

第3章 ANSYS 13.0 Workbench 网格划分及操作案例

网格是计算机辅助工程（CAE）模拟过程中不可分割的一部分。网格直接影响到求解精度、求解收敛性和求解速度。此外，建立网格模型所花费的时间往往是取得 CAE 解决方案所耗费时间中的一个重要部分。因此，一个越好的自动化网格工具，越能得到好的解决方案。

3.1 ANSYS 13.0 Workbench 网格划分概述

ANSYS 13.0 提供了强大的自动化能力，通过实用智能的默认设置简化一个新几何体的网格初始化，从而使得网格在第一次使用时就能生成。此外，变化参数可以得到即时更新的网格。ANSYS 13.0 的网格技术提供了生成网格的灵活性，可以把正确的网格用于正确的地方，并确保在物理模型上进行精确有效的数值模拟。

网格的节点和单元参与有限元求解，ANSYS 13.0 在求解开始时会自动生成默认的网格。可以通过预览网格，检查有限元模型是否满足要求，细化网格可以使结果更精确，但是会增加 CPU 计算时间和需要更大的存储空间，因此需要权衡计算成本和细化网格之间的矛盾。在理想情况下，我们所需要的网格密度是结果随着网格细化而收敛，但要注意：细化网格不能弥补不准确的假设和错误的输入条件。

ANSYS 13.0 的网格技术通过 ANSYS Workbench 的【Mesh】组件实现。作为下一代网格划分平台，ANSYS 13.0 的网格技术集成 ANSYS 强大的前处理功能，集成 ICEM CFD、TGRID、CFX-MESH、GAMBIT 网格划分功能，并计划在 ANSYS 15.0 中完全整合。【Mesh】中可以根据不同的物理场和求解器生成网格，物理场有流场、结构场和电磁场，流场求解可采用【Fluent】、【CFX】、【POLYFLOW】，结构场求解可以采用显式动力算法和隐式算法。不同的物理场对网格的要求不一样，通常流场的网格比结构场要细密得多，因此选择不同的物理场，也会有不同的网格划分。【Mesh】组件在项目流程图中直接与其他 Workbench 分析系统集成。

3.2 ANSYS 13.0 Workbench 网格划分

ANSYS 网格划分不能单独启动，只能在 Workbench 中调用分析系统或【Mesh】组件启动，如图 3-1 所示。

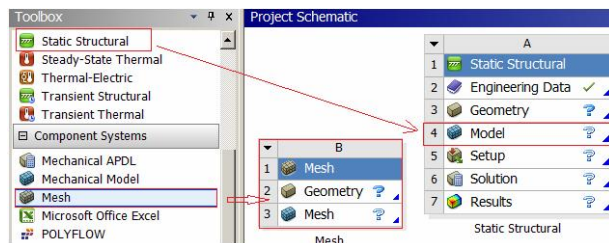


图 3-1 调入分析及网格划分组件

选择几何模型后，进入网格划分环境，工作界面如图 3-2 所示。

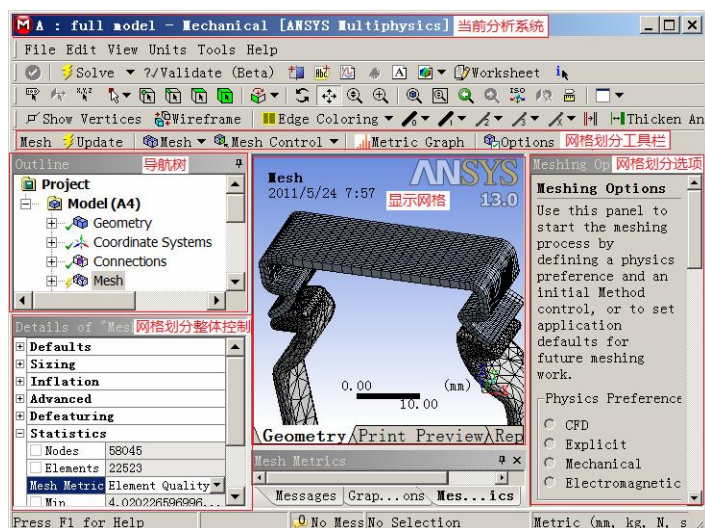


图 3-2 网格划分工作界面

图 3-2 中，顶端标题栏显示当前分析系统；左侧导航树默认包括几何【Geometry】、坐标系统【Coordinate Systems】、连接关系【Connections】及网格划分【Mesh】，插入的网格划分操作会按照顺序显示在【Mesh】下面。【Mesh】的明细窗口位于导航树下方，显示默认的物理场及整体网格划分控制；选择【Mesh】时，导航树上方会出现相应的网格划分工具栏；图形区的网格显示为相关物理场的默认网格划分结果；右侧为网格划分选项设置【Meshing Options】。

3.2.1 网格划分过程

ANSYS 13.0 Workbench 中网格划分过程如下：

- (1) 设置物理场和网格划分方法，物理场包括结构场、流场和电磁场。
- (2) 定义整体网格设置，包括定义单元大小、膨胀层及收缩设置等。
- (3) 插入局部网格设置，包括定义单元大小、细化网格及收缩控制等。
- (4) 预览或生成网格，包括预览表面网格、预览膨胀层网格。
- (5) 检查网格质量，包括用不同的网格质量度量标准来评定网格及显示网格质量的图表。

3.2.2 设置物理场及网格划分方法

1. 网格划分选项

启动网格划分时，窗口右侧出现网格划分选项面板【Meshing Options】，参见图 3-2，该面板包含下列设置：

- (1) 物理场【Physics Preference】：选择分析的物理场，每个物理场默认的网格划分参数不同。
- (2) 网格划分方法【Mesh Method】，指定可用于任何物理场的网格划分方法。
- (3) 设置物理场和创建网格的方法【Set Physics and Create Method】：在【Mesh】的明细

窗口中选择物理场，对所有选择的实体插入网格控制方法并指定网格划分方法。

(4) 设置网格划分默认值【Set Meshing Defaults】，选项对话框中更新物理场。

(5) 提供是否在启动时显示网格划分选项面板。

2. 3D 几何模型的网格划分方法

程序提供 6 种 3D 几何模型的网格划分方法，工具栏中选择【Mesh Control】→【Method】，对选中的实体可施加 6 种网格划分方法，如图 3-3 所示。

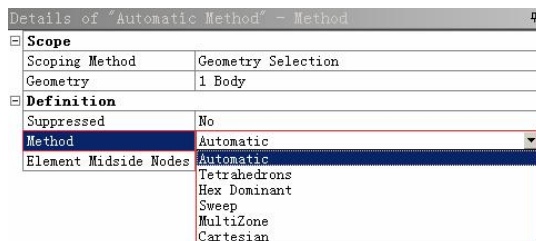


图 3-3 3D 实体网格划分方法

(1) 自动划分网格【Automatic】：程序基于几何的复杂性，自动检测实体，对可以扫掠的实体采用扫掠方法划分六面体网格，对不能扫掠划分的实体采用协调分片算法划分四面体网格。

(2) 四面体网格【Tetrahedrons】：生成四面体单元，采用基于 TGrid 的协调分片算法【Patch Conforming】和基于 ICEM CFD 的独立分片算法【Patch Independent】。

协调分片算法【Patch Conforming】采用自下而上的方法：网格划分先从边面划分，再到体，考虑所有的面及其边界，该算法适用于质量好的 CAD 几何模型。

独立分片算法【Patch Independent】采用自上而下的方法：先生成体网格，再映射到面和边生成面网格。除非指定了命名选择、加载、边界条件和其他作用，否则不必考虑指定公差范围内的面及其边界，该算法适用于需要清除小特征的质量差的几何模型。

ANSYS 13.0 中，两种四面体算法都可用于零件、体及多体零件，也可用于膨胀层网格。协调分片算法的分片面及边界考虑零件实体间的相互影响采用小公差，常用于考虑几何体的小特征，可以用虚拟拓扑工具把一些面或边组成组，构成虚拟单元，从而减少单元数目，简化小特征，简化载荷提取，因此如果采用虚拟拓扑工具可以放宽分片限制。

独立分片算法的分片不是太严格，通常用于统一尺寸的网格。结构分析适用于协调分片算法划分，电磁分析和流体分析适合协调分片算法划分或独立分片算法划分，显式动力分析适用于独立分片算法划分或有虚拟拓扑的协调分片算法划分。

在【Mesh】上右击鼠标，选择【Insert】→【Method】，选择要应用的实体，设置【Method】=Tetrahedrons，【Algorithm】=Patch Conforming，如图 3-4 所示。不同的零件和体可用不同方法，注意图中考虑几何模型的倒圆面和边的网格划分结果。

在【Mesh】上右击鼠标，选择【Insert】→【Method】，选择要应用的实体，设置【Method】=Tetrahedrons，【Algorithm】=Patch Independent，【Min Size Limit】=2mm，如图 3-5 所示。注意图中不考虑几何模型的倒圆面和边，划分一致网格。

明细窗口中有清除网格特征的附加设置【Mesh Based Defeating】，基于曲率和相邻的细化设置【Curvature and Proximity Refinement】，可以对不同体设置不同的曲率和相邻。ANSYS

13.0 中增加了平滑过渡选项【Smooth Transition】，可以控制增长率和局部特征角，可以写出 ICEM CFD 文件【Write ICEM CFD Files】。该方法考虑指定命名选择的面和边。如果【Mesh Based Defeaturing】=ON，【Defeaturing Tolerance】中输入清除特征容差，则清除容差范围内的小特征，如图 3-5 所示。

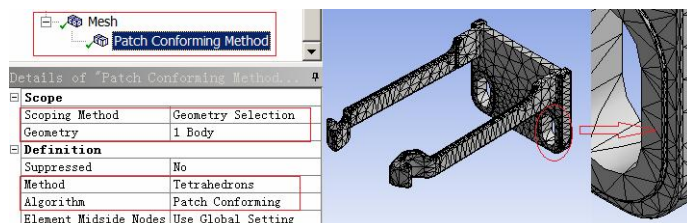


图 3-4 设置协调分片四面体网格划分方法

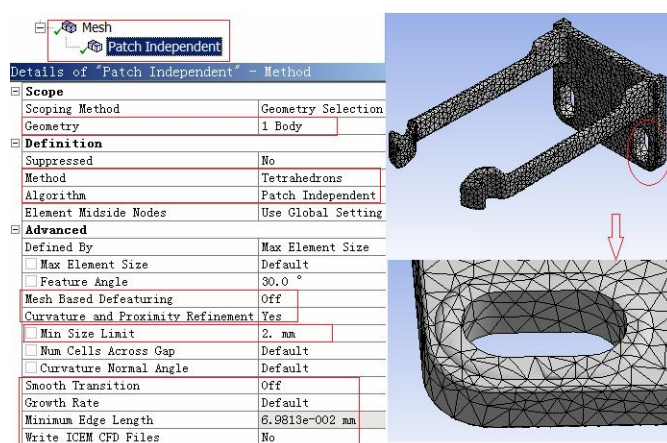


图 3-5 设置独立分片四面体网格划分方法

具有膨胀层的四面体网格划分可以称为棱柱层，常用于解决 CFD 分析中的高梯度流量变化和近壁面复杂的物理特性；解决电磁分析的薄层气隙，解决结构分析的高应力集中区。膨胀层可以源自三角形和四边形面网格生成，可按照协调分片和独立分片四面体这两种网格划分方法增长，可使用整体网格设置和局部网格设置膨胀层，如图 3-6 所示。

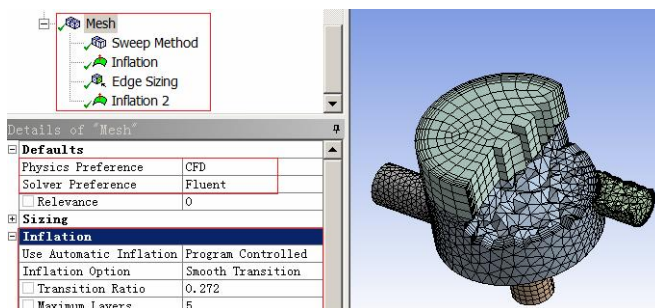


图 3-6 膨胀层网格

(3) 六面体网格：六面体网格可以减少单元数量，加快求解收敛；单元和流体流动方向

对齐,可提高分析精度,减少数值错误。可采用的方法有【Hex Dominant】、【Sweep】及【MultiZone】,对质量好的几何模型应首选六面体网格划分,各种六面体网格划分方法可协同工作。

1) 六面体域网格【Hex Dominant】:生成非结构化的六面体域网格,主要采用六面体单元,但是包含少量棱锥单元和四面体单元,用于那些不能扫掠的体,常用于结构分析。也用于不需要膨胀层及偏斜率和正交质量在可接受范围内的 CFD 网格划分。

使用方法为:导航树中选择【Mesh】,右击鼠标,选择【Insert】→【Method】,图形区选择要划分的实体确认,明细窗口中设置【Method】=Hex Dominant,如图 3-7 所示。

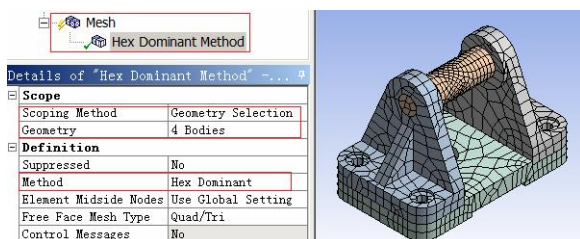


图 3-7 六面体域网格

2) 扫掠网格【Sweep】:对可以扫掠的实体在指定方向扫掠面网格,生成六面体单元或棱柱单元,扫掠划分要求实体在某一方面上具有相同的拓扑结构,实体只允许一个目标面和一个源面,但薄壁模型可以有多个源面和目标面。

在【Mesh】分支上单击右键,选择【Show Sweepable Bodies】可以看到能够扫掠的体,此时该体被选中,如图 3-8 所示。

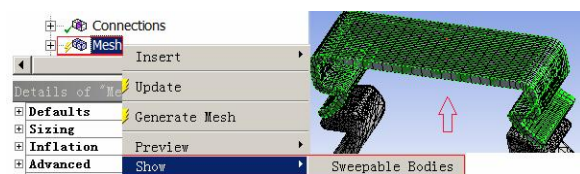


图 3-8 显示可扫掠实体

在【Mesh】上单击右键,选择【Insert】→【Method】,图形区中确认要扫掠的实体,明细窗口中设置【Method】=Sweep,如果对薄壁模型,补充设置薄层扫掠【Src/Trg Selection】=Automatic Thin,沿厚度的单元层数【Sweep Num Divs】=2,可以得到薄层扫掠网格,参见图 3-9 所示。

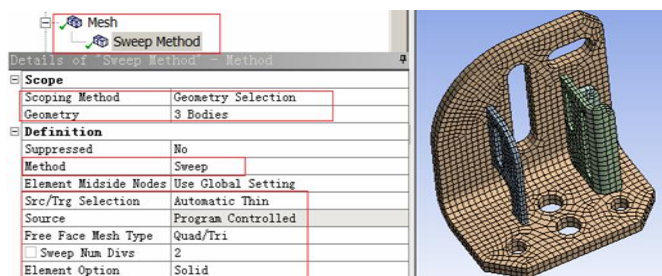


图 3-9 薄层扫掠网格

3) 多重区域网格【MultiZone】: 基于 ANSYS ICEM CFD 六面体分块方法, 自动对几何体进行分解成映射区域和自由区域, 可以自动判断区域并对映射区生成结构化网格, 即生成六面体/棱柱单元, 对自由区域采用非结构化网格, 即自由区域的网格类型【Free Mesh Type】可由四面体【Tetra】、六面体域【Hexa Dominant】或六面体核心【Hexa Core】来划分网格。可以具有多个源面和目标面。多重区域网格划分和扫掠网格划分相似, 但更适用于用扫掠方法不能分解的几何体。

在【Mesh】分支上单击右键, 选择【Insert】→【Method】, 图形区中确认要划分的实体, 明细窗口中设置【Method】=MultiZone, 选择自由区域的网格类型【Free Mesh Type】=Not Allowed/Tetra/Hexa Dominant/Hexa Core, 设置源面/目标面的选择方式【Src/Trg Selection】=Automatic/ManualSource, 如果【Src/Trg Selection】=ManualSource, 则需手工选择源面, 在【Source】中确认, 参见图 3-10。

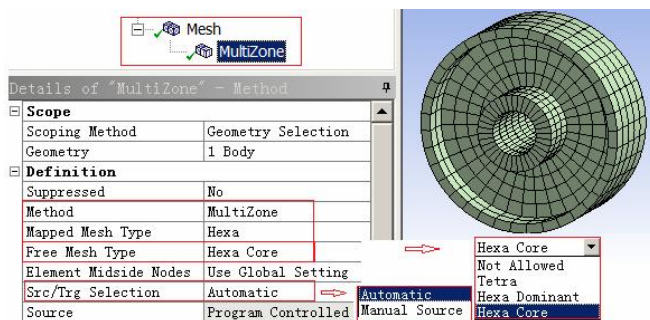


图 3-10 多重区域网格

(4) CutCell 网格【Cartesian】: 这是 ANSYS 13.0 的新功能, 生成笛卡尔 CutCell 网格。这是为 ANSYS FLUENT 设计的笛卡尔网格划分方法, 采用自动修边的独立分片网格划分方法, 用于对单体零件或多体零件的流体进行网格划分, 不能划分装配体, 也不能与其他网格方法混合使用, 可以生成比四面体网格更好的网格, 支持边界层, 但不支持零厚度壁面。

1) 【CutCell】网格划分的主要控制方法。

在【Mesh】的明细窗口中【CutCell Meshing】下面设置【Active】=Yes。【CutCell】网格划分的主要控制如下, 参见图 3-11。

①物理场设置【Physics Preference】=CFD, 求解器设置【Solver Preference】=Fluent。

②使用高级尺寸函数【Use Advanced Size Function】=On, 为更好捕捉特征及减少非流形的节点, 应尽量分辨所有边, 因此推荐使用边-边之间的相邻区域作为相邻尺寸函数的计算源, 即设置【Proximity Size Function Sources】=Edges。

③使用 3D 膨胀层。

④【CutCellMeshing】控制中, 设置特征捕捉【Feature Capture】, 程序默认捕捉角为 40° , 可以设定更小的角度来捕捉更多的特征, 如捕捉角度设为 0 则捕捉所有 CAD 特征。设置棋盘形镶嵌的错位技术细分网格【Tessellation Refinement】, 可由程序控制或指定绝对容差【Absolute Tolerance】进行网格细分。

⑤统计【Statistics】中采用适合【CutCellMeshing】的正交质量准则检查网格质量。

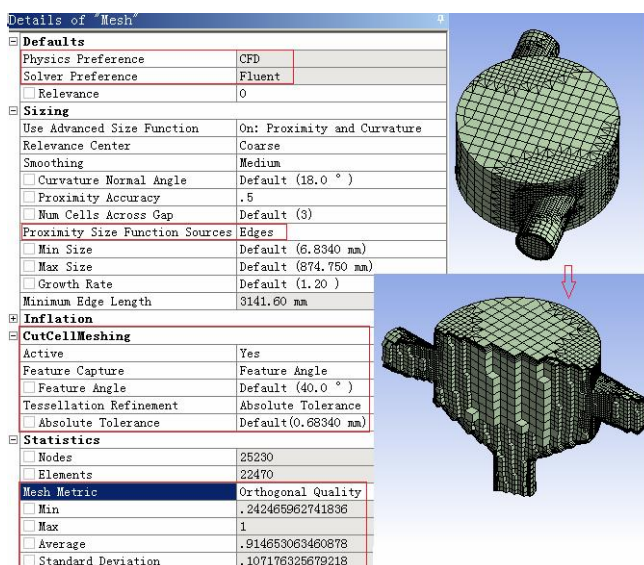


图 3-11 CutCell 网格

2) 【CutCell】网格划分的工作流程如下:

- ①设置整体【CutCell】网格划分和尺寸控制, 包括: 设置前提条件 (CFD & fluent 环境), 激活【CutCell】网格划分方法, 设置【CutCell】网格划分选项 (特征捕捉和棋盘细化), 设置尺寸选项, 设置整体膨胀层控制。
- ②应用局部尺寸。
- ③生成【CutCell】网格。
- ④如果需要设置膨胀层, 则应用局部膨胀层控制, 生成膨胀层网格。
- ⑤导出网格到 Fluent, 网格以多面体的格式导出。



激活【CutCell】网格划分时, 一些控制和特征不再有效; 膨胀层是【CutCell】网格划分的后处理, 可以增加/删除/修改/抑制局部膨胀层设置, 然后网格划分会从指定位置以初始网格开始膨胀。

3) 【CutCell】网格划分的限制如下:

- ①不能与其他网格划分方法混合使用。
- ②可以对单体零件或多体零件划分网格, 装配件的网格划分仅提供测试选项。
- ③特征复原限制: 尖锐的后缘和边将会产生齿锯网格, 复原某些特征可能会导致质量差的网格。
- ④网格划分之前必须在 CAD 建模中妥善解决几何特征问题, 避免不必要的几何细节, 最小尺寸应是最小 3D 目标特征的 1/2, 它需要经常调整。
- ⑤既不支持影响体, 也不支持影响面。
- ⑥膨胀层不支持在挡板或内壁上。
- ⑦网格划分时忽略对称条件。

3. 2D 分析模型及壳单元的网格划分方法

在 ANSYS 产品中, FLUENT 及 Mechanical 都支持 2D 单元或壳单元进行 2D 和 3D 面体

分析, FLUENT 的 2D 轴对称分析中, 在 XY 平面内生成网格, Y 大于等于零, 确保关于 X 轴对称。CFX 的 2D 分析中, 创建体网格, 沿对称方向上只有一层单元, 如 2D 平面分析采用薄片, 2D 轴对称分析采用小于 5° 的薄楔片。

面网格划分方法有 4 种:

- (1) **【Automatic】**: 自动采用四边形为主导的网格划分。
- (2) **【Triangles】**: 采用三角形单元进行网格划分。
- (3) **【Uniform Quad/Tri】**: 采用一致四边形或三角形单元进行网格划分。
- (4) **【Uniform Quad】**: 采用一致四边形单元进行网格划分。

ANSYS 13.0 可以在选定的边或命名选择上应用膨胀层, 如图 3-12 所示。

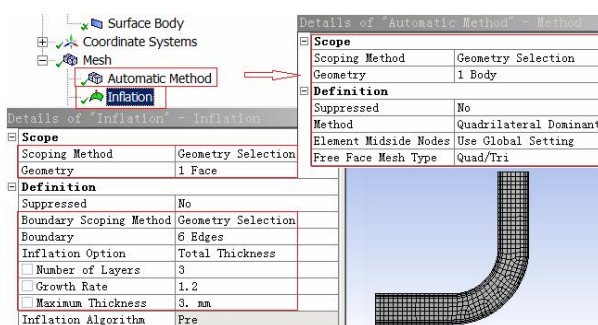


图 3-12 面体膨胀层网格

网格连接 **【Mesh Connections】**: 对薄片模型, 连接可以定义为 **【Mesh Connections】**, 网格连接可以用于扩展网格等级, 可以在网格上指定容差值封闭间隙, “网格连接”在划分网格中创建。如图 3-13 所示, 加入网格连接, 选择相邻的 2 条边, 移动滑鼠设置容差为 -100, 则生成网格时忽略了几何缝隙。工具栏选择按连接显示边 **【Edge Coloring】**, 则通过连接面的数量来显示边的颜色。

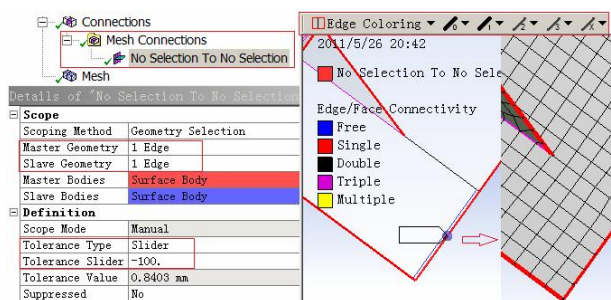


图 3-13 网格连接

3.2.3 整体网格控制

整体网格控制用于整体调整网格划分策略, 包括尺寸函数、膨胀层、平滑、清除特征、参数输入、激活 **【CutCell】** 网格划分等。

整体网格控制对于分辨极小尺寸输入模型的重要特征非常有用, 可以根据最小几何体自动计算整体单元大小, 根据不同的物理场自动设置默认参数, 如过渡比、过渡平滑等, 可以

进行整体调整以满足网格细化的要求，高级尺寸函数用于分辨具有表面弯曲和表面相邻的区域。但某些选项对【CutCell】无效。

导航树中选择【Mesh】，在明细窗口中可对网格划分进行整体控制，控制方法如表 3-1 所示。

表 3-1 网格划分整体控制属性设置

网格划分整体控制	
【Defaults】默认设置	
选择物理场及求解器	
设置网格相关度（-100 至+100）由疏到密	
【Sizing】控制整体单元大小	
使用高级尺寸函数，默认为关闭	
相关度中心，默认为稀疏	
定义平均的单元边长	
确定初始单元基准，默认由激活装配体确定	
平滑度，默认中等平滑	
网格过渡，默认快速过渡	
跨度角中心，默认稀疏	
程序检测到的最小边长	
【Inflation】设置膨胀层	
使用自动四面体膨胀层设置，默认为不使用	
膨胀层选项，默认为平滑过渡	
过渡比（0.272）	
最大层（5）	
生长率（1.2）	
膨胀层算法	
显示高级选项，默认不显示	
【Advanced】网格高级控制	
形状检查检验单元质量，默认按照标准结构	
单元是否带中节点，默认由程序控制	
是否使用直边单元，默认不使用	
重试次数，默认为 4 次	
刚体行为，默认为减少空间维度	
是否允许网格变形，默认为网格不变形	
【Defeaturing】设置修剪小特征	
网格收缩公差，需指定选项	
是否网格刷新后生成收缩，默认不生成	
基于清除特征自动重新划分网格	
指定清除特征公差，程序默认	

网格划分整体控制	
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	6.9813e-002 mm
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default

续表

Statistics		【Statistics】网格划分结果统计
☐ Nodes	58045	网格划分的节点数
☐ Elements	22523	网格划分的单元数
Mesh Metric	None	网格检查准则

整体网格的具体设置如下：

- 需指定物理场和求解器；
- 控制整体网格的单元大小：包括指定相关性和相关中心、高级尺寸函数、平滑和过渡、跨度角中心、曲率法向角、相邻精度和单元跨度间隙；
- 控制膨胀层：包括设置膨胀层选项与膨胀层算法、避免碰撞、指定最大角度、圆角比率及平滑。
- 激活【CutCell】网格划分。
- 设置高级选项：包括单元形状检测和是否包含单元中节点。
- 设置清除特征选项：包括基于收缩和基于自动网格划分进行特征清理。
- 查看网格划分的统计结果：包括网格统计和网格质量检验。

1. 设置物理场

物理场【Physics Preference】提供 4 个选项，分别为流体分析【CFD】、结构分析【Mechanical】、显式分析【Explicit】及电磁分析【Electromagnetics】，选中【CFD】时，可设置求解器【Solver Preference】为【Fluent】、【CFX】及【POLYFLOW】。ANSYS 默认的网格设置自动根据物理场和求解器进行调整，如果激活【CutCell】则只能选择【Fluent】、【CFX】求解器，参见图 3-14。

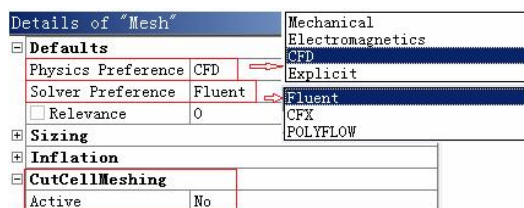


图 3-14 设置物理场及求解器

2. 控制整体单元尺寸

(1) 相关性【Relevance】和相关中心【Relevance Center】：用于整体网格的自动细化或粗化。移动滑块可设置相关性从-100 到+100，网格由粗到密变化，相关中心设置相关性控制的度量标准，提供精细【Fine】、中等【Medium】及粗糙【Coarse】3 个标准。网格划分示例如图 3-15。

(2) 高级尺寸函数【Advanced Sizing Functions】：高级尺寸函数控制重要的极度弯曲和表面相邻区域的网格增长及分布，提供 5 个选项，参见图 3-16。

1) 关闭【Off】：采用网格剖分器计算的整体单元尺寸来划分边，然后根据曲率和 2D 相邻细化边，最后生成相关面网格和体网格。

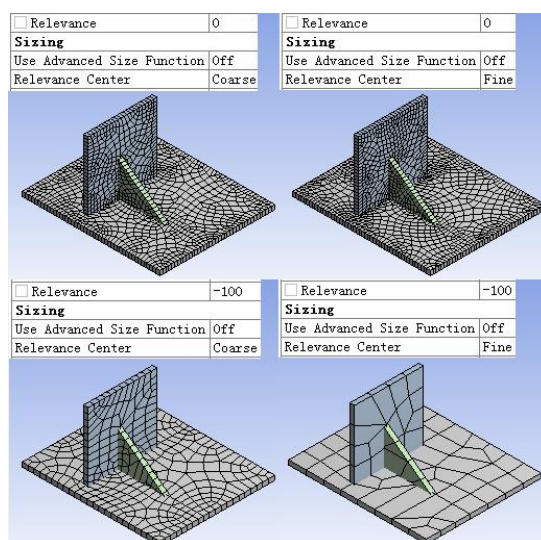


图 3-15 相关性及相关中心的网格控制

2) 曲率【Curvature】: 根据曲率法向角度【Curvature Normal Angle】确定边和面的单元大小。曲率法向角为一个单元边长跨度所允许的最大角度, 可输入 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$, 或由程序默认, 默认值根据相关性和跨度角中心选项计算。

3) 相邻【Proximity】: 控制相邻区的网格分辨率, 在狭缝中放入指定的单元数, 横向间隙生成更细化的表面网格。

4) 相邻及曲率【Proximity and Curvature】: 组合相邻及曲率网格划分功能。

5) 固定尺寸【Fixed】: 采用固定的单元大小划分网格, 无曲率或相邻细化, 根据指定的最大面单元的尺寸生成表面网格, 根据指定的最大单元尺寸生成体网格。

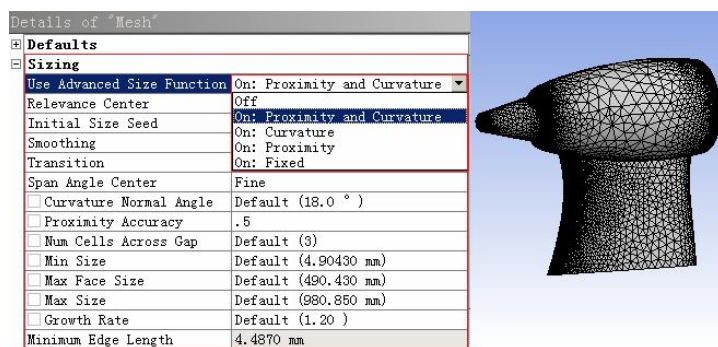


图 3-16 高级尺寸函数的网格控制

激活【CutCell】并设置【Proximity and Curvature】及【Proximity】, 会出现【Proximity Size Function Sources】选项用于考虑边—边相邻区或面—面相邻区或同时考虑这两者来计算相邻尺寸函数。

(3) 最小与最大单元尺寸 (见图 3-16)。

1) 最小单元尺寸【Min Size】: 由尺寸函数生成, 某些单元大小可能小于该尺寸, 这由几何边的长度决定。

2) 最大表面单元尺寸【Max Face Size】: 由尺寸函数生成, 但不支持【CutCell】。

3) 最大单元尺寸【Max Size】: 最大单元尺寸可在体网格内部生长。

(4) 单元尺寸【Element Size】: 关闭高级尺寸函数控制才能使用单元尺寸控制整体模型, 划分所有的边、面及体。默认值根据相关性和初始单元尺寸基准计算, 可以输入指定值。

(5) 初始单元尺寸基准【Initial Size Seed】: 该选项控制如何分配初始的单元大小, 不支持【CutCell】, 提供 3 个选项如下, 参见图 3-17。

1) 激活的装配体【Active Assembly】: 基于未抑制零件包围框的对角线长度分配初始单元大小, 对各种抑制/非抑制零件, 网格随包围框大小改变。

2) 整个装配体【Full Assembly】: 基于所有装配体包围框的对角线长度分配初始单元大小, 无论零件抑制与否, 单元大小不变。

3) 零件【Part】: 打开高级尺寸函数时, 该选项无效, 基于每个独立零件包围框对角线的长度分配初始单元大小, 抑制零件并不改变单元大小, 通常生成更精细的网格。

(6) 网格平滑【Smoothing】: 考虑周边节点, 通过移动节点位置提高网格质量。平滑迭代提供 3 级控制, 分别为高级【High】、中级【Medium】及初级【Low】, 如图 3-18, 高级平滑为显式动力分析的默认选项, 中级平滑为结构、电磁、流体分析的默认选项。对于【CutCell】网格划分, 平滑选项控制开始平滑网格的质量阈值。

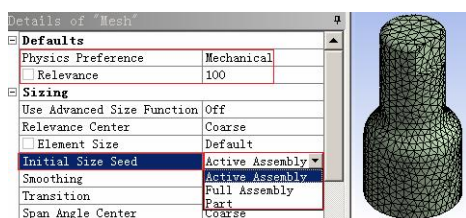


图 3-17 初始单元尺寸基准

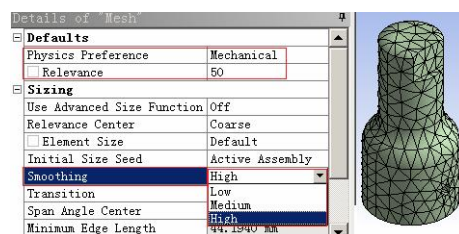


图 3-18 网格平滑控制

(7) 网格过渡【Transition】: 控制单元增长率, 可设置慢速过渡【Slow】和快速过渡【Fast】, 如图 3-19, 慢速过渡为流体、显式动力分析的默认选项, 产生平滑过渡网格; 快速过渡为结构、电磁分析的默认选项。不支持【CutCell】, 当打开高级尺寸函数时, 隐藏薄板模型, 忽略包含薄板的装配体。

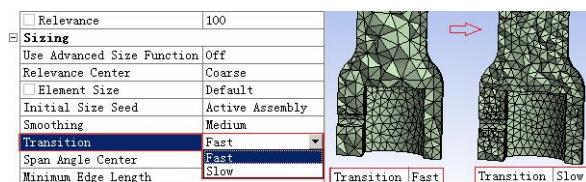


图 3-19 网格过渡

(8) 跨度角中心【Span Angle Center】: 基于边细化控制曲率, 提供 3 个选项, 相应的跨度角范围如下: 粗糙【Coarse】的跨度角为 $91^\circ \sim 60^\circ$, 中等【Medium】的跨度角为 $75^\circ \sim 24^\circ$, 精细【Fine】的跨度角为 $36^\circ \sim 12^\circ$, 如图 3-20。该选项不支持【CutCell】。

3. 膨胀层【Inflation】

膨胀层网格沿边界的法向拉伸提高网格精度, 用于解决流体分析中的粘性边界层, 电磁

分析中的薄层气隙，解决结构分析中的应力高度集中区域。膨胀层可由三角形和四边形面网格生成，可与其他网格划分方法混合使用，但六面体域网格不能应用膨胀层，程序提供多种选项控制膨胀层的生长及网格质量，参见图 3-21。

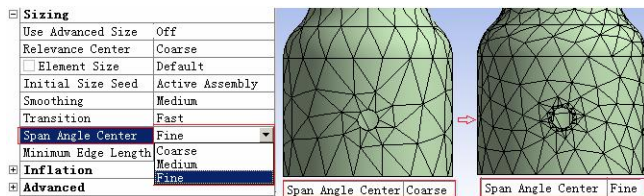


图 3-20 跨度角中心控制

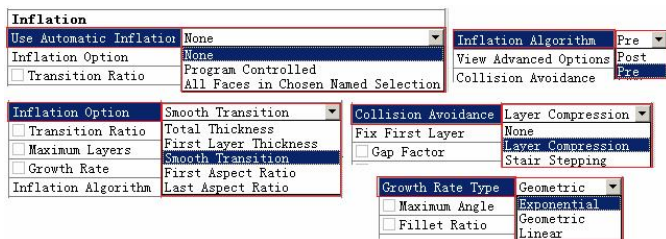


图 3-21 膨胀层设置

(1) 自动生成膨胀层【Use Automatic Inflation】提供 3 个选项。

- 1) 无【None】：如果要用局部网格控制进行手动膨胀层设置，则使用该选项。
- 2) 程序控制【Program Controlled】：除了命名选择的面、手动设置膨胀层的面、接触区域面、对称面、已生成网格的零件面或体面，不支持 3D 膨胀层的网格划分，如扫掠或六面体域网格、薄板实体面以外，膨胀层可应用于其他所有选择面。
- 3) 作用于命名选择的所有面【All Faces in Chosen Named Selection】：可对定义命名选择的一组面生成膨胀层。

(2) 膨胀层选项【Inflation Option】。

- 1) 平滑过渡【Smooth Transition】：在邻近层之间保持平滑的体积增长率，默认情况下，总厚度取决于表面网格尺寸的变化。
- 2) 第一层厚度【First Layer Thickness】：保持第一层单元的高度恒定。
- 3) 总厚度【Total Thickness】：保持整个膨胀层的高度恒定。
- 4) 第一层纵横比【First Aspect Ratio】：ANSYS 13.0 新功能，指定从基础膨胀层拉伸的纵横比来控制膨胀层的高度。
- 5) 最终层纵横比【Last Aspect Ratio】：ANSYS 13.0 新功能，利用第一层高度值、最高层值及纵横比控制创建膨胀层。

(3) 膨胀层算法【Inflation Algorithm】。

- 1) 【Post】：首先生成四面体，然后开始生成膨胀层，若改变膨胀层选项，四面体网格不受影响，默认选项为独立分片四面体网格。
- 2) 【Pre】：首先生成膨胀层面网格，然后生成体网格，默认选项为协调分片四面体网格，预览膨胀层仅对该算法有效。

(4) 避免碰撞【Collision Avoidance】: 检测相邻区域并调整膨胀层单元。三个选项可用, 示例如图 3-22 所示。

1) 【None】: 不检测相邻区域。

2) 层压缩【Layer Compression】: 为 Fluent 的默认选项, 在相邻区域压缩膨胀层, 保持相邻区域的层数, 如果需要可用交错网格。

3) 阶梯交错【Stair Stepping】: 为 CFX 的默认选项, 在相邻区域膨胀层呈阶梯交错状, 逐步地移除层, 以避免冲撞及尖角处产生质量差的网格。

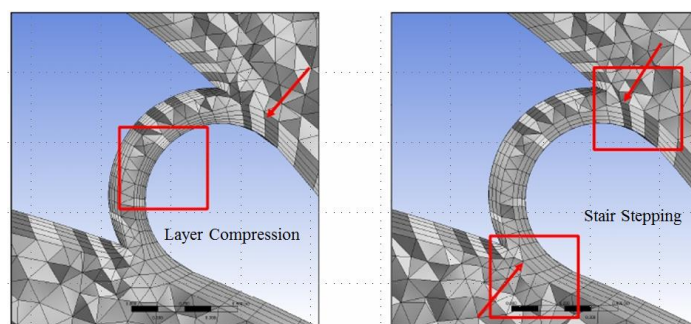


图 3-22 避免相撞膨胀层控制

激活【CutCell】时, 层压缩算法和阶梯交错算法的使用取决于几何模型的复杂性, 层压缩算法为只读。

4. 【CutCell】网格划分

【CutCell】网格划分是 ANSYS 13.0 提供的新功能, 是为 ANSYS FLUENT 求解器设计的笛卡尔网格划分方法, 采用独立分片的体网格划分方法, 具有由高级尺寸函数驱动自动修边功能, 广泛适用于 CFD 分析, 支持膨胀层。网格划分整体控制中设置【Active】=Yes, 则激活【CutCell】网格, 但同时某些整体控制和局部控制方法将无效。

5. 清除特征【Defeaturing】

不支持【CutCell】网格划分, 使用【Pinch】和【Automatic Mesh Based Defeaturing】控制去除一些容差范围内小的几何特征来提高网格质量, 但并非所有的网格划分方法都可以利用这些控制。

(1) 收缩容差【Pinch Tolerance】: 根据给定的收缩容差值移除小特征, 提供整体收缩控制和局部收缩控制。

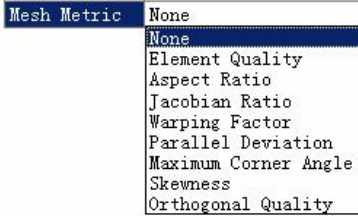
(2) 刷新后生成【Generate After Refresh】: 更新后自动生成小特征列表。

(3) 基于清除特征的自动划分网格【Automatic Mesh Based Defeaturing】: 激活该选项, 在容差范围内的小特征将自动去除。

6. 统计【Statistics】

查看网格划分的质量, 提供详尽的质量度量列表, 如表 3-2 所示, ANSYS 13.0 中增加了正交质量度量, 可以查看网格度量图表, 能够直观地在该图表下进行各种选项控制, 详见后续章节。

表 3-2 网格质量度量

设置网格质量度量【Mesh Metric】	网格质量度量说明
	无（默认）
	单元质量检查
	纵横比检查
	雅可比率检查
	翘曲因子检查
	平行偏差检查
	最大顶角检查
	偏斜检查
	正交质量检查

3.2.4 局部网格控制

工具栏的网格控制【Mesh Control】提供多种局部网格控制方法，如表 3-3 所示。根据采用的网格划分方法，可以组合各种方式对局部网格进行控制。

表 3-3 网格控制方法

网格控制【Mesh Control】
设置网格划分方法
可对点、边、面和体指定单元大小
可对接触边、接触面设置接触单元大小
可对点、边、面设置网格细化
可对面设置映射面网格划分
可对边、面进行面匹配控制
可对点、边设置收缩
可对边、面设置膨胀层
备注
Cutcell 网格控制只有【Sizing】和【Inflation】

1. 设置单元大小【Sizing】

【Sizing】允许设置局部单元大小，每次只对一种几何体类型控制尺寸，采用如下方法：

(1) 【Element Size】：在体，面或边上设置单元平均边长。

(2) 【Number of Divisions】：对边指定单元份数，不支持【CutCell】网格划分。

1) 可以指定偏斜类型【Bias Type】和偏斜因子【Bias Factor】，偏斜类型指定单元大小相对边的一端、两端或者边中心的渐变效果，偏斜因子定义最大单元边长与最小单元边长的比值。

2) 行为【Behavior】可以设置【Soft】和【Hard】。【Soft】选项的单元大小将会受到整体划分单元大小的功能，如基于相邻、曲率的网格设置，以及局部网格控制的影响。【Hard】严格控制单元尺寸。注意：硬边或任何偏斜边与相邻的边和面之间的网格过渡可能会急剧变化，

硬边或偏斜边会覆盖指定的最大面单元尺寸和最大的单元尺寸。

(3) **【Sphere of Influence】**: 用球体设定控制单元平均大小的范围, 所有包含在球域内的实体单元网格尺寸按给定尺寸划分, 不支持**【CutCell】** 网格划分。

1) 对顶点指定影响球, 不论高级尺寸函数是否打开都可用, 在所选项点的周围设置平均单元大小, 需要指定球体的影响半径**【Sphere Radius】**和单元大小**【Element Size】**, 球体中心为模型上的点。

2) 对边指定影响球, 需关闭高级尺寸函数才有效, 球体中心坐标采用局部坐标系, 影响区域包括球体范围内的指定边及相邻实体。

3) 对面指定影响球, 需关闭高级尺寸函数才有效, 球体中心坐标采用局部坐标系, 影响区域包括球体范围内的指定面及相邻实体。

4) 对体指定影响球, 无论是否关闭高级尺寸函数都有效, 球体中心坐标采用局部坐标系, 影响区域为球体范围内的实体, 如图 3-23 所示。

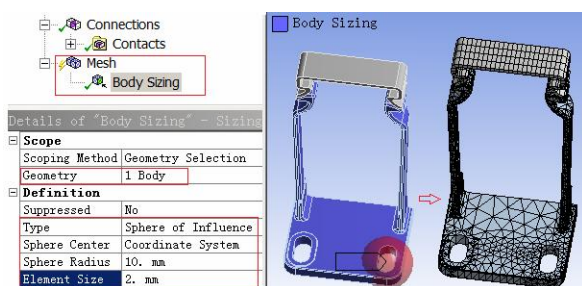


图 3-23 球体区域控制局部网格

2. 接触尺寸【Contact Sizing】

接触尺寸**【Contact Sizing】**允许在接触面上产生大小一致的单元。接触面定义了零件间的相互作用, 在接触面上采用相同的网格密度对分析有利, 在接触区域可以设定单元大小**【Element Size】**或相关度**【Relevance】**, 如图 3-24 所示。相关度根据指定的相关值, 自动决定影响球半径和单元大小, 进而决定接触面内部的单元大小。

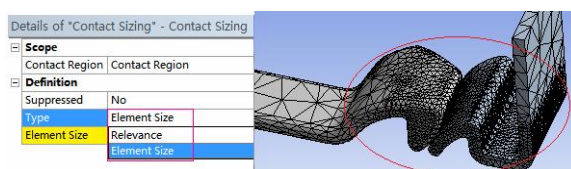


图 3-24 接触区网格控制

3. 单元细化【Refinement】

【Refinement】可以对已经划分的网格进行单元细化, 一般而言, 网格划分先进行整体和局部网格控制, 然后对被选的点、边、面进行网格细化。该选项仅对面或边有效, 对**【Patch Independent Tetrahedrons】**、**【CutCell】**、**【UniformQuad/Tri】**、**【Uniform Quad】**这些网格划分方法无效。细化应用于生成后的网格, 细化等级可以从 1 (最小) 到 3 (最大), 细化等级为 1 将单元边长一分为二, 推荐使用“1”级别细化, 这是在生成粗网格后, 网格细化得到更密网格的简易方法, 如图 3-25 所示。使用膨胀层时, 程序可自动抑制细化控制。

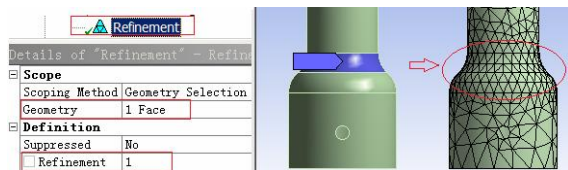


图 3-25 网格局部单元细化

单元大小控制和细化控制的区别：

(1) 单元大小控制在划分前先给出平均单元长度。通常来说，在定义的几何体上可以产生一致的网格，网格过渡平滑。

(2) 细化是打破原来的网格划分。如果原来的网格不一致，细化后的网格也不一致。尽管对单元的过渡进行平滑处理，但是细化仍导致不平滑的过渡。

(3) 对同一个表面进行单元大小和细化定义时，在网格初始划分时，首先应有单元大小控制，然后再进行第二步的细化。



提示

4. 映射面网格划分【Mapped Face meshing】

映射面网格划分【Mapped Face meshing】允许在面上生成结构网格，如图 3-26，对圆柱面进行映射网格划分可以得到很一致的网格。这样对计算求解有益。如果因为某些原因不能进行映射面网格划分，网格划分仍将继续，导航树上会出现相应的标志。

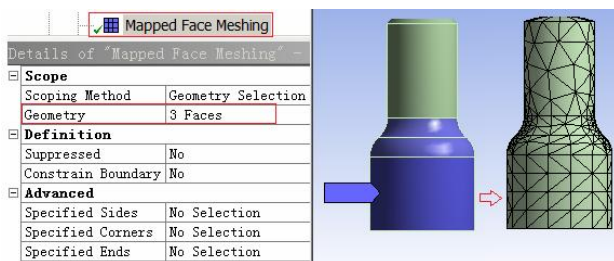


图 3-26 映射面网格划分

选择【Mesh】，右击鼠标，单击【Show】→【Mappable Faces】，可显示所有能够映射的面。

该方法提供基本和高级设置，映射面网格支持【Sweep】、【Patch Conforming】、【Hexa Dominant】、基本控制和高级控制的【QuadDominant】和【Triangles】、【Multizone】、【Uniform Quad/Tri】、基本控制的【Uniform Quad】的网格划分方法，不支持【CutCell】。

映射面网格的顶点类型可以设置为【Specified Sides】、【Specified Corners】、【Specified Ends】三种点类型，对映射方式进行定义。【Specified Sides】指定夹角为 $136^\circ \sim 224^\circ$ 的相交边顶点为映射面顶点，和 1 条网格线相交；【Specified Corners】指定夹角为 $225^\circ \sim 314^\circ$ 的相交边顶点为映射面顶点，和 2 条网格线相交；【Specified Ends】指定夹角为 $0^\circ \sim 135^\circ$ 的相交边顶点为映射面顶点，与网格线不相交，示例如图 3-27 所示。

映射面网格可指定径向划分的份数【Radial Number of Divisions】，如果一个面由两个环线组成，则径向划分份数选项被激活，可用于创建径向单元层数。

5. 匹配控制【Match Control】

匹配网格控制【Match Control】用于在 3D 周期对称面或 2D 周期对称边上划分一致的网

格，尤其适用于旋转机械的旋转对称分析，因为旋转对称所使用的约束方程其连接的截面上节点的位置除偏移外必须一致，如图 3-28 所示。

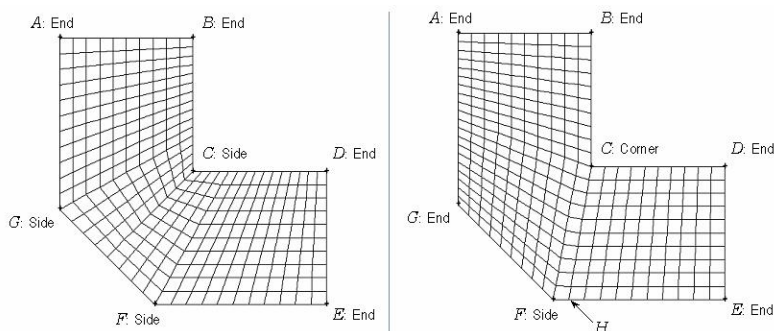


图 3-27 映射面网格顶点控制

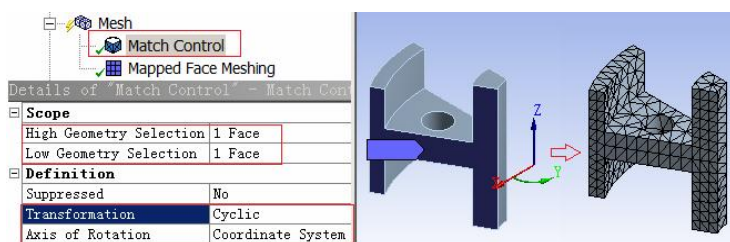


图 3-28 循环对称模型

匹配控制仅用于指定到匹配的面对或边对；匹配控制不支持【Post Inflation Algorithm】算法；匹配控制目前还不能采用独立分片四面体划分网格；可使用循环对称匹配【Cyclic】和任意匹配【Arbitrary】两种类型的控制方法。不支持【CutCell】。

6. 收缩控制【Pinch】

收缩控制【Pinch】可以在网格上移除小特征（边或狭长区域），收缩控制只对顶点和边起作用，面和体不能收缩。下列网格划分方法支持收缩特征，不支持【CutCell】。

- (1) 协调分片四面体网格划分方法【Patch Conforming Tetrahedrons】。
- (2) 薄层实体扫掠网格划分方法【Thin Solid Sweeps】。
- (3) 六面体域网格划分方法【Hex Dominant】。
- (4) 四边形的表面网格划分方法【Quad Dominant Surface Meshing】。
- (5) 三角形表面网格划分方法【Triangles Surface】。

点对点收缩控制将在小于指定容差的边上创建，如果两条边距离在指定容差范围内，则边对边收缩控制会创建在任意一个的面上。

7. 膨胀层控制【Inflation】

用来生成棱柱层，膨胀层可以应用到面或体，使用相应的边或面作为边界。

3.2.5 虚拟拓扑

虚拟拓扑【Virtual Topology】允许为了更好地进行网格划分而合并面，可以简化模型的细

节特征、简化结构分析的载荷、可以创建切割边以获得更好的面网格。虚拟单元【Virtual Cell】修改几何拓扑，可以把小面缝合到一个大的面中，属于虚拟单元原始面上的内部线，不再影响网格划分，所以划分这样的拓扑结构可能和原始几何体会不同，如图 3-29。

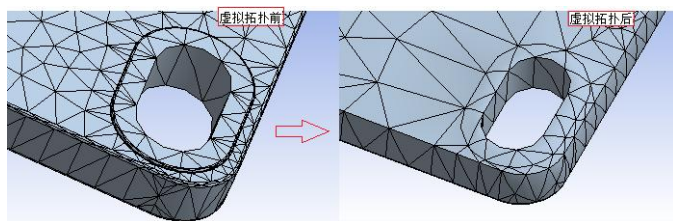


图 3-29 虚拟拓扑网格

虚拟单元通常用于删除小特征，从而在特定的面上减小单元密度，或删除有问题几何体，如长缝或小面，从而避免网格划分失败，但是，由于虚拟单元改变了原有的拓扑模型，因此内部的特征如果有加载、约束等将不再考虑。

创建虚拟拓扑如下：

- (1) 导航树中选择【Model】，右击鼠标，选择【Insert】→【Virtual Topology】。
- (2) 导航树中选择虚拟拓扑【Virtual Topology】。
- (3) 图形区选择面或边，右击鼠标，插入虚拟单元【Insert】→【Virtual Cell】。

ANSYS 13.0 增加了创建边分割的新功能，导航树中选择虚拟拓扑【Virtual Topology】，图形区选择边，工具栏中选择【Virtual Split Edge at+】或【Virtual Split Edge】可分割选择的边，明细窗口中可输入分割比【Split Ratio】。使用边分割，可以增加边约束提升网格质量，边分割可以移动，导航树中选择虚拟边，按住 F4 键，然后沿着边用鼠标移动红点。结果如图 3-30 所示。

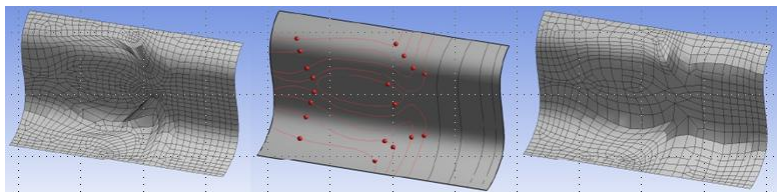


图 3-30 虚拟边分割网格

3.2.6 连接关系与几何构型

连接关系【Connections】可用来创建两个零件间面跟面的接触，主要用于结构分析，在结构分析接触域自动创建，在流体分析中不会创建。如果需要在 ANSYS FLUENT 或 ANSYS CFX 中创建接触域，需要对接触域的面创建命名选择和定义为交互区。

交界面处的网格是否相同（网格共形）取决于 DM 下的几何构型，多个零件的网格异形，多体零件如果共享拓扑设为“印记”，则网格异形，如果共享拓扑设为“自动”，则网格共形。尽管如此，不论 DM 下是否使用共享拓扑，独立分片四面体网格划分和匹配控制结合起来使用可以生成共形网格。

1. 多个零件的装配体模型

接触域在零件间自动创建，接触域分为接触面和目标面，每个零件独立划分网格，交界

面网格异形。FLUENT 的【Grid Interface】或 CFX 里的【GGI】可以用来定义接触域的面。

2. 多体零件

程序默认的共享拓扑设置为“自动”，接触域内的面融合成一个面，不创建接触域，在 FLUENT 下共同的面作为内部区域。

共享拓扑设为“印记”，接触域内面的边界相互印记，产生“相似”面，并在“相似”面上自动创建接触域，在交界面上网格异形。FLUENT 的【Grid Interface】或 CFX 里的【GGI】可用于定义接触域的面。为了在“相似”面上创建相同的网格可以使用“匹配控制”选项。在 FLUENT 下使用【Fuse】选项可以合成“相似”面得到共形网格。

3.2.7 预览和生成网格

1. 命名选择【Named Selections】

命名选择允许给选择的一组或多组实体命名。DM 中定义的命名选择可以传递到网格中，在一个命名选择下的所有对象必须有相同的拓扑，命名选择便于重新选择那些经常用到的对象，命名选择可以自动导出到求解器模块，如 FLUENT 或 CFX-Pre，命名选择可用于同尺寸、同类型或同位置的对象。命名选择也可从 DM 或其他 CAD 系统中导入。

2. 生成及预览网格

导航树中右击【Mesh】，出现快捷菜单，在一个物体上右击鼠标，则对所选择的体可直接进行网格划分。

【Generate Mesh】生成整体网格，预览表面网格【Preview Surface Mesh】只创建表面网格，推荐用于整体网格生成之前检查表面网格质量，这样可以节省大量网格划分的时间，但当使用独立分片四面体网格、多重区域网格或【CutCell】时不能预览表面网格。使用直接网格方法时，因为它会删除已存在的体网格来计算面网格，所以也不推荐使用，此时，对所选体生成网格可以更好地查看表面网格，如图 3-31 所示。

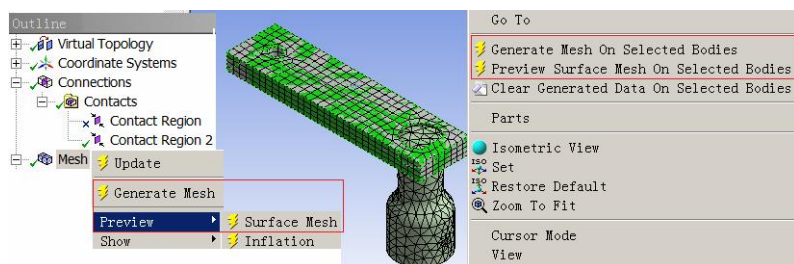


图 3-31 生成及预览网格



在预览表面表格之后，可以导出表面网格到其他的模块，如 Tgrid，在其他模块中生成体网格。

3. 剖面【Section Plane】

剖面用于显示网格划分的内部单元，设置剖面后，可显示剖面任一侧的单元，关闭或删除剖面，则显示整体单元。支持多个剖面，对大模型，最后切换到导航树下的几何模式创建剖面，然后返回到网格模型，如图 3-32 所示。

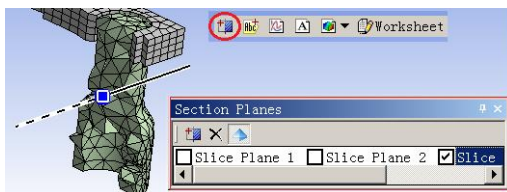


图 3-32 剖面显示网格

3.2.8 检查网格质量

一个好的网格非常重要，可以在求解过程中将误差降低到最小，避免引起数值发散和不正确/不精准的结果。

好的网格应具有足够的网格分辨率、合适的网格分布及好的网格质量。前两项取决于整体网格划分（使用网格划分方法、高级尺寸函数、局部细化等）和针对特定的分析类型所采用的网格策略。另一方面，ANSYS 可以使用不同的网格质量度量标准来量化网格质量，因此拥有高质量标准的网格并非意味着必定是好网格，尽管如此，将显示高质量标准的网格作为必要条件对生成网格是非常重要的。

1. 网格统计与网格质量度量

网格统计显示网格划分的节点和单元信息，网格质量度量标准列表在【Mesh Metric】，选取需要的标准来获取网格质量详情，它将显示最小值、最大值、平均值和标准偏差，参见图 3-33。不同的物理场和求解器，对网格质量的要求不同。ANSYS 13.0 中提供的网格质量度量标准如下：

（1）单元质量【Element Quality】：除了线单元和点单元以外，基于给定单元的体积与边长的比值计算模型中的单元质量因子，该选项提供一个综合的质量度量标准，范围为 0~1，1 代表完美的正方体或正方形，0 代表单元体积为零或负值。

（2）纵横比【Aspect Ratio】：纵横比对单元的三角形或四边形顶点计算长宽比，参见图 3-33，理想单元的纵横比为 1，对于小边界、弯曲形体、细薄特性和尖角等，生成的网格中会有一些边远远长于另外一些边。结构分析应小于 20，如四边形单元警告限值为 20，错误限值为 1E6。

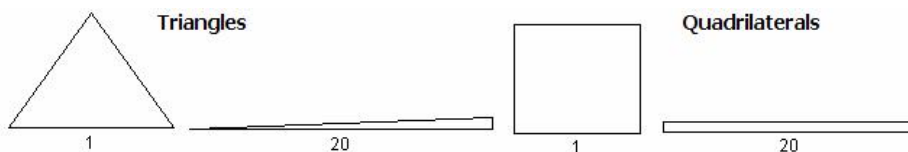


图 3-33 纵横比检验

（3）雅可比率【Jacobian Ratio】：除了线性的三角形及四面体单元，或者完全对中的中间节点的单元以外，雅可比率计算所有其他单元，高雅可比率代表单元空间与真实空间的映射极度失真，参见图 3-34。

雅可比率检查同样大小尺寸下，二次单元比线性单元更能精确地匹配弯曲几何体。单元边界上的中边节点被放置在模型的真实几何体上。在尖劈或弯曲边界，将中边节点放在真实几何体上则会导致产生边缘相互叠加的扭曲单元。一个极端扭曲单元的雅可比行列式是负的，而具有负雅可比行列式的单元则会导致分析程序终止。所有中边节点均精确位于直边中点的

正四面体的雅可比率为 1.0。随着边缘曲率的增加，雅可比率也随之增大。单元内一点的雅可比率是单元在该点处的扭曲程度的度量，雅可比率小于等于 40 是可以接受的。

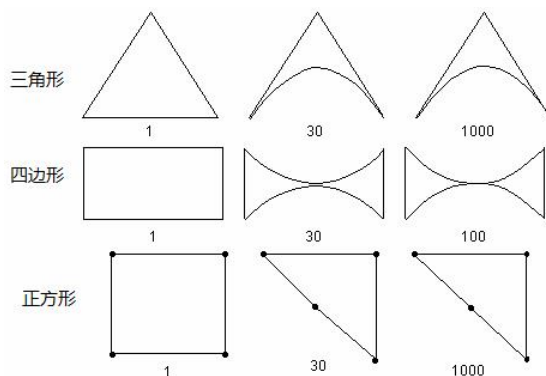


图 3-34 雅可比率检验

(4) 翘曲因子【Warping Factor】: 对某些四边形壳单元及六面体、棱柱、楔形体的四边形面计算，参见图 3-35，高翘曲因子暗示程序无法很好地处理单元算法或提示网格质量有缺陷。

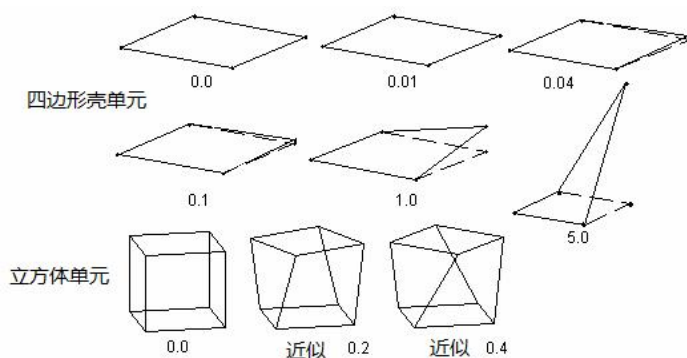


图 3-35 翘曲因子检验

理想的无翘曲平四边形值为 0，对薄膜壳单元的错误限值为 0.1，对大多数壳单元的错误限值为 1，但 Shell181 允许承受更高翘曲，翘曲因子的峰值可达 7，对这类单元，翘曲因子为 5 时，程序给出警告信息。一个单位正方体的面产生 22.5° 及 45° 的相对扭曲，相当于产生的扭曲因子分别为 0.2 及 0.4。

(5) 平行偏差【Parallel Deviation】: 以单元边构造单位矢量，对每对对立边，点乘单位矢量，对点乘结果取反余弦得到平行偏差角度，如图 3-36 所示。理想值为 0° ，无中间节点的四边形的警告限值为 70° ，如超过 150° ，则给出错误信息。

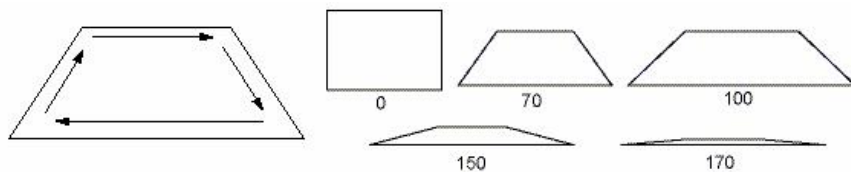


图 3-36 平行偏差检验

(6) 最大顶角【Maximum Corner Angle】: 除了 Emag 或 FLOTRAN 单元, 其他所有单元都计算最大顶角, 如无中间节点的四边形单元该项警告限值为 155° , 而其错误限值为 179.9° , 理想三角形最大顶角为 60° , 四边形最大顶角为 90° , 参见图 3-37。

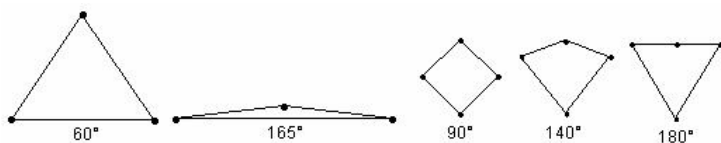


图 3-37 最大顶角检验

(7) 倾斜度【Skewness】: 倾斜度是基本的单元质量检测标准之一, 倾斜度确定如何接近理想形状(等边或等角)最优值为 0, 最差值为 1, 见图 3-38。表 3-4 给出倾斜度的单元质量评估范围。

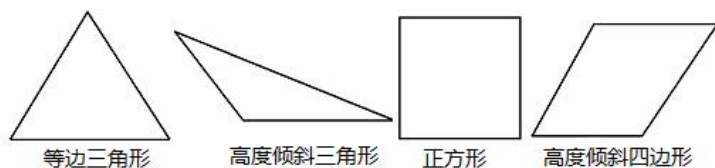


图 3-38 倾斜度检验

表 3-4 倾斜度质量评估

单元质量	等边	优秀	好	中等可接受	次等	坏(狭条)	退化
倾斜度	0	$>0 \sim 0.25$	$0.25 \sim 0.5$	$0.5 \sim 0.75$	$0.75 \sim 0.9$	$0.9 \sim <1$	1

(8) 正交质量【Orthogonal Quality】: 正交质量对单元采用面法向矢量、从单元中心指向每个相邻单元中心的矢量, 以及从单元中心指向每个面的矢量计算。对面采用边的法向矢量, 以及从面中心到每个边中心的矢量计算, 见图 3-39。变化范围为 $0 \sim 1$, 最优值为 1, 最差值为 0。

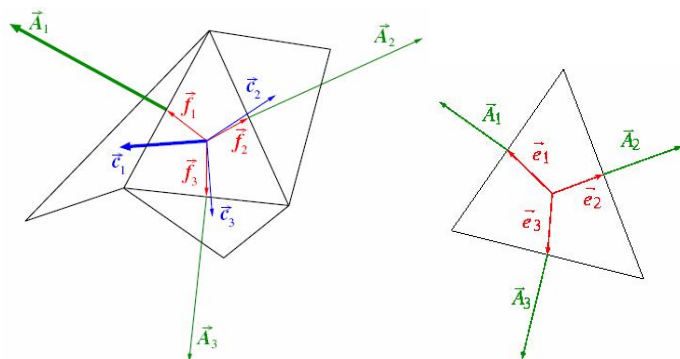


图 3-39 正交质量计算矢量



在导航树中单击零件或体, 可在零件或体上显示网格统计。

Fluent 与 CFX 对网格质量的要求不同,这是由于两种模式的求解结构不同,Fluent 使用单元中心格式,流体流动变量位于计算单元的中心,网格单元和计算单元是一致的,而 CFX 使用节点中心格式,流体流动变量位于单元节点,求解单元或控制体积是“双重”网格单元,这意味着网格单元的节点是求解单元的中心。

对 Fluent 的网格质量建议:不推荐采用低正交质量或高倾斜率,应保证最小正交质量大于 0.1 或最大倾斜度小于 0.95,这些值取决于物理场和单元所在位置。如果网格包含不好的单元,Fluent 会报告负的单元体积,网格质量评估如表 3-5 所示。

表 3-5 Fluent 网格质量评估

	优秀	很好	好	可接受	坏	无法接受
倾斜度评估	0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.8	0.8~0.94	0.94~0.97	0.98~1
正交质量评估	0.95~1	0.7~0.95	0.2~0.69	0.1~0.2	0.001~0.1	0~0.001

对 CFX 的网格质量建议:CFX 求解器在开始运行时计算网格正交角度、纵横比和膨胀因子这 3 个重要的网格质量度量指标,每次网格变形后进行更新。

网格正交角度应大于 20,纵横比测量一个控制体如何被拉伸,应小于 100,与 CFX Post 的边长比相似。膨胀因子测量节点位置与对应控制体中心的不匹配度,网格膨胀因子约为节点周围的最大单元体积与最小单元体积之比,应小于 20,基本上等同于 CFD Post 的单元体积比。

2. 网格质量检查图表

网格质量检查图表显示单元质量分布,不同的单元类型用不同的颜色来显示,可以通过单击菜单栏上的  Metric Graph 图标访问,在图表中单击需要的直方柱可显示相关的单元,如图 3-40 所示。

直方图分布由 Controls 按钮控制,Y 轴上的单元可以通过两种方法显示,分别为单元数量和体积/面积的百分比。图表中可以改变轴的范围及选择需要的单元类型进行显示,如图 3-41 所示。

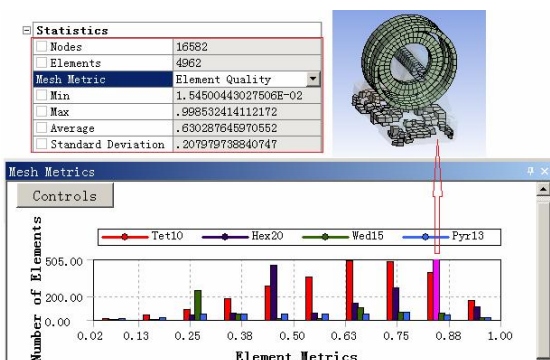


图 3-40 网格统计及质量检查图表

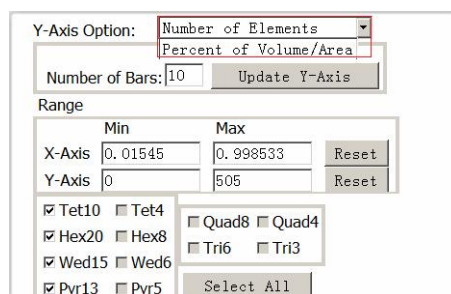


图 3-41 网格质量检查图表控制选项

3.3 网格划分控制案例——转动曲柄装配体

1. 导入 CAD 几何模型,见图 3-42

(1) 打开 Workbench 程序,设置工作单位:【Units】→【Metric(kg,mm,s...)]。

- (2) 工具箱组件系统中将【Mesh】拖入项目流程图【Project Schematic】。
- (3) 导入 CAD 几何模型：【Geometry】单元格上右击鼠标，选择【Import Geometry】→【Browse】，查找文件 crank-assy.sat。
- (4) 组件默认名称 mesh 处双击鼠标，重新命名为 crank。
- (5) 保存项目文件：工具栏中单击【Save】按钮，保存文件为 meshing.wbpj。

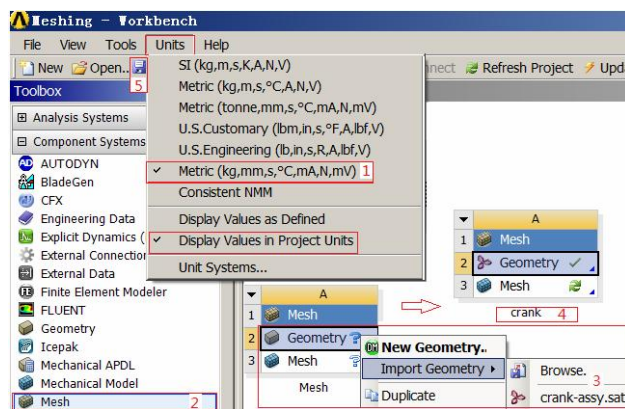


图 3-42 导入 CAD 几何模型

- (6) 双击【Geometry】单元格，进入 DM 建模程序，选择【Meter】单位，单击【OK】按钮。
- (7) 工具栏单击生成图标【Generate】。
- (8) 生成 CAD 模型，如图 3-43，导航树中显示【Import1】及 3 个零件的装配体【3 Parts, 3 Bodies】，图形区显示模型。

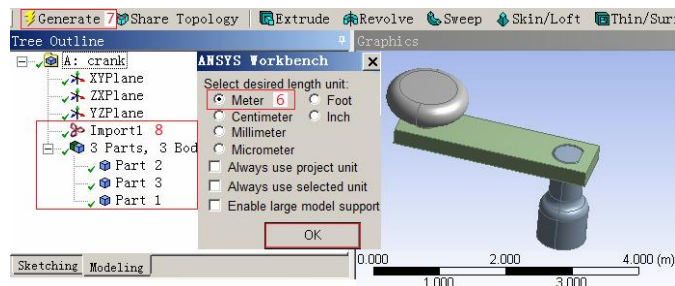


图 3-43 DM 中生成导入的 CAD 几何模型

- (9) 切换到 Workbench 项目流程图界面，双击【Mesh】单元格，进入网格划分程序。

2. 设置手柄网格尺寸，见图 3-44

- (1) 导航树中选择【Mesh】，右击鼠标，快捷菜单中选择【Generate Mesh】，程序选择自动网格尺寸划分生成网格，显示在图形区。
- (2) 导航树下展开【Model】→【Geometry】，选择【Part2】，右击鼠标，选择【Hide All Other Bodies】隐藏所有其他的体而仅显示手柄。
- (3) 工具栏单击选体按钮，图形区选择手柄。
- (4) 工具栏中选择网格尺寸控制命令：【Mesh Control】→【Sizing】。

(5) 明细窗口中, 单击【Apply】选中 1 个实体, 【Geometry】=1 Body, 设置单元大小: 【Element Size】=0.1m。

(6) 【Mesh】下面增加了【Body Sizing】, 选择【Mesh】, 右击鼠标, 快捷菜单中选择【Generate Mesh】重新生成网格。

(7) 图形区显示网格划分的结果。

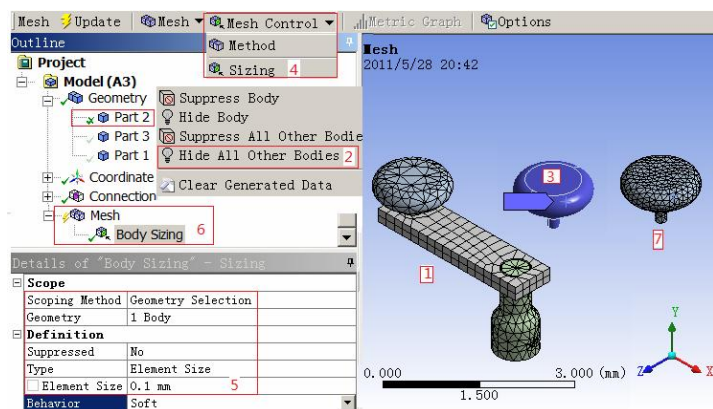


图 3-44 设置手柄网格尺寸

3. 对手柄进行多重区域网格划分, 见图 3-45

(1) 选择网格控制方法: 【Mesh Control】→【Method】。

(2) 控制属性中确认 1 个实体选中: 【Geometry】=1 Body; 设置多重区域网格划分方法: 【Method】=Multizone, 【Mapped Mesh Type】=Hexa/Prism, 【Free Mesh Type】=Hexa Core。

(3) 生成网格, 导航树中选择【Mesh】, 鼠标右键选择【Generate Mesh】, 生成的网格如图 3-45 所示。

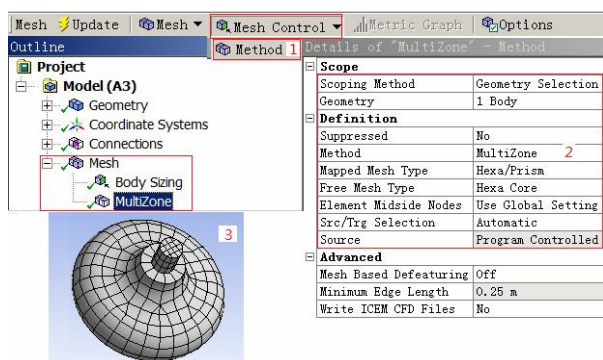


图 3-45 手柄多重区域网格划分

4. 设置连接板尺寸, 见图 3-46

(1) 导航树下展开【Model】→【Geometry】, 选择【Part1】, 右击鼠标, 选择【Hide All Other Bodies】隐藏所有其他的体而仅显示连接板。

(2) 选择网格尺寸控制命令: 【Mesh Control】→【Sizing】。

(3) 图形窗口选择连接板表面, 明细窗口中确认 1 个面选中: 【Geometry】=1 Face, 设

置单元边长:【Element Size】=0.1m, 导航树下有【Face Sizing】项。

(4) 同样, 插入边尺寸控制:【Mesh Control】→【Sizing】, 图形窗口选择连接板边, 明细窗口中确认 1 条边选中:【Geometry】=1 Edge, 导航树下有【Edge Sizing】项。

(5) 设置单元份数:【Type】=Number of Divisions,【Number of Divisions】=4。

(6) 导航树中选择【Mesh】, 鼠标右键选择【Generate Mesh】, 生成的网格如图 3-46 所示。

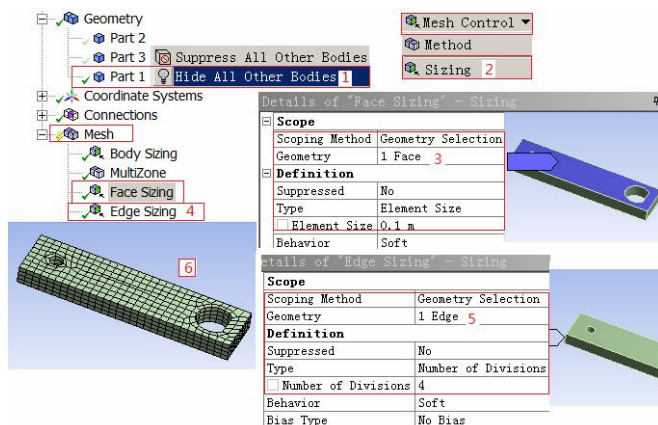


图 3-46 设置连接板单元大小

5. 销轴顶面生成虚拟单元, 见图 3-47

(1) 显示销轴: 导航树中选择【Part3】, 右击鼠标, 先选择【Show All Bodies】, 再选择【Hide All Other Bodies】。

(2) 导航树选择【Model】。

(3) 工具条中选择虚拟拓扑工具【Virtual Topology】。

(4) 图形区选择销轴顶部连续 3 个面, 用选择的面生成虚拟单元: 导航树选择【Virtual Topology】, 工具栏上选择【Virtual Cell】。

(5) 图形区显示 3 个面构成一个红色的虚拟面。

(6) 生成网格: 导航树中选择【Mesh】, 鼠标右键选择【Generate Mesh】。

(7) 销轴网格划分如图 3-47 所示的四面体网格。

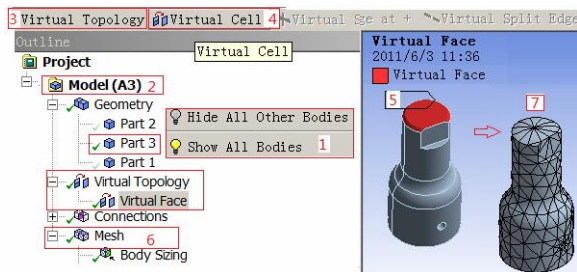


图 3-47 销轴顶面生成虚拟单元

6. 销轴顶部生成局部坐标系, 见图 3-48

(1) 导航树中选择坐标系【Coordinate Systems】。

(2) 工具条中选择创建坐标系【Coordinate Systems】。

- (3) 图形区选择圆柱面，新坐标系原点将定位到选择面中心。
- (4) 确认局部坐标系原点：明细窗口【Origin】下面的【Geometry】中单击 Apply。
- (5) 导航树中生成新的局部坐标系统，默认名称【Coordinate System】。

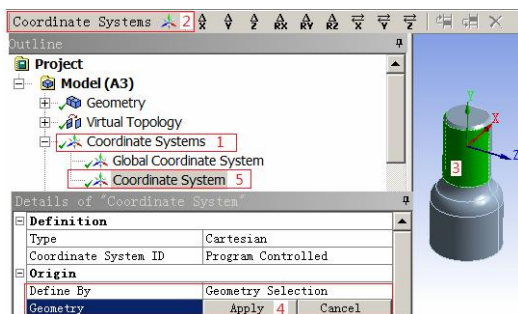


图 3-48 销轴顶部生成局部坐标系

7. 销轴局部球形区域网格划分，见图 3-49

- (1) 选择网格尺寸控制命令：【Mesh Control】→【Sizing】，导航树出现【Body Sizing2】。
- (2) 图形窗口选择销轴实体，尺寸控制属性中确认 1 个实体选中：【Geometry】=1 Body；设置网格划分为球形区域：【Type】=Sphere of Influence，设置球形区域中心为局部坐标：【Sphere Center】=Coordinate System，设置球形区域半径：【Sphere Radius】=0.5m，设置球形区域内网格划分的单元边长：【Element Size】=0.06m。
- (3) 图形区显示球形区域对销轴的影响范围。
- (4) 导航树中选择【Mesh】，右击鼠标，选择【Generate Mesh】生成局部加密网格。
- (5) 图形区显示销轴与球形区域相交处网格加密。

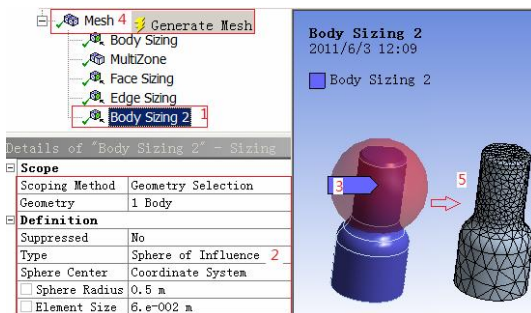


图 3-49 销轴局部球形区域网格划分

8. 生成映射面网格，见图 3-50

- (1) 选择网格划分方法：【Mesh Control】→【Mapped Face Meshing】。
- (2) 按住 Ctrl 键，图形区选择 4 个表面。
- (3) 确认 4 个面选中：明细窗口【Geometry】中单击 Apply。
- (4) 生成网格，导航树中选择【Mesh】，鼠标右键选择【Generate Mesh】。
- (5) 网格划分如图 3-50 所示，外表面为映射面网格。

9. 局部细化网格，见图 3-51

- (1) 选择网格划分方法：【Mesh Control】→【Refinement】，导航树中出现【Refinement】。

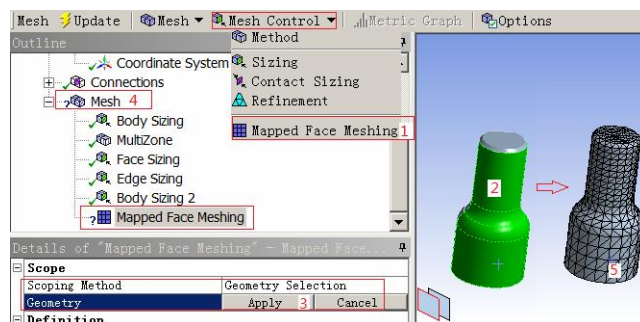


图 3-50 生成映射面网格

(2) 按住 Ctrl 键，图形区选择 2 个内孔表面。

(3) 明细窗口【Geometry】中单击 Apply，确认 2 个面选中：【Geometry】=2 Faces，默认为 1 级细化网格。

(4) 导航树中选择【Mesh】，鼠标右键选择【Generate Mesh】生成网格。

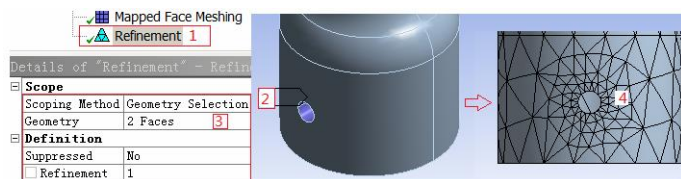


图 3-51 局部细化网格

10. 生成接触面网格，见图 3-52

(1) 显示所有实体：右击鼠标，快捷菜单中选择【Show All Bodies】，网格划分工具栏中选择【Mesh Control】→【Contact Sizing】，设置接触控制。

(2) 明细窗口中选择销轴与连接板接触区：【Contact Region】= Contact Region 2。设置单元大小：【Type】=Element Size，【Element Size】=0.05m。

(3) 图形区显示指定的接触区。

(4) 生成网格，导航树中选择【Mesh】，右击鼠标，选择【Generate Mesh】。

(5) 网格划分如图 3-52 所示，接触区网格加密。在文件【File】菜单下选择【Save Project】，保存项目文件。

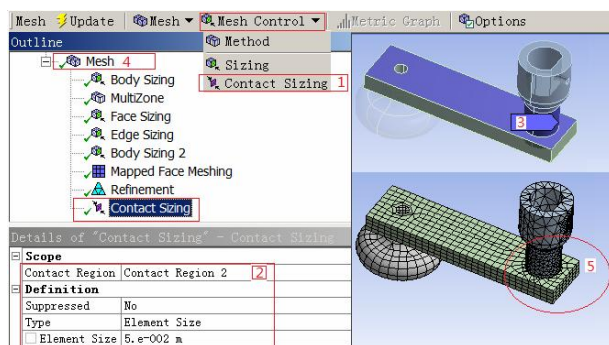


图 3-52 生成接触面网格

3.4 多体零件共享拓扑及匹配网格划分案例

该案例比较多体零件中共享拓扑【Shared Topology】的三种方法，【Automatic】自动方法，在交界面合并节点，即节点匹配而不产生接触，【Imprints】印记面方法，限定交界面的接触区域，因此提供更好的接触行为的控制，【None】不设定方法，和以前的版本一样产生接触行为。案例演示如下：

- (1) 调入【Mesh】网格划分组件到项目流程图中。
- (2) 如图 3-53 所示，创建多体零件。

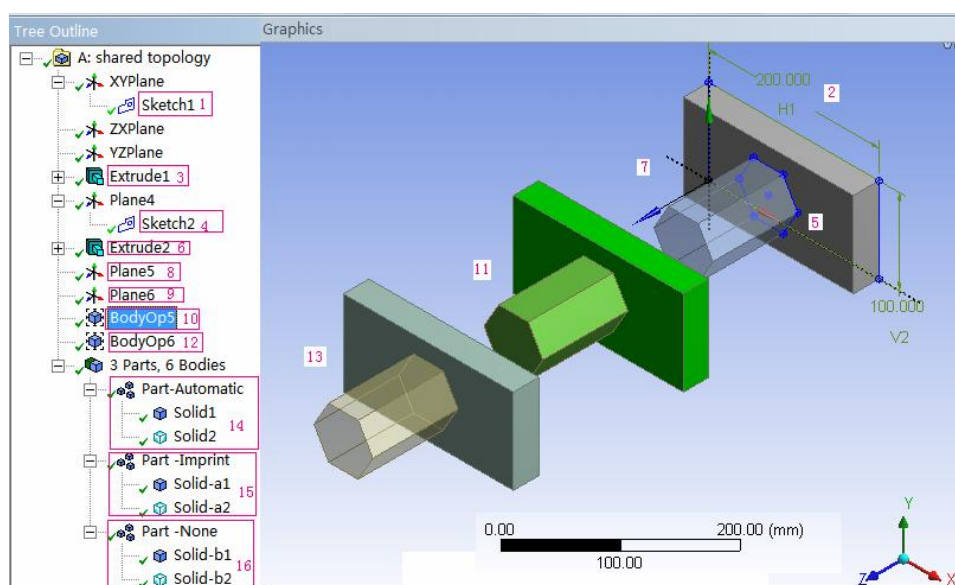


图 3-53 创建多体零件

- 1) 双击【Geometry】单元格进入 DM，选择 mm 单位，DM 中【XYPlane】创建草图 1【Sketch1】。
- 2) 草图为 200mm×100mm 四边形，如图 3-53 所示。
- 3) 从草图 1 创建拉伸特征【Extrude1】，拉伸长度 30mm。
- 4) 选中长方体表面创建工作面【Plane4】，创建草图 2【Sketch2】。
- 5) 草图为六边形，相对居中如图 3-53 所示。
- 6) 从草图 2 创建拉伸特征【Extrude2】，拉伸长度 100mm。
- 7) 拉伸特征设置为冰冻体，图形区生成 2 个实体。
- 8) 【XYPlane】沿 Z 方向平移 200mm，创建新平面【Plane5】。
- 9) 【XYPlane】沿 Z 方向平移 400mm，创建新平面【Plane6】。
- 10) 创建体操作特征【BodyOp5】，将原来 2 个实体从平面【XYPlane】移动到新平面【Plane5】，并保留原实体。
- 11) 图中显示新复制的 2 个实体，图形区共有 4 个实体。
- 12) 创建体操作特征【BodyOp6】，将原来 2 个实体从平面【XYPlane】移动到新平面【Plane6】，并保留原实体。

13) 图 3-53 中显示新复制的 2 个实体, 图形区共有 6 个实体。

14) 用生成多体零件命令【Form New Parts】将原实体【Solid1】和【Solid2】组成新多体零件, 采用自动方法并改名为【Part-Automatic】。

15) 用生成多体零件命令【Form New Parts】将实体【Solid-a1】和【Solid-a2】组成新多体零件, 采用印记面方法并改名为【Part-Imprint】。

16) 用生成多体零件命令【Form New Parts】将实体【Solid-b1】和【Solid-b2】组成新多体零件, 采用不设置方法并改名为【Part-None】。

(3) 项目流程图中双击【Mesh】单元格, 进入【Meshing】网格划分环境, 生成的网格如图 3-54 所示。

- 1) 导航树【Geometry】下显示 3 个多体零件。
- 2) 查看接触关系并改名接触对, 选择【Connections】→【Contact Region-imprint】。
- 3) 详细信息显示有接触面的实体为【Solid-a1】和【Solid-a2】。
- 4) 图形区显示印记面的多体零件接触区域是完全匹配面。
- 5) 查看接触关系并改名接触对, 选择【Connections】→【Contact Region-none】。
- 6) 图形区显示不设置的多体零件接触区域是非匹配面。
- 7) 生成默认网格【Mesh】→【Generate Mesh】。
- 8) 自动多体零件网格在交界面节点处匹配, 生成六面体和四面体网格。
- 9) 印记面多体零件网格在交界面节点处不匹配, 生成六面体和四面体网格。
- 10) 不设置多体零件网格在交界面节点处不匹配, 生成六面体网格。

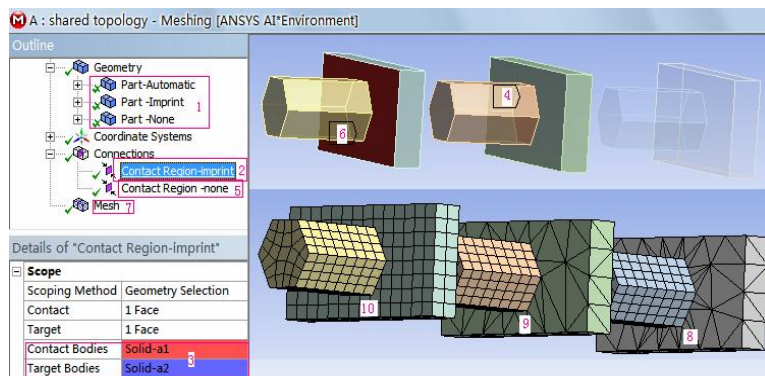


图 3-54 生成网格

在独立分片算法【Patch Independent】中, 可以设置交界面处节点是否匹配选项【Match Mesh Where Possible】, 对模拟接触行为而言, 由于接触表面节点不匹配时, 会产生初始穿透, 因此设置节点匹配选项可以防止不必要的初始接触行为。选择交界面处节点匹配根据需求, 如果是较大的模型, 可以将相似实体构成多体零件, 采用印记面或接触行为, 如果采用其他的网格控制方法以及严格限定接触区域应选择印记面接触, 这样在接触面上允许精细网格而其他区域为粗网格。

(4) 显式动力分析环境节点匹配的网格划分, 如图 3-55 所示。

- 1) 接上例, 选择【Mesh】。
- 2) 物理环境设置为显式动力分析【Physics Preference】=Explicit。

- 3) 网格划分自动采用独立分片算法【Patch Independent】。
- 4) 选择所有实体【Geometry】=6 Bodies。
- 5) 设置单元尺寸【Advanced】→【Min Size Limit】=10mm。
- 6) 节点匹配网格【Advanced】→【Match Mesh Where Possible】=Yes。
- 7) 图形区中 3 个多体零件的实体交界面处节点匹配，且均为四面体网格，如图 3-55 所示。

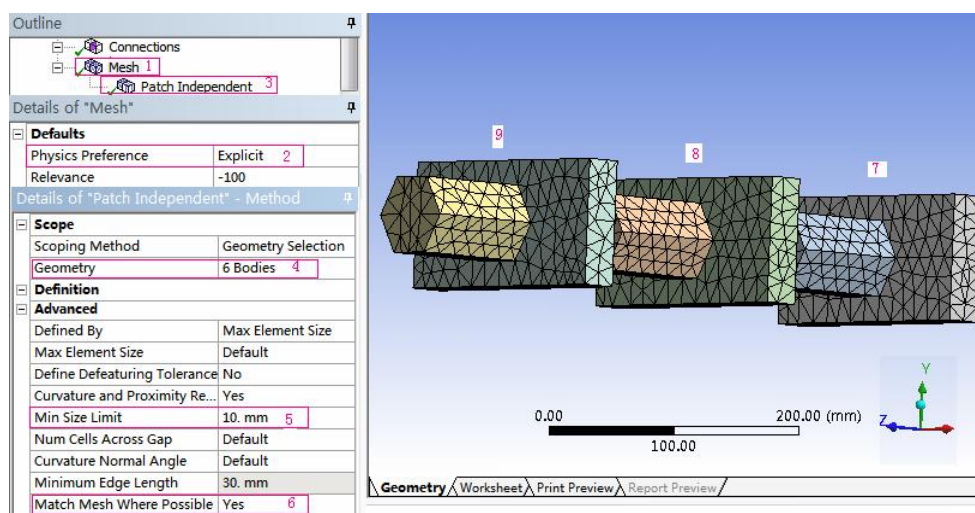


图 3-55 显式动力环境节点匹配网格划分



由于显式动力分析中多数为接触问题，因此上例中设置为显式动力分析环境，对结构分析中，如果考虑接触问题，需要避免初始穿透时也可以采用网格匹配选项，读者可自行验证。

3.5 装配体薄层扫掠网格划分案例

薄层扫掠【Thin Sweep】对薄层实体允许沿厚度方向分层进行扫掠，对多体零件，沿厚度方向仅划分一层单元，对装配体沿厚度方向则可以划分多层单元。选择扫掠网格划分方法【Sweep】后，可以设置自动薄层扫掠【Automatic Thin】或手动薄层扫掠【Manual Thin】，设置沿厚度方向的分割数。

前面的案例对几何模型 MidSurfaceBracket.agdb 抽取中面，可以划分面网格，下面对该模型进行薄层扫掠，操作过程如下：

1. 导入几何模型

(1) 将【Mesh】组件调入项目流程图。

(2) 在【Geometry】单元格上右击鼠标，选择【Import Geometry】导入几何文件 MidSurfaceBracket.agdb。

(3) 双击【Geometry】单元格进入 DM，选择 mm 单位，单击【Generate】生成模型。

2. 处理模型，将模型分割为可以扫掠的实体

- (1) 选择【Tools】→【Freeze】创建冻结特征【Freeze1】。
- (2) 选择【Create】→【Slice】创建切片特征【Slice1】。
- (3) 明细窗口设置【Slice Type】=Slice By Edge Loop。
- (4) 图形区 16 条选择封闭的分割边，在明细窗口单击【Apply】确认。
- (5) 工具栏中单击【Generate】，生成实体切片的结果如图 3-56 所示，原先的 2 个实体变成 3 个实体。

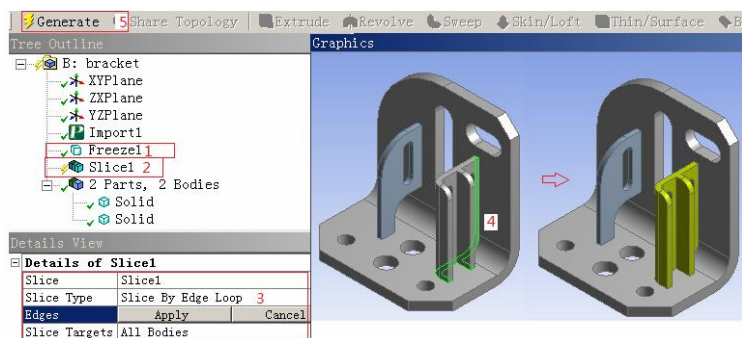


图 3-56 用封闭边对实体切片

- (6) 同样，选择【Create】→【Slice】，创建切片特征【Slice2】。
- (7) 明细窗口设置【Slice Type】=Slice by Surface。
- (8) 图形区选择分割的表面，在明细窗口单击【Apply】确认，【Slice Targets】=Selected Bodies，图形区选项要分割的体（青色），单击【Apply】确定，则【Bodies】=1。
- (9) 工具栏中单击【Generate】，生成实体切片的结果如图 3-57 所示，原先的 3 个实体变成 5 个实体。

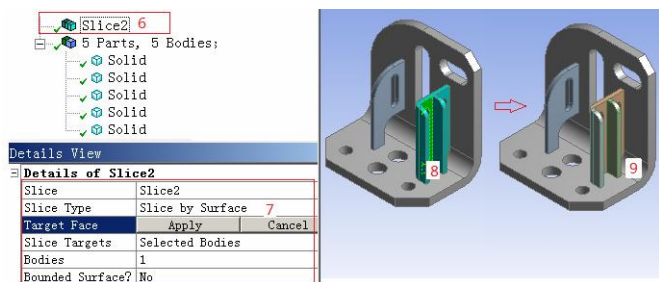


图 3-57 用表面切割实体

- (10) 选择【Create】→【Boolean】，创建布尔操作【Boolean1】。
- (11) 明细窗口设置【Operation】=Unite，选择图中要合并的 2 个实体，单击【Apply】确定，使【Tool Bodies】=2 Bodies。
- (12) 工具栏中单击【Generate】，合并实体结果如图 3-58 所示，原先的 5 个实体变成 4 个实体。

3. 装配体薄层扫掠网格

- (1) 切换到项目流程图中，双击【Mesh】单元格进入网格划分程序，导航树中选择【Mesh】。

(2) 明细窗口设置整体单元大小【Element Size】=1mm。

(3) 对大的底座实体设置 2 层自动薄层扫掠【Sweep Method】：插入【Mesh Control】→【Method】。

(4) 选中底座实体，明细窗口设置【Geometry】=1 Body，【Method】=Sweep，【Src/Trg Selection】=Automatic Thin，【Sweep Num Divs】=2。

(5) 同样，对其余 3 个小的薄层实体，设置 1 层自动薄层扫掠【Sweep Method 2】：插入【Mesh Control】→【Method】，选中 3 个小实体，明细窗口设置【Geometry】=3 Bodies，【Method】=Sweep，【Src/Trg Selection】=Automatic Thin，【Sweep Num Divs】=1。

(6) 工具栏中单击【Generate】，薄层扫掠结果如图 3-59 所示。

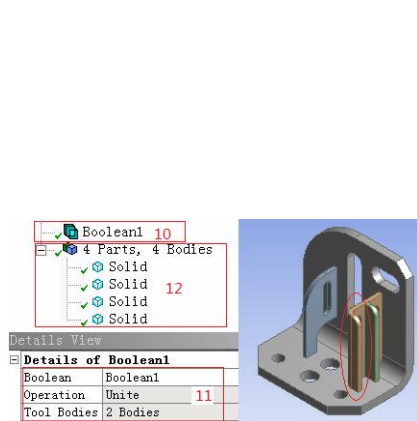


图 3-58 合并实体

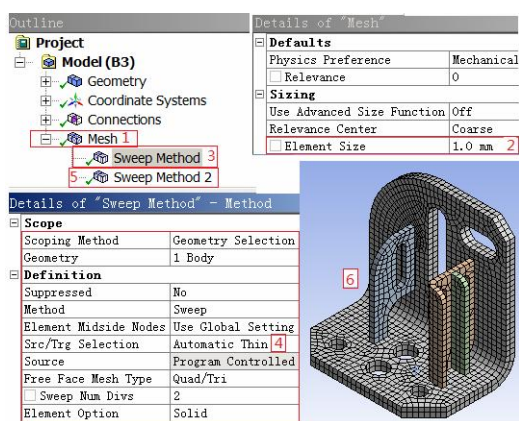


图 3-59 装配体薄层扫掠



该模型也可以合并为多体零件后再进行薄层扫掠，请读者自行测试。

3.6 本章小结

本章介绍了 ANSYS 13.0 的网格划分程序及其工作界面，具体描述了网格划分过程，详细描述了不同的单元类型及各种网格划分控制方法，并给出具体的网格划分案例。通过本章的学习，应能针对不同的物理场环境，对几何模型采用合适的网格控制方法进行网格划分，通过整体网格控制和局部网格控制获得好的网格质量。