

某 200m 建筑核心筒剪力墙收进结构分析与设计

文 / 王如琼 深圳市鹏清建筑与规划设计有限公司

摘要: 本工程为无裙房高度近 200m 的框架核心筒结构超 B 级高层建筑, 核心筒外的楼板采用空心装配式钢筋桁架楼承板, 建筑首层设置高度为 14.95m 的通高大堂。由于建筑功能需要, 33 层核心筒南侧电梯井相关核心筒剪力墙收进, 但整体平面未收进, 规则性较好。根据结构特点, 就收进相关部位结构指标、楼板应力、剪力墙专项分析、大震时程分析等内容展开分析论证。分析结果表明, 收进楼层的选取及收进剪力墙结构布置是合理可行的, 采用加强措施后核心筒剪力墙收进相关部位进行设计可保证结构安全性和经济性, 其收进部位相关构件、楼板等能满足拟定的性能目标。

关键词: 框架核心筒; 剪力墙收进; 楼板应力; 剪力墙专项分析; 大震分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.20.106

引言

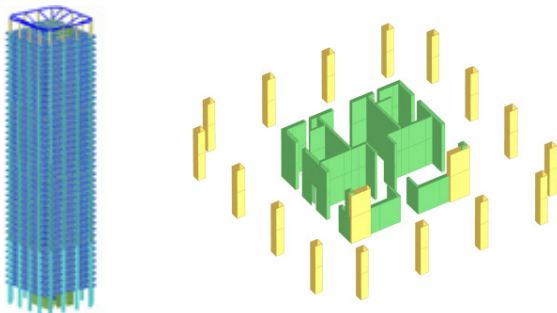
通常, 超高层电梯分区设计, 为了提高低区与中区电梯相应位置在高区的建筑平面使用效率, 对电梯井剪力墙进行收进处理, 竖向构件收进可能会导致竖向不规则及构件内力分布突变等不利结果, 结构设计应对此进行全面分析并提出相应加强措施。

一、工程概况

某 200m 高建筑位于深圳市福田区, 为无裙房的超 B 级高层建筑, 建筑性质为产业研发用房, 塔楼平面呈矩形, 平面规则, 平面尺寸 46.7m×46.7m, 结构高宽比为 4.23。塔楼典型柱距为 11.550 米。楼面梁典型间距为 3.8 米。建筑面积 9.6 万 m², 大屋面结构高度为 197.75m, 幕墙顶高 209.7m。地上 43 层, 标准层层高 4.5m, 避难层层高 5.4m, 地下 2 层, 埋深为 10.6m。工程建筑结构安全等级为二级, 设计使用年限为 50 年, 抗震设防烈度为 7 度 (0.1g), 场地类别为 II 类, 抗震设防类别为丙类。根据《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3-2010)^[1], 抗震等级为: 剪力墙为一级, 框架为一级。

二、结构选型

本栋塔楼结构采用框架-核心筒结构体系, 标准层核心筒外楼板采用装配式钢筋桁架楼承板。剪力墙收进处的相关范围楼板厚度取为 150mm。计算模型示意如图 1 所示。



(a) 整体计算模型 (b) 收进处计算模型

图 1 结构计算模型示意图

中区电梯仅到第 32 层, 为了增加建筑空间布局灵活性及建筑平面使用效率, 33 层南侧电梯井相关核心筒剪力墙收进, 但整体平面未收进, 平面规则性较好。其中, 32 层为避难层, 其层高为 5.4m, 33 层为标准层, 其层高为 4.5m, 利用层高差异, 剪力墙收进设置在 33 层较为合理。

考虑到本工程存在高度超限 (超 B 级高度) 以及扭转不规则、刚度突变、承载力突变和穿层墙柱其他不规则四项一般不规则, 结合结构的超限情况和经济性要求, 本工程整体选择 C 级抗震性能目标。在设防烈度地震下, 结构满足性能水准 3; 在预估罕遇地震下, 结构满足性能水准 4。

三、收进处主要结构指标分析

本塔楼位移角控制工况为地震作用, 在地震作用下, 两种计算模型 X、Y 方向各楼层层间位移角对比图 2。上述结果表明, 楼层最大层间位移角均小于规范限值 1/650, 位移角在核心筒剪力墙收进部位相邻层较为平滑过渡, 未出现突变情况。

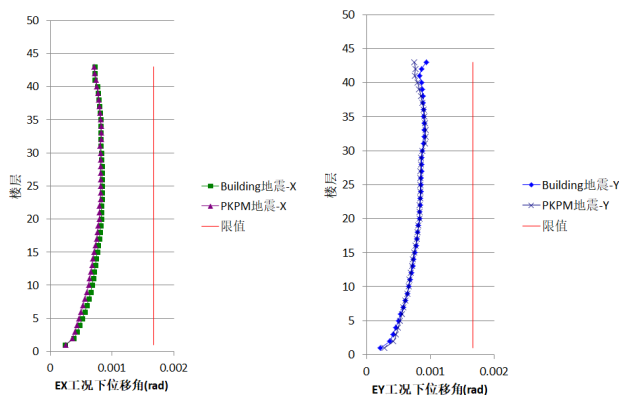


图 2 地震作用下层间位移角

本塔楼位移比控制工况为在 X 方向地震, X 方向地震作用下位移比如图 2 所示, 在考虑偶然偏心影响的规范水平地震力作用下, 两种计算模型 X、Y 方向的核心筒剪力墙收进后以上楼层位移比和层间位移比均小于 1.2, 说明剪力墙收进后对结构抗扭刚度影响较小, 结构仍具有较好的抗扭刚度。

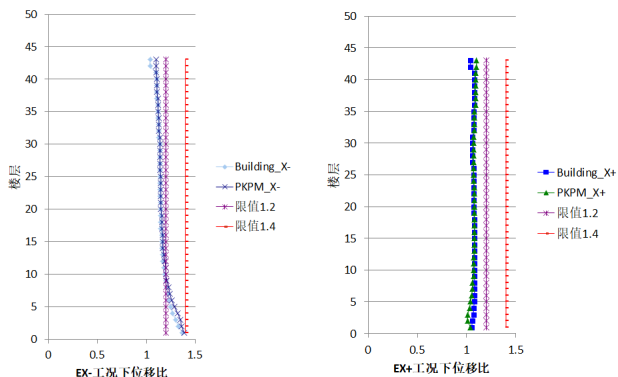
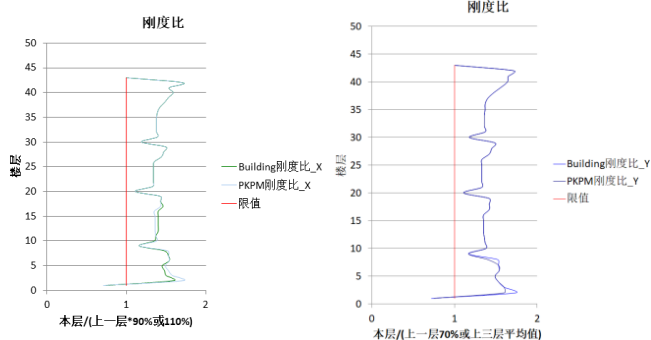


图 3 X 方向地震作用下位移比

根据《建筑抗震设计标准》(GB50011-2010)^[2], 刚度比采用 X、Y 方向本层塔侧移刚度与上一层相应塔侧移刚度 70% 的比值或上三层平均侧移刚度 80% 的比值中之较小值, 各楼层侧向刚度比曲线见图 4。核心筒剪力墙收进层结构刚度稍有突变, 但未发生明显突变, 且其与相邻楼层均满足规范刚度比要求。



(a) X 方向楼层侧向刚度比 (b) Y 方向楼层侧向刚度比

图 4 X、Y 方向楼层侧向刚度比曲线

各楼层抗剪承载力比见图 5, 核心筒剪力墙收进处楼层抗剪承载力未发生明显突变, 且在 X、Y 方向各楼层抗剪承载力之比均满足《高规》第 3.5.3 条大于 0.75 的限值要求。

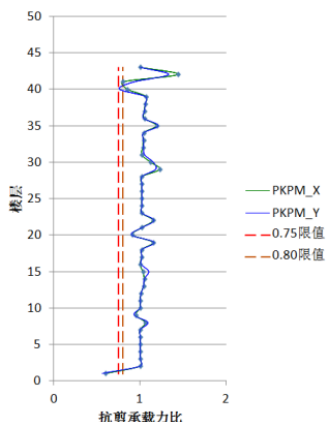


图 5 X、Y 方向的楼层抗剪承载力比曲线

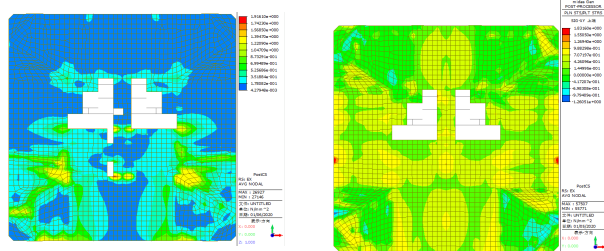
四、收进处楼板应力分析

剪力墙收进层相关区域板厚加强至 150mm 厚, 混凝土等级为 C30, 利用 Midas Gen 软件建立有限元分析模型,

楼板采用弹性膜单元, 单元网格尺寸为 1m, 分别对收进处楼层进行中震作用下楼板正应力和大震作用下剪切应力分析, 为楼板性能目标评估及配筋加强提供依据, 本层楼板抗震性能目标为正应力由中震不屈服控制, 而大震抗剪截面不屈服可包络中震抗剪截面不屈服。中震正应力结果及大震剪应力主要结果如图 6 所示。

中震作用分析结果可以看出, 收进处大部分楼板面内正应力在 0.2MPa 以内, 局部最大正应力值为 1.30MPa, 小于 2.01MPa, 满足中震不屈服要求。

大震作用分析结果可以看出, 核心筒剪力墙收进处, 经楼板加厚至 150mm 后, 大震作用时, 大部分楼板剪应力在 1.27MPa 以内, 局部最大剪应力值为 1.83MPa, 不大于 3.51MPa, 满足大震弹性剪切截面的要求。

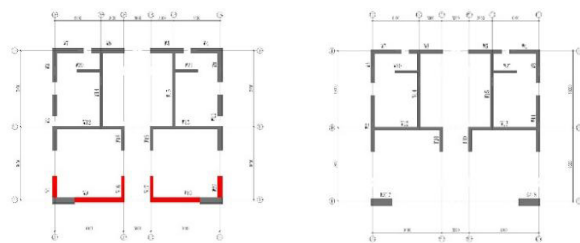


(a) 中震作用下 $-S_{xx}$ 应力 (b) 大震作用下 $-S_{xy}$ 应力

图 6 地震作用下楼板应力分布图

五、收进处剪力墙专项分析

核心筒收进上下层剪力墙平面布置示意如图 7。



(a) 核心筒收进下层 (b) 核心筒收进上层

图 7 核心筒收进上下层剪力墙平面图

(一) 中震剪力墙受拉分析

中震作用下, 对剪力墙收进与未收进墙肢受拉进行对比, 根据分析结果, 核心筒剪力墙收进下层中, 收进处下层四片墙肢 W1、W16、W17、W22 剪力较未收进工况受拉, 由于此四片墙肢上层收进, 此四片剪力墙承受的竖向荷载小, 在地震作用和恒活弯矩作用下截面出现拉应力。

(二) 中震剪力墙内力分布分析

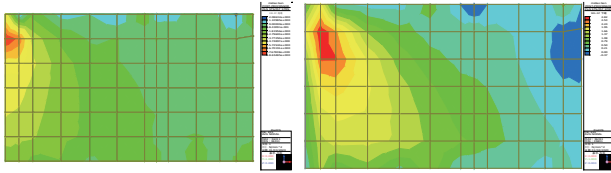
中震作用下, 对剪力墙收进与未收进墙肢剪力对比进行分析, 根据分析结果, 核心筒剪力墙收进下层中, W9、W10、W16、W17 墙肢剪力较未收进工况增大较多, 增大系数 1.54 ~ 1.75; 核心筒剪力墙收进上层中, W12、W13、W14、W15 墙肢剪力较未收进工况增大较多, 增大系数 1.26 ~ 1.62, 由于此层剪力墙发生收进, 此四片剪力墙较长, 抗侧刚度较大, 故吸收地震剪力较其余墙肢多。

(三) 剪力墙应力分析

利用 MIDAS GEN 软件建立有限元分析模型，剪力墙均采用板单元模拟，楼层采用弹性膜单元。中震正应力结果及大震剪应力主要结果如图 8 所示。

中震作用下，核心筒收进处上层剪力墙未出现受拉情况；下层核心筒收进剪力墙出现受拉情况，但大部分受拉剪力墙的拉应力为 0.6MPa，墙肢边缘及与楼板或连梁相连区域存在应力集中，最大正应力为 2.30MPa，均不大于 2.39MPa，核心筒收进部位剪力墙满足中震不屈服的要求。

大震作用下，核心筒收进处剪力墙在大震作用下的剪切应力见图 8。从下表可知，核心筒收进处剪力墙剪切应力较大，较大区域主要为分布于收进下层的 W9 ~ W10（最大剪应力 2.8MPa）、W16 ~ 17（最大剪应力 3.9MPa），最大剪应力为 3.9MPa，均小于 4.0MPa。大震作用下，核心筒收进处剪力墙满足抗剪不屈服的要求。



(a) 中震作用下 - 正应力 (b) 大震作用下 - 剪应力
图 8 地震作用下剪力墙应力分布图

六、大震分析

采用 PERFORM-3D 软件进行大震弹塑性时程分析，并根据剪力墙性能状态进行针对性加强。计算结果表明，剪力墙均能满足拟定的性能目标，核心筒剪力墙局部损伤较大，需要进行加强。

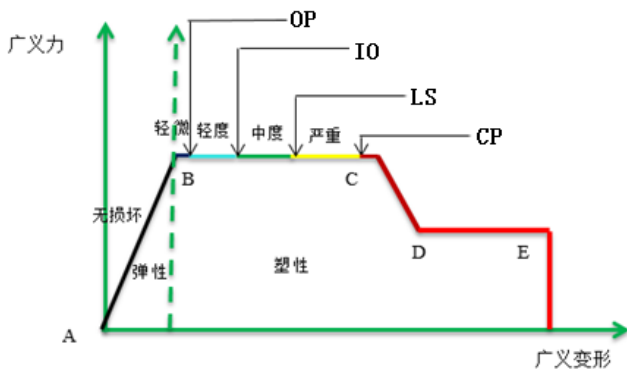


图 9 构件损坏程度与塑性转角的关系示意

从剪力墙在大震作用下的弯曲性能状态结果可知，收进处相关剪力墙均小于“IO”状态，满足“受弯不屈服”的性能目标。

剪力墙在重力和地震作用下的共同作用主要由钢筋的受拉和混凝土受压来承担，从大震作用下的钢筋受拉和混凝土受压性能状态结果可知，剪力墙端部竖向受拉应变小于钢筋屈服应变 ($\epsilon_y=0.02$)，受压应变小于混凝土

土对应峰值应力应变 ($\epsilon_u=0.0033$)，从材料层面上也证明了剪力墙受弯“轻微损坏”，收进处相关剪力墙满足“受弯不屈服”的性能目标。

剪力墙在大震作用下的剪切应力分布如图 10 所示，剪力墙在大震作用下剪切应力均小于所控制的剪切应力 $0.15f_{ck}$ ，满足规范的剪力墙抗剪截面要求。

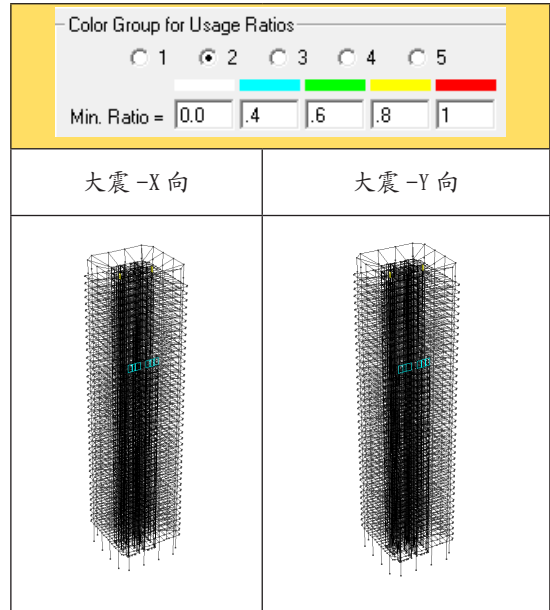


图 10 剪力墙在大震作用下的剪切应力分布

结语

本工程结构选取在层高较高的 32 层（避难层）上层进行核心筒剪力墙收进及收进剪力墙结构布置是合理可行的；核心筒收进剪力墙后结构指标位移角、位移比、刚度比及抗剪承载力之比均满足规范要求；收进层相关区域楼板加厚后满足楼板抗震性能要求，且本层楼板需双层双向配筋，且通长筋配筋率不小于 0.25%；核心筒收进处剪力墙专项分析表明，中震作用时，收进处剪力墙满足中震不屈服的要求；大震作用下，核心筒收进处剪力墙满足大震抗剪不屈服的要求，对核心筒剪力墙收进下层受拉墙肢抗震等级提高至特一级且设置约束边缘构件，对核心筒剪力墙收进处下层剪力墙混凝土提高至 C60；根据大震弹塑性时程分析结果，核心筒收进处相邻层剪力墙均满足抗震性能目标。

参考文献

[1] 高层建筑混凝土结构技术规程: JGJ 3—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
 [2] 建筑抗震设计标准: GB50011—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2024.
 [3] 超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点: 建质 [2015] 67 号 [S]. 北京: 中华人民共和国住房和城乡建设部, 2015.
 [4] 华强科创广场 1 栋超限高层建筑工程抗震设计可行性论证报告 [R]. 深圳市清华苑建筑与规划设计研究有限公司, 2020.