

文章编号:1673-9468(2008)04-0001-03

# 高层钢结构抗震消能体系的力学性能分析

史三元<sup>1</sup>, 郭维光<sup>1</sup>, 陈鑫<sup>2</sup>, 张晓延<sup>3</sup>

(1. 河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 056038; 2. 邯郸大友设计有限公司 河北 邯郸 056000; 3. 邯郸成祥房地产开发有限公司 河北 邯郸 056000)

**摘要:**通过对黏弹性阻尼器力学性能的分析,得到了黏弹性阻尼器在任意时刻的恢复力公式,根据引入的三段变刚度模型,推导了变刚度黏弹性支撑结构体系的各段相对位移表达式,将此黏弹性支撑应用于高层钢结构体系,通过有限元软件对此体系进行时程分析,结果表明,装有黏弹性阻尼器的结构体系消能性能显著。

**关键词:**高层钢结构;黏弹性阻尼器;时程分析;消能

**中图分类号:** TU352

**文献标识码:** A

## Analysis of mechanical properties in high - rise steel structure on energy dissipation

SHI San-yuan<sup>1</sup>, GUO Wei-guang<sup>1</sup>, CHEN Xin<sup>2</sup>, ZHANG Xiao-yan<sup>3</sup>

(1. School of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China; 2. Handan Dayou Designation Ltd., Handan 056000, China; 3. Handan Chengxiang Real Estate Ltd., Handan 056000, China)

**Abstract:** The rebound formula of the viscoelastic damper at any time is received through the anlysis of mechanical properties of viscoelastic damper. Relative displacement formula of differ - rigidity viscoelastic brace is deduced by using the model of three - differ - rigidity available. As well as the braces are applied into the high - level steel structure system. The result of finite element of system with viscoelastic damper illustrate that the ability of dissipative energy is remarkable.

**Key words:** high - rise steel structure; viscoelastic damper; tine history analysis; dissipative energy

目前,国内外的抗震研究中,对层间位移的限制多采用加大结构整体刚度与增设支撑的方法。此法抗震的结果是断面增大,刚度增大,地震放大器的作用也增大,同时也大大提高了抗震所需要的建筑造价。本文采用的黏弹性阻尼器是一种被动的速度相关型的减震装置<sup>[1]</sup>,它与钢杆相连构成黏弹性消能支撑安装在结构上,依靠黏弹性阻尼材料的消能性能,增加结构的阻尼,消散输入的振动能量,减小结构的动力反应。

### 1 黏弹性阻尼器的力学性能分析

黏弹性阻尼器的恢复力<sup>[2-3]</sup>

$$f(u, \dot{u}) = f_s + f_d = k'u + \frac{\eta k'}{\omega} \dot{u} \quad (1)$$

式中  $f_s$ —黏弹性材料产生的弹性力;  $f_d$ —黏弹性

材料产生的阻尼力;  $k'$ —黏弹性阻尼器的存储刚度;  $\eta$ —黏弹性材料的损耗因子;  $\omega$ —激励频率;  $u, \dot{u}$ —黏弹性阻尼器的位移与速度。

因为在应变最大时刻无阻尼力即无黏滞,位移只与弹性力有关。

$$k' = f_0 / u_0 \quad (2)$$

式中  $f_0, u_0$ —黏弹性阻尼器最大位移时的恢复力与位移。

因  $u = u_0 \sin \omega t$ , 所以  $\dot{u} = u_0 \omega \cos \omega t$ , 把(2)代入(1)得黏弹性阻尼器在任意时刻  $t$  的恢复力

$$f(t) = f_0 (\sin \omega t + \eta \cos \omega t) = \eta f_0 \sin(\omega t + \arctan \eta) \quad (3)$$

### 2 框架结构体系的力学性能分析

黏弹性消能结构是一种附加了消能支撑的消

能结构<sup>[4-5]</sup>。安装黏弹性消能支撑装置后的单层结构的模型如图1所示,假设系统的全部质量集中在屋面处,屋面和柱的轴向刚度无限大,并不会产生弯曲变形,只能发生剪切变形。

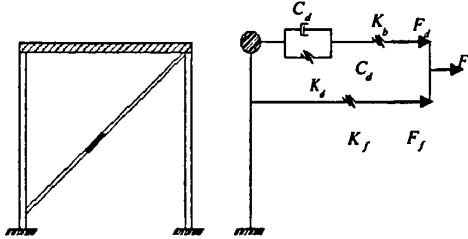


图1 单自由度黏弹性消能形式

Fig.1 1-DOF form of viscoelastic dissipative energy

图中  $C_d$ 、 $K_d$  为阻尼器阻尼系数、刚度系数;  $K_b$  为支撑的刚度系数;  $K_f$  为框架柱侧向刚度系数;  $F_d$ 、 $F_f$ 、 $F$  为在地震作用下,消能支撑的力、框架柱的侧向力以及其合力;在受简谐荷载  $P_0 \sin \omega t$  作用下振动位移  $u_{\max} \sin \omega t$  的响应分别为

$$F_f = K_f u_{\max} \sin \omega t \quad (4)$$

$$F_d = K_d u_d(t) + C_d \dot{u}_d(t) \quad (5)$$

$$u_{\max} \sin \omega t = u_d(t) + u_b(t) \quad (6)$$

$$F = F_f + F_d \quad (7)$$

由图1可知黏弹性消能支撑是由黏弹性阻尼器与普通支撑串联而成,其力学模型符合杆系模型中的三段变刚度模型(如图2所示)。三段变刚度模型是通过将杆单元划分成中段与端段刚度相异的等刚度杆段来描述弹性和弹塑性阶段杆单元刚度沿杆长的变化。其只考虑杆件弯曲破坏,将杆件弯曲塑性变形集中于杆件两端  $l_{b1}$ 、 $l_{b2}$  的区域,杆件中部  $l_d$  保持线弹性。

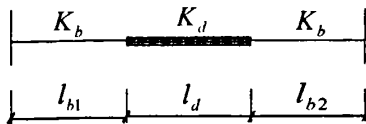


图2 三段变刚度模型

Fig.2 Three-differ-rigidity model

安装黏弹性阻尼器于结构的目的是使结构在地震作用下处于弹性,故在弹性阶段时联立式(4)、(5)、(7)可得方程

$$C_d \dot{u}_d(t) + K_d u_d(t) - K_b u_{\max} \sin \omega t = 0 \quad (8)$$

此方程为一阶线性非齐次方程,解之,得

$$u_d(t) = \frac{K_b u_{\max}}{C_d} \int e^{\frac{K_d}{C_d} t} \sin \omega t + C = \frac{C_d K_d^2 \omega^2}{K_b^2 \omega^2 + C_d^2} \times \left[ e^{\frac{K_d}{C_d} t} \left( \frac{K_b^2 \omega \sin \omega t + K_b^2 \cos \omega t + C_d^2}{K_d^2 \omega} \right) \right] + C$$

认为当结构未接受简谐作用时黏弹性阻尼器无位移,故  $u_d(0) = 0$  得

$$C = \left[ 1 + \left( \frac{C_d}{K_d} \right)^2 \right] \frac{C_d K_d^2 \omega}{K_b^2 \omega^2 + C_d^2}$$

$$u_b(t) = u_{\max} \sin \omega t - u_d(t) \quad (10)$$

### 3 高层钢结构体系减震效果分析

某24层钢结构高层建筑,建筑层高3.8m,结构总高度91.2m,建筑为乙类,建筑场地为II类,抗震设防烈度为8度。主要构件参数:框架柱,焊接箱型截面450mm×450mm,板厚19mm;框架主梁,工字型焊接组合截面250mm×650mm,翼缘厚32mm,腹板厚12mm;框架次梁与支撑200mm×300mm,翼缘厚19mm,腹板厚12mm;楼板,C30钢筋混凝土,板厚100mm,架设在间距2.5m的次梁上;黏弹性阻尼器,  $k_d = 20 \text{ kN/mm}$ ,  $C_d = 8.0 \text{ kN} \cdot \text{S/mm}$ ,最大行程±60mm。钢结构构件均采用Q235钢。结构平面布置如图3所示。方案I:采用普通V字形支撑(无阻尼器),在X轴外侧面2、4两跨与Y轴外侧面中跨沿Z轴方向满布,共144组。方案II:采用固体黏弹性阻尼器,布置方式与方案I相同。

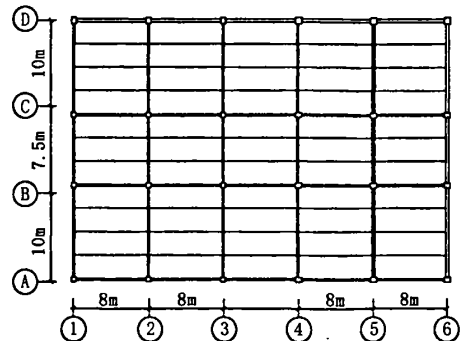


图3 钢结构框架平面图

Fig.3 Steel frame plane

本工程用SAP2000中El-Centrol波进行沿Y方向最大位移与最大加速的时程进行模拟<sup>[6]</sup>。

表1 沿Y方向的位移(单位 mm)  
Tab.1 The displacement of Y-direction

减震率 (%)	层数									
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
无控	121.1	137.7	144.5	150.3	152.9	161.0	165.8	170.3	186.5	200.8
方案 I	115.2	122.6	129.7	136.3	142.6	148.4	153.8	158.8	163.4	167.5
减震率	4.8	10.9	10.2	9.3	6.7	7.8	7.2	6.7	12.4	16.5
方案 II	104.4	109.8	114.8	119.3	123.4	127.0	130.2	132.9	135.0	136.7
减震率	13.8	20.2	20.5	20.6	19.3	21.1	21.5	22.0	27.6	31.9

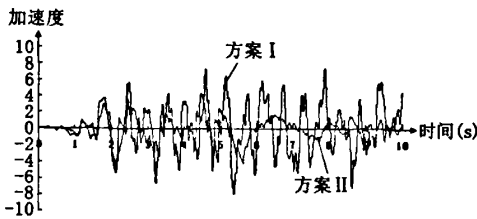


图4 方案 I、II 顶层加速度时程反应对比  
Fig.4 Program I、II top-level acceleration time-history comparison

由图4可知,在El-Centro波的作用下,由于顶点加速度反应与地面振动加速度波相比的反应滞后,方案I的前1.5s顶层加速度很小,然后突然增大,且地震反应的时效增大现象也相当明显,加速度峰值 $7.36\text{m/s}^2$ ;方案II的加速度响应值随着时间的延续,呈衰减趋势,加速度峰值 $4.34\text{m/s}^2$ 。

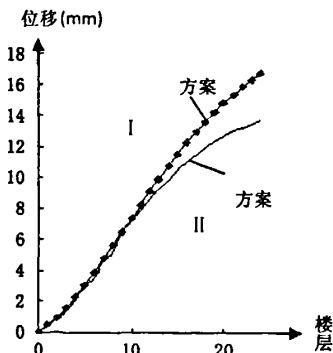


图5 方案 I、II 位移对比  
Fig.5 Program I、II displacement comparison

结构加设黏弹性阻尼器前后的刚度变化不大,此模拟中忽略刚度变化。层间减震率按下式计算<sup>[7]</sup>

$$\alpha = \frac{k_1 x_{1\max} - k_2 x_{2\max}}{k_1 x_{1\max}} = \frac{x_{1\max} - x_{2\max}}{x_{1\max}} \quad (11)$$

各层位移情况如图5所示,方案I、方案II分别与无消能(无控)结构进行比较,15~24层减震率如表1所示,方案II减振效果更为显著。最大减震率为31.9%。

## 4 结论

1)黏弹性阻尼器具有明显的降低地震反应加速度的作用。

2)黏弹性阻尼器具有明显减小层间位移的作用。

3)黏弹性阻尼器类型与参数对控制结构位移有较大影响,实际工程应用的黏弹性阻尼器类型与参数选择,尚应进一步探讨。

## 参考文献:

- [1] 常业军.黏弹性阻尼器及消能减震结构的研究与应用[D].南京:东南大学,2003.
- [2] 隋英杰.宿迁市交通大厦采用黏弹性阻尼器的减震设计与研究[J].建筑结构学报,2000,21(3):30-35.
- [3] 欧进平,丁建华.油缸间隙式黏滞阻尼器理论与试验研究[J].地震工程与工程振动,1999,19(4):82-89.
- [4] ZHANG R H, SOONG T T. Seismic design of viscoelastic damper for structural applications [J]. ASCE Journal of Structural Engineering, 1992,118(5):1375-1392.
- [5] SHUKLA A K, DATTA T K. Optimal use of viscoelastic damper in building frames for Seismic force [J]. ASCE Journal of Structural Engineering, 1999,125(4):401-409.
- [6] 郭晨光.安装黏弹性阻尼减震装置的高层建筑抗震研究[D].重庆:西南大学,2004.
- [7] 胡宝琳,李国强.框架结构层间位移的分析方法比较[J].河北工程大学学报(自然科学版),2007,24(1):17-20.

(责任编辑 闫纯有)

# 高层钢结构抗震消能体系的力学性能分析

作者: [史三元](#), [郭维光](#), [陈鑫](#), [张晓延](#), [SHI San-yuan](#), [GUO Wei-guang](#), [CHEN Xin](#),  
[ZHANG Xiao-yan](#)

作者单位: [史三元, 郭维光, SHI San-yuan, GUO Wei-guang](#)(河北工程大学, 土木工程学院, 河北, 邯郸, 056038), [陈鑫, CHEN Xin](#)(邯郸大友设计有限公司, 河北, 邯郸, 056000), [张晓延, ZHANG Xiao-yan](#)(邯郸成祥房地产开发有限公司, 河北, 邯郸, 056000)

刊名: [河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 

英文刊名: [JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING \(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)

年, 卷(期): 2008, 25(4)

被引用次数: 5次

## 参考文献(7条)

1. 常业军 [黏弹性阻尼器及消能减震结构的研究与应用](#)[学位论文] 2003
2. 隋英杰 [宿迁市交通大厦采用黏弹性阻尼器的减震设计与研究](#)[期刊论文]-[建筑结构学报](#) 2000(03)
3. 欧进平; 丁建华 [油缸间隙式黏滞阻尼器理论与试验研究](#)[期刊论文]-[地震工程与工程振动](#) 1999(04)
4. ZHANG R H; SOONG T T [Seismic design of viscoelastic damper for structural applications](#) 1992(05)
5. SHUKLA A K; DATTA T K [Optimal use of viscoelastic damper in building frames for Seismic force](#) 1999(04)
6. 郭晨光 [安装黏弹性阻尼减震装置的高层建筑抗震研究](#) 2004
7. 胡宝琳; 李国强 [框架结构层间位移的分析方法比较](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2007(01)

## 本文读者也读过(10条)

1. [沈国庆](#), [陈宏](#), [王元清](#), [石永久](#), [SHEN Guo-qing](#), [CHEN Hong](#), [WANG Yuan-qing](#), [SHI Yong-jiu](#) [带黏滞阻尼器高层钢结构的抗震抗风性能分析](#)[期刊论文]-[中国矿业大学学报](#)2007, 36(2)
2. [吴贵民](#) [住宅建筑钢结构抗震性能研究](#)[期刊论文]-[绿色大世界·绿色科技](#)2010(6)
3. [李国强](#), [孙飞飞](#) [关于多高层钢结构抗震存在的问题及建议](#)[会议论文]-2010
4. [孙爱伏](#), [欧进萍](#), [SUN Aifu](#), [OU Jinping](#) [高层钢结构抗震pushover分析的侧向力分布模式及其影响](#)[期刊论文]-[地震工程与工程振动](#)2008, 28(4)
5. [刘刚](#), [Liu Gang](#) [中国和美国钢结构抗震局部稳定规定比较](#)[期刊论文]-[钢结构](#)2011, 26(3)
6. [刘艳霞](#), [李春祥](#), [Liu Yanxia](#), [Li Chunxiang](#) [高层钢结构建筑-TLD系统的抗震优化设计方法](#)[期刊论文]-[工业建筑](#) 2000, 30(7)
7. [张焜](#), [蔡焕琴](#) [概念设计优化高层钢结构抗震](#)[会议论文]-2006
8. [史三元](#), [冉莉](#), [李旭光](#), [SHI San-yuan](#), [RAN Li](#), [LI Xu-guang](#) [初始预应力值对张弦梁结构受力性能的影响](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2010, 27(1)
9. [钟亚军](#), [李骏嵘](#) [浅析钢结构节点抗震设计](#)[期刊论文]-[城市建设](#)2011(13)
10. [葛家琪](#), [王树](#), [张庆亮](#) [河南艺术中心大剧院屋盖大跨度钢结构抗震分析研究](#)[会议论文]-2008

## 引证文献(5条)

1. [史三元](#), [刘春生](#), [马裕超](#), [韩亚强](#) [隅撑支撑钢框架结构抗震性能分析](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2009(3)
2. [史三元](#), [穆金花](#) [SPSW对钢框架结构体系抗震性能影响分析](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2011(4)
3. [魏翠玲](#), [韩亚强](#), [刘春生](#), [王振兴](#) [粘弹性阻尼器混凝土框架结构消能减震分析](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自](#)

然科学版) 2009(2)

4. 张新华 二维斜交网格框架结构的性能研究[期刊论文]-浙江建筑 2010(7)

5. 史三元,侯桂欣,苏晓亮 小高层钢结构住宅抗震性能研究[期刊论文]-河北工程大学学报(自然科学版) 2010(2)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_hbjkjyxb200804001.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjkjyxb200804001.aspx)