

某超限高层结构多遇地震下的性能分析

杨肖桐 赵佳丽

深圳供电规划设计院有限公司

DOI:10.12238/bd.v8i5.4260

[摘要] 某工程7栋塔楼结构主屋面高度203.850m,楼盖形式为组合楼盖,结构体系为钢管混凝土框架-钢筋混凝土核心筒结构,存在竖向不规则超限项,属于高度超限一般不规则项目。对用YJK与ETABS两种软件对结构在多遇地震作用下进行弹性分析;通过软件的分析,初步判断该结构是合理且满足规范要求的。

[关键词] 超限高层结构; 抗震设计; 多遇地震

中图分类号: TU973+.2 **文献标识码:** A

Seismic design and performance analysis of an out-of-code high-rise structure

Xiaotong Yang Jiali Zhao

Shenzhen Power Supply Planning and Design Institute Co, Ltd

[Abstract] The main roof height of a certain project (the 7th tower structure) is 203.850m, the building cover form is a combined building cover, the structural system is steel pipe concrete framework-steel concrete core cylinder structure. It has vertical irregular overruns and it is a general irregular item with a height overrun. Using YJK and ETABS software to carry out the elastic analysis of the structure under the action of frequent earthquakes; Through the analysis of the software, it is preliminarily judged that the structure is reasonable and meets the requirements of the specification.

[Key words] out-of-code high-rise structure; earthquake resistant design; small earthquake 1

1 工程概况

本工程位于深圳市南山区留仙洞总部基地,北邻仙文北路,西接创科路,南邻茶光路,东侧同发南路,总建筑面积约为103.5万 m^2 。

本项目7栋塔楼(以下均称为7栋)结构主屋面结构标高为203.850m(机房层结构标高为208.600m),楼层数为39层。

7栋建筑面积为8.44万 m^2 ,地上建筑功能为实验室(非《建筑工程抗震设防分类标准》^[1]中第6.0.9所列实验室类型)与研发用房,地下建筑功能为停车场与商业。根据《建筑工程抗震设防分类标准》,本项目抗震设防类别属重点设防类(乙类)。建筑单体效果图见图1。



图1 建筑效果图

2.1 结构体系

7栋结构体系为钢管混凝土框架-钢筋混凝土核心筒结构。标准层层高为4.5m,避难层设置在第9、20和30层,层高均为6.0m,架空层设置在第8、19和29层,层高均为9.0m。首层大堂高度为11.950m,避难层无局部开洞。在第19、29层架空层周围设置了环带桁架,且在相邻两层(即19层、20层、29层、30层)的南北向设置水平支撑。地下室共两层,完全埋入地下,故取地下室顶板作为嵌固端。

2.2 典型结构平面布置

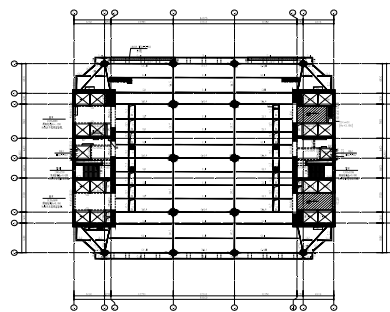


图2 标准层平面布置图

2 结构选型及方案对比分析

2.3 结构超限情况

根据《高层建筑混凝土结构技术规程》[2] (JGJ 3-2010) (以下简称《高规》)表11.1.2, 7度设防烈度下型钢(钢管)混凝土框架-钢筋混凝土核心筒建筑的最大适用高度为190m^[3], 本栋结构计算高度203.85m, 高度超规范高度限值7.3%; 根据《高规》JGJ3-2010表11.1.3条高宽比要求, 办公楼结构高宽比如下表所示。数据表明X向与Y向的高宽比均未超过限值。

表1 高宽比超限判别

方向	柱外皮间距离(m)	高宽比
X向	52.1	3.91<7
Y向	44.3	4.60<7

根据《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》^[4] (建质[2015]67号)超限高层建筑工程主要范围参照简表将本项目7栋超限内容汇总如下:

表2 高度超限判别

结构体系	高度限值	结构计算高度	是否超限
钢管混凝土框架-钢筋混凝土核心筒	190m	203.850m	超限(超7.3%)

综上所述, 本项目属于高度超限的一般不规则高层建筑工程。根据《超限高层建筑工程抗震设防管理规定》(建设部令第111号)、《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), 应进行抗震设防专项审查。

2.4 抗震性能目标

综合考虑抗震设防类别、设防烈度、场地条件、结构本身特点、建造费用和修复难易程度等因素, 根据《高规》对抗震性能目标的划分, 结构抗震性能目标定为C级。针对不同的抗震性能水准对应的结构构件抗震性能目标, 设计时的具体控制指标如下表:

表3 抗震性能目标

地震烈度	多遇地震	设防地震	罕遇地震
性能水准	性能水准 1	性能水准 3	性能水准 4
层间位移角限值	1/559	-	1/100
关键构件	弹性	受弯不屈服, 受剪弹性	不屈服
普通竖向构件	弹性	受弯不屈服, 受剪弹性	部分受弯屈服, 控制受剪截面
耗能构件	弹性	部分受弯屈服, 受剪不屈服	部分受弯屈服, 控制塑性变形
普通楼板	弹性	不屈服	控制受剪截面

3 多遇地震作用下弹性分析

3.1 计算嵌固端确定

本工程地下共2层, 计算拟采用地下室顶板作为结构嵌固端。计算地下室楼层侧向刚度时, 采用《高规》附录E.0.1条的公式计算楼层侧向刚度比, 计算结果见下表:

结果显示, 嵌固端下层与嵌固端上层的X向和Y向楼层侧向刚度比均>2, 满足《高规》5.3.7条, 且嵌固层与上层侧向刚度比值满足>1.5的要求。

表4 楼层剪切刚度比值

侧向刚度比	方向	楼层侧向刚度(107kN/m)		
		嵌固端下层	嵌固端上层	下层/上层
剪切刚度	X向	17.98	6.48	2.77
	Y向	19.98	6.58	3.04

表5 楼层侧向刚度比值

方向	X向	Y向
侧向刚度比(L1/L2)	2.08	1.88

由此判定: 地下室顶板可以作为上部结构的嵌固端。

3.2 振型分解反应谱法分析结果

本项目分别采用YJK及ETABS两款结构分析程序进行计算比较, 按振型分解反应谱法进行抗震计算及弹性时程补充分析计算, 周期及振型汇总如下表6:

表6 周期及振型

计算软件	YJK	ETABS	YJK/ETABS	备注	
周期	T1	5.88	5.92	99.10%	X向平动
	T2	4.73	4.75	99.58%	Y向平动
	T3	3.13	3.14	99.50%	扭转为主
振型有效质量参与系数	X	97.02%	96.50%	-	=90%
	Y	97.94%	97.22%	-	
周期比T3/T1	0.53	0.53	-	=0.85	

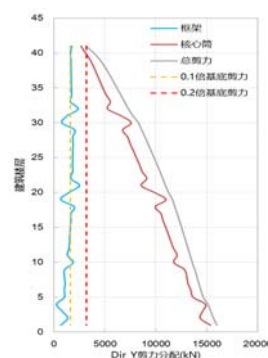
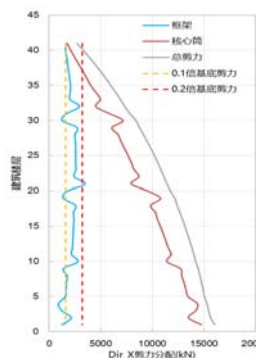


图3 Dir_X剪力分配(kN) 图4 Dir_Y剪力分配(kN)

结构X向和Y向整体刚度接近, 为研究框架核心筒独自在对应的方向是否刚度布置一致, 可以通过框架与核心筒分担剪力和倾覆力矩来判断。倾覆力矩计算采用规范法。

对于普通楼层, 框架承担的地震剪力比最大值约为结构底部总剪力的20%, 10层以上楼层的框架承担的地震剪力占据相应楼层剪力的10%~20%, 且X向Y向曲线较为一致, 表明框架和核心筒各自在对应的方向刚度分布一致, 表明结构布置均匀。

表7显示了YJK与ETABS计算软件输出的层间位移角分布情况。最大地震工况下层间位移角出现在13F, 为1/815, 满足规范1/559限值要求。50年风荷载作用下最大层间位移角为1/718, 出现在12F, 满足规范1/559限值要求。

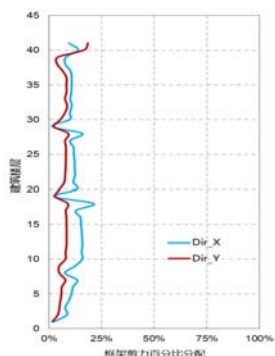


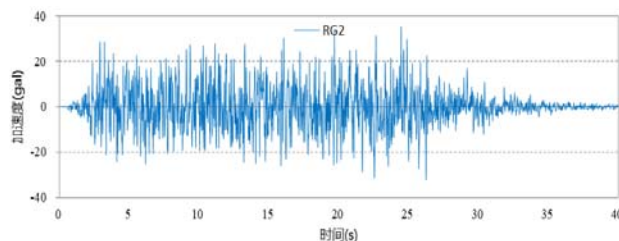
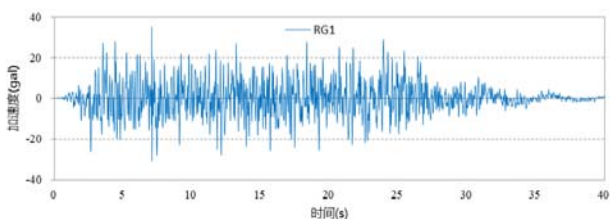
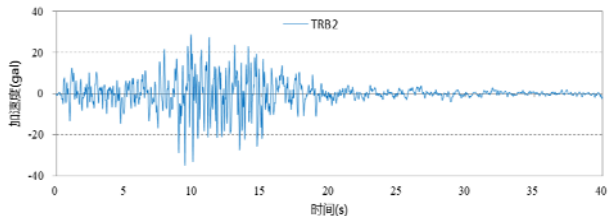
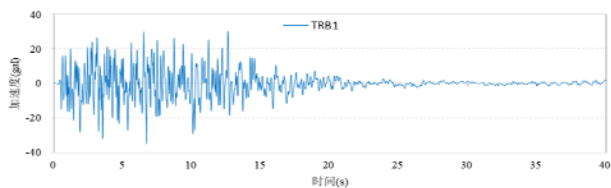
图5 框架剪力占比

表7 层间位移角结果

水平荷载作用	计算软件	YJK		ETABS	
	项目	Dir_X	Dir_Y	Dir_X	Dir_Y
地震作用	最大层间位移角	1 / 815	1 / 1306	1/860	1/1203
	所在楼层	13F	25F	12F	19F
风荷载作用	最大层间位移角	1 / 718	1 / 1165	1 / 752	1 / 1084
	所在楼层	12F	24F	13F	29F
规范限值		均满足规范<1/559要求			

3.3 弹性时程分析

根据《高规》第4.3.4条规定,本结构应采用弹性时程分析方法进行多遇地震下的补充计算。计算分析时选用五条天然波及两条人工模拟的加速度时程曲线。采用主、次波的方式考虑双向地震作用。将地震加速度峰值调整为 35cm/s^2 ,地震波振型阻尼比 ξ 为 0.04,地震波的时间间距 Δt 为 0.02s。下图列举部分地震波 (TRB表示天然波; RGB表示人工波) 主方向加速度曲线^[5]。



采用ETABS设计计算软件,将各组地震波作用到结构体系中,最大弹性层间位移角及基底剪力见表8。通过与振型分解反应谱计算结果对比分析,各条时程曲线基底剪力结果在《高规》允许的范围,整体结构满足刚度要求。

表8 各地震时程工况下的基底剪力及位移角

工况	Dir_X		Dir_Y	
	层间位移角	基底剪力(kN)	层间位移角	基底剪力(kN)
TRB1	1/1536	13,128	1/1949	15,398
TRB2	1/1472	13,304	1/1791	17,875
TRB3	1/903	16,921	1/1116	23,535
TRB4	1/941	18,883	1/1241	20,413
TRB5	1/923	17,746	1/1302	21,639
RGB1	1/1192	13,764	1/1482	20,792
RGB2	1/1036	16,784	1/1177	21,367
平均值	-	15,790	-	20,146
反应谱	1/815	17,754	1/1306	19,476

4 结论

综上判断,多遇地震及风荷载作用下,各项设计控制指标均满足性能水准1的抗震性能目标,初步判断该结构是合理且满足规范要求的。

[参考文献]

[1]建筑抗震设计规范:GB50011—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
 [2]高层建筑混凝土结构技术规程:JGJ3—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
 [3]组合结构设计规范:JGJ1382016[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.
 [4]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[A].北京:中华人民共和国住房和城乡建设部,2015.
 [5]高烈度区某超限高层结构抗震设计及性能分析[J].建筑结构,2023,53(9):46—52.

作者简介:

杨肖桐(1992--),男,汉族,广东深圳人,中级工程师,硕士研究生,研究方向:组合结构及混凝土结构设计。