

道路桥梁工程养护管理与技术优化研究

张纪产

(安徽省滨江路桥工程有限公司, 安徽 安庆 246200)

摘要 随着交通运输流量持续攀升, 桥梁结构损耗速率显著加快, 传统养护管理模式的局限性逐渐凸显, 难以满足现阶段工程实践的现实需要。本研究聚焦道路桥梁工程养护管理体系构建与技术升级路径两大核心问题, 核心目标在于提升桥梁运营安全水平、结构抗损性能及服役周期, 系统剖析当前养护管理工作存在的问题, 依托先进技术提出针对性优化策略, 并探索智能化养护管理体系的构建路径, 结合具体工程实践案例论证各项优化措施的实施可行性与实际应用成效, 旨在为后续道路桥梁养护管理工作的开展提供有益参考。研究结果证实, 科学完善的养护管理方案与技术创新手段的有机结合, 可大幅提升桥梁工程的运营效能与综合经济效益。

关键词 道路桥梁; 养护管理; 智能化技术; 智能监测系统; 养护决策支持系统

中图分类号: U418; U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.05.028

0 引言

交通运输行业发展对基础设施的需求持续扩大, 道路桥梁作为交通网络的关键组成部分, 承载的通行任务日趋繁重, 而随着服役年限的累积, 桥梁结构损伤老化问题愈发显著, 传统养护管理手段已难以匹配现代化交通体系的运行要求。桥梁养护工作既关乎交通运输过程中的人员与车辆安全, 也对社会经济效益提升及资源高效配置产生直接影响, 如何强化养护管理工作成效、延长桥梁实际服役年限, 成为当下行业发展亟待攻克的关键难题。新材料研发与新技术应用的步伐不断加快, 智能化养护管理模式的研究与推广逐渐进入行业视野, 为桥梁维护领域带来全新发展思路, 推广此类创新技术成果, 有望推动桥梁养护管理工作朝着科学化、精准化与智能化的方向稳步迈进。

1 道路桥梁养护管理现状分析

1.1 道路桥梁养护管理的现有问题

道路桥梁传统养护管理模式以周期性检查维修为核心执行路径, 这类操作模式存在诸多固有缺陷, 难以适配持续增长的交通承载压力以及桥梁延长服役周期的现实需求, 传统养护方案多建立在时间周期基准之上, 配套应用的监测技术手段缺乏科学性与系统性, 大量养护作业环节依托人工现场勘查与过往经验判断推进, 直接造成养护流程耗时偏长、问题响应存在明显滞后性, 部分桥梁即便已经出现较为严重的结构损

伤, 对应的修复处置工作也未能及时启动, 最终造成桥梁结构损伤持续累积并不断劣化, 对交通运输安全构成潜在威胁。

养护资金投入与专业人力资源配置存在客观限制, 诸多地区在推进养护管理工作过程中, 普遍出现资源配置不合理引发的浪费现象。针对桥梁运行过程中潜藏的各类风险隐患, 无法实现精细化、靶向性管理。依据交通运输部颁布的《桥梁养护管理规程》相关要求, 桥梁养护管理工作需严格遵循定期检测评估、分级分类判定、损伤及时修复的核心原则, 但在具体实践操作环节, 由于缺乏高效监测技术手段与实时数据支撑, 大量桥梁难以依照规范标准落实科学化养护措施, 进而对桥梁运行安全性与实际服役寿命产生不良影响。

1.2 国内外养护管理的研究进展

在国外, 欧美等交通运输发展水平较高的地区, 在桥梁养护管理领域的理论研究与工程实践积累已趋于成熟完善。在美国发布的《桥梁管理系统指南》中, 构建了一套系统化、全流程的桥梁管理实施框架, 着重强调对桥梁全生命周期的动态管控。该管理系统通过在桥梁关键结构部位布设各类监测传感器, 实时捕捉桥梁运行过程中的健康状态数据, 结合大数据分析技术手段, 能够精准预判桥梁养护作业的最佳时间周期。来自美国交通部的统计数据显示, 应用该桥梁管理系统的区域, 桥梁维修作业周期缩短幅度达到 30% 左右, 养护管理综合成本降幅超过 20%。对比国际先进

作者简介: 张纪产 (1982-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 道路与桥梁工程。

技术水平,我国在桥梁养护管理领域的研究与应用起步相对较晚,尽管近些年在桥梁安全性能评估、结构健康监测等细分领域取得了阶段性成果,但整体技术发展水平与国际先进标准仍存在一定差距。

《中国交通建设年度报告》所公布的数据显示,国内现有桥梁中约 70% 尚未配套安装智能化监测系统,接近 50% 的桥梁养护管理决策仍依赖人工经验判断。国内桥梁养护管理工作在标准化、规范化建设层面同样面临诸多挑战,部分地区的养护作业开展未能严格遵照《公路桥梁养护技术规范》(JTG/T D60-01-2015)等行业标准要求,直接导致养护工作质量参差不齐,尽管近年来我国逐步将无人机巡检、地面雷达探测等现代化技术引入桥梁养护管理领域,但整体智能化应用水平与自动化运行程度仍需进一步优化升级^[1]。

2 技术优化在道路桥梁养护中的应用

2.1 新材料在桥梁养护中的应用

高性能混凝土(HPC)作为一类新型建筑材料,目前已被广泛纳入桥梁建设与养护工程实践中。相较于传统混凝土材料,高性能混凝土具备更为优异的力学强度、结构耐久性与抗渗透性能,高性能混凝土的推广应用,能够有效延长桥梁实际服役年限,尤其在抗开裂、抗冻融、抗腐蚀等关键性能指标方面表现突出。根据《桥梁工程混凝土技术规范》(JTG/T D62-2004)中的明确规定,高性能混凝土的抗压强度标准值需达到 50 MPa 以上,远超传统混凝土 30 MPa 的抗压强度水平,能够显著增强桥梁结构的承载能力与抗震性能。

防腐涂层材料是保护桥梁钢结构免遭腐蚀侵害的重要防护材料,广泛应用于钢梁、支撑构件等桥梁钢结构部位。防腐涂层产品种类丰富多样,其中环氧树脂涂料、聚氨酯涂料以及锌基涂料三类产品,在桥梁钢结构防护领域应用频次较高。按照《公路桥梁养护技术规范》(JTG/T D60-01-2015)的相关要求,防腐涂层厚度需结合具体使用环境条件灵活调整,常规厚度区间控制在 100 ~ 300 μm ,可有效阻断水、酸碱等腐蚀性物质的渗透路径,从而实现延长桥梁服役寿命的目标。桥梁结构修复技术领域近些年涌现出多项先进工艺方法,碳纤维增强复合材料(CFRP)便是其中的典型代表,该材料凭借优异的力学强度与抗腐蚀性,在桥梁修复工程中得到广泛应用,碳纤维增强复合材料的抗拉强度可达 3 000 MPa,约为普通钢材的 5 倍,能够高效提升受损桥梁结构的承载能力。

2.2 智能化技术在养护管理中的应用

在信息技术快速发展的背景下,智能化技术逐步融入桥梁养护管理工作各环节,显著提升了养护管理工作的精准度与执行效率。传感器监测技术是智能化养护管理体系构建的核心组成部分,通过在桥梁关键结构点位部署应变传感器、加速度传感器、温湿度传感器等多类型监测设备,能够实时捕捉桥梁运行过程中的健康状态数据。

依托物联网技术架构,可实现桥梁各类监测传感器与后台数据处理平台的无缝对接,对桥梁健康状态远程实时监控。物联网技术同时具备与其他终端设备的联动功能,能够自动触发风险警报、养护任务派单乃至部分自动化养护操作,大幅提升养护管理工作的响应速度与处置时效。数据分析技术与智能决策系统的有机融合,推动桥梁养护管理模式朝着精准化、科学化方向转型升级,通过对传感器采集的海量数据开展深度大数据分析,能够实现对桥梁健康状态的全面评估与趋势预测^[2]。

3 智能化养护管理模式的构建与实现

3.1 智能监测系统的设计与实现

加速度传感器、位移传感器、温湿度传感器等多类监测终端,用于采集桥梁在不同荷载条件与环境因素影响下的运行状态数据,传感器捕捉的各类数据,可借助无线通信技术或有线传输模式汇总至集中式数据处理平台,为后续的结构状态分析与养护决策制定提供全面数据支撑。依据《桥梁健康监测系统技术规范》(JTG/T D60-01-2015)相关条款,传感器数据采集频率需结合桥梁实际使用环境与监测任务需求灵活设定,常规工况下应变传感器采集频率不得低于 10 Hz,位移传感器采集频率则应维持在 5 Hz 以上,为保障监测数据的精准度与可靠性,各类传感器的测量误差范围需严格控制在 2% 以内。

数据采集与处理平台是智能监测系统稳定运行的基础硬件设施,承担着数据存储、运算处理与综合分析的核心职能,该平台可对收集到的海量监测数据开展预处理操作,通过滤除噪声干扰与无效数据,输出更为精准的桥梁健康状态评估结论。平台具备桥梁健康状况实时可视化展示功能,一旦监测数据超出预设安全阈值便会自动启动警报程序,当桥梁结构应变数值突破设定安全区间时,系统可即刻触发预警机制,第一时间通知养护人员赶赴现场开展专项检查^[3]。

3.2 基于大数据的养护决策支持系统

基于大数据技术的养护决策支持系统,以桥梁健康监测系统采集的海量运行数据为基础,结合现代数据分析技术手段,为养护管理人员提供科学决策依据,该系统的核心功能聚焦对桥梁健康状态开展定量评估,并精准预测桥梁结构剩余服役寿命。系统搭载的数据分析方法涵盖时间序列分析、回归分析、聚类分析及机器学习算法等多元技术,能够从复杂的监测数据中挖掘提炼桥梁结构损伤演化规律与发展趋势,借助回归分析方法,系统可基于历史监测数据构建桥梁损伤程度与服役年限、交通荷载等影响因素间的关联模型,进而实现对桥梁未来损伤发展趋势的预判。根据《桥梁养护技术规范》(JTG/T D60-01-2015)要求,系统经数据运算处理后输出的桥梁剩余寿命预测结果,误差范围需控制在5%以内。

依托上述技术路径,养护管理人员能够提前规划针对性养护措施,有效规避因突发结构损伤引发的安全风险。决策支持系统以大数据技术与人工智能算法为核心构建逻辑,可根据桥梁实时健康状态自动生成养护实施方案建议,通过整合分析海量历史数据与实时监测信息,系统能够输出最具性价比的养护优化方案,当系统监测到某座桥梁疲劳损伤累积达到临界值时,会自动推荐采取加固补强或局部结构修复措施;对于运行状态良好的桥梁,则建议适当延长检测周期^[4]。

4 案例分析与技术优化效果评价

4.1 某市桥梁养护管理案例分析

某市城区内的核心交通桥梁始建于20世纪90年代,随着服役年限的增加,桥梁结构出现不同程度的损伤病害,主要表现为混凝土构件开裂、内部钢筋锈蚀以及桥面铺装层老化破损,依据《公路桥梁养护技术规范》(JTG/T D60-01-2015)规定,此类桥梁应每两年组织一次全面详细检测,以此评估结构安全性能。

针对该桥梁的实际病害情况,当地养护管理部门制定实施了综合性技术优化方案,具体包括采用高性能混凝土开展结构修复、更新桥梁钢结构防腐涂层以及安装智能监测系统,施工环节重点对桥面裂缝区域采用碳纤维增强复合材料进行加固处理,对钢结构构件则选用环氧树脂涂料实施防腐修复作业,同时在桥梁关键应力点位布设监测传感器,构建智能监测数据平台,实现桥梁运行状态数据的实时采集与动态分析。养护优化措施实施后的监测数据显示,桥梁整体安全性能

得到了显著提升,混凝土裂缝扩展速率降幅超过30%,钢结构构件腐蚀速率降低20%。

4.2 技术优化对桥梁寿命和经济效益的影响

技术优化措施的落地实施,对延长桥梁长期服役寿命起到了显著的推动作用。监测数据显示,经过修复加固的桥梁结构健康状态评分提升15%,预计服役寿命可延长15年。智能监测系统的应用,推动了桥梁养护管理模式从传统定期检测向实时动态监控转变,有效规避了多起突发性结构故障,大幅降低了因早期损伤未及时处置而产生的高额修复成本。

从经济效益维度分析,技术优化措施使桥梁年均维修成本降幅超过20%,通过提升养护工作效率、减少非必要紧急修复作业,桥梁养护资金配置更加科学合理,以该市该桥梁为例,智能监测系统的投入使用使其每年养护成本减少约150万元;而桥梁寿命延长带来的社会效益同样显著,包括交通通行效率提升、交通事故发生率降低等,经测算年均社会效益可达500万元^[5]。

5 结束语

本研究通过梳理道路桥梁养护管理现状、深入探讨技术优化路径,指出传统养护管理模式存在诸多固有缺陷,亟待引入新技术手段与智能化管理体系。新材料的推广应用与智能监测系统的构建,为破解桥梁养护管理难题提供了切实可行的解决方案。依托大数据分析技术与智能决策支持系统,养护决策的科学性与精准度显著提升,桥梁结构安全性与服役寿命得到有效保障。案例分析结果表明,技术优化措施不仅增强了桥梁结构耐久性,更创造了可观的经济效益与社会效益。未来,智能化养护管理模式将成为道路桥梁养护领域的主流发展方向。

参考文献:

- [1] 钟智鹏.道路桥梁隧道工程施工中的难点和养护技术研究[J].汽车画刊,2025(09):140-142.
- [2] 任平勇.基于精细化管理在道路桥梁工程养护中的应用分析[J].运输经理世界,2025(24):115-117.
- [3] 刘鑫.道路桥梁隧道工程施工中的难点和养护技术分析[J].汽车周刊,2024(10):124-126.
- [4] 徐来明.道路桥梁隧道工程施工中的难点与养护技术分析[J].散装水泥,2024(04):74-76,82.
- [5] 盛建军,苏卫.道路桥梁隧道工程施工中的难点和养护技术[J].中国高新科技,2024(03):146-148.