

大跨双曲拱桥安全检测及动载试验分析

陈亮

(湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南 长沙 410200)

摘要:在复杂环境下运营周期较长的双曲拱桥易出现结构和材料性能劣化,需定期对其进行安全性检测和结构荷载测试,为桥梁维修加固提供数据支撑。文中以具有代表性的运营大型钢筋砼双曲拱桥为例,对其结构性能、材料质量及承载力进行检测,结合动载试验测定不同工况下桥梁的动力性能。检测结果显示,该桥的主要承重构件技术状况较好,上部结构主拱圈截面承载能力满足原设计要求;桥跨实测基频大于理论计算基频,实测阻尼比在正常范围内,试验桥跨实测冲击系数小于理论值。

关键词:桥梁;双曲拱桥;动载试验;安全检测;冲击系数

中图分类号:U448.22

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2020)02-0115-04

20 世纪六七十年代修建的双曲拱桥,由于建造年代较久,加上交通量增加、荷载等级提高、复杂自然和周边环境等多因素的影响,出现不同程度结构性能弱化,有的甚至出现严重损坏。为确保运营双曲拱桥的正常使用,制定合理的维修加固计划,需定期对其性能技术状况进行检测和评估。该文以长沙橘子洲大桥典型双曲拱桥为例,进行桥梁结构安全状况检测,结合动载试验测试不同工况下桥梁结构的动力性能,分析其结构安全状况,为维修加固提供合理数据支撑。

1 工程概况

橘子洲大桥为长沙市东西主干道的重要连接通道,也是长沙市第 1 座跨湘江大桥。属于典型的大型钢筋砼双曲拱公路桥,全长 1 250 m,共 21 跨,主桥 17 跨(8×76 m+9×50 m)采用拱轴系数 m 为 2.24 的等截面悬链线无铰双曲拱,河东岸四孔引桥(18 m+20 m+23 m+27 m)采用 m 为 3.5 的等截面悬链线无铰双曲拱,桥梁最大跨径 76 m,桥梁宽度为 20 m(行车道 14.0 m+人行道 2×3.0 m)。设计荷载等级为汽-20、挂-100 级、人群荷载 3.5 kN/m²。桥型布置见图 1。



图 1 长沙橘子洲大桥侧面图

2 安全检测分析

2.1 桥梁几何形态参数

桥跨结构纵向线形检测结果表明:该桥左右两侧桥面整体线形较平顺,实测拱轴线与设计线形基本吻合;东引桥 1[#]~4[#]跨基本与 m 为 3.5 的等截面悬链线无铰双曲拱的线形一致,主桥 76 m 及其 50 m 跨基本与 m 为 2.24 的等截面悬链线无铰双曲拱的线形一致;实测主拱圈净跨径和净失高与设计值存在一定误差,可能是由拱脚处与墩顶结合部位测量误差或拱脚结合部位施工误差造成的。

2.2 砼强度

该桥主要结构构件均采用表面涂装。由于测试条件受到限制,选取 2 个构件采用回弹法进行测试。结果表明:抽检桥跨拱肋砼强度推定值均在 50 MPa 以上。根据 JGJ/T 23-2011《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》,砼龄期超过 1 000 d。

2.3 砼碳化深度

按砼强度测试点选择砼碳化深度测试区域,结合砼构件的钢筋分布和保护层厚度,采用酚酞试剂法测试各构件砼碳化深度。结果表明:抽检桥跨拱肋砼碳化状况评定标度为 1。依据 JTG/T J21-2011《公路桥梁承载能力检测评定规程》,该桥梁结构砼构件的碳化对钢筋锈蚀影响不明显。

2.4 钢筋保护层厚度

采用电磁无损检测法进行砼结构钢筋分布状况调查,测得砼保护层实际厚度,将测试结果与设计值进行对比,得到该桥上部结构拱肋的保护层厚度评

定标度为1或2,砼保护层对构件钢筋影响不明显或属于轻度影响。

2.5 砼钢筋锈蚀

砼钢筋锈蚀检测采用半电池电位试验方法,根据实际情况与测试要求,选取上部承重结构主拱肋进行钢筋锈蚀检测,共选择2个构件、120个测点。结果表明:抽检桥跨上部结构拱肋的钢筋锈蚀状况评定标度为2,存在锈蚀性活动,但具体锈蚀状态不确定。

2.6 拱上填料质量

通过地质雷达扫描对路面下部三渣填料进行检测,查明不密实及脱空位置。纵向扫描结果(见图2)显示:右半幅行车道(以由东往西为轴线方向)存在9处不密实、1处脱空;右半幅超车道存在8处不密实;左半幅行车道存在7处不密实;左半幅超车道存在9处不密实;不密实基本位于路面以下60~110 cm处。横向扫描结果显示:有8处不密实,路面中部及两边均存在不密实现象,以路面中部不密实居多,且不密实基本位于路面以下70~110 cm处。

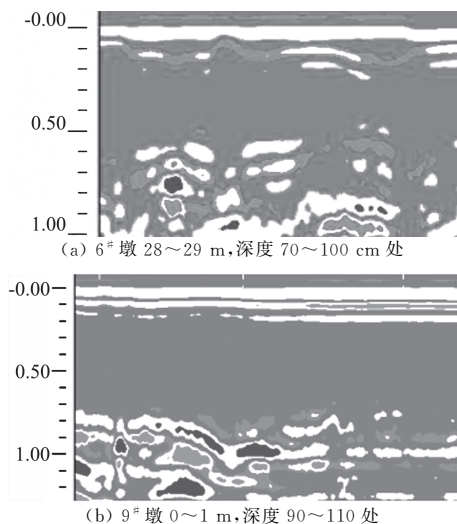


图2 拱上填料局部不密实检测结果

采用瑞典 KUAB-150 FWD 落锤式弯沉仪检测回弹弯沉与填料层回弹模量,结果显示:全桥弯沉均值总体较小,但变异较大,局部位置弯沉偏大。

采用动力锥贯入仪检测填料顶面回弹模量,结果显示:全桥填料回弹模量标准差较大,变异较大,整体离散性较大。

2.7 桥梁承载能力

依据 JTG/T J21-2011《公路桥梁承载能力检测评定规程》对桥梁现场检测和承载能力进行检算,评定上部结构验算截面承载能力满足原设计荷载等级的通行要求。

3 76 m 跨动载试验分析

3.1 测试内容及方案

动载试验主要包括脉动试验、跑车试验、跳车试验及刹车试验。试验内容包括环境激励下脉动试验和试验汽车列车以不同速度匀速行驶激振,根据桥梁振动信号及应变、挠度信号,分析桥梁的自振特性和动力响应特性。

3.2 脉动试验

在主桥边跨、中跨和 3/4 跨径处的桥面中间布置高灵敏传感器(见图3),记录桥梁结构在随机环境情况下的振动情况。采用模态分析软件对结构频率、阻尼和振型进行分析,得到桥梁的动态振动特性。桥梁结构振动响应自功率谱密度曲线采用峰值法分析。频谱分析中,将时域数据经过快速傅里叶变换得到幅值谱,然后对有效幅值进行分析得到桥梁结构的自振频率(见图4)。

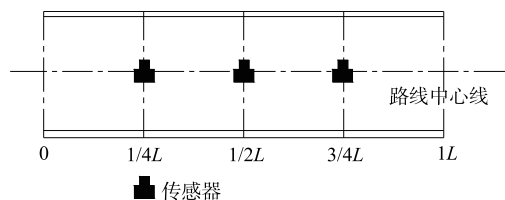


图3 传感器测点布置

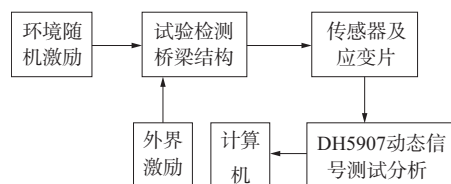


图4 脉动试验过程

3.3 跑车、刹车和跳车试验

动荷载测点布置在两跨拱顶截面拱肋底板处(见图5)。其中:跑车试验主要是将试验车辆以一定速度匀速通过桥梁,测量不同速度下桥梁特征位置的动力特性;刹车试验是试验车辆以一定速度在主跨跨中处刹车,测量桥梁的动力响应;跳车试验是

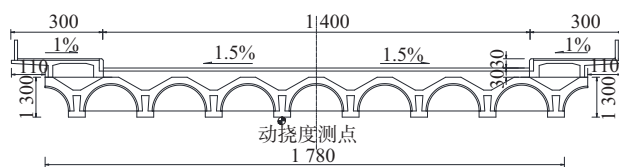


图5 76 m 跨动载测试横断面布置(单位:cm)

车辆以一定速度跨越桥面不平障碍物,测定结构的动力响应特征。

3.4 动载试验结果分析

3.4.1 频率、阻尼比

通过脉动试验测量桥梁结构的模态参数。图 6 为测点的速度时程响应(脉动试验测点较多,仅选取其中 1 个通道的速度时程响应),图 7 为对应速度时程响应的平均反应谱曲线,表 1 为实测频率。

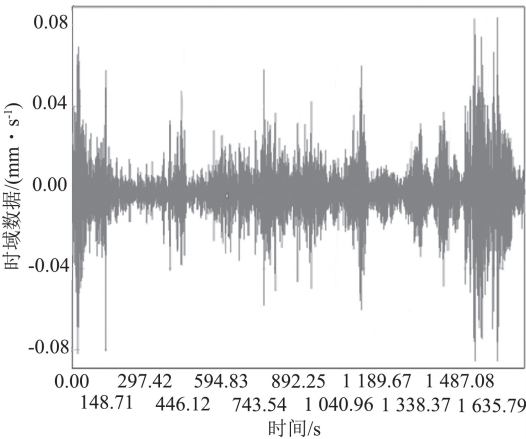


图 6 76 m 跨脉动试验时程曲线

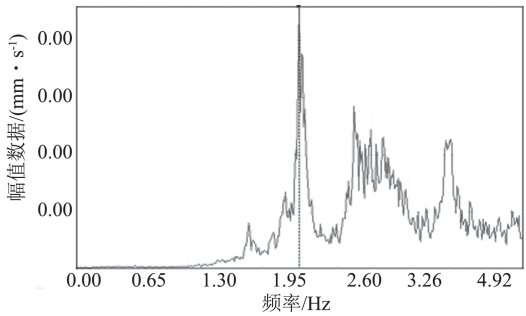


图 7 76 m 跨速度平均反应谱曲线

表 1 桥梁结构脉动试验结果

项目	试验结果
理论计算频率 f_{di} / Hz	0.85
实测频率 f_{mi} / Hz	1.95
对应阻尼比 / %	0.45
f_{mi} / f_{di}	2.29

从表 1 可看出:该桥梁结构的实测固有频率为 1.95 Hz,实测基频对应的阻尼比为 0.45%。

3.4.2 第 7 跨冲击系数

依据 JTG/T J21 01—2015《公路桥梁荷载试验规程》,采用桥面无障碍行车下动挠度时程曲线计算冲击系数。不同车速工况下第 7 跨的动挠度时程曲线见图 8,冲击系数见表 2。

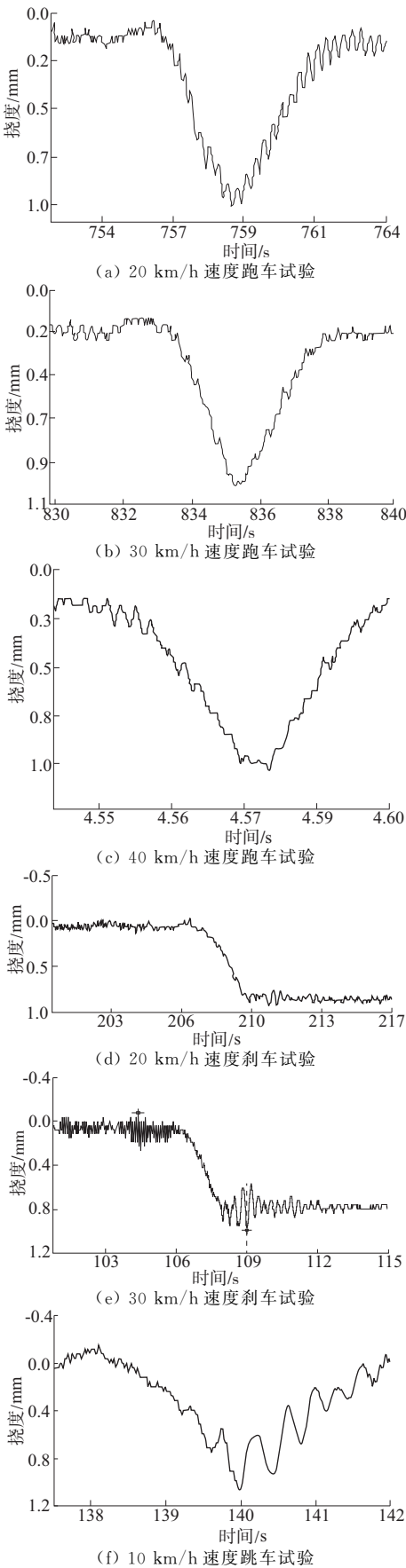


图 8 不同速度下第 7 跨的动挠度时程曲线

表 2 不同工况下第 7 跨的冲击系数

试验项目	车辆速度/(km·h ⁻¹)	冲击系数
跑车试验	20	0.033
	30	0.014
	40	0.017
刹车试验	20	0.019
	30	0.106
跳车试验	10	0.118

由表 2 可知:跑车试验实测第 7 跨最大动力冲击系数为 0.033,小于 JTG D60—2015 的规定值 0.05。

3.4.3 第 8 跨冲击系数

不同车速工况下第 8 跨动挠度时程曲线见图 9,冲击系数见表 3。

由表 3 可知:跑车试验实测第 8 跨最大动力冲击系数为 0.038,小于规范规定值 0.05。

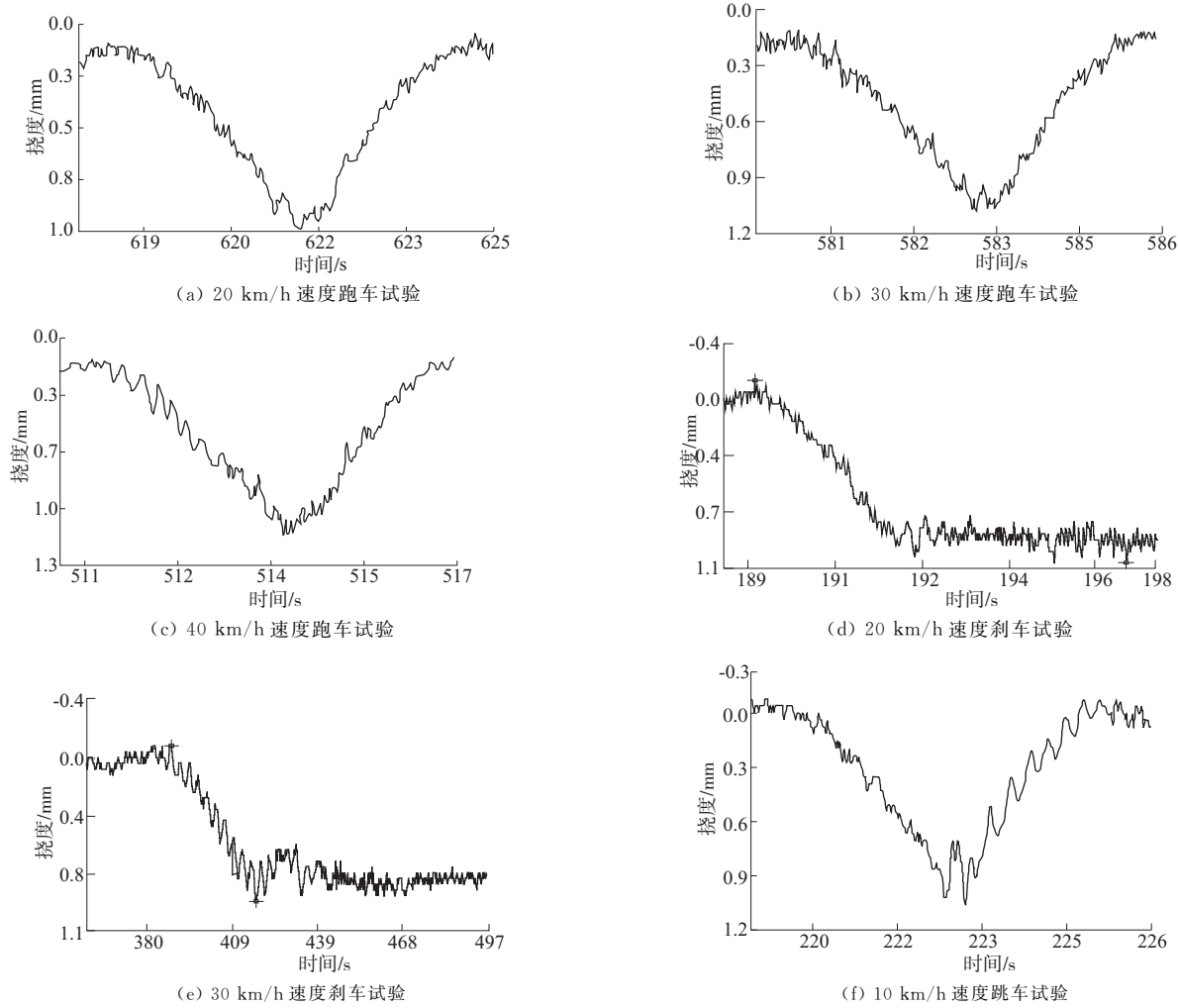


图 9 不同速度下第 8 跨的动挠度时程曲线

表 3 不同工况下第 8 跨的冲击系数

试验项目	车辆速度/(km·h ⁻¹)	冲击系数
跑车试验	20	0.016
	30	0.018
	40	0.038
刹车试验	20	0.039
	30	0.111
跳车试验	10	0.216

4 结 论

(1) 橘子洲大桥目前主要承重构件的技术状况较好,整体受力性能满足相关规范及原设计要求,上部结构主拱圈验算截面承载能力满足汽—20、人群荷载 3.5 kN/m²的荷载等级要求。

(2) 桥跨实测基频高于理论计算值,实测阻尼比在规范限值内,不同工况下主跨实测冲击系数低
(下转第 121 页)

表 5 地震作用下墩顶位移

模型类型	纵向位移/mm	横向位移/mm
嵌固模型	91.7	36.4
m 法模型	96.1	47.9

由表 5、表 6 可知:嵌固式模型的墩顶纵横向位

移比 m 法模型小,底部嵌固模型的整体刚度比 m 法模型大;嵌固式模型的墩底轴力、剪力和弯矩均大于 m 法模型,这是因为通过 m 法计算的结构刚度小,且地震效应小,而嵌固模型具有较大的整体刚度和地震效应。

表 6 地震作用下墩底内力

模型类型	轴力/kN	剪力-y/kN	剪力-z/kN	弯矩-y/(kN·m)	弯矩-z/(kN·m)
嵌固模型	78 434.30	1 832.67	1 766.68	73 315.20	74 761.15
m 法模型	75 560.83	1 697.03	1 696.11	61 850.21	69 076.62

4 结论

(1) 桩土相互作用对大跨度连续刚构桥的动力特性有一定影响,考虑这种作用时,结构整体刚度变小,同时桩基周围土体能减缓地震荷载对桩基的作用,桥梁桥墩结构内力变得更小。

(2) 相对于底部嵌固分析方法,考虑桩土相互作用与实际工程更吻合,分析结果更为合理。

(3) 采用 m 法分析桩土相互作用时,等代土弹簧刚度需根据现场地质条件模拟准确。如果工程地质条件较复杂,地质分层较多,需依据不同地质土层计算相应土弹簧刚度,并施加在相应位置。

参考文献:

[1] 叶爱君,管仲国.桥梁抗震[M].北京:人民交通出版社,2017.
[2] 贾毅.高墩大跨曲线连续刚构桥地震响应分析[D].昆

明:云南大学,2014.
[3] 贾毅,王永宝,李福海,等.高墩大跨曲线连续刚构桥地震响应研究[J].沈阳建筑大学学报:自然科学版,2019,35(1).
[4] 陈清军,姜文辉,李哲明.桩-土接触效应及对桥梁结构地震反应的影响[J].力学季刊,2005,26(4).
[5] 戴公连,李德建.桥梁结构空间分析设计方法与应用[M].北京:人民交通出版社,2001.
[6] 刘少天.大跨径钢管混凝土拱桥动力特性与地震响应分析[D].西安:长安大学,2017.
[7] 季少波.桩土相互作用对桥梁抗震的影响研究[J].公路与汽运,2018(2).
[8] 代攀,杨涛,胡大琳.高墩大跨曲线连续刚构桥地震响应分析[J].世界地震工程,2009,25(4).
[9] 揭志羽,卫星,李亚东,等.大跨高墩小半径刚构-连续组合梁桥地震响应分析[J].桥梁建设,2013,43(1).

收稿日期:2019-03-09

(上接第 118 页)

于理论值。

(3)梁拱上立柱、立墙渗水、锈胀露筋、开裂等病害较多,建议进行加固处理;桥面铺装病害较严重,桥面系技术状况评定为 D 级,建议更换桥面系。

参考文献:

[1] 吴中鑫,陈进,龙安.南京长江大桥双曲拱桥拱肋增大截面加固材料及施工关键技术[J].世界桥梁,2019,47(2).
[2] 吴中鑫,吴俊明,龙安.泡沫混凝土在双曲拱桥加固维修工程中的应用研究[J].公路,2019(3).
[3] 白光亮,蒲黔辉,薛爱.某双曲拱桥静动载试验与加固

方法[J].铁道建筑,2008(9).
[4] 王大为.双曲拱桥加固及静动载检测数值模拟研究[J].工程建设与设计,2016(6).
[5] 胡红波,彭鑫,罗震宇.双曲拱桥加固维修综合措施[J].中外公路,2018,38(4).
[6] 罗刚.双曲拱桥加固设计与施工应用研究[J].公路与汽运,2018(2).
[7] 黄春亮,骆俊杰,李蓉.填芯加固法在双曲拱桥加固中的应用[J].中外公路,2018,38(1).
[8] 刘丽芳.多跨双曲拱桥技术状况检测与评定[D].石家庄:石家庄铁道大学,2018.

收稿日期:2019-04-28