

改进的基于 MR 阻尼器的斜拉索 模糊半主动控制有限元模拟

刘黔会,张挣鑫

(贵州理工学院 土木工程学院,贵州 贵阳 550003)

摘要:模糊控制应用在斜拉索 - MR 阻尼器振动控制时,可直接通过系统的响应得到 MR 阻尼器的输入电压,简单实用,不过需要大量调试才能得到系统响应的量化因子,工作量较大.在基于 MR 阻尼器斜拉索参数共振模糊半主动控制的基础上,提出一种改进的方法,使得模糊控制计算更加智能.以红水河特大桥的 M22 和 M13 拉索为研究对象,对其参数共振进行振动控制研究.结果表明:改进的基于 MR 阻尼器斜拉索参数共振模糊控制方法相比一般模糊控制方法更加智能,不需要斜拉索无控制时的响应可确定输入变量或输出变量的基本论域和量化因子且采用改进的模糊半主动控制方法进行振动控制时,阻尼器所需电压均小于一般模糊控制时所需电压.

关键词:MR 阻尼器;斜拉索;参数共振;模糊控制;半主动控制

中图分类号:TB535⁺.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2014)02-0042-05

Study on the cable - stayed improved fuzzy semi - active control of MR damper by finite element simulation

LIU Qian - hui, ZHANG Zheng - xin

(School of Civil Engineering, Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550003, China)

Abstract: The input voltage of the MR damper could be gotten directly by the response of the system, when the fuzzy semi - active control method was used for the vibration control of the cable - stayed bridge. An improved fuzzy semi - active control method, for parametric vibration of the cable - stayed with MR damper, was proposed, to make the fuzzy semi - active control method more smart. The parameter vibration control of the cable M22 and the cable M13 of the Hongshuihe cable - stayed Bridge was studied. The results show that the effect of the improved fuzzy semi - active control strategy is better than that of the fuzzy semi - active control strategy. In addition, the proposed fuzzy semi - active control strategy does not need to debug the scaling factor of input variables and output variables, and the MR damper requires lower voltages. Therefore, the proposed method makes the fuzzy control more intelligent.

Key words: MR damper; stay cable; parameter vibration; fuzzy control; semi - active control

斜拉索 - MR 阻尼器系统的半主动控制形式主要有 2 种:一种是基于神经网络控制理论^[1-2],另一种是基于模糊控制理论^[3-4].由于模糊控制应用在斜拉索 - MR 阻尼器振动控制时,可直接通过

系统的响应得到 MR 阻尼器的输入电压,简单实用,不过需要大量调试才能得到系统响应的量化因子,工作量较大.本文在传统的斜拉索 - MR 阻尼器系统模糊半主动控制基础上,提出改进的模糊半

主动控制方法,并利用有限元软件对其进行实例应用验证.

1 改进的模糊半主动控制方法

一般的斜拉索 - MR 阻尼器系统模糊半主动控制方法^[5-7]如图 1 所示,在每次对斜拉索 - MR 阻尼器系统进行控制时都必须确定与输入、输出变量的基本论域以及相应的量化因子或比例因子,而量化因子和比例因子需要大量调试才能获得^[8-12]. 本文将在模糊控制方法的基础上对控制方法进行改进,增加一针对量化因子的模糊控制器,使得量化因子能够根据拉索的响应取值,适应拉索的不同振动状态. 改进的模糊控制方法如图 2 所示.

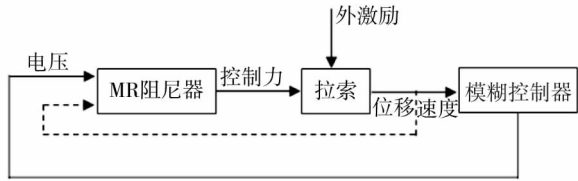


图1 模糊控制方法

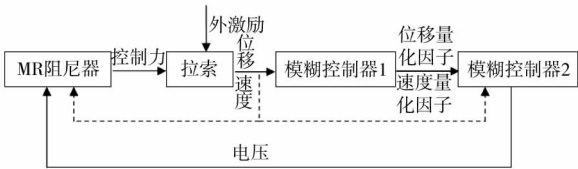
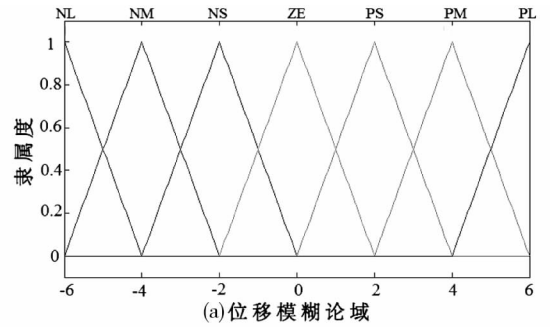


图2 改进的模糊控制方法

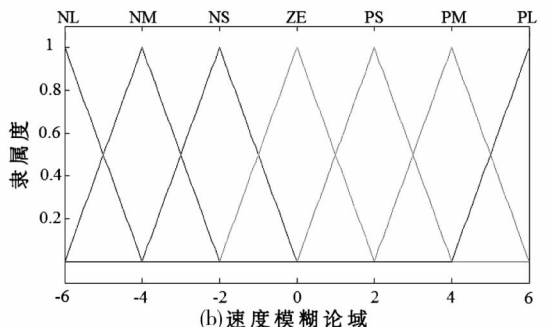
改进的模糊控制方法采用了 2 个模糊控制器,其中模糊控制器 2 与模糊控制方法图中的模糊控制器是一致的,采用同样的输入输出及模糊规则,而模糊控制器 1 则是针对位移与速度的量化因子新添加设计的.

模糊控制器 1 采用两输入两输出的形式,输入变量是阻尼器安装位点的位移和速度,输出变量则为位移量化因子与速度量化因子. 2 个输入变量采用 7 个三角形隶属度函数,输出变量则均采用 3 个隶属度函数,具体形式如图 3(a) - 图 3(e) 所示. 输入变量的模糊论域定为 $[-6, 6]$, 输出变量模糊的模糊论域定为 $[0, 3]$, 模糊控制器 1 所采用的规则如表 1 所示, 模糊控制器 2 采用两输入一输出的形式, 输入变量同样是阻尼器安装位点的位移和速度, 输出变量则为电压. 输入变量隶属度函数如图

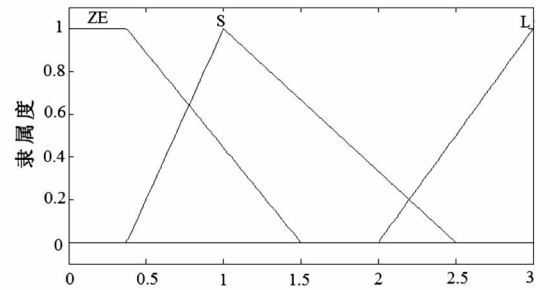
3(a)、图 3(b) 所示, 输出变量隶属度函数如图 3(e) 所示, 模糊论域定为 $[0, 3]$. 模糊控制器 2 所采用的规则如表 2 所示.



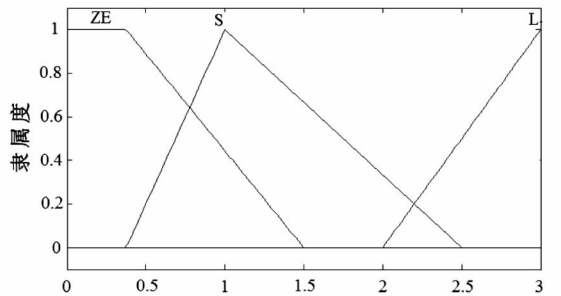
(a) 位移模糊论域



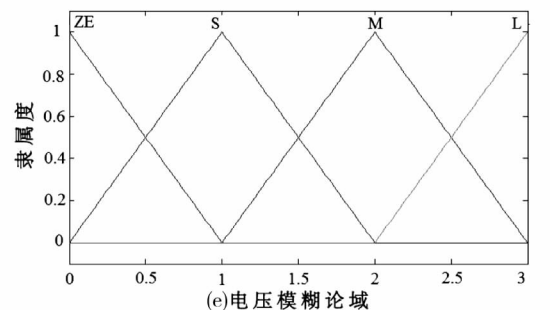
(b) 速度模糊论域



(c) 位移量化因子模糊论域



(d) 速度量化因子模糊论域



(e) 电压模糊论域

图3 输出输入变量隶属度函数

表1 模糊控制器1所用规则表

速度位移	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
NL	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
NM	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
NS	ZE	ZE	ZE	S	ZE	ZE	ZE
ZE	ZE	ZE	S	L	S	ZE	ZE
PS	ZE	ZE	ZE	S	ZE	ZE	ZE
PM	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
PL	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE

表2 模糊控制器2所用规则表

速度位移	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
NL	ZE	ZE	L	L	S	ZE	ZE
NM	L	L	L	L	M	M	M
NS	L	L	L	S	M	L	L
ZE	L	L	M	ZE	M	L	L
PS	L	M	ZE	S	ZE	M	L
PM	ZE	ZE	S	L	S	L	L
PL	ZE	ZE	S	L	L	ZE	ZE

2 实例计算

本文对贵州红水河特大斜拉桥中 M22 和 M13

一长一短 2 根拉索进行参数共振的改进模糊控制,并在 ANSYS 中进行模拟. 2 根拉索的主要参数如表 3 所示.

表3 拉索参数

	长度/m	倾角/(°)	截面面积/m ²	弹性模量/Pa	索力/kN	每米质量/(kg/m)	阻尼比
M22 索	275.776	24.9	0.009 275	1.95E + 11	5 691	72.8	0.004
M13 索	179.551	33.2	0.007 658	2.00E + 11	4 364	60.1	0.004

斜拉索参数振动动力学模型如图 4 所示.

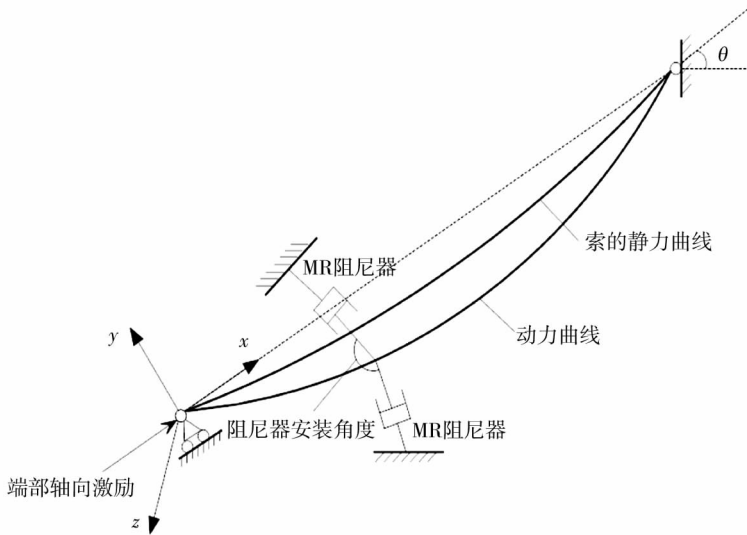


图4 斜拉索 - MR 阻尼器系统参数振动力学模型

本文计算的拉索轴端激励载荷的工况如表 4 所示.

表4 斜拉索 - MR 阻尼器系统模糊控制研究的工况设置

工况	研究对象	激励形式	激励频率/ Hz	激励幅值/ m	激励位置	阻尼器位置
1	M13	端部简谐	9.429 8	0.03	索端	0.04 L
2	M13	端部简谐	9.429 8	0.04	索端	0.05 L
3	M22	端部简谐	6.370 4	0.06	索端	0.04 L

改进模糊控制 APDL 实现的程序流程如图 5 所示。

当采用改进模糊控制计算电压的基本论域均为 [0,2.5] (单位:V),比例因子为 1.2,而各工况下输入变量位移基本论域为 [-0.12,0.12],速度的基本论域为 [-0.8,0.8],其各自量化因子如表 5.当采用改进的模糊控制方法时,模糊控制器 1 中的输入变量位移的基本论域为 [-0.12,0.12],量化因子为 50;速度的基本论域为 [-0.8,0.8],量化因子为 7.5.输出变量位移量化因子的基本论域为 [0,400],比例因子为 0.015;速度量化因子的基本论域为 [0,50],比例因子为 0.06.而模糊控制器 2 的输入变量的基本论域与量化因子均由模糊控制器 1 给定.由图 6 和表 6 可知模糊控制与改进的模糊控制效果相当,但改进的模糊控制所需电压均要小.

表 6 斜拉索在 2 种模糊半主动控制下的数值模拟结果

工况数	最大位移/m	稳态幅值/m	最大速度/(m/s)	最大加速度/(m/s ²)	平均电压/V	
一般模糊控制方法	1	0.012 (98.62%)	0.033 (96.75%)	0.240	2.261	1.312
	2	0.015 (98.64%)	0.047 (96.62%)	0.335	2.924	1.293
	3	0.038 (95.58%)	0.097 (90.29%)	0.458	2.392	1.466
改进的模糊控制方法	1	0.012 (98.61%)	0.033 (96.75%)	0.229	2.164	1.249
	2	0.019 (98.35%)	0.047 (96.61%)	0.325	2.802	1.225
	3	0.022 (97.46%)	0.054 (94.66%)	0.266	1.569	1.000

注:括号里的百分比是指(无控制时的结果值-控制时的结果值)/无控制时的结果值

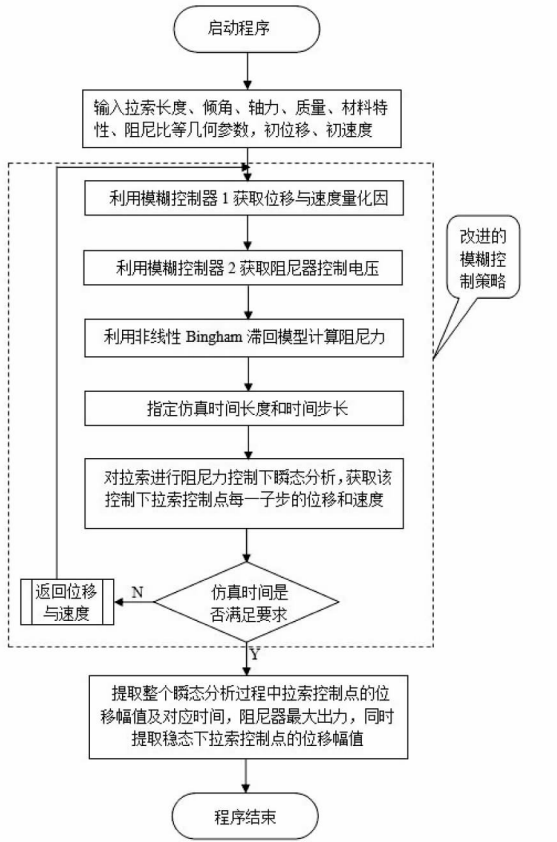


图 5 斜拉索-MR 阻尼器系统改进的模糊控制有限元程序编写流程图

表 5 各工况下输入变量的量化因子

工况	量化因子	
	位移量化因子	速度量化因子
1	550	80
2	400	50
3	250	80

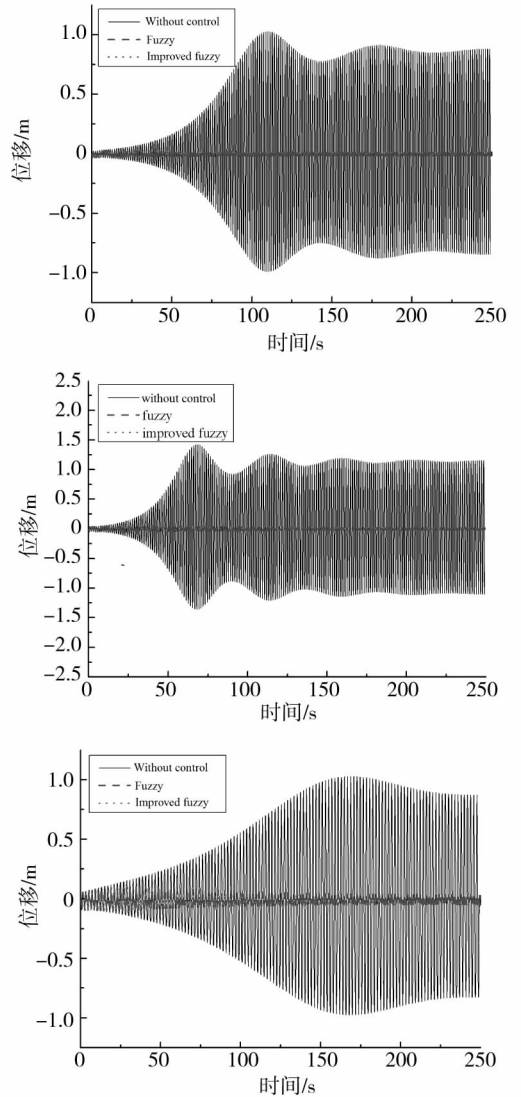


图 6 无控及 2 种模糊控制斜拉索跨中位移响应

3 结论

1) 针对给定的3种工况计算可知,改进的模糊控制可以完全抑制参数共振的发生,且对短索的抑制效果更好。

2) 斜拉索在索锚固段的轴向激励下发生参数共振时,所提出的改进的模糊半主动控制方法的效果与模糊控制方法的效果基本相当,但采用改进的模糊控制方法时输入MR阻尼器的电压的全时程平均值比采用模糊控制方法时要小;

3) 改进的模糊半主动控制方法并不需要根据斜拉索无控制时的响应确定输入变量或输出变量的基本论域和量化因子,这使得斜拉索模糊半主动控制更加智能化。

参考文献:

- [1] 郭喆华,陈勇.磁流变阻尼器对斜拉索的振动控制[M].北京:科学出版社,2007.
- [2] 王修勇.斜拉桥拉索振动控制新技术研究[D].长沙:中南大学,2002.
- [3] 陈水生,任东红.斜拉桥拉索MR模糊半主动控制研究[J].华东交通大学学报,2005(5):7-10.
- [4] Ok S Y, Kim D S, Park K S, et al. 采用磁流变阻尼器对斜拉桥的半主动模糊控制[J]. 钢结构, 2008(5): 76-80.
- [5] 肖志荣.大跨度斜拉桥拉索的非线性振动及智能半主动控制研究[D].杭州:浙江大学,2008.
- [6] Wen Y K. Method of random vibration of hysteretic systems[J]. Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE, 102(EM2), 1976, 102(2): 249-263.
- [7] 陈水生.大跨度斜拉桥拉索的振动及被动半主动控制[D].杭州:浙江大学,2002.
- [8] 张挣鑫,刘黔会,黄方林.一种在ANSYS中模拟磁流变液的方法[J].贵州大学学报,2011,8(4):110-113.
- [9] Zhang Z X, Huang F L. A new magneticrheological damper nonlinear bingham hysteretic model and ANSYS implementation [J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 351-352(2): 1146-1151.
- [10] 孙洪鑫,王文熙,王修勇,等.旋转剪切式MR阻尼器的性能试验与改进滞回模型[J].振动工程学报,2011,24(4):394-399.
- [11] 禹见达,陈政清,王修勇,等.斜拉索MR阻尼器减振自适应控制理论研究[J].工程力学,2011,28(9):103-108.
- [12] 樊晓平,武利冲,杨胜跃.斜拉索的磁流变半主动自适应控制器设计[J].控制理论与应用,2010,27(10):1307-1314.