

基于梁格法的某简支板梁桥荷载研究

宋书军, 李 辉*

(宁波大学 建筑工程与环境学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 以某简支板梁桥为例, 利用桥梁专用有限元软件 MIDAS/CIVIL 建立全桥空间梁格模型, 分析了该桥的静力特性、动力特性, 得到相应的理论值, 并与实测值进行比较, 对新建桥梁结构做出性能评估. 结果表明: 该桥整体刚度较大, 承载能力较好, 结构具有一定的安全储备.

关键词: 梁格法; 静载试验; 动载试验; 有限元模型

中图分类号: U446.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-5132 (2012) 02-0094-05

桥梁随经济的发展也随之蓬勃兴建, 新建桥梁的性能评估也日益受到人们的重视, 确定新建桥梁结构的承载能力和使用性能是对桥梁的施工质量可靠性综合评估的重要依据. 而对桥梁评估最有效的手段就是对桥梁进行荷载试验, 荷载试验分为静载试验和动载试验. 静载试验主要测定桥跨结构在静荷载作用下控制断面的应力和挠度, 从而推断桥梁结构在荷载作用下的实际工作受力状态; 动载试验主要测试桥跨结构的动力特性指标, 从而判断桥梁结构的整体刚度与行车性能^[1-2].

笔者以某新建的钢筋混凝土简支板梁桥为研究对象, 建立该桥的梁格模型, 通过分析得出其在静力荷载作用下的控制截面应力和挠度理论值, 并与实际加载的实测值进行比较, 从而评定该桥的受力状况, 确定新建桥梁结构的承载力和使用性能. 动力荷载试验方面主要测试桥跨结构的动力特性指标, 以检验这些指标能否满足设计或规范规定.

1 工程概况

该桥位于宁波洞桥镇, 为单孔 10 m 跨预应力混凝土简支空心板桥, 中板梁尺寸为 1 000 mm × 450 mm, 铺装层为 100 mm 厚 C30 混凝土, 桥面行车道跨度 7 m, 安全带宽度 2 × 0.75 m. 横截面板梁共有 8 片. 设计荷载等级: 汽-20, 挂-100.

2 有限元分析模型

梁格法是桥梁结构空间分析的一种简洁、有效分析方法. 梁格法的基本思想是用等效梁格代替桥梁上部结构, 将分散在实际结构的每个区段内的弯曲刚度和抗扭刚度集中于最邻近的等效梁格内, 实际结构的纵向刚度集中于纵向梁格内, 横向刚度集中于横向梁格内. 当原型实际结构和对应的等效梁格承受相同荷载时, 两者的挠曲是恒等的, 同时任一梁格内的弯矩、剪力和扭矩应等于该梁格所代表的实际结构部分的内力^[3].

该简支桥为铰接空心板梁桥, 是用现浇混凝土纵向企口缝装配无中间横隔梁的装配式桥. 该桥型板梁间横向联系为铰接, 其连接刚性相对较弱, 只传递垂直剪力.

模型采用梁格法建模, 边板和中板都用纵向梁单元模拟, 空心板的纵向抗弯刚度、抗剪刚度和抗扭刚度均有纵梁模拟. 铰缝的作用使用横向虚梁模拟, 虚拟横梁只有刚度没有重量, 将纵梁之间的虚拟横梁分割为 2 个单元, 将其中 1 个释放梁端约束. 全桥梁格有限元模型共建立 165 个节点, 234 个空间梁单元. 计算模型如图 1 所示.

3 荷载试验方案

静载试验主要测试简支梁桥在不同荷载工况

收稿日期: 2011-08-26.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://3xb.nbu.edu.cn>

第一作者: 宋书军 (1987 -), 男, 河南周口人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 新型桥梁结构性能. E-mail: songshujun86@163.com

*通讯作者: 李 辉 (1963 -), 男, 浙江舟山人, 副教授, 主要研究方向: 桥梁结构检测技术与分析. E-mail: lihui@nbu.edu.cn

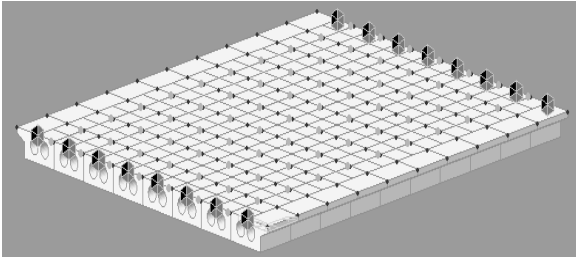


图 1 有限元模型

下的控制截面的应力和挠度. 测试采用电阻应变片进行截面应力测试, 并采用电测位移计进行挠度测试. 动载试验是车辆以不同速度驶过桥跨结构, 测定桥跨结构在行车车辆荷载作用下的动力反应. 动载试验采用 DH5922 动态测试系统进行振动参数测试.

3.1 试验荷载

荷载试验车共 2 辆, 车型见图 2~图 3, 车辆主要参数见表 1.

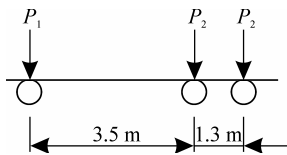


图 2 车辆纵向尺寸及轴重

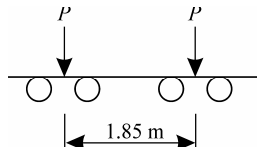


图 3 车辆横向尺寸及轴重

表 1 试验测试车辆主要参数

| 编号 | 总重/ kN | 前轴 P_1 | | 后轴 P_2 | |
|----|-----------|----------|------|----------|------|
| | | 轴重/kN | 轮距/m | 轴重/kN | 轮距/m |
| 1# | 320 | 56 | 1.95 | 132 | 1.85 |
| 2# | 390 | 70 | 1.95 | 160 | 1.85 |

3.2 测点布置

挠度测试采用挠度计, 每跨跨中布置 8 个测点, 两边支座各 8 个测点(图 4); 应变力测试采用电阻应变片, 每块板跨中布置 3 个测点, 共 24 个测点(图 5).

3.3 加载工况

本次桥梁试验荷载按三个工况布置加载.

工况一分三级荷载加载, 以检验车辆在不同车道时的横向分布系数, 以判别新桥的铰缝质量和桥梁横向整体性. 工况一的一、二、三级荷载布

置图如图 6~图 8 所示(图中单位为 mm).

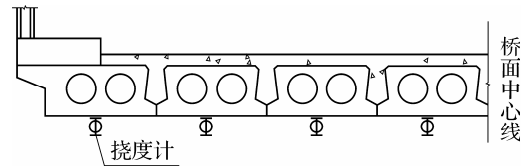


图 4 挠度测点布置图

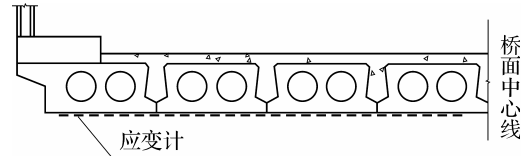


图 5 应力测点布置图

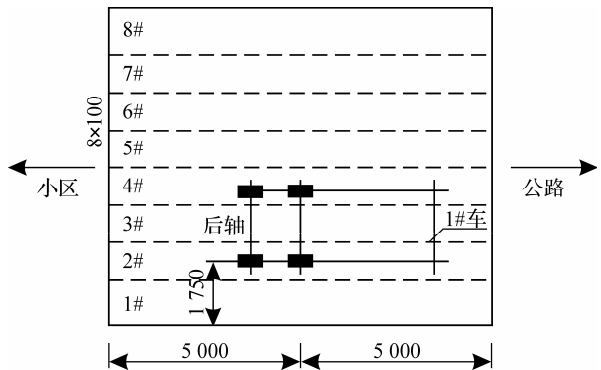


图 6 一级荷载布置图

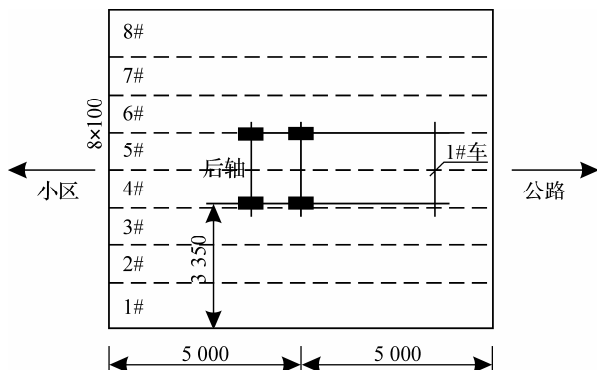


图 7 二级荷载布置图

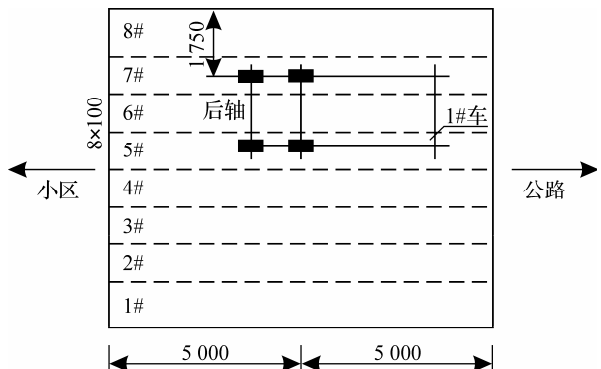


图 8 三级荷载布置图

工况二主要检测在最不利荷载下的跨中截面挠度和应变。首先利用模型来确定最不利加载位置及加载大小。以变形控制为例,建立全桥模型并加载移动后,查看移动荷载作用下结构的变形,查得控制荷载下的变形最大变形节点,追踪该点发生最大下挠时的荷载布置形式,生成荷载文本文件,并可将生成的静力荷载加载到结构上。工况二布置如图9所示。

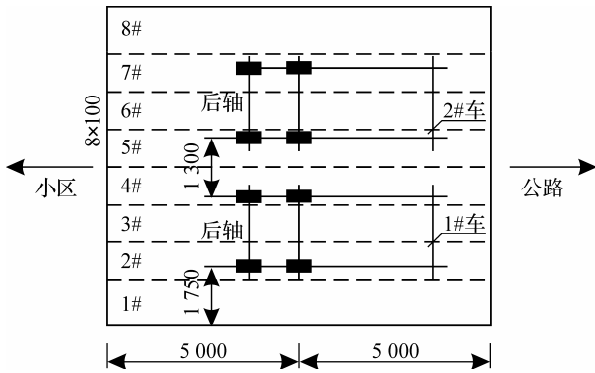


图9 工况二布置图

工况三将1#试验车分别以 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度驶过该桥,测试其结构的动力响应。

3.4 静载试验效率

本次静载试验其静载试验效率 η_q 值见表2。

表2 静载试验效率

| 截面位置 | 设计荷载控制 内力/(kN·m) | 静载试验 内力/(kN·m) | 静载试验 效率 η_q |
|------|---------------------|-------------------|---------------------|
| 边板跨中 | 189.1 | 172.3 | 0.911 |
| 中板跨中 | 197.1 | 183.7 | 0.932 |

由表2可知,静载试验效率 $\eta_q = 0.911\sim 0.932$, 满足《公路旧桥承载能力鉴定方法》的要求,即 $0.8 \leq \eta_q \leq 1.05$ 。

4 静载试验测试数据分析

4.1 工况一作用下的数据分析

4.1.1 荷载横向分布系数计算

采用空间梁格模型施加单位力法分别在各板跨中截面施加 $P = 1000\text{ kN}$ 方向朝下的单位力。计算出 P 分别作用于各板跨中截面时各板跨中截面挠度值。按下式计算横桥向各板位置处的影响线坐标,

$$\eta_{ij} = f_{ij} / \sum_1^n f_{ij},$$

式中, η_{ij} 为横桥向各板位置处的影响线坐标值; f_{ij} 为单位力 P_i 作用于第 i 号板梁跨中截面引起的第 j 号板梁该截面位置处的挠度值。可知,在简支梁桥荷载试验中,通过模拟荷载作用下各梁跨中挠度,可简便计算出桥梁的横向分布系数^[5]。

4.1.2 横向分布系数梁格理论值与实测值对比分析

按照上述原理,工况一检验荷载下的横向分布系数理论与实测结果对比如图10~图12所示。

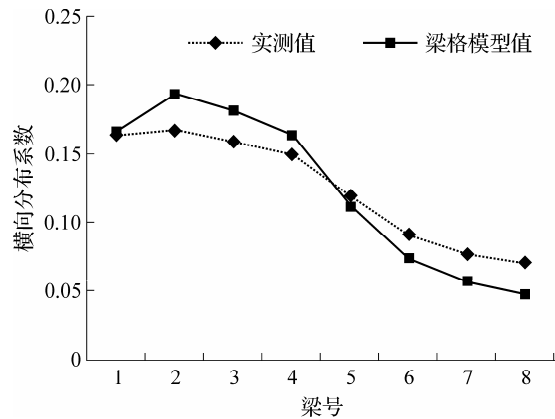


图10 一级荷载下横向分布系数对比图

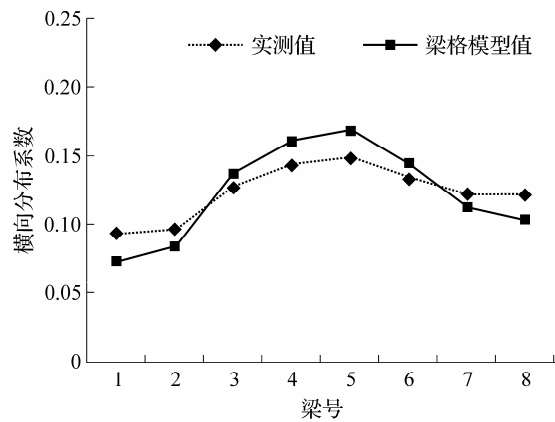


图11 二级荷载下横向分布系数对比图

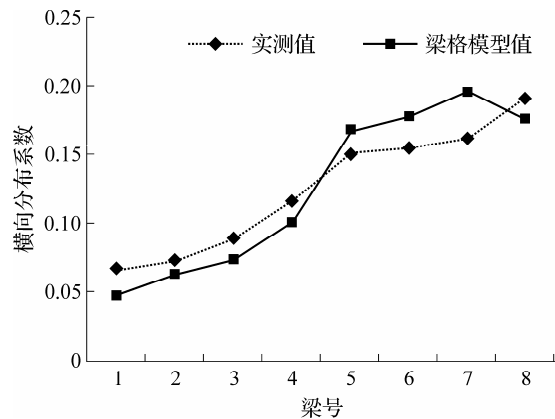


图12 三级荷载下横向分布系数对比图

从以上图形来看,梁格模型横向分布系数值与实测横向分布系数值的比较可知,两者结果吻合较好,表明该桥梁铰接缝施工满足设计要求,横向连接较好。

4.2 工况二作用下数据分析

4.2.1 校验系数

校验系数是指某一点的实测值与相应的理论计算值的比值。实测值可以是挠度、位移或应变的大小,表达式为:

$$\lambda = \text{测点的实测值} / \text{测点的理论计算值}$$

(1) 当 $\lambda = 1$ 时,说明理论值与实测值相符;

(2) 当 $\lambda < 1$ 时,说明结构工作性能较好,承载力有一定的富余,有安全储备;

(3) 当 $\lambda > 1$ 时,说明结构的工作性能较差,设计强度不足,不够安全。

4.2.2 相对残余变位及应变

试验相对残余变位(或应变)是检验结构弹性回复能力的重要指标,其表达式如为:

$$S_p' = (S_p / S_t) \times 100\%$$

式中, S_p' 为试验荷载作用下所产生相对残余变位(或应变); S_p 为试验荷载卸载后的残余变位(或应变), $S_p = S_t - S_e$; S_e 为试验荷载作用下所产生的弹性变位(或应变); S_t 为试验荷载作用下所产生的总变位(或应变)。

测点在加载程序时的残余变位(或应变)越小,说明结构越接近弹性工作状态。

4.2.3 工况二下的跨中应变与挠度测试

工况二按 1#、2#板梁跨中截面最大弯矩和最大挠度布置。由模型可得每片梁的跨中应变和跨中挠度的理论值,与实测该桥静载试验下跨中应变值和挠度值进行对比分析,结果见表 3 和表 4。

由表中可知纵桥向按跨中截面弯矩和挠度的最不利荷载布置下实测值与梁格模型理论值比较所得的校验系数,正应变校验系数为 0.19~0.4,挠度校验系数为 0.27~0.48,校验系数较小,偏于安全,原因可能是材料的实际强度及弹性模量较高,或梁桥的混凝土桥面铺装及人行道等与梁共同受力等有利影响。竖向挠度挠跨比均小于 1/600,结构的刚度满足设计和规范要求。

相对残余变位与应变由表中结果可知,该桥基本处于弹性工作阶段。

表 3 实测应变与理论应变对比

| 板号 | 实测值/ $\mu\epsilon$ | 卸载/ $\mu\epsilon$ | 弹性应变值/ $\mu\epsilon$ | 梁格理论值/ $\mu\epsilon$ | 校验系数 | 残余变形/% |
|----|--------------------|-------------------|----------------------|----------------------|------|--------|
| 1# | 28.9 | 0 | 28.9 | 138.5 | 0.21 | 0 |
| 2# | 62.3 | 5.3 | 62.0 | 156.0 | 0.40 | 8.5 |
| 3# | 56.4 | -0.7 | 57.1 | 171.1 | 0.33 | - |
| 4# | 32.6 | -1.0 | 33.6 | 175.1 | 0.19 | - |

表 4 实测挠度与理论挠度对比

| 板号 | 实测值/mm | 卸载值/mm | 弹性挠度值/mm | 梁格理论值/mm | 校验系数 | 残余变形/% |
|----|--------|--------|----------|----------|------|--------|
| 1# | 1.89 | 0.06 | 1.83 | 6.00 | 0.30 | 3.17 |
| 2# | 2.01 | 0.12 | 1.89 | 6.36 | 0.30 | 5.97 |
| 3# | 2.01 | 0.14 | 1.87 | 6.87 | 0.27 | 6.97 |
| 4# | 2.16 | 0.08 | 2.08 | 7.06 | 0.29 | 3.70 |
| 5# | 2.14 | 0.1 | 2.04 | 6.61 | 0.31 | 4.67 |
| 6# | 1.95 | 0.06 | 1.89 | 5.72 | 0.33 | 3.08 |
| 7# | 1.85 | 0.05 | 1.8 | 4.71 | 0.38 | 2.70 |
| 8# | 1.98 | 0.01 | 1.97 | 4.14 | 0.48 | 0.51 |

5 动载试验测试数据分析

该桥在工况三下不同速度测得的桥梁冲击系数分别为 0.15、0.18、0.29,均小于理论分析所得的冲击系数 0.34,表明该桥具有良好的动力性能。同时利用有限元模型,进行该桥的动力特性计算,得该桥的基频为 7.18 Hz,振型为竖向弯曲振动,其第一阶振型如图 14 所示。

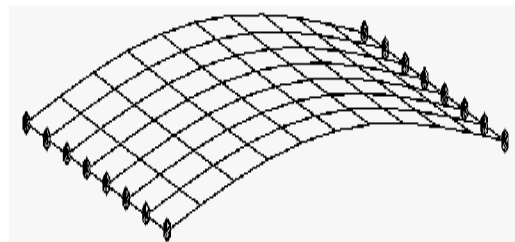


图 14 空间梁格模型第一阶振型图

动载试验在工况三下测得的动位移—时间曲线,可得到桥梁结构的实测自振周期为 0.08 s,自振频率为 12.5 Hz。相比模拟分析得到的基本频率为 7.18 Hz(小于实测值),说明该桥的结构刚度较大,整体性能较好,具有良好的动力性能。

6 结论

通过对本桥有限元模型计算结果及荷载试验

实测结果比较分析,可以得到如下的结论:

(1) 横向分布系数在加载区域有略微的差距,原因可能是将铺装层做二期荷载考虑,未考虑铺装层的刚度影响,有待更进一步地研究.

(2) 横向分布系数符合性好,校验系数小,表明该桥的整体刚度较大,承载能力较好,结构具有一定得安全储备,桥面结构具有良好弹性工作状态和整体工作性能.

(3) 自振频率实测值大于理论计算值,亦说明该桥的结构刚度较大,整体性能较好,具有良好的动力性能.

(4) 该桥为新建桥梁,正应变与挠度的校验系数约在 0.2~0.5 之间,表明结构承载能力满足设计要求($\eta = 0.70 \sim 1.00$),并有足够的安全储备;而且与旧桥桥梁承载能力鉴定校验系数常值比较,均有一定差异.

(5) 利用有限元软件运用到实际的桥梁检测,减少繁琐的手工计算,提高效率,更快得到高精度的理论结果,为新建桥梁的竣工验收检测提供参考数据.

参考文献:

- [1] 范立础. 桥梁工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [2] 张俊平, 周建宾. 桥梁检测与维修加固[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [3] 汉勃利 E C. 桥梁上部结构性能[M]. 郭文辉, 译. 北京: 人民交通出版社, 1982.
- [4] 徐日昶, 王博仪, 赵家奎. 桥梁检测[M]. 北京: 人民交通出版社, 1989.
- [5] 韦立林, 王文宁, 王建军. 简支梁桥荷载试验横向分布系数分析方法[J]. 广西大学学报, 2007, 32(2):183-185.
- [6] 韩永华. 斜弯桥静载试验及有限元计算分析[J]. 江西科学, 2010, 28(4):498-499.

Probe: Load of a Simple-supported Plate Girder Bridge Based on Grillage Method

SONG Shu-jun, LI Hui*

(Faculty of Architectural, Civil Engineering and Environment, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Using the finite element software "MIDAS" and taking a simplified plate girder bridge as an example, the whole space grillage is modeled in this paper. The static characteristics and dynamic characteristics are analyzed, and the corresponding theory is reviewed. The comparison test shows that the overall stiffness and carrying capacity of the bridge are improved particularly in terms of safety tolerance.

Key words: grillage method; static load test; dynamic load test; finite element model

(责任编辑 章践立)