

Development and Application of the Structural Safety Monitoring and Early Warning System of Guyang Road Cross-railway Bridge Based on the Wireless Sensing Network

Jun Zhou¹ Zhen Gao² Guanxiong Xiong³ Haixiang Shen⁴ Wenlin Liu⁵

1. Zhenjiang City Main Road Engineering Construction Office, Zhenjiang, Jiangsu, 212000, China
2. Zhenjiang Municipal Facilities Management Office, Zhenjiang, Jiangsu, 212000, China
3. China Railway Shanghai Bureau Group Co., Ltd. Shanghai Industrial Section, Shanghai, 200040, China
4. Nantong Chongchuan District Urban Engineering Construction Center, Nantong, Jiangsu, 226000, China
5. Wuxi Institute of Applied Technology of Tsinghua University, Wuxi, Jiangsu, 214000, China

Abstract

The construction of Guyang Road cross-railway bridge structure monitoring system adopts the most advanced wireless sensing technology and non-contact measurement technology, to realize intelligent real-time monitoring of bridge flexibility, strain, vibration and other key indicators without affecting railway transportation. This provides a preferred solution for the structural monitoring of bridges across railways and other bridges, and makes new explorations and attempts for the structural monitoring of bridges across railways and the whole life cycle management mode.

Keywords

cross-railway bridge; bridge monitoring; whole life cycle management

基于无线传感网的谷阳路跨铁路桥结构安全监测预警系统研发与应用

周俊¹ 高振² 熊冠雄³ 申海祥⁴ 柳文林⁵

1. 镇江市城市干道工程建设办公室, 中国·江苏·镇江 212000
2. 镇江市市政设施管理处, 中国·江苏·镇江 212000
3. 中国铁路上海局集团有限公司上海工务段, 中国·上海 200040
4. 南通市崇川区城市工程建设中心, 中国·江苏·南通 226000
5. 清华大学无锡应用技术研究院, 中国·江苏·无锡 214000

摘 要

谷阳路跨铁路桥梁结构监测系统的建设, 采用最先进的无线传感技术、非接触测量技术, 在不影响铁路运输的前提下, 实现桥梁挠度、应变、振动等关键指标智能化实时监测。这为跨铁路等桥梁的结构监测提供了一种优选方案, 为跨铁路桥梁的结构监测以及全生命周期管理模式作出新的探索 and 尝试。

关键词

跨铁路桥梁; 桥梁监测; 全生命周期管理

1 引言

传统桥梁的安全控制无论是建设期、还是运营期, 均以人工手段为主。然而, 跨铁路桥梁的关键构件位于铁路上方, 传统的人工安全控制难度大, 关键仪器无法进场。如何

解决跨铁路桥梁的全生命周期安全控制问题, 是全体桥梁建设部门、桥梁养护管理单位共同面对的难题。

2 桥梁结构安全监测预警系统研发的意义

自 2000 年至 2020 年, 期间内有约 325 座桥梁垮塌, 平均每年超过 15 座“夺命桥”, 且每年都有桥梁垮塌事故发生, 自 2005 年来桥梁坍塌事故明显增多, 并主要集中在运营期。而跨铁路桥梁位于铁路上方, 对铁路运输的影响不

【作者简介】周俊(1976-), 男, 中国江苏镇江人, 本科, 高级工程师, 从事市政工程建设管理研究。

言而喻。

3 传统跨铁路桥梁养护存在的问题和结构安全监测系统现状

3.1 存在的问题

跨铁路桥梁的关键构件位于铁路上方，传统的跨铁路桥梁的日常养护以人工手段为主（人工检测/检查），这类方法存在着明显的不足。具体内容如下：

- ①主观性强，有些结果需要凭借经验估计得到。
- ②由于人工检测频率的限制，检测结果往往比损伤出现滞后，不能及时对损伤预警。
- ③由于缺乏连续数据，无法对损伤的发展情况进行了解。

此外，跨铁路桥梁人工检测手段难度大、危险性高，关键部位无法检查，不能满足日常养护的需求。每年的桥梁结构定期检测也多以望远镜目测为主，关键仪器难以进场，桥梁的技术状况长期处于模糊状态^[1]。

3.2 监测系统现状

传统的桥梁监测方法是在桥梁的梁底安装传感器，从而感知桥梁的挠度、应变等技术参数，从而分析判断桥梁的健康状况^[2]。这种方案存在以下局限性：

- ①安装时需要桥梁检测车或登高车配合安装，需要中断铁路交通，施工组织耗费人力物力、十分复杂。
- ②维护难度大，成本高。
- ③随着时间的推移，安装在梁底的传感器和线缆有坠落风险，容易引发重大安全事故。

4 谷阳路跨铁路桥结构安全监测预警系统研发

4.1 整体解决方案

根据谷阳路跨铁路桥结构安全实时监控预警系统的技术要求，综合考虑该桥结构型式、监控指标和内容以及传感器本身的特点等，选取跨铁路桥为主要监控目标，进行长期结构安全监控。在进行仪器设备布设时所遵循的主要原则如下：

- ①结构变形的主控制点。
- ②应力集中而且能够明确测量的部位。
- ③可对结构总体温度进行监控的控制点。
- ④结构自振频率测试的控制点。

⑤设计要考虑传感器的使用不影响铁路运输安全。

4.2 技术亮点

本项目依托谷阳路跨铁路桥，于桥梁施工阶段在跨铁路段桥墩上安装光电挠度传感器，通过非接触光电测量的方法实时感知梁底的挠度，既不影响铁路运输安全，又可以快速判断桥梁的健康状况。其算法模型如图 1 所示。

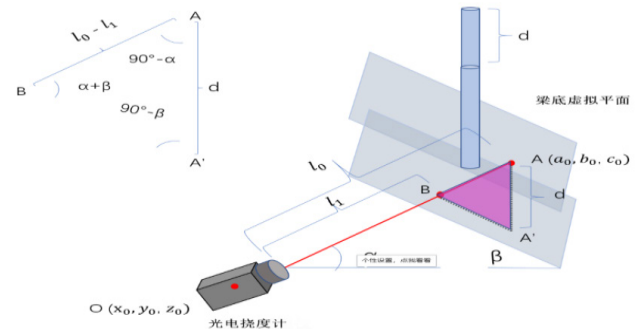
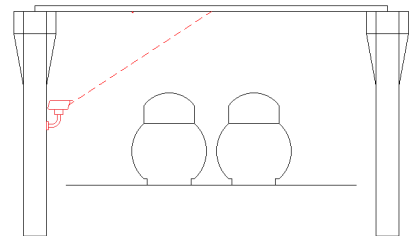


图 1 光电挠度计与主梁挠度测量算法模型

模型公式：

$$d = \frac{(l_0 - l) \sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}$$

传感器安装示意图如图 2 所示。



表示光电挠度计

图 2 非接触光电测量示意图

将传感器安装在桥墩立柱上，实现跨铁路桥梁挠度的非接触实时监测。这种方法既能节约安装和维护成本，同时能够防止传感器坠落影响铁路运输安全^[3]。

4.3 原始数据特征分析

截取运营期跨中挠度连续监测数据如图 3 所示。

由上图可知，该桥动态响应正常，基本可以判断测量跨横向分布和受力状况处于健康状态。

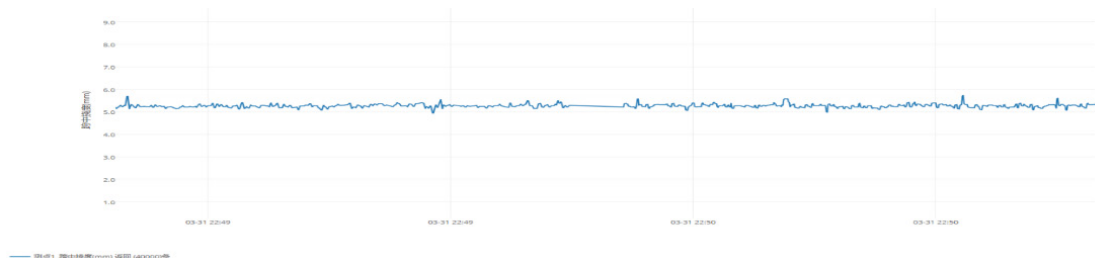


图 3 挠度测量结果

5 应用与展望

通过施工期安装无线传感器等设备实现桥梁挠度、倾斜、振动等变形指标智能化监测。该系统的建设既创新完成施工期安全监控的任务，又解决跨铁路段桥梁运营期无法定期检测或人工检查不到位的难题，实时监控桥梁的运行状况，对超限值情况进行分级报警并提供相应的措施依据，确保桥梁安全受控运行。

6 结语

谷阳路跨铁路桥梁结构健康监测系统的建设，采用最

先进的无线传感技术、非接触测量技术，在不影响铁路运输的前提下，为跨铁路等桥梁的结构健康监测提供了一种优选方案，为跨铁路桥梁的结构健康监测以及全生命周期管理模式作出新的探索和尝试。

参考文献

- [1] 赵瀚玮,丁幼亮,李爱群,等.大跨多线高速铁路钢桁拱桥车——桥振动安全预警研究[J].中国铁道科学,2018(2):28-36.
- [2] 郭建光,殷鹏程.昌赣客专赣州赣江特大桥健康监测系统设计[J].世界桥梁,2020,48(S1):7.
- [3] 闫宏伟,黄乃斌,赵泽宇,等.高速铁路地震预警监测系统工程设计方案研究[J].铁道标准设计,2020(8):108-112.