

某大退台超高层项目的设计与实践

方晓彤

广东省建筑设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2025020017

摘 要 : 某247米超高层项目, 建筑方案采用大退台造型, 在约140米高处大尺度收进。由于大退台体型引起塔楼竖向荷载严重不均, 重心偏置, 使建筑仅在恒荷载作用下就产生较大的侧移。大退台体型也引起结构刚度突变, 相关位置结构有较大的应力集中。此外, 因建筑方案需求, 底部楼层需要进行搭接柱转换。本文以该项目为研究对象, 采用YJK、ETABS、SAUSAGE等软件进行计算分析, MIDAS GEN进行施工模拟分析、ABAQUS进行结构节点分析, 针对大退台体型带来的结构受力不利影响, 采取了加强薄弱部位构件、桩基变刚度调平、控制施工调平等针对性解决方案, 为同类大退台超高层项目设计提供参考。

关 键 词 : 超高层建筑; 大退台; 大尺度收进; 搭接柱; 抗震性能化设计

Design and Practice of a Mega Super High-rise Project with Large Terraces

Fang Xiaotong

Guangdong Provincial Architectural Design and Research Institute Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : A 247-meter super high-rise project features a large stepped design with a significant setback at approximately 140 meters. The large stepped form causes severe vertical load imbalance in the tower, resulting in a displaced center of gravity that induces significant lateral displacement even under dead load alone. This form also causes abrupt changes in structural stiffness, leading to substantial stress concentration at relevant locations. Additionally, the architectural design requires a column transfer at the base floors. This paper studies the project using YJK, ETABS, and SAUSAGE for computational analysis, MIDAS GEN for construction simulation, and ABAQUS for structural node analysis. To mitigate the adverse structural effects of the large setback, targeted solutions were implemented: reinforcing vulnerable components, adjusting pile foundation stiffness for leveling, and controlling construction leveling. These findings provide reference for designing similar large-setback super high-rise projects.

Keywords : super high-rise building; large-scale setbacks; large-scale recesses; lap columns; performance-based seismic design

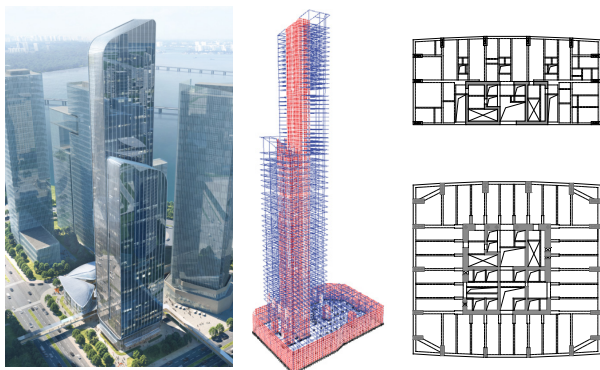
引言

在城市高密度开发背景下, 超高层建筑对外观造型的创新要求不断提高。本项目采用大退台造型, 以形成空间层次感与良好的观景效果。然而该造型引起了结构竖向体型突变、质心偏移、局部构件受力复杂等问题, 对结构设计的安全性、经济性与施工的可行性带来较大挑战。项目塔楼在约140m高度处实现单侧约50%的退台, 并包含搭接柱转换及局部楼板大开洞等超限设计内容。本文对项目的关键技术问题进行计算分析并提出解决措施, 为类似的大退台超高层结构提供参考。

一、工程概况

本项目位于珠海市横琴新区核心商务区, 总建筑面积110833 m², 其中地上建筑面积81934 m² (塔楼占72000 m²), 地下建筑面积28899 m²。项目由主塔楼、裙楼及地下车库组成, 塔楼功能为办公与公寓, 裙楼为商业, 地下4层为停车库及核(常)六级人防地下室。塔楼采用钢筋混凝土框架-核心筒结构体系, 主屋面高度235.2m, 幕墙顶高度247.2m; 裙楼3层, 屋面高度16.2m。项

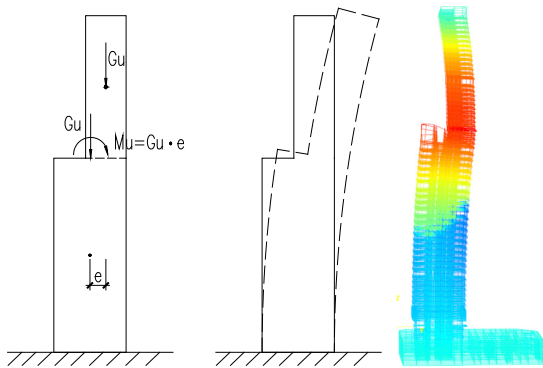
目最核心特征为竖向大退台设计, 塔楼在32层(标高139.7m)处实现单边大幅退台, 退台后高区平面尺寸由中低区43.7m×41.1m缩减至43.7m×21.0m, 退台幅度达50%, 形成“高低塔”造型, 如下图所示:



二、质心偏心与结构整体水平侧移

（一）质心偏心造成竖向位移差与结构整体水平侧移

由于大退台体型，总高247米的建筑在约140米高处单边收进约1/2平面，140米以上的楼层质心与140米以下的楼层质心之间，偏心距高达9米。在恒、活荷载的作用下，竖向荷载与9米的偏心距对下部楼层产生较大的倾覆力矩。受力简图示意如下图所示。在YJK和ETABS整体建模分析结果中，由于采用施工模拟3，即在第n层（楼层n在140米以上）施工完成后，结构已经产生水平侧移后，再施工第n+1层，此n+1层按楼层水平线施工，所以最终结果出现顶部楼层的水平位移反向回正，具体如下图所示。



由于上述偏心效应和水平侧移，导致结构在地震组合和风荷载组合中，层间位移角超过规范限值，所以需要采取有效措施，减少恒、活荷载下产生的水平侧移^[1]。

（二）通过轴压比差异减少水平侧移

在结构布置上，将北半塔（高塔）的竖向构件截面尽量做大，使得轴压比比规范限值有约0.05以上的富余，而南半塔（低塔）的竖向构件截面则尽量接近规范限值设计，减少富余。以首层墙柱为例，核心筒北面的墙厚为1400，南面的墙厚为900。北面的柱截面为1200x2800，轴压比约0.50~0.58，南面的柱截面为800x2200，轴压比约0.62~0.67。通过调节南、北两部分的墙柱轴压比，来减小大尺度收进带来的不利影响。

（三）通过桩基变刚度调平减少水平侧移

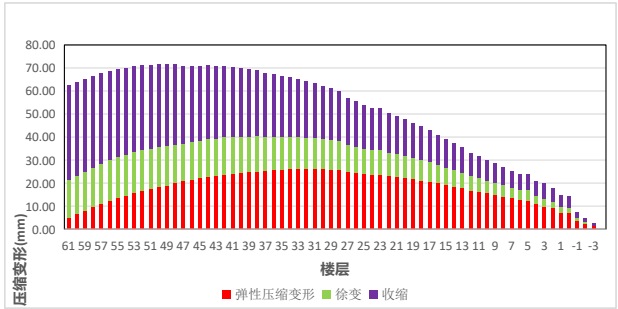
在桩基设计时，采取“变刚度调平”的思路，将南半塔和北半塔的桩取不同的入岩深度和桩距，北半塔桩入中风化岩深度

为2.5m，桩距约3.75m，南半塔入中风化岩深度为0.5m，桩距约4.95m，令南半塔（低塔）的沉降比北半塔（高塔）的稍大，从而达到调平的目的。为平衡大尺度收进引起的竖向沉降差和水平位移，后面将结合塔楼竖向施工模拟分析专题，提出相关处理措施。

（四）通过楼层高差施工补偿减少水平侧移

在设计中，考虑通过控制施工时的楼面标高，使楼面轻微找坡，以减少水平侧移。为了实现这一目的，需要对结构进行深度的施工模拟分析。本项目设计中，利用MIDAS-GEN软件，分析施工阶段和使用阶段中，恒活荷载、混凝土收缩、混凝土徐变等荷载效应对墙柱压缩变形及水平变形，为指导后期施工阶段楼板找平，对墙柱压缩变形量提供一个更准确的评估^[2]。主要分析内容如下：

根据以往实际项目经验，多处资料查证^[3]，也在与业主、施工单位沟通了解后，施工进度假定按10天/层。长期徐变和收缩计算模型采用CEB-FIP(2010)混凝土模型，考虑100%恒载+100%附加恒载+50%活载(持续的活载)的工况。附加恒载应于标准层施工40天后才加载。顶层施加附加恒载后，一次性加载使用活荷载。在结构平面中，选取有代表性的墙柱进行分析计算，北半塔（高塔）取外框柱 COLUMN 1和核心筒墙肢 WALL 1，南半塔（低塔）取外框柱 COLUMN 2和核心筒墙肢 WALL 2。由于篇幅限制，此处仅展示部分结果，考虑长期荷载效应，施工开始12年后的外框柱 Column 1压缩变形如下图所示：



在经过更多的计算对比后，得出外框柱及核心筒在目标时间（施工开始后3年、7年和12年）达到预定设计标高所需的楼面标高施工补偿量如下表所示。

楼层	可用于施工补偿的柱压缩变形 -- 柱 COLUMN 1(毫米)			楼层	可用于施工补偿的柱压缩变形 -- 墙肢 WALL 1(毫米)		
	3年	7年	12年		3年	7年	12年
59	34	51	65	59	26	43	58
55	40	56	69	55	30	46	61
50	45	60	71	50	34	50	63
45	47	60	71	45	38	52	64
40	49	61	70	40	40	52	63
35	48	59	68	35	41	52	63
30	47	56	68	30	42	52	62
25	42	50	56	25	40	48	56
20	37	43	48	20	35	42	49

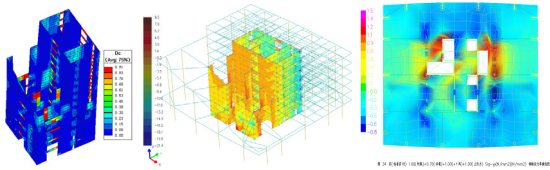
15	31	36	39		15	30	36	40
10	23	26	29		10	24	28	32
5	17	19	21		5	18	21	23

以上有关施工补偿的计算基于多项假定，包括材料特性，施工进度，特定的混凝土收缩徐变理论模型等，塔楼外框柱和核心筒剪力墙的压缩变形受到许多因素的制约。本文提供的施工补偿计算值仅供参考。后续施工阶段，还需要根据实际施工进度和实测的混凝土特性，不断对混凝土收缩徐变计算模型进行校核和调整，得到对施工具有指导性的变形补偿。

三、大退台相关范围的应力集中

（一）薄弱位置分析

由于本项目的大退台体型，在约140米高处（即31层处）单边收进约1/2平面，收进处楼层刚度突变，在地震和风荷载工况下产生较大的应力集中^[4]。本项目使用YJK、ETABS作小震、中震弹性分析，SAUSAGE作大震动力弹塑性分析，经计算得出，未作加强设计时，30~32层剪力墙在大震作用下受压损伤因子局部位置达0.91%，局部剪力墙在风荷载作用下出现拉应力，30~31层楼板在小震作用下剪应力超限。



（二）采取的加强措施

针对上述薄弱位置，在30至33层的Y向核心筒中设置钢板剪力墙，墙厚700mm、钢板厚度40mm，以承担收进处的应力集中，同时也承担风、震作用下，墙肢底部的拉应力。31至32层楼板加厚至180mm，配置双层双向 $\Phi 16@150$ 钢筋，并在核心筒交接区域增设放射筋，以承担楼板在传递水平力时出现的集中应力。结构加强设计后，经计算复核，所有构件均满足规范受力需求。

四、搭接柱相关区域结构设计

受建筑方案效果限制，本工程需在建筑三层~四层设置搭接

柱转换。由于在竖向荷载作用下，搭接柱转换处相关楼盖会产生水平分力，导致与其相连接的梁与楼板会产生一定的拉压作用，尤其在搭接柱上一层（6F楼盖）也会产生一定的轴拉力，因此需特别关注与搭接柱相连楼层及其上一层的梁与楼板的受力。

用YJK和ABAQUS软件对搭接柱转换处的主要受拉层楼板（建筑5层、6层）在组合1.3D+1.5L作用下进行应力分析，并按有/无楼板建模分别计算包络设计。结果显示搭接柱转换处（5F）对框架梁产生的附加拉力最大。在有楼板的实体有限元弹性应力分析中，楼板分担了一部分受拉框架梁由搭接柱引起的附加拉力，分担比例为68%左右。按照以往工程经验做法，在受拉主框架梁中设置钢筋，接柱转换处的全部拉力由梁中的钢筋承担，不考虑其他构件的贡献。但考虑到受拉楼层的重要性，楼板事实上存在拉应力，设计中将5~6层板厚均加厚至180mm，楼板配筋加强为双层双向 $14@150$ 。同时结合梁板受力特点，在主要的Y向梁两侧的楼板内增设缓粘结预应力钢筋。通过上述措施，5层楼板应力平均3.5MPa左右、6层平均1.2MPa左右，与搭接柱相连区域的5层楼板最大拉应力约为6.8MPa，6层楼板最大拉应力约为1.6MPa，满足规范裂缝要求。节点核心区混凝土最大压应力为29.81兆帕，型钢最大应力为112.2兆帕，均满足中震不屈服的性能指标^[5]。

五、结束语

本文以某大退台超高层项目为研究对象，通过采用多种计算软件、建立多个不同工况不同状态下的模型进行计算分析和对比，针对特殊建筑体型引起的质心偏移、结构侧移、应力集中及搭接柱等受力不利因素，提出了包括竖向构件截面优化、桩基变刚度调平、退台区域结构加强、楼面高差施工补偿、以及搭接柱节点加强等一系列措施。研究结果表明，这些措施能够有效改善结构整体受力性能，使结构满足规范要求和超限审查标准。实现了建筑创新效果，保证项目落地，为日后类似大退台超高层建筑的设计提供了有益的工程经验与参考。

参考文献

- [1] 王伟. 退台式收进体型超高层建筑结构设计 [J]. 四川水泥, 2020(6): 88.
- [2] 赵志忠. 超高层城市综合体建筑设计研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2025(2): 66-68.
- [3] 佟祥君. 超高层建筑设计策略与趋势研究 [J]. 城市建筑空间, 2025, 32(5): 96-99.
- [4] 韩海亮. 超高层建筑设计中风荷载效应控制策略分析 [J]. 模型世界, 2025(2): 87-89.
- [5] 杨晓川, 李纹瑾, 张健. 超高层塔楼顶部酒店空间高效利用设计研究 [J]. 建设科技, 2023(2): 67-71.