

基于光纤传感器的桥梁裂缝检测研究新进展

阳小燕

广州软件学院电子系, 广东 广州

收稿日期: 2022年9月6日; 录用日期: 2022年10月13日; 发布日期: 2022年10月20日

摘要

传统的桥梁裂缝检测方法耗时耗力, 效率低, 且存在漏检等情况。本文对新型的基于光纤传感器的桥梁检测方法进行了研究, 包括F-P光纤传感器、布拉格(Bragg)光栅传感器、光纤AE传感器等, 最后介绍了光纤光栅解调仪对桥梁裂缝的检测, 该套设备能有效检测出桥梁裂缝所在位置。

关键词

裂缝, 光纤, AE传感器, 检测

New Progress of Bridge Crack Detection Based on Fiber Optic Sensor

Xiaoyan Yang

Department of Electronic, Software Engineering Institute of Guangzhou, Guangzhou Guangdong

Received: Sep. 6th, 2022; accepted: Oct. 13th, 2022; published: Oct. 20th, 2022

Abstract

The traditional bridge crack detection methods are time-consuming and inefficient, and there are some problems such as missing detection. In this paper, new bridge detection methods based on fiber sensors are studied, including F-P fiber sensor, Bragg grating sensor, fiber AE sensor, etc. Finally, the detection of bridge cracks by fiber Bragg grating demodulation instrument is introduced. This set of equipment can effectively detect the location of bridge cracks.

Keywords

Crack, Optical Fiber, AE Sensor, Detection

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

桥梁是交通道路系统中的关键组成部分，在交通事业中占据着重要的地位。从古代的运用木、石材料建设桥梁发展到近代使用钢筋混凝土建设桥梁，桥梁的发展在人类文明的发展中占有重要篇章。改革开放以来，全国各地交通基础设施建设得到迅猛发展，公路桥梁及铁路桥梁数量及里程数突飞猛进。到2021年底，全国公路桥梁96.11万座、7380.21万延米，比上年末分别增加4.84万座、751.66万延米，其中特大桥梁7417座、1347.87万延米，大桥13.45万座、3715.89万延米，如图1为2017年至2021年我国桥梁的发展情况[1]。



Figure 1. Number of road Bridges in China, 2017~2021

图 1. 2017~2021 年我国公路桥梁数量

对于新建的桥梁或已经建成多年的老旧桥梁，其健康状况都与经济、安全等问题息息相关。目前已建成并投入使用的在役桥梁面临着严峻自然环境(温度变化、湿度、酸雨等)、荷载效应(过载、车辆荷载等)、材料老化、疲劳等作用的耦合效用[2] [3] [4]。随着使用时间的增长，桥梁会面临各种各样的问题，结构健康监测和检测方法也成为目前学者们普遍关注的问题。桥梁裂缝、蜂窝麻面等病害的产生原因多种多样，可能由温度变化、荷载作用、施工质量、设计、材料性能变化、钢筋锈蚀、基础沉降等原因引起，这些原因都会使桥梁的安全状况发生改变，进而影响桥梁结构的耐久性与使用年限，而在这些病害中，比较常见的危害性较大的是裂缝的产生。在使用荷载或者外在环境的影响下，桥梁结构产生的裂缝会不断的扩展和延伸，导致混凝土碳化以及保护层脱落、钢筋暴露在外进而发生锈蚀，严重的时候会导导致桥梁倒塌，这些不安全事故的发生将进一步引起社会财产损失以及人员伤亡等事故。国内外已建成桥梁出现的裂缝，对桥梁的正常运行造成了巨大影响，与桥梁最后的倒塌事件密不可分[5] [6] [7]。

传统的桥梁裂缝检测采用以人工检测方式为主的方式，借助游标卡尺、裂缝显微镜、裂缝尺或是给检测人员配备桥检车等辅助设备。一方面，这些检测方法效率低下，耗费人力、时间等成本较大，可能

会有漏检情况发生,且难以保证检测的准确性。另一方面,检测往往与检测人员的经验相关,检测的主观性强,而且某些高空作业容易发生危险。某些检测工作还需限制桥面运载量,给交通运行带来不便。因此,重视桥梁的检测工作,并以此为依据开展相应的养护工程,对于增加桥梁的使用寿命,保证桥梁的正常运营具有重要意义。

目前,基于光纤 AE 传感器的裂缝检测系统是较为流行的检测方法,现已应用于公路、隧道和桥梁等混凝土结构裂缝检测中。声发射方法不仅可以实现对信号源(损伤、裂纹扩展)的实时监测和定位,而且可以通过信号的联合分析判断材料破坏类型和损伤程度。通过声发射源的定位技术确定服役结构的损伤区域,对于结构的预防性维修加固和修复具有重要意义[8]。本文对基于光纤 AE 传感器的桥梁裂缝检测进行了系统综述。

2. 光纤 AE 传感器的工作原理及分类

光纤传感器的原理是将光源的光经入射光纤送入调制器,光在调制器内与外界被测参数相互作用,使光的光学性质(如强度、波长、频率、相位、偏正态等)发生变化而成为被调制的信号光,再经光纤送入光探测器、解调器而获得被测参数。用于土木工程中的光纤传感器类型主要包括强度调制光纤传感器、干涉型光纤传感器、布拉格(Bragg)光栅传感器及分布式光纤传感器[9]。其中强度调制光纤传感器具有解调方法简单、响应快、运行可靠、造价低等特点。缺点是测量精度较低,容易产生漂移,需要采取一些自补偿措施。干涉型光纤传感器具有灵敏度高、质量轻、保密性强等特点。常见的干涉型光纤传感器有迈克尔逊(Michelson)干涉传感器、马赫-泽德(Mach-Zehnder)光纤干涉传感器和法布里-珀罗(Fabry-Perot)干涉传感器。布拉格(Bragg)光栅传感器具有不受电磁干扰,重量轻,体积小,不受腐蚀等特点。分布式光纤传感器具有测量范围广,分辨率高,精度高等特点。

3. 光纤 AE 传感技术对桥梁裂缝的检测

混凝土结构的裂缝可分为由应力引起的结构裂缝和由温度引起的温度裂缝。前者危及结构的安全,后者影响结构的使用。因此,及时发现和处理混凝土结构中的裂缝尤为重要。

3.1. 对桥梁由应力引起的裂缝检测

结构内应力是桥梁健康状态的重要评价指标之一,对桥梁结构内应力的监测是桥梁监测的重要内容。光纤传感器利用光的波长变化与应变力之间的关系,来实现对应力应变的测量[10]。目前用于监测桥梁应力最常见的光纤传感器是 F-P 光纤传感器和布拉格(Bragg)光栅传感器。其中 F-P 光纤传感器主要用于检测桥梁的内应力,布拉格(Bragg)光栅传感器主要用于检测桥梁的分布应力。文献[11]采用埋入式 F-P 光纤应变传感器对辽河大桥进行了监测,通过有限元计算和实测比较,发现张拉应力历程曲线吻合的比较好,结果表明,该光纤传感器能胜任桥梁长期运营检测工作。文献[12]采用布拉格(Bragg)光栅传感器对云南省具有最大的预应力钢筋混凝土拱桥进行了监测,监测结果表明,布拉格(Bragg)光栅传感器的应变率在正常范围内,反映在监测期,桥梁结构稳定无异常变化。

3.2. 对桥梁由温度引起的裂缝检测

如今,在桥梁施工过程中应用大体积混凝土施工技术已越来越普遍。但大体积混凝土在养护过程中会释放出大量的热量,混凝土可能会出现内外温差过大的问题,从而产生裂缝,为预防混凝土在养护过程中裂缝的产生,可以借助埋置于混凝土中的光纤温度传感器对内部温度进行监测,从而控制混凝土在养护过程中的冷却速率。文献[13]采用分布式光纤测温技术对南京长江五桥北索塔 T9 段、南索塔 T9 段及南索塔 T10 段进行了温度智能化监测,结果表明,该技术改变了传统测试仪点式监测的方式,实现了

连续监测整个大体积混凝土的内部温度。文献[14]提出了一种新型的光纤光栅测力环并将其应用于中国武广铁路客运专线梁家湾大桥中，工程应用结果表明：新型光纤光栅测力环具有较高的测试精度，并有效地实现了温度补偿，适用于桥梁拉索索力的长期监测。

3.3. 光纤光栅解调仪桥梁裂缝测试

JEME-iFBG 系列是一款多通道光纤光栅解调仪，它适合于应变、温度、位移等多种类型光纤光栅 (FBG) 传感器。具有 80 nm 带宽(1510 nm~1590 nm)，最高 120 nm (1490 nm~1610 nm) 带宽可选。JEME-iFBG 系列的光纤光栅解调仪结合光纤传感器来进行桥梁裂缝的检测如图 2、图 3 所示。



Figure 2. Fiber grating demodulation instrument
图 2. 光纤光栅解调仪



Figure 3. Fiber optic sensor
图 3. 光纤传感器

光纤光栅解调仪性能指标如表 1 所示。

Table 1. Measurement index of fiber Bragg grating
表 1. 光纤光栅测量指标

光路数量	4、6、8、16 通道可选
波长范围	1510~1590 nm (最高 1490~1610 nm 可选)
精度	1 pm
稳定性	±2 pm
光源	波长扫描型光纤激光器
光纤光栅反射光功率	-5 dBm (Max)
动态范围	50 dB
弱信号增益	20 dB
最高采样频率	100 Hz、200 Hz、500 Hz、1000 Hz 可选

光纤传感器主要分为表贴式和埋入式 2 种，与光纤光栅解调仪结合使用的光纤传感器采用是表贴式。表贴式传感器主要粘接于混凝土表面，整个安装过程包括安装传感器、传感器串接、布线及防锈、防冲击现场保护 4 个步骤。在桥底裂缝处安装了光纤传感器，并用光纤光栅解调仪进行检测，实验现场如图 4 所示。一般光纤光栅的参数设定为：光路量 4，波长范围 1550 nm，最高采样频率 500 Hz。

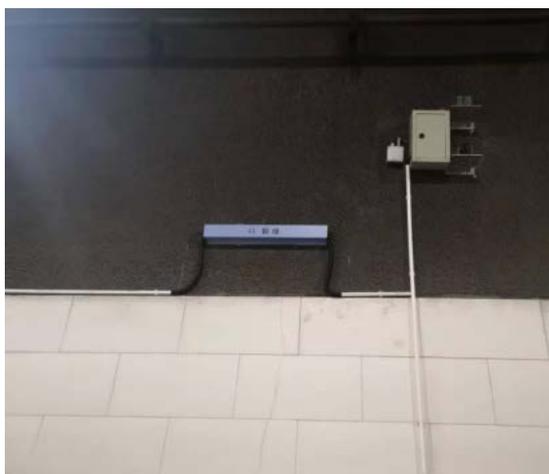


Figure 4. Detection site of bridge bottom
图 4. 桥底检测现场

光纤光栅数据采集情况如图 5 所示，横坐标为波长，纵坐标为幅值。当桥面有裂缝时，采集到的波长幅值会有明显变化，由采集的数据可判定桥梁表面是否产生裂缝。

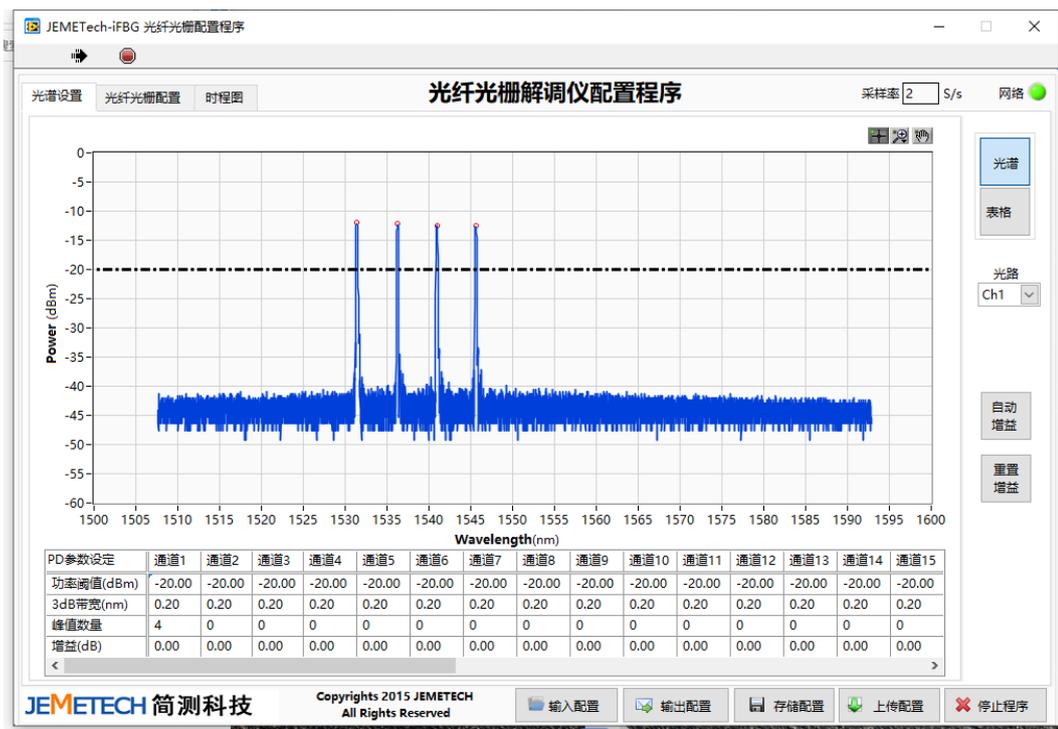


Figure 5. Data acquisition of fiber Bragg grating
图 5. 光纤光栅数据采集

4. 结语

本文对基于光纤 AE 传感器的桥梁裂缝检测进行了综述,介绍了桥梁裂缝的类型、产生原因,阐述了采用光纤 AE 传感器检测桥梁裂缝的原理,总体而言,基于光纤 AE 传感器的桥梁裂缝检测有操作便捷、检测精准、检测效率高以及检测时不会给混凝土结构造成破损等优势。但检测价格偏高,得不到大规模应用。未来还要加强对技术的研发和应用,降低运行成本,提高技术水平,从而推动我国光纤 AE 传感器的进一步发展。

基金项目

广州软件学院校级项目,基于机器视觉与光纤 AE 传感的桥梁无损检测方法研究(ky202102)。

参考文献

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 交通概况[EB/OL]. <http://www.mot.gov.cn/jiaotonggaikuang/>, 2021-05-20.
- [2] 韩晓健, 赵志成. 基于计算机视觉技术的结构表面裂缝检测方法研究[J]. 建筑结构学报, 2018, 39(S1): 418-427.
- [3] Jahanshahi, M.R. and Masri, S.F. (2013) A New Methodology for Non-Contact Accurate Crack Width Measurement through Photogrammetry for Automated Structural Safety Evaluation. *Smart Materials and Structures*, **22**, 035019.
- [4] McCrea, A., Chamberlain, D. and Navon, R. (2002) Automated Inspection and Restoration of Steel Bridges—A Critical Review of Methods and Enabling Technologies. *Automation in Construction*, **11**, 351-373.
- [5] Seo, J.O., Han, S.U., Lee, S.H., *et al.* (2015) Computer Vision Techniques for Construction Safety and Health Monitoring. *Advanced Engineering Informatics*, **29**, 239-251.
- [6] 白海坤. 道桥工程混凝土裂缝原因及修复措施[J]. 科技创新与应用, 2016(10): 226.
- [7] Bagheri, A., Ajam, A. and Zanganeh, H. (2019) Investigation of Chloride Ingress into Concrete under Very Early Age Exposure Conditions. *Construction and Building Materials*, **225**, 801-811.
- [8] Mostafapour, A., Davoodi, S. and Ghareaghaji, M. (2014) Acoustic Emission Source Location in Plates Using Wavelet Analysis and Cross Time Frequency Spectrum. *Ultrasonics*, **54**, 2055-2062.
- [9] 周智, 田石柱, 欧进萍. 光纤传感器在土木工程中的应用[J]. 建筑结构, 2002, 32(5): 65-68.
- [10] 宋晓青. 光纤传感器在桥梁结构安全监控中的应用[J]. 江西建材, 2014(24): 195-196.
- [11] 刘永前, 杜彦良, 王新敏, 等. 埋入式 F-P 光纤应变传感器在混凝土桥梁健康监测中的应用研究[J]. 光学技术, 2006(3): 349-352.
- [12] 张矿伟, 张少杰, 赵晓霞, 等. 光纤 Bragg 光栅应变传感器在桥梁结构监测中的应用[J]. 光学仪器, 2014, 36(1): 15-19.
- [13] 姜云, 余有光, 姜超, 等. 分布式光纤在大型桥梁建设中温度监测的智能化技术应用[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2020, 16(9): 241-244.
- [14] 王天鹏, 周果子. 基于光纤光栅测力环的桥梁拉索索力监测及温度补偿研究[J]. 中外公路, 2017, 37(3): 112-117.