

可持续建筑材料在工程施工管理中的应用路径

沈 俊

上饶市滨成投资有限公司 江西上饶 334000

摘要：随着全球绿色发展理念的深入推进，可持续建筑材料在工程建设领域的应用成为实现“双碳”目标与建筑行业转型升级的关键路径。本文基于工程施工管理全流程视角，系统分析可持续建筑材料的应用现状与挑战，从材料选型、采购管理、施工组织、质量控制、成本优化及技术创新六个维度，构建可持续建筑材料的应用路径体系，并结合案例验证其可行性，旨在为工程施工管理实践提供理论参考与技术指导，推动建筑行业向低碳化、循环化方向发展。

关键词：可持续建筑材料；施工管理；应用路径；低碳化；循环化发展

引言

传统建筑行业高能耗、高污染的发展模式已难以适应生态文明建设需求，可持续建筑材料（如再生骨料、低碳水泥、竹木结构材料、光伏建材等）因其低环境负荷、可再生性及循环利用特性，成为推动绿色施工的核心载体。工程施工管理作为连接材料应用与项目目标的关键环节，其科学性直接影响可持续材料的应用效率与效果。因此，探索可持续建筑材料在施工管理中的系统性应用路径，对提升项目绿色绩效、降低全生命周期碳排放具有重要实践意义。

一、可持续建筑材料的类型与施工特性分析

（一）材料分类及环境效益

根据材料来源与性能，可持续建筑材料可分为三类：再生循环材料：如再生骨料（建筑垃圾破碎加工而成）、再生塑料建材等，可减少原生资源开采与固废填埋；低碳减排材料：如低碳水泥（添加矿渣、粉煤灰等混合材降低水泥熟料占比）、二氧化碳矿化建材（利用 CO_2 固化技术），可降低生产阶段碳排放；可再生天然材料：如竹材、木材（FSC认证可持续林业产品）、秸秆建材等，具有固碳能力与生物降解性^[1]。

（二）施工特性对比

与传统材料相比，可持续材料在施工中表现出独特特性：

优势：轻质化（如轻质隔墙板比传统砖墙减重30%）、模块化（如预制再生混凝土构件可缩短现场浇筑时间）、节能性（如光伏玻璃幕墙兼具发电与围护功能）；

挑战：性能波动（再生骨料强度受原材影响较大）、施工工艺适配性低（如竹材连接节点需专用防腐处理技术）、验收标准缺失（部分新材料尚无统一质量规范）。

二、可持续建筑材料应用的制约因素分析

（一）技术层面：性能与工艺不匹配问题突出

当前部分可持续建筑材料的物理力学性能与传统建材相比仍存在明显差距，难以完全满足现代建筑施工的技术要求。以再生骨料混凝土为例，其抗渗性能较普通混凝土低30%–40%，抗裂性能下降约25%，必须通过添加硅灰、纤维等改性剂才能达到工程标准；而新型生物基材料（如秸秆板材、竹木复合材料等）对施工环境温湿度变化极为敏感，其含水率波动范围需控制在 $\pm 2\%$ 以内，这就要求施工现场必须具备精确的环境调控系统^[2]。此外，部分可持续材料的施工工艺与传统方法差异较大，如3D打印建筑材料的配比、养护等参数尚未形成标准化流程，增加了施工难度。

（二）管理层面：供应链协同机制缺失

可持续建筑材料的采购与供应涉及复杂的全生命周期管理流程，包括原材料绿色认证、生产过程碳足迹追踪、运输路线优化等多个环节。然而，当前大多数施工企业仍沿用传统的线性供应链管理模式，主要依赖固定供应商网络，缺乏对材料环境信息的数字化整合能力。具体表现为：绿色认证信息传递断层，溯源管理系统不兼容，运输环节碳排放核算标准不统一等。这些问题导致可持续材料的采购周期比传统材料延长15–20天，物流成本增加8%–12%，严重制约了材料的推广应用效率^[3]。

（三）经济层面：成本效益评估体系不健全

从全生命周期成本分析来看，可持续建筑材料呈现出“高初始投入、低运维成本”的特点。以低碳水泥为例，其采购单价较普通水泥高出10%–15%，虽然在使用阶段可节省20%–30%的维护费用，但施工企业受制于项目承包制的短期利益导向，更倾向于选择前期成本更低的传统材料。更深层次的问题在于，当前缺乏科学的环境效益货币化转换机制，如碳减排量如何折算为经济收益、生态效益如何计入财务报表等关键问题尚未解决。即便在已开展碳交易的地区，建筑领域碳资产的核算方法、交易规则也尚未明确，使得企业难以准确评估应用可持续材料的经济回报。

（四）政策层面：标准体系与激励措施不协同

现行建筑标准体系对可持续材料的规范存在明显滞后性。以再生骨料混凝土为例，其配合比设计、强度评定等关键技术参数在国家标准中仍参照普通混凝土执行，导致实际工程验收时经常出现争议；对于新型相变储能材料等创新产品，则完全缺乏对应的检测标准^[4]。在政策激励方面，现有措施呈现“重设计轻施工”的失衡状态：绿色建筑评价标准主要针对设计阶段给予加分奖励，而施工环节的财政补贴（如材料差价补偿）、税收优惠（如增值税即征即退）等实质性激励明显不足。更关键的是，不同部门的政策要求存在冲突，如住建部门的材料再利用率要求与市场监管部门的产品质量标准时有矛盾，进一步制约了企业的应用意愿。

三、可持续建筑材料施工管理应用路径构建

（一）基于全生命周期的材料选型路径

材料选型需综合考虑技术可行性环境效益与项目需求建立“三维评价模型”：

技术维度：分析材料的强度耐久性施工适应性（如高层建筑优先选用高强度再生混凝土）；

环境维度：采用LCA（生命周期评价）方法计算材料从生产到废弃的碳足迹、能耗指标；

经济维度：对比全生命周期成本（LCC）而非仅初始成本（如光伏建材虽单价高但可通过发电收益回收成本）。

例如某绿色建筑项目通过该模型选择再生骨料混凝土替代30%普通混凝土，经测算全周期碳排放降低22%，成本增加5%但符合绿色建筑认证要求^[5]。

（二）供应链协同采购管理路径

构建“绿色供应链”体系实现材料采购的降本增效：

供应商筛选：建立绿色认证标准（如ISO14001环境

管理体系认证）优先选择本地化供应商减少运输碳排放；

数字化溯源：利用区块链技术记录材料生产、运输、检测等数据实现“从摇篮到现场”的全流程追溯；

集中采购与联合储备：联合同类项目组建采购联盟通过规模效应降低采购价格（如某EPC企业联合5个项目集中采购低碳水泥，成本降低8%）。

（三）施工组织优化路径

针对可持续材料的施工特性调整施工方案：

工艺适配：如再生骨料混凝土需优化搅拌时间、振捣方式避免离析；竹木结构构件采用工厂预制、现场装配减少损耗；

资源统筹：合理规划材料堆放与周转（如光伏组件需防潮防晒存储），利用BIM技术模拟施工流程减少返工；

绿色施工技术集成：结合雨水回收系统、太阳能临时供电等措施提升项目整体可持续性。

（四）动态质量控制路径

建立“事前-事中-事后”三级质控体系：

事前控制：制定专项检测标准（如再生骨料的粒径分布、含泥量检测），委托第三方机构进行绿色认证；

事中控制：采用智能化监测技术（如无人机巡检光伏幕墙安装精度、传感器实时监测再生混凝土强度发展）；

事后评估：引入“碳足迹追溯”机制，量化施工阶段材料的环境影响，并将数据纳入项目验收指标^[6]。

（五）成本优化路径

通过多维度措施平衡成本与效益：

成本分摊：将环境效益转化为经济收益（如参与碳交易市场，通过碳减排量获得补贴）；

技术替代：采用“部分替代”方案（如用20%再生骨料替代天然骨料，成本增加控制在5%以内）；

精益管理：减少施工损耗（如模块化预制构件损耗率比现场浇筑降低15%），通过施工效率提升抵消材料成本增量。

（六）技术创新驱动路径

加强产学研协同推动技术突破：

施工工艺创新：研发再生材料专用施工设备（如再生混凝土连续级配搅拌装置）；

材料性能改良：通过添加纳米材料、生物酶等改性剂提升可持续材料的力学性能；

数字化工具应用：利用AI算法优化材料配比（如基于机器学习的再生混凝土配合比设计模型），BIM+GIS技术优化材料运输路径^[7]。

四、案例应用与效果分析

(一) 案例概况

深圳国际低碳城会展中心二期项目，总建筑面积8.6万m²，定位为“国家低碳建筑示范工程”，施工阶段全面应用可持续建筑材料施工管理路径，核心应用场景与材料选择如下：

结构工程：采用40%再生骨料（来源于项目一期拆除的混凝土建筑垃圾，经破碎、筛分、强化处理）配制C35混凝土，用于地下室底板、顶板及裙楼框架柱，总量达1.2万m³；梁柱节点采用低碳水泥（添加45%矿渣粉替代水泥熟料），降低胶凝材料碳排放。

围护工程：外墙采用“光伏玻璃幕墙+秸秆纤维复合保温板”组合体系，光伏幕墙装机容量120kW，覆盖南立面与东立面；屋顶采用FSC认证的胶合木桁架（替代传统钢结构），跨度最大达24m，配套木质防火涂料（环保型水性阻燃剂）。

装饰与机电工程：室内地面采用再生塑料复合地板（回收PET瓶加工制成），用量约1.8万m²；吊顶采用再生铝扣板，管线支架选用再生钢材；临时用电系统集成太阳能路灯与储能设备，减少临时发电油耗。

项目还建立专项管理团队，联合深圳大学、中建科工集团研发中心，针对再生骨料混凝土施工工艺、胶合木桁架安装精度等关键问题开展产学研协同攻关，形成5项施工技术专利。

(二) 应用效果评估

1. 环境效益

碳减排成效：再生骨料混凝土减少原生骨料开采1.8万m³，对应碳排放降低约860吨；低碳水泥比普通水泥减少碳排放320吨；光伏幕墙预计年发电量14.4万度，等效减排二氧化碳115吨（按火电平均碳排放系数0.8吨/万度计算）；整体施工阶段碳排放较传统方案降低31%，超额完成“低碳建筑”认证要求（≤25%减排目标）。

资源循环利用：项目一期建筑垃圾回收率达92%，其中80%转化为再生骨料回用，减少固废填埋量约2.3万m³；秸秆纤维保温板消耗农业废弃物（小麦秸秆）500吨，替代传统聚苯板减少白色污染。

2. 经济效益

成本控制：通过“本地化集中采购”（再生骨料供应商距项目仅8km，运输成本降低60%），“碳交易收益”（项目施工期碳减排量1295吨，通过广东碳交易市场获

得补贴约25.9万元），“光伏发电收益”（预计运营期前5年发电收益超72万元），将可持续材料的初始成本增量（再生骨料混凝土比普通混凝土高8%，光伏幕墙比普通幕墙高15%）控制在7%以内。

全生命周期收益：经测算，项目全生命周期（按50年）成本较传统建筑降低15%，主要得益于再生材料运维成本低（再生塑料地板耐磨性提升30%，维修周期延长至8年）、光伏幕墙长期发电收益、胶合木桁架维护费用比钢结构低20%。

3. 管理与技术效益

管理体系完善：项目编制《可持续建筑材料施工管理规程》，明确再生骨料混凝土配合比设计、胶合木安装精度控制、光伏幕墙调试等12项专项流程，其中“再生骨料质量分级验收标准”被纳入深圳市《绿色建筑施工评价规范》地方标准。

技术突破与推广：研发的“再生骨料混凝土抗裂增强技术”（添加纳米碳酸钙改性剂），使再生混凝土抗渗等级提升至P8，满足地下室防水要求；“胶合木桁架高空拼装精度控制技术”（采用BIM+全站仪实时监测），安装误差控制在±3mm内，相关技术已应用于深圳龙华区文体中心等3个项目。

项目最终获评“三星级绿色建筑”“国家超低能耗建筑示范项目”，其可持续材料施工管理经验被住建部纳入《建筑业绿色施工典型案例集》，为华南地区大型公共建筑可持续材料应用提供了可复制的实践模板。

五、结论与展望

通过本研究可以得出以下结论：可持续建筑材料在工程施工管理中的应用具有显著的环境、经济和技术效益，但其推广仍面临多方面挑战。首先，材料选型需综合考虑技术可行性、环境效益和项目需求，建立科学的评价模型能够有效指导决策。其次，供应链协同管理是降低成本、提高效率的关键，数字化技术的应用为实现全流程追溯提供了可能。再次，针对可持续材料特性优化施工组织方案，可显著提升施工质量和效率。此外，动态质量控制体系的建立有助于确保施工过程的环保性能，而成本优化路径则为平衡经济效益与环境效益提供了可行方案。

展望未来，可持续建筑材料的应用将呈现以下趋势：一是技术创新将成为推动行业发展的核心动力，特别是在材料改性、施工工艺和智能化监测等领域；二是政策支持力度有望进一步加大，标准体系与激励措施的协同

效应将逐步显现；三是随着碳交易市场的完善，企业应用可持续材料的积极性将显著提升；四是产学研合作将更加紧密，更多创新成果将从实验室走向工程实践。建议后续研究重点关注可持续材料在不同气候条件下的适应性分析、全生命周期环境影响的量化评估以及新型绿色施工技术的开发与推广，为进一步推动建筑行业的低碳转型提供理论支撑和技术保障。

参考文献

- [1] 杜国强.绿色建筑材料在施工管理中的应用研究[J].陶瓷, 2022 (8): 3.
- [2] 吾那尔别克·卡马里别克.新型环保建筑材料在土木工程施工中的应用[J].汽车博览, 2020 (30): 220-220.
- [3] 孟德文.绿色建筑施工管理在建筑施工管理中的应用分析[J].建筑与装饰, 2021.
- [4] 吾那尔别克·卡马里别克.新型环保建筑材料在土木工程施工中的应用[J].门窗, 2020.DOI: 10.12268/j.issn.2095-7181.2020.16.089.
- [5] 郭庆阳.可持续理念在建筑施工管理中的应用[J].2021.
- [6] 汤阳.探讨装配式建筑施工技术在建筑工程施工管理中的应用[J].中国房地产业, 2020.
- [7] 陆天宇.谈建筑工程中绿色工程管理的价值观与创新途径[J].名城绘, 2020 (5): 1.