

2

ANSYS ICEM CFD 基础

从本章开始，我们将正式开始学习 ANSYS ICEM CFD。通过本章的学习，读者将了解 ANSYS ICEM CFD 强大的网格生成能力，熟悉其操作界面、网格生成流程、软件中的基本概念和常用词汇。

知识要点：

- ANSYS ICEM CFD 网格生成优势
- ANSYS ICEM CFD 操作界面
- ANSYS ICEM CFD 鼠标的基本操作
- ANSYS ICEM CFD 常用词汇
- ANSYS ICEM CFD 网格生成流程

2.1 认识 ANSYS ICEM CFD

ANSYS ICEM CFD 是一款功能强大的前处理软件，不仅可以为主流的 CFD 软件（如 FLUENT、CFX、STAR-CD、STAR-CCM+）提供高质量的网格，而且还可以完成多种 CAE 软件（如 ANSYS、Nastran、Abaqus、LS-Dyna 等）的前处理工作。ANSYS ICEM CFD 是目前市场上最强大的六面体结构化网格生成工具。随着 ANSYS ICEM CFD 在中国的普及和应用，它的网格生成优势越来越被业界所认可，越来越多的工程人员选择 ANSYS ICEM CFD 生成网格。如图 2-1 所示为笔者使用 ANSYS ICEM CFD 生成模型飞机的外流场网格，整个工作耗时约 8 个小时。在后面的学习中我们将 ANSYS ICEM CFD 简称为 ICEM。

2.1.1 ANSYS ICEM CFD 的特点

ICEM 具有如下特色功能：

- （1）相比其他前处理器，操作界面友好。
- （2）丰富的几何接口。支持 CATIA、Pro/ENGINEER、Unigraphics、SolidWorks、IDEAS 等直接接口；支持 IGES、STEP、DWG 等格式文件导入；支持格式化的点数据。

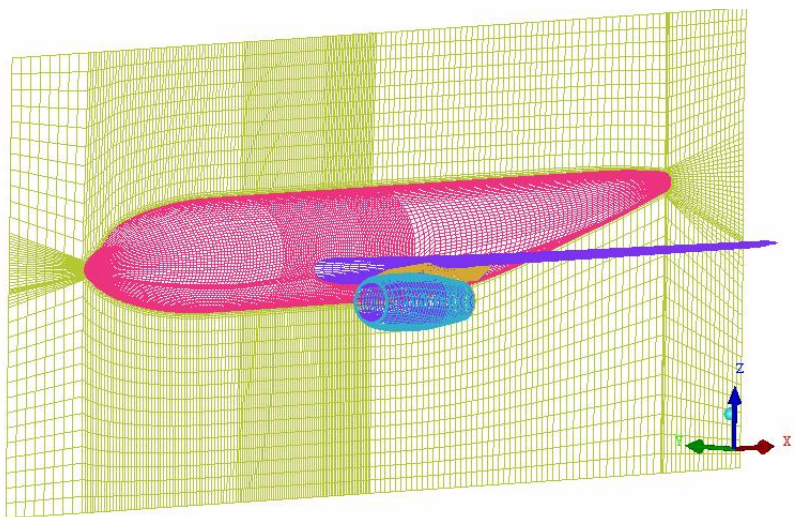


图 2-1 使用 ICEM CFD 生成模型飞机外流场网格

(3) 完善的几何修改创建功能。能够快速检测修补几何模型中存在的缝隙、孔等瑕疵；可以方便地在模型中生成必需的几何元素（点、线、面）。图 2-2 所示为单独使用 ICEM 生成的几何模型，显示了 ICEM 强大的几何处理能力。

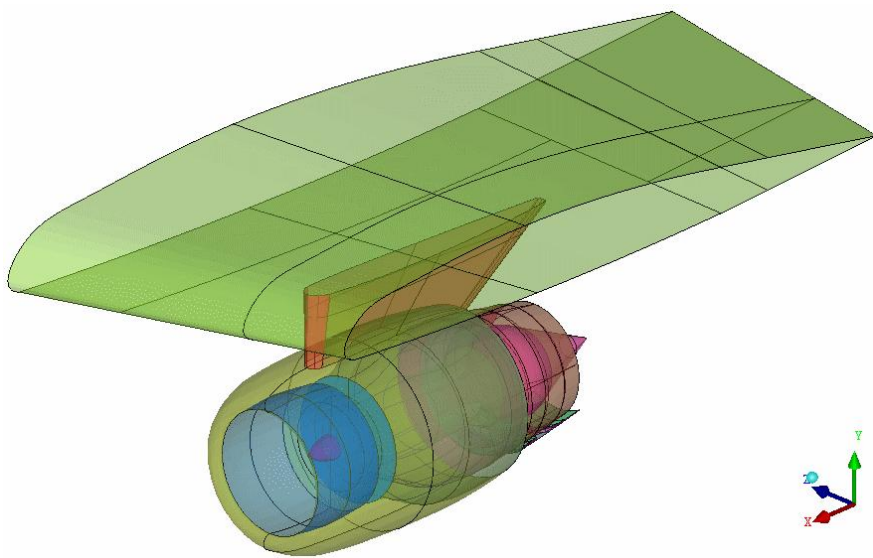


图 2-2 单独使用 ICEM 创建的几何模型（引自 ANSYS 官方培训教程）

(4) 忽略细节特征设置。自动忽略几何缺陷及多余的细小特征。

(5) 几何文件和块文件分别存储。当几何模型轻微变化时，只需要略微改变映射关系就可以完成网格生成工作。

(6) 网格装配。可以轻松实现不同类型网格之间的装配，尤其对于拓扑结构复杂的模型可以大大减少工作量。如图 2-3 所示为使用 ICEM 装配生成的网格。

(7) 四/六面体混合网格。在连接处自动生成金字塔网格单元，如图 2-4 所示。

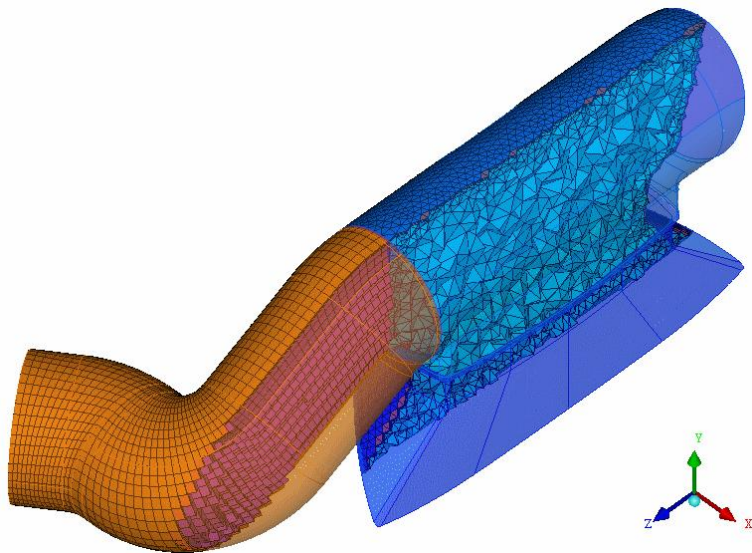


图 2-3 ICEM 装配生成的体网格（引自 ANSYS 官方培训教程）

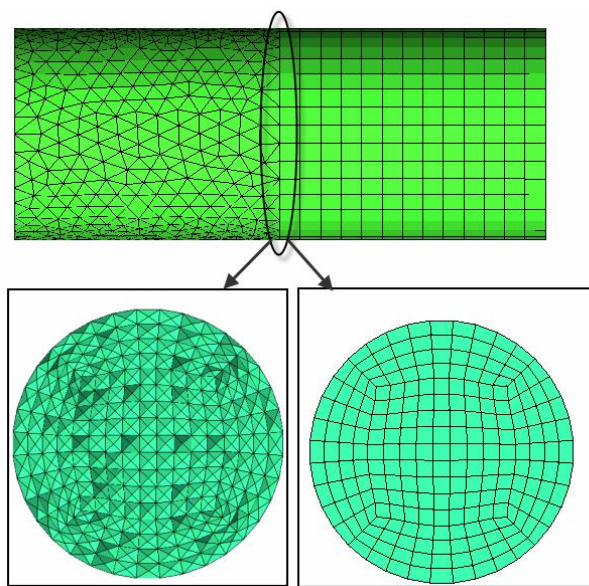


图 2-4 四/六面体混合网格示意

（8）先进的 O 型网格技术。O 型网格及其变形 C 型网格和 L 型网格，可以显著提高曲率较大处网格的质量，对外部绕流问题尤为适用。图 2-5 所示为使用 C 型网格生成的 NACA0015 翼型外流场网格。

（9）灵活建立拓扑结构，可以自顶向下建立，类似于雕塑过程；也可以自下向上建立，类似于盖房子。

（10）快速生成以六面体网格为主的网格（Hex Core），如图 2-6 所示。

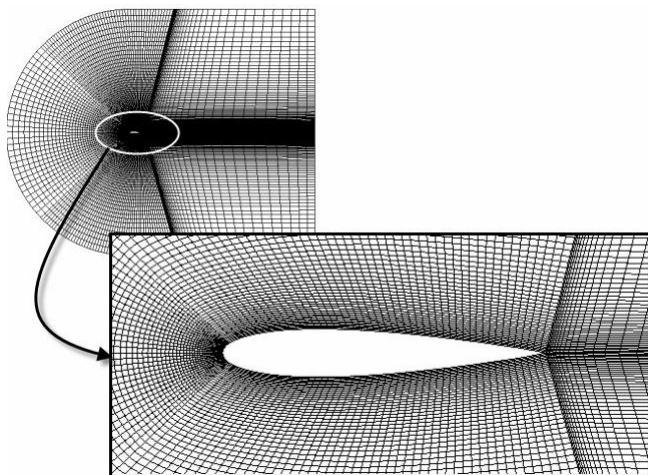


图 2-5 NACA0015 外流场网格

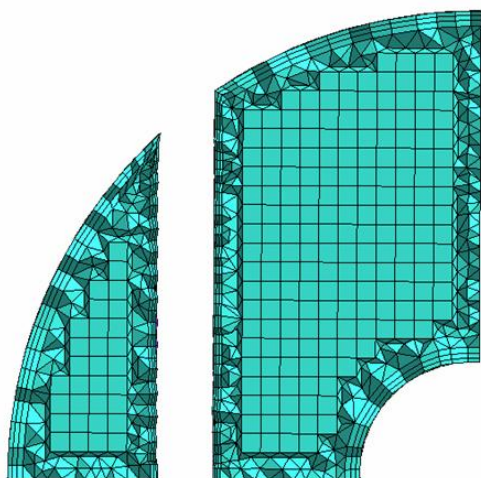


图 2-6 快速生成六面体为主的网格（引自 ANSYS 官方培训教程）

（11）多种标准标定网格质量，可自动对整体网格光顺处理，坏单元自动重划，可视化修改网格质量。

（12）拥有超过 100 种的求解器接口，包括 FLUENT、CFX、CFD++、CFL3D、STAR-CD、STAR-CCM+、Nastran、Abaqus、LS-Dyna、ANSYS 等。

2.1.2 ICEM 文件类型

ICEM 文件格式主要有 prj、tin、blk、uns、fbc、par、rpl、jrf 八种，它们的关系如图 2-7 所示。

- prj 文件为工程文件，所有其他文件都与它相关联，可以通过打开 prj 文件打开所有与之相关的文件。
- tin 文件为几何文件，包含有几何模型信息、材料点的定义、全局以及局部网格尺寸定义。

- blk 文件为块文件，保存着块的拓扑结构。
- uns 文件为网格文件。
- fbc 文件保存有边界条件、局部参数等信息。
- par 文件保存有模型参数等信息。
- rpl 文件用于记录用户的操作信息。
- jrf 为 ICEM 的脚本文件，可用于批处理和二次开发。

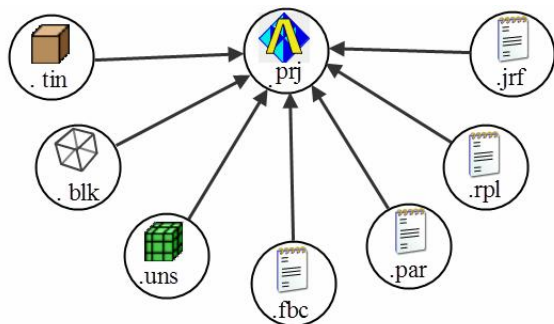


图 2-7 ICEM 文件格式

各种类型的文件分别存储不同的信息，可以单独读入或者导出 ICEM，以此提高使用过程中文件的输入输出速度。

2.2 熟悉 ICEM 的操作界面

如图 2-8 所示，ICEM 操作界面主要由菜单栏、工具栏、标签栏、选择工具栏、数据输入窗口、主窗口、模型树、信息窗口、柱状图窗口等组成。下面将依次介绍各个部分的作用。读者也可以直接跳至第 3 章，在学习的过程中逐渐熟悉各个窗口的功能。

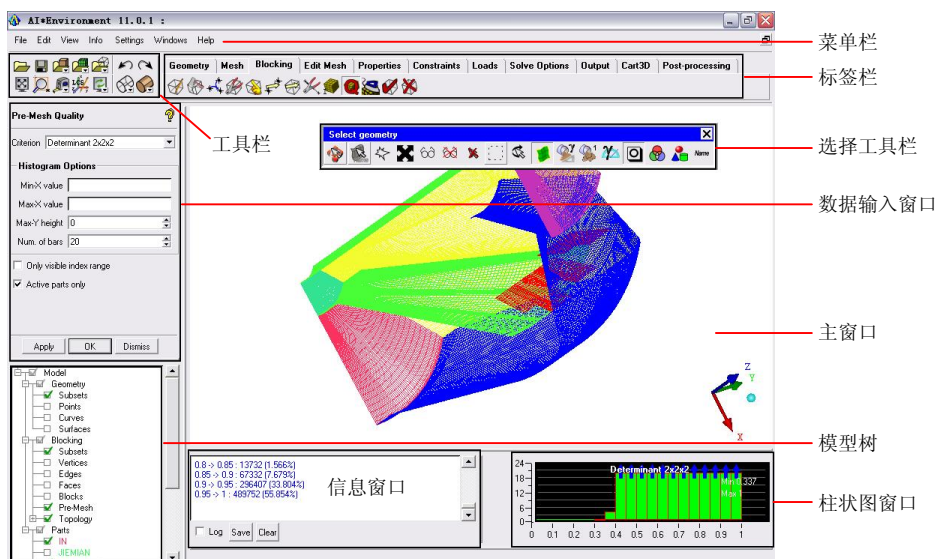


图 2-8 ICEM 操作界面

菜单栏主要是一些模型的宏观操作,比如打开文件、设定工作目录、控制模型的显示角度、设定显示精度和显示背景、查看几何信息和网格信息等。下面简要介绍几个常见的操作。

(1) 设定工作目录。设定工作目录是每次使用 ICEM 的第一个操作,方便文件的保存和读取。设定方法是:File→Change Working Dir,选择工作目录。

(2) 导入几何模型。ICEM 支持多种 CAD 软件模型文件的直接导入,以航空中常用的三维建模软件 CATIA 为例,对单个零件,可以将其保存为*.model 文件,通过 File→Import Geometry→CATIA V4 导入模型;对于装配件,可以将其保存为*.igs 文件,通过 File→Import Geometry→STEP /IGES 导入模型。

(3) 查看网格信息。Info→Mesh Info,查看网格的单元数和节点数;Info→Mesh Report,生成网格报告,包含网格数目、质量等信息。

(4) 使用小工具。Info→Toolbox,可以使用计算器、记事本、单位换算等小工具,如图 2-9 所示。

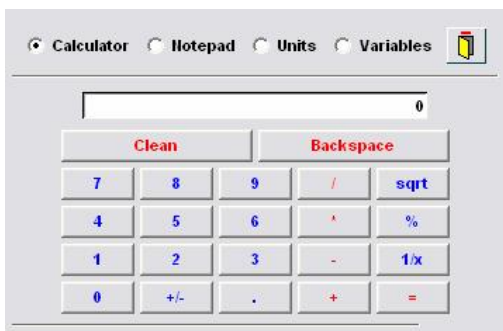


图 2-9 ICEM 中自带的小工具

(5) 设定主窗口背景。Settings→Background Style,数据输入窗口显示如图 2-10 所示,图中所示设置将使背景变为从上到下蓝色到白色渐变的效果。

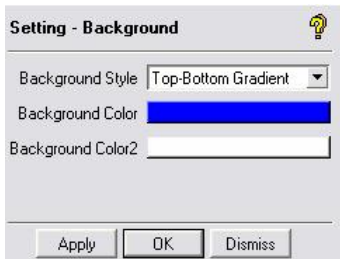







图 2-10 设定主窗口背景

(6) 获取帮助。选择菜单栏中的 Help 即可。在数据输入窗口中,单击问号的图标也可以迅速地获取与之相关的帮助,如图 2-11 所示。

工具栏中主要集成了一些常用的操作。

(1)  为打开工程文件,  为保存工程文件。

(2) 通过  及其下拉菜单可以打开、关闭和保存几何文件,  和  同理,可以打开、关闭或保存网格文件和块文件。

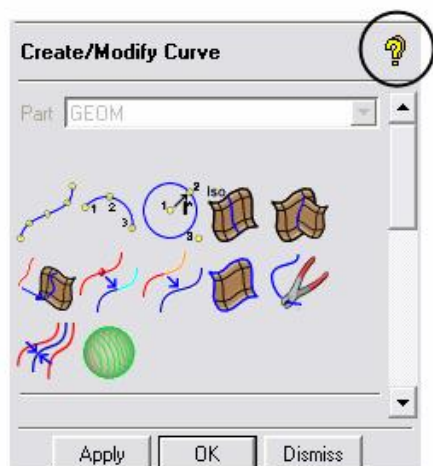









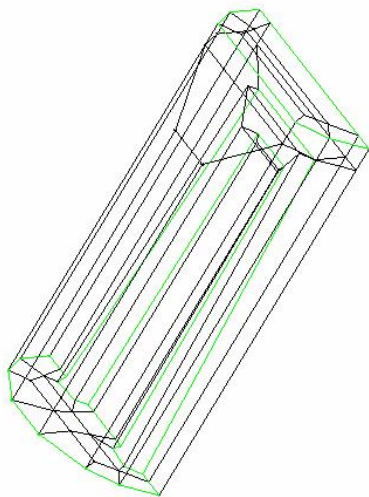
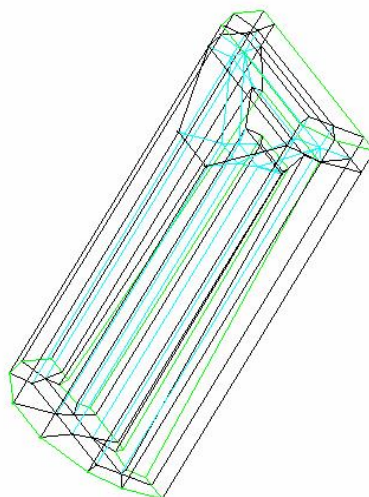


图 2-11 在数据输入窗口中获取帮助

- (3)  为放大按钮。
- (4)  为测量按钮，其下拉菜单中有  (测量两点间的距离)、 (测量角度) 和  (测量某点的具体坐标)。
- (5)  控制块的显示，其中  为不显示内部边， 为显示内部边，如图 2-12 所示。
- (6)  控制面的显示。



(a) 不显示块内部边



(b) 显示块内部边

图 2-12 控制 Edge 显示示意

标签栏内主要是一些基本的操作，因为本书主要介绍网格生成，因此主要介绍几何标签栏 (Geometry)、网格标签栏 (Mesh)、块标签栏 (Blocking)、网格编辑标签栏 (Edit Mesh) 和输出标签栏 (Output)，如图 2-13 所示。



(a) 几何标签栏



(b) 网格标签栏



(c) 块标签栏



(d) 网格编辑标签栏



(e) 输出标签栏

图 2-13 标签栏图示

其中几何标签栏主要用来创建修改几何模型；网格标签栏主要用来定义非结构化网格的尺寸、网格类型和生成方法等；块标签栏主要用于生成结构化网格时块的创建、划分修改等操作；网格编辑标签栏主要用于检查网格质量、修改网格、光顺网格等针对网格的操作；输出标签栏主要用于将网格输出到指定的求解器。

数据输入栏主要用于网格生成过程中数据的输入以及元素的选择等操作。

主窗口主要用于显示几何模型、块、网格。选择工具栏主要控制选择的方式方法等，如图 2-14 所示为对几何进行操作时弹出的选择工具栏，其中 为在选择操作模式和视图模式下转换； 为选择全部的几何元素； 为选择可见的几何元素； 为通过 Part 选择几何元素； 按钮按下选择过程中可以选择点元素，弹起表明不可选择点元素，同理 、 和 控制线、面和体的选择。



图 2-14 几何操作选择工具栏

模型树窗口主要控制几何、块、网格等的显示。如图 2-15 所示，模型树中主要有 Geometry、Mesh、Blocking、Local Coord Systems 和 Part 等子目录，主要控制几何模型、网格、块、局部坐标系和 Part 的显示。如果 Geometry 子目录下的 Surface 未勾选，则不显示几何面元素。

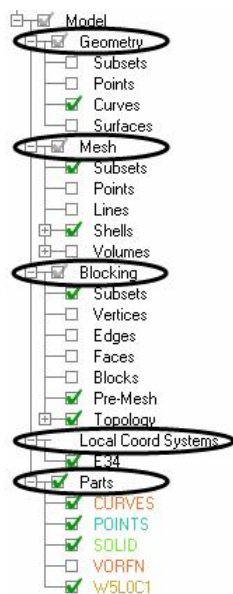


图 2-15 模型树窗口

信息窗口用于显示操作过程中一些必要的提示、报错信息等。

柱状图窗口用柱状图表示网格的质量及分布。


2.3 ICEM 基础知识

2.3.1 鼠标和键盘的基本操作

ICEM 是一个操作性很强的软件，对鼠标的依赖性比较高，其基本操作如表 2-1 所示。

表 2-1 鼠标的基本操作

| 基本操作 | 操作效果 |
|-----------|----------|
| 单击左键 | 选择 |
| 单击中键 | 确定 |
| 单击右键 | 取消 |
| 按住左键并拖动 | 旋转 |
| 按住中键并移动 | 平移 |
| 按住右键并前后移动 | 缩放 |
| 按住右键并左右移动 | 在当前平面内旋转 |

同时, ICEM 中有选择模式和视图模式。当鼠标为十字时表明处于选择模式, 用于选择几何、网格等元素; 当鼠标为箭头时表明处于视图模式, 用于观察控制几何网格等元素的显示。在处理复杂问题时, 经常需要在两种模式之间转换, 此时可以使用选择标签栏中的, 也可以使用快捷键 F9 实现两种模式的快速切换。

当处于选择模式时, 按键盘中的 V 键将选择所有可视的待选择元素, 按键盘中的 A 键将选择所有的待选择元素。

2.3.2 ICEM 基础词汇

本节主要介绍 ICEM 中几何模型、块、网格中各个元素的定义, 便于后面内容的叙述。

如图 2-16 所示, Geometry 为几何模型, Surface、Curve、Point 分别为构成 Geometry 的面、线、点; Block 为几何模型对应拓扑结构, Face、Edge、Vertex 分别为构成 Block 的面、线和点, 而且 Geometry 和 Block 之间有对应关系, 如图 2-17 所示。

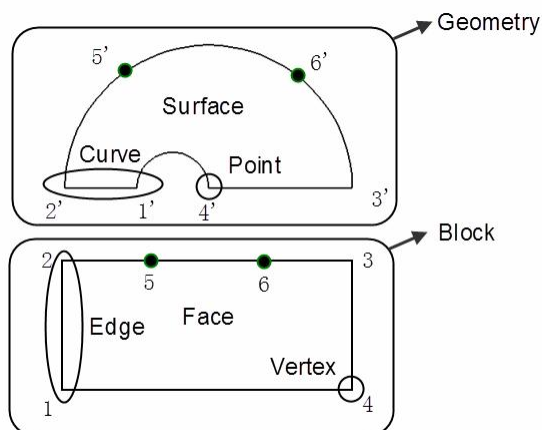


图 2-16 ICEM 基础词汇介绍 (Geometry 和 Block)

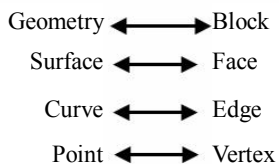










图 2-17 Geometry 和 Block 之间的关系

Body 在非结构化网格生成过程中, 用于定义封闭的面构成的体, 定义不同区域的网格。

网格由网格单元 (Element) 构成, 表 2-2 所示为 ICEM 可生成的网格单元类型。

Part 是 Geometry 和 Block 的详细定义, Part 中可包含几何元素, 也可包含 Block。合理定义 Part 会大大减少数值计算中边界条件定义的工作量, 便于控制显示以及创建不同的区域等, 这些内容在后面的学习中会有所体现。

表 2-2 网格单元基本类型

| 网格单元类型 | 图示 | 备注 |
|---------|---|--------------------------------|
| NODE |  | NODE 的总数常用来表示网格的规模 |
| LINE_2 |  | 网格中线的基本构成元素 |
| TRI_3 |  | 面上的三角形网格单元 |
| QUAD_4 |  | 面上的四边形网格单元 |
| TETRA_4 |  | 四面体网格单元 |
| HEXA_8 |  | 六面体网格单元 |
| PYRA_5 |  | 五面体网格单元, 结构化网格和非结构化网格之间的过渡网格单元 |
| PENTA_6 |  | 三棱柱体网格单元 |

2.3.3 ICEM 显示控制

对于复杂的模型, 合理控制 Geometry 和 Block 的显示便于观察和选择。我们以控制面的显示为例, 右击 Model→geometry→Surface, 如图 2-18 所示。其中 1 中表示面的显示方法: Wire Frame (型线显示)、Solid (实体显示)、Solid & Wire (实体和型线显示)、Grey Scale (灰度显示) 和 Transparent (透视图), 不同的显示效果如图 2-19 所示。

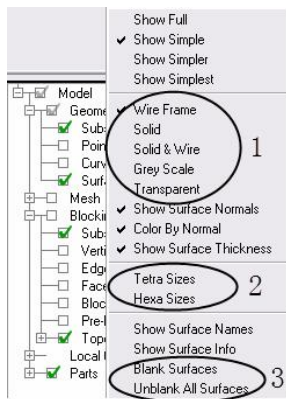


图 2-18 控制面的显示

图 2-18 中的 2 用来示意 Surface 附近网格的大小。Tetra Sizes 显示四面体网格大小, Hexa Sizes 显示六面体网格大小。图 2-18 中 3 的 Blank Surface 用来隐藏一些阻碍选择的面, 如图 2-20 所示, 隐藏了圆柱的侧面, Unblank All Surface 取消隐藏, 显示所有的面。



注意

该操作并没有删除面, 只是将面隐藏。

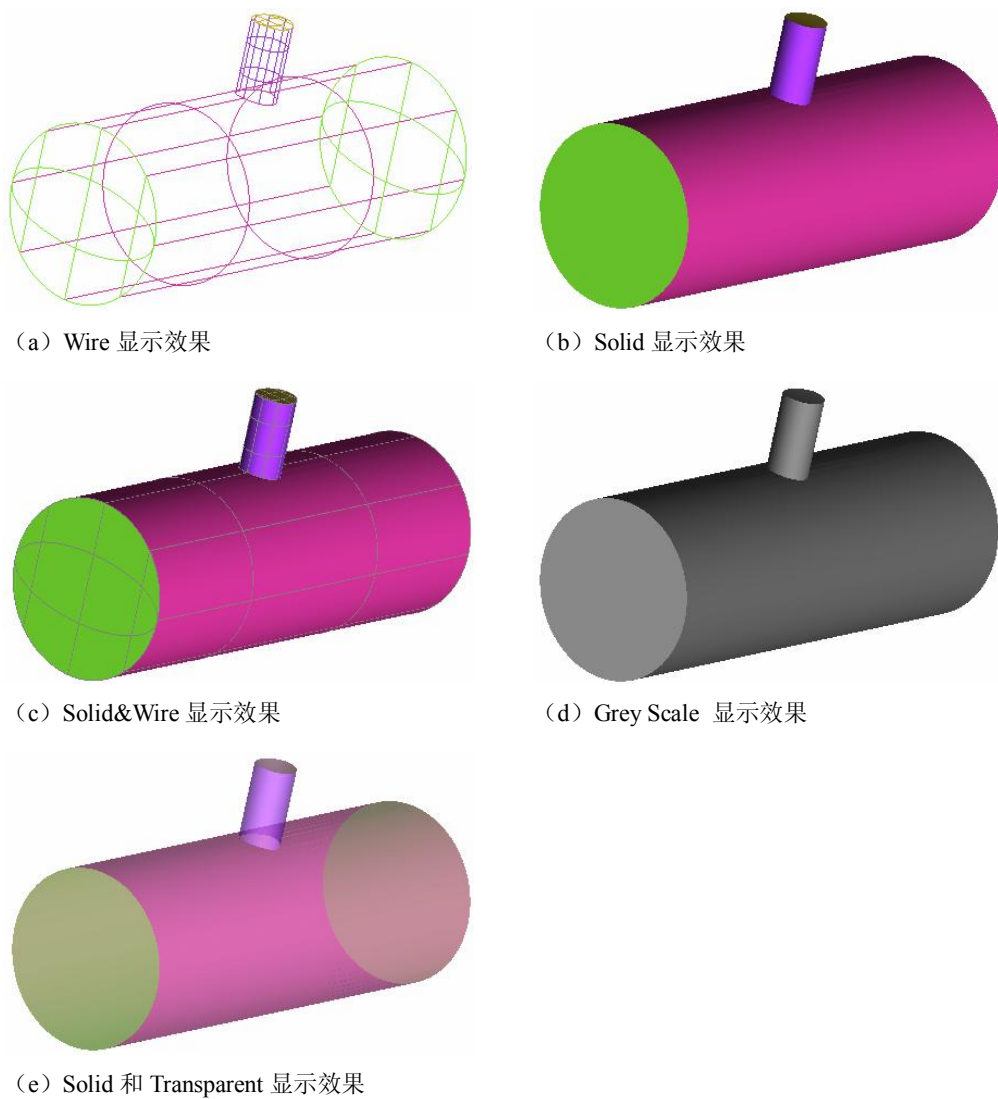


图 2-19 显示控制示意

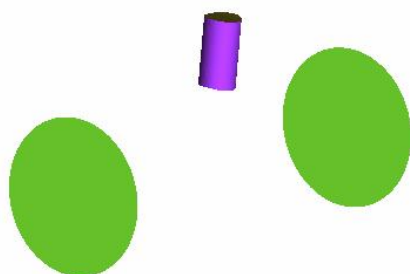


图 2-20 隐藏面的操作

上面只是列举了 **Surface** 的显示控制，对于其他几何元素或者 **Block**、网格都有相似的功能，希望读者在后面的学习中理解掌握。

2.3.4 ICEM 网格生成流程

如图 2-21 所示为 ICEM 生成网格的基本流程。

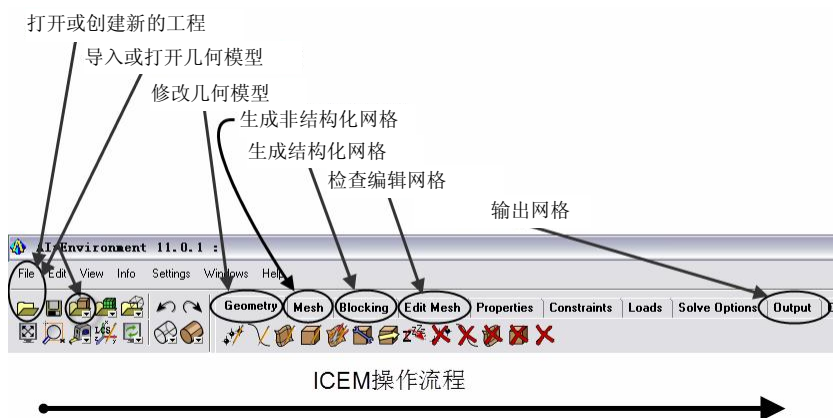


图 2-21 ICEM 网格生成基本流程

- (1) 设定工作目录，打开或创建新的工程。
- (2) 导入几何模型，修改并简化，定义 Part 名称。
- (3) 对于非结构化网格需要定义网格尺寸，设定网格的类型和生成方法及其他参数，计算生成网格；对于结构化网格，创建并划分 Block，建立映射关系，设定节点参数，生成网格。
- (4) 检查并编辑网格。
- (5) 输出网格。

2.4 本章小结

本章主要对 ICEM 的一些基础知识进行了汇总和概述。通过本章的学习，读者会对 ICEM 有一定的了解，熟悉基本操作界面和操作，熟悉基础词汇和网格生成流程。下面将通过具体的实例讲解如何使用 ICEM 来生成网格。