

泰州大桥结构健康监测系统设计

唐 轲¹, 戴鹏飞²

(1. 江苏省长江公路大桥建设指挥部, 江苏泰州 225321; 2. 江苏省交通规划设计院股份有限公司, 南京 210005)

[摘要] 依托泰州大桥工程概略论述了特大悬索桥梁结构的健康监测系统设计。泰州大桥结构健康监测系统由传感器子系统、数据采集与传输子系统、数据处理与控制子系统3个子系统构成。其中,泰州大桥数据采集与传输系统将传统的有线采集模式和新型的无线采集模式进行了融合,是国内外首次大规模应用。

[关键词] 健康监测系统;无线传感器;大型桥梁结构

[中图分类号] U446 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2012)05-0014-05

1 前言

桥梁结构健康监测系统通过对桥梁结构的检测,实时监控结构的整体行为,对结构的损伤位置和损伤程度进行诊断,对桥梁的服役情况、可靠性、耐久性和承载能力进行智能评估,为大桥在特殊气候、交通条件下或桥梁运营状况严重异常时发出预警信号,为桥梁的维修养护与管理决策提供依据和指导。

泰州大桥主桥为世界首座主跨跨径超越千米的三塔两跨悬索桥,中塔采用纵向人字形、横向门式框架型钢塔。其结构体系为世界桥梁技术前沿的突破性创新,桥型独特,结构受力状态复杂,以往国内采用的桥梁结构健康监测系统很难满足运营期健康监测的需要,因此需要设计并建立符合泰州大桥特色的结构健康监测系统。

2 系统设计要求和功能

泰州大桥结构健康监测系统总体设计功能目标如下。

1)建立科学、合理、经济的监测平台,通过对大桥整体线形、振动、应变、索力、风速、温湿度等内容的监测真实地反映大桥的结构状态。

2)监测全面,数据保存完整,为后续的数据再利用、大桥的工作性能评价及理论研究提供科学

依据。

3)数据分析及报警,为大桥的安全运营及大桥的养护、维修、管理提供参考。

4)良好的设备及软件兼容性,为将来的维护提供便利,为系统的升级预留空间。

3 系统框架构成

根据大型桥梁的结构特点,泰州大桥结构健康监测系统由传感器子系统、数据采集与传输子系统、数据处理与控制子系统构成,如图1所示。其中,传感器子系统由各类传感器及传输线缆组成,用于大桥健康监测系统的数据信号输入。采集与传输子系统由数据采集单元、传输网络及相应软件构成,用于对传感器子系统的信号输入进行采集、预处理、保存,并通过网络传输给数据处理与控制子系统。数据处理与控制子系统由系统服务器、结构健康监测工作站及相应软件构成,用于对前端采集传输过来的数据进行处理、分析、统计和显示,并对数据进行有效的管理。

4 结构健康监测系统的监测内容

根据三塔两跨悬索桥的结构特点,泰州大桥的结构健康监测系统将重点监测中塔,兼顾主梁和主缆,通过各类技术手段对整体线形、应力应变、振动、

[收稿日期] 2012-03-15

[作者简介] 唐 轲(1979—),男,江苏扬州市人,工程师,研究方向为大跨径桥梁工程;E-mail:chinabluctea79@hotmail.com

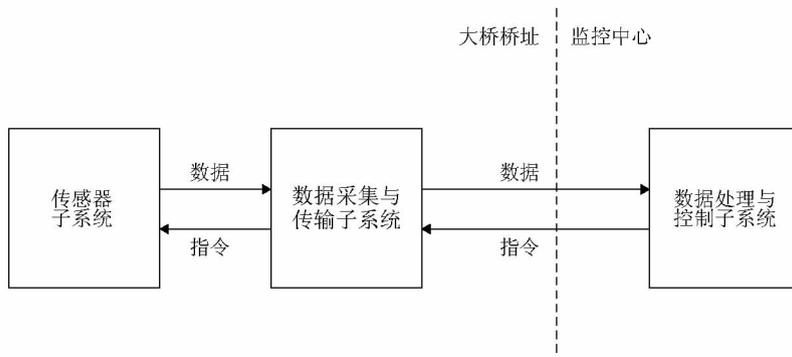


图1 泰州大桥结构健康监测系统框架示意图

Fig. 1 The schematic diagram of structure health monitoring system for Taizhou Bridge

风荷载等进行重点监测。

由于泰州大桥结构健康监测的主要内容涉及整体线形、应力应变、振动、风荷载等多个方面,对应的传感器主要为风速仪、应变传感器、温度传感器、湿

度传感器、加速度传感器和 GPS 系统等。在设计中遵循从状态评估的需要出发,以有效和经济为目标,使传感器与测点能够发挥最大效应的原则,整体设计了传感器与测点的布局(见表1)。

表1 传感器类型及数量表
Table 1 Types and quantity of sensors

名称	风速风向仪	空气温湿度计	全球定位系统		加速度传感器		光纤光栅传感器	
			参考站	接收站	双向	三向	应变	温度
数量/个	1	1	1	11	39	12	168	42
合计/个					275			

5 独特的数据采集与传输子系统

泰州大桥数据采集与传输子系统采用了基于板卡的集中采集与分布式采集相结合的设计,在国内首次采用了有线采集传输与无线采集传输两者相结合的模式。

5.1 有线采集传输系统

有线采集系统由工业控制计算机、A/D 转换采集板卡、各类信号调理设备、I/O 接口等设备构成。其主要做法是根据传感器分布位置,综合考虑传输信号衰减、信号放大等因素,在桥梁合适部位设立工作站。工作站选用性能可靠的工业计算机做为采集终端,在采集终端插入带有 ISA、PXI、PCI 等接口的数据采集板卡,将各类传感器的信号通过专用的导线引入数据采集板卡,利用相关软件进行数据采集处理。

5.2 无线采集传输系统

无线采集传输系统相对有线采集传输系统具有以下特点:安装方便、移动性强、能耗低、价格低廉;采用分布式网络、网络节点对等方式工作;拓扑变化

灵活,冗余及容错性强等。其工作原理是将无线传感器节点安装在大桥拉索、主缆、钢箱梁等重要部位,通过传感器节点获取相关加速度数据,分析出拉索、钢箱梁等各个部位的振动频率。由于桥梁各个部位的振动都有相对固有的频率,若桥梁某个部位发生结构损伤,其振动频率也会发生相应变化,因此通过振动频率便可以分析出桥梁的健康状态^[1]。

图2为无线采集传输系统的架构。无线传感器节点采集桥梁的振动加速度,将采集到的数据通过 CC2420 IEEE802.15.4 无线收发器发送至基站节点。采集节点和基站节点之间采用 zigbee 通信组成无线传感器网络,使用 2.4 GHz 频带提供的 16 个通道进行通信^[2]。基站和数据中心采用 TCP/IP 构成 TCP 网络,进行数据传递。

无线传感器节点在不提高节点功耗的前提下,可实现强大的处理、存储功能,而且通信距离得到极大的提升,其由节点传感器模块、节点数据处理模块和射频功率放大器组成,如图3所示^[3]。

泰州大桥结构健康监测系统对无线采集传输和传统的有线采集传输方式进行了有效的整合。考虑

到在钢结构箱体内,无线信号会多次反射,对采集数据的精确度造成极大干扰,箱梁、塔内等钢结构的内部固定测点均使用有线采集方式进行数据采集。对于主缆、吊索等 40 个需要长距离传输的测点,使用

无线采集方式传送数据,有效弥补了有线采集系统灵活性差、传输距离短的不足。无线数据通过基站接入全桥的光纤通信网络,汇聚到监控中心服务器,纳入统一的软件管理平台。

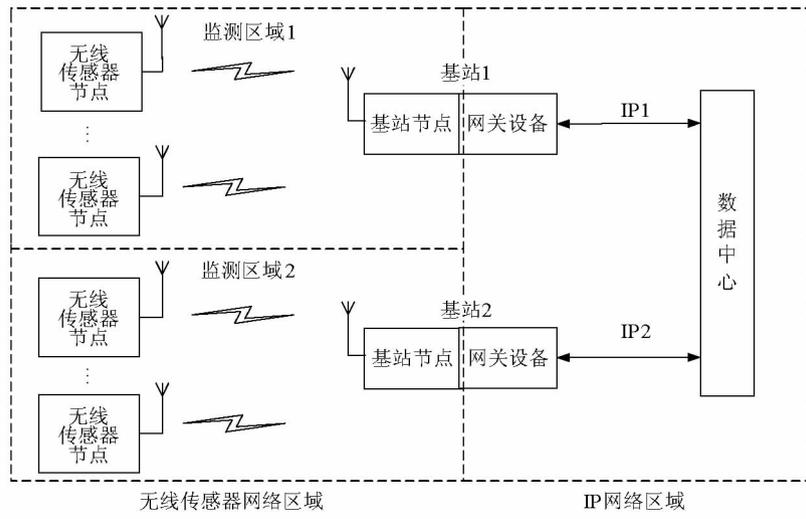


图 2 无线采集传输系统架构

Fig. 2 Framework of wireless data acquisition and transmission system

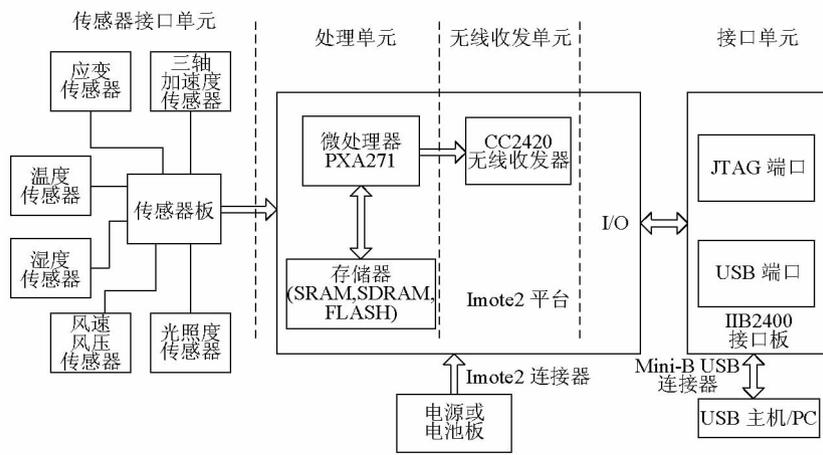


图 3 无线传感器节点结构图

Fig. 3 Structural diagram of wireless sensor nodes

6 系统数据的处理与分析

系统数据的处理与分析由数据处理与控制子系统完成,是泰州大桥结构健康监测系统的核心,其目标是实现结构损伤诊断和预测、结构耐久性评估、结构安全性评估等。

传输过来的数据进行处理分析,并将处理结果显示、存储,同时对采集传输子系统进行控制。该系统包括对数据进行预处理、二次处理、数据存储、数据显示等数据管理控制工作。

数据的预处理主要进行统计运算,计算设定时段内的最大最小值、均值、方差、标准差、变化幅值等,计算结果可对传输的信号数据是否正常进行判

数据处理与控制子系统主要功能是对采集系统

别,并作为初级预警的判断依据。数据的二次处理内容包括数据的幅域分析显示、频域分析显示、时域分析显示、频度计数分析显示、Fourier 分析等,以便判别结构监测数据的发展趋势及变化特征值,作为评估结构性能的依据。

泰州大桥结构健康监测软件主界面如图 4 所示。泰州大桥结构健康监测数据处理系统存储了所有传感器子系统的信息,还具备设备诊断、阈值预警、统计报表输出以及完善的系统日志等功能,极大地方便了后期的系统维护及管养工作。

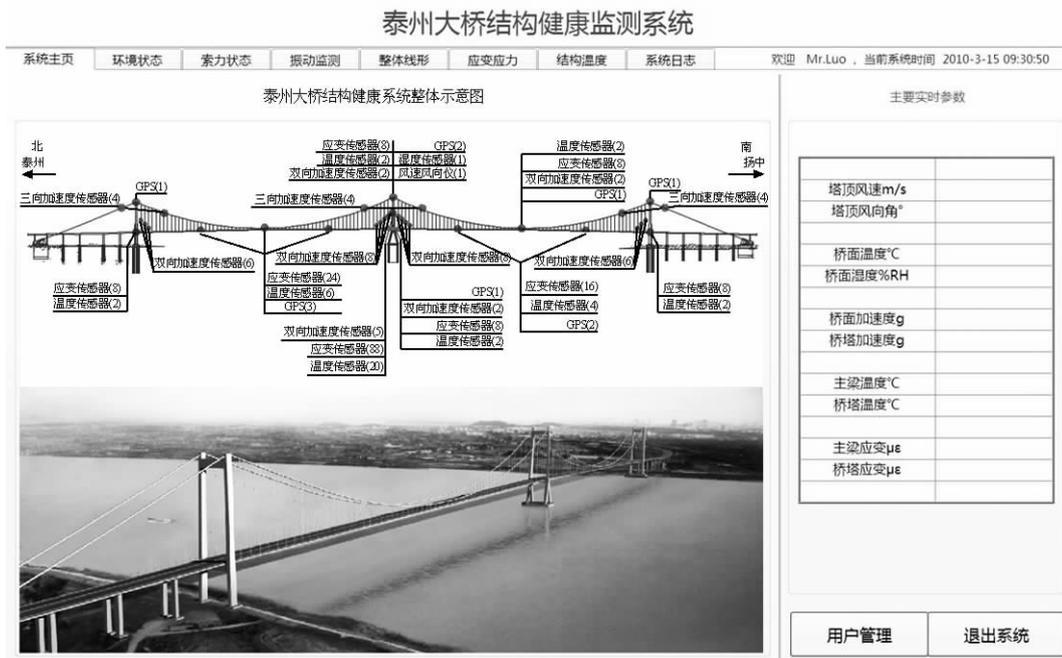


图 4 泰州大桥结构健康监测软件主界面

Fig. 4 Main interface of structure health monitoring system software of Taizhou Bridge

7 结语

泰州大桥结构健康监测系统利用了现代传感技术、计算机技术及无线传输技术等多项实用技术,可实现泰州大桥全面、长期的在线监测。系统设计结合了工程应用中的监测、管养需求,具有先进、可靠、安全、可维护及可扩展等特点,且经济实用,为泰州大桥进行结构状态识别及安全性评估等工作奠定了基础。

参考文献

- [1] 丁华平,冯兆祥,沈庆宏,等. 基于新型树状结构的无线传感器网络桥梁结构健康监测研究[J]. 南京大学学报:自然科学,2009,45(4):488-493.
- [2] 申云海,马千里,卞春华,等. 基于有线无线异构网络融合的桥梁健康监测[J]. 现代计算机,2011(23):65-69.
- [3] 陆慧,沈庆宏,陈策,等. 基于Imote2的WSN桥梁结构健康监测无线传输研究[J]. 现代电子技术,2010(21):30-34.

Design of structure health monitoring system of Taizhou Bridge

Tang Ke¹, Dai Pengfei²

(1. Jiangsu Provincial Yangtze River Highway Bridge Construction Commanding Department, Taizhou, Jiangsu 225321, China; 2. Jiangsu Provincial Communications Planning and Design Institute Co. Ltd., Nanjing 210005, China)

[**Abstract**] A systematic description of the design of health monitoring system for the structure of extra-large suspension bridge is presented based on Taizhou Bridge. The system consists of 3 sub-systems of sensors, data acquisition and transmission, and data processing and analysis. It merges the traditional wire acquisition method and the new wireless acquisition method, which is the first large-scale application in China as well as in the world.

[**Key words**] health monitoring system; wireless sensor; large-scale bridge structure

(上接9页)

Design of stiffening girder for Taizhou Bridge

Shan Hongwei, Ding Lei, Zhou Qing

(Jiangsu Provincial Communication Planning and Design Institute Co. Ltd., Nanjing 210005, China)

[**Abstract**] Taizhou Bridge is the first three-tower two-span suspension bridge with the main span over 1 000 m in the world. The structural system of the stiffening girder is complicated and unique. Improvement and innovation have been made in detailed structure design of the stiffening girder based on Runyang Bridge according to the structural character of three-pylon two-span suspension bridge. In this paper, the structural system, structure design, structure calculation, manufacturing and erection of the stiffening girder are introduced.

[**Key words**] suspension bridge; stiffening girder; structural system; structure design