

智能建造对建筑施工质量的影响分析

尹小龙

安徽建工水利开发投资集团有限公司 安徽 蚌埠 233000

摘要：本文探讨了智能建造技术如何变革建筑施工质量，通过整合物联网、BIM、人工智能等核心技术，智能建造在提升施工效率、强化质量控制、优化安全管理及推动绿色施工方面展现出显著优势。结合国内外典型案例，揭示了其对建筑行业的深远影响。

关键词：智能建造；施工质量；BIM技术；物联网；绿色建筑

引言

在建筑业转型升级的背景下，智能建造技术作为融合物联网、大数据、人工智能（AI）与建筑信息模型（BIM）等前沿技术的集成系统，正深刻重塑建筑质量管理体系。传统施工依赖人工经验与有限数据，易因人为失误、信息孤岛或动态环境导致质量波动。而智能建造通过全周期数据驱动、实时感知与智能决策，为质量管控提供系统性解决方案。

1 智能建造核心技术及其对质量的作用机制

1.1 技术架构解析

1.1.1 物联网（IoT）与实时数据采集

物联网技术在智能建造中的应用，实现了施工现场的“万物互联”。通过精心部署的各类传感器，如温湿度传感器、位移监测设备等，能够实时捕捉混凝土养护过程中的温度、湿度变化，以及结构在施工过程中的微小变形等关键参数。这些数据的即时反馈，为质量控制提供了科学依据。以深圳湾超级总部基地C塔项目为例，该项目集成15台焊接机器人，利用物联网技术构建“工程物联网”平台，对钢结构焊接过程进行实时监控。通过激光传感器和自动识别算法，系统可自动扫描钢筋连接方式、计算焊接路径，并将数据实时回传至管理平台。与传统焊接相比，机器人焊接效率提升30%，一次合格率提高至99.5%，同时减少20%的能源消耗。

1.1.2 BIM技术全生命周期管理

建筑信息模型（BIM）作为智能建造的核心技术之一，其全生命周期管理的优势尤为突出。在设计阶段，BIM模型不仅能够进行三维可视化展示，还支持碰撞检测与施工模拟。某超高层项目通过BIM技术优化了管线排布，有效减少了设计变更60%，避免了因空间冲突而导致的返工现象，大大提升了设计质量和施工效率。进入施工阶段，BIM技术与无人机航拍技术的结合，实现了对施工进度和质量的双重监控^[1]。无人机航拍提供的高清影像资

料，与BIM模型中的计划数据进行对比，可以迅速发现施工偏差，及时调整施工计划，确保工程按质按量完成。

1.1.3 AI驱动的预测与决策

人工智能（AI）在智能建造中的应用，为质量管理带来了前所未有的智能化水平。通过机器学习算法分析历史数据，可以预判潜在的质量风险，为决策提供支持。北京金隅混凝土公司与上海宝冶联合研发的低碳长寿自愈混凝土，在故宫北院区项目中首次应用。该技术通过掺加结晶活性材料，使混凝土在裂缝形成后发生化学反应生成晶体，实现裂缝自修复。经180余天研发、8次试拌验证，材料抗压强度恢复率达95%，防水性能提升40%，满足故宫北院区百年设计使用要求。此外，机器人施工系统的引入，如博智林混凝土修整机器人，通过视觉识别技术自动修正作业路径，将混凝土表面的平整度误差控制在 $\pm 1.5\text{mm}$ 内，实现了施工精度的大幅提升。这些AI驱动的技术和设备，不仅提高了施工效率，更在细节上保证了工程质量，为智能建造的未来发展奠定了坚实的基础。

1.2 质量管控模式转型

表1 质量管控模式对比表

传统模式	智能建造模式
人工巡检，滞后性检测	传感器网络实时反馈
纸质记录易丢失	区块链技术存证可追溯
分散决策	AI辅助多目标优化决策

2 智能建造对施工质量的具体影响

2.1 精度与质量稳定性提升

智能建造技术通过引入自动化施工装备和实施工艺参数动态优化策略，显著提升了施工的精度与质量稳定性，为建筑行业树立了新的标杆。自动化施工装备是智能建造技术的核心组成部分，它们以高精度、高效率、低误差的特点，为施工质量的提升奠定了坚实的基础。3D打印技术，作为自动化施工装备中的佼佼者，其在建

筑领域的应用日益广泛。通过精确的计算机控制,3D打印技术能够打印出精度高达0.1mm的建筑构件。砌砖机器人是另一项值得瞩目的自动化施工装备。与传统的人工砌砖相比,砌砖机器人具有更高的作业效率和更精确的灰缝控制能力。它们的作业效率是人工的3倍,且灰缝均匀度误差能够控制在0.5mm以内。这种高精度的作业方式,不仅提高了施工速度,还确保了墙体的整体稳定性和美观性,为建筑质量的提升做出了重要贡献^[2]。智能建造技术还通过工艺参数的动态优化,进一步提升了施工质量。传统的施工方式往往依赖于经验和实践,而智能建造则通过实时的数据监测和分析,对工艺参数进行动态调整,以确保施工过程的最佳状态。新加坡智慧园区能源系统就是一个典型的例子。该系统基于2000个传感器的实时数据,动态调节空调负荷,以适应不同的环境条件和人员需求。这种智能化的能源管理方式,不仅节约了能源,还减少了因材料热胀冷缩引发的质量缺陷,如裂缝、变形等,进一步提升了建筑的质量和稳定性。

2.2 安全与质量风险协同管控

智能建造技术通过智能监测系统和人员行为智能监管,实现了安全与质量风险的协同管控,为建筑行业的安全生产和质量保障提供了新的解决方案。智能监测系统能够实时监测施工过程中的各种参数,如位移、应力、温度等,及时发现并预警潜在的安全与质量风险。香港跨海隧道项目就整合了北斗定位与光纤传感技术,对隧道的管节位移进行实时监测。当管节位移达到0.3mm时,系统就会发出预警,有效避免了结构失稳的风险。厦门翔安大桥项目建立下穿基坑工程、BRT高架桥及现浇隧道结构实时风险可视化在线监测预警系统。系统实时监测基坑变形、支护受力等关键参数,当结构变形达到预警阈值时自动触发警报,有效避免结构失稳风险。此外,项目首创“雾监测”概念,利用AI智能云盒实现去中心化监测及可视化预警,提升安全监管效率。智能建造还注重对施工人员的行为监管,通过智能设备实时监测工人的疲劳度和违规操作,确保施工过程的安全性和质量可控性。杭州某项目就应用了智能安全帽,该安全帽搭载了近红外传感器和智能识别系统,能够实时监测工人的生理状态和作业行为。当工人出现疲劳或违规操作时,安全帽会发出警报,提醒工人及时调整状态或纠正行为。应用后,安全隐患整改效率提升了70%,有效降低了因人为因素导致的质量事故和安全事故^[3]。

2.3 绿色施工与质量可持续性

智能建造技术不仅提升了施工质量和安全性,还促进了绿色施工的发展,提高了施工质量的可持续性,为

建筑行业的可持续发展做出了重要贡献。智能建造注重材料的循环利用和环保性能,通过创新的技术和手段,实现材料的最大化利用和减少废弃物的产生。西安国富实业有限公司研发的防尘天幕系统,通过大跨度可伸缩式智能覆盖技术,实现了对基坑作业面的全方位遮蔽。在北京中央芭蕾舞团项目中,该系统使施工区域扬尘浓度降低83%,有效减少了空气污染。系统还通过智能联动实现精准控尘,结合气象数据自动调整覆盖策略,提高了施工效率。中建三局在成都市荣经新型建材厂项目中,采用“双循环”流水线生产预制混凝土构件。该流水线通过工艺规划设计,实现供需匹配,提高场地利用率20%。与传统流水线相比,产能提高20%,人工节约30%,显著减少了材料浪费和碳排放。海口江东新区企业港项目采用装配式钢结构集成模块化体系,从生产、运输、施工全过程降低碳排放。项目还通过光伏发电系统实现能源自给自足,每年节约用能250吨煤当量,减少二氧化碳排放700吨。这些措施有效提高了建筑的可持续性。中建三局在重庆中環万象城项目中,应用混凝土整平机器人、测量机器人等智能设备,提高施工效率35%,综合成本降低28%。项目还通过BIM全生命周期平台优化施工计划,减少返工成本超千万元,显著降低了碳排放。

3 典型案例分析:博智林建筑机器人集群应用——以佛山凤桐花园项目为例

3.1 项目概况与技术实施

3.1.1 项目背景:佛山市凤桐花园项目(总建筑面积13.76万 m^2 ,8栋17-32层高层建筑)全面应用博智林建筑机器人集群,涵盖混凝土施工、二次结构、装修等全流程。

3.1.2 技术架构:

一是BIM正向设计:从设计阶段预留机器人作业空间,优化结构设计参数(如荷载校核、降板优化)。二是多系统协同:集成智慧工地管控系统与自动计划排程系统,实现机器人施工路径动态规划与资源调配。

3.1.3 机器人应用细节:

一是混凝土施工机器人:智能布料机、整平机器人、抹光机器人组合作业,布料效率提升50%,平整度误差控制在 $\pm 1.5\text{mm}$ 内。二是修整类机器人:螺杆洞封堵机器人综合效率102个/h(人工的2倍),内墙面打磨机器人覆盖超94.5%面积,垂直度误差 $\leq 2\text{mm}$ 。

3.2 质量成效与经济效益

质量提升方面,墙面垂直度误差从传统施工的4-5mm降至 $\leq 2\text{mm}$,质量投诉下降85%。自动化作业减少人工依赖,混凝土超方量降低12%。成本节约方面,用工减少30%,综合成本降低15-20%。机器人施工效率是人工的

2-3倍，工期缩短20%。

3.3 附表

表2 机器人应用效果统计表

机器人类型	作业面积/数量	工效对比（机器人vs人工）	质量提升效果
混凝土施工机器人	63,955㎡	2倍效率	减少人工依赖，提高均匀度
螺杆洞封堵机器人	101,040个	2倍效率	封堵质量稳定，减少渗漏风险
墙面打磨机器人	110,971㎡	2倍效率	垂直度误差 ≤ 2mm
地坪漆涂敷机器人	-	3倍效率，节省28%涂料	减少VOC危害，提升环保性

4 挑战与展望

4.1 现存问题

智能建造技术的推广与应用并非一帆风顺，其面临的多方面问题亟待解决。智能建造技术的初期投入相较于传统建造方式增加了20-30%。这一显著的成本增加对于资金实力雄厚的大型企业或许尚可承受，但对于众多中小企业而言，无疑是沉重的负担。中小企业在资金有限的情况下，很难一下子投入大量资金用于智能化设备的购置和技术的研发，因此它们在智能建造的浪潮中显得力不从心，甚至可能被市场边缘化。智能建造领域目前缺乏统一的标准和规范，尤其是智能装备的接口规范不统一，使得不同设备之间的数据互通变得困难。这种数据孤岛现象不仅影响了施工过程中的信息流畅性，还可能导致设备之间的不兼容，进而影响整个智能建造系统的稳定性和可靠性^[4]。因此，制定统一的标准和规范，促进数据互通和共享，是智能建造领域亟待解决的问题。智能建造技术的快速发展对人才的需求提出了更高的要求。然而，当前市场上复合型技能人才缺口巨大，据住建部数据显示，这一缺口达到了50万。智能建造需要既懂建筑又懂信息技术、既懂管理又懂实践的复合型人才，而这类人才的培养和引进需要时间和投入。人才瓶颈的存在严重制约了智能建造技术的推广和应用。

4.2 未来趋势

尽管智能建造面临诸多挑战，但其未来的发展前景依然广阔。随着5G技术的普及和边缘计算的发展，智能建造将迎来新的技术融合机遇。5G+边缘计算的技术组合将为智能建造提供实时、高效的数据处理和决策支持。中国“十四五”规划已明确提出了智能建造的试点目标，并且如今已至2025年，这一目标的实现正逐步显现

成效。智能建造项目的质量合格率正朝着超过98%的目标迈进。这一政策的出台为智能建造指明了清晰的发展方向，并为相关企业提供了坚实的政策扶持和激励，极大地促进了智能建造技术的广泛应用和深入发展。展望未来，智能建造产业生态将进一步完善。BIM（建筑信息模型）+GIS（地理信息系统）+IoT（物联网）平台的集成应用已成为现实，正推动着建筑、城市、环境之间的协同质量管控。通过这一集成平台，建筑信息得以实时共享和动态更新，施工过程的透明度和可追溯性得到了显著提升。同时，大数据和人工智能技术也被广泛应用于施工质量的智能分析和预测中，潜在的质量问题能够及时发现并处理，确保了建筑质量的持续提升。

结语

智能建造通过技术赋能，使施工质量管控从“经验主导”迈向“数据驱动”，显著提升工程精度、安全性和可持续性。然而，其大规模推广仍需突破成本、标准与人才制约。随着技术迭代与政策引导，智能建造将成为实现建筑业高质量发展的核心引擎，推动质量管理模式向预防型、精细化方向转型。

参考文献

[1]倪建泽,郭毅宏,张皓,等.智能建造技术在项目质量管理中的应用[J].建筑工人,2025,46(03):4-7.
[2]黄海滨,刘锋,王石留,等.智能建造在工程高质量发展实践中的探索与应用[J].建筑结构,2024,54(24):83-86.
[3]田若楠.智能建造引领建筑业高质量发展[N].陕西日报,2024-05-09(006).
[4]本刊编辑部.以智能建造为支撑推动建筑产业高质量发展[J].中国建设信息化,2022,(02):46-50.