

智能建造技术在高层建筑施工中的应用研究

李桂莲

江西森磊建筑工程有限公司 江西上饶 334000

【摘要】智能建造技术作为建筑业转型升级的重要手段，在高层建筑施工中的应用日益广泛。某50层高层建筑项目中，BIM技术构建三维信息模型，实现管线综合和碰撞检查，指导施工深化设计，运用4D模拟优化施工工序，建立多专业协同平台。智能监测系统布设应变传感器256个、位移传感器168个、加速度传感器85个，对主体结构、基坑支护、施工环境进行实时监测。自动化施工设备采用智能爬模系统、机器人施工设备和智能物料输送系统，塔吊群组调度系统实现8台塔吊协同作业。物联网管理平台构建三层架构，感知层布设458个传感器节点，网络层部署16个5G微基站，应用层开发综合管理系统，实现施工过程的智能化管控。该技术体系为高层建筑施工提供了数字化和智能化的技术支持。

【关键词】高层建筑；智能建造；BIM技术；自动化施工；物联网

随着城市化进程的加快，高层建筑施工的复杂性和系统性不断提升，传统施工方式难以满足高质量、高效率、高安全的建设需求。在垂直运输压力大、施工环境复杂、专业配合密集等因素影响下，施工管理面临巨大挑战。智能建造技术融合了物联网、人工智能、大数据等前沿技术，为高层建筑施工提供了新的解决方案。该技术通过数字化手段实现施工过程的精细化管理，利用自动化设备提高施工效率，运用智能监测系统保障施工安全，对提升高层建筑施工水平具有重要意义。

1 工程概况

1.1 项目基本情况

某高层建筑项目位于城市核心区，总建筑面积158,000平方米，建筑高度220米，地上50层，地下4层。建筑主体为钢筋混凝土框架-核心筒结构，外立面采用全玻璃单元式幕墙系统。地下室设4层，基坑开挖深度28米，采用地下连续墙加内支撑支护体系，地连墙厚度800mm，内支撑设置5道，最大跨度28米。主体结构采用智能爬模系统施工，标准层层高3.6米；核心筒结构墙厚600mm，采用C60高性能混凝土。幕墙系统总面积达65,000平方米，共计12,680块单元板块。机电设备系统包含智能化楼宇控制系统，制冷量8,500KW，供配电容量12,000KVA，电梯系统配置16台高速电梯，其中8台为双层轿厢电梯。空调系统采用变频多联机组，冷却塔设置于裙房屋面。施工现场总面积8,600平方米，设置8台塔吊、12部施工电梯。项目总投资12.8亿

元，计划工期36个月。

1.2 施工难点分析

深基坑支护施工面临严峻挑战，地下水位埋深15米，基坑周边最近距离仅18米为既有建筑。土层结构复杂，包含3层承压含水层，基坑开挖深度达28米，需进行分层支护和降水处理^[3]。支护结构设计难度大，地连墙成槽垂直度偏差控制要求严格，内支撑轴力监测点需布设85个。主体结构施工垂直运输压力大，混凝土泵送高度达220米，泵送压力需控制在18MPa以内，高强混凝土浇筑温差控制要求严格，内外温差不得超过25℃，养护期间需全天候温度监测。标准层施工周期要求4.5天，单日最大混凝土浇筑量达580立方米，需合理安排水电预留预埋。施工过程中材料及设备垂直运输组织复杂，12部施工电梯需进行智能化调度。超高层施工受风力影响显著，200米以上高度最大风压达到0.85kN/m²，对施工设备稳定性构成挑战，需设置自动气象监测站。塔吊基础承载力要求高，最大工作幅度需达到68米，基础沉降变形监测点布设28个。外幕墙安装精度要求高，单元式幕墙每块误差需控制在±3mm以内，整体防雷要求严格，每块幕墙板均需进行接地电阻测试。施工场地狭小，材料堆放和施工设备布置困难，需采用立体化临时设施，设置智能化仓储管理系统。

2 智能建造技术应用

2.1 BIM技术应用

通过Revit建立三维信息模型，模型精度达到LOD350标

准,完成建筑、结构、机电等专业协同设计。模型中预埋件、管线接口等构件深度达到预制加工级别,实现工厂化预制和现场安装的精确对接。施工前运用NavisWorks进行模型整合与碰撞检查,对钢筋密集区、管线交叉处等重点部位进行深化设计,每周进行碰撞检查并生成优化方案。基于BIM模型分解工序,制作施工模拟动画,形成数字化交底资料库。钢筋工程采用BIM放样定位技术,通过全站仪将模型坐标投射到施工现场,实现钢筋定位和绑扎自动放样。基坑开挖阶段,利用BIM模型指导地下连续墙施工,结合测量系统控制成槽垂直度,实时纠偏。主体结构施工采用BIM模型放样,机械设备定位采用全站仪自动放线,保证施工精度。机电安装环节,基于BIM模型进行管线综合优化,采用激光扫描仪进行实测放线,建立管线安装偏差数据库。深化设计过程中,运用参数化建模技术优化标准层机电管线布置,通过Dynamo实现管线自动布置,生成工艺加工图纸。在施工现场设置BIM应用工作站,通过移动终端实时查看模型信息,指导现场施工。

2.2 智能监测系统实施

在结构关键部位布设应变传感器256个、位移传感器168个、加速度传感器85个,实时监测结构变形数据。传感器采用无线通信方式,组成分布式监测网络。基坑支护采用光纤光栅传感技术,每榀支撑布设4个应力监测点,实时采集支护结构内力。主体结构垂直度监测采用激光测距仪,每层设置8个监测点,对框架柱和核心筒进行实时跟踪。采用三维激光扫描技术建立结构实测模型,与设计模型进行实时比对。智能测量系统配置机器人全站仪,对15个沉降观测点进行自动巡测,数据采集频率1000Hz。环境监测系统在施工现场周边设置12个监测点,布置噪声检测仪、PM2.5检测仪和风速仪,实现环境参数全天候监控。在200米高空设置气象监测站,实时采集风速、温度、湿度等参数,为高空作业提供预警信息。塔吊监测系统对8台塔吊进行三维空间定位,记录起重量、幅度、回转角度等运行参数,建立设备运行档案。智能视频监控系统布设32个高清摄像头,覆盖施工重点区域,实现远程巡检。

2.3 自动化施工设备应用

智能爬模系统设置32个提升点,采用液压自动提升技术,提升速度120mm/min,系统总重280吨,抗风等级12

级。系统配备智能测斜仪和激光导向装置,每层设置16个激光测距仪,实时监控爬升姿态。液压系统采用主从控制模式,保证各提升点同步性误差小于2mm。钢筋加工中心采用数控弯箍机,配置自动下料和成型系统,数控加工精度达到±1mm,每个构件植入RFID芯片实现全流程追溯。混凝土智能布料机臂展最大33米,布料机采用GPS定位系统,结合BIM模型定位,实现精准布料^[2]。泵送系统配备智能压力补偿装置,实时调节泵送参数。智能物料提升系统对12部施工电梯实施联网调度,采用RFID技术识别运输材料,建立智能仓储配送系统。

2.4 物联网管理平台构建

构建三层架构的智能化平台:感知层布设RFID标签、二维码、温湿度传感器等标识设备458个,对施工现场人员、机械设备、建筑材料实施实时定位管理。基于UWB技术建立室内定位系统,定位精度达到0.5米,布设86个定位基站。施工人员配备智能安全帽,内置定位芯片和生理参数监测器,实时传输心率、体温等数据。网络层采用5G专网技术,部署微基站16个,数据传输速率1Gbps,网络延迟低于10ms。设置边缘计算节点,对视频流等大数据进行预处理。搭建双机热备系统,确保数据传输可靠性。应用层开发集成化管理系统,包含进度控制、质量管理、安全监管、设备管理等15个功能模块。物料管理系统通过RFID技术跟踪材料流向,智能仓储系统可动态优化库存,实现全程可视化。设备管理模块记录设备运行状态,建立设备健康档案,制定预防性维护计划。现场视频监控系统采用AI识别技术,对危险行为进行实时分析。

3 应用效果评估分析

3.1 施工效率分析

智能建造技术提升施工过程精细化管理水平。BIM技术指导施工放样定位,机器人全站仪定位放线,较传统人工放线效率提升65%。图纸会审时间从15天缩短至6天,技术交底效率提高68%。智能物料配送系统优化运输路径,实现材料及设备智能调度,物料周转时间减少52%。自动化施工设备提高施工效率,智能爬模系统实现自动提升,较人工提升效率提高3倍。钢筋加工实现数控化,每天可完成3000个构件加工。标准层施工采用装配式建造工艺,结合BIM技术进行模拟优化,如表1所示,标准层施工周期从5.5天压

缩至4.2天。垂直运输采用智能调度系统,12部施工电梯联网运行,优化人员、物料运输流程,平均等待时间降低42%。混凝土浇筑采用智能布料系统,泵送系统配备压力补偿装置,浇筑效率提升40%,标准层浇筑时间由12小时缩短至8小时。管线安装采用工厂化预制,现场采用定位放线机器人,安装效率提升65%。

表1 智能建造技术施工效率提升指标

工序内容	传统工期(天)	优化工期(天)	提升效果(%)
标准层施工	5.5	4.2	23.6
钢筋绑扎	2.5	1.8	28.0
模板安装	1.8	1.2	33.3
混凝土浇筑	1.2	0.8	33.3
机电安装	3.5	2.6	25.7

3.2 质量控制效果

智能建造技术实现施工质量精确控制。BIM技术进行碰撞检查和深化设计,建立三维可视化模型,识别管线碰撞点385处,形成优化方案52项。结构测量采用全站仪放样,定位精度控制在 $\pm 2\text{mm}$ 范围内,楼层标高误差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 。智能测量系统采用激光扫描技术,建立结构实测模型并实时比对,每层设置8个监测点进行变形监测。钢筋加工采用数控设备,加工精度达到 $\pm 1\text{mm}$,每根钢筋植入RFID芯片追溯加工信息,钢筋保护层厚度误差控制在 5mm 以内。混凝土浇筑采用智能布料系统,温度监测系统实时控制内外温差,养护期间温差控制在 $\pm 3^\circ\text{C}$ 范围内。机电安装基于BIM模型综合优化,激光扫描仪进行实测放线,管线定位偏差控制在 10mm 以内,设备基础水平度误差不超过 0.1° 。质量管理平台记录施工过程数据,建立质量追溯数据库,实现全过程质量监控。

3.3 安全管理成效

智能安全管理系统构建全方位监控体系^[1]。塔吊群组系统实施防碰撞监控,8台塔吊设置安全距离预警系统,吊钩可视范围 360° 全覆盖。高空作业区域采用红外线感应和视频监控,32个高清摄像头对临边防护进行实时监测。环境监测系统在施工现场周边布设12个监测点,噪声控制在70分贝以下,粉尘浓度低于 $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 。气象监测站实时采集200米高空风速数据,大于 $10\text{m}/\text{s}$ 时自动发出预警信息。施工人员配备智能安全帽,定位精度 0.5m ,监测心率、体

温等生理参数。12部施工升降机和8台塔吊安装物联网传感器,24小时监控设备运行状态,建立设备运行档案。视频分析系统采用AI技术识别违规行为,实时分析86个危险源点,对违规行为进行分级预警。特种设备安全监测系统对起重机械实施全过程跟踪,监控吊装轨迹,自动规划最优路径。

3.4 经济效益分析

智能建造技术投入形成集约化管理模式。BIM技术优化设计方案,减少施工变更,优化方案节约工程造价485万元。劳动力配置优化,从850人/天减至580人/天,自动化设备替代部分人工作业,节省人工费用526万元。材料管理系统建立智能仓储体系,库存周转率提高28%,优化采购计划降低采购成本156万元。智能建造技术总投资1560万元,设备远程监控延长使用寿命,年节约维修费用125万元。质量控制体系降低返工成本298万元,智能物流系统提高周转效率,材料损耗率降低15.3%。能源管理系统实时监测用电数据,年节约运维费用85万元。12部施工电梯联网调度,提高资金周转率25%,投资回收期1.2年。项目总投资回报率提升16.5%,形成系统化成本管控机制。

4 结语

智能建造技术在高层建筑施工中的应用实践表明,该技术体系能有效解决建筑施工中的效率、质量和安全问题。通过BIM技术实现施工过程可视化管理,优化施工方案,减少施工冲突。智能监测系统建立多维度监测网络,实现施工过程实时监控。自动化设备应用提升施工精度和效率,显著降低人工成本和安全风险。物联网平台实现数据集成与分析,为施工管理决策提供可靠依据。研究结果显示,智能建造技术应用使施工整体效能显著提升,未来随着技术进步,将在高层建筑施工中发挥更大作用。

参考文献:

- [1] 赵成恭. 装配式建筑施工智能建造技术与应用研究[J]. 中国建设信息化, 2023, (22): 66-69.
- [2] 盛学东. 智能建筑BIM技术在高层住宅施工中的应用探寻[J]. 居舍, 2023(06): 166-169.
- [3] 赵海英, 薛俭, 王海鹏. 智能建筑BIM技术在高层住宅施工中的应用[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2019, 41(02): 159-162.