

# 位移相关摩擦阻尼基础隔震结构地震分析

杨庆丽<sup>1,2</sup>, 周强<sup>3</sup>, 骆年红<sup>3</sup>

(1. 北京工业大学建筑工程学院, 北京 100124; 2. 新疆大学建筑工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830008;

3. 武汉理工大学道路桥梁与结构工程湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430070)

**摘要:**采用 Bouc-Wen 滞回模型和库仑摩擦模型来模拟铅芯橡胶隔震垫和摩擦阻尼器的力学模型, 建立了位移相关摩擦阻尼隔震结构运动方程. 数值分析表明, 在常规强震激励下, 位移相关摩擦阻尼能减少隔震层位移, 但会增加上部结构的层间位移和加速度反应; 而在脉冲型近场地震激励下则不仅能显著降低隔震层位移, 同时对上部结构的地震响应也有一定的减震效果. 参数分析对位移相关摩擦阻尼器的三个主要设计参数的合理选取给出了建议.

**关键词:**位移相关摩擦阻尼; 铅芯橡胶基础隔震; 库仑摩擦; 脉冲型近场地震

**中图分类号:** TU311.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2012)06-0773-05

基础隔震由于具有良好的减震效果、安全性和耐久性, 已在世界范围内得到了广泛应用. 在我国, 基础隔震技术已经列入《建筑抗震设计规范》, 这标志着隔震技术进入了推广应用的实用化阶段. 除了常见的铅芯橡胶基础隔震外, 基于摩擦机制的基础隔震结构的研究也较多<sup>[1]</sup>. 由于铅芯橡胶支座和摩擦阻尼各有优缺点, 一种很自然的推广是将两者组合起来以形成复合隔震装置. 张文芳和程文灏<sup>[2]</sup>的研究表明设置滑移摩擦阻尼器或滑移支座的基础隔震体系具有良好的减震效果, 能有效降低隔震层位移, 尽管使加速度反应加大, 但基本不影响结构的滑动位移和减震特性, 对楼面设施减震效果的影响较小. 由于近断层地震包含有明显的长周期速度脉冲, 作用在具有长周期的基础隔震结构时, 隔震支座将产生很大的变形并有可能侧倾失稳<sup>[3]</sup>. 为此 Makris 和 Chang<sup>[4]</sup>深入研究了各种耗能机制对脉冲型近场地震激励下隔震结构的动力响应的影响, 指出由较低的摩擦力和粘滞力构成的组合耗能机制是一种较优的方案, 既能有效减隔震层位移, 又不显著增加基底剪力和上部结构加速度.

上述的研究大多考察具有常起滑力的摩擦阻尼, 相比而言, 根据阻尼器的运动实时调整正压力, 从而调整阻尼器的起滑力将具有更好的适应能力, 如 Nims 等人<sup>[5]</sup>提出的筒式滑块锁紧阻尼器, 它能使摩擦力随滑动位移线性增加, 并具有自复位功能. Makris 和 Constantinou<sup>[6]</sup>、Whitman 和 Ferri<sup>[7]</sup>等人研究了位移相关摩擦阻尼对工程结构的减振效果, 但是在基础隔震中的应用则研究得较少. 针对这一不足, 本文着重考察不同类型地震波激励下位移相关摩擦阻尼对基础隔震结构的减震效果, 并进行了参数分析.

## 1 位移相关摩擦阻尼隔震结构运动方程及求解

为简便计, 仅考虑隔震结构在单向水平地震作用下的动力响应. 假设上部结构始终处于线弹性阶段, 则图 1 所示的安装位移相关摩擦阻尼器的  $N$  层剪切型铅芯橡胶基础隔震结构的运动方程为

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} + \{h\}(f_r + f_d) = [M]\{1\}\ddot{x}_g \quad (1)$$

其中:  $[M] = \text{diag}\{m_b, m_1, m_2, \dots, m_N\}$  为  $(N+1) \times (N+1)$  阶的对角质量矩阵;  $m_b$  和  $m_j$  分别为隔震层和上部结构第  $j$  层的质量;  $[C]$  和  $[K]$  分别为隔震结构的阻尼矩阵和刚度矩阵;  $\{x\} = \{x_b, x_1, x_2, \dots, x_N\}^T$  为隔震层和上部结构各层相对于地面的侧向位移向量;  $\{h\} = \{1, 0, 0, \dots, 0\}^T$  和  $\{1\} = \{1, 1, 1, \dots, 1\}^T$  分别为  $N+1$  阶的位置向量和地震影响系数向量;  $f_r$  和  $f_d$  分别为隔震垫和位移

收稿日期: 2012-09-20 修改稿日期: 2012-11-28

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2012-IV-016)

作者简介: 杨庆丽(1964-), 女, 北京人, 副教授, 博士生, 主要从事土木工程研究.

相关摩擦阻尼器的输出力;  $\ddot{x}_g$  为地震动加速度. 由于铅芯橡胶隔震垫的阻尼特性隐含地考虑在其非线性力学滞回模型中, 因此忽略隔震垫的线性粘滞阻尼部分, 则  $[C]$  和  $[K]$  的具体表达式为

$$[C] = \begin{bmatrix} c_1 & -\{\bar{c}\}^T \\ -\{\bar{c}\} & [C_s] \end{bmatrix}, \quad [K] = \begin{bmatrix} k_1 & -\{\bar{k}\}^T \\ -\{\bar{k}\} & [K_s] \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中,  $c_1$  和  $k_1$  分别为上部结构第1层的阻尼系数和刚度系数;  $\{\bar{c}\} = \{c_1, 0, \dots, 0\}^T$  和  $\{\bar{k}\} = \{k_1, 0, \dots, 0\}^T$  分别为  $N$  阶的辅助向量,  $[C_s]$  和  $[K_s]$  分别为上部结构的  $N \times N$  阶三对角阻尼矩阵和刚度矩阵.

铅芯橡胶隔震垫的恢复力力学特性通常采用双线性模型, 虽然在某一区段范围内, 隔震垫的输出力与变形呈线性关系, 但是在拐点附近通常需要在一定时间步长范围内反复迭代以准确确定出现拐点的时刻. 为了在计算过程中避免需要反复迭代, 通过

选用合适的参数, 本文采用连续的微分滞回 Bouc-Wen 模型来模拟双线性力学特性, 即

$$f_r = \alpha k_b x_b + (1 - \alpha) k_b \delta_{yb} z \quad (3)$$

$$\dot{z} = \dot{x}_b (A - (\beta + \gamma \operatorname{sgn}(\dot{x}_b) \operatorname{sgn}(z)) |z|^n) / \delta_{yb} \quad (4)$$

其中:  $\alpha$  为隔震垫的屈服后与屈服前刚度之比;  $k_b$  为隔震垫的初始刚度;  $\delta_{yb}$  为隔震垫的屈服位移;  $z$  为滞回变量;  $A, \beta, \gamma$  和  $n$  为控制滞回环形状的无量纲参数, 推荐的取值分别为 1.0, 0.5, 0.5 和 20.0,  $\operatorname{sgn}(\cdot)$  为符号函数. 图2给出了公式(3)、(4)得到的隔震垫恢复力模型.

为简便计, 位移相关摩擦阻尼器提供的摩擦力采用库仑摩擦阻尼器来描述, 则其力学模型可表示为

$$f_d = \mu(N_0 + k_d |x_b| \tan \theta) \operatorname{sgn}(\dot{x}_b) \quad (5)$$

其中:  $\mu$  为滑动摩擦系数;  $N_0$  为初始正压力;  $k_d$  为阻尼器的弹簧刚度系数;  $\theta$  为楔块坡面夹角, 如图1所示. 由于符号函数  $\operatorname{sgn}(\cdot)$  是非连续的, 在进行计算分析时需要在每个时间步长内判断摩擦阻尼器所处的运动状态, 即滑移状态和附着状态, 为了避免这一困难, Mostaghel 和 Davis<sup>[8]</sup> 提出了四种连续函数来代替非连续的符号函数, 仿真分析表明这四类函数均具有良好的计算精度, 据此方程(5)可改写为

$$f_d = \mu(N_0 + k_d |x_b| \tan \theta) \cdot \arctan(\alpha_0 \dot{x}_b) / (\pi/2) \quad (6)$$

式中:  $\alpha_0$  为无量纲正数. 仿真分析表明  $\alpha_0$  取 100 比较合适的. 位移相关摩擦阻尼器的力学模型如图3所示.

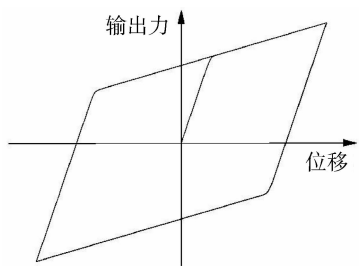


图2 铅芯橡胶隔震垫的恢复力模型

Fig. 2 Restoring force model of LRB isolator

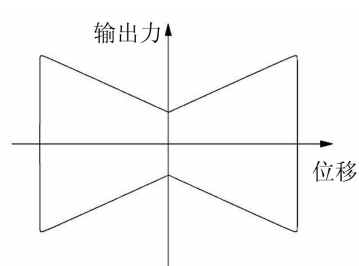


图3 位移相关摩擦阻尼器力学模型

Fig. 3 Mechanical model of DDF damper

引入  $2(N+1)+1$  阶的状态列向量

$$\{y\} = \{\{x\}^T \quad \{\dot{x}\}^T \quad z\}^T \quad (7)$$

则方程(1)、(3)、(4)、(6)可转化为一阶非线性状态方程, 即

$$\begin{Bmatrix} \dot{y} \\ \dot{x} \\ \dot{z} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \dot{x} \\ \dot{x} \\ \dot{z} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -[M]^{-1}[C]\{\dot{x}\} - [M]^{-1}[K]\{x\} - [M]^{-1}\{h\}(f_r + f_d) - \{1\}\ddot{x}_g \\ x_b(A - (\beta + \gamma \operatorname{sgn}(\dot{x}_b)\operatorname{sgn}(\dot{z})) | \dot{z} |^n) / \delta_{yb} \end{Bmatrix} \quad (8)$$

方程(8)可采用经典四阶 Runge-Kutta 方法求解,本文据此采用 Visual Fortran 语言编制了相应的分析程序。

## 2 算例分析

为了研究位移相关摩擦阻尼对铅芯橡胶隔震结构地震响应的影响,选取的一个典型的基础隔震结构计算模型:上部剪切型结构有 5 层,每层的质量、层间刚度和层间阻尼均相等,分别为  $500 \times 10^3 \text{ kg}$ ,  $1\,000 \times 10^6 \text{ N/m}$  和  $6 \times 10^6 \text{ N/(m/s)}$ . 隔震层质量为  $500 \times 10^3 \text{ kg}$ . 根据常规的铅芯橡胶隔震垫刚度与上部结构层间刚度之间的关系,确定隔震垫双线性恢复力模型参数为:初始刚度为  $200 \times 10^6 \text{ N/m}$ ,屈服位移为  $0.01 \text{ m}$ ,屈服后与屈服前的刚度比为  $0.1$ . 根据仿真分析的结果,位移相关摩擦阻尼器参数设定为:滑动摩擦系数为  $0.2$ ,初始正压力为  $5.4 \times 10^6 \text{ N}$ ,弹簧刚度系数为  $60 \times 10^6 \text{ N/m}$ ,楔块坡面夹角为  $20^\circ$ . 仅安装铅芯橡胶隔震垫后,结构的自振频率由最初的  $2.026 \text{ Hz}$  降为  $1.126 \text{ Hz}$ .

### 2.1 地震波的选取

选取三个地震波记录,分别为 1940 年的 El-Centro 南北向地震记录、1979 年美国 Imperial Valley 地震中在 Array #5 站点获得的垂直于断层方向的地面记录以及 1995 年日本 Kobe 地震时在 Takatori 站点获得的地震动记录. 前者为典型的常规强震记录,而后两条为典型的脉冲型近断层地震,其中 Array #5 记录的加速度和速度时程记录如图 4 所示. Loh 等人指出地面峰值速度与峰值加速度的比值 (PGV/PGA) 大于  $0.2 \text{ s}$  可以作为识别脉冲型近断层地震的一个重要指标. 后两条地震记录的 PGV/PGA 分别为  $0.24 \text{ s}$  和  $0.21 \text{ s}$ ,均满足要求. 计算分析时地震加速度峰值调幅至  $400 \text{ cm/s}^2$ ,相当于我国规范给出的 8 度罕遇地震.

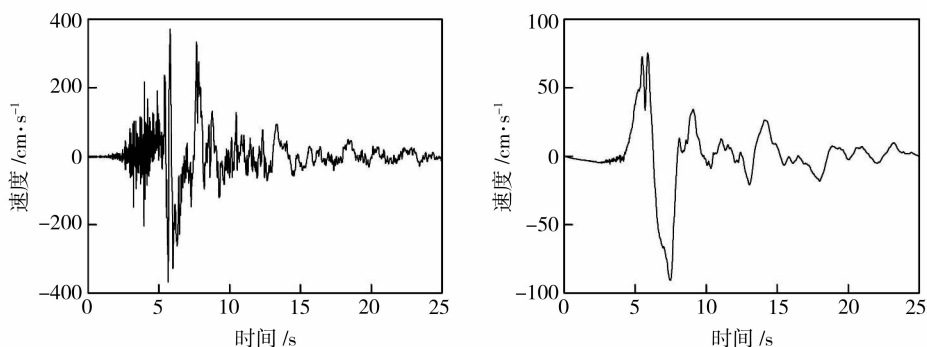


图 4 1979 年 Imperial Valley 地震 Array #5 站点的加速度和速度时程曲线

Fig. 4 Acceleration and velocity time histories of the Imperial Valley 1979 earthquake recorded at Array #5

### 2.2 地震响应比较

不同地震记录下结构响应最大值见表 1. 其中,OS 代表无隔震体系的原结构,BI 代表原结构仅安装铅芯橡胶隔震垫,BI+Fr 代表原结构安装了铅芯橡胶隔震垫和位移相关摩擦阻尼器.

从表 1 可看出,当地震记录为常规的强震记录 El Centro 波时,采用铅芯橡胶隔震垫后,上部结构层间位移最大值从  $2.26 \text{ cm}$  减小到  $0.31 \text{ cm}$ ,减少  $86.3\%$ ;加速度从  $13.47 \text{ m/s}^2$  减小到  $2.85 \text{ m/s}^2$ ,减少百分比均约为  $78.8\%$ . 安装位移相关摩擦阻尼器之后,隔震结构的隔震层位移从  $8.43 \text{ cm}$  减少到  $6.03 \text{ cm}$ ,减少  $28.5\%$ ,但是上部结构某些层的层间位移和加速度均有所增加. 当地震记录为典型的脉冲型近断层地震记录 Array #5 和 Kobe 时,由于地震波具有明显的长周期速度脉冲运动,使得铅芯橡胶基础隔震结构的隔震层产生较大的位移,分别达到  $42.68 \text{ cm}$  和  $50.91 \text{ cm}$ ,安装位移相关摩擦阻尼器之后,隔震层位移有了显著降低,仅为  $22.48 \text{ cm}$  和  $32.36 \text{ cm}$ ,分别减少了  $47.3\%$  和  $36.4\%$ . 同时,位移相关摩擦阻尼也减小了上部结构的层间位移和加速度响应.

表1 不同地震波激励下三种结构体系的反应最大值

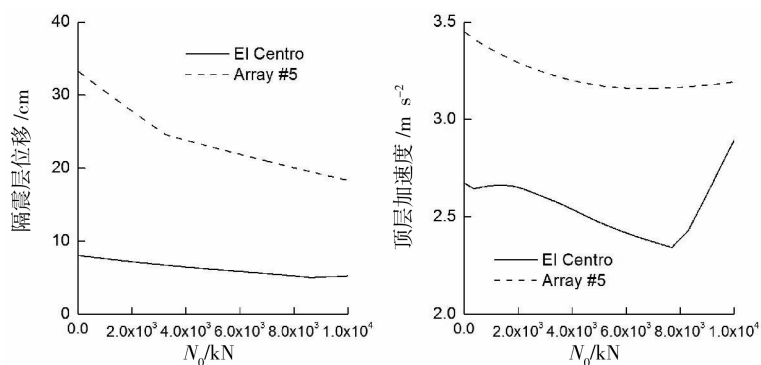
Tab. 1 Peak response of three kinds of structure subject to Kobe record

地震波	楼层	相对位移/cm			层间位移/cm			绝对加速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$		
		OS	BI	BI+Fr	OS	BI	BI+Fr	OS	BI	BI+Fr
El Centro	隔震层	/	8.43	6.03	/	8.43	6.03	/	2.33	2.26
	一层	2.26	8.71	6.37	2.26	0.31	0.35	6.16	1.80	2.07
	三层	5.98	9.05	6.85	1.74	0.26	0.32	9.78	1.35	1.85
	五层	7.90	9.20	7.05	0.67	0.14	0.12	13.47	2.85	2.45
Array #5	隔震层	/	42.68	22.48	/	42.68	22.48	/	3.51	2.93
	一层	2.62	43.54	23.16	2.62	0.86	0.70	5.73	3.53	2.88
	三层	6.87	44.73	24.18	1.91	0.52	0.43	11.33	3.43	2.86
	五层	8.91	45.23	24.64	0.70	0.18	0.16	13.96	3.57	3.17
Kobe	隔震层	/	50.91	32.36	/	50.91	32.36	/	4.12	4.18
	一层	2.81	51.90	33.20	2.81	0.99	0.91	6.43	4.13	4.07
	三层	7.31	53.27	34.39	2.02	0.62	0.59	11.91	3.99	3.69
	五层	9.46	53.85	34.89	0.73	0.21	0.21	14.70	4.23	4.18

由此可知,常规的铅芯橡胶基础隔震结构安装位移相关摩擦阻尼器后,能有效降低隔震层位移,尤其当输入地震波具有长周期速度脉冲时,随着隔震层位移的增加,位移相关摩擦阻尼也线性增加,从而有效抑制隔震层的大幅位移响应.上部结构所受惯性力总和由隔震层底部橡胶垫和摩擦阻尼器的合力来平衡.安装摩擦阻尼器之后,与仅安装铅芯橡胶隔震垫相比较,一方面由于额外提供了摩擦阻尼力,使隔震层底部合力增加;另一方面,摩擦阻尼的存在减小了橡胶隔震垫的输出力,使隔震层底部合力降低.从数值仿真分析来看,当输入地震波为常规强震记录时,隔震层底部合力是增加的,相应的上部结构的加速度和层间位移均有所增加;而当输入地震波为脉冲型近断层地震记录时,则情形正好相反.

### 2.3 参数研究

由于两条脉冲型近场地震激励下隔震结构响应大体相当,因此仅给出 Array #5 波激励下分析结果.位移相关摩擦阻尼器初始正压力参数  $N_0$  对隔震效果的影响如图 5 所示.从中可以看出,随着  $N_0$  的增加,隔震层的位移单调减少,但是在 El Centro 波下变化幅度较小,而在 Array #5 波下的变化较大,可从 33 cm 降至 18 cm.顶层加速度响应先减小,后增加,即存在一个较优的初始正压力值,但该值针对不同的地震波是不同的.鉴于上部结构的加速度响应在脉冲型近场地震激励下的要大于常规强震的,建议根据前者来优化初始正压力参数.

图5 摩擦阻尼器  $N_0$  对隔震效果的影响

( $\mu = 0.2, K_d = 60 \times 10^3 \text{ kN/m}, \theta = 20^\circ$ )

Fig. 5 Influence of  $N_0$  of DDF damper on isolation effect

( $\mu = 0.2, K_d = 60 \times 10^3 \text{ kN/m}, \theta = 20^\circ$ )

图 6 给出了阻尼器弹簧刚度系数对隔震效果的影响.从中可以看出,  $K_d$  的变化对 El Centro 波下隔震层位移的影响不大,但能明显减小 Array #5 波激励下的隔震层位移.随着  $K_d$  的增加, Array #5 波激励下上部结构加速度响应大体上是单调递增的;在 El Centro 波则从  $2.62 \text{ m/s}^2$  先减小至  $2.25 \text{ m/s}^2$ , 后增加至  $3.80 \text{ m/s}^2$ , 此时的加速度响应甚至大于 Array #5 波激励下的响应.因此,在隔震层位移满足要求的前提下,弹簧刚度系数不宜取值过大.

图 7 给出了阻尼器楔块坡面夹角对隔震效果的影响.从中可以看出,  $\theta$  的增加对 El Centro 波下隔震层位移几乎没有影响,但能显著降低 Array #5 波下的隔震层位移. Array #5 波下上部结构加速度

响应随着  $\theta$  的增加而增加,而在 El Centro 波激励下存在一个最优的  $\theta$  值.但考虑到 Array #5 波下的结构加速度反应要超过 El Centro 波下的反应,建议在隔震层位移满足要求的前提下  $\theta$  取小值,这在实际工程中也是有利的.

### 3 结 语

本文研究了位移相关摩擦阻尼对铅芯橡胶基础隔震结构的减震效果.数值分析表明,在常规强震激励下,位移相关摩擦阻尼能够减少隔震层位移,但是会增加上部结构的层间位移和加速度反应;而在脉冲型近场地震激励下能显著降低隔震层位移,同时对上部结构的地震响应也有一定的减震效果.参数分析表明,位移相关摩擦阻尼器的初始正压力、弹簧刚度系数和楔块坡面夹角这三个主要参数对隔震结构的加速度响应以及脉冲型近场地震下的隔震层位移有明显影响,而对常规强震下的隔震层位移影响不大.建议在隔震层位移满足要求的前提下,弹簧刚度系数和楔块坡面夹角取小值,并根据脉冲型近场地震激励下的结构响应来优化初始正压力参数.

### 参考文献 References

- [1] 熊仲明,张萍萍,韦俊,等. 滑移隔震结构基于能量分析的简化计算方法研究[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2012, 44(3): 305-309.  
XIONG Zhong-ming, ZHANG Ping-ping, WEI Jun, et al. Study on the simplified method of energy analysis based on sliding isolation structure [J]. J. Xi'an University of Architecture and Technology: Natural Science Edition, 2012, 44(3): 305-309.
- [2] 张文芳,程文瀛. 基础隔震结构设置摩擦阻尼器的地震反应研究[J]. 土木工程学报, 2001, 34(5): 1-9.  
ZHANG Wen-fang, CHENG Wen-rang. A model for seismic response of base-isolated structures with friction dampers [J]. China Civil Engineering Journal. 2001, 34(5): 1-9.
- [3] HEATON T H, HALL J F, WALD D J, et al. Response of high-rise and base-isolated buildings to a hypothetical Mw 7.0 blind thrust earthquake[J]. Science, 1995, 267(5195): 206-211.
- [4] MAKRI N, CHANG S P. Effect of viscous, viscoplastic and friction damping on the response of seismic isolated structures [J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2000, 29(1): 85-107.
- [5] NIM D K, RICHTER P J, BACHMAN R E. The use of the energy dissipating restraint for seismic hazard mitigation [J]. Earthquake Spectra, 1993, 9(3): 467-489.
- [6] MAKRI N, CONSTANTINOU M C. Analysis of motion resisted by friction. I. Constant Coulomb and linear/Coulomb friction[J]. Mechanics of Structures and Machines, 1991, 19: 477-500.
- [7] WHITEMAN W E, FERRI A A. Displacement-dependent dry friction damping of a beam-like structure [J]. Journal of Sound and Vibration, 1996, 198(3): 313-329.
- [8] MOSTAGHEL N, DAVIS T. Representations of Coulomb friction for dynamic analysis[J]. Earthquake Engineer-

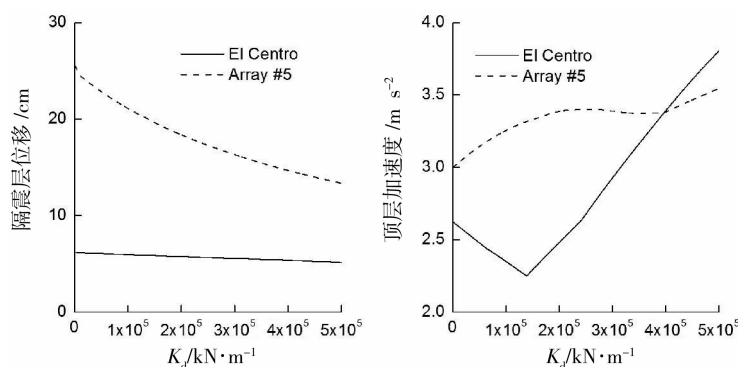


图6 摩擦阻尼器  $K_d$  对隔震效果的影响

( $\mu = 0.2, N_0 = 5.4 \times 10^3 \text{ kN}, \theta = 20^\circ$ )

Fig. 6 Influence of  $K_d$  of DDF damper on the isolation effect

( $\mu = 0.2, N_0 = 5.4 \times 10^3 \text{ kN}, \theta = 20^\circ$ )

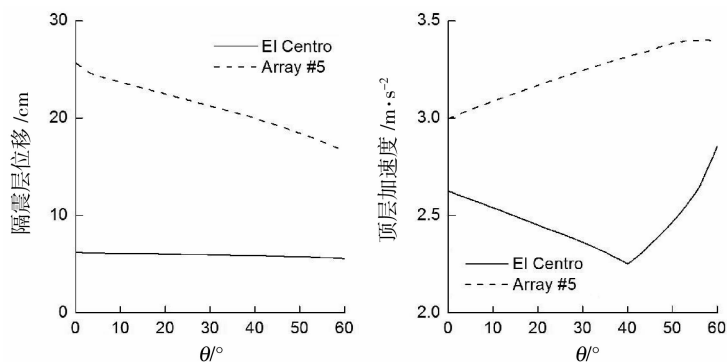


图7 摩擦阻尼器  $\theta$  对隔震效果的影响

( $\mu = 0.2, N_0 = 5.4 \times 10^3 \text{ kN}, K_d = 60 \times 10^3 \text{ kN/m}$ )

Fig. 7 Influence of  $\theta$  of DDF damper on the isolation effect

( $\mu = 0.2, N_0 = 5.4 \times 10^3 \text{ kN}, K_d = 60 \times 10^3 \text{ kN/m}$ )

ing and Structural Dynamics, 1997, 26(5): 541-548.

## Seismic analysis on the base isolated structure with displacement dependent friction damping

YANG Qing-li<sup>1,2</sup>, ZHOU Qiang<sup>3</sup>, LUO Nian-hong<sup>3</sup>

(1. School of Building Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;  
2. School of Building Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830008, China; 3. Hubei Key Laboratory  
of Roadway Bridge and Structure Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** Seismic response reduction effect of displacement dependent friction (DDF) damping on base isolated structure with lead rubber bearing (LRB) is investigated. Bouc-Wen hysteretic model and Coulomb friction model are adopted to simulate the mechanical property of LRB and DDF damper respectively. Numerical analysis shows that the DDF damping can reduce base displacement but may increase the inter-storey drift and acceleration response of the superstructure. On the other hand, under the excitation of impulse-type near fault earthquake, DDF damping can significantly mitigate base displacement. Meanwhile the inter-storey drift and acceleration response of the superstructure are also more or less reduced. Besides parametric analysis gives some suggestions on the proper values of the three main factors of the friction damper.

**Key words:** *displacement dependent friction damping; base isolated with lead rubber bearing; Coulomb friction; impulse-type near fault earthquake*

**Biography:** YANG Qing-li, Associate Professor, Candidate for Ph. D., Beijing 100124, P. R. China, Tel: 0086-13520818836, E-mail: yqingli@163.com

(上接第 766 页)

## Research on test and assessment method of integral energy saving performance of residential buildings

FU Xiang-zhao, TAN Zi-jing

(Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

**Abstract:** Based on using attribute of buildings, resistance and affinity properties of buildings were analyzed, which were described by integral of differential value between outdoor air temperature/ comprehensive temperature of outdoor and indoor air temperature. Resistance and affinity properties were in accord with integral energy-saving performance of residential buildings by analysis and three characterization parameters, hot-resistance capability, cold-resistance performance of residential buildings were proposed. Time intervals for test and assessment of the characterization parameters were presented. Moreover, a method for testing and assessing the integral energy saving performance of residential buildings was built with an operating process. It was easy for this method to implement with minimal investment and its result was given for each room that was proved by an application example in Chongqing.

**Key words:** *energy saving; residential building; characterization parameter; test and assessment*

**Biography:** FU Xiang-zhao, Professor, Chongqing 400045, P. R. China, Tel: 0086-13658339677, E-mail: Xiangzhaof@yahoo.com.cn