

# 基于信息技术的铁路桥梁结构监测与维护优化研究

宋世禹

沈阳铁道科学技术研究所有限公司 辽宁 沈阳 110020

**摘要:** 本文针对铁路桥梁结构的监测与维护优化进行研究,探讨了基于信息技术的监测方法及其在铁路桥梁维护中的应用。综述了传统监测方法的局限性和基于信息技术的桥梁结构监测技术,包括无损检测技术、传感器技术和数据采集与处理方法。分析了铁路桥梁结构监测系统,涵盖系统架构、传感器布置、数据采集与传输以及数据处理与分析。探讨了铁路桥梁维护优化策略,包括维护决策模型建立、优化方案分析、经济性评价指标以及维护方案实施与评估。本研究旨在提高铁路桥梁的监测和维护水平,保障铁路运输安全。

**关键词:** 信息技术; 铁路桥梁; 结构检测; 维护优化

铁路桥梁的安全与稳定性对于铁路运输的可持续发展至关重要,然而,传统的桥梁监测方法存在局限性,无法满足对结构状况的实时、准确监测需求。基于信息技术的桥梁监测与维护优化研究成为了解决这一问题的新途径。本研究旨在综合应用无损检测技术、传感器技术以及数据采集和处理方法,设计并优化铁路桥梁结构监测系统,并探索有效的维护策略,以提高铁路桥梁的安全性、经济性和可靠性。

## 1 铁路桥梁结构监测技术综述

### 1.1 传统监测方法及其局限性

随着铁路交通的不断发展和桥梁结构的老化,对铁路桥梁的安全监测与维护变得尤为重要。传统的桥梁结构监测方法包括目视检查、人工振动测试等,虽然在一定程度上能够提供一些有用的信息,但存在着诸多局限性。传统的目视检查需要人工上桥进行观察,无法实现对大面积桥梁的全方位监测。这种方式不仅耗时费力,还可能存在着安全隐患。人工振动测试只能获取有限的结构响应信息,并且需要在特定条件下进行测试,限制了监测的精确性和可靠性。传统监测方法的数据采集和处理效率也较低,无法实时分析和反馈结构的健康状况。

### 1.2 基于信息技术的桥梁结构监测技术概述

#### (1) 无损检测技术

无损检测技术是一种非破坏性的测试方法,广泛应用于铁路桥梁结构的监测与评估中。该技术通过对材料特性和结构状态进行分析,获取结构内部的信息,并判断结构的健康状况。

无损检测技术能够实现对桥梁结构的全面覆盖监测,而不需要对结构进行破坏性的取样和试验。这种非接触式的监测方式不仅提高了监测效率,还有效降低了对桥梁运营的干扰。无损检测技术能够获取多种结构参

数信息,如裂缝、腐蚀、变形等,以及材料的强度、刚度等特性。通过对这些信息的分析和解读,可以准确评估结构的健康状况,并提前发现潜在的结构问题。无损检测技术具有高灵敏度和高精度的特点,能够实现微小变化和隐蔽缺陷的监测。通过与其他监测技术相结合,如传感器技术和数据处理方法,可以实现对大量数据的快速获取、存储和分析,进一步提高监测的可靠性和准确性。

#### (2) 传感器技术

传感器技术是基于信息技术的桥梁结构监测中的重要组成部分,通过安装在桥梁结构上的传感器,可以实时获取结构的各种参数和状态信息,为桥梁的健康状况提供准确的数据支持。传感器技术能够实现对桥梁结构的多点、多参数的监测。不同类型的传感器可以用于监测不同的物理量,如应变、振动、温度等。通过布置合适的传感器网络,可以全面了解桥梁结构的工作状态和荷载响应情况。传感器技术具有高灵敏度和快速响应的特点,传感器能够即时采集到结构发生的微小变化,包括振动频率、振型及变形等信息。这些数据可以实时传输到监测系统进行处理和分析,及时发现结构的异常变化并采取相应的措施<sup>[1]</sup>。传感器技术还能够实现远程监测和远程数据传输,借助无线通信技术,传感器可以将采集到的数据远程传输到中央监测系统,实现对桥梁结构的远程实时监控。这样不仅提高了监测的效率和便捷性,还减少了人力资源的需求。

#### (3) 数据采集与处理方法

数据采集与处理是基于信息技术的桥梁结构监测中至关重要的环节,通过合理的数据采集和有效的处理方法,可以实现对桥梁结构的准确监测和及时评估。

数据采集是指通过传感器、监测设备等工具获取桥

梁结构相关的物理量和状态信息。这些数据包括应变、振动、温度等多个参数，以及结构的变形、位移等。在数据采集过程中，需要选择合适的采集设备和布置方案，确保数据的准确性和全面性。数据处理是将采集到的原始数据进行预处理、滤波、降噪等操作，以提取有效信息并消除干扰因素。常用的处理方法包括小波分析、频域分析、时域分析等。通过对采集数据的处理，可以得到结构状态的特征参数，进而进行故障诊断和结构健康评估。此外，数据处理还包括数据的存储、传输和可视化展示。合理的数据存储方案可以保证数据的安全性和可追溯性，方便后续分析和比较。数据的传输利用网络技术实现远程监测和实时数据共享。通过可视化展示，将处理后的数据以图表、曲线等形式呈现，使监测人员能够直观地了解结构的运行情况。

## 2 铁路桥梁结构监测系统设计

### 2.1 系统架构和功能需求

系统架构涉及到监测设备、数据采集节点、数据传输通道和数据处理中心等多个组成部分。监测设备包括各类传感器和监测仪器，用于采集桥梁结构的物理量和状态信息。数据采集节点负责对采集到的数据进行预处理和存储，并通过数据传输通道将数据传送到数据处理中心。数据处理中心是系统的核心部分，负责对采集到的数据进行处理、分析和评估，同时提供实时监测结果和报警信息。

系统的功能需求主要包括实时监测、故障诊断和结构评估等方面，实时监测要求系统能够及时获取桥梁结构的动态响应和变化情况，实现对结构健康状态的实时监控。故障诊断功能要求系统能够根据采集到的数据，识别结构的异常变化和潜在故障，并提供相应的预警和诊断结果<sup>[2]</sup>。结构评估功能旨在通过对采集数据的分析和处理，评估桥梁结构的健康状况和寿命预测，为维护决策提供科学依据。

### 2.2 传感器选择与布置方案

在传感器的选择上，需要根据监测需求和结构特点选取合适的传感器类型。常见的传感器包括应变传感器、振动传感器、位移传感器等。应变传感器可用于测量结构的受力情况，振动传感器能够监测结构的振动响应，而位移传感器可以测量结构的位移变化。根据具体情况，可以结合多种传感器类型以获取更全面的监测数据。在传感器的布置方案上，需要考虑结构的特点、监测目标和布置的难易程度。传感器的布置位置应遵循以下原则：覆盖关键部位，如支座、节点、悬臂等；确定代表性部位，能够反映整个结构的运行状态；均匀分

布，保证数据的全面性和准确性；易于安装和维护，避免对结构造成额外的影响。

### 2.3 数据采集与传输方案

合理设计数据采集与传输方案，可以确保及时准确地获取桥梁结构的监测数据，并将其传输到中央处理中心进行分析和评估。在数据采集方面，需要选择合适的采集设备和方法，以获取桥梁结构相关的物理量和状态信息。常用的数据采集设备包括传感器、监测仪器等。根据监测目标和结构特点，选择合适的传感器类型，并考虑数据采集频率、采样精度等参数。制定数据采集计划，确定采集时间间隔和监测点位置，确保数据的全面性和连续性。在数据传输方面，需要选择合适的通信技术和传输方式。常见的通信技术包括有线通信和无线通信。有线通信可通过光纤、电缆等方式实现数据传输，具有稳定可靠的优势；无线通信则利用无线网络或蜂窝通信技术，实现远程监测和数据传输。根据监测需求和实际情况，选择适合的通信方式，并确保数据传输的安全性和实时性。

### 2.4 数据处理与分析方法

通过合理选择和运用数据处理与分析方法，可以实现对采集到的数据进行有效的提取、分析和评估，从而得出结构的健康状况和维护优化策略。在数据处理方面，需要对采集到的原始数据进行预处理和清洗，以去除噪声和异常值。常用的数据处理方法包括滤波、降噪、插值等。通过这些处理，可以获得更准确、可靠的数据，为后续的分析 and 评估提供良好的基础。在数据分析方面，可以运用多种方法来识别结构的异常变化和潜在故障。频域分析可用于提取结构的振动特征参数，并根据频谱图进行异常检测；时域分析可用于分析结构的响应行为和变形情况；小波分析可用于捕捉结构的非线性特征和局部异常。此外，还可以利用统计学方法、机器学习算法等进行数据挖掘和模式识别，以实现结构的故障诊断和健康评估。

## 3 铁路桥梁维护优化策略研究

### 3.1 维护决策模型建立

铁路桥梁的维护对于保障其安全运行和延长使用寿命至关重要，建立合理的维护决策模型可以帮助制定科学有效的维护策略，从而提高维护效率和资源利用率。在维护决策模型的建立中，需要考虑以下因素：桥梁结构的健康状况评估结果、维护目标和要求、维护成本与收益等。通过对桥梁的结构健康状况进行全面评估，可以确定不同部位和组件的优先维护级别。维护的目标和要求也应该被纳入模型中，例如延长使用寿命、提高承

载能力等。此外,还需考虑维护活动的成本和实际收益,以及维护对列车运行和交通正常性的影响,以综合评估维护策略的可行性和经济性。

在维护决策模型的具体方法上,可以运用多种技术和工具进行支持。常用的方法包括风险评估、优化算法、决策树等。风险评估可以对维护活动的风险进行定量和定性分析,以帮助确定维护策略的优先级和紧急程度<sup>[3]</sup>。优化算法可以通过考虑多个因素的权衡和最优化求解,制定最佳的维护计划和资源配置方案。决策树可以帮助判断不同维护决策的可能结果和潜在影响,从而辅助决策者做出合理的决策。

### 3.2 维护优化方案分析

维护优化方案分析需要考虑多种因素,如结构健康状况、维护成本、交通运输需求等。通过对桥梁结构的定期监测和评估,获取结构的健康状态信息,以此为依据制定合理的维护计划。还需综合考虑维护活动的成本,包括人力、材料、设备等投入,并权衡维护活动所带来的经济效益和社会效益。考虑交通运输需求的变化和对桥梁的影响,以确定最佳的维护时机和策略。

在维护优化方案分析的具体方法上,可以运用多种技术和工具进行支持。例如,基于风险评估的维护优化策略分析可以通过对不同维护方案的风险评估,确定最佳维护策略。优化算法可以用于考虑多个因素的权衡和最优化求解,制定最佳的维护计划和资源配置方案。决策支持系统可以将各种数据和参数输入模型中,进行综合分析和决策,帮助决策者做出科学合理的维护决策。

### 3.3 维护经济性评价指标

维护经济性评价指标是评估不同维护方案经济效益的重要参考依据,通过合理选择和应用维护经济性评价指标,可以对维护方案进行经济分析和比较,以确定最佳的维护策略。维护经济性评价指标可以包括成本指标和效益指标两个方面,成本指标主要包括维护活动所需的人力、材料、设备等直接成本,以及维护期间的停工造成的间接成本。通过对各项成本进行明确计算和分析,可以客观衡量不同维护方案的经济投入<sup>[4]</sup>。效益指标则主要考虑维护活动所带来的经济效益和社会效益。例如,维护活动能够延长桥梁使用寿命、提高运行安全性等,从而减少事故风险和维修频率,节省维修成本,提升交通运输效率。因此,通过评估这些经济效益,可以全面衡量维护方案的经济性。

在维护经济性评价指标的具体选择上,需要根据实际情况和评价目标确定合适的指标体系。常用的指标包

括投资回收期、净现值、内部收益率等。投资回收期是评估维护投资回收速度的指标,可用于评估长期维护方案的经济性。净现值则考虑了维护活动的现金流入和现金流出,能够客观评估方案的经济效益。内部收益率则表示维护活动所带来的投资回报率,可用于比较不同维护方案的经济优劣。

### 3.4 维护方案实施与评估

通过科学有效地实施维护方案,并对其进行评估和监测,可以验证方案的效果,并为后续为维护决策提供宝贵的经验和参考。在维护方案实施阶段,需要制定详细的计划和实施方案。根据维护目标和要求,确定具体的维护活动内容、工作流程和时间计划。同时,确保所需的人力、设备和材料等资源能够及时到位,满足维护方案的实施需求。在实施过程中,还需要注意施工安全和环境保护,确保维护工作的顺利进行。

在维护方案评估阶段,需要监测和评估维护工作的效果和影响。通过采集和分析相关的数据,比较维护前后的结构性能和运行状况,以评估维护方案的有效性。还可以根据维护目标和要求,评估维护活动对于结构健康状况、使用寿命等方面的影响,并结合经济性评价指标,评估维护方案的经济效益。在维护方案实施与评估中,需要及时记录和总结经验教训。通过对实施过程的反思和总结,发现问题并提出改进措施,以不断优化维护方案的实施效果。建立健全的档案管理制度,确保维护工作的可追溯性和记录完整性。

### 结语

在信息技术的支持下,铁路桥梁结构的监测与维护优化取得了显著的进步。然而,随着铁路运输的不断发展,对桥梁结构安全性的要求也越来越高。因此,我们需要继续深入研究基于信息技术的监测和维护技术,提高监测的准确性和实时性,为铁路运输的安全和顺畅提供有力保障。

### 参考文献

- [1] 聂翔.基于无线传感网的结构监测评估系统在城市桥梁中应用[J].建筑技术开发,2021, 48(13):85-87.
- [2] 聂翔.基于无线传感网的结构监测评估系统在城市桥梁中应用[J].建筑技术开发,2021, 48(13):85-87.
- [3] 杜荣武.高速铁路桥梁结构健康监测与安全评估系统研发[D].华中科技大学,2020.
- [4] 周孝林.基于铁路桥梁维护技术探究[J].科技传播,2016,8(09):183-184.