

智能建造在土建施工项目管理中的应用前景研究

杜世胜

中建集成科技有限公司 北京 100176

摘要：本文围绕智能建造在土建施工项目管理中的应用前景，从数字化、物联网、人工智能、自动化与机器人、数字孪生等技术分类出发，阐述其协同效应。分析在进度、质量、安全、资源、协同管理等多场景的应用模式，并展望技术深度融合、全产业链协同升级、行业标准与人才需求变化等趋势，为土建施工项目智能化转型提供参考。

关键词：智能建造；土建施工；项目管理；技术应用；发展前景

引言：随着科技的进步，土建施工项目管理正逐步迈向智能化的新时代。智能建造技术通过集成先进的BIM建模、物联网、人工智能等手段，实现了对建筑全生命周期的高效管理。这种技术不仅提高了施工效率和质量，还显著增强了作业的安全性。面对日益复杂的施工环境和严格的质量要求，传统管理模式已难以满足现代施工的需求。研究和应用智能建造技术成为提升土建施工项目管理水平的关键。本文将深入探讨智能建造技术的应用现状及其未来发展趋势，为相关领域的研究和实践提供参考。

1 智能建造技术体系与核心能力

1.1 智能建造技术分类

1.1.1 数字化技术

数字化技术是智能建造的基础框架。BIM建模通过参数化设计构建建筑三维信息模型，集成建筑几何尺寸、材料属性、构件关联等信息，为设计、施工、运维阶段提供统一数据基础。3D扫描利用激光或结构光技术，快速获取实体建筑或场地的三维点云数据，用于既有建筑改造、施工进度核验等场景。GIS集成则将建筑信息与地理空间数据结合，在规划阶段分析地形地貌、周边环境，辅助选址与场地布局，在施工阶段实现资源合理调配与运输路线优化。

1.1.2 物联网与传感器技术

物联网与传感器技术为智能建造注入感知能力。设备联网通过工业以太网、5G等通信技术，将施工机械、监测仪器接入网络，实时采集设备运行参数，如挖掘机工作时长、起重机负载状态等，便于设备管理与维护。环境监测传感器部署于施工现场，监测温湿度、空气质量、噪音等指标，为施工组织提供环境数据支持。人员定位系统借助UWB、蓝牙信标等技术，实时追踪人员位置，保障人员安全同时优化施工调度。

1.1.3 人工智能与机器学习

人工智能与机器学习赋予智能建造决策能力。进度预测模型基于历史项目数据与当前施工进度，运用时间序列分析算法，预测后续工期，提前识别进度风险。质量缺陷识别通过训练深度学习模型，分析施工照片、视频，自动检测墙体裂缝、钢筋错位等质量问题。安全风险预警利用计算机视觉与传感器数据融合，识别未佩戴安全帽、高空作业违规等行为，及时发出警报，降低事故发生率。

1.1.4 自动化与机器人技术

自动化与机器人技术革新建造作业方式。3D打印技术依据BIM模型，通过逐层堆积材料完成构件或建筑实体建造，适用于异形构件加工与小型建筑快速搭建。智能施工机械搭载自动控制系统，如无人驾驶压路机可自动规划碾压路径，保证压实均匀度；智能塔吊通过传感器与算法协同，精准控制吊装作业。无人机巡检利用其机动性与高分辨率拍摄能力，对大型建筑、复杂地形进行快速检测，获取结构外观、施工进度等信息。

1.1.5 数字孪生与虚拟仿真

数字孪生与虚拟仿真实现建造过程的可视化与预演。施工过程模拟将BIM模型与进度计划结合，在虚拟环境中展示施工流程，提前发现工序冲突、空间干涉等问题^[1]。多方案比选通过建立不同施工方案的数字孪生模型，对比分析工期、成本、安全性等指标，辅助选择最优方案。运维衔接则将施工阶段的数字孪生模型延续至运维阶段，结合实时监测数据，实现设备状态评估与维修决策支持。

1.2 技术协同效应

1.2.1 设计阶段

BIM建模生成的建筑信息与GIS地理数据结合，通过物联网传感器获取的场地环境数据补充模型信息，形成更完善的设计基础。人工智能算法分析设计方案，提供优化建议，数字孪生技术对设计成果进行虚拟仿真验

证,确保方案可行性。

1.2.2 施工阶段

物联网与传感器持续采集现场数据,实时更新BIM模型,形成动态施工进度模型。3D扫描获取的实际施工数据与BIM模型对比,偏差信息反馈至自动化施工机械,实现施工精准调整。人工智能算法依据现场数据预测进度风险、识别质量问题,将预警信息同步至管理平台。无人机巡检结果与BIM模型结合,辅助管理人员掌握现场全貌,数字孪生技术则对施工过程进行实时模拟,指导施工决策。

1.2.3 运维阶段

施工阶段积累的BIM模型、物联网监测数据构成数字孪生体基础。人工智能算法分析设备运行数据,预测故障发生,指导维护计划制定。物联网与传感器持续监测建筑运行状态,数据反馈至数字孪生模型,实现建筑全生命周期数字化管理。各技术相互协作,使建筑从规划设计到运维拆除的全过程数据无缝衔接,提升建造效率与管理水平。

2 智能建造在土建施工项目管理中的应用场景

2.1 进度管理智能化

基于BIM的4D进度模拟为施工进度管理提供可视化预演。将BIM三维模型与施工进度计划关联,形成包含时间维度的4D模型,以动态形式展示施工流程。从基础开挖到主体结构封顶,每个施工环节的起止时间、资源投入、空间位置都直观呈现。施工过程中,通过物联网设备采集现场实际进度数据,自动更新4D模型,当发现实际进度滞后时,系统及时发出预警。管理人员依据模拟结果,分析滞后原因,调整后续施工安排,实现进度的动态调整。智能算法优化资源配置与关键路径。遗传算法、粒子群算法等智能算法,综合考虑工期、成本、资源约束等因素,对劳动力、材料、机械设备等资源进行优化配置。算法通过不断迭代,寻找最优资源分配方案,避免资源闲置或过度集中。在关键路径识别与优化上,利用关键路径法(CPM)结合智能算法,分析施工工序间逻辑关系,确定影响工期的关键工序。针对关键路径上的工序,优先调配资源,采用并行施工、增加作业班组等方式缩短工期,确保项目按时交付。

2.2 质量管理自动化

AI图像识别在混凝土结构、钢筋工程等施工环节发挥重要作用。在混凝土浇筑完成后,通过无人机、固定摄像头等设备采集混凝土表面图像,AI图像识别算法对图像进行分析,检测裂缝、蜂窝麻面等缺陷^[2]。算法经过大量样本训练,能够精准识别不同类型、不同尺度的

裂缝,标注缺陷位置与严重程度。对于钢筋工程,AI系统分析钢筋绑扎节点图像,检查钢筋间距、锚固长度是否符合设计要求,发现问题即时通知施工人员整改。区块链技术为质量追溯提供可靠保障。在材料采购环节,将供应商信息、材料规格、检测报告等数据上链存储,形成不可篡改的记录。施工过程中,每道工序的施工人员、施工时间、验收结果等信息也记录在区块链上。当出现质量问题时,通过区块链快速追溯问题源头,确定责任主体。这种透明化的质量追溯机制,促使各参与方严格把控质量,提升整体施工质量水平。

2.3 安全风险防控

物联网实时监测高风险作业区域。在高空作业场景,通过智能安全帽内置的定位芯片、倾角传感器、压力传感器,实时监测作业人员位置、身体姿态、坠落风险。一旦检测到人员异常移动或有坠落趋势,系统立即发出声光报警,并通知安全管理人员。深基坑施工中,在基坑边坡、支撑结构等部位安装位移传感器、应力传感器,实时监测土体位移、支撑受力情况,当数据超过阈值时,及时预警并启动应急预案。机器学习预测坍塌、火灾等事故风险。基于历史事故数据与施工现场实时监测数据,训练机器学习模型。模型学习事故发生前的各项指标变化规律,如脚手架变形数据、电气线路温度数据等。在施工过程中,系统持续分析监测数据,预测潜在事故风险。当预测到坍塌风险时,提前疏散人员、加固结构;预测到火灾风险时,自动切断电源、启动灭火装置,将事故扼杀在萌芽状态。

2.4 资源管理精细化

智能算法优化材料采购与库存管理。根据BIM模型生成的材料清单,结合施工进度计划,运用预测算法预估各阶段材料需求。考虑材料价格波动、运输周期等因素,制定最优采购计划,避免材料积压或缺货。在库存管理方面,通过RFID技术对材料进行标识,实时掌握材料库存数量、位置信息。智能算法根据材料使用情况,自动触发补货提醒,实现库存动态平衡。能源监测系统降低施工能耗与碳排放。在施工现场安装智能电表、水表、燃气表等计量设备,实时监测施工设备、照明、办公区域的能源消耗^[3]。通过分析能源消耗数据,发现高耗能环节,采取节能措施,如更换节能灯具、优化设备运行参数。计算施工过程中的碳排放,为绿色施工提供数据支持,推动施工企业践行低碳发展理念。

2.5 协同管理平台化

云端平台整合设计、施工、运维多方数据。设计阶段的BIM模型、图纸,施工阶段的进度、质量、安全数

据,运维阶段的设备运行数据等,都存储在云端平台。各参与方通过统一接口访问数据,实现信息共享。设计方可以查看施工过程中的设计变更需求,施工方参考设计模型优化施工方案,运维方提前了解建筑设备信息,为后期运维做准备。移动端应用实现现场实时反馈与决策支持。施工人员通过手机、平板电脑等移动端设备,拍摄现场照片、视频,上传问题描述,即时反馈施工进度、质量、安全等问题。管理人员在移动端接收信息,查看现场情况,在线审批处理,下达整改指令。移动端应用还集成进度跟踪、任务分配等功能,方便管理人员随时随地掌握项目动态,做出科学决策,提升项目协同管理效率。

3 智能建造在土建施工项目管理中的应用前景

3.1 技术深度融合趋势

智能建造技术的融合将向更深层次发展。BIM与GIS的集成不再局限于基础地理信息展示,而是与物联网实时数据深度耦合,构建三维动态地理信息模型。在大型线性工程中,如高速公路、铁路项目,通过GIS整合沿线地形、地质数据,结合BIM模型进行施工方案优化,利用物联网设备实时采集的现场环境数据,动态调整施工部署。人工智能算法将更深度介入各技术环节,在设计阶段通过深度学习优化建筑形体与空间布局,在施工阶段结合传感器数据与数字孪生模型,实现施工工艺的自适应调整,使建造过程从自动化向自主化演进。自动化与机器人技术将与数字孪生形成闭环。未来施工机器人将具备更强大的环境感知与自主决策能力,通过与数字孪生模型实时交互,机器人能够依据虚拟环境中的施工模拟,动态调整作业路径与工艺参数。在复杂建筑装饰工程中,机器人可根据数字孪生模型生成的最优施工方案,自动完成墙面装饰、管线安装等精细作业,遇到实际施工偏差时,即时反馈至数字孪生系统,实现物理实体与虚拟模型的双向修正。

3.2 全产业链协同升级

智能建造将推动土建施工产业链协同模式革新。云端平台功能持续拓展,不仅实现数据共享,更通过智能合约与区块链技术,构建产业链各方的信任机制^[4]。在材料供应环节,供应商可基于施工方BIM模型的材料需求预测,提前安排生产与配送,减少中间库存环节。设计、施工、运维单位依托统一的数字平台,实现全生命周期的协同设计与管理。例如,在项目前期设计阶段,运维

单位可基于数字孪生模型提出设备维护与管理需求,反馈至设计端进行优化,避免后期改造带来的成本浪费。建筑工业化与智能建造加速融合。预制构件生产环节引入自动化生产线与机器人技术,结合BIM模型的构件信息,实现定制化生产。构件生产过程中植入RFID芯片或传感器,记录生产信息与质量数据,运输至施工现场后,通过物联网设备快速识别与定位,利用智能施工机械完成精准安装。这种模式将大幅提升施工效率,减少现场湿作业,降低施工对环境的影响,推动土建施工向绿色、高效方向发展。

3.3 行业标准与人才需求变化

智能建造技术的普及促使行业标准体系逐步完善。在BIM数据交互、物联网设备接口、人工智能算法应用等关键领域,统一规范的出台将打破技术与平台间的兼容性壁垒,推动产业链各环节高效协同。伴随技术革新,人才需求结构发生显著转变。既精通建筑施工技术,又熟练掌握数字化、智能化技术的复合型人才成为行业发展的核心力量。企业通过深化与高校、职业院校的产学研合作,定向培养专业人才,并强化现有人员技能培训,提升行业智能化应用整体水平。行业协会与相关机构将牵头制定智能建造项目评价标准,从技术应用成熟度、管理效率提升等维度建立量化指标体系,为企业规范化发展提供明确指引。

结束语

智能建造在土建施工项目管理中展现出巨大应用潜力,通过多技术协同与深度融合,能有效提升管理效率、保障质量安全、优化资源配置并推动全产业链协同升级。未来,随着行业标准完善与复合型人才涌现,智能建造将加速建筑业向智能化、绿色化、高效化转型,为行业发展注入新动能,助力实现可持续发展目标。

参考文献

- [1]周宗健.智能建造在工程管理中的应用研究[J].江西建材,2024,(11):413-415.
- [2]董霄.当代建筑工程中的智能建造技术及其应用研究[J].住宅与房地产,2024,(32):72-74.
- [3]王璐.智能建造在建筑施工技术中的应用及其发展趋势[J].四川水泥,2024,(10):22-24.
- [4]宋子龙.智能建造技术在建筑施工中的应用[J].绿色建筑与智能建筑,2024,(01):48-50.