

智能化施工技术在道路与桥梁工程中的应用

金攀 李想

河南省第二公路工程有限公司 河南 郑州 450000

摘要:新时期交通基础设施建设标准不断提升,传统道路与桥梁施工模式存在精度不足、管控粗放、效率偏低、安全隐患较多等问题。本文系统介绍BIM建模、物联网监测、智能施工设备、大数据AI分析等核心智能化技术,详细阐述其在工程设计、道路桥梁施工及全过程管理中的应用场景。同时总结现阶段技术适配性差、专业人才匮乏、行业标准不完善、推广成本较高等问题,并提出针对性优化对策,为道桥工程智能化施工发展提供参考依据。

关键词: 智能化施工技术; 道路; 桥梁工程; 应用

引言:城市化进程与交通路网建设持续推进,道路与桥梁工程施工环境愈发复杂,传统人工主导的施工和管理模式,已无法适配现代化基建高质量、高精度、高效率的建设要求。智能化施工技术融合数字化、物联网与人工智能技术,能够实现施工全过程的动态监测、精准管控与智能决策。基于此,本文围绕道桥工程智能化施工技术展开研究,梳理技术体系与实际应用,剖析现存问题并制定优化方案,助力行业数字化转型。

1 道路与桥梁工程智能化施工核心技术概述

1.1 BIM数字化建模与协同施工技术

(1) BIM技术依托三维数字化建模原理,结合道路与桥梁工程特性构建专属建模体系,适配道桥线性长距离、地形起伏大、线形标准严苛的道路工程特点,以及桥梁墩台、箱梁、挂篮等复杂立体结构的建模需求。建模流程涵盖场地勘测数据采集、参数化构件搭建、模型整合校准、精度优化四大环节,可精准还原道桥工程整体结构与细部构造。(2) 该技术贯穿施工全流程,具备多项核心功能。可对施工方案进行可视化模拟优化,规避施工不合理工序;通过模型碰撞检测,排查管线、结构构件冲突问题;依托三维模型开展可视化施工交底,降低施工偏差;同时联动施工进度计划,实现施工全过程进度动态管控,保障施工有序推进。

1.2 物联网与智能监测技术

(1) 物联网与智能监测技术以智能传感、无线数据传输为核心原理,通过各类高精度传感器采集现场数据,依托5G、无线物联网模块实现数据实时传输。适配道桥野外露天、工况复杂、环境多变的施工场景,具备抗干扰、耐高低温、续航稳定、部署灵活的优势,适配野外长期不间断施工监测需求。(2) 该技术可实现施工全过程动态监测,覆盖多维度监测内容,包含桥梁及路基结构变形、构件应力应变等质量核心参数,温湿

度、风力、降雨等施工现场环境参数,以及摊铺机、压路机、吊装设备等施工设备运行状态,实时把控施工工况,及时捕捉异常数据^[1]。

1.3 智能自动化施工设备技术

(1) 道路工程智能设备实现施工自动化、精准化,3D智能摊铺依托三维定位数据自动调整摊铺厚度与平整度,无人碾压设备依托导航系统完成全自动碾压作业,智能压实检测设备可实时检测路基、路面压实度,摒弃传统人工检测模式,大幅提升道路施工精度与效率。

(2) 桥梁工程专用智能设备适配特种施工场景,智能挂篮可自适应调整施工姿态,保障悬臂浇筑施工稳定性;智能张拉、智能压浆设备可精准控制张拉应力、压浆压力与流量,标准化完成桥梁预应力施工,有效解决传统桥梁施工精度不足、质量波动大的问题。

1.4 大数据与AI智能分析决策技术

(1) 大数据技术构建了道桥施工全维度数据处理体系,整合BIM模型数据、物联网监测数据、设备运行数据、施工进度数据,完成数据清洗、分类整合、深度分析,实现施工数据资源化利用,为智能决策提供数据支撑。(2) AI技术依托大数据训练模型,实现智能化施工管控,可自动识别路基开裂、桥面破损等质量缺陷,精准预判结构失稳、施工超限等安全风险,同时根据施工工况动态调控施工进度、优化资源配置,实现施工智能化决策与精细化管控。

2 智能化施工技术在道路与桥梁工程中的具体应用

2.1 工程设计阶段的智能化应用

(1) 在道桥工程设计阶段,BIM三维可视化协同设计得到广泛应用,彻底打破传统二维图纸设计的局限性。设计人员可依托BIM技术搭建道路、桥梁全尺寸三维模型,直观呈现道路线形走向、桥梁整体结构及各细部构件布局。针对道路弯道、纵坡、横断面线形进行精

细化优化,同时对桥梁墩型、主梁结构、支座布置等关键构造进行适配调整。多专业人员可基于同一模型协同作业,同步完成道路、岩土、结构、管线等专业设计,有效规避各专业设计冲突,优化整体设计方案,提升设计精准度与合理性^[2]。(2)智能模拟仿真分析技术为前期施工筹划提供核心支撑,结合工程地质勘察数据、场地环境数据及设计模型开展多维度仿真模拟。通过施工过程仿真,精准预判山区道路、跨江桥梁等复杂工程的施工重难点,同时模拟不良地质、极端天气等工况带来的施工风险,提前识别地基不稳、结构受力不均、施工操作受限等潜在问题。基于仿真结果针对性优化施工工艺、施工顺序及专项施工方案,提前制定风险防控措施,从设计源头降低施工隐患,为现场施工提供可靠技术依据。

2.2 道路工程施工阶段智能化应用

(1)路基智能施工技术是保障道路基础施工质量的关键手段。其中智能压实监测系统可实时采集压路机碾压速度、碾压遍数、压实厚度等核心数据,动态监测路基压实状态,及时反馈压实不足、漏压、过压等问题,指导现场标准化碾压作业。同时,路基沉降动态监控技术依托预埋传感设备,全天候采集路基沉降、位移数据,实时追踪路基变形变化规律,精准把控路基固结成型状态,有效预防路基不均匀沉降、开裂等质量问题,保障路基整体稳定性与施工质量达标。(2)路面施工全面融入智能化技术,大幅提升路面施工精度与成型质量。3D数字化摊铺技术依托卫星定位与三维建模数据,无需传统挂线基准,自动精准控制摊铺机的摊铺厚度、坡度及平整度,实现路面摊铺连续、均匀作业,有效减少人工操作误差。无人智能碾压设备结合高精度定位系统与智能控制系统,可按照预设路线、碾压参数完成自动化碾压作业,精准把控路面压实度,提升路面整体平整度、密实度及均匀性,延长道路路面使用寿命^[3]。

2.3 桥梁工程施工阶段智能化应用

(1)桥梁下部结构施工依托智能化技术实现质量精准管控。智能桩基检测技术通过自动化检测设备,对桩基完整性、承载力、桩身缺陷进行精准检测,替代传统人工检测方式,检测数据更精准、效率更高,可快速排查桩基施工质量隐患。墩身浇筑智能监测技术可实时监控混凝土浇筑速度、浇筑方量、振捣频率及墩身成型过程中的形变数据,及时调整施工参数,避免墩身出现蜂窝、麻面、偏位等质量问题,保障桥梁基础及下部结构施工的稳定性和规范性。(2)桥梁上部结构智能化施工覆盖核心关键工序。智能张拉与压浆技术可全自动控制

预应力张拉应力、持荷时间及压浆压力、流量,精准把控预应力施工质量,杜绝传统施工应力偏差、压浆不密实等问题。挂篮智能行走系统可实现自动化平稳移动与姿态微调,实时监测挂篮位移、倾斜数据,保障悬臂浇筑施工安全稳定。同时,梁体姿态实时监测设备全天候采集梁体线形、标高、应力数据,动态把控梁体成型状态,确保桥梁上部结构施工精度符合设计规范。

2.4 施工管理全过程智能化应用

(1)智能进度管理以施工大数据为核心支撑,实现进度精细化管控。系统自动采集现场施工工序、人员、设备等实时数据,与预设施工进度计划智能比对,动态分析施工进度偏差。针对工期滞后、工序冲突等问题自动发出预警,结合现场施工工况智能调整施工工序、资源配置方案,实现施工进度动态调控,有效规避工期延误风险,保障工程按期完工。(2)智能安全与质量管理实现施工全过程数字化管控。依托AI视觉识别技术,实时抓拍现场违规操作、安全防护缺失、设备违规运行等安全隐患,即时预警提醒,降低安全事故发生率。同时建立质量数据溯源体系,对施工原材料、施工工序、检测数据全程记录留存,实现质量问题可追溯、可核查。通过信息化管理平台整合全流程质量、安全数据,实现施工全过程可视化、标准化管控,全面提升工程施工质量与安全管理水平^[4]。(3)智能成本与物资管理助力工程精细化降本增效。通过智能物资统计系统自动统计物料进场、消耗、库存数据,精准把控物料使用情况,避免物料浪费与库存积压。设备能耗监测设备实时采集施工设备能耗、运行时长数据,优化设备调度方案,降低设备能耗与运维成本。结合施工全过程数据动态核算工程成本,实时监控成本偏差,及时调整管控策略,实现工程成本的动态化、智能化管控,提升工程经济效益。

3 智能化施工技术应用现存问题与优化对策

3.1 智能化施工技术应用现存问题

(1)技术落地适配性不足是当前道桥智能化施工的普遍问题。市面上多数智能设备通用性较强,无法完全适配道路线性施工、桥梁特种施工的复杂工况,野外复杂环境下设备稳定性较差。同时,BIM、物联网、AI分析等各类智能技术相互独立,数据无法互通共享,多技术协同融合度低,部分智能化技术理论性强、实操性弱,难以真正落地施工现场。(2)行业复合型人才体系存在明显短板。道桥智能化施工需要从业人员同时掌握道路桥梁专业知识与数字化、智能设备操作技术,但目前传统施工人员仅熟悉常规施工工艺,缺乏智能设备操作、数据研判、智能系统运维能力,专业技术人才培养

滞后,复合型人才培养缺口较大,严重制约智能技术落地应用。(3)行业标准化体系建设不完善。目前道路与桥梁工程智能化施工仍缺乏统一的行业规范、施工准则和质量验收标准,各地、各项目智能化施工工艺、数据管控、质量判定方式不一,施工管控无统一依据,容易出现施工不规范、验收无标准、管理混乱等问题。(4)智能化施工成本与推广存在瓶颈。智能施工设备采购、安装、后期运维成本偏高,设备维修、系统升级费用高昂。多数中小型工程项目资金有限,难以承担智能化施工投入,导致智能技术多应用于大型重点工程,中小型工程推广难度大,行业整体普及度较低。

3.2 技术层面优化对策

(1)针对性优化技术适配方案,立足道路、桥梁不同工程的施工特点,定制差异化、专业化的智能化施工体系。针对路基路面施工、桥梁预应力施工、高空挂篮施工等不同工况,筛选适配野外复杂环境的智能设备与技术系统,优化技术参数,摒弃通用化、不贴合现场的技术方案,提升智能技术的现场实操性与适配度。(2)推动多技术深度融合应用,搭建一体化智能施工体系。打通BIM建模、物联网监测、大数据分析、AI智能研判、自动化施工设备的数据通道,实现模型数据、监测数据、设备运行数据互联互通。构建一体化协同施工平台,让各项技术互为支撑,实现从设计、施工监测到智能决策的全流程协同,解决技术碎片化、协同性差的问题^[5]。

3.3 管理与人才层面优化对策

(1)健全行业智能化施工标准与验收规范。结合道桥工程智能化施工实际应用场景,统一智能施工工艺标准、数据采集标准、质量检测与验收标准,明确智能设备操作规范、数据管控要求。完善行业管理制度,填补智能化施工领域的标准空白,让现场施工、质量验收、安全管控有章可循。(2)搭建系统化复合型人才培养体系。施工企业联合院校、行业机构开展定向人才培养,增设道桥智能施工相关课程,夯实专业基础。同时常态化开展一线施工人员实操培训,聚焦智能设备操作、智

能系统运维、数据智能分析等核心技能,提升从业人员智能化操作水平,补齐行业人才短板。

3.4 成本与推广层面优化对策

(1)创新设备运维与应用模式,有效降低施工成本。可采用设备租赁、共享运维等模式替代全额采购,减少前期资金投入。建立设备常态化维保机制,延长设备使用寿命,降低维修与升级成本。同时简化中小型工程智能施工应用流程,适配中小项目低成本、轻量化的智能化施工需求。(2)打造行业标杆示范工程,助力技术规模化推广。依托大型重点道桥工程打造智能化施工示范项目,总结成熟的施工工艺、管理模式和应用经验。通过行业交流、技术推广等方式普及智能化施工技术,逐步消除技术应用壁垒,推动智能化施工技术向中小型工程延伸,实现行业常态化、规模化应用。

结束语

道路与桥梁工程引入智能化施工技术,有效弥补了传统施工模式的诸多短板,显著提升工程施工精度、施工效率与安全质量管控水平,有效降低工程建设综合成本。但目前智能技术落地仍存在技术融合不足、行业规范不完善、人才缺口大、普及难度大等现实问题。未来行业需持续优化智能施工技术体系,完善行业标准规范,加强复合型人才培养,逐步实现智能化技术全面普及,推动交通基建行业高质量长远发展。

参考文献

- [1]刘进.桥梁工程中的智能化监测与维护系统研究[J].中国高新科技,2024,10(8):69-71.
- [2]周中进.基于网络的桥梁智能化施工控制系统研究[J].智能建筑与智慧城市,2021,17(9):168-169.
- [3]张颖颖.道路桥梁施工技术及道路路面施工的质量控制措施研究[J].汽车周刊,2026,23(2):142-144.
- [4]周东立.桥梁工程中预制箱梁拼接施工的质量控制与优化策略[J].汽车周刊,2025,31(12):121-123.
- [5]谢卫平.道路与桥梁工程施工质量管理措施研究[J].运输经理世界,2025,7(29):105-107.