

碳中和目标下建筑行业低碳转型的经济成本与收益研究

陈振

安徽中技工程咨询有限公司，安徽合肥，230031；

摘要：在全球碳中和进程加速推进的背景下，建筑行业作为能源消耗和碳排放的重点领域，其低碳转型已成为实现国家“双碳”目标的关键环节。本文聚焦建筑行业低碳转型的经济成本与收益，从全生命周期视角分析转型成本的构成，结合实际案例量化成本投入，并从直接收益、间接收益和政策红利三方面阐述转型价值，同时通过流程图梳理成本收益动态平衡机制，最终提出优化策略。研究旨在为建筑行业科学规划转型路径提供经济决策依据，助力行业在低碳转型中实现可持续发展。

关键词：碳中和；建筑行业；低碳转型；成本收益分析；全生命周期

DOI：10.64216/3080-1486.25.06.010

引言

2020 年 9 月 22 日，习近平总书记在第 75 届联合国大会一般性辩论上宣布：我国二氧化碳排放力争 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现“碳中和”的承诺^[1]。高耗能行业的绿色转型成为必然趋势。建筑行业涵盖建材生产、施工建造、运营维护全链条，其碳排放量占全国总排放量的 40% 以上，是低碳转型的核心领域，其低碳发展是实现中国双碳目标的关键路径^[2]。然而，转型过程中面临的技术升级、设备更新等成本压力，与长期收益的不确定性，让许多企业对转型持观望态度。因此，系统分析建筑行业低碳转型的经济成本与收益，明确成本构成与收益来源，对推动行业主动转型具有重要现实意义。

1 建筑行业低碳转型的经济成本分析

1.1 全生命周期成本构成

建筑行业的低碳转型成本贯穿“建材生产—施工建造—运营维护—拆除回收”全生命周期，各阶段成本呈现不同特征：

1.1.1 建材生产阶段

传统建材生产中，水泥、钢材等产品依赖高耗能工艺，其碳排放量占建筑全生命周期总量的 50% 以上，是低碳转型需突破的关键环节。转型过程中，新型建材的应用成为核心路径，例如通过添加矿渣、粉煤灰替代部分熟料生产低碳水泥，利用废钢冶炼再生钢材，或采用竹木结构等环保材料。这些新型建材的成本主要涉及三方面：研发环节需投入资金优化配方与改进生产工艺，以低碳水泥为例，其煅烧技术研发成本较传统工艺增加 15%-20%；生产环节中，再生骨料混凝土因需专用破碎、筛分设备，生产成本比普通混凝土高出 8%-12%；此外，绿色建材需通过第三方认证（如中国绿色建材评价标

识），单次认证费用通常在 5-10 万元，进一步构成转型成本。

1.1.2 施工建造阶段

传统施工模式对燃油机械（如塔吊、挖掘机）依赖度高，且现场浇筑工艺存在严重的材料浪费与能耗问题。推动低碳施工需转向工业化建造模式（如装配式建筑）并采用清洁能源设备，由此产生的成本集中在三个维度：设备升级方面，电动塔吊、光伏临时用电系统等低碳设备的购置成本比传统设备高 30%-50%，但全生命周期的能耗成本可降低 40%；工艺适配方面，装配式建筑的预制构件运输、吊装需专用设备，初期适配成本增加 10%-15%，但施工效率能提升 20% 以上；人工培训方面，工人需掌握 BIM 建模、构件装配等新技术，相关培训费用约占项目人工成本的 5%-8%，是保障新工艺落地的必要投入。

1.1.3 运营维护阶段

建筑运行阶段的能耗（涵盖空调、照明、电梯等系统）占全生命周期碳排放的 30%，低碳运营需在设备与管理上加大投入。节能设备方面，地源热泵、光伏幕墙、智能楼宇系统等初始投资比传统设备高 50%-80%，单年能耗可降低 30%-50%，长期节能效益显著；数字化管理方面，能源管理平台（EMS）的搭建与维护费用约占建筑总造价的 1%-2%，其核心价值在于实现能耗动态优化，减少无效能源消耗；维护方面，光伏组件每 5 年需更换逆变器，年均维护成本约为初始投资的 2%-3%，是保障低碳设备持续运行的必要支出。

1.1.4 拆除回收阶段

传统拆除多采用爆破、填埋等粗放方式，建材资源回收率不足 30%，既造成浪费又加剧环境负担。低碳拆除强调建材分类回收，由此产生的成本主要体现在两方面：拆解环节中，人工分拣钢筋、玻璃、木材的费用比

机械破碎高 20%-30%，但能提高材料的再生利用价值；运输环节中，分类运输至专业回收厂的物流成本增加 15%-25%，不过再生材料可显著降低后续建材生产的能耗，从全生命周期视角看，这种投入能为产业链后端节

约成本，形成低碳循环的闭环。

1.2 案例——某低碳办公楼项目成本核算

以华东地区一栋 10 层办公楼（建筑面积 10000 m²）为例，对比传统建设与低碳转型的成本差异（见表 1）：

表 1 传统建设与低碳转型的成本差异对比			
阶段	传统模式成本（万元）	低碳模式成本（万元）	成本增幅（%）
建材生产	800	920	15
施工建造	600	690	15
运营维护	300（10 年）	540（10 年）	80
拆除回收	50	70	40
合计	1750	2220	26.8

2 建筑行业低碳转型的收益分析

低碳转型的收益需从短期、中期、长期三个维度综合评估，既包括直接经济收益，也涵盖环境与社会价值转化的间接收益。

2.1 直接经济收益

2.1.1 能源与运营成本节约

低碳建筑通过节能技术降低长期能耗支出。例如，某绿色建筑采用地源热泵供暖制冷，年均耗电量从传统建筑的 80kWh/m²降至 45kWh/m²，按 0.6 元/kWh 计算，10000 m²建筑年省电费 21 万元，20 年累计节约 420 万元，远超初期设备增投的 300 万元。

2.1.2 资产价值提升

在气候问题频发的今天，探索绿色建筑也必然成为建筑行业的转型方向^[3]。绿色建筑在市场交易中具备溢价优势。据中国绿色建筑委员会数据，获得 LEED 认证的办公楼租金比普通建筑高 15%-20%，售价溢价 10%-15%。某二线城市绿色住宅项目，因节能率达 75%，开盘均价较周边项目高 8%，且去化速度快 30%。

2.2 间接收益

2.2.1 环境成本内部化红利

随着碳市场扩容，建筑行业或将纳入全国碳交易体系（目前试点已覆盖水泥、钢铁）。若碳价稳定在 60 元/吨，一栋年减排 1000 吨 CO₂ 的建筑，年碳收益可达 6 万元；若采用碳汇抵消（如屋顶绿化），每平方米绿化年固碳 0.1 吨，10000 m²建筑年收益 60 万元。

2.2.2 品牌与市场竞争力提升

绿色转型有助于企业获取政府项目准入资格。例如，政府投资项目中绿色建筑占比需达 100%，具备低碳技术的企业可获得更多投标机会。某建筑集团因拥有装配式建筑专项资质，近 3 年中标政府项目金额增长 40%，市场份额提升 8 个百分点。

2.3 政策支持收益

国家及地方出台多项激励政策，直接降低转型成本。

资金补贴方面，住建部对二星级以上绿色建筑给予每平方米 50-200 元补贴，某 10000 m²三星级建筑获补贴 150 万元；税收优惠上，绿色建筑项目的企业所得税可享受“三免三减半”（前 3 年免税，后 3 年按 12.5%征收），较普通项目节税 30%以上；另外，融资方面也提供了便利，低碳建筑项目可申请绿色信贷，利率较普通贷款低 10%-15%，1 亿元贷款年省利息 50-75 万元。

3 低碳转型成本收益的动态平衡机制

建筑行业的低碳转型成本与收益存在“前期高投入、后期慢回收”的特征，其动态平衡需通过全生命周期统筹实现，具体机制如图 1 所示：

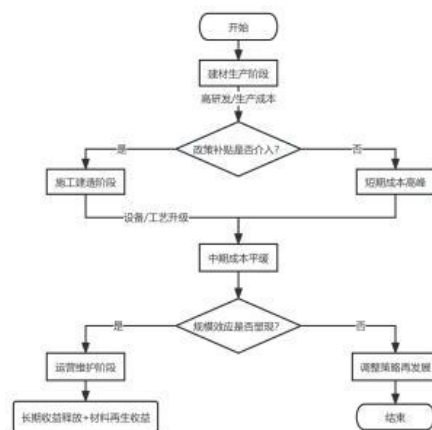


图 1：建筑行业低碳转型成本收益动态平衡流程图

从流程图可见，平衡关键节点包括：

（1）政策介入期（0-3 年）：通过补贴、税收优惠抵消建材生产与施工的初期成本；

（2）规模效应期（3-10 年）：随着低碳技术普及（如装配式构件产量提升），单位成本下降，同时运营节能收益开始显现；

（3）收益释放期（10-30 年）：资产溢价、碳收益等长期收益持续增长，逐步覆盖前期投入，实现净收益为正。

4 优化建筑行业低碳转型成本收益的策略

4.1 技术创新, 降低转型边际成本

4.1.1 深化产学研协同研发

推动企业、高校、科研机构共建低碳技术创新联盟, 聚焦新型建材、低碳施工工艺等核心领域。例如, 联合开发工业固废(如煤矸石、尾矿)替代水泥熟料的配方技术, 可降低原材料成本 20%以上; 针对装配式建筑节点连接难题, 合作研发模块化榫卯结构, 减少施工误差率至 3%以下, 间接降低返工成本。

4.1.2 分阶段推广成熟技术

建立低碳技术经济性评估体系, 优先落地投资回收期短、适配性强的技术。如光伏建筑一体化(BIPV)在光照充足地区的回收期可压缩至 5 年, 雨水回收系统结合智能灌溉, 能使建筑节水成本降低 40%; 对仍处试验阶段的碳捕捉建材技术, 通过政府试点项目给予研发补贴, 加速成果转化。

4.1.3 构建行业技术共享生态

由住建部门牵头搭建全国性低碳技术数据库, 涵盖新型建材参数、节能设备运维方案等, 企业可按项目规模付费使用, 减少重复研发投入。例如, 中小建筑企业通过数据库获取再生骨料混凝土配比, 可节省独立研发费用 30%-50%; 同时鼓励龙头企业开放 BIM 绿色建筑工具接口, 降低行业数字化转型门槛, 预计全行业技术成本可降低 15%。

4.2 政策引导, 完善激励与约束机制

4.2.1 全域扩容碳交易市场

将建筑运行阶段碳排放纳入全国碳交易体系, 按建筑面积核算配额, 对超排项目征收碳税(税率不低于 60 元/吨 CO₂), 预计可使高耗能建筑运营成本增加 10%-15%。同步建立建筑碳减排量核算标准, 允许光伏幕墙、地源热泵等技术产生的减排量跨行业交易, 如 1 万 m²绿色建筑年减排量可兑换水泥企业碳配额, 拓宽收益渠道。

4.2.2 实施阶梯式补贴政策

对中小建筑企业的低碳转型项目, 按造价 5%给予补贴(单个项目上限 500 万元), 且优先拨付 50%启动资金; 对采用竹木结构、低碳水泥等前沿技术的项目, 补贴比例上浮至 8%。针对农村自建房低碳改造, 推行“以奖代补”, 农户每使用 1 吨低碳建材奖励 200 元, 推动下沉市场转型。

4.2.3 创新绿色金融工具

推广“低碳建筑贷”, 对二星级以上绿色建筑项目, 贷款利率较基准下浮 15%, 还款期延长至 20 年, 且允许用碳减排收益权质押融资。试点“绿色建筑 REITs”,

将商业建筑节能收益打包发行资产证券化产品, 降低企业前期投入压力, 预计可带动社会资本投入超千亿元。

4.3 市场培育, 提升低碳建筑溢价能力

4.3.1 升级绿色建筑评价体系

在现有评价标准中增加“碳足迹标签”, 强制披露建材生产、施工阶段碳排放数据, 如标注“该建筑全生命周期碳排放较国标低 30%”。联合电商平台建立绿色住宅展示专区, 通过 VR 技术直观呈现节能效果, 增强消费者支付意愿, 使绿色建筑售价溢价从当前 10%提升至 15%-20%。

4.3.2 激活绿色租赁与采购市场

要求政府机关、国企新租办公用房中绿色建筑占比不低于 80%, 且租金溢价不超过 10%的需优先采购, 预计可使绿色办公楼空置率降低 5-8 个百分点。对租赁绿色建筑的企业, 给予房产税减免(按租金收入 10%抵扣), 形成“租赁-收益-再投入”的良性循环。

4.3.3 探索碳资产多元化运营

试点建筑碳减排量证券化, 将 1 万 m²建筑年减排 1000 吨 CO₂ 的收益打包为“碳期货合约”, 允许企业在金融市场交易; 鼓励保险公司开发“低碳建筑损失险”, 对因技术故障导致的减排量未达标损失给予赔付, 降低转型风险。同时培育第三方碳资产管理公司, 为中小建筑企业提供减排量核算、交易代理服务, 提升市场流动性。

5 结语

建筑行业的低碳转型是一项长期工程, 短期内需承担建材研发、设备升级等成本压力, 但从全生命周期看, 能源节约、资产溢价、政策红利等收益可逐步覆盖成本, 实现经济价值与环境价值的统一。通过技术创新降低边际成本、政策引导平衡初期投入、市场培育提升溢价能力, 能够加速成本收益平衡进程。未来, 随着碳市场完善与低碳技术成熟, 建筑行业的低碳转型将从“被动合规”转向“主动盈利”, 为实现碳中和目标提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 本刊. “双碳目标”催动建筑行业低碳转型[J]. 建筑. 2021(08): 14-17.
- [2] 许雅林, 黎明, 朱玉茹等. “双碳”目标下建筑业低碳建设路径探索[J]. 新城建科. 2024, 33(09): 46-48+51.
- [3] 张磊, 仝德. 促进绿色建筑投资, 助力中国建筑业的低碳转型[J]. 可持续发展经济导刊. 2021(12): 25-28.