

“智慧公路”理念下的预防性养护体系构建与关键技术研究

贾国庆

宁夏回族自治区贺兰县交通运输综合执法大队

DOI:10.32629/etd.v6i11.17540

[摘要] 随着智慧交通浪潮推进,智慧公路预防性养护体系构建迫在眉睫。本文聚焦“智慧公路”理念,深入探讨预防性养护体系构建与关键技术研究。阐述智慧公路预防性养护在保障公路安全、降低养护成本、延长公路使用寿命及提升通行效率等方面的重要意义。详细构建包含目标、数据感知、决策、执行、评估五大体系的预防性养护体系框架。同时,对物联网感知、大数据分析、人工智能、无人机巡检、数字孪生等关键技术展开研究,旨在为智慧公路预防性养护提供理论支撑与技术指导,推动公路养护向智能化、高效化方向发展。

[关键词] 智慧公路; 预防性养护; 体系构建; 关键技术

中图分类号: U418.6 文献标识码: A

Research on Preventive Maintenance System Construction and Key Technologies Under the "Smart Highway" Concept

Guoqing Jia

Helan County Transportation Comprehensive Law Enforcement Brigade, Ningxia Hui Autonomous Region

[Abstract] With the advancement of the smart transportation wave, the construction of a preventive maintenance system for smart highways is imminent. This paper focuses on the concept of "Smart Highways" and delves into the construction of a preventive maintenance system and related key technology research. It elaborates on the significant importance of smart highway preventive maintenance in ensuring road safety, reducing maintenance costs, extending road service life, and improving traffic efficiency. A detailed framework for the preventive maintenance system is constructed, comprising five major systems: objectives, data sensing, decision-making, execution, and evaluation. Simultaneously, research is conducted on key technologies such as IoT sensing, big data analysis, artificial intelligence, UAV inspections, and digital twins. The aim is to provide theoretical support and technical guidance for the preventive maintenance of smart highways, promoting the development of road maintenance toward intelligence and efficiency.

[Key words] Smart Highway; Preventive Maintenance; System Construction; Key Technologies

引言

交通行业的迅猛发展,使公路养护管理的重要性愈发突出。传统公路养护模式多以事后修复为主,存在反应滞后、成本高昂等问题。在智慧化浪潮下,“智慧公路”理念应运而生,预防性养护成为公路养护领域的新方向。预防性养护强调提前发现并处理公路潜在问题,可有效避免病害扩大,保障公路安全畅通。构建智慧公路预防性养护体系并研究其关键技术,不仅能提升公路养护质量与效率,还能降低养护成本,对推动公路交通可持续发展具有深远意义。

1 智慧公路预防性养护的意义

1.1 保障公路安全

公路安全关乎民众出行与物流运输的稳定。智慧公路预防

性养护通过先进技术手段,提前感知公路潜在的安全隐患。例如,利用高精度传感器实时监测路面平整度、裂缝发展情况,以及桥梁结构的应力变化等。一旦发现异常,能迅速定位并评估风险等级,及时采取修复措施,防止小病害演变成大事故。这种前置性的养护方式,将安全隐患扼杀在萌芽状态,为过往车辆和行人构建起一道坚实的安全防线,极大提升了公路运行的安全性,保障了交通系统的稳定运转。

1.2 降低养护成本

传统公路养护多在病害严重后进行大规模修复,成本高昂。智慧公路预防性养护则另辟蹊径,通过定期检测与数据分析,精准识别公路的早期微小病害。针对这些病害,采用针对性强、成本较低的养护措施,如局部修补、表面处理等,避免病害进一步

恶化导致大规模翻修。同时,借助智能化管理系统优化养护资源调配,减少人力、物力浪费。这种预防为主的养护模式,从源头上控制了养护成本,实现了以较少的投入获得较大的养护效益,提升了公路养护的经济性。

1.3 延长公路使用寿命

公路在长期使用过程中,会受到车辆荷载、自然环境等多种因素影响,逐渐出现各种病害。智慧公路预防性养护犹如给公路配备了一位贴心的“健康管家”,通过持续监测公路状况,及时发现并处理早期病害,防止其扩散和加剧。例如,对路面裂缝及时填充,对路基沉降及时加固等。这些措施有效减缓了公路的损坏速度,保持公路良好的技术状态,使公路能够在较长时间内维持正常的使用功能,从而显著延长公路的使用寿命,提高公路资产的整体利用效率。

1.4 提升通行效率

公路通行效率直接影响着区域经济和民众的出行体验。智慧公路预防性养护通过及时修复公路病害,保障路面平整度和结构稳定性,减少车辆行驶过程中的颠簸和振动,降低交通事故发生率。同时,利用智能交通系统实时监测交通流量,合理引导车辆分流,避免拥堵。此外,预防性养护还能减少因公路维修导致的封闭施工时间和路段,确保公路的畅通无阻^[1]。

2 智慧公路预防性养护体系构建

2.1 目标体系

智慧公路预防性养护目标体系是整个养护工作的指引方向。其核心目标是保障公路全生命周期内性能稳定、安全可靠且高效运行。从短期看,要精准识别公路早期微小病害,及时采取措施防止病害恶化,确保公路日常使用不受显著影响,维持良好的通行状态。中期目标在于通过科学养护,降低公路大中修频率,合理控制养护成本,实现养护资源的高效利用。长期目标则是延长公路整体使用寿命,提升公路资产的长期价值。同时,目标体系还需兼顾不同类型公路的特点,如高速公路注重高效通行与安全保障,普通公路侧重经济实用与基本服务功能。通过设定多层次、多维度的目标,形成相互关联、层层递进的目标网络,为智慧公路预防性养护工作提供清晰、明确的奋斗方向,确保养护工作始终围绕核心目标有序开展,不断提升公路养护的质量和效益。

2.2 数据感知体系

数据感知体系是智慧公路预防性养护的“耳目”。它依托多种先进传感器技术,全面、实时地采集公路各类数据。路面方面,利用高精度位移传感器、应变传感器等,精确感知路面的平整度、弯沉等指标,捕捉裂缝、坑槽等病害信息;桥梁结构上,通过加速度传感器、倾角传感器等,监测桥梁的振动、变形情况,评估结构安全状态。此外,还借助气象传感器收集温度、湿度、风速等环境数据,以及交通流量传感器获取车流量、车速等交通信息。这些传感器分布在公路的关键部位和节点,形成一个密集的感知网络。采集到的数据通过有线或无线通信技术实时传输至数据中心,经过初步处理和分析后,为后续的决策提供丰富、准

确的数据支持,使养护人员能够及时掌握公路的实时状况,做出科学合理的养护决策^[2]。

2.3 决策体系

决策体系是智慧公路预防性养护的“大脑”。它以数据感知体系提供的信息为基础,运用先进的数据分析算法和模型,对公路状况进行深度评估和预测。通过大数据分析技术,挖掘数据背后的规律和趋势,判断公路病害的发展态势和可能产生的影响。结合人工智能算法,如机器学习、深度学习等,对不同养护方案进行模拟和优化,选择最适合当前公路状况的养护策略。决策体系还需考虑养护资源的有限性,根据病害的紧急程度和重要性进行优先级排序,合理安排养护任务和资源分配。同时,决策过程应具备灵活性和适应性,能够根据实时数据的变化及时调整决策方案,确保养护决策的科学性、合理性和及时性,为公路预防性养护工作提供精准的指导。

2.4 执行体系

执行体系是智慧公路预防性养护的“手脚”,负责将决策体系制定的养护方案转化为实际行动。它涵盖多种养护设备和施工工艺,针对不同的公路病害和养护需求,采用相应的执行手段。对于路面裂缝,可使用自动灌缝设备进行精准灌缝;对于坑槽,采用快速修补材料和机械化修补设备进行高效修复。在桥梁养护中,运用专业的检测设备和维修工具,对桥梁结构进行加固和维护。执行体系还注重施工过程的智能化管理,通过安装定位系统和监控设备,实时掌握施工进度和人员设备位置,确保施工安全和质量。

2.5 评估体系

评估体系是智慧公路预防性养护的“标尺”,用于衡量养护工作的成效和质量。它从多个维度对养护效果进行全面评估,包括公路性能指标的改善情况,如路面平整度、摩擦系数、桥梁结构强度等是否达到预期目标;养护成本的控制效果,分析养护费用是否在合理范围内,是否实现了成本节约;通行效率的提升程度,考察公路拥堵情况是否得到缓解,车流量和车速是否有所改善。评估体系采用定量与定性相结合的方法,通过收集养护前后的相关数据,运用科学的评估模型和指标体系进行对比分析。

3 智慧公路预防性养护关键技术研究

3.1 物联网感知技术

物联网感知技术是智慧公路预防性养护的数据基石。它通过在公路关键部位部署各类传感器,实现对公路状况的全方位、实时感知。这些传感器类型多样,如应变传感器可精准测量路面或桥梁结构的应变变化,能捕捉到因车辆荷载、环境因素等引起的微小形变,为评估结构安全提供关键数据;温度传感器实时监测公路表面及内部温度,有助于了解温度对公路材料性能的影响,预防因温度应力导致的病害;湿度传感器则能感知公路环境的湿度情况,对于预防水分侵蚀引发的病害具有重要意义。传感器采集到的数据借助无线通信技术,如ZigBee、LoRa等,快速、稳定地传输至数据中心。通过对这些海量数据的分析处理,养护人员可以及时掌握公路的实时状态,提前发现潜在病害,为后续的

养护决策提供准确依据,实现从被动养护到主动预防的转变,提升公路养护的及时性和精准性。

3.2 大数据分析技术

大数据分析技术在智慧公路预防性养护中发挥着核心驱动作用。公路运行过程中会产生海量的数据,包括传感器采集的结构数据、交通流量数据、气象数据等。大数据分析技术能够对这些多源异构数据进行高效存储、管理和深度挖掘。通过数据清洗和预处理,去除噪声和无效数据,提高数据质量。运用数据挖掘算法,如关联规则挖掘、聚类分析等,发现数据之间的潜在关系和规律。例如,通过分析交通流量与路面病害发生的关系,找出病害高发路段和时段,为养护资源的合理分配提供参考。利用预测分析模型,如时间序列分析、神经网络模型等,对公路病害的发展趋势进行预测,提前制定养护计划。大数据分析技术还能对养护效果进行评估,通过对比养护前后的数据指标,优化养护方案,实现公路养护的科学决策和精细化管理^[3]。

3.3 人工智能技术

人工智能技术为智慧公路预防性养护带来了智能化变革。机器学习算法是其中的重要组成部分,通过对大量公路病害数据的学习和训练,能够自动识别路面裂缝、坑槽等常见病害的类型和严重程度。深度学习算法则进一步提升了病害识别的准确性和效率,尤其对于复杂场景下的微小病害也能精准检测。自然语言处理技术可用于处理养护文档、报告等文本信息,实现养护知识的自动提取和分类管理。人工智能技术还能辅助养护决策,通过构建智能决策模型,综合考虑公路状况、养护成本、交通影响等多方面因素,为养护人员提供最优的养护方案建议。在养护施工过程中,智能机器人技术也逐渐得到应用,如自动化的路面清扫机器人、裂缝修补机器人等,能够提高施工效率和质量,减少人工操作的风险和误差,推动公路养护向智能化、自动化方向发展。

3.4 无人机巡检技术

无人机巡检技术为智慧公路预防性养护提供了高效、灵活的检测手段。无人机具有机动性强、视野开阔的特点,能够快速到达公路的各个区域,尤其是传统检测方式难以触及的桥梁底部、高边坡等部位。搭载高清摄像头、红外热成像仪等设备,无人机可以对公路表面和结构进行全方位、高精度的检测。高清摄像头能够清晰捕捉路面的裂缝、坑槽、标志标线磨损等病害,以及桥梁结构的锈蚀、变形等情况;红外热成像仪则可以通过检测物体表面的温度分布,发现潜在的隐患,如桥梁内部的混

凝土空洞、钢筋锈蚀导致的局部温度异常等。无人机巡检还可以实时传输检测数据和图像至地面控制中心,养护人员能够及时查看和分析检测结果,快速做出决策。与传统的人工巡检相比,无人机巡检大大提高了检测效率和安全性,降低了人力成本,为公路预防性养护提供了有力的技术支持。

3.5 数字孪生技术

数字孪生技术为智慧公路预防性养护构建了虚拟与现实交互的桥梁。它通过创建公路的数字模型,将公路的物理实体在虚拟空间中进行精准映射。这个数字模型不仅包含公路的几何形状、结构信息,还集成了传感器采集的实时数据,如路面应力、交通流量等,实现公路物理状态和虚拟模型的高度同步。在预防性养护中,数字孪生技术可以模拟不同的养护方案对公路性能的影响。例如,通过在虚拟模型上模拟路面修补、桥梁加固等养护措施,预测养护后的公路承载能力、使用寿命等指标,为养护决策提供科学依据。同时,数字孪生技术还能对公路病害的发展进行模拟和预警,提前发现可能出现的病害问题,制定相应的预防措施。此外,它还可以用于养护人员的培训和演练,通过在虚拟环境中模拟各种养护场景,提高养护人员的应急处理能力和操作技能,提升公路养护的整体水平和质量^[4]。

4 结束语

在“智慧公路”理念蓬勃发展的当下,预防性养护体系构建与关键技术研究意义深远且重大。通过构建包含目标、感知、决策、执行与评估的完整体系,为公路养护搭建了科学框架;对物联网、大数据、人工智能、无人机巡检及数字孪生等关键技术的深入探索,为养护工作赋予了智慧内核。这不仅实现了公路病害的提前洞察与精准处置,降低了养护成本、延长了公路寿命、提升了通行效率,更推动了公路养护向智能化、精细化迈进。未来,随着技术持续创新,智慧公路预防性养护必将不断完善,为交通强国建设提供更坚实有力的支撑。

[参考文献]

- [1]武廷江.公路预防性养护施工技术分析[J].建筑技术开发,2020,47(13):126-127.
- [2]陈云.高速公路养护中的超薄磨耗层施工技术研究[J].交通世界,2020(24):51-52.
- [3]杨秀华.公路预防性养护施工技术研究[J].绿色环保建材,2020(5):126,128.
- [4]黄铭明.研究公路预防性养护施工技术[J].建材与装饰,2020(10):264-265.