

COMPUTERS & STRUCTURES, INC.

STRUCTURAL AND EARTHQUAKE ENGINEERING SOFTWARE



SAP 2000®
INTEGRATED SOLUTION FOR
STRUCTURAL ANALYSIS & DESIGN

Version
16

CSI Analysis Reference Manual

CSI

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
网址: www.cisec.cn

SAP2000 V16 新增和改进功能

1 图形用户界面	1
1.1 自定义键盘快捷键	1
1.2 同时显示多个轴网系统	1
1.3 支持更多的导入导出格式	2
2 材料&截面	2
2.1 材料定义	2
2.2 框架截面	3
2.3 新增连接属性	3
2.4 基于时间属性	5
2.5 钢束	5
3 分析求解	6
3.1 面荷载转换	6
3.2 非线性支座的位移荷载	7
3.3 多质量源定义	7
3.4 多阶段施工	7
4 后处理	8
4.1 框架截面的应力输出	8
4.2 框架设计输出	9
4.3 壳应力的正则化显示	9
4.4 来自面弹簧的地基土压力	10
4.5 表格输出	10
5 设计功能	11
5.1 新增设计规范	11
5.2 其他规范相关内容	12
5.3 V15 设计功能 Bug 修正	12
6 其他	12
6.1 程序安装	12
6.2 新的开放的 API 函数	13
6.3 验证文档	13

1 图形用户界面

1.1 自定义键盘快捷键

用户可以根据操作习惯自定义键盘快捷键，在满足个性化需求的同时，大大加快建模速度，显著提高工作效率。

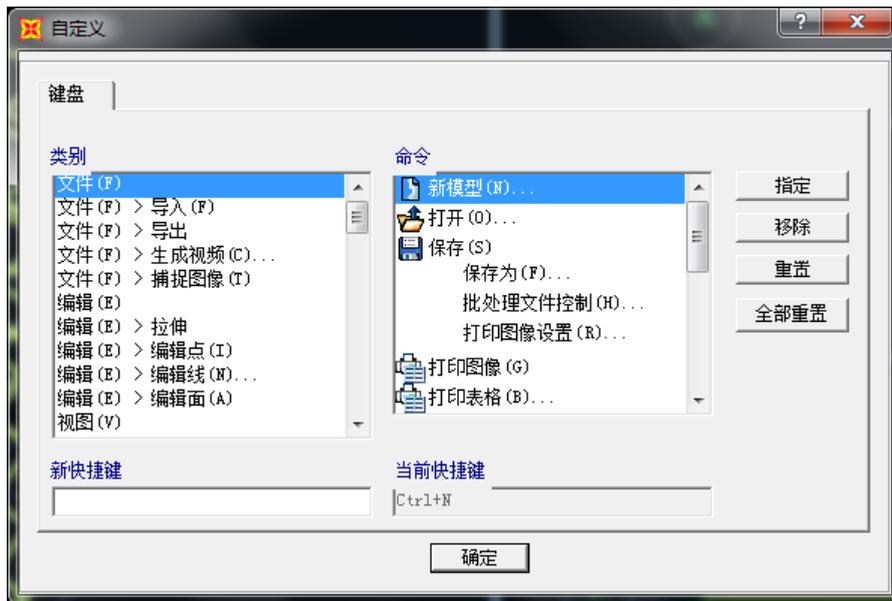


图 1-1 自定义键盘快捷键

1.2 多轴网系统的显示

用户可以根据需要，在同一个视图窗口中定义并显示任意多个轴网系统，以便建立更加复杂的三维空间模型。

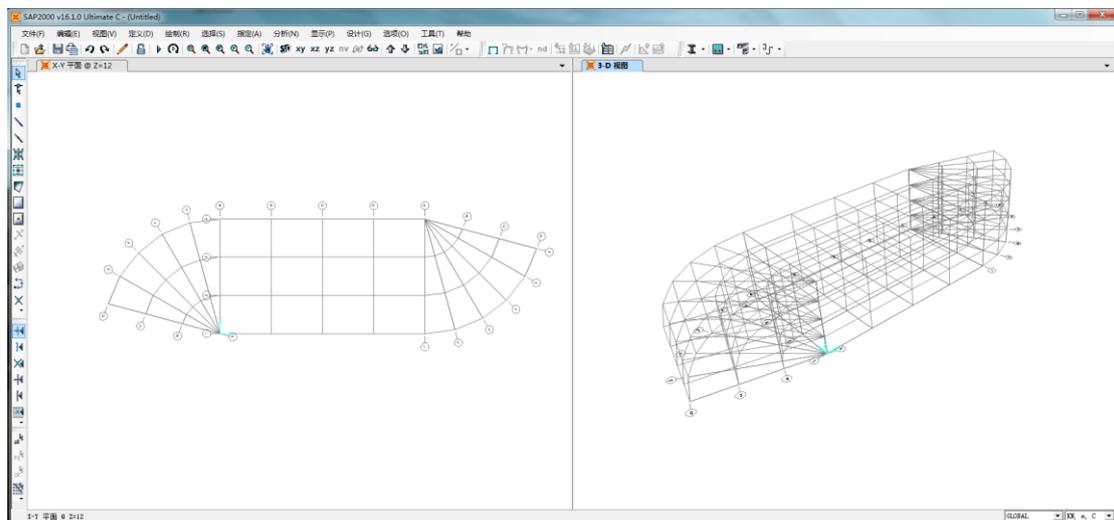


图 1-2 多轴网系统显示示意图

1.3 支持更多的导入导出格式

SAP2000 V16 可以导入 SACS 数据文件的基本内容，为相关领域的工程师及科研人员提供方便快捷的软件接口。SACS 是一款集成的软件系统，用于石油天然气、海上风机基础平台等各种海洋工程结构的分析、设计、建造和安装。

另外，SAP2000 V16 支持国际标准 IFC 4 格式的文件导入导出，为不同应用程序之间的协同工作提供了解决方案，减少了从一个应用程序到另一个应用程序传输过程中的信息丢失情况。

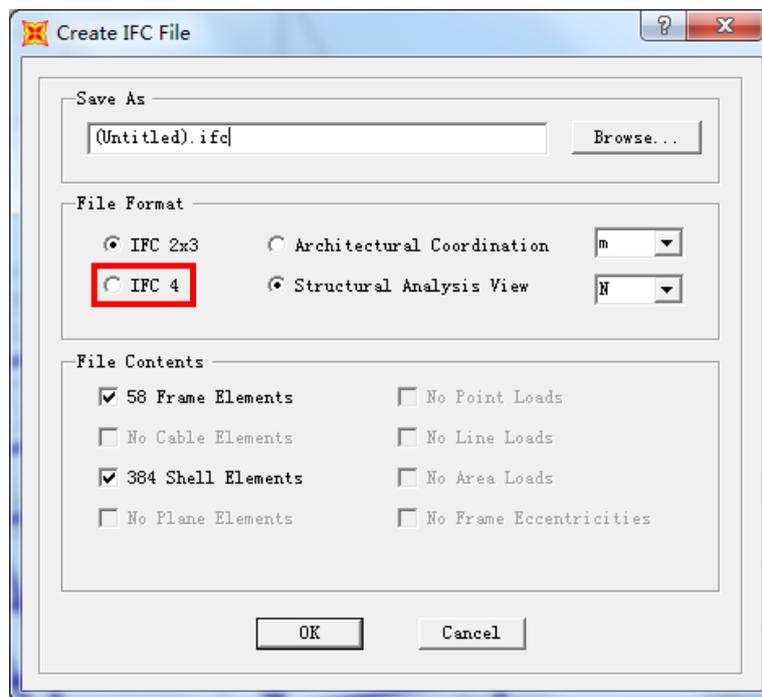


图 1-3 导出 IFC 格式的文件

2 材料 & 截面

2.1 材料定义

首先，SAP2000 V16 增加了新的内置材料：ASTM 桥梁钢材料。另外，针对中国混凝土材料的定义，SAP2000 V16 改用轴心抗压强度标准值，不再使用强度等级数值，如下图所示：

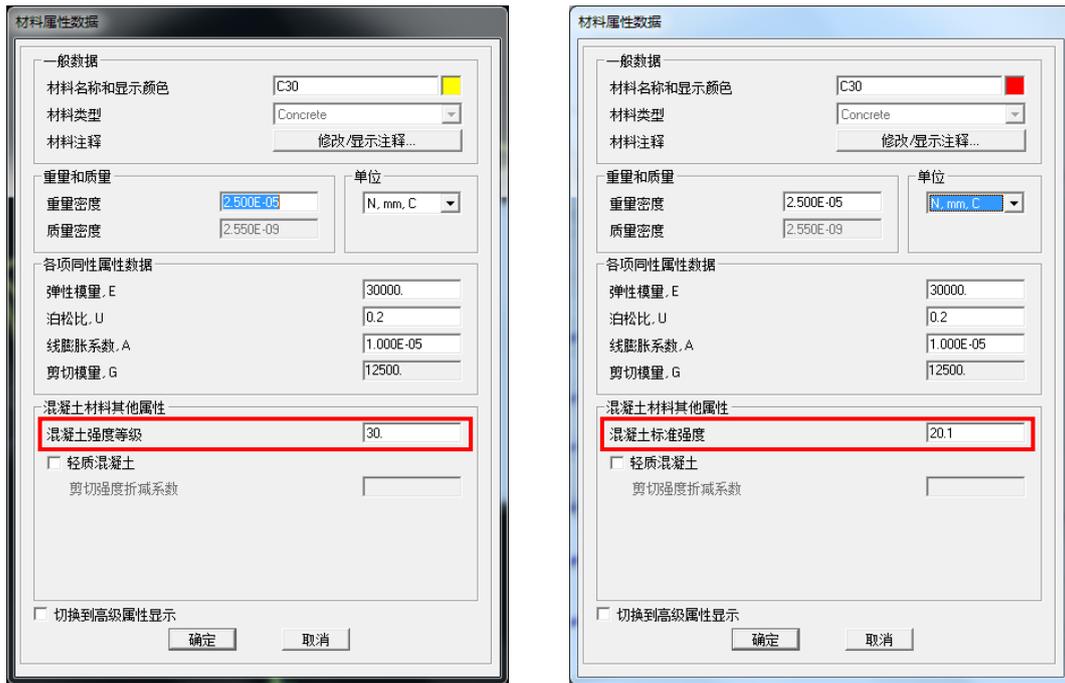


图 2-1 中国混凝土材料的定义（左为 V15，右为 V16）

2.2 新增框架截面

- 在截面数据库 ChineseGB08 中，SAP2000 V16 添加新的截面类型，包括：
 - 双角钢截面：2L8x8x1-1/8
 - 双槽钢截面：2C15x50x3/8
 - 箱型截面：HSS20x12x.625
- SAP2000 V16 添加新的组合钢截面类型：混合 U 型截面

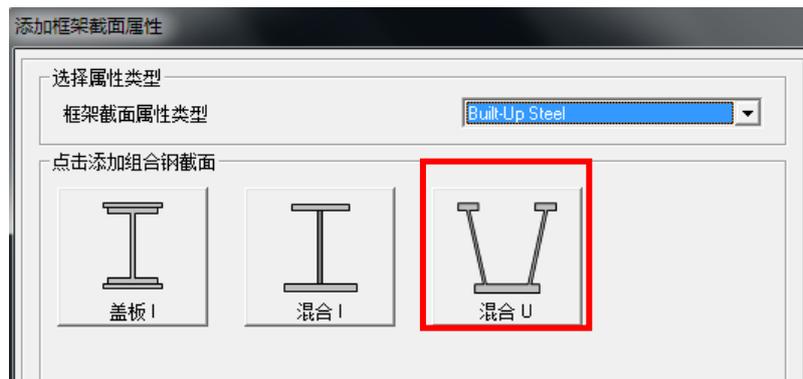


图 2-2 混合 U 型组合截面

2.3 新增连接属性

- 双线性 Maxwell 阻尼器

采用线弹簧与双线性粘滞阻尼器串联的粘弹性 Maxwell 模型。通过定义双线性力的速度关系，模拟带有减压阀的油压阻尼器，即：当阻尼力的大小达到某减压值（屈服值）时，对阻尼系数进行折减。非线性的力-变形关系如下：

$$f = k d_k = \begin{cases} c_1 \dot{d}_c & c_1 |\dot{d}_c| \leq f_1 \\ f_1 + c_2 (\dot{d}_c - \dot{d}_{c1}) & c_1 |\dot{d}_c| \geq f_1 \end{cases}$$

2. 摩擦-弹簧(Friction-Spring)阻尼器

该阻尼器基于位移（与速度无关）进行能量耗散，具体表现为加卸载过程中与滑动或变形相关的内摩擦力。非线性的力-变形关系如下图所示：

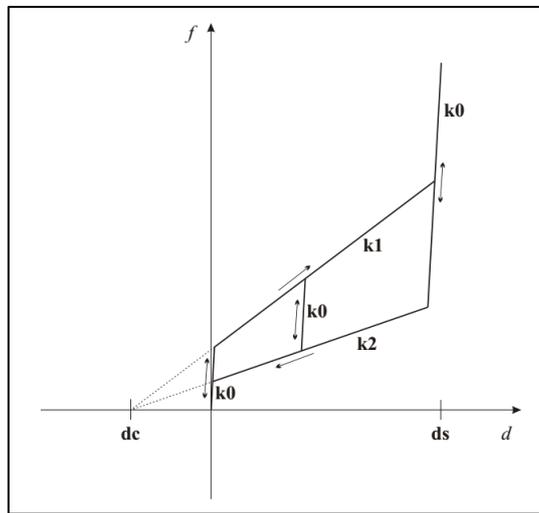


图 2-3 摩擦-弹簧阻尼器的力-变形关系曲线

如上图所示，滑动加载的刚度 k_1 大于滑动卸载的刚度 k_2 ，由于摩擦力方向的改变， k_1 和 k_2 之间由极大的弹性刚度 k_0 进行过渡。

另外，通过设置终止位移 ds 则可以定义滑动极限，超过 ds 的变形使用刚度 k_0 。通过设置预压位移 dc 则可以定义加载时开始滑动和卸载时终止滑动所需的初始力大小。

3. 三摆(Triple-Pendulum)隔震器

该隔震器为双轴摩擦摆隔震器，具有 4 个滑动球面（两个内面和两个外面），如下图所示。两个内面运动的耦合可以模拟三个串联的摩擦摆隔震器，为各个滑动面指定不同的摩擦系数和半径，可以对剪力-变形曲线进行调整。

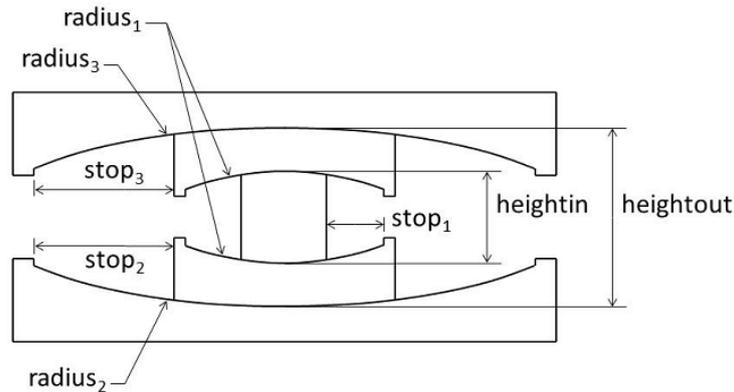


图 2-4 三摆隔震器示意图

2.4 基于时间属性

SAP2000 V16 在框架截面和壳截面属性的定义中，增加了基于时间属性，定义用于徐变及收缩分析的构件理论厚度。因此，材料属性的定义将更加简洁，无需针对不同截面的构件专门定义与之相应的材料属性。

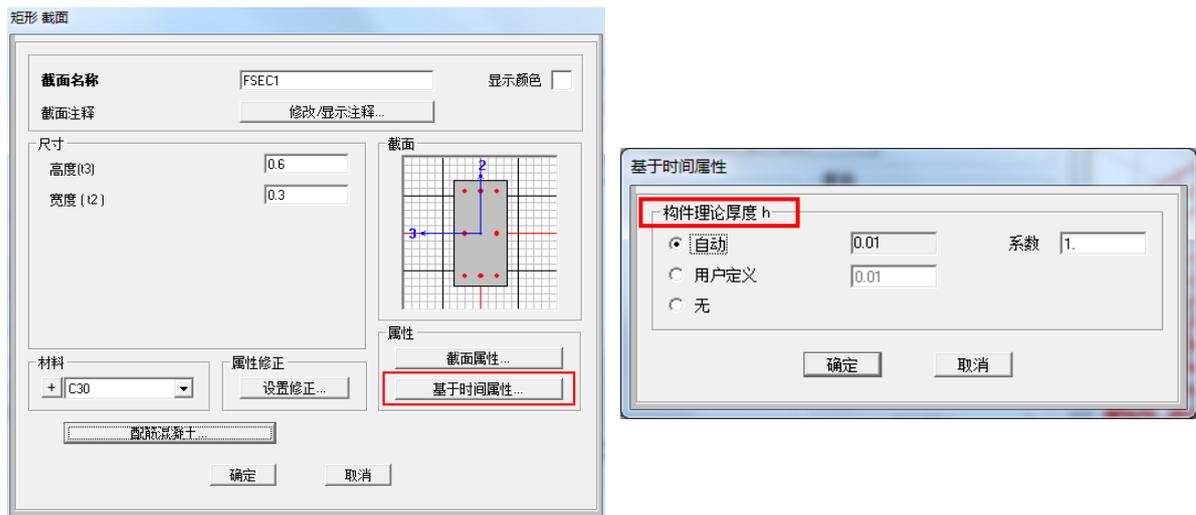


图 2-5 截面定义中基于时间属性

2.5 钢束

在 SAP2000 V16 中，用户可以更方便灵活地模拟体外预应力钢束，也可以对钢束荷载、预应力损失以及不同荷载工况或组合下的力响应进行绘图显示，如下图所示：

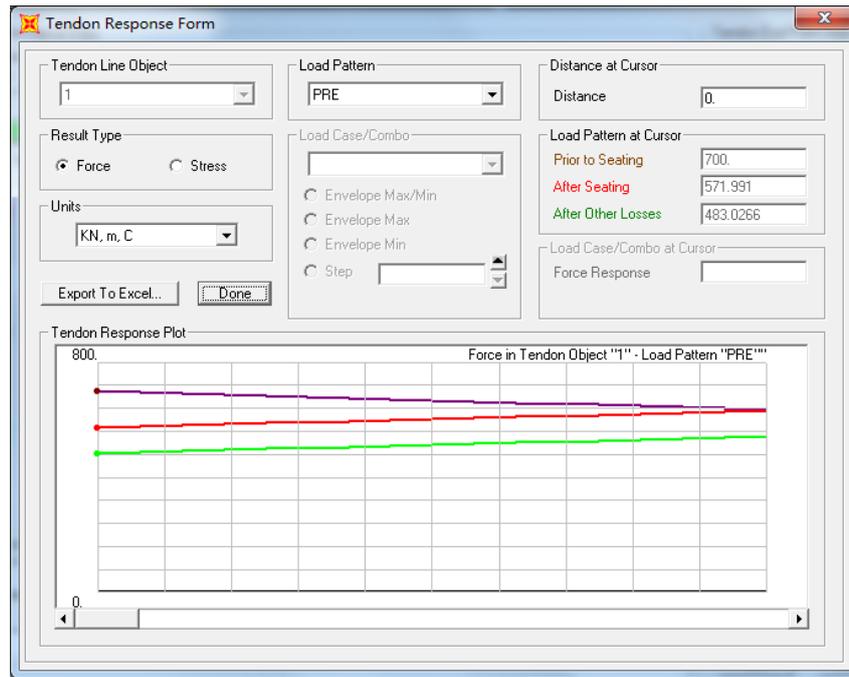


图 2-6 钢束的预应力荷载

3 分析求解

3.1 面荷载转换

增加对框架对象的荷载转换选项。即使用“均匀分布到框架”命令施加面荷载时，可以指定在面荷载传递范围内的某些框架对象不承担相应的荷载。

如下图，左图中所有梁都参与了面荷载的传递，右图中通过指定次梁的面荷载转换选项使得面荷载不向次梁传递。通常，用户根据实际需求来设置分析模型。

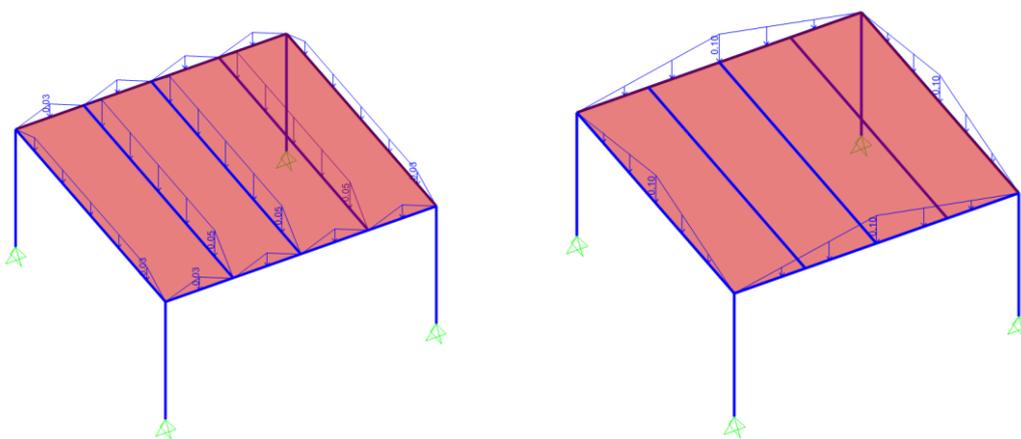


图 3-1 次梁的面荷载转换选项（左图转换，右图不转换）

3.2 非线性支座的位移荷载

SAP2000 V16 新增对单点连接单元（非线性支座）以及分布支座（面弹簧或线弹簧）施加地面位移荷载。具体操作方法与对弹簧支座或约束支座施加位移荷载相同，只是地面位移对结构的变形和内力的影响与连接属性有关，包括各种非线性属性。

3.3 多质量源定义

SAP2000 V16 支持多质量源定义，可以在同一个模型考虑的不同的质量分布和动力性能。当工况的使用刚度来自零初始条件时，线性工况只能使用默认的质量源，非线性工况则可以自由选择质量源，具体工况类型包括：

1. 非线性静态工况
2. 非线性阶段施工工况
3. 非线性直接积分时程工况

因此，对于需要使用不同质量源的线性工况，必须在其之前先进行非线性分析（选择需要的质量源），然后使后续线性工况继承非线性工况的质量源定义。

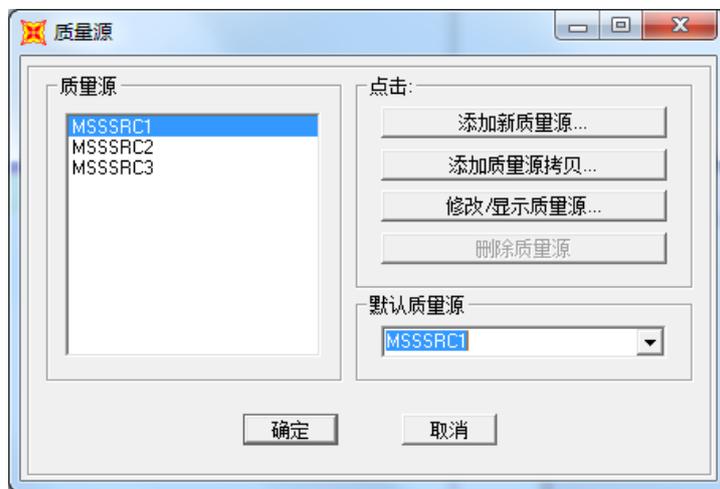


图 3-2 质量源定义

3.4 多阶段施工

SAP2000 V16 支持新的施工阶段操作：改变截面和龄期。该操作允许在改变框架截面或壳截面的同时指定新构件的龄期。

另外，对于不同施加阶段的未变形形状，即使不运行分析也可以进行模型视图查看，只需在荷载工况树中勾选“模拟阶段施工”即可。

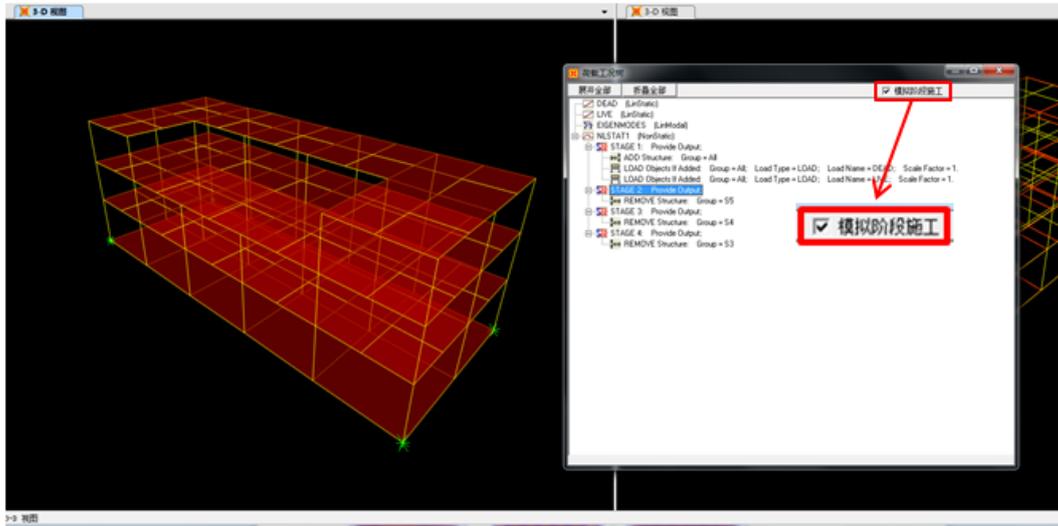


图 3-3 查看各阶段未变形模型

对于多阶段施工工况的结果显示，除采用总的分析步进行标记外，还以“阶段+阶段内分析步”的形式进行标记，这样用户可以更直观地了解分析步和阶段间的关系。如下图：总分析步的第 5 步为第 2 阶段的第 1 步。



图 3-4 多阶段施工工况的结果显示

4 后处理

4.1 框架截面的应力输出

框架截面的应力输出支持更多的选项，包括：剪应力 S12 和 S13、等效 Mises 应力 SVM、主应力 SMax 和 SMin。

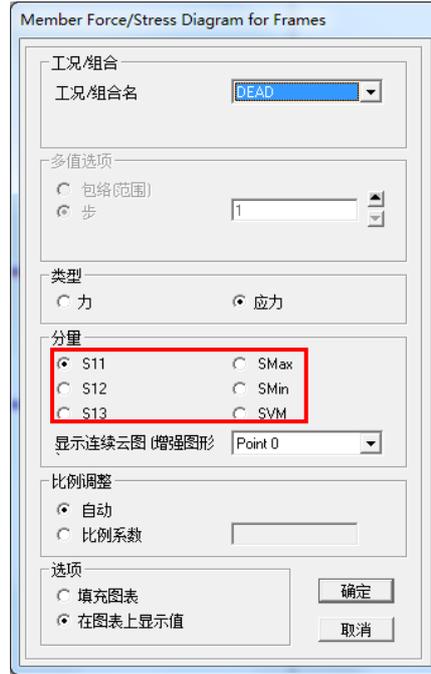


图 4-1 框架截面的应力显示

4.2 框架设计输出

对于混凝土框架设计及钢框架设计的设计结果显示，用户可以通过设置 D/C 比限值控制显示对象。同时，还可以控制是否选中这些构件，便于进行下一步的模型修改。

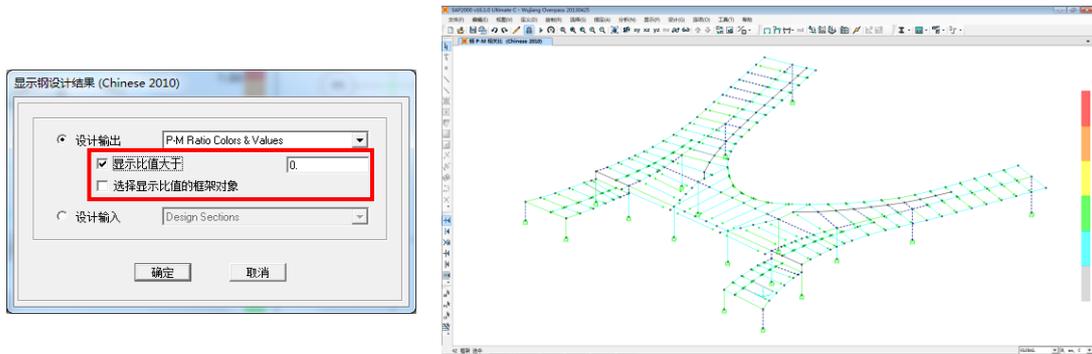


图 4-2 框架设计结果显示

4.3 壳应力的正则化显示

根据材料强度（抗拉强度和抗压强度）对壳应力进行归一化显示，便于用户更直观的掌握材料的强度利用率。

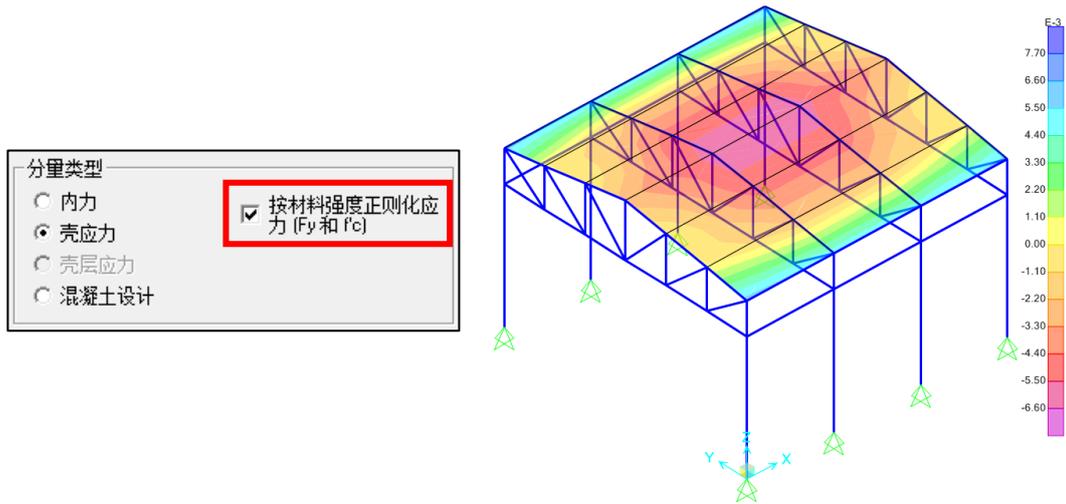


图 4-3 壳应力的正则化显示

4.4 来自面弹簧的地基土压力

SAP2000 V16 支持来自面弹簧的地基土压力的云图显示，例如：使用面弹簧模拟地基土，可以显示各种工况作用下面对象（如筏板）下的地基土压力。

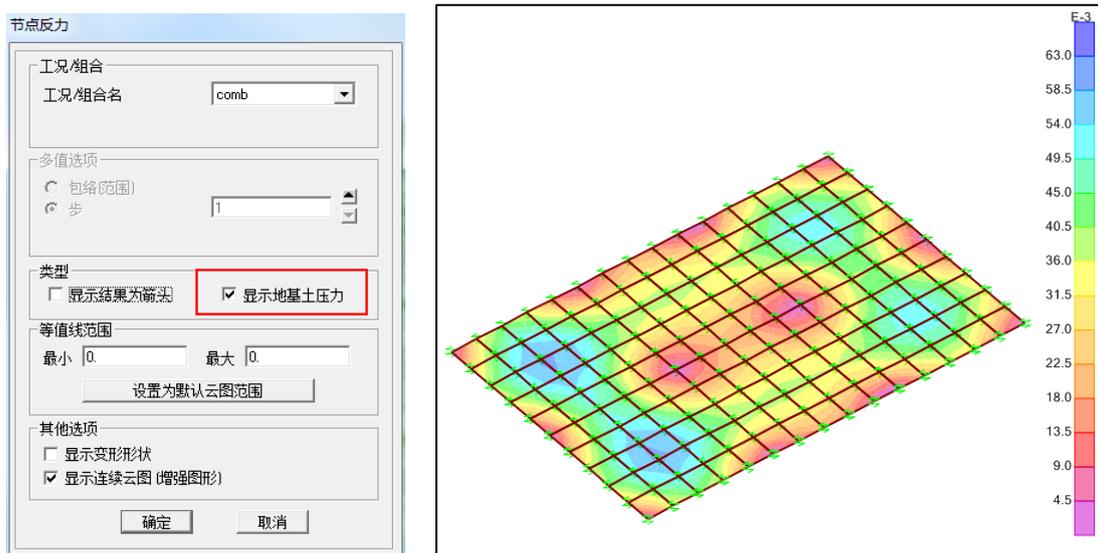


图 4-4 地基土压力的显示

4.5 表格输出

对于多值响应组合（如组合中含有时程工况），可以表格输出各测站处在某一响应分量最值时对应的其它各个响应分量的结果，这种输出类型即下图中的“一致（correspondence）”。支持的荷载组合类型包括：叠加，range，包络。可以输出的结果包括大多数的位移、力、应力响应值。



图 4-5 表格输出选项

5 设计功能

5.1 新增设计规范

1. 钢结构设计规范
 - AISC 360-10
 - Italian NTC 2008
 - Norsok N-004 2013
 - API RP2A-WSD2000 附录 2、3
2. 混凝土设计规范
 - ACI 318-11
 - Italian NTC 2008
 - NZS 3101:2006
 - Mexican RCDF 2004
 - Hong Kong CP 2013
3. 自动风荷载
 - Italian NTC 2008
 - TS 498-97
 - AS/NZS 1170.2-2011
 - API 4F 2013

4. 自动地震荷载
 - IBC 2012
 - Italian NTC 2008
 - TSC 2007
5. 反应谱函数
 - IBC 2012
 - Italian NTC 2008
 - TSC 2007
 - AASHTO 2012

5.2 其他规范相关内容

1. 采用 Eurocode 2-2004 进行混凝土框架设计时，梁-柱承载力校核得到进一步增强。
2. 根据 AISC 360 钢框架设计的直接分析法确定刚度修正系数，并通过数据库表格对框架属性进行修正。

5.3 修正 V15 中国规范设计 Bug

1. 修正了 SAP2000 v15 版本中构件颜色按照强度应力比输出，应力比数值按照强度和稳定应力比较大值输出的问题，V16 中构件的颜色和应力比数值均按照强度和稳定应力比的较大值输出。
2. 修正了 V15 版本中钢构件长细比超限时的提示的规范条文编号显示错误。
3. 修正了在个别情况下，钢构件应力/检查信息高亮项并非构件应力比最大值项的问题。
4. 修正了截面设计器中箱型型钢组合截面 PM 曲线的错误。
5. 取消了水平地震作用分项系数为 0.5 的多余荷载组合。
6. 修正了个别材料参数取值近似的问题。

6 其他

6.1 程序安装

目前，SAP2000 V16 的软件授权支持网络激活和虚拟服务器，同时应用 CSI 安装向导可以大大简化安装过程。

6.2 新的开放的 API 函数

SAP2000 V16 开放了新的 API 函数，使开发人员拥有更多的工具对软件进行控制，具体函数包括：

1. 定义截面切割的函数
2. 对框架结果定义外部荷载工况的函数
3. 获取部分规范的钢框架设计细节的函数

6.3 验证文档

提供针对大多数规范的钢结构及混凝土框架设计的验证文档及数据库文件，利用这些文档及数据库文件，用户可以快速熟悉并掌握 SAP2000 的相关设计功能。