

节制闸公路桥动载试验研究

王小勇¹, 夏祥林¹, 刘日海²

(1. 江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017; 2. 江苏省工程勘测研究院有限公司, 江苏 扬州 225009)

摘要: 桥梁结构动载试验能够评定桥梁结构的自振特性和车辆动力荷载与桥梁结构的联合振动特性, 因此动载试验是评定桥梁运营荷载等级和实际使用情况的重要方式。本研究结合南通节制闸公路桥检测的实际案例, 使用了桥梁有限元软件 Midas/Civil 对南通节制闸公路桥进行有限元分析, 同时进行实桥动载测试, 详细地介绍了脉动试验、跑车试验、制动试验、刹车试验的数据分析, 并对动载试验结果进行评定, 为以后类似闸桥结合工程的动载试验提供了有价值的依据和指导。

关键词: 桥梁检测; 动载试验; 有限元分析

中图分类号: TV66

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2016) 08-0001-04

Research on dynamic load test of gate and bridge

WANG Xiaoyong¹, XIA Xianglin¹, LIU Rihai²

(1. Jiangsu Hydraulic Research Institute, Nanjing 210017, Jiangsu;

2. Jiangsu Engineering Surveying Institute Co., Ltd, Yangzhou 225009, Jiangsu)

Abstract: The dynamic load test of bridge structure can evaluate the self-vibration property and the joint-vibration property of vehicle dynamic load and the bridge structure. So the dynamic load test is the important way which evaluates the bridge operation load level and practical usage. In this paper, combined with the actual inspection case of highway bridge of Nantong gate, Modal analysis of Nantong Gate Bridge is performed by the finite element software Midas/Civil. Bridge dynamic load test is carried out at the same time. The data analysis of the pulsating test, running test and braking test is introduced in detail. Valuable basis and guidance for the dynamic load test of similar gate bridge engineering is provided for the future.

Key words: bridge inspection; dynamic load test; the infinite element analysis

1 工程概况

南通节制闸位于南通市崇川区任港街道, 距长江边 2.5 km, 是通吕运河的通江大门。节制闸公路桥桥面净宽 21 m, 总宽 22.5 m。上部结构为 (30+30+30) m, 设计荷载为: 汽—20, 验算荷载: 挂—100, 桥面高程为 9.71 m, 桥面中心与闸中心重合。为综合评定该桥结构目前的实际承载

能力和判断桥梁实际营运状况, 有必要对其进行动载试验。

2 南通节制闸公路桥有限元计算基频

试验前采用桥梁有限元软件 Midas/Civil 对南通节制闸公路桥进行有限元分析, 以得出本桥的理论基频和振型。

根据设计图纸, 南通节制闸公路桥由上部结

收稿日期: 2016-05-19

基金项目: 江苏省水利厅科技项目 (2015030)

作者简介: 王小勇 (1980-), 男, 本科, 工程师, 主要从事工程质量检测、监测和新材料新工艺的开发等方面的工作。

构实心板与下部结构墩柱闸门附属组成。上部结构采用梁单元梁格法建立,实心板之间采用虚拟横梁连接,并释放梁端转角约束。下部结构根据墩柱具体位置,采用梁单元模拟。上、下部结构之间根据设计图纸,采用弹性连接模拟板式橡胶支座,弹性连接刚度根据板式橡胶支座弹性模量、剪切模量及承压面积与高度进行计算。墩柱底部采用一般约束进行固结。

根据以上建模思路,选取 6 跨 1 联进行有限元

模拟。全桥共离散成 1069 个节点, 945 个单元; 其中, 上部结构为 819 个节点, 372 个单元; 下部结构为 250 个节点, 573 个单元。有限元离散模型与消隐模型如图 1、图 2 所示。

采用多重 Ritz 向量法进行模态分析, 分析结果如下:

第一阶竖向频率: 8.99 Hz, 第一阶振型图见图 3。

3 动载试验原理

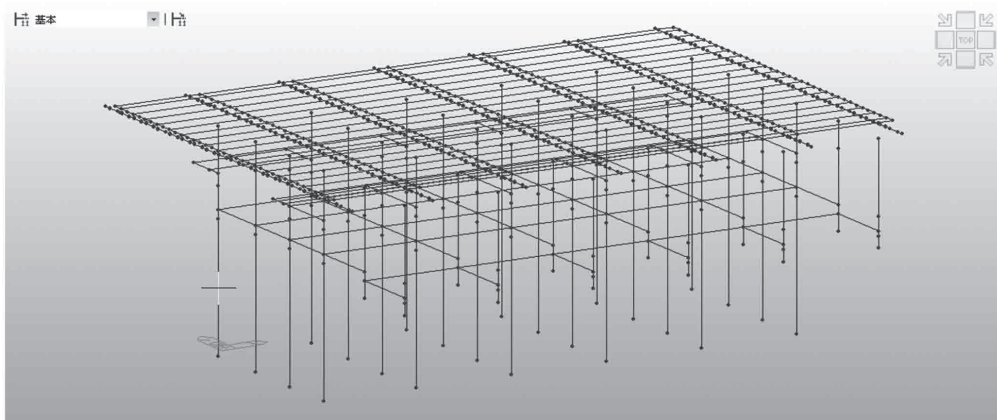


图 1 有限元离散模型

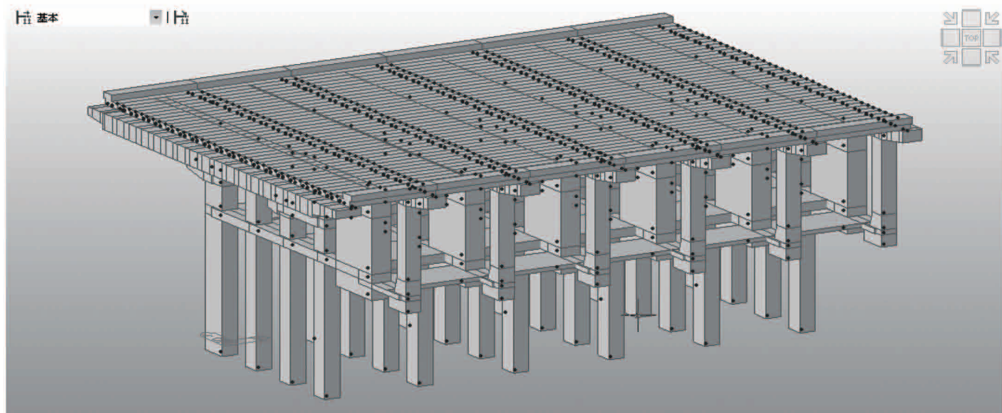


图 2 有限元消隐模型

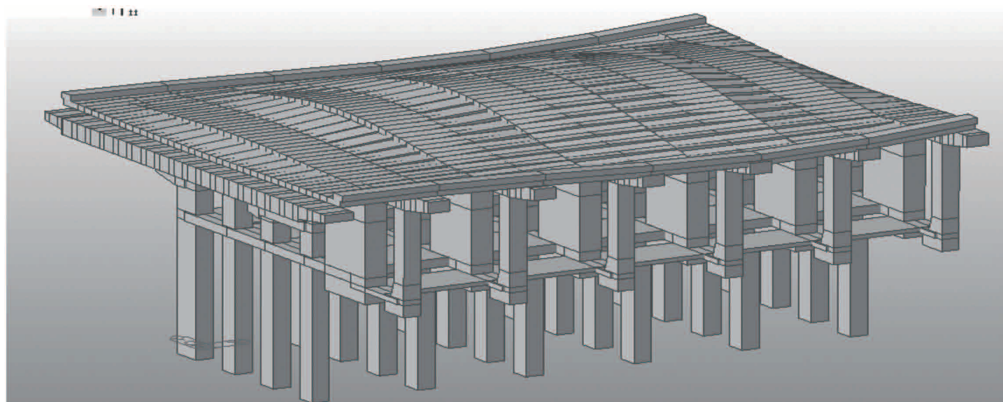


图 3 第一阶振型图

桥梁的动载试验是通过动力试验, 可以对位移、竖向振动进行测定, 以了解结构的动力系数、振动特性等, 据以判断结构在动载作用下的工作状态。桥梁动载试验是借助在桥梁结构的典型断面不止振动传感器、测试桥梁结构在环境激励及受迫振动下的动应变(动应力)、动挠度以及加速度(速度)等振动时程相应, 通过分析, 得到机构的动力特性。动载试验主要测试基频、冲击系数、阻尼比等动力特性。

桥梁动载试验中常用激振方法有脉动法和强迫振动法。脉动法是利用环境随机激励下结构的动力响应进行频谱分析, 桥梁结构的脉动能明显反应出结构的固有频率, 通过频谱分析, 可以分析结构的频率特性, 并进而确定桥梁模式。

强迫振动法是利用激振器对结构施加激振力, 使结构产生强迫振动, 改变激振力的频率而使结构产生共振现象, 并借助共振现象来确定结构的动力特性。常用的强迫振动方法有跑车试验

4.1 试验内容及方法

桥梁动载试验工况应根据具体的测试参数和采用的激振方法确定。本桥制定了 6 种工况。工况 1 进行脉动试验测试桥梁的基频。工况 2 ~ 工况 4 进行跑车试验, 采用荷载 300 kN 的试验车分别以 20 km/h、30 km/h、40 km/h 的速度沿道路中心线匀速驶过主桥结构, 记录每一车速下的中跨 1/2 跨截面各测点的动态响应信号, 利用动挠度峰值与同量级静载挠度峰值之比计算冲击系数。工况 5 进行跳车试验, 在测试跨跨中设置高度为 10 cm 的三角形木板, 一辆 300 KN 的试验车的后轮缓缓驶过木板, 此时后轮将有瞬时冲击作用于桥面, 可激起桥梁的竖向振动, 同时记录各测点的振动信号, 测量桥梁结构位移响应、振动衰减特性。工况 6 进行刹车试验, 用一辆 300 kN 的试验车分别以 20 km/h 的速度在中跨 1/2 跨紧急刹车, 重复 2 ~ 3 次, 记录各测点的响应信号。具体的试验工况见表 1。

表 1 动载试验测试内容一览表

试验部位	项目	工况	测试内容
中跨跨中	脉动	1	固有频率
	跑车	2 (20 km/h)	桥梁结构强迫振动响应, 冲击系数
		3 (30 km/h)	桥梁结构强迫振动响应, 冲击系数
		4 (40 km/h)	桥梁结构强迫振动响应, 冲击系数
	跳车	5 (原地跳车)	桥梁结构强迫振动响应
	刹车	6 (20 km/h)	桥梁结构强迫振动响应

法、跳车试验法及刹车试验法。

4 动载试验

4.2 动载试验结果及分析

4.2.1 脉动试验

该桥脉动试验测点布置如图 4 和图 5 所示。通

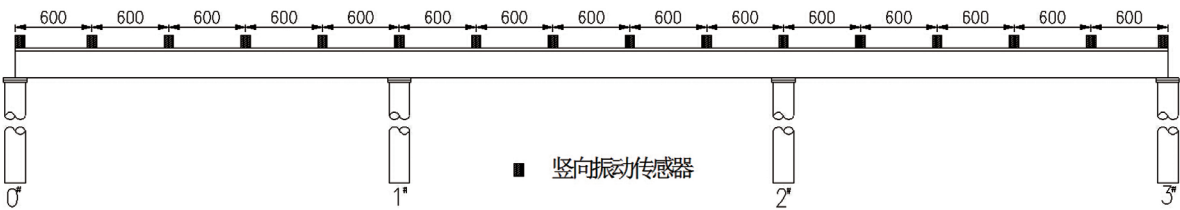


图 4 脉动试验测点布置立面图(单位: cm)

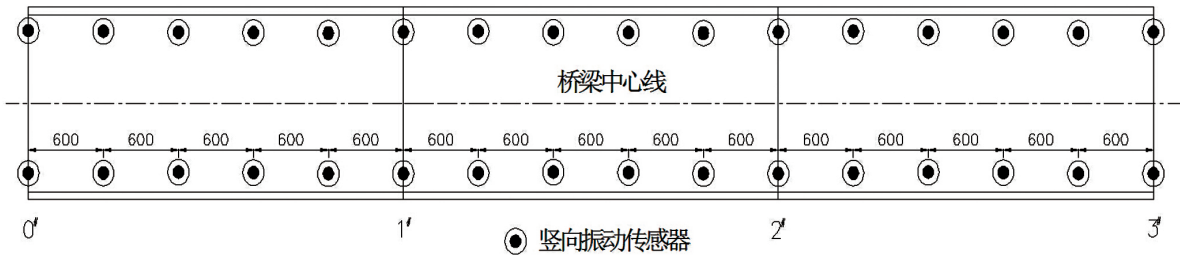


图 5 脉动试验测点布置平面图(单位: cm)

过在每跨测点布置高灵敏度传感器测量结构在环境振动作用下的振动,分析后得出自振频率及振型。本次试验采用的仪器为东华 DH5907A 无线桥梁与大型建筑结构实验模态分析系统,采用 FFT 平均谱处理通道的时程曲线,得出第一个峰值所对应的频率,即为该桥跨的基频。通过脉动试验测试该桥跨基频测试平均值为 12.695 HZ。

4.2.2 跑车试验

跑车以不同车速匀速通过桥梁,测试桥梁结构动力响应,通过对动载、静载最大挠度值的分析比较,可得出结构冲击系数。

活载冲击系数可根据控制截面测点在跑车试验时记录的动挠度曲线进行分析处理而得,即测试不同动载工况下在中跨跨中截面产生的动挠度,利用动挠度峰值与同量级静载挠度峰值之比,如图 6 所示。

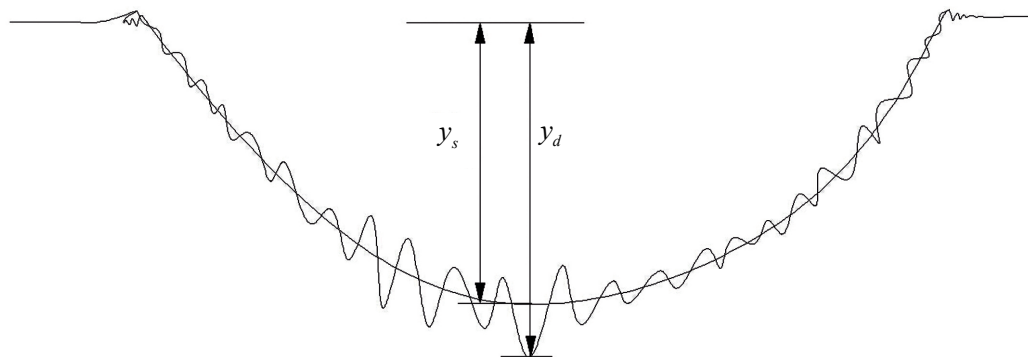


图 6 动挠度法计算冲击系数示意图

不同工况下桥梁冲击系数计算公式:

$$(1 + \mu) = \frac{y_d}{y_s} \quad (1)$$

式中:

y_d —动挠度峰值;

y_s —静挠度峰值;

$1 + \mu$ —冲击系数。

通过跑车试验,测试得到车辆在不同车速下的动挠度时程曲线。通过动挠度时程曲线得到不

同速度下的动挠度峰值和静挠度峰值,再根据公式(1)可计算分析得到不同车速作用下的汽车冲击系数,结果如表 2 所示。

表 2 不同车速下的冲击系数

车速 (km/h)		20	30	40
$1 + \mu$	中跨 1/2 跨	1.250	1.165	1.270

根据《公路桥涵设计通用规范》(JTGD60-2015),冲击系数按下式计算:

当 $f < 1.5$ Hz 时, $\mu = 0.05$

当 $1.5 \text{ Hz} < f < 14 \text{ Hz}$ 时, $\mu = 0.1767 \ln f - 0.0157$

当 $f > 14 \text{ Hz}$ 时, $\mu = 0.45$

根据以上公式,该桥冲击系数理论计算值为:

$$\mu = 0.1767 \ln f - 0.0157 = 0.1767 \ln 8.99 - 0.0157 = 0.3724$$

$$1 + \mu = 1.372$$

表 2 实测数据表明,中跨 1/2 跨截面冲击系

数在车速 40 km/h 时达到峰值;桥梁结构在不同车速作用下冲击系数均小于理论计算值,符合使用要求。

4.2.3 刹车试验与跳车试验

试验车以 20 km/h 车速行驶,在中跨 1/2 跨处进行紧急刹车,测量汽车紧急刹车时桥梁的水平位移响应、振动衰减特性。

通过跳车和刹车试验测试桥梁结构阻尼特性(阻尼比),如图 7 所示。

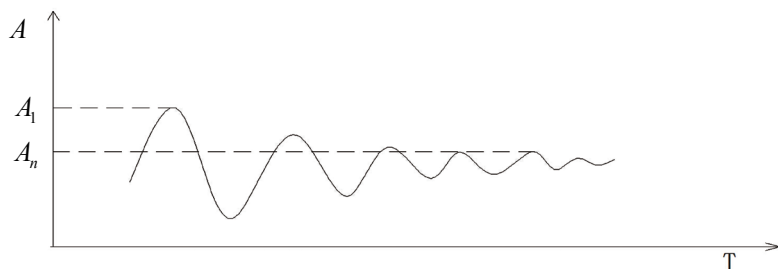


图 7 动挠度法计算阻尼比示意图

(下转第 8 页)

（上接第 4 页）

阻尼比按下式计算：

$$\xi = \frac{\ln(A_1 / A_n) / n}{2\pi} \quad (2)$$

式中：

ξ — 阻尼比；

A_1 — 从自振衰减波形中选取的某段段首峰值（谷值）；

A_n — 从自振衰减波形中选取的某段段尾峰值（谷值）；

n — 一段首至段尾的周期数。

通常桥梁结构的阻尼比在 0.01 ~ 0.08 之间，阻尼比越大，说明桥梁结构耗散外部能量输入的能力越强，振动衰减得越快，反之亦然。

通过跳车和刹车试验可得到试验跨跨中处的速度时程曲线，对测试桥梁的速度衰减曲线分析，由计算公式 (2) 可得到：测试桥梁结构的阻尼比为 0.012，在 0.01 ~ 0.08 之间，满足要求。说明桥梁上部结构的汽车动态响应在正常范围内。

5 动载试验结果评定

(1) 通过对节制闸公路桥的动力特性进行分析，得到结构的实测基频为 12.695 Hz，对应的基频理论值为 8.99 Hz，实测值大于理论值，实测基频和理论基频的比值为 1.41，依照《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21-2011) 自振频率评定标度之规定，评定标度为 1 度，说明实际动刚度大于理论计算刚度，桥梁整体结构的动力性能好，整体刚度满足设计要求。

(2) 通过跑车试验，得到汽车速度分别为 20 km/h、30 km/h、40 km/h 的试验工况下，试验跨汽

车冲击系数 ($1+\mu$) 分别为 1.250、1.165、1.270，均小于理论计算冲击系数 1.372，说明桥梁平整度良好，符合使用要求。

(3) 桥梁在脉动试验、跳车试验及刹车试验工况下，得到的结构基频和阻尼比各项动力性能指标正常。

6 结语

桥梁动力荷载试验在既有桥梁检测加固和新建桥梁的质量评估中得到了广泛的应用。但是实际测试中往往由于试验环境和条件的影响，使得测试结果与理论计算值之间存在一定的误差，这对于测试软件和硬件的进一步改进提出了新的要求。本文结合工程实际，讨论了闸桥结合工程检测中动载试验检测内容和安全鉴定方法，并且给出了一些有意义的检测参数，希望能够为以后的类似工程检测工作提供一些经验。

参考文献：

- [1] JTG/T J21-2011. 公路桥梁承载能力检测评定规程 [S].
- [2] JTG D60-2015, 公路桥涵设计通用规范 [S].
- [3] 吴建奇, 郑晓, 张婷婷. 公路桥梁工程的动载试验研究 [J]. 铁道建筑, 2011 (3): 26-28.
- [4] 沈金飞, 苗蕾. 不同激励下的桥梁动力特性测试 [J]. 门窗, 2014 (1): 365-366.
- [5] 宋一凡. 公路桥梁荷载试验与结构评定 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [6] 龚享胜. 基于动力特性测试的桥梁检测研究 [J]. 山西建筑, 2009 (11): 328-329.

(责任编辑: 王宏伟)