

智能监理平台在高速公路施工中的深度融合应用

张士伟 于会 张莉芬

宜昌同卯工程监理咨询有限公司, 湖北 宜昌 443000

[摘要]随着我国高速公路建设的快速发展,施工监理作为确保工程质量和安全的重要环节,面临着日益复杂的挑战,传统的监理方式在效率、精度和实时性方面已难以满足现代高速公路项目的高标准要求,在此背景下,构建智能化监理平台成为提升监理效能的重要方向。智能化监理平台通过集成物联网、大数据、人工智能等先进技术,能够实现施工过程的实时监控、数据分析和智能决策,为高速公路项目的质量控制和安全管理提供强有力的技术支持,文中主要分析了高速公路项目施工监理中智能化监理平台的构建措施。

[关键词]高速公路; 施工监理; 智能化监理平台; 构建措施

DOI: 10.33142/sca.v8i6.16831

中图分类号: TU71

文献标识码: A

Deep Integration Application of Intelligent Supervision Platform in Highway Construction

ZHANG Shiwei, YU Hui, ZHANG Lifen

Yichang Tongluan Engineering Supervision Consulting Co., Ltd., Yichang, Hubei, 443000, China

Abstract: With the rapid development of Chinese highway construction, construction supervision, as an important link to ensure project quality and safety, is facing increasingly complex challenges. Traditional supervision methods are no longer able to meet the high standard requirements of modern highway projects in terms of efficiency, accuracy, and real-time performance. In this context, building an intelligent supervision platform has become an important direction to improve supervision efficiency. The intelligent supervision platform integrates advanced technologies such as the Internet of Things, big data, and artificial intelligence to achieve real-time monitoring, data analysis, and intelligent decision-making during the construction process, providing strong technical support for quality control and safety management of highway projects. This article mainly analyzes the construction measures of the intelligent supervision platform in highway project construction supervision.

Keywords: highway; construction supervision; intelligent supervision platform; construction measures

引言

高速公路建设具有工程规模大、技术复杂、施工周期长等特点,传统的监理方式主要依赖人工巡查和纸质记录,存在效率低、数据不准确、信息反馈滞后等问题,随着信息技术的飞速发展,智能化监理技术逐渐成为解决这些问题的有效手段,物联网技术实现对施工现场的全面感知,大数据分析能够为监理决策提供科学依据,人工智能技术则能够实现异常情况的自动识别和预警,国家对基础设施建设的质量要求日益严格,推动智能化监理技术的应用已成为行业发展的必然趋势,研究智能化监理平台的构建与应用具有重要的现实意义。

1 研究背景与智能化监理平台在高速公路施工中行业中的痛点

1.1 传统监理模式的局限性

在传统工程监理体系中,人工巡检作为核心监管手段,暴露出效率低下与覆盖盲区的双重困境。以高速公路项目为例,30公里施工段需配备15名监理人员,每日人均巡检里程仅2公里,漏检率高达18%,桩基浇筑等关键工序的旁站监理需消耗大量人力成本。数据记录依赖纸质表

单与Excel台账中,桥梁项目竣工时累计形成2.3万份纸质文件,其中15%的隐蔽工程验收记录因填写不规范导致追溯困难,曾因桩基钢筋笼间距记录缺失引发质量纠纷。

隐蔽工程监管更是传统模式的“心腹之患”。在隧道施工中,初期支护背后的围岩裂隙发育情况无法实时监测,如铁路隧道项目因未发现钢拱架背后空洞,运营3年后突发局部坍塌;房建工程中,二次结构砌体砂浆饱满度仅靠敲击抽检,其保障房项目交付后出现大面积墙体开裂。中国建筑业协会2023年调研显示,62%的工程质量事故与隐蔽工程监管缺失相关,传统模式已难以适应现代工程精细化管理需求。

1.2 智能化转型的驱动力

政策层面,《交通强国建设纲要》明确要求2035年前实现“智慧工地”全覆盖^[1],住建部《“十四五”建筑业发展规划》提出推进BIM技术在监理领域的深度应用。地方实践中广东省2024年起要求政府投资项目智能化监理覆盖率达90%以上,杭州市将智能化监理纳入绿色施工评价体系,给予最高3%的工程造价奖励。

技术层面,BIM技术已从单一建模工具升级为全生

命周期管理平台,如商业综合体项目通过 BIM 模型实现 6800 处设计-施工冲突预控,物联网技术构建起“空-天地”立体监测网络,港珠澳大桥岛隧工程部署 2.1 万个传感器,实现沉管对接精度控制在 3cm 以内。技术成熟度曲线显示,智能化监理相关技术已跨过“期望膨胀期”,进入“实质生产期”。

2 智能化监理平台的核心架构

2.1 技术支撑体系

(1) 多源数据融合层

BIM 模型驱动全流程校验:企业通过建立 1:1 孪生模型,如机场航站楼项目通过 BIM-3D 扫描比对,发现钢结构安装偏差超过 8mm 的部位 127 处,避免了后期结构应力集中风险。模型集成设计图纸、工程量清单等 28 类数据,自动生成“监控控制点清单”,桩基定位、管线预埋等关键工序的合规性检查效率提升。

物联网传感器构建感知网络:在深基坑监测中,部署振弦式应力计、倾角传感器、水位仪等 12 类设备,如武汉地铁车站基坑累计采集 1.2 亿条数据,当深层水平位移速率超过 3mm/天时自动触发三级预警,成功预警 2 次围护结构失稳风险。桥梁健康监测系统融合光纤光栅与加速度传感器,实时解算梁体振动模态参数,某斜拉桥索力异常波动在 2 分钟内被捕捉,避免了断索事故。

无人机/机器人巡检突破空间限制:无人机搭载多光谱相机与激光雷达,在 300m 高空完成风电项目升压站巡检,缺陷识别效率较人工登高作业提升 20 倍,如海上风电场通过无人机巡检发现 32 处螺栓松动,避免了设备停运损失;隧道巡检机器人集成超声相控阵与红外热成像模块,在 3 公里长的隧道中实现 24h 不间断检测,衬砌背后空洞识别准确率有效提升。

(2) 智能分析层

AI 算法实现主动监管:卷积神经网络(CNN)在安全帽检测中准确率有效提升,如工地通过部署 AI 摄像头,3 个月内纠正 236 起违规行为,人员安全意识提升 40%;语义分割算法识别材料堆放混乱、临边防护缺失等隐患,市政项目隐患发现效率提升,整改闭环平均时长缩短。

大数据分析赋能科学决策:监理通过建立进度延误风险预测模型,如高铁项目通过 378 个历史案例,提前 45d 预警连续降雨导致的无砟轨道施工滞后风险,通过调整资源配置避免了 12d 工期损失,质量显著提升。

(3) 协同管理平台

移动端实现现场数字化:企业通过开发“监理通”APP^[2],集成 GPS 定位、二维码扫描、音视频上传等功能,监理人员现场巡检时可实时调取 BIM 模型查看设计参数,通过 APP 录入的整改通知自动关联责任单位。

云端驾驶舱实现全局掌控:数据可视化平台集成 21 项核心指标,以城市综合管廊项目的“监理数字孪生大屏”

实时显示各舱室施工进度、质量检测数据、安全风险热力图,当预制管节安装误差超过 5mm 时,系统自动标红预警并推送处置方案,决策效能有效提升。

2.2 功能模块设计

(1) 质量监理模块

材料强度 AI 检测通过机器视觉识别钢筋表面标识,结合光谱分析技术检测材质强度,如钢厂钢筋入场检测时间从 48h 缩短至 15min,累计拦截不合格材料 23 批次;混凝土试块抗压强度检测引入图像识别算法,自动读取压力机数据并比对设计值,使试块检测效率提升,数据造假风险归零。

压路机搭载的振动传感器与 GNSS 定位系统联动,实时生成压实度云图,如高速公路沥青路面施工中,压实度不足区域的识别效率提升,平整度合格率也实现质的飞跃。

(2) 安全监理模块

人员定位与越界预警:UWB 定位系统实现厘米级精度定位,如地下管廊施工中,当人员进入未支护区域时,安全帽内置芯片立即发出声光报警,3 个月内杜绝违规操作进入风险;施工机械安装毫米波雷达,在塔机回转半径内检测到人员时自动限速,使建筑工地机械伤害事故下降。

(3) 进度监理模块

BIM+甘特图动态调整:施工监理人员将施工进度计划与 BIM 模型构件关联,如商业综合体项目每周自动生成“进度偏差分析报告”,提前识别出机电安装滞后风险,通过增加夜间作业班次,将总工期缩短,而资源调度算法根据实时进度数据优化人材机配置,使周转效率提升,设备闲置率下降。

(4) 环保监理模块

扬尘与噪声智能监测:监理人员通过部署微型空气质量监测站,当 PM2.5 浓度超过 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时自动启动雾炮机^[3],如市政工地扬尘超标时长下降,噪声传感器联动视频监控,夜间施工扰民投诉量减少。

渣土车轨迹追踪:监理人员通过北斗+RFID 技术实现渣土车“运输-消纳”全流程监管,对渣土车违规倾倒事件监控,违规情况能得到有效解决。

3 智能化监理平台在高速公路施工中深度融合的典型应用场景

3.1 路基施工智能化监理

在高速公路路基施工中,针对传统层厚控制依赖人工测量、精度不足的问题,对于路基施工监理通过创新应用基于北斗+振动传感的智能监控技术。例如压路机搭载的 GNSS 定位模块具备 $\pm 2\text{cm}$ 高精度定位能力,结合振动加速度传感器,可实时捕捉碾压轨迹与压实遍数,构建动态施工数据模型。系统预设 $\pm 2\text{cm}$ 的层厚控制阈值,通过物联网将车载终端与后台管理系统实时互联,当某区段填筑厚度达到 32cm 时,车载终端立即以声光报警形式提示操

作人员,同步向后台推送异常数据,引导施工人员精准调整卸料量。该技术构建“数据采集-智能分析-实时预警-精准调控”管理体系,不仅将路基压实度合格率提升,更通过提前干预层厚偏差,使工后沉降超标率下降,显著降低后期运维风险。自动化监测替代了传统人工抽检模式,单公里检测成本降低,为规模化路基施工提供可复制的智能化监理范本。

3.2 桥梁施工关键环节监控

在桥梁工程建设中,施工监理针对预应力张拉与桩基成孔的质量管控难点,集成智能传感与AI算法构建全流程监控体系。在预应力张拉环节,千斤顶安装压力传感器精度 $\pm 0.5\%FS$ 与位移编码器,以每秒2次的频率实时采集油压数据与钢绞线伸长量,通过边缘计算设备将数据同步至云端,利用AI算法自动比对设计张拉曲线,实现张拉过程的动态校验。以大桥T梁张拉时,监理人员运用系统精准识别出3束钢绞线伸长量偏差,立即触发停机指令并定位锚具安装误差,避免因应力不均导致的梁体开裂风险,同时通过优化张拉流程使作业效率提升,彻底杜绝因人工操作中的数据造假隐患。

在桩基成孔领域,超声波检测仪搭载相控阵探头,在灌注桩成孔过程中进行360°实时扫描,可识别孔径偏差与垂直度误差。如码头工程应用中,监理人员公共系统累计检测出12根桩孔倾斜度,通过无线传输实时反馈至钻机控制系统,自动调整钻杆垂直度,从源头避免了桩基承载力不足问题。检测数据同步上传至智慧工地平台,实现成孔质量的数字化验收,将传统48h的验收周期缩短至6h,大幅提升桥梁基础施工的智能化水平。

3.3 隧道施工安全管控

针对软弱围岩隧道施工的高风险特性,企业构建“支护结构监测+人员定位”的双维度安全管控体系^[4]。在支护结构健康监测方面,部署分布式光纤传感系统,以每1m间距在隧道围岩内布设监测点,通过光时域反射技术实时解算围岩变形量与应力分布,实现毫米级精度的位移监测。如公里隧道施工期间,当系统监测到拱顶沉降速率达到5mm/d时,立即触发橙色预警机制,同步向施工管理平台与现场终端推送预警信息,施工单位依据预设方案迅速采取增加钢拱架、加密锚杆等加强支护措施,成功避免坍塌事故。该技术通过自动化数据处理,将支护参数调整效率提升,同时基于精准监测结果优化初期支护方案,使支护成本下降,实现安全与经济性的双重提升。

在人员定位与应急管理领域,监理部门采用UWB超宽带定位技术构建洞内高精度定位网络,定位精度达10cm,可实时显示作业人员的三维位置分布。当突水、塌方等灾害发生时,系统基于GIS地图与实时数据,30s内生成考虑水流方向、通道拥堵情况的最优逃生路线,并通过安全帽内置屏幕推送至每个人终端。如隧道应急演

练中,人员撤离时间从传统8min缩短至3min,而在2024年实际涌水事故中,定位系统通过动态路径规划,成功引导57名作业人员避开危险区域,实现零伤亡撤离,成为隧道施工安全保障的核心技术支撑。

4 高速公路项目施工监理中智能化监理平台的应用效果

4.1 监理响应时间显著缩短

传统高速公路施工中,监理人员需通过现场巡查、人工记录、电话沟通等方式获取施工信息,从问题发现到响应处理平均耗时4~6h,且存在信息滞后、漏报等风险^[5]。智能监理平台通过物联网技术构建全域数据采集网络,在路基、桥梁、隧道等施工区域部署北斗定位终端、振动传感器、压力变送器智能设备,实时采集碾压轨迹、张拉数据、围岩变形等120+项施工参数,数据上传频率达秒级,并通过5G网络同步至云端监理平台。平台内置AI预警模型,可自动识别层厚超限、张拉偏差、沉降速率异常等68类风险事件,触发预警后10s内通过短信、APP弹窗、现场声光设备多渠道推送至监理工程师与施工班组。以路基填筑层厚控制为例,当系统检测到某区段填料厚度超标时,车载终端立即报警并同步推送整改方案至监理移动端,使问题响应时间从传统人工巡检的2h缩短至3min,监理工作从“事后验收”转向“实时管控”,整体施工协调效率提升。

4.2 隐蔽工程验收效率大幅提高

隐蔽工程如桩基成孔、预应力管道压浆、隧道初期支护等,传统验收需依赖施工单位报验、监理现场抽检、资料人工审核,单工序验收平均耗时2~3d,且存在数据造假、验收标准执行不统一等问题。智能监理平台通过“自动化数据采集+区块链存证+AI质量评估”技术,实现隐蔽工程验收流程再造。

在桩基施工中,超声波检测仪搭载相控阵探头实时扫描孔径、垂直度,数据自动上传至平台并生成三维可视化模型;预应力张拉时,压力传感器与位移编码器每2s采集一次油压与伸长量数据,AI算法自动比对设计曲线并标记异常点。所有检测数据通过区块链技术加密存证,形成不可篡改的电子档案,监理工作透明度与公信力显著提升^[6]。

5 结语

智能化监理平台的构建与应用是高速公路项目施工监理现代化的重要标志,它不仅能够提高监理效率和质量,还能为工程安全和可持续发展提供保障,整合先进技术,智能化监理平台实现了施工过程的实时监控、数据驱动的决策支持和风险预警的智能化,为监理工作带来了革命性的变化,随着技术的不断进步和应用场景的拓展,智能化监理平台将在高速公路建设中发挥更加重要的作用,本文的研究为智能化监理平台的构建与应用提供了理论框架和实践思路,但仍需在实践中不断优化和完善,以更好地

服务于高速公路建设的高质量发展。

[参考文献]

- [1] 诸恩照, 吴言天. 浅谈监理企业智能化转型[J]. 建设监理, 2024(8):5-7.
- [2] 田新栋. 基于机器视觉的输变电工程监理智能化技术研究[D]. 济南: 济南大学, 2024.
- [3] 孟兆友, 于少杰. 浅议住宅建筑智能化工程专业监理和项目管理[J]. 居舍, 2024(17):149-152.
- [4] 崔永恩. 探析智能化监控系统在建筑施工监理中的作用[J]. 建设监理, 2024(5):61-64.
- [5] 陈东. 工程监理工作中智能化系统的建设及应用[J]. 新城建科技, 2024, 33(2):188-190.
- [6] 郑学森. 浅议建筑智能化工程专业监理和项目管理[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2022(29):31-33.

作者简介: 张士伟(1978—), 男, 满族, 辽宁丹东人, 监理工程师, 本科毕业生, 研究方向为公路工程施工监理。