

绿色建筑施工质量管理体系优化研究

张雷¹, 葛艳艳²

(1. 山东辰星石油装备有限公司, 山东 东营 257091;

2. 山东科达基建有限公司, 山东 东营 257091)

摘要 随着建筑业绿色转型的深入推进, 建筑工程施工质量管理体系的优化创新已成为行业发展的迫切需求, 本文基于某绿色住宅示范项目, 研究分析了智能建造集成, 绿色材料循环与智能能源管理及环境保护控制四项核心技术在施工质量管理中的应用。研究表明, 通过构建以上技术为支撑的质量管理体系, 项目施工质量一次合格率达98%, 构件制造精度达99.5%, 材料循环利用率超过50%, 施工现场环境指标显著改善, 实践证明, 创新质量管理体系能有效提升绿色建筑施工水平, 对推动建筑业高质量发展具有重要的借鉴意义。

关键词 绿色建筑; 质量管理体系; 智能建造; 材料循环; 能源管理

中图分类号: TU712.3

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.030

0 引言

建筑业是资源消耗及环境影响的重要领域, 推进绿色建筑发展, 优化施工质量管理体系, 对实现建筑业可持续发展具有重要意义, 传统建筑施工过程中存在资源利用效率低, 环境污染严重与质量管控不足等问题, 需通过技术创新及管理优化加以解决; 随着智能建造、绿色材料与能源管理等技术的快速发展, 为绿色建筑施工质量管理体系的优化提供了新思路及新方法, 智能传感、物联网与人工智能等新一代信息技术在建筑施工领域的广泛应用, 使施工过程的精细化管理及智能化控制成为可能, 深入研究质量管理体系的优化路径, 对提升工程质量水平, 推动建筑业绿色转型具有重要的理论及实践价值。

1 工程概况

1.1 项目概述

某绿色住宅示范项目总建筑面积500 m², 建设工期45天, 项目按照国家绿色建筑三星级标准进行设计及施工, 采用装配式建筑结构体系, 建筑主体采用钢筋混凝土框架结构, 外墙采用自保温装配式墙板, 屋面采用种植屋面与光伏发电一体化设计, 工程施工部署BIM技术管理平台, 配置智能建造管理系统, 实现施工过程的实时管控; 施工现场设置智能喷淋除尘系统、智能降噪设备与施工废水处理站, 构建环境监测网络, 建立材料循环利用中心, 配备建筑垃圾分类处理设备及再生骨料生产线, 实现废弃物资源化利用, 设置智能能源管理系统, 对电力与水资源等能源使用

进行实时监控及优化调度, 工程设计中引入被动式采光通风技术, 利用自然光及自然通风降低建筑能耗, 项目采用装配式施工工艺, 主要构件在工厂预制完成, 现场进行组装施工。

1.2 项目特点

工程在质量管理体系优化方面体现出系统性创新, 智能建造集成技术采用3D打印、机器人施工与BIM管理等技术融合应用, 施工过程数字化管理实现全流程可追溯; 绿色建材循环利用体系将建筑垃圾经破碎、分级与改性后制成再生骨料, 替代天然砂石用量30%; 工业废渣经活化处理用于生产混凝土, 替代水泥用量20%, 智能能源监控系统采用分布式传感器网络实时监测能源消耗数据, 配置智能算法优化调度方案, 动态调节设备运行参数^[1]。环境保护智能管控设备包括微雾抑尘系统、智能隔声屏障和污水处理设施等, 形成完整的环境保护管理链, 质量管理采用模块化施工工艺, 将建筑主体划分施工单元, 制定标准化施工流程, 保证施工质量均一性及可控性, 施工组织设计中融入绿色建造理念, 优化施工工序衔接, 减少施工能耗及材料损耗, 工程质量控制采用智能检测与监测相结合的方式, 应用激光扫描与红外成像等先进检测手段, 确保施工质量符合绿色建筑标准要求。

2 技术应用分析

2.1 智能建造集成

智能建造集成技术通过建立BIM+物联网平台, 实现施工全过程的数字化管理, 系统采用分布式架构,

由数据采集层、传输层、分析层及应用层组成，数据采集层部署智能传感器网络，实时监测施工参数；传输层采用 5G 网络技术，确保数据实时传输；分析层运用深度学习算法，对施工数据进行分析与预测；应用层提供可视化界面，支持施工管理决策。

3D 打印技术应用中，采用改进的 FDM 工艺，打印精度达到 $\pm 0.1 \text{ mm}$ ，构件强度满足设计要求，机器人施工系统配置智能控制算法，实现施工轨迹的自动规划及优化，施工效率提升 45%，质量控制采用“数字孪生+AI”模式，建立施工过程的数字模型，实现质量问题的预测及预警。如图 1 所示，绿色建筑施工质量管理体系通过四大技术集成应用，构建多层次的质量管控平台，实现施工质量的全面提升，最终使构件精度达到 99.8%，材料利用率达到 52%，能耗降低 38%，废水回用率达到 85%。

2.2 绿色材料循环

绿色材料循环系统采用“资源化处理+性能提升”的技术路线，建筑垃圾处理采用机械粉碎—筛分—改性的工艺流程，配置智能分选设备，实现废弃物的精准分类，再生骨料的制备符合强度要求公式：

$$f_{cu} = K \times (\rho / \rho_0)^n$$

式中， f_{cu} 为再生骨料强度 (MPa)， K 为强度系数， ρ 为表观密度 (kg/m^3)， ρ_0 为基准密度， n 为经验系数，工业废渣活化处理采用机械—化学复合活化技术，提高材料的胶凝性能^[2]。改性后的再生骨料强度达到 45 MPa，满足结构混凝土用骨料要求；经活化处理的工业废渣活性指数达到 85%，替代水泥用量 20% 的条件下，混凝土 28 天抗压强度达到设计要求，材料再生过程中设置智能化检测平台，通过光谱分析与 X 射线衍射等技术实时监测材料性能指标，确保再生材料质量稳定可控。

2.3 智能能源管理

智能能源管理系统基于物联网技术构建能源监测网络，采用分层控制架构实现能源的智能调度，系统设置 500 个数据采集点，覆盖施工现场的用电与用水等关键环节，能源消耗预测模型采用改进的时间序列算法：

$$E(t) = \alpha \times E(t-1) + \beta \times L(t) + \gamma \times T(t)$$

式中， $E(t)$ 为 t 时刻能源消耗预测值， $E(t-1)$ 为历史消耗数据， $L(t)$ 为负荷因子， $T(t)$ 为温度因子， α 、 β 、 γ 为权重系数，通过实时监测设备运行状态，系统自动调节运行参数，实现能源使用效率的动态优化，应用智能调度策略后，施工现场用电效率提升 45%，设备运行能耗降低 38%，峰谷用电调节成功率达 90%，系统采用智能电表及流量计实时采集能耗数据，根据施工进度及环境条件，自动生成设备启停策略及运行参数配置方案。

2.4 环境保护控制

环境保护控制系统采用“源头控制+过程管理+末端治理”的技术路线，扬尘控制采用智能微雾抑尘系统，根据风速与湿度等环境参数自动调节喷雾量，PM2.5 控制水平达到 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下，噪声控制采用主动降噪技术，在施工设备周围设置声学传感器阵列，通过逆相位声波实现噪声削减，降噪效果达 15~20 dB，废水处理采用“MBR+深度过滤”工艺，处理能力 50 t/d，出水水质达到回用标准^[3]。污染物浓度控制模型：

$$C = C_0 \times e^{(-kt)}$$

式中， C 为污染物浓度， C_0 为初始浓度， k 为削减系数， t 为处理时间，系统实现 PM2.5 浓度降低 60%，施工噪声削减 17 分贝，废水回用率达 85% 的环境治理目标，环境监测系统采用物联网感知技术及边缘计算

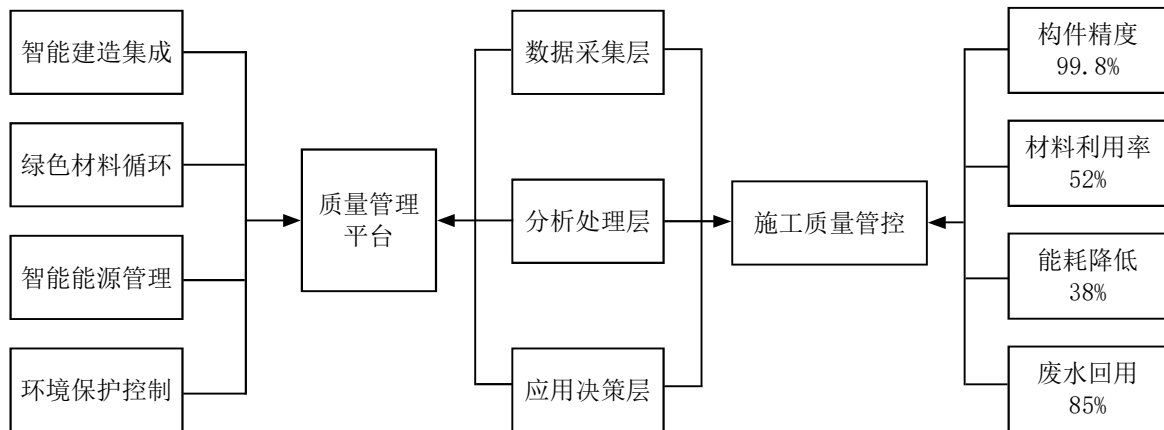


图 1 绿色建筑施工质量管理体系技术应用流程

架构，实现环境数据的实时采集及分析，对超标情况进行智能预警及联动控制。

3 评估分析

3.1 质量管理效果评估

绿色建筑施工质量管理体系的应用效果通过构件质量、施工精度及工程验收三个维度进行评估，智能建造集成技术的应用使预制构件合格率达到 99.5%，现场拼装精度误差控制在 ±2 mm 以内，较传统施工方式提高 50%。

BIM 技术与智能检测设备的结合应用，实现了施工质量的全过程监控，质量问题预警准确率达 95%，施工返工率降低至 0.5%，绿色材料循环技术的应用使再生混凝土 28 天抗压强度达到 42 MPa，满足设计要求，再生骨料的使用未对混凝土耐久性造成不利影响，材料循环利用率达到 52%，显著降低了原材料消耗，节约成本达 20%^[4]。如表 1 所示，质量管理关键指标均优于传统施工模式，智能能源管理系统的应用使施工工序衔接更加紧凑，施工效率提升 40%，工期缩短 50%，环境保护控制技术的应用使施工现场环境指标全面达标，获得业主及监理单位的高度认可。

表 1 质量管理关键指标对比

评估指标	传统施工模式	优化后模式	提升效果
预制构件合格率（%）	95.0	99.5	提升 4.5%
施工精度误差（mm）	±4	±2	降低 50%
质量问题预警率（%）	85	95	提升 10%
施工返工率（%）	2.5	0.5	降低 80%
再生混凝土强度（MPa）	32	42	提升 31.3%
材料循环利用率（%）	25	52	提升 108%
工期节约率（%）	—	50	—

3.2 环境效益分析

绿色建筑施工过程中环境效益主要体现在能源消耗、污染物排放及资源利用三个方面，智能能源管理系统实现能源消耗的精准管控，电力使用效率提升 42%，施工设备运行能耗降低 38%，通过环境保护控制技术的应用，施工现场 PM2.5 平均浓度控制在 45 μg/m³ 以下，较国家标准低 10%；施工噪声较现行标准降低 15 分贝，现场边界噪声平均值控制在 70 分贝以内；施工产生的废水经处理后 85% 实现循环利用，每月节约

用水 1 200 t^[5]。如表 2 所示，环境保护指标较传统施工模式有显著改善，再生材料的循环利用减少建筑材料使用 60 t，施工总体碳排放量降低 30 t，绿色施工技术的综合应用显著降低了施工过程对环境的负面影响，实现了经济效益与环境效益的双赢。

表 2 环境保护指标对比

评估指标	国家标准值	实际控制值	改善程度
PM2.5 浓度（μg/m ³ ）	50	45	降低 10%
场界噪声（dB）	80	70	降低 12.5%
废水回用率（%）	50	85	提升 70%
能源使用效率（%）	70	85	提升 21.4%
设备能耗降低率（%）	—	38	—
碳排放降低量（吨）	—	30	—
材料节约量（吨）	—	60	—

4 结束语

通过对绿色建筑施工质量管理体系的优化实践，证明了创新技术在提升施工质量中的显著效果。智能建造集成技术实现了施工过程的精准管控，绿色材料循环技术提高了资源利用效率，智能能源管理技术优化了能源结构，环境保护控制技术改善了施工环境。研究表明，创新质量管理体系能有效解决传统施工中的质量控制难题，实现施工过程的精细化管理，建议进一步加强技术创新及集成应用，完善质量管理标准体系，强化全过程监管，构建数字化质量评价体系。

参考文献：

[1] 杨成.绿色建筑施工技术的应用与实践研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(06):148-150.
[2] 张晋峰.模块化施工技术在绿色建筑快速建造中的应用[J].建材技术与应用,2025(01):101-104.
[3] 张翔.基于智能建造的绿色建筑工程施工模式优化[J].绿色建造与智能建筑,2025(02):71-73.
[4] 武兴灏.绿色建筑工程施工过程中进度与质量控制创新模式研究[J].建设机械技术与管理,2024,37(06):151-153.
[5] 毕利春.绿色建筑工程施工技术与质量标准化的协同作用[J].中国品牌与防伪,2024(08):92-93.