

# 低碳目标导向下建筑工程造价的碳成本核算与优化策略

刘康辉

赣州市正达工程造价咨询有限公司 江西赣州 341001

**摘要：**在全球低碳发展战略与“双碳”目标推动下，建筑行业作为能源消耗与碳排放的重点领域，其低碳转型已成为必然趋势。碳成本作为工程造价的重要延伸，需纳入传统造价管理体系，实现经济成本与环境成本的协同控制。本文基于低碳目标导向，首先分析建筑工程碳成本的构成与核算逻辑，明确碳成本在全生命周期各阶段的表现形式；其次探讨当前碳成本核算面临的边界界定模糊、量化方法不统一、数据获取困难等问题；最后从核算体系构建、技术路径优化、政策机制保障三个维度提出碳成本优化策略，旨在为建筑工程低碳造价管理提供理论参考与实践指引，推动行业向绿色低碳转型。

**关键词：**低碳目标；建筑工程；工程造价；碳成本核算

## 引言

随着生态文明建设的深入推进与全球气候治理的加速，低碳发展已成为各行各业转型的核心方向。建筑工程作为国民经济的支柱产业，其全生命周期（从建材生产、施工建造到运营维护、拆除回收）的能源消耗占社会总能耗的比重超过30%，碳排放量占全国总排放量的20%以上，是实现“碳达峰、碳中和”目标的关键领域。传统工程造价管理主要聚焦于人工、材料、机械等直接经济成本的控制，对碳排放引发的环境成本（即碳成本）重视不足，导致工程决策中“重经济轻环境”的现象普遍存在，难以适应低碳发展要求。碳成本的引入，本质上是将碳排放的外部环境成本内部化，通过量化核算与优化控制，实现工程建设经济效益、社会效益与环境效益的统一。然而，当前建筑工程碳成本核算仍处于探索阶段，面临核算范围不明确、计量方法不规范、数据支撑体系不完善等挑战，制约了低碳目标在工程造价管理中的落地。

## 一、建筑工程碳成本的构成与核算框架

### （一）建筑工程碳成本的内涵与边界界定

建筑工程碳成本是指在建筑项目从规划设计、材料生产、施工建造、运营维护到最终拆除回收的全生命周期过程中，因人为活动产生的碳排放所导致的经济成本支出。这一概念包含两个层面的成本构成：直接碳排放成本和间接碳排放成本。其中，直接碳排放成本主要来源于施工现场的化石能源消耗（如柴油、电力等）、各类

施工机械设备运行产生的尾气排放，以及建筑材料（如水泥、钢材、玻璃等）生产加工过程中的温室气体排放；间接碳排放成本则涉及建筑材料供应链运输环节的燃油消耗、建筑废弃物处理过程中的能源投入，以及建筑长期运营阶段（通常为50-70年）的供暖、制冷、照明等能源消耗所产生的碳排放。在边界界定方面，需要从时间和空间两个维度明确核算范围：时间维度上通常划分为材料生产、施工建造、运营维护及拆除回收四个主要阶段；空间维度上则需要严格区分项目边界（单个建筑项目的直接责任范围）与系统边界（包含上下游产业链的延伸影响范围），通过建立标准化的核算框架，确保不同项目间碳成本数据的完整性与可比性。

### （二）基于全生命周期的碳成本构成要素分析

从全生命周期视角来看，建筑工程碳成本的构成要素可以按照成本特性划分为固定成本与可变成本两大类。固定成本主要指建筑材料生产阶段固有的碳排放成本，特别是水泥、钢材、铝材等高耗能建材在其原料开采、生产工艺过程中产生的碳足迹，这类成本在项目决策阶段就已基本确定；可变成本则包括施工阶段因施工组织方案差异导致的能源消耗波动、材料运输距离变化产生的排放差异，以及运营阶段受使用强度、气候条件影响的动态碳排放（如供暖能耗随冬季温度变化的波动）。此外，建筑拆除阶段的废弃物分类处理能耗、材料回收利用过程中的碳排放/碳减排效应也需要纳入最终的成本核算。从各阶段的成本权重分布来看，材料生产阶段通常占据总碳成本的40%-60%（其中水泥生产

单独贡献约20%–30%)，运营阶段约占30%–50%，施工与拆除阶段合计占比10%–20%，但这一分布会因项目类型（如商业建筑与住宅建筑）、地域特点（如不同气候区）以及能源结构（如电网碳排放因子差异）而存在显著差异<sup>[1]</sup>。

### （三）碳成本核算的基本原则与计量路径

建筑工程碳成本核算需要严格遵循三项基本原则：首先是科学性原则，要求采用国际公认的碳排放因子数据库（如IPCC国家温室气体清单指南）或国家住建部发布的行业标准作为计算依据，确保基础数据的权威性；其次是系统性原则，强调对建筑全生命周期各阶段碳排放数据的连续采集与完整覆盖，避免因系统边界割裂导致的碳泄漏问题；最后是可操作性原则，在保证科学准确的前提下，核算方法应兼顾工程实践的可实施性，采用模块化、标准化的处理方式。具体的计量路径可分为四个关键步骤：第一步是基础数据收集，需要详细统计各阶段的能源消耗品类与数量、主要建材用量及运输里程等核心参数；第二步是排放因子匹配，根据能源类型、材料种类选择对应的碳排放系数，优先采用项目所在地的实测数据或区域化修正因子；第三步是碳量计算，采用“活动数据×排放因子”的基本公式，分阶段、分品类进行碳排放量汇总；第四步是成本转化，根据核算期内的碳交易市场均价（如全国碳市场的配额价格）或适用的碳税政策，将总碳排放量转化为货币化的成本指标，同时考虑贴现率对长期运营阶段碳成本现值的影响。整个核算过程需要建立完整的文档追溯体系，确保计算过程的透明度和可复核性。

## 二、融入碳成本的建筑工程造价优化策略

### （一）设计阶段的低碳选材与方案优化

设计阶段是决定建筑全生命周期碳成本的关键环节，其优化策略直接作用于后续阶段的碳排放基数。低碳选材的核心在于建立材料碳足迹数据库，并在满足结构安全与功能需求的前提下，优先选用隐含碳排放较低的建筑材料。例如，通过性能对比分析，在非承重构件中以现代木结构或再生骨料混凝土替代传统钢材与普通混凝土，可显著降低材料生产阶段的碳成本。方案优化则需整合建筑性能模拟技术，对建筑朝向、窗墙比、自然通风与采光等设计参数进行多目标协同优化。这种优化不仅能够降低建筑运营阶段的采暖、制冷及照明能耗，从而减少间接碳成本，还能通过减少材料用量（如优化结构体系以降低钢材消耗）实现直接碳成本的削减。设计

阶段的决策具有锁定效应，一旦方案确定，后期通过技术手段降低碳成本的潜力将大幅受限，因此，将碳成本核算前置到设计决策中，是实现造价优化的根本途径<sup>[2]</sup>。

### （二）施工阶段的低碳工艺与资源组织优化

施工阶段的碳成本主要源于能源消耗、资源浪费及低效的组织管理。工艺优化侧重于采用低碳施工技术与设备，例如，以工厂化预制装配式施工替代传统现浇工艺，能够减少现场湿作业，降低能源消耗与建筑垃圾产生量，从而削减施工过程的直接碳排放。在资源组织层面，优化重点在于物流管理与能源调度。通过建立精细化物料需求计划，减少材料在现场的冗余存储与二次搬运，能够降低运输设备的燃油消耗。同时，对施工机械设备进行能效管理，优先选用电动或混合动力设备，并合理安排高耗能工序的作业时间，避免设备空载或低效运行，可有效控制施工能耗。此外，构建建筑废弃物的分类回收与再利用体系，将废弃混凝土、金属等材料重新纳入生产环节，不仅能减少废弃物处置的碳成本，还能降低新材料采购的经济成本，实现环境与经济效益的双重优化。

### （三）运维阶段的能效提升与成本控制优化

运维阶段是建筑全生命周期中碳成本持续时间最长、累积效应最显著的阶段。能效提升策略的核心在于对建筑能源系统进行智能化改造与精细化管理。具体措施包括：安装高能效的暖通空调（HVAC）系统、LED照明及智能控制系统，通过传感器与楼宇自动化系统（BAS）对室内环境参数进行实时监测与动态调节，避免能源的无效消耗。在成本控制方面，引入基于能源绩效的合同管理模式，将节能效益与运维服务方的经济利益直接挂钩，激励其持续优化设备运行策略。同时，建立全生命周期的运维成本与碳成本监测数据库，通过对历史数据的分析，预测设备老化与性能衰减趋势，制定预防性维护计划，避免因设备故障导致的能效骤降和额外的碳成本。运维阶段的优化策略将长期的能源消耗转化为可量化、可管理的经济指标，使碳成本控制成为建筑资产管理的重要组成部分，确保低碳目标在建筑实际使用中得到有效落实<sup>[3]</sup>。

## 三、碳成本核算与优化的实施保障

### （一）建筑工程碳排放数据的标准化采集

碳排放数据标准化采集需明确数据采集范围、指标与流程，确保数据真实可追溯，为碳成本精准核算奠定基础，某市绿色住宅项目（共12栋18层住宅，总建

筑面积15万平方米，原数据采集因无统一标准，碳成本核算误差达15%)依据《建筑碳排放计算标准》(GB/T 51366-2019)构建采集体系：采集范围覆盖建材生产(钢材、混凝土等主要建材的碳排放系数，如钢材按 $2.08\text{tCO}_2/\text{t}$ 、低碳混凝土按 $0.10\text{tCO}_2/\text{m}^3$ 取值)、施工能耗(塔吊、混凝土泵车等机械的用电量，通过物联网电表实时采集，每小时上传1次数据)、废弃物处理(建筑垃圾回收量，按回收1t减少 $0.2\text{tCO}_2$ 核算)；数据来源需经责任方确认，建材数据由供应商提供加盖公章的碳排放报告，施工能耗数据由监理单位核验，确保合规性。实施后，碳排放数据采集误差从15%降至5%，碳成本核算周期从原10天缩短至3天，避免因数据偏差导致的碳成本估算过高或过低，为后续优化提供可靠依据。

### (二) 碳交易市场与政策机制的衔接应用

碳交易市场与政策机制的衔接需利用市场工具与政策红利，平衡碳成本增加压力。该项目所在省21年正式启动建筑行业碳交易市场，设定住宅项目碳排放基准值为 $0.08\text{tCO}_2/\text{m}^2$ ，项目前期核算预计碳排放 $1.2\text{万tCO}_2$ (按基准值计算)，通过优化建材(选用再生骨料混凝土，减排 $0.12\text{万tCO}_2$ )与施工工艺(采用装配式施工，减少现场浇筑能耗，减排 $0.08\text{万tCO}_2$ )，实际碳排放降至 $1.0\text{万tCO}_2$ ，结余配额 $0.2\text{万tCO}_2$ 。项目将结余配额在碳交易市场出售，按当时市场价格 $60\text{元/tCO}_2$ 计算，获收益12万元；同时，项目因碳排放低于基准值16.7%，符合当地“低碳建筑补贴政策”，获得 $30\text{元}/\text{m}^2$ 的财政补贴，累计补贴450万元。通过衔接碳交易与政策补贴，项目碳相关收益达462万元，覆盖因选用低碳建材增加的320万元成本，实现碳成本与总造价的平衡，避免低碳目标导致的造价超支<sup>[4]</sup>。

### (三) 项目各参与方协同的成本控制机制

各参与方协同需整合建设单位、施工单位、建材供应商、咨询机构的资源与专业能力，形成碳成本共管格局。项目组建协同控制小组：建设单位牵头制定碳成本控制目标(碳成本占总造价比例不超过3%)；建材供应商提供低碳建材的碳排放数据与报价(如再生骨料混凝土单价较普通混凝土高 $5\text{元}/\text{m}^3$ ，但碳排放量降低10%，对应碳成本减少 $12\text{元}/\text{m}^3$ )；施工单位优化施工方案(如

调整塔吊作业时间，避开用电高峰，降低能耗成本，同时减少碳排放)；咨询机构实时核算碳成本，每周向小组反馈核算结果。协同机制运行中，针对“外墙保温材料选择”，供应商提出采用挤塑板(碳排放 $0.05\text{tCO}_2/\text{m}^2$ )较传统聚苯板(碳排放 $0.08\text{tCO}_2/\text{m}^2$ )碳成本更低，虽单价高 $20\text{元}/\text{m}^2$ ，但碳成本节省 $1.8\text{元}/\text{m}^2$ (按 $60\text{元}/\text{tCO}_2$ 计算)，经协同评估后确定选用，累计减少碳成本4.5万元( $1.8\text{元}/\text{m}^2 \times 2.5\text{万m}^2$ 外墙面积)。项目全周期内，通过协同机制，碳成本较初始预算降低8%，总造价控制在批复范围内，实现低碳目标与造价控制的双重落地<sup>[5]</sup>。

### 结语

低碳目标向下建筑工程造价的碳成本核算与优化不仅是实现建筑行业绿色转型的重要路径，也是推动全社会碳中和目标达成的关键环节。通过对全生命周期碳成本的科学核算与系统优化，能够有效降低建筑项目的环境负担，同时提升经济效益。然而，这一过程仍面临诸多挑战，如数据采集标准化程度不足、市场机制不完善及各参与方协同效率较低等问题。未来，随着技术进步与政策体系的进一步完善，碳成本核算将更加精准，优化策略也将更具操作性。在实践中，应注重技术创新与管理创新的结合，推动建筑行业向低碳化、智能化方向迈进，为实现可持续发展目标提供坚实支撑。

### 参考文献

- [1]张莎莎.新型绿色建筑工程造价预算与成本控制[J].建材发展导向, 2022, 20(15): 3.
- [2]王蓬.以低碳为导向的城市设计策略[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2022(6): 4.
- [3]何建坤.碳达峰碳中和目标导向下能源和经济的低碳转型[J].环境经济研究, 2021, 6(1): 9.
- [4]方国昌,王庆玲.双碳目标导向下能源低碳转型路径探索[J].煤炭经济研究, 2021.
- [5]许涛,张昀,林凯旋.双碳目标导向下低碳生态理念的践行——以邳州隆丰湖片区城市设计为例[C]//面向高质量发展的空间治理——2021中国城市规划年会论文集(08城市生态规划).2021.