

# 建筑施工项目碳排放核算与低碳施工路径优化

李帅军

中电建振冲建设工程股份有限公司 北京 100102

**摘要：**本文聚焦建筑施工项目碳排放核算与低碳施工路径优化，构建了核算体系，明确核算边界、方法及关键数据采集与参数确定；分析了碳排放时空分布、影响因素及驱动机制；从技术、管理、政策与保障层面设计低碳施工优化路径，并排序优先级；因此，构建实施效果评估指标体系，建立动态监测与反馈机制，提出持续改进策略与长效机制，助力建筑施工项目低碳化发展。

**关键词：**建筑施工；碳排放核算；低碳施工；路径优化

引言：在全球气候变暖、低碳发展理念深入人心的背景下，建筑施工行业作为碳排放大户，其碳排放核算与低碳施工路径优化迫在眉睫。准确核算碳排放是制定减排策略的基础，而探索低碳施工路径则是实现行业可持续发展的关键。本文旨在构建科学的碳排放核算体系，深入剖析碳排放特征与影响因素，设计切实可行的低碳施工优化路径，为建筑施工项目低碳转型提供理论支持与实践指导。

## 1 建筑施工项目碳排放核算体系构建

### 1.1 碳排放核算边界与范围定义

科学界定碳排放核算边界是确保结果精准的前提。结合建筑施工项目全流程，本文从生命周期视角明确核算边界，涵盖施工准备、施工及竣工收尾三阶段，排除设计与运营阶段。核算范围分直接与间接排放：直接排放包括施工机械燃油燃烧、现场临时供暖化石燃料燃烧，以及现场扬尘、建筑垃圾填埋或焚烧产生的碳排放；间接排放涵盖建材生产运输隐含碳排放、施工电力及水资源消耗对应碳排放，还有施工人员通勤交通碳排放。同时明确边界动态调整原则，针对不同项目类型和施工规模，细化各阶段核算范围细则，避免重复或遗漏核算，保障核算边界完整一致。

### 1.2 碳排放核算方法

建筑施工项目碳排放来源分散、数据获取难，本文以清单分析法为核心，辅以生命周期评价法细化流程。清单分析法梳理排放源、收集数据、套用公式（碳排放量=活动水平数据×排放因子）量化碳排放。不同排放源适配不同细则，建材生产用材料用量排放因子法，施工设备用燃油消耗法，电力消耗结合区域电网排放因子。生命周期评价法细化建材全链条隐含碳排放核算，明确各环节占比。此外，对比不同方法适用性，数据易获取的精准核算，精度要求低的估算，平衡核算精度与效率<sup>[1]</sup>。

### 1.3 关键数据采集与参数确定

关键数据采集与参数确定是保障核算结果可靠性的核心。数据采集方面，建立多渠道数据采集体系，建材相关数据（用量、产地、运输距离）通过供应商提供的检测报告及采购台账获取；施工设备数据（型号、燃油消耗量、运行时长）由现场施工记录及设备管理台账整理得到；电力、水资源消耗数据通过施工现场智能计量设备实时采集；建筑垃圾处理数据结合垃圾清运记录及处理单位反馈信息确定。数据校验采用交叉验证方式，对比不同渠道获取的数据差异，剔除异常数据。参数确定方面，碳排放因子优先选用国家或行业发布的标准值，针对区域特性进行修正，如结合当地能源结构调整电力排放因子，根据区域交通状况修正运输环节排放因子；同时，明确数据采集周期与更新频率，施工期按月度采集动态数据，确保参数与项目实际施工情况匹配，提升核算结果的精准度。

## 2 建筑施工项目碳排放特征与影响因素分析

### 2.1 碳排放时空分布特征

建筑施工项目碳排放呈现显著的时空分布特征，时间维度上，不同施工阶段碳排放强度差异明显，主体结构施工阶段因混凝土浇筑、钢筋加工等作业密集，大型机械设备频繁运行，且建材消耗量最大，碳排放占比达总排放量的45%-55%；基础施工阶段因基坑开挖、桩基施工等环节，碳排放占比约25%-30%；装饰装修阶段碳排放强度显著降低，占比仅15%-20%；施工准备期与竣工收尾期碳排放占比最低，合计不足10%。空间维度上，不同项目类型与区域存在明显差异，工业建筑因施工工艺复杂、重型设备使用多，单位建筑面积碳排放量较住宅建筑高20%-30%；严寒地区项目因冬季临时供暖需求，碳排放强度较夏热冬暖地区高15%-25%；一线城市项目因建材运输距离短、能源结构更优，碳排放强度略低于

二三线城市项目，凸显区域能源结构与施工需求对碳排放的影响。

## 2.2 碳排放影响因素分解

建筑施工项目碳排放受多重因素综合影响，可分为技术、管理、外部三大类。技术因素是核心影响因素，包括施工工艺、设备能效、绿色建材使用率等，传统现浇施工工艺较装配式施工工艺碳排放高30%~40%，老旧施工设备较节能设备燃油消耗高25%以上，绿色建材使用率每提升10%，项目碳排放量可降低5%~8%。管理因素影响碳排放管控效果，精细化施工组织设计可减少10%~15%的冗余能耗，建筑垃圾回收利用率每提升15%，可降低约3%的碳排放，工期延误则会导致设备闲置与能耗增加，进一步推高碳排放量<sup>[2]</sup>。外部因素包括区域能源结构、气候条件、政策标准等，火电占比高的区域电力碳排放因子是清洁能源占比高区域的1.5~2倍，极端气候会增加临时能耗，严格的低碳政策则能倒逼企业提升减排力度。

## 2.3 碳排放驱动机制模型

基于影响因素分析，构建建筑施工项目碳排放驱动机制模型，明确各因素的作用路径与关联关系。模型以经济增长与建筑需求为核心驱动力，建筑行业的快速发展带动施工项目数量增加，直接扩大碳排放规模；技术水平为调节驱动力，低碳技术的研发与应用可有效抑制碳排放增长，而技术滞后则会加剧碳排放；管理水平与政策约束为约束驱动力，完善的管理体系与严格的政策标准能通过规范施工行为、倒逼技术升级，降低碳排放强度；外部环境（能源结构、气候条件）为基础驱动力，决定碳排放的基准水平与减排潜力。各驱动力相互作用，形成“需求驱动-技术调节-约束管控-环境支撑”的闭环驱动机制。通过模型可清晰识别不同阶段的核心驱动因素，为针对性制定减排措施提供理论支撑，例如在项目初期聚焦需求侧管控，在施工阶段强化技术与管理调节。

## 3 建筑施工项目低碳施工路径优化设计

### 3.1 技术层面优化路径

技术层面是实现低碳施工的核心支撑，优化路径聚焦建材、设备、工艺三大核心环节。建材方面，推广低碳建材应用，采用低碳水泥、再生骨料、预拌砂浆等低排放材料，替代传统高碳建材，其中再生骨料使用率提升至30%以上可降低建材环节碳排放12%~15%；优化建材配比，通过添加矿物掺合料减少水泥用量，同时缩短建材运输距离，优先选用本地建材，降低运输环节碳排放。设备方面，推进施工设备节能改造，淘汰老旧高能耗设备，选用电动塔吊、电动挖掘机等新能源设备，新能源设备占比提升至40%以上可降低设备运行碳排放

30%~35%；引入设备智能调度系统，优化设备运行路线与作业时间，减少设备闲置能耗。工艺方面，推广装配式施工工艺，提升构件预制率至50%以上，降低现场作业碳排放；应用BIM技术进行施工模拟与协同管理，减少返工与材料浪费，结合绿色模板技术（如铝合金模板、塑料模板），降低模板损耗与碳排放<sup>[3]</sup>。

### 3.2 管理层面优化路径

管理层面优化聚焦精细化管控，提升碳排放管控效率。施工组织管理方面，基于BIM技术构建碳排放动态监测平台，实时跟踪各环节碳排放量，结合施工进度优化施工方案，减少冗余工序与能耗；推行限额领料制度，建立建材全生命周期台账，精准控制建材用量，降低材料浪费导致的碳排放。能耗与废弃物管理方面，安装智能计量设备，对电力、水资源消耗进行实时监测与考核，制定能耗定额标准，超耗预警并追责；强化建筑垃圾分类管理，建立现场回收处理机制，将可回收建筑垃圾（如钢筋、木材）回收利用率提升至60%以上，其余垃圾交由专业机构处理，减少填埋与焚烧碳排放。人员管理方面，开展低碳施工技术培训，提升施工人员低碳意识与操作技能；建立低碳施工激励机制，对减排成效显著的班组与个人给予奖励，激发全员减排积极性。

### 3.3 政策与保障层面优化路径

建立健全低碳施工管理制度，明确各部门减排职责与考核标准，将碳排放指标纳入项目绩效考核体系；制定低碳技术研发与应用激励政策，加大对低碳技术、新能源设备的资金投入，设立专项减排基金。与建材供应商、设备厂商签订低碳合作协议，要求供应商提供低碳建材与设备，明确供应链各环节减排责任；搭建供应链低碳信息共享平台，实现碳排放数据互联互通，协同推进供应链减排。积极响应地方低碳政策，争取绿色信贷、税收优惠等政策支持；参与碳交易市场，通过碳配额交易盘活减排收益，提升企业减排积极性。

### 3.4 优化路径优先级排序

基于“减排效果-实施成本-技术成熟度”三维评价模型，对优化路径进行优先级排序。第一优先级为技术层面的绿色建材应用、新能源设备推广及管理层面的碳排放动态监测，此类路径减排效果显著（减排率15%~35%）、实施成本中等、技术成熟度高（技术成熟度 $\geq 80\%$ ），可快速落地并实现减排效益。第二优先级为工艺优化（装配式施工、BIM技术应用）与废弃物回收利用，减排效果好（减排率10%~20%）、实施成本略高，但技术成熟度逐步提升，适合在项目中期推进。第三优先级为供应链协同减排与外部政策对接，此类路径减排效果具有长期性，

实施成本较低,但受外部环境影响较大,需长期推进。同时,针对不同项目类型调整优先级,政府投资项目可优先推进低成本低碳技术应用,民营项目则优先选择低成本、见效快的优化路径,确保路径优化的针对性与可行性。

#### 4 建筑施工项目低碳施工路径实施效果评估与持续改进

##### 4.1 实施效果评估指标体系构建

为科学评估低碳施工路径的实施效果,需构建涵盖环境、经济、社会三重维度的综合评估指标体系。环境维度聚焦碳排放强度、能源利用效率与废弃物处理率,具体指标包括单位建筑面积碳排放量、可再生能源占比、建筑垃圾回收率等,用于量化低碳施工对环境效益的直接贡献。经济维度关注成本效益与资源节约,通过核算低碳技术应用成本、能耗成本节约额、材料浪费减少量等指标,评估低碳施工的经济可行性。社会维度侧重于人员能力提升与行业示范效应,设置低碳施工培训覆盖率、绿色技术专利数量、行业标杆项目数量等指标,反映低碳施工对行业可持续发展的推动作用<sup>[4]</sup>。

##### 4.2 实施效果动态监测与反馈机制

实施效果动态监测是持续改进的基础,需建立“数据采集-分析-反馈”闭环机制。数据采集方面,依托物联网、BIM等技术构建实时监测平台,集成电力、水资源、建材消耗等数据,结合碳排放核算模型自动生成碳排放日报、周报与月报。数据分析环节,采用对比分析法与趋势分析法,将实际碳排放与目标值、行业基准值进行对比,识别偏差原因(如设备故障、工艺缺陷或管理漏洞),并通过趋势分析预测未来碳排放走势。反馈机制强调及时性与可操作性,针对监测发现的问题,立即向相关部门下发整改通知,明确整改措施与期限;同时,定期召开低碳施工复盘会议,总结经验教训,优化施工方案与管理流程。

##### 4.3 持续改进策略与长效机制建设

持续改进是低碳施工路径优化的核心目标,需从技术迭代、管理升级与政策协同三方面构建长效机制。技术迭代方面,建立低碳技术储备库,定期评估新技术(如氢能施工设备、碳捕获技术)的成熟度与适用性,优先在试点项目应用并推广;同时,鼓励产学研合作,联合高校与科研机构开展低碳技术研发,突破关键技术瓶颈。管理升级方面,将低碳施工纳入企业标准化管理体系,制定《低碳施工操作手册》与《碳排放管控流程》,规范施工行为;引入数字化管理工具(如碳排放管理软件),实现碳排放数据的自动化采集与分析,提升管理效率。政策协同方面,加强与政府、行业协会的沟通,推动低碳施工标准与政策的完善,争取税收优惠、绿色信贷等政策支持;同时,参与碳交易市场,通过碳配额交易激励企业主动减排。

##### 结束语

建筑施工项目碳排放核算与低碳施工路径优化是一项复杂且长期的系统工程。通过构建全面的核算体系、深入分析碳排放特征与影响因素、设计多维度优化路径以及建立科学的评估与改进机制,能够有效降低建筑施工项目的碳排放,推动行业向低碳、绿色方向转型。未来,需持续关注新技术、新政策,不断完善优化路径,实现建筑施工行业的可持续发展与碳中和目标。

##### 参考文献

- [1]成虎,邓娇娇.建筑施工企业能源管理体系构建与实践[J].能源研究与管理,2021,(4):85-91.
- [2]尹贻林,杜亚灵.建筑产业链低碳协同发展模式研究[J].建筑经济,2020,41(10):112-118.
- [3]陈亚婷.绿色审计助力会展经济低碳发展的价值优势与实施路径[J].理财,2024,(05):33-34+37.
- [4]陈浩,康欣.始于碳计算终于碳交易——建筑业低碳发展探索[J].绿色建筑,2023,15(04):1-4+9.