

建筑土木工程中的智能施工技术及其应用

朱 鑫

宁夏中宁工业园区管理委员会 宁夏 中卫 755103

摘 要：随着科技革命与产业变革加速推进，建筑土木工程领域正经历智能化的深刻变革。本文聚焦建筑土木工程中的智能施工技术及其应用。首先概述主流智能施工技术，构建包含BIM、物联网、人工智能等技术的体系。接着详细阐述智能施工技术在设计、施工、监测与维护阶段的具体应用。最后探讨其发展趋势，涵盖数字孪生与全生命周期管理、5G与边缘计算融合、绿色建造与碳中和目标等方面，旨在为建筑土木工程领域智能施工技术的推广与应用提供参考。

关键词：建筑土木工程；智能施工技术；发展趋势

引言：在科技飞速发展的当下，建筑土木工程领域正经历着深刻变革。传统施工方式面临效率、质量、安全等多方面的挑战，难以满足日益复杂的工程建设需求。智能施工技术应运而生，它融合了多种先进技术，为建筑土木工程带来全新解决方案。智能施工技术不仅能提高施工效率、保证工程质量，还能降低安全风险、减少资源浪费。深入研究智能施工技术及其应用，对于推动建筑土木工程行业向智能化、高效化、绿色化方向发展具有至关重要的意义。

1 建筑土木工程中主流智能施工技术概述

建筑土木工程中，主流智能施工技术正推动行业向高效化、绿色化、智能化方向转型。BIM技术作为核心，通过三维建模与数据集成，实现设计、施工、运维全生命周期管理，其碰撞检测功能可提前发现设计冲突，减少施工变更，缩短工期15%-20%。物联网技术通过传感器、摄像头等设备实时采集施工数据，结合云计算平台实现设备状态、环境参数的远程监控，如塔吊防碰撞系统可降低事故率30%，扬尘监测联动喷淋系统保障绿色施工。人工智能技术依托机器学习与计算机视觉，实现施工风险预测与违规行为识别，例如AI视频监控可自动识别未戴安全帽等行为，高支模传感器预警结构变形。机器人技术则替代人工完成高风险、高精度作业，如智能焊接机器人提升桥梁焊接质量，3D扫描技术辅助混凝土结构精度控制^[1]。

2 建筑土木工程中主流智能施工技术体系

2.1 BIM技术

在建筑土木工程的主流智能施工技术体系中，BIM（建筑信息模型）技术占据着关键地位。（1）BIM技术实现了信息的全面集成。它以三维数字技术为基础，将建筑物的几何信息、物理信息、功能信息等众多要素

整合在一个统一的模型中。这种集成打破了传统二维图纸信息分散的局限，使各专业人员能够在一个共享的平台上获取和交流信息，极大提高了沟通效率，减少了因信息不畅导致的误解和错误。（2）BIM技术为协同工作提供了有力支持。在建筑土木工程项目中，涉及建筑、结构、给排水、电气等多个专业。BIM技术允许不同专业的团队在同一模型上进行协同设计和施工模拟，提前发现各专业之间的冲突和矛盾，如管线碰撞等问题，并及时进行调整和优化，从而避免了施工过程中的返工和延误，保障了项目的顺利进行。（3）BIM技术贯穿于建筑土木工程的全生命周期。从项目前期的规划、设计，到施工阶段的进度管理、成本控制，再到后期的运维管理，BIM模型都能持续发挥作用。它为项目各阶段提供了准确的数据支持，帮助决策者做出科学合理的决策，提高项目的整体效益和管理水平，是推动建筑土木工程智能化发展的重要技术力量。

2.2 物联网技术

物联网技术作为建筑土木工程领域的关键智能技术，通过传感器、RFID标签、智能设备等装置，将工程现场的各类物品与互联网连接，实现信息的实时交换与智能化管理。（1）物联网技术通过感知层设备实现工程要素的精准监测。传感器网络可实时采集设备运行状态、环境参数、材料库存等数据，如塔吊的振动频率、混凝土的温度湿度等，为质量管控提供量化依据。RFID技术则通过电子标签实现材料从采购到使用的全流程追溯，避免库存积压或短缺。（2）网络层技术保障数据的高效传输与处理。依托5G、Wi-Fi6等无线通信技术，结合边缘计算节点，物联网系统可实现低延迟、高可靠性的数据传输，支持实时监控与预警功能。例如，通过分析设备能耗数据，系统可自动优化施工机械的运行策

略,降低能源消耗。(3)应用层技术推动工程管理的智能化转型。基于物联网数据,BIM模型可动态更新工程进度,AI算法能预测施工风险,而数字孪生技术则通过虚拟仿真优化施工方案。此外,物联网与区块链的结合可实现工程供应链的透明化管理,提升协同效率。

2.3 人工智能技术

人工智能技术在建筑土木工程领域的应用,正推动行业从经验驱动向数据驱动的智能模式转变。其核心在于通过机器学习、深度学习、计算机视觉等算法,对海量工程数据进行挖掘与分析,为决策提供科学依据。

(1)人工智能技术赋能工程设计的优化与创新。基于生成式设计算法,系统可自动生成多种结构方案,并通过性能模拟与成本评估,快速筛选出最优解。同时,自然语言处理技术可解析规范条文与历史案例,辅助设计师完成合规性审查与知识复用,提升设计效率与质量。

(2)施工过程中的风险管控与资源调度因人工智能而更精准。通过分析设备运行数据、环境参数及人员行为模式,AI模型可预测塔吊倾覆、模板坍塌等潜在风险,并提前触发预警机制。此外,强化学习算法能动态优化施工机械的作业路径与能耗策略,减少资源浪费与工期延误。(3)运维阶段的智能诊断与预测性维护依赖人工智能的深度分析能力。结合传感器实时采集的结构振动、应力应变等数据,AI系统可识别早期损伤特征,并通过迁移学习技术适应不同工程场景的损伤模式。这种主动式维护策略显著延长了建筑设施的使用寿命,降低了全生命周期成本。

2.4 装配式智能施工技术

装配式智能施工技术是建筑工业化与智能化深度融合的产物,通过集成数字化设计、自动化生产、智能化安装及信息化管理,实现建筑构件的高效制造与精准装配。(1)该技术依托BIM(建筑信息模型)技术实现全流程数字化协同。设计阶段,BIM模型可进行三维可视化模拟与碰撞检测,优化构件拆分与节点设计,减少现场施工冲突;生产阶段,BIM数据直接驱动自动化生产线,确保构件尺寸精度控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内,提升生产效率与质量稳定性。(2)自动化生产设备与物联网技术的结合,构建了智能工厂体系。混凝土搅拌、钢筋加工、模具组装等工序由机器人与数控设备协同完成,通过传感器实时采集温度、湿度、应力等参数,动态调整工艺参数,确保构件性能达标。(3)智能化安装技术革新了传统施工模式。激光定位、AR(增强现实)导航与智能吊装系统协同作业,通过实时监测构件空间位置与垂直度,自动调整安装姿态,误差控制在 3mm/m 以内。此外,基于

AI算法的施工模拟系统可预判装配风险,优化施工顺序与资源调配,显著缩短工期并降低安全风险。

2.5 无人机与施工机器人技术

无人机与施工机器人技术作为建筑土木工程领域的智能化工具,通过空地协同作业模式,重构了传统施工流程中的数据采集、高危作业与精细操作环节,显著提升了工程效率与安全性。(1)无人机技术构建了立体化工程监测体系。搭载多光谱相机、激光雷达与热成像仪的无人机可快速完成地形测绘、三维建模与进度跟踪,其单日测绘面积可达传统方法的5-10倍,且数据精度满足施工级要求。通过实时传输高清影像与点云数据,无人机为项目管理提供了动态决策依据,尤其适用于复杂地形或大型项目的全貌把控。(2)施工机器人技术实现了高危与重复作业的自动化替代。地面机器人可完成混凝土振捣、地坪打磨、焊接等高粉尘或高强度任务,通过力控传感器与视觉导航系统,确保操作精度达到 $\pm 0.5\text{mm}$ 级。高空作业机器人则借助磁吸轨道或缆索系统,在钢结构安装、幕墙清洗等场景中替代人工,消除坠落风险的同时,将作业效率提升3倍以上。(3)两者协同形成“感知-决策-执行”闭环。无人机采集的现场数据经AI分析后,可自动生成施工指令并传输至机器人控制系统,实现从环境感知到任务执行的智能联动。这种空地一体化作业模式不仅减少了人工干预,还通过持续数据反馈优化施工参数,推动工程建设向精准化、无人化方向发展^[2]。

3 智能施工技术在建筑土木工程中的具体应用

3.1 设计阶段的应用

在设计阶段,智能施工技术以数字化与智能化为核心驱动。BIM技术构建三维可视化模型,集成建筑、结构、机电等多专业数据,通过碰撞检测功能自动识别管线冲突、空间碰撞等问题,提前优化设计方案,减少后期施工变更。参数化设计工具结合算法生成多种结构方案,设计师可快速调整参数(如跨度、高度),通过性能模拟评估结构安全性与经济性,实现设计方案的动态优化。人工智能辅助设计系统可分析历史项目数据与规范要求,自动生成合规性设计方案,设计师通过交互式调整提升设计创新性。同时,虚拟现实(VR)与增强现实(AR)技术提供沉浸式设计评审环境,各专业人员可在虚拟场景中协同检查空间合理性、管线排布等细节,确保设计方案的可行性与协调性,显著缩短设计周期并提高设计质量。

3.2 施工阶段的应用

施工阶段中,智能施工技术聚焦于精准化与自动化管控。物联网设备(如传感器、RFID标签)实时采集

施工机械位置、材料库存、环境参数（温湿度、风速）等数据，通过边缘计算节点快速处理，动态调整施工计划与资源分配。施工机器人执行高精度作业，如混凝土3D打印机器人根据预设路径分层浇筑，减少人工误差；钢筋绑扎机器人通过视觉识别系统精准定位钢筋节点，提升施工效率。无人机搭载高清摄像头与激光雷达，进行高空巡检与进度监测，其多光谱成像技术可识别材料缺陷或结构偏差。人工智能算法分析施工数据，预测工期延误风险、设备故障概率，并优化施工顺序与机械调度。数字孪生技术构建虚拟施工场景，模拟工序冲突与安全风险，指导现场人员调整作业策略，实现施工过程的智能化管控。

3.3 监测与维护阶段的应用

监测与维护阶段，智能施工技术实现全生命周期健康管理。传感器网络（如应变计、加速度计、温湿度传感器）持续采集结构应力、振动、温度等数据，结合机器学习模型分析数据变化趋势，识别早期损伤特征（如裂缝扩展、钢筋锈蚀），预测结构剩余使用寿命。物联网平台整合多源监测数据，生成结构健康报告并触发预警机制，当监测值超过阈值时自动通知运维人员。无人机搭载热成像仪与激光雷达，定期巡检建筑外立面、桥梁下部结构等隐蔽部位，快速定位渗漏、剥落等缺陷。区块链技术确保监测数据的不可篡改性及可追溯性，为运维决策提供可信依据。同时，AI驱动的维护系统根据损伤程度自动生成修复方案（如局部加固、表面处理），优化维修资源调度与工期安排。智能技术使建筑从被动维护转向主动预防，延长使用寿命并降低全生命周期成本。

4 建筑土木工程中的智能施工技术的发展趋势

4.1 数字孪生与全生命周期管理

数字孪生技术通过构建物理建筑的虚拟镜像，实现从设计、施工到运维的全生命周期数据贯通。其核心在于实时采集结构应力、环境参数等动态数据，结合AI算法模拟建筑性能演变，提前识别损伤风险并优化维护策略。未来，数字孪生将与BIM、CIM（城市信息模型）深度融合，形成覆盖单体建筑至城市片区的多尺度孪生体

系。通过物联网设备持续反馈运营数据，孪生模型可动态调整能耗管理、空间利用等方案，推动建筑业从“被动维护”转向“主动预防”，显著降低全生命周期成本并提升资源利用效率。

4.2 5G与边缘计算融合

5G与边缘计算的融合为土木工程提供低时延、高带宽的实时数据处理能力。5G网络支持施工机械、传感器等设备的大规模连接，而边缘计算节点在现场完成数据预处理与初步决策，减少云端传输延迟。例如，智能塔吊通过5G传输高清视频，边缘AI实时分析吊装路径与障碍物距离，确保操作安全；混凝土浇筑机器人依赖边缘计算快速调整振动频率，提升施工质量。

4.3 绿色建造与碳中和目标

绿色建造以低碳技术为核心，推动建筑业向碳中和转型。智能施工技术通过优化材料选择、能源利用和废弃物管理实现减排：AI算法可模拟不同建材的碳排放强度，辅助设计低碳结构方案；光伏一体化（BIPV）技术将太阳能发电与建筑围护结构结合，减少化石能源依赖；物联网监测系统实时跟踪施工机械能耗，动态调整设备运行模式^[1]。

结束语

建筑土木工程领域的智能施工技术正以数字化、自动化与可持续化为核心，重塑传统建造模式。从设计阶段的BIM与参数化优化，到施工阶段的机器人作业与物联网实时管控，再到运维阶段的数字孪生健康监测，智能技术贯穿建筑全生命周期，显著提升了效率、质量与安全性。同时，5G与边缘计算的融合推动了实时决策能力，绿色建造技术助力碳中和目标实现。

参考文献

- [1]徐天达.建筑土木工程中的智能施工技术及其应用[J].智能建筑与智慧城市,2025,(03):122-124.
- [2]刘雅菊.智能化管理技术在建筑工程中的应用[J].建材发展导向,2025,23(02):106-108.
- [3]黄强国.数字化技术在建筑施工过程中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(28):124-126.