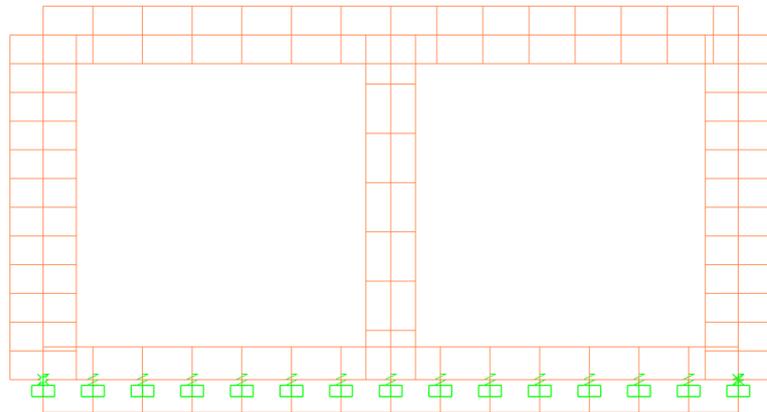


SAP2000 案例教程

双孔穿堤涵洞.



北京筑信达工程咨询有限公司

2021年3月

版 权

SAP2000 软件及全部相关文档均为受专利法和版权法保护的产品，全球范围内的所有权归美国 CSI（Computers and Structures Inc.）公司所有，中文版版权同属于北京筑信达工程咨询有限公司。如未预先取得 CSI 或筑信达公司的书面许可，任何形式的软件应用及文档传播一律禁止！

更多信息及本文档副本可通过以下途径获得：

北京筑信达工程咨询有限公司

北京市石景山区古盛路 36 号院 1 号楼泰然大厦 408 100043

电话：86-10-68924600

传真：86-10-68924600-8

电子邮件：support@cisec.cn

在线支持：support.cisec.cn

网址：www.cisec.cn

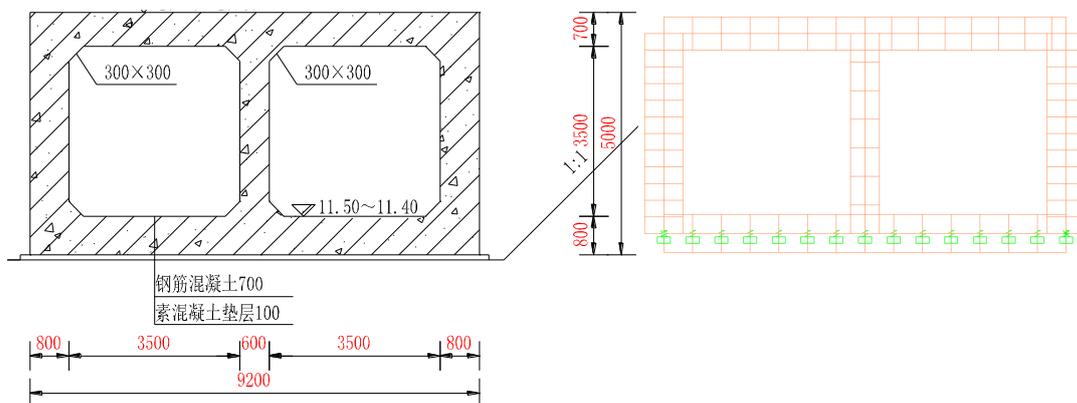
目录

1 模型概况	1
2 几何建模	2
2.1 绘制轴网线	2
2.2 定义材料与截面	2
2.3 绘制构件	3
3 属性指定	4
3.1 统一局部轴	4
3.2 指定边界条件	4
3.3 剖分面对象	5
4 施加荷载	6
4.1 均匀荷载	6
4.2 非均匀荷载	7
4.3 定义荷载工况	7
5 结果查看	8
5.1 变形	8
5.2 壳结果查看	8
5.3 截面切割	9

双孔穿堤涵洞

本教程主要以书面文字的形式配合线上操作视频，帮助读者在 SAP2000 v22.2.0 中建立如下所示的双孔穿堤涵洞。在具体操作过程中，读者应熟悉并掌握 SAP2000 软件的诸多功能，如：线拉伸成面、非均布荷载的施加、节点样式的应用、壳单元内力查看等。

根据本教程及配套视频完成操作，即可创建如下所示的计算模型。



双孔穿堤涵洞

1 模型概况

如图 1.1 所示，该涵洞结构由两孔组成，断面净尺寸为 3.5m×3.5m×2 孔（宽×高×孔），采用 C30 混凝土浇筑，中墩厚 0.6m，边墙及底板均厚 0.8m，顶板厚 0.7m，加腋尺寸为 0.3×0.3m，下设 0.1m 厚 C15 素混凝土垫层。

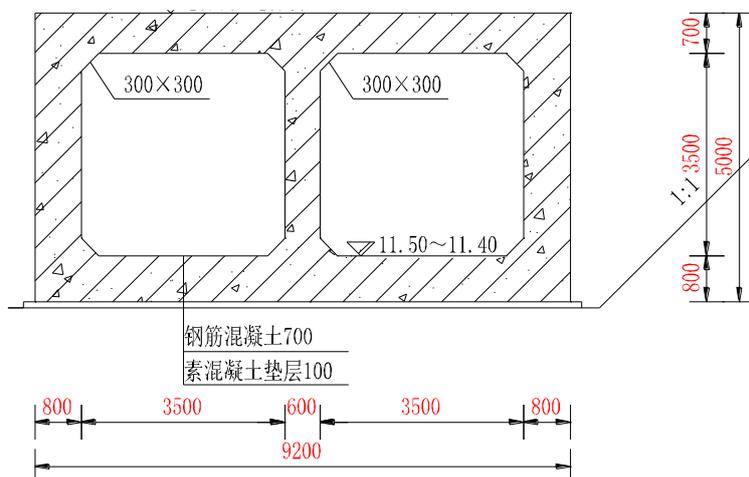
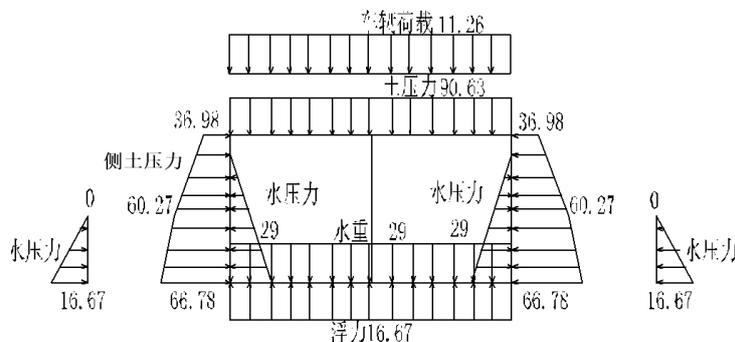


图 1.1 结构布局示意图

涵洞基础坐落在壤土层上，地基承载力特征值为 120kPa，基床系数取 4767 kN/m³。

根据工程的实际运行状况，需考虑完建无水、自排过水、抽排过水等多种情况，本案例仅对自排过水状况进行演示，洞内水高 14.4m，洞外 1/3 地下水，侧土和上部覆土压力为主动土压力。经换算得到的荷载分布如下：



2 几何建模

根据该模型的特点，对模型做一定的简化，由于涵洞的素混凝土垫层、加腋均为构造措施，配筋设计时并不考虑，为了得到更安全的设计结果，垫层与加腋略去不建。

2.1 绘制轴网线

SAP2000 中的轴网线是辅助几何建模的重要工具，合理的轴网布置有助于快速准确地绘制几何模型，可先在 X-Z 立面中绘制线对象，然后利用拉伸功能创建整体模型。

定义如下图所示的轴网数据。

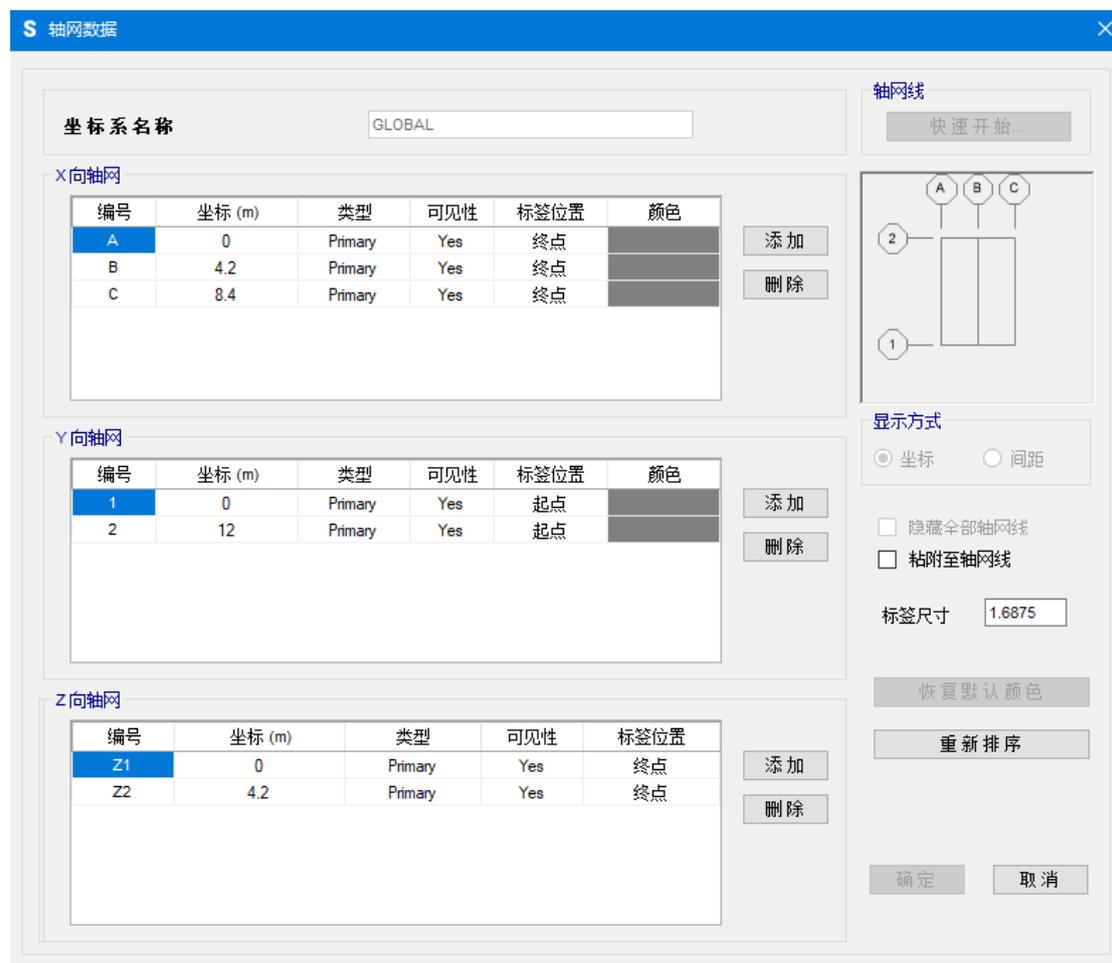


图 2.1 定义轴网线

2.2 定义材料与截面

程序默认设置有 C30 的混凝土材料，无需定义，仅需额外定义 600mm、700mm 以及 800mm 厚的壳截面。

不同类型的壳截面具有不同的力学性能，具体如下：

膜：只有平面内刚度，通常用于模拟建筑结构中的楼板，在分析中只考虑其传递荷载的作用，而并不关心单元本身的受力变形情况。由于膜单元不能承受平面外的横向荷载，所以

一般不对其进行网格剖分，避免产生无支承的节点，导致异常的分析结果。

板：与膜单元相反，板单元只具有平面外刚度，只承受横向力。通常情况下，建筑结构中很少用到这种纯板类型的面单元。

壳：壳单元具有膜单元和板单元的力学属性之和。所以，壳截面是真正意义上的壳单元，可承受任何力和力矩，适合模拟任何面对象。通过合理的网格剖分，在分析中能够考虑其刚度、质量对结构的贡献，并且能够得到面单元自身的应力、应变等情况。

另外，壳又分薄壳和厚壳，区别在于是否考虑单元的横向剪切变形。一般地，当面对象的厚度小于其边长 $1/10$ 时，横向剪应力对变形的影响可以忽略，可采用薄壳单元来模拟。厚壳单元适合用于模拟横向剪切变形为主的面对象，例如：筏板、基础等。用户在不确定剪切变形是否可以忽略的情况下，推荐使用厚壳。

本案例中采用壳单元模拟涵洞。

2.3 绘制构件

如图 2.2，在 $X-Z@Y=0$ 平面内绘制七根框架，并通过拉伸命令将其分别拉伸为相应截面的面对象，注意拉伸时勾选【删除源对象】。

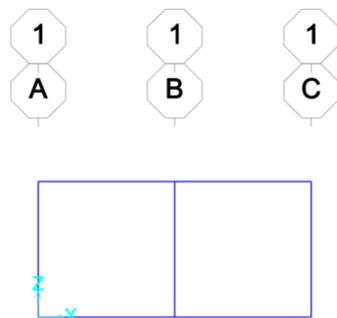


图 2.2 绘制构件

3 属性指定

3.1 统一局部轴

如图 3.1 所示，由于后续操作需要以表面压力的形式施加表面压力荷载，故此处应统一对象的外法线方向，以免造成加载方向错误。

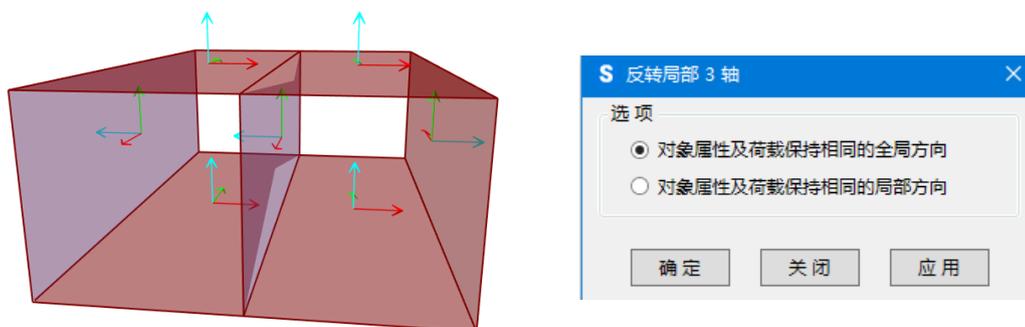


图 3.1 调整局部轴方向

3.2 指定边界条件

下部土体对底板的约束作用可采用面弹簧来模拟。由于地基土只能受压，故采用单压弹簧模拟，如图 3.2 所示。弹簧作用在底板的下表面，作用方向指向底板内部。根据面单元的局部轴，局部 3 轴指向的方向为 Top，故作用面为 Top，拉伸方向为 Inward。此外，也可以采用其他两种方式模拟拉伸方向，更详尽的内容可参考筑信达知识库文档《[面弹簧的位置和受拉方向](#)》。

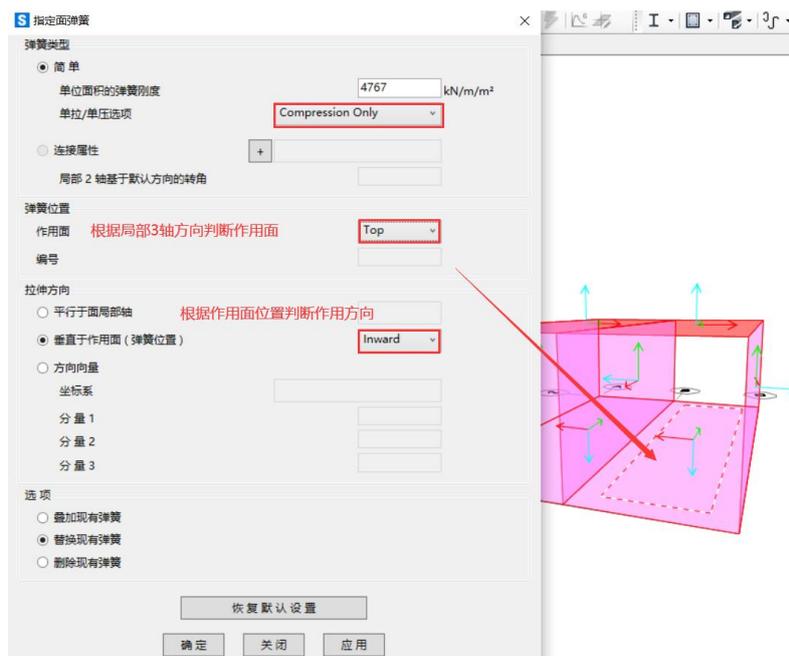


图 3.2 单压弹簧

需要注意的是，对于单拉或单压弹簧，应采用非线性工况来考虑刚度的变化，否则程序按拉压弹簧进行线性分析。同时，由于非线性工况不能进行线性叠加，用户需在非线性工况中考虑各荷载模式的组合，比例系数考虑各荷载分项系数和组合系数，相关操作可参考筑信达短视频“[单拉单压杆](#)”。

对于本案例而言，在自重作用下涵洞底板不会出现受拉状态，故地基作用可简化采用拉压弹簧模拟，面弹簧刚度为 4767kN/m^3 。另外，为了避免出现水平向约束不足而引起刚体位移，对涵洞的四个角点指定节点约束，固定 1、2 方向平动自由度。

3.3 剖分面对象

运行分析之前，需对所有面对象指定网格剖分，以保证分析结果的精确性。注意，侧墙与底（顶）板的网格节点应互相匹配，避免出现变形不协调的情况；若不匹配，可采用自动边约束来保证位移协调。

4 施加荷载

根据“模型概况”中给定的结构荷载条件，定义包括结构自重、内水压力、外水压力、地下水、水重、浮力、土压力、车辆荷载，如图 4.0 所示。

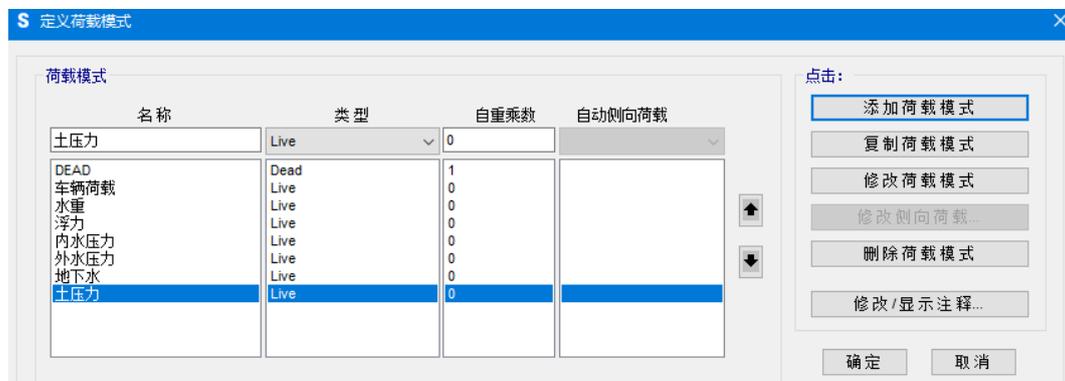


图 4.0 定义荷载模式

SAP2000 中可以施加均匀压力荷载，也可以借助节点样式施加非均匀荷载。

4.1 均匀荷载

对于涵洞承受的浮力、水重、土压力、车辆荷载，都属于均匀荷载，直接施加定值的表面压力荷载即可，如图 4.1 所示。

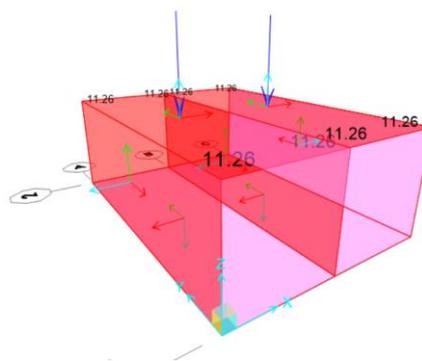


图 4.1 施加均匀荷载

4.2 非均匀荷载

对于侧面施加的非均匀水压力、地下水压力等，可采用“节点样式+表面压力”的方式实现。具体的操作流程包括以下几步：

1. 定义节点样式；
2. 对面周边的节点指定节点样式，如图 4.2；
3. 对面对象施加基于节点样式的表面压力荷载。

对于不同分布形式的荷载，可通过分割面对象灵活施加。

对于其他函数的节点样式值，可通过 CiSApps 工具箱或借助交互式数据库编辑实现，可参考筑信达知识库文档及[《扩展节点样式的应用》](#)。

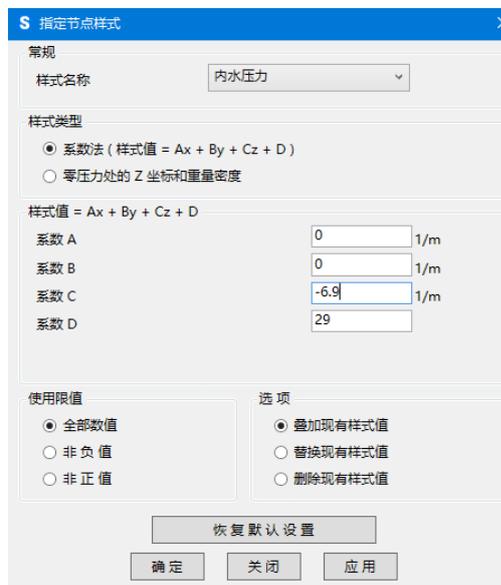


图 4.2 指定节点样式

4.3 定义荷载工况

为了方便查看自排过水状况下考虑的所有荷载，可以把所有的荷载定义在一个工况当中，该工况作为标准组合。如需考虑设计组合，可通过调整比例系数实现，如图 4.3。



图 4.3 定义设计组合

5 结果查看

5.1 变形

点击【显示>变形图】命令显示结构变形，如图 5.1 所示。

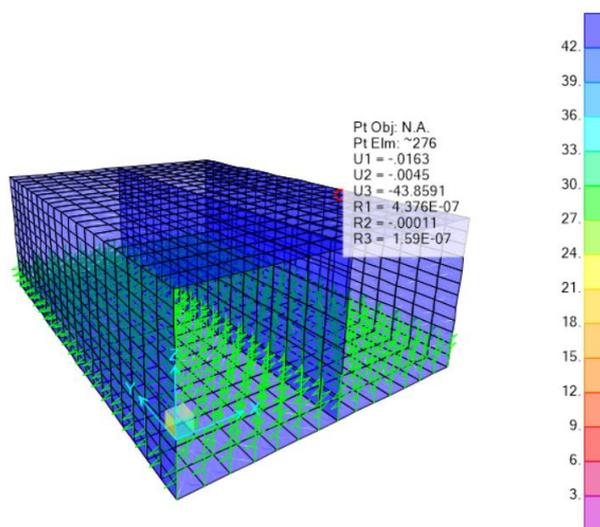


图 5.1 结构变形图

5.2 壳结果查看

查看壳内力和壳应力。

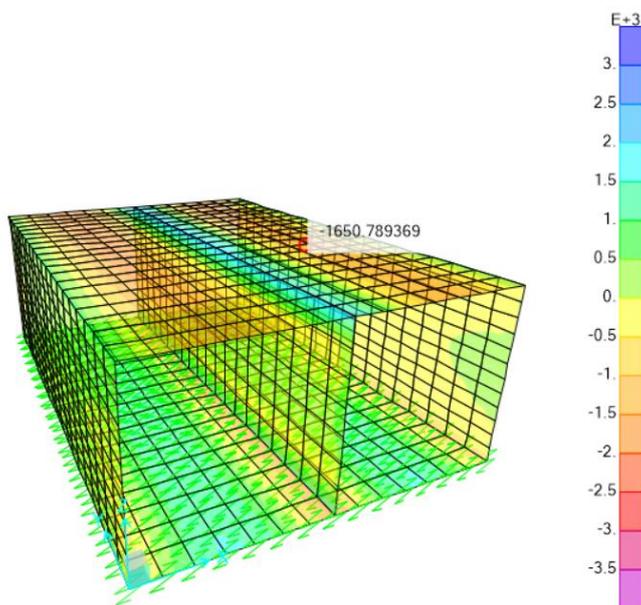


图 5.2 壳应力结果

壳的应力包括正应力 S_{ii} 、剪应力 S_{ij} 和合成应力（面内最大主应力 S_{Max} ，面内最小主应力 S_{Min} ，等效 Mises 应力 S_{VM} ，最大横向剪应力 S_{MaxV} ），如图 5.2.1。

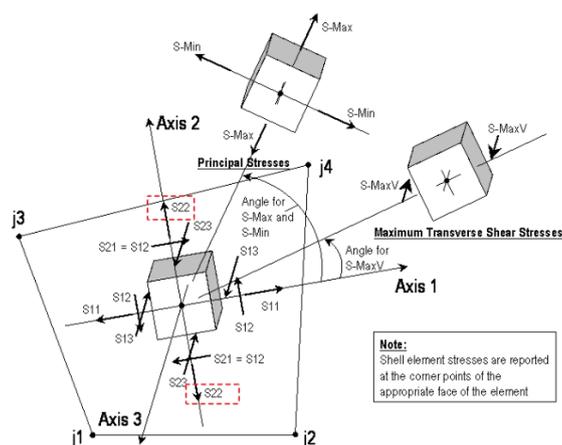


图 5.2.1 壳应力结果示意图

壳单元的内力由应力分量沿壳单元的厚度积分得到，包含膜内力和板内力共 8 个分量，如图 5.2.2，分别为：

膜内力：正内力（ $F11$ 、 $F22$ ）、面内剪力（ $F12$ ）

板内力：弯矩（ $M11$ 、 $M22$ ）、扭矩（ $M12$ ）、横向剪力（ $V13$ 、 $V23$ ）

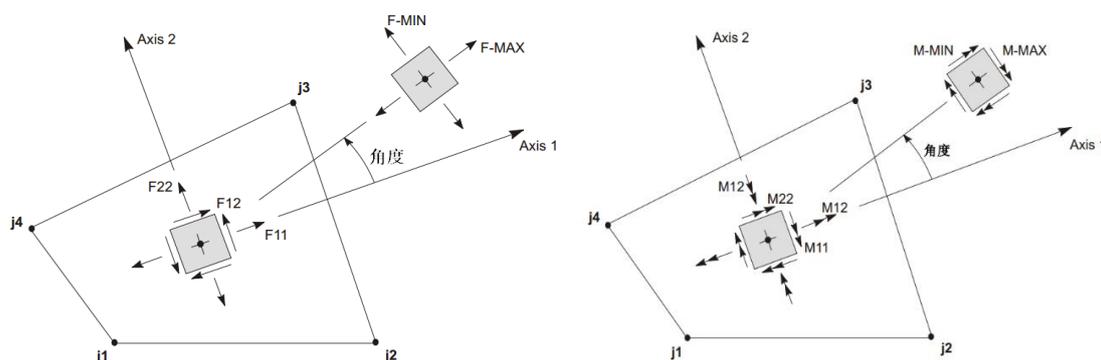


图 5.2.2 壳内力结果示意图

5.3 截面切割

使用绘制截面切割的方式，可以提取一定长度上的合力，用于后续的壳配筋计算。在显示壳内力/应力/变形结果的视图中，在所关心位置绘制一条切割线，程序将显示该切割面上的应力、内力分布以及合力。

截面切割对话框中，“起点”和“终点”表示切割线的起点和终点坐标；“位置和角度”表示求合力的基点坐标和合力角度，角度（**X** 到 **1**）为截面切割局部坐标系的角度，是从整体+**X** 轴逆时针旋转到截面切割局部+**1** 轴的夹角。当角度为 0 时，局部 1 和 2 轴分别对应着全局 **x** 轴和 **y** 轴；“合力右侧”和“合力左侧”分别指从切割线起点向终点方向的右侧和左侧。关于截面切割的更多内容，可参阅筑信达知识库文档“[SAP2000 > 截面切割](#)”子目录。

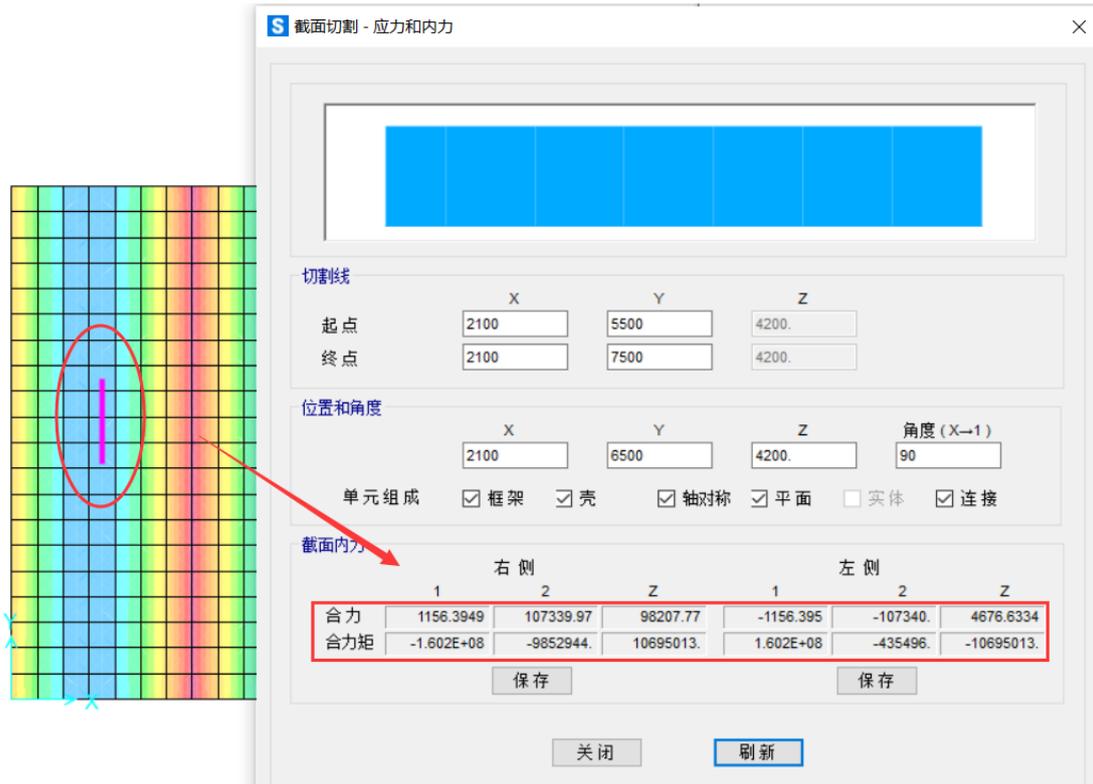


图 5.3 截面切割