

公路工程施工中的智能化施工技术创新与应用

杨 凯 杨田田

陕西交通控股集团有限公司西禹分公司 陕西 渭南 710018

摘 要：随着科技的不断进步，公路工程施工中的智能化施工技术日益成为行业发展的重要趋势。本文深入探讨了智能化施工技术的理论基础，详细分析了其在公路工程中的创新应用，如智能设备的使用、高精度定位技术的应用、无人机巡检以及智能化管理系统的构建等。这些技术的应用不仅显著提高了施工效率和质量，还降低了人力成本和安全风险，为公路工程建设带来了深远的影响。

关键词：公路工程施工；智能化施工技术；创新；应用

引言：在公路工程领域，随着信息技术和人工智能技术的不断成熟，智能化施工技术正逐渐成为推动行业转型升级的重要力量。这一技术的创新应用不仅显著提升了施工效率和质量，更在降低成本、保障安全等方面展现出了巨大潜力。本文将从智能化施工技术的理论基础出发，深入探讨其在公路工程施工中的实际应用和创新成果，以期为行业同仁提供有益参考，共同推动公路工程施工向更高效、更智能的方向发展。

1 智能化施工技术的理论基础

1.1 智能化施工技术的定义与内涵

1.1.1 概念界定

智能化施工技术以现代信息技术为核心，融合人工智能、物联网等先进技术，构建新一代建造技术体系，实现施工过程自主感知、智能决策与精准执行。在公路工程领域，它借助数字化、网络化、智能化手段，重塑传统施工流程，形成“状态感知-实时分析-自主决策-精准执行-学习提升”的闭环机制。与传统自动化技术不同，其具备自主学习与自适应能力，可应对复杂施工现场。

1.1.2 关键要素与特点

该技术涵盖感知层、决策层、执行层三大核心要素。感知层含传感器、RFID等设备；决策层集成AI算法、数字孪生技术；执行层则有智能装备、机器人。其特点表现为数据驱动决策、设备自主协同作业、系统持续进化。于公路工程中，可实现路基压实度自适应调节、摊铺厚度实时闭环控制。

1.2 相关技术原理

1.2.1 基础技术应用原理

传感器技术是感知基础，如路基施工中光纤光栅传感器监测应变，智能压实设备通过加速度传感器计算压实度。自动控制技术保障精准执行，沥青摊铺机液压系统运用模糊PID控制调节熨平板高度。人工智能技术提供

决策支持，深度学习算法可预测混凝土强度发展，指导养护方案。

1.2.2 关键技术原理

数据分析技术采用时间序列分析处理传感器数据，利用ARIMA模型预测设备故障。模式识别技术应用于质量检测，基于CNN的路面裂缝识别系统准确率达97%。智能控制聚焦多目标优化，在桥梁张拉施工中，结合遗传算法与有限元分析，动态调整张拉策略，优化预应力分布。这些技术赋予传统施工装备自主决策能力，构成智能化施工的核心支撑。

2 公路工程施工中的智能化施工技术创新

2.1 智能化施工设备的创新

2.1.1 智能化施工设备的技术特点与创新点

现代公路工程施工中，智能化设备正逐步取代传统机械设备，展现出显著的技术优势。（1）智能化挖掘机通过集成GNSS定位系统、惯性测量单元和机载计算机，实现了厘米级精度的自动挖掘作业。其创新点在于配备了智能轨迹规划系统，可根据设计图纸自动生成最优挖掘路径，减少人工干预，提高作业效率30%以上。

（2）智能化压路机采用多传感器融合技术，通过振动传感器、温度传感器和压实度检测仪的实时数据反馈，自动调节碾压速度和振动频率。最新一代产品还引入了AI算法，能够根据材料特性动态优化碾压参数，确保路基压实均匀性，将传统压实作业的合格率从85%提升至98%^[1]。（3）沥青铺设机智能化主要体现在温度闭环控制和摊铺厚度自动调节系统上。通过红外测温仪和激光测距仪的网络化布局，设备可实时监测沥青混合料温度和摊铺厚度，配合智能料斗控制系统，实现摊铺平整度误差不超过3mm的技术突破。部分高端机型还搭载了自学习系统，能够积累施工数据并优化后续作业参数。

2.1.2 智能化施工设备的应用创新

(1) 在路基铺设领域,智能化设备集群协同作业成为新趋势。多台智能挖掘机、推土机和压路机通过5G网络组成设备物联网,由中央控制系统统一调度,实现从土方开挖到路基成型的全流程自动化施工。某高速公路项目应用表明,这种模式可缩短工期15%,降低人力成本40%。(2) 路面维护方面,智能化综合养护车集成了裂缝检测、局部铣刨、材料填充和压实等功能,通过机器视觉识别路面病害,自动生成修复方案并执行精准维修。与传统方式相比,修复效率提高5倍,且夜间可连续作业,大幅减少交通干扰^[2]。(3) 桥梁施工中,智能旋挖钻机通过BIM模型引导,实现桩基精确定位和成孔质量控制;智能架桥机则采用多自由度液压控制系统,实现箱梁毫米级精准吊装。在杭州湾跨海大桥扩建工程中,智能化设备使复杂环境下的施工精度提高了60%,安全事故率降低90%。

2.2 智能化施工技术的创新应用

(1) 高精度定位技术的应用突破。卫星定位技术已从传统的RTK-GPS发展到现在的PPP-RTK技术,在路基施工中实现平面2mm、高程5mm的定位精度。结合UWB室内定位系统,解决了隧道等遮蔽环境下的定位盲区问题。某山区高速公路项目采用多源融合定位技术,将复杂地形下的测量效率提升8倍,测量成本降低70%。(2) 无人机技术的创新应用。现代工程无人机已从单一航拍发展为多功能作业平台。配备LiDAR的无人机可在1小时内完成10公里地形扫描,生成5cm精度的三维数字地面模型。智能巡检无人机搭载多光谱传感器,可识别路面隐性病害,检测效率是人工的20倍。更前沿的应用是无人机群协同作业,通过蜂群算法实现大范围施工现场的实时动态监控。(3) 3D打印技术的工程实践。桥梁施工中,金属3D打印技术已用于制作复杂节点连接件,将传统需要数月加工的构件缩短至几天完成。混凝土3D打印技术在挡土墙、声屏障等结构施工中展现出优势,某试验段实现了无模板、一次成型施工,材料节省30%,工期缩短50%。隧道衬砌3D打印机器人可连续作业,打印速度达1m³/h,且能适应多变断面形状^[3]。

2.3 智能化管理与控制系统

2.3.1 智能化系统的架构与功能

现代智能化施工管理系统采用"云-边-端"三级架构。云端部署BIM+GIS数字孪生平台,整合设计、施工、运维全周期数据;边缘计算节点负责区域设备集群的实时控制;终端设备层包括各类传感器和执行机构。系统核心功能涵盖自动进度规划、资源动态优化、质量在线诊断和风险智能预警等模块。

2.3.2 智能化管理的实践成效

(1) 在进度控制方面,通过图像识别技术实时统计施工面机械和人员活动,对比BIM模型自动计算进度偏差,动态调整施工计划。某特大桥梁项目应用显示,进度预测准确率达95%,计划延误减少80%。(2) 质量管理上,利用区块链技术建立不可篡改的质量追溯系统,从原材料到成品实现全链条数据上链。混凝土养护监测系统通过无线传感器网络,实时传输温度、湿度数据,确保结构物早期强度发展符合设计要求^[4]。(3) 安全管理创新体现在智能预警系统的应用。基于UWB定位的安全帽可实时监控人员位置,与设备运行轨迹进行碰撞预测;AI视频监控系统能识别未系安全带、违规穿越等危险行为,即时发出警报。统计表明,这类系统可使事故率降低65%以上。

3 智能化施工技术在公路工程中的应用案例分析

3.1 案例选取与背景介绍

3.1.1 代表性案例选取

本文选取京雄高速公路河北段作为智能化施工技术应用典型案例。该工程是国家"十三五"规划重点交通项目,连接北京与雄安新区,全长约93公里,设计时速120公里,双向八车道标准建设。项目于2020年3月开工,2023年6月建成通车,总投资约330亿元。选择此案例基于三点考虑:一是项目规模大、标准高,代表了我国高速公路建设的最高水平;二是智能化技术应用全面,涵盖了设计、施工、管理的全链条;三是作为雄安新区配套工程,具有示范引领作用。

3.1.2 项目概况与施工条件

京雄高速河北段穿越华北平原与白洋淀水域,地质条件复杂,包含软土、液化土等多种不良地质,沿线需跨越铁路、河流及既有道路12处。项目面临三大挑战:一是工期紧张,需在3年内完成常规需5年的工程量;二是环保要求严格,途经生态敏感区;三是质量要求高,需达到"百年工程"标准。基于这些挑战,项目团队决定大规模采用智能化施工技术,打造"智慧工地"示范工程。

3.2 智能化施工技术的应用过程与效果分析

3.2.1 智能化技术应用过程

(1) 3D数字化摊铺技术:在全线路面施工中采用基于北斗高精度定位的3D数字化摊铺系统。该系统通过前期BIM模型数据导入,结合现场GPS/北斗定位,实现摊铺厚度、坡度、平整度的自动控制,无需传统钢丝绳基准线。压路机加装智能压实系统,实时监测压实遍数、温度与密实度,数据直接上传云端平台。(2) 智能预制梁场:针对全线1865片预制箱梁,建设了全智能化预制

梁场。采用机器人钢筋绑扎、智能张拉与压浆系统、蒸汽养护自动控制等技术。每片梁植入RFID芯片,实现全生命周期质量追溯。通过智能养护系统,梁体强度发展曲线实时监控,养护周期缩短20%。(3)无人驾驶施工机械集群:在路基填筑段投入32台无人驾驶压路机、推土机和摊铺机组施工集群。机械通过5G网络互联,由中央控制平台统一调度,实现24小时连续作业。通过激光雷达与视觉识别系统自动避障,施工精度达到 $\pm 2\text{cm}$ 。

(4)智慧工地管理平台:构建了集成BIM+GIS的项目建设管理平台,接入现场800多个监控点、200多套智能设备数据。平台具备进度模拟、资源优化、风险预警等功能,实现"一张图"管理。工人佩戴智能安全帽,实时定位与状态监测,危险区域电子围栏报警。

3.2.2 应用效果分析

(1)施工效率方面:通过智能化技术应用,项目总体工期缩短18%,其中路基施工效率提升35%,路面摊铺速度提高25%。无人机械集群实现"人停机不停",夜间施工效率达白天90%。(2)工程质量方面:路面平整度标准差控制在0.5mm以内,优于规范要求的1.2mm;预制梁张拉控制精度达98.5%,传统方法为90%。全线路基工后沉降监测数据显示,差异沉降量小于设计值30%。(3)安全管理方面:实现连续1000万工时零死亡事故,较行业平均水平提升60%。智能监控系统累计预警安全隐患327次,及时处置率100%。疫情期间,无接触施工技术减少60%现场人员聚集。(4)经济效益:虽然前期智能化投入增加约8000万元,但通过工期节约、返工减少、人力节省等,总体降低成本1.2亿元,投资回报率达50%。

3.3 案例的启示与经验总结

3.3.1 经验与教训

(1)成功经验:一是建立了"技术标准-设备改造-工艺创新"三位一体应用模式,避免技术"碎片化";二是采取"试点-改进-推广"的实施路径,先在3公里试验段验证

再全线推广;三是构建了"产学研用"协同机制,与12家高校、企业联合攻关。(2)存在问题:一是部分传统施工企业技术接受度低,需加强培训;二是不同厂商设备数据接口不统一,系统集成难度大;三是极端天气下(如暴雨)部分传感器可靠性下降。

3.3.2 推广建议

(1)技术层面:加快制定公路工程智能化施工技术标准体系;研发适应复杂环境的鲁棒性更强的智能装备;推进BIM与施工管理系统深度整合。(2)管理层面:建立智能化施工专项考评机制;培育既懂施工又懂数字化的复合型人才;完善智能化施工成本计量与计价体系。(3)政策层面:加大智能化施工技术研发税收优惠;设立专项推广资金;在大型项目中明确智能化技术应用比例要求。

结束语

综上所述,智能化施工技术在公路工程施工中的应用展现了显著的优势与潜力,从设计优化到施工管理,各个环节都实现了质的飞跃。随着技术的不断进步与创新,我们有理由相信,智能化施工将在未来公路建设中发挥更加核心的作用。面对新的挑战与机遇,我们应持续探索智能化施工的新路径,推动公路工程施工技术的智能化升级,为构建更加安全、高效、环保的交通网络贡献力量。

参考文献

- [1]曹俊林.公路工程施工智能化技术应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2024,(15):177-178.
- [2]杨彰元.基于公路工程的路面机械智能化施工技术分析[J].交通科技与管理,2024,(13):115-116.
- [3]闫利平.智能化技术在公路工程机械化施工中的应用[J].集成电路应用,2023,(11):90-91.
- [4]苏晓磊.公路工程施工技术创新与施工管理策略研讨[J].大众标准化,2024,(04):65-66.