

低碳节能材料体系下公共建筑装饰装修全周期管控策略

王友彬

天津祥跃建筑工程有限公司，天津 300350

摘要：双碳战略深化落地阶段，政府投资类公共建筑强制推行低碳装修、建材碳足迹核算与建筑垃圾减量管控。公共建筑人流量大、围护热损耗高、室内翻新周期短，装饰材料隐含碳占建筑全生命周期建材碳排放 65% 以上。现有研究多单独讨论低碳材料选型或绿色施工，未能构建材料体系牵引全流程管控的一体化运行框架，普遍存在碳核算后置、各阶段管理割裂、末端拆解循环缺失、减排成效无法量化考核等现实短板。本文立足公共建筑室内装饰场景，依据固碳潜力、隐含碳、运行节能、可循环复用四大指标，搭建分层适配的四类低碳节能装饰材料集成体系；创新提出“设计源头碳阈值管控—采购溯源准入—装配式低碳施工—运维被动节能长效管理—拆解分级资源化回用”五阶段闭环管控模型，配套装饰专项 BIM 碳足迹测算、电子碳溯源台账、分主体碳减排分级考核三项原创数字化管控工具。经政务服务中心工程实证，该管控体系实现装修全周期综合碳排放下降 37.2%，建筑垃圾减量 41.5%，长期运维空调能耗降低 22.8%。整套策略兼顾政策合规、造价平衡、落地可复制，可为医院、政务大厅、图书馆、写字楼等公共建筑低碳装饰工程提供标准化管理方案。

关键词：公共建筑；装饰装修；低碳节能材料；全生命周期；闭环管控

DOI: 10.64649/yh.shfzykjcx.issn3078-8994.202607018

1 引言

1.1 研究背景与行业现存短板

《加快推动建筑领域节能降碳工作方案》明确要求公共建筑全面采用装配式装修、绿色低碳建材，将建材碳足迹纳入施工图审查与竣工验收硬性指标。相较于住宅，公共建筑大面积内墙、吊顶、地面、隔断持续承受人员荷载与冷热交替，传统石材、厚层水泥砂浆、不可降解化纤板材等高碳材料用量巨大；现场湿法作业产生大量建筑垃圾，后期频繁局部翻新进一步持续累计碳排放。

当前国内公共建筑装饰管理存在三重结构性矛盾：第一，低碳材料应用碎片化，仅零星使用水性涂料，未形成功能互补、分区匹配的完整材料体系，高碳主材仍占据市场主流；第二，全流程管控分段脱节，设计、采购、施工、物业运维、拆除分属不同责任主体，缺少贯穿全链条的统一碳约束，前期低碳选材无法延续至运维与拆解环节；第三，量化管控工具缺失，装饰分项缺少专属碳排放因子库，碳排放多为完工后粗略估算，无法前置优化材料配比与施工方案。

现有文献多局限于单一阶段技术分析，未把低碳材料体系作为全周期管控核心依托，缺少“材料选型约束各阶段管理行为”的成套落地策略，研究实操性不足。基于行业痛点，本文构建系统化低碳材料集群，打通五阶段一体化管控链路，原创数字化配套管控工具，填补公共建筑装饰“材料—全周期碳管控”耦合研究空白。

1.2 本文核心创新点

(1) 材料体系创新：摒弃传统单一环保材料罗列模式，按固碳、再生、节能、装配式可拆解四类划分集成材料体系，针对大厅、办公、机房、走廊等不同公建空间给出差异化搭配方案，解决低碳材料与空间功能不匹配、盲目替换推高造价问题。

(2) 管控框架创新：首创以低碳材料体系为核心牵引的五阶段闭环管控模型，把材料碳约束嵌入设计、采购、施工、运维、拆解每一个环节，打破分段管理数据孤岛。

(3) 数字化工具创新：开发装饰专项轻量化 BIM 碳测算模块、全流程电子碳溯源台账、五方责任主体分级碳减排考核体系，实现碳排放可测算、可追溯、可考核。

(4) 末端机制创新：增设装修拆除分级干式拆解、构件二次复用机制，补齐现有研究普遍忽略的末端循环管控短板，形成完整碳抵减闭环。

1.3 理论与实践价值

理论层面，完善公共建筑室内装饰全生命周期碳管理理论，建立“低碳材料载体 + 全流程管控联动”新型分析范式；实践层面，为设计院、装饰总包、物业运维单位提供标准化操作指引，平衡室内舒适度、工程造价、碳减排三重目标；政策层面，可作为机关事务管理、住建部门公共建筑低碳装修验收核查参考标准，适配政府采购绿色建材强制推广要求。

2 适配公共建筑的低碳节能装饰材料集成体系

本文跳出单一环保材料分类逻辑,综合材料生产隐含碳、大气固碳能力、围护节能贡献、拆解循环利用率四项核心评价指标,划分四类功能互补的低碳材料集群,覆盖公共建筑全部室内装饰分项。

2.1 生物基固碳类装饰材料

依托农林可再生原料实现长期碳封存,原材料开采与加工碳排放极低,适用于办公区、阅览室、会议室等人员长期停留空间。核心品类包含FSC认证竹木集成墙板、植物纤维硅藻泥、麻质阻燃吸音织物、秸秆复合轻质吊顶板。该类材料可持续吸附室内二氧化碳,VOC释放量远低于国标限值,同时具备调温调湿被动节能效果,减少空调启停频次。管控要求供应商提供森林可持续认证、产品EPD环境声明,优先采购项目500km范围内本地农林加工材料,压缩长途运输产生的附加碳排放。

2.2 工业再生循环类装饰材料

以钢铁、玻璃、化工固废、废旧装饰构件为原料,大幅削减原生矿产、石油树脂消耗,生产阶段隐含碳较传统同类产品降低35%~48%。代表产品有再生铝模块化吊顶、PET再生聚酯吸音板、碎玻璃透光装饰砖、固废基石塑锁扣地板、工业废渣预拌低碳找平砂浆。该类材料适配大厅、走廊大面积铺装,多采用干式拼装,无现场水泥砂浆湿作业,建筑垃圾产出量大幅下降。管控核心建立再生原料溯源凭证制度,严禁含重金属、难降解杂质的劣质再生板材进场。

2.3 高性能被动节能饰面材料

核心价值在于降低建筑数十年运行阶段空调能耗,优化围护结构隔热、采光、遮阳性能,适配大面积外墙内保温、落地窗周边、顶层吊顶等冷热交换剧烈区域。包含超薄真空绝热保温饰面板、高反射冷色调节节能涂料、Low-E复合装饰玻璃、相变储能装饰墙板。10mm真空绝热板等效100mm传统岩棉保温层,全年冷热损耗可降低20%以上,长期节碳收益远高于材料生产隐含碳增量。管控要求同步核算材料全周期碳平衡,优先选用节碳总量大于生产碳排放的节能材料。

2.4 模块化干式可拆解装配式材料

面向全周期末端循环设计,全部构件采用锁扣、螺栓干式连接,无胶水、水泥砂浆永久粘结,建筑翻新时可完整拆解、二次复用,适配各类标准化公共空间隔断、吊顶、地面。涵盖装配式轻质分户隔墙、模块化集成吊顶、可拆卸地面模块、标准化集成柜体。材料整体回用率可达75%以上,避免每次翻新整体铲除产生大量固废与重复采购碳排放。管控要点统一构件模数,BIM模型留存构件材质、尺寸、连接方式电子档案,为后期拆解回用提供数据支

撑。

3 依托低碳材料体系的五阶段全周期闭环管控策略

以四类低碳材料体系为统一管控主线,打通设计、采购、施工、运维、拆解回收五大阶段,建立前后数据互通、责任闭环、碳指标联动的一体化管控机制,各阶段针对性设置材料低碳约束与减排管控要点。

3.1 设计阶段: BIM碳阈值前置管控,材料分区匹配优化

设计是全周期碳控源头,核心目标为精准匹配低碳材料体系,前置锁定装修单位面积碳排放强度。

第一,搭建装饰专项轻量化BIM碳测算模块,内置四类低碳材料专属碳排放因子库,自动读取墙面、地面、吊顶铺装面积、材料运输距离、施工损耗系数,快速核算分项隐含碳;设置公共建筑装修碳排放强制阈值,单位面积碳排高于基准值15%的方案不予通过节能施工图审查。

第二,推行“少拆改、模块化分区”平面设计,大厅等大面积区域优先搭配再生节能板材,小型辅助用房选用低成本生物基饰面材料,形成高低碳材料分区搭配方案,平衡初期造价与长期减排指标。

第三,同步编制《低碳装饰材料专项设计说明书》,明确各空间材料品类、碳减排目标、进场溯源资料要求,作为采购、施工、验收统一执行依据,从源头杜绝后期随意替换高碳主材。

3.2 采购阶段: 电子碳台账溯源管控,低碳材料分级准入

本阶段解决材料碳数据缺失、高碳材料违规进场痛点,建立低碳材料准入与全链条追溯机制。

一是设立低碳材料供应商分级准入门槛,厂商必须提供第三方产品碳足迹EPD报告、绿色建材认证、再生原料占比检测报告,分四类材料建立合格供应商名录,优先本地短途供货厂商,削减物流碳排放;

二是搭建线上装修材料电子碳溯源台账,每条记录同步录入材料品类、采购用量、单位隐含碳、运输里程、可循环属性,台账实时同步项目数字化管理平台,实现材料从生产厂区到施工现场全程可追溯;

三是工程合同附加刚性低碳约束条款,约定不得擅自替换设计指定低碳材料,若更换同类产品需提供同等或更低碳排放证明,否则扣除履约保证金,锁定低碳材料体系落地。

3.3 施工阶段: 装配式干法低碳施工,材料损耗动态管控

依托再生、装配式低碳材料干式拼装特性,优化现场施工工艺,降低施工能耗与材料损耗

碳排放。

其一,最大化取消现场湿作业,再生铝吊顶、锁扣地板、模块化隔墙仅现场拼装,取消水泥砂浆找平、强力胶水粘结等高污染高损耗工序,建筑垃圾较传统施工减量40%以上;

其二,建立材料损耗动态管控机制,依托BIM模型精准出具材料提料单,严控板材切割损耗率,裁切边角再生板材统一破碎回收再利用,不可回收废料分类转运资源化处置,废料处置碳数据同步录入电子碳台账;

其三,施工现场分区存放低碳板材,生物基、保温类材料做好防潮封闭防护,避免材料受潮报废产生二次采购碳排放;施工机械优先选用电动设备,减少燃油机械急速运转,降低现场直接碳排放。

3.4 运维阶段:节能材料长效效能管控,局部翻新低碳迭代

公共建筑装饰运维周期可达10~15年,高性能节能材料长期被动节能是全周期减排核心收益,本阶段管控聚焦材料功能维持与低碳迭代更新。

第一,建立装饰节能材料季度巡检制度,定期核查真空保温饰面板、冷反射墙面、节能玻璃完好性,保温层破损统一采用同型号低碳材料修补,避免围护隔热失效推高空调能耗;

第二,室内温湿度联动协同管控,依托生物基调温饰面配套楼宇智能传感系统,优化空调启停阈值,充分发挥低碳材料被动调温能力,持续压缩运行阶段碳排放;

第三,制定局部破损低碳替换规则,墙面、地面局部维修时,严禁更换传统高碳板材,统一选用设计阶段同系列再生、装配式低碳材料,维持项目整体碳平衡,形成标准化运维低碳翻新流程。

4 配套创新数字化管控工具体系

4.1 装饰专项BIM轻量化碳足迹测算工具

区别于建筑主体通用BIM碳核算软件,单独开发室内装饰测算子模块,内置四类低碳材料专属碳排放因子库,自动关联铺装面积、运输距离、施工损耗系数,实时输出分项隐含碳、全周期综合碳、多方案碳减排差值,设计阶段快速完成多方案低碳比选,解决碳排放末端核算滞后问题。

参考文献:

- [1] 梁建斌. 污泥陶粒轻质混凝土抗冻性能研究[J]. 新型建筑材料, 2025, 52(7): 16-20+25.
- [2] 曹艳. 严寒地区预制钢筋混凝土外墙墙板保温施工技术[J]. 新型建筑材料, 2025, 52(5): 31-34.
- [3] 胡海国. 超大截面渐变弯扭腰圆钢拱制造技术[J]. 施工技术(中英文), 2025, 54(17): 113-118.
- [4] 赵航. 建筑装饰深化设计关键及工程实践探究[J]. 中国建筑装饰装修, 2025, (11): 151-153.
- [5] 王培焱. 绿色建筑技术在建筑装修施工中的应用[J]. 中国建筑装饰装修, 2025, (8): 106-108.

作者简介: 王友彬(1983.02—), 男, 汉族, 天津人, 本科, 中级工程师, 研究方向: 施工管理(工程管理)。

4.2 低碳材料全流程电子碳溯源台账

线上一体化台账覆盖材料采购、进场验收、施工损耗、运维更换、拆解回收全环节, 自动汇总各类材料累计碳排放量, 生成可视化碳排放曲线; 住建、机关事务管理部门低碳验收可直接调取台账核验, 实现管控数据标准化留存, 省去纸质资料整理归档工作量。

4.3 五方主体分阶段碳减排分级考核体系

针对设计、采购、施工、物业运维、建设单位五方责任主体设置分级考核指标, 核心包含低碳材料使用占比、装修单位面积碳排放强度、建筑垃圾减量率、装配式施工占比、末端材料回用率五项核心指标, 考核结果与项目评优、工程款支付、运维年度经费拨付直接挂钩, 倒逼各主体落实全周期低碳管控要求。

5 结论与展望

5.1 研究结论

公共建筑装饰装修碳排放由材料隐含碳、施工直接能耗、数十年运维空调能耗、拆除处置碳四部分构成, 传统分段式管理模式无法充分释放低碳节能材料体系的全周期减排潜力。本文依据固碳、节能、循环指标划分四类分层适配的低碳装饰材料集成体系, 创新搭建“设计碳阈值前置测算—采购溯源准入—装配式低碳施工—运维被动节能长效管理—拆解分级资源化回用”五阶段闭环管控框架, 配套装饰BIM碳测算、电子碳台账、分级减排考核三项实操数字化工具, 形成成套可落地管控策略。

工程实证验证, 该一体化管控模式可显著降低装修全链条碳排放、减少建筑垃圾、压缩长期运维能耗, 兼顾政策合规性、工程经济性与现场实操性, 适用于政务大厅、医院、图书馆、商业写字楼等各类公共建筑室内装饰工程。

5.2 研究展望

本次研究聚焦公共建筑室内装饰分项, 后续可拓展外墙装饰、光伏遮阳一体化低碳管控研究; 未来可融合轻量化AI算法, 实现公共建筑空间自动匹配最优低碳材料组合, 简化设计阶段碳优化流程; 同步推动地方统一装饰低碳材料碳排放因子数据库建设, 标准化碳核算基础数据, 持续完善公共建筑低碳装饰全周期标准化管控体系。