

# 智慧工地在高等级公路工程质量中的应用与优化路径

朱东志

新疆北新岩土工程勘察设计有限公司 新疆 乌鲁木齐 831400

**摘要:** 随着我国交通基础设施建设向高质量发展转型,高等级公路工程对施工质量提出了更高要求。传统质量管理模式存在信息滞后、过程不可控、数据碎片化等问题,难以满足现代工程精细化管理需求。智慧工地作为新一代信息技术与工程建设深度融合的产物,通过物联网(IoT)、大数据、人工智能(AI)、BIM、5G等技术手段,实现了对施工全过程的实时感知、智能分析与闭环控制,为提升高等级公路工程质量提供了全新路径。本文系统梳理了智慧工地的核心技术体系,深入剖析其在高等级公路工程质量中的典型应用场景,并结合当前实践中的主要瓶颈,提出涵盖技术集成、标准体系、组织协同和人才培养等方面的优化路径,旨在为推动智慧工地在公路工程领域的深度应用提供理论支撑与实践参考。

**关键词:** 智慧工地; 高等级公路; 工程质量管理; 物联网; BIM; 数字孪生

## 引言

近年来,随着“交通强国”战略的深入推进和“新基建”政策的持续加码,公路工程建设正加速向数字化、智能化、绿色化方向演进。然而,传统以人工巡检、纸质记录、事后验收为主的质量管理模式,在面对高等级公路工程规模大、工序复杂、环境多变等特点时,暴露出响应滞后、主观性强、可追溯性差等固有缺陷,难以实现全过程、全要素、全周期的质量精准管控。在此背景下,智慧工地应运而生。智慧工地是以施工现场为核心,依托新一代信息技术构建的集感知、传输、计算、决策于一体的智能管理系统。它通过部署各类传感器、视频监控、移动终端等设备,实时采集人、机、料、法、环等关键要素数据,利用大数据平台进行融合分析,并通过可视化界面实现动态预警与智能调度,从而形成“感知—分析—决策—执行”的闭环管理机制。将智慧工地理念与技术应用于高等级公路工程质量,不仅能够提升质量控制的科学性与效率,更能从根本上推动工程建造方式的变革。

## 1 智慧工地的技术架构与核心组成

### 1.1 感知层: 全面数据采集

感知层作为智慧工地的数据源头,通过部署多样化传感设备实现对施工现场“人、机、料、法、环”等要素的实时捕捉。在高等级公路工程中,施工人员佩戴集成定位芯片的安全装备,可动态追踪位置并结合视频分析识别违章行为;关键机械设备如摊铺机、压路机加装振动、温度与速度传感器,确保工艺参数符合规范;原材料通过RFID或二维码实现“一物一码”,全过程可追溯;桥梁、隧道等关键结构预埋光纤光栅或应变计,长

期监测应力与变形;同时,温湿度、扬尘、噪声等环境传感器为绿色施工提供数据支撑<sup>[1]</sup>。这一多层次感知体系,为质量精准管控奠定了坚实基础。

### 1.2 网络层: 高速可靠传输

感知数据需依赖高效通信网络实现低延时、高可靠传输。高等级公路呈线性分布、作业面广,对网络覆盖提出特殊要求。5G技术凭借大带宽、低时延特性,成为支撑高清视频回传、远程协同和实时控制的核心载体;而LoRa、NB-IoT等低功耗广域网则适用于分布广泛、功耗敏感的传感节点。通过构建“5G专网+边缘计算”的混合通信架构,既保障了关键业务的实时性,又实现了海量数据的高效汇聚,为上层智能分析提供稳定通道。

### 1.3 平台层: 数据融合与智能分析

平台层是智慧工地的“大脑”,依托云计算对多源异构数据进行清洗、融合与深度挖掘。其中,BIM与GIS的深度融合尤为关键——将三维工程模型嵌入真实地理空间,形成全线数字底图,实现物理实体与设计信息的精准映射。在此基础上,人工智能算法被广泛应用于质量预测与诊断,如基于历史压实数据的密实度预测、基于图像识别的路面病害检测等。更进一步,数字孪生技术构建起物理工地的虚拟镜像,支持施工仿真、风险推演与方案优化,显著提升管理的前瞻性与科学性。

### 1.4 应用层: 业务场景赋能

应用层将技术能力转化为实际管理价值,面向质量、安全、进度等核心业务提供可视化、可操作的功能模块。质检人员通过移动终端调取BIM信息、现场拍照填报,自动生成电子验评单;隐蔽工程强制上传影像资料,形成不可篡改的数字档案;质量问题一经发现,系统自动推

送整改任务并跟踪闭环。此外,协同办公、进度看板等功能集成于统一门户,促进参建各方高效协作,真正实现以数据驱动决策、以平台支撑执行的现代化工程管理模式。

## 2 智慧工地在高等级公路工程质量中的典型应用场景

### 2.1 路基路面施工质量智能控制

路基压实度与路面平整度是决定高等级公路服役性能的核心指标,传统依赖试验段抽样和事后钻芯检测的方式存在代表性不足、反馈严重滞后等弊端。智慧工地通过全过程、全断面的数据采集与实时反馈机制,显著提升了控制精度。以智能压实系统为例,压路机搭载GNSS定位、加速度传感器及红外测温仪,可在碾压过程中同步记录轨迹、速度、振幅及混合料温度,并通过车载终端生成压实热力图。系统依据预设算法自动判断各区域是否达到设计压实度,一旦发现漏压或过压区域,立即向操作员发出提示,从而实现“碾压一遍、达标一遍”。在沥青摊铺环节,激光找平仪与温度传感器的集成应用,使得摊铺厚度与温度均匀性得到毫秒级监控,且能与拌合站出料温度数据联动,确保混合料始终处于最佳施工窗口<sup>[2]</sup>。此外,定期利用无人机进行全线航拍,结合AI图像识别技术,可自动检测路面早期病害如微裂缝、局部拥包或车辙,并生成量化评估报告,为预防性养护提供依据,真正实现从“被动修复”向“主动防控”的转变。

### 2.2 桥梁与隧道结构安全智能监测

高等级公路穿越山岭、河谷地带时,桥梁与隧道占比高、施工风险大,其结构安全直接关乎全线路网的可靠性。智慧工地通过布设多层次传感网络,构建起覆盖施工全周期的结构健康监测体系。在大跨径桥梁悬臂浇筑过程中,高精度倾角仪与位移计被安装于关键节段,实时反馈实际线形变化,系统将其与BIM模型中的理论线形进行比对,一旦偏差超出阈值,即刻指导施工方调整预拱度或配重方案,确保成桥线形符合设计要求。对于隧道工程,三维激光扫描技术可定期获取内轮廓收敛变形数据,结合地质雷达对掌子面前方围岩状况的探测结果,建立动态风险预警模型,提前预判塌方或突涌水风险,及时加强支护措施。在大体积混凝土结构如桥塔承台施工中,水化热引起的温度应力极易导致裂缝,智慧工地通过在混凝土内部预埋分布式温度传感器,实时监测温升曲线,并联动冷却水管控制系统自动调节水流速率,有效抑制内外温差,从源头上防止温度裂缝的产生,保障结构耐久性。

### 2.3 原材料与混凝土质量全过程追溯

原材料质量是工程质量的基石,而混凝土作为最主要的结构材料,其配合比控制与生产过程直接影响结构强度与耐久性。智慧工地通过“一物一码”与全流程数字化,彻底改变了传统依赖纸质台账和人工抽检的粗放模式。在拌合站,水泥、骨料、外加剂等原材料的投料过程由视频监控与称重传感器双重校验,系统自动比对实际投料量与设计配合比,一旦偏差超限即触发报警并暂停生产,从源头杜绝配比错误。搅拌车在运输途中,GPS与罐体转速传感器持续上传位置与搅拌状态,确保混凝土在规定时间内送达且未发生离析或初凝。试块管理同样实现智能化——植入RFID芯片的试块在智能养护室内接受恒温恒湿控制,其抗压试验数据由压力机自动采集并直传平台,全程无人工干预,有效防止数据造假。这种端到端的透明化管理,不仅提升了材料质量的可控性,也为质量责任追溯提供了坚实证据链。

### 2.4 质量验评与文档管理数字化

传统纸质验评资料不仅易损毁、难查询,且难以与施工实体精准对应。智慧工地通过推行无纸化、结构化的数字验评体系,彻底革新了质量文档管理方式。质检人员使用移动终端扫描构件上的二维码,即可调取其BIM模型、设计图纸及验收标准,在现场完成拍照、测量、填写等操作,系统自动生成带有时间戳、地理位置和操作人员信息的电子验评单,并与对应构件永久绑定。对于路基换填、桩基钢筋笼等隐蔽工程,系统强制要求上传全景影像及关键节点特写照片,形成不可篡改的数字存档,作为后期验收、审计乃至运维阶段的重要依据。当质量问题被发现时,平台会自动生成整改通知单,明确问题描述、责任单位、整改期限,并推送至相关人员手机端;整改完成后,需上传佐证材料,经复核确认后方可闭环<sup>[3]</sup>。这一全流程留痕、闭环管理的机制,极大提升了质量问题的处置效率与可追溯性,也为项目知识资产的积累奠定了基础。

## 3 当前应用中存在的主要问题与挑战

尽管智慧工地在高等级公路工程中展现出巨大潜力,但在实际推广中仍面临诸多挑战:

### 3.1 技术集成度不高,系统孤岛现象严重

许多项目仅部署了单一功能系统(如人员定位或视频监控),各子系统间数据标准不一、接口封闭,难以实现跨系统联动与数据融合,导致“数据丰富但信息贫乏”。

### 3.2 标准规范体系滞后

目前国家层面尚未出台统一的智慧工地建设标准,尤其在数据格式、通信协议、质量评价指标等方面缺乏权

威指引,造成不同厂商设备互操作性差,项目间经验难以复制。

### 3.3 成本投入与效益产出不匹配

智慧工地初期硬件投入大(如高精度传感器、5G专网),而部分施工单位对长期效益认识不足,存在“重建设、轻应用”倾向,导致系统沦为“形象工程”。

### 3.4 组织管理模式尚未转型

传统“金字塔式”管理架构与智慧工地强调的扁平化、协同化理念存在冲突。一线人员数字素养不足,管理层对数据驱动决策接受度不高,制约了系统效能发挥。

### 3.5 数据安全与隐私保护风险

施工现场涉及大量敏感数据(如工程图纸、人员信息),若网络安全防护不到位,易遭受攻击或泄露,带来法律与商业风险。

## 4 优化路径与对策建议

### 4.1 构建统一开放的技术架构

当前智慧工地系统普遍面临“信息孤岛”问题,根源在于技术架构封闭、标准不一。未来应推动构建基于微服务和API网关的统一平台架构,实现感知设备、业务系统与分析模型的松耦合集成。鼓励采用国产化、自主可控的软硬件产品,降低对外部技术依赖。同时,结合高等级公路线性工程特点,推广“云一边一端”协同计算模式,在边缘侧完成视频识别、实时预警等高时效任务,提升系统响应能力与稳定性,为质量智能管控提供坚实技术底座。

### 4.2 加快标准规范体系建设

缺乏统一标准是制约智慧工地规模化推广的关键瓶颈。建议由交通运输主管部门牵头,联合行业协会、科研机构与龙头企业,加快制定《公路工程智慧工地建设指南》《智慧质量管理数据标准》等规范性文件<sup>[4]</sup>。重点明确关键工序的数据采集频率、精度要求、通信协议及质量评价阈值,推动BIM、GIS、物联网等技术在公路工程中的标准化应用流程,实现不同项目间数据互通、经验可复用、成果可评估,为行业高质量发展提供制度保障。

### 4.3 创新组织管理与运营机制

技术落地离不开管理模式的同步转型。施工单位应打破传统“金字塔式”层级结构,建立以项目经理为核

心,融合质量、数据、施工等多专业人员的新型协同团队。将智慧工地平台深度嵌入日常管理流程,推行“数据驱动决策”的工作文化。同时,简化系统操作界面,开发语音输入、AR辅助等低门槛功能,提升一线人员使用意愿。在投资机制上,可探索“服务订阅”或“建设—运营”一体化模式,降低初期投入压力,并将智慧应用成效纳入企业信用评价体系,激发内生动力。

### 4.4 强化安全防护与人才支撑

随着数据价值凸显,网络安全与隐私保护不容忽视。应严格落实等级保护制度,部署防火墙、数据加密、权限控制等多重防护措施,确保工程敏感信息不被泄露或篡改。与此同时,人才短板亟待补齐。高校土木工程专业应增设智能建造、数字工程管理等交叉课程,培养复合型技术人才;施工企业则需常态化开展数字化技能培训,提升管理人员的数据素养与系统应用能力,为智慧工地可持续发展提供智力支持。

## 5 结语

智慧工地代表了未来工程建设的发展方向,其在高等级公路工程质量中的应用,不仅是技术工具的升级,更是管理理念与建造模式的深刻变革。通过构建“全面感知、实时互联、智能分析、闭环管控”的质量管理体系,智慧工地能够有效破解传统模式下的质量控制难题,显著提升工程品质与建设效率。然而,这一转型过程并非一蹴而就,需要政府、企业、科研机构等多方协同,共同攻克技术集成、标准缺失、成本制约等瓶颈。未来,随着人工智能、数字孪生、区块链等技术的进一步成熟,智慧工地将在高等级公路工程中发挥更加核心的作用,为打造“平安百年品质工程”提供坚实支撑。

## 参考文献

- [1]郭根辉.基于智慧工地的公路工程项目施工过程管控[J].黑龙江交通科技,2025,48(03):110-114.
- [2]王斌,王伟,于舍.智慧工地在公路工程项目中的应用研究[J].运输经理世界,2025,(07):10-12.
- [3]王育民.智慧工地在公路工程项目中的应用[J].绿色建筑与智能建筑,2024,(12):118-120.
- [4]雷湘临,刁益彤,余祥晶.智慧工地云平台在公路工程项目建设管理中的应用[J].交通世界,2024,(25):6-8.