

连续梁桥中设置粘弹性阻尼器的减震效果分析

李兴田, 朱东生

(兰州交通大学, 甘肃 兰州 730070)

摘要:研究了设有粘弹性阻尼器的连续梁桥的地震反应,探讨了阻尼器在连续梁桥中的减震效果及阻尼器参数对减震效果的影响。结果表明:阻尼器对桥梁结构具有减震效果,要达到良好的减震效果必须对阻尼器的参数加以优化。

关键词:连续梁桥;粘弹性阻尼器;减震效果

中图分类号: P315.9; TU352.1⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2006)01-0026-05

Analysis on Effect of Absorbing Vibration for Continuous Girder Bridge with Viscoelastic Damper

LI Xing-tian, ZHU Dong-sheng

(Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The seismic response time-history of a continuous girder bridge with viscoelastic damper is analyzed. The effect of vibration mitigation of the damper in bridge and the influence of the damper parameters to the absorption effect are discussed. The result shows that the bridge with viscoelastic damper can minimize seismic response, and the damper parameter should be optimized in order to get nicer effect.

Key words: Continuous girder bridge; Viscoelastic damper; The absorption effect of vibration

0 前言

国内外有关将阻尼器用于土木工程减震的想法早在19世纪70年代就出现了,提出了用于减震的一些设备,但由于当时有控结构设计方法的研究还相对较少,特别是一些易于为广大工程技术人员掌握的简便实用方法还比较少,再加上阻尼本身的复杂性,使得耗能减震技术的发展较为缓慢^[2]。近年来,被动控制越来越受到人们的关注,各种阻尼器在建筑结构中的应用越来越广泛。

粘弹性阻尼器是一种有效的耗能装置,国内已开始将其用于实际建筑工程的抗震、抗风中,如单个框架^[2,4]或相邻结构^[3]的地震反应分析。桥梁工程中也采用粘弹性阻尼器控制桥梁结构中斜拉索、吊杆等的振动。随着桥梁跨度的增大,特别是连续梁桥一联跨度的增大,传统的只在一个墩顶设固定支座的方法使得固定墩的抗震设计成为一个难题。在活动墩墩顶设置阻尼器,一方面可以减小桥梁结构

的地震反应,另一方面可以使活动墩分担一部分地震作用,这是解决超长连续梁桥抗震问题的一个有效措施。

为了研究阻尼器在桥梁结构中的耗能减震效果,本文对设有阻尼器的四跨连续梁进行了地震时程反应分析,同时讨论了阻尼器参数对连续梁桥减震效果的影响。

1 基本原理

结构在地震作用下的运动方程为

$$[M][\ddot{X}] + [C][\dot{X}] + [K][X] = -[M][I]a_g \quad (1)$$

式中 $[M]$ 为减震结构的总体质量矩阵; $[C]$ 为主体结构的阻尼矩阵,本文计算采用Rayleigh阻尼; $[K]$ 为主体结构的刚度矩阵; $[I]$ 为一列向量,对应地震激励的分量取1,其它分量为零; a_g 为地面运动加速

度; $[\ddot{X}]$ 、 $[\dot{X}]$ 和 $[X]$ 为结构的相对反应量。

减震结构由主体结构 and 附加的阻尼器组成, 建筑结构所用的阻尼器中的流体一般为幂律流体, 其本构关系可表示为 $\tau = \kappa \dot{\gamma}^m$, 其中 τ 为剪应力; $\dot{\gamma}$ 为剪应变速率; κ 为稠度系数; m 为流动指数。对同一阻尼器而言, 如果忽略温度等外界因素的影响, 则 κ 与 m 可看成常数。由文献[5]可知, 阻尼器的阻尼力 F 与其两端相对速度 \dot{x} 之间的关系为

$$F = -C(\dot{x})^m \quad (2)$$

其中 C 为阻尼系数; $m=1$ 时为线性阻尼, $m \neq 1$ 时为非线性阻尼, 一般流动指数介于 0.3 与 1.0 之间。

当结构中设有消能减震的粘弹性阻尼器时, 结构的动力平衡方程为

$$[M][\ddot{X}] + [C + C_D][\dot{X}] + [K][X] = -[M][I]a_g \quad (3)$$

式中 $[C_D]$ 为附加阻尼器的阻尼矩阵。

2 算例分析

2.1 连续梁桥的计算模型

本文的分析对象是一座 $30 + 45 \times 2 + 30$ m 的四跨连续梁桥, 墩高均为 20 m。分析过程中输入 El Centro、Taft、Tianjing 波, 加速度峰值为 400 gal。为研究阻尼器及其参数对桥梁减震效果的影响, 选取如下三种计算模型:

模型一: 2、3 号墩墩顶设滑动支座, 1 号墩墩顶设固定支座(图 1(a));

模型二: 2、3 号墩墩顶和梁体之间加设阻尼器, 1 号墩墩顶设固定支座(图 1(b));

模型三: 1、2、3 号墩墩顶均设固定支座(图 1(c))。

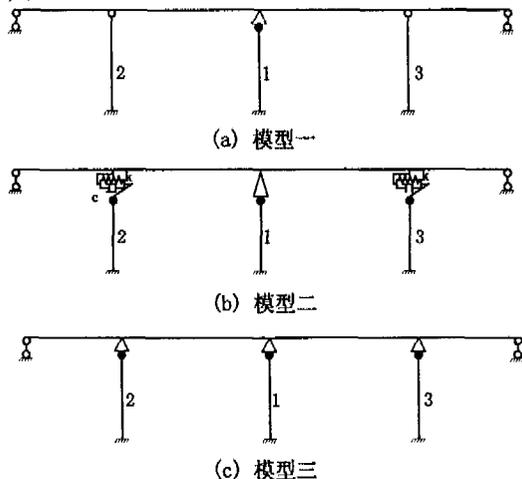


图 1 连续梁桥的动力计算模型

Fig.1 Models of continuous girder bridge.

在模型二中, 阻尼器设在 2 号、3 号墩墩顶和梁体之间。在有限元分析中采用 COMBIN14 单元模拟阻尼器, 且设定阻尼单元只有沿纵桥向的自由度。

2.2 连续梁桥的动力特性分析

首先对不设阻尼器的四跨连续梁桥, 即图 1(a) 为计算模型做动力特性分析(表 1)。该桥的基频为 0.544 6 Hz, 振型为纵桥向的振动。在第 7、第 8 阶振型出现了活动墩纵桥向的同向振动和对称振动, 频率为 4.704 3。而我们分析的对象是连续梁桥纵桥向的振动, 所以在活动墩的顶部和梁体之间设置阻尼器, 使得活动墩和梁体互相牵制, 有效地减小它们在纵桥向的振动, 达到减震的目的。

表 1 四跨连续梁桥的动力特性

频率序号	频率/Hz	振型特性
1	0.544 6	纵桥向振动
2	1.296 0	横桥向摆动
3	1.506 8	横桥向振动
4	2.385 6	一阶对称横桥向弯
5	3.165 6	二阶反对称纵弯
6	4.446 0	二阶对称纵弯
7	4.704 3	活动墩同向振动
8	4.704 3	活动墩对称振动
9	5.770 6	二阶反对称横桥向弯
10	7.099 4	三阶反对称纵弯

2.3 阻尼器的减震效果分析

下面以模型一和阻尼器参数 C 为 40 000 N·s/m 时的模型二为研究对象, 对 2 号墩墩顶和梁体之间的相对位移以及 1 号墩墩底内力进行分析, 来说明阻尼器的实际减震效果。在 El Centro 波作用下 2 号墩墩顶和梁体的相对位移时程曲线和 1 号墩墩底弯矩的反应时程曲线分别如图 2、图 3 所示。从整个反应时程曲线看, 设有阻尼器的连续梁桥结构的 2 号墩墩梁相对位移和 1 号墩墩底内力均有大

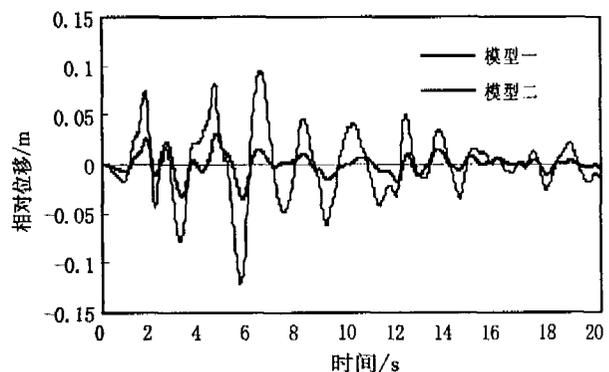


图 2 El centro 波作用下 2 号墩墩梁相对位移时程曲线

Fig.2 Relative displacement response of pier 2 versus beam to El centro.

表2 1号墩墩底内力、2号墩墩梁相对位移减震前后的对比

项目	EL centro 波			Tianjing 波			Taft 波		
	剪力 /N	弯矩 /N·m	相对位移 /m	剪力 /N	弯矩 /N·m	相对位移 /m	剪力 /N	弯矩 /N·m	相对位移 /m
模型一	1.86E7	3.75E8	0.095	3.58E7	7.26E8	0.233	1.70E7	3.41E8	0.109
模型二	9.17E6	1.82E8	0.034	2.52E7	4.98E8	0.087	9.74E6	1.90E8	0.04
减小/%	50.70	51.47	64.21	29.61	31.40	62.66	42.71	44.28	63.30

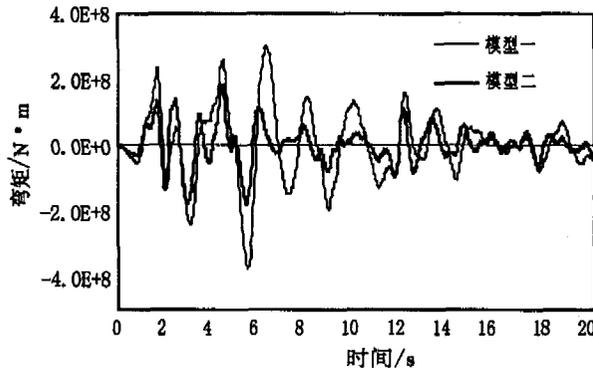


图3 El centro 波作用下1号墩墩底弯矩时程曲线
Fig.3 Moment response in the bottom of pier 1 to El centro.
幅度的减小。表2列出了设置阻尼器前后1号墩墩底内力、2号墩墩梁相对位移的具体数值及其减小的百分比,从中可以看出墩底内力、墩梁相对位移均有较大程度的减小,尤其以2号墩墩梁相对位移的减幅为最大,超过60%。

2.4 阻尼器参数对减震效果影响的分析

以下在模型二中改变阻尼器的参数,分析其对减震效果的影响。从图4、6看,阻尼器的参数C为

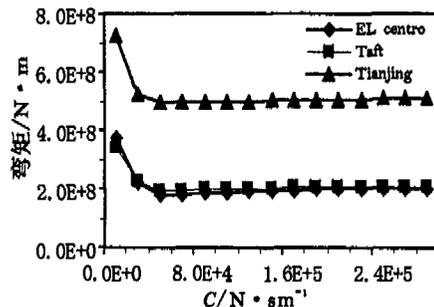
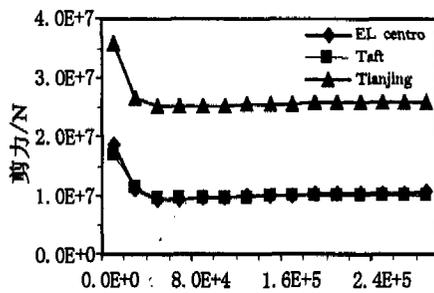


图4 1号墩墩底剪力和弯矩随参数C的变化曲线
Fig.4 Curves of maximum shear and maximum moment in bottom of pier 1 as C grows.

40 000 N·s/m 时,对 El Centro, Taft、Tianjing 波而言,其减震效果良好。图5显示随着阻尼器参数C的增大,2号墩墩底的内力有所增加;但当继续增大时,内力渐趋于稳定。

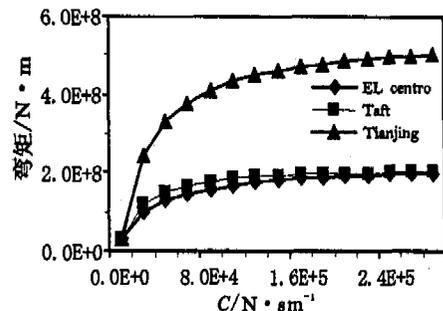
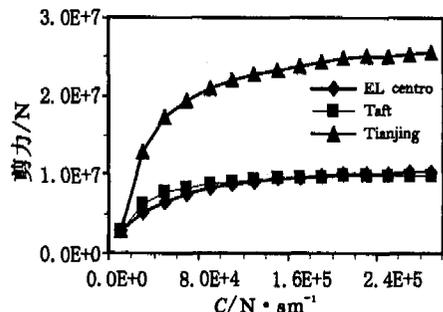


图5 2号墩墩底剪力、弯矩随参数C的变化曲线
Fig.5 Curves of maximum shear and maximum moment in bottom of pier 2 as C grows.

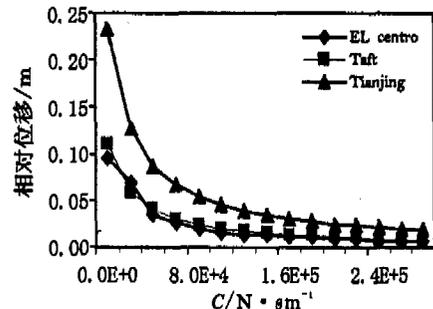


图6 2号墩墩梁相对位移随参数C的变化曲线
Fig.6 Maximum relative displacement in pier 2 as C grows.

图6表明随着阻尼器参数C增大,2号墩墩顶和梁体之间的相对位移总是呈减小的趋势;当C的值趋于无穷时,相对位移的值趋于零。这说明当阻尼器的阻尼值非常大时,阻尼器起到了类似固定支

座的作用。

图7、8表明了随着参数 C 的增加1、2号墩墩底内力之间的变化关系。参数 C 小于 $40\ 000\ \text{N} \cdot \text{s}/\text{m}$ 时,1号墩墩底内力明显减小,同时2号墩墩底内力呈现上升的趋势; C 的值逐渐增加时,两者的内力值逐渐逼近,最后趋于一致。这说明阻尼器既有减震作用,还可以起到均衡1号墩和2号墩墩底内力的作用,有利于连续梁桥结构的抗震设计。

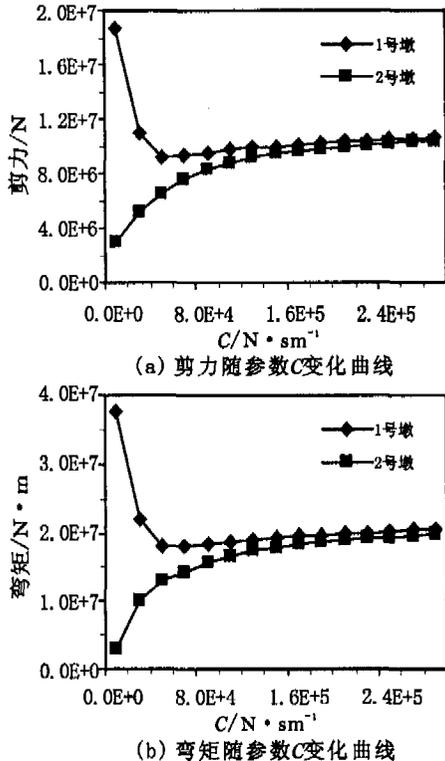


图7 El centro 波作用下墩底剪力和弯矩随参数 C 的变化

Fig. 7 Maximum shear response and maximum moment response in the bottom of pillars to El centro wave as C grows.

2.5 三种计算模型的比较

以下对三种计算模型中1号墩墩底内力进行比较,其中模型二中阻尼器的参数 C 的值为 $40\ 000\ \text{N} \cdot \text{s}/\text{m}$ 。从表3的比较可以看出,固定支座和阻尼器都能起到使结构内力分布均匀的作用,但从减震效果看,阻尼器更能减小结构的地震反应。

表3 三种计算模型中1号墩墩底内力的比较

项目	EL centro 波		Tianjing 波		Taft 波	
	剪力 /N	弯矩 /N·m	剪力 /N	弯矩 /N·m	剪力 /N	弯矩 /N·m
模型一	1.86E7	3.75E8	3.58E7	7.26E8	1.70E7	3.41E8
模型二	9.17E6	1.82E8	2.52E7	4.98E8	9.74E6	1.90E8
模型三	1.14E7	2.18E8	2.82E7	5.53E8	1.04E7	2.12E8

在模型二中,当阻尼器参数 C 的值大于 $500\ 000\ \text{N} \cdot \text{s}/\text{m}$ 时,1、2号墩墩底的内力非常接近,接近于

模型三所得到的结果。这就更好地说明了当阻尼器参数 C 的值非常大时,阻尼器在连续梁桥结构中起到了固定支座的作用,从而验证了前面的论述。

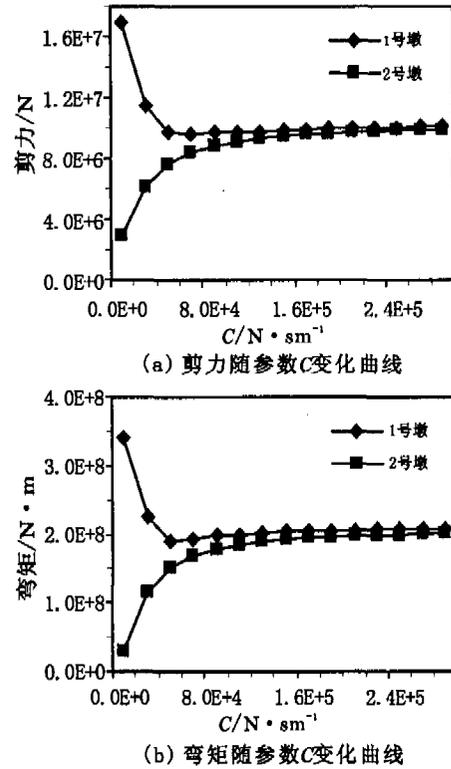


图8 Taft 波作用下墩底剪力和弯矩随参数 C 的变化
Fig. 8 Maximum shear response and maximum moment response in the bottom of pillars to Taft wave as C grows.

由以上的研究可知,阻尼值的增大能减小墩梁相对位移,但不一定能减小墩底内力,所以,阻尼器参数的取值应综合考虑多方面的因素,在桥梁设计中采用较为合适的值。

3 结论

本文讨论了阻尼器在连续梁桥中的减震效果,可以得出以下结论:

(1) 一般来说,和建筑中的框架结构一样,只要合理地选取其参数的值,阻尼器在类似的连续梁桥结构中同样具有良好的减震效果,尤其可以大幅度减小活动墩墩顶和梁体之间的相对位移;

(2) 阻尼器在连续梁桥的减震中既可以减小结构的地震反应,又能使1、2号墩底的内力均匀分配,有利于结构的抗震设计;

(3) 阻尼器的参数对连续梁桥的减震效果有较大的影响。在参数 C 的值逐渐增大的过程中,活动墩墩梁相对位移始终呈现减小的趋势,而其墩底内力呈现减小—回升的过程;而固定墩墩底内力呈现增大的趋势,所以要达到最优的减震效果,应综合考

虑多方面的因素;

(4) 数 C 趋于无穷大时,活动墩墩梁相对位移趋于零,而墩底内力减小幅度很小,不利于结构减震。

[参考文献]

- [1] 周云,周福霖. 耗能减震体系的能量设计方法[J]. 世界地震工程,1997,13(4):7-13.
- [2] 吴波,郭安新,李惠. 等. 耗能减震结构的受力分析与层间弹性变形简化计算方法[J]. 地震工程与工程震动,2002,22(2):101-107.
- [3] 郭安新,徐幼麟,吴波. 粘弹性阻尼器连接的相邻结构非线性随机地震反应分析[J]. 地震工程与工程震动,2001,21(2):64-69.
- [4] 汤昱川,张玉良,张铜生. 粘滞阻尼器减震结构的非线性动力分析[J]. 工程力学,2004,21(1):67-72.
- [5] 李向真,欧海龙,程国亮. 摩擦耗能支撑框架结构的弹塑性地震反应时程分析[J]. 地震工程与工程震动,2002,22(3):154-159.
- [6] 吴波,李惠,陶全兴,等. 安装粘滞阻尼器结构的抗震设计方法研究[J]. 地震工程与工程震动,2000,20(1):87-93.
- [7] 欧进萍,吴斌,龙旭. 结构被动耗能减震效果的参数影响[J]. 地震工程与工程震动,1998,18(1):60-70.
- [8] 李海波,卢哲安. 框架结构耗能减震设计的有限元分析[J]. 世界地震工程,2003,19(4):117-120.
- [9] Gary C Hart, Kevin Wong. Structural dynamics for structural engineers[M]. Wiley,1999. 483-530.