

使有限元分析更简单

Strand7 使用指南

新一代大型有限元分析系统



 **Strand7**[®]
Software

www.strand7.com

Strand7使用指南

第二版

二〇〇五年一月

©2005 Strand7 Pty Ltd. 版权所有

版 权

© Copyright 2005 by Strand7 Pty Ltd. 版权所有 Strand7公司 2005。

本手册受法律保护。手册的任何部分之文字及图表，如未获得本公司之书面同意，不得以任何形式和方式(电子、机械、磁、手工或其它)翻印、抄录、存贮于检索系统及翻译成任何人类或计算机语言。

声 明

Strand7公司保留无需告知任何个人或组织而对手册进行修订的权力。

注册商标

Strand7是Strand7公司的商标。

Windows 是微软公司(Microsoft Corporation)的商标。

Strand7 软件开发总部地址:

Suite 1, Level 5, 65 York Street
Sydney NSW 2000 澳大利亚

info@strand7.com

www.strand7.com

中文网站: www.strand7.com/cn

ISBN 0-646-37288-2

前言

Strand7 是由澳大利亚 Strand7 公司开发的通用有限元分析程序系统。它是专门做为 Windows NT®和 Windows®XP/2000/98/95 操作环境下应用程序而设计开发的。作为由前、后处理器及多功能求解器组成的独立系统，它为建立和分析有限元模型以及处理分析结果提供了强有力的工具。整个 Strand7 完全由 Strand7 公司的专业开发工程师研究开发，因此，它是一个高度集成、结构协调的软件系统。

Strand7 广泛适用于航空、土木、机械、造船、结构、岩土等领域中不同规模的工程公司。由于其合理的价格体系，即使是很小的咨询公司都能够拥有 Strand7。目前，Strand7 在欧洲、亚洲及世界其它地区都有专门的代理商，为用户提供售前咨询、技术支持和其它相关服务。

Strand7 的求解功能包括：

- 线性和非线性静力分析(具有自动荷载步调整及中断再续功能)
- 线性和非线性瞬态动力分析(具有中断再续功能)
- 线性稳定性(屈曲)分析
- 固有振动分析
- 简谐响应分析
- 谱响应分析
- 线性和非线性稳态热传导分析
- 线性和非线性瞬态热传导分析

非线性求解支持几何与材料(含大应变和塑性)非线性和边界非线性(例如：接触问题)。在固有振动和稳定性分析中，可采用已得到的非线性解作初始条件。



Strand7 的前处理工作环境包括了先进的网格自动剖分功能和一系列直观有效的工具来直接处理几何模型和单元。这些功能极大地简化了复杂工程结构的建模过程。所有单元都能进行三维渲染从而提高了模型的视觉效果。例如，具有任意横截面形状的梁能以三维方式显示为着色的实体梁。



后处理工作环境的设计强调了方便地抽取和处理分析结果：如结果可以在屏幕上以图形方式显示，也可以电子表格形式或以打印报表形式显示和输出。在报告和文档方面，**Strand7** 提供对图表型数据和文本型数据进行完善的打印预览和打印功能。用户可以自行设定报告的各种格式及添加内容，例如赋以公司台头、标志和选择字体。这些功能与文字处理软件中的一些功能相似，构成了 **Strand7** 的一个组成部分。

本手册主要是用做用户指南，它同时也解答了很多新用户常会问到的一些问题，因此可供不同层次的用户做为使用参考。本手册的教学辅导部分由一系列详细描述的例子组成。这些例子介绍了 **Strand7** 的一些前、后处理功能，并借此帮助用户理解 **Strand7** 使用操作的基本思路。要获得所涉及问题的进一步细节或有关更高深问题的信息，请阅读 **Strand7** 在线参考手册。在线参考手册是一个超级链接参考系统，极易于浏览，同时它还包括大量的例子。


注：圆括号()是英文版中已有的括号，方括号[]中是英文版软件中的对应词。**Strand7** 的专用词以浅色粗体表示。







目 录

前言	iii
概述	1
本书教学辅导说明	2
约定	2
第 1 章	3
定义	3
模型	3
实体	4
属性	4
荷载和自由度工况	4
Strand7 界面布局	4
主工具条	4
模型窗口	5
状态条	5
右击	5
浏览工具	6
Strand7 文件	6
获取信息	7
实体查询窗	7
查询显示板	7
实体查找	8
数值输入	9
交互式操作对话框	9
Ctrl+点击	9
 热指针	10
单位制	11
改变单位	11
 打印	12






	在不同应用程序之间剪切、复制和粘贴	13
	在 Strand7 内剪切、复制和粘贴	13
	撤消和恢复	14
	获取帮助	15
	键盘上的 F1 键	15
	Strand7 网站	15

第 2 章	17
屏幕设置	17
数值显示	17
图形设置	18
实体设置	18
属性设置	19
视图操作	20
动态旋转	21
动态缩放	22
动态平移	23

第 3 章	25
选择功能	26
 选择状态切换	26
 全选	28
 根据区域选	28
 根据性质选	31
 根据组选	31
 清除所有选择	31
选择模式	32
 切换选择	32

	总是选择	32
	总是清除	32
	实体切换	32
	实体切换按钮的特殊使用	33
	状态条	33
	特殊的选择模式	34
	线框显示方式下的操作	34
	选择线元端点	34
	选择面元边线	35
	选择体元面	35
第 4 章	37	
	实体切换条	37
	根据性质显示/隐藏	38
	通过组显示/隐藏	38
	显示/隐藏已选的和未选实体	39
	显示/隐藏已选的	39
	显示/隐藏未选的	39
第 5 章	41	
	创建节点	41
	手工创建	41
	使用网格捕捉	42
	检索和移动节点	42
	创建单元	43
	编辑单元	44
	使用工具	44
	工具选项	50
	清理	51
第 6 章	53	

定义	56
几何与拓扑	57
面	57
环	58
边	58
曲线	58
顶点	58
表面	58
第 7 章	59
组	59
指定组的典型步骤	60
坐标系	61
全局数据	61
第 8 章	63
单元自由边	63
面元	63
体元	64
面元厚度	65
朝向	65
前处理中的彩色云图	66
纵横比	67
面元翘曲比	67
分布压力荷载	67
检查四面体网格	67
模型数据综述	68
信息	68
性质	69
模型	70
第 9 章	71
建立新库	71
建立较大的库文件	71
扩充库文件	72
第 10 章	75
带宽最小化	75

试运行	77
缺省设置标签	77
一般	78
非线性	78
求解器窗口	78
第 11 章	81
典型的后处理过程	81
 位移比例	82
 等值线与结果显示	83
等值线的光滑处理	84
等值线跳跃	86
等值线的特别选项	86
 查询	89
 曲线图	90
多重视图	92
动画显示	93
 列表	93
第 12 章	95
概述	95
几何与荷载的描述	95
分析目的	96
建立模型	96
单元	97
单位制	97
工作平面	97
有限元模型	97
自由度条件和约束	101
节点约束条件	101
简支	102
滚动支撑	102

指定约束	102
施加外力	104
性质输入	107
求解	109
后处理	109
打开结果文件	109
查看求解记录文件	110
位移比例	110
按实际值缩放	110
按百分比缩放	110
工况组合	112
弯矩/剪力图	113
查询功能	114
等值线图	115
铰接框架：桁架单元	117
桁架单元	117
铰接框架的后处理	118

第 13 章 121

概述	121
几何与荷载描述	121
分析目的	122
建立模型	122
对称性考虑	122
网格设计	123
单位	124
创建捕捉网格	124
面元	126
创建面元	127
生成狭缝	130
单元过渡	130
细分	133
剖分数	134
目标类型	134
示例	134
钢板模型网格细分	135

施加荷载	136
选择模型左边界	137
根据区域选择	137
自由度和约束	138
边界约束条件	138
性质输入	140
模型求解	141
后处理	141
网格细分	143
单元过渡	144
细网格模型的后处理	145
第 14 章	147
概述	147
几何和荷载描述	147
分析目的	148
创建模型	148
轴对称模型	148
面元	150
施加压力	151
自由度和约束	152
全局自由度	152
对称轴约束	152
边界约束	153
性质输入	154
模型求解	155
后处理	155
轴对称结果	156
查看结果	156
第 15 章	159
概述	159
几何与荷载描述	159
分析目的	160
固有频率分析前处理	160
固有频率和模态	160
创建模型	160

创建线元	160
自由度条件和约束	161
整体自由度	161
节点约束	161
性质输入	162
计算固有频率	162
理论解	163
固有频率分析后处理	163
查看模态	163
动画显示	165
简谐响应问题描述	165
简谐荷载	166
简谐响应分析	166
频率	166
荷载工况按钮	167
结果符号	168
结构阻尼	168
简谐响应后处理	169
挠度-频率图	169
第 16 章	173
概述	173
几何与荷载描述	173
分析目的	174
创建模型	174
定义单元	175
约束	175
性质输入	176
静力分析	177
响应谱曲线	178
谱响应分析	182
固有频率分析	182
谱响应分析	183
第 17 章	185
概述	185
建立有限元网格	186

用户定义坐标系 (UCS)	186
创建斜管	187
创建主管	191
在管相交处创建倒角	193
创建完整的三维模型	194
第 18 章	195
概述	195
横截面定义	196
指定线元性质	197
第 19 章	199
概述	199
输入 CAD 几何模型	200
几何显示选项	202
准备 CAD 几何用于网格自动生成	203
面网格自动剖分	206
实体网格自动剖分	210
第 20 章	213
概述	213
修改 CAD 模型	214
输入和剖分 CAD 模型	216
第 21 章	221
概述	221
例 1: 水龙头	222
例 2: 金属片	229
例 3: 压花支架	234
附录 1	241
屏幕设置	241
临时文件	242
Windows 的虚拟内存	242
附录 2	243
1. 沙滩椅分析	244
2. 六层建筑物分析	245
3. 钢架下落试验	246

4. 球体和刚性平面的赫兹接触问题	247
5. 木桩的动力分析	248
6. 储煤罐分析	249
7. 悬索桥的固有频率分析	250
8. 金属板成形过程分析	251
9. 铲车铲头试验台的分析	252
10. 厚柱壳中的热传导分析	253
11. 铝质空心圆管的弹塑性分析	254
12. 网格自动剖分模型	255
附录 3	257

概述

本手册是为用户熟悉 Strand7 的操作并尽快开始使用软件而设计的。其主要目的是描述如何使用 Strand7，而不是详尽地描述其功能。有关功能的详细信息可从在线参考手册中获得。使用本书需具备以下知识：

- 对结构静力学、动力学和应力分析的原理有一定的理解；
- 熟悉有限元的概念和术语；
- 熟悉 Windows 操作系统。

要有效地使用 Strand7，这些是基本的先决条件。

本书第 1 至第 11 章描述如何配置并使用 Strand7。第 12 至第 21 章给出了一组辅导实例。这些辅导实例带有完整文字说明，详细而有组织地按操作步骤阐述了如何对一些基本结构进行建模和分析。

学习 Strand7 的有效方法是：

- 阅读本书的第 1 至第 4 章。
- 上机练习第 12 至第 18 章教学辅导中的例子。
- 阅读第 5 至第 11 章。
- 上机练习第 19 至第 21 章教学辅导中的例子。
- 遵循本书描述的基本过程对您自己的结构进行分析。
- 经常查阅在线参考手册(以下称为“帮助”)来获得有关高级功能的详细信息。
- 特别注意本书每页左端空白处的黑体字。

关于如何在 Windows 下优化配置 Strand7 请参见附录 1。

如要得到更多有关 Strand7 的信息，可以访问 Strand7 的中文网站 (www.strand7.com/cn)或通过电子邮件与 Strand7 技术服务人员联系 (support@strand7.com)。

要学习有限元分析，我们建议您选学附录 3 列出的参考书。

本书教学辅导说明

本书第 12 至第 21 章中的教学辅导介绍了建立、求解模型和检查结果各步骤的具体操作。第一个教学辅导给出了从开始到结束每一步的详细说明。接下来的教学辅导将逐步复杂一些，并对前面已涉及过的主题仅提供概要说明。当你上机实践教学辅导中的算例时，应参考“帮助”及本书的其它章节。

约定

采用以下两种方式描述多层菜单下的功能选择过程：

完整描述：从 工具[Tools] 菜单中选 复制[Copy] 然后再选 用增量[By Increment] 复制。

简洁描述：选择 工具[Tools]→复制[Copy]→用增量[by Increment]

第 1 章

Strand7 基础

定义

在本书和 Strand7 中，我们将经常用到以下概念：

模型

模型是用 Strand7 对所模拟或分析的工程结构的一种数学表达。模型包括 实体[entity]、属性[attribute]、荷载和自由度工况[load case and freedom case]。一个模型可同时与贮存在计算机硬盘中的一个或几个文件相联系。

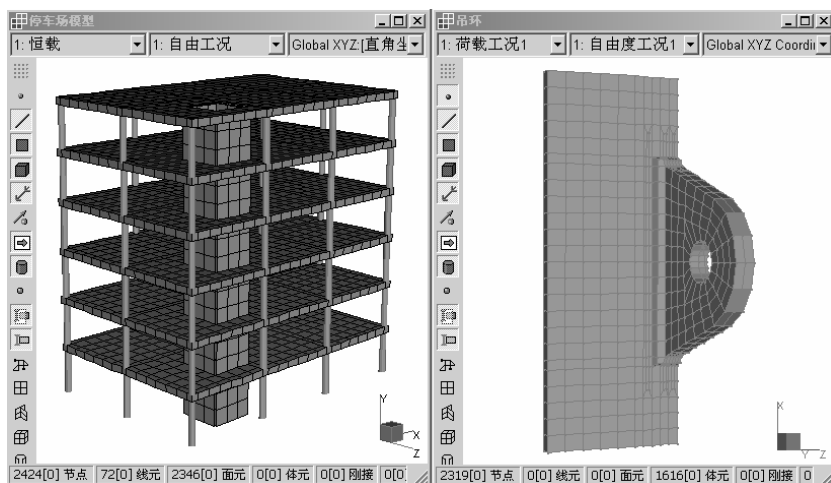


图 1.1 Strand7 模型实体

实体

实体是模型的主要构成部分。实体包括 节点[Node]、单元[Element](例如：面或线元)、刚接[Link](例如：一个主/从刚接)、顶点[Vertex](用于定位几何体)以及 面[Face] (例如：一个二维多边形或圆柱面)。

属性

属性是指赋予一个实体的特性。例如：一个节点力是一个节点的属性，它决定了一个特定节点上作用力的值。同样地，面压力是面元的属性。

荷载和自由度工况

➔ 在线性分析中，不同的荷载工况可以用叠加的方式组合在一起而形成 一个组合或更高一级工况。

你可以在 Strand7 模型中定义任意多个荷载和自由度工况。一个荷载工况包含一组荷载属性(例如：节点力矩或线元分布荷载)，这组荷载同时作用在模型上(可以定义一个“风载”荷载工况由面元压力及线元分布荷载组成)。在线性分析中，多重荷载工况相互独立地起作用，它们可在每次运行求解器时同时求解。在非线形分析中，不同的荷载工况可在任一荷载增量或时间步中同时考虑。

一个自由度工况包含了一系列同时作用于模型的自由度属性(例如一个节点约束)。在线性分析中，多重自由度工况中的每一工况可分别求解并贮存于不同的文件中。在非线形分析中，不同的自由度工况可以在任意荷载增量或时间步中同时考虑。

Strand7 界面布局

Strand7 的工作环境由以下几个部分组成(见图 1-2)。

➔ 通过帮助[Help]选项，在主菜单中可以进入 Strand7 帮助系统。

主工具条

主工具条是一个矩形长条，通常位于屏幕的顶部，包括主菜单条和工具按钮条。主工具条与所有已打开的模型窗口相关联。

模型窗口

模型窗口是指对模型(或文件)进行操作的工作空间，每个模型窗口有各自的工具条，如实体切换条[Entity Toggles Tool Bar]和全局[Globals Tool Bar]工具条等。模型的名字显示在标题条上。

状态条

状态条位于每个模型窗口的底部。它给出当前的各类实体总数、视角等信息。在执行一项长时间操作时，状态条转换成进程状态条。

- ➔ 在使用 Strand7 过程中，可以同时打开多个模型。这在比较不同模型的结果或在模型间进行剪贴操作时非常有用。
- ➔ 靠近实体总数的方括号中的数值表示当前已选的实体数目。例如“234 [45]节点”表示模型包含 234 个节点，目前已选中了 45 个。

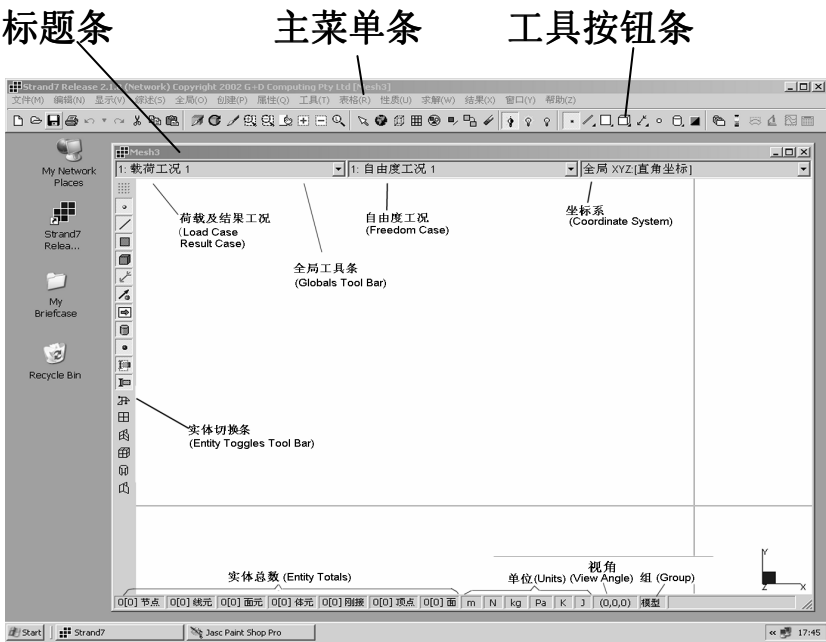


图 1.2 Strand7 界面布局

右击

许多常用的功能可通过在屏幕上或对话框中右击鼠标而激活一个弹出式菜单来选择执行。例如：在模型窗口的显示区域内右击可激活一个具有视图操作和显示设置的弹出式菜单；在实体切换条上空白处右击则弹出一个特殊的菜单，该菜单的选项允许你将工具条置于模型窗口的不

同边界上及切换显示/隐藏实体。

浏览工具

由于一个文件夹中常会存放着许多模型文件，当模型被放错位置或者文件名被忘记时，可能需要花长时间查找。而使用 **文件[File]** 菜单中的 **浏览[Browse]** 工具对文件夹中的所有 **Strand7** 模型进行扫描，可以迅速找到所要的模型文件。浏览时，每个模型的图标会显示在屏幕上，当找到所要的模型后，只需点击相应图标即可打开它。你也可以通过右击对模型进行改名、删除和显示模型一般信息等操作。如果浏览的模型有与其相关的结果文件，在图标的左下角将显示一个等值线图例。

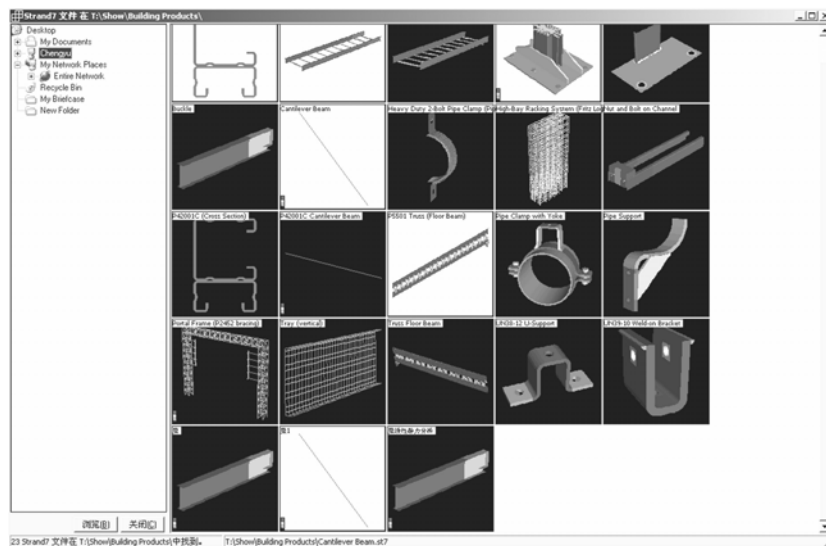


图 1.3 Strand7 浏览工具

Strand7 文件

Strand7 用一个扩展名为 “ST7” 的文件来贮存属于这个模型的所有信息。当备份模型时只需将 ST7 文件存档。对应于不同求解类型的结果数据贮存在不同的文件中(例如, 线性静力分析结果存在 LSA 文件中)。尽管结果文件总可以通过再次求解而得到, 但整理、备份结果数据后, 仍应该将结果文件也归档。ST7 文件和结果文件都是二进制文件, 它们

无法用文本编辑器来查看或编辑。如果需要一个 Strand7 模型或其结果的文本文件，可以用 输出[Export] 功能或从在线编辑器和结果列表中剪贴。

获取信息

实体查询窗

实体查询窗是查询模型中实体信息最方便的方法， 只需在鼠标移过实体时按下 Shift 键即可。实体查询窗显示诸如实体的编号、组、属性、节点坐标等信息。对于单元，还将给出连接关系、长度、面积和体积。注意，只有当工具按钮条中相应的实体切换按钮被激活时，实体查询窗才会亮显相关实体并给出信息(参见 25 页上的“实体选择”一章)。

- ➔ 实体查询窗由按下 Shift 键激活。
- ➔ 可以由 文件[File] 菜单下选择 设置选择 [Preferences] 中的选项来改变实体查询窗所用的字体。

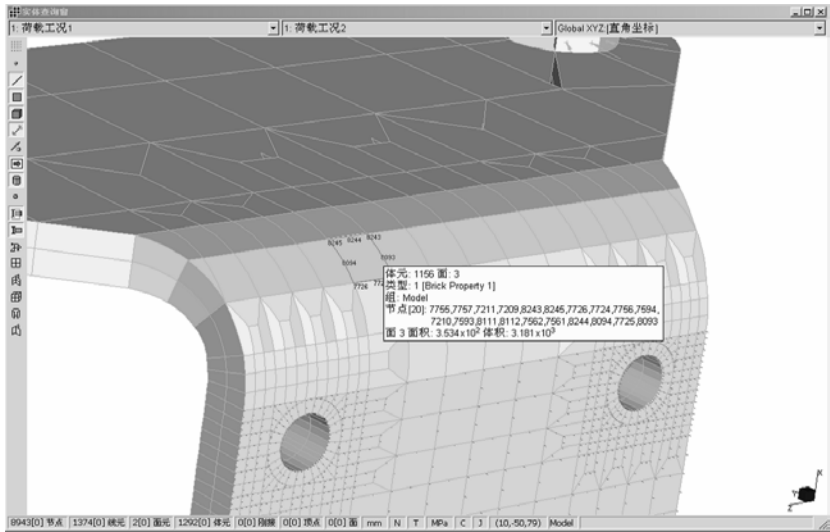


图 1.4 实体查询窗

查询显示板

查询显示板是一个可调大小的对话框，由主菜单条中的 综述 [Summary] 菜单激活。与实体查询窗一样，查询显示板也用来获取模型的信息。查询显示板和实体查询窗之间的主要区别如下：

- 查询显示板给出一些诸如节点间距离、节点连线间的角度等附加信息。
- 查询显示板在一个有滚动条的窗口中保留已显示的信息，而实体查询窗一次只显示一组数据。在连续选择时，利用查询显示板可容易地比较数据。
- 查询显示板列出对应实体的所有荷载及自由度工况下的属性，而实体查询窗只给出当前荷载及自由度工况的属性。
- 查询显示板支持剪贴操作，而实体查询窗不支持。

- ➔ 点击节点 1 和 2 可得到节点 1 和 2 间的距离。
- ➔ 点击节点 1、3、2 可得到角 A 的角度值。
- ➔ 点击节点 7、6、5 和 4 可得到角 B 的角度值。

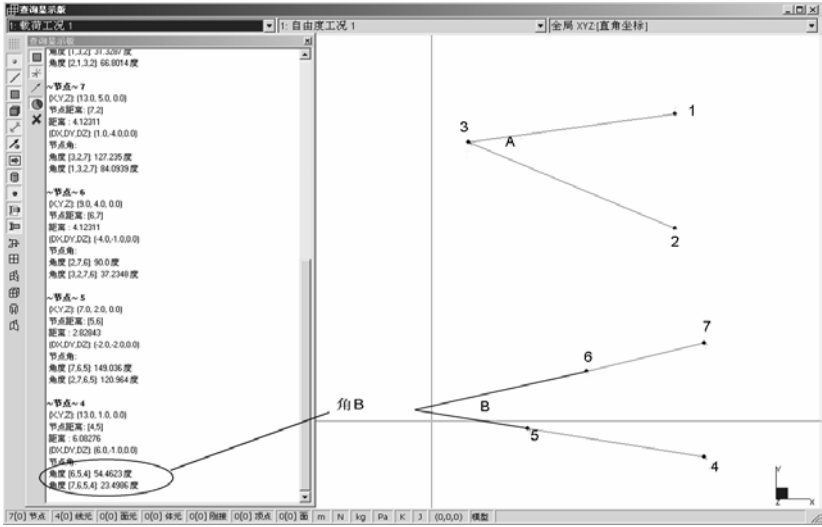


图 1.5 查询显示板

实体查找

在操作过程中，常常需要确定一个特定实体的位置。例如当求解器给出一个与某个节点或单元有关的警告或错误信息时，需要在模型中找到该实体。要查找实体，可在 编辑[Edit] 菜单中选择 查找[Find] 或按 Ctrl+F，在查找对话框中选择你要寻找的实体并按 查找 按钮。

也可以自动地找到特定的结果。例如，你可以确定具有最大弯矩的梁单元所在的位置(参见第 11 章结果整理)。

数值输入

浮点数可用数值输入(例如 “12.345”)或用公式输入(例如 “23.5*Sin(35)”)。如果用公式输入，还可以使用变量。变量可以是当前坐标系中的坐标。例如，可用公式 “10.0*X” 对一个节点施加力，这相当于赋予节点一个等于该节点 X 坐标值 10 倍的力。

使用公式输入最常见的情况是施加液体静压力。例如，对一个深 32m、对称轴沿 Y 轴方向及底部位于 Y=0 处的圆柱形仓储罐的内部施加静水压力，可选择相关单元，用公式 “1000.0*9.81*(Y-32)” 施加压力。注意这里需用星号(*)表示相乘。

➔ 在直角坐标中，坐标变量为 X, Y 和 Z。在柱坐标中为 R, T 和 Z (半径, θ , Z)。在球坐标和圆环坐标中为 R, T 和 P (半径, θ , φ)。

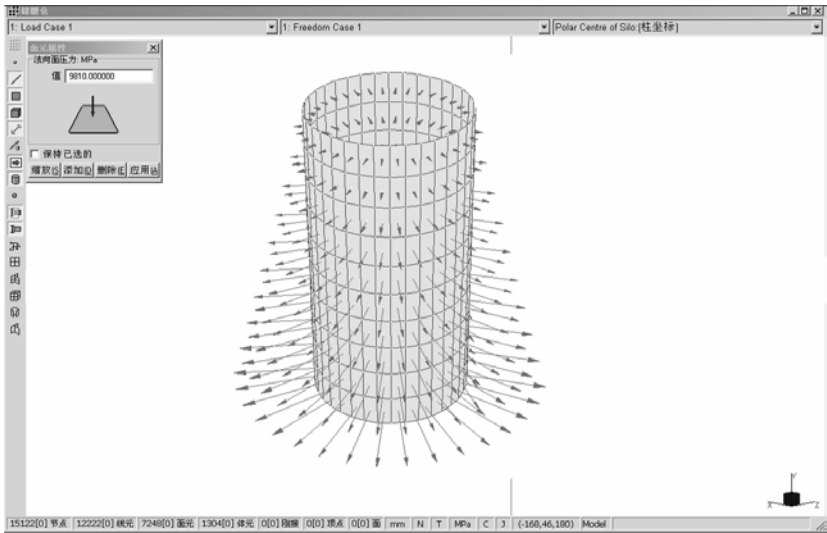


图 1.6 公式输入

交互式操作对话框

Strand7 中的许多对话框需要输入数值。这些值可用键盘输入或在模型窗口中从模型上直接提取。从模型上提取数据有两种方式：

Ctrl+点击

Ctrl+点击的典型使用是将一个以前指定过的属性指定给另一个实

体。例如，可将一个面元上的压力值提取后赋给另一个面元。当属性标记对话框被激活时，只要按 **Ctrl**+点击，则此面元的压力值将自动地提取到对话框的编辑栏中。

→ **Ctrl**+点击该面元以提取压力值。

→ 阅读第 5 章中“创建节点”一节，来学习怎样提取和编辑节点坐标。

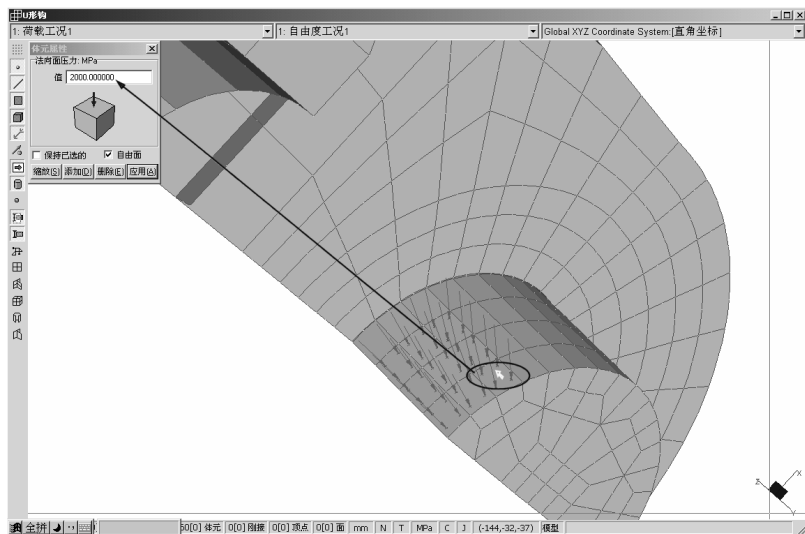


图 1.7 提取属性值

热指针

当点击一个需要输入信息的编辑栏时，Strand7 的热指针将被激活。该编辑栏将改变颜色并且鼠标指针变为热指针。热指针激活后，则只需在模型窗口中点击一个适当的实体即可完成实体信息的输入，而不需按下 **Ctrl** 键。

→ 我们已经点击了 N1 栏，热指针已被激活，表明接下去在模型窗口中被点击的节点的节点号将被直接输入到 N1 栏中。也可以直接键入数值，此时热指针将消失。

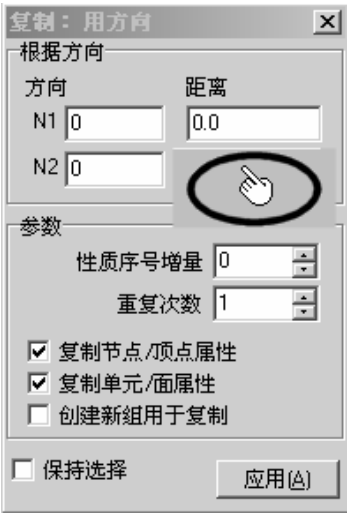


图 1.8 热指针使用

单位制

Strand7 能够自动识别所采用的单位制，所以你可以选择使用任何系统所支持的单位制工作。可以在任何时候从当前单位制转换到另一个单位制。甚至在模型求解以后也可以进行这种转换。

不同物理量的单位设定不需要一致。例如，可以用牛顿、厘米和兆帕工作，Strand7 将在内部作必要的转换。计算结果将使用所选择的单位制。大多数单位可以独立地设定，例如，可以定义与力单位除以面积单位不一样的压力单位(例如，力用牛顿，长度用米而压力用兆帕，而不是帕)。一些导出单位不可以独立地设定，例如，一旦指定了质量和长度单位，则密度单位则被自动地确定。

改变单位

→ 可用 全局[Global] 菜单中的 单位[Units] 选项设置单位。

要改变正在使用的单位，可从 全局[Global] 菜单中选择 单位[Units] 选项，设置想要的单位并按 确认[OK]。此时系统将提示是否要对模型数据进行修改(图 1.9)，可根据实际情况进行选择。

→ 如果进行单位换算，则将失去 撤消[Undo] 操作记录。因此在单位换算前的操作将不能被撤消。

→ 根据缺省设置，Strand7 在每次建立新模型时会提示选择单位制。如果你愿意在某固定的单位制下工作，则将其设为缺省单位制，这也将使 Strand7 在每次建立新模型时不再提醒你。要设定缺省单位制，从 文件[File] 菜单中选择 设置选择[Preference]。

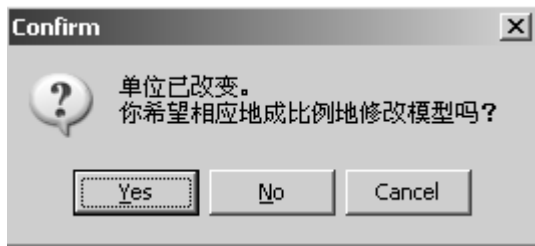


图 1.9 改变单位制之后模型数据调整选择

1. 如果因疏忽输入了与已选的单位制不一致的数据(例如你已选用米作为长度单位，而对 1 米，你却按毫米输入了值 1000)，回答 No。Strand7 将注意到长度单位应为毫米，数据将不会改变。
2. 如果你已经在所选的单位制下正确地输入了数据，但希望转换为另一单位制，则回答 Yes。Strand7 将你的模型数据换算新单位。例如，当单位从米变为毫米时，距离 1 米将换算为 1000 毫米)。
3. 如果你已用某种单位求解了模型，现在想在另一单位制中查看结果，则回答 Yes。注意，在这样做之前必须关闭结果文件。



打印

Strand7 提供了相应的预览工具用于文字和图形数据的打印。在两种情况下，用户都可设置页面的内容、朝向、尺寸、边距和字体。在图形打印中，预览可选用 全部着色[Fully rendered] 方式或 线框[Wireframe] 方式。使用线框方式绘图非常快，能马上看到调整后的效果，它适用于大的模型。线框方式预览对打印效果没有任何影响。

要使你的报告具有专业化的外观，你可以在页面中加入一个以位图(BMP)文件表示的公司图标，并把它放在页面的左上角或右上角的位置。还可以打印台头，台头中包括在 信息[Information] 对话框(见第 8 章)中输入的信息。

➔ 即使在预览状态下也可以对图象进行调整。可在预览中缩放和平移以控制打印效果。

➔ 要改变格式、边距或其它设置，用 格式 [Formatting] 选项:

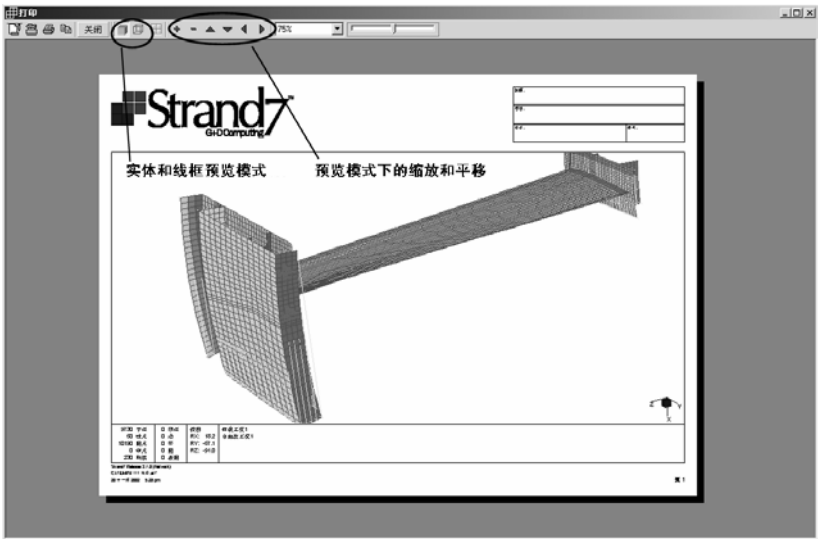


图 1.10 打印



在不同应用程序之间剪切、复制和粘贴

在线编辑器[Online Editor] 和 结果[Results]→列表[Listings] 中的文本形式数据可通过 Windows 的剪贴板复制并粘贴到正在运行的其它应用程序中去。拖动鼠标选中有关数据所在的区域，然后在显示窗口中右击鼠标，用 复制[Copy] 功能即可将想要的的数据复制到剪贴板上。若要把数据和标头一起复制，则用 复制(+固定单元)[Copy(+Fixed Cells)] 命令。

可以用同样的过程把数据粘贴到 Strand7 中。只需从其它应用程序中复制数据(通常用 Ctrl+C)再粘贴到 Strand7 中的相应数据输入栏中即可(用 Ctrl+V 或右击弹出对话框)。例如，你可在电子表格程序中生成节点，然后通过在线编辑器将它们粘贴到 Strand7 中。

在 Strand7 内剪切、复制和粘贴

除文本式数据以外，还可以在 Strand7 中剪贴实体。可在同一模型内剪贴，也可在不同模型之间剪贴。只要用通常的方式选择实体然后复制/剪切并粘贴即可。粘贴对话框提供了用于调整所粘贴实体的功能选项。

➔ 被粘贴的实体在按 确认 [OK] 前可被旋转、平移和缩放。可用 锚定[Anchors] 将原实体锁定到目标位置 以实现更精确的控制。

注意，这种类型的剪贴操作是用 Strand7 内部的剪贴板，而不是用 Windows 剪贴板。

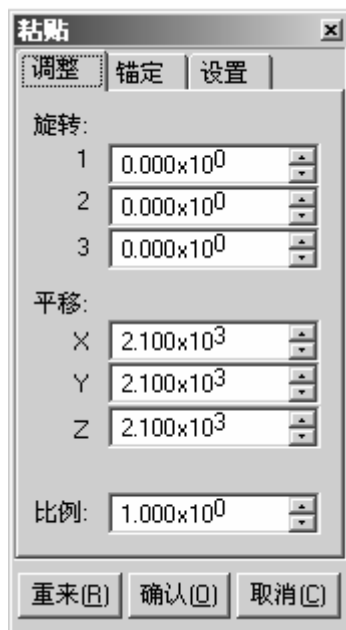


图 1.11 实体粘贴



撤消和恢复

Strand7 提供了无限制的撤消操作功能，而且还可以恢复最后一次撤消的操作。要撤消或恢复对模型所进行的操作，可用 编辑[Edit]→撤消[Undo] 或 编辑[Edit]→恢复[Redo] 来实现。 可以撤消的操作包括：

- 创建以及删除节点、单元和刚接。
- 编辑节点坐标、单元连接和刚接连接。
- 增加、编辑或删除节点和单元的属性。
- 使用任何 工具[Tools] 功能。
- 使用 清理[Clean] 工具。
- 使用网格自动剖分工具。

在图形交互环境下，可以一次撤消多项操作。这可避免因每一次撤消而伴随的屏幕刷新，从而节省时间。从记录以前操作的下拉式菜单撤消列表[Undo list] 中可以一次选择所有想要撤消的操作。注意，只能选择包括最后操作在内的一组连续操作(也就是说，不能只撤消较早的操作而不撤消最近的操作)。

恢复功能允许你取消最后一次撤消操作。要慎重使用撤消，如果你已撤消了许多项操作，你只能恢复其中的最后一项。然而，如果是通过撤消列表 来一次执行多步撤消，则整个撤消也可通过一次恢复而复原。

撤消缓冲区独立于 文件[File]→存盘[Save] 操作。这意味着你在执行模型存盘操作之后仍可撤消前面的建模操作(只要你不关闭模型)。

获取帮助

从 帮助[Help] 菜单中选择帮助可以进入在线参考手册的目录、索引和关键词搜寻，也可以进入本手册后面所讨论的教学辅导部分。

键盘上的 F1 键

在选择某一功能后，可以通过按 F1 键直接得到与此功能相关的帮助信息。

Strand7 网站

在 Strand7 网站可以找到 Strand7 的产品更新信息和用户会感兴趣的其它资讯。

第2章

显示配置

屏幕设置

屏幕显示的许多设置(例如背景颜色)及与整个模型相关的一些选项(例如数值的显示格式)可以通过 显示[View]→选择[Options] 对话框中的选项来修改。这个对话框也可以通过在模型窗口中右击来激活。

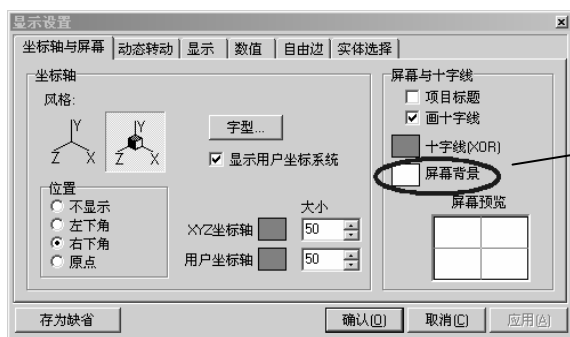


图 2.1 显示设置

数值显示

➔ 显示数值的位数不影响
贮存数值的精度。

Strand7 提供了灵活多样的方式来显示浮点数。可使用固定(小数位)、工程和科学格式。对于工程和科学格式, 可选用标准指数“E”格式(例如: 1.234E03) 或上标格式(例如: 1.234×10^3)。

图形设置

实体设置

各类实体都设有与其相关的显示选项。这些选项位于 显示[View] 菜单的 实体显示[Entity Display] 对话框中。一些常用的选项包括 画为 [Draw as]，阴影图[Light Shade] 和 单元号码显示[Numbering]。用 画为 选项来选择诸如按性质颜色、按组颜色和线框显示等显示方式。要提高图象的真实感，可选择阴影选项，而号码显示选项对较小模型可能会有用处。



图 2.2 实体显示选项

→ 显示线元一个较好的设置是采取显示模式 [Display Mode: Solid]→ 阴影图[Light Shade] 及不画边线。

→ Strand7 可对所有梁截面，包括用户定义的非标准梁截面进行着色显示。

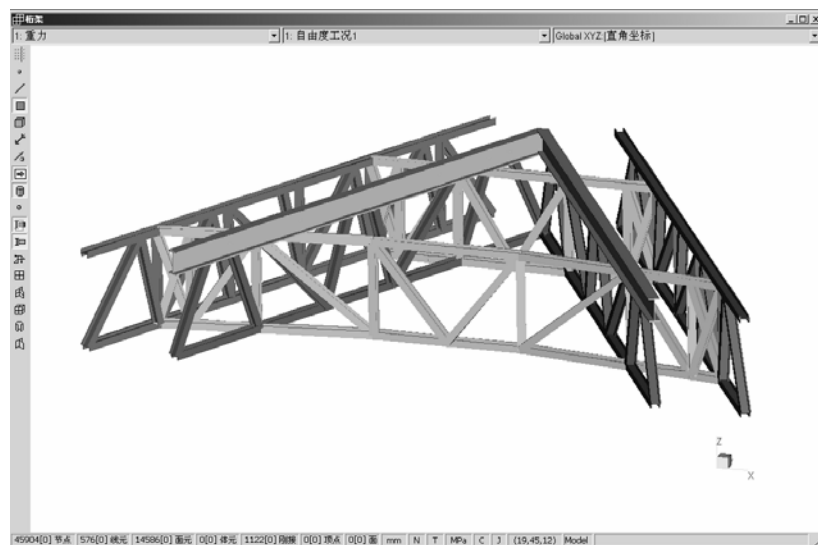


图 2.3 以实体阴影方式显示

→ 对面元和体元模型，一个较好的显示设置是轮廓线[facet edge display]方式。这将不再绘出所有单元的边线，而只绘确定模型边界的轮廓线。这样的设置尤其对等值线图[Contour plot]特别适用。

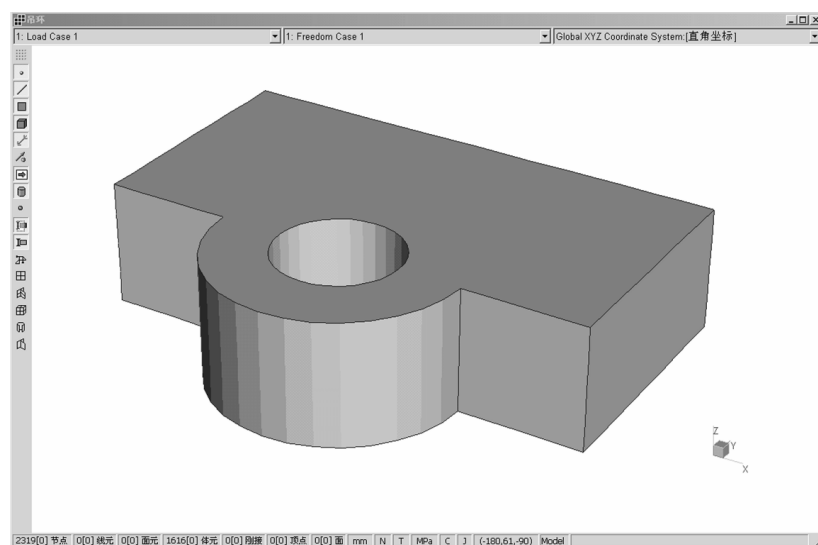


图 2.4 轮廓线显示

属性设置

所有的属性均可在显示[View]菜单下的属性显示[Attribute Display]对话框中设置大小和颜色。那些作为矢量的属性(例如节点力)，可以合量或分量的形式显示。要关闭某一特定的属性，清除显示

→ 可以迅速地切换一个模型中所有节点属性的显示。只需在 实体切换 [Entity Toggles] 工具条中左击 显示/隐藏节点及顶点的属性 [Show/Hide Node and Vertex Attribute] 按钮即可(右击则弹出属性显示设置对话框)。



→ 要隐藏或显示所有单元属性, 点击 显示/隐藏单元及面的属性[Shou/Hide Element and Face Attribute] 按钮。



属性[Show attribute] 中的相应选项。要显示属性的值, 选择 显示数值 [Show value] 选项即可。

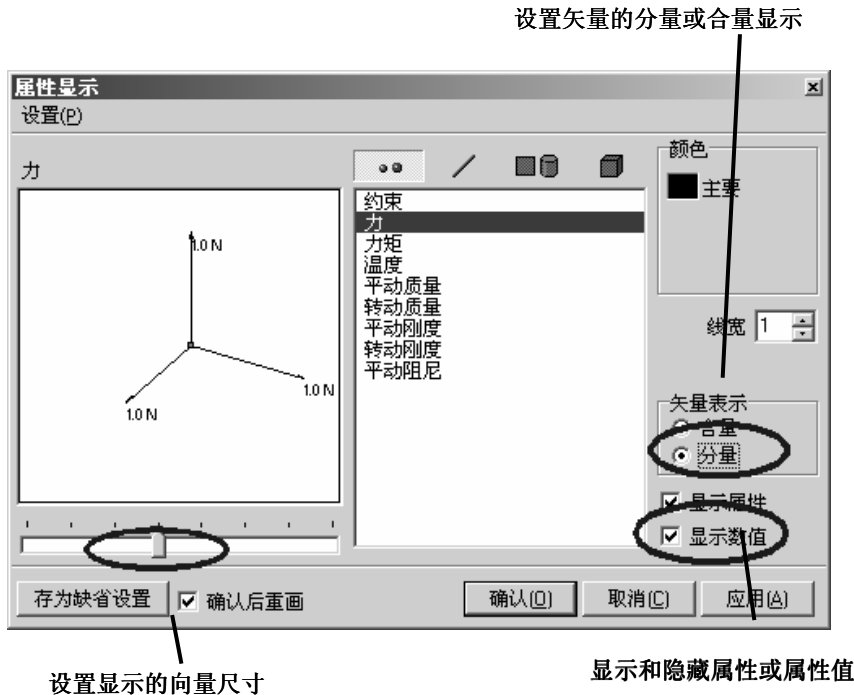






图 2.5 属性显示

视图操作

要最有效地处理模型视图, 你应熟悉键盘上的下列功能键以及工具按钮条上的相应按钮。

- F3:**  重新调节视图比例并刷新屏幕。
- F4:**  激活动态视图设置。
- F6:**  放大。点击并拖拉以定义放大窗口。
- F7:**  缩小。点击并拖拉以定义缩小窗口。



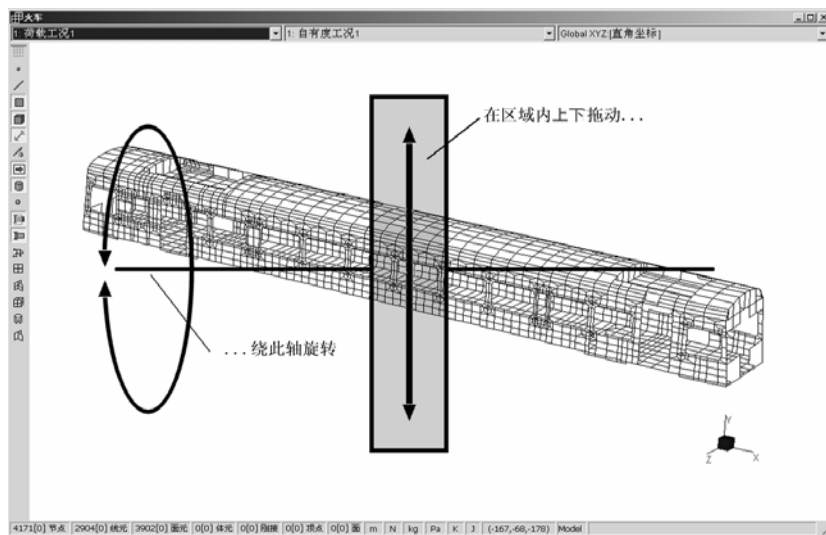
回到先前的视图。

这些功能键以及其它一些操作功能可在主菜单条中的显示[View]菜单中或在工具按钮条中找到；也可以在模型窗口中右击，然后在弹出的菜单中选择。

视图操作的最好方法是通过动态视图设置(动态旋转-F4[Dynamic Rotate-F4])。动态视图设置对话框中包含多种选项,其中自动[Auto]选项可满足大多数情况下的需要。

动态旋转

要旋转模型，按下鼠标左键并按如图所示的方式在模型窗口中拖动鼠标。



...绕此轴旋转

图 2.6 动态旋转之一

➔ 你可以旋转一个全着色并有阴影的模型。在显示[View]→动态旋转[Dynamic Rotation]栏中设 旋转为[Rotate As] 为 实体[Solid]。

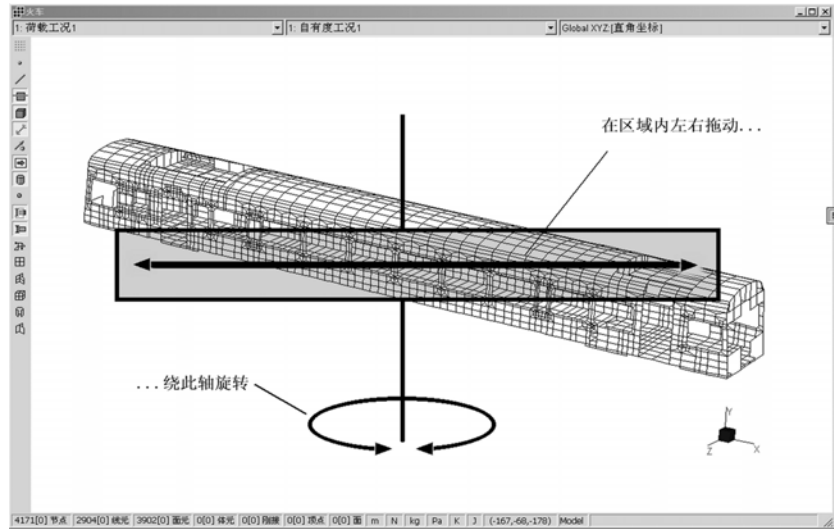


图 2.7 动态旋转之二

➔ 在后处理模式中，拖动的同时按下 Ctrl 键，可以动态地改变位移显示比例。

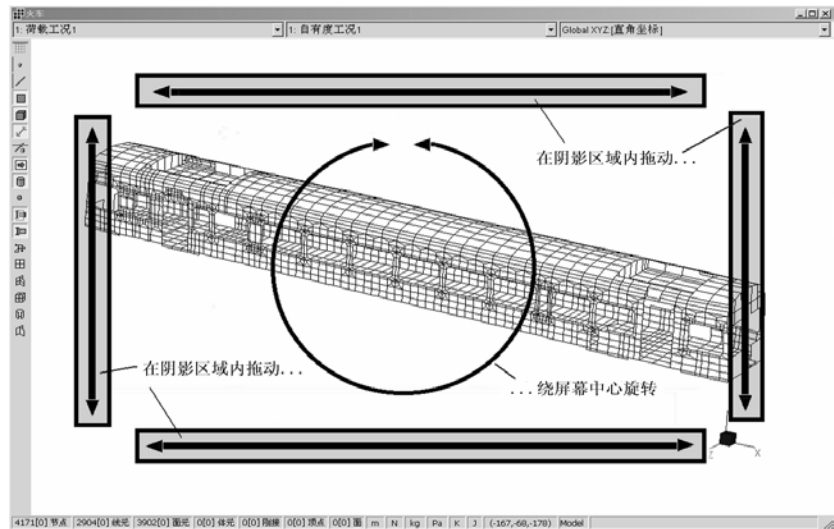


图 2.8 动态旋转之三

动态缩放

要放大时，按下鼠标右键并从下向上移动；要缩小时，按下鼠标右键并从上向下移动。

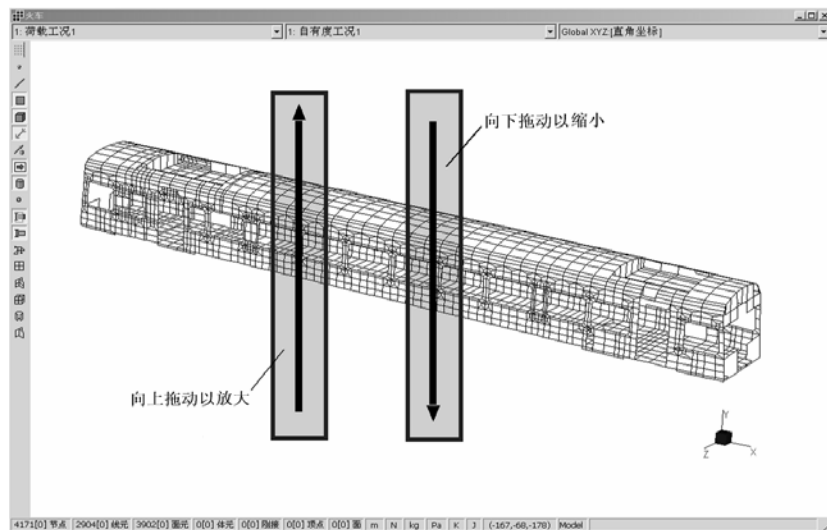


图 2.9 动态缩放

动态平移

要平移，同时按住鼠标的左右两键并拖至新的位置。

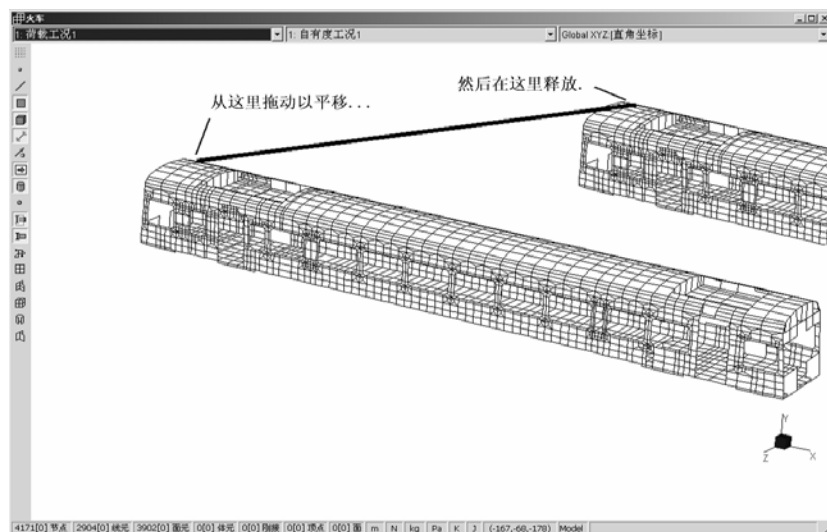


图 2.10 动态平移

显示比例

Strand7 通常将比例设置为使整个模型充满屏幕。有时可能需要隐藏模型的某些部分而仅在屏幕上显示其余部分。在缺省设置下，Strand7 将比例设置为针对整个模型(即不可见部分也包含在屏幕内)。要使比例只作用于可见的实体，在 比例自动设置取...[Scale on] 下选中 可见实体 [Visible Elements]。

➔ 当隐藏了模型的某些部分并想将比例设置为可见部分占据整个屏幕时，可设置 比例自动设置取...[Scale on] 为 可见实体[Visible Elements]。如果没有隐藏模型的任何部分，则设置比例自动设置取...为 整个模型 [Whole Model]，这将加快屏幕刷新速度。

➔ 缩放比[Zoom Ratio]选项控制工具按钮条上的快速缩放按钮的缩放量。



图 2.11 显示比例

第 3 章

实体选择

实体选择是 Strand7 中最重要的操作之一。你必须选择实体才能进行指定属性、删除实体、指定组或者显示和隐藏部分模型等功能操作。使用 Strand7 时，可以根据执行的操作采取不同方式选择实体。为了有效地使用 Strand7 中的选择工具，你应该非常熟悉工具按钮条上的选择按钮。



图 3.1 选择工具

- 选择功能提供了选择实体的不同方式。例如逐个地选择或按组选择。
- 选择模式用来控制操作的性质是设置、清除还是切换选择状态。
- 实体切换用来决定那些类型实体参与操作。

实体选择的时间通常是随意的，可以在激活某项特定的功能之前也可以在其之后。但对线元端、面元边或体元面(而不是对整个实体)施加属性属于例外的情形。此时 Strand7 根据实际需要只选择实体的某个部分。参见“线元端选择”、“面元边选择”、“体元面选择”的主题以获得更多的信息。

选择功能



选择状态切换

单个实体的选择可以在任何时候由按下 选择切换状态[Select] 按钮然后一次点击一个实体来实现。

➔ 参阅实体切换一节以学习如何优先选择某一个特定类型的实体。

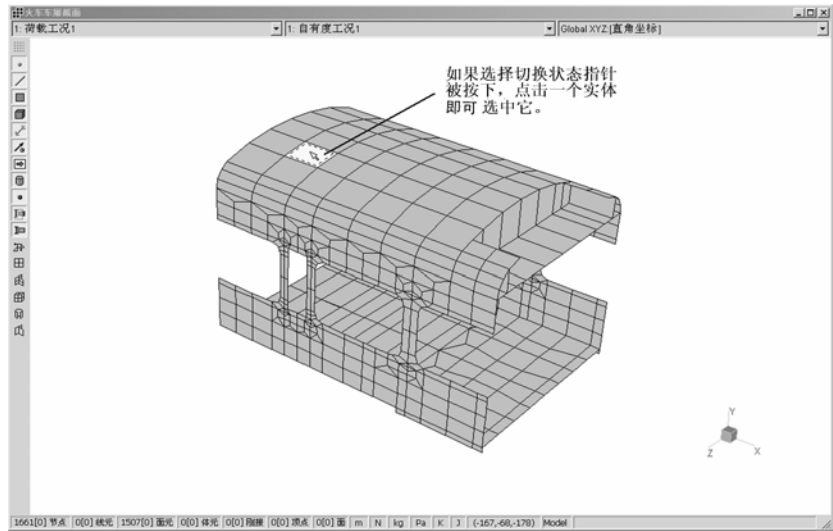


图 3.2 选择状态切换

要选择一个矩形区域内的实体，只需在模型窗口中按下鼠标左键并拖动以在屏幕上定义该矩形区域。

➔ 此时选择工具选中了至少其部分位于选择区域内的可见实体，位于其后的实体没有被选中。

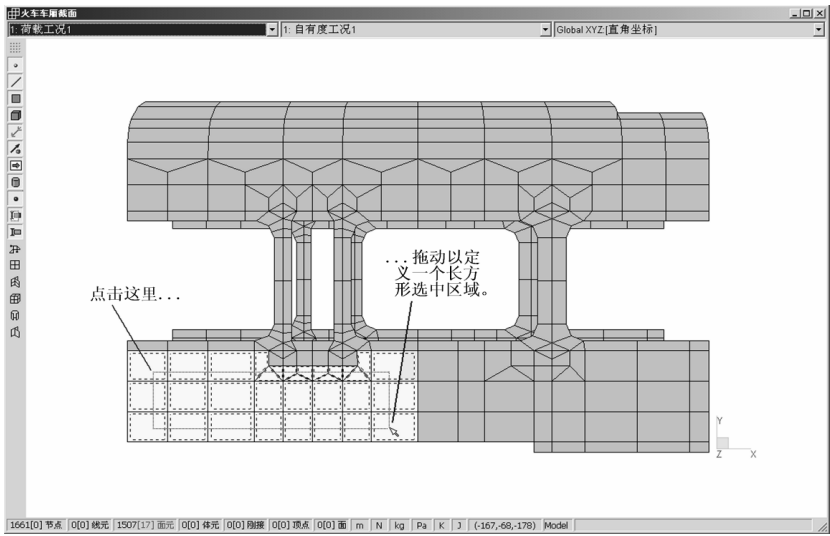


图 3.3 选择一个矩形区域

要沿某条直线方向选择实体，需在拖动中按下 Alt 键。在按住 Alt 键时，矩形区域变成了一条直橡皮带。

➔ 与直线相接触的实体被选中。为了解如何选择位于显示实体之后的实体可参见“线框方式显示下的操作”或“根据区域选”。

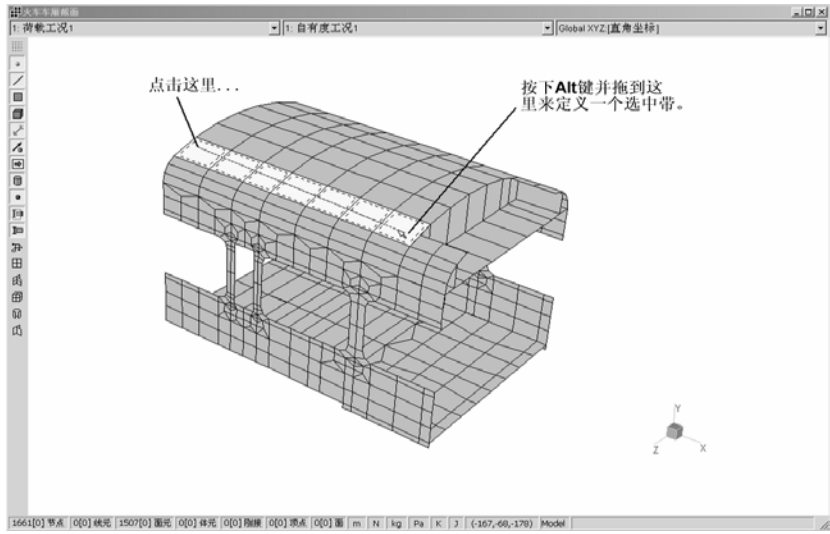


图 3.4 沿某方向进行选择



全选

点击 选择全部[Select All] 按钮可立刻选中所有的实体。



根据区域选

当选择位于柱坐标、球坐标和环坐标下的曲线或曲面上的实体时，区域选择可显示其非常强大的功能。它也用于在任何坐标系中三维区域的选择。例如，可通过在一个柱坐标系中定义一个区域而选择位于圆柱表面上的所有面元。

➔ 沿一条线按区域选择通常用于对边缘施加节点约束，或对面元的边施加边分布压力。

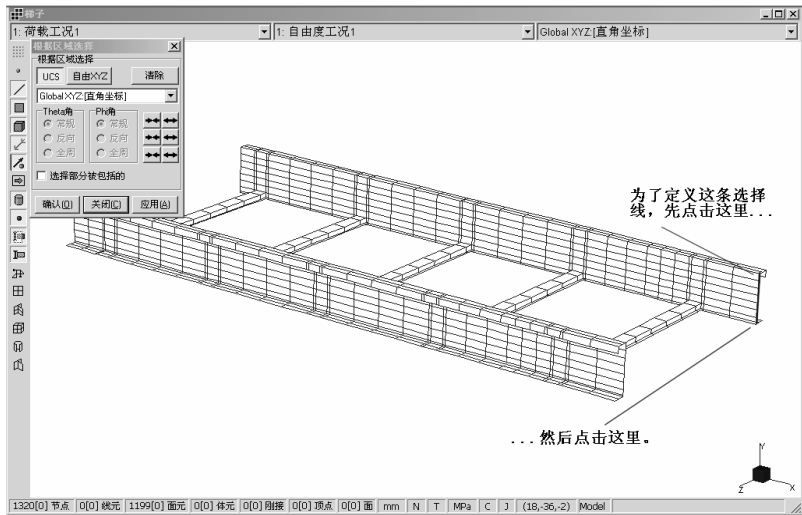


图 3.5 按区域选择——线

➔ 通常为了施加压力荷载或执行诸如 拉伸 [extruding] 的操作而要选择一个面。

➔ 当 选择部分包括的 [Select partially enclosed] 被激活时，只要一个实体的一部分位于选择区域内，则这个实体就将被选中。如清除这一功能，则实体必须完全位于选择区域内时才被选中。

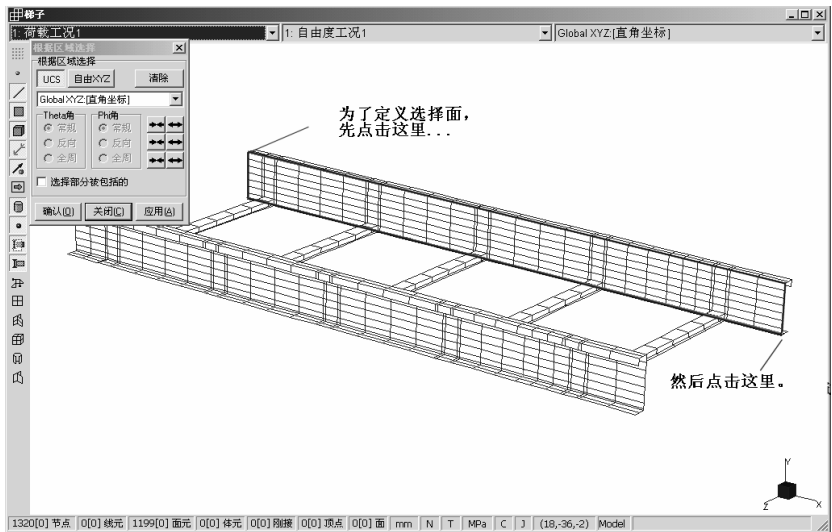


图 3.6 按区域选择—四边形

➔ 区域选择工具选择位于后部的实体。所有在选择区域中的实体都将被选中。

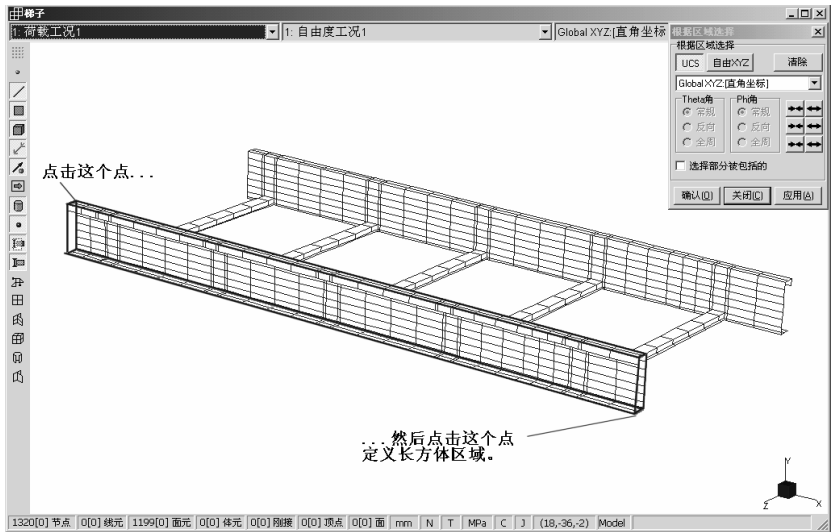


图 3.7 按区域选择—长方体

- ➔ 定义柱坐标后，可通过点击两点来选择一个圆柱片。
- ➔ 在对话框中的 反向 [Rev.] 选项将翻转所选的区域。此处翻转的选择区域是一个完整的环面，减去先前选择的柱面片。

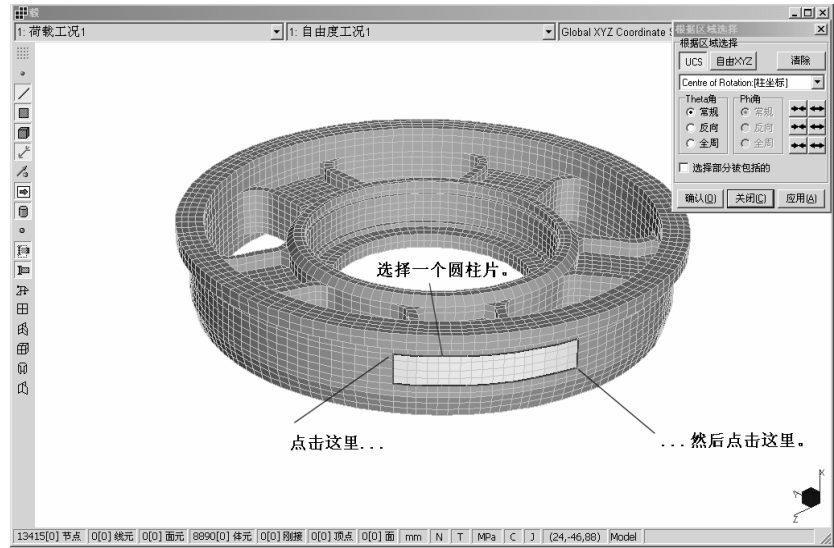


图 3.8 翻转所选区域

- ➔ 如要选择整个环面，在对话框中选择 全周 [Wrap] 选项。现在只需单击即可选择一个完整环面。

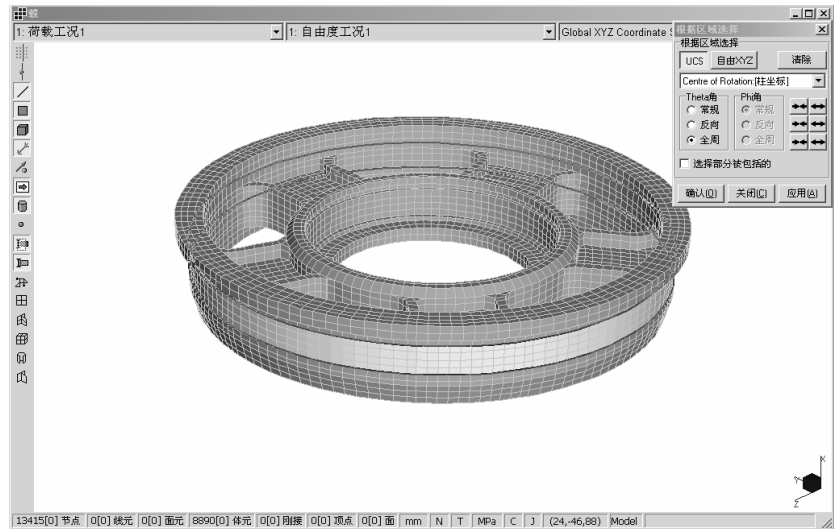


图 3.9 选择整个环面

➔ 如果在选择面外点击一点，这个面将扩展而形成一个选择体积。这个功能适用于任何坐标系。

➔ 使用“推动”(nudge)箭头调整选择区域的大小。要移动选择区域的一边，在按箭头按钮的同时按住 Ctrl 或 Alt 键。

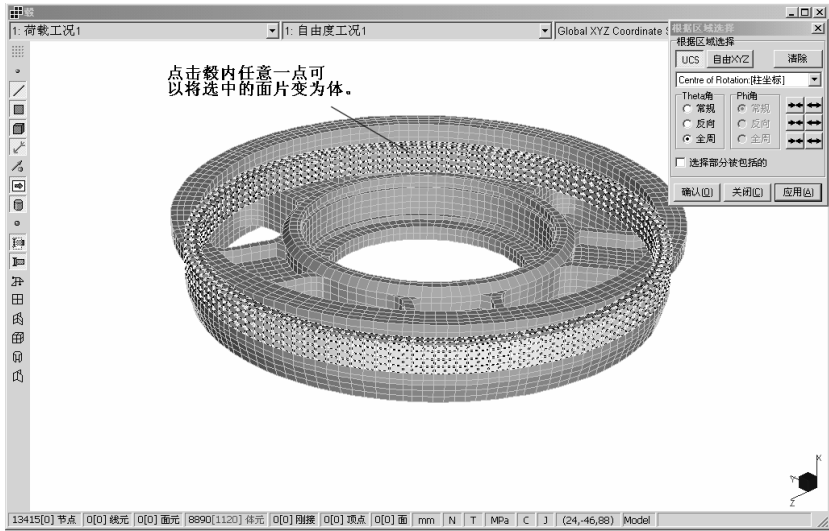


图 3.10 调整选择区域大小



根据性质选

➔ 如果你不知道性质的编号，只需在相应的单元上点击。

用 根据性质选[Select by Property] 来选择具有特定性质的线、面或体元。性质选择对话框接受用逗号分开的一系列性质号码或以“12—16”这种连续形式表达的的性质号码。“12—16”表示选择性质号为12、13、14、15 和 16 的实体。



根据组选

➔ 只要在对话框中的组名上点击或在一个单元上点击即可自动地拾取组名。

组提供了按逻辑结构组织实体的有力工具。例如一个建筑物可由不同的“楼层”组构成。在“楼层”组中，可以有“楼板”、“横梁”和“立柱”等子组。可通过 根据组选 功能来选择任何组和子组。参见第7章“组、坐标系和全局数据”以获得更多有关使用组的信息。



清除所有选择

要清除所有实体的选择，点击 清除所有选择 按钮。通常在已选的实体上执行一项操作后，它们会自动被清除。因此这项功能一般在误选实体时使用。注意，这是唯一一个不受实体切换[Entity Toggles]影响的选择工具，也即它清除所有已选的实体，而不管实体切换的状态如何。

选择模式

有三种选择模式：



切换选择

每次选择操作都对作用对象的选择状态进行切换，即处于选中状态的实体将被清除而未处于选中状态的实体将被选中。这是缺省的操作模式。你若误选了实体，只需再点击该实体即可清除选择。



总是选择

每次选择操作都实施选择。如果实体已被选中，它将保持选中状态。当你逐个地选择大量实体，并且希望避免偶然点击已选的实体而清除了其选中状态，可使用这种选择方式。



总是清除

同总是选择相似，这种模式用于在操作时确保已清除的实体不会因偶然失误而又被重新选中。



实体切换

→ 实体切换的状态也影响实体查询窗。只有那些处于实体切换被激活状态的实体可被查询（参见第 1 章）。

有时你可能需要在模型的某一部分中选择所有的实体类型(例如，删除结构中的某个部分可能需要同时删除一些面和线元)，而其它时候你可能只需要选择某一特定类型的实体(例如只选择面元以指定面元压力)。在实体切换条中使用切换按钮以指定哪些实体参与选择操作。

工具按钮条中包含每一种实体类型(节点、线元、面元、体元、刚接、顶点以及几何面)的图标。如果按下某一图标，则这种实体类型可被选择和清除。例如，通过按下线元图标而不按下面元和体元图标，可以容易地在模型中只选择线元。

实体切换按钮的特殊使用

Strand7 支持不同类型的线元、面元、体元及刚接(例如, 有 3 节点和 4 节点的面元, 8 节点和 20 节点的体元等)。要在模型中只选择 3 节点面元, 则在面元切换按钮上右击并选择 3 节点面元图标。这样接下来的所有选择操作将只影响 3 节点面元。要再设置能够选所有的面元, 则再右击一次并从图标列中选第一个图标。

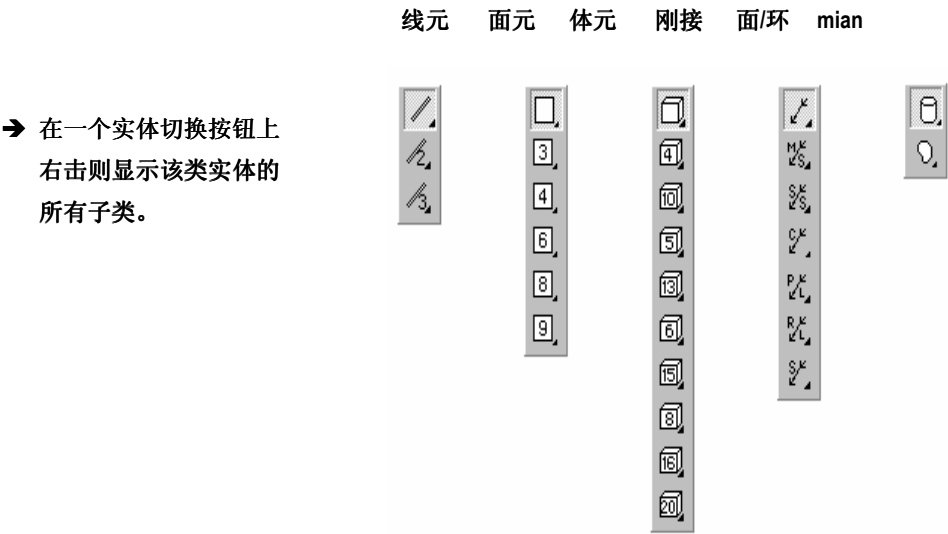


图 3.11 实体切换按钮

状态条

模型窗口底部的状态条给出诸如实体总数等信息, 同时它也提示当前已选择的实体数。例如, “356[12]面元”说明模型中共有 356 个面元而已选中了 12 个。在执行某种操作(例如删除)前看一下状态条很有益处, 这样可确认没有被误选的实体。

特殊的选择模式

线框显示方式下的操作

当用选择切换状态指针选择实体时，只有所定义的选择区域内的实体被选中。这时，被按着色方式显示的单元遮住的实体(也就是后面的单元)将不能被选中。如果用线框架方式显示，则选择区域能选中后面的实体。

当选择单个线框实体时，应从靠近实体边内侧的某处点击。正好在实体边线上点击是不正确的，因为可能两个相邻的实体都被选中。当屏幕某显示区有不只一个单元时，应在靠近要选的实体的边内侧处点击以避免选错实体。

➔ 在线框单元的边内侧处点击以选择相关单元。用线框方式选择有时很有用。因为这样可以选择那些在着色方式下被遮住的单元。

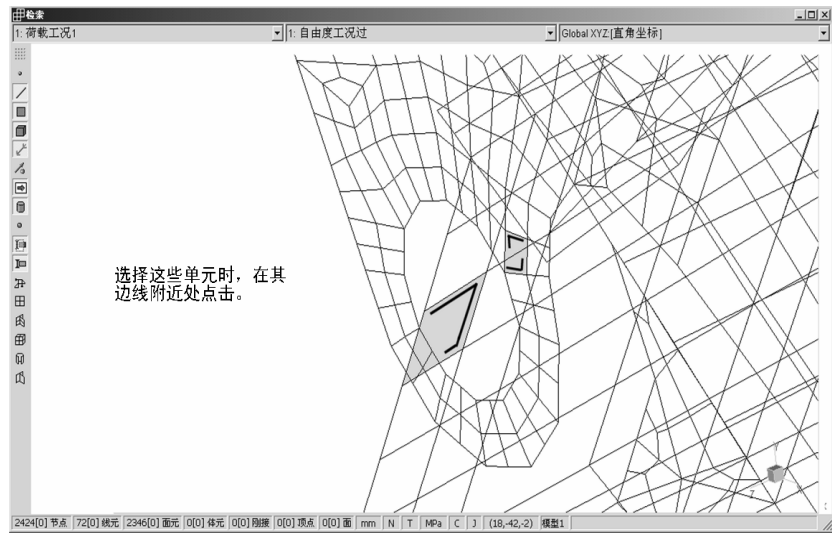


图 3.12 线框方式选择

选择线元端点

有时需要选择线元的某一端而不是整个线元。例如当要对线元的某一端施加点端部释放条件时，我们只需选对应的端点。如果已激活对线元端部操作的功能(如 端点释放[End Release])，则点击线元将只选择线

元的一端。要选择两端，则只需先点击线元的一端然后再点击另一端。

选择面元边线

与线元端点选择相似，有时需要选择面元的边线。例如在面元边上施加分布压力及进行面元过渡时均需选择面元的边。当操作需要选择面元边时，Strand7 将自动设置选择模式为只选择面元边线。

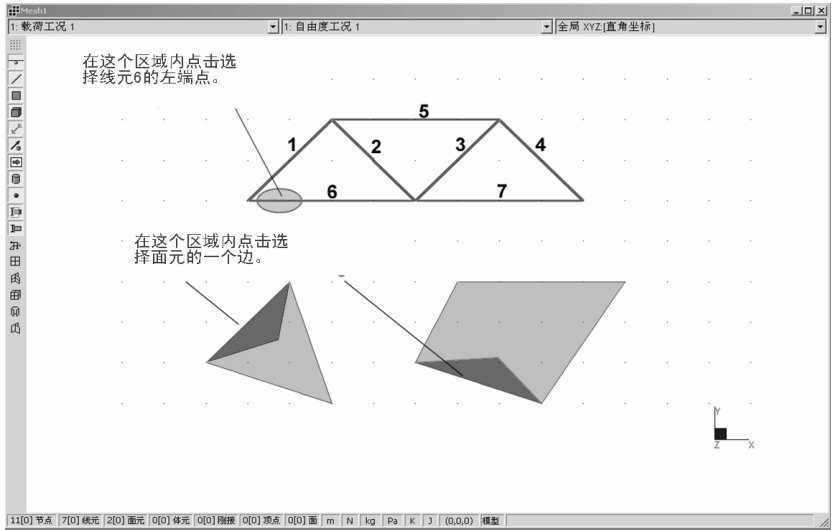


图 3.13 线元端和面元边的选择

选择体元面

通常在施加体元表面属性时，例如压力，需选择体元的面。当进行体元的面操作时，体元面将优先于整个体元而被选择。如果要在一定体元上选择多个面，则需依次点击它们。

第 4 章

显示和隐藏

使用显示和隐藏模型不同部分的功能可以大大地简化前、后处理的工作。有多种方法显示和隐藏实体。

实体切换条

这是在每个模型窗口都能找到的工具条，通常位于窗口的左边。要改变它的位置你可以在切换条上空白处右击并选择一个新位置。实体切换条包含许多切换按钮可让你迅速地显示和隐藏实体。

➔ 用这些按钮来隐藏某种类型实体时，将隐藏该类型的全部实体而不管其它显示/隐藏选项的状态如何。

➔ 可在模型窗口右击，然后在弹出的菜单中点击属性显示以打开设置对话框进而确定要显示/隐藏的某一特定属性 (例如板元边压力)。

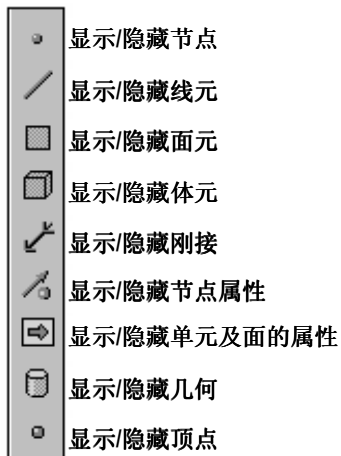


图 4.1 显示/隐藏切换工具

根据性质显示/隐藏

要隐藏具有某一性质的所有实体或某一类型的几何面，只需在 根据性质/类型显示[Show by Type/Property] 对话框中的显示选择表中改变对应的选项即可。

- ➔ 在模型窗口中右击，然后在弹出式的菜单中点击 根据类型/性质显示而激活设置对话框。
- ➔ 在复选框中点击单元性质名或直接在模型窗口中点击单元以选择或清除实体显示。



图 4.2 根据性质/类型显示

通过组显示/隐藏

要隐藏属于某一特定组的所有实体，只需在 组[Groups] 对话框中切换对应图标。

- ➔ 可以通过主菜单条的全局[Global]→组[Groups] 功能来激活 组对话框。
- ➔ 这里显示的对话框表示建筑物的第三和第四层是隐藏的。要再显示它们，在其组名上点击。
- ➔ 也可以在模型窗口右击，然后在弹出的菜单中点击 组[Groups] 来激活组对话框。



图 4.3 按组显示

显示/隐藏已选的与未选的实体

要显示/隐藏那些已选或未选的实体，用模型窗口中实体切换条上的显示/隐藏已选的[Show/Hide Selected]和显示/隐藏未选的[Show/Hide Unselected]按钮。



显示/隐藏已选的

用此按钮可将已选的实体暂时隐藏起来。它可以用来方便地将逐次连续选择的实体隐藏起来，而只留下未选的实体以便于操作。

用这种方式隐藏起来的实体不参加任何编辑和显示操作。例如你不能删除一个隐藏的已选中实体。同样地，应力等值线图的应力值范围也不包括被隐藏单元的应力值。



显示/隐藏未选的

这与显示/隐藏已选的正好相反，通过它以显示或隐藏未选的实体。

该功能的一个通常用法是检查是否选择了正确的实体。在选中了许多实体之后，隐藏未选的实体可以用来核实屏幕上显示的是否都是应选择的实体。

第 5 章

建立模型

典型的建立模型过程是用生成节点和单元的工具先建立一些基本节点和单元，然后再用主工具条中的工具以这些节点和单元为基础而完成全部模型。另一种建模方式是输入三维 CAD 几何模型并使用 Strand7 的网格自动剖分功能。本章讲述创建节点和单元的基本工具，并通过例子介绍一些高级工具的使用。网格自动剖分功能将在第六章介绍。

创建节点

手工创建

可通过在主菜单条中的 创建[Create] 菜单下选择 节点[Node] 来逐个创建节点。操作时将显示 创建节点[Create Node] 对话框(图 5.1)，框中 X、Y 和 Z 栏内的值不必是常数。例如，可通过在 X 栏输入一个值并在 Y 栏输入 “ X^2 ” 并按 应用[Apply] 按钮来生成抛物线上的一个点。

在二维区域工作时，可清除 Z 复选框。当用清除复选框的方式取消一栏时，被清除栏内的值可不为零。例如，可以通过下列过程创建一系列沿 X 轴并且 $Y=1.0$ ， $Z=2.5$ 的点。

-
1. 在 Y 栏内输入 “1.0”
 2. 清除 Y 复选框以锁定 Y 值为 1.0
 3. 在 Z 栏内输入 “2.5”
 4. 清除 Z 复选框来锁定 Z 值为 2.5

5. 在 X 栏中输入任何值
6. 按 应用[Apply] 按钮
7. 回到第 5 步生成下一个节点。节点编号将自动增加。

→ 要创建单个节点，输入 X、Y 和 Z 的值并按 应用[Apply] 按钮。

→ 清除一个复选框以锁定或固定某个数值。

→ 数值栏也接受公式(如: $\sin(25)$)作为输入值。



图 5.1 创建节点对话框



使用网格捕捉

如果 创建节点[Create Node] 对话框处于激活状态，可通过点击捕捉网格上的一点而自动地建立节点。要改变捕捉网格的间距，可在切换工具条的 显示网格捕捉[Snap Grid] 图标上右击，或从 显示[View] 菜单中选择 格栅设置[Snap Grid]。要显示格点，需确保 显示网格捕捉 图标按钮是按下的。

检索和移动节点

可以在模型窗口中用 Ctrl+点击来拾取一个节点的坐标。这一过程同时也在被选的节点上“附上”一条橡皮带，并允许你使用下面的三种方法之一来重新定义该节点的位置。

1. 在节点[Node] 对话框中键入新坐标值并按 应用[Apply] 按钮。
2. 拖动橡皮带并点击捕捉网格上的一点，则被选节点将移至该点。
3. 拖动橡皮带并点击另一个节点，则被选择的节点将移到被点击的节点上。

➔ 如果已用这种方法拾取了一个节点并且已附上了橡皮带，可按 **Esc** 键来取消该项操作。

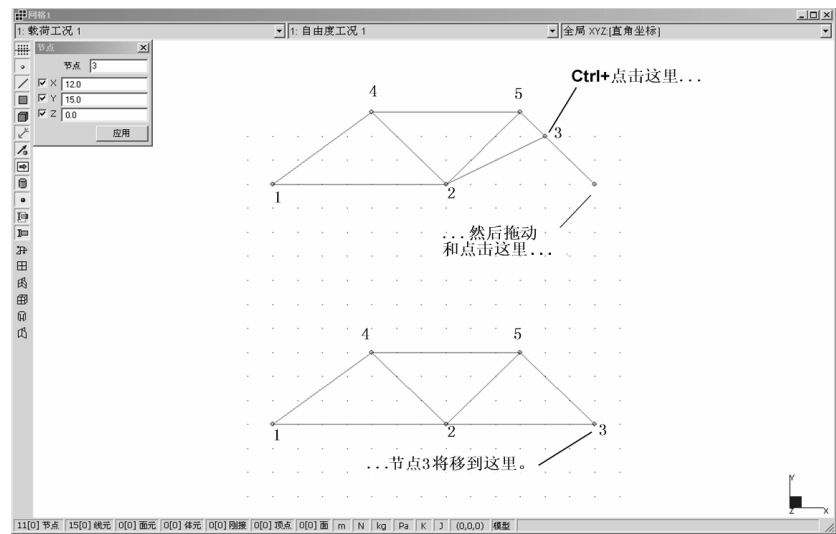


图 5.2 节点移动操作示例

创建单元

可用 创建[Create] 菜单中的 单元[Element] 选项来逐个创建单元。单元创建对话框中有线元、面元和体元类型的选项。连接单元时，用统一的顺时针或逆时针方式点击所需的节点；在你点击单元的最后一个节点时单元将被自动地生成。

- ➔ 在创建高阶单元(例 Q8 面元)时, 先点击角节点, 然后是边中节点。若边中节点在两个相邻角节点正中间(最一般的情形), 点击平均[Average] 按钮中的一个(当前[Next] 或 全部[All]), 将自动创建中间节点。
- ➔ 自动生成的边中节点取相邻角节点在当前坐标系下坐标值的平均值。例如, 若当前坐标系是柱坐标, 中间节点的位置坐标分别是角节点上相应的 R、 θ 和 Z 坐标的平均值。

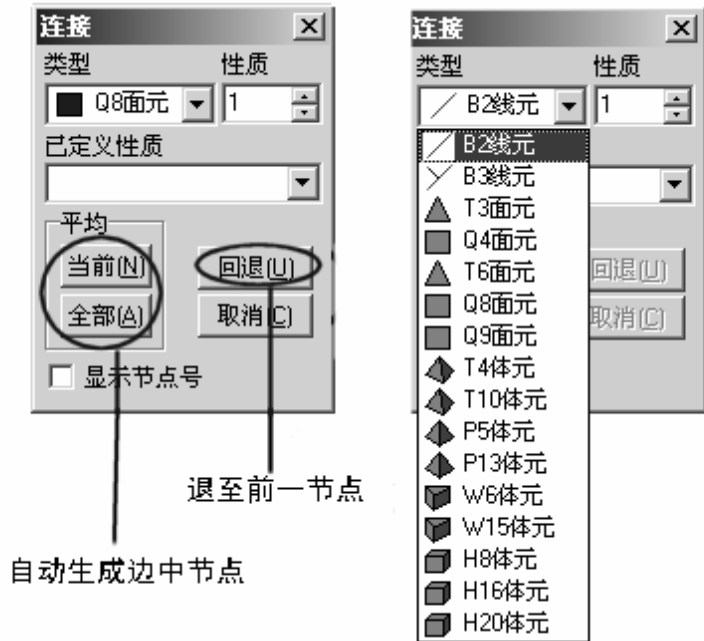


图 5.3 连接节点建立单元

编辑单元

使用 编辑[Edit] 菜单, 单元的连接关系可通过一系列点击来逐个地编辑。

1. 在主菜单条上选择 编辑[Edit]→单元[Element];
2. 点击所要编辑的单元;
3. 点击要重新定位的节点;
4. 点击一个新的目标节点或网格点, 则单元将连结到对应的新位置。

使用工具

Strand7 提供了许多建模工具以简化建模过程。其中最常用的工具是细分 [Subdivide]、复制 [Copy]、移动[Move]、拉伸[Extrude] 以及 单元过渡[Grade]。下面是这些工具使用的一些典型示例。

➔ 单元过渡[Grade] 工具可以用来从面元或体元组成的模型上切割出多种形状的单元。工具条上的工具可用于面元或体元。使用时根据亮显的边选择过渡按钮，然后按下 实施[Apply]。

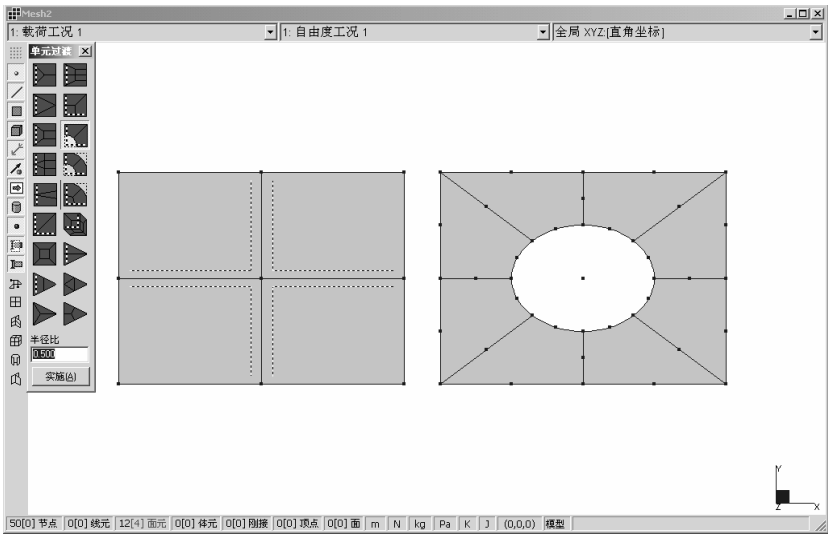


图 5.4 单元过渡

➔ 使用 细分[Subdivide] 工具可迅速地将一个 Quad8 单元细分为 6x6 个 Quad4 单元。

➔ 细分[Subdivide] 工具也可用来转换单元类型，例如将 Q8 面元转换为 Q4 面元。

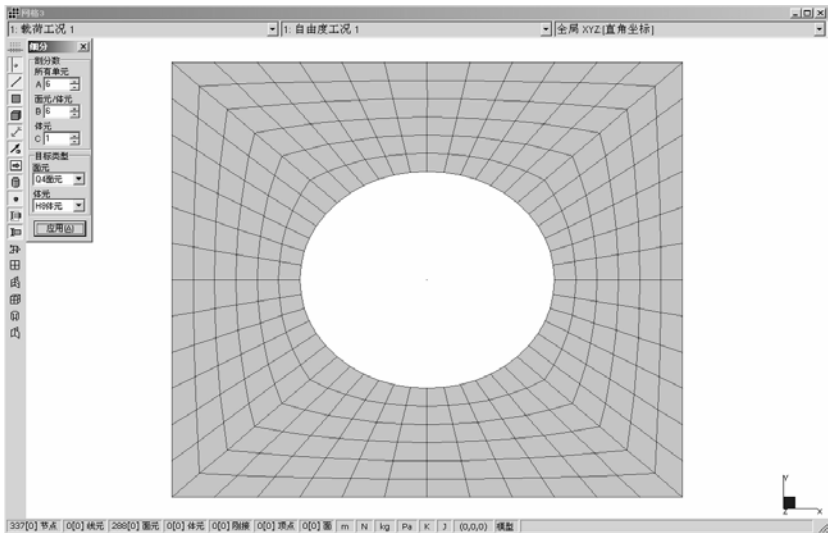


图 5.5 单元细分

→ 右图所示的边线是通过生成 4 个线元，然后在其交点处产生三个倒角 [fillets] 而形成。

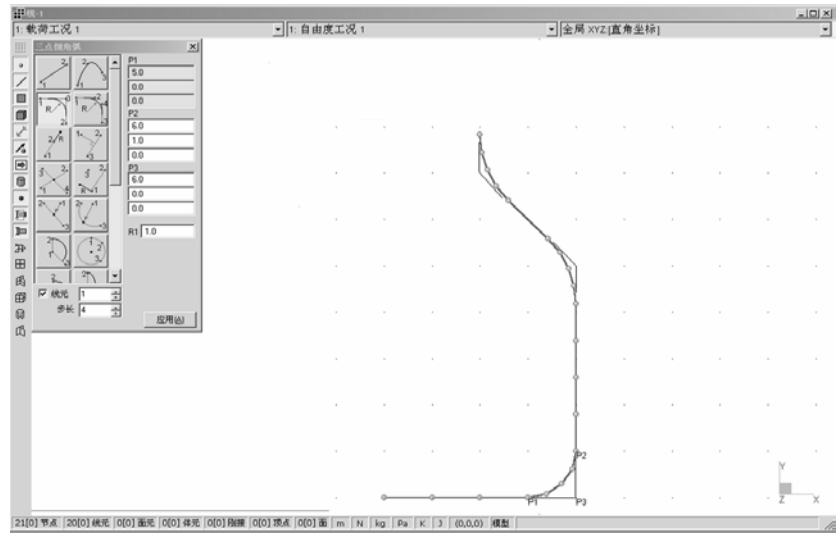


图 5.6 倒角

→ 使用 拉伸[Extrude]→用厚度[by Thickness] 可将一系列线元拉伸，从而生成一个面元网格。拉伸功能类似于在屏幕所在的平面上沿线元的第 2 主方向扫描。

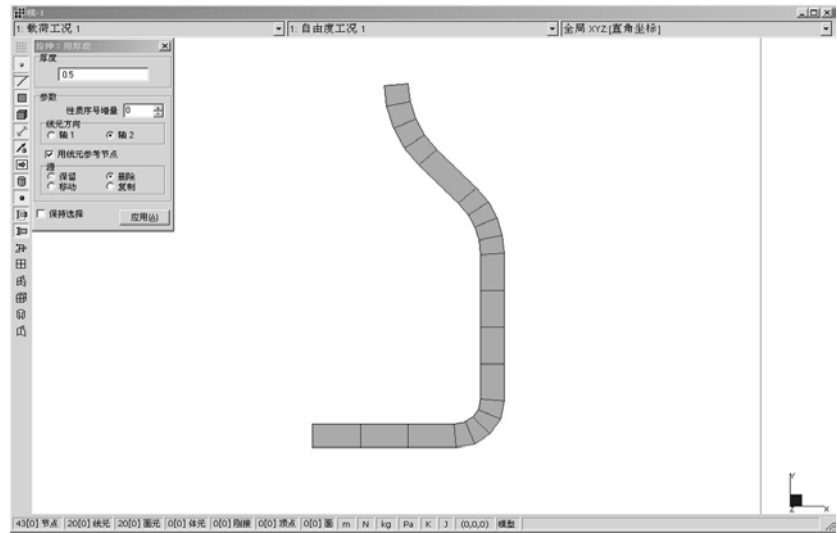


图 5.7 用厚度拉伸

→ 沿柱坐标的一个轴扫描面元而拉伸生成体元。

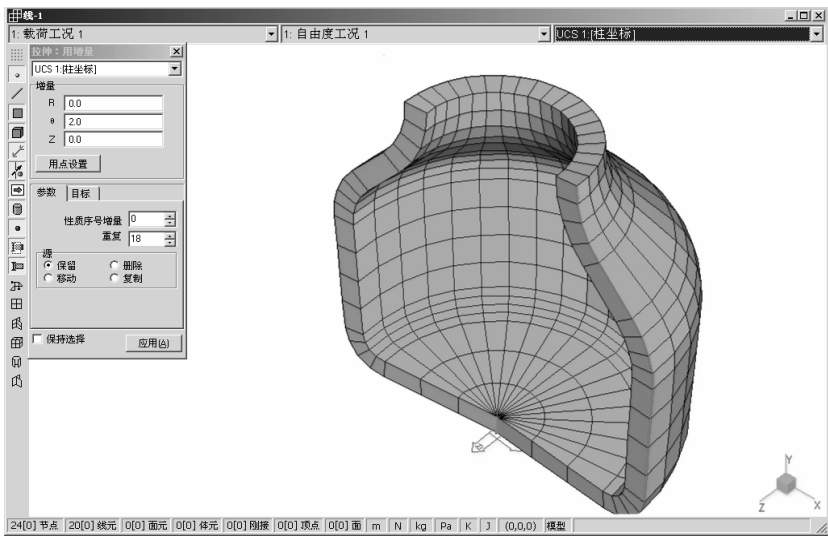


图 5.8 绕一个轴拉伸生成体元

→ 在直角坐标系中通过拉伸面可以容易地创建这类体元模型。

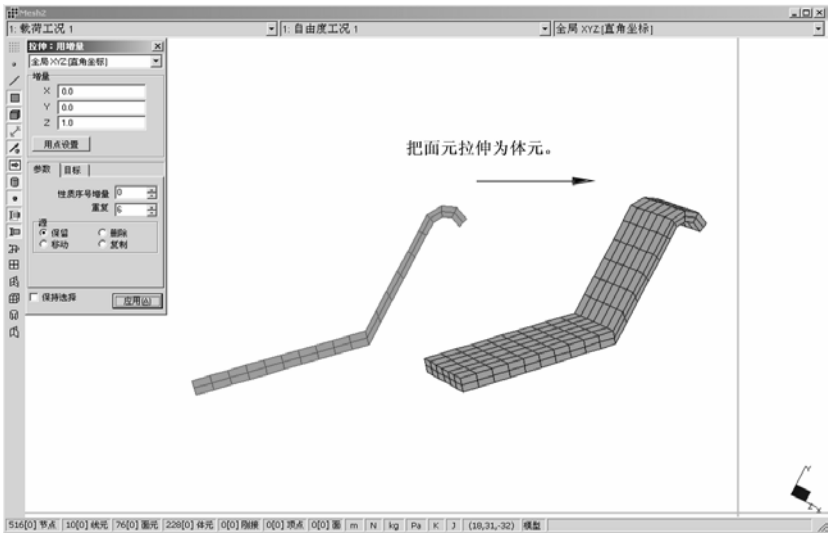


图 5.9 拉伸面元为体元

→ 使用 光滑面元[Smooth Plates] 工具来改善面元网格的质量。

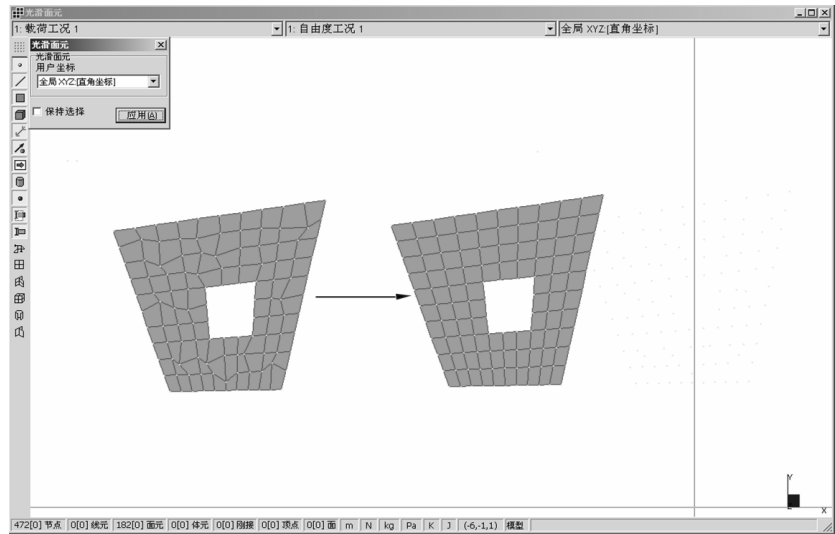


图 5.10 光滑面元

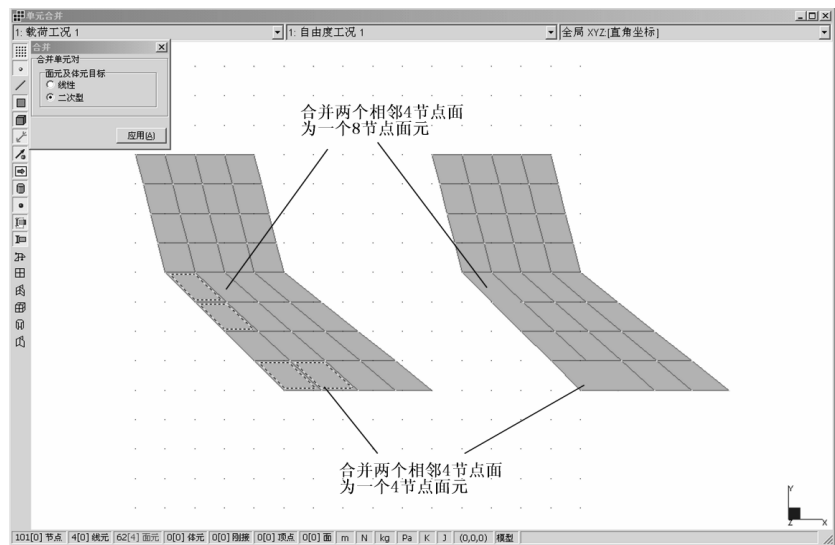


图 5.11 单元合并

使用 转换[Convert]→合并单元对[Merge Element Pairs] 工具来合并一对线元、面元或体元。可以组合两个三角形或四边形面元而形成一个新四边形面元。

可以组合两个楔形单元形成另一个楔形单元或一个六面体单元。也

可以组合两个六面体单元而形成一个新六面体单元。

- 可通过使用 调整[Align] → 线元坐标轴[Beam Axes] 工具自动调整线元截面使其主轴与任意制定坐标系的轴对齐。要以一个固定的角度旋转线元，可指定一个线元主轴角[Beam Principal Axis Angle] 属性。

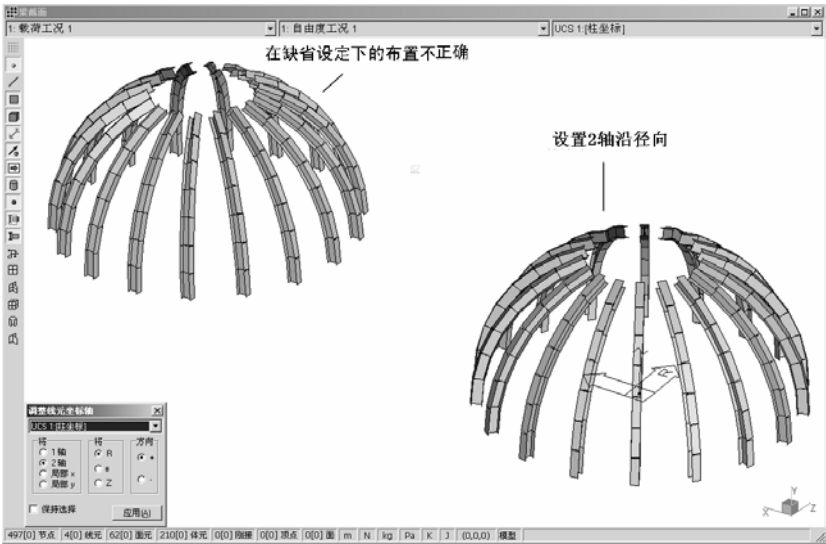


图 5.12 主轴调整工具的使用

- 角型断面可通过 调整 [Align]→线元坐标轴 [Beam Axis] 工具或逐个地指定单元主轴的角度来调整。

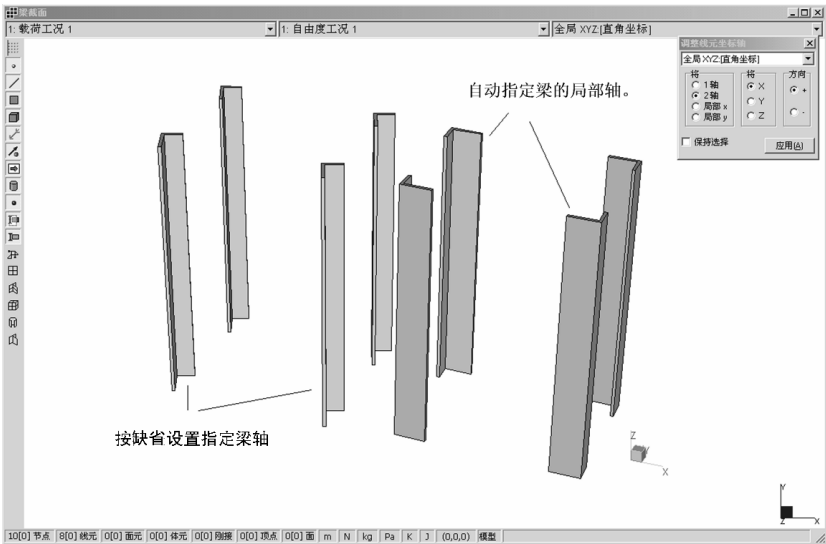


图 5.13 指定线元主轴的角度

工具选项

每当你用到某一个工具，Strand7 都要用到在工具设置 选择[Tools Options] 对话框中设定的一些参数。

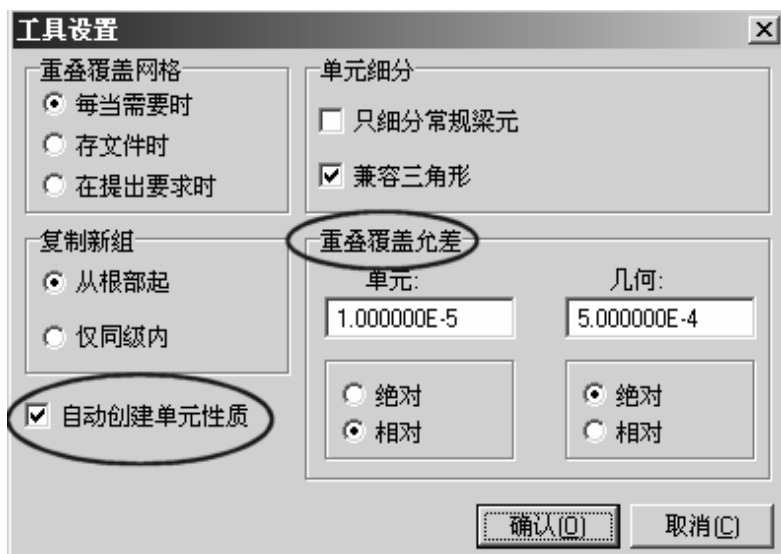


图 5.14 工具选项

重叠覆盖允差[Zip Tolerance]用来决定两节点是否应重叠在一起。在绝对[Absolute]模式下，每当两个节点的间距小于重叠覆盖允差时，它们便被重叠在一起。在相对[Relative]模式下，当两个节点的间距小于重叠覆盖允差与最大模型尺寸的乘积时，它们将被重叠在一起。最大模型尺寸是指模型中节点间沿 X，Y 和 Z 方向的最大距离。

如果设置了自动创建性质[Auto Create Properties]，则在每次创建性质类型不存在的新单元时，同时将创建其性质类型并赋给性质参数缺省值。

清理

工具[Tools] 菜单中的 清理[Clean] 选项提供了许多用于检验和清理的功能，包括：

- 1. 模型中不相连的区域；
- 2. 无效或退化的单元；
- 3. 重叠的单元。

➔ 网格清理[Mesh Cleaning]

工具需使用 允差[Zip tolerance] 参数。

➔ 要预知清理操作效果，
选择 只进行检查[Check Only] 选项。

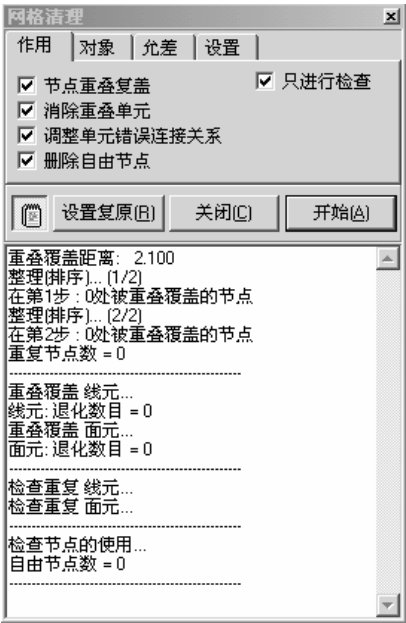


图 5.15 网格清理

第 6 章

网格自动剖分

Strand7 包含有一套强大的网格生成工具，可以自动地将 CAD 几何模型转换成数值分析所需的有限元模型。这套工具分属于三个基本类别：

1. 几何清理工具
2. 面网格自动剖分工具
3. 实体网格自动剖分工具

属于第一类的工具用来为网格自动剖分准备 CAD 几何数据。这包括消除模型中不必要的几何特征和间断。除非是考虑极其简单的情况，几何模型都包括若干个几何面，而在它们之间的某些交界处可能存在不需要的间断。使用几何清理工具可以缝合这些间断以保证产生的网格在交界面上满足协调性要求。图 6.1 至图 6.4 给出了使用这些工具的示例。通过 帮助[Help] 可看到更完整的介绍。

- T 型交接面和模型几何定义中的冗余要素是在输入 CAD 文件数据时遇到的典型问题。几何清理工具可用来解决这两个问题。

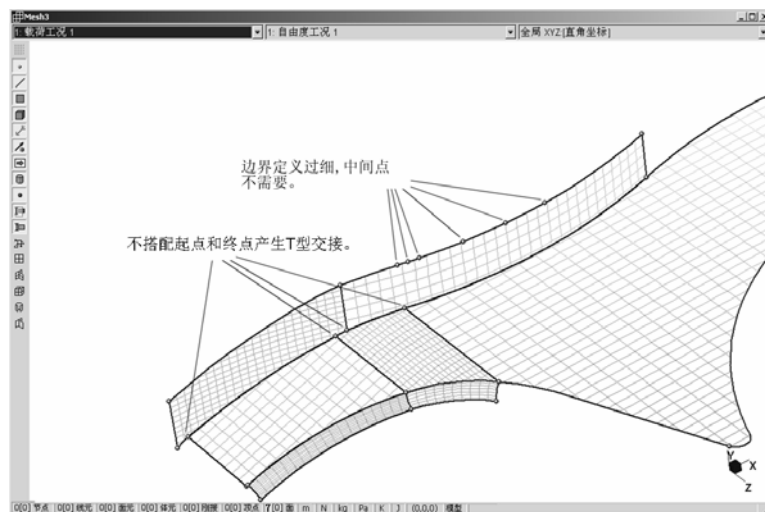


图 6.1 T 型交接

- 不匹配的几何边界或所包含顶点与其脱离的几何边界产生不协调的网格。这些问题可用几何清理工具矫正。

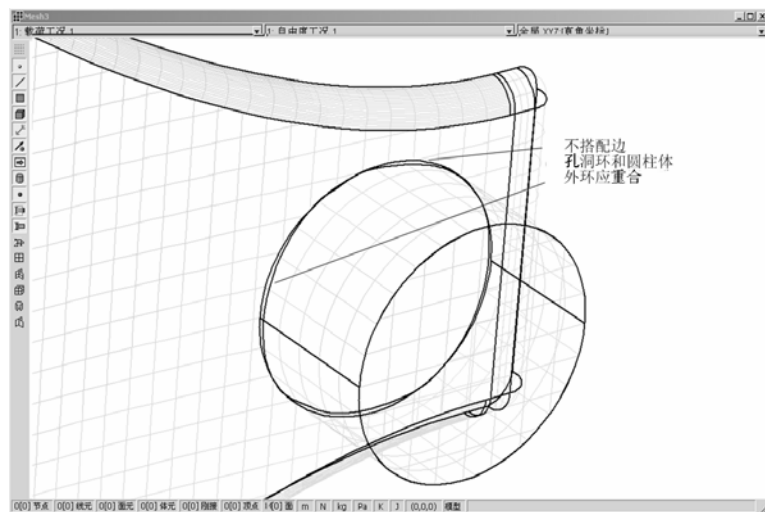


图 6.2 不搭配边界

- 图中所示的小几何面对生成的网格有不良影响。除非需要很细的网格，应将其清除。几何清理工具可删除这种小几何面并对其周围进行几何调整。

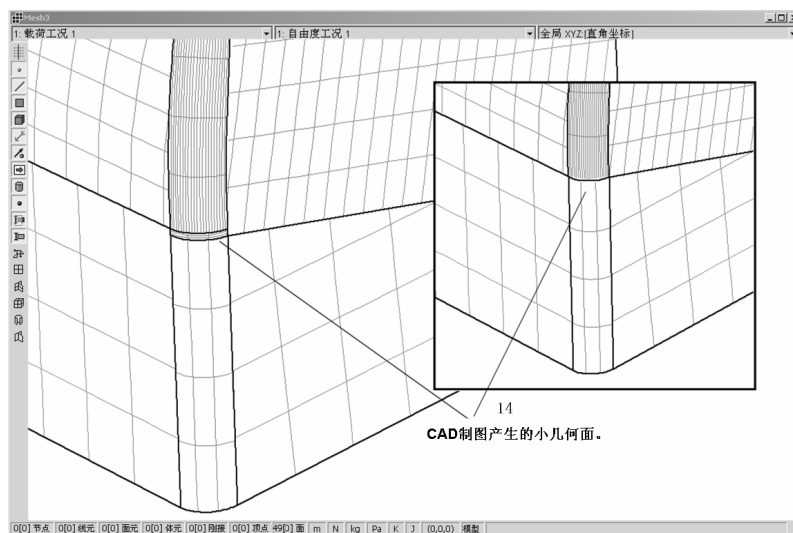


图 6.3 小几何面

- 自动将一个面分为两个面。

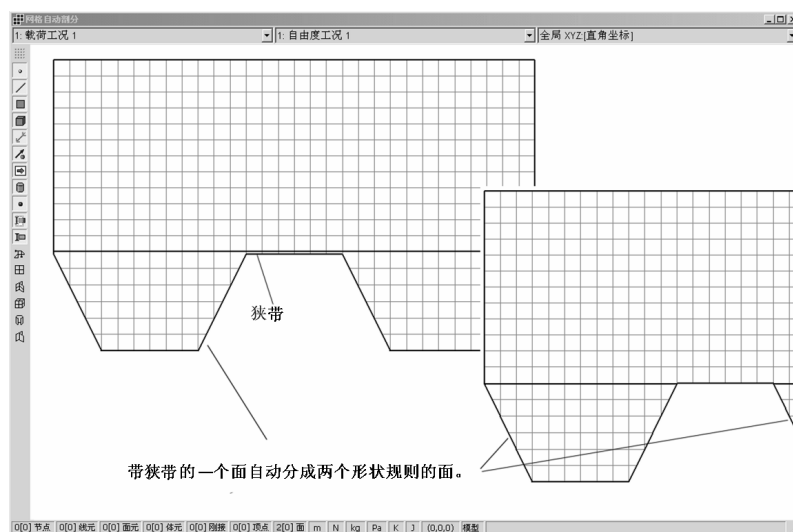


图 6.4 面的自动分割

面网格[Surface Mesh]剖分工具用来生成由三节点、四节点、六节点及八节点面元构成的有限元网格。这些网格可用于板壳模型，也可用于一个实体网格的外表面。面网格剖分工具提供各种选项来控制所生成的网格，这些选项包括网格密度、单元类型、单元边线及表面曲率控制等。图 6.5 给出一个示例。

➔ 此例给出当保持 最大边长[Maxmum Edge Length] 参数为常数时改变 圆周最小边数[Edges Per circle] 的效果。

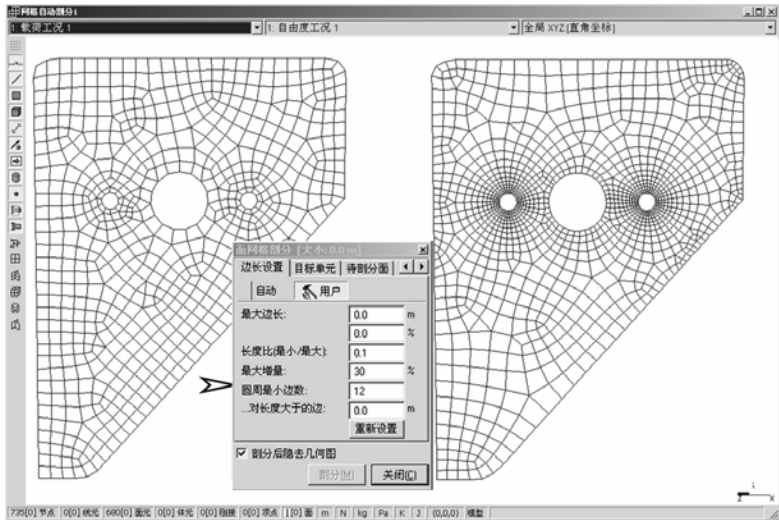


图 6.5 圆周最小边数

实体网格自动剖分工具可以在先前定义的表面网格上生成实体网格。实体网格可由四节点或十节点四面体单元构成。由于表面网格在很大程度上决定着实体网格，与其它工具相比，实体网格自动剖分工具有较少的控制参数。

Strand7 的自动网格剖分包括下列步骤：

1. 建立几何定义。可以是输入的 CAD 几何或用 Strand7 几何创建工具定义的几何；
2. 清理几何以确保它适合于面网格剖分；
3. 进行面网格剖分；
4. 如需要，进行实体网格剖分。

定义

下列定义是用来阐明 CAD 几何及其要素与 Strand7 中网格自动剖分的关系。这些定义应该与图 6.6 联系起来阅读。

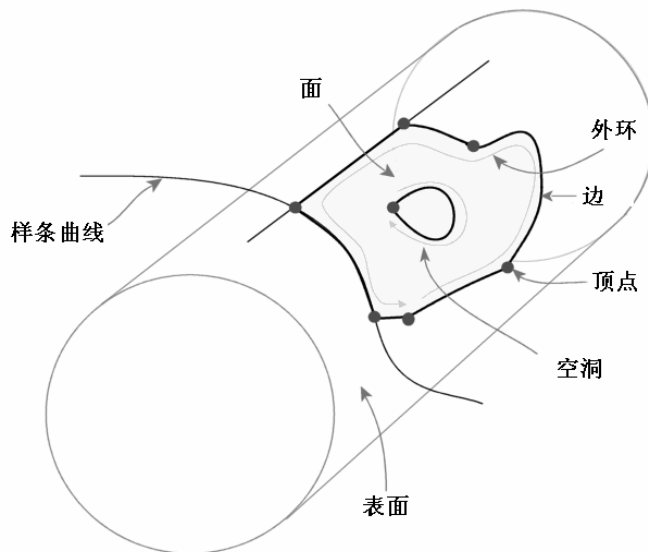


图 6.6 几何实体的类型

几何与拓扑

几何在 Strand7 中指一个物体的三维区域。Strand7 用类似于实体造型中的边界表示法表示该三维区域。在这种表示中，任何一个几何体都可通过 面[faces] 的集合表示，这就需要定义一些几何和拓扑实体。

面

面是由包含一个或多个位于一个任意三维 表面[surface] 上的环 [loops] 所构成的拓扑实体。面在一个表面上定义一个有限区域。表面可以是有限的(如一个球)，也可以是无限的(如一个没有边界的平面)。每个面含有一个或多个边界环或外环。所有非周期性面含有一个外环。周期性面——如没有间隙的圆柱面，可以包括两个外环。所有面可以包括任意数目的附加空心环。一个空心环定义一个在面上挖出的空洞区域（例如一个孔）。面可以指定象压力一样的属性。一经剖分网格，这些属性被自动地指定到生成的单元上。

环

环是由相连接的若干边组成的拓扑实体。在一个定义完整的环上，最后一个边的末端与第一个边的始端相连接。

边

边是由一个或多个相连接的曲线组成的拓扑实体。每条边都有一个起始顶点和一个终结顶点。对于组成一个封闭环的单个边，起始顶点与终结顶点相重合。边可以指定剪应力这样的属性，一经网格剖分，这些属性被自动赋给单元。

曲线

曲线是在三维空间定义线的几何实体。一条曲线可以是一条简单的解析曲线(如椭圆、直线)或一条样条曲线。当一条曲线通过由边到环、由环到面的结构与一个表面相关连时，这条曲线可以直接在表面上参考全局三维空间或局部坐标系统而定义。前者的一个例子如三维空间中或在三维空间中一个特定平面上两点之间的一个线段。后者的例子如一个位于圆柱面上的弧形线段，这个线段以柱坐标(θ , z)定义。

顶点

顶点是用来在三维空间中定义点的几何实体。这些点被用来定义边的端部点(起点和终点)。一个正确定义的顶点必须位于为边所参考的曲线上。顶点可以指定象集中力一样的属性。一经网格剖分，这些属性被自动地指定到所生成的节点上。

表面

表面指定义面实体的有限或无限的几何区域。表面可以是象平面、圆锥和球一样的解析表面，也可以是样条表面。象平面一样的简单表面需要较少的数据来定义。例如，一个平面可以通过代表表面法线的一个向量和一个位于平面上的点来定义。而样条表面，特别是通过很多控制点定义的表面，则需要大量的数据来定义。

第7章

组、坐标系和全局数据

组

➔ 通过组颜色显示可以方便地显示一个模型的不同部分。在 视图 [View]→ 选项[Options] 对话框中可以选择这种显示方式。

群组功能提供了一种高效的操作工具，它将实体分组并将它们放置在分层次的树状结构体系之中。利用组可以在实体间定义有意义的关系。例如一幢建筑物可由许多“楼层组”构成，在“楼层组”中可以有“楼板”，“梁”，“柱”等次级组。

组允许你显示或关闭模型中的不同部分以方便前处理工作。这可以提高图形显示性能并有助于区别模型的不同部分，从而仔细地研究模型的各个部分。可以组或子组为依据执行选择操作。组功能在后处理阶段也同样很有用。从结构的不同部分提取分析结果，而不考虑所有实体的等值线或一个很大的结果列表，这可以大大简化结构设计的过程。组也是用来定义一个模型的子模型的好途径。当对模型的局部区域进行网格细分时，子模型是一种高效的方法，因为这时不需重新求解整个模型。参见 帮助[Help] 以得到更多的信息。

组的结构树很容易编辑和维护。选择一个已有的组名并按 新建 [New] 按钮便可创建新的子组，该新子组将插在所选择的组之下。

要将实体归到一个组，只需选择这些实体，然后点击对应组名并按 赋予[Assign] 即可。

要改变组关系，可以用箭头按钮来剪枝和嫁接组的分枝。左箭头使一个组与它的母级组同级，而右箭头将其降级，即使其成为一个子组。

上、下箭头用来在同一级别内重新排序。如果一个子组是同一级内的第一个，则上箭头将此组放到当前母级组前面的一个母级组中。同样，若一个次级组是最后一个，则下箭头将此组放到当前母级组后面的另一个母级组中。也可以用标准拖放技术剪枝和嫁接组，即只需简单地拖动一个子组将其放到另一个组中。

缺省[Default] 按钮用于给随后的实体创建操作(如 创建单元[Create Element])建立的单元定义缺省组。

→ “缺省组”在每个模型窗口的状态条中总是亮显的。新的实体(例如在创建单元[Create Element]操作之后)将总是被放置到该组中。按赋予[Assign] 按钮时将指定被选择的实体到“当前组”。

→ 某些建模工具，例如复制[Copy]，也提供了对副本创建新组的选项。这意味着如果你建立了建筑物的一个楼层，你可以多次地复制它并且每次都创建一个新组。

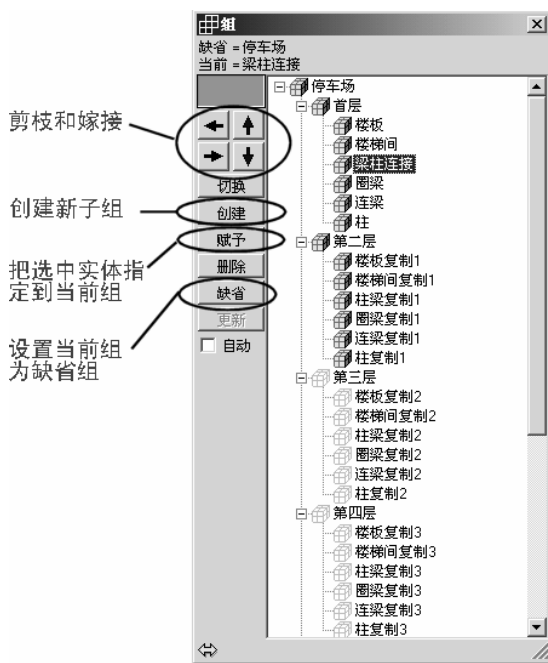


图 7.1 组操作对话框

指定组的典型步骤

1. 在模型窗口上右击，弹出菜单并在其上选择 组[Groups] 以显示组对话框；
2. 通过组对话框建立一个新组并使其成为当前组；
3. 用第三章描述的任何选择方法选择所要的实体；
4. 按 赋予[Assign] 按钮。

坐标系

在 Strand7 中，可在三维空间中定义任意朝向的各种类型的坐标系。在每个模型中都可创建并存储任意多个坐标系。每个新创建坐标系的名称都可在模型窗口的 全局[Globals] 菜单下的 坐标系[Coordinate System]下拉式列表中看到，因此可以方便地进行检索。

➔ 通过在模型中适当的位置上建立一系列坐标系可简化建模工作。坐标系应该赋以能够描述其特性的名字(例如“托架中心”)，以便于识别。

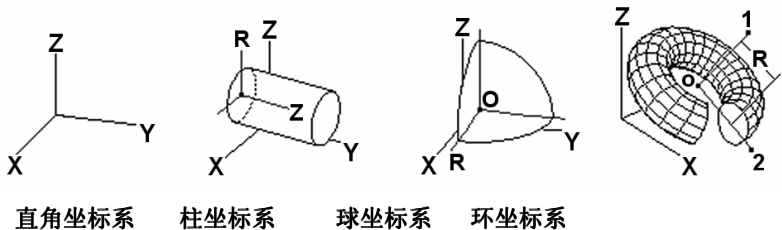


图 7.2 坐标系类型

除非被删除，否则创建的坐标系将一直存在模型中。这些坐标系既可在前处理中使用、也可在结果的后处理中使用(例如任意方向应力的等值线绘制)。另外，在后处理阶段也可创建坐标系。

诸如 复制[Copy] 和 拉伸[Extrude] 等工具可以用这些坐标系定义增量或位置。

全局数据

全局数据指适用于整个模型的一些数据，包括对荷载工况指定的全局加速度和对自由度工况下指定的缺省自由度条件。Strand7 支持多达 32000 个荷载和自由度工况。对话框上的工具允许全局数据在不同工况间复制，包括多重复制。对话框上的 复制[Copy] 工具也可用来复制整个荷载和自由度工况(包括所有单元属性)。

- 按 新建[New] 来创建一个新的荷载工况。
- 双击工况名来编辑名称。
- 要对一系列荷载工况输入同样的值(例如 Y 方向加速度), 可用标准的多选技术来选择并亮显所要的荷载工况, 然后输入新值。该值将被用于所有选择的工况。
- 使用拖放来将荷载工况重新排序。只需使用左键将一个工况名拖到列表上新的位置再放开即可。



图 7.3 荷载工况对话框

第 8 章

检查模型质量

有限元分析结果的质量依赖于网格的质量。Strand7 提供了用来检查网格质量并校核输入数据的各种工具。下面介绍其中一些较常用的工具。

单元自由边

面元

面元自由边指不与其它面元共享的边。通常面元自由边出现在面元网格的边界。它们构成了结构的物理边界，而不只是单元的边界。若一个自由边出现在网格的中间，这通常意味着一个“间断”的网格或一个不协调的单元边界。

- 生成的网格也可能不包含任何自由边界。例如全封闭的盒子、带盖的柱状容器或一个完整的球状结构。
- 面元的边线[Facet Edge]显示选项使用与面元自由边同样的技术来加强模型的显示能力。

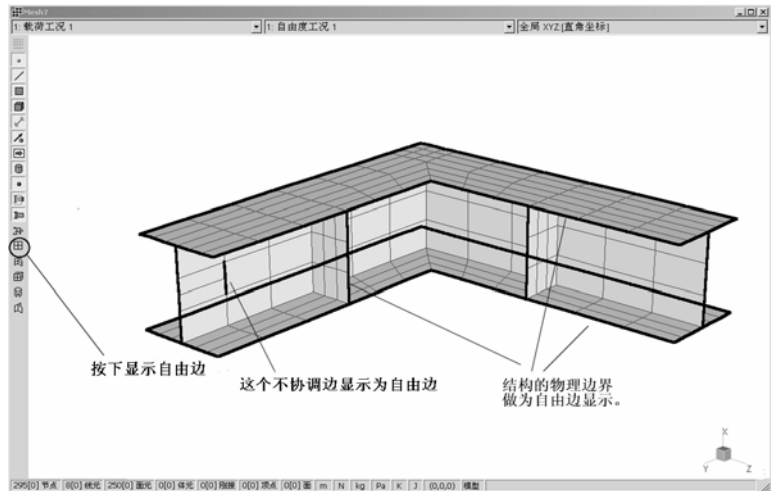


图 8.1 面元的自由边显示

体元

体元不象面元一样具有真正的自由边。但面元自由边的定义(即只属于一个单元的边)对检查体元的网格也是很有用的。如果网格中只包含六面体元,则体元自由边显示将与面元自由边显示含有同样的信息量。对四面体单元网格而言,因为不被共享的边通常出现在表面上,体元自由边显示的用途可能比较有限。

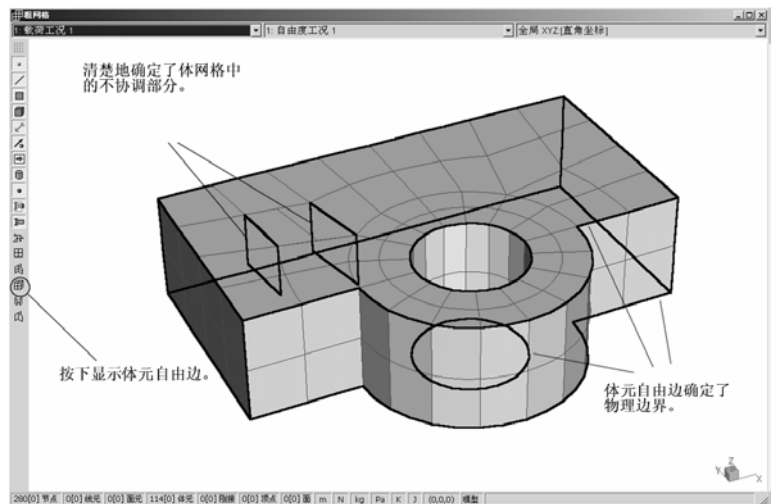


图 8.2 体元的自由边显示

面元厚度

面元可用实体显示方式来显示。这与体元的显示相似，即根据面元的厚度对其着色。用这种显示方式可以容易地查出面元厚度数据明显的错误。

- ➔ 可用 厚度彩色云图 [Thickness Contour] 选项来显示面元的厚度。
- ➔ 在后处理过程中也可用实体方式来绘制面元，从而显示面元应力沿厚度方向的变化。

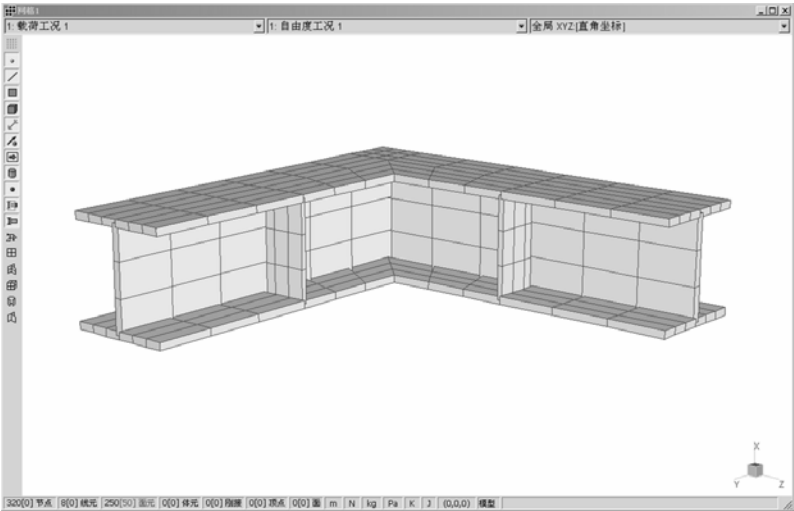


图 8.3 面元的实体模式显示

朝向

面元朝向选项用来从视觉上检查在面元网格中是否有不一致的连接关系。面元局部坐标系中的 z-轴根据节点的连接次序来定义，因此，用一致的方式编号是很重要的。对于有三维板壳单元模型更是如此。要调整面元的朝向，可用 工具[Tools]→调整[Align]→翻转单元朝向[Flip Elements]，或者 工具[Tools]→调整[Align]→面元法向[Plate Normals]。

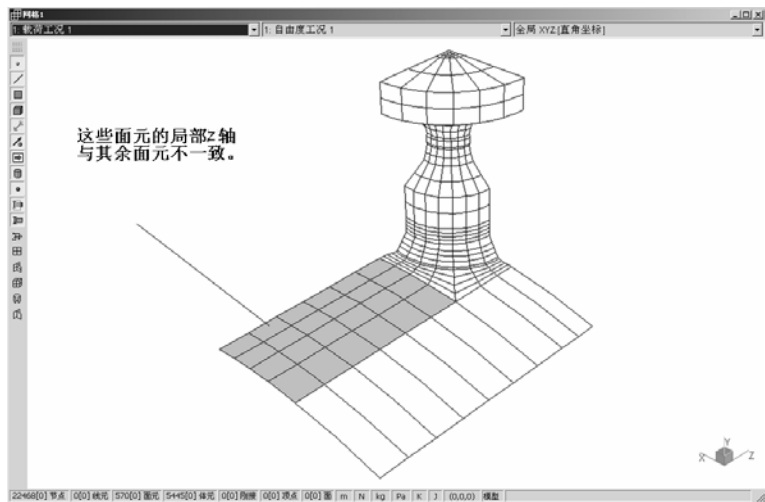


图 8.4 局部坐标轴调整

前处理中的彩色云图

彩色云图显示通常与后处理的功能相关，例如显示应力彩色云图。在 Strand7 中，也可在前处理阶段显示单元的各种量和属性的彩色云图。由 实体显示[Entity Display] 对话框中的 云图类型[Contour Type] 来选择要显示的云图类型。



图 8.5 前处理中的云图显示设置

通常使用的彩色云图包括以下几种:

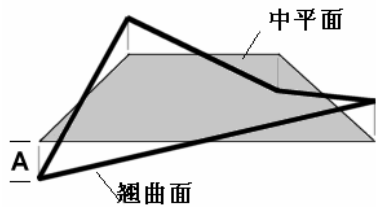
纵横比

当纵横比即长短边之比为 1 时，有限元计算效果可能会最好。“纵横比(最小/最大)”云图特别有用，因为它能够容易地分辨出退化的单元。退化单元的“纵横比(最小/最大)”为零值。

面元翘曲比

面元翘曲比对板壳分析十分重要。翘曲比定义为节点到中平面的距离与单元的特征长度之比。这里的特征长度取单元的四条边线和两条对角线中的最小长度。虽然 Strand7 的单元库中的单元允许单元有一定的翘曲，我们仍然希望翘曲比尽可能的小。

→ 翘曲比定义为 A/B .



特征长度 B：取边线和对角线中长度最小者。

图 8.6 翘曲比的定义

分布压力荷载

所施加分布压力的彩色云图会比压力矢量显示图传递更多信息，特别是当施加的压力为非均匀时就更是如此。这也是个用来发现因疏忽没有施加压力的单元的好方法。

检查四面体网格

与检查面元网格相比，检查实体网格可能要更多地依靠等值线等各类工具。因为与面元网格不同，实体网格的内部区域很难凭视觉检查。此时等值线图例中的直方图显示选项特别有用。直方图选项可以在 实体显示[Entity Display]→设置[Setting] 中的 图例[Legend] 标签上设定。

➔ 这里是体元的混合积[Mixed Product]等值线分布，其中的图例显示了对应不同数值的单元数目的分布状态。

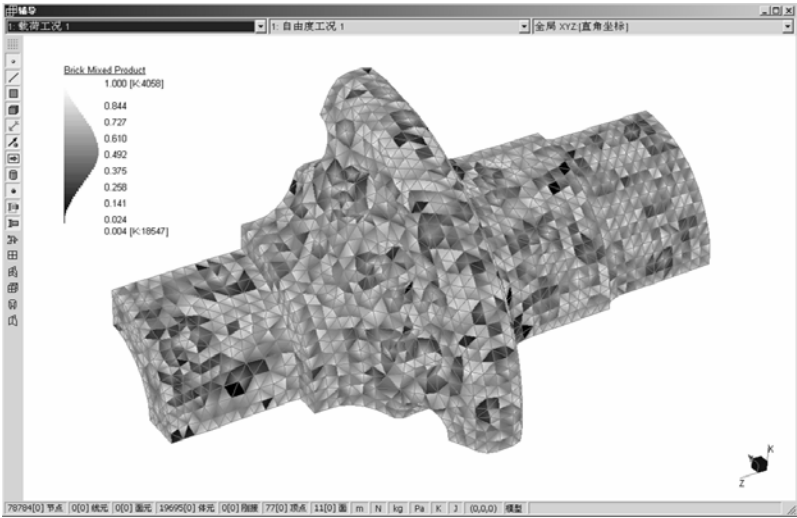


图 8.7 混合积等值线显示

模型数据综述

主菜单中的综述[Summary]选项提供了用来方便地检查性质数据、材料清单和质量分布等各种数据的工具。

信息

信息[Information]选项显示一个对话框。在此对话框内，可以输入有关模型的一般信息，包括标题/台头、项目名、作者和索引号。这些信息可在标题/台头栏中打印出来。你可以阅读和打印概要报告，报告将包括模型的实体总数、单位、荷载和自由度工况、性质和表名等。同时，还提供一个记事板来记录关于模型的文字注释。这种报告可以放到工程报告的附录中。

- ➔ 在使用打印预览时，可以插入页分隔以提高报告的可读性。
- ➔ 阅读第 1 章以得到更多关于打印的信息。



图 8.8 模型信息的打印预览

性质

要查看单元性质的完整总结，用 性质[Property] 选项。性质数据以电子表格形式出现，每个按钮控制一种实体类型的显示。每一列数据可单独显示或隐藏。列内数据可以用递增或递减的方式来排序。

- ➔ 对每一栏进行排序的功能简化了检查性质数据的工作。在一个经过排序的列表中很容易找出量级出错的数据。

性质视窗: '停车场模型'							
100 162							
	材料	E MPa	ν	ρ T/mm ³	C Ns/mm ³	ξ	
1: 面元性质 1	混凝土: 抗压强度 $f_c = 32$ MPa	3.096×10^4	2.000×10^{-1}	2.400×10^{-9}	0.000×10^0	0.000×1	
2: 面元性质 2	混凝土: 抗压强度 $f_c = 32$ MPa	3.096×10^4	2.000×10^{-1}	2.400×10^{-9}	0.000×10^0	0.000×1	
3: 面元性质 3	混凝土: 抗压强度 $f_c = 32$ MPa	3.096×10^4	2.000×10^{-1}	2.400×10^{-9}	0.000×10^0	0.000×1	
4: 面元性质 4	混凝土: 抗压强度 $f_c = 32$ MPa	3.096×10^4	2.000×10^{-1}	2.400×10^{-9}	0.000×10^0	0.000×1	
5: 面元性质 5	未知材料	0.000×10^0	0.000×10^0	0.000×10^0	0.000×10^0	0.000×1	
6: 面元性质 6	混凝土: 抗压强度 $f_c = 32$ MPa	3.096×10^4	2.000×10^{-1}	2.400×10^{-9}	0.000×10^0	0.000×1	
7: 面元性质 7	混凝土: 抗压强度 $f_c = 32$ MPa	3.096×10^4	2.000×10^{-1}	2.400×10^{-9}	0.000×10^0	0.000×1	
8: 面元性质 8	混凝土: 抗压强度 $f_c = 32$ MPa	3.096×10^4	2.000×10^{-1}	2.400×10^{-9}	0.000×10^0	0.000×1	
9: 面元性质 9	混凝土: 抗压强度 $f_c = 32$ MPa	3.096×10^4	2.000×10^{-1}	2.400×10^{-9}	0.000×10^0	0.000×1	
10: 面元性质 10	混凝土: 抗压强度 $f_c = 32$ MPa	3.096×10^4	2.000×10^{-1}	2.400×10^{-9}	0.000×10^0	0.000×1	
11: 面元性质 11	混凝土: 抗压强度 $f_c = 32$ MPa	3.096×10^4	2.000×10^{-1}	2.400×10^{-9}	0.000×10^0	0.000×1	
12: 面元性质 12	混凝土: 抗压强度 $f_c = 32$ MPa	3.096×10^4	2.000×10^{-1}	2.400×10^{-9}	0.000×10^0	0.000×1	
13: 面元性质 13	混凝土: 抗压强度 $f_c = 32$ MPa	3.096×10^4	2.000×10^{-1}	2.400×10^{-9}	0.000×10^0	0.000×1	
14: 面元性质 14	混凝土: 抗压强度 $f_c = 32$ MPa	3.096×10^4	2.000×10^{-1}	2.400×10^{-9}	0.000×10^0	0.000×1	
15: 面元性质 15	混凝土: 抗压强度 $f_c = 32$ MPa	3.096×10^4	2.000×10^{-1}	2.400×10^{-9}	0.000×10^0	0.000×1	
16: 面元性质 16	混凝土: 抗压强度 $f_c = 32$ MPa	3.096×10^4	2.000×10^{-1}	2.400×10^{-9}	0.000×10^0	0.000×1	

图 8.9 性质数据列表

模型

按下 模型[Model] 选项得到材料清单、质量分布和惯性矩等的完整信息。

- ➔ 局部惯性质量矩[Local Inertia] 是对结构质心的质量矩，而 全局惯性质量矩[Global Inertia] 指对整体 XYZ 坐标原点的质质量矩。
- ➔ 要得到关于某一特定实体组的综合信息，可根据需要显示和隐藏组。

模型综述

100 1/2

材料清单 | 质量中心 | 局部惯性质量矩 | 全局惯性质量矩

	质量 T	体积 mm ³	长度 mm	面积 mm ²	数目	材料:
全部总和:	1.218×10 ³	5.075×10 ¹¹	2.520×10 ⁵	1.804×10 ⁹		
线元 性质:						
1. 柱	1.187×10 ²	4.947×10 ¹⁰	2.520×10 ⁵		72	
总和	1.187×10 ²	4.947×10 ¹⁰	2.520×10 ⁵		72	
面元 性质:						
1. 面元性质 1	2.160×10 ¹	9.000×10 ⁹		1.800×10 ⁷	288	各向同性
2. 面元性质 2	3.672×10 ²	1.530×10 ¹¹		3.060×10 ⁸	612	各向同性
3. 面元性质 3	5.962×10 ²	2.484×10 ¹¹		1.242×10 ⁹	1242	各向同性
4. 面元性质 4	1.142×10 ²	4.760×10 ¹⁰		2.380×10 ⁸	204	各向同性
总和	1.099×10 ³	4.580×10 ¹¹		1.804×10 ⁹	2346	

图 8.10 模型综述窗口

第 9 章

材料和截面库

Strand7 包括一个性质和线元截面库，其中的性质可用于所有的单元类型。

Strand7 的材料和截面库来源于公开出版的数据资料。你可以容易地修改数据并将修改后的数值存回数据库中，也可以建立你自己的数据库。

库文件通常存放在“Strand7”装机文件夹下的“Data”文件夹内。所有的库文件都具有“MAT”扩展名(对材料)或“BSL”扩展名(对线元截面)。若要从数据库中删除某些库，只要删除对应的文件即可。

建立新库

有两种方法建立一个新库。用那一方法取决于你是准备一次就建立一个完整的库，还是准备将你所需的新材料或截面按需要而陆续地添加到库中。

建立较大的库文件

最好的方法是将所有要输入的条目存入一个文本文件中。这需要准备好一个具有规定格式的文件，然后通过主菜单 文件[File] 菜单中的 制作库文件[Make Library] 功能导入 Strand7。帮助[Help] 中包含了文本文件的格式规定。

扩充库文件

这是库文件编辑的最简单方法。只需在单元性质对话框中输入数据并在 性质[Property] 菜单中选择 输出[Export] 即可。输出选项允许你将数据输出到一个已存在的库文件或一个新的文件库中。

- ➔ 可随时将材料数据存入到一个新的或已存在的库中。
- ➔ 材料库可在模型之间以及 Strand7 用户之间共享。如果 Strand7 在网络上运行，则只需一个中央材料库，每个用户都可以从这个库中读取数据。
- ➔ 可以通过 文件[FILE] 菜单下的 设置选择 [Preference] 来设定库文件的位置



图 9.1 将材料数据输入到库文件

➔ 这里我们在“我的材料”集合中建立了一个新的条目。

新条目为“钢材”。条目也可以从库中删除。

➔ 可以在任何性质对话框(例如面元性质)中来贮存材料数据并在其它对话框中(例如线元或体元性质对话框)提取这些数据。

➔ 不必考虑库中数据单位, Strand7 可以进行自动调整。如果从一个使用不同单位的模型中调用数据, 数据将被自动转换。



图 9.2 在已有材料库中增添数据

第 10 章

求解

在对一个模型进行后处理之前，需要运行一个或几个 Strand7 求解器。求解器通常将求解结果存储到一个独立的文件中，该文件与模型文件(ST7 文件)同名，但使用不同的扩展名。这个扩展名表示了文件所属的求解类型(例如，NFA 表示固有振动分析的结果)。

在缺省状态下重新求解一个模型时，先前的结果文件将被覆盖重写。如果你想保留多个结果文件(例如：当求解多种自由度工况时)，你可在每次运行时改用不同的结果文件名。结果文件名可通过求解对话框的 文件[Files] 选项来编辑。

带宽最小化

有限元分析涉及刚度矩阵的装配和方程求解。有限元刚度矩阵通常是对称和带状的。带状意味着非零元素集中在矩阵的对角线附近，而对称性表示矩阵的上三角和下三角是相互对称的。

矩阵的实际带宽和方程数目是矩阵大小的一种度量，它们在很大程度上决定了求解工作量。对给定的模型，方程数是固定的，但可通过对节点的重新排序来尽可能降低带宽。带宽对内存和硬盘空间的需求量及求解时间影响很大。为提高求解器的性能，Strand7 提供了三种节点排序方式来降低实际带宽。

-
1. 考虑相邻单元几何接近性的几何排序方式；
 2. 考虑邻近单元连接关系的树排序方式；

3. 用于稀疏算法的 AMD 排序方式，这时要求节点排序以最终产生的非零元素最少为目标。
-

稀疏排序方式是一种适用于所有模型的高效方式。如果你不能在你的 Strand7 版本中使用这个选项，你可以利用下面的指导信息在选择 1 和 2 中选取。

不同模型适于用不同的方式来进行优化。通常在 X, Y 或 Z 轴的某一方面长度占优的模型适合于用几何方式排序。大多数其它模型适合于用树型方式。在每个方向都有“分枝”的模型也同样适合于树型方式排序。

按下求解器对话框中 带宽[Bandwidth] 按钮可直观地查看总刚度矩阵的实际形状。可以基于该形状来决定用何种方法排序。哪种方法最好首先取决于你的计算机中可用的物理内存(RAM)，其次是硬盘上可用的空间。如果你有足够的物理内存，则应尝试减小 平均节点跳跃 [Average Node Jump] 值(该值影响硬盘读写时间)，否则应减小 最大内存需求指标[Maximum Memory Index] 值(该值将影响内存需求)。

通过 LOG 文件中的下列信息，求解器提示最小的 RAM 需求和实际用的 RAM。

Minimum RAM needed: xxxx MB
RAM used for reduction: xxxx MB

如果第一个值比第二个小，则求解器的效率较好。如果第一个值比第二个大，则求解时间将显著地增长。如果求解一个大的模型，建议使用 树扫描[Tree Scan] 功能。这个功能对不同节点找出内存和硬盘需求量，并保留与最低值对应的根节点。

➔ 这里显示的图象表示 几何排序[Geometry Sorting] 生成的矩阵具有最小的平均节点跳跃(带宽), 因此只需要最小的磁盘空间。几何排序方式生成的矩阵同时还具有最小的 最大内存需求指标[Matrixmum memory index], 因此需要最少的内存。用 原序[No Sorting] 将产生一个带宽极大的矩阵。

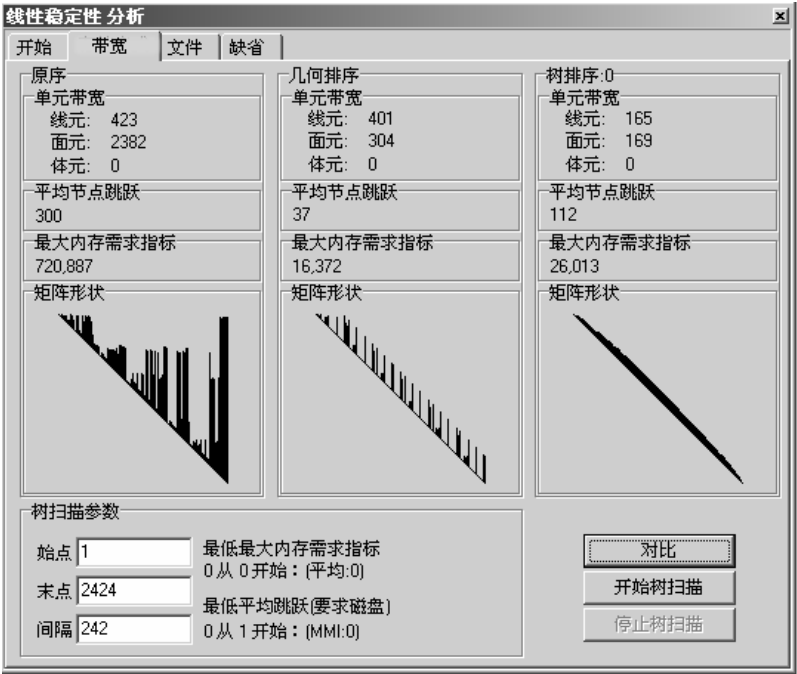


图 10.1 带宽优化

试运行

通过选择 仅核对[Check only] 进行试运行来检查模型数据。这个功能尤其适用于大模型。这也是用来不经组装矩阵而迅速地检查模型上荷载总量的一个方便方法。

试运行同时对结构的性质及材料数据进行各方面检查，并报告数据中可能存在的问题。例如可检查出模量为零的材料性质，板厚为零的面元几何特性，以及无效梁截面特性数据等。

缺省设置标签

求解器对话框还有调整求解器运行参数的 缺省[Defaults] 标签。在大多数情况下，最好用缺省值。但在下面几种情况下，你应对它们作些调整。

一般

最大警告次数

这个数目控制同类型警告信息出现的次数，而不是全部警告次数。

压缩记录文件

这个设置可以减少文件中列出的某些运行信息，这样将有益于直接把记录文件粘贴到要打印的报告中去。

非线性

自动荷载分步

对于非线性分析，有时很难保证设置的荷载增量步能达到收敛。选择了自动荷载分步后，若迭代不收敛，求解器将自动减小荷载增量(子增量)。一旦子增量迭代步收敛，求解器会自动增加荷载。

存中间步结果

此选项与自动荷载步选项一起设置是否要保存自动生成的子增量步的计算结果。如果清除此选项，则收敛的子增量步结果将不会被存入结果文件。

求解器窗口

求解器窗口由一个工具条及信息窗口组成，它显示和报告求解的进程。可在任何时候按下停止按钮终止求解。

➔ 对小模型的迭代求解(例如, 非线性和瞬态解), 不显示信息窗口和进程条会使求解速度明显提高。注意, 这样并不会使你失去求解过程中的检错信息。所有这些信息可以在求解完成后, 通过 结果[Results]→显示求解记录文件[View Log File] 来浏览。

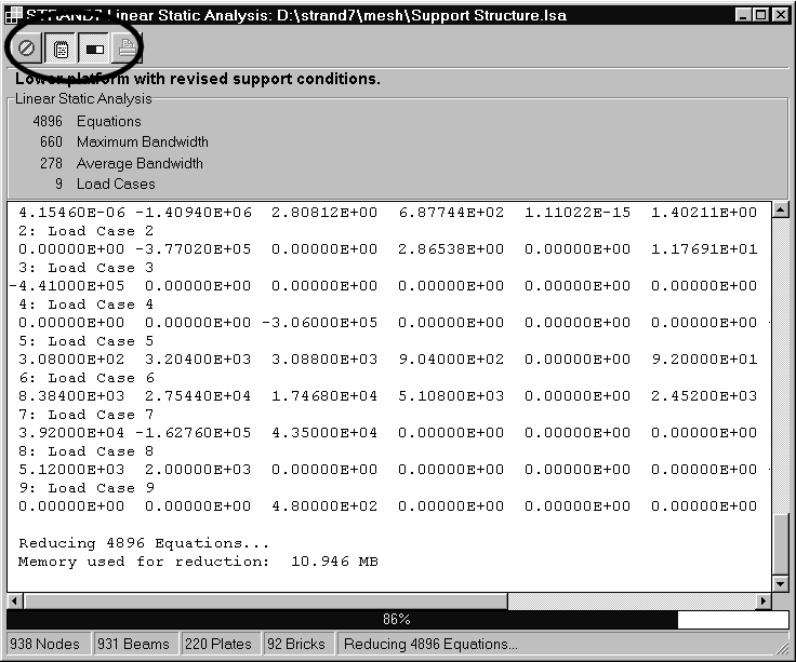


图 10.2 求解器窗口

第 11 章

结果整理

结果整理是指抽取、整理和解释有限元分析结果的后处理过程。Strand7 提供了许多后处理工具，可从主菜单条或工具按钮条启动这些工具。

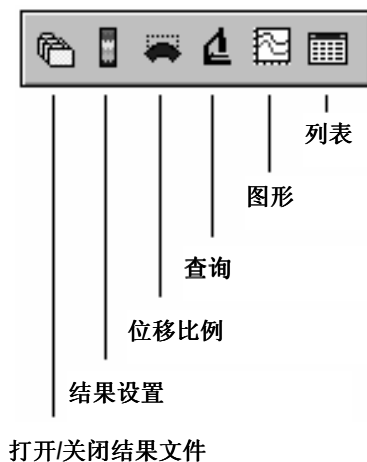


图 11.1 结果菜单

典型的后处理过程

→结果文件



1. 求解结束后，检查记录文件并研究警告或错误信息。
2. 若有出现不熟悉的警告或错误信息，查寻 帮助[Help] 以得到更多的信息。

3. 如果认为记录文件的内容没有什么问题，关闭求解器对话框并打开结果文件。
4. 用下面的工具分析、研究你的计算结果。



位移比例

位移比例[Displacement Scale] 功能用来放大或缩小变形后网格中位移显示的比例，可以在位移显示比例对话框中选择以下两种方法：

- 1 按实际值缩放[Absolute Scale] 直接输入数值与位移相乘。输入数值为 100，表示位移将按比例放大至 100 倍。
- 2 按百分比缩放[Percent Scale] 是最常选用的方式。它根据结构的名义尺寸和最大位移量自动计算出一个合理的比例，以便能清楚地显示结构的变形状态。名义尺寸是指模型在任何全局坐标系 X，Y，Z 方向上的最大尺寸。常用的位移比例为 10% 到 20%。

➔ 如果用一种方式(如，按百分比缩放)输入一个值然后改变缩放类型(如，改为按实际值缩放)，对话框 数值[Value] 栏内的值将自动转换。例如输入 10% 的显示比例，然后将类型改为 按实际值缩放，显示比例将变为给出 10% 位移的对应值。

➔ 对几何非线性问题应采用 按实际值缩放 1。



图 11.2 位移显示比例

绘制。矢量绘制将指明结果的大小和方向。线元结果(例如：弯矩和剪力)也可用二维曲线图显示。

所有结果显示均可通过 结果[Results] 菜单的 结果设置[Results Settings] 对话框来设置。

➔ 要选择一个显示选项，首先选择 方式[Draws as] (例如：云图[Contour]) 接下来选 量[Quantity] (例如：应力)与分量(例如：11)。要进一步调整配置，使用 设置[Settings] 按钮。

➔ 单元结果显示[Element Results Display] 中包含对应于不同单元类型的标签及组和性质类型的标签。用后一标签可以显示整个模型，但只绘出某些选择的部分的等值线图。注意这与 用类型/性质显示 [Show by Type/ Property] 选项或按 组[Groups] 来简单地隐藏实体有不同的效果。

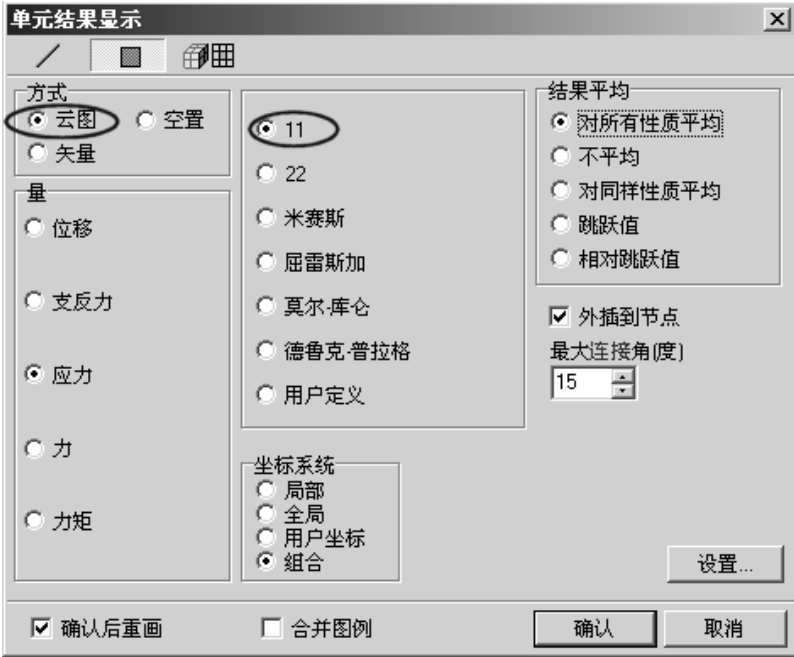


图 11.5 单元结果显示选项

等值线的光滑处理

因为由相邻单元得到的节点应力值通常是不同的，所以只有对节点应力值进行一定的均匀修正才能得到光滑的等值线图。Strand7 提供了几种均匀化选项，最常用的是 对同样性质平均[Average Same Property]。这一选项对于具有相同性质的单元的连接处节点应力进行光滑处理，而在具有不同性质的单元的连接处节点，等值线将不连续。要对具有不同性质的单元的连接处节点应力进行均化，选择 对所有性质平均[Average All Properties] 选项。对三维的板壳单元的节点均化时，同时还要考虑单元的 最大连接角[Max Junction Angle]，因为对任何节点，超过最大连接角的参与单元的应力值将不被平均。

➔ 在这个等值线图中，我们已选择了 对同样性质平均[Average Same Property]，最大连接角为 15° ，因此看到在下翼缘与加强板处应力是不同的。下翼缘显示的连续光滑应力是合理的，因为角撑板与下翼缘的主应力方向是不同的。

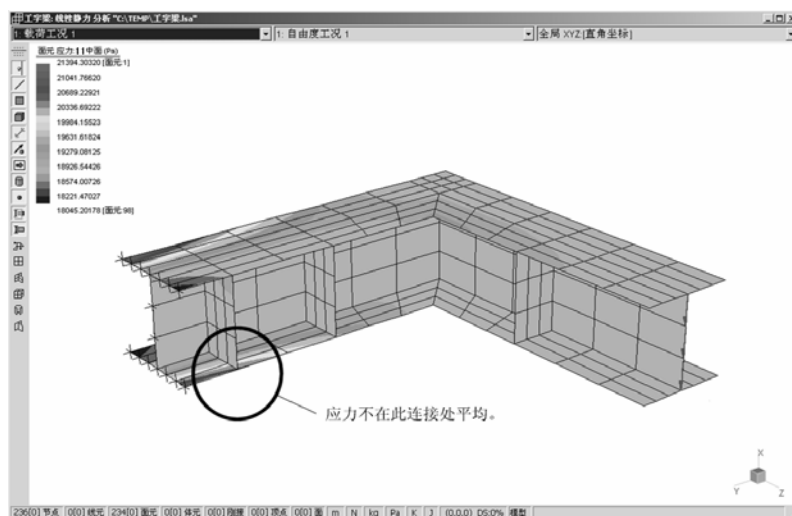


图 11.6 对同样性质平均结果

➔ 通过设置 最大连接角 [Max Junction Angle] 为 100° ，我们可强制平均连接处的应力，这将减小下边缘的应力峰值，因为必须考虑角撑板上公共节点的低应力。对这种类型的结构，这样的绘图方式可能是不合理的。

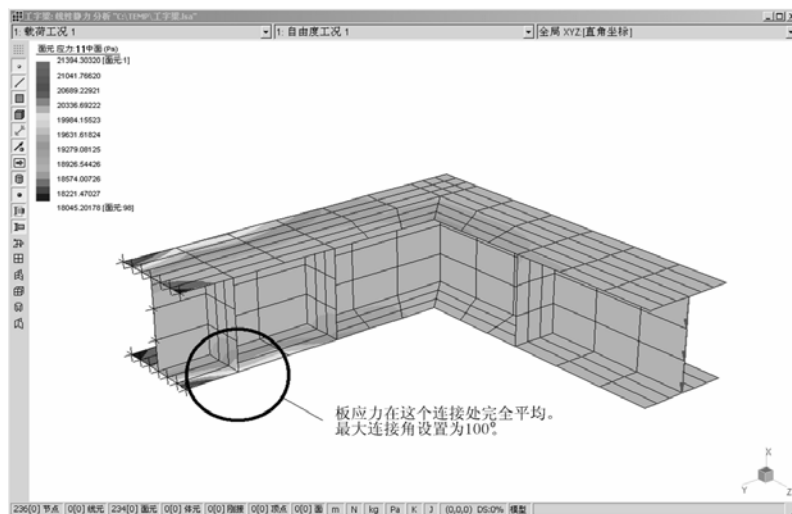


图 11.7 单元最大连接角使用示例

➔ 用 最大连接角[Max

Junction Angle] 控制诸如箱柜、筒仓等含有曲面结构的应力等值线均匀化。实际的筒仓通常是柱状的，但其有限元模型可能由许多小面表示(即我们将曲面用大量小平面来模拟)。在这种情况下，我们需设置 最大连接角[Max Junction Angle] 大于 10° 以确保连接处的应力被均化。

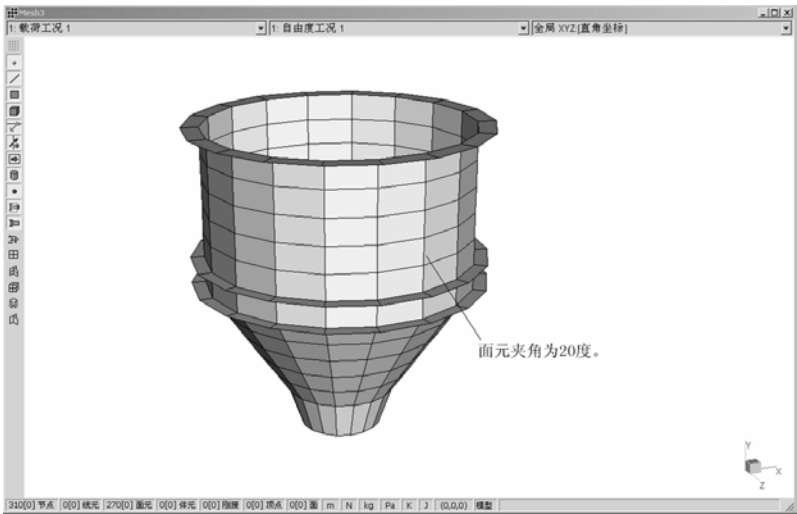


图 11.8 筒仓的应力等值线

等值线跳跃

要观察节点处应力的变化，可以采用 跳跃值[Jumps] 或 相对跳跃值[Normalized Jumps] 选项。跳跃值显示节点处不同单元给出的结果间最大差异。相对跳跃值显示最大差异与整个模型中结果最大值之比，后者可用于指导选择单元以进一步细分网格。

等值线的特别选项

除了以上的云图选项，对线、面和体元还提供了一些特别的绘制方式用来进一步提高结果显示的直观效果。

➔ 梁的结果等值线，例如纤维总应力[total fibre stress]，直接绘制在着色的梁横截面上。这对标准截面和用户定义的截面都有效。

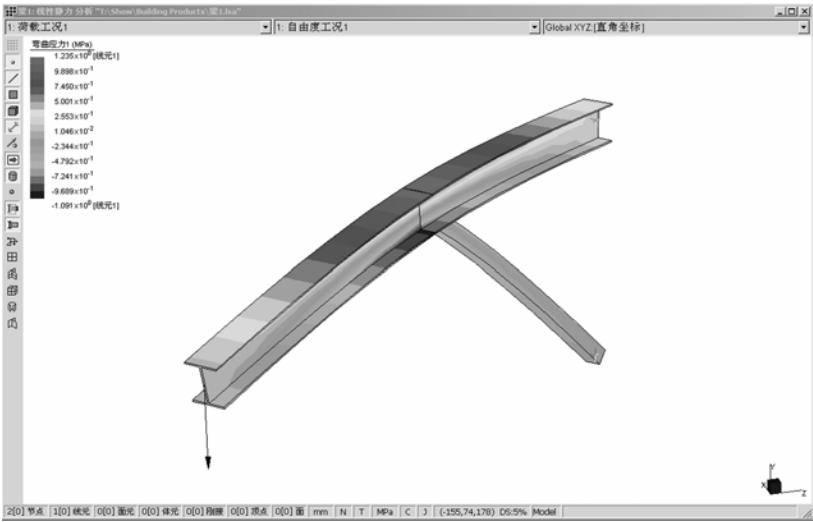


图 11.9 梁纤维总应力等值线图

➔ 用实体模式可同时显示板两个表面的应力分布。图例包括了两个表面的值。只需查看图例，可以很容易地找到具有最大应力的单元；如要找出单元所处位置，用 Ctrl+F。

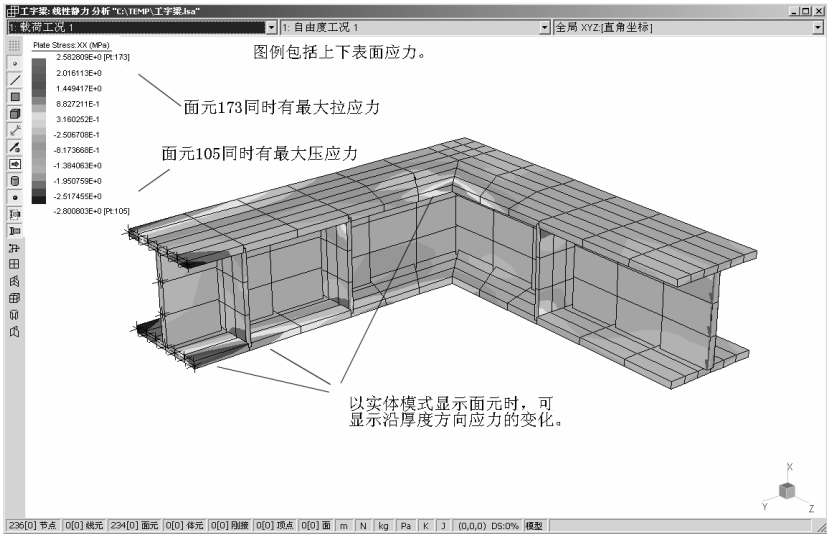


图 11.10 实体模式的面元应力结果等值线图

体元除了有与面元一样有相似的等值线选项外，还有另外一个选项，亦即可以在结构任意的切割面上绘制等值线图。

➔ 选择 切割面[On Cutting Plane] 可在模型任意截面上绘制等值线图。截面由当前坐标系定义并且不需由通过节点的平面构成。切割平面 [Plane]1、2 和 3 指直角坐标系的 XY, YZ 和 ZX 平面。对柱坐标系则指 R θ , θZ 和 ZR 平面。

➔ 用 显示轮廓线[Show Outlines] 选项显示，以在截面周围叠加结构的基本几何形状。

➔ 如图定义一个新的直角坐标系。在平面 1 上绘制了截面切片等值线图，该截面平行于当前的 XY 平面。

➔ 体元的截面切片等值线可用动画显示，只需在设置截面切片后创建一个动画文件。

➔ 通过在 UCS 柱坐标中的平面 1 上绘制等值线，可以动画显示一个旋转片。

➔ 也可利用切片来计算截面上的合力和弯矩。当绘制截面切片等值线时，这些结果将自动给出。



图 11.11 切割面上结果设置

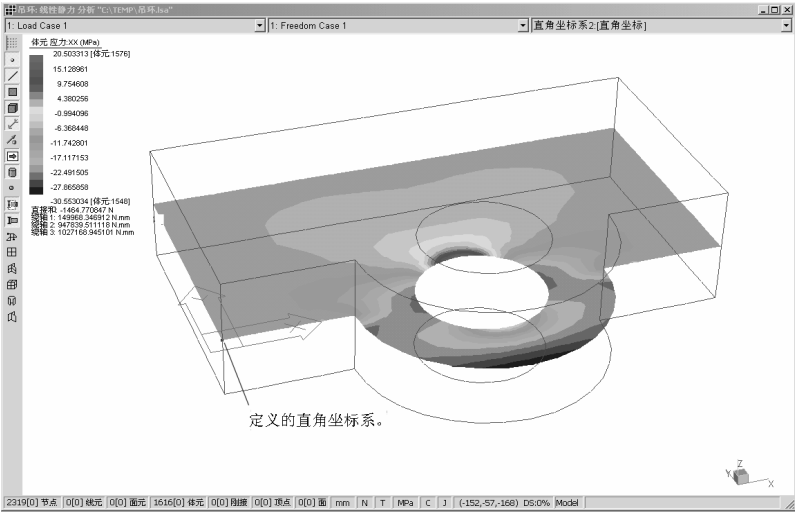


图 11.12 切割面上的应力等值线

查询

使用 查询[Peeking] 工具可得到具体的计算结果。查询工具显示一个查看信息的对话框。激活相应的标签后，只需简单地通过点击节点和单元就可以查询节点、线元、面元和体元结果。同时查询也用来找出最大和最小值。

- ➔ 点击节点以查询位移。
要得到在不同坐标系下的结果，在模型窗口中改变当前的坐标系，并在 查询[Peek] 对话框中选择 用户[UCS]。
- ➔ 要查找具有最大 DY 值的节点，在对话框中点击 DY，然后点击 查找最大[Find Max]，设置 绝对值[Absolute] 来查找有最大幅值(正或负)的节点。

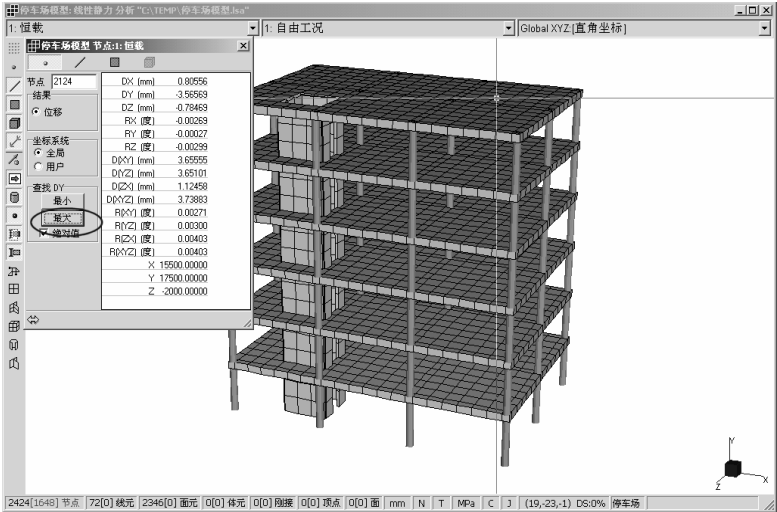


图 11.13 查找结果最大值

- ➔ 可查出线元上不同位置的结果。对于线单元，可查询包括内力分布图在内的结果。分布图也可以在三维模型中显示。

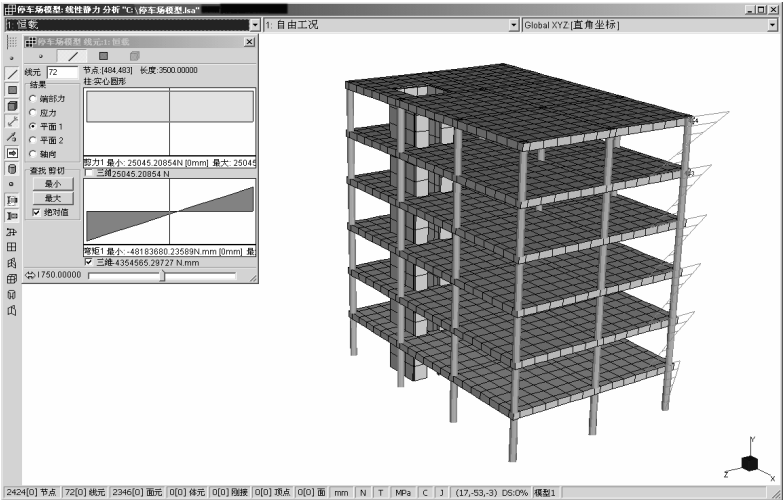


图 11.14 内力分布图显示

- 可以点击梁上的任意位置显示应力结果。
- 当查询单元结果时，你可略去某些结果以减少显示数据的数量。除了中心点值外，还可显示节点和高斯点上的应力值。

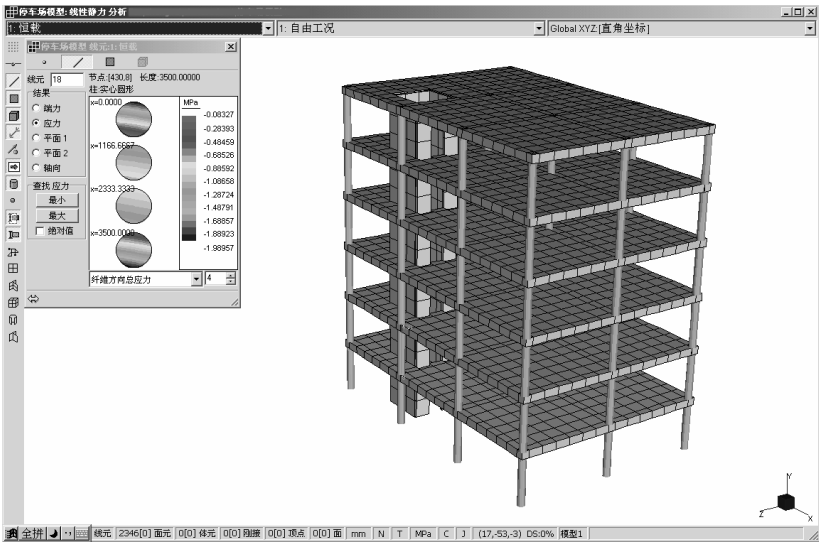


图 11.15 梁上任意点应力结果显示

- 要用不同颜色区别每一列中最大最小值，选择极值涂色[Highlights]。
- 应力结果可在任意坐标系下给出。

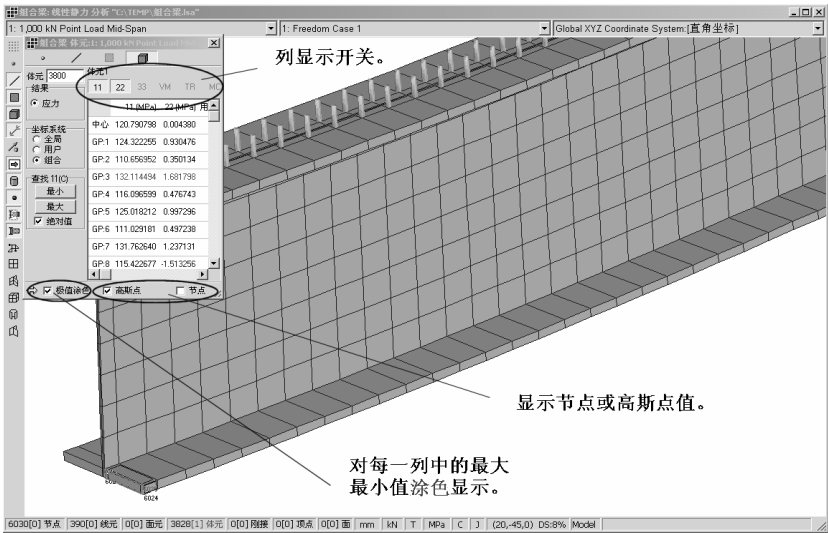


图 11.16 单元应力结果显示



曲线图

Strand7 支持三种类型的结果曲线图：变量-位置 [Vs Position]和变量-结果工况 [Vs Result Case]和 变量对-点序号[Vs Series of Points] 。



图 11.17 选择绘图方式

两点连线为横轴[Vs Position]: 可沿任意一条线(即线无需与节点连线重合)对一种结果工况作图(例如: 沿板上一条直线上的主应力)。

荷载工况为横轴[Vs Result Case]: 图线表示一个量做为结果工况的函数(例如: 节点位移作为瞬态解中时间的函数; 梁最大弯矩作为多荷载工况线性静力分析中荷载工况的函数)。

点的序号为横轴[Vs Series of Points]: 可按顺序任选一系列点而以点的序号为横轴做图, 这可方便对需要的若干点进行结果比较。

➔ 通过输入 起点[Start point] 和 终点[End point], 来定义图线横轴的范围。



图 11.18 定义 X-Y 图的起始点

要定义图线的端点, 输入起点和终点的坐标并选择准备做为图线水平轴的变量; 水平轴变量可以是 X, Y, Z 或 距离[Distance]。X, Y 和 Z 指点在相应坐标轴上的投影距离。例如, 如果你选择 Z, 则图线上水

平轴将是线上所取点的 Z 值，可用这种方法绘出如图 11.19 所示沿平行于 Z 轴梁上翼板中线上的应力图。

距离[Distance] 选项是最常用的一种，它使用从起点开始的距离作为图线上的水平轴。这一选项也最适合于沿通过单元的任意路径绘图。

➔ 以位置为横轴的图可显示在浮动的图形对话框中和三维空间中的模型上。对话框给出了显示误差棒[Error bars] 的选项，误差棒对应力图是有用的，因为它显示了应力跳跃并反映了网格的质量。

➔ 使用 插入新数据[Insert New Data] 按钮可叠加多个图线。

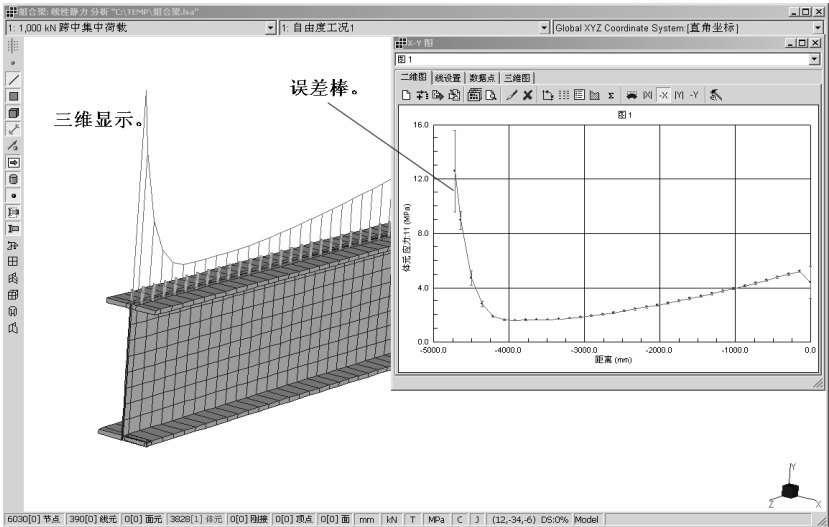


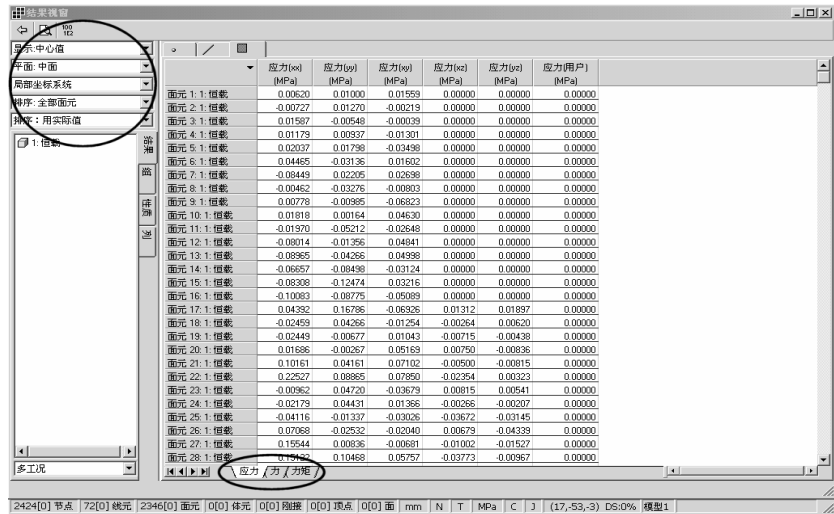
图 11.19 X-Y 图

误差棒表明了每一特定点的单元应力值的不同，平均值由线上的点表示，而最大及最小值则显示在误差棒上。值得注意的是，平均值不一定位于误差棒的中点。

多重视图

可采用多个视图显示同一个模型，这对具有多种荷载工况或具有多模态的频率和屈曲分析结果的后处理很有用处。从 显示[View] 菜单中选择 多视图[Multi View] 进行多视图的选项设置。

→ 电子表格支持剪贴操作，所以可通过 Windows 剪贴板将数据复制到其它应用程序中。



面元	应力 [MPa]	应力 [MPa]	应力 [MPa]	应力 [MPa]	应力 [MPa]	应力 [MPa]
面元 1: 1: 恒载	0.00520	0.01000	0.01559	0.00000	0.00000	0.00000
面元 2: 1: 恒载	-0.00727	0.01270	-0.00219	0.00000	0.00000	0.00000
面元 3: 1: 恒载	0.01597	-0.00549	-0.00089	0.00000	0.00000	0.00000
面元 4: 1: 恒载	0.01129	0.00937	-0.01301	0.00000	0.00000	0.00000
面元 5: 1: 恒载	0.02037	0.01798	-0.03496	0.00000	0.00000	0.00000
面元 6: 1: 恒载	0.04465	-0.03136	0.01602	0.00000	0.00000	0.00000
面元 7: 1: 恒载	-0.08449	0.02205	0.02698	0.00000	0.00000	0.00000
面元 8: 1: 恒载	-0.00462	-0.03276	-0.00803	0.00000	0.00000	0.00000
面元 9: 1: 恒载	0.00778	-0.00985	-0.06623	0.00000	0.00000	0.00000
面元 10: 1: 恒载	0.01818	0.00164	0.04530	0.00000	0.00000	0.00000
面元 11: 1: 恒载	-0.01970	-0.05212	-0.02648	0.00000	0.00000	0.00000
面元 12: 1: 恒载	-0.08014	-0.01356	0.04841	0.00000	0.00000	0.00000
面元 13: 1: 恒载	-0.08965	-0.04266	0.04998	0.00000	0.00000	0.00000
面元 14: 1: 恒载	-0.06657	-0.08498	-0.03124	0.00000	0.00000	0.00000
面元 15: 1: 恒载	-0.08388	-0.12474	0.03216	0.00000	0.00000	0.00000
面元 16: 1: 恒载	-0.10851	-0.08775	-0.05089	0.00000	0.00000	0.00000
面元 17: 1: 恒载	0.04392	0.15786	-0.06326	0.01312	0.01897	0.00000
面元 18: 1: 恒载	-0.02459	0.04266	-0.01254	-0.00264	0.00620	0.00000
面元 19: 1: 恒载	-0.02449	-0.00677	0.01043	-0.00715	-0.00438	0.00000
面元 20: 1: 恒载	0.01686	-0.00267	0.05169	0.00750	-0.00836	0.00000
面元 21: 1: 恒载	0.10161	0.04161	0.07102	-0.00500	-0.00815	0.00000
面元 22: 1: 恒载	0.22527	0.08885	0.07890	-0.02354	0.00323	0.00000
面元 23: 1: 恒载	-0.00962	0.04720	-0.03679	0.00815	0.00541	0.00000
面元 24: 1: 恒载	-0.02179	0.04431	0.01366	-0.00266	-0.00207	0.00000
面元 25: 1: 恒载	-0.04116	-0.01337	-0.03026	-0.03672	-0.03145	0.00000
面元 26: 1: 恒载	0.07068	-0.02532	-0.02040	0.00679	-0.04339	0.00000
面元 27: 1: 恒载	0.15544	0.00836	-0.00681	-0.01002	-0.01527	0.00000
面元 28: 1: 恒载	0.10468	0.05757	-0.03773	-0.00967	0.00000	0.00000

图 11.21 以电子表格形式将结果列表

使用顶部的主标签切换实体类型，例如，节点结果、面元结果。用底部的标签选择列表的量，例应力、应变、力。

使用下拉式列表选择位置(例如：中心点、节点、高斯点)，坐标系(例如：局部坐标、全局坐标)及排序方式(例如：用实际代数值或绝对值排序)。

要通过性质、组或结果工况来过滤数据，可选择相应的标签，然后再选择排序选项。

要将某一列数据排序，点击对应标题头。

第 12 章

辅导 1:平面框架

概述

在第一个辅导中，我们将考虑一个简单的平面框架：首先把它做为一个刚架进行分析，然后再做为一个桁架分析。对每一种情形，我们都考虑三种荷载工况。

在这里，我们将按常规的步骤进行有限元问题分析。

-
1. 定义几何和单元；
 2. 定义约束条件；
 3. 定义荷载条件；
 4. 定义材料性质和单元截面；
 5. 求解模型；
 6. 后处理，查询和解释结果。
-

对接下来的问题，上述过程可稍有变动。

几何与荷载的描述

框架几何外形与荷载如图 12.1 所示。结构由型钢构成。考虑下列三种荷载工况：

工况 1 – 在下弦作用一个 10 kN 垂直力

工况 2 – 滑动支座处作用一个 30 kN 水平力

工况 3 – 工况 1 和 2 的线性叠加。

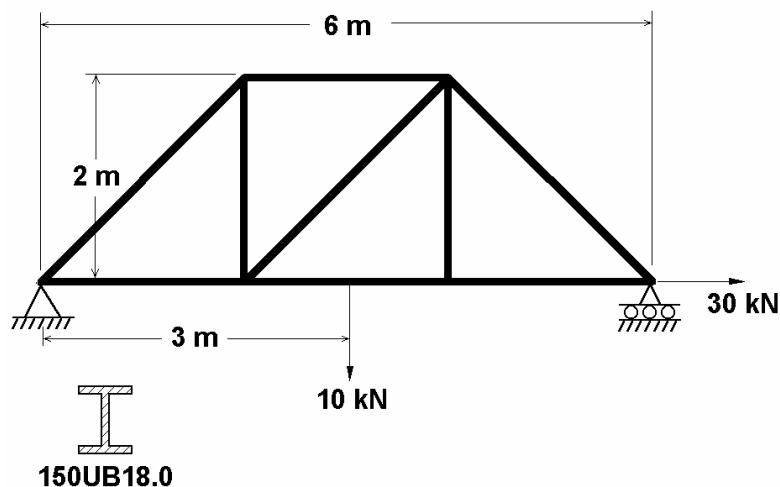


图 12.1 框架几何构造

分析目的

分析目的是计算框架中各点的挠度及构件中最大拉应力和压应力。

建立模型

开始建模时，运行 Strand7，在 文件[File] 菜单下选 新文件[New]。一旦进入 Strand7 工作界面，从 文件 菜单中选 另存为[Save As] 给模型起一个合适的名字(例如：辅导 1.ST7)。

在开始有限元建模之前最好先对建模过程作一计划。这包括选择用来描述所要分析实际模型的单元、单位制和工作平面(例如：XY 平面)。

单元

在 Strand7 中，可用的单元包括线、面、体元。对于现在的结构，构件的长度明显地大于宽度或厚度，显然应选择线元。

单位制

➔ 你可设置你的首选单位制，以在相同的单位系统下工作并让新建模型使用这些单位。从 文件 [File]→设置选择 [Preferences] 中设置缺省单位制。

当你建模时，Strand7 允许你指定单位制，可选择一致的单位(例如 m、N、kg、Pa)或不一致的单位(例如：feet、N、lb、MPa)。当前的单位设置显示在 Strand7 模型窗口底部。如果当前的单位设置不适于一个特定的模型，可从 全局[Global] 菜单中选择 单位[Units] 来进行修改。对单位制的进一步阐述参见 帮助[Help]。

在这个算例中，我们用米[m]表示长度，兆帕[MPa]表示应力(及模量)，千牛顿[kN]表示力。

-
1. 从 全局[Global] 菜单中选 单位[Units]；
 2. 对 长度[Length] 选 米[m]；
 3. 对 模量/应力[Modulus/Stress] 选 兆帕[MPa]；
 4. 对 力[Force] 选 千牛顿[kN]；
 5. 保留其余缺省值；
 6. 点击 确认[OK]。
-

工作平面

Strand7 中缺省工作平面为 XY 平面。本题中我们将在 XY 平面内工作，X 轴为横向，Y 轴为竖向。

有限元模型

实际结构的有限元表示如图 12.2 所示。

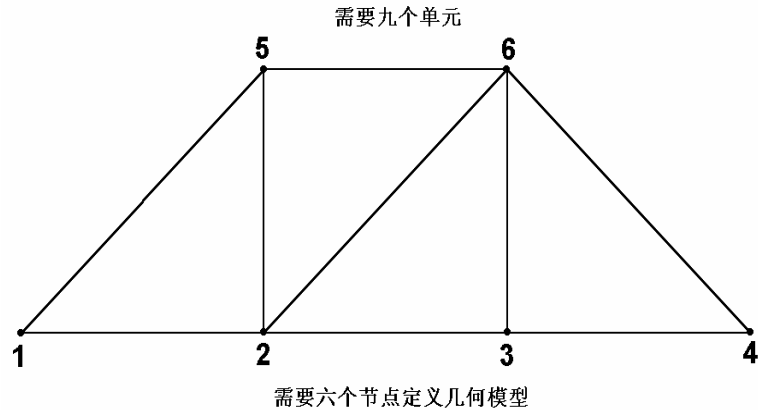


图 12.2 结构的有限元模型

建模可从先建一个节点来开始，最好从原点，也就是从坐标(0, 0, 0)处着手建立模型。按下列步骤生成节点：

1. 从 创建[Create] 菜单中选择 点[Node];
2. 确认 X, Y, Z 编辑框被激活(即选中);
3. 保留当前节点坐标(即 $X=0$, $Y=0$, $Z=0$);
4. 点击 应用[Apply]。

➔ 拉伸节点将生成线元。
同样地，拉伸线元生成面元，拉伸面元生成体元。

节点 2、3、4 可按同样步骤生成，现在用更有效的拉伸[Extrude]功能得到。从图 12.2 我们可以发现，节点 1 到 4 具有相等的 2 米间距，因此需可在 X 方向以 2 米的增量将节点 1 拉伸三次。

1. 从 工具[Tools] 菜单中选择 用增量拉伸[Extrude by Increments] 进入对话框；
2. 编辑 增量[Increments] 为 $X=2$, $Y=0$, $Z=0$;
3. 在 重复[Repeat] 框内输入 3;
4. 点击需要拉伸的节点；
5. 点击 应用[Apply]。

这将生成 3 个线元，每个单元长 2 米。这时可明显地看出模型窗口

的显示比例不合适。要使模型充满图形显示区域，从 显示[View] 菜单中选择 重画[Redraw]。也可按下 F3 键自动执行重画命令而不必进入显示菜单。现在模型看起来应如图 12.3 所示。

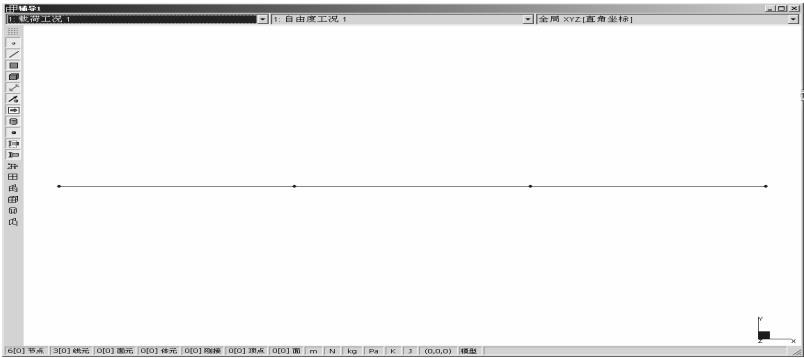


图 12.3 用 拉伸[Extrude] 工具生成的线元

要创建几何图形的其余部分，在 Y 方向 2 米处复制中间的线元。

➔ 在点击线元之前确认 线元选择状态[Toggle Beam Select] 按钮被激活。



1. 从 工具[Tools] 菜单选择 复制[Copy]→用增量[by Increment];
2. 点击中间的线元;
3. 输入 Y=2;
4. 点击 应用[Apply]。

下面我们介绍与实体显示有关的功能，使用此功能可修改单元显示设置。从 显示[View]→实体显示[Entity Display] 进入实体显示对话框。节点显示设置有许多选项，其中一项是 节点号[Node Numbers] 选项。其缺省设置是该选项不被激活(即不显示节点编号)。对现在的问题，选择显示节点号，6 个节点将标以节点号码 1 到 6。

1. 从 显示[View] 菜单中选择 实体显示[Entity Display];
2. 点击 节点[Node] 标签;
3. 激活 节点号[Node Numbers] 复选框;
4. 点击 确认[OK]。

要生成其余的线元，从 创建[Create] 菜单中选 单元[Element] 来弹出 连接[Connections] 对话框。缺省的连接类型是 Beam2，这里的‘2’表示梁需定义 2 个节点(详尽的阐述参见 帮助[Help] 中 单元库[Element Library]主题)。这是我们用来建模的单元类型。

1. 从 创建[Create] 菜单中选择 单元[Element];
2. 点击表示梁的端点的两个节点 (例如：节点 1 和节点 5)。梁用蓝线表示(与显示设置有关);
3. 继续选择相应的成对节点直至生成了所有的 9 个线元;
4. 关闭对话框。

➔ 撤消按钮可用来执行无限次撤消，也可恢复最后一次撤消的操作。



在任何时候如果操作出错，都可从 编辑[Edit] 菜单中选择 撤消 [Undo] 或者只要按 Strand7 工具按钮条上的 撤消 按钮。撤消工具可按倒序方式无限地执行撤消操作。按撤消按钮一次将撤消最后一项操作，按两次将撤消已完成的最末两项操作，等等以此类推。一旦完成了所有的连接，模型应如图 12.4 所示。

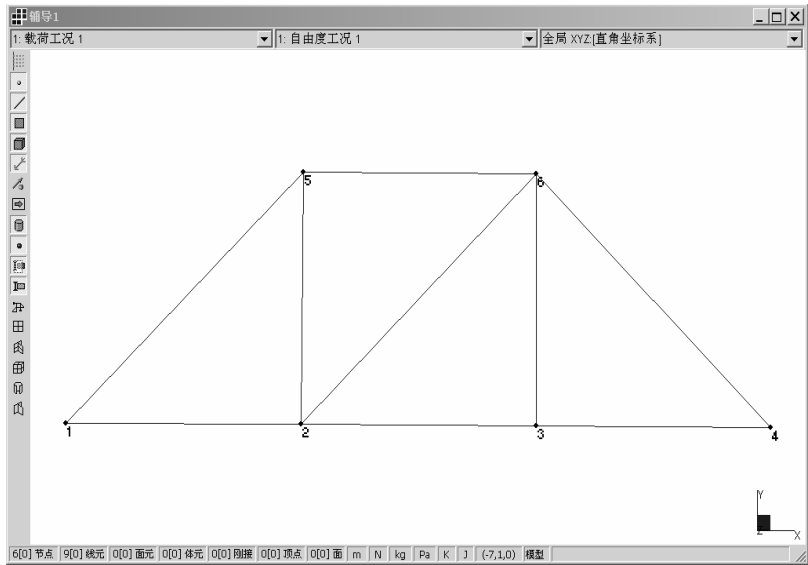


图 12.4 已完成连接的线元模型

我们现在可以在框架支座处定义约束条件。

自由度条件和约束

框架的几何模型建立后，需要给模型指定必要的支撑以定义变形约束条件，因为它现在是“浮在空中”。要给模型以正确的支撑，就必须考虑模型的实际状态。这里每个节点有六个自由度，也就是它有 6 种运动方式。如图 12.5 所示，这些运动是沿 X，Y，Z 轴的平动和绕这些轴的转动。如果要一个支撑限制某些位置在这些方向的平动和旋转，则在这些位置的节点必须施加一个或多个自由度约束，以使 Strand7 识别在某特定的方向结构的运动是受限制的。

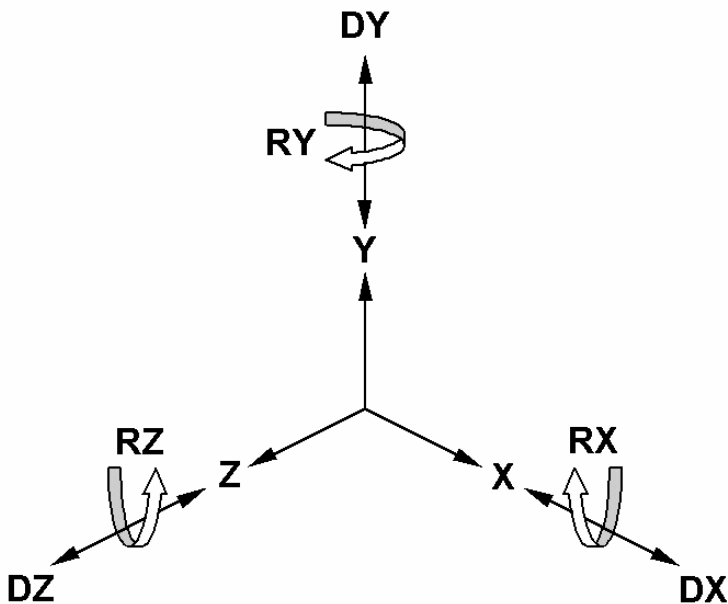


图 12.5 节点的 6 个自由度

节点约束条件

框架在下弦的两端有两个支座，如图 12.1，右边是滚动支撑，左边是简单支撑。

简支

对二维情形，简单支撑所允许的运动是绕 Z 轴的旋转。这意味着在左端支座(即在节点 1)，框架除了绕 Z 轴旋转外不允许有其它运动。

滚动支撑

二维滚动支撑允许一个平移和一个旋转。在本模型中，这一条件用于节点 4，允许 X 方向的平移和绕 Z 轴的旋转。

指定约束

要对模型指定约束，从 属性[Attributes] 菜单中选择 节点[Node]→约束[Restraint]。对话框如图 12.6 所示，包括 6 个自由度的输入：三个平移(DX, DY 和 DZ)和三个旋转(RX, RY 和 RZ)。对每个约束，可以固定位移(激活复选框)，也可以不固定位移(清除复选框)。下面是关于如何对节点 1 指定简单支撑条件，对节点 4 指定滚动支撑条件的步骤：

-
1. 选择 属性[Attributes]→节点[Node]→约束[Restraint]；
 2. 在如图 12.6 所示的对话框中，设置合适的复选框；
 3. 选择节点 1；
 4. 点击 应用[Apply]。
 5. 要对节点 4 施加滚动支撑，只需清除 平动[Translation] X 选项，选择节点 4 并点击 应用[Apply]。
-

➔ 在 约束[Restraints] 对话框中与每个复选框相邻的是编辑框，它可用于输入数值(缺省值是零)。通过输入一个非零值，可使一个节点移动一特定距离。对本问题，我们保留这些值为零，因为我们对这些固定的自由度要施以零位移。



图 12.6 节点约束对话框

前面给两个节点加的约束条件可用图形方式表示。图 12.7 表示了 Strand7 用来显示所有 6 个自由度都固定时(即无平移和旋转)的图形表达。对没有固定的自由度，相应的图形将不在显示中出现。图形总是画成与轴平行，因此当你改变视角转动视图时，图形也会旋转。

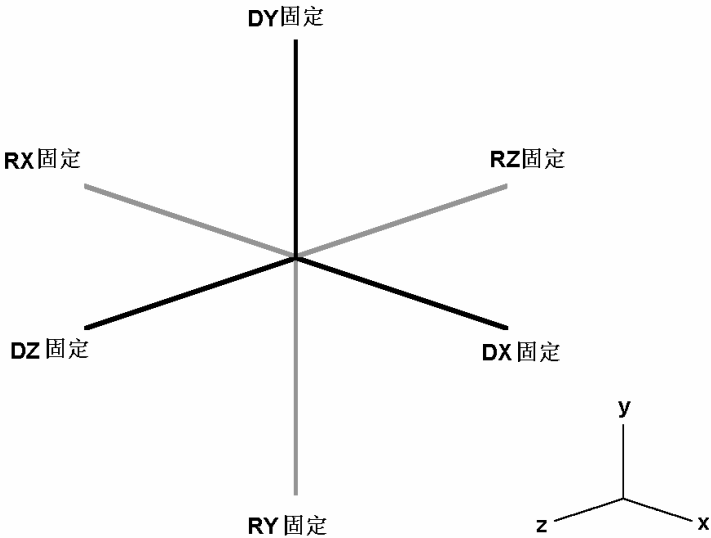


图 12.7 “固定”约束的几何表示

施加外力

在 Strand7 中，对一个模型有多种方法来施加荷载。这些荷载包括节点力、压力及惯性力等。在 Strand7 中，可以施加多达 32,000 个荷载工况。Strand7 模型窗口顶部的下拉式菜单显示当前的荷载工况，可在任何时候通过下拉式菜单改变当前荷载工况。

➔ 双击荷载工况标签可修改荷载工况名。

如在概述中所述，这里将对模型施加三种不同的荷载工况。要对模型添加一个新的荷载工况，选择 全局[Global]→全局荷载和自由度工况[Global load & Freedom Cases]。当 荷载工况[Load Cases] 对话框出现，你将注意到对特定的荷载工况，可以设置各种不同的参数。点击 新建[New] 可建立一个新的荷载工况，其缺省名为荷载工况 2。

-
1. 从 全局[Global] 菜单中选择 荷载和自由度工况[load & freedom Cases];
 2. 选择 荷载工况[load Cases]标签;
 3. 点击 新建[New];
 4. 点击 确认[OK]。
-

目前要施加两种荷载工况。第 3 种荷载工况是一种组合工况，不需现在定义，而将在后处理阶段定义。

在本问题中，要施加的外力为集中力。

从图 12.1 可见，工况 1 在中间构件的中点有一个沿 Y 轴方向的 10kN 集中力。工况 2 在 X 轴方向有一个 30kN 的集中力(在节点 4)。工况 3 是工况 1 和 2 的线性叠加。

中间构件的荷载(工况 1)可按下列步骤定义：

1. 确认当前工况是工况 1;
2. 从 属性[Attributes] 菜单中选择 线元[Beam]→集中力[Point Force]→全局[Global] 则显示 线元属性[Attribute Marking] 对话框(参见图 12.8)
3. 在 Y 编辑框中输入力(用 kN)(即 $Y = -10$);
4. 在 “a” 编辑框中输入 0.5。这一数值作为对整个梁长度的比例来确定力的作用位置;
5. 选择框架下弦中间的梁;
6. 点击 应用[Apply]。

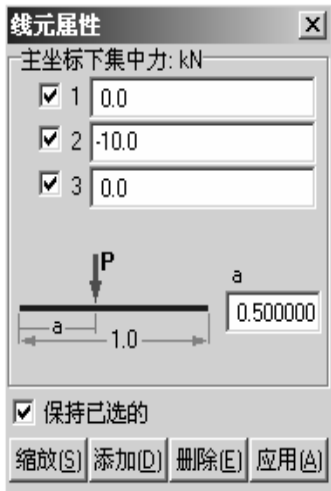


图 12.8 梁集中力对话框

因为对荷载工况 2，力作用处已有节点存在，故 30 kN 的力可作为节点力施加。

➔ 在施加荷载工况 2 的 30 kN 力前，从下拉式列表中把当前荷载工况改为“荷载工况 2”。

1. 选择 属性[Attributes]→节点[Node]→力[Force];
2. 点击节点 4;
3. 输入 $X=30$;
4. 点击 应用[Apply]。

对于荷载工况 1 和 2，模型将如图 12.9 和图 12.10 所示。

→ 记住，屏幕上的显示可通过按键盘上 F3 键来重新调整其比例。

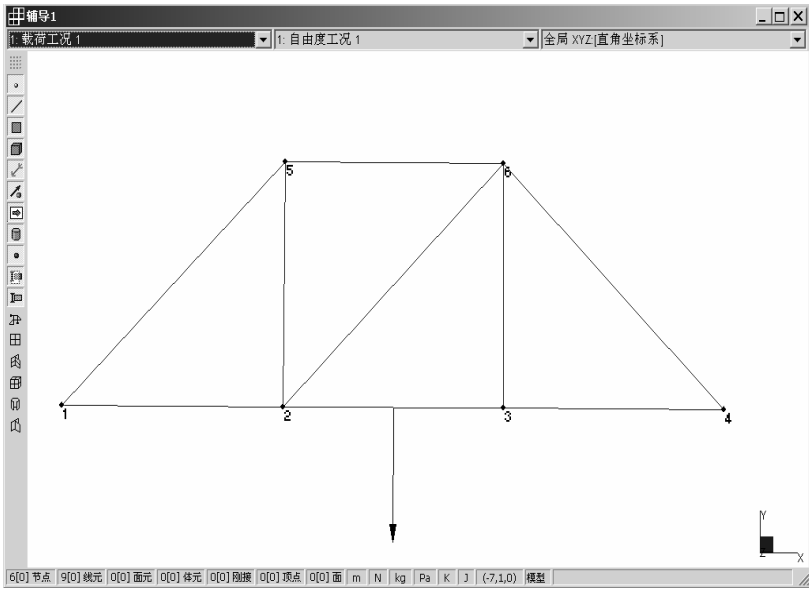


图 12.9 荷载工况 1

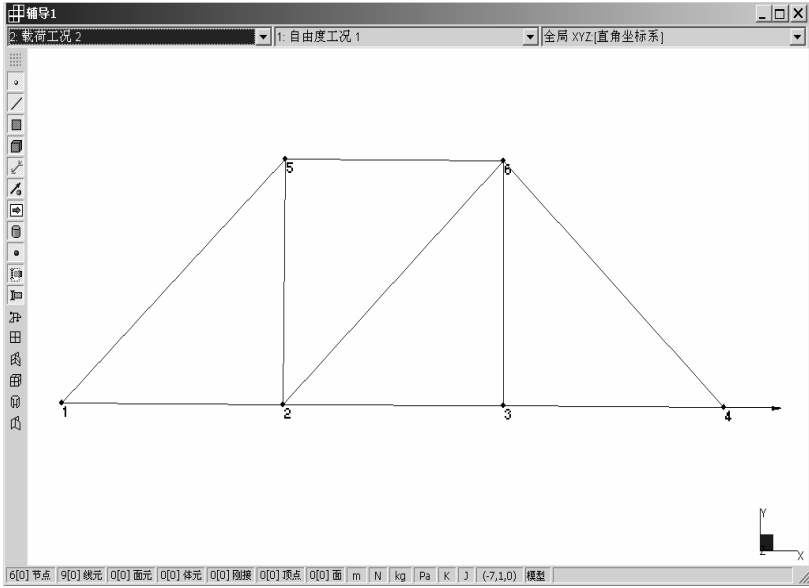


图 12.10 荷载工况 2

Strand7 允许同时显示多种荷载工况。用 多视图[Multi View] 选项来同时查看工况 1 和 2。

-
1. 从 显示[View] 菜单中选择 多视图[Multi View];
 2. 设置 横向[X Views] 为 2;
 3. 选中 多工况[Multi Case] 选项;
 4. 点击 确认[OK]。
-

注意，在这个算例中，我们用单一视图模式，现在把视图模式从多视图[multi View] 改回到单视图。

接下来输入线元的材料和横截面性质，即可全部完成模型定义。

性质输入

要定义线元的性质，从 性质[Property] 菜单中选择 线元[Beam]。你将看到 线元性质[Beam Element Property] 对话框，缺省标题为：线元性质 1(1: Beam Property)，线元性质参数将在此对话框内输入和修改。输入线元性质有许多方法供选用，可手工输入、从标准截面中挑选或从材料和截面库中读取。本题中我们使用材料和截面库。

➔ 当从 截面库[Sections Library] 中选择截面时，程序将自动给 I11，I22，J 和 A 赋值。

-
1. 从 性质[Property] 下选择 线元[Beam];
 2. 从 编辑[Edit]→性质名[Property Name] 对话框输入 “焊接梁”;
 3. 在 类型[Type] 标签下选择 梁[Beam];
 4. 选择 几何[Geometry] 标签，并点击 截面[Sections];
 5. 双击 Universal Beams;
 6. 选择 150UB18.0 并点击 接受[OK];
 7. 确认已选择 输入材料[Import Material];
 8. 点击 关闭[Close]。
-

现已定义了线元性质。要更清楚地查看模型，可通过设置线元显示特征而用着色和阴影方式来表示梁的横截面。在这样做之前，关掉节点号显示并将视角改为(X=20，Y=35，Z=0)。

→ 另一种作法是在模型窗口右击选择 **实体显示** [Entity Display] 并从列表中选择。

1. 从 显示[View] 菜单中选择 视角[Angles];
2. 在选项中输入角 $X = 20$, $Y = 35$, $Z = 0$ 并点击 确认[OK];
3. 从显示[View] 菜单中选择 实体显示[Entity Display];
4. 选择 节点[Node] 标签;
5. 关掉 节点号显示[Node Numbers];
6. 点击 线元[Beam] 标签;
7. 选择 实体显示模式[Solid Display Mode] 选项;
8. 选择 阴影图[Light Shade] 复选框;
9. 点击 确认[OK]。

现在屏幕应看起来如图 12.11.

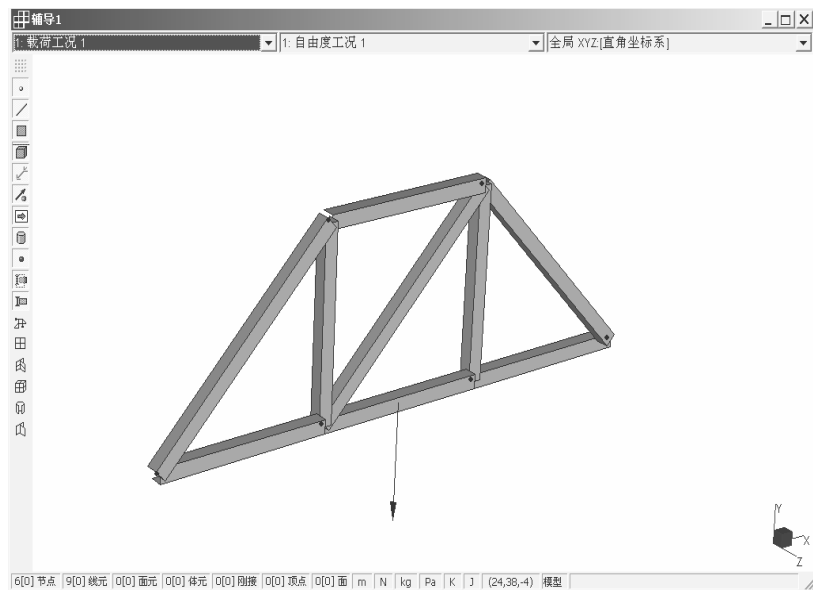


图 12.11 用着色和阴影显示的模型

因为已经输入了定义模型的全部信息，现在可以开始进行求解。

求解

进行求解时，从 求解[Solver] 菜单中选择 线性静力分析[Linear Static]。在屏幕上将出现线性静力分析对话框，它包括一系列求解选项。我们在这里使用缺省设置。

点击 求解[Solver] 开始运行求解器。当求解器运行时，屏幕上弹出一个新的窗口显示求解过程信息，例如单元组装、矩阵分解、回代求解及外力总和等。这些为用户提供了当前求解阶段的信息。当求解结束时，Strand7 将显示整个运行过程所用的时间。

-
1. 从 求解[Solver] 菜单中选择 线性静力分析[Linear Static];
 2. 点击 求解[Solve];
 3. 等待求解完成;
 4. 关闭求解过程显示窗。
-

后处理

后处理是指求解完成后对有限元分析结果进行检索、分析、评估和解释。在 Strand7 中，后处理器允许你用许多方法观察结果，例如等值线绘制—用彩色的等值线表示特定的结果值（如应力、位移、应变等）、二维曲线图、动画、变形图及数据列表。Strand7 中通过 结果[Results] 菜单中的各种选项功能执行后处理操作。因为 Strand7 的后处理与前处理实际上是一个程序，所以两个过程有许多相同的功能。

打开结果文件

在进行后处理之前，需要读入对应于特定模型和求解类型的结果文件。这时只需从 结果[Results] 菜单中选择 打开结果文件[Open Results File]。Strand7 将所有输出数据存入到一个单独文件中。对于线性静力分析，文件带扩展名“LSA”。“LSA”文件的缺省名与模型文件相同（例：模型文件是“辅导 1.ST7”，线性静力分析结果文件将为“辅导 1.LSA”）。

1. 从 结果[Results] 菜单中选择 打开结果文件[Open Results File];
2. 选择文件 “辅导 1.LSA” 并点击 打开[Open];
3. 你现在已进入后处理界面。

查看求解记录文件

查看求解记录文件是一个很好的习惯。记录文件中包含了在求解过程中生成的所有运行信息。从结果菜单中选择 显示求解记录文件[View Results Log file]，并打开 “辅导 1.LSL”，查找任何警告和错误信息。检查荷载总和以确认在框架上施加了正确的荷载。

位移比例

评估结构的变形形状是很重要的，这样可以确定模型是否在施加约束和外力以后表现出预计的结构特性。要显示框架的变形图，必须将位移比例设置为非零值。如要调整比例，从 结果[Results] 菜单中进入 位移比例[Displacement Scale] 对话框。对话框有两种比例可选：按百分比缩放[Percent Scale] 和 按实际值缩放[Absolute Scale]。

按实际值缩放

如果设置比例类型为按实际值缩放，并设比例值为 1.0，则显示的结构变形图将与实际情况一致。若值设为 10.0，则变形会被放大 10 倍。

按百分比缩放

在大多数情况下，结构的变形会比初始尺寸小若干个数量级，所以按相对比例更容易进行设置得到较合适的变形图。例如，如果设置的比例类型为百分比缩放并设值为 15%，则按最大位移为结构沿 X，Y 或 Z 轴方向最大尺寸的 15%的比例显示。

➔ 也可以按 位移比例
[Displacement Scale]
按钮。



1. 首先重新将视角设置为 XY 平面；
2. 从 结果[Results] 选择 位移比例[Displacement Scale];

3. 点击 15%;
4. 点击 确认[OK]。

荷载工况 1 和 2 的变形情况如图 12.12 和图 12.13 所示。

➔ 打开结果文件后，将自动进入荷载工况 1。若要查看其它工况，可从荷载工况下拉式菜单中进行选择。

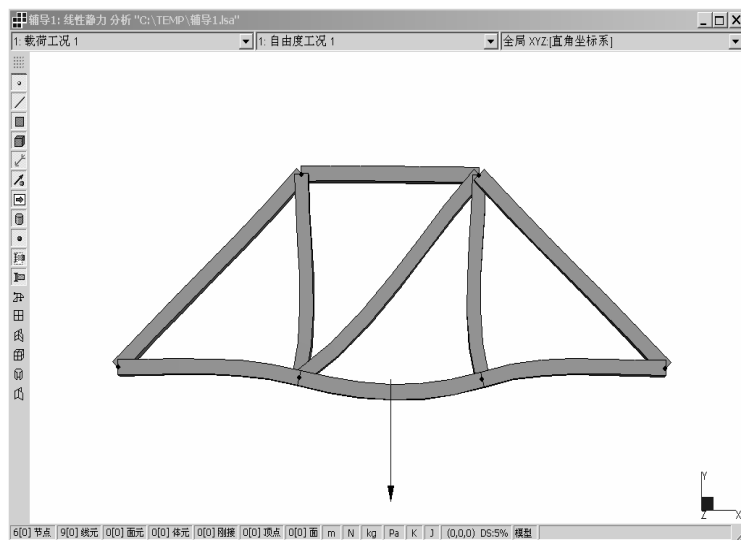


图 12.12 工况 1 下的变形图

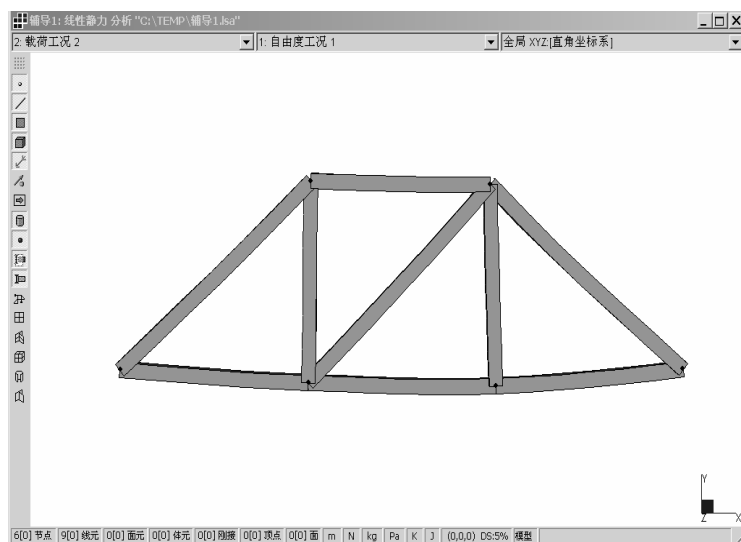


图 12.13 工况 2 下的变形图

工况组合

前面已讲过要分析三种荷载条件，其中头两种是独立的荷载工况，而第三种是前两种的线性组合。

Strand7 允许你用基本荷载工况进行线性组合而建立一个新的荷载工况。荷载组合可在线性静力求解器运行之前或之后定义。在这个算例中，工况 3 是工况 1 和工况 2 的线性组合，所以它可以用 线性荷载工况组合[Linear Load Case Combinations] 功能来建立。

-
1. 从 结果[Results] 中选择 关闭结果文件[Close Results File];
 2. 从 结果 菜单中选择 线性荷载工况组合[Linear Load Case Combinations];
 3. 点击 添加[Add];
 4. 将 组合工况[Combination Case] 改名为工况 3，然后，对工况 1 和 2 均输入组合因子 1;
 5. 点击 确认[OK]。
-

➔ 在打开结果文件前不必再运行求解器重新进行分析。

要查看对应于刚建立的荷载工况(荷载工况 3)的结果，需要重新打开结果文件。

可以利用多视图功能同时查看三种工况下的结果。这种视图有助于对不同荷载工况的结果进行比较，并有助于找出不同荷载情况下结果的差异。

-
1. 打开结果文件;
 2. 对屏幕提示是否要生成组合工况结果的问题给肯定回答;
 3. 选择 显示[View]→多视图[Multi View];
 4. 在 竖向[Y Views] 编辑窗中输入 3;
 5. 点击 确认[OK]。
-

荷载工况 3 的变形显示应如图 12.14 所示。

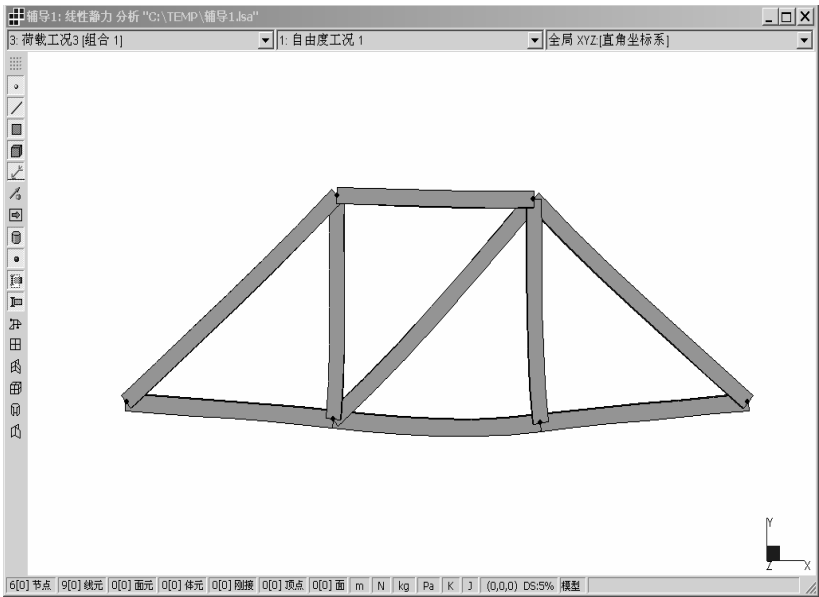


图 12.14 荷载工况 3 下的变形显示

以下用单视图模式比较方便，所以转回到单视图模式。

弯矩/剪力图

➔ 参考 帮助[Help] 中 单元库[Element Library] 主题以得到关于梁中的内力及弯矩符号约定的解释。

➔ 可用右击迅速进入 结果设置[Results Settings] 对话框或简单地在工具按钮条上点击 结果设置[Results Settings] 图标。



从 结果[Results] 菜单中选择 结果设置[Result Settings]，在弹出的窗口中选择 力/弯矩[Force/Moment] 可显示弯矩和剪力图。对现在的问题，我们的兴趣在于 平面 2 弯矩[Bending Moment plane2] 和 平面 2 剪力[Shear Force plane2]。这是在梁的平面 2 上的弯矩和剪力。平面 2 是梁的“2” 主轴所在的平面。

1. 从 结果[Results] 菜单中选择 结果设置[Results Settings]；
2. 在方式 [Draw As] 选项下选择 图形[Diagram]；
3. 在 量[Quantity] 选项下选择 力/弯矩[Force/Moment]；
4. 在 平面 2 [Plane 2] 选项中选择 弯矩[Bending Moment] 和剪力[Shear Force] 框；
5. 点击 确认[OK]。

你可分别查看弯矩、剪力结果及其它量，例如轴力、扭矩或组合结果。一旦你已检查了弯矩和剪力图，你可在 结果[Results] 菜单的结果设置[Result Settings] 中选择 空置[None] 选项来取消结果图形显示。

查询功能

→ 查询[Peek] 功能按钮。



查询[Peek] 功能允许从有限元解中提取想要的各类结果。只要从 结果[Results] 菜单中选择 查询 选项便可得到如图 12.15 所示的查询对话框。对话框对模型中每个单元类型有一个独立的选项标签。对于现在的算例有两个可激活选项标签，一个是节点，一个是线元。若模型中有面元和体元，则所有标签都处于可激活状态，你可按你的需要进行选择。

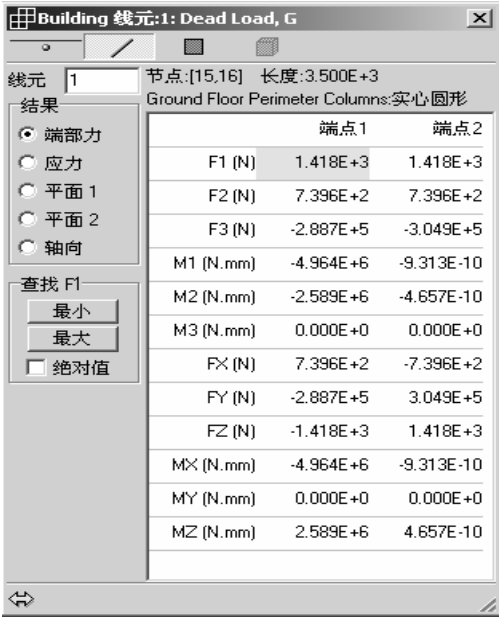


图 12.15 查询对话框

熟悉查询功能的最好方法是进行实践。对于现在的问题，我们可以用查询功能来查看个别节点的位移；或者查看梁上任何位置的结果(例如：轴向应力、主应力、剪力、弯矩等)。作为演示，假定你要研究框架中部下弦梁在工况 1 下的剪力和弯矩分布，按下列步骤使用查询功能：

1. 设置 位移比例[Displacement Scale] 为零;
2. 确认当前工况为荷载工况 1;
3. 点击 查询[Peek]按钮;
4. 点击 线元[Beam]标签;
5. 在 结果[Quantity] 选项下选择 平面 2[Plane 2];
6. 点击下弦中部的梁(见图 12.16)。

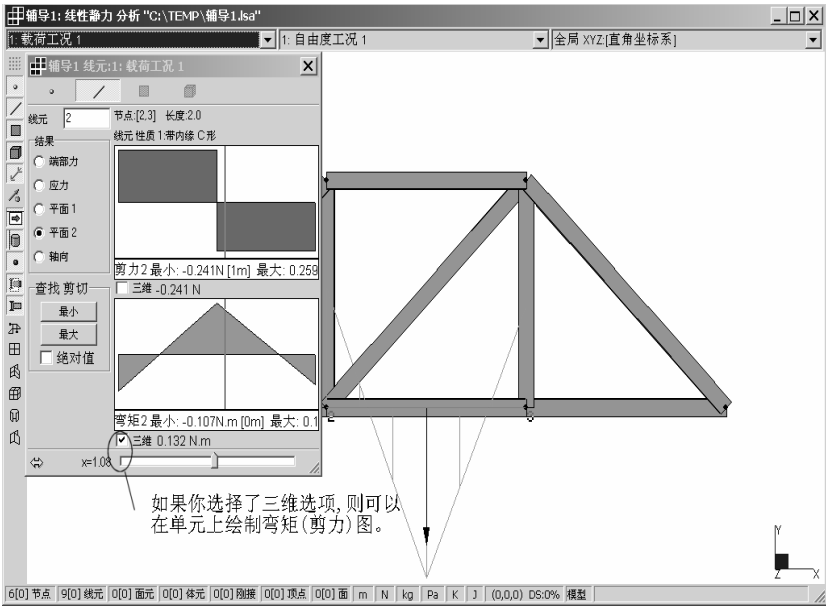


图 12.16 使用查询工具查看梁单元内力分布

等值线图

等值线图使用彩色或带阴影的图来表示某些量的变化分布。虽然等值线图通常用于面元和体元,但对线元也是一个迅速提取结果的有效工具。

要显示等值线图,从 结果[Results] 菜单中选择 结果设置[Results Settings]。因为我们要找出最大轴向拉/压应力,需绘制框架轴向应力分布等值线图。

-
1. 选择 结果[Results]→结果显示设置[Result Settings];
 2. 在 方式[Draw as] 选项中选择 云图[Contour];
 3. 在 量[Quantity] 选项下选择 应力[Stress];
 4. 对 应力分量[Stress Quantity] 选项选择 轴向[Axial];
 5. 点击 确认[OK].
-

当你按下 确认[OK] 按钮时，屏幕将会自动刷新，你这时将看到一个彩色的应力云图及从粉红色到蓝色并带刻度的图例。按常规约定，拉应力为正，压应力为负。图例的上下末端为结果的最大最小值。对这个算例，使用缺省设置云图颜色时，高应力区域是深蓝色(负值)或深红色(正值)。通过观察梁的彩色等值线图，你能容易地确定每个线元的应力状态。因为我们需要最大轴向拉/压应力，所以可查看应力彩色图例的顶部和底部值，那里列出了要查看的应力分量(即本例中的轴力)的极值。你可看到这些值为：

工况 1: 最大轴应力= 2.63 MPa
最小轴应力= -3.30 MPa

工况 2: 最大轴应力 = 13.00 Mpa
最小轴应力 = -0.08 MPa

工况 3: 最大轴应力 = 15.58 Mpa
最小轴应力 = -3.23 MPa

图例上还标出了具有最大和最小应力的线元号(括弧内数值)。与查询 功能一样，熟悉云图功能的最好方法也是多做实践练习。

铰接框架：桁架单元

现在把框架做为铰接桁架结构进行分析。分析之前，需要对焊接框架模型做些调整。一般来说，修改一个模型文件比重新开始创建一个新文件要容易得多。因此，将当前文件另存为一个新文件(例如：将“辅导 1.ST7”存为“辅导 1b.ST7”)。

-
1. 打开焊接框架的文件(如果模型文件还没有打开)；
 2. 确信你已将结果文件关闭；
 3. 从 文件[File] 中选择 另存为[Save As]；
 4. 输入一个新的文件名；
 5. 点击 Save。这时模型窗口标题自动变到新的文件名。
-

可以通过在线元性质窗口内做些修改，以使单元连接变为铰接。

桁架单元

因为铰接点不能传递弯矩，铰接桁架中的杆不承受弯曲荷载。为清除梁的抗弯能力，在线元性质窗口中将梁改为桁架。

-
1. 选择 性质[Property]→线元[Beam]；
 2. 把 类型[Type] 从 梁[Beam] 改为 桁架[Truss]；
 3. 关闭对话框。
-

现在可以对铰接的模型进行求解。

-
1. 从 求解[Solver] 菜单中选择 线性静力分析[Linear Static]；
 2. 点击 求解[Solve]。
-

铰接框架的后处理

一旦求解完成，则可以用与刚架相同的方法来检验结果。首先需要
通过 结果[Results]→打开结果文件[Open Results File] 来打开文件，设
置位移比例为 10%。

如图 12.17 所示，你可能会注意到，所有单元在变形图中仍保持直
线。这意味着它们不承受弯矩。要检查这一点，你可以选择 结果
[Results]→查询[Peek] 并点击单元。

1. 点击 查询[Peek] 按钮；
2. 点击 线元[Beam] 菜单标签；
3. 选择 平面 2[Plane 2]；
4. 点击任一桁架单元；
5. 你会注意到单元不承受弯矩。

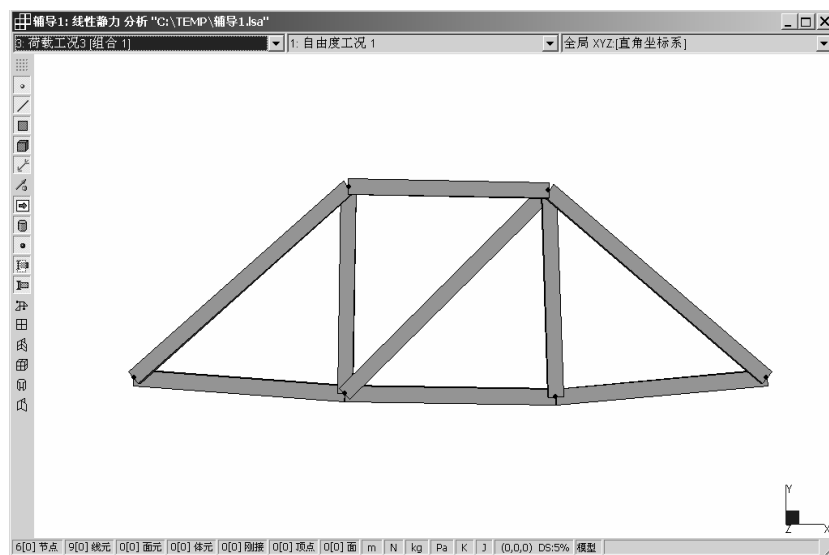


图 12.17 铰接模型的变形图(组合工况)

从结果中可以观察到，与所预计的一样，桁架单元只承受轴力。要查看轴力的值，可以按以下步骤绘制轴力图：

➔ 轴力图用红线表示，最大和最小值列在屏幕的上部。

1. 从 结果[Results] 菜单中选择 结果设置[Result Settings];
2. 从 方式[Draw as] 选项中选择 云图[Contour];
3. 选择 力/弯矩[Force/Moment] 选项;
4. 选择 轴力[Axial Force] 复选框;
5. 点击 确认[OK]。

第 13 章

辅导 2：二维平面应力集中问题

概述

在本例中，将研究一个受拉钢板中狭缝根部的应力集中问题。

几何与荷载描述

钢板的几何形状与荷载情况如图 13.1 所示。

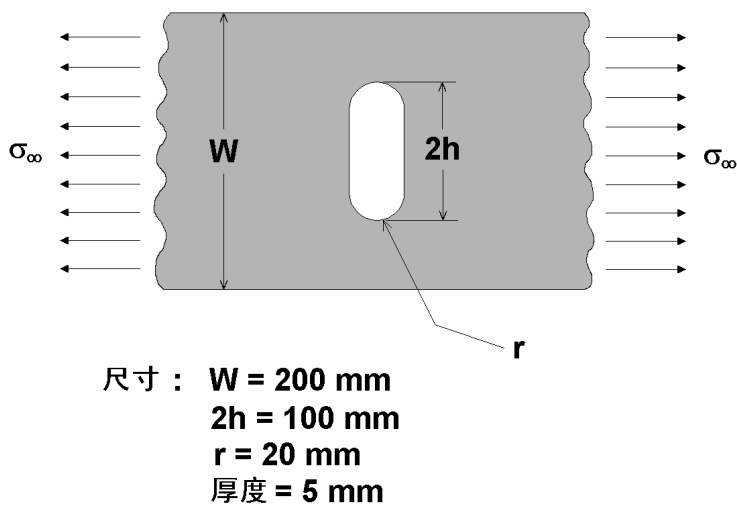


图 13.1 钢板的几何形状和荷载条件

分析目的

分析的目的是要计算应力集中系数。按英国皇家航空学会编辑的工程科学数据单位表(ESDU)，给定几何的应力集中系数是下列比值的函数：

$$\frac{r}{2h} = \frac{20}{100} = 0.2$$

$$\frac{2h}{w} = \frac{100}{200} = 0.5$$

利用这两个比值，可算得应力集中系数 $K=2.81$ ，其中应力集中系数定义如下：

$$K = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{ref}}}, \quad \sigma_{\text{ref}} = \frac{\sigma_{\infty} \cdot w}{w - 2h}。$$

建立模型

在建立钢板模型前，必须选择使用的单元类型。本题中可使用面元和体元。考虑到钢板的长、宽远大于厚度，按二维问题处理较为合适，因而面元是较好的选择。

对称性考虑

减小有限元模型规模的最常用方法之一是利用对称性条件。在图 13.2 中，你可看到两个明显的对称轴。显然在模型每个四分之一部分的应力/应变/位移分布是相同的，因此可取钢板的四分之一建立模型。边界条件沿对称轴所在的边施加，这样四分之一模型的变形行为将和它在整个钢板中时的变形行为完全相同。

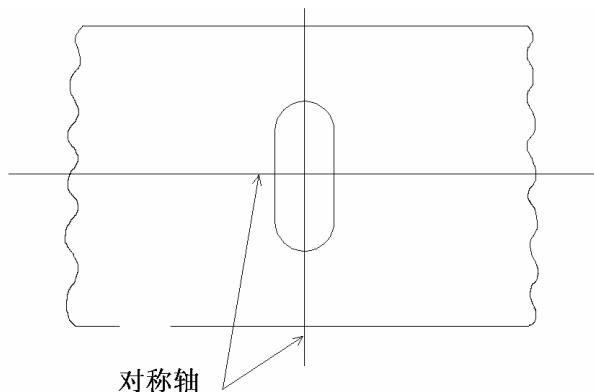


图 13.2 钢板两个对称轴

网格设计

有限元结果的精度常常取决于网格的质量。对于一个给定问题，你可以采取很多不同的方式建立网格。

这里钢板的一个重要特征是它的长度被假定为是无限的。但建模时必须采用一个有限长度值。如果求解得到的钢板端部应力变化较小，则这个有限近似是合理的。如果应力变化仍然比较大，则必须增加模拟钢板部分的长度并再次求解。现在先暂时取长度为 300 mm。

如图 13.3 所示，将钢板分解成更小、更易操作的几个区域(记住只需考虑钢板的四分之一)。

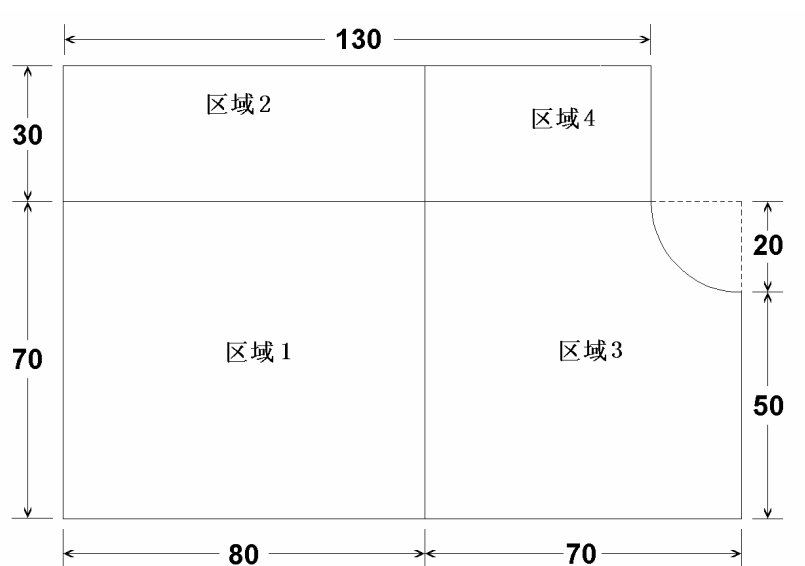


图 13.3 四分之一模型

单位

进入 Strand7，选择 新文件[New]，然后 另存为[Save As] “辅导 2.ST7”。对这个问题使用毫米和兆帕单位工作更为方便，因此在 全局 [Global] 菜单中选择 单位[Units] 为 牛顿[N] 和 毫米[mm]。

1. 从 全局[Global] 菜单中选择 单位[Units]；
2. 点击 牛顿[N] 和 毫米[mm]；
3. 点击 确认[OK]。

现在可以用与辅导 1 相同的方法手工或者用 Strand7 的网格捕捉功能生成节点。

创建捕捉网格

网格捕捉功能是一个用来加快建模进程的工具。通过定义适当尺寸和间距的网格，可以不用预先生成节点而直接通过在合适的网格点上点

击来快速地生成单元。

对本问题合适的坐标网格大小为 150×100 mm (X, Y)，网格间距为 5×5 mm。下面是设置捕捉网格的步骤：

➔ 显示捕捉网格[Snap Grid] 图标



1. 在实体切换条上用右键点击 显示捕捉网格[Snap Grid]；
2. 设置 格栅数量[Number of Grids] 为 ‘X=30’, ‘Y=20’, 格栅范围[Grid Limits] 为 X: 最小值为 0, 最大值为 150; Y: 最小值为 0, 最大值为 100;
3. 点击 确认[OK]。

此时屏幕应如图 13.4 所示。

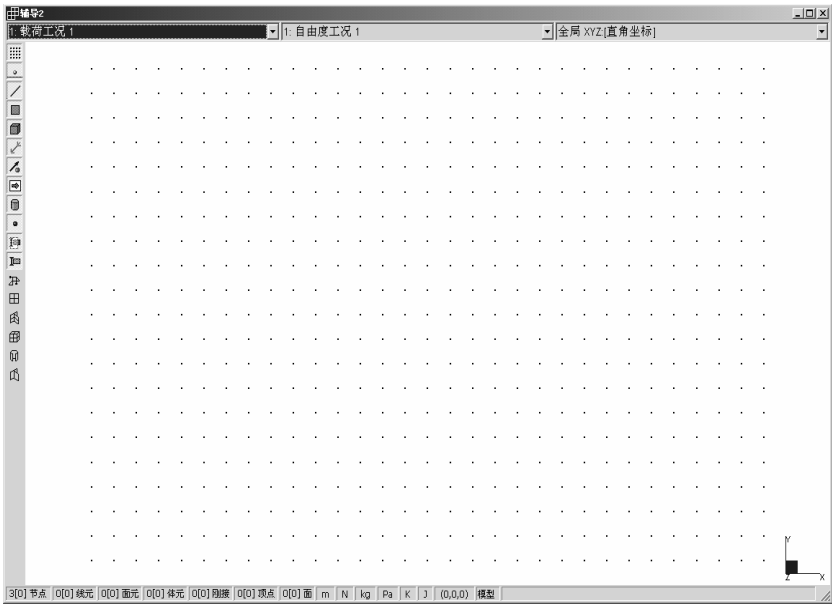


图 13.4 捕捉网格

现在可以开始通过在适当的坐标网格点上点击而直接在作图区创建面元。

面元

当用面元建模时，你可以从五种面元几何类型中进行选择：3 和 6 节点三角形单元与 4、8 和 9 节点的四边形单元。图 13.5 给出了这些面元的几何类型示例。

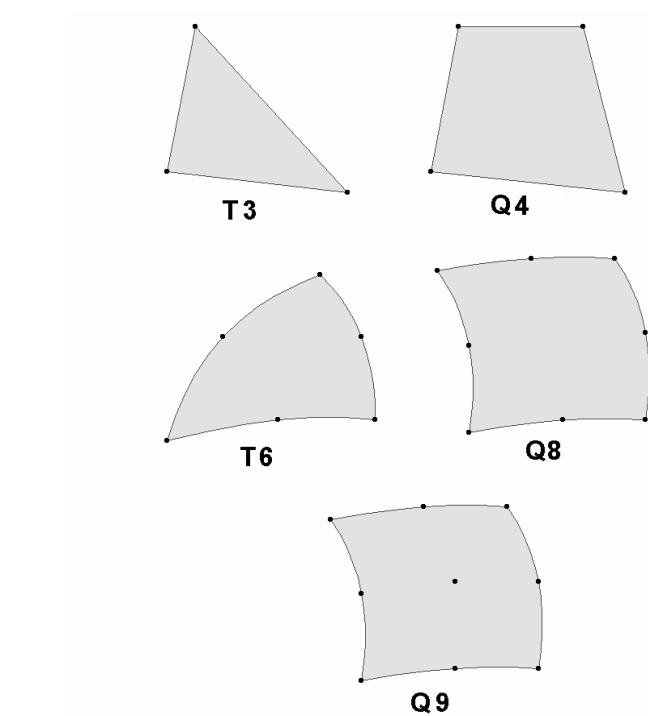


图 13.5 面元几何类型

3 和 4 节点单元具有线性形函数，而 6、8 和 9 节点单元具有二次形函数。这意味着线性单元总是具有直边而二次单元可具有曲边。曲线边界由通过边上三个节点的二次曲线构成。曲线可由许多小的线性单元来近似，对本例我们将使用二次的 Q8 面元。对面元更详细的介绍，可参考 帮助[Help] 中的 单元库[Element Library]主题。

图 13.6 绘出了用来定义钢板有限元模型的初始网格布置。

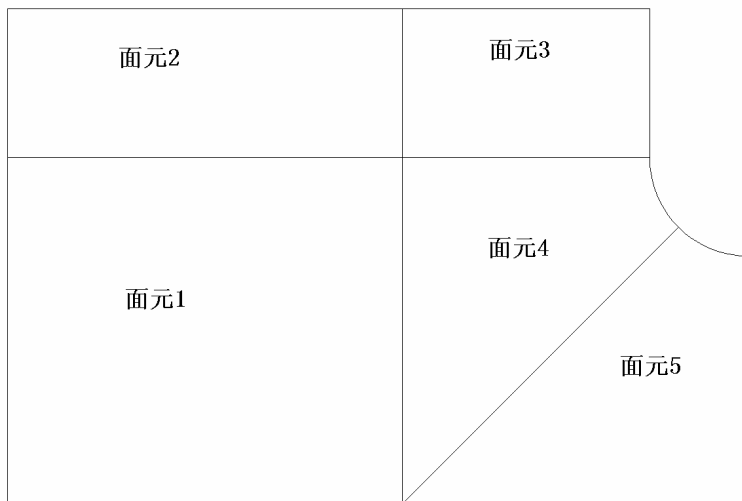


图 13.6 钢板有限元模型的网格布置

要创建面元，从 创建[Create] 菜单中选择 单元[Element] 来显示 连接[Connections] 对话框。现在可以开始创建面元了。

创建面元

面元用与线元相似的方法创建。首先生成如图 13.7 所示的三个 Q8 面元。

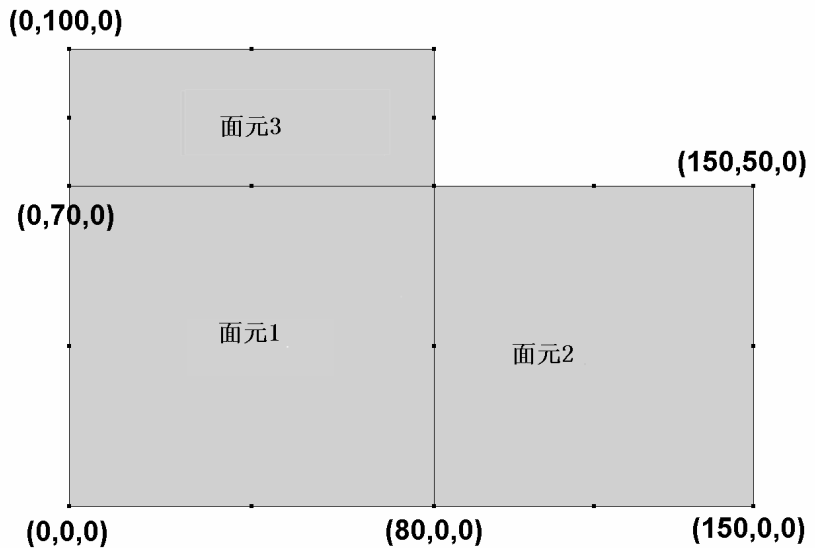


图 13.7 首先生成的面元

生成面元 1, 2 和 3

→ 全部[All] 选项自动在 4 个边上分别生成一个中间节点。而点击 当前[Next] 选项一次在一条边上生成一个中间节点。

1. 从 创建[Create] 菜单中选择 单元[Element];
2. 在下拉式列表中 类型[Type] 下选择 Q8 面元[Quad8];
3. 沿逆时针方向点击 4 个节点以定义面元 1 的角点(参见图 13.8)。在面元的连续操作中, 通过移动光标到坐标网格点上并同时按 shift 键可以查看网格点的坐标, 如图 13.8 所示;
4. 定义角节点后, 面元的边线将如图 13.9 所示。这时 Q8 面元还不完整, 因为你还需定义 4 个中间节点;
5. 点击 全部[All] 来完成当前 Q8 面元的定义;
6. 用同样的过程生成面元 2 和 3。

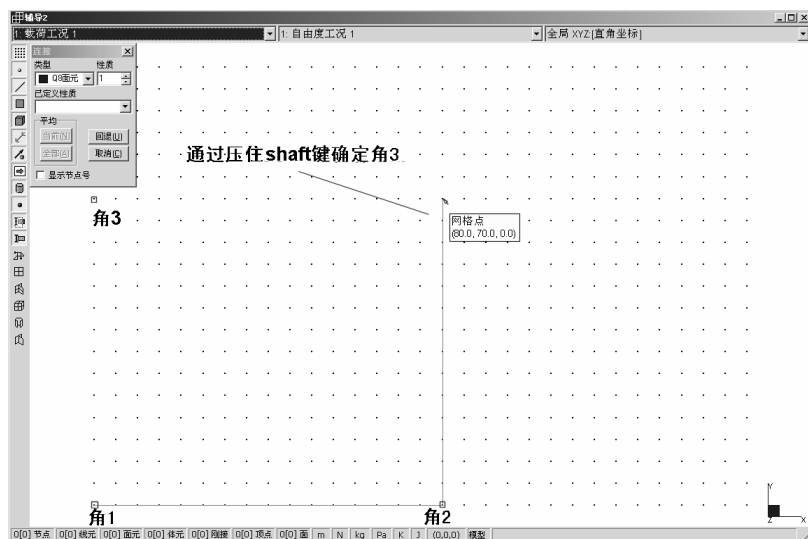


图 13.8 通过使用 Shift 键找出点的位置进而定义面元的角点

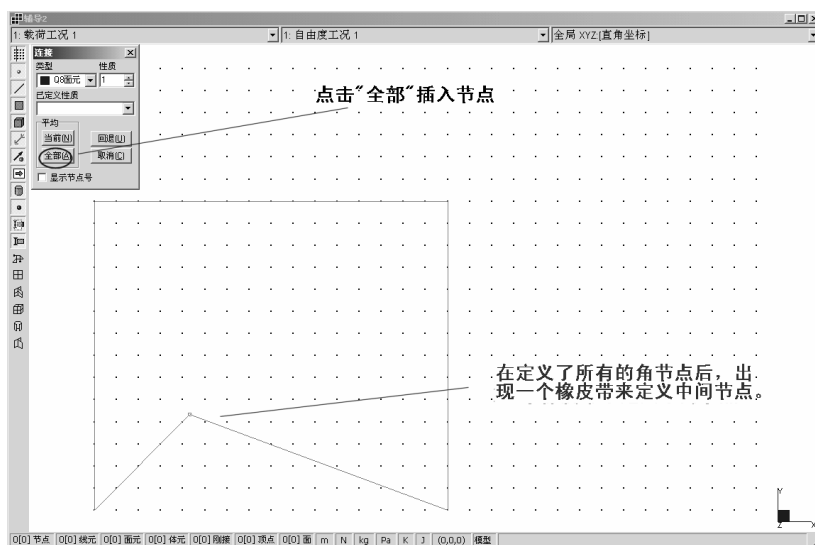


图 13.9 定义中间节点

此时的模型应如图 13.10 所示

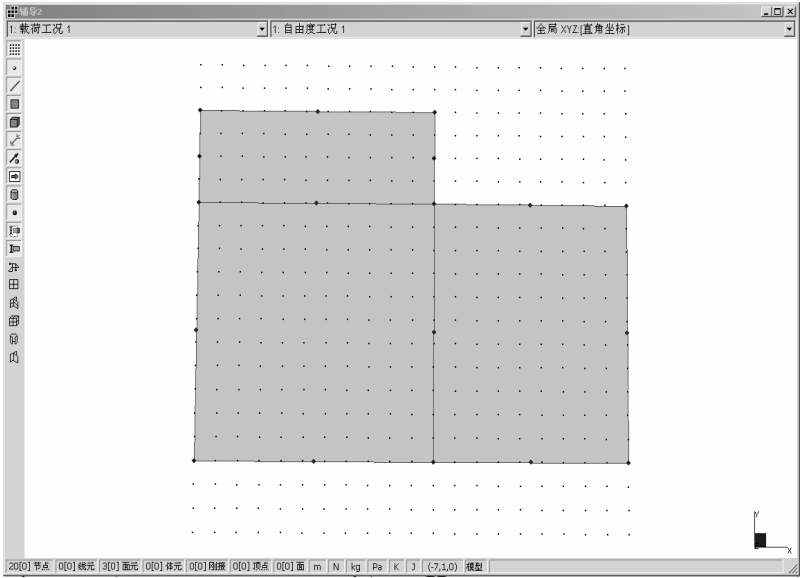


图 13.10 生成了前三个面元后的模型

生成狭缝

有许多方法可以用来生成狭缝的曲边，其中简单的方法是用 Strand7 的单元过渡工具。

单元过渡

单元过渡可用于完成粗细网格之间的转换，可以方便地对高应力梯度的区域进行网格细分。另外过渡工具也可用于从直边单元转换为曲边单元。我们用这个工具来创建模型中的狭缝。

选择 工具[Tools]→单元过渡[Grade Plates and Bricks] 弹出单元过渡对话框，如图 13.11 所示。



图 13.11 单元过渡对话框

这一对话框包含了许多不同的过渡类型按钮。单元过渡按所选择的按钮所显示的方式进行。

当执行单元过渡功能时，Strand7 不仅要知道哪个单元要过渡，还要知道过渡的方向。如图 13.11 所示，大多数按钮上有一条或多条用虚线表示的加亮边，它们用来定义过渡的方向。因此，要根据所要的过渡类型和按钮中对应的加亮边，在单元上选中待过渡的边。

以下描述了创建狭缝的步骤，图 13.12 具体演示了这个过程。

→ 单元过渡按钮



→ 半径比[Radius Ratio] 可以在对话框中以公式方式输入。

→ Strand7 的 细分

[Subdivide] 和 单元过渡 [Grade] 功能自动生成具有与当前的面元同样性质和荷载工况的面元。另外，生成的新节点也自动地被赋以同样的力和约束条件。

1. 选择 工具[Tools]→单元过渡[Grade Plates and Bricks];
2. 点击适当的过渡按钮;
3. 选择如图 13.12 所示的 2 个面元边;
4. 输入 半径比[Radius Ratio] 为 20/70(注意到这是孔半径与板边长之比);
5. 点击 应用[Apply]。

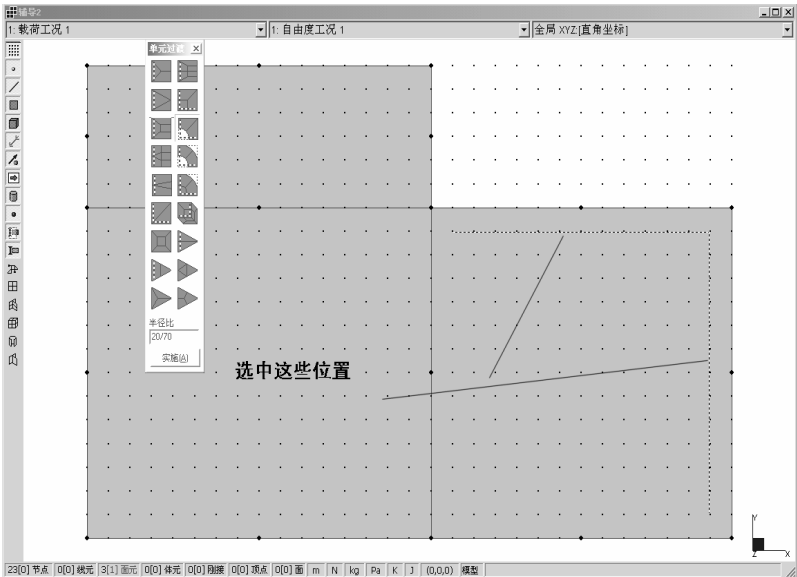


图 13.12 面元的过渡

→ 要创建单元，从 创建 [Create] 菜单中选择 单元 [Element]。

当狭缝的圆形部分半径定义后，则可生成最后的 Q8 面元以完成建模过程。完成后的模型如图 13.13 所示。

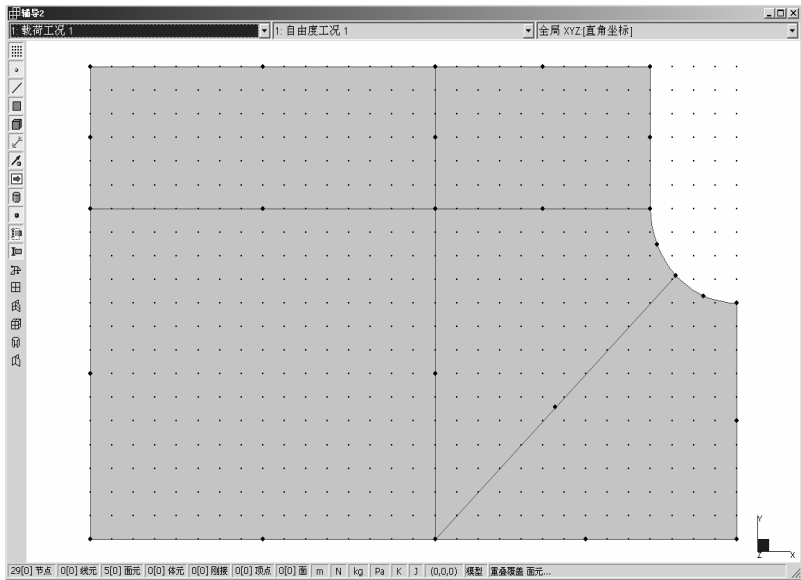


图 13.13 有限元模型的生成

这时已不再需要显示网格捕捉了，可通过再次点击 显示网格捕捉 [Snap Grid] 按钮来关闭网格点显示。

细分

图 13.13 的网格描述了钢板的几何性质，但由于此网格太粗糙，因而不能用来得到准确的结果。细分[Subdivide] 工具可用来将单元分成若干更小的单元而生成加密的网格以得到更准确的结果。

从 工具[Tools] 菜单中选择 细分 后，将出现图 13.14 所示的对话框。对话框有两种选项：剖分数[Divisions] 和 目标类型[Targets]。

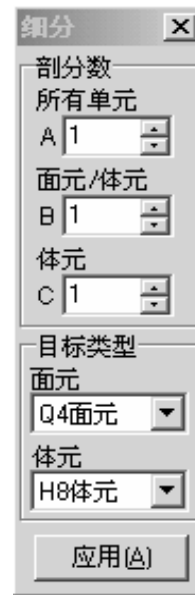


图 13.14 细分对话框

➔ 为了看到 A 和 B 方向，
必须在选择单元前打开
工具[Tools]→细分
[Subdivide] 功能。

剖分数

这一选项有 A、B、C 三个参数。这三个参数定义单元沿三个方向的分割数。对面元，只需输入 A、B 两个参数，而对体元需输入全部三个参数。一旦选中了所要细分的单元，分割方向将在单元上标出。

目标类型

这一选项定义单元细分生成的目标单元的类型。只有细分面元和体元时才需要定义这个选项，因为它们有多种不同的类型。

示例

选择 工具[Tools] → 细分[Subdivide] 然后点击单元，将如图 13.15 所示的一个 Q8 面元分别沿水平和垂直方向细分为 4 和 3 等份。一旦单元被选中，A 和 B 方向在单元上自动给出。另外在 目标类型[Targets] 中选 Q8 面元 然后按 应用[Apply] 按钮。

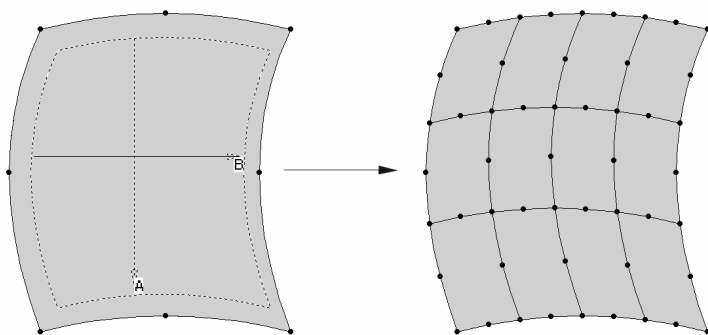


图 13.15 面元细分示例

钢板模型网格细分

现在对四分之一钢板模型中的 5 个面元进行细分以生成更细的网格。当细分一个单元时，必须保证相邻的单元也被细分以使它们连接在相同的节点上。

按图 13.16 所示对面元 1 至 5 进行细分。

➔ 选择 工具[Tools]→细分 [Subdivide]，并选 目标类型[Targets] 为 Q8 面元。选中面元并输入适当的 A、B 值。记住，如果你操作出错只须使用 撤消[Undo] 功能。

➔ 建议检查面元自由边，以发现单元间的不协调之处。

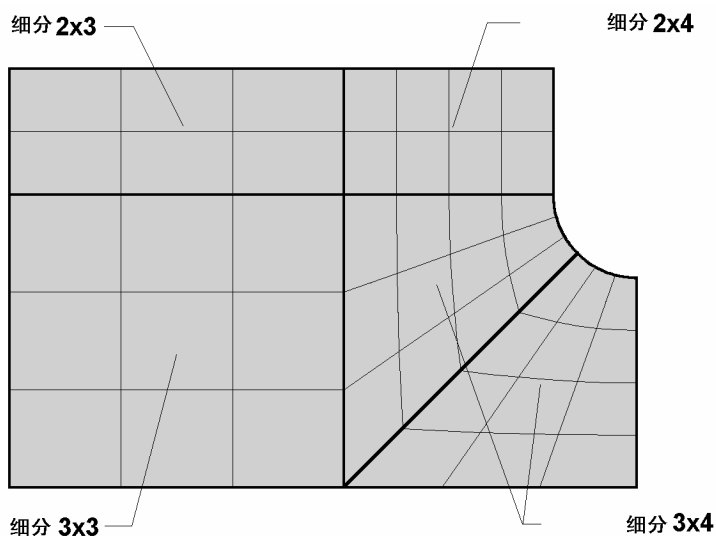


图 13.16 细分后的网格

网格细分完成后进行网格清理是一个好习惯。这个操作对节点和单元进行排序并重新编号，同时从网格中删除不用的节点和无效单元。从工具[Tools] 菜单中选择 清理[Clean]→清理网格[Mesh]，在弹出的对话框中点击 开始[Start]。当网格清理完成时关闭对话框。接下来，我们对模型施加荷载。

施加荷载

本问题中的荷载是板边压力。通常在面元上可施加边压力、边剪应力、面压力和面剪应力(见图 13.17)等荷载。有关面元上荷载的详尽描述及其参数设置，请参阅 帮助[Help]。

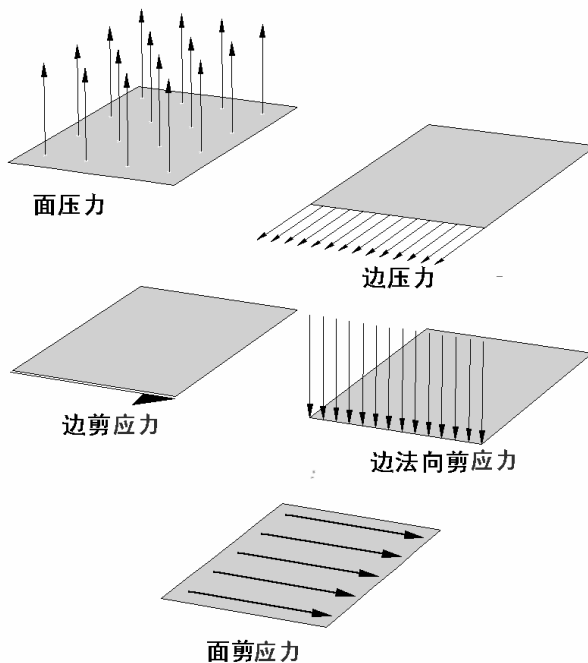


图 13.17 面元荷载类型

在这个算例中，于四分之一模型的左边施加边压力。要对一个面元施加边压力，从 属性[Attributes] 菜单中选择 面元[Plate]→边压力[Edge Pressure] 以进入 面元属性 [Attribute Marking] 对话框。这一对话框包

括 值[Value] 编辑框和表示荷载及其相对边的正方向的几何图标。需要的 σ_{∞} 值(参见图 13.1)可以是任意的, 这里取 100 MPa。

➔ 记住应力的单位已设置为兆帕[MPa]。输入边压力值为 100。

1. 从 属性[Attributes] 菜单中选择 面元[Plate]→边压力[Edge Pressure];
2. 输入 值[Value] 100;
3. 选中模型的左边界(见下面说明);
4. 点击 应用[Apply] 按钮以对选择的单元边施加边压力。

选择模型左边界

你可用几种方法来选择模型的左边界以施加压力。其中之一是点击每个面元的边。最简便的方法则是用根据区域选择工具来选择。

➔ 根据区域选[Select by Region] 按钮



根据区域选择

这一工具让你方便地选择特定的边、面或体。要使用这个工具, 打开编辑[Edit]→选择[Select]→根据区域[by Region] 或只要在 Strand7 工具按钮条上点击 根据区域选择[Select by Region] 按钮。下面是用这个工具来选择模型左边的步骤:

➔ 在施加荷载时使用 根据区域选[Select by Region]。在 面元[Plate]→边压力[Edge Pressure] 对话框点击 应用[Apply] 以施加荷载。

1. 点击 根据区域选择[Select by Region] 按钮;
2. 点击模型左端的顶部节点;
3. 点击模型左端的底部节点;
4. 模型的整个左边将被用一条线标记;
5. 点击 确认[OK];
6. 施加边压力。

当施加边压力完成后, 模型应如图 13.18 所示。

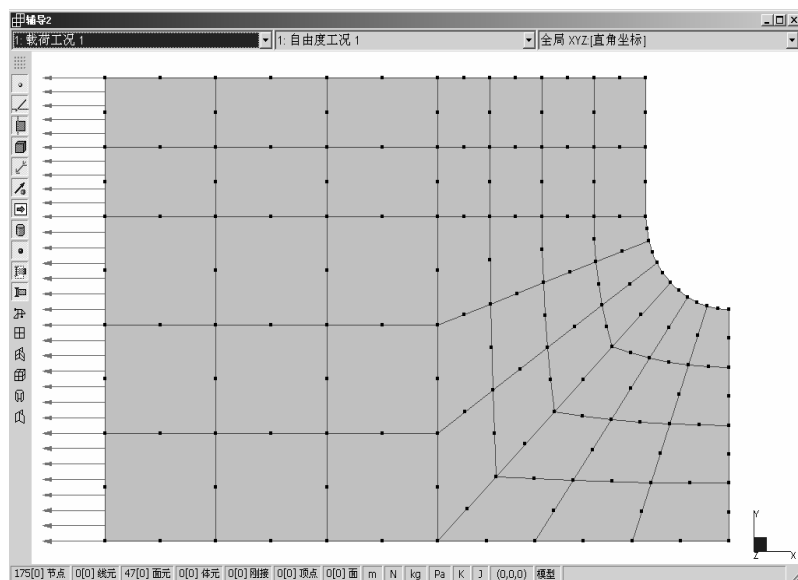


图 13.18 施加边压力后的模型

自由度和约束

二维平面应力问题只用到两个自由度，即 X 、 Y 方向的平移。这意味着节点无 Z 方向平移及绕任何轴的旋转。当面元类型设为平面应力 (在性质菜单中设置) 时，求解器也将自动地设置同样的自由度条件。

边界约束条件

因为只需考虑 DX 和 DY 两个自由度，所以很容易定义边界约束条件。对本问题需在对称轴所在的边界上施加约束条件。如图 13.19 所示，对称轴所在的边上无法向位移而只有沿轴方向的位移。因此，沿 X 对称轴， Y 方向位移为零；沿 Y 对称轴， X 方向位移为零。

在本例中，施加这些自由度约束条件同时也限制了刚体位移以使整体结构没有刚体旋转和平移。

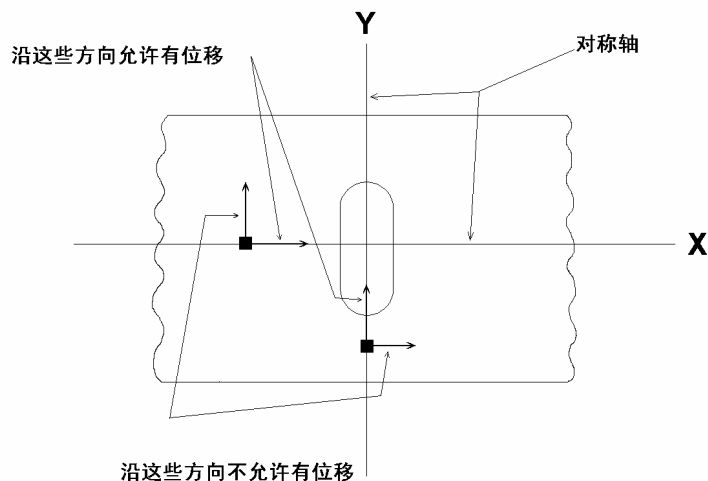


图 13.19 对称性约束条件

下面是如何在 X 和 Y 对称轴上施加边界约束条件的步骤:

➔ 对 Y 轴, 点击 Y 对称[Y sym] 按钮。

1. 从 属性[Attributes] 菜单中选择节点[Node]→约束[Restraint];
2. 点击 X 对称[X sym] (对 X 对称轴)来自动指定正确的约束条件;
3. 点击 根据区域选择[Select by Region] 按钮选择模型的顶边节点 (和施加边压力类似, 点击顶边的两端节点);
4. 点击 确认[OK];
5. 点击 应用[Apply];
6. 对 Y 对称轴执行同样操作。

当对两个对称轴施加约束后, 建模过程结束, 此时模型应如图 13.20 所示。

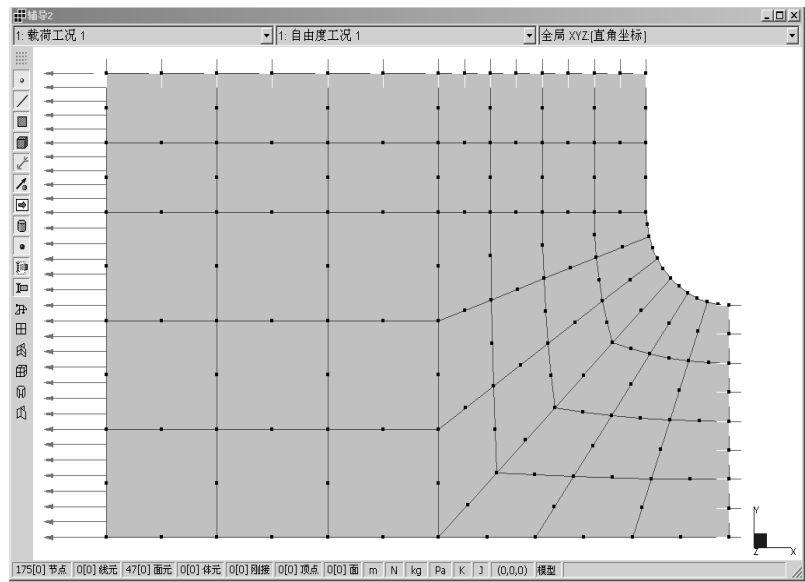


图 13.20 完成后的有限元模型

性质输入

面元的性质输入与线元输入方式相同。面元适用于几种求解类型，因此必须选择适当的单元类型。

➔ 从材料库中选择材料，将自动用当前的单位制输入材料特性。

1. 从 性质[Property] 菜单中选择 面元[Plate];
2. 设置 类型[Type] 为 平面应力[2D Plane Stress];
3. 点击 材料[Materials] 选项标签;
4. 双击 Carbon Steel;
5. 点击 Cold Rolled Sheet and Strip 选项;
6. 点击 确认[OK];
7. 点击 几何[Geometry] 选项标签;
8. 在 膜厚度[Membrane Thickness] 编辑框中输入 5;
9. 关闭对话框。

模型求解

如前所述，这是一个二维平面应力问题。考虑到变形很小及只求解线性应力集中系数，故使用线性静力求解器。

1. 从 求解[Solver] 菜单中选择 线性静力分析[Linear Static];
2. 在弹出的对话框中点击 求解[Solve];
3. 当求解完成时，关闭求解器窗口。

后处理

求解完成后的任务是对结果进行后处理。这里要确定狭缝根部的应力。一旦得到此应力值，则可用前面给出的公式计算应力集中系数。

一般来说，要评估沿整个钢板的应力分布。在这一问题中，我们关心的是最大主应力。检查最大主应力的最好办法是使用等值线图。先打开 结果[Results]→位移比例[Displacement Scale] 对话框，将位移显示比例设为 10%。然后，在 结果[Results] 菜单中选择 结果设置[Result Settings] 来显示最大主应力(σ_{11}) 的等值线图。在等值线图上，很快就可以区分出高应力和低应力区。

➔ 或者点击 结果设置
[Results Setting] 按钮。



1. 点击 打开/关闭结果文件[Open/Close Results File] 按钮;
2. 打开文件 “辅导 2.LSA” ;
3. 从 结果[Results] 菜单中选择 结果设置[Result Settings];
4. 点击 应力[Stress] 复选框;
5. 在 坐标系统[Axis System] 选项下选择 组合[Combined];
6. 选择 11 选项(即最大主应力- σ_{11});
7. 保留其余选项为缺省设置，点击 确认[OK] 显示等值线图。

这时屏幕应如图 13.21 所示。

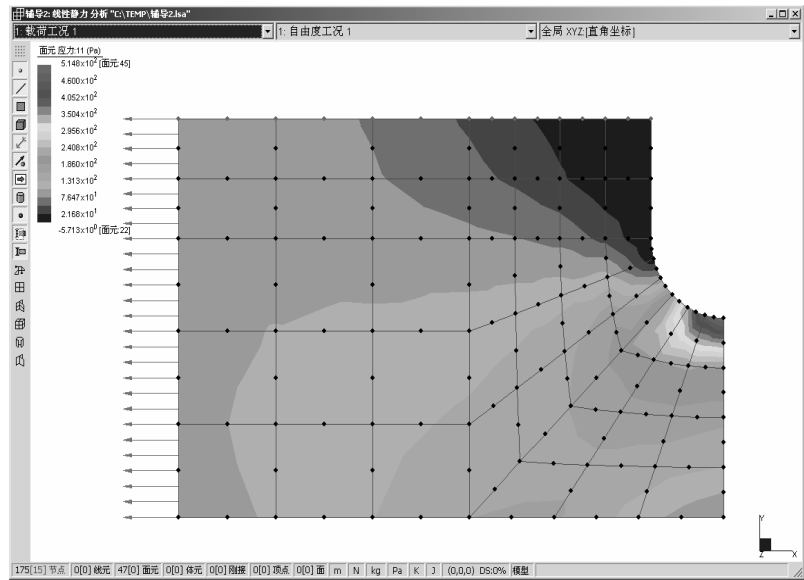


图 13.21 最大主应力等值线图

通过参考彩色的图例，可看到钢板的左端基本上具有相同的应力分布。由于模型是用来近似模拟一个无限长钢板，这种均匀的应力分布说明近似是正确的。

等值线图显示最大应力产生在狭缝顶端(用紫色显示)，相应的值在图例顶部标出。可以将这一区域放大以更仔细地查看应力分布。查询 [Peek] 功能可用来查看那些未在图例顶/底部标出单元号和应力值的任何单元的应力值。

1. 点击 放大 [Zoom-In Window] ；
2. 选定要放大的应力集中区域；
3. 在 结果 [Results] 菜单下选 查询 [Peek]；
4. 在弹出的对话框中点击面元标签；
5. 设置 坐标系统 [Axis System] 为 组合 [Combined]；
6. 点击狭缝顶端的面元。

这时可看到最大主应力值为 514.768 MPa，对应的应力集中系数(K)可按先前给出的公式计算。

首先计算参考应力:

$$\sigma_{\text{ref}} = \frac{\sigma_{\infty} \cdot w}{w - 2h} = \frac{100 \times 200}{200 - 100} = 200 \text{ MPa}$$

然后计算应力集中系数:

$$K = \frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma_{\text{ref}}} = \frac{514.768}{200} \approx 2.57$$

由于狭缝局部的剖分网格较粗, 此时所计算的值与目标值的误差较大, 约为 8.5 %。通过对应力集中区域单元的检查, 可看到应力梯度非常高(沿单元的应力变化量超过图例上刻度的一半)。要想得到更精确的应力值, 可以对应力集中区域的网格进行细分, 但不需重建整个模型。

网格细分

在开始细分网格前, 必须退出 结果[Results] 处理状态。放大如图 13.22 所示的区域。

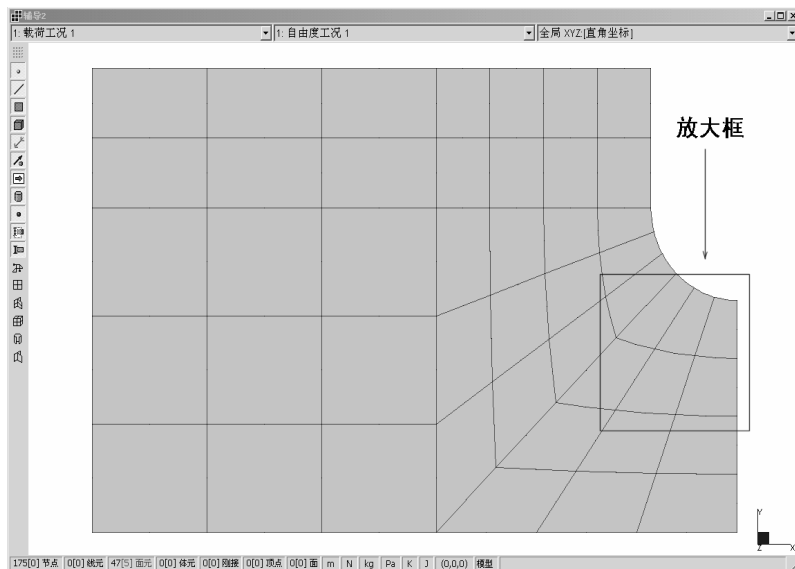


图 13.22 放大需要网格细分的区域

➔ 在细分网格前确认已设置目标类型[Targets]为 Q8 面元。

要细分网格，选择 工具[Tools]→细分[Subdivide] 并将带应力集中的面元再分为 9 个小的单元(即 3x3 剖分)，如图 13.23 所示。网格现在是不连续的，因为有三个面元的边连在一个面元的边上。通常对整个网格进行细分可以得到连续的网格。这里为避免对整个网格细分而又同时保证网格的连续性，可使用单元过渡功能对不连续网格处的单元进行处理。

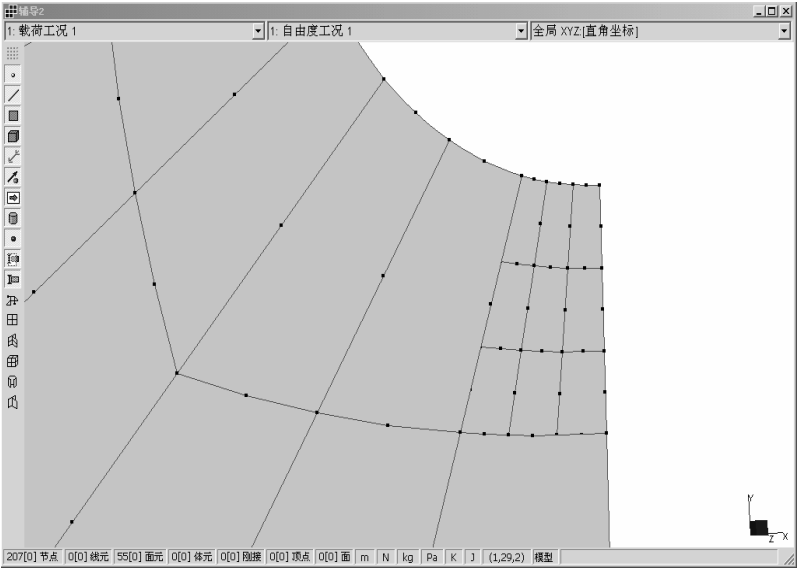


图 13.23 网格的局部细分

单元过渡

单元过渡用来完成从细网格到粗网格的变化，以使我们能在高应力梯度区域采用较细网格。

➔ 单元过渡
[Grade] 按钮



1. 从 工具[Tools] 菜单中选择 单元过渡[Grade Plates and Bricks];
2. 点击适当的过渡按钮;
3. 选择如图 13.24 所示的两条板边;
4. 点击 实施[Apply]。

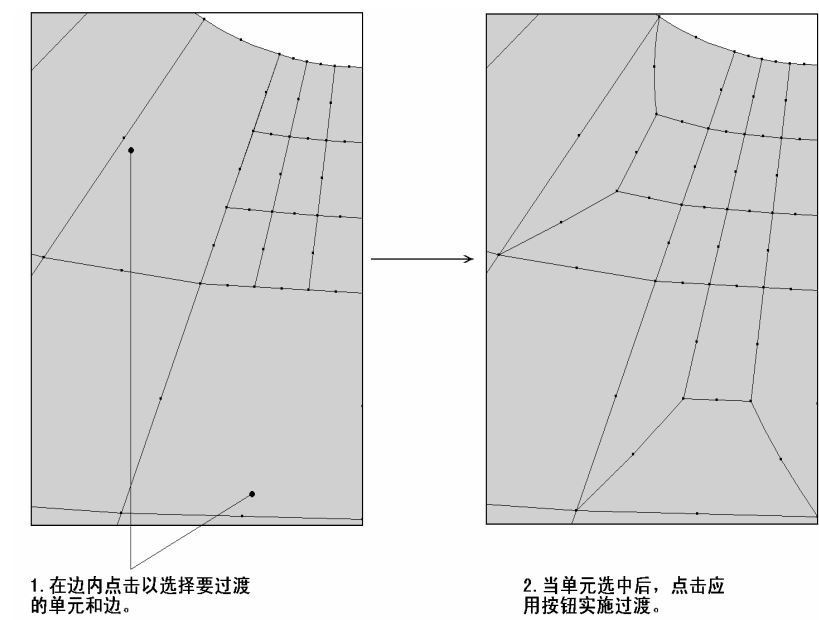


图 13.24 面元过渡的过程

当狭缝区域的网格细分完成后，可再次运行线性静力求解器。

细网格模型的后处理

按前面的步骤进行后处理。分析结果归纳于表 13.1 中：

网格	σ_{ref}	σ_{max}	K	K (理论值)
粗网格	200	514.768	2.57	2.81
细网格	200	561.225	2.81	

表 13.1: 应力集中系数结果比较

第 14 章

辅导 3: 轴对称分析

概述

这个算例将对一块承受法向压力的圆板进行轴对称分析而得到板的位移和最大应力。考虑两种边界支撑情况：

第一种情况 板的周边为固支(即：固定所有平移和转动自由度)

第二种情况 板的周边为简支(即：只有竖向支撑)

几何和荷载描述

如图 14.1 所示，圆板直径为 1 米，受垂直于板表面的 10 kPa 均布压力。

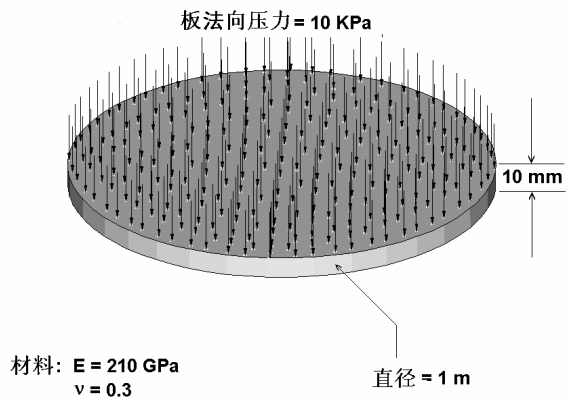


图 14.1 问题描述

分析目的

分析目的是得到在板的中心及半径为 0.25 米处的竖向位移(即 $R=0$ 和 $R=0.25$ 米处)和最大径向应力。

创建模型

对于旋转体结构，我们不必总是建立三维模型。当荷载也是关于旋转轴对称时，则可以进行轴对称分析，如图 14.2 和图 14.3 所示。

轴对称模型

在 Strand7 中，用面元在 XY 坐标平面中 $X \geq 0$ 的区域内建立轴对称模型。对称轴(图 14.3 中的 Z)做为 Y 轴，径向轴(图 14.3 中的 R)为 X 轴。对任何平面外位移(θ 方向)不为零的结构，必须用完整的三维模型来分析。

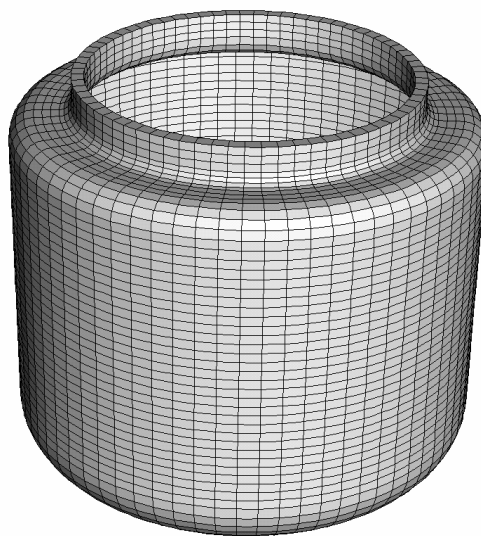


图 14.2 完整的三维模型

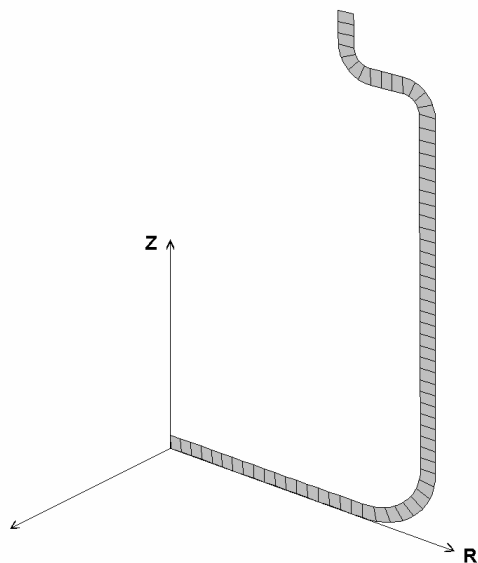


图 14.3 三维结果的的轴对称模型表示

现在来建立模型。运行 Strand7 并建一个新文件存为“辅导 3.ST7”。圆板的轴对称模型是一个分别以圆板半径和厚度为长和宽的简单矩形区域。模型需在全局 XY 平面上建立，采用 Y 轴为对称轴、X 轴为径向，如图 14.4 所示。

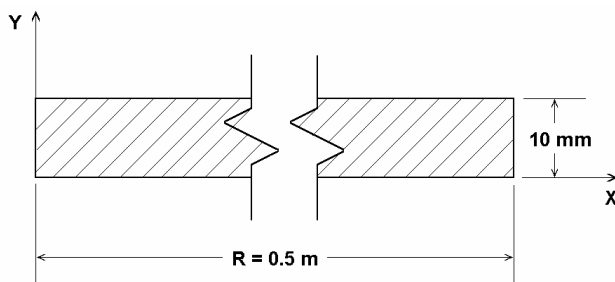


图 14.4 圆板的轴对称模型

在 Strand7 中，轴对称模型总是用面元建立。现在用二次单元“Q8 面元”来建立圆板模型。

面元

因为模型只是一个矩形域，定义几何形状时使用一个单元就足够了。

按图 14.4 所示的尺寸建立一个 Q4 面元。

沿长度方向将 Q4 面元细分为 40 个 Q8 面元。

➔ 在选择面元后，检查面元上所显示的 A、B 方向，以确保是按长度方向 40、厚度方向 1 来细分圆板模型网格。

1. 在坐标(0, 0, 0)处生成节点 1；
2. 以 0.5 米的增量在 X 方向拉伸节点 1 生成一个线元；
3. 以 0.01 米的增量在 Y 方向拉伸线元生成一个 Q4 面元；
4. 打开 工具[Tools] 菜单选择 细分[Subdivide]，然后点击图形窗口中的面元；
5. 注意 A、B 方向的指示，并在细分窗口中输入适当的值；
6. 将 目标类型[Target] 选项设置为 Q8 面元；
7. 点击 应用[Apply]。

上面步骤完成后，从模型中删除线元，这时屏幕应如图 14.5 所示。

➔ 记住如果你细分网格时执行了错误操作，可随时使用 撤消[Undo] 功能。

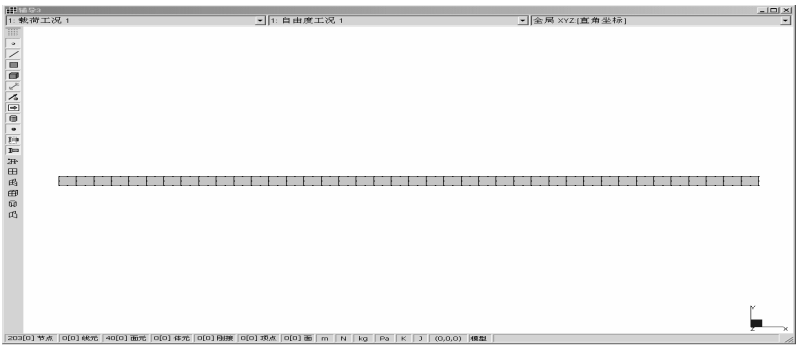


图 14.5 一个 Q4 面元细分为 40 个 Q8 面元

施加压力

圆板上的荷载为垂直于板表面的压力。由于轴对称模型表示了一个横截面，这一荷载将在模型网格上作为边压力施加，不过它隐含表示的是沿圆板整个 360° 区域施加的荷载，如图 14.6 所示。

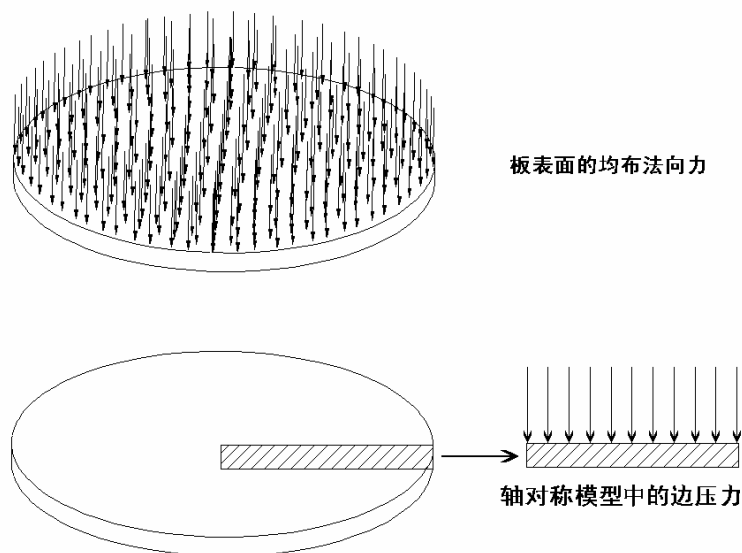


图 14.6 对轴对称模型施加边压力

施加给模型的边压力为 10kPa ，指向模型表面。因为正的边压力应背离模型边，输入荷载值为 -10000 Pa (或 $-10\text{e}3$)。压力作用在整个矩形域的上部边界上，施加边压力的一个最有效的方法是使用 根据区域选择 [Select by Region] 功能(这个功能已在辅导 2 中介绍过)。

1. 从 属性 [Attributes] 菜单中选择 面元 [Plate] → 边压力 [Edge Pressure];
2. 输入 Value = -10000 (或 $-10\text{e}3$);
3. 点击 根据区域选择 [Select by Region] 按钮;
4. 点击模型顶边的两个端节点，然后点击 确认 [OK];
5. 点击 应用 [Apply]。

此时模型应如图 14.7 所示。

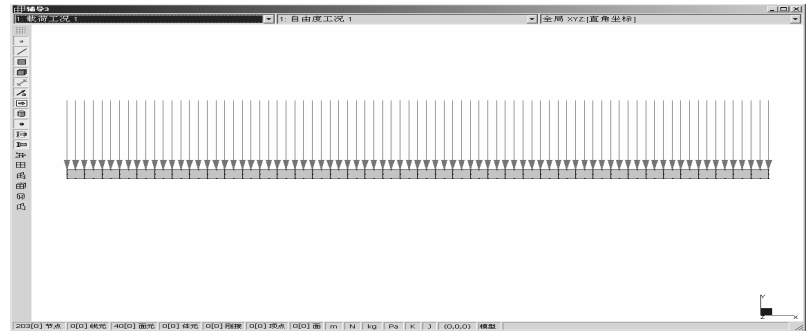


图 14.7 施加了边压力后的轴对称模型

自由度和约束

全局自由度

轴对称分析是一个二维问题，具有两个自由度，即 X、Y 方向的平移。这意味着全局 Z 位移(DZ)及所有的转动(RX，RY，RZ)自由度必须固定。当在 性质[Property]→面元[Plate] 菜单中选择轴对称后，Strand7 会自动施加这些自由度条件。

对称轴约束

由于轴对称分析使用 Y 轴做为几何旋转轴，应该对这个轴上的所有节点施加对称性条件。对应于全局坐标系，对称轴上所有节点的 X 方向平移自由度将被固定，而只有 Y 方向平移自由度。所有其它的自由度都被固定。

-
1. 选择 属性[Attributes]→节点[Node]→节点约束[Node Restraint];
 2. 选择 Y 轴上所有节点;
 3. 点击 Y 对称[Y sym];
 4. 点击 应用[Apply]。
-

边界约束

要考虑两种边界支撑条件。一种是“简支”条件，另一种是“固支”条件。

简支

在简支情形下，节点只是竖向平移(即 Y 方向)被限制，而沿 X 方向是自由的。由于模型是在 XY 平面上建立的，这相当于固定 DY。为允许边可以转动，如图 14.8(a)所示，约束条件只施加在边的中间节点上。这是我们的第一个分析所用的约束条件。

固支

固定支撑不允许在支撑处有任何转角和平移，因此这里圆板边上所有节点都被完全固定。图 14.8(b)表示了这些约束条件的施加。

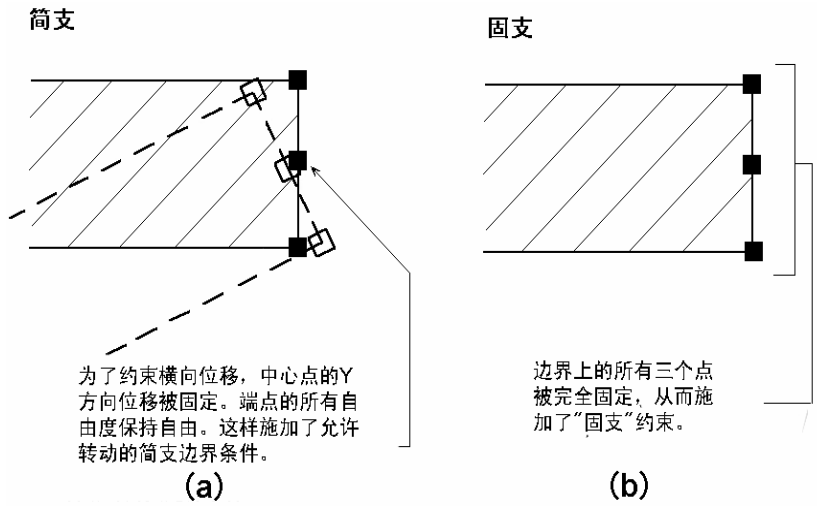


图 14.8 边界支撑约束条件

现在将在模型中建立两个不同的自由度工况，分别赋予“简支”和“固支”为自由度工况名称，然后在每种自由度工况中设置相应的节点自由度条件。注意当你运行求解器时，一次只能求解一种自由度工况，因此你需要运行求解器两次。

-
1. 打开 全局[Global] →荷载和自由度工况[Load and Freedom Cases];
 2. 激活 自由度工况[Freedom Cases] 标签;
 3. 双击 自由度工况 1[Freedom Case 1];
 4. 输入 “简支” 并点击 确认[OK];
 5. 点击 新建[New];
 6. 双击 自由度工况 2[Freedom Case 2];
 7. 输入 “固支” 并点击 确认[OK];
 8. 点击 确认[OK] 来关闭对话框。
-

当关闭对话框时，可注意到在图形窗口顶部中的下拉式列表菜单中将显示当前自由度工况的名称。

从“简支”工况开始，按图 14.8 所示施加约束条件(即对中间节点约束 DY)。接下来从下拉列表中选择“固支”，再对边界节点施加相应的约束(即固定所有的位移)。完成这些操作之后，模型将有两种不同的自由度工况，一种包含简支约束，一种包含固支约束。

至此，创建模型阶段已经完成，接下来定义板的性质。

性质输入

本题所需的材料性质是弹性模量(E)和泊松比(ν)，除此之外，还必须把 性质[Property]→面元[Plate] 对话框中类型设为轴对称。点击 力学性质[Structural] 标签并在相应的框中输入 弹性模量[Modulus] 和 泊松比[Poisson's Ratio] 值。

-
1. 选择 性质[Property]→面元[Plate];
 2. 设置 类型[Type] 为 轴对称[Axisymmetric];
 3. 输入 弹性模量[Modulus] 为 $2.1e11$ 和 泊松比[Poisson's Ratio] 为 0.3 ;
 4. 点击 关闭[Close]。
-

轴对称结果

可用四种方式检查轴对称分析结果：局部、全局、用户坐标系和组合。

局部

根据面元局部坐标系(x, y 和 z)的方向来显示结果。局部坐标系可能对每个单元是不同的，但对于象本模型一样的规则网格，所有的单元的局部坐标系排列方式保持一致。局部坐标系很重要，因为它们定义了某些面元属性输入的符号规则。应力、内力(应力合力)和应变可在局部坐标系中输出，可参阅 [帮助\[Help\]](#) 以得到更多的信息。

全局

全局坐标是直角 XYZ 坐标。在对轴对称结构建模时，模型定义在 XY 坐标系的右半平面内，取 X 轴为半径方向(R)，Y 轴为对称轴。此时轴对称分析的全局结果将用 R, θ 和 Z 坐标给出，而不用 X, Y 和 Z 坐标。

用户

结果按用户定义的坐标系来显示。

组合

当判断结构是否破坏时，除非结构处于单向拉伸或压缩应力状态，仅考查单个应力分量(如 σ_{xx} , σ_{yy} 和 σ_{zz})是不够的。在应力状态较为复杂(例如双向或三向应力状态)的结构中，必须考虑不同应力分量的相互作用。在双向应力状态中，必须考虑 σ_{xx} , σ_{yy} 和 σ_{xy} 的组合效果。对于复合应力状态下的材料破坏，有不同的强度理论可参考。Strand7 支持主应力、米塞斯[Von Mises Stress]和屈里斯加[Tresca Stress]等组合应力计算。

查看结果

对现在的问题，我们要找出圆板上的最大径向应力及在 $R=0$ 和

R=0.25 米处的竖向位移。找出最大径向应力的一个方法是用等值线图。

-
1. 从 结果[Results] 菜单中选择 结果设置[Result Settings];
 2. 选择 应力[Stress];
 3. 确认已设置 坐标系统[Axis System] 为 全局[Global];
 4. 选择 RR 分量;
 5. 按 确认[OK]。
-

图例显示最大径向应力为 3.094e+7 Pa (见表 14.1)。

要检查节点位移, 则可用 查询[Peek] 功能。首先在所要求的节点附近区域进行局部放大, 然后可从显示窗中读出 位移值(DY 值)。

-
1. 点击 放大[Zoom In] 按钮, 在 R=0 附近使用放大窗口放大;
 2. 从 结果[Results] 菜单中选择 查询[Peek];
 3. 点击 节点[Nodes] 标签;
 4. 点击 R=0 处任一节点;
 5. 从对话框中读出 位移值(DY);
 6. 重复以上步骤, 查看 R=0.25 处结果。
-

现在把计算的位移值填入表 14.1。

一旦读取了需要的结果, 则可关闭结果文件并运行求解器计算固支自由度工况下的结构响应。

-
1. 选择 结果[Results]→关闭结果文件[Close Results file];
 2. 选择 求解[Solver]→线性静力分析[Linear Static];
 3. 从 自由度工况[Restraint Case] 下拉列表中选择 “固支” ;
 4. 点击 求解[Solve].
-

把你的结果与表 14.1 进行比较。

➔ 位移单位为米，应力单位为 帕[Pa]。

结 果	简 支	固 支
DY at R = 0	-2.070e-3	-5.058e-4
DY at R = 0.25	-1.458e-3	-2.841e-4
σ_{\max} (径向)	3.094e+7	1.8933e+7

表 14.1 Strand7 结果

第 15 章

辅导 4: 悬臂梁的动力分析

概述

这个算例是对图 15.1 所示的二维悬臂梁进行分析。分析的第一部分是确定梁的前四个固有频率和模态，第二部分是计算该梁在一个简谐变化的集中荷载作用下的响应。

几何与荷载描述

梁长 1 米，左端固定，材料及横截面性质如图 15.1 所示。

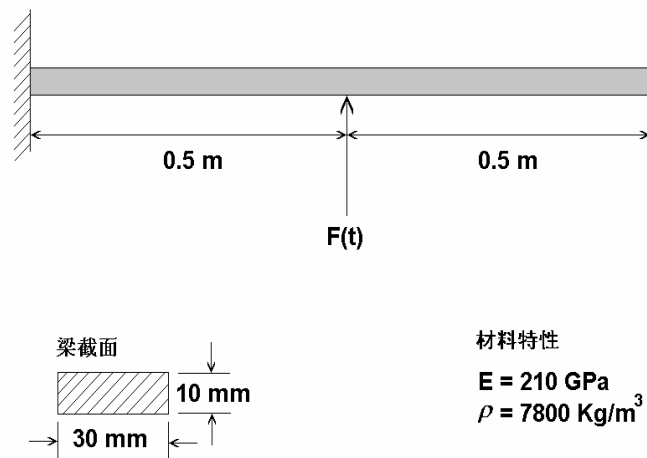


图 15.1 几何和材料特性

分析目的

分析的目的是得到前四阶固有频率和模态以及梁在集中简谐荷载作用下的最大挠度。

固有频率分析前处理

固有频率和模态

在辅导 1 的模型中，我们对一个框架模型进行了线性静力分析，那里每一个框架构件都是由一个线单元来表示的。换句话说，节点都位于构件的连接处，每两个节点之间有一个单元。如果把每一个单元再分成 10 个更小的单元，你可能认为能得到更精确的结果，然而实际上结果却是不变的。这是因为线元的位移型函数是三次函数，结构受集中力时，变形曲线的阶数将小于或等于三次函数，因此使用单个梁元足以模拟结构的变形行为。

在本辅导中我们要考虑梁模型的动力行为。我们可以预料到低阶模态是简单的，而高阶模态将产生复杂的变形形状，用具有三次形函数的单个线元不能够反映这种复杂结构行为。因此，动力分析结果的精度将取决于使用的单元的数目。对前 4 阶固有频率，沿长度方向有 20 个单元就足够了。要模拟更复杂的变形状态，需要更多的单元来得到更高的频率。

创建模型

建立一个新文件“辅导 4.ST7”。考虑到梁的几何形状，可以选取国际单位制 [SI]。频率结果的单位为赫兹(Hz)。以一个线元开始建立模型，然后再细分为 20 个小的线元。

创建线元

首先生成悬臂梁的 2 个端节点，再创建一个线元。然后用细分工具

将这个线元细分为 20 个更小的单元。

-
1. 建立两个节点: (0, 0, 0)和(1, 0, 0)代表梁的两端点;
 2. 在节点 1, 2 之间建立 线元 2[Beam2];
 3. 用 工具[Tools] 中的 细分[Subdivide], 将这个线元分成 20 个较小的单元。
-

自由度条件和约束

按如下考虑整体自由度条件和支座约束条件。

整体自由度

在本算例中, 我们只计算 XY 平面内振动的固有频率和模态。因此将约束沿 Z 轴的位移及绕 X、Y 轴的转动。

-
1. 进入 全局[Global]→荷载和自由度工况[Global load & Freedom Cases];
 2. 点击 自由度工况[Freedom Cases] 标签;
 3. 点击自动设置选项下的 二维线元[2D Beam];
 4. 点击 确认[OK]。
-

节点约束

参考图 15.1, 梁的左端是完全固定的。因此对节点 1 施加固定约束(即无平移和转动)。

-
1. 选择 属性[Attributes]→节点[Node]→约束[Restraint];
 2. 点击 固定[Fix];
 3. 点击节点 1 (即左端节点);
 4. 点击 应用[Apply]。
-

性质输入

对本问题，固有频率求解器所需的性质参数包括：弹性模量、材料密度和梁的横截面定义。

1. 进入 性质[Property]→线元[Beam];
2. 在线元性质对话框中设置 类型[Type] 为 梁[Beam];
3. 输入 弹性模量[Modulus] 为 2.1e11 及 密度[Density] 为 7800;
4. 点击 几何定义[Geometry] 标签并点击 编辑[Edit];
5. 选择实心长方形截面并输入 B=0.03, D=0.01;
6. 点击 赋值[Assign] 并关闭对话框。

至此模型所有定义已经完成。

计算固有频率

现在可用固有频率求解器来进行求解。注意，在固有频率的分析中将不考虑图 15.1 所示垂直集中力或其它任何荷载。对这个算例，保持固有振动分析对话框中的缺省设置。

1. 从 求解[Solver] 菜单中选择 固有振动分析[Natural Frequency];
2. 点击 求解[Solve]。

在求解过程结束时，屏幕上显示前 4 阶固有频率如下：

THE FIRST 4 EIGENVALUES HAVE CONVERGED			
FINAL FREQUENCY RESULTS			
Mode	Eigenvalue	Frequency (rad/s)	Frequency (Hertz)
1	2.76725495E+03	5.26047047E+01	8.37229878E+00
2	1.08068209E+05	3.28737296E+02	5.23201656E+01
3	8.42962397E+05	9.18129837E+02	1.46124902E+02
4	3.22000284E+06	1.79443664E+03	2.85593461E+02

图 15.2 求解结果列表

图 15.2 所示的结果是求解记录文件(扩展名: NFL)的一部分。在固有频率求解器中的所有信息均保存在求解记录文件中。注意窗口中下面一句话是很重要的(在所显示部分之前一行)“THE FIRST 4 EIGENVALUES HAVE CONVERGED”。这一信息非常重要, 因为固有频率求解器使用迭代算法, 如果不收敛的话, 结果将是不可靠的。

理论解

为了验证算例, 我们来比较一下理论值与 Strand7 所得到的固有频率计算值。对这样的简单问题, 通常不难得到精确解:

$$f_n = \frac{K_n}{2\pi} \sqrt{\frac{EIg}{qL^4}}$$

式中:

f_n = 第 n 阶模态的频率(Hz)
 E = 弹性模量
 I = 面积矩
 g = 重力加速度
 q = 每单位长度的重量
 L = 梁的长度

Mode	K_n
1	3.52
2	22.00
3	61.70
4	121.00

表 15.1 比较了理论值和 Strand7 的结果。

模态	理论解	Strand7	误差
1	8.39	8.372	0.21%
2	52.4	52.32	0.15%
3	147	146.1	0.61%
4	288	285.6	0.83%

表 15.1: 理论值和 Strand7 结果

固有频率分析后处理

查看模态

打开“辅导 4.NFA”结果文件, 设置位移比例为 10%, 你可从绘图窗口顶部左端模态下拉列表中选择模态序号来查看各阶模态。

1. 进入 结果[Results] 在对话框中选择“辅导 4.NFA”；
2. 设置 位移比例[Displacement Scale] 为 10%；
3. 从模态下拉列表中选择模态序号(1 到 4)。

上述过程将对一个选定的模态产生一个变形图。你也可以用辅导 1 中介绍的 多视图[Multi View] 功能来同时显示所有的 4 个模态，这将对每个模态单独创建一个显示图。

1. 从 显示[View] 菜单中选择 多视图[Multi View]；
2. 输入 横向[X Views] 2，竖向[Y Views] 2；
3. 选择 多工况[Multi Case] 复选框；
4. 点击 确认[OK]。

现在屏幕看起来象图 15.3。1 阶模态在左上角，4 阶模态在右下角。

→ 通过点击对话框内的 字体[Font] 按钮，可以改变在 多视图[Multi view] 中显示的荷载工况的字体。

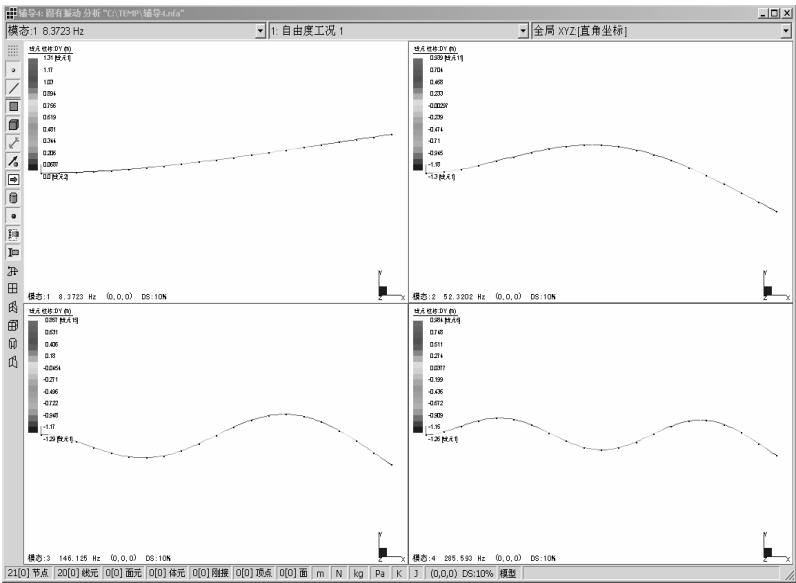


图 15.3 多视图状态下模态显示 (位移比例 10%)

动画显示

使用动画显示功能有助于更好地了解梁的振动模态。这时将生成多帧不同位移的变形图，并通过自动播放来显示梁的振动。缺省的帧数为 5，可根据需要进行调整。Strand7 也允许多视图播放动画文件，这样可同时查看几个模态的振动。

1. 从 结果[Results] 菜单中选择 创建动画[Create Animation];
2. 设置 帧数 为 10;
3. 选择 多视图[Multi View] 选项;
4. 点击 确认[OK]。

当上述操作完成后，稍等片刻以等 Strand7 建立和保存每一幅画面。动画文件建好以后，Strand7 将自动开始显示梁的振动过程。你在窗口顶部可注意到有彩色的播放功能按钮，点击红箭头停止播放，绿箭头重新开始播放，蓝箭头用来步进播放(只可在停止播放后执行)。幅间停顿功能允许你在每幅画面之间设定时间间隔(以毫秒计)，增加间隔将放慢播放速度，减少间隔将加快播放速度。

→ 可将动画存为一系列图像文件。



看完动画文件后，关闭动画窗口。也可将动画文件存入磁盘以便以后使用。

简谐响应问题描述

下一步是计算梁受跨中简谐力作用时端部的最大竖向位移。使用简谐响应求解器计算结构对下面形式荷载的稳态响应：

$$F(t) = F \sin(\omega t + \theta)$$

这一荷载随时间 t 按正弦规律变化，幅值为 F ，角频率为 ω ，初始相位角为 θ 。在经典结构动力学中，使用两种类型的频率： ω (圆频率或角速度，单位为弧度每秒) 和 f (周期频率或周每秒，单位为赫兹)，这里 $\omega = 2\pi f$ 。

荷载可包括任意集中力、力矩、压力、边分布力和全局加速度。可

用多荷载工况，其中不同的荷载工况可有不同的初始相位角，但所有荷载工况中的荷载以相同的频率变化。这个算例中只考虑一个力，在第一个荷载工况中定义。

简谐响应求解器将位移定义为频率的函数。响应计算对一定数目的频率进行，这些频率由开始频率、终止频率和频率步来确定。求解从最低频率开始，直到指定的终止频率。因为简谐响应求解器用到固有频率和模态，所以它必须在固有频率求解器之后进行。

简谐荷载

在梁中点处沿 Y 方向施加一个 4 牛顿的集中力。力以不同的频率作用在结构上。符号对结果是无关紧要的，因为简谐响应求解器按正弦方式改变荷载的符号，在每次循环中荷载都有正、负变化。

➔ 在施加力之前确认已关闭结果文件，并已将多视图转回到单一视图。

1. 选择 属性[Attributes]→节点[Node]→力[Node Force];
2. 输入 'FY= 4';
3. 点击梁中点处节点(即 X=0.5);
4. 点击 应用[Apply]。

简谐响应分析

因为简谐响应求解器使用模态叠加法，所以运行求解器前至少要有—个模态。这样，先运行固有频率求解器来确定几阶固有频率和模态。在这个算例中，由于前 4 阶频率已经确定，可以在求解器中通过选择简谐响应分析[Solver Harmonic Response] 来开始简谐响应分析。你将看到 简谐响应[Harmonic Response Analysis] 对话框。这里有许多控制参数，对现在的问题大多数参数可保留为缺省值。要考虑的参数包括：

频率

频率范围[Frequency Range] 选项用来定义 起始频率(A)、终止频率(B) 和 步[Steps]。注意，这里我们考虑的是加载频率，而不是固有频率。加载频率是所施加荷载的频率，而固有频率是结构的固有特性。

频率步[Steps] 选项定义在力频率范围中均匀分布频率步的数量。例如，如果频率范围是 A=5 Hz 到 B=10 Hz，选用 6 个频率步，将计算在频率 5，6，7，8，9，10 Hertz 时的响应。

➔ 频率步的数量不影响每个频率步上解的精度。例如，在频率为 8Hz 处的结果用 10 步或 100 步是相同的。但这会影响频率—位移曲线的光滑程度。

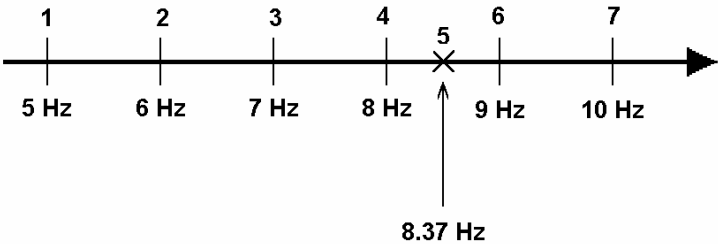


图 15.4 频率步

如果在两个频率步之间有固有频率，则在该位置及其附近将引入几个新的点(包括点 5)。因此，在多数情形下，求解器计算的频率步要多于要求的步数(如这里计算 9 步而不是 6 步)。

简谐响应求解器将每个频率步当作单独的工况。例如，对第二频率步，谐响应求解器将根据动态力 $F(t)=4\sin(2\pi\times 6t)$ 来计算最大响应。这里 2π 是用来将 6Hz 的频率转化为圆频率 $\omega(\text{rad/s})$ 。

荷载工况按钮

➔ 只有当 **荷载类型**[Load Type] 设置为 **荷载** [Applied Load] 时，**荷载工况**[load Cases] 按钮才被激活。

对每个荷载工况允许输入不同的荷载因子。这一因子将乘以相应荷载工况的所有力，如压力、剪力等。现在的问题只有一种工况，因此荷载因子应设置为 1。如果有非零的全局加速度，它将乘以所有节点质量以产生力来参与简谐响应分析。最好在执行简谐响应求解器之前检查整体加速度值(在 **全局**[Global]→**荷载和自由度工况**[load & Freedom Cases] 中)。对现在的问题，整体加速度设为零。

由于这里只有一种荷载工况，初始相位角的值对结果没有实质性影响，因此可保留相位角为零，但选用其它任何值也是同等有效的。

结果符号

简谐响应分析中结果的符号是相对于零相位角给出的。也就是说，给出的符号在 $\theta = 0$ 时是正确的。

结构阻尼

有两种可选的结构阻尼：瑞利阻尼[Rayleigh] 和 模态阻尼[Modal]。在这个算例中我们采用模态阻尼，对每个模态将输入阻尼比。例如，如果对所有模态输入阻尼比 0.01，则每个模态的阻尼等于临界阻尼的 1%。

同样，在 频率文件[Frequency File]→包括[Include] 选项中允许你指定在叠加中包括哪些模态，对这个问题我们包括所有 4 阶模态。

➔ 如果想包括某个模态，可以在对应的包括[Include] 栏上双击。

-
1. 从求解菜单中选择 简谐响应分析[Harmonic Response];
 2. 在 荷载类型[Load Type] 选中 荷载[Applied Load];
 3. 输入 频率范围[Frequency Range] “A=5”，“B=10”;
 4. 设置 步[Steps] 数目为 7;
 5. 点击 荷载工况[load Cases] 并对荷载工况 1 输入 系数[Factor] 为 1 并点击 确认[OK];
 6. 在阻尼选项下选择 模态阻尼[Modal Damping];
 7. 点击 频率文件[Frequency File] 来显示 求解器文件[Solver Files] 对话框;
 8. 点击 打开 按钮打开包含固有频率结果的文件“辅导 4.NFA”;
 9. 包括[Include] 所有 4 个模态;
 10. 对所有模态输入 阻尼比[Damping Ratio]为 0.01;
 11. 点击 确认[OK];
 12. 点击 求解[Solve]。
-

简谐响应后处理

要找出在整个频率范围内梁端部的最大挠度值，可使用梁端部的竖向挠度-频率图。

挠度-频率图

当结果文件打开后，就可以开始作图过程。

➔ 或者，点击 图形
[Graphs]按钮。



1. 从 结果[Results] 菜单中选择 图形[Graphs];
2. 重新命名图象为“自由端位移-频率”;
3. 选择 荷载工况为横轴[Vs Result Case];
4. 点击 确认[OK];
5. 这将显示 X-Y 图[X-Y Plots] 对话框;
6. 点击 结果[Quantity] 标签;
7. 选择 位移[Displacement] 复选框;
8. 选择 DY;
9. 点击 位置[Location] 标签;
10. 点击主模型窗口的端部节点-这时要绘图的节点;
11. 点击 确认[OK]。

现在产生了一个竖向挠度-频率图。这里最好修改水平轴的显示范围为 5 Hz 到 10 Hz，步骤如下：

➔ 图形选项(Graphs
Options)按钮



1. 按下 设置[Graph Options] 按钮;
2. 对 横轴[Horizontal Axis], 选择 用户定义[User-defined] 复选框;
3. 输入 最小值 为 5;
4. 输入 最大值 为 10;
5. 点击 确认[OK]。

自由端位移-频率的图形在图 15.5 给出。

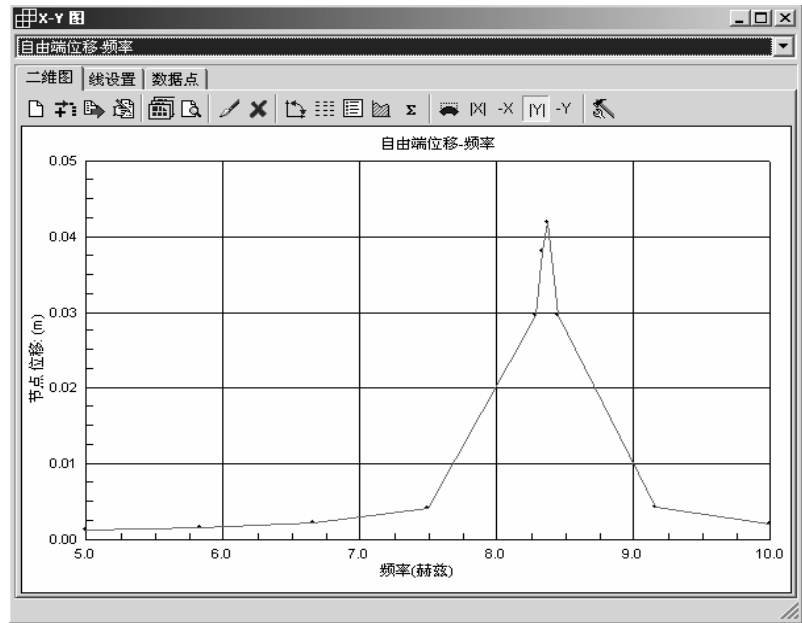


图 15.5 自由端位移-频率图

如你所见，图形非常粗糙，这是因为分析中用的频率步数目太小。如果用 100 步来代替 7 步进行求解，图线将变得非常光滑，但每个频率步求解的精度是不变的。要验证这一点，关闭结果文件，用 100 频率步再次运行谐响应求解器，位移-频率图如图 15.6 所示。

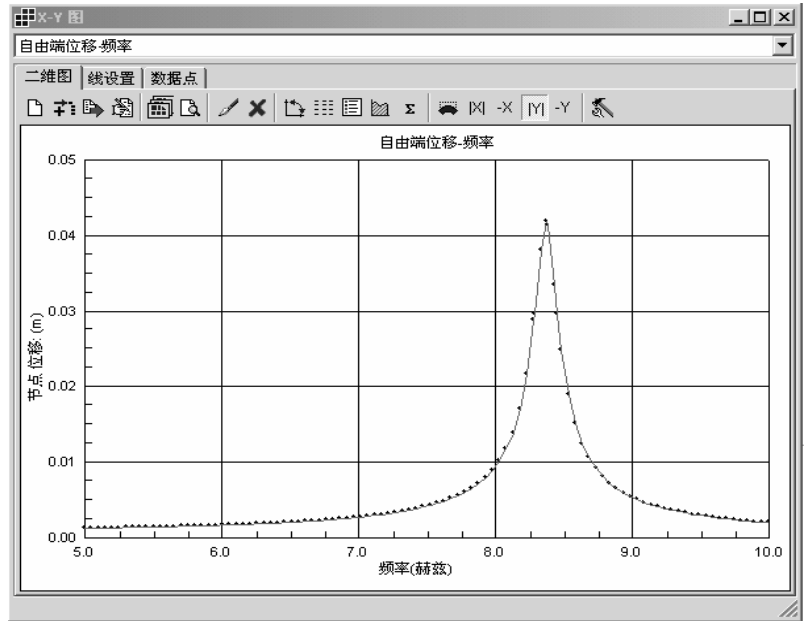


图 15.6 自由端位移-频率图(100 步)

注意图形中曲线由在每一频率步的数据点之间的直线连接形成。通过移动鼠标到感兴趣的点上可看到这些点的坐标。因为我们对最大挠度感兴趣，将鼠标放在图线的顶点上，可注意到坐标为 $X = 8.37230E+00$ ， $Y = 4.18465E-02$ 。

从图线中可读得最大位移是 0.0418465 m，对应的频率为 $f = 8.37230$ Hz，这正是梁的第一阶固有频率。

第 16 章

辅导 5: 谱响应分析

概述

在本辅导中，我们将考虑一个承受重力和地震荷载(见图 16.1)的简单三维框架。这是一个完全固定于地面上的单层钢筋混凝土框架结构。结构的承载系统由三根柱，四根梁和一块水平板组成。所有构件均使用相同的材料。对应于已知加速度响应谱的地震荷载作用在 X 水平方向。

几何与荷载描述

图 16.1 及表 16.1 给出了框架的几何及材料特性。如图可见，框架承受两种类型荷载：结构自重产生的重力荷载和在 X 水平方向的地震荷载。

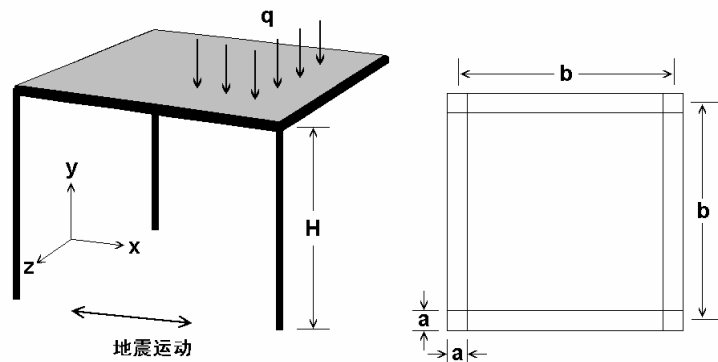


图 16.1 几何尺寸及荷载

H	=	4.2 m	框架高度
a	=	0.4 m	楼面尺寸
b	=	5.00 m	楼面尺寸
E	=	35×10^6 kPa	所有构件的弹性模量
ν	=	0.20	板的泊松比
G	=	14.58×10^6 kPa	梁和柱的剪切模量
ρ	=	2.50 t/m^3	板、梁、柱的材料密度
q	=	3.00 kN/m^2	重力引起的恒载
t	=	0.170 m	板厚
B × D	=	0.40×0.40	柱和梁的横截面

表 16.1 几何与材料特性

分析目的

本分析的目的是计算由于重力及地震荷载引起的结构最大位移和构件应力。

创建模型

分析的第一步是建立有限元模型网格，并定义材料和截面性质。在前面辅导中已经介绍了建模的过程，因此在本辅导中假定你已熟悉了基本的建模工具，以下只给出简要的步骤。

建一个新文件“辅导 5.ST7”，设置全局单位为“米、吨、千帕、千牛”。建立一个节点(0, 4.2, 0)作为框架坐标系的原点(参见图 16.1)。由于结构是三维的，所以最好改变视角以得到更好的模型视图。

- 1. 从 显示[View] 菜单中选择 视角[Angles];
- 2. 输入 角 X[Angle X] 为 25;
- 3. 角 Y[Angle Y] 为 -20;
- 4. 角 Z[Angle Z] 为 0;
- 5. 点击 确认[OK]。

➔ 记住按 F3 键重新调节
屏幕显示内容。

通过先在 Z 方向 5.0 米处复制节点 1，然后在 X 方向 5.0 处复制所有的节点来定义板的几何图形(即 5×5 正方形)。

定义单元

在竖直 Y 方向以- 4.2 米增量拉伸三个角节点以创建构成柱的线元，再在定义板尺寸的 5×5 正方形边界上创建 4 个线元。

➔ 确保梁和板细分时的协调性。

通过连接框架顶部 4 个节点，创建一个 Q4 面元。细分这个面元和 4 个线元以生成 5×5 网格，立柱不细分。

约束

打开 属性[Attributes]→节点[Node]→约束[Restraints] 对基础 3 个节点设置“固定”条件。完成上述操作后，模型应如图 16.2 所示。

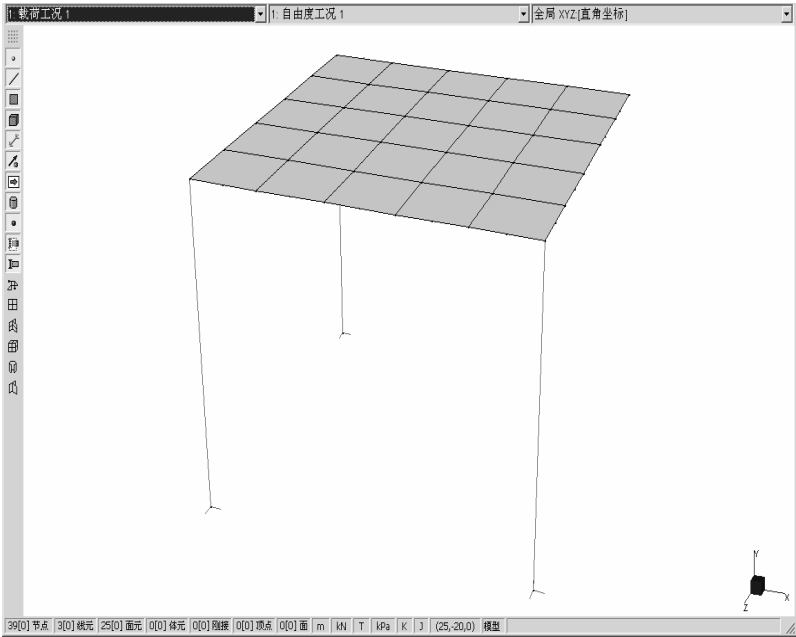


图 16.2 框架结构的网格

性质输入

下面定义线元和面元性质。

-
1. 选择 性质[Property] 线元[Beam];
 2. 设置 类型[Type] 为 梁 [Beam];
 3. 输入 弹性模量[Modulus] 为 35e6, 质量密度[Density] 为 2.5 和 剪切模量[Shear Modulus] 为 14.58e6;
 4. 选择 几何定义[Geometry] 并点击 编辑[Edit];
 5. 选择实心的矩形横截面;
 6. 输入 D=0.4, B=0.4 并点击 赋予[Assign]。
-

现已定义了线元性质, 下面定义面元性质。

-
1. 选择 面元[Plate] 标签;
 2. 设置 类型[Type]为 板/壳[Plate/Shell];
 3. 输入 弹性模量[Modulus] 为 35e6, 质量密度[Density] 为 4.299 (见下面的注)以及 泊松比[Poisson's Ratio] 为 0.2;
 4. 选择 几何[Geometry] 标签, 输入 膜厚[Membrane Thickness] 为 0.17;
 5. 关闭 对话框。
-

注: 面元的密度不等于材料密度。由于非结构构件的恒重而在板上引起的附加分布重力也作为附加的材料密度参与分析。按如下公式计算总密度:

$$\begin{aligned}
 \text{总密度} &= \text{材料密度} + (\text{非结构构件的重力荷载/重力加速度}) / \text{板厚} \\
 &= 2.50 + (3.0 / 9.81) / 0.17 \\
 &= 4.299
 \end{aligned}$$

使用这种方法, 在静力分析中包括了恒载作用。同样, 它也做为质量荷载参与动力和谱分析。如果 Y 方向的全局加速度设为 “-9.81”, 它将乘以所有质量以生成重力荷载。因为加速度为负值所以重力方向朝下。这样, 静力分析中将考虑结构所有的自重和板上的恒载。

静力分析

现已定义了框架的几何形状、构件截面和材料性质，可以开始进行静力分析。

-
1. 选择 全局[Global]→荷载和自由度工况[load & Freedom Cases] 并输入 线加速度[Linear Acceleration] $Y = -9.81$;
 2. 点击 确认[OK];
 3. 选择 求解[Solver]→线性静力分析[Linear Static];
 4. 保留缺省设置并点击 求解[Solve]。
-

当求解完成时，关闭求解器运行窗口并打开“辅导 5.LSA”结果文件。查看模型变形形状和位移大小总是很重要的。这种查看是快速检查材料常数大小和荷载是否正确以及是否误用单位的一种方法。

-
1. 打开结果文件[Open Results File];
 2. 设置 位移比例[Displacement Scale] 为 10%;
 3. 从 结果[Results] 菜单中选择 结果设置[Result Settings];
 4. 在 方式[Draw as] 下选择 云图[Contour] 复选框;
 5. 选择 位移[Displacement] 然后选择 DY;
 6. 点击 面元[Plate] 标签;
 7. 选择 位移[Displacement] DY;
 8. 点击 确认[OK]。
-

结果的屏幕显示如图 16.3。

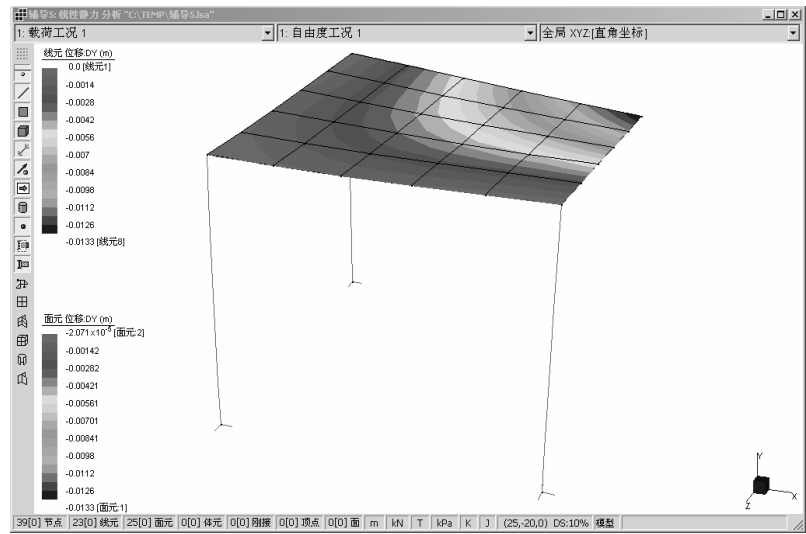


图 16.3 变形等值线图

关闭结果文件。

响应谱曲线

地震荷载作用在 X-X 水平方向，它由图 16.4 所示的典型加速度响应谱曲线给出。

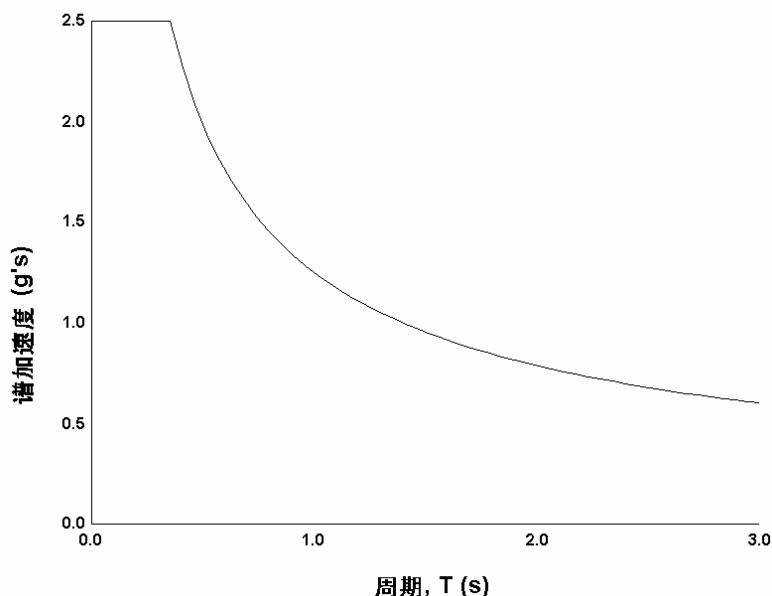


图 16.4 阻尼比为 5.0% 的响应谱曲线

地面的地震作用通过地面随时间而变化的加速度或者响应谱形式给出。响应谱方法更普遍，并被当今几乎所有设计规范采用。本算例中使用的响应谱曲线取自澳大利亚地震荷载规范 AS 1170.4 – 1993。任何其它国家的规范都有与此相似的响应谱曲线。有时，在设计规范中，响应谱曲线被引用为一个谱曲线或一个设计谱，无论使用什么名词术语，分析的方法是完全相同的。在设计规范中，响应谱曲线的值通常无量纲化或用其它方便的单位。分析中用一个比例因子或乘子来乘以曲线竖轴上的值。经过比例缩放，这些值通常有加速度的量纲，即 m/s^2 或 mm/s^2 。水平轴表示结构的固有周期值，单位是秒。有时在机械工程的应用中，例如冲击分析和机器振动，感兴趣的是高频，此时用水平轴表示结构的固有频率(用 Hz)，而固有频率是固有周期的倒数。

区别响应谱曲线[response spectrum curve]和谱曲线[spectral curve]很重要，两者有相似的形状及相同的单位，但含义是不同的。响应谱曲线用于设计，它表示单自由度系统的最大响应，取决于它的固有周期以及阻尼。对不同的阻尼将有不同的响应曲线，只有这种类型的曲线用于设计规范。其它类型如谱曲线或频谱，只是时间历程的傅利叶变换。当时

间历程是地震的加速度记录时，谱曲线只是数据从时域到频域的数学变换。这种类型谱曲线提供了时间历程的频率信息，它不用于设计，通常由振动监视仪器记录产生。

如前所述，设计规范中响应谱曲线用无量纲形式。规范给出了相应的比例因子，用来与曲线相乘。在本例中响应谱曲线的竖轴比例因子设为 0.22，这里对怎样确定该值不做解释，有关信息可在相应的设计规范中查到。

经过比例缩放，竖轴的单位是 m/s^2 (即加速度单位)。比例因子考虑地震的位置，结构的重要性、类型、变形(非线性)能力和一些其它的因素。不同国家的规范对比例因子有不同的解释，但最终只用一个数值来与响应谱曲线的竖轴相乘。

图 16.4 中的响应谱曲线由下面的表达式给出：

$$S_a = \frac{1.25}{T^{2/3}} \quad \text{且} \quad S_a \leq 2.5$$

为了确定响应谱曲线中水平直线与曲线的交点位置，我们将谱加速度 S_a 用值 2.50 代入上式中，解出 T 为 0.35355。现在可用周期 T 来表示响应谱曲线如下：

$$\text{当 } 0 < T < 0.35355 \text{ s} \quad S_a = 2.5$$

$$\text{当 } 0.35355 \text{ s} < T < 3.0 \text{ s} \quad S_a = \frac{1.25}{T^{2/3}}$$

式中：

S_a - 谱加速度 (g's)

T - 振动周期 (seconds)

F - 振动频率 (Hz)

Strand7 允许用周期或频率的形式输入响应谱曲线。因此上面的表达式可以一个合适的谱表方式输入到 Strand7 中。打开 表格[Tables]→系数-频率/周期[Factor vs Frequency/Period] 以进入表输入对话框。把曲线

的值输入到表 1 中。除第一个数据点用手工输入之外，其它所有的数据值可用公式来输入。对响应谱曲线输入数据的步骤如下：

1. 选择 表格[Tables]→系数—频率/周期[Factor vs Frequency/Period];
2. 输入一个新表名并点击 确认[OK];
3. 选择 周期[Period] 选项;
4. 对第一数据点输入 周期=0 和 系数 =2.5;
5. 在对话框中选择工具 方程表达式编辑[Equation Editor];
6. 这将显示 系数-周期[Factor vs Period] 对话框，在框中你可以用一个公式来描述曲线;
7. 在 系数[Factor(x)] 栏中输入公式 “ $1.25/x^{(2/3)}$ ” ;
8. 输入 周期范围[Period Range] 0.35355 到 3.0;
9. 输入 采样范围[Sampling Range] 2 到 20;
10. 点击 确认[OK]。

这将产生周期 $0 < T < 3.0$ s 上的响应谱，如图 16.5 所示。

→ Strand7 在图表中对定义范围外的数据进行外推。除了 应力-应变，力-位移，弯矩-曲率和系数-时间表 外，使用定义范围内的最后一个点的纵坐标值做为常数外插。

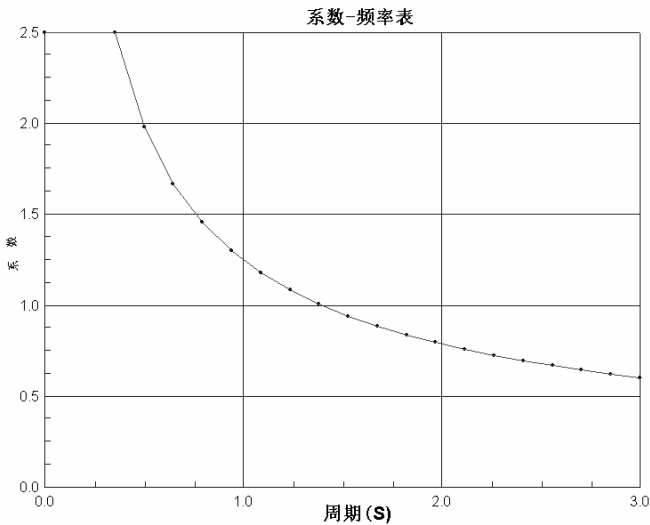


图 16.5 响应谱曲线的定义

谱响应分析

在运行谱响应分析求解器之前，需要运行固有振动分析以确定固有频率和模态。

固有频率分析

在谱分析中，因为谱响应分析求解器使用模态叠加法，所以需要先计算得到模态和相应的固有频率。因此，在进行谱分析之前，必须进行固有频率分析。

1. 选择 求解[Solver]→固有振动分析[Natural Frequency];
2. 输入 模态数[Modes] 5;
3. 点击 求解[Solve]。

经过若干次迭代，求解过程收敛，并且前 5 阶固有频率结果将显示在求解过程记录文件的后部，如图 16.6 所示：

FINAL FREQUENCY RESULTS			
Mode	Eigenvalue	Frequency (rad/s)	Frequency (Hertz)
1	6.47387937E+02	2.54438192E+01	4.04950960E+00
2	7.10282611E+02	2.66511278E+01	4.24165872E+00
3	1.79209214E+03	4.23331093E+01	6.73752360E+00
4	2.04228353E+03	4.51916312E+01	7.19247149E+00
5	1.08570205E+04	1.04197027E+02	1.65834719E+01

图 16.6 前 5 阶固有频率/特征值列表

此时我们还不知道这 5 个模态是否能充分地表示结构的动力特性。这可通过运行谱响应求解器，然后在求解记录文件中观察 质量参与因子总和[Total mass participation factor] 来检查。质量参与因子大于 90% 表明模态的数目是足够的，如果小于 90%，我们需要再计算更多的模态并再次运行谱分析。

谱响应分析

通常使用重力加速度对上面给出的响应谱曲线标准化，并用重力加速度 g 的倍数表示。它将乘以在谱响应求解器面板中输入的方向系数 0.22，相乘后曲线值将用单位 m/s^2 。这个单位与分析中所用的其它单位是一致的。

-
1. 选择 求解[Solver]→谱响应分析；
 2. 设置 阻尼[Damping] 选项为 无阻尼[None]；
 3. 输入 方向向量[Direction Vectors] 为 $X = 0.22$, $Y = 0$, $Z = 0$ ；
 4. 点击 频率文件[Frequency File] 来打开 求解文件[Solver Files]；
 5. 点击打开文件按钮；
 6. 打开文件“辅导 5.NFA”来显示前 5 阶模态；
 7. 用双击 包括[Include] 栏来包括所有模态。
 8. 对每一模态双击 谱表[Spectral Table] 并选择你先前建立的表格；
 9. 关闭 求解文件[Solver Files] 对话框；
 10. 保留剩下的值为缺省值；
 11. 点击 求解[Solve]。
-

方向向量系数‘ $X=0.22$ ’将乘以系数-周期[Factor - Period]表中的谱值，它将在 X 方向施加地震力。另外两个系数， Y 和 Z 为零，这意味着地震不作用在 Y 和 Z 方向。

如上所述，运行谱响应分析之后的第一件事是检查质量参与[Total Mass Participation]因子。检查“辅导 5.SRF”文件，我们发现总质量参与因子为 99.844%，这说明模态的数目是足够的。

第 17 章

辅导 6: 用单元工具创建交叉管的网格

概述

本辅导要介绍 Strand7 中的一些高级建模工具，将示范诸如拉伸、投影、倒角和用户定义坐标系等功能。与 CAD 模型及网格自动生成相关的工具将在第 19 至 20 章的辅导中介绍。

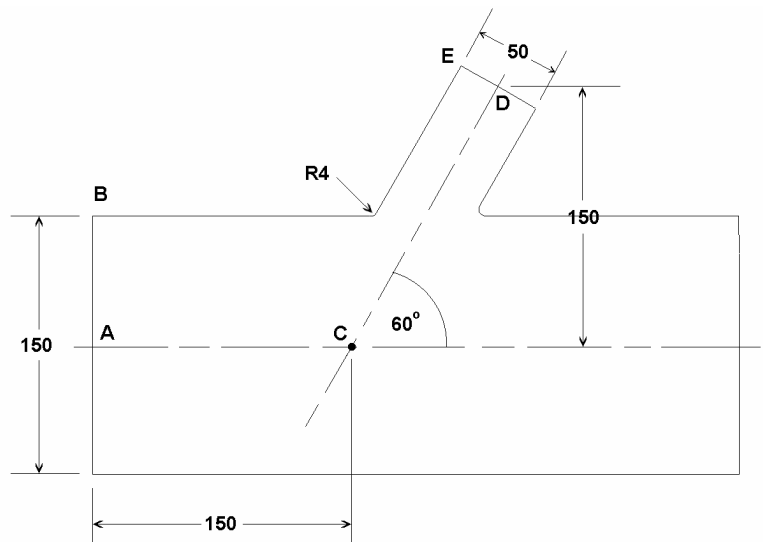


图 17.1 交叉管的几何描述

建立有限元网格

开始这个模型的最简单方法是创建一些节点来定义两个圆管的初始图形。我们从定义两个管的半径及轴心线开始入手。这样共需要下列 5 个节点。

→ Strand7 的编辑栏接受公式输入。因此可用公式 $25*(\sin(30))$ 或 $150/(\tan(60))$ 等来输入节点坐标。

- 节点 1 (0, 0, 0) - 图 17.1 中的点 A
- 节点 2 (0, 75, 0) - 图 17.1 中的点 B
- 节点 3 (150, 0, 0) - 图 17.1 中的点 C
- 节点 4 (150+150/Tan60, 150, 0) - 图 17.1 中的点 D
- 节点 5 用增量复制节点 4 ($X = -25\cos 30$, $Y = 25\sin 30$, $Z = 0$) - 图 17.1 中的点 E。

这时屏幕应如图 17.2 所示。

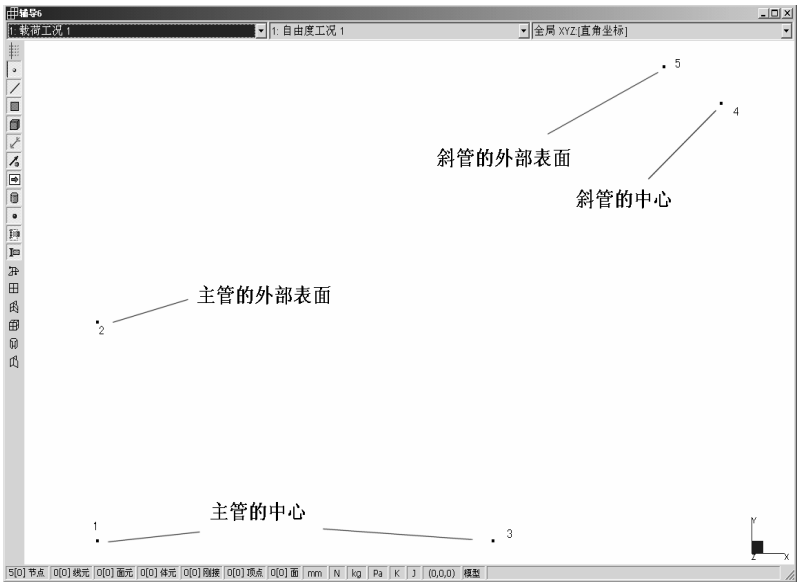


图 17.2 用来定义初始几何图形的节点

用户定义坐标系 (UCS)

我们需要创建两个柱坐标系来定义两个交叉连接管的轴线，设置视角为(30, -20, 0)，并按下面说明操作：

-
1. 选择 全局[Global]→坐标系统[Coordinate Systems];
 2. 点击 新用户坐标[New UCS] 按钮;
 3. 点击 编辑用户坐标名[Edit UCS Name] 按钮并输入一个新的名字 (即: 主管的柱坐标);
 4. 在 YZ 平面上选择 柱坐标[Cylindrical System] 且节点 1 为原点。
-

由于斜管是沿 60 度倾斜的, 所以下面定义第二个用户坐标系[UCS] 的步骤稍有不同。

-
1. 选择 全局[Global]→坐标系统[Coordinate Systems];
 2. 点击 新用户坐标[New UCS] 按钮;
 3. 点击 编辑用户坐标名[Edit UCS Name] 按钮并输入一个新的名字 (即: 斜管的柱坐标);
 4. 在系统选项下选择 柱坐标[Cylindrical];
 5. 选择 用户坐标系[UCS] 选项;
 6. 选择节点 4 为原点;
 7. 选择节点 3 为 点 1 [Point 1], 节点 5 为 点 2 [Point 2];
 8. 点击 确认[OK]。
-

现在已建立了用来定义两个交叉管轴的两个柱坐标系。

创建斜管

从坐标系的下拉列表中选择斜管的用户定义坐标, 并确认 拉伸 [Extrude] 对话框中的 目标[Target] 设置为 B3 线元[Beam3], 按 45 度的增量拉伸节点 5 四次。如图 17.3 所示, 这将创建用来定义斜管几何图形的 4 个线元。

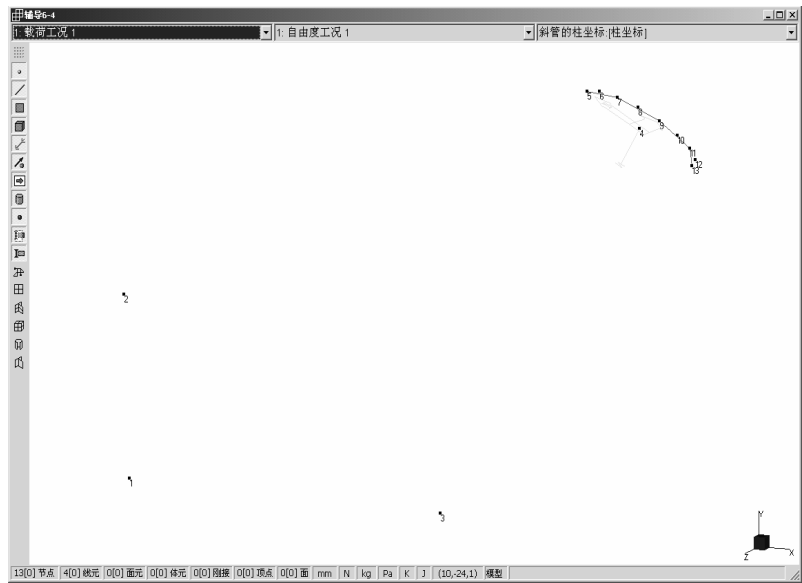


图 17.3 斜管的几何图形

现在来拉伸线元以形成斜管的表面。为确保在与主管相交处的管表面具有正确的几何形状，应该使用 拉伸[Extrude]→用投影[by Projection]→到用户坐标[to UCS]。

1. 选择 工具[Tools]→拉伸[Extrude]→用投影[By Projection]→到户坐标系[To UCS];
2. 从 投影到[Project to] 下拉式列表中选择“主管的柱坐标”;
3. 输入半径为 75;
4. 对 方向[Direction] 选项选择 平行[Parellel] 复选框;
5. 对 N1 选择节点 4, 对 N2 选择节点 3;
6. 在 源[Source] 选项中选择 保留[Leave];
7. 当 目标[Targets] 标签激活时, 选择 线元到 Q8 面元 [Beams->Quad8];
8. 用 全选[Select All] 按钮选择所有的线元;
9. 点击 应用[Apply]。

这将拉伸线元来形成由面元 Q8 构成的表面，如图 17.5 所示，它与半径为 75mm 的主管相交。

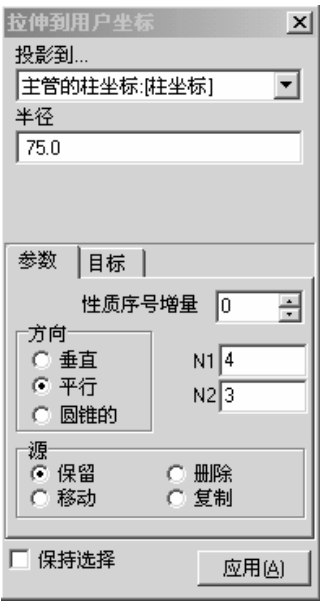


图 17.4 通过投影拉伸对话框

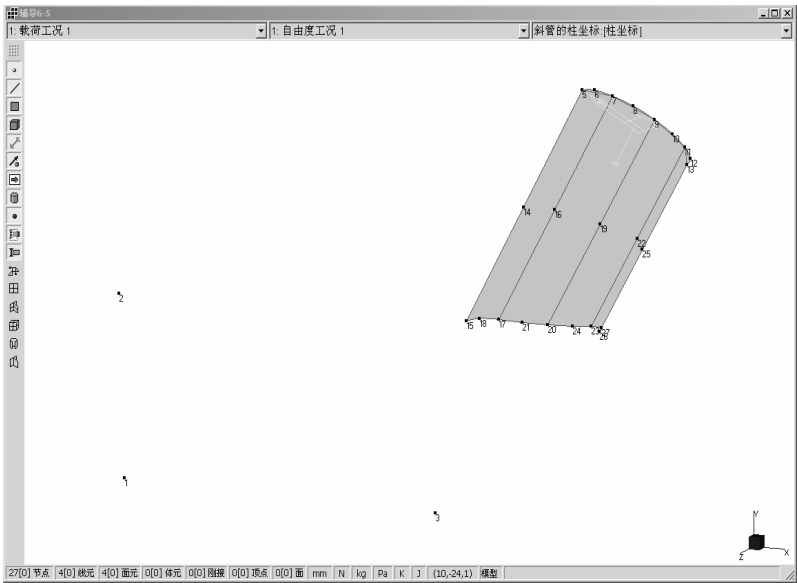


图 17.5 使用用投影拉伸线元

接下来选择所有线元，并在半径方向以 $R=10$ 的增量进行拉伸。这将在管的周长方向产生四个如图 17.6 所示的 Q8 面元。

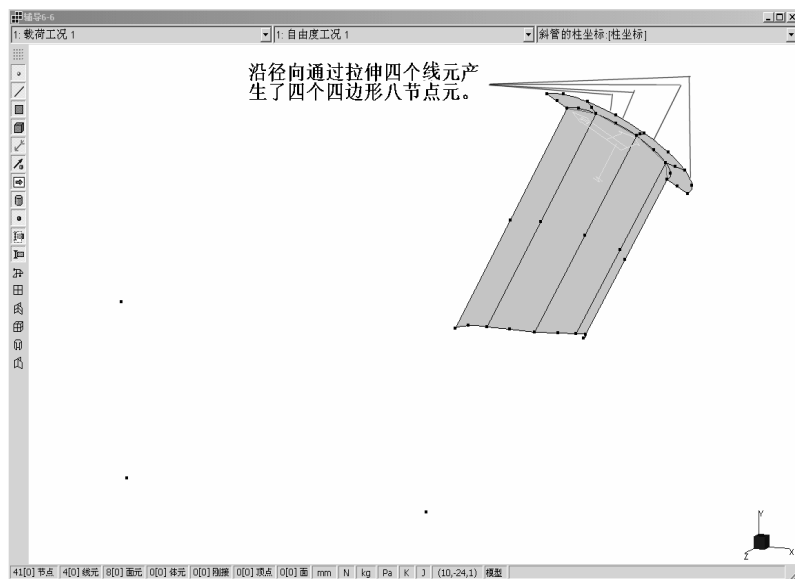


图 17.6 在管周界上拉伸线元

现在，移动这四个面使它们位于主管柱坐标系的 75mm 半径处。在这样做之前，改变视角到(-160, -30, 180)。

1. 选择 工具[Tools]→移动[Move]→用投影[By Projection]→到用户坐标[To UCS];
2. 从 投影到[Project to] 下拉列表中选择“主管的柱坐标”;
3. 输入 半径[Radius] 为 75;
4. 对 方向[Direction] 选项选择平行 [Parellel] 复选框;
5. 对 N1 选择节点 4, 对 N2 选择节点 3;
6. 选择沿环向的 4 个面元;
7. 点击 应用[Apply]。

由于模型中不再需要线元，现在可全部删除。

创建主管

从坐标系下拉列表中选择主管柱坐标系并通过 2 个 45 度的增量来复制标记主管半径的节点(节点 2)。接下来如图 17.7 所示复制这两个节点, 使其与标记该斜管中线的点一致。

1. 改变视角为 (-155, -10, -180);
2. 选择 工具[Tools]→复制[Copy]→用投影[By Projection]→到平面[To Plane];
3. 选择 YZ 平面[YZ Plane] 复选框;
4. 对 N2 选项选择如图 17.7 所示的节点;
5. 对 方向[Direction] 选项选择 垂直[Normal] 复选框;
6. 选择要复制的 2 个节点;
7. 点击 应用[Apply]。

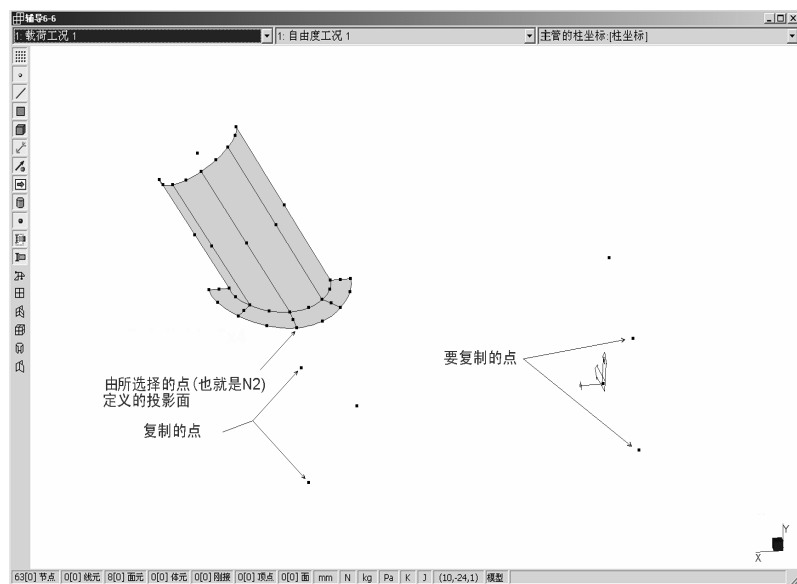


图 17.7 定义主管的几何形状

现在可以创建定义主管表面的面元。先设置坐标系为主管柱坐标, 这将确保中节点被自动定位在正确的半径上。一旦创建了第一个面元, 则复制如图 17.8 所示的节点到由第一个面元中边节点所定义的 YZ 平面

继续创建 Q8 面元，直到主管的几何形状完全如图 17.10 所示。

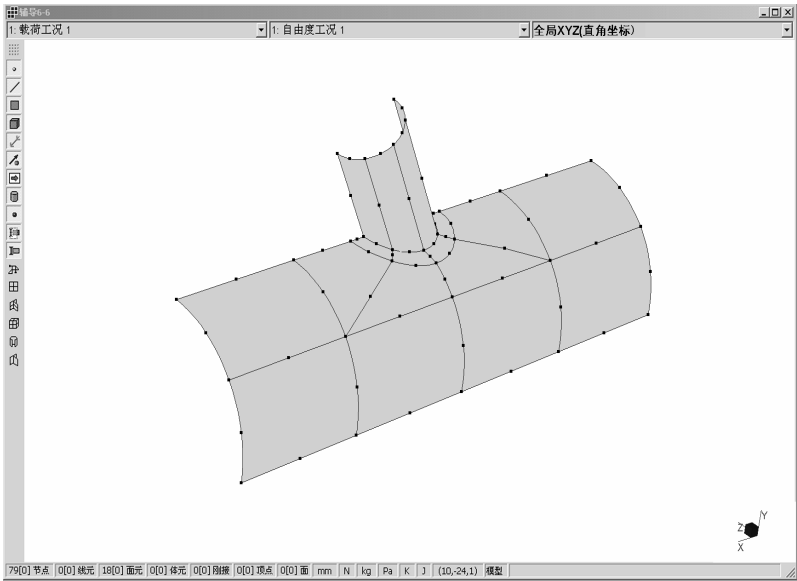


图 17.10 完全对称的表面几何形状

➔ 当清除网格时，选择 允
差[zip tolerance] 中的 绝
对数值[Absolute] 并输入
数值 1。这将删除模型
上的所有重复的节点。

要创建主管的底部四分之一，通过 2 个 -45 度的增量来复制下面一
排的面元。这将生成交叉管的一半对称模型。

至此，最好执行清理网格功能以检查是否有重复的节点。

在管相交处创建倒角

Strand7 有一个自动的倒角工具可用来在任何 2 个相连的面元之间
生成倒角。在本例中我们需要在交叉管的主管和斜管交界的面元间建立
一个 4mm 半径的倒角。

1. 放大管相交的局部区域；
2. 选择 工具[Tools] →倒角[Fillet Plates]；
3. 输入倒角半径 = 4；
4. 选择任两个相交的面元并点击 应用[Apply]；
5. 按同样方法继续，直到在相交处的所有面元均被倒角。

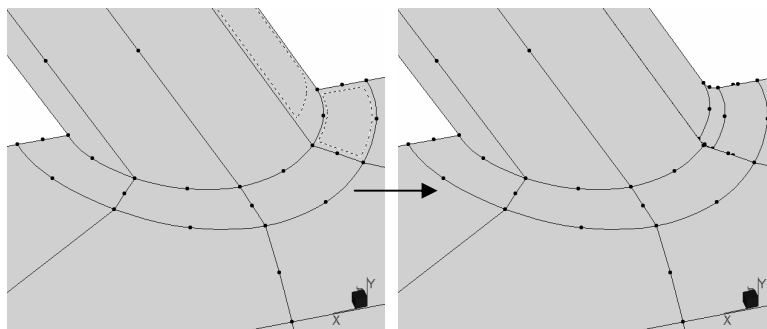


图 17.10 创建倒角

创建完整的三维模型

现已可以通过使用 镜像[Mirror] 工具建立完整的模型，然后再用 5×5 网格密度来细分所有单元以生成如图 17.12 所示的三维模型。

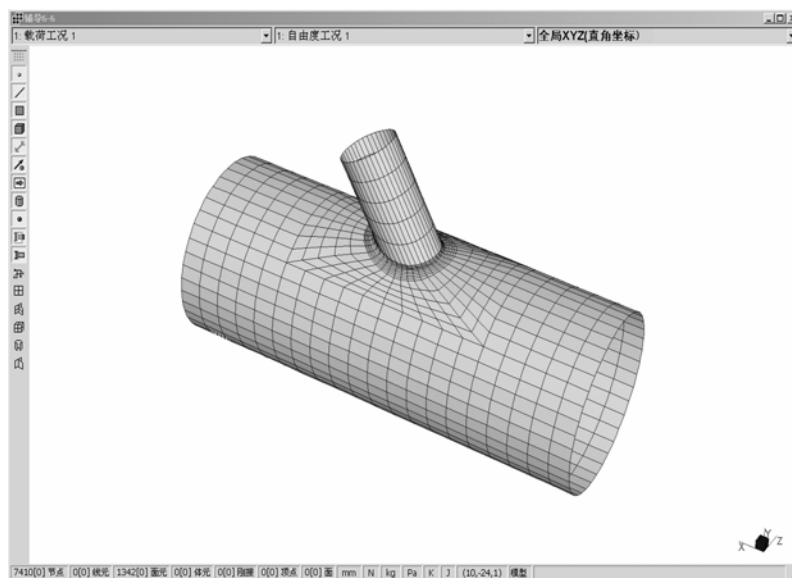


图 17.12 完整的交叉管三维模型

第 18 章

辅导 7: 创建用户定义的梁截面

概述

在 Strand7 中，可以方便地使用标准截面库来输入常用的梁截面特性。对于截面库中没有的特殊截面，用户可以按需要生成并存入专门的截面库中。本辅导将要示范创建一个如图 18.1 所示的用户定义截面的过程。

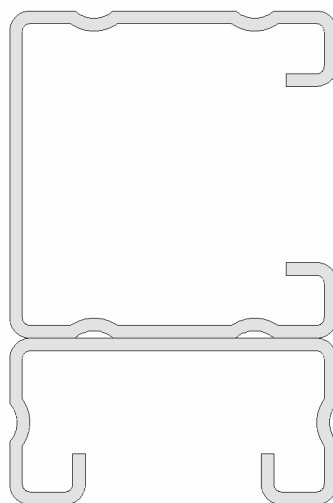
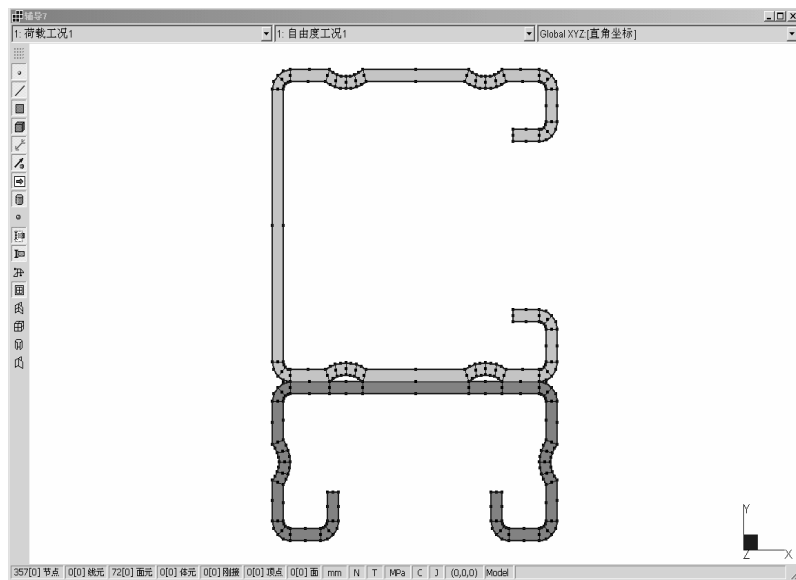


图 18.1 梁的横截面示例

横截面定义

创建用户定义梁截面的第一步是定义横截面的几何形状。这需要在 XY 平面创建一个二维面元网格。网格的密度不是很重要，但一定要保证相邻单元间的协调性。

1. 建立一个新的 Strand7 模型；
2. 创建一个二维面元网格来定义横截面的几何形状。图 18.2 给出了一个适合梁横截面的网格。这仅是一个示例，用户可按需要生成任意形状的截面。



例 18.2: Strand7 中用户定义截面网格

1. 当网格剖分完成后，从 文件[File] 菜单中选择 梁截面计算 [Make Beam Section]；
2. 线元截面计算[Beam Section Generator] 对话框将出现，Strand7 将计算并显示该截面的性质，如图 18.3 所示；
3. 当作为实体来着色时，点击 包括边中节点[Include Mid-Side Node] 按钮以显示曲面。如不这样做，曲面将作为(许多)小平面来显示；

- 4. 点击 存截面文件[Save Section] 按钮来生成梁横截面文件(例: “特殊槽型截面.bxs”);
- 5. 定义横截面后可以关闭面元模型。虽然对梁横截面来说不再需要面元模型, 但最好保存起来以备将来参考或修改。

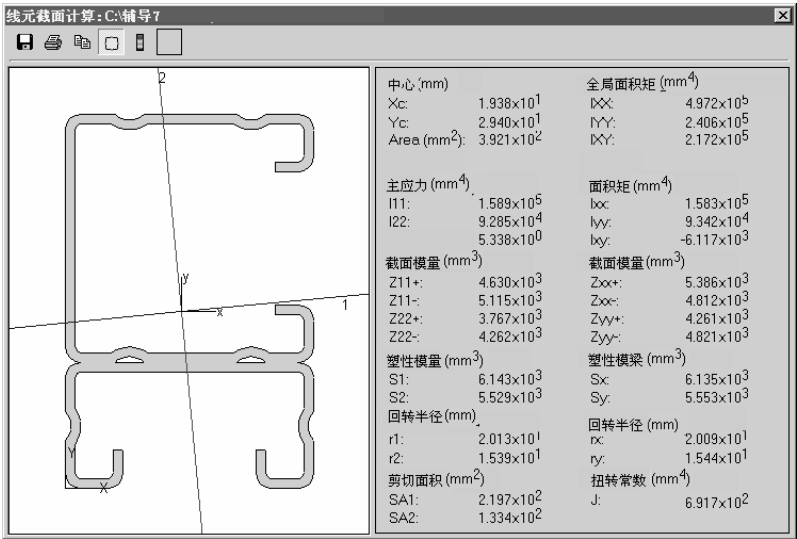


图 18.3 截面计算的对话框

现可将已建立的横截面文件(特殊槽型截面)用于 Strand7 模型中的任何线元性质定义。

指定线元性质

当用线元创建的结构模型包含用户定义截面时, 截面的性质可按如下方法来指定:

- 1. 选择 性质[Property]→线元[Beam];
- 2. 选择 几何定义[Geometry] 并点击标签 编辑[Edit];
- 3. 点击 截面库[BXS] 按钮并打开适当的文件;
- 4. 点击 赋值[Assign] 按钮(来指定截面数据);
- 5. 输入需要的另外的性质数据并点击 关闭[Close]。

用户定义的截面现已被指定到一个特定的线元性质中。Strand7 允许对任意的用户定义的截面进行实体着色以改善梁结构的视图效果并避免单元方向的模糊与不确定。按以下步骤将线元做为实体来着色：

1. 在模型窗口右击并选择 实体显示[Entity Display];
2. 点击 线元[Beam] 标签;
3. 对 显示模式[Display Mode] 选项选择 实体[Solid];
4. 选择 阴影图[Light Shade] 选项并清除 边线[Draw Outlines];
5. 点击 确认[OK]。

这将关闭对话框，并在屏幕上以完全着色方式重新显示模型，图 18.4 给出了一个完全着色梁的示例。

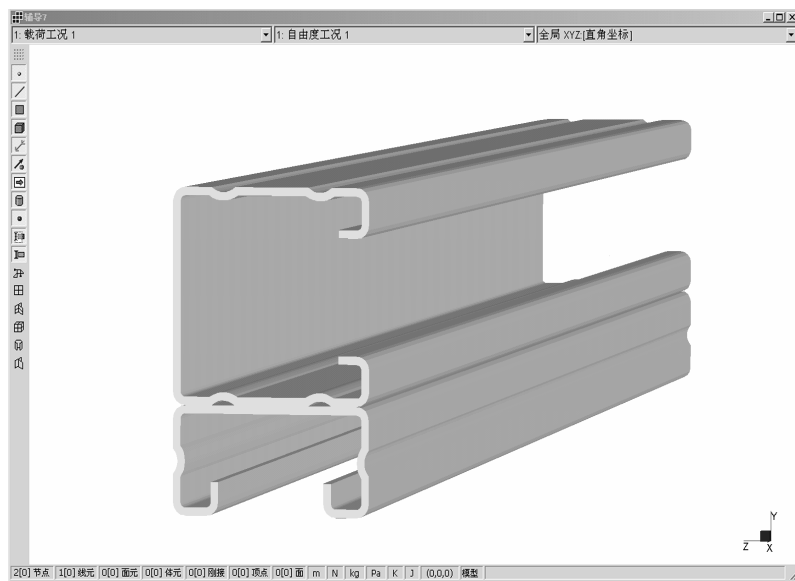


图 18.4 完全着色的梁模型

第 19 章

辅导 8:输入 CAD 模型的网格自动剖分

概述

这个辅导指导用户如何将 CAD 几何文件转换成适用于 Strand7 的有限元网格。首先演示面网格和实体网格的自动剖分工具，然后再讨论把 CAD 几何转换为有限元网格过程中可能遇到的几个问题。

我们以图 19.1 所示的实体构件模型为例。辅导将演示怎样将这个模型输入到 Strand7 进行网格剖分前的准备和进行网格自动剖分。这个实体模型的网格生成包括两个阶段：表面网格剖分阶段和实体网格剖分阶段。

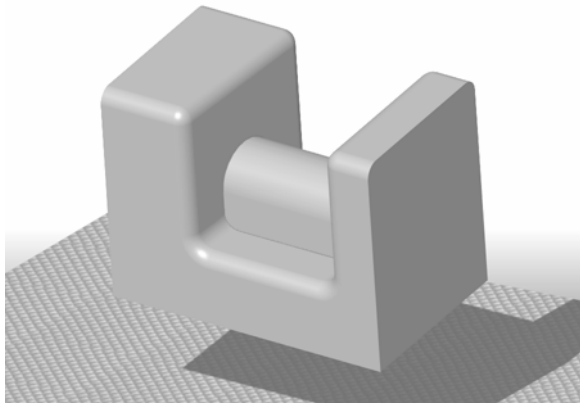


图 19.1 实体构件的 CAD 模型

输入 CAD 几何模型

Strand7 能够输入多种的 CAD 程序包生成的文件，包括 ACIS 和 IGES 格式文件。这些格式的文件可以通过 文件[File] 菜单中的 输入[Import] 功能输入到 Strand7 中。可以输入 CAD 文件生成一个新的模型，也可以把它们输入到已有的有限元模型中。在这个示例中，从一个文件目录 “Strand7\Sample” 中输入一个名为 “Solid Block.IGS” 的 IGES 格式 CAD 文件。按下列步骤进行输入：

-
1. 通过选择 文件[File]→新文件[New File] 来建立一个新文件；
 2. Strand7 输入器使用 CAD 文件中特定的单位。这意味着模型的尺寸将被自动转换到 Strand7 的单位系统中。在这个示例中，使用牛顿毫米。打开 全局[Global]→单位[Units] 然后选择 牛顿毫米 [Nmm]；
 3. 执行 文件[File]→输入[Import] 来输入 CAD 文件；
 4. 改变 文件类型[Files of Type] 以便显示 IGES 类型文件，然后从文件列表里选择 “Solid Block.IGS” ；
 5. 点击 Open。
-

选择文件后，将弹出图 19.2 所示的对话框以确认要输入的 IGES 文件。窗口同时包括一些输入选项。对这个算例来说，使用缺省设置即

可。按 确认[OK] 来继续操作。



图 19.2 IGES 文件输入对话框

在输入过程中，Strand7 让你选择是否转换 CAD 模型文件所使用的单位。有时 CAD 文件中单位制的错误标定可导致模型中的尺寸错误。

图 19.3 显示了所输入的 CAD 模型的视图。注意模型的名称现在为“Solid Block”。新的 Strand7 模型文件名总是采用所输入文件的原有文件名。一旦存盘后，即使再有几何输入，文件名将不再改变。

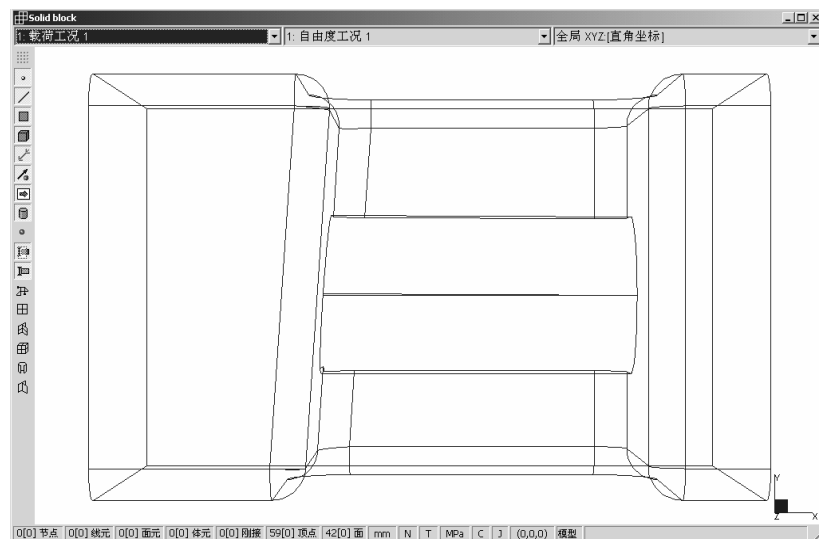


图 19.3 输入的几何图形

几何显示选项

一旦输入了几何模型，Strand7 利用投影到 XY 平面的视角和其它缺省设置通过几何面的边来显示几何模型。你可以利用实体切换条上用于几何面的切换按钮来显示或者隐藏各种实体。现在转换到 正二轴 [Diametric] 显示：

1. 从 显示[View] 中选择 视角[Angles]；
2. 点击 正二轴[Di metric]；
3. 点击 确认[OK]。这将以更好的视角来更新模型显示。

象单元一样，面和顶点也具有若干可以改变的显示参数。通过鼠标右键点击 隐藏/显示顶点 [Hide/Show Vertex] 和 隐藏/显示几何 [Hide/Show Geometry] 切换按钮，可以进入显示设置窗改变边和顶点的颜色。如图 19.4 所示，为了更直观地显示这个模型，在实体显示选项里选择 显示线框图[Show wireframe]。如下所示，增加线框图密度，以更清楚地显示几何模型的表面：



图 19.4 几何显示选项

1. 右击 隐藏/显示几何[Hide/Show Geometry]按钮，按图 19.4 设置选项，并点击 确认[OK]；
2. 点击 顶点显示设置[Vertex display options] 按钮以显示顶点。

图 19.5 用顶点和几何线框方式显示了输入的模型。

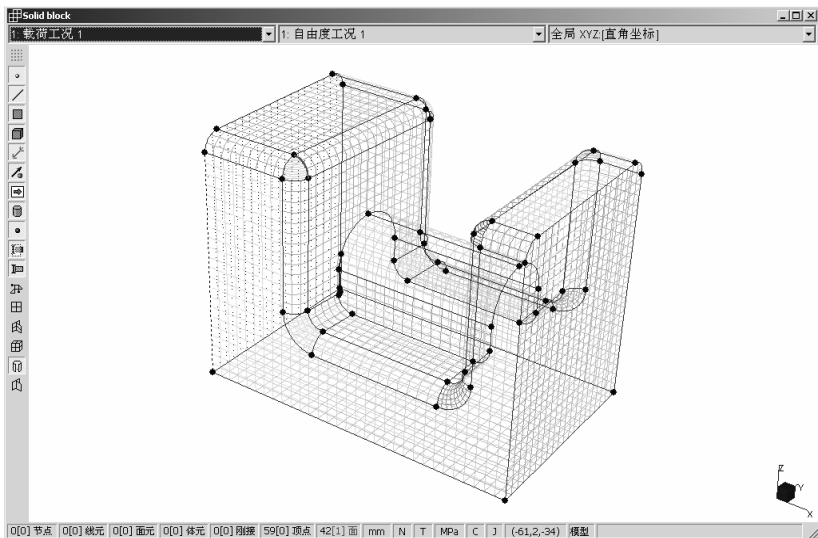


图 19.5 顶点和几何线框图

准备 CAD 几何用于网格自动生成

虽然有限元模型看起来和 CAD 实体模型相似，但是它的主要目的是在数学上模拟实际物体的结构行为。在创建 CAD 模型时，重点强调的往往是准确的几何、逼真的视觉效果以及图形文件的可交换性，所以模型中常会包含许多有限元分析时不需要的局部细小特征。而且，一些在 CAD 环境下不会带来不利影响的细小偏差在生成有限元网格时会产生问题。考虑到这些因素，必须对输入的 CAD 几何模型进行检查以保证模型适合转换成有限元网格。

为能够成功地将这个 CAD 模型剖分生成有限元模型，它的所有边必须与两个面，并且只能与两个面相邻。这是要确保产生的网格对每个

面都是协调的。在实体切换条上，显示面自由边[Show Face Free Edges]功能可以用来识别搭配不当的面边。图 19.6 显示了在本例中找出的两条自由边。

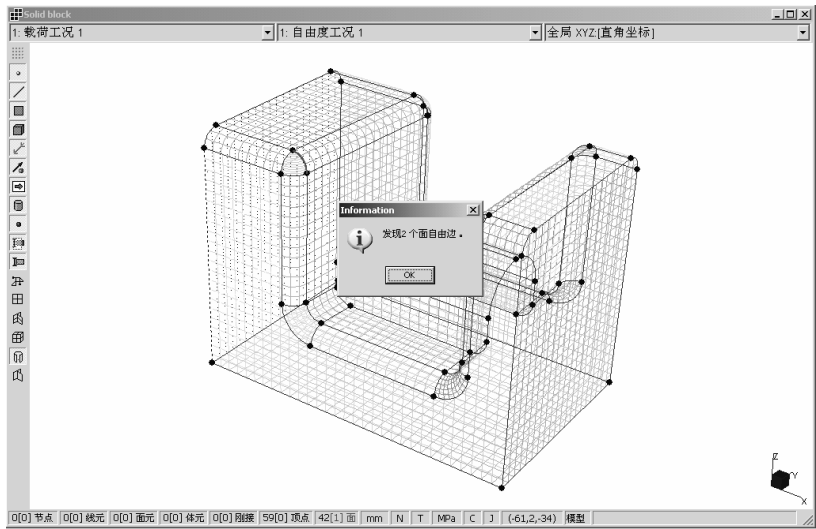


图 19.6 显示自由边功能亮显找到的自由边

对于现在的 CAD 模型，这两条自由边不是我们所需要的。这些边形成了一个小到显示不出来的缝隙，它对 CAD 模型的影响是微不足道的。但是，如果按照它们的实际定义进行网格剖分，这些边将会表示模型表面的一个缺口。由于这个在实际模型中并不存在的缺口，描述实体的面将不能包含它所围住的区域。因此，这些面也就不能正确地表达一个实体。

当把几何模型转化为有限元模型时，要特别留意这些自由边。原因有两个，第一，自由边会模拟缺口的结构行为；第二，面上的自由边意味着模型的面不是封闭的，从而导致不能建立实体网格。对于输入到 Strand7 后的 CAD 模型中不需要的自由边，可通过类似于清理网格功能的清理几何[Clean Geometry] 功能进行缝合。

图 19.7 显示了 清理几何[Clean Geometry] 对话框中的设置选项。

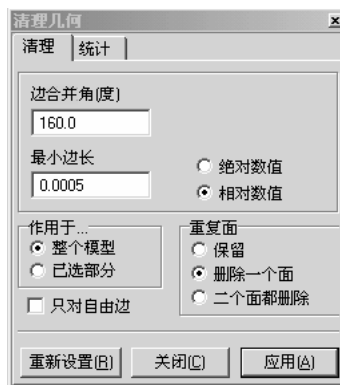


图 19.7 清理几何对话框

边合并角

边合并角[Edge Merging Angle] 选项让你确定是否在规定的角度范围内把面边合并为一个连续边。例如，当把边的合并角设为 90° 时，交角大于 90° 的边将被合并。设定合并角为 180° 时，只有在交点处具有相同切线的边才被合并。

最小边长

最小边长[Minimum Edge Length] 决定任何面的最小边长。周围面的缝合过程是这样的：当面含有一个小于最小边长的边时，这个边将被几何清理[Clean Geometry] 工具清除；如果这样会导致面退化成两个重叠边的话，这个面将会被清除，而周围的面将被“缝合”。注意，最小边长可以按相对于模型的最大尺寸或者以绝对长度设定。一定要注意这个值也适用于边之间的缝隙。

可采用缺省设置进行几何清理。一般地说，所有输入的 CAD 模型都必须实施几何清理从而删除不必要的几何缝隙和不想要的几何特征。按下列步骤实施对当前模型的几何清理：

1. 执行 工具[Tools]→清理[Clean]→清理几何[Geometry]；
2. 选择 相对数值[Relative] 模式选项；
3. 输入一个相对的 最小边长[Minimum Edge Length] 为 0.002；
4. 点击 应用[OK]。

上述步骤是用 清理几何工具在允差范围内缝合自由边的过程。当执行过程完成后，将弹出一对话框来报告对模型的修改情况。

在几何清理中，如所有的自由边都被删除，则 显示/隐藏自由边 [Show Face Free Edges] 功能将处于关闭状态，因这时已没有自由边要显示。如果点击此按钮，屏幕上会弹出一个信息窗口报告没有发现自由边。如果是这样的话，几何模型已经可以用来进行面网格剖分了。

面网格自动剖分

面网格剖分工具用来为指定的几何面自动剖分生成面元网格。单元将在模型的表面上生成。注意，面网格剖分总是要先于实体网格剖分。面网格剖分工具允许设置网格密度和选择对所有面或指定面进行剖分。用于建立网格的面元包括 T3、Q4、T6 和 Q8 面元。还要注意，尽管指定面元形式为四边形，并不意味着产生的网格只由四边形单元组成—生成的网格仍可能会含有一些三角形单元。因此，这些网格常称为“四边形居多的网格”。

使用哪一种形式单元可以根据最终要生成的单元是面元还是体元来确定。对于面网格，通常希望用四边形居多网格。但是，如果需要生成实体四面体网格，最好使用三角形网格，因为这样会带来更高质量的四面体。使用线性还是二次单元取决于分析的要求。而适当的网格密度选择依赖于问题的类型，一般来说，所取的网格密度要在较低的时间花费下能够提供一个可接受的解。

面网格剖分功能(图 19.8)可以两种模式进行工作。用 自动[Auto] 模式时，网格密度按 最大边长[Maximum Edge Length]确定。这个最大边长可以用一个绝对长度或模型最大长度的百分比来确定。点击 用户 [Custom] 可得到控制面网格创建的详细功能选项。对于现在的模型，我们将使用缺省设置。

最大边长控制自动剖分过程生成的每个单元的边长。可点击 预显示[PreView] 按钮对使用这个最大边长的网格以图形方式进行预览。预览显示将在边上显示出设置节点的地方。象在 清理几何 中的 最小边长 [Minimum Edge Length] 选项一样，这个选项可以相对于模型的最大长度或用一个绝对数值来定义。预览网格可以通过下列步骤来实现：

1. 执行 工具[Tools]→网格自动剖分[Automeshing]→面网格[Surface Mesh];
2. 通过在 最大边长[Maximum Edge Length] 下输入一个数值来确定网格密度，可以使用百分比或一个长度值；
3. 点击 预显示[PreView]。



图 19.8 面网格自动剖分对话框

图 19.9 显示了用最大边长为 3%时的网格预览。

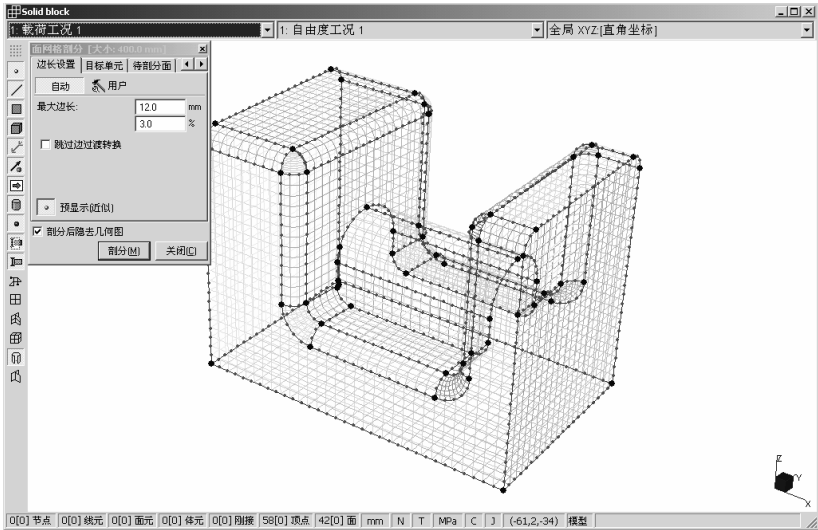


图 19.9 网格预览

可以不断调整最大边长参数直到找出合适的网格密度。对于现在的算例，使用网格自动剖分工具和最大边长 5%，按下列步骤来建立三角形网格：

1. 选择 工具[Tools]→网格自动剖分[Automeshing]→面网格[Surface Mesh]
2. 确定 最大边长[Maximum Edge Length] 为 5%;
3. 点击 目标单元[Target]，选择三节点三角形和以 面号[Face Number] 做 面元性质号[Plate Property] (这样所产生的单元的性质号将等于其对应面的序号);
4. 点击 剖分[Mesh]。

所产生的网格如图 19.10 所示。注意，虽然在多数面上的网格密度是均匀的，但某些面上的单元密度变化很大。图中在几个小区域的节点聚集就表现出了这种急剧变化。除非实际几何在网格聚集处相对于周围有细小的特征，否则网格的聚集将意味着几何数据中存在着问题。

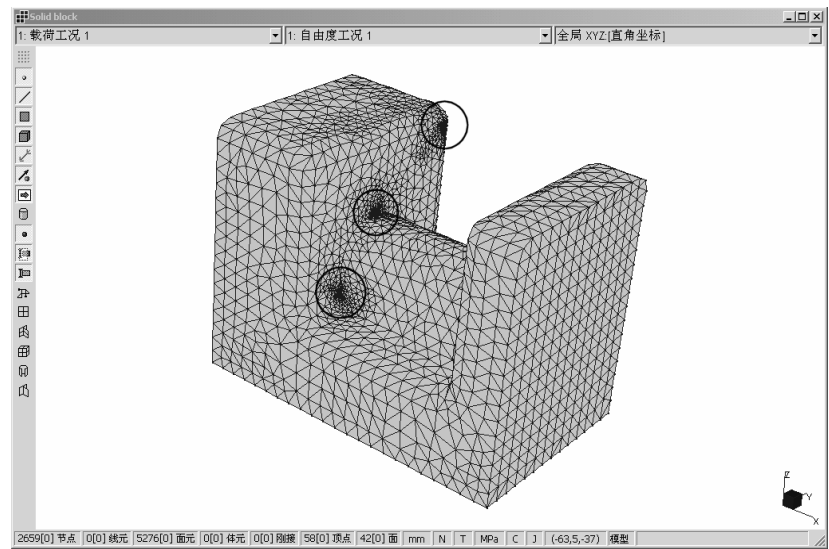


图 19. 10 带有不规则网格密度的自动剖分网格

通过放大这些区域，可以看到在两个较大面之间有“小片”。小片是网格局部聚集的原因。图 19.11 显示了一个这样的小片。

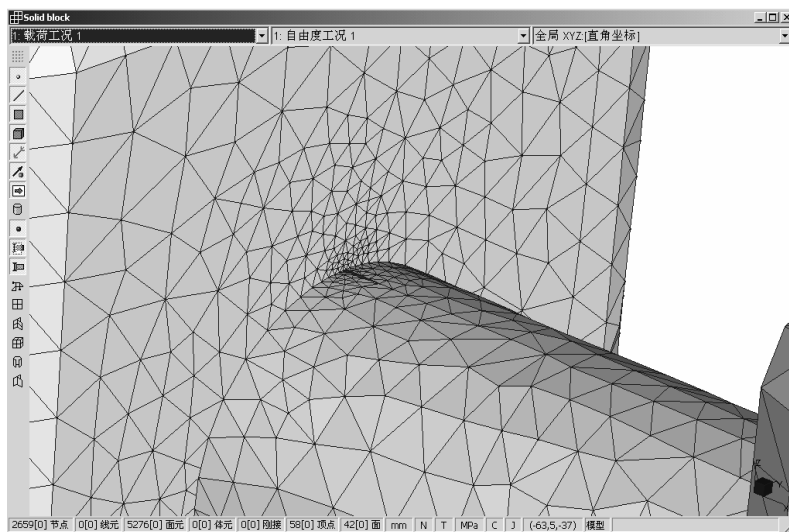


图 19.11 引起不规则网格密度的小片

这个小片并不是 CAD 模型所要特别表达的几何特征。其存在的目的无非是保持模型在这个区域外观的连续。对于有限元模型来说，这个小片的存在破坏了网格的均匀性，必须删除。可以使用几何清理工具以一个更大的最小边长做标准来进行删除操作。清理几何工具将清除小片，从而把相邻面连接起来。设置最小边长为 0.05 应该足以在模型中删除任何小片。可以只在小片上进行删除操作以免清除了其它需要的小几何特征，这时需选中这些小片并在清理几何选项下选择已选部分 [Selected Only]。但对此模型来说，这个缝合允差仍是一个安全的全局缝合允差，因为模型中没有需要保留的小几何特征。下面是删除小片的步骤：

1. 执行 编辑[Edit]→撤消[Undo] 来撤消先前的网格自动剖分操作。
2. 点击 显示几何[Show Geometry] 切换标签。
3. 执行 工具[Tools]→清理[Clean]→清理几何[Geometry];
4. 确定一个 最小边长[Minimum Edge Length] 为 0.05;
5. 点击 应用[Apply]。

一旦通过清理操作删除了小片，模型便可以用来进行网格自动剖分了。图 19.12 显示了用 5% 网格密度重新剖分的模型网格。

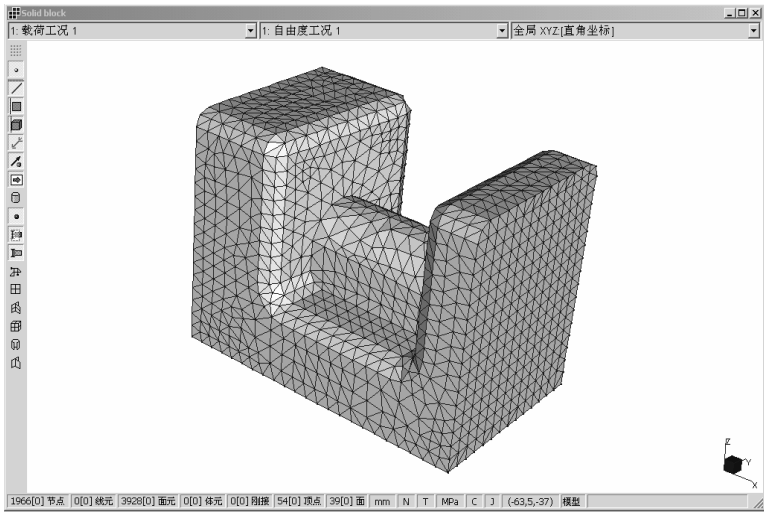


图 19. 12 删除小片后重新剖分得到的模型网格

实体网格自动剖分

实体网格剖分工具(图 19.13)可以剖分生成线性或二次四面体单元。在使用实体网格工具之前，必须使用面网格剖分工具来生成封闭的表面网格。**Strand7** 实体网格生成器接受任何 **Strand7** 面元类型定义的表面。这里考虑到要生成四面体网格，最好先建立封闭的三角形表面网格，这样生成的四面体单元的纵横比会更好一些。对于一个由围成一封闭体积的面元构成的模型，按以下步骤使用实体网格剖分工具进行网格剖分：

1. 选择 工具[Tools]→网格自动剖分[Automeshing]→实体网格[Solid Mesh];
2. 选择 目标单元[Target]→类型[Type] 为 四面体类型[Tet4];
3. 点击 剖分[Mesh];



图 19.13 实体网格自动剖分对话框

图 19.12 中的模型可以用上面的过程来进行网格剖分。使用线性四节点四面体元的最后模型如图 19.14 所示。

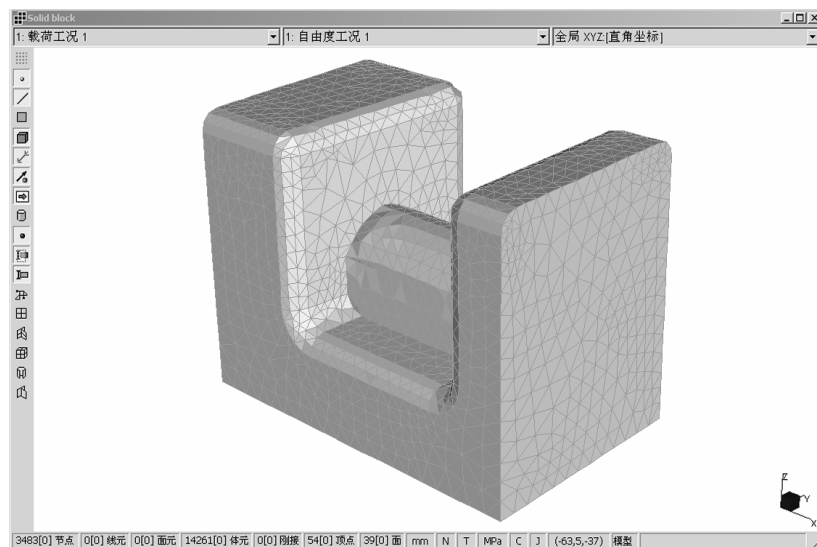


图 19.14 实体网格

第 20 章

辅导 9: CAD 模型中的拉伸

概述

在很多情况下，一个实体 CAD 模型是沿直线方向或绕旋转轴拉伸一个或几个面而生成。对于这一类模型，网格生成时，可采用同样的拉伸技术而不必使用实体网格自动剖分工具。也就是说，在网格生成时，用 Strand7 可以这样生成实体网格：首先生成一个面网格，然后用拉伸工具生成完全填充几何区域的实体网格。按照这个步骤，可以建立一个质量比四面体单元好的六面体或六面体居多的实体网格。

这一章将演示对图 20.1 中的 CAD 模型，怎样使用拉伸工具以面网格为基础来建立实体网格。一般地说，需要在 CAD 模型阶段就应先考虑到这一点。因此，本章描述 CAD 模型阶段的一些建模步骤，以便这些步骤能保证模型可以在 Strand7 中进行拉伸。同时，本章还将讨论在建立用于分析的 CAD 模型过程中必须考虑的一些事项。

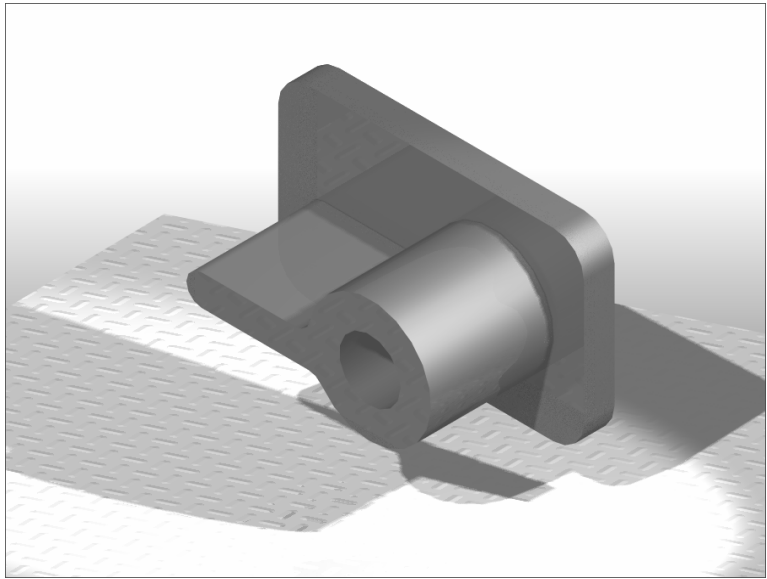


图 20.1 实体 CAD 模型

修改 CAD 模型

图 20.1 中的模型可以通过两个拉伸步骤来生成：首先，从圆凸的基底表面向内拉伸建立实体基底；然后，从圆凸的顶表面向内拉伸生成圆凸主体。这两步拉伸可以在 CAD，也可在 Strand7 中进行。然而，为了能在 Strand7 中用输入的几何实体做到这一步，必须在 CAD 阶段实施几个操作步骤。

如果按照 CAD 模型的原样将其输入到 Strand7 中，用户可能首先对顶部和底部进行面网格剖分，然后将网格向内部拉伸生成实体网格。这中操作会产生一个问题：在连接面上生成的网格很可能是不协调的。这是因为网格自动剖分工具在剖分基底时得不到关于圆凸主体形状的有关信息。结果，在基底与圆凸的交界面上网格节点完全不协调。

可以修改已有的 CAD 模型，以保证圆凸和基底在连接面处的网格点完全一致。修改时，“劈开”一个面以在一个平面上生成两个以“分割线”做共用边的两个面。可以通过控制两个面的网格点在“分割线”上相一致来实施网格自动剖分。对于图 20.1 中的模型，劈开基底

表面，使圆凸的轮廓线成为这个面的一个边。这样，基底表面上的两个面将被独立地拉伸来生成一个协调的实体网格。“分割线”如图 20.2 所示，而产生的两个面则在图 20.3 中给出。

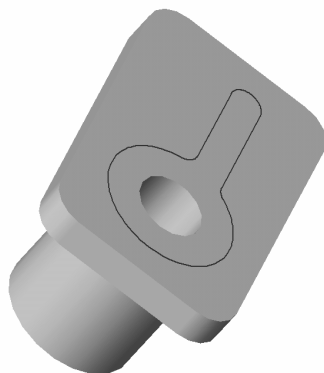


图 20.2 在基底表面上建立两个面的分割线

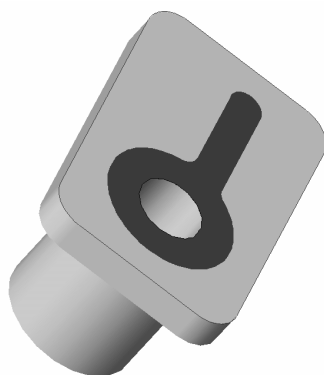


图 20.3 通过图 20.2 的分割线建立的两个面

此时这个几何模型可以做为 IGES 或 ACIS 格式文件输入到 Strand7 中。另外，要得到用于有限元分析目的 CAD 模型时，应该删除不需要分析的各种特征(例如一些纯粹用来装饰的特征和不重要的细部特征)。

输入和剖分 CAD 模型

图 20.3 中的模型包含在文件 “ExtrudedBlock.IGS”中。图 20.4 显示了输入到 Strand7 后的模型。

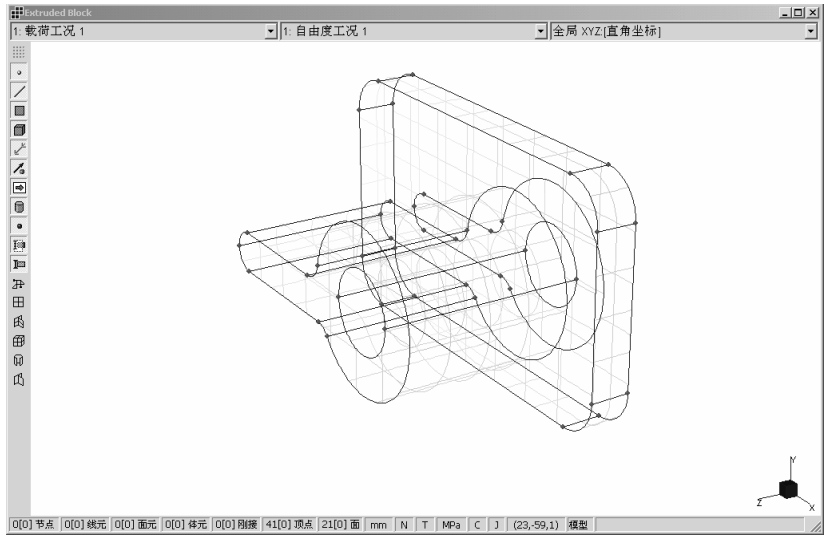


图 20.4 输入的 CAD 几何模型

按照下列步骤，用面网格剖分工具对模型的底表面进行面网格剖分：

1. 选择模型底表面上的两个面；
2. 执行 工具[Tools]→网格自动剖分[Automeshing]→面网格[Surface Mesh]；
3. 确定 最大边长[Maximum Edge Length] 为 3%；
4. 在 目标单元[Target] 标签下，选择 Q4 面元[Quad 4] 并设置 面号[Face number] 为 面元性质[Plate properties]；
5. 在 待剖分面[Faces] 标签下，选择 在图形界面下选择[Selected Graphically] 来保证只有已选的面才被剖分；
6. 点击 剖分[Mesh]。

图 20.5 显示了面网格剖分结果以及几何图。

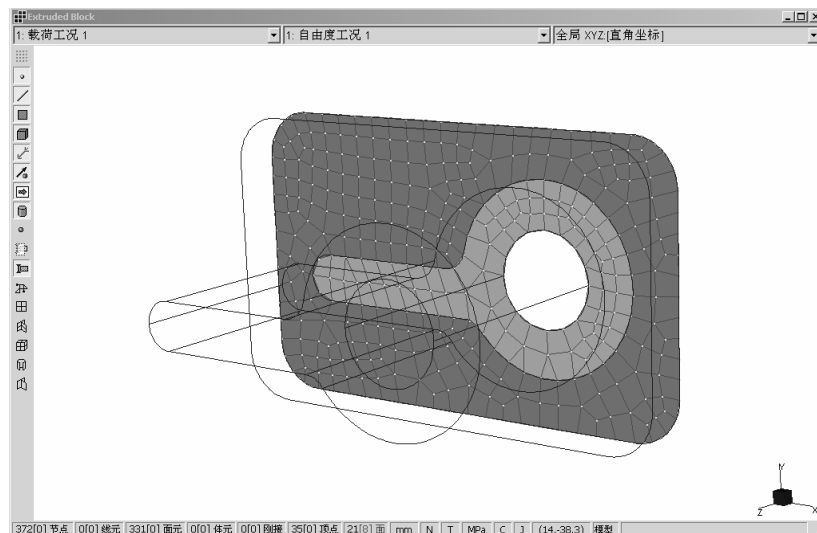


图 20.5 剖分后的底表面

现在准备对表面网格进行拉伸。拉伸增量可以通过当鼠标移过一个面边时，按下 **shift** 键得到。这时将弹出 实体查询窗[Entity Inspector] 对话框来显示边的长度。注意保证 面显示状态[Toggle Face Select] 处于激活状态。对于现在的模型，基底的厚度是 10 毫米，圆凸厚度为 40 毫米。基底的表面沿厚度方向拉伸四次，形成四层，每层厚度为 2.5 毫米。在这个示例中，拉伸方向为 Z 轴的正向。拉伸的步骤如下(图 20.6):

1. 选择底表面上的所有面元;
2. 执行 工具[Tools]→拉伸[Extrude]→用增量[by Increments];
3. 在 Z 方向确定拉伸增量为 2.5 毫米;
4. 确认拉伸次数 重复[Repeat]为 4 次;
5. 在 源[Source] 选项下选择 移动[Move];
6. 选择 保持选择[Keep Selection box];
7. 点击 应用[Apply]。

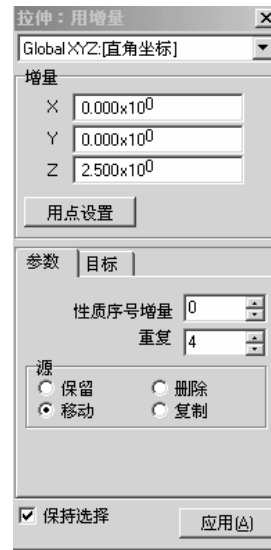


图 20.6 用增量拉伸对话框

图 20.7 使用体元和几何图显示了上述操作步骤的结果。注意，上述操作保留了用来建立表面的面元。圆凸位于连接面上的面元将用来拉伸形成圆凸，而其它面元不再需要。这些面元可通过 根据性质选[Select by Property] 功能在解除圆凸面元的选择后全部删除。

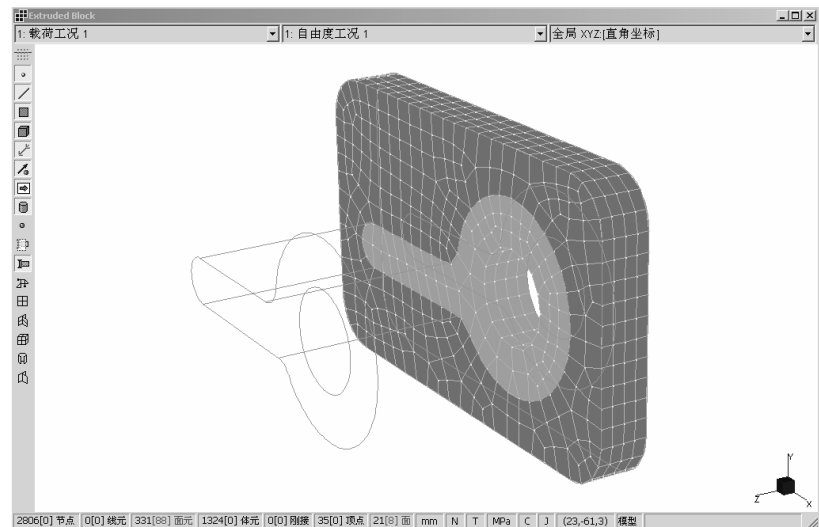


图 20.7 拉伸后的基底网格

这样圆凸的面元可以拉伸形成圆凸。使用与拉伸形成基底同样的步骤形成圆凸。拉伸后的圆凸部分除了底层外共有五层。图 20.8 显示了生成的体网格图，网格主要由六面体组成。

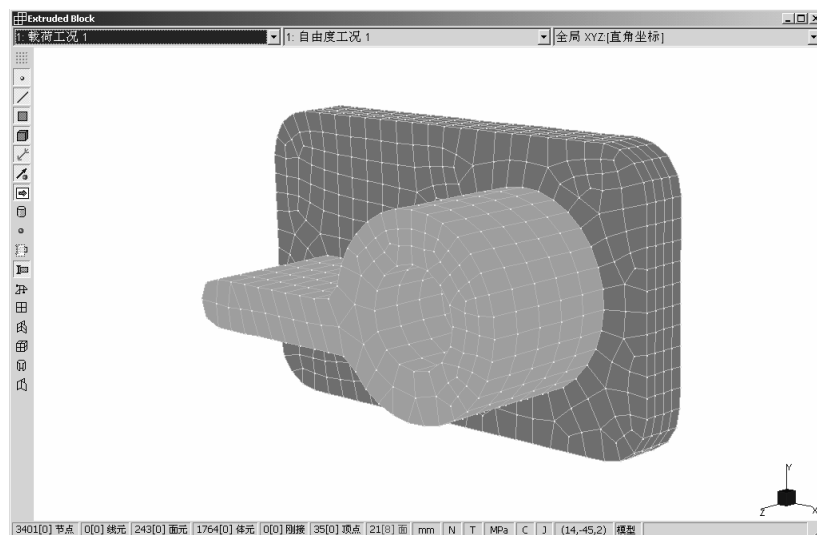


图 20.8 完整的体元网格

第 21 章

辅导 10: 清理输入的几何数据

概述

本章通过展现输入 CAD 数据时常遇到的问题，着重讨论网格自动剖分前所做准备工作的重要性。同时讲解 Strand7 的几何清理工具和其它一些技术的应用。这里使用的 CAD 文件为 “water tap.IGS”，“sheet metal.IGS” 和 “bracket.IGS”。

例 1: 水龙头

图 21.1 为在 CAD 环境下渲染显示的水龙头几何模型图。

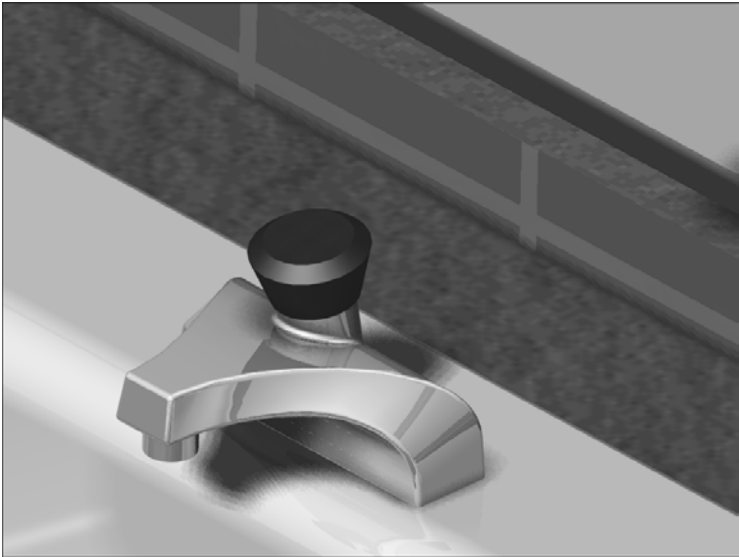


图 21.1 家用水龙头的 CAD 模型

输入到 Strand7 的模型如图 21.2 所示。

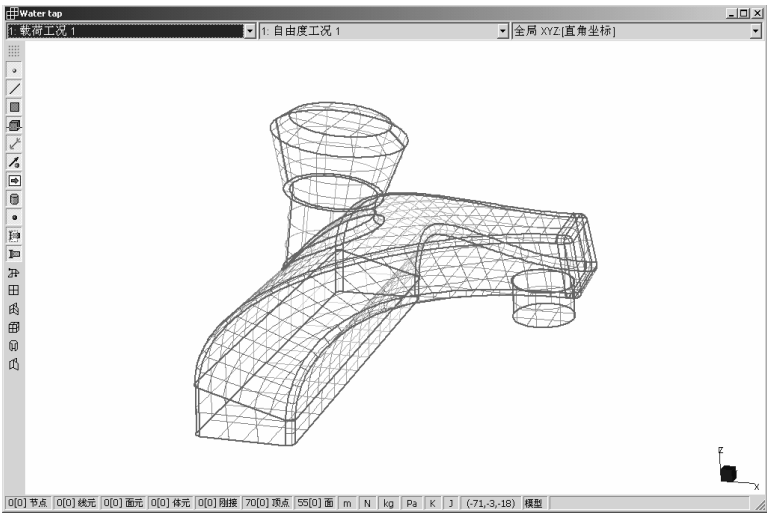


图 21.2 输入的几何图

这个 CAD 模型包括不同类型的 CAD 实体。亦即，在圆锥表面和平面上的几何面及 B-样条曲面。可以用 显示[View]→根据性质显示[Show by Type] 工具来分别显示各个实体。图 21.3 给出用平面和 B-样条显示的模型图。

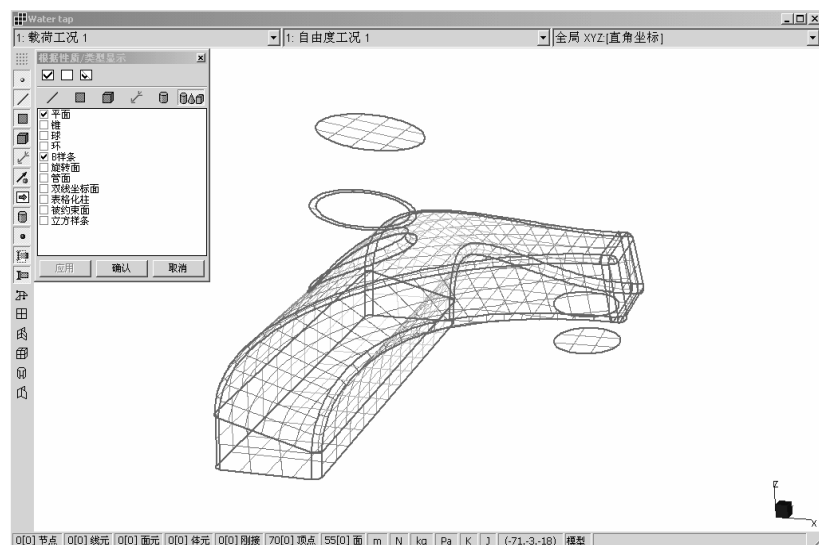


图 21.3 使用根据性质显示只显示 B-样条面和平面

获得实体的基本信息和确定实体类型的快速方法是通过 实体查询窗[Entity Inspector]。按下 Shift 键就可得到光标下任何实体的信息。图 21.4 显示的是使用这个功能查询水龙头嘴下表面的情形。这里，实体查询窗给出了模型中第 47 个面的信息，它是一个 B-样条面。检查窗也给出了最近的边(边 47)的长度。

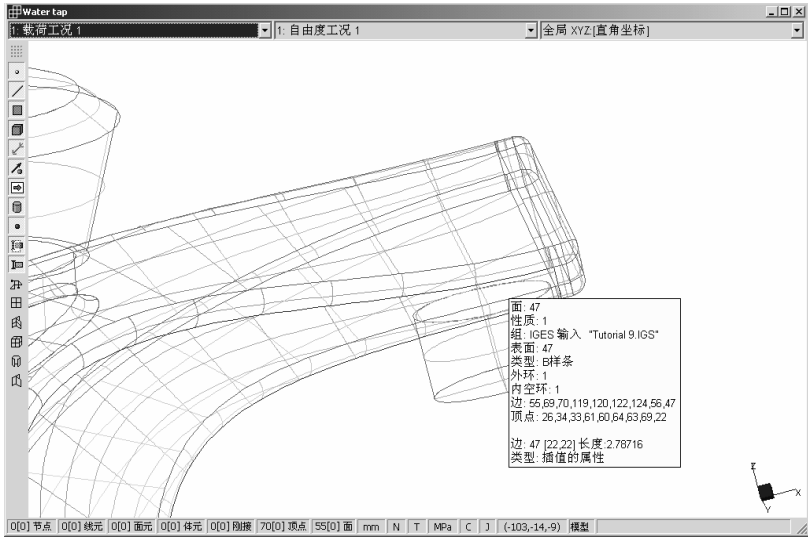


图 21.4 实体查询窗的使用

同其它成功输入到 Strand7 的几何模型一样，可以立即用 面网格剖分工具对模型进行面网格剖分。图 21.5 的网格是用一个 相对最大边长 [Maximum Edge Length] 为 10%来建立的。但是，对于有限元分析来说，这是一个无效网格。通过点击 显示面元自由边[Show Plate Free Edges] 按钮，可以看到如图 21.5 所示的多个自由边。图 21.6 放大显示了对不连续面进行网格剖分后的网格不协调性。这些不协调性是因为面之间没有共用边造成的。

网格剖分操作可以利用 撤消[Undo] 功能取消，只需简单地执行 编辑[Edit]→撤消[Undo]。输入的几何模型的自由边可以通过点击 显示面自由边 [Show Face Free Edges] 工具来找到，如图 21.7 所示。

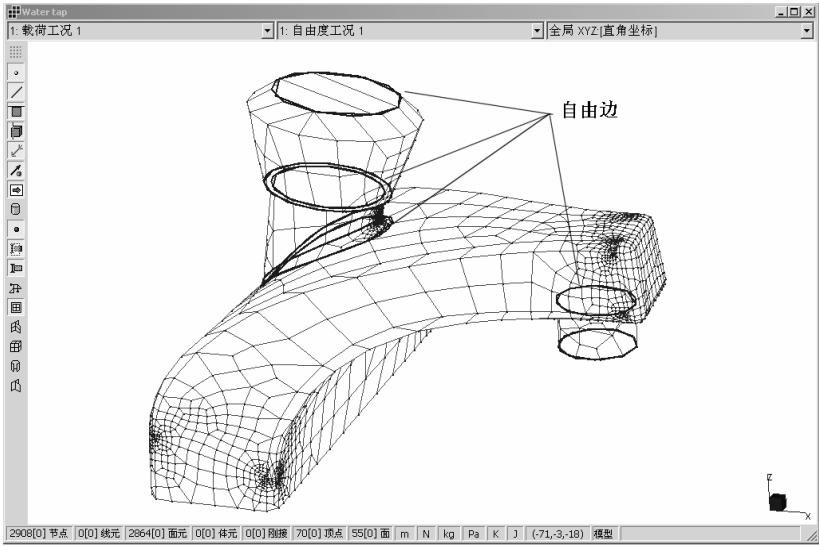


图 21.5 带有自由边的网格图

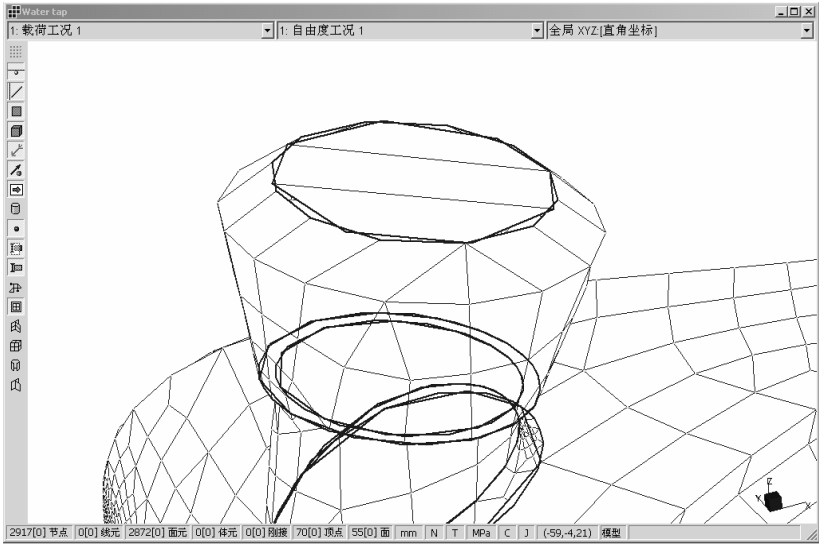


图 21.6 网格的非协调性

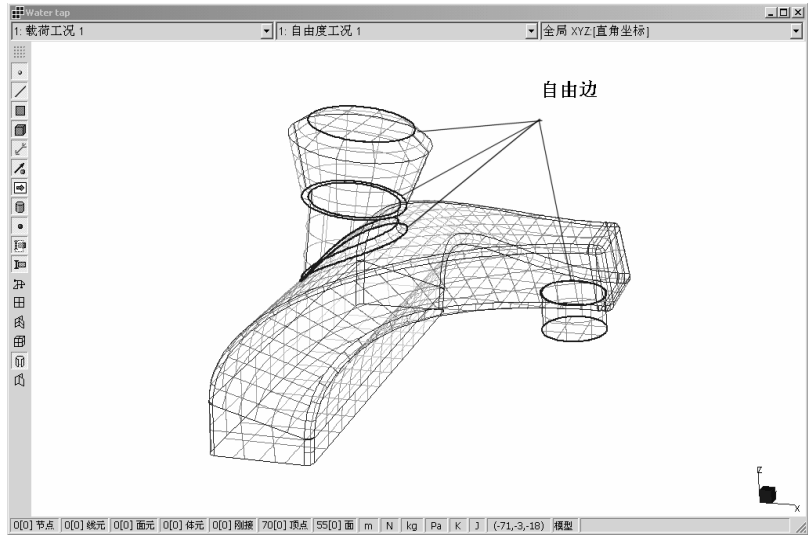


图 21.7 几何模型的自由边

如果希望网格剖分操作产生一个完全协调的网格，必须删除图 21.7 中显示的自由边。可尝试在缺省设置下使用 清理几何[Clean Geometry] 功能来清理自由边。但是对于现在的问题，我们根据从模型中获得的信息来设置 最小边长[Minimum Edge Length]。通常因为表面上的“切口”产生的自由边很小，以及那些不想要的特征相比于模型总体尺寸的比例也很小，缺省设置对大多数模型来说是足够的。但实际情况总有例外，有时输入的几何模型可能含有尺度比缺省设置最小边长大的缺口。而这意味着采用缺省设置时，清理几何工具不能把缺口缝合。输入的几何模型也可能包含比缺省设置最小边长小的特征。在这种情况下，这些需要的特征可能在清理几何过程中被扭曲或删除。如果你不能肯定缺省设置的最小边长是否正确，你可以手工检查模型中的细小几何特征的长度。可以激活 统计[Statistics] 显示窗口来获得一个几何模型的所有边的最小长度。图 21.8 显示了水龙头模型的统计数据。

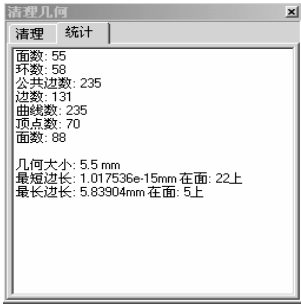


图 21.8 水龙头模型的统计数据

从图 21.8 的统计数据可以看到，最小边长极小。如果要在模型中保留所有特征，那么整个模型可以用一个比最短的边长小的绝对值做最小边长 而安全地进行清理。然而，这个短边可能是一个不需要的特征，现在的模型正是属于这种情况。此情况下，使用 实体查询窗[Entity Inspector] 手工找到最小边以继续实行清理操作。图 21.9 显示了用来检查一个水嘴末端小面边长的实体查询窗。

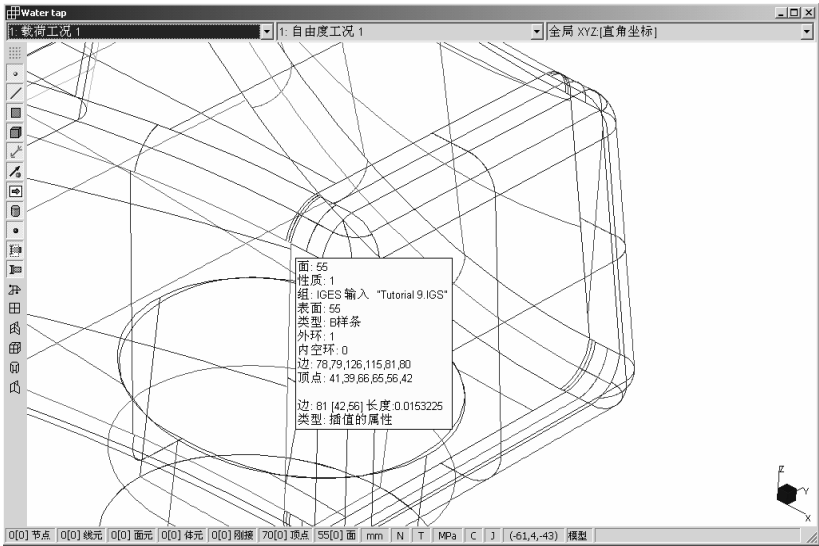


图 21.9 用实体查询窗来找到一个小特征的边长

基于从统计数据图和实体查询窗上获得的信息，整个模型可以使用最小边长为 0.01 来进行几何清理。但是，清理操作完成后，在水龙头的管口仍保留有两个自由边。这表示两个自由边的间隙比所要的最小特征的边长大。因此，为了指导清理几何工具缝合仍保留的自由边，要求一个更大的 最小边长。注意这时把清理操作限制在所选择的边上。可以按下列步骤完成以上任务：

1. 如图 21.10 选择与现在自由边相邻的面；
2. 执行 工具[Tools]→清理[Clean]→清理几何[Geometry]；
3. 确定一个 最小边长度[Minimum Edge Length] 为 0.02 (保证这个值比所选择面的边长小)；
4. 在 作用于[Act on ...] 选项下选择 已选部分[Selected only]；
5. 点击 应用[Apply]。

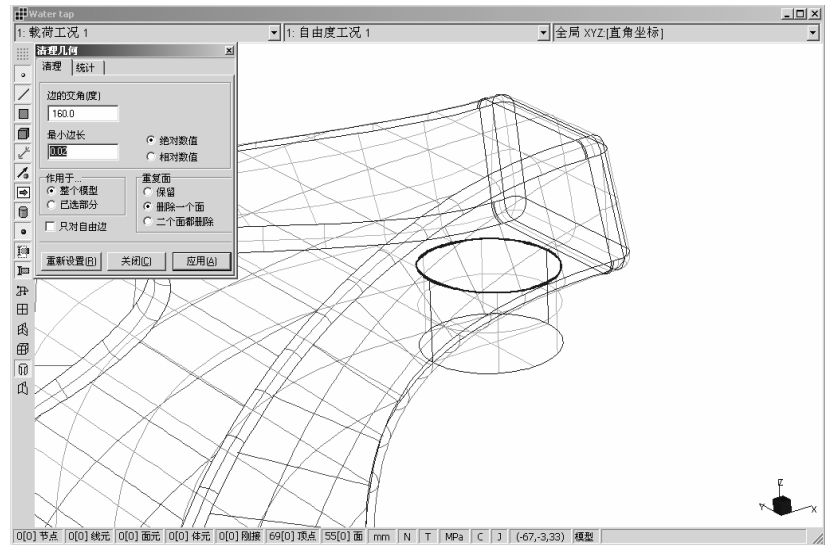


图 21.10 在自由边周围选择的面

在所有的自由边移去以后，几何模型便可以用来进行网格剖分了。使用 最大边长[Maximum Edge Length] 3% 和 Q4 面元 做为 目标单元 [Target] 可产生如图 21.11 所示的网格。

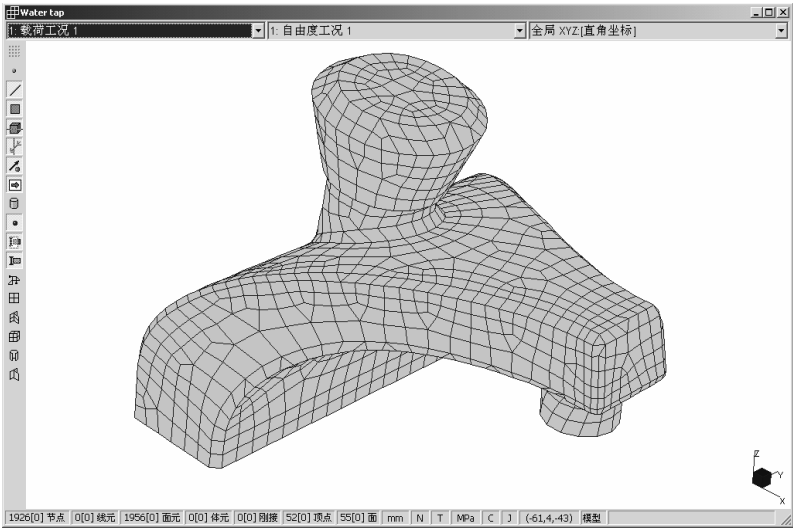


图 21.11 剖分后的模型

例 2: 金属片

图 21.12 为一个金属片的几何图形，它由两个独立的几何面组成。图中显示了模型的框线、顶点和自由边。注意，如果用于有限元分析，几何模型是无效的，因为在两个面之间有自由边(沿模型周边的自由边是可以预料到的，因为这是一个面元模型)。另外，还有一些与网格剖分无关的顶点。采用缺省设置对几何进行清理。

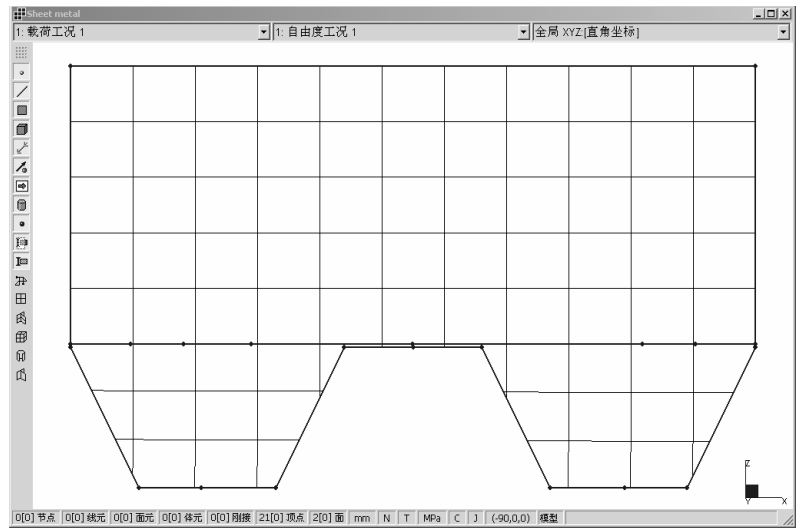


图 21.12 金属片的几何图

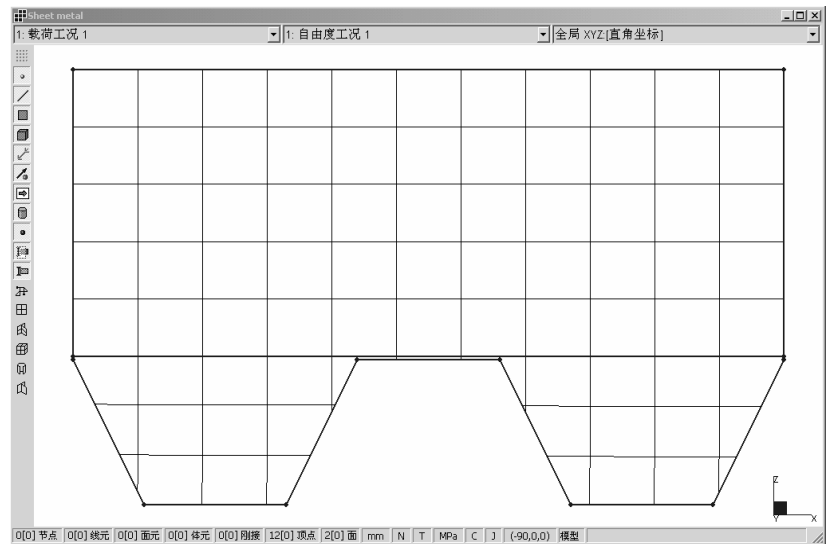


图 21.13 清理后的几何

图 21.13 给出了清理后的金属片几何模型，它现在只有一个沿着外边界的自由边。注意中间的顶点已被删除。这个几何模型可以用来进行网格剖分。图 21.14 给出了使用最大边长为 4%进行剖分的结果。

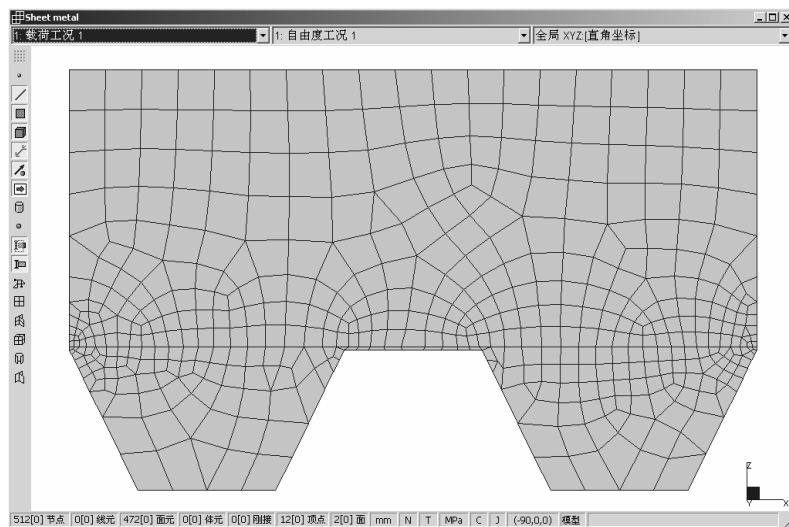


图 21.14 剖分后的模型

在网格中，可以发现在连接两个几何面的边界上有一排九个纵横比很大的单元。这些单元产生于一个非常狭窄的区域。由于这些单元纵横比较大且相对于相邻单元的尺寸急剧变化，这个区域的计算结果精度不会太高。这种情况可以通过几何清理来避免，即清除金属片下端几何面中连接两个大区域的狭带，也即把这个几何面转化成两个独立的面而同时保持几何外部尺寸。实施这个操作时，要知道狭长部分的宽度。在这个算例中，这个宽度是这个几何面倒角附近的最短边。图 21.15 用 实体查询窗[Entity Inspector] 显示这个边长的信息。

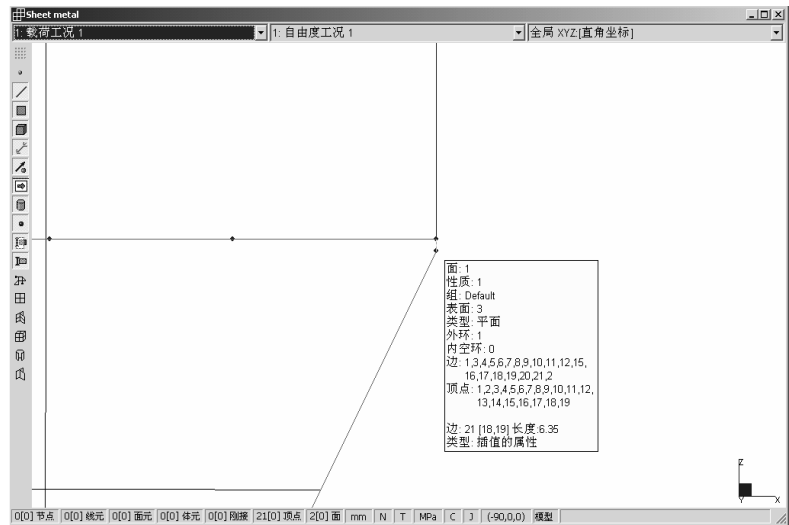


图 21.15 显示边长的实体查询窗口

最短边的长度为 6.35。为了删除这些狭窄区域内的边，使用比这个值大的 最小边长[Minimum Edge Length] 进行几何清理。图 21.16 显示使用最小边长为 6.5 时的几何清理结果。可以看到现在清理操作把一个几何面分成了两个。

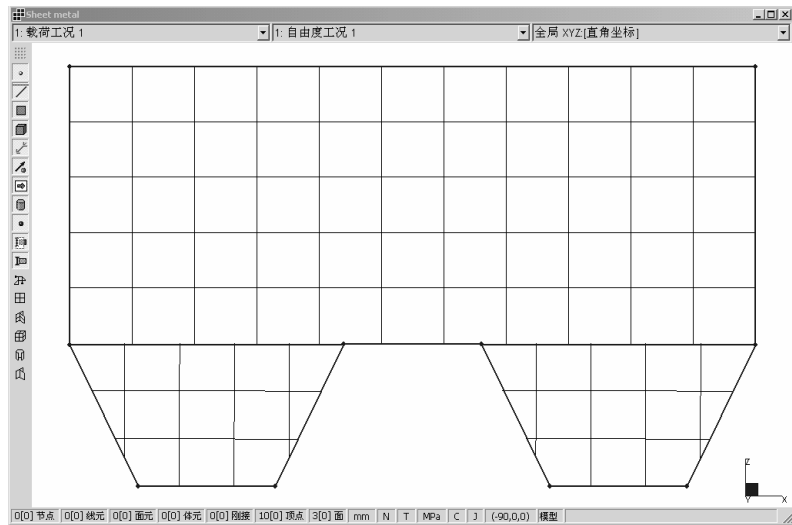


图 21.16 狭窄区域删除后的几何模型

用与前面自动剖分相同的设置来对图 21.16 的几何模型进行网格剖分, 图 21.17 为剖分结果。这个网格不带有纵横比大的单元, 因此, 更适合用来进行有限元分析。

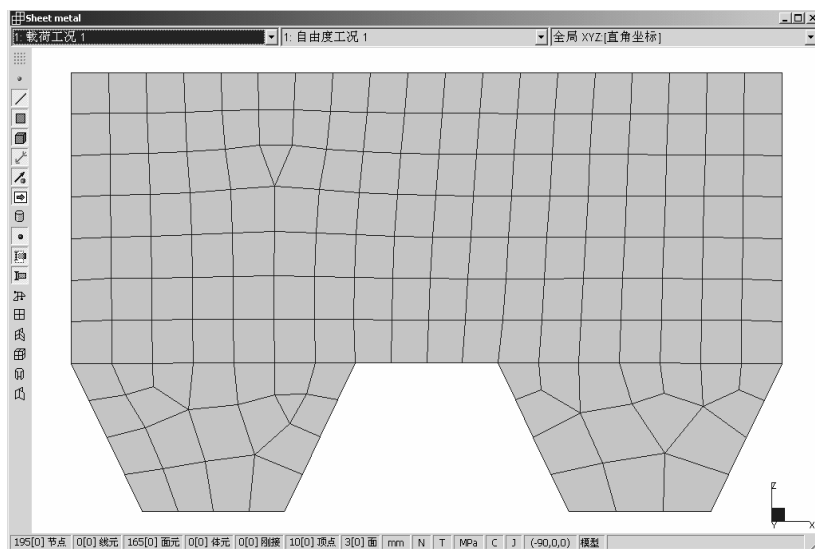


图 21.17 剖分后的模型

例 3: 压花支架

图 21.18 是一个带有三个孔的压花支架的实体模型。该 CAD 文件为 “Bracket.SAT”。输入到 Strand7 后的模型如图 21.19 所示。输入的几何模型包含两个额外的圆柱体。在原始模型里，它们是用实体圆柱插入的孔，故未在 CAD 渲染图中显示。出于分析的目的，这种插入的孔必须删除。除此而外，压花部分也是分析时不必要的，也需要删除。



图 21.18 支架的 CAD 模型

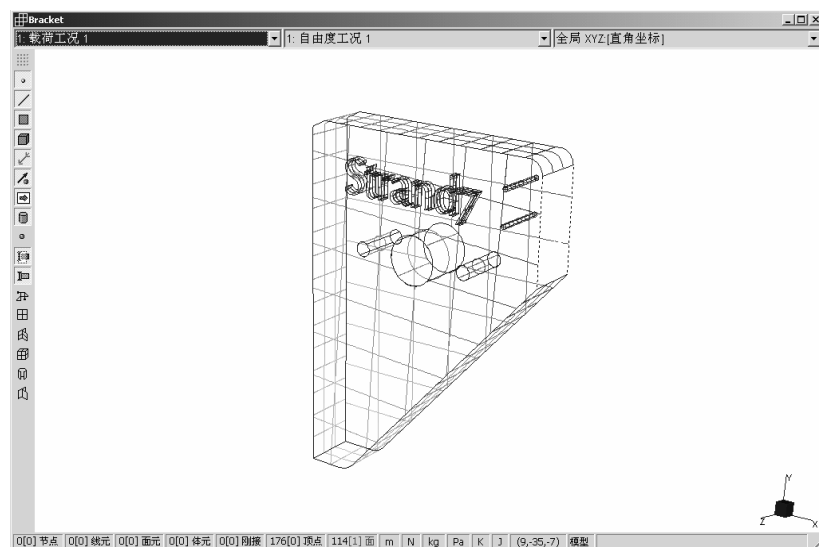


图 21.19 输入的支架几何模型

可先删除代表插入孔的圆柱面。操作过程是：首先确认 面选择状态[Toggle Face Select] 按钮是被激活的，然后再选择实体并按 **Delete** 键。然而定义这两个插入孔的孔边的圆环(这些圆环位于支架的两个面上)不能够这样轻易而举地删除。现在通过选择包括这些圆环的整个面来进行删除操作。在主工具按钮条上右击 面选择状态 按钮，将有两个图标出现来提示是要选择几何面还是要选择几何环。使用后一个选择来选择圆环或其它内环(这些内环用来构成一个面的一部分)。删除圆环的操作包括：激活环选择状态按钮，选择这些圆环并按 **Delete** 键。图 21.20 显示的是只有这些环处于被选中状态时的情形。

➔ 右击 面选择状态
[Toggle Face Select] 按钮，选择面[Face]或环[Loop] 做为目标类

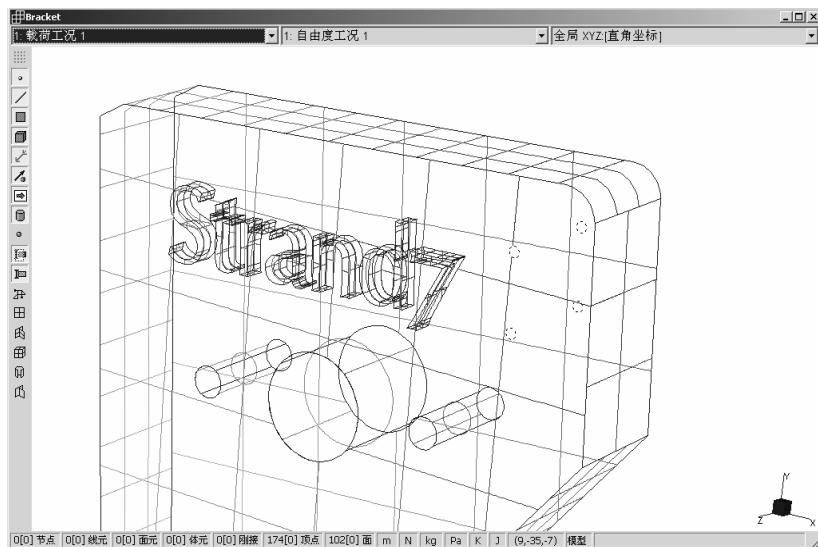


图 21.20 利用环选择状态来选择插入孔的圆形端部

可以通过手工选择构成压花的每个面来移去压花，但这是个费时的过程。我们可以用 选择连通实体[Select Connected Entities] 功能加速操作。由于压花是连接到支架上的，选择与压花相连的所有实体意味着选择整个模型。为了避免这个问题，可通过不显示压花所连接到的面而将选择连通实体功能只作用于画出的实体。选择一些面，至少包括与压花相连的面，并点击 隐藏被选的[Hide Selected] 切换按钮。图 21.21 为执行后的结果。

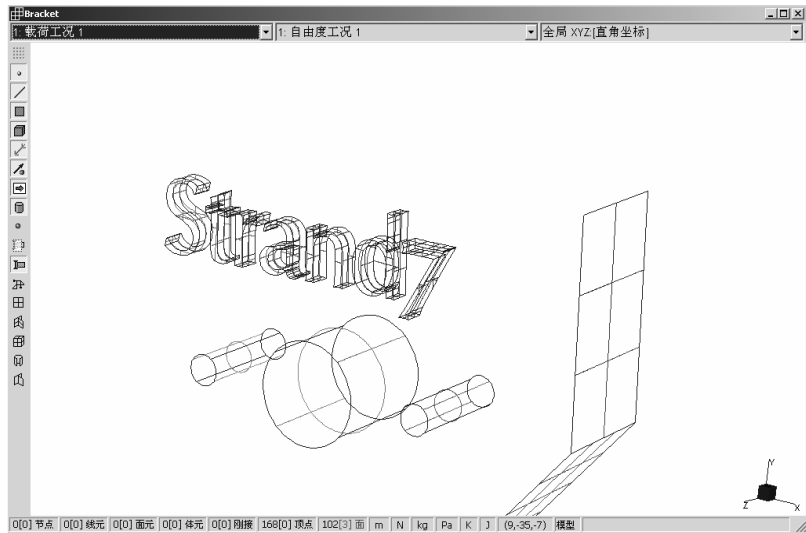


图 21.21 隐藏选择的面后的几何模型

此时便可只在压花实体上实施选择连通实体功能。点击 **选择连通实体** 切换按钮，将弹出一个对话框提示你选择已指定的实体类型[Entity Typ]的 主控实体[Master Entity]。注意，采用缺省设置时，选择连通实体功能不考虑隐藏的实体(而这正是我们本例中所需要的)。当选择了压花中一个字母的任意面后，点击 **应用[Apply]** 来选择与它相连通的所有实体。这个操作将选择整个字母，通过按 **Delete** 键来删除这些已选的实体。图 21.22 是选择连通实体对话框以及选中一个压花字母之后的情形。

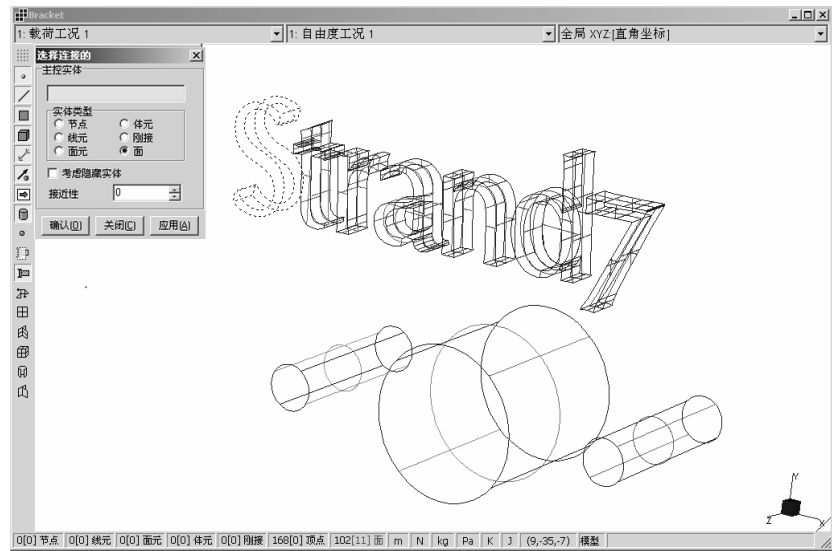


图 21.22 用选择连通实体功能来选择压花字母

一旦所有的压花字母都被删除，切换 显示/隐藏选择的实体 [Show/Hide Selected Entities] 按钮来重新显示被隐藏的支架面。如图 21.23，显示压花连接到的面后可看到删除压花后的轮廓线。这些轮廓线可以通过激活 面选择状态[Face Select]的 环[Loop] 来进行选择并删除。图 21.24 给出了删除操作完成后的模型。

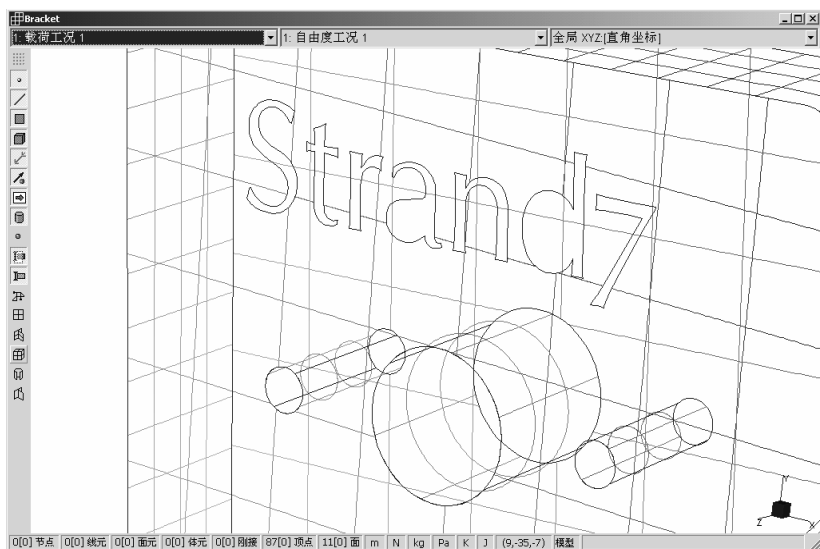


图 21.23 移走压花部分后的边线

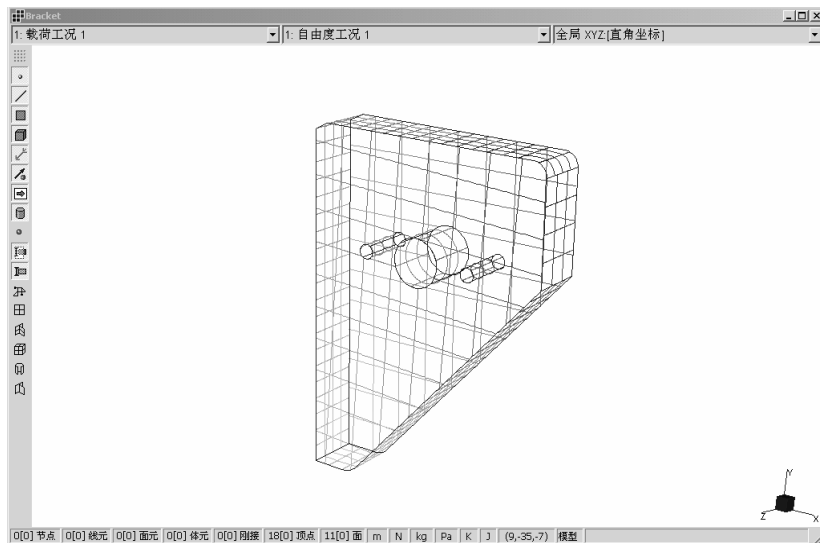


图 21.24 删除不必要特征后的完整模型

附录 1

Strand7 的优化配置

屏幕设置

Strand7 可在任何屏幕分辨率和颜色设置下工作。然而，要舒适地操作，建议至少用 1024×768 的分辨率。而为了显示的清晰，建议用 16 位增强色，此时屏幕可显示约 65,000 种颜色。

要支持这种显示模式，必须用至少 2MB 的显示卡。建议使用不小于 15 英寸的显示器。

在 Windows 中，屏幕分辨率和颜色可按下面步骤设置：

➔ 如果你有一个较大的屏幕 (17 英寸或更大)，建议用 1280×1024 分辨率。对 Strand7，颜色设置不必超过 16 位。

1. 从开始[Start]按钮，选择设置/控制面板[Setting/Control Panel]；
2. 双击显示[Display]图标；
3. 选择设置[Setting]标签；
4. 设置颜色为增强色(16 位)，分辨率为 1024 × 768 像素；
5. 确认[OK]。

临时文件

➔ 如果在 Strand7 运行时，系统或 Strand7 停止工作，则可能有一些不必要的临时文件仍保留在临时文件夹中。这些文件具有“tmp”的扩展名并且文件名以“~”开头(例如：~tmp12.tmp)。只要 Strand7 不是处于运行状态，就可以删除这些文件。通常应定期检查并清理临时文件夹。

➔ 注意在 文件[File]→设置选择[Preferences] 中的清理[Clean] 按钮可用来删除不再需要的临时文件。

Strand7 在运行过程中，会建立各类临时文件 (称之为“scratch files”)。这些文件由 Strand7 在运行结束时自动删除。把临时文件放在与计算机直接相连的最快的驱动器中运行非常重要，尤其对求解阶段更是如此。注意网络驱动器不适于这项工作，所以要避免使用。不过可以用网络驱动器存贮你的模型数据(例：ST7 文件)和 Strand7 程序。如果使用 Windows NT，建议用 NT 文件系统(NTFS)；如果使用 Windows 95/98，建议用 FAT32。

当安装一个单机版本的 Strand7 时，临时文件夹缺省路径为 Strand7 安装文件夹下的 tmp 子目录(例：“C:\Program Files\Strand7\tmp”)。对网络版，临时文件夹设在 Windows\Temp 中。

要改变临时文件的位置，从 文件[FILE] 菜单中指向 设置选择 [Preferences]，然后用通常的点击文件夹图标的方法选定一个新的位置。

Windows 的虚拟内存

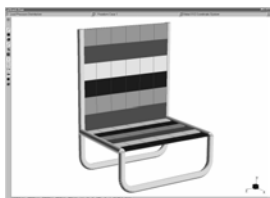
Windows 通过所谓的交换文件[swap file]进行其虚拟内存管理，这意味着应用程序使用的内存可以超过计算机实际物理内存。Strand7 尽量不使用 Windows 的交换文件，并且在 Windows 交换文件不太大时运行得最好。一般来说，你应固定交换文件的大小，大约为计算机物理内存总量的 2 倍，最高可达约 2GB。固定交换文件长度比由 Windows 管理效率会高一些。虚拟内存可通过控制面板中的系统图标来设置，有关虚拟内存的更多信息可参考 Windows 文档。

附录 2

模型实例

Strand7 的 Samples 子文件夹中有一些数据文件，其中包括可用来运行和进行后处理的 Strand7 模型及可输入到 Strand7 并进行网格自动剖分的 CAD 文件(IGES 和 SAT 格式)。每个模型都用来重点说明 Strand7 的一个或多个特定功能，或演示怎样来进行某种类型的分析。

1. 沙滩椅分析



Beach Chair.ST7

概要

分析一个由编织面料和木框架构成的沙滩椅，以评定它是否能够承受一个中等身材的人的体重荷载。

模型描述

用梁单元模拟木框架，用 三维膜元[3D Membrane] 模拟编织椅面。三维膜元具有预拉力，所以在侧向有一个初始刚度，这有助于解的收敛。荷载为施加到膜单元上的面元法向压力。

使用的求解器

要分析的情况属非线性问题，因此需用非线性静力求解器。本题演示了自动荷载步调整功能的使用。

观察结果

打开结果文件并设置 位移比例[Displacement Scale] 为 按实际值缩放 1.0 [Absolute Scale 1.0]。接下来生成动画显示，以查看满载时膜的实际变形。

2. 六层建筑物分析



Building.ST7

概要

对一栋六层建筑物进行静力分析，考虑恒载(重力)、楼面活载和风载。此外，还对建筑物进行抗震分析。

模型描述

混合使用面元和线元来建立建筑物模型。立柱采用梁元，而楼板、电梯井和圈梁等用面元。模拟圈梁的面元有一定的 偏移量[Offset]。

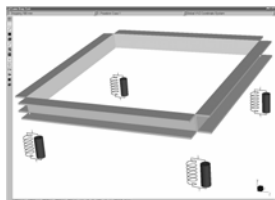
使用的求解器

本题需要使用线性静力、固有频率和谱响应求解器。其中固有频率分析必须先于谱响应分析进行，因为谱求解器需要结构的频率和特征向量(模态)。

观察结果

需要研究楼板、梁和立柱中的最大弯矩。对楼板(面元)，可以用 图形[Graph] 功能在面元上任意方向对一特定荷载工况绘出弯矩分布图。梁上和立柱上的弯矩也可使用 查询[Peek] 功能或通过等值线的绘制来显示。

3. 钢架下落试验



Frame Drop Test.ST7

概要

一个倾斜的钢架从某一高度下落到一组弹簧阻尼器上。分析用来确定适当的粘性阻尼值从而使结构在 2 秒内趋于静止状态。假定弹簧是非线性的。

模型描述

用四个弹簧/阻尼器[*Spring/Damper*]线元模拟弹簧和阻尼系统。可通过输入四个与实际弹簧相对应的力-位移特性曲线到一个表格中，并指定其为性质数据来反映弹簧的非线性特点。框架和弹簧/阻尼间的接触使用具有 零间隙[Zero Gap]的点接触[Point Contact] 线元来模拟。

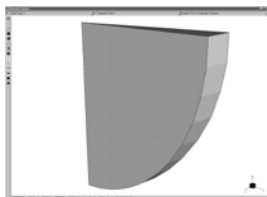
使用的求解器

这是一个与时间相关的非线性问题，所以需要使用非线性瞬态动力求解器。

观察结果

当求解完成时，打开结果文件并设置 位移比例[Displacement Scale]按实际值缩放 1.0 [Absolute Scale 1.0]，建立动画文件来观察框架下落与弹簧/阻尼系统接触的过程。

4. 球体和刚性平面的赫兹接触问题



Hertzian Contact.ST7

概要

一个与刚性平面相接触的弹性球承受竖向荷载作用，分析用来计算接触半径和接触区的应力。

模型描述

利用对称性，对球的 10 度扇形区域用 H8 和 W6 体元来建模。在截面上和球的中轴上指定边界条件。与刚性平面的接触，用 零间隙点接触[Point Contact] 线元来模拟。荷载施加在代表球中心的节点上。用 主—从[Master/Slave] 刚接来使顶部平面内所有节点的竖向位移与中心点(即施加荷载的节点)位移相同。

使用的求解器

本题是非线性问题， 因此需要使用非线性静力求解器。

观察结果

打开结果文件并设置 位移比例[Displacement Scale] 为 实际值缩放比 1.0[Absolute Scale 1.0]。从 结果设置[Result Settings] 中，选择显示 屈雷斯加[Tresca] 应力等值线图。建立动画来观察变形与接触区域的应力状态的变化。使用 查询[Peek] 工具确定接触半径。

5. 木桩的动力分析



Pylon.ST7

概要

埋入沙地中的木桩用于固定船缆绳，分析用来确定桩在船的漂移荷载作用下的结构强度和稳定性。

模型描述

用线元对立柱建模，用单个悬索单元对缆绳建模。立柱的约束通过对立柱底部施加 线元(Beam)→支撑[Beam Supports] 来模拟。船的运动用对悬索端施加强制位移(用节点约束)的方法来模拟，并通过系数对时间表来确定位移的变化。

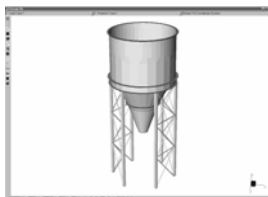
使用的求解器

模型是一个与时间相关的非线性问题，因此需要使用非线性瞬态动力求解器。因为使用了 悬索[cable] 单元，分析必须在 几何非线性 [Nonlinear Geometry] 选项下运行。

观察结果

求解完成时，打开结果文件并设置 位移比例[Displacement Scale] 为按实际值缩放 1.0[Absolute Scale 1.0]。从 结果设置[Result Settings] 中选择显示弯矩图。同样检查立柱中的主应力及悬索中的拉应力，最后，建立动画文件以查看立柱和悬索在荷载施加过程中的运动情况。

6. 储煤罐分析



Storage Bin.ST7

概要

分析一个储煤罐以评定其结构设计是否完善。结构分析中考虑活载并按 AS3774(澳大利亚国家标准)中给出的荷载系数对荷载进行修正。分析中必须考虑由仓壁与储料之间摩擦产生的剪切荷载。

模型描述

用面元和线元对仓体建模。用面元的 面剪应力[Plate Face Shear] 属性来施加仓壁上的剪切荷载。由于结构是柱状的，面元的局部坐标定义为局部的 y 轴与整体 Y 轴相一致，局部 x 轴指向环向。

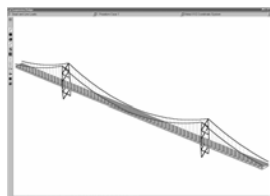
使用的求解器

本题需要使用线性静力和线性稳定求解器。

观察结果

根据结构的几何形状，用面元的局部坐标系来观察应力更合适(即： σ_{yy} 和 σ_{xy})。

7. 悬索桥的固有频率分析



Suspension Bridge.ST7

概要

计算在恒载(重力)和活载(3kPa 压强)共同作用下悬索桥的固有频率。为了得到正确的频率值，在固有频率分析中必须考虑悬索内应力对结构刚度的强化影响。

模型描述

用线元对桥的上部结构和塔柱进行建模。悬索和吊杆用只承受张力的限值杆[Cut-Off]来建模。桥面用面元来建模。

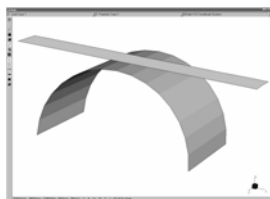
使用的求解器

本题使用固有频率求解器。在运行固有频率求解器之前，需要运行非线性静力求解器以计算由于恒载和活载引起的强化影响。接下来可将初始条件[Initial Conditions] 设置为非线性静力解的最后一步来运行固有频率求解器。

观察结果

打开结果文件并设置 位移比例[Displacement Scale] 为 1%。接下来用 多视图[Multi View] 功能同时显示所有模态。最后建立动画以便更好地了解桥的振动情况。

8. 金属板成形过程分析



Sheet Forming.ST7

概要

通过在一个半圆模上锻压来形成一个弯曲的铝板。要进行结构分析以确定所需的荷载以及卸载后铝板中的残余塑性变形。

模型描述

用板/壳[Plate/Shell] 单元对铝板和圆型冲模建模，荷载是线性变化的法向面压力。铝板和模之间的接触用 点接触 [Point Contact] (零间隙) 线元建模。在点接触线元性质对话框中应选择 动态刚度[Dynamic Stiffness]、第一次迭代时使用[Use in First Iteration] 和 更新方向[Update direction] 选项。通过将应力—应变表连接到面元的性质数据中来反映铝板的非线性特性。

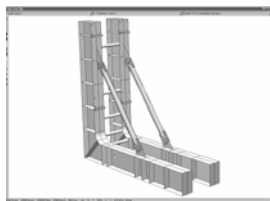
使用的求解器

本模型代表的问题是非线性的，需用非线性静力求解器。在荷载循环的最后，将完全卸载。求解之前，确认 几何非线性[Nonlinear Geometry]和 材料非线性[Nonlinear Material] 及 包括[KG][Include[Kg]]选项已被选择。

观察结果

求解完成时，打开结果文件并设置 位移比例[Displacement Scale] 为按实际值缩放 1.0[Absolute1.0]。建立动画文件来查看铝板沿模具碾压然后释放的运动过程。铝板由于发生塑性变形而不会回复到它的原始形状(亦即：有一定回弹但不足以恢复到初始形状)。

9. 铲车铲头试验台的分析



Tine Test Rig.ST7

概要

在对铲车铲头的安全负荷进行必要的效验时，需要一个安装在压缩试验机上的专用试验装置。必须对这种试验装置进行应力分析以评定结构的整体性。试验装置的部分放在混凝土工作台上。

模型描述

用面元模拟焊接梁，用体元来模拟销杆，用 限值杆[Cut-off bar] 模拟试验装置的底部与混凝土表面的接触。

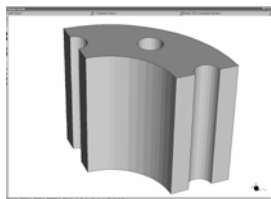
使用的求解器

由于使用了限值杆，所以要选用包含材料非线性选项的非线性静力求解器。

观察结果

我们需要查看结构的应力状态。当显示应力等值线图时，使用 同类性质平均[Average Same Property] 选项。这一均匀化技术能够考虑等值线图中应力的不连续，因此给出了在实际结构中真实应力分布的最为准确的结果。

10. 厚柱壳中的热传导分析



Reactor Vessel.ST7

概要

一个柱状混凝土壳用来封蔽核反应堆的内核，壳壁上有用来传输冷却液体的管状冷却孔。这里分析用来确定在 5 小时的时间范围内通过混凝土壳壁的热流量。最后，需要分析在整个冷却过程中圆柱的应力状态。

模型描述

利用对称性，只需对圆柱壳的四分之一进行建模。用体元来建立模型，在对称面的节点上施加对称边界约束条件。

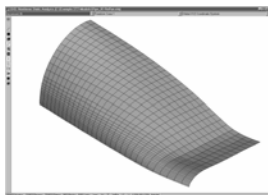
使用的求解器

本题的第一部分需用瞬态热传导求解器来确定在 5 小时流过管壁的热流量。再用非线性瞬态动力求解器来计算整个冷却过程中的应力状态。在运行非线性瞬态动力求解器之前，点击对话框内的 温度 [Temperature] 按钮并选择对应于模型的瞬态热传导结果文件。求解器将根据每一时间步的温度分布自动计算该步的应力状态。

观察结果

考虑到模型是混凝土结构，我们感兴趣的是最大拉、压应力。从结果设置[Result Settings] 中显示 σ_{11} 的等值线图来研究结构中的拉应力(最大拉应力应低于 3 MPa)。同样研究结构中 σ_{33} 的等值线图以确保最大压应力低于允许值(约为 20 MPa)。

11. 铝质空心圆管的弹塑性分析



Aluminium CHS.st7

概要

连结圆管结构部件的一种方法是将圆管端部压扁，然后与其它构件焊接起来。这一过程会在部件中引起残余应力。要评估残余应力及回弹量，需要进行非线性分析。分析时要考虑材料的弹塑性特性。

模型描述

因为几何外形和荷载都是对称的，只需其对四分之一部分建模。空心圆管的几何外形用板元建模，压扁过程用(零间隙)点接触[Point Contact]单元结合位移控制来模拟。接触单元位于被压扁部分的投影区域的上下两面，上边单元模拟挤压的过程，而下边的单元模拟管壁的接触。需要定义一个应力/应变表并连接到面元性质数据中。

所用的求解器

本题需用包括几何非线性[Nonlinear Geometry]和材料非线性[Nonlinear Material]选项的非线性静力求解器。

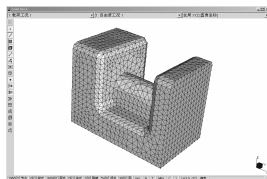
观察结果

对结构显示米赛斯应力的等值线图，并将位移比例设置为按实际值缩放 1.0[Absolute Scale 1.0]来建立动画文件。同时研究圆管的塑性变形量。

12. 网格自动剖分模型

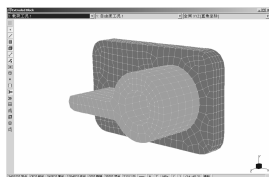
下面是在第 19 至 21 章网格自动剖分辅导中使用的 CAD 文件。

此文件在第 19 章中使用，演示怎样将一个三维实体模型输入到 Strand7，然后进行几何清理、面网格和实体网格自动剖分。

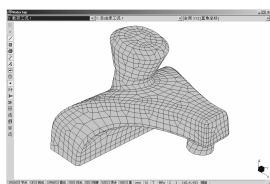


Solid Block.IGS

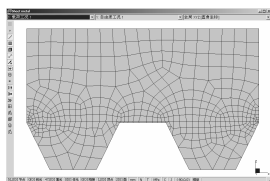
此 CAD 文件在第 20 章中使用，演示怎样联合使用网格自动剖分和拉伸工具来生成一个六面体居多的体元网格。



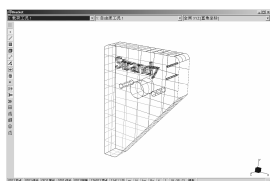
Extruded Block.IGS



Water Tap.IGS



Sheet Metal.IGS



Bracker.SAT

以下三个文件在第 21 章使用，演示使用 Strand7 中的一些工具对 CAD 模型常见的异常特征进行清理和修改。为了保证有限元网格的质量，这种清理操作是很关键的。

附录 3

参考书目

1. R.D. Cook, “Finite Element Modeling for Stress Analysis”, J.Wiley and Sons (1995).
本书提供了对有限元分析理论的基本介绍。通过数学推导和文字说明, 本书给出了许多关于建模技术和应用方面的实用的建议。
2. O.C. Zienkiewicz and R.L. Taylor, “The Finite Element Method”, Fourth Edition, McGraw Hill (1991).
一本高等有限元方法理论专著。虽然本书更适合于理论分析工作者而不是有限元分析人员, 但书中的一些基本理论有助于帮助 Strand7 用户更好地理解有限元法的技术细节。
3. B. Irons and N. Shrive, “Finite Element Primer”, J.Wiley and Sons (1983)
一本很好且实用的介绍有限元分析基本理论的书。本书的重点在于引导初学者熟悉有限元分析。
4. D.R.J. Owen and E. Hinton, “Finite Elements in Plasticity - Theory and Practice”, Pineridge Press (1980).
本书描述了有限元方法在求解弹塑性问题时的应用。尽管该书的重点在于数学理论和软件开发, 但它提供了一些有用的实例。
5. D.R.J. Owen and E. Hinton, “A simple guide to finite elements”, Pineridge Press (1980).
本书讨论了一维、二维结构分析的理论以及热传导问题的有限单元分析方法。
6. NAFEMS, “Background to Benchmarks” (1993).
本书是对软件和建模技术测试体系的基本介绍。书中讨论了有效分析的方法并特别列举了在有限元分析中的许多常见错误。本书有许多带理论解答的简例, 因此具有教学价值。Strand7 用户可用其来提高对有限元方法及程序的理解。

7. NAFEMS, “Guidelines to Finite Element Practice” (1992).
一本讨论许多常用分析和建模技术且可读性很强的书。它帮助读者对所有用于一般有限元结构分析领域的方法有一个初步理解。
8. NAFEMS, “A Finite Element Primer” (1992).
本书对有限元结构分析所有常见领域, 包括线性、非线性、动力和场问题等作了广泛的介绍, 涉及基本理论、建模技术、模型校验和有效性等。本书所需要的数学知识不很多, 值得推荐。
9. NAFEMS, “A Finite Element Dynamics Primer” (1992).
本书非常广泛而又深入地介绍了有限元动力分析。书中用到较少的数学知识, 因此简单易懂, 可帮助 Strand7 用户建立进行复杂结构动力分析的信心。
10. NAFEMS, “Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis” (1992).
本书是一本介绍非线性分析的广泛领域的优秀书籍。它涉及材料和几何两方面的非线性分析并讨论了其中所有的专门领域。在所有 NAFEMS 书中, 本书包含了一般的数学和理论内容, 而且在关于有限元的高度复杂分析领域方面, 它是一本可读的入门书籍。
11. R.D. Cook, D.S. Malkus, M.E. Plesha, “Concepts and Applications of Finite Element Analysis”, Third Edition, J.Wiley and Sons (1989).
本书通过数学推导和文字说明提供了对有限元分析理论的基本介绍, 给出了许多关于建模技术和实践方面的实用参考说明。
12. V. Adams and A. Askenazi, “Building Better Products with Finite Element Analysis”, First Edition, OnWord press (1999).
这是一本非常实用的书, 值得任何有限元分析人员阅读。

使有限元分析更简单。

Strand7 Pty Ltd

Suite 1, Level 5, 65 York Street

Sydney NSW 2000 澳大利亚

Tel +61 2 9264 2977

Fax +61 2 9264 2066

info@strand7.com

www.strand7.com

www.strand7.com