

DOI: 10.19701/j.jzjg.23S1218

# 上海某高校学生公寓消能减震设计与分析

姜德沙

(上海华融工程设计(集团)有限公司, 上海 200135)

**摘要:** 上海某高校新建学生公寓为高层装配式剪力墙结构。根据《建设工程抗震管理条例》规定, 本项目按重点设防类的要求采取抗震设防措施。为降低地震作用的影响, 通过采用消能减震技术, 在合理位置布置黏滞阻尼墙, 来消耗输入结构的地震能量, 减少结构的地震反应。采用有限元软件 SAUSAGE 计算分析, 多遇地震反应谱下结构总体指标满足规范要求, 也满足减震目标; 在中、大震工况下, 阻尼器稳定耗能, 结构整体指标如位移角、构件损坏程度等指标均满足规范要求。通过上海某高校新建学生公寓设计计算, 分析黏滞阻尼墙在剪力墙结构中的应用, 为类似项目提供参考。

**关键词:** 阻尼器; 消能减震; 黏滞阻尼墙; 高层建筑; 计算方法

**中图分类号:** TU352.1<sup>+</sup>1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-848X(2023)S1-1012-07

## Design and analysis of energy dissipation and vibration reduction for a college student apartment in Shanghai

JIANG Desha

(Shanghai Huarong Engineering Design (Group) Co., Ltd., Shanghai 200135, China)

**Abstract:** The new student apartment in a university in Shanghai is a high-rise prefabricated shear wall structure. According to the *Regulations on Seismic Management of Construction Projects*, this project shall take seismic fortification measures according to the requirements of key fortification categories. In order to reduce the impact of seismic action, energy dissipation and shock absorption technology is adopted to arrange the viscous damping wall in a reasonable position to consume the seismic energy input to the structure and reduce the seismic response of the structure. Based on SAUSAGE software, the overall index of the structure meets the specification requirements and the damping target under the response spectrum of frequent earthquakes. Under the conditions of medium and large earthquakes, the damper consumes energy steadily, and the overall indexes of the structure, such as displacement angle and component damage degree, all meet the specifications. This paper analyzes the application of viscous damping wall in shear wall structure through the design calculation of a new student apartment in a university in Shanghai, and provides reference for similar projects.

**Keywords:** damper; energy dissipation and shock absorption; viscous damping wall; high-rise building; calculation method

## 1 工程概况

上海市某高校学生公寓(图 1)位于上海市奉贤区。由两栋高层建筑和联体地库组成, 结构地上 12 层, 地下 1 层。两栋高层建筑完全镜像, 地下室顶板作为嵌固端的计算假定。各层层高: 地下一层为 3.50m, 首层为 4.50m, 二层~十一层为 3.60m, 十二层为 4.40m; 主体采用装配式混凝土剪力墙结构。现仅以其中一栋学生公寓进行计算分析。标准层平面图详见图 2。

## 2 结构体系及计算参数

本工程抗震设防烈度为 7 度、设计基本地震



图 1 上海某高校学生公寓效果图  
加速度值 0.10g、设计地震分组第二组, 场地类别

**作者简介:** 姜德沙, 学士, 工程师, 主要从事结构设计工作, Email: 819029159@qq.com。

为IV类、设计特征周期 0.9s。根据国务院第 744 号文《建设工程抗震管理条例》<sup>[1]</sup>第十六条规定：“……学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心、应急避难场所、广播电视等建筑，应当按照不低于重点设防类的要求采取抗震设防措施。位于高烈度设防地区、地震重点监视防御区的新建学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心、应急避难场所、广播电视等建筑应当按照国家有关规定采用隔震减震等技术，保证发生本区域设防地震时能够满足正常使用要求。”本项目设计时确定的建筑抗震设防类别为重点设防（乙）类，混凝土剪力墙抗震等级二级；采取减震技术。具体做法是在结构中增设黏滞阻尼器，利用其在地震下的耗能作用，增加结构附加阻尼比，消耗输入结构的地震能量，减少结构的地震反应，达到预期的减震目标，实现设防地震下正常使用要求。标准

层阻尼器平面布置图见图 3，结构三维模型图见图 4。

### 3 减震结构性能目标及阻尼器参数

#### 3.1 减震结构总体性能目标

依据《建筑消能减震及隔震技术标准》(DG/TJ08-2326-2020)<sup>[2]</sup>（上海市规范），本工程在多遇地震、设防地震及罕遇地震作用下的减震目标，以及与阻尼器相连的构件和节点的性能目标及其设计方法如表 1 所示。

#### 3.2 阻尼器参数

本项目阻尼器采用黏滞阻尼器。黏滞阻尼器为速度型阻尼器，不提供抗侧刚度，在动力作用下，黏滞阻尼器利用自身的滞回特性来耗散震动能，为结构提供附加阻尼，降低结构响应<sup>[3]</sup>。因此，合理的设置黏滞阻尼器参数，可以滞回耗能，为结构提供足够附加阻尼比。本项目设置参数如表 2 所示。

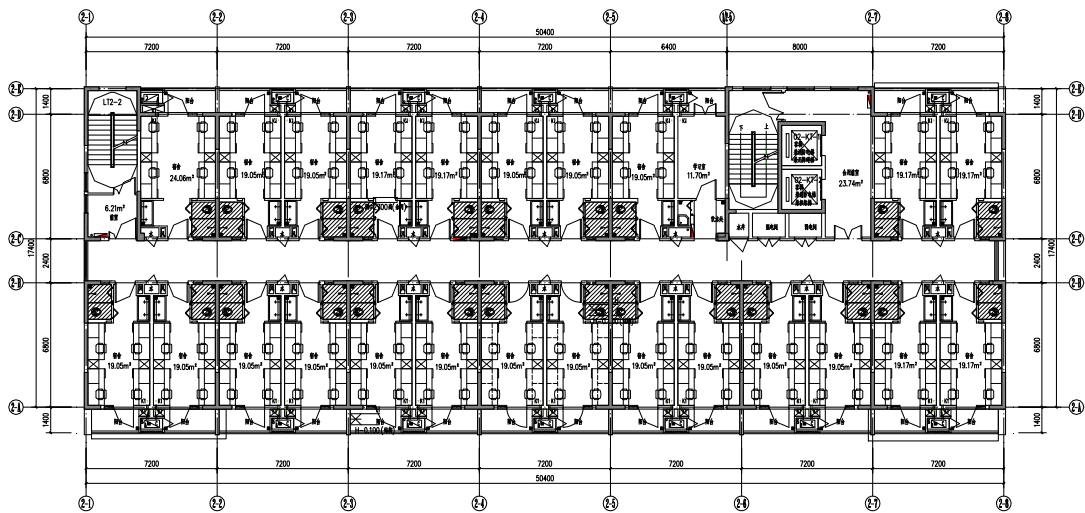


图 2 上海某高校学生公寓标准层平面图

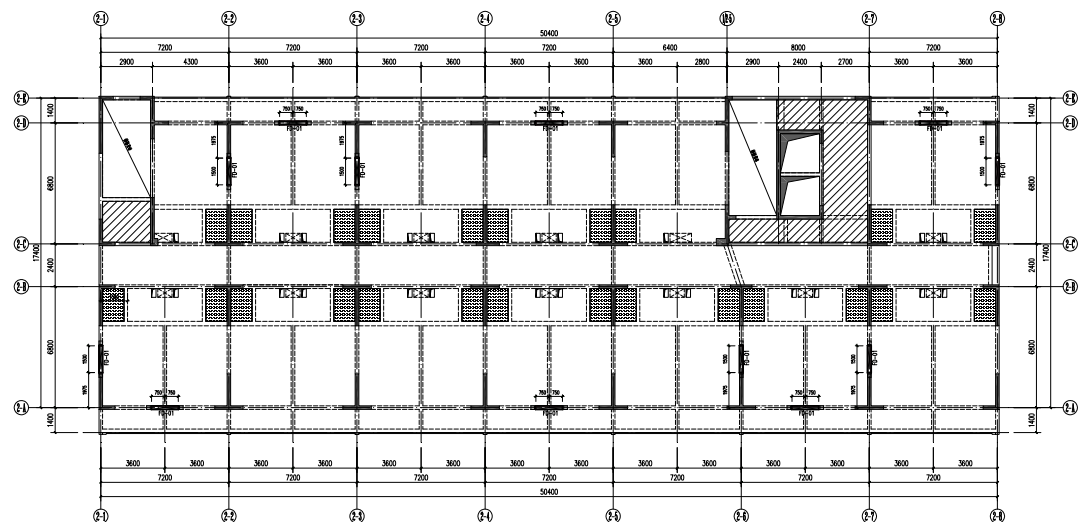


图 3 上海某高校学生公寓标准层阻尼器布置图

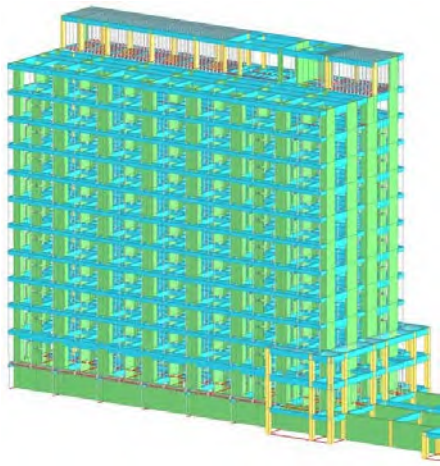


图 4 上海某高校学生公寓结构三维模型图

表 1 减震结构总体性能目标

结构类别	项目		规范要求	减震目标
钢筋混凝土抗震墙	层间位移角	多遇地震	1/1000	1/1000
		设防地震	1/400	1/400
		罕遇地震	1/150	1/150

关键构件（消能子结构）性能目标

名称	项目	性能目标	设计方法
消能部件	阻尼器	小震屈服耗能	小震为结构既提供刚度,又屈服耗能;中、大震稳定耗能
	连接节点	大震弹性	在消能器极限抗力作用下进行截面验算,材料强度采用 <b>设计值</b>
	周围结构	中震不屈服,大震极限承载力设计且不重于中等损伤	以中震下构件的不屈服内力进行配筋,材料强度采用 <b>标准值</b> ;与之相邻的框架梁柱根据“ <b>强柱弱梁</b> ”原则进行设计。经过大震时程分析,进行大震极限承载力设计,材料强度采用极限值,保证大震下子结构不重于中等损坏

表 2 阻尼器设置参数

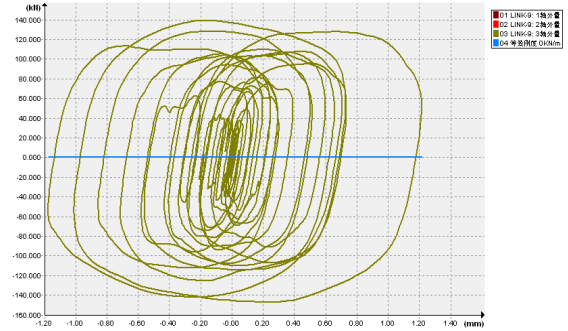
阻尼器编号	布置形式	设计阻尼力 F(kN)	阻尼指数 $\alpha$	阻尼系数 C (kN/(m/s) $\alpha$ )	设计位移 (mm)	数量 (套)
VFW-1	墙式	1000	0.4	1500	±100	40
VFW-2	墙式	750	0.4	1200	±100	60

#### 4 小震计算结果分析

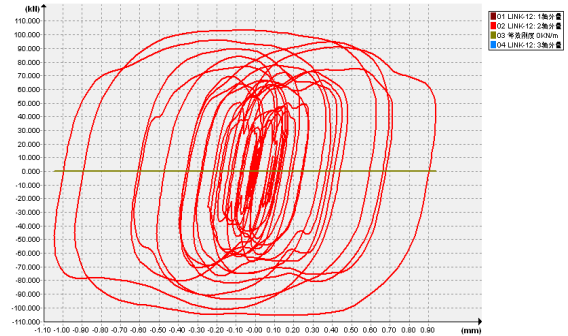
根据《建筑消能减震及隔震技术标准》(DG/TJ08-2326-2020)<sup>[2]</sup>4.3.3 条规定,消能减震结构的总阻尼比应为主体结构固有阻尼比和消能器工作消能效果附加给主体结构的有效阻尼比的总和,消能器附加给主体结构的有效阻尼比应根据主体结构处于弹性或弹塑性工作状态及不同水准地震动激励状态分别确定。多遇地震下结构抗震

验算宜取设防地震下的附加有效阻尼比计算值。

通过弹性时程分析法计算完成后,某人工波黏滞阻尼墙的双向滞回曲线如图5所示,结构 X、Y 向地震阻尼比如表3所示。



(a) X 向



(b) Y 向

图 5 小震下黏滞阻尼墙变形-内力滞回曲线

表 3 结构 X、Y 向地震阻尼比

X 地震阻尼比		Y 地震阻尼比	
阵型号	阻尼比	阵型号	阻尼比
1	0.112	1	0.124
2	0.112	2	0.124
3	0.112	3	0.124
4	0.112	4	0.124
5	0.112	5	0.124
6	0.112	6	0.124
7	0.112	7	0.124
8	0.112	8	0.124
9	0.112	9	0.124
10	0.112	10	0.124
11	0.112	11	0.124
12	0.112	12	0.124
13	0.112	13	0.124
14	0.112	14	0.124
16	0.112	16	0.124
17	0.112	17	0.124
18	0.112	18	0.124

可以看出滞回曲线相对饱满,小震下阻尼器屈服耗能,进入了塑性耗能阶段。黏滞阻尼墙在

小震下提供附加阻尼比。

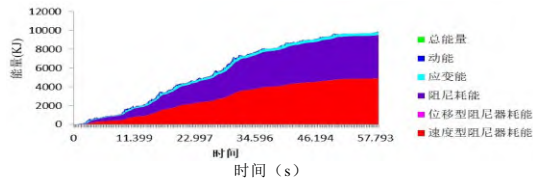
### 5 中震弹塑性计算结果分析

在设防地震作用下，通过五条天然地震波和两条人工波在 SAUSG-Zeta 中进行时程分析<sup>[4-6]</sup>。

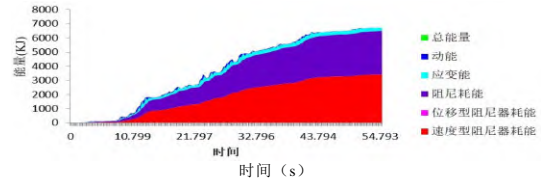
分别为 SHW11、SHW12、TH001TG090、TH009TG090、TH4TG090、SHW9、RH2TG090。

### 5.1 地震波能量曲线

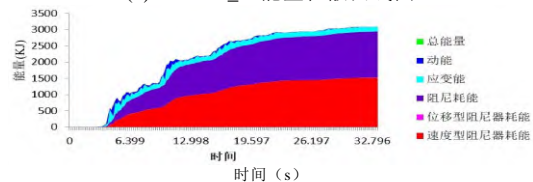
各条地震波能量耗散曲线如图 6 所示。



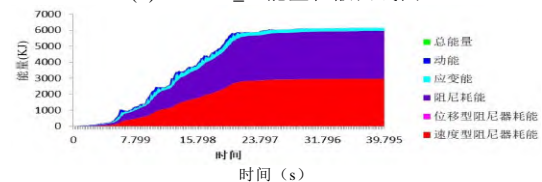
(a) SHW11\_X 能量耗散曲线图



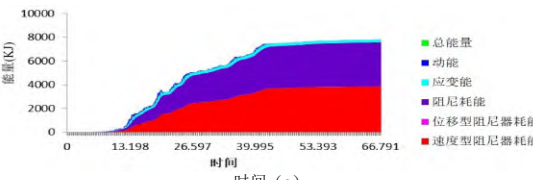
(b) SHW12\_X 能量耗散曲线图



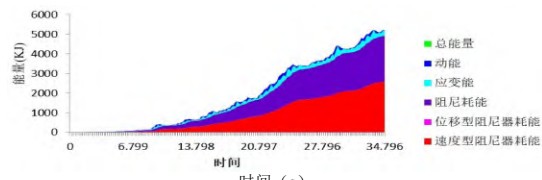
(c) TH001TG090\_X 能量耗散曲线图



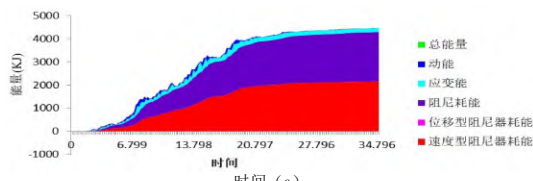
(d) TH009TG090\_X 能量耗散曲线图



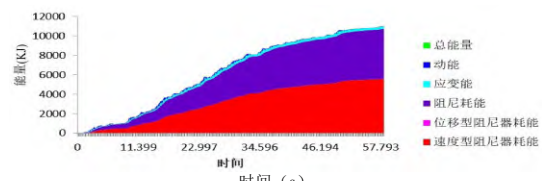
(e) TH4TG090\_X 能量耗散曲线图



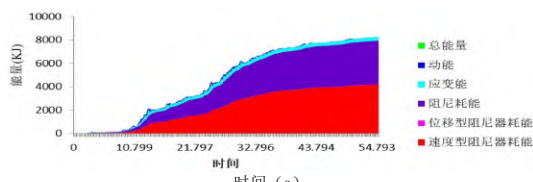
(f) SHW9\_X 能量耗散曲线图



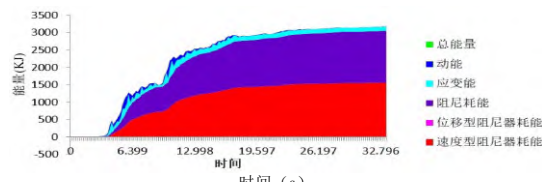
(g) RH2TG090\_X 能量耗散曲线图



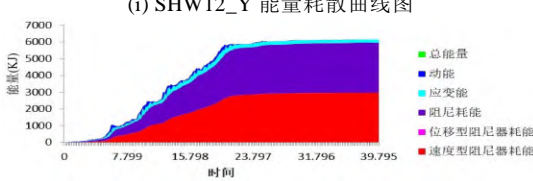
(h) SHW11\_Y 能量耗散曲线图



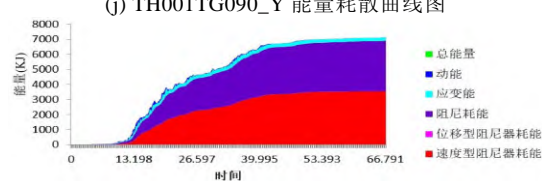
(i) SHW12\_Y 能量耗散曲线图



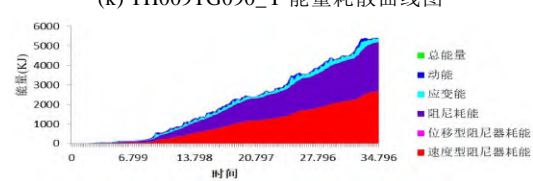
(j) TH001TG090\_Y 能量耗散曲线图



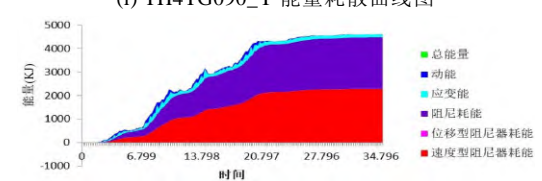
(k) TH009TG090\_Y 能量耗散曲线图



(l) TH4TG090\_Y 能量耗散曲线图



(m) SHW9\_Y 能量耗散曲线图



(n) RH2TG090\_Y 能量耗散曲线图

图 6 地震波能量耗散曲线图

根据总能量、动能、应变能、消能构件内能曲线图可以看出,阻尼器发挥了重要的作用,地震作用明显减少,保护了主体结构少受损伤,达到预期目的。

## 5.2 层间位移角曲线

在阻尼器的作用下,层间位移角曲线见图7所示。可以看出,X向和Y向的层间位移角均小于1/400,设防地震下七条波的弹塑性位移角的平均值满足规范及减震目标。

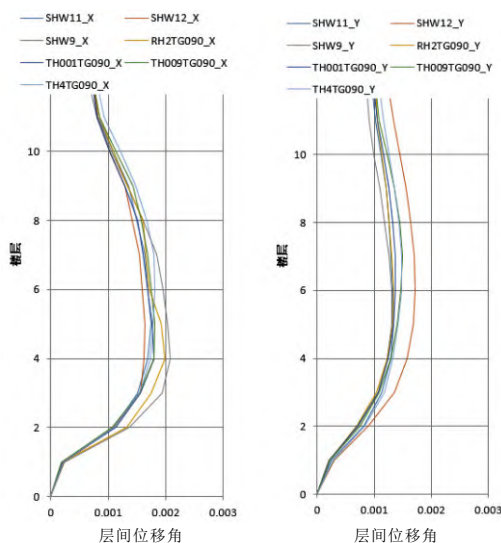


图7 X向和Y向地震波弹塑性位移角

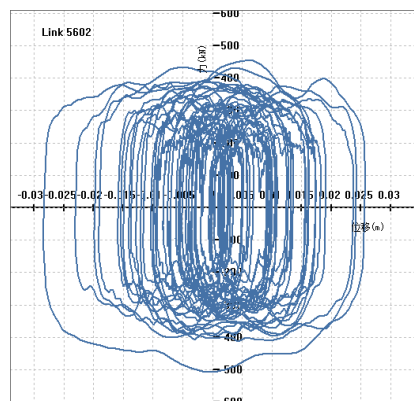
## 5.3 滞回曲线

在RH2TG090的地震波作用下,X向和Y向各取一个黏滞阻尼墙查看滞回曲线。黏滞阻尼墙的双向滞回曲线如图8所示。

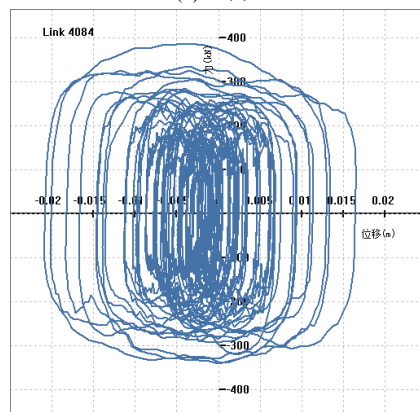
可以看出,滞回曲线相对饱满,阻尼器起到相应的耗能作用。

## 6 大震弹塑性计算结果分析

《建筑消能减震及隔震技术标准》(DG/TJ 08-2326-2020)<sup>[2]</sup>(上海市规范)第3.4.5条规定:“消能减震结构构件截面抗震验算宜划分为消能子结构和非消能子结构分别进行,应按现行上海市工程建设规范《建筑抗震设计规程》(DGJ 08-9-2013)<sup>[5]</sup>执行;消能子结构的主体结构构件应算作重要构件,按设防地震下不屈服进行设计,并进行罕遇地震作用下的性能状态验算,其罕遇地震下损伤不重于中等损坏,且性能要求应比其他相邻构件高一个等级;消能子结构连接部件罕遇地震下应保持弹性。”在罕遇地震作用下,通过两条天然地震波、一条人工波SHW11、SHW12、SHW9在SAUSG-Zeta中进行时程分析。



(a) X向



(b) Y向

图8 中震下黏滞阻尼墙变形-内力滞回曲线

## 6.1 地震波能量耗散曲线

各条地震波能量耗散曲线如图9所示。

根据总能量、动能、应变能、消能构件内能曲线图可以看出,阻尼器发挥了重要的作用,保护了主体结构少受损伤,达到预期目的。

## 6.2 阻尼器层间位移角

在阻尼器的作用下,各个楼层的层间位移角详下表;层间位移角曲线见图10所示。

从图10可以看出,X向和Y向的层间位移角包络值均小于1/150,罕遇地震下三条波的弹塑性位移角的包络值满足规范及减震目标。

## 6.3 结构损伤

地震作用下结构的损伤是一个逐渐发展的过程,首先出现损伤的构件将起到消耗地震能量的作用。损伤顺序是否合理是结构方案设计是否合理的一个重要评断依据。

各条波下结构损伤顺序有些差别,但总体上规律基本一致。SHW11\_X地震波下框架梁与框架柱的损伤结果如图11所示。

从剪力墙和框架梁性能指标中可以看到,框架梁总体损伤较轻,框架柱均不超过中度损伤,满足大震不倒的性能要求。

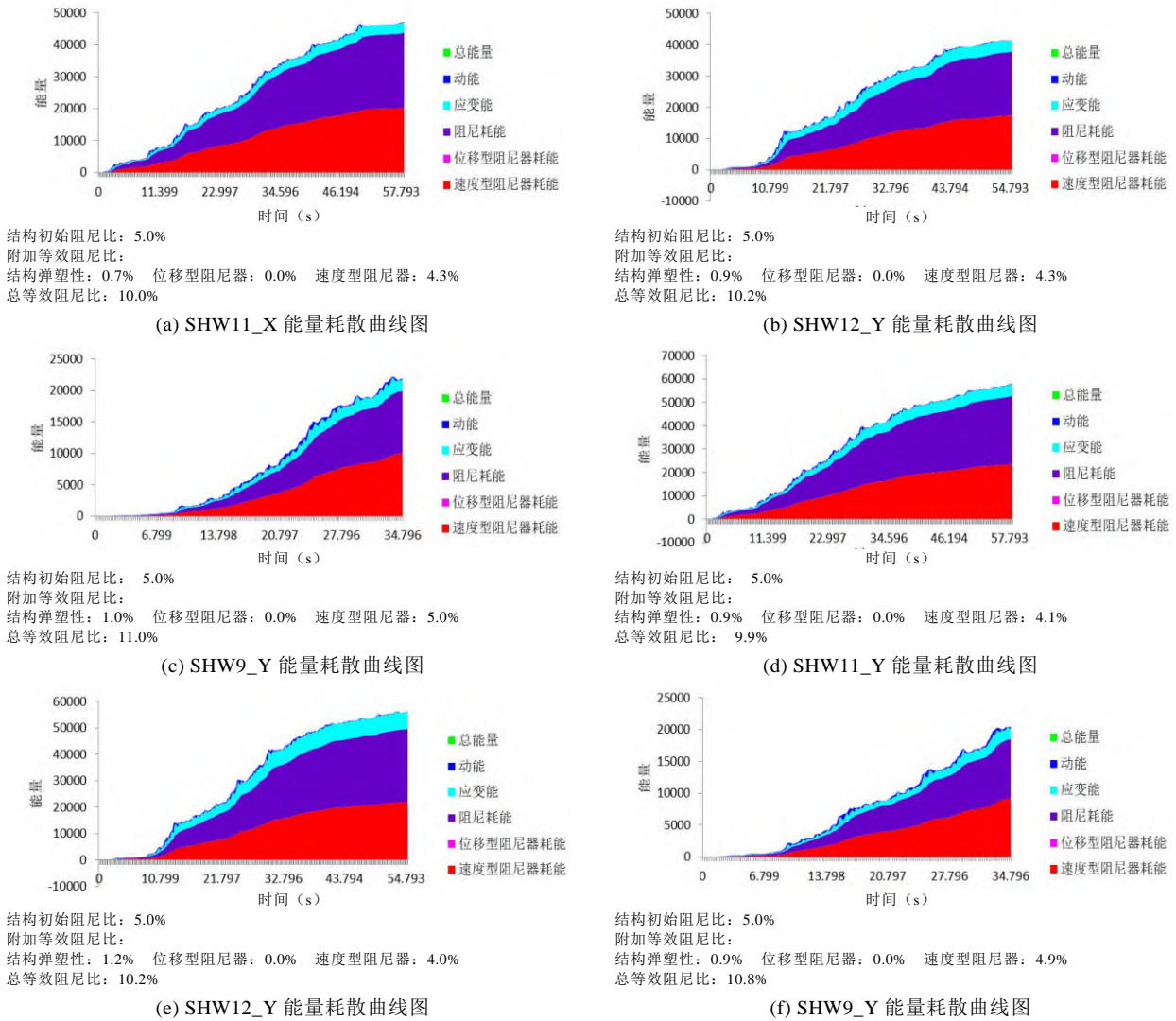


图 9 能量耗散曲线图

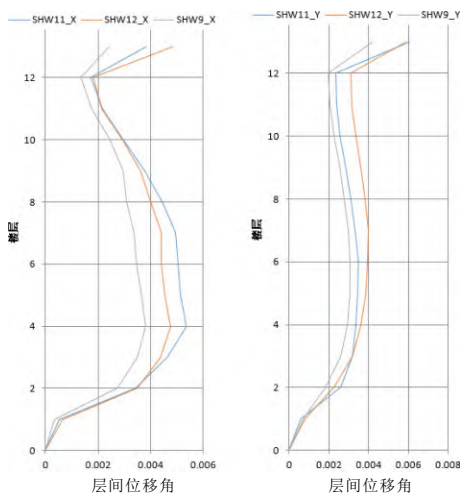


图 10 X 向和 Y 向地震波弹塑性位移角

### 6.4 滞回曲线

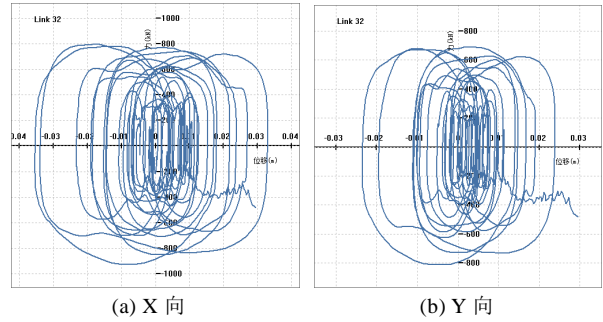
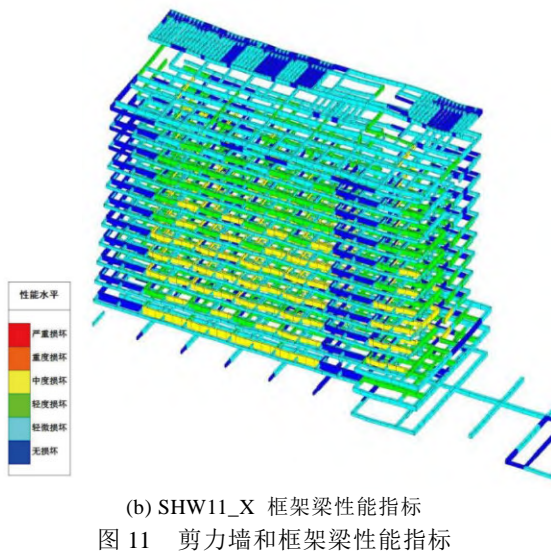
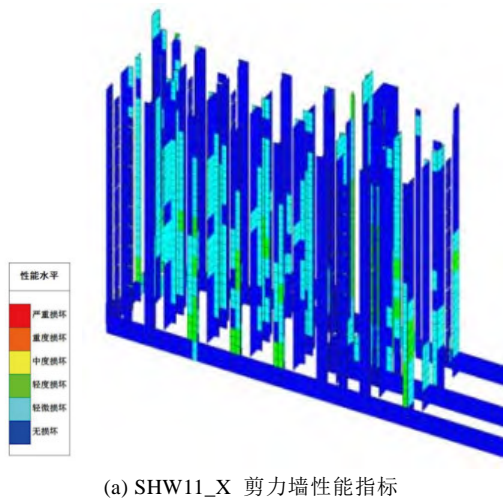
在 SHW12 的地震波作用下, X 向和 Y 向各取一个黏滞阻尼墙查看滞回曲线。黏滞阻尼墙的双向滞回曲线如图 12 所示。可以看出,滞回曲线

相对饱满, 阻尼器起到相应的耗能作用。

## 7 结论

上海地区属于地震重点监视防御区。《建设工程抗震管理条例》正式实施以后, 上海地区新建学校需采用减震隔震等技术。国外对隔震工程的许多考察发现: 硬土地较适合于隔震房屋; 软弱场地滤掉了地震波的中高频分量, 延长结构的周期将增大而不是减少其地震反应。上海地区是 IV 类软弱场地, 新建学校应采用减震技术而不宜采用隔震技术。

高层学生公寓建筑, 一般采用剪力墙结构, 其本身结构的刚度较大。因此在合适位置布置黏滞阻尼墙, 对主体结构位移角、层剪力均有较大的作用, 可以有效的提高结构的抗震性能。大震下, 黏滞阻尼墙作为主要的耗能构件, 可以消耗输入结构的地震能量, 有效减少主体结构损伤。



本文以实际工程为例, 展现黏滞阻尼墙在实际工程中的设计思路和应用, 为类似工程设计提供参考。

### 参 考 文 献

- [1] 建设工程抗震管理条例(国务院令第 744 号). 中华人民共和国中央人民政府网, 2021 年 8 月 4 日.
- [2] 建筑消能减震及隔震技术标准: DG/TJ-08-2326-2020 [S]. 上海: 同济大学出版社, 2020.  
丁洁民, 吴宏磊. 黏滞阻尼技术工程设计与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [3] 建筑抗震设计规范: GB50011-2010[S]. 2016 年版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [4] 建筑抗震设计规程: DGJ08-9-2013[S]. 上海: 上海市建筑建材业市场管理总站, 2013.
- [5] 高层建筑混凝土结构技术规程: JGJ3-2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.