

浅谈结构健康监测系统在桥梁管养中的应用

杨燕青

(上海市嘉定区交通建设管理中心, 上海市 201899)

摘要: 分析了公路长大桥梁、特殊结构桥梁建设健康监测系统的必要性;阐述了做好桥梁管养工作要桥梁检测与健康监测相结合,优势互补;结合应用案例,介绍了健康监测系统的建设方案,以及其在大型桥梁管养中发挥的重要作用;展望了健康监测技术与BIM相结合的研究新方向。

关键词: 桥梁;结构健康监测;管养;应用

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)01-0145-03

0 引言

2021年3月1日,交通运输部发布了《公路长大桥梁结构健康监测体系建设实施方案》,决定在“十四五”期组织开展跨江跨海峡等长大桥梁结构健康监测体系建设,并列出了必须要做健康监测系统的401座大型桥梁,标志着桥梁结构健康监测系统发展的“黄金时代”即将到来。

桥梁健康监测系统是指:由安装在桥梁上的传感器以及数据采集与传输、数据处理与管理等软硬件构成,对桥梁荷载与环境作用及桥梁结构性能参数进行测量、收集、处理、分析,并对桥梁正常使用水平与安全状态进行评估与预警的系统^[1]。通过对桥梁的响应、环境以及荷载等状况进行全面的监测,动态掌握桥梁结构的运行状况,在异常情况下进行预警,达到防范和化解桥梁运行重大安全风险,进一步提升桥梁结构安全保障能力的目的。

1 建设健康监测系统的必要性

桥梁如人,难免有病有恙,需要维修,维修前需要看病诊断,作为桥梁管理单位,依法依规对桥梁进行定期检查和检测,并进行及时地养护、维修或加固,是确保桥梁运营安全的重要手段。但对于一些特别重要桥梁、长大桥梁以及特殊结构桥梁,仅依靠传统的检测技术和养护手段,是否还能满足桥梁运营安全的需求?

例如,蕴藻浜大桥是我区公路上的一座大型重要桥梁,2010年通车,桥梁总长420 m,其中主桥采

用飞燕式中承式钢管混凝土系杆拱桥(见图1),长220 m,跨径组合32 m+156 m+32 m。该桥地处城乡结合部,桥上交通繁忙,且通行重车较多,如何确保桥梁始终处于安全、可控状态,是摆在桥梁管理单位面前的一个题目。



图1 蕴藻浜大桥立面示意图

1.1 传统桥梁检查手段的局限性

桥梁检查是对桥梁的全面“体检”,为桥梁的运行安全提供了强有力支撑。然而,由于传统的桥梁检查主要依靠人工进行检测,一方面,检查结果的可靠性除了与仪器设备精准度、检测环境等客观因素有关外,在很大程度上还受到检测人员的工作态度、技术能力和检测经验等主观因素影响,而且需要投入大量人力、物力,需要占道影响交通等;另一方面,人工检查是间断的测量,一旦桥梁在两次检查的间隔期间内发生紧急情况,比如超载通行、偶然冲撞、台风等可能会对桥梁产生损伤,人工检查如不能及时发现,这将给桥梁运营安全埋下严重的安全隐患。

1.2 桥梁健康监测系统的优点

桥梁结构健康监测技术不同于传统的桥梁检查,其是运用先进的各类传感器与发达的物联网通讯技术,实现对桥梁全天候、实时、动态监测,并依靠已建立的桥梁模型对采集的数据进行分析和评估,从而实现对桥梁健康状况的动态监测。与桥梁检查技术相比,其具有实时、动态监测以及反应迅速等显著优点。

综上所述,桥梁检查和健康监测均是保证桥梁结构安全运营的重要措施,这两种技术手段应相辅相

收稿日期: 2021-08-12

作者简介: 杨燕青(1972—),女,学士,工程师,从事市政设施管理工作。

成,互为补充,尤其是对长大桥梁和复杂结构桥梁实施健康监测系统,意义重大。因此,对于蕰藻浜大桥,除依规组织进行日常巡查和定期检查外,为实时掌控大桥的运行受力情况,辅助管理单位的科学管养,建设一套符合大桥需求的健康监测系统是必要的,也是十分需要的。

2 健康监测系统的建设方案

2.1 建设目标

桥梁健康监测的基本功能是通过构建实时监测系统,实现对大桥关键荷载源(风、地震、车辆荷载)和结构响应(变形、应力、振动、缆索力)的实时监控,为大桥在极端气候、特殊交通条件下或桥梁运营状况严重异常时触发预警信号,为桥梁维护、维修与管理决策提供依据和指导,降低桥梁运营风险和社会财产损失^[2]。

蕰藻浜大桥健康监测系统的建设目标为:(1)获取桥梁结构主要构件在环境与交通条件下的运行状态,动态评估桥梁结构的安全性和使用性;(2)发生突发事件(如船舶、车辆撞击,超载,极端天气)后,能够立即识别和反应,可及时查明结构状态和评估预警;(3)获取桥梁结构的外部荷载(主要是车辆荷载)和损伤过程,为大桥的科学管养与维修决策提供依据。

2.2 系统的组成

为实现上述建设目标,蕰藻浜大桥的健康监测系统分以下几个子系统:结构位移与受力监测子系统、环境与交通监测子系统、数据传输子系统、健康状况评估与安全预警子系统。

(1)结构位移与受力监测子系统

蕰藻浜大桥为中承式系杆拱桥,通过分析其结构特点,荷载传递的基本路径是:车辆活载作用于桥面板上,桥面荷载将力传递给纵、横梁组成的框架体系,然后通过吊杆系统传递给主拱肋,再由支座向下部结构进一步传递。

因此,结构位移与受力监测子系统的监测对象主要围绕拱肋、吊杆、主梁(纵梁、横梁)、桥面板、墩台等主要受力构件展开。主要监测项目为应变、变形和索力。主要监测设备有光纤光栅应变传感器、静力水准仪、全站仪、索力传感用无方向加速度传感器等。

(2)环境与交通监测子系统

大桥地处长江三角洲,夏季温度高,且空气湿度

大,对钢结构耐久性有影响,需掌握桥梁周边大气环境的温湿度。又由于桥址周边区域空旷、地势平坦,尤其夏秋季受台风影响,桥上风力较大,需对风力进行监测。此外,该桥所处道路交通繁忙,且通行重车较多,需全天候监测过桥车辆的车速、总重以及交通量等信息,并对超载车辆号牌、现场场景照等信息予以记录。

因此,大桥环境与交通监测的主要对象和项目为:大气环境温湿度、风速、过桥车辆荷载、交通量等。监测设备主要有:温湿度传感器、风速仪、不限速汽车称重仪、车牌识别摄像机、全景高清摄像机等。

(3)数据传输子系统

数据传输子系统包括了现场数据传输和远程数据传送。由于本监测系统现场采用了大量的光信号设备及数字信号设备,最终选用光纤通信设备并使用双环冗余网络交换机和多芯铠装光缆(有备用光纤)组成光纤环路,来完成桥梁现场各个现场测站之间的通信及可靠性。对于现场和监控中心之间的数据传输,采用无线传输方式,利用非视距(NLOS)无线网桥来实现数据远程传输。

(4)健康状况评估与安全预警子系统

该子系统主要是对传输到监测中心的数据进行存储、分析、处理以及评估和预警,是整个健康监测系统的核心。根据其功能定位,又将该子系统划分为数据处理分析、状态评估和安全预警三个模块。

数据处理分析模块包括前处理与后处理两部分。前处理主要是对接收的、来自于自动化数据采集系统原始数据的整理、筛选,并将结果进行存储。后处理主要是将已存储的数据重新获取后,进行离线分析,数据处理分析主要是为结构状态评估、安全预警等提供数据支持。

状态评估模块,将数据处理分析结果与结构理论计算值进行横向比较,以及与历次实测数据进行纵向比较,并结合人工巡检情况,按照规范对本桥所监测的应力、变形、索力等进行分析,据此评估桥梁主要受力构件的工作情况和桥梁总体状况。

安全预警模块,主要针对突发情况下的桥梁报警,需要确定预警的参数、阈值、分级、通知方式、应急预案等内容。

3 健康监测系统应用案例

蕰藻浜大桥健康监测系统自2013年建成运行以来,至今已有8年,系统运行状况总体良好,现场

安装的各种类型传感器存活率高,监测数据持续稳定,这对桥梁管理单位实时掌控大桥安全状态,辅助大桥科学管养等方面发挥了积极作用。以该桥2021年1月份监测数据为例,通过统计桥梁交通量和实际通行车辆荷载,并结合各类传感器采集的数据,分析超重荷载对桥梁状态的影响。

3.1 桥面交通情况

经环境与交通监测子系统识别和统计,蕰藻浜大桥2021年1月份通行车辆总数为34.17万辆,最大日通行车辆总数达1.48万辆,期间未出现交通拥堵和车辆集中停留的现象,交通状况正常,1月份每日车辆通行情况见图2。

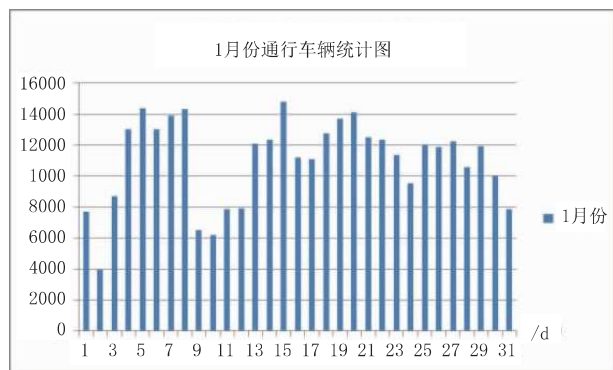


图2 1月份每日通行车辆统计图

3.2 桥梁超载情况

蕰藻浜大桥设计荷载城-A级,桥梁限载40 t。2021年1月份,过桥车辆中,超过桥梁限载吨位的车辆总数为560辆,超载最大车辆总重为74.14 t,其中,1月1日超载车辆最多,高达76辆,最重车辆也出现在该日。1月份桥梁超载车辆数量统计情况见图3,1月份每日最大车重曲线图见图4。

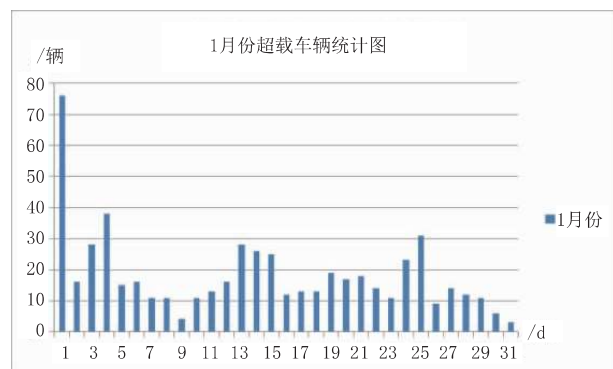


图3 1月份超载车辆统计图

3.3 超载对桥梁结构的影响性分析

选取主拱肋拱顶底面应变、变形以及11#吊杆索力共三个监测点,对1月份监测数据进行统计并绘制曲线图(见图5~图7)。可以发现,各监测项目曲线的变化规律基本相似,且与1月份每日最大车

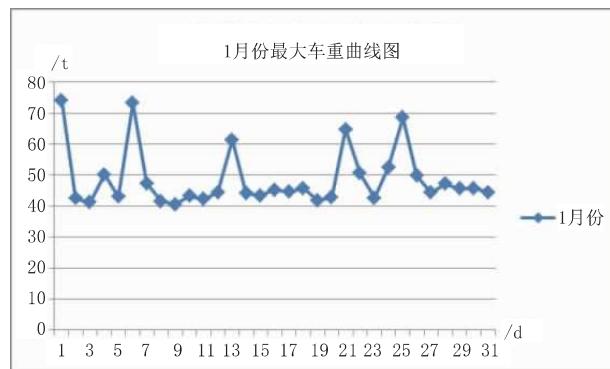


图4 1月份每日最大车重曲线图

重曲线图变化规律也高度相似,各曲线峰值均发生在1月1日,可以判断大桥当月的应变、变形、索力最大监测值的出现均与超载车辆过桥有关。由于监测数据均未达到预警值,且超载车辆通过后各构件监测数据恢复正常,表明当月超载情况对桥梁结构的影响程度有限,大桥处于安全可控状态,但长期超载,仍对桥梁安全运营存在不利影响,超载管理仍是桥梁主管部门今后关注的重点。下一步,将与路政、交警等部门联合,推送监测数据,对车辆超载行为进行惩戒,确保大桥运行安全。

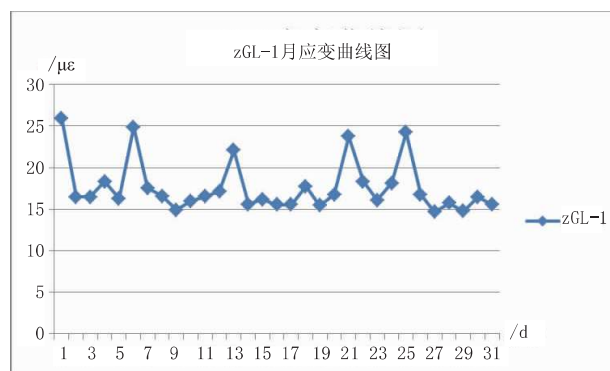


图5 主拱肋拱顶下缘应变曲线图

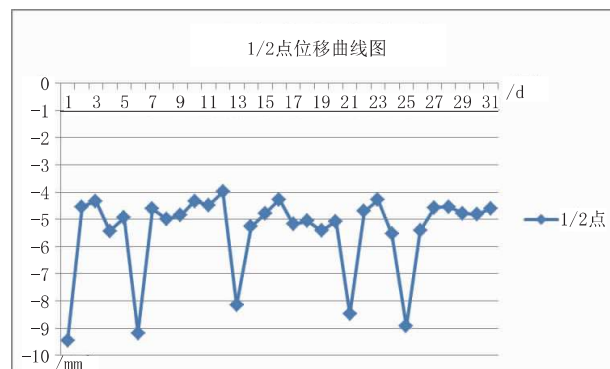


图6 主拱肋拱顶位移曲线图

4 结论与展望

(1)桥梁健康监测系统具有全天候、实时动态、测试精度高等优点,通过对桥梁的响应、环境以及荷载等状况进行全面监测,动态掌握桥梁结构的运行

(下转第170页)

表3 盾构穿越孤石处理区的掘进参数

环号	孤石编号	推力/kN	扭矩/(kN·m)	土压/bar(上/中/下)	推进速度/(mm·min ⁻¹)	刀盘转速/rpm
160~168	2号孤石	16 500~18 500	1.9~2.3	1.45/1.85/2.2	3~8	1.2~1.6
269~319	3号孤石	15 300~17 500	1.9~2.2	1.55/1.80/2.1	5~10	1.3~1.5

最大沉降 31.3 mm 已稳定(点位 L314-3), 中新东站—朱村站区间地表最大沉降 13.2 mm(点位 L162), 未发生重大沉降事件。

6 结 语

孤石爆破处理只能为盾构穿越孤石区提供一定的有利条件, 并不能完全消除“孤石”危害, 结合以上案例的实施情况提出以下注意要点:

- (1)孤石处理前必须摸查清楚区间掘进范围内的孤石位置及大小等, 并按 1:1 比例绘制孤石分布图;
- (2)孤石爆破前必须摸查清楚周边一倍深度范围的建(构)筑物情况, 提前制定应急保护措施;
- (3)爆破后需对爆破区进行抽芯检测, 待碎石粒径大小满足盾构螺旋机出渣限制条件(不大于 30 cm)

后方可允许盾构通过。

(4)孤石爆破后要及时封堵爆破孔, 避免盾构掘进时造成地面冒浆或冒气等不良危害。

本文以实际工程为例, 讲述盾构穿越前的孤石预处理施工技术, 为盾构穿越孤石群打出一条绿色通道, 降低施工风险, 保障盾构掘进、出土、注浆、拼装、纠偏等工序的有效实施。

参考文献:

[1] 黄恒儒.盾构穿越花岗岩球状风化孤石群的施工关键技术[J].隧道建设, 2015, 35(8):834-840.
[2] 黄龙兵.盾构区间孤石爆破工艺研究[J].基层建设, 2018(20).
[3] 赵先鹏, 赵玉报, 陈寿根, 等.盾构穿越孤石技术研究[J].公路隧道, 2011(2):11-14.

(上接第 147 页)

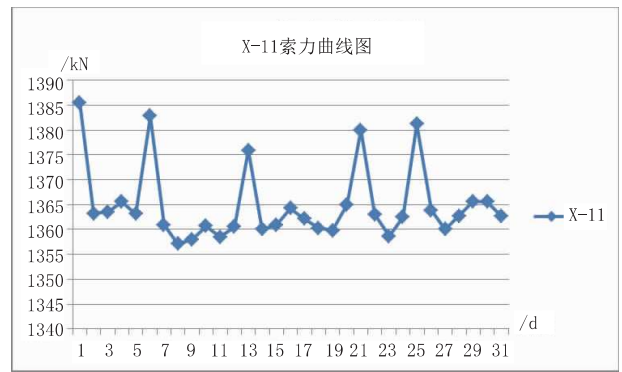


图7 11#吊杆索力曲线图

状况, 在异常情况下进行预警, 达到防范和化解桥梁运行重大安全风险, 进一步提升桥梁结构安全保障能力的目的。

(2)在发挥桥梁健康监测系统优势的同时, 我们也要清醒地看到其还存在不足之处, 如健康监测虽

然实时动态, 但由于监测点不可能对桥梁结构的每个构件进行全覆盖, 故还不能完全依赖健康监测方法, 必须结合日常巡检和定检, 充分发挥桥梁检测和健康监测两种手段的各自优势, 相互补充, 确保长大桥梁的运营安全。

(3)BIM 技术目前在国内应用越来越普遍, 有些重点工程招标时建设方要求必须应用 BIM 技术, 许多大型桥梁在设计阶段也已开始应用 BIM 技术, 如何将其与结构健康监测系统相结合, 更好地为后期桥梁管养服务, 是未来研究的一个方向。

参考文献:

[1] JT/T 1037—2016, 公路桥梁结构安全监测系统技术规程[S].
[2] 梁柱, 冯良平, 李娜.桥梁健康监测系统的功能及在桥梁运营中的应用实例[J].公路, 2014(11):106-109.