

文章编号:1673-9469(2009)02-0004-03

## 粘弹性阻尼器混凝土框架结构消能减震分析

魏翠玲,韩亚强,刘春生,王振兴

(河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:**粘弹性阻尼器是抗震被动控制中一种十分有效的耗能减震装置,本文介绍了粘弹性阻尼器的构造样式及组成材料,建立三种不同阻尼器形式的框架结构,阐述消能支撑的减震工作原理,以时程分析法对装有三种不同形式粘弹性阻尼器框架结构的地震反应进行了分析,对比了中心支撑、偏心支撑与纯框架结构的顶点位移及加速度等。结果表明:设置粘弹性阻尼器中心支撑的混凝土框架结构消能减震效果明显。

**关键词:**粘弹性阻尼器;消能支撑;顶层位移;钢筋混凝土结构

**中图分类号:** TU352

**文献标识码:** A

### The energy dissipation analysis of viscoelastic dampers concrete frame structure

WEI Cui-ling, HAN Ya-qiang, LIU Chun-sheng, WANG Zhen-xing

(College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

**Abstract:** The viscoelastic damper is a kind of efficient device for suppressing vibration and dissipating energy. The structure style and component materials of viscoelastic dampers have been introduced, three different forms of damper frame structure were established. The principle of shock absorption about the support of energy dissipation is expounded to analysis the earthquake response of three different forms of viscoelastic dampers with time history method. The center support, eccentric support and open frame building frameworks structures, such as vertex acceleration and displacement are analyzed. It is concluded that the effect is obvious to set up center support viscoelastic dampers of the concrete frame structure.

**Key words:** viscoelastic dampers; energy dissipation support; the top floor displacement; reinforced concrete structure

随着高强、轻质建筑材料在建筑结构中的广泛应用,结构的刚度和阻尼不断降低,建筑结构对地震激励更加敏感<sup>[1]</sup>,要减小结构的地震反应,除了研究建筑结构承重体系本身的抗震设计构造之外,在结构上设置一些耗能装置,通过耗能材料的非线性变形来增大结构阻尼、消耗地震能量,减小主体结构的地震反应,从而对结构震动进行有效对比。

自从 G. P. Yao 于 1972 年提出结构控制概念以来<sup>[2]</sup>,结构控制理论和实践方面都得到了很大的发展<sup>[3]</sup>。在各类控制体系中,由于被动控制不需要外部能源、装置相对简单、较主动控制可靠,从而得到更多的重视。消能减震体系通过在原结构中附加阻尼器或其它消能构件来消减地震输入

能量。安装粘弹性阻尼器,实质就是对结构进行消能减震,通过改变结构的震动特性,减小结构的动力反应,达到减震的目的。在前人研究的基础上,本文重点讨论了安装粘弹性阻尼器偏心支撑与中心支撑及纯框架结构的减震性能的对比分析,可供实际应用中参考。

### 1 布置安装和计算参数的确定

本文粘弹性阻尼器的布置如图 1 所示,建立模型时,水平方向 X 轴,高度方向 Z 轴,为了防止结构平面外失稳,限制了 Y 方向的位移。本例设计中粘弹性阻尼材料常数  $G_0, A_0, \beta, \theta, \alpha$  分别是 588, 2 287, 0.001 89, 100.0, 576(单位 kN-m),单片

粘弹性阻尼材料面积为  $0.3\text{mm} \times 0.3\text{mm} = 0.09\text{mm}^2$ , 厚度为  $3\text{mm}$ , 工作温度  $200^\circ\text{C}$ 。

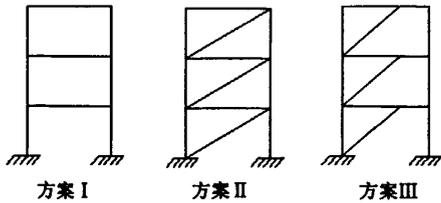


图 1 三种方案中阻尼器的布置形式

Fig.1 The layout types of damper in three programs

### 2 粘弹性阻尼材料的应力 - 应变关系

阻尼材料的应力应变关系是 Christensen 在 1982 年给出的, 下式即不老化粘弹性材料在恒温条件下的单轴应力 - 应变关系:

$$\sigma(t) = \int_0^t E(t - \tau) \frac{d\zeta(\tau)}{d\tau} d\tau \quad (1)$$

式中  $E(t)$  是松弛模量, 并且在  $-\infty < t < 0$  时,  $E(t) = \zeta(t) = 0$ 。而标准力学模型(SMM)<sup>[4]</sup> 就是采用由线性弹簧和阻尼器构成的力学模型来描述粘弹性材料应力 - 应变关系的数学模型, 即

$$E(t) = E_0 + \sum_{i=1}^m E_i e^{-t/\rho_i} \quad (2)$$

式中  $E_0, E_i, \rho_i$  都是正数, 且分别表示平衡松弛模量、松弛强度和松弛时间。

### 3 工程概况与模型的建立

#### 3.1 工程概况

工程为三幢 12 层的钢筋混凝土框架结构, 横向六跨, 纵向三跨, 平面布置如图 2 所示, 横向柱子间距  $5\text{m}$ , 均匀分布, 纵向柱子间距依次是  $5.5\text{m}$ 、 $2.5\text{m}$ 、 $5.5\text{m}$ , 底层层高  $3.6\text{m}$ , 其它层高  $3\text{m}$ , 平面尺寸  $30\text{m} \times 13.5\text{m}$ , 共 12 层, 按一般性使用荷载设计,

柱子截面采用  $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ , 梁截面  $500\text{mm} \times 250\text{mm}$ , 各楼面和屋盖的现浇板厚度均为  $100\text{mm}$ , 楼板及梁的混凝土材料 C20, 柱子混凝土等级 C30, 纵向钢筋 HPB335 级, 箍筋 HPB235 级。

工程设防烈度为 7 度, 属丙类建筑, 设地震分组为第一组, 场地类别为 II 类, 设计基本加速度值为  $0.1g$ , 抗震等级为三级。

本工程中阻尼器的选取参数<sup>[5,6]</sup>  $A = 0.117\text{m}^2$ ,  $t = 0.025\text{m}$ ,  $G_1 = 2.868 \times 10^6\text{N/m}^2$ ,  $G_2 = 2.294 \times 10^6\text{N/m}^2$ , 则  $kd = 1.34 \times 10^4\text{kN/m}$ ,  $Cd = 0.59 \times 10^4\text{kNs/m}$ 。

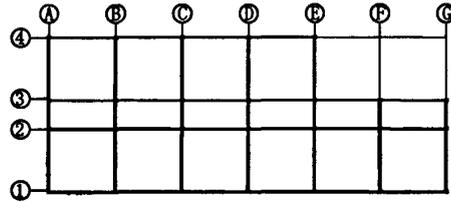


图 2 结构的平面布置图

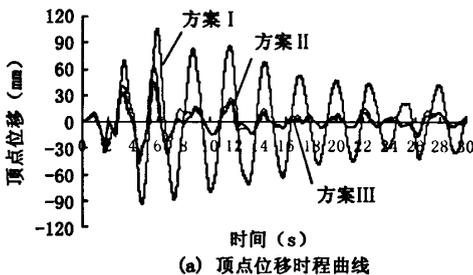
Fig.2 The structure of the layout diagram

#### 3.2 模型的建立

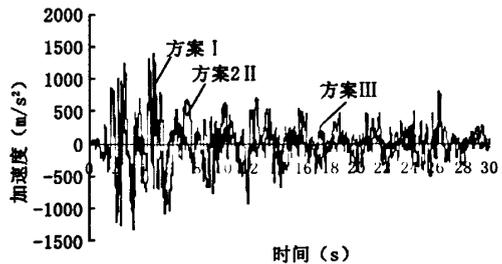
本文主要研究的是装有偏心支撑粘弹性阻尼器对混凝土框架结构的减震效果, 与纯框架结构与加中心支撑阻尼器结构进行对比分析。对结构模型进行时程分析时, 地震波的选取不会影响到粘弹性阻尼器的减震性能。本文建立的三种结构建筑的整体几何尺寸完全一样, 不同之处在于布置粘弹性阻尼器支撑的形式不同, 模型的建立分如下三步:

1) 建立无粘弹性阻尼器的结构模型(方案 I), 求出顶层位移、顶层加速度、层位移包络图和支撑轴力等各种内力并进行对比。

2) 建立中心支撑粘弹性阻尼器的结构模型(方案 II), 求出顶层位移、顶层加速度、层位移包络图和支撑轴力等各种内力并进行对比。



(a) 顶点位移时程曲线



(b) 顶点加速时程曲线

图 3 三种方案的时程曲线

Fig.3 The time history curve of three programs

3) 建立偏心支撑粘弹性阻尼器的结构模型(方案Ⅲ), 求出顶层位移、顶层加速度、层位移包络图和支撑轴力等各种内力并进行对比。

#### 4 算例结果对比分析

上述几种不同布置三种方案的计算结果如下:

1) 与不布置粘弹性阻尼器相比, 布置阻尼器的减震效果明显, 当阻尼器布置形式不同, 所得出的减震效果也不尽相同, 由顶层位移时程曲线图 3(a) 可知, 方案Ⅱ与方案Ⅲ的顶点位移明显减少, 减少的幅度大约在 64.7%~70.8% 之间。

2) 对于顶点加速度, 随着时间的推移, 每种方案的加速度都逐渐减少, 如图 3(b) 所示, 与预期结果相一致, 方案Ⅱ减少的最大, 比方案Ⅰ大概减少 20.6%, 比方案Ⅲ减少 15.2%, 可见方案Ⅱ阻尼器的布置较其他两种方案合理。

3) 边柱轴力减小效果明显, 方案Ⅱ比方案Ⅰ减小 76.9% 左右, 方案Ⅱ比方案Ⅲ减小 17.45% 左右, 如图 4 所示。

4) 对于各层位移包络值, 随着层数的增加, 位移值变得越来越大, 但方案Ⅰ增加的明显较其它两种方案大, 方案Ⅲ又比方案Ⅱ增加的幅度大, 即中心支撑布置的阻尼器的减震效果较其它两种情况效果要好, 如图 5 所示。

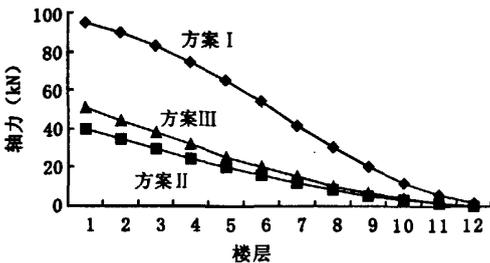


图4 三种方案边柱轴力对比

Fig. 4 The three programs comparison of edge column axial force

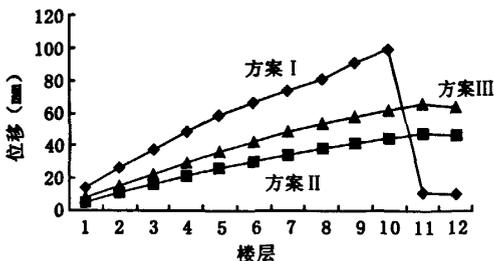


图5 各层位移包络值

Fig. 5 The displacement envelope value of all levels

楼层

图6 方案Ⅱ与方案Ⅲ的支撑轴力对比

Fig. 6 The comparison of support axial force between programsⅡ programⅢ

5) 对于支撑轴力, 方案Ⅲ比方案Ⅱ减小的幅度为 1.04%~6.9%, 如图 6 所示。

#### 5 结论

通过以上分析可以看出, 装粘弹性阻尼器后, 结构的阻尼比显著提高, 因此结构的耗能能力增加, 地震反应如顶点位移, 各层位移, 顶点加速度等得到明显降低并控制在要求的范围内, 因而粘弹性阻尼结构可以广泛地应用于新建建筑的震动控制和已有建筑物的加固当中去。

#### 参考文献:

- [1] 魏文晖, 王雪亮, 卢哲安. 设置斜撑粘弹性阻尼器框架结构空间协同工作分析方法的控制研究[J]. 地震工程与工程振动, 2002, 22(2): 149-153.
- [2] HOUSNER G W, BENGMAN L A. Structural past present and future [J]. ASCE Journal of Engineering Mechanics, 1997, 123(9): 897-971.
- [3] 韩建平, 李慧, 杜永峰. 装设粘弹性阻尼器钢筋混凝土结构抗震使用分析[J]. 世界地震工程, 2005, 21(1): 117-122.
- [4] PARK S W. Analytical modeling of viscoelastic dampers for structural and vibration control [J]. International Journal of Solids and Structures, 2001, 38: 8065-8092.
- [5] 杨树标, 郭金伟, 李荣华. 粘弹性阻尼器控制的不规则扭转分析[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2008, 25(4): 7-10.
- [6] 史三元, 郭维光, 陈鑫, 等. 高层钢结构抗震耗能体系的力学性能分析[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2008, 25(4): 1-3.
- [7] 北京金土木软件技术有限公司, 中国建筑标准设计研究院. ETABS 中文版使用指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [8] 黄立新, 邓子辰, 侯秀慧. 基于精细积分的桥梁移动荷载识别精度分析[J]. 河北科技大学学报, 2008, 29(2): 124-127.
- [9] 王涛, 孟丽岩, 孙景江, 等. 框架-剪力墙结构的弹塑性地震反应[J]. 黑龙江科技学院学报, 2008, 18(6): 455-459.

(责任编辑 闫纯有)