

流沙



ICEM CFD 简

明教程



前言

这里不涉及到 ICEM CFD 的任何原理，也不想涉及 ICEM CFD 中的诸多高级的不常用的功能。在我使用 ICEM CFD 长达三年的过程中，我深深感到，使用该软件的最大困难不在于对软件操作界面的熟悉程度，也不在于对软件后台运行机理的深入了解。而在于对于相似几何网格生成思路的积累。孰能生巧，当练习得多了，碰到同类型的模型，自然而然的就知道该如何去下手对付了。

很多人都说，ICEM CFD 的使用核心思想在于拓扑。这句话是没错的。但是不是所有人的空间想象能力都是那么好的，也不是所有人都精通拓扑学的。我总觉得，只要我们练习足够了，对于一般工作中常见的模型结构，心中有一个自然的分块策略，哪怕是再复杂的几何模型，我们能够快速的将其拆解为我们熟悉的结构，进而采用熟悉的分块策略进行网格划分，总是不错的。

ICEM CFD 作为一款顶级前处理软件，想将其所有功能一网打尽几乎是不可能的。有人统计过，我们很多时候都只是使用了软件 20% 的功能。对于 ICEM CFD，20% 的功能应当是足够我们工作使用了。至于更复杂的功能，我们完全可以在工作中慢慢的总结。

当前有很多优秀的网格划分工具，很多都具有各自的优势，ICEM CFD 在结构网格划分方面具有自己的特色，采用分块划分方式对于很多人来说可能比较新鲜。其他的诸如 Hypermesh，GAMBIT 等软件的六面体划分，都是直接对几何体进行切割。有人认为 ICEM CFD 的入门比较耗费时间，的确是这样的。本文的目的即在如此。通过一些特征几何的分块策略讲解，力求使读者在短时间内对 ICEM CFD 的结构网格划分方式有一个直观的了解，同时，加深对特征几何的分网练习，可以有助于对复杂几何的分解。

杂七杂八的软件用得多了，有时候不免生出疑问：“究竟软件需不需要学？”。在汉语中，软件应当是被使用的啊。作为一款工具，如果我们花费大量的时间在其的使用操作上，是否有些顾此失彼呢？我们的目的绝非学会怎样使用软件，而在于如何利用软件为我们的工作服务。

文中有一些内容翻译自 ICEM CFD 帮助文档，因此可能存在部分翻译错误，不过我觉得有兴趣看这些的童鞋估计都是研究生以上学历，发现错误自然轻而易举。欢迎将错误信息反馈到我的邮箱：face0@yahoo.com.cn，或者 290247029@qq.com，不胜感激。

本文不是最终完整版，我会努力将其完成的，虽然现在忙着写博士论文，时间表一再推后，但我保证绝对会将其完成。文中的模型文件下载地址：<http://115.com/file/e6k28mwe>

目 录

前言	I
1 ICEM CFD 概述	1
1.1 ICEM CFD 简介	1
1.2 总体工作流程	1
1.2.1 ICEM CFD 的文件类型	2
1.2.2 创建或操作几何	2
1.2.3 网格创建	3
1.2.4 检查及编辑网格	4
1.3 ICEM CFD 的用户界面	4
1.4 Blocking 基础	5
2 二维平面模型结构网格划分	6
2.1 学习目的	6
2.2 几何模型及分块策略	6
2.3 边界命名	6
2.4 自顶向下划分方式	6
2.4.1 创建 2D 块	7
2.4.2 块的切割	7
2.4.3 块与几何的关联	8
2.4.4 设定网格尺寸	9
2.4.5 预览网格	10
2.5 自底向上划分方式	10
2.5.1 生成原始块	10
2.5.2 生成其它块	11
2.5.3 关联及网格尺寸设定	12
2.6 网格质量检查	12
2.7 网格的生成	13
2.8 网格输出	14

3 三维模型结构网格划分	15
3.1 学习目的	15
3.2 几何模型	15
3.3 生成块	16
3.4 块的切割	17
3.5 块与几何的关联	17
3.6 圆孔的处理	18
3.7 网格尺寸及质量检查	19
4 曲面网格划分	20
4.1 目的	20
4.2 几何模型	20
4.3 分块策略	20
4.4 建立块	21
4.5 块的分割及关联	21
4.6 块的删除	22
4.7 设定网格尺寸及预览网格	22
4.8 另一种方式	23
5 三角形的处理方式	24
5.1 三角形 Y 型剖分方案	24
5.2 三棱柱 Y 型剖分方案	26
5.3 三角形几何体的扩展	28
5.4 综合实例解析	29
5.5 思考	31
6 O 型块的特殊应用	32
6.1 圆弧几何遇到的问题	32
6.1.1 网格映射	32
6.1.2 圆弧的映射	33

6.1.3 铜钱的启示	33
6.2 O 型块及其变型	34
6.3 O 型块剖分实例	34
6.3.1 圆柱相贯网格划分	34
6.3.2 圆柱沟槽网格划分	37
7 Edge 参数	39
7.1 参数设置对话框及各参数含义	39
7.2 节点分布律	40
7.3 边界层网格	42
7.3.1 边界层网格的一些特征	43
7.4 实例训练	43
7.4.1 分叉管网格划分	43
7.4.2 外流场实例	48
8 块的创建	52
8.1 自顶向下块的构建	52
8.1.1 初始块的创建	52
8.1.2 块的切割	53
8.1.3 顶点合并	55
8.2 自底向上块的构建	56
8.2.1 由顶点形成块	56
8.2.2 Face 的拉伸	58
8.2.3 由 2D 块形成 3D 块	59
8.3 实例分析	60
8.3.1 实例 1: 弹簧	60
8.3.2 实例 2: 三棱柱	63
9 块操作的应用	67
9.1 块的编辑	67
9.1.1 块的合并	67
9.1.2 O 型块修改	67
9.1.3 块类型转换	68

9.2 块的变换	69
9.2.1 块的平移	70
9.2.2 块的旋转	70
9.2.3 块的镜像	71
9.2.4 块的缩放	71
9.2.5 复制周期块	71
9.3 实例分析	71
9.3.1 实例 1: 法兰盘	71
9.3.2 实例 2: 机架	75
10 周期网格	81
10.1 ICEM CFD 中生成周期网格的一般步骤	81
10.2 ICEM CFD 中周期网格生成按钮解释	81
10.3 实例分析	82
10.3.1 实例 1: 结构周期网格	82
10.3.2 实例 2: 非结构周期网格	87
11 几何创建及修改	89
11.1 基本几何创建	89
11.1.1 点的创建	89
11.1.2 线的创建	91
11.1.3 面的创建	93
11.2 几何修改	93
11.2.1 几何拓扑构建	93
11.2.2 特征修补	93
12 构建辅助几何	94
13 非结构网格划分	95
13.1 非结构网格的一些概念	95
13.2 非结构网格划分一般流程	95
13.3 ICEM CFD 划分非结构网格	95
14 混合网格与多区域	96

11.1 一些概念	96
15 网格编辑	97
16 综合实例	98
16.1 实例 1: 子弹外流场	98

1 ICEM CFD 概述

ICEM CFD 是一款计算前后处理软件，包括从几何创建、网格划分、前处理条件设置、后处理等功能。在 CFD 网格生成领域，优势更为突出。

1.1 ICEM CFD 简介

ANSYS ICEM CFD 提供了高级几何获取、网格生成、网格优化以及后处理工具以满足当今复杂分析对集成网格生成与后处理工具的需求。

为了在网格生成与后处理中与几何保持紧密的联系，ANSYS ICEM CFD 被用于在诸如计算流体动力学与结构分析中。

ANSYS ICEM CFD 的网格生成工具提供了参数化创建网格的能力，包括许多不同格式：

- (1) Multiblock structured (多块结构网格)
- (2) Unstructured hexahedral (非结构六面体网格)
- (3) Unstructured tetrahedral (非结构四面体网格)
- (4) Cartesian with H-grid refinement (带 H 型细化的笛卡尔网格)
- (5) Hybrid meshed comprising hexahedral, tetrahedral, pyramidal and/or prismatic elements (混合了六面体、四面体、金字塔或棱柱形网格的杂交网格)
- (6) Quadrilateral and triangular surface meshes (四边形和三角形表面网格)

ICEM CFD 提供了几何与分析间的直接联系。在 ICEM CFD 中，集合可以以商用 CAD 设计软件包、第三方公共格式、扫描的数据或点数据的任何格式被导入。

1.2 总体工作流程

ICEM CFD 的一般工作流程包括以下几个步骤：

- 1、打开/创建一个工程
- 2、创建/处理几何
- 3、创建网格
- 4、检查/编辑网格
- 5、生成求解器的导入文件
- 6、结果后处理

工作流程如图 1-1 所示。

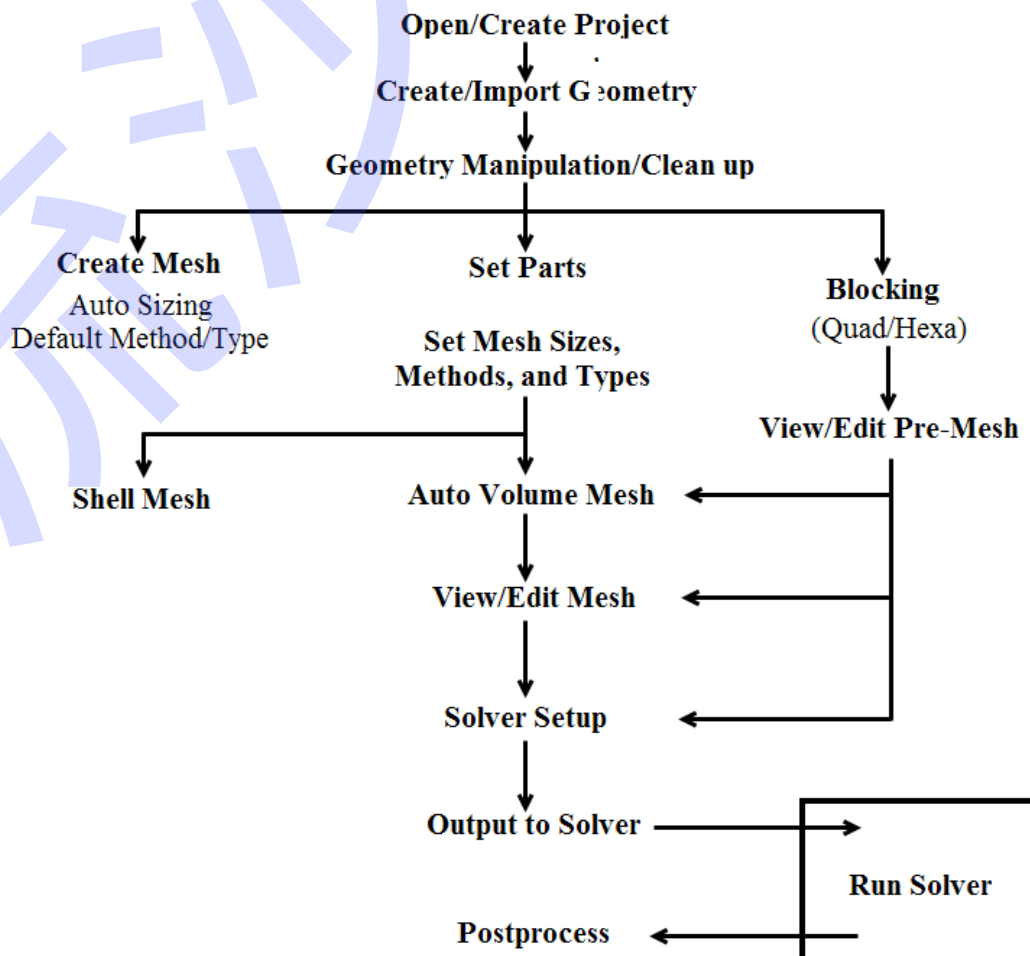


图 1-1 ICEM CFD 工作流程

1.2.1 ICEM CFD 的文件类型

文件类型	扩展名	说明
Tetin	*.tin	包括几何实体、材料点、块关联以及网格尺寸等信息
Project	*.prj	工程文件，包含有项目信息
Blocking	*.blk	包含块的拓扑信息
Boundary conditions	*.fbc	包含边界条件
Attributes	*.atr	包含属性、局部参数以及单元信息
Parameters	*.par	包含有模型参数及单元类型信息
Journal	*.jrf	包含有所有操作的记录
Replay	*.rpl	包含有重播脚本

1.2.2 创建或操作几何

ICEM CFD 包含有创建一个新的或操作一个已有几何的广泛的工具。用户不需要返回到原始的 CAD 中即可改变复杂集合或创建一个简单的几何。这些都能够使用 CAD（NURBS 表面）和三角化表面数据来实现。ICEM CFD 的直接 CAD 接口提供了位于 CAD 系统中的

参数化集合创建工具及 ICEM CFD 中所具有的计算网格工具、后处理以及网格优化工具间的桥梁。允许用户在当地 CAD 系统中操作几何。ICEM CFD 目前支持直接 CAD 接口包括 CATIA, I-deas, PRO-E 以及 Unigraphics。

ICEM CFD 环境能够在一个单一的几何中联合使用 CAD 面几何及三角化表面数据。所有的几何实体, 包括表面、曲线以及点都被标记或被组合到一个称为 Part 的群组中。通过使用 part 对几何的组织, 用户可以激活或禁止 part 中的对象, 以不同的颜色显示或者在同一 part 的不同实体上赋予网格尺寸, 以及利用 part 设置不同的边界条件。

尽管 ICEM CFD 中的大部分网格划分模块允许几何中存在小的间隙或孔洞, 但在一些情况下必须将大的孔洞及间隙找出来。ICEM CFD 提供了一些在 CAD 或三角化表面中诸如此类的操作。最终, 曲线以及点能够被自动创建以捕捉几何中的一些关键特征。这些曲线或点在网格划分中扮演着约束的作用, 强制单元的节点或边在他们之上, 以捕捉这些特征。

1.2.3 网格创建

网格划分模块能划分以下一些网格类型。

1、四面体 (Tetra)

ICEM CFD 四面体网格划分工具具有面向对象非结构网格划分技术的所有优势。摒弃了令人厌烦的 up-front 三角形表面网格划分以提供良好的初始网格步骤, ICEM CFD 四面体网格划分直接从 CAD 表面开始利用八叉树算法 (Octree) 将四面体网格单元填充体积。利用功能强大的网格光顺算法保证网格质量。具有可选的自动细化或粗化网格功能。依然包含 Delaunay 算法, 可以从已存在的表面网格生成四面体。

2、六面体 (Hooks)

ICEM CFD 六面体网格划分工具是一个半自动划分模块, 允许快速创建多块结构或非结构六面体网格。ICEM CFD 六面体划分展示了一种网格生成的新方法—大多数的操作能够自动完成或通过点击按钮完成。Block 能够基于 CAD 几何创建或互动的调整。而且这些块能够作为模板用于相似的几何, 且具有完全参数化能力。复杂的拓扑结构, 如内部或外部 O 型网格能够被自动的生成。。

3、棱柱网格 (Prism)

ICEM CFD 棱柱网格生成器能在边界表面产生棱柱单元层一致的混合四面体网格, 并且在流场的近壁面构建四面体单元。与纯粹的四面体网格相比, 在更小的分析模型中, 采用棱柱网格有更好的收敛性以及求解分析结果。

4、杂交网格 (Hybrid Meshes)

能够创建以下一些杂交网格:

(1) 四面体与六面体网格在一个公用面上被联合, 在该面上会自动生成金字塔网格。这一网格类型适合于一些部件适合与结构网格而一些部件适合划分非结构网格的模型。

(2) 能生成六面体核心的网格。在这类网格中, 主要的体积为六面体笛卡尔网格所填充。这一类型是通过自动创建金字塔网格来实现连接棱柱网格或四面体杂交网格的。六面体核心网格允许减小单元数量, 以加快计算时间及获得更好的收敛。

5、壳网格划分 (Shell Meshing)

ICEM CFD 提供了快速的表面 (3D 或 2S) 网格生成方法。网格类型可以是 All Tri, Quad w/one Tri, Quad Dominant 或者 All Quad, 提供了一下一些划分方法:

- (1) Mapped based shell meshing (Autoblock): 在内部使用一系列的 2D 块
- (2) Patch based shell meshing (Patch Dependent): 使用一系列的表面边界或者一系列的曲线自动定义的封闭区域。这一方法提供了自豪的四边形为主质量, 而且捕捉表面细节。
- (3) Patch independent shell meshing (Patch Independent): 使用八叉树算法。这一算法对于未清理的集合来说是最好的也是最健壮的方法。
- (4) Shrinkwrap: 用于快速生成网格。这常常是用与预览网格, 不会捕捉硬的特征。

1.2.4 检查及编辑网格

ICEM CFD 中的网格编辑工具允许用户检测及修复网格中的问题。用户同时可以提高网格质量。大量的人工或自动的工具如转换单元类型、细化或粗化网格、光顺网格等能被用于网格的修复。

一般步骤包括:

- 1、利用网格检测工具检查网格的问题, 例如孔、间隙、重叠单元, 使用合适的自动或人工修复方法修复这些问题。
- 2、检查坏质量的网格, 使用光顺工具提高网格质量。
- 3、如果网格质量很差, 一些合适的方法包括修复几何、使用合适的尺寸参数重新创建网格或者利用不同的划分方法创建网格。

1.3 ICEM CFD 的用户界面

ICEM CFD 的图形用户接口 (GUI) 提供了一个创建及编辑计算网格完整的环境。图 1-2 所示为 ICEM CFD 的图形用户界面。左上角为主菜单, 在其下方为工具按钮, 包含了诸如 Save 及 Open 之类的命令。与工具按钮栏相平齐的为功能选项卡, 它从左至右的顺序也是一个典型网格生成过程的顺序。点击选项卡上的标签页, 可将功能按钮显示在前台, 单击其中的按钮, 可激活该按钮所关联的数据对象区 (Data Entry Zone)。图 2-2 所显示的为 Convert Mesh Type, 同时还包含有选择工具条, 在界面的右下角还包含有消息窗口及直方图显窗口。在用户界面的左上角为显示控制树形菜单, 用户可以使用该属性菜单修改兑现规定显示、属性及创建子集等。

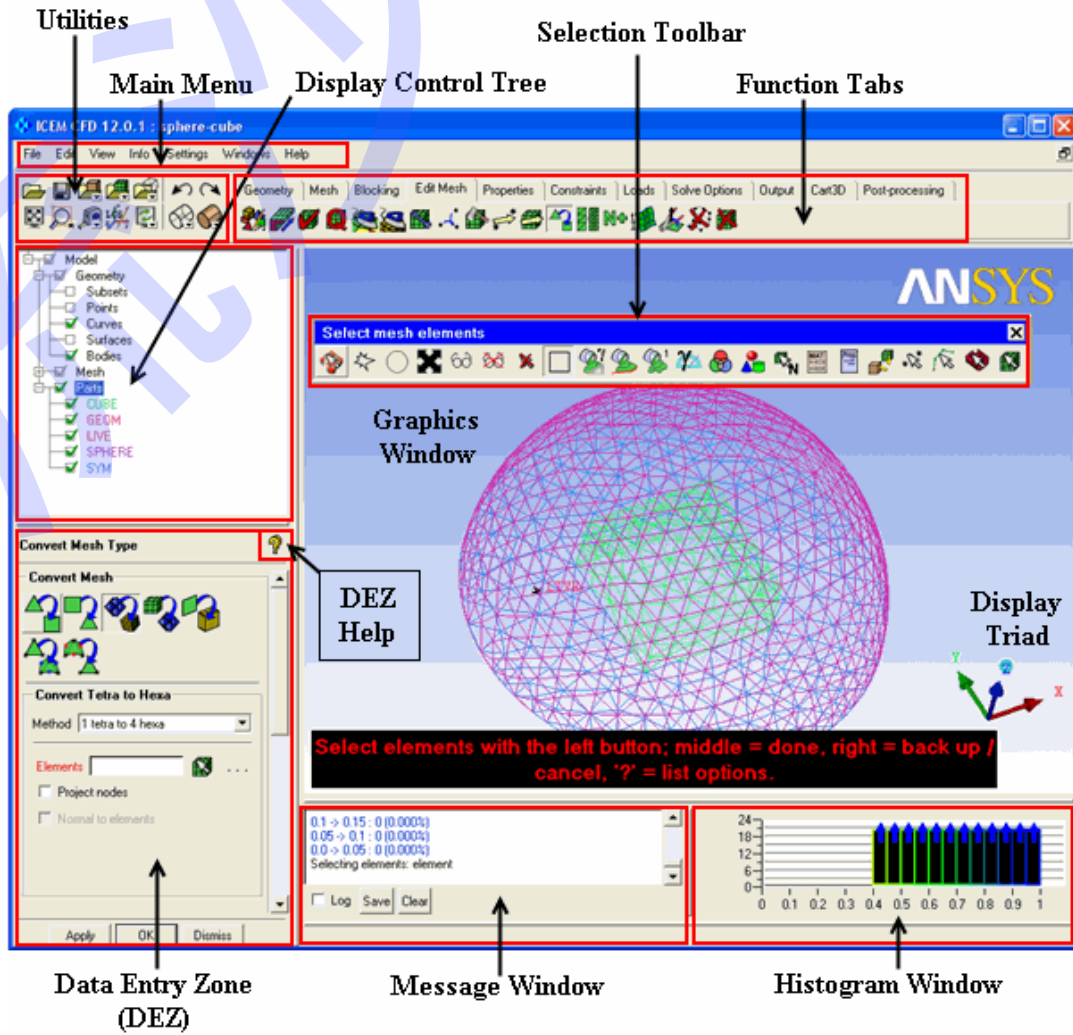


图 1-2 ICEM CFD 图形界面

1.4 Blocking 基础

2 二维平面模型结构网格划分

2.1 学习目的

主要的知识点有：

- 1、ICEM CFD 划分二维模型网格的一般步骤
- 2、2D 块的一些构建及切割方式
- 3、网格质量检查
- 4、网格的生成及导出

2.2 几何模型及分块策略

几何模型如图 2-1 所示。该模型为一混合管模型，两个温度不同的入水管，一个出水管。

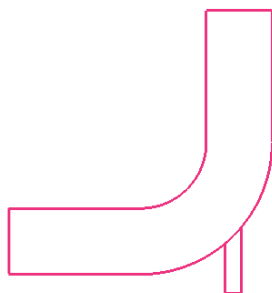


图 2-1 几何模型

从上面的几何很容易看出，自顶向下的方式可以采用“T”型块进行网格划分，自底向上可以从小管开始块的生成。

2.3 边界命名

命名边界的目的是为了在求解器设置中可以看到此边界。在 ICEM CFD 中，边界是以 part 的形式进行组织的。

1、命名入口边界

在模型树形菜单的 Part 上点击右键，选取 Create Part 创建各边界 part，如右图所示。



2.4 自顶向下划分方式

这种方式的划分思路为：先创建一个整体块，然后对块进行切割、合并

等操作完成最终块。这种分块方式的主要优势在于可以从整体上把握拓扑结构，然而在几何比较复杂时或切割次数过多时，由于块的数量多，而导致 edge 及 face 的数量过多，在进行关联选取的时候会不方便。

2.4.1 创建 2D 块

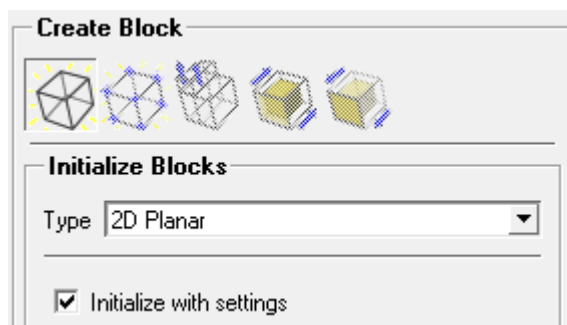
创建 2D 块的方式有两种，一种是 2D Planar 块，另一种为 2D Surface Blocking。其中，前者主要创建平面 2D 块，且该块位于 XY 平面。后者可创建曲面的块，能自动进行块切割。在本例中我们选取前者进行块的创建。

在工具 Blocking 标签页中选择 Create Block 图标，如图 2-2 所示。



(图 2-2)


在左下角的块创建对话框中设置块类型为 2D Planar，如图 2-2 所示。



(图 2-3)

点击 APPLY，完成平面 2D 块的创建。

2.4.2 块的切割

仔细分析几何，可以发现，整个几何呈 T 型分布，如图 2-4 (a) 所示。将平面块切割成 T 形，如图 2-4 (b)，以更好的贴近几何。利用  进行切割。

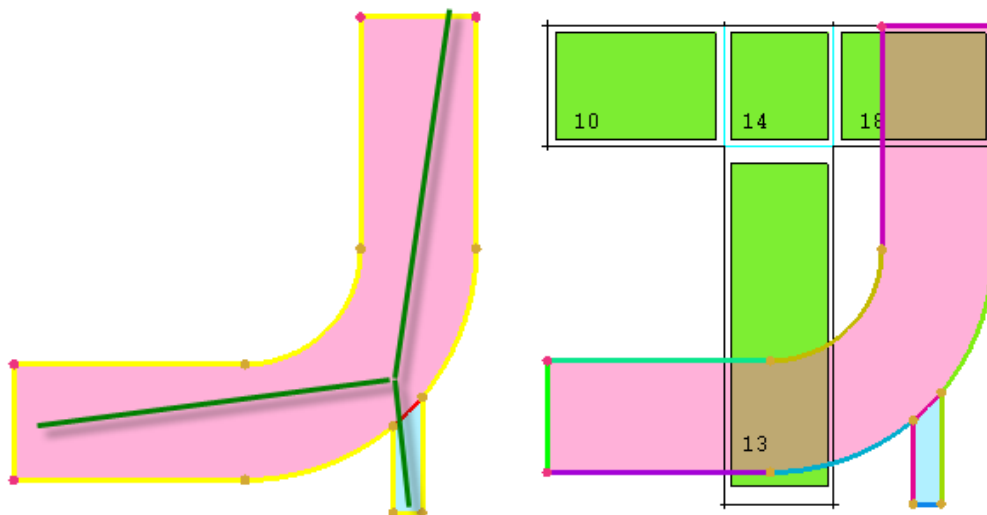


图 2-4

2.4.3 块与几何的关联

目前还未发现有什么资料讲述 ICEM CFD 中关联的目的。不过我们可以这样去理解它：关联是将块与几何联系起来的一种手段。块是一种虚拟的结构，就像我们小学的时候做几何题目时画的辅助线一样。如果我们不进行关联，在生成网格的时候，软件是没办法知道块上的某一条边对应着几何的哪一个部分，也没办法去将块上的节点映射到几何上。

有四种关联： Vertex 关联、 Face 到 Curve 的关联、 Edge 到 Surface 的关联以及  Face 到 Surface 的关联。

为便于叙述，将块上的 Vertex 及几何上的点以名称显示。如图 2-5 所示。

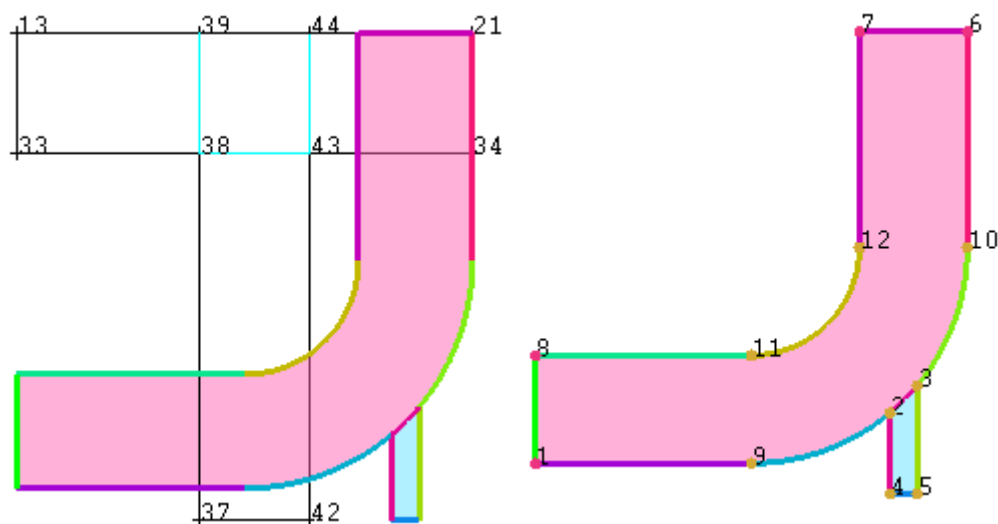


图 2-5

1、顶点关联。将块上的顶点与几何上的点进行关联。

要关联的顶点与点（前方为顶点号，后方为点编号）：33-1，13-8，37-4，42-5，34-6，21-7，43-3，38-2。顶点关联后的几何如图 2-6 所示。

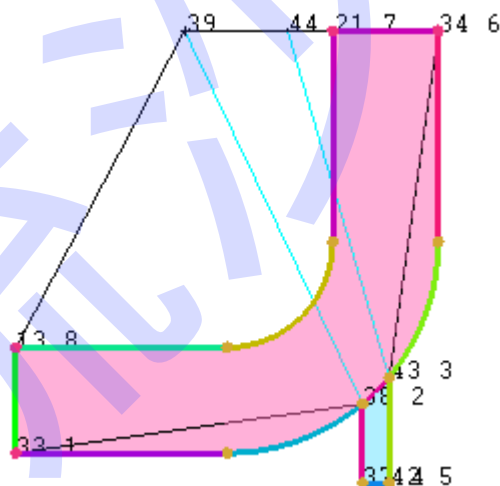


图 2-6 顶点关联后

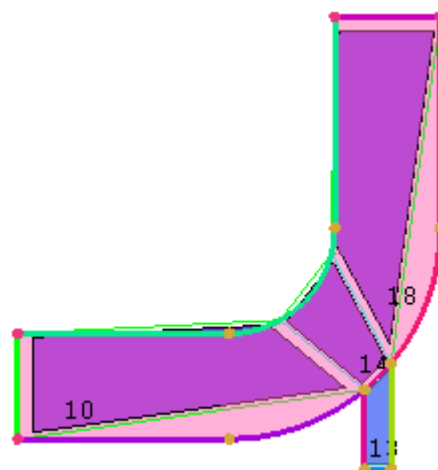


图 2-7 最终形成的块

2、进行 Edge 关联

将 vertex13-39-44-21 所构成的 edge 与点 8-11-12-7 构成的曲线相关联

将 vertex33-38 所构成的 edge 与点 1-9-2 构成的曲线关联

将 vertex43-34 所构成的 edge 与点 3-10-6 构成的曲线关联




将 vertex 13-33 所构成的 edge 与点 1-8 构成的曲线关联

将 vertex 21-34 所构成的 edge 与点 6-7 构成的曲线关联


将 vertex 37-38 所构成的 edge 与点 2-4 构成的曲线关联

将 vertex 42-43 所构成的 edge 与点 3-5 构成的曲线关联

将 vertex 37-42 所构成的 edge 与点 4-5 构成的曲线关联

关联后选择  或移动顶点  标签中的 ，最终的块如图 2-7 所示。

2.4.4 设定网格尺寸

完成块的生成后，需要设定网格尺寸。通常我们可以设定一个总体尺寸。在 Mesh 标签页下选择 ，在左下角的全局网格尺寸中，设定全局最大网格尺寸为 2.0。如图 2-7 所示。

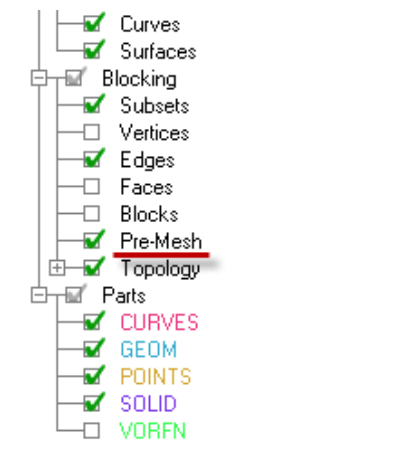
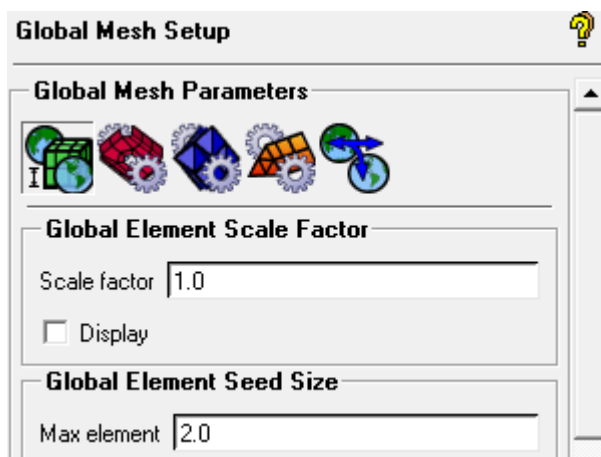




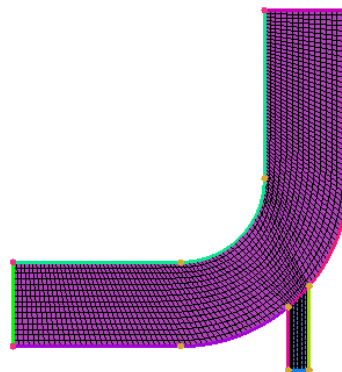
图 2-8 设定网格尺寸

图 2-9 预览网格

2.4.5 预览网格

在预览网格之前，要对块进行更新，尤其是修改了单元尺寸之后。在 Blocking 标签页下，点击，在左下角弹出的对话框中选取，点选 Update All 后，点击 Apply 按钮。

在模型树菜单中，选中 Pre-Mesh，则可以在图形窗口中预览生成的网格。如右图所示。



2.5 自底向上划分方式

这种方式与自顶向下的方式主要不同在于块的生成方式不同。其他诸如关联、网格尺寸设定等均采用相同的操作方式。

2.5.1 生成原始块

先生成最基础的块。在 ICEM CFD 中最基础的块为 2D 平面块。

将生成的 2D 块与小水管进行线关联与点关联。关联对齐后的图形如图 2-10 所示。

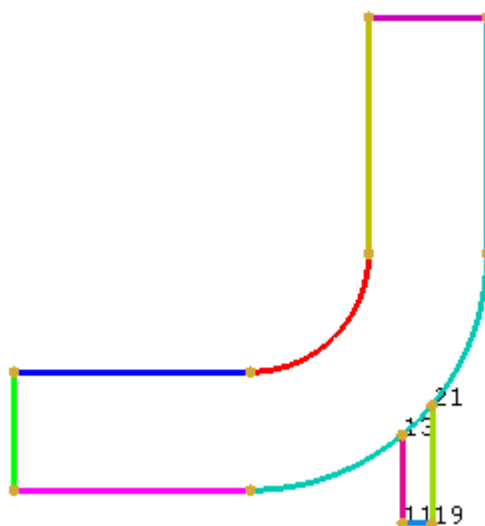




图 2-10

2.5.2 生成其它块

利用 Blocking 标签页中的 ，在右下角弹出的对话框中选择 ，在 Dimension 中选择 2D，块类型选项中选择 Mapped，如图 2-11 所示。

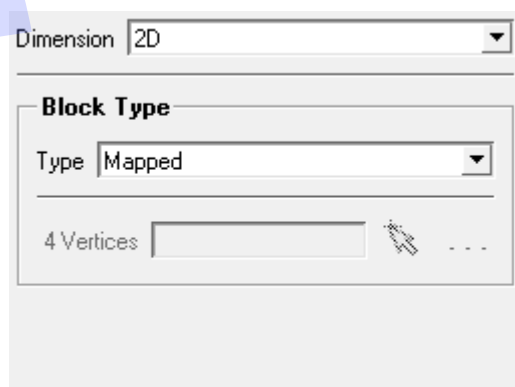


图 2-11

选取顶点 13 与 21，点击鼠标中键，然后在弯管内圆弧上选取两个点，注意点选的顺序，点击鼠标中键，生成一个块，如图 2-12 (a) 所示。依照同样的方法，选取 21-33 点选鼠标中键，选取上方两个点，形成第二个块；选取 13-32 点选中间，选取左边两点，形成第三个块。最终形成的块如图 2-12 (b) 所示。

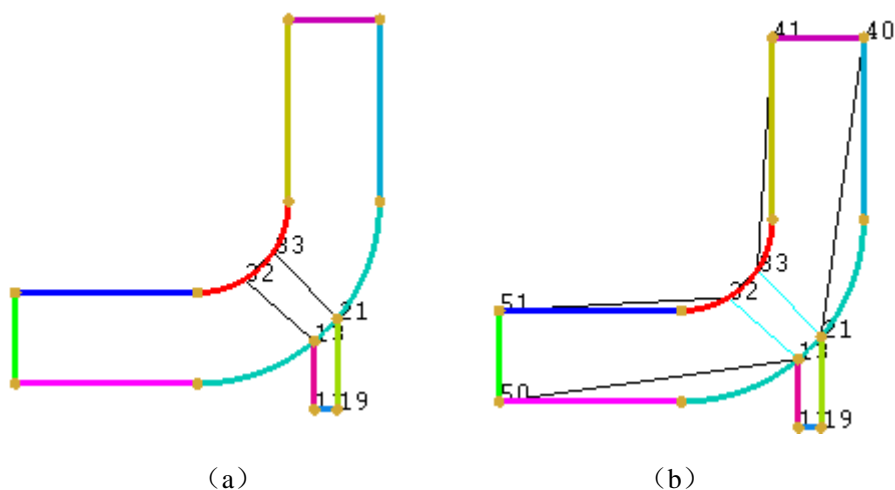


图 2-12 形成块

2.5.3 关联及网格尺寸设定

与前面叙述的方法相同，进行关联及网格尺寸设定。最终形成的网格如图 2-13 所示。

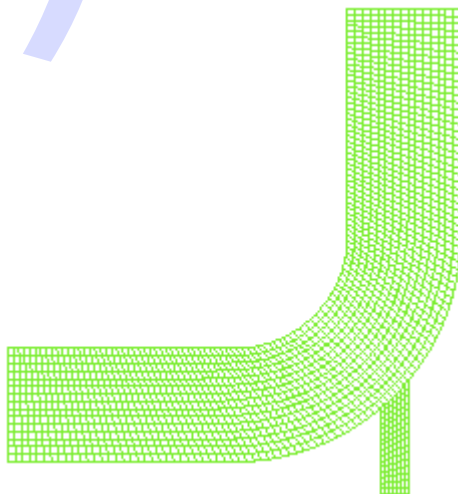



图 2-13 最终形成的网格

2.6 网格质量检查

对于利用块进行结构网格划分的方式来说，常用 Blocking 中  工具，这是一个对预览网格的质量检测工具，可以以直方图的形式对网格质量给一个直观的显示。点击此按钮后，将会在左下角弹出对话框，用户可以对其进行设置。如图 2-14 所示。在该对话框中，可以设定要检查的质量标准。对于块结构网格，我们通常使用 Determinant 以及 Angle。它们均是越靠近右端，质量越好。

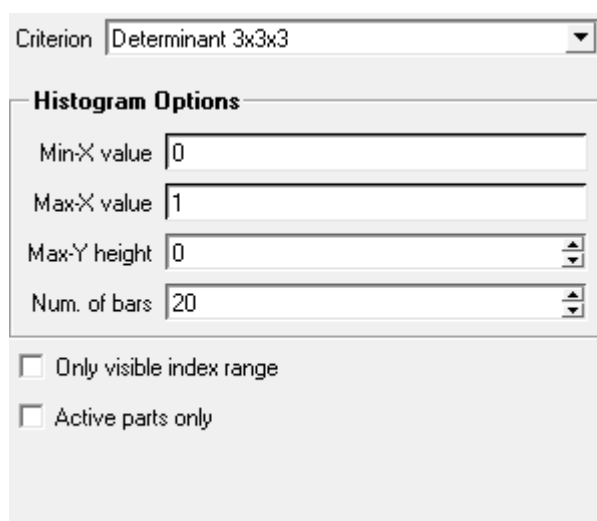


图 2-14 网格质量检查

图 2-15 即为本例中网格检查结果。

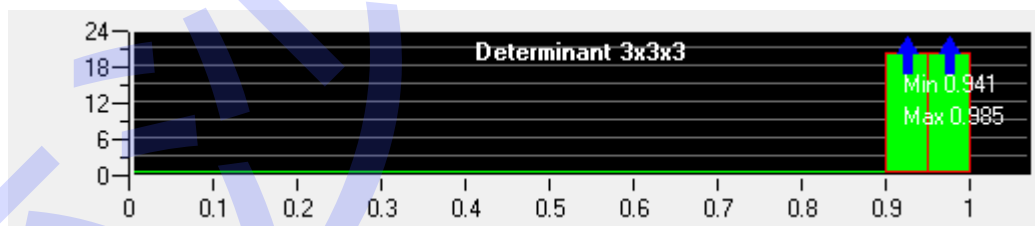


图 2-15 质量检查结果

2.7 网格的生成

上面看到的网格只是预览的网格，其实并没有真正生成网格，我们将要将预览的网格变为实际存在的网格，有两种方式。

方式一：

在树形菜单项 Pre-Mesh 上点击右键，选择 Convert to Unstruct Mesh，如图 2-16（a）所示。

方法二：

在 File 菜单中，选择 Mesh 子菜单，选择 Load from Blocking，如图 2-16（b）所示。

两种方式所生成的网格有所不同，第一种方式生成的为非结构网格，第二种方式则生成结构网格。可以根据实际求解器的需要进行选取。

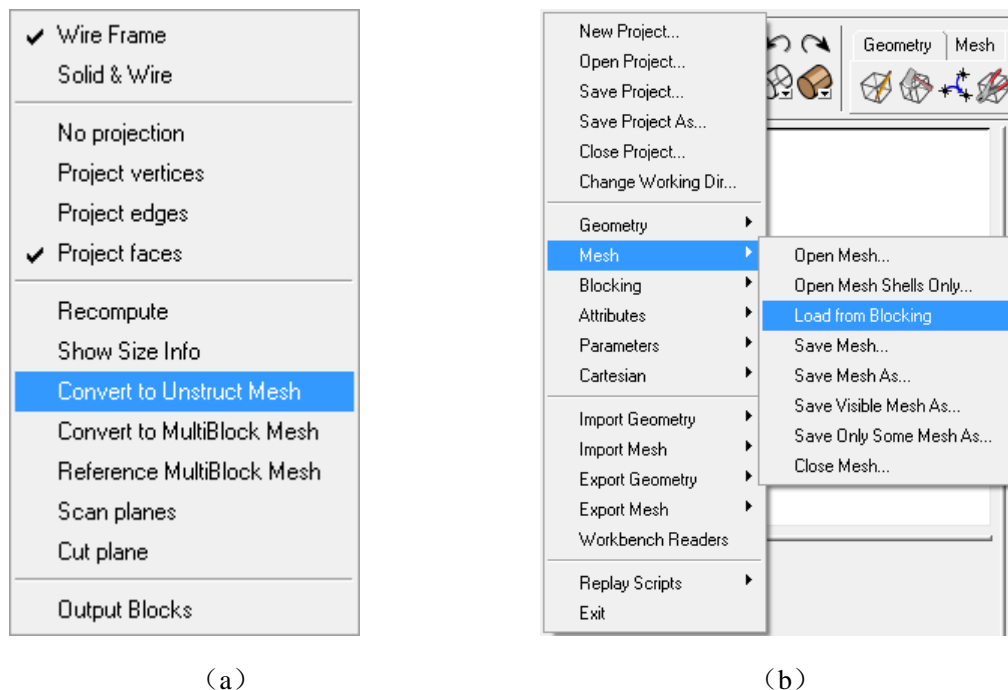



图 2-16 网格生成

2.8 网格输出

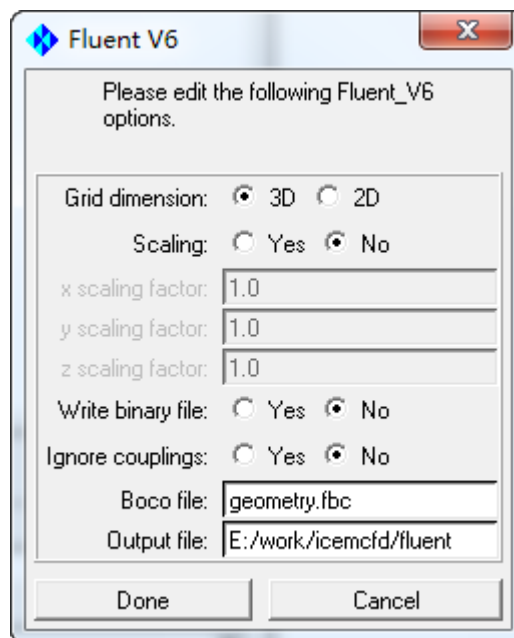
网格生成完毕后，需要将网格输出至求解器。ICEM CFD 支持 200 多种求解器，每一种求解器对网格的要求均不相同，在此以输出至 Fluent 求解器为例，其他求解器输出方式，见帮助文档中的说明。

选择 Output 标签页中的 ，在左下角弹出的对话框的 Output Solver 中选择求解器，然后点选 Apply。然后点击 Output 标签页中的



，将网格输出为所选择求解器支持的类型。

右图为输出至 Fluent V6 求解器的界面，我们需要选择网格维数、网格缩放以及网格文件名等参数信息，点击 Done 按钮后将会输出网格文件。



3 三维模型结构网格划分

三维模型网格划分与二维类似，也需要创建合适的块，进行关联，设定网格尺寸，导出网格等步骤。

3.1 学习目的

主要的知识点包括：

- 1、三维几何的结构网格划分
- 2、圆弧几何的处理方式
- 3、有孔几何的块处理方式

3.2 几何模型

要划分网格的几何如图 3-1 所示。

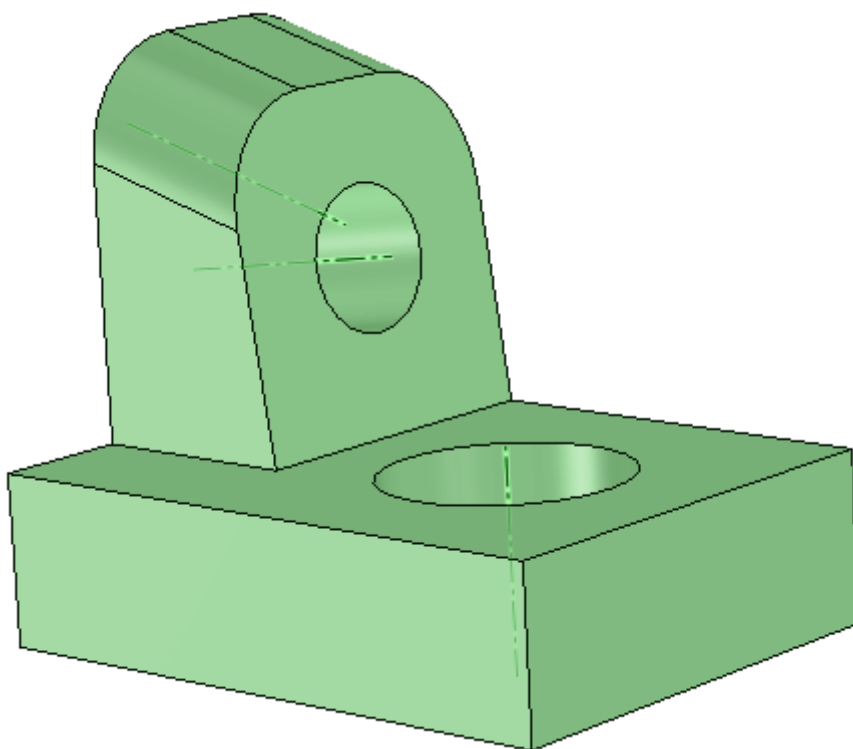




图 3-1 几何模型

该几何实体具有两个孔洞，两个圆角，其他均为长方体结构。整个结构较为简单。自本章开始，将省略边界命名，网格生成及输出等步骤，这些步骤与 2D 几何完全一致。利用 File>Import Geometry>Parasolid 将几何文件导入至 ICEM CFD 中，导入进行几何清理，利用

Geometry 标签页下选择  按钮，在左下角弹出的对话框中选择 ，使用默认参数设置，点击 Apply 按钮进行清理。清理完毕后的几何如图 3-2 所示。

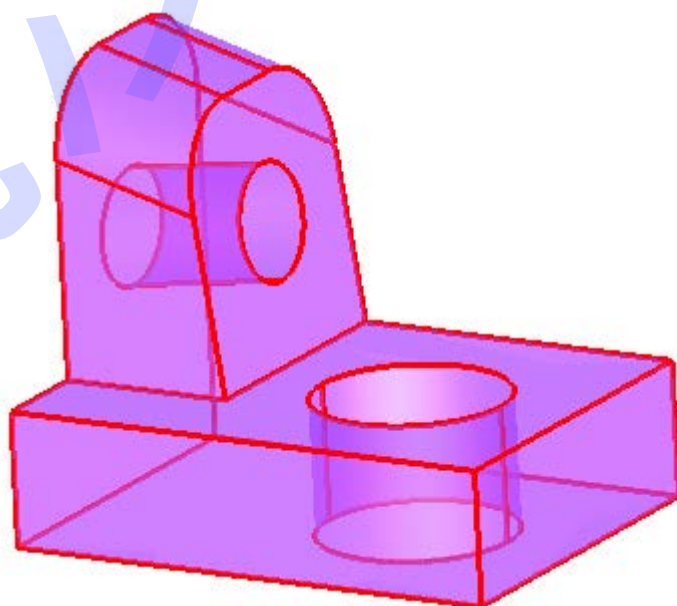




图 3-2 清理后的几何

3.3 生成块

选择 Blocking 标签页下的  按钮，在左下角弹出的对话框中选择 ，同时选择 Type 类型为 3D Bounding Box，其他为默认设置。生成的块如图 3-2 所示。

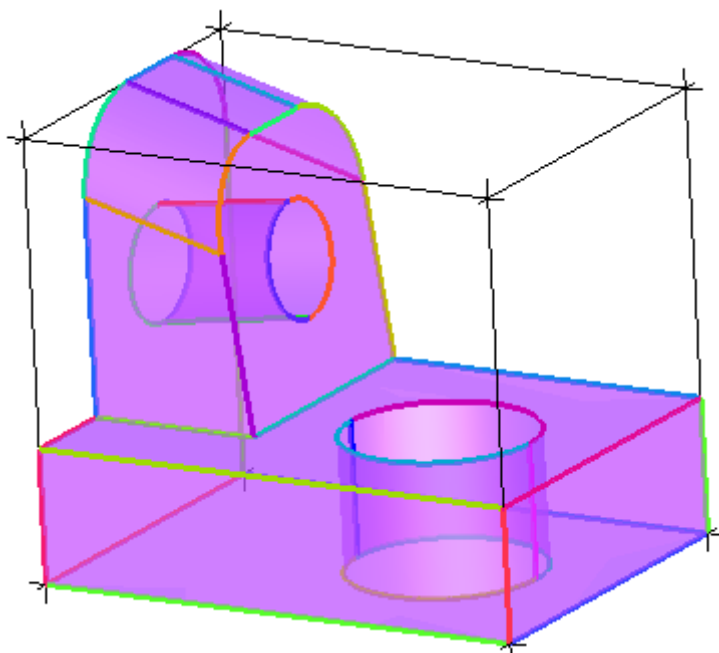


图 3-2 生成原始块

3.4 块的切割

为使块更贴近于几何，需要对块进行切割处理。在切割的过程中，可以通过创建几何特征的方式以使块更容易关联。在本例中，我们一共需要切割 3 次。切割后的块如图 3-3 所示。

将多余的块删除掉。利用 Blocking 标签页中  按钮删除图 3-4 所示的块。

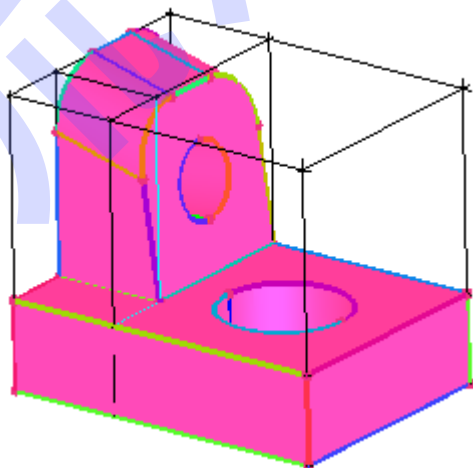


图 3-3 块的切割

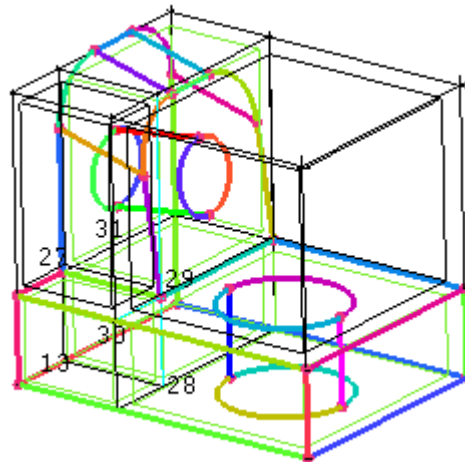


图 3-4 删除块

最终的块如图 3-5 所示。其中关于孔的处理留在关联后进行。

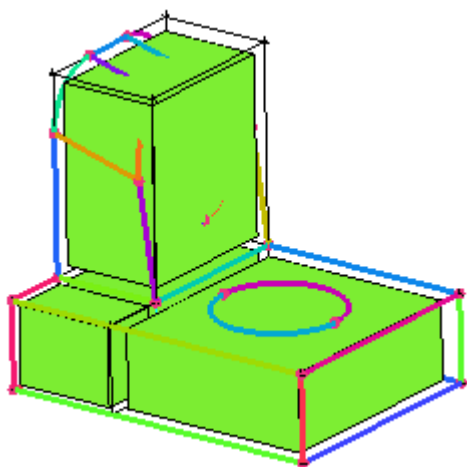


图 3-5 最终的块

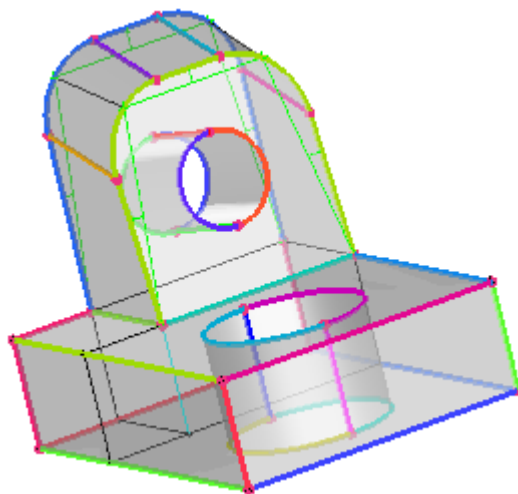




图 3-6 关联后的块

3.5 块与几何的关联

为将块与几何联系起来，需要进行关联设置。其中长方体部分，可以只进行点关联，有圆弧段部分需要进行 edge 的关联。关联后的块如图 3-6 所示。

3.6 圆孔的处理

ICEM CFD 提供了一种非常好的圆弧几何处理方式：O 型网格。在网络上 O 型网格也称之为“钱币网格”，它通过将一个圆分成 5 个四边形的方式，将其划分为结构网格。O 型网格有很多变种，如 C 型网格，L 型网格等。详细情况可参考 ICEM CFD 帮助文档。

选择 Blocking 标签页中  按钮，在出现的操纵面板中选择 。我们选择如图 3-7 所示的两个面，点击鼠标中键后，软件会自动选取 Block，检查软件选取的 Block 是否正确，若正确，点击 Apply 按钮完成 O 型网格划分。同理完成另外一个圆孔的 O 型划分。完成的块如图 3-8 所示。

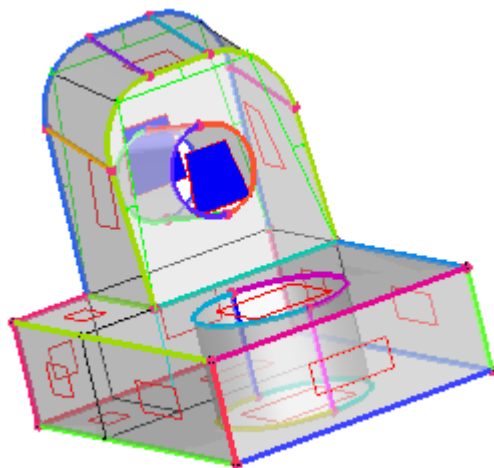
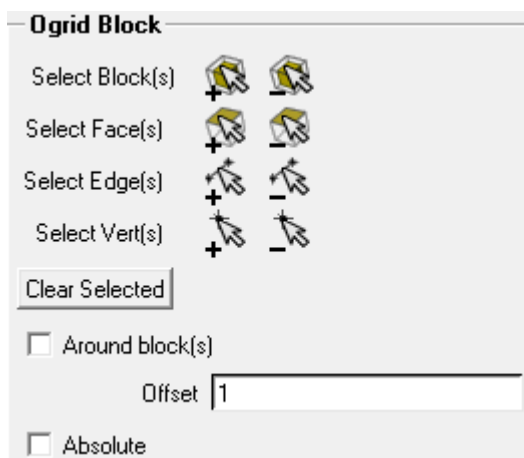


图 3-7 Face 的选取

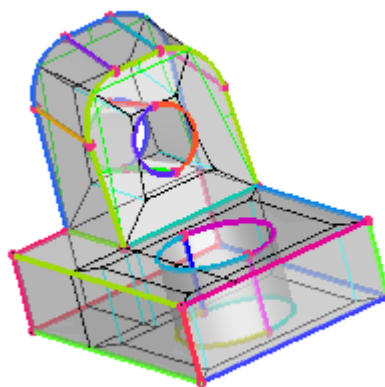
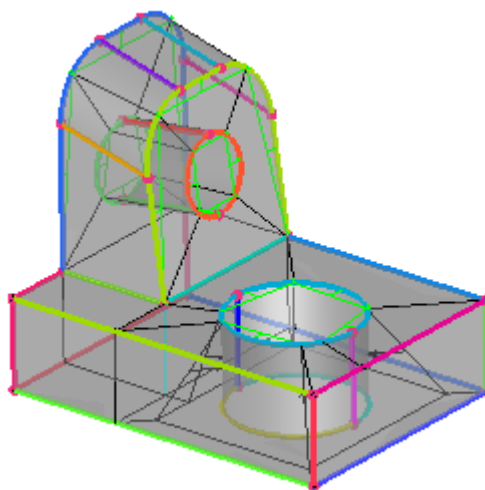


图 3-8 O 型块

删除多余的块并进行 Edge 的关联。最终的块如图 3-9 所示。



如图 3-9 最终的块

3.7 网格尺寸及质量检查

测量最小的边长为 7，设定全局尺寸为 1，更新块并进行网格预览。生成的网格如图 3-10 所示。

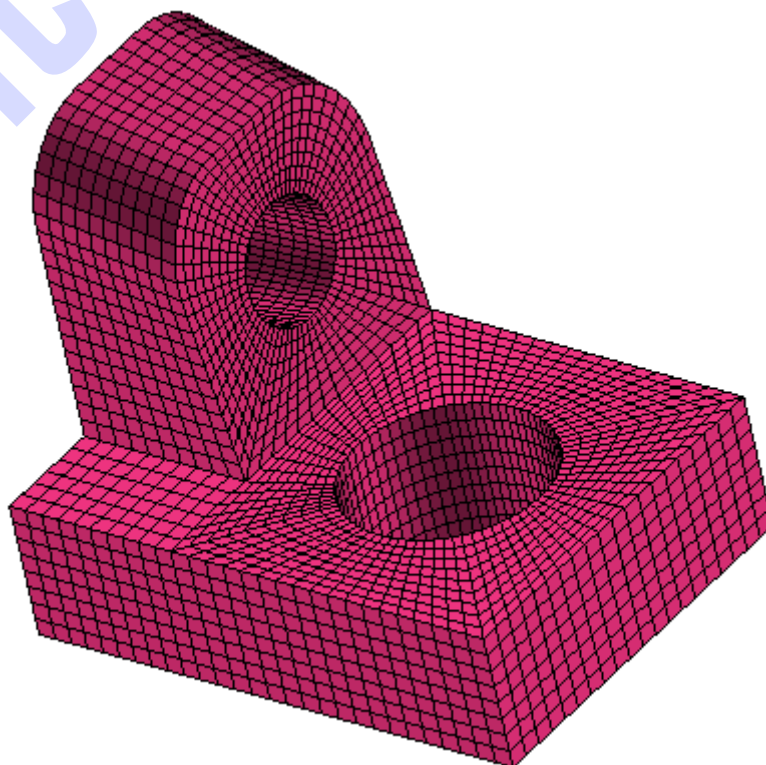


图 3-10 网格

检查网格质量，如图 3-11 所示。

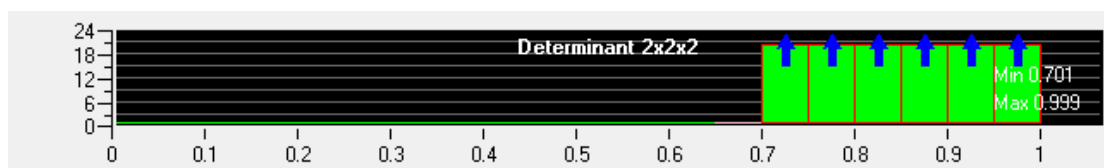


图 3-11 网格质量直方图

4 曲面网格划分

4.1 目的

通过半球壳网格划分，了解 3D 曲面网格的划分方式。了解 2D 曲面块生成的方式

4.2 几何模型

一个无厚度的半球曲面上有一圆柱面相贯，如图 4-1 所示。

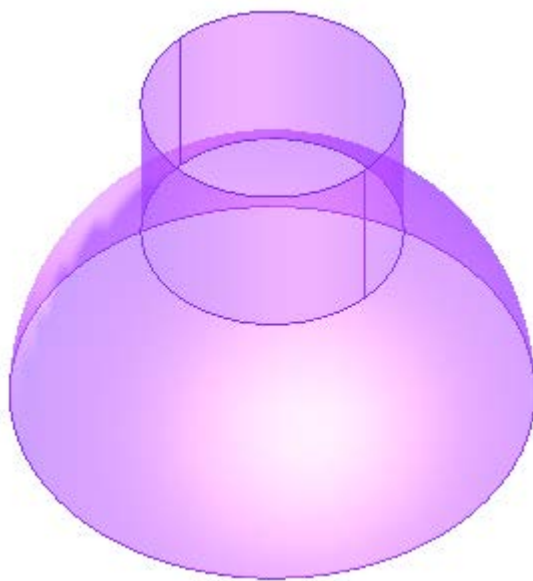


图 4-1 几何模型


4.3 分块策略

由于是曲面，因此虽然是圆弧几何，却不需要划分 O 型网格。ICEM CFD 中生成 2D 块的方式主要有两种，一种是在生成 3D blocking 时勾选 2D Blocking 选项，另一方式可以利用块类型转换，将 3D 块转换成 2D。

从几何整体来看，我们需要先创建一个包含整个几何的块，在相贯线位置进行切割，然后进行 Edge 关联即可。

由于是曲面几何，故顶部与底部缺少面，因此创建了块之后，需要将顶部与底部的两个面删除掉。

4.4 建立块

利用 Blocking 标签页中  按钮，在弹出的数据对象窗口中，选择  进行初始块的创建。块类型中选择 3D Bounding Box，同时勾选 2D Blocking，点击 Apply 按钮创建初始块。



在树形窗口中右键点击 Blocks 项，在弹出的子菜单中选择 Solid 项，同时勾选 Blocks 前的选项，所形成的块如图 4-2 所示。

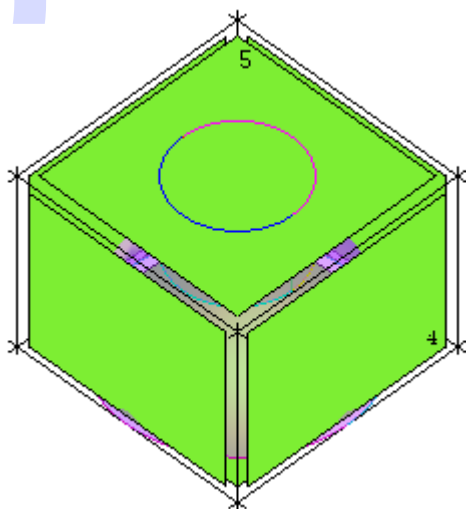


图 4-2 初始块

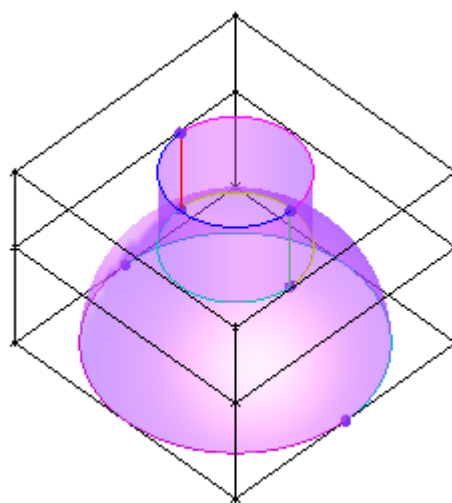




图 4-3 分割后的块

4.5 块的分割及关联

选择块分割功能按钮 ，选择  按钮进行块的分割。分割后的块如图 4-3 所示。将块上边与几何体相应边进行 Edge 关联，之后进行自动对齐。最终块如图 4-4 所示。

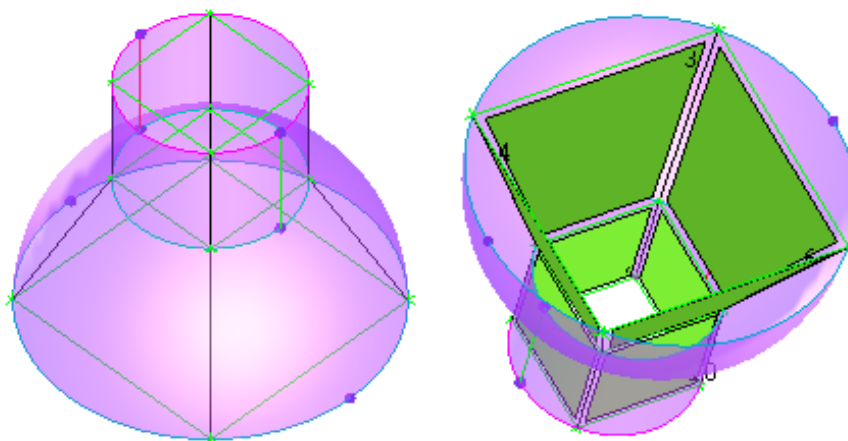


图 4-4 进行关联后的块

图 4-5 删除了顶部及底部面后的块

4.6 块的删除

由于几何的顶部及底部均没有面的存在，因此需要将顶部及底部块上的面删除掉，删除后的块如图 4-5 所示。

4.7 设定网格尺寸及预览网格

测量最小几何尺寸在 20 左右，因此设定全局网格尺寸为 2（通常取 1/10，之后可以进行调整）。更新块后勾选树形菜单中的 pre-mesh，进行网格预览。如图 4-6 所示。

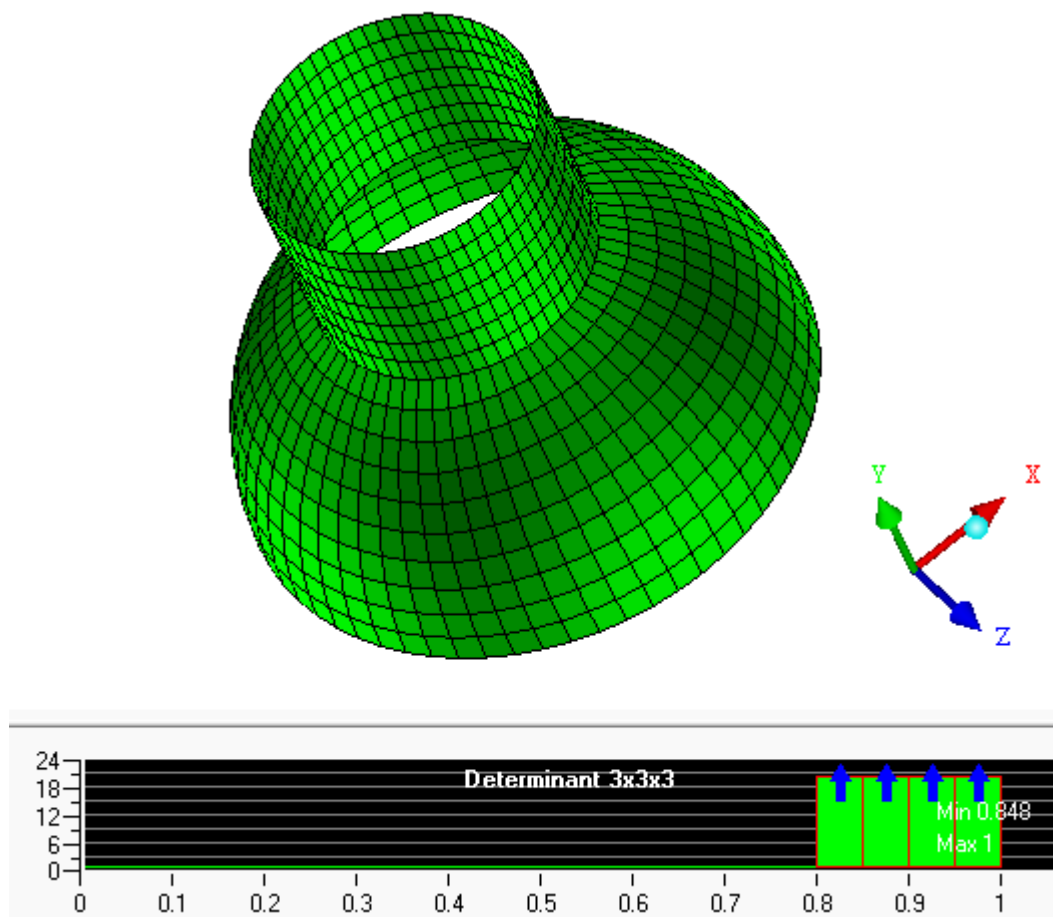




图 4-6 最终网格及质量显示

4.8 另一种方式

采用划分实体的方式进行块生成,切割,关联,之后再利用 **Blocking** 标签页中的按钮 ,

在弹出的数据对象窗口中选择  按钮,将 3D 块全部转换为 2D 面块,删除多余的面。
其他步骤与上面完全相同。

5 三角形的处理方式

本章主要针对几何体中的三角形分块方式进行讨论，讲述 Y 型分块策略。

在实际模型中，我们经常可以看到有三角形或三棱柱几何，甚至一些类似三角形结构也可以采用此分块策略。常见的 Y 型网格分块方式如图 5-1 所示。将三角形分解为三个四边形。若为三棱柱结构，择分为三个六面体结构，方便进行网格划分。

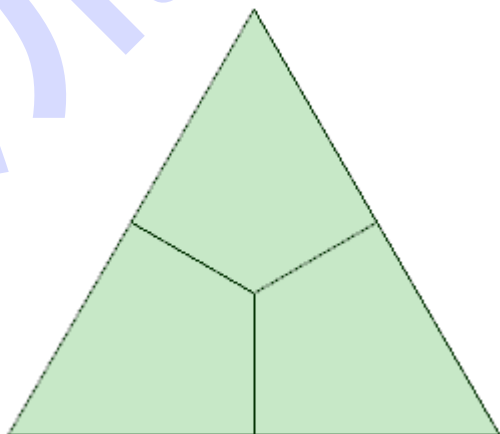


图 5-1 Y 型分块策略

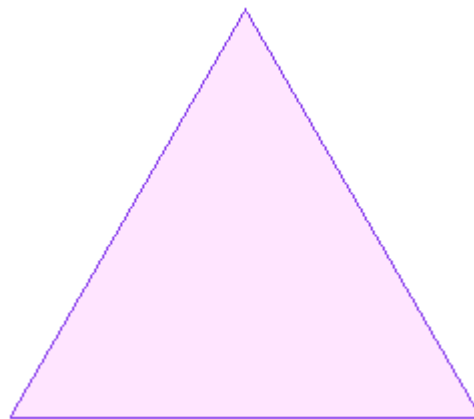


图 5-2 导入的三角形平面

在 ICEM CFD 中，要进行如此的分块切割，在 2D 几何与 3D 几何中的操作过程是不一样的。在 2D 中，通常是进行切割或通过 O 型剖分获得，而在 3D 块中，可以直接通过 Y 型剖分选项获得。

5.1 三角形 Y 型剖分方案

Step1: 导入三角形平面

导入外部 CAD 软件创建的三角形平面或在 ICEM CFD 中直接创建三角形平面，如图 5-2 所示。

Step 2: 创建 2D 平面块

创建初始 2D 平面块，并显示 vertex 及 curves 的名字，如图 5-3 所示。

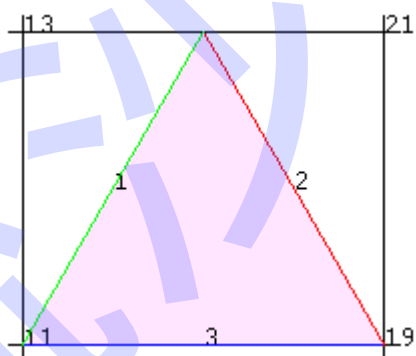


图 5-3 初始块

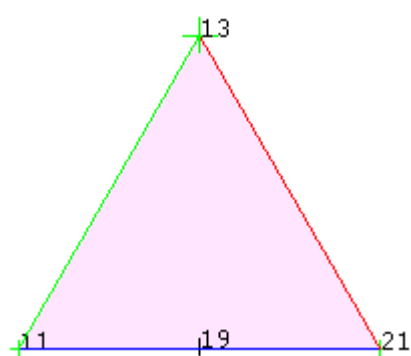


图 5-4 关联后的块

Step 3: 边关联

要进行关联的 edge 及 curves 为:

11-13=>1

13-21=>2

21-19-11=>3

关联后将 vertex19 与 13 的 X 坐标对齐。最终图形如图 5-4 所示。

Step 4: O 型切分

选择 11-13 及 13-21 这两条 Edge 进行 O 型分割，如图 5-5 所示。最终的切分结果如图 5-6 所示。

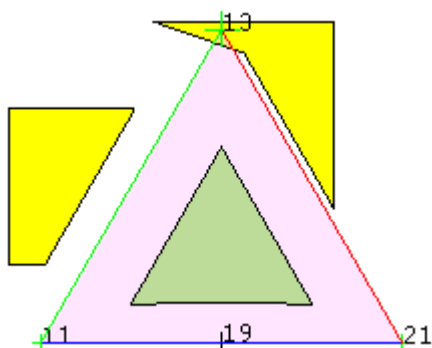


图 5-4 选择 edge 后的

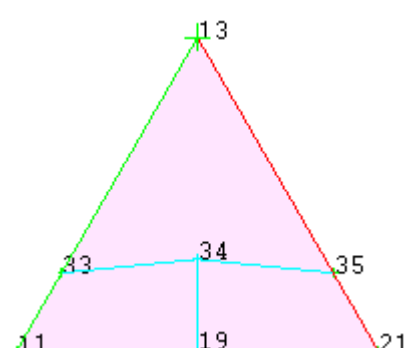


图 5-5 O 型分割后的结果

Step 5: 调整 vertex

调整 vertex33 及 35 的位置，使块更利于进行四边形分割。有时需要重新进行关联。调整后的块如图 5-6 所示。

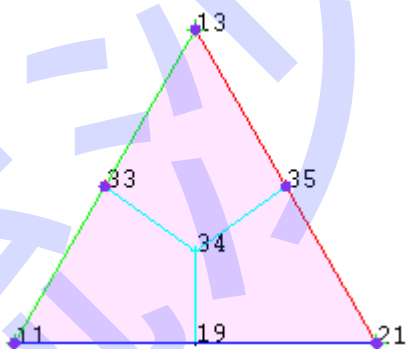


图 5-6 最终块

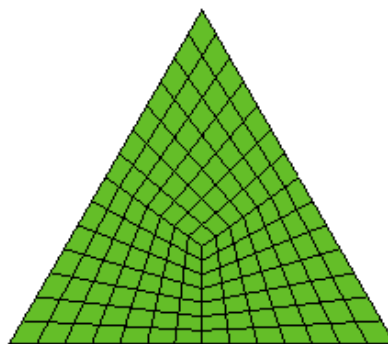


图 5-7 生成的网格

Step 6: 设定网格尺寸及预览网格

最终生成的网格如图 5-7 所示。

5.2 三棱柱 Y 型剖分方案

对于 3D 结构的三棱柱，ICEM CFD 提供了很方便的 Y 型块剖分工具。

Step 1: 导入几何

在 ICEM CFD 中导入三棱柱几何，如图 5-8 所示。

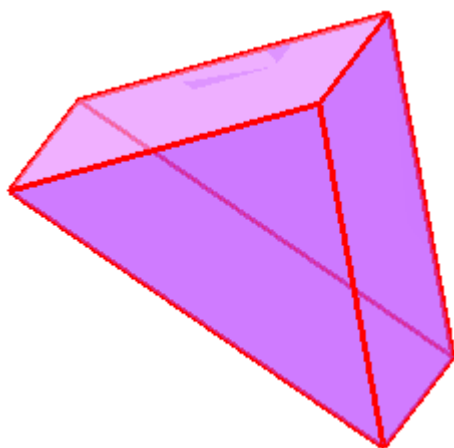


图 5-8 原始几何

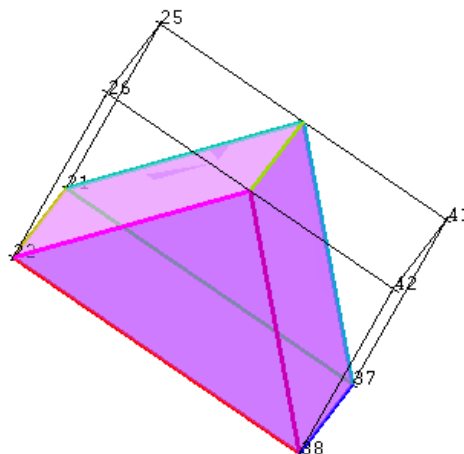




图 5-9 初始块

Step 2: 创建 3D 块

创建 3D Bounding Box 块，如图 5-9 所示。

Step 3: 进行顶点合并

为形成三棱柱块，需要进行顶点的合并。点击 **Blocking** 标签页中  按钮，在弹出的数据对象窗口中选择  按钮进行顶点合并。要合并的顶点对为 26-42 及 25-41。合并顶点后的块如图 5-10 所示。

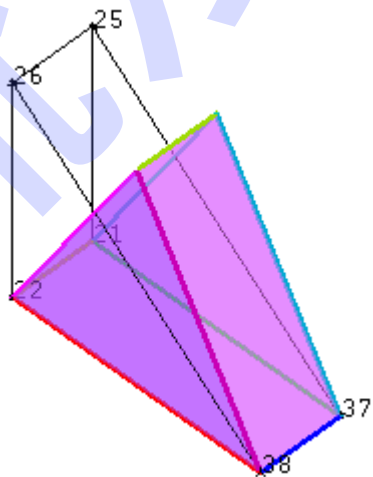


图 5-10 合并顶点后的块

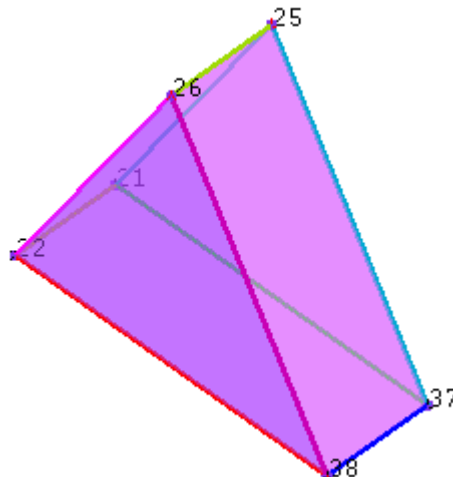




图 5-11 关联后的块

Step 4: 关联

利用 vertex 关联将三棱柱块与几何体关联。如图 5-11 所示。

Step 5 : 设置 Y 型剖分

选择 **Blocking** 标签页下  按钮，在数据对象窗口中选择  按钮，在类型设置下拉框中选择 Y-Block，并选择需要进行 Y 型剖分的块。如图 5-12 所示。剖分后的块如图 5-13 所示。

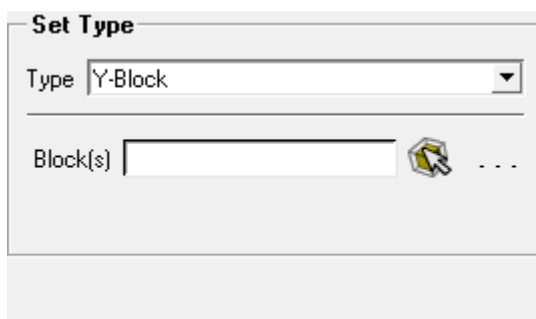


图 5-12 Y 型切分设置

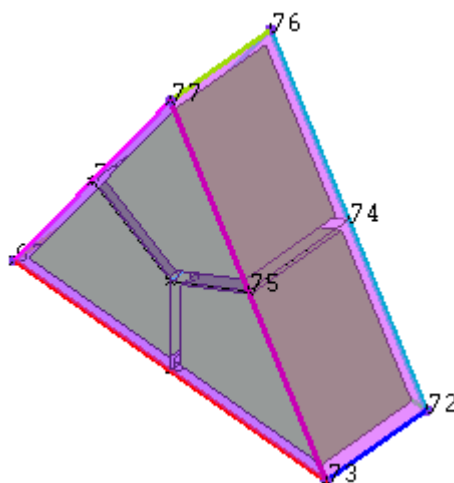


图 5-13 Y 型剖分后的块

Step 6: 关联并预览网格

进行 Edge 关联，并设置网格尺寸，进行网格预览。最终网格如图 5-14 所示。

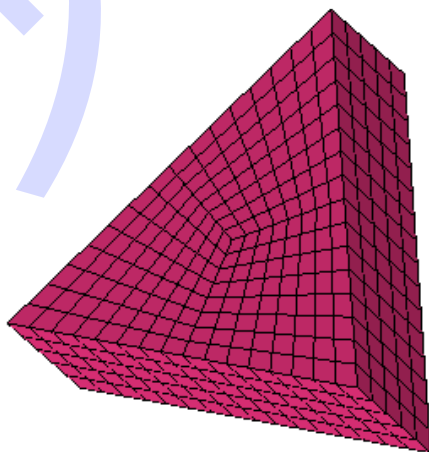


图 5-14 最终网格

5.3 三角形几何体的扩展

ICEM CFD 结构网格划分是利用块进行逻辑六面体切割，将块与几何进行关联。生成网格过程中，实际上是将块上 Edge 信息映射至几何上。因此一些类似三角形结构的四边形、五边形甚至多边形结构（3D 则为棱柱结构）均可利用 Y 型分割。如图 5-15 中的一些图形均可利用类三角形 Y 型剖分原理进行网格划分。

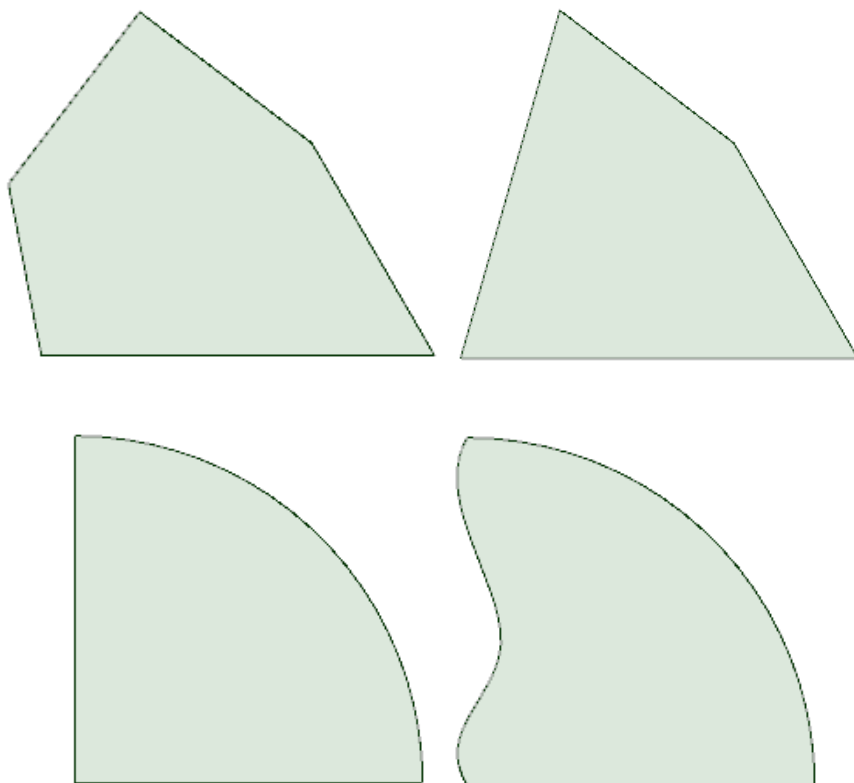


图 5-15 一些类三角形结构

形成的网格如图 5-16 所示。

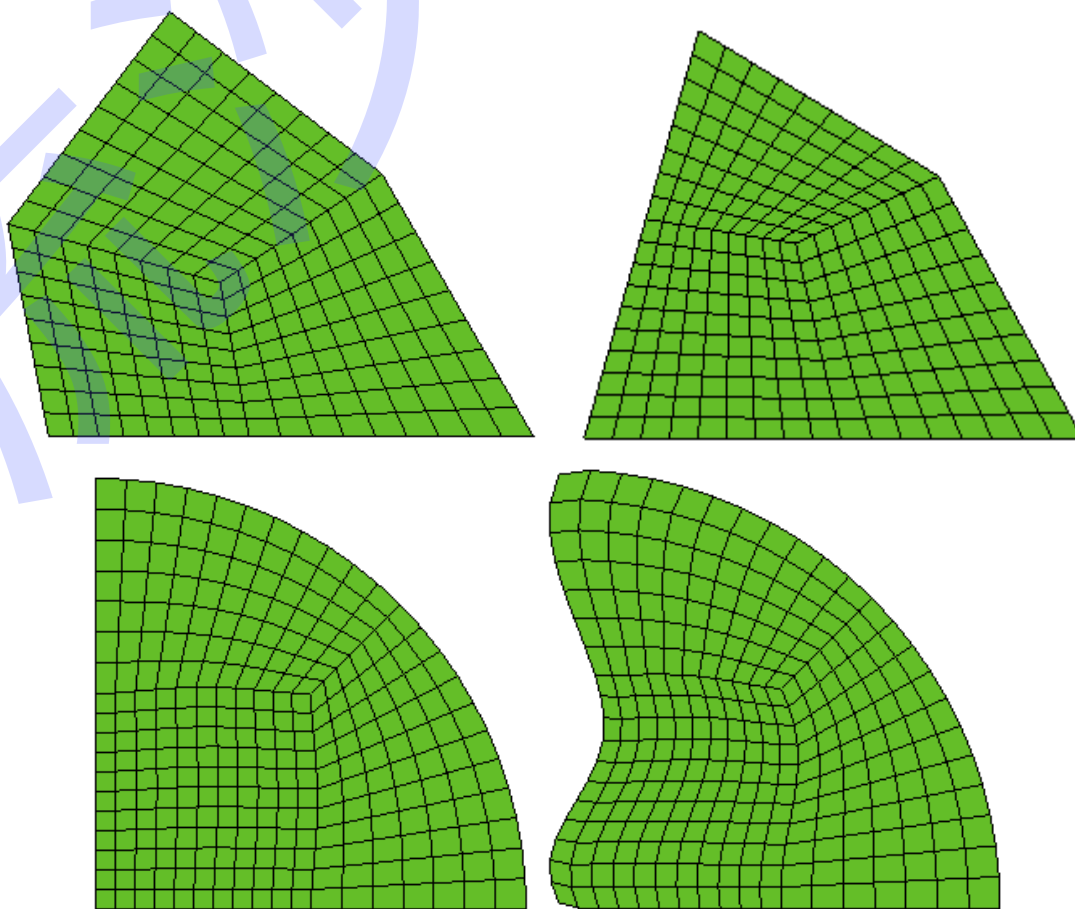


图 5-16 类三角结构网格生成

对于 2D 结构，可以采用 O 型剖分来进行 Y 型剖分，这部分内容将在第六章进行详细讲解。

5.4 综合实例解析

练习一个稍复杂的例子。如图 5-17 所示。

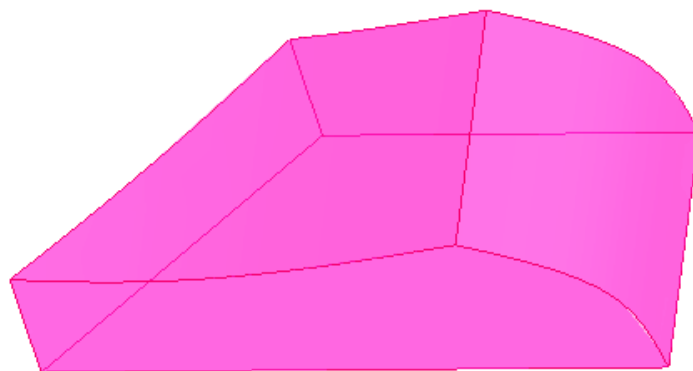


图 5-17 几何

Step 1: 建立拓扑及生成初始块

建立 3D Bounding Box 块，生成初始块如图 5-18 所示。

Step 2: 块的切割

将块分割成 3 个部分如图 5-19 所示。

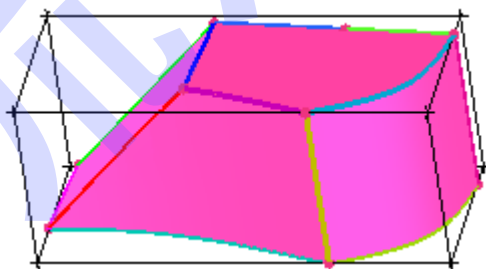


图 5-18 初始块

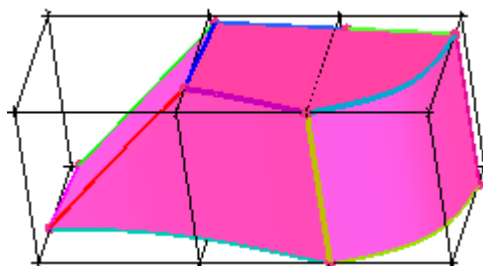




图 5-19 分割块

Step 3: vertex 关联

进行 vertex 的关联。一些不存在点的位置，可以通过 geometry 标签页下  按钮，选择 ，将点映射至曲线上，同时勾选 ☒ Trim curve 选项将曲线分割开。关联后的块如图 5-20 所示。

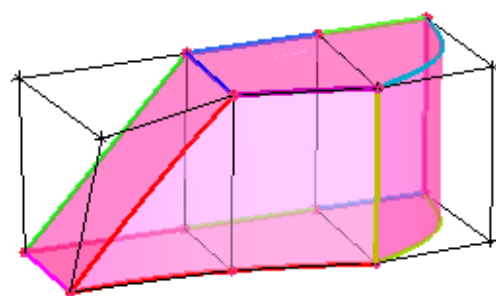


图 5-20 vertex 关联

Step 4: vertex 的合并

几何中有一个三棱柱结构及一个四分之一圆柱结构，这两部分均可通过 Y 型切分实现高质量网格划分。为进行 Y 型切分，需要将六面体块合并成三棱柱块。合并后的结构如图 5-21 所示。

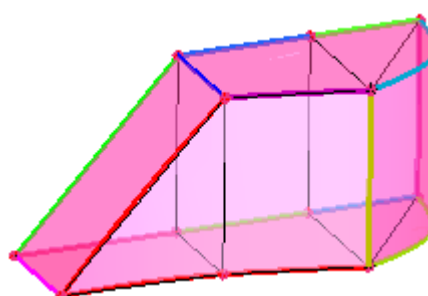


图 5-21 vertex 合并后的块

Step 5: 设置 Y 型剖分

如前所述采用设置 3D 块 Y 型剖分的方式，设置两个三棱柱块为 Y 型剖分。剖分后结果如图 5-21 所示。

Step 6: edge 关联

关联后对齐的图形如图 5-22 所示。

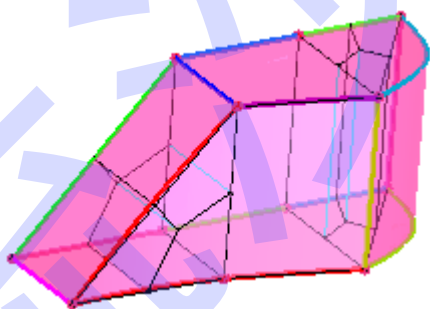


图 5-21 Y 型剖分

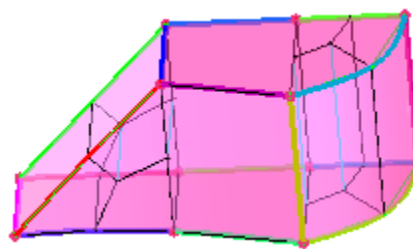


图 5-22 关联后对齐

Step 7: 设置网格尺寸并预览网格

设置最大全局网格尺寸为 1，更新块并预览网格，最终网格如图 5-22 所示。

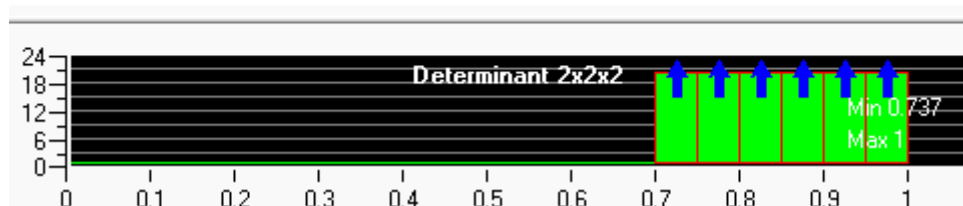
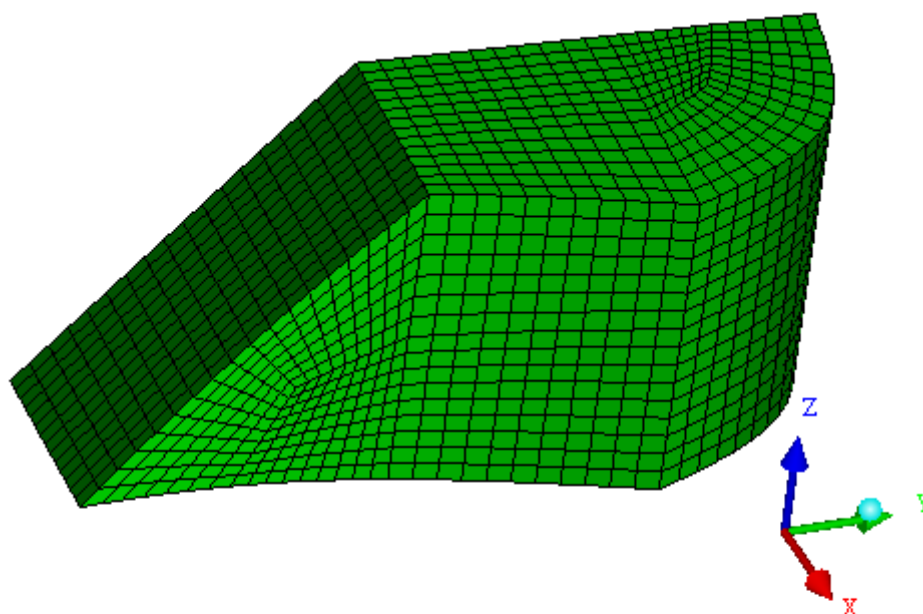


图 5-22 最终网格

5.5 思考

很容易发现，Y 型分割是 O 型分割的一种特殊形式。Y 型分割在很多时候对块的情况有特殊的要求，因此，在一些无法进行 Y 型分割的情况下，可以考虑采用 O 型分割的方式。

6 O 型块的特殊应用

O 型块在对于圆弧几何的处理中，应用非常广泛。

6.1 圆弧几何遇到的问题

6.1.1 网格映射

“一对一的关系”称之为映射。在网格生成中，也需要进行映射。以规则的矩形为例。如图 6-1 所示为一长 20 宽 10 的矩形。其中边 1 与边 2 相对，边 3 与边 4 相对。在划分网格中，如果 1 与 2 的节点数相等，3 与 4 的节点数相等，则可形成结构网格如图 6-2 所示。否则破坏了映射关系，是无法形成结构网格的。



图 6-1 原始几何

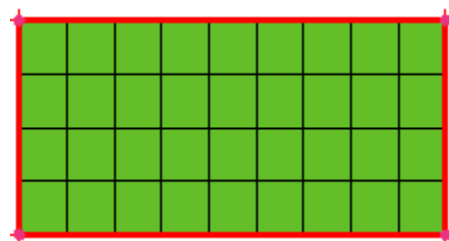


图 6-2 结构网格

很多不是四边形结构的几何，只要人为规定它们的映射方式，也可以划分结构网格，只是很多时候网格质量得不到保证罢了。图 6-3 为一些非四边形几何的结构网格划分结果。

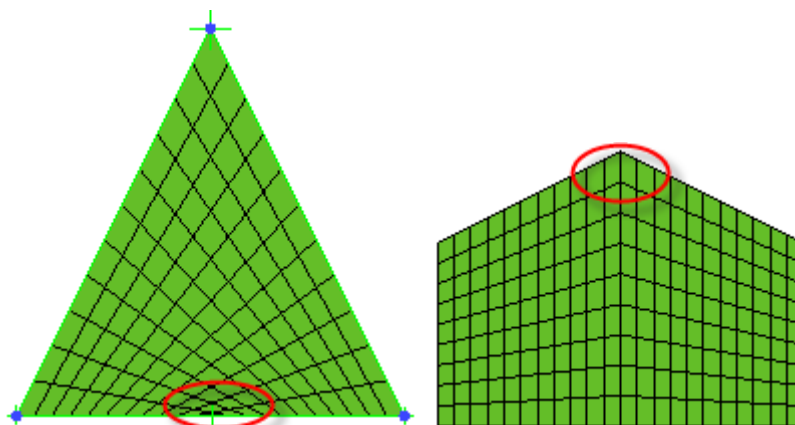


图 6-3 非四边形的映射网格

图 6-3 中的三角形结构网格，是人为将一条边分为两部分，分别与其他两条边构成映射关系。而五边形则人为将两条边当作一条边与对应的边构成映射关系。红色部位为易发生网格质量问题位置。随着几何体的变化，这些位置的网格质量可能发生急剧恶化。

6.1.2 圆弧的映射

对于圆弧几何，以圆为例。圆是没有明显转折的一条边几何，因此在划分结构网格时，需要人为将其分为四段，并指定对应关系。如图 6-4 所示。将弧 1 与弧 2 对应，圆弧 3 与 4 对应，划分结构网格如图 6-5 所示。

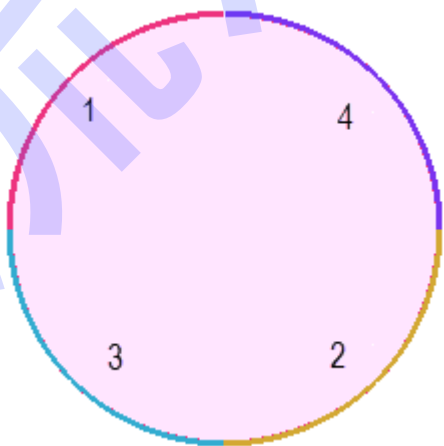


图 6-4 分为四段圆弧的圆

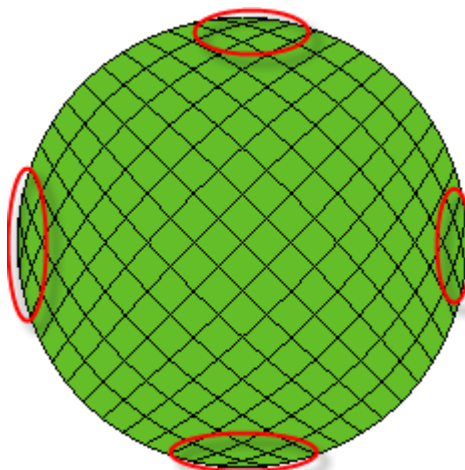


图 6-5 圆面的结构网格

可以看到，图 6-5 中标记的四个位置网格质量是很差的，这主要是由于圆弧是相切连接的。在映射结构网格中，两条相邻边的角度在 90 度时网格质量最佳，随着偏离程度的增加，网格质量越来越差。对于圆面来讲，相邻圆弧的角度是大于 90 度的，随着曲率半径的增大，相邻圆弧间的角度越趋向于 180 度。因此，直接对圆弧进行结构网格划分难以获得高质量的网格。

6.1.3 铜钱的启示

中国古代的铜板给了圆形网格划分最大的启示。铜板的形状为外圆内方。如图 6-6 所示。由于方形的存在，可以将圆形面分割为 5 个四边形。如图 6-7 所示。



图 6-6 古钱币

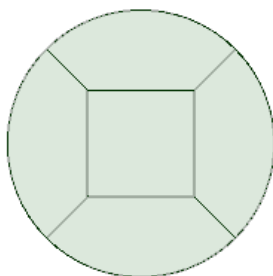


图 6-7 被方形分割的圆

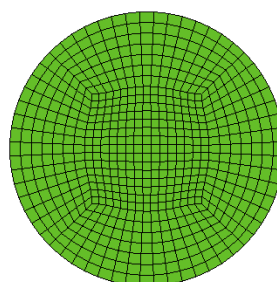


图 6-8 圆的结构网格

利用 6-7 所示的块剖分方法，划分圆面网格，如图 6-8 所示。

这种铜钱式剖分方式在 ICEM CFD 中称之为 O 型块剖分。在 Blocking 标签页中选择按



钮，进而在弹出的数据对象窗口中选择



按钮，即可进行 O 型剖分。

6.2 O 型块及其变型

在 ICEM CFD 有专门的命令进行 O 型块划分。根据剖分面选择的不同，剖分结果主要有三类：全 O 块、L 块以及 C 型块。如图 6-9 所示。

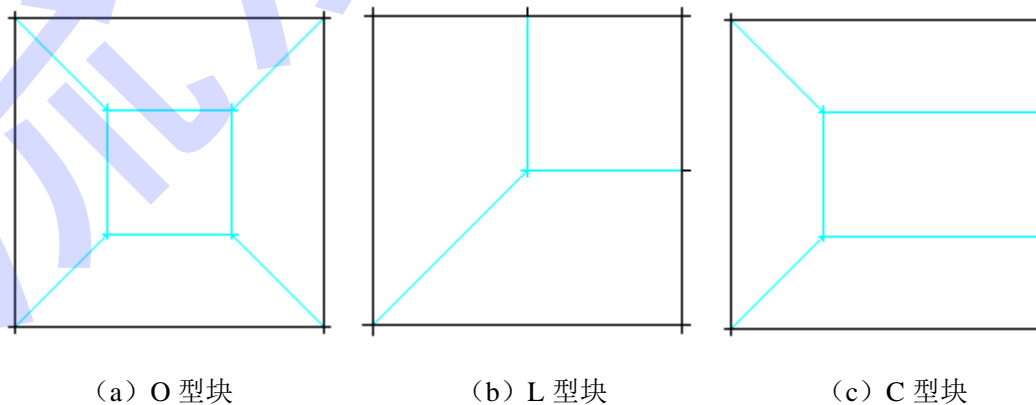


图 6-9 不同的 O 型块

通过勾选 O 型块创建窗口中的 Around Blocks 选项，可以创建外 O 型块，这在一些外流场计算网格划分中特别有用。

O 型网格的另外一个优势在于可以很方便地施加边界层网格，这一内容将在第八章进行详细讲述。

6.3 O 型块剖分实例

6.3.1 圆柱相贯网格划分

利用 L 型块划分等径圆柱相贯几何结构网格划分。其中用到了 L 型剖分、块的分割、镜像以及删除、Edeg 关联、以及 O 型网格剖分等技术。

Step 1: 导入几何文件至 ICEM CFD

导入几何文件 ex6(2).x_t 至 ICEM CFD 中，建立几何拓扑并以实体显示，如图 6-10。

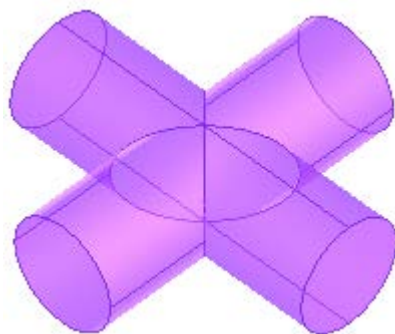


图 6-10 原始几何文件

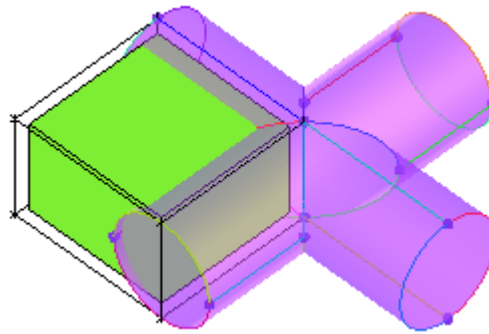


图 6-11 建立的块

Step 2: 建立四分之一几何块

先建立整体初始块，切割成四分之一，删除多余的块。如图 6-11 所示。

Step 3: 对块进行 L 型剖分

选取如图 6-12 所示的四个 Face，进行 O 型剖分，剖分后的块如图 6-13 所示。

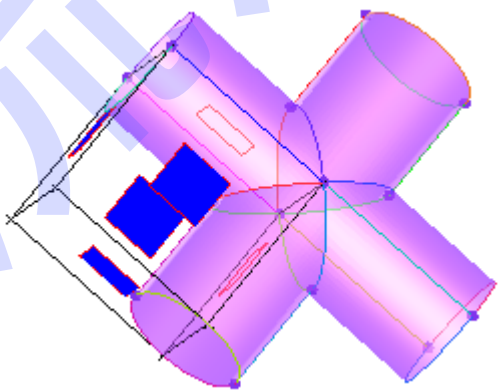


图 6-12 选取 Face

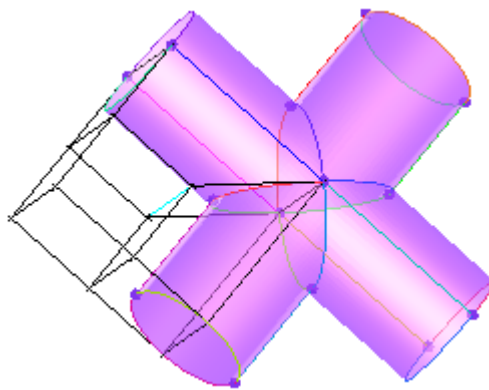


图 6-13 L 型剖分

Step 4: 删除多余的块

将多余的块进行删除，如图 6-14 所示黑色块为删除的块。

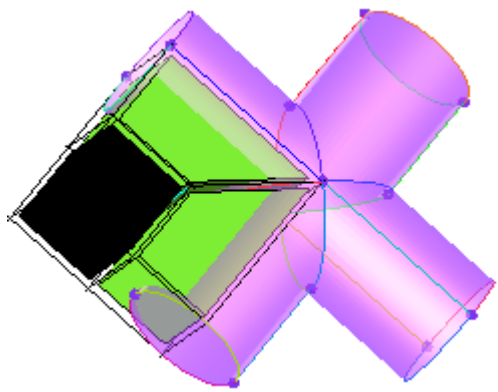


图 6-14 删除块

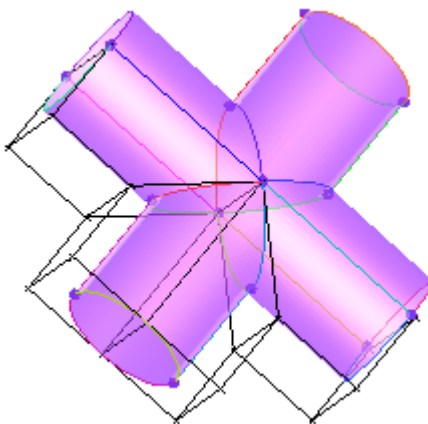




图 6-15 镜像后的块

Step 5: 块的镜像复制

选择 Blocking 标签页下  按钮，在弹出的数据对象窗口中选择  功能按钮，选择所有的块，勾选 Copy，Reflection 的 Plane Axis(Normal)选项中选择 X 轴，镜像点选择 user's point，并选择几何中间的点作为镜像点。镜像复制后的块如图 6-15 所示。

同理将所有的块沿 Z 轴进行径向，完成块的构建。最终的块如图 6-16 所示。

Step 6: edge 关联

进行边的关联并对齐，最终块如图 6-17 所示。

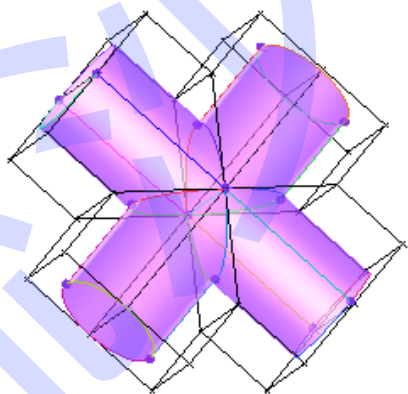


图 6-16 镜像完毕的块

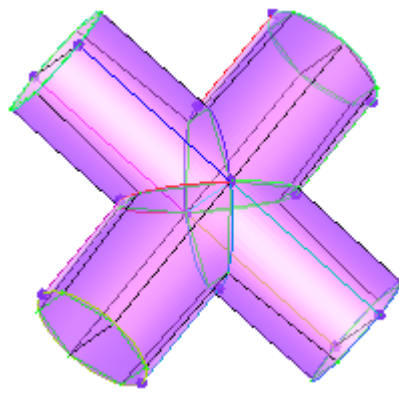


图 6-17 完成关联及对齐后的块

Step 7: O 型块的剖分

由于是圆柱几何，因此还需要进行 O 型块的剖分。选择 6-18 所示的面及块，进行 O 型剖分。剖分后的结果如 6-19 所示。

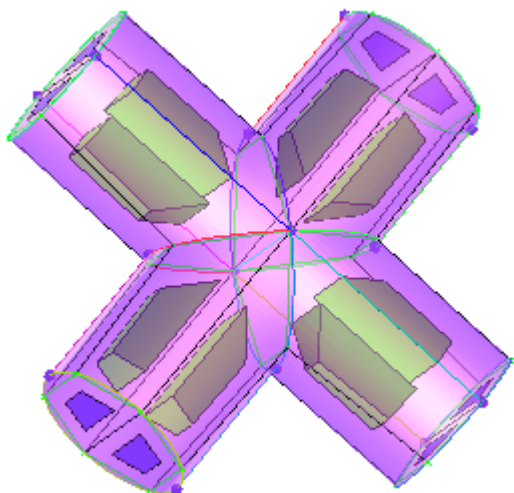


图 6-18 选择面及块

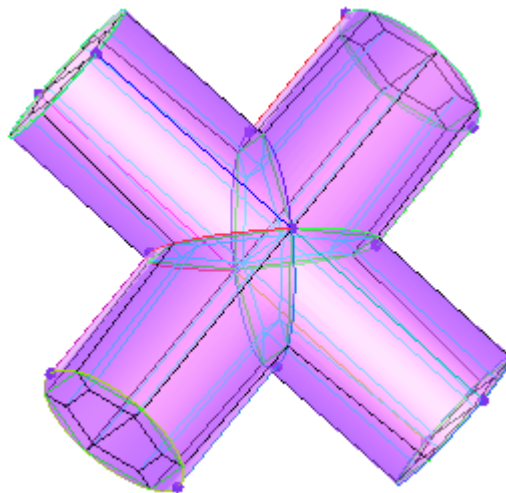


图 6-19 O 型剖分后的块

Step 8: 设定网格尺寸并预览网格

设定最大网格尺寸为 1，更新块并预览网格，最终网格如图 6-20 所示。

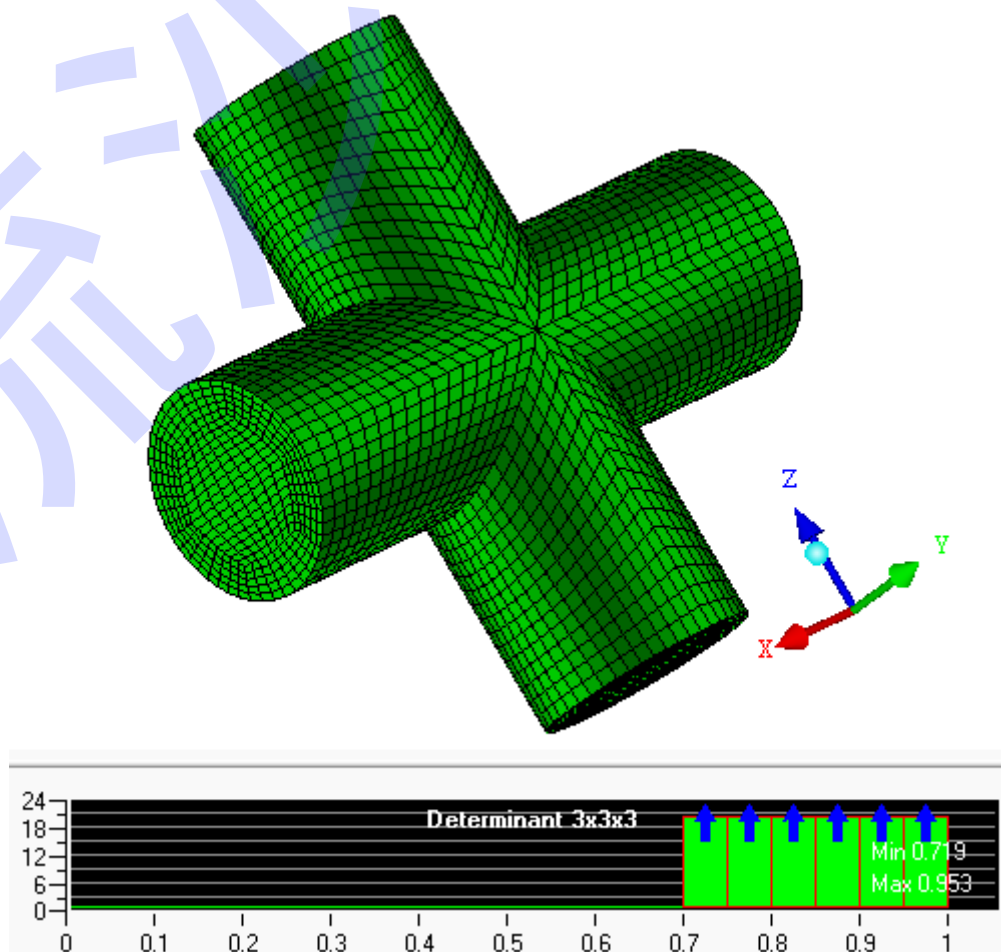


图 6-20 最终网格

6.3.2 圆柱沟槽网格划分

Step 1: 导入几何文件

导入几何文件 ex6(3).x_t，构建拓扑并实体显示几何。如图 6-21 所示。

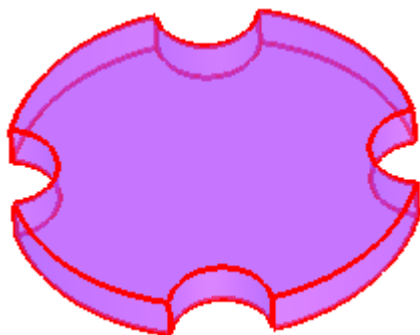


图 6-21 原始几何

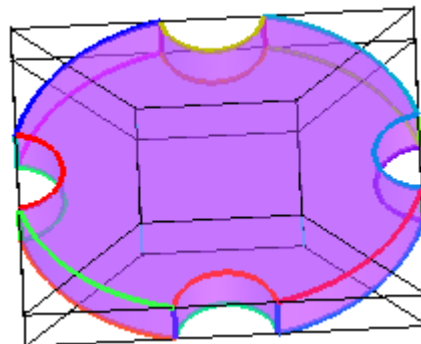


图 6-22 O 型剖分后的块

Step 2: 构建原始块并进行 O 型剖分

剖分后的块如图 6-22 所示。

Step 3: C 型剖分

根据几何中四个小圆柱面的特征，需要进行 C 型剖分。选取图 6-23 中的面及块进行剖分，剖分后的结果如图 6-24 所示。

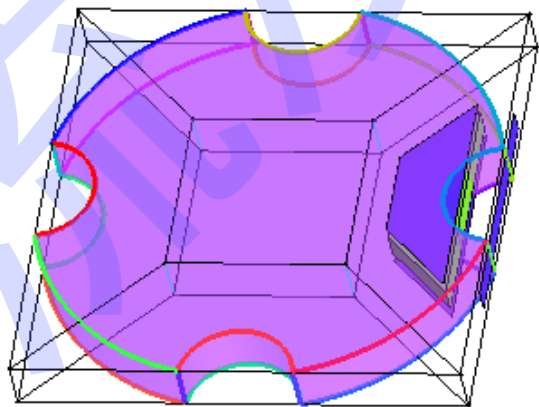


图 6-23 选取面进行 O 型剖分

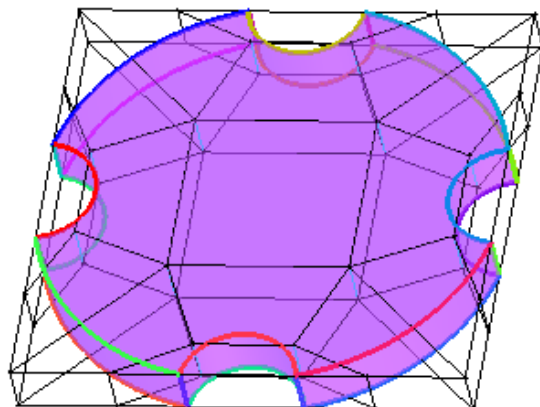


图 6-24 完成 C 型剖分后的块

Step 4: 删除多余的块，并进行 edge 关联

将多余的块删除，并关联 edge，然后进行对齐，最终的块如图 6-25 所示。

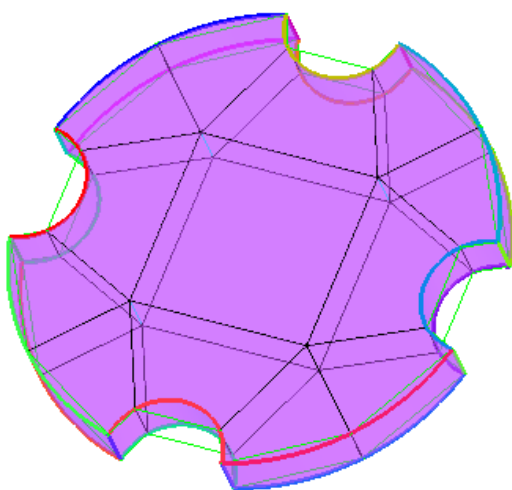


图 6-25 最终的块

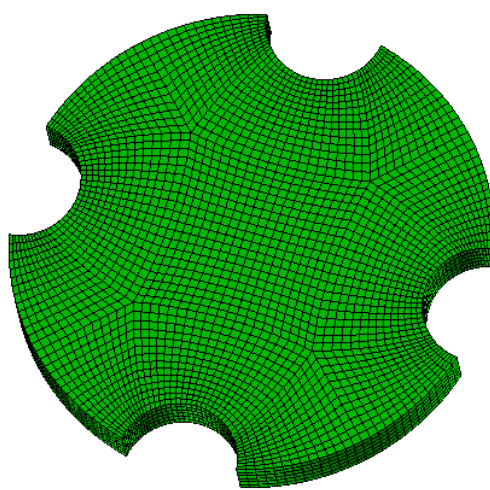




图 6-26 最终网格

Step 5: 设置网格尺寸，并预览网格

设置最大网格尺寸为 0.5，更新块，并预览网格，最终网格如图 6-26 所示。

7 Edge 参数

Edge 参数(Edge Params)功能位于 Blocking 标签页的 Pre-Mesh Params 功能按钮下。

点击此按钮后，在左下角显示的数据对象窗口中，可选择进行 Edge 参数设置。利用此功能，很容易设置边界层网格，控制第一层网格厚度。

7.1 参数设置对话框及各参数含义

Edge 参数设置对话框如右图所示。

其中主要参数有：

1、Edge

选择要进行参数设置的

Edge

2、Length

此参数不可设置，当选定了 edge 之后，该参数框中数据无法修改

3、Nodes

设置该 edge 上的节点数

4、Mesh law

节点分布律，稍后进行详细讲述

5、Spacing 1

第一个节点距离边界的长度

6、Sp1 Linked

可选项，用户参数复制

7、Ratio 1

变化比率

8、Spacing 2、Sp2 Linked、Ratio 2

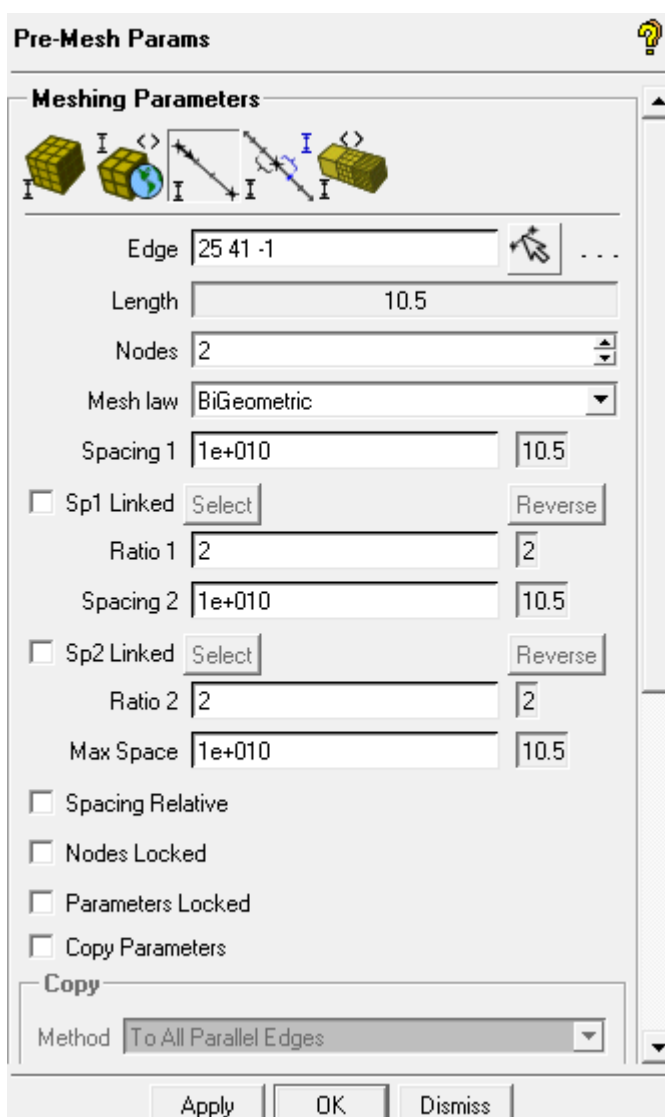
与前面意义相同

9、Max Space

最大节点间距

10、Spacing Relative

激活此项，则 Spacing 1 及 Spacing 2 将会以 edge 长度的百分比显示。



11、Needs Locate

锁定节点，当选择此项时，Nodes 数被固定，Update All 命令将不会覆盖参数，否则将会使用全局参数进行重新设定。

12、Parameters Locked

当选择此项时，该 edge 上所有参数被固定，使用 Update All 命令不会覆盖参数，否则将会使用全局参数进行重新设定。

13、Copy Parameters

选择此项，将当前 edge 上的设置信息拷贝至其他边。最常用的方法为拷贝至平行边。即在 Method 中选择 To All Parallel Edges

Methods 中还有一些其他选项。如 To Visible Parallel Edge，则将当前参数拷贝至与改变平行的且可见的 edge 上。

To Selected Edges 选项允许用户将当前参数拷贝至所选择的 edge 上

From Edge 选项允许用户将一条 edge 上的节点分布参数拷贝至当前所选择的 edge 上

Reverse 选项允许在拷贝操作中将参数进行逆反处理。

14、Copy Absolute

若激活此选项，则从一条 edge 上的精确间距将会被拷贝至指定的 edge 上，而不会关注目标 edge 的长度。

15、Linked bunching

用于调节两条边间的分布规律。使边的节点分布与参考边的节点分布保持一致。

16、Highlight dependent edges

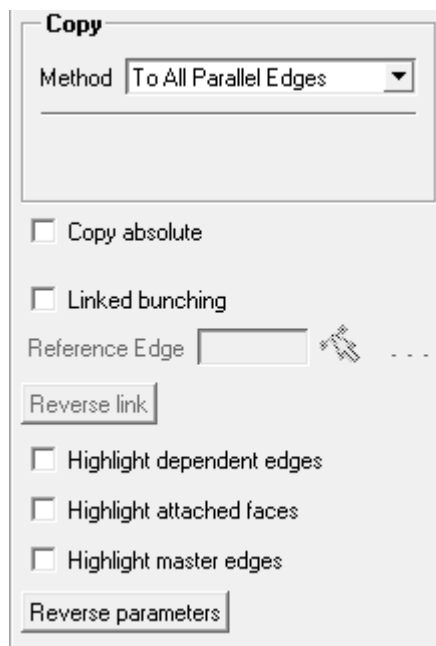
与所选择的 edge 相关的边将会以红色高亮形式显示

17、Highlight attached faces

所选择 edge 相关的面将会以黄色高亮形式显示

18、Reverse parameters

允许用户将选择边的结束及起始位置进行倒置。



7.2 节点分布律

Edge 参数设置中一个重要概念为节点分布律。它是描述 edge 上节点的分布规律，主要有 spacing 1, ratio1, spacing 2, ratio2 构成。ICEM CFD 支持的节点分布律有：

1、BiGeometric

这是 ICEM CFD 默认的分布律。两个初始高度及比率定义了坐标系统中的抛物线。该坐标系统中，X 轴为节点数，Y 轴为沿着边累计的长度。当切线相同时，抛物线被截断，在这些节点间的间距呈线性分布。如果线性分割没有足够的长度，将会使用 hyperbolic 分布律，而且比率将会被忽略。

2、Uniform

节点沿边分布为均匀分布

3、Hyperbolic

在边的首尾段间距定义了沿该边的节点双曲线分布规律。用户可以通过设置 Spacing 1 与 Spacing 2 的值进行设置。这两个值已经决定了比率，因此比率设置是无效的。

$$S_i = \frac{U_i}{2 \cdot A + (1 - A) \cdot U_i}$$

此处：

$$U_i = 1 + \frac{\tanh(b \cdot R_i)}{\tanh\left(\frac{b}{2}\right)}$$

$$R_i = \frac{i-1}{N-1} - \frac{1}{2}$$

$$A = \sqrt{\frac{Sp1}{Sp2}}$$

$$\sin b = \frac{b}{(N-1) \cdot \sqrt{Sp1 \cdot Sp2}}$$

参数限制：

$$0.000001 < Sp1 < 0$$

$$0.000001 < Sp2 < \min\left(\frac{0.999999}{(N-1)^2 \cdot Sp1}; 0.999999\right)$$

4、Poisson 分布

泊松分布的节点间距是根据泊松分布律计算得到的。参数 Spacing1 及 Spacing2 被使用，Ratio1 及 Ratio2 被忽略。

映射函数的是通过求解一下微分方程获得的：

$$\frac{d^2}{dt^2} x_0(t) + P(t) \cdot \frac{d}{dt} x_0(t) = 0$$

具有以下的边界条件：

$$x_0(1) = 0$$

$$x_0(2) = S_2 = Sp1$$

$$x_0(N-1) = S_{N-1} = 1 - Sp2$$

$$x_0(N) = S_N = 1$$

式中 $Sp1 = Spacing1$, $Sp2 = Spacing2$

函数 P 要满足 Neumann 边界条件, 通过迭代优化过程进行计算。设 number 为迭代次数, 参数限制为:

$$0 < Sp1 < 1$$

$$0 < Sp2 < 1 - Sp2$$

$$500 < number < 9999$$

5、Curvature

节点分布间隔根据定义分布函数的曲率进行计算得到。

6、Geometric 1

Spacing 1 用于设置第一个节点与边的起点间的距离。剩下的节点利用相同的增长率进行分布。只需要指定 Spacing1 与 Ratio1。

该分布律利用以下方程进行节点间距计算:

$$S_i = \frac{R-1}{R^{N-1}-1} \sum_{j=2}^i R^{j-2}$$

式中 S_i 为从 edge 的起点到节点 i 的距离。R 为比率, N 为总节点数, 比率的限制为 $0.25 < R < 4$ 。

7、Geometric 2

与 Geometric 1 相同, 但采用 Spacing 2 作为距离进行计算。

8、Exponential 1

本分布律由以下方程进行描述:

$$S_i = Sp1 \cdot i \cdot e^{R(i-1)}$$

式中 S_i 为开始终点至节点 i 的距离。Sp1 为 Spacing 1, N 为总节点数, R 为比率, 该分布律中, $R = \frac{-\log[(N-1) \cdot Sp1]}{N-2}$

9、Exponential 2

与 Exponential 1 算法相同, 所不同地方在于采用 Spacing 2 及 Ratio 2

10、Biexponential 1

节点间距计算根据 Exponential1 与 Exponential2, 使用 Spacing 1, Ratio 1, Spacing 2, Ratio 2 定义分布。

这一分布律采用以下方程描述: $S_i = \int_0^i \text{Exp}(a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4) dx$

11、Linear

节点间距使用线性函数进行计算。

7.3 边界层网格

前面之所以讲到 Edge 参数, 主要目的在于流体计算网格存在其特点。在这里简要的谈一下流体网格区别于固体网格的特征, 及其对临近壁面位置网格质量的要求。

7.3.1 边界层网格的一些特征

边界层网格指的是在一类计算中，由于边界层计算的需要，在附壁区域进行特殊处理而形成的一类特殊网格。

7.4 实例训练

采用一系列实例以加深 Edge 参数的应用，以及练习边界层网格的划分方式。

7.4.1 分叉管网格划分

该例为一分叉管，主要练习内容为 O 型剖分边界层网格的建立。

Step 1: 导入几何模型并建立几何拓扑

导入几何文件 ex7_1.x_t 至 ICEM CFD，建立拓扑后如图 7-1 所示。

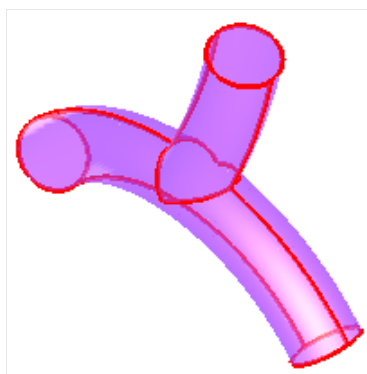


图 7-1 几何模型

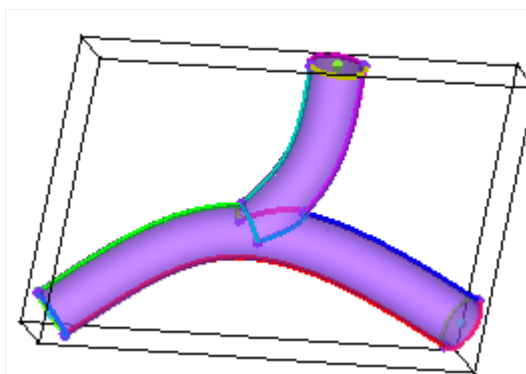


图 7-2 基本块

Step 2: 分块策略

对于本几何，很容易想到利用 T 型块，然而相贯线的存在，使得我们不能轻易采用直接切割的方式。若直接起先切割，则需要进行顶点的合并，相对较为繁琐。仔细观察相贯线部分，我们可以联想到使用 C 型切分。

Step 3: 创建基本块

创建 3D Bounding Box 块，如图 7-2 所示。

Step 4: 基本切割

由于相贯线的存在，所以在底部需要留下一个块，同时在中间部位需要进行一次切割。切割后的块如图 7-3 所示。

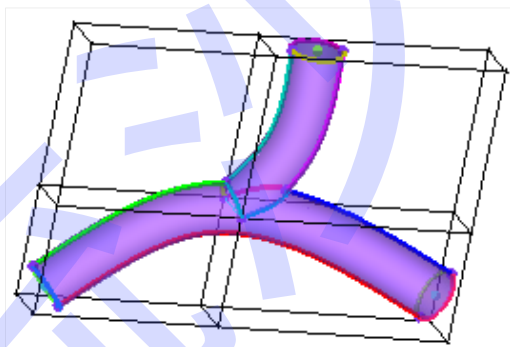


图 7-3 基本切割

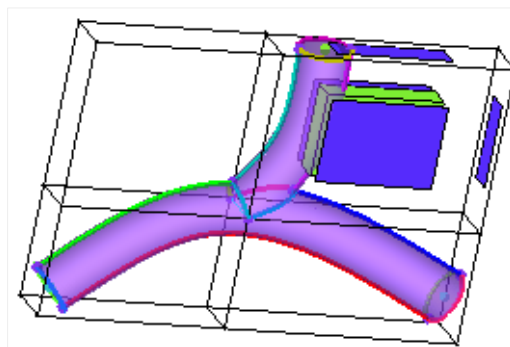


图 7-4 O 型切分选择的 Face

Step 5: C 型切割

选择如图 7-4 所示的 face 进行 O 型剖分（注意 C 型切割是 O 型剖分的一种）。确定后选择左边的块进行相同的操作。最终形成的块如图 7-5 所示。

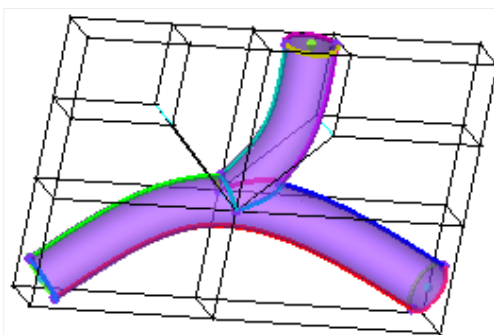


图 7-5 C 型切割后的块

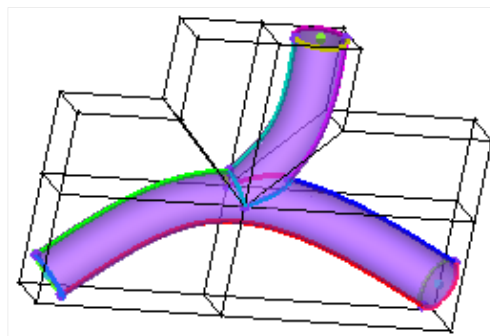


图 7-6 删除多余块

Step 6: 删除多余的块

将多余的块删除掉，最终的块如图 7-6 所示。

Step 7: 进行 edge 关联

进行 Edge 的关联。注意相贯线位置的关联。关联后进行对齐，最终块如图 7-7 所示。

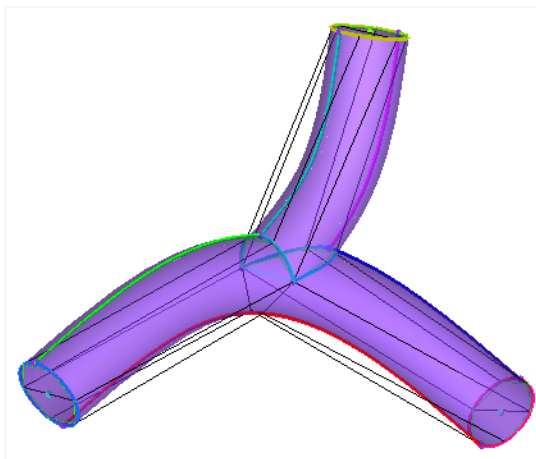


图 7-7 关联后的最终块

Step 8: O 型剖分

选择图 7-8 所示的六个 Face 及所有的块，进行 O 型剖分。

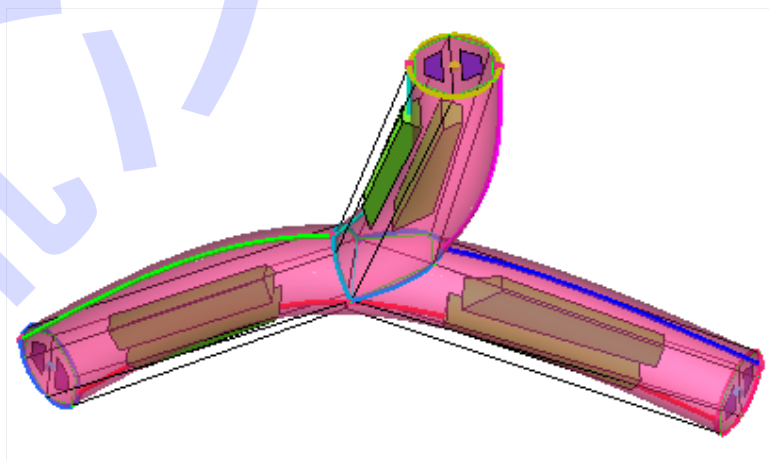


图 7-8 选择六个 Face 进行 O 型切分

Step 9: 设定网格参数

设定最大网格尺寸为 0.5，进行块更新，并预览网格。所形成的网格如图 7-9 所示。

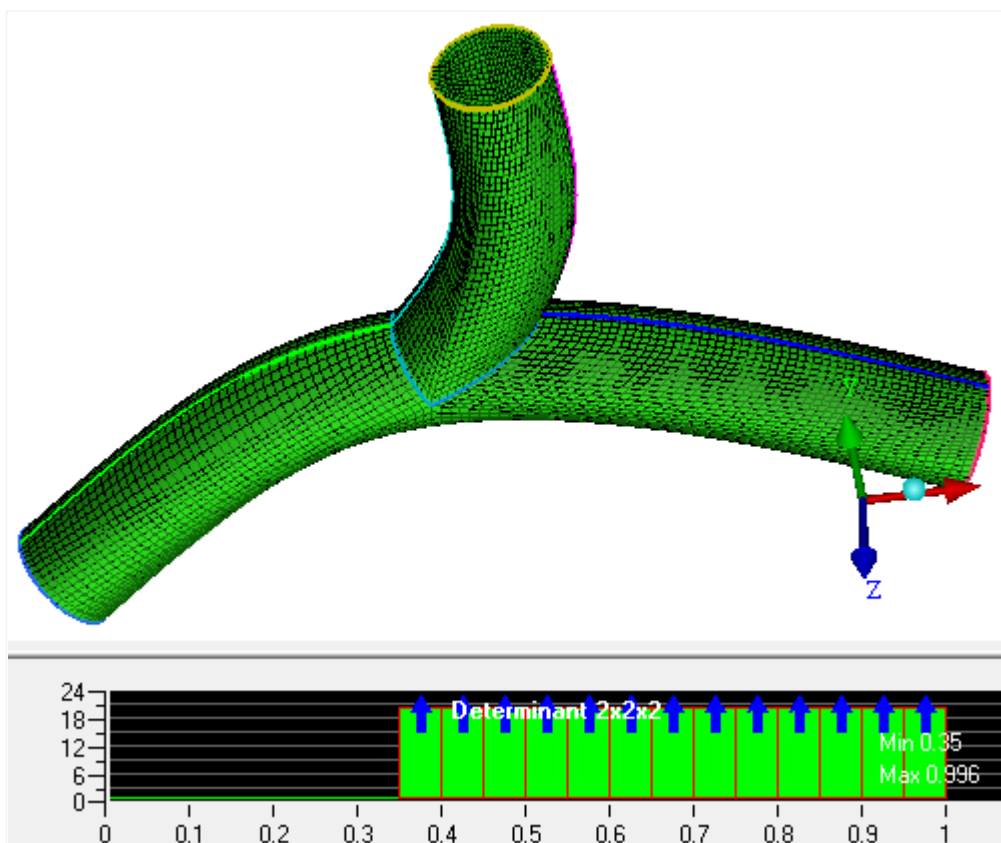




图 7-9 最终形成的网格

由图 7-9 并未发现有负体积，因此，所划分的块并不存在问题，至于其中低质量的块，我们可以通过调整网格参数来进行改进。

Step 10: 进行边界层网格处理

图 7-9 的网格虽然不存在大的问题，然而对于计算来说，网格质量还是不够的。我们放大了图形可以看到边界层上只有三层网格，这显然是不够的。我们应用参数设置对话框来进行边界层网格设置。

选择 Blocking 标签页中的命令按钮，在弹出在数据窗口中选择 edge 参数设置按钮

，选择图 7-10 箭头所示的 Edge。

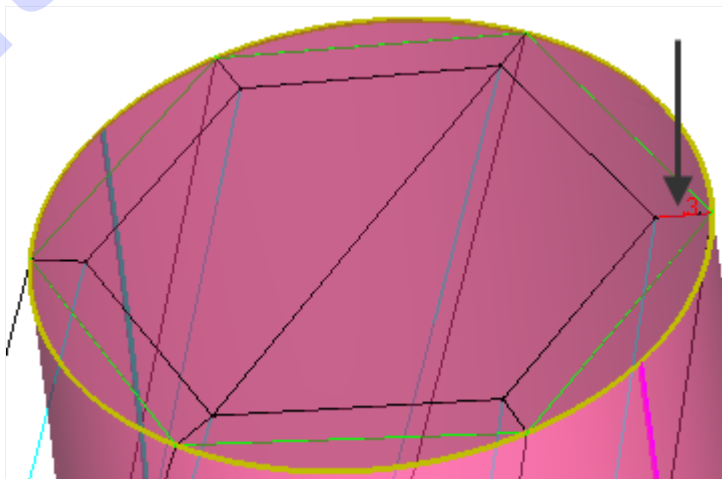


图 7-10 选择 Edge

设置如右图所示的参数。

网格分布律采用 exponential1，采用此分布律后，只有 spacing 及 ratio 1 有效，在实际应用中注意观察 edge 上的箭头方向。

设定该 edge 上节点数为 15，第一层网格间距为 0.02，比率为 2。

勾选 Copy Parameters 并设置 Method 为 To All Parallel Edge。点击 Apply 后预览网格。最终网格如图 7-11 所示。

Edge	105 189 -1	
Length	0.499627	
Nodes	15	
Mesh law	Exponential1	
Spacing 1	0.02	0.02
<input type="checkbox"/> Sp1 Linked	Select	Reverse
Ratio 1	2	1.0911
Spacing 2	0.8	0.0558999
<input type="checkbox"/> Sp2 Linked	Select	Reverse
Ratio 2	2	0.929832
Max Space	0.5	0.0558999
<input type="checkbox"/> Spacing Relative		
<input type="checkbox"/> Nodes Locked		
<input type="checkbox"/> Parameters Locked		
<input checked="" type="checkbox"/> Copy Parameters		
Copy		
Method	To All Parallel Edges	

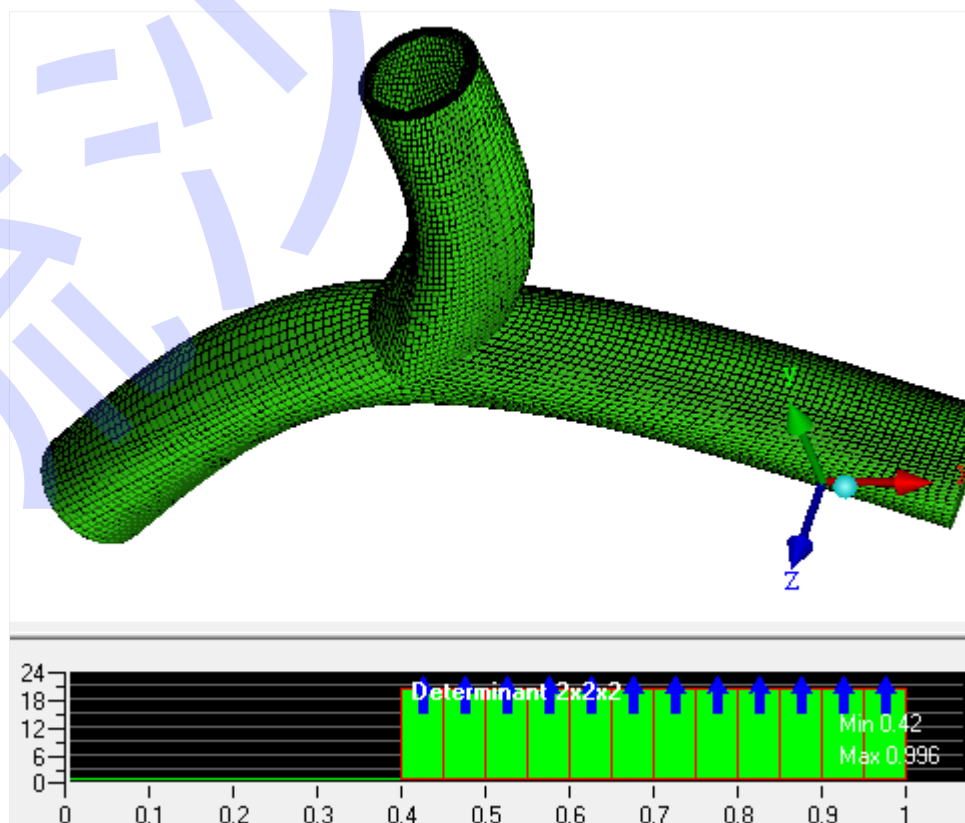


图 7-11 最终网格

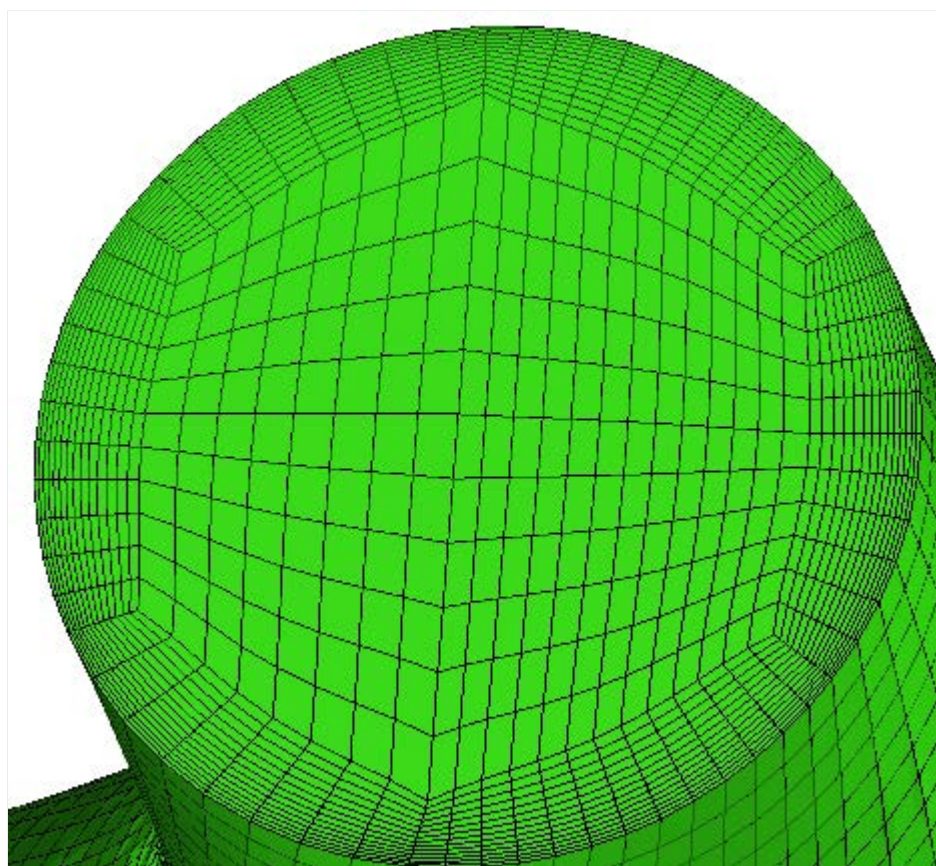


图 7-12 边界位置网格分布

7.4.2 外流场实例

分叉管是典型的内流场计算实例。在本例中，我们关注外流场网格划分中的边界层处理方式。为方便起见，我们用一个较为简单的例子来进行说明。更复杂的例子留待 16 章进行演示。

所要进行处理的几何模型为圆球绕流。为了减少计算工作量，采用了对称处理。模型几何如图 7-13 所示。

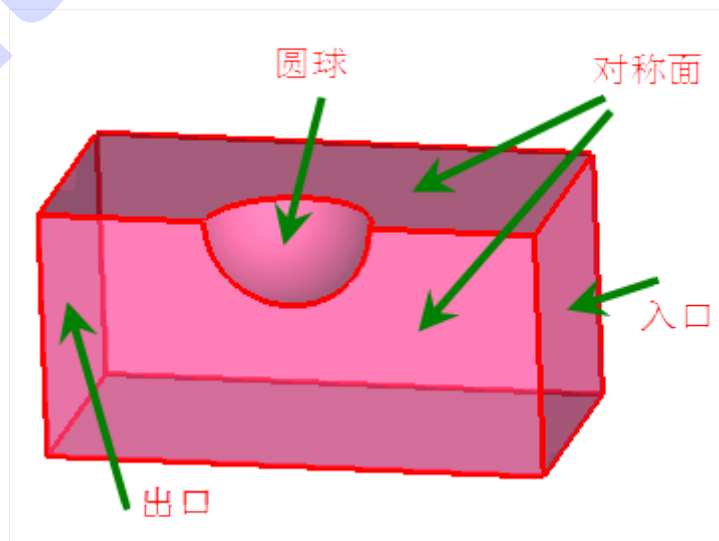


图 7-13 几何模型

Step 1: 导入几何文件

导入几何模型 EX7_2.x_t，进行几何清理并构建拓扑，完成的图形如图 7-13 所示。

Step 2: 分块策略

本例中的几何分块方式有很多种，如果是图简便的话，完全可能只进行两次 C 型划分，然后将中间对应圆球的块删除掉。但是只进行 O 型剖分的话，难以达到最好的风格质量。另外一种方式是进行直接切割，然后在局部进行 O 型切分。此方法能将网格质量提至最高，但是较为繁琐。本例采用折中的方式。既进行 O 型切分，也进行切割。

Step 3: 创建基本块

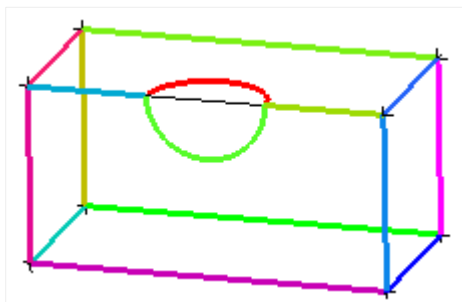


图 7-14 创建基本块

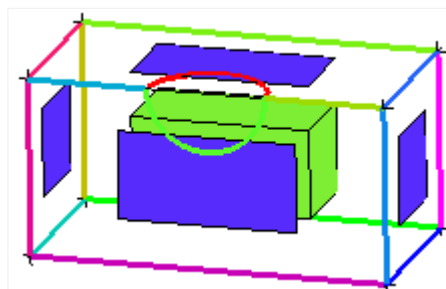


图 7-15 选择 Face

创建 3D Bounding Box 基本块，如图 7-14 所示。选择 7-15 中的四个 Face 进行 O 型切分。切分后的块如图 7-16 所示。

Step 4: 块切割

对所形成的块进行切割，主要目的是为了降低后续 O 型剖分对网格质量的影响。切割后的块如图 7-17 所示。

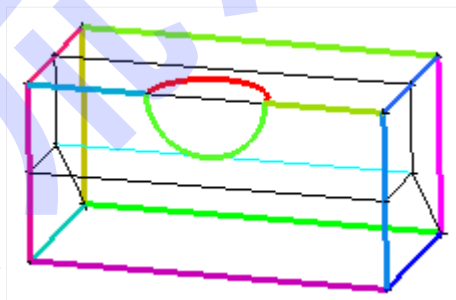


图 7-16 O 型切分后的块

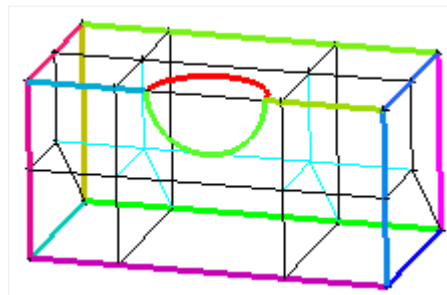


图 7-17 切割后的块

Step 5: 第 2 次 O 型剖分

选择图 7-18 所示的两个 Face 进行 O 型切分。切分后删除多余的块。最终块如图 7-19 所示。

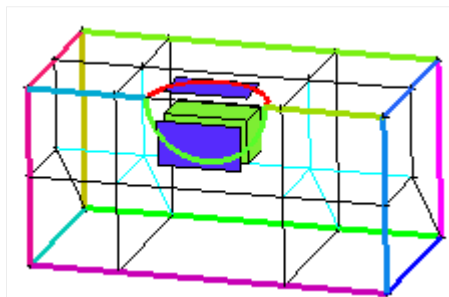


图 7-18 选择 Face

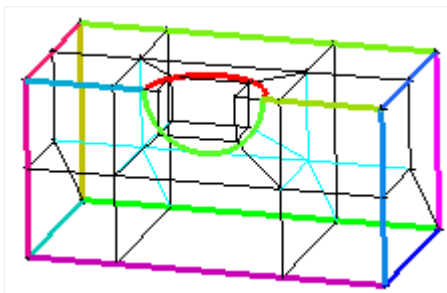


图 7-19 最终块

Step 6: edge 关联并设置网格参数

进行 Edge 关联并对齐，如图 7-20 所示。设置最大网格尺寸为 5，预览网格。网格如图 7-21 所示。

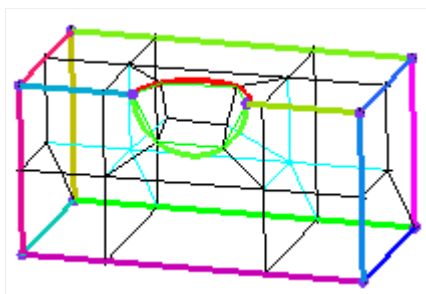


图 7-20 最终块

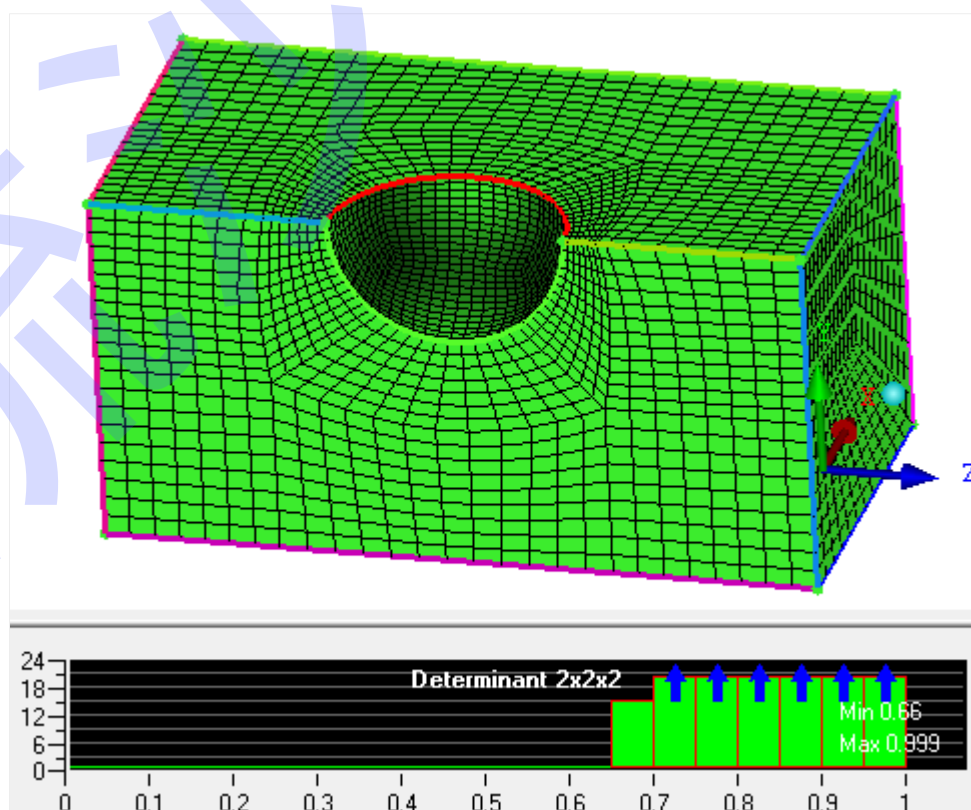


图 7-21 最终网格

Step 7: 边界层处理

选择如图 7-22 所示 edge 进行参数设定。

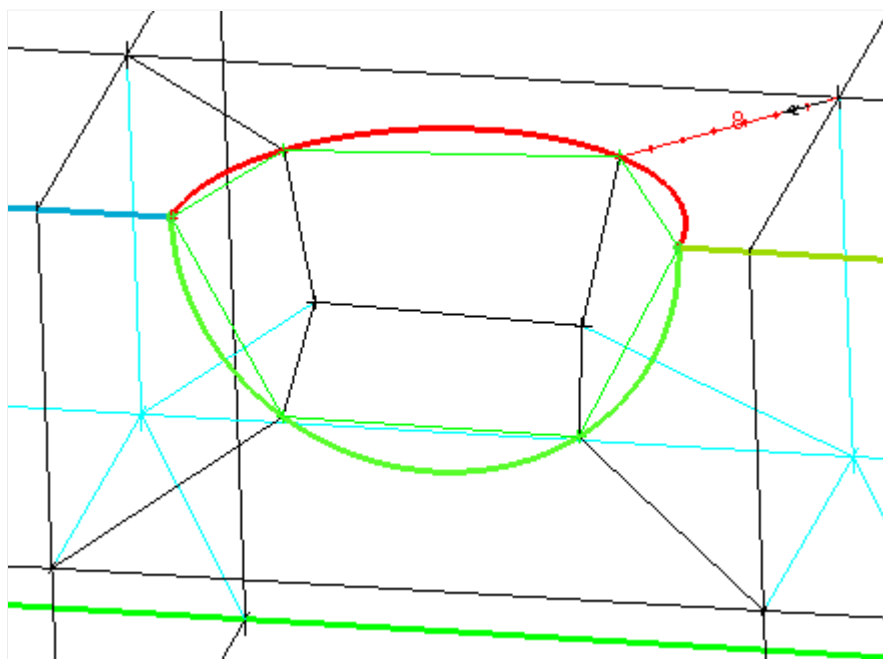


图 7-22 选择 edge

需要设定的参数如右图所示。

设定 edge 上节点数为 21, 采用网格分布律为 BiGeometric, 观察图形中边上的箭头方向是由指向壁面方向, 因此我们调节 spacing2 与 ratio2 来控制边界层。设定第一层网格距离 0.02, 变化比率为 2, 同时勾选 Copy Parameters, 其它参数可以采用默认。

最终网格如图 7-23 所示。

Edge: 112155-1
Length: 19.5957

Nodes: 21
Mesh law: BiGeometric

Spacing 1: 4.99991 | 1.31197
☐ Sp1 Linked: Select | Reverse

Ratio 1: 2 | 1

Spacing 2: 0.02 | 0.02
☐ Sp2 Linked: Select | Reverse

Ratio 2: 2 | 2

Max Space: 2.7 | 1.31197

☐ Spacing Relative
☐ Nodes Locked
☐ Parameters Locked

☒ Copy Parameters
Copy
Method: To All Parallel Edges

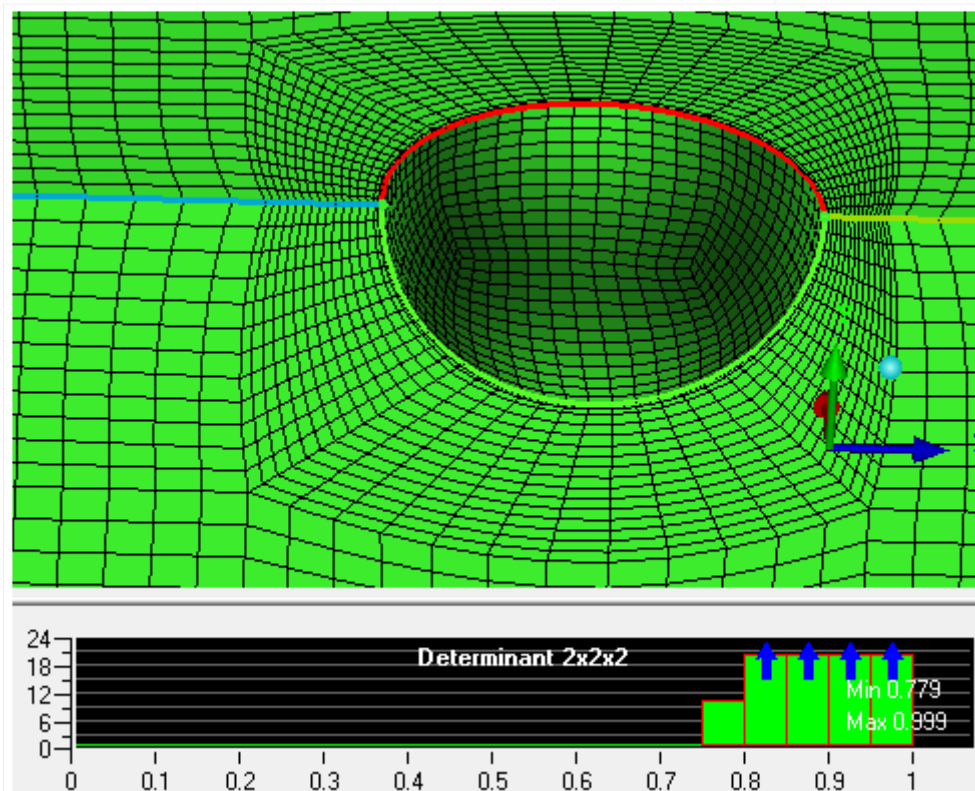


图 7-23 最终网格


8 块的创建

ICEM CFD 的建块方式主要有两种：自顶向下及自底向上。自顶向下建块方式类似于雕刻家，将一整块以切割、删除等操作方式，构建符合要求的块。而自底向上则类似于建筑师，从无到有一步步的以添加的方式构建符合块。不管是以何种方式进行块的构建，最终的块通常都是相类似的。

8.1 自顶向下块的构建

通常这种块的构建方式是以 3D Bounding Box 块（3D）及 2D Plane 块（2D）开始的。先构建一个整体块，然后在整体块的基础上，经过切割、合并等操作，获得符合要求的块结构。

8.1.1 初始块的创建

自顶向下块的创建是通过 Blocking 标签页下  按钮来实现的。点击此按钮，在弹出的数据窗口中选择创建初始块按钮



，弹出的窗口如图所示。

在初始块选项中选择块的类型：

（1）3D Bounding Box：创建 3D 块。
通常用于 3D 几何体中。

（2）2D Surface Block：创建 2D 表面块，常用于 3D 曲面块的构建，较少用于自顶向下分块方式。

（3）2D Planar：主要用于 2D 平面几何。此初始块创建于 XY 平面，如果几何不是位于该平面，则需要关联移动。

其他的一些选项：

1、3D Bounding Box

（1）Project vertices

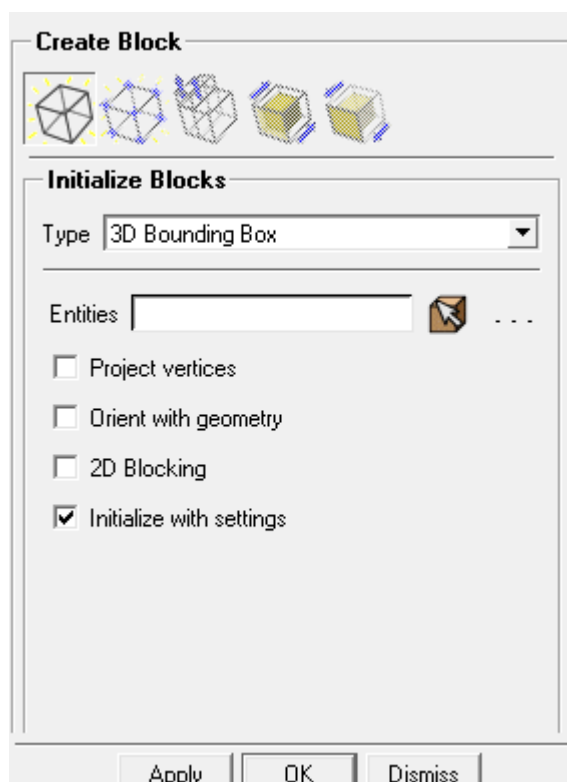
选择此项后在块创建完毕后自动进行顶点的映射

（2）Orient with geometry

选择此项则根据几何方向创建块

（3）2D Blocking

若激活此项，则生成的块为 2D 面块。在一些 3D 曲面几何中，使用该选项特别有效。



2、2D Planar


创建此类型初始块，没有额外的选项。

3、2D Surface Block

此类型的块，在后续章节将详细描述，本处省略。

注：在 ICEM CFD 13.0 版本中，块类型中新添加了 3D Key Point Blocking，该类型块的创建没有额外选项，它与 3D Blocking Box 不同之处在于，此中类型块的创建方式是利用几何中的关键点进行块的创建，可能会对整体块进行一些分割。

8.1.2 块的切割

在 ICEM CFD 中，块的切割命令位于 Blocking 标签页中的  命令下。点击该按钮，会弹出块切割命令，主要有以下七个操作，如有图所示：



1、 块的切割 (Split Block)

这是最主要的块的切割方式，针对块进行切割，切割方式可以是对某一块进行，或是对所有块进行切割。点选此命令按钮后，弹出如图 8-1 所示的数据窗口。

一些选项包括：

(a): Block Select

主要有两种块的选择方式：All Visible 及 Selected。选择第一种方式，则会对所有可见的块进行分割，而选择 Selected 方式，则会要求用户对所分割的块进行选择。

(b): Edge

需要用户选择 edge，通常如果要进行纵向切割的话，常常选择的是水平边，而要进行水平切割，则选择的为垂直边。

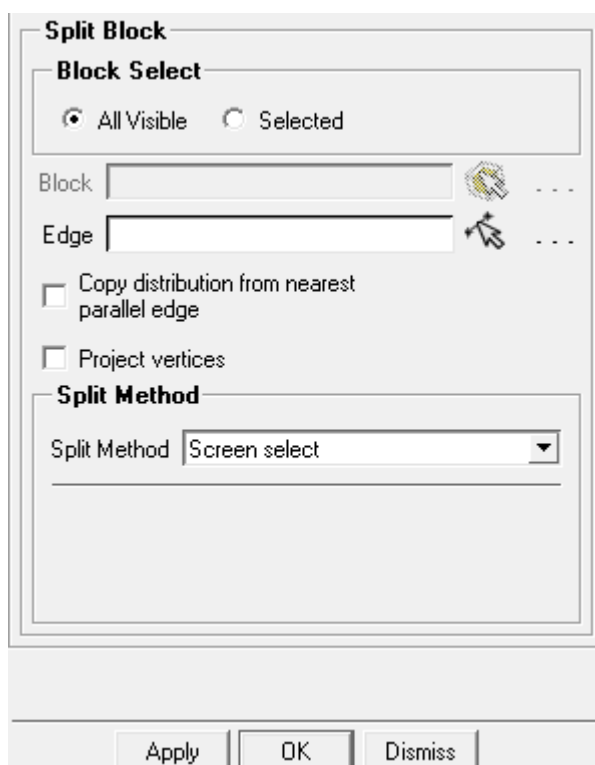
(c): Copy Distribution from nearest parallel edge

若激活此项，则会将最近的相平行的边上的节点分布拷贝到被切割的边上。

(d): Project Vertices

若激活此项，则会将块的顶点映射到几何上。

(e) 分割方法



ICEM CFD 提供了 5 种块的风格方法: Screen select, Prescribed point, Relative, Absolute, Curve parameter。其中, Screen select 方式在实际中应用最多,也是 ICEM CFD 所默认的切割方式。其他四种方式,在一些特殊的场合,若能合理应用,常常能达到事半功倍的效果。

2、 O 型块切割 (Ogrid Block)

O 型块剖分是 ICEM CFD 的一大特色,在前面章节提到,在一些圆弧几何中,使用 O 型块能大大提高网格质量。在 ICEM CFD 中,提供了专门的 O 型块剖分命令。点击该命令按钮后,弹出如有图所示的数据窗口。

O 型块的创建通常需要选择要剖分的块,以及 Face (在 3D 块中) 或 Edge (2D 块中),至于其他的选择,如 3D 块中的 edge 及 vertices, 2D 块中的 vertices,只是为了方便选择。

同时,在选择过程中,往往选择了 Face 后,程序会自动选择与选择的 Face 有关的块,用户只需要按照实际需求进行补充即可。

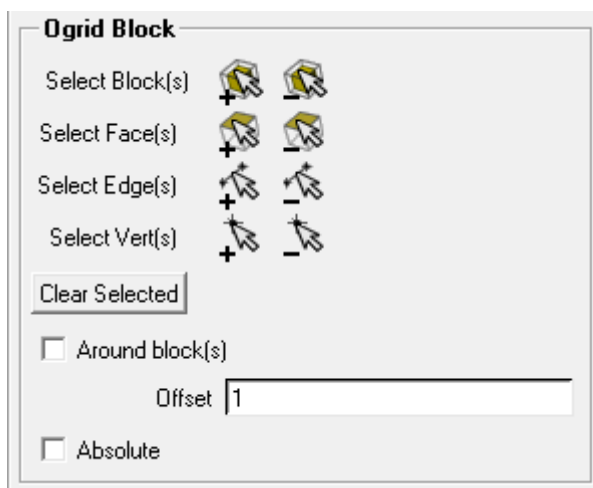
其他一些参数:

(1) Around block(s)

在一些外流场计算网格划分中,常常需要勾选此选项。若在创建 O 型块中勾选了此选项,则会在所选块的外部创建 O 型块。

(2) Offset

偏移值。及内部块偏移外部块的距离。若勾选了 Absolute 项,则以绝对距离形式创建 O 型块,否则使用默认的相对距离的形式。



3、 延伸切割 (Extend Split)

通常是利用已有的切割边沿这某一方向进行块的切割

4、 切割边 (Split Face)

选择面,利用选择的 edge 进行分割。在一些特殊的拓扑情况下,采用边切割会发生意想不到的问题。当然,所有的切割必须满足拓扑关系。

5、 顶点分割 (split vertices)

该操作为顶点合并的逆操作。将一个顶点分割为两个。

6、 自由面分割 (Split Free Face)

该操作在实际中用得较少。



7、自由面印记 (Imprint Free Face)

主要是将某一自由面印记到自由块上。该操作在实际应用中使用较少。

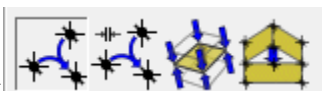
8.1.3 顶点合并

ICEM CFD 提供了顶点合并的功能对块进行操作。有了此功能，很容易将一个六面体块转化为三棱柱体块，进而使用 Y 型剖分。ICEM CFD 中顶点合并功能位于 Blocking 标签页

下合并顶点



命令下。该命令包含四个命令



。分别为：

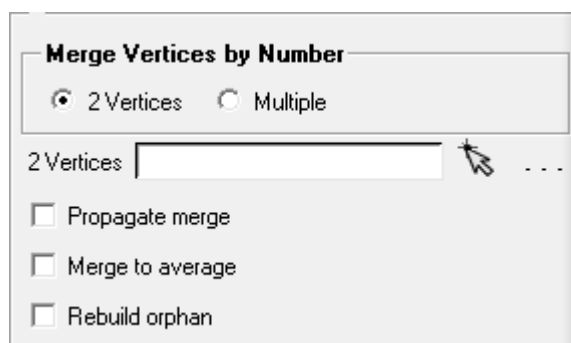


1、顶点合并 (Merge Vertices)

此命令是最常用的顶点合并命令。点击此按钮后，弹出如图所示的数据窗口。

顶点的合并可以是 2 个顶点，也可以是多个。但不管采用哪种合并方式，第一个选取的顶点是为基点，在合并过程中保持几何位置不变。

使用 2 顶点合并方式中，有一些选项可以选取：



(1) Propagate merge

激活此选项后，则会对索引进行重新操作，会删除一些块。这一功能平时使用较少，只有经过多加练习才能熟练控制。

(2) Merge to average

若激活此选项，合并过程中，两个顶点均会移动，新位置为所合并的两顶点的平均位置。

(3) Rebuild orphan

若激活此选项，则在合并过程中会先删除 VORFN 部件，并进行重建。

实际上，在实际应用中，这三个选项往往不激活。



2、通过精度合并顶点 (Merge Vertices by Tolerance)

在一些特殊情况下，比如几何特别复杂，导致切割的块异常多，若一个个顶点的合并，可能效率低下。此时可以通过选定所有可能需要合并的块，设定一个精度，则距离低于该精度的两顶点会进行合并。



3、块坍塌 (Collapse Blocks)

块坍塌是顶点合并的一种。该操作要求用户选择要坍塌的块及一条边。如图 8-1 及 8-2 所示。

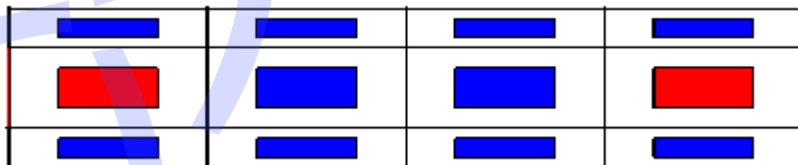


图 8-1 坍塌前的块（红色为坍塌块及边）

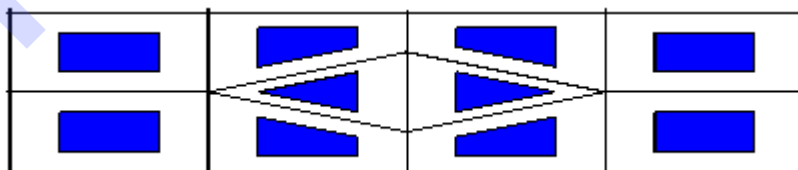


图 8-2 坍塌后的块



4、合并顶点到边（Merge Vertex to Edge）



将顶点合并到边上。该功能允许用户将选择的顶点及边合并到一起。被选择的边将会被分割，并且与所选择的顶点合并在一起。这一功能同样是顶点合并的衍生。

8.2 自底向上块的构建

自底向上块的构建方式与自顶向下完全不同。

ICEM CFD 中自底向上块的构建主要有以下几种方式：通过顶点直接构建块、Extrude Faces、2D to 3D 三种。

8.2.1 由顶点形成块

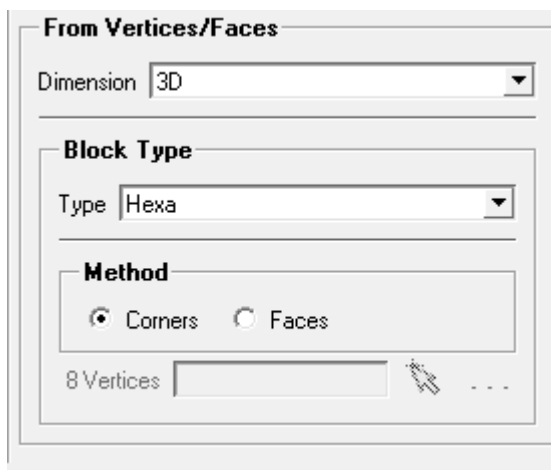
该方式通过采用 Blocking 标签页下的创建块命令 ，在弹出的数据窗口中，选择  命令按钮。单击该按钮后，弹出右图所示的数据窗口。

3D 块与 2D 块的生成略有不同。通过选择 Dimension 为 3D 或 2D 来构建块。

1、3D 块

在 Dimension 中选择 3D。如图所示。

在 Block Type 中选择块的类型。ICEM



CFD 提供了 6 种类型的块。包括 Hexa、Swept、Quarter-O-Grid、Degenerate、Sheet、Free-Sheet。

(1) Hexa

用户可以指定 8 个 vertices 或 2 个 Faces 来构建块。顶点的指定必须满足一定的顺序，否则可能造成 3D 块的扭曲。图 8-3 所示为一典型的 3D 块顶点选择顺序。采用 Faces 的方式构建 3D 块则只需要选择 2 个 face，程序会自动将这两个 Face 当作相对的两面进行块的构建。如图 8-4 所示。

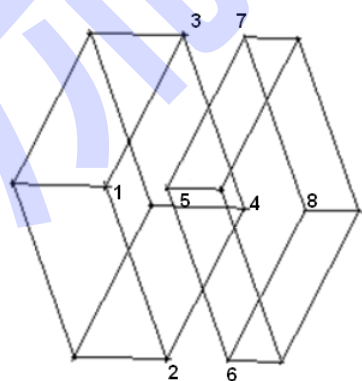


图 8-3 典型的顶点选择顺序

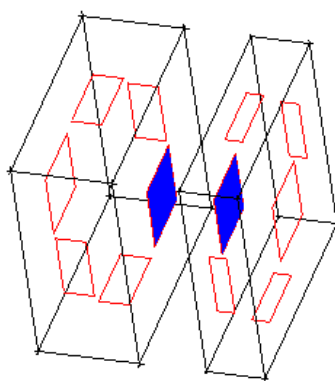


图 8-4 利用 Faces 构建

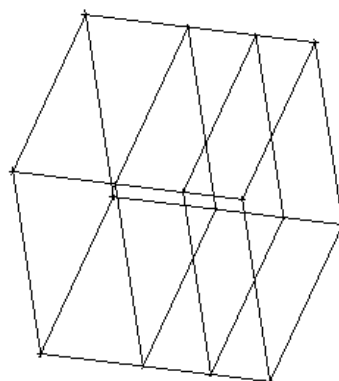


图 8-5 最终块

(2) Quarter-O-Grid

利用 6 个顶点创建类似 Y 型剖分块。顶点的选择顺序具有一定要求。如图 8-6 所示为典型顶点选择顺序。

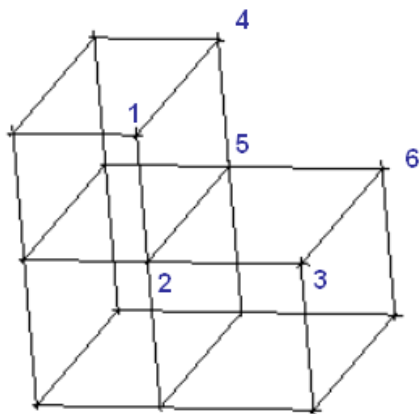


图 8-6 顶点选择顺序

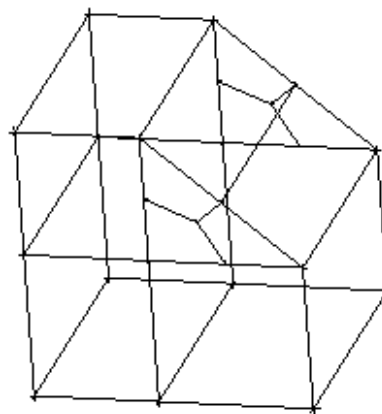


图 8-7 最终形成的块

(3) Degenerate

利用 6 个顶点创建退化的块。顶点选择顺序与图 8-6 相同，只是不进行 Y 型剖分，形成的块为三棱柱块。

(4) Swept

利用 6 个顶点构建扫描块。选择顺序与 8-6 所示相同。Swept 块所形成的为非结构网格，可能包含有三角形或四面体网格。

(5) Sheet、Free-Sheet

构建薄片块。这类块主要应用在模型内存在有 thin surface 的情况下。一般应用较少。

2、2D 块

2D 块的构建要比 3D 块简单得多。通常是利用 4 个顶点进行构建。需要说明的是，在一些情况下，顶点数要少于 4 个，这时可以选取屏幕上的点进行构建。

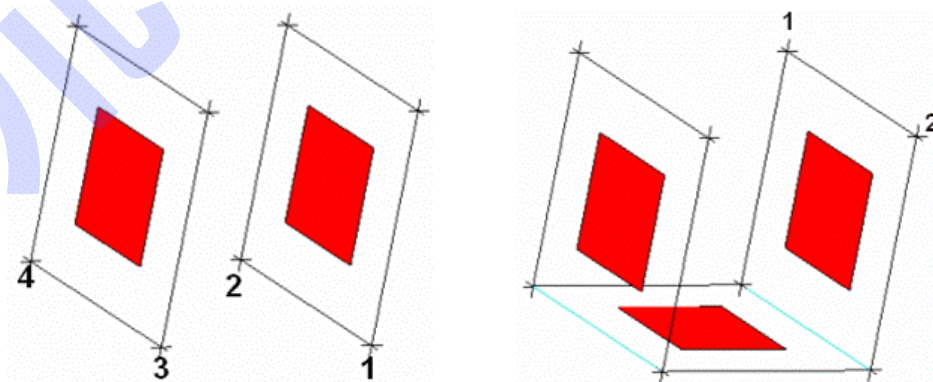


图 8-8 利用 4 个顶点构建 2D 块

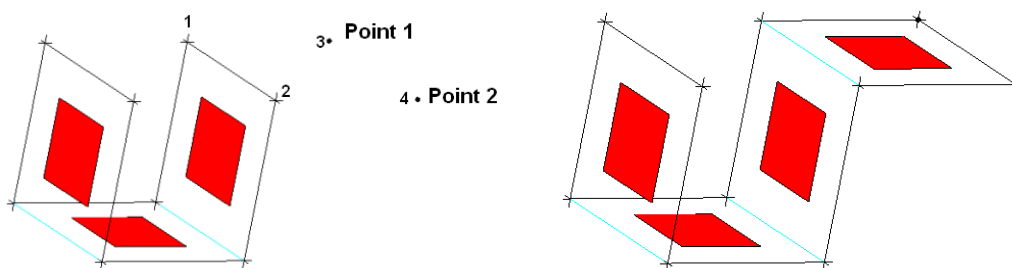


图 8-9 利用 2 个顶点 2 个点构建块

图 8-10 构成的 2D 块

由顶点形成块的建块方式在实际操作中应用较多，尤其是 2D 块的构建。

8.2.2 Face 的拉伸

这种情况只存在于 3D 块中。沿着某一路径拉伸 Face 形成 3D 块。共有 3 种拉伸方式：Interactive、Fixed distance 以及 Extrude Along Curve。这三种方式在实际应用中均使用较多。

1、Interactive

这是最简单的一种拉伸方式，不需要输入任何参数，只需要选择要进行拉伸的 Face，利用鼠标在图形显示窗口中点击中间，即可进行块的拉伸。拉伸的长度及为 Face 到点的距离。由于 ICEM CFD 提供了关联机制，因此，拉伸的长度精确与否并不构成问题。这一方式是构建直六面体块的最常用方式之一。

2、Fixed distance

选择要进行拉伸的 Face，并设定需要拉伸的距离，即可沿 Face 法向进行拉伸，形成 3D 块。这种方式与上一种方式基本相同，所不同的是规定了拉伸的距离。

3、Extrude Along Curve

这一拉伸方式与前两种有所区别。前两种方式与 CAD 软件中的拉伸类似，而这种方式则类似于沿路径扫描。

(1) Extrude Curve

选择所沿拉伸的曲线。

(2) End Point

曲线的终点。

(3) Twist per layer

每一层缠绕数。在一些螺旋结构中可能需要设置，不过一般情况下保持默认为 0 即可。

(4) Orient Axially

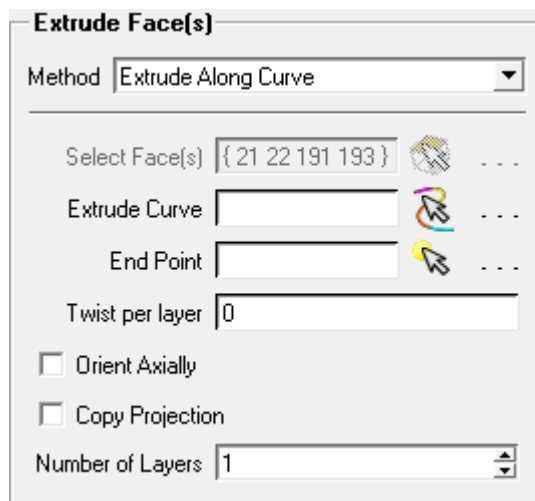
激活此项，则所有拉伸的面均以轴线为法向。

(5) Copy Projection

若激活此项，则如果 Face 已关联到几何，则拉伸后的块也关联到几何。


(6) Number of Layers

此选项默认为 1。在一些弯曲的几何中，合理设定此项，则可以达到很好的效果。



8.2.3 由 2D 块形成 3D 块



该命令按钮为 。此处的 2D 块通常是 2D planar 块，在新版本的 ICEM CFD 中，添加了 MultiZone Fill 方法，可以将 2D surface 块围成 3D 块。除了 MultiZone Fill 方法外，还有两种方法是 Translate 及 Rotate。

1、MultiZone Fill

此方法常常配合 2D Surface Block 进行操作，后面章节将进行详述，此处略。

2、Translate

Translate 方法通常是将 2D planar 块沿 X, Y, Z 三个方向进行拉伸，用户设定拉伸距离。无需进行块的指定。拉伸距离可以为负值，表示拉伸的方向。

3、Rotate

2D 块通过旋转，可以形成非常规则的 3D 块。其中需要指定的参数包括：

(1) Center

指定旋转中心点。可以是全局原点或用户自定义点。

(2) Axis of Rotation

指定旋转轴，可以是 X, Y, Z 轴，也可以是两点定义的向量。注意在定义向量时，指定点的顺序定义了向量的方向，会影响到后面旋转方向。因为旋转方向满足右手定则。

(3) Angle

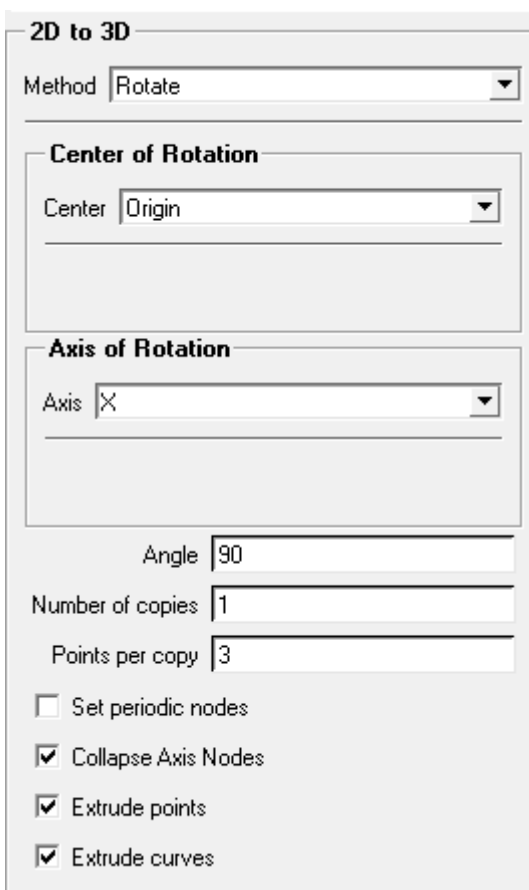
旋转角度。注意此处的角度并非总旋转角度，而是一个块的旋转角度。

(4) Number of copies

旋转数量。也即是块的总数。此处的数量与上面的角度的乘积为总的旋转角度。

(5) Point per copy

每一个块的点数。此处的数据需要进行计算，直接影响后面网格的疏密。其他的一些选项常常保持默认。



2D to 3D

Method: Rotate

Center of Rotation

Center: Origin

Axis of Rotation

Axis: X

Angle: 90

Number of copies: 1

Points per copy: 3

☐ Set periodic nodes

☒ Collapse Axis Nodes

☒ Extrude points


☒ Extrude curves

8.3 实例分析

8.3.1 实例 1：弹簧

弹簧是机械行业中常见的零件，也是 CAD 中常用于演示扫描过程的几何体。在对弹簧进行网格划分中，也可以利用弹簧的生成思想，采用扫描的方式进行块的生成。

Step 1: 导入几何体，并进行拓扑生成

启动 ICEM CFD，File->Import Geometry->ParaSolid，导入几何文件 ex8_1.x_t，弹出询问是否创建工程对话框，点 Yes 进行创建。激活模型树中 Geometry 下 Surface 项，显示集合表面。同时点击 Geometry 标签页下  按钮，采用默认对话框设置，点击 Apply 按钮，进行拓扑创建，创建拓扑后的几何如图 8-11 所示。

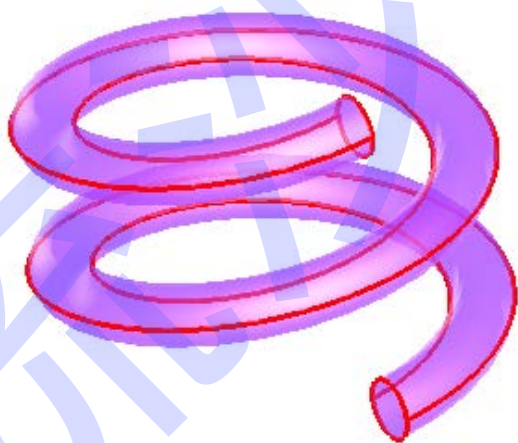


图 8-11 导入的几何体

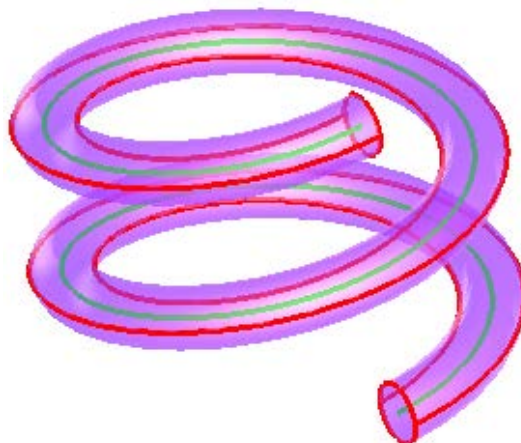






图 8-12 创建的中心轴线（绿色）

Step 2: 创建中心线

创建扫描轨迹线—中心轴线。这一步骤并不是必须，但是为了提高扫描块的质量，进行辅助几何构建是值得的。选择 **Geometry** 标签页下线创建命令按钮 ，在弹出的数据窗口中选择中线创建命令按钮 ，同时在图形显示窗口中选择弹簧的两条母线，点击中键确认，最终创建如图 8-12 中绿色的中心轴线。

为了在后面的步骤中更好的利用这条中心轴线，需要构建该曲线的两头端点。利用 **Geometry** 标签页下点创建命令按钮 ，在弹出的数据窗口中选择  命令按钮，在参数项中分别设置 0 和 1（其中 0 表示曲线起点，1 表示曲线终点），选择所创建的中心轴线进行端点创建。

Step 3: 初始块的构建

利用 **Face** 沿曲线拉伸命令构建块。可以先构建一个 2D Planar 块，与弹簧端面的圆进行关联，然后进行简单拉伸，形成辅助块，对相应的 **Face** 进行沿曲线拉伸。因此，本步骤创建 2D Planar 块，与端面圆进行关联。如图 8-13 所示。

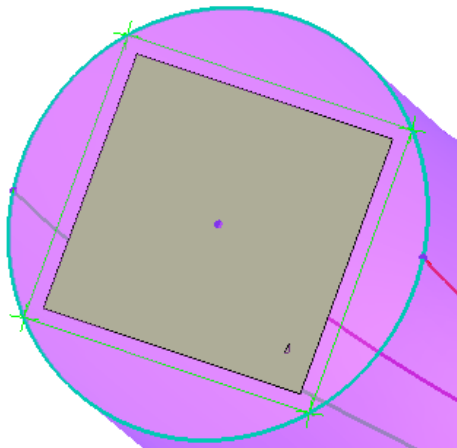


图 8-13 创建 2D 块并与圆关联

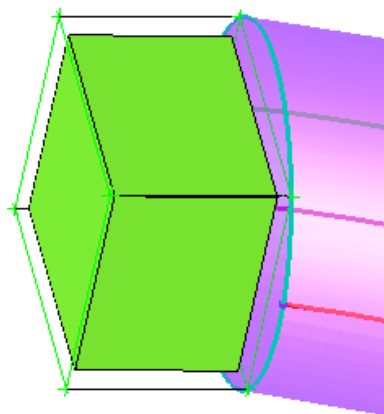






图 8-14 构建的辅助块

Step 4: 辅助块创建

由于利用到的是 Face 沿曲线拉伸, 因此, 我们需要先构建一个 3D 块, 形成相应的 Faces。

点击 Blocking 标签页下块创建按钮  , 选择弹出窗口中的 2D to 3D 按钮  , 在创建方法中选择 Translate, 沿 Z 方向拉伸-4。拉伸后形成的块如图 8-14 所示。

Step 5: Face 拉伸

点击 Blocking 标签页下块创建按钮  , 选择弹出窗口中的 Extrude Faces 命令按钮  , 拉伸方法选择 Extrude Along Curve, 选择 8-15 所示的 Face 进行拉伸, 拉伸曲线选择前面所创建的中心轴线, 结束点选择曲线终点。设置 Number of Layers 为 15。窗口设置如图 8-16 所示。

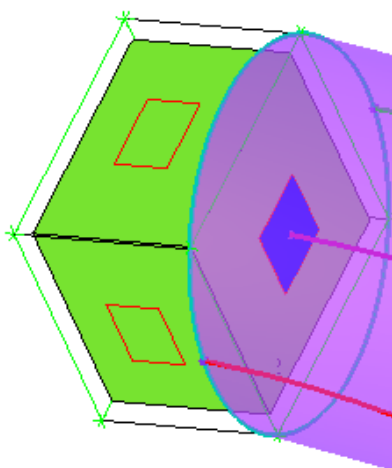


图 8-15 选取 Faces

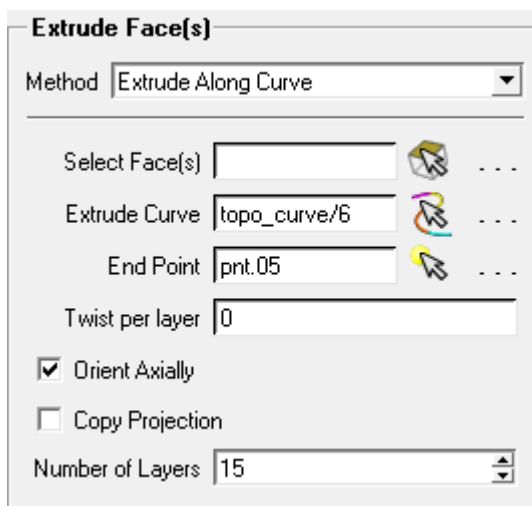


图 8-16 窗口设置

最终形成的块如图 8-17 所示。删除第 4 步创建的辅助块, 并对需要关联的部分进行关联 (主要是关联端面圆)。最终块如图 8-18 所示。

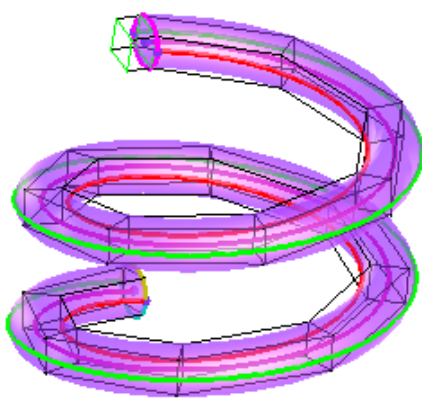
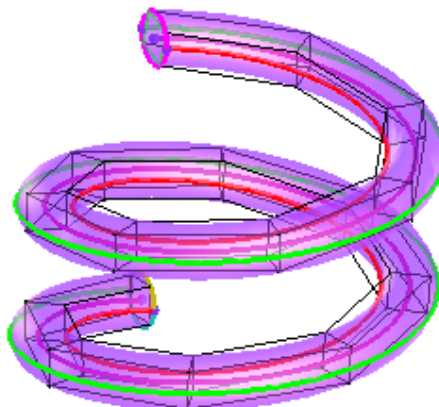


图 8-17 拉伸后的块



8-18 最终块

Step 6: O 型剖分

选择所有的块，Face 选择弹簧块端面的两 Face，进行 O 型切分。

Step7: 网格预览

测量端面圆直径 4，设置网格最大尺寸为 0.5，更新块并预览网格，同时可以设置 Edge 参数，最终网格如图 8-19 所示。

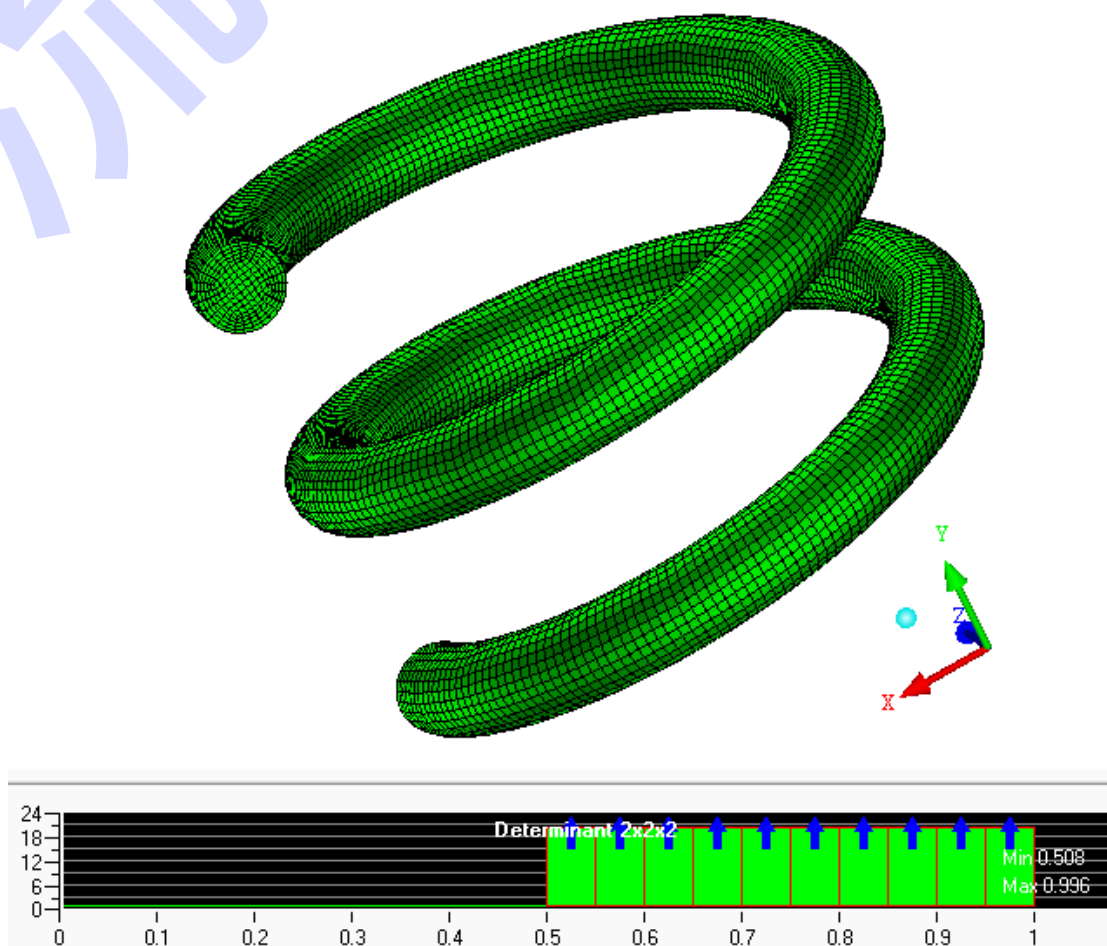



图 8-19 最终网格

8.3.2 实例 2：三棱柱

本例的几何为三棱柱与六面体的组合体，主要训练的内容为块的切割、坍塌、O 型剖分等内容。

Step 1: 导入几何并构建拓扑

打开 ICEM CFD，打开 File 菜单中的 Import Geometry 子菜单中的 ParaSolid，打开几何文件 ex8_2.x_t，选择单位 Milimeter，导入几何体。同时利用 Geometry 标签页下  按钮建立几何拓扑。导入的几何体如图 8-20 所示。

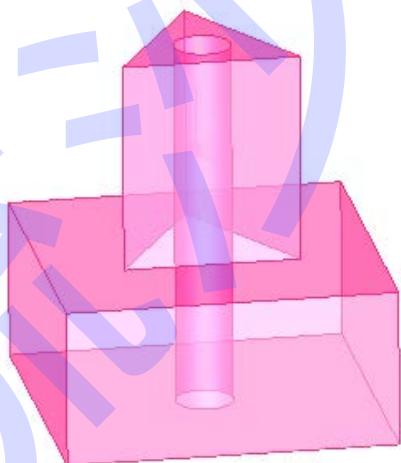


图 8-20 导入的几何体

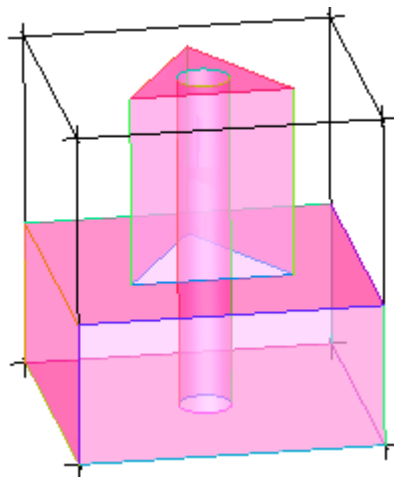




图 8-21 构建初始块

Step 2: 建立初始块

选择 Blocking 标签页下创建块按钮 , 选择初始块构建 , 在创建类型中选择 3D Bounding Box, 其他设置保持默认, 点击 Apply 创建初始块。如图 8-21 所示。

Step 3: 进行块的切割

采用指定点方式进行块切割。先将树形菜单中 Geometry 子项中的 Point 打开, 然后打开 Blocking 标签页下分割块按钮 , 选择弹出数据窗口中的分割块命令 , 在 Split Method 中, 选择 Prescribed Point。最终切割形成的块如图 8-22 所示。

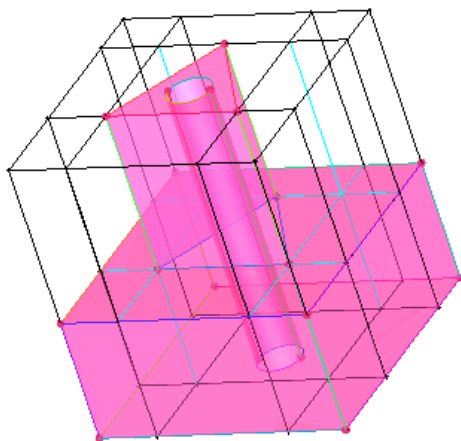


图 8-22 切割形成的块

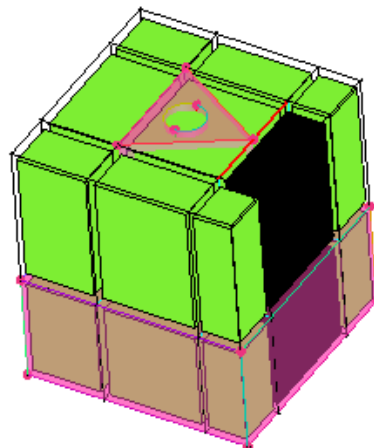




图 8-23 块坍塌选择的边及块

Step 4: 块的坍塌

几何中存在三棱柱, 为获得三棱柱的块, 因此需要进行块的坍塌。当然也可以采用顶点合并的方式获取。选择 Blocking 标签页下顶点合并命令 , 在弹出的数据窗口中选择 , 选取图 8-23 所示的 edge 及 block 进行块的坍塌, 之后形成的块如图 8-24 所示。

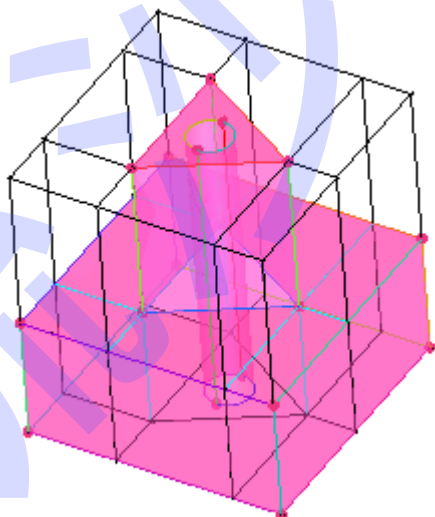


图 8-23 坍塌后的块

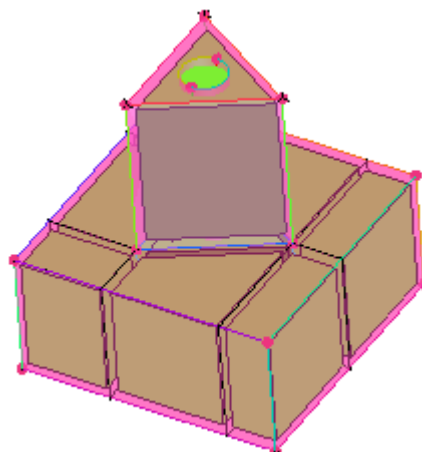




图 8-24 删除块

Step 5: 删除多余的块

将多余的块删除掉，删除后的块如图 8-24 所示。

Step 6: Y 型剖分

对三棱柱块进行 Y 型剖分。打开 Blocking 标签页下块编辑按钮 ，在弹出的数据窗

口中选择块转化命令按钮 ，在类型中选择 Y-Block，同时在图形窗口中选择两个三棱柱块，点中键确认。Y 型切分后的块如图 8-25 所示。

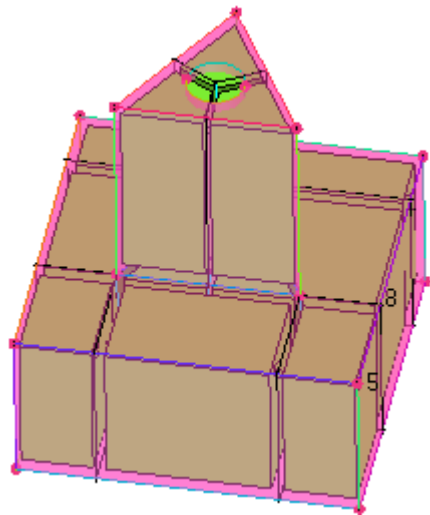


图 8-25 Y 型剖分

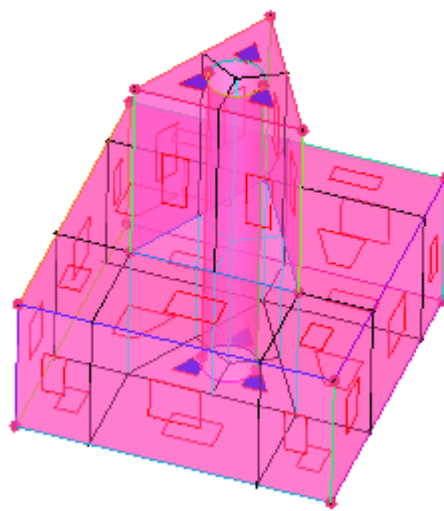


图 8-26 O 型剖分所选择的 Face

Step 7: O 型剖分并删除多余块

选择 8-26 所示的 6 个 Faces 进行 O 型剖分。在此步骤中无需额外选择块，程序会根据所选的 Faces 选择合适的 Block。剖分并删除多余块后的块如图 8-27 所示。

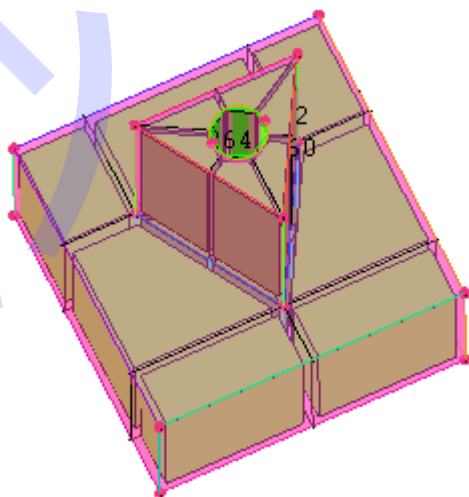


图 8-27 最终形成的块

Step 8: 网格预览

测量最小特征尺寸为 4.5，设定最大单元尺寸为 1，更新块并预览网格，最终网格如图 8-28 所示。

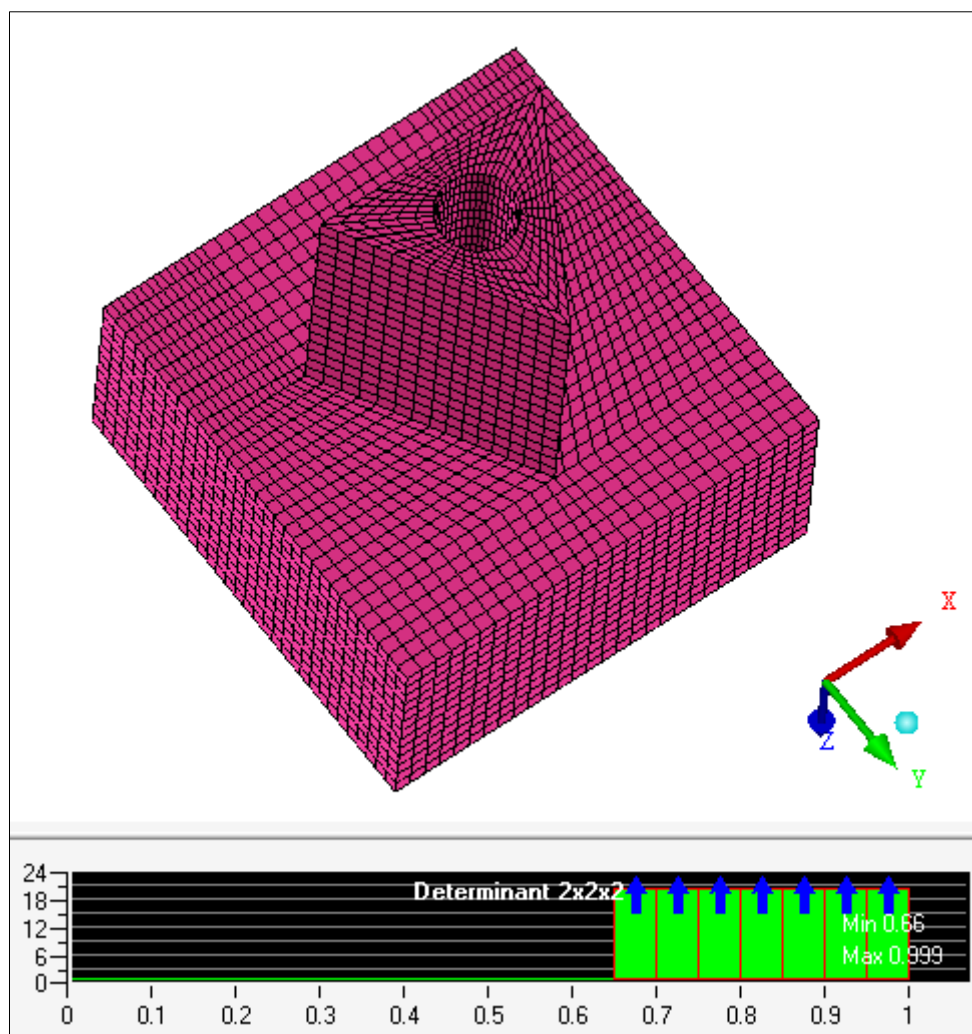




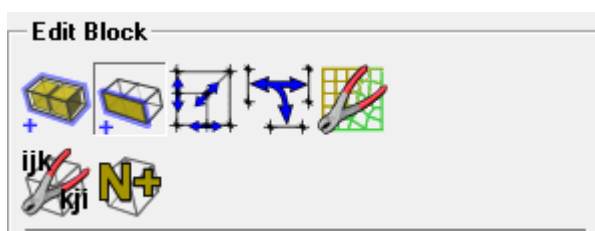
图 8-28 最终网格

9 块操作的应用


ICEM CFD 对块的操作，主要是通过两个命令按钮来实现的。位于 Blocking 标签页下块编辑命令及块变换命令。这两个命令均是对已存在的块进行操作。

9.1 块的编辑

块编辑(Edit Block)中包含有 7 个子操作，如右图所示，依次为：块合并、面合并、O 块修改、周期顶点定义、块类型转换、改变块的所有、块重编号。



9.1.1 块的合并

块合并命令能够将多个小块合并为一个较大的块。如右图所示。

该命令具有三个合并方法选项：

1、Selected

合并所选择的块。

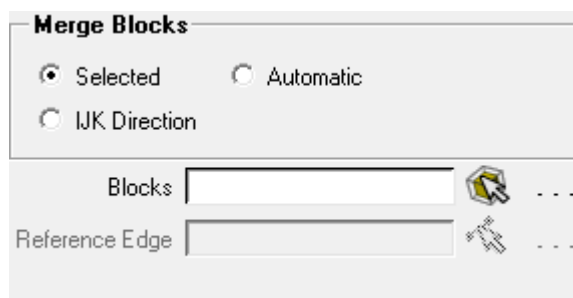
2、Automatic

自动合并当前块 part 中 能够合并的块。


3、IJK Directing

合并由选择的参考 edge 所决定的方向的块。

上述三种块合并方式中，最常用的为程序所默认的第一种方式。注意在块合并过程中，可能由于拓扑关系，无法进行合并。



9.1.2 O 型块修改

在 O 型块划分完毕后，可以通过 O 型块修改命令对块进行一定修改。该命令允许用户修改 O 型块的缩放因子。

有两种修改方式：Rescale Ogrid 及 Reset Ogrid Orthogonally，其中最常用的为第一种方式。

1、Rescale Ogrid

有几个选项需要设置：

(1) Block Select

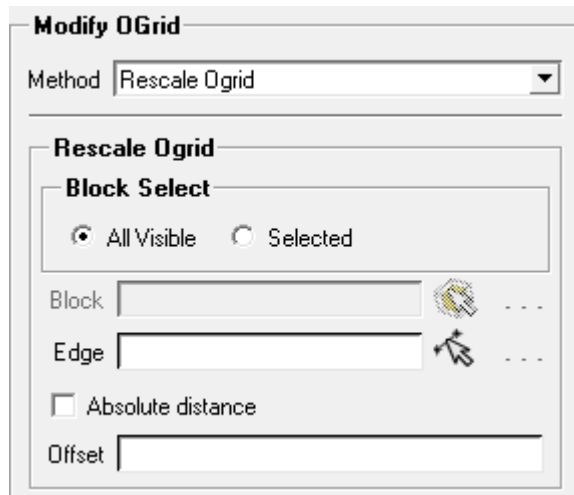
两种选择块的方式：选择所有可见的块及手工选择需要修改的块。

(2) Edge

选择 O 型块的径向边。

(3) Absolute distance

若激活此项，则在下方的 Offset 中填入的数据则为径向边的绝对长度，否则为 O 型块的变换因子。




2、Reset Ogrid Orthogonally

此选项允许用户重设选定边的正交性。实际工作中很少使用。

9.1.3 块类型转换

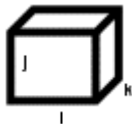
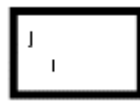





利用转换块类型命令 ，可以改变已有块的类型。例如将 mapped 块改变为 swept 块，将三棱柱块转换为 Y 型剖分等。

1、ICEM CFD 中块的类型

在 ICEM CFD 中的块有多种类型，其中最主要的类型有：Mapped、Swept、Free 等。这些不同类型的块，在切分、生成网格过程中存在较大的区别。

表 1 块的类型

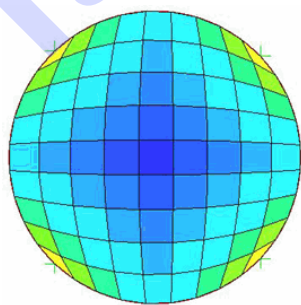
	3D		2D	
Mapped (结构)		i,j,k 映射		i,j 映射
Swept		j 映射	N/A	

Free（非结构）		所有的 edge 均为自由		所有的边为自由
-----------	-----------------------------------------------------------------------------------	---------------	------------------------------------------------------------------------------------	---------

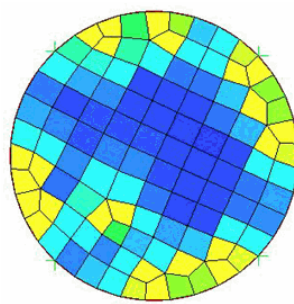
除了 Mapped 块生成的网格是结构网格之外,其他类型的块生成的网格均为非结构网格。

2、不同类型块生成的网格

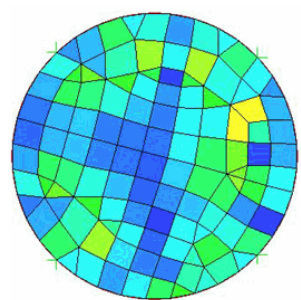
图 9-1 为 2D 圆形采用不同类型块生成的网格。



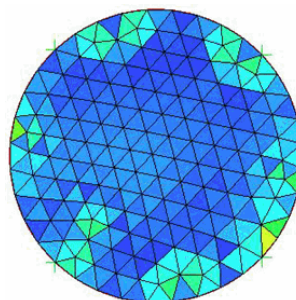
(a) Mapped 块



(b) 全四边形自由块



(c) 四边形为主自由块



(d) 全三角形自由块

图 9-1 不同类型块生成的网格

在 3D 块中,还可以将 Mapped 块转换为 Swept 或 Free 块等类型。在实际应用中使用较多的是 Y 型剖分,这在第五章中已经详细讲述过。

9.2 块的变换


ICEM CFD 中除了可以对已存在的块进行编辑操作外,还可以利用 Blocking 标签页下的块变换命令  对已有块进行平移、旋转、镜像、缩放等操作。如图 9-2 所示。



图 9-2 块变换命令按钮

9.2.1 块的平移

在一些具有线性阵列的几何体中，采用块的平移复制能大大加快工作进程。

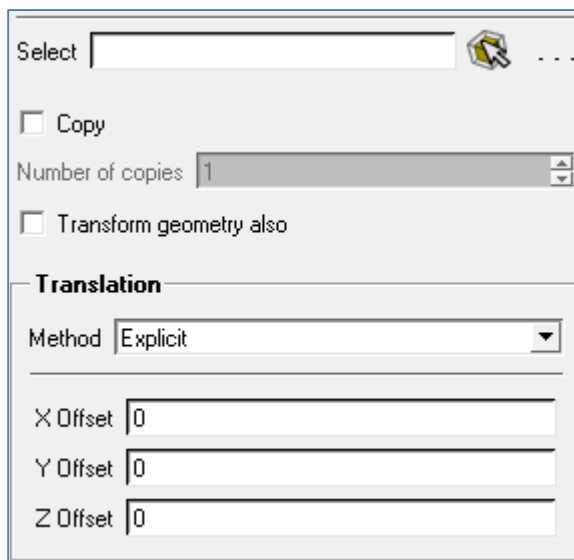
该操作命令的一些选项说明：

1、Select

选择要进行平移操作的块。

2、Copy

若激活此项，则保留原有块的位置，且可以设置需要平移块的数量。如图 CAD 软件中的线性阵列。



3、Transform geometry also

若激活此项，则会连同几何体一起平移。通常操作过程中不激活此项，在一些周期几何中可能利用到此项。

4、Translation Method

平移方法，有两种选择：Explicit 及 2 Points Vector。第一种方式是沿坐标轴方向平移，第二种方式为指定两点，沿着两点构造的向量进行平移。

9.2.2 块的旋转

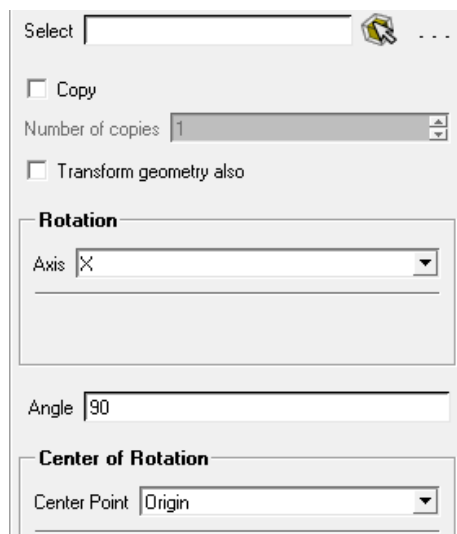
与块的平移类似，采用块的旋转在一些环形阵列几何中应用较多。

一些参数说明：

(1) Rotation

设置旋转轴。可以是全局 X, Y, Z 轴，也可以是用户自定义向量。注意在利用向量定义旋转轴时，利用两点定义向量，第一个点为向量起点，第二个点为终点，方向为第一个点指向第二点。之所以详细说明，是因为在块的旋转中，旋转方向需要满足右手定则。

(2) Angle



旋转角度。该选项配合上面的 copy 选项，可以实现圆形阵列。

(3) Center of Rotation

旋转中心。默认为 origin，即全局(0,0,0)点，可以利用自定义点。

9.2.3 块的镜像



块镜像功能在一些对称几何上应用非常广泛。镜像选项大多与旋转相同，所不同地方在于，需要指定一个镜像面。镜像面的指定是通过指定面法向向量来实现的。例如指定镜像面为 X，则实际镜像面为 YZ 面。也可以通过自定义向量来指定镜像面。

9.2.4 块的缩放



利用块缩放功能，可以对块进行三方向缩放。

需要指定的选项包括：X，Y，Z 三方向的缩放系数，以及原点。

9.2.5 复制周期块



在一些周期几何中，在指定了周期块后，可以利用周期块复制。在模型为周期模型，然而几何仅仅是一段的时候，采用此功能非常有用。周期模型的设置将在后续章节进行详细描述。

一些参数说明：

1、Num. Copies

指定几何体拷贝的份数。

2、Increment parts

允许用户选择将增加的拷贝放入的 part。

9.3 实例分析

9.3.1 实例 1：法兰盘

本例演示一个环形阵列模型。利用块旋转实现整体块的构建。

Step 1: 导入几何文件

利用菜单 File->Import Geometry->ParaSolid 导入几何文件 ex9_1.x_t，选择单位为 millimeter，同时构建几何拓扑，进行几何清理，打开 Surface 显示，如图 9-3 所示。

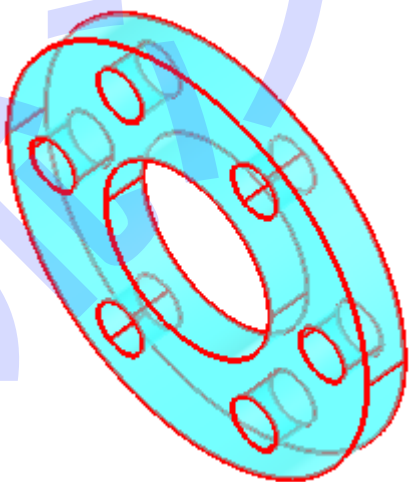


图 9-3 导入的几何

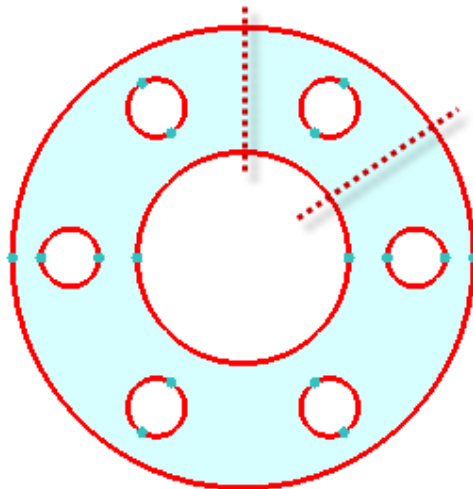




图 9-4 子块划分位置

Step 2: 构建辅助几何

构造 1/6 模型特征点，方便子块的构建。如图 9-4 所示，虚线所围成的小块部分即为完整几何体的 1/6，我们所要进行的工作为构造 8 个子块的顶点。

(1) 利用圆弧上的点创建圆心

进入 Blocking 标签页下  按钮，进入 3 点创建圆心命令 ，在圆上任取 3 点，点击鼠标中键后创建圆心。如图 9-5 所示。

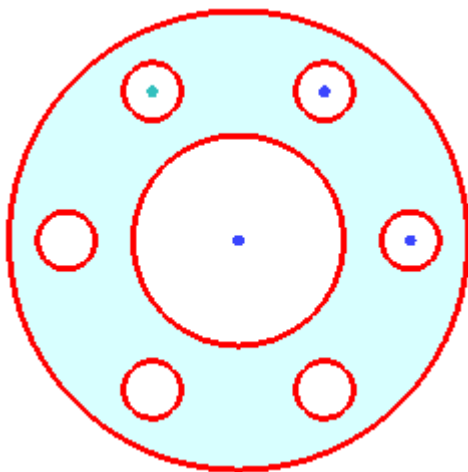


图 9-5 创建四个圆心

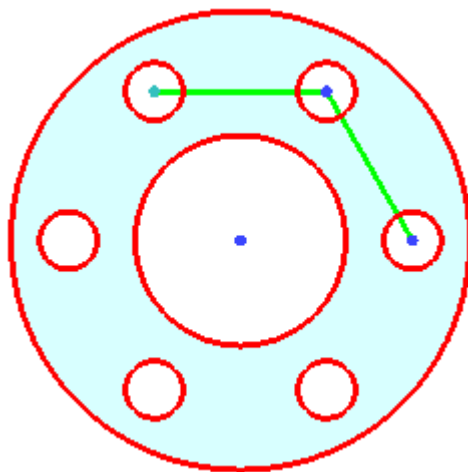




图 9-6 创建两条直线

(2) 连接点构成直线

连接小圆圆心构成两条直线。利用 blocking 标签页下曲线创建命令中的  由点构造直线命令按钮 ，选取两个小圆圆心，点击鼠标中键，创建直线。注意在选取两个点后要点击中键确认，否则多余 2 个点后会自动创建样条曲线。创建直线后的图形如 9-6 所示。

(3) 创建两条直线的中点

利用几何学的知识，选择两条直线的中点与中心大圆的上下两圆心构成的平面切割几何是满足要求的。

选择点创建命令中的参数按钮 ，设置 parameters 为 0.5，选取两条绿色直线，创建终点。如图 9-7 所示。

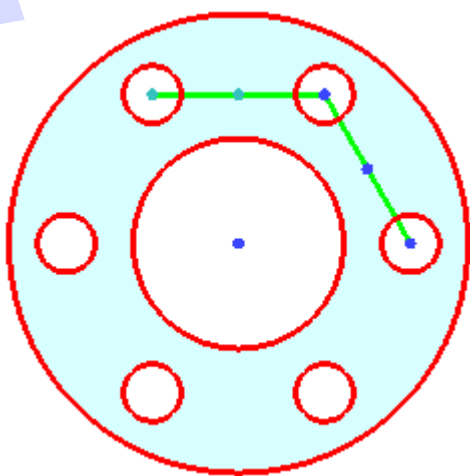


图 9-7 创建直线的中点

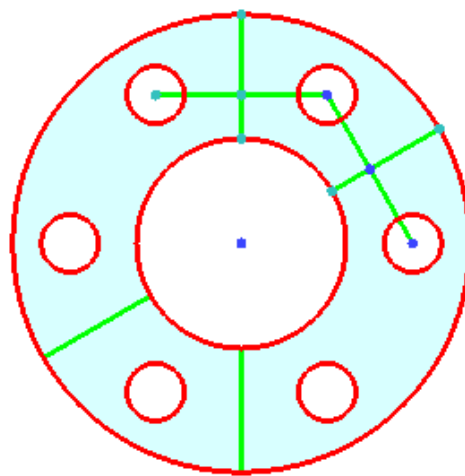





图 9-8 分割后的几何


(4) 面的切割

利用 3 点构造的平面切割面。利用 Blocking 标签页中的创建表面命令按钮 ，在数据左下角的对象窗口中选择分割面命令按钮 ，选择分割方法为 By Plane，设置 Plane Setup Method 为 Three Points。选择上下两表面，用于分割的三点为内孔上下两圆心及一个直线的中点。分割两次完成子模型的创建。同时利用 Blocking 标签页下点创建命令中的交点创建命令  构造线与圆弧的交点。最终的几何如图 9-8 所示。

Step 3: 初始块的创建

利用第 8 章讲到的自底向上构建块的方式构建 2D 块，然后通过拉伸块的方式构建初始 3D 块。2D 块如图 9-9 所示。

2D 块沿 Z 方向拉伸 -5，形成初始 3D 块，如图 9-10 所示。删除所有 vertices 关联及 edge

关联，利用 blocking 标签页下关联命令按钮下的取消关联命令 。

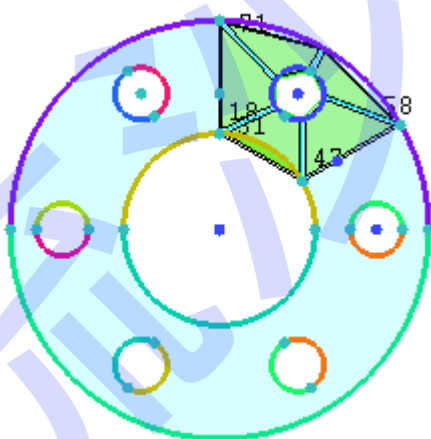


图 9-9 初始 2D 块

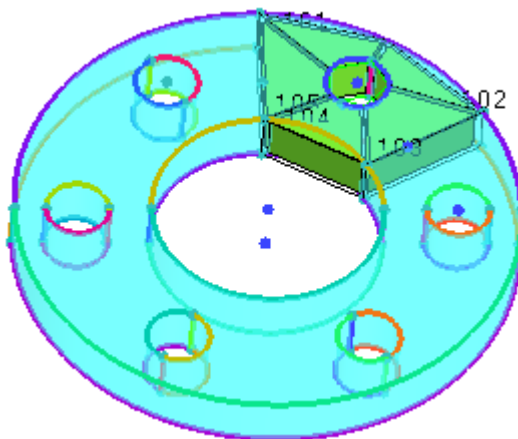




图 9-10 初始 3D 块

Step 4: 块的旋转

对初始 3D 块进行旋转复制，完成整体块的构建。

选择 Blocking 标签页下块变换命令按钮 ，在左下角数据窗口中选择块旋转命令 ，勾选 Copy 选项，设置 Number of copies 为 6，设置 Z 轴为旋转轴，旋转角度为 60° ，旋转中心为内孔圆的圆心。旋转后的块如图 9-11 所示。

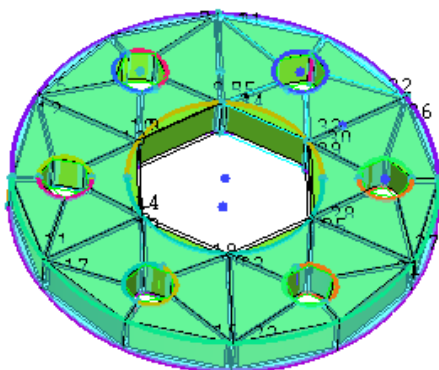


图 9-11 旋转复制后的块

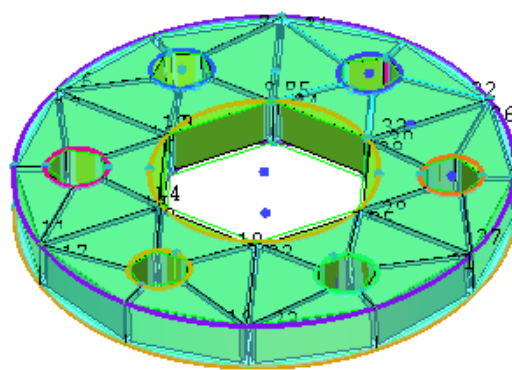


图 9-12 最终的块

Step 5: Edge 关联

设置 edge 关联，并进行对齐处理。最终的块如图 9-12 所示。

Step 6: 网格预览

设置最大网格尺寸为 0.5，更新块并预览网格，最终网格如图 9-13 所示。

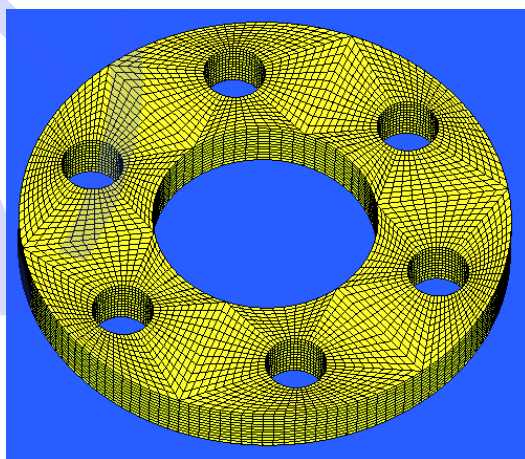


图 9-13 最终网格

Step 7: 总结

这种分块方式其实并不是最佳方案，在后续章节中将继续进行本例的讨论。将生成如图 9-14 所示的网格。

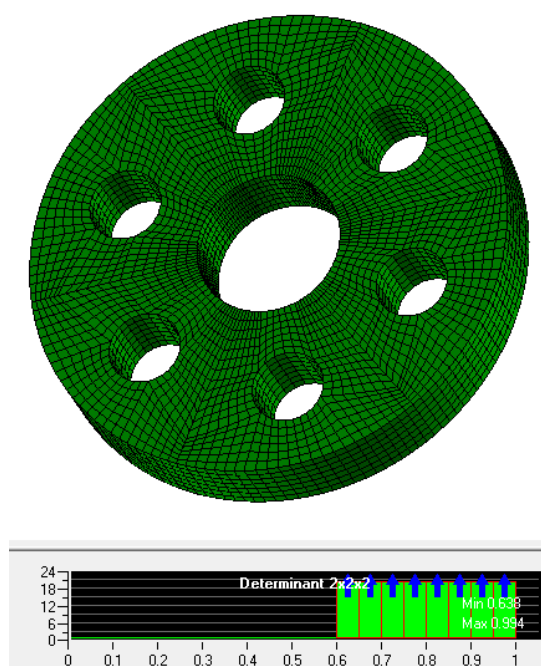


图 9-14 更好的网格

9.3.2 实例 2：机架

本例应用的关键技术在于块的镜像。利用块的镜像功能，降低块构建的难度。

Step 1: 导入几何

导入几何模型文件 EX9_2.x_t，建立几何拓扑。以半透明方式打开 surface 显示，如图 9-15 所示。

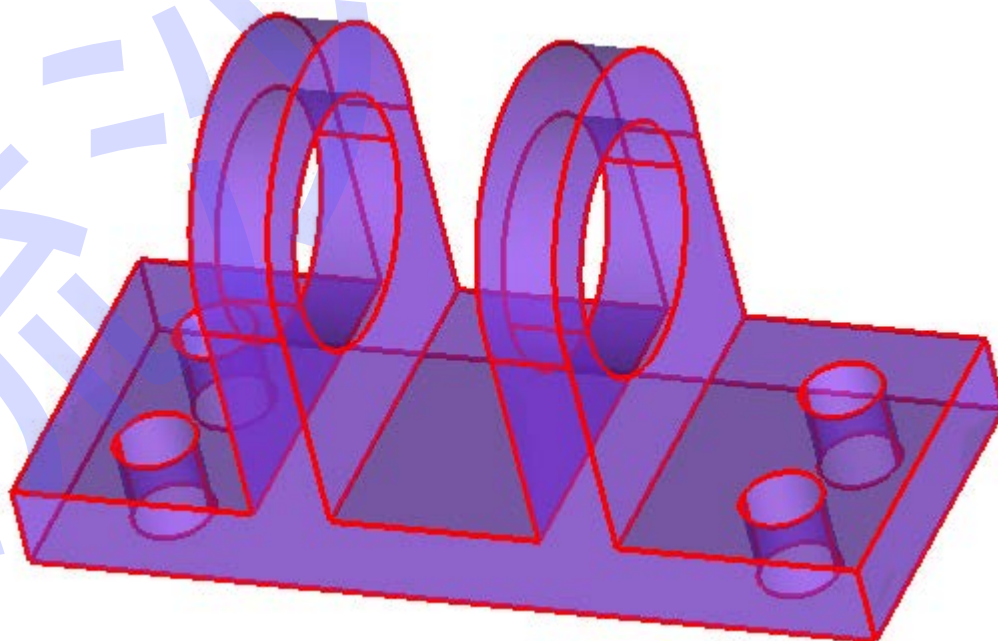



图 9-15 原始几何模型

Step 2: 建立镜像辅助几何

图 9-15 中并没有镜像面上的任何特征，因此，需要创建辅助几何（主要是点和线），以便进行点线关联，从而进行镜向操作。

利用点创建工具  按钮，创建曲线中点。选取图 9-16 中的四条线进行中点创建。

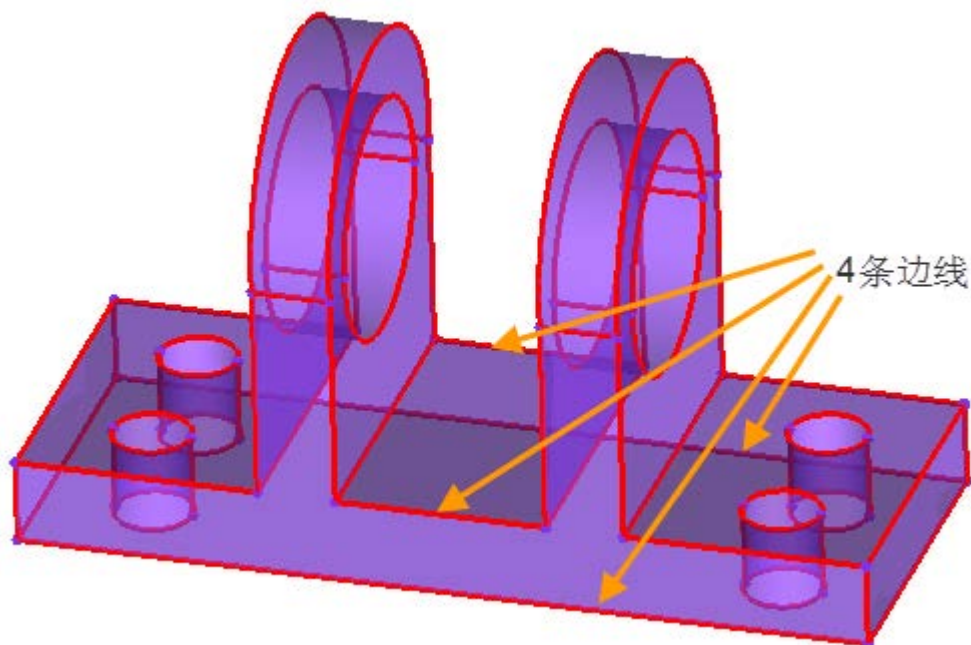


图 9-16 选择的四条边线

Step 3: 创建基本块

创建 3D Bounding Box 块类型，形成基本块如图 9-17 所示。

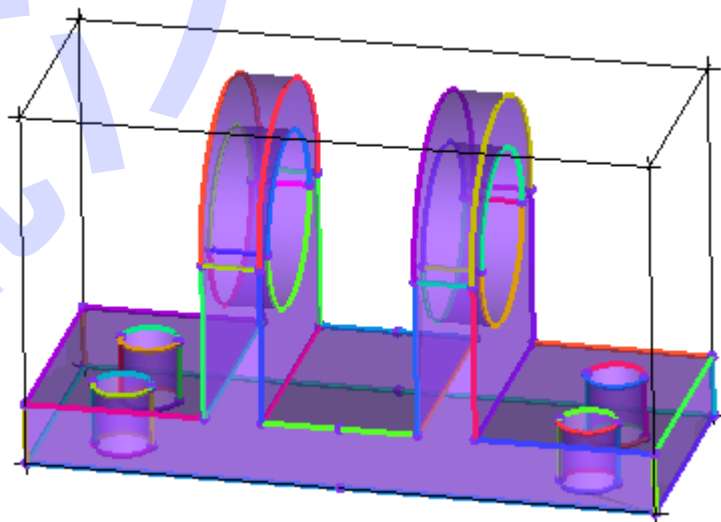
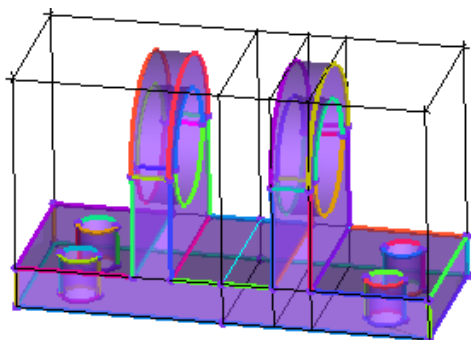


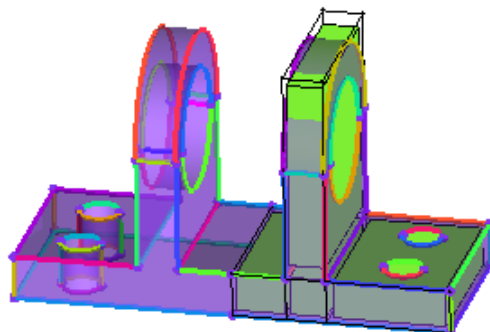
图 9-17 基本块

Step 4: 块的切割与多余块的删除

对块进行如图 9-18 (a) 所示方式进行切割（横一竖四），然后按照图 9-18 (b) 所示删除多余的块。



(a) 块切割



(b) 块删除

图 9-18 块分割

Step 5: 大圆孔的处理

大圆孔采用 O 型网格划分方式。选取图 9-19 中的 face 及 block 进行 O 型块的剖分。同时删除掉多余的块（即 O 型块的中心部分）。

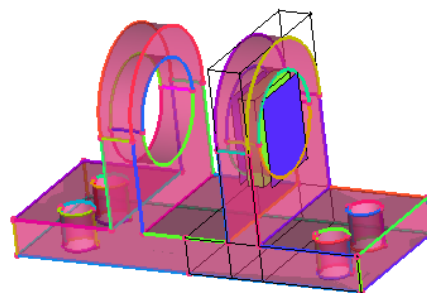


图 9-19 O 型块剖分

Step 6: 为地脚螺钉孔分块创建辅助几何

由于具有两个地脚螺钉孔，因此对于下方的平板块需要进行切割。在切割之前需要创建辅助点。利用中点工具创建如图 9-20 所示的点。

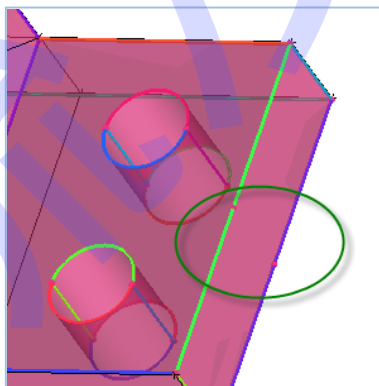
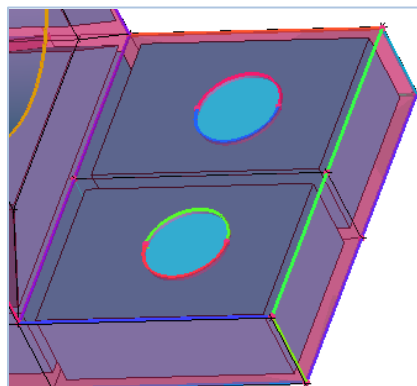


图 9-20 创建点



9-21 切割块

Step 7: 切分块

如图 9-21 所示切分下方的长方体块。注意在切割时选择特定的块而不是全局切割。

Step 8: O 型块的切分

对下方的两孔分别进行 O 型切分，删除中间多余的块。最后形成的块如图 9-22 所示。

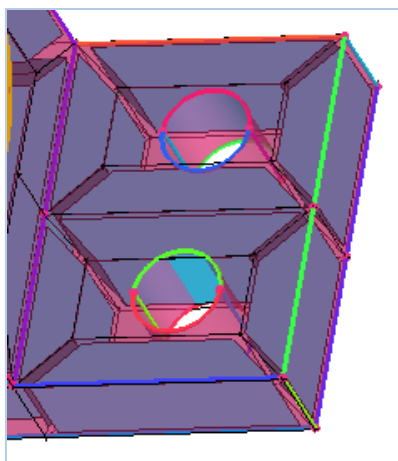






图 9-22 O 型切分

Step 9: 块镜像前的检查工作

一般来说，在对块进行镜像操作后，关联关系也会随之镜像过去。因此为了后面关联操作上的麻烦，在执行镜像操作之前，最好执行关联取消操作。执行 **Blocking** 标签页下关联

命令按钮，在弹出的操作面板中选择取消关联命令按钮，然后用鼠标框选所有的 vertices, edges 以及 faces，取消所有的关联关系。

Step 10: 块的镜像

选取 Blocking 标签页下块变形命令按钮，在弹出的操作面板中选择块镜像操作按钮。Select 中选择所有的块，勾选 Copy 选项，镜像法向选择 X 轴，镜像点选择 User's Point，然后选取 step 2 中所创建的中点，如图 9-23 所示。选择 Apply 按钮确认。

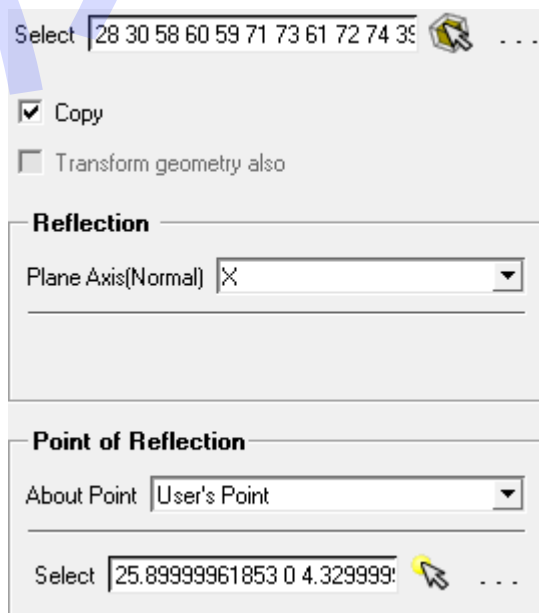


图 9-22 镜像操作设置

Step 11: 关联操作

对所有需要关联的 edge 执行关联操作并进行对齐，最终块如图 9-23 所示。

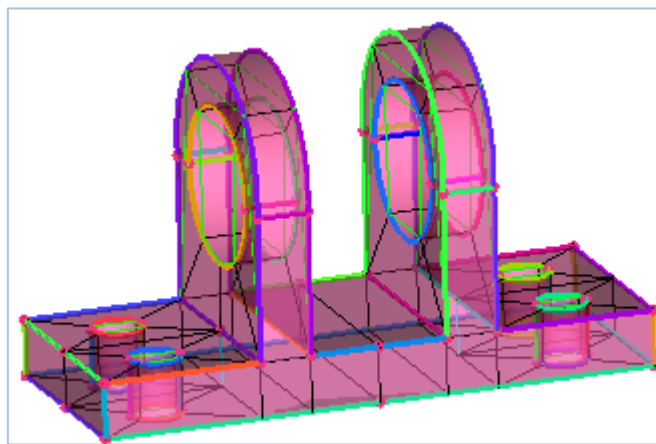


图 9-23 最终块

Step 12: 最终网格

设置全局网格尺寸为 1，更新块并预览网格，最终生成网格如图 9-24 所示。

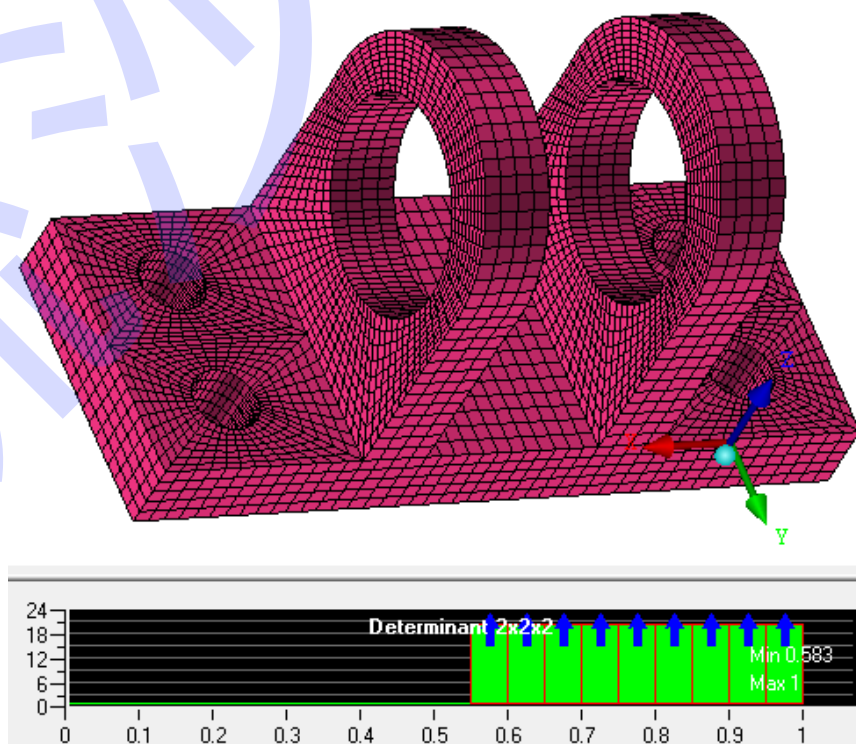


图 9-24 最终网格

图 9-24 所展示的并非最好的网格，欠缺的地方在于 O 型块上。若想获得更好的网格质量以及更好的几何适应性，可以试着多切几刀，形成如图 9-25 所示的网格。这部分内容留给读者自己练习。

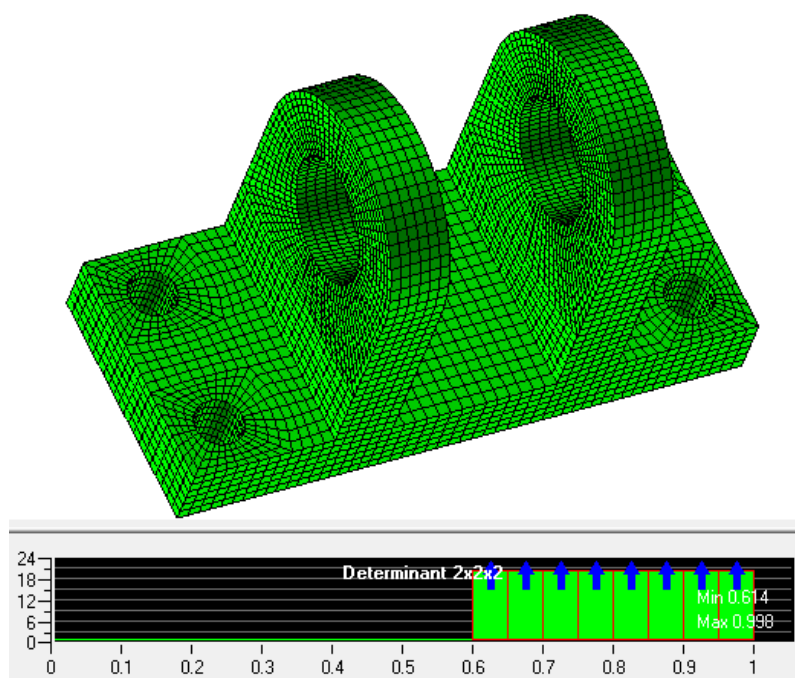


图 9-25 修正后的网格

10 周期网格

在现实生活中，很多现象都具有周期性。比如旋转机械的叶片、翅片管加热器等。对于这类结构，网格划分步骤与一般的结构有一定的区别。往往需要对周期结构进行预处理。在 ICEM CFD 中，提供了一系列的工具用于周期网格的划分。

10.1 ICEM CFD 中生成周期网格的一般步骤


在 ICEM CFD 中，分块网格与非结构网格的周期网格划分方式略有不同。对于分块结构网格，其周期网格划分通常要经过以下几步：

(1) 设置几何周期性

利用 Mesh 标签页下的 Global Mesh Setup 命令按钮 ，点开后选择 Set up Periodicity  命令按钮。

(2) 创建块

(3) 设置块的周期性

利用 Blocking 标签页下 Edit Block  命令按钮，选择 Periodic Vertices  命令按钮，设置对应顶点周期性。

至于非结构网格，只需要设置几何周期性即可。

之所以设置几何周期性，主要目的是控制周期面上节点对应。

10.2 ICEM CFD 中周期网格生成按钮解释

1、几何周期性设置

点击此命令按钮后，将显示如图 10-1 所示的对话框。各部分的解释为：

(1) Define periodicity

默认情况下该选项未激活。激活此选项设置周期性。

(2) Type

选择周期性类型：旋转周期（Rotational periodic）与平移周期（Translational periodic）。

(3) Rotational axis

旋转轴设定。若选择的是旋转周期，则需要设定旋转轴。三种定义方式：User defined by angle（利用角度定义）、User defined by sectors（利用横截面定义）及 Vector（利用向量定义）。

其中图 10-1 所示为利用角度定义方式，需要指定基点坐标、轴向量以及角度。注意轴向量的定义满足右手定则。至于其他两种定义方式与此类同。

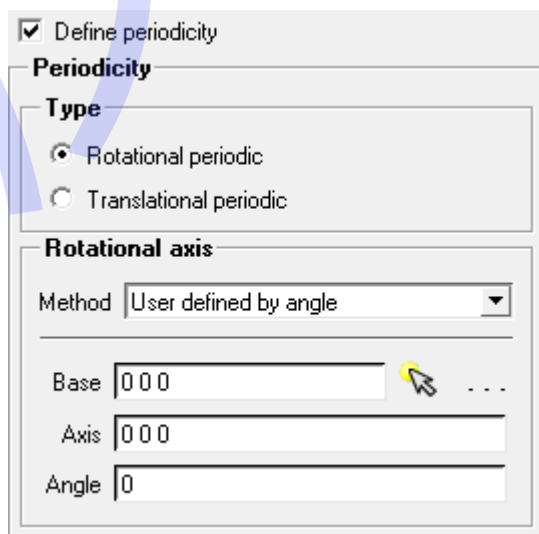


图 10-1 几何周期设置

而平移周期设定则只需设定一个偏移值。

2、周期点设定

通常是设定两个周期面上对应顶点。

10.3 实例分析

10.3.1 实例 1：结构周期网格

Step 1：导入几何

导入几何文件，构建拓扑，如图 10-2 所示。

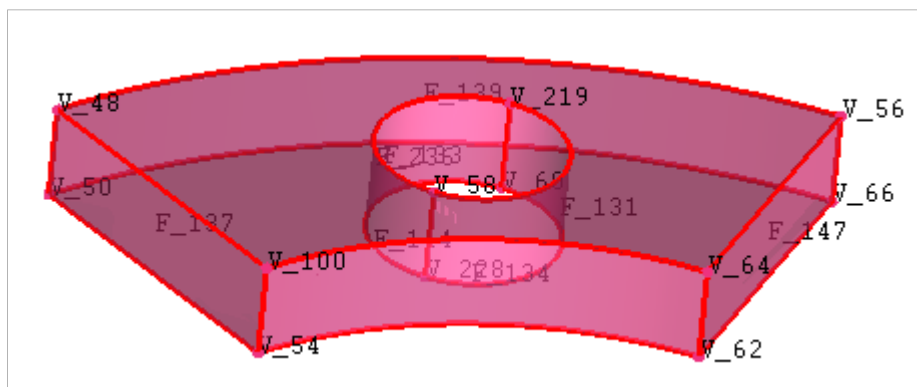



图 10-2 构建几何拓扑后的图形

图中面 F_137 与面 F_147 为周期面，点 V_64 对应 V_100，V_62 对应 V_54，V_56 对应 V_48，V_66 对应 V_50。

Step 2: 创建辅助几何

由于定义周期性需要用到旋转轴，因此创建两个圆心点。利用 Geometry 标签页下点创建命令按钮，选择 。任意选择点 v_100 与 v_64 之间圆弧上的三个点，点击中键创建点 pnt.03，同理选择 v_54 与 v_62 的圆弧段上任意三个点创建圆心点 pnt.04。如图 10-2 所示。

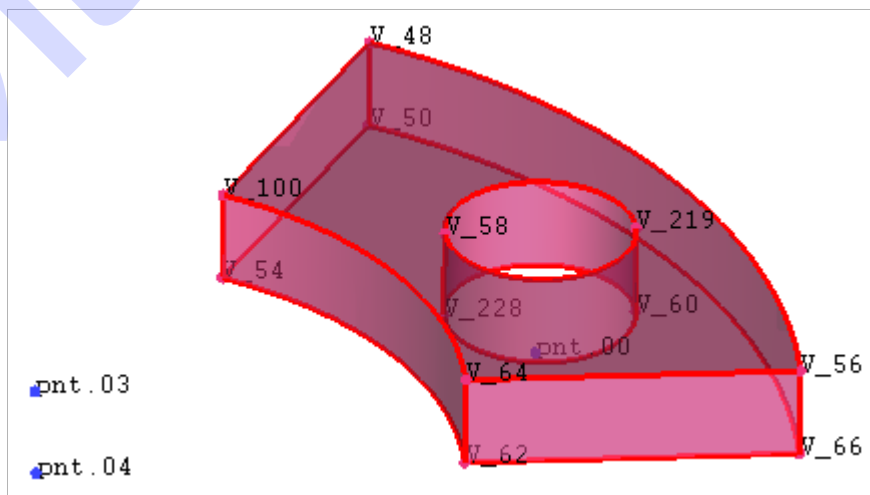




图 10-2 创建圆心点

Step 3: 创建几何周期性

利用 Mesh 标签页下命令按钮  中的建立周期性命令按钮 。勾选 Define periodicity 选项，由于本例为旋转周期，因此选择 Rotational periodic。利用默认的采用角度定义旋转轴的方式，基点选择 step 2 创建的 pnt.03 点，旋转坐标轴输入 0 0 1（X 轴输入 1 0 0，Y 轴输入 0 1 0，Z 轴输入 0 0 1），角度为 60°。如图 10-3 所示。

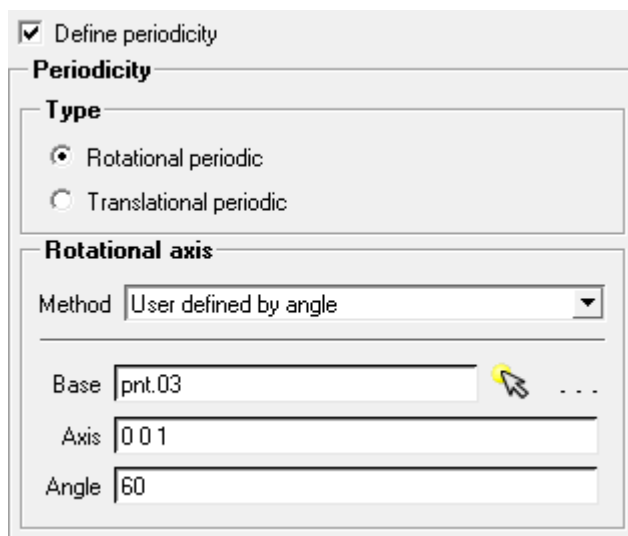


图 10-3 几何周期性设置

Step 4: 初始块构建

构建 3D Bounding Box 原始块。如图 10-4 所示。

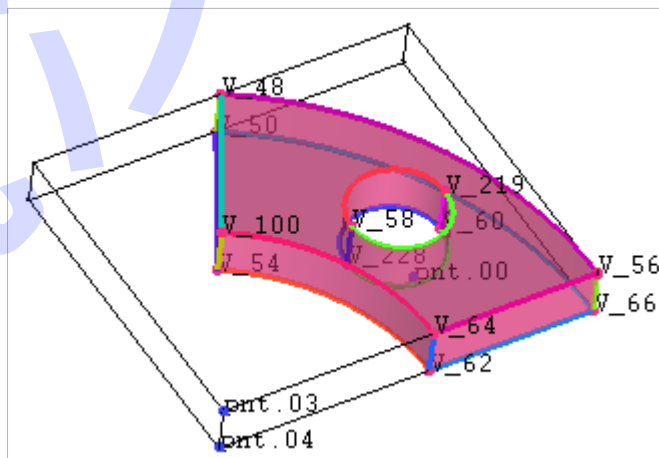


图 10-4 初始块

Step 5: 周期顶点设置

在树形菜单 Points 上点击右键，选择 Show Points Names，取消点名称的显示。同时右键点击 Vertices，选择 Names，打开 vertices 名称显示。

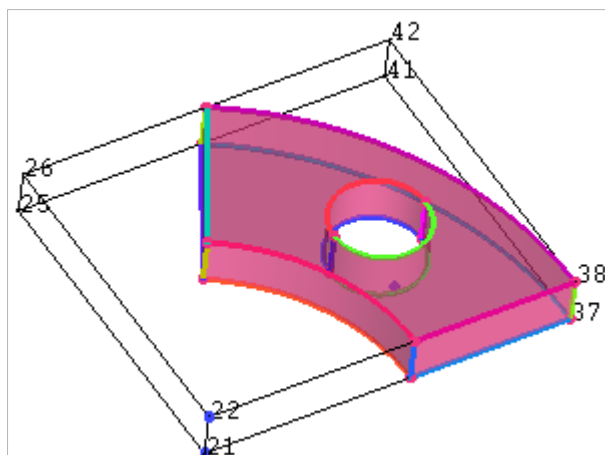


图 10-5 vertices 显示

完成一个周期面上点的关联。关联后如图 10-6 所示。

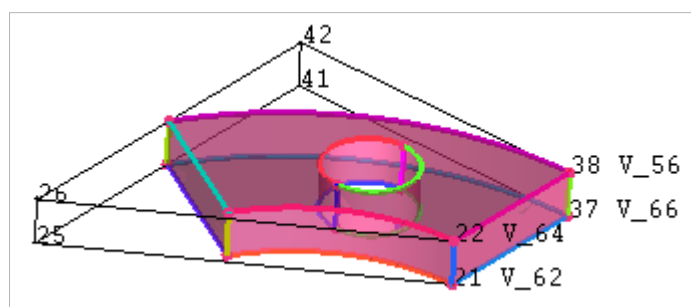




图 10-6 关联后的图形

选择 **Blocking** 标签页下  命令按钮，选择创建周期 vertices  命令按钮。成对选择 22-26, 21-25, 37-41, 38-42，完成周期点创建后的图形如图 10-7 所示。

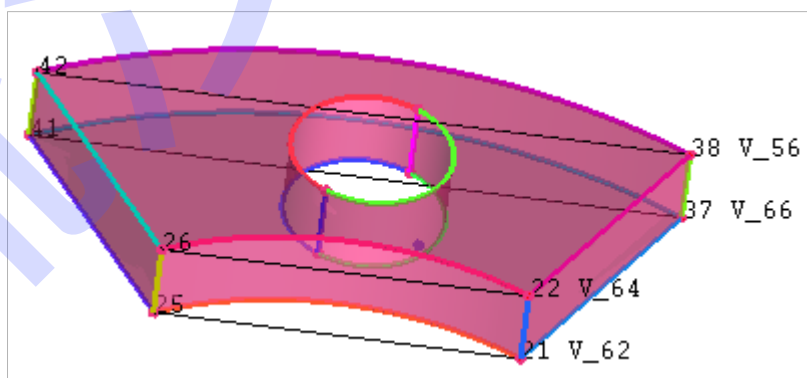


图 10-7 创建周期点之后的块

可以看到，剩余四个 vertices 自动关联好了。

Step 6: 块的切割

关于本例中块的切割，此处不再详述。切割后并删除多余的块，如图 10-8 所示。

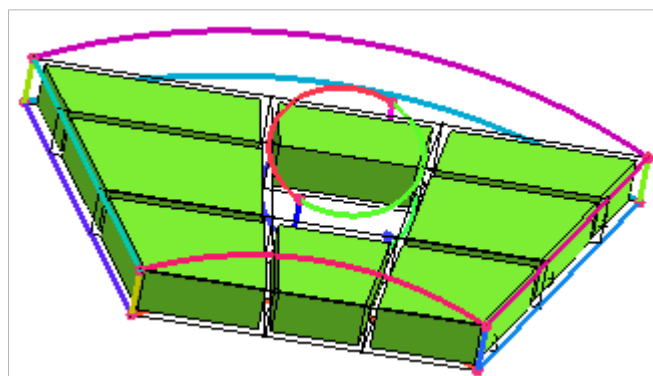


图 10-8 形成的块

Step 7: edge 的关联

将需要关联的部分进行关联，并进行定点对齐。最终的块如图 10-9 所示。

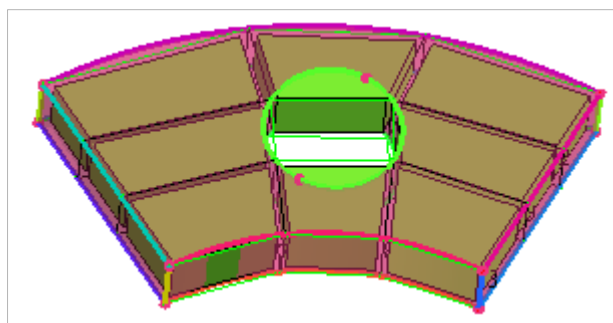


图 10-9 最终形成的块

Step 8: 设定网格参数

设定最大网格尺寸为 0.25，更新块，预览网格。最终形成网格如图 10-10 所示。

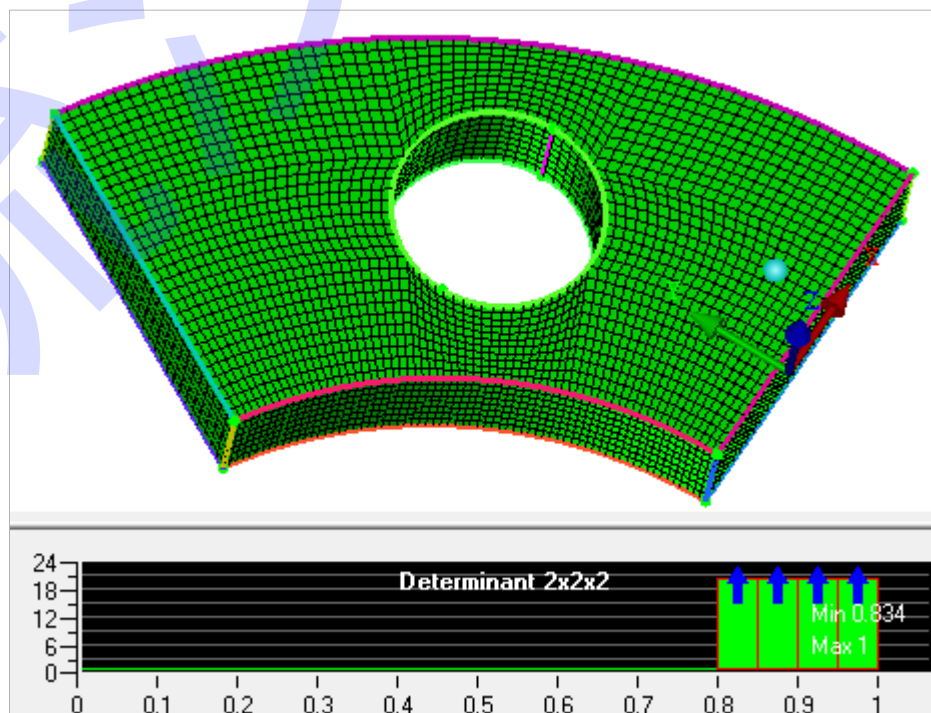
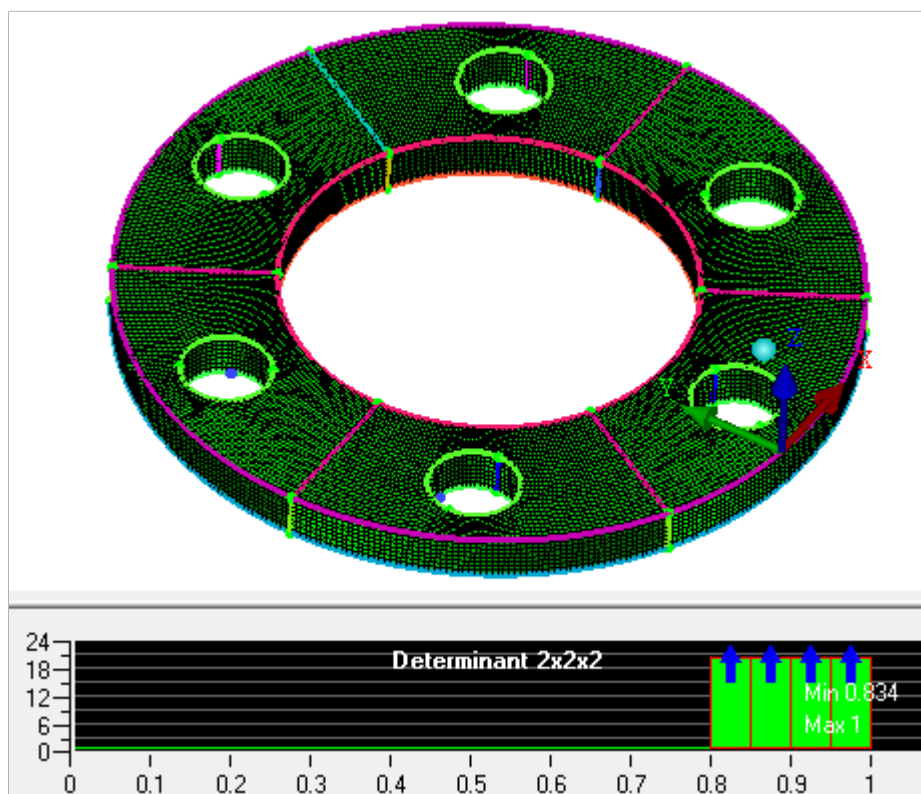


图 10-10 最终的网格

Step 9: 还原整体网格

10.3.2 实例 2：非结构周期网格

仍然采用实例 1 的几何。非结构网格的周期结构划分较为简单，通常只需要定义几何周期性即可。

Step 1: 导入几何

导入几何文件，构建拓扑，如图 10-11 所示。

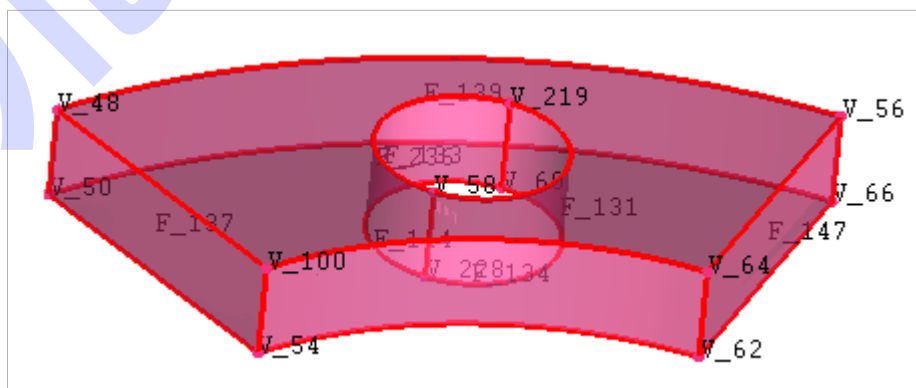



图 10-11 构建几何拓扑后的图形

图中面 F_137 与面 F_147 为周期面，点 V_64 对应 V_100，V_62 对应 V_54，V_56 对应 V_48，V_66 对应 V_50。

Step 2: 创建辅助几何

由于定义周期性需要用到旋转轴，因此创建两个圆心点。利用 Geometry 标签页下点创

建命令按钮，选择 。任意选择点 v_100 与 v_64 之间圆弧上的三个点，点击中键创建点 pnt.03，同理选择 v_54 与 v_62 的圆弧段上任意三个点创建圆心点 pnt.04。如图 10-12 所示。

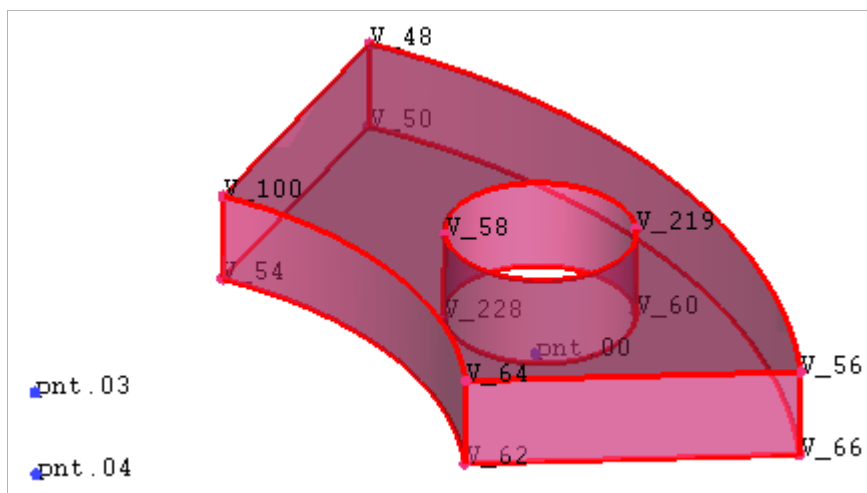




图 10-12 创建圆心点

Setp 3: 创建几何周期性

利用 Mesh 标签页下命令按钮中的建立周期性命令按钮。勾选 Define periodicity 选项，由于本例为旋转周期，因此选择 Rotational periodic。利用默认的采用角度定义旋转轴的方式，基点选择 step 2 创建的 pnt.03 点，旋转坐标轴输入 0 0 1（X 轴输入 1 0 0，Y 轴输入 0 1 0，Z 轴输入 0 0 1），角度为 60° 。如图 10-13 所示。

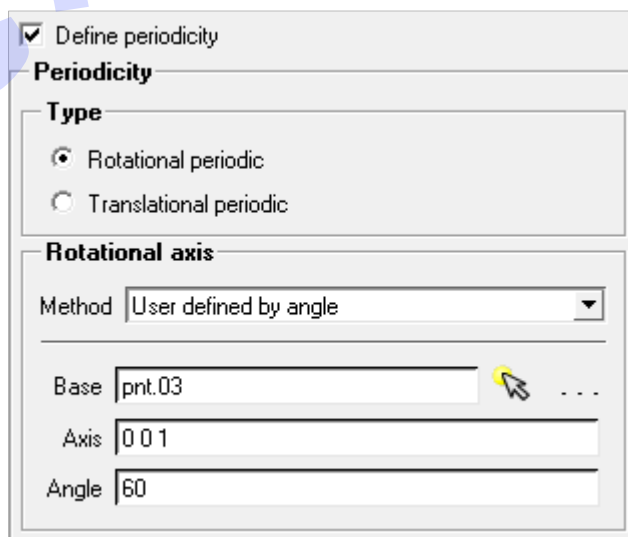



图 10-13 几何周期性设置

Step 4: 设定全局网格尺寸

选择 Mesh 标签页下全局网格设定命令按钮，设定缩放因子为 1，最大网格尺寸为 0.4，其它位置采用默认设置。如图 10-14 所示。

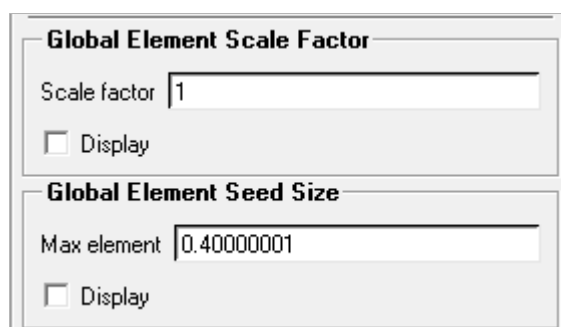


图 10-14 设定全局网格尺寸

Step 5: 生成网格

其它网格生成步骤与无周期结构完全相同，例如设定棱柱网格尺寸，网格生成算法，几何各部位网格尺寸等。

11 几何创建及修改

在进行流体计算中，不可避免的要创建流体计算域模型。ICEM CFD 具备一定的几何建模能力。主要包含两类建模思路：

1、自底向上建模方式。遵循点-线-面的几何生成方法。首先创建几何关键点，由点连接生成曲线，再由曲线生成曲面。


注意：ICEM CFD 中并没有实体的概念。其最高一级几何为曲面。至于在创建网格中所建的 body 只是拓扑意义上的体。

2、自顶向下建模方式。ICEM CFD 中可以创建一些基本几何，如箱体、球体、圆柱体。在建模过程中，可以直接创建这些基本几何，然后通过其他方式对几何进行修改。

11.1 基本几何创建

下面介绍基本几何的创建方式，包括点、线、面等。

11.1.1 点的创建

点击 Geometry 标签页，选择按钮，即可进入点创建工具面板。该面板包含的按钮如图 11-1 所示。下面依次进行功能描述。

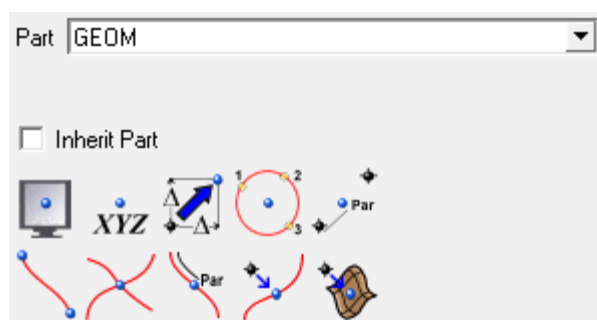


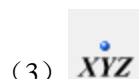
图 11-1 点创建功能区域

(1) Part

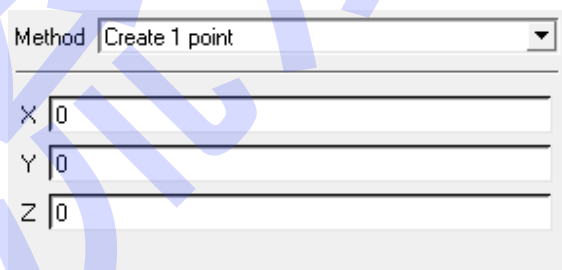
若没有勾选下方的 Inherit Part，则该区域可编辑。可将新创建的点放入指定的 part 中。默认此项为 GEOM 切 Inherit Part 被勾选。



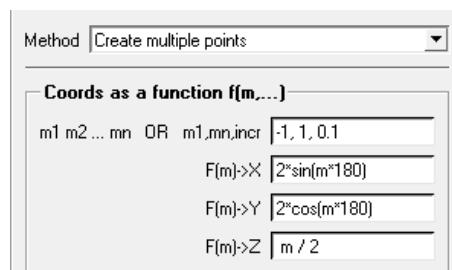
选中该按钮后可在屏幕上选取任何位置进行点的创建。



选择此按钮，进行精确位置点的创建。可选模式包括单点创建及多点创建。如图 11-2 所示。11-2 (a) 为单点创建模式，输入点的 x,y,z 坐标即可创建点。而 11-2 (b) 则为多点创建模式，可以使用表达式创建多个点。表达式可以包含有 +, -, /, *, ^, (), sin(), cos(), tan(), asin(), acos(), atan(), log(), log10(), exp(), sqrt(), abs(), distance(pt1, pt2), angle(pt1, pt2, pt3), X(pt1), Y(pt1), Z(pt1). 所有的角度均以 $^{\circ}$ 作为单位。



(a)



(b)

图 11-2 点的创建方式

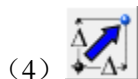
第一个文本框表示变量，包含有两种格式：列表形式与循环格式。主要区别在于是否有逗号。没有逗号为列表格式，有逗号为循环格式。如：0.1 0.3 0.5 0.7 为列表格式。而 0.1,0.5,0.1 则为循环格式，表示起始值为 0.1，终止值为 0.5，增量为 0.1。

F(m)->X 为点的 X 方向坐标，通过表达式进行计算。

F(m)->Y 为点的 Y 方向坐标，通过表达式进行计算。

F(m)->Z 为点的 Z 方向坐标，通过表达式进行计算。

图 11-2(b)中实际上创建的是一个螺旋形的点集。



(4)

以一个基准点及其偏移值创建点。使用时需要指定基准点以及相对该点的 x,y,z 坐标。



(5)

可以利用此按钮创建三个点或圆弧的中心点。选取三个点创建中心点，其实是创建了由此三点构建的圆的圆心。



(6)

此命令按钮利用屏幕上选取的两点创建另一个点。点选此按钮后出现图 11-3 所示的操作面板。

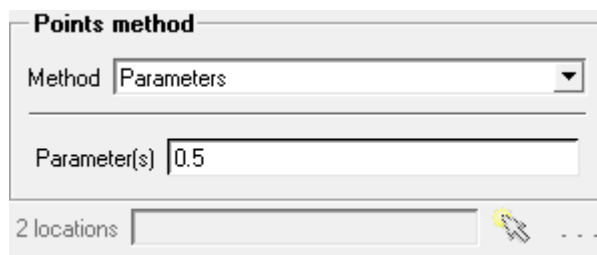


图 11-3 点创建方法

有两种方式，其一为图 11-3 所示的参数方法，其二为指定点的个数的方法。

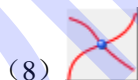
如图 11-3 所示，若设置参数值为 0.5，则创建所指定两点连线的中点。此处的参数为偏离第一点的距离，该距离计算方式为两点连线的长度与指定参数的乘积。

而采用指定点的个数的方式，则在两点间创建一系列点。若指定点个数为 1，则创建中点。



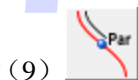
(7)

选择此命令按钮创建两个点，所创建的点为选取的曲线的两个终点。



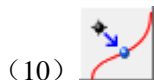
(8)

创建两条曲线相交所形成的交点。



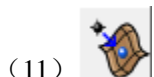
(9)

与方式 (6) 类似，所不同的是此命令按钮选取的是曲线，创建的是曲线中点或沿曲线均匀分布的 N 个点。



(10)

将空间点投影到某一曲线上，创建新的点。该命令有选项可以使新创建的点分割曲线。



(11)

将空间点投影到曲面上创建新的点。

说明：

创建点的方式一共有 11 种，其中用于创建几何的主要是前三种，后面 8 种主要用于划分网格中的辅助几何的构建。当然，它们都可以用于创建几何体。

11.1.2 线的创建

ICEM CFD 中线的创建主要有以下几种方式。如图 11-4 所示。

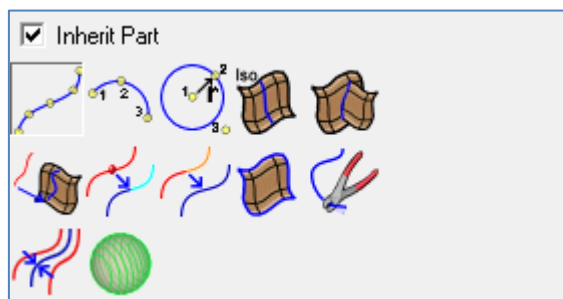
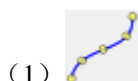
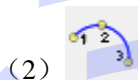


图 11-4 线的创建



(1)

该命令按钮为利用已存在的点或选择多个点创建曲线。需要说明的是：若选择的点为 2 个，则创建直线；若点的数目多于 2 个，则自动创建样条曲线。



(2)

圆弧创建命令按钮。圆弧的创建方式有两种：(1) 三点创建圆弧 (2) 圆心及两点。

注意：选用三点创建圆弧时，第一点为圆弧起点，最后选择的点为圆弧终点。

采用第二种方式进行圆弧创建时，也有两种方式，如图 11-5 所示。若采用 center 的方式，则第一个选取的点与第二点间的距离为半径，第三点表征圆弧弯曲的方向。或采用 start/end 方式，则第一点并非圆心，只是指定了圆弧的弯曲方向，而第二点与第三点为圆弧的起点与终点。当然这两种方式均可以人为的确定圆弧半径。

用户可以自己下去体会。

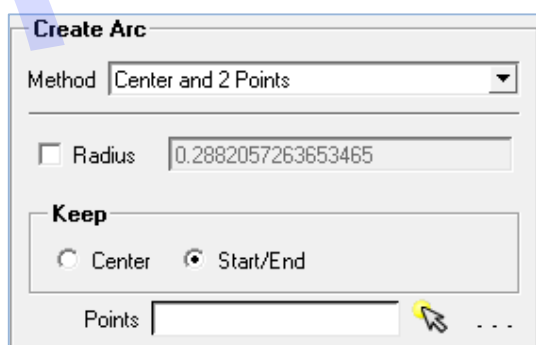


图 11-5 圆弧创建

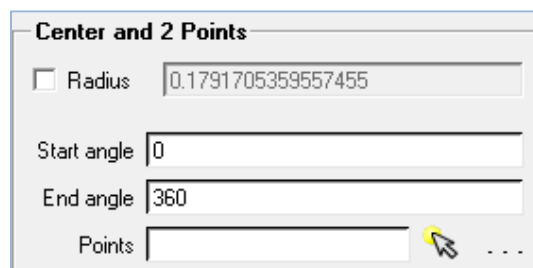
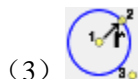


图 11-6 圆的创建



(3)

该命令按钮主要的用于创建圆。采用如图 11-6 所示的方式：规定一个圆心加两个点的方式。

注意：第一次选择的点为圆心。若没有人为的确定半径值，则第一点与第二点间的距离为圆的半径值。可以设定起始角与终止角。若规定了半径值，则其实是用第一点与半径创建圆，第二点与第三点的作用是联合第一点确定圆所在的平面。



(4)

根据平面参数创建曲线。此命令按钮功能与块切割的作法很相似，本功能在实际应用中用得很少，用户可以下去自己练习一下。



(5)

此功能按钮用于获得两相交面的交线。使用起来也很简单，直接选取两个相交的曲面即可。选择方式可以是：直接选取面、选择 part 以及选取两个子集。



(6)

曲线向面投影。有两种操作方式：沿面法向投影及指定方向投影。沿面法向投影方式只需要指定投影曲线及目标面。而选用指定方向投影的方式，则需要人为指定投影方向。

11.1.3 面的创建

11.2 几何修改

几何修改主要是针对 ICEM CFD 导入的外部 CAD 软件所创建的模型文件。由于 ICEM CFD 建模功能不强,因此,对于一些复杂结构模型,常需要在专业的 CAD 软件中进行创建。由于存在软件接口兼容性问题,导入的模型有时会产生诸如特征丢失、拓扑错误等问题,在这种情况下,需要对导入的模型进行修补。ICEM CFD 提供了强大的几何修补能力。

另外,对于导入的过于复杂的模型,常需要对模型进行简化,譬如圆角去除、空洞的填补等等,这些操作 ICEM CFD 均提供了很好的支持。

11.2.1 几何拓扑构建

11.2.2 特征修补

12 构建辅助几何

在对复杂几何进行结构网格划分过程中，经常会碰到这样一些情况：

- (1) 有时需要对块进行准确定位切割，而此时又没有现成的几何点
- (2) 在进行块关联时，想要提高线关联的质量
- (3) 要对几何体进行切割，难以找到合适的几何进行定位。

以上一些情况可以通过建立辅助几何进行解决。常见的辅助几何主要为：辅助点与辅助线。本章主要讨论在 ICEM CFD 网格划分中的辅助几何创建问题。

13 非结构网格划分

前面章节中所涉及的内容均为分块划分结构网格。虽然说结构网格在进行数值计算上具有无可比拟的优势，如数据结构简单，大耗费内存较少等。在现实计算中，很多情况下的计算模型均非常复杂，若要对其进行全结构网格划分，可能需要花费巨量的人力物力，甚至有时根本无法划分出合乎要求的结构网格。

非结构网格具有很好的几何适应性。虽然要达到相同的计算精度，非结构网格数量要多余结构网格，然而随着计算机求解能力的增加，这些问题都可以得到较好的解决。目前很多 CFD 求解器均带有网格自适应功能，而非结构网格的自适应能力是要远大于结构网格的。因此，掌握非结构网格的划分技巧，对于实际的工作应用，是十分必要的。

ICEM CFD 的非结构网格划分操作比较简单，然而想要划分出理想的网格却不容易。因此，需要在实际应用中多总结，多练习，多思考，才有可能划分出高质量的非结构网格。

本章首先讲述 ICEM CFD 划分非结构网格的一般步骤以及划分方法，然后描述非结构网格划分的常用技巧，最后通过一系列的网格划分实例进行巩固。

13.1 非结构网格的一些概念

- 1、什么是非结构网格？
- 2、非结构网格与结构网格的区别
- 3、常见的非结构网格形式

13.2 非结构网格划分一般流程

13.3 ICEM CFD 划分非结构网格

14 混合网格与多区域

ICEM CFD 提供了一些很有用的专门工具用于混合网格及多计算域的创建。

11.1 一些概念

1、计算域

计算域是数学上的名词，比如函数的定义域。在 CFD 中，计算域表示的是需要计算的空间和时间区域。在几何模型中，体现了要参与计算的几何实体或网格模型。CFD 中的计算域类型很多，最常见的是流体域与固体域。另外还有多孔介质区域、层流区域等等。

2、流体域

流体域表示的是流体流动的连通区域。注意在 CFD 中，一个流体域之间必须是连通的。多个流体域可以不连通，也可以通过 interface 界面进行连通。

3、固体域

固体域是一种很特殊的计算域，在固体域中，只能进行传导计算。

4、多计算域

计算模型中计算域数量多于 1 个。

5、混合网格

计算域中同时存在结构网格与非结构网格。在结构模型非常复杂的情况下，为了降低网格数量，将模型相对简单的部分进行结构网格划分，而对于复杂部分，则采用非结构网格的划分。

6、Body

在 ICEM CFD 中并不存在实体的概念。ICEM CFD 中几何模型的最高一级是曲面 surface。所谓的 Body 的作用其实是定义计算域用的。只要用户定义了 body，则 ICEM CFD 在生成非结构网格的过程中，会以该 body 点为核心向外搜索，直至找到一个封闭的区间为止。

15 网格编辑

在 ICEM CFD 中网格生成之后，可以对质量不合格的网格进行编辑，使之达到质量要求。

16 综合实例

16.1 实例 1：子弹外流场

本例几何文件来自仿真论坛。子弹模型位于长方体形计算域内。创建其全 Hex 网格。几何如图 16-1 所示。图 16-2 为子弹的实体图，子弹由一半球及一个有凹陷的圆柱组合而成。由于子弹底部的圆柱凹陷，导致网格划分的复杂性。

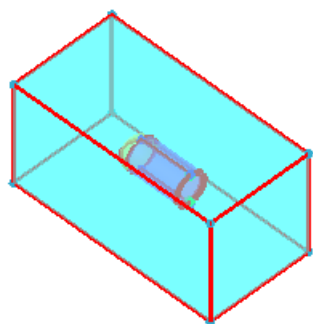


图 16-1 几何文件

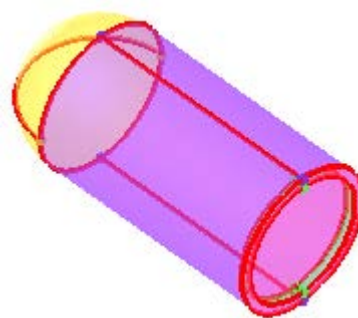


图 16-2 子弹实体

本例的分块方式很多，自底向上及自顶向下的块生成方式均可使用。其中自顶向下的方式中，分块方式也有多种，本例只讲述其中的一种最符合计算要求的分块方式。

Step 1: 导入几何文件

利用 File->Import Geometry->CATIA V4，选择几何文件 ex16_1.model，在弹出文件导入选项中采用默认设置，导入几何文件，并进行拓扑构建。打开树形显示菜单中的面显示，选择显示方式为 Solid 及 transparent。图形显示窗口中几何显示如图 16-1 所示。

Step 2: 构建初始 O 型块

进入 Blocking 标签页中的初始化块创建按钮，选择块类型为 3D Bounding Box，其它为默认设置。选择计算域沿 X 方向的两个 Face 构建 O 型块，如图 16-3 所示

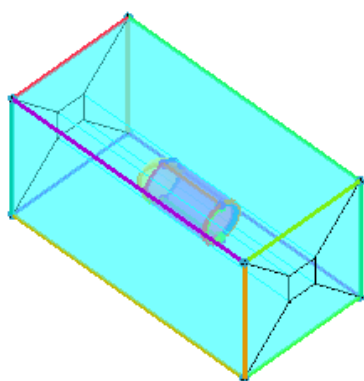


图 16-3 初始 O 型块

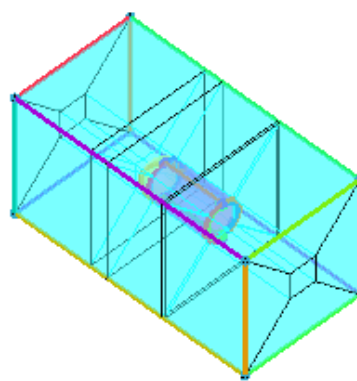



图 16-4 切割块

Step 3: 切割块

根据子弹外形，对块进行切割。利用块切割 ，切割方式采用指定点切割。最终切割结果如图 16-4 所示。

Step 4: 索引显示

为避免不相关的块对操作的影响，可以利用索引显示的功能。在树形菜单的 **Blocking** 项上点击右键，选择 **Index Control**。在弹出的对话框中如图 16-5 设置。关闭树形菜单中的计算域长方体面的显示。最终图形窗口显示如图 16-6 所示。

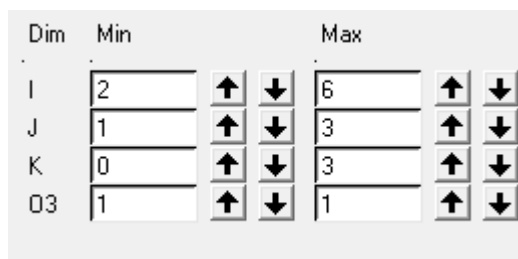


图 16-5 索引控制

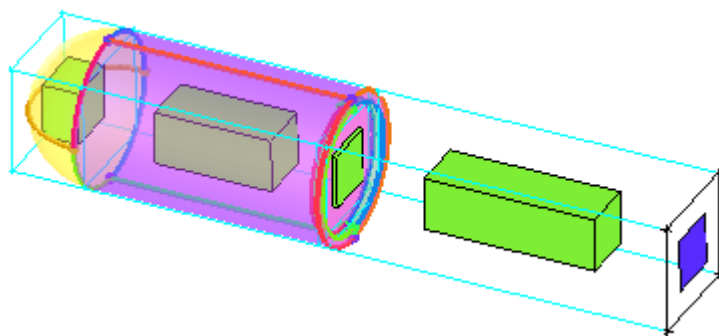


图 16-6 图形窗口显示

Step 5: O 型剖分

选择图 16-6 所示的 Face 及 block, 进行 O 型剖分。设置索引控制对话框中的 O3 为 1-2, 剖分后的图形如图 16-7 所示。

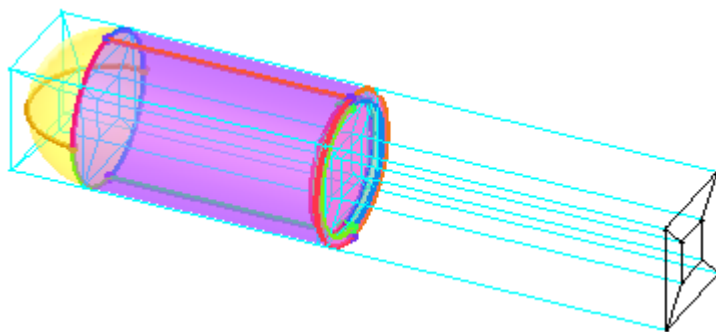


图 16-7 O 型剖分后的块

Step 6: 关联对齐

在同 16-6 所示的块与几何间进行 edge 关联对齐。其中子弹头部半球采用面关联。在子弹尾部的 edge 关联中,可以采用线到面映射的方式创建辅助线。关联后的块如图 16-8 所示。

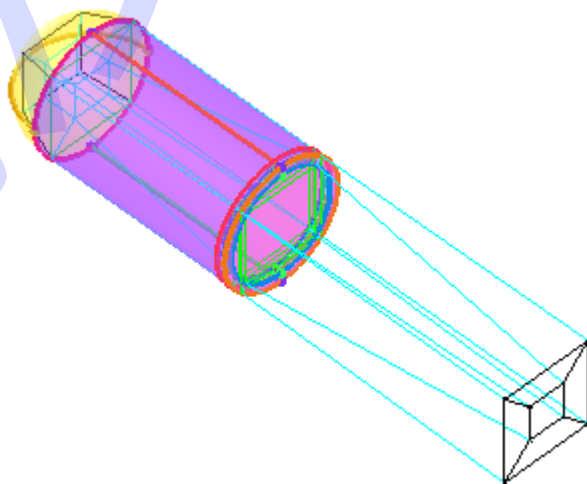




图 16-8 关联后的块

Step 7: 移动顶点

为调整块的质量,需要对一些顶点位置进行移动。采用 Blocking 标签页下顶点移动命令按钮 , 在弹出的数据对象窗口中选择设置位置命令按钮 。将子弹尾部 X 方向的块内部 O 块的顶点与子弹内部 O 型块顶点保持 YZ 坐标一致。移动顶点后的块如图 16-9 所示。

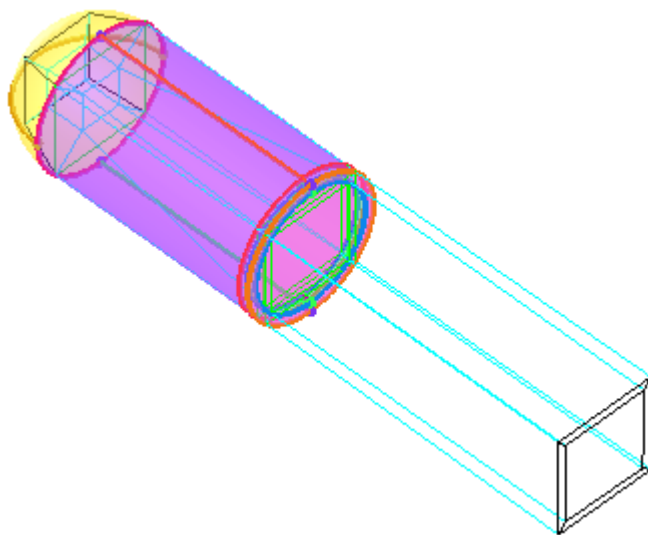



图 16-9 顶点移动后的块

Step 8: 删除多余的块

流体计算中,固体子弹部分是不需要的。因此需要将子弹实体关联的块删除掉。利用 Blocking 中删除块命令按钮 , 选择需要删除的块, 最终的块如图 16-10 所示。

注意子弹尾部存在凹坑，因此删除块的时候，与凹坑关联的块应当保留。如图 16-11 所示，黑色块是被删除的块，绿色块应当保留。

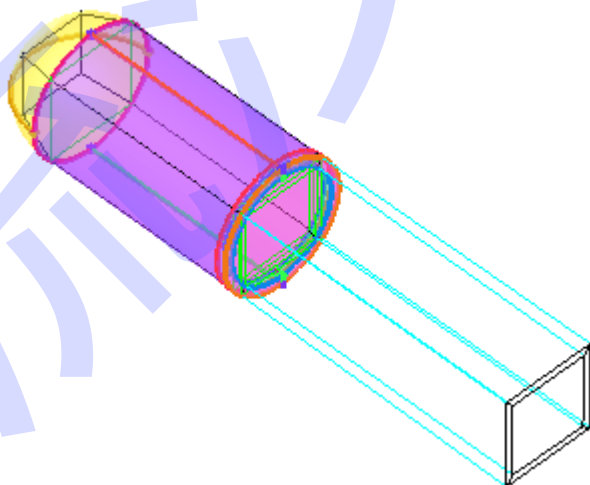


图 16-10 最终的内部块

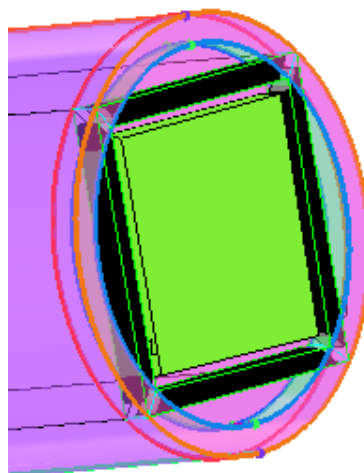


图 16-11 尾部块删除

Step 9: O 型剖分

由于尾部几何为圆形，因此还需进行一次 O 型剖分。选择图 16-12 所示的 face 及 block，进行 O 型切割。设置索引控制中的 O3 为 1-3，剖分后的块如图 16-13 所示。点击索引控制对话框中的 reset 按钮，最终的块如图 16-14 所示。

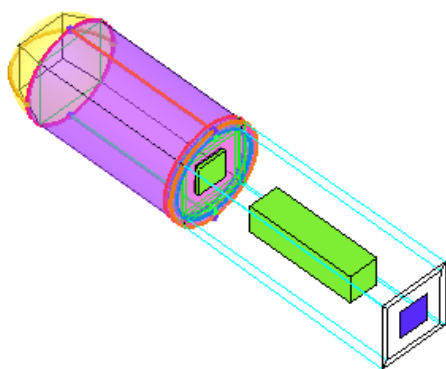


图 16-12 O 型剖分

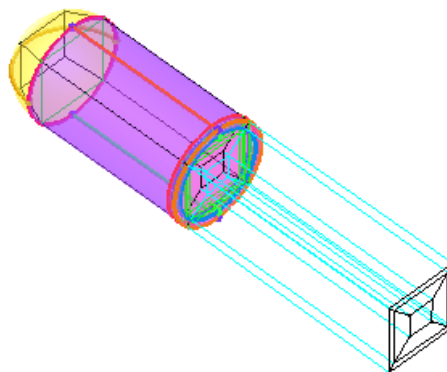


图 16-13 O 型剖分后的块

Step 10: 预览网格

设置最大网格尺寸为 0.5，更新块并预览网格。设置 edge 参数，构造边界层网格。同时利用 edge 参数设置网格尺寸，子弹表面网格如图 6-15 所示。

Step 11: scan plane 显示

为方便网格观察，在树形菜单的 pre-mesh 项点击右键，选择 Scan Planes，在弹出的对话框中选择#1 及#2，最终网格如图 6-16 所示。

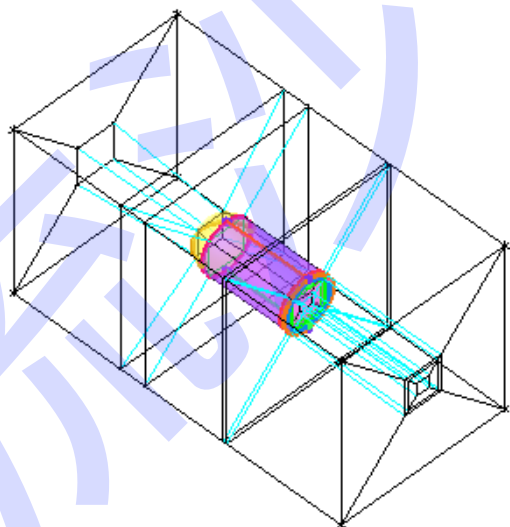


图 6-14 最终块

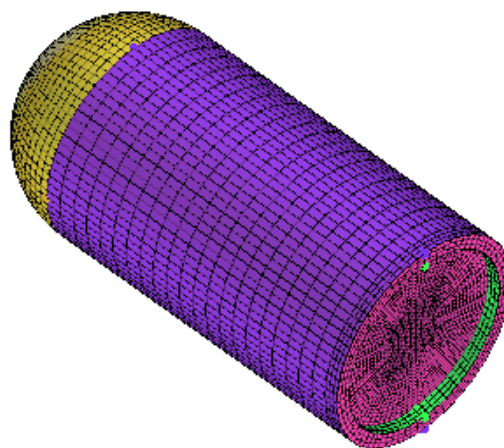


图 6-15 子弹表面网格

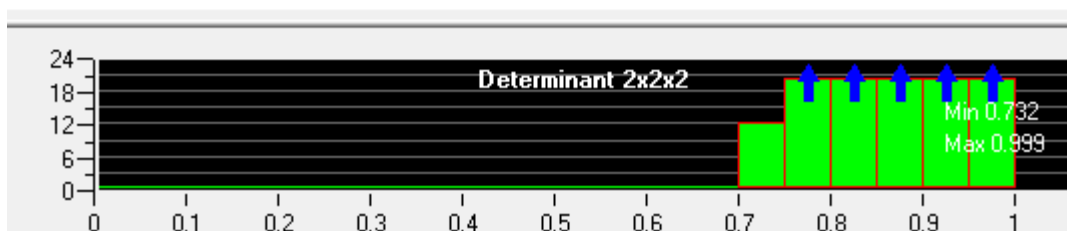
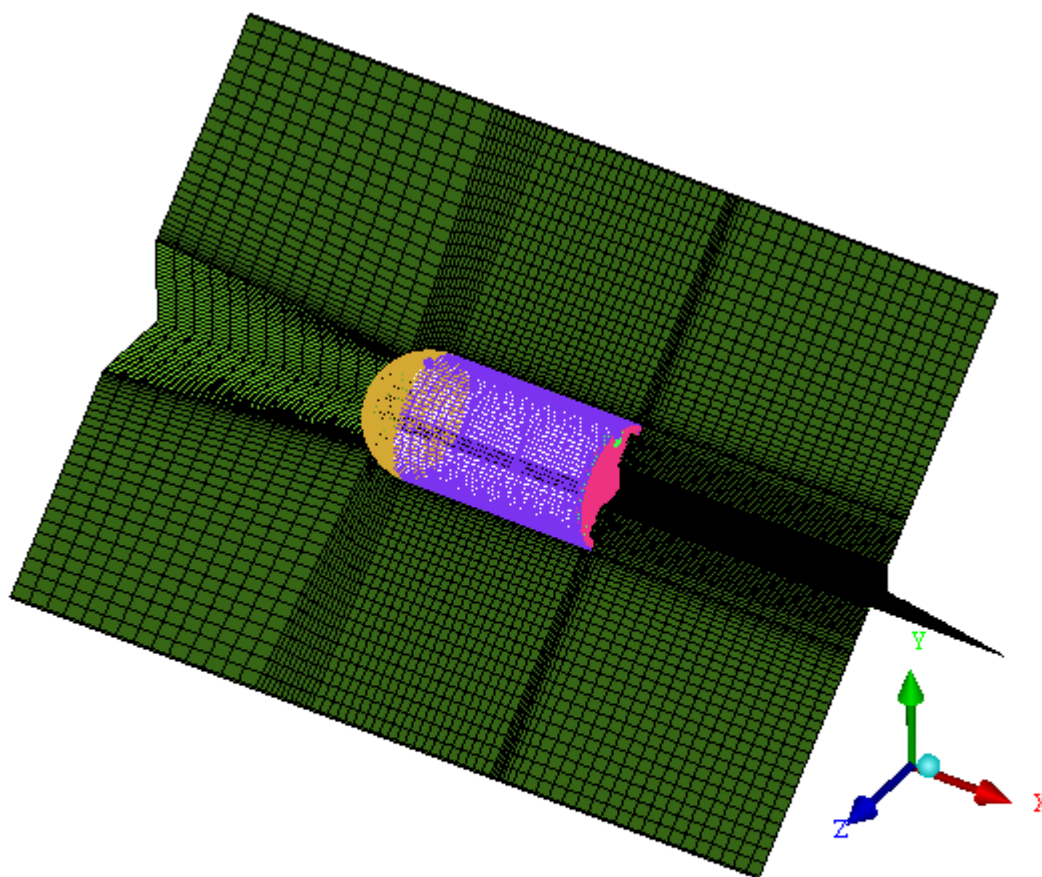


图 6-16 最终网格

此时，可以点击树形菜单 Part 中的 W5LOC1 前的选项，查看完整网格。

Step 12: 总结及扩展

本例具有一定的典型性，在外流场网格划分中经常会采用相类似的分块策略。灵活运用 O 型网格剖分是本例成功的关键。在一些外流场网格划分过程中，经常利用 O 型网格，主要思路是利用 O 型网格产生边界层网格的便利性，同时 O 型网格与边界层扩展方向也是相一致的。

当然，本例的分块方式不止这一种，可以尝试采用自底向上块生成策略，利用块的旋转、面的拉伸、3D 块的顶点产生等方式生成需要的块。根据流场分布特性，本例的块可以进一步改善，保证子弹外部有完整的边界层网格。为达到此目的，可以进行外 O 型剖分。