大底盘多塔结构抗震分析研究

王玮海　张　坚　陈世泽　钱耀华
上海建筑设计研究院有限公司　上海　200041

摘　要：本文通过对不规则分布的大底盘多塔的模型的动力特性进行比对和归纳，研究了大底盘多塔结构中大底盘和塔楼不同结构布置对于动力特性的影响。以上海地区某园区的大底盘多塔设计为例，通过调整大底盘刚度及高度，汇总分析大底盘结构特性对于塔楼的地震响应影响因素；通过研究塔楼的动力特性和平面分布，分析总结塔楼对于多塔效应的影响。在大量分析与比较的基础上，对大底盘结构的地震反应有更深的理解，并提供一些概念设计建议。

关键词：大底盘多塔结构；基底剪力；位移。

0 引言

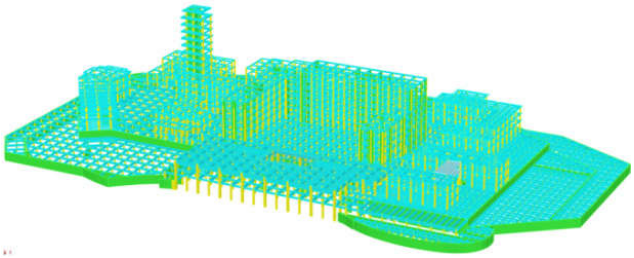
大底盘多塔结构是当前广泛采用的一种建筑形式，能够有效实现建筑功能的多样化布局。其动力特性受大底盘高度、底盘刚度以及上部塔楼的分布等多种因素影响，在不同项目中表现出较大差异。对于大底盘多塔结构的复杂特性，已有多篇论文和研究成果从多个维度进行了研究。

例如蒋志强,方鸿强[1,2]等对大型大底盘多塔连体复杂体型高层建筑结构设计进行较为系统的总结,详细阐述了设计与计算以及设计和施工中需要注意的主要技术问题。杨勇，易美英[3,4]等结合石家庄华润中心等超高层大型综合体大底盘多塔项目进行了专项分析，分析研究了不同裙房刚度对超高层塔楼地震剪力的影响情况。武莲霞对大底盘多塔结构的超限设计方法进行了完整的阐述。石永利以某办公楼大底盘结构设计为例，介绍了对于大底盘多塔结构的嵌固端选择要点。胡新伟，何四祥，余卫江等通过单塔与多塔模型对比，总结了大底盘多塔结构楼板的重要作用。

高层建筑混凝土结构技术规程中亦有规定：对于多塔楼高层建筑各塔楼的层数、平面和刚度宜接近；塔楼对底盘宜对称布置。但对于多塔结构层数、平面和刚度相差较远，塔楼对底盘非对称布置的情况未做明确规定，国内以往案例也较少。

本项目主体结构形式为大底盘多塔结构，大底盘上方为结构体系均不一样的多塔组成。本项目底盘高度相对较高，且塔楼刚度与高度差异较大，塔楼分布亦不遵从底盘对称布置的原则，需对大底盘多塔的地震影响进行更深入的研究分析。

第一作者：王玮海，大学本科学历，中级工程师，主要从事结构设计工作，Email：wangwh@siadr.com.



整体模型三维效果图 图1

1 模型建立

本文模型使用YJK建模软件建立某实际工程的整体模型，取其中一处塔楼作为研究对象。

大底盘多塔模型根据以往案例可以分为以下几种：1带塔楼相关范围的单塔模型，此模型适合塔楼之间相距较大，相关范围无重叠的情况，计算较为简便，但是无法考虑大底盘对于塔楼相关的边界条件约束；2带所有大底盘的单塔模型，此模型可以衡量大底盘对于塔楼的边界约束作用，无法考虑其他塔楼的重力作用对大底盘动力特性的影响，在特定工况下存在考虑不周的问题；3带所有大底盘的单塔模型，且将其他塔楼的恒活作用以荷载形式施加于大底盘的对应位置，可以将大底盘对应单塔的约束作用考虑妥当；4大底盘多塔整体模型。

本文将以方法3进行单塔模型的建立、方法4进行整体模型的建立并进行对比和分析。

2 大底盘对于塔楼地震反应的影响

在大底盘多塔的结构中，了解大底盘对于塔楼的地震反应特性有助于多塔效应的归纳与总结。

2.1 底盘刚度对单塔地震响应的影响

在实际项目中，要求底盘刚度比较大，但是在某些情况下，比如塔楼为剪力墙结构而裙房为框架结构时，上下刚度比比较接近；当设置框支剪力墙时底部裙房刚度往往更小。故而研究底盘刚度对于单塔地震影响具备

广泛的现实意义。

以本项目某个单体为例用方法3建立模型，调整大底盘的刚度；通过对比不同刚度大底盘下的上部模型结构特性，探索底盘刚度对于塔楼的地震反应的影响。将模型第三层（即大底盘顶层）的刚度与模型第四层（即上部塔楼首层）的刚度比值设置为变量X，通过对比X取值不同时，汇总上部结构的不同指标。

通过分析可知得出底盘对于刚度的影响主要表现在：

1、当底盘刚度与上部刚度比小于3时，上部结构的地震剪力会随着底盘刚度的增大而增大，同时，由于底盘刚度较小，上部结构的位移会较大，随着底盘刚度逐渐增大，位移逐渐变小。

2、当底盘刚度与上部结构刚度比大于3时，上部结构的基底剪力与位移随刚度比变化的幅度较小。

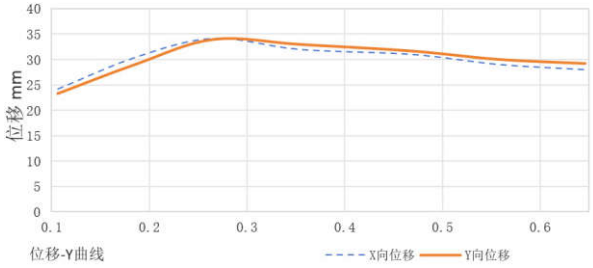
3、由于多数大底盘多塔结构底盘所占的质量较大，故而底盘刚度弱于上部结构是十分不利的；大底盘与上部结构底盘刚度比趋于1时，此时对于结构也并不有利：由于上部结构位移较大，很多情况下需要增大上部结构刚度以满足规范要求。因此，建议在实际项目中，建议适当增大底盘刚度，减小上部结构自由度。

2.2 底盘高度对单塔地震响应的影响

不同项目的底盘高度可能存在很大不同，以本项目某个单体为例建立模型，通过调整底盘高度，得出底盘高度对塔楼地震反应的影响十分显著。

以本项目某个较高单体为例用方法3建立建立基础对比模型，调整大底盘的高度，通过对比不同底盘高度下的上部结构特性，探索底盘高度对于塔楼地震响应的影响。

将模型大底盘高度与模型总高度的比值设置为变量Y，通过对于Y取值不同时，汇总上部结构的位移指标，详见图1：



底盘高度与位移的关系 图2

通过上图分析可知，上部结构的位移响应对大底盘高度的变化变化十分敏感；随着大底盘高度的增大，上部结构的位移随之增大，直到大底盘高度接近总高的三分之一时，上部结构的位移逐渐变小。

在大底盘单塔结构中，当塔楼高度较高时，大底盘的高度则应尽量降低；当塔楼高度较小时，大底盘高度越高则对上部结构越有利，此种情况类似于屋顶平面设置局部出屋面的受力形式，对于结构的力学特性影响较小。

3 塔楼对多塔效应的影响

塔楼的动力特性和分布对于多塔效应的影响是大底盘多塔结构的难点。对此问题通过将塔楼从刚度和分布两个角度进行分析，得出塔楼对多塔效应的影响结果。

3.1 塔楼结构特性对多塔效应的影响

整理本项目不同单体的方法3与方法4构建的单塔模型和整体模型位移数据。

通过单体模型高度与大底盘高度的比值大小，将单体高度/大底盘高度大于2的单体划分为高单体；将单体高度/大底盘高度小于2的单体划分为低单体；则A1\A9\A8为高单体，其余单体为低单体。

通过分析可知，高单体的整体模型位移角与单塔模型位移角区别较小；低单体中A6/A7整体模型位移角与单塔模型位移角区别较小，其余低单体整体模型位移角与单塔模型位移角区别较大；由此我们得出多数情况下高单体受大底盘影响较小，低单体受大底盘影响较大。A6/A7单体的异常分析详见3.2章节。

同时分析可知，整体模型的位移角相对于单塔模型位移角总是偏小，顶部楼层由于多塔模型中阵型参与不充分导致楼层剪力偏小。因此在实际项目中，仅利用整体模型进行设计不足以反应所有的地震影响。

3.2 塔楼分布对多塔效应的影响

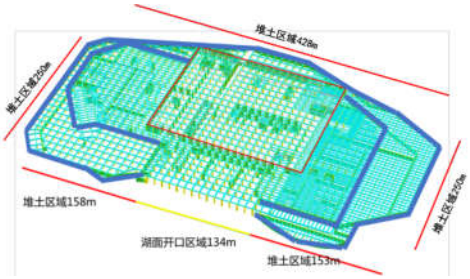
通过上述分析，可得知多数模型单塔与多塔的位移差距较大，但高单体与部分低单塔似乎不遵从此项规律。

通过分析不同单体的分布和整体单塔模型差异，可以得知：多塔效应受塔楼的分布影响较大，当不同单体相距很近时，例如A3-A/A3-4和A4-A/A4-B，多塔效应较为显著；当不同单体相距较远，单体的地震响应较为独立。上节提及的A6/A7单体为以上情况。对于高单体而言，多塔效应的影响也比较小，对于高单体而言，自身质量较大，整体模型可以较为全面的反应其地震相应。

4 嵌固端的选择

对于大底盘多塔的结构中，一般需将嵌固端设置在基础顶面或者地下室顶板，但是对于底盘刚度很大的情况，需对嵌固端的选择进行讨论。

以本项目为例， B4\B3层大底盘周边高堆土约7m高，与B4层（层高6m）剪力墙紧贴，图9深蓝色部分示意与堆土紧贴的大底盘外墙范围。



本项目底板周边堆土范围示意 图3

4.1 嵌固层设置在B3层大底盘顶部的可行性

各单体在实际嵌固端处的剪切刚度比见下表。从实际的结果看，大部分单体的嵌固刚度比远大于2.0。

B3层大底盘顶板与单体剪切刚度对比 表2

单体编号		B3层大底盘顶板剪切刚度KN/m	各单体首层剪切刚度KN/m	比值	规范限值
其余单体	X	6.6E+08	7.9E+07	8.35	＞2
	Y	4.6E+08	8.3E+07	5.54	＞2
A8	X	6.6E+08	1.1E+06	574.1	＞2
	Y	4.6E+08	1.3E+06	345.5	＞2

从可行性上看，一方面本工程B3层大底盘顶板存在一定嵌固作用；另一方面，因大底盘顶板无法满足嵌固端假定的条件：位移、转角为零，且需要在单塔范围内设置较多的剪力墙。大底盘顶板作为嵌固端缺乏依据。

5 结语

通过对一个大底盘多塔项目的分析与研究，得出以下结论：

带底盘的塔楼结构中，大底盘的高度和刚度对于单塔模型的影响较大。实际项目中应尽量避免底盘过高刚度过小的情况，避免大底盘顶层出现薄弱层的情况。

对比大底盘多塔模型与单塔模型，高单体及位置较远的底单体的地震相应较为独立，受其他单体的影响较小，但是整体模型对于单体的地震响应反应不够充分，应采用整体模型与单体模型包括的结构进行结构分析和结构设计，或在整体模型中对于单体的地震剪力进行人为放大，以满足反应各单体的地震响应情况。

参考文献

[1]蒋志强,杨富涌.大底盘多塔连体结构计算分析的若干问题[J].四川建筑,2004,24(4)。

[2]方鸿强,伊新富.大底盘多塔连体复杂体型高层建筑结构设计[J].浙江建筑,2001(1):3.

[3]杨勇,张国彦,陈栋,等.石家庄华润中心大底盘多塔超高层结构体系抗震性能研究[J].建筑结构,2015(18):30-34.

[4]易美英.某广场大底盘多塔结构分析[J].建筑结构,2015,45(6):6.