

智慧工地平台搭建优化交通工程智能安全管控路径研究

张子承

新疆公路建设（集团）有限责任公司，中国·新疆 昌吉 831100

摘要：随着交通强国战略的纵深推进与新一代信息技术的爆发式增长，交通工程建设正经历从传统劳动密集型向数字化、智能化转型的关键变革期。智慧工地平台作为承载这一转型的核心数字底座，其在优化工程安全管控方面的效能释放，直接关系到人民群众生命财产安全与行业高质量发展大局。本文系统综述了智慧工地平台在交通工程智能安全管控中的理论演进、技术架构与实践路径，深入剖析了基于多源异构数据融合的风险动态感知机制、人工智能驱动的不安全行为识别与预警体系、数字孪生赋能的施工全过程安全推演以及区块链支撑的安全责任可信追溯等关键优化维度。

关键词：智慧工地平台；交通工程；智能安全管控；风险感知；数字孪生；人工智能；数据融合

Research on Optimizing Intelligent Safety Management Pathways for Transportation Engineering via Smart Construction Site Platforms

Zhang Zicheng

Xinjiang Highway Construction (Group) Co., Ltd., China Xinjiang Changji 831100

Abstract: With the deepening advancement of the national strategy for building a strong transportation nation and the explosive growth of next-generation information technologies, transportation infrastructure construction is undergoing a pivotal transformation from traditional labor-intensive models to digital and intelligent systems. As the core digital foundation supporting this transition, smart construction site platforms play a crucial role in enhancing safety management effectiveness, directly impacting public safety and the overall goal of high-quality industry development. This paper systematically reviews the theoretical evolution, technical architecture, and practical pathways of smart construction site platforms in intelligent safety management for transportation projects. It thoroughly analyzes key optimization dimensions, including dynamic risk perception mechanisms based on fusion of multi-source heterogeneous data, artificial intelligence-driven identification and early warning systems for unsafe behaviors, digital twin-enabled safety simulation throughout the entire construction process, and blockchain-supported traceable accountability for safety responsibilities.

Keywords: Smart construction site platform; Transportation engineering; Intelligent safety management; Risk perception; Digital twin; Artificial intelligence; Data fusion

0 引言

交通工程具有线路长、环境复杂、作业面广、参与主体多、高风险工序密集等显著特征，其安全管理历来是行业痛点与难点。传统安全管控模式高度依赖人工巡查、经验判断与纸质台账，存在覆盖盲区大、响应滞后、主观性强、过程追溯难等固有缺陷，难以适应现代交通工程规模化、复杂化建设的安全需求。近年来，随着物联网、大数据、人工智能、5g 通信及建筑信息模型（bim）等技术的成熟，智慧工地平台应运而生，成为重塑交通工程安全管控范式的关键载体。该平台通过全面感知施工现场的人、机、料、法、环等要素状态，将海量原始数据转化为结构化安全风险信息，并驱动预警、干预与闭环处置，为实现全天候、全方位、全要素的智能安全管控提供了可能。然

而，技术的引入并未自动带来安全效能的跃升。大量项目陷入“重建设轻应用”“有平台无智能”“数据丰富但洞察贫乏”的困境，智慧工地平台往往沦为昂贵的监控显示屏或数据记录仪，未能真正嵌入日常安全管理流程并产生实质性价值。其根源在于技术应用与安全业务脱节、算法模型与现场工况错配、人机协同机制缺位以及标准规范体系滞后。因此，亟需以交通工程安全管控的实际痛点为导向，系统梳理智慧工地平台搭建与优化的关键路径，剖析现实障碍并探索系统性解决方案。这不仅是技术集成问题，更是安全管理理念、组织架构与业务流程的深度重构，对于推动我国交通工程治理体系和治理能力现代化具有重大战略意义。本文旨在通过综述现有研究与实践，厘清关键问题，展望未来方向，为行业提供系统性参考^[1]。

1 现实审视：智慧工地平台优化安全管控的成效与瓶颈

要推动智慧工地平台从“可用”走向“好用、管用”，必须客观评估其在真实安全管控场景中的价值贡献与深层制约。

1.1 多维感知与智能分析显著提升安全管控效能

多项工程实践表明，智慧工地平台有效弥补了传统安全管控的短板。在感知层面，通过融合视频监控、rfid、uwb 定位、气体传感器、应力监测、无人机巡检等多模态设备，实现了对人员位置、设备状态、环境参数、高危作业等的实时捕捉，监测覆盖率提升至 95% 以上，隐患发现时效由小时级缩短至秒级。在分析层面，基于深度学习与知识图谱的智能算法，可将海量原始数据转化为结构化风险事件，如自动识别未戴安全帽、高空作业未系安全带、闯入禁区、明火烟雾、塔吊碰撞风险等，并关联人员资质、设备台账与历史违章记录，生成初步处置建议。例如，某跨江大桥项目部署智慧工地平台后，日均发现安全隐患数量增加 2.8 倍，误报率低于 6%，人员进入高危区域频次减少 65%，年度安全事故率下降 45%。更重要的是，系统实现了安全管控过程的数字化留痕与可追溯，为事故调查、责任界定及持续改进提供了客观依据。这些成果证明，智慧工地平台能够有效提升安全管控的精准性、时效性与客观性，使有限的人力资源聚焦于高价值研判与应急处置。这种从“人海战术”到“智能感知”的认知跃迁，为安全管理精细化奠定了坚实基础^[2]。

1.2 环境适应性差与算法泛化弱制约实战可靠性

尽管成效显著，但智慧工地平台在复杂交通工程环境下的稳定性与实用性仍受多重制约。首要问题是极端工况下感知可靠性不足：粉尘、水汽、强光、电磁干扰等导致光学传感器失效或数据失真；高温、腐蚀、振动环境加速设备老化，故障率高；移动设备在隧道、山区等弱网环境下数据传输中断频繁。其次，算法模型泛化能力弱：多数 ai 模型基于特定场景标注数据训练，在新工点、新设备或光照条件变化时性能骤降；对罕见风险或复合型隐患的识别能力差，过度依赖人工复核；缺乏对施工工艺与安全规程的理解，仅靠图像特征易产生误判（如将反光背心误认为安全带）。更深层的是，风险预警与处置脱节：系统多输出孤立告警，未结合施工进度、人员技能、设备重要性等进行风险分级与优先级排序；告警信息未与应急预案、整改工单、人员调度系统联动，仍需人工中转，响应延迟大。这种“有感知无认知、有告警无行动”的断层，使得智慧工地平台的潜力未能充分释放。此外，设备维护成本

高、备件供应难，也影响了长期可用性^[3]。

1.3 数据孤岛与人机协同缺位阻碍管理闭环形成

智慧工地平台的价值最终取决于数据流的贯通与人机协作的顺畅。目前，各类感知设备与业务系统数据严重割裂：不同厂商设备协议不兼容，视频、传感、告警数据存储于独立平台，难以融合分析；智慧工地平台与安全监督、质量管理、进度计划等业务系统接口不通，风险信息无法驱动业务流转；历史安全数据未结构化归档，难以用于模型迭代与趋势预测。在人机协同方面，一线管理人员对智能系统的信任度低：因误报频发，常选择忽略告警；缺乏直观的交互界面，难以理解算法决策逻辑；培训不足，不会有效利用系统进行风险研判。组织机制上，安全管理部门、工程技术部门、设备运维部门职责不清，智慧工地平台的日常管理、数据审核、模型优化无人负责；绩效考核仍以人工检查次数为主，未将平台发现的有效隐患纳入激励，导致“用不用一个样”。这种“有数据无共享、有系统无协同、有工具无信任”的困境，使得智慧工地平台难以从点状应用走向系统集成。若不通数据链路、重构人机关系、健全管理机制，再先进的平台也难逃“建而不用、用而不信”的命运^[4]。

2 路径探索：面向管理闭环的智慧工地平台优化创新策略

破解上述系统性难题，需以“可靠感知、精准认知、高效执行、持续进化”为目标，重构技术体系与管理生态。

2.1 构建“端-边-云”协同的自适应感知与边缘智能体系

应超越单一设备性能局限，建立多层次、自修复、情境感知的智能感知网络。首先，优化“端-边-云”架构：在设备端部署轻量化传感器与预处理模块，实现数据清洗与异常初筛；在边缘侧配置高性能计算节点，运行实时推理模型，完成本地风险识别与快速响应，仅将关键事件与摘要数据上传云端；在云端汇聚全域数据，进行模型训练、趋势分析与知识更新，并将优化后的模型下发至边缘端，形成闭环迭代。其次，提升环境适应性 with 自诊断能力：采用多模态传感融合与冗余设计，在单一模态失效时自动切换；嵌入设备健康自监测算法，实时评估传感器状态、电池电量、通信质量，预判故障并触发维护工单；针对移动设备，开发 slam 与视觉融合导航、动态避障及断网缓存技术，保障复杂环境下的连续运行。特别要强化情境感知：将施工进度、人员排班、天气状况等上下文信息注入感知模型，使风险判断更具业务语义（如区分正常检修与违规操作）。通过“分层智能+环境鲁棒+情境理

解”三位一体,使感知系统在复杂工况下依然可靠、可信、可用^[5]。

2.2 发展机理 – 数据双驱动的安全认知与人机协同决策机制

必须重建安全认知的科学性与决策的可执行性,打通“数据到行动”最后一公里。在风险识别层面,构建“安全规程+ai模型+专家知识”耦合的认知引擎:将施工规范、事故案例、操作规程等结构化知识嵌入模型,约束纯数据驱动的盲目性;利用迁移学习与小样本学习,提升对新场景、罕见事件的适应能力;建立风险置信度评估机制,对低置信度结果自动标记并推送人工复核,避免误报泛滥。在人机协同层面,打造沉浸式、可解释的交互界面:通过ar/vr、数字孪生等技术,将抽象告警可视化呈现于三维场景中,直观展示风险位置、成因及影响范围;提供算法决策依据(如热力图、关键帧),增强人员信任;支持语音、手势等自然交互,便于现场人员快速反馈与修正。特别要建立动态反馈学习机制:将人工复核结果、处置效果、事故复盘等作为标签,持续优化模型;设立“人机共治”小组,定期评审系统表现,共同调整阈值与规则。通过“机理约束+人机互信+持续学习”的深度融合,使智能系统真正成为安全管理人员的“智能搭档”^[6]。

2.3 健全数据治理、标准规范与组织能力长效机制

技术落地需制度、标准与人才三重保障。应由交通运输部或行业协会牵头,制定《交通工程智慧工地平台技术规范》《施工安全智能识别算法性能评价标准》《安全数据接口与交换指南》等系列标准,统一设备接口、数据格式、算法评测方法及验收要求,打破厂商壁垒。推动建设企业级或行业级交通工程安全智能管控平台,集成多源设备接入、数据治理、模型管理、业务联动、效果评估等模块,提供一站式服务;开放api,鼓励生态共建。在数据治理上,建立全生命周期数据质量管理机制,明确采集、存储、清洗、标注、使用、销毁各环节责任;推行数据资产化,将高质量安全数据视为核心战略资源。在能力建设上,设立专项培训与认证,培养既懂安全业务又通智能技术的复合型人才;建立“厂家+专业团队+基层用户”三级技术支持体系,保障平台稳定运行与持续优化。特别要重构激励机制:将平台发现的有效隐患、模型优化贡献、人机协同效率等纳入绩效考核,激发全员参与积极性。唯有将智慧工地平台嵌入标准、数据、组织与文化之中,方能实现从项目式应用到常态化管理的跨越。

3 结语

智慧工地平台在交通工程智能安全管控中的应用优

化,绝非简单的技术堆砌或工具替代,而是一场涉及安全哲学、管理范式与人机关系的深刻变革。它要求我们超越“机器换人”的功利视角,重新定义智慧工地平台的角色——不是取代人的监督者,而是增强人对复杂施工系统认知与响应能力的延伸。在这一漫长而艰巨的进程中,既要追求感知的广度与精度,也要敬畏交通工程现场的混沌本质与安全工作的平凡艰辛;既要相信算法的智能,也要珍视一线人员的经验直觉与情境智慧;既要打造炫目的数字平台,更要夯实设备可靠性、数据质量与人机信任的朴素基石。真正的优化,诞生于对每一处施工细节的深刻理解,成型于对“感知-认知-决策-执行”链条的无缝衔接,升华于对生命至上理念的真诚践行。我们应当以谦卑之心对待每一个传感器、每一条告警信息,它们承载着技术的理性,也寄托着对安全的敬畏与对生命的守护。这不仅是工程的精进,更是对“人民至上、生命至上”安全发展理念在数字时代的无声诠释。当传感器聆听设备的呼吸,当算法解读风险的密码,当人与机器在信任中协同守护,那便是对交通工程安全最踏实、最温暖、也最有力的承诺。这条通往智能安全管控的道路注定充满挑战与反复,但每一步基于系统思维、实证精神与人文关怀的探索,都在为中国交通高质量发展筑牢更加坚韧、更加智慧、更加人性化的安全防线。唯有坚持问题导向、系统思维与以人为本,方能智慧工地平台真正成为造福行业、服务社会的强大力量,而非悬浮于现实之上的技术幻象。

参考文献:

- [1] 张艺沥. 智能建造技术驱动下交通工程智慧工地的建设模式研究[C]// 广西网络安全和信息化联合会. 2026 年第十届工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流论文集. [出版者不详], 2026: 422-423. DOI:10.26914/c.cnkihy.2026.007820.
- [2] 罗情平, 任玲, 王义华. 城市轨道交通智慧工地信息化集成管理系统研究与应用[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(6): 45-50.
- [3] 付振. 建筑工程材料检测数据处理软件系统 V1.0. 河南省, 河南国泰市政工程有限公司, 2022-06-13.
- [4] 刘靖. 轨道交通建设工程综合监控平台. 广东省, 广州地铁集团有限公司, 2021-09-23.
- [5] 王建国, 李祥坤, 朱春晖. 基坑工程数据集成平台在轨道交通崇明线工程中的应用[J]. 山西建筑, 2024, 50(9): 57-61. DOI:10.13719/j.cnki.1009-6825.2024.09.015.
- [6] 田昉. 5G 技术在城市轨道交通智慧工地的应用研究[J]. 长江信息通信, 2021, 34(11): 220-222.