

智能化施工技术在道路与桥梁工程中的应用

吴加杰 李国平 张国林

平湖市交通投资（集团）有限公司 浙江 平湖 314200

摘要：为解决传统道桥施工效率低、精度差、管控滞后等问题，本文聚焦物联网、BIM、大数据等智能化施工技术，阐述其核心内涵、特征及主流技术类型，分析其在道路、桥梁施工及现场管理中的具体应用。深入剖析当前技术融合不足、行业标准缺失、专业人才匮乏等现存问题，并针对性提出优化创新、完善体系、人才培育等对策，同时展望行业无人化、绿色化、智慧化发展趋势，为道桥工程智能化升级提供参考。

关键词：智能化施工技术；道路与桥梁工程；应用

引言：随着交通基建行业高质量发展推进，传统道路与桥梁工程人工施工模式，已难以适配现代化工程高精度、高效率、低能耗的建设要求。智能化施工技术依托前沿信息技术，实现施工全流程数字化、精细化管理，成为道桥工程转型升级的核心方向。基于此，本文系统研究智能化施工技术的应用场景，梳理行业现存痛点问题，制定科学优化策略，助力道桥工程施工提质增效、赋能交通基建行业智慧化发展。

1 道路与桥梁工程智能化施工技术概述

1.1 智能化施工技术核心内涵与特征

（1）核心内涵：道路与桥梁工程智能化施工技术，是以物联网、大数据、BIM、人工智能、自动化控制等前沿信息技术为核心支撑，打破传统人工施工管控模式，对道桥工程施工全流程进行数字化改造，构建起集数据采集、分析、管控、优化于一体的新型施工技术体系，实现施工全过程数字化、自动化、智能化精细管控。（2）主要特征：该技术体系具备多项核心优势特征，可实时采集施工现场各类动态数据，实现施工过程精准调控；能够智能识别施工隐患并提前预警风险，同时全程记录施工数据，形成完整可追溯体系，相较于传统施工模式，整体作业更高效、能耗更低、资源利用率更高^[1]。

1.2 道桥工程主流智能化施工技术类型

（1）BIM 数字化建模与施工仿真技术：通过三维建模还原工程全貌，开展施工模拟、构件碰撞检测工作，实现施工进度、质量的可视化、精细化管理。（2）物联网智能监测技术：依托各类高精度传感器，实时采集工程沉降、变形、应力、温度等关键施工数据，完成施工现场动态实时监测。（3）自动化智能施工设备技

术：应用智能摊铺机、智能架桥机、无人振捣设备等智能装备，替代传统人工高强度作业，提升施工自动化水平。（4）大数据与智能管控技术：整合存储施工各类数据，通过智能分析研判，实现工程进度、质量、安全、成本四大核心维度的智能化管控。

2 智能化施工技术在道路与桥梁工程中的具体应用

2.1 智能化技术在道路工程施工中的应用

（1）路基智能施工：路基是道路工程的基础结构，其施工质量直接决定道路整体稳定性与使用寿命。智能化路基施工主要依托智能挖掘、智能压实技术开展标准化作业，通过设备搭载的智能传感系统，实时动态采集施工现场路基压实度、土壤含水率、碾压次数、碾压速度等核心数据。系统可自动分析施工参数是否达标，及时指导操作人员调整施工工艺，有效解决传统路基施工压实不均、含水率超标、漏压、过压等常见问题，大幅提升路基压实均匀度与整体稳定性，为后续路面施工筑牢基础。（2）路面智能施工：路面施工对平整度、厚度、温度把控精度要求极高。智能摊铺机可依托卫星定位与自动校准系统，实时调整作业姿态、行驶速度与摊铺厚度，实现沥青、水泥路面的匀速、均匀摊铺。同时搭配智能测温、厚度监测设备，全程监控摊铺温度、碾压温度及路面成型厚度，及时规避温度过低导致路面粘结性差、厚度不均等质量缺陷，保障路面施工的平整度、密实度，有效提升路面成型质量与耐久性^[2]。（3）道路施工智能监测与管控：在道路施工全过程中，智能化监测系统可对道路沉降、路面平整度、施工现场温湿度、扬尘、风速等环境及施工参数进行全天候实时监测。系统自动汇总分析监测数据，精准识别施工工艺短板与现场隐患，动态优化调整施工流程与作业参数，实

现道路施工全过程动态化、精细化管控,有效规避后期路面沉降、开裂等质量病害。

2.2 智能化技术在桥梁工程施工中的应用

(1) 桥梁 BIM 全过程应用: BIM 技术贯穿桥梁设计、预制、施工、安装全流程,通过参数化三维建模,精准还原桥梁整体结构与构件细节。依托模型开展施工仿真模拟、碰撞检测,提前排查设计与施工冲突问题。同时可指导桥梁构件工厂预制,实现构件尺寸精准把控,在现场安装阶段完成精准对位,有效提升桥梁施工的精准度与规范性,减少施工返工问题。(2) 桥梁主体智能施工: 桥梁主体施工难度大、精度要求高,智能架桥机、智能挂篮、预应力智能张拉设备的应用,彻底改变传统人工操控的作业模式。智能设备可实现自动化行走、对位、吊装与张拉作业,精准控制张拉应力、伸长量等关键参数,让桥梁梁体安装、预应力施工实现标准化、智能化作业,有效规避人工操作误差,保障桥梁主体结构施工质量。(3) 桥梁结构智能监测: 桥梁施工过程中结构受力复杂,存在诸多不稳定因素。通过布设高精度监测传感器,可对桥梁施工阶段的结构应力、构件变形、主体振动等关键参数进行实时采集与动态监测。系统可实时研判结构运行状态,一旦数据超标立即发出预警,及时排查安全隐患,全方位保障桥梁施工过程的结构稳定性与施工安全性^[3]。

2.3 道桥工程施工现场智能化管理应用

(1) 智能进度管理: 依托数字化智能管控系统,实时采集施工现场各工序作业数据,自动更新实际施工进度,同步与预设施工计划进行对比分析。针对进度滞后、工序衔接错乱等问题,系统可智能预警偏差、分析滞后原因,为管理人员调整施工方案、调配人力物力提供数据支撑,保障工程按期推进。(2) 智能质量管理: 搭建数字化质量管控台账,对道桥施工各工序的检测数据、施工参数、验收结果进行实时录入、智能归档。实现施工质量实时检测、全程记录,所有施工环节可溯源、可查询,便于管理人员及时发现质量问题并整改,构建全流程质量管控体系,全面提升工程质量管理水平^[4]。(3) 智能安全管理: 施工现场引入智能化安全管控体系,通过人脸识别系统规范人员进出管理,依托危险源监控、无人机全天候巡检、智能预警系统,全方位排查高空作业、机械作业、临时施工区域的安全隐患。系统可实时识别违规操作、危险工况并自动预警,有效降低事故发生率,实现施工现场智能化、常态化安全管控。

3 智能化施工技术应用现存问题与成因分析

3.1 技术应用层面问题

(1) 技术融合度不足: 当前道桥工程智能化施工存在单一化、碎片化应用问题, BIM、物联网、大数据等智能技术多独立落地应用,各技术平台数据端口不通、功能缺乏联动。行业未建立完善的技术协同整合体系,无法搭建数据采集、传输、分析到智能管控的完整闭环,难以发挥智能化技术的整体赋能作用。(2) 智能设备适配性有限: 现有智能施工设备多适配常规平整施工场景,适用范围较窄。面对山区道路、异形桥梁、复杂地形等特殊工况时,设备作业精度、稳定性及适应性显著降低,无法满足复杂施工需求,实际应用短板较为明显。(3) 数据利用率偏低: 道桥智能施工可实时采集海量数据,但多数施工单位仅完成基础采集与存储工作,缺少专业的数据挖掘、分析能力,大量施工数据无法转化为施工优化、风险预判、质量提升的有效支撑,数据资源价值难以充分发挥。

3.2 行业与管理层面问题

(1) 行业标准体系不完善: 目前道路与桥梁智能化施工领域尚未形成统一、完善的技术规范与验收标准,不同地区、不同企业的智能施工工艺、设备参数、验收要求存在差异,导致现场施工实操缺乏统一标准依据,制约技术规范推广。(2) 智能化管理机制缺失: 多数施工企业仍沿用传统施工管理模式,未结合智能施工特点更新管理制度与作业流程。智能化施工的岗位职责、管控流程、考核机制不健全,出现技术应用与现场管理脱节的问题,影响智能化施工落地效果。(3) 区域与企业应用差距大: 行业智能化应用发展不均衡,大型国企资金、技术资源充足,智能化施工普及程度较高。而中小施工企业受资金、技术条件限制,智能化设备与系统投入不足,整体技术应用水平滞后,行业整体智能化推进进度不均。

3.3 人才与成本层面问题

(1) 复合型专业人才短缺: 智能化施工需要从业人员同时掌握道桥工程专业知识与数字化、智能化技术,目前行业内此类复合型人才缺口较大,专业人才储备不足成为技术普及的主要瓶颈。(2) 前期投入成本较高: 智能施工设备采购、数字化平台搭建、后期系统运维均需要高额资金投入,对于利润空间有限的中小型施工企业而言,推广智能化施工的经济阻力较大。(3) 人员技术素养不足: 一线施工人员与基层管理人员长期沿用传统施工模式,缺乏智能化设备操作与数字化系统应用的专业培训,操作能力薄弱,难以适配智能化施工的作业

与管理要求。

4 智能化施工技术在道桥工程中应用的优化对策与发展展望

4.1 强化技术融合与技术创新

(1) 推进多技术深度融合, 针对当前智能技术应用碎片化问题, 搭建 BIM、物联网、大数据一体化智能施工管控平台。打通各技术系统的数据接口, 实现施工信息实时共享、设备协同作业、工序联动管控, 形成从数据采集、传输、分析到智能调度的完整闭环, 提升整体智能化协同管控水平。(2) 立足道桥工程复杂施工场景, 针对性优化智能设备硬件与软件性能。结合山区施工、异形桥梁结构、特殊路基处理等难点工况, 研发适配性强、稳定性高、操作简便的智能施工装备, 改善传统智能设备场景适配度低的问题, 扩大智能设备的工程应用范围。(3) 深化施工数据挖掘与应用价值, 依托海量现场施工数据, 搭建专业化施工数据研判与分析模型。通过对施工质量、安全、进度、成本数据的系统化分析, 精准找出施工短板与工艺缺陷, 为施工方案调整、工艺优化、风险防控提供科学的数据支撑, 充分释放数据赋能价值^[5]。

4.2 完善行业标准与管理体系

(1) 加快健全道桥工程智能化施工行业标准体系, 统一智能施工技术应用规范、质量验收标准与安全管控标准。明确智能设备施工参数、数据采集标准、数字化验收流程, 填补行业标准空白, 让智能化施工全过程有规可依、有据可查, 推动行业规范化发展。(2) 构建适配智能化施工的现代化管理机制, 摒弃传统粗放式管理模式。结合智能施工流程优化岗位职责、作业标准、管控流程与考核制度, 建立数字化、精细化管理模式, 解决技术应用与现场管理脱节问题, 保障智能技术高效落地应用。(3) 推动行业资源均衡化发展, 加大对中小施工企业的政策与技术扶持力度。通过技术帮扶、政策补贴、技术共享等方式, 降低中小企业智能化转型难度, 缩小大型企业与中小企业、不同区域之间的智能化应用差距, 推动行业整体升级。

4.3 加强人才培养与成本管控

(1) 搭建校企协同育人与行业常态化培训体系, 依托高校专业资源, 定向培养兼具道桥专业知识与数字化、智能化技术能力的复合型人才, 补齐行业人才缺口, 为智能化施工发展筑牢人才根基。(2) 针对一线

施工人员与基层管理人员开展常态化专项技术培训, 围绕智能设备操作、数字化平台运维、智能管控流程等内容开展实操教学, 全面提升从业人员智能化应用能力, 解决现场操作不规范、技术利用率低等问题。(3) 优化智能化技术投入模式, 大力推广轻量化、高性价比的智能施工方案。简化繁琐的智能化系统配置, 降低设备采购、系统搭建与运维成本, 有效降低中小企业智能化转型门槛, 助力行业全面普及智能施工技术。

4.4 行业发展展望

(1) 未来道桥工程施工将逐步向全面智能化、无人化方向发展, 智能机械设备、无人作业技术将广泛普及, 彻底改变传统人工主导的施工模式, 实现工程建设全流程数字化、自动化精准管控。(2) 绿色施工与智能施工将深度融合, 依托智能技术优化资源配置、降低施工能耗、减少建筑垃圾与污染物排放, 实现工程高质量建设与低碳节能发展协同推进。(3) 智慧工地、数字孪生等前沿技术将全面落地普及, 实现工程施工全过程动态仿真、实时管控、精准预判, 推动道桥工程建设向智慧化、精细化、标准化方向全面升级。

结束语

综上所述, 智能化施工技术有效革新了道桥工程施工与管理模式, 切实提升了工程质量、施工效率与安全管控水平, 但目前仍存在技术融合不足、行业体系不完善、人才成本制约等诸多问题。未来需持续推进技术创新与融合, 完善行业标准与管理机制, 强化人才培养与成本管控。随着数字技术持续迭代, 道桥工程将实现全面智能化、绿色化升级, 推动交通基建行业高质量可持续发展。

参考文献

- [1] 李德旭, 王元戎, 夏琦. BIM 技术在道路与桥梁工程设计中的应用综述 [J]. 科技资讯, 2023, 21(21): 157-161.
- [2] 蔡庆红. BIM 技术在道路桥梁设计中的应用分析 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2023, 13(6): 172-174.
- [3] 葛飞. 桥梁工程养护与智能化应用分析 [J]. 运输经理世界, 2024, 26(1): 137-139.
- [4] 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, 11(8): 69-71.
- [5] 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, 35(9): 168-169.