第 36 卷　第 1 期　　石家庄铁道大学学报(自然科学版)　　Vol. 36　No. 1
2023 年 3 月　Journal of Shijiazhuang Tiedao University(Natural Science Edition)　Mar. 2023

弹性支承下大跨连续梁桥车桥耦合振动响应分析

柏　琦[1]，　邓年春[1,2]

(1. 广西大学 土木建筑工程学院，广西 南宁　530004；2. 广西防灾减灾与工程安全重点实验室，广西 南宁　530004)

摘要：为探讨弹性支承下梁桥车桥耦合振动响应，用弹簧-阻尼单元模拟支座，采用 9 自由度三轴空间整车模型，以三跨连续箱梁桥为研究对象，建立车桥耦合方程，利用 ANSYS 软件二次开发语言 APDL 进行仿真分析。研究分析了在弹性支承下，支座刚度、路面不平整度、车速以及行车间距对大跨连续梁桥车桥耦合动力响应的影响。研究结果表明，当支座刚度较小时，支座刚度变化对桥梁动力响应的影响较大，而当支座刚度较大时，支座刚度变化对桥梁的动力响应较小；路面等级越低，桥梁振动频率越趋向于低频化，当与桥梁固有频率接近时，动力响应尤为激烈；车速与行车间距对跨中挠度影响不大，对冲击系数与加速度幅值有较大影响，控制行车速度，保持良好车距可以有效减少车桥耦合振动响应。

关键词：弹性支承；有限元法；车桥耦合振动；动力响应

中图分类号：U441　**文献标志码：**A　**文章编号：**2095-0373(2023)01-0020-07

支座是连接桥梁上部结构和下部结构的重要部件，又是车桥耦合振动传递的必经途径，但在目前车桥耦合振动分析时，通常会忽略支座弹性效应的影响，可能使车桥耦合动力响应产生较大误差。在实际工程中以橡胶材料为主的弹性支座在桥梁减隔振方面也进行了初步的应用，台湾高铁约有 5 km 的桥梁采用减振支座进行减隔振[1]；宜万铁路中的宜昌长江大桥以橡胶弹性支座实现竖向减振[2]。

目前关于弹性支承桥梁的车桥耦合振动响应研究成果较少，国内外学者都在摸索研究方法[3-4]。刘扬等[5]用拉格朗日方程建立一般弹性支承梁的动力方程，并分析弹性支承刚度和车速对桥梁的动态响应；钱长照等[6]通过模态叠加法研究在弹性支承梁下的车桥耦合动力响应，结果表明，造成结构的 1 阶模态和 2 阶模态差异的决定性因素是弹性支座的刚度；文献[7]采用时域分析方法对车桥耦合振动过程中的支座动反力进行了时程曲线分析；张志俊等[8]建立车辆-桥梁-轨道支座垂向耦合动力学模型分析车致振动，研究发现支座动反力在车轮-轨道系统的固有频率附近出现峰值。综上可知，在车桥耦合振动研究中直接将桥梁的支承视为刚性是不合适的，目前支承条件对车桥耦合的影响大部分是基于铁路梁桥来研究，但随着公路桥梁跨度的不断增大，行驶的车辆不断向高速、重载方向发展，公路梁桥在弹性支承下的车桥耦合振动问题也不容忽视，因此以大跨连续箱梁桥为工程背景，将弹性支座用弹簧阻尼单元[9]来模拟，利用大型有限元分析软件 ANSYS 研究在弹性支承下连续梁桥在车桥耦合作用下的动力响应。

1　计算模型

把车桥系统分为车辆与桥梁 2 个子系统，建立各自的运动方程且叠加桥面动挠度时程和路面不平顺，通过接触点处位移协调和相互作用力的平衡关系分别把车辆-桥梁进行耦合[10-13]，形成车-桥耦合系统模型如图 1 所示。车辆采用 9 自由度的三轴空间整车模型，车辆模型如图 2 所示，假定将车体看成质量为 M 的刚体，考虑车体的竖向位移、角位

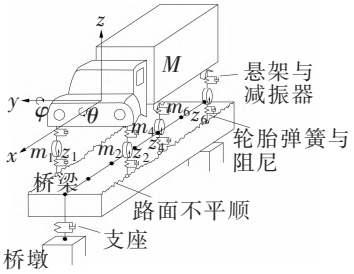
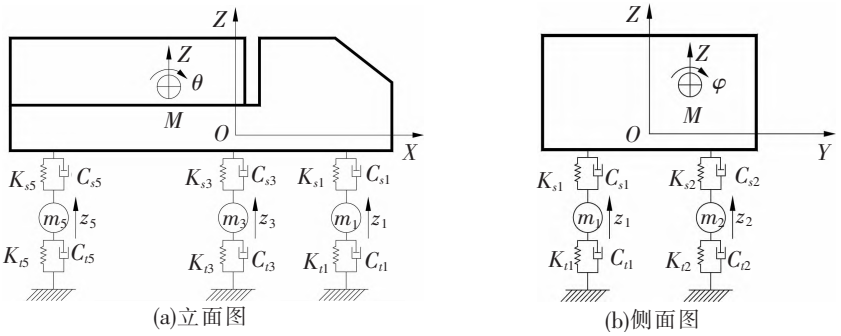


图 1　车-桥耦合系统模型

收稿日期：2022-11-13　**责任编辑：**车轩玉　DOI：10.13319/j.cnki.sjztddxxbzrb.20220343
基金项目：国家自然科学基金(51868006)；广西高等学校高水平创新团队及卓越学者计划项目(桂教人[2018]35)
作者简介：柏琦(1995—)，男，硕士研究生，研究方向为土木工程。E-mail：906237468@qq.com
柏琦，邓年春. 弹性支承下大跨连续梁桥车桥耦合振动响应分析[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版)，2023，36(1)：20-26.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

移、车体的侧倾角位移，以及每个车轮的竖向位移，通过悬架弹簧和减振器将车体质量与车轮质量连接；各车轮的质量为 $M_i(i=1,2,3,\cdots,6)$，车轮则通过具有一定刚度和阻尼的弹簧（轮胎）与桥梁路面连接，弹簧（轮胎）与桥面接触位置点为 $N_i(i=1,2,3,\cdots,6)$，连接车轮与车身的支承弹簧均为理想线弹性体。



(a)立面图　　(b)侧面图

图 2　车辆模型

1.1　振动微分方程

假定车辆在行驶过程中无跳起，车轮紧贴桥面，桥梁动力响应均值与静力响应相近，系统基准为竖向静力平衡状态，车辆振动的总势能 V、总动能 T 以及弹簧阻尼损失的能量 D 为

$$V=\frac{1}{2}\begin{bmatrix} k_{s1}(y_M-y_1+\theta L_1-\varphi S_1)^2+k_{s2}(y_M-y_2+\theta L_2-\varphi S_1)^2+k_{s3}(y_M-y_3-\theta(L_2+L_3)-\varphi S_1)^2+ \\ k_{s4}(y_M-y_4+\theta L_1+\varphi S_2)^2+k_{s5}(y_M-y_5+\theta L_2-\varphi S_2)^2+k_{s6}(y_M-y_6-\theta(L_2+L_3)-\varphi S_2)^2+ \\ \sum\frac{1}{2}k_{ti}(y_i-d_i-r_i)^2 \quad (i=1,2,\cdots,6) \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$D=\frac{1}{2}\begin{bmatrix} c_{s1}(\dot{y}_M-\dot{y}_1+\dot{\theta}L_1-\dot{\varphi}S_1)^2+c_{s2}(\dot{y}_M-\dot{y}_2+\dot{\theta}L_2-\dot{\varphi}S_1)^2+c_{s3}(\dot{y}_M-\dot{y}_3-\dot{\theta}(L_2+L_3)-\dot{\varphi}S_1)^2+ \\ c_{s4}(\dot{y}_M-\dot{y}_4+\dot{\theta}L_1+\dot{\varphi}S_2)^2+c_{s5}(\dot{y}_M-\dot{y}_5+\dot{\theta}L_2-\dot{\varphi}S_2)^2+c_{s6}(\dot{y}_M-\dot{y}_6-\dot{\theta}(L_2+L_3)-\dot{\varphi}S_2)^2+ \\ \sum\frac{1}{2}c_{ti}(y_i-\dot{d}_i-\dot{r}_i)^2 \quad (i=1,2,\cdots,6) \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$T=\frac{1}{2}M\dot{y}_M+\frac{1}{2}I_\theta\dot{\theta}^2+\frac{1}{2}I_\varphi\dot{\varphi}^2+\sum\frac{1}{2}m_i\dot{y}_i^2 \quad (i=1,2,\cdots,6) \tag{3}$$

式中，I_θ、I_φ 分别为车体的竖向扭转惯性矩、横向扭转惯性矩；θ、φ 分别为车体竖向扭转角、横向扭转角；k_{si}、c_{si} 分别为车辆第 i 轴的弹簧悬挂刚度、阻尼系数；k_{ti}、c_{ti} 分别为车辆第 i 轴的轮胎垂直刚度、阻尼系数；r_i、$\dot{r}_i$ 分别为车轮所在位置处的路面不平整度函数及其导数；d_i 为轮胎与桥梁接触点处的位移；y_i、$\dot{y}_i$ $(i=1,2,\cdots,6)$ 分别为第 i 个接触点的车体与悬挂系统的竖向位移、竖向速度；$L_i(i=1,2,3)$ 为前中后车轴到车体质心的距离；S_1、S_2 为车辆横向 2 个车轮到车体质心的距离。

对车体竖向位移 y_M、车轮的竖向位移 $y_i(i=1,2,\cdots,6)$ 逐一按照式(4)所示拉格朗日方程求偏导

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\partial T}{\partial\dot{q}_k}\right)-\frac{\partial T}{\partial q_k}+\frac{\partial V}{\partial q_k}+\frac{\partial D}{\partial\dot{q}_k}=Q \tag{4}$$

当 Q 为 0 时将车辆的振动方程整理后以矩阵形式表示

$$[M]\{\ddot{y}\}+[K]\{y\}+[C]\{\dot{y}\}=\{F_{xb}\}^{\mathrm{T}} \tag{5}$$

式中，$[M]$、$[K]$、$[C]$ 分别为车辆广义质量、刚度、阻尼矩阵；$\{\ddot{y}\}$、$\{\dot{y}\}$、$\{y\}$、$\{F_{xb}\}^{\mathrm{T}}$ 分别为车辆加速度、速度、位移、荷载列向量。

采用有限元法将桥梁离散为空间梁单元模型，桥梁的质量、刚度和阻尼特性沿桥跨方向均匀分布，则根据有限元动力学理论得到桥梁结构振动的一般方程

$$\boldsymbol{M}_b\ddot{\boldsymbol{u}}_b(t)+\boldsymbol{C}_b\dot{\boldsymbol{u}}_b(t)+\boldsymbol{K}_b\boldsymbol{u}_b(t)=\boldsymbol{F}_{bv}(t) \tag{6}$$

式中，$\boldsymbol{M}_b$、$\boldsymbol{C}_b$、$\boldsymbol{K}_b$ 分别为桥梁的质量矩阵、阻尼矩阵、刚度矩阵；$\boldsymbol{u}_b$、$\dot{\boldsymbol{u}}_b$、$\ddot{\boldsymbol{u}}_b$ 分别为桥梁节点的位移向量、速度向量、加速度向量；$\boldsymbol{F}_{bv}$ 为车轮荷载列向量。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1.2 耦合关系

车辆与桥梁的耦合是通过桥面接触点的位移和相互作用力实现的,当假定轮胎始终与桥面保持接触时,则车桥系统中的位移联系方程可由桥上接触点的位移表示

$$\Delta_i = y_i + r_i - z_{bi} \tag{7}$$

$$\dot{\Delta}_i = \dot{y}_i + r_i'\dot{x} - z_{bi}'\dot{x}\dot{z}_{bi} = \dot{y}_i + r_i'v - z_{bi}'v - z_{bi} \tag{8}$$

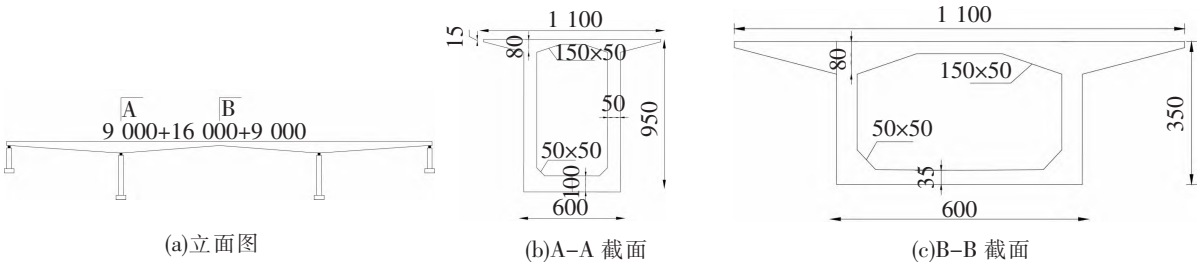
车辆与桥梁2个独立子系统是通过轮胎与桥面接触相联系,是一对相互作用力,即大小相等、方向相反

$$F_{bit} = -F_{vit} = k_{ti}\Delta_i - c_{ti}\dot{\Delta}_i \tag{9}$$

式中,Δ_i、$\dot{\Delta}_i$ 分别为第 i 个接触点与桥面之间的竖向位移和速度;z_{bi}、z_{bi}' 分别为第 i 个接触点对应的桥梁的瞬时位移、瞬时转角;r_i 为第 i 个车轮下桥面的不平顺度;x、v 分别为车轮向前行驶的位移、速度。

2 工程概况

以某一大跨连续梁桥为工程示例进行车桥耦合分析,计算跨径(90+160+90)m连续梁桥,上部结构采用单箱单室截面,梁宽11 m,下部结构为等截面矩形墩,墩身尺寸为680 cm×330 cm,壁厚0.5 m,主梁采用C55混凝土,桥墩结构C45混凝土,弹性模量分别为 $E_{C1}=3.85\times10^4$ MPa、$E_{C2}=3.45\times10^4$ MPa,桥墩与桥梁之间用支座连接,墩底固结,桥梁及横截面尺寸和模型如图3所示。



(a)立面图 (b)A-A截面 (c)B-B截面

图3 梁体及典型横截面(单位:mm)

支座竖向刚度拟定时参考GJZ 2500系列橡胶支座,则刚度 $K=Eab/h=1.72\times10^9$ N/m,利用有限元软件ANSYS建立桥梁模型,运用模态分析模块计算在结构自重下桥梁的前3阶的自振频率如表1所示。

表1 连续梁桥自振特性

模态阶数	频率/Hz	周期/s	自振特性
1	0.667 70	1.497 6	桥墩、主梁同向横向振动
2	0.675 18	1.481 1	桥墩、主梁反向横向振动
3	0.743 63	1.344 7	全桥竖向振动,呈正对称

3 车桥耦合动力响应分析

3.1 支座竖向刚度与车速的影响

为探讨支座竖向刚度对桥梁动力响应的影响,以桥梁跨中的竖向位移和加速度为对象进行分析,引入比例系数 α,设支座刚度系数为 $K_\partial=\alpha K$,α 分别取值0.5、1、1.5、2以及刚性支座,桥面等级采用理想桥面,车辆行驶速度为60 km/h。

由图4~图6可见,最大的竖向位移和加速度均在车辆经过跨中位置时刻,支座刚度比例系数 α 由0.5增大到1时对跨中动力响应影响最为明显,桥梁跨中竖向加速度峰值大幅度减少,最大跨中挠度由13.37 mm减少为11.72 mm,相差12.49%,支座刚度比例系数 α 由1到刚性支座范围内,跨中挠度曲线整体相差不大,最大跨中竖向挠度仅相差4.14%,跨中竖向加速度幅值出现波动,挠度冲击系数随支座刚度增加而减少。总体而言,当支座刚度比较小时,不仅跨中挠度较大,整体挠度曲线也比较波折,桥梁振

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

动明显，而支座刚度在正常使用的条件下（$\alpha=1$）增加支座刚度对桥梁结构的动力响应非常小。

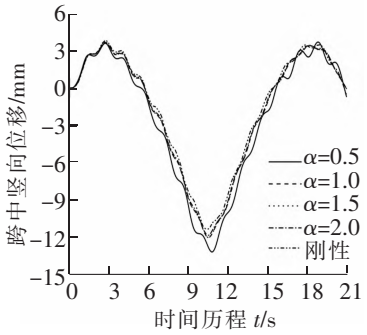


图 4　桥梁跨中竖向位移时程曲线

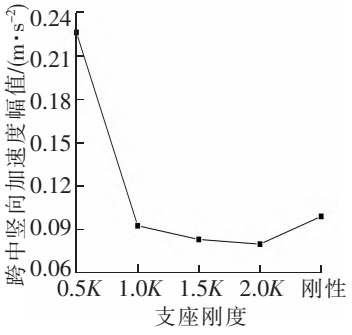


图 5　跨中竖向加速度幅值曲线

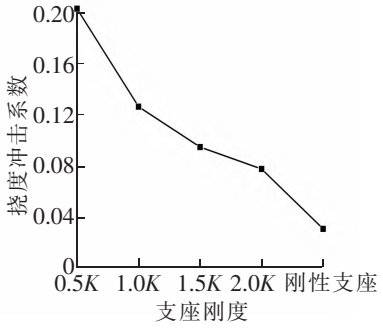


图 6　跨中挠度冲击系数曲线

为进一步分析支座刚度变化对桥梁动力响应的影响，在 40 ～120 km/h 5 种不同车辆行驶速度下支座刚度系数由 0.5 到刚性支座中，将桥梁跨中竖向位移幅值和加速度幅值进行对比。如图 7 所示，桥梁跨中竖向位移幅值随支座刚度增加而减少，随车速的增加则是先增加后减少，在 $v=100$ km/h 时的转折点取得极大值。图 8 为跨中挠度冲击系数，变化规律与跨中挠度一致，此处不再赘述，但与中国规范中以桥梁的固有频率规定挠度冲击系数为 0.05 相比差别较大，在正常使用情况下（$K=1.72\times10^9$ N/m）与邓露等[14]基于各种典型工况下混凝土梁桥所推算的冲击系数建议值 0.2 较为接近。

相比于跨中竖向位移变化，加速度对动力响应变化更为敏感，从图 9 可以看出，支座刚度与车辆行驶速度对加速度幅值均会产生较大影响。当车速较低时，支座刚度对加速度幅值的影响还比较小，但随着车辆行驶速度的增大，支座刚度对加速度幅值的影响区别越来越大，总体表现出支座刚度越低变化越显著。

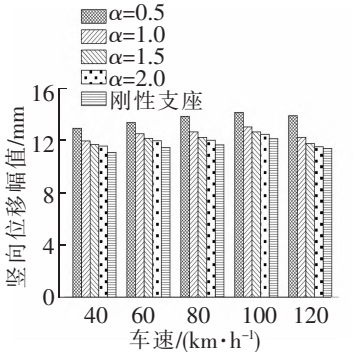


图 7　跨中竖向位移幅值

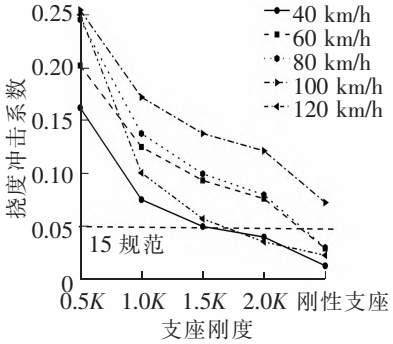


图 8　挠度冲击系数对比分析图

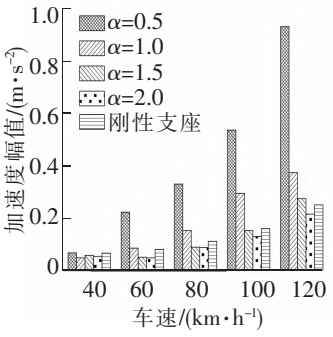


图 9　跨中加速度幅值

3.2　路面不平整度的影响

车辆在桥上行驶时，高低不平的桥面状况是主要的激励源，对车桥耦合振动影响较大，参考文献[15]利用 Matlab 软件采用快速傅里叶变换法模拟得到 A、B、C、D 4 个等级路面函数如图 10 所示，以车速 60 km/h，在弹性支承下（$K=1.72\times10^9$ N/m）分析不同路面等级对车桥耦合动力响应的影响。

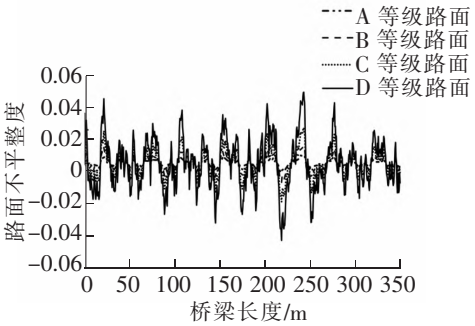


图 10　路面不平整度函数

图 11 为不同等级路面下跨中挠度曲线，从图 11 可知，在 A 和 B 等级路面状况下的桥梁跨中位移曲线整体变化不大，在 C 等级路面状况下，跨中位移曲线整体上出现小幅度波动，而在 D 等级路面下，当车辆在跨中位置时刻，跨中竖向振动位移波动逐渐增大，最大位移波动差为 6.64 mm，最大下挠值为 13.74 mm，分别比 A、B、C 等级路面最大下挠值高

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

14.7%、14.2%、8.6%,且桥梁动力响应有明显的滞后的现象,车辆行驶在后半路程对桥梁产生的挠度动力响应比前半程大,结合图11、图12可以得出,桥梁跨中动力响应整体上随路面等级下降而加剧,尤其在D等级路面动力响应非常剧烈。

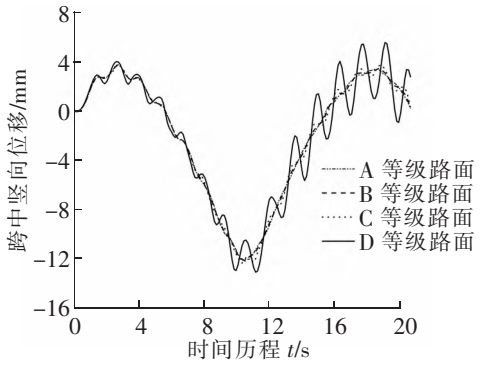


图11 不同等级路面下跨中挠度曲线

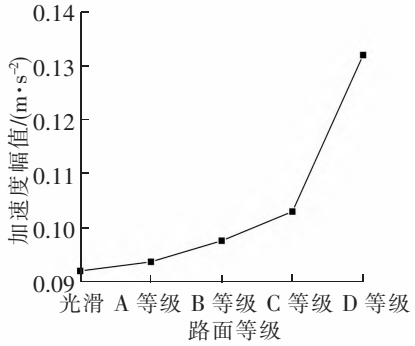


图12 不同等级路面跨中加速度幅值

将A、D等级路面跨中加速度进行Fourier转换得到频谱图如图13所示,对比分析可知在4 Hz以后的2频谱图的峰值以及波形相一致,最大峰值频率均为4.427 Hz,而对于D等级路面,较差的路况使低频率振动信号被激发,在0~4 Hz频谱图发生变化,且形成的第2峰值仅比第1峰值小7.86%,其余频率的峰值远小于第1和第2峰值,说明D等级路面振动以第1峰值和第2峰值所在频率为主,第2峰值的频率为0.749,此频率与桥梁的前3阶模态的固有频率非常接近,从而导致了D等级路面下桥梁动力响应较大。

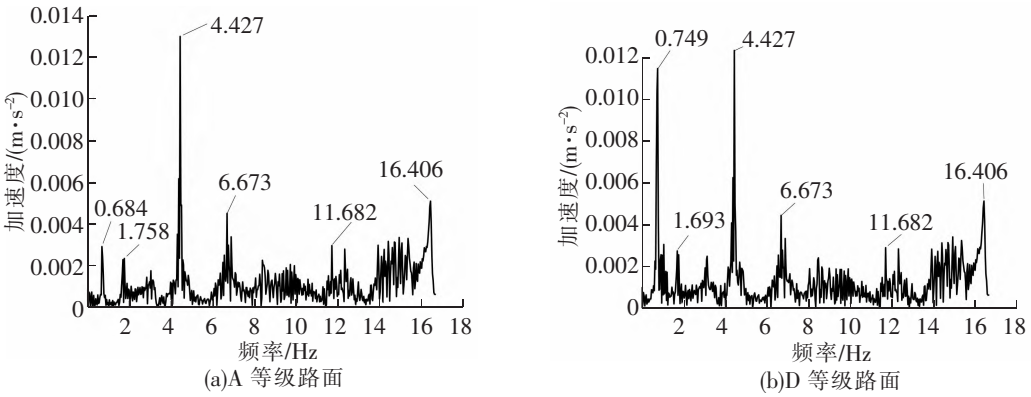


图13 不同等级路面跨中加速度Fourier频谱图

3.3 行车间距的影响

为研究在多车行驶情况下车辆间距对桥梁振动的影响,在B等级路面下以5辆车为一队,车辆行驶速度为60 km/h,支座支承刚度 $K=1.72\times10^9$ N/m,车辆间距为5~20 m,以5 m为增量步长驶过桥梁。

由图14及表2可知,最大挠度发生时刻随车辆间距的增大逐渐往后推移,桥梁跨中最大静位移以及最大动位移随行车间距的增大而减少,而跨中挠度冲击系数与加速度幅值随车辆间距的增大呈现出先减少后增大的现象,原因可能是车辆间距在5~10 m范围内时,前后辆车相隔较近,导致两车的振动效应相互影响,产生了不同程度的削减,而随着行车间距的增大,这种削减作用逐渐减弱。从该工况分析中桥梁无论是静位移还是动力响应的最大值均发生在车辆间距为5 m时,这表明车辆行驶间

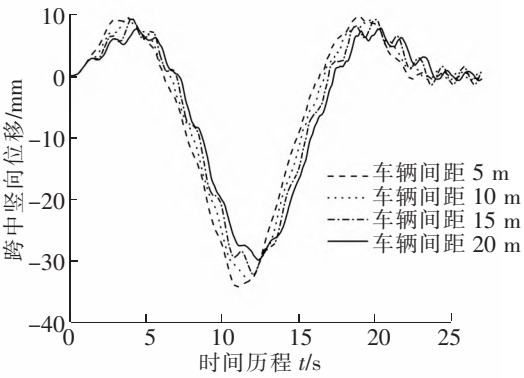


图14 不同行车间距下跨中挠度曲线

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

距较小不仅对车辆行驶安全不利，对桥梁结构而言也是如此。

表 2　不同车距下桥梁跨中动力响应

行车间距/m	跨中最大静位移/mm	跨中最大动位移/mm	冲击系数 μ	加速度幅值/(m·s^{-2})
5	32.15	34.54	0.074 3	0.266 50
10	31.16	33.07	0.061 3	0.119 15
15	30.73	32.34	0.052 4	0.163 20
20	29.21	31.03	0.062 3	0.210 40

4　结论

相较于以往公路梁桥车桥耦合振动研究，本文基于 ANSYS 有限元软件着重研究在弹性支承下，对支座刚度、车辆行驶速度、路面等级以及行车间距对车桥耦合振动响应的影响进行详尽分析，得出以下结论：

(1)当支座刚度较大时，弹性支承对桥梁动力响应的影响较小，当支座刚度较小时，弹性支承对桥梁动力响应的影响较大，此时应当考虑支座的弹性效应，将桥梁边界条件简化为刚性会产生较大误差。

(2)车速对桥梁跨中的最大挠度影响不大且并非随速度的增大而单调递增，但当支座出现局部脱空或者病害时，此时桥梁的支承刚度比较低，较高的行车速度对桥梁的动力响应作用将会急剧放大，无论对于车辆还是桥梁都将存在安全隐患。

(3)车辆行驶间距越小，车辆对桥梁的振动作用越大，保持合理的行车间距可以有效减少桥梁跨中挠度。

(4)路面状况相比于其他因素对车桥耦合振动的影响较大，路面不平顺等级越低，桥面不平顺曲线波动幅值越大，越容易激发低频振动，使桥梁产生共振从而激发桥梁的动力响应也就越大，由此可见桥梁后期及时养护以避免较差路况的出现是十分必要的。

参　考　文　献

[1]Marioni，陈列，胡京涛. 橡胶减振支座在台湾高速铁路上的应用[J]. 工程抗震与加固改造，2011，33(2)：63-66.

[2]胡宇新，庾光忠. 浅谈桥梁隔振支座产品[C]//“东海橡胶杯”第五届全国橡胶制品技术研讨会论文集. 宁波：[出版者不详]，2009：79-84.

[3]蒋通，马超勇，张昕. 弹性支承条件下车-桥体系的振动分析[J]. 力学季刊，2004，25(2)：256-263.

[4]彭献，殷新锋，方志. 变速车辆与路面不平弹性支撑桥梁的耦合振动分析[J]. 振动与冲击，2007，26(5)：19-21.

[5]刘扬，王明洋，卢浩. 弹性支撑梁在移动荷载作用下的动力响应[C] //第 2 届全国工程安全与防护学术会议论文集. 北京：中国岩石力学与工程学会，2010：93-98.

[6]钱长照，李寅磊，刘扬. 弹性支撑梁在移动荷载作用下的响应分析[J]. 动力学与控制学报，2011，9(2)：162-166.

[7]Li X，Zhang Z，Zhang X. Using elastic bridge bearings to reduce train-induced ground vibrations：An experimental and numerical study[J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering，2016，85：78-90.

[8]张志俊，张迅. 车致桥梁支座动反力频谱特性及影响因素研究[J]. 应用力学学报，2020，37(2)：851-859.

[9]韩霄翰，池茂儒，吴兴文. 支座参数对跨坐式单轨车辆运行平稳性的影响[J]. 城市轨道交通研究，2019，22(4)：42-47.

[10]陈代海，李整，刘琼，等. 公路桥梁 2 种车桥耦合振动分析方法的对比研究[J]. 铁道科学与工程学报，2017，14(7)：1449-1456.

[11] Ahmari S，Yang M，Hai Z. Dynamic interaction between vehicle and bridge deck subjected to support settlement[J]. Engineering Structures，2015，84(1)：172-183.

[12]沈火明，肖新标. 求解车桥耦合振动问题的一种数值方法[J]. 西南交通大学学报，2003，38(6)：658-662.

[13]施颖，田清勇，宋一凡，等. 基于 ANSYS 的公路桥梁车桥耦合振动响应数值分析方法[J]. 公路，2010(3)：66-70.

[14]邓露，陈雅仙，韩万水，等. 中小跨径公路混凝土简支梁桥冲击系数研究及建议取值[J]. 中国公路学报，2020，33(1)：69-78.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[15]刘世忠. 双层公路钢桁梁桥车桥耦合振动研究[D]. 西安:长安大学,2015.

Vehicle-Bridge Coupling Vibration Response Analysis of Long-Span Continuous Girder Bridge with Elastic Support

Bai Qi[1], **Deng Nianchun**[1,2]

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University, Nanning 530004, China;
2. Key Laboratory of Disaster Prevention and Structural Safety of Ministry of Education, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: In order to investigate the vehicle-bridge coupling vibration response of the beam bridge with elastic support, a spring-damping element was used to simulate the bearing, a nine-degree-of-freedom three-axis space vehicle model was adopted, and a three-span continuous box girder bridge was taken as the research object. The vehicle-bridge coupling equation was established, and the secondary development language of ANSYS software APDL was used for simulation analysis. The influences of support stiffness, road roughness, speed and distance on vehicle-bridge coupling dynamic response of long-span continuous girder bridges under elastic support were studied and analyzed. The results show that when the bearing stiffness is small, the dynamic response of the bridge is greater, but when the bearing stiffness is large, the dynamic response of the bridge is smaller. The lower the pavement level is, the more the vibration frequency of the bridge tends to be low frequency. When it is close to the natural frequency of the bridge, the dynamic response is particularly intense. Vehicle speed and distance have little influence on mid-span deflection, but have great influence on impact coefficient and acceleration amplitude. Controlling running speed and maintaining good distance can effectively reduce vehicle-bridge coupling vibration response.

Key words: elastic support; finite element method; vehicle-bridge coupling vibration; dynamic response

(上接第6页)

Nondestructive Control Standard and Application of Deck Pavement for Suspender Replacement of Tied Arch Bridge

Zhang Zhiguo, **Wang Jingpeng**

(School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: The non-destructive control standard of bridge deck in the process of suspender replacement of tied arch bridge was studied. Based on the bridge design load standard, a simplified calculation formula of the maximum rotation angle of bridge deck pavement was established by using the displacement influence matrix and the rotation angle influence matrix. An optimization algorithm was proposed to control the maximum displacement control standard under the condition that the bridge deck pavement was not damaged. Combined with the actual arch bridge suspender replacement project, using the method of this paper, it was concluded that the elevation control standard to ensure that the bridge deck was not damaged during the suspender replacement was not more than 7.2 mm, and this was used as the construction control condition. Through the construction verification, the control standard could ensure that the bridge deck pavement was not damaged during the replacement process, and the expected goal was achieved.

Key words: tied arch bridge; suspender replacement; bridge deck pavement; non-destructive; control standard; influence matrix

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net