

斜柱结构受力分析和探讨

朱晓玲¹ 钟育松²

1. 中冶赛迪城市建设(重庆)有限公司 重庆 400013

2. 重庆中交西园雅集置业有限公司 重庆 400052

摘要: 随着我国城市建设的不断发展,人们对建筑所呈现出来的立面造型要求也随之提高,在此背景下,出现了斜柱参与整体结构受力的建筑。小到景观小品,大到高层商业、办公建筑都广泛应用了这种结构形式。本文结合具体工程项目,对同一个结构单元内,斜柱由外倾角变换成内倾角的斜柱结构,进行的受力分析和探讨,为工程设计提供参考。

关键词: 斜柱结构; 外倾角; 内倾角; 受力分析; 加强措施

引言

斜柱结构带来建筑立面造型的多变,丰富人们的视觉冲击,被广泛应用于各类公共建筑中。由于该结构受力形式有别于传统的结构,在控制整体指标的情况下,对斜柱带来的不利因素的分析尤为重要。

本文以四川省乐山市高新区高新广场-创新科技孵化中心项目为例,本工程中1#、2#、3#、4#楼均属于典型的斜柱结构,本文以3#楼为例进行分析。采用盈建科软件YJK建模,进行整体指标分析,以及对斜柱、斜柱拉结的楼盖梁进行受力分析,用以指导施工图设计。

一、工程概况

本项目位于四川省乐山市,由1#~5#楼、配套服务街区及地下车库组成。总建筑面积为92990m²,其中地上总建筑面积为62765m²,地下总建筑面积为25985m²。

1#、2#楼及其地下车库为第一批建设范围,3#~5#楼、配套服务街区及其地下车库为第二批建设范围,两批建设范围的地下车库设双柱结构缝脱开。第二批的3#~5#楼、配套服务街区下的地下车库为人防车库,结构嵌固端为车库顶板。3#~5#楼塔楼采用桩筏基础,纯车库部分采用筏板基础。第二批中3#、4#楼均为斜柱结构。本文以3#为例进行分析。

3#楼地上两层为商业,其余楼层为公寓,塔楼平面尺寸为31.8m×31.8m,结构高度为54.1m。地下1层车

库层高为5.3m;地上11层,一、二层层高分别为5.5m、5.4m,三层及以上层高均为4.8m,其中4.8m层高的公寓预留夹层荷载。

3#楼结构形式采用钢筋混凝土框架剪力墙结构,设计使用年限为50年,结构安全等级为二级,抗震设防烈度为7度,抗震设防类别为标准设防类。标准层中间筒体采用剪力墙,外围部分采用框架柱,平面边跨有一侧为斜柱,斜柱的起点为车库顶板,直到屋面。平面布置图中3-1轴交3-A轴~3-D轴之间的框架柱为斜柱,斜柱的倾角由一层~三层为外倾角,三层~十一层为内倾角,其中外倾角角度为20°,内倾角角度为4°。

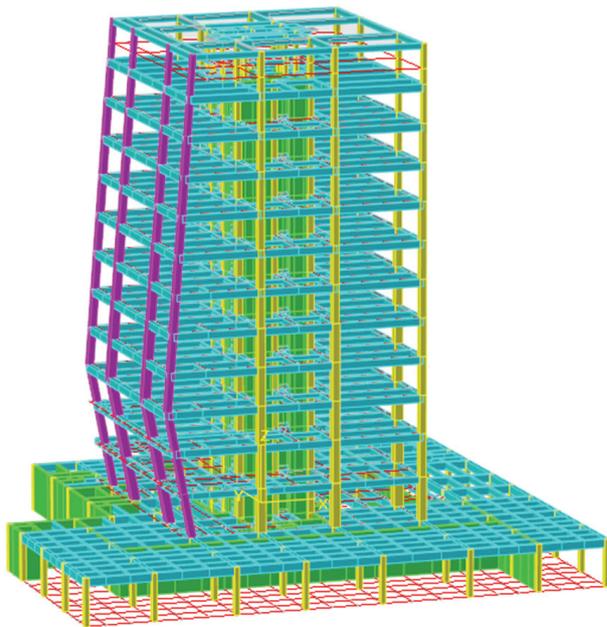


图1 3#楼结构三维轴测图

作者简介: 朱晓玲(1982.1-),性别:女,江苏盐城,硕士研究生学历,工程师,主要从事:结构设计。

二、结构模型整体参数分析

本工程采用盈建科YJK计算软件进行主体结构计算分析。地震作用计算中,考虑双向地震扭转效应,考虑地震的偶然偏心以及考虑最不利地震方向的作用。

平面筒体的剪力墙厚度外围为300mm~500mm,内部为200mm、250mm,筒体端柱为600mm×600mm~900mm×900mm;考虑刚度的变化趋势,边跨框架柱截面尺寸从下到上逐步收小,非斜柱的框架柱尺寸为1200mm×1200mm、1000mm×1000mm、900mm×900mm、700mm×700mm,斜柱尺寸为

1000mm×1250mm、900mm×900mm、800mm×800mm、700mm×700mm。

本工程中三层~十一层均为公寓,层高4.8m,设计期间业主要求预留了后期夹层的荷载。考虑夹层为型钢柱和型钢梁加现浇板的形式,故模型中框架梁宽度均为600mm,中间200mm为建筑隔墙,两侧各200mm为后期加钢柱的范围,模型中以集中力的形式加在混凝土框架柱和梁上。由于夹层的预留,整体模型组装中楼层为地上11层,实际荷载为地上22层。框架柱的截面尺寸相较一般的结构偏大。

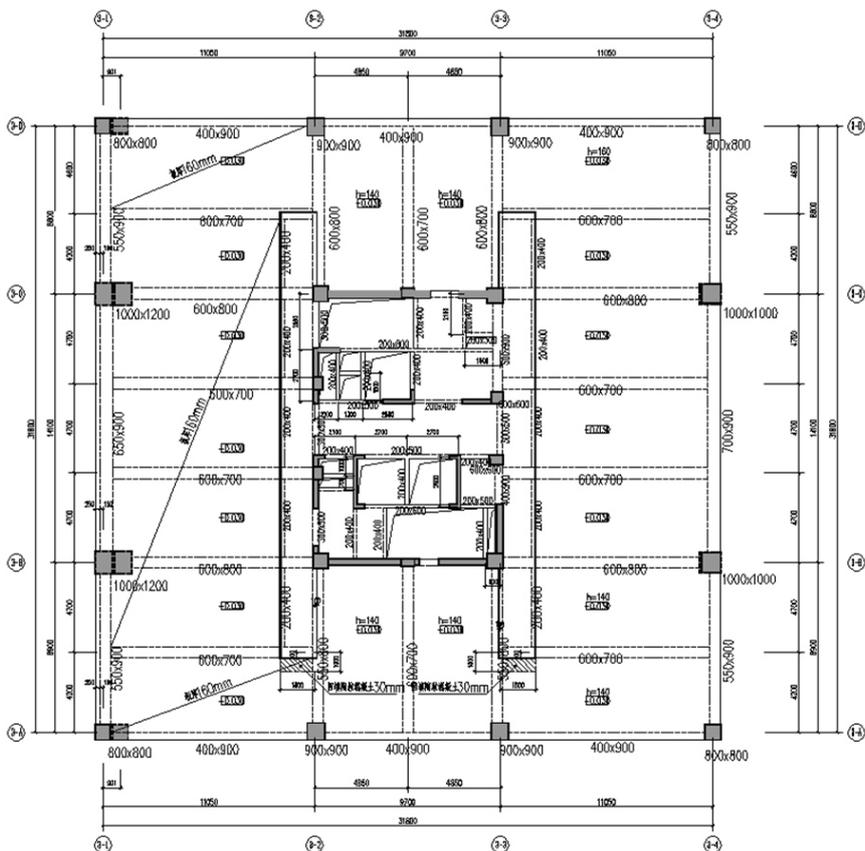


图2 3#楼四层结构平面布置图

根据《盈建科用户手册》,斜柱在模型中采用斜杆输入来模拟,软件对混凝土斜杆默认为固接,竖向倾角在20°以内按照柱构件进行弯矩调幅和抗剪计算等。本工程3#楼的斜柱外倾段角度为20°,内倾角度为4°,采用斜杆建模,斜柱参与整体结构的抗侧力体系计算。

第一平动周期为2.3231(Y向),第一扭转周期为2.0271周期比为0.87。

3#以车库顶板为嵌固端,车库的剪切刚度与上一层的剪切刚度比大于2.0,满足嵌固的要求。在考虑层高修

正后,楼层之间侧向刚度比最小值位于地上第6层,X向为1.1895,Y向为1.1607;在斜柱外倾内倾变化处楼层的侧向刚度比(地上第3层/第4层),X向为1.3149,Y向为1.2512。楼层的抗剪承载力之比,最小值1.04出现在地上第2层。

综上所述,抗侧刚度比和抗剪承载力之比满足规范要求,斜柱对整体结构的刚度比影响较小。

三、结构斜柱分析

本工程斜柱的外倾角和内倾角均在20°以内,盈建

科按柱进行计算，这对斜柱本身而言，满足计算结果即可。相比较而言，对与斜柱相连接的构件，分析其实际受力情况更为重要。

一般的钢筋混凝土梁板结构体系，其整体结构模型是在楼板刚性板假定的前提下计算，楼板只考虑平面内刚度且为无限刚，不考虑平面外刚度。在此计算前提条件下，楼盖梁的轴力均为零，已经不能满足斜柱结构中楼盖梁的实际受力情况。在斜柱结构中，梁、板除了受弯以外，还承担斜柱传递产生的拉力。因此，在斜柱结构中楼板按弹性板6计算，弹性板6能计算板平面内外的刚度，符合楼板的实际受力情况。

按弹性楼盖计算，计算结果显示，地上第2层、3层、4层与斜柱相连接的框架梁受到明显的较大的拉力作用。第2层、3层框架梁受到的拉力较大，其中第3层拉力最大，平面中间框架梁的拉力达到2371.4kN。

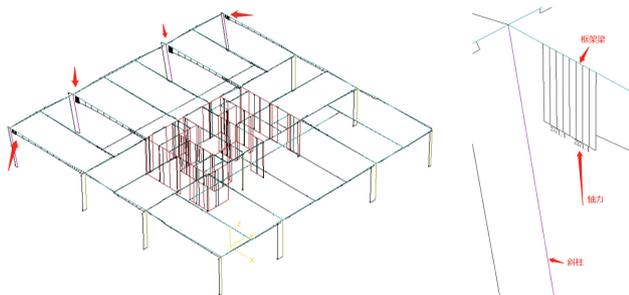


图3 3#楼地上第3层梁内力图（轴力）

地上1~5层斜柱框架内的主次梁所受轴力情况，列表统计如下：

表1 斜柱范围内主次梁所受的轴力

楼层	轴力（kN）		
	边跨框架梁	中间跨框架梁	次梁
1F	62.1	-71.7	1.9
2F	194.3	514.8	15.6
3F	1253.8	2371.4	69.7
4F	55.7	4.5	1.2
5F	-44.7	-186.2	-2.7
6F	-26.5	-147.8	-1.3
7F	-28.0	-125.2	-0.5
8F	-22.0	-118.5	0.1
9F	-17.2	-102.7	0.4
10F	-66.9	-116.0	1.5
11	-12.7	-59.1	-0.5

上表中为地上1层~大屋面层同一个斜柱跨内，与斜柱连接处梁的轴力情况。从不同楼层看，1~3层轴力为拉力增大趋势，其中中间跨框架梁由1层受压到2层、

3层变为受拉，且到达第3层达到拉力最大值2371.4kN。第4层拉力急剧减小，第5层开始拉力变为压力，随着楼层的增高，压力也随着减小。第3层斜柱柱顶受到的拉力最大，分析此处轴力最大的原因，主要是因为第3、4层交界处为斜柱外倾与内倾的转换处，上部4层~11层内倾角斜柱受力方向一致，受力变化较平缓，无大的突变。直至3层斜柱倾斜由内倾变为外倾，上面楼层的斜柱所受的主要竖向力传递路径的角度发生变化，此变化导致柱脚竖向力在3层柱顶产生较大的向外倾方向的弯矩，该弯矩对与外倾斜柱相连的框架梁产生较大的拉力，故第3层处框架梁受到的拉力最大。第3层往下均为外倾角斜柱，以下楼层柱的传力路径角度再无变化，梁所受的轴力变化也较平缓。

同一楼层中，由于中间跨框架梁受荷面积较大，传给柱的力较大，传到下层斜柱的轴力较大，故中间框架梁所受的轴力也较大。

从以上分析可以得出，第3层受力上承上启下，梁及梁柱节点是设计中的重点，尤其是受荷面积较大的中间框架梁尤为重要。

本工程中三层~十一层预留的夹层荷载，传到3层的柱顶荷载较大，由此产生的轴力较大。在一般无夹层情况下，梁承担的轴力情况又是如何。模型中取消梁柱上的集中力进行试算，各层的梁轴力情况如下所示。

表2 斜柱范围内主次梁所受的轴力
(取消夹层集中力)

楼层	轴力（kN）		
	边跨框架梁	中间跨框架梁	次梁
1F	63.9	-35.6	1.8
2F	158.9	392.2	12.2
3F	991.5	1745.9	53.5
4F	55.7	1.6	0.9
5F	-38.5	-141.3	-2.2
6F	-21.5	-107.1	-1.1
7F	-24.3	-96.5	-0.6
8F	-19.1	-89.0	-0.1
9F	-16.2	-79.4	0.2
10F	-42.7	-76.2	0.8
11F	-12.7	-59.1	-0.5

从以上取消模型中夹层集中荷载后，梁轴力情况可知，有无夹层荷载，对于斜柱倾斜角内的梁有无轴力、轴力大小影响较大，本工程对两种情况分别进行计算，并包络考虑轴力的影响。在实际工程设计中，斜柱结构

需充分考虑后期使用期间的荷载富余度，结构安全第一。

四、加强措施

斜柱结构的加强措施从两个层面考虑，一个是根据分析和计算来加强部分构件，例如通过增大梁板构件截面尺寸来提高梁和板的承载力和刚度，以满足斜柱带来的水平力的影响。再者是根据结构概念设计角度对部分构件进行加强。

根据计算结果，斜柱倾斜平面内的框架梁和次梁增加轴向力所需的纵向钢筋面积，并均匀布置在梁截面四周。梁上下纵筋、侧面钢筋均按受拉钢筋的锚固考虑。水平构件中除了梁，斜柱范围框架的楼面板厚度适当加厚，第3层楼板厚为160mm，上下两层楼板板厚为150mm，其余楼板厚度为120mm~140mm，板筋均为双层双向配置，配筋率不小于0.25%。

斜柱轴压比按比限值小0.1来控制，箍筋全高加密，充分考虑梁柱节点域抗剪，以增强斜截面的抗剪承载力要求。斜柱纵向受力钢筋配筋率提高10%左右，以增强其抗弯承载力。上、下层斜柱的纵向受力筋尽量采用相同直径，且遵循能拉通尽量拉通的原则。

五、结论与建议

在整体结构模型中，框架柱倾斜角度在 20° 以内，以斜杠建模的柱子可以按柱来设计计算，角度越小其对整体结构模型参数指标周期、位移、刚度比、抗剪承载力之比影响越小。本工程外倾角角度为 20° ，内倾角角度为 4° ，整体结构模型的参数指标基本未受斜柱的影响。在柱倾斜角度大于 20° 的情况下，不再是按柱子的设计计算，而是斜撑，随着竖向角度的加大，就是斜梁。因此在建模过程中，需注意竖向斜角是否与实际情况一

致，按实际构件的受力状态来设计计算是结构设计的关键一步。

在构件层面上，为了真实的反应构件的实际受力情况，按照弹性楼盖计算，斜柱对其倾斜平面内的梁产生拉力作用，梁的设计需考虑该部分拉力的作用，同时楼板也应适当加强。此次，梁的拉力来自于斜柱柱顶的弯矩，斜柱柱顶的弯矩又与上层柱和楼盖传递的荷载有关，尤其是本工程中斜柱倾角有内外变化的，对上部结构的荷载更加敏感，因此，需充分考虑后期施工和使用期间的荷载问题，避免局部楼层的梁受力破坏，而影响整个结构的安全。

由于时间和篇幅有限，本文未分析斜柱角度变化对整体结构受力和变形的影响，以及不同角度斜柱对相连的梁板轴力变化及趋势的分析。本工程斜柱未落到基础标高，故对基础的影响缺失，因此斜柱对基础的布置及基础的受力分析也是以后分析的重点。在以后的设计中，在满足建筑方案立面要求和建筑后期使用可能性的前提下，如何控制斜柱在整体结构中扮演的角色，以及其带来的相关影响，是后期需要研究分析的问题。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家标准. 建筑抗震设计规范 (GB50011-2010) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [2] 中华人民共和国国家标准. 高层建筑混凝土结构技术规程 (JGJ3-2002) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [3] 结构计算软件YJK-A用户手册及技术条件. 北京盈建科软件股份有限公司, 2022.