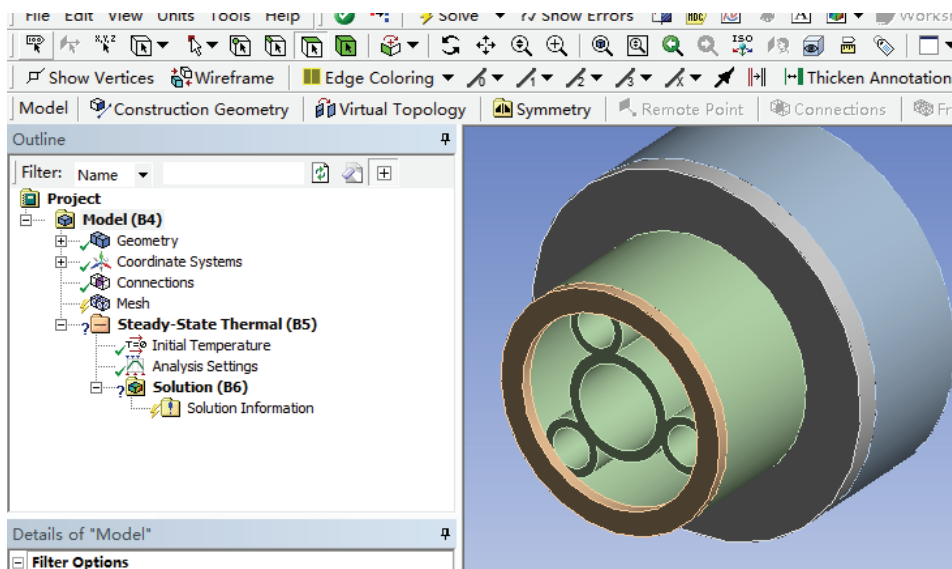


图 3-56 Mechanical 界面

第 10 步：赋予模型材料。

同时选中 Tree Outline 框中 Geometry 下的“固定器”“挡板”“混合器”“金属挡圈”4 个选项，然后在窗口左下角出现线体的详细栏，将 Material 栏下的 Assignment 一栏选中第 7 步中已经编辑好的 Stainless Steel，操作如图 3-57 所示。

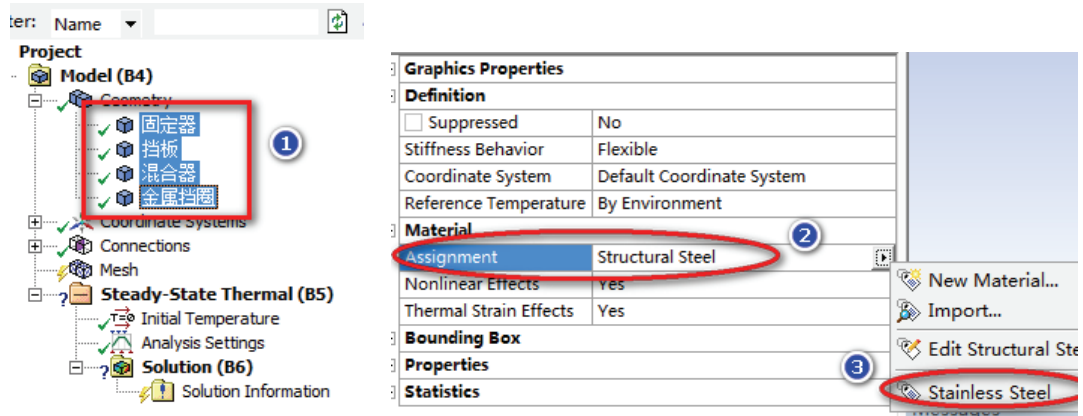


图 3-57 赋予模型材料

第 11 步：划分网格设置。

选中 Tree Outline 框中的 Mesh 选项，然后在窗口左下角出现网格的详细栏，将 Sizing 栏下面的 Relevance Center 一栏设置成 Fine，其他选项保持默认即可，操作如图 3-58 所示。

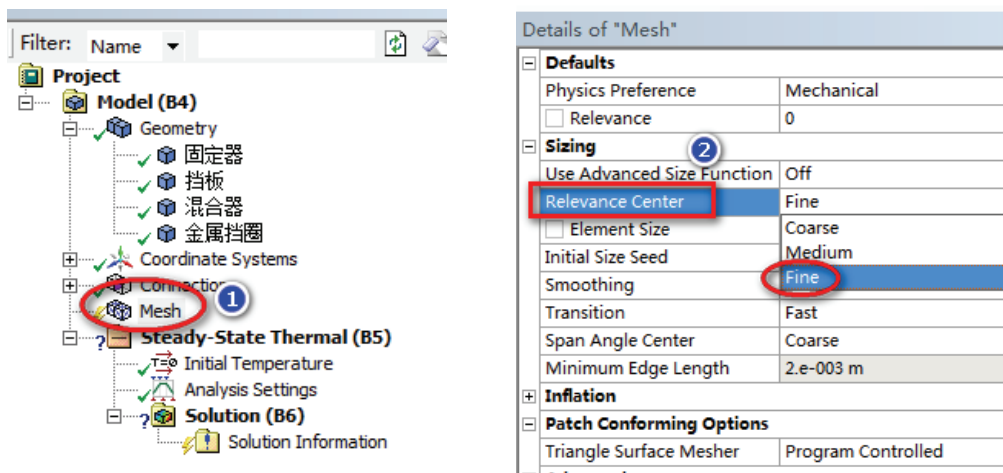

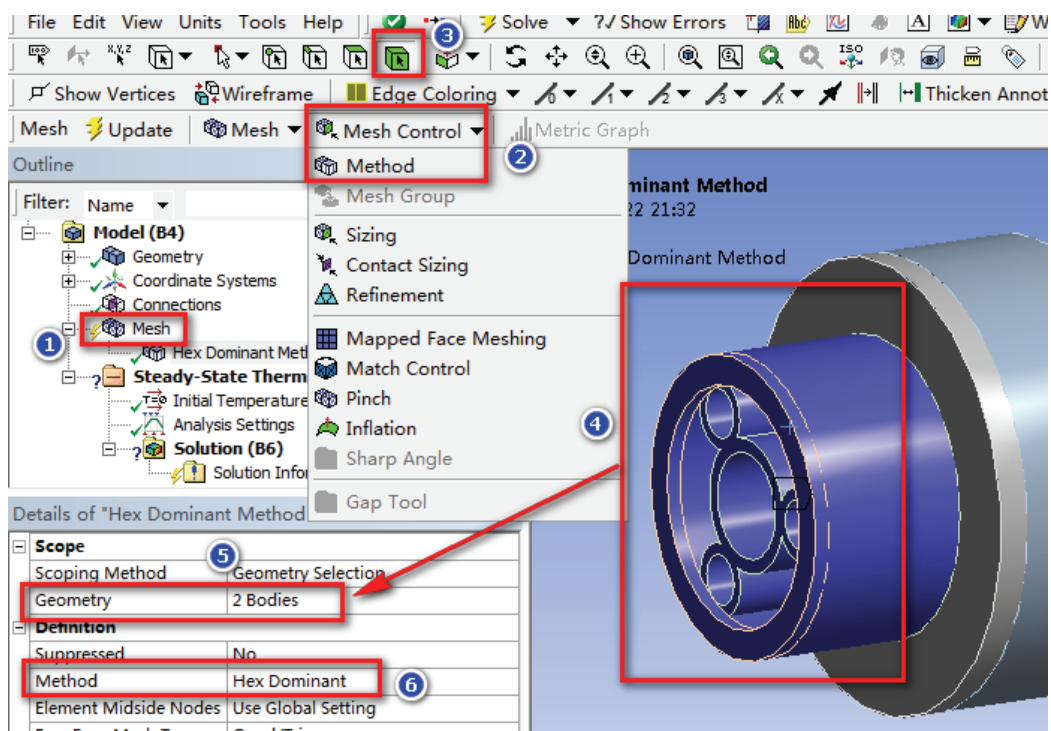


图 3-58 划分网格设置

第 12 步：插入划分网格方法。

选中 Tree Outline 框中的 Mesh 选项，单击菜单栏中 Mesh Control 下的 Method 命令，同时在 Tree Outline 框中生成  Automatic Method 图标，选中菜单栏中的“过滤体”命令，在视图区中选中混合器与金属挡圈两个部件，单击详细栏中的 Apply 命令，在 Method 一栏中选择 Hex Dominant，其余保持默认状态，操作如图 3-59 所示。



131

图 3-59 插入划分网格方法

第 13 步：生成网格。

网格设置完成后，选中 Tree Outline 框中的 Mesh 选项，再单击右键，弹出一个快捷菜单，然后选中 Generate Mesh 命令，操作如图 3-60 所示，最后生成网格如图 3-61 所示。

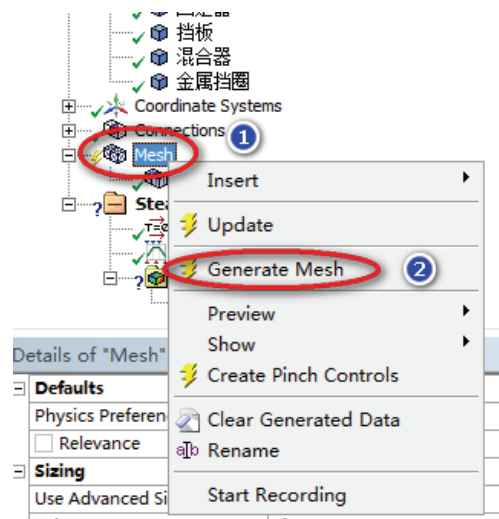


图 3-60 生成网格操作

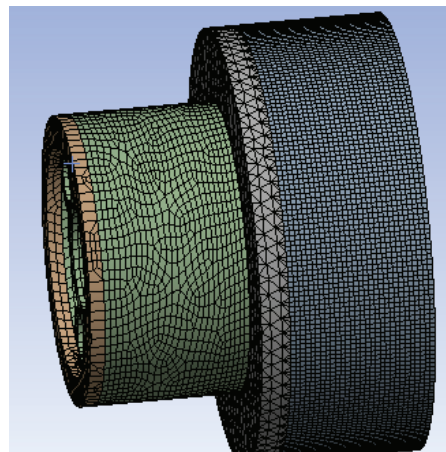


图 3-61 生成的网格

第 14 步：温度设置。

选中属性框中的 Steady-State Thermal (B5) 选项，单击工具栏中的 Temperature，选择

菜单栏中的“过滤面”，然后选中视图区中固定器的外端面，并单击详细栏中的 Apply 按钮，最后定义温度为 60 °C，操作如图 3-62 所示。同理，对混合器内的小圆柱内孔 6 个面定义温度为 80 °C，操作如图 3-63 所示。对金属挡圈外端面温度设定为 60 °C，操作如图 3-64 所示。

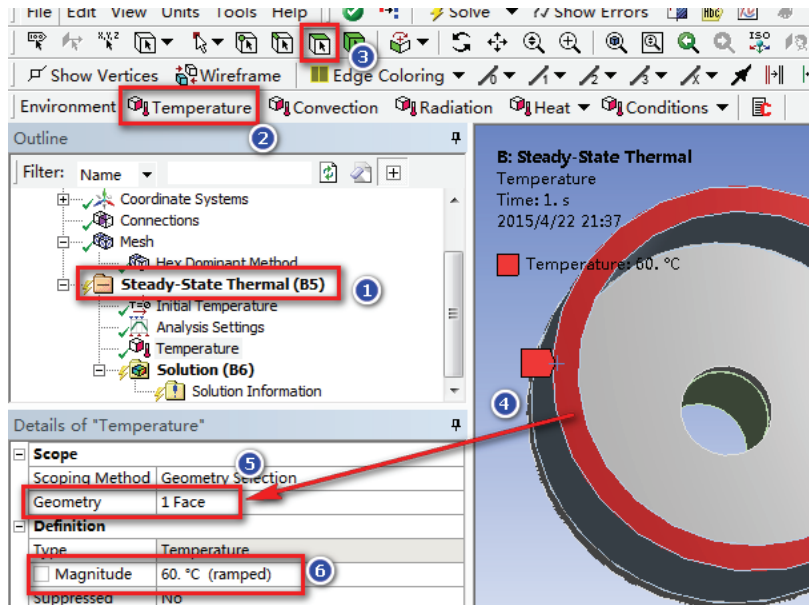


图 3-62 固定器温度设置

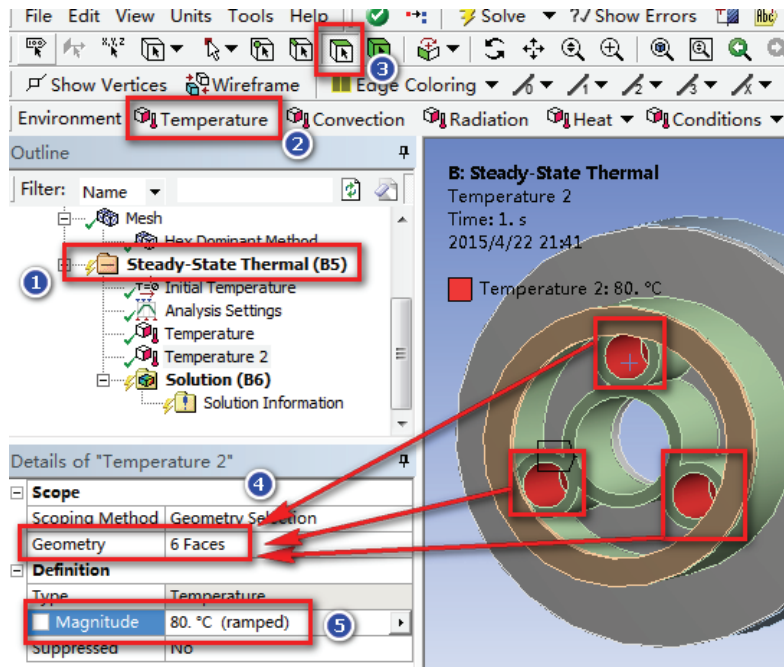


图 3-63 混合器三个小圆柱孔温度设置

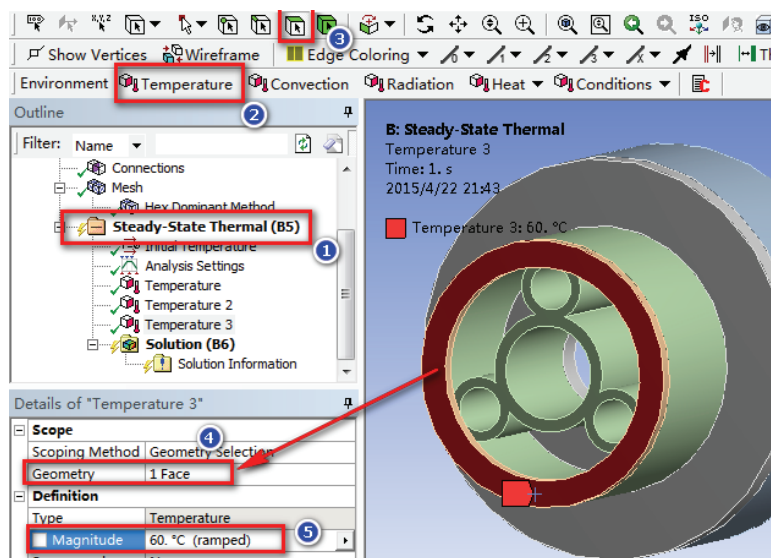



图 3-64 金属挡圈外端面温度设定

第 15 步：插入热对流（Convection）。

选中属性框中的 Steady-State Thermal (B5) 选项，单击工具栏中的 Convection，同时 Tree Outline 框中会出现  Convection 图标，在详细栏中进行设置，单击菜单栏中的“面过滤”，然后选择如图 3-65 所示的 15 个内腔面，选择面时按住 Ctrl 键，单击详细栏中 Geometry 一栏中的 Apply 按钮，在 Film Coefficient 一栏中输入 $30\text{W}/\text{mm}^2\text{C}$ ，操作如图 3-65 所示。同理，再对混合器中间内孔与固定器内腔 4 个面插入热对流，输入值为 $35\text{W}/\text{mm}^2\text{C}$ ，操作如图 3-66 所示。

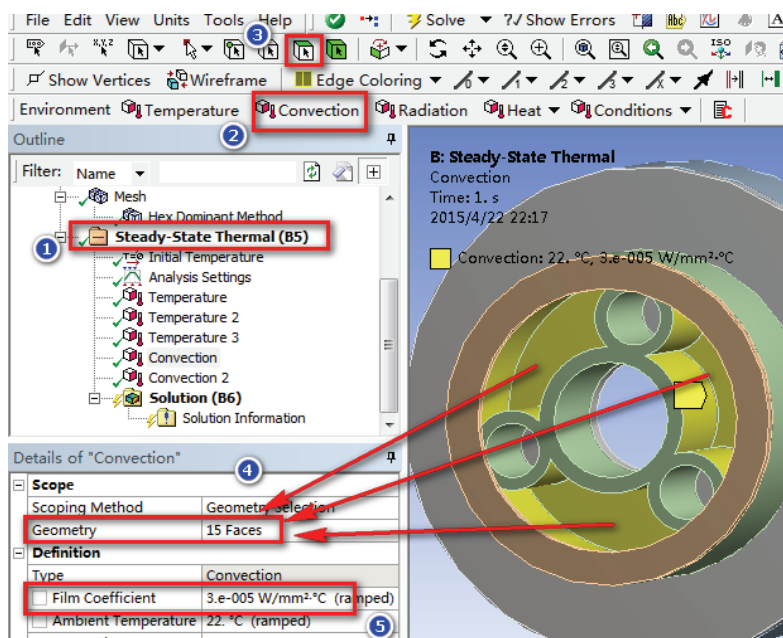


图 3-65 插入热对流（Convection）

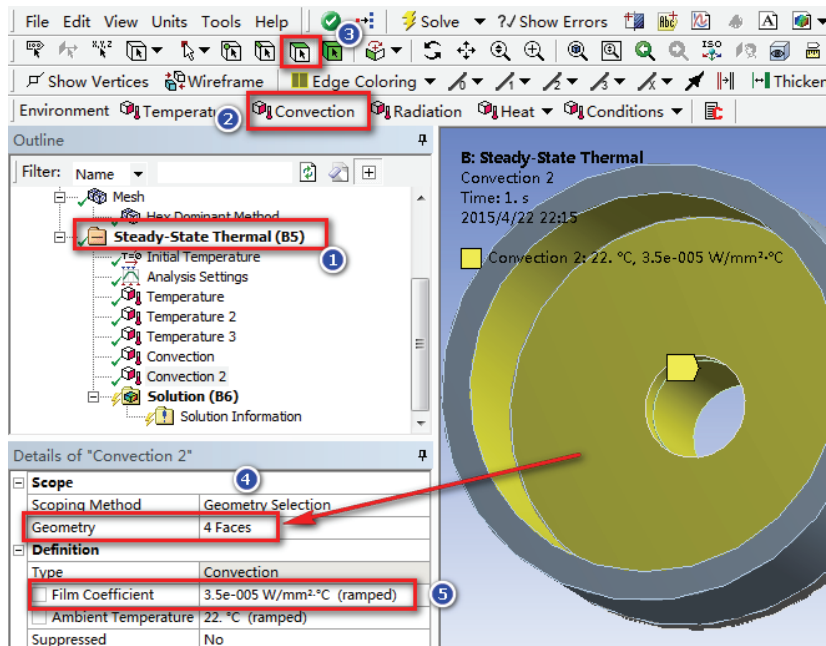


图 3-66 插入热对流

第 16 步：结果后处理。

选中 Tree Outline 框中的 Solution(B6)选项，单击右键，在弹出的快捷菜单中选择 Insert → Thermal → Temperature 命令，操作如图 3-67 所示。

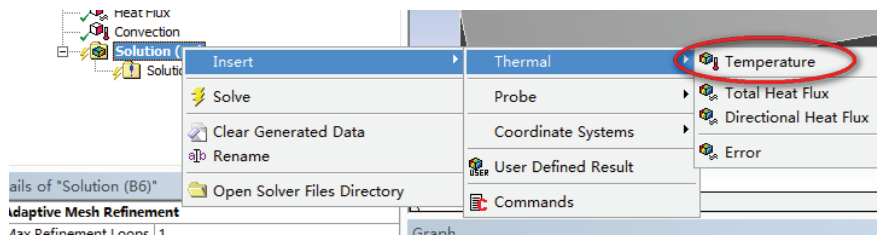


图 3-67 结果后处理

第 17 步：求解计算。

选中 Tree Outline 框中的 Solution (B6) 选项，单击右键，选择 Solve 命令，操作如图 3-68 所示。

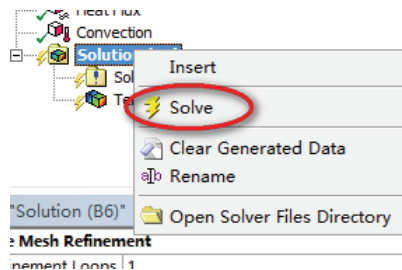


图 3-68 求解计算

第 18 步：创建热-结构耦合分析。

关闭 Steady-State Thermal-Mechanica 界面，选中 B6 中的 Solution 项，单击右键，选择 Transfer Data to New→Static Structural 命令，操作如图 3-69 所示。

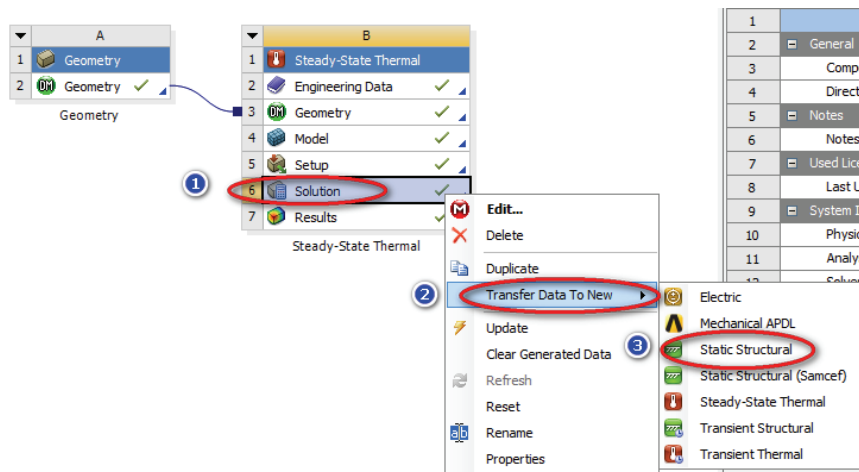


图 3-69 创建热-结构耦合

第 19 步：插入固定约束。

双击 C5 中的 Setup 进入 Multiple Systems-Mechanical 界面，选择 Tree Outline 框中的 Static Structural (C5) 选项，执行 Supports→Fixed Support 命令，随后在 Tree Outline 框中就会出现相应的 Fixed Support 图标，选择菜单栏中的“过滤面”，然后选中视图区中固定器的外端面，并单击详细栏中的 Apply 按钮，操作过程如图 3-70 所示。

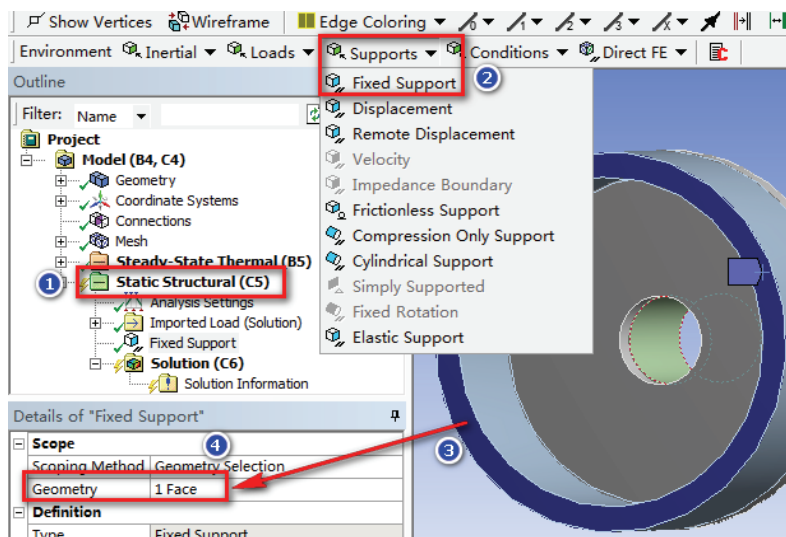



图 3-70 插入固定约束

第 20 步：插入光滑支撑 (Frictionless Support)。

选择 Tree Outline 框中的 Static Structural (C5) 选项，执行 Support→Frictionless Support

命令，随后在 Tree Outline 框中就会出现相应的  Frictionless Support 图标，选择菜单栏中的“过滤面”，然后选中视图区中金属挡圈外端面，并单击详细栏中的 Apply 按钮，操作过程如图 3-71 所示。

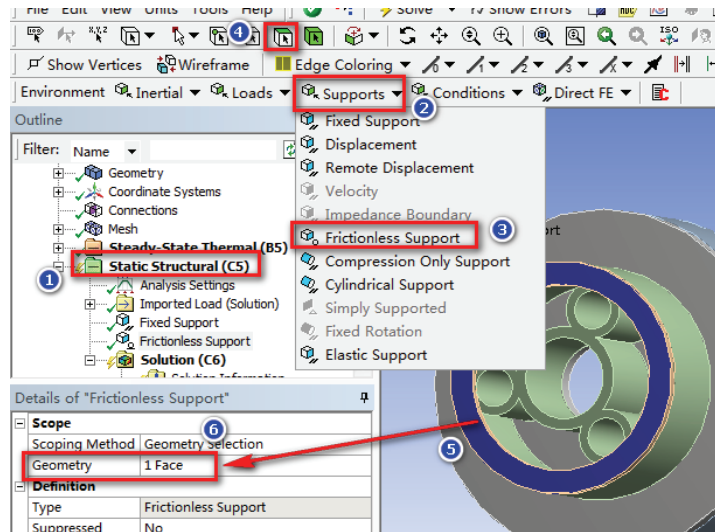



图 3-71 插入光滑支撑

第 21 步：施加压力。

选择 Tree Outline 框中的 Static Structural (C5) 选项，执行 Loads→Pressure 命令，随后在 Tree Outline 框中就会出现相应的  Pressure 图标，选中视图区中混合器三个小圆柱的 6 个内腔面，并单击详细栏中的 Apply 按钮，最后输入压力值为 0.2MPa，操作如图 3-72 所示。同理，对混合器中如图 3-72 所示的 15 个其他内腔面插入 0.1MPa 的压力，操作如图 3-73 所示。对混合器和固定器中间内腔插入 0.3MPa 的压力，操作如图 3-74 所示。

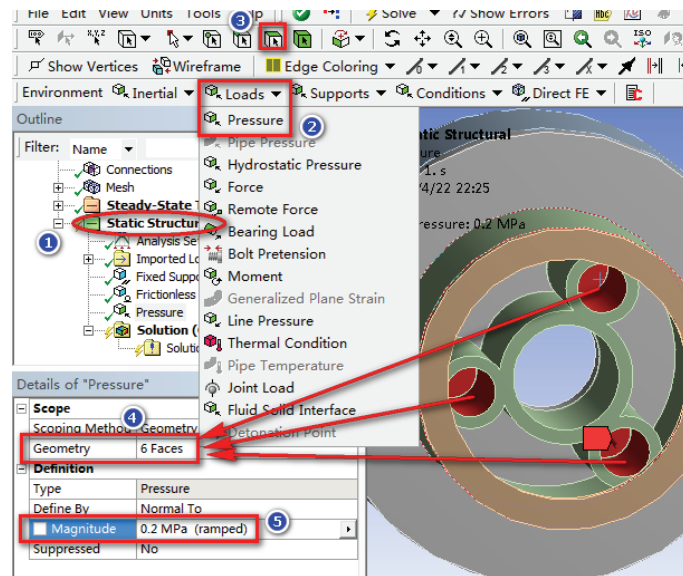


图 3-72 混合器三个小圆柱内腔施加压力

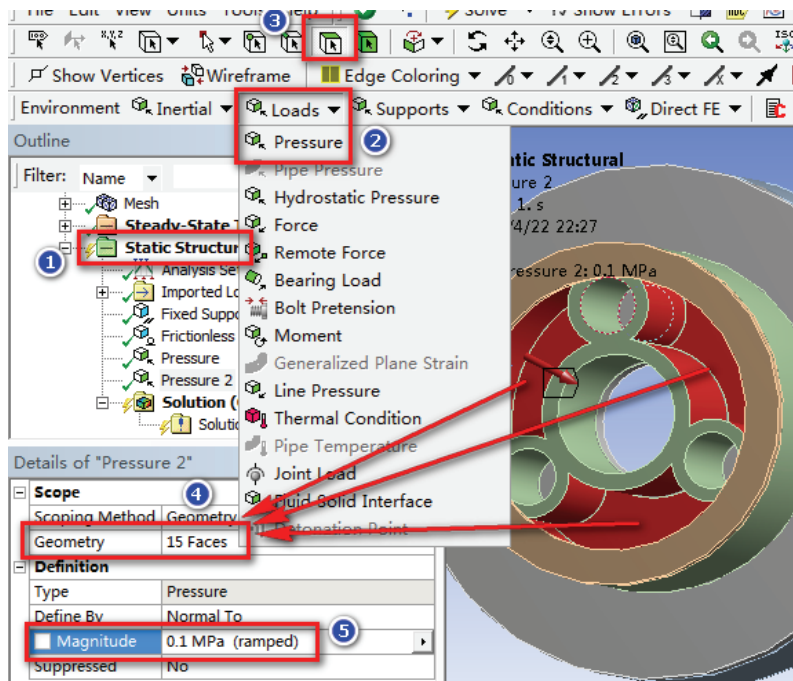


图 3-73 混合器中其他内腔面插入压力

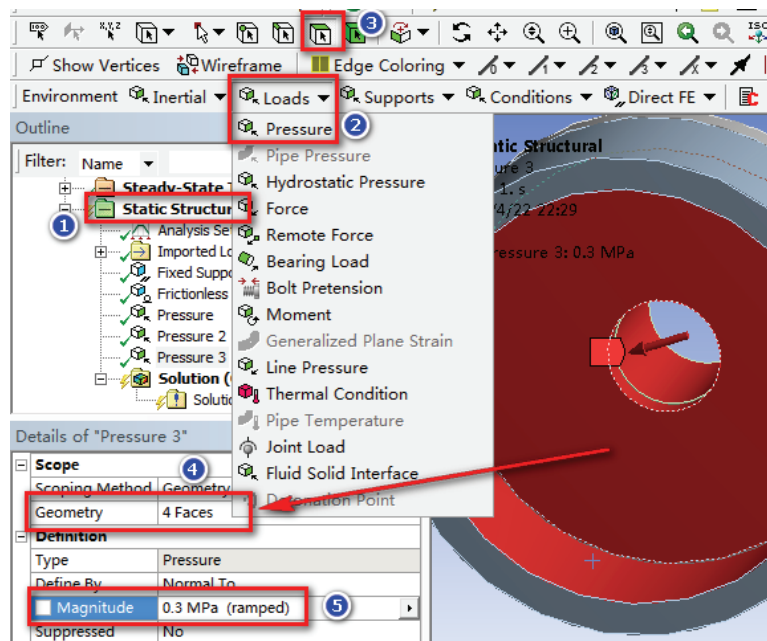


图 3-74 混合器与固定器中间内腔面插入压力

第 22 步：结果后处理。

选择 Tree Outline 框中的 Solution (C6) 选项，执行 Insert→Deformation→Total 命令与 Insert→Stress→Equivalent (von-Mises) 命令，操作如图 3-75 所示。

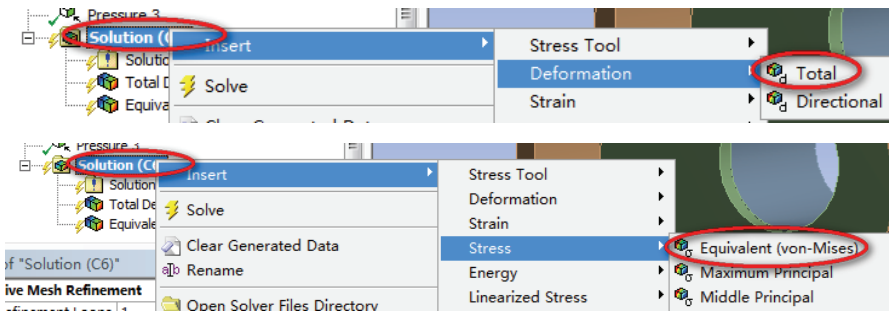


图 3-75 结果后处理

第 23 步：求解计算。

选中 Tree Outline 框中的 Solution (C6) 选项，单击右键，选中 Solve 命令，即求解计算，得出如图 3-76 所示总变形云图与如图 3-77 所示等效应力云图。

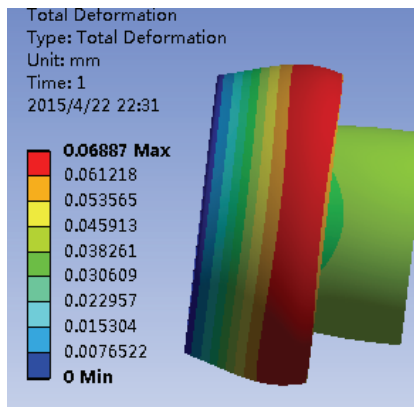


图 3-76 总变形云图

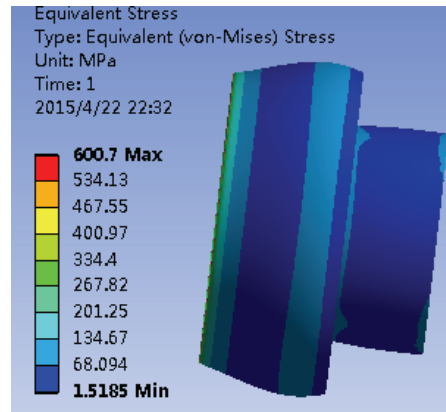



图 3-77 等效应力云图

第 24 步：查看在结构上的热载荷。

在 Tree Outline 框中单击  Imported Body Temperature 图标，即为施加在结构上的热载荷，如图 3-78 所示。

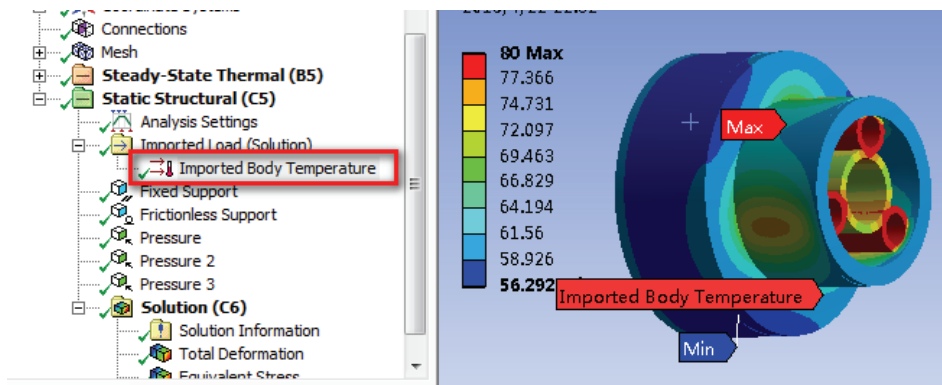


图 3-78 施加在结构上的热载荷

第 25 步：保存退出。

单击 Mechanical 界面右上角的“关闭”按钮，返回到 Workbench 界面，单击菜单栏中的 Save 按钮，选择用户要保存的位置，并命名为“hg”，保存类型为“wbpj”格式，操作如图 3-79 所示。

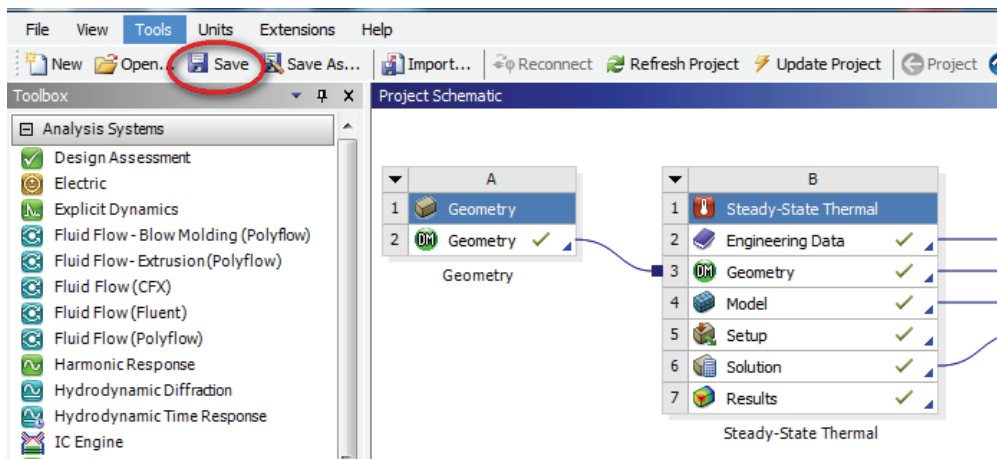


图 3-79 保存文件

小结

本章介绍了 SolidWorks 2014 与 ANSYS Workbench 协同仿真传热分析实例、杯子的稳态热分析实例与高温均质混合器模型热分析实例，详细说明了热力学分析中一些命令的使用，读者应该对热力学分析的过程有了详细的了解。