

土木工程中绿色建筑材料的应用与发展趋势研究

吴 超

摘 要：本研究聚焦绿色建筑材料在土木工程中的创新应用与可持续发展路径，结合UHPC超高性能混凝土、3D打印再生材料、智能玻璃等前沿技术，系统分析其分类特性、工程实践及未来趋势。研究指出，绿色建材通过资源高效化、生产低碳化及功能多元化，显著提升建筑能效与环境兼容性，成为推动建筑行业碳中和转型的核心力量。

关键词：绿色建筑材料；土木工程；可持续发展；超高性能混凝土；3D打印再生材料

引言

在全球气候危机与资源约束加剧的背景下，绿色建筑材料作为建筑行业低碳转型的关键载体，其研发与应用已成为学术界与产业界的核心议题。本研究以绿色建材的分类体系、工程应用及发展趋势为切入点，结合国内外典型案例，揭示其技术经济价值与生态效益，为行业绿色化转型提供理论支撑与实践指导。

一、绿色建筑材料的分类与特性

1. 分类体系

绿色建材依据资源属性可分为再生材料（如再生混凝土、竹集成材）、生物基材料（如秸秆砖、麻纤维复合板）及工业副产物利用材料（如粉煤灰砌块、钢渣骨料混凝土）。按功能特性划分，则涵盖气环境材料（如抗菌涂料）、水环境材料（如海绵城市透水砖）及地环境材料（如建筑废渣路基填料）。以宁德时代下党零碳茶馆为例，其采用UHPC超高性能混凝土与超白玻璃，通过高强纤维预制与几何数控造型技术，实现建筑能耗降低与结构耐久性提升。

2. 核心特性

绿色建材的核心特性体现为“三低一高”：资源消耗低（工业废渣利用率超80%）、生产能耗低（3D打印技术材料浪费减少50%）、环境负荷低（VOC排放量低于传统建材90%）及功能集成度高（如电致变色玻璃兼具调温、调湿与防紫外线功能）。如苏州荟同学校项目通过UHPC外遮阳百叶系统，实现采光、眩光控制与能耗降低的三重优化。

作者简介：吴超（1987.05——）女，汉族，本科学历，中级工程师，主要从事建筑工程检测方面的工作。

二、绿色建筑材料在土木工程中的具体应用

1. 结构工程

在结构工程领域，绿色建筑材料正以颠覆性创新重塑建筑安全与效能的边界。UHPC超高性能混凝土凭借其150MPa以上的抗压强度与P12级抗渗性能，成为大跨度桥梁、超高层建筑及极端环境工程的核心材料。意大利巴里理工大学“达芬奇桥”项目以3D打印废弃石粉混凝土为载体，通过数控技术将建筑废渣转化为承重构件，6米跨度桥体在零碳排放中实现力学性能与生态价值的双重突破。这种材料革新不仅突破了传统混凝土耐久性瓶颈，更通过纤维增强与几何优化技术，使结构自重降低30%的同时，抗裂性能提升至传统混凝土的2倍以上。在抗震工程中，再生钢纤维混凝土通过废旧钢材的循环利用，形成三维乱向分布的增强网络，显著提升结构延性与耗能能力，为高烈度区建筑提供更可靠的韧性支撑。与此同时，生物基复合材料如竹纤维增强聚合物，正以其高强轻质特性与碳封存能力，在临时结构与轻型建筑中展现独特优势。这些创新实践证明，绿色建材并非性能与环保的妥协，而是通过材料科学、数字建造与循环

材料	比例（公斤）
525 普硅	420~460
活性粉末（偏高岭土、硅灰、重钙）	40~80
细骨料（级配）	500
高效聚羧酸减水剂 PC-1701	3~4
消泡剂 P60F	0.5~1
减缩剂 P80	3
塑性膨胀剂 SK-201	0.15
水	100

图1 UHPC高性能混凝土配方

经济的深度融合，为结构工程开辟了更高效、更可持续的发展路径，推动建筑行业从资源消耗型向资源再生型转变。

2. 围护体系

在围护体系构建中，绿色建筑材料正以智能化、生态化特性重构建筑边界的效能逻辑。智能玻璃技术通过电致变色层与纳米镀膜的协同创新，使建筑立面从被动围护转向动态调节——真空玻璃的中空层真空处理将传热系数压缩至 $0.6\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 以下，结合低辐射镀膜对红外线的选择性反射，使室内热环境在夏季降低空调负荷25%、冬季减少采暖能耗18%，同时其自清洁涂层可减少80%的幕墙维护频次。福建闽北茶青市场项目则以竹集成材诠释生物基材料的围护革新，通过蒸汽热压工艺将竹纤维定向排列，形成抗弯强度达120MPa的生态板材，其榫卯节点与预制装配体系不仅使施工周期缩短40%，更以全生命周期碳封存量1.2吨/平方米的数据，证明自然材料在工业化建造中的可持续性。相变储能墙体技术通过微胶囊封装石蜡，在昼夜温差中实现蓄热-放热循环，使建筑围护结构兼具调温与储能双重功能，实测显示其可将室内温度波动幅度降低至 $\pm 1.5^\circ\text{C}$ 。在声学围护领域，再生橡胶颗粒与矿渣纤维复合的吸声板，通过多孔结构与纤维共振效应，将中高频噪声吸收率提升至0.9以上，为城市更新项目提供降噪与固废再生的双重解决方案。这些技术突破表明，绿色围护体系已超越传统保温隔热范畴，成为建筑与环境进行能量交互、物质循环的智能界面。

3. 基础设施

在基础设施领域，绿色建筑材料正以资源再生与性能跃升的双重突破，重塑工程建设的生态逻辑与经济价值。再生混凝土技术通过将建筑废渣破碎、筛分后按级配设计替代天然骨料，其抗压强度经掺合料优化可达C35标准，在市政道路工程中，废渣掺量超60%的路基材料不仅降低碳排放60%，更通过微孔隙结构提升排水性能30%，有效缓解城市内涝压力。橡胶沥青混合料技术则将废旧轮胎粉碎为1-3mm颗粒，与基质沥青通过化学改性形成三维网状结构，使路面抗车辙能力提升40%、行车噪音降低5分贝，其弹性模量优化特性更延长道路使用寿命至传统路面的1.8倍。在海绵城市建设中，透水生态混凝土以多孔级配设计与植物根系共生技术，实现雨水下渗速率达1.5mm/s，配合微生物附着层对径流污染物的降解率超70%，构建起“渗、滞、蓄、净”的生态

水循环系统。地聚合物水泥技术以粉煤灰、矿渣等工业固废为原料，通过碱激发反应形成高强胶凝体系，其28天抗压强度突破60MPa的同时，碳排放量仅为普通水泥的20%，在水利护坡工程中展现出抗冲刷、抗冻融的卓越耐久性。这些实践表明，绿色建材正从末端治理转向源头创新，通过材料基因重组与工程系统优化，推动基础设施向低碳化、功能化、长寿命方向演进。

三、绿绿色建材的发展趋势

1. 技术创新方向

在绿色建材的技术创新维度上，材料科学正以多尺度协同突破重构建筑工业的底层逻辑。负碳混凝土技术通过纳米级矿化反应将 CO_2 永久封存于基体结构，每吨材料可捕获200kg以上温室气体，其仿生多孔结构更使自修复微胶囊的触发效率提升3倍，显著延长结构耐久性。生物基复合材料领域，菌丝体-农业废渣协同培养技术已实现板材密度与强度的双重优化，菌丝网络在7天内即可将秸秆、木屑转化为抗弯强度达15MPa的轻质构件，其可降解特性更使建筑拆除废料回归土壤碳循环。智能响应材料方面，电致变色-光伏一体化玻璃通过钙钛矿量子点掺杂，将光热转换效率提升至22%，同时实现透光率10%-60%的无级调节，其自供电系统可独立驱动建筑遮阳百叶。地聚合物水泥技术则以分子筛结构调控为突破口，通过硅铝酸盐网络拓扑优化，在保持7天抗压强度50MPa的同时，将固化温度降低至 60°C ，显著降低能耗。在3D打印领域，建筑废料-地质聚合物浆料体系通过流变学参数精准匹配，实现打印层间粘结强度与天然石材相当，其多材料共挤技术更使保温层、结构层与装饰层一次成型。这些创新表明，绿色建材技术正从单一性能提升转向全生命周期系统优化，通过材料-能量-信息的深度融合，为建筑碳中和提供物质载体与技术支撑。

2. 市场推广趋势

在绿色建材市场推广领域，政策驱动与技术创新正形成双轮驱动效应。我国政府通过《绿色建材产业高质量发展实施方案》明确目标，到2026年绿色建材年营业收入将超3000亿元，并实施财政补贴、税收优惠等组合政策，如48个城市已开展政府采购支持绿色建材试点，直接降低企业推广成本。同时，市场认知度提升显著，消费者对绿色建材的环保性能关注度同比增长40%，促使头部企业加速布局——东方雨虹等企业通过“技术出海+品牌出海”模式，将生物基竹骨料混凝土、氯氧镁

水泥混凝土等创新产品推向150余个国家和地区,其海外营收占比已达35%。在应用场景拓展方面,绿色建材下乡活动覆盖12个省份,真空玻璃、相变储能墙体等产品在农村自建房领域渗透率提升25%,而城市更新项目中,再生混凝土、智能调光玻璃的使用率突破60%。值得关注的是,产业协同效应正在显现,上下游企业通过共建50项绿色建材应用示范工程,形成“研发-生产-施工”全链条闭环,如商砼企业与3D打印技术结合,使建筑废料利用率达95%的同时,施工周期缩短60%。这种政策引导、企业创新、产业协同的三维推动模式,正加速绿色建材从高端示范项目向大众市场渗透,预计到2030年将形成具有国际竞争力的绿色建材产业集群。

3. 可持续发展

在绿色建材的可持续发展进程中,循环经济与生态伦理的深度融合正重塑产业价值坐标。工业固废资源化技术通过跨行业协同实现物质闭环——钢铁渣微粉以纳米级活性效应替代30%水泥熟料,其火山灰反应使混凝土28天强度提升15%,同时每年消纳钢渣超2亿吨;废弃玻璃经熔融改性后成为高性能泡沫玻璃,其闭孔结构将导热系数降至 $0.05\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,在冷链物流与建筑保温领域实现100%回收再造。生物质建材领域,菌丝体-农业秸秆复合材料通过酶解预处理技术,将农作物废弃物转化为强度达18MPa的承重构件,其碳封存效率较传统木材提升40%,且废弃后可完全降解为有机肥料。城市矿产开发模式则通过建筑垃圾分选再生系统,将混凝土块、砖瓦等转化为再生骨料,其级配优化技术使再生混凝土工作性能与天然骨料相当,北京城市副中心建设已实现建筑垃圾资源化率95%,年减少填埋占地2000亩。与此同时,全生命周期评价(LCA)工具的普及,推动企业从原料开采到产品报废的碳足迹透明化,头部企业通过区块链技术实现每吨建材减排数据可追溯,这种

“数字护照”机制正倒逼产业链绿色转型。这种从线性经济到循环范式的跃迁,不仅使建材产业单位产值能耗下降22%,更通过物质能量梯级利用,构建起建筑与自然共生的永续发展图景。

结论

在绿色建材推动建筑行业可持续发展的进程中,技术创新与生态理念的深度耦合已形成不可逆的转型动能。负碳混凝土、生物基复合材料等前沿成果突破了传统建材的资源依赖与性能局限,而政策激励、市场扩容与产业协同构建的三维驱动体系,正加速绿色建材从高端示范向规模化应用渗透。通过全生命周期碳足迹管控与循环经济模式创新,建材产业已实现单位产值能耗年均下降3.8%,并带动建筑行业碳排放强度降低15%。这种物质再生、能量循环、信息透明的产业范式,不仅为“双碳”目标提供物质载体,更预示着建筑工业向资源永续、环境友好的新型文明形态演进。

参考文献

- [1]熊培钊.绿色建筑材料在土木工程中的应用与发展[J].2025.
- [2]高晓.土木工程施工中绿色建筑材料的应用研究[J].陕西建筑,2024(10):43-45.
- [3]张志平.绿色建筑材料在土木工程中的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(21):187-189.
- [4]田涛.绿色建筑材料在土木工程施工中的应用探讨[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(003):000.
- [5]姬文超.绿色建筑材料在土木工程施工中的应用研究[J].Engineering Science Research & Application, 2024, 5(8).