

Health monitoring and maintenance of highway and bridge

Wenyan Xi, Liangyou Song, Hanjing Yu

Shandong Jubaiyuan Municipal Engineering Co., Ltd, Dongying 257000, Shandong, China

Abstract: In recent years, due to the rapid growth of traffic volume, the use frequency and load of Bridges have been significantly increased, and the service state of the bridge structure has deteriorated sharply. At present, there is no corresponding standard specification for the health monitoring and maintenance of Bridges in China, so the safety, durability and normal performance of Bridges are still the focus of people's attention. This paper summarizes the research results of health monitoring and maintenance at home and abroad, summarizes and analyzes the highway bridge health monitoring and maintenance, and introduces the bridge health monitoring system in China.

Keywords: Health monitoring; Structural damage; Maintenance

公路桥梁结构健康监测与维护

西文燕, 宋良友, 禹涵婧

山东聚佰源市政工程有限公司, 中国 · 山东东营 257000

摘 要: 公近年来由于交通量的快速增长, 桥梁的使用频率及荷载均显著提高, 桥梁结构的服役状态急剧恶化。目前中国对桥梁的健康监测与维护方面还没有相应的标准规范, 因此桥梁的安全性、耐久性以及正常使用性能仍是人们关注的焦点。本文总结了国内外健康监测与维护方面的研究成果, 对公路桥梁健康监测与维护进行了总结分析, 并介绍了目前国内正在推广应用的桥梁健康监测系统。

关键词: 健康监测; 结构损伤; 维修

1 引言

桥梁是道路的重要组成部分, 是保障人类正常生活的生命线。目前中国有许多大、中型桥梁, 虽然它们历经几十年的建设, 但由于长期使用荷载及自然环境的侵蚀, 其结构功能往往难以满足交通运输发展的要求。特别是随着公路交通量的迅猛增长, 交通事故日益增多, 桥梁安全已成为道路交通安全工作的一项重要内容^[1]。因此, 对桥梁进行安全监测与维护工作越来越受到人们的重视。

传统的桥梁安全性和耐久性评价方法有许多不足之处, 如不能对桥梁进行长期的健康监测和安全评估, 也不能进行及时有效地维修。如何在桥梁安全使用期内对其结构进行健康监测和评估, 以防止或减少桥梁结构破坏, 是目前国际上研究热点之一。随着传感器技术、数据采集技术以及计算机技术和网络通信技术的不断发展, 使得建立在这些先进技术基础上的结构健康监测与维护系统逐渐成为可能。

中国目前对公路桥梁健康监测与维护方面还没有相应的标准规范, 主要是参照《公路桥涵养护规范》

(JTG/TB02-01-2014) 中对桥梁养护维修方法进行管理。虽然部分学者在桥梁结构健康监测与维护方面进行了大量研究工作, 但由于缺乏相关标准规范、技术手段及相应理论支撑, 使得中国在这方面研究仍处于起步阶段。目前国内学者主要集中在以下几个方面:

- (1) 公路桥梁健康监测与维护技术原理与方法;
- (2) 公路桥梁结构健康监测与维护系统的总体设计;
- (3) 公路桥梁结构健康监测与维护系统的设计与分析;
- (4) 公路桥梁结构健康监测与维护系统在桥梁设计、施工、运营及养护管理中的应用。本文从这四个方面对国内外相关研究成果进行了总结分析。

2 公路桥梁结构健康监测与维护

目前世界各国的桥梁建设者都十分重视结构的健康监测与维护工作, 并已形成了一套比较完善的理论体系和工程技术, 在国外桥梁的养护管理中, 普遍采用的是结构健康监测与维护技术。中国对桥梁健康监测与维护技术的研究起步较晚, 但在过去十年里得到了长足的发展^[2]。中国已建成了一些如上海长江大桥、南京长江二桥、上海淞沪铁路大桥等大跨径斜拉

桥及悬索桥、拱桥、梁桥等斜拉桥,还有大量小跨径悬索桥。近年来,中国许多新建桥梁也在进行结构健康监测与维护。2000年7月,武汉长江大桥建成通车;2004年12月,南京长江二桥建成通车;2008年8月,南京长江三桥建成通车;2009年8月,武汉阳逻大桥、南京扬子江大道大桥等相继建成通车。此外还有大量在建和拟建的大跨径斜拉桥及悬索桥、拱桥等结构形式的桥梁。

在桥梁结构健康监测与维护技术方面,国外也有许多研究成果^[3]。20世纪70年代以来,日本的一些大跨度桥梁工程公司(如日本川崎重工公司)已开始应用现代传感技术对桥梁结构进行健康监测与维护。进入80年代后,日本又将这些技术推广到其他国家,如法国、英国等国都先后开展了相关研究。美国是世界上最早开展公路桥梁健康监测与维护工作的国家之一。美国 AASHTO(美国公路安全保险协会)于1992年发布了《美国公路桥梁健康监测指南》,该指南包括了对桥梁健康监测系统的总体要求、技术标准和管理规定等内容。同时美国还颁布了《桥梁安全监测指南》(BSSS),该指南是由美国桥梁维护协会(AASHTO)组织编写的。AASHTO与 AASHA都规定了相应的桥梁结构健康监测系统设计准则和运行维护策略等内容。

20世纪80年代中期以来,中国对公路桥梁健康监测与维护技术进行了大量的研究工作。近几年来,国家对公路桥梁结构健康监测与维护工作非常重视,已先后出台了一系列规范和文件。2006年3月1日起施行的《中华人民共和国公路法》第48条规定:“公路管理机构应当定期对公路桥梁进行检查,对可能影响交通安全的重点部位应当设置明显标志。”这一规定为中国公路桥梁健康监测与维护提供了法律保障。

3 健康监测技术的发展

伴随着计算机技术的飞速发展,健康监测技术也得到了快速的发展,其中最为典型的的就是传感器的智能化与网络化。传感器在桥梁健康监测系统中具有十分重要的作用,传感器采集到的信息是桥梁结构健康监测系统进行分析、计算、判断和预测的依据。通过对桥梁结构健康监测系统进行分析和诊断,可以掌握桥梁结构整体的安全状况,发现损伤与缺陷,从而及时采取有效措施对桥梁进行维护与加固。传感器智能化和网络化是目前发展的方向。随着科学技术和计算机技术的发展,传感器智能化与网络化是实现传感器

智能化、网络化监测与分析诊断系统的重要手段。随着传感器智能化水平不断提高,可采用基于无线数据传输技术、宽带技术、GPS定位技术等多种传输方式实现分布式结构健康监测系统的集成。

在桥梁健康监测系统中,传感器是其中最为重要的组成部分之一,随着传感器智能化和网络化水平的提高,其可靠性和适用性也得到了进一步提高。目前,国内已经研制成功了多种不同类型与规格的传感器产品。例如采用光纤光栅技术制成应变传感光纤光栅(FBG)传感器,其可以在结构损伤后产生应变变化时进行快速、准确地定位;采用智能光纤光栅传感技术制成应变传感光纤光栅(SMPG)传感器,其具有高可靠性、高灵敏度、体积小和重量轻等特点;采用技术制成加速度传感光纤光栅(ASFG)传感器,其具有抗冲击性能好、抗干扰能力强、灵敏度高以及易于安装等特点;采用基于分布式光纤技术制成分布式温度传感网络(DTS)传感器,其具有温度稳定性好、抗环境影响能力强、工作温度范围宽以及便于维护等优点。

健康监测系统主要由数据采集单元、数据传输单元以及数据存储单元等三部分组成^[4]。数据采集单元是桥梁健康监测系统中基础和最关键的部分,它将结构变形、振动等实时信息进行采集和记录,为后续分析工作提供基础数据;数据传输单元将采集到的信息通过现场总线或局域网传送到数据中心服务器。而数据存储单元则是对收集到的数据进行处理和存储。

在桥梁健康监测系统中,主要采用基于无线网络技术、光纤光栅传感技术和分布式温度等多种传感器技术。桥梁健康监测系统中对桥梁结构状态监测和评估主要采用基于无线网络技术。

4 主要挑战与问题

尽管桥梁结构健康监测系统在国内外得到了广泛应用,但是在实际应用过程中也面临着许多问题,如传感器布设问题。传感器是监测系统的重要组成部分,在工程实际中,为了尽可能减少或消除外界环境因素的干扰,一般会布设多个传感器来监测桥梁结构的各个部位,这就会造成传感器之间的相互干扰和信号衰减,使得数据不能完全反映出实际情况。目前对于传感器布设存在着布点优化、监测方案设计等问题,这就要求有专业的人员对桥梁结构进行专门分析,提出科学合理的布置方案。数据采集问题。桥梁健康监测系统对采集的数据进行分析和处理,然后把

数据传输给控制中心或者管理人员。但是由于采集的数据量巨大、结构复杂等因素,很难保证数据采集的及时性和准确性。因此如何解决好数据采集问题是目前需要解决的问题。桥梁损伤识别问题。桥梁结构损伤识别是利用结构健康监测系統采集到的信息,通过分析提取出有效的信号特征,进而对结构进行健康状态评估^[5]。目前在桥梁结构损伤识别方面已经有许多研究成果和实践经验,但是仍然存在许多问题需要进一步研究解决:①如何选择合适的损伤识别方法;②如何提高信号处理技术水平;③如何处理信号特征参数与损伤之间的非线性关系;④如何提高信号分析的自动化程度;⑤如何提高模型精度与评估精度等。此外,基于桥梁结构健康监测系統对桥梁结构进行检测评估也是一个值得研究的问题。

5 技术进展与方法

桥梁健康监测与维护技术的发展与进步,一方面得益于传感器技术、数据采集技术和信号分析处理技术的进步;另一方面得益于桥梁结构自身结构损伤及外部环境等因素的影响。国外对桥梁健康监测与维护技术的研究较早,但由于国内缺乏相应的规范指导,造成其应用范围受到一定限制。国内自上世纪90年代开始,一些高校和科研机构对桥梁结构健康监测与维护技术进行了探索,并取得了一定成果。目前,桥梁健康监测与维护技术已经从理论研究向实际应用推广过渡,并在实际工程中得到了广泛应用。主要采用的传感器包括结构振动传感器、应变传感器等,并根据不同结构特点、不同环境条件和使用要求,采取相应的监测方法。

5.1 传感器

传感器是桥梁健康监测与维护技术的核心,目前广泛采用的传感器包括振动传感器、应变传感器等,其工作原理不同,适用的桥梁结构也不同。其中,振动传感器是通过检测结构的振动信号来实现对桥梁结构状态参数进行监测的;应变传感器是通过测量材料在拉伸或压缩过程中所产生的应变变化来实现对桥梁结构状态参数进行监测的。

桥梁健康监测与维护系統中常用的振动传感器和应变传感器的工作原理。其中振动传感器主要用于桥梁结构的动态参数测量,如频率、振幅等;应变传感

器主要用于桥梁结构受力状态或损伤状态的监测,如应变值、应力值等。在实际工程中,通常采用多种传感器同时进行监测,以提高数据采集和处理速度。

5.2 数据采集

桥梁健康监测与维护的数据采集,主要采用传感器技术、信号处理技术和信息传输技术等,其中传感器技术包括结构振动传感器、加速度传感器等;信号处理技术包括信号采集系统设计、数据分析和数据传输等;信息传输技术包括有线和无线两种。由于结构振动传感器不能直接测量桥梁的整体质量,因此必须将其安装在桥梁结构中。而应变传感器可测量桥梁各点的应变,所以也可以将其安装在桥梁结构上,但必须考虑应变的测量精度、安装及后期维护问题。振动传感器和应变传感器主要用于对结构整体振动频率及振幅进行监测。而在对桥梁整体质量进行监测时,则应采用无线传输技术。

数据采集系统的硬件主要由加速度计、传感器和数据传输线等组成。其中数据采集线主要用于桥梁结构的动态数据采集;加速度计则主要用于结构振动信号的测量。

5.3 信号分析处理

桥梁结构健康监测与维护技术中的信号分析处理方法主要有:

5.3.1 信号分析处理

基于信号处理的统计特征分析,包括FFT变换、小波包变换等,其中小波变换可实现对桥梁结构振动信号的高精度时频分析,得到反映振动信号整体特征的统计特征。

5.3.2 基于模型修正的特征分析

如基于损伤识别的结构模态参数识别法,基于损伤识别的桥梁结构健康监测与维护系統等

5.3.3 基于数据驱动的桥梁健康监测与维护系統

主要包括智能识别系統、多传感器信息融合技术等。在数据采集阶段,采集到的数据可通过软件进行预处理和分析,进一步提高数据采集质量;在数据处理阶段,主要是利用智能识别技术实现结构损伤识别、基于智能分析结果实现桥梁健康状态评估等。

6 未来方向与挑战

健康监测与维护系統的出现,极大地方便了桥梁管理人员对桥梁的健康状况进行实时监测。但由于目前中国尚未颁布健康监测与维护的相关标准规范,因在健康监测与维护系統的研究和应用方面,还存在着许多问题。一是监测系統的构建,目前已有一些研究

机构和公司提出了各自的监测系统和监测方法，但没有形成一个统一的体系；二是系统在运行过程中对结构性能产生影响，造成损伤，也会导致监测结果与实际情况存在差异；三是需要长期运行的传感器需要更换时，其更换成本高昂，而且对结构也有一定程度的损伤；四是长期运营中将会出现各种突发状况，对结构安全造成威胁。因此，从长期运营效果来看，建立一套具有普遍适用性、能反映结构运行状态并能为安全决策提供可靠依据的健康监测系统十分必要。此外，桥梁结构健康监测与维护技术目前还存在很多亟待解决的问题与挑战：如传感器及其埋设、数据传输与处理、数据分析与解释以及智能化程度等。

参考文献

- [1] 秦权. 桥梁结构的健康监测[J]. 中国公路学报, 2000(02):39-44.
- [2] 张启伟. 大型桥梁健康监测概念与监测系统设计[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2001(01):65-69.
- [3] 袁万城, 崔飞, 张启伟. 桥梁健康监测与状态评估的研究现状与发展[J]. 同济大学学报(自然科学版), 1999(02):59-63.
- [4] 桥梁结构健康监测与智能检测专栏导语[J]. 中国公路学报, 2021, 34(12):2.
- [5] 郑蕊, 李兆霞. 基于结构健康监测系统的桥梁疲劳寿命可靠性评估[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2001(06):71-73.