

集成化的通用结构分析与设计软件

**SAP2000®**

**案例教程**



北京筑信达工程咨询有限公司  
北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层,  
100043

Version 15  
2013-08



# 版 权

计算机程序 SAP2000 及全部相关文档都是受专利法和版权法保护的产品。全球范围的所有权属于 Computers and Structures, Inc. (中文版版权同属于北京筑信达工程咨询有限公司)。如果没有 CSI 和北京筑信达工程咨询有限公司的预先书面许可, 未经许可的程序使用或任何形式的文档复制一律禁止。

更多信息和此文档的副本可从以下获得:

北京筑信达工程咨询有限公司

北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层 100043

电话: 86-10-6892 4600

传真: 86-10-6892 4600 - 8

电子邮件: [support@cisec.cn](mailto:support@cisec.cn)

网址: [www.cisec.cn](http://www.cisec.cn)

北京筑信达工程咨询有限公司版权所有©, 2013.



# 说 明

本教程将通过具体的案例，介绍如何应用 SAP2000 处理一些典型问题。“模型概况”是对案例的简单介绍；“主要工作流程”是对常规建模过程的描述；“要点详解”是对相关一些软件应用技术的详细说明。本教程不涉及软件操作的详细讲解，相关内容请参考 SAP2000 联机帮助或相关使用手册。

我们将持续丰富案例种类。对于本教程的内容和需要增加的案例类型，欢迎您提出您的意见和建议，不胜感谢！联系方式如下：

技术热线：86-10-6892 4600 - 200

技术邮箱： [support@cisec.cn](mailto:support@cisec.cn)

北京筑信达工程咨询有限公司

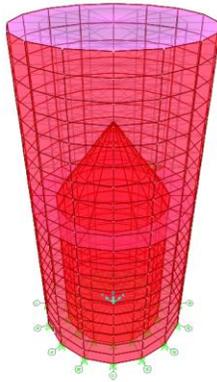


---

## SAP2000 案例 筒仓类结构分析

---

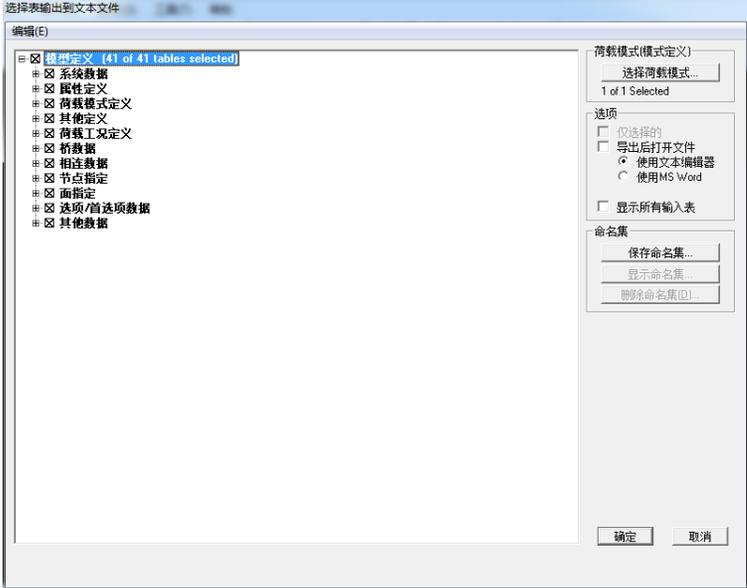
### 模型概况

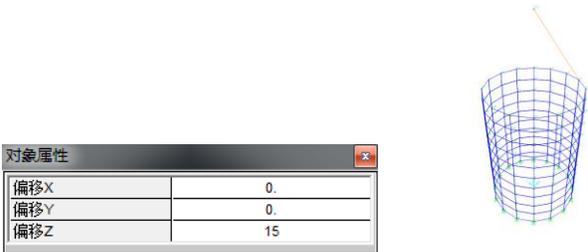


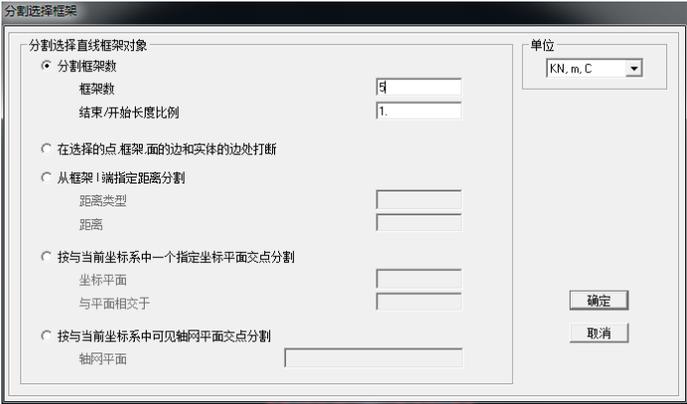
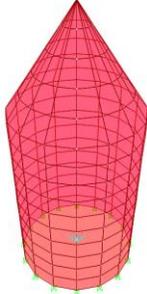
筒仓模型

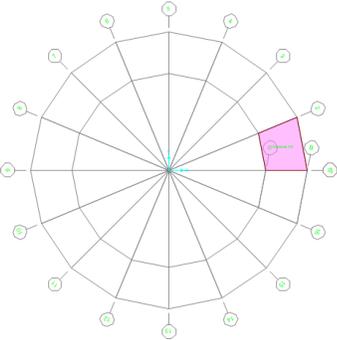
筒仓类结构是工业建筑中常用到的一种结构形式，本案例通过一个筒仓结构的分析，主要介绍了筒仓类结构在 SAP2000 程序中模型的建立、荷载的施加及分析结果的查看，包含快速模板建模、模型组装、拉伸以及洞口绘制，讲解了非均匀压力荷载和简化的风荷载的施加方式，同时简要描述了程序对壳单元内力的输出表达。

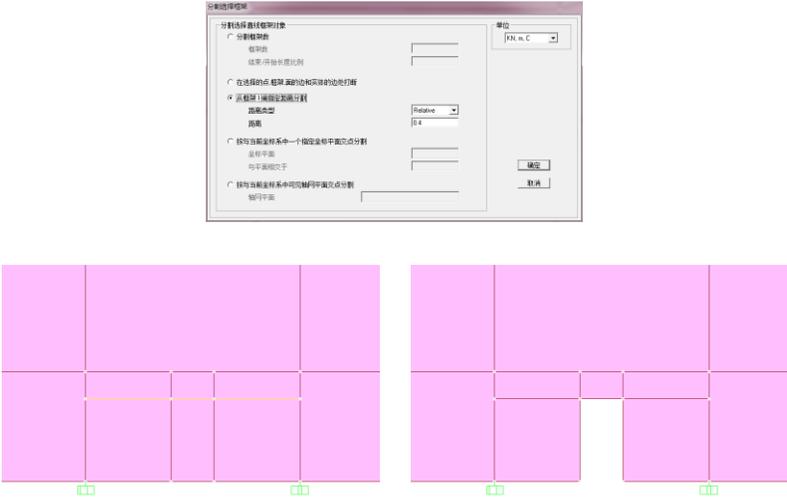
## 主要工作流程

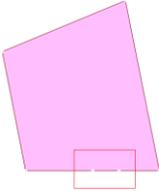
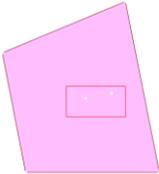
工作内容	功能	命令
建立模型	筒仓外筒建模	【文件】>【新模型】，选择“壳”
		
	导出s2k文件	【文件】>【导出】>【SAP2000.s2k文本文件】
		

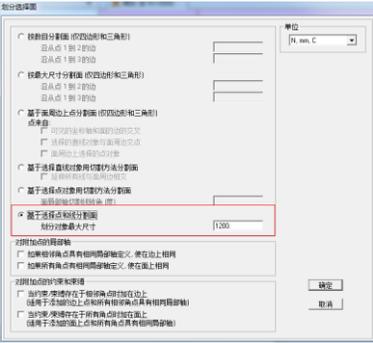
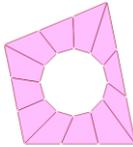
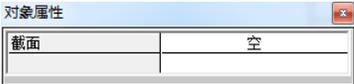
工作内容	功能	命令
建立模型	筒仓内筒建模	【文件】>【新模型】，选择“壳”
		
	绘制内筒顶面	<p>【绘制】&gt;【绘制特殊节点】，在对话框中输入图示数值后点击原点；</p> <p>【绘制】&gt;【绘制框架/索/钢束】；</p> <p>选中绘制的框架单元，【编辑】&gt;【编辑线】&gt;【分格框架】；</p> <p>选中被分格过的框架单元，【编辑】&gt;【拉伸】&gt;【拉伸线成面】；</p> <p>删除绘制的框架单元</p>
		

工作内容	功能	命令
<p>建立模型</p>	 	
	<p>导入外筒模型</p>	<p>【文件】&gt;【导入】&gt;【SAP2000.s2k文本文件】，注意在弹出的对话框中选择“添加到现有模型”</p>

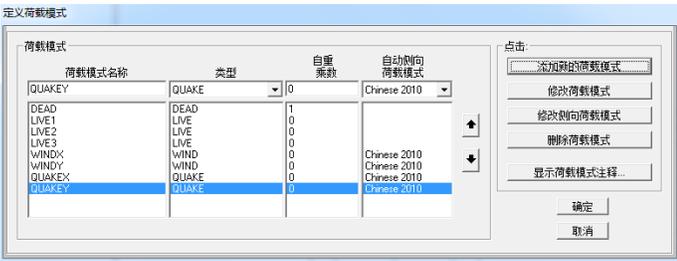
工作内容	功能	命令
建立模型		
	绘制筒仓底板、顶板	【绘制】>【绘制多边形】
	绘制内筒外筒连接板	【绘制】>【绘制多边形】 选择所绘制的多边形，【编辑】>【带属性复制】
		
绘制矩形洞口	【绘制】>【绘制特殊节点】  【绘制】>【绘制框架/索/钢束】  选择绘制的框架单元，【编辑】>【编辑线】>【分格框架】	

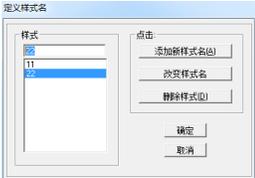
工作内容	功能	命令
建立模型	<p>绘制矩形洞口</p>	<p>选中要开洞的面和图示的节点，【指定】&gt;【面】&gt;【面自动网格划分】</p> <p>删除框架单元及要开洞的面</p>
		
	<p>绘制圆形洞口</p>	<p>【绘制】&gt;【绘制特殊节点】</p> <p>选中绘制的节点，【编辑】&gt;【带属性复制】</p> <p>右击圆心点，查看点坐标值</p> <p>选择另外一节点，【编辑】&gt;【拉伸】&gt;【拉伸点成框架/索】</p> <p>选中生成的框架单元及面单元，【编辑】&gt;【编辑面】&gt;【分割面】</p> <p>删除框架单元内部的面单元及框架单元</p>

工作内容	功能	命令								
建立模型										
		 <table border="1" data-bbox="987 905 1214 982"> <thead> <tr> <th>坐标轴</th> <th>GLOBAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>点 X</td> <td>4168.33744171373</td> </tr> <tr> <td>点 Y</td> <td>829.1339266546</td> </tr> <tr> <td>点 Z</td> <td>10000</td> </tr> </tbody> </table>	坐标轴	GLOBAL	点 X	4168.33744171373	点 Y	829.1339266546	点 Z	10000
	坐标轴	GLOBAL								
点 X	4168.33744171373									
点 Y	829.1339266546									
点 Z	10000									
										

工作内容	功能	命令
<p>建立模型</p>		
	<p>绘制风荷载作用面</p>	<p>【视图】&gt;【设置二维视图】，将视图转为X方向</p> <p>【绘制】&gt;【绘制矩形区域】，在弹出的绘图控制栏中，将截面设置为“空”</p> <p>用同样的方法绘制Y方面的风荷载作用面</p>
		 

工作内容	功能	命令
建立模型		
	指定约束	选中筒仓内筒和外筒底部节点，【指定】>【节点】>【约束】
	指定分组	选择需要指定到不同组的构件，【指定】>【指定到组】，根据需要建立不同的分组
		
	划分网格	根据不同的分组，分别划分有限元网格，【指定】>【面】>【面自动网格划分】
		

工作内容	功能	命令
建立模型	生成边束缚	选中公共边网格划分不同的面单元，【指定】>【面】>【生成边束缚】
定义材料	定义结构的基本材料信息	【定义】>【定义材料】>【添加新材料】
定义截面	定义面截面	【定义】>【截面属性】>【面截面】>【添加新截面】
指定截面	为面单元指定截面信息	选中所需指定的截面的面单元，【指定】>【面】>【截面】
定义荷载模式	定义荷载类型	【定义】>【荷载模式】
		
施加荷载	施加恒荷载	选中筒仓底部壳单元，【指定】>【面荷载】>【均布（壳）】
	施加均布活荷载	选中筒仓内筒和外筒的连接板，【指定】>【面荷载】>【均布（壳）】
	施加线性活荷载	【定义】>【节点样式】 选中筒仓外筒单元，【工具】>【PatternLoadDII】

工作内容	功能	命令
施加荷载		
	<p>施加指数型活荷载</p>	<p>选中筒仓内筒单元，【工具】&gt;【PatternLoadDII】</p>
		<p>【定义】&gt;【荷载模式】&gt;(选中“WINDX 或 WINDY”后)【修改侧向荷载模式】</p>
	<p>施加风荷载</p>	<p>选中筒仓中的虚面，【指定】&gt;【面荷载】&gt;【风压系数】</p>
		

工作内容	功能	命令
施加荷载		
	施加地震荷载	【定义】>【荷载模式】>(选中“QUAKEX或QUAKEY”后)【修改侧向荷载模式】
		
施加温度荷载	<p>选择所有的壳单元，【指定】&gt;【面】&gt;【材料温度】</p> <p>选择施加整体升温单元，【指定】&gt;【面荷载】&gt;【温度（全部）】</p> <p>选择施加温度梯度荷载的单元，【指定】&gt;【面荷载】&gt;【温度（全部）】</p>	

工作内容	功能	命令
施加荷载		
定义荷载组合	添加默认荷载组合	【定义】>【荷载组合】>【添加默认设计组合】
	添加与温度相关的荷载组合	【定义】>【荷载组合】>【添加新组合】
分析	查看分析选项	【分析】>【设置分析选项】
	运行分析	【分析】>【运行分析】
结果显示	显示变形	【显示】>【显示变形】
	显示内力	【显示】>【显示力/应力】>【壳】

## 要点详解

### 1 开洞

#### 1.1 利用编辑工具进行开洞

在 SAP2000 程序中，利用程序自带的编辑工具进行开洞的主要思想是利用“数值、点、线”等方式对面对象进行分割，将面单元分割成为多个对象，最后删除洞口处的面对象，即得到想要的洞口。程序提供的面分割方式如下图所示，用户可以根据面对象及洞口形式的不同选择合适的方式进行面对象分割。

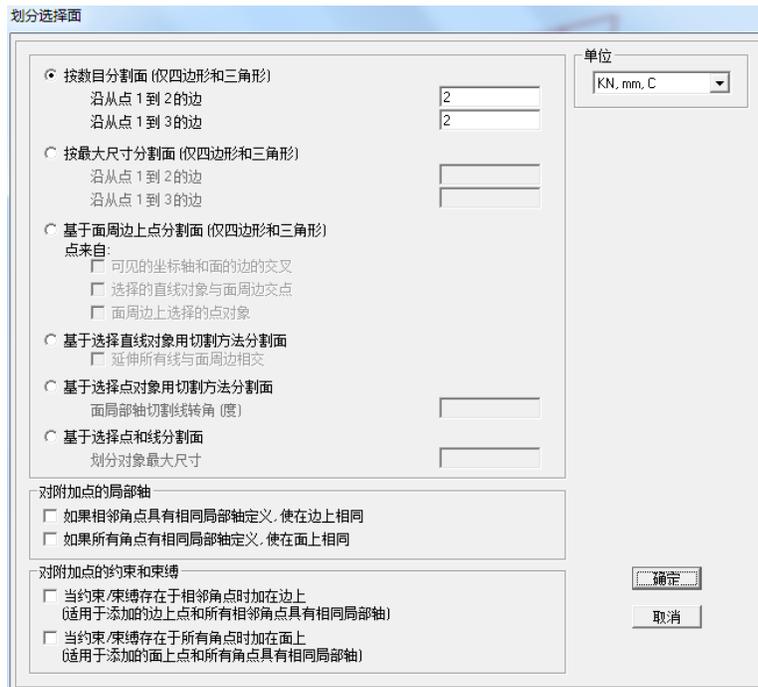


图 1-1 面对象分割方法

#### 1.2 利用模板进行开洞

除按照上述思路进行开洞外，程序在快速模板中也提供了开洞的面对象。

在快速模板中，选择“管和板”项，弹出“管和板模板”，该模板提供了多种带有开洞的矩形板和圆形板，如图所示。用户根据参数化的模板，填写适当的参数后，得到相应的模型。



图 1-2 管和板模板

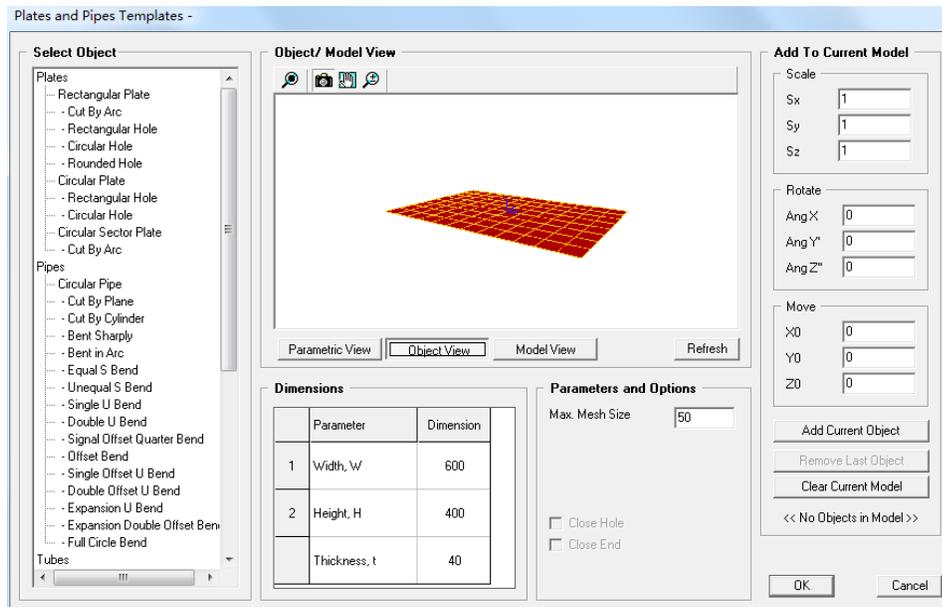


图 1-3 管和板快速建模对话框

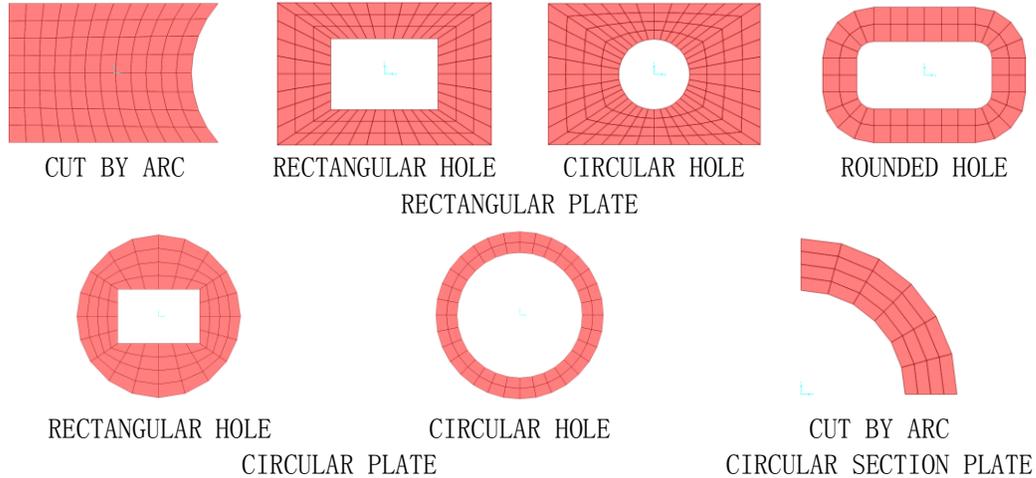


图 1-4 模板中的开洞板

管和板模板不仅提供了板上开洞的模板，同时提供了各种形式的管模型，管与板相交、切割的模型，用户可根据实际的需求，利用此模板进行快速建模。然后可将该模型与其它模型进行拼装。

## 2 自动边束缚

在有限元分析中，有限元网格节点的匹配是一项至关重要的内容，有限元网格的划分尤其是复杂结构的有限元网格划分往往占用了工程师大量的时间，SAP2000 程序提供的自动边束缚功能很好的解决了有限元网格节点不匹配的问题。自动边束缚功能会在网格不匹配的节点之间自动插入节点细分网格，达到网格节点的匹配。

下图显示了有限元网格节点匹配、有限元网格节点不匹配、有限元网格节点不匹配但使用了自动边束缚功能三种情况下得到的内力，从图中可以看出，使用自动边束缚后，网格节点不匹配单元得到的结果和网格节点匹配得到的结果接近，说明自动边束缚很好的处理了这种问题。

需要说明的一点是，虽然程序提供的自动边束缚功能可以很好的处理节点不匹配的情况，但是仍然建议用户建立模型时，尽量使有限单元的网格均匀有序，网格划分质量的好坏和用户的初始划分有着直接的关系。

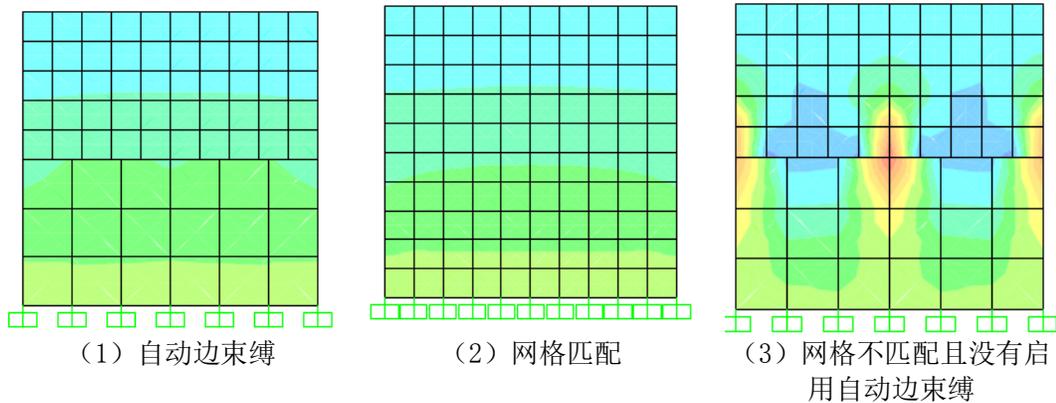


图 2 网格划分不同壳单元内力云图

### 3 筒仓壁面压力

在筒仓类结构分析中，筒仓壁面压力是常用到的一种荷载，这种荷载与筒仓的功能相联系。筒仓壁面荷载包含均布荷载，线性变化荷载和非线性变化荷载。

对于均匀壁面压力荷载，选择面单元后，直接使用面荷载中的表面压力即可；对于非均匀的壁面荷载，则需要通过节点样式来施加。

节点样式简单的来说，就是按照某种特定的关系，给不同的节点指定相应的数值。SAP2000 程序内部自带了线性节点样式，用户填写相应的参数值后可以得到和节点坐标值相关的节点样式值，然后根据用户指定的节点样式来施加表面压力可以得到线性变化的表面压力荷载；对于非线性变化的表面压力荷载值，SAP2000 程序提供的“交互式数据库编辑”功能可以让用户根据实际需求修改节点样式值，同样通过节点样式施加表面压力，可以得到用户需要的表面压力荷载。

为了方便用户施加非线性表面压力荷载，省去用户直接修改节点样式值的麻烦，筑信达公司开发了“非均匀面荷载施加”小工具，该工具以插件的方式在 SAP2000 中调用。使用此工具，用户可以方便的施加线性、抛物线性、指数型表面压力荷载。在使用此工具时，用户需定义好节点样式的名称及荷载模式的名称，同时需要选中要施加荷载的单元。



图 3-1 线性节点样式指定

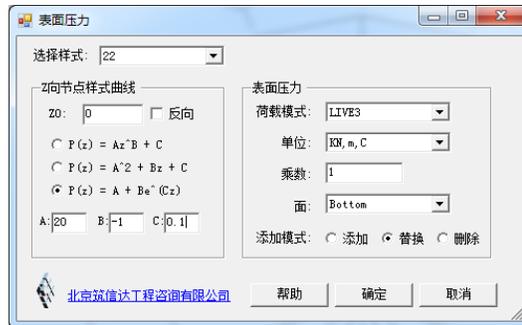


图 3-2 非线性表面压力荷载施加工具

#### 4 温度荷载

筒仓类结构的温度荷载包含两类，整体升温降温和壁面内外的温差。

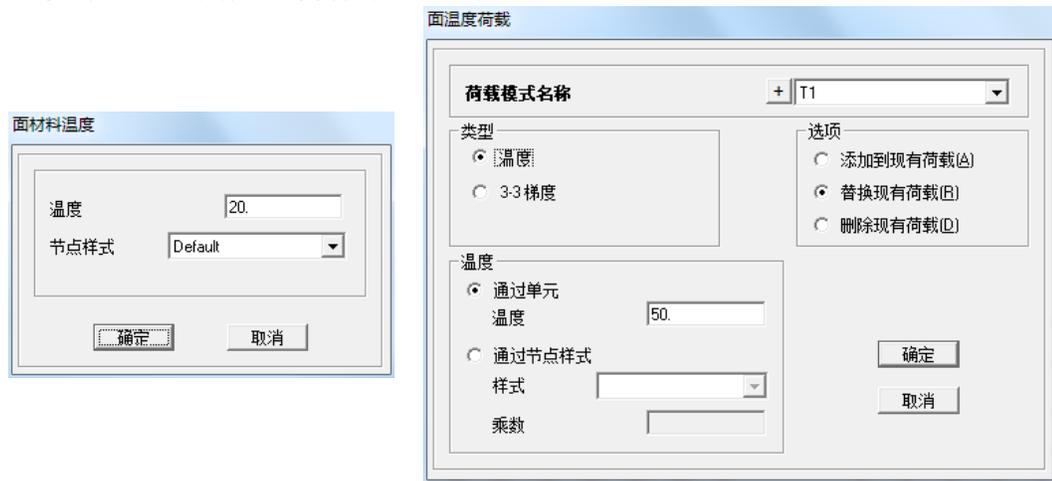
在 SAP2000 程序中，对整体升温 and 降温，采用的是温度荷载值与材料温度值之差作为温度荷载施加到结构上。温度的单位与程序采用的单位制相关，当程序采用国际制单位时，温度值为摄氏度，程序中默认的材料温度值为 0 度，用户指定材料温度后，以用户的指定为准。例如，用户指定的材料温度为 20 摄氏度，施加的温度荷载为 50 摄氏度，则程序会考虑整体升温 30 度的温度荷载值。

程序考虑内外壁面温差时，则使用了温度梯度的概念。对于面单元来说，温度梯度值是指在单位厚度上，温度的改变值。例如，在主单位为米的模型中，对厚度为 200mm 的壳面施加温度梯度值为 50 摄氏度的温度荷载，

程序则会考虑到板内外壁面之间 10 摄氏度的温差。温度梯度值的正负则表明沿面单元局部 3 轴即法线方向，温度的变化趋势。如果温度梯度值为正值，则表明沿法线方向为升温，反之则为降温。

下图给出了分别考虑整体升温及温度梯度后，剪力墙的变形，从图中可以看出，温度梯度会导致壳单元产生挠曲变形。

特别需要注意的一点，程序中的自动添加的默认设计组合中，未包含温度荷载的工况，如果模型中含有温度荷载且需要在设计中考虑包含温度荷载的设计组合，用户可自行添加适当的组合。



(1) 材料温度指定

(2) 均匀温度荷载指定

图 4-1 均匀温度荷载施加

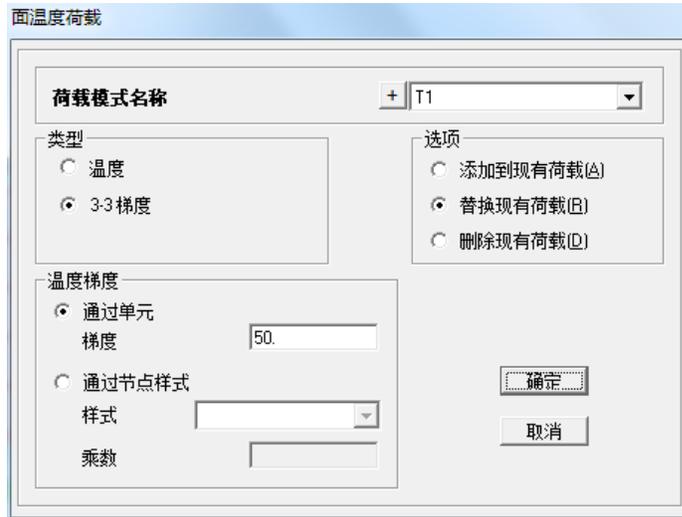
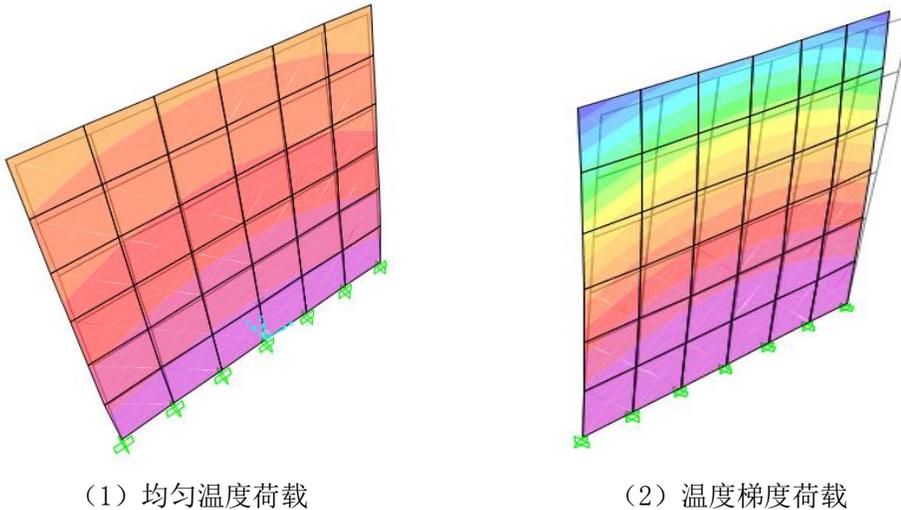


图 4-2 温度梯度荷载施加



(1) 均匀温度荷载

(2) 温度梯度荷载

图 4-3 温度荷载下的变形图

### 5 壳单元内力输出

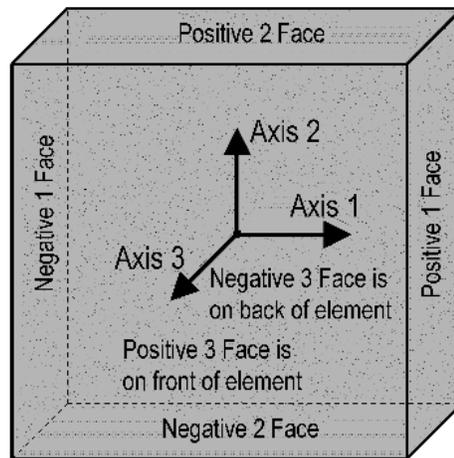
壳单元内力的查看一直是困扰很多用户的问题，在弄懂 SAP2000 壳单元内力输出的表达之前，我们先了解一下程序对壳单元局部坐标轴及壳面的规定。如下图所示。

对于壳单元来说，都会有自己的局部坐标轴 1、2、3 轴，其中 3 轴指向壳单元的法线方向；每一个四节点的壳单元都有自己对应的 6 个作用面，1 轴正方向对应的面为正 1 面，1 轴负方向对应的面为负 1 面，分别和 2 轴、3 轴对应的面同样的称为正 2 面、负 2 面、正 3 面、负 3 面，其中正 3 面和负 3 面也称为壳单元的顶面和底面。

壳单元的内力  $F_{ij}$  中，两个下标  $i$  和  $j$ ，第一个下标  $i$  指的是作用面，第二个下标  $j$  指的是作用方向。 $F_{11}$  指作用在 1 面上的方向沿着 1 轴的作用力， $F_{12}$  指作用在 1 面上方向沿着 2 轴的作用力。需要注意的是，SAP2000 提供的内力均为壳单元角点处的内力值，其数值大小为单位长度上内力值。

图中的弯矩表示为双箭头，其方向符合右手定则，从图中可以看出，对于  $M_{11}$ ，用右手定则判断时，其大拇指的方向沿 2 轴方向，即  $M_{11}$  表示的为绕 2 轴方向的弯矩值，同样的， $M_{22}$  则指绕 1 轴方向的弯矩值。需要值得注意的是，SAP2000 提供的弯矩值为壳单元节点处的弯矩值，其数值的大小为中轴面上单位长度的弯矩值。

有关壳单元的应力输出和内力输出类似，详细信息可参考 SAP2000 程序帮助文件。



注意正3面有时被称为壳单元顶部，特别是在输出中，且负3成为壳单元的底部。

图 5-1 壳单元的局部坐标轴及面

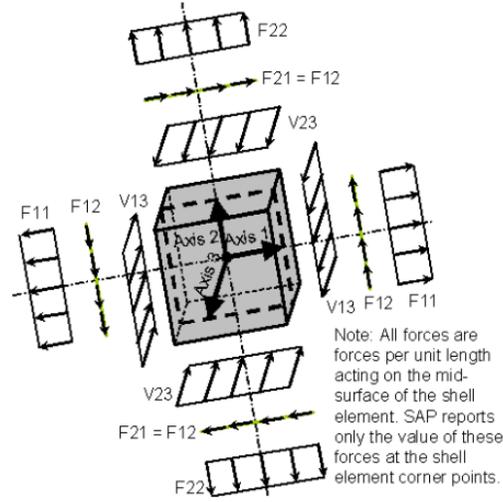


图 5-2 壳单元内力输出 (1)

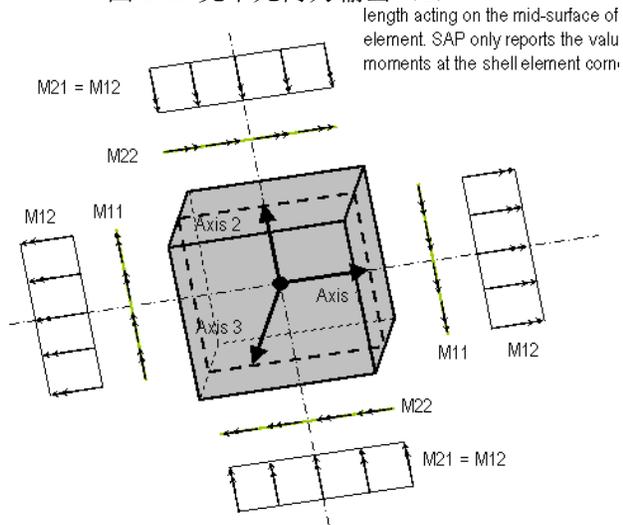


图 5-2 壳单元内力输出 (2)