

结构周边框架梁、柱采用刚接,框架伸臂梁与核心筒铰接,与框架柱刚接。抗震设防烈度 8 度,场地土类

别 II 类,设计地震分组为第 1 组.恒载标准值均取 5.5 kN/m^2 ,活载标准值均为 2.0 kN/m^2 .

框架梁选用 3 种截面、框架柱选用 5 种截面、核心筒外筒选用 5 种厚度,楼层数选用 15、25、30、35 和 40 层来组合,共形成 305 个结构计算模型,其中 35 层的结构只选用了 5 个模型.所有计算模型中核心筒内筒的剪力墙厚度均为 400 mm.

表 1 给出框架梁、CFST 柱、墙厚及楼层数的具体信息及简化表示形式.表中括号内为简化符号.不同的计算模型采用这些简化符号来代表.如 B06C07W06S15 表示:钢梁截面为 HM 600 mm $\times$ 300 mm(混凝土翼板厚为 140 mm)的框架组合梁,框架柱截面为 700 mm $\times$ 30 mm 的 CFST 柱(柱边长为 700 mm,钢管壁厚 30 mm);外筒剪力墙厚度为 600 mm,楼层数为 15 层的计算分析模型.

表 1 参数具体信息及简化符号

Table 1 Information of parameters and simplified symbols				
构件类型	组合梁截面/mm	CFST 柱/mm	外筒厚/mm	楼层数
截面及楼层数	HM 600 $\times$ 300(B06)	700 $\times$ 30(C07)	600(W06)	15(S15)
	HN 700 $\times$ 300(B07)	800 $\times$ 30(C08)	800(W08)	25(S25)
	HN 800 $\times$ 300(B08)	1000 $\times$ 35(C10)	1000(W10)	30(S30)
	混凝土翼板厚均为 140 mm	1200 $\times$ 45(C12)	1200(W12)	35(S35)
		1500 $\times$ 50(C15)	1500(W15)	40(S40)

2 结构变形规律分析

2.1 框架梁截面的影响

以 W06S30 和 C07S30 2 组模型为例,图 2 给出梁截面不同时最大层间位移角的变化率.

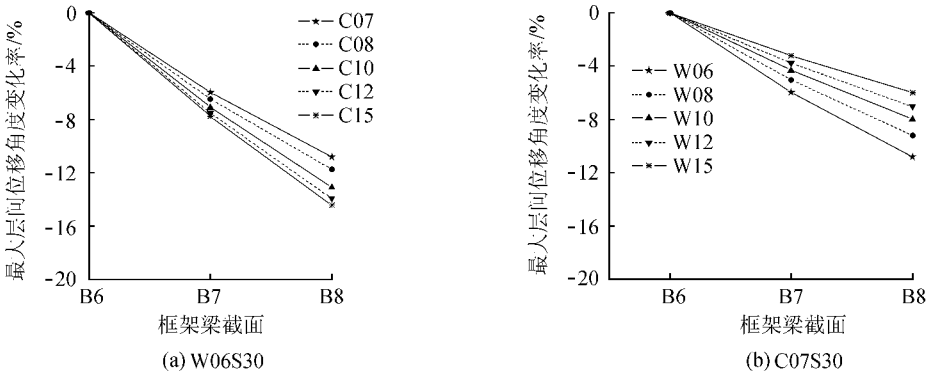


图 2 最大层间位移角随框架梁截面的变化率

Fig. 2 Change rates of maximum storey drift angle with section of frame beams

图 2 中最大层间位移角变化率的计算均以梁截面为 B06 时的最大层间位移角为参考值,其他条件不变,梁截面为 B07 和 B08 时最大层间位移角相对于参考值增大或减小的比值,参考值模型的变化率为 0,正值为增大,负值为减小.从图 2 可以看出,当框架柱截面较大、核心筒厚度较小时,在一定范围内增大框架梁截面尺寸,可以有效减小结构弹性地震反应的层间位移角.另外,通过计算分析可知,随着结构高度的增高,结构最大层间位移角减小的比率加大.

2.2 框架柱截面的影响

以 B07S40 和 B08S40 2 组计算模型为例,图 3 给出结构最大层间位移角仅随外框架柱截面增大时的变化率.变化率的计算均以框架柱截面为 C07 时的最大层间位移角为参考值.

从图 3 中可以看出,当核心筒厚度和框架梁截面相同时,增大框架柱截面尺寸,结构的最大层间位移角首先随着框架柱截面的增大而降低,后随着柱截面的增大而稍微增大,增大率均在 10% 以内.这是由于柱截面过大而框架伸臂梁不变时,结构外框架和内部核心筒协同工作性能变差,结构整体性不好;同时由于柱截面的迅速增加使得结构质量迅速增加和地震作用增大,导致了结构最大层间位移角增大.对比图 3 中不同梁截面的两组模型计算结果可知,框架梁截面较大时,最大层间位移角随着柱截面增大减小的程度增大;且最大层间位移角变化率改变符号的柱截面相应增大.由以上分析可知,仅增大柱截面尺寸,对于本文计算模型,对减小结构弹性层间位移反应不大.

2.3 核心筒厚度和楼层数的影响

图 4 给出框架梁截面为 B07、楼层数为 S40 时,结构最大层间位移角随核心筒剪力墙厚度的变化规律.从

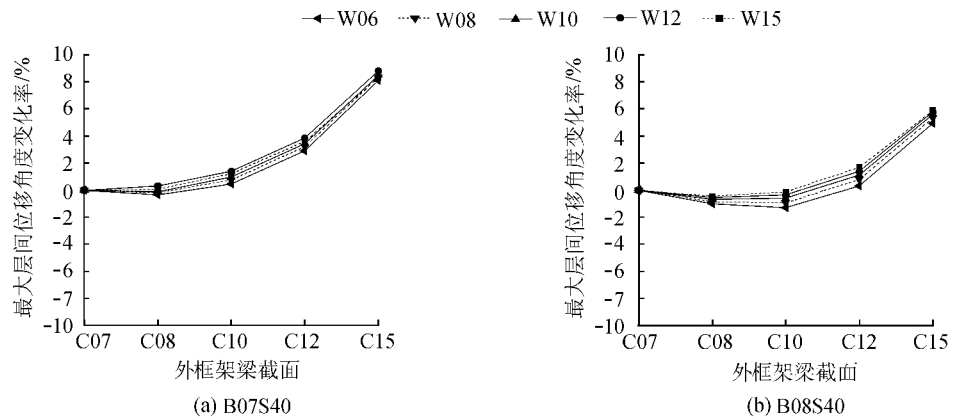


图 3 最大层间位移角随外框架柱截面的变化率

Fig. 3 Change rates of maximum storey drift angle with section of outer frame columns

图 4 可以看出,结构的最大层间位移角随着核心筒剪力墙厚度的增加而减小很快.对于不同的外框架柱,最大层间位移角随着核心筒剪力墙厚度增大而减小的速率几乎相同.可以看出,核心筒是控制结构层间变形的主要因素.

图 5 给出框架梁、柱分别为 B07 和 C10 时,结构最大层间位移角随楼层数的变化规律.从图中可以看出,随着楼层数的增高,最大层间位移角增大很快.

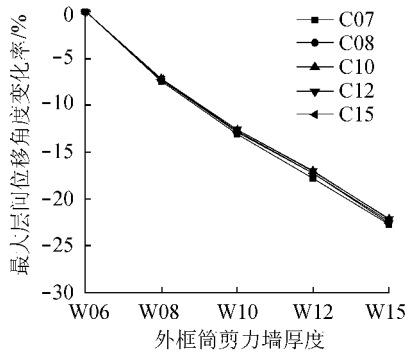


图 4 B07S40 最大层间位移角随核心筒厚度的变化率

Fig. 4 Change rates of structural maximum storey-drift-angle with thickness of core walls for B07S40

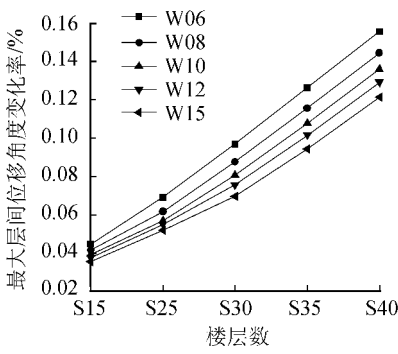


图 5 B07C10 最大层间位移角随楼层数的变化率

Fig. 5 Change rates of structural maximum storey-drift-angle with the number of storey for B07C10

由计算分析可知,结构基本周期、顶点位移变化规律与最大层间位移角变化规律相似,因此讨论时只给出了最大层间位移角的分析结果.

综合以上各个参数的分析结果可知,最大层间位移角随着框架梁、柱截面大小、楼层数以及核心筒厚度的变化规律并不完全一致.从结构变形控制考虑,在一定范围内增大外框架梁或核心筒厚度均可以有效地减小结构弹性位移反应.结构变形随着楼层数的增高增大很快.

3 外框架剪力分担率

3.1 框架梁、柱截面的影响

图 6 和图 7 分别以 C10W10S40 和 B08W10S40 2 组模型为例,给出框架梁、柱单独变化时,结构整体和外框架剪力的分布.

从图 6 和图 7 看出,随着梁截面的增大,结构整体层剪力变化不大,而随着柱截面的增大,结构整体剪力增大较明显.且随着两者的单独增大,外框架剪力和剪力分担率均增大且在层高改变处和结构顶部有突变,外框架最大剪力位于结构中上部.从图 7(b)中看出,随着柱截面的增大,框架剪力分担率沿结构高度的分布形式在结构的底部和顶层发生改变,外框架最小层剪力随着柱截面的增大不再出现在结构底层,向上部移动,但仍在结构底部 1~5 层范围内.

3.2 核心筒厚度和楼层数的影响

分别从 B08C10S40 和 B08C10W10 的 5 个计算模型为例,给出核心筒厚度变化和楼层数变化时,外框架剪力分担率的变化规律,如图 8 所示。

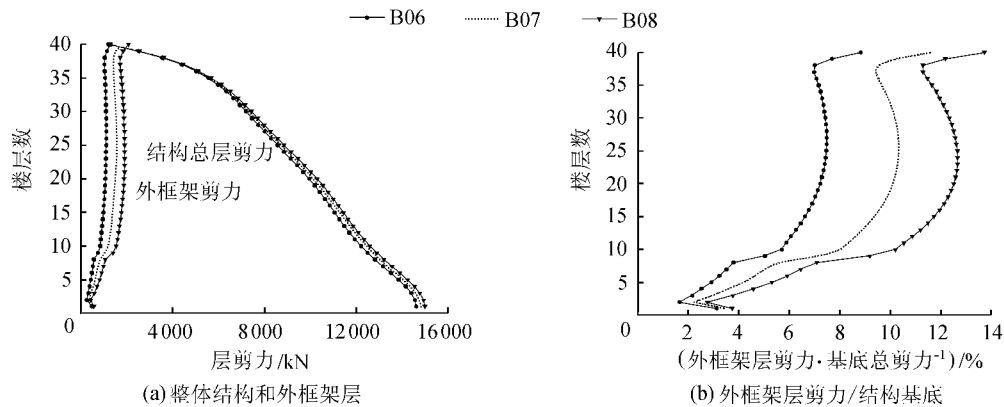


图 6 框架梁截面不同结构整体和外框架剪力分布

Fig. 6 Distribution of shear force of whole structures and outer frames with different frame beams

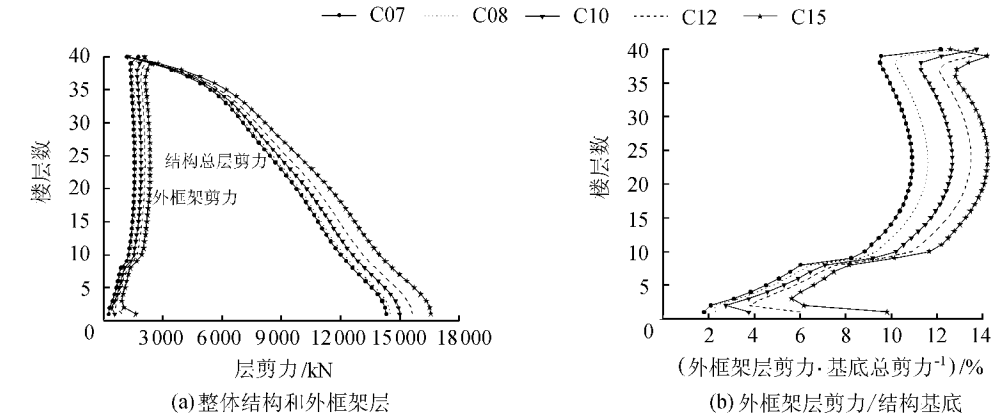


图 7 框架柱截面不同结构整体和外框架剪力分布

Fig. 7 Distribution of shear force of whole structures and outer frames with different frame columns

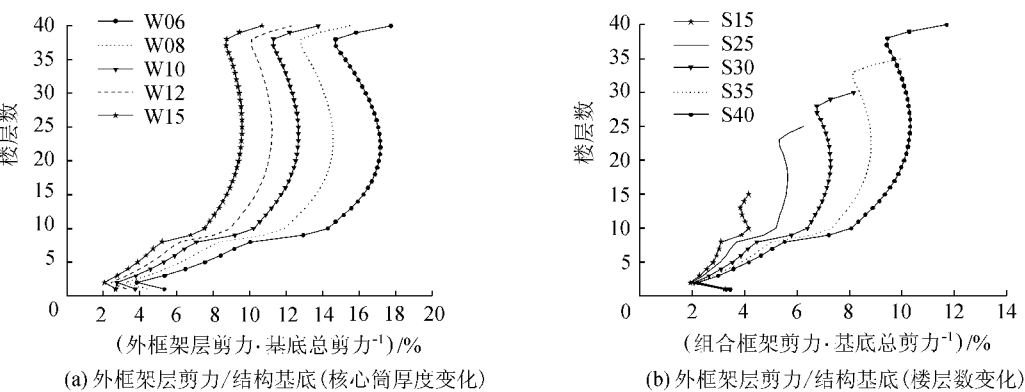


图 8 核心筒和楼层数分别变化外框架剪力分布

Fig. 8 Distribution of shear force of outer frames with different core walls or number of storeys

从图 8 可以看出,随着核心筒厚度的增加,外框架承担的剪力和剪力分担率减小,在结构中上部减小比率较大,而随着楼层数的增高,外框架剪力分担率增大,但是在结构底部变化率不大。

4 结构刚度特征值对结构性能的影响分析

框架-核心筒结构在地震作用下的受力性能和变形性能与外框架和内部核心筒的刚度比有很大关系。参

照框架-剪力墙结构,引入结构刚度特征值 $\lambda^{[13]}$ 来表征外框架和核心筒刚度的相对强弱.图 9 和图 10 分别给出 λ 变化时,计算模型最大层间位移角的位置和框架最大剪力的位置.图中最大层间位移角位置和外框架最大剪力位置分别采用最大层间位移角 ξ 和外框架最大剪力所在楼层数与结构总层数的比 ζ 表示.

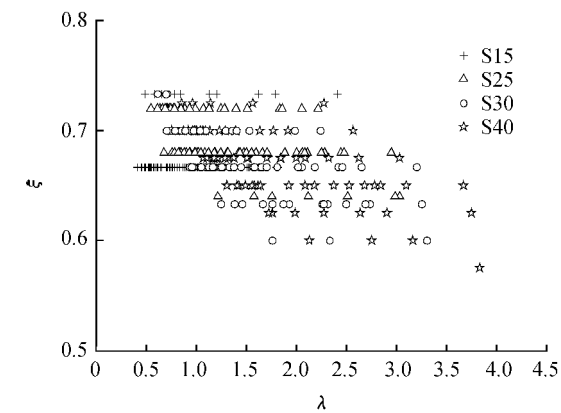


图 9 最大层间位移角位置

Fig. 9 Locations of maximum storey drift angle

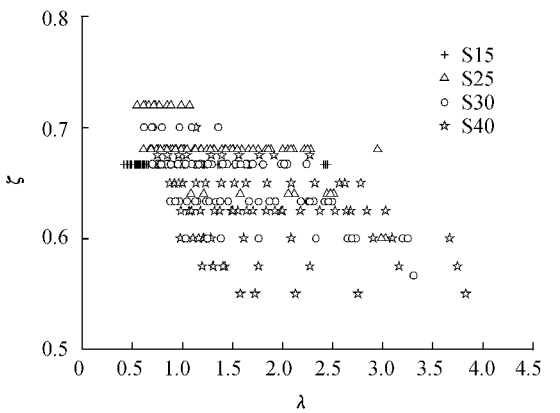


图 10 外框架最大剪力位置

Fig. 10 Locations of maximum shear force of outer frame

从图 9 和图 10 可以看出,随着楼层数的增加,外框架最大剪力位置 ζ 数据点的分布与最大层间位移角位置 ξ 数据点的分布不大相同,但总体规律一致.两者均随着结构层数的增加,离散度增大;虽然结构刚度特征值 λ 与 ξ 、 ζ 并不成单调关系,但是数据点分布均随着 λ 的增大向下偏移,因此总体上最大层间位移角和外框架最大剪力位置均随着 λ 的增大呈下降趋势.这是因为 λ 增大,结构框架部分的作用增强,结构的地震反应特征也向框架结构变化,层间位移角最大值和框架剪力最大值下移.

由计算结果的统计分析知,本文所选计算模型的结构刚度特征值在 0.41~3.83(具有一般代表性)之间,最大层间位移角所在楼层的位置与结构总层数的比值在 0.575~0.733 之间变化,均值为 0.678;外框架最大剪力所在楼层的位置与结构总层数的比值在 0.55~0.72 间,均值为 0.655,略低于最大层间位移角位置约 1 个楼层.因此对钢-混凝土组合框架-混凝土核心筒体系最大层间变形和框架剪力起控制作用的是中上部楼层.

5 结 论

通过对钢-混凝土组合框架-RC 核心筒结构的大量参数分析,初步探讨了框架梁、柱、剪力墙厚度和楼层数变化对结构整体变形性能和外框架剪力的影响规律.在常用刚度特征值范围内,对于本文模型,单独增大柱截面尺寸对减小结构位移反应效果不明显,同时增大外框架梁、柱尺寸或增大核心筒剪力墙厚度均可有效降低结构的弹性位移反应;外框架剪力分担率随着外框架梁、柱截面尺寸和楼层数的增高而增大,随着核心筒厚度的增加,在结构底部整体层剪力增大较大,外框架承担的剪力和剪力分担率减小,在结构中上部减小比率较大.

本文基于大量参数分析的计算结果,研究了结构刚度特征值对结构最大层间位移角位置及外框架楼层最大剪力位置的影响.结果表明,外框架最大剪力所在楼层的位置略低于最大层间位移角位置约 1 个楼层.钢-混凝土组合框架-混凝土核心筒体系最大层间变形和框架剪力起控制作用的是中上部楼层.

参考文献:

[1] 刘晶波,刘阳冰,郭冰,等.钢-混凝土组合框架结构体系抗震性能参数分析[J].工业建筑,2009,39(8):96-100.(LIU Jing-bo, LIU Yang-bing, GUO Bing, et al. Parameter analysis of seismic behavior of steel-concrete composite frame structures[J]. Industrial Construction 2009, 39(8): 96-100. (in Chinese))

[2] 韩林海,杨有福.现代钢管混凝土结构技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.

[3] 聂建国,樊健生.广义组合结构及其发展展望[J].建筑结构学报,2006,27(6):1-8.(NIE Jian-guo, FAN Jian-sheng. The development and prospect of generalized composite structures[J]. Journal of Building Structures 2006 27(6): 1-8. (in Chinese))

[4] HAN Lin-hai, LI Wei, YANG You-fu. Seismic behaviour of concrete-filled steel tubular frame to RC shear wall high-rise mixed structures

- [J]. Journal of Constructional Steel Research 2009 65(5):1249-1260.
- [5] 侯光瑜,陈彬磊,苗启松,等.钢-混凝土组合框架-核心筒结构设计研究[J].建筑结构学报,2006,27(2):1-9.(HOU Guang-yu, CHEN Bin-lei, MIAO Qi-song, et al. Design and research on composite steel and concrete frame-core wall structure[J]. Journal of Building Structures 2006 27(2):1-9.(in Chinese))
- [6] 刘阳冰,刘晶波,闫秋实.钢-混凝土组合框架-钢筋混凝土核心筒结构抗震性能分析[C]//福州:第四届全国抗震减灾工程学术研讨会,2008.
- [7] LIU Jing-bo, LIU Yang-bing. Seismic behavior analysis of steel-concrete composite frame structure systems[C]//Beijing:14th World Conference on Earthquake Engineering, 2008.
- [8] 刘阳冰.钢-混凝土组合结构体系抗震性能研究与地震易损性分析[D].北京:清华大学,2009.
- [9] 沈蒲生.高层混合结构设计与施工[M].北京:机械工业出版社,2008.
- [10] 聂建国,田淑明.大震下 RC 剪力墙(筒体)结构地震反应分析模型[J].建筑结构,2009,39(2):12-16.(NIE Jian-guo, TIAN Shu-ming. Model for analyzing seismic response of RC shear/core wall structure under major earthquakes[J]. Building Structure 2009 39(2):12-16.(in Chinese))
- [11] 缪志伟,吴耀辉,马千里,等.框架-核心筒高层混合结构的三维空间弹塑性抗震分析[J].建筑结构学报,2009,30(4):119-129.(MIAO Zhi-wei, WU Yao-hui, MA Qian-li, et al. Seismic performance evaluation using nonlinear time history analysis with three-dimensional structural model for a hybrid frame-core tube structure[J]. Journal of Building Structures, 2009, 30(4):119-129.(in Chinese))
- [12] 钱稼茹,魏勇,蔡益燕,等.钢框架-混凝土核心筒结构框架地震设计剪力标准值研究[J].建筑结构,2008,38(3):1-5.(QIAN Jia-ru, WEI Yong, CAI Yi-yan, et al. Study on seismic design shear force for frame of steel frame-concrete core wall structures[J]. Building Structure 2008 38(3):1-5.
- [13] 包世华,方鄂华.高层建筑结构设计[M].北京:清华大学出版社,2004.

Preliminary study on seismic response of composite frame-core wall structures

LIU Yang-bing^{1, 2}, LIU Jing-bo³, HAN Qiang⁴

(1. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China ;

2. Key Laboratory of New Technology for Construction of Cities in Mountain Area,
Chongqing University, Chongqing 400045, China ;

3. Department of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China ;

4. College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract : A parametric analysis of elastic seismic response of 305 composite frame-RC core wall structures with the inner part of RC core walls and the outer part of concrete-filled square steel tubular columns and steel-concrete composite beams was carried out. The effects of dimensions of beams and columns, thickness of RC core walls and number of stories on the deformation and mechanical behaviors of the structures were preliminarily investigated. The influences of the characteristic values of the structural stiffness on the locations of the maximum storey drift angle and the outer frame shear force are studied. The conclusions are drawn that for the proposed structural model, only enlarging the dimension of the columns has no obvious effects on the decrease of the structural displacement response. While enlarging the dimensions of the columns and the beams simultaneously or the thickness of the core walls can effectively reduce the elastic seismic displacement response. With the increase of the thickness of the core walls, shear force and force distribution rates of the outer composite frame decrease and the decrease ratio is larger especially in the middle and upper parts of the structures. Accordingly, the control storey of the maximum storey deformation and the outer frame shear force is in the middle and upper parts of the structures.

Key words : seismic response ; composite frame ; RC core wall ; parametric analysis ; characteristic value of structural stiffness