

网格划分基础

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。



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



(a) 合理的网格划分

(b) 不合理的网格划分

图 3.3 网格划分对激波模拟结果的影响



(a) 不合理网格



(b)局部网格畸变



(c) 合理网格



(d)局部网格

图 3.4 局部特征的网格分辨率

	Mesh		
D	etails of "Mesh"		
	Check Mesh Qual	Yes, Errors	
	Error Limits	Standard Mechanical	
1	Target Quality	Default (0.050000)	
1	Smoothing	Medium	
	Mesh Metric	None	•
Ŧ	Inflation	Element Quality	
Ξ	Advanced	Aspect Ratio	
	Number of CPUs	Jacobian Ratio (MAPDL)	11
1	Straight Sided Ele	Jacobian Ratio (Corner Nodes)	
1	Rigid Body Behav	Jacobian Ratio (Gauss Points)	E
1	Triangle Surface	Parallel Deviation	
	Use Asymmetric	Maximum Corner Angle	
	Topology Checking	Skewness	
	Pinch Tolerance	Orthogonal Quality	*

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。







(a) 小畸变度单元

(b) 中畸变度单元图 3.6 网格畸变

```
(c) 大畸变度单元
```

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。

图 3.7 Meshing 模块

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 3.8 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

Common Settings	Meshing						
⊡-∰ DesignModeler	E Meshing						
- Graphics	Highlight Topology Being Meshed if Possib Allow Selective Meshing	le Yes Yes					
- Miscellaneous	Number of CPUs for Meshing Methods	24 🖌 🕨					
- Sketching	Default Physics Preference	Mechanical					
- 🕑 Toolbars	Default Method	Automatic (Patch Conforming					
Units	Use MultiZone for Sweepable Bodies	Off					
Agwa	Topology Checking	Yes					
H- C Mechanical	Verbose Messages from Meshing	Off					
Maching	Number of CPUs for Parallel Part Meshing	24					
A Mashing	Virtual Topology						
Mesning	Merge Edges Bounding Manually Created F	aces Yes					
Export	E Sizing						
	Adaptive Resolution	Program Controlled					
	Mechanical Min Size Factor (Default: 0.01)	.01					
	CFD Min Size Factor (Default: 0.01)	.01					
	Mechanical Defeature Size Factor (Default: 0	0.005) .005					

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。

₹ % \$ - 6 6 6 6 8 8 8 8 8 - 5 ÷ Q Q 8	. 圓 Q, Q, 郛 /2 圖 ■ 品 │ □ ▼
戸 Show Vertices 死 Close Vertices 2.e-004 (Auto Scale) - 🍄 Wireframe	Pashow Mesh 🙏 🖬 Random ⊘Preferences ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
↔ Size ▼ 🙎 Location ▼ 🛅 Convert ▼ 🗘 Miscellaneous ▼ 🖉 Tolerances	Clipboard - [Empty]
	Edge Coloring - h - h - h - h - h - h - h -
Model 🚄 Part Transform 🗊 Virtual Topology 📂 Engineering Topology ((Beta) 🛛 🙆 Symmetry 🛛 🏶 Mesh Edit 🕸 Mesh Numbering 🛛 🟥 Named Selection

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。

ĺ	Mesh						
D	etails of "Mesh"						
-	Display						
	Display Style	Use Geometry Setting					
Ξ	Defaults						
	Physics Preference	Mechanical					
	Element Order	Program Controlled					
	Element Size	Default					
Ξ	Sizing						
ľ	Use Adaptive Sizing	Yes					
	Resolution	Default (2)					
	Mesh Defeaturing	Yes					
	Defeature Size	Default					
	Transition	Fast					
ŕ	Span Angle Center	Coarse					
	Initial Size Seed	Assembly					
	Bounding Box Diagonal	0.20255 m					
ĉ	Average Surface Area	3.7795e-004 m ²	5	Defaults			
	Minimum Edge Length	5.e-004 m		Physics Preference	се	Mechanical	
Ξ	Quality					Mechanical	1.1
	Check Mesh Quality	Yes, Errors		Element Size		Nonlinear Mechanical	
÷	Error Limits	Standard Mechanical	6	Sizing		Electromagnetics	
ł	Target Quality	Default (0.050000)		Use Adaptive Sizi	ing	CFD Explicit	
ľ	Smoothing	Medium		Resolution			
	Mesh Metric	None		Mesh Defeaturin	g	Hudrodynamics	

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	*
Growth Rate	1.2	
Max Size	Default (2.0255e-002 m)	
Mesh Defeaturing	Yes	
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	
Curvature Min Size	Default (1.0096e-004 m)	
Curvature Normal Angle	Default (70.395*)	
Capture Proximity	Yes	
Proximity Min Size	Default (1.0096e-004 m)	
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		
Target Quality	1.e-002		
Smoothing	Medium		
Mesh Metric	Skewness		
Min	8.7771e-003		
Ma×	0.96712		
Average	0.37653		
Standard Deviation	0.20341		

图 3.18 Quality 选项





辦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

nflation				
Use Automatic Inflation	All Faces in Chosen Named Selection			
Named Selection	holes			
Inflation Option	Smooth Transition			
Transition Ratio	0.272			
Maximum Layers	5			
Growth Rate	1.2			
Inflation Algorithm	Pre			
View Advanced Options	No			



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

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
Statistic s	
Nodes	715763
Elements	351252

图 3.21 高级选项及网格数量统计

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。

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。

⊡_?® Mer 26	Insert	Method
Nar	🦸 Update	🔍 Sizing
ls of "Mesh	I Generate Mesh	🎉 Contact Sizing
splay	/	P Mach Fara Group (Pata)
play Style	Preview	 In the shift ace or oup (beta)
faults	Show	Face Meshing
ysics Preferer	of Create Pinch Controls	Mesh Copy
ment Order		Match Control
Element Size	Debugging (Beta)	Pinch
ing	Clear Generated Data	A Inflation
e Adaptive Si	alb Bename (F2)	Contact Match Group
Growth Rate	The residence (r T)	Contact Watch Group

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

U	etails of "Automa	atic Method" - Method	4
=	Scope		
	Scoping Method	Geometry Selection	
	Geometry	1 Body	
Ξ	Definition		
	Suppressed	No	
	Method	Automatic	•
	Element Order	Automatic Tetrahedrons Hex Dominant	
		Sweep	
		MultiZone	

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。

		- ੴ Nan └──√Œ of "Mesh'	∮ Update ∮ Generate Mesh		-
		y	Preview	+	
		y Style	Show	•	Sweepable Bodies
		l ts :s Preferer	🛿 Create Pinch Controls		Mappable Faces Protected Vertices (Beta)
ethod	Geometry Selection	nt Order	Debugging (Beta)		Protected Edges (Beta)
	1 Body	ment Size	Clear Generated Data		Protected Faces (Beta)
1	No	daptive Siz			Suppressed Vertices (bet
	Hex Dominant	pwth Rate	📄 Group All Similar Children		Suppressed Edges (Beta)
der	Use Global Setting	i× Size	Churt Bassardian		Defeatured Faces (Beta)
Aesh Type	Quad/Tri	Defeaturir	Start Recording		Defeatured Edges (Beta)
ssages	Yes, Click To Display	feature Siz	Force Update Mesh State (Beta)		Defeatured Vertices (Beta

Insert

Mest

图 3.24 六面体主导网格类型

Scope

Scoping M

Geometry

Suppressed

Free Face N

Control M

Definiti

Method

图 3.25 可扫略网格预览

.

Vertices (Beta)

/ertices (Beta)

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

	Hord Swe	e Systems ep Method		
De	tails of "Sweep Met	hod" - Method	4	
	Scope			
	Scoping Method	Geometry Selection		
	Geometry	1 Body		
8	Definition			
	Suppressed	No		AUDITORI
	Method	Sweep		
	Algorithm	Program Controlled		
	Element Order	Use Global Setting		
	Src/Trg Selection	Automatic	*	
	Source	Automatic		
	Target	Manual Source		
	Free Face Mesh Type	Manual Source and Target		
	Туре	Automatic Thin		
	Sweep Num Divs	Manual Thin		
	Element Option	Solid		
8	Advanced	A CARLES CONTRACTOR OF A CARLES OF		Geometry / Print Preview / Report Preview /
	Sweep Bias Type	No Bias		Messages

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



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
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.e-002m,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°,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
Sizing	
Use Adaptive Sizing	No
Growth Rate	Default (1.85)
Ma× Size	Default (2.e-002 m)
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default (5.e-005 m)
Capture Curvature	Yes
Curvature Min Size	Default (1.e-004 m)
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。





(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。

Quality		1
Check Mesh Quality	Yes, Errors	
Error Limits	Standard Mechanical	
Target Quality	Default (0.050000)	
Smoothing	Medium	
Mesh Metric	Skewness 🔹	
🗌 Min	3.6023e-007	
Max	0.95021	
Average	0.27572	L
Standard Deviation	0.16729	
Inflation	An and a second s	
Use Automatic Inflation	All Faces in Chosen Named Selection	
Named Selection	wall	
Inflation Option	Smooth Transition	
Transition Ratio	0.272	=
Maximum Layers	5	
Growth Rate	12	
Inflation Algorithm	Pre	
View Advanced Options	No	
• down and		



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。

	Hadada V	ا منع
Number of Bars: 10	opdate 1-	AXIS
Range		
Min	Max	
X-Axis 0.9	0.950211	Reset
Y-Axis 0	4	Reset
Tet10 Tet4	Quad8	Quad4

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。

	V 40 1111	Insert	🕜 Method
		🦸 Update	🔍 Sizing
D	etails of "Mesh	🦸 Generate Mesh	V Contact Sizing
-	Display	Previous	Kefinement
	Display Style	Preview	Mesh Face Group (Beta
-	Defaults	Show	Face Meshing
Phys	Physics Prefere	🥩 Create Pinch Controls	Mach Canu
	Element Order	Debugging (Bata)	twiesh Copy
	Element Size	Debugging (Beta)	Match Control
+	Sizing	Clear Generated Data	C Pinch
+	Quality	alb Rename (F2)	inflation inflation
+	Inflation		Canton Match Conus
+	Advanced	🗋 Group All Similar Children	Contact Match Group
Ŧ	Statistics	Start Recording	Sontact Match Rege Group

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。

Details c	Coordinate S Mesh Edge S Sweep	iystems izing Method - Sizina	4	
Scope				
Scopin	ng Method	Geometry Selection		
Geom	etry	4 Edges		
Defini	Definition			
Suppr	essed	No		
Type		Number of Divisions		
Nu	mber of Divisions	50		
Advan	ced			
Behav	ior	Soft		
Bias Ty	/pe	No Bias		Station Station

图 3.42 Sizing 局部网格设置



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。对于可扫略的管状模型,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。

tails of "Inflation" - Inflation €	s			
Scope				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	1 Body			
Definition				
Suppressed	No			
Boundary Scoping Method	Geometry Selection			
Boundary	5 Faces			
Inflation Option	Smooth Transition			
Transition Ratio	Default (0.272)			
Maximum Layers	5			
Growth Bate	12			

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。

tails of "Mesh"		ą.
Display	terre on the second	
Display Style	Use Geometry Setting	
Defaults	- 10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10	
Physics Preference	Mechanical	
Element Order	Program Controlled	
Element Size	4.0 mm	
Sizing		
Use Adaptive Sizing	Yes	
Resolution	Default (2)	
Mesh Defeaturing	Yes	

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。

Coordinate Systems Connections Second Mesh Face Meshing	1	Ĵ			THE A
etails of "Face Meshing" - M	apped Face M	4	AND		以新获
Scope		_	A K K	AB. SE	
Scoping Method	Geometry Select	i		Chillion .	ARYAX XX
Geometry	3 Faces			ASSESSE	- //
Definition			1		S THE XX
Suppressed	No				
Mapped Mesh	Yes				
Internal Number of Division	s 2		XXXX		WAX AND
Annahurin Brandana	No		TAXX S	公司大大	VAXX NAME OF

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。

Scope Page Scoping Method Geometry Selection Geometry 1 Face Definition Suppressed No Type Element Size 1 Face Advanced Element Size Defeature Size Default Behavior Soft	ia josh Lingt	Face Meshing Face Sizing	•
Scope Scoping Method Geometry Selection Geometry 1 Face Definition No Suppressed No Type Element Size Element Size 30 mm Advanced Defeature Size Defeature Size Soft	etails of "Face Siz	ing" - Sizing	ą
Scoping Method Geometry Selection Geometry 1 Face Definition Suppressed No Type Element Size Element Size 3.0 mm Advanced Defeature Size Default Behavior Soft	Scope		
Geometry 1 Face Definition	Scoping Method	Geometry Selection	
Definition Suppressed No Type Element Size Element Size 3.0 mm Advanced Defeature Size Default Rehavior Soft	Geometry	1 Face	
Suppressed No Type Element Size Element Size 3.0 mm Advanced Defeature Size Default Behavior Soft	Definition		
Type Element Size Element Size Storm Advanced Defeature Size Default Behavior Soft	Suppressed	No	
Element Size 3.0 mm Advarced Defeature Size Default Rehavior Soft	Туре	Element Size	
Advanced Defeature Size Default Rehavior Soft	Element Size	3.0 mm	
Defeature Size Default Behavior Soft	Advanced		
Behavior Soft	Defeature Size	Default	
	Behavior	Soft	

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

Ξ	Scope				
	Scoping Method	Named Selection			
	Named Selection	holes			
Ξ	Definition				
	Suppressed	No			
	Mapped Mesh	Yes			
	Constrain Boundary	No			
Ξ	Advanced				
	Specified Sides	No Selection			
	Specified Corners	No Selection			
	Specified Ends	No Selection			

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

□	Face Meshing Face Sizing Face Meshing 2 Pinch	E	V	X	X	R
tails of "Pinch" -	Pinch	ф		-XI		$-\mathbf{H}$
Scope				~n	\mathbf{M}	
Master Geometry	2 Edges		$\langle 1 \rangle$	N	\times	/ \
Slave Geometry	2 Edges		XX	IN	>	
Definition			-* 1	J-V	$\left \right $	/
Suppressed	No		XN	A	K	1
Tolerance	2.0 mm		$K \mid f \mid N$	\square		1
Scope Method	Manual		X	$V \ge 1$		

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

el 📔 📶 Part Tr	ansform	Virtual Topology	Engineering Topology
e [°] Name ⊘ †≻ ⊞ © roject*	• 2	*	Model 2020/3/2 22:19
Model (Ann)	nsert have Gran	h Connectivity (Reta)	Named Selection
	lear Gene	rated Data	Virtual Topology
	ipdate Ge	ometry from Source	Engineering Topo
s of "Model (A	(3)"	ą	mesh Numbering

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。

ープの Body Sizing		-			
tails of "MultiZone" -	Method	ą	調査		
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	1 Body				and a state of the
Definition					
Suppressed	No				
Method	MultiZone				
Mapped Mesh Type	Hexa				
Surface Mesh Method	Program Controlled	1			
Free Mesh Type	Hexa Dominant				
Element Order	Use Global Setting			TATA AVAILABLE SALATA	
Src/Trg Selection	Automatic		XAMARK		
10	、 出面 出 學			山田枝	

(a) 选项设置

(b) 网格

图 3.66 添加多区网格

12min



图 3.67 最终生成的网格

(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

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。



图 3.68 压缩线体



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。

₽,/₩D Connections E,/₩D Mesh E,/\$Q Edge S	izing			
tails of "Edge Sizing"	- Sizing	ą		_
Scope				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	4 Edges			
Definition				
Suppressed	No			
Туре	Number of Divisions			
Number of Divisions	10		1	
Advanced			1	
Behavior	Soft			
Growth Rate	Default (1.2)			
Capture Curvature	No			
Capture Proximity	No		Geome	try (Print Preview) Report Preview/
Bias Type			Messag	les
Bias Option	Bias Factor			Test
Bias Factor	10.0		Warnin	The license manager is delayed in its

(a) 选项设置

(b) 选择边



Edge S etails of "Edge Sizing 2	izing izing 2 '* - Sizing	ą
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	4 Edges	
Definition		
Suppressed	No	
Туре	Number of Divisions	
Number of Divisions	16	
Advanced		
Behavior	Hard	-
Capture Curvature	No	
Capture Proximity	No	
Bias Type	No Bias	



图 3.71 设置边网格参数

Ξ	Scope	1.5	
	Scoping Method	Geometry Selection	
	Geometry	1 Edge	
Ξ	Definition		
	Suppressed	No	+
	Туре	Number of Divisions	
	Number of Divisions	12	
-	Advanced	Appropriate	
	Behavior	Hard	
1	Capture Curvature	No	
	Capture Proximity	No	_
	Bias Type		Geometry (Print Preview) Re
	Bias Option	Bias Factor	Messages
	Bias Factor	1.5	interruger -

图 3.72 边偏移方向设置(一)

etails of "Edge Sizin	g 4" - Sizing	ф.	
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	1 Edge		
Definition			
Suppressed	No		
Туре	Number of Divisions		
Number of Divisio	ns 12		
Advanced			
Behavior	Hard	-	
Capture Curvature	No		
Capture Proximity	No		_
Bias Type			Geometry (Print Preview) Re
Bias Option	Bias Factor		Messages
Bias Factor	1.5		

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)

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。

			Workflow	Outline View
			Watertight Geometry	•68
			Workflow	
			🖓 🔝 Import Geome	try
			🖗 😹 Add Local Sizin	ig
	1		🖓 🛷 Create Surface	Mesh
Workflow	Outline View		💿 🧬 📐 Describe Georr	netry
Select Workflow Type	· 6 8 0 0	Get Started With	🖗 🚡 Enclose Fluid	Regions (Capping)
Workflow		Mesh Journal	The Create Regio	ms
		Brench Riller	𝑘 🗖 OD Update Region	s
		Recent Files	🖗 🛞 Create Volume	Mesh

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 模型导人参数设置

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。

	✓ Import Single File
	File pter3/WS2_CAD_import_Exhaust.igs.pmdb
	Pattern
	Length Unit mm 💌
Import CAD Geometry	Tessellation
✓ Import Single File	 CAD Faceting CFD Surface Mesh NX CAD Faceting
rattern	CFD Surface Mesh Controls
Tessellation	Use Size Field File
CAD Faceting	
CFD Surface Mesh	Size Functions
O MA CAD Faceting	✓ Curvature
CAD Faceting Controls	Curvature Normal Angle 18
✓ Refine Faceting Tolerance Max Size	Cells Per Gap
0.1 0	Scope Proximity to Edges
Options	Ignore Non Feature Edges
	✓ Auto-Create Scoped Sizing
Import Close Help	Save Size Field

(a) CAD Faceting刻面格式选项设置

图 3.83 导入模型选项







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。

			Global Sco	oed Sizing			
			Min	Max	Growth R	ate	
			0.60531	15.496	1.2	Apply	Reset
			Local Scope	d Sizing			
			Name			Туре	
			import_prox	imity_0		proximity	*
			Min	Max	Face Pi	curvature	
			0.60531	15.496	Face	neshed	
			Growth Rate	Normal Angle	V Face	hard	
			1.2	18	Teno	boi	
			Cells Per Ga	ap .	I Teno	re Orientat	ion
			1	-	TTI wear		
			Scope				
			Scope To O	oject Edges		•	
			Object Ty	ре			
			Geom 🖌	Mesh			
			Salantiana	_			
			56160(1003)				
Genera	tion		Create	Hodify			
Model	100 0 100 D						
E C/	Construction Geometry						
GE	Sizing •	Scoped				_	
•	Material Points	Functions	Delete Size	Field Cl	ose He	1p	

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

lesh

Θ

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。



(a) 网格缺陷位置



(b) 需移动的节点 图 3.92 移动网格节点



(c) 改善后



(a) 节点操作工具







(c) 改善后

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。



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。

		_	Auto Node Move					
Name		_	Parameters Cell Zones					
Control-1	Basesstern		Quality Limit All Zones					
Parameters			0.9		104 (04)			
Offset Method	-		Max Iter/Node Boundary Zones [54/54]					
aspect-ratio	<u>*</u>		50 🇘	geom				
First Aspect Rat	tio Number of Layers		Dihedral Angle	geom:100				
10	5	Ŧ	(120	geom:101				
Last Aspect Rati	io Rate			geom:102				
4.822531	1.2		Bestrict Boundar	v Nodes Along Su	rface			
Scope			(noveriet boundar)	,				
Ob is and a land		_	Auto Correction	Semi-Auto C	orrection			
Object sizei		_	Iterations	Skew	Next Skew	Reset Skew		
Scope To fluid-	regions		1					
Volume Scope *			Apply	Propose	Accept	Refuse		
Grow On only-walls			Quality Mea	sure				
Boundary Scope			Improve Warp					
Grow on both	sides of baffles		Repair Negative V	olume Cells				
图 3.99	边界层网格		图	3.100 改善	摩体网格			

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。

Change Zor	ne Properties		
New Zone Pre	fix		
Set Bound	lavu Tuma	Esh Generati	on
w Set Dound	ary type		Construction Geome
overset		🗗 Gec	Sizing
parent-face porous-jump		⊖ 🞯 Me:	Material Points
pressure-fai pressure-in	r-field let	- @	Periodicity
pressure-out radiator	tlet	$\overline{\odot}$	Groups
symmetry velocity-init	let		Object Management.
	(()	ΘI	Prepare for Solve
图 3.101 设置边界	早条件	图 3.102	2 求解准备

	<u>File</u> Boundary	Mesh D	
	Refresh Input Data Save Project	ection	
Prepare for Solve performs the following operations: -Delete backup zones -Delete dead zones	Read Write	Delta 0 nge Y Ran	Solution
-Delete geom objects -Delete all edge zones	Import	•	\$2
-Delete unused faces	Export	Mesh	
-Cleanup face and cell zone names	Save Picture	Case	Solution
图 3.103 网格传递前的清理工作	图 3.104 导出	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. scdoc。

(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 3.108 压缩固体



图 3.107 选择内部面

(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 3.114 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。

Lesh Generat:	ion					
Model CAD	Construction Geometry •		Global Sc	oped Sizin	g	
🕞 🛋 Geo	Sizing •	Scoped.	Min	Max	Growth Rate	\square
⊖ ∅ ç	Material Points	Function	2.5e-05	0.0064	1.2	Apply Res
图 3	.115 添加网格尺寸		B	3.116	设置全局网核	各尺寸

(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。

Local Scoped Siz	ing			Local Scor	oed Sizing			
Name		Туре		Name			Туре	
control-1		curvature	-	control-1			proximity	•
Min Max	Face I	Proximity Opti	on	Min	Max	Face P	roximity Opti	on
2.5e-05 0.00	54 🛛 🗖 Fac	e Boundary		2.5e-05	0.0064	Fac	e Boundary	
Growth Rate Norma	l Angle	e boundary		Growth Rate	e Normal Angle	- rac	e boundary	
1.2 18	V Fac	ce Face		1.2	18	V Fac	e race	
Cells Per Gap	Gap Ignore Self			Cells Per Gap		Ignore Self		
3	🗘 🖌 Igr	nore Orientation	L'	3	\$	✔ Ign	ore Orientation	
Scope				Scope				
Scope To Object	Faces and Edges			Scope To)bject Faces a	nd Edges	•	
Object Type				Object I	уре			
🖌 Geom 🗌 Mesh				🖌 Geom	Mesh			
Selections *				Selections	*			
Create IIodi	fy			Create	Hodify			

(b) 设置curvature局部尺寸

(a) 设置proximity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,将刻面几何模型 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 3.117 设置局部尺寸



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



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

X Range	Change Type	•	 Fluid 					
Workflow	Manage	+	Sol Fluid	·	Manage	*	Merge	
	Remesh Faces		Dead	st	Remesh Faces		Rename.	
rt	Scoped Prisms	+		neration	Scoped Prisms	×	Delete	
eration	Tet	•		del	Tet	۲I		
del CAD Assemblies	Hexcore	•		CAD Assemb	Hexcore			
Geometry Object	Auto Fill Volume			Geometry Ot	Auto Fill Volume			
🗊 geom	Fill Empty Volume			V Face Z	Fill Empty Volume		100	
🐓 Face Zone	Merge Cells			Mesh Object	Merge Cells		3-114	
Mesh Objects 🗊 size1	Delete Cells			🐨 size1	Delete Cells		Carles Carles	
🖲 🐓 Face Zone	Summary			aec dec	Summary		A CONTRACTOR	
Solumetric Geom	Info	_		I: Volum	Info			Rename Region
De geom:1					1			fluid

图 3.129 生成流体类型





图 3.131 拆分面域

(15)选择人口处其中的一个面,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。



(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。

		Auto Identify Vol	lume				
		Object size1	• Draw	0	Name Inflation Parameters		_
		✓ Keep Solid Cell ○ Keep Dead Cell	Zones Zones		Offset Method		
		Boundary Layer 🔳	esh		First Aspect Ratio	Number of Layers	
		Grow Prisms scoped	▼ [Set]		(10	5	÷
		· · · ·			Last Aspect Ratio	Rate	
		Quad Tet Transit:	ion		4.822531	[1.2	
		 Pyramids Non Conformals 	Set		Scope		
		Volume Fill	Volume Fill Options		Object sizel	ione	
Volumetric I Iluid Record	Regions	 Tet Hexcore Poly 	Cell Sizing O Size Field () Geometric		Volume Scope *	5 I UII 5	
Cell Zones	Draw All Boundaries	<pre>O Poly-Hexcore O No Fill</pre>	Growth Rate 1.2 Max Cell Length		Boundary Scope		
Edge Zones(0	Draw All Cells in Ran	Set	0.10921 Compute		Grow on both s	ides of baffles	
Boundary Fac Coll Zopec(0)	Auto Mesh	Options					_
Cell Zuries(0)	Auto Node Move	✓ Merge Cell Zone:	s within Regions	Creat	te Hodify Clo	se Help	



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







(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。

			0.00/0004/	215005
flu	1a 162	U	0.89629046	715003
na	me id	skewed-cells(> 0.90)	maximum-skewness	cell count
Overall Summa	ry 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。



(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。

lesh Generat	ion	
Model	Construction Geometr	
Θ 👩 Ge	Sizing	Prepare for Solve performs the following operations
•	Material Points	-Delete backup zones
	Periodicity	-Delete dead zones -Delete geom objects
0	Groups	-Delete all edge zones
Θ	Object Management	-Delete unused faces
	Prepare for Solve	-Delete unused nodes -Cleanup face and cell zone names

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

Import	•	Outline View
Export	Þ	Mesh
Save Picture		Case

图 3.146 保存网格