

高效六面体网格剖分工具 CUBIT 综述

高端建模

CUBIT 是一个高阶的六面体网格快速生成工具，生成用于 CFD 和 FEA 分析所需的结构化体网格和面网格。它的主要特点是给复杂，环环相扣的装配体划分大型六面体网格。CUBIT 网格生成算法包括四边形和三角形铺设，二维和三维映射，六角体扫略和多面扫略，四面体网格，以及各种特殊用途的原语。CUBIT 包含许多算法为了控制和自动生成网格过程，比如自动方案的选择，间隔匹配，分组扫略和扫略验证等，还包括国际上的最先进的平滑算法。

灵活的几何体建模

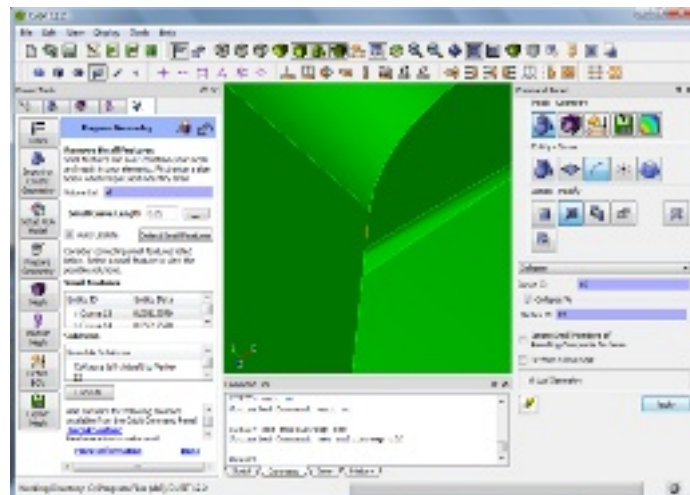
CUBIT 的优势之一是它能够从各种 CAD 软件包导入几何体并且划分网格。CUBIT 目前直接将 ACI, Granite, 以及 CATIA 几何核心程序集成在其代码库中，允许直接在 CUBIT 图形界面中处理原生的 CAD 几何格式。这往往降低了几何转换的错误和异常。CGM 还拥有在桑迪亚国家实验室开发的基于小平面几何内核可以用于重新生成网格或者编辑旧的网格文件或创建由三角面定义的模型。此外，CUBIT 已开发了全面的虚拟几何结构特征的能力，允许局部组合和分割几何体，而无需修改底基本原始的几何表征。用户可以选择忽略，清理，或增加新的特征，以更大的灵活性的网格算法，生成质量更好的单元模型。

直观的界面环境

CUBIT 既包括了方便的具有大量的命令语言命令行界面，也有漂亮的图形用户界面环境。GUI 是基于跨平台的 QT 的标准，这使得相同的外观和感觉上支持所有的平台。还包括一个图形环境，根据 VTK 的图形标准，它已经对显示和处理的有限元数据和几何体进行了优化。快速，交互式操作对处理数以千计的部件或百万个单元模型是巨大的优势。

几何建模

CUBIT 内置了许多几何体创建工具帮助用户自由地创建几何体。CUBIT 也内置了多种几何数据接口，当用户导入几何模型时，CUBIT 能在许多情况下自动清理无效的几何并且做拓扑运算。可以折叠小曲线和曲面，或延展它们来填补空白。您可以将几何图元添加到模型中。你可以做几何布尔运算。为了便于网格生成，可以利用各种工具来分割几何体。CUBIT 强大的印刻和合并几何体功能实现了对复杂装配体的保形网格划分。

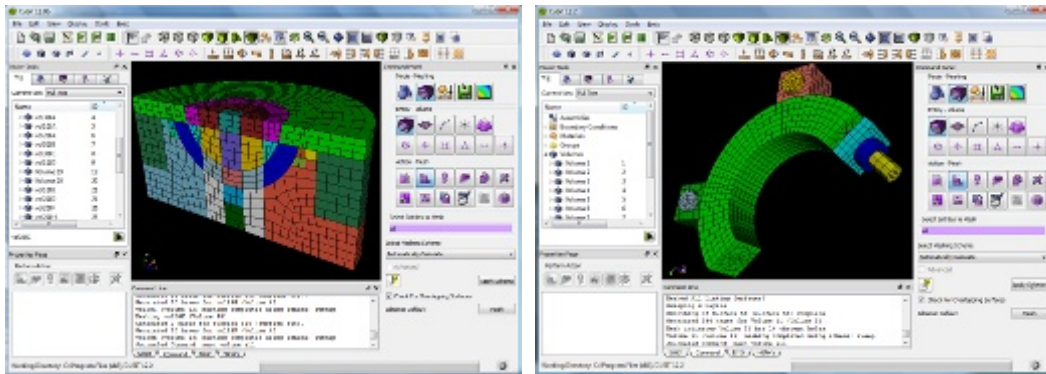


网络的生成策略

CUBIT 有以下几种网格算法：

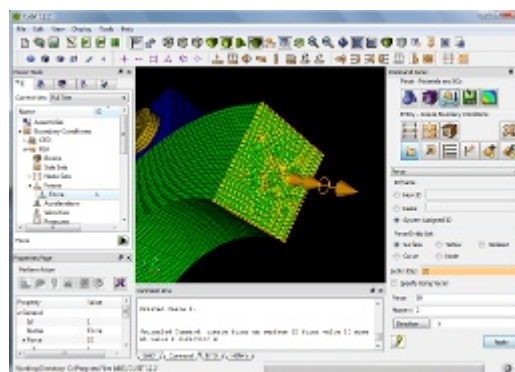
- 二维和三维映射和次映射网格
- 一对一和一对多的扫略
- 铺设推进阵面法四边形网格
- 推进阵面法三角形网格
- Delaunay 四面体网格（GSH3D 由 Simulog 和 INRIA）
- 六面体网格基本元

CUBIT 在许多情况下可以自动选择一个合适的六面体或者四边形网格算法。它也可以为你设置边的网格尺寸。网格划分后，可以检查一系列的网格质量指标。您可以使用拉普拉斯算子，重心面积拉，等位，雅可比优化，条件数优化，Winslow，或解开程式使网格平滑。您还可以细化网格，包括全局细化和局部细化能力。



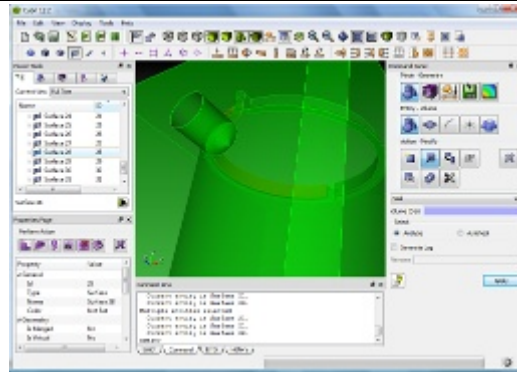
边界条件

CUBIT 支持边界集，节点集和单元块，它可以用于材料，分配，通用载荷和其他边界条件。CUBIT 也支持 ABAQUS, FLUENT, LS-DYNA, NASTRAN, 和 Patran 的边界条件。在图形窗口中，边界条件可以可视化。



用户界面

用户界面是跨平台的并且使用 Qt 建成。界面的主要部分是图形窗口。它显示该模型并允许你与它交互。图形窗口周围有几个组件。第一个是右侧的层次面板来执行所有的 CUBIT 命令。其次，在左侧，是对象树和属性页。沿着树，还有一些有力的工具和项目向导。该项目面板可以用来指导你通过几何清理和划分网格过程。在底部，是命令控制台，可用于手动输入命令。它还显示命令文本和发生任何警告或错误的输出。以及有一个 Python 脚本选项卡。CUBIT 带有一个集成的 HTML 帮助浏览器。



输入输出

CUBIT 支持以下格式:

ACIS sat, sab 格式几何输入输出

Pro/E 格式几何输入输出

中性格式, 如: STEP, IGES 格式

Facet 格式, 如: STL, AVS, facet 格式

Exodus II 原始网格格式

Abaqus, Patran 等网格和边界条件的输出

NASTRAN BDF, IDEAS Universal, Dyna 3D, Fluent: 只能网格的输出

翻译器: Patran, Abaqus, Pro/E, IDEAS, Matlab, ANSYS 等。

操作系统

CUBIT 适用于:

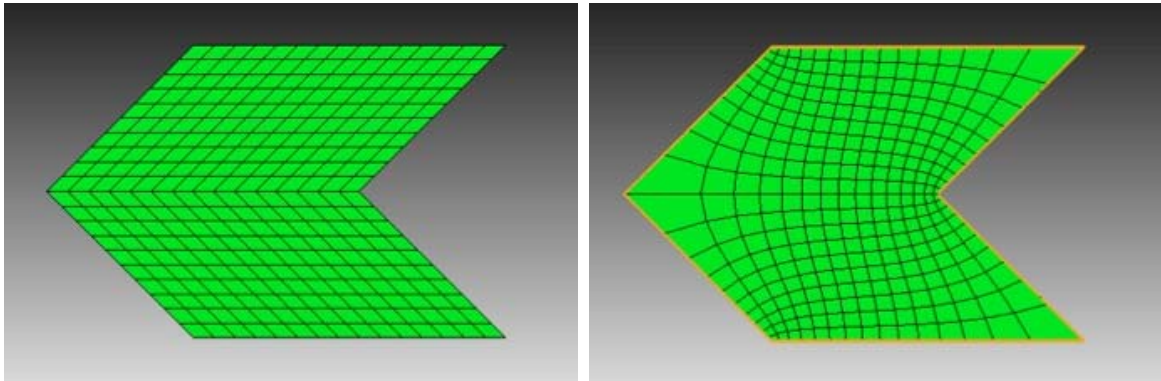
- Windows XP, Vista, 7 32-bit or 64-bit
- Linux glibc 2.5+ 32-bit or 64-bit (e.g. Redhat 5, Fedora 6, SUSE 10.2, Debian 5, Ubuntu 7.04)
- Mac OS X10.5+ (32-bit only)

CUBIT 13.1 的新增功能

网格划分

调整边界正交命令

调整边界正交，是一个新的网格操作，适用于平滑的曲线和表面的节点，同时在边界上实现近似垂直网格边界。



这些图片说明调整边界正交命令的效果。左边是初始网格，右边是应用该命令后的网格。

新的扫描网格选项

扫略仍然是 CUBIT 的主要算法，其中大部分任务的体网格利用这个重要的功能。此版本已加入一些新的选项，让用户更好地控制六面体网格。以下列出了主要的新特性：

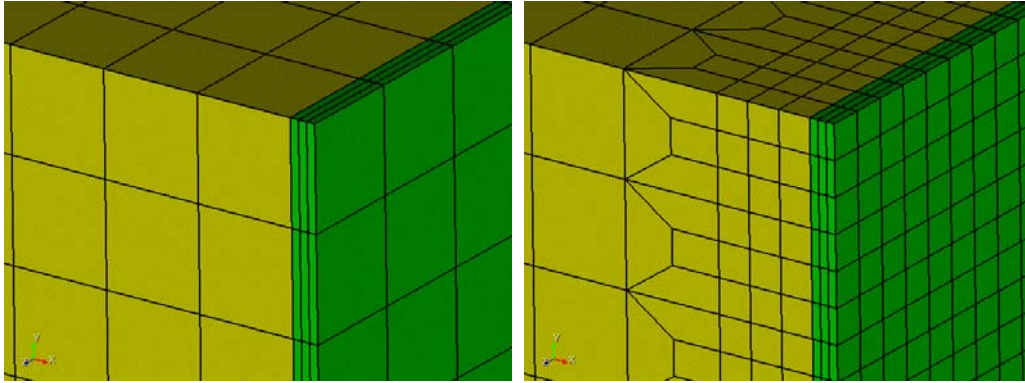
1. 传播偏置：新 `propagate bias` 选项试图通过从源面的曲线到目标面的曲线的传播偏置网格方案保留源偏置。
2. 平滑扫描：为了确保足够的网格质量，可选的平滑方案可重新定位内部节点。扫描工具允许平滑五种类型：线性，智能仿射，残余，温斯洛和自动。这些平滑的方案在文档中有详细描述。
3. 扫略变换：扫略网格通过源面和目标面之间的投影点利用仿射变换，将它们连接，形成六面体扫掠网格来创建的。用来计算仿射变换的方法是使用扫描变换选项设置。在 CUBIT 以前的版本中，一个广义最小二乘近似用于计算节点位置，它有时对于简单的变换扫略表现的比较差。在 CUBIT 13.1 中，我们提出一个明确的变换选项，将执行源和目标表面之间的简单插值。虽然最小二乘保持默认的扫描变换方法也是最普遍的，如果你在简单的线性变换扫略体中得到不佳的结果，可以考虑使用变换。
4. 自动平滑目标：通过此选项在体扫略之前打开目标表面进行网格平滑，而不是依靠扫描转换放置节点。

重合四边形检查改善

拓扑检查重合四边形命令检查在相同的位置的节点，无论他们是相同四边形的部分，或不同的网格块。换言之，不是只比较用来定义两个四边形的实际节点，而是相邻网格的重合节点也要检查。以前的操作，将会在两个相邻的未合并块中检测没有重合的四边形。

定向细化

通常情况下，模型的是非常薄的地区，如垫片或膜，毗邻大块状区域。为了达到良好的单元在薄部分的长宽比，在厚的区域的单元大小可能需要过小。定向细解决这个问题，允许用户限制方向，在这个方向上利用参考表面或平面进行细化。这些图片说明，绿色膜无需添加额外的单元仅在膜面上，通过其厚度细化而成。使用 CUBIT 的标准细化操作，通过厚度的单元也将细化。



曲线网格划分的改进预览

曲线网格划分命令面板（meshing>curve>mesh）目前提供的选项在网格生成前进行预览网格。随着这次发布的 CUBIT，此功能已得到改进并更加一致。

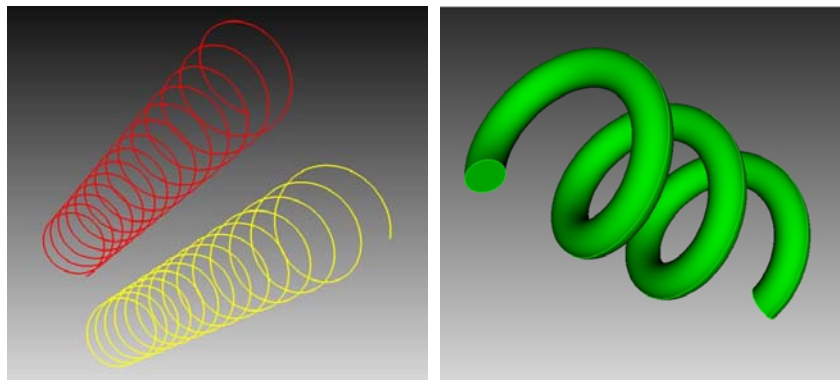
在多个起始位置的曲线偏置的新选项

划分一组有偏置的曲线的网格，往往需要一个起始顶点。先前的命令语法只允许一个单一的起始顶点，它不允许多条曲线上的偏置。此增强功能改变曲线偏置命令的语法，允许多条曲线同时划分网格，接受多个起始顶点。

几何体

新的螺旋线和体创建

CUBIT 13.1 添加了新的命令来生成自由螺旋曲线和体。



左边的图表示的是两个螺旋线，它由以下命令生成：

```
create curve helix zaxis location 1 0 0 thread_distance 1 angle 5000 left_handed
create curve helix zaxis location 1 0 0 thread_distance 1 angle 5000 right_handed
```

右边的图通过沿着螺旋线的路径扫略一个圆而形成，利用以下命令：

create surface circle radius 0.5 yplane

body 1 mov x 2

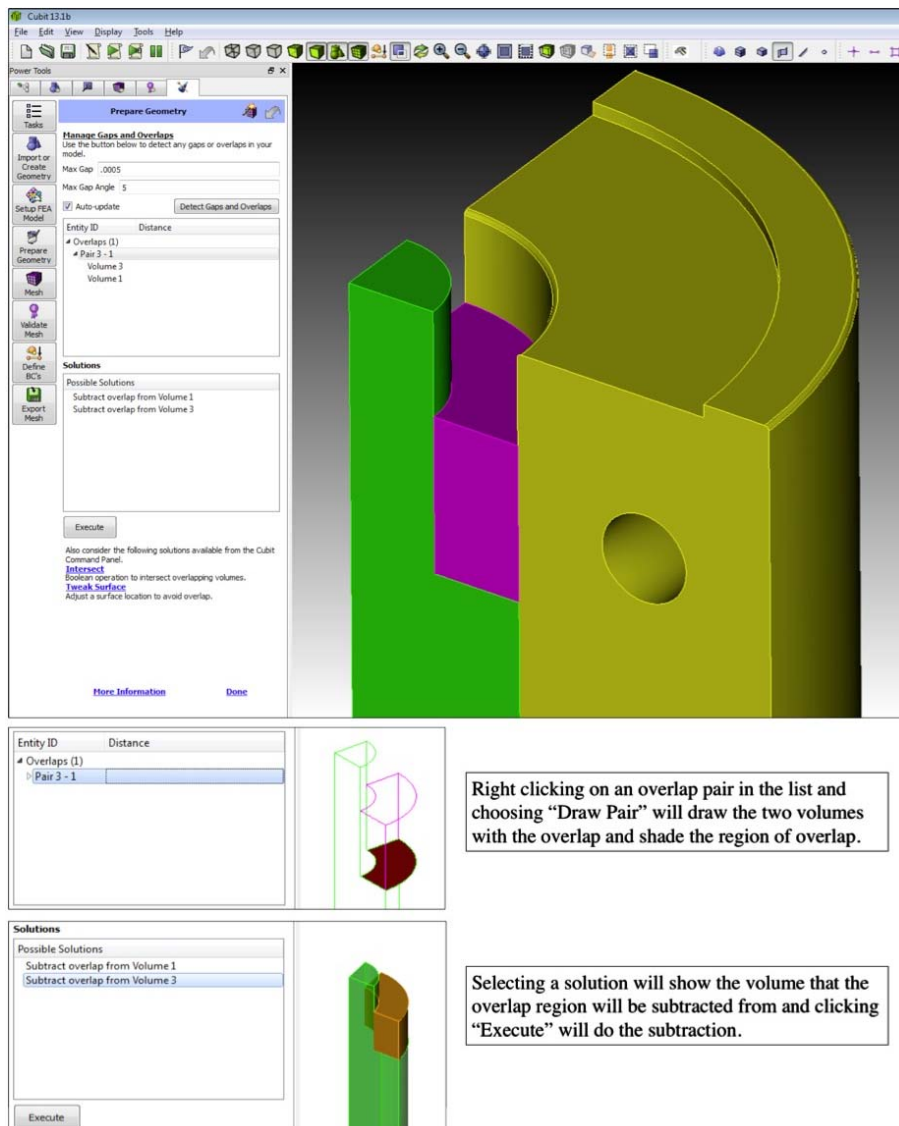
sweep surface 1 helix zaxis thread_distance 3 angle 1000 right_handed

自动中间面命令的图形用户界面

能够从体中自动创建中间面在 CUBIT 中是一个相对新的功能。在 13.1 版本中，我们在图形用户界面中介绍一个命令面板来控制其选项。它可以通过 Geometry > Surface > Create > Auto Midsurface 来实现。

管理缝隙和重叠工具

CUBIT 13.1 有对装配体进行快速识别并修正缝隙和重叠的新工具。缝隙和重叠检测工具是 CUBIT 向导工具（或 ITEM）的一部分。此工具对缝隙和重叠提供了诊断信息。CUBIT 13.1 介绍了一种智能解决方案的界面，为解决发现的问题提供了选项。当用户选择由 CUBIT 确定的问题时，该工具将显示修复可能的解决方案。用户只需点击 **execute** 执行所选的解决方案。解决方案通常包括当前 CUBIT 典型的手动操作 **intersection/subtraction** 或 **tweak**。打包的解决方案，允许用户迅速解决每一个问题并修复它。

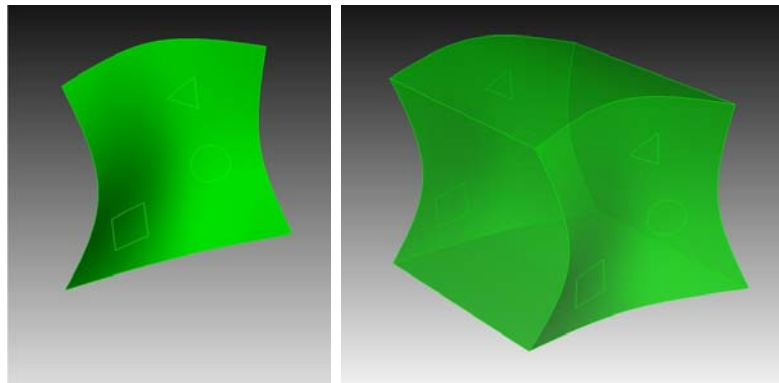


曲线方向感命令

切线方向或一个或多个曲线的方向感，现在可以使用新的命令 `curve orient sense` 进行修改。可以定义使用位置和方向选择方向。同时定义多条曲线的偏置特性时是特别有用。

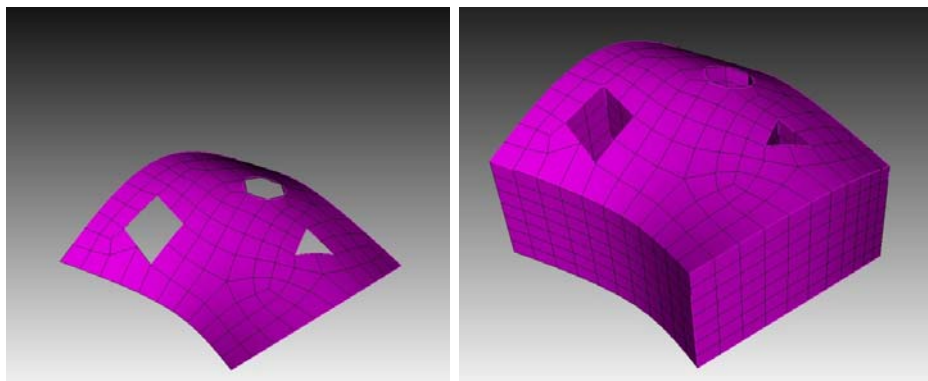
用多个面扫略薄片

扫略或拉伸表面生成体一直是 CUBIT 的重要功能，但它一直限于笼统单一表面。CUBIT 13.1 增加了扫略多个面的功能，这些面属于同一命令中的体表面。在下图左边显示了一个单一的体表面包含 4 个独立的表面。右边显示结果，所有 4 个面被同时拉伸。



扫略网格面

CUBIT 目前提供由指定的路径扫略面生成体的功能。在这个版本中，我们提供了扫略网格表面功能。这意味着，基于定义在源表面上的 2D 网格在新的体中生成了一个扫略实体。要使用此功能，使用新的 `include_meshoption` 扫面命令。



在左边的图像显示了四边形网格表面。右边是应用 `include_mesh` 选项扫面命令。结果表示六面体体网格它在扫描方向上的网格间隔是自动计算的。

扫略网格曲线

类似扫略网格表面创建一个网格体，CUBIT 13.1 还引入了扫略网格曲线形成网格面的功能。由此产生的新的表面上的网格，将利用定义在有扫略方向上自动间隔的源曲线上的间隔映射新的表面的网格。要使用此功能，使用新的扫描曲线命令 `include_mesh` 选项。

分割曲线命令中的新的合并选项

以前分割曲线命令将在指定的位置分裂曲线，但留下的两个（或更多）不连接的曲线。新的合并选项，允许用户自动连接两个曲线创建新的顶点。

新创建弧线的命令选项

在 CUBIT 中已经加入了两个新的创建弧线的选项，包括：

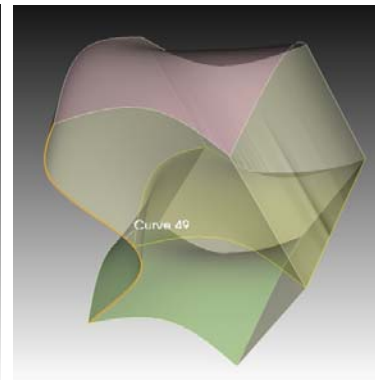
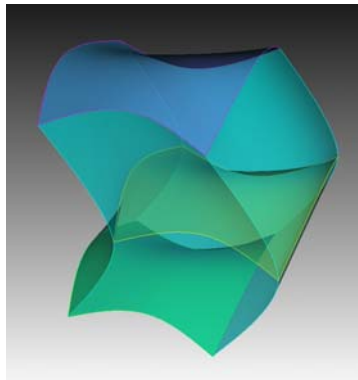
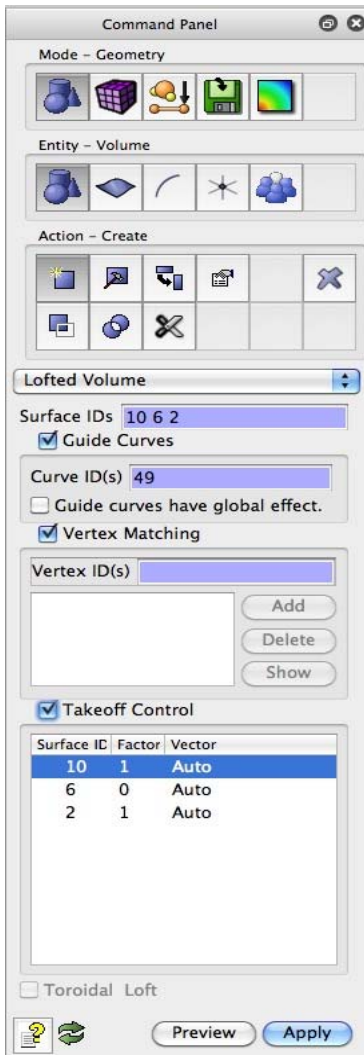
1. 选择两端的顶点，并指定半径和法线方向，创造一条弧形。
2. 利用弧的中心位置，半径，法线方向和扫略角创造一个弧形。

在放样体命令中的新选项

`Create Volume Loft` 命令是在 CUBIT 中提供了在两个或多个参考面之间创建体的功能。由此创建的题可以由各种不同的方式控制。CUBIT 13.1 对 `Create Volume Loft` 命令引入了几个新的关键词用来增强控制如何定义创建体。这些措施包括：`Guide curve`, `Takeoff factors`, `Takeoff vector`, `Match vertex`, `closed`, `preview` and `Show matching curves`。每个选项的完整描述请参阅文档。

这些新的选项可以通过左图面板所示的扩展的新的 GUI 命令来控制。它可以通过在命令面板访问 `Geometry > Volume > Create > Lofted Volume`

下面的图片说明了一些新的能力。第一张图片显示了三个独立表面，它们将作为放样参考表面来利用。第二张图显示了由此产生的放样体，这里已经调整了 `takeoff factors`。第三张图显示使用 `Guide curve`，曲线 49 用于通过三个面引导放样体。



扫略面命令中的新选项

拉伸面创建体的功能在 CUBIT 中有一段时间了。在 CUBIT 13.1 中，我们引进几个新的选项，定义扫略的方向。这些选项包括直角坐标轴，曲线的切线，表面法线，及其他方法来定义一个向量。

在移动和旋转命令中的新的“include merged”选项

应用转变如平移或旋转了一套合并体，CUBIT 以前需要每个需要移动的体分别进行转变。CUBIT 13.1 引入 include_merged 新选项，同时旋转和移动命令将自动适用于相同的转变到指定的任何合并的实体。

移动组命令

命令的语法 Move {Vertex|Curve|Surface|Volume|Body|Group} <id_range> 现已更新到组。这使得命令 Move <entity> 的语法与命令 <entity> Move 形式一致。

关于参考点命令的缩放

在 CUBIT 中缩放变形现已增强，允许对任意一个参考点，而不是以前的对起源点缩放。

材料和边界条件

新的初始条件的设置

用户现在可以创建和修改温度，位移，速度，加速度，和场变量的初始条件。初始条件适用于节点集。目前，一个初始条件，可以应用到一个单一的节点集。也可用命令列出和删除初始条件。

新的材料创建的选项

用户可以指定用户常数作为材料定义的一部分。用户常数作为场属性被储存。用户还可以指定一个值为 DepVar，这是一个 Abaqus 的特定变量的值。

新的复制边界条件的选项

创建新的几何实体使用 CUBIT 的“复制”命令时，定义在原试题上的节点集，边集合和块现在也可以被复制。可以使用下面的命令来分别开启节点集，边集合和块：

```
set copy_nodeset_on_geometry_copy [on | OFF| use_original]  
set copy_sideset_on_geometry_copy [on | OFF| use_original]  
set copy_block_on_geometry_copy [on | OFF| use_original]
```

通过 webcut 操作传递边界条件

使用 CUBIT 的 webcut 操作时，也将创造新的几何实体。原来的实体中包含的节点集，边集合和块的信息现在也可以传递到由此产生的 webcut 实体。

导入/导出

部分 ABAQUS 导出

CUBIT 现在可以导出 Abaqus 平台，只包含通过 *NODE, *ELEMENT* nNSET, * ELSET, *SURFACE 关键字来描述得网格。使用部分选项只得到 Abaqus 文件的网格部分。一个完整的文件还包括用来定义部件，装配体，实体，材料，初始条件和分析参数的 Abaqus 的关键字和数据。

增强 ABAQUS 导出命令

Node-file/element-file output: 使用的 nodefile, 和 elementfile 选项导出单独的文件中的节点和单元。Cuibit 为每一个部分编写了不同的单元文件。

Flat-file: 使用该 Flatfile 选项导出所有节点和单元的 Abaqus 文件到整体空间，即没有 *PART 或 *INSTANCE 关键字。

导出 IGES 新的 “solid” 选项

新的 solid 选项在导出 IGES 命令中允许实体作为 B-REP 对象（MSBO）的导出。没有这个选项 IGES 文件仅仅集合一个独立的表面。

图形，实用工具等

新的删除 APREPRO 变量函数

用户现在可以在定义一个 APREPRO 变量后删除它例如，下面的代码片段定义了一个变量，它使用 CUBIT 命令，然后将其删除。

```
# {var1=2*PI/5}
create brick x {var1} y {var1/2} z {var1*1.5}
# {delete('var1')}
```

删除功能也被纳入到图形 APREPRO 编辑，这里能够在它定义后删除变量。

新的色彩全局命令

通常情况下，CUBIT 会显示在一个旋转的默认的颜色集的曲面和曲线。所有曲面，曲线和顶点分配一个指定的颜色的功能已被添加到 CUBIT 13.1。

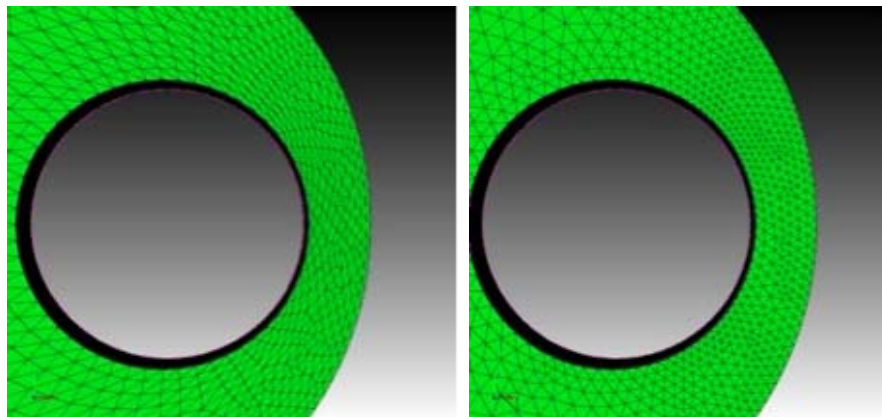
测试版特点

CUBIT 切割边的方法对于几何建模和网格生成仍然是一个积极的发展平台。仍在开发中的一些功能可能还没有准备发布，但可能在某些设置中是有价值的。下面是在 CUBIT 版本 13.1 中一个新的测试版的功能列表。其功能尚未完成，还没有得到充分的测试，然而，许多新的设置功能可能是非常有价值的。您报告的缺陷和建议，对这些功能提供的帮助我们表示赞赏。要开启或关闭下面任何列出的功能，请发出以下命令从命令行：

Set developer [on | off]

重新划分网格自由选项

remesh tet <range> free 命令是一个测试功能，要求用户输入命令，“set developer on”启用它。Free 选项开启新的功能，重新划分网格合并和未合并的可能约束指定范围内的四面体表面。一个新的三角形网格取代旧的，如果旧的网格扭曲，这可能会提高元素的质量。（此选项还没有重新划分网格曲线，这些曲线在四面体定义范围内）。



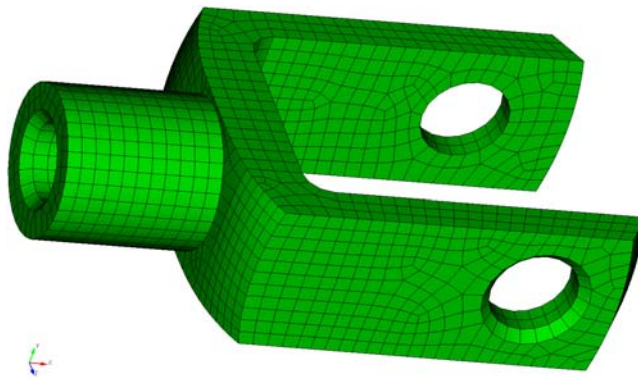
左边的图像显示的初始变形的四面体网格。右边的图像显示了在自由选项和基于分析尺寸功能的重新划分网格后的网格。

并行细化

对于那些通过 Sierra stk_adpt 模块, CUBIT 13.1 支持并行细化。并行网格细化, 使细化超越单一处理器的内存限制。由此产生的网状大小, 只限于由用户可用的, 以执行细化的处理器的数目。要使用此功能, 首先给你的模型创建一个粗糙的网格。然后使用下面的命令, 将创建两个文件, 可以在外部 stk_adapt 过程中使用。

```
Refine Parallel [Fileroot <'root filename'>] [Overwrite] [No_geom] [No_execute] [Processors  
<int>] [Numsplit <int>] [Version <'Sierra version'>]
```

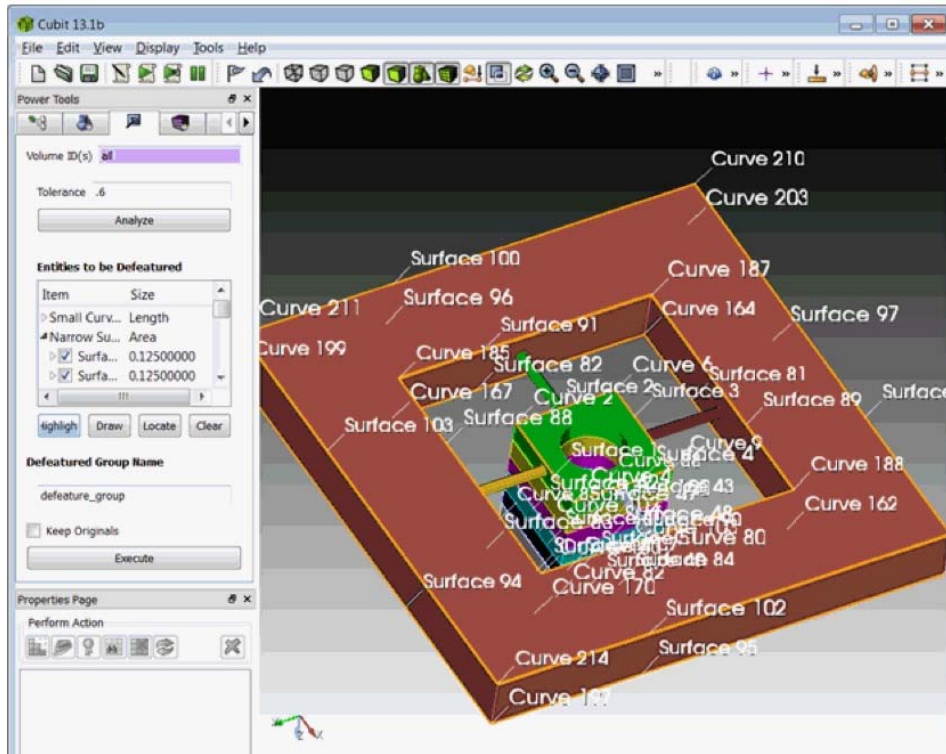
如果可执行文件是在正确的路径中, stk_adapt 可以直接从 CUBIT 运行。运行时 stk_adapt, 一系列网格文件, 每个处理器, 会在基于 numsplit 选项已经细化或细分的磁盘上生成。在这个 beta 版本中也具有完善精确流畅的几何定义的功能。



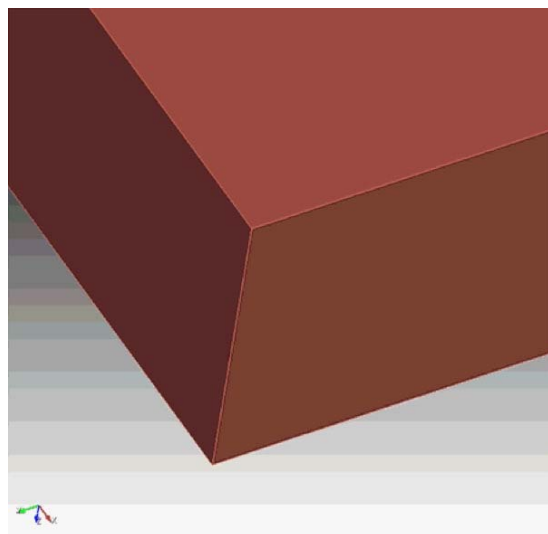
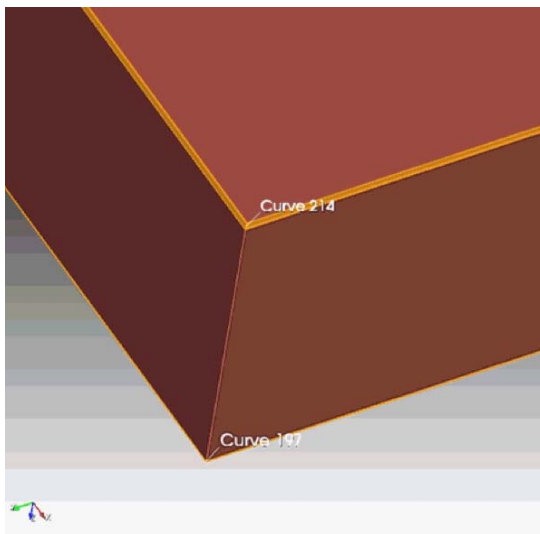
左边的图像显示 CUBIT 产生了 2365 个初始六面体网格。右边的图像显示使用 20 个处理器 stk_adapt 均匀精致的网状。结果是约 135 万个六面体网格, 其中颜色代表在细化使用不同的处理器。

模型简化工具

在 CUBIT 13.1 中, 作为一个测试版的特点, 引入一个新的工具用来简化实体模型, 模型的简化过程减少到一个单击或命令。使用 set dev on 命令后, 这个工具可以在树视图窗口的标签中使用。选择 analyze 按钮, 将自动检测并显示在模型中可以自动删除小特征。该清单可以编辑, 添加或删除特性用来简化。个别实体可以以图形方式在其他工具中询问。选择 execute 按钮, 将创建一个新的简化的基于网格的几何模型。在当前版本中, 产生一种新的模型, 利用 CUBIT 的分组机制, 新简化体生成并且分配给一个用户指定的组。网格划分可以再简化后的模型中完成。



在左边，化简工具，execute 按钮被选中时，显示检测和显示功能被消除，生成一个新的 MBG 的模型。



在左边的图像显示了关闭上述模型已检测到的一个小圆角。在右边的图像显示，在相同区域，MBG 的模型已被简化。

另外，添加了一个新的命令支持这个新功能：

Defeature volume <id_range> [auto_identify] curve_length <value> [Curve <ids>] curve_curvature <value> [Curve <ids>] surface_curvature <value> [Surface <ids>] surface_prox2d <value> [Surface <ids>] [group <id>] [keep]

发出 set dev on 命令后提供从脚本和日志文件使用的命令行的自动简化的全部功能。

CUBIT 13.1 的限制

CUBIT 13.1 不再支持 Granite 几何内核

在 Mac OS X 端口不支持在预选时改变鼠标光标。推荐使用 Mac OS X 版本的 3 键鼠标，因为交互的转

换需使用三个按钮。

修正之前版本的问题

以下的项目是针对之前版本的 CUBIT (2011.3) 用户报告错误的修正

参考 已解决的缺陷

9136 延续曲线偏执不能在双偏置中实现

9084 在 12.2 及以后版本中打开 12.1 的 cub 文件时崩溃

9140 左边的几何窗口不能正确的工作

9139 节点集不能正确导入 13.0 版本

9143 ITEM 显示时 CUBIT 崩溃