

# 全生命周期下建筑工程绿色节能技术探讨

文 / 柴青建 深圳市达濠市政建工有限公司

**摘要：**近年来，随着时代的发展和新的形势需求，在“2030 碳达峰”“2060 碳中和”的“双碳”目标下，建筑行业的减碳任务显得尤为重要。建筑碳排放是建筑物在与其有关的建材生产及运输、建造及拆除、运行阶段产生的温室气体排放的总和。其中，建材生产阶段、建材运输阶段、建筑施工阶段、建筑运行阶段，以及建筑拆除、废弃回收阶段均有碳排放。因此，建筑减碳是一个系统工程，需要从策划、设计、施工、交付、运营全过程统筹规划，进行一体化实施。

**关键词：**全生命周期；建筑工程；绿色节能技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.026

## 引言

在当今社会，建筑工程作为能源消耗和环境污染的大户，其绿色节能发展对于实现资源节约型、环境友好型社会具有重要意义。全生命周期理念强调从建筑项目的规划、设计、施工、运营到拆除的整个过程，综合考虑资源利用、能源消耗和环境影响。将绿色节能技术融入建筑工程全生命周期，有助于提高建筑的能源利用效率，减少对环境的负面影响，实现建筑与自然的和谐共生。

### 一、全生命周期下建筑工程绿色节能技术概述

绿色节能技术是指在建筑设计、施工和运营过程中，通过采用环保材料、节能技术和绿色理念，降低对环境的负面影响，减少污染，为人们提供健康、舒适和高效的使用空间，以及与自然和谐共生的建筑物的建筑技术。这些技术遵循气候设计和节能的基本方法，对建筑规划分区、群体和单体、建筑朝向、间距、太阳辐射、风向以及外部空间环境进行研究后，设计出的低能耗建筑。这些技术不仅注重低耗、高效，还强调经济性和环保性。

### 二、全生命周期各阶段绿色节能技术要点

#### （一）规划与设计阶段

规划与设计阶段是建筑工程绿色节能技术体系的基础环节，其核心在于通过系统性优化降低全周期能耗。从场地规划角度，需综合考虑地形、气候与微环境特征，运用计算机模拟技术分析太阳辐射路径与风向分布，确定建筑群最佳布局模式。南北朝向的优化可结合当地纬度计算最佳采光角度，同时利用景观植被与水体调节微气候，形成自然风道以增强被动通风效果。建筑体型系数的控制需平衡功能需求与节能目标，采用参数化设计工具对体块组合进行多方案比选，在满足空间使用效率前提下压缩外围护结构面积。围护结构设计需建立热工性能动态计算模型，针对不同气候区选择适配的保温隔热体系。外墙构造可采用复合保温层与热桥阻断技术，结合相变材料提升热惰性指标。屋面设计引入倒置式保

温层与绿色屋顶系统，通过植被覆盖层实现蒸发降温与雨水滞留。门窗系统需满足气密性等级要求，采用三玻两腔 Low-E 玻璃填充惰性气体，配合外遮阳构件实现可调节的遮阳系数。建筑开口设计需结合 CFD 模拟优化自然通风路径，设置可开启窗扇比例与高低位通风口形成热压通风效应。建筑能源系统规划需整合可再生能源与储能技术，建立多能互补的供能架构。光伏建筑一体化设计需综合考虑组件效率、倾角与建筑美学要求，优先采用建材型光伏构件替代传统围护材料。地源热泵系统设计需通过地质勘探确定地下换热效率，优化竖井布置形式与管道换热参数。智能微电网系统应实现光伏、储能与电网的协同调控，设置能源管理平台进行负荷预测与动态调度。被动式节能设计还需结合建筑空间组织，利用中庭、风塔等传统节能构造形成温度缓冲区域，降低主动式系统的运行负荷。

#### （二）施工阶段

施工阶段的绿色技术实施重点在于建立全过程环境管控体系。建材选择需开展全生命周期评估，优先采用具有环境产品声明（EPD）的建材，对混凝土配合比进行低碳化设计，掺入工业废渣替代部分水泥组分。钢材选用高强抗震型材减少截面尺寸，木材实施 FSC 认证确保可持续来源（见图 1）。材料运输环节建立区域性供应链，通过 BIM 模型精确计算需求量，采用模块化包装减少二次搬运损耗。施工现场实施动态环境监测网络，布设 PM2.5、噪声与振动传感器实时反馈污染数据。扬尘控制采用立体化治理方案，结合围挡喷雾、车辆冲洗平台与裸露土面覆盖技术。噪声防控通过设备选型与作业时序优化，对泵车、切割机等高频噪声源设置隔声屏障。水循环系统集成雨水收集、泥浆分离与中水回用装置，实现施工用水自平衡体系。建造工艺创新聚焦于工业化建造技术，推广预制装配式混凝土结构体系，采用高精度模具生产预制构件，现场通过螺栓连接与灌浆套筒实

现快速组装。钢结构施工应用机器人焊接与三维扫描校核技术，提升节点安装精度。装饰装修推行干式作业法，采用成品隔墙与架空地板系统，避免现场湿作业产生建筑垃圾。施工机械推行电动化改造，对塔吊、升降机等大型设备配置变频驱动与能量回馈系统。废弃物管理建立分类回收智能系统，设置电子芯片追踪的智能垃圾箱，通过图像识别技术自动分拣金属、木材与混凝土碎块。可回收材料经破碎筛分后进入再生骨料生产线，粉尘类废弃物通过压缩成型制造再生建材。危险废弃物实施密闭容器收集，委托专业机构进行无害化处置。施工组织采用精益建造理论，通过BIM4D模拟优化各专业穿插顺序，减少二次拆改与材料浪费。

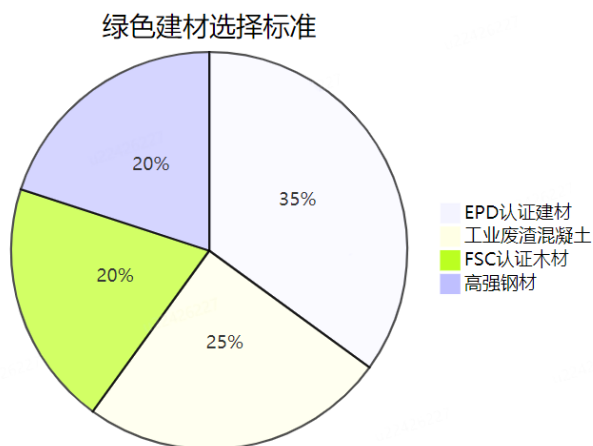


图1 建材选择与环境控制

### (三) 运营阶段

运营阶段的节能技术体系构建需实现设备系统智能化与用户行为精细化管理。能源监测系统部署需覆盖配电、暖通、给排水等全专业，采用物联网传感网络采集设备运行数据，通过机器学习算法建立能耗基准模型（见图2）。异常能耗诊断系统设置多级预警阈值，自动识别冷冻水系统跑冒滴漏、过滤器堵塞等隐性能效问题。暖通空调系统实施全过程优化控制，冷水机组采用负载率预测算法实现群控调度，空调水系统应用分布式变频技术动态调节管网压差。末端设备植入 occupancy 传感器，结合室内 CO2 浓度与温湿度参数实现工位级送风控制。照明系统推行按需供光策略，采用 T5 荧光灯与 LED 混合照明架构，通过光强分布模拟优化灯具布置方案。建筑设备运维引入数字孪生技术，构建三维可视化运维平台集成设备台账、维修记录与能效数据。电梯系统应用目的层群控算法，基于客流模式分析动态调整停靠策略。给排水系统建立水平衡监测网络，采用声波检漏技术定位管道渗漏点。可再生能源系统实施性能衰减监测，定期开展光伏组件 IV 特性测试与集热器效率校准。移动端 APP 开发用户侧能源管理可视化交互系统，提供个性化能耗报告与节能建议。建立能源信用积分制度，对超额节能用户给予公共区域用能配额奖励。空间使用推行共享办公模式，基于预约系统提高会议室与设备间利用率。定期组织节能知识培训，通过 VR 技术模拟不同行为模式对能耗的影响，培养员工能源敏感度。

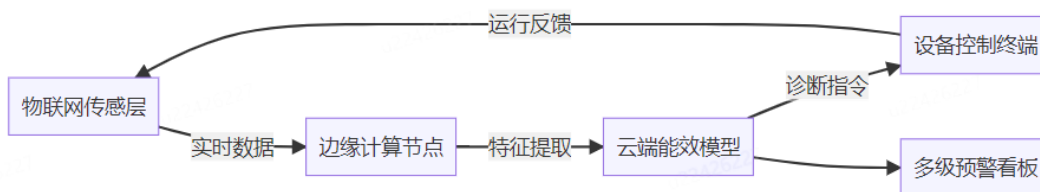


图2 能源监测系统拓扑

### (四) 拆除阶段

拆除阶段的绿色技术重点在于构建资源循环利用的闭环体系。拆除前评估需采用三维激光扫描建立建筑数字档案，通过材料识别算法精准标注各构件材质类型与可回收价值。结构安全性分析应用有限元模拟技术，制定逐层分解的逆向施工方案，保留主体结构的完整性以便构件再利用。机械化拆除装备配置智能感应系统，液压剪碎机集成金属探测功能实现钢筋与混凝土的分离作业。粉尘控制采用高压雾炮与局部负压抽吸组合系统，对石棉等有害物质实施密闭容器切割移除。噪声治理运用主动降噪技术，在设备发动机舱安装自适应消声装置。

振动传播通过橡胶隔震垫与液压缓冲器控制，避免对周边建筑产生影响。废弃物分选采用多级处理流水线，初级分选通过磁选机与气流分选装置分离金属、塑料与轻质材料。二级分选应用近红外光谱识别技术，对混合建材碎块进行高分子材料与矿物组分的精确分离。混凝土破碎料经风力分选去除杂质后，通过立式辊磨机生产再生骨料，用于路基垫层或非承重混凝土制备。金属材料进入熔炼再生流程，钢筋经矫直除锈后检测力学性能指标，符合要求的可直接用于新建工程。铝合金门窗框体通过热分解清除密封胶残留，经重熔添加合金元素再生生产型材。玻璃废弃物根据颜色分类破碎，透明玻璃直接

回炉生产玻璃纤维，有色玻璃加工成建筑透水砖骨料。有机材料实施分级处理，木材构件经杀虫灭菌后机械刨光，达到结构标准的用于木桁架制作，降级使用的加工成 OSB 板材。塑料类材料通过裂解技术转化为再生燃料或化学原料。危险废弃物如荧光灯管、蓄电池等，委托专业工厂提取汞、铅等重金属元素进行安全封存。场地恢复阶段应用生态修复技术，对受污染土壤实施生物降解或化学氧化处理。地下设施拆除后的基坑回填采用建筑再生骨料与微生物固结技术，提高回填土密实度。最终场地验收建立环境质量评估体系，检测土壤重金属含量与地下水 pH 值，确保达到生态用地标准。通过区块链记录建材回收全过程数据，为再生材料提供可追溯的质量认证。

### 三、全生命周期下建筑工程绿色节能技术的意义

#### (一) 环境效益

全生命周期视角下的绿色节能技术从根源上改变传统建筑对环境的单向索取模式，将其转变为与环境共生的动态平衡系统。在规划阶段，基于生态敏感性的场地分析可最大限度保留原有植被与水系，避免大规模土方工程对地质结构的破坏。被动式设计策略如自然通风模拟、日照轨迹分析等技术应用，能减少建筑对机械系统的依赖，从源头降低能源需求。施工环节的预制装配技术与模块化建造不仅缩短工期，更通过工厂化生产实现建材损耗率下降 60% 以上，现场施工污染显著减少。运营期的能源监测平台通过机器学习动态优化设备运行策略，使碳排放强度呈现指数级下降。拆除阶段的建筑垃圾分拣机器人结合材料基因数据库，可实现 90% 以上废弃建材的定向回收，形成闭环的物质流管理体系。这种系统性环境干预使建筑从“资源消耗终端”转型为“生态调节节点”。

#### (二) 经济效益

绿色节能技术的全周期经济价值体现在隐性成本的内化和资产溢价的显性化。初始阶段的增量成本被分解为长期运营中的负现金流，如光伏幕墙的发电收益可覆盖其附加建设成本。动态成本核算模型中，节能设备衰减曲线与能源价格波动率的关系显示，当电价年涨幅超过 3% 时，地源热泵系统的投资回收期可缩短至 7 年。建筑性能保险产品的出现将能效达标风险转移，进一步降低开发商融资成本。资产证券化过程中，获得绿色认证的项目资本化率平均低 0.5 个百分点，租金溢价空间达 15-23%。全生命周期成本分析揭示，传统建筑在 30 年周期内的隐性环境治理成本相当于造价的 12%，而绿色建

筑通过外部性内部化实现真实成本重构。REITs 市场对绿色资产的偏好使持有方获得更优的资本退出渠道。

#### (三) 社会效益

绿色节能技术的社会价值超越物理空间改造，正在重塑城市治理模式和公民环境权利。健康建筑标准推动的室内环境质量提升，使办公场所的劳动生产率提高 8%-12%，医疗建筑的患者康复周期缩短。社区级的微电网系统赋予居民能源自主权，分布式能源交易平台催生新型社群协作关系。建筑表皮的光催化涂料在净化空气的同时，成为城市空间的污染物监测终端，构成环境大数据的社会化采集网络。产业层面，绿色建筑评估师、能源管理师等新兴职业创造差异化就业机会，其技能要求推动职业教育体系向跨学科方向演进。政策制定者通过碳足迹标签制度引导消费选择，使绿色建筑从技术选项升格为文化符号。这种转变正在消解经济发展与环境保护的对立叙事，构建基于生态伦理的现代性认同。

#### 结语

全生命周期下建筑工程绿色节能技术的应用是实现建筑可持续发展的必然选择。从规划与设计、施工、运营到拆除的各个阶段，都应积极采用绿色节能技术，充分发挥其在环境、经济和社会方面的效益。政府、企业和公众应共同努力，加强政策引导、技术创新和宣传教育，推动建筑工程绿色节能技术的广泛应用，为建设美丽中国、实现人与自然和谐共生做出贡献。未来，随着科技的不断进步和人们对绿色节能需求的不断提高，建筑工程绿色节能技术将不断创新和完善，为建筑行业的可持续发展注入新的活力。

#### 参考文献

- [1] 张文莉. 低碳节能与绿色建筑生态节能设计的协同路径探究 [J]. 建材发展导向, 2025, (11): 130-132.
- [2] 王平. 全生命周期下建筑工程绿色节能技术探讨 [J]. 高科技与产业化, 2025, (05): 82-84.
- [3] 李传军, 马超. 绿色建筑材料及施工技术在建筑节能工程中的应用 [J]. 佛山陶瓷, 2025, (01): 74-76.
- [4] 赵亮. 建设项目全生命周期节能驱动机制与多目标优化策略研究 [D]. 中国矿业大学, 2019.
- [5] 葛坚. 基于全生命周期的绿色建筑节能减排关键技术研究及示范. 浙江省, 浙江大学, 2016-03-09.
- [6] 陶梦甲. 基于全生命周期成本理论的绿色建筑技术成本分析 [D]. 南京林业大学, 2014.
- [7] 吕赛男. 基于全生命周期成本的绿色建筑节能设计优化研究 [D]. 南京林业大学, 2012.