

低碳目标下建筑工程管理的碳足迹核算与施工阶段管控优化

刘亚琼

江西鹏瑞项目管理有限公司 江西上饶 334000

摘要: 在全球低碳发展战略背景下, 建筑行业作为能源消耗与碳排放的重点领域, 其碳足迹核算与施工阶段的低碳管控优化成为实现行业绿色转型的关键。本文基于低碳目标要求, 首先阐述建筑工程碳足迹核算的内涵与重要性, 明确核算边界、范围及核心方法; 进而聚焦施工阶段, 从碳排放源头识别入手, 分析施工过程中材料、设备、能源及管理环节的碳排放特征; 最后针对性提出施工阶段碳足迹管控优化策略, 包括绿色施工技术应用、资源高效利用、数字化管理平台构建及全过程监督机制完善等, 旨在为建筑工程实现低碳目标提供系统性的管理思路与实践路径, 推动建筑行业向低碳化、可持续化方向发展。

关键词: 低碳目标; 建筑工程管理; 碳足迹核算; 施工阶段; 管控优化

引言

随着“双碳”目标的提出与全球气候治理进程的加速, 建筑行业作为国民经济的支柱产业, 其高能耗、高碳排放的发展模式面临严峻挑战。建筑工程全生命周期涵盖规划、设计、施工、运营及拆除等阶段, 其中施工阶段作为资源投入集中、能源消耗密集的关键环节, 对整体碳足迹的贡献占比显著。因此, 在低碳目标导向下, 构建科学的碳足迹核算体系, 精准量化施工过程中的碳排放, 并在此基础上实施有效的管控优化措施, 是降低建筑工程碳排放强度、提升行业绿色竞争力的必然要求。当前, 建筑工程碳足迹核算仍存在边界界定模糊、核算方法不统一、数据获取难度大等问题, 而施工阶段的管控措施也多停留在传统节能层面, 缺乏系统性与针对性。

一、建筑工程碳足迹的构成与核算边界

(一) 建筑全生命周期碳排放的主要来源

建筑工程全生命周期碳排放涵盖从资源获取到拆除处置的完整链条, 可按物质与能量流动过程解构。物化阶段, 碳排放隐含于建筑材料与构件, 源于原材料开采运输、建材生产制造及成品运输, 其强度取决于材料选择、生产工艺能效及供应链物流组织。建筑运行与维护阶段持续时间长、累计排放量通常最大, 排放源于建筑供暖、制冷等设备运行及维修改造的建材与能源消耗。拆除与处置阶段, 碳排放来自拆除作业能源消耗及建筑垃圾处理。深入分析此链条, 揭示了碳排放控制的关键介入点, 表明要实现全生命周期碳减排, 不能仅关注运

行阶段节能, 需扩展至前端和后端环节^[1]。

(二) 施工阶段碳排放的核心构成要素

施工阶段连接建筑材料物化与运行维护, 其碳排放具集中性、临时性和复杂性, 核心要素归结为能源消耗、物料消耗和施工过程。能源消耗是直接排放源, 包括机械设备化石燃料及临时设施、施工工艺电力消耗, 排放强度取决于能源类型及排放因子。物料消耗排放指施工额外材料使用, 如混凝土超耗等, 其隐含碳计入排放清单。施工过程排放包括运输车辆移动及特殊工艺排放, 如土方开挖土壤有机碳释放。精细化拆解这些要素为施工阶段碳减排提供靶向, 助管理者识别排放“热点”, 制定针对性措施管控施工碳排放。

(三) 碳足迹核算的对象边界与时间边界界定

碳足迹核算的科学性与可比性, 根本取决于边界的清晰界定, 包括对象与时间两个维度。对象边界界定旨在明确核算的物理与系统范围。物理范围指建筑地理红线范围, 含主体、基坑及临时设施区域; 系统范围较复杂, 需依“摇篮到大门”等原则确定。施工阶段核算常采用“从大门到大门”视角, 核算进出施工现场物料的碳排放, 要明确上游供应链排放的纳入与排除情况。时间边界规定核算起止时间, 施工阶段一般从动工到交付使用, 包含施工前后的准备与收尾活动。精确界定两个边界能确保核算结果准确透明, 避免数据重复或遗漏。清晰的边界定义是不同项目、施工方法间碳排放绩效比较的前提, 是评估碳减排效果的基础, 为管控优化和碳交易提供可信数据支撑^[2]。

二、施工阶段碳足迹的核算方法与数据基础

(一) 基于过程分析的碳排放核算方法

基于过程分析的碳排放核算方法是当前施工阶段碳足迹量化评估的主流技术路径，其核心在于将复杂的施工活动分解为一系列独立的、可度量的基础过程，并对每个过程的资源与能源输入进行追踪，从而计算其相应的碳排放输出。该方法遵循物质守恒和能量守恒的基本原理，其核算逻辑可以表述为：首先，依据施工组织设计和工程量清单，将整个施工阶段划分为土方开挖、材料运输、混凝土浇筑、构件吊装、现场焊接等具体的子过程。其次，针对每一个子过程，精确识别其消耗的各类能源（如电力、柴油、汽油）和物资（如水泥、钢材、焊接材料）。最后，将各过程的资源消耗量乘以其对应的碳排放因子，并进行累加，得出该过程乃至整个施工阶段的碳排放总量。这种方法的优势在于其透明度高、逻辑清晰，能够将碳排放与具体的施工工序、机械设备和材料消耗直接关联，为后续的碳排放源识别和减排措施制定提供了精确的定位。其学术价值在于构建了一个可验证、可复现的量化框架，使得碳排放从抽象概念转变为可管理的工程指标^[3]。

(二) 施工过程主要碳排放因子的确定

碳排放因子是连接资源消耗与碳排放量的关键转换参数，其准确性和适用性直接决定了碳足迹核算结果的可靠性。施工过程的主要碳排放因子可分为能源类碳排放因子和材料类碳排放因子。能源类因子主要指单位能源消耗所产生的二氧化碳排放量，例如每千瓦时电力对应的碳排放（需根据区域电网的平均排放强度确定）、每升柴油或汽油燃烧的直接排放。这些因子的确定通常依赖于国家或行业发布的官方统计数据，如国家发改委发布的《区域电网平均二氧化碳排放因子》或IPCC（政府间气候变化专门委员会）提供的缺省值。材料类因子则更为复杂，它涵盖了建筑材料在生产、运输等上游环节所产生的隐含碳排放，例如每吨水泥、每立方米混凝土、每吨钢材的碳排放因子。这些因子的获取渠道多样，包括行业协会发布的平均水平、特定生产企业的实测数据，以及经过生命周期评价（LCA）的数据库。确定这些因子的核心挑战在于其地域性和时效性差异，例如，采用电炉工艺生产的钢材与采用高炉-转炉工艺生产的钢材，其碳排放因子存在显著区别。因此，在核算中审慎选择并明确标注碳排放因子的来源与适用条件，是保证核算结果科学性和可比性的前提，其价值在于为量化分析提

供了统一且可信的度量衡。

(三) 核算数据的采集与处理路径

数据是碳足迹核算的基石，其采集与处理路径的严谨性直接关系到最终结果的精确度。施工阶段核算所需的数据主要包括两大类：活动数据和背景数据。活动数据指施工现场直接发生的、可测量的资源消耗量，如各类机械的台班数量和燃料消耗记录、各类材料的进场验收单据、现场总电表的读数等。这些数据的采集依赖于完善的现场计量体系和规范的工程资料管理，要求施工方建立详细的能源与材料消耗台账。背景数据即前述的碳排放因子，其获取路径已在上文阐述。数据处理路径则包括对采集到的原始活动数据进行审核、筛选和标准化处理。例如，需要将不同时间、不同来源的电力消耗数据，统一换算为标准计量单位，并匹配对应年份和区域的电网排放因子。对于分包工程或租赁设备产生的碳排放，需要通过合同条款和沟通机制，明确数据报送责任，确保数据的完整性。此外，还需对数据进行不确定性分析，评估因测量误差、因子选择偏差等带来的结果波动范围。建立这样一套系统化的数据采集与处理路径，其价值在于确保了碳足迹核算工作的可操作性和结果的稳健性，它将零散的现场记录转化为结构化的分析数据，为施工过程的碳排放动态监控和精准管控提供了坚实的数据基础^[4]。

三、施工阶段碳排放的管控优化路径

(一) 基于施工组织设计的碳排放源头控制

施工组织设计是指导施工全过程各项活动的技术经济文件，也是实现碳排放源头控制的核心载体。在低碳目标下，施工组织设计的优化必须超越传统的对成本、工期和质量的单一考量，将碳排放作为关键约束和优化目标之一。源头控制的核心在于规划阶段对高碳排工序的规避或替代。例如，在施工方案比选时，应量化评估不同方案（如现浇混凝土与预制装配式结构、传统脚手架与液压爬升模板）的隐含碳与施工过程碳排放，优先选择碳强度更低的方案。施工总平面布置的优化也至关重要，通过科学规划材料堆场、预制构件加工区和起重机械的位置，最大限度地缩短场内运输距离，减少因二次搬运产生的燃油消耗和机械排放。施工时序的合理安排同样能够产生显著的减碳效益。

(二) 施工机械设备与能源使用的优化策略

施工机械设备是施工阶段能源消耗和直接碳排放的主要来源，对其进行优化是管控碳排放的关键环节。该

策略的实施路径涵盖设备选型、运行管理和能源结构三个层面。在设备选型上,应优先采购或租赁能源效率等级高、符合最新排放标准的设备,并在满足工况要求的前提下,选择功率匹配的机械,避免“大马拉小车”式的能源浪费。对于特定工序,应积极评估电动机械替代传统燃油机械的可行性,如使用电动挖掘机、电动运输车等,其碳排放强度取决于电网的清洁化程度,但在施工现场可实现零排放和低噪音。在运行管理层面,建立严格的设备维保制度,确保发动机、液压系统等关键部件处于最佳工作状态,是提升燃油效率的基础措施。同时,通过智能化的施工调度系统,优化机械的作业路径和任务分配,减少空驶和等待时间,并利用物联网技术对设备的实时油耗和运行状态进行监控,为操作手提供节能驾驶反馈。在能源结构上,推动施工现场能源消费的清洁化转型是根本方向,这包括在办公区、生活区等固定区域安装分布式光伏发电系统,为现场提供部分绿色电力;在有条件的项目中,探索使用生物柴油等替代燃料。这些策略的综合应用,其价值在于从能源消耗的直接端入手,通过技术升级和精细化管理,实现单位工程量碳排放强度的持续降低,是施工过程减碳最直接、最有效的手段。

(三) 建筑材料管理与废弃物减碳的实践路径

建筑材料的生产运输和施工废弃物的处置共同构成了施工阶段碳排放的重要组成部分,因此,对建筑材料进行全链条管理和推动废弃物减碳是实现低碳施工的必要路径。在材料管理方面,核心是减少损耗和优化物流。首先,通过推广建筑信息模型(BIM)技术进行精确的工程量计算和深化设计,可以从源头上减少因尺寸错误、设计冲突导致材料浪费和返工。其次,实施精益化的采购与库存管理,依据施工进度制定精准的材料进场计划,避免因过早进场导致的现场堆放损耗和因延迟进场造成的工期延误。对于钢筋、模板等大宗材料,采用工厂化加工、现场装配的方式,能显著提高材料利用率和加工精度。在废弃物减碳方面,路径分为源头减量、过程回收和末端资源化。源头减量依赖于前述的精确设计和精益管理。过程回收则要求在施工现场建立分类回收体系,将废钢、废木材、废模板等可回收物与建筑垃圾

有效分离,并交由专业机构回收再利用,这直接减少了因生产新材料而产生的碳排放。末端资源化主要针对无法回收的建筑垃圾,通过现场或就近的移动式破碎设备,将其处理为再生骨料,用于道路垫层、室外工程等非承重结构,实现废弃物的就地消纳和价值再生^[5]。

结语

建筑工程管理在低碳目标下的碳足迹核算与施工阶段的管控优化是一项系统性、综合性的工作。通过对施工阶段碳排放核心构成要素的精细化拆解,不仅能够明确能源消耗、物料使用和施工工艺对碳排放的具体贡献,还为制定针对性的减排措施提供了科学依据。同时,清晰界定核算边界和采用基于过程分析的核算方法,为实现碳排放数据的准确性和可比性奠定了基础。在此基础上,通过施工组织设计优化、机械设备与能源使用的改进以及建筑材料与废弃物的全链条管理,可以有效降低施工阶段的碳排放强度。这些路径共同构成了从源头到末端的全过程碳管控体系,体现了技术进步与管理创新的深度融合。未来,在政策引导、技术支撑和市场机制的协同作用下,建筑行业将有望在实现低碳转型的同时,促进行业高质量发展,并为全球气候变化治理贡献更大力量。

参考文献

- [1] 包新. 基于BIM的建筑碳足迹计算模型分析[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022.
- [2] 谭泽涛, 刘旭明, 徐子健, 等. “双碳”目标下工程建设企业低碳转型发展路径[J]. 建筑经济, 2022, 43(9): 18-23. DOI: 10.14181/j.cnki.1002-851x.202209018.
- [3] 康晓辉, 刘洪波, 矫明, 等. 基于AHP法的预拌混凝土原材料管理风险影响因素研究[J]. 工程质量, 2022(008): 040.
- [4] 李水生, 肖初华, 杨建宇, 等. 建筑施工阶段碳足迹计算与分析研究[J]. 环境科学与管理, 2020, 45(3): 5. DOI: CNKI: SUN: BFHJ.0.2020-03-009.
- [5] 郭丽平. 猪饲料碳足迹生命周期评价[D]. 北京建筑大学, 2022.