

温州三江立体城超限高层结构设计

楼 卓,冯永伟,吴小平,段 贝

(浙江省建筑设计研究院,浙江 杭州 310006)

摘 要 目的 以温州三江立体城的复杂综合体超限高层项目为例,针对塔楼和裙房的工程特点来进行超限高层结构设计.方法 在超限高层设计中,对塔楼和裙房结构进行弹性时程分析、中震验算、静力弹塑性分析、楼板详细分析.结果 塔楼和裙房均能满足规范要求,并达到其预期的抗震性能目标,通过了超限高层建筑抗震设防专项审查.结论 对超限高层楼房结构的重要部位在进行性能设计时,采取必要的加强措施是整体结构体系的重要保证,也有利于对薄弱部位更好地加强,以满足结构安全.

关键词 超限高层建筑;抗震性能目标;弹性分析;弹塑性分析

中图分类号 TU973

文献标志码 A

Structural Design on Ultra-limit High-rise Building of Wenzhou Sanjiang City

LOU Zhuo, FENG Yongwei, WU Xiaoping, DUAN Bei

(Zhejiang Province Institute of Architectural Design and Research, Hangzhou, China, 310006)

Abstract: Wenzhou Sanjiang City is a typical complex overrun high-rise project. This paper is proposed to design high-rise structure with characteristics of the tower and the podium. In the design of high-rise tower and podium structure analysis, elastic time history analysis, pushover analysis, detailed analysis of the floor were investigated. The proposed tower and the podium can meet standard requirements, and achieve the expected goals of seismic performance. The special inspection on seismic fortification of overrun high-rise buildings is carried out. It is an important guarantee for the overall structural system to take necessary measures to strengthen the performance design of the important parts of the structure. At the same time, it is also beneficial to strengthen the weak parts to meet the structural safety.

Key words: high-rise building; seismic performance target; elastic analysis; elastic plastic analysis

近年来越来越多城市综合体建筑出现,这类建筑结构出现了很多诸如结构平面不规

则、竖向不规则的情况,是典型的复杂超限高层建筑^[1-10].对于超限高层建筑设计,

杨学林^[11]等人针对复杂超限高层建筑的特点,根据结构超限类型和超限程度不同,提出抗震性能目标的选用原则及相应的计算要求和实施方法,并结合实际工程的超限高层建筑的抗震设计,研究了基于性能的抗震设计(PBSD)方法的应用情况;邓春燕^[12]等人研究了苏州工业园区公积金大厦超限高层结构设计,通过对结构方案的合理布置,将两个L形平面联合在一起,使两个以扭转为主振型的结构变为一个以平动为主振型的整体结构,结构的抗震性能得到了很大改善;闫莹^[13]等人以山西格盟项目超限高层办公楼的设计进行了研究,采用SATWE和ETABS有限元分析与设计软件对工程进行了小震和中震的弹性计算,采用SAP2000进行大震静力弹塑性分析,计算结果表明该工程整体设计能够满足规范要求.基于此,笔者结合温州三江立体城这一特别复杂项目,对该工程进行三阶段分析,从而达到其预期的抗震性能目标,满足建筑功能和结构设计的要求.

1 工程概况

温州三江立体城(瓯北 2013-1#-2 地块1)位于三江商务区环江大道北侧,东侧为瓯北 2013-1#-2 地块2,南侧为环江大道,西侧为江东大道,北侧为空地,总用地

面积为3.7万m²,总建筑面积约为23万m².
本综合体地上由6栋高层以及5层商业裙房组成(效果图见图1,立面图见图2,平面图见图3),其中1#楼为高层住宅,28层,结构高度为91.1m;2#楼为超高层住宅,38层,结构高度为124.1m;3#楼为超高层办公楼,37层,结构高度为142.1m;4#楼为高层公寓,29层,结构高度为99.4m;5#楼为超高层住宅,36层,结构高度为118.1m;6#楼为超高层住宅,36层,结构高度为118.1m.其中,3#,4#楼通过设置结构缝,与裙房脱开;1#,2#,5#,6#楼与裙房连为整体,形成大底盘多塔结构;裙房为5层,结构高度为23.5m,裙房功能为商业、娱乐等;整体地下室为两层,地下室底板标高为-9.4m,主要功能为车库、人防及设备用房.

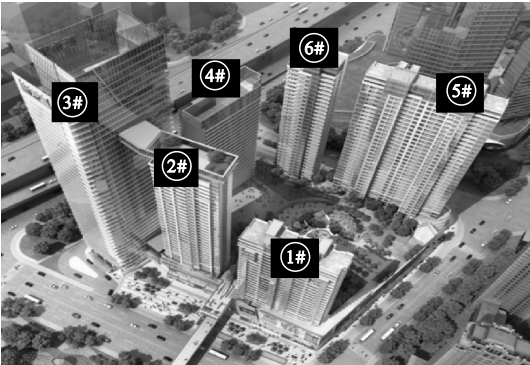


图1 效果图
Fig.1 Effect drawing

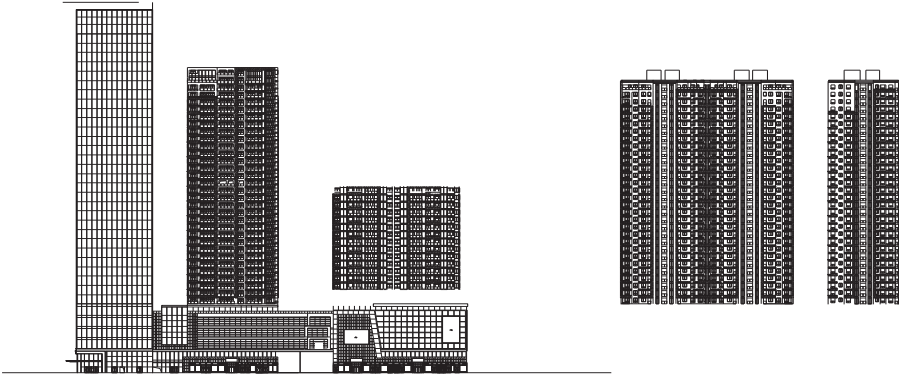


图2 立面图
Fig.2 Elevation drawing

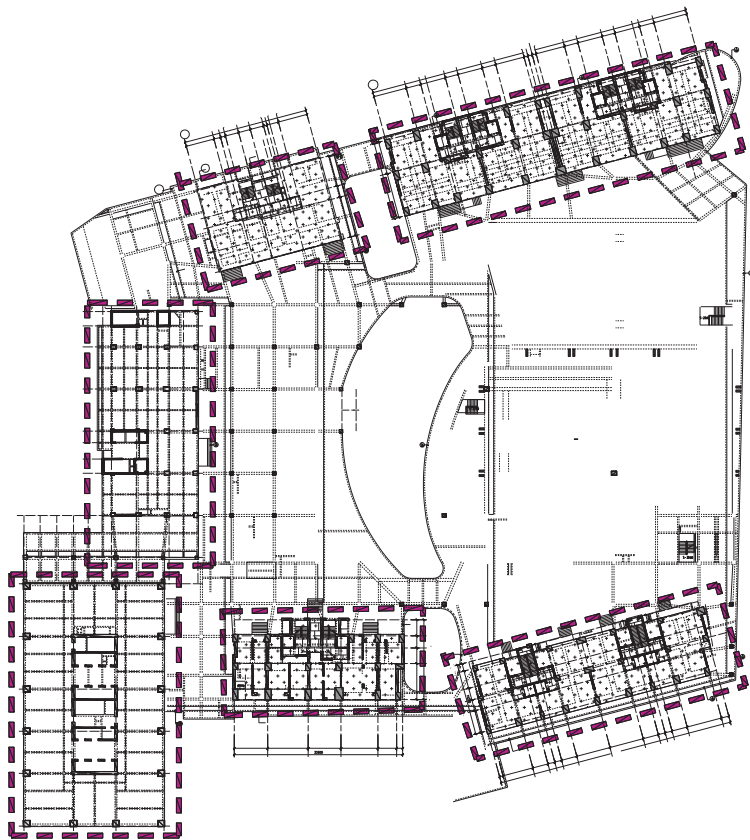


图3 平面图

Fig.3 Plan drawing

2 结构体系及布置

2.1 超限结构设计

以本工程2#楼和5#楼为例来详细介绍超限结构设计过程.本工程主楼部分结构体系及结构组成如4所示.主楼部分均采用钢筋混凝土部分框支剪力墙结构体系.裙房部分采用钢筋混凝土框架结构体系.

2.2 各单体结构抗震等级

2#楼:框支柱为特一级,底部加强部位的剪力墙为特一级,框支梁特一级,一般框架梁为一级,非底部加强部位的剪力墙二级,特一级与二级中间设置一个过渡层.

5#楼:框支柱为特一级,底部加强部位的剪力墙为特一级,框支梁一级,一般框架梁为二级,非底部加强部位的剪力墙三级.特一级与三级中间设置两个过渡层.

裙房:5#楼相关范围的框架抗震等级为二级,2#楼相关范围的框架抗震等级为一级,其余部位抗震等级为三级.

地下室:考虑地下室顶板作为上部结构的嵌固端,地下一层抗震等级同上部结构;地下室二层抗震构造措施等级降低一级.地下室中超出上部主楼相关范围且无上部结构的部分,其抗震等级按三级采用.

底部加强部位:取嵌固端至转换层(裙楼屋面标高)以上2层.

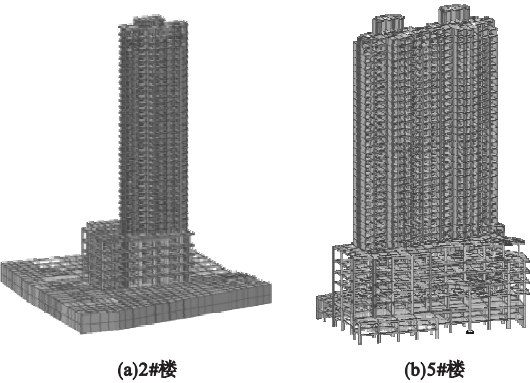


图 4 主楼结构体系

Fig. 4 Structural system of main building

3 抗震超限内容及性能设计目标

3.1 超限类型和超限程度判断

根据建质[2015]67 号《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》,针对本项目的超限类型和超限程度判断.

表 1 结构抗震设计性能目标

Table 1 Performance index designed for seismic structures

部位	多遇地震(不损坏)	偶遇地震(可修复的损害)	罕遇地震(无倒塌)
剪力墙墙肢	规范设计要求,弹性	底部加强区剪力墙抗弯抗剪弹性;其余部位抗弯不屈服,抗剪弹性	截面受剪承载力满足“ $0.15f_{ck}bh_0$ ”的要求.正截面允许进入塑性,控制塑性变形
连梁	规范设计要求,弹性	允许进入塑性	允许进入塑性
框支柱	规范设计要求,弹性	弹性	不屈服
框支梁	规范设计要求,弹性	弹性	不屈服
抬柱或悬挑框架柱	规范设计要求,弹性	弹性	不屈服
抬柱或悬挑框架梁	规范设计要求,弹性	弹性	不屈服
普通框架柱	规范设计要求,弹性	允许进入塑性	允许进入塑性
普通框架梁	规范设计要求,弹性	允许进入塑性	允许进入塑性

3.3 抗震措施

3.3.1 剪力墙抗震^[17-19]

(1)转换层及以下的框支框架和落地剪力墙按乙类建筑抗震措施提高一度确定抗震等级;

(2)转换层以上剪力墙在约束边缘构件层与构造边缘构件层之间设置两层过渡层.过渡层边缘构件的配筋率和配箍率均高于构

3.1.1 主楼部分

2#楼住宅:B 级高度的高度超限建筑;平面存在凸凹不规则情况;竖向构件间断,且转换层为裙房屋面(六层)的高位转换;大底盘多塔结构.

5#楼住宅:平面存在凸凹不规则情况;竖向构件间断,且转换层为裙房屋面(六层)的高位转换;大底盘多塔结构.

3.1.2 裙房部分

大底盘多塔结构;扭转不规则,裙房考虑偶然偏心的扭转位移比大于 1.2;楼板不连续,裙房各层开洞面积大于 30%;尺寸突变,裙房各层中庭悬挑大于 4 m;构件间断,裙房于地下室顶板存在部分抬柱转换;存在其他不规则,裙房存在个别斜柱、穿层柱.

3.2 结构抗震性能目标等级

结构抗震性能目标等级采用“C”^[14-16].本项目中各结构构件的抗震设计的性能目标如表 1 所示.

造边缘构件的要求;

(3)增加落地剪力墙的厚度,严格控制落地剪力墙的轴压比小于 0.5.剪力墙严格控制其剪压比小于 0.15;

(4)剪力墙墙肢按性能设计要求.中震底部加强区剪力墙抗弯抗剪弹性,其余部位抗弯不屈服,抗剪弹性;大震截面受剪承载力满足“ $0.15f_{ck}bh_0$ ”的要求.正截面允许进入塑

性,控制塑性变形.

3.3.2 框架的抗震

(1) 严格控制框支柱的轴压比小于0.5,箍筋全长加密,并适当提高框支柱配筋率(不小于1.8%)和配箍率(不小于1.8%).

(2)框支梁严格控制其剪压比小于0.15.

(3)按性能设计要求验算中震、大震情况下的框支框架及关键受力构件和部位承载力,满足中震弹性大震不屈服要求.

(4)裙房周边外围框架柱,从裙房屋面标高以下两层(见图5),提高柱纵向钢筋的最小配筋率(不小于0.9%).相应柱箍筋同时全高加密.

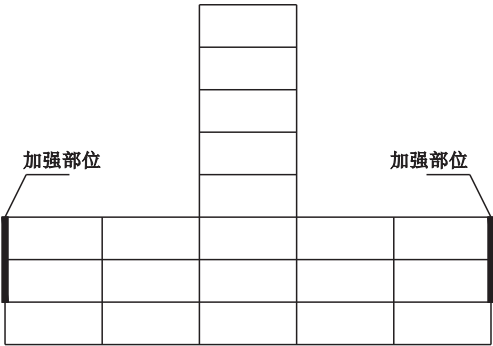


图5 框架示意图1

Fig. 5 Schematic diagram of frame 1

(5)主楼与裙房相连的外围相关范围屋面框架梁(见图6),提高其配筋率(不小于0.4%)且梁面钢筋采取拉通配置(拉通率不小于50%).

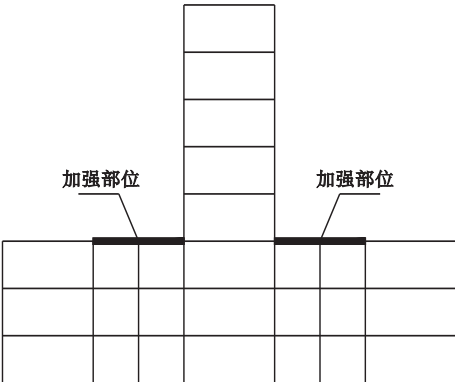


图6 框架示意图2

Fig. 6 Schematic diagram of frame 2

(6)大底盘裙房结构的抗震措施按不低于主楼(各塔楼)的要求进行设计.

(7)提高悬挑部分及其向内延伸一跨范围框架的抗震等级(见图7).抗震等级按二级设计;提高悬挑部分及其向内延伸一跨范围框架梁配筋率(不小于0.4%)及柱配筋率(不小于0.7%),控制框架柱轴压比(0.75),箍筋全高加密.

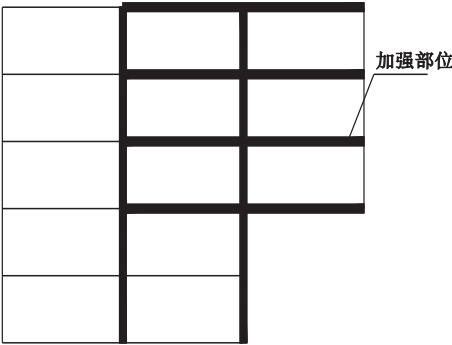


图7 框架示意图3

Fig. 7 Schematic diagram of frame 3

(8)提高转换部分(包括抬柱转换)框架的抗震等级(见图8),抗震等级按二级设计,并按框支框架设计,柱箍筋全高加密.

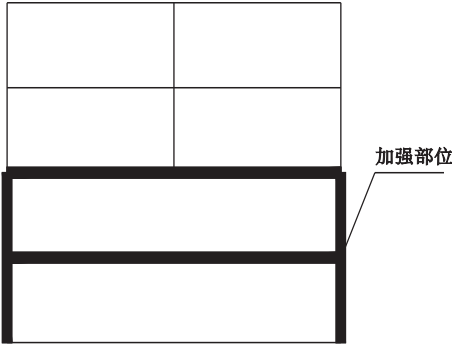


图8 框架示意图4

Fig. 8 Schematic diagram of frame 4

(9)对悬挑部分和转换部分(包括抬柱转换)框架采取性能设计,满足中震弹性目标.

4 小震弹性时程分析

采用2条天然波和1条人工波进行小震弹性时程分析,并与规范反应谱分析结果进

行了比较,进一步验证所选地震波的合理性,从而保证弹性时程分析的结果可靠. 比较时

程分析与反应谱法所得的底部剪力比较如图 9 和图 10 所示.

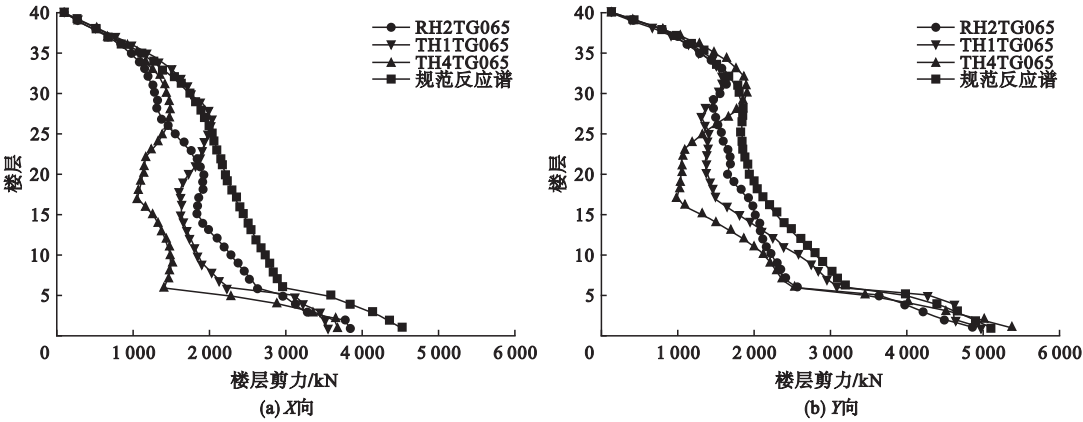


图 9 时程分析与反应谱分析楼层剪力比较(2#楼)

Fig. 9 Time history analysis and response spectrum analysis, floor shear comparison (2# building)

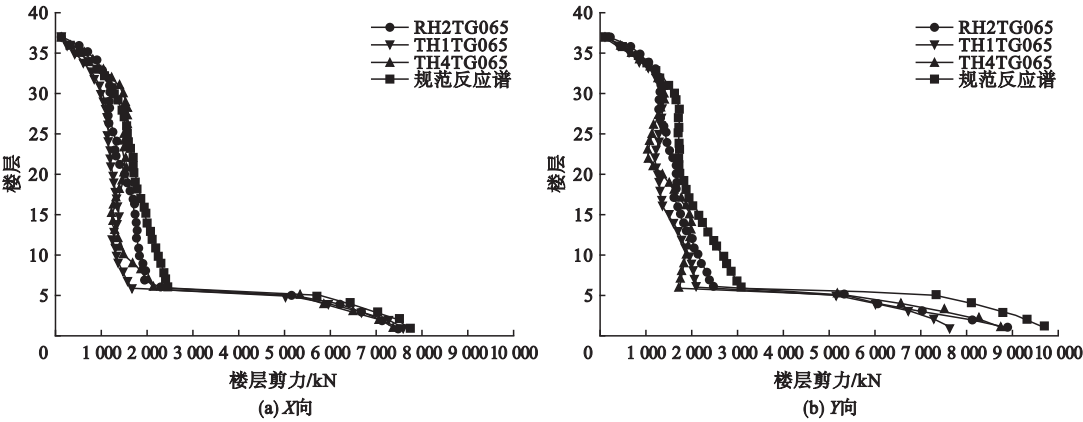


图 10 时程分析与反应谱分析楼层剪力比较(5#楼)

Fig. 10 Time history analysis and response spectrum analysis, floor shear comparison (5# building)

由图可知:每条时程曲线计算所得结构基底剪力不小于振型分解反应谱法计算结果的 65%,多条时程曲线计算的结构基底剪力的平均值不小于振型分解反应谱法计算结果的 80%. 因此,时程波的选取是合适的,满足规范要求.

5 中震验算

5.1 剪力墙墙肢承载力及框支框架中震弹性验算

基于性能设计的要求,对主楼剪力墙墙肢承载力及框支框架进行中震弹性验算,确保结构在中震作用下,结构承载力满足设计

要求. 剪力墙墙肢承载力及框支框架的计算结果如表 2 所示,结构可以达到中震弹性的性能设计要求.

5.2 抬柱框架、悬挑框架框架中震弹性验算

基于抗震性能设计的要求,对裙房抬柱框架、悬挑框架进行中震弹性验算,确保结构在中震作用下,结构承载力满足设计要求. 根据裙房抬柱框架、悬挑框架的计算结果,可以看出,框架柱的轴压比最大值为 0.47,远远小于规范对二级抗震等级柱轴压比 0.75 的要求,且裙房抬柱框架、悬挑框架配筋较合理. 因此,结构可以达到中震弹性的性能设计要求.

表 2 剪力墙及框支框架中震计算结果

Table 2 Seismic calculation results of shear wall and frame supported frame										
楼号	剪力墙最	规范轴压	剪力墙最	规范剪压	框支柱最	规范轴压	框支柱最	规范剪压	框支梁最大	规范剪压
	大轴压比	比限值	大剪压比	比限值	大轴压比	比限值	大剪压比	比限值	剪压比	比限值
2#	0.33	0.50	0.085	0.176	0.49	0.50	0.059	0.176	0.133	0.176
5#	0.35	0.50	0.091	0.176	0.49	0.50	0.055	0.176	0.110	0.176

6 静力弹塑性分析

6.1 静力弹塑性分析

采用 SATWE 进行静力弹塑性分,用以评估结构在罕遇地震作用下的抗震性能.静力弹塑性(Pushover)分析是考虑构件的材料非线性特点,分析构件进入弹塑性状态直至到达极限状态时结构响应的方法,是基于性能的抗震设计方法中最具有代表性的方法之一.通过 Pushover 分析,主要可以实现以下主要目标:

(1)通过小震性能点下的结构响应分析,在一定程度上校核小震下结构的受力与变形状况;

(2)通过 Pushover 分析得到结构的能力曲线,并与需求谱曲线比较,判断结构是否能够找到性能点,从整体上满足设定的大震需求性能目标;

(3)通过性能点状态下结构的最大层间位移角,判断是否满足“层间弹塑性位移角限值”的要求;

(4)通过模拟地震反应不断加大过程中构件的破坏顺序(塑性铰展开),考察是否与概念设计预期相符,梁、柱、墙等构件的变形,是否超过构件某一性能水准下的允许变形;

(5)通过对薄弱部位及各构件的塑性发展程度有个定性的考察,对确定加强设计的构件提供计算依据.

6.2 加载模式

混凝土梁、柱配筋采用计算配筋,然后按照实际配筋复核.在各框架梁的两端设置弯矩铰 $M_y - M_z$,在框架柱以及剪力墙两端设置轴力弯矩铰 PMM ;Pushover 分析时,侧向

荷载的分布模式采用第一振型模式,主节点位移控制,考虑 $P - \Delta$ 二阶效应的影响.随着侧推荷载的逐步增大,结构位移逐渐增加,从而得到基底剪力 - 位移曲线,转化为结构的能力谱.能力谱和需求谱交点即为性能点.该点对应的结构状态应处于目标性能范围之内.由小震计算结果可知,结构的第一振型是沿着 X 向的平动,因此分析时先进行 X 向的 Pushover 分析.初始荷载为 1.0 恒载 + 0.5 活载.

6.3 计算结果

主结构在 6 度罕遇地震作用下相应的能力谱需求谱曲线如图 11 ~ 14 所示.图中 4 条曲线依次代表阻尼比为 5% 的加速度需求谱、位移需求谱、周期加速度曲线(能力谱曲线)和周期最大层间位移角曲线.弹塑性需求谱与能力谱相交得到罕遇地震作用下的性能点.

(1)2#楼计算结果

X 方向的性能点对应第 30 个加载步,相应性能的基底剪力为 13 016.0 kN,性能点的附加阻尼比为 0.042,等效周期为 3.471,性能点对应的最大层间位移角为 1/415;Y 方向的性能点对应第 26 个加载步,相应性能的基底剪力为 15 752.3 kN,性能点的附加阻尼比为 0.016,等效周期为 2.661,性能点对应的最大层间位移角为 1/601.计算结果见图 11、图 12,满足规范要求.

(2)5#楼计算结果

X 方向的性能点对应第 17 个加载步,相应性能的基底剪力为 26 642.9 kN,性能点的附加阻尼比为 0.031,等效周期为 2.260,性能点对应的最大层间位移角为 1/625;Y 方向

的性能点对应第17个加载步,相应性能的基底剪力为23 048.5 kN,性能点的附加阻尼比为0.024,等效周期为2.837,性能点对应的

最大层间位移角为1/469. 计算结果见图13、图14,满足规范要求.

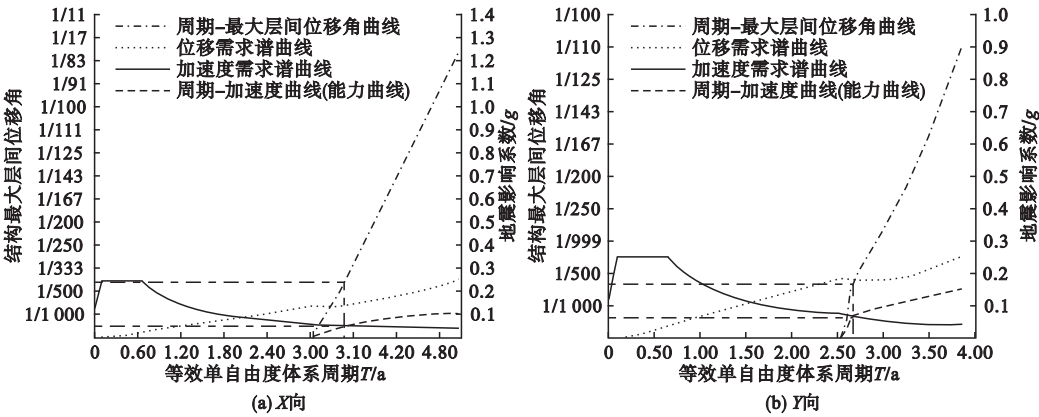


图 11 2#楼大震作用下能力曲线和需求曲线

Fig. 11 Capability curves and demand curves of 2# building under large earthquake

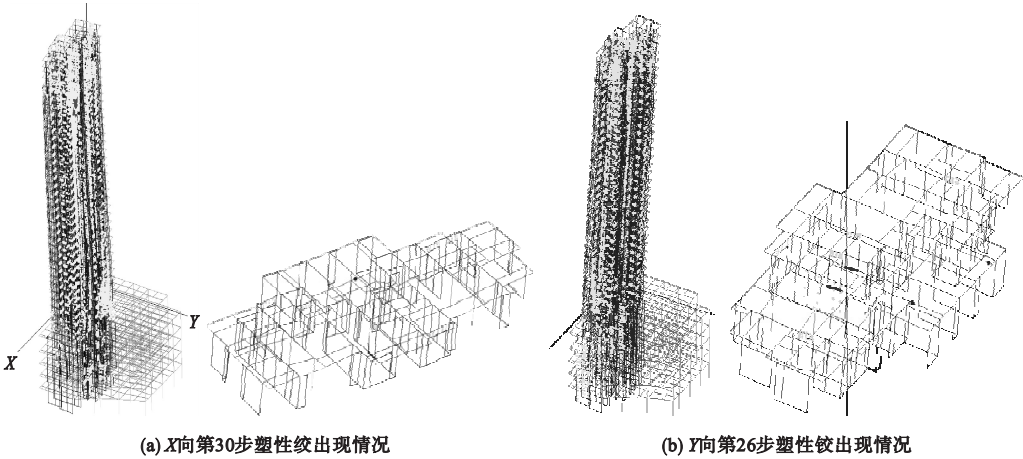


图 12 2#楼性能点对应结构塑性铰出现情况

Fig. 12 2# building performance point corresponding to plastic hinge occurrence

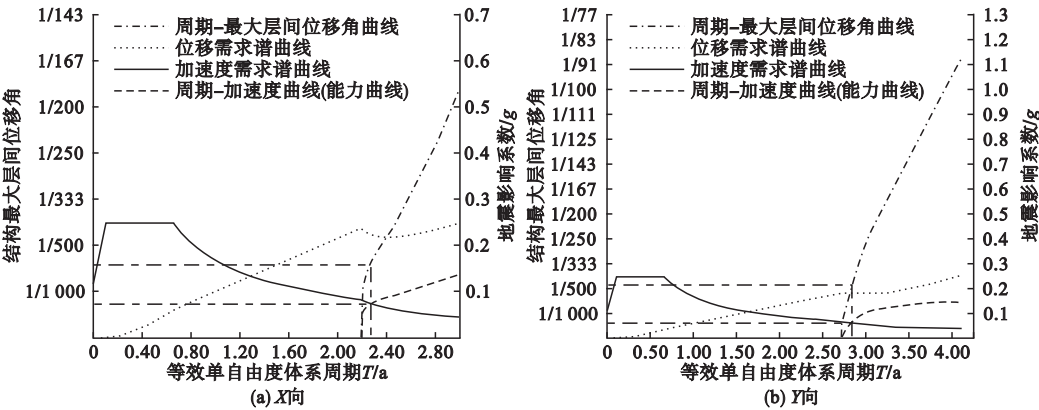


图 13 5#楼大震作用下能力曲线和需求曲线

Fig. 13 Capability curves and demand curves of 5# building under large earthquake

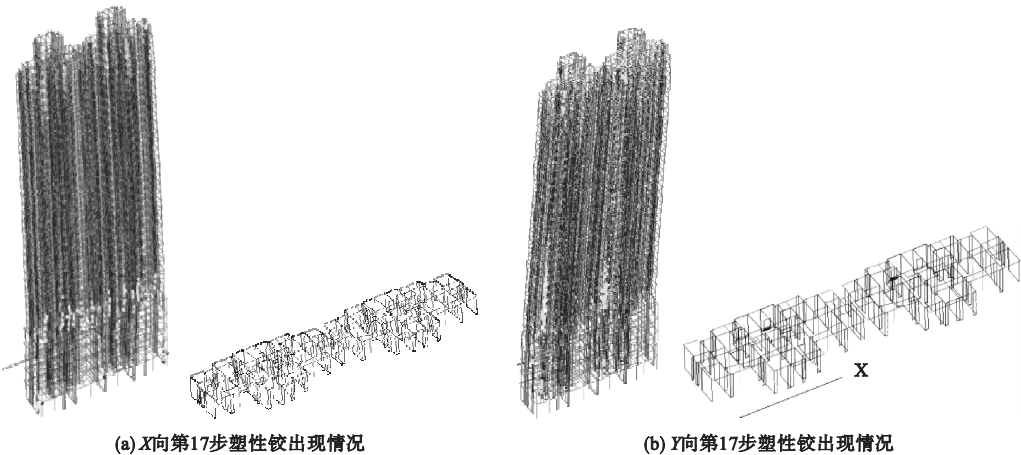


图 14 5#楼性能点对应结构塑性铰出现情况

Fig. 14 5# building performance point corresponding to plastic hinge occurrence

7 楼板详细分析

7.1 地震工况下楼板分析

在多遇地震下, 楼板应力分析结果如图 15 所示, 可见楼板主拉应力不大于混凝土抗拉强度设计值, 故小震下楼板不会开裂.

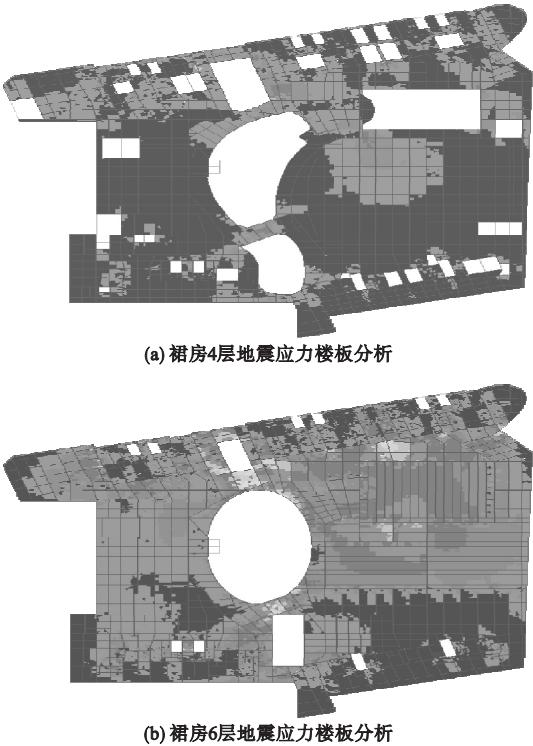


图 15 裙房地震工况下楼板分析结果

Fig. 15 Podium floor under seismic condition analysis

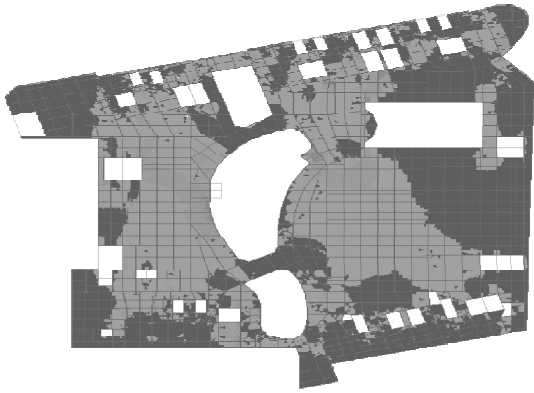
对比裙房各层地震应力组合下结果(见图 15), 裙房各层有相似结果, 主楼相关范围、大开洞区域附近、平面体形变化较大处都存在应力分布区. 特别是开洞连接处的几处连廊更是薄弱部位, 为应力较大区域. 裙房屋面层(主楼转换层) 在地震作用组合下, 存在较大范围大应力分布.

7.2 温度应力工况下楼板分析

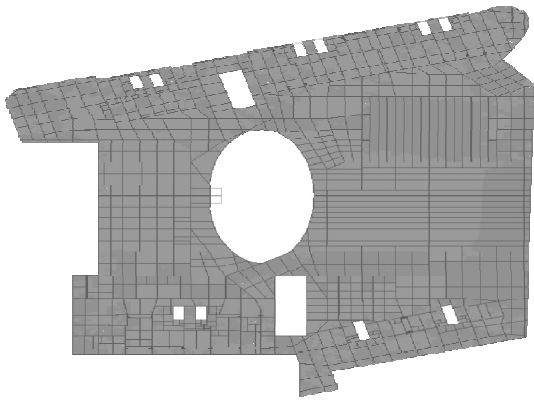
工程中温差计算仅考虑结构所经历的整体温差的影响, 未考虑施工浇灌混凝土过程中产生的温差. 混凝土合拢温度取月平均气温. 整体温差 = 月最高(最低气温) - 合拢温度. 按照当地气象统计资料, 温差计算按升温(+20 ℃)、降温(-15 ℃) 来计算.

在温度应力工况下, 楼板应力分析结果如图 16 所示, 大部分楼板应力存在一定范围增长, 但楼板主拉应力仍然不大于混凝土抗拉强度标准值, 故应适当加强楼板配筋.

对比裙房各层温度应力组合下结果(见图 16), 裙房 2~4 层有相似结果, 主楼相关范围、大开洞区域附近、平面体形变化较大处都是大应力分布区. 裙房屋顶则普遍大面积存在应力增长.



(a) 裙房4层地震应力楼板分析



(b) 裙房6层地震应力楼板分析

图 16 裙房温度应力楼板分析结果

Fig. 16 Stress analysis results of the podium floor temperature

对应地震工况下应力图,由于图例所示相同颜色值代表不同应力值,故本工况下应力值与地震工况下不能简单相比.但进一步比较可知,地震工况下显示应力大的部分组合值由地震工况控制,地震工况下显示应力小的部分组合值由温度工况下控制.

综上所述,裙房2~5层几处连廊部位板厚增加至150 mm,保证钢筋双层双向拉通,配筋率不小于0.25%,其他局部开洞区域保证钢筋双层双向拉通,配筋率不小于0.25%;裙房6层(裙房屋顶、主楼转换层)裙房屋面整个楼板的厚度增加至150 mm,钢筋双层双向拉通,配筋率不小于0.30%.转换区域所在楼板增加为200 mm厚.

8 结 语

本工程存在诸多超限情况,但通过对结构在地震作用三阶段的分析,可以发现结构的薄弱部位,进而采取相应有针对性措施,使之满足预定的抗震设防性能水准.对结构的重要部位如剪力墙、框支框架、拾柱框架、悬挑框架在进行性能设计的同时采取必要的加强措施是整体结构体系的重要保证.同时对裙房复杂平面的楼板进行详细分析,这也有利于对薄弱部位更好地加强以满足结构安全.

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 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, 2010.
(Ministry of Construction of the People's Republic of China. Technical specification for concrete structures of tall building: JGJ 3—2010[J]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.)
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构设计规范: GB 50010—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
(Ministry of Construction of the People's Republic of China. Code for design of concrete structures: GB 50010—2010[S]. Beijing: China Construction Industry Press, 2010.)
- [3] BUNGALE S TARANAT H. Reinforced concrete design of tall buildings [M]. Boca Raton: CRC Press, 2010.
- [4] 徐培福, 傅学怡, 王翠坤. 复杂高层建筑结构设计[M]. 北京: 建筑工业出版社, 2011.
(XU Peifu, FU Xueyi, WANG Cuikun. Design of complex high-rise building structure [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011.)
- [5] 陆新征, 叶列平, 缪志伟. 建筑抗震弹塑性分析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
(LU Xinzhen, YE Lieping, MIAO Zhiwei. Seismic elastic-plastic analysis [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012)
- [6] 吕西林. 超限高层建筑工程抗震设计指南[M]. 上海: 同济大学出版社, 2009.
(Lü Xilin. Guide to seismic design of high-rise buildings beyond limits [M]. Shanghai: Tongji

- University Press, 2009.)
- [7] 韩小雷, 季静. 基于性能的超限高层建筑结构抗震设计: 理论研究与工程应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
(HAN Xiaolei, JI Jing. Performance-based seismic design of high-rise buildings beyond limits; theoretical study and engineering application [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013)
- [8] 邹岫, 吕西林, 朱杰江. 基于性能的抗震设计方法在某复杂超高层结构中的应用研究[J]. 工程力学, 2008, 25(9): 93 - 99.
(ZOU Xun, LÜ Xilin, ZHU Jiejiang. Study on the application of performance-based seismic design method in a complex high-rise building [J]. Engineering mechanics, 2008, 25(9): 93 - 99.)
- [9] 陆新征, 叶列平, 缪志伟. 建筑抗震弹塑性分析: 原理、模型与在 ABAQUS, MSC. MARC 和 SAP2000 上的实践[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
(LU Xinzheng, YE Lieping, MIU Zhiwei. Elastic-plasticity analysis of buildings against earthquake: theory, model and implementation on ABAQUS, MSC. MARC and SAP2000 [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.)
- [10] 王强, 潘天林, 刘明, 等. 用于 ABAQUS 显式分析梁单元的混凝土单轴本构模型[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2011, 27(4): 679 - 684.
(WANG Qiang, PAN Tianlin, LIU Ming, et al. Study on a uniaxial constitutive model of concrete for explicit dynamic beam elements of ABAQUS [J]. Journal of Shenyang jianzhu university(natural science), 2011, 27(4): 679 - 684.)
- [11] 杨学林, 李晓良, 茆诚, 等. 复杂超限高层建筑结构性能化设计研究与应用[J]. 建筑结构学报, 2010(增刊 2): 5 - 11.
(YANG Xuelin, LI Xiaoliang, MAO Cheng, et al. Research and application on performance-based seismic design of tall building structures beyond code-specification [J]. Journal of building structures, 2010(S2): 5 - 11.)
- [12] 邓春燕, 赵宏康, 张志刚, 等. 苏州工业园区公积金大厦超限高层结构设计[J]. 建筑结构, 2013, 43(10): 69 - 72.
(DENG Chunyan, ZHAO Hongkang, ZHANG Zhigang, et al. Structural design of out-of-code high-rise provident fund building in SIP [J]. Building structure, 2013, 43(10): 69 - 72.)
- [13] 闫莹, 徐斌. 山西格盟项目超限高层办公楼设计与分析[J]. 建筑结构, 2013, 43(增刊 2): 240 - 244.
(YAN Ying, XU Bin. Design and analysis of overrun high-rise office building in Shanxi League project [J]. Building construction, 2013, 43(S2): 240 - 244.)
- [14] SEAOC. Vision 2000 a Framework for Performance based Engineering [R]. Structural Engineering Association of California, 2009.
- [15] Federal Emergency Management Agency (FEMA). NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Building Seismic Safety Council [R]. FEMA Report 273, 2008.
- [16] 王建峰, 虞终军, 郑毅敏, 等. 上海城投控股大厦超限高层建筑设计[J]. 结构工程师, 2011, 27(3): 1 - 6.
(WANG Jianfeng, YU Zhongjun, ZHENG Yimin, et al. Structural design of Shanghai Chengtou holding high-rise building [J]. Structural Engineers, 2011, 27(3): 1 - 6.)
- [17] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 型钢混凝土组合结构设计规范: JGJ 138—2001 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
(Ministry of Construction of the People's Republic of China. Code for design of steel reinforced concrete composite structures: JGJ 138—2001 [J]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2001)
- [18] 蔡俊坡. 基于抗震性能的框架 - 剪力墙结构优化设计[D]. 西安: 西安科技大学, 2010.
(CAI Junpo. Research of optimal design of frame-shear wall structure based on seismic performance [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2010.)
- [19] 舒玉龙. 高层钢筋混凝土框架 - 剪力墙结构刚度和延性优化设计的研究[D]. 锦州: 辽宁工业大学, 2015.
(SHU Yulong. The design and optimization of the stiffness and ductility about the high reinforced concrete frame-shear wall structure [D]. Jinzhou: Liaoning University of Technology, 2015.)