

基于 SMA—叠层橡胶支座的结构隔震研究

王学庆, 范斌

辽宁工程技术大学土木建筑学院, 辽宁阜新 (123000)

E-mail: fxlgd2008@126.com

摘要: 研究基于 SMA 绞线—叠层橡胶复合支座的框架结构隔震理论和方法, 建立了三种不同支承条件下单自由度隔震体系的运动方程, 并对一典型四层框架结构进行研究, 分析其在地震作用下结构的时程反应。研究表明, SMA 绞线—叠层橡胶复合支座是一种有效的隔震装置, 它用于框架结构中, 能有效地减小结构的位移、速度以及加速度时程反应, 使结构的地震响应明显降低。

关键词: SMA—叠层橡胶支座; 框架结构; 隔震

中图分类号: TU352.1

引言

在结构隔震领域中, 应用最为广泛的隔震元件是普通叠层橡胶支座和铅芯橡胶支座^{[1][2]}; 普通叠层橡胶支座克服了橡胶块竖向刚度小、水平荷载作用下稳定性差等不足, 但由于橡胶本身耗能不足, 易造成因隔震层变形较大所导致的支座失稳^{[3][4]}; 铅芯橡胶支座耗能能力强、阻尼力大、具有较好的隔震效果^[5]。但铅芯变形后无法恢复原状, 因而降低了铅芯橡胶支座的自恢复能力^{[6][7]}。为克服普通叠层橡胶支座震后恢复原位的困难, 作者设计了一种新型的 SMA 绞线—叠层橡胶复合支座。为了更好的研究该复合支座的隔震效果, 同时验证该复合支座对于框架结构地震激励下振动控制的有效性, 本文将对三种不同支承条件下的框架结构体系进行地震响应的数值模拟对比分析。

1. 建立不同支承条件的结构体系运动方程

1.1 固定支座下单自由度结构的运动方程

单自由度结构在未设隔震支座时, 地震作用下的运动方程为

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + K_1x = -M\ddot{x}_g$$

其中, \ddot{x}, \dot{x}, x 分别为质点的加速度、速度和位移反应; M, C, K_1 分别为质点的质量、阻尼和刚度; \ddot{x}_g 为地面运动加速度。此时的单自由度模型见图 1。

1.2 叠层橡胶支座下单自由度结构的运动方程

当设置叠层橡胶隔震支座时, 地震作用下, 隔震体系运动方程为:

$$M(\ddot{x} + \ddot{x}_b + \ddot{x}_g) + K_2x_b = 0$$

其中, M 为上部结构总质量, $\ddot{x}, \ddot{x}_b, \ddot{x}_g$ 为上部结构的水平加速度反应、底板水平加速度反应和地面水平加速度反应, x_b 为底板水平位移反应, K_2 为橡胶垫的水平刚度。

上部结构相对运动方程为:

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + K_1x = -M(\ddot{x}_g + \ddot{x}_b)$$

其中, 各符号代表含义同上。该约束下的单自由度模型如图 2 所示。

1.3 SMA 绞线—叠层橡胶复合支座下单自由度结构的运动方程

当设有 SMA 绞线—叠层橡胶复合支座时, 单自由度结构的在地震作用下的隔震体系运

动方程可写为:

$$M(\ddot{x} + \ddot{x}_b + \ddot{x}_g) + (K_2 + K_3)x_b = 0$$

其中, M 为上部结构总质量, \ddot{x} 、 \ddot{x}_b 、 \ddot{x}_g 为上部结构的水平加速度反应、底板水平加速度反应和地面水平加速度反应, x_b 为底板水平位移反应, K_2 为橡胶垫的水平刚度, K_3 表示 SMA 绞线的刚度。

上部结构相对运动方程为:

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + K_1x = -M(\ddot{x}_g + \ddot{x}_b)$$

其中, 各符号含义同上。SMA 绞线—叠层橡胶复合支座下的单自由度模型如图 3 所示。

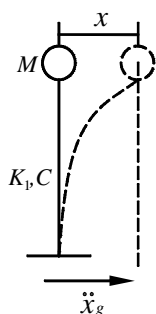


图 1 固定支座

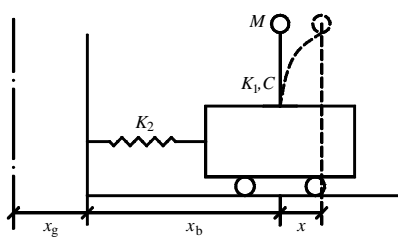


图 2 叠层橡胶支座

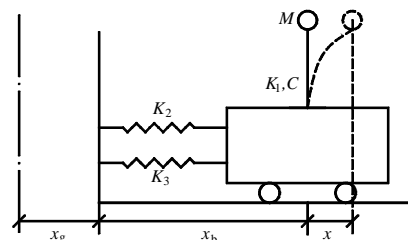


图 3 SMA 绞线—叠层橡胶复合支座

2. 数值模拟分析

2.1 工程概况

为了精确模拟实际结构, 该模型采用空间三维模型。本文采用一个四层框架结构, 每层高度均为 3.6m, 结构总高度为 3.6×4=14.4m, 开间均为 6×4.5m, 框架结构总长 6×4=24m, 框架结构总宽 4.5×2=9m。框架柱尺寸均为 500×500mm, 横向主梁尺寸为 300×600mm, 竖向主梁尺寸为 250×450mm。楼板厚度为 100mm, 外墙厚度为 100mm (外墙采用填充墙, 不计重量), 二者均采用 C30 混凝土, 即 $E=3.0 \times 10^{10}$ Pa, 泊松比 $\nu=0.2$, 密度为 2700Kg/m^3 , 其有限元模型如图 4 所示。

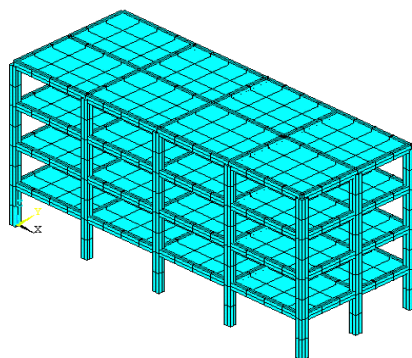


图 4 框架结构有限元模型

2.2 数值模拟结果及分析

为对比分析罕遇地震作用下 SMA 绞线—叠层橡胶复合支座、普通叠层橡胶支座和固定

支座的隔震效果，本文选用了加速度峰值较大的日本阪神地震波（加速度峰值为 817.82cm/s^2 ）作为对结构的地震激励。

由数值模拟的数据结果可以得出不同支座条件下框架结构顶层和底层的最大位移和加速度，详细数值见表 1 和表 2。图 5~10 为不同支座条件下结构顶层和底层的位移时程曲线。

表 1 不同支座条件下的最大位移响应(cm)

层次	固定支座	叠层橡胶支座	SMA 绞线-叠层橡胶复合支座
底层	4.53	17.12	14.85
顶层	17.67	17.94	15.06

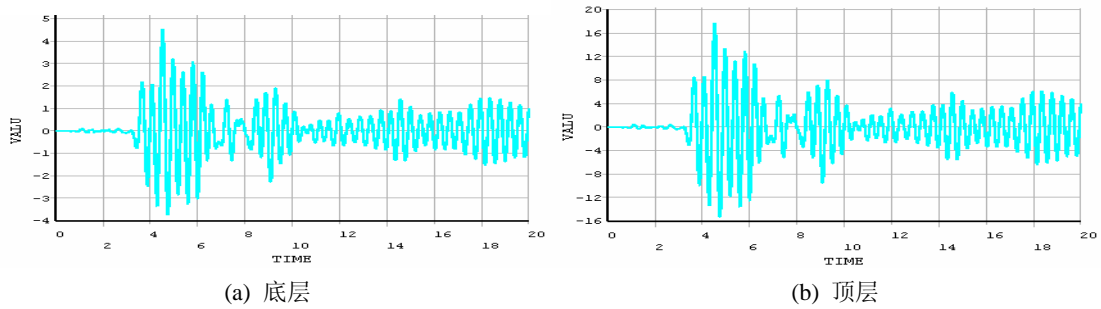


图 5 固定支座下位移时程曲线

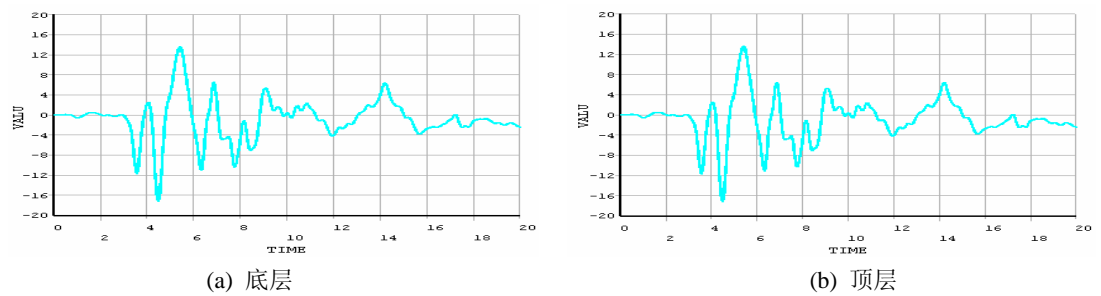


图 6 叠层橡胶支座下位移时程曲线

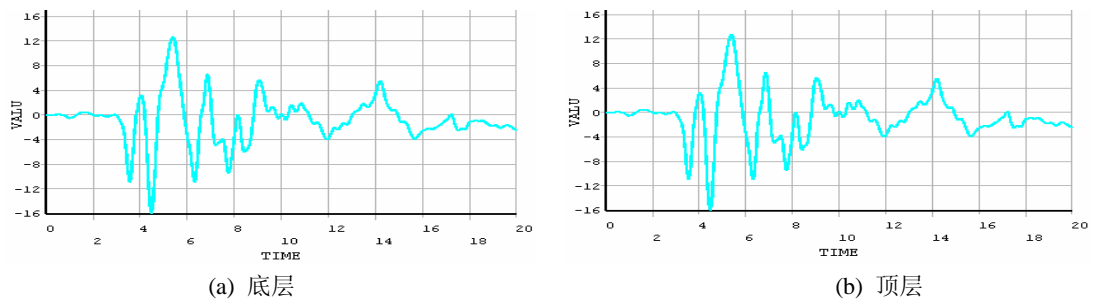


图 7 SMA 绞线—叠层橡胶复合支座下位移时程曲线

表 2 不同支座条件下的最大加速度响应(cm/s^2)

层次	固定支座	叠层橡胶支座	SMA 绞线—叠层橡胶复合支座
底层	846.98	738.61	715.15
顶层	3148.56	794.83	719.03

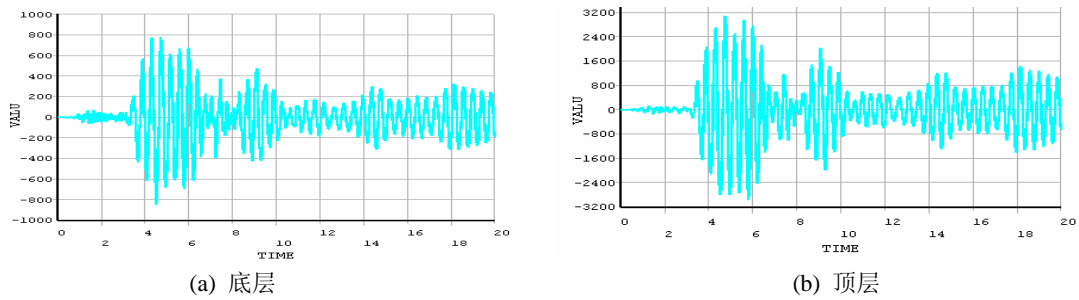


图 8 固定支座下加速度时程曲线

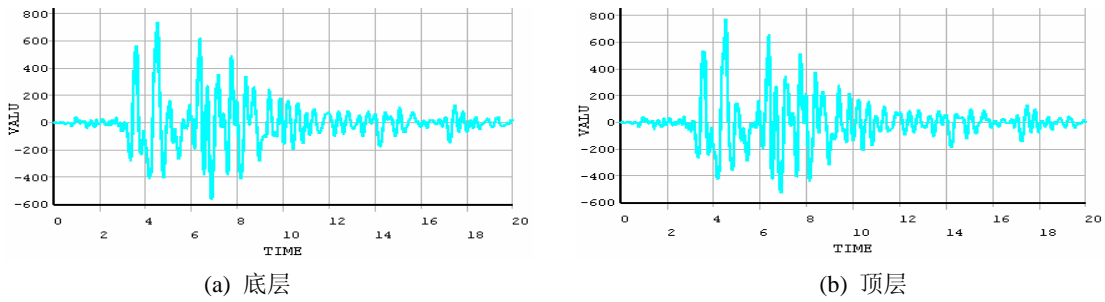


图 9 叠层橡胶支座下加速度时程曲线

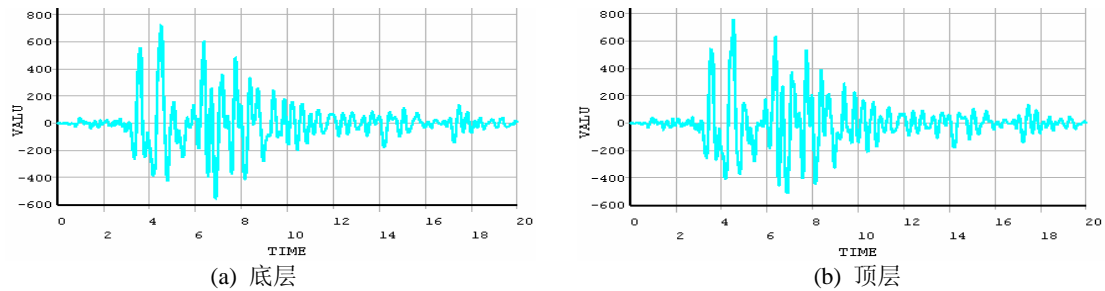


图 10 SMA 绞线—叠层橡胶复合支座下加速度时程曲线

由以上图表可以看出，SMA 绞线—叠层橡胶复合支座条件下框架结构的位移和加速度均降低很多，同时，与叠层橡胶支座条件下的结构对比，SMA 绞线—叠层橡胶复合支座条件下结构的各响应均有所降低。从框架结构最大位移看，叠层橡胶支座的位移绝对值为 17.94cm，SMA 绞线—叠层橡胶复合支座为 15.06cm，位移减少 19.2%；从框架结构最大加速度对比，叠层橡胶支座的加速度绝对值为 794.83cm/s^2 ，SMA 绞线—叠层橡胶复合支座为 719.03cm/s^2 ，减少 10.6%，从上述数据可以看出，相比之下 SMA 绞线—叠层橡胶复合支座的隔震效果更好。

3. 结论

通过对三种不同支承条件的一典型四层框架结构进行了地震作用时程仿真分析表明，SMA 绞线—叠层橡胶复合支座是一种有效的隔震装置，它用于框架结构中，能有效地减小结构的位移和加速度时程反应，使结构的地震响应明显降低。而且还可有效的减小隔震层的相对水平位移，因而与普通叠层橡胶支座相比具有更好的隔震效果。

参考文献

- [1] 李忠献, 陈海泉, 刘建涛.应用 SMA—复合橡胶支座的桥梁隔震[J].地震工程与工程振动, 2002, 4 (22) .143-148.
- [2] 周福霖. 工程结构减震控制. 地震出版社.1997,4.
- [3] 周乾. SMA—橡胶复合支座在大跨空间结构中的隔震研究. 北京工业大学硕士学位论文. 2003, 5.
- [4] 李彬双. 一种新型 SMA—橡胶支座及在网壳结构中的隔震研究. 北京工业大学硕士学位论文.2004, 5.
- [5] 刘海卿、李忠献、陈海泉. 基于 SMA 复合橡胶支座的建筑结构自适应隔震. 振动工程学报. 2004.8(增刊).
- [6] 李宏男, 李忠献, 祁 皓等, 结构振动与控制, 北京:中国建筑工业出版社, 2005.380~391.
- [7] 庄鹏, 薛素铎等, 新型 SMA-橡胶支座的研制及在网壳结构中的隔震分析, 北京工业大学学报, 2004, 30 (2): 176~179.

Analysis of isolation based on SMA – rubber laminate bearing

Wang Xueqing, Fan Bin

College of engineering and architecture, Liaoning technical university, Fuxin, China (123000)

Abstract

Study on the seismic isolate theory and method of frame structure based on SMA strands- composite bearings is carried out, motion equations of unidirectional seismic isolation system with three different bearings is created, and the time history analysis of a four-floor frame construction under rare earthquake is also carried out. As a result, the SMA strands- composite bearing is an effective isolate setting and the seismic response, such as displacement , velocity and acceleration of the structure with the applying of which would be reduced effectively.

Keywords: SMA – rubber laminate bearing; frame construction; seismic isolation