

珠海某超限高层建筑工程抗震分析和设计

邹洁明

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.2025020022

摘 要 : 为解决珠海横琴某超限高层建筑的抗震设计难题, 确保结构在地震作用下的安全性与稳定性, 文章以该工程为研究对象, 结合项目所处的抗震设防环境与结构超限特征, 开展抗震分析与设计研究。并通过小震、中震、大震作用下的结构性能验证, 证明所采用的抗震设计方案可实现“C级”抗震性能目标, 保障结构在不同地震水准下的安全可靠, 为同类超限高层建筑抗震设计提供参考。

关 键 词 : 超限高层建筑工程; 抗震分析; 设计

Seismic Analysis and Design of a Certain Out-of-Codes High-Rise Building Project in Zhuhai

Zou Jieming

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

Abstract : To address the seismic design challenges of an over-limit high-rise building in Hengqin, Zhuhai, and ensure structural safety and stability under seismic forces, this study focuses on the project. Considering its seismic design environment and structural over-limit characteristics, seismic analysis and design research were conducted. Through structural performance verification under minor, moderate, and major seismic actions, the adopted seismic design scheme demonstrates the capability to achieve “Class C” seismic performance objectives. This ensures the structure's safety and reliability across varying seismic intensities, providing a reference for seismic design of similar super-high-rise buildings.

Keywords : super-high-rise building engineering; seismic analysis; design

引言

部分超高层建筑因功能需求与造型设计, 常突破现行规范对结构高度、平面规则性等方面的限制, 成为超限高层建筑。此类建筑的抗震设计直接关系到生命财产安全与城市抗震防灾能力, 是结构工程领域的重点与难点问题。珠海地处我国东南沿海, 受台风与地震双重作用影响, 超限高层建筑的抗震设计需同时兼顾抗风与抗震性能。文章以珠海横琴某超限高层建筑为研究背景, 该建筑为 B 级高度超限结构, 且存在扭转不规则、局部转换等问题, 抗震设计难度较大。

一、工程概况

珠海横琴某超高层塔楼位于珠海市十字门中央商务区横琴片区离岸金融岛东北角, 是集公寓、商业及配套功能于一体的综合性建筑。项目总用地面积 11752 m², 总建筑面积 132113 m², 其中地上总建筑面积 99881 m², 地下总建筑面积 32232 m²。本塔楼地上 36 层, 主屋面高度 122.8m; 地下 4 层, 底板面标高 -19.40m, 其中地下 4 层为核

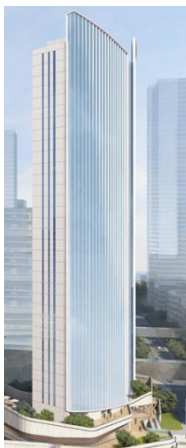


图 1 珠海横琴某超高层塔楼建筑效果图

(常) 六级人防地下室, 主要功能为商业、停车库及设备用房。 $\pm 0.000\text{m}$ 相当于测量高程标高 4.150m, 建筑室内外高差根据场地地形合理设置。塔楼建筑平面外包尺寸为 61.1m \times 14.9m, 长宽比 4.12, 整体高宽比结合核心筒尺寸计算为 8.24, 核心筒高宽比 16.56, 高宽过大对建筑的抗震性能、抗风性能均有较大影响。主建筑效果图如图 1 所示。

二、该超限高层建筑工程抗震设计遇到的难题

(一) 高度超限导致的结构刚度与延性平衡难题

项目楼作为 B 级高度超限结构, 主屋面高度 122.8m 超出 7 度区钢筋混凝土剪力墙结构 A 级高度限值 (120m)。高度超限使得结构在地震作用下的侧向位移与倾覆力矩显著增大, 需通过提高

结构整体刚度来控制位移，但过度增加刚度又会导致结构延性降低，不利于地震能量耗散。同时，随着结构高度增加，重力二阶效应（P- Δ 效应）对结构受力的影响逐渐凸显，若处理不当，可能加剧结构内力集中，降低结构抗震性能，如何在保证结构刚度满足位移要求的同时，兼顾延性与抗倒塌能力，成为设计首要难题。

（二）扭转不规则引发的受力不平衡难题

结构平面存在扭转不规则问题，考虑偶然偏心的扭转位移比X向1.25、Y向1.26，超出规范限值1.2。扭转不规则会导致结构在地震作用下产生附加扭转效应，使得部分竖向构件受力集中，内力显著增大，而部分区域构件受力不足，整体受力不平衡。这种不平衡可能引发结构局部率先破坏，进而影响整体抗震性能，如何通过调整结构布置与构件刚度，降低扭转效应，实现结构受力均匀化，是设计过程中的关键挑战^[1]。

（三）局部转换构件的抗震性能保障难题

塔楼中部因裙楼走道宽度限制，存在局部剪力墙转换，转换构件需承担上部剪力墙传递的巨大竖向荷载与水平剪力，是结构受力的关键部位。转换构件的存在打破了结构竖向刚度的连续性，易在转换层形成薄弱层，地震作用下转换层构件易发生剪切破坏或弯曲破坏，危及结构整体安全。如何通过合理的截面设计、材料选用与构造措施，保障转换构件在中震、大震作用下满足“抗弯抗剪弹性”“抗弯抗剪不屈服”的性能要求，是设计的重要难点。

（四）风致层间位移超限与抗震性能协同难题

项目地处沿海高压风地区，50年一遇风荷载作用下，项目楼Y向最大层间位移角为1/736，略超出《高层建筑混凝土结构技术规程》中1/800的限值。风致位移超限不仅影响结构正常使用（如幕墙变形、电梯运行），还需与抗震位移要求协同考虑。若为控制风致位移过度增加结构刚度，可能导致地震作用下结构延性进一步降低；若优先保障抗震延性，又可能无法满足风荷载下的位移要求，如何实现风致位移控制与抗震性能的协同优化，是设计过程中的重要矛盾点。

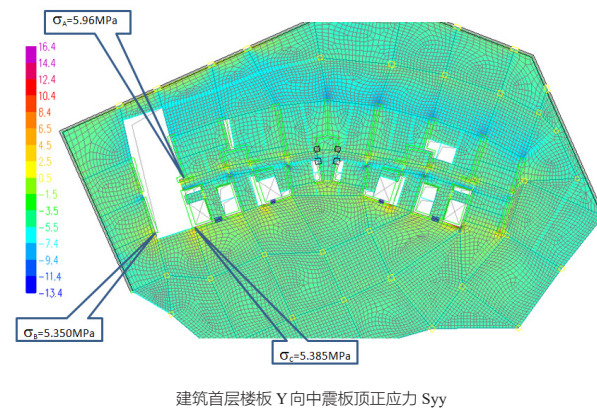
（五）薄弱部位楼板的受力与抗裂难题

结构存在多处薄弱部位楼板，包括首层车道入口大开洞楼板、塔楼中部薄弱连接部位楼板以及超长屋面层楼板。首层大开洞楼板作为上部结构的构造嵌固端，开洞会削弱楼板整体性，影响水平剪力传递；中部薄弱连接部位楼板需协调相邻区域的受力变形，易产生应力集中；超长屋面层楼板受温度变化影响显著，易出现温度裂缝。这些薄弱部位楼板在地震、风荷载与温度作用下，易发生剪切破坏或开裂，如何通过加强设计保障其受力性能与抗裂能力，是设计中不可忽视的难题^[2]。

（六）复杂地质条件下的基础抗震稳定性难题

项目场地为Ⅳ类场地，土层主要由人工填土、淤泥质砂土、淤泥、粘土等组成，属于软弱土，对建筑抗震不利。复杂地质条件导致地基承载力与刚度分布不均，地震作用下易产生不均匀沉降，影响结构整体稳定性。同时，地下水位较高，地下室抗浮与基础抗拔需求突出，抗拔桩的布置与承载力验算需结合地震作用

综合考虑，如何在软弱地基与高水位环境下，保障基础的抗震稳定性与抗浮能力，是设计的重要挑战。



三、该超限高层建筑工程抗震设计解决措施

（一）多程序协同计算，优化结构抗震分析方法

为精准评估结构在不同荷载作用下的受力性能，采用多程序协同计算的分析方法。选用YJK（盈建科V1.8.2.3版）与PKPM-SATWE（V3.1版）两种不同力学模型的空间分析程序进行整体结构弹性分析，验证计算结果的一致性，确保小震作用下结构内力与位移计算的准确性。同时，补充小震弹性时程分析（采用5组实际地震记录与2条人工波），作为反应谱法的补充，验证结构在动力荷载下的响应；采用PKPM-PUSH&EPDA程序进行大震静力弹塑性推覆分析，明确结构在罕遇地震作用下的塑性发展路径与抗倒塌能力；对楼板薄弱部位采用YJK软件进行弹性楼板应力分析，评估其在地震、风荷载与温度作用下的受力状态。多程序协同计算可全面覆盖结构不同受力阶段的分析需求，为抗震设计提供可靠依据^[3]。

（二）优化结构布置，降低扭转不规则效应

针对扭转不规则问题，从结构平面与竖向布置两方面进行优化。平面布置上，调整核心筒位置，使结构质心与刚心尽量重合，减少偏心距；增加外围剪力墙的布置密度，尤其是在结构扭转较大的一侧，适当加大剪力墙厚度（如底部加强区剪力墙厚度增至600mm），提高结构抗扭刚度。竖向布置上，控制相邻楼层的刚度变化，确保楼层侧向刚度比不小于1.0，避免刚度突变加剧扭转效应；对局部刚度较弱的楼层，通过增加连梁数量与截面尺寸，提升楼层整体刚度。经优化后，结构扭转位移比虽仍超出规范限值，但已得到有效控制，X向、Y向扭转位移比分别稳定在1.25、1.26，附加扭转效应显著降低，结构受力更趋均衡。

（三）加强关键构件设计，保障转换部位抗震性能

针对局部转换构件的抗震性能需求，采取多维度加强措施。截面设计上，加大框支柱与框支梁截面尺寸，框支柱截面采用800mm×800mm，框支梁截面采用800mm×1500mm，同时将框支梁混凝土强度等级提高至C60，与框支柱保持一致，提升转换构件的承载能力与刚度。配筋设计上，框支梁纵筋采用HRB500钢筋，配筋率提高至1.0%，箍筋采用井字复合箍，间距

不大于100mm，肢距不大于200mm，直径不小于12mm，保障其抗剪与延性；框支柱沿全高设置芯柱，附加纵向钢筋截面面积不小于柱截面面积的0.8%，提高柱的延性与抗倒塌能力。性能验算上，对转换构件按中震抗弯抗剪弹性、大震抗弯抗剪不屈服的要求进行验算，确保其在不同地震水准下的安全可靠。

（四）协同控制风致位移与抗震延性，优化结构刚度

为解决风致位移超限与抗震延性的协同问题，采用“刚度优化+附加措施”的综合方案。首先，通过调整剪力墙布置与截面尺寸，在保障结构抗扭刚度的同时，控制整体刚度适度增长，避免过度刚化导致延性降低；小震作用下结构X向、Y向层间位移角分别为1/1529、1/1158，满足规范限值1/800，大震作用下最大层间位移角为1/189（Y向），小于限值1/150，抗震延性得到保障。其次，针对风致位移超限问题，从嵌固端取值与实际使用需求两方面进行论证：计算嵌固端采用地下室底板（基础面）与首层双重考虑，首层作为构造嵌固端时，Y向风致层间位移角降至1/932，满足规范要求；同时，考虑填充墙对结构刚度的贡献，实际使用中填充墙可进一步提升结构抗侧刚度，降低风致位移，且结构顶点风振加速度为0.12m/s²，满足公寓类建筑舒适度限值0.15m/s²，实现风致位移控制与抗震延性的协同优化^[4]。

（五）针对性加强薄弱部位楼板，提升抗裂与受力性能

针对不同类型的薄弱部位楼板，采取差异化加强措施。首层大开洞楼板作为构造嵌固端，将板厚加厚至180mm，采用双层双向拉通钢筋（配筋率不小于0.25%），同时对洞口角部与核心筒交接部位增设放射筋，削弱应力集中，保障水平剪力传递能力；塔楼中部薄弱连接部位楼板，板厚加厚至300mm，配筋率提高至0.56%（双层双向HRB400钢筋，直径16mm，间距120mm），连系梁纵筋在计算结果基础上放大15%、箍筋放大20%，连系板纵筋放大20%，确保其满足中震抗弯抗剪弹性、大震抗弯抗剪不屈服的性能要求；超长屋面层楼板，板厚加厚至120~180mm，设置温度伸缩缝，同时配置双层双向拉通钢筋（配筋率不小于0.2%），针对温度应力较大区域，额外增设温度筋，控制温度裂缝的产生。通过针对性加强，薄弱部位楼板的受力性能与抗裂能力显著提升，可满足不同荷载作用下的使用要求。

（六）优化基础设计，保障复杂地质条件下的抗震稳定性

在复杂地质条件下，从地基处理、基础选型与抗浮设计三方面保障基础抗震稳定性。地基处理上，对软弱土层采用深层

搅拌桩进行加固，提高地基承载力与刚度均匀性，减少地震作用下的不均匀沉降；基础选型上，采用钻孔灌注桩基础，桩端嵌入中风化花岗岩层（ $f_{rk}=28.5\text{MPa}$ ），有效桩长约60~63m，单桩竖向承载力特征值根据桩径不同分别为18000kN（1.4m桩径）与13500kN（1.2m桩径），确保基础承载能力满足要求；抗浮设计上，裙楼与纯地下室区域柱下承压桩兼做抗拔桩，桩径1.2m/1.0m对应的单桩抗拔承载力特征值为3000kN/2500kN，同时在底板中部增设抗拔桩，平衡水浮力。此外，对基础进行整体稳定验算，结构刚重比X向6.52、Y向5.22，均大于规范限值2.7，整体屈曲因子为186，远大于限值10，保障基础在地震作用下的稳定性^[5]。

（七）设定分级抗震性能目标，实施性能化设计

根据结构超限特征与构件重要性，设定分级抗震性能目标，实施性能化设计。整体结构抗震性能指标为“C级”，在此基础上，对不同类型构件制定差异化性能要求：关键构件（底部加强区剪力墙、框支柱、框支梁、中部薄弱连接部位连系梁与连系板）需满足小震无损坏、中震轻微损坏（抗弯抗剪弹性）、大震轻度损坏（抗弯抗剪不屈服）；普通竖向构件（其他区域剪力墙、框架柱）需满足小震无损坏、中震轻微损坏、大震部分中度损坏；耗能构件（框架梁、剪力墙连梁）需满足小震无损坏、中震轻度损坏（部分中度损坏）、大震中度损坏（部分比较严重损坏）。为实现性能目标，对关键构件采取加强措施，如底部加强区剪力墙竖向分布筋配筋率提高至1.0%，局部超过2倍 f_{tk} 的区域提高至1.5%，水平钢筋配筋率提高至0.6%；通过性能化设计，确保结构在不同地震水准下均能达到预期性能状态，保障整体抗震安全。

四、结束语

综上所述，文章以珠海横琴某超限高层建筑为研究对象，该工程高度122.8米，高宽比大于8.0，存在扭转不规则和局部转换、位移角超限等难题。基于7度抗震设防和Ⅳ类场地条件，确立了“C级”抗震性能目标。项目面临刚度与延性平衡、受力不均、风震协同控制等多重挑战。通过采取多程序协同计算、优化结构布置、加强关键构件等综合措施，有效解决了各项难题。分析结果表明，结构在小震、中震及大震下的各项性能指标均满足规范要求，实现了“小震不坏、中震可修、大震不倒”的设防目标。

参考文献

- [1] 王坤宁. 超限高层建筑工程抗震设防与研究[J]. 建筑·建材·装饰, 2024(14): 160-162, 15.
- [2] 王莉娜. 基于超限高层建筑的抗震设计与加固改造综合技术[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(3): 22-24.
- [3] 叶浩. 浅析超限高层建筑抗震结构设计[J]. 中国建筑装饰装修, 2024(24): 118-121.
- [4] 周瞰. 结构设计优化在超限高层建筑抗震中的应用[J]. 建材与装饰, 2024, 20(22): 52-54.
- [5] 龚健, 杨恩杰, 夏念涛, 等. 某超限高层建筑抗震性能设计分析[J]. 工程抗震与加固改造, 2023, 45(4): 42-49.