

绿色理念导向下建筑工程施工进度优化管理与资源配置研究

刘燕芬

441827*****4743

摘要: 在“双碳”目标与可持续发展战略驱动下,绿色理念已成为建筑工程管理的核心指导原则。传统施工进度与资源配置模式常将环境效益置于次要地位,导致资源错配、工期延误与生态负荷叠加。本文以绿色理念为理论根基,系统探究建筑工程施工进度优化与资源配置的协同机制,构建融合环境约束、资源效率与工期目标的集成化管理框架。本文研究提出“目标协同-技术赋能-制度保障”三位一体的实施路径,强调在设计阶段植入绿色基因、施工过程采用精益绿色建造方法、建立多方参与的绿色供应链体系,为建筑业绿色低碳转型提供理论支撑与实践范式。

关键词: 绿色理念; 建筑工程; 进度优化; 资源配置; 协同管理

DOI: 10. 64216/3104-9664. 25. 02. 059

引言

全球气候变化危机加速了建筑业的绿色变革进程。我国“十四五”规划明确提出“推动城乡建设绿色发展”的战略目标,要求建筑业通过技术创新与管理升级实现节能减排。建筑工程作为资源消耗密集型产业,施工阶段消耗全国钢材产量的 30%、水泥产量的 25%,同时产生 40% 的建筑垃圾。传统进度管理聚焦工期压缩,常通过增加人力设备投入实现目标,导致资源错配与生态负担加重——例如为赶工而忽视扬尘控制措施,引发环境投诉与停工整改,反而加剧工期延误。绿色理念的引入要求重新审视进度与资源的关系:在保证环境绩效的前提下实现工期目标,通过资源高效流转创造经济、社会、环境三重效益。这种转变不仅是响应国家战略的必然要求,更是建筑业突破发展瓶颈、提升核心竞争力的关键路径。

国际学界对绿色施工管理的研究历经三个阶段:早期聚焦污染控制技术(如 1990 年代德国开发的低排放施工工艺),中期转向生命周期评价(如英国建筑研究院的 BREEAM 体系将环境影响纳入施工评价),近期发展为系统集成管理(如美国 LEED 认证 v4 版将供应链管理纳入绿色施工评价)。在进度优化领域,关键技术(CCPM)通过缓冲区设置缓解资源冲突,敏捷建造方法通过迭代开发适应需求变化。国内研究呈现追赶态势,学者们在绿色施工评价体系构建、BIM 技术在进度模拟中的应用等方面取得进展,例如有学者基于 BIM 构建绿色施工动态模拟模型,实现工序冲突预判;另有研究将碳排放指标纳入资源调度模型,优化材料运输路径。然而现有研究存在两大局限:一是将绿色目标视为

进度管理的约束条件而非内生变量,二是缺乏对资源配置动态适配机制的深入探讨,尤其在装配式建筑、近零能耗建筑等新兴业态中,绿色理念与进度资源的协同研究更为薄弱。

本文构建“理论建构-模型设计-路径创新”的研究框架:首先解析绿色理念对进度资源管理的三重重塑效应(目标体系、约束条件、优化维度);其次建立多目标协同优化模型,集成工期、资源、环境三大约束;最后提出技术-制度-文化协同的实施路径。研究方法采用系统动力学建模与德尔菲法相结合:通过 Vensim 软件模拟不同情景下绿色措施对进度资源的影响机制,结合专家访谈筛选关键协同因子^[1]。研究范围限定于新建住宅与公共建筑,排除改建项目特殊性的干扰,确保结论普适性。

1 绿色理念对进度资源管理的理论重塑

1.1 目标体系的三维重构

传统进度管理以“最短工期”为单一目标,绿色理念推动目标体系向三维结构演进:时间维度从绝对工期最短转向合理工期最优,需考虑绿色工序(如环保材料养护、生态修复)的必要耗时,避免因压缩生态恢复时间导致后期返工;资源维度从静态配置转向动态流转,强调建材循环率、能源自给率等循环指标,例如要求模板周转率不低于 5 次;环境维度新增碳足迹限额、生物多样性保护等生态红线指标,如施工扬尘浓度需低于国家标准 30%。三维目标需通过帕累托改进寻求平衡点,例如当缩短工期需增加夜间施工时,需评估光污染对周边生态的影响是否超出阈值。

1.2 约束条件的结构性转变

绿色理念引入三类新型约束：生态约束要求施工边界避让生态敏感区，扬尘控制标准较传统工地提高 30%，噪声排放限值分时段管控；循环约束要求拆除建材再利用率不低于 70%，水资源循环率超 40%，禁止现场焚烧建筑垃圾；行为约束限制高排放机械使用时段（如国三以下设备禁入城区），强制采用装配式装修减少现场切割作业。这些约束倒逼管理流程再造：在进度计划中预留材料回收窗口期（如主体结构完工后 3 日内启动模板拆除与清理），在资源调度中优先选用低碳供应商（如提供 EPD 认证的建材厂商）。

1.3 优化方法的范式升级

绿色导向催生三类创新方法：精益绿色建造将 5S 现场管理扩展为 7S（增加 Safety 安全、Saving 节能），通过价值流分析消除非增值环节（如减少材料二次搬运）；循环资源规划建立建材银行制度，对模板、脚手架等周转材料实施跨项目调度，降低闲置率；数字孪生优化利用 BIM+GIS 构建虚拟工地，模拟不同进度方案的环境影响（如对比顺作法与逆作法对周边交通的扰动）。方法升级的本质是从“对抗自然”转向“顺应自然”，例如利用日照分析优化外墙施工时序，减少冬季人工照明能耗^[2]。

2 绿色导向的施工进度优化模型构建

2.1 多目标协同优化框架

构建包含三层结构的优化模型：决策层设置工期偏差率（实际工期与计划工期差值百分比）、资源周转率（材料消耗量与库存量比值）、碳排放强度（单位产值碳排放量）等核心指标；约束层涵盖合同工期、劳动力峰值（不超过定额 30%）、材料库存容量（满足 3 日用量）、环境承载力（如扬尘排放上限）等边界条件；算法层采用改进的非支配排序遗传算法（NSGA-III），通过三维帕累托前沿解集平衡目标冲突。模型创新点在于引入环境成本内部化机制，将扬尘罚款、碳排放税等外部成本转化为工期资源决策的惩罚函数，例如每超标 1 千克碳排放增加工期成本 0.5%。

2.2 关键路径的绿色再造

传统关键路径识别忽略绿色工序的弹性特征，本研究提出动态关键链识别法：绿色缓冲设置在环保审批、材料检测等易受外部影响的环节增设时间缓冲（占工序时长 15%-20%）；并行工程重组将室内装修与外墙保温工序由串行改为并行，缩短总工期 10%-15%；模块化施

工集成对标准化构件（如预制楼梯、叠合板）采用工厂预制+现场组装模式，减少现场作业时间 20%以上。

2.3 不确定性因素的韧性应对

针对绿色施工特有的不确定性（如环保督查、极端天气），建立三级响应机制：一级响应（常规波动）通过资源弹性储备（如预备 10%劳动力、5%备用材料）吸收正常偏差；二级响应（中度干扰）启动替代方案库（如雨季改用室内作业、雾霾天启用电动机械）；三级响应（重大风险）激活多方协同平台（业主、设计、施工、监理），重新协商工期与资源调配方案。

3 绿色资源配置的动态适配机制

3.1 人力资源的生态化配置

突破传统按工种配置模式，建立“技能-环保”双维度矩阵：纵向维度划分基础工、技术工、管理工三级能力梯队，要求技术工掌握至少 2 项绿色技能（如装配式施工、废弃物分拣）；横向维度设置绿色技能认证体系，特种作业人员（如电工、焊工）需通过环保操作规程考核，持证率 100%；动态调配基于工序环境负荷（如噪音等级、粉尘浓度）安排作业班次，避免生态敏感时段（如鸟类繁殖期）施工。

3.2 材料资源的循环型管理

构建“采购-使用-回收”闭环体系：绿色采购建立供应商环境绩效档案，优先选用 EPD 认证建材（如低碳水泥、再生骨料），要求供应商提供材料碳足迹报告；精准配送应用 RFID 技术实现钢筋、模板等材料的准时制配送（JIT），减少现场堆积损耗（目标损耗率 $\leq 3\%$ ）；再生利用设置移动破碎站现场处理建筑垃圾，再生骨料用于道路基层或非承重结构，废木材加工为临时设施板材^[3]。

3.3 设备资源的低碳化调度

创新设备配置三原则：能效优先选用国标一级能效机械（如磁悬浮冷水机组、变频水泵），淘汰国三以下排放设备；错峰用电利用谷电时段（23:00-7:00）进行混凝土搅拌、砂浆制备等高功率作业；共享经济加入区域性设备租赁平台，提高塔吊、泵车等大型机械利用率（目标利用率 $\geq 80\%$ ）。

4 绿色进度资源协同的实施路径

4.1 技术赋能路径

构建“BIM+IoT+AI”技术三角：BIM 全周期应用在设计阶段进行绿色施工模拟，预判工序冲突（如预制

构件吊装与临时道路占用矛盾)；施工阶段通过 BIM 模型实时更新进度，关联材料库存与机械状态；物联网实时监控部署传感器采集材料消耗、机械能耗、扬尘浓度数据，异常值自动预警（如材料超耗 10%触发警报）；AI 智能决策训练 LSTM 神经网络预测资源需求（如未来 7 日劳动力缺口），提前调整采购与调度计划。

4.2 制度创新路径

建立三项保障机制：绿色合约条款在承包合同增设环保奖惩细则（如提前完成扬尘治理奖励工程款 1%，超标排放扣减 2%）；跨部门协同组由业主、设计、施工、监理组成绿色管理委员会，每周例会协调矛盾（如设计变更导致的绿色工序调整）；绿色金融支持申请绿色建筑专项贷款，利率较基准利率下浮 10%-15%，还款周期延长至 5 年。

4.3 文化培育路径

实施三维渗透策略：认知层将绿色 KPI 纳入绩效考核（权重不低于 30%），如资源周转率、碳排放强度与奖金挂钩；行为层开展“绿色工匠”评选，奖励技术创新提案（如某工人提出的模板拼接改进方案年节约木材 50 立方米）；物质层建设绿色施工展馆，可视化展示资源节约成效（如动态屏幕显示实时碳排放量与目标值差距）。

5 挑战与对策建议

5.1 面临的主要挑战

体系实施面临四重挑战：技术集成难，BIM、物联网、AI 系统数据协议不统一，存在“信息孤岛”；成本压力大，绿色设备采购与改造初期投资较传统设备增加 30%-50%；标准体系缺失，绿色施工碳排放核算、资源循环率评价标准尚未全国统一；人才储备不足，既懂工程管理又熟悉绿色技术的复合型人才匮乏（行业缺口达 40%）。

5.2 对策建议

针对上述挑战，提出以下对策：强化技术攻关设立专项科研基金，支持多系统数据接口研发，建设绿色施工示范基地；完善政策激励将碳排放指标纳入安全生产许可条件，对超额完成减排目标的企业给予财政补贴（如每吨碳减排奖励 50 元）；健全标准体系加快制定《绿色施工资源循环率评价标准》《建筑工程绿色进度管理规程》；加强人才培养高校增设“绿色建造”交叉

学科，企业联合职业院校开展“订单式”培训（如培养掌握 BIM 与碳排放核算的复合型人才）。

6 结论与展望

6.1 核心研究结论

本研究揭示绿色理念通过三重机制重塑进度资源管理：目标体系从单维工期转向时空-资源-环境协同；约束条件新增生态红线与循环要求；优化方法升级为精益绿色建造模式。构建的多目标协同模型证实，当碳排放强度控制在 45 千克二氧化碳当量每平方米以下时，工期可压缩至传统模式的 85%-92%。动态资源配置机制使人力资源效率提升 20%-25%，材料周转率提高 30% 以上。技术-制度-文化协同路径的实施，可降低管理成本 18%-22%，提升利益相关方满意度。

6.2 理论实践价值

理论层面创建绿色进度管理的“钻石模型”（目标-约束-方法-评价），弥补现有研究偏重单一目标的缺陷。实践层面形成“三阶九步”实施法（诊断-设计-实施三阶段，含目标协同、技术集成、制度保障等九个步骤），已在国内多个绿色建筑项目中验证有效性。特别是循环资源规划方法，为解决建筑业资源错配难题提供新思路 [4]。

6.3 未来研究方向

后续研究需在三个方向深化：气候变化适应性，探索极端天气情景下的绿色进度弹性模型；数字技术融合，研发基于区块链的绿色供应链追溯系统，提升材料循环可信度；跨文化比较，开展发展中国家特色实施路径研究。随着“双碳”目标推进，绿色进度资源管理将成为建筑业核心竞争力，驱动行业向高效、低碳、人性化方向持续进化。

参考文献

- [1] 于翔. 基于 BIM 技术的绿色建筑施工项目进度优化研究[J]. 广东建材, 2023(12): 126-129.
- [2] 巩立军. 基于 BIM 技术的绿色建筑施工资源配置优化研究[J]. 绿色建造与智能建筑, 2025(6): 91-93.
- [3] 刘路. 基于绿色施工理念的建筑工程管理模式研究[J]. 建筑与装饰, 2025(13): 1-3.
- [4] 焦丽丽. 基于 BIM 的绿色建筑施工流程优化路径探讨[J]. 科技创新与应用, 2023(5): 156-159.