

SAP2000 中的自动风荷载工况测试

曲哲

2008-5-1

越来越发现 SAP2000 作为一款工程设计类有限元分析软件还是有许多优越性，但任何一个有限元软件，最要命的就是帮助文档不健全。这也是我当初疏远 MARC 而转投 ABAQUS 的主要原因之一。帮助文档不健全的一个后果是用户难以方便的学习使用软件；另一个更要命的后果是，用户不能方便的知道自己输入的东西对于软件来说到底意味着什么，结果只能有一个，就是“Garbage in, garbage out.” 为了避免发生这种情况，用户不得不对软件中含义不明确的输入参数进行额外的测试，甚至去猜它到底是什么意思。现在要做的，就是通过一些简单的测试算例，去猜测 SAP2000 中基于我国规范的自动风荷载工况的设置中的一些参数是什么意思。

SAP2000 中有两种方式可以定义自动风荷载工况，一种是在受风面（迎风面或者背风面）处建立虚拟面（一般可以用厚度为 0 的壳单元来建），然后再通过 Area Load 中的 Wind pressure coefficients 对该面施加风荷载，这时在风荷载工况的定义应选择 Exposure from Area Objects（如图 1 中的 B）；另一种是通过刚性楼板施加风荷载，这时应首先把需要施加风荷载的楼层通过 Joint Constrain 建立为刚性楼板（Rigid Diaphragm），再在风荷载工况中选择 Exposure from Extents of Rigid Diaphragms（如图 1 中的 A），这时不需要再定义任何其它荷载，风荷载会自动施加到各个刚性楼板上。

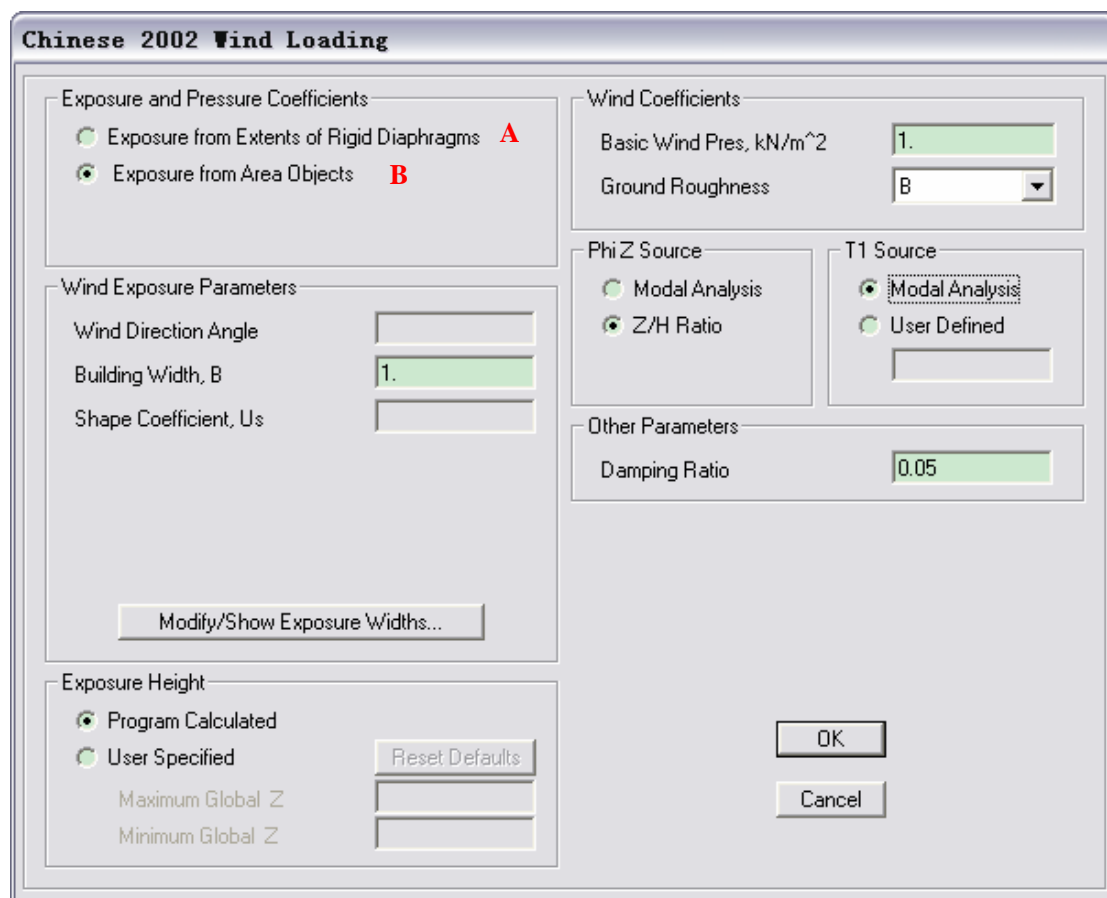


图 1 SAP2000 中基于我国规范的自动风荷载定义对话框
在自动风荷载工况的对话框中，Wind Exposure Parameter，Exposure Height，Wind

Coefficients 以及 PhiZ Source 等四部分中各个参数的物理意义都比较明确，而 T1 Source 和 Other Parameter 两部分就比较诡异了。首先，T1 Source 选 Modal Analysis 和选 User Defined 的分析结果有差异；其次，Other Parameter 中的 Damping Ratio 可能是根据荷载规范的条文说明在计算风振动力系数时要用到，但即使对于低矮的结构，如果令 Damping ratio 不为零，结果也很诡异。

如果选择用虚拟面的方法施加风荷载，那么还需要填写如图 2 所示的面风压系数对话框，其中 Cp 可以理解为对风压标准值的一个修正系数。而下面的 Windward 和 Other 两种选择似乎对结果没有什么影响。

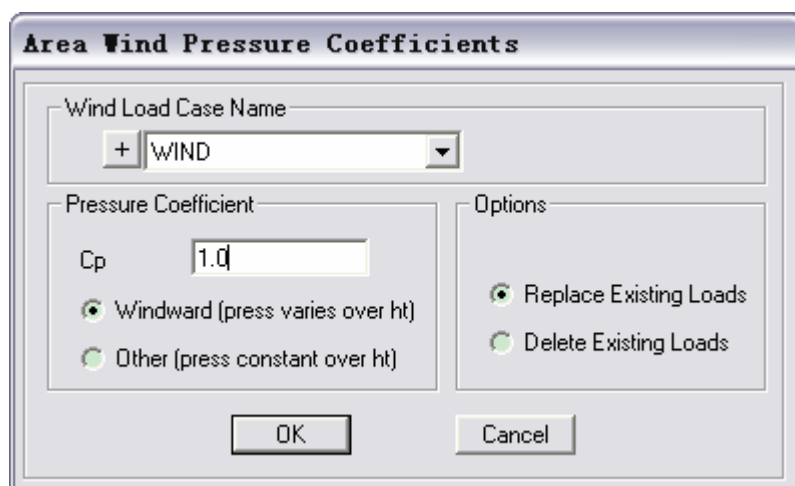


图 2 面风压系数对话框

下面通过 1 层和 10 层两个钢框架来测试 SAP2000 的自动风荷载工况。它们都是由图 3 所示的单层框架竖向垒建而成的，框架单元的长、宽、高均为 10.0m。在各种测试中，标准风压均设为 1.0kN/m²，体型系统均取 1.0，Cp 也为 1.0，场地粗糙度为 B。

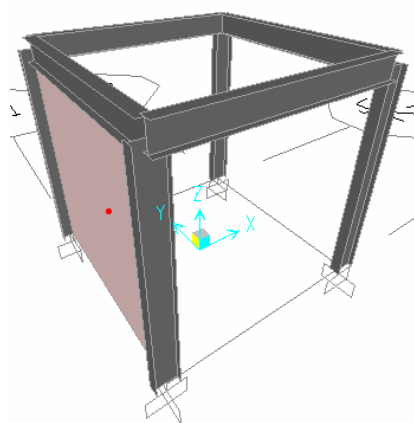


图 3 单层框架结构单元

1. 单层框架测试

结构高度为 10m，基本周期小于 0.25s（如表 1 所示），按我国荷载规范计算风压标准值时无需采用风振系数，这时容易根据迎风面的面积直接算出，按规范的风载侧向力总和为 100kN，相应的结构基底剪力也应为 100kN。

表 1 框架的模式

	1 阶	2 阶	3 阶
振型	Y 方向平动	扭转	X 方向平动
周期(s)	0.190	0.140	0.082

在 SAP2000 中得到的不同情况下的结构基底剪力如图 4 所示。图中主要比较了不同的风荷载施加方式，以及 Damping Ratio 的不同取值对结构在风荷载作用下的基底剪力。图例中的“用户周期”是指采用 User Defined 方式自定义结构的基本周期，但数值等于 Modal Analysis 得到的基本周期。

首先，如果将阻尼比 Damping Ratio 设置为 0，则无论采用何种风荷载的施加方法，无论选用什么样的基本周期，风荷载下的基底剪力都与规范相符，即为 100kN。

其次，一旦阻尼比 Damping Ratio 不等于 0，结构基底剪力将偏离规范值，并且不同施加方式之间也有不同，而基本周期的设置方式与取值也会影响风荷载的合力。实际上对于这样的结构不必考虑风振系数的影响，所以结构基本周期应该没有任何影响。但有趣的是，使用 Modal Analysis 和使用 User Define 来定义基本周期时，即使在 User Define 中设置的基本周期与 Modal Analysis 得到的基本周期完全一样，计算得到的基底剪力也会不同。

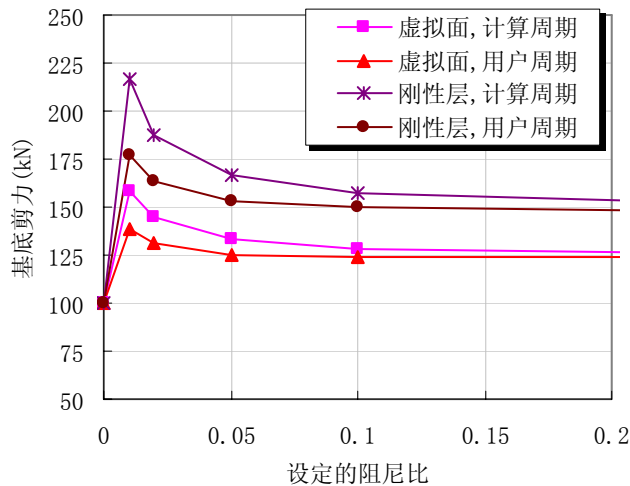


图 4 结构阻尼比、基本周期以及风荷载施加方式的影响

2. 十层高耸框架测试

结构高度为 100m，基本周期远大于 0.25s（如表 2 所示），按我国荷载规范计算风压标准值时应该采用风振系数。

表 2 框架的模态

	1 阶	2 阶	3 阶
振型	Y 方向平动	X 方向平动	扭转
周期(s)	1.852	1.329	1.129

当在风荷载工况对话框设阻尼比为 0 时，采用两种施荷方式在 SAP2000 中得到的结构基底剪力均为 1604.96kN，而当将阻尼比改为 0.05 时，采用虚拟面加载得到的基底剪力为 2254.46kN，采用刚性层加载得到的基底剪力为 2260.96kN。

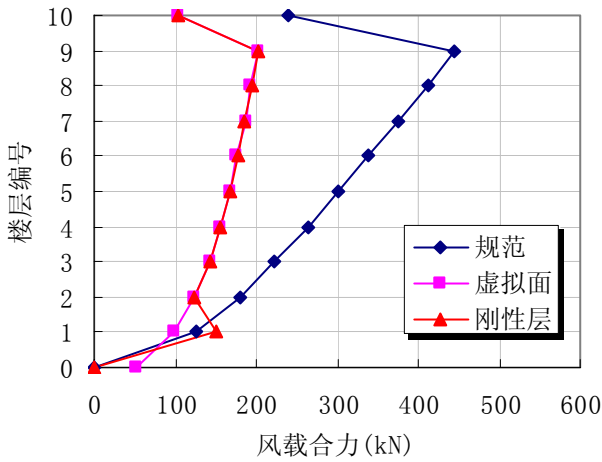
图 5 比较了楼层的剪力分布，并由此推测了标准风压的分布，可见：

- (1) 虚拟面加载时，每个壳单元上的风压是均匀分布的，压力分配给壳与框架相连的

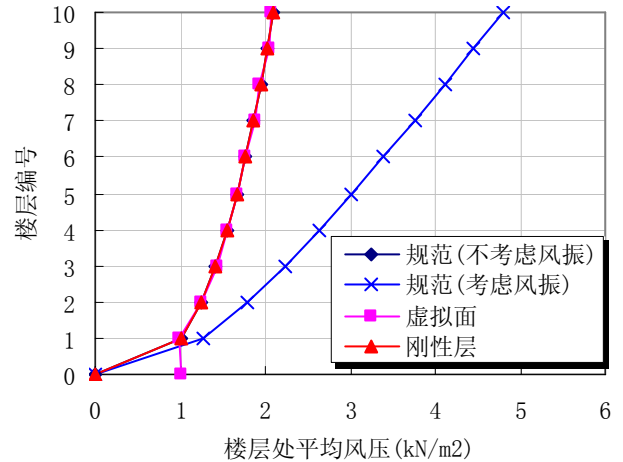
四个点。这也正是当采用虚拟面加载时，结构柱底也会受到集中力作用的原因。

(2) 当采用刚性层加载时，SAP2000 将集中力作用下刚性楼层上，力的大小等于楼层处的风压标准值乘以刚性楼层的竖直范围。对于中间楼层，该范围为上下两层柱的中央之间；对于顶层屋面，该范围仅为顶层的半层层高；对于底层楼面，该范围为整个底层和半个二层层高。正因为此，底层楼面上作用的集中力会反而大于二层层面上的集中力。

(3) SAP2000 中的风荷载，与规范中不考虑风振情况下的风荷载相当，与考虑风振情况下的风荷载相差很大。



(a) 楼层处的风载集中力



(b) 楼层处的平均风压

图 5 十层框架的分析对比结果

3. 结论

由以上分析，对于使用 SAP2000 的自动风荷载工况有以下建议：

- (1) SAP2000 的自动风荷载不能考虑风振系数，对高耸建筑应慎重使用；
- (2) 若要使用 SAP2000 的自动风荷载工况，对于使用刚性楼板的结构，可以使用刚性楼板加风荷载，非常简便；如果不适宜用刚性楼板，则用虚拟面加载也是不错的选择，二者相差很少；
- (3) 若要使用 SAP2000 的自动风荷载工况，宜在风荷载工况的定义中设定结构阻尼比为 0。在有更权威的解释与测试之前，为结构设定不等于 0 的阻尼比只会使结果难以解释。