

李杰,代跃,陈淮.随机地震动场多点激励下宽幅大跨桥梁结构地震响应研究[J].地震工程学报,2017,39(1):0039-0044.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.01.0039

LI Jie, DAI Yue, CHEN Huai. Seismic Response of Wide Long-span Bridge Structure under Multi-point Excitations of Random Ground Motion Field[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(1): 0039-0044. doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.01.0039

随机地震动场多点激励下宽幅大跨桥梁 结构地震响应研究^①

李杰,代跃,陈淮

(郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要:为了研究随机地震动场多点激励作用下宽幅大跨桥梁结构的地震响应,基于二维相干模型,考虑地震波非平稳性合成桥址各支承点的人工地震加速度时程波,采用多项式拟合法在时域内对各支承点处的人工合成加速度波进行校正,并对校正前后加速度波的响应谱进行比较校验;随后以某大跨自锚式悬索桥为例,利用有限元软件中线性时程分析模块,将所合成的加速度地震波施加于结构,对比研究一致激励与随机地震动多点激励下宽幅大跨桥梁结构的地震响应。分析表明,考虑二维相干和地震波非平稳性合成的各支承点地震加速度时程波可采用多项式拟合法进行基线漂移现象的校正,同时应对修正前后加速度波的反应谱进行比较校验;对于大跨且横桥向支承点相距较远的桥梁结构应考虑横桥向地震波的非一致性。

关键词: 随机地震场; 多点激励; 二维相干; 人工合成地震波; 多项式拟合法

中图分类号: U442.5

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2017)01-0039-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.01.0039

Seismic Response of Wide Long-span Bridge Structure under Multi-point Excitations of Random Ground Motion Field

LI Jie, DAI Yue, CHEN Huai

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, Henan, China)

Abstract: In this study, we used the dynamic time history method to analyze the seismic response of bridge structures. The time history analysis method, which has higher accuracy than the response spectrum method, can identify various kinds of responses and can also consider various factors in the calculation and analysis, including the coherent effects, multi-dimensional inputs, and multi-dimensional responses. The primary problem in applying the dynamic time history method is how to simulate ground motion acceleration. In the artificial acceleration wave, the velocity and displacement of the seismic wave deviate from the baseline. At the end of the seismic wave, the velocity and displacement time history are not zero, which generates a baseline drift of the seismic wave. As such, it is necessary to revise the seismic response before analysis and to eliminate the influence of the baseline drift phenomenon. At the same time, the response spectrum of the acceleration wave before and after correction must be checked and

① 收稿日期: 2015-11-30

基金项目: 河南省基础与前沿技术研究项目(162300410264)

作者简介: 李杰(1974—),男(汉族),陕西宝鸡人,博士,副教授,主要从事桥梁结构理论及结构力学行为研究。E-mail: public_li@126.com。

compared. In this paper, based on a 2D coherent model, we analyze the seismic response of a wide long-span bridge structure under multi-point excitations of a random earthquake motion field. We use the polynomial fitting method to adjust them in the time domain. We use the response spectrum to check the seismic wave, which is corrected before and afterwards. Then, taking a large-span self-anchored suspension bridge as an example, we use the linear time history analysis module in the finite element analysis software and the synthetic seismic wave to analyze and compare the seismic response results under uniform and multi-point excitations. The results indicate that the artificial acceleration wave must take into account the baseline drift phenomenon, and the polynomial fitting method can be used to adjust the waves. In addition, the seismic waves corrected before and after must be checked against the response spectrum. For large-span and wide bridge structures, the non-uniformity of transverse seismic waves must be taken into account.

Key words: random ground motion field; multi-point excitation; 2D coherence; artificial seismic wave; polynomial fitting method

0 引言

桥梁结构地震响应分析的常用方法有反应谱法和动力时程法。由于反应谱仅能给出结构在地震作用下的最大响应,无法获得结构响应随时间的变化特征以及最大响应发生的时间和方向,因此反应谱法的应用受到一些限制。时程分析法将结构物简化为多自由度体系,选择能反映地震和场地环境以及结构特点要求的地震加速度时程作为地震动输入,计算出任一时刻结构物的地震响应^[1]。与反应谱法相比,动力时程法具有更高的精确性,可以求得各种响应量,也可以在计算分析中考虑各种因素,如相干效应、多维输入和多维响应,但应用动力时程法的首要问题是如何模拟可能遭受的地面运动加速度时程。目前国内外学者针对随机地震动场的加速度时程合成的方法进行了大量研究工作^[2-7];针对大跨结构的地震响应,考虑地震波相干效应、行波效应和场地效应等多点非一致激励的分析也进行了许多数值分析和试验研究^[8-17],但对于宽幅大跨桥梁结构的地震响应分析是否考虑横桥向效应还有待于进一步研究。本文考虑随机地震动场的二维相干效应和地震波非平稳性合成各支点加速度时程波,通过多项式拟合法在时域内对各支承点处的人工合成加速度波的基线漂移现象进行校正,并对修正前后加速度波的响应谱进行比较校验;随后以某大跨自锚式悬索桥为例,分析一致激励与随机地震动多点激励下宽幅大跨桥梁结构的地震响应。

1 考虑非平稳性的多点地震动合成

1.1 随机地震动模型

假定地震场为一个空间分布均匀、时间上平稳

的随机场,采用各点地震动的自功率谱密度函数和它们之间的互功率谱密度函数来表征地震地面运动的统计特性,矩阵形式可表示为^[1]:

$$[S(i\omega)] = \begin{bmatrix} S_{11}(i\omega) & S_{12}(i\omega) & \cdots & S_{1n}(i\omega) \\ S_{21}(i\omega) & S_{22}(i\omega) & \cdots & S_{2n}(i\omega) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n1}(i\omega) & S_{n2}(i\omega) & \cdots & S_{nn}(i\omega) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$S_{kl}(i\omega)$ 为任意两点间的互功率谱密度函数,可表示为:

$$S_{kl}(i\omega) = \rho_{kl}(i\omega) \sqrt{S_k(i\omega) \cdot S_l(i\omega)} \quad (k, l = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

式中: n 表征地面上不同支承点个数; $S_k(i\omega)$ 、 $S_l(i\omega)$ 均表示各支承点地面运动的自功率谱密度函数,取值可以不同,表征了场地上 k 点和 l 点的局部效应(若忽略局部场地效应,则各点的自功率谱密度函数是相同的); $\rho_{kl}(i\omega)$ 为相干函数,可表示为:

$$\rho_{kl}(i\omega) = |\rho_{kl}(i\omega)| \exp[i\theta_{kl}(\omega)] \quad (3)$$

当 $|\rho_{kl}(i\omega)| < 1$ 时各支承点之间的地震波部分相干;当所有的 $|\rho_{kl}(i\omega)| = 1$ 时,表示各点之间完全相干; $\exp[i\theta_{kl}(\omega)]$ 体现了地震波的行波效应,可表示为:

$$\exp[i\theta_{kl}(\omega)] = \exp[-i\omega d_{kl}/v_{app}] \quad (4)$$

式中: d_{kl} 为两点之间的水平距离沿地震波传播方向的投影; v_{app} 为地震波视波速,当 $v_{app} = \infty$ 时, $\theta_{kl} = 0$ 表示不考虑行波效应。

对于式(3)相干函数 $\rho_{kl}(i\omega)$,取文献[11]提出的二维相干函数模型:

$$\rho(\omega, d_{kl}^i, d_{kl}^j) = \exp(-\beta_1 |d_{kl}^i| - \beta_2 |d_{kl}^j|) \cdot \exp\{-[\alpha_1(\omega) \sqrt{|d_{kl}^i|} + \alpha_2(\omega) \sqrt{|d_{kl}^j|}] \left(\frac{\omega}{2\pi}\right)^2\} \quad (5)$$

式中: $\alpha_1(\omega)=\frac{2\pi a}{\omega}+\frac{b\omega}{2\pi}+c,\alpha_2(\omega)=\frac{2\pi d}{\omega}+\frac{e\omega}{2\pi}+g$;
 d_{kl}' 和 d_{kl}'' 分别为场地内任意两支承点连线沿地震波传播方向和垂直地震波传播方向的投影,各常量参数取值如表 1 所列。

本文采用杜修力-陈厚群功率谱^[12]。由于不

表 1 Hao 相干函数模型参数^[11]

Table 1 Parameters of Hao coherency function model^[11]

β_1	β_2	a	b	c	d	e	g
2.25E-04	5.10E-04	1.066E-02	2.65E-05	-1.0E-04	6.655E-03	-5.9E-05	-1.12E-03

考虑局部场地效应,各支承点自功率谱密度函数均相同,则功率谱模型为:

$$S(\omega)=\frac{S_0}{1+(D\omega)^2}\cdot\frac{\omega^4}{(\omega_0^2+\omega^2)}\cdot\frac{1+4\xi_g^2(\omega/\omega_g)^2}{[1-(\omega/\omega_g)^2]^2+4\xi_g^2(\omega/\omega_g)^2}\quad(6)$$

式中:参数 D 、 ω_0 、 ω_g 、 ξ_g 和 S_0 根据文献[12]、[13]确定。

地面各支承点之间的相干函数和自功率谱密度函数确定后,利用文献[14]、[15]给出的公式进行合成,得到随机平稳地震波。要得到非平稳的地震波,需要将生成的平稳地震波乘以非平稳性调制函数,模拟出具有空间效应的地震波。1968 年 Amin 等^[16]所提出的非平稳化调制函数有较为广泛的应用,该调制函数为分段函数:

$$f(t)=\begin{cases}(t/t_1)2 & t\leqslant t_1 \\ 1 & t_1<t\leqslant t_2 \\ e^{-c(t-t_2)} & t>t_2\end{cases}\quad(7)$$

式中: t_1 和 t_2 分别为地震波主震段的起始时刻, c 为强度衰减系数,本文取值分别为 1.2 s、10.2 s 和 0.5,则主震段持续时间 $T=t_2-t_1=9.0$ s。

1.2 非一致激励的地震动合成方法

非一致激励的地震动合成主要是基于随机理论,将地震动看作平稳随机过程,利用三角级数的和进行合成,然后乘以强度非平稳调制函数,得到非平

稳地震动时程样本。设工程场址区域内共有 n 个空间相干点,则根据文献[11]提出的地震动时程合成方法,第 j 点时程 $U^j(t)$ 可表示为

$$U^j(t)=\sum_{m=1}^n\sum_{k=0}^{N-1}a_m^j(\omega_k)\cos[\omega_k t+\theta_m^j(\omega_k)+\phi_{mk}]\quad(8)$$

式中:上标 j 表示位置; n 表示所有位置总数; $a_m^j(\omega_k)$ 为考虑第 j 点(当前点)与其他所有相干点(共有 n 个点,包括第 j 点)的第 k 个频率成分的幅值; $\theta_m^j(\omega_k)$ 为考虑第 j 点(当前点)与其他所有相干点(共有 n 个点,包括第 j 点)的第 k 个频率成分的相位角; N 为三角级数个数(为使用 FFT 技术,一般取 $N=2^q$,且 q 为正整数); ϕ_{mk} 为随机相位角,满足 $[0,2\pi]$ 上的均匀分布,且当 $m\neq r$ 或者 $k\neq s$ 时, ϕ_{mk} 与 ϕ_{rs} 相互独立。

通过数学变形可得到幅值和相角与功率谱之间的关系(详细推导见文献[1]),那么只要已知需要合成的各点功率谱就可得到各点地震动时程样本。

1.3 桥址处各支点地震动加速度时程

本文以桃花峪黄河大桥主桥为例。该桥为双塔三跨自锚式悬索桥,主跨跨径为 406 m,边跨为 160 m,包含风嘴在内桥面共宽 39 m,目前居同类桥型世界第一;各支承点位置见图 1 所示,其中 X 为纵桥向、 Y 为横桥向,假设地震波的传播方向从 1 点到 6 点。

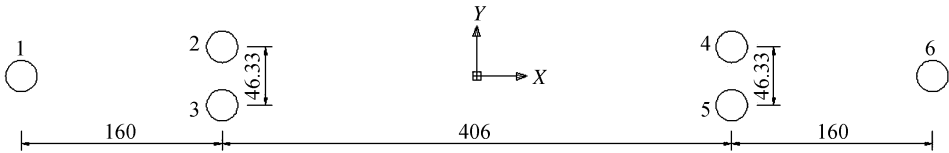


图 1 大桥各支承点位置示意(单位:m)

Fig.1 Position of the support points (Unit:m)

大桥桥址区地震动反应谱特征周期为 0.45 s,根据该桥地震安评报告可知,其地震烈度为Ⅶ度,工程场地土为中软场地土,50 年超越概率 10%的水平地震动加速度峰值为 163.8 gal。依据上述方法,可以得到各支点地震加速度时程曲线。

2 加速度时程曲线的修正及校验

2.1 加速度时程曲线修正

人工合成地震动的过程中,往往会导致速度和位移的计算结果严重偏离基线,即速度和位移时程

在地震波结束时不为零,甚至会很大,这就是地震波的基线漂移现象。因此在用这样的地震波时程曲线做地震响应分析之前需要对其进行必要的修正,以排除因基线漂移现象给计算结果造成的影响。修正地震波基线漂移的方法有三种:一是在频域内根据地震波的频谱特性将不合适的频率过滤掉;二是多项式拟合法^[17];三是将前两种方法结合使用。本文采用多项式拟合法在时域内对各支承点处的人工合成加速度波进行校正^[17],然后对修正后的加速度波进行二次积分,得到图 2 中虚线(为修正后各支承点处地震波位移加速度时程曲线)。由图 2 可以看出,修正后位移时程曲线的基线均回归零点,消除了零线漂移现象。因此,采用多项式拟合法可以有效地消除地震记录或者人工波积分后速度时程、位移时程的零线漂移现象。

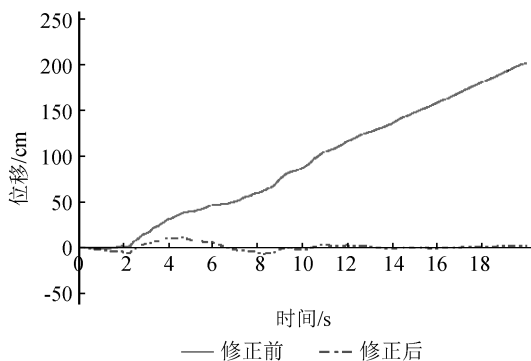


图 2 支承点 1 的位移时程

Fig.2 The displacement time-history of support point 1

2.2 加速度时程曲线的校验

虽然经过上述方法的修正很好地解决了位移零线漂移的情况,但并不意味着此方法的正确性,因为对地震波进行修正还有一项重要原则,就是修正过程中不能对原地震时程频谱特性改变过大,否则修正结果可能是不可靠的。根据此原则对本文拟合后的地震波时程数据在频域内进行校核,如图 3(限于篇幅仅给出支承点 1 的反应谱)所示,比较了修正前后加速度波的反应谱(阻尼比取 0.02,周期从 0.02~4 s)。从图 3 中可以看出,修正前后地震波的反映谱偏差非常小,表明校正后的结果是合理可信的。

2.3 多点地震动加速度时程曲线

经过上述方法修正后,图 4 给出了支承点处的地震波加速度时程曲线(限于篇幅仅给出支承点 2、3 的加速度时程曲线)。每个地震波的数据长度为 1 001 个点,时间步长为 0.02 s。

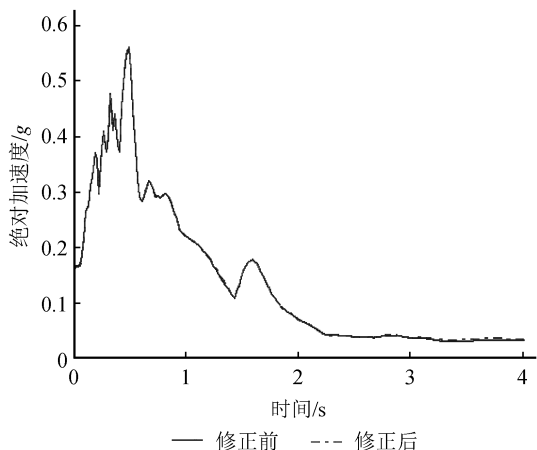
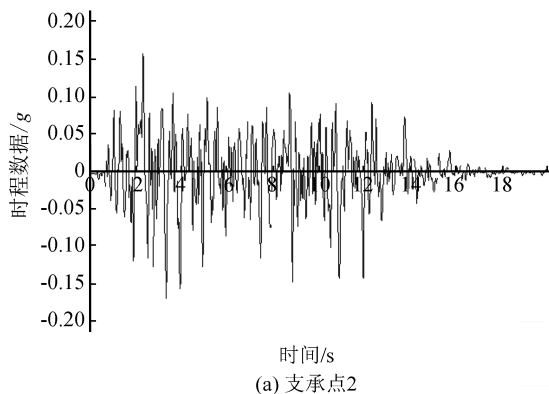
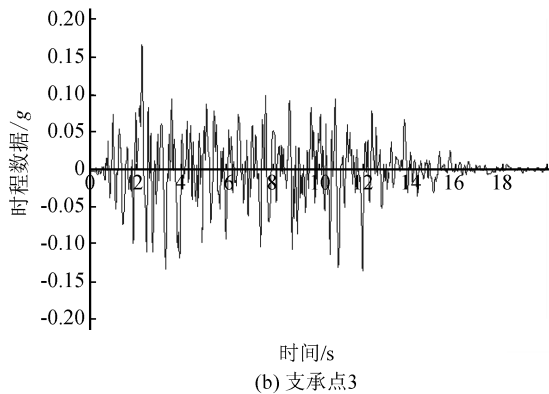


图 3 支承点 1 的地震反应谱

Fig.3 The seismic response spectrum of support point 1



(a) 支承点 2



(b) 支承点 3

图 4 支承点加速度时程曲线

Fig.4 Acceleration time-history of support points

3 一致激励与随机地震动多点激励下自锚式悬索桥的地震响应

利用桥梁专用分析软件 Midas/Civil 的线性时程分析模块进行锚式悬索桥的时程分析,大桥的主缆和吊杆采用索单元进行模拟;加劲梁采用空间梁单元形成元鱼刺骨模型,主梁节点和吊点之间采用刚性连接,主梁截面考虑加劲肋和纵隔板对结构刚度的影响;受压的主塔采用空间梁单元模拟,桥塔的单

元划分应尽量精细,以正确反映桥塔的质量分布和刚度分布;模型将主塔根部用一般支承进行固结;主梁由主塔的下横梁支承,支座约束的方向为竖桥向和横桥向。主缆与主塔的连接采用共节点方式模拟,主缆和加劲梁锚固点之间采用主从约束的刚性连接。加劲梁的锚固段由边墩支承,二者之间采用一般支承进行连接,约束节点三个平动方向和绕纵向转动,通过静力分析模块找到大桥合理成桥状态,并以此状态作为动力分析的初始态,利用线性时程求解模块进行地震响应分析。限于篇幅和问题的说明,本文仅施加纵向地震加速度激励,其中一致激励的输入模式为大桥各支承点处均输入相同的地震波,这里选取支承点 1 处的地震加速度时程进行输入;多点非一致激励情况下分别在 1~6 号支承点处输入相对应的地震加速度时程。图 5~图 7 分

别给出了部分结构关键位置(塔顶、桥塔处主梁截面和塔根)在地震荷载下的位移和内力时程曲线对比。表 2 给出了考虑相干效应纵向非一致点激励与一致激励分析结果对比。

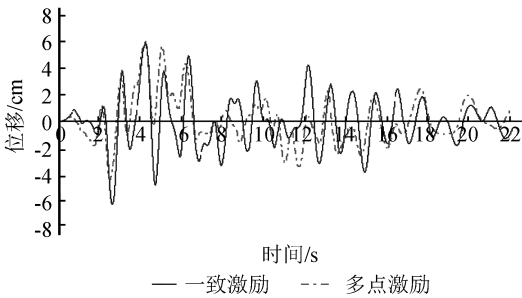


图 5 主塔顶部纵向位移时程对比
Fig.5 Comparison of longitudinal displacement time-histories at the top of main tower

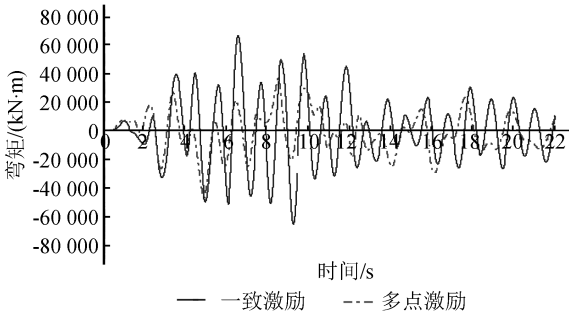


图 6 桥塔处主梁弯矩 M_y 时程对比
Fig.6 Comparison of bending moment M_y time-histories of main beam

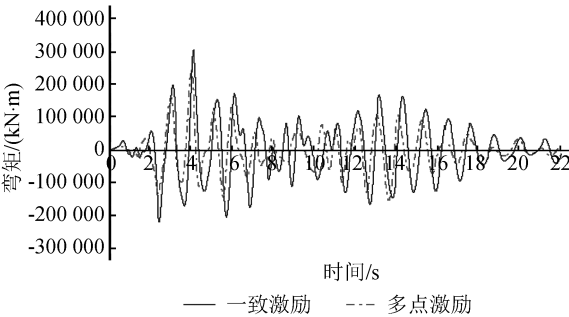


图 7 塔根弯矩 M_z 时程对比
Fig.7 Comparison of bending moment M_z time-histories of tower root

表 2 纵向多点激励(考虑相干效应)与一致激励下地震响应峰值结果对比

Fig.2 Results of peak seismic response under longitudinal multi-point excitations and uniform excitation

激励方式 及偏差	主梁边跨跨中竖向 位移/cm	塔顶纵向位移 /cm	桥塔处主梁弯矩 /(kN·m)	塔根弯矩 /(kN·m)
一致激励	10.83	6.21	6.643×10^4	3.070×10^5
多点激励	9.97	5.97	4.740×10^4	2.452×10^5
偏差/%	7.94	3.86	28.65	20.13

从图 5~图 7 以及表 2 中可以看出,考虑相干效应的纵向多点非一致激励峰值结果小于一致激励分析结果,主梁边跨跨中竖向位移和塔顶位移的差别较小,均在 10% 以下,而桥塔处主梁弯矩和塔根峰值弯矩偏差较大,均在 20% 以上,说明考虑部分相干效应的多点非一致激励对大跨度自锚式悬索桥主梁和主塔某些关键位置处的内力峰值影响较大。

4 结论

(1) 整个地震动过程中,地面运动呈现出的非平稳性主要包括强度非平稳和频率分量非平稳两个方面。因此统计频率分量变化规律性非常困难,工

程上采用调制函数的方法较为方便可行。
(2) 人工地震加速度时程波的非平稳考虑地震波非平稳性合成,桥址各支承点的人工合成地震波过程中应注意对加速度波进行修正,否则会导致速度和位移时程出现漂移现象。对于速度和位移时程在终点时刻不为零的现象,可采用多项式拟合法在时域内对各支承点处的人工合成加速度波进行校正;修正前后加速度时程波的正确性可采用响应谱进行比较校验。
(3) 考虑二维相干效应的纵向多点非一致激励计算结果小于一致激励分析结果,表明对于横向较宽的大跨结构,地震响应分析应计入支点间的相干

效应,并应进行多点非一致激励与一致激励的对比分析。

参考文献(References)

- [1] 李杰.自锚式悬索桥地震非线性时程响应分析和简化方法研究[D].成都:西南交通大学,2007:59-71.
LI Jie. Study on Seismic Response Nonlinear Time-history Analysis and Simplified Approach of Self-anchored Suspension Bridge[D].Chengdu:Southwest Jiaotong University,2007:59-71.(in Chinese)
- [2] 薛富春,张建民.高速铁路桥梁-桥墩-桩基础-地基耦合系统的地震反应[J].地震工程学报,2015,37(2):310-316.
XUE Fu-chun,ZHANG Jian-min.Seismic Response of Coupled Bridge-pier-pile-foundation on High-speed Railway[J].China Earthquake Engineering Journal,2015,37(2):310-316.(in Chinese)
- [3] 孙才志,赵雷,王菲.大跨度多塔斜拉桥随机地震响应分析[J].地震工程学报,2014,36(4):911-918.
SUN Cai-zhi,ZHAO Lei,WANG Fei.Stochastic Seismic Responses of a Large-span Multi-tower Cable-stayed Bridge[J].China Earthquake Engineering Journal,2014,36(4):911-918.(in Chinese)
- [4] 张超,巫生平.非一致激励对三塔自锚式悬索桥地震响应的影响[J].振动与冲击,2015,34(2):197-203.
ZHANG Chao,WU Sheng-ping.Frequency Formulas for Vertical Vibration of Three-tower Self-anchored Suspension Bridge Considering Tower Stiffness Influence[J].Journal of Vibration and Shock,2015,34(2):197-203.(in Chinese)
- [5] Kaiming Bi,Hong Hao,Nawawi Chouw.3D FEM Analysis of Pounding Response of Bridge Structures at a Canyon Site to Spatially Varying Ground Motions[J].Advances in Structural Engineering,2013,16(4):619-640.
- [6] 王天利,李青宁,郭昕.人工合成最不利地震动[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2014,46(4):523-528.
WANG Tian-li,LI Qing-ning,GUO Xin.Synthesis of the Severe Ground Motion[J].Journal of Xi'an University of Architecture & Technology:Natural Science Edition,2014,46(4):523-528.(in Chinese)
- [7] 李吉涛,杨庆山,刘阳冰.多点地震激励下大跨连续钢桥易损性分析[J].振动与冲击,2013,32(5):75-80.
LI Ji-tao,YANG Qing-shan,LIU Yang-bing.Fragility Analysis of Long Span Continuous Rigid Frame Bridge under Multi-support Excitations[J].Journal of Vibration and Shock,2013,32(5):75-80.(in Chinese)
- [8] 雷永勤,杜永峰.多点多维地震激励下大型渡槽非线性地震响应研究[J].工程抗震与加固改造,2014,36(3):42-48.
LEI Yong-qin,DU Yong-feng.Nonlinear Seismic Response Study of the Large-scale Aqueduct under Multi-support and Multi-dimensional Earthquake Excitations[J].Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting,2014,36(3):42-48.(in Chinese)
- [9] 胥润东.琼州海峡超大多主跨公铁两用悬索桥方案设计和抗震研究[D].成都:西南交通大学,2010:54-116.
XU Run-dong.Conceptual Design and Aseismic Analysis of Qiongzhou Strait Ultra-long Multi-span Highway-railway Suspension Bridge[D].Chengdu:Southwest Jiaotong University,2010:54-116.(in Chinese)
- [10] 全伟.大跨桥梁多维多点地震反应分析研究[D].大连:大连理工大学,2008:32-60.
QUAN Wei. Research on Multi-point Seismic Response of Large Span Bridge[D].Dalian:Dalian University of Technology,2010:32-60.(in Chinese)
- [11] Hao Hong.Arch Response to Correlated Multiple Excitations[J].Earthquake Engineering & Structural Dynamics,1993,22(5):389-404.
- [12] 杜修力,陈厚群.地震动随机模拟及其参数确定方法[J].地震工程与工程振动,1994,14(4):1-5.
DU Xiu-li,CHEN Hou-qun.Ground Motion Stochastic Simulation and Parameter Determination Method[J].Earthquake Engineering and Engineering Vibration,1994,14(4):1-5.(in Chinese)
- [13] 杜修力,胡晓,陈厚群.强震地运动随机过程模拟[J].地震学报,1995,17(1):103-109.
DU Xiu-li,HU Xiao,CHEN Hou-qun.Stochastic Process Simulation of Strong Motion Motion[J].Acta Seismologica Sinica,1995,17(1):103-109.(in Chinese)
- [14] 屈铁军,王前信.空间相关的多点地震动合成(Ⅰ)基本公式[J].地震工程与工程振动,1998,18(1):8-15.
QU Tie-jun,WANG Qian-xin.Synthesis of Spatially Correlated Multi Point Ground Motion(Ⅰ) Fundamental Formula[J].Earthquake Engineering and Engineering Vibration,1998,18(1):8-15.(in Chinese)
- [15] 屈铁军,王前信.空间相关的多点地震动合成(Ⅱ)合成实例[J].地震工程与工程振动,1998,18(2):25-32.
QU Tie-jun,WANG Qian-xin.Synthesis of Spatially Correlated Multi Point Ground Motion(Ⅱ) Synthetic Example[J].Earthquake Engineering and Engineering Vibration,1998,18(2):25-32.(in Chinese)
- [16] M Amin,A H S Ang.Nonstationary Stochastic Model of Earthquake Motions[J].ASCE,1968,94(EM2):559-584.
- [17] 李吉涛,杨庆山.地震波基线漂移的处理方法[J].北京交通大学学报,2010,34(1):95-99.
LI Ji-tao,YANG Qing-shan.A Correction Method for Baseline Drift of Seismic Wave[J].Journal of Beijing Jiaotong University,2010,34(1):95-99.(in Chinese)