

西成启创大厦高层平面、竖向不规则超限项目分析

文 / 李 启 深圳市鹏清建筑与规划设计有限公司

摘要：针对超限高层结构高度大、结构不规则，在抗震性能方面比一般结构要弱的问题，本研究对西成启创大厦的主体结构设计进行介绍，通过对整体结构受力特性、结构布局和功能要求进行了分析；运用 YJK 及 ETABS 程序进行小震下的弹性分析，在此基础上，对结构超限进行了判定，针对不规则超限高层建筑的特点，采取结构优化设计措施。通过计算分析，本研究所设计方案能有效实现分析表明该工程实例能够满足“小震不坏、中震可修、大震不倒”的抗震设防目标。

关键词：西成启创大厦；关键构件；性能化设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.20.009

引言

随着经济的高度发展，国内出现了越来越多的建筑体系复杂、平面布置不规则、功能多样化的不规则超限高层建筑。在这其中，很大一部分的高层建筑的高度和复杂程度都超出了我国现行规范的规定限值，形成了各种高度超限、平面或竖向不规则的超限高层结构。超限高层结构由于高度大或结构不规则，在抗震性能方面比一般结构要弱，所以对超限高层结构在地震作用下的可靠程度进行研究是很有必要的。

一、工程概况

(一) 总体概况

深圳市 A 公司开发建设的工业区产业升级综合整治更新项目 02 地块，南临 4# 地块职工宿舍楼，东临 1# 地块宿舍楼，北临公路，西面有公园。该项目为研发用楼，共 17 层，采用框架-剪力墙结构体系，主屋面结构高度 74.350 米，场地内满铺两层地下室作为地下车库及设备用房。本研究超限的楼栋为 2 地块（西成启创大厦）。该大厦常遇地震时，能够进行反应谱分析，采用 YJK 和 ETABS 进行对比计算，对结构整体指标互相复核，确保各项指标满足规范要求。

本项目西成启创大厦为研发用楼，地下 2 层，地上 17 层，2 层屋架。西成启创大厦结构高度 74.350m，室内外高差为 0.3m。

(二) 地基基础方案

根据勘察钻探所揭露的情况，场地内浅层的地层结构变化较大，土层分别有：①层素填土；②第四系全新冲洪积岩层中砂；③第四系残积层，砂质黏性土；场地内伏基岩为蓟县系-青白口系混合岩（Jx-Qby），根据钻探揭露和岩石的风化程度分为全风化、土状强风化、块状强风化^[7]、中风化、微风化五个风化带。采用旋挖灌注桩基础。

(三) 结构超限判定

根据《高规》第 3.3.1 条，7 度区 A 级高度框架-剪力墙结构^[8]的最大适用高度为 120m，西成启创大厦结构高度为 74.350m，高度不超限。根据《高规》3.3.2

条高宽比要求，西成启创大厦结构高宽比如表 1 所示。

表 1 西成启创大厦高宽比判别

方向	柱外皮间最短边距离 (m)	高宽比
X 向	17.9	4.15<6
Y 向	46.1	1.61<6

《高层建筑混凝土结构技术规程》第 3.4.5 条规定：“结构扭转为主的第一自振周期 T_t 与平动为主的第一自振周期 T_1 之比，A 级高度高层建筑不应大于 0.9，B 级高度高层建筑、超过 A 级高度的混合结构级本规程第 10 章所指的复杂高层建筑不应大于 0.85。^[9]”

结构的平动周期、扭转周期及周期比见表 2（YJK 分析结果）。西成启创大厦扭转周期比为 0.83，不大于 0.85，满足规范复杂高层建筑的周期比限值要求。本工程周期比不超限。

表 2 结构自振周期

参数	周期 (s)	备注
第一周期	2.51 (0.02+0.78+0.20)	Y 平动
第二周期	2.24 (0.94+0.04+0.02)	X 平动
第三周期	2.09 (0.05+0.18+0.77)	扭转
周期比	0.83	<0.85=0.85

参考《高规》3.4.5 条条说明，对于平面位移比的计算，采用振型组合后的楼层地震剪力换算的水平地震作用力（规定水平力），并考虑偶然偏心施加于模型各层刚性楼板。计算表明，西成启创大厦的最大水平位移和层间位移与该楼层平均值之比大多数大于 1.2，但小于 1.4，因此西成启创大厦存在扭转不规则。

按西成启创大厦的标准层平面。根据《高规》：

$$l / B_{\max} = 16.3m / 33.9m = 0.48 > 0.35 \quad (1)$$

因此，西成启创大厦存在凹凸不规则。

《广高规》3.5.2 条规定，本层侧向刚度与相邻上层侧向刚度的比值不宜小于 0.9。按计算的侧向刚度比值，表明西成启创大厦不存在侧向刚度不规则。

二、抗震性能

(一) 抗震性能目标

考虑到本工程存在扭转不规则、凹凸不规则、尺寸突变和局部不规则（局部跃层柱）等四项一般不规则，

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。在考虑预估设防地震的情况下，结构性能水准满足性能水准3；在考虑预估罕遇地震下，结构性能水准满足性能水准4。

表3 性能C级目标 三水准抗震性能目标及相应计算方法

地震水准	多遇地震			设防烈度地震	罕遇地震
性能目标	关键构建 竖向收进部位剪力 墙、框架柱	底部加强部位剪力 墙、框架柱	弹性	弹性	抗弯不屈服、受剪不屈服
		弹性	弹性	抗弯不屈服、受剪不屈服	
	一般构件	非底部加强部位剪 力墙、框架柱	弹性	抗剪弹性抗弯不屈服	受弯部分屈服受剪满足截面抗剪要求
	耗能构件	连梁框架梁	弹性	抗剪不屈服抗弯部分屈服	受弯大部分屈服受剪满足截面抗剪要求
收进部位楼板	弹性			弹性	受剪满足截面抗剪要求

(二) 小震与风荷载作用分析

我们分别采用YJK及ETABS两种三维空间结构分析程序进行计算比较，模型计算主要输入参数均按规范要求设置。

本工程设有两层地下室。按照高规附录E.0.1计算的B1F与1F的侧向剪切刚度比，X向和Y向分别为4.91和8.04，满足嵌固层与其上一层刚度比大于2的要求，故嵌固层取在地下室顶板。地下室顶板最小板厚度取180mm。嵌固端刚度计算结果如表4所示。

表4 嵌固层刚度比结果

位置		B1F (kN/m)	1F (kN/m)	B1F/1F
剪切刚度比	X向	12.7x107	2.55x107	4.98
	Y向	14.8x107	1.80x107	8.22
是否 >2.0		是		

《高规》JGJ3-2010第3.5.2.2条同时要求结构嵌固层与上层侧向刚度比不宜小于1.5。经计算一层与二层的侧向刚度比：X向为2.11、Y向为2.37。同时在设计地下室楼面时满足规范要求的构造后可以判定，本工程地下室顶板可以作为上部结构的嵌固端。

根据《抗规》第5.1.2条，该塔楼应采用弹性时程分析方法进行多遇地震下的补充计算。地震波的时程曲线对比图如图1所示。

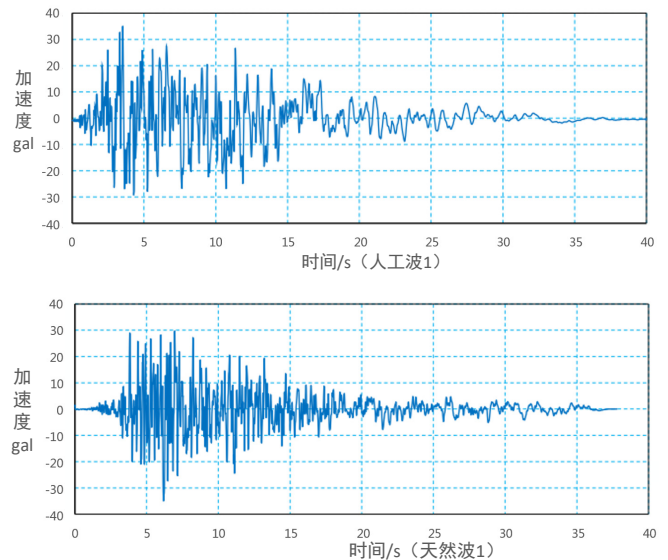


图1 时程分析波谱曲线

地震时程分析整体结果结果表明，每条时程曲线满足《高规》第4.3.5条的规定。此外，各楼层层间位移角平均值均小于规范反应谱的相应值，按反应谱设计即可包络住多条波计算得到的平均值。

三、中震弹性验算结果与分析

为了验算、复核结构在设防烈度下的性能，设计时采用规范的地震反应谱进行了弹性反应谱分析。地震分析阻尼比采用5%，连梁刚度折减系数取0.5。对关键构件按照前文设定的性能目标进行设防烈度地震作用下的抗震性能验算。根据预定性能目标，表5给出了两层框架柱在小震弹性和中震弹性下的端部构件竖向配筋结果。

表 5 九层和十层框架柱纵向钢筋配筋结果

楼层	柱编号	轴压比		主筋配筋率 R_s (%)	
		小震	中震	小震	中震
9	NC-1	0.14	0.15	1.30	2.00
	NC-2	0.08	0.09	0.90	1.40
	NC-3	0.67	0.70	0.70	0.50
	NC-4	0.17	0.17	0.90	2.10
	NC-5	0.11	0.12	0.70	1.30
	NC-6	0.60	0.66	0.70	0.50
10	NC-1	0.62	0.70	0.70	0.50
	NC-2	0.65	0.65	0.70	0.50
	NC-3	0.59	0.65	0.70	0.80
	NC-4	0.71	0.74	0.70	0.50
	NC-5	0.64	0.71	0.70	0.50

从结果看出，九层和十层大部分框架柱受弯按照小震弹性配筋设计即可满足“中震不屈服”的要求。其他楼层框架柱受弯采用相似方法对小震和中震不屈服配筋取包络设计，即可满足“底部加强区框架柱受弯弹性，非底部加强区框架柱受弯不屈服”的目标。

为了验证本研究项目的抗震性能，在 PERFORM-3D 中，通过不同颜色区分构件的抗震性能。白色（因构件颜色为黑色，故此显示为黑色）表示 OP，青色表示 IO，绿色表示 LS，黄色表示 CP，红色表示严重破坏。 $UsageRatio = Demand / Capacity$ ，式中 Demand（需求值）为计算得到的损伤变形（应变和转角）；Capacity（能力值）为根据表取值确定的性能指标（应变和转角）。用不同的颜色组来判断结构的损伤程度，结果值越大，对应的颜色越深，结构损伤越严重。图 2 给出了天然波 1X 工况作用下框架梁的弯曲性能状态。

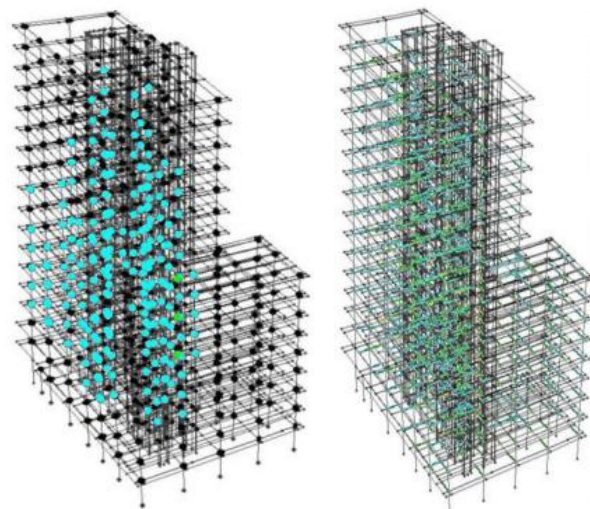


图 2 天然波 1X 作用下框架梁受弯性能状态分布图

从图 2 可知，在天然波 1X 工况下，框架梁受弯，部分框架梁达到“IO”，部分达到“LS”水准。因此，框架梁满足“受弯部分屈服”的性能目标。

综上，本研究结构满足规范的相应规定和抗震性能目标 C 级的要求。

结语

本文主要介绍了西成启创大厦的主体结构设计，通过整体分析、地基基础、结构超限判定等设计手段，对不规则超限的高层建筑工程进行结构优化设计，对抗震性能有针对性的分析设计和加强，通过实验验证本工程结构满足整体稳定性问题，跃层柱不存在局部稳定问题。

参考文献

- [1] 张剑涛, 孙海林, 刘会军, 等. 海南某大学科研楼项目超限设计 [J]. 建筑结构, 2022, 52 (S02): 11-15.
- [2] 谢军, 孙亚琦, 邹翔, 等. 淮州新城国际会展中心抗震性能化设计 [J]. 建筑结构, 2021, 51 (13): 7.
- [3] 蒋斌, 刘鹏, 孟吉祥. 崇明东滩科研中心超限结构分析与设计 [J]. 建筑结构, 2023 (S02): 053.
- [4] 李智明, 曹源, 胡慧莹. 某临江超限高层建筑工程抗震分析设计 [J]. 建筑结构, 2020, 50 (S02): 239-245.
- [5] GB50068-2001. 建筑结构可靠度设计统一标准 [S]. 北京: 建筑工业出版社, 2001.
- [6] GB50009-2001. 建筑结构荷载规范 [S]. 北京: 建筑工业出版社, 2001.
- [7] 全国民用建筑工程设计技术措施 (结构篇) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [8] 包世华. 新编高层建筑工程 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004, 9.
- [9] 车顺利, 吴琨, 贾俊明, 等. 某复杂多塔连体超限高层结构设计 [J]. 建筑结构, 2018, 48 (17): 5.
- [10] 冷斌, 黄亚均, 顾荣勇, 等. 金融城二期复杂超限高层结构设计 [J]. 建筑结构, 2023, 53 (19): 115-120.