

# 智慧工地在现代公路工程管理中的应用与实践

郝文世

河北九门口复线建设发展有限公司 河北 秦皇岛 066000

**摘要：**新一轮科技革命和产业变革下，数字技术重塑传统工程建设行业，公路工程管理模式正从传统粗放式向数字化、智能化、精细化转型，智慧工地是转型核心载体。它集成先进信息技术，构建覆盖项目全生命周期的智能管理体系，提升工程质量、安全、进度与成本控制水平。本文系统阐述智慧工地核心内涵与技术架构，深入剖析其在现代公路工程施工管理中质量、安全、进度、成本及绿色施工等关键维度的应用场景与实践路径。此外，探讨智慧工地推广面临的技术标准、数据孤岛、人才短缺、投入产出比等挑战，并提出针对性对策建议，为推动我国公路工程行业高质量、可持续发展提供理论与实践参考。

**关键词：**智慧工地；公路工程；数字化转型；物联网；BIM；人工智能

## 引言

公路交通作为国民经济发展命脉，对城乡连接、区域协调及民生服务意义重大。新发展阶段，我国公路建设从大规模增量扩张转向存量提质增效与增量优化并重。但传统公路工程施工管理模式痛点诸多，如施工现场信息割裂、管理效率低，安全隐患难实时预警与闭环处置，质量管控依赖人工经验且追溯难，资源调配不精准致浪费，还有环保压力等，严重制约项目综合效益与可持续发展。在此形势下，“智慧工地”诞生，它以“人、机、料、法、环”为核心，融合物联网、BIM、GIS、大数据、AI等新一代信息技术，构建智能化协同管理平台，对施工现场全方位数字化映射与智能化管控，变革传统管理模式。本文将梳理其技术体系，探讨应用逻辑与成效，并思考发展趋势与挑战，为行业提供借鉴。

## 1 智慧工地的核心内涵与技术架构

智慧工地的本质是利用数字技术赋能传统工地，实现物理世界与数字世界的深度融合。其核心目标在于打通项目管理的信息壁垒，实现数据驱动的科学决策与精益化管理。

### 1.1 核心内涵

智慧工地核心内涵是“一个中心、两大支撑、三大特征”。“一个中心”是以“数据”为核心，现场活动转化为数据流，是分析、预警和决策的基础，无高质量、高时效数据，智能化应用便无法开展。“两大支撑”为先进信息技术与标准化业务流程。前者涵盖物联网、BIM等前沿技术工具，后者保障数据采集规范与管理动作有效，二者相辅相成<sup>[1]</sup>。“三大特征”中，全面感知通过工地各类设备，对人员、机械等7×24小时动态感

知；智能分析借助数据处理与AI算法，从海量数据提炼有价值信息；协同联动打破部门与信息壁垒，多方主体高效协同，自动触发管理动作形成闭环。三者共同彰显智慧工地与传统信息化管理的本质差异。

### 1.2 技术架构

一个典型的智慧工地技术架构通常采用“云-边-端”三层模式。感知层作为整个系统的神经末梢，负责原始数据的采集，其设备种类繁多，涵盖人员、机械、物料、环境与质量安全等多个方面。例如，智能安全帽可集成定位、SOS报警与近电感应功能，人脸识别闸机与UWB/蓝牙信标基站则用于精确掌握人员动态；大型施工机械如摊铺机、压路机上安装的GPS/北斗定位、油耗监测与工作状态传感器，能够实时反馈设备运行状况；地磅自动称重系统与RFID电子标签则保障了物料流转的可追溯性；扬尘在线监测仪、噪声传感器等环境监测设备，则为绿色施工提供了数据依据；高清AI摄像头、无人机以及智能张拉/压浆设备，则直接服务于质量安全的过程控制。网络传输层作为连接感知层与平台层的桥梁，承担着高速、稳定传输数据的重任。5G技术凭借其大带宽、低时延、广连接的优势，为智慧工地提供了理想的通信保障，而边缘计算节点则可在本地对部分数据进行预处理，既减轻了云端负担，又显著提升了系统响应速度。平台应用层则是智慧工地的大脑，通常部署在私有云或公有云之上，其核心功能包括基于BIM+GIS引擎构建的三维数字孪生模型、统一的数据中心、面向具体业务场景的各类应用系统、内置多种算法的AI分析引擎以及便捷的移动应用入口。正是这三层架构的有机协同，才使得智慧工地具备了强大的感知、分析与执行能力。

## 2 智慧工地在公路工程管理中的具体应用与实践路径

智慧工地的价值最终体现在其对公路工程核心管理维度的赋能上。

### 2.1 智慧质量管理：从“事后检验”到“过程控制”

智慧工地通过全过程、全要素的数据采集与分析，实现了质量管控的前移和精细化，将质量控制由“结果导向”转变为“过程导向”。在原材料管理方面，通过RFID或二维码技术对钢筋、水泥、沥青等关键材料赋予唯一身份标识，使其从出厂、运输、入库到使用的全过程信息均可追溯，一旦出现质量问题，可迅速锁定责任环节并采取召回措施，极大提升了供应链的透明度与可靠性。在关键工序控制上，智慧工地展现出更强的精准性与客观性。例如，在路基压实环节，压路机上安装的高精度GNSS与振动传感器能够实时记录碾压遍数、行驶轨迹与压实度等关键参数，系统自动生成的压实热力图可直观反映压实均匀性，并对漏压、欠压区域进行实时报警，从而确保路基承载力满足设计要求<sup>[2]</sup>。同样，在路面摊铺与碾压过程中，摊铺机配备的温度传感器与激光找平系统可实时监控混合料温度与摊铺平整度，而碾压过程则通过智能压路机进行全过程记录，确保各项施工参数严格符合规范。对于桥梁预应力施工这类高风险、高精度作业，智能张拉与智能压浆系统能够自动记录张拉力、伸长量、持荷时间以及压浆压力、流量、水胶比等关键数据，并实时上传至管理平台，有效杜绝了人为造假行为，从根本上保障了预应力结构的安全性与耐久性。此外，对于特大桥、特长隧道等关键结构物，智慧工地还支持在施工阶段预埋光纤光栅、应变计等传感器，对结构的应力、应变、位移、沉降等进行长期健康监测，不仅为施工期的安全控制提供依据，也为后期的运维管理积累了宝贵的基础数据。

### 2.2 智慧安全管理：构筑全天候、立体化的安全防线

智慧工地通过引入技防手段，构筑起了一道全天候、立体化的安全防线，显著提升了安全管理的主动性与预见性。借助智能安全帽与定位基站，管理人员可以在BIM模型上实时查看每位工人的精确位置、行动轨迹与在岗状态，当工人误入深基坑、高边坡或高压线等危险区域时，系统会立即触发声光报警，提醒本人及安全员及时干预，有效避免了因疏忽导致的意外事故。部署在关键区域的AI视频监控系統，则能够自动识别未佩戴安全帽、未系安全带、违规吸烟、车辆超速等多种违章行为，并自动抓拍、录像、告警，将安全隐患消灭在萌芽状态，大大减轻了安全员的巡检负担。对于塔吊、架桥机等大型特种设备，通过加装倾角、风速、重量等传

感器，系统可实时监控其运行状态，一旦出现超载、超风速作业等危险工况，便会立即切断电源并发出警报，防止设备倾覆等重大事故发生。更为重要的是，智慧工地还构建了高效的应急指挥联动机制<sup>[3]</sup>。当发生安全事故时，工人可通过智能安全帽一键SOS求救，平台会立即锁定事发位置，调取周边视频，并自动通知最近的安全员和应急小组，同时生成最优救援路径，大幅提升应急响应效率，为抢救生命赢得宝贵时间。

### 2.3 智慧进度管理：实现精准、透明的进度把控

公路工程线路长、工点多、干扰因素复杂，传统的进度管理方式往往依赖于人工填报与经验判断，存在信息滞后、偏差较大的问题。智慧工地通过BIM与进度计划的深度融合，实现了进度的可视化模拟与动态纠偏，使项目管理者能够精准、透明地掌控全局。将施工进度计划与BIM模型关联，形成4D甚至5D模型后，管理者可以直观地模拟未来任意时间点的施工场景，提前发现工序冲突、资源瓶颈等问题，从而在施工前就优化施工组织方案，避免返工与窝工。在施工过程中，进度的自动采集与比对成为可能。通过无人机定期航拍，结合AI图像识别技术，系统能够自动识别已完成的工程量，如路基填筑方量、路面铺设长度等。同时，结合人员、机械的考勤和工作日志数据，系统可以自动核算实际完成产值，并与计划产值进行实时比对，生成进度偏差报告，为管理者提供及时、准确的决策依据。在此基础上，智慧工地还能实现资源的动态调度。基于进度预测和资源消耗模型，系统可以智能推荐最优的人员、机械、物料调配方案，确保关键线路资源充足，最大限度地压缩工期，提升整体施工效率。

### 2.4 智慧成本管理：驱动精细化的成本控制

成本失控是许多公路项目的通病，根源在于业务流与资金流脱节，缺乏有效的过程监控手段。智慧工地通过打通各业务模块的数据壁垒，实现了成本的精细化、动态化管理。在物料管理方面，从地磅自动称重、车牌识别，到与BIM模型中的工程量清单自动核对，实现了物料“进场-验收-领用-消耗”的全流程闭环管理。系统可自动计算损耗率，对异常损耗进行预警，有效遏制了偷盗和浪费现象。在机械设备管理上，通过采集每台设备的工作时长、油耗、作业量等数据，系统可以计算出单机效能指数，精准识别出低效或故障设备，为设备租赁、维修保养和淘汰更新提供科学的数据支持，避免了盲目投入。更重要的是，智慧工地实现了动态成本核算。将进度、质量、安全、物料、机械等各业务模块的数据汇聚到成本中心后，系统可以按日、周、月自动核

算项目实际成本，并与预算成本进行对比分析，及时发现成本超支风险，使成本控制从事后算账转变为事中控制，真正做到了“花明白钱，算清楚账”。

### 2.5 智慧绿色施工：践行可持续发展理念

在“双碳”目标引领下，绿色施工已成为公路工程不可回避的时代命题。智慧工地为环保管理提供了强有力的数字化工具，助力项目践行可持续发展理念。通过在工地部署扬尘、噪声等环境监测设备，相关数据可实时上传至管理平台。当监测值超过预设阈值时，系统可自动联动开启雾炮、喷淋等降尘设备，实现从“被动响应”到“主动治理”的转变，有效降低了施工对周边环境的影响<sup>[4]</sup>。同时，对工地临时用电、用水进行分项计量，系统可分析各区域、各设备的能耗情况，识别节能潜力点，为打造低碳工地提供数据支撑。在建筑垃圾管理方面，智慧工地支持对废弃物进行分类、称重、登记，并追踪其去向，确保合规处置，提高资源化利用率，从源头减少环境污染，彰显了现代工程建设的社会责任。

### 3 面临的挑战与对策建议

尽管智慧工地前景广阔，但在推广落地过程中仍面临诸多挑战。

#### 3.1 主要挑战

当前，行业内缺乏统一的数据接口、设备协议和评价标准，不同厂商的系统之间难以互联互通，形成了新的“数据孤岛”，严重制约了数据价值的深度挖掘。同时，智慧工地的初期投入成本较高，包括硬件设备、软件平台及后续的运维费用，这对于中小型项目或利润率较低的传统施工企业而言，投资回报周期较长，导致不少企业持观望态度。此外，既懂工程技术又精通信息技术的复合型人才极度稀缺，许多先进功能因缺乏专业人才而无法得到有效应用，系统沦为“摆设”。最后，海量的工地数据涉及商业机密和个人隐私，如何在数据共享与安全保护之间取得平衡，也是一个亟待解决的难题。

#### 3.2 对策建议

针对上述挑战，首先应加快标准体系建设，由行业

协会和主管部门牵头制定智慧工地相关的技术标准、数据标准和验收标准，引导市场健康发展。其次，应积极探索多元化商业模式，鼓励采用BOT、“软件即服务”（SaaS）等模式，降低企业的初始投入门槛，并通过政府专项补贴或税收优惠等政策激励，推动企业积极拥抱数字化转型。再次，必须加强人才培养与引进，高校应适时开设智能建造相关专业，企业则需加大对现有员工的数字化技能培训力度，并积极引进IT领域的专业人才，补齐人才短板。最后，要筑牢数据安全防线，建立健全数据安全管理制度，并积极采用区块链、联邦学习等先进技术，在保障数据主权的前提下，实现安全可控的数据共享与价值挖掘。

### 4 结语

智慧工地是数字技术与公路工程建设深度融合的成果，正以前所未有的力度重塑行业管理范式。它既是提升工程质量、保障安全、优化资源、践行绿色理念的有力工具，也是推动公路工程行业高质量发展的核心动力。从本文论述可知，其在质量、安全、进度、成本、环保等核心管理维度应用价值显著、前景广阔。展望未来，随着5G-A/6G、数字孪生、大模型等前沿技术发展，智慧工地将更自主、协同、智能，甚至具备“自我进化”能力。但技术只是手段，成功推行智慧工地，关键在于理解其管理逻辑，与企业组织变革、流程再造、文化重塑紧密结合，实现从“看得见”到“管得好”，再到“做得优”的实质性跃升。

### 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,于含.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]唐继辉,王世武.“智慧工地”在公路工程中的应用[J].中国公路,2024,(14):44-45.