

# 第 5 章 网格划分及有限元模型的建立

上一章讲述了 ANSYS 实体建模的功能，必须将实体模型进行网格划分才能形成有限元分析所需的有限元模型。有限元网格划分是进行有限元数值模拟分析至关重要的一步，它直接影响后续数值计算分析结果的精确性。本章集中讲述如何对实体模型进行网格划分，包括网格划分前的准备工作、自由划分和映射划分等内容。

## 5.1 网格划分概述

网格划分涉及单元的形状及其拓扑类型、单元类型、网格生成器的选择、网格的密度、单元的编号及几何体素。例如，从几何表达上讲，梁和杆是相同的，但从物理和数值求解上讲则是有区别的。同理，平面应力和平面应变情况设计的单元求解方程也不相同。由于不同单元的刚度矩阵不同，采用数值积分的求解方式不同，因此，实际应用中，一定要采用合理的单元来模拟求解。

ANSYS 提供了两种创建有限元模型的方法，即直接法和实体模型网格划分建模法。

- ❑ 直接法。首先创建节点，然后利用节点创建单元，单个或多个单元组成一个有限元模型。
- ❑ 网格划分法。首先创建实体模型，然后利用网格划分工具将实体模型划分为有限元模型。

无论采用哪种有限元模型创建方法，都需要做如下准备工作。

- ❑ 定义单元类型。在创建或划分网格之前必须设置所创建单元的类型，即指定 ANSYS 单元库中的单元。
- ❑ 定义单元实常数。单元实常数是指诸如板壳单元的厚度、梁单元的截面几何尺寸等。它是从物理对象抽象成数学对象时无法保留的各种几何、力学、热学等属性参数。在形成网格之前，必须作为单元实常数的方式赋予指定的单元，从而使单元的行为和属性保持与所进行有限元分析的物理对象的一致。
- ❑ 定义材料属性。不同的材料具有不同的力学、传热学、电磁学和流体行为特性，这些特性也许在进行创建单元形成网格之前进行定义。

### 5.1.1 直接法创建有限元模型的基本步骤

直接法创建有限元模型的基本步骤如下。

- (1) 定义单元类型。
- (2) 定义单元实常数。

- (3) 定义材料属性。
- (4) 创建节点。菜单路径：**【Main Menu】 / 【Preprocessor】 / 【Modeling】 / 【Create】 / 【Nodes】**。
- (5) 设置当前单元属性。
- (6) 创建单元。
- (7) 修改网格模型。

### 5.1.2 网格划分建模法的基本步骤

直接法创建有限元模型的基本步骤如下。

- (1) 定义单元类型。
- (2) 定义单元实常数。
- (3) 定义材料属性。
- (4) 创建实体模型。
- (5) 设置当前单元属性。
- (6) 控制网格划分密度。
- (7) 选择单元形状和网格划分器类型。
- (8) 划分网格。
- (9) 检查网格。
- (10) 合并模型与编号控制。
- (11) 修改模型。

以下详述网格划分生成有限元模型的具体过程和方法。

## 5.2 定义单元属性

在生成节点和单元组成网格之前，需要定义合适的单元属性，主要包括单元类型、实常数、材料常数和单元坐标系等。

定义的单元属性组成单元属性表，划分网格之前将单元属性分配给模型。其中，单元类型和材料常数是必须定义的。单元类型要从 ANSYS 的单元类型库中引进类型列表，引进时定义一个单元类型号。材料常数需要用户自己填写，每一种使用的材料都要定义一个材料号。单元坐标系用户可以自己定义，每一个用户自己定义的坐标系分配一个大于 10 的坐标系号；如果用户不定义单元坐标系，系统默认为全局坐标系。

有时用于计算的模型被抽象成零厚度的曲面或曲线，而现实中的物体不可能是零厚度的，此时需要定义单元实常数，如壳体的厚度、梁的高度和惯性矩、杆和梁的截面积等。显然，只有某些单元类型需要定义实常数，每一组实常数分配一个实常数号。而对于某些梁单元，则要定义截面，系统会自动根据截面形状求得该梁截面的惯性矩和面积等数据，每一个定义的截面分配一个截面号。

## 5.2.1 单元类型

在 ANSYS 单元库中有近 200 多种单元类型，在进行有限元分析时，用户并不是直接引用 ANSYS 单元库中的某个或某些单元类型，而是定义一个单元类型表，表中包含一系列的单元类型编号，分别指向 ANSYS 单元库中的某个单元类型。有限元模型中的每个单元具有单元列表中的某个单元类型编号，程序在进行单元计算时会自动引用该单元类型编号所指向的单元库中的某个单元类型。

定义单元类型的方法如下。

命令：ET。

GUI：单击【Main Menu】/【Preprocessor】/【Element Type】(单元类型)/【Add/Edit/Delete】(增加/编辑/删除)，弹出如图 5-1 所示的单元类型对话框，该对话框有如下几种操作。

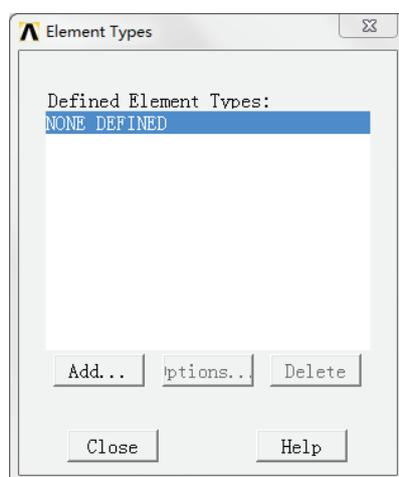


图 5-1 单元类型对话框

1) **Add...**：增加新的单元类型按钮

如图 5-1 所示，单击 **Add...** 按钮，弹出如图 5-2 所示的 ANSYS 单元库对话框。首先选中对话框左侧的【Library of Element Types】(单元库)列表中的单元类别，如“Structural Mass”中的“Solid”，右侧列表框中立刻显示左侧列表中所选类别对应的全部单元类型名称列表；其次选中其中的某个单元类型名称并自动显示在右侧下部文本框中，如图 5-2 方框所示选中的“Brick 8 node 185”；再次在【Element type reference number】项文本框中输入定义单元类型的编号，该编号就是单元表中的单元类型的编号，它指向并代表单元库中选中的单元类型；最后，单击 **OK** 或 **Apply** 按钮，定义并将该单元类型编号增加到单元类型表中。单元库列表中的单元类别应根据所做分析的不同学科类型进行选择，然后根据各学科的功能进行选择，如图 5-2 所示选择的是结构分析中的体单元类型。

选择单元完毕后，在单元类型对话框中将会显示所定义的单元类型及其编号列表，如图 5-3 所示。

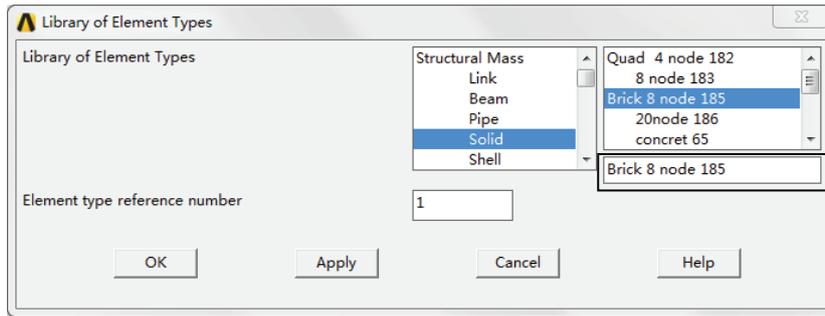


图 5-2 ANSYS 单元库对话框

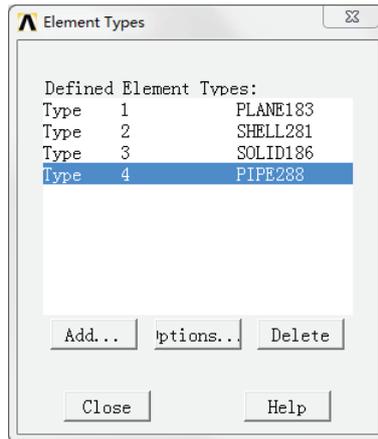


图 5-3 定义完毕单元类型后的单元库对话框

2) **Options...**: 选项按钮。

**Options...** (**Options**) 按钮用来设置单元类型，该按钮在没有定义单元类型之前是无法操作的，呈浅色显示。在定义一种或多种单元类型后，该按钮才可以激活并进行设置，如图 5-3 所示，该功能主要用于控制单元的工作行为（如轴对称、平面应变、平面应力、接触行为方式、弹簧的刚度方向等）、自由度数、单元形函数、结果输出控制等一系列单元属性。

单击图 5-3 中编号为“4”的单元列表中的选项，弹出如图 5-4 所示为单元选项对话框。对话框中显示单元类型编号列表“Options for PIPE288, Element Type Ref. No.4”，单元编号为“4”，类型为“PIPE288”。

---

**提醒**: 用户可以单击该对话框中 **Help** 按钮（见图 5-4 中的方框），阅读单元帮助中的 KEYOPT(1)、KEYOPT(2)、KEYOPT(3)等说明，分别对应相应的 K1、K2、K3，对每个选项进行设置，然后单击 **OK** 按钮完成设置。其中，K1、K2、K3 等的编号不一定连续。

---

3) **Delete**: 删除按钮。

**Delete** 按钮用来删除选中的单元类型，该按钮在没有定义单元类型之前是无法操作的，呈浅色显示。如果要删除某种单元类型，只需选中如图 5-3 中单元列表中的选项，单

击 **Delete** 按钮即可删除该类型的单元。

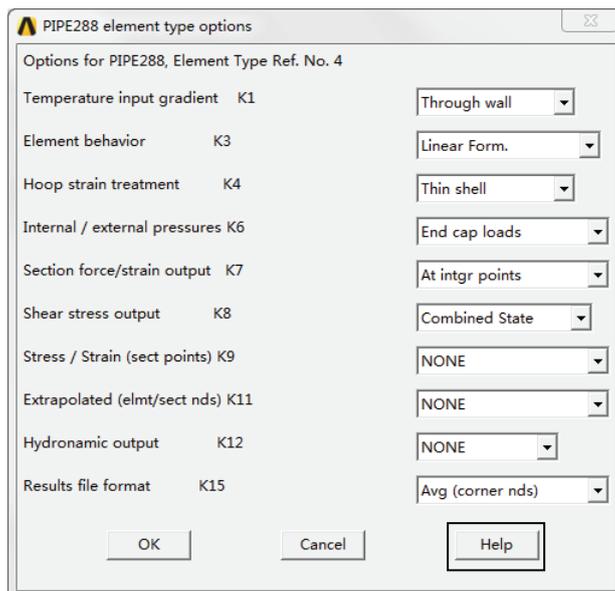


图 5-4 单元选项对话框

4) **Close**: 关闭按钮。

如图 5-3 所示, **Close** 关闭按钮用来关闭定义单元类型对话框。单击该按钮表示完成对单元类型的定义、选项设置和删除等操作。

5) **Help**: 帮助按钮。

如图 5-3 所示, **Help** 按钮用来阅读定义单元类型对话框的相关帮助。

## 5.2.2 单元实常数

定义单元实常数的方法。

命令: R。

GUI: 单击【Main Menu】/【Preprocessor】/【Real Constants】(实常数)/【Add/Edit/Delete】(增加/编辑/删除), 弹出如图 5-5 所示的单元实常数对话框, 该对话框有如下几种操作。

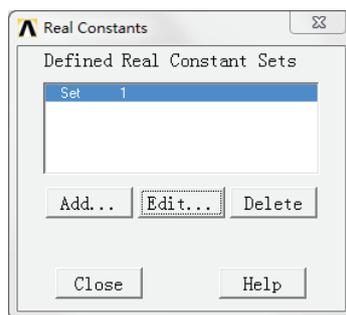


图 5-5 定义单元实常数对话框

1) **Add...**: 增加新的单元实常数按钮。

单击如图 5-5 中的 **Add...** 按钮，选择单元类型后，不需要定义单元实常数的单元，会弹出不需要定义单元实常数或不支持定义单元实常数的提示，如图 5-6 所示。如果需要定义单元实常数，则会弹出如图 5-7 所示的实常数定义对话框。

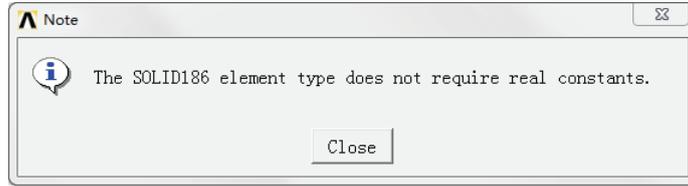


图 5-6 不需要定义单元实常数的提示

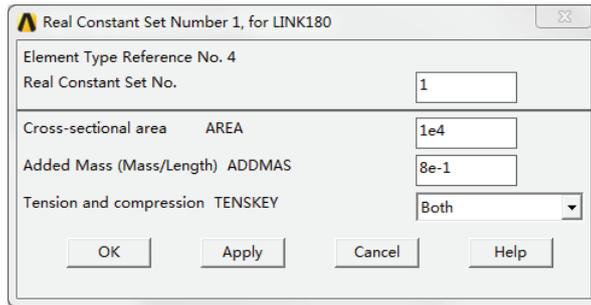


图 5-7 LINK180 实常数定义对话框

在实常数定义对话框中，首先输入设置实常数设置编号（【**Real Constant Set No.**】），然后输入实常数项值，最后单击 **OK** 或 **Apply** 按钮执行实常数定义操作。

2) **Edit...**：编辑单元实常数按钮。

如果已经定义单元实常数，选中图 5-5 中的已定义的实常数编号，单击 **Edit...** 按钮，选择单元类型后，弹出如图 5-7 所示的对话框，修改其中的各实常数项的值，单击 **OK** 或 **Apply** 按钮，执行编辑操作。

3) **Delete**：删除按钮。

如图 5-5 所示，**Delete** 按钮用来删除选中的单元实常数。选中图 5-5 中已定义的单元实常数编号（如图中的“1”），单击该按钮即可执行删除操作。

4) **Close**：关闭按钮。

如图 5-5 所示，**Close** 关闭按钮用来关闭定义单元实常数对话框。单击该按钮表示完成对单元实常数的定义、编辑和删除等操作。

5) **Help**：帮助按钮。

如图 5-5 所示，**Help** 按钮用来阅读定义单元实常数对话框的相关帮助。

### 5.2.3 材料常数

ANSYS 程序中能很方便地定义各种材料的属性，如结构材料属性参数（Structural）、热性能参数（Thermal）、流体性能参数（CFD）和电磁性能参数（Electromagnetics）等。

## 1. 定义材料常数的方法

命令：MP, TB。

MP 用于建立线性材料的属性，TB 用于建立非线性材料的属性。

GUI：单击【Main Menu】/【Preprocessor】/【Material Props】（材料属性）/【Material Models】（材料模型），弹出如图 5-8 所示的【Define Material Model Behavior】定义材料模型属性对话框，左侧列表框中显示已经定义的材料模型编号，系统默认的材料模型编号为“1”，右侧列表显示该材料需要定义的材料常数，单击需要定义的各种材料属性进行定义。

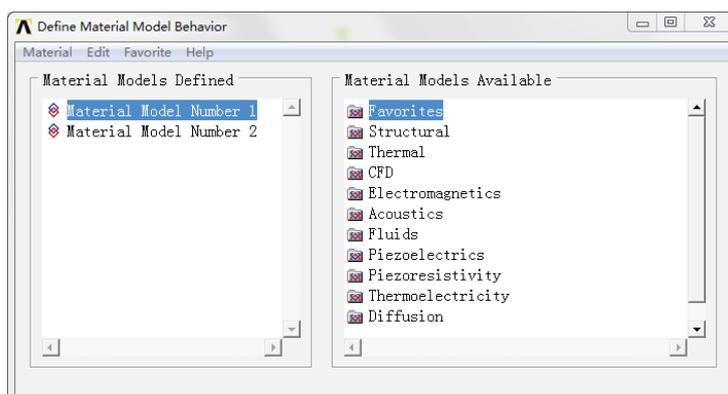


图 5-8 定义材料模型属性对话框

## 2. 增加新材料模型

单击如图 5-8 所示的对话框中【Material】/【New Model...】菜单，创建新的材料编号，如图 5-9 所示。创建的编号为“2”的材料模型，如图 5-8 所示的左侧列表。

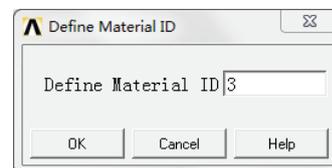


图 5-9 定义材料属性编号对话框

## 3. 复制材料模型及其属性参数

单击图 5-8 所示的对话框中的【Edit】/【Copy...】菜单，弹出【Copy Material Model】（复制材料模型）对话框，进行复制材料模型及其属性参数的操作，如图 5-10 所示。在【From Material number】选项中选择已经定义好的材料模型编号，使其成为复制对象，在【to Material number】项中输入复制的新材料编号，单击 **OK** 或 **Apply** 按钮执行复制操作。图 5-10 所示将编号为“1”的材料模型及其属性复制给“2”号的材料。

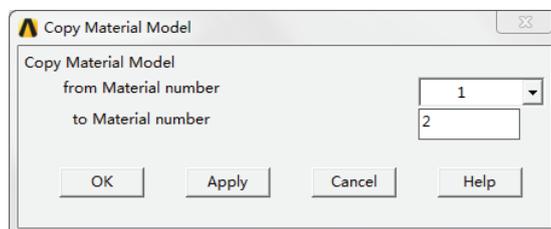


图 5-10 复制材料模型及其属性对话框

#### 4. 删除材料模型

对于不再需要的材料模型，可以利用删除材料模型功能将其删除。其过程为首先选中图 5-8 左侧列表中将要删除的材料编号，然后选择该对话框菜单中的【Edit】/【Delete】命令，程序集执行删除操作。

#### 5. 退出定义材料模型

完成定义材料模型后，选择图 5-8 所示的对话框中的菜单【Material】/【Exit】命令，退出定义材料模型。

#### 6. ANSYS材料模型库介绍

图 5-8 右侧列表显示该材料需要定义的材料常数库，单击各材料属性会以树形结构显示，以下以线弹性材料模型和非线性弹性材料模型中的超弹与多线性弹性材料为例简要介绍材料模型库。

##### 1) 线弹性材料模型。

☞Structural: 结构分析中的材料模型。

☞Linear: 材料的线性行为。

☞Elastic: 弹性性能参数。

◆ Isotropic: 各向同性弹性性能参数。

◆ Orthotropic: 正交各向异性弹性性能参数。

◆ Anisotropic: 各向异性弹性性能参数。

##### 2) 非线性弹性材料模型：超弹与多线性弹性材料。

☞Nonlinear: 材料的非线性行为。

☞Elastic: 非线性的弹性模型。

☞Hyperelastic: 超弹材料模型（包含多个模型）。

◆ Curve Fitting: 通过材料实验数据拟合获取材料模型。

◆ Mooney-Rivlin: Mooney-Rivlin 模型（包含 2、3、5 与 9 参数模型）。

◆ Ogden: Ogden 模型（包含 1~5 项参数模型与通用模型）。

◆ Neo-Hookean: Neo-Hookean 模型。

◆ Polynomial Form: Polynomial Form 模型（包含 1~5 项参数模型与通用模型）。

◆ Arruda-Boyce: Arruda-Boyce: 模型。

◆ Gent: Gent 模型。

◆ Yeoh: Yeoh 模型。

◆ Blatz-Ko (Foam): Blatz-Ko（泡沫）模型。

◆ Ogden(Foam) Ogden:（泡沫）模型。

◆ Mooney-Rivlin (TB,MOON): Mooney-Rivlin(TB,MOON) 模型。

◆ Multilinear Elastic: 多线性弹性模型。

用户时可参考 ANSYS 的帮助文件进行相关材料属性的定义。

#### 【例 5-1】 定义材料属性

定义一个线性行为的材料模型及其属性参数。

要求：将要定义的材料编号是一个与温度相关的各项同性材料，在 30℃、800℃、1100℃条件下弹性模量分别为 2E11Pa、1.96E11Pa 和 1.92E11Pa，泊松比为 0.3、0.31、0.32。

### 操作过程

(1) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Material Props】(材料属性)/【Material Models】(材料模型) 命令，弹出如图 5-8 所示的【Define Material Model Behavior】对话框。

(2) 单击图 5-8 中左侧列表中材料模型编号为“1”的选项【Material Model Number 1】。

(3) 单击图 5-8 中右侧列表中的【Structural】/【Linear】(线性)/【Elastic】(弹性)/【Isotropic】(各向同性) 命令，弹出如图 5-11 所示的定义材料属性对话框。

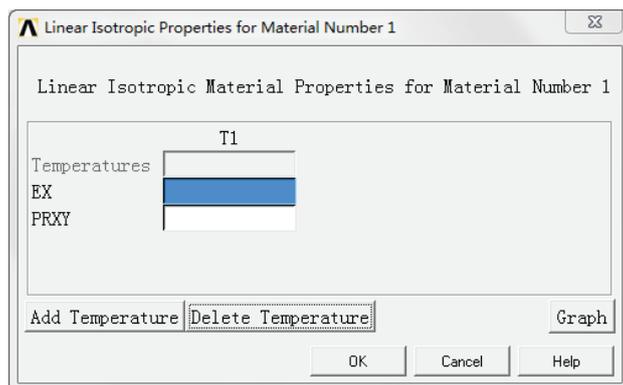


图 5-11 定义材料属性对话框

(4) 单击图 5-11 中的 Add Temperature 按钮，增加温度设置选项，并将相应的数据填入【Temperature】(温度)、【EX】(弹性模量)、【PRXY】(泊松比) 的输入栏内，如图 5-12 所示。

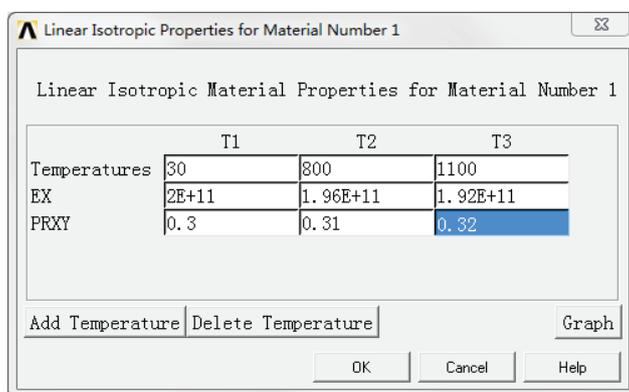


图 5-12 材料属性设置对话框

(5) 单击图 5-12 中的 Graph 按钮，会显示 EX 和 PRXY 两选项，选中 EX，在主窗口出现弹性模量 EX 与温度的关系曲线。同理，选中 PRXY，在主窗口出现泊松比 PRXY 与温度的关系曲线，如图 5-13 所示。

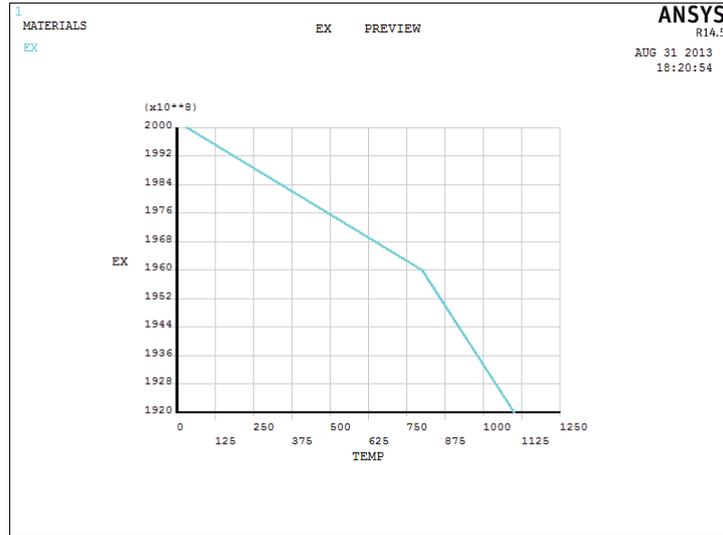


图 5-13 弹性模量 EX 与温度的关系曲线

(6) 单击图 5-12 中的 **OK** 按钮，执行定义材料属性操作，定义完毕后，材料属性显示在定义材料模型属性对话框的左侧列表中，如图 5-14 所示。

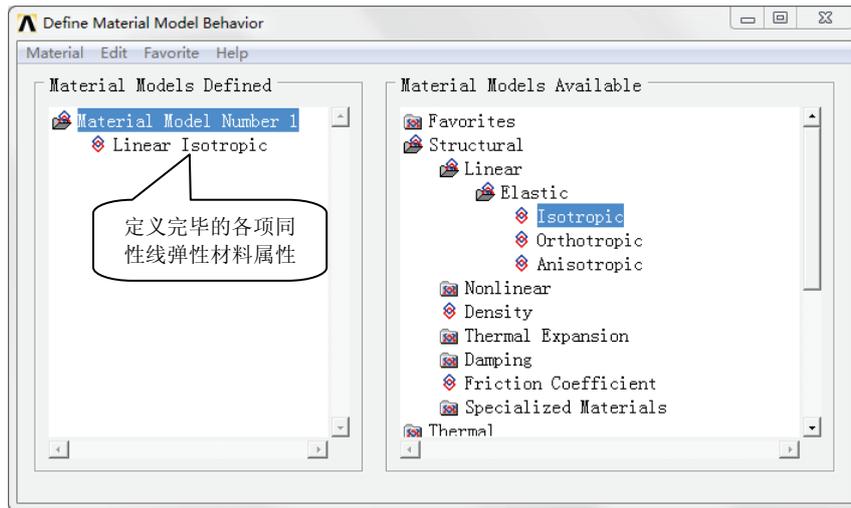


图 5-14 完成定义材料模型属性对话框后的显示

另外，定义单元属性还包括定义单元坐标系，详细操作见第 3 章 3.1.5 节中的内容。

## 5.3 网格划分控制

网格划分控制用于控制实体模型划分网格诸多要素，如单元形状、节点位置和单元大小等。网格划分控制是整个分析中最重要的因素之一，因为其操作决定所生成的有限元模型的优劣，进而决定整个有限元分析的准确性和经济性。

### 5.3.1 单元属性分配设置

上一节介绍了如何定义单元属性，包括定义单元类型、单元实常数和材料属性等。由于有限元分析的实体模型结构复杂，不同部分在实际问题中对应不同的物理环境，所以定义完单元属性之后，还需要将不同的单元属性分配给实体模型的相应部分。

ANSYS 提供了两种为模型分配属性的方式，即直接方式为实体模型分配属性和默认方式为有限元模型分配属性。

 **提醒：**直接方式分配的单元属性在网格划分过程中会转换到有限元模型上；默认方式为有限元模型分配属性，实际上是为模型中的单元分配单元类型、材料、实常数及单元坐标系等属性。

#### 1. 直接方式为实体模型分配属性

采用直接方式为实体模型分配单元属性，原有的实体模型的属性不会因为有限元模型的变化而变化。也就是说，如果用户觉得第一次划分网格后，网格化效果不好，需要重新进行网格划分，那么在取消第一次划分产生的网格时，转换到有限元模型上的属性将自动被删除，但分配给实体模型的属性仍将保持在实体模型上。

ANSYS 可以为实体模型从关键点、线、面到体各级别的对象分配属性，具体操作如下。

1) 为关键点对象分配属性。

命令：KATT。

GUI：【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】（网格）/【Mesh Attributes】（网格划分属性）/【All Keyoints】（所有关键点），为所有关键点分配属性。

或【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh Attributes】/【Pick KPs】（所选关键点），为被选中的关键点分配属性。

关键点分配 TYPE（单元类型）、REAL（实常数）、ESYS（单元坐标系）。

2) 为线对象分配属性。

命令：LATT。

GUI：【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】（网格）/【Mesh Attributes】（网格划分属性）/【All Lines】（所有关键点），为所有线对象分配属性。

或【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh Attributes】/【Pick Lines】（所选关键点），为被选中的线对象分配属性。

LINK 连杆单元，分配 MAT（材料属性）、TYPE（单元类型）、REAL（实常数）、ESYS（单元坐标系）。

BEAM 梁单元，分配 MAT（材料属性）、TYPE（单元类型）、REAL（实常数）、ESYS（单元坐标系）和截面号及其方向关键点。

PIPE 管道单元、RIGID 刚性单元、COMBINATION 连接单元，分配 MAT（材料属性）、TYPE（单元类型）、REAL（实常数）、ESYS（单元坐标系）。

3) 为面对象分配属性。

命令: AATT。

GUI: 【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】(网格)/【Mesh Attributes】(网格划分属性)/【All Areas】(所有关键点), 为所有面对象分配属性。

或【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh Attributes】/【Pick Areas】(所选关键点), 为被选中的面对象分配属性。

二维实体单元(平面应力/应变/轴对称单元)分配 MAT(材料属性)、TYPE(单元类型)、ESYS(单元坐标系)。

壳单元分配 MAT(材料属性)、TYPE(单元类型)、REAL(实常数)、ESYS(单元坐标系)。

4) 为体对象分配属性。

命令: VATT。

GUI: 【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】(网格)/【Mesh Attributes】(网格划分属性)/【All Volumes】(所有关键点), 为所有体对象分配属性。

或【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh Attributes】/【Pick Volumes】(所选关键点), 为被选中的体对象分配属性。

体单元分配 MAT(材料属性)、TYPE(单元类型)、ESYS(单元坐标系)。

以例 5-2 说明直接分配单元属性的操作方法和过程。

**【例 5-2】** 为实体模型直接分配属性

定义一个线性行为的材料模型及其属性参数。

要求: 采用直接法给不同的体对象分配属性, 定义单元类型和材料属性, 实常数和单元坐标系无需定义。其中, 体 1 材料为各项同性线弹性材料, 参数为弹性模量为 1.7E11Pa, 泊松比为 0.3, 单元为 Solid185; 体 2 材料为各项同性线弹性材料, 参数为弹性模量为 2.1E11Pa, 泊松比为 0.33, 单元为 Solid186。

 操作过程

(1) 选择【Utility Menu】/【File】/【Resume from...】命令, 弹出【Resume Database】对话框, 选中素材文件“5-1.db”, 如图 5-15 所示。

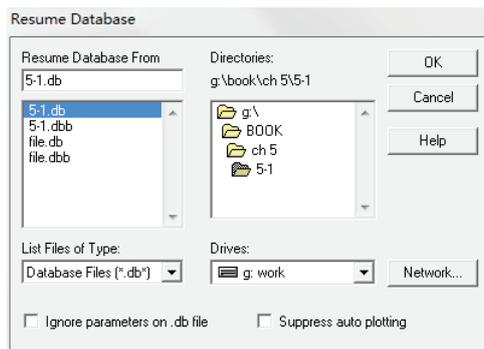


图 5-15 恢复文件“5-1”数据库

(2) 单击  按钮, 数据库中的内容导入到 ANSYS 中, 如图 5-16 所示。

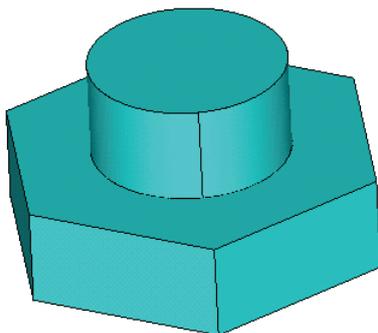


图 5-16 文件“5-1”实体模型

(3) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Element Type】/【Add/Edit/Delete】命令，弹出单元类型对话框，单击 **Add...** 按钮，定义单元类型 1 和单元类型 2，如图 5-17、图 5-18 所示，单击 **OK** 按钮，单击单元类型对话框【Element Types】中的 **Close** 按钮，退出单元类型定义。

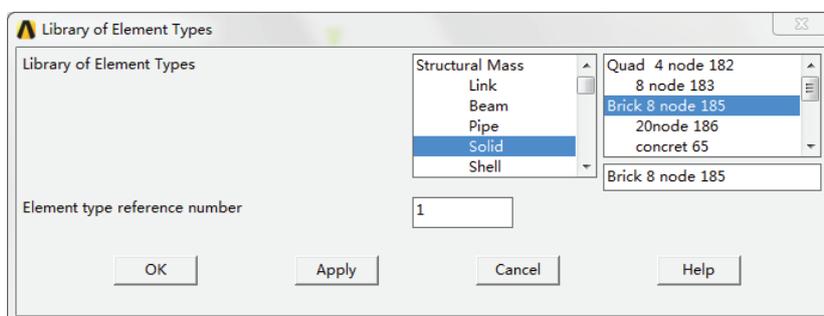


图 5-17 定义单元类型 1 的单元类型库对话框

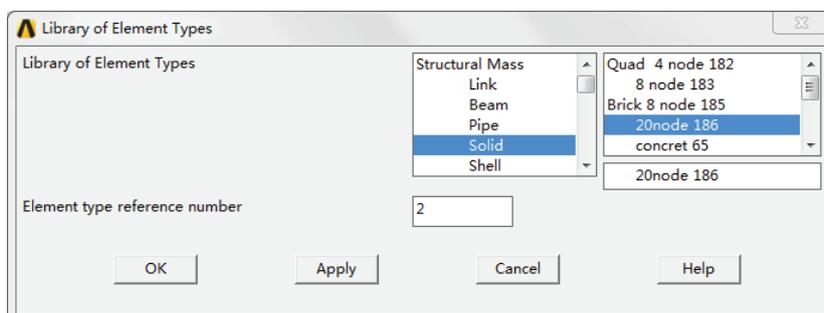


图 5-18 定义单元类型 2 的单元类型库对话框

选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Material Props】/【Material Models】命令，弹出【Define Material Model Behavior】定义材料模型属性对话框，单击该对话框中右侧列表中的【Structural】/【Linear】/【Elastic】/【Isotropic】命令，弹出如图 5-19、图 5-20 所示的定义材料属性对话框，按图中数值进行定义。单击定义材料模型属性对话框中的

【Material】 / 【Exit】 命令，退出定义材料模型。

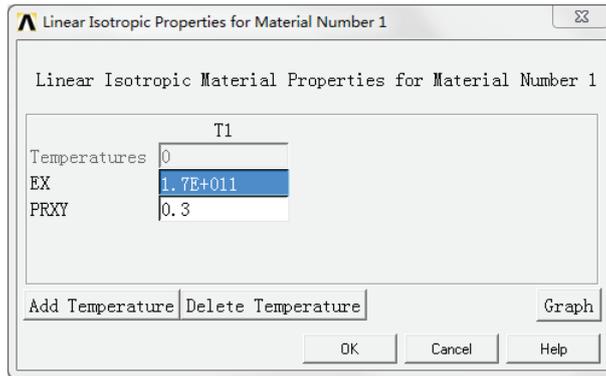


图 5-19 材料属性 1 设置

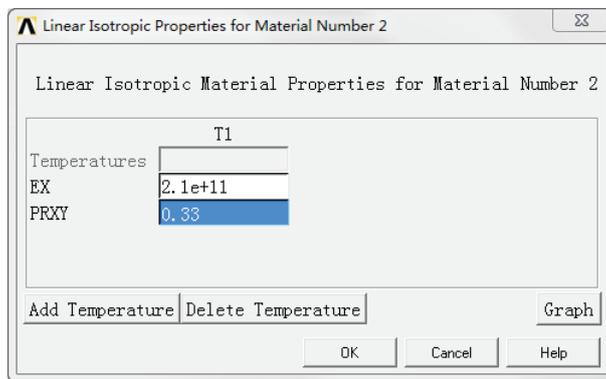


图 5-20 材料属性 2 设置

(4) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh Attributes】/【Pick Volumes】(所选关键点) 命令，拾取上部的圆柱体对象，弹出【Volume Attributes】体对象属性定义对话框，如图 5-21 进行设置。同样方法分配属性给下部的正六棱柱，如图 5-22 所示，单击 **OK** 按钮确定。

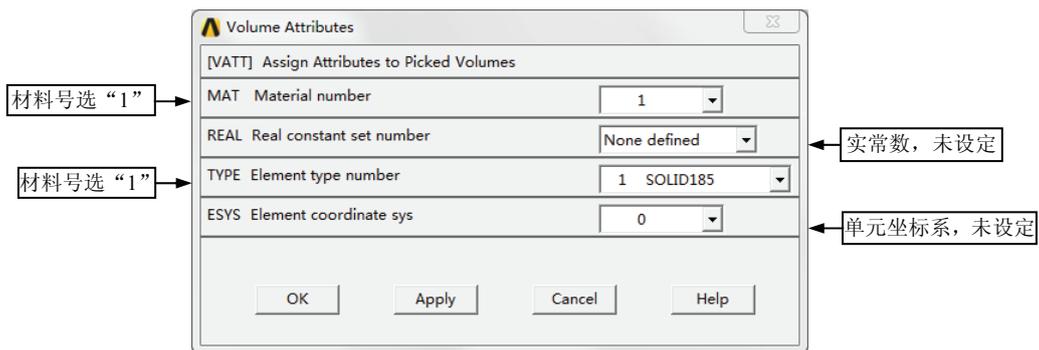


图 5-21 圆柱体对象属性分配

(5) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh】/【Volumes】/【Free】

命令，出现拾取菜单，在视图中拾取圆柱体和正六棱柱体，单击确认，对实体进行网格划分，如图 5-23 所示。

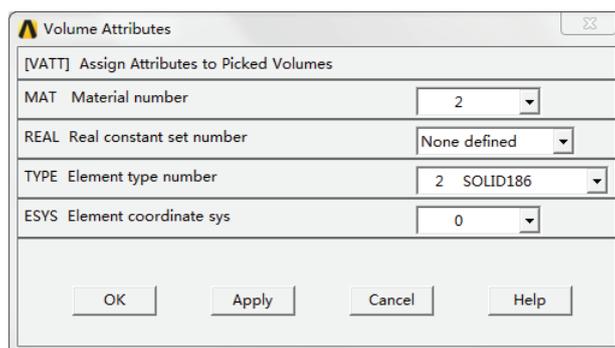


图 5-22 正六棱柱属性分配

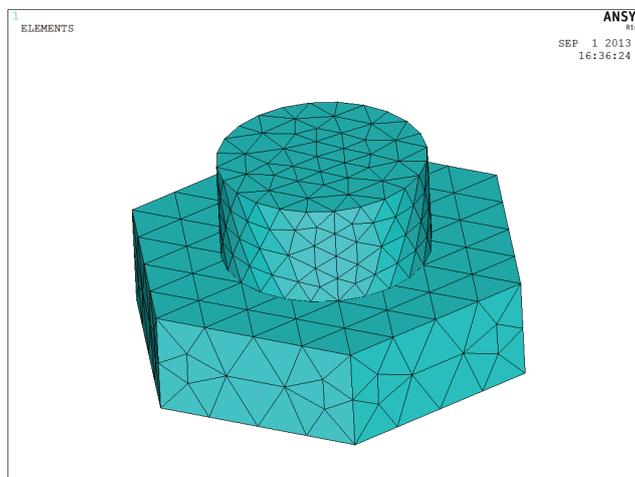


图 5-23 网格划分后的实体

(6) 选择【Utility Menu】/【List】/【Volumes】命令，弹出如图 5-24 所示的体对象列表，图中方框部分为分配给体对象的属性显示。

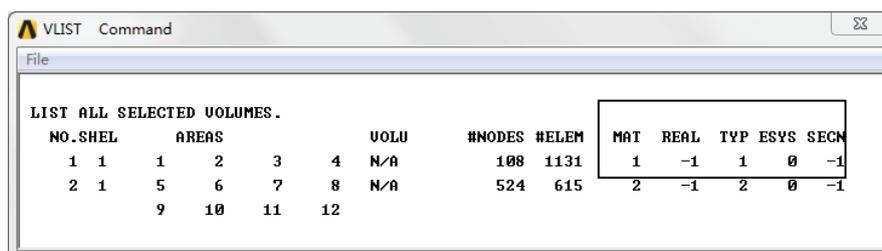


图 5-24 体对象信息列表显示

## 2. 默认方式为有限元模型分配属性

默认方式为有限元模型分配属性是指仅通过指向属性表的不同条目即可分配缺省的

属性集。当实体模型没有通过上述按直接方式分配属性时，在生成模型时（即开始划分网格时），程序将从属性表中给实体模型和单元分配属性。如果采用直接方式分配给实体模型属性，将取代系统采用默认方式分配的属性。

**提醒：**与直接方式分配属性不同，当清除实体模型图元的节点和单元时，任何通过默认方式分配的属性也将被删除。

命令：TYPE, REAL, MAT, ESYS。

GUI：选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh Attributes】/【Default Attributes】（默认属性）命令，默认方式分配属性。

或选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Modeling】/【Create】/【Elements】/【Elem Attributes】（单元属性）命令。

### 5.3.2 智能单元尺寸控制

在划分网格之前，一般需要对网格密度进行必要的控制。合理的单元网格密度是获得高精度结果的保证，确保准确捕捉场量的分布和梯度变化，如应力/应变的分布与梯度变化，在应力集中位置需要相对密的单元网格。在实际工程计算中，用户必须根据自己的分析需求和问题的性质确定网格划分密度的控制。

如图 5-25 所示为单元密度控制的菜单系统，对应的菜单路径：选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Size Cntrls】（尺寸控制）（包括智能单元尺寸控制【SmartSize】和人工单元尺寸控制【ManualSize】和裂纹尖端单元尺寸控制【Concentrat KPs】）命令。本部分讲述智能单元尺寸控制的内容。

智能单元尺寸控制仅适用于自由网格划分器，并推荐在划分自由网格时使用。

命令：SMRTSIZE。

GUI：选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Size Cntrls】/【SmartSize】命令。该菜单下的子菜单的功能操作如下。

1) 【Basic】：基本智能尺寸控制，选择该菜单，弹出如图 5-26 所示的【基本智能单元尺寸设置】对话框。

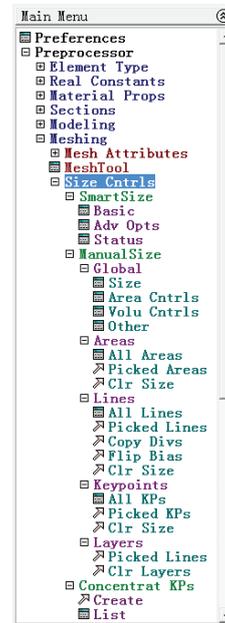


图 5-25 单元尺寸控制菜单

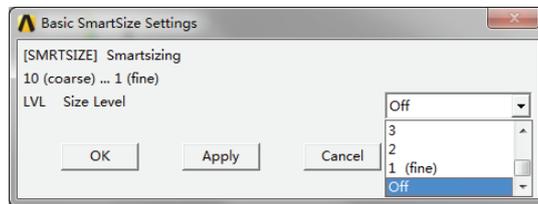


图 5-26 【基本智能单元尺寸设置】对话框

基本智能尺寸控制功能提供了从“1”（fine: 精细网格）到“10”（Coarse: 粗网格）不同级别的单元尺寸级别，默认的智能尺寸级别为“6”。另外，也可以选择基本控制设置对话框选项中的“Off”来关闭智能尺寸功能。操作方法为，首先设置图 5-26 中的智能尺寸级别，然后在菜单路径【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh】下，选择【Free】（自由网格划分）进行网格划分。

图 5-27 显示了在不同智能级别尺寸下的网格划分情况，图 5-27 (a) 中智能尺寸级别为“2”，图 5-27 (b) 中智能尺寸级别为“9”，级别为“2”的网格明显更为精细。

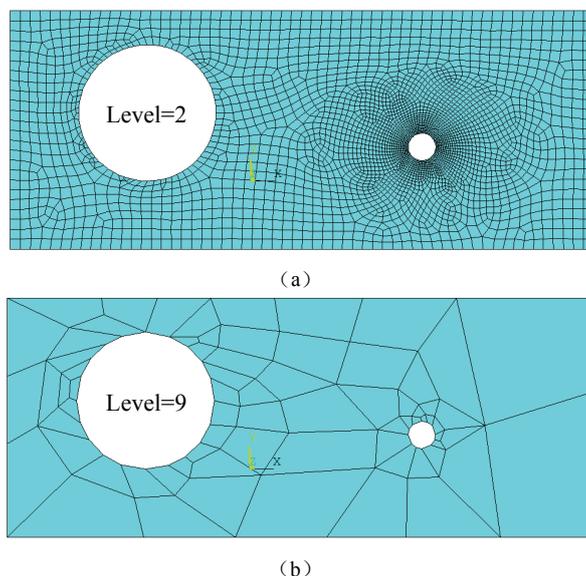


图 5-27 不同智能尺寸级别下的网格

2) 【Adv Opts】：高级智能尺寸控制，选择该菜单，弹出如图 5-28 所示的高级智能尺寸控制对话框，其各选项设置如下。

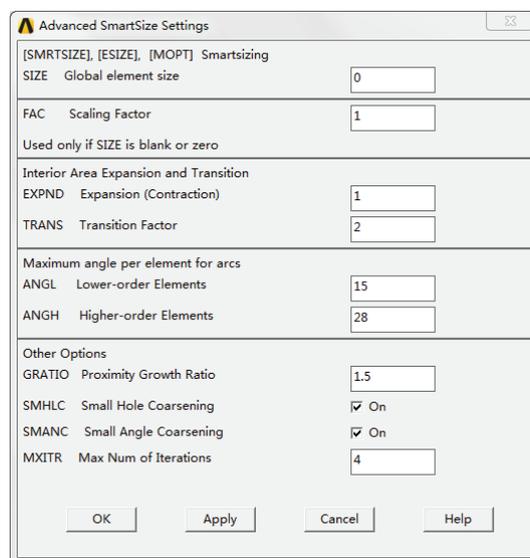


图 5-28 高级智能尺寸控制对话框

- ❑ **【SIZE Global element size】**：总体单元尺寸，设置智能尺寸的参考单元尺寸，默认为 0。
  - ❑ **【FAC Scaling factor】**：单元尺寸的比例系数，仅用于总体单元尺寸为空或 0 时。
  - ❑ **Interior Area Expansion and Transition**（内部网格扩展与过渡网格尺寸转换控制）。其中，**【EXPND Expansion (Contraction)】**为内部网格尺寸疏密扩展系数；**【TRANS Transition】**为内部网格尺寸过渡转换系数，控制单元尺寸过渡变化的梯度。
  - ❑ **Maximum angle per element for arcs**（弧线上每个单元的最大角度）。其中，**【ANGL Lower-order Elements】**为低阶单元弧度夹角的最大角度；**【ANGL High-order Elements】**为高阶单元弧度夹角的最大角度。
  - ❑ **Other Options**（其他选项设置）。其中，**【GRATIO Proximity Growth Ratio】**为近似增长率；**【SMHLC Small Hole Coarsening】**为小孔位置网格尺寸是否粗化，设置为“On”表示粗化，设置为“Off”表示不粗化；**【SMANC Small Hole Coarsening】**为小角度位置网格稀疏化，设置为“On”表示粗化，设置为“Off”表示不粗化；**【MXITR Max Num of Iterations】**为计算智能尺寸的最大迭代次数，默认为 4，迭代次数越多，单元尺寸优化程度越好。
- 3) **【Status】**：列表显示智能尺寸控制的设置状态信息，如图 5-29 所示。

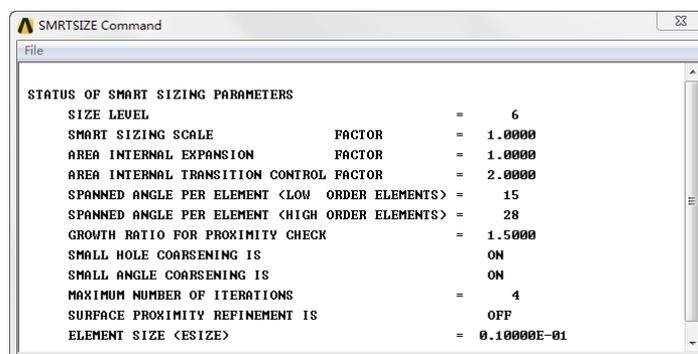


图 5-29 列表显示智能尺寸控制的设置状态信息

### 5.3.3 人工单元尺寸控制

人工单元尺寸控制用来控制总体单元密度，控制所有关键点、线、面和体对象的网格密度。

#### 1. 总体单元尺寸控制

命令：MOPT。

菜单路径：**【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Size Cntrls】/【ManualSize】/【Global】**，该菜单下又分如下子菜单。

1) **【Size】**：针对当前所有关键点、线、面和体设置网格密度。单击该菜单项，弹出如图 5-30 所示的总体单元尺寸控制对话框。

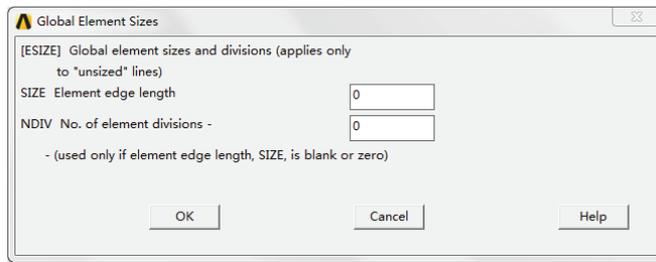


图 5-30 总体单元尺寸控制对话框

- ❑ **【SIZE Element edge length】**：最大单元边长。
- ❑ **【NDIV No. of element divisions】**：单元数-仅在**【SIZE Element edge length】**选项为空或者 0 时使用。

以上两个选项只能设置其中的一项而不能同时设置。

2) **【Area Cntrls】**：面的总体单元尺寸控制。单击该菜单项，弹出如图 5-31 所示面的总体单元尺寸控制对话框。

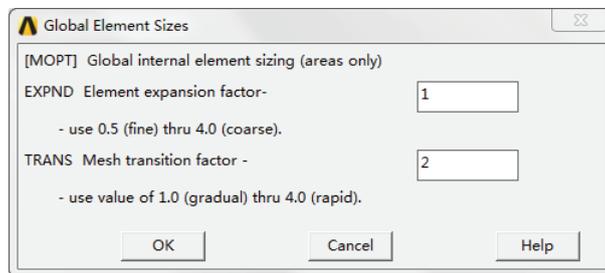


图 5-31 面的总体单元尺寸控制对话框

- ❑ **【EXPND Element expansion factor】**：面内单元疏密扩展系数-介于精细（0.5）到粗（4.0）网格之间的数值。
- ❑ **【TRANS Mesh transition factor】**：面内网格尺寸过渡系数-介于 1.0（缓）到 4.0（快）之间的数值。

3) **【Volu Cntrls】**：体的总体单元尺寸控制。单击该菜单项，弹出如图 5-32 所示的总体单元尺寸控制对话框。

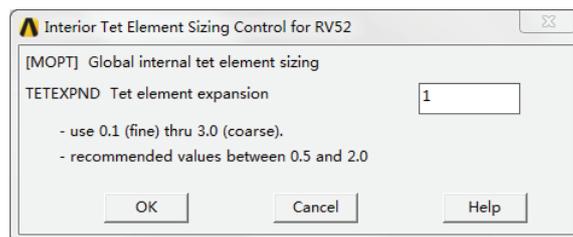


图 5-32 体的内部 RV52 四面体单元尺寸控制对话框

- ❑ **【TETEXPND Tet element expansion】**：体内四面体单元扩展系数-介于 0.1（精细）到 3.0（粗）之间的数值，建议取 0.5 到 2.0 之间的数值。

4) 【Other】：其他详细控制选项。单击该菜单项，弹出如图 5-33 所示的其他总体单元尺寸控制对话框，该对话框中的选项适用于映射网格划分及在自由网格划分时没有可推荐使用的控制项情况下。

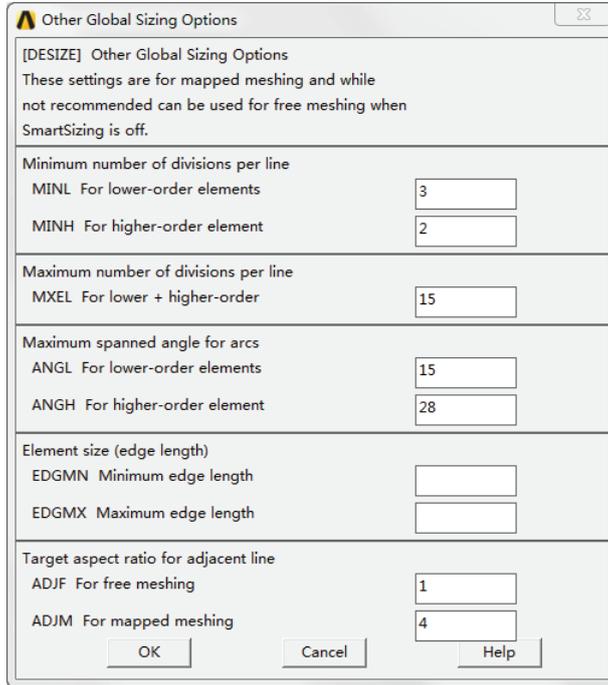


图 5-33 其他总体单元尺寸控制对话框

- 【MINL For lower-order elements】：每条线上低阶单元最小数目。
- 【MINH For higher-order elements】：每条线上高阶单元最小数目。
- 【MXEL For lower + higher order】：每条线上高低阶单元总数的最大数目。
- 【ANGL For lower-order elements】：弧线上低阶单元的最大角度。
- 【ANGH For higher-order elements】：弧线上高阶单元的最大角度。
- 【EDGMN Minimum edge length】：单元边长的最小值。
- 【EDGMX Maximum edge length】：单元边长的最大值。
- 【ADJF For free meshing】：自由网格划分时临近线的比率。
- 【ADJM For mapped meshing】：映射网格划分时临近线的比率。

## 2. 面上单元尺寸控制

用于控制面上的单元尺寸（最大单元边长），控制级别较总体单元尺寸控制高，但比控制线密度的级别低。

命令：AESIZE。

菜单路径：【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Size Cntrls】/【ManualSize】/【Areas】，该菜单下又分如下子菜单。

1) 【All Areas】：针对当前所有面设置密度控制。单击该菜单项，弹出如图 5-34 所示所有面单元尺寸控制对话框。



图 5-34 所有面单元尺寸控制对话框

□ **【SIZE Element edge length】**：最大单元边长。

2) **【Picked Areas】**：拾取面，并设置其单元密度。单击该菜单项，弹出如图 5-35 所示所选面单元尺寸控制对话框。

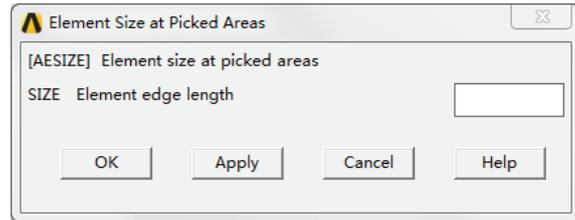


图 5-35 所选面单元尺寸控制对话框

□ **【SIZE Element edge length】**：最大单元边长。

3) **【Clr Size】**：清除拾取面上的单元尺寸控制。

### 3. 线上单元尺寸控制

用于控制线上的单元密度（最大单元边长或单元份数、单元尺寸分布梯度、弧上单元尺寸等），控制级别最高，是网格划分必须满足的条件。

命令：LESIZE。

菜单路径：**【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Size Cntrls】/【ManualSize】/【Lines】**，该菜单下又分如下子菜单。

1) **【All Lines】**：针对当前所有线设置密度控制。单击该菜单项，弹出如图 5-36 所示的所有选择的线上单元尺寸控制对话框。

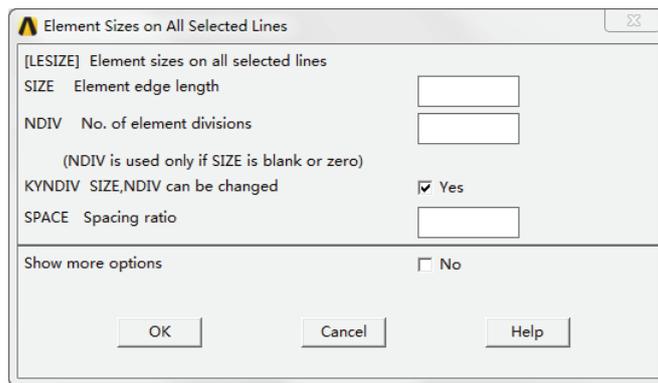


图 5-36 所有选择的线上单元尺寸控制对话框

- ❑ **【SIZE Element edge length】**：最大单元边长。
- ❑ **【NDIV No. of element divisions】**：所有选择的线上的单元份数。仅在**【SIZE Element edge length】**选项为空或者 0 时使用。
- ❑ **【KYNDIV SIZE, NDIV can be changed】**：单元尺寸控制能否修改，选择“**Yes**”表示可以修改，选择“**No**”表示不可修改。
- ❑ **【SPACE Spacing ration】**：单元尺寸的间距放大或缩小的比率，如果该值为正，表示线上最后一个单元尺寸与第一个单元尺寸之比，大于 1 表示单元尺寸递增，小于 1 表示递减；如果该值为负，则其绝对值表示线上中间单元尺寸与两端单元尺寸之比，绝对值大于 1 表示线单元从两端到中间递增，小于 1 则递减。如图 5-36 所示。
- ❑ **【Show more options】**：是否显示更多的线单元尺寸控制选项。“**No**”表示不显示更多的线单元尺寸控制，选择“**Yes**”则表示显示更多的线单元尺寸控制。单击图 5-36 中的  按钮，弹出如图 5-37 所示的对话框。

在图 5-37 所示的对话框中，**【ANGSIZ Division arc (degree)】**表示弧线上单元尺寸对应的圆心角度数，仅在单元份数和最大单元边长为空或 0 时使用，用度表示；**【KFORC Modify lines that have】**表示修改线上单元尺寸的显示，选择“**Modify all lines**”表示修改所有选中的线；选择“**No divisions**”表示修改没有定义单元尺寸，且被选中的线；选择“**Fewer divisions**”表示修改小于指定份数，且被选中的线；选择“**More divisions**”表示修改非零单元尺寸控制的线而不修改单元尺寸设置为空或 0 的线。

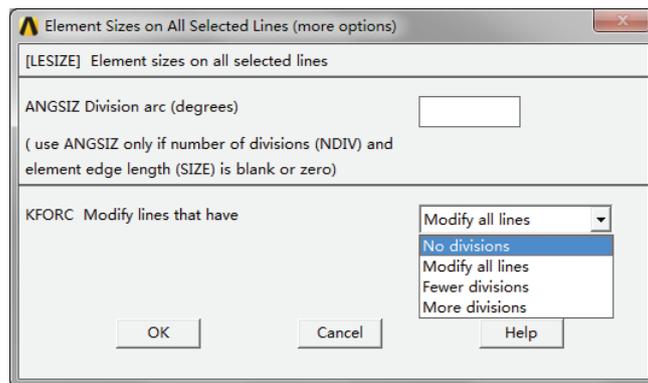


图 5-37 所有选择的线上单元尺寸控制更多选项对话框

**【例 5-3】** 针对当前所有线设置密度控制

定义两个关键点 KP1 和 KP2，KP1 在总体直角坐标系下的坐标为 (1,0,0)，KP2 在总体直角坐标系下的坐标为 (2,0,0)，在两点之间创建直线。针对当前所有线设置密度控制，如图 5-38 所示。

 **操作过程**

(1) GUI: **【Utility Menu】 / 【WorkPlane】 / 【Change Active CS to】 / 【Global Cartesian】**，选择当前激活坐标系为总体直角坐标系。

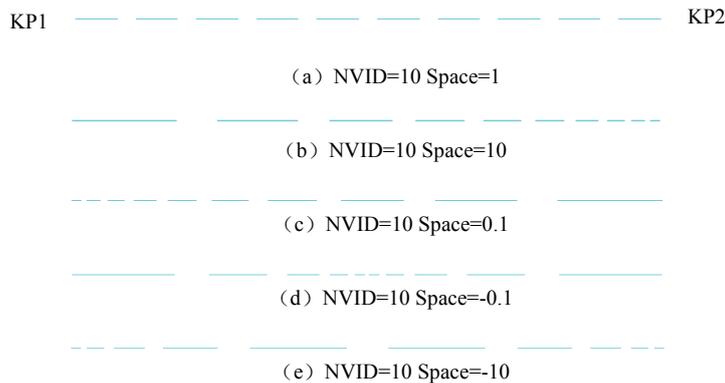


图 5-38 所有选择的线上单元尺寸控制对话框

(2) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Modeling】/【Create】/【Keypoints】/【In Active CS】命令，弹出如图 5-39 所示的对话框，输入关键点 1、2 的坐标值。

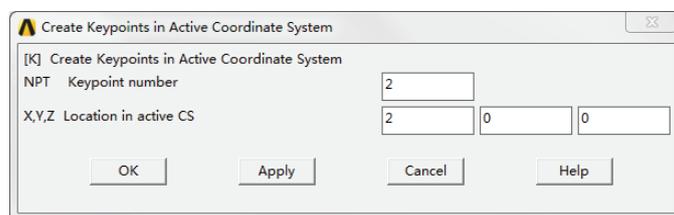


图 5-39 线上关键点设置

(3) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Modeling】/【Create】/【Lines】/【Lines】/【Straight Line】命令，拾取两个关键点，创建两者之间的连接直线。

(4) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Size Cntrls】/【ManualSize】/【Lines】/【All Lines】命令，弹出图 5-40 所示的所有线上单元尺寸控制对话框。分别在选项【NDIV No. of element divisions】和【SPACE Spacing ration】中输入相应的数值。【KYNDIV SIZE, NDIV can be changed】设置为“**Yes**”。

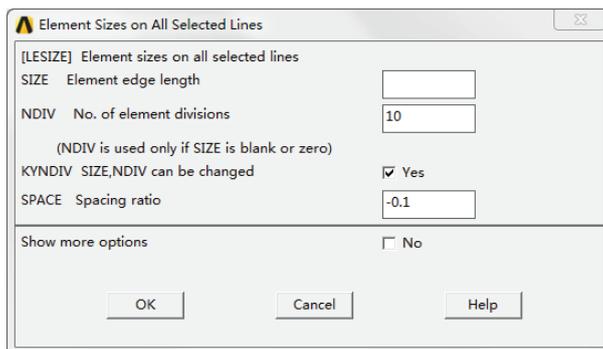


图 5-40 线上单元尺寸控制设置

2) 【Picked Lines】：拾取面的边界线，并设置其单元密度。单击该菜单项，弹出如图 5-41 所示的所选线单元尺寸控制对话框。

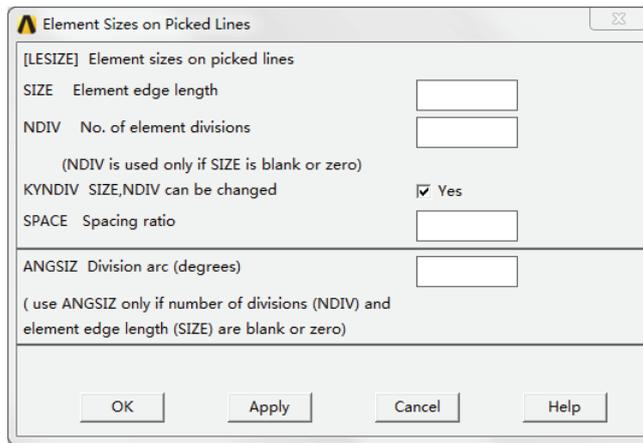


图 5-41 所选线单元尺寸控制对话框

- 【SIZE Element edge length】：最大单元边长。
- 【NDIV No. of element divisions】：线上的单元份数，仅在【SIZE Element edge length】选项为空或者 0 时使用。
- 【KYNDIV SIZE, NDIV can be changed】：单元尺寸控制能否修改，选择“Yes”表示可以修改，选择“No”表示不可修改。
- 【SPACE Spacing ration】：单元尺寸的间距放大或缩小的比率。
- 【ANGSIZ Division arc (degree)】：表示弧线上单元尺寸对应的圆心角度数，仅在单元份数和最大单元边长为空或 0 时使用，用度表示。

3) 【Copy Divs】：复制线单元到另一条线上。单击该菜单项会弹出拾取对话框，首先拾取一条线，单击  或  按钮，然后选择另一条或多条线，将前者第一条线的单元尺寸复制到后者上。

4) 【Flip Divs】：当线上单元尺寸分布不均时，选择该菜单可颠倒密度分布梯度的方向。如例 5-38 中的 (b) 单元尺寸，通过该命令可转化为 (c) 中的单元尺寸。

5) 【Clr Size】：清除拾取线上的单元尺寸控制。

#### 4. 关键点上单元尺寸控制

用于控制关键点上的单元密度，控制实体或面的顶点附近区域的单元密度。

命令：KESIZE。

菜单路径：选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Size Cntrl】/【ManualSize】/【Keypoints】命令，该菜单下又分如下子菜单。

1) 【All Areas】：针对当前所有选中关键点设置密度控制。单击该菜单项，弹出如图 5-42 所示的所有关键点上单元尺寸控制对话框。

- 【SIZE Element edge length】：最大单元边长。
- 【Show more options】：是否显示更多的关键点单元尺寸控制选项。“No”表示不显示更多的关键点单元尺寸控制，选择“Yes”则表示显示更多的关键点单元尺寸控制。单击图 5-42 中的  按钮，弹出如图 5-43 所示的对话框。

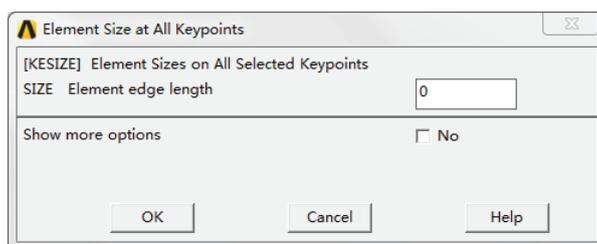


图 5-42 所有关键点上单元尺寸控制对话框

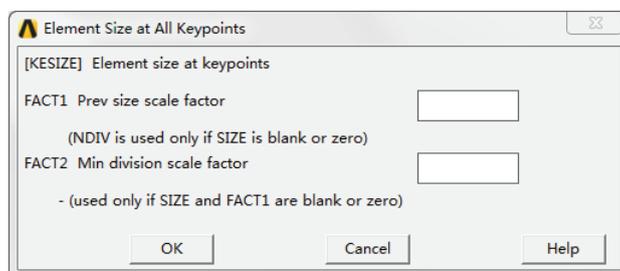


图 5-43 所有关键点上单元尺寸控制更多选项对话框

在图 5-43 所示的对话框中，【FACT1 Prev size scale factor】表示前一个单元尺寸的比例系数；【FACT2 Min division scale factor】适用于自适应网格，表示关键点关联线上单元尺寸 NPT 的比例系数。如果定义了【SIZE Element edge length】和【FACT1】，则不实用该系数。

2) 【Picked Areas】：拾取关键点，并设置其单元密度。单击该菜单项，弹出如图 5-42 所示的选取关键点单元尺寸控制对话框，设置方法也相同。

3) 【Clr Size】：清除拾取关键点上的单元密度控制。

### 5. 边界层单元尺寸控制

用于单元尺寸按线性梯度分布的网格划分技术，即单元尺寸从面边界线到面内法线方向上从密到疏按线性梯度增加的网格，适用于二维流体边界层、电磁集肤效应等分析，这些分析要求模型边界上必须划分比较密的网格以便捕捉边界层效应。

命令：LESIZE。

菜单路径：【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Size Cntrls】/【ManualSize】/【Layers】，该菜单下又分如下子菜单。

1) 【Picked Lines】：针对当前所有选中关键点设置密度控制，单击该菜单项，弹出如图 5-44 所示的对话框。

- 【SIZE Element edge length】：最大单元边长。
- 【NDIV No. of element divisions】：线上的单元份数。仅在【SIZE Element edge length】选项为空或者 0 时使用。【SIZE Element edge length】与【NDIV No. of element divisions】两者只能设置其一。
- 【KYNDIV SIZE, NDIV can be changed】：单元尺寸控制能否修改，选择“**Yes**”表示可以修改，选择“**No**”表示不可修改。

□ **【SPACE Spacing ration】**：单元尺寸的间距放大或缩小的比率。

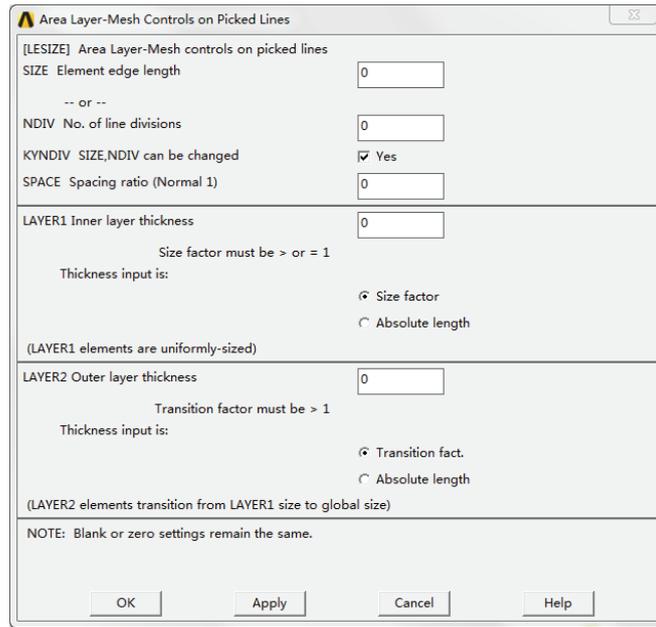


图 5-44 在面的所选线上进行层网格控制对话框

- **【LAYER1 Inner layer thickness】**：内层网格的厚度。内层单元具有均匀的尺寸，单元边长等于线上给定的单元尺寸，该层单元厚度参数指定为线上单元尺寸的系数（Thickness input 厚度输入为“Size factor”：线上单元尺寸的系数），单元尺寸系数为大于或等于 1 的整数，数值为 2 表示沿线生成两行尺寸均匀的单元，3 表示生成三行尺寸均匀的单元，以此类推；该层单元厚度参数或指定为“Absolute length”：绝对单元长度。
- **【LAYER2 Outer layer thickness】**：外层网格的厚度。外层单元尺寸从 LAYER1 的单元尺寸线性增加到总体单元尺寸，该层厚度参数指定为一个网格过渡系数（Transition factor），该系数为大于或等于 1 的整数，数值为 2 表示生成大约等于前面网格 2 倍尺寸的单元，3 表示生成 3 倍尺寸的单元，以此类推；或者该层厚度参数指定为“Absolute length”：绝对单元长度，如图 5-45 所示。

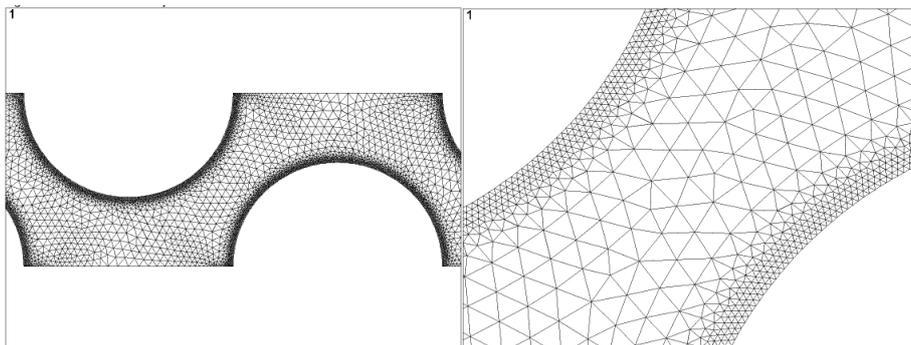


图 5-45 网格层扩展及其局部放大图

2) 【Clr Layers】：清除拾取边界线上的层单元尺寸控制。

## 6. 裂纹尖端单元尺寸控制

适于裂纹尖端的网格尺寸控制，主要应用于断裂力学的裂纹尖端网格的划分。

命令 KSCON。

菜单路径：选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Size Cntrls】/【ManualSize】/【Concentrat KPs】命令，该菜单下又分如下子菜单。

1) 【Create】：定义裂纹尖端点的单元尺寸和网格形状。单击该菜单项，弹出如图 5-46 所示的对话框。

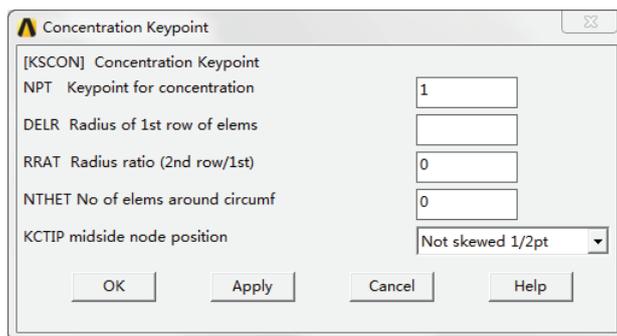


图 5-46 裂纹尖端关键点设置对话框。

- 【NPT Keypoint for concertration】：裂纹尖端关键点的编号。
- 【DELR Radius of 1st row of elems】：裂纹尖端关键点处第一列单元半径。
- 【RRAT Radius ration (2nd row/1st)】：裂纹尖端关键点处的第二列单元半径与第一列单元半径之比。
- 【NTHET No of elems around circumf】：裂纹尖端关键点处环绕裂缝划分的单元数。
- 【KCTIP midside node position】：中间节点的位置。选择“Not skewed 1/2pt”表示不偏置，即处于边界中间位置的中间节点。选择“Skewed 1/4pt”表示中间节点偏置到裂纹尖端位于边长的 1/4 位置，如图 5-47 所示，(a) 和 (b) 分别为二维和三维有限元模型。

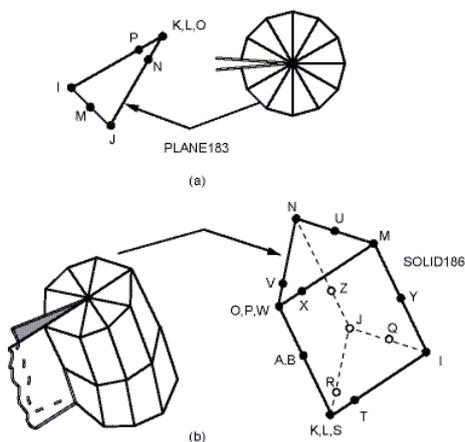


图 5-47 中间点的偏置设置示意图

2) 【List】：列表显示裂纹尖端网格控制状态。

### 5.3.4 网格划分类型及划分器选项设置

在划分网格前，一般不需要对划分器进行设置，直接利用程序默认状态时的划分器选项就可以对绝大多数实体模型进行网格划分。但是对于一些特殊情况，如退化拓扑实体模型，存在小孔的实体模型、拓扑形状较差的实体模型，在划分网格之前需要进行适当设置。

#### 1. 确定网格的单元形状

如果要划分网格的单元类型不止一种形状，那么应当设置单元形状为最小的那一种。例如，在同一区域划分面单元，可以是三角形单元也可以是四边形单元。四边形面单元可以合并其中的两个节点，退化成三角形单元。

如图 5-48 所示 PLANE183 单元，它是有八个节点（I、J、K、L、M、N、O、P）的二维结构实体单元。缺省状态下，如图 5-48 (a) 所示，PLANE183 单元为四边形形状，通过定义相同节点号的 K、L、O 可形成三角形单元，如图 5-48 (b) 所示。因此，PLANE183 单元可以退化为三角形。

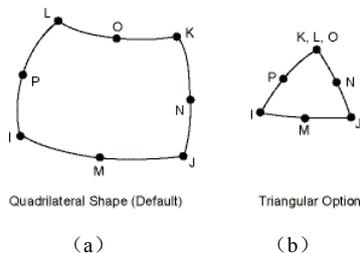


图 5-48 四边形单元退化成三角形单元

体单元可是六面体或四面体形状，六面体单元可以退化为四面体单元，也可以退化为五面体单元，如三棱柱（四面体和五面体之间的过渡金字塔单元）。体单元如果同时使用不同形状的六面体单元和四面体单元，两种单元之间必须通过金字塔单元进行中间过渡，如图 5-49 所示。

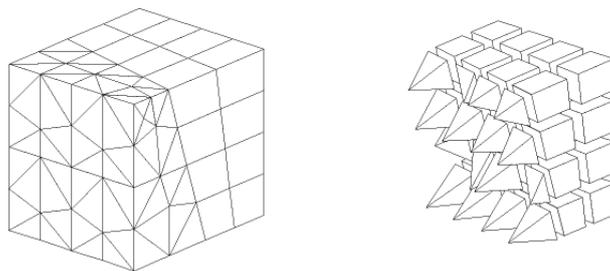


图 5-49 四面体网格与六面体网格之间金字塔过渡网格

点单元和线单元不存在单元形状不同的问题。

## 2. 网格划分的类型

如图 5-50 所示，ANSYS 提供了以下几种不同形状网格划分的方法。

- 1) 点单元划分。
- 2) 线单元划分。
- 3) 面单元划分。
  - 三角形面单元划分。
  - 四边形面单元划分。
- 4) 体单元划分。
  - 四面体单元网格划分。
  - 六面体单元网格划分。

## 2. 网格划分器选项设置

在进行三角形面单元网格划分、四边形面单元网格划分、四面体单元网格划分和六面体单元网格划分之前，一般需要设置其网格划分器的选项，以便适应不同拓扑形状和单元质量要求。

命令：MSHAPE。

菜单路径：【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesher Opts】，弹出如图 5-50 所示的对话框。

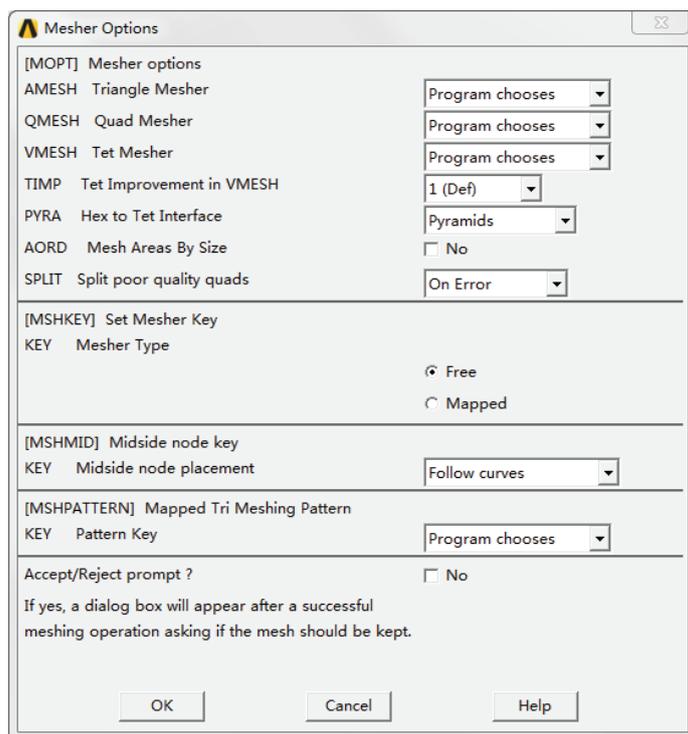


图 5-50 网格划分器对话框

图 5-50 所示的对话框选项设置如下。

1) 【AMESH Triangle Mesher】：三角形面网格划分器选项。

- Program chooses: 程序默认选项，一般建议使用该选项，程序根据实际情况自动选择三角形网格划分器。
- Main: 三角形网格主划分器，适用于大多数面网格划分，该划分方法在网格划分失败时不调用替代划分方法。
- Alternate: 三角形网格第一替代划分器，网格划分速度慢，一般不建议使用该选项，但特别适用于退化面的网格划分。
- Alternate 2: 三角形网格第二替代划分器，该划分器极易得到形状较差的网格，建议不要用于形状较差面的网格划分。

2) 【QMESH Quad Mesher】：四边形面网格划分器选项。

- Program chooses 程序默认选项：一般建议使用该选项，程序根据实际情况自动选择四边形网格划分器。
- Main: 四边形网格主划分器，适用于大多数面网格划分，该划分方法在网格划分失败时不调用替代划分器。
- Alternate: 四边形网格替代划分器，网格划分速度慢，该划分方法在网格划分失败时不调用主划分器。

3) 【VMESH Tet Mesher】：四面体网格划分器选项。

- Program chooses 程序默认选项：一般建议使用该选项，程序根据实际情况自动选择四面体网格划分器。
- Main: 四面体网格主划分器，适用于大多数面网格划分。
- Alternate: 四面体网格替代划分器，适用于划分 p-单元网格。

4) 【TIMP Tet Improvement in VMESH】：四边形面网格划分器面转换/节点光滑选项。

- 0 (off)：不进行转换/节点光滑，不建议使用。
- 1 (Def) ~6 (Max)：从大到小不同级别的转换/节点光滑处理。

5) 【PYRA Hex to Tet Interface】：六面体网格过渡到四面体网格选项，如图 5-49 所示。

- Pyramids: 创建金字塔过渡网格。在处理自由网格与映射网格相连时建议使用，以便得到两种网格的过渡网格。
- No Pyramids: 不创建金字塔过渡网格。

6) 【AORD Mesh Area By Size】：六面体网格过渡到四面体网格选项，如图 5-49 所示。选择“**Yes**”是指对面根据尺寸从小到大的顺序划分网格，“**No**”则不按尺寸大小划分网格，为默认选项。

7) 【SPLIT Split poor quality quads】：自动劈分形状较差四边形面单元为三角形单元。

- Off: 关闭自动劈分形状较差四边形面单元。
- On Error: 打开检查出错时，自动将形状较差的四边形网格劈分为三角形单元。
- On Warning: 仅提示警告信息，建议进行劈分处理。

- 8) 【KEY Mesher Type】：自由划分器和映射划分器选项。
- Free: 选择自由划分器。
  - Mapped: 选择映射划分器。
- 9) 【KEY Midside node placement】：中间节点放置选项。
- Follow curves: 仅在面边界单元上创建中间节点，以便更好地逼近边界曲线形状。
  - Follow Straight: 所有的单元创建在中间节点，并强制边界为一条直线。
  - No Midside node: 不创建中间节点。
- 10) 【KEY Pattern Key】：划分映射三角形网格的风格设置，如图 5-51 所示。
- Program chooses: 程序默认选项，一般建议使用该选项，程序将自动保证三角形单元的最小夹角极大化。
  - Split in dir1: 节点 I 上单向劈分方式。
  - Split in dir2: 节点 J 上单向劈分方式。

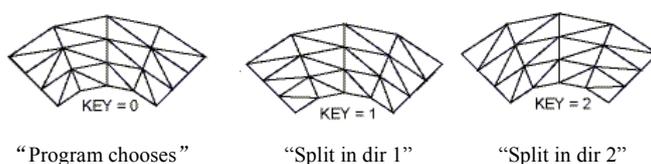


图 5-51 三角形映射网格划分方式

- 11) 【Accept/Reject prompt】：是否激活提示用户接受/拒绝网格划分结果。
- Yes: 激活提示，在每次网格划分操作后，提示用户是否接受或拒绝所得的网格，接受则确认当前的网格划分，拒绝则清除当前划分所得的网格，重新进行网格设置和划分。
  - No: 不激活提示。

### 5.3.5 通过网格划分工具进行网格划分控制

另外，ANSYS 还提供了功能强大的网格划分控制工具，以设置网格划分的各种属性。网格划分工具的功能与前述内容功能基本相同，该工具高度集成了实体模型网格划分功能，操作简便，建议在大多数情况下利用该工具进行实体模型的网格划分操作。

选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【MeshTool】命令，激活网格划分工具，如图 5-52 所示。

图 5-52 中，网格划分工具分为 5 个不同的部分，这 5 个部分具有不同的功能，主要功能如下。

- 单元属性分配设置。
- 智能划分网格水平控制。
- 单元尺寸控制。
- 网格划分形状控制设置及网格划分。

□ 细化网格控制。

以单元属性分配设置方法等为例，对以上功能分别简述如下。

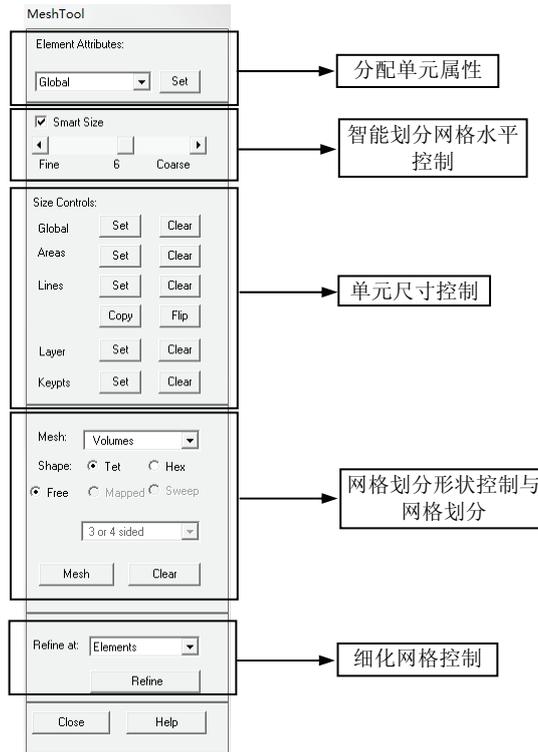


图 5-52 网格划分工具对话框

1) 单元属性分配设置。

如图 5-53 所示为单元属性分配设置部分的下拉菜单，包括“Global”、“Volumes”、“Areas”、“Lines”和“Keypoints”五个选项。

选择图 5-53 中的“Global”，单击该部分的 **Set** 按钮，弹出如图 5-54 所示的对话框，该功能是默认方式分配单元属性，与上一节中的用默认方式分配属性功能相同。

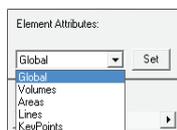


图 5-53 单元属性分配设置部分下拉菜单

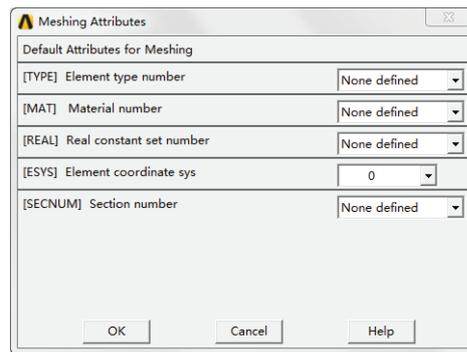


图 5-54 默认方式分配单元属性对话框

选择图 5-53 中的“Volumes”选项时，单击该部分的 **Set** 按钮，选中实体模型，弹出

与图 5-24 相似的对话框，该功能是直接方式为实体模型分配属性，与上一节中的用直接方式为实体模型分配属性功能相同。“Areas”、“Lines”和“Keypoints”三个选项功能也是采用直接方式为实体模型分配属性。

#### 2) 智能划分网格水平控制。

与本章中的 5.3.2 中智能单元尺寸控制中的功能相同，单击图 5-52 相应按钮，弹出的对话框也与上述内容的对话框一致。

---

 **提醒：**智能单元尺寸控制仅适用于自由网格划分器。

---

#### 3) 单元尺寸控制。

与本章中的 5.3.2 人工单元尺寸中相应的控制功能相同，单击图 5-52 中相应按钮，弹出的对话框也与上述内容的对话框一致。

#### 4) 网格划分形状控制设置及网格划分。

与本章中的 5.3.2 人工单元尺寸中相应的控制功能相同，单击图 5-52 中相应按钮，弹出的对话框也与上述内容的对话框一致。

#### 5) 细化网格控制。

与本章中的 5.6.1 中细化网格的控制功能相同，见 5.6.1 中细化网格的控制功能的论述。

## 5.4 实体模型的网格划分

构造完实体模型，定义了单元属性和网格划分控制后，即可生成有限元网格了。实体模型的网格划分包括对关键点、线、面和体进行网格划分。进行网格划分菜单路径：选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh】命令。

如图 5-55 所示为网格划分菜单系统。



图 5-55 网格划分菜单系统

---

 **提醒：**打开网格划分器选项中的【Accept/Reject prompt】是否激活提示用户接受/拒绝网格划分结果，提示用户是否接受或拒绝所得的网格。这个提示只能通过 GUI 选取，使用户方便放弃不想要的网格。

---

### 5.4.1 关键点划分质量单元网格

在 ANSYS 的结构单元中，只有质量单元 MASS21 是点单元，质量单元是通过关键点划分网格得到的，划分方法如下。

命令：KMESH。

GUI：【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh】/【Keypoints】。

对关键点划分网格的步骤如下。

- (1) 定义点单元类型和单元实常数。
- (2) 给点单元分配单元类型号和实常数号。
- (3) 利用命令或 GUI 方式对关键的进行网格划分。

#### 【例 5-4】对关键点划分网格

要求：对一个关键点，利用网格划分创建一个关键点单元。

#### 操作过程

(1) 定义单元类型。选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Element Type】/【Add/Edit/Delete】命令，弹出如图 5-56 所示的【Element Type】单元类型对话框，单击 **Add...** 按钮，弹出【Library of Element Types】单元类型库对话框，选择“Structural Mass”中的“3D mass 21”单元，单元类型参考号使用缺省的“1”。单击 **OK** 按钮，单击单元类型对话框的 **Close** 按钮。

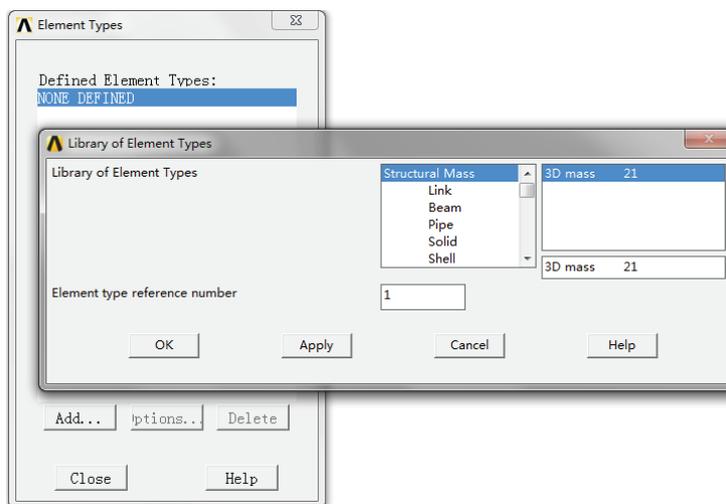


图 5-56 关键点单元类型定义

(2) 定义实常数。选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Real Constants】/【Add/Edit/Delete】命令，弹出如图 5-57 (a) 所示的单元实常数对话框，按图 5-57 (b) 所示数值进行设置。单击图 5-57 (b) 中对话框中的 **OK** 按钮，然后单击图 5-57 (b) 对话框中的 **Close** 按钮。

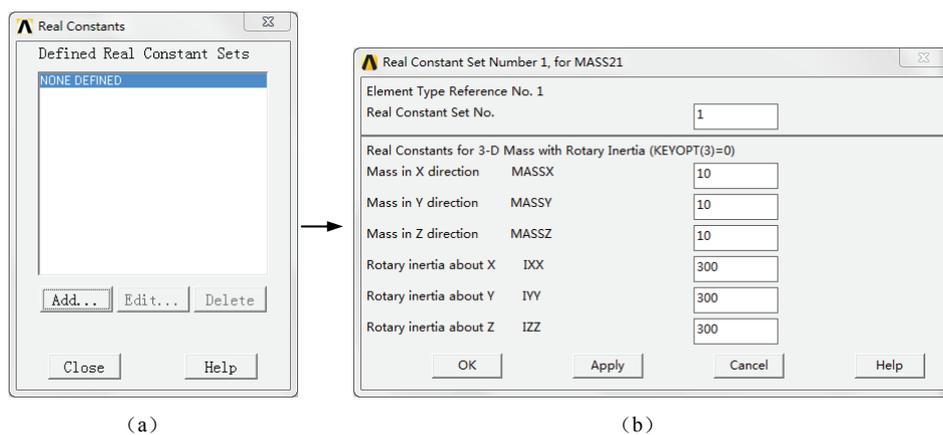


图 5-57 单元实常数定义

(3) 创建关键点。选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Modeling】/【Create】/【Keypoints】/【In Active CS】命令，弹出如图 5-58 所示的在当前坐标系下创建关键点对话框，按图示数值进行定义。

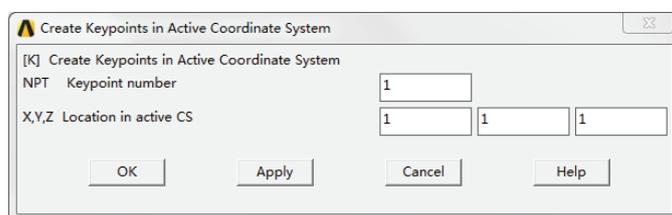


图 5-58 关键点定义

(4) 分配单元属性。选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh Attributes】/【Pick KPs】命令，弹出拾取关键点对话框，选择关键点 1，弹出如图 5-59 所示的关键点单元属性对话框，按图示数值进行设置。

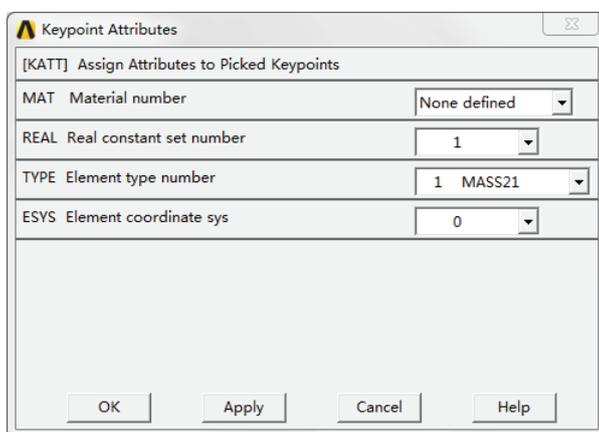


图 5-59 关键点单元属性对话框

(5) 划分网格。选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh】/【Keypoints】命令，弹出拾取关键点对话框，选择关键点 1，单击  按钮，将关键点划分为单元类

型是 1，实常数为 1 的质量单元。

(6) 列表检查单元属性。选择【Utility Menu】/【List】/【Elements】/【Nodes + Attributes + Realconstants】命令，弹出列表检查信息，如图 5-60 所示。

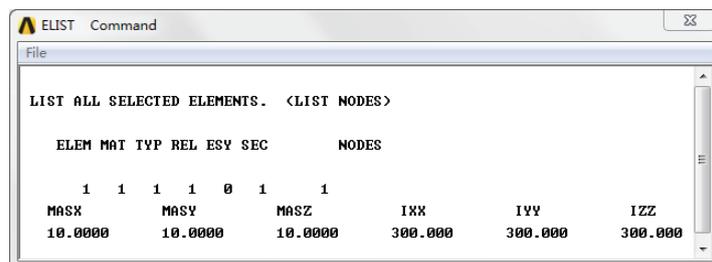


图 5-60 关键点单元属性列表信息

命令流:

```

/BATCH
/PREP7
ET,1,MASS21
R,1,10,10,10,300,300,300,
K,1,1,1,1,
CM,_Y,KP
KSEL,, , , 1
CM,_Y1,KP
CMSEL,S,_Y
KMESH, 1
elist,all,,0,1

```

## 5.4.2 线上划分网格

在 ANSYS 程序中，线单元类型较多，并且各自属性存在一定差别，使用中需区别处理。划分方法如下。

命令：LMESH。

GUI：【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh】/【Lines】。

对线划分网格的步骤如下。

- (1) 定义线单元类型、单元实常数、材料常数、截面类型等。
- (2) 给线单元分配以上单元属性。
- (3) 利用命令或 GUI 方式对选中的线进行网格划分。

## 5.4.3 面上划分网格

在 ANSYS 程序中，面单元类型较多，并且各自属性存在一定差别，使用中需区别处理。划分方法如下。

命令: AMESH, AMAP。

GUI: 【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh】/【Areas】，其下级子菜单及用法如下。

1) 【Mapped】: 划分映射面网格，仅适用于三角形或四边形的几何面。

□ 【By Corners】: 给四边形面划分映射网格，该方法通过指定对角点来确定面的对角线与两组对边，从而确定映射中的对边与对角顶点。

□ 【3 or 4 sided】: 给三角形面或四边形面划分映射网格。

□ 【Concatenate】: 面边界线连接处理，其下级菜单【Lines】: 将多段线连接成一条线，从而将复杂多边形转换成可划分映射网格的三角形或四边形。对于大于四条边的面，连接处理线后就可以进行映射划分。

提醒: 要求连接所得四边形对边上的网格份数必须相等，三角形的每边单元相等且必须为偶数份数。

□ 【Del Concats】: 删除面边界线连接处理，其下级菜单【Lines】: 删除连接线。

2) 【Free】: 对面划分自由网格。

3) 【Target Surf】: 将面划分成目标面网格，适用于任何形状的面。

划分面网格的步骤如下。

(1) 定义面单元类型、单元实常数、材料常数、截面类型和单元坐标系等。

(2) 给面单元分配以上单元属性。

(3) 控制面上的单元尺寸。

(4) 选择面网格划分器类型并进行设置。

(5) 选择适当的面划分器对面进行网格划分。

**【例 5-5】** 对三角形面进行映射法划分网格

要求: 对一个三角形面区域如图 5-61 所示，利用映射法进行网格划分，要求边上的单元数目为 6。

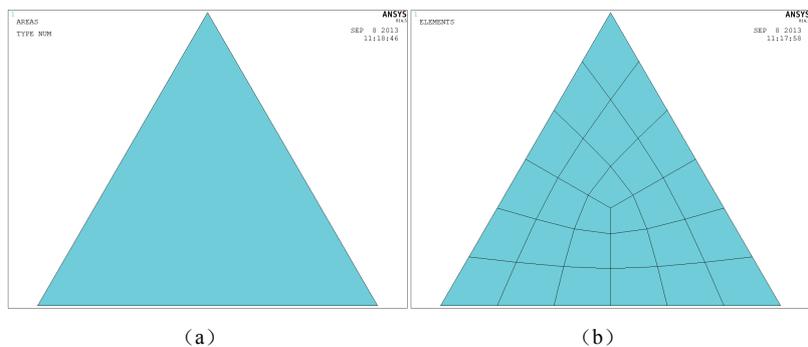


图 5-61 三角形映射面网格实例

### 操作过程

(1) 定义单元属性，包括单元类型、单元实常数、单元截面和单元坐标系等。

(2) 创建实体模型，如图 5-61 (a) 所示。

(3) 将单元属性分配给面单元。

(4) 进行单元尺寸控制设置选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Size Cntrls】/【ManualSize】/【Lines】/【All Lines】命令，弹出如图 5-62 所示的所有线上单元尺寸控制对话框，图中每条边上单元数目设置为 6。

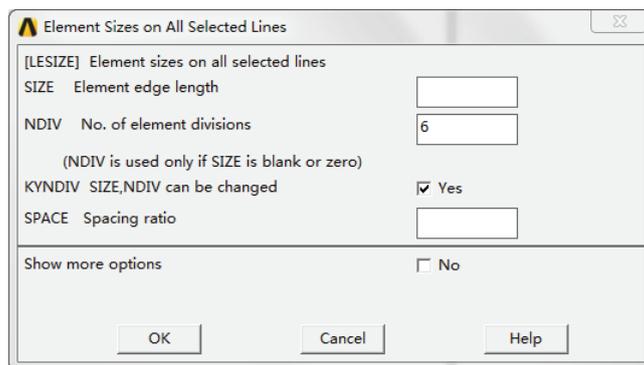


图 5-62 所有选择的线上单元尺寸控制对话框

(5) 进行单元划分。选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh】/【Areas】/【3 or 4 sided】命令，鼠标拾取三角形面，完成网格划分，如图 5-61 (b) 所示。

**提醒：**要三角形的每边单元相等且必须为偶数份数，每条边上的单元数都为 6。

#### 5.4.4 体上划分网格

在 ANSYS 程序中，体单元类型较多，包括 3D 实体单元、热 3D 实体单元和耦合 3D 实体单元等，各单元类型属性存在一定差别，使用时需区别处理。体单元在使用中不需定义单元实常数和截面。体单元网格划分方法如下。

命令：VMESH。

GUI：【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh】/【Volumes】，其下级子菜单及用法如下。

1) 【Mapped】：划分映射体网格。

□ 【4 to 6 Sides】：给四面体或六面体划分映射网格。

□ 【Concatenate】：体边界连接处理。其下级菜单【Concatenate】/【Areas】：将两个或多个面连接成一个组合面，以便当做标准的四面体或六面体划分映射体网格；【Concatenate】/【Lines】：将两个或多个线连接成一个连接线。连接面完成后还必须将其边线进行连接处理，使连接面满足映射网格对面的要求，即四边形面。

□ 【Del Concats】：清除体边界连接处理。其下级菜单【Del Concats】/【Areas】：清除连接面；【Del Concats】/【Lines】：清除连接线。

2) 【Free】：给任意形状的体划分自由四面体网格，适用于任意形状。

划分体网格的步骤如下。

(1) 定义体单元类型、材料常数和单元坐标系等。

(2) 给体单元分配以上单元属性。

- (3) 控制体上的单元尺寸。
  - (4) 选择体网格划分器类型并进行设置。
  - (5) 选择适当的体划分器对面进行网格划分。
- 体网格划分的例题见本章 5.9 中的实例。

### 5.4.5 体上划分扫掠网格

划分扫掠网格，要求几何体具有一对拓扑结构相同的源面（Source Area）和目标面（Target Area），并且源面和目标面的对应顶点之间都用一条棱线相连，即是一个柱体或旋转体实体模型。

利用体扫掠可从源面网格扫掠贯穿整个体将已有未划分网格的体生成单元。如果源面网格由四边形网格组成，体将生成六面体单元。如果面由三角形网格组成，体将生成楔形单元。如果面由三角形和四边形单元共同组成，则体将由楔形和六面体单元共同填充。扫掠的网格与体密切相关。

 **提醒：**源面与目标面允许形状不同，但有可能导致扫掠失败。

命令：VSWEEP。

GUI：选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh】/【Volume Sweep】命令，其下级子菜单及用法如下。

1) 【Sweep Opts】：扫掠选项设置。单击该选项弹出如图 5-63 所示的扫掠选项对话框。

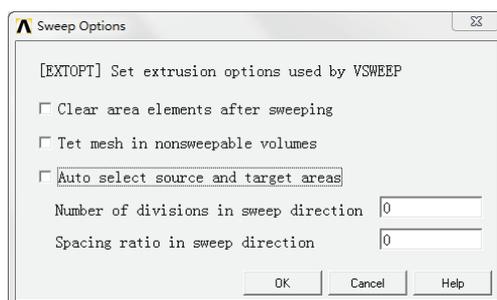


图 5-63 扫掠选项对话框

图 5-64 所示为指定体扫掠示意图。

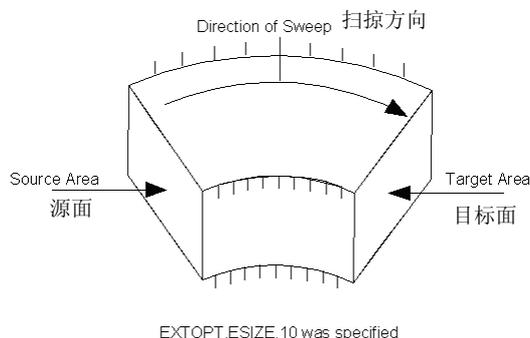


图 5-64 指定体扫掠示意图

扫掠选项对话框的各选项设置如下。

- 【Clear area elements after sweeping】**：是否清除扫掠后源面上的网格。如果源面上划分有网格，扫掠后如果不需要源面上的网格则选中该项，否则不选中。
- 【Tet mesh in nonsweepable volumes】**：是否对不能执行扫掠划分网格的实体模型改用四面体划分器进行网格划分，选中表示对不能执行扫掠划分网格的实体模型划分四面体网格，不选则不划分。
- 【Auto select source and target areas】**：是否自动选择源面与目标面选项，选中则自动确定扫掠源面和目标面，不需人工指定，不选则需要人工指定源面和目标面。建议总是选中该项，在不能自动确定源面与目标面的情况下再关闭后人工指定源面和目标面。
- 【Number of divisions in sweep direction】**：扫掠方向上的单元份数，建议用户一定要设置该数值。
- 【Spacing ratio in sweep direction】**：扫掠方向上各层单元厚度比。默认时各层单元厚度相同，数值为 1。

2) **【Sweep】**：执行扫掠网格划分。如果选择**【Auto select source and target areas】**则只需要选择要划分网格的实体模型并确认即可自动扫掠网格模型。如果设置为人工指定源面和目标面，则首先选定要划分网格的实体模型，然后依次指定源面和目标面，确认后生成扫掠网格模型，如图 5-65 所示。图 5-65 (a) 是包含两相邻体模型，由于模型的几何形状，必须将体按不同方向进行扫掠，扫掠后的网格如图 5-65 (b) 所示。

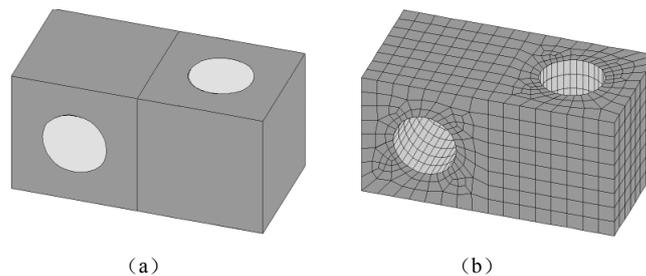


图 5-65 对相连体的扫掠网格划分

#### 5.4.6 由刻画面生成体网格

除用 VMESH 命令生成体单元外，还可由一组分开的外表面单元（刻画面）生成体网格。例如，在遇到不能对特殊面划分网格时这种方法显得非常有用。首先，对可进行网格划分的面划分网格。然后，用直接生成法定义剩下的面单元。最后，利用下列方法从孤立面单元生成节点和四面体单元。

命令：FVMESH。

GUI：**【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh】/【Tet Mesh From】/【Area Elements】**。

 **提醒：**主四面体网格划分是唯一支持由刻画面生成体网格的四面体网格划分器；替换四面体网格划分器则不支持。

FVMESH 命令及其相应的菜单途径不支持多体。如果模型中有多个体，为一个体选择表面单元，同时保证其他体未选择表面单元。用 FVMESH 命令生成第一个体的网格。按此步骤一次只选一个体划分网格，直到模型中的所有体都划分了网格。

## 5.5 直接生成有限元模型

直接生成有限元模型适用于简单规则并且单元数目较少的有限元模型，如质量单元系统、线单元系统、少量的壳体或体单元系统等。直接生成有限元模型的方法，首先创建节点，然后利用节点创建一序列单元，多个单元组成一个有限元网格模型。

### 5.5.1 创建节点

创建节点的方法如下。

命令：N。

GUI：【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Create】/【Nodes】，其下级子菜单及用法如下。

1) 【On Working Plane】：在工作平面上通过鼠标拾取方式创建节点。

2) 【In Active CS】：根据节点号及其在当前激活坐标系中坐标值 (X,Y,Z) 创建节点。单击该子菜单，弹出如图 5-66 所示的对话框。

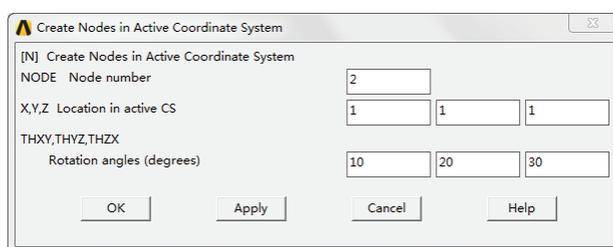


图 5-66 在当前激活坐标系下创建节点对话框

【NODE Node number】：节点编号。

【X,Y,Z Location in active CS】：当前激活坐标系下节点的坐标值。

【Rotation angles (degree)】：绕 X, Y, Z 轴旋转的角度。

3) 【At Curvature Ctr】：在选中的 3 个节点确定的曲率中心上创建节点，单击该子菜单，弹出如图 5-67 所示的对话框。

【Node number to be assign】：创建的节点编号。

【NODE1, NODE2, NODE3 Nodes that define the circular arc】：定义环形弧的三个

节点编号。

❑ **【RADIUS Radius of curvature】**：弧的半径。

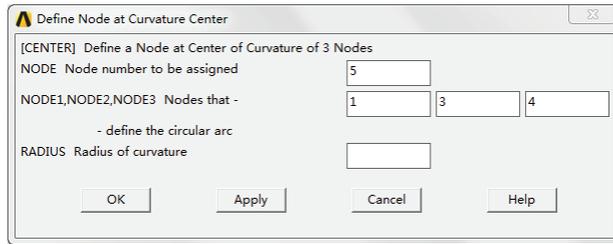


图 5-67 由节点确定的曲率中心上创建节点对话框

4) **【On Keypoint】**：在指定关键点的位置创建节点。

5) **【Fill between Nds】**：在选中的两个节点之间创建线性分布的一系列编号连续的节点，单击该子菜单，弹出如图 5-68 所示的对话框。

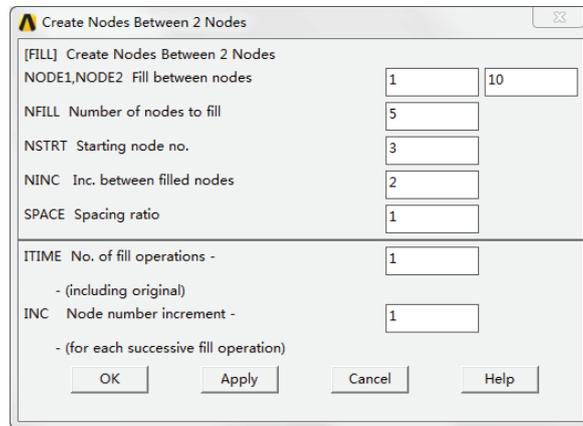


图 5-68 两节点间创建节点对话框

❑ **【NODE1, NODE2 Fill between nodes】**：要填充节点的起止单元编号。

❑ **【NFILL Number of nodes to fill】**：填充节点的数量。

❑ **【NSTRT Staring node no.】**：填充的节点第一个编号。

❑ **【NINC Inc. between filled nodes】**：填充的节点连续编号增量。

❑ **【SPACE Spacing ratio】**：节点间距比率，1 为等距，小于 1 则间距逐渐缩小，大于 1 则变大。

按图 5-68 所示方法填充的节点如图 5-69 所示。

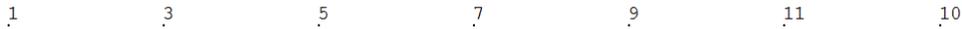


图 5-69 由节点确定的曲率中心上创建节点对话框

6) **【Quadratic Fill】**：与 **【Fill between Nds】** 创建节点方法类似，但创建的节点分布在指定的三个节点确定的二次曲线上。

## 5.5.2 创建单元

利用节点创建单元模型之前需要定义并指定默认单元的属性。单元类型不同具有的节点数目也不相同。创建单元的方法如下。

命令：E。

GUI：【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Create】/【Elements】，其下级子菜单及用法如下。

- 1) 【Elem Attributes】：指定默认状态下创建单元的属性。
- 2) 【Auto Numbered】：利用节点创建单元并且自动给单元编号。其下级子菜单【Thru Nodes】：通过节点创建单元。【At Coincid Nd】：在重合的两节点之间创建两节点单元，必须指定合适的重合容差。【Offset Nodes】：在指定左边间距的临近或重合节点之间创建两节点单元，必须指定合适的重合容差。
- 3) 【Surf/Contact】：定义表明效应单元和接触单元，其下级子菜单中有多种创建方法，读者可一一尝试。
- 4) 【SpotWeld】：创建点焊单元，其下级子菜单中有多种创建方法，读者可一一尝试。
- 5) 【Pretension】：创建预应力单元，其下级子菜单中有多种创建方法，读者可一一尝试。
- 6) 【User Numbered】：利用节点创建单元并且需要用户对单元编号。

## 5.6 修改网格

如果用户认为生成的网格不合适，可用下列方法轻易地改变网格。

- 用新的单元尺寸定义划分网格。
- 用网格划器分选项设置接受/拒绝提示放弃网格，然后重新划分网格。
- 清除网格，重新定义网格控制并重新划分网格。
- 细化局部网格。
- 改进网格（只适于四面体单元网格）。

如图 5-70 所示为网格修改的菜单系统。

### 5.6.1 细化网格

如果用户对网格划分基本满意但希望在某个区域划分更多的单元，可在选定的节点、单元、关键点、线或面附近细化局部网格，这些选定图元附近的单元将被分裂生成新的单元。

- 1) 【Nodes】：加密指定节点处的网格，如图 5-71 所示。

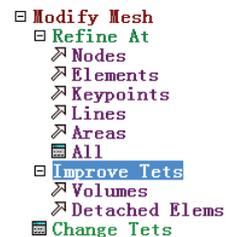


图 5-70 网格修改的菜单系统



图 5-71 加密指定节点处的网格

命令：NREFINE。

GUI：【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Modify Mesh】/【Refine at】/【Nodes】。

2) 【Elements】：加密指定单元及附近处的网格，如图 5-72 所示。



图 5-72 加密指定单元处的网格

命令：EREFINE。

GUI：【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Modify Mesh】/【Refine at】/【Elements】。

3) 【Keypoints】：加密指定关键点及附近处的网格，如图 5-73 所示。



图 5-73 加密指定关键点处的网格

命令：KREFINE。

GUI：【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Modify Mesh】/【Refine at】/【Keypoints】。

4) 【Lines】：加密指定线附近处的网格，如图 5-74 所示。

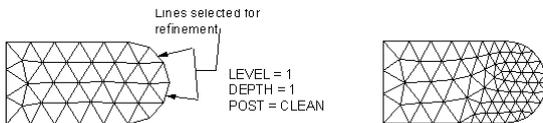


图 5-74 加密指定线处的网格

命令：LREFINE。

GUI：【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Modify Mesh】/【Refine at】/【Lines】。

5) 【Areas】：加密指定面附近处的网格，如图 5-75 所示。

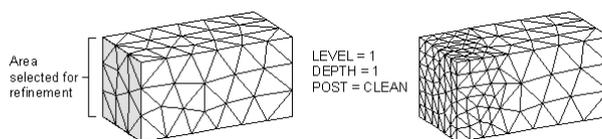


图 5-75 加密指定面处的网格

命令：AREFINE。

GUI：【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Modify Mesh】/【Refine at】/【Areas】。

6) 【All】：加密所有的网格。

加密局部网格的操作方法，首先选择上述任何菜单项（以节点处加密为例），弹出拾取对话框，拾取加密位置如节点、单元、关键点、线、面或体，单击  按钮，弹出类似于如图 5-76 所示的加密网格对话框。

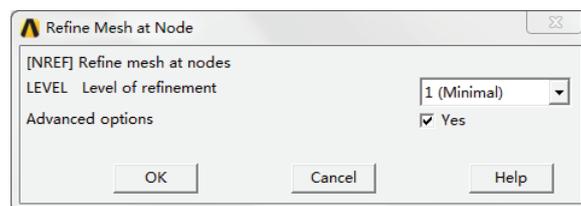


图 5-76 节点附近处加密网格对话框

□ 【LEVEL Level of refinement】：网格细化级别。该选项中的级别可选定从“1”到“5”的整数。选取级别“1”为最小程度的加密，加密后的单元长度约为原单元长度的 1/2。选取“5”表示最大程度的加密，加密后的单元长度约为原单元长度的 1/9。表 5-1 列出了 LEVEL 所有可能的设置及每一种设置所得边界的近似长度。

表 5-1 加密级别与单元边长的关系

| LEVEL 变量的值 | 近似的边长 |
|------------|-------|
| 1          | 1/2   |
| 2          | 1/3   |
| 3          | 1/4   |
| 4          | 1/8   |
| 5          | 1/9   |

提醒：所有的 LEVEL 值在细化区域都只生成较小的单元。局部网格细化过程不提供网格粗化功能。

□ 【Advanced options】：是否进行加密高级控制。如果设置为“No”则不进行加密高级控制。设置为“Yes”则进行高级控制。单击  按钮，系统弹出如图 5-77 所示的对话框，设置如下选项。

图 5-77 中，【DEPTH Depth of refinement】：根据已选定图元周围单元数指定网格细化区域的深度，默认为“1”时，只对所选图元外面的一个单元进行细化，且单元被分裂一次。【POST Postprocessing】：光滑处理和修正网格，选择“Off”表示关闭光滑和修正网

格，“Smooth”表示仅进行光滑处理，“Cleanup + Smooth”表示既进行光滑处理又进行网格清理，如图 5-78 所示，上图表示未清理的结果显示，下图表示清理后的显示结果。

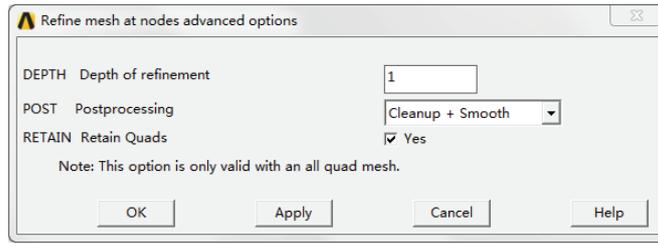


图 5-77 节点附近处网格高级加密控制对话框

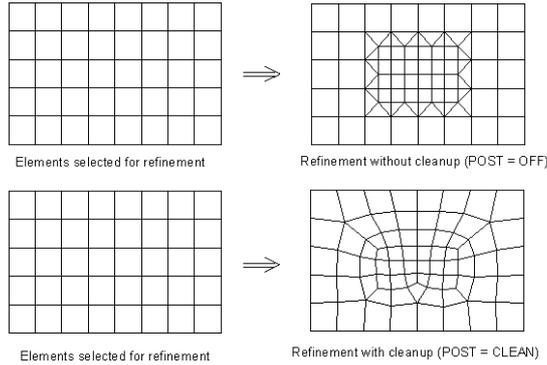


图 5-78 单元细化是否清理的结果显示

**【Retain Quads】**：加密时是否保持单元为四边形，当用户进行细化四边形网格时，清理命令会试着从细化过渡区域删除三角形网格。如果清理操作已经完成优化单元质量后，仍保留形状不好的四边形单元，如果该选项设置为“**Yes**”，则可以避免这种情况的发生。

**提醒**：所有的面网格可以加密，体网格只能加密四面体单元网格。如果加密位置存在接触单元、表面效应单元和梁单元等，必须先清理这些单元，然后执行加密网格。在施加初始条件的节点、定义有耦合的节点及定义有约束方程的节点位置不能执行加密处理。

## 5.6.2 改进网格

改进网格功能仅适用于四面体网络的改进。ANSYS 执行这种改进是通过面交换、节点光滑和其他技术来减少形状不好的四面体单元（尤其是分裂四面体的单元数）的数量也减少网格中总单元数，该功能也改变了全部网格的质量。

### 1. 可改进的两种类型四面体单元

1) 对不附属于某一个体的四面体单元请求进行改进，改进方法如下。

命令：TIMP。

GUI: 【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Modify Mesh】/【Improve Tets】/【Detached Elems】。

2) 对选定体内的四面体单元请求改进, 可用此功能对在 ANSYS 中生成的体网格做进一步的改进, 用法如下。

命令: VIMP。

GUI: 【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Modify Mesh】/【Improve Tets】/【Volumes】。

## 2. 使用该功能有如下限制

- 网格必须全部由线性单元或全部由二次单元组成。
- 对网格中所有适于四面体网格改进的单元, 必须都具有包括单元类型在内的相同属性(单元类型必须是四面体的, 但四面体单元也可能是六面体单元的退化形式)。在四面体网格改进之后, ANSYS 从旧的集将属性重新分配给新的单元集。

 提醒: 四面体网格改进对混合单元形状是可行的(与单元类型相反)。例如, 该功能会自动出现改进, 在六面体和四面体界面之间生成过渡的棱锥, 但是具有混合网格时只对四面体单元进行改进。

## 3. 加载对于能进行四面体网格改进也具有影响

当载荷以下列方式出现时可以进行四面体网格改进。

- 1) 网格必须全部由线性单元或全部由二次单元组成。
- 2) 当载荷加到体边界的单元表面或节点上时。
- 3) 当载荷只加到实体模型上(并已转到有限元网格上)。

当载荷以下列方式出现时不能进行四面体网格改进。

- 1) 当载荷加到体内部的单元表面或节点上。
- 2) 当载荷加到实体模型上(并已转到有限元网格上), 但也加到了体内的单元表面或节点上。

## 4. 四面体单元网格改进的其他性质

- 1) 四面体单元改进后, 单元编号和节点编号也进行修改。
- 2) 如果 ANSYS 遇到了错误或用户放弃操作, 则网格没有改变。但是, 在用户放弃操作并在 ANSYS 提示时确认了存盘, 则 ANSYS 将会存储一个部分改进的网格。

# 5.7 检查网格

不好的单元形状会使分析结果不准, 因此, ANSYS 程序进行单元检查以提醒用户网格划分操作是否生成了形状不好的单元, 需要进行网格检查。

### 5.7.1 网格检查

网格划分完毕后，用户可以利用程序提供的网格检查功能检查网格的质量，操作方法如下。

命令：MCHECK。

GUI：【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Check Mesh】，其下级子菜单及其用法如下。

#### 1. 【Individual Elm】：逐个检查单元

1) 【Plot Warning/Error Elements】：用于检查单元质量，分为好、警告和错误单元三种，并用蓝色、黄色和红色进行显示，选择该子菜单弹出如图 5-79 所示的对话框。

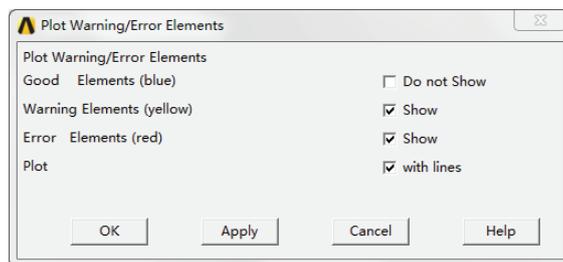


图 5-79 划分单元好坏对话框

- 【Good Elements (blue)】：是否显示好的单元，好单元显示为蓝色。
- 【Warning Elements (yellow)】：是否显示警告的单元，警告的单元显示为黄色。
- 【Error Elements (red)】：是否显示错误的单元，错误的单元显示为红色。
- 【Plot】：在显示检查结果时，是否显示模型线轮廓。

2) 【Select Warning/Error Elements】：选择警告单元或错误单元，选择该子菜单弹出如图 5-80 所示的对话框。

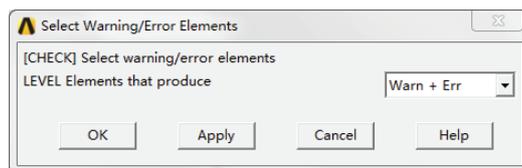


图 5-80 选择警告单元或错误单元对话框

- 【LEVEL Elements that produce】：选择单元的标准。选择“Warn + Err”表示同时选择警告单元和错误单元，选择“Err”表示仅选择错误单元。

#### 2. 【Connectivity】：检查网络的连接性

- 1) 【Ck Connectvty】：检查连续性的状态。
- 2) 【Sel Bad Connt】：选择连续性存在问题的单元。

## 5.7.2 检查控制

ANSYS 允许在网格划分过程中自动地执行单元质量检查，并报告检查的结果。当出现形状检查时，任何新单元无论它是怎样生成的，都要按已有形状参数警告和错误限制进行检测。如果单元超过了任何错误限制，不仅要生成错误信息，还要引起网格划分失败或不存储非 AMESH 或 VMESH 命令生成的单元。

检查控制操作如下。

命令：SHPP。

GUI：【Main Menu】/【Preprocessor】/【Checking Ctrl】，其下级子菜单及其用法如下。

### 1. 【Model Checking】：模型检查

在划分网格时，是否进行实体模型与有限元模型检查，单击该菜单，弹出如图 5-81 所示的对话框。

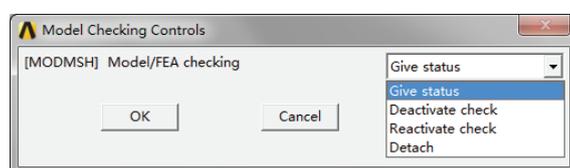


图 5-81 模型检查控制对话框

在【MODNSH Model/FEA checking】几何与有限元模型检查设置中，有如下选项。

- Give status: 提供实体模型与有限元模型的状态信息。
- Deactivate check: 在建模过程中禁止适时地进行实体与有限元模型的检查。
- Reactivate check: 在建模过程中适时地进行实体与有限元模型的检查。
- Detach: 分离实体模型与有限元模型的关联性。

### 2. 【Shape Checking】：单元形状检查

包括单元边长比、单元最小夹角等，单击该菜单，弹出如图 5-82 所示的对话框。

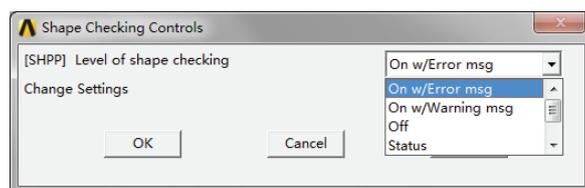


图 5-82 单元形状检查对话框

1) 【SHPP Level of shape checking】：设置形状检查级别，有如下选项。

- On w/Error msg: 打开单元形状检查，并报告形状出错信息。
- On w/Warning msg: 打开单元形状检查，并报告形状警告信息。

- Off: 关闭单元形状检查。
- Status: 查看当前各项形状检查参数的设置状态。
- Restore Defaults: 恢复各项形状检查参数值的默认值。
- Summary: 列表显示当前所有选中单元的形状检查结果。

2) 【Change Settings】: 是否改变形状参数限制。选择“**Yes**”表示接着弹出形状检查参数设置对话框, 建议选中“**No**”, 从而不改变 ANSYS 网格的最基本要求。

### 3. 【Toggle Checks】: 选择需要检查的项目

单击该菜单, 弹出如图 5-83 所示的对话框。

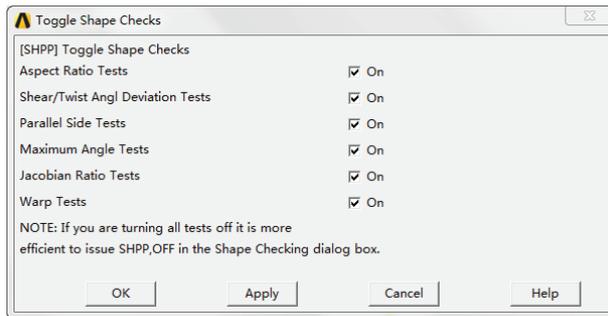


图 5-83 形状检查开关对话框

选项如下。

- 【Aspect Ratio Tests】: 单元边长比检查。
- 【Shear/Twist Angl Deviation Tests】: 单元夹角间的差值检查。
- 【Parallel Side Tests】: 单元对边平行性检查。
- 【Maximum Angle Tests】: 单元最大夹角检查。
- 【Jacobian Ratio Tests】: 雅可比检查。
- 【Warp Tests】: 单元翘曲系数检查。

## 5.8 清除网格

网格清除命令删除与对应的实体模型图元相联系的节点和单元。当清除一个较高级的图元时, 所有较低级的图元都被自动清除, 除非这些较低级的图元本身已划分了网格。在图元边界上与相邻图元所共享的节点在执行清除命令时不会被删去。

在重新划分网格时并不是每次都要求清除节点和单元。但对于用 LESIZE 命令设置时必须清除网格。要从根本上改变实体模型也必须清除网格。

清除网格包括从关键点、线、面或体上清除网格。

1) 删除与所选定的关键点相联系的节点和点单元。使用下列方法。

命令: KCLEAR。

GUI: 【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Clear】/【Keypoints】。

2) 删除与所选定的线相联系的节点和线单元。使用下列方法。

命令: LCLEAR。

GUI: 【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Clear】/【Lines】。

3) 删除与所选定的面相联系的节点和面单元, 使用下列方法。

命令: ACLEAR。

GUI: 【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Clear】/【Areas】。

4) 删除与所选定的体相联系的节点和体单元, 使用下列方法。

命令: VCLEAR。

GUI: 【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Clear】/【Volumes】。

在一个网格清除操作之后, 程序会报告每一种图元有多少已经被清除掉了。如果图元的单元或节点已经被清除了, 那么这个图元就可以认为被清除完了。

由命令 TYPE、REAL、MAT 和 ESYS 赋给实体模型的属性随着网格划分的命令而成为单元属性, 但网格清除命令会清除掉单元属性。在列表命令输出结果中, 这些可清除的属性用负的属性号来指出。

## 5.9 综合实例——支撑件的不同网格划分

以图 5-84 所示支撑件的不同网格划分为例, 介绍 ANSYS 网格划分的各种方法, 需要读者体会应用 ANSYS 不同网格划分的方法及划分结果的不同。

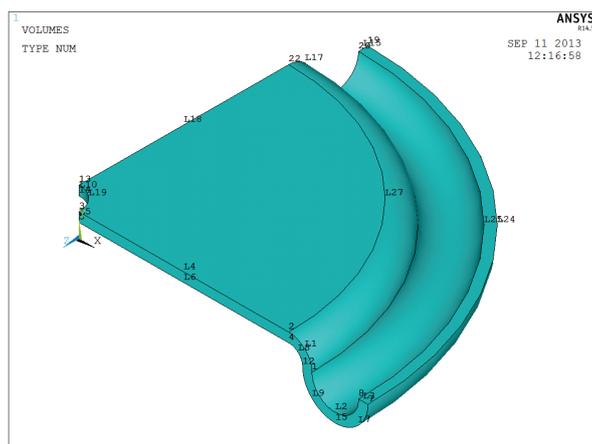


图 5-84 实体模型结构尺寸

模型尺寸如图 5-84 所示, 实例文件名为 5-6, 在 ANSYS14.5 中创建该结构的实体模型。



### 例题分析

- 通过自由网格划分法划分三维实体模型。
- 扫掠体网格对实体模型划分网格。
- 通过自由面网格延伸体网格。
- 通过映射面网格延伸体网格。
- 学习以上网格划分方法, 体会不同网格划分方法的结果。

 设计过程

1. 通过自由网格划分法划分三维实体模型

(1) 选择【Utility Menu】/【File】/【Resume From】命令，出现如图 5-85 所示的恢复数据对话框，选择文件夹中的 file.db 文件，单击  按钮确认，导入模型。

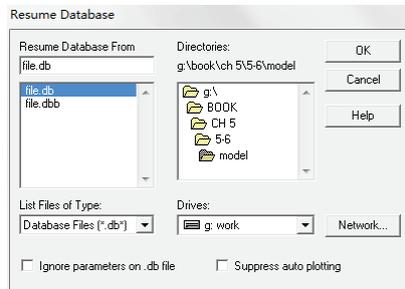


图 5-85 恢复数据对话框

(2) 选择【Utility Menu】/【Plot】/【Multi-Plots】命令，显示全部对象。

(3) 选择【Utility Menu】/【PlotCtrls】/【Numbering】命令，弹出【Plot Numbering Controls】对话框，勾选【KP Keypoints numbers】和【LINE Lines numbers】复选框，使其状态变为“On”，单击  按钮，视图显示图 5-86 所示的结果。

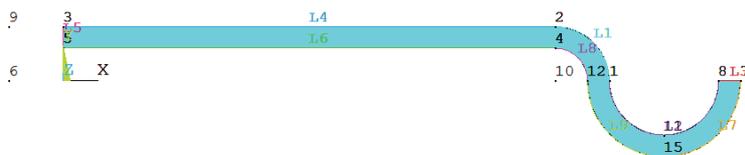


图 5-86 模型对象元素的全部显示

(4) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Element Type】/【Add/Edit/Delete】命令，弹出如图 5-87 所示的【Element Type】单元类型对话框，单击  按钮，弹出【Library of Element Types】单元类型库对话框，选择“Structural Solid”中的“Brick 8node 185”单元，单元类型参考号使用缺省的“1”。单击  按钮，单击单元类型对话框的  按钮。

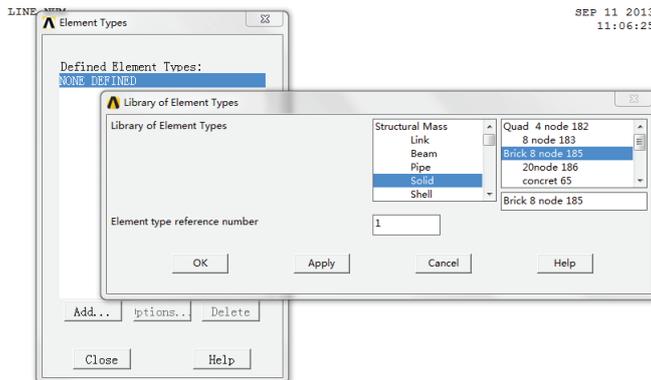


图 5-87 单元类型定义

(5) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Material Props】/【Material Models】命令，弹出如图 5-88 所示的【Define Material Model Behavior】定义材料模型属性对话框，左侧列表框中显示已经定义的材料模型的编号，系统默认的材料模型编号为“1”，右侧列表显示该材料需要定义的材料常数，按图 5-89 所示定义材料属性。

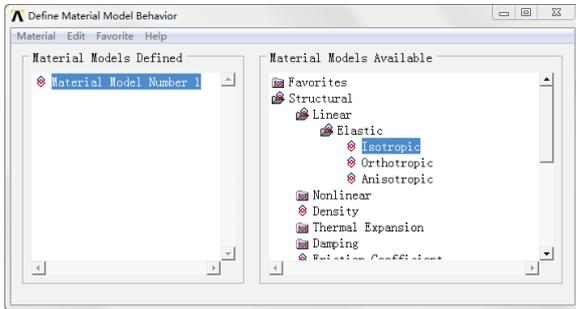


图 5-88 定义材料模型属性对话框

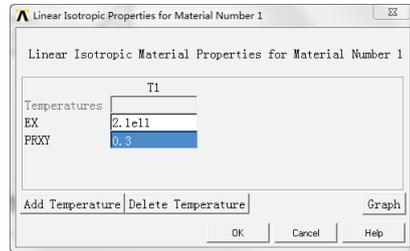


图 5-89 定义材料模型属性对话框

(6) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Modeling】/【Operate】/【Exclude】/【Areas】/【About Axis】命令，出现拾取对话框，在视图中拾取面，单击  按钮，再次出现拾取对话框，在视图中选取关键点“6”“9”，单击  按钮，弹出【Sweep Areas about axis】对话框，在【Arc length in degrees】选项中设置“90”，单击  按钮。单击屏幕右侧视图查看集中的正等轴测视图按钮 ，系统显示如图 5-90 所示的模型显示。

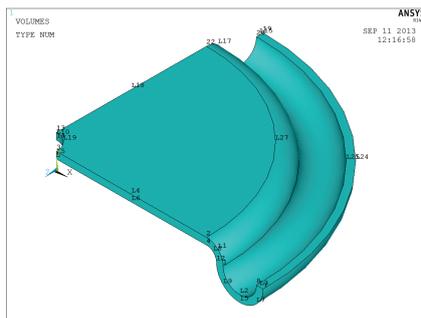


图 5-90 模型拉伸后的对象显示

(7) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh】/【Volumes】/【Free】命令，选取该实体模型，单击  按钮，对实体进行自由网格划分。划分结果如图 5-91 所示。

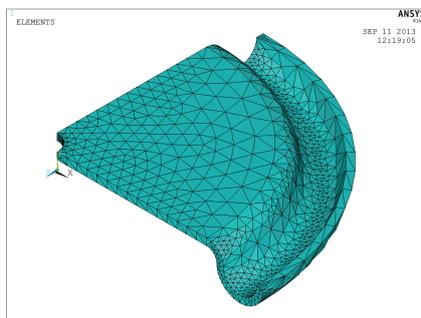


图 5-91 通过自由网格划分实体模型的结果

## 2. 扫掠体网格

(1) 选择【Utility Menu】/【File】/【Resume From】命令，出现如图 5-86 所示的恢复数据对话框，选择文件夹中的 file.db 文件，单击  按钮确认，导入模型。

(2) 选择【Utility Menu】/【Plot】/【Multi-Plots】命令，显示全部对象。

(3) 选择【Utility Menu】/【PlotCtrls】/【Numbering】命令，弹出【Plot Numbering Controls】对话框，勾选【KP Keypoints numbers】和【LINE Lines numbers】复选框，使其状态变为“On”，单击  按钮，视图显示图 5-86 所示的结果。

(4) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Element Type】/【Add/Edit/Delete】命令，弹出【Element Type】单元类型对话框，单击  按钮，弹出【Library of Element Types】单元类型库对话框，选择“Structural Solid”中的“Brick 8node 185”单元，单元类型参考号使用缺省的“1”。单击  按钮，单击单元类型对话框的  按钮。

(5) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Material Props】/【Material Models】命令，弹出【Define Material Model Behavior】定义材料模型属性对话框，左侧列表框中显示已经定义的材料模型的编号，系统默认的材料模型编号为“1”，右侧列表显示该材料需要定义的材料常数，按图 5-89 所示定义材料属性。

(6) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Modeling】/【Operate】/【Exclude】/【Areas】/【About Axis】命令，出现拾取对话框，在视图中拾取面，单击  按钮，再次出现拾取对话框，在视图选取关键点“6”“9”，单击  按钮，弹出【Sweep Areas about axis】对话框，在【Arc length in degrees】选项中设置“90”，单击  按钮。单击屏幕右侧视图查看集中的正等轴测视图按钮 ，系统显示如图 5-90 所示的模型显示。

(7) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh】/【Volumes Sweep】/【Sweep】命令，选取该实体模型，单击  按钮，对实体进行自由网格划分，划分结果如图 5-92 所示。

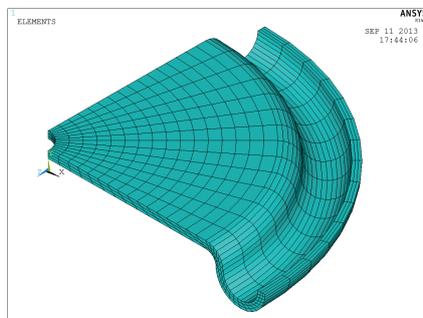


图 5-92 通过扫掠体网格划分实体模型结果

## 3. 自由面网格延伸体网格

(1) 选择【Utility Menu】/【File】/【Resume From】命令，出现如图 5-85 所示的恢复数据对话框，选择文件夹中的 file.db 文件，单击  按钮确认，导入模型。

(2) 选择【Utility Menu】/【Plot】/【Multi-Plots】命令，显示全部对象。

(3) 选择【Utility Menu】/【PlotCtrls】/【Numbering】命令，弹出【Plot Numbering Controls】

对话框，勾选【KP Keypoints numbers】和【LINE Lines numbers】复选框，使其状态变为“On”，单击  按钮，视图显示图 5-86 所示的结果。

(4) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Element Type】/【Add/Edit/Delete】命令，弹出【Element Type】单元类型对话框，单击  按钮，弹出【Library of Element Types】单元类型库对话框，选择“Structural Solid”中的“Quad 4node 182”，单元类型参考号使用缺省的“1”，单击  按钮。继续选择“Structural Solid”中的“Brick 8node 185”单元，单元类型参考号自动变为“2”单击  按钮。单击单元类型对话框的  按钮。

(5) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Material Props】/【Material Models】命令，弹出如图 5-88 所示的【Define Material Model Behavior】定义材料模型属性对话框，左侧列表框中显示已经定义的材料模型的编号，系统默认的材料模型编号为“1”，右侧列表显示该材料需要定义的材料常数，按图 5-89 所示定义材料属性。

(6) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh】/【Areas】/【Free】命令，出现拾取对话框，在视图中选中唯一的面，单击  按钮确认，如图 5-93 所示。

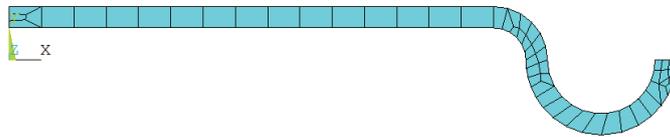


图 5-93 面自由网格划分结果

(7) 选择【Utility Menu】/【Plot】/【Multi-Plots】命令，显示全部对象。

(8) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Modeling】/【Operate】/【Exclude】/【Elm Ext Opts】命令，弹出单元设置选项对话框，如图 5-94 所示。在【TYPE Element type number】中选择“SOLID185”单元，在【VAL1 No. Elem divs】中输入“10”，表示拖拉的单元沿实体的边缘的数量为 10。

(9) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Modeling】/【Operate】/【Exclude】/【Areas】/【About Axis】命令，出现拾取对话框，在视图中拾取面，单击  按钮，再次出现拾取对话框，在视图中选取关键点“6”“9”，单击  按钮，弹出【Sweep Areas about axis】对话框，在【Arc length in degrees】选项中设置“90”，单击  按钮。单击屏幕右侧视图查看集中的正等轴测视图按钮 ，系统显示如图 5-95 所示的模型显示。

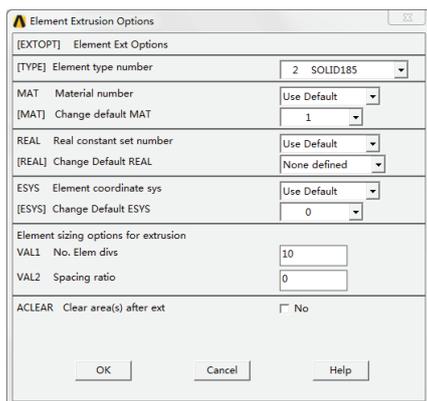


图 5-94 单元拖拉设置选项对话框

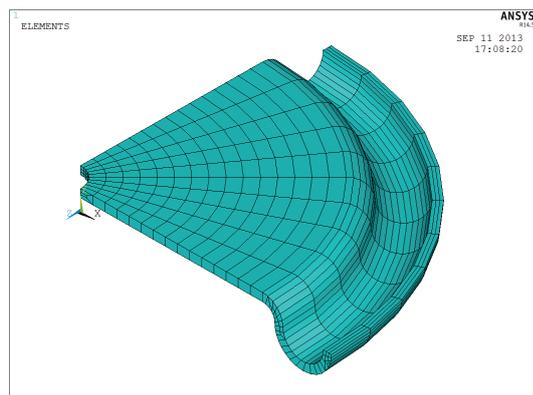


图 5-95 自由面网格延伸体网格结果

#### 4. 自由面网格延伸体网格

(1) 选择【Utility Menu】/【File】/【Resume From】命令，出现如图 5-85 所示的恢复数据对话框，选择文件夹中的 file.db 文件，单击  按钮确认，导入模型。

(2) 选择【Utility Menu】/【Plot】/【Multi-Plots】命令，显示全部对象。

(3) 选择【Utility Menu】/【PlotCtrls】/【Numbering】命令，弹出【Plot Numbering Controls】对话框，勾选【KP Keypoints numbers】和【LINE Lines numbers】复选框，使其状态变为“On”，单击  按钮，视图显示图 5-86 所示的结果。

(4) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Element Type】/【Add/Edit/Delete】命令，弹出【Element Type】单元类型对话框，单击  按钮，弹出【Library of Element Types】单元类型库对话框，选择“Structural Solid”中的“Quad 4node 182”，单元类型参考号使用缺省的“1”，单击  按钮。继续选择“Structural Solid”中的“Brick 8node 185”单元，单元类型参考号自动变为“2”单击  按钮。单击单元类型对话框的  按钮。

(5) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Material Props】/【Material Models】命令，弹出如图 5-88 所示的【Define Material Model Behavior】定义材料模型属性对话框，左侧列表框中显示已经定义的材料模型的编号，系统默认的材料模型编号为“1”，右侧列表显示该材料需要定义的材料常数，按图 5-89 所示定义材料属性。

(6) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Modeling】/【Create】/【Lines】/【Lines】/【Straight Line】命令，弹出拾取对话框，依次拾取关键点 2 和关键点 4 生成线 L10；依次拾取关键点 1 和关键点 12 生成线 L11，单击  按钮确认。

(7) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Modeling】/【Operate】/【Divide】/【Area by Line】命令，弹出拾取对话框，拾取唯一一面，单击  按钮确认。再次弹出拾取对话框，拾取线 10 和 11，单击  按钮，此时面已经被切分成三部分。

(8) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Modeling】/【Operate】/【Glue】/【Areas】命令，弹出拾取对话框，拾取三个面，单击  按钮，如图 5-96 所示的显示结果。

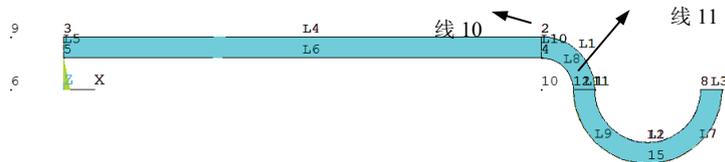


图 5-96 三个面粘结后的模型显示

(9) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Size Cntrls】/【ManualSize】/【Lines】/【Picked Lines】命令，弹出拾取对话框，拾取线 4 和 6，弹出拾取线上的单元尺寸设置对话框，如图 5-97 所示，在【NDIV No. of element divisions】中输入“10”，单击  按钮。

(10) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Size Cntrls】/【ManualSize】/【Lines】/【Picked Lines】命令，弹出拾取对话框，拾取线 1 和 8，弹出拾取线上的单元尺寸设置对话框，在【NDIV No. of element divisions】中输入“3”，单击  按钮。

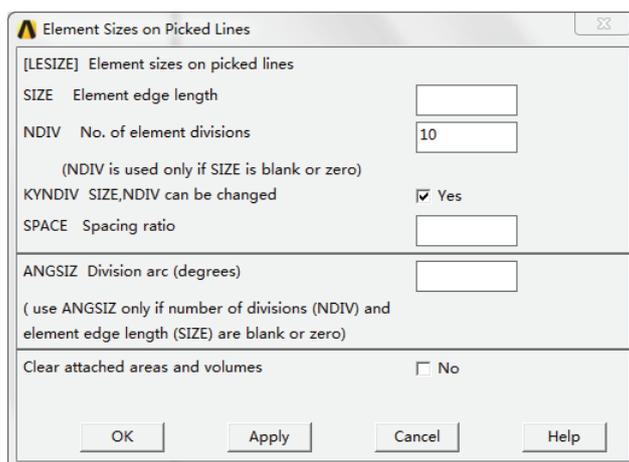


图 5-97 拾取线上的单元尺寸对话框

(11) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Size Cntrl】/【ManualSize】/【Lines】/【Picked Lines】命令，弹出拾取对话框，拾取线 2，弹出拾取线上的单元尺寸设置对话框，在【NDIV No. of element divisions】中输入“6”，单击  按钮。

(12) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Size Cntrl】/【ManualSize】/【Lines】/【Picked Lines】命令，弹出拾取对话框，拾取线 7 和 9，弹出拾取线上的单元尺寸设置对话框，在【NDIV No. of element divisions】中输入“3”，单击  按钮。

(13) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Size Cntrl】/【ManualSize】/【Lines】/【Picked Lines】命令，弹出拾取对话框，拾取线 5、10、11 和 13，弹出拾取线上的单元尺寸设置对话框，在【NDIV No. of element divisions】中输入“3”，单击  按钮。

(14) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh】/【Areas】/【By Corners】命令，弹出拾取对话框，选择模型中左侧的矩形面，单击  按钮。再次弹出拾取对话框，依次选取关键点 2、3、5、4，单击  按钮，网格划分如图 5-98 所示。



图 5-98 关键点 2、3、5、4 组成的区域网格划分结果

(15) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh】/【Areas】/【By Corners】命令，弹出拾取对话框，选择模型中中间的 1/4 圆环面，单击  按钮。再次弹出拾取对话框，依次选取关键点 1、2、4、12，单击  按钮，网格划分成功。

(16) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Meshing】/【Mesh】/【Areas】/【By Corners】命令，弹出拾取对话框，选择模型中右侧的 1/4 圆环面，单击  按钮。再次弹出拾取对话框，依次选取关键点 1、12、7、8，单击  按钮，三个面网格划分如图 5-99 所示。

(17) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Modeling】/【Operate】/【Exclude】/【Elm

Ext Opts】命令，弹出单元设置选项对话框，如图 5-94 所示。在【TYPE Element type number】中选择“SOLID185”单元，在【VAL1 No. Elem divs】中输入“10”，表示拖拉的单元沿实体的边缘的数量为 10。



图 5-99 三个面网格划分结果

(18) 选择【Main Menu】/【Preprocessor】/【Modeling】/【Operate】/【Exclude】/【Areas】/【About Axis】命令，出现拾取对话框，在视图中拾取面，单击  按钮，再次出现拾取对话框，在视图选取关键点“6”“9”，单击  按钮，弹出【Sweep Areas about axis】对话框，在【Arc length in degrees】选项中设置“90”，单击  按钮。单击屏幕右侧视图查看集中的正等轴测视图按钮 ，系统显示如图 5-100 所示的模型显示。

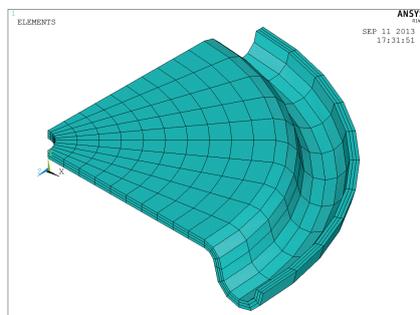


图 5-100 通过映射面网格延伸体得到的网格

## 5.10 习 题

- (1) ANSYS 中如何平移和旋转工作平面？
- (2) ANSYS 中有哪些坐标系？各坐标系有什么功能？
- (3) 局部坐标系有哪几种创建方法？如何操作？