

文章编号: 0451-0712(2010)02-0005-03

中图分类号: U441.5

文献标识码: B

基于 GPS 技术的江阴长江公路大桥动力特性分析

张宇峰^{1,2}, 张传刚^{1,2}, 承宇^{1,2}, 陈雄飞³, 樊叶华³

(1 江苏省交通科学研究院 南京市 210017; 2 长大桥梁健康检测与诊断交通行业重点实验室 南京市 211112;

3 江苏扬子大桥股份有限公司 靖江市 214000)

摘要: 依据 GPS 系统获取江阴长江公路大桥实时动态监测数据, 通过频谱分析得到桥梁结构的自振频率, 经与有限元数值解和采用传统加速度传感器法得到的实测值进行对比, 结果表明 GPS 传感器法可以监测到江阴大桥的实时动态三维位移, 以及部分桥梁振型频率, 且与传统方法吻合良好, 是一种值得推荐的新型大桥动力特性监测手段。

关键词: 桥梁健康监测; GPS; 动力特性; 自振频率

悬索桥是由主缆、加劲梁、主塔、鞍座、锚固构造、吊索等构件组成的柔性悬吊组合体系, 由于其结构轻柔、非线性表现明显, 受风、地震和车辆作用引起的结构动力响应大, 其动力特性分析相比于其他桥梁, 更直接关系其安全度, 故更具有重要意义。

对于桥梁结构动力特性的实测获取, 一般通过布置在桥体的传感器(包括压电式力传感器、加速度传感器、阻抗传感器、电阻应变片等)拾取结构在大地脉动和周围环境的各种扰动下引起的振动信号, 然后经数据处理获得结构动力特性参数。这种传统脉动试验振动测量方法已经广泛应用于各类工程结构的实测中, 取得了很好的效果。但在实际使用中也发现, 当应用于特大跨径桥梁时, 如采用传统的有线方式——单外站进行数据采集, 则由于各测点距离较远, 电信号将因长距离传输而引入较大噪声, 严重影响分析精度; 而如采用多外站, 或 A/D 转换前置或无线传输等方法, 虽有助于解决模拟电信号长距离传输所带来的较大噪声输入等问题, 但又使多测点的信号同步问题难以解决。全球卫星定位系统(Global Positioning System, 简称 GPS)应用于桥梁的最初目的在于获得监测点在桥梁纵向、横向和垂直方向等特定方向上的位移或旋转角, 并建立其与温度、风、车辆荷载等的相关关系, 从而借以评估

桥梁整体状况, 由于其具有各点独立、同步性强、全天候作业、操作方便等一系列优点, 故在大桥监测系统中得到了迅速的推广, 包括日本明石大桥、中国虎门大桥、江阴大桥等大跨悬索桥^[1-3]中均安装了该系统进行桥梁状况监测。近年来, 随着全球卫星定位系统(GPS)接收机技术和软件处理技术的发展, 以及 GPS 数据处理方法的改进和完善, 已经可以实现实时、高动态、高精度位移测量, 完全可以将 GPS 用于桥梁的连续位移实时监测, 并基于实测位移时程曲线进行结构动力特性分析。

1 江阴长江公路大桥 GPS 监测系统

江阴长江公路大桥位于长江下游江阴段, 是同江—三亚国道主干线的咽喉要道, 也是江苏省沟通长江南北两岸的重要过江通道。主桥为一跨过江的钢悬索桥, 跨度布置为 336 5 m + 1 385 m + 309 4 m。由于江阴大桥技术复杂、规模宏大, 检查、保养、维修的费用高昂, 为确保其在工程设计寿命内的安全运营并对项目的巨大投资切实负责, 在大桥建成之初就由英国 Jams Scott Limited 公司设计, Stranstall Engineering Services Limited 公司建立了一套大桥结构安全监测系统, 并在 2004 系统全面升级改造中添加了 GPS 位移监测系统新型监测子系统^[4]。该 GPS 监测子系统采用瑞士徕卡

公司 GX1230 系列产品, 总共布置了 1 个 GPS 参考站和 8 个 GPS 工作站。GPS 参考站布置在江阴大桥管理处楼顶, GPS 工作站分别布置在南、北索塔塔顶(各 1 个)、主跨 1/4、1/2 和 3/4 截面(每截面各

2 个, 根据桥轴线对称布置)。GPS 参考站和工作站的具体布局如图 1 所示, 现场照片如图 2 所示。为控制数据流量, GPS 的日常采样频率设置为 1 Hz, 但在需要时也可调高至 10 Hz 进行采样。

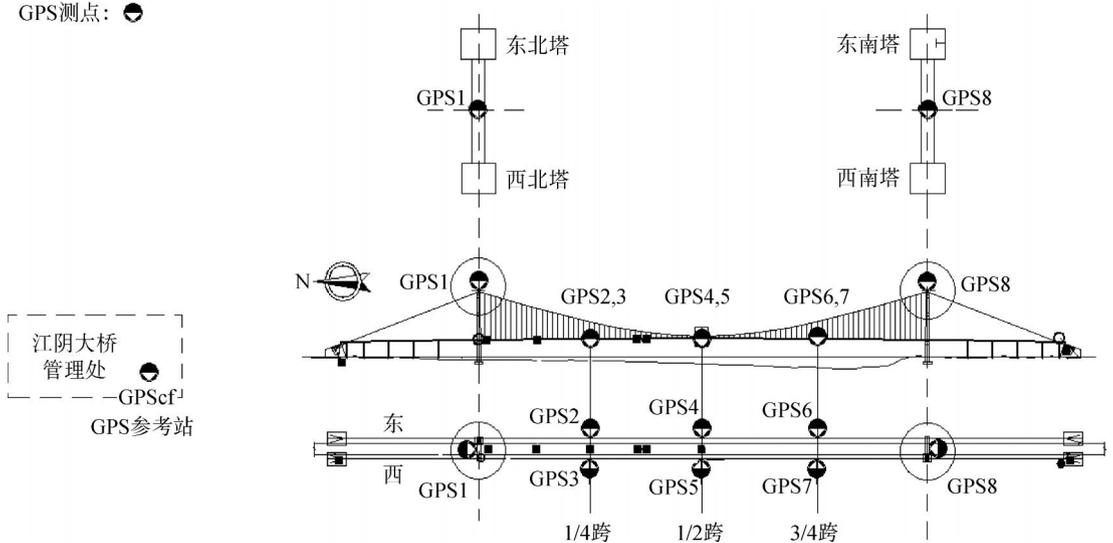
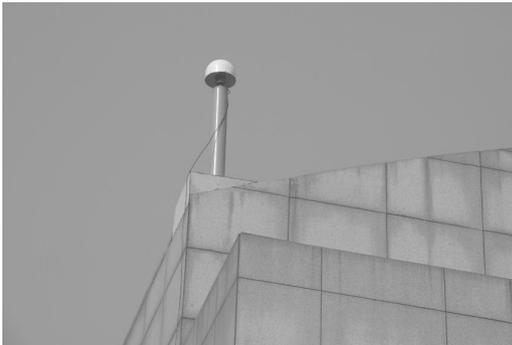


图 1 江阴大桥全球定位系统(GPS)的布局



GPS基准站



1/4跨位置GPS工作站

图 2 江阴大桥全球定位系统(GPS)安装后

三参数(公式 1) 投影转换方法将现场 8 个 GPS 流动站采集到的平面坐标数据基于 WGS84 坐标系点 (N、E) 转换到测试坐标系统点(X, Y)中, 以便数据的处理和比较。

$$\begin{cases} X = X_0 + (N - N_0) \cos\theta + (E - E_0) \sin\theta \\ Y = Y_0 - (N - N_0) \sin\theta + (E - E_0) \cos\theta \end{cases} \quad (1)$$

考虑到 GPS 信号干扰源以多路径为主, 而多路径信号的频率相对于大桥的固有频率较低, 因此利用 Matlab 信号处理工具箱, 设计了一个 9 阶巴特沃斯(Butterworth) 带通滤波器^[5], 首先对结构的振动时程曲线进行了滤波, 然后将过滤后的信号按周期图快速傅立叶变换(FFT) 法进行频谱分析, 得到的结构自功率谱密度如图 3 所示。

3 GPS 动态测量方法有效性检验

采用将 GPS 实测结果与加速度传感器实测主梁频率及有限元分析结果进行对比分析的方法来验证 GPS 动态测量方法的有效性。

江阴大桥上总共安装了 35 个单向加速度传感器, 采样频率为 50 Hz, 分别安装在主梁、主缆和吊杆上。其中有 15 个加速度传感器安装在主梁的 5 个截面上, 每截面 3 个(包括 2 个竖向和 1 个横向加速度传感器); 8 个加速度传感器安装在主缆上; 12 个加速度传感器安装在吊杆上。

2 GPS 测点坐标的频域分析

为了获得江阴长江公路大桥的振动特性, 采用

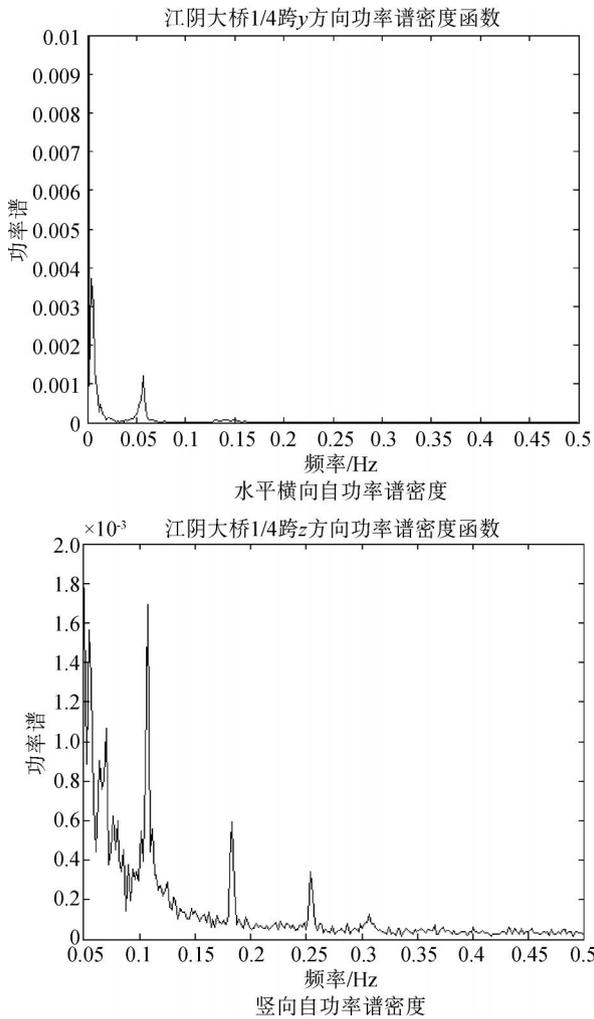


图3 测点GPS2的自功率谱密度

表1为江阴大桥分别用有限元分析方法、加速度传感器实测和GPS动态分析方法得到的前14阶频率的对比结果。

4 结语

(1) 采用GPS技术进行结构运营模态的识别,其测试结果与采用加速度传感器法测试结果以及利用有限元理论计算结果都基本吻合,表明基于GPS技术的结构模态测试与分析方法具有一定的可行性。

(2) 由于GPS系统A/D转换前置且各测点具有良好的时钟同步性,避免了在特大跨径桥梁模态测试中:传统脉动试验振动测量方法采用传统模拟信号有线方式单外站数据采集,将引入较大噪声,严重影响分析精度;而采用多外站、或A/D转换前置或无线传输等方法,则有面临多测点信号同步问题难以解决的困境。是一种值得推荐的新型大桥动力特性监测手段。

表1 前16阶GPS实测频率与Ansys有限元解算及加速度传感器法实测频率分析对比 (Hz)

阶数	振型特征	有限元分析 ^[9]	加速度传感器实测		GPS实测
			成桥荷载试验	健康监测系统	
1	S-L-1	0 052 1	0 054 9	0 054 6	0.054 6
2	A-V-1	0 090 4	0 091 8	0 089 1	-
3	A-L-1	0 125 1	0 127 2	0 125 8	0.125 8
4	S-V-1	0 134 2	0 132 8	0 131 4	0.131 4
5	S-V-2	0 182 2	0 185 5	0 183 2	0.182 8
6	A-V-2	0 201 7	0 198 6	0 198 0	-
7	S-L-2	0 240 4	0 233 9	0 233 0	0.232 9
8	S-V-3	0 258 2	0 255 9	0 255 3	0.254 1
9	S-T-1	0 262 9	0 264 6	0 264 1	0.262 7
10	A-T-1	0 268 0	0 270 1	0 273 0	-
11	A-V-3	0 311 1	0 308 6	0 307 3	0.310 2
12	S-V-4	0 370 1	0 369 1	0 366 4	-
13	S-T-2	0 408 8	0 398 4	0 426 3	-
14	A-T-2	0 506 2	0 528 3	0 490 4	-

注: 1 S—对称; A—反对称; V—竖向; L—横向; T—扭转;

2 表中健康监测系统实测主梁频率均为均值,其中加速度实测频率为2006年1月~2006年4月间均值,GPS实测频率为2006年1月~2006年4月间均值。

(3) 随着GPS技术的进一步成熟,包括采样频率的提高,采用GPS进行结构高阶模态识别与分析,以及进一步进行结构损伤的判断与识别将变得可行,并且从数据测试与分析流程来看,GPS测试实施简单、灵活、方便,而且能与结构变形测试同步进行,该方法有很好应用前景。

参考文献:

- [1] 蔡国宏. 明石海峡大桥营运阶段监控和养护新技术[J]. 中外公路, 2002, (6): 45- 48
- [2] 程朋根, 史文中, 等. 基于RTK GPS技术的大型桥梁动态监测与信息管理的[J]. 桥梁建设, 2004, (2): 5- 7
- [3] 刘云, 钱振东. 基于GPS的南浦大桥动响应监测及刚度损伤预估[J]. 上海公路, 2007, (4): 43- 45
- [4] 朱绍玮, 张宇峰, 樊可清, 承宇. 江阴大桥结构健康监测监测系统升级改造及初步数据分析[J]. 公路, 2007, (4): 69- 73
- [5] 伊晓东, 张传刚. 基于动态GPS技术的大连北大桥结构健康测试[J]. 测试技术学报, 2008, (5): 392- 396
- [6] 江阴长江公路大桥抗风、抗震性能研究报告[R]. 同济大学, 1997.