

市政道路桥梁智能监测系统的应用与发展趋势

张圣通

江西中坤建设机械工程股份有限公司, 江西南昌, 330000;

摘要: 市政道路桥梁是城市交通网络的核心载体, 其结构安全与运行效率直接影响市民出行与城市运转。随着智能化技术快速发展, 传统监测模式在复杂环境下已难以满足精准化、实时化需求。智能监测系统依托多源感知、数据融合及智能分析等优势, 成为提升道路桥梁运维水平的关键。本文阐述该系统的核心内涵与技术架构, 聚焦其在结构安全、交通管控及运维管理中的应用场景, 分析应用中的技术瓶颈与现实挑战, 探讨基于新技术融合的发展方向, 为市政道路桥梁基础设施智能化升级提供参考。

关键词: 市政道路桥梁; 智能监测系统; 结构安全; 运维管理; 发展趋势

DOI: 10. 64216/3104-9664. 25. 02. 055

引言

城市现代化进程中, 市政道路桥梁建设规模与服役年限同步增长, 结构老化、交通荷载递增及极端天气等问题凸显, 对监测运维提出更高要求。传统人工巡检与定点监测方式, 存在响应滞后、数据零散及预警精度不足等缺陷, 易遗漏安全隐患。近年来, 物联网、大数据等技术与基础设施领域深度融合, 催生了集感知、传输、分析于一体的智能监测系统。该系统可实现道路桥梁全生命周期动态监测, 为安全评估提供依据。

1 市政道路桥梁智能监测系统的核心架构与技术基础

1.1 系统核心组成

智能监测系统的核心组成涵盖感知层、传输层、数据层及应用层, 各层级功能明确且协同运作。感知层作为数据采集前端, 部署各类传感设备, 负责捕捉结构应力、位移、振动等结构参数, 同时采集交通流量、车速等运行数据, 为系统分析提供基础数据源。传输层承担数据传递任务, 通过 5G、物联网等通信技术, 构建稳定高效的传输链路, 实现采集数据的实时上传, 避免数据延迟影响决策及时性。数据层是系统的数据处理中心, 对上传数据进行存储、清洗、去重及融合, 剔除无效信息, 整合多维度数据资源。应用层则面向实际需求, 开发可视化管理平台, 为结构安全评估、运维调度等工作提供直观的数据支撑与操作界面。

1.2 关键支撑技术

智能监测系统的稳定运行依赖多源感知技术、数据融合技术及智能分析技术构成的支撑体系。多源感知技

术突破单一监测局限, 整合光纤传感、微波雷达、红外探测等新型传感技术, 通过不同设备的协同应用, 实现对结构及运行状态的全方位监测, 弥补单一设备在监测范围或精度上的不足。数据融合技术针对多源感知获取的异构数据, 采用专业算法进行数据互补与校验, 解决不同格式数据间的兼容性问题, 提升数据的完整性与可靠性, 为后续分析提供高质量数据。智能分析技术是系统智能化的核心, 借助机器学习、数据挖掘等算法, 深入挖掘数据间的关联规律, 精准识别潜在隐患特征, 有效提升隐患识别效率与预警准确性, 避免漏判或误判情况发生。

1.3 系统建设原则

市政道路桥梁智能监测系统建设需遵循精准性、实时性及兼容性三大核心原则。精准性原则是系统价值的基础, 要求监测设备具备高灵敏度与稳定性, 确保采集的数据能够真实反映道路桥梁的结构状态与运行情况, 避免因数据失真导致评估偏差或预警失误。实时性原则强调数据传输与分析的高效性, 通过优化传输链路与分析算法, 缩短数据从采集到处理的时间, 确保在异常情况出现时能够快速响应, 为应急处置预留充足时间。兼容性原则注重系统的拓展与衔接能力, 在技术选型与架构设计时, 充分考虑与现有运维管理体系的适配性, 同时预留与未来新技术、新设备的对接接口, 实现系统的长期稳定运行与迭代升级。

2 市政道路桥梁智能监测系统的主要应用场景

2.1 结构安全监测预警

结构安全状态实时监测与预警是智能监测系统的核心应用场景之一, 直接关系到道路桥梁的运行安全。

针对桥梁主梁、桥墩、支座等关键结构部位，系统部署专用智能传感设备，实时捕捉结构变形、裂缝发展、应力变化等核心参数，全面掌握结构健康状态。系统后台预设不同结构的安全阈值，将实时采集的数据与阈值进行自动对比分析，当数据出现异常波动并接近或超过阈值时，立即触发分级预警机制，通过平台推送、短信通知等方式，将预警信息及时传递给相关管理人员。

2.2 交通运行智能管控

智能监测系统在交通运行状态管控方面发挥着重要作用，通过视频识别、交通流传感、雷达监测等多种技术手段的结合，实现对道路桥梁交通运行状态的全面感知。系统实时采集车流量、车速、车型分布、拥堵情况等交通参数，构建动态交通流数据库，为交通管控提供精准数据支撑。基于采集的交通数据，系统通过智能算法分析通行瓶颈所在，精准判断拥堵成因及发展趋势，为交通管理部门优化交通信号配时、制定科学疏导方案提供决策依据，有效提升道路通行效率。

2.3 运维管理优化升级

智能监测系统推动市政道路桥梁运维管理实现全流程优化升级，改变传统运维模式的被动性与盲目性。系统基于实时监测数据，为每座桥梁、每段道路建立专属的设施健康档案，详细记录设施基础信息、监测数据变化、养护历史等内容，实现运维工作的标准化与规范化管理。通过对监测数据的长期跟踪与趋势分析，系统能够精准预测设施损耗规律与老化趋势，提前识别潜在故障风险，推动运维模式从“事后维修”向“预防性维护”转变，降低运维成本与设施故障对交通的影响。

3 市政道路桥梁智能监测系统应用中的现存问题

3.1 技术瓶颈制约

当前市政道路桥梁智能监测系统在应用中面临诸多技术层面的瓶颈制约，影响系统整体效能的发挥。在复杂服役环境下，部分传感设备的稳定性与耐久性不足，长期暴露在高温、高湿、强腐蚀及电磁干扰环境中，易出现设备故障或数据采集精度下降问题，难以满足长期连续监测需求。多源数据融合方面，由于不同监测设备的生产厂家、技术标准存在差异，导致采集的数据格式、精度、传输协议不统一，数据融合过程中易出现数据冗余、冲突或缺失情况，增加数据处理难度，影响分析结果的准确性。智能算法应用存在局限，现有算法多基于特定场景数据训练，泛化能力较弱，面对极端天气、突

发交通事故等特殊工况时，隐患识别与预警的准确性和及时性有待提升。

3.2 应用现实阻碍

智能监测系统在实际应用过程中面临诸多现实阻碍，制约其推广普及。对于大量已建成的既有道路桥梁，在进行监测系统改造时，设备安装难度较大。部分桥梁结构复杂，可安装监测设备的空间有限，且安装过程中需避免对原有结构造成扰动或损伤，增加了施工难度与风险。数据共享方面，不同区域、不同管理部门的监测系统往往独立建设，缺乏统一的规划与协调，导致各系统间存在数据壁垒，难以实现监测信息的共享与协同联动，无法形成全域化的监测管理体系。成本问题突出，智能监测系统的设备采购、安装施工、后期运维等环节均需投入大量资金，系统建设与运行成本较高，对于经济实力相对薄弱的中小城市而言，难以承担大规模推广应用的费用，限制了系统的应用范围。

3.3 标准体系缺失

市政道路桥梁智能监测领域相关标准与管理体制的缺失，是影响系统规范发展的重要因素。目前，智能监测系统的技术标准、数据采集规范、接口协议等尚未完全统一，不同厂家生产的设备与系统难以兼容，导致在系统扩容、设备更换或跨区域协同时面临诸多困难，增加了系统建设与维护成本。人才队伍建设滞后，智能监测系统的操作、数据处理及运维管理需要具备专业技术知识的复合型人才，而现有从业人员多为传统运维人员，缺乏对物联网、大数据、人工智能等新技术的掌握，难以熟练操作系统及深入分析监测数据，影响系统功能的充分发挥。

4 市政道路桥梁智能监测系统的技术创新方向

4.1 感知技术升级

感知技术的精准化与微型化发展是智能监测系统的重要技术创新方向，旨在提升数据采集能力与应用灵活性。科研机构与企业加大研发投入，针对复杂服役环境，开发具备高稳定性、高耐久性的传感设备，通过优化设备材质与结构设计，提升其抗温湿度变化、抗腐蚀及抗电磁干扰能力，确保在恶劣环境下仍能稳定采集精准数据。同时，推动传感设备向微型化、低功耗方向发展，减小设备体积与安装空间需求，降低对桥梁结构的影响，同时降低设备运行能耗，延长设备使用寿命，减少运维成本。

4.2 数据处理优化

数据处理与分析的智能化升级是提升系统核心能力的关键。相关部门与行业协会牵头制定统一的数据标准与接口规范,明确数据采集格式、传输协议及存储要求,打破不同系统间的数据壁垒,实现多源数据的高效整合与共享。在数据处理过程中,引入深度学习、强化学习等先进智能算法,通过大量数据训练优化算法模型,提升算法对复杂数据的处理能力,精准识别数据中的异常特征,提高隐患识别的准确性与预警的及时性。

4.3 系统协同强化

强化系统集成与协同能力是智能监测系统发展的重要方向,旨在提升系统整体应用效能。推动智能监测系统与城市交通管理系统、应急指挥系统、市政管理平台等现有系统的深度集成,实现数据互通与功能互补,构建一体化的城市基础设施管理体系。打破区域与部门界限,构建跨区域、跨部门的协同管理平台,建立统一的信息共享机制与联动处置流程,当发生设施故障或突发交通事件时,相关部门能够快速获取信息并协同开展处置工作,提升应急响应效率。同时,积极探索“监测-评估-决策-运维”全流程闭环管理模式,将监测数据直接转化为评估结果,基于评估制定运维决策,再通过运维实施反馈优化监测方案,形成完整的管理闭环,全面提升系统对运维工作的支撑能力。

5 市政道路桥梁智能监测系统的未来发展趋势

5.1 数字化孪生融合

数字化孪生技术与智能监测系统的深度融合,将成为未来发展的重要趋势,为道路桥梁管理提供全新模式。通过三维建模、传感器数据映射等技术,构建与物理道路桥梁完全匹配的数字化孪生模型,实现物理实体与虚拟模型的实时数据同步与状态映射,管理人员可通过虚拟模型直观掌握设施的全方位信息。基于数字化孪生模型,可进行各类模拟分析与场景推演,如模拟极端天气下结构的受力变化、交通事故对交通运行的影响等,为设施优化设计、风险防控及应急处置提供精准的数据支撑与方案验证。

5.2 绿色低碳发展

绿色低碳理念的全面融入,是智能监测系统响应国家发展战略的重要体现。在设备研发与选型方面,重点研发节能型传感设备与低功耗传输技术,通过优化电路设计、采用节能芯片等方式,降低设备运行过程中的能耗,减少能源消耗与碳排放。在运维管理中,充分利用

监测数据优化运维方案,根据设施实际损耗状态制定精准的养护计划,避免过度养护导致的材料浪费与环境污染,同时通过及时养护延长设施使用寿命,降低设施重建带来的资源消耗。此外,推动智能监测系统与绿色建材、低碳施工技术的协同发展,将监测数据与绿色建材性能评估、低碳施工质量管控相结合,构建绿色智能的市政道路桥梁基础设施体系,实现经济效益与环境效益的统一。

5.3 服务协同提升

智能监测系统的发展将更加注重智能化与人性化服务的协同提升,拓展系统服务维度。基于实时监测数据与市民出行需求,开发个性化交通出行信息服务功能,通过手机 APP、导航软件等渠道,向市民推送道路拥堵情况、桥梁通行状态、施工绕行提示等精准信息,帮助市民合理规划出行路线,提升出行效率。开发面向公众的安全预警终端,当道路桥梁出现结构安全隐患或突发危险情况时,及时向周边市民发布安全预警信息,提醒市民注意避让,提升市民出行的安全感与获得感。

6 结论

市政道路桥梁智能监测系统是提升基础设施管理水平的关键支撑,其发展与应用对保障城市交通安全、提高运维效率具有重要意义。当前系统已在结构安全监测、交通管控、运维管理等场景实现有效应用,展现出显著的技术优势与实用价值。通过感知技术升级、数据处理优化及系统协同强化等技术创新,结合数字化孪生融合、绿色低碳发展及服务协同提升等趋势,智能监测系统将实现功能与效能的全面提升。

参考文献

- [1] 杨则鹤,石晓.市政道路桥梁腐蚀损伤的智能检测与评估技术[J].全面腐蚀控制,2025,39(10):89-90+95.
- [2] 范林武.市政道路与桥梁工程的常见病害与施工处理技术探析[J].建设机械技术与管理,2025,38(05):90-91.
- [3] 冯毅.市政道路桥梁工程中的桥梁基础处理与加固技术研究[J].运输经理世界,2025,(26):112-114.
- [4] 马备战,胡旭东.市政道路桥梁工程预应力施工技术的应用分析[J].城市建设,2025,(18):68-70.
- [5] 吴小环.基于城市体检的市政道路桥梁工程全生命周期管理创新研究[J].广州建筑,2025,53(08):95-98.