

耗能减震技术在抗震加固工程中的简化设计*

张军涛¹, 官海¹, 程美涛²

(1. 上海蓝科建筑减震科技股份有限公司, 上海 200433; 2. 上海建工五建集团有限公司, 上海 200062)

摘要: 介绍了阻尼器型屈曲约束支撑和阻尼器型屈曲约束钢板墙这两种耗能减震技术的简化设计方法, 并通过这种简化设计方法使阻尼器型屈曲约束支撑这种耗能减震技术在抗震加固工程中的得到了应用, 从案例分析结果看, 这种耗能减震技术简化设计方法为结构抗震设计提供了可靠、便利的设计依据, 是一种合理有效的抗震途径或结构振动控制技术手段, 可应用于抗震加固工程的设计理论和分析。

关键词: 阻尼器; 屈曲约束支撑; 屈曲约束钢板墙; 耗能减震; 抗震加固

中图分类号: TV352

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2015)01-0297-04

0 前言

耗能减震技术属于一种结构被动控制措施, 采取结构振动控制技术, 对结构施加控制机构或系统, 与结构自身共同发挥作用, 以减轻主体结构的地震反应, 是一种合理有效的抗震途径(高杰等, 2010)。耗能减震结构中所用的耗能装置一般称作阻尼器, 目前研究开发的阻尼器种类很多, 笔者主要对阻尼器型屈曲约束支撑和阻尼器型屈曲约束钢板墙在抗震加固工程中的简化设计方法进行了介绍, 并针对及其工程应用做了相关总结与探讨(GB50011—2010)。

1 基本原理

阻尼器型屈曲约束支撑和阻尼器型屈曲约束钢板墙均属于位移型阻尼器, 基本原理是其芯材的屈服耗能为主体结构提供附加阻尼。由于它们的耗能模式不同, 所以其耗能减震原理与耗能减震性能也不同, 阻尼器型屈曲约束支撑是一种拉压屈服型位移阻尼器, 而阻尼器型屈曲约束钢板墙则是一种剪切屈服型位移阻尼器(高杰等, 2011)。

阻尼器型屈曲约束支撑通过在低屈服点钢核心外部套管, 可以完全避免受压屈曲, 是一种效率很高的结构构件; 同时屈曲约束支撑在达到其

屈服强度极限状态时受压和受拉均可进入屈服状态, 且滞回曲线饱满, 又是一种性能优越的耗能减震器(李国强等, 2009), 其基本组成如图1所示。

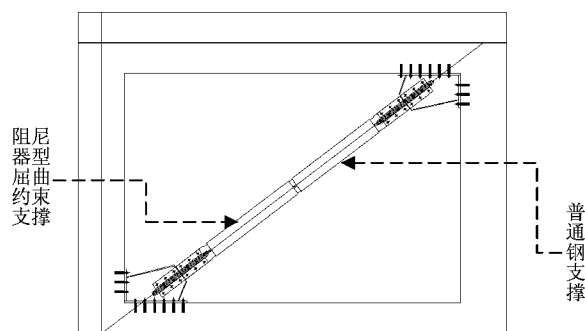


图1 阻尼器型屈曲约束支撑的基本组成

Fig. 1 Basic composition of the damping buckling-restrained brace

阻尼器型屈曲约束钢板墙是指不会发生面外屈曲的一种钢板剪力墙, 由承受水平荷载的钢芯板和防止芯板发生面外屈曲的部件组合而成(孙飞飞等, 2011), 是针对普通钢板剪力墙易发生面外屈曲而改进的新型抗剪、减震耗能构件(孙飞飞等, 2009), 其基本组成如图2所示。

2 简化设计方法

2.1 消能减震设计步骤

结构消能减震设计中, 应保证结构采用阻尼

器后达到规范规定的性能目标,包括结构位移、基底反力、构件配筋(陈清祥等,2005)。消能减震设计步骤流程(翁大根等,2010),如下:

(1) 增加结构阻尼比对原有结构进行验算,使其强度、位移均满足规范与设计要求,则该阻尼比为结构需要的有效阻尼比 ξ_{eff} 。

(2) 将结构有效阻尼比 ξ_{eff} 减去原结构固有阻尼比 ξ , 得到阻尼器应该提供给原结构的附加阻尼比 ξ_a 。

(3) 选择适当屈服承载力与屈服位移的阻尼器,并将阻尼器布置在原结构中。

(4) 按照有效阻尼比 ξ_{eff} 计算附加阻尼器的结构位移反应,根据该反应与阻尼器参数,确定附加阻尼比 ξ_a ,经迭代计算,若第 n 次计算所得 ξ_a^n 与第 $n-1$ 次计算所得 ξ_a^{n-1} 相等,则采用阻尼器的结构附加有效阻尼比为 $\xi_a = \xi_a^n$,并进行下一步设计,否则返回上一步。

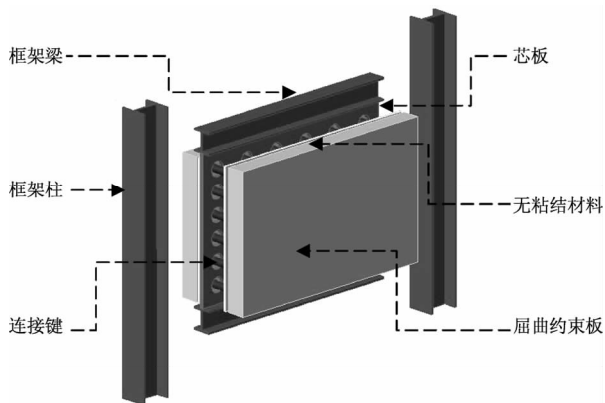


图2 屈曲约束钢板墙的基本组成
Fig. 2 Basic composition of the damping buckling-restrained steel plate wall

2.2 阻尼器型屈曲约束支撑的结构附加有效阻尼比 ξ_a'

阻尼器型屈曲约束支撑提供给结构的附加总阻尼比为

$$\xi_a' = 2 \sum f_y A_i (\Delta_i' \cos \alpha_i - \Delta_{yi}') / \pi F_i' u_i'. \quad (1)$$

式中, ξ_a' 为阻尼器型屈曲约束支撑提供给结构的附加总阻尼比; f_y 为阻尼器型屈曲约束支撑的初始屈服承载力; A_i 为阻尼器型屈曲约束支撑核心钢材面积; Δ_i' 为结构第 i 层的层间位移; α_i 为阻尼器型屈曲约束支撑与结构楼层水平面之间的夹角,

如图3所示; Δ_{yi}' 为阻尼器型屈曲约束支撑在结构第 i 层的屈服位移; F_i' 为阻尼器型屈曲约束支撑所在的楼层的水平地震作用标准值; u_i' 为阻尼器型屈曲约束支撑所在的楼层第 i 层对应于水平地震作用标准值的位移。

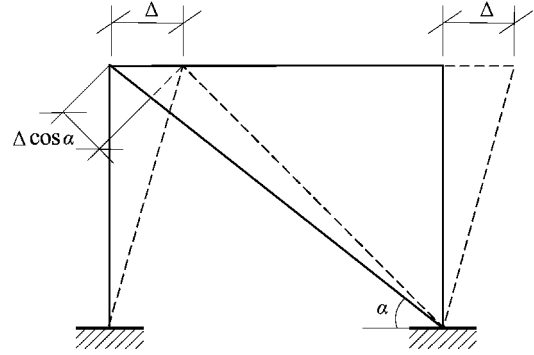


图3 阻尼器型屈曲约束支撑变形与楼层位移的关系
Fig. 3 The relationship between deformation of the damping buckling-restrained brace and floor displacement

2.3 阻尼器型屈曲约束钢板墙的结构附加有效阻尼比 ξ_a''

阻尼器型屈曲约束钢板墙提供给结构的附加总阻尼比为

$$\xi_a'' = 2 \sum Q_y (\Delta_i'' - \Delta_{yi}'') / \pi F_i'' u_i''. \quad (2)$$

式中, ξ_a'' 为阻尼器型屈曲约束钢板墙提供给结构的附加总阻尼比; Q_y 为阻尼器型屈曲约束钢板墙的初始屈服承载力; Δ_i'' 为结构第 i 层的层间位移; Δ_{yi}'' 为阻尼器型屈曲约束钢板墙在结构第 i 层的屈服位移; F_i'' 为阻尼器型屈曲约束钢板墙所在的楼层的水平地震作用标准值; u_i'' 为阻尼器型屈曲约束钢板墙所在的楼层第 i 层对应于水平地震作用标准值的位移。

2.4 结构有效阻尼比 ξ_{eff}

结构有效阻尼比为

$$\xi_{\text{eff}} = \xi_a + \xi = W_c / 4\pi W_s + \xi. \quad (3)$$

式中, ξ_{eff} 为结构有效阻尼比; ξ 为结构固有的阻尼比; W_c 为所有阻尼器所在预期位移下往复一周所消耗的能量总和; W_s 为阻尼器所在结构在预期位移下的总应变能(GB50011—2010)。

2.5 迭代计算

将阻尼器提供给结构的附加有效阻尼比 ξ_a' 或 ξ_a'' 代入公式 (3) 进行迭代计算, 直到第 n 次的阻尼器提供给结构的附加总阻尼比 ξ_a^n 与第 $(n-1)$ 次的阻尼器提供给结构的附加总阻尼比 ξ_a^{n-1} 的结果完全相同或在误差允许范围内计算结果相同为止, 即采用阻尼器的结构附加有效阻尼比为 $\xi_a = \xi_a^n$ 。进而, 按公式 (3) 计算得到结构的总有效阻尼比 ξ_{eff} 。

3 案例分析

某工程主体结构为7层, 在小震下对其进行了结构强度、位移验算, 均不能满足现行规范的设计要求 (GB50011—2011)。

采用上述耗能减震设计简化方法对其进行耗能减震设计, 在结构的1~4层布置阻尼器型屈曲约束支撑, X方向A轴上1轴~2轴之间和G轴上6轴~7轴之间各布置了8根, Y方向1轴上D轴~E轴之间和5轴上E轴~F轴之间也各布置了8根, 采用人字型布置, 总计布置32根阻尼器型屈曲约束支撑, 如图4所示。采用同一技术标准性能的阻尼器型屈曲约束支撑, 其屈服位移均为1 mm, 屈服承载力均为300 kN。

在小震作用下, 通过对本工程原结构进行验算, 结构有效阻尼比 ξ_{eff} 达到10%可满足结构位移、配筋、基底反力的要求, 而原结构固有阻尼比 ξ 为5%, 因此, 阻尼器型屈曲约束支撑应该提供给结构的附加阻尼比 ξ_a 为5%。

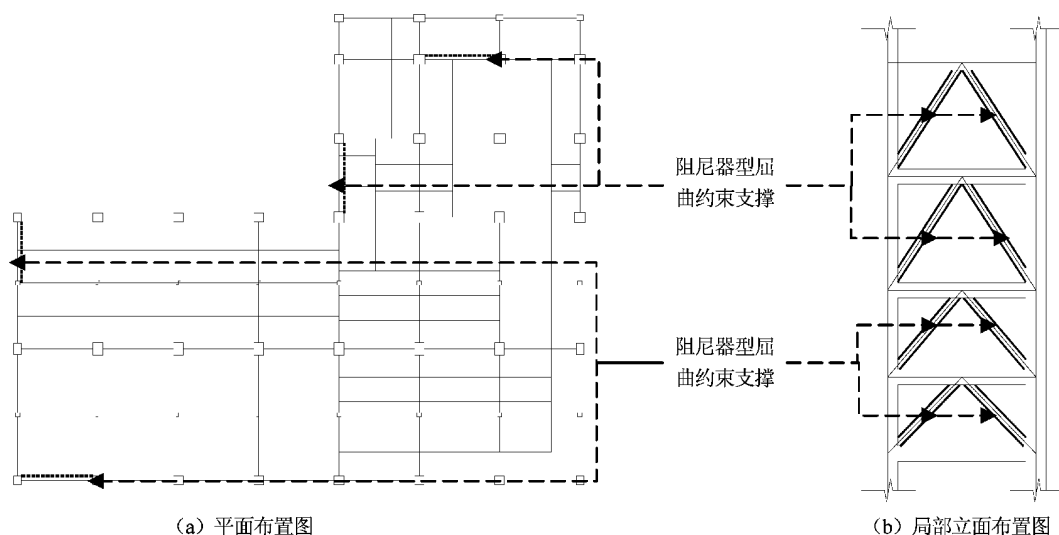


图4 阻尼器型屈曲约束支撑平面 (a) 和局部立面 (b) 布置图

Fig. 4 Layout of the damping buckling-restrained brace

(a) floor plan; (b) local elevation layout

结构初始状态下, 按照原结构固有阻尼比5%参与结构计算, 得到初始状态下阻尼器型屈曲约束支撑提供给结构的附加阻尼比 $\xi_a' = 2.82\%$, 经计算得到结构有效阻尼比 $\xi_{\text{eff}} = 7.82\%$ 。然后, 经过4次迭代计算, 得到 $\xi_a^4 = 5.19 \approx \xi_a^{3n} = 5.15$, 进而得到采用阻尼器型屈曲约束支撑后结构的附加有效阻尼比为 $\xi_a = \xi_a^4 = 5.19$, 结构有效阻尼比 $\xi_{\text{eff}} = 10.19\%$ 。

在考虑阻尼器型屈曲约束支撑刚度的前提下, 经计算得到结构的周期和位移比参数, 并与未设置阻尼器型屈曲约束支撑的模型进行计算结果对比 (表1)。

从表1中可以看出, 其周期和位移比参数变化

不大, 即阻尼器型屈曲约束支撑对原结构的刚度变化影响较小 (王瑾等, 2010)。

4 结论及建议

本文的研究结论表明, 对结构采用阻尼器型屈曲约束支撑的耗能减震技术设计方案后, 原结构的刚度变化影响较小, 而且能给原结构提供满足规范和设计要求需要的附加阻尼比, 使采用阻尼器型屈曲约束支撑这一耗能减震技术措施的结构的有效阻尼比要比原结构明显提高。

耗能减震技术简化设计方法是一种在抗震加

表 1 采用与未采用阻尼器型屈曲约束支撑的模型的计算结果对比

Tab. 1 Comparison results between the used and no used computational model of the damping buckling-restrained brace frame structure

未采用阻尼器型屈曲约束支撑模型					采用阻尼器型屈曲约束支撑模型			
周期	$T_1 = 1.237\ 3$	1.00	(1.00 + 0.00)	0.00	$T_1 = 1.198\ 7$	0.97	(0.97 + 0.00)	0.03
	$T_2 = 1.120\ 9$	0.88	(0.00 + 0.88)	0.12	$T_2 = 1.081\ 2$	0.91	(0.01 + 0.89)	0.09
	$T_3 = 1.027\ 6$	0.15	(0.02 + 0.13)	0.85	$T_3 = 0.995\ 2$	0.16	(0.05 + 0.11)	0.84
	$T_i/T_1 = 0.831$				$T_i/T_1 = 0.830$			
位移比	X 向地震		1.07		X 向地震		1.22	
	Y 向地震		1.31		Y 向地震		1.22	

固工程中行之有效的抗震加固设计与途径,既可以简化结构抗震设计步骤,又可以较便捷地计算出结构采取耗能减震技术措施后的有效阻尼比,为结构抗震设计提供了可靠、便利的设计依据。

本文在撰写过程中得到了胡大柱博士的帮助,在此表示衷心感谢。

参考文献:

- 陈清祥,潘琪,吕西林,等. 2005. 等值线性分析方法于消能减震加固技术上的应用探讨[J]. 结构工程师, (增刊): 383 - 388.
- 高杰,薛彦涛,王磊,等. 2010. JY - S 金属剪切型阻尼器试验研究及工程应用进展[J]. 土木建筑与环境工程, 32(增刊 2): 357 - 359.
- 高杰,薛彦涛,王磊,等. 2011. JY - SS - I 型金属软钢阻尼器试验研

- 究[J]. 土木工程与管理学报, 28(3): 336 - 338.
- 李国强,孙飞飞,宫海,等. 2009. TJ 型屈曲约束支撑工程应用分析[J]//中国土木工程学会,中国建筑设计研究院. 第二届全国建筑结构技术交流会论文集[C], 607 - 610.
- 凌宏华. 2011. 新型阻尼器的工作机理及在抗震加固工程中的应用[D]. 广州:华南理工大学.
- 孙飞飞,戴成华,李国强,等. 2009. 大宽厚比开缝组合钢板墙低周反复荷载试验研究[J]. 建筑结构学报, 30(5): 72 - 81.
- 孙飞飞,王鹏志,金华建,等. 2011. 考虑高宽比和梁变形影响的防屈曲开缝钢板墙刚度研究[J]. 建筑结构学报, 32(12): 154 - 161.
- 王瑾,闫维明,王维凝,等. 2010. 耗能减震技术在新建结构中的应用研究[J]. 土木建筑与环境工程, 32(增刊 2): 444 - 447.
- 翁大根,夏敬德,任晓崧,等. 2010. 消能减震技术在学校建筑的框架结构抗震加固中的应用[J]. 土木建筑与环境工程, 32(增刊 2): 418 - 423.
- GB50011—2010, 建筑抗震设计规范[S].

Simplified Design of Energy Dissipation Vibration and Damping Technology for Seismic Reinforcement Engineering

ZHANG Jun-tao¹, GONG hai¹, CHENG Mei-tao²

(1. Shanghai LANKE Building Damping Technology Co., Ltd, Shanghai 200433, China)

(2. Shanghai Construction SCG No. 5 Group Co., Ltd, Shanghai 200062, China)

Abstract

The simplified design method for the two kinds of the energy dissipation vibration and damping technology of the damping buckling-restrained brace and the damping buckling-restrained steel plate wall has been introduced, and the damping buckling-restrained brace has been applied in seismic reinforcement engineering by the simplified design method. From the case analysis result, the simplified design method of the energy dissipation technology could provide a reliable, convenient design basis for the seismic design of structures, it is a kind of anti-seismic way or the structure vibration control technology, which can be applied to the design theory and analysis for the seismic reinforcement engineering.

Key words: damper; buckling-restrained brace; buckling-restrained steel wall; energy dissipation vibration and damping; seismic reinforcement