

# 绿色建筑全寿命周期成本测算模型 与碳成本内化路径研究

王鹏程

河北建设集团股份有限公司, 河北 保定 071000

DOI:10.61369/ERA.2026030038

**摘要** : 达成“双碳目标”, 绿色建筑作用突出, 要推动绿色建筑可持续发展, 全寿命周期成本(LCC)测算和碳成本内化是关键抓手, 运用生命周期成本分析, 搭建绿色建筑全寿命周期成本测算模型, 覆盖初期建设成本、运营维护成本以及拆除成本等多类内容, 剖析碳成本内化的路径, 把碳排放转为经济成本, 并出台政策与市场机制推动碳成本内部化, 该研究为绿色建筑项目开发量化成本和碳排放的有效工具, 实现绿色建筑经济性和环境效益双丰收, 拥有关键的实践效用和政策指导价值。

**关键词** : 绿色建筑; 全寿命周期成本; 碳成本内化; 生命周期成本分析; 碳排放

## Research on the Life Cycle Cost Calculation Model and Carbon Cost Internalization Path for Green Buildings

Wang Pengcheng

Hebei Construction Group Co., Ltd., Baoding, Hebei 071000

**Abstract** : Achieving the "dual carbon goals" highlights the significant role of green buildings. To promote the sustainable development of green buildings, calculating the life cycle cost (LCC) and internalizing carbon costs are key approaches. By applying life cycle cost analysis, this study establishes a life cycle cost calculation model for green buildings that covers various costs, including initial construction costs, operational and maintenance costs, and demolition costs. It analyzes the path for internalizing carbon costs, transforming carbon emissions into economic costs, and introduces policies and market mechanisms to facilitate the internalization of carbon costs. This research provides an effective tool for quantifying costs and carbon emissions in green building projects, achieving both economic and environmental benefits for green buildings, and holds significant practical utility and policy guidance value.

**Keywords** : green buildings; life cycle cost; carbon cost internalization; life cycle cost analysis; carbon emissions

## 引言

全球气候变化问题越发严峻, 绿色建筑是完成碳中和目标的核心手段, 关注热度逐步上涨, 绿色建筑能降低能耗, 减少资源耗用, 还可明显减少碳排放, 绿色建筑推广普及的最大阻碍, 是高额的前期投入和复杂的全寿命周期成本, 引入全寿命周期成本测算模型与碳成本内化机制, 可对建筑全流程的经济和环境影响做量化测算, 梳理成本组成, 提高建筑可持续水平, 采用生命周期成本分析(LCCA)方法, 绿色建筑项目兼顾环境友好属性, 强化经济收益, 为政策制定者和行业从业者提供务实可用的决策支持。

## 一、绿色建筑全寿命周期成本测算模型构建

### (一) 全寿命周期划分与成本构成分析

一般将绿色建筑全寿命周期拆成规划设计、材料生产、施工建设、运营维护以及拆除回收等阶段, 各阶段成本均覆盖直接支出, 还涉及间接费用、环境外部成本等多维度指标, 规划设计阶段的成本, 包含建筑能效优化设计、可再生能源集成和生态评估费用, 这类花费一般占项目总成本的3%~7%, 但对后续节能效

果作用明显。建材选择及供应链波动会极大影响材料生产阶段成本, 比如绿色建材价格一般比传统建材高10%~25%, 但它运营时可大幅削减能耗成本, 施工建设阶段的核心成本涵盖施工机械能耗、废弃物处理与质量控制费用等, 运营维护阶段的持续时间一般最长, 建筑能耗、电梯维护、水处理系统等运营成本, 占总生命周期成本比例或超40%, 拆除与回收阶段成本占比很小, 得把资源回收价值和环境影响纳入模型衡量体系, 确保成本与环境效益的全面评估<sup>[1]</sup>。

关乎各阶段成本的核心因素有折现率、能源价格波动、维护周期和设备寿命等，折现率用来把未来成本换算成现值，作为净现值（NPV）等经济指标计算的核心参数，取值多在3%~8%范围内；设备寿命参数关联维护成本和替换周期，直接左右长期成本预测精准度，靠系统分析这些因素，可清晰划分全寿命周期成本构成，给后续模型设计供数据支撑<sup>[2]</sup>。

### （二）成本测算理论基础与指标体系

绿色建筑全寿命周期成本测算以生命周期成本分析（LCCA）为理论核心，把初始投资、运行维护成本、替换和废弃成本等纳入统一框架，对长期经济效益做全面评估，LCCA方法聚焦成本折现、时间价值处理和阶段成本累积计算，是测算绿色建筑经济可持续性的核心技术途径，基于这一前提，净现值法（Net Present Value, NPV）和折现成本指标多用来计量不同生命周期阶段的综合成本，对比不同设计方案的经济性<sup>[3]</sup>。

搭建绿色建筑全寿命周期成本测算指标体系阶段，需兼顾多维度指标，像经济成本指标，绿色建筑测算体系一般涉及两个组成部分：依托指标体系，能制定统一评价标准，诸如单位建筑面积生命周期成本（元/平方米·生命周期）、折现成本比率等，提升测算结果的可比性和精度，给项目评估定统一参考标准。

### （三）全过程成本测算模型设计

构成绿色建筑全寿命周期成本测算模型基础结构的是成本输入模块、计算处理模块和输出结果模块，涉及输入的变量有建筑设计参数、材料价格、能源消耗数据、维护周期、折现率等关键参数；这些参数直接左右模型的运行结果精度，依托 BIM（Building Information Modeling）等数字化技术，实现成本数据结构化输入和动态更新，优化模型运行效率和预测可靠性<sup>[4]</sup>。

各阶段成本计算可依托生命周期成本分析方法，折现计算按时间顺序排列的阶段成本，再累加算出全寿命周期成本总额，具体测算环节涉及数据采集与预处理、参数校准、阶段性成本计算、折现处理、结果输出与敏感性分析，获取数据这一块，一般整合市场报价、历史项目成本数据库、能源消耗监测系统等多源数据开展综合处理，保障模型输入数据的完整性和准确性，数据处理技术包含时间序列分析、成本预测模型优化与不确定性分析等路径，强化结果的可解释性与预测精度，为绿色建筑成本优化提量化支撑。

## 二、绿色建筑碳成本内化路径分析

### （一）碳成本概念及其在绿色建筑中的作用

碳成本指和建筑项目全生命周期碳排放相关的经济成本，一般结合碳排放量与碳定价机制做量化处理，这一界定包含直接碳排放成本，碳排放量依照国际标准，像《温室气体核算和报告标准》（GHG Protocol）和《ISO 14064》标准，借助精准碳排放因子实施计算<sup>[5]</sup>。

聚焦绿色建筑，所谓碳成本内化，是将建筑生命周期产生的碳排放转化为经济成本，把它算进建筑项目的总投资和运营成本里，把碳成本纳入核算，对推动低碳建筑发展意义重大，从经济角度量化碳排放，能有效激发建筑设计及施工环节的绿色创新，并推动

可再生能源技术普及，增强能源利用效率，参考国际成熟做法，可借助多种政策工具落实碳成本内化，诸如碳交易市场、碳税这类，这些举措可推动企业削减碳排放，同时压缩长期运营成本。

内化碳成本对推动绿色建筑行业意义重大，2020年中国政府官宣碳中和目标，设定2060年实现碳达峰，建筑行业是碳排放关键构成部分之一，需落实有效手段削减碳排放，计入碳成本开支，实现建筑行业可持续发展。

### （二）建筑全生命周期碳排放核算框架

建筑全生命周期碳排放核算框架采用生命周期评价（LCA）方法搭建，该方法量化建筑物从规划设计到拆除回收各阶段的碳排放数据，研判它对环境的长期作用，运用 LCA 方法，可全面系统覆盖建筑项目各阶段碳排放，能给出细致的碳足迹数据，协助决策者优化建筑设计，降低环境压力<sup>[6]</sup>。

全生命周期碳排放核算框架一般涵盖5个阶段：规划设计阶段、材料生产阶段、施工建造阶段、运营应用阶段、拆除回收阶段，各阶段碳排放权重分配不相同，聚焦绿色建筑，材料生产和施工建设环节碳排放占整体总量的30%~40%，运营环节（重点是建筑能源消耗）占总排放的比例或达50%以上。权重分配的恰当程度影响着整体碳排放核算结果的准确性，制定各阶段碳排放因子，结合不同建筑类型、地区的能耗数据做量化分析，能获取精准的碳排放预测值，碳排放权重分配一般依据各阶段排放强度和全生命周期各阶段占比执行，选用低碳环保类建筑材料，材料生产阶段的碳排放会出现下降，进而改变整体碳足迹。

### （三）碳成本内化路径设计与实施策略

制定碳成本内化路径，首先需衔接碳排放和成本的转换逻辑，碳排放量可借助碳定价机制，用碳税、碳交易、碳费等经济工具，把相关指标量化后转化为经济成本，碳交易市场先定碳排放总量，再分配配额，企业可购买碳配额抵消自身排放，进而做好成本管控，碳税直接按每吨碳排放征税，用这种方式引导企业降低碳排放，按照不同国家的碳定价政策，碳税收费区间多为每吨碳30-100美元，结合不同碳市场的价格波动，绿色建筑项目可推行灵活的碳成本管理<sup>[7]</sup>。

给绿色建筑成本测算模型添加碳成本内化方法，借助调整模型输入参数（如碳排放因子、碳税费用等）能核算碳成本的实际影响，这个过程的核心是把碳排放的社会成本和经济成本整合，得出精准的建筑项目生命周期成本，这可提升绿色建筑的市场竞争力，还可为投资者提供精准决策支撑。具体实施办法，可采用政府政策、市场激励和企业自主行动相结合的方式，推出强制性碳排放标准和激励措施，落实绿色建筑碳成本内部转化，推出绿色建筑税收减免政策、搭建碳交易体系、开展绿色建筑认证等举措，可有力推动碳成本内化，对这些政策路径做合理设计，可推动绿色建筑产业低碳转型，并推动达成更高效的资源配置和可持续发展。

## 三、绿色建筑案例分析与模型验证

### （一）案例选择与研究对象说明

选定中国某一线城市里的典型绿色建筑项目“深圳 XX 商业

综合体”作为实证研究对象，该项目2020年开工搭建，建筑占地面积约45,000 m<sup>2</sup>，构建高能效、低碳排放的综合用途结构体，该项目采用高性能围护结构、高效 HVAC（供暖通风空气调节）系统和屋顶光伏发电系统，设计寿命50年，达到国家绿色建筑2星及以上标准，我们用该项目的工程量清单（BOQ）、能源消耗监测数据及运维记录，为生命周期成本模型和碳成本核算模型做实证分析，挑这类代表性项目，可助力展现绿色建筑成本与碳排放的长期相互作用，扩大结论适用范围和政策参考价值。

增强模型对现实项目的适配性，数据采集包含材料采购成本、施工机械能耗、设备能耗、维护与替换费用等，同步依托全生命周期碳排放因子库开展排放核算，碳排放因子采用国家认可的标准化数据集，结合建筑各阶段能源消耗特点做阶段化分配，采取该举措既强化了数据精度，还提升模型不同阶段测算的可比性<sup>[8]</sup>。

## （二）全生命周期成本测算模型应用与数据分析

将项目实际成本数据及碳排放数据导入全生命周期成本（LCC）测算模型，分阶段拆解各项输出值，得出详尽的成本和碳排放分析结论，生命周期成本包含初期设计与施工成本、运营维护成本（含设备替换与能耗）、拆除与回收成本等，采用净现值（NPV）法完成折现计算，用5%折现率核算未来支出折现值。如表1所示。

表1 项目某些阶段成本与碳排放指标示例

阶段	成本（元 / m <sup>2</sup> ）	碳排放（kgCO <sub>2</sub> e / m <sup>2</sup> ）
规划与设计	320	15
材料生产与运输	1,850	120
施工建设	2,450	95
运营维护（50年）	9,720	780
拆除与回收	480	30

数据结果表明，运营维护阶段成本占全生命周期成本比例约为62%，该主体碳排放量占总排放量70%以上，这与行业统计数据吻合，建筑运营能耗构成生命周期碳排放的最大来源。

梳理各阶段成本与碳排放指标的变化，可发现绿色建筑初期投入偏大，但后期借节能措施降低能耗，明显减少运营成本，最终让全生命周期综合经济效益大幅优于未推行绿色策略的对比样本。

## （三）碳成本内化效果评估与对比分析

实施碳成本内化方案后，按既定碳价格把碳排放量折算成经

济成本，归入全生命周期成本模型重新演算，内化后的生命周期总成本，对应碳排放的经济价值，进而明确碳成本和建筑经济性的关联。

未实现碳成本内化，该项目全生命周期折现总成本约15,820元每平方米；纳入碳成本后按累计碳排放总量（约1,按040 kgCO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>核算碳成本为72.8元 / m<sup>2</sup>，使生命周期折现总成本上涨约0.46%，该微小增长显示绿色建筑通过节能和可再生能源措施有效减少碳成本，对比传统建筑碳成本内化导致生命周期成本涨5%~10%的情形，优势更明显，把碳成本纳入核算可提升绿色建筑全生命周期成本模型的完整性，还强化了经济性和环境性的协同考量，助政策制定者和开发者更直观考量低碳投资回报。

## （四）模型敏感性与可靠性分析

为验证模型稳定性，针对关键参数做敏感性分析，涉及折现率、能源价格增长率、碳定价水平等，选取3%~7%区间折现率开展波动测试，可看出生命周期总成本与折现率为反比关系，折现率上调1个百分点，生命周期总成本NPV减少约4.5%。碳价格从50元 / 吨升至100元 / 吨时，生命周期总成本增长幅度范围0.3%~0.9%，说明碳成本内化弹性属于中等区间，能源价格敏感性分析结果表明，未来运营阶段能源价格年增幅从2%提至4%，运营维护阶段成本占比上涨10%以上，着重强化能效优化在减少长期成本中的核心价值，这些敏感性分析结果证明模型适配多种未来情景，给政策制定与投资决策提供更全面的参数参照。

## 四、结语

绿色建筑是完成碳中和目标的核心途径，经济和环境效益表现突出，构建全生命周期成本测算模型和碳成本内化路径，既能精准核算绿色建筑项目的整体经济收益，还可核算碳排放造成的环境成本，给决策者提供科学支撑，经案例分析证实，绿色建筑起步阶段投入成本偏高，但运营阶段节省能源、降低碳排放的效果，让全生命周期成本优势突出，引入碳成本内化机制，进一步拉高绿色建筑的综合价值，促进绿色建筑产业永续发展，技术进步及政策支持，绿色建筑的经济价值和环境效益会更凸显，为完成“双碳目标”付出更多努力。

## 参考文献

- [1] 钱艳新. 基于全生命周期的绿色建筑增量成本研究 [D]. 山东建筑大学, 2023.
- [2] 詹青. 基于全生命周期的绿色建筑增量成本研究 [D]. 安徽建筑大学, 2021.
- [3] 李辰露. 材料及多因素对绿色建筑全生命周期成本影响研究 [D]. 武汉轻工大学, 2023.
- [4] 王艳. 建筑全生命周期能耗影响因素与协同治理研究 [D]. 济南大学, 2023.
- [5] 杜淑雯. 基于碳减排视角的装配式建筑增量成本及效益评价研究 [D]. 西南科技大学, 2023.
- [6] 李保振. M 商业地产项目全生命周期成本管理研究 [D]. 中国石油大学 (华东), 2022.
- [7] 陈嘉庆. 基于 LCSA 的机制砂高性能混凝土全生命周期成本研究 [D]. 广西大学, 2024.
- [8] 曹园. 装配式建筑全生命周期成本效益研究 [D]. 安徽建筑大学, 2020.