

文章编号:1673-9469(2010)03-0005-04

## 基础隔震异形柱框架结构的参数优化

李秋英,刘丽丽,董宏伟

(河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:**根据叠层橡胶支座和异形柱框架结构体系的非线性特性及相互间的影响,建立三维非线性有限元分析模型。通过改变叠层橡胶支座的阻尼比和刚度,利用SAP2000有限元软件对模型进行不同地震波作用下动力时程分析。结果表明:控制异形柱框架结构的地震反应,可通过优选隔震层动力参数来实现;异形柱框架结构隔震系统阻尼比最优取值范围为0.22~0.27,刚度应在满足允许位移条件下适当降低取值。

**关键词:**叠层橡胶支座;异形柱框架结构;SAP2000;时程分析;参数优化

**中图分类号:** TU352.1

**文献标识码:** A

### Optimizing parameters of the base isolated frame structure with reinforced concrete special shaped column

LI Qiu-ying, LIU Li-li, DONG Hong-wei

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

**Abstract:** A three-dimensional nonlinear finite element analysis model has been established according to the non-linear characteristics and mutual influence of the laminated rubber bearing and special pole framework. The model's time-history analysis is studied with the SAP2000 by changing the damping ratio and rigidity of the laminated rubber bearing under different seismic waves. The results show that the seismic response of the special pole framework could be controlled by optimizing the parameters; the optimal scope of damping ratio of special pole framework with laminated rubber bearing is 0.22~0.27 and the value of stiffness should be reduced suitably under the condition of allow displacement.

**Key words:** laminated rubber bearing; special pole framework; SAP2000; time-history analysis; parameters optimization

异形柱框架结构作为一种新型钢筋混凝土结构,在许多城市中得到广泛应用,具有良好的发展前景。然而由于截面不对称,异形柱受力特性、抗震性能不如普通矩形柱<sup>[1]</sup>,当前的研究普遍采用暗柱异形柱、增设支撑以及限制轴压比等措施<sup>[2-5]</sup>,不但增加了施工难度和工程造价,而且限制了结构的适用范围。

基础隔震是通过延长建筑物的基本周期及吸收地震波传递的能量,达到减小上部结构响应的目的<sup>[6]</sup>。目前将基础隔震技术用于异形柱框架结构的研究还比较少,东芳<sup>[7]</sup>采用有限元模型对基础隔震异形柱框架模型进行非线性时程分析,并

得出基础隔震异形柱框架结构具有良好抗震性能的结论。本文通过建立隔震异形柱框架体系的三维非线性有限元分析模型,研究结构在不同地震波激励下的地震反应,并探讨叠层橡胶支座用于异形柱框架结构时参数的优化配置问题。

### 1 隔震体系的计算模型

#### 1.1 隔震层力学模型<sup>[8]</sup>

由于上部结构的刚度远大于叠层橡胶隔震支座的水平刚度,将结构简化成一单质点的刚体,支座简化成变刚度弹簧和阻尼装置(图1)。

收稿日期:2010-05-22

作者简介:李秋英(1965-),女,河北邯郸人,教授,从事结构工程教学和研究工作。

1.2 隔震层的双线性恢复力模型

在地震等动力荷载作用下,采用双线性恢复力模型简化柔性隔震层的滞回特性(图2)。其中: $n$ —隔震层的塑性斜率; $k_1$ —隔震层屈服前的水平刚度; $k_2$ —隔震层屈服后的水平刚度; $s_y$ —隔震层的屈服力; $\delta_y$ —隔震层的屈服位移; $\delta_0$ —隔震层运动速度由正到负或由负到正对应于 $x=0$ 的弹性变形。该双线性恢复力模型由屈服力 $s_y$ 、水平刚度 $k_1$ 和 $k_2$ 三个参数确定, $s_y$ 和 $\delta_y$ 可由试验数据或经验公式确定,其中 $k_1 = s_y/\delta_y$ , $k_2$ 值根据最大恢复力和相应变形来确定。

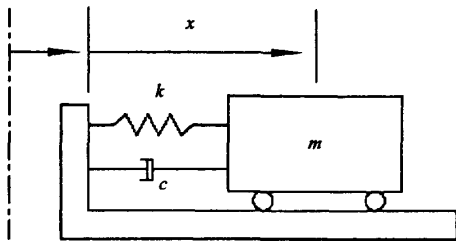


图1 支座隔震结构力学模型

Fig.1 Mechanical model of isolated structure with bearing

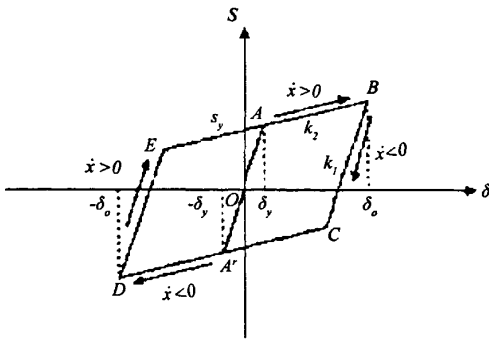


图2 双线性恢复力模型

Fig.2 The bilinear restoring force model

1.3 隔震结构的动力方程

隔震系统可简化为层间剪切模型<sup>[9]</sup>,根据达郎贝尔原理, $n+1$ 个质点的层间剪切模型的运动微分方程如下

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = -[M]\{I\}\ddot{x}_g - \{P\}$$

式中 $[M]$ —系统的质量矩阵; $[C]$ —系统的阻尼矩阵; $[K]$ —系统的刚度矩阵; $\{x\}$ —系统对于地面的加速度向量; $\{\dot{x}\}$ —系统对于地面的速度向

量; $\{x\}$ —系统对于地面的位移向量; $x_g$ —地面输入加速度; $\{p\}$ —各层的恢复力列向量。

$$[M] = \begin{bmatrix} m_b & & & \\ & m_1 & & \\ & & \ddots & \\ & & & m_n \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_b + k_1 & -k_1 & & \\ -k_1 & k_1 + k_2 & & \\ & & \ddots & -k_n \\ & & & -k_n & k_n \end{bmatrix}$$

$$\{x\} = \begin{Bmatrix} x_b \\ x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{Bmatrix} \quad \{p\} = \begin{Bmatrix} p_b \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$m_b$ —基础隔震层的质量, $k_b$ —基础隔震层的等效刚度, $x_b$ —基础隔震层相对于地面的位移, $k_n$ —第 $n$ 层的层间刚度, $m_n$ —第 $n$ 层的层间质量。

2 有限元模型及参数设置

根据平面布置图建立三维空间有限元模型(图3),并利用有限元分析软件对模型进行时程分析。抗震设防烈度为7度,设计基本加速度为0.1g,设计地震分组为第二组,基本风压值为0.45kN/m<sup>2</sup>,建筑场地类别为II类,结构楼层刚度、层高、质量、阻尼比等参数见表1。

表1 隔震异形柱框架结构主要参数  
Tab.1 The parameters of the special pole framework with base-isolated structure

楼层	层高/m	质量/t	刚度/(MN·m <sup>-1</sup> )	阻尼比
1层	2.8	250	850	0.05
2层	2.8	250	850	0.05
3层	2.8	250	850	0.05
4层	2.8	250	850	0.05
5层	2.8	250	850	0.05
6层	2.8	250	850	0.05

地震波选用 El Centro 波(1940, NS)、天津波(宁河),这两条波相应的卓越周期分别是 0.55s、0.3s,时程曲线如图4所示。

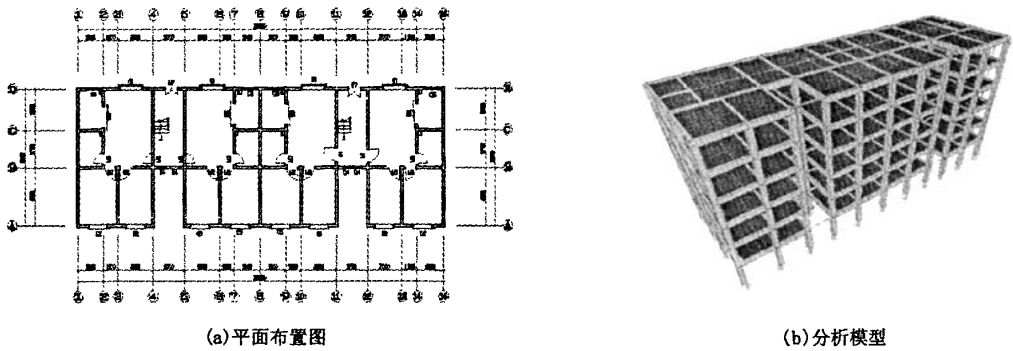


图3. 隔震异形柱框架结构有限元分析模型

Fig.3 Finite element analysis model of the special pole framework with base-isolated structure

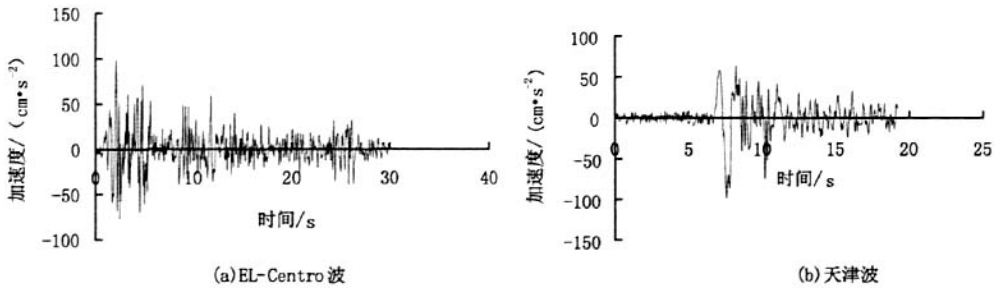


图4 选用地震波的加速度时程曲线

Fig.4 Acceleration's vs. time-history of the selected waves

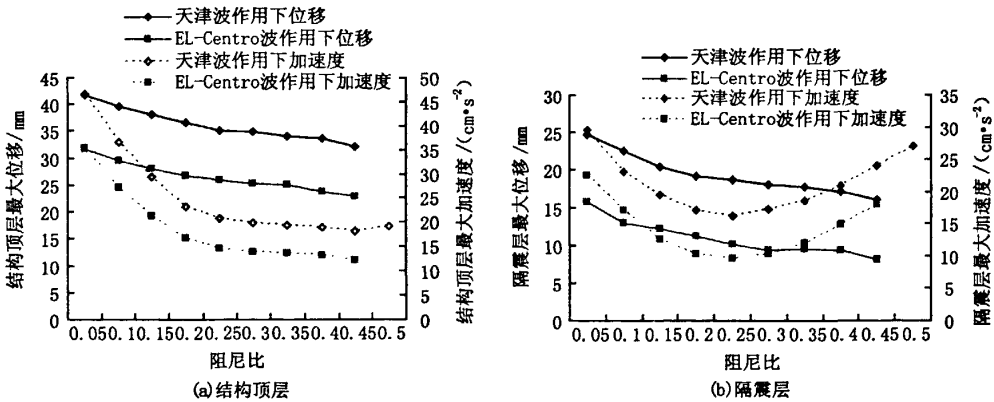


图5 阻尼比对位移峰值和加速度峰值的影响

Fig.5 Damping ratio's influence on the displacements peak and the accelerations peak

### 3 结果与分析

为考虑隔震系统的阻尼比对隔震效果的影

响,采用固定上部结构的阻尼比,取  $\xi_1 = 0.05$ , 改变隔震系统的阻尼比  $\xi_2 (\xi_2 \in 0 \sim 0.45)$ , 并输入两种不同的地震波, 得到阻尼比对隔震层及上部结构顶部的位移、加速度峰值的影响曲线(图 5)。

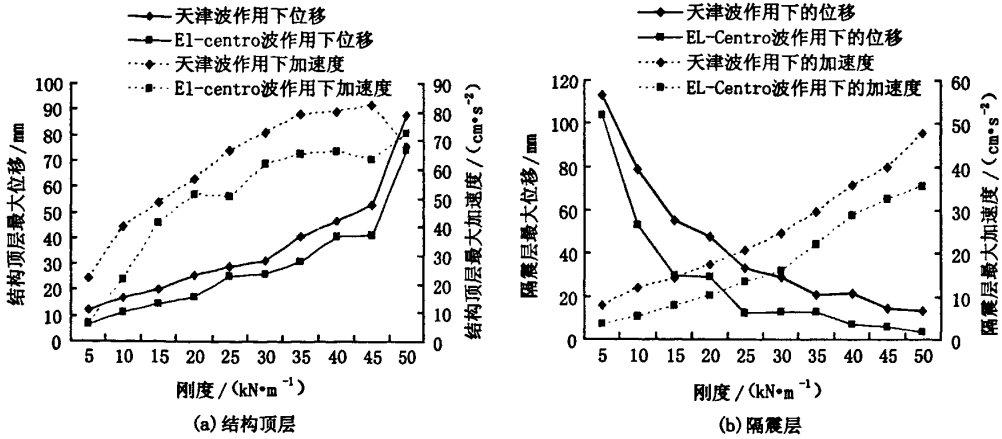


图6 刚度对位移峰值和加速度峰值的影响

Fig.6 Stiffness's influence on the displacements peak and the accelerations peak

由图5可知,结构顶层及隔震层的位移峰值随着阻尼比的增加而减小,结构顶层加速度峰值随着阻尼比的增大而减小。当 $\xi_2 < 0.23$ 时,隔震层加速度峰值随着阻尼比的增大而减小,当 $\xi_2 > 0.23$ 时,隔震层加速度峰值随着阻尼比的增大而增大,最小值出现在0.22到0.27之间。

水平剪切刚度是叠层橡胶支座的一个主要动力参数<sup>[10]</sup>。刚度过大,则不能有效地延长结构的自振周期和降低结构的加速度、位移;刚度过小,地震时造成的水平侧向位移将超过隔震支座的极限位移,使隔震支座出现倾覆破坏。通过调试不同的隔震层基本刚度,输入El-Centro波(1940, NS)、天津波(宁河),进行动力时程分析,得到刚度对隔震层及上部结构顶部的位移、加速度峰值的影响曲线(图6)。

由图6可知,结构顶层位移峰值随着刚度的增大而增大,隔震层位移峰值随着刚度的增大而迅速减小。结构顶层加速度峰值随着刚度的增大而增大,隔震层加速度峰值随着刚度的增大而增大。在设计隔震系统的时候,应先满足隔震层位移峰值的允许范围,再选择较小的刚度值。

#### 4 结论

1)对于实际异形柱框架结构的抗震要求,可以通过优选隔震支座动力参数来完成。

2)在异形柱框架结构隔震层设计时,将阻尼比控制在0.22~0.27才能取得良好的隔震效果。

3)隔震层水平剪切刚度取值不能过小,在满

足允许位移范围内,应适当降低刚度值。

#### 参考文献:

- [1] 钱稼茹,李耕勤.异形柱用于8度抗震设防建筑研究[J].工业建筑,2004(2):28-32.
- [2] 曹万林,庞国新,魏文湘,等.增强异形柱框架结构地震耗能能力的研究[J].世界地震工程,1995(1):44-49.
- [3] 刘玉彬.异形柱空框架模型抗震性能试验研究[J].工程力学,1997(3):308-312.
- [4] 曹万林,徐金荣,宋文勇,等.钢筋混凝土异形柱框架结构抗震设计的若干措施[J].世界地震工程,2002,18(1):62-65.
- [5] 徐金荣,王普山,曹万林,等.异形柱框架薄弱部位抗震设计方法探讨[J].世界地震工程,2002,18(2):115-119.
- [6] 安新正,葛允海,别慧中,等.一种新的抗震技术——基础隔震技术[J].河北建筑科技学院学报,2002,19(3):20-23.
- [7] 东芳.基础隔震异形柱框架结构体系地震反应控制研究[D].北京:北京工业大学,2005.
- [8] 洪峰,王前信,江近仁.基底滑移隔震刚性结构的随机滑移反应和可靠度分析[J].地震工程与工程振动,1993,13(2):47-51.
- [9] BERRAH M, KAUSEL E. A modal combination rule for spatially varying seismic motions [J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1993, 22(8): 791-800.
- [10] 蓝宗建,邹宏德,梁书亭,等.钢筋混凝土巨型框架多功能减振结构地震反应分析[J].建筑结构学报,2001,22(4):77-83.

(责任编辑 马立)