

市政桥梁结构健康监测与维护管理策略

宋成¹ 赵桂宝²

1. 青岛盛鸿泽建筑工程有限公司 山东 青岛 266300

2. 青岛鑫隆公路建设工程有限公司 山东 青岛 266300

摘要: 市政桥梁对城市交通至关重要,其结构健康监测与维护管理策略意义重大。本文首先阐述市政桥梁结构健康监测系统组成,包括传感器选型布置、数据采集传输及处理分析平台,确定力学与环境监测指标。接着探讨监测数据的分析处理方法,涵盖数据预处理、基于阈值、模型更新和人工智能的评估方法以及振动模态和应变能变化的损伤识别方法。最后提出市政桥梁维护管理策略,如预防性维护、基于状态监测的维护以及维护管理的信息化与数字化,旨在保障桥梁安全、降低成本并延长使用寿命。

关键词: 市政桥梁; 结构健康; 监测维护; 管理策略

引言: 市政桥梁是城市交通网络的关键部分,其安全稳定运行直接关系到城市功能的正常发挥。随着使用年限增长、交通流量剧增和环境因素影响,市政桥梁结构面临诸多挑战。结构健康监测与维护管理成为确保桥梁安全耐久性的必要手段。通过构建完善的监测系统,实时获取桥梁状态信息,运用科学的数据分析处理方法评估结构状况、识别损伤,进而制定合理的维护管理策略,包括预防性维护、基于状态监测的动态维护以及借助信息化数字化技术提升管理效率,对保障市政桥梁长期良好运行具有极为重要的现实意义。

1 市政桥梁结构健康监测系统概述

该系统主要由传感器、数据采集与传输、数据处理与分析等部分构成。(1)传感器的选型与布置是基础。针对不同的监测需求,如应变监测可选用应变片,它能精准感应桥梁结构在受力时的微小形变;加速度计则用于捕捉桥梁振动信息,位移计可测量结构的位移变化等。依据桥梁结构特点,在关键部位如桥墩顶部、梁体跨中及支座处合理布置传感器,确保全面反映桥梁的力学状态。(2)数据采集与传输系统负责收集传感器数据并传输至处理中心。数据采集设备需具备合适的采集频率、精度和分辨率,以满足对桥梁动态变化监测的要求。传输方式有有线和无线之分,有线传输稳定可靠,适用于长期固定监测点;无线传输灵活性高,便于在一些特殊位置或临时增设监测点时使用,二者各有优劣,常结合应用以保障数据传输的及时性与完整性。(3)数据处理与分析软件平台是系统的核心大脑。它首先对采集到的数据进行预处理,剔除异常数据并进行滤波平滑,提升数据质量。然后运用多种分析方法,如基于阈值的评估可依据设计规范设定参数界限,判断桥梁状态

是否异常;基于模型更新的评估借助有限元模型,根据监测数据不断修正模型参数,使模型更贴合实际结构;基于人工智能的评估利用神经网络等技术挖掘数据深层次信息,实现对桥梁健康状况的智能诊断^[1]。

2 市政桥梁结构健康监测数据的分析与处理方法

2.1 数据预处理

2.1.1 异常数据识别与剔除

在实际监测环境里,传感器可能因故障、恶劣天气、电磁干扰等因素产生异常数据。识别异常数据可运用多种方法,例如基于统计学原理的三倍标准差准则,若数据偏离均值超过三倍标准差,大概率为异常数据;还可采用数据突变检测算法,通过对比相邻数据的变化幅度与速率判断。当识别出异常数据后,需将其剔除,以避免对后续分析造成误导。比如在桥梁应变监测中,若因传感器突然受强电磁冲击产生极大异常应变值,若不剔除,会使基于数据的结构安全评估出现偏差,可能导致错误的维护决策。准确的异常数据识别与剔除能有效提高监测数据的可靠性与可用性,为精准判断桥梁结构健康状况奠定基础。

2.1.2 数据滤波与平滑

监测数据往往会受到各种噪声干扰,数据滤波旨在去除这些噪声,提升数据质量。常见的滤波方法有均值滤波,它通过计算一定窗口内数据的平均值,用该平均值替代窗口中心数据,从而削弱噪声影响;卡尔曼滤波则基于线性系统状态空间模型,对系统状态进行最优估计,在处理动态数据时效果显著。数据平滑处理则是为了使数据变化趋势更清晰直观。例如采用移动平均法,以当前数据点及其前后若干数据点的平均值作为平滑后的数据,能有效减少数据的波动与突变。在桥梁振动监

测中,滤波与平滑处理可去除环境振动等噪声干扰,让真实的桥梁振动特征得以凸显,有助于更精准地分析桥梁结构的动力特性,为后续的状态评估与损伤识别提供可靠的数据支持。

2.2 基于监测数据的桥梁结构状态评估

2.2.1 基于阈值的评估方法

它主要依据桥梁设计规范、历史经验数据以及结构有限元分析结果来设定阈值。针对如应力、应变、位移、振动频率等监测指标,分别确定其安全阈值范围。例如,在梁桥的监测中,根据设计承载能力确定梁体的许用应力阈值,当监测到的实际应力接近或超过该阈值时,便预示着结构可能处于不安全状态。这一方法的优势在于简单直观、易于操作,能快速对桥梁结构状态给出初步判断并及时预警。然而,其局限性也较为明显,阈值的设定往往依赖于既有经验和规范,难以适应复杂多变的实际工况以及桥梁结构的个体差异,可能出现误报或漏报情况,所以在实际应用中常需结合其他评估方法,以更全面准确地把握桥梁结构的真实状态。

2.2.2 基于模型更新的评估方法

其核心原理是借助有限元模型,将监测数据与模型计算结果相互比对。通过不断调整模型参数,如材料的弹性模量、泊松比,结构的截面尺寸、边界条件等,使模型尽可能地贴近桥梁实际结构状态。例如,在长期监测过程中,若发现某时段监测到的桥梁位移数据与初始模型计算结果偏差较大,就可对模型中可能影响位移的参数进行修正,直至模型计算的位移值与实测值相符。这样更新后的模型便能更精准地反映桥梁当下的真实性能,进而对其承载能力、疲劳寿命等关键指标进行有效评估与预测。不过,该方法对模型的初始构建精度要求较高,且模型更新过程涉及复杂的计算与参数识别,计算成本较大,但总体而言,它为深入了解桥梁结构状态提供了有力的技术支撑^[2]。

2.2.3 基于人工智能的评估方法

基于人工智能的评估方法为市政桥梁结构健康监测带来了新的活力与突破。其中,人工神经网络是常用技术手段,通过构建包含输入层、隐藏层与输出层的网络结构,将桥梁的各类监测数据如应力、应变、振动特征等作为输入。利用大量已知结构状态的样本数据对网络进行训练,在训练过程中不断调整神经元之间的连接权重,使网络能够学习到数据中的特征模式与内在规律。例如,在面对复杂的多因素影响下的桥梁状态评估时,神经网络可综合分析多种监测指标的非线性关系,从而准确地对桥梁健康状态进行分类,判断是正常、轻微损

伤还是严重损伤等,并对损伤位置与程度进行预测。支持向量机等其他人造智能方法也各有优势,它们能有效处理高维数据、解决小样本学习问题,相比传统评估方法,在处理复杂数据和提高评估准确性、效率方面展现出显著的优越性,为桥梁结构健康监测提供了更智能化、高效化的解决方案。

2.3 桥梁结构损伤识别与定位

2.3.1 基于振动模态分析的损伤识别方法

它基于结构动力学原理,桥梁的固有频率、模态振型和阻尼比等模态参数与结构的质量、刚度和阻尼紧密相关。当桥梁结构出现损伤时,如梁体开裂或支座松动,会致使局部刚度降低,进而引起模态参数发生变化。例如,损伤会使固有频率降低,模态振型在损伤处出现畸变。通过布置在桥梁关键部位的加速度传感器采集振动数据,提取模态参数,对比分析损伤前后的变化情况,就能判断损伤是否存在。像在一些简支梁桥的监测中,若发现某阶固有频率有明显下降,且对应模态振型在跨中区域出现异常变化,就可初步推断跨中部位可能存在损伤。然而,该方法也受测量噪声、模态阶数选取及局部损伤敏感性等因素影响,实际应用中常需结合其他方法,以提高损伤识别的准确性与可靠性。

2.3.2 基于应变能变化的损伤识别方法

基于应变能变化的损伤识别方法在市政桥梁结构健康监测领域有着独特的应用价值。应变能反映了结构在受力过程中的能量储存与分布状况。当桥梁结构发生损伤时,损伤区域及其附近的应变能分布会产生显著改变。例如,在局部损伤处,应变能会出现集中或重新分配的现象。通过对桥梁结构在不同工况下的应变能进行计算与分析,对比正常状态与疑似损伤状态下的应变能差值或应变能率等特征指标,就能确定损伤的大致位置与程度。在实际操作中,往往借助有限元模型进行精细化的应变能模拟分析,结合实测应变数据,提高识别的精度。比如在拱桥结构中,若拱肋某部位出现损伤,该区域应变能的异常变化可通过相应的计算与监测手段捕捉到,从而为及时发现并修复桥梁损伤提供关键依据,有效保障桥梁的安全运行与结构完整性^[3]。

3 市政桥梁维护管理策略

3.1 预防性维护策略

(1) 建立严谨的定期检查制度。依据桥梁类型、使用年限、交通流量等因素确定合理的检查周期,短则数月,长则数年。检查内容涵盖桥梁的各个关键部位,包括上部结构的梁体、桥面系,下部结构的桥墩、桥台以及附属设施等。外观检查着重查看混凝土是否有裂缝、

剥落,钢结构有无锈蚀等;同时采用无损检测技术,如超声检测可探测内部结构缺陷,雷达检测能发现隐蔽部位的病害,再结合力学性能测试,全面掌握桥梁结构的实际状况。每次检查都要详实记录并规范存档,构建完整的桥梁健康档案,以便追踪结构状态的变化趋势。

(2)科学制定养护维修计划。基于定期检查结果与结构健康监测数据,确定具体的养护维修项目、实施时间与工艺材料。针对混凝土表面轻微裂缝,可采用注浆修补并涂刷防护涂层,防止裂缝进一步扩展与侵蚀;对钢结构锈蚀部位,先除锈再涂装高性能防腐漆。对于支座老化,及时进行更换;伸缩缝损坏则清理杂物并修复或更新。通过这些预防性养护维修措施,能有效延缓结构损伤的发展,避免小问题演变成大故障,减少突发事故风险,降低全寿命周期的维护成本,确保市政桥梁始终处于良好的运行状态,持续为城市交通提供可靠的支撑。

3.2 基于状态监测的维护策略

该策略的核心在于构建维护决策模型。综合考量桥梁结构的安全性、耐久性、维修成本以及对交通运营的影响等多方面要素,运用数学优化模型或基于规则的决策系统来确定最佳维护时机与措施。例如采用层次分析法(AHP),将各评价指标分层,通过两两比较确定权重,从而对不同维护方案进行量化评估;或者运用模糊综合评价法处理评价过程中的模糊性与不确定性,得到更贴合实际的决策结果。借助结构健康监测系统提供的实时数据,如应力、应变、振动等信息,对桥梁结构状态进行持续评估。当监测数据显示结构状态异常变化或接近预警阈值时,迅速启动维护决策模型。例如,若监测到某桥梁关键部位应力持续增大且超过设定阈值,模型会综合分析可能的原因,如交通荷载突变、结构局部损伤等,进而制定出针对性的检测方案,如采用更精确的无损检测技术进一步确定损伤程度与范围,随后确定维修或加固措施,如局部加固、构件更换等,并合理安排维护资源与施工时间,最大限度减少对交通的干扰。

3.3 维护管理的信息化与数字化

其功能架构涵盖桥梁基本信息管理,包括设计资料、建造年代、结构参数等;检查养护记录管理,可追溯历次检查的时间、内容、结果以及养护维修的详细情

况;结构健康监测数据管理,实时存储和更新传感器采集的数据。通过BMIS,能够实现数据的集中管理与共享,方便不同部门和人员随时查询与调用。利用大数据分析技术,深入挖掘数据间的关联与规律,例如分析交通流量与桥梁结构响应的关系,为维护决策提供有力的数据支持。通过生成各类报表,直观呈现桥梁的健康状况、维护历史和趋势预测,便于管理者全面把握桥梁动态。数字化桥梁模型(BIM)在维护管理中也展现出独特优势,通过创建三维数字化桥梁模型,可直观展示桥梁的空间结构与细节。在模型中集成健康监测数据、检查信息和维修记录,实现信息的可视化与动态更新。基于BIM进行维护管理,能够提前模拟维修施工方案,优化施工流程,减少施工中的错误与返工。例如在桥梁加固工程中,利用BIM模型模拟不同加固方案对结构受力的影响,选择最优方案并指导施工,提高施工效率与质量,降低成本^[4]。

结束语

市政桥梁结构健康监测与维护管理是保障城市交通动脉畅通与安全的核心任务。通过本研究构建的监测体系与维护策略,能有效提升桥梁管理的科学性与精准性。但仍需认识到,技术发展永无止境,未来需持续探索更先进的传感器技术以获取更精准数据,深化人工智能算法应用以提高损伤识别和状态评估的可靠性,加强多学科融合创新维护管理模式。同时,提高从业者专业素养与责任意识,促进各部门协同合作,确保市政桥梁在全寿命周期内高效、安全服务于城市发展与民众出行。

参考文献

- [1]易小伟.健康监测技术在市政桥梁结构安全评估中的应用研究[J].工程建设与设计,2023,(18):110-112.
- [2]汪洋.市政桥梁结构安全监测系统的研发及应用.浙江省,浙江恒玮市政工程科技有限公司,2019-02-27.
- [3]张翼鸿,尹兆坚,高硕.结构健康检测技术的发展现状与应用[J].振动与冲击,2019,31(6):119-126.
- [4]李宇翔,任红磊,赵珺秀,等.基于非接触式监测技术的桥梁结构健康监测方法研究[J].建筑科学与工程学报,2019,35(3):98-107.