

机场混凝土道面裂缝 光纤监测技术研究

沈化荣^{1,2} 高培伟² 乐建新² 习雨同²

1. 淮阴工学院, 土木工程系, 江苏 淮安 223001

2. 南京航空航天大学, 土木工程系, 南京 210016

摘要: 在机场道面健康监测方面, 国内外目前还没有可定量的、长期有效的监测方法。本文通过分析机场水泥混凝土道面的开裂机理、光纤传感器的传感原理, 并与传统传感器进行比较, 提出了机场水泥混凝土道面裂缝光纤传感器的设想, 探讨了机场混凝土道面裂缝传感技术在未来的应用前景。

关键词: 混凝土道面; 裂缝; 光纤传感器

中图分类号: TN247; TU528

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2013)01-0023-04

Monitoring Airport Concrete Pavement Cracks Using Optical Fiber Sensing Network

SHEN Hua-rong^{1,2} GAO Pei-wei² LE Jian-xin² XI Yu-tong²

1. Department of Civil Engineering,

Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223001, China

2. Department of Civil Engineering, Nanjing University of

Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China

Abstract: There is no a quantitative and long-term effective methods to monitor the cracks of airport pavement. By analyzing the cracking mechanism of airport concrete pavement and the optical fiber sensor sensing principle, a monitoring method and technology using optical fiber sensing network to montor airport concrete pavement cracks was proposed and discussed.

收稿日期: 2012-03-27.

基金项目: 江苏省六大人才基金(JZ-010)、西部交通(2009CB01)和“863”高新技术项目(2009AA03Z508)联合资助。

作者简介: 沈化荣(1965-), 女, 汉族, 江苏徐州市人, 淮阴工学院土木工程系副教授, 工学硕士, 主要研究方向为路面设计及性能研究。

Key words : Concrete , pavement , crack , fiber optic sensor

0 引言

近几年来,我国一些机场的主跑道、滑行道,由于设计、施工和维护不当,加之飞机荷载、起降架次的增大和增多等因素影响,出现了大量的纵、横向裂缝甚至断板等道面病害,使跑道的安全性、飞机滑行和起降的舒适性大大降低,甚至造成了机毁人亡的惨剧,使裂缝监测和及时处理就显得日益重要^[1-3]。

为了能长期有效地监控机场道面的健康状况,及时采取修补等措施,并为未来机场道面设计提供必要的参考信息,本文分析和研究了埋入分布式光纤传感器的监测机场裂缝技术和方法。

自20世纪70年代光纤传感器出现以来,主要经历了基础实验、技术开发和工业应用三个阶段(20世纪90年代至今)。目前,我国正处于基础设施建设的高峰时期,高速公路、铁路、高层建筑、桥梁、隧道、边坡等大型土木工程的建设,为我国光纤传感技术的成长和应用带来了机遇和挑战^[4]。

1 光纤传感技术的进展

随着现代科技的迅猛发展,工程结构健康监测的传感技术面临着更新换代的新阶段。一些高科技传感器相继涌现,且性能优异。在各国竞相发展的传感器高科技中,光纤传感以其独特优势居于突出地位,光纤传感已开始应用于土建工程,但主要集中在建筑、桥梁、铁路和隧道等领域中。

Hendrick^[5]等曾将单模光纤埋入飞机跑道上检测其应力分布,以进行混凝土结构裂缝的监测和诊断^[6,7]。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,其中前者危及结构的安全,后者影响结构的使用。及时发现和处理混凝土结构中的裂缝尤为重要,Kai Tai Wan 和 Christopher K. Y. Leung 为监测混凝土结构的开裂,提出了一种基于 OTDR 的弯曲损失测量法的分布式光纤传感器^[8,9]。

安装在工程结构上的监测系统,主要由各种传感器构成,用以采集埋设部位的物理力学参量,包括变形、荷载、温度等。常规的传感器一般是点式电测仪器,包括最常用的卡尔逊式或弦式传感器。常规电测传感仪器历史久、应用广,积累了许多实际经验,迄今仍是健康监测的主要设备。但另一方面,它们也在工程实践中暴露了技术局限性,主要表现在两方面:(1)由于是小范围的点式检测,导致检测在空间上的不连续性,结果工程中的局部损伤处很可能没有埋设检测仪器,容易导致漏检和漏查。(2)由于绝缘老化、金属器件氧化、蠕变时效等因素,导致电测仪器长期稳定性不高。

2 分布式光纤传感器的特征

相较于传统的常规传感器,分布式光纤传感器具有显著的优势,能对沿光纤连续分布的环境信息和物理参量进行传感并加以定位,从而实现大范围的连续监测。不论何时何处,一旦出现裂缝等损坏并与光纤相交,即可被感知,并测定损伤程度和位置,排除经验判断的主观任意性影响。由于传感光纤的耐久性,除施工期和竣工期起到检测功能外,运营期仍可继续监测结构损伤,评价和诊断结构健康状况并做出相应的维护决策。

现阶段工程领域常用的分布式光纤传感器主要有两类:一种是基于瑞利(Rayleigh)散射原理的强度型分布式光纤传感器。瑞利散射主要是由光波导的 SiO₂ 材料在拉丝凝固过程中形成的材料密度组成的微观非均匀性以及折射率细观起伏所引起,属于本征散射,沿光纤全程分布,可作为弹性场间裂缝的监测参量信息载体,提供光路全程单值的、连续的检测信号。另一种是基于布拉格(Bragg)光栅理论的波长调制型分布式布拉格光纤光栅(FBG)传感器。FBG 光纤光栅传感器是一种波长(或光栅)调制型光纤传感器。通过外界对其 Bragg 波长的调制来获取传感信息。传感机制主要为:应

变引起的弹性形变 (elastic distortion) 和弹光效应 (strain-optic effect); 温度引起的热膨胀效应 (thermal expansion effect) 和热光效应 (thermo-optic effect); 磁场引起的 Faraday 效应。

分布式裂缝光纤传感技术即由外界被测弹性场 (裂缝) 通过微弯损耗效应, 调制影响光纤的散射 (损耗) 系数, 来实现分布式检测^[9,10]。利用光时域反射仪 (OTDR) 对后向瑞利散射光加以接受、分析, 可检测出微弯损耗, 得出衰减波形, 即损耗沿光程的空间变化。

3 机场道面裂缝光纤传感技术应用分析与探讨

机场道面裂缝主要分为荷载型裂缝和非荷载型裂缝两大类。荷载型裂缝是在交通荷载作用下, 面层的底部产生拉应力, 该拉应力大于道面材料的抗拉强度, 底部很快开裂, 在荷载的反复作用下, 底部的裂缝就会逐渐扩展。而混凝土早期裂缝的生成, 一般是非荷载作用的结果, 大部分可归结为温度变形和收缩变形等间接作用的原因。混凝土早期收缩裂缝控制的重点, 目前主要集中于自收缩和干燥收缩的研究^[11,12]。对机场道面而言, 整体浇筑的道面板施工完成后形成暴露面比较大, 混凝土失水形成早期收缩裂缝的趋势较大。温度型裂缝包括温度收缩和温度疲劳裂缝, 是机场道面裂缝的主要形式。

在机场道面健康监测方面, 国内外目前还没有定量的、长期有效的监测方法。道面混凝土的裂缝损伤发生发展的基本特点是时空随机性, 对于这种随机且隐蔽的混凝土裂缝的监测, 常规的点式电测传感器就显得无能为力了, 超声法也缺乏可靠性, 分布式光纤传感为此提供了有效解决途径。机场道面分布式光纤裂缝传感器的监测内容有: 道面内部有无裂缝, 裂缝的条数、缝宽、部位、开裂时间过程。由于水泥混凝土机场道面的结构裂缝主要发生在主跑道, 而仅在主跑道埋设分布式光纤传感监测网络, 利用基于瑞利散射原理的微弯损耗型分布式光纤传感技术对机场道面进行监测在经济和技术

上是容易实现的。

对于微弯损耗型的光纤传感技术, 关键在于如何由被测量参量引发光纤微弯和局部高损耗, 即力学量到光学量的转换。一般的微弯型的光纤传感器都是用齿板等变形器夹在一段光纤两侧, 随压力、位移等被测量变动, 齿板夹紧, 光纤生成波浪形微弯。但是, 若用齿板埋入混凝土, 既不现实, 也不能构成分布式传感。微弯型光纤传感由点式发展为分布式的难点, 在于打破对变形器的依赖。以非正交光纤构型实现直接转换机制的机理在于混凝土断裂变形时光纤受到挟持而变形, 光纤的变形和受力可归纳为两种构型: (1) 光纤与断裂面正交时: 混凝土断裂使光纤纯粹受拉而伸长, 不出现弯曲, 光波导无局部高损耗。尽管纯拉伸也会增大光损耗, 但灵敏性大为降低。(2) 光纤与断裂面非正交: 混凝土断裂使光纤受拉伸-剪切力双重作用, 生成微弯, 引发光波导局部高损耗。传感光纤与界面呈特定的非正交构型布置时, 一旦界面开裂, 光纤即直接生成微弯, 力学量直接转化为光学量, 如图 1 所示。

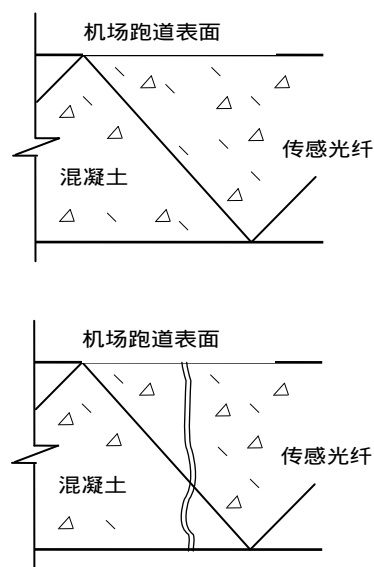


图 1 光纤传感监测裂缝

Fig.1 Optical fiber sensing monitoring crack

当道面裂缝逐渐形成并扩展时, 将牵动光纤, 对光纤施加拉剪作使之出现微弯和相应的局部高

损耗,引起后向散射光剧烈衰减。非正交光纤构型保证了光衰减对裂缝变形的敏感性,保障对混凝土断裂的感知功能。这样,被测量力学断裂量直接转换成光纤微弯和光信号调制,不需借助附加变形器来生成微弯。当机场道面裂缝发展时,光纤受到的侧向剪切和拉伸作用使其微弯增大,引起后向散射光剧烈衰减;由混凝土弹性场的裂缝直接产生光纤微弯,并调制光学信号,引起局部高损耗,直接构成裂缝-微弯-损耗单值对应的道面裂缝传感系统。

4 结 论

机场道面裂缝中荷载型裂缝和非荷载型裂

缝均可通过埋设分布式光纤传感器的方法对道面裂缝进行短期或长期监测。监测内容有道面内部有无裂缝、裂缝的条数、缝宽、部位、开裂时间过程。

水泥混凝土机场道面的主跑道发生结构裂缝较多,在主跑道埋设分布式光纤传感监测网络,在经济和技术上是相对容易实现的;传感技术受实际道面工程施工和运营影响较大,实际应用还有待工程检验和完善。

我国在未来将新增大量机场,如能将此技术完善并推广使用,可长期有效地监控机场道面健康状况、及时采取修补,为未来机场道面设计提供必要技术支持。

参考文献

- [1] 李 晔,姚祖康. 水泥混凝土机场道面纵缝碎裂损坏分析及修复[J]. 华东公路, 2003, 2: 3-6 .
- [2] MHJ 5004-95 . 民用航空运输机场水泥混凝土道面设计规范[S]. 北京:人民交通出版社, 1995 .
- [3] Gao Peiwei. Microstructure and pore structure of concrete mixed with superfine phosphorous slag and superplasticizer [J]. Construction and Building Materials, 2008, 22: 837-840
- [4] 信思金,梁 磊,左 军. 混凝土裂缝监测光纤传感器研究[J]. 中国水泥, 2005, (5): 61-62 .
- [5] Hendrick R O. Measuring stress distribution in pavements using single-mode fiber [J]. SPIE, 1992, 1798: 200-204 .
- [6] 吴永红,苏怀智,高培伟等. 混凝土高坝裂缝光纤分布式监测能力的研究[J]. 光子学报, 2003, 2: 3-6 .
- [7] Gao Peiwei. Using a new composite expansive material to decrease deformation and fracture of concrete [J]. Materials Letters, 2008, 62(1): 106-108 .
- [8] 信思金,梁 磊,左 军. 混凝土裂缝监测光纤传感器研究[J]. 中国水泥, 2005, (5): 61-62 .
- [9] 吴永红,高培伟. 混凝土高坝坝缝光纤监测网络构型的优化[J]. 水利水电科技进展, 2006, 26(6): 37 .
- [10] Schmidt C., Straub T., Naumann M. Strain measurements by fiber bragg grating sensors for in-situ pile loading tests [J]. SPIE, 2003, 5050: 289-294 .
- [11] Kai Tai Wan, Christopher K. Y. Leung. Applications of a distributed fiber optic crack sensor for concrete structures[J]. Sensors and Actuators, 2006, 2: 21-26 .
- [12] 吴永红.高培伟. 大坝裂缝方位对光纤裂缝传感器灵敏性的影响[J]. 压电与声光, 2007, 29(3): 258-260.

(中文编辑:刘娉婷)