

# 智能传感技术在桥梁结构健康监测中的应用研究

(山东高速工程建设集团,山东省济南市,250000) 柏云飞

**摘要** 随着我国经济的快速发展,公路交通建设得到了蓬勃的发展,桥梁工程作为公路交通系统的重要组成部分,其结构的安全性和稳定性关系着人们生命财产的安全,是全社会关注的焦点。随着智能传感技术与智能仪器仪表技术的快速发展,传统桥梁结构健康监测系统已不能满足现代桥梁安全监测和维修加固的要求,急需研发新型结构健康监测系统。本文主要对智能传感技术在桥梁结构健康监测中的应用进行了研究。

**关键词** 智能传感技术;桥梁结构健康监测;应用研究

中图分类号:[TU997] 文献标识码:B  
文章编号:1008-0899(2024)06-0055-03

桥梁结构健康监测是对梁桥结构进行实时监测,通过智能传感技术实时采集梁桥结构在运行过程中的各种物理量,并对其进行分析和处理,从而预测和判断梁桥结构的工作性能,并及时发现潜在的安全隐患,从而实现对桥梁结构健康状态的诊断。智能传感技术是近年来发展起来的一种新型测量与控制技术,其具有精度高、响应快、稳定性强、可靠性高等优点,非常适合于桥梁结构健康监测。在桥梁工程领域应用智能传感技术的主要目的是对桥梁结构进行实时监测与诊断,从而避免潜在事故的发生。目前国内外许多桥梁工程已经采用了智能传感技术对其进行监测与诊断,并取得了一定的成果。

## 1 数据采集与传输系统

桥梁结构健康监测系统的数据采集与传输系统是整个桥梁结构健康监测系统的核心,是获取数据和数据处理的关键。系统中要对采集到的传感器数据进行处理,提取出有效的信息,并将其传输到控制中心。数据采集与传输系统主要包括传感器、信号调理模块、A/D转换模块和通信模块。

### 1.1 传感器

传感器是桥梁结构健康监测系统中最基本的

要素之一,其主要功能是将桥梁结构在长期运行过程中所产生的各种物理量,如温度、应变、位移等进行采集,并转换成电信号输出。传感器主要包括加速度传感器、位移传感器和应变传感器等。

### 1.2 信号调理模块

该模块主要功能是将采集到的信号进行放大、滤波和A/D转换。根据桥梁结构所处环境以及健康监测需要,对采集到的信号进行放大、滤波和A/D转换,并输出符合桥梁结构健康监测需要的数据。

### 1.3 A/D转换模块

主要功能是将经过放大和滤波处理后的信号进行A/D转换,并输出符合桥梁结构健康监测需要的数据。

### 1.4 通信模块

该模块主要功能是将传感器输出的数据传输到控制中心,并对数据进行处理和存储。通过通信模块与其他子系统进行通信,实现桥梁结构健康监测系统中数据采集、存储和处理等功能。

通过传感器与信号调理模块采集到的传感器信号需要进行处理和转换,为后续的数据分析提供基础。传感器主要包括应变传感器、加速度传感器和温度传感器等,其中应变传感器主要用于对桥梁结构在长期运行过程中产生的应变进行监测;加速度传感主要用于对桥梁结构在运行过程中产生的加速度进行监测;温度传感主要用于对桥梁结构在运行过程中温度变化情况进行监测;采用电磁感应原理对桥梁结构所产生的电磁场信号进行采集,实现对桥梁结构状态进行监测。

作者简介:柏云飞(1992~),男,汉族,山东济南人,本科,助理工程师,研究方向:公路桥梁工程建设。

## 2 智能分析决策系统

### 2.1 数据采集

为了实现桥梁结构健康监测系统中数据采集,在设计时,应充分考虑:①数据采集系统的可靠性:由于桥梁结构健康监测系统涉及到大量的桥梁结构参数,所以应保证数据采集系统的可靠性;②传感器的精度:传感器是桥梁结构健康监测系统中最基本的组成部分,其精度和性能直接决定了桥梁结构健康监测的精度。因此,在设计时,应选择精度高、灵敏度好、稳定性好、可靠性高、抗电磁干扰能力强的传感器;③数据采集方案设计:在设计时应考虑各传感器之间以及传感器与其他设备之间的信号传输问题。

### 2.2 数据处理及存储

数据处理及存储是智能分析决策系统的重要组成部分,主要包括数据的预处理和数据的存储两个方面。在数据预处理方面,桥梁健康监测系统采集到的大量监测数据,需要经过初步的筛选、整理等预处理,以得到能够用于健康监测系统分析的数据。在数据存储方面,桥梁结构健康监测系统需要建立一种符合标准规范的数据库系统,来存储健康监测系统采集到的大量监测数据。同时,需要建立一套标准规范的数据库结构,来保证健康监测系统的日常使用和维护工作。桥梁结构健康监测系统中的数据存储是指在采集到大量监测数据后,对其进行有效管理、储存和检索。为提高桥梁健康监测系统的效率,必须对大量采集到的监测数据进行有效管理和存储。

### 2.3 数据分析和预测

在桥梁结构健康监测系统中,智能分析决策系统能够对采集到的数据进行分析,并采用一定的方法对数据进行预测。通过对数据进行分析,能够对桥梁结构的状态进行评估,并对其性能做出预测,从而为桥梁的养护管理提供决策依据。根据现有的桥梁监测数据,可以利用灰色模型、回归模型、人工神经网络等方法建立结构健康状况与荷载之间的关系模型。利用这些模型来预测桥梁结构在某一时刻的荷载。同时,智能分析决策系统还可以根据桥梁结构监测数据的变化规律,建立不同桥梁结构在不同荷载作用下的损伤识别模型,从而判断桥梁结构在各种荷载作用下是否存在损伤,并对损伤

程度进行评估。

## 3 传感器网络在桥梁中的应用

传感器网络是指在传感器技术、无线通信技术、分布式信息处理技术及计算机技术等基础上形成的,能实现多传感器的信息采集、传输、处理和显示等功能的网络系统。其主要包括传感器网络的拓扑结构、网络协议、通信机制及组网方式等。其中,无线传感器网络作为传感器技术与无线通信技术相结合而形成的一种新型的网络形式,以其低成本、易维护、易扩展等优点,得到了国内外学者们的广泛关注。

桥梁健康监测中,为了实现对桥梁结构进行实时监测,传感器网络可以分为三类:①以应变式传感器为基础的桥梁结构健康监测系统,主要包括应变式智能应变计、光纤光栅应变传感器等;②以光纤光栅为基础的桥梁结构健康监测系统,主要包括光纤光栅传感单元、光纤光栅温度传感器等;③以压电晶体为基础的桥梁结构健康监测系统,主要包括压电晶体温度传感器、压电晶体应变传感器等。对于不同类型的桥梁结构健康监测系统,其监测内容和实现方式也有所不同。

### 3.1 应变式传感器

应变式传感器是最早应用于桥梁结构健康监测的传感器,其主要通过测量结构的应变来计算结构的应变状态,并根据应变和温度的关系式来判断结构的损伤位置和损伤程度。在桥梁结构健康监测中,应变式传感器具有较强的环境适应能力、精度高、响应速度快及易于集成等优点,是应用最广泛的传感器类型。基于应变式传感器的桥梁结构健康监测系统,其监测内容包括应变、位移及位移变化率,其中应变测量主要是测量结构在荷载作用下的应力变化情况,其主要形式有电阻应变片、光纤光栅、压电晶体等;位移测量主要是测量桥梁结构在荷载作用下的变形情况,其主要形式有电阻应变片和压电晶体等。

### 3.2 光纤光栅传感单元

光纤光栅传感单元是以光纤为载体,将光信号通过光耦合方式进入光纤中,实现对应变、温度的测量。与传统的应变传感器相比,光纤光栅传感单元具有很好的抗电磁干扰能力,可以通过光纤光栅进行多点温度测量。同时,由于其体积小、重量轻、

便于安装和维护、抗干扰能力强等特点,使得其成为目前桥梁健康监测中应用最广泛的传感元件之一。目前,国内外已有不少研究人员对光纤光栅传感单元进行了研究。如日本筑波大学的学者利用光纤布拉格光栅(FBG)作为传感元件,成功地实现了桥梁应变和温度的测量;中国科学院电工研究所的研究人员利用单模光纤与普通FBG传感器组成分布式传感网络,对桥梁应变进行测量。在桥梁健康监测中,光纤光栅传感单元主要用于温度、应变、位移和裂缝等方面的监测。其中,温度监测方面主要利用FBG传感器对结构温度场进行监测;在应变监测方面主要利用FBG传感器对结构的应变进行监测;位移和裂缝监测方面主要利用FBG传感器对桥梁结构的位移进行监测。

### 3.3 压电晶体传感器

压电晶体是一种新型的材料,具有机械强度高、体积小、耐高温、耐腐蚀及高频振动等特点,已被广泛应用于桥梁结构健康监测系统中。在桥梁结构健康监测中,压电晶体传感器主要用来测量桥梁结构中的应变和应力。其原理是:在压电晶体两端施加一定的电压,当它受外力作用时,就会产生变形,并使压电晶体内部产生相应的极化现象,从而引起其内部的电流变化。根据这一原理,可设计出一种能反映桥梁结构受力情况的传感器。为了保证测量精度,传感器所用材料必须是质量轻、抗冲击、耐高温、耐腐蚀、高频振动等特性的。目前,我国已开发出多种类型的压电晶体传感器,但在实际应用中还存在一些问题需要进一步解决。

### 3.4 无线传感器网络

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)是传感器网络技术与无线通信技术相结合的产物,其网络形式采用无线方式将多个传感器节点连接起来,形成一个巨大的、以数据为中心的、自组织的、多跳的、分布式的网络。WSN是由分布在监测区域内大量的、独立工作的微型传感器节点通过无线通信方式构成,通过自组织的方式构成网络。无线传感器网络由一组具有感知能力和计算能力

的传感器节点构成,能对监测区域内环境和目标进行监测,并能够通过移动装置将监测信息传输给观察者。同时,由于其节点组成结构简单、安装维护方便及使用寿命较长等优点,使得WSN在桥梁健康监测中得到了广泛应用。无线传感器网络主要用于实时监控桥梁结构的状态。

#### 3.4.1 智能照明控制系统

该系统由无线传感器网络、智能照明控制系统和计算机组成,能实现对桥梁照明状况进行实时监控和数据采集。

#### 3.4.2 声表面波检测系统

该系统由声表面波测头、声表面波传感器、信号放大器和计算机组成,能对桥梁结构进行声测分析,实现桥梁结构健康监测。

#### 3.4.3 分布式光纤光栅传感系统

该系统由无线传感器网络和分布式光纤光栅传感网络组成,能够实现对桥梁结构变形、振动及应变等信息进行实时测量。

## 4 结语

随着科技的发展,智能传感技术在桥梁结构健康监测中将起到至关重要的作用。通过多源信息融合与智能监控体系的建设,利用人工智能、大数据等前沿技术,可以实现对结构状态的精确预报与快速诊断,提升结构监控精度与效率。

### 参考文献

- [1]张申宇,邱雷.导波结构健康监测系统软件数据管理模块设计[J].国外电子测量技术,2017(2):54-58.
- [2]程朋根,李大军,史文中,龚健雅.基于GPS、GIS技术的桥梁结构健康监测与管理信息系统[J].公路交通科技,2004(2):48-52.
- [3]周桂兰,徐恺奇.大跨径桥梁结构健康监测技术现状与发展[J].公路交通科技(应用技术版),2019,15(04):168-169.
- [4]商永生.光纤光栅传感技术在桥梁结构健康监测中的应用[J].交通世界,2016(12):70-71.DOI:10.