

智慧建造在建筑工程安全施工管理中的应用研究

廖凯旋

(广东建诚明德建设管理有限公司, 广东 佛山 528000)

摘要 智慧建造是建筑行业数字化转型的核心, 其通过融合物联网、大数据、人工智能等先进技术重构了建筑工程安全施工管理的逻辑框架。本文基于“人一机一料一法一环”全要素管理视角系统分析了智慧建造的技术体系与理论内涵, 并深入剖析了其在安全风险感知、预警、处置全流程中的应用机理, 同时结合行业发展现状探讨其实施路径与未来发展。研究表明, 智慧建造可通过数据驱动使安全管理从“事后补救”逐渐向“事前预控”转变, 且其核心价值在于构建动态协同的安全管控生态。

关键词 建筑工程; 安全施工管理; 智慧建造

中图分类号: TU714; TU17

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.32.010

0 引言

建筑工程具有施工环境开放、作业流程复杂、风险因素密集等典型特征, 而安全管理始终是建筑行业发展的核心命题。由于传统安全管理模式主要依赖人工巡检与经验判断, 存在风险识别滞后、数据传递不畅、决策依据不足等问题, 从而难以适应现代工程建设的安全管控需求。随着《“十四五”建筑业发展规划》对智慧建造技术应用的明确要求, 物联网、BIM、人工智能等技术与施工安全管理的深度融合已经成为建筑行业转型的必然趋势。在此背景下, 系统研究智慧建造的理论体系及其在安全管理中的应用机理, 对推动建筑行业安全发展具有重要理论与实践意义。

1 智慧建造的理论内涵与技术体系

1.1 核心理论内涵

智慧建造是建筑行业深度融合信息技术、人工智能与先进制造技术的系统性工程, 其核心要义在于通过数据驱动实现建造全生命周期的智能化决策与协同管理。而从理论本质来看, 智慧建造以“数字化映射、智能化干预、协同化运作”为三大支柱, 且重构了传统安全管理的逻辑范式:

首先, 数字化映射体主要现为通过 BIM、GIS 等技术构建施工现场的数字孪生体, 实现物理空间与虚拟空间的实时同步, 从而可为安全管理提供精准数据。

其次, 智能化干预主要依托人工智能算法来对感知数据进行深度分析, 可实现风险的自动识别与主动预警。

最后, 协同化运作则通过云计算平台打破信息壁垒, 从而实现建设单位、施工企业、监管部门等多主体的信息共享与协同决策^[1]。

1.2 技术支撑体系

智慧建造的落地实施依赖多技术融合的支撑体系, 各技术要素相互关联、协同作用形成“感知—传输—分析—决策”的技术闭环, 其具体包括以下几方面内容:

首先是感知层, 其作为数据采集的基础, 通过物联网技术实现对施工现场的全面感知。同时该层面集成了智能安全帽、劳务实名制闸机、塔吊安全监控传感器、AI 视频监控等终端设备, 可实时采集人员位置、设备状态、环境参数等多维度数据。其中, 智能安全帽具备主动预警与一键呼救功能, 能在感知危险源或发生撞击时快速触发报警。另外, AI 视频监控则可通过图像识别技术自动抓拍未戴安全帽等违规行为, 以实现人员不安全行为的实时管控^[2]。

其次是网络层, 主要承担数据传输的核心功能, 并通过 5G、边缘计算等技术构建低延迟、高可靠的传输网络。其中, 边缘计算技术可在施工现场就近处理海量感知数据, 并筛选关键信息后上传至云端平台, 如此可有效解决传统网络传输中的延迟问题。而 5G 技术则为高清视频流传输、设备远程控制等应用提供带宽保障, 以确保预警信息的实时传递。

再次是数据层, 负责数据的存储与治理, 其主要依托云计算与大数据技术构建标准化数据平台。该平台按照“人一机一料一法一环”的维度来对数据进行

分类存储,并建立统一的数据接口与协议,以确保跨设备、跨平台的信息互操作性。同时,通过区块链技术可确保关键数据不被篡改,从而为安全责任追溯提供可靠依据,也能够进一步强化过程风险管控^[3]。

最后是应用层,其主要实现智能化决策与管理,集成 BIM 技术、人工智能算法等核心应用。BIM 技术与 GIS 技术的融合应用可优化施工空间布局,减少交叉作业风险。另外,机器学习算法通过分析历史数据构建风险预测模型,能提前识别设备故障、边坡失稳等潜在风险,使设备故障率大幅度降低。此外,智慧工地管理平台则通过数据看板实现关键指标的可视化呈现,为管理者提供“项目智慧大脑”。

2 智慧建造在安全施工管理中的应用机理

2.1 人员安全管理的智能化升级

人员管理是安全施工管理的核心环节,智慧建造通过“定位—考勤—培训—预警”的全流程管控模式,可实现对人员安全管理的精准化升级。例如:在人员定位方面,可通过智能安全帽的三维立体定位与电子围栏技术实时追踪工人活动轨迹,当人员进入危险区域时能够自动触发语音警示,如此可从空间上规避安全风险^[4]。

劳务实名制管理则可通过闸机系统实现“一人一帽”的无感考勤,以确保考勤数据的真实性和可追溯性,而且结合平台数据看板可实时掌握在场人数,从而为应急疏散提供准确依据。另外,在安全培训领域,虚拟现实技术的应用重构了传统培训模式,并且通过模拟高空坠落、机械伤害等场景来有效提升工人的安全意识与应急处置能力。此外,后台系统则可通过数据分析识别培训薄弱环节,从而实现个性化培训方案的智能推送。

2.2 设备安全管理的预防性控制

施工设备的安全运行是工程安全的重要保障,智慧建造通过预测性维护技术实现设备管理从“事后维修”向“事前预防”有效的转变。在设备状态监测方面,塔吊、施工电梯等大型机械均配备专属监控传感器,可实时采集振动、温度、荷载等运行参数,同时通过边缘计算技术可对数据进行实时分析,当参数超出安全阈值时立即触发停机预警^[5]。

设备全生命周期管理则依托 BIM 技术建立设备信息模型,整合设备采购、安装、使用、维护等全流程数据,以实现维护计划的智能生成与自动提醒。大数据分析技术通过挖掘设备运行历史数据,可识别故障发生的规律与前兆,如通过分析塔吊起重量与运行时间的关

联数据,提前预测钢丝绳磨损程度,并安排预防性维护,如此可避免设备因带故障运行而引发安全事故。

2.3 环境与风险的动态化管控

由于施工现场环境复杂多变,所以应用智慧建造可通过多维度感知与智能分析实现对环境风险的动态管控。例如:在环境参数监测方面,传感器网络可实时采集温度、湿度、风速、扬尘浓度等数据,当出现高温、暴雨等极端天气或扬尘超标时系统将自动启动预警并推送防护建议,如提醒高温作业人员采取降温措施、启动喷淋系统控制扬尘^[6]。

风险预警体系则是基于多源数据融合实现综合风险评估,主要通过人工智能算法整合人员、设备、环境等数据来构建动态风险评估模型。例如:在深基坑施工过程中,系统可结合边坡位移数据、地下水水位变化、周边建筑物沉降数据进行综合分析,如此可提前识别坍塌风险。另外,在动火作业场景中,通过烟雾传感器与视频监控的联动,能够实现火灾隐患的早期发现与快速处置,从而有效缩短隐患处理周期。

2.4 安全管理流程的协同化优化

智慧建造通过打破信息壁垒重构了“隐患排查—整改—复查—归档”的安全管理流程,从而实现多主体的协同管控。例如:在隐患排查环节,现场人员可通过移动端 APP 上传隐患照片与位置信息,由系统自动生成整改通知单并推送至责任人员,以明确整改时限与要求。另外,在整改过程中,管理人员可通过视频监控远程核查整改进度,从而减少现场巡检频次^[7]。

在多主体协同方面,智慧工地平台支持与主管部门平台对接,可实现数据实时同步,也能够构建“项目—企业—政府”三级联动的数字化管理网络。例如:监管部门可通过平台远程督导项目安全状况,及时发现企业主体责任落实不到位等问题。另外,建设单位能实时掌握施工企业的安全管理情况,为工程款支付提供安全考核依据。这种协同模式的应用可大幅度提升安全管理的执行力与监管效率。

3 智慧建造应用的实施路径

智慧建造在安全管理中的落地应用需遵循“规划—建设—运营—优化”的系统路径,以确保技术与管理的深度融合,其具体应用如下:

首先,在规划阶段应明确系统建设目标与技术选型,并结合项目规模、复杂程度等实际情况制定实施方案。例如:大型复杂项目可优先部署 AI 视频监控、塔吊安全监控等核心系统。而中小型项目则可采用模块化建设模式,并逐步推进智能化升级。另外,需建

立跨部门协调机制来明确建设单位、施工企业、技术服务商的责任分工,以确保实施过程的有序推进^[8]。

其次,在建设阶段要重点推进系统集成与人员培训,按照“感知层先行、应用层跟进”的原则开展建设。例如:在此阶段要完成智能终端设备的部署与调试,以确保数据采集的准确性。另外,要实现各系统的互联互通,构建统一的数据平台。此外,还要开展全员培训,重点提升一线工人对智能设备的操作能力与管理人员的数据分析能力,避免因操作不当导致技术应用效果降低。

再次,在运营阶段要建立常态化管理机制,主要包括数据治理、系统维护与应急响应三个方面。其中数据治理需定期清理无效数据,更新风险预测模型,以确保决策的科学性。另外,系统维护应建立设备巡检制度,及时修复故障终端,从而保障系统稳定运行。此外,应急响应则需完善预警信息处置流程,明确各级人员的相应职责,以缩短应急处置时间^[9]。

最后,在优化阶段要依托数据反馈来持续提升系统效能,并通过分析平台运行数据识别应用瓶颈,如针对预警误报率过高问题可优化AI算法参数,并针对数据共享不足问题完善接口标准。同时,也可借鉴行业先进经验逐步融合数字孪生、元宇宙等新技术,以实现安全管理的持续升级。

4 智慧建造在建筑工程安全施工管理中的应用发展趋势

随着当前技术的持续创新与行业需求的不断升级,智慧建造在安全管理中的应用将呈现以下几方面发展趋势:

首先,技术融合将向深度化方向发展。例如:数字孪生技术的应用将实现施工现场的全要素虚拟映射,同时通过模拟施工过程可提前识别交叉作业、工序冲突等潜在风险。而元宇宙技术则可能构建沉浸式安全培训场景,进一步提升培训效果。此外,BIM、物联网、人工智能等技术的融合将实现“感知—分析—决策—执行”的全流程自动化,如此可有效减少人工干预,提升管理效率^[10]。

其次,应用场景将向全生命周期延伸,智慧建造技术将从施工阶段向设计、运维阶段拓展。在设计阶段,通过生成式设计技术优化结构方案,可从源头降低安全风险。另外,在运维阶段,基于施工阶段积累的数据构建智能运维平台,能够实现建筑设施的预测性维护,延长使用寿命,从而形成全生命周期的安全管理体系。

最后,行业生态将向协同化方向发展,随着“项目—

企业—政府”三级联动管理网络的完善,将催生数据服务商、智能装备商等新业态。同时,企业间的合作将从传统的工程分包转向技术协同,形成“技术研发—设备制造—应用落地”的完整产业链。此外,绿色建造与智慧建造的融合将更加紧密,通过智能化管理实现建筑碳排放减少30%以上,可助力“双碳”目标的有效实现。

5 结束语

智慧建造通过融合物联网、大数据、人工智能等先进技术,可构建“感知—分析—决策—执行”的智能化安全管理体系,如此可从理论与实践层面推动建筑工程安全管理的优化和变革。其核心价值在于通过数据驱动实现人员、设备、环境的全要素管控,如此可使施工现场的风险防控能力得到显著提升。研究表明,智慧建造的技术体系主要涵盖感知层、网络层、数据层、应用层四个方面,各技术要素的协同作用实现了安全管理的数字化、精细化与智能化,其应用机理体现为人员管理的精准化、设备管理的预防性、环境管控的动态化与流程管理的协同化。尽管目前在技术标准、人才储备、成本控制等方面仍面临诸多挑战,但通过有针对性的策略和措施可进一步推动智慧建造的发展和深度应用。

参考文献:

- [1] 刘书敬.探究智慧建造在住宅建筑工程安全施工管理中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2025(04):165-167.
- [2] 李欣妍.住宅建筑工程安全施工管理中的智慧建造应用探究[J].砖瓦世界,2025(18):154-156.
- [3] 崔嘉宝,盛宇,殷元元.建筑工程施工绿色智能建造与智慧管理的应用[J].砖瓦世界,2024(18):184-186.
- [4] 苏妍怡.加强建筑工程施工安全隐患的监督管理策略探讨[J].广东土木与建筑,2025,32(05):115-118.
- [5] 司徒伊俐.智能建造技术在施工现场安全管理的应用和探究[J].建筑机械化,2025,46(06):15-19.
- [6] 苏兴,廖成聪.超高层建筑工程安全生产标准化管理的“六化”实践与深化研究:以佛山顺德某项目为例[J].广东土木与建筑,2025,32(06):88-90.
- [7] 侯朝,郝丁默,杨阳,等.智能建造及智慧工地管理系统在施工中的应用[J].建筑技术,2025,56(01):27-30.
- [8] 王颖,李林林,王雷,等.浅谈住宅工程高效建造施工安全文明管理措施[J].建筑安全,2023,38(11):48-51.
- [9] 胡述浩,吴育才,李萌.智慧工地系统在建筑施工安全管理中的应用[J].建筑与装饰,2022(11):76-78.
- [10] 毛行波.基于智慧建造技术的建筑施工HSE管理体系构建[J].建筑与装饰,2022(18):187-189.