

智慧公路养护管理技术的探索与实践

郑虎强

新疆北新路桥集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830011

[摘要]随着公路、桥梁以及隧道等设施规模逐步扩大,传统养护方式呈现出巡检效率不高、数据不够完整以及病害预判存在滞后等一系列问题,这些情况使得其难以契合现代交通管理方面的需求。当下,智慧养护技术逐渐在公路管理当中得以应用,借助物联网、大数据、BIM、数字孪生以及人工智能等手段,达成对设施的实时监测以及智能决策。不过在实际的应用进程中,依旧存在着系统建设不够完善、数据标准缺乏统一性以及专业人才数量不足等诸多问题,这些问题对技术的推广以及管理成效都形成了限制作用。从整体角度来看,智慧养护技术发展速度较快,然而仍需要进一步加以完善,以此来提高设施的安全性以及养护的效率。

[关键词]智慧公路; 养护管理技术; 探索与实践

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18297 中图分类号: U418.2 文献标识码: A

Exploration and Practice of Smart Highway Maintenance Management Technology

ZHENG Huqiang

Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830011, China

Abstract: With the gradual expansion of facilities such as highways, bridges, and tunnels, traditional maintenance methods have shown a series of problems such as low inspection efficiency, incomplete data, and lagging disease prediction, which make it difficult to meet the needs of modern traffic management. Currently, intelligent maintenance technology is gradually being applied in highway management, leveraging the Internet of Things, big data BIM, digital twins and artificial intelligence are used to achieve real-time monitoring and intelligent decision-making of facilities. However, in the actual application process, there are still many problems such as incomplete system construction, lack of uniformity in data standards, and insufficient number of professional talents, which have a limiting effect on the promotion of technology and management effectiveness. From an overall perspective, the development speed of smart maintenance technology is relatively fast, but further improvement is still needed to enhance the safety of facilities and the efficiency of maintenance.

Keywords: smart highway; maintenance management technology; exploration and practice

引言

随着我国交通基础设施不断发展,公路、桥梁、隧道等公路设施规模与复杂性持续提高,其安全运营及长期维护面临前所未有的难题。传统养护管理模式依靠人工巡检、定期维修、经验判断,存在巡检效率低、数据不完整、病害发现晚、养护决策缺乏科学依据等问题,无法满足现代交通运输对设施安全性、可靠性、高效性的需求。在此情形下,智慧养护理念诞生,借助物联网传感、大数据分析、BIM 技术、数字孪生、人工智能等新技术,达成对公路设施全生命周期的数字化、信息化、智能化管理。智慧养护管理可实现对结构健康状态的实时监测、病害预测、风险预警,还能优化养护资源配置、提升管理效率、降低运

维成本,促使公路设施从被动维护转向主动管理。不过,在实际应用中,智慧养护技术体系建设依旧面临技术集成难、数据标准不一、管理机制不完善、专业人才储备不足等困难。据此,本研究要全面梳理智慧公路养护管理技术的发展状况与应用特点,剖析存在的主要问题,探讨智慧公路养护管理技术在养护管理中的应用模式与实践方式,为构建科学、高效、智能化的公路养护管理体系给出理论参考与实践指引。

1 智慧养护管理的特点

智慧养护管理于公路资产管理平台整体要求之下,呈现出精细、主动且高效的特性,其关键之处在于借助统一的资产数据体系以及标准化的信息录入方式,让道路、桥

梁、隧道还有附属设施的基础信息、技术状况以及养护记录可以维持持续更新并得以全面掌握,进而达成资产管理的透明化与可追溯状态。在日常管理方面,智慧养护着重于病害信息的及时察觉以及规范处理,凭借巡查数据、检测结果以及历史养护信息的综合对比,能够更为精准地评估病害发展趋势以及优先处置顺序,使得养护措施从传统的被动响应转变成预防性以及计划性实施。与此平台把养护计划编制、任务派发、过程跟踪、质量验收以及绩效考核串联成闭环流程,让各个环节责任清晰明确、记录完整无缺,既提高了管理效率,又减少了资源浪费以及重复作业情况;并且,通过对养护成本、处置效果以及资产寿命变化的综合剖析,智慧养护能够给予决策优化更好的支撑,实现资金配置的合理性以及养护效益的最大化,推动道路养护朝着规范化、精细化以及可持续的方向持续向前发展。

2 智慧公路养护管理技术中主要存在的问题

2.1 行业标准缺陷

当前智慧公路养护管理技术推进过程中,主要体现为相关管理要求、技术标准以及实施路径,不同地区、不同管理单位在建设内容、数据口径、技术路线以及应用模式方面存在较大差异,致使智慧养护工作推进缺乏统一方向与规范^[1]。项目建设常常依靠各单位自身理解与资源条件,出现投入分散、建设碎片化、重复建设或者功能不匹配等状况,难以形成规范化、体系化且可持续的发展格局,对资源整合、协同推进以及成果落地整体效果产生影响,使得智慧养护技术推广应用呈现进度不均、标准不一的态势。

2.2 专业机构人员不稳定

在智慧公路开展养护管理工作期间,专业机构人员的稳定性欠佳这一情况,已然成为对管理效率以及技术应用产生重要影响的关键问题所在。毕竟养护管理所涉及的诸如结构监测、数据分析、信息化平台运维等诸多专业工作,对于人员的专业能力与经验都有着颇高的要求。然而当下众多管理机构普遍存在人员流动性偏大、专业技术人员数量不足以及岗位稳定性相对较低等状况,进而使得部分关键岗位缺少经过长期积累所形成的技术经验以及管理能力。

2.3 系统建设水平不高

在智慧公路养护管理技术发展进程里,系统建设水平不高这一问题较为凸显,其主要表现在系统功能不够完备、架构不够统一以及应用深度不够等方面。部分地区的智慧养护平台仅仅停留在基础信息录入以及简单数据展示阶段,缺少对资产状态的动态监测、趋势分析以及养护决策支持等深层功能,致使系统没办法切实支撑精细化管理的

需求。并且,不同系统间标准不统一、接口不兼容,数据孤岛的现象比较严重,信息共享以及业务协同难以有效达成;部分系统的建设存在重复搭建、功能重叠等情况,造成了资源的浪费。

3 智慧养护技术体系

3.1 物联网传感技术在养护监测中的应用

在智慧公路养护管理领域当中,物联网传感技术占据着极为关键的地位,其已然成为达成全方位且实时智能化监测这一目标的重要依托所在。借助于在桥梁的梁体部分、支座部位、隧道的衬砌之处、护栏区域以及那些处于关键位置的路段去布设应变计、加速度计、位移传感器、振动传感器、温湿度传感器、裂缝监测传感器还有环境监测装置等等一系列设备,如此一来便可以源源不断地采集到诸如结构应力方面的数据、振动特性相关的数据、位移变形情况的数据、裂缝发展状况的数据、温湿度变化情况的数据、荷载波动状况的数据以及交通流量方面的数据等诸多不同维度的数据信息^[2]。这些各式各样的传感器会凭借无线通信的方式、光纤网络的途径、低功耗广域网或者5G网络这样的手段,进而与结构健康监测系统也就是SHM、道路资产状态监测系统、桥梁管理信息系统即BMIS、隧道监测管理系统也就是TMS以及风险点预警管理平台等诸多专业的系统建立起有效的连接关系。依靠着数据冗余校验的相关技术、异常滤波的操作方式以及时间同步的技术手段,以此来切实保障所采集数据的准确性与可靠性,从而顺利实现数据的实时传输功能、动态更新的状态以及集中存储的安排。物联网传感技术不但能够针对单个构件展开精准细致的监测工作,而且还可以凭借多传感器的融合运用以及时空数据的分析处理,进而对整体结构的健康状态做出全面的评估考量,能够及时有效地发现其中存在的潜在病害情况以及异常风险状况,最终达成智能预警的效果,从而为后续的养护决策事宜、资源调度安排以及应急处置工作都给予科学合理的依据参考。

3.2 大数据分析与智能诊断技术

大数据分析及智能诊断技术于智慧养护体系当中,主要是依靠道路技术状况智能巡检设备同人工智能算法加以深度融合,进而达成对道路结构、路面病害还有交通环境的全方位感知以及智能分析这一目的。智能巡检设备在处于行驶状态的过程之中,可凭借高精度摄像头、激光扫描仪、三维成像仪、红外热成像以及惯性测量单元等一系列设备,针对路面出现的裂缝、坑槽、沉降、车辙、剥落还有路基不均匀沉降等各类病害展开高精度的采集操作,

与此同时还会将交通流量、车辆荷载以及环境因素等相关数据一并记录下来。所采集到的海量数据在经过边缘计算进行预处理之后，会被传输到中央的大数据分析平台，在此平台上会结合运用深度学习、图像识别、模式匹配以及预测性分析等多种人工智能技术，以此来对道路病害的具体类型、所在位置、严重程度以及发展趋势做出自动的判别并且进行量化的评估，如此便成功解决了传统人工巡检所存在的工作量颇为繁重、周期持续时间较长、评估带有较强主观性以及信息处理存在滞后情况等诸多问题。依据分析所得到的结果，该系统能够生成道路技术状况评分、养护优先级排序、风险等级评定以及施工方面的建议内容，并且还能够与养护管理平台相互联动起来，进而实现对养护决策以及施工任务的精准赋能，使得养护计划的制定变得更加科学合理，施工资源配置也更为高效，而且还能预测未来病害的发展趋势，以此辅助制定出预防性维护的相关策略。

3.3 BIM 技术与数字孪生在养护管理中的应用

在智慧公路养护管理方面，BIM 技术以及数字孪生的应用给设施全生命周期管理给予了颇为有力的数字化支撑。其通过搭建桥梁、隧道还有相关附属设施的三维模型，达成了结构信息、养护记录、监测数据以及施工数据的高度整合以及可视化管理的目的^[3]。BIM 技术不但能直观地呈现出公路的结构几何形态以及构件布置情况，而且还能嵌入材料属性、设计规范、施工工艺以及养护历史信息等内容，进而为管理人员给予完整的数字档案以及可追溯的管理依据。在这样的基础之上，数字孪生技术把物理结构和它的虚拟模型予以实时同步，凭借物联网传感器所采集的应力、振动、位移、环境参数以及交通荷载数据持续更新数字模型，由此实现对公路结构状态的动态映射以及全息仿真效果。依靠数字孪生平台，能够开展结构健康评估、病害演化预测以及施工或者养护方案的虚拟验证等相关工作，进而优化养护决策，提升施工和维护的效率，并且同时降低风险以及成本。

3.4 人工智能与预测性维护技术

在智慧公路养护管理方面，人工智能以及预测性维护技术乃是达成主动化管理以及精细化决策的关键手段。通过针对历史监测数据、实时采集的信息还有环境以及交通条件展开深度分析，进而可对结构病害的发展趋势以及潜在风险做出科学预测。人工智能技术当中，像机器学习、深度学习以及模式识别算法这些，能够从海量的传感数据里提取出关键特征，去识别那些细微的异常信号以及结构性能方面的变化，如此一来便能够提前察觉到裂缝扩展、

沉降变形、支座异常、路面病害等一系列潜在问题。在这样的基础之上，预测性维护技术会借助数据驱动模型来对设施的健康状况展开动态评估，同时结合寿命预测以及风险等级分析，针对养护周期、维护优先级以及资源配置展开科学规划，从而实现从被动维修朝着主动干预的转变。人工智能与预测性维护技术的应用不仅提升了公路设施的安全性、可靠性和使用寿命，也推动智慧养护管理向高度智能化、精细化和数据驱动的方向发展，为构建高效、可持续的公路养护体系提供了坚实的技术保障。

4 智慧公路养护信息平台建设

智慧公路养护信息平台的建设，乃是达成公路设施全生命周期智能化管理极为关键的一环。其主要意图在于把物联网传感数据、BIM 模型、数字孪生信息、大数据分析所得到的结果以及人工智能预测模型相互有机地整合起来，进而构建起一个统一且高效的、具有可视化特点的管理平台。该平台借助多层次的架构设计来达成目的，这其中涵盖了数据采集层面、数据传输层面、数据存储以及处理层面还有应用服务层面，以此来实现对结构监测、病害诊断、养护计划制定、施工管理以及资源调度等各类信息的集中化管理以及动态化的更新操作。在数据采集以及传输这个层面上，平台能够与多种类型的传感器以及监测设备保持兼容状态，依靠无线网络、光纤通信或者 5G 网络把实时监测到的数据上传出去，进而实现跨区域并且是全天候的数据获取情况。在数据处理以及分析这个层面上，平台集成了大数据处理方面的技术以及智能诊断的相关算法，针对海量的传感数据展开清洗、融合、特征提取以及风险评估等一系列操作，从而实现对结构健康状况的实时监控以及智能预警的功能^[4]。与此平台还支持 BIM 模型以及数字孪生技术的可视化展示方式，会把结构的几何信息、病害的分布情况、养护的历史记录以及预测的结果都直观地呈现出来，给管理人员给予科学决策方面的依据。除此之外，平台还拥有多个用户以及多种权限管理的功能，可以满足不同管理层级、养护单位以及施工部门协同开展工作的需求，进而实现信息的共享以及业务的协同，提升养护管理所具有的透明度以及效率水平。

5 结语

智慧公路养护管理技术的发展进程，使得公路设施在监测、维护以及管理等方面变得更加智能化且更为高效。借助物联网、大数据、BIM、数字孪生还有人工智能等技术的应用情况，既提升了设施的安全性，又延长了其使用寿命，同时也对养护资源进行了优化，并且提高了管理效率。尽管在系统建设以及人才储备这些方面还存在着些许

不足之处,不过伴随技术的不断改进和完善以及广泛推广,智慧养护将会在公路设施管理当中发挥出愈加重要的作用,进而为保障交通基础设施安全稳定地运行以及实现可持续发展给予强有力的支撑。

[参考文献]

- [1] 周苏峰.智慧化路桥管理与技术研究[J].汽车画刊,2025(6):191-193.
- [2] 李明,刘昆,曾银.基于5G无线网络技术的智慧路桥安全建设[J].通讯世界,2024,31(1):19-21.

[3] 高莹莹.智慧工地视角下路桥施工安全风险智能评估与预警机制研究[C].江西:江西省工程师联合会.工程技术与新能源经济学术研讨会论文集(一).花都区交通运输局,2025.

[4] 陈姣姣,赵岩荆,蒋玲.路桥智慧工地与管控虚拟仿真实训平台建设研究[J].教育教学论坛,2025(7):41-44.

作者简介: 郑虎强 (1990.11—), 毕业院校: 长沙理工大学, 所学专业: 土木工程, 当前就职单位: 新疆北新路桥集团股份有限公司, 职称级别: 工程师。