

高烈度地区超限高层建筑抗震设计实例简析

潘哲

紫杉建筑设计股份有限公司, 云南 昆明 650000

[摘要] 春城时光花园 1-3 号地块处于 8 度区, 内包含 5 栋超限高层建筑, 其中有三栋框架核心筒结构超限高层 (1~3#), 两栋剪力墙结构超限高层 (4~5#)。五栋主楼间采用两层框架商业相连。通过 YJK、PKPM、ETABS 等结构软件计算分析指导设计, 以便达到预期抗震性能设计目标。

[关键词] 超限高层; 建筑抗震; 设计; 简析

DOI: 10.33142/ec.v3i8.2368

中图分类号: TU973.31

文献标识码: A

Brief Analysis of Seismic Design Examples of High-rise Buildings with High Intensity Area

PAN Zhe

Taxus Architectural Design Co, Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract: The plot 1-3 of Chuncheng Shiguang Garden is located in 8 degree area, which contains 5 high-rise buildings with over limit, including three core tube structures with frame (1-3#) and two shear wall structures (4-5#). The five main buildings are connected by two-story frame commerce. Through the calculation and analysis of YJK, PKPM, ETABS and other structural software to guide the design, in order to achieve the expected seismic performance design objectives.

Keywords: super high rise; building seismic; design; brief analysis

1 项目情况

春城时光花园 (1-3 号地块) 位于昆明市官渡区, 场地东南侧紧邻永中路。本项目地上建筑面积 170795.62 m², 其中 1#、2#楼为 139.3m 框架核心筒超限高层办公楼, 3#楼为 148.3m 框架核心筒超 B 级高层办公楼, 4#、5#楼为 116.8m 超限高层剪力墙结构; 其中 1 栋、2 栋及 5 栋有 4 层地下室, 其余各栋均设 3 层地下室。主楼间采用两层框架商业相连, 主楼与裙房设置抗震缝。

本文下述以 3#楼为例分析高烈度地区超限高层抗震设计。

2 上部结构设计

3#楼地下 3 层, 地面以上共 33 层。房屋结构高度为 148.3m, 为框架核心筒结构, 高宽比为 4.12, 桩筏基础, 长 45.6m, 宽 35.5m。地基基础设计等级为甲级, 桩基设计等级为甲级。结构设计使用年限为 50 年。设防标准及相关参数详见下表。

表 1 设防标准及相关参数

建筑抗震设防类别	丙类
建筑结构安全等级	二级
结构重要性系数	1.0
抗震设防烈度	8 度 0.2g 第三组
结构设计使用年限	50 年
地基基础设计等级	甲级
地震影响系数最大值	小震 0.16, 中震 0.45, 大震 0.90
建筑场地类别	III 类
场地特征周期	0.65s
结构阻尼比	5%

(续表)

建筑抗震设防类别	丙类
剪力墙抗震等级	特一级
框架抗震等级	一级
重力二阶段效应	不考虑
周期折减系数	0.9
最大轴压比	剪力墙 0.5; 框架柱 0.7; 型钢柱 0.65
中梁刚度放大系数	2.0
活荷载不利分布	不考虑
偶然偏心	考虑
双向地震作用	不考虑
施工模拟加载	按施工模拟 3

2.1 结构超限类别及程度

3#楼体系超限情况审查情况详见下表。

表 2 设防标准及相关参数

序号	超限审查要求项目		是否超限
1	房屋高度 (m)	框架-核心筒结构(超B类限值 140m)	是
2	不规则性(同时具有三项及以上不规则的高层建筑工程)	扭转不规则	否
		偏心布置	否
		凹凸不规则	否
		组合平面	否
		楼板不连续	否
		刚度突变	否
		尺寸突变	否
		构件间断	否
		承载力突变	否
		其它不规则	否
3	不规则性 (两项不规则)	扭转偏大	否
		抗扭刚度弱	否
		层刚度偏小	否
		塔楼偏置	否
4	不规则性 (一项不规则)	高位转换	否
		厚板转换	否
		复杂连接	否
		多重复杂	否
5	其他高层建筑	特殊类型高层建筑	否
		超限大跨空间结构	否

综合以上分析,本工程为平面规则、竖向规则结构。

结构体系为钢筋混凝土（局部加型钢）框架-核心筒结构，房屋建筑高度为 148.3m 超 B 级高度限值。

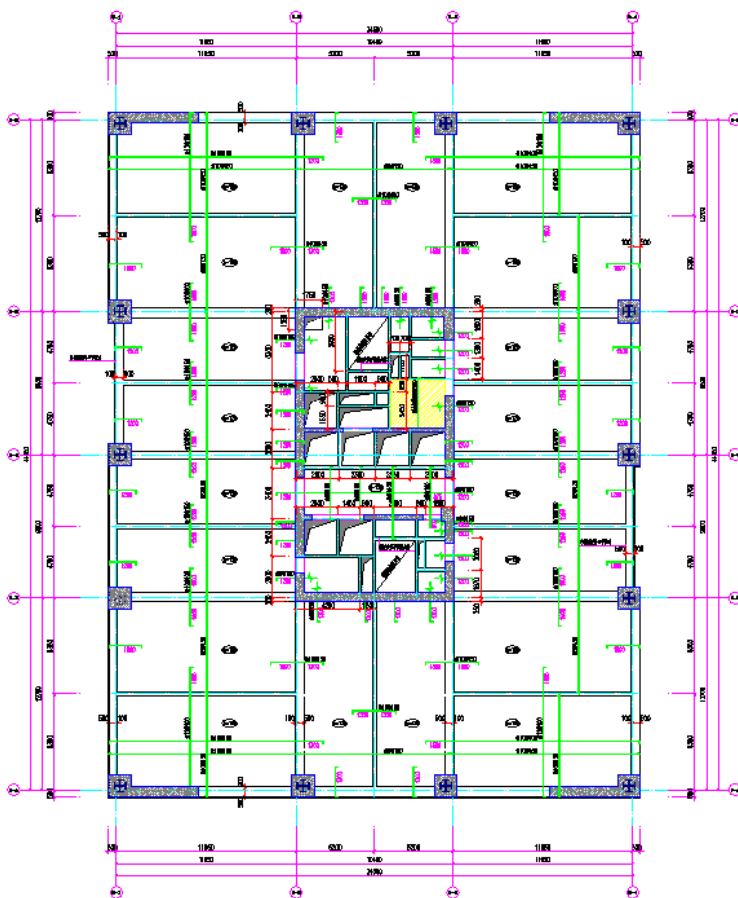


图 1 标准层结构平面图

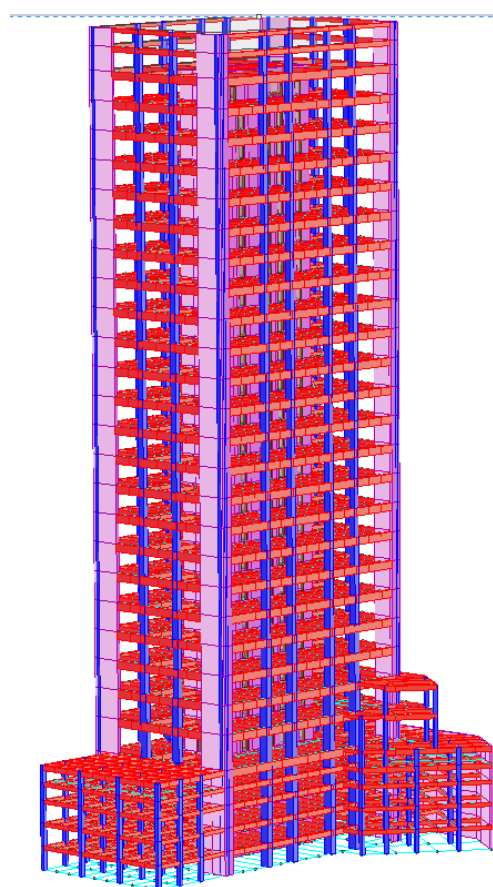


图 2 建筑模型轴测图

2.2 核心筒高宽比超限

3#结构核心筒总宽度为 10.7m，结构总高度为 148.3m，核心筒的高宽比达到了 13.85，超出《高规》9.2.1 条 12 的限值，故采取以下措施保证结构的抗震性能：

(1) 在结构周边外围增设剪力墙，保证结构的抗侧刚度。

(2) 加强筒体内楼板的板厚至 120mm，且楼板按 0.25%配筋率配筋双层双向布置板筋；

(3) 建筑核心筒剪力墙按照特一级抗震措施设计，剪力墙底部加强区墙身筋最小配筋率取为 0.40%，一般部位墙身筋最小配筋率取为 0.35%。

(4) 复核核心筒在中震作用下拉应力情况，当拉应力超出 2 倍 f_{tk} 时，采取增设型钢，由型钢来全部承担此部分拉应力，保证核心筒有足够的延性。

2.3 设计方法及措施

针对 3#楼高度超 B 级限值、核心筒高宽比超限采取以下方法及措施使结构经济安全。

2.3.1 概念设计

(1) 在设计过程中，通过优化结构方案，尽量使结构布置规则、传力简单明确。

(2) 结构设计采取措施使结构满足强柱弱梁、强剪弱弯等要求，保证抗震性能。

(3) 结构采用二道防线设计，全楼底部加强部位框架柱、梁按 0.2V₀ 和 1.50V_{max} 较大值调整。其它部位框架柱、梁按 0.2V₀ 和 1.50V_{max} 较小值调整。

(4) 结构设计采取措施使结构满足强柱弱梁、强剪弱弯等要求，保证结构抗震性能。

(5) 考虑各种荷载和地震作用下详细的多模型对比分析，确保结构设计正确性和可靠性。

2.3.2 抗震承载力计算分析

(1) 多遇地震作用下弹性阶段设计主要采用 YJK 软件及 ETABS 进行分析, 对两个软件计算的结果(如底部剪力、楼层剪力及层间位移等重要指标)进行对比分析、比较, 相互比较复核, 再用于构件设计;

(2) 多遇地震作用下结构弹性时程分析时选取五组天然地震记录波(1: Loma Prieta_NO_746; 2: Chi-Chi, Taiwan_NO_1192; 3: Chi-Chi, Taiwan-06_NO_3286; 4: Hector Mine_NO_1780; 5: Imperial Valley-06_NO_171)和两组人工地震波 1: ArtWave-RH2TG065; 2: ArtWave-RH1TG065; 将上述波作为时程分析的输入加速度, 进行了单向地震波输入计算。

表 3 多遇地震下结构底部剪力计算结果

序号	计算方法	地震作用方向角 (0 度)		地震作用方向角 (90 度)	
		底部剪力 (KN)	百分比 (%)	底部剪力 (KN)	百分比 (%)
1	CQC 法	37294.073	--	37314.165	--
2	ArtWave-RH2TG065	26187.56	70%	29120.48	78%
3	ArtWave-RH1TG065	39735.96	106%	32116.94	86%
4	Loma Prieta_NO_746	28795.66	77%	29533.48	79%
5	Chi-Chi, Taiwan_NO_1192	30195.16	80%	33083.58	88%
6	Chi-Chi, Taiwan-06_NO_3286	36174.37	96%	34985.72	93%
7	Hector Mine_NO_1780	28348.24	76%	25148.62	67%
8	Imperial Valley-06_NO_171	41108.75	110%	41587.02	111%
9	7 条波计算结果的平均值	32935.1	88%	32225.12	86%

7 条波作用下结构底部剪力的平均值为 32935.1KN, CQC 振型分解反应谱法计算所得的底部剪力为 37294.0KN, 满足《抗规》5.1.2 的要求。

(3) 采用抗震性能设计, 通过对结构进行多遇地震、设防地震、罕遇地震作用下的计算分析, 保证结构能达到预定性能目标。

设防地震作用下分析采用等效塑性方法用 YJK 程序进行近似模拟, 可适当考虑结构阻尼比的增加和连梁刚度进一步折减, 以反映结构一定程度的弹塑性发展。根据结构中震抗剪不屈的计算结果对建筑底部加强区墙柱进行设计配筋。

软件计算方法: 地震作用组合内力标准值计算: 按《抗规》第 M.1.2 条规定计算。在 YJK 性能设计中选择“中震不屈服”, 地震影响系数 α_{max} 按中震取值, 取消根据抗震等级对内力调整, 荷载作用组合系数取 1.0, 材料强度取值(底部加强区混凝土等级 C60, 边缘构件纵向钢筋四级钢), 抗震承载力调整系数 γ_{RE} 取 1.0

中震验算结论: 主要墙柱斜截面、正截面未进入屈服状态; 部分连梁进入塑性耗能阶段; 结构中震情况下位移角见下表, 满足变形小于 3 倍弹性位移限制 (1/800)。在设防地震作用下关键竖向构件能满足斜截面抗剪不屈服、正截面抗弯不屈服目标。

表 4 设防地震下结构位移角列表

	限值	结构位移角	
	X/Y 向	X 向	Y 向
中震	1/267	1/282	1/275

罕遇地震作用下, 采用 PKPM 对结构进行静力弹塑性分析 (Pushover), 从结构的整体性能方面来分析结构, 从结构塑性发展情况寻找薄弱楼层与薄弱构件, 对薄弱部位制定适当的加强措施, 以满足大震阶段的抗震性能目标。

X 向罕遇地震作用下, pushover 计算所得需求谱曲线与能力谱曲线存在交点即为性能点, 性能点最大层间位移角: 1/146, 基底剪力 87408.1kN, 顶点位移 872.5mm; Y 向罕遇地震作用下, 也存在性能点, 性能点最大层间位移角: 1/137, 基底剪力 87829.5kN, 顶点位移 840.9mm。

pushover 结构计算塑性铰发展状况分析, 通过“塑性铰发展及结构变形图”, 可知结构的塑性铰首先出现在核心筒

连梁上,在继续推覆过程中框梁、剪力墙从底层逐渐往上出现塑性铰。剪力墙连梁首先进入耗能状态,框梁后出现塑性铰,说明连梁是结构耗能的一种主要构件,符合“强柱弱梁”的设计理念,连梁先于墙先出现塑性铰,构成第二道抗震防线,形成合理整体结构屈服机制。在罕遇地震作用下,结构的抗震性能符合设定的抗震性能目标。

(4) 因建筑核心筒高宽比超限,在墙肢中增设钢骨,根据结构中震作用下墙肢拉应力计算设计墙肢截面及配筋。

(5) 采用 ETABS 建立弹性楼板模型分析楼板应力,对楼板薄弱部位进行加强。

2.3.3 抗震变形能力计算分析

用 YJK 中的 push-over 程序进行了静力弹塑性分析,按照《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010) 5.5.5 条要求,剪力墙结构弹塑性层间位移角限值不大于 1/100,经 pushover 程序计算弹塑性层间位移角的计算结果最大值为 1/137,较规范限值[1/100]有较大富余。结果表明,该结构能较好的完成“大震不倒”的设防目标。

2.3.4 抗震措施

(1) 按规范 B 级高度相关要求计算分析和采取相应的结构措施,对重要和薄弱部位采取更强的加强措施。

a. 按高规 7.2.14-3 条要求,在约束边缘构件层与构造边缘构件层之间设置 2 层过渡层。

b. 按高规 7.2.16-4 条要求,提高构造边缘构件最小配筋率及配箍率。

c. 按高规 9.2.2 条要求,底部加强部位主要墙体的水平和竖向分布钢筋的配筋率,底部加强部位角部墙体约束边缘构件沿墙肢的长度宜取墙肢截面高度的 1/4,约束边缘构件范围内应主要采用箍筋;底部加强部位以上角部墙体按《高规》7.2.15 条的规定设置约束边缘构件。

d. 核心筒剪力墙采取特一级的抗震措施,框架柱抗震等级采用一级,按高规 3.10.5 条要求,剪力墙加强部位水平和竖向分布钢筋的最小配筋率取为 0.40%,一般部位的水平 and 竖向分布钢筋最小配筋率取为 0.35%。约束边缘构件纵向钢筋最小配筋率取 1.4%,配箍特征值增大 20%;构造边缘构件纵向钢筋最小配筋率取 1.2%。

(2) 加强筒体内楼板的板厚至 120mm,且楼层双层双向按 0.25%配筋率配筋。

(3) 验算中震双向水平地震下墙肢全截面由轴力产生的平均名义拉应力与混凝土抗拉强度标准值的关系,详见“中震下剪力墙墙肢应力分析计算”,以保证剪力墙在地震作用下有足够的延性。

(4) 严格控制剪力墙轴压比 <0.5 ,底部加强区的取值从嵌固端算起,取底部两层和墙体总高度的 1/10 二者的较大值。以保证剪力墙在地震作用下有足够的延性。

(5) 建筑物中的填充墙和隔墙的做法严格按照《抗规》中的相关要求实施。

(6) 屋顶女儿墙、屋顶构架层按照抗震承载力进行验算,按照《建筑抗震设计规范》采取构造措施。

3 结论

海伦堡 1 号地块项目 3#楼结构主体采用钢筋混凝土局部加型钢框架核心筒结构,地下三层,地面上主体 33 层(不包含构架层),主体建筑高度 148.3m,属于超 B 级高度超限高层建筑。经过结构方案设计及优化调整,并应用两个结构计算软件进行分析计算,结构设计满足规范超 B 级高度建筑的各项指标要求,并采取了适当的加强措施提高了结构的抗震性能,能够达到“小震不坏、中震可修、大震不倒”的抗震设防目标。

[参考文献]

[1]《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3-2010) 中华人民共和国住房和城乡建设部[Z]. 2019-10-21.

[2]《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010) 中华人民共和国住房和城乡建设部[Z]. 2010-05-31.

[3]海伦堡 1#地块 3#楼超限高层建筑抗震设防专项审查报告[S]. 云南:紫杉建筑设计股份有限公司.

[4]朱炳寅. 建筑抗震设计规范应用与分析[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2017.

作者简介:潘哲(1988-),男,黄淮学院,本科,紫杉建筑设计股份有限公司,专业负责人,工程师。