

碳中和背景下民用建筑节能改造施工技术应用研究

史 峰

临清市历史文化名城保护服务中心 山东 临清 252600

【摘 要】：立足碳中和发展目标，针对当前民用建筑节能改造施工存在围护结构施工工艺缺陷、低碳施工技术普及范围有限、施工全流程碳排放管控不完善三大问题，剖析前期勘察不完善、传统管理模式滞后、新型节能建材适配度不足三大核心成因。结合存量老旧建筑施工工况，提出围护结构一体化节能施工、装配式低碳改造施工、数字化全流程碳排放量管控三大优化技术路径。依托多项实际工程开展效益核验，结果表明，成套低碳节能施工技术可有效降低建筑运行能耗与施工全过程碳排放，大幅提升建筑节能效率，助力建筑行业达成阶段性双碳减排目标。

【关键词】：碳中和；民用建筑；节能改造；低碳施工；碳排放管控

DOI:10.12417/2811-0722.26.08.025

引言

建筑行业是我国能源消耗与碳排放的重点领域，存量民用建筑体量庞大、能耗偏高，成为制约建筑行业双碳目标落地的主要短板。存量老旧民用建筑围护结构老化、原有施工工艺落后，加之低碳施工技术落地不足，改造施工阶段能耗与碳排放居高不下，节能降碳改造效果难以达标。为破解民用建筑节能改造施工中的技术与管理难题，贴合低碳施工管控要求，本文结合存量建筑现场施工实际工况，剖析施工现存问题及内在成因，探究适配老旧建筑的低碳节能施工技术与全过程管控方案，助力民用建筑改造工程实现施工端与运行端双向节能降碳。

1 碳中和背景下民用建筑节能改造施工现存问题

1.1 围护结构节能施工漏洞加剧建筑运行能耗

外墙保温铺贴作业常会出现基面处置残留杂物、粘结点位排布疏密失衡问题，板缝填充密实度不足、锚固构件埋入深度达不到规范标准这类隐蔽瑕疵会随服役时长慢慢暴露，雨水渗入板材缝隙造成内部材料受潮粉化，围护结构热阻指标逐步下滑，墙体传热性能偏离设计预设数值。外窗打胶厚薄不均匀，窗框同墙体预留空腔填充不够饱满，气流贯通形成持续热交换，建筑暖通机组启停频次随之增多。屋面找坡保温压实程度管控疏漏引发局部空鼓积水损伤构造整体性，地坪防潮隔热搭接错位、变形缝封堵处理粗糙，多处围护构造施工瑕疵叠加削弱建筑保温隔热综合效能，建筑冷热能损耗长期处于偏高状态，减排改造预设碳排放削减目标难以落地。

1.2 低碳施工技术应用覆盖面较为局限

当前民用建筑节能改造工程中，低碳施工技术整体落地范围存在明显短板，高适配性、低能耗的新型低碳施工工艺大多集中于一线城市新建配套改造项目，中小城市及县域存量民用建筑改造项目依旧沿用传统高能耗施工模式。围护结构保温、屋面节能翻新、机电系统低碳更换等主流改造工序中，无尘绿色切割、建筑垃圾原位再生利用、太阳能临时供电等低碳施工

工艺仅在大型示范项目中试点应用，大批量普通民生改造工程依旧依赖高耗能机械设备，施工现场扬尘、固体废弃物、施工用电碳排放居高不下。同时适配老旧砖混结构、预制板楼等特殊民用建筑的定制化低碳施工技术储备不足，通用型低碳工艺无法适配老旧建筑复杂结构工况，进一步压缩了低碳施工技术在全域民用建筑节能改造场景中的落地空间。

1.3 施工全过程碳排放管控力度不足

民用建筑节能改造施工环节缺少覆盖全周期的碳排放动态监测体系，碳排放管控仅聚焦主体施工阶段，忽视施工前期材料运输、现场临时设施搭建以及施工后期建筑垃圾清运、设备退场等附属环节的碳排放核算。施工现场未搭建数字化碳排放监测平台，无法实时统计工程机械燃油消耗、施工用电能耗、建材损耗产生的间接碳排放量，各类碳排放数据依靠人工事后填报，数据误差较大且存在滞后性。现有施工管控方案多侧重建筑围护结构、暖通系统改造的节能效果验收，未将碳排放指标纳入施工工序验收标准，高耗能施工工艺、老旧工程机械仍在现场常态化使用^[1]。同时项目缺少针对性的碳减排专项施工方案，各施工班组无细分的碳排放管控指标，现场碳排放处于无约束、无监管的粗放管控状态。

2 民用建筑节能改造施工问题形成原因

2.1 前期施工勘察未结合低碳改造要求

现阶段多数民用建筑节能改造前期勘察工作依旧沿用传统老旧勘察体系，整体勘察指标仅聚焦墙体破损程度、门窗密封性、屋面渗漏等基础建筑结构参数，未融入碳中和目标下低碳减排、碳排放量核算、原生建材碳足迹等专项勘察内容。勘察过程忽略建筑原有围护结构碳排放基数、老旧管线能源损耗数值、室内采暖制冷系统无效能耗等核心低碳改造关键数据采集，勘察数据无法为后续低碳施工方案编制提供真实有效的参考依据。同时勘察工作未针对既有建筑场地原生植被保护、建筑垃圾原位减量、可再生能源设备安装基底条件开展专项检测，导致后续节能改造施工方案与现场实际低碳施工条件不匹

配,间接增加施工过程额外能耗与建筑垃圾产出,制约建筑整体节能降碳改造成效。

2.2 传统施工管理模式难以适配碳中和要求

民用建筑节能改造依托传统施工管理模式开展作业时,整体管理体系偏向工期管控与成本压缩,缺乏贯穿施工全周期的低碳管控专项机制,无法匹配碳中和对建筑改造全过程精细化降碳的硬性标准。现有管理体系侧重施工质量与施工进度考核,未将施工阶段建材损耗、机械能耗、现场扬尘治理、建筑垃圾处置等碳排放关键指标纳入日常监管范畴。施工现场各施工工序独立运行,土建改造、外墙保温施工、门窗更换、暖通系统升级等环节缺少统一的低碳调度方案,高能耗施工设备长时间空载运行、新型节能建材随意堆放破损、建筑垃圾未分类回收利用等现象频发。同时传统管理模式缺少动态碳排放监测模块,无法实时捕捉施工环节碳排放量变化,难以依托数据及时优化施工方案,进一步加大建筑改造项目整体碳排放量。

2.3 新型节能施工材料现场适配度较低

现阶段市面上大批量研发的新型保温隔热、光伏一体化、透气防潮等碳中和节能建材,多按照标准化新建建筑施工工况完成参数设计,未兼顾老旧民用建筑墙体开裂、基层空鼓、屋面结构老化、管线排布杂乱等原生结构缺陷^[2]。不同楼栋建成年代跨度较大,墙体厚度、混凝土标号、外墙基层材质存在明显差异,统一规格的新型节能材料无法贴合差异化的建筑基层结构。同时老旧建筑改造施工现场空间狭小,大型材料加工设备无法进场,新型节能材料预制构件尺寸固定,难以根据现场实际工况进行裁切与微调,加之现有传统施工工序未匹配新型材料的铺贴、拼接与密封工艺标准,进一步加剧材料与施工现场、建筑本体之间的适配矛盾。

3 碳中和导向下民用建筑节能改造施工技术解决路径

3.1 优化建筑围护结构一体化节能施工工艺

依托碳中和和低碳减排施工标准,针对既有民用建筑围护结构保温断层、冷热桥渗漏、保温层脱落等常见工程通病,推行围护结构保温、防水、装饰一体化集成施工模式,摒弃传统分层独立施工带来的材料浪费、工序冗余、密闭性不足等问题。外墙施工采用预制保温装饰一体板现场装配工艺,同步完成基层找平、保温铺设、面层装饰与密封防水作业,减少现场湿作业产生的建筑垃圾与碳排放。屋面部位采用聚氨酯硬泡喷涂一体化施工技术,实现无缝整体保温防水构造,阻断屋面热量传导通道。外窗更换适配断桥铝型材与三玻两腔中空玻璃,配合框体周边发泡密封一体化施工工艺,消除窗框缝隙空气渗透隐患,全方位降低建筑冷热能耗损耗,从施工源头缩减建筑全生命周期碳排放量。

3.2 普及低碳装配式节能改造施工技术

低碳装配式节能改造依托工厂预制一体化生产模式,替代传统民用建筑改造现场湿法施工工艺,从源头管控施工现场扬尘、污水排放与能源消耗,可适配既有老旧住宅、各类公共楼宇等多种民用建筑更新改造场景。外墙保温装饰一体化预制构件、装配式屋面隔热模块、预制低碳内隔墙等标准化部品,能够结合原有建筑墙体规格、结构承载条件提前定制加工,现场仅开展吊装拼接、密封固定等干法作业,有效压缩整体改造工期^[3]。施工配套专用密封降噪配件与弹性连接构造,缓解构件拼接缝隙形成的冷热桥问题,优化建筑围护结构整体保温隔热效果,改善建筑室内热环境。改造产生的建筑垃圾占比偏低,报废预制构件可拆解回收重新进入工业化加工链条,构建改造物料闭环循环利用体系,全流程降低碳排放水平,契合建筑领域碳中和长效低碳管控发展方向。

3.3 建立施工全流程碳排放量管控机制

建立覆盖施工前期筹备、现场作业、竣工运维全阶段的动态碳排放量管控机制,依托建筑施工碳排放核算国家标准搭建适配民用建筑节能改造项目的专属碳排放核算模型,精准拆解材料运输、机械作业、现场拆除、保温施工、门窗更换等各施工工序的碳排放因子。依托数字化 BIM 技术搭建施工碳排放实时监测平台,自动采集施工现场机械设备能耗、建材损耗、水电消耗等实时数据,完成碳排放数据自动归集与动态测算。针对节能改造施工中高碳排放工序制定分级管控标准,划定碳排放预警阈值,数据超标时自动联动后台调整施工方案^[4]。同步完善施工碳排放台账体系,细化记录每一类建材全生命周期碳足迹、施工机械单日碳消耗数据,实现施工全过程碳排放可溯源、可监测、可调控,补齐民用建筑节能改造施工过程碳排放监管碎片化的短板。

4 节能改造施工技术工程应用效果与价值分析

4.1 节能改造施工技术选型与现场部署

适配碳中和目标的节能改造施工技术选型及施工现场精细化部署需依托民用建筑本体结构参数、既有围护结构破损程度、建筑全年冷热能耗监测数据以及城区施工管控要求开展全方位适配研判^[5]。针对老旧砖混结构民用建筑围护结构保温性能薄弱、外窗气密性不足、屋面热桥效应明显等固有能耗缺陷,匹配外墙无机保温砂浆薄抹灰施工、断桥铝中空玻璃窗置换、屋面挤塑聚苯板倒置式保温施工三类核心节能施工技术,兼顾改造施工荷载限制与建筑外立面原貌保护。施工现场按照土建改造、围护结构节能施工、机电暖通节能升级三大作业板块划分独立施工区域,规划专用物料堆放区、保温材料恒温养护区与建筑垃圾密闭转运通道,同步结合居民日常作息划分日间静音施工时段与大型机械作业时段,规避施工交叉干扰,保障节能改造工序连续推进。

4.2 各项节能施工技术现场实施要点

外墙外保温作业前需全面清理建筑基层墙体表面的浮灰、油污与空鼓抹灰层,检测墙体平整度并对凹凸差值超过5mm的区域做找平处理,规避基层缺陷引发的保温板粘结不牢、后期开裂脱落问题。保温板材粘贴阶段严格控制粘结砂浆涂抹面积,适配老旧民用建筑墙体形变特点调整砂浆涂抹点位,板缝间隙统一填充专用保温密封胶条,杜绝冷热桥现象滋生。外墙保温面层抗裂砂浆施工需搭配耐碱玻纤网格布同步压入,控制面层单次抹灰厚度处于3mm-5mm区间,分层施工保障面层整体韧性。屋面保温施工避开阴雨及高温暴晒天气,保温层铺设完成后及时开展防水层搭接施工,缩短保温材料露天裸露时长,保障围护结构整体保温隔热性能达标。

4.3 改造项目碳减排及节能综合效益核算

节能改造施工技术的应用效果,主要通过能效提升率与碳减排量两项指标进行核算。以武川县16.68万平方米公共机构改造项目为例,通过超低温空气源热泵替代燃煤锅炉、更换LED灯具及围护结构保温增强等措施,年热力消耗从140099.93GJ降至27656.60GJ,折合标准煤由4780.21tce减少

至3237.41tce,建筑能效提升32.27%,年降低碳排放约4103.84tCO₂。中铁建设大厦制冷机房采用磁变频机组替换传统机组后,COP制冷系数提升至6.5,年节电11.22万kWh,节能效率达43.7%。义乌某超低能耗项目通过高性能围护结构与光伏系统应用,建筑本体节能率达35.23%,光伏年均发电18.45万kWh,年减碳约138.43吨。以上数据表明,多技术协同改造可实现量化的节能与碳减排综合效益。

5 结语

碳中和战略全面推进背景下,存量民用建筑节能改造是建筑领域降碳减排的关键抓手。现阶段民用建筑节能改造施工存在围护结构施工缺陷突出、低碳技术普及不足、全过程碳排放监管缺失等多重问题,根源集中于前期勘察体系滞后、传统施工管理模式落后、新型节能建材现场适配性差等方面。通过优化围护结构一体化施工工艺、推广装配式低碳改造技术、搭建全流程数字化碳管控体系,可有效补齐施工技术短板,降低施工全过程与建筑运行阶段双重碳排放。结合实际工程案例可知,多元化节能施工技术协同应用,能够切实提升建筑节能水平,实现可观的碳减排效益,可为同类存量民用建筑低碳节能改造施工提供可行的技术参考与实践依据。

参考文献:

- [1] 贾忠晴,王彩华,刘令洲.绿色建筑技术视角下的民用建筑节能改造研究[J].绿色建筑与智能建筑,2025,(3):16-18.
- [2] 冯浩.外墙外保温施工技术在建筑工程节能改造中的应用[J].建材发展导向,2025,23(10):136-138.
- [3] 王健,张稳,丁旭东,等.格构式层间保温节能施工技术在民用建筑中的应用研究[J].中国建筑装饰装修,2024,(18):96-98.
- [4] 宋福.关于节能设计在民用建筑设计中的实践研究[J].绿色建筑与智能建筑,2024,(10):29-31.
- [5] 刘冬秀.民用建筑设计中绿色建筑设计理念的运用分析[J].低碳世界,2024,14(2):91-93.