

城市既有建筑绿色化改造技术路径与实践研究

杨 茜

天津市房屋鉴定建筑设计院有限公司 天津 300074

摘要: 城市既有建筑规模庞大、能耗高,是建筑领域碳排放的主要来源。在“双碳”目标与城市存量更新背景下,绿色化改造成为提升建筑性能、降低碳排放的关键路径。本文系统梳理绿色化改造的基础理论与评价标准,建立涵盖诊断评估、技术路径、案例实证的研究框架,重点分析围护结构、设备系统、可再生能源等六大关键技术,并结合老旧住宅与高层办公两类项目进行实证研究。研究表明:被动优先、主动优化、分步实施是有效策略,技术集成与多目标平衡是提升效益的核心。

关键词: 既有建筑;绿色化改造;低碳技术;建筑节能

引言: 我国城镇化已转向存量提质阶段,既有建筑面积超600亿平方米,大量建筑能耗高、环境品质低,亟需绿色化改造。“双碳”目标对建筑领域提出明确减排要求,绿色化改造成为兼顾降碳与性能提升的务实路径。然而,既有建筑改造面临结构限制、资金不足、技术集成难等问题,缺乏系统性技术路径指导。本文旨在构建从诊断评估到技术实施再到案例验证的完整体系,提炼适用于不同建筑类型的绿色化改造策略,为工程实践与政策制定提供理论支撑与技术参考。

1 既有建筑绿色化改造基础理论与评价标准

既有建筑绿色化改造是指在不拆除主体结构的前提下,通过技术手段提升建筑的节能性、节水节材性、环境友好性与室内健康水平。其理论基础主要包括建筑新陈代谢理论(建筑需定期更新以延续寿命)、适应性再利用理论(保留结构与空间特征,赋予新功能与环境性能)以及全生命周期评价理论(衡量材料生产、施工改造、运行维护到拆除的全过程环境负荷)。国内外已建立多项评价标准:我国《既有建筑绿色改造评价标准》(GB/T 51141)从规划、结构、暖通、给排水、电气、施工、运营七方面评分;国际上的LEED v4.1 O+M、BREEAM In-Use等更侧重于运行性能^[1]。对比表明,我国标准强调增量技术投入,国际标准更关注实际运行数据。实践中应综合运用多标准对标,避免“纸上绿色”与“运行脱节”。未来标准体系需进一步细化不同气候区与建筑类型的技术权重,提升指导精准性。

2 既有建筑现状调研、诊断与绿色改造潜力评估

2.1 建筑基本信息与历史档案核查

现状调研是绿色化改造的基础,决定后续技术方案的针对性。首先需核查建筑基本信息,包括原始图纸、结构形式、建造年代、改造记录及材料性能参数。对历

史保护建筑,还需查阅文保等级与风貌管控要求,明确改造边界。结构安全性评估是重点,需通过现场检测判断裂缝、钢筋锈蚀、混凝土碳化等病害,必要时进行加固验算。此外,还应梳理产权关系、物业管理制度、用能缴费方式等社会信息,因改造往往涉及多方协调,仅靠技术方案难以落地。对于图纸缺失的老旧建筑,可采用三维激光扫描或无人机倾斜摄影等技术进行现状测绘,建立建筑信息模型,作为后续分析与设计的数据平台。

2.2 建筑物理环境与能耗实测

图纸与档案无法真实反映建筑运行性能,必须开展现场实测。围护结构热工检测是核心,常用红外热成像排查热桥缺陷、热流计法测墙体传热系数、鼓风门法测气密性。室内环境监测涵盖光、声、热湿与空气质量:照度计测采光与照明水平;噪声计评估隔声性能;温湿度与二氧化碳记录仪连续监测热舒适与新风效果。能耗实测需查阅一年以上电、气、水账单,结合分项计量分析各终端用能占比;无分项计量时可临时安装智能电表进行短期测试。将实测数据与同类建筑标杆或节能标准对标,可直观识别能效短板。调研应覆盖不同季节与典型工况,避免以单次测试替代全年性能判断^[2]。

2.3 绿色化改造潜力多维度评估

基于诊断数据,需从技术可行性、经济性、减碳潜力三方面综合评估。技术可行性分析结构承载力是否允许增加保温层或光伏,设备管井是否具备更换机组空间,外立面改造是否受规划限制。经济性评估采用静态回收期等指标:LED与节水器具回收期1-3年,外墙与门窗5-10年,可再生能源通常超10年。减碳潜力借助能耗模拟软件建立基准与改造模型,计算年度碳减排量,按“减碳效率(kgCO₂/万元)”排序形成技术优先级。还需考虑使用者接受度,如外遮阳可能影响采光,需通过调研

平衡效益与社会接受度。综合评估结果应形成分级策略：基础项（必做）、提升项（推荐）、优化项（可选）。

3 城市既有建筑绿色化改造关键技术路径体系

3.1 围护结构性能提升技术

围护结构是建筑能耗的第一道屏障，其改造是绿色化的基础。外墙保温分外保温、内保温和夹心保温三种。外保温效果最优、无热桥，但受立面风貌管控限制，老旧小区常被迫采用内保温，后者施工简单但损失室内面积且易结露。节能门窗改造性价比高，将单层玻璃换为Low-E中空或真空玻璃，配合断桥铝合金窗框，整窗传热系数可降低50%以上。历史建筑无法更换窗框时，可采用玻璃贴膜反射红外辐射，降低夏季得热。屋面保温改造难度低，可结合种植屋面形成绿色屋顶，兼具保温、雨水滞蓄与缓解热岛多重效益。遮阳一体化改造在夏热冬冷与夏热冬暖地区尤为重要，外遮阳节能效果远优于内遮阳，但需考虑抗风与维护问题。高层建筑可选用中置遮阳（双层玻璃内嵌百叶），实现免维护运行。

3.2 设备系统节能与电气化改造

既有建筑的空调、供暖、照明、电梯等设备服役常超15年，能效远低于现行标准，是改造重点。暖通空调改造应优先更换高效冷热源：将老旧冷水机组换为磁悬浮离心机组，能效比可提升至6.0以上；将燃煤或燃气锅炉替换为空气源或地源热泵，实现供热电气化与低碳化。输配系统通过水泵与风机变频改造、水力与风力平衡调试，可降低30%以上输配能耗。照明系统以LED替换荧光灯并配合感应控制，在办公、地下车库等空间可节电60%以上。电梯系统可采用能量回馈装置将下行发电回馈电网，配合群控策略减少空驶。电气化改造还包括用能终端智能控制，如分室设定温度、定时开关等。设备更换需同步考虑配电容量增容，老旧建筑变压器容量可能不足，须进行电气系统整体核算或采用柔性能源管理策略^[3]。

3.3 可再生能源与储能集成应用

在围护结构与设备系统节能优化后，引入可再生能源是实现近零碳运行的核心。建筑光伏技术成熟，分为BAPV（加装式）与BIPV（建材一体化）两类，高层建筑可通过南立面及东西立面光伏幕墙扩展装机容量。空气源热泵在夏热冬冷地区综合能效比超3.0，是高效的环境热量利用方式。太阳能热水系统适用于住宅、酒店等热水需求集中的场景，需配套储热水罐。储能系统解决光伏发电与用能的时间错配，磷酸铁锂电池可提升自用率，但需规划安全存放空间并满足消防规范。光储直柔技术通过直流配电与柔性负载结合，减少转换损耗并参与电网调峰。对于无法安装光伏的建筑，可通过购买绿电或

接入虚拟电厂实现低碳用能，从供给侧推动能源转型。

3.4 水资源高效利用与海绵化改造

水资源节约是绿色改造的关键环节，兼具环境与经济效益。节水器具更换（如3/6升双档马桶、起泡器水嘴）可降低30%~50%用水量。管网漏损控制通过夜间流量测试定位隐蔽渗漏，对老化管道进行修复或更换。雨水收集系统适用于屋面面积大的公共建筑，处理后的雨水用于绿化、冲洗等非饮用水场景。海绵化改造从场地层面解决径流问题，透水铺装、下沉式绿地、雨水花园可削减峰值流量并补充地下水，老旧小区改造中还可结合景观提升解决内涝。中水回用系统因需独立管道，改造难度较大，通常仅用于酒店、医院等用水量大且空间充足的项目，实现水资源梯级利用。

3.5 室内环境健康化与智能化提升

绿色改造需兼顾健康舒适与能效提升。自然通风优化通过增设可开启扇、导风板等，减少过渡季节空调使用；深进深空间需配置带热回收的新风系统，控制二氧化碳浓度低于1000ppm并降低热损失。空气净化功能集成于新风系统，采用高效过滤或静电除尘技术去除PM2.5及挥发性有机物。智能照明利用照度传感器与恒照度控制，结合人员感应实现按需照明，降低人工光能耗。楼宇自控系统集成暖通、照明等子系统，基于环境参数优化运行；能耗管理平台通过分项计量与数据分析识别异常用能，生成诊断报告。室内环境传感器与用户终端联动，实现环境质量实时反馈，构建“人一建筑—环境”协同优化的健康空间。

3.6 建筑垃圾减量与绿色施工

既有建筑改造过程中的施工活动会产生大量建筑垃圾，与传统新建工程不同，改造施工往往在建筑部分或全部使用状态下进行，对低扰度、低排放的要求更高。拆除物分类与资源化利用是第一原则：混凝土块与砖瓦可破碎为再生骨料用于道路垫层；金属型材与管道直接回收冶炼；木质门窗经加工可制成再生板材；玻璃可回炉再造。改造设计阶段就应贯彻“减量化”理念，尽量保留原有结构、围护与设备中尚有使用寿命的部分，避免“大拆大换”。低扰度施工技术包括静力切割代替破碎拆除、无尘钻孔、干法施工等，减少噪声与粉尘对使用者的干扰。扬尘控制需采取围挡、喷雾、覆盖等措施，噪声控制则需合理安排高噪声作业时段。对于医疗建筑、办公建筑等需要不停运改造的项目，还需设置物理隔离区与独立的施工通道，确保施工区域与使用区域互不干扰。绿色施工管理应纳入考核指标，包括垃圾回收率、扬尘达标率、居民投诉率等，形成闭环管理。

4 实证研究：典型项目改造实践与效果分析

4.1 案例一：老旧小区住宅楼绿色化改造

选取北方某城市建于1998年的多层住宅小区作为研究对象，该小区共12栋6层砖混结构住宅，总建筑面积约5.6万平方米。改造前实测显示：外墙传热系数 $1.28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，远超现行限值；外窗为单层铝合金窗，气密性差；冬季室内温度仅 $14\text{--}16^\circ\text{C}$ ，夏季顶层室内温度达 32°C 以上；年供暖能耗约 $28 \text{ kWh}/\text{m}^2$ 。改造方案采用“基础包+提升包”分级策略：基础包包括外墙外保温（80mm挤塑板）、更换为Low-E中空玻璃窗、屋面保温防水一体化改造；提升包包括公共区域LED感应照明、雨水花园海绵改造、每单元增设20kWp屋面光伏。改造总投资约580万元，其中政府补贴40%，居民自筹30%，合同能源管理公司出资30%。改造后实测数据：冬季室内温度提升至 $20\text{--}22^\circ\text{C}$ ，夏季顶层温度降至 28°C 以下；供暖能耗降至 $15 \text{ kWh}/\text{m}^2$ ，降幅46%；光伏年发电量约2.8万kWh，覆盖公共区域用电并有富余上网。静态投资回收期约6.5年，居民满意度调查得分92分。该案例验证了“先围护后设备、先被动后主动”策略在老旧住宅中的有效性，同时也暴露出加装电梯与光伏争抢屋面空间的协调难题^[4]。

4.2 案例二：高层办公建筑近零碳改造

选取长三角某CBD区域一幢建于2005年的高层办公楼，地上28层，总建筑面积4.2万平方米，主要用能为空调、照明、IT设备。改造前能耗强度约 $85 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{a}$ ，其中空调占比48%。主要问题包括：原离心机组能效比仅3.8，且运行十年后性能衰减；幕墙为单层玻璃加铝板装饰条，遮阳性能差；照明为普通荧光灯，无智能控制。改造目标设定为近零碳建筑，采取集成技术策略：将两台老旧离心机组更换为磁悬浮离心机组（能效比6.3），同时保留一台原有机组作为低负荷时段备用；幕墙内侧加装电动卷帘式内遮阳，并更换三层中空玻璃（传热系数 $1.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ）；照明全面更换为LED并接入DALI智能

调光系统；屋面与南立面安装BIPV光伏系统，总装机180kWp；增设电化学储能150kWh，形成光储直柔微电网。改造总投资1250万元，获得绿色金融低息贷款支持。改造后运行一年数据显示：年总用电量从357万kWh降至198万kWh，节能率44.5%；光伏年发电量16.2万kWh，自用率82%；建筑运行碳排放强度从 $52.6 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$ 降至 $26.8 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$ ，结合购买绿电后实现运营层面碳中和。该案例表明，高层办公建筑通过多技术集成可以接近零碳运行，但增量成本较高，需政策与绿色金融配套支撑。

结束语

城市既有建筑绿色化改造是实现建筑碳减排与城市高质量发展的必然选择。本文从理论标准、诊断评估、技术路径到案例实证，系统构建了可操作的绿色化改造研究框架。研究表明：现状诊断是改造的基础，围护结构与设备系统节能是核心抓手，可再生能源集成是迈向低碳的关键，多目标平衡决定了改造方案的可行性与可持续性。当前实践中仍面临标准衔接不畅、资金机制单一、住户协调困难等瓶颈，未来需在政策激励、市场化融资、数字孪生运维等方面持续突破，推动绿色化改造从点状示范走向规模化推广。

参考文献

- [1]郭永聪,叶青,俞杰鹏,等.既有城市工业园区民用化绿色低碳改造技术路径的思考与实践——以深圳龙华区宇丰工业园改造工程为例[J].当代建筑,2022(2):28-32.
- [2]胡中雨,郭汉丁.既有建筑绿色改造主体决策协同影响机理与路径优化研究架构[J].项目管理技术,2025,23(2):68-74.
- [3]孙钦前,陈光大.城市更新中的既有建筑节能改造研究[J].砖瓦世界,2025(22):49-51.
- [4]张驰,郭海鞍,孟杰,等.工业建筑绿色低碳化改造再利用设计方法研究——以夏热冬冷地区为例[J].南方建筑,2024(7):22-35.