2 基于有限元分析的几何建模

一般来说,有限元分析的第一步是建立有限元模型。然而,由于工程中涉及到的结构较为复杂,通常需要利用 CAD 软件的三维几何建模功能先创建基于有限元分析的几何模型,然后,基于几何模型再建立有限元网格模型。HyperMesh 软件有两种方式创建几何模型:一种是运用其几何建模功能直接创建几何模型,另一种方式是首先导入其他 CAD 软件创建的几何模型,然后对其进行几何编辑与修复,获得便于创建有限元模型的几何模型。值得注意的是:① 建立几何模型之前,一定要明确有限元分析的性能指标,因为不同分析目的的有限元模型是不同的; ②尽可能地利用 CAD 软件强大的建模功能,创建益于有限元建模的几何模型,这样可大幅度提高建模效率。

2.1 HyperMesh 几何建模功能

对于较为简单的几何模型可以通过 HyperMesh 提供的几何建模功能来完成几何建模。复杂的几何模型则需要在 CAD 建模软件中创建,导入到 HyperMesh 中利用其几何建模及清理功能进行几何模型的修复和完善。

2.1.1 特殊单元的几何模型建模

有限元模型中的特殊单元通常指点单元及线单元,点单元包括点焊单元、质量单元、弹 簧单元、刚性单元等,线单元包括杆单元、梁单元等。创建有限元特殊单元首先需要创建特殊 单元的几何模型,如点、线等几何元素,再在此几何模型基础上创建有限元特殊单元。

HyperMesh 几何模型中的点包括节点、自由点及硬点,如图 2-1 所示。

节点是最基本的有限元元素,通常情况下,节点显示为一个黄色的圆球。每个节点有相应的空间位置,并可应用节点定义单元的形状和位置,同时,节点也可用于辅助创建几何对象。

自由点是不与空间任何曲面关联的零维几何对象。通常情况下,自由点显示为"X",其 颜色取决于所属的组件集合。自由点通常用于创建焊接单元和连接单元。由于自由点不与任何 曲面关联,自由点可直接清除。

曲面边界的交点会形成硬点,另外模型简化如清除孔洞后圆心位置也会生成硬点。通常

情况下,硬点显示为灰色的圆点。硬点与曲面相关联,网格模型生成时在硬点处生成节点,组成相应的单元网格,因此硬点会影响网格生成的位置从而影响网格质量。在不影响曲面拓扑结构的情况下,硬点可以被压缩。



图 2-1 HyperMesh 二维几何模型特征

线是不与空间任何曲面或实体关联的一维几何对象。其颜色取决于所属的组件集合。线由一个或多个线型组成,每一个线型被称为一个线段。每个线段的终点与下一线段的起点相连, 多个线段最终组成一个线实体。通常情况下,HyperMesh自动选择合适的数量和类型的线段来 表达几何。在 HyperMesh 中线可通过三种方式创建:直线(straight)、椭圆线(elliptical)、非 均匀有理样条曲线(NURBS)。

HyperMesh 中提供多种创建特殊单元几何模型的方法,另外应用者也可以导入其他 CAD 软件创建的几何模型文件。本节主要介绍特殊单元几何模型的创建和编辑方法,应用者可根据 待创建的几何特征及对模型细节的要求选择不同的几何创建及编辑方法。

(1) 点的创建与编辑。

1) 节点 (Nodes) 的创建。

在 HyperMesh 中创建节点主要通过 Geom 主菜单页面下的 nodes 面板、temp nodes 面板及 distance 面板来完成。nodes 面板提供丰富的功能按钮支持通过多种方式创建新节点。除了使 用菜单面板创建节点外,各面板选择对话框中的 Duplicate/on screen 功能也可用于创建节点。 HyperMesh 中提供的节点创建方法详见附录 4。

2) 自由点 (Free Points) 的创建。

在 HyperMesh 中创建自由点主要通过 Geom 主菜单页面下的 points 面板、point edit 面板 及 distance 面板来完成。points 面板提供四种功能按钮支持通过坐标、圆弧曲率中心、曲面或 曲线参数、交叉位置来创建自由点。除了使用菜单面板创建节点外,各面板选择对话框中的 Duplicate 也可用于创建自由点。HyperMesh 中提供的自由点创建方法详见附录 5。

3) 硬点(Fix Points) 的创建。

在 HyperMesh 中创建硬点主要通过 Geom 主菜单页面下的 quick edit 面板、point edit 面板

基于 HyperMesh 的结构有限元建模技术

及 defeature 面板来完成。point edit/quick edit 面板中的 add 子面板及 project 子面板能够通过新 建或投影已有硬点的方式创建新硬点。defeature 面板下的 pinholes 子面板除了能清理孔洞之外, 还能在清除的孔洞圆心创建硬点。HyperMesh 中提供的硬点创建方法详见附录 6。

4) 节点的编辑。

在 HyperMesh 中编辑节点主要通过 Geom 主菜单页面下的 node edit 面板、temp nodes 面 板以及 Tool 主菜单页面下的 find 面板、translate 面板、rotate 面板、scale 面板、reflect 面板、 project 面板、position 面板、permute 面板、renumber 面板来完成。这些面板及其子面板提供 丰富的功能支持对节点的编辑,如移动、投影、镜像、旋转、缩放等。HyperMesh 中提供的节 点编辑方法详见附录 7。

5) 自由点的编辑。

在HyperMesh中编辑自由点主要通过Tool主菜单页面下的delete面板、translate面板、rotate面板、scale面板、reflect面板、project面板、position面板、permute面板、renumber面板来完成。这些面板及其子面板提供丰富的功能支持对自由点的编辑,如删除、移动、投影、镜像、旋转、缩放等。HyperMesh中提供的自由点编辑方法详见附录 8。

6) 硬点的编辑。

在 HyperMesh 中编辑硬点主要通过 Geom 主菜单页面下的 quick edit 面板、point edit 面板 以及 Tool 主菜单页面下的 renumber 面板来完成。这些面板提供对硬点的压缩、移动、释放、 编号等编辑功能。HyperMesh 中提供的硬点编辑方法详见附录 9。

(2) 线的创建与编辑。

1) 线 (Lines) 的创建。

在 HyperMesh 中创建线主要通过 Geom 主菜单页面下的 lines 面板的各个功能按钮来完成。 这些功能按钮提供多种方式创建各种曲线,如标准曲线、圆弧曲线、圆锥曲线、倒角曲线等。 HyperMesh 中提供的线的编辑方法详见附录 10。

2) 线的编辑。

在 HyperMesh 中编辑线主要通过 Geom 主菜单页面下的 lines 面板、line edit 面板以及 Tool 主菜单页面下的 delete 面板、translate 面板、rotate 面板、scale 面板、reflect 面板、project 面 板、position 面板、permute 面板、renumber 面板来完成。line edit 面板提供多个子面板对曲线 进行合并、分割、平滑、延伸等编辑。HyperMesh 中提供的线的编辑方法详见附录 11。

2.1.2 二维单元的几何模型建模

有限元模型中的二维单元通常指板壳单元,包括三角形单元及四边形单元。创建二维单元首先需要创建二维单元的几何模型,主要为曲面,再基于曲面创建二维板壳单元。曲面是用于自动划分网格的二维几何实体。曲面的颜色取决于所属的组件集合器。曲面的周边用曲面边定义。曲面边根据其不同的拓扑关系分为四种类型:自由边、共享边、压缩边、T型边,如图 2-1 所示。

自由边(free)默认情况下显示为红色,自由边出现在模型的边缘及孔内壁。两个相邻面间出现的自由边表示两个面存在间隙。

共享边(shared)默认情况下显示为绿色,共享边出现在相邻曲面共同拥有的边界上。两 个曲面之间的边界是共享边,表示曲面间没有间隙或重叠。共享边可以被压缩,压缩后划分网

格时将不会在该处生成固定节点。

压缩边(suppressed)默认情况下显示为蓝色虚线,压缩边指两个曲面共同拥有的边界,但与共享边不同,网格划分时不会在压缩边生成固定节点,压缩边在网格划分时将被忽略。

T型边(non-manifold)默认情况下显示为黄色,T型边指由3个或3个以上的曲面共同 拥有的边。T型边通常出现在模型的T形交叉位置或多个面重复位置。T型边不可被压缩。

HyperMesh 中提供多种创建二维单元几何模型的方法,另外应用者也可以导入其他 CAD 软件创建的二维几何模型文件或者根据其他 CAD 软件的三维几何模型文件抽取二维曲面。对于比较复杂的二维单元几何模型,尽量使用其他 CAD 软件完成几何模型建模,将其导入 HyperMesh 进行几何处理,以减少前处理耗费的时间。本节主要介绍 HyperMesh 中二维单元 几何模型曲面的创建和编辑方法,以及直接从三维模型中抽取中面创建二维单元几何模型的方法。由于几何模型的特征及细节要求不同,可选择不同的面创建及编辑方法。

曲面根据其拓扑关系分为三种:边界面(绿色)、完全分割面(黄色)、未完全分割面(红 色)。每个曲面由一个或多个面组成,如图 2-2 所示。



图 2-2 HyperMesh 三维几何模型特征

(1) 面的创建与编辑。

1) 面 (Surfaces) 的创建。

在 HyperMesh 中创建曲面主要通过 Geom 主菜单页面下的 surfaces 面板以及 2D 主菜单页 面下的 planes 面板、cones 面板、spheres 面板、torus 面板、drag 面板、spin 面板、line drag 面 板、ruled 面板、spline 面板、skin 面板来完成。另外,可通过 Geom 主菜单页面下的 midsurface 面板进行三维模型的中面抽取。HyperMesh 中提供的面创建方法详见附录 12。

2) 面的编辑。

在 HyperMesh 中编辑曲面主要通过 Geom 主菜单页面下的 quick edit 面板、surface edit 面板、edge edit 面板、midsurface 面板、autocleanup 面板、dimensioning 面板以及 Tool 主菜单页面下的 delete 面板、translate 面板、rotate 面板、scale 面板、reflect 面板、HyperMorph 面板、position 面板、permute 面板、renumber 面板来完成。Geom 主菜单页面下提供的面板主要对曲面进行清理和修补, Tool 主菜单页面下提供的面板主要对曲面进行修改。HyperMesh 中提供

的面编辑方法详见附录 13。

(2) 实体对象中面抽取。

有限元分析中钣金冲压、塑料肋板等厚度远小于长度和宽度的零件一般用板壳单元来模 拟。但一般 CAD 设计模型为实体结构, HyperMesh 中的 midsurface 面板能够帮助应用者从复 杂的实体模型中抽取中面,很快地得到用于壳单元网格划分的 CAD 几何模型。midsurface 面 板下包含七个子面板: auto midsurface 子面板、replace edge 子面板、surface pair 子面板、extend surface 子面板、quick edit 子面板、view/assign thickness 子面板以及 assign target 子面板。

在 HyperMesh 中运用各子面板进行中面抽取的一般流程如图 2-3 所示。抽取中面过程完 成后,用来抽取中面的原几何不会改变,抽取出来的中面会存放在自动新建的名为 Middle Surface 的 component 中,或当前的 component 中。HyperMesh 会自动计算和保存每一个中面 的厚度。



图 2-3 抽取中面的一般流程

本节主要介绍使用 auto midsurface 子面板进行中面抽取及自动抽取中面失败后的曲面修 复方法。

1) auto midsurface 子面板。

auto midsurface 子面板允许应用者从复杂实体部件中一步抽取出模型中面。auto midsurface 子面板如图 2-4 所示,包含以下选项。

 auto midsurface surface pair 		extraction options	extract sort
C quick edit			reject
C assign target			
C replace edge			
C extend surface			
C view/assign thickness			return
	図 2 4	auto midsurface 子面板	





a) closed solid: 自动选择所选曲面所属的体,从该体中抽取中面。

b) incomplete solid: 提供其他的选择选项包括:选择与所选曲面连接的所有曲面、显示 所选曲面的法向方向、控制曲面法向方向反向、法向显示方式(颜色或箭头)。

c) extraction options: 提供多种抽取中面的选项包括:

- max thickness ratio: 厚度超过该比例值与最薄板的厚度乘积的板在抽取时将被忽略, • 设置较小的值可以避免抽取错误的中面。
- align steps/keep jump steps: 定义中面的偏移量,用于抽取阶梯厚度的实体中面。
- allow rerun: 在 auto midsurface 子面板中添加 rerun 按钮。
- use base surfaces: 在 auto midsurface 子面板中添加基础表面选项用于设置基础表面和 距离来抽取复杂体的中面。
- thickness bounds/no thickness bounds: 设置部件中最大/最小板厚。
- max R/T ratio: 针对复杂模型的连接处,用于设置圆角半径(R)与连接边宽度(T) 的比值。
- extract by component/cross components: 控制从每个 component 单次抽取中面或从多 个 component 中抽取中面。
- result in Middle Surface comp/result in current comp: 抽取的中面存储在当前组件或自 • 动创建的中面组件中。
- sort Middle Surface comp into: 控制中面组件的分类方式。
- 2) 自动抽取失败后的修复方法。

一般情况下,使用 auto midsurface 子面板都能成功抽取三维模型的中面。但由于实体几何 的复杂性,抽取出的中面可能会出现丢失、存在缺陷等情况,不利于网格生成。针对自动抽取 中面失败后产生的不同情况,可采用以下方法进行中面修复。

- a) 情况一:已在正确的位置生成中面,但不能切割面或不能划分网格。
- 在 Geom 页面中选择 midsurface 面板。
- 选择 assign target 子面板。 •
- 选择抽取失败的中面。 •
- 单击 offset。 •
- 单击 accept。 •

如果新生成的中面仍然不能切割面或划分网格,仔细检查中面边界是否自相交。若边界 存在自相交,虽然中面已经生成,但某些曲面的位置并不正确。

- b)情况二:中面已经生成,但某些曲面位置不正确。
- 在 Geom 页面中选择 midsurface 面板。 •
- 选择 quick edit 子面板。 •
- 选择抽取失败的中面。

选取中面后图形区自动出现三个新的组:源曲面(黄色)、中面(蓝绿色)、目标(红色)。 所有三个新的组都为临时组,离开 midsurface 面板后将自动消失。检查目标和中面,然后确定 目标是否正确。

选择黄色曲面(源曲面)上的一个点(边)进行偏移。 •

选择点后一个红色圆圈出现在被选择的点周围,可以选择在黄色曲面边上的点或者以黄

基于 HyperMesh 的结构有限元建模技术

色曲面边上的任意点偏移得到新的点。

- 可以通过选择已有的或创建新的控制点(边)来指定新目标。一旦选择新的控制点后, 蓝绿色的曲面将更新。
- 可以通过单击▶选择新的目标。
- 一旦完成所有目标的更新,可以单击 update 后生成新的中面,所有临时曲面和目标 将清除。

注意: 手动编辑时, 必须谨慎选择合适的目标。尤其注意曲面边界不能自相交(重叠), 否则曲面将不能切割或划分网格。

- c)情况三:中面丢失。
- 在 Geom 页面中选择 midsurface 面板。
- 选择 surface pair 子面板,通过选择端面生成中面,或者选择 quick edit 子面板。
- 如果选择 quick edit 子面板,在几何体上确定一个曲面作为丢失的中面的标准。
- 选择该曲面,然后参照情况二采用的方法生成中面。
- d) 情况四:两个中面互相呈L形,但边没有相交。
- 在 Geom 页面中选择 midsurface 面板。
- 选择 extend surface 子面板。
- 打开 extend surfaces over edges 开关。
- 选择想要延伸的曲面边。
- 单击 extend。

注意:根据上面的程序选择全部或部分孔洞边界,可以封闭(或部分封闭)曲面上的孔 洞。可以使用这种方法清除中面上的孔洞或缝隙。但是如果重新偏移中面,孔洞或缝隙将再次 出现。只有通过清除孔洞或缝隙边界目标的方式移除孔洞或缝隙(参照情况二),才能阻止其 重新出现。

- e) 情况五:检查或更改中面厚度。
- 在 Geom 页面中选择 midsurface 面板。
- 选择 view thickness 子面板。
- 选择需要改变厚度的曲面。

窗口将显示曲面厚度。没有指定厚度的曲面显示为红色。可以输入指定值后单击 assign 为曲面指定厚度。

2.1.3 三维单元的几何模型建模

有限元模型中的三维单元通常指体单元,包括四面体单元、六面体单元等。由于三维模型的复杂性,创建有限元三维单元首先需要创建三维单元的实体几何模型,在实体几何模型上自动划分三维单元,或首先生成二维单元再进行拖拽、扫掠等操作形成三维单元。

HyperMesh 中提供多种创建和编辑实体的方法,另外应用者也可以导入其他 CAD 软件创 建的三维几何模型文件。本节主要介绍三维单元几何模型实体的创建和编辑方法,应用者可根 据待创建的几何特征及对模型细节的要求选择不同的实体创建及编辑方法。

(1) 实体(Solids) 的创建。

在 HyperMesh 中创建实体主要通过 Geom 主菜单页面下的 solids 面板来完成。solids 面板

提供丰富的功能按钮创建不同类型的实体。HyperMesh 中提供的实体创建方法详见附录 14。 (2)实体的编辑。

在 HyperMesh 中编辑实体主要通过 Geom 主菜单页面下的 solid edit 面板、dimensioning 面板以及 Tool 主菜单页面下的 delete 面板、translate 面板、rotate 面板、scale 面板、reflect 面 板、position 面板、permute 面板、renumber 面板来完成。solid edit 面板包括多个子面板提供 对实体修剪、合并、布尔运算等操作。实体的拓扑结构将影响生成的体单元网格质量,为了保 证单元质量,前处理时需要对复杂的实体进行编辑,优化实体拓扑结构。HyperMesh 中提供的 实体编辑方法详见附录 15。

2.2 CAD 模型导人及清理

2.2.1 CAD 几何模型的导入

HyperMesh 目前支持的 CAD 数据类型包括: ACIS、CATIA、DXF、IGES、JT、Parasolid、 PDGS、Pro/E、SolidWorks、STEP、Tribon、UG、VDAFS 等,支持的数据版本及平台系统详 见附录 16。

2.2.2 几何模型清理

从 CAD 软件导入的几何模型多为设计模型,许多几何特征在有限元分析中并不关注如模型中的短边、小孔、圆倒角等几何特征,后续将会影响网格划分质量需要进行模型简化。另外由于 CAD 软件与 HyperMesh 软件接口中不可忽略的容差,模型导入后可能会产生曲面丢失、间隙、重合等情况。HyperMesh 针对以上问题提供一系列工具对导入后的几何模型进行清理和修补,简化几何模型,提高网格划分质量。

(1) 拓扑显示。

当进入主要功能为编辑几何的面板时,曲面显示自动切换到拓扑模式,曲面边界根据不同的拓扑状态显示不同的颜色。曲面边的拓扑能够控制曲面和曲面边界的网格生成。在图形显示窗口中曲面边有三种不同的颜色和状态:自由边、共享边、压缩边。

自由边表示曲面边与其他曲面边不连接,自由边通常会导致网格不连续,任何自由边上 的节点不与相邻面上的单元同享。自由边默认显示为红色。

共享边表示两个曲面连接处的边界。任何放置在共享边上的节点将与相邻面上的单元共 享。共享边默认显示为黄色。

压缩边是在网格划分过程中被自由网格划分时忽略的曲面边界。两个相邻的曲面将连在 一起形成一个更大的面,压缩边界上不分布节点。压缩边默认显示为蓝色。可以应用 visualization options 按钮来改变系统的几何拓扑显示控制默认的颜色,如图 2-5 所示。显示几 何模型的拓扑结构后,应用者观察模型的拓扑边界及几何特征,运用 HyperMesh 的几何清理 工具对几何模型进行清理和修复。

(2) 几何清理工具。

HyperMesh 提供以下几何清理工具: edge edit 面板、point edit 面板、quick edit 面板及 autocleanup 面板。

- 17

rperMesh	的结构	可有限元建模技术	
	🕿 By 20	D Topo 🔹 🖓 • 🎧 • 🌍 🔮 By Comp 🔹 🖓 • 🏟 • 🐟 • 🗇 • 🗊 🌉	
		Options	
		Edges: Free Shared Suppressed Non-manifold	
		Shaded faces on solids: Image: Solution solid state of the solution state of th	
		Solid transparency: 8	
		Mappable solids: 1-direction 3-direction Ignored Not mappable	

图 2-5 几何拓扑显示控制

1) edge edit 面板。

基于 Hy

该面板用于改变相邻曲面边界的连接状态,该面板可以缝合或分离曲面、压缩或消除多 余的边、倒角等。可单击 Geom 主菜单页面下的 edge edit 面板或单击 Geometry 菜单中的 Edit>Surface Edges 进入 edge edit 子面板。

如图 2-6 所示, edge edit 子面板提供 7 个不同的工具: toggle、(un)suppress、replace、equivalence、unsplit、edge fillets、by feature。

c toggle C (un)suppress C replace	at cursor dge	reject
C equivalence C unsplit C edge fillets	cleanup tol = 0 . 0 0 1	
C by feature		return

图 2-6 edge edit 面板

a) toggle.

toggle 允许曲面边顺序地改变拓扑关系。通过单击曲面边,拓扑状态从自由边到共享边再 到压缩边。相反,右击曲面边可进行以上操作的反向操作。toggle 所操作的曲面边必须都在 cleanup tolerance 设置的容差范围内。

b) (un)suppress.

(un)suppress 工具可以对曲面边界进行压缩和反压缩操作。当曲面自动划分网格时,被压缩的边将被忽略,生成连续网格,但该曲面边仍存在,可重新进行反压缩。如图 2-7 所示,使用 lines 选择器选择需要压缩或反压缩的边,设置 breakangle 用于在选择边界时维持几何特征,如果曲面边界的邻接面法向夹角超过 breakangle 值,曲面边将不能压缩。

		基于有限元分析的几何建模	第2章
C toggle (un)suppress C replace	lines		suppress unsuppress reject
C equivalence	breakangle = 30.000		
C edge fillets			
C by feature			return

图 2-7 (un)suppress 工具

c) replace.

replace 工具用于移除与其他边相同的边,在初始边界位置合并两条边成为共享边。此功 能提供的控制多于 toggle。如图 2-8 所示,通过 line 选择器选择 moved edge 及 retained edge, 将在 retained edge 选择的边位置处生成共享边。设置 cleanup tolerance 用于确定两条所选边界 之间的最大距离。

 toggle (un)suppress replace equivalence unsplit eque fillets 	moved edge:	replace reject
C by feature		return

图 2-8 replace 工具

 $d) \ equivalence_{\circ}$

equivalence 工具用于在清理容差范围内自动识别和合并自由边,如图 2-9 所示。surfs 选择器所选择的曲面将按以下原则判断是否存在自由边及自动缝合:

- cleanup tolerance: 用于确定两条自由曲面边界之间所能匹配的最大距离。
- equivalence free edges only: 约束该操作只针对自由边,否则将可能出现共享边或 T 型边合并的情况。
- equivalence across comps: 允许不同组件中的曲面边合并。

C toggle C (un)suppress C replace c equivalence C unsplit C edge fillets	surfs II equiv across comps equiv free edges only cleanup tol = 0.010	equivalence reject
C by feature		return

图 2-9 equivalence 工具

e) unsplit.

unsplit 工具用于移除分割曲面所产生的分割曲线,也可用于移除闭合边,如曲面上的孔,如图 2-10 所示。提供两种使用方法:

 toggle (un)suppress replace equivalence unsplit edge fillets bufgeturg 	at cursor line	multiple edges lines	I reject
C by teature			return

图 2-10 unsplit 工具



基于 HyperMesh 的结构有限元建模技术

- at cursor: 对单一曲线立即执行操作。
- multiple edges: 允许选择多条曲线,单击 untrim 执行操作。

f) edge fillets.

edge fillets 工具用于清除曲面边界的圆角,如图 2-11 所示。提供两种使用方法:

- 面板左边用于选择和搜索识别曲面边界的圆角,并自动清除。最大、最小半径用于约束圆角半径,避免选择半径过小或过大的圆角,最小角度值用于确定圆角的最小弧长。一旦曲面及搜索条件确定后,单击 find 将搜索到复合条件的圆角,这些圆角圆心都标以F进行识别。此时 fillets 选择器已经预选所有搜索到的圆角,在单击 remove 后,均变为直角。
- 面板右边用于选择圆角端点和终点,手动清除圆角。激活顶部的 node 选择器,选择 曲面边界上圆角端点的近似位置后一个临时节点自动创建,此时下端 node 选择器自 动激活,再选择曲面边界上圆角的另一个端点,曲面边界将沿圆角端点切线延伸直至 相交。

C toggle	surfs	K	trim - intersect	find
C (un)suppress			node	remove
C replace	fillets	K		reject
C equivalence	min radius	5.000	node	
C unsplit	max radius	200.000		
 edge fillets 	min angle	15.000		
C by feature	▼ all			return

图 2-11 edge fillets 工具

g) by feature.

by feature 工具用于基于几何特征线合并曲面,如图 2-12 所示。符合面板设定的曲面边界 将被压缩以使边界对应的曲面连续,该面板提供以下方法压缩曲面边界:

- angle surfs: 共享边对应的曲面的折角(曲面法向的夹角)大于 angle surfs 的值时, 共享边将被压缩。曲面法向可以通过曲面与共享边的偏移距离计算得到。
- min fillet/max fillet:沿曲面圆角切线的共享边将被压缩。
- angle vertex: 内角大于设定值的曲面顶点引出的共享边将被压缩。
- shape ratio: 形状比(相对的边的长度的比值)大于设定值的曲面边将被压缩。
- min edge: 探测出小于设定值的曲面边,采用以下三种方式处理:如果曲面边包含不影响几何连续性的硬点,这些硬点将被压缩;如果曲面边相对设定值非常小(小于设定值1/10),该边两端点将合并成一个点;其他情况下,曲面边将会被压缩。
- close orphan:这个开关按钮控制是否希望在非闭合的几何特征上创建封闭几何,例 如不完整的圆和U形特征。

C toggle				angle surfs	20.000	move
C (un)suppress	surfs	M]	offset surfs	5.000	update
C replace			-	min fillet	0.010	reject
C equivalence				max fillet	100.000	
C unsplit			$\overline{\mathbf{v}}$	angle vertex	220.000	
C edge fillets			$\overline{\mathbf{v}}$	shape ratio	3.000	
by feature	close of	orphan	N	min edge	0.010	return
			-			

图 2-12 by feature 工具



第2章

该面板提供大量快速编辑几何的工具。可用于分割面、垫圈,改变边的拓扑关系,创建和删除曲面、点,投影点,修剪圆角,如图 2-13 所示。quick edit 提供的几何处理方法如下:

split surf-node:	node	node	\$		adjust/set density:	line(s)	line(s)	1	reject
split surf-line:	node	line	\$		replace point:	point(s)	retain	1	
washer split:	line(s)	offset value:	0.	100	add/remove point:	point(s)			
unsplit surf:	line(s)				add point on line:	line(s)	no. of points:	1	
toggle edge:	line(s)	tolerance:	0.0	001	release point:	point(s)			
filler surf:	line(s)	1			project point:	point(s)	line	\$	
delete surf:	surf(s)				trim-intersect:	node	node		return

图 2-13 quick edit 面板

a) split surf-node.

- node-node:选择两个节点位置分割曲面。
- node-nodes:选择第二个节点后同样分割曲面,同时第二个节点作为下一次分割的第 一个节点,单击鼠标中键结束节点选择。

b) split surf-line.

- node-line:选择一个节点及一条曲线分割曲面。
- node-lines:选择一条曲线后同样分割曲面,同时分割线与曲线的交点作为下次分割 的第一个节点,单击中键结束节点选择。

c) washer split: 在模型孔洞处创建固定垫圈,指定 offset 值确定垫圈宽度,用 line 选择器选择需要添加垫圈处的曲线。

d) unsplit surf: 使用 lines 选择器选择分割曲线并从曲面上清除。

e) toggle edge: 使用 lines 选择器单击选择自由边进行缝合,或选择共享边进行压缩; 使用 lines 选择器右击,并选择共享边使其变成自由边,或选择压缩边使其变成共享边;所有选择的边必须在 tolerance 指定值范围内。

f) filler surf: 使用 lines 选择器选择封闭的自由边曲线,创建曲面填充该处的孔洞,填充曲面后自由边自动转化为共享边。

g) delete surf: 使用 surfs 选择器选择需要删除的曲面。

h) adjust/set density: 允许应用者交互式地更改沿曲面边界上的网格节点密度。调节网格 密度使用第一个 line(s)选择器,单击曲面边界增加节点密度,右击曲面边界减少节点密度;设 置网格密度使用第二个 line(s)选择器,单击具有正确节点密度的曲面边界,右击其他曲面边界 将赋予与左键单击的边界同样的节点密度。

i) replace point: 允许应用者合并点。使用 points 选择器选择需要移动的点,使用 retain 选择器选择将与移动的点合并的点。

j) add/remove point: 通过单击几何模型中任意节点、曲线或曲面添加新的点,右击已有的点清除该点。

k) add point on line: 允许在一条曲线上添加多个点。指定 no. ofpoints 值确定点的个数, 单击曲线生成相应数量的点。

1) release point: 使用 points 选择器选择点使其与相应的曲线、曲面分离,成为自由点。

m) project point: 允许投影自由点到已存在的曲面或曲线上。

● point(s)-line: 选择的点自动投影到选择的一条曲线上。

基于 HyperMesh 的结构有限元建模技术

• point(s)-lines: 选择的点自动投影到选择的一系列曲线上。

n) trim-intersect: 使用 node 选择器选择圆角的两个端点, HyperMesh 清除圆角, 延伸曲 线直至相交。

3) autocleanup 面板。

该面板基于 BatchMesher 标准文件中设置的参数进行自动几何清理和修复。autocleanup 能够进行的几何清理操作包括缝合自由边、处理细小曲面、探测几何特征、曲面编辑、特征操作,如移除小孔、移除圆角、在孔洞周围添加垫圈单元,如图 2-14 所示。autocleanup 提供的 控制选项如下:

a) surfs: 使用 surfs 选择器选择需要进行几何清理的曲面。

b) Topology cleanup parameters: 可使用当前的参数文件,并可对参数文件进行编辑,也可以加载其他参数文件。

c) Element quality criteria: 可使用当前的单元质量标准文件,并可对单元评价标准进行编辑,也可以加载其他标准文件。

surfs 🔣	target elem size parameter = 3	autocleanup
	Topology cleanup parameters:	reject
	use current parameters edit parameters	
	Elements quality criteria:	
	use current criteria	
		return

图 2-14 autocleanup 面板

4) point edit 面板。

该面板提供多种针对点的几何清理工具,包括:添加、压缩、替换、释放、投影,如图 2-15 所示。

a) add: 在几何模型中添加新点。

b) suppress: 在几何模型中压缩点, 但该点并没有被删除, 只是在进行网格划分时被忽略。

c) replace: 移动点到另一个点处,并合并为一个点。

d) release: 使点与相关的曲面、曲线分离。

e) project: 投影自由点到存在的曲线、曲面等。

 € add C suppress C replace C release C project 	at cursor point	on edge edge # of pts	1	on surfs surfs v nodes cleanup tol =	reject
		图 2-15 r	ooint edit 面板		

2.3 建模实例

目前对于复杂的几何模型,大多数有限元分析者均采用 CATIA、Pro/E、UG、SolidWorks 等 CAD 软件进行几何建模,其模型数据格式一般为 CAD 软件的标准模型数据格式或 STEP、 IGES 等中间格式,完成几何模型建模后将几何模型文件导入 HyperMesh 中再进行几何处理。

本节将详细介绍如何导入几何模型文件,进行几何修复,然后从实体模型中抽取中面, 简化几何模型并改善几何拓扑结构,最后得到基于有限元分析的几何模型。

2.3.1 导入和修复几何模型

- (1) 打开和查看模型。
- 1) 启动 HyperMesh。
- 2) 在自动弹出的 User Profiles 菜单中选择 Default, 单击 OK。
- 3) 单击 File>open, 选择并打开模型文件 WS_2.1_Geo.hm, 如图 2-16 所示。



图 2-16 导入的几何模型

(2) 检查模型完整性。

1)观察模型是否不连续、丢失或存在重面。

2) 单击 Geometry>autocleanup 面板, 单击几何颜色模式按钮, 选择 By Topo (\$\$ By Topo ▼), 以拓扑状态进行模型颜色渲染。

3) 单击 Wireframe Geometry (() 按钮, 以线框模式显示几何模型。

4) 单击 Visualization (**厚**) 按钮,进入 Topology 标签页。

5) 勾选 Free 复选框,此时只显示模型自由边,如图 2-17 所示。

6)观察模型自由边并标记自由边的位置,红色的自由边显示没有正确连接或有间隙的地

方,注意自由边闭合的位置,该位置可能丢失曲面。

7) 勾选 Non-manifold 复选框,此时只示模型 T 型边。

8)观察模型 T 型边并标记 T 型边的位置,黄色的 T 型边显示有两个或两个以上曲面共享 一条边,在这个模型中,有两个围绕黄色 T 型边的区域,这些地方有可能出现重复面。

9) 勾选所有复选框。

- 10) 单击 Close 按钮关闭 Visualization 标签页。
- 11) 单击 return 按钮退出面板。
- 12) 单击 Shaded Geometry and Surface Edges (一) 按钮,此时模型以渲染模式显示。



图 2-17 模型自由边

13)旋转、缩放和移动几何模型,找到几何不正确的位置,注意如图 2-18 所示的区域: 圆、倒角处的多余面及丢失的曲面。



(3) 删除多余面。

1) 单击 Geometry 菜单中 Delete 子菜单中 Surfaces 选项,或按 F2 键,进入 delete 面板。

2) 在图形区选择图 2-18 显示的圆角处多余的面。

3) 单击 delete entity 删除面。

4) 单击 return 返回面板。

(4) 创建曲面填充模型间隙。

1) 单击 Geometry 菜单中 Create 子菜单中的 Surfaces>Spline/Filler 选项, 进入创建曲面面板。

2) 取消勾选 Keep tangency 复选框, Keep tangency 选项检查与所选择的边相邻的曲面并 尝试创建与边相切的曲面,该选项能帮助周围的曲面进行平滑过渡。

3)确定选择实体类型为 lines。

4) 勾选 Auto create (free edges)复选框,该复选框简化缺失面的周围线的选取过程,只要 一条线被选取, HyperMesh 自动选取闭合环路中的剩余自由边,生成填充面。

5) 放大模型缺失面的区域,如图 2-19 所示。

6)单击缝隙(缺失面)的一条自由边,HyperMesh自动生成面填充缝隙。

7) 重复前面步骤在另一个缝隙处创建填充面。

8) 单击 return 退出面板。

(5) 设置几何清理容差。

1) 按 O 键进入 options 面板。





图 2-19 模型缺失的曲面

- 2) 进入 geometry 子面板。
- 3) 在 cleanup tol=文本框中输入 0.01, 缝合间隙小于 0.01 的曲面。
- 4) 单击 return 退出面板。
- (6) 缝合自由边。

1) 单击菜单栏 Geometry>Edit>Surface Edges>Equivalence, 或在主面板中选择 Geom>edge edit, 进入 equivalence 子面板。

- 2) 勾选 equiv free edges only 复选框。
- 3)选择所有面。
- 4)确定 cleanup tol=的值为 0.01。

5)单击 equivalence 按钮,合并容差范围内的自由边。模型中大部分红色自由边被缝合后 变成绿色的共享边。一些自由边由于缝隙间距大于容差值未被缝合。

- (7) 使用 toggle 工具缝合自由边。
- 1) 进入 toggle 子面板。
- 2)在 cleanup tol=文本框中输入 0.1。
- 3) 在图形区单击如图 2-20 所示的自由边。
- 4) 自由边选中后将从红色变为绿色,表明自由边已被缝合。



图 2-20 toggle 工具缝合自由边



第2章

(8) 使用 replace 工具缝合自由边。

1) 进入 replace 子面板。

2) 激活 moved edge 下的选择器,选择图形区左边的自由边,确定 retained edge 下的选择器被激活,选择最右边的自由边,如图 2-21 所示。



图 2-21 replace 工具缝合自由边

- 3)在 cleanup tol=文本框中输入 0.1。
- 4) 单击 replace, HyperMesh 将弹出提示信息。
- 5) 单击 Yes, 缝合自由边。
- 6) 单击 return 退出面板。
- (9) 查找并删除重合面。

1) 在菜单栏中单击 Geometry>Defeature>Duplicates, 或在主面板中选择 Geom>Defeature> duplicates, 进入 duplicates 子面板。

2) 选择 surfs>displayed。

3)在 cleanup tol=文本框中输入 0.01。

4) 单击 find 状态栏将显示: 2 surfaces are duplicated。

5) 单击 delete 删除两个重合面。

(10)重新观察模型,确定模型完全修复。

 使用拓扑显示模式和渲染模式,观察所有模型边均显示为绿色共享边,说明模型已经 完全修复。

2) 单击 return 退出面板。

2.3.2 抽取模型中面

使用 auto midsurfaces 子面板抽取模型中面。

(1) 单击 Shaded Geometry and Surface Edges (◆·) 按钮,此时模型以渲染模式显示。

(2)单击几何颜色模式按钮,选择 Mixed (᠌™™) 按钮,以混合状态进行模型颜色 渲染。

(3) 在菜单栏中单击 Geometry>Create>Midsurfaces>Auto,或在主面板中选择 Geom> Midsurfaces>auto midsurfaces,进入 auto midsurfaces 子面板。

(4) 激活 surfs 选择器,选择 closed solid。



(5)选择图形区中模型的任意一个面。

(6) 单击 extract 开始抽取模型中面。模型中面抽取并保存到自动创建的 Middle Surface 组件中,除了 Middle Surface 组件之外的其他组件均透明状态显示。

(7) 在 Model Browser 浏览器中,右击组件 lvl10 隐藏该组件,仅显示 Middle Surface 组件,如图 2-22 所示。



图 2-22 抽取的模型中面

2.3.3 简化几何模型

(1) 清除小孔。

1)小孔为曲面内的封闭自由边,直径很小的孔在网格划分过程中会影响网格质量,需进行几何简化。

2) 在菜单栏中单击 Geometry>Defeature>Pinholes,或在主面板中选择 Geom>Defeature, 进入 pinholes 子面板。

3)在 diameter<文本框中输入 3.0。

4) 选择 surfs>all。

5) 单击 find 搜索直径等于或小于 3 的小孔,在四个圆孔中心出现 xP 标志,并白色高亮显示,表明这些圆孔被 HyperMesh 识别为可移除的小孔。

6) 单击 delete 清除选择的小孔,清除后小孔圆心位置形成硬点。

(2) 清除曲面倒角。

- 1) 进入 surf fillets 子面板。
- 2) 激活 find fillets in selected,选择 surfs>displayed。
- 3)在min radius 文本框中输入 2.0。
- 4) 单击 find 搜索半径等于或大于 2 的曲面倒角,如图 2-23 所示。
- 5) 单击 remove, 清除曲面倒角。
- (3) 自动识别和清除边倒角。
- 1) 进入 edge fillets 子面板。
- 2) 单击 surfs>displayed。
- 3)在min radius 文本框中输入 1.0。
- 4) 切换到 all 搜索所有倒角。





图 2-23 需清除的面倒角

- 5) 单击 find 搜索半径等于或大于1的倒角,并以白色高亮显示,如图 2-24 所示。
- 6) fillets 选择器自动激活。
- 7) 右击 F 标志取消选择该倒角。
- 8) 单击 remove, 清除所选的边倒角。



图 2-24 需清除的边倒角

2.3.4 优化拓扑结构

几何拓扑结构会影响生成的网格质量。一些拓扑结构不影响模型形状的主要特征,可以 被移除。

(1) 清除多余硬点。

- 1) 进入 suppress 子面板, 激活 at cursor 选项。
- 2)选择如图 2-25 所示的 4 个硬点。
- 3)硬点将被删除。这些硬点是在清除小孔时留下的,在给定单元尺寸的情况下,这些硬



点对网格质量影响不大时可以保留。

4) 单击 return 退出面板。



图 2-25 清除多余硬点

(2) 分割曲面。

1) 在菜单栏中单击 Geometry>Edit>Surfaces>Trim with Nodes,或在主面板中选择 Geom> surface edit,进入 trim with nodes 子面板。

2) 在 node normal to edge 选项下激活 node 选择器。

3) 放大模型,选择图 2-26 所示的硬点。

4) 激活 lines 选择器,选择图 2-26 所示的线。一旦点和线被选中后,从硬点处自动创建 一条垂直于所选线的边。







5) 重复步骤 2) ~4),选择如图 2-27 所示的硬点和线。



图 2-27 选择点和边分割曲面 B

6) 重复步骤 2) ~4),选择如图 2-28 所示的硬点和线。



图 2-28 选择点和边分割曲面 C

7) 重复步骤 2) ~4),选择如图 2-29 所示的硬点和线。



图 2-29 选择点和边分割曲面 D

- 8) 进入 trim with surfs/planes 子面板。
- 9) 在 with plane 选项下, 激活 surfs 选择器。
- 10)选择如图 2-30 所示的曲面。



图 2-30 选择需分割的曲面

11) 激活 N1 选择器。

12) 按住鼠标左键,移到如图 2-31 所示的边上,当光标变成 时,松开鼠标左键,选择 边上任意两点。



图 2-31 选择面分割曲面

13) 按 F4 键进入 Distance 面板,进入 three nodes 子面板。

14)按住鼠标左键,移到如图 2-31 所示的圆孔边上,当光标变成 时,松开鼠标左键,选择边上任意三点。

- 15) 单击 circle center 创建圆心。
- 16) 单击 return 返回 surface edit 面板。
- 17) 单击 B, 激活选择器, 选择创建的圆心作为基点。
- 18) 单击 trim, 曲面沿孔中心位置被切割。



19) 单击 return 回到主面板。

(3) 压缩引起小边界的共享边。

1)在菜单栏中单击 Geometry>Edit>Surfaces>(Un)Suppress 或在主面板中选择 Geom>edge

edit, 进入(un)suppress 子面板。

2) 单击如图 2-32 所示的边。



图 2-32 压缩曲面边界

- 3) 单击 suppress,所选边被压缩,呈蓝色。
- 4) 单击 return 返回主菜单。
- 5) 在菜单栏中单击 File>save,保存模型文件。

2.4 本章小结

本章主要介绍了基于有限元分析的几何模型建模方法。简单的几何模型可以运用 HyperMesh 的几何创建功能直接创建几何,比较复杂的工程模型需要导入 CAD 软件创建的几 何模型数据后,在 HyperMesh 中对几何进行清理和修复,才能得到对有限元分析适用的几何 模型,保证后续生成的网格模型的单元质量。