

文章编号:1673-9468(2008)04-0007-03

## 粘弹性阻尼器控制的不规则结构扭转分析

杨树标,郭金伟,李荣华

(河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:**如何控制不规则结构在地震作用下的扭转作用是结构抗震设计中经常遇到的问题。本文根据粘弹性阻尼器原理,通过有限元软件 SAP2000 对附加粘弹性阻尼器的不规则结构进行地震作用下的扭转分析,得出了粘弹性阻尼器可以有效地控制不规则结构在地震作用下的扭转变形。

**关键词:**粘弹性阻尼器;不规则结构;扭转作用

**中图分类号:** TU352

**文献标识码:** A

### The torsional analysis of irregular structure controlled by viscoelastic damper

YANG Shu-biao, GUO Jin-wei, LI Rong-hua

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

**Abstract:** It is a problem frequently occurred in seismic design to control the torsional response of irregular structure under earthquake action. Based on the viscoelastic damper principle, irregularly damping structure with viscoelastic damper under earthquake action is analyzed by using finite element software (SAP2000). The results show that the viscoelastic damper can control effectively the torsional deformation of the irregular structure under earthquake action.

**Key words:** viscoelastic damper; irregular structure; torsional response

现代结构功能复杂,平立面布置越来越不规则,使得在结构抗震设计中必须考虑扭转作用。《建筑抗震设计规范》<sup>[1]</sup>、《高层建筑结构混凝土技术规程》<sup>[2]</sup>等文件中均对此有所要求。

在结构适当部位加设阻尼器的减震方法是当前结构地震反应控制的重要技术之一,国内外工程都有不少应用实例<sup>[3]</sup>,特别是粘弹性阻尼器具有计算模型易于确定,耗能能力强,施工方便等优点而受到更多青睐<sup>[4]</sup>。阻尼器在地震时可以大大消耗地震能量,降低结构位移。但是,以前关于减震的试验和研究大多是针对结构水平平动位移<sup>[5]</sup>,用于控制结构扭转变形的文献很少。本文通过有限元软件 SAP2000 对一不规则结构进行时程分析,得出结构在适当位置设置阻尼器后扭转变形可大为降低,从而使设计满足规范的有关规定,保证结构的抗震安全性。

### 1 常用计算模型

在弹性力学中,有两种基本的力学元件,理想弹性元件和理想粘性元件。由这两种基本元件串联和并联可以得到以下三种基本计算模型:Kelvin 模型,Maxwell 模型,标准线性固体模型<sup>[4]</sup>。而 SAP2000 有限元软件采用的是 Maxwell 模型。

该模型把粘弹性阻尼器等效为一个弹性元件与一个粘性元件相串联,如图 1 所示。总的应变为

$$r = r^e + r^v \quad (1)$$

式中  $r^e$ ,  $r^v$ —弹性元件和粘性元件的应变;  $r$ —粘弹性阻尼材料的剪切应变。

该模型的本构关系为

$$\tau + p_1 \dot{\tau} = q_1 \dot{r} \quad (2)$$

式中  $\tau$ —粘弹性阻尼材料的剪切应力;  $\dot{\tau}$  和  $\dot{r}$  分别

为  $\tau$  与  $r$  的导数;  $p_1, q_1$  一由粘弹性材料性能确定的系数。

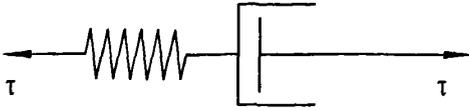


图1 Maxwell模型  
Fig. 1 Maxwell model

在简谐应变激励下,有本构关系(2)可以导出

$$\begin{aligned} G_1 &= p_1 q_1 \omega^2 / (1 + p_1^2 \omega^2) \quad \eta = 1/p_1 \omega \\ G_2 &= q_1 \omega (1 + p_1^2 \omega^2) \\ \eta &= 1/p_1 \omega \end{aligned} \quad (3)$$

式中  $G_1, G_2$  一为粘弹性材料的储存模量和损耗模量;  $\eta$  一为损耗因子。

## 2 安装和计算参数

为了更好的发挥单个粘弹性阻尼器的作用,应将阻尼器安装在结构层间相对位移最大处。根据这个原则,通常把阻尼器安装在相邻两柱的对角。

在运用 SAP2000 时,需要给出粘弹性阻尼器的有效刚度  $K_d$  和有效阻尼  $C_d$ ,它们可以通过下列公式<sup>[4,6]</sup>求得。

$$\begin{aligned} K_d &= G_1 A / h \\ C_d &= G_2 A / h \end{aligned} \quad (4)$$

式中  $G_1, G_2$  一为粘弹性材料的储存模量和损耗模量;  $A, h$  一为粘弹性层的剪切面积和厚度(以上参数可以由生产厂家提供);  $\omega$  一为外部激励圆频率。

## 3 工程概况与模型建立

### 3.1 工程概况

结构为一个 5 层钢筋混凝土不规则框架结构,平面布置见图 2。柱截面为 600mm × 600mm,梁截面为 800mm × 300mm,楼板厚 100mm,跨度 9m,层高 3m。混凝土材料为 C30。纵向钢筋采用 HPB335 级,箍筋采用 HPB235 级,楼板自重由程序自动计算。

工程抗震设防烈度为 7 度,属丙类建筑,设计地震分组为第一组,场地类别为 II 类,设计基本地震加速度为 0.1g,抗震等级为三级。

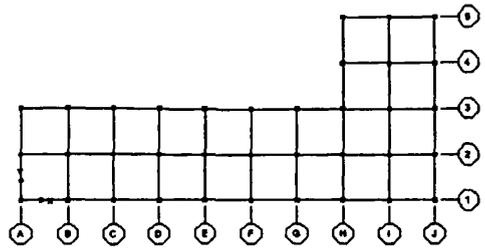


图2 某5层钢筋混凝土框架平面  
Fig. 2 Frame plane of the 5 floor reinforced concrete

### 3.2 SAP2000 模型建立与分析

由于本文主要研究粘弹性阻尼器对不规则结构扭转变形控制的问题,因此,结构模型进行时程分析时,地震波的选取不会影响阻尼器的减震性能,仅输入 EI Centro NS 1940 双向(X, Y)地震波,将波的最大幅值调至相当于 7 度基本烈度下的加速度峰值。结构模型建立如下二步:

- 1) 建立无阻尼器结构模型并求得各层的层间位移角,楼层最大弹性水平位移和两端弹性水平位移平均值。
- 2) 建立加粘弹性阻尼器结构模型并求得各层的层间位移角,楼层最大弹性水平位移和两端弹性水平位移平均值。

粘弹性阻尼器布置:根据大量的结构减震研究及经验,本文在众多方案中选择两个具有代表性的方案。方案 1,布置在 ①轴、②轴、③轴,均设置在 1, 2, 3 层;方案 2,在方案 1 的基础上,添加 ④轴、⑤轴,均设置在 1, 2, 3 层。

本文均选用相同型号的阻尼器,如表 1。

表 1 粘弹性阻尼器的参数

面积 ( $m^2$ )	粘弹性材料厚度 (m)	$G_1$ ( $N \cdot m^{-2}$ )	$G_2$ ( $N \cdot m^{-2}$ )
0.117	0.025	$2.868 \times 10^6$	$2.294 \times 10^6$

根据(4)式有

$$K_d = 1.34 \times 10^4 \text{ kN/M}; C_d = 0.59 \times 10^4 \text{ kNS/M}$$

## 4 分析结果

分析表明,无阻尼器结构第一周期  $T_1 = 0.8550s$ ,振动形式以扭转为主;第二周期  $T_2 = 0.7745s$ ,振动形式以平动为主,  $T_1/T_2 = 1.104$ ,不

满足规范抗扭设计要求。但是,设置阻尼器后,方案1:第一周期  $T_1 = 0.7914$ ,振动形式均以平动为主;第三周期  $T_3 = 0.7120$ ,振动形式以扭转为主,  $T_3/T_1 = 0.89$ 。方案2:第一周期  $T_1 = 0.7909$ ,振动形式均以平动为主;第三周期  $T_3 = 0.6995$ ,振动形式以扭转为主,  $T_3/T_1 = 0.88$ 。可以看出,加设阻尼器后结构主要以平动为主。

在双向地震波作用下,结构在 X, Y 向的层间位移角如表 2;楼层最大弹性水平位移与楼层两端弹性水平位移平均值的比值如表 3。

表 2 层间位移角

Tab. 2 Inter - storey drift

楼层	无阻尼器		方案 1		方案 2	
	X	Y	X	Y	X	Y
5	1/285	1/89	1/318	1/896	1/1016	1/858
4	1/210	1/59	1/219	1/613	1/643	1/587
3	1/187	1/54	1/200	1/562	1/560	1/577
2	1/158	1/51	1/162	1/567	1/569	1/563
1	1/213	1/75	1/223	1/847	1/898	1/837

表 3 弹性水平位移平均值之比

Tab. 3 The ratio of the elastic level displacement

楼层	无阻尼器		方案 1		方案 2	
	X	Y	X	Y	X	Y
5	1.06	1.57	1.05	1.06	1.06	1.08
4	1.09	1.58	1.05	1.09	1.06	1.06
3	1.07	1.56	1.05	1.00	1.06	1.03
2	1.06	1.54	1.08	1.03	1.06	1.02
1	1.05	1.53	1.06	1.03	1.06	1.02

表 2、表 3 中,无阻尼器结构的层间位移角均大于 1/550;楼层最大弹性水平位移与楼层两端弹性水平位移平均值的比 X 向各层均小于 1.2、Y 向各层均大于 1.5。可以看出层间位移角大, Y 向严重扭转不规则,不满足规范要求。

设置阻尼器后,方案 1:层间位移角 X 向均大于 1/550、Y 向均小于 1/550,层间位移角仍然不满

足规范要求;楼层最大弹性水平位移与楼层两端弹性水平平均值的比均小于 1.2,已满足规范要求。方案 2:层间位移角均小于 1/550;楼层最大弹性水平位移与楼层两端弹性水平位移平均值的比均小于 1.2,满足规范要求。由方案 2 可以看出,设置阻尼器不但可以有效地控制结构的水平位移,而且可以有效地控制结构的扭转效应。

## 5 结论

1) 仅在扭转不规则方向加设阻尼器可以有效地控制结构在地震作用下的扭转变形,但另外一方向的水平位移依然很大。

2) 在两个方向均设置一定数量的阻尼器可以有效地控制结构的水平位移和扭转变形。

3) 在结构的端部和底部设置一定数量的阻尼器减震效果显著。

4) 阻尼器可以有效地控制结构的扭转变形,将会越来越多地运用到实际结构中。

## 参考文献:

- [1] GB50011—2001,建筑抗震设计规范[S].
- [2] JGJ3—2002,高层建筑结构混凝土技术规程[S].
- [3] 刘剑,何益斌.粘弹性阻尼器的工程应用、工作原理及计算模型分析[J].中外建筑,2005,(3):102-104.
- [4] 吴曙光,常业军.粘弹性消能减震结构设计参数研究[J].工程抗震与加固改造,2005,27(4):37-39.
- [5] TSO W K, SMITH R S H. Re-evaluation of seismic torsional provisions[J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1999,(28):899-917.
- [6] 凌和海,薛素铎,庄鹏.减震结构中的粘弹性阻尼器参数优化[J].世界地震工程,2005,21(3):126-130.
- [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):17-19.
- [8] 孙武,杨树标,吴斌,等.并联复合隔震结构地震反应时程分析[J].河北建筑科技学院学报,2004,21(1):52-55.

(责任编辑 吕纯有)