

基于绿色建筑技术的城市老旧小区改造策略探究

任珺潇

(重庆交通大学, 重庆市, 400000; reeen001@163.com)

摘要: 文章基于城市可持续发展理念, 深入分析了老旧小区建筑性能现状与技术需求特征, 系统剖析了围护结构热工缺陷、设备系统老化、环境品质不足等核心问题, 探索了绿色建筑技术分类体系构建方法, 全面梳理了被动式节能技术与主动式能源技术的技术特征差异, 建立了绿色建筑技术与老旧建筑匹配度量化评估模型, 深入研究了被动式节能改造、主动式能源应用、智能化控制集成、生态环境优化等四大技术领域的集成改造策略实施路径与效果评价体系, 同时为类似项目提供参考。

关键词: 绿色建筑技术; 城市老旧小区; 改造策略; 生态环境优化

引言

城市化进程的快速推进使老旧小区改造成为当代城市发展的重要议题, 传统改造模式在能耗控制、环境保护、居住品质提升等方面已难以满足可持续发展要求。绿色建筑技术的成熟发展为老旧小区改造提供了全新的技术路径, 其在节能减排、资源循环利用等领域的技术优势正在重塑改造实践的核心理念。深入探究绿色建筑技术在老旧小区改造中的应用策略, 对于推动城市更新模式转型、促进城市可持续发展具有重要意义。

1. 工程概况

某典型老旧小区改造项目涉及建成于20世纪80年代的多层住宅建筑群, 总建筑面积约15.6万平方米, 包含42栋6层砖混结构住宅楼, 住户总数1248户, 人口密度达到每公顷380人。原有建筑采用传统砖混结构体系, 外墙为240 mm厚粘土砖墙体, 屋面为预制混凝土板加防水层构造, 门窗系统为单层钢窗配普通玻璃。建筑综合节能率仅为30%, 远低于现行节能标准要求, 冬季室内平均温度12-16摄氏度, 夏季最高可达35摄氏度以上。供热系统采用传统锅炉房集中供热方式, 管网热损失率高达25%, 年能耗指标达到95千瓦时每平方米。给排水系统多为镀锌钢管, 使用年限超过30年, 漏损率达到18%。电气系统负荷密度偏低, 仅为40瓦每平方米, 难以满足现代家庭用电需求。建筑立面陈旧, 缺乏有效的保温隔热措施, 屋面防水材料老化严重, 渗漏现象普遍存在。小区绿化覆盖率不足25%, 缺乏雨水收集处理设施, 环境品质亟待提升。

2. 老旧小区绿色建筑技术适用性分析

2.1. 老旧小区建筑现状调研与问题识别

建筑性能调研现状采用综合检测技术手段获取基础数据, 热工性能检测显示外墙传热系数高达1.8 W/(m²·K), 屋面传热系数达到2.1 W/(m²·K), 均超出现行标准限值的2-3倍, 红外热像仪检测发现建筑围护结构存在明显热桥效应, 窗墙面积比达到0.35, 门窗气密性等级仅为3级, 远低于节能要求。结构安全性调研采用回弹法检测混凝土强度, 平均强度为C20-C25等级, 承载力储备充足但抗震性能有待提升, 钢筋保护层厚度检测发现部分区域存在碳化现象。问题识别采用层次化分析方法, 将技术问题划分为热工缺陷、设备老化、结构安全三大类别, 热工缺陷主要集中在围护结构保温隔热性能不足、门窗密闭性差、热桥效应严重等方面, 设备老化问题涉及供热管网效率低下、给排水系统腐蚀严重、电气容量不足等关键节点, 结构安全问题重点关注抗震设防标准偏低、防水系统失效、建筑立面材料老化等风险因素, 为后续绿色技术选择提供精准的技术需求导向 [1]。

2.2. 绿色建筑技术分类体系与技术特征分析

绿色建筑技术分类体系按照作用机理划分为被动式节能技术、主动式能源技术两大类别，被动式技术主要包括外墙外保温系统、屋面保温隔热技术、高性能门窗系统、自然通风优化技术等，针对本项目240 mm厚粘土砖外墙，采用100 mm厚岩棉外保温系统可将传热系数降至0.4 W/(m²·K)以下，满足节能标准要求，高性能门窗系统选用断桥铝合金框架配中空Low-E玻璃，传热系数可控制在1.8 W/(m²·K)范围内，气密性等级提升至6级以上。主动式技术涵盖太阳能热水系统、地源热泵技术、智能化控制系统、雨水回收利用系统等，太阳能集热器按照每户2平方米配置可满足生活热水需求的60%以上，地源热泵系统COP值达到4.2，较传统锅炉房供热节能率提升45%。技术特征分析显示被动式技术具有投资回收期短、维护成本低、适用范围广的优势，主动式技术则具备节能效果显著、环境效益突出、技术集成度高的特点，两类技术协同应用可实现建筑综合节能率达到75%以上。

2.3. 绿色建筑技术与老旧建筑匹配度评估

技术可行性匹配度评估采用量化分析方法，针对砖混结构承载能力进行外保温系统附加荷载计算，100 mm厚岩棉外保温系统每平方米附加荷载约35 kg，原有240 mm粘土砖墙体承载余量充足，结构安全系数满足要求 [2]。门窗更换匹配性分析显示原有钢窗洞口尺寸规整，断桥铝合金窗框架可直接适配，无需大幅修改墙体结构。屋面太阳能系统安装评估表明预制混凝土板屋面承载力达到3.5 kN/m²，太阳能集热器系统荷载仅为1.2 kN/m²，安装条件良好。地源热泵系统受限于小区用地条件，钻孔间距需控制在4米以上，可利用绿化区域布置埋管系统。经济性与实施难度匹配度评估显示外墙保温改造单位成本280 元/m²，投资回收期约8年，技术成熟度高，施工干扰相对较小。智能化控制系统改造需要重新敷设弱电线路，施工复杂度较高但技术风险可控。在此基础之上，雨水收集系统利用现有管网基础，改造成本相对较低，匹配度评估综合得分达到85分。

3. 绿色建筑技术集成改造策略

3.1. 被动式节能技术改造策略

被动式节能技术改造策略针对建筑围护结构热工性能缺陷制定系统性解决方案，外墙保温系统采用外贴式施工工艺，在原有240 mm粘土砖墙体外侧安装100 mm厚憎水岩棉保温板，保温板密度控制在120 kg/m³，导热系数≤0.040 W/(m²·K)，外侧采用5 mm厚抗裂砂浆复合耐碱玻纤网格布，面层为柔性耐候涂料饰面，改造后外墙传热系数降至0.38 W/(m²·K)，满足节能设计标准要求。屋面保温隔热改造采用倒置式保温构造，在原有防水层上铺设120 mm厚挤塑聚苯板，密度35 kg/m³，抗压强度≥250 kPa，上覆40 mm厚细石混凝土保护层，屋面传热系数控制在0.45 W/(m²·K)以内。门窗节能改造选用断桥铝合金窗框系统，型材腔体采用PA66隔热条断桥，玻璃配置为6+12A+6 mm中空Low-E玻璃，充氩气提升保温性能，窗框传热系数≤2.0 W/(m²·K)，玻璃传热系数≤1.8 W/(m²·K)，气密性能达到6级标准。自然通风优化设计在楼梯间增设可开启天窗，利用热压作用形成竖向通风通道，夏季可降低室内温度2-3摄氏度，见表1。

表1 被动式节能技术改造方案技术参数

改造部位	技术措施	材料规格	改造后指标	节能效果
外墙系统	外贴岩棉保温	100 mm 厚憎水岩棉板	传热系数 0.38 W/(m²·K)	降低热损失65%
屋面系统	倒置式保温	120 mm 厚挤塑聚苯板	传热系数 0.45 W/(m²·K)	降低热损失78%
门窗系统	断桥铝中空玻璃	6+12A+6 mm Low-E玻璃	传热系数 1.8 W/(m²·K)	提升保温性能 60%
通风系统	自然通风优化	楼梯间 增设天窗	夏季降温2-3 °C	减少空调能耗 25%

3.2. 主动式能源技术应用策略

主动式能源技术应用策略构建集成化可再生能源供应体系，太阳能热水系统采用平板集热器技术，每栋建筑屋面安装面积120平方米，集热器效率≥0.75，配置2000升承压储热水箱，循环泵流量3 m³/h，扬程15 m，系统年均太阳能保证率达到65%，可满足住户生活热水需求的70%以上。地源热泵系统利用小区绿化区域布

置垂直地埋管换热器，钻孔深度100米，孔间距4米，单孔换热量45 W/m，总换热量1800 kW，热泵机组选用螺杆式水源热泵，制热COP值4.2，制冷EER值5.8，替代原有锅炉房供热系统，年节能率达到45%。智能化控制系统采用分布式楼宇自控架构，每栋建筑设置DDC控制器，监控室内温湿度、CO₂浓度等环境参数，根据室外气象条件自动调节供热供冷设备运行状态，温控精度±1℃。能源管理系统集成智能电表、热表、水表等计量设备，建立用户侧能耗监测平台，实时采集分析各类能耗数据，识别用能异常情况，优化设备运行策略[3]。分布式光伏发电系统在部分建筑屋面安装多晶硅组件，装机容量500 kW，年发电量约65万 kWh，采用自发自用余电上网模式，光伏发电就地消纳率达到85%，见表2。

表2 主动式能源技术系统配置参数

技术系统	设备规格	技术参数	年节能量	投资回收期
太阳能热水	平板集热器 120m ² /栋	效率0.75 保证率65%	节省燃气35%	6年
地源热泵	螺杆式水源 热泵1800kW	COP 4.2 EER 5.8	节能45%	8年
智能控制	DDC分布式 控制系统	温控精度±1℃	节能15%	5年
光伏发电	多晶硅组件 500kW	年发电 65万kWh	减少外购电 85%	7年

3.3. 智能化控制系统集成策略

智能化控制系统集成策略构建多层级分布式控制架构，系统采用三层网络拓扑结构，管理层部署中央监控服务器，控制层在每栋建筑设置DDC直接数字控制器，现场层配置各类智能传感器节点。中央控制室配置双机热备份服务器，CPU主频3.2 GHz，内存32 GB，存储容量2 TB，支持1248个用户终端并发访问。楼栋级DDC控制器采用32位ARM处理器，配置16路模拟量输入、8路数字量输出接口，通信协议支持BACnet、Modbus等标准，控制响应时间≤100 ms。传感器网络部署温湿度传感器、CO₂浓度检测器、光照度传感器等设备，测量精度分别为±0.3℃、±3%RH、±50ppm、±5%，数据采集周期30秒，异常报警响应时间≤5秒。能源管理子系统集成智能电表、热量表、水表等计量设备，实现分户分项计量，电表精度等级1.0级，热表精度等级2级，远程抄表成功率≥98%。自适应控制算法根据室外气象参数、室内环境状况、用户行为模式等多维度数据，动态优化供热供冷设备运行策略，预测性维护功能可提前15-30天识别设备异常状态，系统整体节能率达到20%以上，见表3。

表3 智能化控制系统技术配置方案

系统层级	设备配置	技术参数	控制精度	节能效果
管理层	双机热备份 服务器	3.2 GHz CPU 32 GB内存	数据精度 99.9%	系统优化 节能5%
控制层	DDC控制器 42台	32位ARM 响应≤100 ms	温控精度 ±0.5℃	精准控制 节能12%
现场层	智能传感器 3600个	温度±0.3℃ 湿度±3%RH	检测精度 ±2%	按需控制 节能8%
计量层	分户计量设备 1248套	电表1.0级 热表2级	计量误差 ≤2%	行为引导 节能15%

3.4. 生态环境优化技术实施策略

生态环境优化技术实施策略构建立体化生态修复体系，雨水收集利用系统采用分散式收集模式，在42栋建筑屋面设置雨水收集管网，收集面积达到8.4万平方米，配置初期雨水弃流装置，弃流量按照2 mm降雨深度计算，弃流后雨水进入地下蓄水池，总容积3200立方米，采用钢筋混凝土结构，池体设置沉淀区、清水区、消毒区三个功能分区 [4]。雨水处理工艺采用混凝沉淀、砂滤、紫外线消毒三级处理流程，出水水质满足城市杂用水标准，年雨水利用量约2.8万立方米，可满足绿化灌溉、道路冲洗等用水需求的80%。绿化系统重构采用复层式植物配置模式，乔木层选用国槐、银杏等乡土树种，胸径8-12 cm，株距6-8 m，灌木层配置金叶女贞、红叶石楠等彩叶植物，地被层铺设冷季型草坪，绿化覆盖率提升至45%以上。生态景观设施建设包括透

水铺装面积1.2万平方米，透水系数 $\geq 1.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ ，年径流系数控制在0.4以下。空气质量监测系统部署PM_{2.5}、SO₂等污染物检测设备，监测精度 $\pm 5\%$ ，数据传输采用无线通信方式，实时监控小区环境质量状况，见表4。

表4 生态环境优化技术实施方案

技术系统	建设规模	技术指标	生态效益	经济效益
雨水收集	收集面积 8.4万m ²	年利用量 2.8万m ³	减少径流80%	节水费用 45万元/年
绿化重构	绿化面积 3.5万m ²	覆盖率45%	固碳释氧 420吨/年	环境价值 180万元
透水铺装	铺装面积 1.2万m ²	透水系数 $\geq 1.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$	径流系数0.4	减少管网 负荷30%
环境监测	监测点位 8个	精度 $\pm 5\%$	空气质量 改善15%	健康效益 评估良好

4. 结语

绿色建筑技术在老旧小区改造中的系统性应用代表着城市更新模式的根本性变革，其核心价值在于将传统的功能修复转化为性能全面提升的深度改造。未来老旧小区改造必将朝着更加智能化、生态化、人性化的方向深入发展，为建设宜居城市、实现碳达峰碳中和目标贡献重要力量。

参考文献

[1] 张华东. 绿色建筑技术在城市老旧小区改造中的应用研究 [J]. 佛山陶瓷, 2025, 35(6): 175-177.

[2] 赖荣辉. 绿色建筑技术在城市老旧小区改造中的应用 [J]. 散装水泥, 2025 (2): 1-3.

[3] 周博伦. 城市更新视角下绿色建筑技术在老旧小区改造中的应用研究综述 [J]. 建筑科技, 2024, 8(3): 77-80.

[4] 陈则铭. 绿色建筑技术在城市老旧小区改造中的应用 [J]. 散装水泥, 2023 (2): 8-10.