



## 3.1 网格介绍

在有限元分析中,几何模型处理好后就需要进行网格划分,网格划分过程就是模型离散化处理的过程。网格划分的好坏直接影响仿真求解的精度和效率。网格划分是所有有限元分析的通用性技术,市面上有许多网格划分工具,网格的形状也有多种选择。一个有经验的仿真工程师会根据求解问题对模型进行合理分割,选择合理的网格单元和网格划分工具划分出疏密得当的网格。网格划分是一个选择和取舍的过程,从这个意义上讲,网格划分不仅是一种技术,更是一门艺术。

ANSYS Workbench 平台下有多种网格划分工具可供选择,例如 ICEM CFD、TurboGrid、ANSYS Meshing、Fluent Meshing,这些网格划分工具除了 ANSYS Meshing 是 ANSYS 原有的网格划分工具外,其余均是收购软件自带的,它们有些是通用网格划分工具,有些只适用于特定领域。近年来 ANSYS 公司重点发展 ANSYS Meshing 和 Fluent Meshing,前者适合结构有限元和多物理场问题的网格划分,后者适合划分流体网格。本书重点讲解 ANSYS Meshing,但会通过一个具体实例对 Fluent Meshing 进行简单介绍。

### 3.1.1 网格类型

根据网格单元形状的不同,网格可以分为如图 3.1 所示的四面体网格(a)、六面体网格(b)、棱锥(c)、棱柱(d)、多面体网格(e)及平面三角形和四边形网格,一些软件还有多面体网格。ANSYS 的网格类型以四面体和六面体为主,也存在棱柱、楔形(g)等网格类型,主要存在于四面体和六面体网格之间的过渡区域。结构仿真网格以四面体为主,但具备条件时应优先选择六面体网格;流体网格的质量和平滑度对计算结果的精度至关重要,六面体网格是首选,但个别复杂的计算域也经常使用四面体网格。一般认为六面体网格可以在数量更少的情况下获得和四面体网格同样的精度,早期的有限元计算在内存资源十分宝贵的历史条件下,十分推崇六面体网格。随着计算机硬件的发展,内存已经不是计算的瓶颈,为了追求网格划分效率,多数使用者已倾向于使用自动化程度更高的四面体网格。

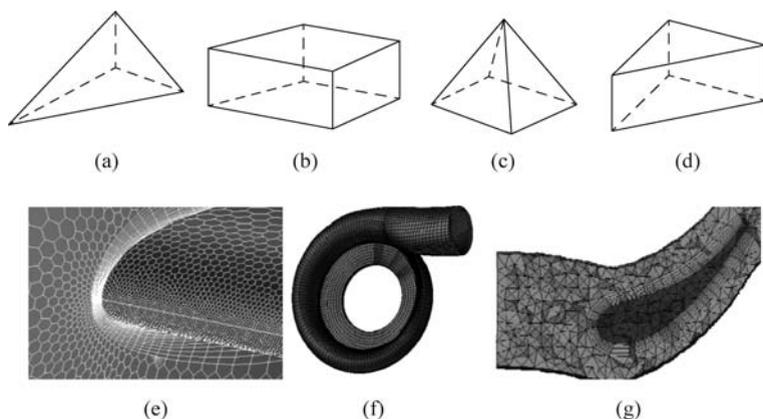


图 3.1 常见网格类型

### 3.1.2 网格质量评价

如图 3.2 所示,这是一个网格疏密如何影响求解结果精度及显示效果的经典案例。模拟超声速中的激波如图 3.3 所示。不合理的网格划分甚至不会出现激波现象,从这两个案例可以看出网格质量对仿真至关重要。

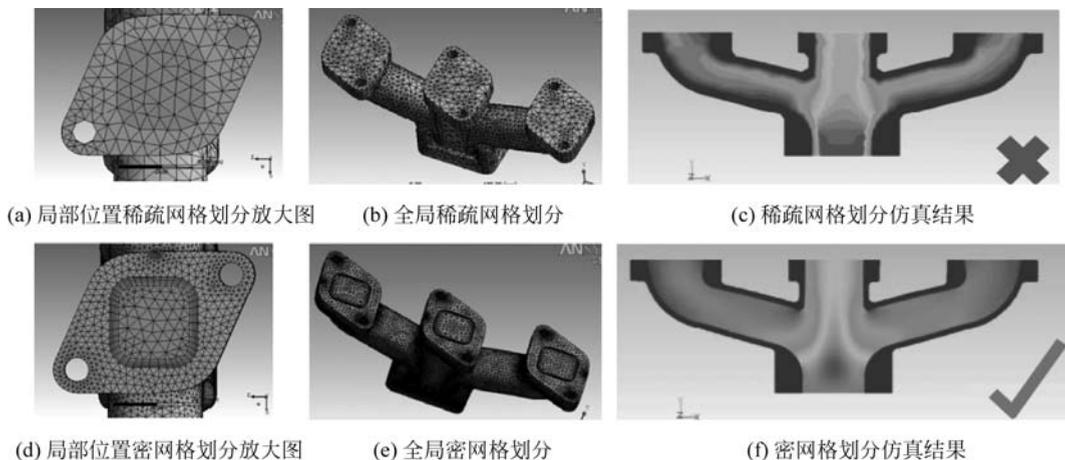


图 3.2 网格疏密对比结果

网格单元数量及划分精细程度直接影响网格的质量,尤其局部网格划分不合理会导致网格畸变,出现局部极值,导致对结构强度做出错误性判断,如图 3.4 所示。为了评价网格质量,需要制定网格质量的判断标准。如图 3.5 所示,ANSYS Meshing 提供了多种网格质量评价标准。对于结构仿真,经常使用单元畸变度 Skewness 评价标准。畸变度是单元对其理想形状的相对扭曲程度的度量,取值范围为 0~1,0 代表极好,1 代表无法接受,网格从

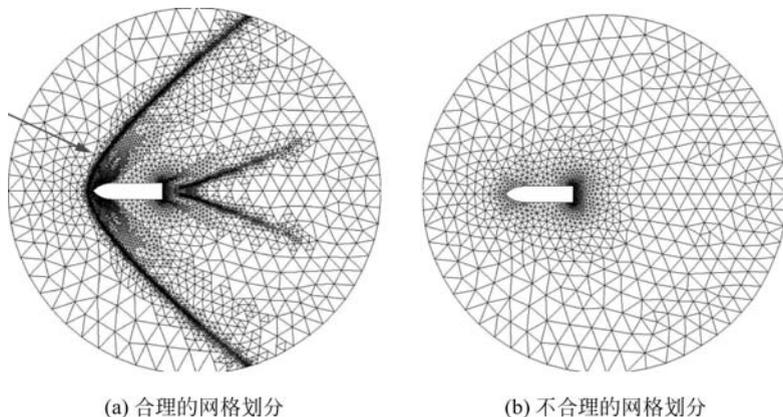


图 3.3 网格划分对激波模拟结果的影响

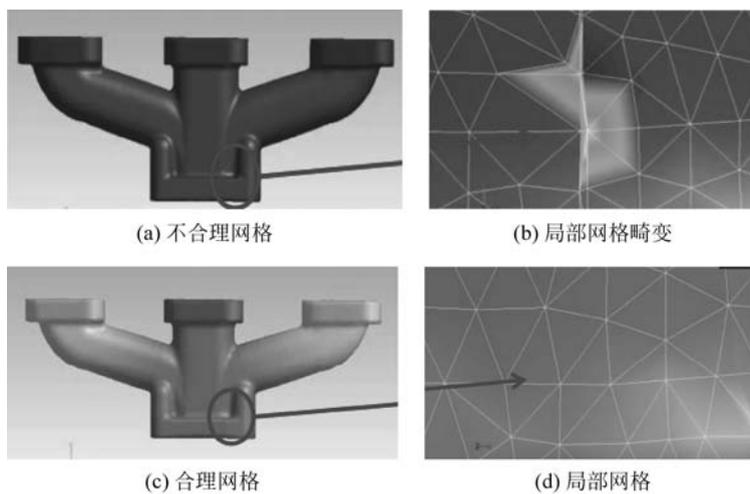


图 3.4 局部特征的网格分辨率

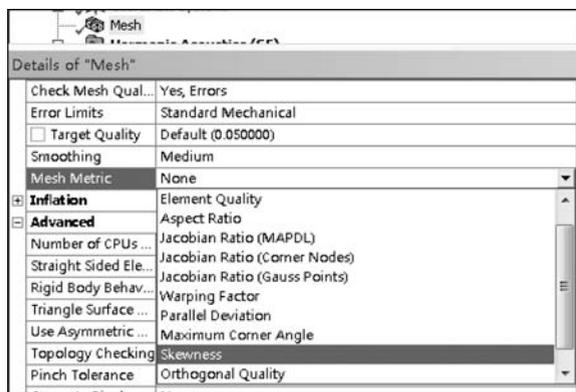


图 3.5 网格评价标准

左到右畸变度依次增大,如图 3.6 所示。



图 3.6 网格畸变

## 3.2 Meshing 网格工具

Meshing 是 ANSYS 旗下重点发展的多物理场网格划分工具,它具有以下特点。

- (1) 参数化: Meshing 网格划分可以通过参数进行驱动及控制。
- (2) 稳定性: 生成的模型随着系统参数的变化可以实时更新,出现假死及崩溃的概率较低。
- (3) 高度自动化: 大部分参数有默认值且有较广泛的适用性,输入少量参数即可完成模型网格的划分工作,对初学者十分友好。
- (4) 灵活性: 根据使用者要求,提供局部参数设置及手动控制选项,在高效自动的前提下不失灵活性。
- (5) 物理场相关: 针对不同的物理问题,有适合不同物理场的默认值和推荐设置。
- (6) 自适应性: 针对模型特点对局部特征及曲率进行分析,提供几何特征自适应网格,保证网格贴体性,最大程度保留模型形状。

### 3.2.1 Meshing 工具界面组成

Meshing 平台要求必须载入几何模型,在 Workbench 的 Component Systems 中双击 Mesh,即可在主界面添加如图 3.7 所示的 Meshing 模块。载入几何模型后,双击 Mesh 单元格便可以打开如图 3.8 所示的 Meshing 平台。

Meshing 平台界面主要有以下几个主要部分:上方的菜单栏和常用工具栏,中间最大的部分是图形操作窗口,左侧为模型树、详细讲解列表窗口,界面最下方是状态栏。

如图 3.9 所示,菜单栏中比较常用的是 File 文件菜单、View 视图菜单和 Units 单位设置菜单。

File 文件菜单中可以使用 Export 将划分好的网格以常用文件格式导出。Clear Generated Data 可以清除已有的网格,重新进行划分。

View 视图菜单中可以设置模型显示选项、界面中的标尺、坐标轴的显示、概念建模的截面显示、工具栏的显示与隐藏、窗口调整后的恢复等。



图 3.7 Meshing 模块

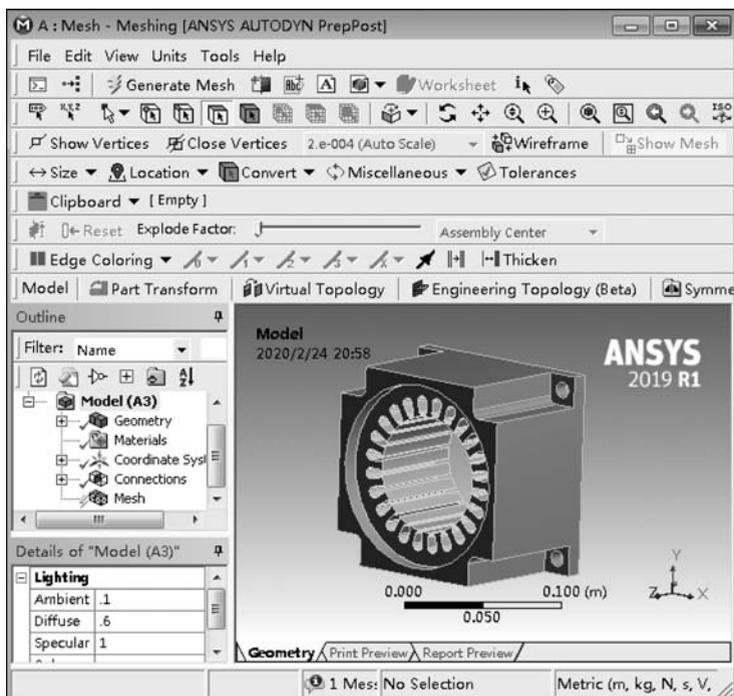


图 3.8 Meshing 界面组成

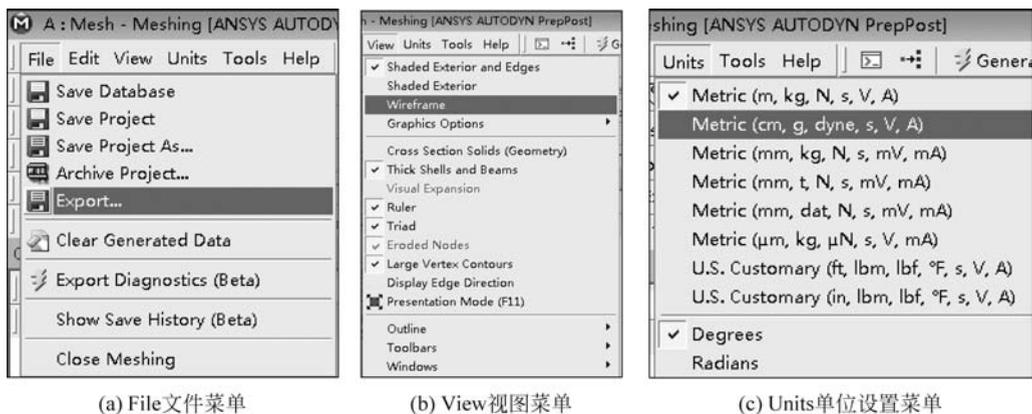


图 3.9 Meshing 常用菜单

在 Units 单位设置菜单中可以选择常用的单位组合。

Tools 工具菜单中最常用的是 Options 选项,其内容如图 3.10 所示。在这里可以设置 Meshing 中的默认行为,如默认网格形状、默认尺寸、默认物理场等。此外还可以在 Number of CPUs for Meshing Methods 中开启并设置多核并行网格划分功能。

工具栏中有常用的视图控制选项及选择选项,如图 3.11 所示,可以在这里控制窗口的

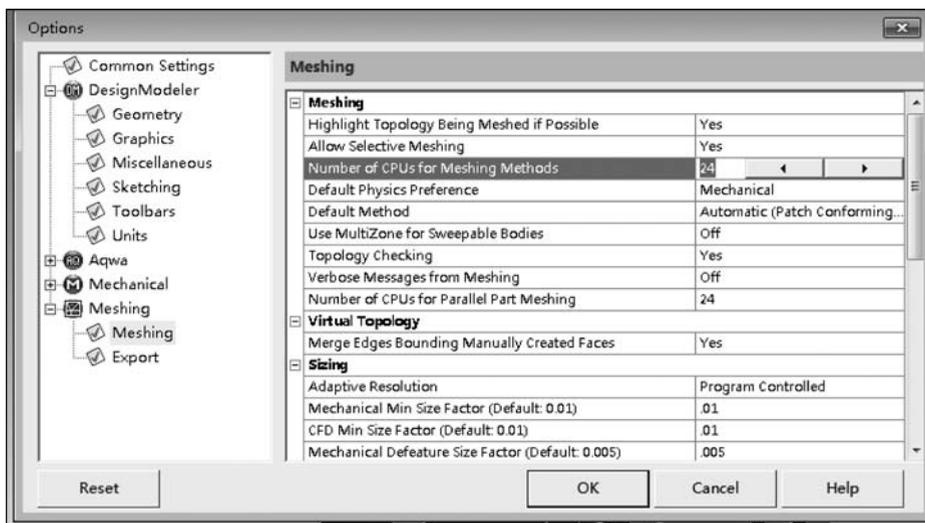


图 3.10 Options 选项

缩放、旋转及点、线、面选择模式的切换。工具栏中的部分选项称为环境工具,它随着在模型树中选择的对象的不同而变化。

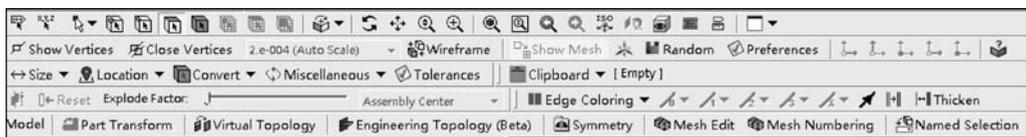


图 3.11 工具栏选项

状态栏主要用于显示一些操作提示,以及当前单位制等信息。

模型树和详细窗口中的选项可以设置网格的类型、全局尺寸、局部尺寸等,这些选项是下面讲解的重点。

### 3.2.2 全局网格参数设置

在进行网格划分时通常遵循先设置全局网格,再设置局部网格的顺序对模型进行网格划分。当单击模型树中的 Mesh 时,会显示如图 3.12 所示的网格全局参数设置选项。在 Physics Preference 中可以设置物理场,如图 3.13 所示,该处提供了结构、流体、电磁及显式动力学等多种物理场。每种物理场的默认单元设置及默认的全局网格尺寸会根据物理场对网格的不同要求而不同。当选择的是 CFD 流场时,下面还会出现求解器选项列表,可以选择 Fluent、CFX 或 Polyflow 求解器。

在 Element Order 中可以设置网格单元的阶次,分为线性单元和二次单元,二者的节点数不同,一般保持默认的程序控制即可,系统会根据不同的物理场对单元阶次的要求自动选择单元阶次。

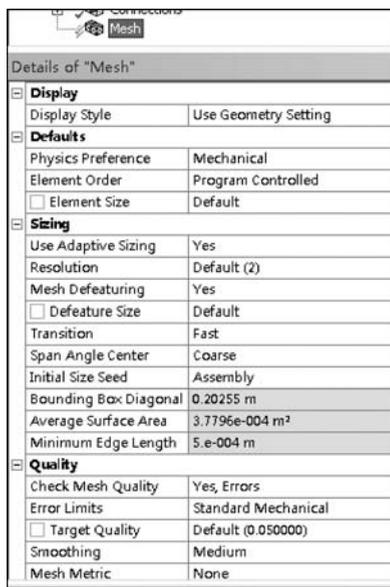


图 3.12 全局网格设置选项图

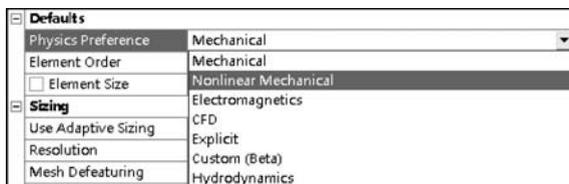


图 3.13 物理场选项

Element Size 中可以设置全局网格尺寸,输入 0 表示利用默认尺寸作为全局尺寸大小,调整该处数值可以改变全局网格尺寸大小。图 3.14 显示了当选择默认网格、5mm 和 2mm 时,网格划分的效果。

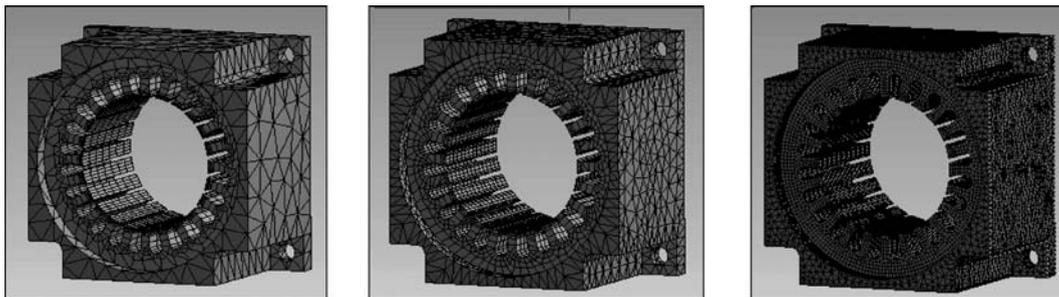


图 3.14 不同单元尺寸的全局网格

在 Sizing 中,Use Adaptive Sizing 和 Resolution 配合使用,Resolution 设置的值越大,网格越密,其取值范围为 1~7。Mesh Defeaturing 用于设置网格划分程序对特征的捕捉程度,当特征小于默认值时会忽略该特征,一般保持默认值即可。Transition 用于设置网格过渡选项,有 Fast 和 Slow 两个选项,它控制相邻网格之间的变化速率及疏密网格之间的过渡平滑程度。Span Angle Center 称为跨角中心,它基于曲率对网格进行细化,在进行网格划分时,在弧形区域内细分网格,保证单元内网格边线夹角不超过设置值,分为 Coarse、Medium、Fine 共 3 个级别。Initial Size Seed 可以将初始网格种子设置为基于 Assembly 装

配体或 Part 零件类型,它决定了单个零件网格设置对其他零件及装配体网格的影响程度,一般保持默认值即可。Sizing 中的其他几个选项只是用来显示信息,其大小取决于其他参数的数值。从这里可以看出,Sizing 中多数网格选项都用于设置网格疏密,它们可以配合使用,从不同角度影响网格尺寸。

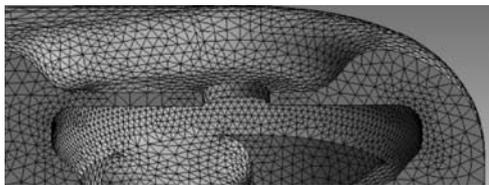
当将 Sizing 中的 Use Adaptive Sizing 设置为 No 时,将出现如图 3.15 所示的几个选项,这也是 CFD 分析中网格的默认选项。Growth Rate 表示相邻网格之间的增长率,一般保持默认值 1.2 即可,Max Size 用于设置最大面网格尺寸,从而间接限制了体网格尺寸。Capture Curvature 可以设置曲率捕捉,打开该选项时会在曲率较大或变化较快处加密网格。Capture Proximity 用于设置邻近元素之间网格的填充数量,其选项如图 3.16 所示,打开该选项的网格划分效果如图 3.17 所示。

Use Adaptive Sizing	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1.2
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (2.0255e-002 m)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (5.0478e-005 m)
Capture Curvature	No
Capture Proximity	No
Size Formulation (Beta)	Program Controlled

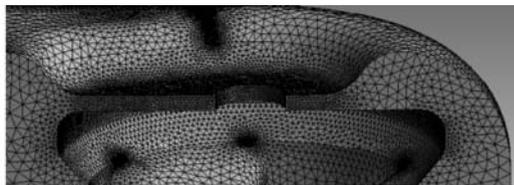
图 3.15 网格选项

Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature Min Size	Default (1.0096e-004 m)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (70.395°)
Capture Proximity	Yes
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (1.0096e-004 m)
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	3
Proximity Size Function Sources	Faces and Edges
Size Formulation (Beta)	Program Controlled

图 3.16 Proximity 选项



(a) 打开前



(b) 打开后

图 3.17 打开 Proximity 选项前后的网格划分效果

如图 3.18 所示,Quality 中可以设置网格质量的一些检查选项,最常使用的是 Smoothing 及 Mesh Metric。Smoothing 用于设置网格之间的平滑程度,平滑度越高,则网格越密,计算误差就越小。Mesh Metric 中可以设置网格质量评价标准,以比较常用的 Skewness 为例,它可以基于单元边或角度与理想的网格边或角度之间的差异作为网格扭曲的计算准则,取值范围为 0~1,越小越接近理想网格,一般建议该值的最大值不应超过 0.8,当网格单元为四面体单元时,可适当放宽至 0.9。当选择了网格评价标准后,在消息窗口中会自动出现网格质量的统计图。如图 3.19 所示,单击某个直方图会显示该直方图范围内的网格位置。选择 Controls 可以对统计图的选项进行详细设置,例如显示扭曲度为 0.9~1 的网格,可以查看哪些位置网格质量较差,然后针对这些位置进行局部网格设置。

Inflation 中可以设置全局膨胀层,例如设置了膨胀层的孔的效果如图 3.20(a)所示。膨胀层是一种棱柱型网格,它的长宽比较大,法向距离逐渐变大。膨胀层可以在法向网格分

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	1.e-002
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	8.7771e-003
<input type="checkbox"/> Max	0.96712
<input type="checkbox"/> Average	0.37653
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0.20341

图 3.18 Quality 选项

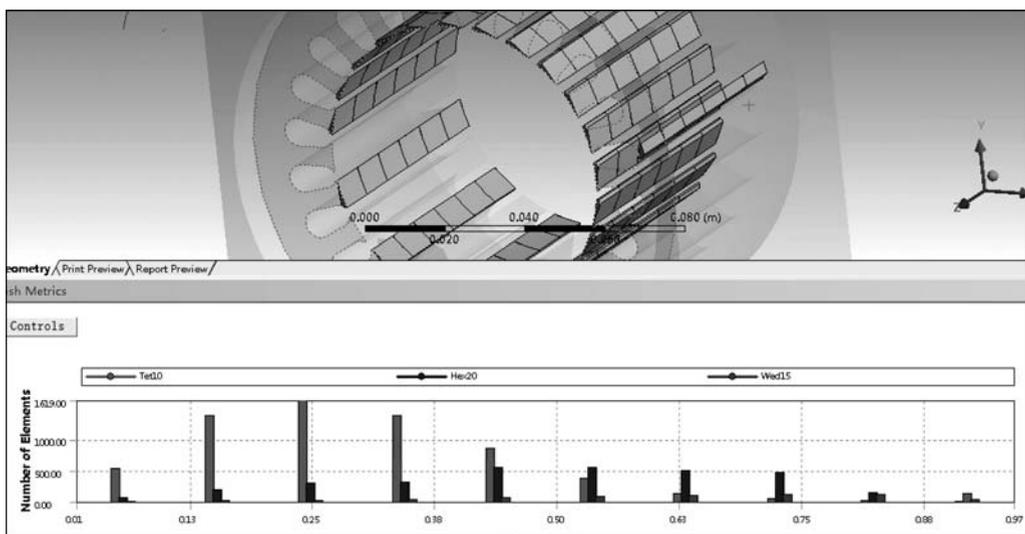
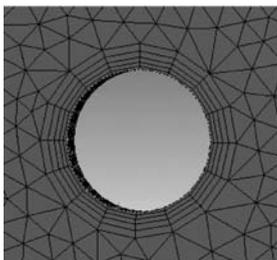


图 3.19 网格质量统计图

分辨率较高且周向网格分辨率要求一般的情况下使用。在涉及流体边界层问题时应用非常普遍。如图 3.20 所示,膨胀层选项有 Smooth Transition、Total Thickness、First Layer Thickness、First Aspect Ratio、Last Aspect Ratio、Growth Rate 等。Smooth Transition 为默认选项,它使用固定的四面体单元尺寸计算每处的初始高度及总高度,使膨胀层内体积变化平滑,膨



(a) 设置了膨胀层的孔的效果

Inflation	
Use Automatic Inflation	All Faces in Chosen Named Selection
Named Selection	holes
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0.272
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No

(b) 膨胀层

图 3.20 膨胀层及其选项

胀层内单元的初始高度随面积变化而变化。其他选项分别控制第一层网格、网格层数、第一层网格长宽比、最后一层网格长宽比等控制膨胀层的网格尺寸及层数。膨胀层推荐在设置局部网格时添加。

如图 3.21 所示,高级选项中可以设置并行网格划分时调用的 CPU 核数,可根据实际物理核数设置该处数值,其他高级选项建议使用系统默认值。Statistics 中会统计当前网格划分中节点数和单元数,有经验的工程师能够根据节点及单元数量估算出仿真总时间。

Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	24
Straight Sided Elements	No
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Use Asymmetric Mapped Mesh (Beta)	No
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Default (1.8e-005 m)
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	715763
<input type="checkbox"/> Elements	351252

图 3.21 高级选项及网格数量统计

### 3.2.3 网格类型设置

当不明确指定网格类型时,系统会针对当前模型自动判断,如果能生成全六面体网格,则生成六面体网格,若不能,则全部按四面体网格处理。如图 3.22 所示,我们可以通过快捷菜单插入 Method 来指定网格类型。

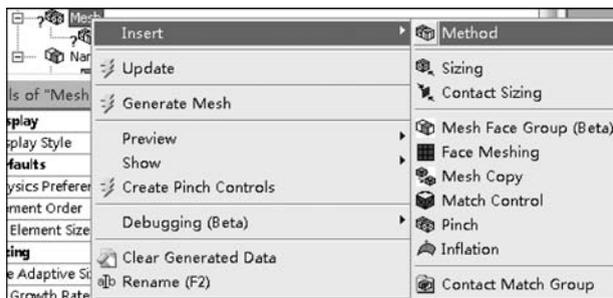


图 3.22 指定网格类型

图 3.23 列出了 ANSYS Meshing 支持的网格类型。其中 Automatic 自动网格类型的行为同默认网格方法相同,此处不赘述。选择 Tetrahedrons 四面体网格将针对所选择的对象设置四面体网格。四面体网格适应性强,可以应用在任何实体网格划分场合中。四面体网格有 Patch Conforming 及 Patch Independent 两种方法。二者最主要的区别在于前者先生成表面网格再填充内部体网格,而后者先生成体网格,最后生成表面网格。正是由于这种顺序上的差别导致前者能够很好地捕捉复杂的几何形状及微小特征,但有可能出现网格划分失败的情况,后者能够忽略一些小特征,从而容忍模型存在一些缝隙、孔洞等几何缺陷。

Hex Dominant 六面体主导类型网格会根据几何模型的特点,生成以六面体网格为主、以四面体网格为辅并在二者之间用棱柱、棱锥等网格进行过渡填充的混合网格。如图 3.24 所示,当系统判断模型大部分适合生成四面体网格,并且只能生成少部分六面体网格时会给出警告信息。在设置六面体主导类型网格时,可以将自由面网格选择为三角形/四边形混合

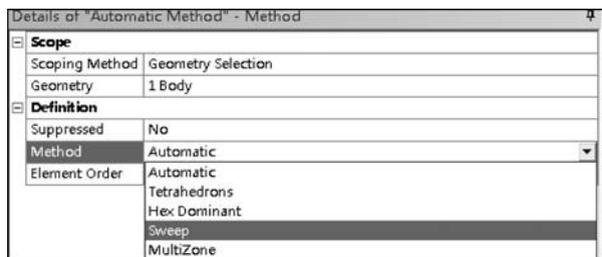


图 3.23 网格类型

网格,也可以选择全四边形网格。

Sweep 扫略网格可以生成纯六面体网格。如图 3.25 所示,快捷菜单提供了扫略网格预览功能,当存在可扫描实体时,系统会绿色高亮显示该实体,建议在进行网格划分前先使用该功能判断一下是否存在可以划分为纯六面体网格的实体。

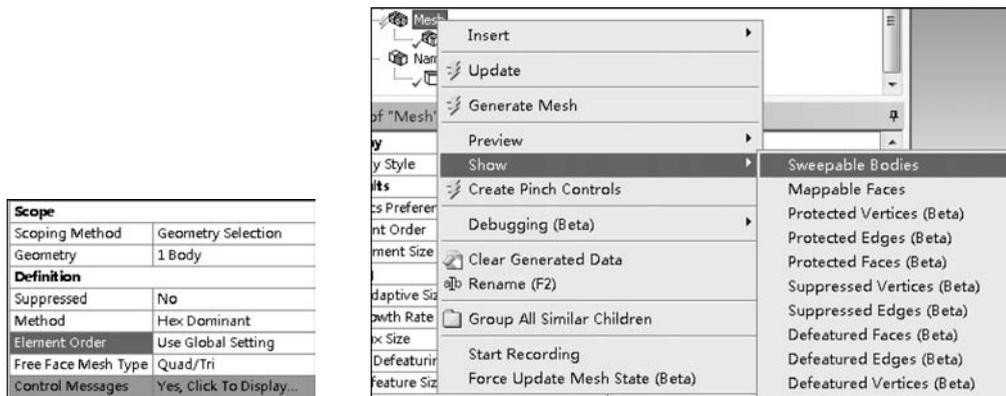


图 3.24 六面体主导网格类型

图 3.25 可扫略网格预览

一般情况下,几何体的侧面只有一个环或壳,如果源面和目标面相对,则可以将几何体用扫略法划分六面体网格。如图 3.26 所示,在扫略网格中可以手工指定源面和目标面。对于简单模型,可以让系统判断源面、目标面或仅指定源面而让系统根据模型走向判断出目标面。当模型复杂或可能存在多种扫描方向时,则需手工指定源面和目标面。Automatic Thin 及 Manual Thin 选项针对源面和目标面之间距离很近的薄壳体模型,此时仅在扫略方向上生成一层网格,如图 3.27 所示。

在 Free Face Mesh Type 中,可以将自由面的网格设置为纯三角形、纯四边形或三角形和四边形的混合网格,自由面全三角形的效果如图 3.28 所示。

在 Type 中可以将扫描的层数设置为扫描方向网格的尺寸,将扫描层数设置为 10 的效果如图 3.29 所示。

在高级选项中,可以设置 Sweep Bias Type 偏移类型,系统提供了几种偏移模式,从宽

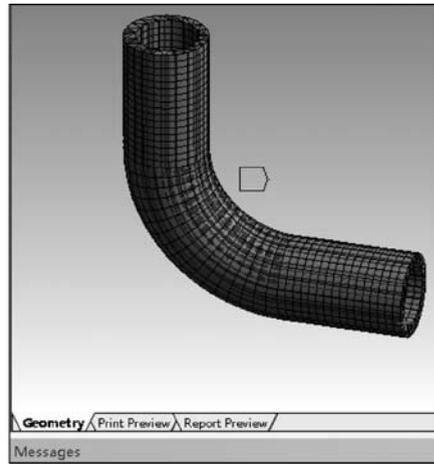
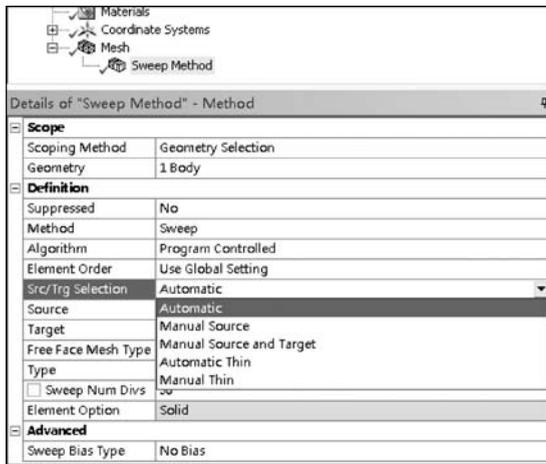


图 3.26 扫略网格选项

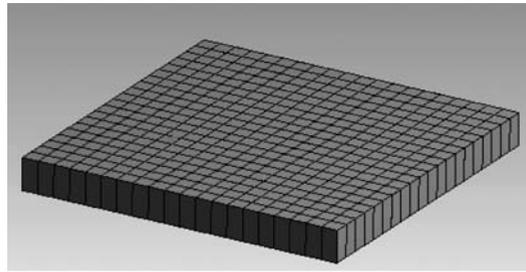


图 3.27 薄壳扫略网格

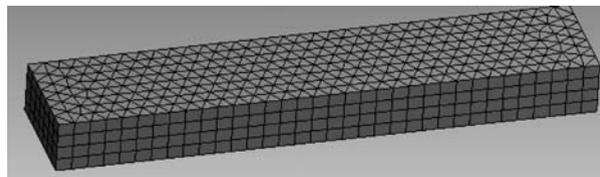


图 3.28 自由面全三角形扫略网格

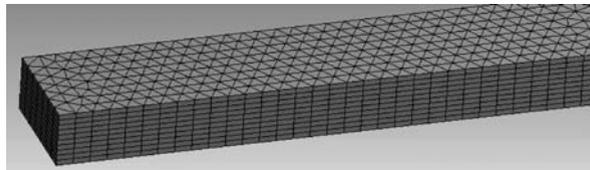


图 3.29 设置扫描层数

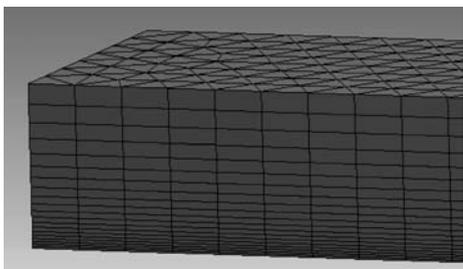
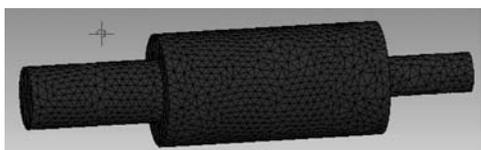


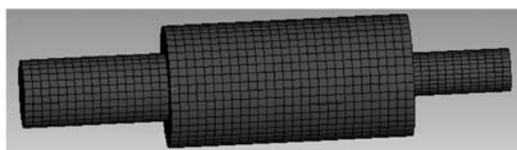
图 3.30 设置偏移类型

到窄的偏移模式划分的网格效果如图 3.30 所示,在诸如流体边界层问题中可以使用这种网格划分技巧。

为了划分六面体网格,有时会对模型进行切割处理,让每个切割的部分可以生成六面体网格。MultiZone 多区网格则提供了一种自动分解几何模型的功能,通过合理地设置源面而不需切割几何模型即可创建六面体网格。对于类似于如图 3.31 所示的阶梯轴,自动网格划分只能生成四面体网格,如图 3.31(a)所示,而无法直接生成六面体网格,可以在 DM 中通过 Slice 切片功能先将其分成三段,每段单独划分六面体网格,如图 3.31(b)所示。使用多区网格可以实现同样功能且无须切割模型。多区网格选项如图 3.32 所示。



(a) 四面体网格



(b) 六面体网格

图 3.31 阶梯轴网格

在 Mapped Mesh Type 中包含 Hexa 六面体、Hexa/Prism 六面体和棱柱混合网格、Prism 棱柱网格共 3 种类型。此时源面及目标面分别为四边形网格、四边形和三角形网格及全三角形网格。

在 Surface Mesh Method 中可以选择 Uniform 和 Pave 两种表面网格类型。Uniform 选项使用递归循环切割方法,能够创建高度一致的网格,而 Pave 选项能够创建高曲率的面网格,相邻边有高的纵横比,我们一般保持默认的 Program Controlled 程序控制选项,让系统在这两种模式中选择最优选项。

Free Mesh Type 中可以设置多种混合网格去构建自由网格,通常情况下保持默认选项即可,但有时使用 Hexa Dominant 或 Hexa Core 能够获得意想不到的极佳效果。

在 Src/Trg Selection 中可以将程序设置为自动或手动两种模式,有明显分段分层的模型系统多数情况下可以自动识别阶梯面并将其设置为源面,当系统出现误判断时可以手动设置源面,类似于图 3.31 中的阶

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Method	MultiZone
Mapped Mesh Type	Hexa
Surface Mesh Method	Program Controlled
Free Mesh Type	Not Allowed
Element Order	Use Global Setting
Src/Trg Selection	Manual Source
Source Scoping Method	Geometry Selection
Source	No Selection
Sweep Size Behavior	Sweep Element Size
<input type="checkbox"/> Sweep Element Size	Default
Element Option	Solid

图 3.32 多区网格选项

梯轴,应将直径不同处的两个分界面设置为源面。

### 【例 3.1】 全局网格设置

(1) 在 Workbench 中双击 Mesh,并在 Geometry 上右击并选择提供的素材 eg3.1,双击 Geometry 打开 DM。在模型树中选中零件,使其全部可见,如图 3.33 所示。

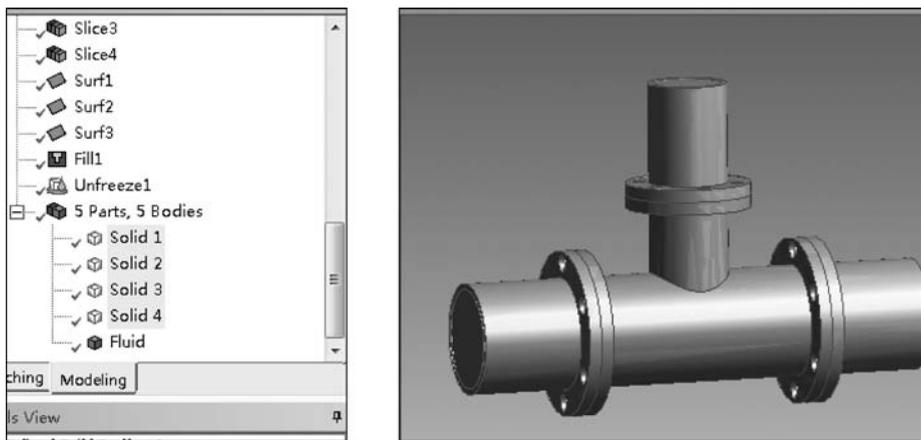
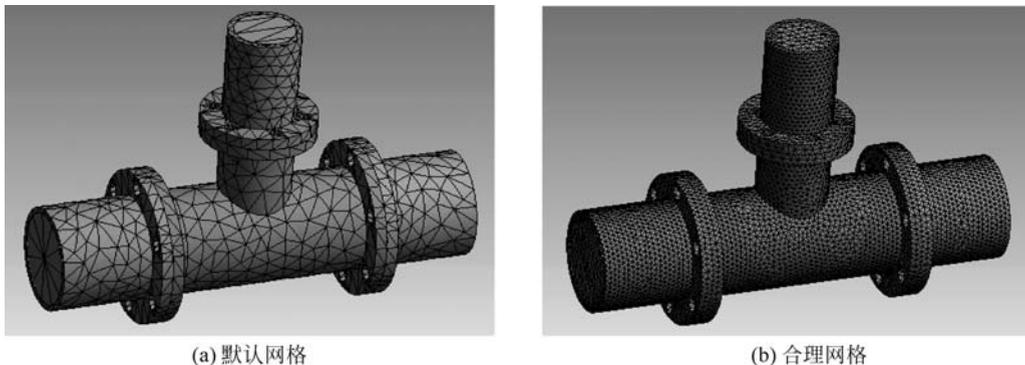


图 3.33 法兰管道模型

(2) 双击 Mesh 打开 Mechanical 界面,网格划分和 Mechanical 共用一个界面,在模型树中选择 Mesh 并右击,选择 Generate Mesh 命令。如图 3.34(a)所示,生成的默认网格非常粗糙,无法满足使用要求。将 Resolution 修改为 7,重新生成网格,如图 3.34(b)所示,此时网格的分辨率明显改善,但一个合理的网格应该是重点位置网格分辨率高,其他位置可以适当稀疏,从而减少求解时间,避免浪费计算资源。对于本例,管道在法兰连接处使用螺栓连接,为了达到密封要求,螺栓孔会受到较大的螺栓预紧力,所以应对螺栓孔处网格进行加密。流体在管道内流动时应会与管道交换热量,流动明显受到壁面的影响,应在流体和壁面接触处的流体侧添加边界层网格。



(a) 默认网格

(b) 合理网格

图 3.34 默认网格及改变网格分辨率



(3) 如图 3.35 所示,在 Element Size 中将网格尺寸设置为  $1. \text{e} - 002\text{m}$ ,关闭 Use Adaptive Sizing 选项,此时将出现 Capture Curvature 选项,将其 Curvature Normal Angle 设置为  $10^\circ$ ,此时系统将根据曲率变化设置网格尺寸,曲率大的地方网格会被加密,重新生成网格后将显示如图 3.36 所示的网格,可以看出螺栓孔处的网格得到了明显的加密。

Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
Element Size	1.e-002 m
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.85)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (2.e-002 m)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (5.e-005 m)
Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature Min Size	Default (1.e-004 m)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	10.0°
Capture Proximity	No

图 3.35 调整全局网格选项

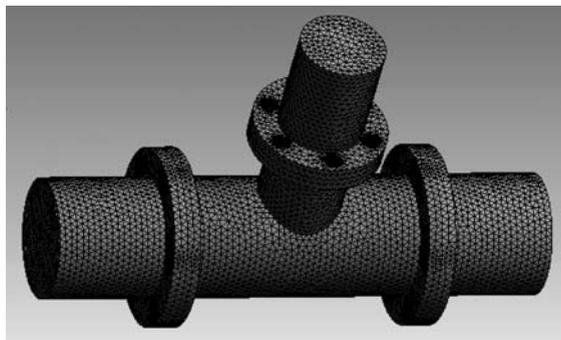
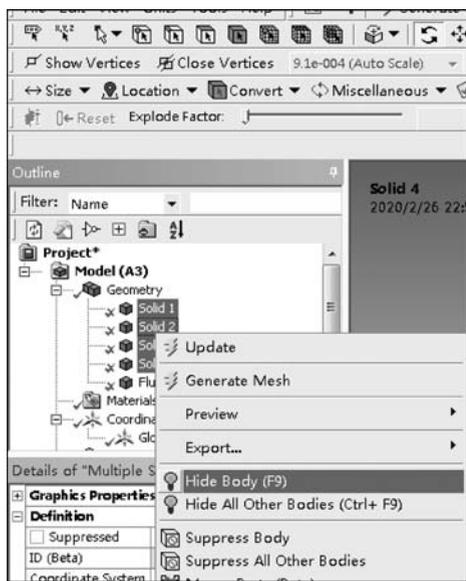
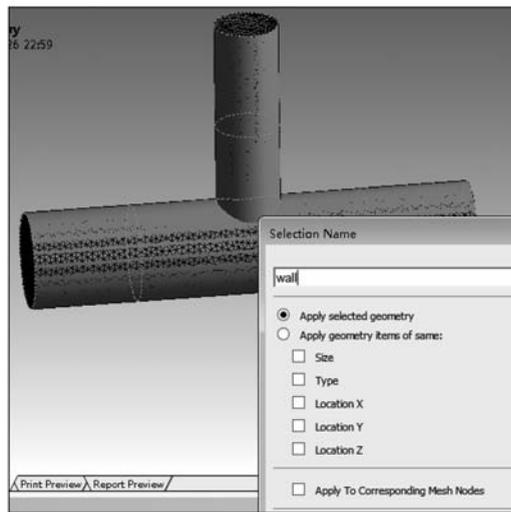


图 3.36 根据曲率变化生成的网格

(4) 如图 3.37 所示,先隐藏固体部分,切换到面选择模式后,选择与固体接触的液体表面,右击,选择 Create Name Selection 创建命名选择,将其名字设置为 wall。



(a) 隐藏固体



(b) 创建名称

图 3.37 创建命名选择

(5) 如图 3.38 所示,在 Quality 中将 Mesh Metric 设置为 Skewness。在 Inflation 中将 Use Automatic Inflation 设置为 All Faces in Chosen Named Selection,选择刚创建的 wall,

其他膨胀层选项保持默认值,重新生成网格。

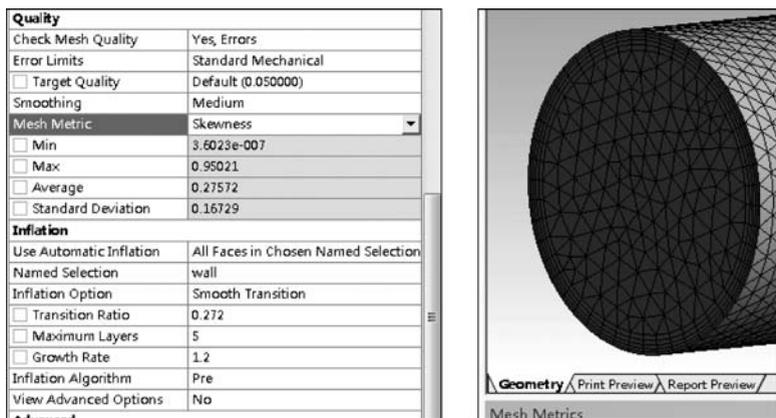


图 3.38 设置膨胀层

(6) 在网格柱状图窗口中选择 Controls, 打开如图 3.39 所示的参数设置界面, 将 X-Axis 的最小值修改为 0.9, 单击 Update Y-Axis, 关闭该界面。

(7) 按住 Ctrl 键选择所有柱状图, 在主界面中将显示对应的网格。如图 3.40 所示, 有十几个质量较差的网格, 可以通过网格整体加密消除这几个质量差的网格, 也可以使用后面讲解的局部网格设置处理这几个网格。

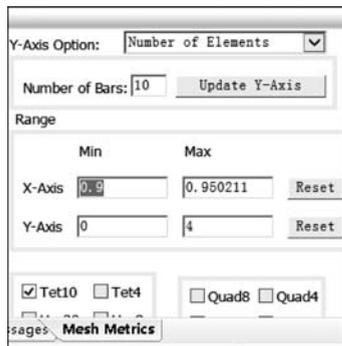


图 3.39 设置柱状图参数

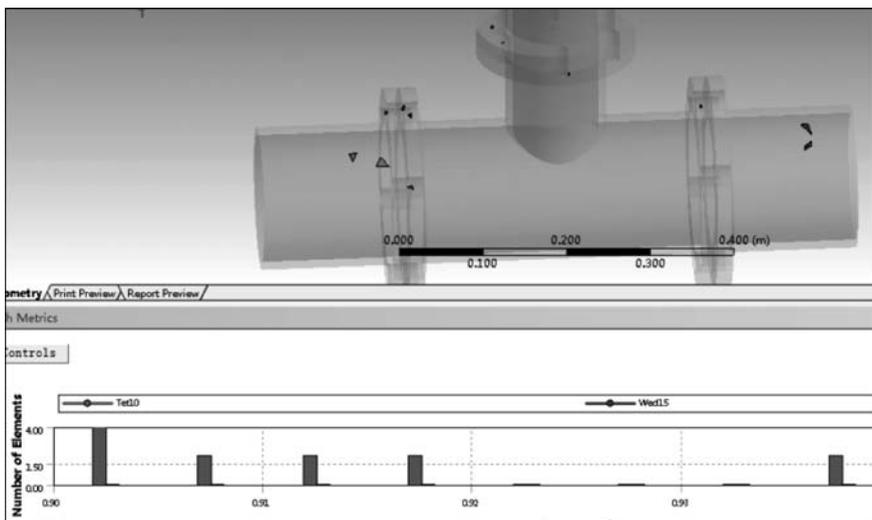


图 3.40 显示对应质量的网格

### 3.2.4 局部网格尺寸设置

局部网格包括尺寸控制、接触尺寸控制、细化、映射面、匹配控制、收缩及局部膨胀层等。在 Mesh 上右击即可显示如图 3.41 所示的局部网格选项。

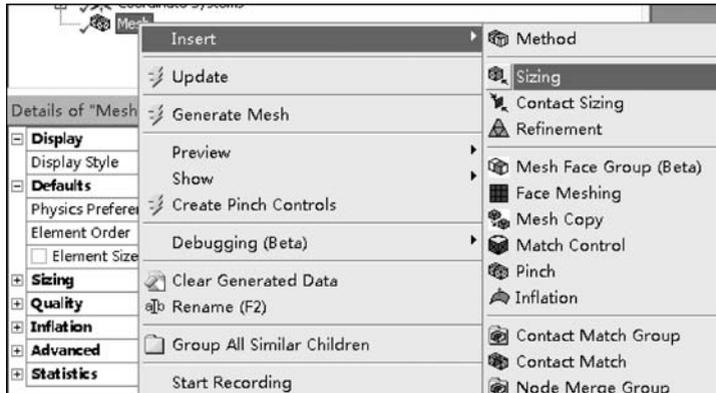


图 3.41 局部网格

Sizing 方法可以设置所选对象的尺寸或网格划分份数,根据选择的对象其体、面、边对应的名称分别为 Body Sizing、Face Sizing 和 Edge Sizing,针对弯管的四条边将划分份数设置为 50 时的网格划分效果如图 3.42 所示。在 Type 中还有一种 Sphere of Influence,它可以将作用域限制在影响区范围内。使用该选项时需要先创建一个局部坐标系,以局部坐标系的原点为圆心创建一个球体并对球体内部设置单独的网格尺寸,其选项及效果如图 3.43 所示。局部坐标系会在后处理部分详细讲解。在 Sizing 方法中,高级选项里有 Soft 和 Hard 两种行为模式,Soft 选项的单元大小将会受到整体划分网格单元大小的影响,让过渡平滑,Hard 选项则严格要求局部网格满足设置的尺寸要求。

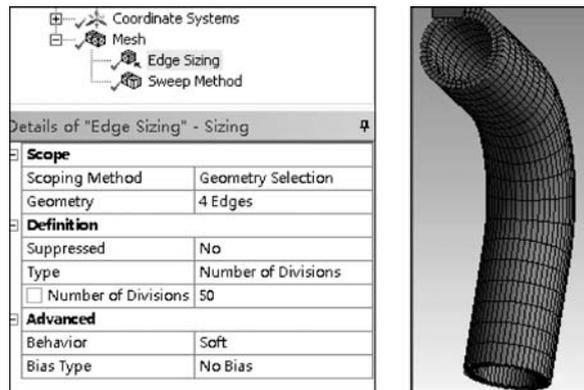
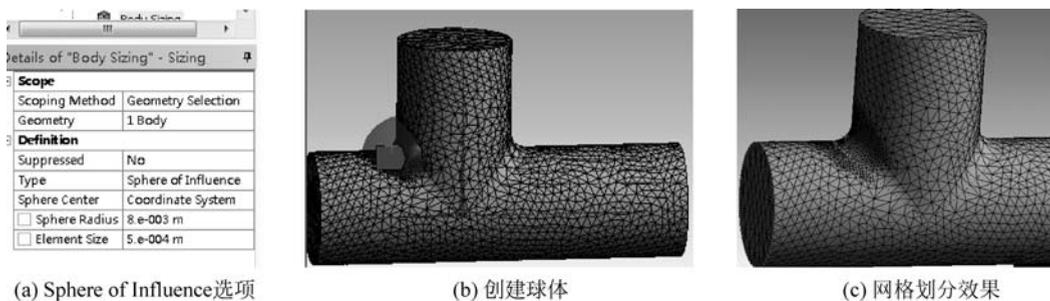


图 3.42 Sizing 局部网格设置



(a) Sphere of Influence选项

(b) 创建球体

(c) 网格划分效果

图 3.43 影响球

Contact Sizing 接触尺寸允许在接触面上产生大小一致的单元。接触面定义了零件之间的相互作用,在接触面上采用相同的网格密度有利于接触零件之间数据的传递,减少接触节点之间因插值带来的数值误差。如图 3.44 所示,接触网格可以按单元尺寸或相关性调整网格尺寸,相关性越大,则网格越密。

Refinement 单元细化功能可以对已经划分的网格再进行细化。一般用于整体和局部网格控制之后,网格细化的几何对象可以分为点、线、面。细化等级为 1~3,因细化功能对平滑过渡处理得不好,应优先使用其他途径处理网格。网格细化对网格的影响如图 3.45 所示,右侧孔为经过 2 级细化后的结果。

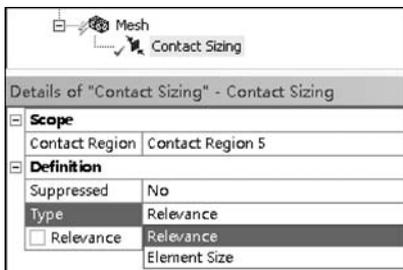


图 3.44 接触网格设置

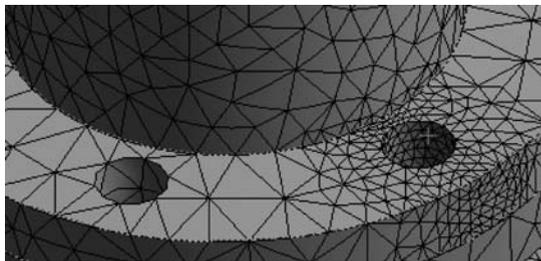


图 3.45 网格细化对网格的影响

如图 3.46 所示,Face Meshing 可以创建映射面网格,其特点是网格尺寸高度一致并呈现放射状,当模型因某些原因无法生成映射面网格时,将出现一个禁止标志,但不影响网格继续划分,此时将会用普通网格代替映射面网格,可以使用预览扫描网格的方法查看模型是否存在可以创建映射面网格的面体。当设置映射面网格的面由两个环组成时,可以设置径向划分份数,创建沿径向划分的多层网格,圆环面和侧圆柱面份数均设置为 3 的效果如图 3.47 所示。对于可扫描的管状模型,使用该选项可以生成质量非常高的源面和目标面网格。

Pinch 收缩网格只对点和边线起作用,对面和体不能设置 Pinch,它主要用于将某条边线压缩到顶点,消除质量较差的网格。如图 3.48 所示,圈中的几何模型有一较短边线,当生

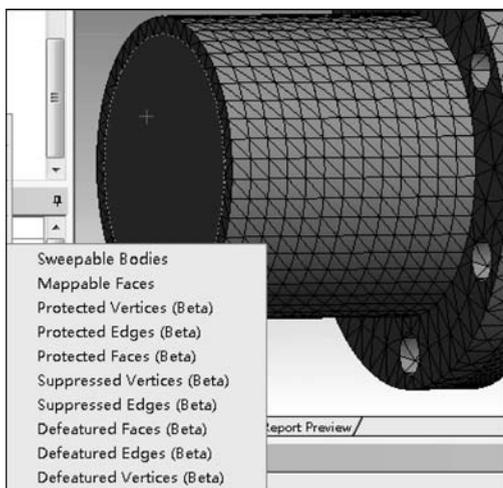


图 3.46 映射面网格

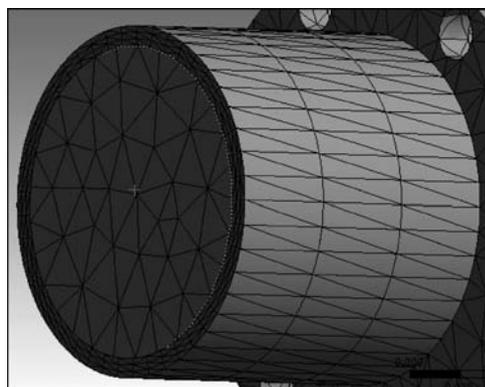


图 3.47 设置映射面网格划分份数

成网格时,该网格扭曲则会较严重,可以通过 Pinch 功能将该边线收缩到顶点处,此时该扭曲网格被吸收,最终该处网格如图 3.49 所示。对于这类几何模型,我们建议在几何模型处理时就将该短边处理掉,所以 Pinch 功能并不常用。

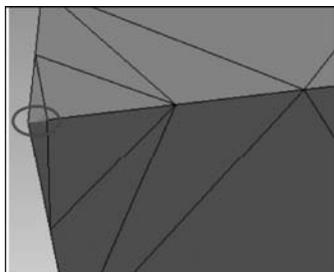


图 3.48 收缩前的网格

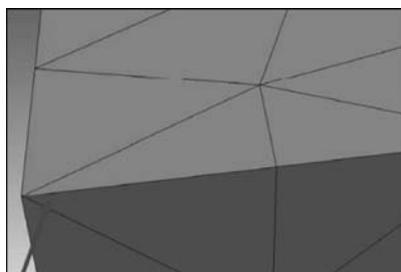


图 3.49 收缩后的网格

### 3.2.5 膨胀层网格

关于局部膨胀层网格,它的大部分选项含义和全局膨胀层网格相同。如图 3.50 所示,它可以通过选择几何模型及指定需要添加膨胀层的边界面创建膨胀层,也可以像全局网格一样通过命名选择指定需要添加膨胀层的面。它的设置更灵活,在需要添加膨胀层网格时,推荐使用局部膨胀层网格。

### 3.2.6 周期网格设置

Match Control 可以在周期对称面或边上划分出匹配的网格,在有周期性的旋转机械上

用得比较多,其效果如图 3.51 所示,关于利用 Match Control 创建周期网格的方法,后续在讲解周期性零件仿真时会通过实例演示。

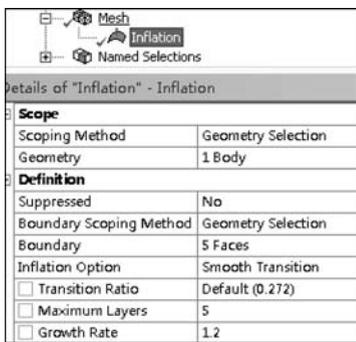


图 3.50 局部膨胀层网格

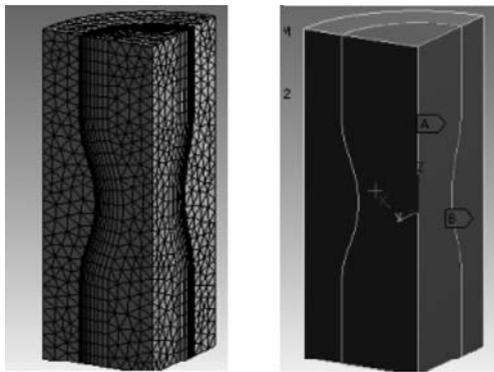


图 3.51 匹配面网格及 A、B 主从面

### 3.2.7 综合实例讲解

#### 【例 3.2】 网格设置综合实例

(1) 新建一个 Workbench 工程,双击添加 Mesh 模块,右击 Geometry,导入 eg3.2.stp 素材文件,双击 Mesh 单元格,进入网格划分界面。我们将对如图 3.52 所示的装配体进行网格划分,此装配体由 3 个零件构成。

(2) 右击 Part2 和 Part3,选择 Suppress Body 将 Part2 和 Part3 暂时压缩,右击 Mesh 后选择 Generate Mesh 命令,对 Part1 生成默认网格,如图 3.53 所示,可以看出默认网格质量很差,远达不到使用要求。

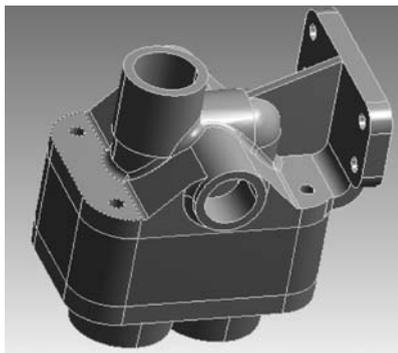


图 3.52 装配体模型

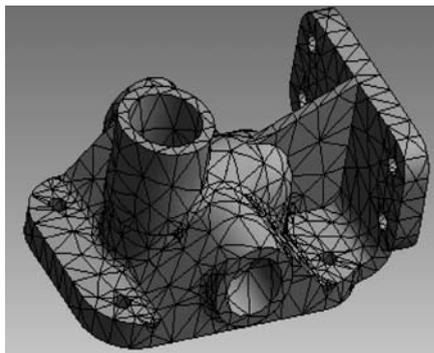


图 3.53 默认网格

(3) 如图 3.54 所示,在全局网格选项中将 Element Size 修改为 4.0mm,如果单位不是 mm,则应先在 Units 菜单中将长度单位修改为 mm,然后重新生成网格。



16min

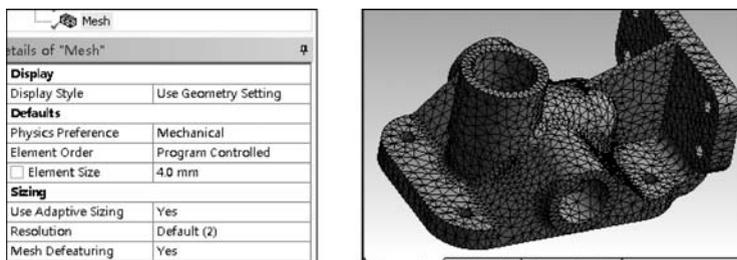


图 3.54 更改全局网格尺寸

(4) 选中如图 3.55 所示的 3 个圆柱表面, 添加 Face Meshing, 并将 Internal Number of Divisions 修改为 2, 然后重新生成网格。

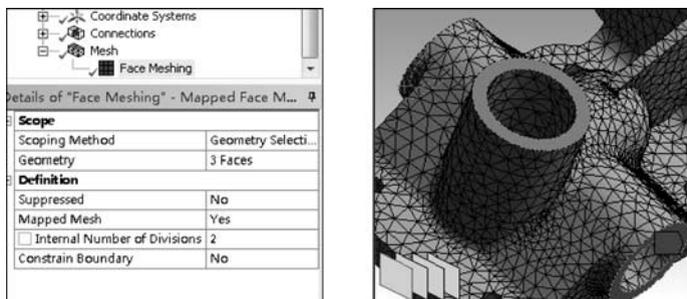


图 3.55 生成映射面网格

(5) 如图 3.56 所示, 选中加强筋面, 添加 Sizing 局部网格, 将 Element Size 修改为 3.0mm, 然后重新生成网格。

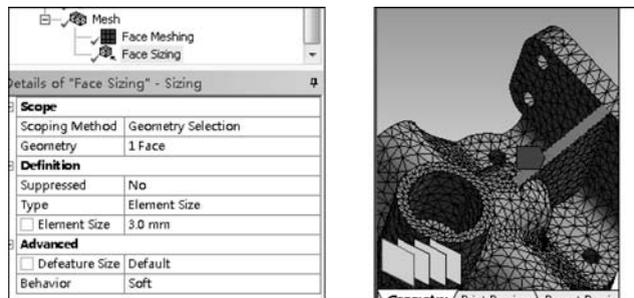


图 3.56 添加局部面网格尺寸控制

(6) 按住 Ctrl 键, 选中一个圆柱孔的两半, 在其上右击, 选择 Create Named Selection 命令。如图 3.57 所示, 在弹出的对话框中选择 Size 命令, 并将名称设置为 holes。

(7) 如图 3.58 所示, 右击 Mesh, 添加 Face Meshing, 在 Scoping Method 中选择 Named Selection 命令, 选择 holes, 然后重新生成网格。

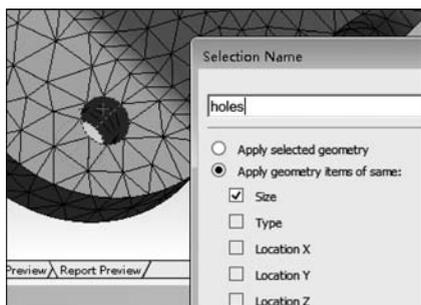


图 3.57 添加命名选择

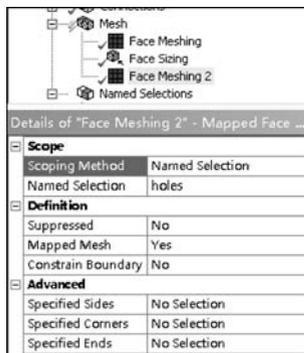
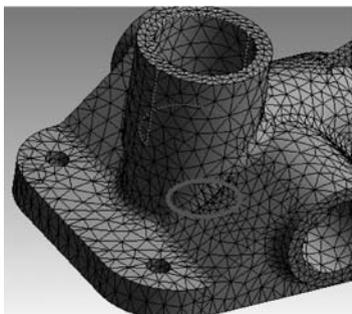


图 3.58 设置局部映射面网格

(8) 放大图 3.59 所示的位置,观察该处网格,可以看到此处因两条边线距离近而形成了一条窄面,窄面上的网格尺寸很差。如图 3.60 所示,右击 Mesh,添加 Pinch,在工具栏上单击边选择模式按钮,选择右侧两条边线作为 Master Geometry,选择左侧两条边线作为 Slave Geometry,将 Tolerance 修改为 2.0mm,重新生成的网格如图 3.61 所示。



(a) 窄面网格位置



(b) 窄面网格位置放大图

图 3.59 窄面网格

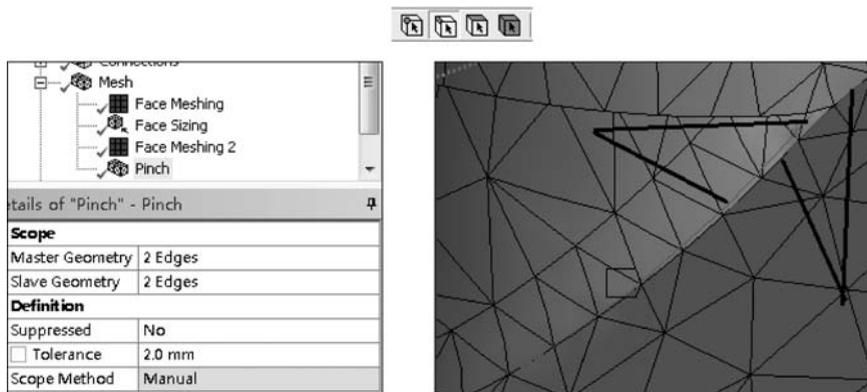


图 3.60 创建收缩网格

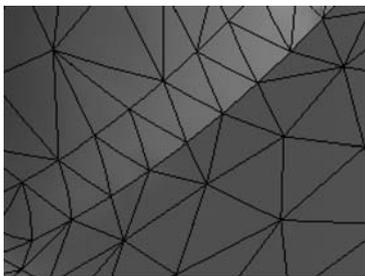


图 3.61 收缩后的网格

(9) 放大如图 3.62 所示的区域,可以看到此处因为有几条短边而导致网格扭曲严重,在工具栏中切换到点选择模式。右击 Mesh,添加 Pinch,选择最右侧点作为 Master Geometry,选择左侧 3 个点作为 Slave Geometry,将 Tolerance 设置为 2.0mm,然后重新生成网格。同理,可以使用同样的方法处理对面位置的网格节点。

(10) 使用虚拟拓扑功能,能够将一些短边、窄面用大块的几何实体替换,同样可以起到 Pinch 网格的功能,两者多数情况可以替换,若一种方式失败,则可使用另一种方式再重新尝试。加强筋两侧与加强筋相交的面处网格质量较差,因此可使用虚拟拓扑改善此处的网格质量。如图 3.63 所示,在 Model 上右击并选择 Virtual Topology 命令,切换到面选择模式,选中如图 3.64 所示的面,选择工具栏中的 Merge Cells,然后重新生成网格。

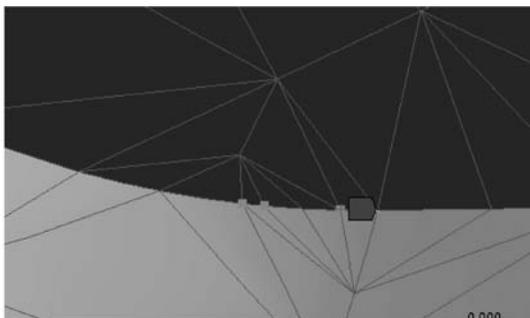


图 3.62 短边的收缩

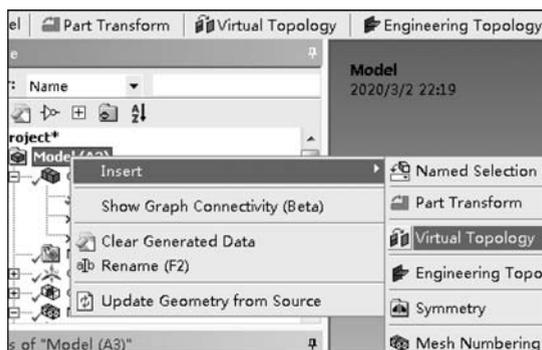


图 3.63 添加虚拟拓扑

(11) 对另外两个零件解除压缩,选择 Part2 并对其添加 Sizing,如图 3.65 所示,将 Element Size 设置为 3.0mm。

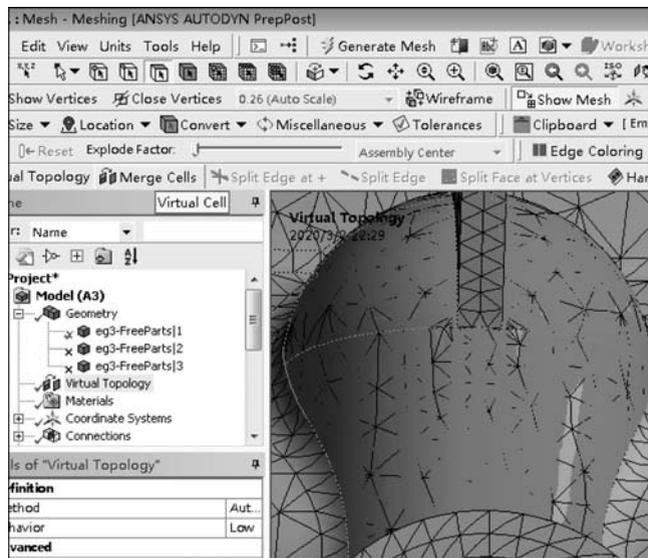


图 3.64 合并单元

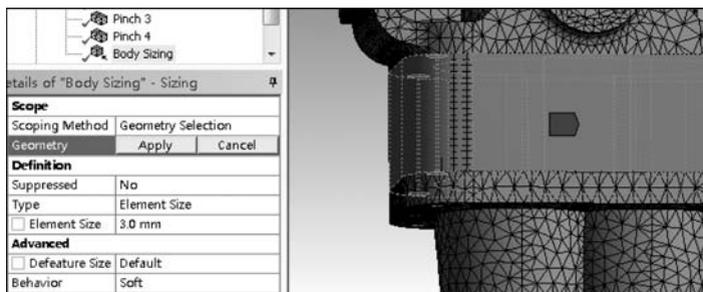


图 3.65 设置局部网格尺寸

(12) 如图 3.66 所示,右击 Mesh,添加 Method,选择 Part3 并将网格设置为 MultiZone,将 Free Mesh Type 设置为 Hexa Dominant,其余选项保持默认。

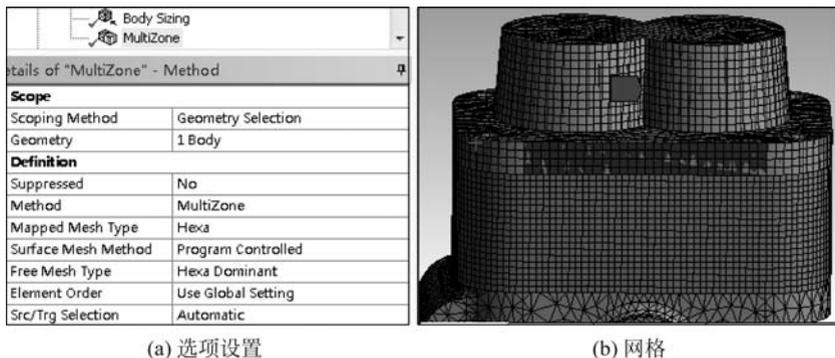


图 3.66 添加多区网格

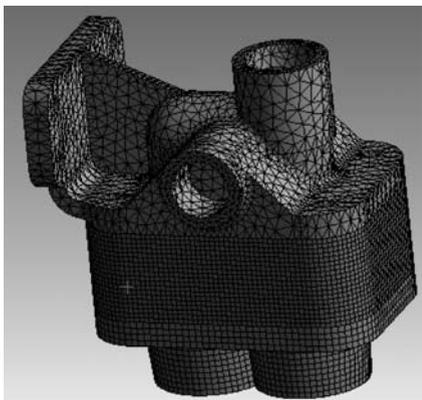
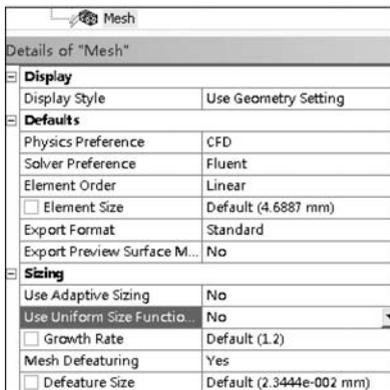


图 3.67 最终生成的网格

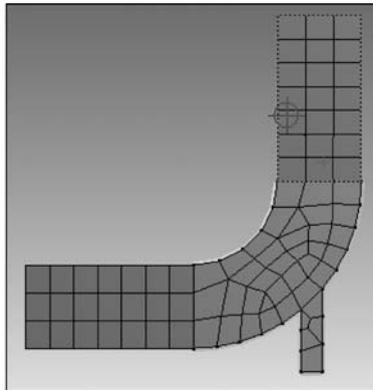
3D 网格的全局参数选项完全相同,保持默认参数值,生成网格。

(3) 切换到边选择模式,选中如图 3.70 所示的 4 条边,右击 Mesh,选择 Sizing。在参数列表中将 Type 设置为 Number of Divisions,将数量设置为 10,将 Behavior 由 Soft 修改为 Hard,表示严格遵守参数设置划分网格。将 Bias 选项修改为中间长、两端短的偏移模式,并将比例设置为 10.0,生成网格。

(4) 选中如图 3.71 所示的 4 条边,将边网格数设置为 16,将 Behavior 设置为 Hard,并将 Bias Type 设置为 No Bias。



(a) 选项设置



(b) 2D网格

图 3.69 全局网格

(5) 按图 3.72 和图 3.73 所示的选项分别设置侧面的 2 条边,注意二者的偏移方向相反。

(6) 按图 3.74、图 3.75 和图 3.76 所示的参数设置边网格,所有边网格的设置都是为了实现成对的边之间网格数量的匹配及生成类似于膨胀层的网格。

(13) 最终生成的网格如图 3.67 所示。

### 【例 3.3】 2D 网格实例

ANSYS 中结构及 Fluent 流体模块支持 2D 模型,2D 网格是 3D 网格的特例,仅通过本例演示 2D 网格选项的含义及设置方法。

(1) 新建一个 Workbench 工程,双击 Mesh 模块,右击 Geometry,导入 eg3.3 素材文件,双击 Mesh 单元格,打开 Meshing 界面,如图 3.68 所示,在模型树中将两个线体压缩。

(2) 如图 3.69 所示,将 Physics Preference 修改为 CFD,将 Solver Preference 设置为 Fluent,可以看到,2D 网格的全局参数选项同

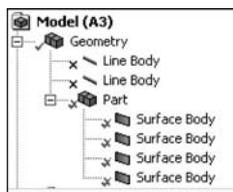
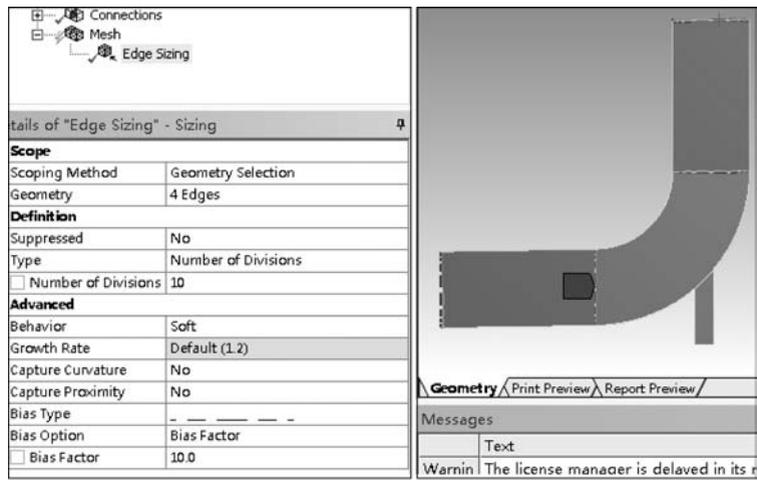


图 3.68 压缩线体



(a) 选项设置 (b) 选择边

图 3.70 设置边线网格尺寸及偏移

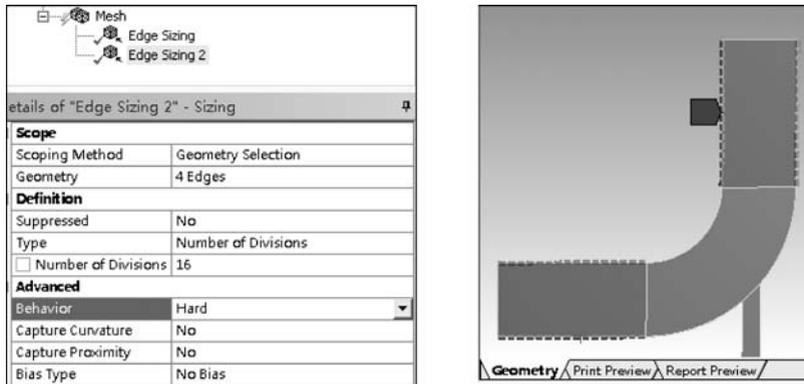


图 3.71 设置边网格参数

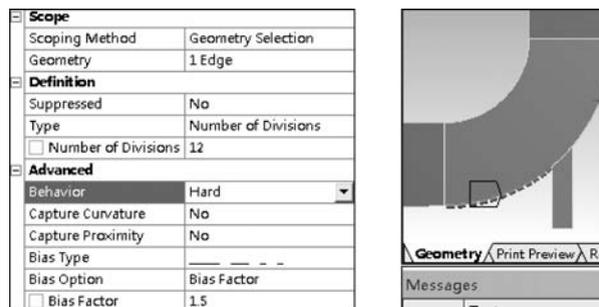


图 3.72 边偏移方向设置(一)

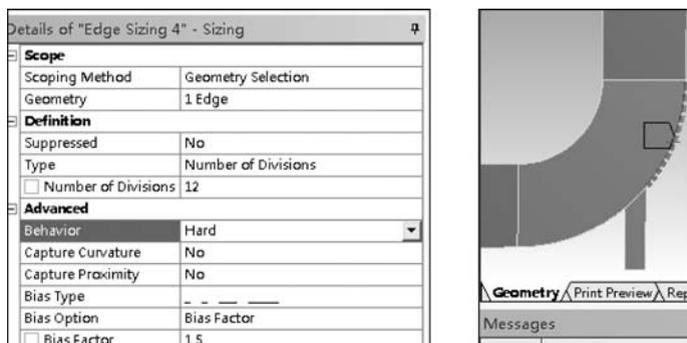


图 3.73 边偏移方向设置(二)

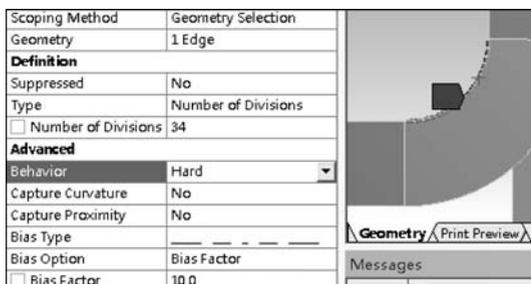


图 3.74 边偏移方向设置(三)

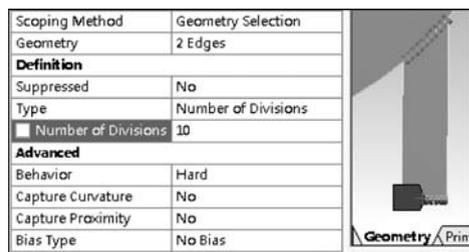


图 3.75 边偏移方向设置(四)

(7) 如图 3.77(a)所示,选中 4 个面,右击 Mesh,选择 Face Meshing 命令,保持默认的 Quadrilaterals 四边形网格,生成如图 3.77(b)所示的网格。

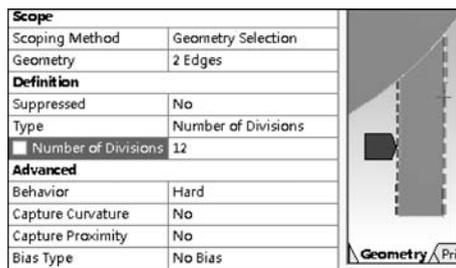
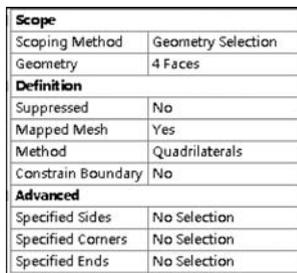
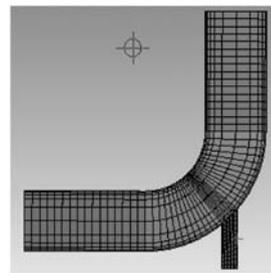


图 3.76 边偏移方向设置(五)



(a) 选项设置



(b) 网格

图 3.77 映射面网格

(8) 映射面网格中的高级选项中可以指定交点,其设置效果如图 3.78 所示。

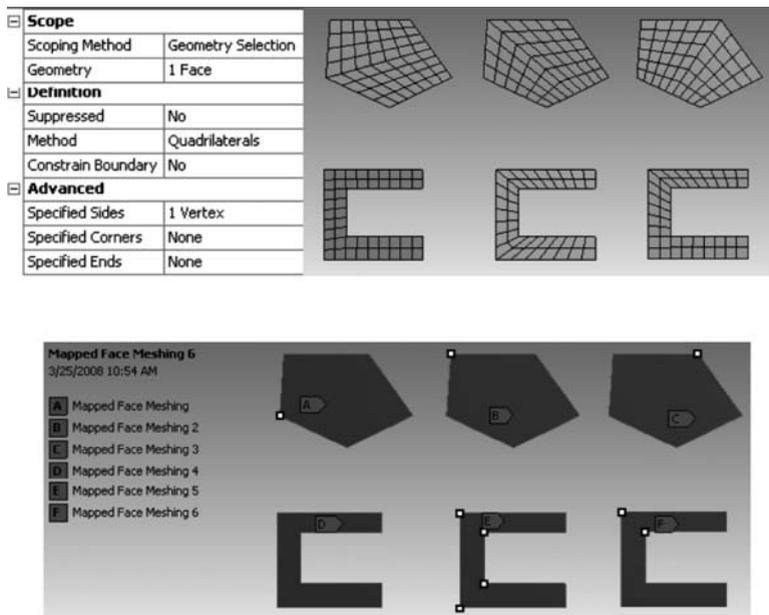


图 3.78 高级选项——选择不同节点网格指向不同

### 3.3 Fluent Meshing

Fluent Meshing 的前身是 TGid, TGid 是一个具备面网格编辑与修复功能的体网格填充工具,曾广泛应用在航空航天及汽车制造行业,用来划分大型高质量的流体网格及混合网格。它的界面可以实现和 Fluent 的无缝链接,能够通过脚本实现批处理运行并可处理多达数十亿的超大规模网格,是近几年来 ANSYS 公司重点推广的流体网格划分工具。最近几个版本的 ANSYS 对 Fluent Meshing 进行了大幅功能上的更新,解决了早期 Fluent Meshing 界面简陋、不直观等缺点,使这款优秀且低调的网格划分工具受到越来越多 CAE 工程师的关注。

#### 3.3.1 界面简介

在 ANSYS Workbench 的 Toolbox 中找到 Fluent(with Fluent Meshing),双击此选项便可将其添加到主界面中,如图 3.79 所示。双击 Mesh 单元格,进入 Fluent Meshing 的启动界面,如图 3.80 所示。启动界面几乎和 Fluent 完全相同,唯一的区别在于 Dimension 中已经选中了 3D 且 Options 选中了 Meshing Mode,并且是灰色不可编辑状态。Fluent Meshing 只能对 3D 模型进行网格划分,这是其美中不足之处。在 Processing Options 中可以分别对 Meshing 网格划分和 Solver 求解器设置并行计算核心数。

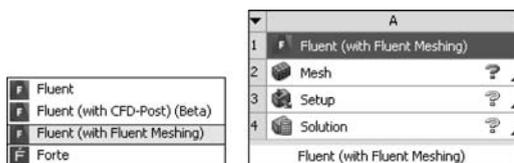


图 3.79 加载 Fluent Meshing 模块

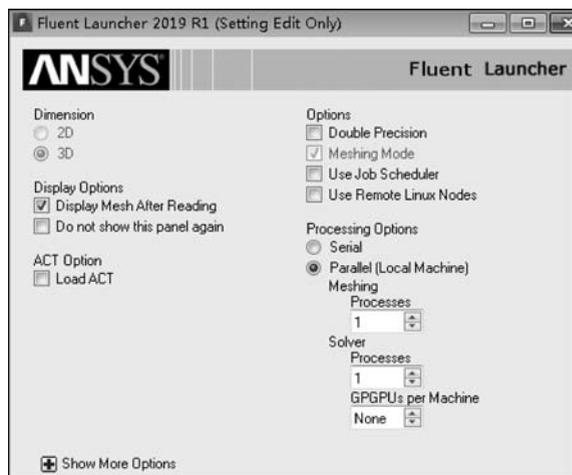


图 3.80 启动 Fluent Meshing

设置好启动参数后,打开 Fluent Meshing 界面,如图 3.81 所示。新版本对界面及工作流程进行了大幅更新,默认进入 Workflow 的基于向导的选项页,切换到 Outline View 则可以进入之前版本的界面。选择 Workflow 中的 Watertight Geometry,此时会显示如图 3.82 所示的流程向导,按从上到下的顺序依次设置各步骤即可完成网格划分。



图 3.81 Fluent Meshing 界面

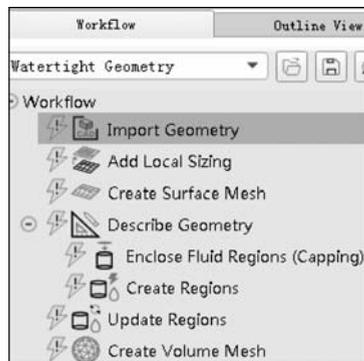


图 3.82 流程向导

Fluent Meshing 进行网格划分的一般流程为导入几何模型、对模型进行修复、生成表面网格、调整表面网格质量后生成体网格、调整体网格质量满足要求后进入求解模式。

### 3.3.2 模型导入参数设置

Fluent Meshing 可以导入常见的 3D 格式的几何模型,也可以直接导入表面网格或体网格。导入几何模型时,根据设置选项的不同,可以用刻面格式读取几何模型,也可以用表面网格形式导入几何模型。在 File 菜单中选择 Import 中的 CAD 选项后,将弹出如图 3.83

所示的对话框。选择 CAD Faceting 刻面格式和 CFD Surface Mesh 表面网格将显示不同的选项,表面网格提供了全局网格参数设置选项,导入后将直接以面网格的形式存在于 Mesh Objects 目录下,如图 3.84 所示,而 CAD Faceting 则位于 Geometry Objects 下,后续需要通过设置全局及局部网格参数后转换为面网格。由于 CAD Faceting 在导入时没有进行网格划分,因此导入速度更快。单击 Options 按钮后,系统提供了更多的控制选项,可以进行更精细的模型导入控制,如图 3.85 所示。

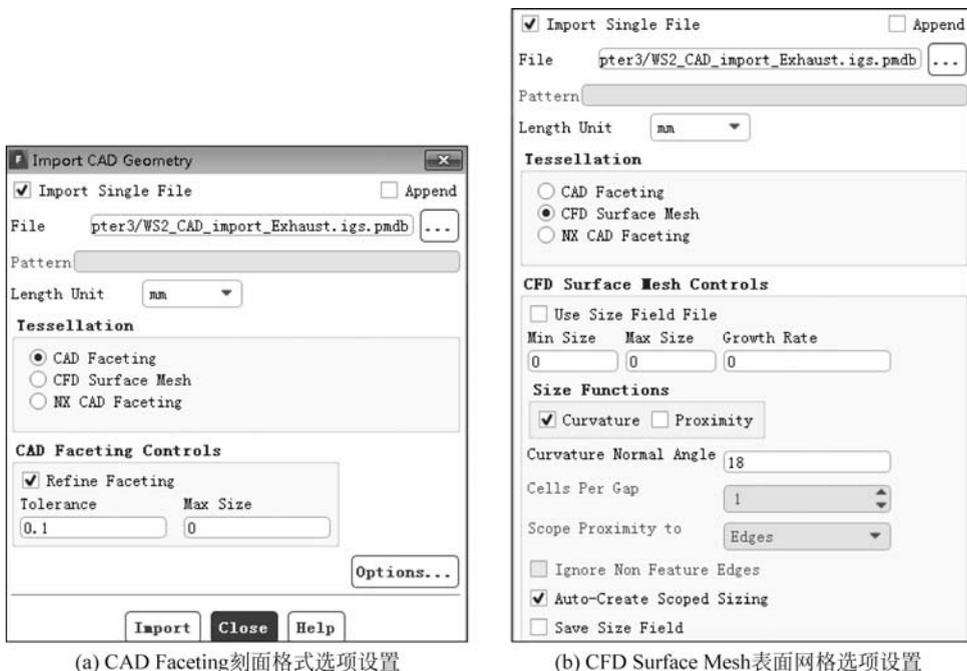


图 3.83 导入模型选项

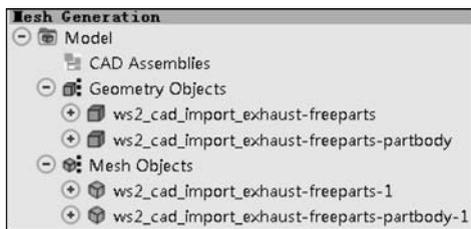


图 3.84 特征树



图 3.85 导入选项

### 3.3.3 全局参数设置

模型导入后,右击 Model,选择 Sizing 命令,如图 3.86 所示,系统提供了 Scoped 和 Functions 的参数设置界面。当参数为灰色时,需要先选择 Delete Size Field 以便删除已有的全局设置。关于全局网格参数,可以设置其尺寸范围及类型,类型及含义与 ANSYS Mesh 中的含义相同,作用范围可以是边线、面或体,类型可以选择 Geom 或 Mesh,如图 3.87 所示。

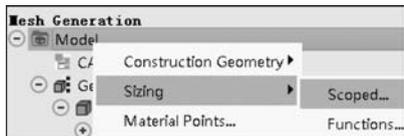


图 3.86 添加全局网格参数

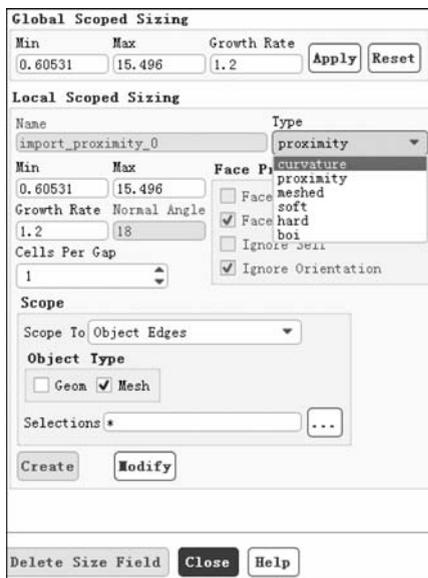


图 3.87 全局网格参数设置

### 3.3.4 表面网格修复

Fluent Meshing 在生成体网格前需要先生成封闭的面网格,面网格的质量直接决定了接下来要生成的体网格的质量。Fluent Meshing 中提供了大量面网格诊断及修复工具,如图 3.88 所示。由于 Fluent Meshing 中提供的面修复功能有可能造成模型变形失真,因此建议大家在导入 Fluent Meshing 前,在前处理时对几何模型进行修复。表面网格修复更重要的是通过网格修复工具提升面网格质量。如图 3.89 所示,可以设定不同的网格评价标准,通过 Operations 中提供的工具进行面网格自动修复。当只有少数几个网格质量较差时,可以通过 Mark 工具标记网格所在位置并高亮显示,通过手工调整网格节点位置、拆分网格单元边线、网格删除与合并等手段改善网格质量。网格修复工具如图 3.90 所示,如何使用局部网格重绘改善网格扭曲问题如图 3.91 所示,通过调整网格节点位置改善网格质量如图 3.92 所示。网格节点操作工具如图 3.93 所示,通过这些工具可方便地调整网格节点位置以便达到改善面网格质量的目的。

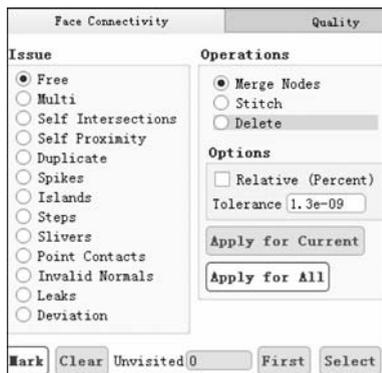


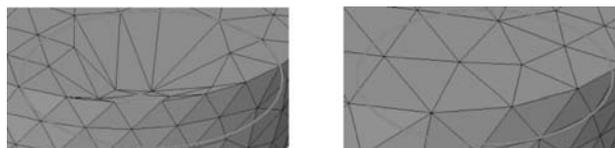
图 3.88 诊断及修复工具



图 3.89 面网格自动修复工具



图 3.90 网格修复工具



(a) 改善前

(b) 改善后

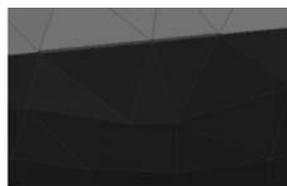
图 3.91 局部网格重绘



(a) 网格缺陷位置

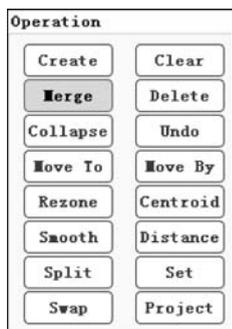


(b) 需移动的节点



(c) 改善后

图 3.92 移动网格节点



(a) 节点操作工具



(b) 改善前



(c) 改善后

图 3.93 网格节点操作

### 3.3.5 体网格设置

生成面网格后,需填充其内部区域,并可对不同区域设置不同区域类型,如图 3.94 和图 3.95 所示。这里需要注意的是面网格构成的表面需要完全封闭。当内部区域填充好后,可以对不同区域生成体网格。如图 3.96 所示,选择 Auto Mesh 命令,打开体网格设置对话框。如图 3.97 所示,可以设置不同体网格类型,除了常见的四面体、四面体+六面体混合网格外,还可以设置多面体网格及多面体+六面体混合网格。如图 3.98 所示,从左到右分别为四面体网格、六面体网格及多面体网格。

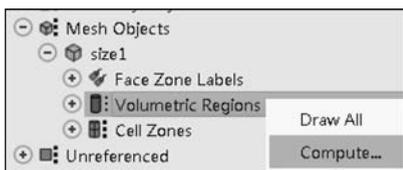


图 3.94 填充内部区域

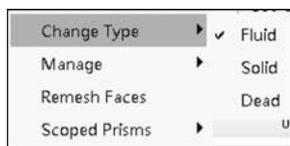


图 3.95 修改类型

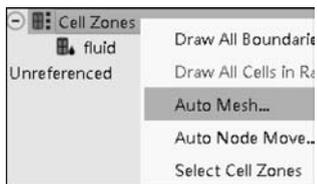


图 3.96 创建体网格

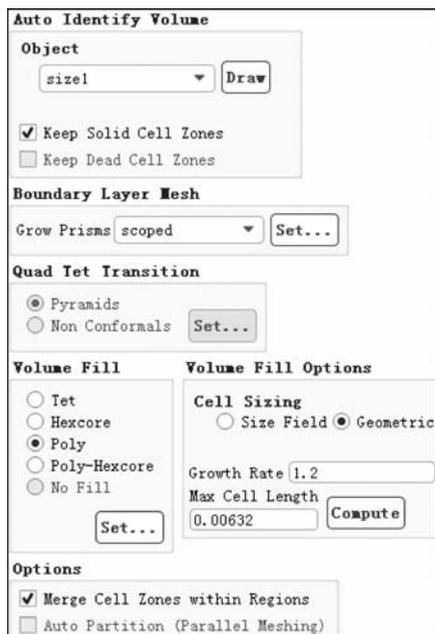
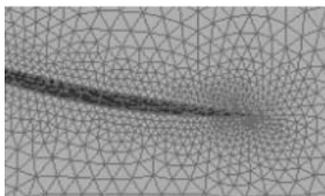
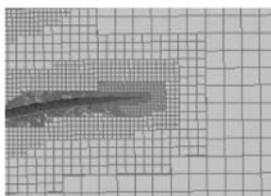


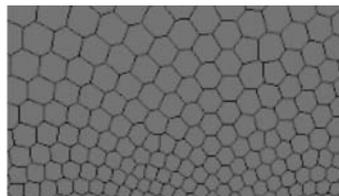
图 3.97 体网格选项



(a) 四面体网格



(b) 六面体网格



(c) 多面体网格

图 3.98 不同体网格类型

在 Boundary Layer Mesh 右侧选择 Set,如图 3.97 所示,可以打开如图 3.99 所示的边

界层网格设置对话框,在这里可以设置边界层网格尺寸及边界层所在区域。

当体网格生成后,可以通过 Auto Node Move 功能改善体网格质量。如图 3.100 所示,设定好体网格质量目标后进行自动及半自动体网格节点移动来改善体网格质量。

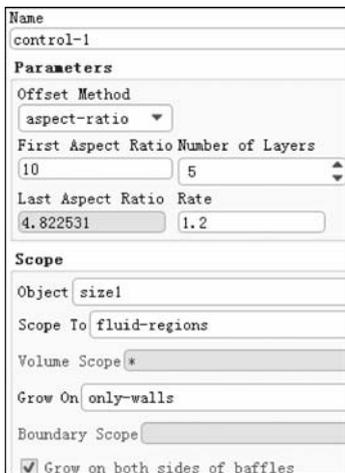


图 3.99 边界层网格

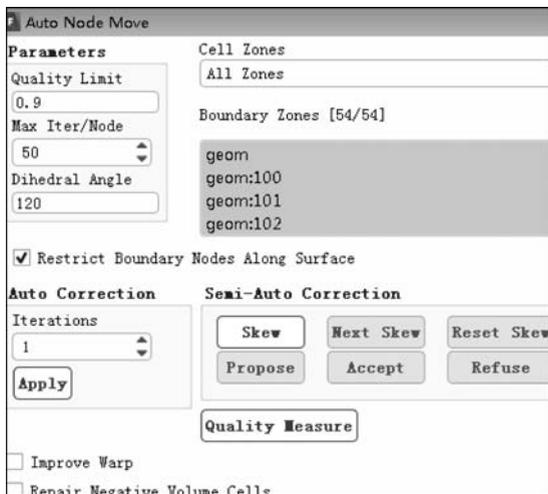


图 3.100 改善体网格

### 3.3.6 网格传递与导出

当体网格划分好后,需设置边界条件。选中面域,在工具栏中单击 Rename 按钮,此时会显示如图 3.101 所示的边界条件设置对话框。设置好边界条件后,可以选择如图 3.102 所示的 Prepare for Solve,此时会弹出如图 3.103 所示的对话框,提示网格传递前会进行节点、边、面及区域的清理工作。清理完成后选择文件菜单中的导出功能,可以将网格导出,如图 3.104 所示。单击 Switch to Solution,进入 Fluent 求解模式,如图 3.105 所示。

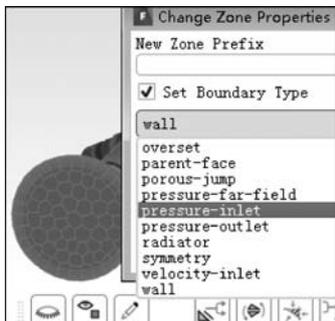


图 3.101 设置边界条件

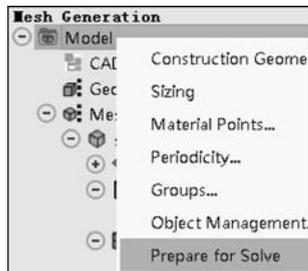


图 3.102 求解准备

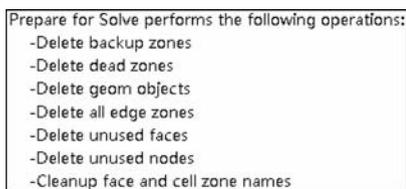


图 3.103 网格传递前的清理工作

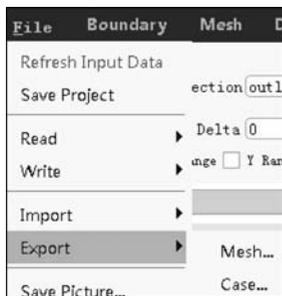


图 3.104 导出网格图

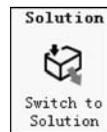


图 3.105 进入求解器

### 3.3.7 综合实例讲解

#### 【例 3.4】 燃烧喷管流体域网格

(1) 新建一个 Workbench 工程, 双击 Toolbox 中的 Geometry, 添加一个几何建模模块。在其上右击, 导入素材文件 eg3.4.scdo。

(2) 双击后便可打开 SCDM, 在工具栏中选择 Prepare 选项页中的 Volume Extract, 按住 Ctrl 键, 选择如图 3.106 所示的 4 个边界面。切换到内部面选择模式, 选择任意一个内部面, 如图 3.107 所示, 按对钩后即可完成内部流道的抽取。

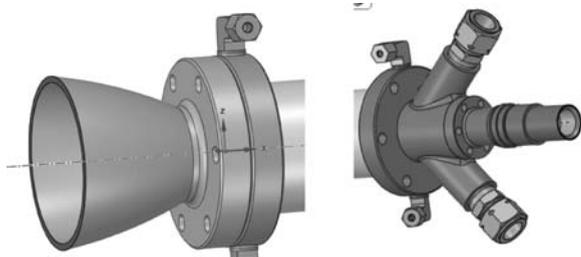


图 3.106 选择边界面

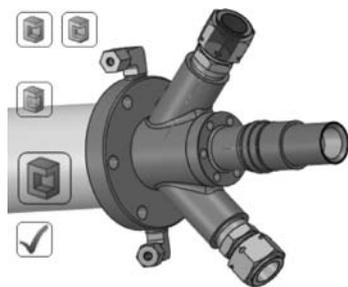


图 3.107 选择内部面

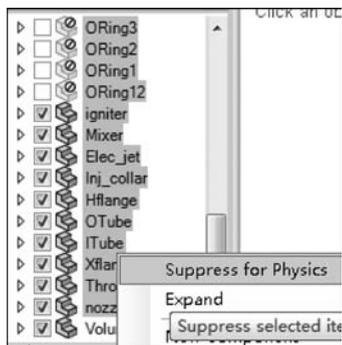


图 3.108 压缩固体

(3) 在模型树中, 选中除 Volume 外的其他全部实体, 右击并选择 Suppress for Physics 将固体模型压缩, 再单击选中 Hide, 隐藏全部固体, 如图 3.108 所示。

(4) 切换到 Selected 选项页, 单击任意一个如图 3.109 所示的小特征, 选择 All equal radius protrusions, 选中与特征尺寸相同的同类型特征, 单击工具栏中的 Fill, 去除这些特征。

(5) 将一个 Fluent(with Fluent Meshing) 模块拖动到 Geometry 单元格上, 如图 3.110 所示。双击 Mesh

单元格,在弹出的启动界面中勾选 Double Precision,并设置多核并行求解,核数可根据自己计算机的实际核数设定,这里使用 12 核。单击 OK 按钮便可进入 Fluent Meshing 界面。

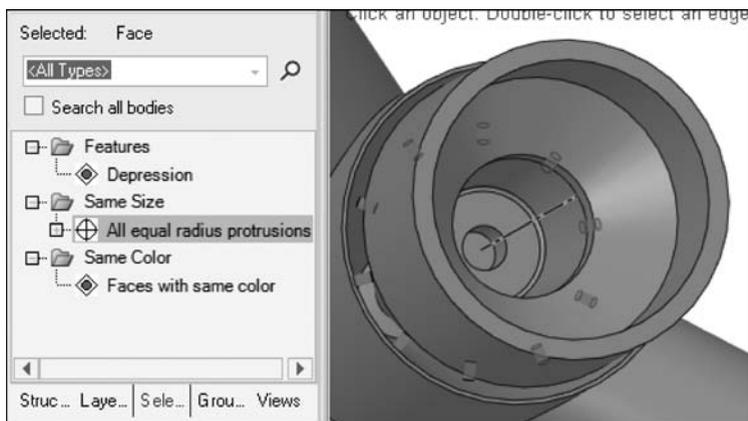


图 3.109 去除非关键特征

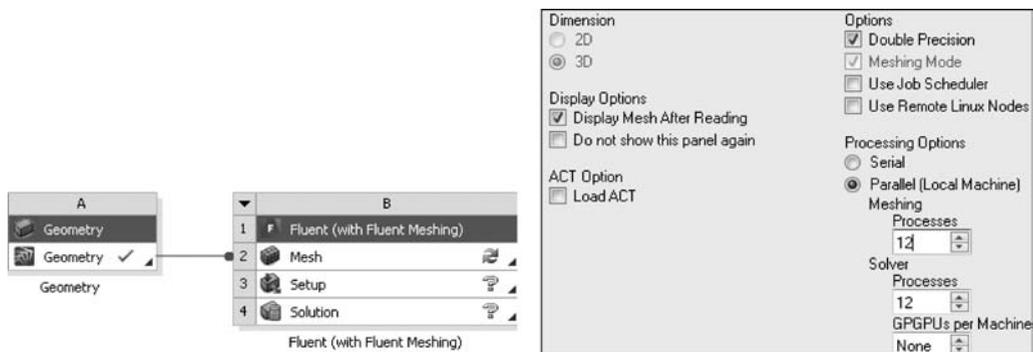


图 3.110 启动 Fluent Meshing

(6) 切换到 Outline View 选项页中,目录树显示的内容如图 3.111 所示,模型位于 Geometry Objects 下,表明模型以刻面格式导入。在其上右击,选择 Draw All,此时会显示全部几何模型。如图 3.112 所示,在工具栏中选择 Display,可以对显示的内容进行设置,窗口右侧为视图操作工具,可以进行平移、旋转、缩放等操作。在 Fluent Meshing 中,右击的默认功能为选择对象,按快捷键 F3 可以将其切换为平移功能。

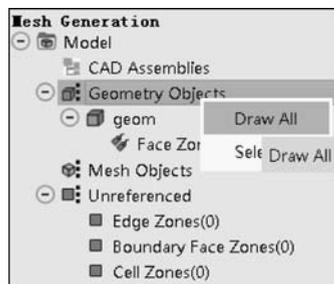


图 3.111 目录树

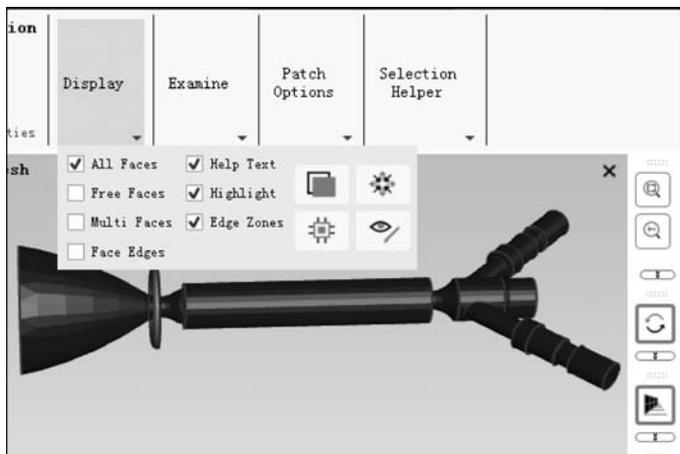


图 3.112 显示模式切换

(7) 右击 Geometry Objects, 选择 Diagnostics, 通过诊断功能可以识别模型中是否存在自交叉、自由面、孔洞等缺陷。Geometry 和 Connectivity and Quality 可以诊断的选项如图 3.113 和图 3.114 所示, 单击下方的 Summary 按钮可以显示具体的数量。当存在问题时可以利用诊断对话框中提供的工具进行修复。

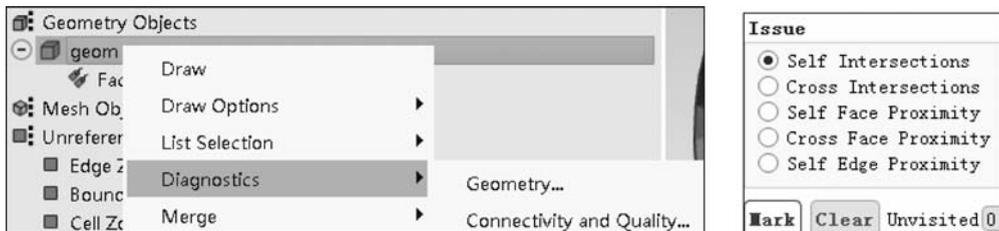


图 3.113 模型质量问题



图 3.114 模型连接性问题

(8) 如图 3.115 所示,右击 Model,选择 Sizing 中的 Scoped,此时会显示网格尺寸设置对话框,该对话框用于设置面网格的全局和局部尺寸。其中上方用于设置全局尺寸,如图 3.116 所示,设置最大尺寸、最小尺寸及变化率后单击 Apply 按钮即可生效。

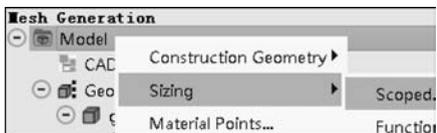


图 3.115 添加网格尺寸

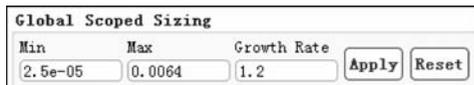
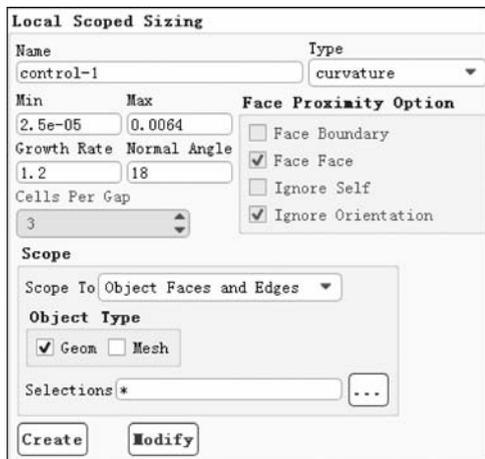
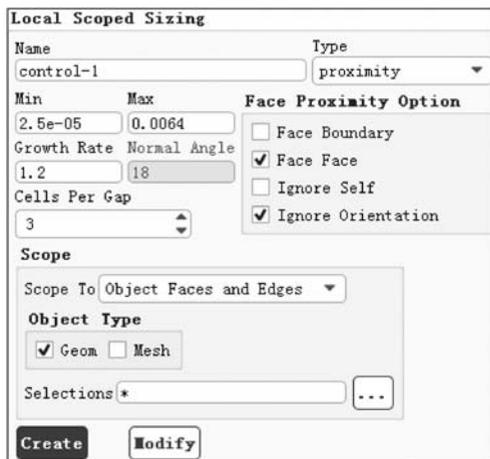


图 3.116 设置全局网格尺寸

(9) 如图 3.117 所示,设置 curvature 局部尺寸,单击 Create 按钮即可添加基于曲率变化的局部网格尺寸。同理,通过设置 proximity 可以添加基于邻近面和边的局部网格尺寸。



(b) 设置curvature局部尺寸



(a) 设置proximity局部尺寸

图 3.117 设置局部尺寸

(10) 如图 3.118 所示,设置好网格尺寸后,右击 geom,选择 Remesh,将剖面几何模型转化为 Mesh Object 模型,Remesh 提供了两种选项,其中 Collectively 可以针对不同网格设置生成多个面网格对象,便于比较网格尺寸对网格质量的影响,优先推荐大家使用这个选项。在转化过程中,网格生成器将根据上一步设置的全局和局部网格尺寸生成相应的面网格。此时的目录树如图 3.119 所示,模型从 Geometry Objects 转移到 Mesh Objects 中。

(11) 在 Display 工具栏中勾选 Face Edges 即可显示面网格,如图 3.120 所示。在图 3.119 左侧所示的目录树中右击 size1,选择 Diagnosis 中的 Connectivity and Quality,切换到 Quality 选项页,单击下方的 Summary 即可显示面网格质量,如图 3.121 所示,从显示结果看,网格扭曲度超过 0.85 的有 3577 个网格,最大扭曲度为 0.999 以上。为了后续生成高质量体网格,首先需要保证面网格质量。如图 3.122 所示,我们将目标扭曲度设定在 0.6,将 Feature Angle 设置为 120,使用 General Improve 改善网格质量,单击 Apply for All 后单击

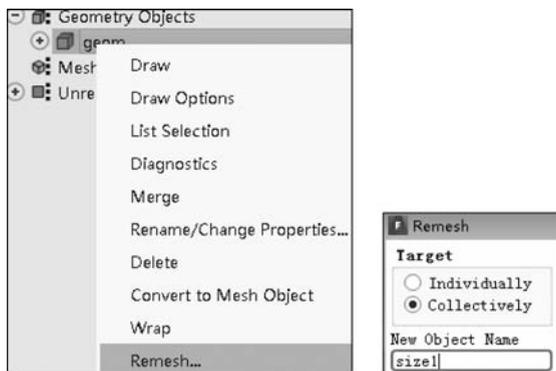


图 3.118 转化面网格

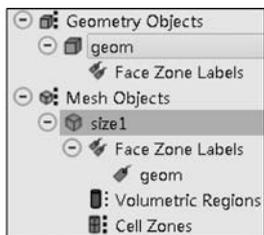


图 3.119 目录树变化

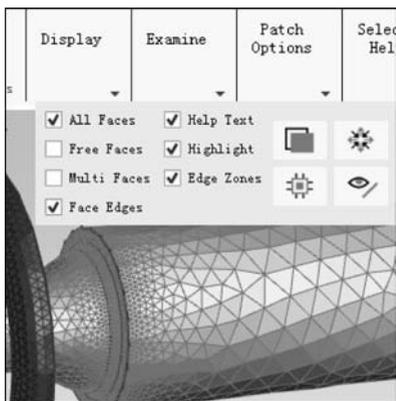


图 3.120 显示面网格

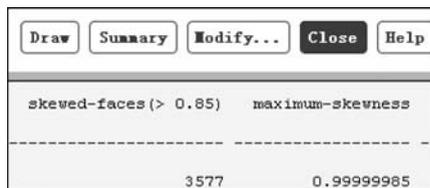


图 3.121 查看面网格质量

Summary 按钮查看改善后的网格质量,此时网格质量已经达到 0.59,满足目标要求了。当只有几个网格质量比较差时,可以手动修复网格。将网格扭曲度目标值设置为 0.58,单击 Mark 按钮,此时有 3 个网格扭曲度超过 0.58,单击 First 按钮,显示被标记的面网格,如图 3.123 所示。如图 3.124 所示,单击下方的 Remesh 按钮,在弹出的 Local Remesh 对话框中将 Rings 设置为 5,被标记的面网格将与周边 5 个网格进行局部重绘,在重绘过程中调整网格质量,重绘后的网格如图 3.125 所示。继续单击 Next 按钮,即可显示剩余的标记网格,按同样的方法处理即可,这里不再赘述。

(12) 在工具栏中选择 Reset 后,右击 Mesh Objects 即可显示完整网格,如图 3.126 所示。

(13) 如图 3.127 所示,右击 Volumetric,选择 Compute,生成内部区域。默认情况下,生成的内部区域的类型为 Fluid,如图 3.128 所示,图中的环形区域不与任何其他流体域相通,也不参与流动,可以直接将其删除,还可修改为死区类型,当导入 Fluent 时,死区会被清

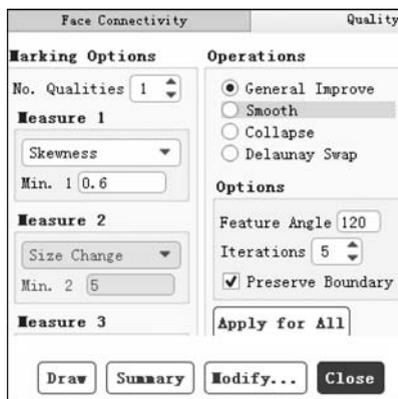


图 3.122 改善面网格质量

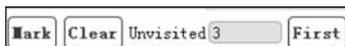


图 3.123 标记面网格

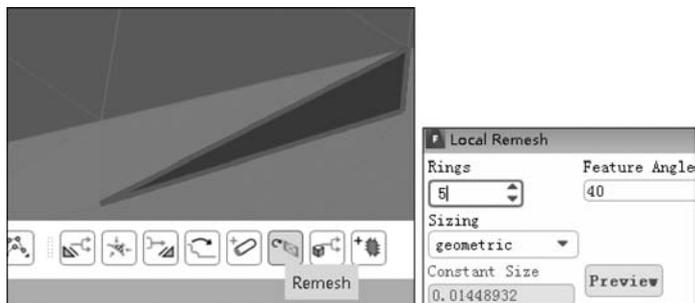


图 3.124 局部网格重绘

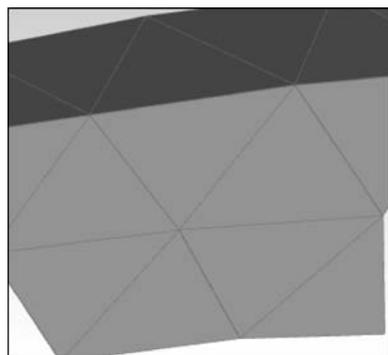


图 3.125 重绘后的网格

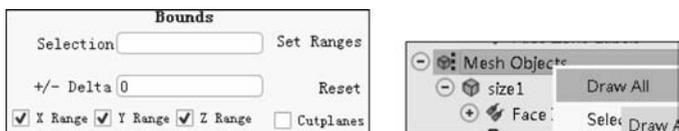


图 3.126 显示完整网格

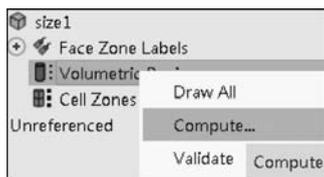


图 3.127 生成内部区域

理掉,不参与仿真。在目录树中选中该环形区域,右击,将其类型修改为 Dead。如图 3.129 所示,右击另一区域,将其类型修改为 Fluid,并通过右击后显示的 Manage 功能将该区域重命名为 fluid,如图 3.130 所示。

(14) 在下方工具栏中选择如图 3.131 所示的 Zone Selection Filter,切换到区域选择模式,右击模型,此时模型为一整体,单击 Separate 按钮,将其拆分为多个面域。当选择错误时,可以通过使用 Clear Selection 按钮清除选择。

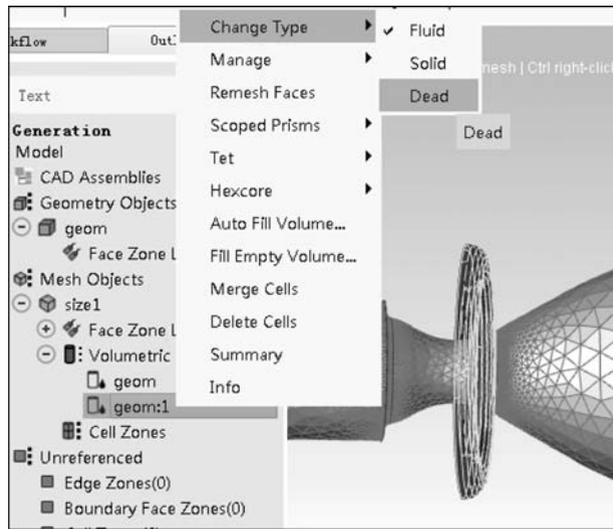


图 3.128 修改死区

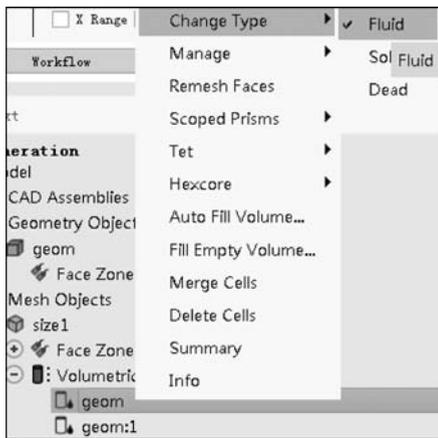


图 3.129 生成流体类型

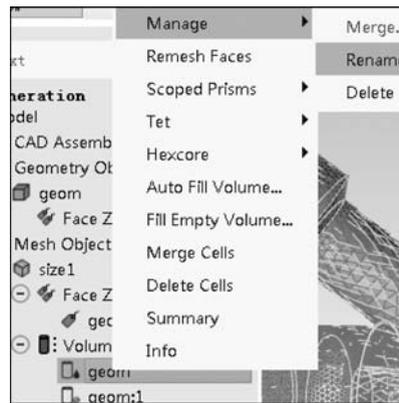


图 3.130 修改名称

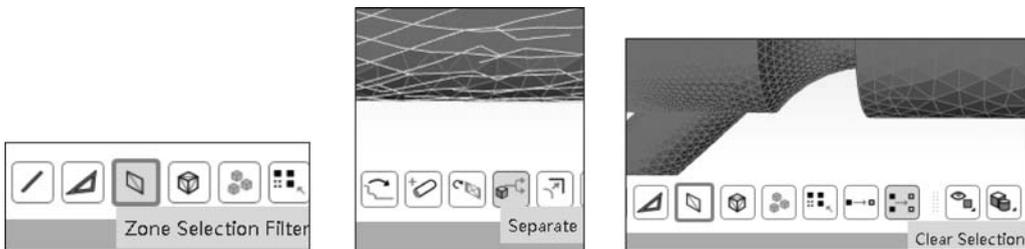


图 3.131 拆分面域

(15) 选择入口处其中的一个面,选择如图 3.132 所示的 Rename 按钮,在弹出的对话框中将名称修改为 inlet1,勾选 Set Boundary Type,将类型修改为 velocity-inlet。采样同样的方法,选择另一个入口,将其名称修改为 inlet2。选择另一侧的出口,将其名称修改为 outlet,并将类型修改为 pressure-outlet,如图 3.133 所示。

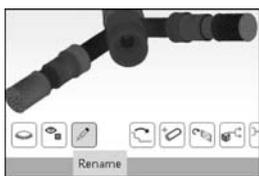


图 3.132 修改入口边界条件

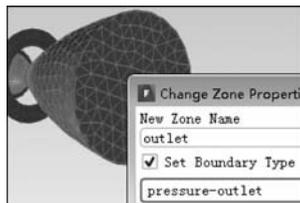
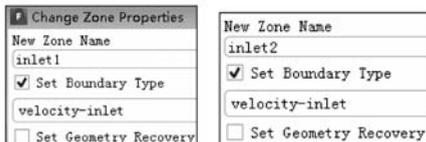


图 3.133 修改出口边界条件

(16) 如图 3.134 所示,右击 Cell Zones,选择 Auto Mesh,弹出如图 3.135 所示的体网格设置对话框。在 Boundary Layer Mesh 中选择 scoped,将名称修改为 inflation,单击 Create 按钮,使用默认参数创建边界层网格。在 Volume Fill 中可以设置不同的体网格类型,其中 Poly 为多面体类型网格,是 Fluent Meshing 中特有的网格类型,它可以在较少的网格单元数量的情况下达到较高的网格质量。它的缺点在于无法并行生成网格,若需并行生成网格,则可以使用 Poly-Hexcore 多面体+六面体混合类型网格。勾选 Merge Cell Zones within Regions,确保边界层网格与内部网格处于同一区域内。右击 Mesh Objects,选择 Draw All,刷新后的网格如图 3.136 和图 3.137 所示。

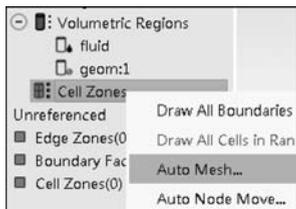


图 3.134 创建体网格

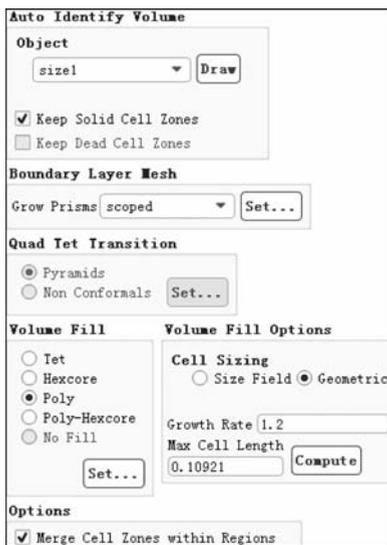
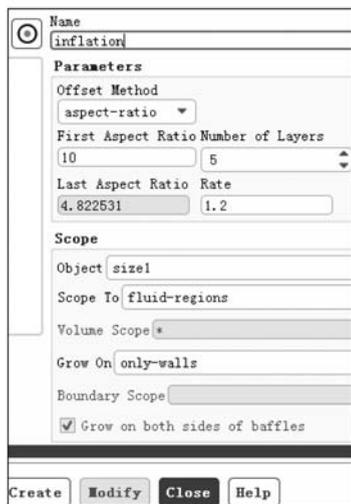


图 3.135 生成体网格



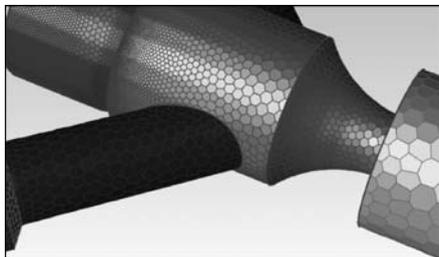


图 3.136 生成的体网格

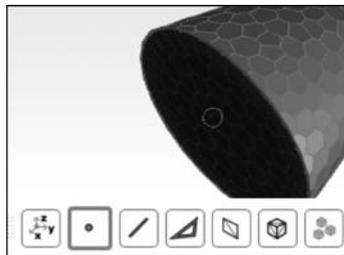


图 3.137 在下方选择刷新

(17) 在下方选择模式中选择点选择模式,右击出口面中心,选中一点后勾选工具栏中的 Insert Clipping Planes 及 Draw Cell Layer,内部截面网格如图 3.138 所示。

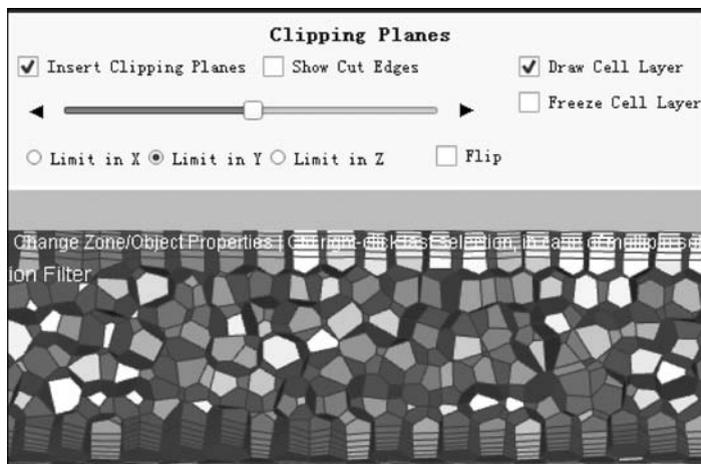


图 3.138 内部截面网格

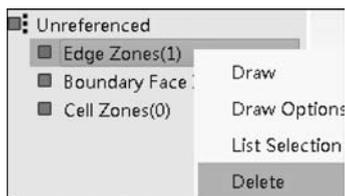
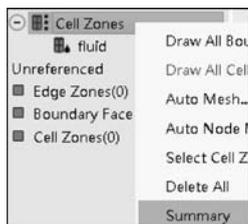


图 3.139 删除边区域

(18) 如图 3.139 所示,在 Unreferenced 中存在未被引用的边线,右击 Edge Zones,选择 Delete 将其删除,也可以在后续让程序自动删除。

(19) 右击 Cell Zones,选择 Summary,此时会在消息窗口显示体网格质量信息,如图 3.140 所示,其最大扭曲度约为 0.896,需要提高网格质量。



fluid	162	0	0.89629046	715005
name	id	skewed-cells(> 0.90)	maximum-skewness	cell count
-----	-----	-----	-----	-----
Overall Summary	none	0	0.89629046	715005

图 3.140 显示体网格质量

(20) 如图 3.141 所示,右击 Cell Zones,选择 Auto Node Move。在弹出的对话框中将 Quality Limit 设置为 0.7,如图 3.142 所示。单击 Apply 按钮,自动调整网格节点。

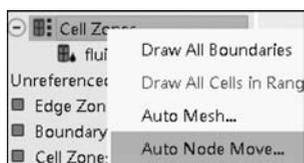


图 3.141 调整网格质量

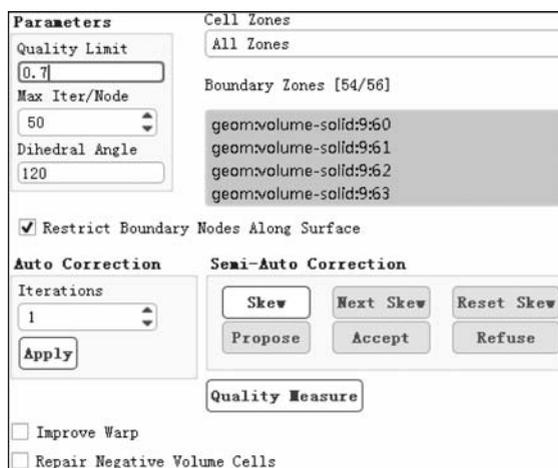


图 3.142 移动网格节点

(21) 再次查看网格质量,如图 3.143 所示,右击 Cell Zones,选择 Auto Node Move。在弹出的对话框中将 Quality Limit 再次设置为 0.7。

fluid	162	0	0.75132975	715005
name	id	skewed-cells (> 0.90)	maximum-skewness	cell count
Overall Summary	none	0	0.75132975	715005

图 3.143 查看网格质量

(22) 至此网格划分工作已经结束。右击 Model,选择 Prepare for Solve,系统会在网格导入 Fluent 前进行清理工作,清除几何实体、死区、边线区域、未被引用的面体与节点等,如图 3.144 所示。

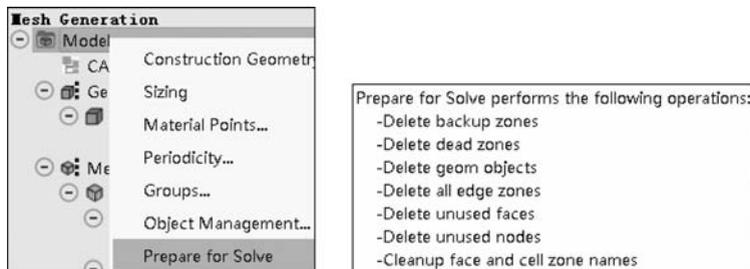


图 3.144 清理网格

(23) 单击工具栏中的 Switch to Solution 按钮,此时将进入 Fluent 求解模式,如图 3.145

所示。在执行该操作前也可先通过 File 菜单中的导出功能保存网格,如图 3.146 所示。



图 3.145 进入 Fluent 求解模式

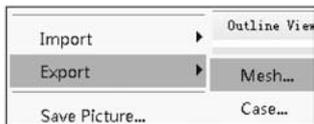


图 3.146 保存网格