

# 智能监测技术在桥梁健康监测与维护中的应用研究

王纪楠

山东省高速养护集团有限公司 山东 菏泽 274000

**摘要:** 随着交通基础设施建设的飞速发展,桥梁数量与规模日益增大,其健康状况关乎交通运行安全。本文聚焦智能监测技术在桥梁健康监测与维护领域的应用。首先概述智能监测技术,接着详细阐述其在桥梁结构状态实时监测、环境因素监测、数据分析与挖掘以及智能预警与维护决策支持等方面的具体应用。最后探讨该技术在桥梁健康监测与维护中的发展趋势,包括智能化、多技术融合、绿色环保以及标准化与规范化方向。旨在为提升桥梁健康监测与维护水平,保障桥梁安全运行提供理论参考与实践指导。

**关键词:** 智能监测技术;桥梁健康监测;桥梁维护;具体应用;发展趋势

引言:桥梁作为交通基础设施的关键组成部分,其安全性和耐久性直接关系到交通的顺畅与人民生命财产安全。然而,桥梁在长期使用过程中,受车辆荷载、自然环境等多种因素影响,结构性能会逐渐退化,潜在安全隐患增多。传统的桥梁监测与维护方式存在效率低、精度差、实时性不足等问题,难以满足现代桥梁管理需求。智能监测技术凭借其高效、精准、实时等优势,为桥梁健康监测与维护带来了新的解决方案。深入研究智能监测技术在桥梁领域的应用,对保障桥梁安全、延长使用寿命具有重要意义。

## 1 智能监测技术概述

智能监测技术是融合了多种先进技术手段,实现对目标对象全方位、实时、精准监测与评估的综合性技术体系。它依托传感器技术、物联网技术、大数据分析技术、人工智能技术等,构建起一个高效、智能的监测网络。传感器技术是智能监测的基础,能将桥梁的各种物理量,如应力、应变、位移、振动等,转化为可测量的电信号,为后续分析提供原始数据。物联网技术则负责将这些分散的传感器连接起来,实现数据的实时传输与共享,让监测人员能随时随地获取桥梁的实时状态信息。大数据分析技术对海量的监测数据进行深度挖掘与分析,提取有价值的信息,发现数据中隐藏的规律和趋势,为桥梁健康评估提供科学依据。人工智能技术,尤其是机器学习算法,可对桥梁的正常状态和异常状态进行学习和识别,实现故障的自动诊断与预测。智能监测技术具有实时性、精准性、自动化和智能化等显著特点,能够克服传统监测方法在时间、空间和精度上的局限性,为桥梁健康监测与维护提供全面、及时、准确的信息支持,有效提升桥梁管理的科学性和有效性,保障桥梁的安全运行<sup>[1]</sup>。

## 2 智能监测技术在桥梁健康监测与维护中的具体应用

### 2.1 桥梁结构状态实时监测

(1) 位移监测。通过在桥梁关键部位,如桥墩、主梁端部等安装高精度位移传感器,能实时获取桥梁在竖向、横向和纵向的位移数据。这些数据可反映桥梁在车辆荷载、温度变化、风力等作用下的变形情况。持续监测位移变化,能及时发现桥梁的异常沉降或偏移。例如,若某桥墩的竖向位移持续增大且超出正常范围,可能预示着桥墩基础出现问题。通过对位移数据的长期分析,还可评估桥梁结构的长期变形趋势,为桥梁的安全评估和维护决策提供重要依据,确保桥梁结构始终处于安全可控的状态。(2) 应变监测。在桥梁的主梁、拱肋、索等关键构件上布置应变传感器,可实时测量构件在荷载作用下的应变变化。应变数据能够直接反映构件的受力大小和分布情况,帮助判断构件是否处于正常工作状态。当应变值超过设计允许范围时,表明构件可能存在过度受力或损伤,需要及时检修。通过对应变数据的动态分析,还能研究桥梁在不同荷载工况下的力学性能,为桥梁的结构优化和加固设计提供科学参考,保障桥梁结构的安全性和耐久性。(3) 振动监测。利用加速度传感器等设备,可实时监测桥梁在车辆行驶、风振、地震等动力荷载作用下的振动情况,获取振动频率、振幅、阻尼比等参数。这些参数反映了桥梁结构的动力特性和整体刚度。通过对振动数据的分析,可以判断桥梁是否存在结构损伤或缺陷,如裂缝、松动等。例如,若桥梁的固有频率发生明显变化,可能意味着结构刚度降低。此外,振动监测还可用于评估桥梁在极端荷载下的安全性,为桥梁的抗震、抗风设计提供数据支持,确保桥梁在动力作用下的安全运行。

### 2.2 环境因素监测

(1) 温度监测。在桥梁关键部位,如主梁、桥墩、索等安装温度传感器,可实时获取结构内部及表面温度数据。温度变化会引起桥梁材料的热胀冷缩,导致结构产生附加应力和变形。例如,在昼夜温差大的地区,桥梁主梁会因温度升降而伸缩,长期反复作用可能引发疲劳损伤。通过长期温度监测,能掌握温度变化规律及其对桥梁结构的影响程度。结合结构力学分析,可评估温度应力对桥梁安全性的影响,为桥梁的设计、施工和维护提供重要参考,确保桥梁在不同温度环境下都能保持稳定的结构性能。(2) 湿度监测。在桥梁混凝土结构内部及表面设置湿度传感器,可实时监测湿度变化。高湿度环境会加速混凝土中钢筋的锈蚀,降低混凝土结构的耐久性。当湿度超过一定阈值时,钢筋表面的钝化膜会破坏,引发电化学腐蚀,导致钢筋截面减小、混凝土开裂等问题。通过对湿度的持续监测,能及时发现湿度异常区域,采取相应的防护措施,如加强排水、涂刷防护涂料等,有效延缓混凝土结构的劣化进程,延长桥梁的使用寿命,保障桥梁的长期安全运行。(3) 风速与风向监测。在桥梁上合理布置风速仪和风向仪,可实时获取风速和风向数据。强风可能引发桥梁的风致振动,如颤振、抖振等,当振动幅度超过一定限度时,会危及桥梁结构安全。通过对风速和风向的监测,结合风洞试验和数值模拟分析,可评估桥梁在不同风况下的风致响应。根据监测结果,可采取相应的抗风措施,如安装阻尼器、优化桥梁结构外形等,提高桥梁的抗风能力,确保桥梁在强风作用下的安全性和稳定性<sup>[2]</sup>。

### 2.3 数据分析与挖掘

(1) 数据预处理。桥梁智能监测会产生海量数据,但这些原始数据往往存在噪声、缺失值和异常值等问题,影响后续分析的准确性,因此数据预处理至关重要。首先要进行数据清洗,去除明显错误或不合理的数据点,如超出传感器量程的数值。接着处理缺失值,可采用均值填充、插值法或基于模型的方法进行补充。对于噪声数据,运用滤波算法,如移动平均滤波、卡尔曼滤波等平滑数据。此外,还需对数据进行归一化或标准化处理,消除不同量纲和数量级的影响,使数据具有可比性。经过预处理的数据,能为后续的特征提取和健康评估提供高质量的基础,确保分析结果的可靠性和有效性。(2) 特征提取。特征提取是从预处理后的数据中提炼出能反映桥梁健康状态关键信息的过程。对于位移、应变、振动等结构状态数据,可提取时域特征,如均值、方差、峰值等,反映数据的统计特性;也可提取频域特征,如主频、频带能量等,分析结构的动力特性。

对于环境因素数据,如温度、湿度、风速等,可提取其变化趋势、极值等特征。通过机器学习算法,还能自动挖掘数据中的潜在特征。准确提取的特征能够简洁且全面地描述桥梁的健康状况,为后续的健康评估和预测提供有力支持,帮助及时发现桥梁的潜在问题。(3) 健康评估与预测。健康评估方面,采用层次分析法、模糊综合评价法等,结合桥梁的设计标准和规范,将提取的特征与正常状态进行对比,确定桥梁的健康等级,如良好、一般、较差等。预测方面,运用时间序列分析、神经网络等模型,根据历史数据和当前特征,预测桥梁未来一段时间内的健康状态变化趋势,如结构损伤的发展、剩余使用寿命等。通过健康评估与预测,能为桥梁的维护决策提供科学依据,提前制定维护计划,合理安排维护资源,保障桥梁的安全运行。

### 2.4 智能预警与维护决策支持

(1) 智能预警。智能预警是桥梁健康监测系统中保障安全的关键环节。它基于数据分析与挖掘得出的桥梁健康评估结果,设定科学合理的预警阈值。当监测数据超出正常范围,如位移、应变、振动等结构状态参数,或温度、湿度、风速等环境因素参数达到预警阈值时,系统会立即触发预警机制。预警方式多样,包括声光报警、短信通知、邮件提醒等,确保相关人员能及时收到预警信息。智能预警不仅能实时反映桥梁的异常状况,还能根据异常的严重程度进行分级预警,如一般预警、紧急预警等,让维护人员清楚了解问题的紧迫性。通过智能预警,可提前发现桥梁潜在的安全隐患,为及时采取应对措施争取宝贵时间,有效避免桥梁事故的发生,保障桥梁的安全运行。(2) 维护决策支持。维护决策支持为桥梁的合理维护提供科学依据。它综合考虑桥梁的健康评估结果、智能预警信息、历史维护记录以及维护成本等多方面因素。利用数据分析和模型预测,评估不同维护方案的效果和成本,为维护人员提供多种可选的维护策略。例如,对于轻微损伤,可推荐日常巡检加强监测;对于严重损伤,则建议立即进行维修加固。同时,系统还能根据桥梁的重要性和使用频率,优化维护计划的安排,合理分配维护资源。通过维护决策支持,可使桥梁维护工作更加针对性、高效性和经济性,延长桥梁的使用寿命,降低全生命周期的维护成本,实现桥梁管理的科学化和智能化。

## 3 智能监测技术在桥梁健康监测与维护中的发展趋势

### 3.1 智能化方向

未来智能监测技术在桥梁健康监测与维护中将朝着更高层次的智能化迈进。一方面,监测设备将具备更强

的自主感知与决策能力,能够根据桥梁结构状态和环境变化自动调整监测参数与频率,实现自适应监测。例如,传感器可根据应力变化情况,智能决定数据采集的密集程度。另一方面,智能分析算法将不断优化升级,借助人工智能和机器学习技术,对海量监测数据进行深度挖掘,自动识别桥梁结构的潜在损伤模式和发展趋势,提前精准预测可能出现的故障,为维护决策提供科学依据。同时,智能化的维护管理系统将实现全流程自动化,从故障预警、任务分配到维护效果评估,都能自动完成,大大提高桥梁维护的效率和精准度,减少人工干预带来的误差和延误<sup>[3]</sup>。

### 3.2 多技术融合

多技术融合将成为智能监测技术发展的重要趋势。将传感器技术、物联网技术、大数据技术、云计算技术、5G通信技术等深度融合,构建全方位、多层次的桥梁健康监测体系。传感器负责实时采集桥梁的各类数据,物联网技术实现数据的快速传输与共享,大数据和云计算技术对海量数据进行存储、分析和处理,5G通信技术则保障数据传输的高速率和低延迟。此外,还将融合虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术,为桥梁维护人员提供直观、沉浸式的可视化界面,方便他们远程查看桥梁状况,进行虚拟操作和模拟维护,提高维护工作的安全性和便捷性。

### 3.3 绿色环保

随着环保意识的增强,智能监测技术在桥梁健康监测与维护中也将注重绿色环保。在监测设备方面,研发低功耗、可再生的传感器和能源供应系统,减少能源消耗和对环境的影响。例如,采用太阳能、风能等清洁能源为监测设备供电,降低对传统能源的依赖。在监测过程中,优化数据采集和处理流程,避免不必要的资源浪费。同时,在桥梁维护材料和工艺的选择上,优先选用环保型材料和绿色施工工艺,减少维护过程中的环境污染和生态破坏。此外,通过智能监测技术实现对桥梁结构的精准维护,延长桥梁使用寿命,减少因桥梁过早损

坏而进行的大规模重建,从源头上降低对环境的影响。

### 3.4 标准化与规范化

为确保智能监测技术在桥梁健康监测与维护中的广泛应用和有效实施,标准化与规范化发展至关重要。制定统一的监测设备标准,规范传感器的性能指标、安装方法和数据格式,保证不同厂家生产的设备能够兼容和互换,提高监测系统的可靠性和稳定性。建立完善的数据传输和处理标准,明确数据传输协议、存储格式和分析方法,确保数据的准确性和一致性。同时,制定桥梁健康监测与维护的规范流程和评价标准,对监测项目的实施、维护决策的制定和维护效果的评估等进行规范,提高桥梁健康监测与维护工作的质量和水平。通过标准化与规范化,促进智能监测技术在桥梁领域的健康、有序发展<sup>[4]</sup>。

### 结束语

智能监测技术为桥梁健康监测与维护带来了革新性变革,其在结构状态、环境因素实时监测,数据分析挖掘以及智能预警与维护决策支持等方面展现出巨大优势,显著提升了桥梁管理的科学性与精准性。随着技术向智能化、多技术融合、绿色环保、标准化规范化方向发展,其应用前景更为广阔。未来,我们应持续加大研发投入,推动技术创新,完善相关标准规范,让智能监测技术更好地服务于桥梁工程,保障桥梁安全长久运行,为交通基础设施的稳定发展和人们的出行安全筑牢坚实基础。

### 参考文献

- [1]周延翱.智能监测技术在桥梁结构健康评估中的应用研究[J].智能城市,2025,11(03):158-160.
- [2]黄文波,戚莹.桥梁智能健康监测技术及应用分析[J].高科技与产业化,2024,30(11):34-35.
- [3]王浩舟,陈祖强.基于智能传感技术的桥梁健康监测系统研究[J].土木工程与管理学报,2020,17(2):12-18.
- [4]许宜宜,陈焯峰.智能传感技术在桥梁健康监测中的应用现状与发展趋势[J].交通信息与控制,2021,18(2):20-26.