

智慧工地赋能工程施工安全管理数字化转型的关键问题与解决方案

吴雅芳

海宁市盐官景区综合开发有限公司 浙江 嘉兴 314411

摘要：随着新一轮科技革命和产业变革的深入发展，以物联网（IoT）、大数据、人工智能（AI）、建筑信息模型（BIM）等为代表的数字技术正深刻重塑传统工程建设行业。智慧工地作为这些前沿技术集成应用的核心载体，已成为推动工程施工安全管理从被动响应向主动预防、从经验驱动向数据驱动转型的关键引擎。然而，在实践过程中，智慧工地的建设与应用仍面临标准体系缺失、数据孤岛林立、技术与管理脱节、人员能力不足以及投入产出比不明确等诸多挑战。本文旨在系统剖析智慧工地赋能工程施工安全管理数字化转型过程中存在的关键问题，并在此基础上，提出一套涵盖顶层设计、数据治理、技术融合、组织变革与生态协同的综合性解决方案，以期构建更安全、更高效、更智能的现代化工程安全管理体系提供理论参考与实践路径。

关键词：智慧工地；安全管理；数字化转型；数据孤岛；BIM+IoT；AIoT

引言

建筑业是国民经济重要支柱，但安全生产形势严峻，事故频发造成巨大损失，制约行业高质量发展。传统安全管理模式依赖经验与现场巡查，有信息滞后等缺陷，难满足现代大型工程需求。在此背景下，“智慧工地”出现，它通过部署智能感知终端采集全要素数据，利用云计算等技术实现全面感知、实时监控等。智慧工地是对传统安全管理模式系统性重构，是安全管理数字化转型核心抓手。然而，许多企业推进智慧工地建设时陷入“重硬件轻软件”等困境，投入大收效微。所以，深入探究智慧工地赋能安全管理数字化转型的关键瓶颈，提出破解之道，既有重要理论价值，也有迫切现实意义。

1 智慧工地赋能安全管理数字化转型的内涵与价值

要有效解决问题，首先需明确目标。智慧工地赋能安全管理的数字化转型，其核心在于利用数字技术重构安全管理的价值链，实现三大转变：

1.1 从“事后处置”到“事前预防”的转变

传统模式下，安全管理多为事故发生后的应急响应和追责。智慧工地通过部署AI视频分析系统，可7x24小时自动识别未戴安全帽、未系安全带、闯入危险区域等不安全行为；通过环境传感器实时监测PM2.5、噪音、风速等，一旦超标即刻报警；通过对塔吊、升降机等大型设备的运行状态进行健康监测，预测潜在故障。这种基于实时数据的主动式、预测性安全管控，能将风险扼杀在萌芽状态。

1.2 从“经验驱动”到“数据驱动”的转变

过去的决策很大程度上依赖于项目经理或安全员的个人经验和直觉，缺乏客观依据。智慧工地汇聚了海量的结构化与非结构化数据，形成企业专属的“安全数据资产”。通过对历史事故数据、隐患排查数据、人员行为数据等进行多维度关联分析，可以精准识别高风险时段、高风险工种、高风险作业环节，从而科学配置安全资源，制定更具针对性的培训计划和管控措施，使安全管理决策更加科学、精准。

1.3 从“碎片管理”到“系统协同”的转变

传统安全管理各环节（如教育培训、隐患排查、应急管理、设备管理）往往是割裂的。智慧工地平台作为一个统一的数字底座，能够打通设计（BIM）、施工、运维等各阶段的数据流，整合人员实名制、视频监控、环境监测、设备管理、危大工程监测等多个子系统，实现信息的互联互通。当某个环节触发风险预警时，平台可以自动推送任务至相关责任人，并联动应急预案，实现跨部门、跨岗位的高效协同处置。

2 智慧工地赋能安全管理数字化转型的关键问题剖析

尽管前景广阔，但在实际落地过程中，智慧工地的建设与应用遭遇了多重障碍，主要体现在以下几个方面：

2.1 顶层设计缺失与标准体系不健全

当前，智慧工地建设普遍缺乏统一的顶层设计和长远规划。许多项目将其视为一个孤立的IT项目，而非企业战略转型的一部分。这导致：一是目标模糊：建设目的不清晰，是为了应付检查，还是为了真正提升安全绩

效?目标不同,建设路径和投入重点截然不同。二是标准混乱:国家层面尚未出台强制性的、覆盖数据接口、设备协议、平台架构等方面的统一标准。市场上各类软硬件厂商各自为政,采用私有协议,形成了新的“烟囱式”系统。不同项目、不同标段甚至无法共享数据,严重阻碍了规模化推广和集团级管控^[1]。三是重复建设:由于缺乏规划,项目结束时,大量定制化的硬件和软件被废弃,造成巨大的资源浪费。

2.2 “数据孤岛”现象严重,数据价值难以释放

这是当前最突出的问题之一。智慧工地虽然产生了海量数据,但这些数据往往分散在不同的业务系统中,彼此隔离,形成了一个“数据孤岛”。一是横向孤岛:安全管理系统、进度管理系统、成本管理系统、质量管理体系等各自独立,数据无法互通。例如,安全系统发现某区域风险高,但无法获知该区域当前的施工进度和人员安排,难以做出最优决策。二是纵向孤岛:项目级数据无法有效汇聚到公司级乃至集团级平台,总部无法基于全局数据进行风险研判和资源调度。同时,设计阶段的BIM模型信息在施工阶段未能得到有效继承和利用,造成了信息断层。三是数据质量堪忧:由于缺乏有效的数据治理机制,采集的数据可能存在不完整、不准确、不及时等问题,即“垃圾进,垃圾出”,严重影响了后续分析的可靠性。

2.3 技术与业务“两张皮”,应用场景深度不足

许多智慧工地项目陷入了“为技术而技术”的误区,未能将先进技术与一线安全管理的实际痛点深度融合。(1)功能冗余:平台上集成了大量华而不实的功能,但一线安全员真正需要的核心功能(如便捷的隐患随手拍、高效的整改闭环跟踪)却体验不佳。(2)操作复杂:系统界面不友好,操作流程繁琐,增加了基层人员的工作负担,导致他们不愿用、不会用,最终沦为“摆设”。(3)算法不准:AI视频分析等核心技术在复杂多变的工地环境中(如光线变化、遮挡、粉尘干扰)的识别准确率有待提高,误报、漏报频发,降低了用户信任度。(4)缺乏闭环:即便系统能发现问题,但如果不能与现场的管理流程(如整改通知、复查验证、考核问责)无缝衔接,形成管理闭环,那么技术的价值就大打折扣。

2.4 组织保障与人才能力短板

数字化转型本质上是一场深刻的组织变革,但许多企业的组织架构和人才储备并未跟上。(1)权责不清:IT部门负责系统建设,安全部门负责业务应用,双方缺乏有效沟通与协作,导致系统建设脱离业务需求。(2)

人才匮乏:既懂工程建设业务,又精通数据分析、AI算法、物联网技术的复合型人才极度稀缺。现有的安全管理人员普遍年龄偏大,数字素养不足,对新工具存在抵触心理。(3)激励机制缺失:缺乏有效的激励机制来鼓励一线员工积极使用智慧工地平台,也缺乏基于数据的安全绩效考核体系,使得数字化转型缺乏内生动力。

2.5 投入产出比(ROI)不明确,可持续发展存疑

智慧工地建设初期投入巨大,包括硬件采购、软件开发、网络部署、人员培训等。然而,其带来的安全效益(如减少事故、降低保险费用、提升品牌声誉)往往是隐性的、长期的,难以精确量化。这使得企业管理层在持续投入上犹豫不决,尤其是在经济下行压力加大的背景下,智慧工地项目很容易被削减预算,陷入“建而不用、用而不深”的恶性循环。

3 关键问题的系统性解决方案

针对上述痛点,必须采取系统性的、多维度的解决方案,方能真正释放智慧工地的潜能。

3.1 强化顶层设计,构建标准化体系

(1)战略引领,规划先行:企业应将智慧工地建设纳入公司整体数字化转型战略,明确其在提升本质安全水平、塑造核心竞争力方面的战略地位。制定分阶段、可量化的建设目标和实施路线图。(2)推动标准共建:积极参与或牵头行业协会、联盟,共同制定涵盖数据格式、通信协议、设备接口、平台功能等方面的团体标准或企业标准。优先选用支持开放标准的软硬件产品,确保系统的互操作性和可扩展性^[2]。(3)采用模块化、平台化架构:建设统一的智慧工地PaaS(平台即服务)平台,将共性能力(如用户认证、消息推送、地图服务、AI算法引擎)沉淀下来。各业务应用(SaaS)基于此平台快速构建和迭代,避免重复造轮子。

3.2 打破数据孤岛,深化数据治理

(1)建立统一的数据中台:构建企业级数据中台,作为智慧工地的“中央厨房”。通过ETL(抽取、转换、加载)工具或API接口,将来自BIM模型、IoT设备、业务系统等异构数据源的数据进行清洗、整合、标准化,形成统一的“数据湖”或“数据仓库”。(2)推行主数据管理(MDM):对人员、设备、物料、组织机构等核心主数据进行统一编码和管理,确保“一数一源”,为跨系统数据关联分析奠定基础。(3)深化BIM+IoT融合:将静态的BIM模型与动态的IoT实时数据深度融合。例如,将人员定位数据映射到BIM模型上,可视化展示人员分布;将设备监测数据与BIM中的设备构件绑定,实现设备全生命周期的健康管理。让BIM从“看得见”的图

纸, 变成“会思考”的数字孪生体。

3.3 聚焦业务痛点, 打造高价值应用场景

解决方案必须回归业务本质, 围绕一线安全管理人员的核心诉求进行设计。(1) AIoT驱动的智能风险预警: 一是视觉智能: 利用边缘计算+AI算法, 在摄像头端完成初步分析, 只上传告警信息, 降低带宽压力。持续优化算法, 提升在复杂场景下的识别精度。二是行为分析: 结合UWB/蓝牙信标等高精度定位技术, 分析人员移动轨迹, 对长时间滞留危险区域、异常聚集等行为进行预警^[3]。三是设备健康监测: 在塔吊、升降机等关键设备上安装振动、应力、倾角等传感器, 结合AI模型预测设备剩余寿命和故障概率, 变定期维保为预测性维保。

(2) 全流程闭环的隐患管理: 打造“发现-上报-分配-整改-复查-归档”的线上闭环流程。支持移动端拍照、语音输入, 简化上报操作。系统自动根据隐患类型和位置分配责任人, 并设置整改时限, 超时自动升级提醒。复查环节需上传整改后照片, 确保真整改。(3) 沉浸式安全教育培训: 利用VR/AR技术, 模拟高处坠落、触电、火灾等典型事故场景, 让工人在虚拟环境中体验事故后果, 大幅提升培训的代入感和效果。培训记录与人员实名制信息绑定, 确保全员覆盖。

3.4 推动组织变革, 培育数字人才

(1) 设立CDO(首席数字官)或专项工作组: 由高层领导挂帅, 统筹协调IT、安全、工程、商务等各部门资源, 打破部门壁垒, 确保业务与技术的深度融合。

(2) 构建“双轨制”人才体系: 一方面, 加强对现有安全管理人员的数字化技能培训, 提升其数据应用能力; 另一方面, 引进或培养具备工程背景的数据分析师、产品经理, 让他们深入一线, 理解业务, 成为连接技术与业务的桥梁^[4]。(3) 建立数据驱动的绩效文化: 将智慧工地平台的使用率、隐患整改及时率、风险预警准确率等指标纳入各级管理人员的KPI考核体系。设立创新奖励机制, 鼓励一线员工提出基于数据的改进建议。

3.5 探索多元化商业模式, 明晰价值回报

(1) 精细化成本效益分析: 企业应建立一套科学的评估模型, 不仅计算硬件软件的直接投入, 更要量化智慧工地带来的间接收益, 如因事故减少而节省的赔偿金、停工损失、保险费用, 以及因效率提升带来的工期缩短收益等。(2) 推广“建设-移交-运营”(BTO)或SaaS服务模式: 对于资金压力较大的中小企业, 可以考虑由专业服务商投资建设并负责后期运营维护, 企业按需付费。这种模式可以大幅降低初始投入门槛, 将CAPEX(资本性支出)转化为OPEX(运营性支出)。(3) 挖掘数据资产价值: 在确保数据安全和隐私合规的前提下, 探索将脱敏后的行业安全数据用于保险精算、供应链金融等增值服务, 开辟新的收入来源, 反哺智慧工地的持续建设和升级。

4 结语

智慧工地是破解工程施工安全管理难题、推动行业高质量发展的必由之径。它以数据重构安全管理逻辑、流程与组织形态, 但转型面临标准缺失、数据孤岛等诸多挑战。破局需秉持系统思维, 从顶层设计等多维度协同推进, 让智慧工地从示范走向生态。展望未来, 随着5G等技术成熟, 智慧工地将迈向更高阶智能化, 拥有能自主推演决策的“数字孪生体”, 实时反映现场、模拟安全风险, 为管理者提供最优建议。届时, 工程施工安全管理将步入“可知、可管、可控、可预测”新时代, 为建设平安中国、达成“零事故”目标筑牢根基。

参考文献

- [1] 幸晓娇. 基于智慧工地下的建筑工程安全管理研究[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(19): 161-163.
- [2] 韩旭东. 智慧工地在建筑工程安全管理和质量管理中的应用[J]. 建材发展导向, 2026, 24(01): 49-51.
- [3] 张良. 施工企业智慧工地的安全管理与安全文化建设[J]. 人民黄河, 2025, 47(S2): 164-165.
- [4] 李翠. 智慧工地视角下的建筑工程安全管理要点分析[J]. 建材发展导向, 2025, 23(22): 82-84.