

基于 MIDAS 对桥梁荷载试验的应用研究

谭 锴

(邵阳职业技术学院 建筑工程系, 湖南 邵阳 422000)

摘要:目的 随着经济的发展,不断增加的繁重交通荷载加剧了桥梁结构的负担,众多桥梁亟待得到结构性能评定,而桥梁荷载试验是评定桥梁结构性能的重要方法。通过数值分析为桥梁检测静荷载试验和动荷载试验提供一种参考依据,从而更好地对桥梁运行状况作出评定。**方法** 利用桥梁结构分析与计算软件 Midas - Civil 建立有限元模型,分析桥梁在静荷载作用下的挠度、应力应变等静力特性和在动荷载作用下结构的振动特性。**结果** 对比模拟数据、桥梁检测荷载试验实测数据以及理论计算数据,评定该桥处于良好运营状态。**结论** 基于桥梁结构分析与计算软件 Midas - Civil 仿真模拟为桥梁荷载试验提供一种参考依据是切实有效可行的方法。

关键词:混凝土连续梁桥;桥梁检测;荷载试验;有限单元法

中图分类号:TU443.35 **文献标志码:**A **文章编号:**1674 - 5884(2014)03 - 0159 - 04

桥梁检测荷载试验是将标准设计荷载或标准设计荷载的等效荷载施加于桥梁结构的指定位置,检测桥梁相关参数,按照所加载的荷载性质可分为静力荷载试验和动力荷载试验。静荷载试验主要观测桥梁结构在静荷载作用下的静力位移、静力应变、裂缝等静力特性,动荷载试验是利用桥梁结构在某种激振作用下引起的结构振动,观测其振动基频、振型、阻尼比等动力特性^[1]。本文结合桥梁结构分析与计算软件 Midas - Civil 及现场试验检测对高速公路某汽车天桥进行研究,并对其运行状况作出综合评价,从而为桥梁荷载试验提供检测依据。

1 工程概况

该高速公路汽车天桥上部结构为三跨预应力混凝土变截面连续梁桥,跨径设置为 25 m + 36 m + 25 m,箱梁采用单箱单室截面,箱梁顶板宽 8 m,底板宽 3.5 m,箱梁跨中及边跨支点处梁高 1.25 m,中跨支点处梁高为 1.80 m,中支点至两侧 18 m,内梁高按二次抛物线变化。桥面横坡为双向 1.5%,主梁采用 C50 混凝土支架整体浇筑,设计荷载等级为公路 - II 级。

2 有限元模型

运用桥梁结构分析与计算软件 Midas - Civil 建立模型^[2]并进行分析,全桥上部结构采用梁单元法建立。共 58 个单元,59 个节点,模型如图 1 所示。

利用该模型计算桥梁在荷载作用下的挠度;运用时



图 1 连续梁桥有限元模型

程分析法对该桥各个工况进行地震反应分析,探讨该桥梁结构在地震中的受力状态和变形特性。

3 静载试验

3.1 荷载工况

按照规范^[3]并结合该桥实际情况共选取左边跨跨中、中跨跨中和中墩支点 3 个截面为试验对象,按照公路 II 级荷载标准进行试验加载。本次试验采用 4 辆均重 40t 的三轴载重汽车加载,其轴距为 3.5 m + 1.35 m,静荷载工况如图 2、图 3 和图 4 所示布置。



图 2 工况 I



图 3 工况 II



图4 工况III

3.2 静力试验荷载效率

为验证所施加荷载是否能充分反映该桥梁的受力特点,采用静力试验荷载效应控制,其计算公式如下:

$$\eta_q = \frac{S_s}{S' \cdot (1 + \mu)} \quad (1)$$

式中 S_s 为静力试验荷载下,某一加载试验项目对应的加载控制截面内力、应力或变位的最大计算效应值; S' 为计算荷载产生的同一加载控制截面内力、应力或变位的最不利效应值; μ 为按规范取用的冲击系数值; η_q 为静力试验荷载效率。

利用公式(1)对该桥梁进行计算,求得静力荷载效率如表1所示,其中工况I为左边跨最大正弯矩效应;工况II为中跨最大正弯矩效应;工况III为中墩顶最大负弯矩效应。

表1 静力试验荷载效率

工况	$S_s / (\text{kN} \cdot \text{m})$	$S' / (\text{kN} \cdot \text{m})$	η_q
I	4 389	4 295	0.979
II	4 737	4 514	0.953
III	5 228	5 164	0.988

由表1可知在3种工况下静力试验荷载效率分别为0.979、0.953和0.988,满足 η_q 宜介于0.95~1.05之间^[3]的要求,表示该荷载的施加是有效的。

截面测点布置如图5,其中N1至N3为挠度观测点,B1至B4为应变观测点。

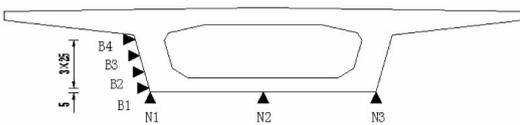


图5 测点布置图

3.3 结构相对校验系数及残余变位

检验桥梁实际状况是否处于良好状态的一个重要标准是结构相对校验系数及残余变位。分别由公式(2)和公式(3)求得。结构校验系数:

$$\zeta = \frac{S_e}{S_s} \quad (2)$$

其中, S_e 为试验荷载作用下主要测点的实测值, S_s 为试验荷载作用下主要测点的理论值。相对残余变位:

$$S'_p = \frac{S_p}{S_i} \times 100\% \quad (3)$$

其中, S_p 为测点实测残余变位, S_i 为实验荷载下测点的实测总变位。

依据试验检测结果及桥梁结构分析与计算软件 Midas - Civil 采用节点荷载模拟分析得出跨中截面挠度检测如表2所示。本文仅列出各截面的主要应变的实测值和理论值如表3所示。

表2 跨中截面挠度值

截面位置	实测值 /mm	理论值 /mm	相对残余应变/%	校验系数 ζ
边跨跨中截面	8.46	9.13	1.66	0.927
中跨跨中截面	14.54	17.20	4.37	0.845

表3 测点变位值

截面检测点位	实测应变/ $\mu\epsilon$	理论应变/ $\mu\epsilon$	校验系数 ζ
边跨跨中 B1	62	93	0.667
中跨跨中 B1	70	117	0.598
中墩墩顶 B2	-22	-54	0.407

分析结果表明主要控制截面相对校验系数介于0.407~0.927之间,在规定范围许可内;相对残余应变介于1.66%~4.37%之间,未超过20%^[3],表明该桥在试验荷载作用下处于弹性范围内。

4 动载试验

桥梁结构的振动影响因素较多且涉及的理论较复杂,单从理论或计算分析不能充分反映其解耦特性。利用激振方法激起桥梁结构的振动,测定桥梁结构的固有频率、阻尼比、振型、动力响应等,从宏观上对桥梁的整体刚度与使用性能进行判断。

4.1 理论计算

依据现有经验公式对连续梁桥自振频率进行估算^[4],对于计算有冲击力引起的正弯矩和剪力效应时,计算公式为

$$f_1 = \frac{13.616}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EI_c}{m_c}} \quad (4)$$

$$m_c = \frac{G}{g} \quad (5)$$

其中, l 为结构的计算跨径(m), E 为材料的弹性模量(N/m^2), I_c 为跨中截面的截面惯性矩(m^4), m_c 为跨中处单位长度质量(kg/m), G 为跨中处延米结构重力(N/m), g 为重力加速度,取 $9.81 (\text{m}/\text{s}^2)$ 。

依据该桥梁实际情况计算可得:中跨基频为2.630 Hz。利用桥梁结构分析与计算软件 Midas - Civil 模拟桥梁竖向自振特性^[5-7],模态1~模态3如图6所示。由图6可知:一阶振型中跨跨中截面处振幅最大,二阶振型边跨跨中截面振幅最大,三阶振型边跨1/4截面振幅最大。结构动力特性理论计算如表4所示。

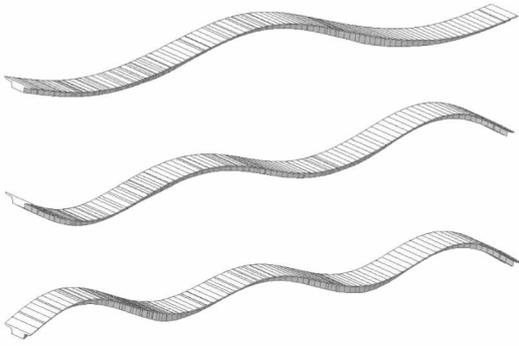


图 6 模态 1~3

表 4 动力特性理论计算值

模态号	频率 (rad/sec)	频率 (cycle/sec)	周期 (sec)	容许 误差
1	17.104 001	2.722 186	0.367 352	9.715 3e-016
2	30.133 067	4.795 827	0.208 515	3.756 2e-016
3	37.503 459	5.968 861	0.167 536	1.616 6e-016

4.2 脉动法测试

动载试验采用一辆总重为 11.5t 的汽车加载。取用 INV3060A 智能信号采集分析系统采集数据^[8-9],将拾振器分别置于边跨跨中截面位置和中跨跨中截面位置,采集该处的结构振动特性值。

利用桥梁结构所处环境的微小不规则的振动来确定桥梁结构的动力特性称之为脉动法。结构的脉动能较好地反应出其固有频率。封锁桥梁交通,通过对该桥所处位置附近地壳微小破裂、远处地震传来的脉动及周围机械振动引发的桥梁振动进行观测,中跨跨中位置所测地脉动引发的加速度时程曲线^[10-12]如图 7,自功率谱曲线如图 8。一阶频率值为 3.430 Hz,大于结构动力特性理论计算值一阶频率 2.722 Hz 和规范经验估算值 2.630 Hz,表明桥梁整体刚度处于良好状况。

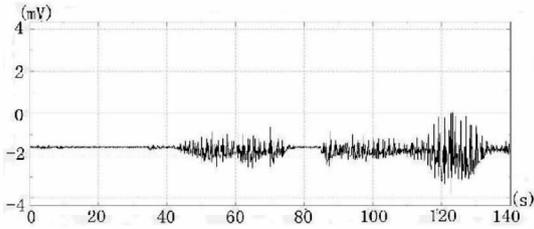


图 7 地动脉加速度时程曲线

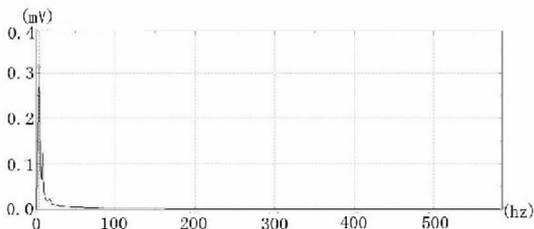


图 8 自功率谱图

4.3 跑车试验

加载车辆以 5,10,20 km/h 的速度无障碍通过桥梁,通过车桥共振观测其振动特性^[13-16],以中跨跨中位置为例,车速为 10 km/h 时实测振动频率为 3.376 Hz。对桥梁结构分析与计算软件 Midas - Civil 模型施加移动荷载,模拟跑车效应,模拟所得数据如图 9 所示。测得中跨跨中振动频率为 2.783 Hz,和模态 1 的中跨跨中一阶频率计算值与规范经验估算值相吻合,且均小于实测值,表明该桥梁的动力特性较好。

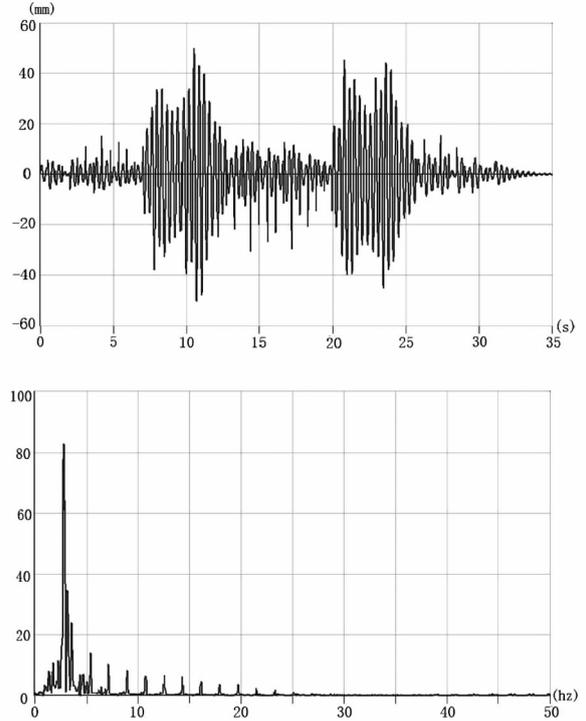


图 9 跑车时程曲线及频谱图

4.4 跳车试验

跳车试验是将试验车辆的后轮从三角跳车垫突然下落对桥梁产生冲击作用,从而激起桥梁结构的竖向振动。依据上文所得振型图确定冲击荷载的作用位置,分别在中跨跨中截面处和边跨跨中截面处施加荷载,从而分别测量一阶振型和二阶振型频率值。测得中跨跨中一阶频率值为 3.517 Hz,大于一阶振型软件计算值频率值 2.722 Hz。边跨跨中所测二阶频率值为 5.716 Hz,大于二阶振型软件计算值频率值 4.796 Hz,该数据进一步表明桥梁解耦股整体刚度的良好性。本文列取中跨跨中测点所测数据如图 10 所示。

5 结语

本文通过对该钢筋混凝土连续梁桥的实际检测及 Midas - Civil 软件模拟分析研究,得出以下结论。(1) 静力试验荷载效率处于 0.95 ~ 1.05 之间,表明所选取的试验荷载为有效试验荷载,能够反映结构在荷载作用下的

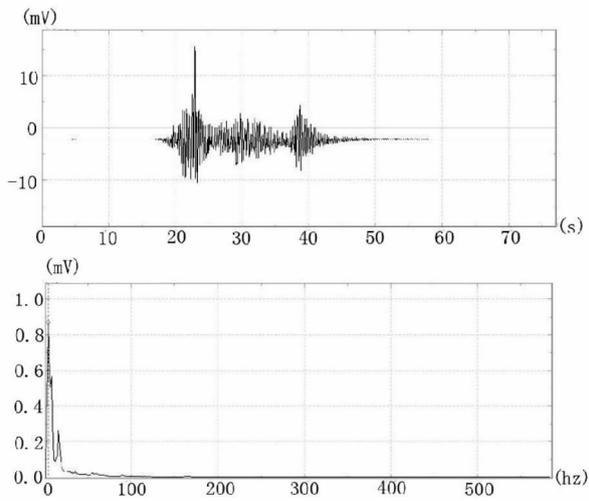


图10 跳车时程曲线及频谱图

受力特性。相对校验系数和相对残余变位也符合规范要求。(2)脉动法测试、跑车试验和跳车试验测得中跨跨中截面频率值分别为3.430 Hz, 3.376 Hz和3.517 Hz,平均值为3.441 Hz。且跑车试验模拟值2.783 Hz与规范经验估算值2.630 Hz相吻合。(3)动荷载试验所测中跨跨中截面实测结构中跨跨中平均频率值3.441 Hz > 经验估算值2.630 Hz,表明结构动力特性较好,整体刚度处于良好状态。(4)利用桥梁结构分析与计算软件Midas - Civil模拟桥梁结构一阶频率值2.722 Hz介于实测值和经验估算值,模拟值与经验估算值较接近,从而表明基于桥梁结构分析与计算软件Midas对桥梁荷载试验分析是有效的,可作为桥梁荷载检测的参考数据。

参考文献:

[1] 张俊平. 桥梁检测与维修加固. [M]. 北京:人民交通出版社,2011.
 [2] 蓝宝. MIDAS在桥梁检测荷载试验仿真中的应用[J]. 低温建筑技术,2009(5):55-57.
 [3] 中华人民共和国交通运输部. JTG/T J2011公路桥梁承载能力检测评定规程[S]. 北京:人民交通出版社,2011.

[4] 中交公路规划设计院. JTG D60-2004公路桥涵设计通用规范[S]. 北京:人民交通出版社,2004.
 [5] Mostafiz, Chowdhury, James C Ray. Accelerometers for bridge load testing [J]. NDT and E International, 2003, 36(4): 237-244.
 [6] Mohammad SMarefat, Esmaeel Ghahremani Gargary, Shervan Ataie. Load test of a plain concrete arch railway bridge of 20-m span [J]. Construction and Building Materials, 2004, 18(9): 661-667.
 [7] S Alampalli, M Ettouney. Cost, benefit, and value of bridge load testing [J]. Bridge Structure—evaluation, design and construction, 2010, 6(3,4): 76-82.
 [8] 宋文经. INV303/306型智能信号采集处理分析仪在桥梁振动检测中的应用[J]. 西铁科技, 2000(2): 35-37.
 [9] Maref Esmae. Load Testing of an FRP Bridge Deck on a Truss Bridge [J]. Applied Composite Materials, 2003, 10(2): 85-102.
 [10] Sh Ataie A, Aghakouchak M S, Marefat S. Mohammadzadeh. Sensor fusion of a railway bridge load test using neural networks [J]. Expert Systems With Applications, 2005, 29(3): 678-683.
 [11] Seung Eock Kim, Huu Tai Thai. Nonlinear inelastic dynamic analysis of suspension bridges [J]. Engineering Structures, 2010, 32(12): 3845-3856.
 [12] Xinle Li, Hui Jiang, Shen Dan. Study on Seismic Safety Performance for Continuous Girder Bridge based on Near-fault Strong Ground Motions [J]. Procedia Engineering, 2012, 45(2): 916-922.
 [13] 湛润水, 刘群安. 公路桥梁荷载试验的作用与基本原则[J]. 公路交通科技, 2006(5): 5-8.
 [14] 代少敏, 刘显陆. 桥梁荷载试验要点评述与展望[J]. 交通标准化, 2009(11): 14-16.
 [15] 方合雪. 运营桥梁检测动荷载试验应用综述[J]. 公路交通科技, 2007(3): 132-134.
 [16] Jun Yang, John T Dewolf. Load Testing of a Deteriorated Concrete Box Girder Bridge [J]. Advances in Structural Engineering, 2009, 5(2): 63-73.

(责任校对 谢宜辰)