

结论

在下面的小节中分别给出了框架、壳、板、轴对称实体、实体和连接单元，以及分析工况的分析结论。

框架

SAP2000 对于框架的校验例题列表都显示了和手算结果之间一个可以接受的，在很多情况下完全精确的结果。

一种类型的框架 SAP2000 结果取决于框架对象的剖分细度。对于这些类型的立体，当剖分细化时，可以得到更精确的结果。下面的表格列出了这一类校验例题的类型。

结果精度基于对象剖分细度的框架例题类型	
问题类型	例题列表
屈曲分析	1-019
在非线性静力分析中使用 P-Delta 选项的得到的拉应力刚度强化。	1-016, 1-017
带有弯曲大变形的静力非线性分析模型	1-029
使用指定框架对象的 P-Delta 力的拉应力刚度强化	1-016
均匀质量的近似值	1-014, 1-015

面单元 – 壳、板和轴对称实体

总体上，对于壳、板和轴对称实体对象 SAP2000 的校验例题结果与手算结果之间的差异是可以接受的。校验例题中高亮显示了当使用这些面单元时几个需要注意的重要结论。这些结论包括单元剖分、当使用不规则形状单元时平面内剪切和弯曲属性。这些问题在下面的小节中进行了进一步解释。

面单元的剖分

足够细的剖分对于面单元的到满意结果的是很重要的。建立面单元模型的过程也包含决定这些剖分的细度。一般情况下，剖分细度是在对象宽度方向产生两到更多的单元。矩形单元可以得到很好结果，并且不必过分考虑边的比例。在应力较大和变化较快的位置应该进行更细化的剖分。

当浏览结果时，下面的步骤可以帮助我们判断剖分是否足够。选择一个几个面单元交汇的节点，观察这个节点在每个面单元的应力显示，如果这些应力是相同的，说明剖分是足够的，否则就需要更细化的剖分。如果用户使用上面的步骤来观察应力图，需要确认在应力显示时不安比应力平均属性。

不规则形状单元的平面内剪切和弯曲

像在例题 2-002 和 3-002 显示的，当模拟平面内剪切和弯曲时，面对象的对几何失真和边比例是非常敏感的。矩形和平行四边形给出了一个很好的结果。三角形单元是不被建议使用的。如果可以使用矩形或平行四边形单元时，在考虑平面内剪切和弯曲分析时最好避免梯形单元的出现。当需要使用梯形单元时，建议注意下面的模型提示：

1. 总是使用两个或更多单元宽度的剖分。
2. 最大程度上减小两个不平行边之间的夹角。
3. 使用接近 1: 1 的边比例。
4. 使用上一节所谈到的方法，来检查结果应力的连续性。

薄壳与厚壳

薄壳和厚壳之间的主要区别是厚壳可以在分析中考虑了平面外剪切变形的影响。

对于大部分单元模型，平面外剪切变形一般是可以忽略的。例题 2-012 中剪切变形是很重要的，因此薄壳和厚壳得到了不同的结果。

在大部分情况下，剪切变形是不重要的，薄壳和厚壳将得到一个本质上相同的结果。厚板往往需要更细的剖分以得到与薄板一致的结果。

厚板的扭曲结果对于边比例和几何失真的敏感度比薄板要强一些。这在例题 2-002 的第四个工况中进行了说明。

总之，我们建议使用薄板选项，除非对于需要重点考虑剪切变形的例题。

板和轴对称实体元独立弯曲模型选项

对于具有弯曲变形的模型，不使用独立模型选项需要更加细化的剖分才能得到与使用独立模型选项的相同精度水平的结果。

我们推荐用户在进行板和轴对称实体单元分析时一直选择使用独立弯曲模型选项。

实体单元

总体上，对于实体对象 SAP2000 的校验例题结果与手算结果之间的差异是可以接受的。

为了得到满意的结果足够的剖分是很重要的。矩形和平行四边形单元可以给出最好的结果，并且可以不考虑面的比例问题。在可能的情况下尽量避免使用梯形单

元。如果梯形单元不能避免，那么尽量减小不平行两个对面的夹角。在应力较大和变化较快的位置应该进行更细化的剖分。

对于具有弯曲变形的模型，不使用独立模型选项需要更加细化的剖分才能得到与使用独立模型选项的相同精度水平的结果。另外，不使用独立弯曲选项模型对于单元的面比例的敏感度更大一些。

连接

总体上，对于连接对象 SAP2000 的校验例题结果与手算结果之间的差异是可以接受的。校验例题中高亮显示了当使用这些面单元时几个需要注意的重要结论。

当在分析中使用非线性连接单元时，对问题的仔细研究是很重要的。SAP2000 模型中使用的连接属性参数研究是有用的。像在下面分析工况中所描述的一样，一些分析工况的参数研究将被用来确认是否得到合适的结果。

在例题 6-007 中，当阻尼单元使用并非一个速度参量时，所得到的结果可能在低速度下对阻尼器的反应更明显。因此，对于阻尼器的力-速度参数的精确信息了解是很重要的，并且调整 SAP2000 中的阻尼属性来匹配这些参数。尤其是刚度 k 的调整可以修改隔震器低速率下的表现。我们建议当使用非线性速度参数时，应该使用不同的 k 值进行验算。更多信息参见 6-007。

分析工况

对于一些静力非线性分析，结果的精度是决定于模型的离散化和使用的剖分形式。这一方面的例题在立体列表中 1-016、1-017、1-0292-019 有相关体现。

时程分析的结果是基于输出时间的间隔。如果时间间隔过长，波峰反应将不能被捕捉到。这在例题 1-022 进行了解释。

总体而言，屈曲分析的精确度基于模型的离散化和使用的剖分形式。关于这方面在例题 1-019 进行了说明。

非线性分析尤其需要对控制容差的参数研究来确认使用了一个适当的小容差。一般情况下，用户可以假设一个容差，并且使用这个容差进行分析并使用更小的误差进行另一次分析。如果这两个分析的结果并不是非常不同，假设的容差是可以接受的。否则需要试用更小的容差。

与非线性分析中的控制容差相似，直接时间积分需要对时间步长进行研究来决定小到何种程度的步长可以得到稳定的结果。这在例题 6-001 进行了解释。注意对于直接积分时程分析，使用最大时间子步长参数控制在分析中的步长。例如，在分析中设置最大子步长参数为 0.0005 秒，同时，设置输出时间步长参数为 0.02 秒以便在每间隔 0.02 秒进行一次输出。