

土木工程中的智能建造技术应用探索

王 培

安徽建工（安庆）投资发展集团有限责任公司 安徽 安庆 246000

摘 要：智能建造技术在土木工程中展现出巨大潜力，通过BIM、物联网、大数据及人工智能等关键技术的集成应用，实现了设计优化、施工自动化与智能化监测。这些技术不仅显著提升了工程效率与质量，降低了成本与环境影响，还增强了施工安全性。然而，面临技术标准化、初期投资及人才短缺等挑战。未来，智能建造将更集成、智能、绿色，推动土木工程行业的转型升级与可持续发展。

关键词：土木工程；智能建造技术；应用

引言：随着科技的飞速发展，智能建造技术在土木工程中正逐渐成为提升建造效率、保障工程质量和推动行业创新的关键力量。这一技术的引入，旨在通过数字化、自动化和智能化的手段，优化传统建造流程，实现全生命周期的高效协同管理。本文将深入探讨智能建造技术在土木工程中的具体应用，分析其带来的变革与挑战，并展望未来的发展趋势，以期为推动土木工程行业的智能化转型提供参考与借鉴。

1 智能建造技术概述

1.1 定义与特点

（1）智能建造技术的定义。智能建造技术是融合现代信息技术与传统建筑工程技术，通过数字化、自动化、智能化手段，实现建筑全生命周期（设计、施工、运维）高效协同、精准管控的新技术体系，旨在推动建筑业从传统粗放模式向精益化、绿色化、智能化转型。（2）智能建造技术的核心特点。核心特点体现在三方面：数字化，将建筑要素转化为数字模型，实现全流程数据集成；自动化，借助设备与系统替代人工重复作业，如自动浇筑、构件拼装；智能化，依托数据与算法实现自主决策，如施工风险预警、能耗智能调控，同时兼具协同化与绿色化特征，提升建造效率与可持续性。

1.2 关键技术分析

（1）BIM（建筑信息模型）技术。以三维数字模型为核心，整合建筑几何、性能、进度等多维度数据，支持设计优化、碰撞检查与多方协同，打破信息壁垒，为全生命周期管理提供数据基础。（2）物联网（IoT）技术。通过传感器、RFID等设备实时采集施工现场人员、机械、环境数据，上传至云端平台实现远程监控，保障施工安全，提升过程管控精度。（3）大数据与人工智能技术。大数据技术处理建筑全周期海量数据，挖掘隐藏规律；人工智能技术应用于进度预测、质量检测等场

景，如AI视觉识别构件缺陷，提升决策科学性。（4）建筑机器人与无人机技术。建筑机器人承担墙体砌筑、钢筋绑扎等繁重作业，提高施工效率与质量稳定性；无人机用于场地测绘、进度巡检，快速获取大范围现场信息，降低人工成本与安全风险^[1]。

2 智能建造技术在土木工程中的应用

2.1 智能化设计

（1）BIM技术在设计阶段的应用。在土木工程设计阶段，BIM技术凭借三维可视化与全信息集成能力，成为核心支撑工具。通过构建包含建筑结构、材料性能、施工工艺等数据的BIM模型，可提前模拟施工过程，如复杂节点浇筑顺序、大型构件吊装路径，直观呈现施工流程中的空间冲突与工序矛盾。同时，借助碰撞检测功能，能精准预测潜在问题，例如管线与钢结构的位置重叠、地基承载力不足等，避免设计疏漏导致后期返工。此外，基于BIM模型的参数化设计功能，可快速调整设计方案，结合能耗模拟、结构受力分析等工具优化设计，如在桥梁设计中通过调整主梁截面参数，实现力学性能与材料成本的平衡，提升设计科学性与经济性^[2]。（2）大数据在辅助设计决策中的作用。大数据技术为土木工程设计决策提供数据支撑。通过收集同类工程项目的设计参数、施工成本、使用反馈等历史数据，结合实时地理环境、气象条件、材料市场价格等动态数据，构建多维度数据库。利用数据挖掘算法分析数据关联规律，例如不同地质条件下地基处理方案的性价比、不同区域建筑抗震设计的最优参数，辅助设计人员判断方案可行性。同时，大数据可量化设计方案的综合效益，如对比不同设计方案的能耗指标、维护成本，为设计决策提供客观依据，减少主观经验依赖，提升设计方案的合理性与适配性。

2.2 智能化施工

(1) 施工现场的自动化与数字化管理。施工现场依托智能系统实现自动化与数字化管理。通过搭建施工管理平台,将人员考勤、材料进场、设备调度等数据数字化录入,实时更新施工进度计划,自动预警进度滞后风险。例如,利用数字化台账跟踪钢筋、混凝土等材料的用量与库存,结合施工进度自动生成采购需求,避免材料浪费或短缺。同时,自动化设备如混凝土自动搅拌站、钢筋数控加工设备,可按数字化图纸参数精准作业,减少人工操作误差,提升施工效率与质量稳定性。

(2) 无人机与机器人在施工中的应用。无人机与机器人有效解决土木工程施工中的高危、高强度作业难题。在高空作业中,幕墙安装机器人可替代人工完成高层建筑外墙构件拼接,配备的视觉定位系统确保安装精度,降低高空坠落风险;在隧道施工中,防爆机器人可深入狭窄、有毒区域进行初期支护作业,保障人员安全。危险区域监测方面,无人机搭载高清摄像头与红外传感器,定期巡检桥梁支座、大坝边坡等危险区域,快速捕捉结构裂缝、位移等隐患,相比人工巡检覆盖更广、效率更高,尤其适用于山区、跨江等复杂环境下的工程监测。

(3) 基于物联网技术的实时监控与调度。物联网技术构建施工现场“万物互联”的监控与调度体系。通过在施工机械、人员安全帽、建筑构件上安装传感器与RFID标签,实时采集设备运行参数(如塔吊起重量、挖掘机工作时长)、人员位置信息、构件运输状态等数据,上传至云端监控平台。管理人员可通过平台远程查看现场情况,当设备出现故障预警、人员进入危险区域时,系统自动发出警报并推送调度指令。例如,基于物联网的混凝土运输调度系统,实时追踪罐车位置与混凝土初凝时间,优化运输路线,确保混凝土及时浇筑,避免因延误影响施工质量^[3]。

2.3 智能化监测与维护

(1) 智能化监测系统在土木工程中的应用。智能化监测系统实现对土木工程结构的实时、精准监测。在桥梁、隧道、高层建筑等项目中,部署光纤传感器、无线应变传感器、倾角传感器等设备,持续采集结构位移、应力应变、振动频率、温度湿度等数据。系统通过5G或LoRa技术将数据传输至监测中心,结合阈值预警机制,当数据超出安全范围(如桥梁挠度过大、隧道衬砌开裂)时,立即触发声光报警与短信通知,便于管理人员及时采取加固措施,防范结构安全事故。此外,监测数据可长期存储,为结构性能评估提供连续数据支撑^[4]。

(2) 基于大数据分析的维护决策支持系统。基于大数据分析的维护决策支持系统,提升土木工程维护的主动性

与针对性。系统整合智能化监测系统采集的实时数据、结构设计参数、历史维护记录等数据,运用机器学习算法分析结构性能变化趋势,预测潜在故障(如预测桥梁支座老化时间、管道腐蚀程度)。同时,结合维护成本、交通影响等因素,生成最优维护方案,例如在道路维护中,通过分析路面破损数据与车流量分布,优先对高负荷路段进行养护,避免盲目维护造成资源浪费,延长工程使用寿命,降低全生命周期运维成本。

3 智能建造技术的优势与挑战

3.1 优势分析

(1) 提高效率与质量。智能建造技术通过流程优化与精准管控,显著提升土木工程全周期效率与质量。例如,BIM技术实现设计与施工数据无缝衔接,减少图纸解读误差,缩短设计周期;建筑机器人替代人工完成重复性作业,如墙体砌筑精度可达毫米级,且不受疲劳影响,施工效率提升30%以上,同时降低人为操作导致的质量缺陷,保障工程质量稳定性。(2) 降低成本与资源浪费。该技术能从多环节降低成本、减少资源浪费。大数据分析可优化材料采购与库存管理,避免材料积压或短缺;BIM模型的碰撞检测功能提前规避设计失误,减少后期返工成本。此外,自动化设备精准控制材料用量,如混凝土浇筑偏差率降低至5%以下,减少建材浪费,同时减少人工投入,降低人力成本,实现降本增效。(3) 增强安全性与可持续性。在安全性上,无人机巡检危险区域、机器人承担高空作业,减少人员暴露于风险环境的概率;物联网实时监控系统可及时预警设备故障、人员违规操作,降低安全事故发生率。可持续性方面,智能系统通过能耗模拟优化建筑设计,结合可再生能源利用方案,减少建筑全周期能耗;数字化管理实现建筑垃圾分类与回收利用,助力绿色建筑发展。

3.2 面临的挑战

(1) 技术标准化问题。当前智能建造技术缺乏统一标准,如BIM模型数据格式、物联网设备通信协议不兼容,导致不同企业、不同环节的数据难以互通,形成“信息孤岛”,阻碍技术协同应用,影响全产业链智能化推进。(2) 高昂的初期投资成本。智能建造需投入大量资金购置设备(如建筑机器人、高精度传感器)、搭建数字化平台,且系统维护与升级需持续投入。中小型建筑企业资金实力有限,难以承担高额初期成本,制约技术普及。(3) 人才短缺与技术培训需求。行业缺乏兼具土木工程专业知识与信息技术能力的复合型人才,现有从业人员对BIM、AI等技术掌握不足。同时,技术更新快,需定期开展培训,而部分企业培训体系不完善,

导致人才供给难以匹配技术应用需求。(4) 数据安全与隐私保护。智能建造涉及海量工程数据、企业商业信息及人员隐私数据,数据传输与存储过程中易面临黑客攻击、数据泄露风险。目前数据安全防护技术尚不完善,相关法律法规不健全,难以全面保障数据安全与隐私。

4 智能建造技术的未来发展趋势

4.1 集成化与智能化趋势

(1) 技术融合与系统集成。未来智能建造将打破技术壁垒,实现多技术深度融合与系统集成。BIM技术将与物联网、大数据、AI技术深度联动,构建“BIM+”一体化平台,实现设计、施工、运维数据全周期无缝流转;建筑机器人与无人机将接入统一调度系统,结合5G技术实现实时协同作业,例如无人机测绘数据可直接传输至机器人控制系统,指导其精准施工。同时,跨行业系统也将逐步集成,如建筑系统与城市智慧管理平台对接,实现建筑全生命周期与城市运营的协同。(2) 智能化水平的不断提升。随着AI算法迭代与算力增强,智能建造的自主决策能力将显著提升。AI模型可基于海量工程数据自主优化施工方案,如根据天气变化动态调整施工进度;建筑机器人将具备更复杂的环境适应能力,能自主应对施工中的突发状况,如自动规避障碍物、调整作业参数。此外,数字孪生技术将进一步成熟,通过构建与实体建筑实时同步的虚拟模型,实现全周期智能化监测、预警与调控。

4.2 绿色可持续方向

(1) 智能建造技术在绿色建筑中的应用。智能建造技术将成为绿色建筑发展的核心驱动力。通过能耗模拟与智能调控系统,可实时优化建筑采光、通风、空调运行,降低建筑运营能耗;利用BIM技术进行绿色设计,如优化建筑朝向、选用节能材料,从源头减少碳排放。同时,智能化施工可减少扬尘、噪音污染,如封闭式混凝土搅拌设备结合粉尘监测系统,实现污染实时管控,助力绿色建筑达标。(2) 促进环保建筑材料的使用。智能建造技术将推动环保材料的研发与普及。借助大数据分析,可精准评估环保材料的性能与成本,为材料选择提供科学依据;建筑机器人将适配环保材料的施工需求,

如研发专门的低碳混凝土浇筑机器人,保障施工质量。此外,智能化回收系统可提高建筑废弃物再生利用率,推动再生骨料等环保材料在工程中的规模化应用。

4.3 政策支持与行业协作

(1) 政府政策在推动智能建造技术普及中的作用。政府将通过政策引导加速智能建造落地。一方面,出台补贴政策,对采用智能建造技术的项目给予资金支持,降低企业应用成本;另一方面,完善标准体系,制定技术规范与评价指标,统一行业标准。同时,将智能建造纳入城市发展规划,推动示范项目建设,发挥标杆引领作用,带动全行业技术升级。(2) 行业协作与技术创新的重要性。行业协作是智能建造技术创新的关键。建筑企业、科技公司、高校需建立协同创新机制,企业提供工程实践场景,科技公司研发核心技术,高校培养专业人才,形成“产学研用”一体化体系。通过行业联盟搭建技术交流平台,共享研发成果与数据资源,攻克技术瓶颈,如联合研发通用数据接口,解决技术兼容问题,推动智能建造技术快速迭代与广泛应用。

结束语

综上所述,智能建造技术在土木工程中的应用展现了巨大的潜力和价值,不仅革新了传统的建造方式,更推动了整个行业的数字化转型与升级。尽管当前存在技术应用成熟度不一、人才培养滞后等问题,但随着技术的持续创新和政策的积极引导,这些问题将逐步得到解决。展望未来,智能建造技术将进一步深化与土木工程的融合,为构建更加安全、高效、绿色的建筑环境贡献智慧与力量,开启土木工程建造的新篇章。

参考文献

- [1]苑明.智能建造在土木工程施工中的应用分析[J].电脑高手,2021,(03):47-48.
- [2]龚俊.智能建造技术在土木工程领域的应用[J].江苏建材,2025,(13):122-124.
- [3]张竹慧.人工智能技术在土木工程领域的创新应用与发展路径[J].房地产世界,2025,(16):158-160.
- [4]张妍睿.智能建造技术在土木工程施工中的应用与前景展望[J].中国住宅设施,2025,(11):124-125.