

## 1.2 多塔那些事

侯晓武

### 1.2.1 序言

近年来，建筑结构中采用双塔甚至多塔这种结构形式越来越多，最有名的双塔莫过于马来西亚的石油双塔（如图 1.2.1 所示），其建筑高度为 452m，共 88 层，从 1996 年 2 月 13 日竣工后，雄霸世界最高建筑长达 7 年，于 2003 年 10 月 17 日被台北 101 超越，但仍是目前世界最高的双塔楼，也是世界第四高的大楼。



图 1.2.1 马来西亚石油双塔

下文将对采用 midas Building 进行多塔分析时需要注意的问题逐一梳理。

### 1.2.2 建模

#### 1.2.2.1 导入 PKPM 模型

在 PKPM 中有两种定义多塔的方式。一种是在 PMCAD 中进行楼层组装时，为每一个楼层增加一个“层底标高”，以广义层的方式完成。另一种是将各塔在同一高度处的楼层放在同一个标准层内，并在 PMCAD 中组装后，到 SATWE 中进行多塔的补充定义。如果双塔对应层的层高不一致，此时仅能采用第一种方法，即定义广义多塔的形式来完成。

如果在 Building 中导入 PKPM 模型，仅支持第二种方法定义的多塔。如果是按照第一种方式定义的多塔，需要将指定的层底标高删除后进行转换。下面以错层多塔为例，介绍该类结构的转换方法。

PKPM 中定义的某错层多塔模型如图 1.2.2 所示：

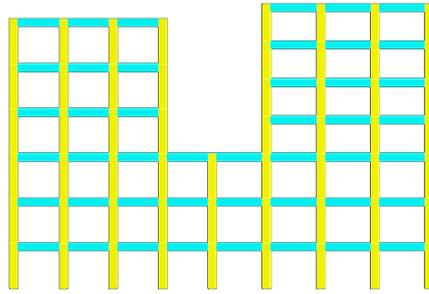


图 1.2.2 某错层多塔结构 PKPM 模型

在 Building 中导入，并定义多塔后模型如图 1.2.3 所示。

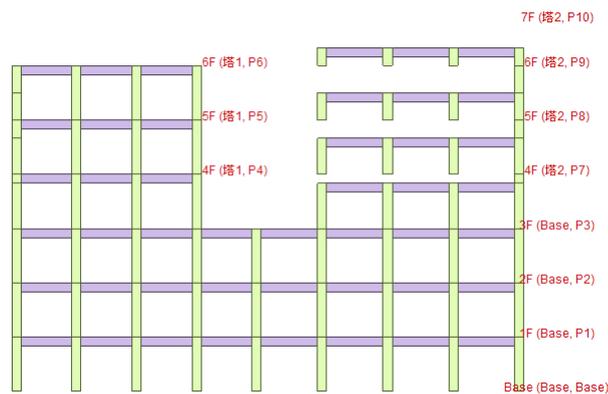


图 1.2.3 导入 Building 中多塔模型

可以发现塔 2 的竖向构件都少了一截。此时即便在“楼层与标准层”中修改层高也无济于事。如果想要将该种结构导入 Building，需要做如下操作：

首先在 PKPM 中删除图 1.2.4 广义层定义中的底标高。



图 1.2.4 修改底标高

修改后模型如图 1.2.5 所示

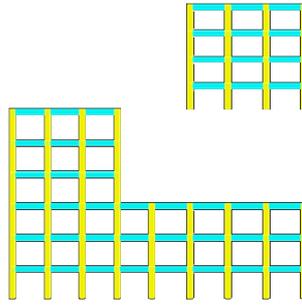


图 1.2.5 修改底标高后 PKPM 模型

导入 Building 后，模型如图 1.2.6 所示。

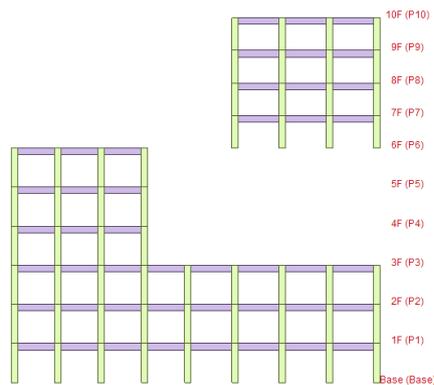


图 1.2.6 删除底标高后导入 Building 模型

在该模型基础上，定义多塔。需注意如下事项：

(1) 指定塔范围不能有遗漏的点和构件，也不能在两个塔块里有重复的点和构件。否则点击“适用”后会提示“有构件不在定义的范围”或“某点属于两个塔块”。

(2) 定义塔块范围时，应在楼层视图中采用俯视图进行多边形选择。最好钝化掉最下面几层的基塔部分构件，只留下上部几个塔块构件，这样方便选择。多个塔块定义范围在相交分界处要注意，不要使相交区域包括相同构件。

定义多塔后模型如图 1.2.7 所示。

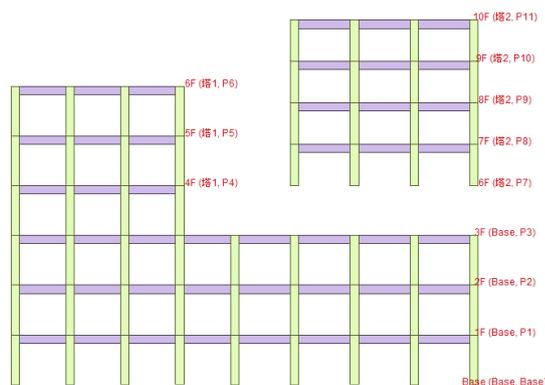


图 1.2.7 定义多塔后模型图

在楼层与标准层中，删除 6F。删除后模型图如图 1.2.8 所示。

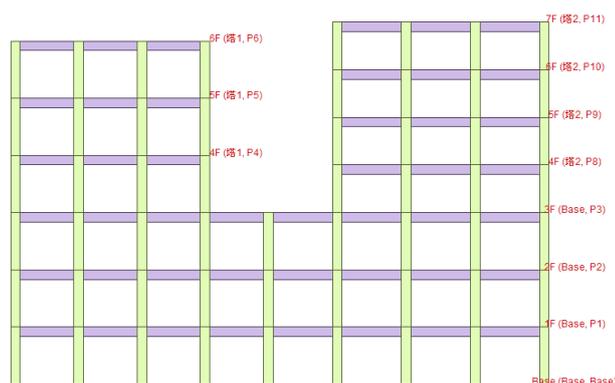


图 1.2.8 修改后的最终模型

对于通过广义层定义的多塔结构，如果要导入到 Building 中，需首先在 PKPM 楼层组中将底标高删除，按正常模型建立方法建立模型。导入后模型中塔 2 部分会出现悬空。可以在导入 Building 后进行修改。

### 1.2.2.2 在 midas Building 中建模

第一种是将双塔对应高度处的标准层放在同一个标准层内，进行组装得到整体模型。而后利用程序的定义多塔功能（菜单：结构->标准层和楼层->定义塔）进行分塔。

第二种是先定义多塔及各塔标准层后直接组装成多塔，这里不一一介绍。

### 1.2.2.3 定义多塔后需要重新定义，该如何处理？

目前在 midas Building 中不支持多塔定义后的恢复。如果要恢复到定义多塔前的模型，需要进行如下操作：

通过快捷键 Ctrl+D，打开“按属性激活/选择”对话框。

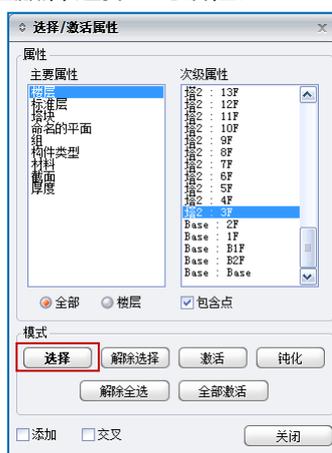


图 1.2.9 按属性激活/选择对话框

点击“选择”按钮，如图 1.2.9 所示，选中该层所有构件。

菜单：结构->标准层和楼层->复制标准层（如图 1.2.10 所示）



图 1.2.10 复制标准层

勾选“选择构件和节点”，选择要复制到哪一个标准层，最后点击“适用”。

重复上述操作，将塔 2 中的所有楼层都复制到塔 1 的标准层中。而后删除塔 2，如图 1.2.11 所示。



图 1.2.11 删除塔 2

### 说明：

- 由 PKPM 中导过来的模型，原来的每一个楼层都会自动识别为一个标准层。导入后可以在标准层与楼层对话框中（如图 1.2.12 所示）进行修改。这样不仅执行上述操作时会更方便，计算时也会节省时间。
- 尽管如上提供了一种方法，但是终究还是比较繁琐。对于多塔结构，建议定义多塔之前先将模型另存后进行操作。

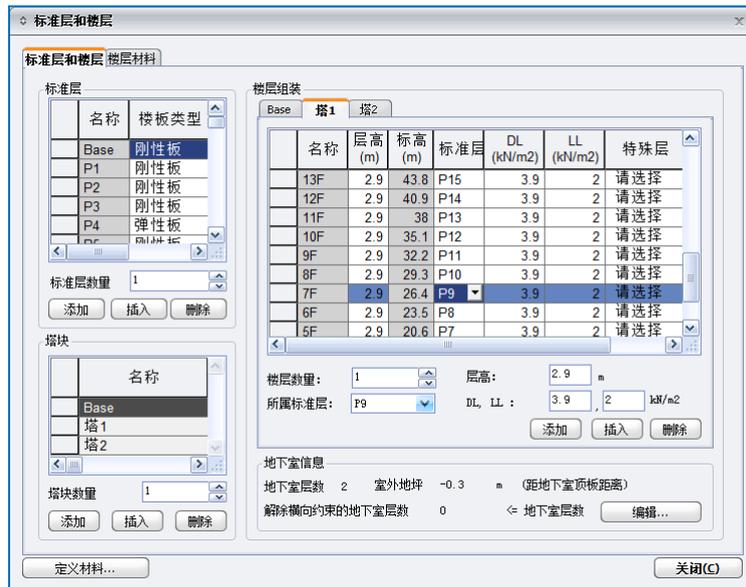


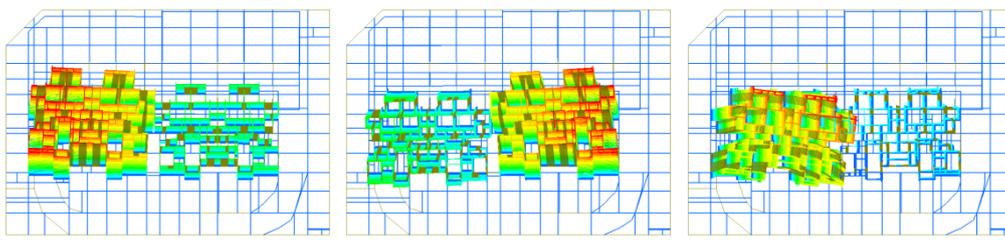
图 1.2.12 标准层和楼层对话框

### 1.2.3 振型分析结果的讨论

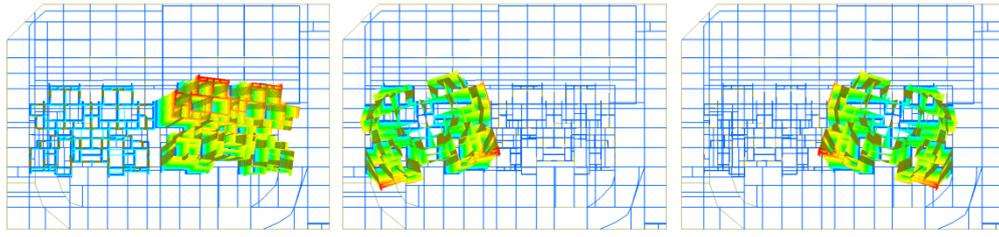
该模型的结构图如图 1.2.13 所示，前 8 阶振型图如图 1.2.14 所示，所对应的振型简图如题 1.2.15 所示。



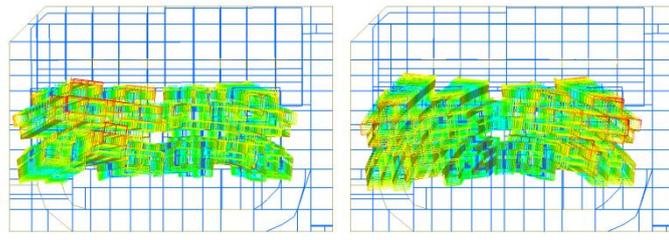
图 1.2.13 某双塔结构模型图



(a) 第 1 振型 (b) 第 2 振型 (c) 第 3 振型



(d) 第 4 振型 (e) 第 5 振型 (f) 第 6 振型



(g) 第 7 振型 (h) 第 8 振型

图 1.2.14 某结构的前八阶振型

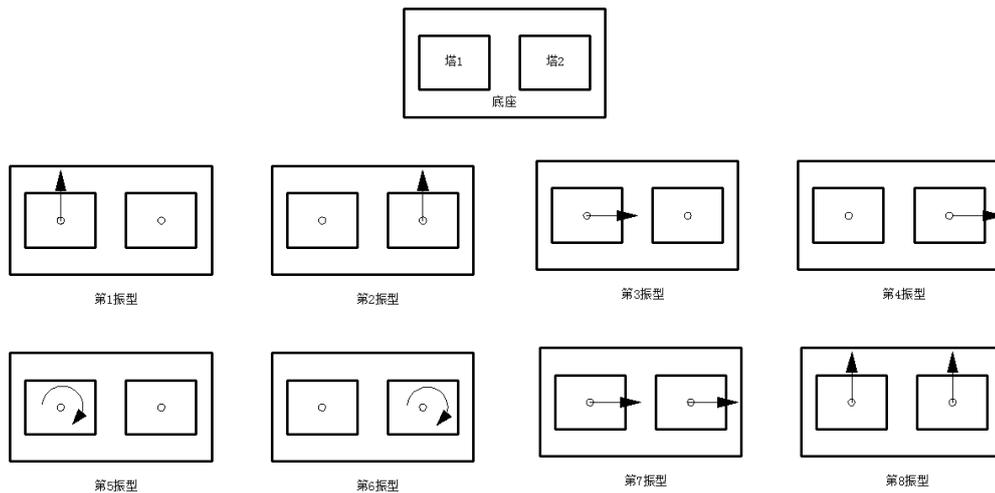


图 1.2.15 振型简图

从振型简图中可以看出，前六阶振型分别为单塔的 Y 向平动，X 向平动以及扭转。由于双塔对称布置，因而振型的出现比较规律。而对于单塔，结构沿短边方向的抗弯刚度较长边小，因而该方向振型首先出现。实际模型中，并不会严格按照这种理想状况，出现单塔单独振动。当某一个塔振动时，另一个塔也会振动，只是与第一个塔相比会比较小。第七和第八振型分别为双塔的共同振动。

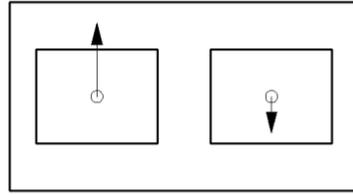


图 1.2.16 某振型简图

有一点需要注意的是，如果振型如图 1.2.16 所示时，尽管各单塔均为平动，但对于整体结构而言，其表现为扭转。在 midas Building 中，此时的扭转方向因子可能大于平动。因而判断某一振型是平动还是扭转，除查看方向因子外，还应结合实际振型进行判断。

#### 1.2.4 定义多塔与否对结果的影响

##### 1.2.4.1 刚性楼板假定

对于多塔结构，不定义多塔时，如果某标准层定义为刚性板，由于同一标准层内两个部分相互分离，因而程序处理时还是按照分块刚性计算的。

可以在后处理中，选择某一层，打开节点显示来进行查看。由图 1.2.17 可见，每一个单塔的楼板都显示有一个主控节点。

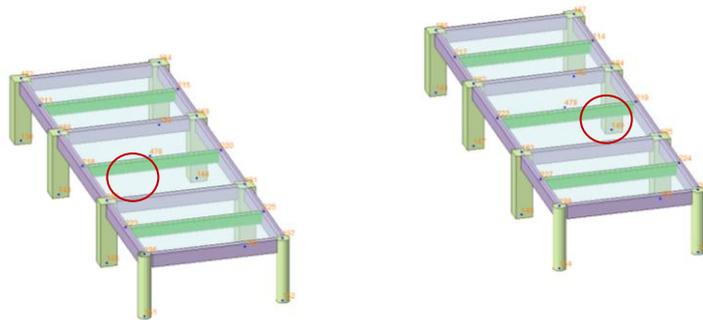


图 1.2.17 不分塔某层主控节点

对于多塔结构，如果定义了多塔，程序对于每个塔内的标准层，单独考虑刚性楼板假定，因而在这一点上，两者是相同的。

##### 1.2.4.2 风荷载计算

##### 1.2.4.2.1 迎风面宽度

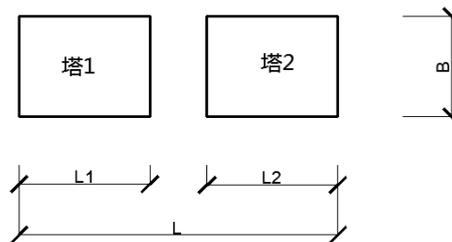


图 1.2.18 某多塔结构尺寸

荷载作用方向为沿结构长边方向：定义多塔时，各塔的迎风面宽度与不定义多塔时整体的迎风面宽度相同，均为 B，如图 1.2.18 所示。

荷载作用方向沿结构短边方向：定义多塔时，各塔的迎风面宽度分别为 L1 和 L2，不定义多塔时，迎风面宽度为 L。

可以在结构分析之后，打开荷载控制对话框进行查看（图 1.2.19-图 1.2.21）。

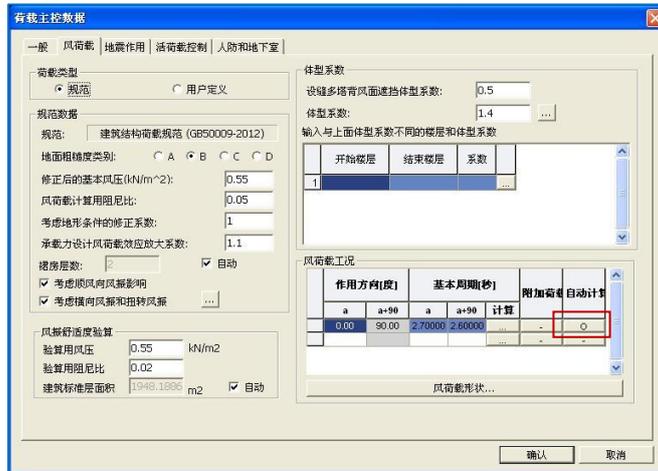


图 1.2.19 荷载主控数据



图 1.2.20 迎风面宽度

迎风面宽度 (单位: m)					
定义多塔			不定义多塔		
层	X向	Y向	层	X向	Y向
塔2:15F	19.89	26.7	15F	19.89	54
塔2:14F	19.89	26.7	14F	19.89	54
塔2:13F	19.89	26.7	13F	19.89	54
塔2:12F	19.89	26.7	12F	19.89	54
塔2:11F	19.89	26.7	11F	19.89	54
塔2:10F	19.89	26.7	10F	19.89	54
塔2:9F	19.89	26.7	9F	19.89	54
塔2:8F	19.89	26.7	8F	19.89	54
塔2:7F	19.89	26.7	7F	19.89	54
塔2:6F	19.89	26.7	6F	19.89	54
塔2:5F	19.89	26.7	5F	19.89	54
塔2:4F	19.89	26.7	4F	19.89	54
塔2:3F	19.89	26.7	3F	19.89	54
塔1:15F	19.89	26.7	2F	19.29	54
塔1:14F	19.89	26.7	1F	35.65	58.6
塔1:13F	19.89	26.7			
塔1:12F	19.89	26.7			
塔1:11F	19.89	26.7			
塔1:10F	19.89	26.7			
塔1:9F	19.89	26.7			
塔1:8F	19.89	26.7			
塔1:7F	19.89	26.7			
塔1:6F	19.89	26.7			
塔1:5F	19.89	26.7			
塔1:4F	19.89	26.7			
塔1:3F	19.89	26.7			
Base:2F	19.29	54			
Base:1F	35.65	58.6			

图 1.2.21 定义多塔与否迎风面宽度比较

## 1.2.4.2.2 体型系数

结构不定义遮挡面时的体型系数：

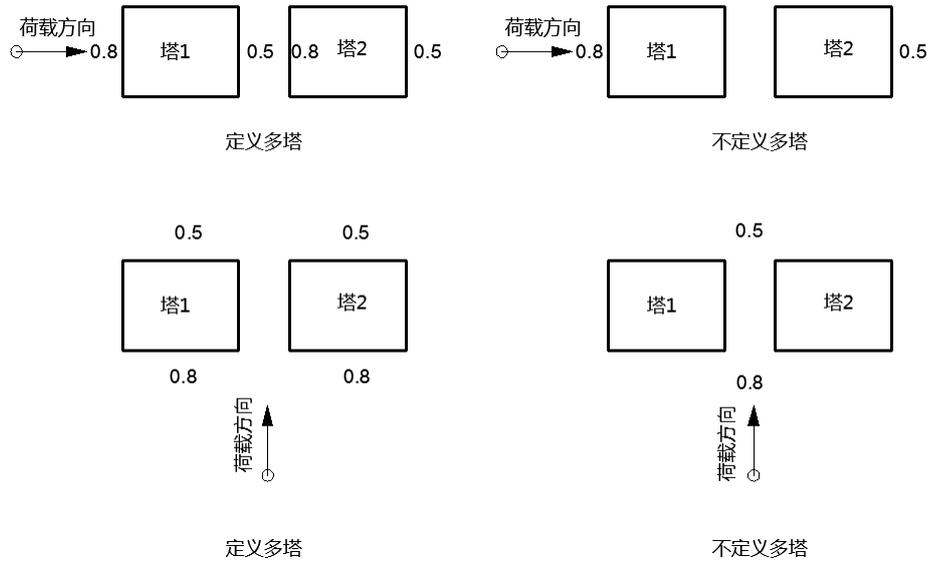


图 1.2.22 不定义遮挡面时体型系数

结构定义遮挡面时的体型系数（设缝多塔背风面遮挡体型系数=0.5）：

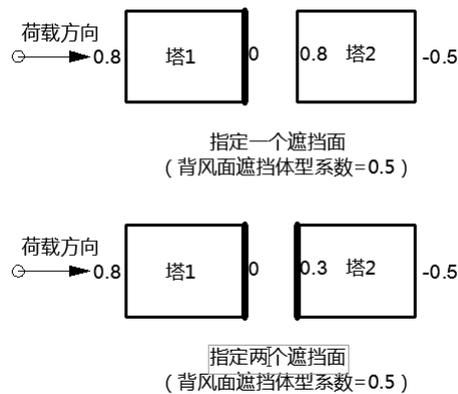


图 1.2.23 定义遮挡面时体型系数

设缝多塔背风面遮挡体型系数可以根据两个塔的距离远近进行定义。距离较远时，不考虑双塔之间的相互影响，可以将其定义为 0。双塔距离较近时，可不考虑双塔之间的风荷载作用，可将背风面遮挡体型系数定义为 0.5，如图 1.2.23 所示。此时塔 2 左侧体型系数为 0.3，可能考虑的相对保守。如果此处塔 2 左侧体型系数也为 0，将会导致左右两塔的体型系数不相等。这样当风荷载方向为从左向右时的体型系数与风荷载沿相反方向时的体型系数不同。则风荷载与其它荷载组合时，不能简单通过±号进行考虑，这时程序处理上将比较复杂。

1.2.4.3 结果比较

1.2.4.3.1 荷载

如前所述，分塔与否只影响风荷载，对于竖向荷载以及地震荷载并无影响。

表 1.2.1 某多塔结构分塔与否风荷载比较（未定义遮挡面）

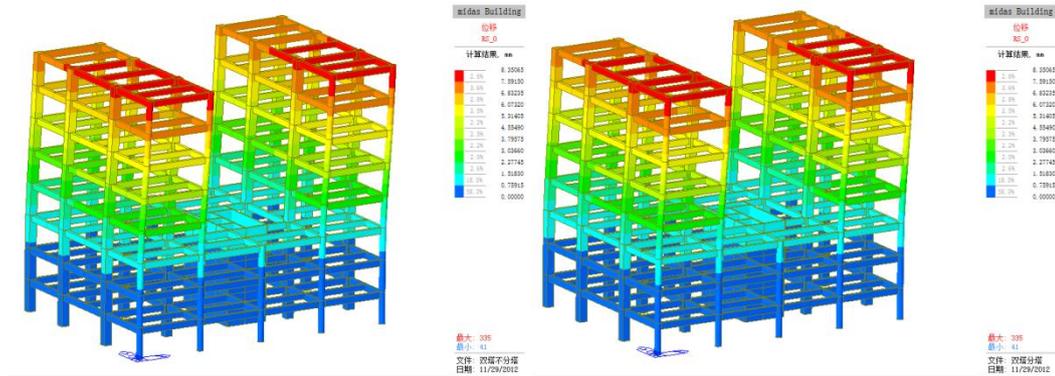
X向风荷载 (单位: kN)					
定义多塔			不定义多塔		
层	荷载	层	荷载	层	荷载
塔2:8F	124.7	塔1:8F	124.7	8F	124
塔2:7F	116.2	塔1:7F	116.2	7F	115.6
塔2:6F	107.7	塔1:6F	107.7	6F	107.2
塔2:5F	99.5	塔1:5F	99.5	5F	99
塔2:4F	90.1	塔1:4F	90.1	4F	89.8
Base:3F	78.3			3F	79.5
Base:2F	71.3			2F	72.2
Base:1F	67.4			1F	67.9

表 1.2.2 某多塔结构分塔与否地震荷载比较

X向风荷载 (单位: kN)					
定义多塔			不定义多塔		
层	荷载	层	荷载	层	荷载
塔2:8F	273.97	塔1:8F	271.72	8F	545.34
塔2:7F	169.08	塔1:7F	166.14	7F	334.91
塔2:6F	184.8	塔1:6F	183.46	6F	367.83
塔2:5F	209.04	塔1:5F	209.42	5F	417.96
塔2:4F	194.61	塔1:4F	194.65	4F	388.81
Base:3F	609.2			3F	609.19
Base:2F	421.06			2F	421.08
Base:1F	178.37			1F	178.41

1.2.4.3.2 节点位移及构件内力

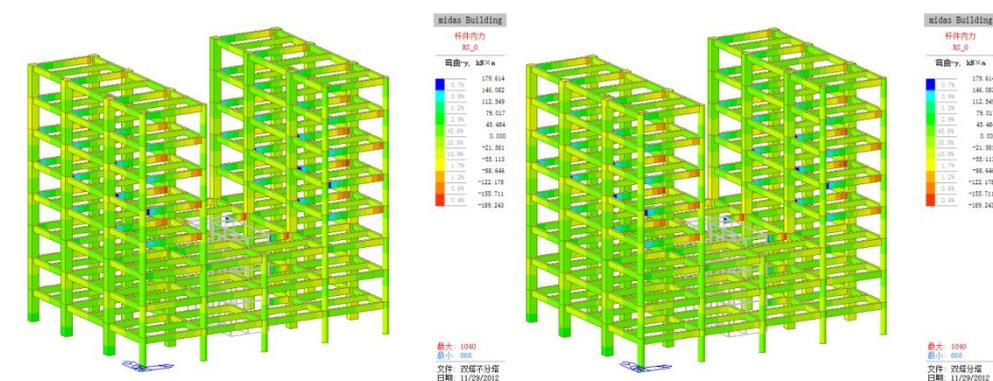
由于分塔与否，风荷载不同，因而风荷载作用下节点位移和构件内力必然不同。反应谱荷载作用下结果比较见下图，可见节点位移和构件内力完全相同。



(a) 不分塔

(b) 分塔

图 1.2.24 地震工况下结构位移



(a) 不分塔

(b) 分塔

图 1.2.25 地震工况下梁端及柱端弯矩

## 1.2.4.3.3 层结果

分塔与否对层相关的结果有影响。若已经分塔，则程序会对每一个塔单独输出结果。

表 1.2.3 地震工况不分塔时层间位移角结果

塔	楼层	层高 (mm)	荷载工况	最大层间位移 (mm)	最大层间位移角	容许层间位移角	验算结果
请按鼠标右键并点击'允许层间位移角...'命令并修改允许值							
Base	8F	4000.00	RS_0	1.256	1/3183	1/800	OK
Base	7F	4000.00	RS_0	1.585	1/2523	1/800	OK
Base	6F	4000.00	RS_0	1.804	1/2217	1/800	OK
Base	5F	4000.00	RS_0	1.840	1/2173	1/800	OK
Base	4F	4000.00	RS_0	1.388	1/2882	1/800	OK
Base	3F	4000.00	RS_0	0.502	1/7971	1/800	OK
Base	2F	4000.00	RS_0	0.389	1/10285	1/800	OK
Base	1F	4000.00	RS_0	0.234	1/17114	1/800	OK

表 1.2.4 地震工况分塔时层间位移角结果

塔	楼层	层高 (mm)	荷载工况	最大层间位移 (mm)	最大层间位移角	容许层间位移角	验算结果
请按鼠标右键并点击'允许层间位移角...'命令并修改允许值							
塔1	8F	4000.00	RS_0	1.242	1/3221	1/800	OK
塔1	7F	4000.00	RS_0	1.549	1/2583	1/800	OK
塔1	6F	4000.00	RS_0	1.755	1/2279	1/800	OK
塔1	5F	4000.00	RS_0	1.781	1/2246	1/800	OK
塔1	4F	4000.00	RS_0	1.353	1/2957	1/800	OK
塔2	8F	4000.00	RS_0	1.256	1/3183	1/800	OK
塔2	7F	4000.00	RS_0	1.585	1/2523	1/800	OK
塔2	6F	4000.00	RS_0	1.804	1/2217	1/800	OK
塔2	5F	4000.00	RS_0	1.840	1/2173	1/800	OK
塔2	4F	4000.00	RS_0	1.388	1/2882	1/800	OK
Base	3F	4000.00	RS_0	0.502	1/7971	1/800	OK
Base	2F	4000.00	RS_0	0.389	1/10285	1/800	OK
Base	1F	4000.00	RS_0	0.234	1/17114	1/800	OK

## 1.2.5 多塔连体结构的处理

连体结构大致可以分为两类：强连接和弱连接方式。

如果连体结构包含多层楼盖，且连接体结构刚度足够，能使主体结构整体协调受力及变形时，连体结构与主体结构间采用两端刚接或两端铰接的方式，为强连接方式（如图 1.2.26 (a) 所示）。如果连接体结

构较弱，无法协调连体两侧的结构共同工作，连接体一端与结构铰接，一端为滑动支座，或两端均为滑动支座，此时可称为弱连接方式(如图 1.2.26 (b) 所示)。

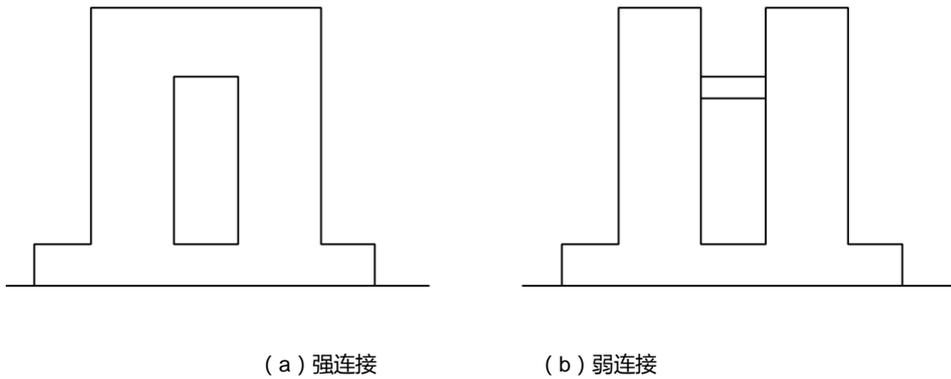


图 1.2.26 连体结构连接方式

对多塔连体结构进行分塔时，需要将连体与塔块之间断开，形成形式上的“一般多塔结构”，然后在断开部分，采用边界条件中的弹性连接来模拟构件的刚度。

对应于两种连接方式，可以采用不同的处理方法。

对于强连接形式，可以选择连体中间位置处，将构件断开 50mm 到 100mm 的距离。然后忽略两个节点之间的相对变形，在两点之间采用刚性连接，如图 1.2.27 所示。分塔前后模型如图 1.2.28 和图 1.2.29 所示。



图 1.2.27 刚性连接

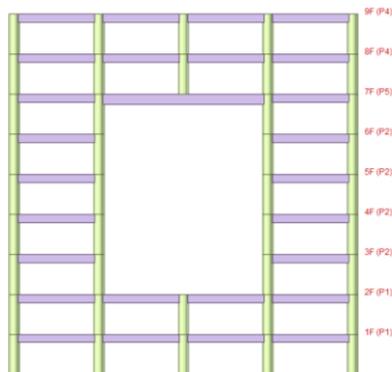


图 1.2.28 分塔前模型图

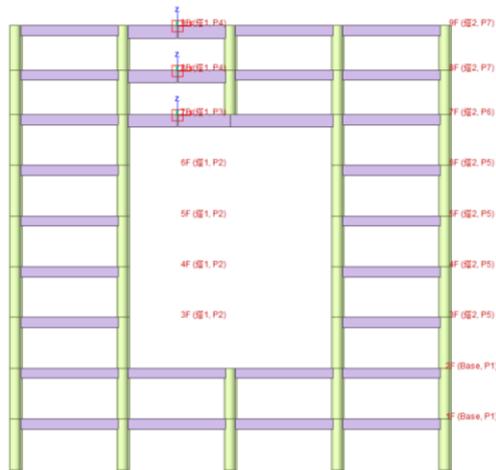
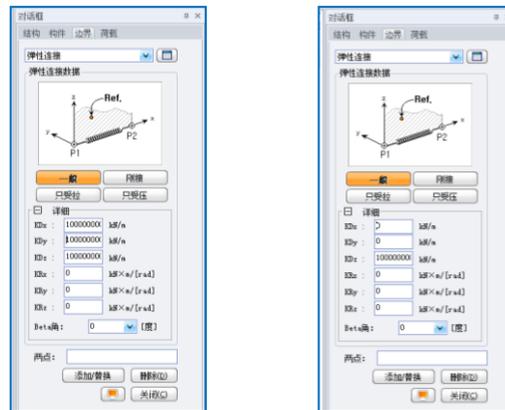


图 1.2.29 分塔后模型图

对于弱连接，可以选择连体端部位置，将构件断开 50mm 到 100mm 的距离。两点之间采用弹性连接。如一端为铰接，另一端为滑动连接可采用如图 1.2.30 所示方法进行设置。分塔前后模型如图 1.2.30 和图 1.2.31 所示。



(a) 铰接

(b) 滑动连接

图 1.2.30 弹性连接设置方法

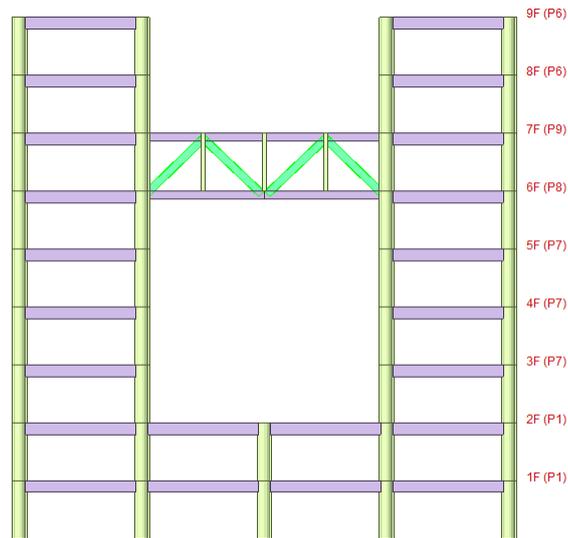


图 1.2.31 分塔前模型图

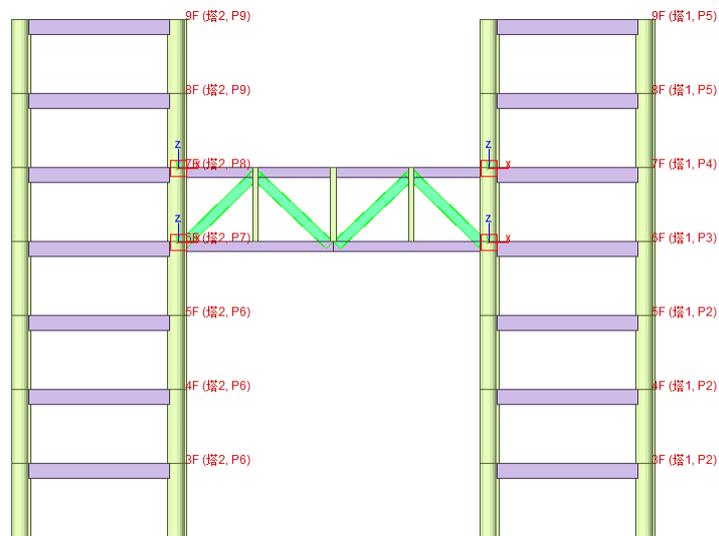


图 1.2.32 分塔后模型图