

光纤传感器在桥梁健康监测中的应用

蒋洪涛 张 岩

(辽宁交通高等专科学校, 沈阳 110122)

摘 要 首先概述了光纤传感器的基本特点,并在光纤传感器的分类中介绍了分布式传感器的主要优点;重点介绍光纤传感器在国内外桥梁健康监测方面的应用和基本的施工方法;最后指出光纤传感器在桥梁健康监测方面的优势和实际应用中应解决的问题。

关键词 光纤传感器 桥梁 健康监测

1 引 言

桥梁是国家重要的土木工程基础设施,在服役过程中要经受各种环境荷载、疲劳效应、腐蚀和材料老化等不利因素的影响,结构将不可避免地产生损伤积累和抗力衰减;对桥梁进行健康监测,及时发现结构损伤,分析和评估其安全性,对于保障其正常使用和结构安全性具有重要意义。

光纤传感器具有质量轻、信息量大,可测量多种信号,无电磁干扰,易于分布埋入结构和构成网络等众多优点,日益受到各行业的关注,并在桥梁健康监测方面得到了越来越广泛的应用。

2 光纤传感器分类

光纤传感器按其传感原理分为两类:传光型(非功能性)和传感型(功能性)。传光型光纤传感器的光纤不与结构一起变形,只起信号传输作用,由另外的装置对载波光进行强度调制获取信号。传感型光纤传感器不仅传输信号,也起传感作用,通过光纤自身的光弹效应、双折射效应、磁光法拉第效应等把待测量信号调制为光的相位、偏振或者波长的变化。通常所说的光纤传感器均指传感型光纤传感器。

光纤传感器按照测量的空间分布情况可以分为

析是相吻合的,说明采用改进一次二阶矩法对主梁评估的方法是适用的。

5 结语

既有桥梁的可靠性评估都是建立原有结构试验检测基础上进行可靠性评估,大多没有解决所要得到的桥梁结构全程破坏各项指标参数。由于许多实际条件的约束使得桥梁结构不能在损伤的状态下进行检测和可靠性评估,因此要得到桥梁结构全程破坏的各项参数是目前结构工程界在实际工程中难以

解决的问题。本文利用 ADINA 软件进行模拟实验,以模拟所得的数据进行可靠性评估计算,更好了解桥梁在不同荷载等级状态下的极限状态。

本文通过运用改进的一次二阶矩计算方法进行桥梁挠度的可靠度模拟分析,模拟所得的数据表明主梁的安全可靠度与有限元分析是相吻合的。证明了采用改进一次二阶矩法对主梁评估的方法适用性和数值模拟桥梁可靠性评估的可行性。

Simulation Analysis of Bridge Deflection Reliability Assessment under Load Action

Abstract So as to master better the limiting condition of bridge in bearing capacity under action of different grade of load, the paper analyses the simulation of bridge deflection reliability by numerical procedures of first moment of second order, conducts as well the simulation experiment with large-scale finite element software ADINA, and carries out yet calculation of reliability assessment using the obtained data, which provide a new thought and methods for reliability assessment of bridge deflection.

Key words Bridge Assessment of reliability Value simulation ADINA

点传感器、分布式传感器。分布式光纤传感器可以分为准分布式和分布式两大类。准分布式光纤传感器由 N 个放置在空间预知位置的分离的光学传感器共用一个或者 N 个信息传输通道所构成的分布网络系统,可以同时或分时测得预知位置上被测量的分布。分布式光纤传感器利用一根传感光纤作为延伸的敏感元件,光纤上的任意单元既是敏感单元,又是其它敏感单元的信息传输通道,因而可以获得被测量沿此光纤任意空间和时间变化的分布信息。分布式光纤传感器能够在在一根光纤长度上测量空间多点被测参数,使光纤任一点成为传感器,它具有所测信息量大、结构简单、使用方便、性价比好的优点。实际应用的光纤传感器种类较多,其还可以按被测对象和光在光纤中被调制的原理(强度、相位、偏振态、频率和波长等)进一步分类。

在土木工程中研究和应用较多的光纤传感器有:基于 Michelson 干涉原理的位移传感器;基于光栅反射原理的布拉格光栅光纤传感器(可以测量应变和温度);基于 Fabry - Perot 干涉原理的应变传感器;基于 Raman(测量温度)和 Brillouin(测量应变和温度)散射原理的分布式传感器等。光纤布拉格光栅(Fiber - optic Bragg Grating, FBG)传感技术和布里渊光时域反射计(Brillouin Optical time Domain Reflectometry, BOTDR)传感技术,它们与传统的电测传感器相比具有如下优越性能:分布式、长距离、实时性、精度高和耐久性强,能做到对大型基础设施进行远程监测和监控,在桥梁健康监测中有较好发展前景和应用价值。

3 光纤传感器在桥梁健康监测中的应用

光纤传感器最早出现在航空航天领域,国际上将光纤传感器用于大型工程结构的健康监测时间不长,目前正处于从萌芽到发展的过渡期。1989年,美国 Brown University 的 Mendez 等人首先提出把光纤传感器埋入混凝土建筑和结构中,并描述了实际应用中这一研究领域的一些基本设想。此后,美国、英国、加拿大、日本等国家的大学、研究机构投入了很大力量研究光纤传感器在智能混凝土结构中的应用。

桥梁工程具有投资大、设计周期长、使用环境恶劣,易受周围大气、温度、湿度及天气的影响而发生劣化以及长期承受动荷载等特点,因而对桥梁结构进行长期监测尤显必要。而采用一般的传感器系统进行监测都需要采用电缆来传递电源和输出信号,通常对应一个传感器需要 5 根引出线(其中 2 根提

供电源,2 根用于信号输出,1 根用于屏蔽),5 根引出线再加上 1 层外套组成 1 根电缆。因而整个系统所需的电缆数量很大,且非常重,这对系统很不利。而采用光纤传感器,其一条线路既可传递光源又可传递测量信号,还可多路复用,则可以避免上述问题。光纤传感器具有抗电磁干扰能力和耐腐蚀性,因而极适合用作桥梁等处于露天、恶劣环境下的大型土木工程结构的长期监测。

美国在 80 年代中后期就开始在多座桥梁中布设光纤传感器,用来验证设计假定、监视施工质量和服役安全状态。1989 年 Fuhr 等人 在美国 89 号州际公路桥上粘贴了光纤振动传感器用于检测桥的共振频率。1992 年 Fuhr 和 Huston 等人在佛蒙特(Vermont)大学附近的一座铁路桥中埋入和粘贴了中单模和多模光纤以及部分光纤束和光缆,以检测铁路桥在火车经过时的振动情况,从而根据收集到的振动信息来确定所通过列车的类型,达到控制火车流量的目的。1995 年 Fuhr 和 Huston 等人还利用基于铁锈测量的光纤腐蚀传感技术在桥梁结构的钢筋上安装了光纤腐蚀传感器,以检测钢筋的锈蚀情况。1997 年,在美国俄亥俄州的巴特勒县建造了一座全复合材料的桥梁,复合材料在制作过程中埋入了光纤光栅应变传感器,通过互联网可以有规律的监视桥梁的荷载响应和跟踪连接绳索的长期性能。1999 年夏,在美国新墨西哥 Las Cruces 10 号州际高速公路的一座钢结构桥梁上,安装了 120 个光纤光栅传感器,创造了当时在一座桥梁上使用光纤光栅传感器最多的纪录。

1993 年,在加拿大卡尔加里附近的 Beddington Trail 大桥是最早使用光纤光栅传感器进行测量的桥梁之一,16 个光纤光栅传感器贴在预应力混凝土支撑的钢增强杆和炭纤复合材料筋上,对桥梁结构进行长期监测。1998 年加拿大的圣埃梅利、德黑兰、若夫尔等大桥采用了埋入式、点焊式光纤传感器进行测量。1999 年加拿大的惠灵顿大桥采用了粘贴式光纤传感器进行测量。加拿大的 Confederation 大桥是世界上跨在被冰覆盖的海洋上的最长桥梁,跨度为 12.9 km,2000 年在这座大桥中,安装了一系列光纤布拉格光栅传感器对桥梁进行了健康监测,长期监测冰压力对桥梁墩柱的作用、温度影响、交通荷载以及风载下的振动情况。

1992 年, Woff 等人在德国莱沃库森的希斯贝格街道桥上,将光纤埋入收缩量很小的合成树脂砂浆中,组成预应力筋,每根预应力筋中安装两只光纤传

感器,整座桥使用了 27 根光纤预应力筋,用于检测桥面的内部损伤情况,另外在桥面的上下也各装了 4 只光纤传感器来监测裂缝,从而实现了大桥的长期监测。1998 年瑞士的 Versoix 桥则安装了包括 100 多个光纤传感器的健康监测系统,监测改建期间新旧混凝土间的收缩差异,以及投入使用后长期的变形情况。

在我国,光纤传感器在桥梁健康监测方面也有了一定的应用,相当一部分院校和科研单位在基础研究和应用方面取得了不少成果。重庆大学国家教育部光电技术及系统开放实验室的研究人员发展了一种新颖的多模光纤模域光纤振动传感系统,构建了一种机敏桥面铺装结构。他们还和重庆公路科学研究所的工程技术人员一起,将多模光纤模域光纤振动传感系统应用于虎门大桥桥面铺装结构的模型实验中,用来监测 5 种桥面铺装结构经过几十万次重复加载过程中的变形、裂缝生成和扩展等情况。哈尔滨工程大学的章立滨等人将光纤传感器胶合在桥梁模型的钢索上,对桥梁在受载情况下钢索的应变变化进行了实验研究。香港理工大学与清华大学合作,在广州虎门大桥开展了结构安全监测系统的研究;同济大学则为上海徐浦大桥研制了安全监测系统;武汉理工大学为武汉阳逻长江公路大桥、武汉长江二桥、武汉市晴川桥等多座桥梁建立了监测系统。

从光纤传感器在桥梁健康监测方面的应用可以看出,其主要应用于三个方面:对采用 FRP (Fiber Reinforced Polymer) 等新型复合材料的桥梁结构进行监测,掌握材料和结构的工作性能;对交通枢纽或具有重大意义的大型桥梁的健康监测,掌握桥梁的正常运行状态;对有一定损伤的旧桥进行监测,从而了解其健康状况并采取针对性的维护和加固措施。

4 光纤传感器的安装方法

传感器安装需要满足两个基本条件:一要保证结构或材料特征参量的变化完全传递到传感器,由传感器表征出来;二要保证传感器的使用寿命满足结构长期监测的目的。土木工程结构的施工、服役环境较为恶劣,而光纤传感头相对脆弱,传感头会因混凝土施工过程的振捣、构件之间的碰撞、安装后的环境腐蚀、结构振动导致的疲劳等原因使得传感器达不到预期的长期监测目的,甚至连起码的“成活率”都不能保证。因此,光纤传感器的安装工艺是它用于土木工程结构的关键,对其研究意义重大。

光纤传感器的安装方式基本上可分为:外表粘

贴式和内部埋入式。外表粘贴式适用于那些现存的工程结构,通常将光纤传感器用胶粘贴在那些对结构中感兴趣参数最敏感的部位,与通常在结构上固定加速度传感器或者应变片相似;而内部埋入式则适用于那些在建或者将要兴建的大型工程,用于监测施工过程中材料内部的变化过程或者建成后结构使用期间的状态。

内部埋入法主要针对混凝土结构的施工过程而言。光纤传感器在混凝土中的埋入方式主要有如下三种,如图 1 所示:第一种方式是将光纤从金属管内穿过,安放到位并在混凝土浇筑完毕后将金属管缓慢抽出,使混凝土与光纤接触;第二种方式是不抽出金属套管,在套管两端设置金属端子与光纤相连,由于金属套管与混凝土热膨胀系数相同,混凝土应力通过金属端子传递给光纤;第三种方式是将光纤固定于钢筋上并在光纤与钢筋之间设置衬层。

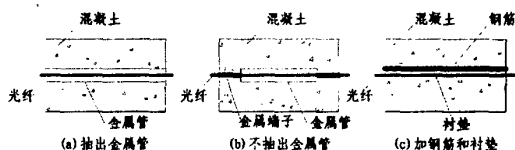


图 1 光纤埋入混凝土工艺图

外表粘贴式应保证传感光纤的纤芯能够和结构的应变同步,光纤传感器的保护层应该和结构的表面紧密接触,粘结剂的厚度要适宜,既能保证牢固的把光纤粘贴在结构上,又不能破坏结构的外观,一般的安装方式如图 2 所示。

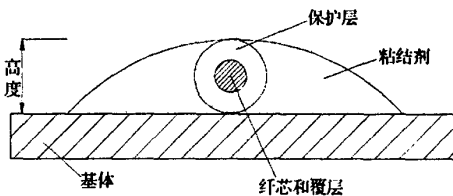


图 2 光纤外贴式安装方式

5 结语

光纤传感器所具有的优点使其在桥梁健康监测方面具有广阔的应用前景,特别是其能够埋入混凝土结构或复合材料结构中,这是传统传感器无法胜任的;准分布或分布式光纤传感器减少了测试数据采集设备所需的通道数量,从而降低了测试成本,并能够实现对待测物理量的分布场值的测量。光纤传感器使得监测系统能够更方便的实现对于桥梁结构的远程监测和控制。

在实际应用光纤传感器建立桥梁健康监测系统时,首先应根据所测得参数选择合适的传感器类型,

模坑隧道防排水优化设计与施工

栾 辉

(大成工程股份有限公司, 厦门 361000)

摘 要 就模坑隧道防排水优化设计与施工实践进行了阐述。

关键词 模坑 隧道 优化设计 施工

1 前言

近年来,随着我国高速公路的建设,隧道的修建越来越多。但国内公路已运营的隧道,仍存在衬砌渗漏水情况,特别是双连拱隧道中墙处更为普遍,这已成为隧道建设质量通病之一。由于衬砌漏水,造成隧道侵蚀破坏,路面积水,降低轮胎与路面的摩擦力,寒冷地区反复的冻融,还会造成衬砌冻胀开裂,因此做好隧道防排水设计,对保证隧道的行车安全和长期使用至关重要。下面以本人在模坑隧道施工实践为例,浅谈隧道防排水设计与施工的一点认识。

2 工程概况

模坑隧道是一条双向四车道双连拱隧道,位于福建省龙岩至长汀(闽赣界)高速公路 k23 + 004 ~ k23 + 466 处,隧道长 462m,建筑界限净宽 22m,净高 5m。最大埋深 50.9m。隧道平面线型为直线,路面横坡为 2%,纵坡为 0.5%,竖曲线半径 $R = 15000\text{m}$ 。隧道区属低山地貌,通过一南北走向山体鞍部,下伏基岩,岩性均为凝灰熔岩,自然斜坡稳定。

研究光纤传感器的安装技术(粘贴或埋入)及其对传感器精度的影响;光纤传感器的具体布置应进行优化,以较少的传感器获得全面的桥梁健康信息,并

隧道出口段围岩类别为 II 类,洞身以弱风化凝灰熔岩为主,围岩类别为 III—IV 类。

隧道区地下水主要存在于基岩裂隙中,属基岩裂隙水,受季节性影响,地层富水性一般。根据钻孔水质分析成果,地下水具分解类弱碳酸型腐蚀。

3 原防排水设计

隧道内轮廓采用承载能力较好的单心圆形式,边墙为曲墙,中墙为直墙。在左右洞室外侧检修道下设电缆沟,路边各设 $45\text{cm} \times 35\text{cm}$ 矩形排水边沟。中墙右侧设 $50\text{cm} \times 40\text{cm}$ 的排水沟,左侧 $50\text{cm} \times 40\text{cm}$ 的电缆沟。

3.1 防水措施

在初期支护与二次衬砌之间敷设一层 EVA 复合土工布防水板,作为第一道防水措施;拱部及边墙二次衬砌采用不低于 S6 的防水混凝土,作为第二道防水措施。防排水原设计如图 1 所示。

二次衬砌变形缝均用 XZ—322—30 型中埋式橡胶止水带止水,环向施工缝、纵向施工缝(拱部与

达到经济的目的;光纤传感器往往对温度敏感,应用时应使温度与其他待测量准确分离。

Application of Fiber - Optic Sensor in Bridge Health Monitoring

Abstract First the paper gives an outline of basic characteristics of fiber - optic sensor, introduces principal merits of distributed sensor in classification of fiber - optic sensors, emphatically introduces an application of fiber - optic sensor in health monitoring of bridges at home and abroad and its elementary operation methods, finally points out superiority of fiber - optic sensor over bridge health monitoring and problems settled by it in actual application.

Key words Fiber - optic sensor Bridge Health monitoring