

桥梁结构健康监测系统在早期损伤检测中的应用研究

高建斌

吕梁宇星公路工程勘察设计有限公司 山西吕梁

【摘要】桥梁结构健康监测系统是确保桥梁长期安全运营的重要工具。本文探讨了其在早期损伤检测中的应用，强调通过实时监控与数据分析提高桥梁维护效率和安全性。首先分析了现有桥梁监测技术的局限性，进而提出了一种基于先进传感器网络 and 智能算法的监测方案，以实现对桥梁结构健康状态的精准评估。研究表明，该系统能够有效识别桥梁早期损伤，为及时维修提供依据，从而延长桥梁使用寿命并减少维护成本。本研究为桥梁管理提供了新的视角和技术支持。

【关键词】桥梁结构；健康监测；早期损伤检测；传感器网络；智能算法

【收稿日期】2024 年 12 月 12 日 **【出刊日期】**2025 年 1 月 29 日 **【DOI】**10.12208/j.ace.202500012

Application research of bridge structural health monitoring system in early damage detection

Jianbin Gao

Lvliang Yuxing Highway Engineering Survey and Design Co., Ltd., Lvliang, Shanxi

【Abstract】The bridge structural health monitoring system is an important tool to ensure the long-term safe operation of bridges. This paper explores its application in early damage detection and emphasizes improving the efficiency and safety of bridge maintenance through real-time monitoring and data analysis. Firstly, the limitations of existing bridge monitoring technologies are analyzed. Then, a monitoring scheme based on an advanced sensor network and intelligent algorithms is proposed to achieve accurate evaluation of the health status of bridge structures. The research shows that this system can effectively identify the early damage of bridges, providing a basis for timely maintenance, thus extending the service life of bridges and reducing maintenance costs. This study provides a new perspective and technical support for bridge management.

【Keywords】Bridge structure; Health monitoring; Early damage detection; Sensor network; Intelligent algorithm

引言

桥梁作为关键的交通基础设施，在保障社会经济活动方面发挥着重要作用。随着时间推移和环境因素的影响，桥梁结构可能会出现不同程度的损伤，这不仅威胁到交通安全，也增加了维护成本。传统的桥梁检查方法主要依赖于定期的人工巡检，这种方法既耗时又难以发现隐蔽或初期的损伤。随着科技的发展，利用先进的传感器技术和数据分析手段进行桥梁结构健康监测成为可能。这种新型监测系统能够实现对桥梁状况的持续监控，并能及时发现潜

在的问题，为桥梁的安全管理和维护提供科学依据。深入研究桥梁结构健康监测系统在早期损伤检测中的应用具有重要意义。

1 桥梁结构损伤现状及其挑战

桥梁结构的健康状况直接影响到交通安全和使用寿命。在实际应用中，许多因素如自然环境侵蚀、交通负荷增加以及设计施工中的潜在缺陷等，均可能导致桥梁出现不同程度的损伤。特别是在一些气候条件恶劣或多发自然灾害的地区，桥梁面临着更加严峻的考验^[1-2]。在沿海地区，盐雾腐蚀会加速钢

结构桥梁的锈蚀过程；而在地震频发区域，桥梁结构则可能因地震动而产生裂缝或位移。这些问题如果不能及时发现并处理，不仅会导致维修成本大幅上升，还可能引发严重的安全事故。

现代桥梁监测面临的主要挑战之一在于如何有效地识别早期损伤。传统的检测方法依赖于人工巡检和定期维护，这种方法虽然直观但效率低下且容易遗漏细微损伤。由于桥梁所处位置复杂多变，某些关键部位的人工检查难以实施，这进一步限制了传统方法的应用范围。为解决这些问题，采用先进的传感器技术对桥梁进行实时监控显得尤为重要。通过部署各种类型的传感器，如应变计、加速度计和光纤传感器等，可以实现对桥梁结构响应的精确测量，从而为评估桥梁健康状态提供可靠的数据支持。如何从海量监测数据中提取有用信息，并准确判断桥梁是否受损及损伤程度，则成为另一个亟待解决的问题。

针对上述挑战，研究者们提出了多种解决方案，其中基于物联网（IoT）和大数据分析的技术方案尤为引人注目。利用这些先进技术，不仅可以提高数据采集的精度和频率，还能通过智能算法自动分析数据趋势，预测潜在风险。机器学习算法可以根据历史数据训练模型，以识别出正常与异常的结构响应模式，从而帮助工程师更早地发现桥梁损伤迹象。尽管如此，要将这些前沿技术成功应用于桥梁健康管理，还需要克服一系列技术和管理上的难题，包括系统集成复杂性、数据安全性和长期运营成本等。探索高效合理的桥梁健康监测策略对于提升桥梁的安全性和耐用性具有重要意义。

2 基于传感器网络的桥梁健康监测技术

桥梁健康监测技术的进步离不开传感器网络的应用，它为实时监控桥梁结构状态提供了可能。传感器作为信息采集的基础单元，能够捕捉到桥梁在使用过程中产生的各种物理参数变化，如应力、应变、位移和振动等。通过将不同类型的传感器合理布置于桥梁的关键部位，可以全面获取结构响应数据，进而实现对桥梁健康状况的动态评估^[3-4]。在大跨度桥梁中，光纤光栅传感器因其高灵敏度和抗电磁干扰能力强的特点，被广泛用于监测结构内部的应力分布情况；而加速度计则擅长捕捉桥梁在车辆通行或风荷载作用下的动态响应，帮助分析结构的动力学

特性。这些传感器共同构成了一个庞大的数据收集网络，为后续的数据处理与分析奠定了坚实基础。

现代传感器网络通常集成了无线通信模块，使得远程监控成为现实。这意味着工程师无需亲临现场即可实时掌握桥梁的状态信息，极大地提高了工作效率。智能传感器具备一定的数据预处理能力，能够在本地完成初步的数据筛选和压缩，从而减少传输带宽需求并降低中心服务器的计算压力。为了确保数据的准确性和可靠性，系统还需配备一套完善的数据校验机制，以排除由于环境噪声或设备故障导致的异常值。这种从硬件到软件全方位优化的设计理念，使得基于传感器网络的桥梁健康监测系统更加适应复杂多变的实际应用环境。

在实际部署桥梁健康监测系统时，需要综合考虑多种因素，包括但不限于桥梁的具体结构形式、地理位置及其所处环境条件等。合理的传感器布局是保证监测效果的关键环节之一，它要求充分理解桥梁的工作原理及潜在损伤模式，以便确定最优的安装位置和数量。系统的稳定运行离不开强大的后台支持，这包括高效的数据管理平台以及专业的数据分析团队。通过集成先进的算法模型，可以实现对监测数据的深度挖掘，及时发现结构中的微小变化，并预测其发展趋势。这一系列措施共同构成了基于传感器网络的桥梁健康监测技术的核心框架，为提升桥梁的安全性能提供了有力保障。

3 智能算法在数据处理与损伤识别中的应用

智能算法在桥梁健康监测系统中扮演着至关重要的角色，尤其是在数据处理与损伤识别方面。通过收集自传感器网络的海量数据，需要采用有效的算法进行筛选、分析和解释，以提取出对结构健康状况有价值的信息。在面对复杂的环境噪声和结构响应数据时，传统的信号处理方法往往显得力不从心，而机器学习算法如支持向量机（SVM）和神经网络则能够有效地识别模式并过滤掉无关信息。这些算法能够通过对历史数据的学习，建立准确的模型来预测未来可能出现的问题，并帮助工程师及时采取措施防止潜在风险的发展。深度学习技术的应用进一步提高了数据分析的精度，使得即使是微小的损伤也能被及时发现。

在实际应用中，智能算法不仅用于数据处理，还在损伤识别过程中发挥了重要作用。桥梁结构可能

因多种原因出现损伤,如疲劳、腐蚀或地震等自然灾害的影响。为了准确识别这些损伤及其程度,需要依赖于智能算法的强大计算能力和高效的数据挖掘能力。基于贝叶斯网络的方法可以结合多源数据,评估不同损伤发生的概率,从而为决策提供科学依据^[5-6]。集成学习策略如随机森林算法,通过组合多个弱分类器来提高整体预测性能,对于复杂桥梁结构损伤的识别尤为有效。这类算法能够自动适应不同的工况条件,显著提升了损伤检测的准确性和可靠性。

随着技术的不断进步,智能算法在桥梁健康监测中的应用也日益广泛。除了上述提到的技术外,还有诸如遗传算法、模糊逻辑等多种方法被应用于优化传感器布局、提升数据处理效率以及增强损伤识别准确性等方面。这些先进算法的引入,不仅解决了传统方法中存在的局限性,还极大地推动了桥梁健康管理领域的发展。通过将智能算法与现有的传感器网络相结合,可以构建一个更加智能化、高效的桥梁健康监测体系,为保障桥梁的安全运行提供了强有力的技术支撑。

4 实际桥梁健康监测系统的实施效果

实际应用中的桥梁健康监测系统展示了显著的实施效果,验证了技术方案的有效性和可靠性。通过多座不同类型的桥梁上部署传感器网络并结合智能算法进行数据分析,这些系统不仅能够实时监控桥梁结构的状态变化,还能及时发现潜在的安全隐患。在某沿海大桥项目中,采用了集成光纤光栅传感器和无线传输技术的健康监测系统,成功捕捉到了由海风侵蚀引起的钢结构微小变形,并通过数据模型准确预测了其未来发展趋势。这一案例表明,先进的监测技术可以为桥梁维护提供科学依据,帮助管理者制定更加合理有效的维护计划,从而延长桥梁使用寿命。

桥梁健康监测系统的另一个重要贡献在于其对突发事件响应能力的提升。在一些自然灾害频发地区,如地震或台风过后,快速评估桥梁受损情况对于保障交通安全至关重要。利用部署的传感器网络,可以迅速获取桥梁结构的动态响应数据,并通过智能算法进行即时分析^[7-8]。以某山区公路桥为例,该桥在经历一次强烈地震后,监测系统立即启动紧急响应机制,通过对采集到的数据进行实时处理,快速确定了桥梁主要承重构件的安全状态。这种即时反馈

机制极大地提高了应急响应效率,确保了后续交通疏导和修复工作的顺利开展。监测系统还能够长期跟踪记录桥梁的各项性能指标,为科学研究提供了宝贵的第一手资料。

随着技术的不断进步,桥梁健康监测系统正逐步向智能化、自动化方向发展,其实施效果也在持续提升。现代监测系统不仅关注于数据的收集与分析,还致力于实现跨平台信息共享和协同管理,进一步增强了桥梁安全管理的整体效能。某些城市已经开始尝试将多个桥梁的监测数据整合至统一的城市基础设施管理平台,实现了资源优化配置和风险预警的全面覆盖。这种方式不仅提升了管理部门的工作效率,也为公众出行安全提供了更坚实的保障。通过不断探索和完善,桥梁健康监测系统将在未来发挥更大的作用,成为推动桥梁工程领域创新与发展的重要力量。

结语

桥梁健康监测系统的应用为提升桥梁的安全性和耐久性提供了强有力的技术支持。通过集成先进的传感器网络与智能算法,不仅实现了对桥梁结构健康状态的实时监控和早期损伤的精准识别,还显著提高了应对突发事件的能力。这些技术的发展和运用,极大地优化了桥梁维护策略,降低了长期运营成本,并保障了公众出行的安全。随着技术的持续进步,未来桥梁健康监测系统将更加智能化、高效化,为构建智慧城市基础设施贡献更多创新解决方案。不断探索和完善这一系统,对于推动交通基础设施的可持续发展具有深远意义。

参考文献

- [1] 高艳滨.双屿门大桥结构健康监测系统的监测内容[J].公路,2025,70(02):169-175.
- [2] 丁富兴.桥梁结构健康监测系统的运用与评估[J].汽车画刊,2025,(01):266-268.
- [3] 向东刚,邹云华,龚凯.特大悬索结构桥梁健康监测系统设计及运用[J].交通工程,2024,24(11):109-115+121.D
- [4] 侯恩厚,王能威,甘超,等.桥梁健康监测系统在桥梁日常养护中的应用[J].交通科技与管理,2023,4(24):19-22.
- [5] 陈小波,周宜侯,赵希逸.基于光纤震动技术的桥梁健康监测系统[J].西部交通科技,2023,(07):1-2.

- [6] 潘顺兴,龚小俊.桥梁管养中结构健康监测系統应用分析[J].运输经理世界,2022,(36):129-131.
- [7] 潘永杰,蔡德钧,冯仲伟,等.桥梁结构健康监测技术标准现状分析与思考[J].铁道建筑,2022,62(10):8-16.
- [8] 景亚彪.中小跨径桥梁结构健康监测系统设计研究[J].科

技资讯,2022,20(17):106-108.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS