

绿色节能施工技术在房屋建筑工程中的应用

沈畅

云南经济管理学院，云南昆明，650000；

摘要：在“双碳”目标与建筑行业绿色转型的宏观背景下，本文聚焦云南高原气候特征，系统探讨绿色节能施工技术的核心价值、材料应用准则及显著优势，深入剖析技术应用中的体系性问题，并结合云南省互联网产业园区等典型项目，提出涵盖墙体保温、可再生能源利用等维度的精细化实施路径，为建筑工程的低碳化、绿色化发展提供理论与实践参考。

关键词：房屋建筑；绿色节能；施工技术

DOI：10.69979/3029-2727.25.08.040

1 绿色节能施工技术的核心价值

1.1 破解能源困局的战略选择

我国建筑施工阶段能源利用率仅为 65%，远低于发达国家 85% 的水平，化石能源依赖度高（煤炭占能源消费结构 56%）。绿色节能技术通过工艺优化显著降低能耗，如混凝土浇筑能耗从传统工艺的 300kWh/m³ 降至 240kWh/m³，降幅达 20%。云南省互联网产业园区项目实践表明，该技术可使项目全生命周期碳排放减少 18%，相当于年减排 CO₂ 1.2 万吨，从源头缓解能源供需矛盾，为“双碳”目标提供关键支撑。

1.2 推动产业升级的技术引擎

绿色节能技术倒逼建筑产业链多维度创新：

- 材料领域：蒸压加气混凝土砌块（导热系数 0.12 W/(m·K)）、石墨烯改性保温砂浆（抗压强度提升 15%）等新型材料的研发应用，推动建材向低耗高效转型；
- 设备领域：电动施工机械能耗降低 30%，智能洒水降尘系统节水率达 40%，促进施工设备智能化、环保化；
- 管理领域：BIM 技术与绿色施工深度融合，实现材料损耗率从 12% 降至 5%，施工效率提升 20%，推动行业从劳动密集型向技术服务型转变，云南某企业技术服务

2.2 适应性匹配：多维度性能耦合设计

气候分区	典型地区	关键性能指标	推荐材料
高原干燥地区	云南、西藏	含水率≤12%，抗裂强度≥1.5MPa	陶粒混凝土砌块
夏热冬冷地区	长江流域	遮阳系数≤0.5，水蒸气渗透≤1.5ng/(Pa·m·s)	夹胶 Low-E 玻璃

结构部位专属设计：

- 墙体：外保温采用岩棉带（宽度 200mm，错缝搭接≥100mm），热损失减少 30%，有效解决“热桥”问题；

收入占比由此前的 15% 提升至 35%。

1.3 改善人居环境的必然要求

传统施工导致新建住宅室内空气质量合格率仅 72%，甲醛、苯系物等污染物危害居住健康。绿色节能技术通过双重途径改善居住环境。

2 绿色节能材料的应用准则与实施框架

2.1 经济性导向：全生命周期成本优化

（1）性价比量化评估建立“性能-成本-寿命”三维评价体系，计算公式为： $C_{LCC} = C_p + \sum_{t=1}^n \frac{C_o(t) + C_m(t)}{(1+r)^t} - \frac{S_v}{(1+r)^n}$ 以保温材料为例，岩棉板（120 元/m²，寿命 20 年）较 EPS 板（80 元/m²，寿命 15 年）全周期成本节约 15 元/m²，体现长期经济性优势。

（2）动态成本控制

- 采购阶段：集中招标采购降低材料价格 10%-15%，利用规模效应控制成本；
- 施工阶段：废弃混凝土再生利用（节约成本 50 元/吨），余料回收率≥90%，减少资源浪费；
- 运维阶段：建立材料寿命周期管理档案，提前 3 年规划更换计划，避免突发维护成本。

- 屋面：倒置式保温层选用 XPS 挤塑板（抗压强度≥300kPa），设排气孔（间距 6m×6m）防止结露，提升耐久性；

•门窗：断桥铝合金型材（隔热条 24mm）搭配 6mm+12mm 空气层+6mm 中空玻璃（传热系数 $\leq 2.0W/(m^2 \cdot K)$ ），强化气密性与保温性能。

2.3 规范性实施：标准化管控体系构建

（1）三级标准体系

- 国家标准（GB/T 50378-2023）明确节能材料放射性、甲醛释放量等强制指标；
- 行业标准（JGJ/T 26）规定不同气候区材料热工性能阈值，确保地域适配；
- 企业标准细化检测流程，要求见证取样率 100%，增加耐候性试验等特色检测项目。

材料类型	典型产品	性能参数	节约效益
再生骨料	废旧混凝土破碎料	压碎值 $\leq 30\%$ ，吸水率 $\leq 5\%$	减少天然砂石消耗 40%
植物纤维板	麦秸秆纤维板	密度 600-800kg/m ³ ，E0 级甲醛	节约木材消耗 60%
光伏玻璃	碲化镉光伏玻璃	透光率 60%，发电效率 15%	年发电量 20kWh/m ²

施工损耗控制技术：

- 模板工程：定型化木模板（周转 ≥ 10 次）使损耗率从 15%降至 8%；
- 钢筋工程：BIM 放样优化率 8%，余料加工成马凳筋利用率达 90%；
- 抹灰工程：机械喷涂抹灰（厚度误差 $\pm 2mm$ ）减少材料浪费 25%。

3.2 环境效益优化：构建绿色施工生态链

（1）污染控制技术集群

- 粉尘治理：高压喷雾降尘系统（雾化颗粒 $\leq 50 \mu m$ ）使 PM10 浓度从 1.2mg/m³ 降至 0.3mg/m³，符合 GB 36246-2018 标准；
- 废水处理：三级沉淀系统实现 SS 去除率 90%、COD 降解率 60%，回用水质达 GB/T 18920-2020 标准，用于降尘、绿化；
- 噪声控制：装配式隔声屏障（降噪量 $\geq 25dB$ ）结合施工时间管控，场界噪声达标率 100%。

（2）室内环境提升绿色建材应用使新建住宅室内甲醛浓度 $\leq 0.06mg/m^3$ （优于国标 40%）、TVOC 浓度 $\leq 0.3mg/m^3$ ，居住环境质量显著改善。

3.3 水资源节约：构建施工期水循环体系

- 计量管理：超声波水表监控使单位建筑面积耗水从 50L/m² 降至 35L/m²；
- 工艺优化：混凝土养护节水率 70%，模板清洗用水量减少 60%；

（2）施工质量控制

- 事前：建立包含 200+种节能材料参数的数据库，通过 BIM 模型模拟材料适配性；
- 事中：二维码溯源系统实时追踪材料使用（扫码率 $\geq 95\%$ ），混凝土浇筑前进行保温层拉拔试验（粘结强度 $\geq 0.1MPa$ ）；
- 事后：第三方机构现场抽检（抽检率 5%），出具《绿色节能材料应用评估报告》，保障施工质量。

3 绿色节能技术的显著优势与量化分析

3.1 材料效率提升：从“资源消耗”到“循环利用”

- 雨水利用：屋顶收集系统（集水 1000m³，蓄水池 50m³）处理后替代率 80%，用于降尘、绿化灌溉，践行节水型施工理念。

4 现存问题与挑战

4.1 技术应用体系不完善

- 标准体系矛盾：47 项绿色建筑标准中施工专项仅占 12%，高原地区特殊要求缺失，且存在指标重复（节能与环保标准交叉率 35%）、检测滞后（如保温材料燃烧检测需 72 小时）等问题；
- 实施断层：设计图纸节能标注模糊导致成本增加（如某项目保温层厚度错误致成本增 120 万元），工人技术参差使施工合格率仅 82%，粘结剂施工与节点处理问题占比达 60%。

4.2 产业链协同不足

- 环节割裂：新型相变保温材料研发 3 年推广率 $< 5\%$ ，智能设备未适配高原水压（故障率 20%），90%项目缺乏运维阶段材料寿命档案；
- 机制障碍：跨行业对接成本高（单次 ≥ 2 周），绿色节能技术增量成本（约 150 元/m²）多由施工方承担，业主长期收益（年节约电费 50 元/m²）未反哺前端投入。

5 绿色节能技术的实践路径

5.1 墙体保温技术：构建立体防护体系

（1）外墙外保温

- 基层处理：空鼓修补后 1:3 水泥砂浆找平（平整度 $\leq 3\text{mm}/2\text{m}$ ），确保粘结基础；

- 粘结施工：满粘法（粘结面积 $\geq 80\%$ ）搭配双层耐碱网格布（断裂强力 $\geq 1250\text{N}/50\text{mm}$ ），锚固件每 m^2 设置 6-8 个（深度 $\geq 50\text{mm}$ ），提升抗裂性能。

（2）内墙复合体系针对云南温和气候，采用玻化微珠保温砂浆（导热系数 $0.07\text{--}0.09\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ）分层施工（每层 $\leq 20\text{mm}$ ），外覆 12mm 石膏板，板缝填弹性腻子防裂。

5.2 屋面节能施工：打造多维隔热系统

- 材料选型：倒置式屋面用 XPS 板（吸水率 $\leq 1.5\%$ ），正置式用泡沫玻璃（A1 级防火），机械固定三元乙丙橡胶卷材（断裂伸长率 $\geq 450\%$ ）；

- 施工控制：基层坡度 $\geq 2\%$ （激光检测误差 $\leq 0.5\%$ ），排气管间距 $6\text{m}\times 6\text{m}$ ，成品保护静置 72 小时，防止结露与渗漏。

5.3 门窗节能技术：突破热工性能瓶颈

- 系统构建：严寒地区采用铝包木复合型材（传热系数 $\leq 1.5\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ），温和地区配单层 Low-E 玻璃（遮阳系数 $0.4\text{--}0.6$ ）；

- 安装工艺：洞口预留宽度+20mm、高度+15mm，硅酮胶密封（厚度 $\geq 5\text{mm}$ ）与发泡聚氨酯填充（填充率 $\geq 90\%$ ），气密性等级 ≥ 8 级，减少冷风渗透 30%。

5.4 可再生能源利用：构建建筑能源生态

- 光伏应用：屋面晶硅组件（效率 22%）年发电 $15\text{--}20\text{kWh}/\text{m}^2$ ，光伏幕墙（透光率 60%）满足 30%办公用电，如云南省互联网产业园区项目实践；

- 太阳能热利用：真空管集热器（效率 $\geq 50\%$ ）供应 60°C 热水，地板采暖结合相变材料（潜热 $\geq 150\text{kJ}/\text{kg}$ ）调节昼夜温差，降低传统能源依赖。

5.5 水循环系统：打造施工期“水立方”

- 雨水回收：虹吸式排水收集，经机械过滤+活性炭吸附+紫外线消毒，回用于降尘、绿化（替代率 80%）；

- 废水处理：搅拌站废水处理后回用于混凝土搅拌（替代率 30%），生活污水经 MBR 设备处理后冲厕（替代率 100%），实现水资源梯级利用。

5.6 科技驱动与监管机制

- 智能监控： $\text{PM}_{10}\geq 1.0\text{mg}/\text{m}^3$ 自动触发喷淋系统（覆

盖半径 15m），BIM 模拟优化窗墙比（如 0.3 窗墙比能耗降 8%）；

- 政策激励：绿色信贷利率下浮 10%，再生建材使用超 30%企业所得税减免 5%，超低能耗建筑补贴 $300\text{元}/\text{m}^2$ ，强化技术落地保障。

6 结论与展望

6.1 研究结论

（1）绿色节能施工技术通过材料创新、工艺优化、管理升级，实现经济、环境、社会“三效合一”，是破解建筑行业可持续发展难题的核心路径。

（2）高原地区技术应用需聚焦气候适配，通过材料耐候性改良、水资源循环等技术组合，形成地域特色解决方案，如云南省互联网产业园区项目的能耗与水效率提升实践。

（3）技术落地依赖“政策引导-标准支撑-产业协同-科技驱动”生态体系，需破解标准缺失、产业链割裂、设计能力滞后等问题。

6.2 未来展望

- 技术创新：探索碳捕获与负碳建材（如低碳钢渣混凝土），推动建筑碳排放逆转；

- 模式升级：推广“绿色施工+光伏+智慧运维”一体化模式，打造零碳建筑示范项目；

- 标准迭代：制定《高原绿色节能施工规程》，填补地域标准空白，推动技术规范、精细化发展。

在“双碳”目标引领下，绿色节能施工技术正从单一技术应用迈向系统解决方案，需强化跨学科融合与全产业链协同，以技术创新驱动建筑行业绿色转型，为生态文明建设贡献力量。

参考文献

- [1]王红.绿色节能施工技术在房屋建筑工程中的有效性探究[J].中国房地产业,2020(23):262.
- [2]中国建筑科学研究院.中国建筑能耗研究报告(2024)[R].北京:中国建筑工业出版社,2024.
- [3]GB/T50378-2023 绿色建筑评价标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2023.

作者简介：沈畅（1985—），男，汉族，云南宣威人，高级工程师，云南经济管理学院，研究方向：建筑工程、绿色施工技术。