

层间隔震结构的智能混合控制研究

王社良, 李慧亮, 刘苗苗, 樊禹江

(西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 采用橡胶垫隔震的层间隔震结构, 发现该种结构隔震层的位移较大。采用在大底盘结构顶部的橡胶垫隔震层设置磁流变阻尼器, 通过简化建立十层简化计算模型, 并进行了模糊控制仿真, 研究表明, 采用该方法使得层间位移得到了比较好的控制效果。

关键词: 磁流变阻尼器; 模糊控制; 层间隔震; 仿真分析

中图分类号: TU352.1

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2012)04—0102—04

Research on Intelligent Control for Interlayer Isolation Structure

WANG She-liang, LI Hui-liang, LIU Miao-miao, FAN Yu-jiang

(College of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, Shaanxi 710055, China)

Abstract: It is found from research that the interlayer isolation structure with rubber pad is larger in its displacement. Here, through setting MR damper in rubber pad isolation layer on the top of large chassis structure, the calculation model of ten storeys is established by simplifying, and the simulation of fuzzy control is made. The results show that this method could make the interlayer displacement being better controlled.

Keywords: MR damper; fuzzy control; interlayer isolation structure; simulation analysis

0 引言

大底盘结构已经成为大型商用类建筑结构中最主要的结构形式, 该种结构形式底层一般选用框架大空间形式, 从而使得下部较为柔弱。为解决这一问题国内外科研工作者做了大量关于在大底盘顶加设橡胶垫隔震装置, 达到了较好的隔震效果。但是, 由于橡胶垫水平刚度较小造成层间位移变形过大, 尤其在罕遇地震作用下层间位移增加更为明显。过大的层间位移会导致橡胶垫受拉而破坏, 所以控制层间位移过大就成为一个棘手的问题。

为了解决隔震层位移过大的问题, 把结构控制的概念引入到层间隔震系统中来, 组成混合层间隔震系统, 近年来, 混合隔震以及混合控制已经有了一定的发展。混合隔震控制系统一般由可调阻尼器和隔震器组成, 这一系统是通过改变结构的动力特性, 来减少输入上部结构的能量, 而可调阻尼器是通过减小隔震层的层间变形, 改善隔震层的性能, 保护隔

震层因为过大的水平变形而失效破坏。磁流变阻尼器是近年来发展起来的新型阻尼器, 使用磁流变阻尼器与被动隔震装置相组合和形成性能优越的智能混合控制隔震系统。

1 磁流变液材料的组成和特点

磁流变液 (Magnetorheological Fluids 简称 MRF) 是美国国家标准局发明和研制的, 它主要由非导磁性和均匀分布于其中的高磁导率、低磁滞性的微小磁性颗粒组成。在磁场作用下, MRF 可以在毫秒级的时间内快速、可逆地由流动性良好的牛顿流体转变为高粘度、低流动性的 Bingham 塑性固体 (如图 1)。磁流变效应具有三个特点: ① 连续性: 随着磁场强度的变化磁流变液的屈服应力可以连续变化; ② 可逆性: 磁流变液可随着磁场强度的增加而变硬, 又可以随着磁场强度的减少而变为流体; ③ 频率响应时间短: 在磁场的作用下磁流变液的屈服剪力正逆向变化所用时间为 10^{-3} s 的数量级。

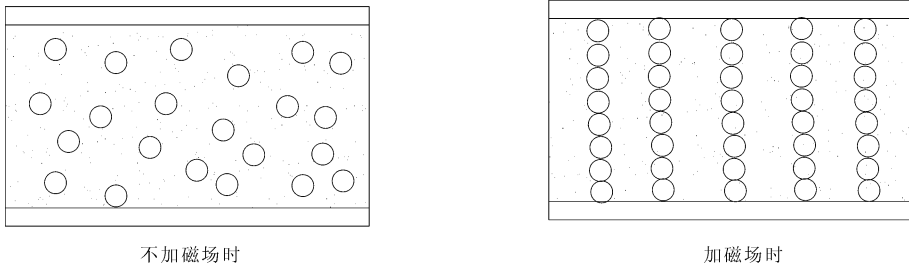


图 1

磁流变液的磁场作用下变为 Binghamton 体后的本构关系^[1](Phillips, 1969) $\tau = \tau_y \text{sgn}(\dot{\gamma}) + \eta\dot{\gamma}$, 式中, τ 是 MRF 的剪切应力; $\tau_y = \tau_y(H)$ 是 MRF 的屈服强度其和电流 I 之间的关系式: $\tau_y = A_1 e^{-I} + A_2 \ln(I + e) + A_3 I$, 式中: A_1, A_2, A_3 分别是与磁流变体性能相关的系数; η 是流体的动力黏度; $\dot{\gamma}$ 是流体的剪切应变速率。

根据上式可得到磁流变阻尼器的力 - 位移关系式: $F = \frac{12\eta LA_p^2}{\pi DD_h^3} u(t) + \frac{3L\tau_y A_p}{D_h} \text{sgn}[u(t)]$, 式中: L 为活塞的长度; D 为缸体内径; A_p 为活塞的有效面积; D_h 为活塞中的阻尼孔径; $u(t)$ 为活塞相对缸体的位移。

2 磁流变减振驱动器的工作原理

根据流体的受力状态和流动特点的不同, 磁流变液制成的驱动器有三种^[2]: 剪切式、阀式、剪切阀式。因为剪切阀式减振驱动器的磁路设计比较方便、处理较大, 因此适用于土木工程结构振动控制。使用磁流变液制成的双出杆剪切阀式磁流变减振驱动器类似于普通油缸粘滞流体减振驱动器的结构形式, 该减振器结构简单, 主要是以活塞运动, 外缸是磁路的一部分, 在活塞外径和内腔之间的环状空间是有效的液体流动间隙。当活塞内部的线圈在电流的作用下, 在缸体与活塞间的间隙产生沿活塞半径的径向磁场, 磁流变减振驱动器中的活塞和缸体相对运动时, 活塞将挤压液体流过缸体与活塞间的间隙; 液体在磁场的作用下由牛顿流体流变为粘塑性的宾汉姆体, 使流体的流动阻力增加; 通过调整线圈中的电流强度来调整磁场强度, 从而改变流体的阻力, 这样就形成了一种可调的半主动控制装置。

3 控制结构的运动方程和状态方程

在地震动 \ddot{X}_g 作用下的结构产生相对位移 $X(t)$, 根据地震动和结构反应信息对结构施加控制

力 $U(t)$, 其中控制力可能为主动施加的控制力, 本文中为磁流变阻尼产生的阻尼力。则结构的运动方程^[2]为:

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = -M\{l\}\ddot{X}_g + U(t) \quad (1)$$

式中: M 为质量矩阵; K 为刚度矩阵; C 为阻尼矩阵; $\{l\}$ 为单位列阵向量; $U(t)$ 为控制力向量; X, \dot{X}, \ddot{X} 分别为结构的位移、速度、加速度反应列向量。经变换可得系统的状态方程为:

$$\dot{Y} = AY + B[-\{l\}\ddot{X}_g + M^{-1}U(t)] \quad (2)$$

输出方程为:

$$X = DY \quad (3)$$

其中 $\dot{Y} = \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \ddot{X} \end{bmatrix}$, $Y = \begin{bmatrix} X \\ \dot{X} \end{bmatrix}$, $A = \begin{bmatrix} O & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} O \\ I \end{bmatrix}$, $D = [I \ O]$, O 和 I 分别是 $n \times n$ 维的零矩阵和单位矩阵, n 为建筑物的层数。

4 控制系统建模和参数设置

4.1 SIMULINK 建模

在 Matlab 中, Simulink 是用来建模、仿真、和分析动态多维系统的交互工具。本文利用 MATLAB 的 Simulink 工具箱自行创建模糊控制模型系统, 图 2 为模糊控制模型。

4.2 模糊控制器的设计

4.2.1 输入、输出的选取及基本论域的确定

速度基本论域的确定要根据其幅值来确定的, 本文通过 SAP2000 建立十层大底盘层间隔震结构实体模型进行了 8 度罕遇地震作用下(加速度峰值为 400 gal)的时程分析, 分析结果表明结构层间速度变化范围在 $-1 \text{ m/s} \sim 1 \text{ m/s}$, 隔震层层间位移反应变化范围在 $-0.6 \text{ m} \sim 0.6 \text{ m}$, 则速度基本论域确定为 $-1 \text{ m/s} \sim 1 \text{ m/s}$ 。结构的位移反应基本理论定为 $-0.6 \text{ m} \sim 0.6 \text{ m}$ 。

4.2.2 生成和编辑模糊推理系统

隶属函数常用的有三角隶属函数和高斯隶属函数等。隶属函数的形状对模糊控制有重要的影响:

隶属函数分布集中,能增强控制器对输入的敏感性,系统速度较快,但稳定性变差;反之,隶属函数平坦,控制器敏感性降低,但是稳定性加强。图 3 是位移、

速度输入和电流输出隶属函数关系图,图 4 是输入输出关系曲面图。

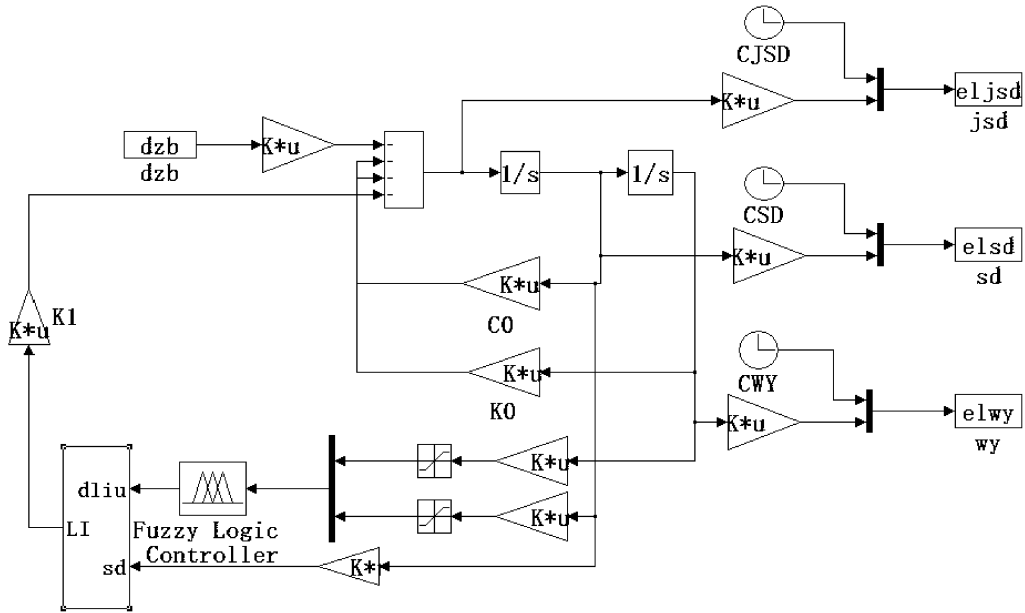


图 2 加设控制器模糊控制模型

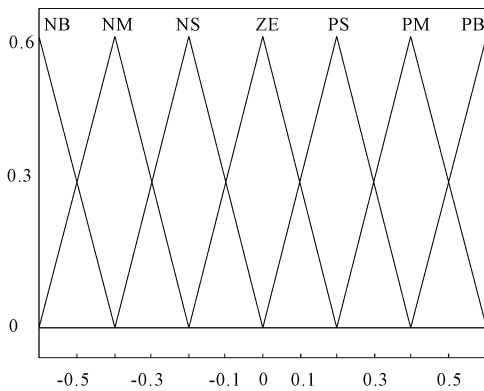


图 3 速度、位移及电流隶属度函数

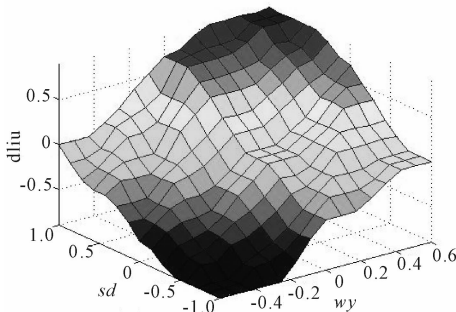


图 4 输入输出关系曲面图

根据“控制层间隔震层过大位移”的控制目标列出模糊规则^[3-5]定为表 1 所示。例如在地震反应过

程中层间相对速度和层间位移反应都较小时,控制电流应取较小,此时控制力出力也较小;如果地震反应过程中层间相对速度和层间位移反应很大时,控制电流取很大,相应的控制力也很大。

表 1 模糊规则表

速度	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NS	NS		
NM	NB	NB	NM	NS			
NS	NB	NM	NS			PS	PS
ZE	NM	NS	NS			PS	PM
PS	NS	NS		PS	PS	PM	PB
PM	NS			PM	PM	PB	PB
PB			PS	PM	PB	PB	PB

5 算例

本例采用十层钢筋混凝土框架大底盘结构在隔震层处加设磁流变阻尼器^[4-7],本文选用 Lord 公司生产的 MRF336 型磁流变阻尼器。结构的各层特性参数为:第一至第十层各层质量为 860 400 kg、860 400 kg、341 000 kg、341 000 kg、341 000 kg、341 000 kg、341 000 kg、341 000 kg、341 000 kg、341 000 kg;第一至第十层的刚度 k 分别是:2 500 000 N/m、2

500 000 N/m、34 300 N/m、1 250 000 N/m、1 250 000 N/m、1 250 000 N/m、1 250 000 N/m、1 250 000 N/m、1 250 000 N/m、1 250 000 N/m、1 250 000 N/m; 阻尼比 $\xi = 0.05$; 地震动输入为 EL Centro 波, 采用罕遇地震下加速度峰值为 400 gal; 分析结果如下(图 5、图 6 分别表示隔震层有控和无控位移反应和加速度反应):

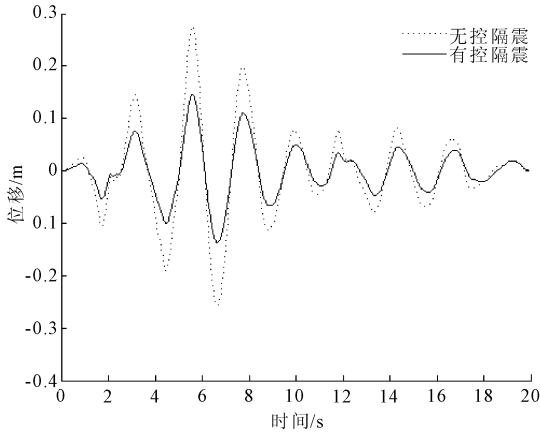


图 5 三层节点位移对比

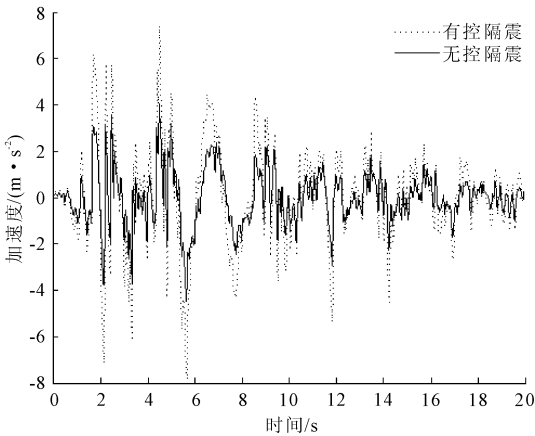


图 6 三层节点加速度反应对比

6 结 论

(1) 模糊控制作用下层间隔震层间位移反应明显减小, 尤其是对过大位移有较强的控制效果减小幅度在 0.1 m。

(2) 模糊控制作用下隔震层加速度反应较无控层间隔震反应有所增加, 但是增加幅度不大。

(3) 模糊控制可以瞬时、准确的确定出地震过程中每一步磁流变阻尼器的电流值的大小, 从而实现了对整个地震过程的控制, 避免了循环时程分析时繁琐的计算。

(4) 磁流变阻尼电流大小的决策是通过层间速度反应和隔震层相对位移反应, 通过直接将控制指标作为磁流变阻尼器电流大小使得阻尼器能更好的发挥作用, 实现对结构的有效控制。

参考文献:

- [1] 徐赵东, 郭迎庆. MATLAB 语言在建筑抗震工程中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2] 欧进萍. 结构振动控制主动、半主动和智能控制[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [3] 王 刚, 欧进萍. 结构振动的模糊建模与模糊控制规则提取[J]. 地震工程与工程振动, 2001, 21(2): 130-135.
- [4] 袁 俊. 磁流变阻尼器隔震控制研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [5] Casciati F, Faravelli L, Yao T. Control of nonlinear structures using the fuzzy control approach[J]. Nonlinear Dynamics, 1996, 11(2): 171-187.
- [6] 王社良, 樊禹江, 刘苗苗. 新型压电摩擦阻尼器动态力学性能的理论分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2011, 9(3): 34-35.
- [7] 欧进萍, 关新春. 磁流变耗能器性能试验研究[J]. 地震工程与工程振动, 1999, 19(4): 76-81.