

钢管混凝土框架-核心筒减震结构的控制效果研究

任凤鸣^{1,2}, 周云², 刘加平³

(1. 广东工业大学土木与交通工程学院, 广东 广州 510006; 2. 广州大学土木工程学院, 广东 广州 510006;
3. 西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 710055)

摘 要:以一 30 层钢管混凝土框架-核心筒结构为研究对象,在结构不同位置以不同的连接方式设置相同数量的粘滞阻尼器,形成 4 种减震方案,并进行了三条地震波作用下的弹塑性时程分析,研究表明:在大震作用下,与普通钢管混凝土框架-核心筒结构相比,设置了粘滞阻尼器的结构在层间位移角、层剪力和结构耗能等方面均有一定的控制效果;减震控制效果与粘滞阻尼器的设置位置和连接方式有关,将粘滞阻尼器沿高度均匀地设置于核心筒和框架之间时,减震效果最优.在钢管混凝土框架-核心筒结构中设置粘滞阻尼器不同程度地改善了结构的抗震性能,若对阻尼器的设置方式进行优化,将会最大程度地发挥阻尼器的减震效果.

关键词:钢管混凝土框架-核心筒结构;粘滞阻尼器;减震效果;抗震性能

中图分类号: TU398

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2012)03-0357-07

近年来世界各地的高层建筑结构得到了迅速发展,混合结构体系在其中占据了相当的比例,钢管混凝土框架-核心筒结构作为混合结构中重要的一支,应用也越来越广泛.韩林海^[1]等对相同平面和立面布置的圆钢管混凝土框架-核心筒结构和方钢管混凝土框架-核心筒结构进行了振动台试验和有限元计算分析.吴迈^[2]利用基于分支限界法编制的程序分析了方钢管混凝土框架-混凝土筒体结构的抗震可靠性.黄忠海^[3]针对某带加强层钢管混凝土框架-混凝土核心筒结构超高层建筑进行了罕遇地震作用下的弹塑性时程分析,计算结果显示伸臂桁架的存在会使加强层附近产生地震力集中,可能会在加强层附近构成薄弱层.从相关的研究中可以发现,钢管混凝土框架-核心筒结构体系受力特性复杂,目前对其整体抗震性能的研究较少,科学研究落后于工程实践,钟善桐^[4]指出应对钢管混凝土混合结构体系的抗震性能进行系统的研究.耗能减震技术近年来在结构工程中得到了广泛的应用,Soong T T^[5]和 Dargush G F^[6]较早就对设置了耗能装置的结构的设计方法进行了研究.大住和正等^[7]在一栋 45 层的钢筋混凝土超高层结构中采用了粘滞阻尼器,对其进行非线性分析计算,得出阻尼器的耗能达到结构总耗能的 70%.吕西林^[8]曾对安装了粘滞型阻尼器的方钢管混凝土框架结构进行了振动台试验和弹塑性时程分析.任凤鸣、周云^[9]在某钢管混凝土框架-核心筒超高层结构中,应用了耗能减震技术,在结构中设置了粘滞阻尼器,并进行了模拟地震振动台试验研究.

将耗能减震技术引入钢管混凝土框架-核心筒结构来改善结构的抗震性能是一种探索,为了深入了解该减震混合结构体系的减震效果,本文以一 30 层的钢管混凝土框架-核心筒结构为研究对象,对不同的减震方案进行了较为精细的非线性时程分析,揭示了设置粘滞阻尼器对整体抗震性能的影响,以及不同的布置位置和连接方式对减震效果的影响规律,为该减震混合结构体系的设计和应用提供参考依据.

1 减震结构计算模型

1.1 典型结构选取

本文采用的分析模型为 30 层的钢管混凝土框架-核心筒结构,结构平面尺寸为 24m×24m,层高为 4m,总高度为 120m,模型参数如表 1 所示,模型平面图如图 1 所示.结构抗震设防烈度为 8.5 度,Ⅱ类

收稿日期:2012-03-01 修改稿日期:2012-05-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51108095);广东省自然科学基金团队项目(8351009101000001)

作者简介:任凤鸣(1975-),女,陕西凤翔人,博士研究生,副教授,主要从事混合结构抗震性能和减震控制研究.

场地,场地特征周期为 0.35s.

1.2 有限元模型

1.2.1 材料本构关系

在钢管混凝土框架-核心筒减震结构弹塑性分析过程中,涉及到的材料本构关系主要包括钢筋、混凝土、钢材和与耗能减震装置相关材料的本构关系.

对于约束混凝土方面目前应用较多的为 KENT-PARK 模型^[10],因此本文选用该模型作为核心筒和钢管混凝土柱中混凝土材料的本构模型.钢管中的混凝土

内没有钢筋,其约束作用来自外围的钢管,本文采用韩林海^[11]提出的钢管混凝土核心钢管混凝土等效应力-应变关系模型,反推出 KENT-PARK 模型的相关系数,再采用该本构模型进行计算分析.模型中的钢筋和钢材选用双线性模型,材料屈服后刚度比为 0.005.钢管混凝土构件的竖向荷载主要是由混凝土承担,钢管起到约束作用,同时设计时已经考虑轴压比和长细比的要求,因此计算分析中不考虑钢管的屈曲失稳.

1.2.2 单元类型

采用 PERFORM-3D 软件对钢管混凝土框架-核心筒结构进行非线性分析,选梁柱墙纤维有限元单元模型对结构进行分析.

钢梁沿梁高度划分为 12 份;钢管混凝土柱沿周长平均分成 8 份,沿半径方向分成 7 圈,其中最外圈为钢管,里面 3 圈为混凝土,共 56 个纤维.有限元模型中,对于粘滞阻尼器采用 MAXWELL 模型,阻尼单元利用粘滞阻尼器速度与力关系来定义其滞回性能.

1.3 减震布置方案

对该 30 层钢管混凝土框架-核心筒减震结构中的粘滞阻尼器采用了 4 种布置方案,阻尼器的数量均为 120 个,安装形式采用单斜支撑布置.布置方案 1 的阻尼器设置于 1~5 层,10~14 层和 19~23 层的钢管混凝土柱之间,表示为 VD-1;布置方案 2 的阻尼器设置于 1~5 层,10~14 层和 19~23 层的钢管混凝土柱与核心筒之间,表示为 VD-2;布置方案 3 的阻尼器设置于 1~15 层的钢管混凝土柱与核心筒之间,表示为 VD-3;布置方案 4 的阻尼器设置于 1~15 层的钢管混凝土柱之间,表示为 VD-4.粘滞阻尼器的参数指标见表 2.

1.4 有限元模型验证

对该有限元模型先采用 ETABS 软件对结构进行建模和分析,得出结构的楼层质量和绕 Z 轴的转动惯量,计算出结构的质量与周期,与 PERFORM 3D 软件计算出的结果进行对比,对比结果如表 3 和表 4 所示.从表中可以看出二种软件计算的自振周期相差比值最大值约为 13.47%,总质量相差仅为 0.6%.

在此基础上,采用二种软件对结构进行了小震作用下的时程分析(El Centro 波),结构顶层位移时程对比结果如图 2 所示,从图中可以看出,结构在弹性分析时顶层位移时程曲线基本吻合,峰值位移相

表 1 结构参数

Tab.1 Structural parameters

| Steel beam | | | | |
|--------------|---------------|----------------|-------------|---------------------|
| Floor | Section(mm) | Concrete grade | Steel grade | |
| 1~30 | 400×600×25×10 | | Q345 | |
| CFST cloumn | | | | |
| 1~10 | 800×20 | C50 | Q345 | |
| 11~20 | 700×18 | C50 | Q345 | |
| 21~30 | 600×16 | C50 | Q345 | |
| RC-Core wall | | | | |
| | Thickness(mm) | Concrete grade | Steel grade | Reinforcement ratio |
| 1~10 | 400 | C40 | HRB400 | 0.38% |
| 11~20 | 300 | C40 | HRB400 | 0.452% |
| 21~30 | 250 | C40 | HRB400 | 0.56% |

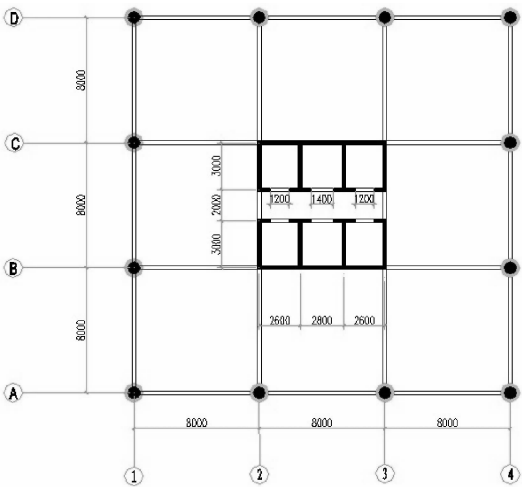


图 1 模型平面布置图(单位:mm)

Fig.1 Layout of structural model

表 2 粘滞阻尼器参数

Tab.2 Parameters of the viscous damper

| | Damping Exponent | Limit Velocity /mm·s ⁻¹ | Limit Strength /kN |
|----------------|------------------|------------------------------------|--------------------|
| Viscous Damper | 0.25 | 450 | 1 000 |

差为 9.38%,说明 Perform 3D 软件中的非线性纤维模型是正确的。

2 层间位移角

对上述 4 种减震结构方案进行了 EL-Centro 波 X 向和 Y 向、KOBE 波 Y 向和 NR 波 Y 向四种工况作用下的弹性时程分析,图 3 为各减震方案的层间位移角对比曲线,图中 VD-1~VD-4 对应的结构为减震方案 1~减震方案 4,NC 对应的结构为无控结构。

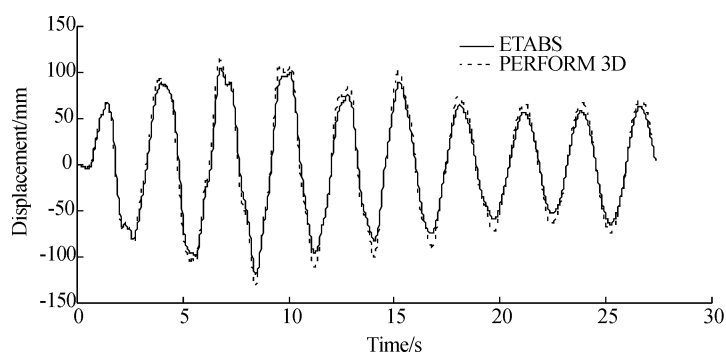


图 2 顶层位移时程对比

Fig. 2 Comparison of time-history curve of top story displacement

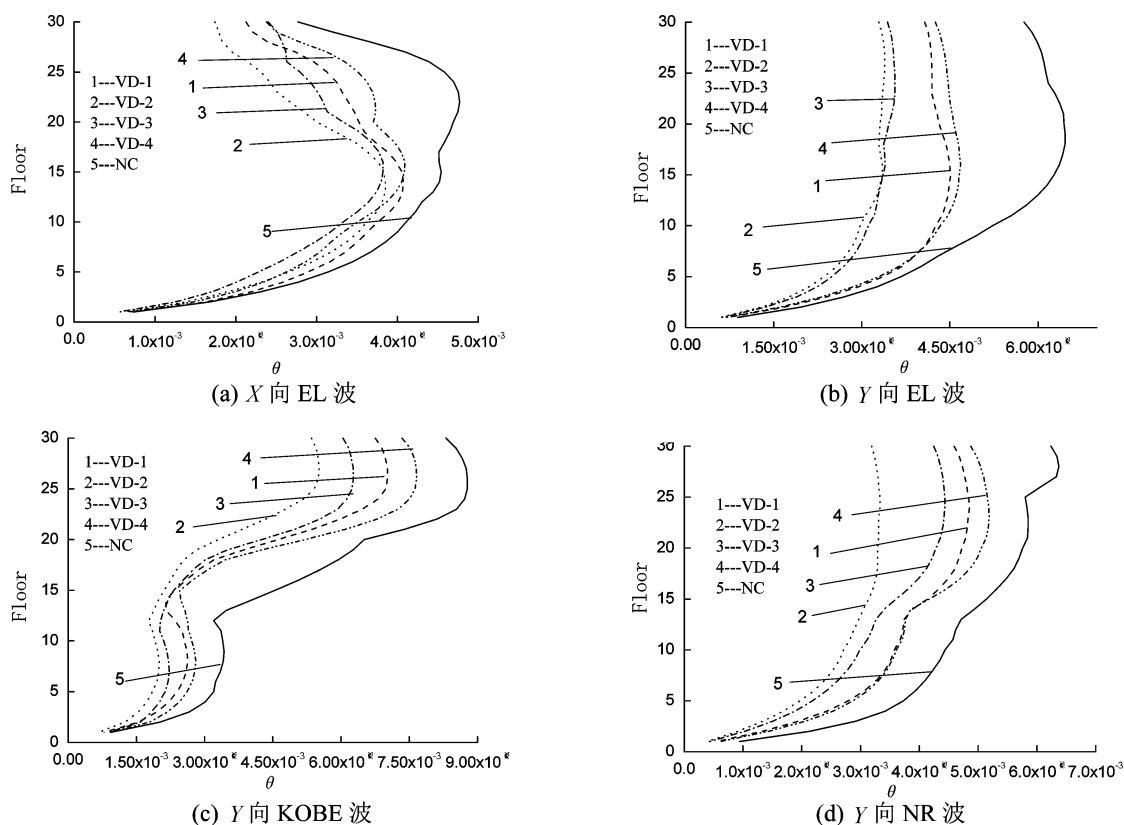


图 3 各减震方案结构层间位移角

Fig. 3 Inter-story drifts of scheme 1-4 with viscous dampers

从图 3 可以明确地得出,设置了粘滞阻尼器后,4 种减震方案的结构层间位移角均有不同程度的减小.将粘滞阻尼器设置于钢管混凝土柱和核心筒之间的减震方案控制效果优于将阻尼器设置于钢管混凝土柱之间的控制效果,沿高度均匀布置的减震方案控制效果优于将阻尼器连续布置于结构底部的控制效果.粘滞阻尼器与结构的连接方式对结构层间位移角控制效果的影响更为明显,将阻尼器沿高度均匀地布置于框架柱和核心筒之间的控制效果最优。

3 结构层剪力

图 4 为 VD-1~VD-4 和 NC 结构在四种工况下的层剪力对比曲线。

从图 4 可以得出,4 种减震方案在不同地震波的作用下,因为粘滞阻尼器为结构提供了附加阻尼比,结构的阻尼比增大了,所以与无控结构相比各层层剪力均有不同程度的降低.在结构中设置阻尼器对层剪力的控制与对层间位移角的控制规律相同,将粘滞阻尼器设置于钢管混凝土柱和核心筒之间的

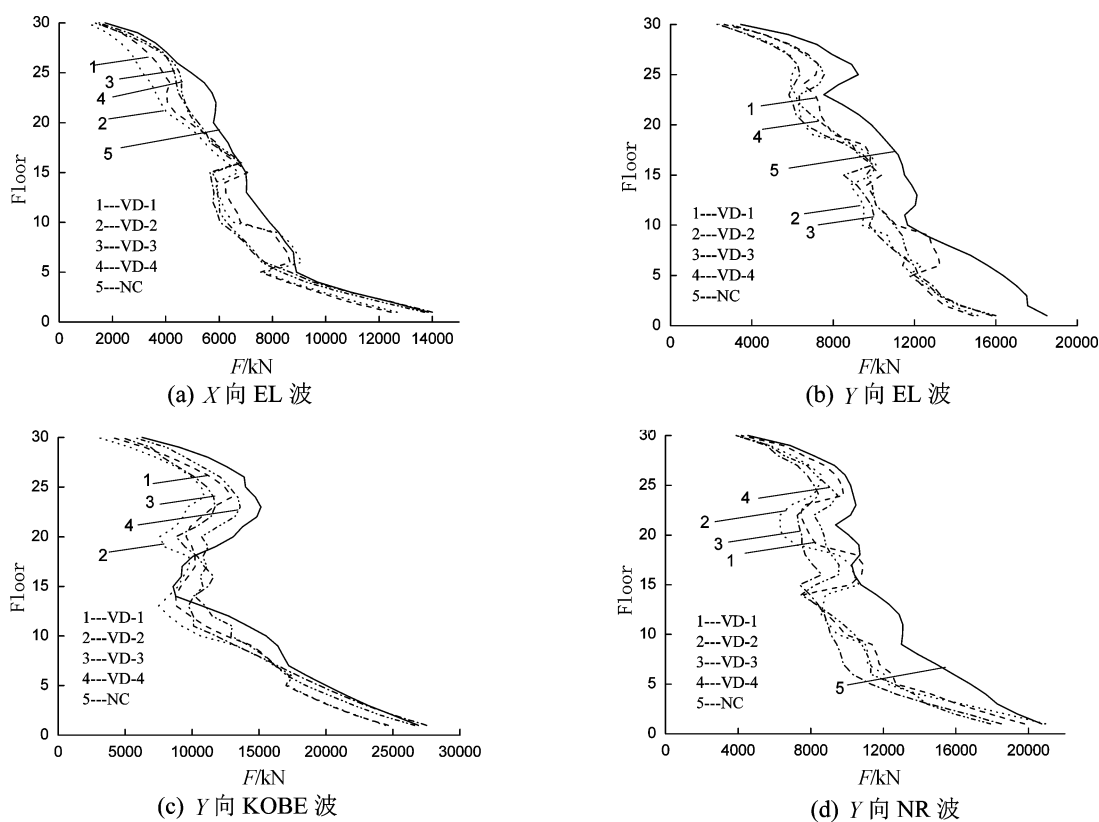


图4 各减震方案结构层剪力

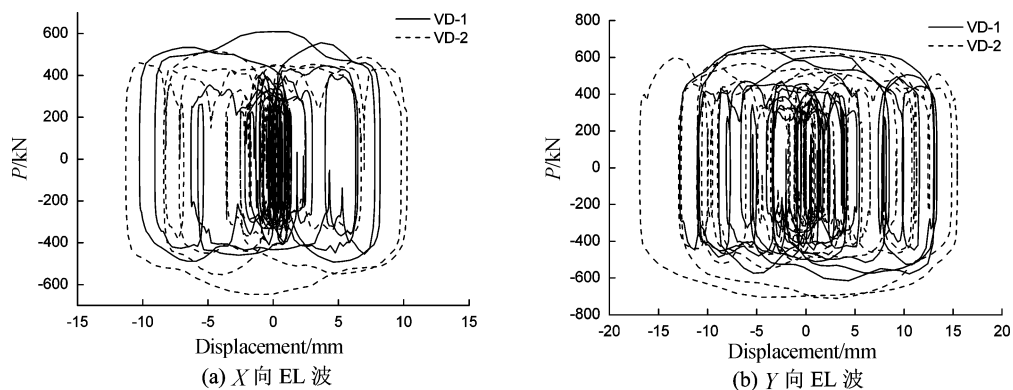
Fig. 4 Story shear force of scheme 1-4 with viscous dampers

减震方案层剪力控制效果优于将阻尼器设置于钢管混凝土柱之间的控制效果,沿高度均匀布置的减震方案层剪力控制效果优于将阻尼器布置于结构底部的控制效果,但各减震方案的层剪力整体控制效果没有层间位移角控制效果明显。

4 阻尼器工作性能

图5为设置于23层结构VD-1和VD-2的阻尼器滞回曲线;图6为设置于15层结构VD-3和VD-4的阻尼器滞回曲线。

从图5和图6中可以得出,在不同地震波作用下,结构VD-2和VD-3阻尼器的滞回曲线分别比结构VD-1和VD-4相同位置阻尼器的滞回曲线饱满,说明将阻尼器设置于钢管混凝土柱和核心筒之间,阻尼器能更好地发挥耗能作用,更多地耗散地震能量。



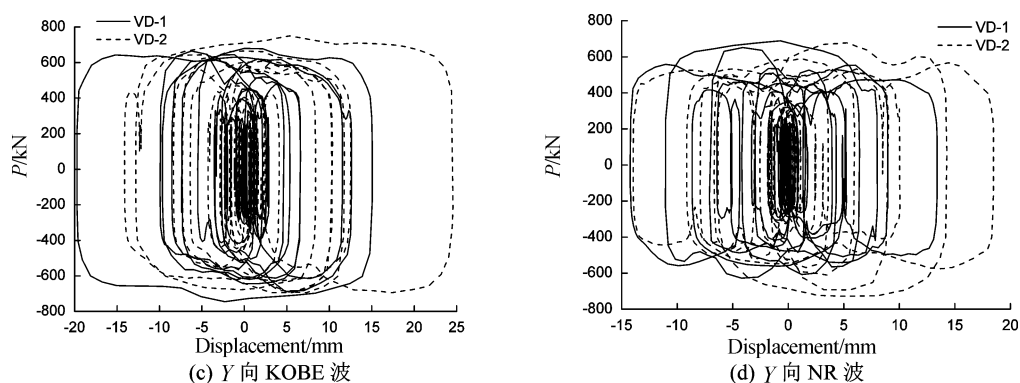


图5 VD-1和VD-2的阻尼器滞回曲线

Fig. 5 Hysteretic curves of the dampers of VD-1 and VD-2

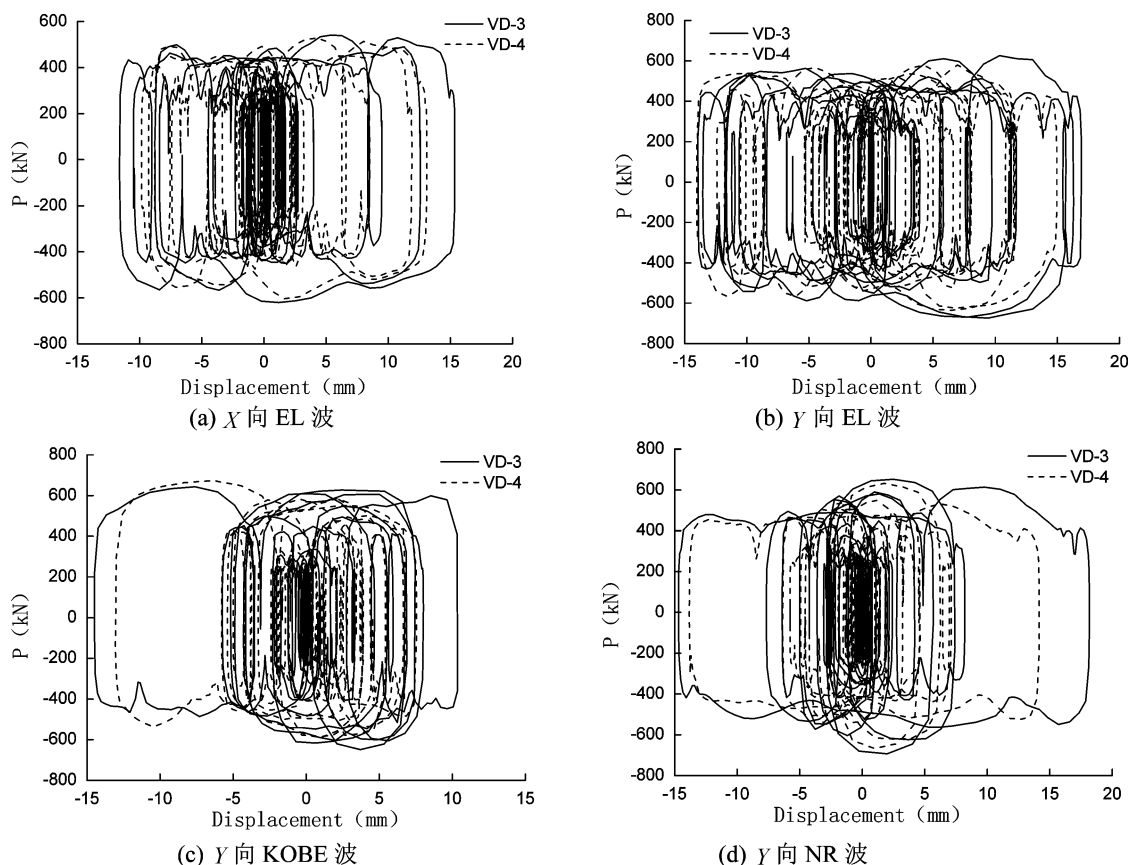


图6 VD-3和VD-4的阻尼器滞回曲线

Fig. 6 Hysteretic curves of the dampers of VD-3 and VD-4

5 结构耗能

图7为NC结构、VD-1~VD-4结构在不同地震波作用下的结构耗能图。图中 Inelastic 为结构构件的弹塑性变形耗能,Visco 为粘滞阻尼器耗散的能量, K 和 M 为按瑞利阻尼计算得到的结构自身阻尼耗能。

从图7可以得出,与无控结构相比,4种减震结构的构件弹塑性变形耗散的能量和结构自身阻尼耗散的能量均明显降低,粘滞阻尼器耗散的能量为总耗散能量的大部分。从粘滞阻尼器耗散的能量来看,结构VD-2最大,VD-3其次,结构VD-4阻尼器耗散的能量最小。构件弹塑性变形耗散的能量和结构自身阻尼耗散的能量则反之,结构VD-4最大,VD-1其次,结构VD-2耗散的能量最小,因此,从耗能的角度而言,减震方案2(即将阻尼器沿高度均匀的布置于框架柱和核心筒之间)的控制效果是最优的。

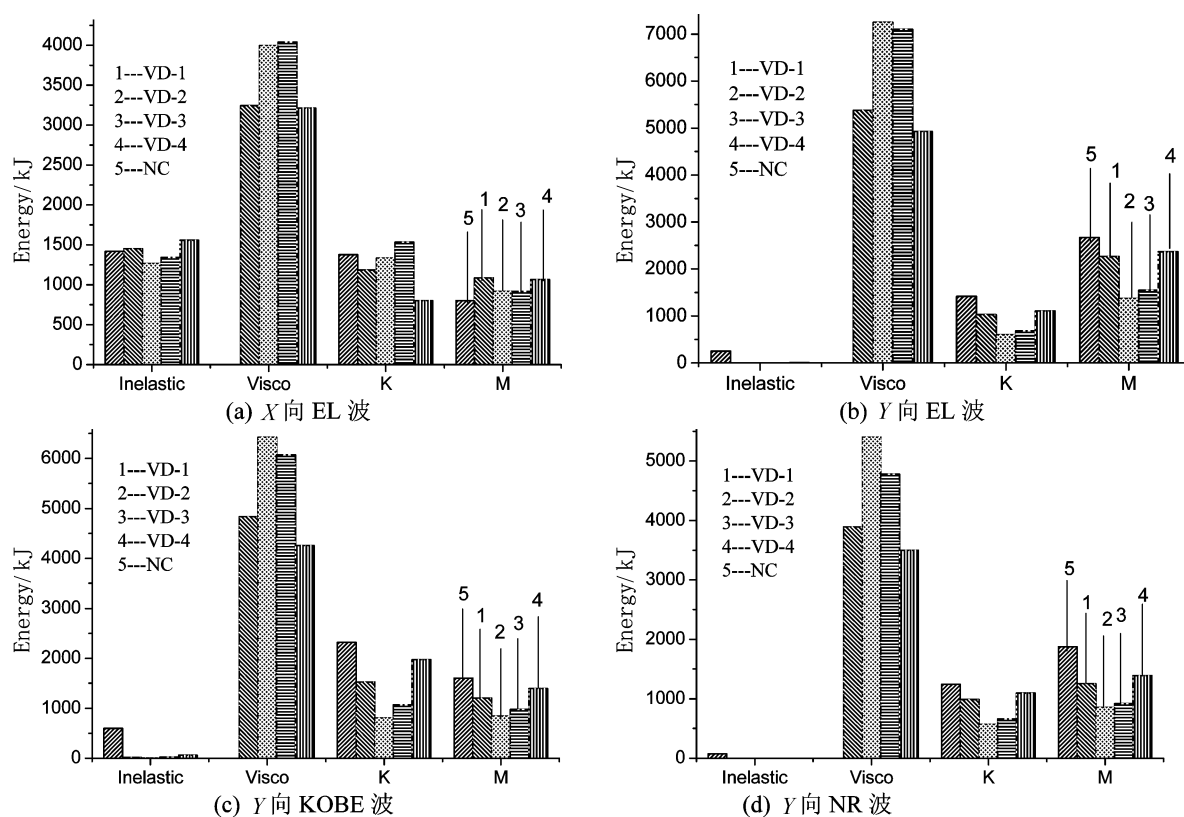


图7 各减震方案结构耗能图

Fig. 7 Energy dissipation graphs of structures with viscous dampers

6 结 论

通过对4种减震方案的30层钢管混凝土框架-核心筒结构进行弹塑性时程分析,从层间位移角、层剪力、阻尼器性能和结构耗能等方面对比分析的结果,可得出以下结论:

(1)通过在钢管混凝土框架-核心筒结构中设置粘滞阻尼器,降低了地震作用下结构的响应,改善了该混合结构的抗震性能。

(2)钢管混凝土框架-核心筒减震结构的控制效果与阻尼器的布置位置和与结构的连接方式相关,阻尼器与结构连接方式对减震效果的影响较布置位置对减震效果的影响明显。

(3)将阻尼器设置于钢管混凝土柱和核心筒之间,或将阻尼器沿高度均匀地布置,阻尼器能更好地发挥性能,耗散更多的地震能量。

(4)4种减震方案相比,将阻尼器沿高度均匀地布置于钢管混凝土柱与核心筒之间时,对结构层间位移角、结构层剪力和结构耗能等性能指标的控制效果最优。

参考文献 References

- [1] 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: 1249-1260.
- [2] 吴 迈, 余建星, 张忠秀. 钢-混凝土组合结构体系抗震可靠性分析[J]. 地震工程与工程振动, 2006, 26(3): 97-99. WU Mai, YU Jian-xing, ZHANG Zhong-xiu. Seismic reliability assessment of steel-concrete hybrid structure [J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2006, 26(3): 97-99.
- [3] 黄忠海, 廖 耘, 李志山, 等. 珠江新城 J2-5 地块框架-核心筒超高层结构的罕遇地震弹塑性时程分析[J]. 结构工程师, 2009, 25(2): 91-97. HUANG Zhong-hai, LIAO Yun, LI Zhi-shan, et al. Elasto-Plastic Time-History Analysis for a Frame-Tube Tall Building in Zhu Jiang Xin Cheng J2-5 Plot under Expected Rare Earthquakes [J]. Structural Engineers, 2009, 25(2): 91-97.
- [4] SOONG T T, DARGUSH G F. Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering [J]. State University of New York at Buffalo, USA, 1997.
- [5] CONSTANTINOU M C, DARGUSH G F, LEE G C, et al. Analysis and Design of Buildings with Added Energy

- Dissipation Systems[R]. MCEER, 2002.
- [6] 钟善桐. 钢管混凝土统一理论-研究与应用[M]. 清华大学出版社, 2006.
ZHONG Shan-tong. CFST unified theory [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [7] 大住和正, 西村胜尚, 福本义之, 等. 使用连接减震结构的超高层钢筋混凝土建筑的反应分析[C]//第八届中国建筑结构技术交流会. 北京, 2008, 10:601-610.
KAZUMASA Oosum, NIMIMURA Katsuhisa, FUKUMOTO Yomiyuki, et al. Analysis of the reaction using the high-rise reinforced concrete buildings connected damping structure[J]//Exchanges thesis in the building structure and technological of the Eighth Chinese-Japanese. 2008, 10:601-610.
- [8] 吕西林, 孟春光, 田野. 消能减震高层方钢管混凝土框架结构振动台试验研究和弹塑性时程分析[J]. 地震工程与工程振动, 2006, 26(4):231-238.
LÜ Xi-lin, MENG Chun-guang, TIAN Ye. Shaking table test and elastic-plastic time history analysis of a high-rise CFRT frame structure with dampers [J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2006, 26(4):231-238.
- [9] REN Feng-ming, ZHOU Yun, DENG Xue-song. Seismic Performance of a Complex High-rise Mixed Structure with Dampers; Experiments. [J] Advanced Science Letters, 2011, 4:2637-2642.
- [10] MANDER J B, PRIESTLEY M J N, PARK R. Observed stress-strain behavior of confined concrete [J]. Journal of structural engineering, ASCE, 1988, 114(8):1827-1849.
- [11] 韩林海, 陶忠, 王文达. 现代组合结构和混合结构-试验、理论和方法.[M] 北京: 科学出版社, 2009.
HAN Lin-hai, TAO Zhong, WANG Wen-da. Advanced Composite and Mixed Structures-Testing, Theory and Design Approach. [M] Beijing: Science Press, 2009.
- [12] 赵宝成, 顾强, 宋伟, 等. 钢管混凝土柱交错桁架结构杆件内力试验分析[J] 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2010, 42(3):371-376.
ZHAO Bao-cheng, GU Qiang, SONG Wei, et al. Experimental analysis on member's internal force of concrete-filled tubular steel column-staggered truss structure [J] J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.; Natural Science Edition, 2010, 42(3):371-376.

Study on damping effect of CFST frame-core wall structure with viscous dampers

REN Feng-ming^{1, 2}, ZHOU Yun², LIU Jia-ping³

- (1. School of Civil and Transportation Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;
2. School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China;
3. School of Arch., Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: In this paper, a 30-storey concrete filled steel tube (CFST) frame-core wall mixed structure is studied, which was set with the same number viscous dampers in different locations of structure and different connection types, then four damping schemes were created. Elastic-plastic time-history analyses are performed on structure with different damping schemes under three seismic waves, whilst the calculation results are studied and analyzed comparatively. The results show that under the strong earthquake action, this structure exerts certain control effect on the aspects of inter-story displacement angle, story shear force and energy dissipation of structure by setting the viscous dampers in CFST frame-core wall structure. The damping effect is influenced by the connection types and the setting locations of dampers, and the damping effect is most obvious when the viscous dampers were set evenly between the column and the core wall along the height of structure. In conclusion, the seismic performance of the structure has been improved. If the setting locations and the connection types of the damper could be optimized, the maximum of the damping effect would be achieved in the design of practical engineering.

Key words: CFST frame-core wall structure; viscous dampers; damping effect; seismic performance