

动荷载下装配式预应力砼箱梁刚度退化特征研究

夏超

(中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610036)

摘要: 开展不同工况下装配式预应力砼箱梁动力足尺试验, 研究动荷载下装配式预应力砼箱梁的刚度退化特征。结果表明, 动荷载水平与装配式预应力砼箱梁一、二阶竖向振动频率之间成负线性关系, 与动刚度衰减系数之间成负指数函数关系, 最终动刚度衰减系数在 0.8 左右。

关键词: 桥梁; 动荷载; 装配式预应力砼箱梁; 刚度退化; 动力足尺试验

中图分类号: U446.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)01-0130-03

装配式预应力砼箱梁在汽车荷载、环境变化等因素影响下会产生一定损伤与开裂, 研究动荷载下装配式预应力砼箱梁力学性能退化特征对保证桥梁的安全性十分重要。李龙祥等基于循环荷载试验, 研究了无砟轨道—桥梁结构体系刚度退化性能, 基于桥梁结构的刚度退化曲线构造了不同服役期循环荷载作用后等效静力模型, 指出桥梁结构刚度随结构服役时间的增加而降低, 且其纵向与竖向位移不断增大, 结构力学性能劣化。张贺斌等对某高速公路大跨径桥梁开展静载试验, 得出实测基频与理论基频十分接近, 该桥在运营 9 年后存在明显的刚度退化, 而这种刚度退化是由施工阶段的先天缺陷造成的。梁志广等对某简支梁桥展开研究, 发现梁体(片)刚度退化导致该桥结构跨中横向分布状态劣化。现有试验成果多关于桥梁的静载刚度退化, 缺少桥梁动刚度性能退化研究。该文开展不同荷载作用下砼动荷载现场足尺试验, 研究动荷载下装配式预应力砼箱梁刚度退化特征。

1 工程背景与研究方法

1.1 工程概况

四川省某 9 m×40 m 先简支后连续装配式预应力砼箱梁桥, 设计荷载为超—20 级。由于长期使用及环境变化等因素的影响, 桥面出现大量砼裂缝, 严重危害交通安全。经过深入研究, 认为修补措施难以根除其结构性病害, 需进行拆除重建。

1.2 试验方法与试验设计

通过现场加载试验对该桥装配式预应力砼箱梁的动荷载刚度退化特征展开研究, 主要使用的加载设备有地锚式反力桩、横梁和液压千斤顶, 并在千斤顶下设置力学传感器以合理控制加载力大小。动力

测试主要参数包括主梁挠度、裂缝宽度、自振频率和振型, 挠度传感器和加速度传感器布置见图 1。

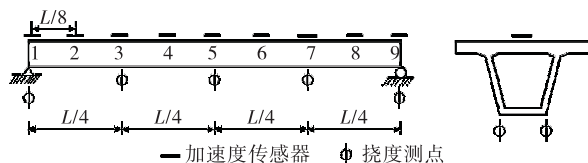


图 1 传感器的布置

1.3 试验流程

这次试验在工程现场进行, 支撑采用实桥拆除的橡胶支座。试验研究共包括 5 种工况, 分别模拟 5 个不同荷载水平(不同车载)作用下砼箱梁的动力响应特征。采用分级加载方式进行试验, 5 种工况对应 5 级荷载, 分别为 0、520、860、1 160、1 240 kN。加载到预定荷载后进行动力试验, 并记录相关参数。

2 试验结果分析

2.1 测点振幅

表 1 为不同动荷载水平下砼箱梁最大振幅位移。由表 1 可知: 随着荷载水平的增大, 砼箱梁的最大挠度增大。在 520 kN 荷载作用下, 砼箱梁的最大挠度为 47 mm; 860、1 160、1 240 kN 荷载下最大位移分别为 520 kN 荷载下的 1.53、3.15、3.64 倍。

表 1 不同荷载水平下砼箱梁最大振幅位移

荷载水平/ kN	最大挠度/ mm	荷载水平/ kN	最大挠度/ mm
0	0	1 160	145
520	47	1 240	171
860	72		

图 2 为不同动荷载下砼箱梁测点振型。由图 2 可知: 1) 砼箱梁的一阶振型以箱梁中点线为轴线相

互对称,砼箱梁两段与支座成约束点的振动幅度基本为零,约束对箱梁的振动有着很好的约束作用;随着测点距离的推进,动荷载引起桥梁的振动越发明显,振幅在砼箱梁的中点部分达到最大。表明试验梁一阶模态振型沿中点对称,且在跨中区段开裂更严重,而在两端产生的变形与裂纹较少。2) 动荷载下砼箱梁的二阶振型为正弦函数波形,箱梁在 1/4 和 3/4 点(测点 3、7)处达到最大振幅。

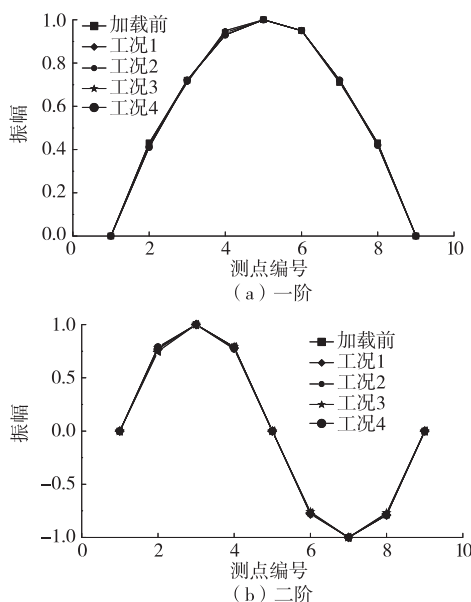


图2 动荷载下砼箱梁实测振型

2.2 荷载对竖向频率的影响

动荷载下砼箱梁一、二阶竖向频率随荷载的变化及竖向频率与荷载之间关系的函数拟合结果见图3。从图3可以看出:1) 随着荷载的增大,试验梁的一、二阶竖向频率逐渐降低。究其原因,随着荷载的提升,砼箱梁内部不断产生新的裂缝,结构整体损伤程度不断提高,砼箱梁的刚度下降,因而砼箱梁的竖向频率不断降低。2) 随着荷载的增大,砼箱梁的一、二阶竖向频率呈线性降低趋势,竖向频率与荷载

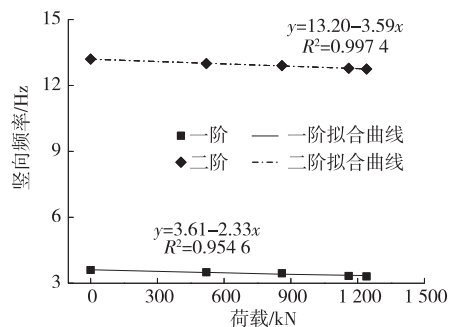


图3 动荷载下砼箱梁竖向频率随荷载的变化

之间成负线性函数关系,线性函数拟合效果较好,相关系数 R^2 在 0.95 以上。3) 二阶竖向频率的平均值远高于二阶竖向频率的平均值,且二阶竖向频率随着荷载的增大而逐渐衰减的速率高于二阶竖向频率,表明动荷载下产生的结构损伤对二阶竖向频率的影响更明显。

2.3 刚度退化特征分析

常见桥梁结构的阻尼比很小,在不考虑结构阻尼比的前提下,简支梁前 i 阶固有频率的计算方法如下:

$$\omega_i = \left(\frac{i\pi}{L}\right)^2 \sqrt{\frac{EI_d}{m}} \quad (1)$$

式中: ω_i 为第 i 阶自振频率; L 为梁跨径; EI_d 为未开裂梁的动刚度; m 为单位长度梁的质量。

梁的动刚度为:

$$EI_d(k) = \frac{m\omega_i^2 L^4}{\pi^4} \quad (2)$$

式中: k 为荷载级数, $k=1,2,3,4,5$ 。

动刚度衰减系数计算方法如下:

$$\gamma_d = \frac{EI_d(k)}{EI_d(1)} \quad (3)$$

不同水平动荷载作用下砼箱梁的刚度衰减系数及动刚度衰减系数与荷载之间关系的函数拟合结果见图4。由图4可知:1) 随着荷载的增大,砼箱梁的动刚度逐渐降低,动刚度衰减系数不断减小。在初始未加载条件下,砼箱梁的刚度衰减系数为 1.0;荷载达到 520 kN 后,刚度发生大幅度衰减,刚度衰减系数为 0.848 2,同比下降 15.18%;随着荷载的逐渐提高,砼箱梁的动刚度逐渐趋于稳定,荷载为 1 160 和 1 240 kN 条件下砼箱梁的动刚度衰减系数均在 0.80 左右,同比降低 20% 左右。表明随着荷载的提升,砼箱梁的损伤程度上升,内部裂缝不断发展,砼箱梁破坏程度逐渐提高。2) 随着荷载的增大,砼箱梁的动刚度衰减系数呈现减速降低的趋势,动刚度

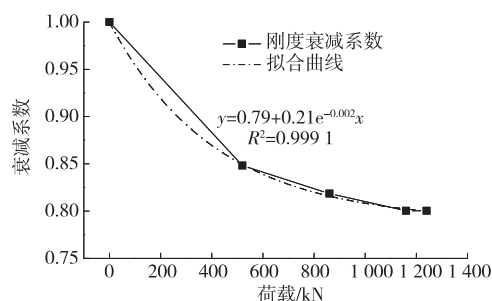


图4 砼箱梁动刚度衰减系数随荷载的变化

衰减系数与荷载之间成负指数函数关系,线性函数拟合效果较好, $R^2=0.999\ 1$ 。

2.4 砼箱梁开裂特征研究

图5为不同工况下动力试验后砼箱梁的裂缝扩展情况。由图5可知:低荷载作用下砼箱梁上产生的裂缝主要集中在箱梁中点部位,且主要为张拉破坏,与前述一阶模态振型结果相对应;随着荷载水平的提高,砼箱梁上的裂缝逐渐增多,且逐渐由中点向两端扩散,裂纹方向也逐渐由竖直方向向倾斜方向过渡。综上,砼箱梁的破坏特征能与试验结果很好地对应起来,荷载越大,砼箱梁的损伤破坏程度越高,动刚度越小。

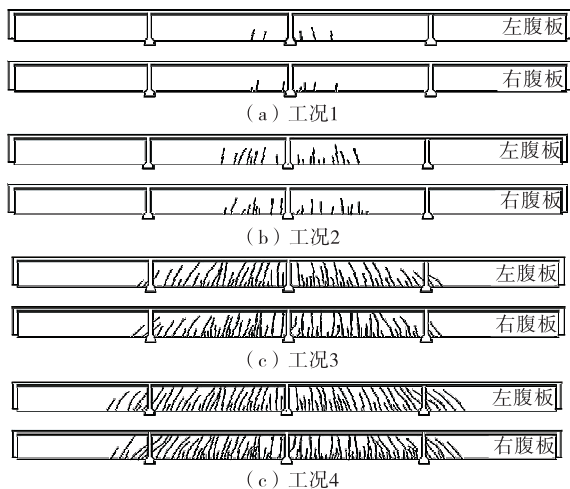


图5 不同工况下砼箱梁开裂特征

3 结论

(1) 随着荷载水平的提高,砼箱梁的一、二阶竖

向振动频率降低,二者之间成负线性关系;动荷载下产生的结构损伤对二阶竖向频率的影响更明显。

(2) 随着荷载水平的提高,砼箱梁上裂纹逐渐增多且逐渐由中部向两端扩展,砼箱梁破坏程度不断提高;砼箱梁的动刚度不断下降,动刚度衰减系数也不断降低,动刚度衰减系数与荷载之间成负指数函数关系。

参考文献:

- [1] 李民伟.基于刚度退化模型的连续刚构桥梁损伤指数计算[J].绿色环保建材,2020(3):142—143.
- [2] 周凌宇,张广潮,余志武,等.循环温度荷载下无砟轨道结构模型试验研究[J].铁道学报,2020,42(1):82—88.
- [3] 王爱勤,曾蔚.基于刚度改变的旧桥损伤分析与研究[J].辽宁交通科技,2004(8):47—49.
- [4] 李龙祥,周凌宇,黄戡,等.循环荷载下无砟轨道—桥梁结构体系刚度退化性能[J].中南大学学报(自然科学版),2019,50(10):2481—2490.
- [5] 张贺斌,陈锐.先天缺陷对大跨径预应力混凝土连续桥梁刚度的影响分析[J].西部交通科技,2019(4):139—141.
- [6] 梁志广,李建中.刚度退化对结构横向分布的影响浅析[J].中南公路工程,2005,30(1):47—49.
- [7] 魏峰,高亮,侯博文.重载列车—轨道—桥梁纵向动荷载限值研究[J].桥梁建设,2019,49(2):68—73.
- [8] 杨陆军.动荷载试验在简支梁桥检测中的应用分析[J].山西建筑,2018,44(35):176—177.

收稿日期:2020—09—21

(上接第129页)

算存在一定局限性,即理论计算和实际受力情况会产生一定偏差。因此,车辆在栈桥上应有序通行,严格限速限载,重车尽量沿中线行驶,避免过于偏载。

参考文献:

- [1] 封帆.超长钢管桩施工栈桥受力分析研究[D].重庆:重庆交通大学,2018.
- [2] 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.
- [3] 孟岩.安慈高速公路考虑通航需求的钢栈桥设计分析与安全保障措施研究[J].工程技术研究,2019,4(23):171—174.
- [4] 朱玥莉,王德锋,王朝霞.特宽型钢结构输煤栈桥的设

计[J].煤炭工程,2014,46(4):26—28.

- [5] 霍旭东,李健荣,刘健康.钢桁架输煤栈桥设计要点及受力分析[J].山西建筑,2019,45(13):33—35.
- [6] 成凯.某桁架式钢栈桥安全性验算[J].科学技术创新,2018(25):108—109.
- [7] 陈峰,于艺林,陈俐光,等.某施工栈桥受力计算及洪水作用下稳定性分析[J].公路与汽运,2019(6):107—109+113.
- [8] 谢辉,潘存军.施工钢栈桥结构设计及受力特征分析[J].湖南交通科技,2019,45(3):163—167.
- [9] 田福建.白石大桥栈桥结构设计及有限元仿真分析[J].国防交通工程与技术,2020,18(1):52—55.

收稿日期:2020—02—23