

Research on the Information Management Mode of the Whole Life Cycle of Highway Maintenance Engineering Based on BIM Technology

Jianhui An

Xinjiang Jiaotou Maintenance Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

With the continuous expansion of highway construction in China, road maintenance is transitioning from “post-incident repairs” to “full-cycle management”. Traditional models suffer from data isolation, sharing difficulties, and delayed decision-making, making it challenging to meet modern maintenance demands for efficiency and precision. BIM (Building Information Modeling) technology, centered on information integration and collaborative management, provides a digital solution for the entire lifecycle of highway maintenance. Starting from the current management status, this paper explores the application paths of BIM in design, construction, operation, and decision-making stages, establishing a comprehensive information management model covering “data collection—model construction—information management—intelligent decision-making”. Through model integration, IoT monitoring, and cloud-based analysis, the study achieves visualized, intelligent, and dynamic maintenance management. Research indicates that the BIM-based approach significantly enhances maintenance efficiency and safety, optimizes resource allocation, and supports scientific decision-making, providing critical technical support for smart transportation development.

Keywords

BIM technology; highway maintenance; information management; full life cycle; intelligent decision-making

基于 BIM 技术的公路养护工程全生命周期信息化管理模式研究

安建辉

新疆交投养护集团有限责任公司，中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

随着中国公路建设规模的不断扩大，公路养护正由“事后维修”向“全周期管理”转变。传统模式存在数据孤立、共享困难、决策滞后等问题，难以支撑高效精准的现代养护需求。BIM（建筑信息模型）技术以信息集成与协同管理为核心，为公路养护提供了全生命周期的数字化解决方案。本文从管理现状出发，探讨BIM在设计、施工、运维及决策阶段的应用路径，构建“数据采集—模型构建—信息管理—智能决策”的全过程信息化管理模式。通过模型集成、物联网监测与云端分析，实现养护的可视化、智能化与动态化管理。研究表明，基于BIM的模式显著提升了养护效率与安全性，促进资源配置优化与科学决策，为智慧交通建设提供了关键技术支撑。

关键词

BIM技术；公路养护；信息化管理；全生命周期；智能决策

1 引言

公路作为国家交通运输体系的重要基础设施，其运行状况直接关系到区域经济发展与社会运行安全。随着建设规模扩大和服役年限增长，公路老化与功能退化问题日益突出，科学养护成为保障安全与延长寿命的关键。然而，传统养护方式依赖人工巡查与经验判断，信息割裂、数据滞后、

决策缺乏依据。BIM 技术的引入为养护提供了全生命周期的信息化解决方案，通过三维模型集成几何、性能与运维数据，实现信息共享与协同管理。结合 GIS、物联网、云计算与大数据，公路养护逐步由静态管理向智能决策转型。本文旨在构建基于 BIM 的公路养护全生命周期信息化管理模式，探讨其在规划设计、施工实施、运维监测与决策管理中的实践路径，为智慧公路建设提供理论与技术支撑。

2 公路养护工程管理现状与信息化转型需求

2.1 传统公路养护管理的局限性

当前中国公路养护管理依赖于周期性巡检和人工经验，

【作者简介】安建辉（1975-），男，中国河南郑州人，本科，高级工程师，从事公路工程、运营与养护研究。

信息采集方式落后,主要采用人工记录与纸质档案,造成数据分散、标准不一。不同部门各自为政,数据难以流通,无法实现信息的高效共享与协同管理,养护决策高度依赖管理人员的主观判断,科学性不足。由于缺乏数字化管理工具,施工、检测、巡检等环节的数据未能系统沉淀和共享,形成“数据断层”,严重影响了全生命周期资产管理与工程质量追溯。随着交通流量增加与环境条件复杂化,传统管理模式已难以满足公路养护对高效、精准和科学决策的实际需求,导致养护滞后、资源配置不合理以及运维成本上升,限制了公路养护的现代化与可持续发展。

2.2 公路养护信息化建设的趋势

伴随数字孪生、物联网和人工智能等前沿技术的发展,公路养护管理正在经历由“被动响应”向“主动预测与精细化运维”的转型。信息化养护体系以数据为核心,通过集成巡检、检测、维护和管理等多维度信息,推动跨部门、跨业务的数据互通和协同作业。数字平台成为资产管理的基础,实现了结构状况、病害分布、检测结果和养护历史的动态更新和可视化呈现。BIM技术以三维模型为载体,将公路的结构属性、病害信息、运维过程和管理措施有机整合,助力构建可追溯、动态化的资产台账,为公路养护的数字化转型和智能决策提供了有力的技术支撑,加速了传统养护向智能化、精细化管理的升级。

2.3 BIM技术引入的必要性与优势

BIM技术为公路养护管理带来了结构化、集成化和智能化的管理模式。通过参数化建模,BIM可精准再现公路各类构件结构及其物理属性,详细记录材料、损伤状况、维修历史等核心数据,实现构件级的信息溯源。其强大的协同机制,打破了传统部门间的信息壁垒,使设计、施工、运维等各阶段数据实现无缝衔接,显著提升了工程全生命周期的信息流通效率。BIM与物联网融合后,能够实时采集和更新道路状态,为动态健康监测、病害预测与精细养护决策提供科学支撑。

3 基于BIM的公路养护全生命周期管理框架

3.1 生命周期管理理念与阶段划分

公路养护工程的全生命周期管理理念强调对项目从规划设计、施工建设、运营维护到报废更新的全过程进行系统化、动态化的信息管理。BIM技术的引入使各阶段之间的数据流实现贯通,突破了传统“分段作业、信息断层”的管理瓶颈。在规划设计阶段,BIM通过多方案建模、参数化分析和造价集成,有效支撑方案优选和成本控制;施工阶段,依托模型驱动的进度、质量与资源管控,实现施工工艺模拟、风险预判与过程数据采集;运营维护阶段,模型通过动态更新和传感器数据对接,实现公路资产的可视化监控与智能养护。生命周期管理的根本目标在于建立动态数据库平台,将建模、监测、决策三大环节有机结合,支撑科学决策与精细

化管理,实现全生命周期的价值最大化[1]。

3.2 BIM信息集成模型构建

为保障多软件协作与数据流通,模型构建须遵循IFC等行业标准,实现跨平台、跨专业数据互操作。结合GIS空间数据,可实现公路资产的精确地理定位与周边环境要素叠加,提升模型在病害分析与环境响应中的应用能力。模型的LOD分级原则贯穿始终,从初步方案的粗粒度模型逐步深化至竣工与运维阶段的高精度模型,保证信息的完整性和时效性,为各阶段应用提供坚实数据基础。

3.3 全生命周期信息管理流程设计

基于BIM的全生命周期信息管理流程以“采集—集成—更新—决策”为主线,构建了科学闭环。首先,信息采集与模型建立阶段,通过激光扫描、无人机航测、地质雷达等手段,获取路面、结构及环境数据,构建可视化三维模型;其次,信息集成与共享环节依托云平台构建多源数据接口,将检测、设计、施工与运维系统联动,实现数据标准化、流程协同和信息共享;运行监测与数据更新阶段,融合物联网传感器实时采集结构健康、交通流量等动态数据,实现模型持续更新,保证信息的时效性和真实性;最终,分析决策与优化反馈环节,应用大数据与AI算法对病害发展、剩余寿命等进行预测分析,辅助制定科学的养护与维修决策,并将实施效果及时回填模型,形成动态闭环管理,实现从被动维护向智能预测和主动干预的转型[2]。

4 BIM技术在公路养护工程中的应用模式

4.1 设计与建模阶段的应用

设计单位可基于地形测绘、勘察资料与既有道路资产数据建立统一坐标系下的三维模型,将路线走向、纵横断面、桥涵隧构造、边坡防护与排水系统等要素在同一平台表达,并通过规则约束实现构件尺寸、净空控制、埋深与坡度等关键指标的自动校核。方案比选不再局限于二维图纸对比,而是结合地质条件与环境敏感点开展工程仿真,评估不同路线对土石方平衡、结构受力、生态扰动与施工组织的影响,形成可追溯的决策链。模型可进一步关联交通流量、气候荷载与材料耐久性参数,对关键构件疲劳与老化风险进行前置分析,提前确定监测布点与后期养护策略,使设计成果具备“可施工、可运维、可评估”的全寿命属性。经审查通过的模型可作为后续施工深化与算量计价的基准,实现设计数据的连续传递与版本控制[3]。

4.2 施工实施阶段的应用

以4D/5D模型为载体,将施工计划、工序逻辑、资源消耗与费用信息映射到构件层级,可在施工前完成关键线路推演与资源峰值分析,避免计划与实际脱节。施工中,BIM作为统一信息源,与测量、检测、变更和计量系统形成闭环,通过三维放样与碰撞检查提前识别管线交叉、桥台回填及排水等风险点,降低返工率。借助无人机航测、移动巡检与激

光扫描,实现实测数据回填与工程量核验,提升进度与计量的透明度。材料与设备管理方面,引入RFID或二维码技术,实现从进场验收到使用与维护的全流程追溯。质量与安全隐患可通过模型定位、责任分解及整改复核机制实现动态管控,确保问题闭环处理,为竣工交付提供完整、可信的数字化成果,推动施工管理的精细化与透明化。

4.3 运维与养护阶段的应用

在运维与养护阶段,BIM由“建造工具”转变为资产管理的数据平台,实现设施状态感知、风险评估与决策协同。模型中集成构件编码、材料批次、竣工资料、检测记录与维修历史,建立桥涵隧、边坡及路面结构的统一资产台账,使巡检与检测数据可按构件颗粒度沉淀。通过布设应变、位移、温湿度与渗压等传感器,实现实时监测与数据回传,并结合阈值体系与劣化模型进行异常识别与趋势预警。当指标触发风险等级时,系统可在模型中直观定位病害区域并联动显示交通影响与可达路径,提升应急响应效率。养护系统还可在模型上完成病害分级、方案比选、工程量提取与预算编制,并将维修结果回填形成数字孪生产,实现从“被动抢修”到“主动预防—科学评估—精准干预—动态反馈”的闭环管理,优化资金与技术配置,提升公路全寿命周期的安全与经济效益[4]。

5 BIM与信息技术融合的智能化管理体系构建

5.1 BIM与GIS的空间数据融合

BIM与GIS的融合是实现公路工程数字化与空间信息可视化管理的关键环节。GIS提供了地理空间定位、地形地貌、气象环境及区域管网等宏观信息,而BIM则侧重于微观结构、构件属性及工程参数。通过坐标匹配与数据接口技术,可将两者在同一坐标系统下集成,实现空间位置与结构信息的双向关联。融合平台能够动态显示公路线形、桥涵位置、地质剖面及地下管线分布,形成“空间—结构—属性”一体化信息体系。该体系在地质灾害预警、道路改扩建设计与管线运维中发挥重要作用,可实现灾害模拟、风险分区及应急路径优化等功能。

5.2 BIM与物联网的动态监测融合

物联网技术的引入使BIM模型具备了实时感知与动态反馈能力,从而实现了由“静态信息模型”向“动态孪生模型”的转变。通过在道路、桥梁、隧道等关键节点布设传感器,可实时采集应变、振动、温湿度及位移等监测数据,数据经无线传输与云端处理后自动映射至BIM模型,实现结构性能的动态更新。系统可通过异常值识别算法分析监测数据,

实时判断结构健康状态并触发风险预警。例如,当桥梁温度或应力超出设定阈值时,BIM系统自动生成维护提示并关联相关构件信息,辅助运维人员快速定位隐患。该动态融合机制实现了从“被动检测”到“主动感知”的转变,显著提升了公路设施运行监测的实时性与智能化水平,为设施安全运行提供了持续数据支持与决策依据[5]。

5.3 BIM与大数据及人工智能的融合应用

通过将多源监测数据、历史养护记录及气象交通信息汇聚至BIM平台,结合机器学习与深度神经网络算法,可实现病害自动识别与寿命预测。系统利用训练模型识别裂缝、沉降、疲劳等典型病害的演化规律,自动生成风险等级与优先维修序列,并依据经济性与安全性原则制定最优养护策略。BIM平台通过可视化界面展示病害分布与风险预测结果,实现数据驱动的智能决策。同时,AI算法可根据历史运维经验不断优化模型参数,使决策过程更加精准与高效。该融合模式打破了传统公路养护“经验依赖”的局限,推动公路运维向智能化、预测性和精细化方向发展,为构建新一代数字化交通基础设施提供了技术支撑。

6 结语

基于BIM技术的公路养护工程全生命周期信息化管理模式,是推动公路养护数字化转型的重要方向。研究表明,BIM不仅能贯通设计、施工与运维各阶段的信息流,还能与GIS、物联网、人工智能等技术深度融合,实现数据驱动的智能决策。通过构建“模型化管理—信息化协同—智能化决策”的技术体系,公路养护管理从经验型向科学型转变,显著提高了管理效率与安全水平。未来,应进一步完善BIM标准体系,加强跨平台数据兼容与共享,探索BIM与数字孪生技术融合的智慧公路建设模式,推动公路养护管理的智能化、精细化与可持续发展。

参考文献

- [1] 董宝彦,BIM在天津公路养护管理中的应用研究.天津市,天津市公路事业发展服务中心,2020-08-31.
- [2] 成子桥,白家设,姬同庚,等.基于“互联网+BIM”的高速公路全生命周期管理云平台[J].国企管理,2018,(15):16-27.
- [3] 侯芸,桂成中,张艳红,等.基于BIM技术的公路养护管理系统开发研究[J].公路交通科技(应用技术版),2019,15(11):303-305.
- [4] 杨晓超.基于BIM技术的公路桥梁全生命周期应用探索[J].中国水运,2025,(17):136-139.
- [5] 戴子枢,胡文峰,刘学.基于BIM的公路工程全生命周期信息传递技术研究[J].现代信息科技,2021,5(04):117-120+125.