Vol. 15 No. 4 公 路 交 通 科 技 1998 年 12 月
JOURNAL OF HIGHWAY AND TRANSPORTATION RESEARCH AND DEVELOPMENT

南昌滨江高架桥动载试验

陆秋海 王 波 沈观林
（清华大学 北京 100084）

摘要 对江西南昌滨江高架桥进行动载试验，分析该桥不同工况下动应变、最大动变形、频率和阻尼。
关键词 动载试验 振动频率 阻尼

Dynamic Load Tests of the Nanchan Binjiang Trestle

Lu Qiuhai
（Tsinghua University, Beijing）

Abstract Dynamic load tests were carried out to the Nanchan Binjiang trestle. The dynamic strain and maximum dynamic deformation under different cases as well as natural frequencies and damping of the trestle were analysed.
Key words Dynamic load test Natural frequency Damping

0 前言

为保证滨江高架桥[1]运营的可靠性，检验桥梁的设计和工作状况，并为今后的维修和养护提供原始数据和参考资料，受江西省南昌市新八一大桥建设工程指挥部项目经理部委托，依据《大跨径混凝土桥梁的试验方法》[2]，对滨江高架桥进行动载试验。滨江高架桥设计荷载为汽-20，挂-100。桥面宽度 22m，其中人行道左侧（靠江测）宽度 5m，右侧宽度 1m；行车道宽度 16m。桥梁全长 501.7m，跨径布置为 6×20+6×20+6×20+7×20，共计 25 孔。此桥为弯桥，弯曲半径为 500m，不设纵坡，桥面设双面横坡为 2%。该桥上部构造为后张法空心板梁，梁高 0.9m，宽 1.55m。试验于 1997 年 10 月 25 日至 27 日进行。

1 观测方案[3~5]

1.1 测点布置

应变测点和加速度测点均分布在 1/2 跨（A 截面）和 1/4 跨（B-1、B-2 截面）行车道附近，如图 1。

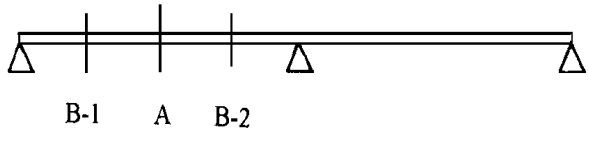

图 1 滨江高架桥测点布置示意图

1.2 测量方法与仪器

按照《大跨径混凝土桥梁的试验方法》动态试验项目的有关规定，本次试验测试内容如下：

1. 行车试验。取 28t 运动重车 1 辆（设计基本载荷为 20t）分别以 20km/h，30km/h，40km/h，50km/h，60km/h 匀速驶过桥跨，测量桥跨各测量点在不同车速下桥梁各测定点的动应变和加速度，并分别计算出相应的冲击系数和动挠度。

2. 制动试验。取一重车以 30km/h 匀速行驶至跨中制动，测量桥跨各测量点在车辆制动情况下的强迫振动响应。

3. 跳车试验。取一重车通过跨中一 10cm 高的三角木，测量桥跨各测量点在跳车情况下引起的冲击振动响应。

4. 脉动试验。选定一个参考点不动，将各测量点的加速度时程信号记录在磁带机上，分析得到桥梁

收稿日期 1998-02-13 第一作者 男，1970 年生，讲师，博士

固有振动频率和阻尼。

试验采用的主要仪器有：电荷放大器、加速度传感器 B &K8306、B &K4370、磁带机、应变放大器、HP3560 动态信号分析仪。现场采用 HP3560 进行监视，试验记录采用 HP35665A 动态信号分析仪进行处理。

动力测试要求仪器精度高于预计量测值的 10%。

2　动载试验观测结果及分析

2.1　动应变/应力观测结果

28t 重车以不同车速经过桥跨及在跨中制动、跳车情况下动应变/应力观测结果如表 1 及图 2、3 所示。实测中对于 1/2 跨中，40km/h 的车速所引起的动应力最大；对于 1/4 跨中 60km/h 的车速所引起的动应力最大。而且跨中制动和跳车所引起的动应力一般比行车所引起的动应力大。其中桥跨结构弹性模量为 $E=3.3\times10^4$MPa。

不同车速下最大动应变/应力观测结果　表 **1**

车速 (km/h)	1/2 跨中		1/4 跨	
	应变 (με)	应力 (kPa)	应变 (με)	应力 (kPa)
20	17.8	587.4	24.2	798.6
30	25.2	831.6	23.8	785.4
40	27.2	897.6	26.7	882.1
50	19.3	636.9	23.6	778.1
60	—	—	29.7	980.1
跨中制动	35.5	1138.5	31.1	1024.6
跳车	41.2	1360.3	30.9	1018.7

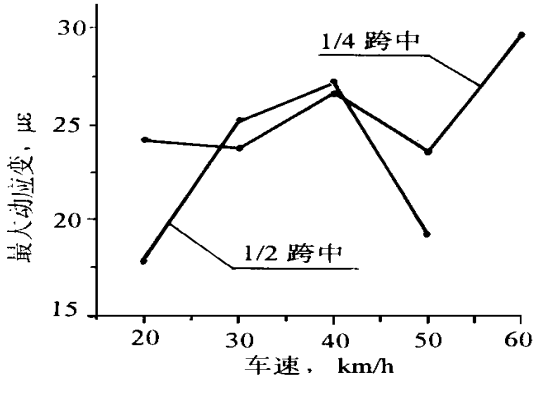

图 **2**　最大动应变随车速变化曲线

2.2　竖向动位移观测结果

桥梁竖向动位移的水平也反映梁结构的动力性能和桥面平整度。将不同工况下桥梁各测定点的加速度，经过积分得到动位移。表 2 给出不同车速下竖向最大动位移的结果；图 4 给出最大动位移随车速变化曲线。结果表明 1/2 跨中在不同车速及跨中制动和跳车情况下的动位移均大于 1/4 跨中，且单车行进引起的动位移很小，说明行车对桥梁引起的附加动挠度较小，不会影响桥梁的运行安全。

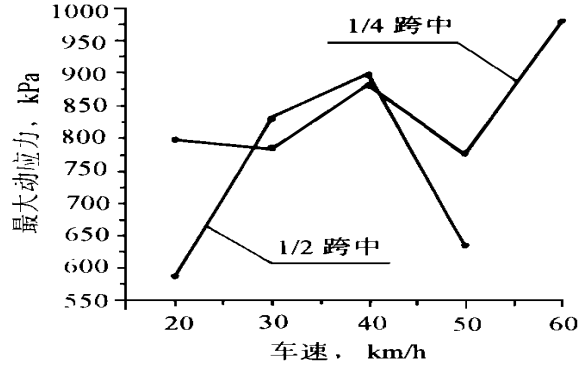

图 **3**　最大动应力车速变化曲线

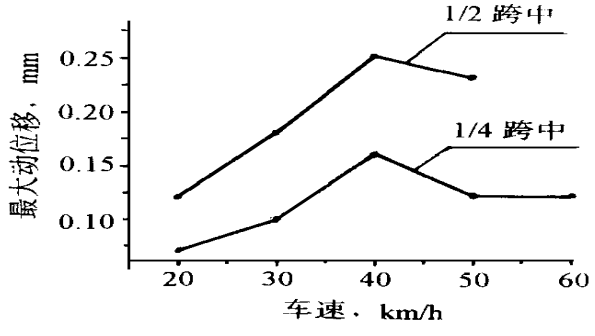

图 **4**　最大动位移随车速变化曲线

不同车速及跨中制动和跳车情况下竖向最大动位移及冲击系数观测结果　表 **2**

车速 (km/h)	动位移幅值 (mm)		实测冲击系数	
	1/2 跨中	1/4 跨	1/2 跨中	1/4 跨
20	0.12	0.07	1.2101	1.0811
30	0.18	0.10	1.2101	1.0769
40	0.25	0.16	1.1683	1.0385
50	0.23	0.12	1.1855	1.0811
60	—	0.12	—	1.0810
跨中制动	0.28	0.26	1.1367	1.2066
跳车	0.52	0.22	1.1569	1.2315

2.3　冲击系数

当车辆以一定速度通过桥跨或在跨中以一定的速度制动、越障时，将引起桥梁的振动，从而使桥梁结构在静应力的基础上承受较大的动应力，包括动挠度在内的总挠度也比相同静载荷时大。这种运动载荷对应力和挠度增大的影响，通常采用冲击系数来衡量。冲击系数的大小综合反映了桥跨结构的动力性能、桥面平整度以及运行车辆的动力特性、车速等因素的影响。因此冲击系数往往成为确定车辆载荷对桥梁动力作用的重要参数。

该桥的冲击系数实测值如表 2 所示，图 5 给出最大冲击系数随车速变化曲线。单车通过时，实测桥梁

的冲击系数不大，说明桥面具有良好的平整度。

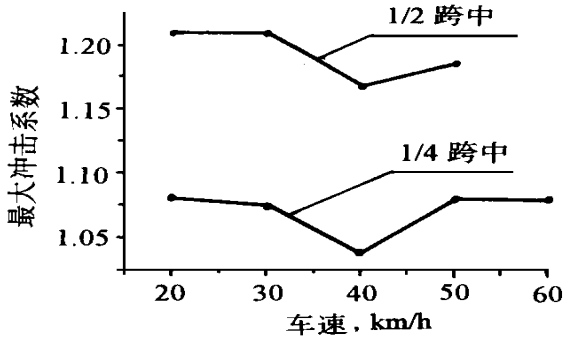

图 **5**　最大冲击系数随车速变化曲线

实测冲击系数必须根据《大跨径混凝土桥梁的试验方法》第 3.26 条进行评定，要求车辆载荷作用下测定结构的动力系数应满足下列关系式

$$(\delta_{max}-1)\ \eta_{dyn}\leq\delta-1$$

其中，

δ_{max}——实测量大冲击系数，

$$\delta_{max}=\frac{S_{max}}{S_{mean}}=\frac{S_{max}}{2^{-1}\ (S_{max}+S_{min})};$$

S_{max}——动力试验荷载作用下检测部位的变形或力的最大值（即最大波峰值）；

S_{min}——同一周期的波谷值；

S_{mean}——静力荷载引起同一检测部位的实测最大变形或力值；

η_{dyn}——动力试验荷载效率＝0.393 3，

$$\eta_{dyn}=S_{dyn}/S;$$

S_{dyn}——动力试验荷载（按静力重量考虑）作用下检测部位的变形或力的计算数值 4.09mm；

S——基本荷载（设计荷载）作用下检测部位的变形或力的计算数值 10.4mm；

δ——设计取用冲击系数，1.1875；

表 3 对最大冲击系数的按照要求进行评定，结果满足评定要求。

冲击系数评定表　　表 **3**

δ_{max}	η_{dyn}	δ	$(\delta_{max}-1)\ \eta_{dyn}$	$\leq$	$\delta-1$
1.2315	0.3933	1.1875	0.0910	是	0.1875

2.4　桥梁振动模态分析

桥梁的振动模态参数，包括振动频率、振型和阻尼系数，是反映桥梁自身动力特性和健康状况的重要参数。当桥梁的物理特性发生变化导致刚度、质量或阻尼发生变化时，结构的模态参数将随之发生变化。当桥梁经过多年运营之后，或遇到车辆、船舶等碰撞，或地震破坏等其它损伤，有必要进行桥梁安全检测时，可以通过检测桥梁的振动模态参数来判断桥梁是否处于安全工作状态。如果振动频率变化不大，说明桥梁的刚度没有多大变化，可以保证桥梁安全运营；如果振动频率下降较多，则说明桥梁的刚度明显降低，需要立即采取加固措施。如果阻尼系数增大，则说明桥梁体裂纹增多。

本次试验采用脉动试验方法来测量桥梁结构的模态参数。通过大地脉动作用下桥梁结构的振动加速度信号分析，用脉动响应波形的自功率谱来确定其振动频率和阻尼系数，结果如表 4。

桥梁的振动模态参数　　表 **4**

模态阶数	1	2	3
频率（Hz）	5.94	6.56	7.19
阻尼比 ζ	0.8%	1.5%	2.0%

3　结论

1. 本桥的行车实测冲击系数满足《大跨径混凝土桥梁的试验方法》第 3.26 条评定的要求，是安全的。

2. 桥梁的行车、制动和跳车实测动挠度较小，不会影响桥梁的运营安全。

3. 本桥的第一阶振动频率为 5.94Hz，符合前苏联 CH-200-6 规范中规定中小跨度桥混凝土简支梁的垂直自振频率应大于 3.33Hz 的要求，也符合美国一般设计规定梁的垂直自振频率应大于 3.5Hz 的要求。

4. 本桥目前的阻尼较小，第一阶振动阻尼比为 0.8%。

参考文献

1　江西省交通设计院．滨江高架桥施工图设计说明书．1996

2　交通部公路科学研究所，交通部公路局技术处，交通部公路规划设计院．大跨径混凝土桥梁的试验方法（经 1982 年 10 月在柏林举行的专题第五次专家会议通过）．北京：1982-10

3　李德葆．振动模态分析及应用．宇航出版社，1989

4　李方泽，刘馥清，王正．工程振动测试与分析．高等教育出版社，1992

5　马良　，沈观林，冯仁贤等．应变电测与传感技术．中国计量出版社，1991-11