

绿色节能建材在建筑施工中的技术实践

容桂鹏

440883*****1416

摘要: 建筑行业是国民经济的重要支柱,却也是能源消耗与碳排放的“重点领域”。施工阶段的建材选择与应用,直接影响工程全生命周期的环境负荷与可持续性。绿色节能建材以“全生命周期低碳、资源循环、功能适配”为核心,成为破解建筑施工高能耗、高污染问题的关键抓手。本文围绕绿色节能建材的施工技术实践展开系统研究,剖析传统建材的应用痛点与环境代价,继而从低碳胶凝材料迭代、再生骨料规模化应用、功能型环保建材工艺优化、装配式建材精准施工四大方向,提出具体技术路径;并从政策引导、产学研协同、人才培养与数字化管理四个维度,构建落地保障机制。

关键词: 绿色节能建材; 建筑施工; 技术实践; 可持续性; 能耗控制

DOI: 10. 64216/3104-9664. 25. 01. 008

引言

在“双碳”目标引领下,《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》明确要求,2025 年城镇新建建筑全面执行绿色建筑标准,星级绿色建筑占比提升至 30%以上。这一政策导向,倒逼建筑施工环节从“材料选择”向“技术实践”转型——绿色节能建材不再是“可选项”,而是实现可持续发展的必由之路。然而,当前绿色节能建材的施工应用仍面临诸多挑战:部分材料施工适配性差、技术标准不统一(再生骨料性能参差不齐)、从业人员工艺不熟悉。针对这些问题,本文系统梳理绿色节能建材的施工技术路径,探讨其落地应用的关键环节与保障机制,旨在为行业提供可操作的实践指南。

1 绿色节能建材的核心定义与特征

绿色节能建材并非简单的“环保材料”,而是建筑全生命周期中环境负荷最小化、资源效率最大化的材料体系。其核心内涵贯穿“原材料获取—生产加工—运输施工—运营维护—拆除回收”全流程,强调材料与自然、工艺的协同性。具体而言,这类材料具备四大核心特征:其一,低碳性。原材料与生产环节的能耗与碳排放显著低于传统建材。例如,矿渣微粉以钢铁厂废渣为原料,生产能耗仅为水泥的 1/5,碳排放减少 70%;粉煤灰来自燃煤电厂废弃物,替代 20%水泥可降低混凝土碳排放 18%。其二,循环性。材料可重复利用或降解回归自然,实现“建筑垃圾—再生建材”的闭环。如再生骨料通过破碎、筛分与强化,可替代天然砂石用于混凝土,将原

本需填埋的垃圾转化为可用原料;再生钢材通过电炉炼钢工艺,可循环利用 5 次以上。其三,功能性。材料性能满足甚至超越传统建材的功能需求。例如,气凝胶隔热材料的导热系数仅为传统保温材料的 1/50,厚度减少 60%即可达到同等保温效果;生物基涂料以植物树脂为基料,VOC 含量低于 50g/L(传统涂料 $\geq 400\text{g/L}$),环保性大幅提升。其四,适配性。材料特性与施工工艺兼容,便于现场操作。如再生钢材的焊接工艺经过优化,可采用气体保护焊替代手工电弧焊,不会增加施工难度;预制构件的连接设计符合现场精度要求,确保结构安全。这些特征决定了绿色节能建材的价值——不仅是“减少污染”,更是通过材料创新推动施工环节的降本增效与品质提升。

2 建筑施工中传统建材的应用痛点与环境代价

2.1 传统建材生产环节的高能耗与高排放

传统建材的生产以“化石能源依赖”为核心,是施工阶段环境负荷的主要来源:水泥。生产需将石灰石、黏土高温煅烧(1450℃以上),每吨水泥消耗 1.2 吨标准煤,排放 0.8 吨 CO_2 ,占建材生产碳排放的 60%以上。钢材。传统高炉炼钢以铁矿石为原料,每吨钢材消耗 700 公斤标准煤,排放 1.8 吨 CO_2 ,能耗是再生钢材的 3 倍。砂石。天然砂石开采破坏河道、山体生态,运输能耗高——每吨砂石运输 50 公里消耗燃油 0.1 升,全国每年砂石运输能耗相当于 100 万吨标准煤。这些数据表明,传统建材的生产环节是施工能耗与排放的“源头”,

必须通过绿色节能建材的替代加以解决。

2.2 传统建材施工中的资源浪费与污染问题

除生产环节外,传统建材的施工应用也存在严重问题:混凝土损耗与浪费。传统浇筑因计量误差、模板漏浆,混凝土损耗率达 15%-20%,每年浪费约 3 亿吨,相当于 100 个大型水库库容。模板与木材消耗。木模板周转次数仅 5-8 次,每年消耗木材 1000 万立方米,相当于毁林 10 万公顷,加剧森林退化。污染排放。湿作业产生的废水含大量水泥碱性物质,未经处理排放会污染土壤与地下水;土方开挖与材料运输产生的扬尘,占施工 PM_{2.5} 排放的 60%以上;打桩机、搅拌机的噪声,影响周边 500 米居民生活。传统建材的施工痛点,凸显了绿色节能建材应用的紧迫性——只有从材料本身入手,才能从根本上解决资源浪费与环境问题^[1]。

3 绿色节能建材施工技术实践的核心路径

3.1 低碳胶凝材料:从替代到性能优化的全流程实践

3.1.1 替代型胶凝材料的性能优化

主要包括:(1)矿渣微粉:由钢铁厂废渣粉磨而成,活性高,可与水泥水化产物二次反应提升强度。研究表明,替代 30%-50%水泥,混凝土抗压强度不变,碳排放降低 25%,抗渗性与耐久性提升。(2)粉煤灰:燃煤电厂废弃物,主要成分为硅铝酸盐。替代 20%-30%水泥,可填充水泥颗粒空隙,改善和易性,坍落度提升 10%-15%,碳排放减少 18%。(3)硅灰:火山灰质材料,颗粒极细(比表面积 15-25 m²/g),活性高。替代 10%-15%水泥,显著提升混凝土密实度与抗硫酸盐侵蚀能力,碳排放减少 15%。

3.1.2 预拌低碳胶凝材料的施工工艺

为解决替代型胶凝材料的均匀性问题,预拌工艺成为关键:将矿渣微粉、粉煤灰、水泥按设计比例混合,现场直接加水搅拌。施工中需注意:(1)搅拌时间延长 2-3 分钟,确保材料充分混合;(2)控制水胶比 ≤ 0.45 ,避免强度下降;(3)检测流动度(180-220mm)与凝结时间(初凝 ≥ 4 小时,终凝 ≤ 10 小时),保证符合要求。预拌低碳胶凝材料,既降低了现场搅拌的能耗与污染,又保证了材料性能的一致性。

3.2 再生骨料:从制备到施工的全链条管控

再生骨料是建筑垃圾资源化的核心产品,其性能决定施工可行性:

3.2.1 再生骨料的制备与强化

制备流程包括破碎—筛分—强化:(1)破碎:用颚式破碎机将建筑垃圾初步破碎至 50mm 以下,再用冲击式破碎机细化至 5-20mm,确保骨料形状规则。(2)筛分:振动筛分离不同粒径骨料,去除金属、塑料杂质,保证纯度。(3)强化:解决再生骨料吸水率高、强度低的问题——加热研磨(300℃烘烤 2 小时)破坏表面旧砂浆,或化学处理(浸泡硅酸钠溶液 24 小时)填充孔隙。强化后,再生骨料吸水率从 10%降至 5%以下,压碎指标从 15%提升至 25%以上。

3.2.2 再生骨料的施工注意事项

(1)含泥量控制:施工前用清水冲洗,避免影响混凝土强度;(2)运输与浇筑:采用密闭车辆防止离析,浇筑时减少振捣时间,避免骨料破碎;(3)配合比调整:因收缩率比天然骨料大 10%-15%,需增加 10%水泥用量,防止裂缝。再生骨料的规模化应用,实现了“垃圾变建材”的循环,减少了砂石开采对生态的破坏^[2]。

3.3 功能型环保建材:工艺适配性的精准解决

3.3.1 气凝胶保温材料的施工工艺

气凝胶导热系数极低,但易碎、难施工。解决方案包括:(1)专用粘结剂:选用环氧树脂基粘结剂(粘结强度 ≥ 1.5 MPa),固定板材且避免收缩开裂;(2)分层粘贴:将气凝胶板切成 5mm 薄片,每层错缝粘贴,避免应力集中;(3)防护层:表面涂刷 3-5mm 聚合物水泥砂浆,防止碰撞破损。此工艺使气凝胶施工破损率从 20%降至 5%以下,保温效果达标。

3.3.2 生物基涂料的施工技术

生物基涂料 VOC 含量低,但施工条件苛刻:(1)基层处理:清理油污、灰尘,用腻子找平,基层平整度偏差 ≤ 2 mm;(2)环境控制:施工温度 5-35℃,湿度 $\leq 80\%$,避免低温高湿导致干燥缓慢或发霉;(3)涂刷工艺:先刷底漆封闭基层,再刷两遍面漆(间隔 2 小时),保证涂层均匀。

3.3.3 自修复混凝土的养护要点

自修复混凝土通过内置修复剂实现裂缝自动修复,养护是关键:(1)湿度控制:浇筑后用塑料薄膜覆盖,保持湿度 $\geq 90\%$,温度 20 ± 2 ℃,确保修复剂活性;(2)

裂缝预防：减少振捣时间，避免离析；模板拆除缓慢，防止冲击裂缝；（3）质量控制：养护 28 天后用超声波检测，修复率可达 80%以上。

3.4 装配式建材：精准化施工的品质保障

3.4.1 预制构件的连接工艺

（1）灌浆套筒连接：用于柱、梁钢筋连接，控制灌浆压力 0.2–0.4MPa，确保砂浆填满套筒；灌浆后静置 24 小时，避免扰动。（2）螺栓连接：用于墙板连接，调整垂直度（偏差 $\leq 3\text{mm}$ ）、平整度（偏差 $\leq 2\text{mm}$ ），用扭矩扳手拧紧螺栓（扭矩偏差 $\leq \pm 5\%$ ）。

3.4.2 预制墙板的安装与密封

（1）安装：用塔吊吊装对准预留孔，缓慢下落固定；（2）密封：用聚合物水泥防水砂浆填充板缝，外侧涂刷 100mm 宽防水涂料，防止渗漏。预制构件的精准施工，避免了后期渗漏问题，提升了防水性能。

4 绿色节能建材施工质量的保障机制

4.1 政策与标准：构建规范化的制度框架

（1）制定施工标准：出台《绿色节能建材施工技术规程》，明确材料性能（再生骨料吸水率、气凝胶导热系数）、工艺要求（灌浆压力、养护湿度）与质量控制指标（混凝土碳排放、钢筋笼定位偏差）。（2）完善激励政策：将绿色建材应用纳入招投标评分，对采用再生建材的项目给予容积率奖励；出台税收优惠，减免增值税；补贴研发成本，鼓励企业创新。（3）强化监管：建立绿色建材认证制度，禁止不合格产品进入市场；加强施工过程检查，确保工艺符合要求^[3]。

4.2 产学研协同：推动技术创新与转化

（1）高校与科研机构：开展基础研究，如低碳胶凝材料配方优化、再生骨料强化机理，为应用提供理论支撑。（2）企业：开展应用研究，解决施工中的实际问题，如气凝胶的施工工艺、装配式构件的连接技术；推动技术转化，将实验室成果变为产品。（3）协同平台：建立高校—企业联合研发中心，共享设备与数据，培养专业人才。

4.3 人才培养：打造专业化的施工队伍

（1）高校教育：开设“绿色节能建材与施工”课

程，教授材料性能、工艺要点与环境意识，培养具备绿色施工能力的人才。（2）企业培训：针对从业人员开展技能培训，如再生骨料施工、气凝胶粘贴、装配式连接，提升操作能力。（3）人才评价：建立绿色建材应用人才评价体系，考核材料知识、施工技能与环境意识，激励员工学习新技术^[4]。

4.4 数字化管理：实现全流程的精准管控

（1）BIM 模拟：用建筑信息模型模拟施工过程，优化预制构件安装路径、再生骨料运输路线，减少返工。

（2）物联网监测：用传感器监测施工能耗（胶凝材料搅拌电耗）、材料性能（再生骨料含泥量）、环境参数（混凝土养护湿度），及时调整工艺。（3）数据平台：构建绿色施工数据平台，积累材料用量、能耗、排放数据，为后续项目提供参考，实现经验复用。

5 结论

绿色节能建材在建筑施工中的技术实践，是推动行业低碳转型的核心路径。通过对低碳胶凝材料的迭代、再生骨料的规模化应用、功能型环保建材的工艺优化、装配式建材的精准施工，可显著降低施工能耗与排放，提升资源效率与工程品质。同时，政策引导、产学研协同、人才培养与数字化管理的保障机制，为技术落地提供了有力支撑。未来，随着新型低碳材料（如碳捕捉建材、光伏一体化建材）的研发，以及数字化与绿色化的深度融合，绿色节能建材的施工实践将更加智能化、精细化。建筑行业需抓住“双碳”机遇，加快绿色建材的应用，推动行业从“高能耗”向“可持续”转型，为实现“双碳”目标贡献力量。

参考文献

- [1]周成.绿色节能材料在现代医疗建筑设计中的应用与思考[J].合成材料老化与应用,2022(6):144-146.
- [2]郑晓华.新型绿色节能技术在建筑工程施工中的应用[J].江苏建材,2024(4):113-114.
- [3]康兴.新型绿色节能技术在建筑工程施工中的应用[J].四川建材,2024(6):38-39.
- [4]杨素海.新型绿色节能技术在建筑工程施工运用分析[J].陶瓷,2024(3):217-219.