

剪力墙结构在高层住宅建筑中的应用

唐华岳

中国建筑科学研究院有限公司, 北京 100013

[摘要]近几十年来为了国家民生需要,在全国各地大中小城市中,高层住宅建筑应用普遍出现,高层建筑具有节约土地资源、高效发挥土地使用空间、在城市核心区方便居民生活、使用便捷等优点;同时剪力墙结构作为一种最适应高层住宅建筑的结构形式,广泛的应用于高层住宅建筑中。

[关键词]高层建筑结构选型;剪力墙开洞;结构优化布置

DOI: 10.33142/ec.v8i6.17205

中图分类号: TU318

文献标识码: A

Application of Shear Wall Structure in High-rise Residential Buildings

TANG Huayue

China Academy of Building Research Co., Ltd., Beijing, 100013, China

Abstract: In recent decades, in order to meet the needs of the people's livelihood, high-rise residential buildings have been widely used in large, medium, and small cities across the country. high-rise buildings have the advantages of saving land resources, efficiently utilizing land use space, facilitating residents' lives in urban core areas, and being convenient to use; As the most suitable structural form for high-rise residential buildings, shear wall structures are widely used in high-rise residential buildings.

Keywords: selection of high-rise building structures; opening holes in shear walls; structural optimization layout

引言

在全国近几十年的城市住宅建筑发展中,高层建筑本身具有占城市用地面积小,土地空间使用率高等特点,特别是在人口稠密的城市中,发挥着重要作用,解决广大人民居住的空间难题。高层住宅建筑各功能房间开间间距小或者适中,普遍墙体间距区间约为3~5m;各功能房间进深距离适中,普遍墙体间距区间约为4~7m,其中卧室空间布局相对紧凑,起居室布局相对大,有的南北两相邻房间连通。剪力墙结构根据自身的结构特色,具有抗震能力强,抗剪能效高等特点,在剪力墙的布置上,剪力墙同时能完全融进高层住宅建筑的各功能房间分隔墙体当中,可

纵横两方向布置,可选择的布置范围广,不占用房间净使用面积,不影响建筑住宅使用功能,充分满足人居需要。本文以黑龙江省哈尔滨市7度区某住宅小区单体26层高层住宅楼为例,在结构选型、剪力墙布置、剪力墙开洞、标准层结构梁的布置、结构楼板的布置等方面,进行分析总结,为相关类似工程提供经验。

1 工程概况

该新建高层住宅单体塔楼,位于哈尔滨市区内,建筑总高约75.3m, X方向建筑总长约38m, Y方向建筑总长约14.5m。建筑地上总层数为26层,地下两层地下室,屋顶局部有小机房突出屋面,平面布置图如图1所示。

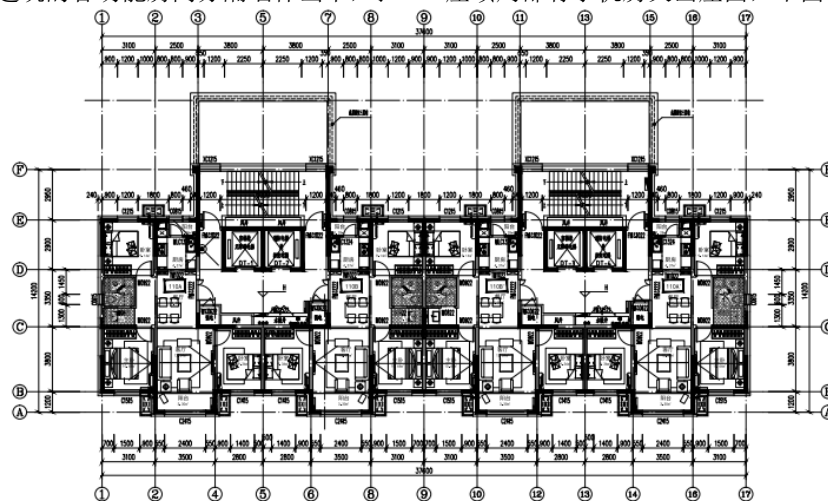


图1 建筑地上部分标准层平面布置图

2 建筑功能布局分析

从该建筑功能布局方面看,该建筑功能以居民日常居住为主,建筑布局分为左右两单元,左右两单元对称双拼布置,建筑地上标准层四梯四户,左右单元两户共用一个电梯前室和一个走道楼梯间,各户内布置有起居室、厨房、卧室、卫生间、生活阳台等房间,能满足各户居民的日常生活需要。左右单元对称轴 9 轴 Y 向墙体为两单元分隔墙,南北贯通,墙体封闭无开洞。

从居住功能采光通风方面看,左右两单元走道楼梯间刚好位于整体建筑的北侧,占据整个建筑的阴面,便于把整个建筑的东侧、西侧、南侧等通风朝阳的有利的空间让给户内起居室、卧室等居民长期居住空间使用,利于居住空间的日常采光,利于人的健康。在该建筑四户平面的南北两个方向的 X 向外墙,均南北对应布置有大开窗,这样就能形成穿堂对流自然风,便于室内居住环境的整体自然通风效果,有利于人的呼吸透气。建筑房间整体这样布局,就能满足居民日常居住的正常自然采光通风的效果。

从建筑人流交通运输方面看:

(1) 水平交通方面,左右两单元一楼北侧设置入户单元门厅,为整个建筑与外界的首个连通口,该左右入户单元门厅同时对应连通一楼左右走道楼梯间、电梯间前室和各户入户房间门厅,一楼平面实现室外与户内的有效连通。地上部分标准层左右两单元两电梯井与电梯间前室刚好位于左右两单元的中间位置,属于该建筑的平面核心位置,便于东西南北四个方向的人流交通的疏散。

(2) 垂直交通方面,一楼左右单元走道楼梯间、电梯间同时能直通地上和地下室。这样的交通布置,便于人行的日常交通疏散,和火灾情况下的消防救援的需要。

从室内各个功能房间分布面积看,南侧起居室的开间墙体间距为 3.5m,进深为 5.0m;南侧卧室的墙体间距为 3.1m,进深为 3.8m;北侧卧室的墙体间距为 3.1m,进深为 6.25m;北侧厨房的墙体间距为 2.5m,进深为 6.25m,户型布局精致。

综上所述,该建筑户型根据居住环境的实际使用需求进行布置,各方面功能合理布置,节约空间,充分发挥户型的最大优化合理配置。

3 结构选型分析

该建筑地上部分左右两单元连在一起,为两单元建筑结构双拼布置,建筑 X 方向总长 L 为 38m, Y 方向总长 Bmax 为 14.5m, Y 向中间部分 B 为 10.25m, Y 地上部分总高 H 约 75.3m。Y 方向北侧楼梯间局部突出长度 l 为 3.05m,楼梯间宽度 b 为 8m。

根据《高规》A 级高度钢筋混凝土高层建筑最大适用高度 7 度区剪力墙结构最大 120m 的限值规定,建筑地上总高 $H=75.3\text{m}<120\text{m}$,满足规定。

根据《高规》3.3.2 钢筋混凝土高层建筑结构适用的最大高宽比的规定,建筑高宽比 $H/B=75.3/14.5=5.19<6$,

满足 7 度区剪力墙结构最大高宽比的规定。

根据《高规》3.4.1 的结构平面布置的规定,7 度区 $L/B=38/10.25=3.70<6$; $l/b=3.05/8=0.38>2$; $l/B_{\max}=3.05/14.5=0.21<0.35$ 有一项结构平面凹凸不规则。

上部标准层房间分隔墙体间距小或者适中,分布在 3~4m 范围内,纵横两个方向每个房间位置均整齐布置有房间分隔墙,非常有利于剪力墙肢的布置,整个建筑标准层的外圈圈墙体均整齐分布并开有窗洞,也非常有利于剪力墙肢的布置,高度适中,并能充分发挥剪力墙结构的抗震抗剪作用,所以该建筑结构形式选型为剪力墙结构。

经过结构试算,假定将嵌固端设置为正负零层,地下负一层侧向刚度比首层刚度比不满足 2:1 的要求,所以将该建筑嵌固端设置为基础顶,根据《高规》7.1.4 的规定,选择基础顶至四层为底部加强部位,首层至四层高度为 $11.7\text{m}>1/10H=7.53\text{m}$,满足规范对底部加强区高度的要求,约束边缘构件范围设置楼层为基础顶至五层。

3.1 结构参数设置

根据《建筑抗震设计规范》《建筑地基基础设计规范》《建筑结构荷载规范》《混凝土结构设计规范》《高层建筑混凝土结构技术规程》《混凝土结构通用规范》《建筑与市政地基基础通用规范》等,本工程抗震设防烈度为 7 度 0.10g,抗震设防地震分组为第一组,场地类别为三类场地,为丙类建筑,剪力墙抗震等级为三级,抗震构造措施抗震等级不改变。该建筑基本风压为 0.55KN/m^2 ,该建筑高度超过 60m,修正后基本风压为 0.605KN/m^2 。经过结构试算,该结构首层嵌固不满足,结构嵌固端选取为基础顶,首层结构板厚度选择为 180mm 厚。

本工程选择 PKPM 结构计算软件进行结构建模计算分析,参数设置及结构模型如图 2~4 所示:

3.2 结构设计布局分析

结合该建筑的功能特点结构设计布局分析如下:

钢筋级别,根据现阶段市场应用需求、该建筑的结构特点与结构模型试算,梁钢筋级别、板钢筋级别、墙柱钢筋级别统一选择为 HRB400 三级钢。

混凝土强度等级,根据现阶段市场实际混凝土的应用情况,结合该建筑结构的实际特点与结构模型试算,选择基础顶至五层墙柱混凝土强度等级为 C50,选择六层至十二层墙柱混凝土强度等级为 C45,选择十三层至十九层墙柱混凝土强度等级为 C40,选择二十层至顶层与机房层墙柱混凝土强度等级为 C30;选择全楼梁混凝土强度等级为 C30,选择全楼板强度等级为 C30。

根据当地地勘资料,经过结构试算,该建筑结构基础形式选择设置为筏板基础,筏板基础厚度设置为 1200mm,筏板顶标高为 -6.370m。基础筏板混凝土强度等级选择 C40 混凝土,抗渗等级选择为 P8,板底混凝土保护层厚度为 50mm。

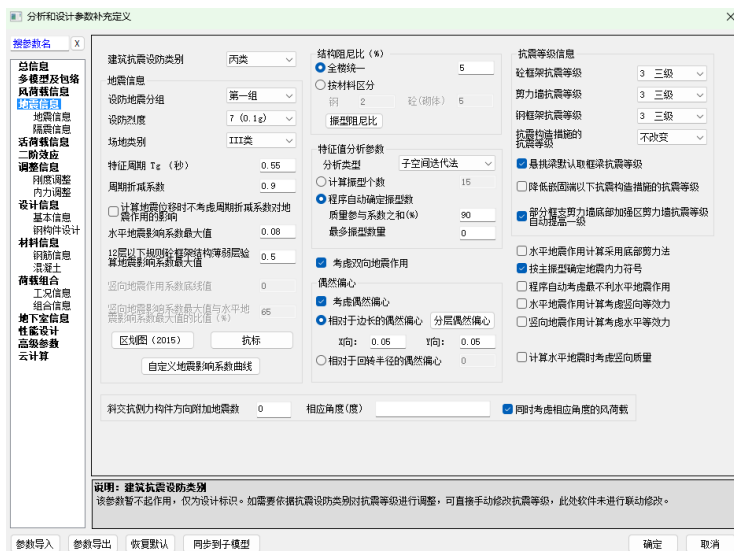


图2 PKPM 结构模型参数设置

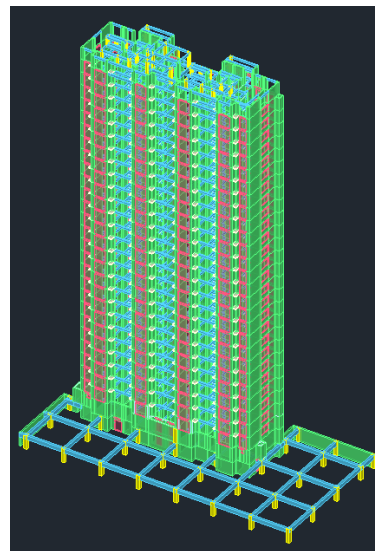


图3 PKPM 结构模型

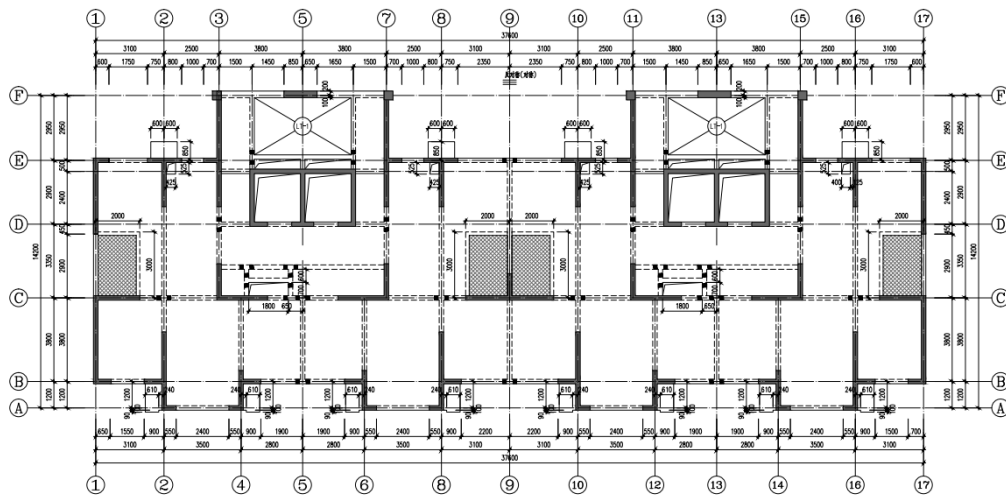


图4 地上部分标准层结构平面布置图

该工程±0.000=143.450m，抗浮设防水位为绝对标高：139.000m。

楼层层高，该建筑地下室负二层层高为 3.020m，地下室负一层层高为 3.250m，首层至二十六层高均为 2.9m，突出屋面小机房局部为 4.25m。

3.3 竖向承重构件的设置：剪力墙、柱

(1) 电梯间属于垂直交通位置，结构安全性非常重要，选择在左右两单元四个电梯间的位置，满布 200mm 厚的剪力墙墙体，每层留出有四个门洞的位置，墙体上下贯通，从地下室基础筏板顶部一直延伸至屋顶，该电梯间整体性的墙体，既保障了电梯间的结构安全牢固性，同时也作为整体建筑的主骨架，对整体结构抗震抗剪也是非常有利的。

(2) 北侧左右楼梯间属于垂直交通、行人上下日常通行的走道，安全性同样非常重要，在遭受火灾影响时，

走道楼梯间属于居民安全紧急疏散的重要逃生通道，同时也是消防救援人员火灾现场救援的重要通道，该走道能直通布置在每层单元内走道隔墙上的消火栓，此处结构应当加强。

在该建筑结构平面布局中，左右楼梯间局部突出整个建筑平面，属于平面凹凸不规则的位置，在抗震方面，此处因为地震力的作用，属于建筑结构薄弱部位，此处结构也应当加强。

所以选择在左右楼梯间的左右两侧临空 Y 向墙体位置，通长满布 200mm 厚长肢剪力墙实墙，此处剪力墙上下不开洞，在此处剪力墙北侧端部设置 400mmx400mm 端柱，同时在此处剪力墙南侧 E 轴 X 向留有部分墙肢，以加强此处剪力墙的整体安全性，此处通长剪力墙、端柱与局部短向墙肢上下连贯贯通成为整体，从地下室底板一直延伸到屋顶，作为整个建筑的主骨架之一，以加强建筑

整体的安全性。在楼梯间的 X 方向外墙位置,因为有人行出入通道的功能需要,导致楼梯间外侧框架梁过长,这对整体结构是不利的,所以在不影响建筑走道疏散的前提下,选择在两楼梯间外侧墙体中部位置,设置局部短肢剪力墙实墙,该剪力墙实墙,从地下室基础筏板顶部一直延伸到屋顶,上下贯通,以分担因为楼梯间外侧框架梁过长的不利影响,同时协调平衡楼梯间位置处的 Y 向墙体与 X 向墙体刚度分配不均匀的问题,对结构安全性与结构整体抗震、抗扭转都是有利的。该处墙为一字墙,所以,在底部加强区的,一直三层,该墙设置为 350mm 厚,在上部的标准层,设置为 200mm 厚。

(3) 在整体建筑结构中,四个角的位置,属于整体建筑结构四个边界 X 向与 Y 向交叉突出的位置,四个角的边界临空,此处受到的地震力作用影响大,同样是结构关键薄弱部位,所以此处的结构布置应当加强。选择结构标准层北侧左右两侧边角处设置 L 形的剪力墙,在北侧左右两侧 Y 向边墙设长肢剪力墙实墙,沿此处墙垂直 X 向窗洞边设置短肢剪力墙实墙, Y 向与 X 向形成沿 Y 向的 L 形剪力墙,避免成为一字墙。该 L 形墙上下贯通,从地下室顶板延伸至屋顶,作为整体建筑结构的主骨架,对结构安全性、结构抗震抗剪均有利。

(4) 在上部结构标准层,外墙窗边墙与中间房间隔墙交接处均匀布置 T 形长肢剪力墙,东西方向均匀布置,南北方向同时布置,南北 Y 向剪力墙墙肢尽量分布在同一轴线上,室内剪力墙之间有效形成对偶的关系,这样传递在剪力墙与剪力墙之间的地震力能连贯,从整体上加强全楼的结构刚度,发挥剪力墙抗震抗剪的最大优势。地上部分室内南北 T 形与 L 形布置 200mm 厚剪力墙,剪力墙从地下室基础筏板底一直延伸至屋顶,上下贯通连续,作为整体建筑的主骨架。

(5) 根据结构计算,和地下室外墙挡土的需要,该建筑结构底部加强区部分局部剪力墙墙厚有变化,其中,左右两侧北部楼梯间中间短肢墙地下负二层至二层为 350mm 厚,三层至屋顶层为 300mm 厚;地下室负二层、地下室负一层外墙均为 300mm 厚,其中北侧楼梯间地下室外墙为 350mm 厚。

地上部结构所有剪力墙厚度均为 200mm 厚,剪力墙位置与墙厚的设置原则,保证剪力墙墙肢相同位置下面楼层墙肢长度与墙厚 $\geq$ 上面楼层墙肢长度与墙厚。

剪力墙开洞,各楼层剪力墙洞口位置应上下对齐。

3.4 水平承重构件的设置:梁

(1) 地上部分外圈梁截面的设置,根据建筑外圈窗洞高度的实际尺寸,建筑净高的要求,结合结构计算的实际需要,外圈梁截面高度选择为 400mm 等截面尺

寸,圈梁宽同圈梁墙宽。

(2) 地上部分标准层室内梁截面的设置,根据该建筑日常使用功能楼层净高的需要,和建筑平面楼板局部开洞的需要,结合结构实际计算的需要,地上部分标准层室内梁截面高度设置为 400mm、500mm 等,梁宽同室内墙宽,基本满足建筑净高的使用要求。

(3) 地上部分墙体连梁的截面设置,根据建筑外圈门窗洞口的高度需要,结合结构计算的实际需要,连梁高度尺寸有 400mm、700mm 等,基本符合建筑的使用需要。

(4) 地下负一层顶梁、地下负二层顶梁截面尺寸,根据建筑日常使用功能楼层净高的需要,建筑楼板平面局部开洞的需要,梁截面高度设置为 400mm、500mm 等,基本满足建筑的使用功能。

3.5 水平承重构件的设置:板

(1) 地上标准层楼板,根据建筑隔功能房间的实际面积、分隔墙的间距,控制在 3~4m 内,房间内板厚设置为 100mm,局部板设置为 130mm;结合电梯间前室的管线的铺设的需求,同时结合楼层平面内实际情况,电梯井道位置、楼梯间位置属于大开洞,对整层楼板有刚度局部削弱,将电梯间前室楼板设置为 150mm 厚,将临近电梯井、楼梯间的局部板厚设置为 120mm 厚,以满足板承载力计算、挠度计算、裂缝计算与管线架设的实际需要。

(2) 地下室顶板,整层楼板厚度设置为 180mm 厚。

(3) 地下室负一层楼板,因为考虑有库房、机房等的建筑实际功能需求,楼板厚度局部设置为 160mm 厚等。

3.6 楼梯间楼梯板设置

该建筑楼梯间处楼梯板,根据结构计算需要和楼梯走道净高的需要,梯板厚度选择为 150mm 厚。为了结构构造的安全需要,地上部分标准层梯板分布钢筋同时锚固进北侧楼梯间外周短肢墙体内,以达到楼梯间楼梯板与结构墙连接更加稳固的效果。

4 结构计算指标汇总

根据 pkpm 结构建模, satwe 分析计算,各项指标汇总如表 1 所示:

振形分析,其中第一周期为平动,以 Y 向振动为主为 2.1035s;第二周期为平动,以 X 向振动为主,为 1.9646s,第三周期为扭转阵型,为 1.2815s, $T_3/T_1=0.61<0.9$,满足《抗规》3.4.5 的要求。

楼层位移角, X 方向控制在 $1/1536<1/1000$, Y 向控制在 $1/14141<1/1000$,其中地震作用起控制作用。楼层最大位移/平均位移控制在 1.22 以内。

综上所述,其他各项计算指标均满足建筑结构规范的要求。

表 1 PKPM 结构建模分析 SATWE 计算, 各项指标汇总表

计算结果		计算值		规范（规程）限值	判别		备注
结构总质量（t）		28483.74					
质量比		1.31		<1.5	满足		
楼层抗剪承载力与相邻上一层比值的最小值		X	1.00	≥0.8	满足		27 层 1 塔
		Y	0.99		满足		4 层 1 塔
楼层剪力/层间位移刚度比（强刚）	与相邻上一层侧向刚度的 0.7 倍或相邻上三层平均值的 0.8 的比值	X	1.00	≥1.00	满足		29 层 1 塔
		Y	1.00		满足		29 层 1 塔
	考虑层高修正后，与相邻上一层侧向刚度的比值	X	1.00	≥1.00	满足		29 层 1 塔
		Y	1.00	≥1.00	满足		29 层 1 塔
有效质量系数		X	91.54%	>90%	满足		
		Y	90.54%		满足		
地震底部剪重比	调整前	X	2.15%	≥1.60%	满足		3 层 1 塔
		Y	2.26%	≥1.60%	满足		3 层 1 塔
结构自振周期【强刚】（s）		T1	2.1035(Y)	T3/T1=0.61≤0.9	满足		
		T2	1.9646(X)				
		T3	1.2815(T)				
水平力作用下的楼层层间最大位移与层高之比（△u/h）（强刚）	地震	X	1/1536	<1/1000	满足		14 层 1 塔
		Y	1/1411	<1/1000	满足		19 层 1 塔
	风荷载	X	1/5461	<1/1000	满足		14 层 1 塔
		Y	1/1697	<1/1000	满足		17 层 1 塔
地震力作用下（偶然偏心）塔楼扭转参数（强刚）	最大位移/平均位移	X	1.14	<1.5	满足		28 层 1 塔
		Y	1.22	<1.5	满足		3 层 1 塔
	最大层间位移/层间平均位移	X	1.46	<1.5	满足		29 层 1 塔
		Y	1.42	<1.5	满足		29 层 1 塔

[参考文献]

[1]吴德安.《混凝土结构计算手册》(第三版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2002.

[2]国振喜.《高层建筑混凝土结构设计手册》[M].北京:中国建筑工业出版社,2012.

[3]王文栋.《混凝土结构构造手册》(第五版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.

作者简介:唐华岳(1988—),男,民族:汉,学历:本科,职称:建筑工程工程师中级,研究方向:结构工程。