

斜柱在退台收进高层结构中的应用及抗震性能分析

熊俊 张滔

重庆市设计院有限公司, 重庆 400015

[摘要]针对外部轮廓连续退台收进建筑, 研究利用斜柱及斜撑组成斜向框架做为承重结构及抗侧力体系, 实现结构的层层退台收进; 通过考察相似项目的做法, 采用不同的力学模型进行对比分析, 对斜柱、斜撑, 以及与斜柱相连梁的抗震性能进行分析, 以达到结构的安全性能目标, 为类似建筑的结构设计提供参考。

[关键词]斜柱框架; 退台收进结构; 抗震性能

DOI: 10.33142/ec.v5i12.7268

中图分类号: TU973.14

文献标识码: A

Application of Inclined Columns in Retractable High-rise Structures and Seismic Performance Analysis

XIONG Jun, ZHANG Tao

Chongqing Architecture Design Institute Co., Ltd., Chongqing, 400015, China

Abstract: Aiming at the building with continuous setback and setback of external contour, the diagonal frame composed of diagonal columns and braces is studied as the load-bearing structure and lateral force resisting system to realize the setback and setback of the structure layer by layer; Through investigating the practice of similar projects, different mechanical models are used for comparative analysis, and the seismic performance of diagonal columns, diagonal braces, and beams connected with diagonal columns are analyzed to achieve the safety performance goal of the structure and provide reference for the structural design of similar buildings.

Keywords: skew column frame; retreat structure; seismic performance

引言

带斜柱的退台收进结构作为一种新颖的建筑结构形式, 以其丰富的立面造型, 越来越多的应用到工程实际中, 然而斜柱通常会造成建筑物的竖向刚度突变, 可能会带来抗震性能薄弱部位。根据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)^[1]及《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3-2010)^[2]中的规定, 抗侧力构件沿竖向宜均匀变化, 避免侧向刚度和承载力突变。退台式收进结构由于外部轮廓收进, 造成结构外围的竖向结构如框架柱不连续, 在退台处出现刚度突变; 斜框架柱与剪力墙分部不均匀, 导致结构刚度分布不均匀等对结构抗震性能带来不利影响。为更好地满足现代建筑各项功能的实际需求, 要求设计人员应对建筑主体结构设计问题进行反复衡量与分析, 以确保高层建筑物结构承载能力与抗震性能得以深化加强, 减少使用风险问题。

1 斜柱结构的研究现状

随着社会经济水平及建筑审美的提升, 带斜柱的建筑结构形式也越来越多的应用于工程实践中。刘云浪^[3]等对某超高层外框斜柱结构进行了抗震性能分析, 针对斜柱对结构的影响提出了抗震措施。梁影^[4]等对某带斜柱转换的框支剪力墙结构进行了分析研究, 结果表明斜柱转换能明显改善转换层与其相邻上层结构的侧向刚度比, 降低转换梁的截面尺寸, 节省建筑的使用空间。张琳^[5]等以深圳中

国人寿大厦为例, 针对斜柱及其相关构件的内力、斜柱节点和穿层斜柱屈曲问题等进行了分析。袁世聪^[6]等对垂直外框架柱和倾斜外框架柱的框架-核心筒结构进行了弹性分析, 结果表明斜框柱能够减小结构的层间位移。贾鑫^[7]以某带斜柱框剪结构为例, 应用振型分解反应谱法和静力弹塑性分析方法, 探究了斜柱对于框剪机构抗震耗能机制和楼板应力的影响。何中明^[8]研究了某斜柱框架-核心筒结构, 结果表明斜柱对结构整体性能影响较小, 但是斜柱倾斜角度发生改变的楼层, 构件的内力有较大的变化。

2 工程实例分析

2.1 工程概况

本项目位于重庆市两江新区, 人流量大, 并且距离观音桥核心圈直线距离 4km, 朝天门 6.2km, 距离江北机场约 15km, 地理位置优越。基地西侧为已建住宅跟商业大楼, 其他 3 侧都为未建区域, 基地高于城市道路, 且有明显高差 10m, 基地内侧为平地, 无明显高差。建筑结构高度为 61.5m, 主要由地下两层和地上十四层组成, 结构形式为斜柱框架-框架剪力墙结构, 且存在局部转换。

该工程设计基准期及结构设计使用年限均为 50 年, 结构安全等级为二级; 工程设防类别为丙类, 抗震设防烈度为 6 度(0.05g), 地震分组为第一组, 场地类别为 II 类, 特征周期为 0.35s, 设防烈度最大地震影响系数 α_{max} 为 0.04; 地面粗糙度类别为 C 类, 基本风压为 0.4kN/m²,

承载力计算时，风荷载效应放大系数取 1.1。

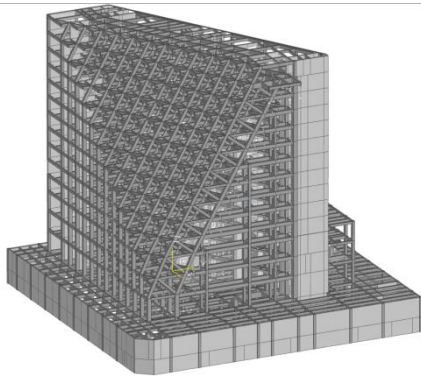


图 1 计算模型三维透视图



图 2 项目效果图

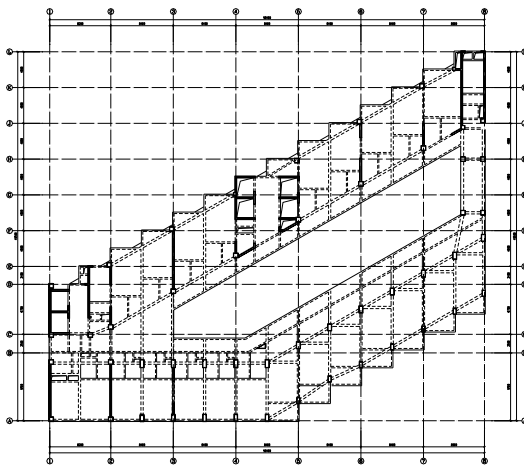


图 3 典型楼层平面布置图

2.2 竖向荷载作用下的内力分析

为了解斜柱及与其相连相邻构件的受力特点，取斜柱及与斜柱相连梁进行分析，本文选取典型的斜柱 A（4 层 8 轴交 C 轴）、B（6 层 7 轴交 C 轴）、C（10 层 6 轴交 D 轴）和 D（12 层 5 轴交 C 轴）斜柱及相连梁。

在竖向荷载作用下，斜柱的内力值如下表 1 和表 2，与斜柱相连梁的内力值如表 3 和表 4。

表 1 恒载作用下典型斜柱内力

柱号		A 柱	B 柱	C 柱	D 柱
轴力 (kN)	柱底	-3732.2	-8361.6	-4560.3	-2832.3
	柱顶	-3673.5	-8307.0	-4511.1	-2783.2
扭矩 (kN·m)	柱底	2.5	0.2	-0.1	-2.1
	柱顶	2.5	0.2	-0.1	-2.1
X 向剪力 (kN)	柱底	-60.7	-35.0	2.8	0.4
	柱顶	-60.7	-35.0	2.8	0.4
Y 向剪力 (kN)	柱底	-98.7	-43.1	34.8	66.6
	柱顶	-70.6	-11.9	62.9	94.7
X 向弯矩 (kN·m)	柱底	241.6	97.5	-22.6	-68.9
	柱顶	-235.5	-235.5	213.9	321.3
Y 向弯矩 (kN·m)	柱底	-173.1	88.2	15.9	10.5
	柱顶	168.8	-81.3	2.3	8.6

表 2 活载作用下典型斜柱内力

柱号		A 柱	B 柱	C 柱	D 柱
轴力 (kN)	柱底	-316.3	-872.1	-450.0	-202.5
	柱顶	-316.3	-872.1	-450.0	-202.5
扭矩 (kN·m)	柱底	0.1	-0.1	0.3	0.0
	柱顶	0.1	-0.1	0.3	0.0
X 向剪力 (kN)	柱底	-6.4	-2.9	2.4	1.8
	柱顶	-6.4	-2.9	2.4	1.8
Y 向剪力 (kN)	柱底	-6.5	1.0	10.5	14.2
	柱顶	-6.5	1.0	10.5	14.2
X 向弯矩 (kN·m)	柱底	17.4	5.3	-26.6	-31.9
	柱顶	-19.0	10.2	24.3	36.7
Y 向弯矩 (kN·m)	柱底	-18.4	-6.3	6.0	4.8
	柱顶	17.8	7.6	-5.6	-4.9

由以上表可以看出，斜柱在竖向荷载作用下，除了承担轴力作用外，还要承受较大的剪力和弯矩。

位于斜柱交接处的楼层，与斜柱相连的框架梁受到斜柱轴力水平分量分配来的拉、压力。计算时，框架梁按照拉（压）弯构件进行验算。考虑轴力工况的框架梁验算结果见表 3 和表 4，表中仅给出典型框架梁的验算结果。

表 3 恒载作用下典型框架梁内力

梁号	轴力(kN)	扭矩 (kN·m)	梁端剪力 (kN)		梁端弯矩 (kN·m)	
			X 向	Y 向	X 向	Y 向
4 层(8/A~C)	332.7	16	18.7	-97.0	-143.3	24.0
6 层(7/B~C)	588.4	10.2	40.6	-179.8	-347.7	27.9
10 层(6/B~D)	0.0	3.6	0.0	-189.6	-405.9	0.0
12 层(5/B~D)	0.0	3.5	0.0	-195.9	-461.7	0.0

表4 活载作用下典型框架梁内力

梁号	轴力(kN)	扭矩(kN·m)	梁端剪力(kN)		梁端弯矩(kN·m)	
			X向	Y向	X向	Y向
4层(8/A~C)	29.3	2.1	2.4	-12.4	-22.1	2.9
6层(7/B~C)	60.6	1.4	3.8	-24.9	-44.8	2.6
10层(6/B~D)	0.0	0.4	0.0	-25.6	-49.7	0.0
12层(5/B~D)	0.0	1.0	0.0	-26.3	-56.3	0.0

由以上表可以看出,与斜柱相连的框架梁,在竖向荷载作用下,柱由竖直变为倾斜时,为了平衡斜柱轴力的水平分量,存在较大轴拉(压)力;而位于斜柱中部的框架梁,几乎不存在轴向力。

2.3 水平地震作用下的内力分析

结构所受水平荷载有地震作用和风荷载两种,由于风荷载相较于地震作用来说对结构产生的影响较小,在本节选取水平向的地震作用的内力进行分析。典型斜柱及典型框架梁的选取同2.2节。

在水平地震作用下,斜柱的内力值如下表5和表6,与斜柱相连梁的内力值如表7和表8。

表5 X向地震作用下典型斜柱内力

柱号		A柱	B柱	C柱	D柱
轴力(kN)	柱底	-279.5	24.1	24.1	-53.7
	柱顶	-279.5	24.1	24.1	-53.7
扭矩(kN·m)	柱底	0.9	-2.8	-0.9	0.9
	柱顶	0.9	-2.8	-0.9	0.9
X向剪力(kN)	柱底	-16.4	-25.3	-24.2	-20.6
	柱顶	-16.4	-25.3	-24.2	-20.6
Y向剪力(kN)	柱底	-7.1	-6.4	-7.0	-6.8
	柱顶	-7.1	-6.4	-7.0	-6.8
X向弯矩(kN·m)	柱底	15.8	10.4	17.0	15.8
	柱顶	-24.3	-20.9	-16.9	-16.9
Y向弯矩(kN·m)	柱底	-49.3	-63.0	-57.9	-49.1
	柱顶	43.3	59.3	59.3	50.7

表6 Y向地震作用下典型斜柱内力

柱号		A柱	B柱	C柱	D柱
轴力(kN)	柱底	279.2	107.7	130.2	144.8
	柱顶	279.2	107.7	130.2	144.8
扭矩(kN·m)	柱底	0.8	-1.0	-0.7	-0.8
	柱顶	0.8	-1.0	-0.7	-0.8
X向剪力(kN)	柱底	-2.7	-4.3	1.5	1.9
	柱顶	-2.7	-4.3	1.5	1.9
Y向剪力	柱底	-13.3	-10.1	1.1	1.2

柱号		A柱	B柱	C柱	D柱
(kN)	柱顶	-13.3	-10.1	1.1	1.2
	柱底	33.5	24.4	-3.2	-3.3
X向弯矩(kN·m)	柱顶	-41.5	-24.6	-3.5	3.5
	柱底	-7.5	-9.8	3.9	4.7
Y向弯矩(kN·m)	柱顶	7.6	11.0	-3.7	-4.6

由表5和表6的数据可以看出,上层斜柱在Y向水平地震作用下所受的轴力较X向大,斜柱变角度位置处,剪力和弯矩都较大,而中部的斜柱,弯矩和剪力都较小。

表7 X向地震作用下典型框架梁内力

梁号	轴力(kN)	扭矩(kN·m)	梁端剪力(kN)		梁端弯矩(kN·m)	
			X向	Y向	X向	Y向
4层(8/A~C)	19.7	4.7	7.1	-2.8	-1.8	7.4
6层(7/B~C)	-5.3	8.6	17.5	-2.4	6.1	13.3
10层(6/B~D)	0.0	7.4	0.0	-1.5	5.4	0.0
12层(5/B~D)	0.0	6.5	0.0	-1.2	5.3	0.0

表8 Y向地震作用下典型框架梁内力

梁号	轴力(kN)	扭矩(kN·m)	梁端剪力(kN)		梁端弯矩(kN·m)	
			X向	Y向	X向	Y向
4层(8/A~C)	46.5	0.7	-1.8	-0.9	-2.2	-1.2
6层(7/B~C)	34.1	1.0	2.8	-2.0	-10.0	2.0
10层(6/B~D)	0.0	-0.5	0.0	-1.2	-4.4	0.0
12层(5/B~D)	0.0	-0.6	0.0	-1.5	-5.5	0.0

在水平地震作用下,与斜柱相连的框架梁的内力情况与竖向荷载作用下相似,柱由竖直变为倾斜时,为了平衡斜柱轴力的水平分量,存在较大轴拉(压)力;而位于斜柱中部的框架梁,同普通框架梁受力特性一致。

3 结语

本文对某带斜柱高层结构的斜柱框架进行了抗震性能分析,根据分析结果,得出了以下的结论:

(1) 同普通竖直框架柱相比,斜柱在竖向荷载作用下,除了承受轴力以外,还承担较大的剪力和弯矩。

(2) 为平衡斜柱轴力产生的水平分力,与斜柱相连框架梁在斜柱角度变化的楼层处,存在较大的拉(压)力,为拉(压)弯构件,位于斜柱框架中部的框架梁,其受力特性和普通框架梁一致。

[参考文献]

[1] 中华人民共和国建设部. 建筑抗震设计规范(GB50011-2010)2016年版[S]. 北京: 中国建筑工业出版社

社, 2016.

- [2] 中华人民共和国建设部. 高层建筑混凝土结构技术规范(JGJ3-2010)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [3] 刘云浪, 杨先桥, 傅学怡. 超高层外框斜柱结构抗震性能分析与设计[J]. 建筑结构, 2012, 42(1): 54-58.
- [4] 梁影, 谭增辉. 带斜柱转换的框支剪力墙结构整体性能分析[J]. 四川建材, 2013, 39(1): 24-26.
- [5] 张琳, 张德龙. 某带斜柱超高层建筑的斜柱设计探讨[J]. 建筑结构, 2013, 43(7): 59-64.
- [6] 袁世聪, 蒋欢军. 倾斜框架柱对框架-核心筒结构受力性能影响的初步分析[J]. 结构工程师, 2014, 30(1): 20-25.
- [7] 贾鑫. 某带斜柱框剪结构的抗震性能分析[D]. 安徽: 安徽建筑大学, 2014.
- [8] 何中明. 某办公楼斜柱框架-核心筒结构设计研究[D]. 贵州: 贵州大学, 2016.

作者简介: 熊俊(1992.6-), 天津大学, 水利工程, 重庆市设计院有限公司, 结构设计师, 工程师。