

# 第1章 初识 ANSYS Workbench



## 引言

ANSYS Workbench 15.0 是ANSYS公司最新推出的工程仿真技术集成平台，本章将介绍Workbench的一些基础知识，讲解如何启动ANSYS Workbench，使读者了解Workbench的基本操作界面。本章还介绍了如何在ANSYS Workbench中进行项目管理及文件管理等内容。



## 学习目标

- ★ 了解ANSYS Workbench的应用
- ★ 掌握Workbench 15.0 的启动
- ★ 认识Workbench 15.0 的操作界面
- ★ 掌握ANSYS Workbench项目与文件的管理方法
- ★ 熟悉Workbench的分析流程

## 1.1 ANSYS Workbench 15.0 概述

经过多年的潜心开发，ANSYS公司在 2002 年发布ANSYS 7.0 的同时正式推出了前后处理和软件集成环境ANSYS Workbench Environment (AWE)。到ANSYS 11.0 版本发布时，已提升了ANSYS软件的易用性、集成性、客户化定制开发的方便性，深获客户喜爱。

Workbench在 2014 年发布的ANSYS 15.0 版本中，在继承第一代Workbench的各种优势特征的基础上发生了革命性的变化，连同ANSYS 15.0 版本可视为第二代Workbench (Workbench 2.0)，其最大的变化是提供了全新的项目视图 (Project Schematic View) 功能，将整个仿真流程更加紧密地组合在一起，通过简单的拖曳操作即可完成复杂的多物理场分析流程。

Workbench所提供的CAD双向参数链接互动、项目数据自动更新机制、全面的参数管理、无缝集成的优化设计工具等，使ANSYS在仿真驱动产品设计 (Simulation Driven Product Development) 方面达到了前所未有的高度。



技巧提示

本节内容主要介绍ANSYS Workbench 15.0 的相关软件知识，如果对其有所了解，可以跳过本节的学习。

### 1.1.1 关于 ANSYS Workbench

在ANSYS 15.0 版本中，ANSYS对Workbench架构进行了全新设计，全新的项目视图 (Project Schematic View) 功能改变了用户使用Workbench仿真环境 (Simulation) 的方式。

在一个类似流程图的图表中，仿真项目中的各项任务以互相连接的图形化方式清晰地表达出来，可以非常容易地理解项目的工程意图、数据关系、分析过程的状态等。

项目视图系统使用起来非常简单：直接从左边的工具箱（Toolbox）中将所需的分析系统拖曳到右边的项目视图窗口中或双击即可。

工具箱（Toolbox）中的分析系统（Analysis Systems）部分，包含了各种已预置好的分析类型（如显式动力分析、FLUENT流体分析、结构模态分析、随机振动分析等），每一种分析类型都包含完成该分析所需的完整过程（如材料定义、几何建模、网格生成、求解设置、求解、后处理等过程），按其顺序一步步往下执行即可完成相关的分析任务。当然也可从工具箱中的Component Systems里选取各个独立的程序系统，自己组装成一个分析流程。

一旦选择或定制好分析流程后，Workbench平台将能自动管理流程中任何步骤发生的变化（如几何尺寸变化、载荷变化等），自动执行流程中所需的应用程序，从而自动更新整个仿真项目，极大缩短了更改设计所需的时间。

### 1.1.2 多物理场分析模式

Workbench仿真流程具有良好的可定制性，只须通过鼠标拖曳操作，即可非常容易地创建复杂的、包含多个物理场的耦合分析流程，在各物理场之间所需的数据传输也能自动定义。

ANSYS Workbench平台在流体和结构分析之间自动创建数据连接以共享几何模型，使数据保存更轻量化，并更容易分析几何改变对流体和结构两者产生的影响。同时，从流体分析中将压力载荷传递到结构分析中的过程也是完全自动的。

工具栏中预置的分析系统（Analysis Systems）使用起来非常方便，因为它包含了所选分析类型所需的所有任务节点及相关应用程序。Workbench项目视图的设计是非常柔性的，用户可以非常方便地对分析流程进行自定义，把Component Systems中的各工具当成砖块，按照任务需要进行装配。

### 1.1.3 项目级仿真参数管理

ANSYS Workbench环境中的应用程序都是支持参数变量的，包括CAD几何尺寸参数、材料特性参数、边界条件参数以及计算结果参数等。在仿真流程各环节中定义参数都是直接在项目窗口中进行管理的，因而非常容易研究多个参数变量的变化。在项目窗口中，可以很方便地通过参数匹配形成一系列设计点，然后一次性地自动进行多个设计点的计算分析以完成What-If研究。

利用ANSYS DesignXplorer模块（简称DX），可以更加全面地展现Workbench参数分析的优势。DX提供了试验设计（DOE）、目标驱动优化设计（Goal-Driven Optimization）、最小/最大搜索（Min/Max Search）以及六希格玛分析（Six Sigma Analysis）等能力，所有这些参数分析能力都适用于集成在Workbench的所有应用程序、所有物理场、所有求解器中，包括ANSYS参数化设计语言（APDL）。

ANSYS Workbench平台对仿真项目中所有应用程序中的参数进行集中管理，并在项目窗口中用一个非常方便的表格进行显示。完全集成在Workbench中的DesignXplorer模块能自动生成响应面结果，清晰而直观地描述这种几何变化的影响。通过简单的拖曳操作，还可很方便地使用DX的试验设计（DOE）、目标驱动优化设计、六希格玛设计以及其他设计探索算法等。

### 1.1.4 Workbench 应用模块

ANSYS Workbench提供了与ANSYS系列求解器交互的强大方法。这种环境为CAD系统及用户设计过程提供了独一无二的集成设计平台。ANSYS Workbench由多种工程应用模块组成。

- **Mechanical**: 用 ANSYS 求解器进行结构和热分析（包含网格划分）。
- **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)**: 采用 CFX 进行流体动力学（CFD）分析。
- **Fluid Flow (FLUENT)**: 采用 FLUENT 进行流体动力学（CFD）分析。
- **Geometry (DesignModeler)**: 创建和修改 CAD 几何模型，为 Mechanical 分析提供所用的实体模型。
- **Engineering Data**: 定义材料属性。
- **Meshing Application**: 用于创建 CFD 和显式动态网格。
- **Design Exploration**: 用于优化分析。
- **Finite Element Modeler (FE Modeler)**: 转换 NASTRAN 和 ABAQUS 中的网格，以便在 ANSYS 中使用。
- **Bladde Gen (Bladde Geometry)**: 用于创建旋转机械钟的叶片几何模型。
- **Explicit Dynamics**: 创建具有非线性动力学特色的模型，用于显式动力学分析。

## 1.2 Workbench 15.0 的基本操作界面

从本节开始介绍ANSYS Workbench 15.0 的基本操作，下面首先介绍启动方式，然后介绍Workbench的基本操作界面。

### 1.2.1 启动 ANSYS Workbench

ANSYS安装完成后，有如下两种启动Workbench的方式。

- 从 Windows 的“开始”菜单启动：执行 Windows 7 系统下的“开始”→“所有程序”→ANSYS 15.0→Workbench 15.0 命令，如图 1-1 所示，即可启动 ANSYS Workbench 15.0。



图 1-1 启动 ANSYS Workbench

- 通过 CAD 系统启动：较高版本的 ANSYS Workbench 在安装时会自动嵌入到其他的 CAD 系统中（如 Pro/Engineer、SolidWorks、UG 等三维 CAD 系统），通过这些嵌入的菜单命令即可进入 ANSYS Workbench。如图 1-2 所示为通过 Pro/Engineer、SolidWorks 的菜单选项进入 ANSYS Workbench。



(a) 通过 Pro/Engineer 进入 ANSYS Workbench



(b) 通过 SolidWorks 进入 ANSYS Workbench

图 1-2 通过 CAD 系统启动 ANSYS Workbench

ANSYS Workbench启动时会自动弹出如图 1-3 所示的欢迎界面。



技巧提示


首次启动ANSYS Workbench时会弹出如图 1-4 所示的Getting Started文本文件, 将下面的复选框内的☒勾掉, 并单击右上角的（关闭）按钮即可关闭文本文件, 这样在以后的启动过程将不再显示。



图 1-3 ANSYS Workbench 欢迎界面

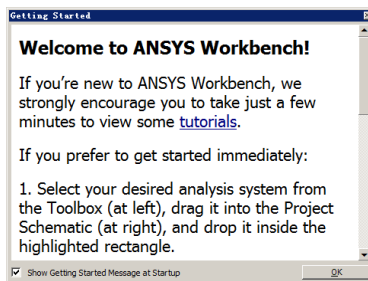


图 1-4 Getting Started 文本文件

## 1.2.2 ANSYS Workbench 主界面

启动ANSYS Workbench，并创建分析项目，此时的主界面如图 1-5 所示，它主要由菜单栏、工具栏、工具箱、项目管理区组成。菜单栏及工具栏与其他的Windows软件类似，这里不再赘述，下面着重介绍工具箱（Toolbox）及项目管理区（Project Schematic）两部分功能。

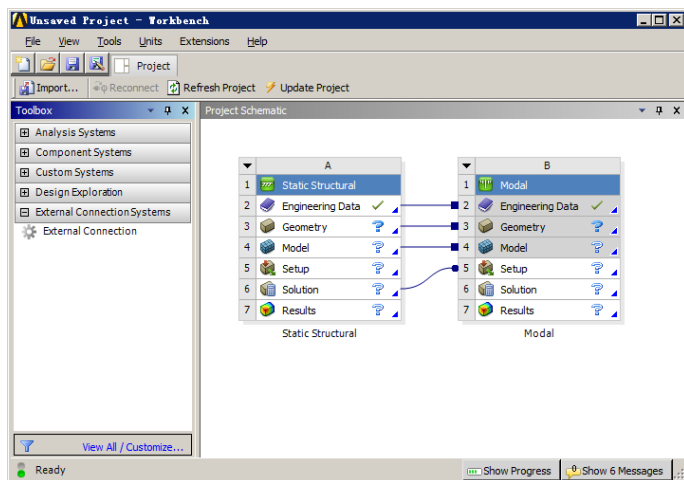


图 1-5 ANSYS Workbench 主界

### 1. 工具箱（Toolbox）

工具箱主要由如图 1-6 所示的 4 个子部分组成，这 4 个子部分分别应用于不同的场合，具体介绍如下。

- **Analysis Systems:** 主要应用在示意图中预定义的模板内。
- **Component Systems:** 主要用于可存取多种不同应用程序的建立和不同分析系统的扩展。
- **Custom Systems:** 用于耦合分析系统（FSI、Thermal-Stress 等）的预定义。在使用过程中，根据需要可以建立自己的预定义系统。
- **Design Exploration:** 主要用于参数的管理和优化。



技巧提示

工具箱中显示的分析系统和组成取决于所安装的ANSYS产品，根据工作需要调整工具箱下方的View All→Customize窗口即可调整工具箱显示的内容。通常情况下该窗口是关闭的。

单击View All→Customize时，会弹出如图 1-7 所示的Toolbox Customization（用户定制）工具箱，通过选择不同的分析系统可以调整工具箱的显示内容。

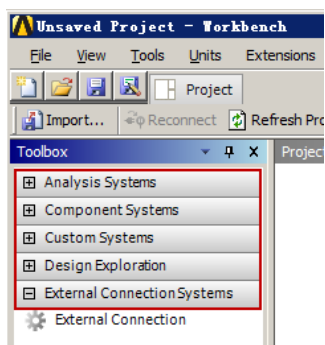


图 1-6 工具箱的组成

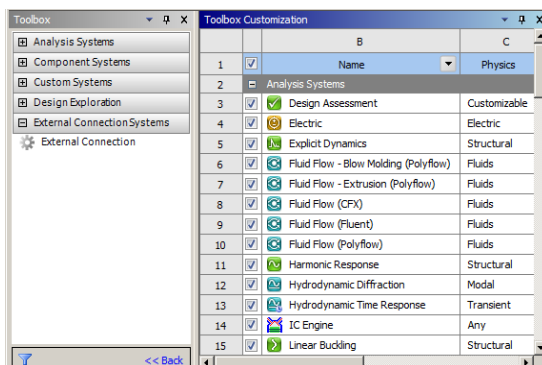


图 1-7 制工具箱

## 2. 项目管理区 (Project Schematic)

项目管理区（亦称分析系统管理区，本书采用项目管理区的称呼）是用来进行Workbench的分析项目管理的，它是通过图形来体现一个或多个系统所需要的工作流程。项目通常按照从左到右、从上到下的模式进行管理。

当需要进行某一项目的分析时，通过在Toolbox（工具箱）的相关项目上双击或直接按住鼠标左键拖动到项目管理区即可生成一个项目，如图 1-8 所示，在Toolbox中选择Static Structural后，项目管理区即可建立Static Structural分析项目。

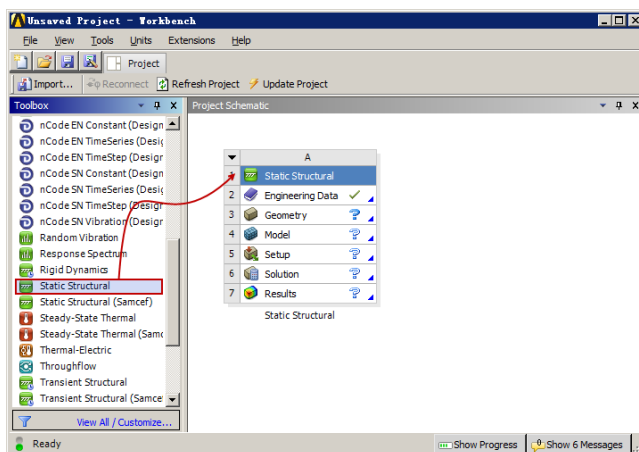


图 1-8 创建分析项目



技巧提示

项目管理区可以建立多个分析项目，每个项目均是以字母编排的（A、B、C等），同时各项目之间也可建立相应的关联分析，譬如对同一模型进行不同的分析项目，这样它们即可共用同一模型。

另外在项目的设置项中单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中通过选择Transfer Data To New或Transfer Data From New，亦可通过转换功能创建新的分析系统，如图 1-9 所示。





使用转换功能时，将显示所有的转换可能（上行转换和下行转换）。选择的设置项不同，程序呈现的选项也会有所不同，如图 1-10 所示。

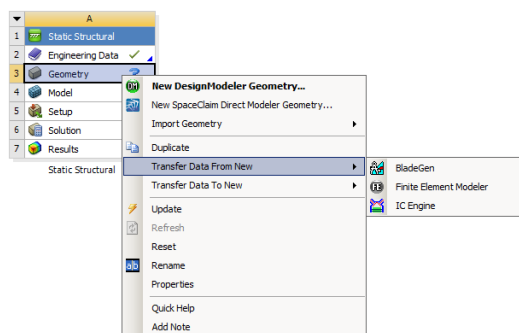


图 1-9 转换功能快捷菜单

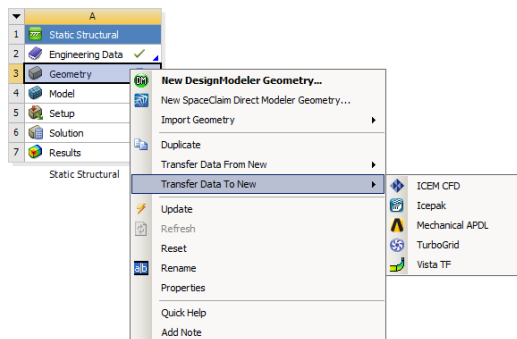


图 1-10 不同设置时的转换功能

在进行项目分析的过程中，项目分析流程会出现不同的图标来提示读者进行相应的操作，各图标的含义如表 1-1 所示。

表 1-1 分析项目选项中的图标含义

图标	图标含义
	执行中断：上行数据丢失，分析无法进行
	需要注意：可能需要修改本单元或是上行单元
	需要刷新：上行数据发生改变，需要刷新单元（更新也会刷新单元）
	需要更新：数据改变时单元的输出也要相应的更新
	更新完成：数据已经更新，将进行下一单元的操作
	输入变动：单元是局部最新的，但上行数据发生变化时也可能导致其发生改变

## 1.3 Workbench 项目管理

在上面的讲解中简单介绍了分析项目的创建方法，下面介绍项目的删除、复制、关联等操作，以及项目管理操作案例。

### 1.3.1 复制及删除项目

将鼠标移动到相关项目的第 1 栏 (A1) 单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择 **Duplicate** (复制) 命令，即可复制项目，如图 1-11 所示，例如 B 项目就是由 A 项目复制而来 (如图 1-12 所示)。

将鼠标移动到项目的第 1 栏 (A1) 单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择 **Delete** (删除) 命令，即可将项目删除。

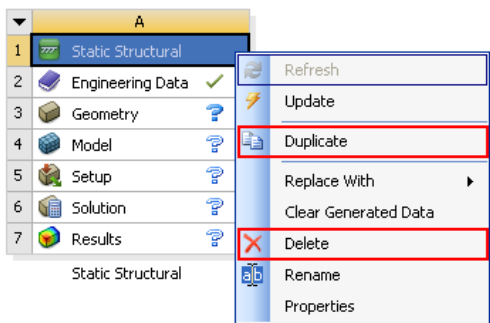


图 1-11 项目快捷菜单

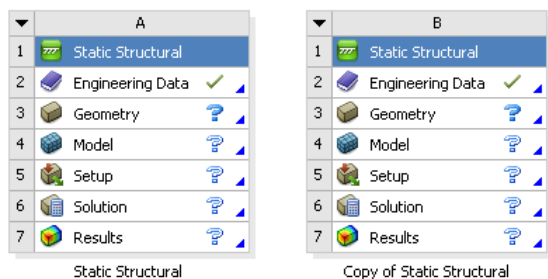


图 1-12 复制项目

### 1.3.2 关联项目

在ANSYS Workbench中进行项目分析时，需要对同一模型进行不同的分析，尤其是在进行耦合分析时，项目的数据需要进行交叉操作。

为避免重复操作，Workbench提供了关联项目的协同操作方法，创建关联项目的方法如下：在工具箱中按住鼠标左键，拖曳分析项目到项目管理区创建项目B，当鼠标移动到项目A的相关项时，数据可共享的项将以红色高亮显示，如图 1-13 所示，在高亮处松开鼠标，此时即可创建关联项目，如图 1-14 所示为新建的关联项目B，此时相关联的项呈现暗色。

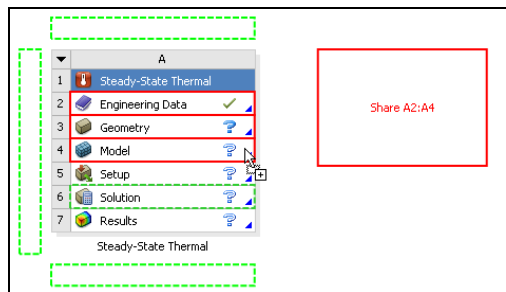


图 1-13 高亮显示

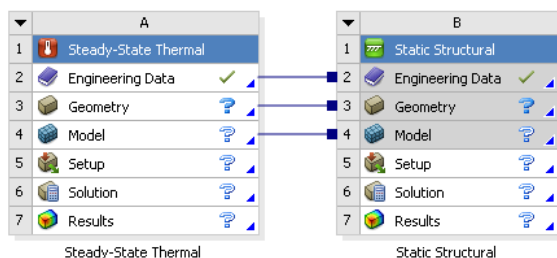


图 1-14 创建关联项目



技巧提示

项目中显示暗色的项不能进行参数设置，为不可操作项，关联的项只能通过其上一级项目进行相关参数设置。项目之间的连线表示数据共享，例如图中A2~A4表示项目B与项目A数据共享。

### 1.3.3 项目管理操作案例

下面的实例将创建一个热分析系统（项目A），然后创建两个与其关联的结构分析系统（项目B及项目C），其中项目B为没有与热分析耦合的结构分析系统，项目C为与热分析耦合的结构分析系统。具体操作步骤如下：



**步骤 01** 将鼠标移动到工具箱中 Analysis Systems 栏目下的 Steady-State Thermal 分析系统，按住鼠标左键将其拖曳到项目管理区并松开鼠标，创建热分析系统（项目 A），如图 1-15 所示。

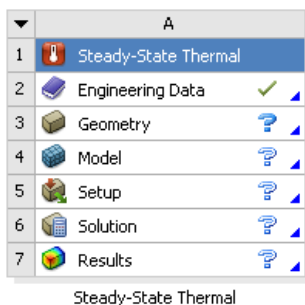


图 1-15 创建热分析系统

**步骤 02** 同样，在工具箱中按住鼠标左键拖曳 Static Structural 到项目管理区中项目 A 的 A4 栏，如图 1-16 所示。松开鼠标即可创建结构分析系统（项目 B），如图 1-17 所示，此时的项目 B 为没有与热分析耦合的结构分析系统。

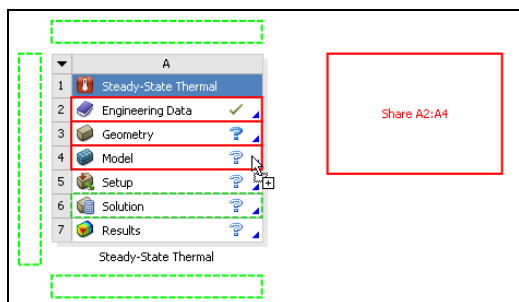


图 1-16 高亮显示

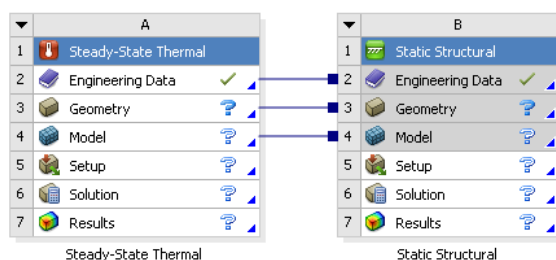


图 1-17 创建关联分析项目

**步骤 03** 在工具箱中按住鼠标左键拖曳 Static Structural 到项目管理区中项目 A 的 A6 栏，如图 1-18 所示，松开鼠标即可创建结构分析系统（项目 C），如图 1-19 所示，此时的项目 C 为与热分析耦合的结构分析系统。

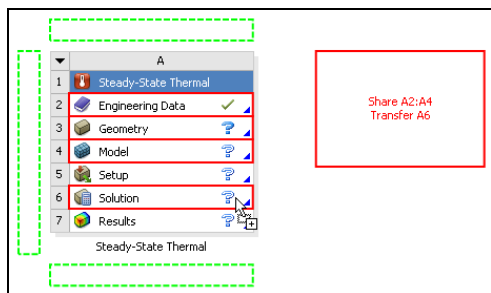


图 1-18 高亮显示

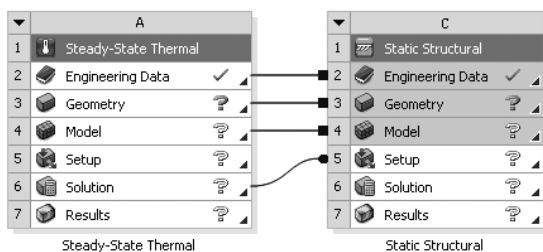


图 1-19 创建关联分析项目



如图 1-19 所示表示项目 A、C 之间 A2 ~ A4 数据共享，同时表示项目 A 的分析数据从 A6 传递到项目 C 中。

### 1.3.4 设置项属性

在ANSYS Workbench中，既可以了解设置项的特性，也可以对设置项的属性进行修改，具体方法如下：选择菜单栏中的View（视图）→Properties（属性）命令，此时在Workbench 环境下可以查看设置项的附加信息。如图 1-20 所示，选择Model栏后，其属性便可显示出来。

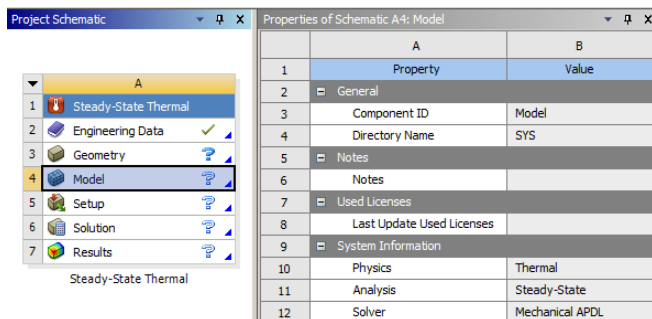


图 1-20 设置项属性

## 1.4 Workbench文件管理

Workbench是通过创建一个项目文件和一系列的子目录来管理所有的相关文件。这些文件目录的内容或结构不能进行人工修改，必须通过Workbench进行自动管理。

### 1.4.1 文件目录结构

当创建并保存文件后，便会生成相应的项目文件（.wbpj）以及项目文件目录，项目文件目录中会生成众多子目录，例如保存文件名为FirstFile，生成的文件为FirstFile.wbpj，文件目录为FirstFile\_files。ANSYS Workbench 15.0 的文件目录结构如图 1-21 所示。

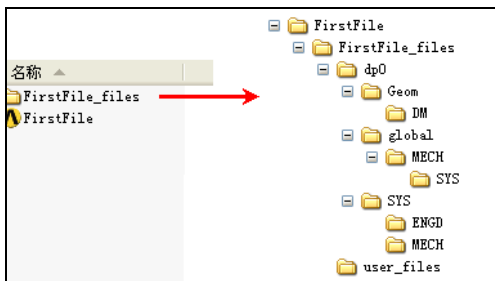


图 1-21 文件目录结构

对图 1-21 的说明如下。

- **dpr**: 该文件目录是设计点文件目录，实质上是特定分析的所有参数的状态文件，在单分析情况下只有一个 **dp0** 目录。
- **global**: 该目录包含分析中各模块所包括的子目录，如 **MECH** 目录中包含了仿真分析

的数据库以及相关分析模块的其他文件。

- **SYS:** 包括了项目中各种系统的子目录（如 Mechanical、FLUENT、CFX 等），每个系统的子目录都包含特定的求解文件，如 MECH 的子目录中包括结果文件、ds.dat 文件、solve.out 文件等。
- **user\_files:** 包含输入文件、用户文件等，部分文件可能与项目分析有关。



在 Workbench 中选择 View（预览）→ Files（文件）命令，可以弹出并显示一个包含文件明细与路径的文件预览窗口，如图 1-22 所示。

	A	B	C	D	E	F
1	Name	Cell ID	Size	Type	Date Modified	Location
2	char01-01.SLDPRT	A2,B3	98 KB	Geometry File	2011-3-20 8:51:02	D:\01-ANSYS WB\案例文件
3	Geom.agdb	A2,B3	18 KB	Geometry File	2011-4-13 21:50:55	D:\01-ANSYS WB\案例文件\char01-01_files\dp0\Geom\DM
4	material.engd	B2	12 KB	Engineering Data File	2011-3-20 12:39:40	D:\01-ANSYS WB\案例文件\char01-01_files\dp0\SYS\ENGD
5	SYS.engd	B4	12 KB	Engineering Data File	2011-3-20 12:39:40	D:\01-ANSYS WB\案例文件\char01-01_files\dp0\global\MECH
6	SYS.mechdb	B4	121 KB	Mechanical Database Files	2011-3-20 20:25:57	D:\01-ANSYS WB\案例文件\char01-01_files\dp0\global\MECH
7	char01-01.wbpj		310 KB	ANSYS Project File	2011-3-20 20:30:37	D:\01-ANSYS WB\案例文件
8	EngineeringData.xml	B2	11 KB	Engineering Data File	2011-3-20 20:30:37	D:\01-ANSYS WB\案例文件\char01-01_files\dp0\SYS\ENGD
9	designPoint.wbdp		63 KB	Design Point File	2011-3-20 20:30:37	D:\01-ANSYS WB\案例文件\char01-01_files\dp0
10	CAERep.xml	B	10 KB	CAERep File	2011-3-20 14:08:03	D:\01-ANSYS WB\案例文件\char01-01_files\dp0\SYS\MECH
11	CAERepOutput.xml	B	849 B	CAERep File	2011-3-20 14:08:15	D:\01-ANSYS WB\案例文件\char01-01_files\dp0\SYS\MECH
12	ds.dat	B	564 KB	.dat	2011-3-20 14:08:03	D:\01-ANSYS WB\案例文件\char01-01_files\dp0\SYS\MECH

图 1-22 文件预览

## 1.4.2 快速生成压缩文件

在 ANSYS Workbench 15.0 中提供了一种快速生成单一压缩文件的菜单，命令如图 1-23 所示，可以更有效地对 Workbench 文件进行管理。

选择菜单栏中的 File（文件）→ Archive（压缩）命令，即可实现 Workbench 所有文件的快速压缩，生成的压缩文件为.zip 格式。

选择菜单栏中的 File（文件）→ Restore Archive（压缩）命令，即可打开压缩文件，亦可采用其他的解压软件对压缩文件解压。

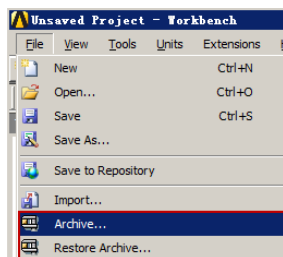


图 1-23 快速生成压缩文件命令

## 1.5 Workbench 实例入门

下面将通过一个简单的分析案例，让读者对 ANSYS Workbench 15.0 有一个初步的了解，

在学习时无需了解操作步骤的每一项内容，这些内容在后面的章节中将有详细的介绍，读者仅需按照操作步骤学习，了解ANSYS Workbench有限元分析的基本流程即可。

### 1.5.1 案例介绍

如图 1-24 所示的不锈钢钢板尺寸为  $320\text{mm} \times 50\text{mm} \times 20\text{mm}$ ，其中一端固定，另一端为自由状态，同时在一面上有均布面载荷  $q = 0.2\text{MPa}$ ，请用ANSYS Workbench求解出应力与应变的分布云图。

### 1.5.2 启动 Workbench 并建立分析项目

- 步骤 01** 在 Windows 系统下执行“开始”→“所有程序”→ANSYS 15.0→Workbench 15.0 命令，启动 ANSYS Workbench 15.0，进入主界面。
- 步骤 02** 双击主界面 Toolbox (工具箱) 中的 Component Systems→Geometry (几何体) 选项，即可在项目管理区创建分析项目 A，如图 1-25 所示。

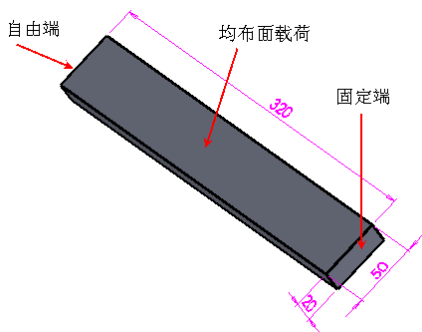


图 1-24 案例问题

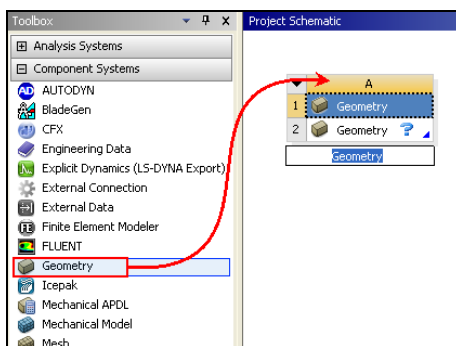


图 1-25 创建分析项目 A

- 步骤 03** 在工具箱中的 Analysis Systems→Static Structural 上按住鼠标左键拖曳到项目管理区中，当项目 A 的 Geometry 呈红色高亮显示时，放开鼠标创建项目 B，此时相关联的数据可共享，如图 1-26 所示。

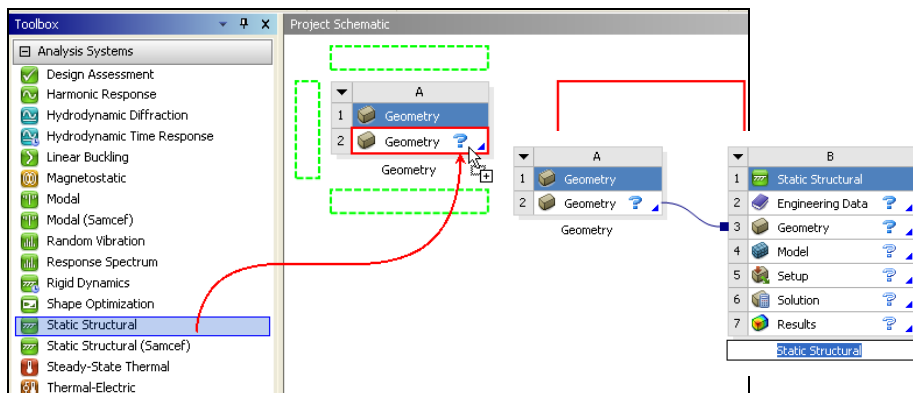


图 1-26 创建分析项目



本例是线性静态结构分析，创建项目时可直接创建项目B，而不创建项目A，几何体的导入可在项目B中的B3 栏Geometry中导入创建。本例的创建方法在对同一模型进行不同的分析时会经常用到。

### 1.5.3 导入创建几何体

- 步骤 01** 在 A2 栏的 Geometry 上单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择 Import Geometry → Browse 命令，如图 1-27 所示，此时会弹出“打开”对话框。
- 步骤 02** 在弹出的“打开”对话框中选择文件路径，导入 char01-01 几何体文件，如图 1-28 所示，此时 A2 栏 Geometry 后的 ? 变为 ✓，表示实体模型已经存在。

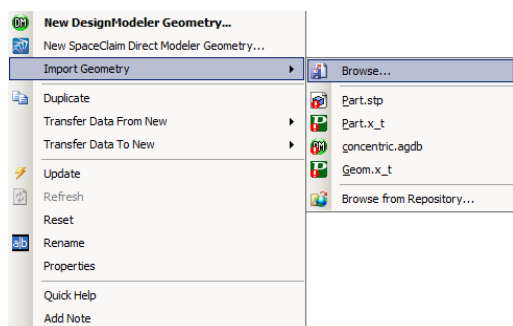


图 1-27 导入几何体

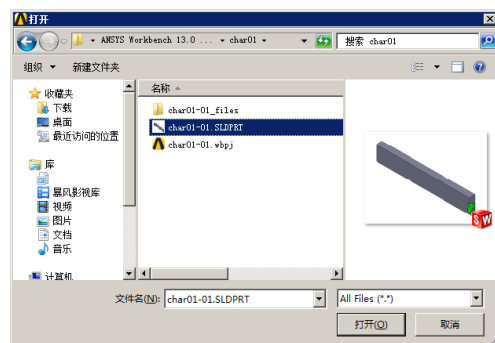


图 1-28 “打开”对话框

- 步骤 03** 双击项目 A 中的 A2 栏 Geometry，会进入到 DesignModeler 界面，此时设计树中的 Import1 前显示 ⚡，表示需要生成，图形窗口中没有图形显示，如图 1-29 所示。
- 步骤 04** 单击 ⚡ Generate (生成) 按钮，即可显示生成的几何体，如图 1-30 所示，此时可在几何体上进行其他的操作，本例无需进行操作。
- 步骤 05** 单击 DesignModeler 界面右上角的 ✕ (关闭) 按钮，退出 DesignModeler，返回到 Workbench 主界面。

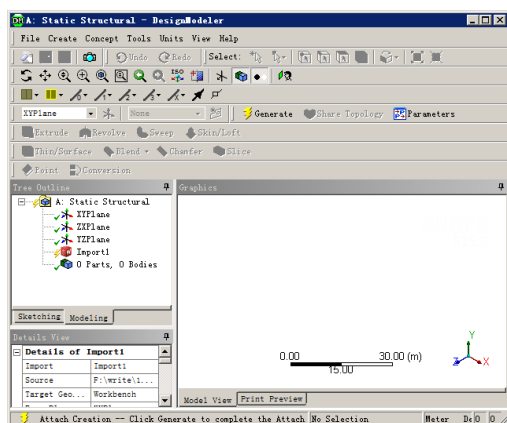


图 1-29 生成前的 DesignModeler 界面

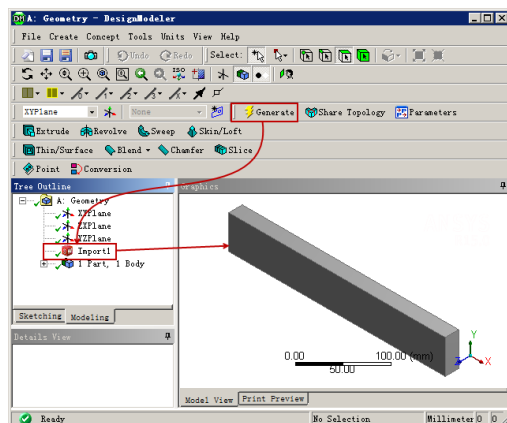


图 1-30 生成后的 DesignModeler 界面

## 1.5.4 添加材料库

**步骤 01** 双击项目 B 中的 B2 栏 Engineering Data 项，进入如图 1-31 所示的材料参数设置界面，在该界面下即可进行材料参数设置。

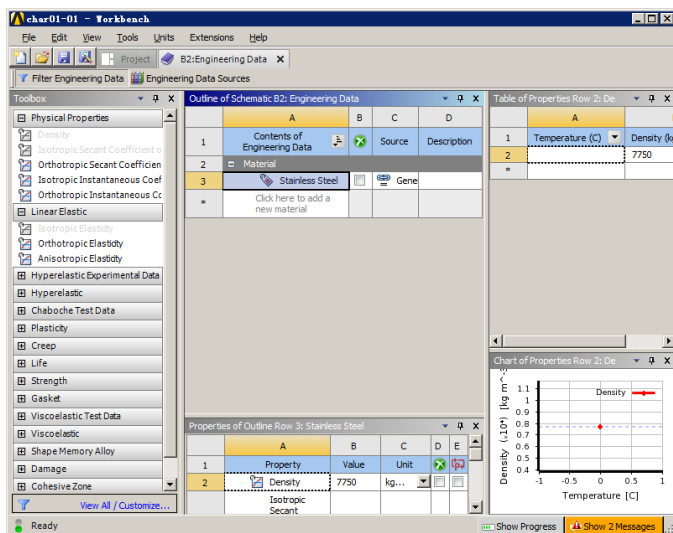


图 1-31 材料参数设置界面

**步骤 02** 在界面的空白处单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择 Engineering Data Sources（工程数据源）命令，此时的界面会变为如图 1-32 所示的界面。原界面窗口中的 Outline of Schematic B2: Engineering Data 消失，取代以 Engineering Data Sources 及 Outline of Favorites。

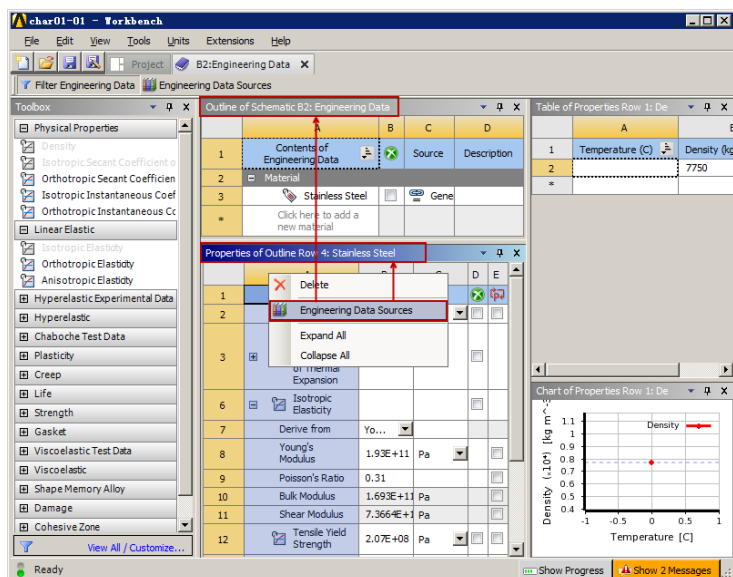


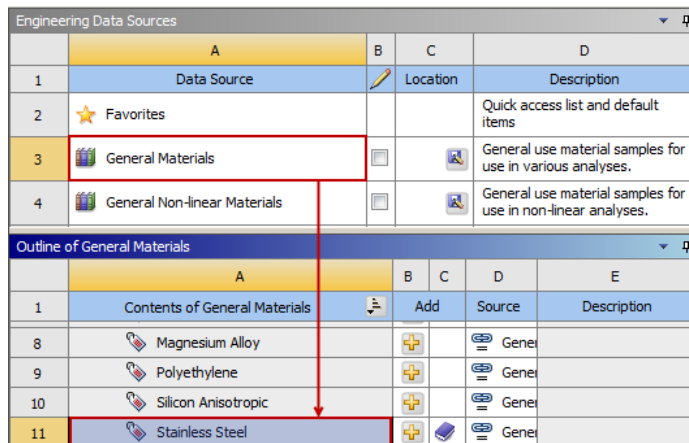







图 1-32 材料参数设置界面



- 步骤 03** 在 Engineering Data Sources 表中选择 A3 栏 General Materials，然后单击 Outline of General Materials 表中 A11 栏 Stainless Steel (不锈钢) 后的 B11 栏中的  (添加) 按钮，此时在 C11 栏中会显示  (使用中的) 标识，如图 1-33 所示，表示材料添加成功。



Engineering Data Sources				
	A	B	C	D
1	Data Source		Location	Description
2	★ Favorites			Quick access list and default items
3	 General Materials	<input type="checkbox"/>		General use material samples for use in various analyses.
4	 General Non-linear Materials	<input type="checkbox"/>		General use material samples for use in non-linear analyses.










Outline of General Materials				
	A	B	C	D
1	Contents of General Materials		Add	Source
8	 Magnesium Alloy	<input type="checkbox"/>		Gene
9	 Polyethylene	<input type="checkbox"/>		Gene
10	 Silicon Anisotropic	<input type="checkbox"/>		Gene
11	 Stainless Steel	<input checked="" type="checkbox"/>		Gene

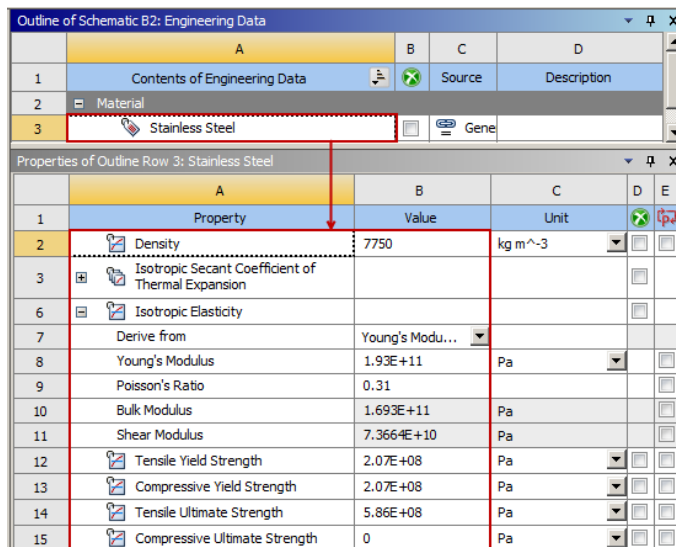
图 1-33 添加材料



- 步骤 04** 同步步骤 (2)，在界面的空白处单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择 Engineering Data Sources (工程数据源) 命令，返回到初始界面中。
- 步骤 05** 根据实际工程材料的特性，在 Properties of Outline Row 3: Stainless Steel 表中可以修改材料的特性，如图 1-34 所示，本实例采用的是默认值。



技巧提示

用户也可以通过在 Engineering Data 窗口中自行创建新材料添加到模型库中，这在后面的讲解中会有涉及，本实例不再介绍。



Outline of Schematic B2: Engineering Data				
	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source	Description
2	Material			
3	 Stainless Steel	<input type="checkbox"/>	Gene	









Properties of Outline Row 3: Stainless Steel				
	A	B	C	D
1	Property	Value	Unit	
2	 Density	7750	kg m <sup>-3</sup>	
3	 Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	 Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modu...		
8	Young's Modulus	1.93E+11	Pa	
9	Poisson's Ratio	0.31		
10	Bulk Modulus	1.693E+11	Pa	
11	Shear Modulus	7.3664E+10	Pa	
12	 Tensile Yield Strength	2.07E+08	Pa	
13	 Compressive Yield Strength	2.07E+08	Pa	
14	 Tensile Ultimate Strength	5.86E+08	Pa	
15	 Compressive Ultimate Strength	0	Pa	

图 1-34 材料参数修改窗口

**步骤 06** 单击工具栏中的  Return to Project 按钮，返回到 Workbench 主界面，材料库添加完毕。

## 1.5.5 添加模型材料属性

**步骤 01** 双击项目管理区项目 B 中的 B4 栏 Model 项 进入如图 1-35 所示的 Mechanical 界面，在该界面下即可进行网格的划分、分析设置、结果观察等操作。

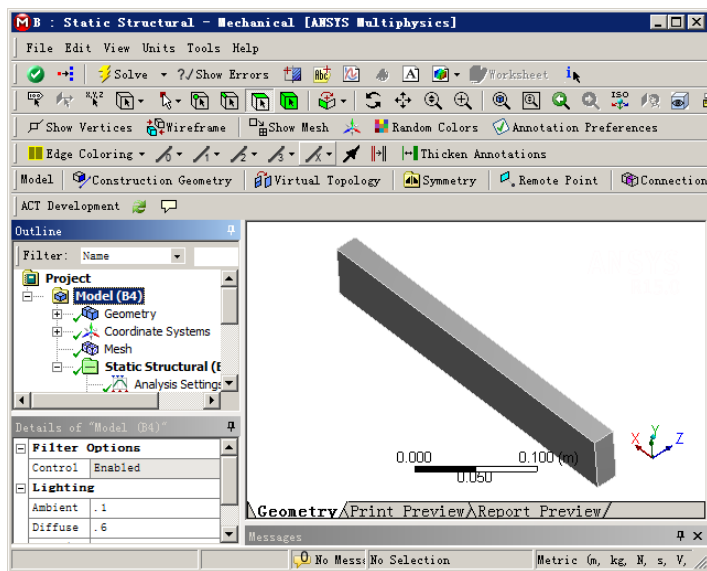



图 1-35 Mechanical 界面

**步骤 02** 选择 Mechanical 界面左侧 Outline (分析树) 中 Geometry 选项下的 char01-01，此时即可在 Details of “char01-01” (参数列表) 中给模型添加材料，如图 1-36 所示。

**步骤 03** 单击参数列表中的 Material 下 Assignment 区域后的  按钮，此时会出现刚刚设置的材料 Stainless Steel，如图 1-37 所示，选择后即可将其添加到模型中去。此时分析树 Geometry 的材料由 Structural Steel 变成 Stainless Steel，表示材料已经添加成功。

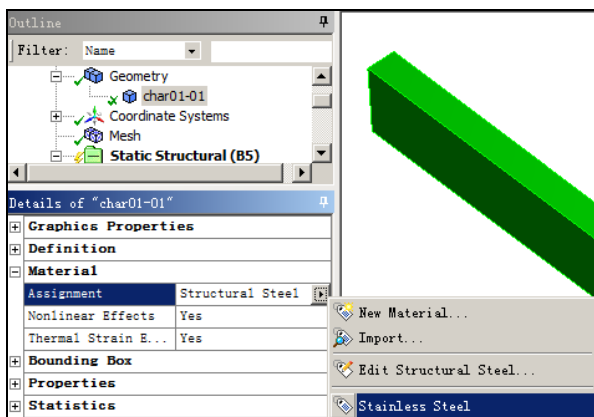


图 1-36 添加材料

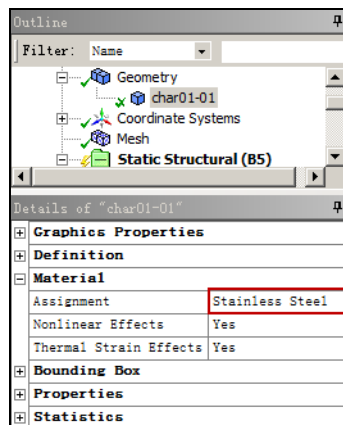


图 1-37 添加材料后的分析树

### 1.5.6 划分网格

- 步骤 01** 选择 Mechanical 界面左侧 Outline (分析树) 中的 Mesh 选项, 此时可在 Details of “Mesh” (参数列表) 中修改网格参数, 本例将在 Sizing 中的 Relevance Center 选项设置为 Medium, 其余采用默认设置。
- 步骤 02** 在 Outline (分析树) 中的 Mesh 选项上单击鼠标右键, 在弹出的快捷菜单中选择 ⚡ Generate Mesh 命令, 此时会弹出如图 1-38 所示的进度显示条, 表示网格正在划分, 当网格划分完成后, 进度条自动消失, 最终的网格效果如图 1-39 所示。

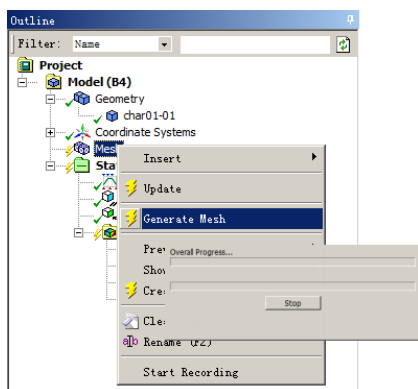


图 1-38 生成网格

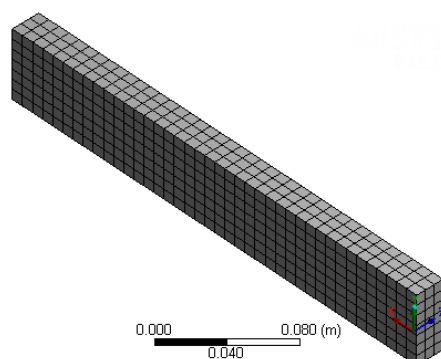


图 1-39 网格效果

### 1.5.7 施加载荷与约束

- 步骤 01** 选择 Mechanical 界面左侧 Outline (分析树) 中的 Static Structural (B5) 选项, 此时会出现如图 1-40 所示的 Environment 工具栏。
- 步骤 02** 选择 Environment 工具栏中的 Supports (约束) → Fixed Support (固定约束) 命令, 此时在分析树中会出现 Fixed Support 选项, 如图 1-41 所示。

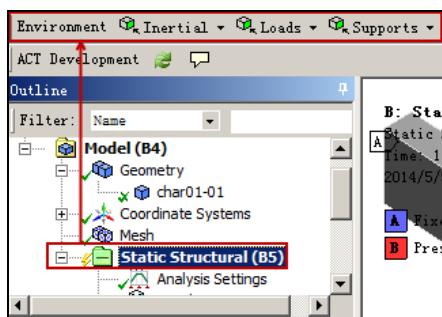


图 1-40 Environment 工具栏

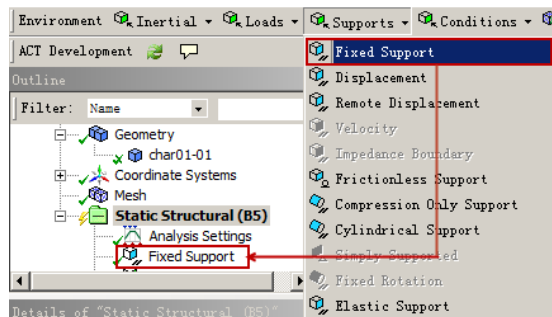


图 1-41 添加固定约束

- 步骤 03** 选中 Fixed Support 选项, 选择需要施加固定约束的面, 单击 Details of “Fixed Support” (参数列表) 中 Geometry 选项下的 **Apply** 按钮, 即可在选中面上施加固定约束, 如图 1-42 所示。

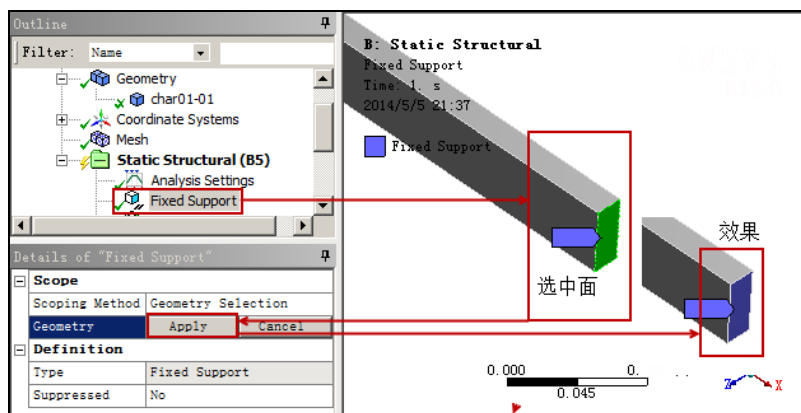


图 1-42 施加固定约束

**步骤 04** 同步骤 (2), 选择 Environment 工具栏中的 Loads (载荷) → Pressure (压力) 命令, 此时在分析树中会出现 Pressure 选项, 如图 1-43 所示。

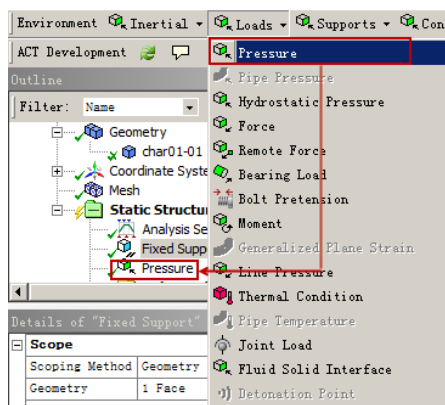


图 1-43 添加压力

**步骤 05** 同步骤 (3), 选中 Pressure 选项, 选择需要施加压力的面, 单击 Details of “Pressure” (参数列表) 中 Geometry 选项下的 **Apply** 按钮, 同时在 Magnitude 选项下设置压力为  $2.e+005\text{Pa}$  的面载荷, 如图 1-44 所示。

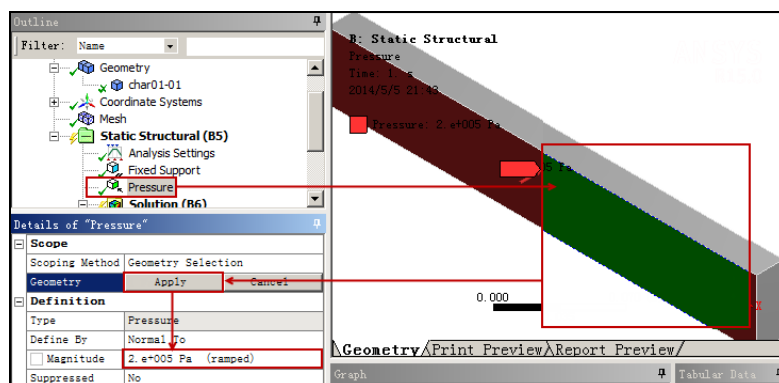


图 1-44 添加面载荷

- 步骤 06** 在 Outline (分析树) 中的 Static Structural (B5) 选项上单击鼠标右键, 在弹出的快捷菜单中选择 Solve 命令, 此时会弹出进度显示条, 表示正在求解, 当求解完成后进度条自动消失, 如图 1-45 所示。

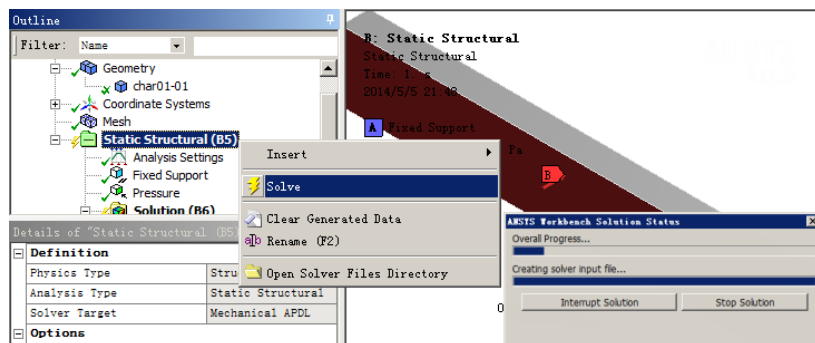


图 1-45 求解

## 1.5.8 结果后处理

- 步骤 01** 选择 Mechanical 界面左侧 Outline (分析树) 中的 Solution (B6) 选项, 此时会出现如图 1-46 所示的 Solution 工具栏。
- 步骤 02** 选择 Solution 工具栏中的 Stress (应力) → Equivalent (von-Mises) 命令, 此时在分析树中会出现 Equivalent Stress (等效应力) 选项, 如图 1-47 所示。

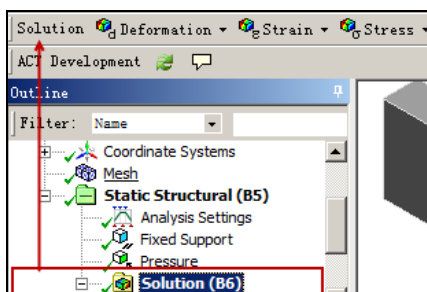


图 1-46 Solution 工具栏

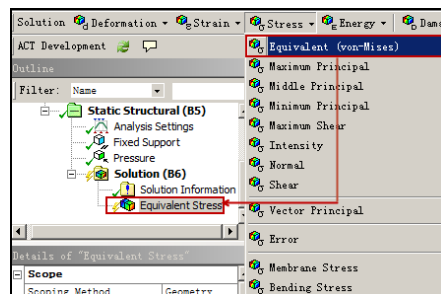


图 1-47 添加等效应力选项

- 步骤 03** 如同步骤 (2), 选择 Solution 工具栏中的 Strain (应变) → Equivalent (von-Mises) 命令, 如图 1-48 所示, 此时在分析树中会出现 Equivalent Elastic Strain (等效应变) 选项。
- 步骤 04** 如同步骤 (2), 选择 Solution 工具栏中的 Deformation (变形) → Total 命令, 如图 1-49 所示, 此时在分析树中会出现 Total Deformation (总变形) 选项。

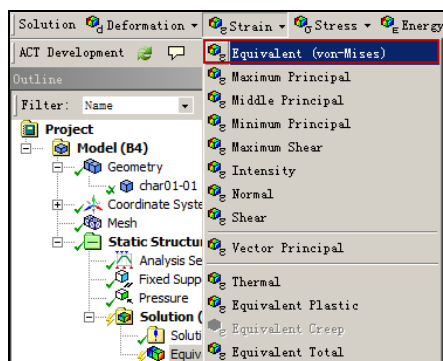


图 1-48 添加等效应变选项

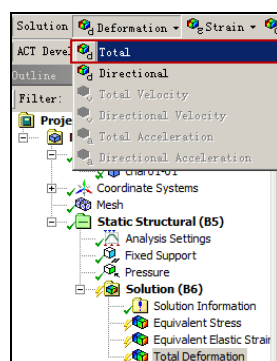


图 1-49 添加总变形选项

**步骤 05** 在 Outline (分析树) 中的 Solution (B6) 选项上单击鼠标右键, 在弹出的快捷菜单中选择 ⚡ Evaluate All Results 命令, 如图 1-50 所示, 此时会弹出进度显示条, 表示正在求解, 当求解完成后进度条自动消失。

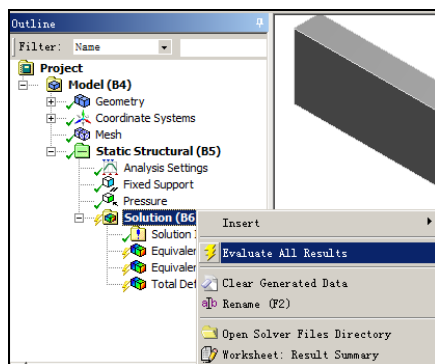


图 1-50 快捷菜单

**步骤 06** 选择 Outline (分析树) 中 Solution (B6) 下的 Equivalent Stress 选项, 此时会出现如图 1-51 所示的应力分析云图。

**步骤 07** 选择 Outline (分析树) 中 Solution (B6) 下的 Equivalent Elastic Strain 选项, 此时会出现如图 1-52 所示的应变分析云图。

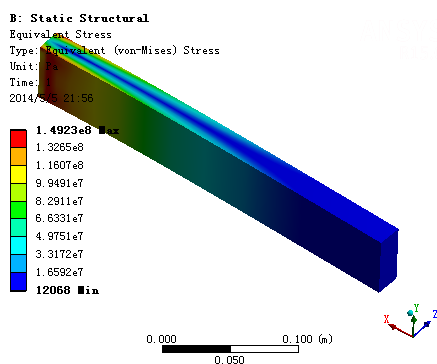


图 1-51 应力分析云图

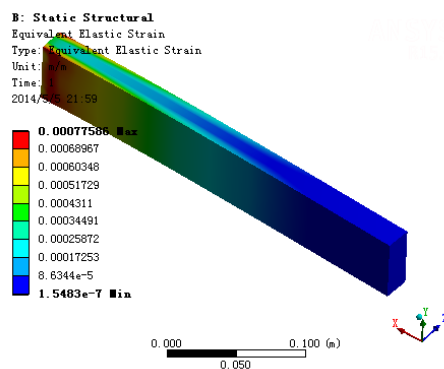




图 1-52 应变分析云图




**步骤 08** 选择 Outline (分析树) 中 Solution (B6) 下的 Total Deformation (总变形) 选项, 此时会出现如图 1-53 所示的总变形分析云图。

## 1.5.9 保存与退出

**步骤 01** 单击 Mechanical 界面右上角的  (关闭) 按钮, 退出 Mechanical 返回到 Workbench 主界面。此时主界面中的项目管理区中显示的分析项目均已完成, 如图 1-54 所示。

**步骤 02** 在 Workbench 主界面中单击常用工具栏中的  Save (保存) 按钮, 保存包含有分析结果的文件。

**步骤 03** 单击右上角的  (关闭) 按钮, 退出 Workbench 主界面, 完成项目分析。

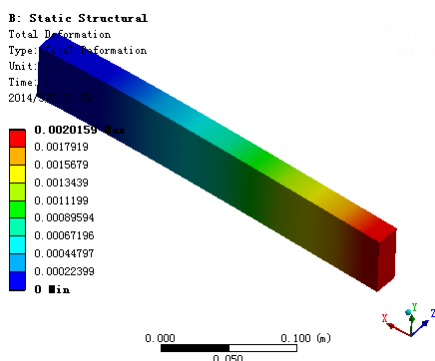


图 1-53 总变形分析云图

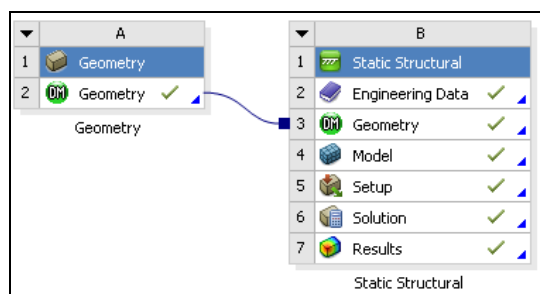


图 1-54 项目管理区中的分析项目

## 1.6 本章小结

本章首先对 ANSYS Workbench 15.0 进行了简明扼要的介绍, 然后对 Workbench 的启动方式、主界面等进行了较为详细的讲解, 紧随其后又介绍了 ANSYS Workbench 的项目管理及文件管理模式。最后给出了一个分析案例, 通过该案例读者可以了解 Workbench 的分析流程。

通过本章的学习, 读者可以对主界面进行全面的了解, 并掌握项目的基本操作方式, 然而这仅仅是掌握 ANSYS Workbench 操作的第一步, 后面的知识需要读者更为深入的学习。

## 第2章 创建 Workbench 几何模型



### 引言

几何模型是进行有限元分析的基础，在工程项目进行有限元分析之前必须对其建立有效的几何模型，ANSYS Workbench所用到的几何模型既可以通过其他的CAD软件导入，也可以采用ANSYS Workbench集成的DesignModeler平台进行几何建模。本章着重介绍如何在DesignModeler中建立几何模型。



### 学习目标

- ★ 了解DesignModeler (DM)
- ★ 掌握在DM中创建草图与 3D几何体
- ★ 着重掌握从外部导入CAD文件
- ★ 掌握在DM中应用概念建模

## 2.1 认识DesignModeler

DesignModeler (本书将其简写为DM) 是ANSYS Workbench 15.0 集成的几何建模平台，DM类似于其他的CAD建模工具，不同的是它主要为FEM服务，因此具备了一些其他CAD软件不具备的功能，如Beam Modeling (梁模型)、Spot Welds (点焊设置)、Enclosure Operation (包围体操作)、Fill Operation (填充操作) 等。

在进行基本建模操作之前，先来认识一下DM的基本操作。

### 2.1.1 进入 DesignModeler

在ANSYS Workbench主界面的项目管理区中双击Geometry (几何体)，即可进入DM，初次进入后会弹出如图 2-1 所示的DM操作界面。

在菜单栏中依次选择Units→需要的单位之后即可选择相应的单位制，如图 2-2 所示。



技巧提示

通常情况下可根据绘图需要选择Millimeter (毫米mm)，同时选中Always use project unit (总采用项目单位) 复选框，建模过程中单位不能再更改。

在DM中几何建模通常是由CAD几何体开始的，有如图 2-3 所示的两种方式。

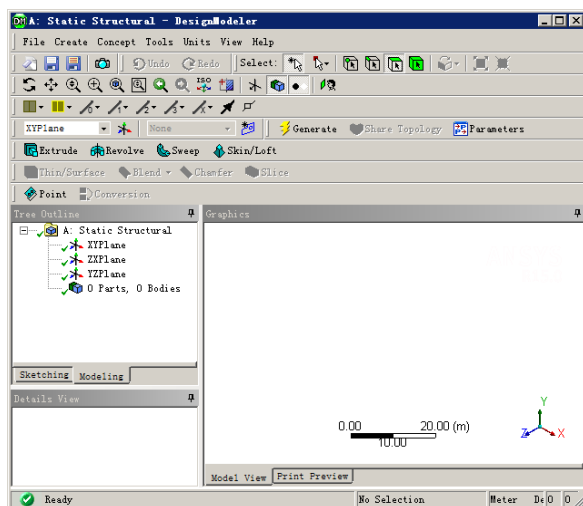


图 2-1 DM 主界面

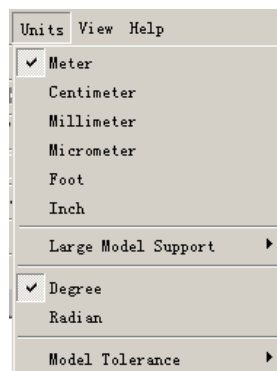


图 2-2 选择单位

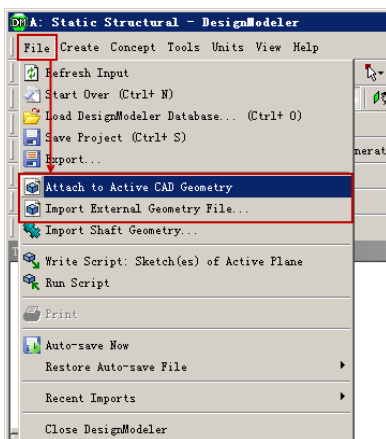


图 2-3 进入 DM 建模方式

- 从外部活动的 CAD 系统（Pro/Engineer、SolidWorks 等）中探测并导入当前的 CAD 文件，该导入方式为 Plug-in 模式（双向模式），具体方法为：在 DM 中选择菜单栏中的 File（文件）→ Attach to Active CAD Geometry 命令（从活动的 CAD 系统中导入 CAD 几何体）。



技巧提示

当外部系统是开启时，则DM与CAD之间会存在关联性。

- 导入 DM 所支持的特定格式的几何体文件（Parasolid、SAT 格式等），该导入方式为 Reader 模式（只读模式），具体方法为：在 DM 中选择菜单栏中的 File（文件）→ Import External Geometry File 命令（导入外部几何体文件）。



技巧提示

在ANSYS中不能通过DM中的几何体直接导入Simulation中。

导入几何体时输入的选项包括：几何体类型（实体、表面、全部）、简化几何体、校验/修复几何体等内容。其中简化几何体有几何体、拓扑两种方法。

- 几何体：如有可能，将 NURBS 几何体转换为解析的几何体。
- 拓扑：合并重叠的实体。

## 2.1.2 DesignModeler 的操作界面

如图 2-4 所示为 DM 的典型操作界面，实际上它与当前流行的三维 CAD 软件类似，其操作方式也类似。DM 操作界面包括菜单栏、工具栏、设计树、图形窗口、模式标签、参数列表等内容。

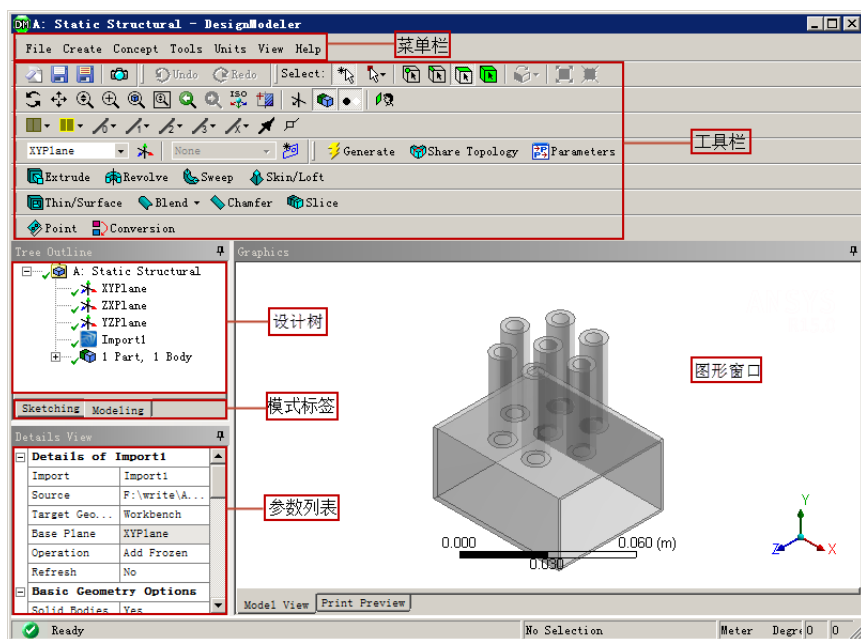


图 2-4 DM 操作界面

其中设计树提供了用户在设计时的设计步骤，将设计思路保留在设计树中，可方便用户的查阅与修改。参数列表提供的是建模时所用到的相关参数，通过相关参数的修改可以对模型进行控制。

### 1. 菜单栏

如同其他 CAD 软件，DM 的主要功能均集中在各项主菜单中，包括 File（文件）、Create（造型）、Tools（工具）等内容。

- **File（文件）**：该菜单包含了基本的文件操作命令，主要有文件的输入、输出、保存以及脚本的运行等命令。
- **Create（造型）**：该菜单包含了创建 3D 图形和修改图形的工具命令（如拉伸、布尔运算、倒角等）。

- **Concept（概念）**：该菜单包含了修改线和曲面体的工具。
- **Tools（工具）**：该菜单包含整体建模、参数管理、定制用户程序等操作命令。
- **View（视图）**：该菜单包含了用来修改显示设置的菜单命令。
- **Help（帮助）**：利用该菜单，可以获取 DM 的相关帮助信息，在实际应用中随时可以调用。

## 2. 工具栏

为了方便操作，DM将一些常见的功能以工具栏的形式组合在一起，放置在菜单栏的下方。常用的工具栏如图 2-5 所示。

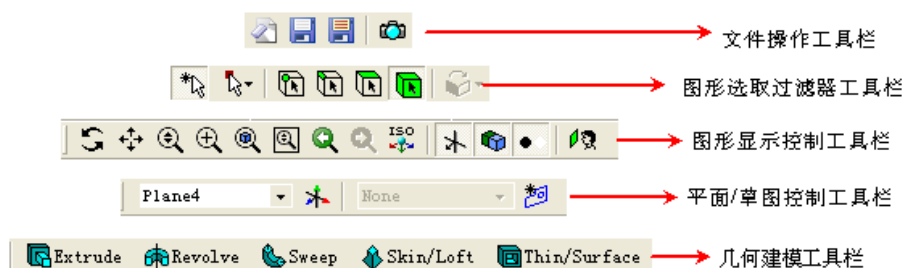


图 2-5 常用工具栏

- **文件操作工具栏**：该工具栏包含了常用的 DM 应用命令，有新建、保存、输出等命令，方便用户操作。
- **图形选取过滤器工具栏**：该工具栏主要用来控制图形的选取，包括点、线、面、体的选择等，方便在绘图时选取对象。
- **图形显示控制工具栏**：该工具栏的命令可以用来激活鼠标视角的控制，通过对图形的放大、缩小、移动、全局等控制图形的显示效果。
- **平面/草图控制工具栏**：该工具栏可以控制选择草图绘制的基准面，并可以定义草图名称。
- **几何建模工具栏**：该工具栏的命令可以用于 3D 界面的各种运算，包括拉伸、旋转、扫描、蒙皮等操作，以生成 3D 几何体。

## 3. 设计树

如同其他的 3D 设计软件，设计树区域中显示的内容与建模的逻辑相匹配，建模的整个过程可以显示在设计树的相关分支中，以方便查阅与修改。

## 4. 模式标签

用来进行草图与模型间的切换。草图与模型是在不同的图形编辑环境下进行的。

## 5. 参数列表

参数列表中显示的是绘图命令的详细信息，通过参数列表可以定义相应的尺寸值等内容。

6. 图形窗口

用来显示图形的绘制结果，在图形窗口中可以直接预览图形的最终效果。

2.1.3 DesignModeler 的鼠标操作

在DM建模中鼠标操作是必不可少的，通常用户用的均为三键鼠标，三键鼠标的功能如表 2-1 所示。

表 2-1 DM 中的鼠标操作方式

鼠标按键	配合应用	功能
左键	单击鼠标左键	选择几何体
	Ctrl+单击左键	添加或移除选定的实体
	按住左键+拖动光标	连续选择实体
中键	按住中键	自由旋转
	Ctrl+按住中键	拖动实体
	滚动	缩小/放大实体
右键	单击鼠标右键	弹出快捷菜单
	按住鼠标右键框选	窗口框选缩放（快捷操作）

2.1.4 图形选取与控制

在建模时常会要求模型的起始位置位于某个面或者边上，因此需要选择该面或者边进行操作，这时就要求进行图形选取过滤操作。例如在图形选取过滤器工具栏中选择面，此时在选择操作时只能选择面。

图形选取过滤是通过图形选取过滤器工具栏实现的，通过激活一个选取过滤器可以控制特性选取，其按钮功能如图 2-6 所示。

为了更为方便地观察窗口中的视图，DM提供了图形显示控制工具栏来控制图形的显示，工具栏的各按钮命令如图 2-7 所示，使用时需要与鼠标配合。

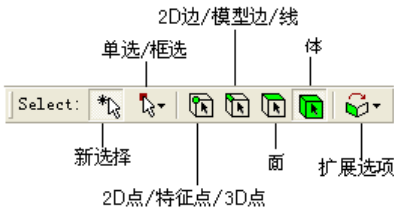


图 2-6 图形选取过滤器工具栏



图 2-7 图形显示控制工具栏

2.1.5 DM 几何体

在ANSYS Workbench中，DM几何体建模主要包含以下 4 个基本方面。



- 草图模式：包括创建二维几何体工具，这些二维几何体为 3D 几何体的创建和概念建模做准备。
- 3D 几何体：将草图进行拉伸、旋转、表面建模等操作后得到的几何体。
- 几何体输入：直接导入商业化 CAD 模型进入 DM 并对其进行修补，使之适应有限元网格划分。
- 概念建模：用于创建和修补直线和表面实体，使之能应用于创建梁和壳体的有限元模型。


DM 几何体建模方式将在下面的章节中逐一展开并介绍。

## 2.2 DesignModeler草图模式

DM 草图是在平面上创建的，通常一个 DM 交互对话在全局直角坐标系原点中有三个默认的正交平面（XY，ZX，YZ）可以选为草图的绘制平面，还可以根据需要创建任意多的工作平面。草图的绘制过程大约分为两个步骤。

- 步骤 01** 定义绘制草图的平面。除全局坐标系的三个默认的正交平面外，还可以根据需要定义原点和方位，或通过使用现有几何体做参照平面创建和放置新的草绘工作平面。
- 步骤 02** 在所希望的平面上绘制或识别草图。

### 2.2.1 创建新平面

新平面（New Plane）的创建是通过单击“平面/草图控制”工具栏中的 （新平面）按钮来创建的。创建新平面后，树形目录中会显示新平面对象，如图 2-8 所示，此时即可在平面中绘制草图。

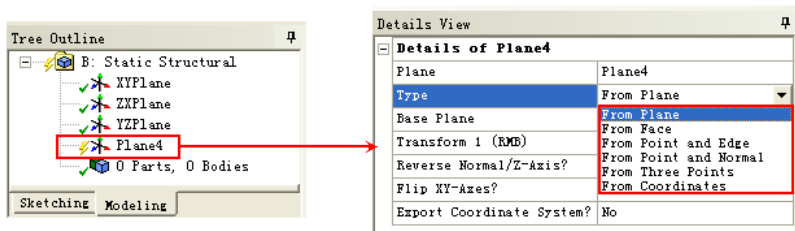



图 2-8 创建新平面

在平面参数设置栏中，构建平面的 6 种类型如下。

- From Plane：基于另一个已有平面创建平面。
- From Face：从体的表面创建平面。
- From Point and Edge：通过一点和一条直线的边界定义平面。
- From Point and Normal：通过一点和一条边界方向的法线定义平面。
- From Three Points：通过三点定义平面。
- From Coordinates：通过键入距离原点的坐标和法线定义平面。

## 2.2.2 创建新草图

新草图 (New Sketch) 的创建是在激活平面上，通过单击“平面/草图控制”工具栏中的  (New Sketch) 按钮来完成的。

新草图创建后放在树形目录中，且在相关平面的下方，如图 2-9 所示。

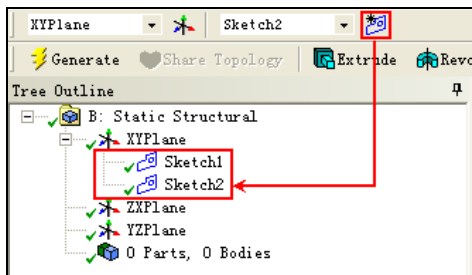
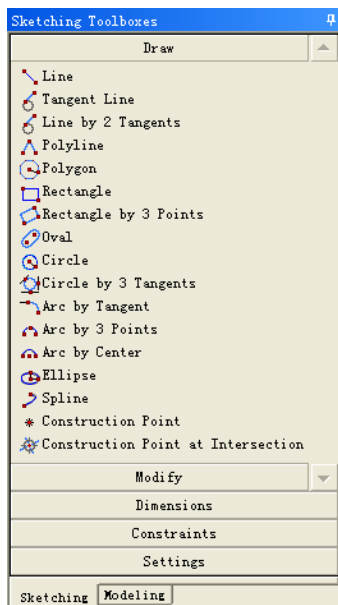


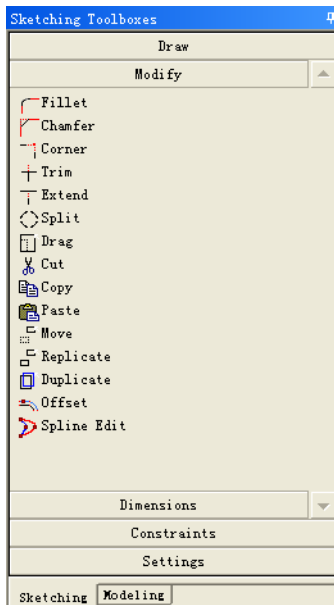
图 2-9 创建新草图

## 2.2.3 草图模式

选择了新草图之后，单击工具箱下方的 Sketching，即可进入到草图绘制界面，在草图模式中，工具箱中包括了一系列面板，如图 2-10 所示，图中给出了 Draw (绘图)、Modify (修改)、Dimensions (尺寸) 三个面板，Constraints (约束) 及 Settings (设置) 面板没有给出。



(a) 绘图面板



(b) 修改面板



(c) 尺寸面板

图 2-10 草图工具相关面板



当创建或改变平面和草图时，单击“图形显示控制”工具栏中的 (Look At Face/Plane/Sketch) 按钮时可以立即改变视图方向，使该平面、草图或选定的实体与视线垂直。

ANSYS Workbench的草图绘制模式如同AutoCAD、SolidWorks等CAD工具，绘制方法也类似，这里不再赘述，请参考相关学习资料，在本章后面的实例中根据实例操作即可快速掌握相关命令。

## 2.2.4 草图援引

草图援引 (Insert Sketch Instance) 是用来复制源草图并将其加入到目标面中的一种草绘方法。复制的草图和源草图始终保持一致，也就是说复制对象随着源对象的更新而更新。

在草图平面上单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择 Insert Sketch Instance 命令，然后在参数列表中设置 Base Sketch 等参数即可创建草图援引，如图 2-11 所示。

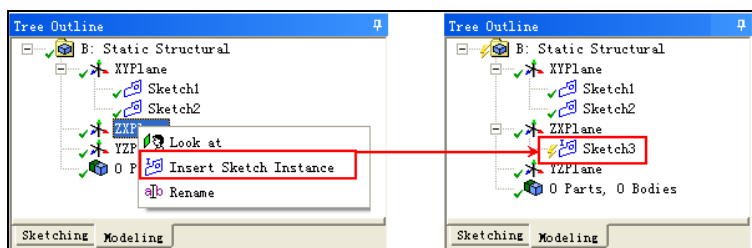


图 2-11 创建草图援引

草图援引具有以下特性：

- 草图援引中的边界是固定的且不能通过草图进行移动、编辑或删除等操作。
- 草图在基准草图中改变时，援引草图也会随之被更新。
- 草图援引可以像正常草图一样用于生成其他特征。



草图援引不能作为基准草图被其他草图援引，同时它不出现在草图的下拉菜单中。

## 2.3 创建3D几何体

将草图进行拉伸、旋转或表面建模等操作后得到的几何体称为 3D 几何体，DM 中包括实体、表面体、线体等三种不同的体类型，其中实体是由表面和体组成，表面体由表面（但没有体）组成，线体则完全由边线组成，没有面和体。



体在特征树中的图标取决于它的类型（实体、表面体或线体）。

在默认情况下，DM 会自动将每一个体放在一个零件中。单个零件一般独自划分网格，其上的多个体可以在共享面上划分匹配的网格。

### 2.3.1 创建 3D 特征

3D特征操作通常是指由 2D草图生成 3D几何体。常见的特征操作包括Extrude（拉伸）、Revolve（旋转）、Sweep（扫描）、Skin/Loft（蒙皮/放样）、抽面等，如图 2-12 所示。

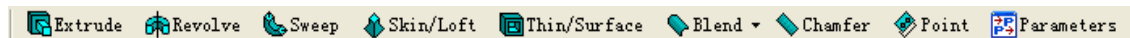


图 2-12 常见特征操作

DM生成 3D几何体的过程与其他的CAD软件的建模过程类似，对于常规的 3D操作，如拉伸、旋转、扫描等操作这里不再赘述。

在DM中创建 3D几何体的一些高级操作集成在DM的Create（创造）及Tools（工具）菜单命令中，如图 2-13 所示的是DM中的一些特性操作。

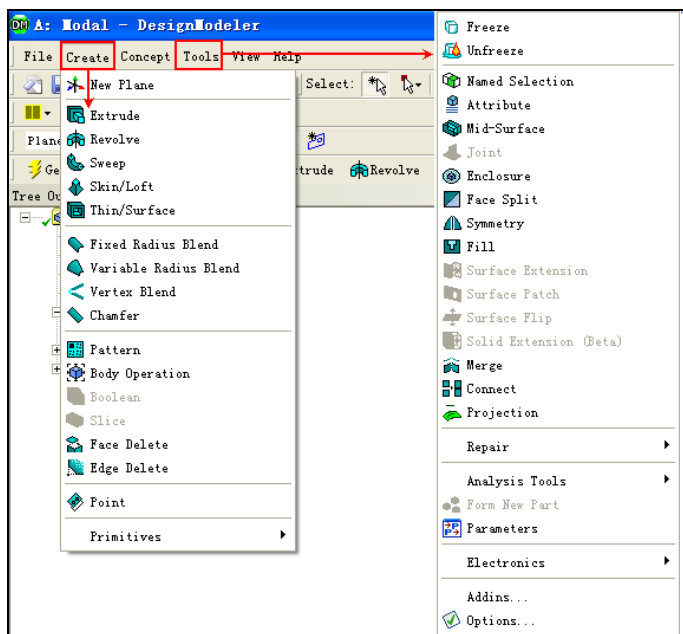



图 2-13 3D 几何体的高级操作命令

### 2.3.2 激活体和冻结体

在默认状态下，DM会将新的几何体与已有的几何体合并来保持单个体。通过激活或冻结体可以控制几何体的合并。在DM中存在Active（激活）及Freeze（冻结）两种状态的体。

#### 1. 激活体

体默认为激活状态，在该状态下体可以进行常规的建模操作，如布尔操作等，但不能被切片（Slice），激活体在特征树形目录中显示为蓝色（）。



技巧提示

切片操作是DM的特色之一，它主要是为网格划分中划分规则的六面体服务的。

## 2. 冻结体

冻结体的目的是为仿真装配建模提供一种不同选择的方式。由于建模中的操作除切片外均不能用于冻结体，因此可以说冻结体是专门为体切片设置的。



对于一些不规则的几何体首先要进行冻结，然后对其进行切片操作，切成规则的几何体，然后即可划分出高质量的六面体网格。

执行菜单栏中的Tools（工具）→Freeze（冻结）操作时，选择的体将被冻结，冻结体在树目录中显示成淡颜色（）。当选取冻结体后执行Tools（工具）→Unfreeze（解除冻结）操作时，可以激活被冻结的体。

### 2.3.3 切片特征

在DM中，只有当模型完全由冻结体组成时，才可以使用切片。模型冻结后，选择菜单栏中的Create（创建）→Slice（切片）命令，即可创建切片。

使用切片时，参数列表中有 5 个选项可供选择，如图 2-14 所示。

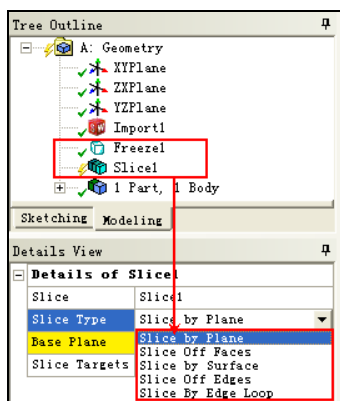



图 2-14 切片特征参数

- Slice by Plane（用平面切片）：选定一个面并用此面对模型进行切片操作。
- Slice Off Faces（切掉面）：在模型中选择表面，DM 将这些表面切开，然后就可以用这些切开的面创建一个分离体。
- Slice by Surface（用面切片）：选定一个面来切分体。
- Slice Off Edges（切掉边）：在模型中选择边，DM 将这些边切开，然后就可以用这些切开的边创建一个分离体。
- Slice By Edge Loop（用边环切片）：选定一个闭环的边来切分体。

### 2.3.4 抑制体

体抑制是DM特有的一种操作，体被抑制后不会显示在图形窗口中，抑制体既不能送到其他Workbench模块中用于网格划分与分析，也不能导出为Parasolid（.x\_t）或ANSYS Neutral文

件(.anf)格式。抑制体在设计树中显示为.

如图 2-15 所示,在设计树中选择体并单击鼠标右键,在弹出的快捷菜单中选择 Suppress (抑制体)命令,即可将选择的体抑制。

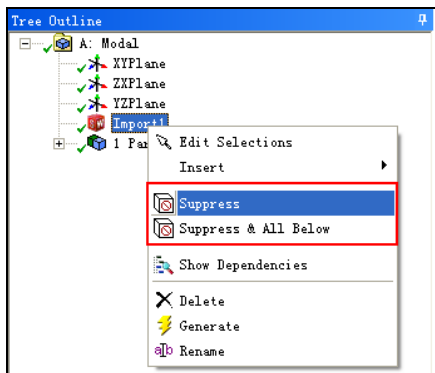


图 2-15 抑制体执行命令


解除抑制的方法与抑制体相同,首先选择需要解除抑制的体,然后单击鼠标右键,在弹出的快捷菜单中选择 Unsuppress (解除抑制体)命令,即可将选择的被抑制的体解除抑制。

## 2.3.5 面印记

面印记(Imprint Faces)与切片操作类似,是DM操作的特色功能之一。面印记仅用来分割体上的面,根据需要也可以在边线上增加印记(但不创建新体)。

具体来讲表面印记可以用来在面上划分出适用于施加载荷或约束的位置,如在体的某个面的局部位置添加载荷,此时就需要在施加载荷的位置采用面印记功能添加面印记。

添加面印记的操作步骤如下。

**步骤 01** 单击图形选取过滤器工具栏中的(选择面)按钮,然后在体上选择一个需要添加面印记的面,如图 2-16 所示。

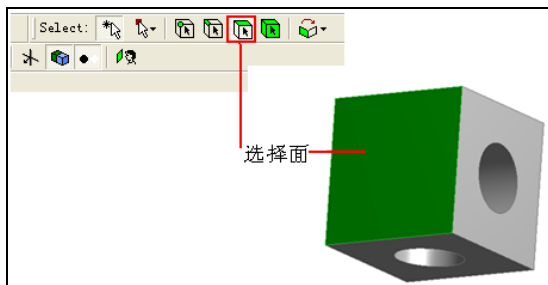





图 2-16 添加面印记

**步骤 02** 将模式标签切换到 Sketching (草图)模式,单击图形显示控制工具栏中的 (正视放大)按钮。

**步骤 03** 单击 Draw (绘图)面板中的 Rectangle (矩形)按钮,在图形中绘制矩形,单击 Dimensions (尺寸)面板中的 General (基本尺寸)按钮,标注绘制的矩形尺寸,



并在参数列表中修改矩形的尺寸为 5mm，绘制成一个矩形，如图 2-17 所示。

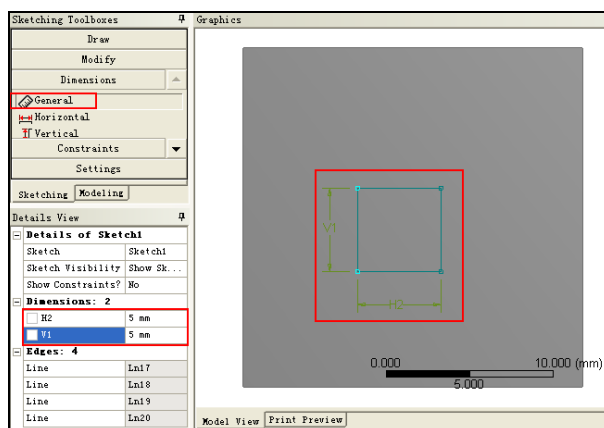



图 2-17 绘制矩形

**步骤 04** 将模式标签切换回 Modeling(模型)模式,单击几何体建模工具栏中的  Extrude(拉伸)按钮,在参数列表栏中的 Operation 选项的下拉列表中选择 Imprint Faces(面印记)选项,如图 2-18 所示。

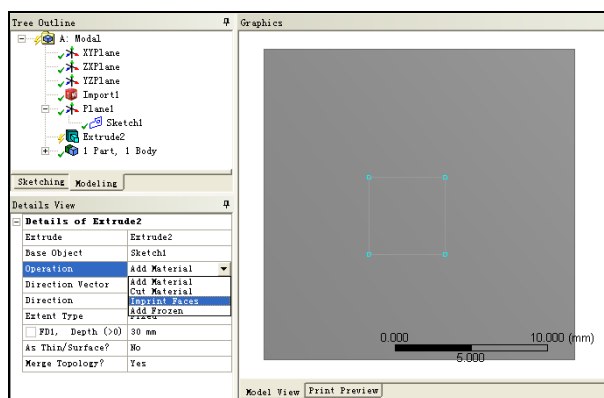

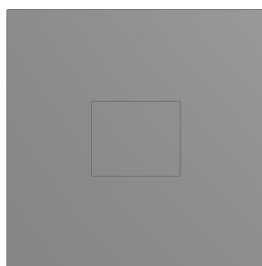
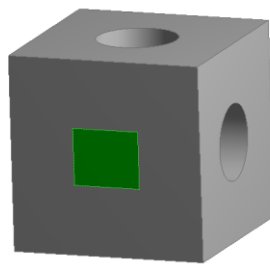


图 2-18 设置选项

**步骤 05** 单击工具栏中的  Generate(生成)按钮,此时即可生成表面印记,如图 2-19 所示为选中面后的效果,(a)为选中的原面,(b)为选中生成的面印记。



(a) 选中原面



(b) 选中面印记

图 2-19 生成表面印记

## 2.3.6 填充与包围操作

填充 (Fill) 与包围 (Enclosure) 操作主要是为计算流体力学 (CFD) 及电磁场 (EMAG) 服务的。

### 1. 填充 (Fill)

填充是指创建填充体内部空隙 (如孔洞) 的冻结体, 该操作对激活或冻结体均可应用, 填充仅对实体进行操作, 通常用于在CFD中创建流动区域, 电磁场中创建磁场感应区域。

执行菜单栏中的Tools (工具) → Fill (填充) 命令, 即可执行填充操作, 通常有By Cavity (通过孔洞) 及By Caps (通过覆盖) 两种填充方法, 如图 2-20 所示。

### 2. 包围 (Enclosure)

包围指的是在体附近创建周围区域以方便模拟场区域 (CFD、EMAG等), 执行菜单栏中的Tools (工具) → Enclosure (包围) 命令, 即可执行包围操作, 如图 2-21 所示。

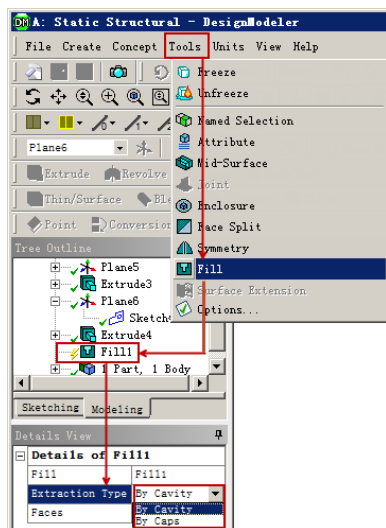


图 2-20 填充命令

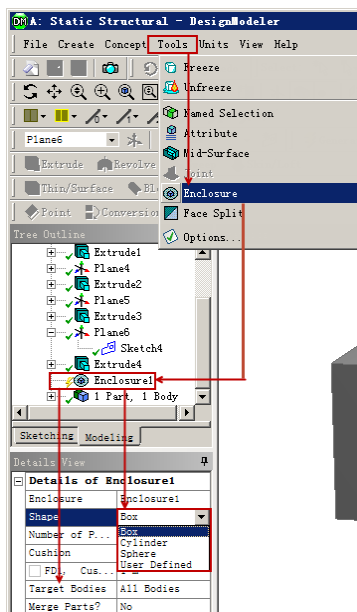


图 2-21 包围命令

包围可以采用Box、Sphere、Cylinder或者User Defined (自定义) 的形状进行包围。如图 2-22 所示为选择Box与Sphere后创建的包围。



技巧提示

包围操作可以指对所有的体或者选中的体, 允许自动创建多体部件, 确保原始部件和场域在网格划分时节点匹配。

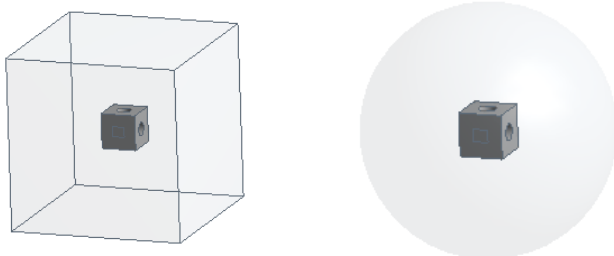


图 2-22 创建包围

### 2.3.7 创建多体部件体

在ANSYS Workbench中部件是体的载体，默认情况下DM将每一个体自动放入部件中。在DM中可以将多个体置于部件中构成复合体——多体部件体（Multi-body Parts），此时它们共享拓扑，即离散网格在共享面上匹配。

新部件的构成通常是先在图形屏幕中选定两个或多个体素，然后如图 2-23 所示执行菜单栏中的Tools（工具）→Form New Part（构成新部件）命令。选择三个零件生成一个体后的设计树，如图 2-24 所示。

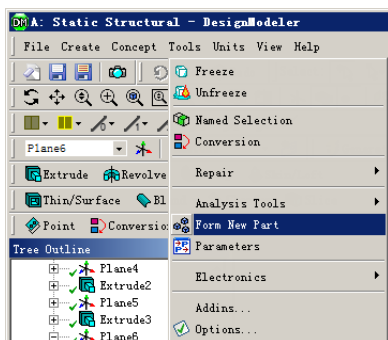


图 2-23 Form New Part 菜单命令

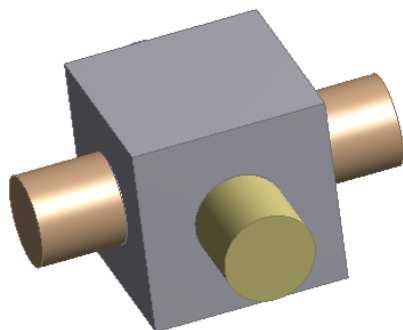


图 2-24 三个零件生成一个体



技巧提示

如果要选择所有的体，可以在图形窗口中单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择Select All（选择所有）命令。

多个体、多个部件时，具有以下特点：每个实体都能独立的进行网格划分，但是节点不能共享，对应的节点没有连续性。

多个体通过布尔操作组成一个部件时，具有以下特点：

- 几个实体共同作为一个实体进行网格划分，无法真实的模拟实际情况。
- 由于多个体之间没有接触区，网格划分后没有内部表面。
- 组成一个零件后，所有的零件只能采用一种材料，对于多种材料的部件体不适用。

多个体共同组成多体部件时，具有以下特点：

- 每一个实体都独立划分网格，实体间的节点连续性被保留。
- 同一个多体部件可以由不同的材料组成。
- 实体间的节点能够共享且没有接触。

## 2.4 导入外部CAD文件

虽然大部分用户不熟悉DM的建模命令，但至少能熟练精通其他任一种CAD建模软件，在使用ANSYS Workbench时，用户可以在自己精通的CAD软件系统中创建新的模型再将其导入DM中即可。

DM与当前流行的主流CAD软件均能兼容，并能与其协同建模，它不仅能读入外部CAD模型，还能嵌入主流CAD系统中，如图 2-25 和图 2-26 所示。



图 2-25 ANSYS Workbench 嵌入到 Pro/Engineer 中



图 2-26 ANSYS Workbench 嵌入到 SolidWorks 中

### 2.4.1 非关联性导入文件

在DM中，选择菜单栏中的File（文件）→ Import External Geometry File命令（导入外部几何体文件），即可导入外部几何体。采用该方法导入的几何体与原先的外部几何体不存在关联性。

DM支持导入的第三方模型格式有：ACIS（SAT）、CADNexus/CATIA、IGES、Parasolid、STEP等。



技巧提示

DM不仅能够从外部导入几何体，同时它也能向外输出几何体模型，其命令为：File（文件）→Export（导出）。

### 2.4.2 关联性导入文件

在DM中建立与其他CAD建模软件的关联性，即实现二者之间的互相刷新、协同建模，可以提高有限元分析的效率。这就需要将DM嵌入到主流的CAD软件系统中，若当前CAD已经打开，在DM中输入CAD模型后，它们之间将保持双向刷新功能。参数采用的默认格式为DS\_XX

形式。

目前DM支持协同建模的CAD软件有：Autodesk Inventor、CoCreate Modeling、Mechanical Desktop、Pro/Engineer、Solid Edge、SolidWorks、UG NX等。

### 2.4.3 导入定位

在DM中，CAD几何模型的导入和关联都是有基准面属性的，导入和关联时需要指定模型的参考面（方向）。在导入操作前，需要从树状视图或者平面下拉列表中选择平面作为参考面。当进行新的导入或关联功能时，激活平面为默认的基准平面。

### 2.4.4 创建场域几何体

在导入CAD文件时，多数情况下导入的是实体模型，在特殊情况下，可能会对实体部件周围或者所包含的区域感兴趣（如流体区域），这样就可以通过对实体部件进行Taking the Negative 操作创建相应的流体区域。

通常创建场域几何体有包围（Enclosure）与填充（Fill）两种方法，在上一节中已经介绍，这里不再赘述。

## 2.5 概念建模

概念建模（Concept）用于创建、修改线体和面体，并将其变为有限元的梁或板壳模型。可以采用下面的两种方式进行概念建模。

- 利用绘图工具箱中的特征创建线或表面体，用来设计 2D 草图或生成 3D 模型。
- 利用导入外部几何体文件特征直接创建模型。



技巧提示

DM目前只能识别由CAD软件导入部件的实体和面体，无法识别线体，故而Workbench中只能在DM中通过概念建模生成线体模型。

DM中概念建模是在主菜单中提供的，如图 2-27 所示。

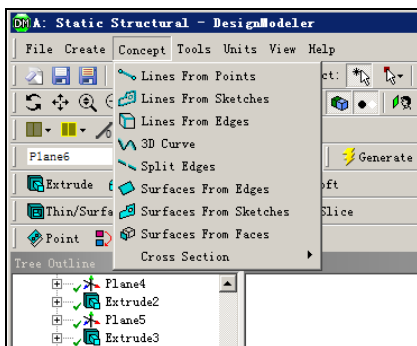


图 2-27 概念建模菜单

利用概念建模工具可以创建线体，包括从点生成线体（Lines From Points）、从草图生成线体（Lines From Sketches）、从边生成线体（Lines From Edges）等；也可以创建面体，包括从线生成面体（Surfaces From Edges）、从草图生成面体（Surfaces From Sketches）、从面生成面体等。

### 2.5.1 从点生成线体

在DM中可以从点直接生成线体（Lines From Points），这些点可以是任何 2D 草图点、3D 模型顶点。

从点生成线体命令中点分段（Point Segments）通常是一条连接两个选定点的直线。该特征可以产生多个线体，主要由所选点分段的连接性质决定。操作域（Operation）允许在线体中选择添加材料（Add Material）或选择添加冻结（Add Frozen），如图 2-28 所示。

### 2.5.2 从草图生成线体

从草图生成线体（Lines From Sketches）是基于草图和从表面得到的平面创建线体，多个草图、面以及草图与平面的组合均可作为基准对象来创建线体。

创建时首先在草图中完成 2D图，然后在特征树形目录中选择创建好的草图或平面，最后在详细列表窗口中单击Apply按钮即可，如图 2-29 所示。

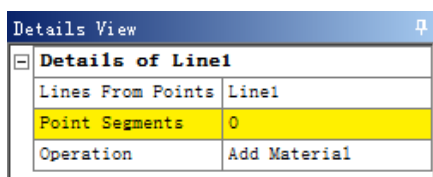


图 2-28 从点生成线体

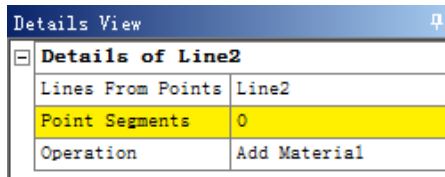


图 2-29 从草图生成线体

### 2.5.3 从边生成线体

从边生成线体（Lines From Edges）是基于已有的 2D和 3D模型边界创建线体，根据所选边和面的关联性质可以创建多个线体。该特征适用于从外部导入的CAD几何体及DM自身创建的几何体。

创建时首先选择边或面，然后在详细列表窗口中单击Apply按钮即可创建线体。

### 2.5.4 定义横截面

通常情况下，梁单元需要定义一个横截面（Cross Section），在DM中横截面是作为一种属性赋给线体，这样就可以在有限元仿真中定义梁的属性。如图 2-30 所示为DM中自带的横截面，它们是通过一组尺寸来控制横截面形状的。



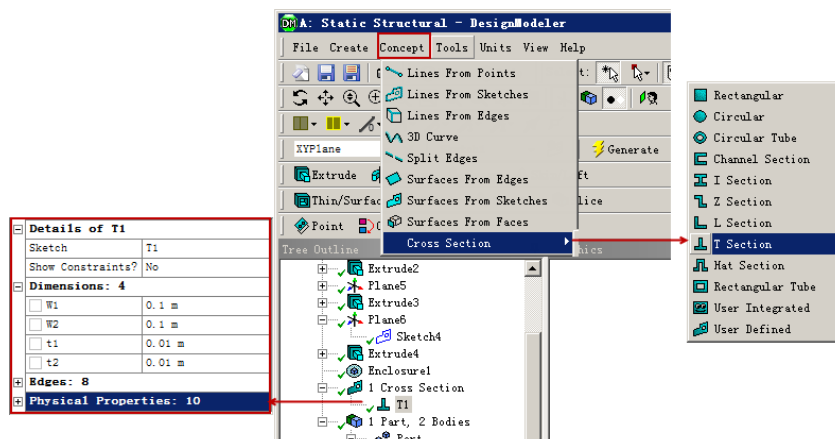


图 2-30 DM 中自带的横截面

横截面创建好之后，需要将其赋给线体，具体操作为：在树形目录中点亮线体，此时横截面的属性出现在详细列表窗口中，在 Cross Section（截面选取）的下拉列表中选择需要的横截面，如图 2-31 所示。

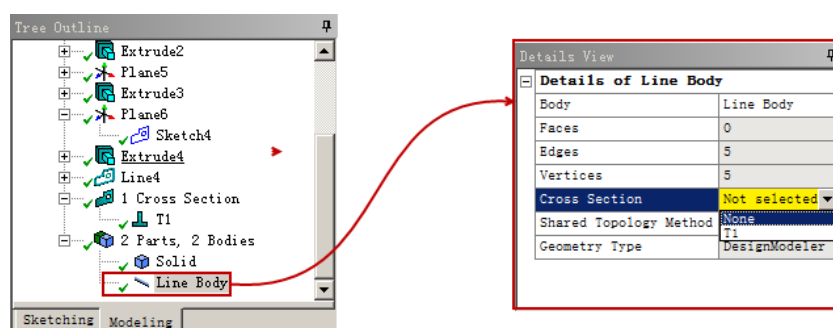


图 2-31 选取横截面

### 1. 自行定义集成的横截面

在DM中可以自行定义集成的横截面，此时无需画出横截面，只需在详细列表窗口中填写截面的属性即可，如图 2-32 所示。

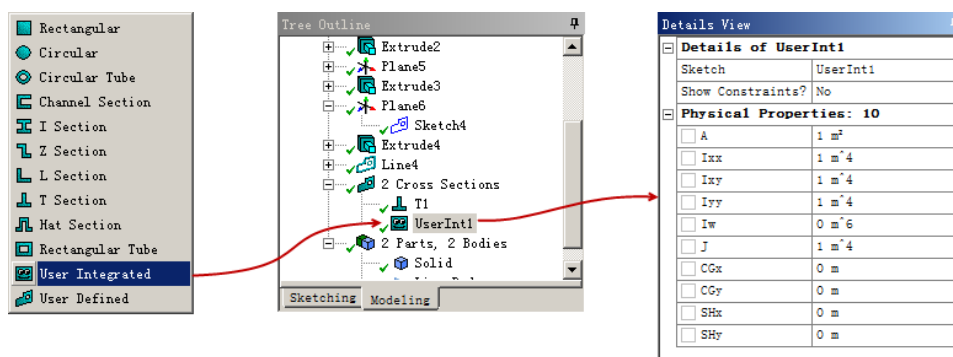


图 2-32 自行定义集成的横截面

详细列表窗口中的Physical Properties（物理特性）下主要参数的含义如表 2-2 所示。

表 2-2 物理参数含义

参数	含义	参数	含义
A	截面面积	J	扭转常量
Ixx	X 轴的转动惯量	CGx	质心的 X 坐标
Ixy	惯性积	CGy	质心的 Y 坐标
Iyy	Y 轴的转动惯量	SHx	剪切中心的 X 坐标
Iw	翘曲常量	SHy	剪切中心的 Y 坐标

2. 创建已定义的横截面

在DM中也可以创建用户已定义的横截面，此时无需画出横截面，只需基于已定义的闭合草图来创建截面的属性。创建用户已定义的横截面的步骤如下。

**步骤 01** 选择菜单栏中的 Concept（概念）→Cross Section（横截面）→User Defined（用户定义）命令，此时在树形目录中会多一个空的横截面草图，如图 2-33 所示。

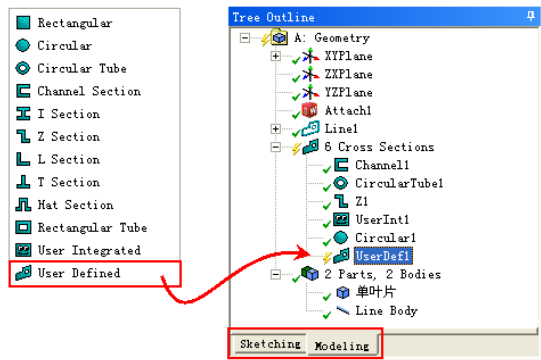




图 2-33 用户定义横截面

- 步骤 02** 单击 Sketching（草绘）标签绘制所要的草图，绘制的草图要求是闭合的。
- 步骤 03** 返回到 Modeling（模型）标签下，单击  Generate（生成）按钮，即可生成横截面。此时 DM 会计算出横截面的属性并在细节窗口中列出，这些属性不能更改。

3. 对齐横截面

在DM中，横截面默认的对齐方式是全局坐标系的+Y方向，若该方向会导致非法的对齐时，系统将会使用+Z方向。



**技巧提示**

在经典ANSYS环境下，横截面位于YZ平面中，用X方向作为切线方向，实际上这种定位差异对分析结果并没有影响。

在ANSYS Workbench中，线体横截面的颜色含义如表 2-3 所示。树形目录中的线体图标含义如表 2-4 所示。

表 2-3 线体颜色含义

线体颜色	含义
紫色	线体的截面属性未赋值
黑色	线体赋予了截面属性且对齐合法
红色	线体赋予了截面属性但对齐非法

表 2-4 线体图标含义

图标	颜色	含义
	绿色	有合法对齐的赋值横截面
	黄色	没有赋值横截面或使用默认对齐
	红色	非法的横截面对齐

4. 偏移横截面

将横截面赋给一个线体后，可以利用详细列表窗口中的属性指定横截面的偏移类型(Offset Type)，主要有Centroid（质心）、Shear Center（剪力中心）、Origin（原点）、User Defined（用户定义）等，如图 2-34 所示。

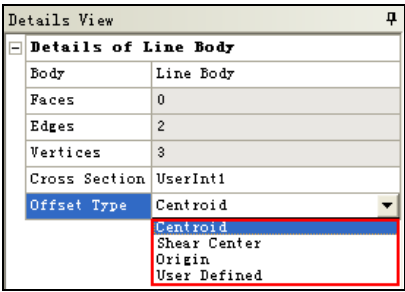


图 2-34 偏移横截面参数

- Centroid（质心）：该选项为默认选项，表示横截面中心和线体质心相重合。
- Shear Center（剪力中心）：表示横截面剪切中心和线体中心相重合，剪切中心和质心的图形显示看起来是一样的，但分析时使用的是剪切中心。
- Origin（原点）：横截面不偏移，按照其在草图中的样式放置。
- User Defined（用户定义）：用户通过指定横截面 X 方向和 Y 方向上的偏移量来定义偏移量。

2.5.5 从线生成面体

Surfaces From Edges（从线建立面体）是指用线体边作为边界创建面体，线体边必须没有交叉的闭合回路，每个闭合回路都创建一个冻结表面体，回路应该形成一个可以插入到模型的简单表面形状，这些表面形状包括平面、圆柱面、圆环面、圆锥面、球面和简单扭曲面等。

选择菜单栏中的Concept（概念）→Surfaces From Edges（从线建立面）命令，即可从线建

立体体，如图 2-35 所示。



无横截面属性的线体可以将表面模型连在一起，在此情况下线体仅仅起到确保表面边界有连续网格的作用。

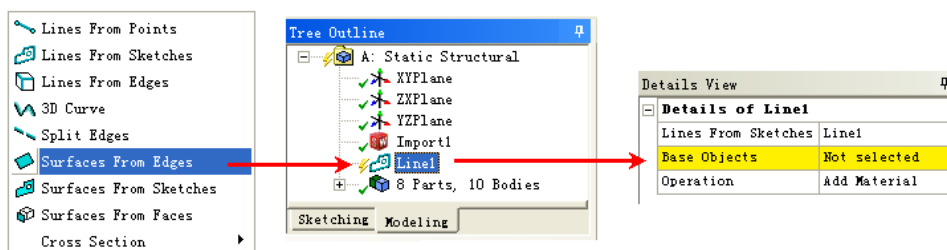


图 2-35 从线建立面体

## 2.5.6 从草图生成面体

从草图生成面（Surfaces From Sketches）是指由草图作为边界创建面体，草图可以是单个或多个，但是草图必须不是自相交叉的闭合剖面。从草图生成面体的操作方法如图 2-36 所示。

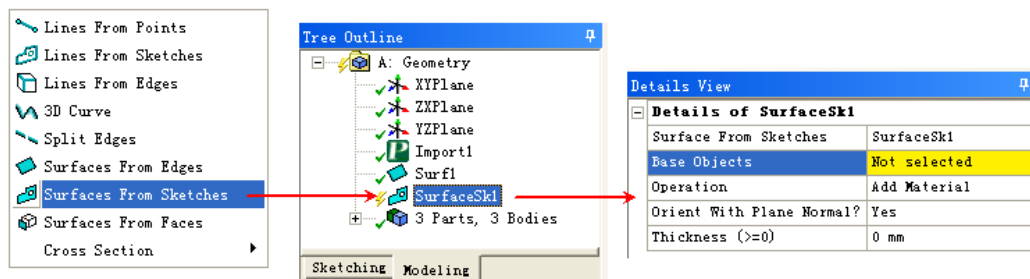


图 2-36 从草图生成面体

## 2.5.7 从面生成面体

从面生成面体（Surfaces From Faces）是指由面直接创建面体，从面生成面体的操作方法如图 2-37 所示。相关参数的设置这里不再赘述。

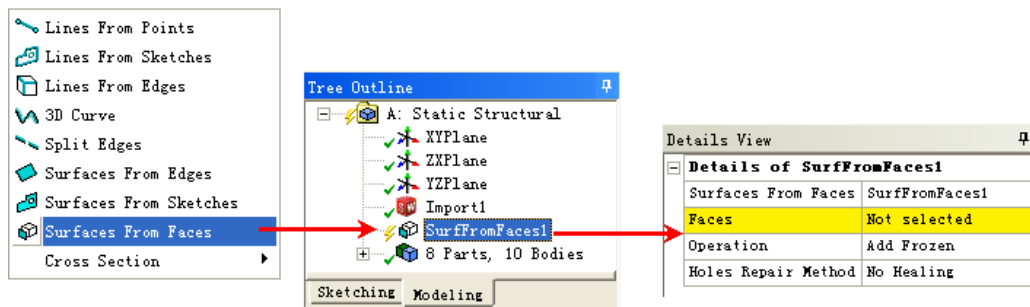


图 2-37 从面生成面体

## 2.6 创建几何体的实例操作

下面将通过一个简单的零件建模操作，帮助读者学习如何在DM中创建草图，并如何由草图生成几何体等，且介绍如何通过线创建线体、通过面创建面体等操作，通过本节的学习，读者可以基本上掌握在ANSYS Workbench中的建模方法。



在后面章节的学习过程中将直接采用导入模型的建模方式，而不再单独对建模进行讲解。

### 2.6.1 进入 DM 界面

- 步骤 01** 在 Windows 系统下执行“开始”→“所有程序”→ANSYS 15.0→Workbench 15.0 命令，启动 ANSYS Workbench 15.0，进入主界面。
- 步骤 02** 在 ANSYS Workbench 主界面中选择 Units (单位)→Metric (kg,mm,s,°C,mA,N,mV) 命令，设置模型单位，如图 2-38 所示。
- 步骤 03** 双击主界面 Toolbox (工具箱) 中的 Component Systems→Geometry (几何体) 选项，即可在项目管理区创建分析项目 A，如图 2-39 所示。
- 步骤 04** 双击项目 A 中的 A2 栏 Geometry，进入到 DM 界面，此时即可在 DM 中创建几何模型。

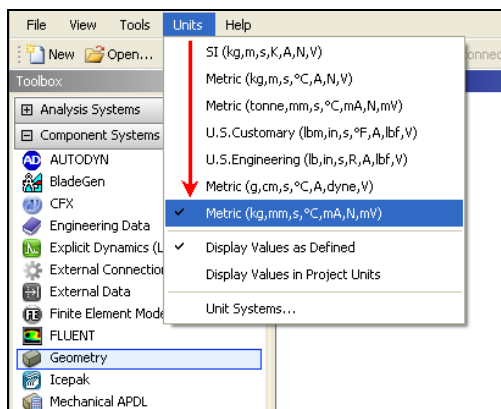


图 2-38 设置单位

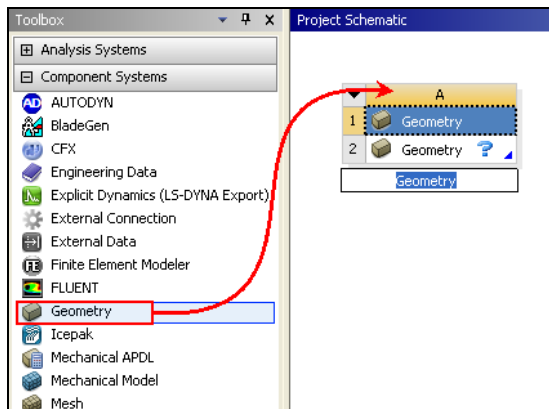


图 2-39 创建分析项目 A

### 2.6.2 绘制零件底部圆盘

#### 1. 选择绘制草绘平面

- 步骤 01** 在 DM 设计树中选择 XYPlane (XY 平面)，单击 Sketching (草图) 标签，进入到草图绘制环境，即可在 XY 平面上绘制草图。
- 步骤 02** 单击图形显示控制工具栏中的 (正视放大) 按钮，如图 2-40 所示，使草图绘制平面正视前方，如图 2-41 所示。

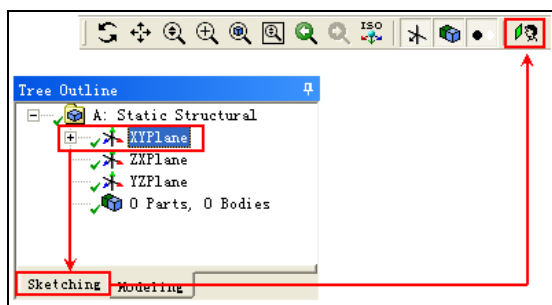


图 2-40 显示控制工具

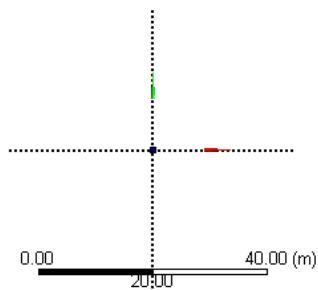


图 2-41 正视草绘平面



技巧提示

根据用户需要也可以自行创建草图绘制平面，而并非一定要在默认平面上绘制。

## 2. 绘制拉伸草图

- 步骤 01** 选择 Draw (绘图) 面板中的 **Circle** (圆) 命令，以坐标原点为圆心绘制一个圆。
- 步骤 02** 选择 Dimensions (尺寸) 面板中的 **General** (常规) 命令，单击选择圆，尺寸位置为圆标注尺寸，此时圆上显示的为符号标记 D1，如图 2-42 所示。
- 步骤 03** 在参数列表中的 Dimensions 下修改圆的尺寸参数 D1 为 64。

## 3. 创建拉伸特征

- 步骤 01** 单击几何建模工具栏中的 **Extrude** (拉伸) 按钮，在参数列表中设置 Base Object 为 Sketch1，设置 “FD1,Depth” 为 5mm，如图 2-43 所示。

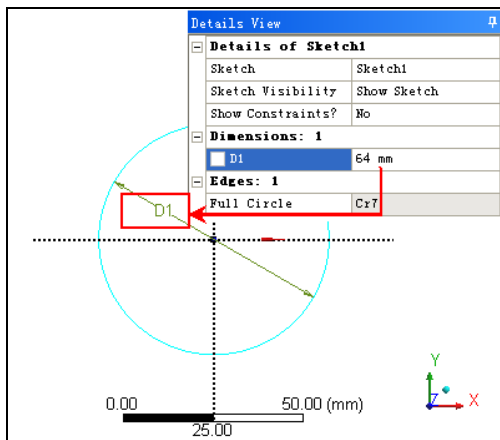


图 2-42 标注圆直径

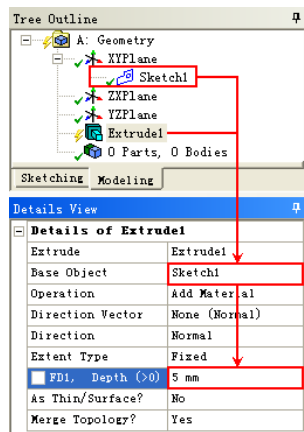


图 2-43 设置圆的拉伸值

- 步骤 02** 在设计树中的 Extrude1 选项上单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择 Generate (生成) 命令，如图 2-44 所示，即可生成拉伸特征，按住鼠标中键调整视图，得到的拉伸特征效果如图 2-45 所示。



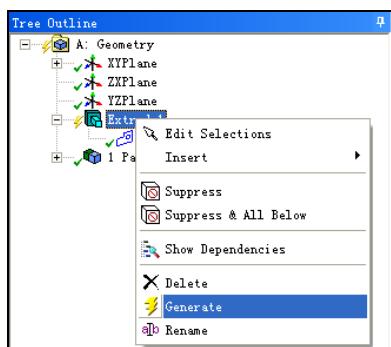


图 2-44 生成圆柱体

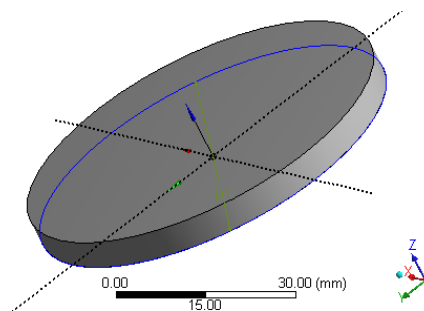





图 2-45 生成底部圆盘效果图

### 2.6.3 创建零件肋柱

#### 1. 创建草图平面

- 步骤 01** 单击平面/草图控制工具栏中的创建  (新平面) 按钮创建新平面, 在参数列表中, Type 设置为 From Face, 并选择零件上表面作为 Base Face, 如图 2-46 所示, 单击 **Apply** 按钮完成选择。
- 步骤 02** 单击 **Generate** (生成) 按钮, 生成草图平面。设计树中的  Plane1 变为  Plane1, 表示草图平面生成成功。

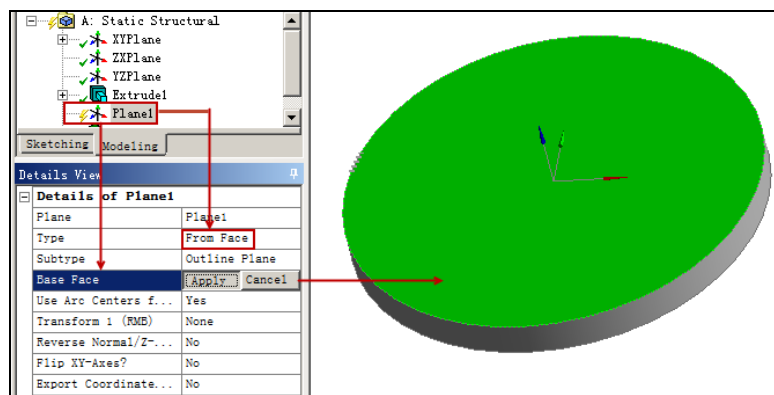





图 2-46 创建新平面

- 步骤 03** 在 DM 设计树中选择刚刚创建的草绘平面, 单击 Sketching (草图) 标签, 进入到草图绘制环境。
- 步骤 04** 单击图形显示控制工具栏中的  (正视放大) 按钮, 使草图绘制平面正视前方, 方便绘制图形, 如图 2-47 所示。

#### 2. 创建草图

- 步骤 01** 选择 Draw (绘图) 面板中的  Line (直线) 命令, 绘制如图 2-48 所示的四边形, 其中上下两条直线水平, 右侧一条垂直, 而左侧一条倾斜。
- 步骤 02** 选择 Constraints (约束) 面板中的  Vertical (垂直) 命令, 单击左侧倾斜的直线,

此时直线变为垂直。

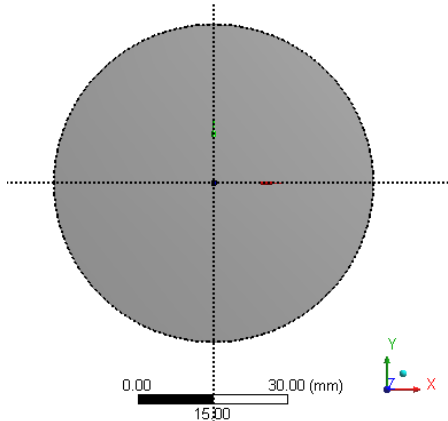


图 2-47 草图绘制平面正视前方

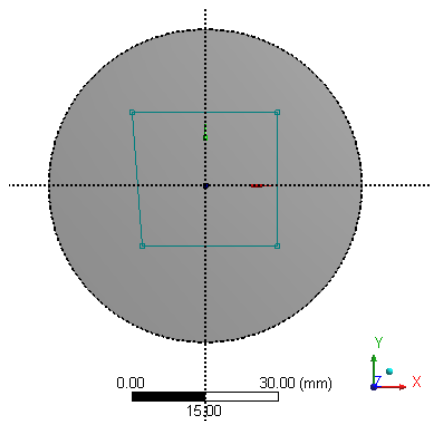


图 2-48 绘制四边形

- 步骤 03** 选择 Dimensions (尺寸) 面板中的 **General** (常规) 命令, 单击水平的直线, 在适当的位置单击放置尺寸, 此时尺寸符号标记为 H7。利用同样的方法标注其他尺寸, 最终尺寸结果如图 2-49 所示。
- 步骤 04** 在参数列表中的 Dimensions 下修改圆的尺寸参数 H7、V8 为 26, L9、L10 为 13。由此定义四边形的尺寸为以坐标原点为圆心的正方形, 如图 2-50 所示。



尺寸参数在标注时, 后面的数值会根据标注次数的不同而有所差异, 但不影响标注的效果。

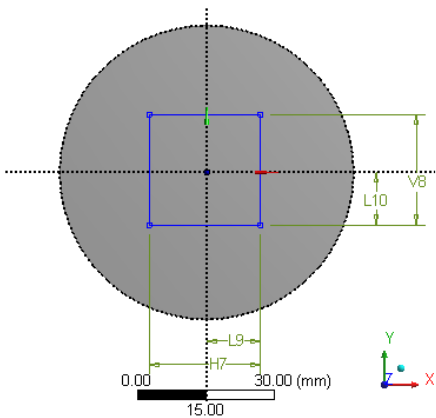


图 2-49 标注尺寸

Details View	
Details of Sketch4	
Sketch	Sketch4
Sketch Visibility	Show Sketch
Show Constraints?	No
Dimensions: 4	
<input type="checkbox"/> H7	26 mm
<input type="checkbox"/> L10	13 mm
<input type="checkbox"/> L9	13 mm
<input type="checkbox"/> V8	26 mm
Edges: 4	
Line	Ln11
Line	Ln12
Line	Ln13
Line	Ln14

图 2-50 设置尺寸参数

- 步骤 05** 选择 Modify (修改) 面板中的 **Fillet** (圆角) 命令, 在其后面的参数 Radius 中设置尺寸为 2.5mm, 如图 2-51 所示, 单击两两相邻的直线, 即可将四边形的四个角绘制成为圆角, 如图 2-52 所示。

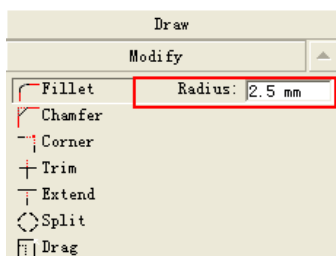


图 2-51 圆角命令

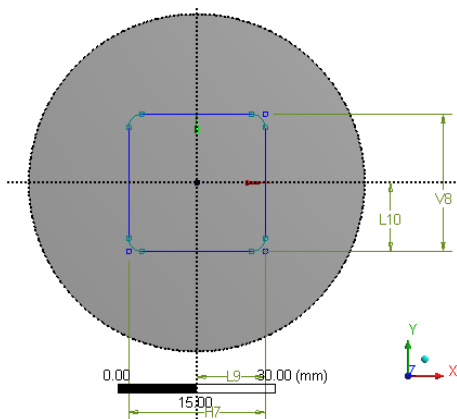


图 2-52 圆角效果

### 3. 拉伸生成体

- 步骤 01** 单击几何建模工具栏中的 **Extrude** (拉伸) 按钮, 在参数列表中设置 Base Object 为 Sketch4, 设置 “FD1,Depth” 为 30mm, 如图 2-53 所示。
- 步骤 02** 在设计树中的 Extrude2 选项上单击鼠标右键, 在弹出的快捷菜单中选择 Generate (生成) 命令, 即可生成拉伸特征, 按住鼠标中键调整视图, 得到的拉伸特征效果如图 2-54 所示。

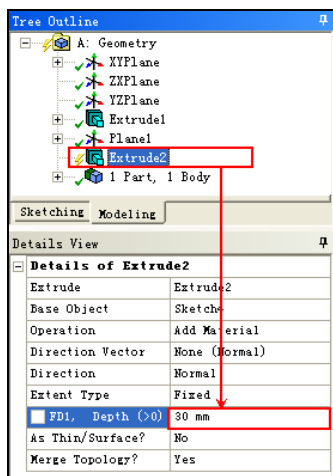


图 2-53 设置拉伸参数

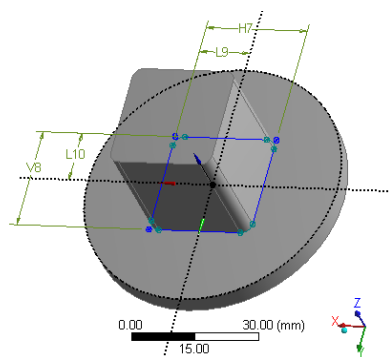


图 2-54 拉伸特征效果

## 2.6.4 生成线体

- 步骤 01** 选择菜单栏中的 Concept (概念) → Lines From Edges (边生成线体) 命令, 执行从边生成线体命令。
- 步骤 02** 单击鼠标选择如图 2-55 所示的圆边, 在参数设置列表中单击 **Apply** 按钮, 此时选中的边线呈绿色显示。
- 步骤 03** 单击 **Generate** (生成) 按钮, 生成线体。设计树中的 **Line1** 变为 **Line1** ,

线体显示为蓝色，表示线体生成成功。此时设计树中即包含了刚刚创建的线体，如图 2-56 所示。

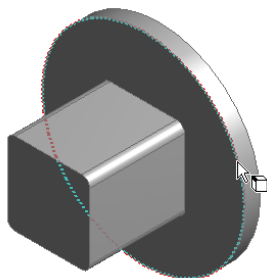


图 2-55 选中生成线体的边线

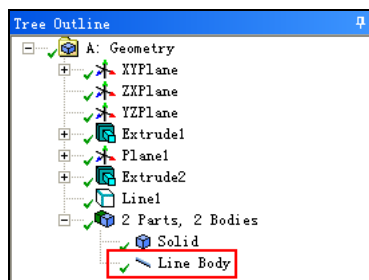


图 2-56 设计树中显示创建的线体

## 2.6.5 生成面体

- 步骤 01** 选择菜单栏中的 Concept (概念) → Surfaces From Faces 命令 (通过面生成面体)，执行通过面生成面体命令。
- 步骤 02** 单击鼠标选择如图 2-57 所示的面，在参数设置列表中单击 **Apply** 按钮，此时选中的面呈绿色显示。
- 步骤 03** 单击 **Generate** (生成) 按钮，生成面体。设计树中的 **SurfFromFaces1** 变为 **Surface Body**，表示面体生成成功。此时设计树中即包含了刚刚创建的面体，如图 2-58 所示。

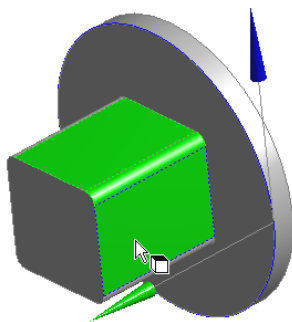


图 2-57 选中生成面体的面

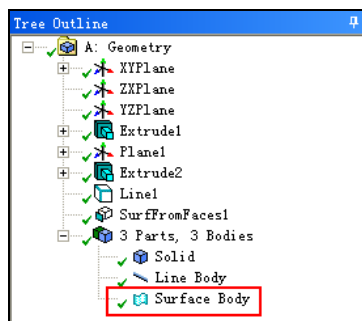


图 2-58 设计树中显示创建的面体

## 2.6.6 保存文件并退出

- 步骤 01** 单击 DM 界面右上角的 **✕** (关闭) 按钮退出 DM，返回到 Workbench 主界面。
- 步骤 02** 在 Workbench 主界面中单击常用工具栏中的 **Save** (保存) 按钮，保存刚刚创建的模型文件为 char02-01。
- 步骤 03** 单击右上角的 **✕** (关闭) 按钮，退出 Workbench 主界面，即可完成模型的创建。

## 2.7 概念建模实例操作

本实例首先在SolidWorks 2010 中创建相关零件，然后将其导入到ANSYS Workbench中进行概念建模，并创建相关的面体、线体等。

### 2.7.1 从 CAD 进入 DM 界面

**步骤 01** 在 SolidWorks 中利用拉伸、切除等操作创建如图 2-59 所示的法兰零件。

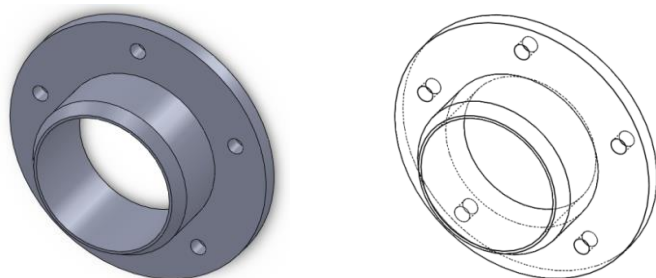


图 2-59 模型图

**步骤 02** 执行 SolidWorks 菜单栏中的 ANSYS 15.0→ANSYS Workbench 命令 如图 2-60 所示，即可进入到 Workbench 主界面，此时主界面中会出现项目 A——Geometry 项目，如图 2-61 所示。



图 2-60 导入外部 CAD 文件

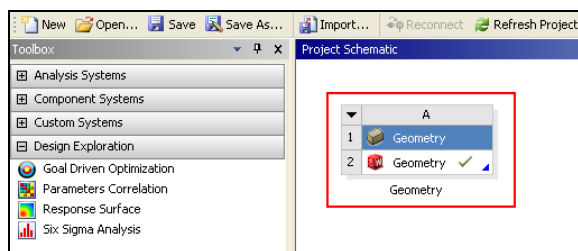


图 2-61 创建项目

**步骤 03** 双击项目 A 中的 A2 栏 Geometry，进入到 DM 界面，此时在 DM 设计界面左侧的设计树中会出现 Attach1 项，如图 2-62 所示。

**步骤 04** 在 Attach1 上单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择 Generate 命令，如图 2-63 所示。稍等片刻，即可在图形界面显示如图 2-64 所示的零件，设计树中的 Attach1 变为 Attach1，同时在设计树中会出现一个体 char02-2，如

图 2-65 所示。

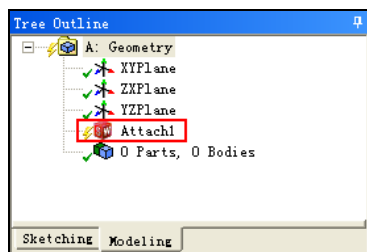


图 2-62 设计树窗口

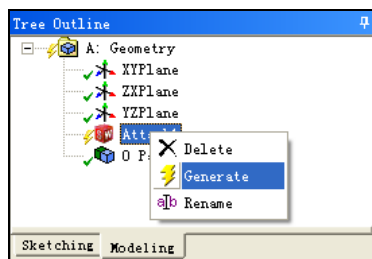


图 2-63 快捷菜单

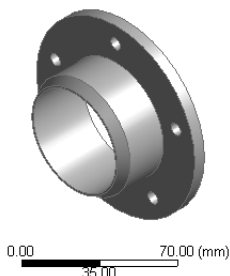


图 2-64 显示零件

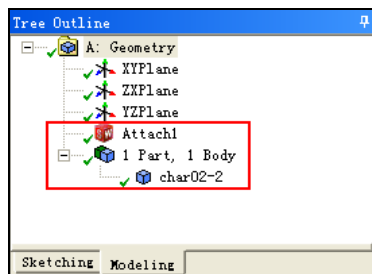


图 2-65 设计树中的体

## 2.7.2 创建线体

**步骤 01** 选择菜单栏中的 Concept (概念) → Lines From Edges (边生成线体) 命令, 如图 2-66 所示执行从边生成线体命令。

**步骤 02** 单击鼠标选择如图 2-67 所示的圆边, 在参数设置列表中单击 **Apply** 按钮, 此时选中的边线呈绿色显示。

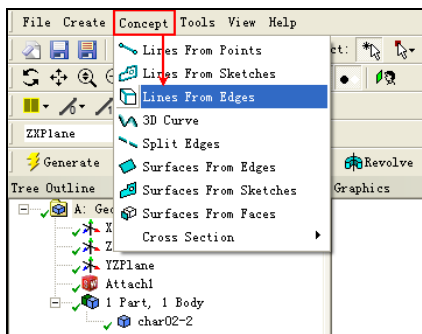


图 2-66 执行生成线体命令

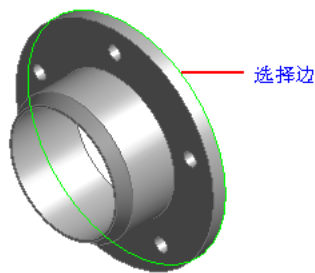






图 2-67 选择模型的边

**步骤 03** 单击 **Generate** (生成) 按钮, 生成线体。设计树中的  Line1 变为  Line1, 线体显示为蓝色, 表示线体生成成功。此时设计树中即包含了刚刚创建的线体, 如图 2-68 所示。

**步骤 04** 利用上面的方法执行从边生成线体命令, 单击选择如图 2-69 所示的圆边, 在参数设置列表中单击 **Apply** 按钮。



**步骤 05** 单击  **Generate** (生成) 按钮, 生成线体  **Line2**, 设计树的体中即包含了刚刚创建的线体。

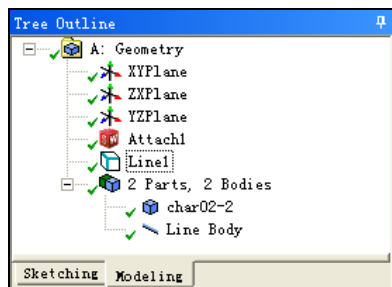


图 2-68 设计树中的线体

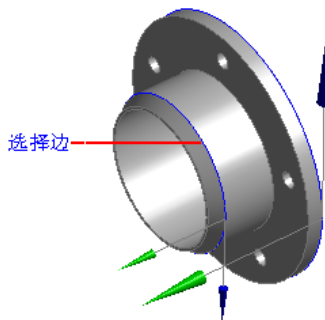


图 2-69 选择模型的边

### 2.7.3 生成面体

**步骤 01** 选择菜单栏中的 **Concept (概念) → Surfaces From Edges** 命令 (通过边生成面体), 如图 2-70 所示, 执行通过边生成面体命令。

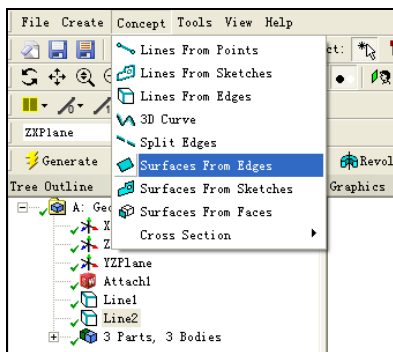





图 2-70 执行边生成面体命令

**步骤 02** 单击鼠标选择如图 2-71 所示的边, 在参数设置列表中单击 **Apply** 按钮, 此时选中的面呈绿色显示。

**步骤 03** 单击  **Generate** (生成) 按钮, 生成面体。设计树中的  **Surf1** 变为  **Surf1**, 表示面体生成成功。此时设计树中即包含了刚刚创建的面体, 如图 2-72 所示。

**步骤 04** 选择菜单栏中的 **Concept (概念) → Surfaces From Faces** 命令 (通过面生成面体), 执行通过面生成面体命令。

**步骤 05** 单击鼠标选择如图 2-73 所示的 5 个圆孔面, 在参数设置列表中单击 **Apply** 按钮, 此时选中的面呈绿色显示。



选择多个面体时, 可以按住 Ctrl 实现多选。

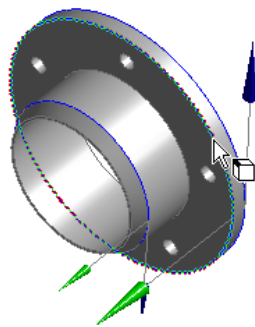


图 2-71 选中生成面体的边

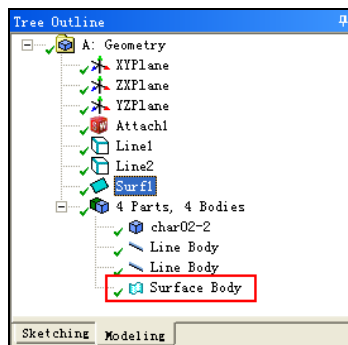


图 2-72 设计树中显示创建的面体

**步骤 06** 单击 **Generate** (生成) 按钮生成面体。设计树中的 **SurfFromFaces1** 变为 **Surface Body**, 表示面体生成成功。此时设计树中即包含了刚刚创建的面体(共有 5 个面体), 如图 2-74 所示。

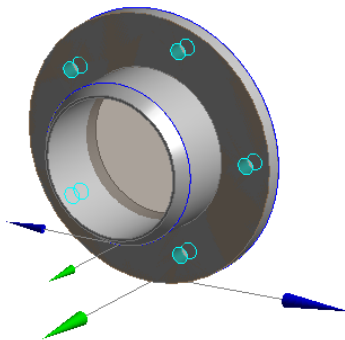


图 2-73 选中生成面体的面

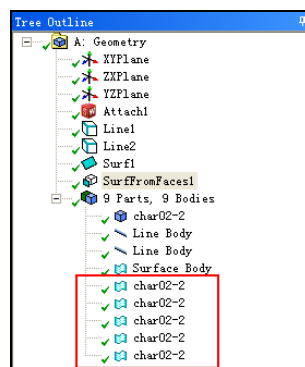


图 2-74 设计树中显示创建的面体

## 2.7.4 创建横截面

**步骤 01** 如图 2-75 所示, 执行菜单栏中的 **Concept (概念) → Cross Section (横截面) → Circular Tube (圆环截面)** 命令, 此时图环截面的显示如图 2-76 所示。

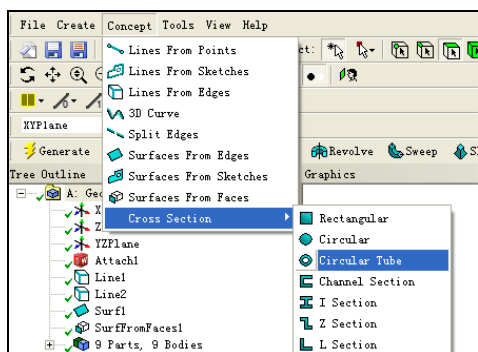


图 2-75 创建圆环截面

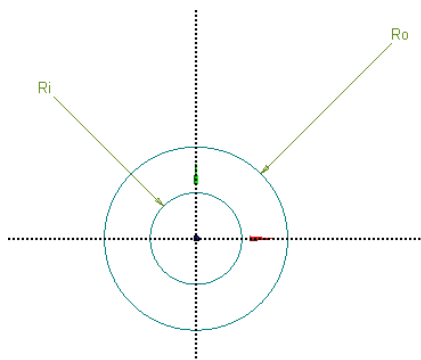


图 2-76 圆环截面

**步骤 02** 如图 2-77 所示，在参数列表中设置各参数： $R_i=1\text{mm}$ ， $R_o=2\text{mm}$ ，此时设计树如图 2-78 所示。

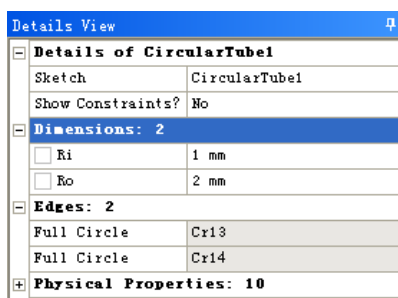


图 2-77 设置圆环截面参数

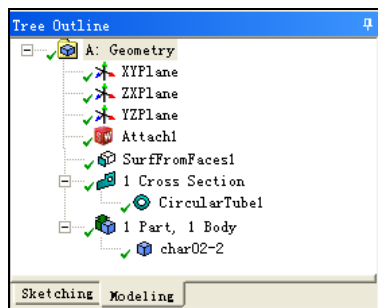


图 2-78 创建圆环截面后的设计树

## 2.7.5 为线体添加横截面

**步骤 01** 如图 2-79 所示，选择设计树中的 Line Body，然后在参数设置列表 Cross Section 中选择截面 CircularTubel，即可将圆环截面施加到线体上。

**步骤 02** 利用同样的方法，将圆环截面施加到另一线体上，如图 2-80 所示。

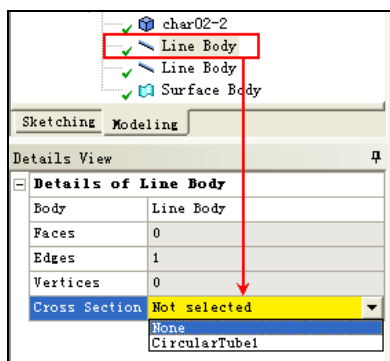


图 2-79 将圆环截面施加到线体 1

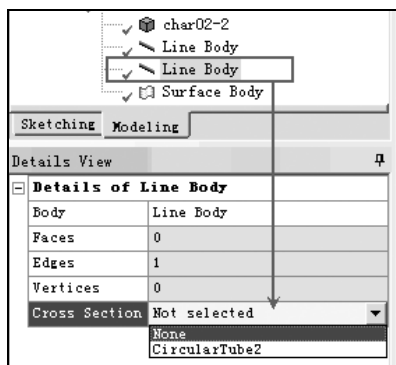


图 2-80 将圆环截面施加到线体 2

## 2.7.6 保存文件并退出

**步骤 01** 单击 DM 界面右上角的 (关闭) 按钮退出 DM，返回到 Workbench 主界面。

**步骤 02** 在 Workbench 主界面中单击常用工具栏中的 Save (保存) 按钮，保存刚刚创建的模型文件为 char02-02。

**步骤 03** 单击右上角的 (关闭) 按钮，退出 Workbench 主界面，即可完成模型的创建。

## 2.8 本章小结

本章主要讲解的是如何在ANSYS Workbench中建模，包括创建草图、3D几何体等，本章还介绍了如何导入外部CAD文件，以及如何进行概念建模等内容。在本章的最后给出了相关建模实例，通过实例能够更好地掌握建模知识。

通常情况下，建模是在其他的CAD软件中进行的，然后导入到Workbench中进行修改，以便进行网格划分，因此本章不再重点介绍如何绘制几何图形。

## 第3章 Workbench 网格划分



### 导言

几何模型创建完毕后，需要对其进行网格划分以便生成包含节点和单元的有限元模型。网格划分在ANSYS Workbench 15.0 中是一个独立的工作平台，它可以为ANSYS不同的求解器提供对应的网格文件。有限元分析离不开网格的划分，网格划分的好坏将直接关系到求解的准确度以及求解的速度。

网格划分的目的是对CFD（流体）和FEA（结构）模型实现离散化，是把求解域分解成可得到精确解的适当数量的单元。



### 学习目标

- ★ 了解ANSYS Workbench网格划分平台
- ★ 掌握四面体网格的划分方法
- ★ 掌握ANSYS Workbench网格参数的设置
- ★ 掌握扫掠网格划分的方法
- ★ 掌握多区网格划分的方法

## 3.1 网格划分平台

ANSYS Workbench中提供ANSYS Meshing应用程序（网格划分平台）的目标是提供通用的网格划分局。网格划分工具可以在任何分析类型中使用。

- FEA 仿真：包括结构动力学分析、显示动力学分析（AUTODYN、ANSYS LS/DYNA）、电磁场分析等。
- CFD 分析：包括 ANSYS CFX、ANSYS FLUENT 等。

### 3.1.1 网格划分特点

在ANSYS Workbench中进行网格划分，具有以下特点：

- ANSYS 网格划分的应用程序采用的是 Divide & Conquer（分解克服）方法。
- 几何体的各部件可以使用不同的网格划分方法，亦即不同部件的体网格可以不匹配或不一致。
- 所有网格数据需要写入共同的中心数据库。
- 3D 和 2D 几何拥有各种不同的网格划分方法。

### 3.1.2 网格划分方法

ANSYS Workbench中提供的网格划分法可以在几何体的不同部位运用不同的方法。

#### 1. 对于三维几何体

对于三维几何体（3D）有如图 3-1 所示的几种不同的网格划分方法。

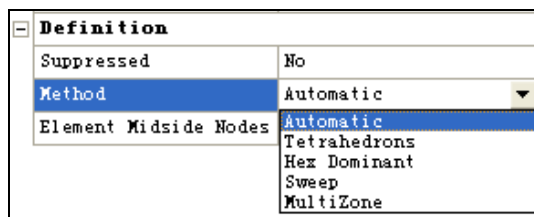


图 3-1 3D 几何体的网格划分法

##### (1) 自动划分法 (Automatic)

自动设置四面体或扫掠网格划分，如果体是可扫掠的，则体将被扫掠划分网格，否则将使用Tetrahedrons下的Patch Conforming网格划分器划分网格。同一部件的体具有一致的网格单元。

##### (2) 四面体划分法 (Tetrahedrons)

四面体划分法包括Patch Conforming划分法（Workbench自带功能）及Patch Independent划分法（依靠ICEM CFD Tetra Algorithm软件包实现）。四面体划分法的参数设置如图 3-2 所示。

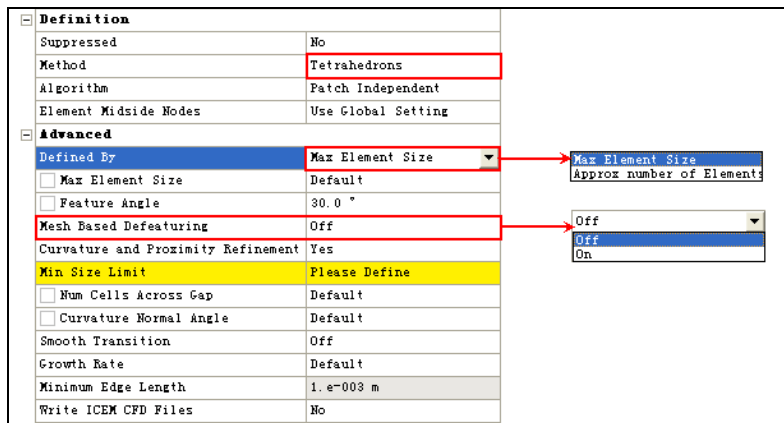


图 3-2 四面体划分法的参数设置

Patch Independent网格划分时可能会忽略面及其边界，若在面上施加了边界条件，便不能忽略。它有两种定义方法：Max Element Size用于控制初始单元划分的大小；Approx number of Elements用于控制模型中期望的单元数目（可以被其他网格划分控制覆盖）。

当Mesh Based Defeaturing设为ON时，在Defeaturing Tolerance选项中设置某一数值时，程序会根据大小和角度过滤掉几何边。

### (3) 六面体主导法 (Hex Dominant)

首先生成四边形主导的面网格，然后得到六面体，最后根据需要填充棱锥和四面体单元。该方法适用于不可扫掠的体或内部容积大的体，而对体积和表面积比较小的薄复杂体、CFD 无边界层的识别无用。

### (4) 扫掠划分法 (Sweep)

通过扫掠的方法进行网格划分，网格多是六面体单元，也可能是楔形体单元。

### (5) 多区划分法 (MultiZone)

多区及扫掠划分网格是一种自动几何分解方法。使用扫掠方法时，元件要被切成 3 个体来得到纯六面体网格。

## 2. 对于面体或壳二维几何

对于面体或壳二维 (2D) 几何，ANSYS Workbench 提供的网格划分方法有：

- 四边形单元主导 (Quad Dominant)。
- 三角形单元 (Triangles)。
- 均匀四边形/三角形单元 (Uniform Quad/Tri)。
- 均匀四边形单元 (Uniform Quad)。

### 3.1.3 网格划分技巧

不同的软件平台，网格的划分技巧也是不同的，针对 ANSYS Workbench 网格划分平台，网格的划分技巧如下。

#### 1. 对于结构网格

- 可以通过细化网格来捕捉所关心部位的梯度 (包括温度、应变能、应力能、位移等)。
- 结构网格大部分可划分为四面体网格，但首选网格是六面体单元。
- 有些显式有限元求解器需要六面体网格。
- 结构网格的四面体单元通常是二阶的 (单元边上包含中节点)。

#### 2. 对于 CFD 网格

- 可以通过细化网格来捕捉关心的梯度 (包括速度、压力、温度等)。
- 网格的质量和平滑度对结果的精确度至关重要 (提高网格质量和平滑度会导致较大的网格数量，通常以数百万单元计算)。
- 大部分可划分为四面体网格，但首选网格是六面体单元。
- CFD 网格的四面体单元通常是一阶的 (单元边上不包含中节点)。

#### 3. 网格划分的注意事项

- 网格划分时需要注意细节，几何细节是和物理分析息息相关的，不必要的细节会大大增加分析需求。



- 需要注意网格细化，复杂应力区域等需要较高密度的网格。
- 需要注意效率，大量的单元需要更多的计算资源（内存、运行时间），网格划分是需要在分析精度和资源使用方面进行权衡。
- 需要注意网格质量，在网格划分时，复杂几何区域的网格单元会变扭曲，由此导致网格质量降低，劣质的单元会导致较差的结果，甚至在某些情况下得不到结果。在 ANSYS Workbench 中有很多方法可用来检查单元网格的质量。

### 3.1.4 网格划分流程

在ANSYS Workbench中，网格的划分流程如下：

- 步骤 01 设置划分网格目标的物理环境。
- 步骤 02 设定网格的划分方法。
- 步骤 03 网格参数的设置（尺寸、控制、膨胀等）。
- 步骤 04 为方便使用创建命名选项。
- 步骤 05 预览网格并进行必要的调整。
- 步骤 06 生成网格。
- 步骤 07 检查生成的网格质量。
- 步骤 08 准备分析网格。

### 3.1.5 网格尺寸策略

对于划分不同分析类型的分析系统，网格尺寸的控制策略也不同，下面简单介绍力学分析及CFD分析的网格尺寸策略。

#### 1. 力学分析网格尺寸策略

- 利用最小输入的有效方法来解决关键的特征。
- 定义或接受少数全局网格尺寸并设置默认值。
- 利用 **Relevance** 和 **Relevance Center** 进行全局网格调整。
- 根据需要可对体、面、边、影响球定义尺寸，可以对网格生成的尺寸施加更多的控制。

#### 2. CFD网格尺寸策略

- 在必要的区域依靠 **Advanced Size Functions**（高级尺寸功能）细化网格，其中默认为 **Curvature**，根据需要可以选择 **Proximity**。
- 识别模型的最小特征：设置能有效识别特征的最小尺寸；如果导致了过于细化的网格需要在最小尺寸下作用一个硬尺寸；可以使用收缩控制来去除小边和面，以确保收缩容差小于局部最小尺寸。
- 根据需要可以对体、面、边或影响球定义软尺寸，可以对网格生成的尺寸设置更多的控制。

## 3.2 3D几何网格划分

所有的 3D 网格划分方法都要求组成的几何为实体，若输入的是由面体组成的几何，则需要额外操作，将其转换为 3D 实体方可进行 3D 网格划分，当然表面体仍可以由表面网格划分方法来划分。常见的 3D 网格基本形状如图 3-3 所示。

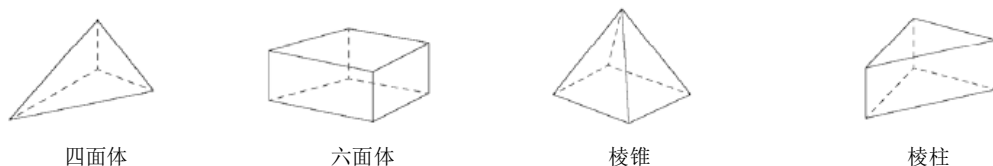


图 3-3 3D 网格的基本形状

其中四面体为非结构化网格，六面体通常为结构化网格，棱锥为四面体和六面体之间的过渡网格，棱柱由四面体网格被拉伸时生成。四面体网格划分在三维网格划分中是最简单的，因此本节将着重介绍四面体网格。

### 3.2.1 四面体网格的优缺点

四面体网格具有鲜明的优缺点。

- 优点：四面体网格可以施加于任何几何体，可以快速、自动生成；在关键区域容易使用曲度和近似尺寸功能自动细化网格；可以使用膨胀细化实体边界附近的网格（即边界层识别），边界层有助于面法向网格的细化，但在 2D（表面网格）中仍是等向的；为捕捉一个方向的梯度，网格在所有的三个方向细化，即等向细化。
- 缺点：在近似网格密度情况下，单元和节点数高于六面体网格；网格一般不可能在一个方向排列；由于几何和单元性能的非均质性，故而不适合于薄实体或环形体；在使用等向细化时网格数量急剧上升。

### 3.2.2 四面体网格划分时的常用参数

四面体网格划分时常用的参数如下。

- 最大、最小尺寸。
- 面、体尺寸。
- 高级尺寸（Curvature and/or Proximity）。
- 增长比（对 CFD 逐步变化，避免突变）。
- 平滑（有助于获取更加均匀尺寸的网格）。
- 统计学。
- Mesh Metrics。

### 3.2.3 四面体算法

在ANSYS Workbench网格划分平台下，有两种算法可以生成四面体网格，而且这两种算法均可用于CFD的边界层识别。

#### 1. Patch Conforming

首先利用几何所有面和边的Delaunay 或Advancing Front 表面网格划分器生成表面网格，然后基于TGRID Tetra算法由表面网格生成体网格。



生成体网格的一些内在缺陷应在最小尺寸限度之下。

Patch Conforming算法包含膨胀因子的设定，用于控制四面体边界尺寸的内部增长率，CFD的膨胀层或边界层识别，可与体扫描法混合使用产生一致的网格。

利用Patch Conforming生成四面体网格的操作步骤如下：

- 步骤 01** 右击 Mesh，如图 3-4 所示，在弹出的快捷菜单中选择 Insert（插入）→Method（方法）命令，或者如图 3-5 所示选择 Mesh Control（网格控制）→Method（方法）命令。

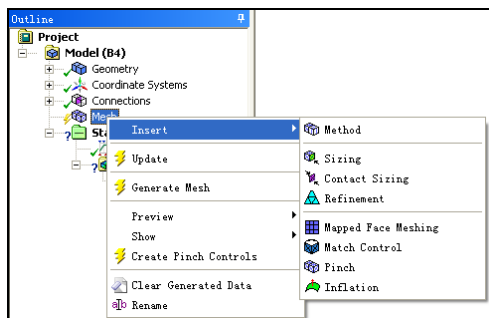


图 3-4 快捷菜单

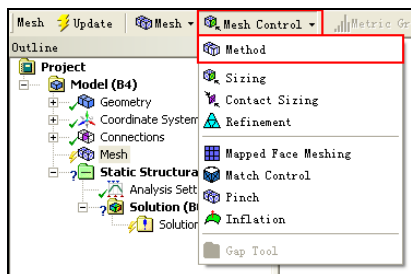


图 3-5 工具栏命令

- 步骤 02** 在网格参数设置栏中选择 Scope→Geometry 选项，在图形区域选择应用该方法的体，单击 **Apply**（应用）按钮，如图 3-6 所示。

- 步骤 03** 将 Definition 栏的 Method 设置为 Tetrahedrons，如图 3-7 所示，将 Algorithm 设置为 Patch Conforming，如图 3-8 所示，即可使用 Patch Conforming 算法划分四面体网格。

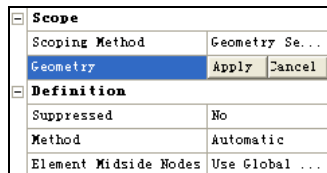


图 3-6 Geometry 设置

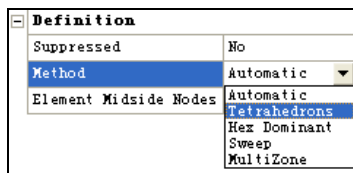


图 3-7 Method 设置

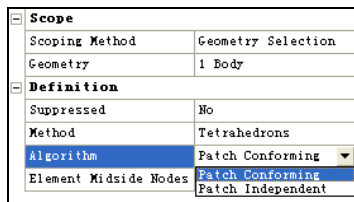


图 3-8 Algorithm 设置

- 步骤 04** 按照上面的步骤可以对不同的部分使用不同的方法。



多体部件可混合使用Patch Conforming四面体和扫掠方法生成共形网格，Patch Conforming方法可以联合Pinch Controls功能，有助于移除短边。

## 2. Patch Independent

该算法用于生成体网格并映射到表面产生表面网格，如果没有载荷、边界条件或其他作用，则面和它们的边界（边和顶点）无需考虑。该算法是基于ICEM CFD Tetra的，Tetra部分具有膨胀应用。

Patch Independent 四面体的操作步骤与Patch Conforming 相同，只是在设置Algorithm时选择Patch Independent即可。



Patch Independent对CAD 许多面的修补均有用，包括碎面、短边、较差的面参数等。在没有载荷或命名选项的情况下，面和边无需考虑。

### 3.2.4 四面体膨胀

四面体膨胀的基本设置包括膨胀选项、前处理和后处理膨胀算法等，具体在后面的章节中介绍，这里不再赘述。

## 3.3 网格参数设置

在利用ANSYS Workbench进行网格划分时，可以使用默认的设置，但要进行高质量的网格划分，还需要用户参与到网格的详细参数设置中去，尤其是对于复杂的零部件。

网格参数是在参数设置区进行的，同时该区还显示了网格划分后的详细信息。参数设置区包含了Defaults（缺省设置）、Sizing（尺寸控制）、Inflation（膨胀控制）、Advanced（高级控制）、Defeaturing（损伤设置）、Statistics（网格信息）等信息，如图 3-9 所示。

划分网格目标的物理环境包括结构分析（Mechanical）、电磁分析（Electromagnetics）、流体分析（CFD）、显示动力学分析（Explicit）等，如图 3-10 所示。设置完成后会自动生成相关物理环境的网格（如Mechanical、FLUENT、CFX等）。

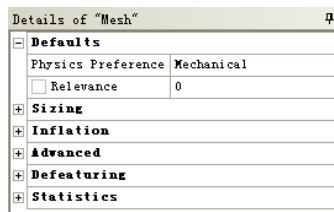


图 3-9 网格参数设置

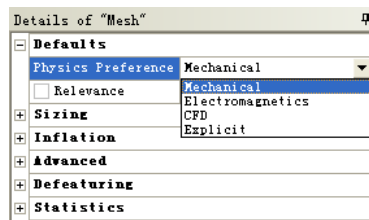


图 3-10 目标物理环境

在划分网格时，不同的分析类型需要有不同的网格划分要求，结构分析使用高阶单元划分较为粗糙的网格，CFD要求使用好的、平滑过渡的网格、边界层转化，不同的CFD 求解器也有不同的要求，如表 3-1 所示。在网格划分的物理环境设置完成之后，需要设定物理优先项，

划分后的网格如图 3-11、图 3-12、图 3-13、图 3-14 所示。

表 3-1 不同的物理环境在缺省设置下的网格特点

Physics Preference (物理优先项)	自动设置下列各项				备注
	Relevance Center(关联中心 缺省值)	Smoothing (平滑度)	Transition (过渡)	Element Midside Nodes(实体单元默认中 节点)	
Mechanical(力学分 析)	Coarse(粗糙)	Medium(中 等)	Fast(快)	Program Controlled(程序 控制)	图 3-11
CFD(计算流体力学 分析)	Coarse(粗糙)	Medium(中 等)	Slow(慢)	Dropped(消除)	图 3-12
Electromagnetics(电 磁分析)	Medium(中等)	Medium(中 等)	Fast(快)	Kept(保留)	图 3-13
Explicit(显示分析)	Medium(中等)	High(高)	Slow(慢)	Dropped(消除)	图 3-14

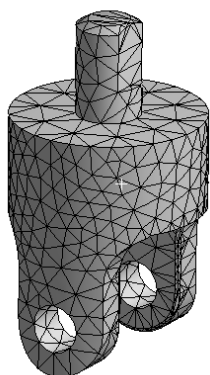
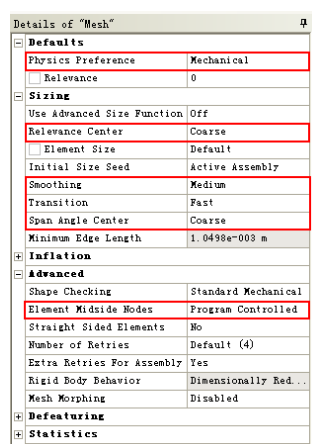


图 3-11 Mechanical 默认网格

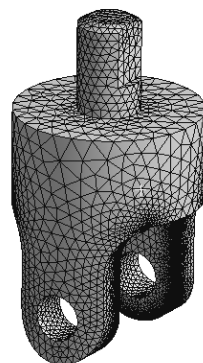
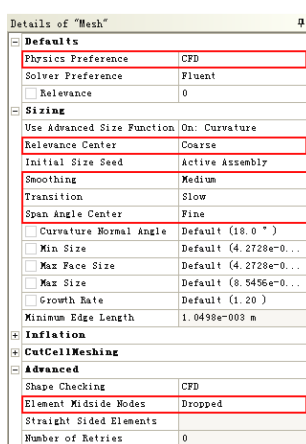


图 3-12 CFD 默认网格

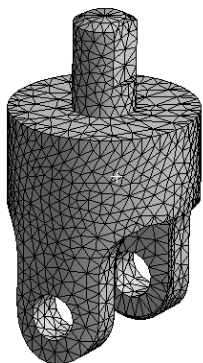
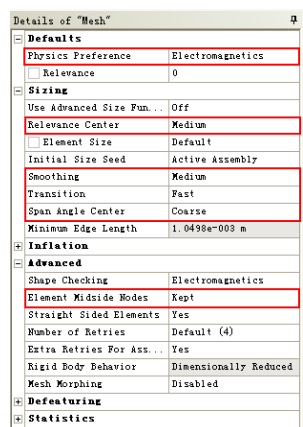


图 3-13 Electromagnetics 默认网格

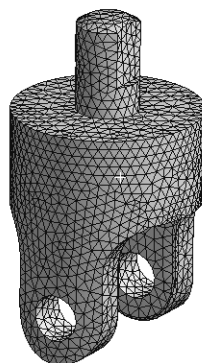
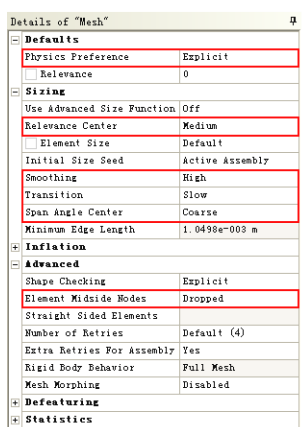


图 3-14 Explicit 默认网格



3.3.1 缺省参数设置

关于缺省参数的设置 (Defaults) 在前面的小节中已经介绍过了, 这里仅介绍Relevance (相关性) 及Relevance Center (关联中心) 两个选项, 如图 3-15 所示。虽然Relevance Center是在尺寸参数控制选项里设置的, 但由于Relevance需要与其配合使用, 故在此一起介绍。

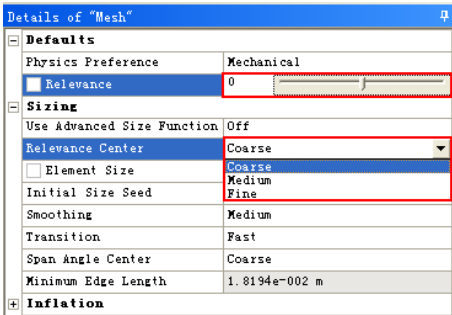
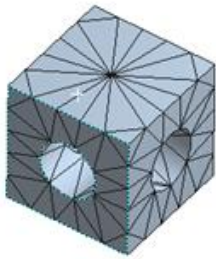
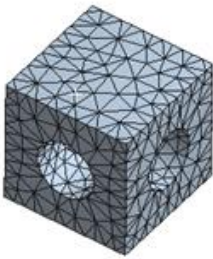


图 3-15 缺省参数设置

其中Relevance (相关性) 是通过拖动滑块来实现网格细化或粗糙控制的, 而Relevance Center (关联中心) 有Coarse、Medium、Fine三个选项进行选择控制, 效果如图 3-16 所示。



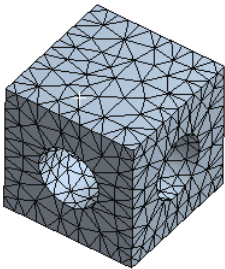
(a) Relevance 的值为-100



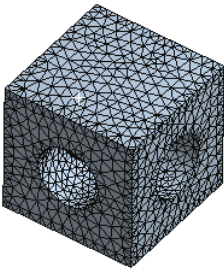
(b) Relevance 的值为 0



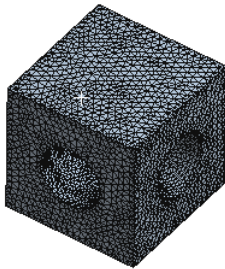
(c) Relevance 的值为 100



(d) Relevance Center 为 Coarse



(e) Relevance Center 为 Medium



(f) Relevance Center 为 Fine

图 3-16 Relevance 及 Relevance Center 参数设置效果

### 3.3.2 尺寸控制

尺寸控制（Sizing）是在参数设置区进行设定的，尺寸控制包含的选项如图 3-17 所示。

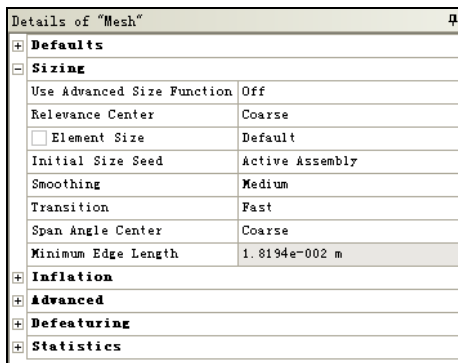


图 3-17 尺寸控制参数设置

- 全局尺寸控制：Element Size（单元尺寸）用来设置整个模型使用的单元尺寸。该尺寸将应用到所有的边、面和体的划分中。当在 Sizing 面板的 Use Advanced Size Function 下选用高级尺寸功能时，该选项将不会出现。



技巧提示

缺省值是基于Relevance和Initial Size Seed（初始尺寸种子）的，在Element Size中可输入网格划分时需要的值，用于提高网格质量。

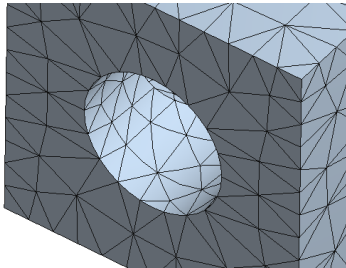
- 初始尺寸种子：Initial Size Seed（初始尺寸种子）用来控制每一部件的初始网格种子，此时已定义单元的尺寸会被忽略，它包含 Active Assembly、Full Assembly、Part 三个选项。
  - Active Assembly（有效组件）：该选项为默认选项，初始种子放入未抑制部件，网格可以改变。
  - Full Assembly（整个组件）：选择该设置时，不考虑抑制部件的数量，初始种子放入所有装配部件。由于抑制部件的存在，网格不会改变。
  - Part（部件）：选择该设置时，初始种子在网格划分时放入个别特殊部件。由于抑制部件的存在，网格不会改变。
- 平滑网格：平滑（Smoothing）是通过移动周围节点和单元的节点位置来改进网格质量，包含 Low、Medium、High 三个选项可供选择。
- 过渡：过渡（Transition）用于控制邻近单元增长比，包含 Fast、Slow 两个选项可供选择。通常情况下 CFD、Explicit 分析需要缓慢产生网格过渡，Mechanical、Electromagnetics 需要快速产生网格过渡。
- 跨度中心角：跨度中心角（Span Angle Center）用来设定基于边细化的曲度目标。控制网格在弯曲区域细分，直到单独单元跨越这个角，包含 Coarse（粗糙：60° ~91°）、Medium（中等：24° ~75°）、Fine（细化 12° ~36°）三个选项可供选择。不同的



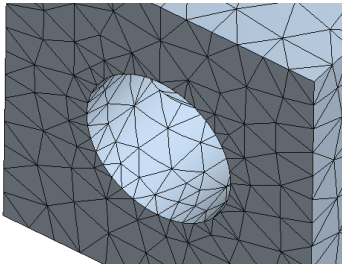
跨度中心角的效果如图 3-18 所示。



跨度中心角（Span Angle Center）只有在Use Advanced Size Function 关闭时方可使用。



(a) Coarse



(b) Fine

图 3-18 不同跨度中心角对比

1. 高级尺寸控制

在无高级尺寸功能时，可根据已定义的单元尺寸对边划分网格；而在有高级尺寸控制时，Curvature 和Proximity可以对网格进行细化，对缺陷和收缩控制进行调整，然后通过面和体网格划分器进行网格划分。

高级尺寸控制是通过在Sizing面板的Use Advanced Size Function进行开启控制的，高级尺寸功能包括Proximity and Curvature（近似和曲度）、Curvature（曲度）、Proximity（近似）以及Fixed（固定）4 个选项，如图 3-19 所示，选择不同的选项时参数设置也会不同，如图 3-20 所示为选择Proximity and Curvature时的参数设置列表，如图 3-21 所示为选择Fixed时的参数设置列表。



Curvature（曲度）的默认值为 18°；Proximity（近似）为每个间隙三个单元（2D和 3D），默认精度为 0.5，若不允许会增大到 1。

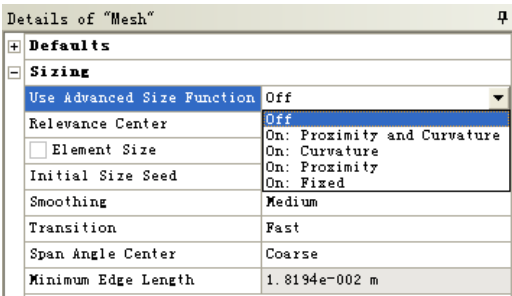


图 3-19 高级尺寸功能

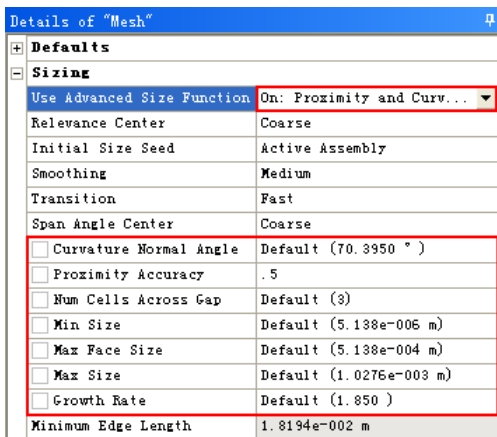


图 3-20 Proximity and Curvature 参数设置列表

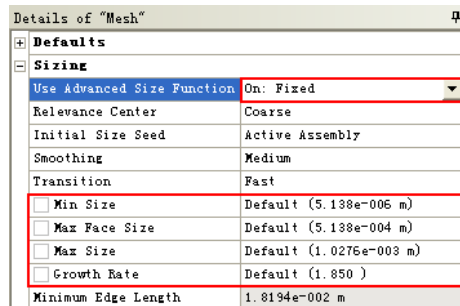


图 3-21 Fixed 参数设置列表

## 2. 局部尺寸控制

根据所使用的网格划分方法，可用到的局部网格控制的尺寸包括Method（方法）、Sizing（尺寸）、Contact Sizing（接触尺寸）、Refinement（细化）、Mapped Face Meshing（映射面划分）、Match Control（匹配控制）、Pinch（收缩）及Inflation（膨胀）等。

插入局部尺寸的方法有两种：其一通过Mesh工具栏插入局部尺寸控制，如图 3-22 所示；其二通过快捷菜单插入，如图 3-23 所示。

插入局部尺寸后，在参数设置栏的Definition（定义）中默认会出现Element Size（单元尺寸）选项，如图 3-24 所示，该选项可以定义体、面、边或顶点的平均单元边长。当Type（类型）选择Sphere of Influence（球体内）时可以设定平均单元尺寸，如图 3-25 所示。

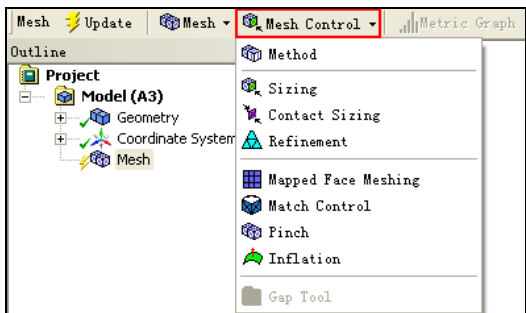


图 3-22 Mesh 工具栏

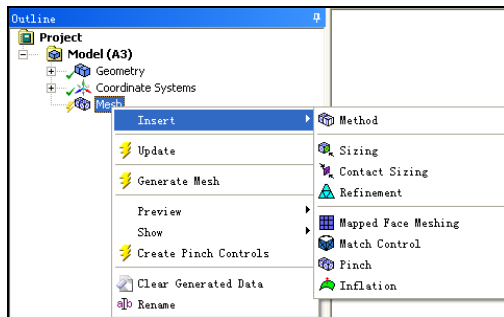


图 3-23 Mesh 快捷菜单



技巧提示

各选项的不同取决于所作用的实体，若同时使用了高级尺寸功能，各选项也会不同，在此不再赘述。

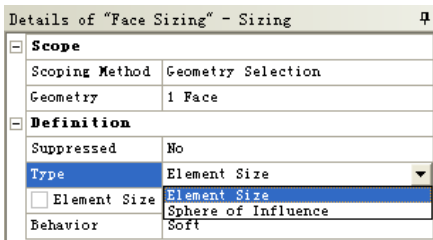


图 3-24 默认参数设置

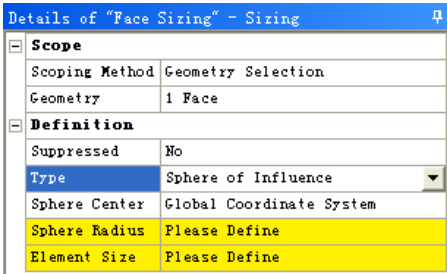


图 3-25 选择 Sphere of Influence

### 3.3.3 膨胀控制

膨胀控制（Inflation）是通过边界法向挤压面边界网格转化实现的，主要应用于CFD（计算流体力学）分析中，用于处理边界层处的网格，实现从膨胀层到内部网格的平滑过渡，其中包括纯六面体及楔形体等，但这并不表示膨胀控制只能应用于CFD，在固体力学的FEM分析中，亦可应用Inflation法来处理网格。

#### 1. 膨胀选项

Inflation Option（膨胀选项）包括Total Thickness（总厚度）、Smooth Transition（平滑过渡）、First Layer Thickness（第一层厚度）等选项，如图 3-26 所示。

##### (1) 平滑过渡

该选项为默认选项，如图 3-27 所示，表示使用局部四面体单元尺寸计算每个局部的初始高度和总高度，以达到平滑的体积变化比。每个膨胀的三角形都有一个关于面积计算的初始高度，在节点处平均。这意味着对于均匀网格，初始高度大致相同，而对于变化网格，初始高度是不同的。

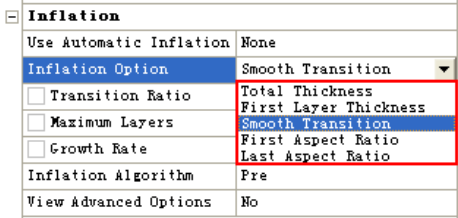


图 3-26 膨胀选项

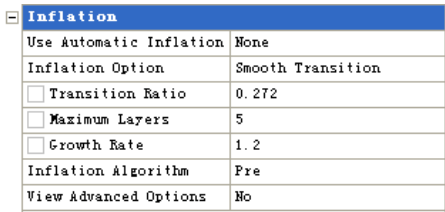


图 3-27 Smooth Transition 默认选项

选择Smooth Transition时，Transition Ratio（过渡比）选项会出现，用于设置膨胀的最后单元层和四面体区域第一单元层间的体尺寸改变。



当求解器设置为CFX时，过渡比的默认值为 0.77，对于其他物理选项（包括Solver Preference 设置为Fluent的CFD），过渡比的默认值为 0.272。这是因为Fluent 求解器是以单元为中心的，其网格单元等于求解器单元，而CFX 求解器是以顶点为中心的，求解器单元是由双重节点网格构造的，因此会发生不同的处理。

## (2) 总厚度

Total Thickness (总厚度) 用来创建常膨胀层, 其参数如图 3-28 所示。可用 Number of Layers 的值和 Growth Rate 来控制, 以获得 Maximum Thickness 值控制的总厚度。不同于 Smooth Transition 选项的膨胀, Total Thickness 选项的膨胀的第一膨胀层和下列每一层的厚度都是常量。

## (3) 第一层厚度

First Layer Thickness (第一层厚度) 用来创建常膨胀层, 其参数如图 3-29 所示。可使用 First Layer Height、Maximum Layers 和 Growth Rate 控制生成膨胀网格。不同于 Smooth Transition 选项的膨胀, First Layer Thickness 选项的第一膨胀层和下列每一层的厚度都是常量。

Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Total Thickness
<input type="checkbox"/> Number of Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1.2
<input checked="" type="checkbox"/> Maximum Thickness	Please Define
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No

图 3-28 Total Thickness 选项

Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	First Layer Thickness
<input checked="" type="checkbox"/> First Layer Height	Please Define
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No

图 3-29 First Layer Thickness 选项

## 2. 膨胀运算法则

膨胀运算法则 (Inflation Algorithm) 包括 Pre (前处理)、Post (后处理) 两个选项, 如图 3-30 所示, 各选项的使用方法如下。

- Pre (前处理): 是 TGrid 算法, 该算法是所有物理类型的默认设置, 运算时首先进行表面网格膨胀, 然后生成体网格。前处理可以应用于扫掠和 2D 网格划分, 但不支持邻近面设置不同的层数。

Definition	
Suppressed	No
Boundary Scoping Method	Geometry Selection
Boundary	No Selection
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	Default (0.272)
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
	Post
	Pre

图 3-30 膨胀运算法则

- Post (后处理): 是 ICEM CFD 算法, 该算法是使用一种在四面体网格生成后作用的 处理技术, 只对 Patching Conforming 和 Patch Independent 四面体网格有效。

## 3.3.4 网格信息

网格信息 (Statistics) 用来统计网格划分的结果, 主要包括 Nodes (节点)、Elements (单元) 及 Mesh Metric (网格质量) 几个方面的内容, 如图 3-31 所示, 这里不再详细讲解。

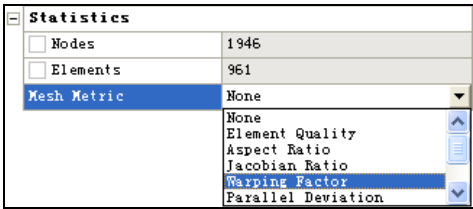


图 3-31 网格信息



关于Advanced（高级控制）、Defeaturing（损伤设置）的相关参数含义请参考ANSYS帮助文件，由于篇幅所限，这里不再赘述。

### 3.4 扫掠网格划分

扫掠(Sweep)是指当创建六面体网格时先划分源面再延伸到目标面的一种网格划分方法，除源面及目标面以外的面都叫做侧面。扫掠方向或路径由侧面定义，源面和目标面间的单元层是由插值法建立并投射到侧面上去的。



为划分比较完整的固体/流体网格，需要同时进行几个扫掠操作，为使可扫掠体得到共形网格，应将体组装进多体部件。

#### 3.4.1 扫掠划分方法

使用扫掠划分方法能够实现可扫掠体六面体和楔形单元的有效划分。扫掠划分方法具有以下特点：

- 体相对源面和目标面的拓扑可实现手动或自动选择。
- 源面可划分为四边形和三角形面。
- 源面网格需要复制到目标面。
- 随着体的外部拓扑，生成六面体或楔形单元连接两个面。

一个可扫掠体需要满足下列条件：

- 包含不完全闭合空间。
- 至少有一个由边或闭合表面连接的从源面到目标面的路径。
- 没有硬性分割定义，在源面和目标面的相应边上可以有不同的分割数。

扫掠(Sweep)网格划分的操作步骤如下：

**步骤 01** 右击 Mesh，如图 3-32 所示，在弹出的快捷菜单中选择 Insert（插入）→Method（方法）命令，或者如图 3-33 所示，选择 Mesh Control（网格控制）→Method（方法）命令。

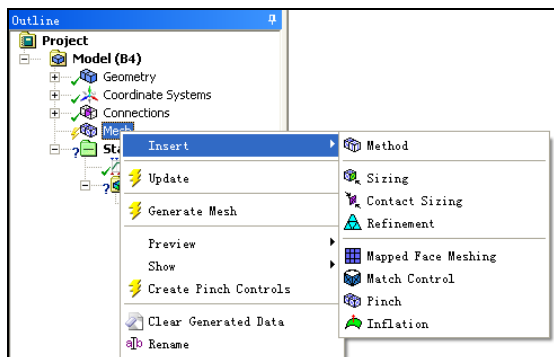


图 3-32 Mesh 快捷菜单

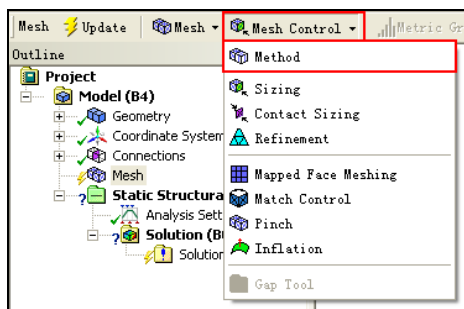


图 3-33 Mesh 工具栏

**步骤 02** 在网格参数设置栏中选择 Scope→Geometry 选项,在图形区域选择应用该方法的体,单击 **Apply** (应用) 按钮,如图 3-34 所示。

**步骤 03** 将 Definition 栏中的 Method 设置为扫掠(Sweep),即可使用扫掠方法进行网格划分,如图 3-35 所示。

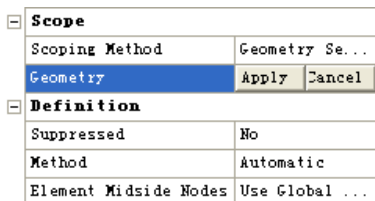


图 3-34 网格参数设置

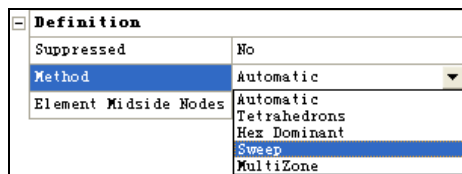


图 3-35 使用扫掠方法

在ANSYS Workbench网格划分中有 3 种六面体划分或扫掠方法。

- 普通扫掠方法: 指单个源面对单个目标面的扫掠,该方法可以很好地处理扫掠方向拥有多个侧面的情况,扫掠时需要分解几何以使每个扫掠路径对应一个体。
- 薄扫掠方法: 指多个源面对多个目标面的扫掠,该方法可以很好地替代壳模型中的面,以得到纯六面体网格。



技巧提示

当侧面相对于源面较大(通常指侧面与源面长径比 $>1/5$ )、只有 1 个源面和 1 个目标面、扫掠方向沿路径改变时采用普通扫掠方法,反之则采用薄扫掠方法。

- 多区扫掠方法: 是一种自由分解方法,支持多个源面对多个目标面的扫掠。



技巧提示

薄扫掠和多区扫掠方法的引入解决了普通扫掠方法难以解决的问题。薄扫掠方法善于处理薄部件的多个源面和目标面;多区扫掠方法提供非手动分解几何模型等自由分解方法,并支持多个源面和多个目标面的方法。

### 3.4.2 扫掠网格控制

使用扫掠(Sweep)方法进行网格划分时,网格的控制参数如图 3-36 所示。



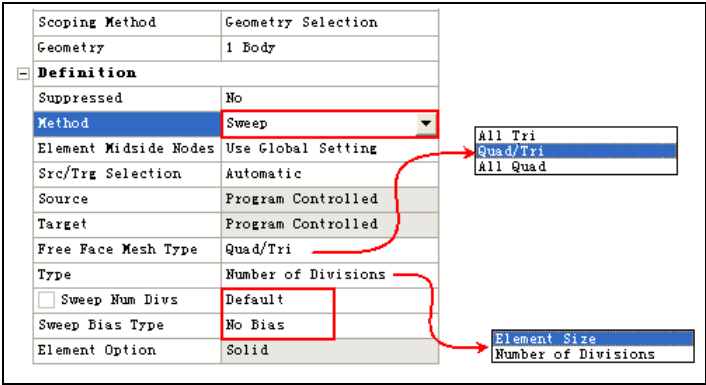


图 3-36 Sweep 网格的控制参数

- Free Face Mesh Type（自由面网格类型）：包括 Quad/Tri（四边形/三角形）、All Quad（所有四边形）、All Tri（所有三角形）。
- Type（类型）：包括 Element Size（单元尺寸——软约束）、Number of Divisions（分割数——硬约束）。
- Sweep Bias Type（扫掠偏斜类型）：类似于边偏斜（从源面到目标面）。



技巧提示

当扫掠几何包含许多扭曲/弯曲时，扫掠划分器会产生扭曲单元，从而导致网格划分失败，尤其是多步骤创建的几何（如一系列的拉伸和旋转）更容易产生问题，采用单个 3D 操作便可以避免该问题（例如采用扫掠操作代替一系列的拉伸和旋转操作）。

### 3.5 多区网格划分

扫掠网格划分方法可以实现单个源面对单个目标面的扫掠，可以很好地处理扫掠方向的多个侧面，而本节将要介绍的多区网格划分则为一种自由分解方法，可以实现多个源面对多个目标面的网格划分。

#### 3.5.1 多区划分方法

当划分相较于传统扫掠方法来说太复杂的单体部件时、当需要考虑多个源面和目标面时、当关闭对源面和侧面的膨胀时、当“薄”实体部件的源面和目标面不能正确匹配，但关心目标侧面的特征时就需要使用多区网格划分法。

多区（MultiZone）网格划分的操作步骤如下：

- 步骤 01** 右击 Mesh，如图 3-37 所示，在弹出的快捷菜单中选择 Insert（插入）→Method（方法）命令，或者如图 3-38 所示，选择 Mesh Control（网格控制）→Method（方法）命令。



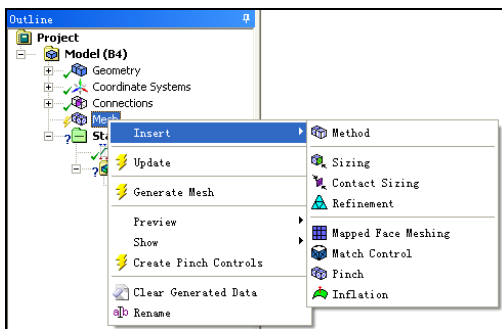


图 3-37 Mesh 快捷菜单

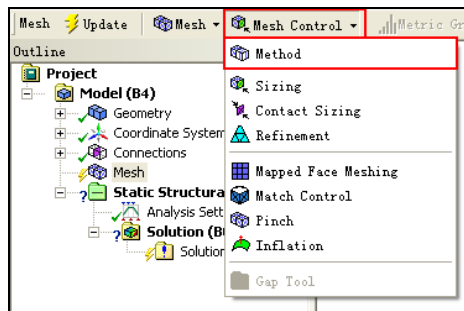


图 3-38 Mesh 工具栏

**步骤 02** 在网格参数设置栏中选择 Scope→Geometry 命令,在图形区域选择应用该方法的体,单击 **Apply** (应用) 按钮,如图 3-39 所示。

**步骤 03** 将 Definition 栏的 Method 设置为多区 (MultiZone), 即可使用多区方法进行网格划分,如图 3-40 所示。

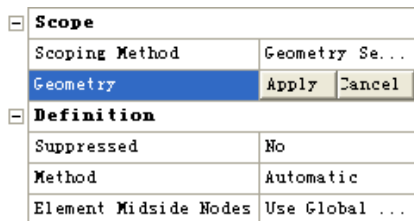


图 3-39 网格参数设置

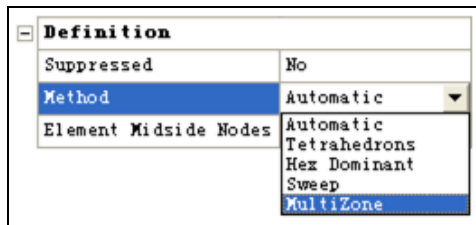


图 3-40 使用多区方法

### 3.5.2 多区网格控制

利用多区 (MultiZone) 方法进行网格划分时,网格的控制参数如图 3-41 所示。

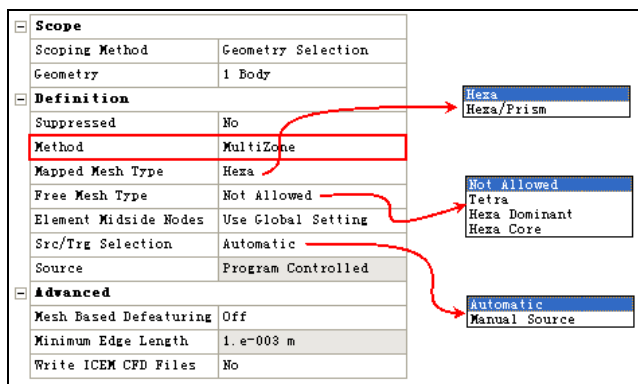


图 3-41 MultiZone 网格的控制参数

- Mapped Mesh Type (映射网格类型): 包括 Hexa (六面体)、Hexa/Prism (六面体/棱柱)。
- Free Mesh Type (自由网格类型): 包括 Not Allowed (不允许)、Tetra (四面体)、

Hexa Dominant（六面体-支配）、Hexa Core（六面体-核心）。

- Src/Trg Selection（源面/目标面选择）：包括 Automatic（自动的）、Manual Source（手动源面）。

### 3.6 网格划分案例

通过上面几节的学习，已经基本掌握了网格划分的方法，本节将通过实例的方法来加强对网格划分的方法及思路的掌握，并从中了解各网格参数的设置技巧。

#### 3.6.1 自动网格划分案例

##### 1. 启动Workbench并建立网格划分项目

- 步骤 01 在 Windows 系统下执行“开始”→“所有程序”→ANSYS 15.0→Workbench 15.0 命令，启动 ANSYS Workbench 15.0，进入主界面。
- 步骤 02 在 ANSYS Workbench 主界面中选择 Units（单位）→Metric（kg,mm,s,℃,mA,N,mV）命令，设置模型单位，如图 3-42 所示。

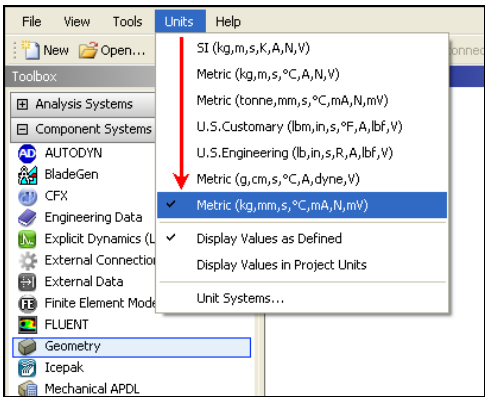


图 3-42 设置单位

- 步骤 03 双击主界面 Toolbox（工具箱）中的 Component Systems→Mesh（网格）选项，即可在项目管理区创建分析项目 A。

##### 2. 导入创建几何体

- 步骤 01 在 A2 栏的 Geometry 上单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择 Import Geometry →Browse 命令，如图 3-43 所示，此时会弹出“打开”对话框。

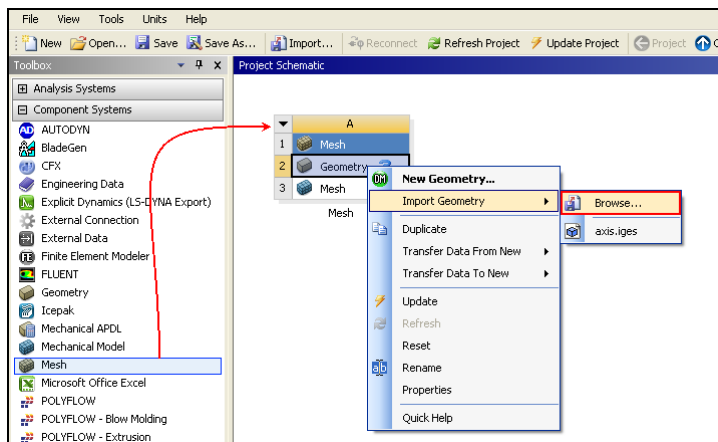


图 3-43 导入几何体

**步骤 02** 在弹出的“打开”对话框中选择文件路径，导入 char03-01 几何体文件，如图 3-44 所示，此时 A2 栏 Geometry 后的 ? 变为 ✓，如图 3-45 所示，表示实体模型已经存在。

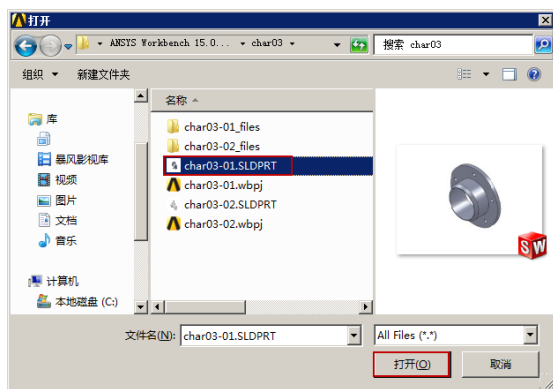


图 3-44 “打开”对话框

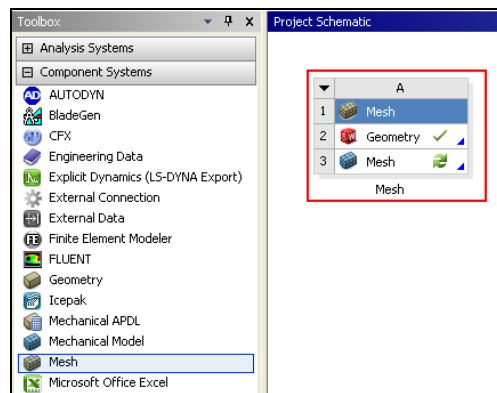


图 3-45 模型已存在的项目

**步骤 03** 双击项目 A 中的 A2 栏 Geometry，此时会进入到 DM 界面，设计树中 Import1 前显示 ⚡，表示需要生成，图形窗口中没有图形显示，如图 3-46 所示。

**步骤 04** 单击 ⚡ Generate (生成) 按钮，即可显示生成的几何体，如图 3-47 所示，此时可在几何体上进行其他的操作，本例无需进行操作。

**步骤 05** 单击 DM 界面右上角的 ✖ (关闭) 按钮，退出 DM，返回到 Workbench 主界面。

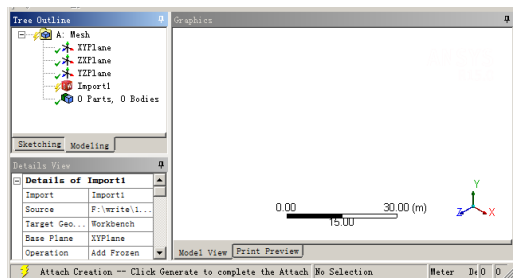


图 3-46 生成前的 DM 界面

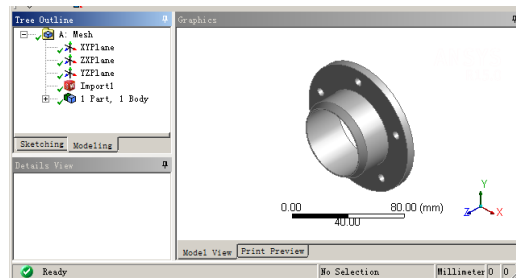


图 3-47 生成后的 DM 界面

## 3. 对模型进行网格划分

**步骤 01** 双击项目 A 中的 A3 栏 Mesh 项，进入如图 3-48 所示的 Meshing 界面，在该界面下即可进行网格的划分操作。

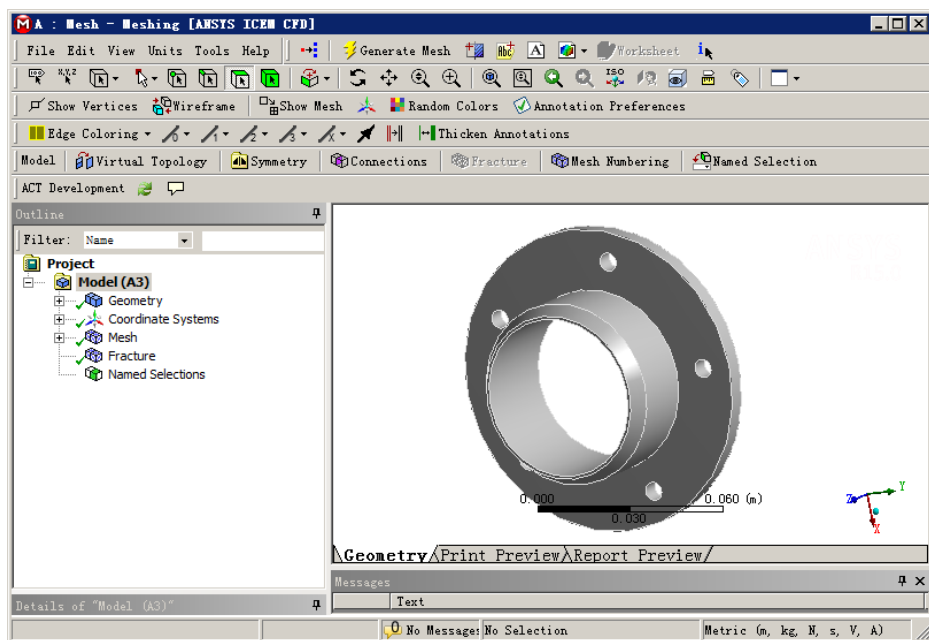


图 3-48 Meshing 界面

**步骤 02** 选中 Meshing 界面左侧中的 Mesh 选项，在参数设置列表中的 Physics Preference 下设置物理类型为 Mechanical，如图 3-49 所示。

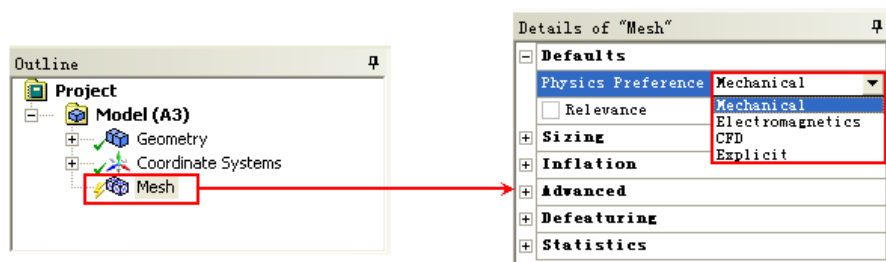


图 3-49 设置分析类型

**步骤 03** 选中 Mesh 项，选择 Mesh 工具栏中的 Mesh Control (网格控制) → Method (方法) 命令，此时会在设计树中添加 Automatic Method 项，如图 3-50 所示。

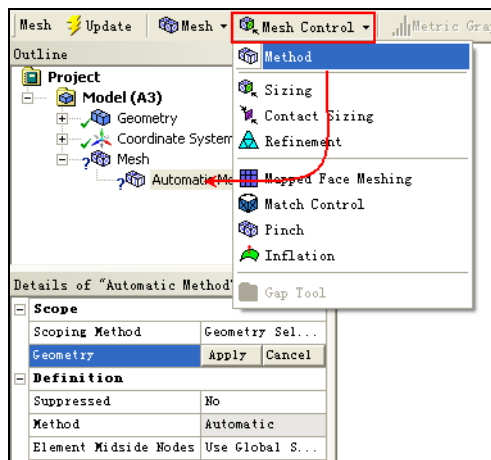




图 3-50 添加网格控制

**步骤 04** 单击图形工具栏中的选择模式下的  Single Select (点选) 按钮, 然后单击  (选择体) 按钮, 如图 3-51 所示。

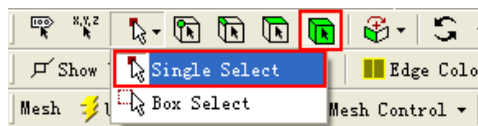



图 3-51 图形工具栏

**步骤 05** 在图形窗口中选择零件体, 在参数设置列表中单击 Geometry 后的 **Apply** 按钮, 完成体的选择。

**步骤 06** 在 Mesh 项上单击鼠标右键, 在弹出的快捷菜单中选择  Generate Mesh 命令, 如图 3-52 所示。此时会弹出网格划分进度条, 进度条消失后会生成如图 3-53 所示的网格。

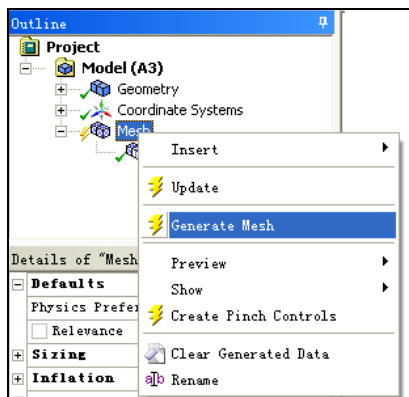


图 3-52 快捷菜单

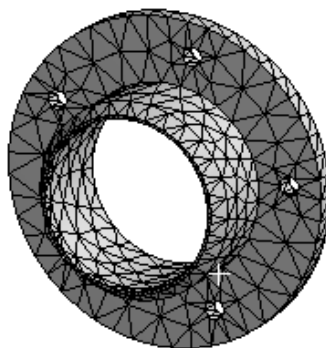





图 3-53 网格效果

#### 4. 保存文件并退出

**步骤 01** 单击 Meshing 界面右上角的  (关闭) 按钮退出 Meshing 界面, 并返回到 Workbench 主界面。

- 步骤 02** 在 Workbench 主界面中单击常用工具栏中的  Save (保存) 按钮, 保存刚刚创建的模型文件。
- 步骤 03** 单击主界面右上角的  (关闭) 按钮, 退出 Workbench, 完成模型的网格划分。

### 3.6.2 网格划分控制案例

#### 1. 启动Workbench并建立网格划分项目

- 步骤 01** 在 Windows 系统下执行“开始”→“所有程序”→ANSYS 15.0→Workbench 15.0 命令, 启动 ANSYS Workbench 15.0, 进入主界面。
- 步骤 02** 在 ANSYS Workbench 主界面中选择 Units (单位)→Metric (kg,mm,s,°C,mA,N,mV) 命令, 设置模型单位。
- 步骤 03** 双击主界面 Toolbox (工具箱) 中的 Component Systems→Mesh (网格) 选项, 在项目管理区创建分析项目 A。

#### 2. 导入创建几何体

- 步骤 01** 在 A2 栏的 Geometry 上单击鼠标右键, 在弹出的快捷菜单中选择 Import Geometry→Browse 命令, 如图 3-54 所示, 此时会弹出“打开”对话框。

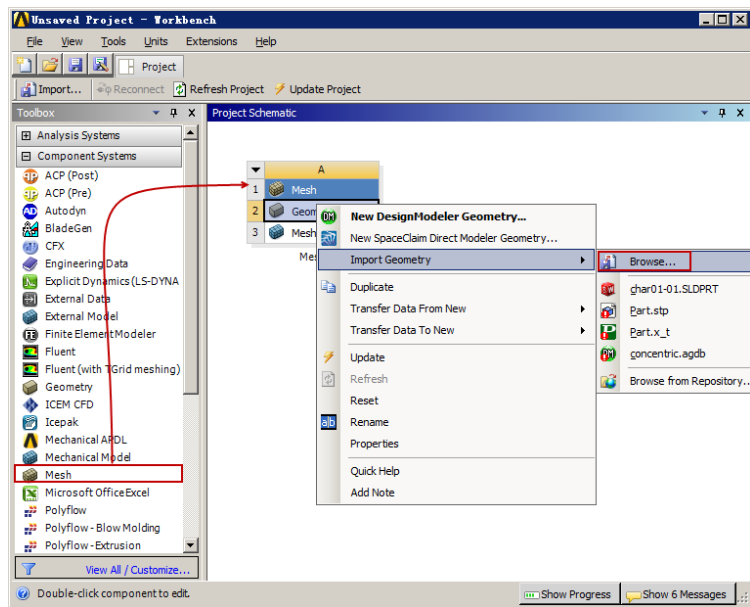



图 3-54 导入几何体

- 步骤 02** 在弹出的“打开”对话框中选择文件路径, 导入 char03-02 几何体文件, 此时 A2 栏 Geometry 后的 ? 变为 ✓, 如图 3-55 所示, 表示实体模型已经存在。
- 步骤 03** 双击项目 A 中的 A2 栏 Geometry, 此时会进入到 DM 界面, 设计树中 Import1 前显示 ⚡, 表示需要生成, 图形窗口中没有图形显示。
- 步骤 04** 单击  Generate (生成) 按钮, 即可显示生成的几何体, 如图 3-56 所示, 此时可在

几何体上进行其他的操作，本例无需进行操作。

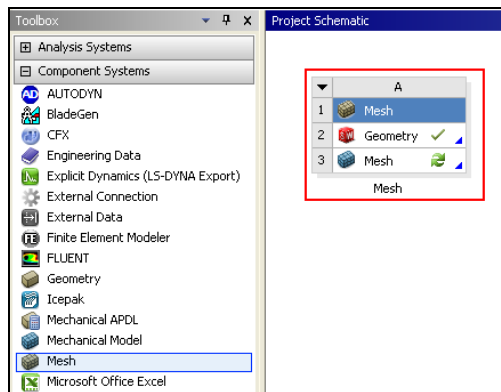


图 3-55 模型已存在的项目

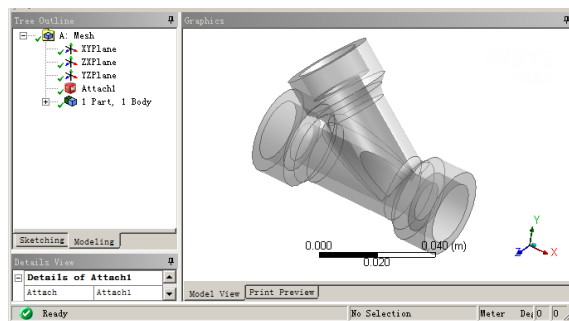



图 3-56 生成后的 DM 界面

**步骤 05** 单击 DM 界面右上角的  (关闭) 按钮，退出 DM，返回到 Workbench 主界面。

### 3. 设置网格划分选项及默认网格显示

**步骤 01** 双击项目 A 中的 A3 栏 Mesh 项，进入如图 3-57 所示的 Meshing 界面，在该界面下即可进行网格的划分操作。

**步骤 02** 在界面右侧的 Meshing Options 面板中设置 Physics Preference 为 Mechanical、Mesh Method 为 Tetrahedrons (Patch Conforming)，如图 3-58 所示，单击  按钮完成设置。

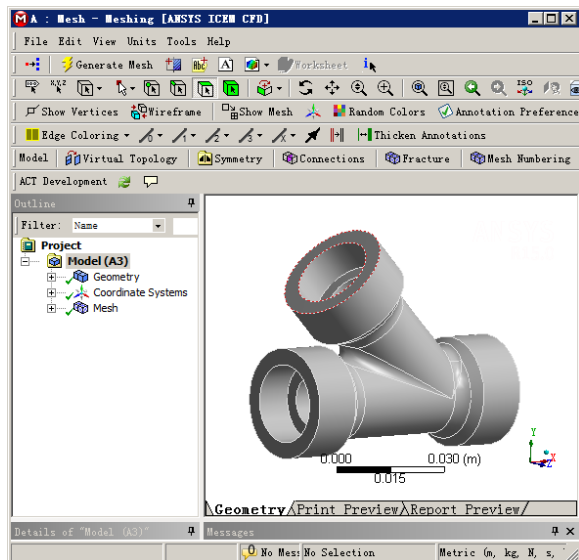


图 3-57 Meshing 界面

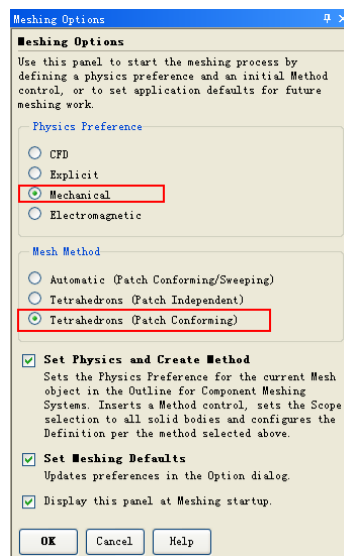



图 3-58 Meshing Options 面板

**步骤 03** 在 Mesh 项上单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择  Generate Mesh 命令，如图 3-59 所示。当弹出的网格划分进度条消失后会生成如图 3-60 所示的网格。



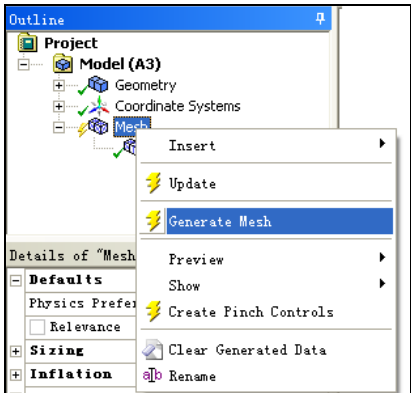


图 3-59 Mesh 快捷菜单

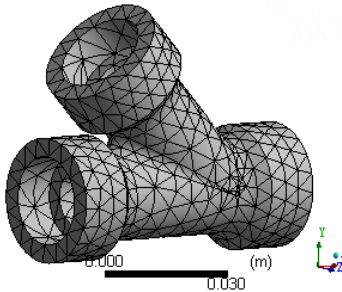


图 3-60 网格效果

**步骤 04** 单击 Mesh 选项，在参数设置列表中展开 Sizing 和 Statistics 项。在 Mesh Metric 中选择 Skewness，可以观察到网格划分后的状态（包括网格的粗糙度和网格统计），如图 3-61 所示。

#### 4. CFD 网格划分显示

**步骤 01** 在参数设置列表中将 Physics Preference 改为 CFD、Solver Preference 改为 Fluent、检验高级尺寸选项设置为 Curvature。

**步骤 02** 在分析树中的 Mesh 项上单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择 ⚡ Generate Mesh 命令。当弹出的网格划分进度条消失后参数设置列表如图 3-62 所示，生成的网格如图 3-63 所示。

Details of "Mesh"	
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	0.459980 mm
Inflation	
Advanced	
Defeaturing	
Statistics	
Nodes	4888
Elements	2519
Mesh Metric	Skewness
Min	3.39276786019933...
Max	.978014009741403
Average	.362439694800999
Standard Deviation	.186820102926046

图 3-61 Mechanical 网格划分状态

Details of "Mesh"	
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	On: Curvature
Relevance Center	Coarse
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
Curvature Normal Angle	Default (18.0 °)
Min Size	Default (4.9895e...
Max Face Size	Default (4.98950...
Max Size	Default (9.97890...
Growth Rate	Default (1.20 )
Minimum Edge Length	0.459980 mm
Inflation	
CutCellMeshing	
Advanced	
Defeaturing	
Statistics	
Nodes	9860
Elements	45466
Mesh Metric	Skewness
Min	1.06959102873061...
Max	.827381877474279
Average	.245410993584503
Standard Deviation	.129349103257689

图 3-62 CFD 网格划分状态

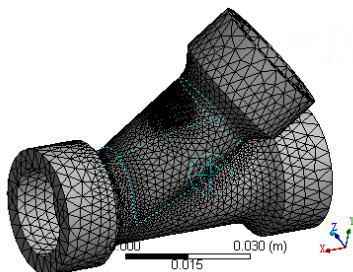


图 3-63 网格效果

## 5. 最大、最小尺寸控制

**步骤 01** 在图形窗口中,单击鼠标右键,在弹出的快捷菜单中选择 View→Top 命令,如图 3-64 所示,此时的视图如图 3-65 所示。

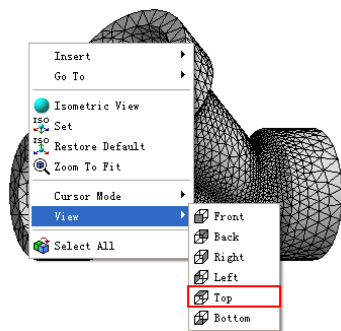


图 3-64 快捷菜单

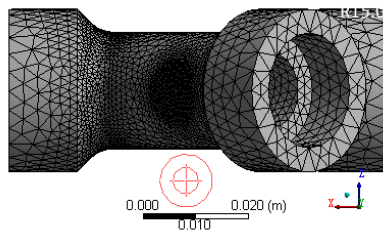


图 3-65 调整后的视图效果


**步骤 02** 单击标准工具栏中的  (剖切视图) 按钮,如图 3-66 所示,在图形窗口中绘制一条直线,将图形剖开,如图 3-67 所示。



图 3-66 标准工具栏

**步骤 03** 选择快捷菜单中的 Back 命令,或按住鼠标中键,调整视图显示,以便观察剖切面的网格划分效果,如图 3-68 所示。

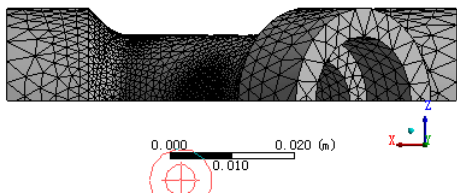


图 3-67 剖切效果

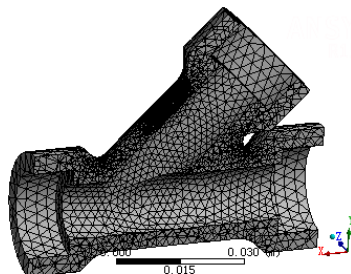


图 3-68 调整视图显示

- 步骤 04** 在参数设置列表中的 Use Advanced Size Function 内改变设置为 On: Proximity and Curvature, 为网格划分算法添加更好的处理临近部位的网格, 如图 3-69 所示。
- 步骤 05** 保留剖切截面激活状态的视图, 再次执行 ⚡ Generate Mesh 命令生成网格, 此时在厚度方向增加了多个单元并且网格数量大大增加, 网格效果如图 3-70 所示。

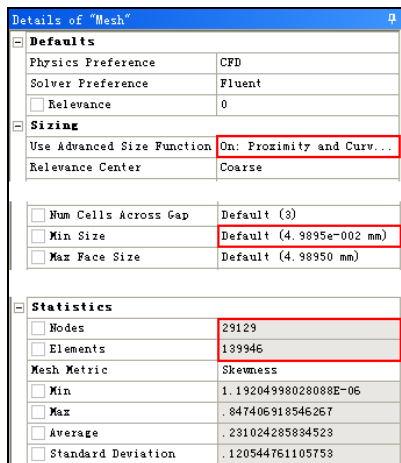


图 3-69 网格状态

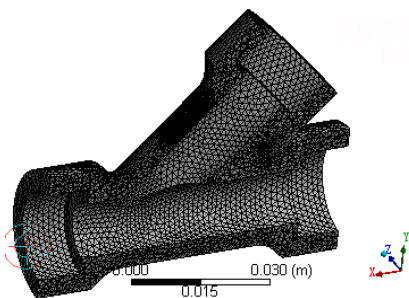


图 3-70 网格效果

- 步骤 06** 在 Min Size 中输入 1.0mm, 如图 3-71 所示, 执行 ⚡ Generate Mesh 命令生成网格, 网格效果如图 3-72 所示。此时厚度方向仍然有多个单元但网格数量相对较少。

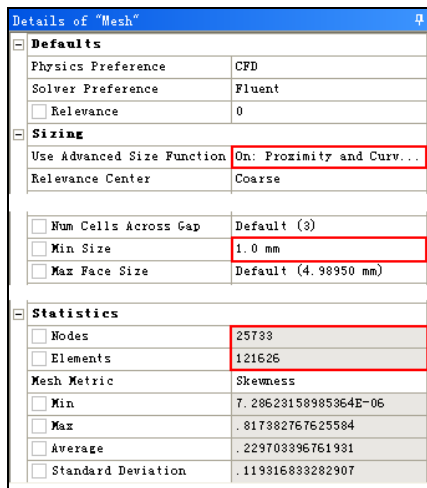


图 3-71 网格状态

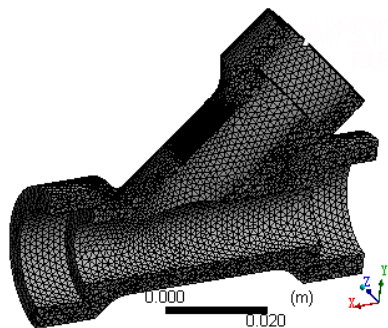


图 3-72 网格效果

## 6. 使用面尺寸

- 步骤 01** 在 Section Planes 列表中单击复选框将剖切截面关闭, 如图 3-73 所示。在参数设置列表中设置 Use Advanced Size Function 为 "On: Curvature", Min Size 中输入 0 (设为默认), 如图 3-74 所示。

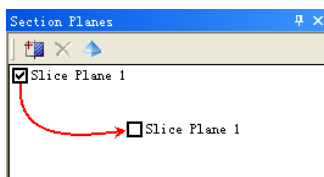


图 3-73 关闭剖切截面显示

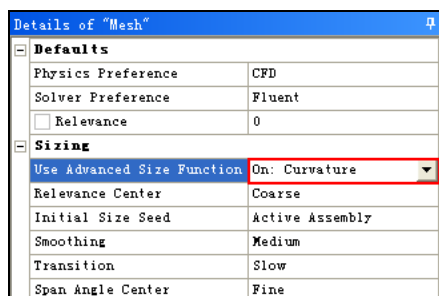





图 3-74 参数设置列表

- 步骤 02** 选中分析树中的 Mesh 项,选择 Mesh 工具栏中的 Mesh Control ( 网格控制 )→Sizing ( 尺寸 ) 命令,为网格划分添加尺寸控制,如图 3-75 所示,此时会在分析树中出现 Sizing 项。
- 步骤 03** 单击图形工具栏中选择模式下的  Single Select ( 点选 ) 按钮,然后单击  ( 选择面 ) 按钮,单击鼠标左键点选如图 3-76 所示的面。
- 步骤 04** 在参数设置列表中单击 Geometry 后的 **Apply** 按钮,完成面的选择,设置 Element Size 为 2mm,如图 3-77 所示。
- 步骤 05** 执行  Generate Mesh 命令生成网格,此时所选面的网格比邻近面的网格要细,如图 3-78 所示。

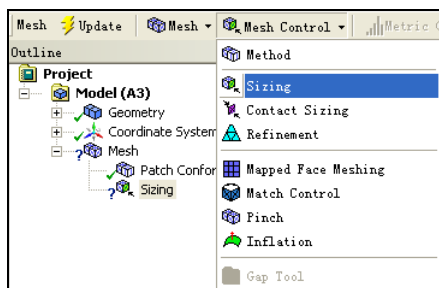


图 3-75 添加尺寸控制

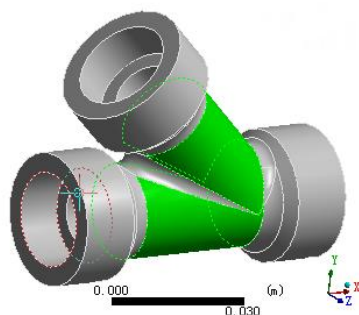


图 3-76 选择面

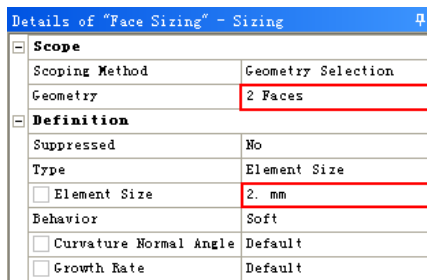


图 3-77 参数设置列表

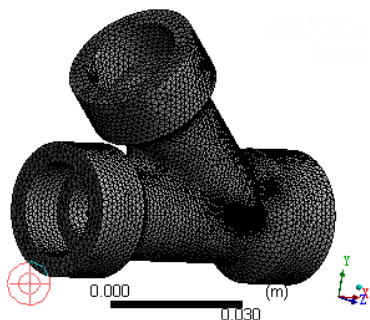



图 3-78 网格效果

## 7. 影响球尺寸

- 步骤 01** 在分析树中的  Coordinate Systems 上单击鼠标右键, 在弹出的快捷菜单中选择 Insert→Coordinate System 命令, 在模型中插入一个坐标系, 如图 3-79 所示。
- 步骤 02** 在参数设置列表中将 Define By 选项设置为 Global Coordinates, 在 Origin X、Origin Y 和 Origin Z 中分别输入 40、25、0, 如图 3-80 所示。

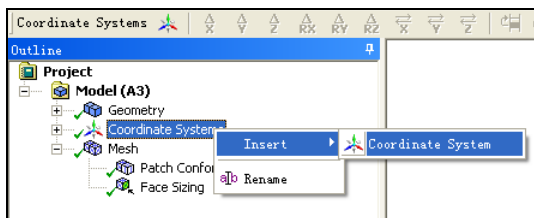


图 3-79 快捷菜单

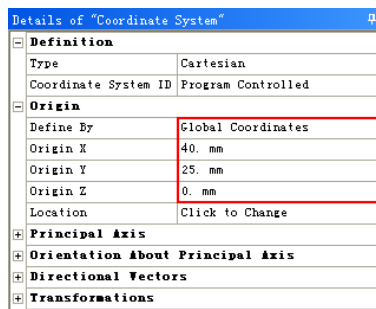






图 3-80 参数设置列表

- 步骤 03** 在分析树中的  Face Sizing 上单击鼠标右键, 在弹出的快捷菜单中选择  Suppress 命令, 如图 3-81 所示, 此时网格划分中的面尺寸被抑制, 如图 3-82 所示, 被抑制的选项前由  变为 .

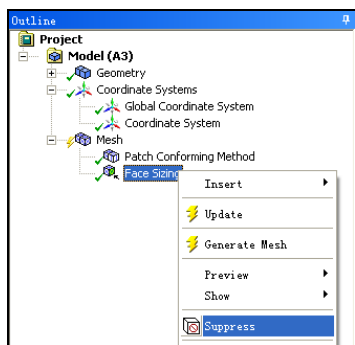


图 3-81 快捷菜单

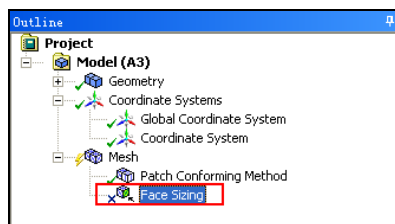


图 3-82 抑制面尺寸

- 步骤 04** 选中分析树中的 Mesh 项, 选择 Mesh 工具栏中的 Mesh Control (网格控制)→Sizing (尺寸) 命令, 为网格划分添加尺寸控制, 此时会在分析树中出现 Sizing 项, 如图 3-83 所示。

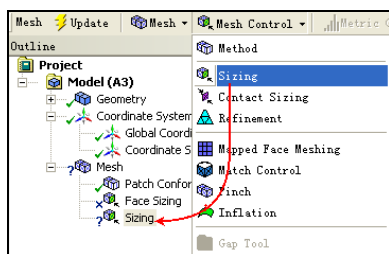




图 3-83 添加尺寸控制



- 步骤 05** 单击图形工具栏中选择模式下的  Single Select (单选) 按钮, 然后单击  (选择体) 按钮, 选择体。
- 步骤 06** 在参数设置列表中单击 Geometry 后的 **Apply** 按钮, 完成体的选择, 设置 Type 为 Sphere of Influence, 设置 Sphere Center 为刚刚创建的坐标系, 设置 Sphere Radius 为 5、Element Size 为 0.5, 如图 3-84 所示, 显示的模型会自动更新, 以方便预览影响球的范围, 如图 3-85 所示。

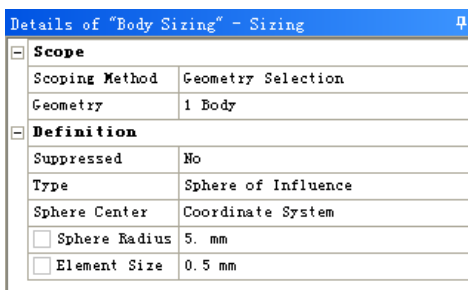


图 3-84 参数设置

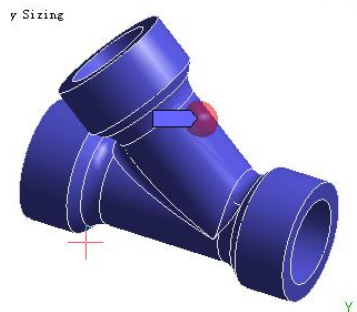



图 3-85 影响球

- 步骤 07** 执行  Generate Mesh 命令生成网格, 如图 3-86 所示, 此时所选影响球范围邻近面的网格更细。在 Section Planes 列表中单击复选框将剖切截面显示打开, 此时的网格效果如图 3-87 所示。

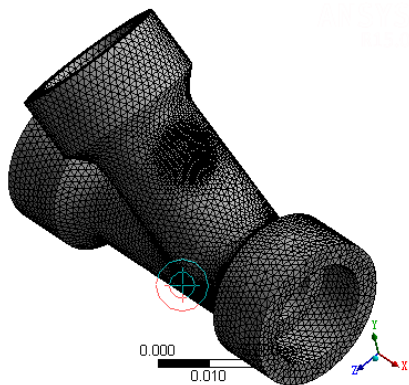


图 3-86 网格效果

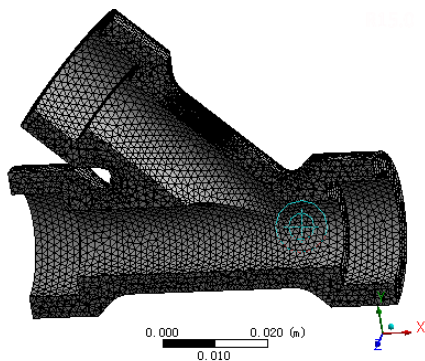





图 3-87 剖切效果

## 8. 保存文件并退出

- 步骤 01** 单击 Meshing 界面右上角的  (关闭) 按钮, 退出 Meshing 界面, 并返回到 Workbench 主界面。
- 步骤 02** 在 Workbench 主界面中单击常用工具栏中的  Save (保存) 按钮, 保存刚刚创建的模型文件。
- 步骤 03** 单击主界面右上角的  (关闭) 按钮, 退出 Workbench, 完成模型的网格划分。

## 3.7 本章小结

网格划分在Workbench中是一个独立的工作平台，它可以为ANSYS不同的求解器提供对应的网格文件。本章主要介绍了如何对模型进行网格划分等内容，包括Workbench网格划分平台、四面体网格的划分方法、网格参数设置、扫掠网格划分方法、多区网格划分方法等，最后给出了网格划分的案例。

通过本章的学习，可以掌握对几何模型的网格划分方法，针对不同的求解器，可以了解并掌握不同的网格划分技巧。