

文章编号:1005-0523(2013)03-0021-05

虚拟伸臂混合高层建筑受力性能研究

高剑平,周方超,罗 丹

(华东交通大学土木建筑学院,江西 南昌 330013)

摘要:利用有限元软件SAP2000,对SRC框架-RC核心筒混合结构的不同加强层设置方案进行地震作用下的反应谱分析,研究在弹性阶段“虚拟伸臂”对SRC框架-RC核心筒混合高层结构顶点侧移,力学性能等方面的影响规律。结果表明:只设环带,环带本身的刚度和数量对混合高层结构顶点侧移和柱的剪力有较大影响;能有效的减小剪力滞后效应,更好地发挥外框柱的整体作用;环带的设置会加大水平加强层剪力突变这一不利现象。

关键词:框架-核心筒;虚拟伸臂;环带桁架;加强层;力学性能

中图分类号:TU355

文献标志码:A

在高层建筑中设置加强层来提高结构抗侧刚度的概念由Barkachi提出,并于1962年首次应用于加拿大蒙特利尔的一栋47层大楼。因其控制结构侧移的良好效果,得了工程界的认可。在国内,加强层首先应用于超高层钢结构。随后,因其能充分利用周边框架柱的轴向刚度而形成反弯矩,提高结构的抗侧刚度,改善核心内筒的受力状况而在框架-核心筒结构中得到广泛应用。目前实际工程中加强层伸臂和环带构件主要有钢筋混凝土梁、钢筋混凝土开孔梁、钢筋混凝土桁架和钢桁架四种结构形式。国外高层建筑结构多采用钢桁架体系,而国内早期多采用钢筋混凝土梁式体系。直到近几年,钢桁架才逐渐被选用做加强层。

筒体体系是高层建筑中最常用的结构体系之一。筒体体系分为两种类型:一是由外框筒和核心筒组成的筒中筒体系,二是外框架和核心筒组成的框架-核心筒体系。由于外框筒往往是密柱或深梁组成,有时难以满足建筑采光等要求,应用时受到一定的限制,而由稀柱、浅梁组成的外框架则使楼面使用更为方便。因此,框架-核心筒体系因其良好的建筑功能和经济性能,逐渐成为高层乃至超高层建筑的主流结构体系之一^[1-2]。目前,外框架主要采用钢筋混凝土、钢材、型钢混凝土和钢管混凝土四种结构类型。相比而言,型钢混凝土具有承载力高、刚度大、延性及耗能性能好的优点,同时克服了钢结构耐火性、耐久性差等问题,很适合作为外框架。

在风荷载和地震作用下,高层建筑顶点侧移不能满足规范要求时,往往设置加强层以减小侧移。目前,加强层多采用水平伸臂构件,在设置水平伸臂的同时设置环带构件,可进一步减小结构侧移。但这些加强层设置方式,易导致加强层附近楼层产生很大的刚度和内力突变,对抗震不利。Nair^[3]提出一种新的加强层布置方式:仅沿框架柱外围布置环带桁架,并将高层建筑地下室等效为伸臂桁架,共同抵抗结构倾覆。它的工作机理是:将楼板视为刚片,环带桁架与其上、下楼板以及地下室与其内部墙体形成一个刚度很大的箱体。箱体限制核心筒的转动,并将弯矩转化为竖向力作用在外部框架柱或地下室周边墙体上,起到类似直接伸臂的作用,可称之为“虚拟伸臂”。环带桁架作为“虚拟伸臂”的传力途径为:先将内筒的部分弯矩转换为水平力作用在楼板上,通过楼板传递给桁架弦杆,再由桁架将水平力转换为竖向力作用到外部框柱上,如图1所示。地下室作为“虚拟伸臂”的传力途径为:先将核心筒部分弯矩转化为水平力作用在地

收稿日期:2013-03-09

基金项目:江西省自然科学基金项目(2010GZC0019)

作者简介:高剑平(1970—),男,副教授,博士,主要研究方向为建筑结构加固和组合结构。

下室的顶板和地(底)板上,楼板再将水平力传递到地下室周边墙体上,如图2所示。

与传统的直接设置水平伸臂相比,“虚拟伸臂”的优势在于:消除了水平伸臂与核心筒之间复杂的构造连接,周边框柱都参与抵抗倾覆力矩,减少了剪力滞后现象,周边框架柱底轴力趋向均匀,受力合理。同时结构内力突变与刚度突变的影响较少,核心筒与水平伸臂之间沉降差异问题迎刃而解,还能提高结构的抗侧和抗扭刚度,改善结构的平动和扭转变形。Nair虽然提出了“虚拟伸臂”的概念,但没有进行计算分析以验证其有效性,因此本文对这种体系进行了初步的力学性能分析。

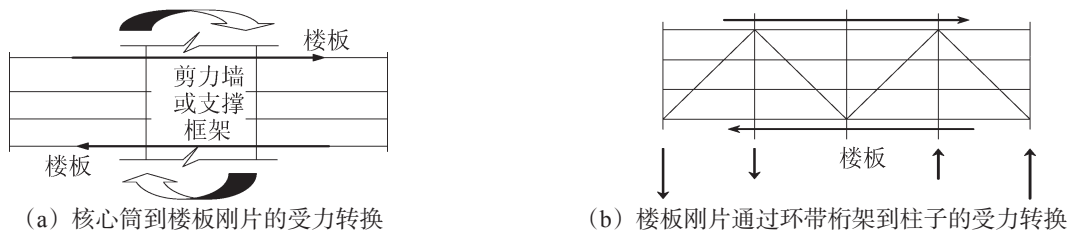


图1 环带桁架作为“虚拟伸臂”的受力转换示意图

Fig.1 Force transformation diagram of belt trusses as “virtual outriggers”

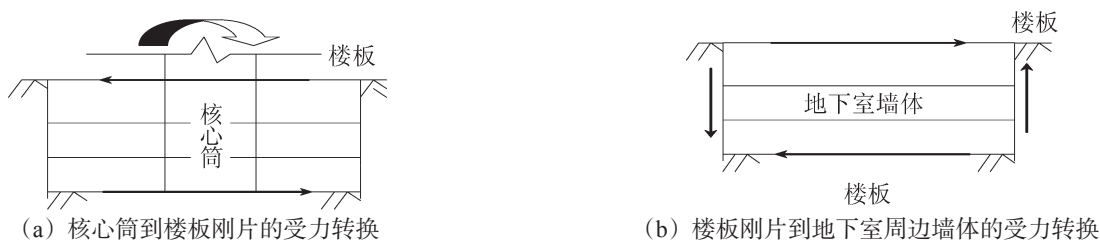


图2 地下室作为“虚拟伸臂”的受力转换示意图

Fig.2 Force transformation diagram of basement as “virtual outriggers”

1 算例分析

本文参考实际工程,忽略扭转效应对结构的影响,采用SAP2000有限元软件建立了一个平面和立面都比较规则的SRC框架-RC核心筒混合高层结构空间模型。该结构地面以上36层,地下2层,标准层层高3.5 m,底层层高4.5 m,地下室层高4 m。结构为27 m×27 m平面规则结构,内部核心筒从下至上贯通布置,外围框架柱距9 m,主楼高宽比4.7,核心筒高宽比14.1。

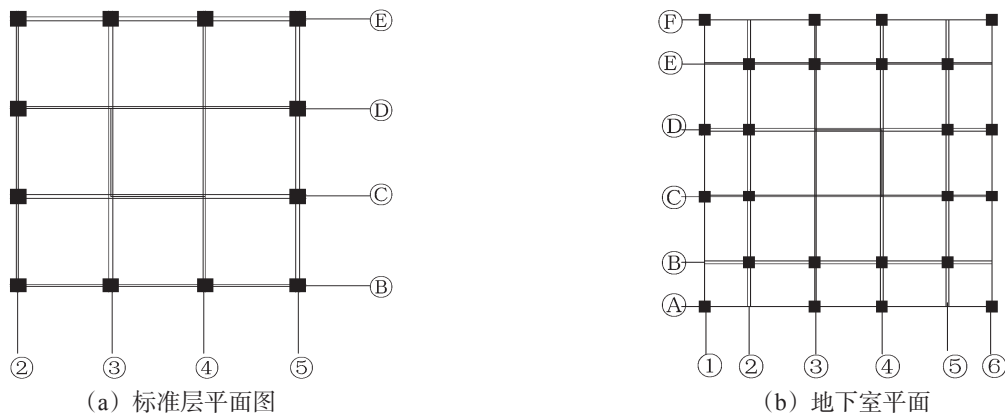


图3 结构平面图

Fig.3 Structural plan

框架柱全部为型钢混凝土柱,框架梁为工字型钢梁,核心筒为钢筋混凝土。竖向荷载主要有构件自重和楼面活荷载。活荷载标准值按《建筑结构荷载设计规范》(GB50009-2001)选用。加强层布置方案见

表1。本算例参考国内多位学者对其抗震性能的研究^[4-8]并依照规范对加强层位置的规定,考虑环带桁架刚度,对不同位置、不同数量以及“虚拟伸臂”加强层结构体系的受力性能利用振型分解反应谱法进行对比分析。假定该结构建在上海市区,根据荷载规范,取基本风压 $W_0=0.55\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ (按50年采用),地面粗糙度为C类,建筑抗震类别为丙类,抗震设防烈度为7度,二类场地,设计地震分组第一组,设计基本加速度为0.1 g,场地特征周期取0.35 s。

表1 加强层布置情况一览表
Tab.1 List of outrigger schemes

方案 编号	加强层数量/个	加强层位置	加强方案	加强层桁架尺寸/ (mm×mm×mm)
0	—	—	—	—
1	1	22	伸臂	900×300×40×24
2	1	22	环带(虚拟伸臂)	900×300×40×24
3	1	22	伸臂 + 环带	900×300×40×24
4	1	22	环带(虚拟伸臂)	800×300×36×22
5	1	22	环带(虚拟伸臂)	1000×300×40×24
6	2	18,36	伸臂	900×300×40×24
7	2	18,36	环带(虚拟伸臂)	900×300×40×24
8	2	18,36	伸臂 + 环带	900×300×40×24
9	2	18,36	环带(虚拟伸臂)	800×300×36×22
10	2	18,36	环带(虚拟伸臂)	1000×300×40×24

1.1 “虚拟伸臂”对结构侧移的影响

为了更清楚地比较只设伸臂、只设环带和同时设伸臂环带这三种加强方式对结构侧移的影响。本算例分别提取了⑤轴与轴相交处外柱和⑤轴与轴相交处中柱的顶点位移和层间侧移。由于本结构平立面比较规则, X 和 Y 方向的结构刚度相近,故仅列出 X 方向水平力作用下的计算结果。

分析图4可以看出,在地震作用下,设置水平加强层能显著减小结构顶点位移和最大层间位移。同时设置水平伸臂和环带构件的结构侧移减小效果最好,伸臂次之,环带最差。随着加强层数目的增加,结构的顶点位移和层间位移进一步减小。

由图5和图6可以得出,设置水平加强层后,在加强层处形成层间位移突变。就仅设一道加强层而言,伸臂和环带同时设置时,刚度最大,突变也最厉害。随着加强层数目的增加,层间位移突变有所缓和。在加强层楼层,环带的外柱层间位移要大于伸臂,而中柱层间位移则小于伸臂。各方案底部均出现了层间位移突变,这是由于我们将地下室楼板视为加强层,约束核心筒的变形,减小了结构侧移。

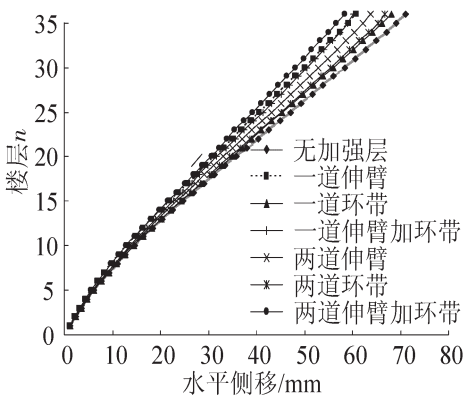


图4 X向地震作用下外柱各层位移
Fig.3 Lateral displacement of exterior column subjected to X-direction horizontal seismic action

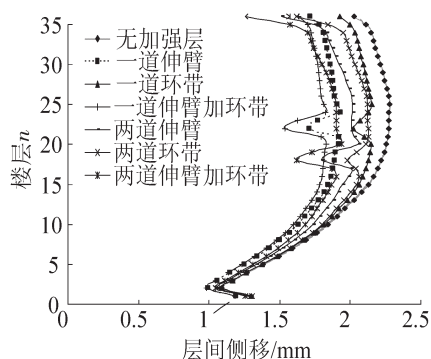


图5 X向地震作用下外柱层间位移
Fig. 5 Storey drift of exterior column subjected to X-direction horizontal seismic action

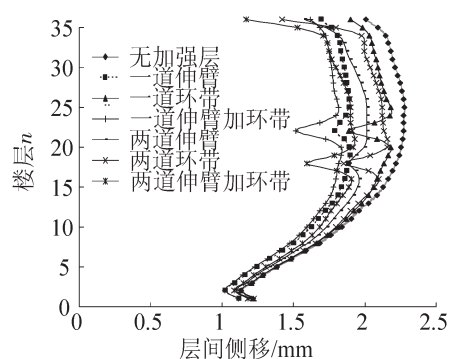


图6 X向地震作用下中柱层间位移
Fig. 6 Storey drift of intermediate column subjected to X-direction horizontal seismic action

1.2 “虚拟伸臂”对结构受力性能的影响

1.2.1 环带桁架对结构基底反力的影响

从表2可以看出,设置一道加强层对结构基底剪力和弯矩的影响不大。从结构基底反力来看,与设置一道伸臂相比,设置一道环带并没有明显的优势。同时设置伸臂和环带会使结构基底剪力和弯矩增加,但幅度并不大。设置两道加强层后,结构整体刚度明显增强,各方案基底反力都有增加,但幅度很小。

表2 X地震作用下各方案基底反力

Tab.2 The base reaction force of each scheme under X-direction earthquake action

基底反力	方案0	方案1	方案2	方案3	方案6	方案7	方案8
基底剪力/kN	3 437	3 353	3 371	3 481	3 492	3 467	3 514
倾覆弯矩/kN·m	204 527	193 514	195 948	210 913	212 282	215 297	216 623

1.2.2 环带桁架对框架柱受力性能的影响

为了研究前面提到的不同加强层对框架柱剪力的影响,本文提取了各方案⑤轴与轴相交处外柱和⑤轴与轴相交处中柱沿楼层分布的剪力。

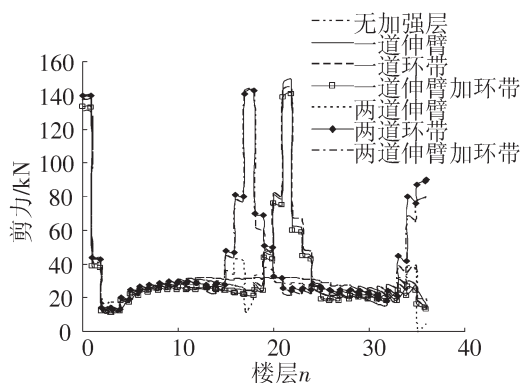


图7 X向地震作用下外框架柱剪力
Fig. 7 The shearing force of frame column under X-direction earthquake action

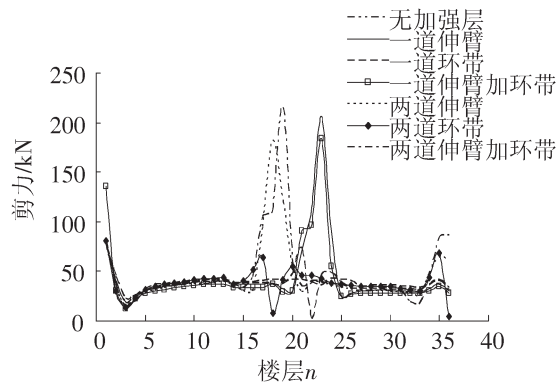


图8 X向地震作用下中柱剪力
Fig. 8 The shearing force of middle column under X-direction earthquake action

由图7可以看出,环带会使加强层处外框柱剪力发生巨大突变。水平伸臂对外框柱剪力突变影响较小,虽然在加强层附近也有剪力突变,但突变的方向与设置环带时内力突变方向相反。且随着加强层数量的增加,剪力突变程度有所缓和。

由图8可以看出,只设环带时,环带所在楼层中柱的剪力减小到最小值,同时设置伸臂和环带中柱剪力

分布规律与只设置伸臂相同,但其突变值略小于伸臂结构。设置两道伸臂加环带,对减小中间楼层剪力突变作用不明显,反而会在顶层形成较大的突变。

3 结论

通过SAP2000有限元软件对“虚拟伸臂”对结构侧移和结构受力性能的分析计算,可以得到以下结论:

1) “虚拟伸臂”桁架可有效减小结构的顶点位移和层间位移,但略低于伸臂结构。实际工程中,可通过优化设计使“虚拟伸臂”结构达到和伸臂一样的控制侧移效果。。

2) “虚拟伸臂”桁架中柱剪力突变明显小于设伸臂和环带加伸臂的结构,但外柱的剪力突变都相对较大。但在“虚拟伸臂”桁架中设置两道环带桁架可以在一定程度上缓解这种突变,同时周边框柱都参与低抗倾覆力矩,减少了剪力滞后现象。

3) 从基底反力和倾覆弯矩来看,“虚拟伸臂”桁架的设置对其基本没有影响。

4) “虚拟伸臂”桁架的设置会使外框架柱与筒体剪力产生较大突变。所以,在“虚拟伸臂”构件的应用过程中,如何有效控制外框架柱与核心筒剪力突变仍然有待继续研究。

算例表明“虚拟伸臂”桁架按照预期的想法发挥了作用。“虚拟伸臂”桁架为伸臂桁架理念提供了很多好处,并且避免了传统伸臂桁架刚度大和内力突变等问题。但是,与传统伸臂桁架相比,由于“虚拟伸臂”桁架的力传递机制是间接的,使得刚度减小,其有效性要低于传统伸臂桁架。

参考文献:

- [1] 白国良,李红星,张淑云. 超高层建筑混合结构体系的现状及发展[J]. 建筑结构,2006,36(8):64-68.
- [2] 汪大绥,周建龙. 我国高层建筑钢-混凝土混合结构发展与展望[J]. 建筑结构学报,2010,31(6):62-70.
- [3] SHANKAR NAIR R. Belt trusses and basements as “virtual” outriggers for tall buildings[J]. Engineering Journal, 1998, 31(4):140-146.
- [4] 楚留声,赵更岐,白国良. SRC框架-RC筒体混合结构抗震性能研究[J]. 土木工程学报,2011,44(5):6-15
- [5] 张仲先,周春圣,张杰. 加强层和楼层梁对框-筒结构侧移的影响[J]. 华中科技大学学报,2006,34(9):100-103.
- [6] 徐培福,黄吉峰. 带加强层的框架-核心筒结构抗震设计的几个问题[J]. 建筑结构学报,1999,20(4):2-10.
- [7] 杨克家,梁兴文,李波. 带加强层超高层结构受力性能研究及设计建议[J]. 建筑结构,2008,38(2):111-115.
- [8] 杨克家,梁兴文,李波. 带加强层高层建筑中加强层刚度的合理取值[J]. 哈尔滨工业大学学报,2009,41(10):193-196.

Mechanical Behavior of Core Tube Hybrid High-rise Building with Virtual Outrigger

Gao Jianping, Zhou Fangchao, Luo Dan

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Through finite element analysis software SAP2000, this paper firstly conducts the response spectrum analysis for different design schemes of outrigger storey in the SRC frame - RC core tube hybrid high-rise structures, which are subjected to wind load and seismic action. Then, it studies the influence of virtual outrigger in the elastic region on the top horizontal displacement and mechanical properties of the SRC frame - RC core tube structure. The results indicate that when the strengthened storey is established only with belt trusses, the number and the rigidity of belts has further effects on top horizontal displacement of high-rise frame-core wall structure and the shearing force of columns, which can effectively weaken the shear-lag effect and better display the overall function of all outside frame columns. What's more, the belt trusses can increase the disadvantageous effects of shear mutation on the horizontal strengthened storeys.

Key words: frame-core tube; virtual outriggers; belt trusses; outrigger storey; mechanical property.