

桥梁结构健康监测与维护管理技术研究

袁广华

张家口路缘公路工程有限责任公司, 河北 张家口 075000

摘要：桥梁作为城市和地区重要的交通枢纽，其结构健康状况直接关系到交通运输的畅通和经济社会的发展。因此，进行桥梁结构的健康监测与维护管理对于保障桥梁的安全运行至关重要。本文对桥梁结构健康监测技术措施进行了一定论述，在此基础上，进一步探讨了健康监测数据分析与评估，并结合桥梁结构的特点，分析了桥梁维护管理技术措施，进而为保障桥梁结构安全提供了重要的参考。

关键词：桥梁；结构；健康监测；维护管理

Health Monitoring Of The Bridge Structures and Research on Maintenance and Management Technology

Yuan Guanghua

Zhangjiakou Roadside Highway Engineering Co., Ltd, Hebei, Zhangjiakou 075000

Abstract： As an important traffic hub in cities and regions, the structural health status of the bridge is directly related to the smooth transportation and the development of economy and society. Therefore, the health monitoring and maintenance management of the bridge structure is crucial to ensure the safe operation of the bridge. In this paper, the technical measures of bridge structure health monitoring are discussed. On this basis, the analysis and evaluation of health monitoring data are further discussed, and combined with the characteristics, the technical measures of bridge maintenance and management are analyzed, which provides an important reference for ensuring the safety of bridge structure.

Key words： bridge; structure; health monitoring; maintenance and management

一、前言

在现代社会中，桥梁作为重要的交通基础设施，对保障城市交通畅通、促进经济发展起着至关重要的作用。然而，长期以来，桥梁结构的老化、超载和自然灾害等因素对桥梁的安全性和稳定性构成了严峻挑战。为了确保桥梁的安全运行和延长其使用寿命，研究桥梁结构健康监测与维护管理技术具有十分重要的现实意义。

二、桥梁结构健康监测技术措施

(一) 监测目标与指标设定

监测目标旨在实现对桥梁结构运行状态和健康状况的全面把握，为维护管理决策提供科学依据，主要监测目标包括结构健康评估、荷载效应分析、环境影响评估和灾害监测等方面。结构健康评估旨在通过监测桥梁的变形、振动、应力、应变等参数，评估桥梁结构的整体健康状况，及时发现结构的损伤和变形，预测结构的寿命；荷载效应分析关注桥梁在实际使用过程中所受到的静载荷和动载荷，以评估结构的承载能力和安全性；环境影响评估监测环境因素对桥梁结构的影响，如温度、湿度、风荷载等，为结构的抗环境能力提供参考；灾害监测旨在监测自然灾害（如地震、洪水）对桥梁结构的影响，及时发现灾害造成的损害和变

形情况，为灾害应对提供数据支持。

在设定监测指标时，涵盖了变形监测、振动监测、应力、应变监测以及温度监测等参数。变形监测包括水平位移、垂直位移、倾斜等变形参数的监测，通过传感器和激光等设备实时测量，以评估结构的稳定性和变形情况。振动监测用于监测桥梁结构在荷载作用下的振动情况，包括自由振动和受迫振动，以评估结构的动力特性和健康状况。应力、应变监测通过应变计等设备监测桥梁结构在荷载下产生的应力和应变，评估结构的受力性能和荷载效应。温度监测则监测桥梁结构的温度变化，以评估温度对结构的影响，尤其对于混凝土结构的温度应力分析尤为重要。通过设定合理的监测目标和指标，实现对桥梁结构的全面监测和准确评估，为桥梁维护管理提供科学依据和技术支持，保障桥梁的安全运行和可持续发展。

(二) 传感器技术在桥梁监测中的应用

传感器技术在桥梁结构健康监测中扮演着至关重要的角色，它是实现对桥梁结构运行状态和健康信息实时获取的关键工具。传感器技术的应用为桥梁监测提供了高精度、高灵敏度和高效率的手段。在桥梁监测中，常用的传感器包括应变传感器、位移传感器、加速度传感器、温度传感器等。

应变传感器是最常用的传感器之一，用于监测桥梁结构的应变变化。它们可以被安装在桥梁结构的关键部位，如梁、柱、墩等，以实时监测结构在荷载作用下的变形情况。位移传感器用于

测量桥梁结构的位移变化,包括水平位移、垂直位移和倾斜等。通过位移传感器的监测,可以了解桥梁结构的变形情况,判断结构是否出现异常位移,从而及时采取措施进行维护。加速度传感器用于监测桥梁结构在振动和地震等外力作用下的加速度变化,以评估结构的动力特性和健康状况。温度传感器用于监测桥梁结构的温度变化,尤其在混凝土结构中,温度对结构的影响非常重要,温度传感器的应用可以实现对温度应力的监测和分析^[1]。

(三) 数据采集、传输与处理技术

数据的准确采集和及时传输对于监测的有效性和实用性至关重要,而数据的处理和分析则决定了监测数据的科学性和可行性。

首先是数据采集技术。在桥梁结构健康监测中,需要部署大量的传感器来获取各种参数的监测数据。传感器的选择和布置对于数据采集的准确性和全面性具有重要影响。不同类型的传感器如应变传感器、位移传感器、加速度传感器等需要根据监测目标和监测指标进行合理的选择和配置。此外,还需要考虑传感器的采样频率和采样精度,以保证数据的精确度和全面性。

其次是数据传输技术。数据的实时传输是桥梁结构健康监测的关键要素。传感器采集到的数据需要及时传输到数据中心或监测控制中心进行实时监测和分析。在传输技术方面,无线传输技术如 Wi-Fi、蓝牙、LoRa 等广泛应用,通过无线传输可以避免传统有线连接带来的局限性和不便。同时,还需要考虑数据传输的稳定性和安全性,以确保数据传输的可靠性和保密性。

最后是数据处理技术。监测数据的处理和分析是桥梁健康监测的核心。大量的监测数据需要进行有效的处理和分析,以提取有用信息并做出科学判断。数据处理技术涉及信号处理、数据挖掘、统计分析等方面,通过这些技术可以对监测数据进行滤波、降噪、特征提取等处理,从而获得更为准确和可靠的结构健康信息。此外,数据处理技术还可以应用机器学习和人工智能算法,实现对数据的智能分析和预测,提高监测数据的利用价值和决策支持能力^[2]。

(四) 基于物联网与大数据的桥梁健康监测系统

基于物联网与大数据的桥梁健康监测系统是一种先进的监测技术体系,通过将传感器网络与大数据分析相结合,实现对桥梁结构的全面实时监测和健康评估。该系统的核心思想在于将传感器网络部署在桥梁结构的关键部位,实时采集各类监测数据,将这些数据通过物联网技术传输到数据中心。在数据中心,利用大数据分析技术,对海量的监测数据进行处理和分析,从中提取有用信息,帮助工程师和管理人员实时了解桥梁结构的运行状态,及时发现结构的异常和潜在问题。

三、健康监测数据分析与评估

(一) 监测数据分析方法与算法

首先,针对传感器采集到的位移数据和振动数据,常用的分析方法包括频域分析、时域分析和时频域分析。频域分析通过对数据进行傅里叶变换,将时域数据转换为频域谱,识别结构的固

有频率和共振频率,从中判断结构的动力特性。时域分析则主要针对数据的时间序列,通过统计方法和波形分析,评估结构的稳定性和变形情况。时频域分析结合了频域和时域的优势,能够同时分析数据的频率和时间特性,对于复杂结构的健康状况评估具有重要意义。

其次,对于应力、应变数据的分析,常用的方法包括应力云图分析、应力应变曲线拟合和极值分析。应力云图分析可以直观地展示结构的受力状态和应力分布情况。应力应变曲线拟合通过数学拟合方法,得到结构的应力应变关系,为结构的受力性能评估提供数据支持。极值分析则关注数据的最大值和最小值,以及出现的时间,用于判断结构的荷载效应和结构安全性。

最后,还可以运用机器学习算法如支持向量机、神经网络和决策树等,通过对历史监测数据的学习和训练,实现对桥梁结构未来状况的预测和预警。综合运用这些监测数据分析方法与算法,可以对桥梁结构的健康状况进行全面、准确的评估,为维护管理决策提供科学依据,保障桥梁的安全运行与可持续发展^[3]。

(二) 健康评估模型与指标体系构建

首先,健康评估模型是通过对监测数据的分析与处理,建立起桥梁结构健康状态与监测数据之间的关联模型。常用的健康评估模型包括经验模型、物理模型和统计模型等。经验模型是通过总结历史监测数据和经验知识,建立简单的数学模型,对结构的健康状况进行初步评估。物理模型则是基于桥梁结构的物理特性和工程力学原理,通过有限元分析等方法建立结构的数值模型,对结构的健康状况进行更加精细化的评估。统计模型则是运用数理统计方法,对监测数据进行统计分析,识别数据之间的相关性和规律性,为健康评估提供量化的指标。

其次,健康评估指标体系是对桥梁结构健康状况的多维度、全方位评估体系。指标体系应该涵盖结构的力学性能、运行状态、安全性、可靠性和经济性等方面。典型的健康评估指标包括结构的挠度、应力、应变、共振频率、结构自由振动频率、加速度响应等。同时,还可以考虑结构的结构健康指数,通过综合计算多个监测指标的权重,得到一个综合的健康评估指数,用于直观地表征结构的健康状况。除了结构本身的指标,健康评估指标体系还应该包括结构的环境指标,如温度、湿度、风荷载等,以及结构的荷载效应和自然灾害等因素。

四、桥梁维护管理技术措施

(一) 维护管理目标与策略设定

在制定维护管理目标与策略时,首先需要明确维护管理的总体目标,即保障桥梁的安全性、可靠性和经济性。安全是维护管理的首要目标,包括确保桥梁结构的强度、稳定性和承载能力,预防结构的损伤和事故风险。其次,可靠性是指桥梁在使用过程中能够持续稳定运行,不发生功能失效和结构破坏,确保桥梁的可持续使用。最后,经济性是在实现安全和可靠性的前提下,尽量降低维护成本,提高维护管理的效率和经济效益。

在维护管理策略设定方面,需要根据桥梁结构的实际情况和

健康状况,采取不同的维护措施和策略。首先,定期监测和评估是维护管理的基础,通过定期的结构健康监测和评估,及时发现结构的异常和损伤情况,为维护决策提供科学依据。其次,预防性维护是重要的策略之一,包括定期养护、保养和维修,对结构的腐蚀、疲劳和老化等问题进行预防性处理,延缓结构损伤和寿命衰减。再次,针对不同类型的损伤和缺陷,需要采取相应的修复和加固措施,如补强加固、更换损坏构件等,恢复结构的正常使用功能。最后,要加强桥梁管理和维护的信息化建设,建立完善的维护管理数据库和信息系統,实现对维护记录、维护成本和维护效果的全面监控和管理,提高维护管理的效率和水平。

(二) 基于健康监测数据的维护决策

基于健康监测数据的维护决策是桥梁维护管理技术中的关键环节,它利用桥梁结构健康监测数据和分析结果,为维护管理决策提供科学依据和指导。在进行维护决策时,首先需要对监测数据进行全面分析和评估,包括结构的振动数据、应力应变数据、温度数据等。通过对这些监测数据的分析,可以了解桥梁结构的实际运行状态和健康状况,发现结构的异常和损伤情况。

在维护决策过程中,根据监测数据的分析结果,制定相应的维护计划和措施。对于正常状态的桥梁结构,可以采取预防性维护措施,包括定期养护、保养和维修,预防结构的腐蚀、疲劳和老化等问题。对于出现异常的结构,需要进行损伤识别和定位,找出损伤的原因和程度,然后采取相应的修复和加固措施,恢复结构的正常使用功能^[1]。

(三) 预防性维护与修复措施

预防性维护是在桥梁结构处于正常状态下,通过定期养护、保养和维修,预防结构的腐蚀、疲劳和老化等问题,以防止结构出现损坏和事故风险。定期养护包括对桥梁的涂料、防水层、伸缩缝等进行检查和维护,确保这些部位的完好性和功能性。保养工作主要包括对桥梁的清洁、排水和绿化等,保持桥梁的干净整

洁和环境卫生,延缓结构的老化和损伤。此外,定期维修也是预防性维护的重要措施,及时修补桥梁结构中出现的小缺陷和损伤,防止其扩大和发展。

当桥梁结构出现异常情况或损伤时,需要采取及时的修复措施。修复措施包括补强加固、更换损坏构件、局部修补等,以恢复结构的正常使用功能和强度。修复措施的选择要根据结构的具体情况,包括结构的类型、材料特性、损伤程度以及使用环境等因素。对于一些严重损坏的桥梁结构,可能需要进行重大维修和加固,以保障其安全和稳定。修复措施的实施需要严格遵循相关标准和规范,并由经验丰富的工程师和专业团队进行操作^[2]。

(四) 维护管理成本与效益分析

维护管理成本与效益分析是桥梁维护管理技术中的重要环节,它旨在评估维护管理措施的经济性和实用性,帮助决策者做出科学合理的维护决策。在进行成本与效益分析时,首先需要对维护管理措施的成本进行全面核算,包括人力成本、物料成本、设备设施成本以及其他直接和间接成本。同时,还需要对维护措施的周期进行估算,确保维护计划的合理性和可行性。其次,需要评估维护管理措施的效益,主要包括结构的安全性、可靠性、使用寿命的延长以及维护后的运行性能等方面。效益评估可以通过数值模拟、数据对比和实测数据分析等方法进行,确保评估结果的准确性和可信度。

五、结语

综上所述,桥梁结构健康监测与维护管理技术是保障桥梁安全运行和可持续发展的关键因素。通过综合运用各种监测技术、数据分析方法和维护管理措施,可以全面了解桥梁结构的健康状况,及时发现结构的异常和损伤,为维护管理决策提供科学依据。

参考文献:

- [1] 樊一凡. CT 系统在桥梁监测与维护中的应用 [J]. 居舍, 2017,(26):139.
- [2] 欧进萍. 大型桥梁全寿命性能监测与维护 [J]. 中国公路, 2017,(13):42-45.
- [3] 王鹏凯. 高速公路桥梁安全巡检监测与维护措施 [J]. 交通世界, 2017,(09):102-103.
- [4] 王敏. 自动化监测系统在桥梁维护施工监测中的应用探析 [J]. 自动化与仪器仪表, 2016,(01):47-48.
- [5] 张力文. 基于长期监测的大型桥梁维护关键技术研究 [D]. 重庆交通大学, 2012.