

CFRP板加固病害桥梁的术后监测系统

罗德康, 陈柏宏, 鲁鹏

重庆科技学院建筑工程学院, 重庆

收稿日期: 2022年10月15日; 录用日期: 2022年11月6日; 发布日期: 2022年11月21日

摘要

CFRP具有轻质高强、耐腐蚀、抗疲劳性能好的特点,是一种加固病害桥梁优异材料,随着我国交通运输力的快速增长,不同等级公路上的行车密度也日益增加,这使得很多的既有公路桥梁已经无法满足交通运输的需求。对既有桥梁结构进行安全状态评估和实时健康监测迫在眉睫。CFRP板加固病害桥梁的术后监测系统是将目前比较流行的预应力碳纤维板体外预应力加固法和桥梁健康监测系统结合起来,一次性解决病害桥梁的加固与监测问题。为桥梁戴上“智能健康手环”,从而实现对桥梁的实时监测。

关键词

智能化, 桥梁检测, 监测

Postoperative Monitoring System of CFRP Plate Strengthening Diseased Bridges

Dekang Luo, Baihong Chen, Peng Lu

College of Architectural Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Received: Oct. 15th, 2022; accepted: Nov. 6th, 2022; published: Nov. 21st, 2022

Abstract

CFRP is an excellent material for strengthening diseased bridges, which is characterized by light weight, high strength, corrosion resistance and good fatigue resistance. With the rapid growth of transportation capacity in China, the traffic density on highways of different grades is also increasing, which makes many existing highway bridges unable to meet the needs of transportation. It is urgent to evaluate the safety status and monitor the real-time health of existing bridge structures. The postoperative monitoring system for strengthening diseased bridges with CFRP plates combines the currently popular external prestressing method of prestressed carbon fiber sheets with the bridge health monitoring system to solve the problem of strengthening and monitoring diseased bridges at one time. Put on the "smart health bracelet" for the bridge, so as to realize the real-time monitoring of the bridge.

Keywords

Intelligence, Bridge Inspection, Monitoring

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国改革开放四十多年以来,我国的基础设施建设得到大规模发展,尤其是在桥梁工程领域。但是桥梁作为一种在野外环境服役的人工结构物,其服役时间长、环境和荷载较为苛刻,同时伴随着行车密度越来越大。目前,我国有很多桥梁都需要不同程度的检测和加固。在我国,现有桥梁面临的桥梁维修、加固形势同样非常严峻,据2018年统计结果显示我国已有公路桥梁85.15万座。在已有桥梁中,由于各种原因,四类、五类桥占到桥梁总数的约13%,桥梁加固的任务十分繁重,每年国家都投入大量资金进行危旧桥梁的加固改造。在十四五规划期间,我国提出“交通强国”“新基建”的战略口号目标,聚焦智慧桥梁与全寿命周期建养一体化,突破桥梁行业传统建养技术、全面提升桥梁安全水平,积极推动桥梁智能化和智慧桥梁可持续发展目标[1]。我们提出能不能将桥梁监测和人工智能有机地结合在一起从而实现智慧桥梁的理念,从而对桥梁进行实时监测。

2. 桥梁结构健康监测研究现状

上世纪八十年代欧美等国家和地区针对 Sunshine Skyway 斜拉桥、Benicia-Martinez 钢桁架桥等大跨度桥梁安装健康监测系统,对温度、应力、应变、位移、模态分析和材料的腐蚀等进行监测[2]。美国的 Commodore Barry 桥安装了集低速应变计、高速应变计摄像机与一体的集成监测系统,加拿大联邦大桥 (Confederation Bridge) 重点针对环境侵蚀作用安装了健康监测系统,墨西哥为确定在 Tampico 斜拉桥当前动力特性以及使用寿命期间结构特性的变化安装了健康监测系统,挪威在主跨 530 m 的 Skarnsunder 斜拉桥安装了监测系统。由于历史和现实的种种原因,我国的桥梁健康监测的发展相比与西方国家就显得非常的缓慢。下面列举了国内外具代表性的桥梁健康监测系统,见表1。

Table 1. Representative bridge health monitoring systems at home and abroad

表 1. 国内外具有代表性桥梁健康监测系统

国家	修建年份	名称	结构形式	温度	挠度	应变	振动频率
美国	1998	Commodore Barry 桥	钢桁架桥		√	√	
日本	1998	明石海峡桥	悬索桥		√	√	√
爱尔兰	2001	Foyle	钢箱梁桥	√	√	√	
西班牙	2003	Titulcia 钢桥	钢桁架桥			√	√
中国	1997	徐浦大桥	三塔斜拉桥			√	√
中国	2006	黄河大桥	斜拉桥	√		√	√
中国	2008	黄埔大桥	悬索桥			√	√
中国	2007	矮寨特大桥	悬索桥	√	√	√	√

3. 桥梁智能化健康监测系统的基本组成

桥梁的健康监测系统的关键在于能够实时监测数据还能及时的对这些数据进行很好的处理,这样才能准确定位结构损伤的具体位置和估计结构的承载能力。如果要实现这些功能,通常需要3个部分组成[3]:

1) 传感子系统(基础部分):如图1所示,该子系统是桥梁健康监测系统最基础的分,主要包括我们所需要的各种传感器。如何挑选适合项目的传感器、比选其稳定性和传感器的供电问题,和它的使用寿命,以及如何布置我们的传感器使其效果达到最大化。

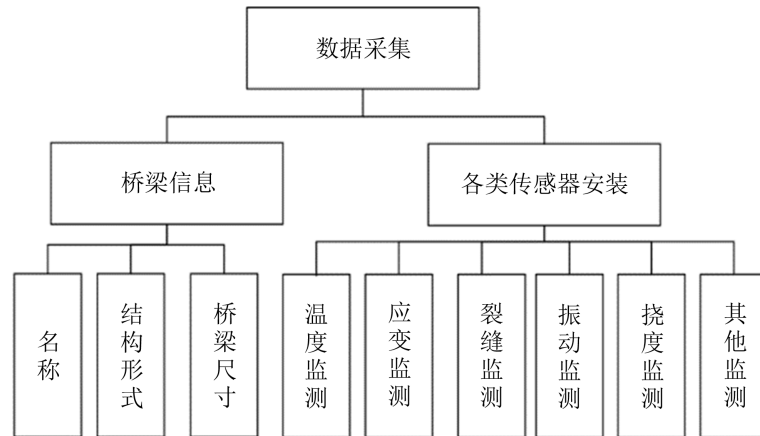


Figure 1. Schematic diagram of each component of the sensing subsystem

图 1. 传感子系统各组成部分示意图

2) 数据传输子系统(连接与存储):该子系统主要功能为传感器信号的转换和信号的远程传输,目前的监测系统基本都采用无线传输的方式。该子系统将传感子系统采集的信号经过转换后远距离传输至平台,平台对数据进行储存和展示,平台也可发出指令信号,无线传输至该子系统,实现对传感器和传输系统相关参数的远程控制。

3) 实时处理、损伤识别及状态评估子系统:该子系统主要功能为实测数据的处理、分析和统计,对桥梁健康状况进行评价进而预测桥梁寿命,为桥梁维护提供依据。

4. 智能碳纤维板监测系统组成

智能碳纤维板桥梁健康监测系统主要有4个部分组成,分别为:信号采集模块(智能碳纤维板),信号转换及传输模块,远程控制及储存模块,供电系统[4]。3大模块的相互关系见下图2。

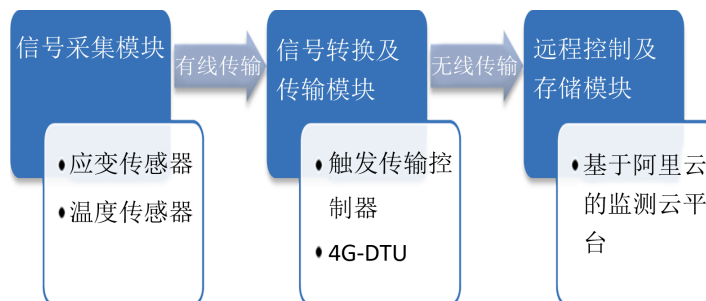


Figure 2. Relationship diagram of each module of the monitoring system

图 2. 监测系统各模块关系图

4.1. 信号采集模块

温度的变化会对桥梁结构产生变形或者约束,在桥梁的设计阶段一般都会考虑温度作用引起的结构效应[5]。由于碳纤维板对温度不敏感,基本不会随着温度的变化产生变形,因此当温度变化时,会对固接在桥梁结构上的碳纤维板产生附加应力。而传感器的主要材料为金属,是热胀冷缩材料,也会随着温度的变化而产生变形,当传感器在温度作用下自由变形时温度产生的应变已被补偿,但传感器也同样固接在对温度不敏感的碳纤维板上,因此在温度变化时会对传感器产生附加应力。因此在桥梁监测系统中设置温度传感器,采集桥梁结构的实时温度是必要的。

将应变传感器与碳纤维板采用机械方式(卡箍)固定在一起组成智能碳纤维板,其功能主要有加固桥梁和采集应变两点。在野外服役的桥梁长期暴露在潮湿环境中,因此对材料耐腐蚀性有着较高的要求。而碳纤维板材相对于传统建筑材料有着轻质、高强、耐腐蚀的优点。预应力碳纤维板加固法是一种以体外预应力的形式作用于桥梁结构的主动加固方法,可有效减小混凝土梁体拉应力,抑制裂缝发展,进而提高桥梁承载能力,减小结构变形[5]。智能碳纤维板在对桥梁进行加固后是固接在梁体表面的,在荷载的作用下与结构共同变形,智能碳纤维板中的电阻式传感器可实时采集应变,进而反应桥梁结构的健康状况。

4.2. 信号转换及传输模块

桥上通行的重载、超载车辆是桥梁出现病害主要原因之一。在对桥梁进行智能碳纤维板加固后,桥梁的承载能力会有所提高,但在重载、超载车辆的长期作用下,加固后桥梁会有病害“复发”的可能性。这就需要对加固后的桥梁进行长期的健康监测。由于野外供电较为困难,为减少监测系统的电量消耗和减少监测系统数据量,目前传统的监测系统都是采用定时采集或传输的方式获得数据,这就无法反应重载、超载车辆通过桥梁时的结构响应。为更好地监测桥梁的健康状况和重载车辆通过时的结构响应,本桥梁术后监测系统采用定时传输和触发传输两种方式进行数据的传输。定时传输是指在没有接受到触发机制的情况下则5分钟定时传输一组数据。触发传输是由漫反射光电开关控制,它是一种集发射器和接收器于一体的传感器,当有被检测物体经过时,将光电开关发射器发射的光线反射到接收器,于是光电开关就产生了开关信号。也就是说当光电开关受到遮挡时开关闭合,在不受遮挡时开关断开。

4.3. 远程控制及储存模块

本系统中该模块是基于阿里云平台创建的,由于本研究目前还处于初级阶段所以该模块目前还不够完善。目前所具备的功能可以分为数据展示、远程控制、数据储存三个方面,见图3。主要有设备名称、实时应变数据、实时温度数据、设备监控按钮、参数设置按钮、设备曲线按钮、数据表按钮。



Figure 3. Home page of monitoring cloud platform
图3. 监测云平台首页

5. 基于智能碳纤维板监测系统的桥梁健康状况评价方法

本节将结合 K271+660 车行天桥安装的智能碳纤维板监测系统的实测数据, 提出适合本监测系统的结构响应状况评价法与数据对比评价法, 采用这两种方法来实现桥梁的健康状况评价。

5.1. 结构响应状况评价法

大型车辆在桥上通行时, 本监测系统的触发传输功能可以将此车辆在通行过程中所采集到的最大应变传输到监测云平台, 此应变可反应桥梁对移动荷载的结构响应状况, 通过分析在荷载作用下结构响应可以对桥梁结构的健康状况进行评价。

1) 实测数据统计

K271+660 车行天桥总共设置了 4 个应变测点, 其中测点 1、测点 3 为跨中截面测点, 测点 2、测点 4 为 1/4 跨截面测点。监测系统的安装时间为 2022 年 1 月 24 日, 由于时间关系在此截取 2022 年 2 月份的实测数据, 对其进行汇总整理, 统计每天大型车辆通过该桥时所产生的应变增量, 根据实测应变增量值的大小和测点位置的不同对应变增量进行分级统计, 将应变实测值根据大小分为 4 级, 跨中测点实测值各级所代表的应变数据范围依次为 0~59, 60~99, 100~120, 120 以上; 1/4 跨测点实测值各级所代表的应变数据范围依次为 0~39, 40~69, 70~90, 90 以上。

2) 桥梁健康状况评价

当移动荷载下实测应变增量大于报警阈值时, 表明桥上有超载车通过或桥梁承载能力下降。若大于报警阈值的情况只是偶尔发生, 则可以判定出现该情况的原因因为超载车通行, 对于此情况可以与当地交通监管部门沟通, 避免超载车长期通行对桥梁产生损伤; 若短时间内连续多次出现实测应变增量大于报警阈值, 则说明该桥可能已被损伤, 导致承载能力明显下降, 应当立即核实现场实际情况, 确定是否是连续多辆超载车通行导致, 并立即通知有关部门对此超载车辆进行管控, 并对该桥进行检测, 通过其他手段评定其承载能力是否满足要求。

5.2. 数据对比评价法

对实测的应变数据进行整理汇总, 建立数据库, 通过对比不同时间段同一环境下实测的应变数据来评价桥梁的健康状况。

1) 基于应变增量数据库的评价方法

将本月(年)中各个测点移动荷载作用下的各等级的应变增量次数, 尤其是 4 级(超过报警阈值)、3 级应变增量次数与上几个月(年)进行对比, 同时对比总的触发采集次数, 若相对与上几个月(年)统计的各等级应变次数相差不大、总采集次数(大型车辆通行量)相差不大, 则表明该桥健康状况良好。

2) 基于时间、应变数据库的评价方法

通过对比不同时间段相同温度状况下的应变数据, 对桥梁的健康状况进行评价。但由于桥梁结构体积相对较大, 温度的传导需要一定的时间, 且温度对桥梁结构影响情况较为复杂, 因此评价方法首先需要收集较多的基础数据, 最好是将第一年所采集的数据作为基础数据, 以后采集的数据与基础数据中温度状况相同或接近情况下的应变值进行对比, 若与基础数据相差较大, 则表明该桥的状况较差; 反之, 则表明桥梁健康状况较好。

6. 结论与展望

1) 十四五规划期间, 我国提出面向“交通强国”“新基建”等国家重大战略与需求, 聚焦智慧桥梁与全寿命周期建养一体化, 突破桥梁行业传统建养技术、全面提升桥梁安全水平, 积极推动桥梁智能化

和智慧桥梁可持续发展的目标是未来桥梁工程领域发展的趋势。

2) 桥梁健康状况评价具有重要意义,不仅可以对桥梁状况进行评估预测,提前采取相应的处治防范措施,可有效减少安全事故的发生。

3) 健康状况实时评价可在第一时间发现桥梁的损伤,虽然数据准确性还需要现场检测来验证,但实时评价具有的及时性是非常重要的,可以在桥梁损伤的第一时间发出警告,及时的交通管控还可以减少国家和人民的生命财产。

基金项目

重庆科技学院硕士研究生创新计划项目(项目批准编号:YKJCX2120614)。

参考文献

- [1] 俞姝颖, 吴小兵, 陈贵海, 等. 无线传感器网络在桥梁健康监测中的应用[J]. 软件学报, 2015, 26(6): 1486-1498.
- [2] 袁素梅. 结构健康监测的数据采集与损伤识别研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2008.
- [3] 徐瑞峰. 远程桥梁健康监测系统中的应变检测研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安工业大学, 2013.
- [4] 李兆霞, 李爱群, 陈鸿天, 等. 大跨桥梁结构以健康监测和状态评估为目标的有限元模拟[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2003, 33(5): 562-572.
- [5] 陈宇哲. 中小跨径桥梁健康监测系统设计及其应用[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2017.