

钢筋混凝土桥梁荷载试验与结构动力分析

王和泰¹, 王立宪²

(1. 甘肃第七建设集团股份有限公司, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要:桥梁在长期的使用过程中由于使用和环境的影响, 以及长期经受超载车辆的作用, 使桥梁得承载能力和耐久性的降低, 甚至影响到运营的安全。为了保证桥梁的安全营运和尽可能延长其安全使用年限, 应对桥梁进行定期检测及监测, 其结论可作为判定桥梁健康状况提供重要依据。对一座钢筋混凝土桥梁进行了现场静载试验和动载试验检测, 并利用桥梁计算软件 Midas/Civil 进行理论建模和分析。通过荷载试验和理论分析, 对该桥的健康状况做出了评价, 为该桥的正常运营提供了可靠的试验数据。

关键词:桥梁健康监测; 静载试验; 动载试验; 结构分析; 校验系数

中图分类号: U441

桥梁工程是重要的生命线工程, 随着社会的发展和科技的进步, 人类社会的需求也日益提高。桥梁的安全性、耐久性与正常使用日渐得到关注, 促使桥梁健康监测、损伤识别技术、模态参数识别技术迅速发展, 并且日益成为国内外学术界和工程界的研究热点^[1-3]。桥梁在长期的使用过程中由于使用和环境的影响, 以及长期经受超载车辆的作用, 使桥梁得承载能力和耐久性的降低, 甚至影响到运营的安全。为了保证桥梁的安全营运和尽可能延长其安全使用年限, 应对桥梁进行定期检测、监测, 结果可作为该桥的损伤检测、使用状态评估和健康监测的基础^[4-8]。

1 工程概况

某桥梁为钢筋混凝土简支梁桥, 由 7 片 T 梁组成, 桥高 5m, T 梁高 1.5m, 该桥共三跨, 跨径为 (11.42+11.42+11.42)m, 桥宽 10m, 修建时间为 1980 年, 设计荷载为: 汽-13, 挂-60。桥梁立面图如图 1 所示。由于运营时间较长, 超载车辆较多, 根据《公路桥涵养护规范》(JTG H 11-2004) 的规定, 对该桥梁进行了安全检查和健康评定。

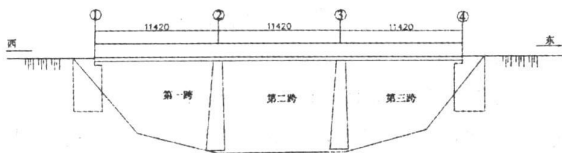


图 1 桥梁立面

2.1 应变测点

为了满足鉴定桥梁承载力可靠度的要求, 选择能反映桥梁结构的最不利受力状态和最不利受力截面。截面抗弯、抗拉应变测点布置, 设置在截面纵桥向应力分布较大的部位, 梁肋布设, 以控制最大应力的分布。简支 T 型梁桥测点布置位置: 跨中、四分之一位置, 如图 2 所示, S15~S21 为第一跨桥梁跨中应变测点; S8~S14 为第二跨桥梁四分之一截面测点, S1~S7 为第二跨桥梁 L/4 截面测点, 布置在梁肋下缘侧面, 均沿桥纵向。静载试验采用普通电阻丝应变片, 应变片式位移计和 Dh3816 静态数据采集仪。简支 T 型梁桥的测点位置和测点数量, 如图 2 所示。

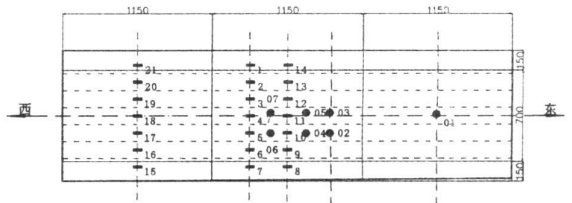


图 2 应变、挠度测点布置

2.2 挠度测点

全桥共设 7 个位移观测点, 编号为 01、02、03、04、05、06、07, 布置在 3 号梁、4 号梁梁肋的跨中和四分之一截面位置处, 见图 2。

2.3 温度测点

选择与大多数测点较接近的部位 (不参与受力部位) 设置了 3 处气温观测点。

2.4 动测测点

在桥梁结构动载试验中, 根据现有仪器设备和

2 测点布置及荷载试验

试验人员的实践经验,按照动载试验的要求和目的,并根据桥梁结构形式确定加速度传感器的布置,选择恰当的激振形式与激振位置。动测测点布置一般按照结构振型形状,在变位较大的部位布置测点,尽可能避开各阶振型的节点。

2.5 试验荷载及加载车辆布置

在现场对简支 T 型梁桥进行了静力和动力荷载试验,试验车型分别为不同车重的车辆,位移和内力控制截面的选取是根据结构的位移和内力影响线来选定的,按照最不利荷载位置进行布载、采集数据。本次静载试验针对 L/2、L/4 截面最不利情况加载,分为单车加载和多车加载两级加载,即各跨跨中和第二跨 L/4 处四个加载点,分为八种工况,见表 1。

表 1 加载工况

加载级别	单车加载	多车加载
第一跨 L/2 处		
第二跨 L/4 处	1、2、3、4 号车分别	1+2、1+3 分别进
第二跨 L/2 处	在该处加载	行组合在该处加
第三跨 L/2 处		载

单车及多车最不利偏载加载位置如图 3 所示。其中单车加载位置为图中下排车加载位置,多车为各点并列车加载。

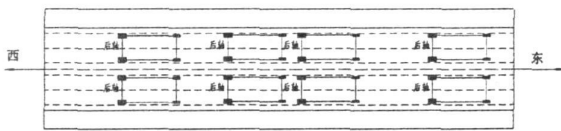


图 3 单车及多车最不利偏载加载位置

3 试验成果与理论分析

3.1 静载应变试验分析

表 2 加载时各梁跨中界面下缘应变横桥向分布数据

梁编号	第一跨 梁肋下缘 ($\mu\epsilon$)				第二跨 梁肋下缘 ($\mu\epsilon$)				第三跨 梁肋下缘 ($\mu\epsilon$)			
	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4	5	6
分析值	27.3	36.3	19.9	29.8	21.3	14.5	24.7	21.7	36.3	48	32.6	45.6
实测值	45	51	29	46	32	19	31	23	53	63	57	38
校验系数 η	1.65	1.40	1.46	1.54	1.50	1.31	1.26	1.06	1.46	1.31	1.75	1.46

校验系数 $1.06 < \eta < 1.75$, 说明组成结构的材料强度较低,结构各部分联接性较差。

3.3 桥梁结构挠度

理论挠度值与实测值的关系应接近与直线,挠度值分析时取挠度最大点,即第二跨跨中最不利组合加载时 3 号梁与 4 号梁的挠度值进行分析。工况为两级多车加载,取工况为 (1 车 + 3 车) 时最不利截面的梁上各测点理论值与实测值的曲线图分析,

根据以上实测结果,取第二跨跨中单车和多车组合加载应变进行分析,如图 4、5 所示,可得出以下结论:

单车加载时,各片主梁应变值递减速度较快,未能形成良好的共同受力状态,多车加载时,右半幅主梁应变值较大,左半幅主梁相比右半幅应变值相差较大,说明各主梁联结整体性较差。

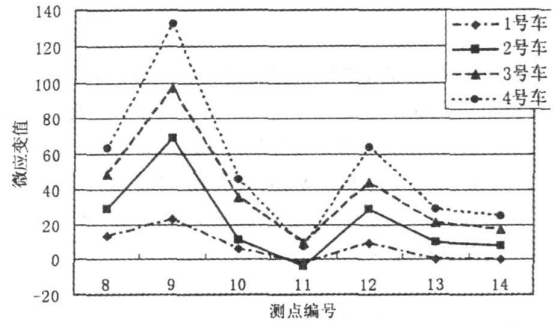


图 4 单车加载应变规律

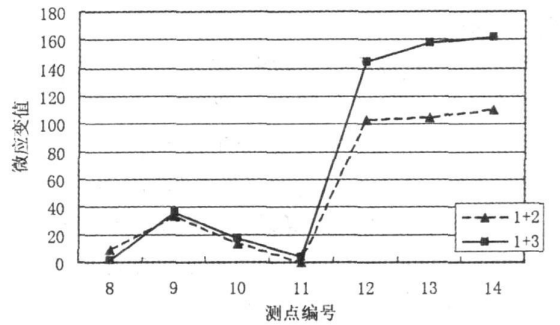


图 5 多车加载应变规律

3.2 结构校验系数

根据“实测应变数据与理论模型计算数据”,对最不利受力板块进行结构校验系数计算,加载时各梁跨中界面下缘应变横桥向分布数据见表 2。

如图 6、7 所示 (图中 1~7 号测点分别对应 01~07 号挠度测点)。

从图中可看出,除 01 号点,各测点实测值均大于理论计算值,实测挠度最大值为 0.5mm,未超过设计标准的允许值,允许值为 $L/600 = 11420/600 = 19\text{mm}$ 。但从挠度校验系数可以看出, η 偏大,最大值达 3.74,相对残余变位值均小于 20%,挠度校验系数较大说明结构各梁联结性较差,桥梁整体刚度较低。

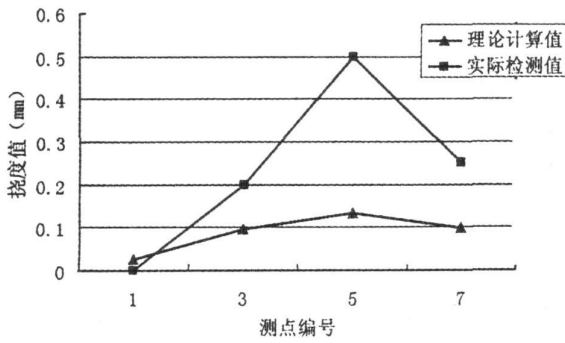


图 6 3号梁挠度值分析

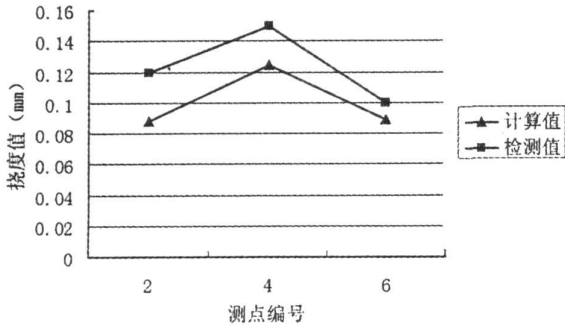


图 7 4号梁挠度值分析

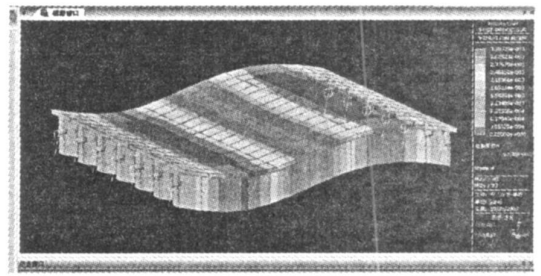


图 10 梁桥特征值计算 (第二阶模态)

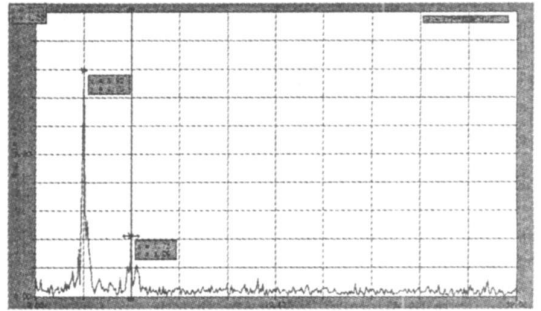


图 11 25km 跑车跨中截面应变变频谱曲线

4 动荷载试验数据分析

4.1 理论分析

利用 MIDAS 桥梁分析软件, 建立有限元模型, 进行特征值计算, 模型和计算结果如图 8~10 所示, 通过有限元分析, 该简支 T 型梁桥的基频为: $f_1 = 16.9\text{Hz}$ 第二阶频率为: $f_2 = 65.4\text{Hz}$ 第三阶频率为: $f_3 = 126.6\text{Hz}$

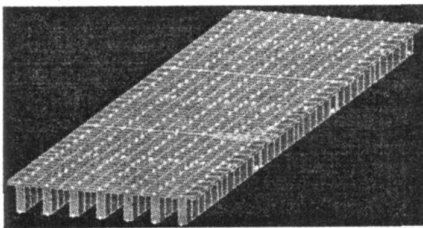


图 8 有限元整体计算模型

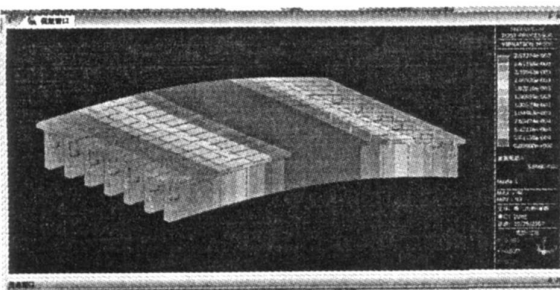


图 9 梁桥特征值计算 (第一阶模态)

4.2 实测动载数据分析

动载试验采用 1 号车, 利用高速静态应变测试系统采集跑车状态下桥梁结构的动力响应。根据桥梁相应部位动应变测试结果, 采用随机波傅立叶变换分析方法, 得到该桥的幅频曲线或功频曲线, 如图 11 所示, 获得该桥的固有频率, 固有频率最小值为第一固有 (自振) 频率, 用跑车法对余震进行观测结果与随机波分析完全吻合, 该桥的自振频率见表 3。

表 3 简支 T 型梁桥实测基频

序号	激振方式	实测工程频率 (Hz)	自振频率 (rad/s)
1	5km/h 跑车	4.01	25.18
2	10km/h 跑车	4.11	25.81
3	15km/h 跑车	3.82	23.99
4	20km/h 跑车	3.92	24.62
5	25km/h 跑车	4.01	25.18
6	随机脉动	3.92	24.62
加权平均值		3.97	24.90

注: 该桥实测基频范围为: $f = 3.82 \sim 4.11\text{Hz}$ 平均值为: $f = 3.97\text{Hz}$

5 结论及建议

根据理论分析和现场调查、荷载试验结果, 对该桥综合评定得出以下结论:

1) 结构的校验系数为 $1.06 < \eta < 1.76$, 根据实测应变规律, 各主要控制断面加载后, 各片主梁应变值差异较大, 表明该桥强度较低, 结构不够安全;

(下转第 151 页)

稳定工作队伍的政策并贯彻实施。同时,可出台相应政策,鼓励和吸引本科及以上学历毕业生到乡镇卫生院就业,以达到提高乡镇卫生院医务人员整体素质的目的。

4.3.2 提高医务人员服务能力

卫生部门对于卫生院卫生技术人员的素质要求提出了相关规定。其中,《关于加强农村卫生人才培养和队伍建设的意见》,明确了农村基层卫生人员和乡村医生向执业医师方向转化的目标,并提出了定向为农村培养适用人才的具体措施^[4]。

乡镇卫生院在加强硬件建设的同时,应着力提高医务人员的服务能力,督促医疗服务人员考取执业助理医师及以上执业资格,其他卫生技术人员要具备初级以上专业技术资格。

4.3.3 合理配置医务人员数量,保证专业对口就业

根据不同时期的健康状况和卫生事业发展需要,国家制定了卫生院技术人员数量配置标准。2003年,《乡镇卫生院中医药服务管理基本规范》规定,乡镇卫生院应当建立稳定中医药专业技术人员队伍,中医执业(助理)医师应占执业助理医师和执业医师总数的一定比例^[4]。

各乡镇卫生院应按标准合理配置医务人员数量,制定相应规章制度,按需确定各科室、各职务应

选拔人数,按比例招收各专业医学毕业生,专业对口就业,并明确其工作范围及责任,在提高医务人员整体素质的同时保证工作质量,使乡镇卫生院发挥好其作为农村三级医疗预防保健网中间枢纽的作用,保证卫生服务诸多功能在农村基层切实落实。

5 结语

加强乡镇卫生院人力资源的配置、管理和乡镇卫生院自身建设,吸引本科及以上学历人才,建立一支稳定、具有较高素质的乡镇卫生人才队伍,不仅能够保证乡镇卫生院服务质量、服务水平的提高,也满足了农村医疗卫生事业发展的客观要求,同时解决了部分本科及以上学历毕业生的就业问题。

参考文献:

- [1] 张昌彩. “十一五”时期我国城乡结构及劳动力变动趋势研究[J]. 经济研究参考, 2004(27): 2-14.
- [2] 邓信芳. 浅谈中等护理专业的发展前景[J]. 大同医学专科学校学报, 2006, 26(3): 53-54.
- [3] 莫建辉, 林水春, 杨起, 等. 钟山县乡镇卫生院现状分析[J]. 中华临床医学研究, 2003, 12(81): 13-14.
- [4] 师娜娜. 乡镇卫生院人力配置浅析[J]. 中国卫生人才, 2009(9): 60-61.

(上接第 115 页)

2)该桥的实测最大挠度变形能满足未超出允许值,但实测挠度值均大于理论计算值, η 偏大,说明结构各部分联结性较差,该桥的刚度较差;

3)通过对动测数据频域分析,得到该桥基频为 3.97Hz,有限元模型计算该桥的基频为 16.9Hz,实测频率远小于理论计算频率,刚度和动力响应都不能达到现行荷载标准安全通行的要求。根据动荷载试验所测数据,桥梁整体结构的回复周期较长,频率小,动力性能较差,整体刚度不足;

4)建议对桥梁的主要承重构件—主梁进行加固;加强横向联系,以增强桥梁整体刚度和强度。

参考文献:

- [1] 田仲初. 佛山东平大桥静动力多层次有限元模型

修正研究[J]. 振动与冲击, 2007, 26(6): 162-165.

- [2] Jong Jae lee Chung Bang Yun. Damage diagnosis of steel girder bridges using ambient vibration data[J]. Engineering Structures 2006, (28): 912-925.
- [3] Alvandia A. Cremona C. Assessment of vibration-based damage identification techniques[J]. Journal of Sound and Vibration 2006, (292): 179-202.
- [4] 陈开利, 王邦楣, 林亚超. 桥梁工程鉴定与加固手册[M]. 人民交通出版社, 2005.
- [5] JTG H 11-2004. 公路桥涵养护规范[S].
- [6] JTG F 80/1-2004. 公路工程质量检验评定标准[S].
- [7] JTG B 01-2003. 公路工程技术标准[S].
- [8] JTG D 62-2004. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].