

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2022.06.022

多荷载作用下考虑支座接触滑移的大纵坡梁桥受力分析*

林俊¹, 黄志刚²

(1.江西省公路工程检测中心, 江西 南昌 330013; 2.江西省交通工程集团有限公司, 江西 南昌 330038)

摘要: 受地形影响,山区高速公路桥梁常设计为大纵坡,在温度、自重、汽车等多种荷载作用下,大纵坡桥梁底与支座接触易发生滑移破坏,桥梁安全性和适应性受到影响。为研究多种荷载组合作用下考虑支座接触滑移的大纵坡高速公路桥梁的受力性能,文中运用 ANSYS 有限元软件建立精细化多片简支 T 梁模型,采用非线性弹簧单元模拟滑移支座,通过建立水平滑移模型,对不同摩擦系数下大纵坡桥梁在多荷载组合作用下的受力性能进行对比分析。结果表明,增大支座摩擦系数,可减小大纵坡高速公路桥梁的跨中挠度,但会使主梁纵向应力与应变增大。

关键词: 桥梁;大纵坡桥梁;支座接触滑移;受力性能;多种荷载组合

中图分类号:U441.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2022)06-0095-04

中小跨径山区高速公路桥梁多采用标准化、装配式的预制 T 梁结构,受山区地形影响,为满足行车及通行安全要求,主梁与水平面间设置一定坡度,即大纵坡。大纵坡桥梁的 T 梁底部与支座接触容易发生滑移破坏,不仅影响桥梁的整体受力性能,而且一定程度上影响桥梁的安全性与适应性。国内学者对大纵坡桥梁底与支座的接触滑移受力性能进行了一些研究,如伍彦斌等采用弹性库仑摩擦模式的点一点接触单元、非线性弹簧单元和间隙-滑动组合单元,模拟了桥梁结构活动支座的单向受力或非对称受力行为及摩擦滑移、脱空、限位等非线性特性;翟文博等针对索膜整体张拉结构环桁架支座,提出了一种径向可滑、环向限位铰支座,并对该支座节点的受力性能进行了考虑摩擦接触的有限元计算分析,结果表明采用铰支座的模型其受力性能较好;李冲等通过对比分析考虑摩擦滑移后板式橡胶支座的力-位移滞回曲线、等效刚度、等效阻尼比及滞回耗能等力学特性与铅芯橡胶支座的异同,得出考虑摩擦滑移的板式橡胶支座可耗散大量地震能量;刘辉等以李家湾大桥为依托工程,采用 ABAQUS 有限元软件建立实体模型,分析了支座摩擦系数对桥墩受力的影响。上述研究多考虑支模滑移对大纵坡受力的影响,没有考虑多种荷载的组合作用。本文以江西省高速公路中常见多片 T 形梁桥为研究对象,

建立多跨精细化大纵坡 T 形桥梁有限元模型,采用非线性弹簧单元模拟滑移支座,对模型施加温度、车道荷载、自重等多种组合荷载,分析考虑支座接触滑移时两跨一联 40 m T 梁在不同支座摩擦系数下的受力性能。

1 工程概况

某山区高速公路桥梁,其中一联为 2×40 m T 梁,桥面宽 11.2 m,等级为公路 II 级。主梁与水平面设置 5% 纵坡,设计荷载包括公路 II 级车道荷载、自重及升温 20°C 的温度荷载。结构横向由 5 片 T 梁组成,其中单片 T 梁截面见图 1。T 梁采用 C50 混凝土,翼缘宽 0.9 m,腹板厚 0.2 m,梁高 1.8 m,设置上梗角 $0.9\text{ m} \times 0.1\text{ m}$;马蹄宽 0.6 m、厚 0.3 m,设置马蹄斜角 $0.2\text{ m} \times 0.2\text{ m}$ 。下部立柱高度为 30 m,采用 C40 混凝土,直径 2.0 m。

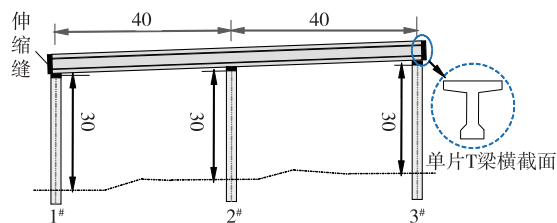


图 1 某高速公路桥梁 T 梁计算模型示意图(单位:m)

* 基金项目:江西省交通运输厅科技项目(2020H0010)

2 考虑水平约束的支座模拟及桥梁有限元模型建立

采用有限元软件 ANSYS 建立桥梁模型, T 梁、盖梁、立柱等结构均根据实际尺寸模拟, T 梁、盖梁和立柱采用 Solid65 单元模拟, 立柱间横架采用 Beam188 梁单元模拟, 各部分材料参数见表 1。

表 1 桥梁模型材料参数

部件	强度等级	弹性模量/ MPa	容重/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	泊松比	线膨胀系数
T 梁	C50	3.45×10^4	2 772	0.2	1.0×10^{-5}
盖梁	C40	3.25×10^4	2 600	0.2	1.0×10^{-5}
立柱	C40	3.25×10^4	2 600	0.2	1.0×10^{-5}

桥梁结构整体建模中支座的处理方式一般有采用主从约束或理想约束模拟、采用线性弹簧阻尼单元模拟、采用非线性弹簧单元模拟 3 种。该桥采用线性调节器单元与线性弹簧阻尼单元相结合的方式对支座进行模拟, 其中支座的轴向拉压性能采用 Link11 轴向拉压单元模拟, 支座的摩擦性能采用 Combin14 弹簧单元模拟, 并将其设置为 1D 轴向弹簧—阻尼器(见图 2)。

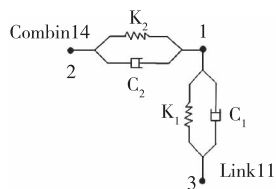


图 2 考虑滑移的支座模拟

模型模拟分析中考虑自重、温度荷载和车道荷载 3 种常见荷载, 其中温度荷载考虑整体升温 20°C , 车道荷载使用车道线的布置形式(布置 4 条车道线)。T 梁 2[#] 墩支座采用固结, 立柱底部约束 X、Y、Z 3 个方向的自由度。桥墩采用固结, 主梁和桥梁之间采用水平弹簧和竖向弹簧支撑进行约束, 水平弹簧根据摩擦系数大小提供不同约束, 竖向弹簧根据支座刚度、直径提供相应约束。有限元计算模型见图 3。

计算假定如下: 1) 不考虑 T 梁横隔板的作用; 2) 不考虑桥面的横坡影响; 3) 主梁与支座接触, 未脱离; 4) 不考虑桩土相互作用的影响。

支座摩擦系数、支座参数按常温下盆式橡胶支座设置。根据 JT/T391—2009《公路桥梁盆式支座》, 选取摩擦系数 μ 分别为 0.03、0.05、0.07。分析

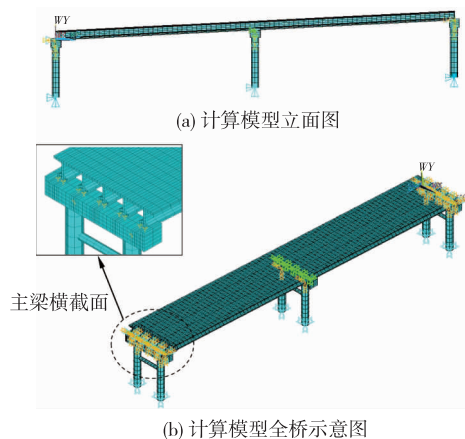


图 3 考虑支座滑移的大纵坡多片 T 梁有限元分析模型

工况如下: 工况 1 为摩擦系数 0.03, 1.2 自重 + 1.4 车道荷载 + 0.7×1.4 温度荷载; 工况 2 为摩擦系数 0.05, 1.2 自重 + 1.4 车道荷载 + 0.7×1.4 温度荷载; 工况 3 为摩擦系数 0.07, 1.2 自重 + 1.4 车道荷载 + 0.7×1.4 温度荷载。其中摩擦系数的变化通过转化为 Combin14 单元的刚度系数与黏滞阻尼系数来实现, 不同摩擦系数对应的刚度系数和黏滞阻尼系数见表 2。

表 2 极限摩擦阻力

摩擦系数 μ	极限摩擦阻力/kN	刚度系数/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)	黏滞阻尼系数/ ($\text{kN} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$)
0.03	577.8	2.889×10^7	5.778×10^4
0.05	963.0	4.815×10^7	9.630×10^4
0.07	1 348.8	6.741×10^7	1.348×10^5

3 计算结果与分析

3.1 T 形主梁受力分析

T 形主梁在荷载作用下跨中产生较大弯矩, 两端产生较大剪力。3 种工况下跨中 T 梁顶部节点纵桥向(Z 向)应力见图 4、挠度见图 5, T 梁两端节点应变见图 6。

从图 4 可以看出: 支座摩擦系数从 0.03 增大到 0.07, T 形主梁跨中顶部各节点的应力增大。支座摩擦系数从 0.03 增大到 0.05, 第一跨、第二跨的峰值应力分别增大 189.1 kPa、166.1 kPa; 支座摩擦系数从 0.05 增大到 0.07, 第一跨、第二跨的峰值应力分别增大 162.87 kPa、141.7 kPa。对于大纵坡梁桥, 坡顶与坡底支座摩擦系数增大, 在 1.2 自重 + 1.4 车道荷载 + 0.7×1.4 温度荷载组合作用下, 坡顶与坡底 T 梁两端所受摩擦力增大, 桥梁纵向所受应力

增大。

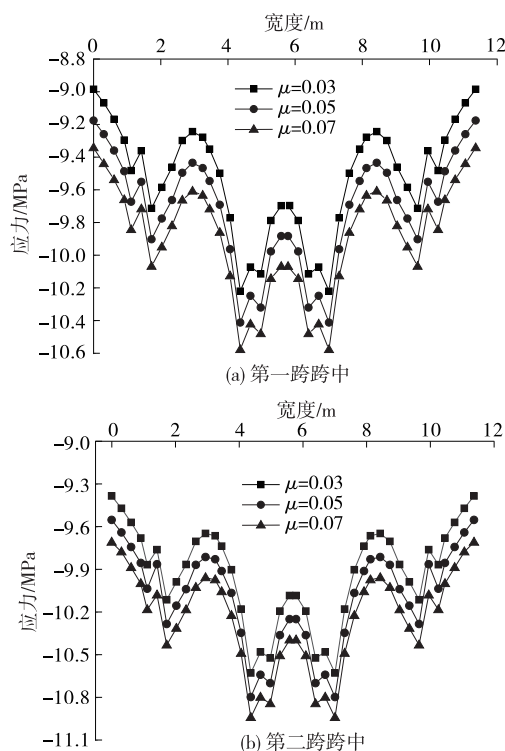


图 4 3 种工况下跨中 T 梁顶部节点 Z 向应力对比

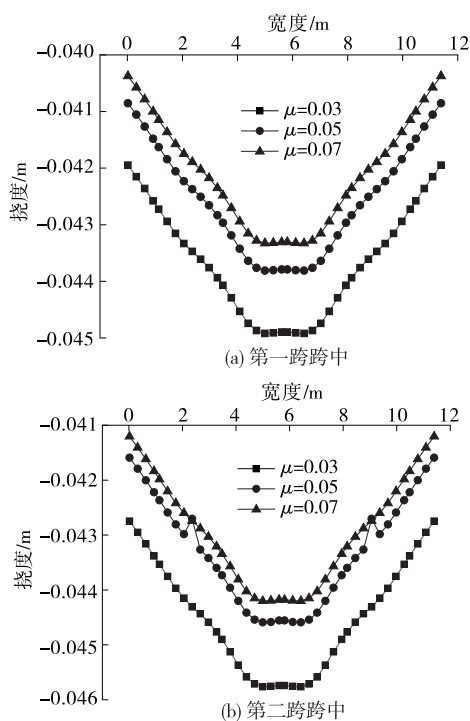


图 5 3 种工况下跨中 T 梁顶部节点挠度对比

由图 5 可知:坡顶与坡底处支座的摩擦系数增大时,T 梁在 1.2 自重+1.4 车道荷载+ 0.7×1.4 温度荷载组合作用下跨中挠度减小。摩擦系数从 0.03

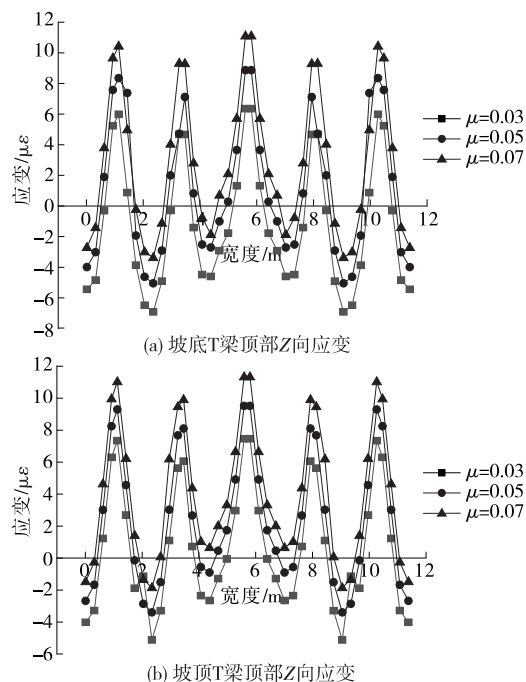


图 6 3 种工况下 T 梁端面顶部 Z 向总应变对比

增大到 0.05 时,第一跨、第二跨峰值挠度分别减小 1.15 mm、1.16 mm;摩擦系数从 0.05 增大到 0.07 时,第一跨、第二跨峰值挠度分别减小 0.47 mm、0.38 mm。对于大纵坡梁桥,两端支座摩擦系数增大,可一定程度上减小跨中挠度。

由图 6 可知:坡顶与坡底处支座摩擦系数增大,T 梁端面顶部节点的应变增大,其中峰值应变增大明显。T 形主梁顶部节点应变出现在翼缘两端及翼缘与腹板连接处,摩擦系数从 0.03 增大到 0.05 时翼缘与腹板连接节点处应变增幅较大,达 $4 \mu\epsilon$ 。支座摩擦系数增大对大纵坡梁桥纵向应变有较大影响。

3.2 立柱与盖梁受力分析

受地形、地貌、地质条件的影响,该桥设计采用柱式桥墩。对于简支桥梁,盖梁是一个承上启下的重要构件,上部结构荷载通过盖梁传递给下部结构和基础,盖梁是主要受力结构。盖梁承受的主要荷载是 T 形主梁所受荷载通过支座传递的集中力,而立柱承受来自盖梁传递的集中力。不同支座摩擦系数下盖梁和立柱单元的横向(X 向)应力见图 7。

由图 7 可知:对于连续多跨的大纵坡梁桥,主梁与支座固结时,纵坡中间处盖梁及立柱所受横向应力比两端大;纵坡坡顶与坡底支座摩擦系数增大时,盖梁与立柱的横向应力增大,且最大与最小应力出现在盖梁的中间部上下端面。因此,可适当提高大纵坡梁桥盖梁与立柱材料的设计强度。

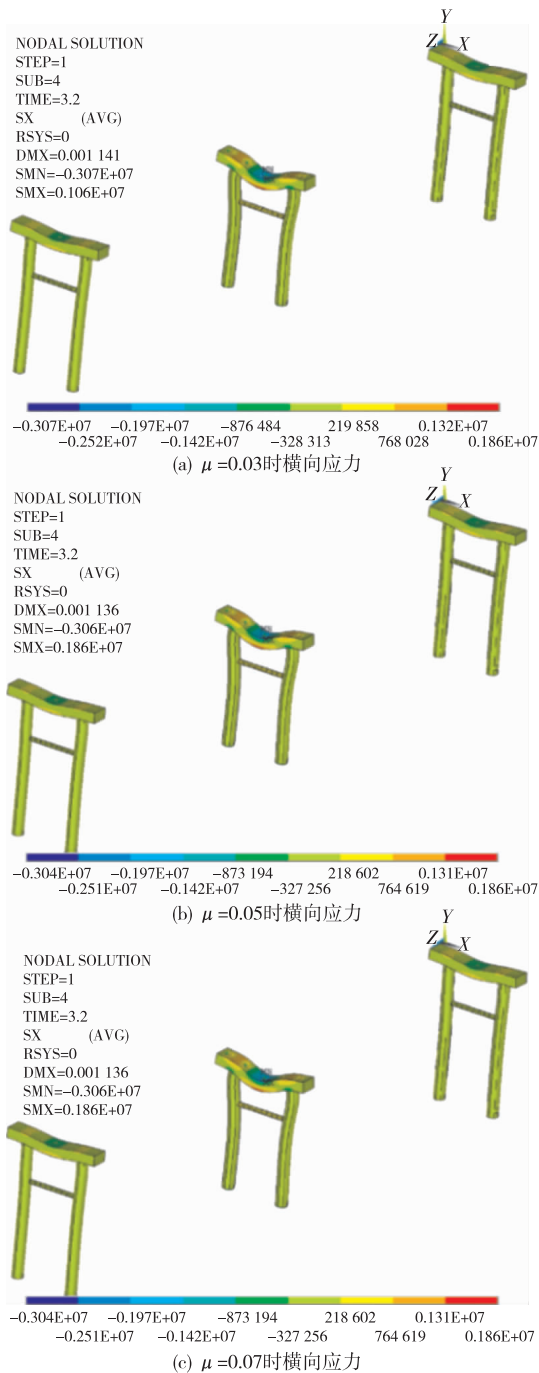


图7 不同支座摩擦系数下盖梁与立柱横向(X向)应力云图(单位:MPa)

4 结论

本文对大纵坡梁桥中间段采用墩梁固结、梁端支座摩擦系数逐渐增大的方法,基于四点假设进行分析,得出以下结论:

(1) 两端支座摩擦系数增大可一定程度上减小大纵坡梁桥跨中挠度,即支座水平约束下降会导致桥梁挠度增大。

(2) 在多种荷载组合作用下,支座摩擦系数增大,大纵坡梁桥T形主梁两端所受摩擦力增大,使主梁顺桥方向应力与应变增大、跨中挠度减小,支座摩擦系数的变化对主梁顺桥方向应力与应变有较大影响。

(3) 在多种荷载组合作用下,支座摩擦系数增大会对大纵坡梁桥盖梁的横向应力产生一定影响。

参考文献:

- [1] 王威.东西高速公路山区桥梁基础设计方案分析[J].中外公路,2009,29(4):340—342.
- [2] 葛胜锦,王学军.山区高速公路桥梁的设计方法与实践[J].公路,2008(9):237—244.
- [3] 黎立新,何志勇.高速公路山区桥梁选型及安全风险评估[J].公路,2011(7):145—148.
- [4] 伍彦斌,黄方林.考虑摩擦、脱空及限位非线性的活动支座模型[J].应用力学学报,2018,35(4):797—802+933.
- [5] 翟文博,张国军,张爱林,等.单向滑移支座节点受力性能研究[J].工业建筑,2016,46(12):140—145.
- [6] 李冲,王克海,惠迎新,等.考虑摩擦滑移的板式橡胶支座连续梁桥地震反应分析[J].中国公路学报,2016,29(3):73—81.
- [7] 刘辉,张策.浅析大纵坡梁桥墩顶偏位影响因素[J].黑龙江交通科技,2013,36(4):77—78.
- [8] 谢文,孙利民.具有分层耗能机制的斜拉桥顺桥向地震损伤控制[J].振动工程学报,2015,28(4):585—592.
- [9] 邓育林,雷凡,何雄君.地震作用下大跨斜拉桥主桥与多联引桥伸缩缝处连锁碰撞效应研究[J].土木工程学报,2015,48(2):87—95.
- [10] 袁万城,屈小伟.减隔震装置在飘浮体系斜拉桥纵桥向的应用[J].同济大学学报(自然科学版),2015,43(2):199—204.
- [11] 聂利英,郭其远,李建中.设置纵向大型液体黏滞阻尼器的大跨斜拉桥主梁纵向运动阻尼水平研究[J].工程力学,2015,32(9):141—148.
- [12] 陈清军,张婷,陈志海,等.长周期随机地震作用下超大跨斜拉桥的行波效应分析[J].湖南大学学报(自然科学版),2014,41(4):1—9.
- [13] 张常勇,王文斌,姚宗健.大跨度斜拉桥顺桥向阻尼约束体系研究[J].桥梁建设,2014,44(6):75—80.
- [14] 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.
- [15] 黄学漾,宗周红,夏坚,等.强震作用下独塔斜拉桥模型的非线性动力响应分析[J].东南大学学报(自然科学版),2014,44(6):75—80.

(下转第103页)

大振动应变增大 17.89%。

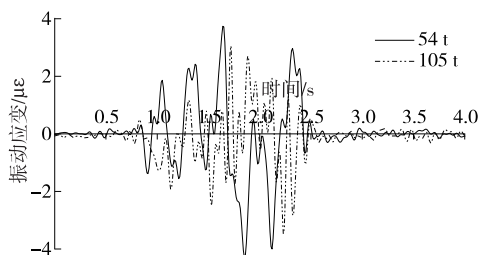


图 16 车辆质量对钢栈桥下弦杆跨中动应变的影响

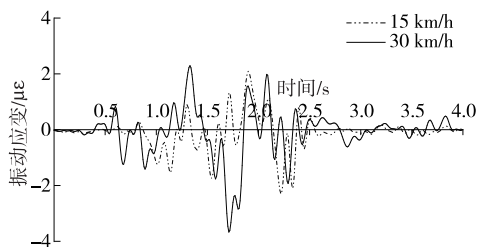


图 17 车速对钢栈桥下弦杆跨中动应变的影响

从图 17 可以看出:车辆质量相同的情况下,车速增大一倍,钢栈桥的振动规律有明显差别,主要体现在最大振动应变及整车完全驶过跨中后对跨中持续影响的能力。车速增大一倍,最大振动应变增大 17.01%,在 2.5 s 后,整车驶过跨中,车速为 30 km/h 时振动应变仍在小幅变化,说明车速增大会对钢栈桥产生持续的振动影响。

4 结论

本文通过 ANSYS 建立单跨钢栈桥有限元模型,基于 LS-DYNA 程序建立显式车—桥耦合振动分析系统,以车辆质量、车辆速度为参数,对比分析各工况下钢栈桥的振动响应,得出以下结论:1) 通过现场静载试验和动载试验结果与有限元数值模拟结果的对比,调整钢栈桥模型弹性模量为设计值的 88%使其与实桥更吻合。2) 车辆质量增大一倍,钢栈桥跨中竖向振动位移增大 55.57%,竖向动应变增大 17.89%。3) 车速增大一倍,钢栈桥跨中最大振动位移增大 4.39%,车速越快,振动幅度增大,且对钢栈桥的振动影响时间增长。

本文尚未研究桥面平整度改变时钢栈桥的振动响应,这种情况可作为后续研究方向。

参考文献:

- [1] 殷新锋.汽车荷载作用下梁式桥与斜拉桥的动态响应分析[D].长沙:湖南大学,2010.
- [2] 甄相国,李明.重载作用下的临时施工钢栈桥有限元分析[J].山东工业技术,2017(4):127.
- [3] 甄相国.某桥梁施工钢栈桥及钻孔平台稳定性有限元分析[D].衡阳:南华大学,2017.
- [4] 袁舫.杭州市九堡大桥施工栈桥设计计算研究[D].重庆;重庆交通大学,2011.
- [5] 尹栋佳,陈梦,李琳琳,等.基于有限元模型的钢栈桥上部结构设计[J].福建交通科技,2016(5):67—70.
- [6] 郭晓松.某施工钢栈桥的结构设计分析[J].低温建筑技术,2017,39(11):86—89.
- [7] 谢晓鹏,王娟,窦国涛,等.钢栈桥桩顶梁截面 ANSYS 简化对其力学性能的影响[J].河南理工大学学报(自然科学版),2020,39(4):140—146.
- [8] 刘永峰.大跨度钢桁架栈桥结构性能分析与跨度提升研究[D].郑州:郑州大学,2018.
- [9] 殷新锋,晏万里,任厚乾,等.车载作用下公路桥梁耦合振动精细化建模及验证分析[J].湖南大学学报(自然科学版),2021,48(9):129—137.
- [10] 朱志辉,王力东,龚威,等.多种垂向轮轨关系的对比及改进的车—线—桥系统迭代模型的建立[J].中南大学学报(自然科学版),2017,48(6):1585—1593.
- [11] KWASNIEWSKI Leslaw, LI Hongyi, WEKEZER Jerry, et al. Finite element analysis of vehicle-bridge interaction [J]. Finite Elements in Analysis and Design, 2006, 42 (11):950—959.
- [12] 李廉锯.结构力学[M].北京:高等教育出版社,2017.
- [13] 宗雪梅,胡大琳,高军.桥梁超重荷载与限载标准的确定[J].长安大学学报(自然科学版),2008,28(1):60—65.
- [14] 刘扬,张海萍,邓扬,等.考虑车辆超载的公路简支梁桥疲劳性能[J].浙江大学学报(工学版),2015,49 (11):2172—2178.

收稿日期:2021—11—26

(上接第 98 页)

学版),2015,45(2):354—359.

- [16] 刘彦辉,谭平,金建敏,等.地震作用下全浮漂大跨斜拉桥耗能减震控制研究[J].振动与冲击,2015,34 (8):1—6.
- [17] 孙才志,赵雷,贾少敏.考虑场地效应的大跨度多塔斜

拉桥随机地震响应分析[J].公路交通科技,2014,31 (8):71—76.

- [18] 刘思涵.盖梁的设计与计算[J].交通标准化,2010 (19):134—137.

收稿日期:2021—12—09