

Analysis and Test Study on the Dynamic Characteristics of a Continuous Concrete Girder Bridge Broadened without Joint

Yu Chen¹, Peifeng Wu¹, Yang Li², Fangyuan Li^{1*}

¹Department of Bridge Engineering, College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai

²Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai

Email: *fyli@tongji.edu.cn

Received: Jan. 9th, 2018; accepted: Jan. 23rd, 2018; published: Jan. 30th, 2018

Abstract

There are many factors that affect the failure of joint of seamless widening bridge. Based on a seamless widening actual bridge as the background, this paper analyzed the dynamic performance difference before and after bridges were broadened; the bridge dynamic characteristics were studied. It is obvious that the difference of rigidness of broadened bridges influences the characteristic frequency with different joint types. Combined with the actual measured data of the continuous concrete girder bridge, the dynamic characteristics were verified. The results show that the structural excitation of the main bridge and the side bridge is basically synchronous, but there is a big vibrating difference between the bridge and the joint plate. The results can be referred for the design and construction for the bridges broadened without joint.

Keywords

Bridge Broadening, Seam, Dynamic Characteristics

混凝土连续梁桥无缝拓宽前后动力特性分析与实测研究

陈宇¹, 吴培峰¹, 李阳², 李方元^{1*}

¹同济大学土木工程学院桥梁工程系, 上海

²上海市政设计研究总院集团有限公司, 上海

Email: *fyli@tongji.edu.cn

*通讯作者。

收稿日期：2018年1月9日；录用日期：2018年1月23日；发布日期：2018年1月30日

摘要

影响无缝拓宽桥梁拼接缝破坏的因素有许多。本文以实际桥梁无缝拓宽工程为背景，通过拓宽前后的动力性能差异分析，研究无缝拓宽桥梁拓宽前后动力差异性变化受到拼接缝的形式的影响明显，同时与拼接桥梁自身刚度大小有关；结合混凝土连续梁桥的拓宽前后实测数据验证相关结果。结论证明主桥梁结构激振基本同步，但桥与拼接板处激振存在较大差异，相关结论可为桥梁无缝拓宽设计与施工技术提供支撑。

关键词

桥梁拓宽，接缝，动力特性

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

为了适应快速发展的交通运输需求，我国每年都会有大量新建桥梁投入使用，但是新建桥梁无论在投资还是周期方面都是巨大的，并且对环境也会造成不利影响。为了适应发展需求，将原有道路改建为高等级道路，提高原有道路桥梁的荷载等级和使用功能，这将节约巨大的工程投资，成为旧路改建经常采用的有效方法[1][2]。

在我国，由于难以满足交通运输要求而需要进行拓宽的桥梁越来越多。我国 20 世纪 80 年代修建的公路桥梁有 136,000 座，其中超过半数的桥梁是按照 1972 年以前颁布的标准建造的，在这些桥梁中危桥就有 4823 座，合计 12,788 延米，其中大、中桥梁，汽-10 级以下标准的桥梁占到 8.6%，达到 11.7 万延米。早年修建的桥梁受到了现代化大流量交通的冲击，很多年代久远的桥梁都无法满足车辆高速通行需求，有的是承载能力难以满足车辆高速通行需求，有的是桥梁宽度不够，导致交通堵塞，等等其他问题。面对这样的情况，如果仅仅将这些桥梁弃之不用、直接拆掉，则不符合经济原则。所以随着现代桥梁事业的飞速发展，对于旧桥的改造和拓宽将越来越引起国内工程师的关注。

桥梁拓宽工作在我国很早就有开展，近年来我国大部分地区交通量年增长量为 5%~15%，原来的高速公路需要提高道路的通行能力，单线铁路因为交通需要，也亟需扩建成为复线，城市间的交通量日益增加。其实，新旧桥拼接在其他国家的公路改扩建中均有建设和研究，尤其是在发达国家公路网建设大发展时期。但受当时对环境保护方面不重视，加上如美国等发达国家，经济实力强，土地资源丰富，基本不考虑无缝拼接方案，通常也只是结合具体工程开展过部分研究[3][4][5]。

从 1980 年代开始，我国桥梁拓宽成功的例子就很多[1][6]，到了 20 世纪末期，高速公路服务水平逐渐降低，交通量也随着经济的发展逐渐增加，现有的高速公路很多已经无法满足使用要求了。高速公路拓宽扩建已经成为了我国公路建设领域必须解决的重要任务，成为高速公路可持续发展里面的重大课题。

针对拓宽中的桥梁工程部分，按桥梁拓宽扩建时新、旧桥桥面结构是否相连分为两种类型[7][8][9]：一类是在原有线路边一定距离的新建拓宽；另一类是改造既有线路，进行桥面无缝拓宽扩建。本文是以

无缝拓宽桥梁为研究对象。

在无缝拓宽时, 扩建部分与既有部分桥梁由于建设时间的不同而导致的设计、施工、使用、维护等各方面的差异, 导致两者在拼接缝处存在应变不协调或应力缺陷。这些差异可能导致无缝拓宽拼接后, 新旧桥拼接缝处出现开裂破坏现象十分明显, 导致拼接缝出现破坏的原因可能包括新旧桥不同的基础沉降、混凝土收缩徐变、温度效应、预应力效应, 以及新旧桥设计时采用的设计规范或标准不一致[3][5][7][10][11][12]。对于新旧桥结构刚度差异性明显的桥梁, 特别是以翼缘板拼接的桥梁, 拼接板受结构动力性差异性影响程度不容忽视。

本文以实际桥梁无缝拓宽工程为背景, 通过拓宽前后的动力性能差异分析, 研究无缝拓宽桥梁受动力基本参数, 并结合实测数据验证相关结果, 为桥梁无缝拓宽设计与施工技术提供支撑。

2. 背景工程

洛阳市九都路涧河桥为洛阳市九都西路跨越涧河而设。全桥位于直线、平坡上, 分为左侧边幅桥、右侧边幅桥和主桥, 桥跨均为 $23.5 + 34 + 23.5$ 米, 一联三跨连续梁, 全长 89 米(图 1)。本桥于两端桥台处设二道 SG 型橡胶伸缩缝。上部构造为现浇普通钢筋混凝土变截面连续斜交箱梁, 斜交角 20° 。桥面宽度与道路等宽, 按三座独立桥梁设计, 总宽 40 米。

边幅桥箱梁为单箱双室截面, 主桥箱梁为单箱四室截面, 梁高为 1.3~1.9 米梁顶设横坡, 与桥面横坡相适应, 以减少铺装层厚度。梁顶横坡由腹板变高度形成, 从而减轻结构自重, 减小恒载弯矩及剪力。

3. 桥梁拼接前后动力特性分析

桥梁结构的动力特性是指桥梁结构的阻尼、振型和频率等。现在的研究一般是对桥梁结构反应分析前几阶振型。自振频率是体系固有属性, 也称为固有频率。自振频率仅仅跟体系本身的质量和刚度有关, 跟外界其他因素无关, 振动频率的平方与刚度成正比, 与质量成反比。虽然对于混凝土桥梁, 结构自振频率变化幅度不大, 但受背景工程的特殊性, 即受拓宽拼接的新旧桥原设计荷载差异性较大(分别为一个非机动车道的边幅和四个机动车道中幅), 其在车辆冲击作用下的竖向动力效应存在明显不同, 必然给桥面板, 特别是处于桥梁面中间的接缝产生不利影响。

结合前面提到的无缝拓宽形式, 本文借助 Midas Civil 程序, 分别对中幅桥和两边边幅桥在拓宽前、三座桥浇筑拼接后的自振频率进行比较, 其中拼接缝考虑刚性连接和铰接两种形式, 以寻找可能不利的动力差异性。其中刚性拼接前后的频率见表 1, 铰接形式的频率结果见表 2。



Figure 1. Layout of background bridge
图 1. 实桥场景布置图

Table 1. The frequency comparison of the main bridge before and after broadening without joint (Unit: Hz)
表 1. 主桥浇筑刚性拼接前后频率对比(单位: Hz)

阶数	主桥			边幅桥		
	拼接前	拼接后	变化幅度	拼接前	拼接后	变化幅度
第一阶	3.932859	3.808082	3.17%	3.69051	3.808082	-3.19%
第二阶	6.792062	5.908992	13.00%	6.408668	5.908992	7.80%
第三阶	8.360153	6.594527	21.12%	7.882563	6.594527	16.34%
第四阶	13.70373	8.112436	40.80%	13.35461	8.112436	39.25%
第五阶	15.10652	8.533071	43.51%	14.60161	8.533071	41.56%
第六阶	21.63565	9.453475	56.31%	20.75982	9.453475	54.46%
第七阶	23.25324	11.52939	50.42%	22.34201	11.52939	48.40%
第八阶	24.41045	13.57077	44.41%	22.59859	13.57077	39.95%
第九阶	27.83802	14.21633	48.93%	26.09415	14.21633	45.52%
第十阶	33.88425	14.84074	56.20%	33.04508	14.84074	55.09%

注: 以减小为正, 下同。

Table 2. The frequency comparison of the main bridge before and after broadening with hinge (Unit: Hz)
表 2. 主桥铰接前后频率对比(单位: Hz)

阶数	主桥			边幅桥		
	拼接前	拼接后	变化幅度	拼接前	拼接后	变化幅度
第一阶	3.932859	3.705526	5.78%	3.69051	3.705526	-0.41%
第二阶	6.792062	6.025423	11.29%	6.408668	6.025423	5.98%
第三阶	8.360153	7.105265	15.01%	7.882563	7.105265	9.86%
第四阶	13.70373	10.25465	25.17%	13.35461	10.25465	23.21%
第五阶	15.10652	11.23559	25.62%	14.60161	11.23559	23.05%
第六阶	21.63565	13.25546	38.73%	20.75982	13.25546	36.15%
第七阶	23.25324	15.05812	35.24%	22.34201	15.05812	32.60%
第八阶	24.41045	17.05215	30.14%	22.59859	17.05215	24.54%
第九阶	27.83802	19.02153	31.67%	26.09415	19.02153	27.10%
第十阶	33.88425	23.02153	32.06%	33.04508	23.02153	30.33%

结果表明, 对中幅主桥, 拼接前后的频率降低, 而边幅桥拼接前后频率则是增加的。但第二阶时, 所有频率都是减少, 第一阶频率的影响十分明显。

从上面的数据可以看出, 采用铰接方式拓宽的桥梁自振频率, 边幅桥频率增加量相对于刚性接缝时有所降低减少, 由此可以看出桥梁之间相互约束对于振动频率的影响不可忽略。接缝会使得刚度大的桥梁振动频率减小, 而使刚度小的桥梁振动频率增加, 且随着相互约束的增大, 刚度大的桥梁振动频率减小幅度变小, 相反会使刚度小的桥梁振动频率增幅加大。

4. 桥梁拼接前后动力性能测试

根据我国《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60)第 4.3.2 根据结构基频计算汽车冲击系数的相关规定,

上述差异不容忽略。为了明确上述分析中的差异性在实桥中的影响程度，作者结合实测经验[13]进行了现场实测。

4.1. 测试方案

为获得边幅和中幅无缝拓宽后动力特性对接缝的影响，本文通过对边幅桥、中幅桥和接缝处受汽车冲击作用下的影响进行实测，以观察和分析接缝受力特点。实验测点布置方案如图2所示。

4.2. 主桥与边幅桥动力差异性分析

基于表3的车辆通行记录中11:59分大车通过记录，在全程波形中找到对应时间区间，所显示的对应时域记录结果如图3所示。

从时域分析结果(图3)来看，主桥和副桥受重车影响发生了相同的激振，虽然变形量有差异，但保持了一定的同步。由于大车作用于主桥，因而图3绿色部分的波幅较大。

对应11:54分后的采样结果，进行了频谱分析。频谱计算参数为FFT分析点数256，采用去直流分量。平均方式为峰值保持。对应的1点和2点的单峰值谱重叠显示结果见图4。从图4时可以明显看到1和2点的频谱结果，两点保持了较好的同步，但从整体峰值来看，主桥具有副桥2倍的幅值。

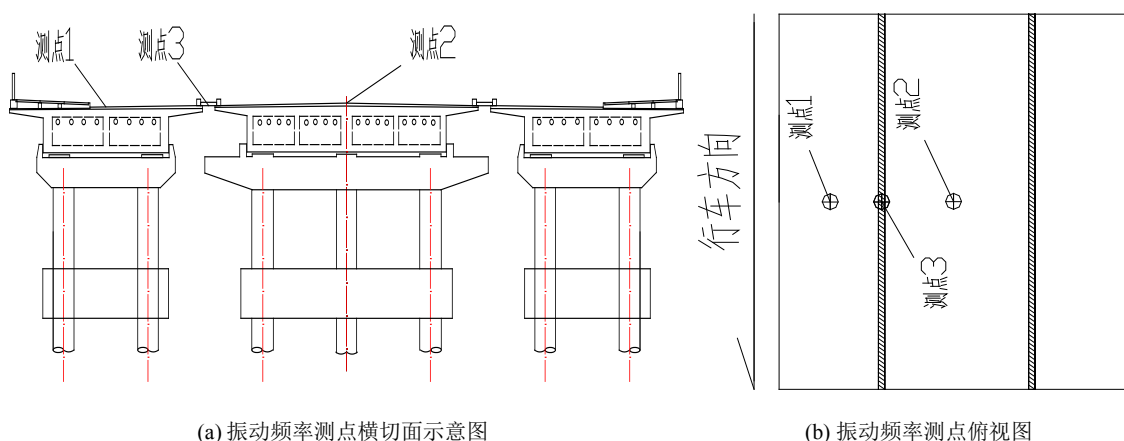


Figure 2. Measure point layout plan

图2. 桥梁实测布置方案

Table 3. The moving vehicle location table with time

表3. 实测车载信息对应位置和时间图表

	左边幅		中心线				右边幅		
	人行道	非机动车	左3	左2	左1	右1	右2	右3	
11:54						中			11:54
11:56					中		小		11:56
11:57					大				11:57
11:59						大	大		11:59
12:02					大				12:02
12:03					小				12:03
12:04							中		12:04

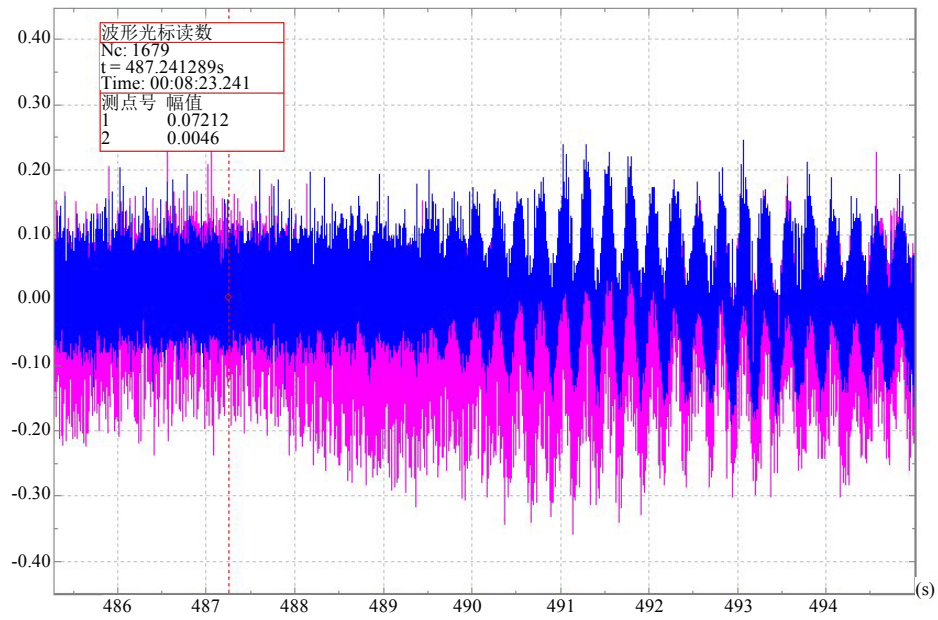


Figure 3. Curve: Time domain analysis diagram

图 3. 实桥场景布置图

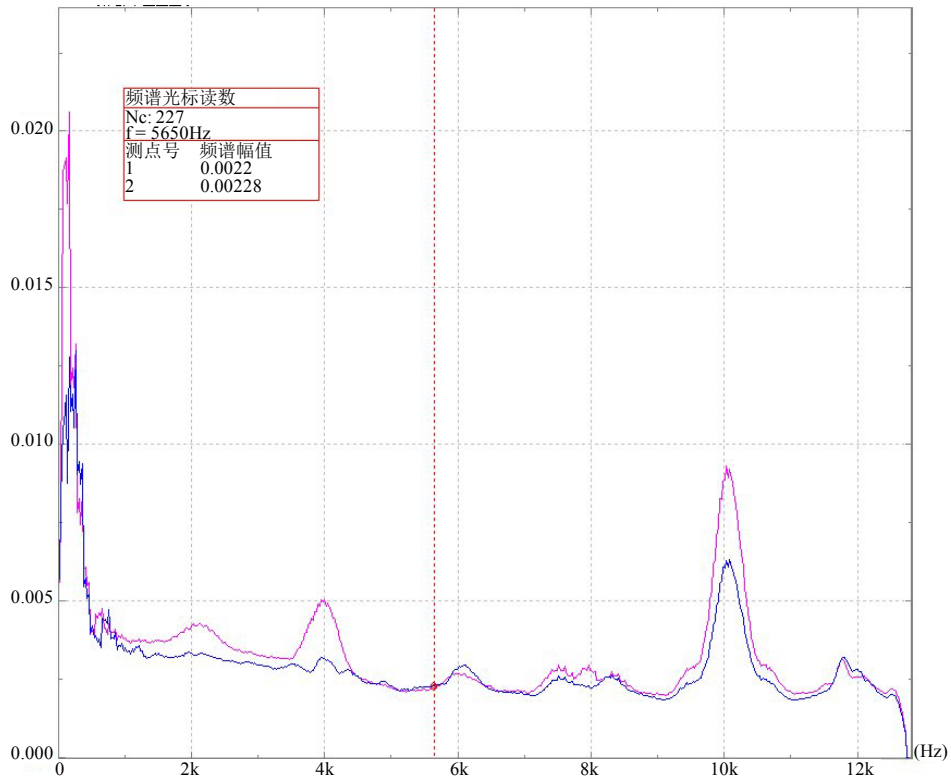


Figure 4. Curve: Peak frequency diagram

图 4. 峰值谱图

4.3. 主桥与接缝处的动力差异性分析

基于表 4 中的车辆通行记录，尤其是大车通行记录，在全程波形中找到对应时间区间，所显示的对

应时域记录结果如图 5 所示。

采用上述相同的方法，对应 12:30 分后的采样结果，进行了频谱分析。频谱计算参数为 FFT 分析点数 256，采用去直流分量。平均方式为峰值保持。对应的 1 点和 3 点的单峰值谱如图 1 所示，重叠显示结果见图 6。从图 6 时可以明显看到 1 和 3 点的频谱结果差异，其中 3 号点较好地与记录车辆通过情况相符，且可以看到第 2 辆大车对 3 点的影响较第 1 点明显。从整体峰值来看，只有当车行驶在 3 号点即拼接缝部位才会产生双倍效应。

Table 4. The moving vehicle location table with time

表 4. 实测车载信息对应位置和时间图表

时间	左边幅		中心线						右边幅	
	人行道	非机动车	左 3	左 2	左 1	右 1	右 2	右 3	非机动车	人行道
12:26						小	小			
12:28							大			
12:29						小	小	小		
12:30							大			
12:32							大			
12:33						大				
12:34					大					
12:35				中				中		

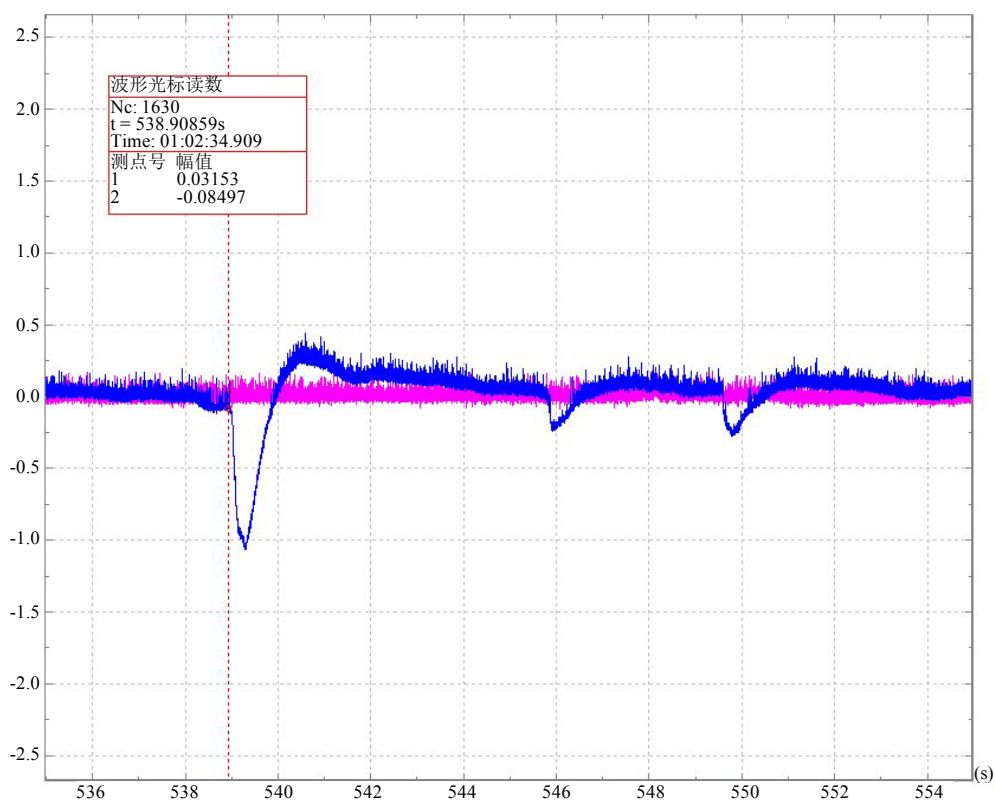


Figure 5. Curve: Time domain analysis diagram

图 5. 实桥场景布置图

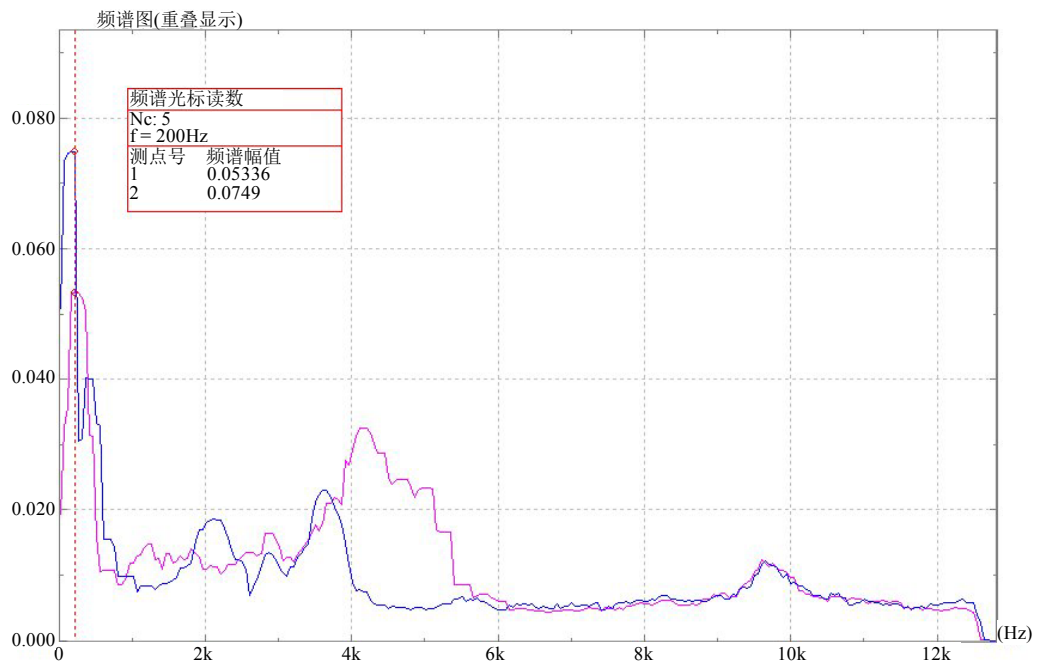


Figure 6. Curve: Peak frequency diagram
图 6. 峰值谱图

5. 结论和建议

1) 采用铰接方式拓宽的桥梁自振频率，边幅桥频率增加量相对于刚性接缝时有所降低减少，可知桥梁之间相互约束对于振动频率的影响不可忽略。接缝会使得刚度大的桥梁振动频率减小，而使刚度小的桥梁振动频率增加，且随着相互约束的增大，刚度大的桥梁振动频率减小幅度变小，相反会使刚度小的桥梁振动频率增幅加大。

2) 基于两幅桥中心点的动力测试，证明两幅桥依然存在不同的激振结果，表现在两者激振时间同步，但幅值不同。

3) 基于主桥中心和接缝位置的动力测试，证明拼接缝受车辆通过激振的影响明显不同于主桥。表现在时间存在差异，峰值也存在双倍放大。因而对拼接缝的受力影响明显。

4) 两种情况下的差异性对拼接缝的受力，尤其是应力影响程度，受试验条件限制，并没有采集，需要今后进一步结合实测获得。拼接缝处的激振是否会导致接缝混凝土的疲劳破坏也有待通过实际应力影响来判断。

参考文献 (References)

- [1] The Institute of Guangzhou-Foshan Highway Heavy Repairing Engineering Construction (2005) The Management and Technology of Guangzhou-Foshan Highway Heavy Repairing Engineering Construction. China Communications Press, Beijing.
- [2] Wu, W.Q., Ye, J.S., Ju, J.P., *et al.* (2007) The Broaden Situation and Scheme Analysis during the Extension of the Highway. *Journal of China and Foreign Highway*, 27, 100-104.
- [3] Liu, L., Gu, J.M. and Li, F.Y. (2016) Influence Factors Analysis for a Long-Span PC Continuous Girder Bridge Broadened with Seamless Method. *Hans Journal of Civil Engineering*, 5, 27-34. <https://doi.org/10.12677/HJCE.2016.52004>
- [4] Wang, X.J., Du, J.S. and Wu, P.L. (2008) The Discussion of Some Problems during the Broaden of the Bridge. *Highway*, 7, 170-174.

- [5] Li, F.-Y., Xie, Z.-Y. and Guo, X.-S. (2012) Literature Reviews and Summary of Concrete Bridge Seamless Broaden Technology. *Applied Mechanics and Materials*, **193-194**, 1290-1295. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.193-194.1290>
- [6] Shi, X.F., Li, X.X., Ruan, X. and Ying, T.Y. (2008) Analysis of Structural Behaviour in Widened Concrete Box Girder Bridges. *Structural Engineering International*, **18**, 351-355. <https://doi.org/10.2749/101686608786455117>
- [7] Li, F.-Y. and Guo, X.-S. (2014) Parsing on the Processing Methods of Seamline for Concrete Bridge with Seamless Broaden Technology. *Applied Mechanics and Materials*, **587-589**, 1581-1585. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.587-589.1581>
- [8] Hosseini, M. and Jefferson, A.D. (1998) Time-Dependent Behaviour of Widened Reinforce Concrete Under-Bridge. *Materials and Structures*, **31**, 714-719. <https://doi.org/10.1007/BF02480449>
- [9] Counsell, J.H.W. and Nossiter, P.A. (2001) Widening and Strengthening of Kingston Bridge, London. *The 3rd International Conference on Arch Bridges*, Paris, September 2001, 249-254.
- [10] Li, M.J. and Zhang, G.Y. (2015) Research on Concrete Creep Effect on the Bridge Widening Performance. *China Concrete*, **1**, 84-85.
- [11] Wen, Q.J. and Ye, J.S. (2006) The Shrinkage and Creep Analysis of the Transverse Joining of the New and Existing Reinforced Concrete. *Journal of Southeast University*, **36**, 596-600.
- [12] Du, J.-S., Zhao, G., Zhao, Y.-G. and Hui, X.-R. (2011) Control of Deflection Difference between Existing and New Decks during Bridge Widening. *Journal of Chang'an University (Natural Science Edition)*, **31**, 58-62.
- [13] Li, F.Y., Wu, P.F. and Yan, X.F. (2015) Analysis and Monitoring on Jacking Construction of Continuous Box Girder Bridge. *Computers and Concrete*, **16**, 49-65. <https://doi.org/10.12989/cac.2015.16.1.049>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org