ISSN：3078-8994
EISSN：3104-4492

双碳背景下土木工程绿色施工的落地困境与优化路径

曾徽明 邓 佳 *

广东理工学院建设学院，广东 肇庆 526000

摘 要: 建筑业是我国能源消耗与碳排放的重点领域,绿色施工是行业低碳转型绕不开的一环。本文以“双碳”目标为背景，结合《建筑工程绿色施工规范》（GB/T 50905—2014）等现行标准，梳理了绿色施工“四节一环保”的技术内涵与政策约束，并从认识、技术和管理三个层面剖析其落地困境：把绿色施工窄化为扬尘治理的认识偏差，增量成本与工期压力造成的技术适配不足，以及缺少全周期数据支撑的碎片化管理。在此基础上，从策划前置、过程量化管控、数字化赋能、闭环评价和制度配套五个方面提出优化路径，为同类工程的绿色化施工提供参考。

关键词：绿色施工；低碳建造；四节一环保；碳排放核算；BIM 技术

DOI：10.64649/yh.shfzykjcx.issn3078-8994.202610030

0 引言

2020 年，我国建筑全过程能耗为 22.7 亿吨标准煤，占全国能源消费总量的 45.5%；建筑全过程碳排放为 50.8 亿吨二氧化碳，占全国碳排放总量的 50.9%。其中，建材生产阶段排放 28.2 亿吨，占 28.2%；建筑施工阶段排放 1.0 亿吨，占 1.0%；建筑运行阶段排放 21.6 亿吨，占 21.7%[1]。这组数据说明，建筑领域的降碳不能只盯运行环节——房子在使用中的排放其实有限，但建造它所用的钢筋、水泥在出厂时就已经把大头排掉了。施工阶段排放占比虽然只有约 1%，却是最容易被现场管理直接影响、并且同时牵动建材用量的环节：现场少浪费一吨钢材，上游就少一吨碳排放。

早在 2007 年，建设部就印发《绿色施工导则》，把绿色施工界定为“在保证质量、安全等基本要求的前提下，通过科学管理和技术进步，最大限度地节约资源与减少对环境负面影响的施工活动”，并提出节能、节地、节水、节材和环境保护的“四节一环保”框架 [2]。2014 年实施的《建筑工程绿色施工规范》（GB/T 50905—2014）沿用并细化了这一界定 [3]。此后，绿色施工评价、建筑节能等标准陆续配套，政策链条基本完整。但从工程实践看，绿色施工在不少项目上仍停留在洒水降尘、裸土覆盖的层面——检查来了开喷雾，检查走了关设备，政策要求与现场执行之间的落差长期存在。

从排放强度的变化看，行业已经取得一定进展。2005—2020 年，我国建筑业施工面积由 35 亿平方米增至 149 亿平方米，增长超过 3 倍，而单位施工面积碳排放由 14.0 千克二氧化碳 / 平方米降至 6.8 千克二氧化碳 / 平方米，降幅达 51%；单位建筑业增加值施工碳排放由 0.48 吨二氧化碳 / 万元降至 0.14 吨二氧化碳 / 万元，降幅达 70%[1]。这说明依靠清洁施工技术推广和能源结构优化，施工环节的排放强度是可以持续压降的。但下降并不均衡，同样的工艺在不同项目管理水平下，实际材料损耗可能相差数倍，管理水平的差异正在成为减碳成效的主要变量。

本文不讨论具体工艺原理，而是聚焦一个问题：在标准与政策都已具备的条件下，绿色施工为什么仍难以在工地上真正落地？围绕这个问题，下文先界定其内涵与政策约束，再从认识、技术和管理三个维度分析成因，最后提出可操作的优化路径。

1 绿色施工的内涵与政策约束

1.1 从末端治理到源头控制的转向

绿色施工与传统环保施工的区别，不在于做不做环保，而在于介入的时点与方式。传统模式是在污染产生之后被动治理——扬尘起来了喷雾、噪声超标了停工。绿色施工则要求把资源节约和环境目标前移到策划阶段，通过工艺选择、总平面布置和材料计划等手段，从源头压缩消耗与排放。以土方工程为例，借助竖向设计与土方平衡计算减少外运和回填量，其减碳效果和成本节约，远大于事后给运输车辆加盖苫布。换句话说，绿色施工首先是一项策划工作，其次才是一组现场措施。

这一转向也意味着评价视角的变化。绿色施工的效果不能只看施工现场围墙之内，还应向上游延伸到材料的生产与运输环节。一个项目如果在现场把损耗控制得很好，却选用了运距过长、生产能耗偏高的材料，其全过程的减排效果未必理想。

1.2 现行标准与政策的三重约束

目前对绿色施工形成约束的文件大致可分三类。第一类是技术规范，以 GB/T 50905—2014[3] 为核心，配套《建筑工程绿色施工评价

ISSN：3078-8994
EISSN：3104-4492

标准》（GB/T 50640—2010）[4] 和全文强制的《建筑节能与可再生能源利用通用规范》（GB 55015—2021）[5]。第二类是顶层政策，包括国务院《2030 年前碳达峰行动方案》[6] 以及住房和城乡建设部、国家发展改革委联合印发的《城乡建设领域碳达峰实施方案》[7]，后者把绿色建造、装配式建筑和建筑垃圾减量列为约束性任务。第三类是招标与合同条款，绿色施工措施费、绿色施工专项方案逐步成为投标的硬性内容。三类约束当中，前两类属于“纸面要求”，第三类才真正与施工单位的利益挂钩，而它恰恰是目前最不成熟的一环。

还需注意的是，各地在国家标准之外出台了大量地方性绿色施工规定，在评价口径、措施清单和验收方式上并不统一。跨区域经营的企业常常需要为同一套做法准备多份台账，管理成本随之上升。标准体系的这种“上层统一、下层分散”状态，客观上削弱了绿色施工要求的刚性。

2 绿色施工落地的现实困境

2.1 认知偏差：把绿色施工等同于扬尘治理

在不少项目中，绿色施工被简化为文明施工的一个子项，责任压到安全环保岗位一个人身上，与工程技术、物资、预算条线脱节。这种认知的直接后果是措施选择偏向“看得见”的部分——雾炮、围挡、洗车池投入充分；而模板周转方案、钢筋优化下料、临时用电分区计量这些“看不见”却更有效的节材节能措施，反倒无人负责。按评价标准划分的地基基础、主体结构、装饰装修、机电安装四个阶段中，后两个阶段的节材潜力常被低估。

更普遍的情况是，绿色施工方案在开工前由资料人员拼接完成，进入现场后即被搁置，与实际的工序安排、材料计划脱节，检查前才临时补充台账。这种“方案与实际两张皮”的状态，使绿色施工在本质上仍是一种迎检行为，而非管理方式。

2.2 技术适配不足：增量成本与工期压力

绿色施工措施大多需要前期投入：铝合金模板单价比木模高，工具式护栏需要定制，雨水回收系统要预先布置管网。在最低价中标仍较普遍的市场环境下，施工单位的理性选择是压缩这部分投入。同时，部分绿色工艺会占用工序时间，例如预制构件吊装对施工组织精度的要求更高，计划不周反而拖慢进度。问题的关键在于增量成本缺乏可靠的量化测算——如果把“铝合金模板周转次数足够多之后综合单价低于木模”这笔账算清楚，前期决策的阻力会小得多。

另一层原因是部分措施的效果难以在短期内显现。雨水回收系统的效益取决于当地降雨条件，在少雨地区可能长期闲置，反而占用场地并增加维护成本。当考核周期短于收益周期时，这些措施往往在开工策划阶段就被砍掉。

2.3 管理碎片化：缺乏全周期数据支撑

绿色施工的成效最终要落到数据上，而多数项目缺少系统的数据采集。现场用水用电虽有总表计量，却很少按分部分项工程拆分；建筑垃圾按车估算，没有分类统计；材料损耗率停留在经验值。材料损耗常被整体计入定额损耗了事，缺少按分项、按班组的实测记录。数据缺失带来两个后果：一是无法核算单个项目的碳排放表现，绿色施工成效说不清；二是形不成可用于改进的经验积累，下一个项目的策划仍从零开始。

2.4 评价与激励缺位：绿色施工缺少“出口”

绿色施工评价的结果目前很难直接转化为经济回报。措施费按定额计取，做得好的项目拿不到额外收益，做得差的项目也少有实质性约束；绿色施工水平在评优、信用评价中所占权重有限。当“绿色”不能兑换成“效益”，企业自然缺乏长期投入的动力。

3 绿色施工的优化路径

3.1 策划前置：把绿色目标写进施工组织设计

绿色施工方案不应只是投标文件里的附件，而应作为施工组织设计的组成部分，与进度、成本、质量计划同步编制。具体做法包括：在总平面布置阶段确定临时道路、堆场与加工区位置，缩短运距、减少二次搬运；结合竖向设计做土方平衡，把外运量压到最低；在材料计划中明确周转材料的使用次数目标与回收流程。目标必须可量化，例如规定钢材损耗率、模板周转次数、非传统水源利用率的具体数值，而不是笼统地写一句“节约材料”。

3.2 过程管控：四节一环保的量化落地

节材方面，重点是周转材料与优化下料。工具式、定型化的临边防护与隔离设施可以多次周转，废旧模板用于非承重部位防护，短钢筋加工为格构架或预埋件；落地灰、砖渣经破碎筛分后作为回填料，减少外运。节水方面，现场分区分项安装水表，基坑降水经沉淀后用于道路冲洗和洒水降尘，雨水收集后用于绿化灌溉。节能方面，按施工阶段的实际负荷选择变压器容量，避免“大马拉小车”；办公生活区公共照明采用声光控或定时控制；机械设备选用能效等级较高的型号并定期保养，减少跑冒滴漏。节地方面，临时用地随施工阶段动态调整，避免一次性占满。环境保护方面，扬尘、

ISSN：3078-8994
EISSN：3104-4492

噪声、光污染、水污染和建筑垃圾应分别建立台账，形成可追溯记录。

建筑垃圾宜按“减量—分类—回用”的顺序管理。结构阶段推广工具式模板和标准化节点，从源头减少落地灰与边角料；现场设置分类堆放区，将钢筋头、混凝土块、包装物分别收集；能与土方回填、道路垫层结合利用的，优先现场消化，减少外运处置。

3.3 数字赋能：BIM 与物联网的协同

BIM 在绿色施工中的价值主要体现在“事前”和“事中”两个环节。事前，通过管线综合排布与碰撞检查，在施工前发现并解决冲突，减少返工造成的材料和人工浪费；通过施工模拟优化吊装顺序与场地布置，缩短机械待机时间。事中，物联网传感器可实时采集现场用电、用水与扬尘数据，与环境监测平台联动，实现超标自动预警、降尘设备自动启停，避免“人管人”的疏漏。有条件的企业还可以把绿色施工数据接入项目管理平台，把水电消耗、垃圾外运量与进度计划关联，形成分阶段的资源强度曲线，为同类项目提供参照。需要提醒的是，数字化的前提是数据口径统一，否则采集来的数据既无法核算，也无法比较。

3.4 闭环评价：把评价结果反馈到策划

绿色施工评价不宜只在阶段验收时打一次分。建议在项目内部建立月度或节点评价机制，按地基基础、主体结构、装饰装修、机电安装四个阶段分别对照四节一环保指标打分，形成量化记录；项目结束后，把实际的材料损耗率、单位面积用水用电量、建筑垃圾产生量等数据沉淀为数据库，作为后续项目策划的依据。评价指标也应从“有无”转向“多少”，例如不以“是否设置洗车池”计分，而以“出场车辆轮胎冲洗合格率”和“道路积尘量”计分。评价结果与班组结算、分包考核适当挂钩，绿色施工才可能从“要求”变成“习惯”。

3.5 制度配套：让绿色施工有“出口”

绿色施工要形成长效机制，还需要外部制度配合。一是把绿色施工措施费从“包干”改为按实际措施清单计价，让投入有对应回报；二是把材料损耗率、单位面积能耗等指标纳入分包合同与班组考核，形成内部约束；三是在招标文件中明确绿色施工的量化目标与验收方式，避免“低价中标、绿色落空”。制度层面的调整往往比单项技术措施更能决定成败。

4 结语

绿色施工的落地难点，不在技术，而在组织与数据。技术措施大多是成熟的，缺的是把目标量化、把责任分解、把数据留存下来的机制。从建筑全过程碳排放的结构看，施工阶段虽然只占约 1%，却是牵动建材生产排放的阀门——现场少浪费一吨钢材，上游就少一吨碳排放。因此，推动绿色施工不应停留在环保合规的层面，而应把它作为降本增效的抓手。对施工企业而言，先行建立绿色施工的数据台账与评价机制，既是响应政策要求，也是在绿色建造成为行业门槛之前积累经验。后续研究可进一步聚焦绿色施工增量成本与长期收益的量化测算，为工程决策提供更扎实的依据。

参考文献：

[1] 中国建筑节能协会 . 2022 中国建筑能耗与碳排放研究报告 [R]. 重庆 : 中国建筑节能协会 , 2022.

[2] 中华人民共和国建设部 . 绿色施工导则 : 建质〔2007〕223 号 [Z]. 北京 : 中华人民共和国建设部 , 2007.

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部 . 建筑工程绿色施工规范 : GB/T 50905—2014[S]. 北京 : 中国建筑工业出版社 , 2014.

[4] 中华人民共和国住房和城乡建设部 . 建筑工程绿色施工评价标准 : GB/T 50640—2010[S]. 北京 : 中国建筑工业出版社 , 2010.

[5] 中华人民共和国住房和城乡建设部 . 建筑节能与可再生能源利用通用规范 : GB 55015—2021[S]. 北京 : 中国建筑工业出版社 , 2021.

[6] 国务院 . 2030 年前碳达峰行动方案 : 国发〔2021〕23 号 [Z]. 北京 : 国务院 , 2021.

[7] 住房和城乡建设部 , 国家发展改革委 . 城乡建设领域碳达峰实施方案 : 建标〔2022〕53 号 [Z]. 北京 : 住房和城乡建设部 , 2022.

作者简介：曾徽明（1998—），男，汉族，湖南邵阳人，硕士，工程师，研究方向：土木工程施工与绿色建造技术。

通讯作者：邓佳（1994—），女，汉族，重庆大足人，硕士，助理工程师，研究方向：城市更新、风景园林设计。