

抑制桥板扭转振动的调频液体阻尼器^{*}

薛素铎

高赞明 徐幼麟

(北京工业大学建筑工程学院 北京, 100022) (香港理工大学土木及结构工程系 香港红磡)

摘要 提出了一种抑制桥板扭转振动的调频液体阻尼器(TLCD)模型,建立了TLCD与桥板相互作用的运动方程。在简谐荷载作用下,分别在时域和频域内对TLCD-桥板系统进行了动力分析。采用自适应的Runge-Kutta-Fehlberg数值积分法求得系统的时程响应。为实现频域分析,对液体非线性运动方程进行了等效线性化,推导出TLCD的等效阻尼比。通过算例表明TLCD可有效抑制桥板扭转振动。最后,通过模型试验验证了理论模型的正确性。

关键词: 桥面;扭转振动;减振装置;调频液体阻尼器;振动控制

中图分类号: TU311.3; U447.3

近年来,结构振动控制在土木工程领域得到迅速研究和应用,各种阻尼器已成功用于建筑结构的抗风及抗地震控制^[1-2]。TLCD调频液体阻尼器(Tuned Liquid Column Damper)是日本学者 Sakai 等人于 1989 年首先提出的^[3]。这种阻尼器是利用 U 形管中液体的晃动对结构的振动施加控制力,通过在 U 形管中设置的特定隔板增加液体运动的阻尼吸收结构振动能量,达到减振目的。这种阻尼器使用简单、安装方便、易于调谐、费用低,是大型土木结构很有发展前途的一种被动控制装置。然而, Sakai 等人提出的 TLCD 模型是针对结构水平振动,近年来各国学者对这种阻尼器的研究也都只局限于抑制高层建筑结构的水平摆动^[1-2]。目前,在国际上还没有学者研究过这种阻尼器用于抑制桥板扭转振动的能力。

桥板扭转振动是大跨度桥梁的重要振动模态。历史上著名的塔科马(Tacoma)大桥的毁坏就是由于风激励作用下桥面的扭转空气动力失稳所致^[4]。再如,美国旧金山海湾的金门悬索大桥,在 1951 年的一次暴风,桥板曾发生严重扭转振动,其桥面两侧由于扭转引起的竖向最大振幅达到了 $\pm 1.75\text{ m}$ 。后来,该桥被加固以提高桥板扭转刚度^[5]。此外,历史上还有许多其它桥梁发生过严重的扭转振动甚至毁坏^[6]。由此可见,寻求有效抑制桥板扭转振动的措施是十分必要的。本文对 TLCD 抑制桥板扭转振动的可行性进行了探讨,建立了 TLCD 抑制桥板扭转振动的理论模型,推导出 TLCD 与桥板相互作用的运动方程。然后,在简谐荷载下,对 TLCD-桥板系统进行了动力分析,通过算例表明了 TLCD 抑制桥板扭转振动的有效性。最后,通过模型试验验证了理论模型的正确性。

1 TLCD-桥板相互作用模型

TLCD-桥板相互作用系统可用图 1 所示的力学模型表示。将桥板等效为只承受扭转运

* 本文得到香港理工大学及香港 RGC 研究资助局的资助

收稿日期: 1999-09-28; 修改稿收到日期: 2000-02-20

动的单自由度体系,它具有扭转刚度 K_s 、质量惯性矩 I_s 和阻尼系数 C_s 。TLCD阻尼器为一等截面 U 形液体容器,管道中间设有一阻尼隔板。TLCD由下列参数定义:液体质量密度 d 、横截面积 A 、液体总长度 L 、水平段长度 B 、隔板阻尼系数 W 以及 TLCD底部中心线至桥板转动中心的距离 H

当系统受到外力矩 M_s 作用时,桥板绕其转动中心振动,并带动 TLCD一起运动,使液体产生晃动。液体运动的恢复力将对桥板上作用的外力矩产生抵抗作用,而液体运动通过 TLCD中的隔板产生阻尼力,消耗振动能量。因此,桥板与 TLCD在振动过程中发生相互作用。如果 TLCD的参数被合理选择,桥板的扭转振动将会得到抑制

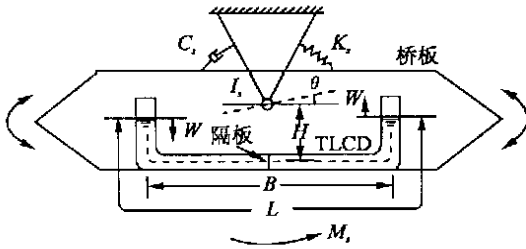


图 1 TLCD-桥板模型

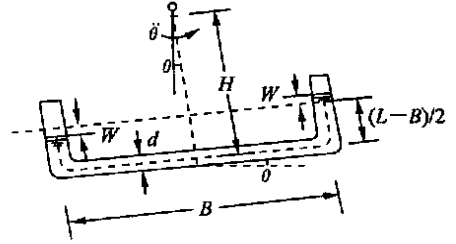


图 2 TLCD运动状态

2 运动方程的建立

图 2所示为 TLCD随桥板扭转振动过程中的运动状态。阻尼器中液体的运动可分为两类:(1)液体随桥板的整体运动;(2)液体沿阻尼器管壁的相对运动。在振动过程中,假定:(1)桥板的转动位移是微小的;(2)液体在振动过程中是均匀的、连续的、和不可压缩的。分别考虑液体在运动过程中的重力恢复力、惯性力、及液体运动通过 TLCD隔板产生的阻尼力,利用虚位移原理可建立液体运动方程

$$dAL\ddot{w} + \frac{dA}{2}W\dot{w} + 2dAgW = -dAB\left(H + \frac{L-B}{2}\right)\ddot{\theta} - dAgB\theta \quad (1)$$

式中 θ 为桥板转动位移; w 为液体沿 TLCD管壁的相对位移; \dot{w} 、 \ddot{w} 分别为液体与管壁的相对运动速度和相对运动加速度; $\ddot{\theta}$ 为桥板转动加速度; g 为重力加速度; W 为隔板阻尼系数。隔板阻尼系数的数值与隔板的类型、形状及隔板开口率有关,其具体数值应根据隔板类型通过试验确定。文 [7] 和 [8] 结合实际水利工程,在总结以往试验成果及科学研究的基础上,给出了各种隔板阻尼系数的取值及特性,可在实际阻尼器设计时进行参考。

由方程 (1) 可以看到,等号左边对应于液体振动项,等号右边可看作引起液体振动的广义外力。液体自由振动圆频率为

$$k_d = \frac{2dAg}{dAL} = \frac{2g}{L} \quad (2)$$

安装 TLCD的桥板在外力矩 M_s 作用下的振动方程可写为

$$I_s\ddot{\theta} + C_s\dot{\theta} + K_s\theta = M_s + M_d \quad (3)$$

式中 M_d 为振动时由 TLCD引起的恢复力矩,它可看作由下列三部分组成:(1)液体晃动引起的惯性力矩;(2)TLCD随桥板整体运动引起的惯性力矩;(3)液体重力引起的恢复力

矩。综合考虑上面三部分作用,可求得

$$M_d = -d_{AB} \left(H + \frac{L-B}{2} \right) \ddot{W} - I_d \ddot{\theta} - d_{Ag} L H \dot{\theta} - d_{Ag} B \dot{W} \quad (4)$$

式中 I_d 代表 TLCD 液柱对桥板转动中心的惯性矩

$$I_d = d_{AB} (H^2 + B^2/12) + d_A (L-B) [H^2 + B^2/4 - H(L-B)/2 + (L-B)^2/12] \quad (5)$$

综合上面各式, TLCD 桥板相互作用方程可写为如下矩阵形式

$$\begin{bmatrix} I_s + I_d & G \\ G & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{W} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_s & 0 \\ 0 & \frac{d_{AW}}{2} \dot{W} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{W} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_s + mgH & mg^T \\ mg^T & 2d_{Ag} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta \\ W \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} M_s \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (6)$$

式中 $G = d_{AB} \left(H + \frac{L-B}{2} \right)$; $m = d_{AL}$; $\Gamma = B/L$

为保持方程 (6) 的有效性,液体与管壁相对位移幅值必须满足

$$W \leq \frac{L-B}{2} - \frac{d}{2} \quad (7)$$

式中 d 为 TLCD 内管壁厚度。

与 Sakai 等人提出的 TLCD 模型^[3]对比可知,本文建立的抑制桥板扭转振动的运动方程与 Sakai 等人提出的抑制结构水平振动的运动方程具有不同的表述形式。

3 动力分析

方程 (6) 为运动方程的一般表达式,外荷载 M_s 可为任意形式,如风荷载、地震荷载和车辆荷载等。这些荷载属于随机荷载,应采用随机的方法进行分析。本文的主要目的是对提出的理论模型进行验证性分析,检验其对桥板扭转振动的抑制效果。因此,为讨论方便,本文只考虑结构受简谐激励情况。

由于 TLCD 非线性阻尼的影响,方程 (6) 为一非线性方程,可采用数值逐步积分法求解其时程响应。改写式 (6),并取 $x_1 = \theta$, $x_2 = W$, $x_3 = \dot{\theta}$, 和 $x_4 = \dot{W}$, 可得一套一阶微分方程组。给定 $t = 0$ 时刻的初始条件,本文采用自适应的 Runge-Kutta-Fehlberg 数值积分法^[9]求解 TLCD 桥板体系的时程响应。

为了在频域内分析系统动力响应,需将非线性方程 (6) 进行等效线性化处理。将液体非线性阻尼力 $\frac{1}{2} d_{AW} \dot{W} \dot{W}$ 用等效线性阻尼力 $C_{eq} \dot{W}$ 代替,则运动方程转化为线性形式。 C_{eq} 为阻尼器的等效阻尼系数。

本文采用如下能量等效原则确定液体等效线性阻尼,即认为在振动一周内液体等效阻尼与其实际非线性阻尼所消耗的能量相同。

假定在简谐激励下,液体的稳态响应为 $W = \bar{W}_0 \cos kt$, 则在微位移 dW 内由等效阻尼力 $C_{eq} \dot{W}$ 做的微功为 $dV_1 = C_{eq} \dot{W} dW$, 它在一个振动周期 T 内消耗的能量为

$$V_1 = \int_0^T dV_1 = \int_0^T C_{eq} k^2 \bar{W}_0^2 \sin^2 kt dt = \int_0^{2\pi} C_{eq} k \bar{W}_0^2 \sin^2 kt d(kt) = C_{eq} k \bar{W}_0^2 \pi \quad (8)$$

在简谐响应下,液体非线性阻尼力可表示为

$$f(\dot{W}) = \frac{1}{2} d_A \dot{W} \dot{W} \mid \dot{W} = \begin{cases} -\frac{1}{2} d_A \dot{W} \dot{W}^2 & \dot{W} \leq 0 \\ \frac{1}{2} d_A \dot{W} \dot{W}^2 & \dot{W} \geq 0 \end{cases}$$

$$= \begin{cases} -\frac{1}{2} d_A W k^2 \bar{W}_0^2 \sin^2 kt & 0 \leq kt \leq c \\ \frac{1}{2} d_A W k^2 \bar{W}_0^2 \sin^2 kt & c \leq kt \leq 2c \end{cases} \quad (9)$$

因此, $f(\dot{W})$ 在一个振动周期 T 内消耗的能量为

$$V_2 = \int_0^T f(\dot{W}) dW = \int_0^{2c} -\bar{W}_0 f(\dot{W}) \sin kt d(kt) = \frac{4}{3} d_A W k^2 \bar{W}_0^3 \quad (10)$$

令 $V_1 = V_2$, 求得 TLCD 等效阻尼系数 C_{eq} 和等效阻尼比 a_d 为

$$C_{eq} = \frac{4}{3c} d_A \bar{W} \bar{W}_0 k \quad (11)$$

$$a_d = \frac{C_{eq}}{2m k_d} = \frac{2\bar{W}\bar{W}_0}{3c} \frac{k}{L} \left(\frac{k}{k_d}\right) = \frac{\bar{2W}}{3c} \frac{\bar{W}_0}{gL} k \quad (12)$$

式中 \bar{W}_0 为液体振动幅值; k 为振动频率

等效线性化后的 TLCD-桥板相互作用方程可写为

$$\begin{bmatrix} 1+ & G/I_s \\ G I_m & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{W} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 2a_s k_s & 0 \\ 0 & 2a_d k_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{W} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_s^2 + mgH/I_s & mgT/I_s \\ T_g & k_d^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta \\ W \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} M_s/I_s \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (13)$$

式中 $_ = I_d/I_s$ 为 TLCD 与桥板的惯性矩比值; $k_s = K_s/I_s$ 为桥板自由振动圆频率;

$a_s = \frac{C_s}{2I_s k_s}$ 为桥板结构阻尼比。

取外激励及系统响应具有如下简谐形式: $M_s = M_0 e^{ik_t}$, $\theta = \theta_0 e^{ik_t}$ 和 $W = W_0 e^{ik_t}$, 可最终求得桥板及液体振动的位移幅值为

$$\bar{\theta}_0 = \frac{(\lambda^2 - U^2)^2 + 4a_s^2 \lambda^2 U^2}{E^2 + F^2} \left(\frac{M_0}{K_s}\right) \quad (14)$$

$$\bar{W}_0 = \frac{|GU^2 - mgT/k_d^2|}{m} \frac{1}{E^2 + F^2} \left(\frac{M_0}{K_s}\right) \quad (15)$$

式中

$$E = [1+ mgH/K_s - (1+ _)U^2](\lambda^2 - U^2) - 4a_s^2 a_d \lambda U^2 - \frac{(GU^2 - mgT/k_d^2)^2}{m I_s} \quad (16)$$

$$F = 2a_s U(\lambda^2 - U^2) + 2a_d \lambda U[1+ mgH/K_s - (1+ _)U^2] \quad (17)$$

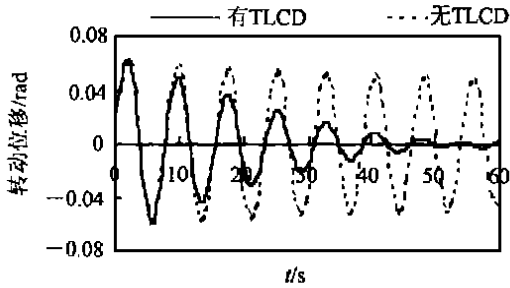
$\lambda = k_d/k_s$ 为阻尼器与结构的调频比; $U = k/k_s$ 为激振频率与桥板频率比值

注意到由激振力幅值 M_0 引起的桥板静力位移为 $\theta_{st} = M_0/K_s$, 得到安装 TLCD 的桥板的动力放大系数 (DMF) 为 $DMF = \bar{\theta}_0/\theta_{st}$

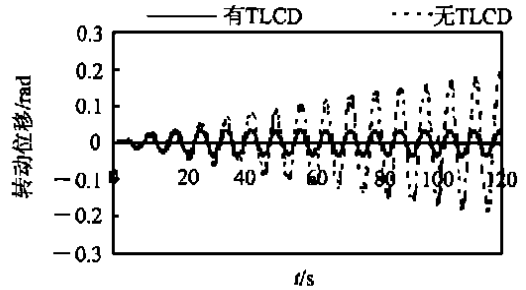
由式 (12) 和 (15) 可以看出, TLCD 的等效阻尼比 a_d 与液体振动幅值 \bar{W}_0 和振动频率 k 有关, 而 \bar{W}_0 又进一步为 M_0 , k 和 a_d 的函数。因此, 对于特定的激振频率 k 和激振力幅值 M_0 , a_d 必须通过迭代确定。

4 数值例题

某大跨悬索桥,桥板结构为空腹式钢桁架体系,桥板宽 40m,高 7.5m,单位跨长板断面的质量惯性矩和扭转刚度分别为 $I_s = 8.75 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{m}$, $K_s = 5.85 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{m} / \text{rad}$,桥板扭转振动频率 $k_s = 0.817 \text{ rad} / \text{s}$,阻尼比 $\alpha_s = 0.5\%$ 。



(a) 自由振动响应



(b) 强迫振动响应

图 3 桥板时程响应曲线

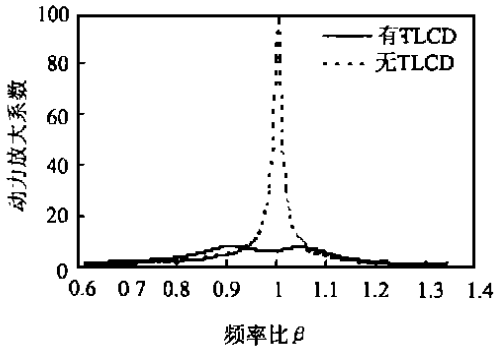


图 4 桥板频率响应曲线

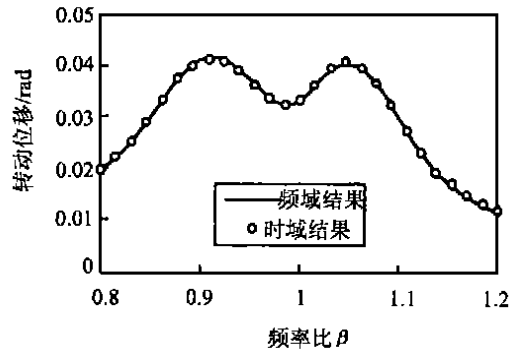


图 5 频域与时域结果对比

根据给定的结构特性设计了 TLCD 阻尼器,取调频比 $\lambda = 1.0$,求得液体总长度 $L = 29.36 \text{ m}$ 。将阻尼器置于桥板空腹下部,取 $B = 25 \text{ m}$, $H = 3.0 \text{ m}$,TLCD 与桥板惯性矩比 $\mu = 3\%$,由此求得 TLCD 横截面积 $A = 0.118 \text{ m}^2 / \text{m}$ 。阻尼器液体采用水,隔板阻尼系数取 $W = 8.7$ 。

为了说明 TLCD 的减振效果,分别在时域和频域内对安装及未安装 TLCD 的桥板系统进行了动力分析。图 3(a)所示为桥板在给定初速度 $0.05 \text{ rad} / \text{s}$ 时的自由振动时程响应。由图可见,安装 TLCD 可使桥板响应得到迅速减小。通过输入正弦激振力 $M_s = M_0 \sin kt$,可得到系统强迫振动时程响应,图 3(b)所示为在激振力幅值 $M_0 = 2.92 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{m}$,激振频率 $k = k_s$ 时的桥板位移响应时程曲线。由图可见,安装 TLCD 后,桥板振动得到较好抑制,它比未安装 TLCD 的桥板响应小很多。图 4 所示为桥板的频率响应曲线,明显看到安装 TLCD 后使桥板的共振响应得到很好抑制,其最大动力放大系数由未安装 TLCD 时的 100 减小到安装 TLCD 后的 8.27。图 5 给出桥板频域分析结果与时域分析结果的对比,其时域结果是通过确定在不同激振频率下的稳态响应幅值获得的。对比结果表明,频域分析与时域分析结

果吻合很好。这说明对系统作等效线性化处理是合适的和正确的,也说明由 TLCD 阻尼隔板引起的非线性不是很强。

5 试验验证

为了验证理论模型的正确性,作者在香港理工大学结构试验室内进行了模型试验研究。图 6 所示为试验模型简图,试验台架可绕中部设置的枢轴转动,两侧用弹簧提供抗扭刚度。TLCD 采用有机玻璃制成,内部液体采用水。安装 TLCD 的试验台可固定在不同高度位置,以检验 TLCD 与转轴之间距离 H 的影响。试验中,通过激振器输入正弦信号对结构进行激励,利用加速度计测试结构响应,利用水位计测试 TLCD 中水位的变化。取激振频率在结构频率的 80%~120% 之间变化,分别测试结构在不同激振频率下的稳态响应幅值,从而得到结构频率响应曲线。通过改变 TLCD 尺寸及其它参数,分别考察了 TLCD 在不同情况下的减振性能。试验结果表明,TLCD 可有效抑制结构扭转振动。当调频比在 100% 左右时控制效果最好。隔板最优开口率大约在 40%~60% 之间。对各种试验工况进行的数值模拟表明,理论结果与试验结果吻合很好。

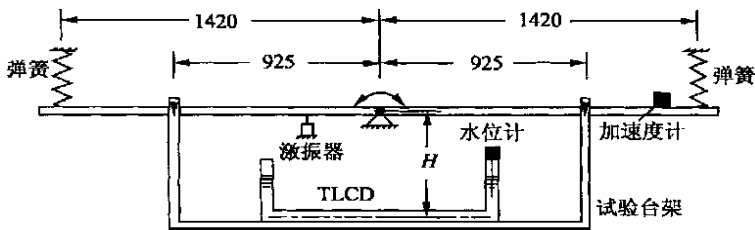


图 6 试验模型简图

由于篇幅关系,以下只给出部分结果。结构基本参数为:自振频率 $f_s = 0.55\text{Hz}$, 阻尼比 $\alpha = 1.2\%$, 质量惯性矩 $I_s = 995.71\text{kg} \cdot \text{m}^2$, 扭转刚度 $K_s = 11711.52\text{N} \cdot \text{m}/\text{rad}$ 。TLCD 的设计参数为: $\lambda = 1.0$, $\mu = 3.3\%$, $H = 0.98\text{m}$, $B = 1.0\text{m}$, $A = 0.1 \times 0.2 = 0.02\text{m}^2$ 。竖向激振力幅值为 10N (相当于力矩幅值 $2.75\text{N} \cdot \text{m}$)。图 7 给出隔板开口率为 50% 时理论与实测频响曲线对比结果。图 8 所示为在不同隔板开口率下结构响应的峰值比对比结果 (峰值比

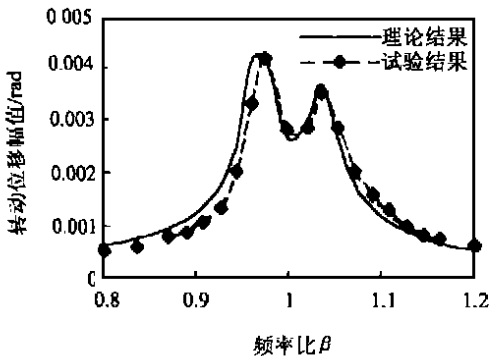


图 7 理论与实测频响曲线

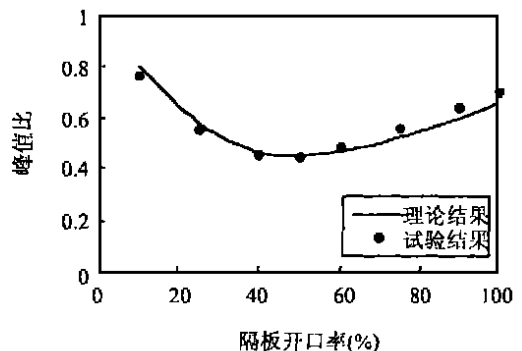


图 8 理论与实测峰值比

= 受控结构峰值响应 / 未受控结构峰值响应)。误差分析表明,理论与实测峰值比误差均在 10% 以内。由图 8 也可以观察到,对于给定情况,TLCD 减振效果可达到 50%。通过以上对比可以看到,试验结果与理论结果达到较好吻合,从而证实了本文提出的理论模型的正确性,也进一步证实了 TLCD 的减振效果

6 结 论

本文对 TLCD 调频液体阻尼器抑制桥板扭转振动的能力进行了理论探讨。建立了 TLCD 抑制桥板扭转振动的数学模型,推导出 TLCD 与桥板相互作用的运动方程。在简谐荷载作用下,分别在时域和频域内对 TLCD 桥板系统进行了动力分析。采用自适应的 Runge-Kutta-Fehlberg 数值积分法求得系统的时程响应。为实现频域分析,对液体非线性运动方程进行了等效线性化处理,推导出 TLCD 的等效阻尼比。通过算例分析表明,TLCD 可有效抑制桥板的扭转振动。最后,通过模型试验,验证了理论模型的正确性。本文的研究为采用 TLCD 抑制桥板在其他(如风、地震和车辆)荷载作用下的振动提供了理论依据。本文的研究只限于理论探讨,对于实际应用中的具体问题尚需进一步研究

参 考 文 献

- 1 Soong T T, Dargush G F. Passive energy dissipation systems in structural engineering. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1997
- 2 瞿伟廉等.高层建筑和高耸结构的风振控制设计.武汉:武汉测绘科技大学出版社,1991
- 3 Sakai F, Takaeda S, Tamaki T. Tuned liquid column damper—new type device for suppression of building vibration. In Proc. Int. Conf. on High-rise Buildings, Nanjing, China, 1989; 926–931
- 4 Billah K Y, Scanlan R H. Resonance, Tacoma narrows bridge failure, and undergraduate physics textbooks. American Journal of Physics, 1991; 59(2): 118–124
- 5 Vincent G S. Golden Gate Bridge vibration studies. Journal of Structural Division, ASCE, 1958; 84 (ST6): paper 1817
- 6 Wardlaw R L. Cable supported bridges under wind action. Cable-Stayed Bridges: Recent Developments and their Future, M. Ito et al(eds.), Elsevier Science Publishers B. V., 1991; 213–234
- 7 Idelchik I E. Handbook of hydraulic resistance. CRC Press, Inc., 3rd edition, 1994
- 8 Blevins R D. Applied fluid dynamics handbook. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1984
- 9 Mathews J H. Numerical methods for mathematics, science and engineering. Prentice-Hall, Inc., 1992

Model of Tuned Liquid Column Damper for Suppressing Torsional Vibration of Bridge Decks

Xue Suduo

(The College of Architecture & Civil Engineering, Beijing Polytechnic University Beijing, 100022)

Ko Janming Xu Youlin

(Department of Civil & Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University Hong Kong)

Abstract A theoretical model of tuned liquid column damper (TLCD) for suppressing torsional vibration of bridge decks is developed in the paper. The TLCD-bridge deck interactive equations are formulated. Both time domain and frequency domain analyses are performed under harmonic excitation. The time-history responses of the system are obtained through an adaptive Runge-Kutta-Fehlberg numerical integration method. Equivalent linearization is employed to analyze the nonlinear system in a frequency domain, from which an equivalent damping ratio of the TLCD is derived. A numerical example is presented to illustrate the control effectiveness of the damper. Finally, the developed theoretical model is verified by a model test. It is concluded that TLCD can effectively reduce torsional vibration of bridge decks.

Key words bridge deck; torsional vibration; vibration dampers; tuned liquid column damper; vibration control

第一作者 薛素铎 男, 教授, 1959年 12月生. 电话: (010) 67392877; E-mail: sdxue@bjpu.edu.cn

第 18届 IMAC会议报道

第 18届 IMAC(国际振动模态分析会议, 近年来改称为 IMAC国际结构动力学会议)于 2000年 2月 6~9日在美国德州圣安东尼奥市召开。来自世界 20多个国家的 650名代表参加了这一连续了 18年的国际振动工程界盛会。

IMAC XVIII分成 37个专题, 总共有 310篇论文, 49个分组会在 6个会议室进行了四天的报告和讨论。本届会议的主题是“结构动力学计算的挑战”。大会特邀美国 MathWorks公司主席和首席科学家 Cleve Moler博士作了题为“数学软件的演进”的大会报告。报告对近 50年来, 包括著名的 MATLAB在内的数学计算软件的发展作了引人入胜的总结。为体现本届会议的主题, 由专家发起组织了两个相关专题研讨会。由美国 Los Alamos, Sandia, Lawrence Livermore等四大国家实验室组织的“结构动力学计算的挑战”专题研讨会。在该研讨会上介绍了四大国家实验室提出的投资达二十多亿美元, 为期五年的“高级战略计算计划”。由英国帝国理工大学 Ewins教授和美国弗吉尼亚理工大学的 Inman教授为主席的“SD2000结构动力学现状与未来论坛”受到与会者热烈欢迎。此外还有 7个专题分会分别强调了在信号处理, 模型修正, 非线性问题, 复杂结构, 结构动力学实验验证与不确定性, 以及大型结构动力学中计算方面提出的挑战。

和历届会议一样, 本届 IMAC会议也同时举办了大型仪器展。共有世界著名的 51家振动测试与分析硬、软件厂商分 69个展位展出了最新产品, 构成 IMAC的一大热点。会议还组织了 3个会前讲习班 (Short Courses): “模态分析, 理论与应用”, “模型相关与修正”和“非线性系统技术”。

会议期间还召开了大会指导委员会会议, 14名委员在会上就 IMAC的未来组织和发展, 新增指导委员评议, 以及下届会议的准备等议题进行了讨论。我国南京航空航天大学张令弥教授作为我国唯一委员参加了会议。

第 19届 IMAC会议定于 2001年 2月 5~8日在美国佛罗里达州奥兰多市召开。欲参加会议的同行请与主办单位美国试验力学学会 (SEM)联系。SEM的电子信箱和网址分别为 sem@sem1.com和 www.sem.org

(章航)