

道路与桥梁工程中的智能化技术与创新

石 瑞

北京建工路桥集团有限公司 北京 100123

摘 要：随着交通基建行业数字化转型推进，智能化技术逐步应用于道路与桥梁工程建设全过程。本文以道桥工程智能化技术与创新为研究对象，系统梳理 BIM 建模、智能传感、大数据仿真、数字孪生四大核心技术体系。围绕工程设计、施工、运维全生命周期，分析各类智能技术的实际应用场景与落地方式，总结当前行业智能化建设存在的技术碎片化、标准不完善、成本偏高、人才不足等现实问题。结合工程实际提出技术融合、标准建设、低成本推广、人才培养等优化策略，可为道桥工程智能化升级提供参考。

关键词：道桥工程；智能化技术；创新应用；发展策略

引言：传统道桥工程依赖人工经验作业，存在设计精度低、施工管控粗放、运维排查滞后等短板，难以满足现代基建精细化、标准化、长效化的建设要求。在数字化建造技术快速发展的行业背景下，各类智能化技术逐步替代传统作业模式，成为道桥工程转型升级的关键方向。本文基于工程实际应用场景，系统研究道桥工程智能化核心技术与创新应用，剖析现存问题并提出优化路径，为行业智能化落地应用提供理论与实践支撑。

1 道路与桥梁工程智能化核心技术体系

1.1 BIM 三维数字化建模技术

BIM 技术是路桥工程智能化的数据底层支撑，主打工程实体的数字化复刻与集成管理。（1）采用参数化建模方式，针对道路曲面线形、桥梁梁板、墩柱、桩基等核心构件建立高精度三维模型，所有结构尺寸、材料参数、工艺参数均可关联绑定。（2）实行多专业集成建模，整合道路工程、桥梁工程、交通附属设施、地下管线等多专业模型，解决传统二维图纸各专业分离、数据不互通的问题。（3）融合 GIS 地理信息技术，将工程模型与现场地形地貌、地质条件、场地高程数据结合，实现工程实体与施工现场环境的一体化数字复刻。

1.2 物联网智能传感感知技术

物联网传感技术是路桥工程现场数据采集的核心手段，为智能分析提供原始数据支撑。（1）依据路桥结构受力规律，在桥梁关键受力断面、路基高填方区段、边坡防护区域布设沉降、位移、应变、倾角、温湿度等传感器，定点采集结构状态数据。（2）采用 5G 与 LoRa 无线传输模式，适配路桥工程长距离、野外无布线条件的施工场景，保障数据持续传输。（3）搭载前端数据预处

理模块，对野外采集的原始数据进行降噪、筛选、纠错处理，剔除风沙、降雨、温度变化带来的干扰数据，保证数据原始精度。

1.3 大数据与人工智能仿真技术

该技术体系主要完成工程数据的深度处理与结构状态推演。（1）对工程勘察数据、施工监测数据、结构运维数据、环境监测数据进行统一归集、清洗与结构化整理，构建标准化路桥工程数据库。（2）依托深度学习图像算法，针对路面开裂、桥梁表层剥落、钢筋锈蚀、边坡破损等常见工程病害进行自动识别、标记与分类统计。（3）结合有限元仿真分析技术，对不同荷载、不同温度工况下的路桥结构受力、变形状态进行数值模拟，实现结构性能的量化分析。

1.4 数字孪生与车路云一体化技术

数字孪生与车路云技术是路桥工程高阶智能化管理的核心技术。（1）基于 BIM 模型和实时监测数据，构建与实体工程一比一映射的虚拟孪生模型，同步更新工程结构状态与现场工况。（2）搭建虚实双向数据交互通道，实现实体工程数据向虚拟模型实时同步、模型仿真数据反向落地指导现场管控。（3）整合路侧感知设备、车载终端、云端管理平台数据，实现道路通行状态、桥梁结构状态、现场作业状态的一体化集成管控，满足现代路桥精细化、动态化、智能化管理要求^[1]。

2 道桥工程全生命周期智能化创新应用

2.1 智能化技术在道桥工程设计阶段的创新应用

2.1.1 智能化勘察与参数化协同设计

现阶段智能化设计依托数字化平台实现勘察设计一

体化集成作业。(1) 依托 BIM+GIS 融合技术,整合项目场地地形、地质、水文、管线等基础勘察数据,构建全域数字化场地模型,替代传统人工勘察绘图模式,精准还原场地真实工况,规避勘察数据偏差问题。(2) 为适配道路长线形、桥梁异形结构的设计特点,行业普遍采用参数化设计模式,针对道路线形、桥梁结构、附属设施等构件建立关联参数模型,构件尺寸、线型参数、材质参数可同步联动修改,大幅优化道桥线性工程的设计适配性。(3) 为解决传统分项设计存在的信息孤岛问题,项目通过云端协同架构搭建多专业协同设计平台,实现道路、桥梁、交通、给排水、电气等多专业同步建模、在线协作,打破传统设计各专业独立作业、信息割裂的壁垒。

2.1.2 智能方案比选与设计冲突校核

道桥工程线路选址、结构选型受场地、造价、施工条件多重约束,智能技术可实现设计方案的量化优选与前置校核。(1) 基于工程荷载、场地条件、造价指标、施工难度等核心参数,通过智能算法生成多套线路布设、桥梁结构设计方案,结合量化数据完成方案自动比选,筛选最优设计方案。(2) 针对多专业模型叠加易出现的空间干涉问题,利用 BIM 模型碰撞检测功能,自动识别结构构件、管线布设、交叉工程之间的设计冲突,精准定位冲突位置、尺寸偏差,提前完成设计优化。(3) 复杂路桥工程场地制约因素多、施工难度大,可结合场地限制条件智能优化设计细节,减少后期施工阶段的设计变更。

2.1.3 结构仿真模拟与前期风险预判

现代道桥工程对结构安全性、耐久性要求极高,设计阶段需依托仿真技术完成结构验算与风险前置管控。(1) 导入设计模型开展有限元仿真分析,模拟车辆荷载、温度应力、风力荷载等多种工况下的路桥结构受力、变形状态,核验结构设计的安全性与稳定性。(2) 针对工程风险较高的关键部位,对高填方路基、深基坑、桥梁高墩等高危部位进行专项仿真验算,排查设计阶段的结构安全隐患。(3) 结合气象、地质数据开展施工前期风险模拟,预判雨季施工、软土路基施工等场景的潜在风险,在设计阶段提前制定防控方案^[2]。

2.2 智能化技术在道桥工程施工阶段的落地实践

2.2.1 自动化智能施工设备应用

传统路桥施工机械化程度偏低,人工操作误差易造成平整度、压实度等指标不达标,智能成套设备可实现工序标准化作业。(1) 采用智能摊铺机、无人碾

压机、智能钻孔设备等自动化施工机械,依托定位系统与预设参数完成路基摊铺、路面压实、桥梁桩基钻孔等标准化作业,规避人工操作带来的施工偏差。(2) 为实现施工工序全过程溯源管控,施工设备搭载数据采集终端,实时记录施工速度、压实度、摊铺厚度、钻孔深度等核心参数,实现施工过程可追溯。(3) 长线路路与大型桥梁施工工序密集、设备需求量大,可采用机械协同作业模式,通过智能调度系统统筹设备作业时序,提升施工效率。

2.2.2 施工质量与进度智能管控

路桥工程隐蔽工程多、质量管控难点多,智能监测与数字化管控可实现全过程动态监管。(1) 依托物联网传感设备,对路基沉降、桥梁支架变形、预应力张拉状态等关键施工工序进行实时监测,数据异常时自动预警,及时整改施工质量隐患。(2) 依托数字化模型实现进度可视化管理,基于 BIM 施工模型划分施工区段与工序节点,搭建进度智能管控体系,实时对比实际施工进度与计划进度,精准识别进度滞后节点。(3) 结合现场施工动态需求,整合施工材料、设备、人员数据,实现施工资源智能调配,避免资源闲置或短缺影响施工进度。

2.2.3 智慧工地安全智能防控

路桥施工现场露天作业、高空作业多,安全风险点分散且管控难度大,智慧工地体系可实现全域安全防控。(1) 针对现场人员、设备、环境三类风险源,布设高清监控、人员定位、边坡监测等智能设备,实时管控施工现场人员作业、设备运行、场地环境状态。(2) 依托 AI 图像识别技术,自动识别工人未佩戴防护用具、高空违规作业、设备违规操作等安全违规行为,实现即时预警、全程溯源。(3) 整合现场各类监测数据资源,搭建智慧工地一体化管理平台,整合安全监测、质量检测、现场管控数据,实现施工现场全方位、可视化智能管控^[3]。

2.3 智能化技术在道桥工程运维阶段的创新升级

2.3.1 结构健康智能实时监测

路桥结构长期受车辆荷载、环境侵蚀影响,结构状态动态变化显著,实时监测是安全运维的基础。(1) 在桥梁主梁、桥墩、支座及道路路基、边坡等关键部位布设智能传感器,全天候采集结构位移、应变、沉降、振动等状态数据。(2) 采用稳定的无线传输架构,通过无线传输技术实时上传监测数据,系统自动完成数据筛选、分析,动态掌握路桥结构运行状态。(3) 依据规范

标准与工程设计值设置数据预警阈值,结构参数超出标准范围时自动触发预警,第一时间发现结构安全隐患。

2.3.2 工程病害智能识别与研判

传统人工巡检效率低、主观性强,难以实现病害全覆盖、高精度排查,智能巡检技术有效弥补该短板。(1)利用无人机航拍、智能巡检机器人采集路桥表面图像数据,结合深度学习算法,自动识别路面裂缝、桥面剥落、钢筋锈蚀、边坡破损等常见病害。(2)依托系统自动统计功能,系统自动统计病害位置、尺寸、数量,生成病害台账,替代传统人工巡检记录模式,提升病害排查精度与效率。(3)依托平台大数据存储与分析能力,通过大数据分析病害发展规律,预判病害扩张趋势,为后续养护修复提供数据支撑。

2.3.3 智能养护决策与精细化运维

传统养护多采用统一化养护模式,针对性弱、资源浪费严重,智能技术可实现精准化、差异化养护管理。(1)基于结构监测数据与病害台账,依托智能算法生成差异化养护方案,针对不同病害类型、结构部位制定精准修复策略,杜绝盲目养护。(2)依托数字孪生模型构建全生命周期运维体系,实现路桥结构状态可视化管控、养护流程动态追溯。(3)结合绿色交通建设要求,推行低碳智能运维模式,优化养护作业时序与资源配置,减少养护作业能耗与成本,实现道桥工程运维的高效化、低碳化、精细化升级^[4]。

3 当前道桥工程智能化应用存在的问题

现阶段,智能化技术已在道桥工程设计、施工及运维环节逐步普及,但整体应用仍存在以下问题:(1)技术应用碎片化问题突出,多数项目仅单一使用 BIM 建模、智能监测等基础技术,未能实现多技术深度融合,各系统数据接口不统一,形成数据孤岛,无法发挥全流程智能化管控优势。(2)智能化应用成本门槛较高,智能传感设备、专业软件授权、平台搭建及运维成本高昂,中小型施工企业资金有限,难以规模化落地应用,技术普及度受限。(3)行业配套标准体系不完善,道桥智能化施工、监测、数据管理缺乏统一规范,设备兼容性差、数据标准不一,导致施工管控与运维管理缺乏统一依据。(4)行业复合型人才缺口较大,现有从业人员多精通传统路桥工艺,缺乏数字化、智能化技术实操能力,且工程数据管理、安全防护体系不完善,制约了智能化技术的高质量推广应用。

4 道路与桥梁工程智能化创新发展优化策略

依托现有技术体系制定以下针对性优化策略,同时结合工程建设发展规律,明确行业智能化未来发展方向,推动智慧路桥技术规范、规模化、精细化落地。(1)推进多技术融合集成应用。打破单一技术独立应用的局限,整合 BIM 建模、智能传感、大数据分析、数字孪生等技术,搭建统一的数据交互平台,统一各类工程数据采集、存储、传输标准,打通设计、施工、运维各阶段数据壁垒,构建全流程一体化智能建造管控体系,解决技术应用碎片化、协同性不足的问题。(2)完善行业标准与人才培养体系。结合道桥工程施工与运维特点,细化智能化施工、智能监测、数字化运维的行业规范,统一设备参数、数据标准、验收标准。同时优化人才培养模式,兼顾传统路桥专业知识与数字化智能技术教学,培养复合型技术人才,补齐行业人才缺口。(3)推广低成本智能化落地技术。聚焦中小工程项目应用需求,简化智能化设备与平台架构,研发适配野外施工、长线路桥工程的低成本智能设备,优化软硬件配置,降低项目智能化改造门槛,推动智能化技术从大型示范工程向中小工程规模化普及^[5]。

结束语: 本文通过梳理道桥工程智能化核心技术体系,明确了各类智能技术在设计、施工、运维阶段的具体应用价值与实践方式。研究表明,智能化技术能够有效优化工程设计精度、规范施工过程、提升运维管控水平,是现代路桥工程提质增效的重要手段。目前行业智能化建设仍处于普及阶段,存在技术融合不足、规范滞后、落地难度大等现实问题。未来需通过技术集成、标准完善、人才建设与成本优化,持续推进智能化技术落地,推动道桥工程向智慧化、精细化、绿色化方向持续发展。

参考文献

- [1] 钟睿. 智能化施工技术在道路与桥梁工程中的应用[J]. 移动信息,2026,48(2):285-287.
- [2] 吴耀军. 无人机技术在公路桥梁工程检测过程中的智能化应用[J]. 企业科技与发展,2026(2):97-100.
- [3] 袁中玉. 智能化技术在公路桥梁工程中的应用与发展趋势研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2026(2):111-114.
- [4] 张荷庆. 大数据时代背景下网络技术在道路桥梁工程中的运用探究[J]. 科技资讯,2026,24(9):142-144.
- [5] 吴华. 计算机智能化技术在道路桥梁设计中的应用研究[J]. 微型计算机,2026(3):67-69.