

低碳目标导向下建筑设计新技术与节能策略实践研究

张敏玲

广东 韶关 512300

DOI:10.61369/ADA.2026010037

摘 要： 以实现低碳目标为指引，梳理低碳建筑的概念方案与政策准则，搭建新型建材、智能系统集成等方面的技术体系，结合居住建筑、公共建筑、工业建筑的实际案例，揭示设计参数和能耗碳排放之间的映射关联，提出数字孪生的优化途径及政策建议，为建筑的低碳转型提供理论根据与实践参考。

关 键 词： 低碳建筑；节能技术；实践验证

Research on New Technologies and Energy saving Strategies in Building Design Guided by Low Carbon Goals

Zhang Minling

Shaoguan, Guangdong 512300

Abstract： Guided by the goal of achieving low-carbon development, we will sort out the concept plans and policy guidelines of low-carbon buildings, establish a technical system in areas such as new building materials and intelligent system integration, and combine actual cases of residential buildings, public buildings, and industrial buildings to reveal the mapping relationship between design parameters and energy consumption and carbon emissions. We will propose optimization approaches and policy suggestions based on digital twins, providing theoretical basis and practical references for the low-carbon transformation of buildings.

Keywords： low-carbon buildings; energy saving technology; practice verification

引言

建筑行业作为碳排放的主要源头，是实现双碳目标的核心部分。2022年施行的《建筑节能与可再生能源利用通用规范》从能耗限定、可再生能源应用占比等方面为低碳建筑的发展设定硬性约束，促使行业朝着全生命周期碳管控方向转变。在这样的背景之下，低碳建筑设计要以目标作为导向，整合绿色建筑材料、被动式设计方法、主动能源系统以及智能控制等技术体系，通过参数化优化和数字孪生模拟来提高技术适配度。文章全面梳理四种技术于居住、公共以及工业建筑里的应用规则，结合实际案例分析设计参数和能耗与碳排放之间的映射联系，提出把数字孪生当作核心的优化途径及配套政策提议，为建筑领域低碳转型提供理论支持与实践案例，推动双碳目标实现。

一、低碳建筑设计技术理论基础

（一）低碳建筑概念框架

低碳建筑方案以低碳目为为主要，围绕整个生命周期开展碳排放管控。主要指标包含建材制造、建造、运行、拆除回收各个阶段的碳排放强度，同时结合能源效能、可再生能源使用比例、碳汇能力等建立多维评估体系^[1]。碳排放全生命周期理论对建筑自原材料开采直至废弃的整个流程中的碳排放节点进行梳理，清楚各阶段的排放来源及其占比情况，为设计环节的低碳策略提供支撑。此理论把建筑当作动态的碳流动体系，辨别高排放的环节并进行有针对性的优化，实现全生命周期碳排放的最小化，给低

碳技术和节能实践提供支撑，保证建筑在满足功能要求的同时符合低碳发展的目标。

（二）政策法规与标准体系

政策法规和标准体系构成规范建筑低碳化发展的制度方案，通过强制规范以及技术导则来清楚全生命周期碳排放的控制要求。国家方面颁布《绿色建筑评价标准》《建筑节能与可再生能源利用通用规范》等强制性规范，从能耗限定额度、可再生能源应用占比、碳排放核算等方面设定底线要求^[2]。行业技术指南对设计阶段的技术路线进行更细致的规定。政策工具通过约束+激励双轨机制推动创新：强制规定建立刚性限制，财政补贴、税收优惠这类激励措施降低新技术运用成本，激励探索零碳建材、智

能能耗管理系统等前沿科技。此体系给低碳建筑设计提供技术支撑，通过制度引导建立技术创新的良性循环。

二、节能环保新技术系统架构

（一）新型低碳建材应用

新型低碳建筑材料的应用是节能环保技术体系的核心部分，对建筑全生命周期的低碳目标起着主要的支撑作用。相变储能墙体通过相变材料的潜热调节特性，相变温度处于20~28℃的复合墙体能够让夏季空调能耗下降15%~25%^[9]。碳捕获混凝土通过添加工业固碳矿物或者集成CO₂捕集模块，整个周期的碳排放能够降低30%~40%。这类材料的物理属性和碳足迹模型要结合空间布置、热工要求开展参数化匹配，通过BIM技术把材料性能和能耗模拟体系耦合起来，实现材料挑选与节能策略的协同优化，为低碳建筑设计提供量化决策的根据。

（二）智能系统集成技术

智能系统集成技术通过融合BIM正向设计流程和建筑能源管理系统（BEMS）的多源数据，搭建动态协同的节能管控体系。BIM产生的静态参数和BEMS实时收集的动态数据，通过多源数据耦合优化算法实现深度融合。此算法将全生命周期碳足迹最小化当作目标，通过机器学习模型识别能源消耗主要影响因素，像围护结构热工性能、设备运行策略和室内环境参数的耦合联系^[10]。通过数据驱动的预测算法，模型实时调节设备运转参数，优化能源配置，实现能耗动态管控。此技术加强设计环节的节能预先控制能力，为运营环节提供精准决策支撑，促使建筑由被动节能向主动智能节能转化。

三、节能策略创新实践路径

（一）被动式节能技术

1. 自然采光与通风优化

自然采光和通风的优化是被动式节能技术的主要，通过参数化模拟实现建筑形体与开口的精确调整。通过CFD技术对风场分布展开分析，对体型系数和开口位置予以优化，能够让夏季自然通风量提高30%以上，减少机械通风能耗。采光模拟软件对太阳辐射角度进行模拟，配合遮阳构件开展设计，在确保采光系数达到3%以上的前提下，降低眩光和热辐射。多目标优化算法把风环境和采光指标融入参数化模型，产生形体与开口的最佳方案，让自然通风效率提高25%，年采光时长增多1500小时。综合高透光Low-E玻璃、透气型外墙等材质的热工性能指标，进一步加强被动式节能成效。此路径实现从经验设计朝数据驱动的精确优化转变，为低碳建筑提供量化技术支持^[11]。

2. 围护结构性能提升

围护结构性能改善是被动式节能技术的主要，通过高性能外

保温复合体系与动态遮阳部件减少能耗、提高热舒适度。运用真空绝热板或者气凝胶这类高效保温材料，导热系数能够低至0.008 W/(m·K)以下，节能效率提高30%以上^[12]。热桥阻隔设计能够让窗框和墙体连接之处的传热系数下降40%~60%。动态遮阳部件结合朝向和气候特性，运用可调节百叶或者光伏遮阳一体化体系，节能成效能达到建筑空调能耗的20%~30%。运用红外热成像和热流计检测，识别保温层存在的空鼓、裂缝等问题，然后开展修补或者翻新工作，以保障围护结构性能能够长期保持稳定。

（二）主动式能源管理

1. 可再生能源系统

可再生能源体系的创新探索重点于多能互补和协同运作，在此之中光伏建筑一体化（BIPV）与地源热泵的协同方案成为重要方向。BIPV把光伏组件整合到围护结构之中，地源热泵通过土壤稳定温度场来高效供应能源，二者相互协作能够提高能源利用效率。在实际操作中，要根据建筑的逐时负荷特征来建立负荷匹配的优化模型，通过智能算法实现BIPV发电量和地源热泵能耗的动态匹配，降低对电网的依赖以及能源的浪费^[13]。模型考量季节变动、气象状况以及使用方式的作用，例如夏季BIPV的发电量优先供应给热泵压缩机，冬季对热泵运行参数进行优化，并且与储能系统相结合实现能源的时空转换。将协同策略融入建筑能源管理体系，保障可再生能源最大程度消纳以及系统平稳运行，促进建筑能源系统向低碳化转变。

2. 智慧用能调控

智慧能源调控通过通过物联网技术的用能设备智能群组控制方案实现。此方案整合照明、空调等设备的实时运行数据，搭建起设备互联网络，打造出动态感知与协同调控的系统。照明体系融合人体感应与自然光监测，实现按需调光；空调体系收集室内温湿度、人员密度等参数，联动气象预报动态优化运转模式。需求响应机制建立设备群控和能源端的即时交互，在电网处于高负荷时段或者可再生能源出现波动时，系统会自动对非主要设备的运行状态加以调整，以平抑能源需求的高峰值，加强用能的灵活性和效率。此方案通过多设备协作和外部能源信号回应，促使建筑用能由被动消耗向主动优化转变，为低碳建筑能源管理提供技术支持^[14]。

四、实践案例的实证分析

（一）公共建筑技术验证

1. 商业综合体案例

商业综合项目案例选取某城市核心地带超大型商业综合建筑作为研究目标，检验中庭生态缓冲区域与双层幕墙体系的节能成效。中庭运用高透光玻璃和绿植组合的生态缓冲构造，搭配双层呼吸式幕墙体系。研究显示中庭生态缓冲区域让夏季室内温度比室外低4.2℃，减少周边空间空调负荷约18%，每年空调能耗降低

21.7万 kWh^[9]。双层幕墙体系在夏季通过腔体通风来实现散热，冬季依靠温室效应降低采暖需求，全年综合节能比例达到23.5%，和设计阶段的模拟数值偏差控制于5%以内。此案例证实两种技术协同运用的成效，为同类型公共建筑的技术选择提供数据支持。

2. 文教建筑案例

文教建筑案例以某高校图书馆作为实证研究对象，此建筑总的建筑面积为1.2万平方米，每年平均能耗大约180万千瓦时，碳排放量达到126吨。项目运用屋顶光伏和储能系统以及智能照明控制系统开展技术验证，其中屋顶光伏的装机容量为150千瓦，配备50千瓦时的储能电池，智能照明系统包括所有公共区域与阅览室，通过人体感应和自然光感应实现动态调节。监测信息表明，光伏系统平均每年发电量约18万千瓦时，储能系统能够有效平衡峰谷用电差异，让建筑能源自给率提高到10.2%，相比改造之前提高8.5个百分点。智能照明体系通过自动调光以及按需照明，每年节电大概6.8万千瓦时，节电的贡献程度达到12.3%，等同于减少碳排放4.8吨。两项技术联合运用后，建筑总体能耗下降15.7%，碳排放量削减18.2吨，证实低碳技术在文教建筑里的可行性与效益，为同类型公共建筑的低碳改造提供数据支持。

（二）居住建筑技术适配

1. 高层住宅案例

选择某超高层住宅（82米，3栋共324户）作为研究样本，以低碳目标为导向，针对户式新风热回收装置在过渡时段（春季、秋季）的运行效率开展实证检测。测试时段包括2023年3至5月以及9至11月，收集采集装置的送风温度、排风温度、功率消耗和室内CO₂浓度数据，同时通过智能电表记录住宅的总能耗，并且结合入户问卷与传感器监测来提取用户开窗时长、新风开启时段等行为特性。研究表明过渡时节新风热回收设备的热交换效率保持在62%–68%，相较于没有热回收系统的住宅，可降低通风能耗18%–22%；用户行为方式与能耗存在明显关联，每日开窗时长多于4小时的住户，其新风系统运行时间减少35%，月均通风能耗降低27%，而频繁开启和关闭新风装置的住户，能耗反倒增加12%，这是因为设备启动阶段功率波动较大。根据上述数据建立的用户行为、能耗关联模型表明，用户行为对建筑整体能耗的影响权重为31%，其中新风系统使用习惯的影响占比最大（14%），这为后续高层住宅低碳设计里技术适配与行为引导策略的改进提供量化参考。

2. 低碳社区案例

实证分析实践案例时，将某低碳社区当作研究对象，重点关注居住建筑技术适配以及社区方面的低碳协同机制。此社区运用监测区域能源站的分布式供能体系，通过实时收集冷热电三联供装置的运行数据，结合建筑能耗模拟软件开展效率核算。结果表明分布式供能体系在供暖时期的能源利用效能达72%，相较于传统集中供暖体系提高18%，其中余热回收组件贡献35%的节能成效。社区里景观碳汇体系的核算运用方法与碳循环模型相结合

的方式，对乔木、灌木以及地被植物的年度固碳量进行量化，结果显示该体系年度固碳量达到12.3吨，能够补偿社区建筑运行所产生碳排放的8.7%。进一步研究可知，居住建筑外墙保温技术和能源站供能模式的适配度对节能成效有明显作用。当外墙传热系数从0.5 W/(m² · K)降低至0.3 W/(m² · K)时，供能系统的负荷波动降低22%，运行效率提高5.6%。此案例证实分布式供能和景观碳汇系统于低碳社区里的协同作用，为居住建筑技术适配提供实证支撑。

（三）工业建筑技术转型

1. 厂房节能改造

实践案例的实证研究关注某机械制造厂房的节能改进，此厂房原本围护结构的热工性能不佳、照明能耗占比达到35%，夏季室内平均温度超过32℃。改造过程运用屋面光伏与天窗采光相结合的综合策略，在1200 m²的屋面铺设200kWp的光伏组件，每年发电量大约为22万 kWh，可满足厂房15%的用电需要；在车间顶部装设15组电动天窗，与侧墙通风口共同形成烟囱效应，加强自然通风效果。改造之后的监测数据表明，车间采光系数提高到3.5%，照明能耗下降40%；夏季室内平均温度降到28℃，空调负荷降低25%，CO₂浓度保持在1000ppm以下，符合工业卫生标准。另外光伏体系每年减排CO₂大约176吨，配合自然通风手段，该项目静态投资回收周期为6.8年。此案例显示，屋面光伏和自然通风的协同运用能够有效减少工业建筑的能耗，并且提高室内环境品质，为以低碳目标为导向的厂房节能改造提供可参考的技术途径。

2. 物流仓储案例

实证分析选取华东地区某冷链物流园区为研究目标，该园区把采用光伏、地源热泵耦合系统的冷藏库当作实证载体，对能源耦合效应进行验证，同时建立温度分层控制策略。项目整体建筑面积达12000 m²，其中冷藏库所占比例为60%，设计的温度范围是-25℃到5℃，分别设置冷冻区域、冷藏区域以及恒温区域。光伏系统总体装机容量达1.2MW，每年发电量约为130万 kWh，地源热泵系统所设计的制冷量为800kW，二者通过智能能源管理平台实现动态耦合：光伏所发电力会优先供应给冷藏库的压缩机组以及照明系统，剩余的电量会存储在200kWh的储能电池里，电量不足时由电网进行补充；地源热泵承担着冷藏库超过70%的制冷负荷，利用土壤恒温的特性来降低系统COP的波动。温度分层调控策略通过CFD模拟对气流组织进行优化，冷冻区域运用顶部送风、底部回风的垂直分层方式，冷藏区域则通过侧墙送风与货架通道回风相配合，实现同一库区内±0.5℃的温度精准控制。实际数据表明，此系统每年综合能耗相较于传统冷藏库减少38%，光伏自发自用比例达到82%，CO₂减排量大约为950吨每年，证实光伏、地源热泵耦合系统在冷链物流建筑里的能源协同效果。温度分层控制策略进一步加强冷藏库的能效以及运营稳定性，为低碳目标下工业建筑技术的转变提供可复制的实践案例。

五、总结

本研究以实现低碳目标为指引，重点关注建筑设计技术的创新以及节能方面的实践，全面梳理绿色建材、被动式设计、主动式能源、智能控制这四类技术于居住建筑、公共建筑、工业建筑里的应用规则。经实证研究分析体型系数、窗墙比、围护结构热工性能等主要参量和碳排放的对应关系，确定优化的方向。通过

数字孪生科技，搭建建筑全生命周期的数字镜像体，实现设计方案的精确模拟与动态管控。对于技术落地面临的政策障碍，给出健全标准体系、设立激励制度、加强协同监管等提议。研究成果为低碳技术的挑选与参数的优化提供理论支撑，为建筑行业的低碳转型提供实践途径与政策参考，帮助双碳目标下建筑领域的绿色发展。

参考文献

- [1] 马超. “双碳”目标下低碳建筑发展演化博弈研究 [D]. 山东科技大学, 2022.
- [2] 孙嘉祎. 低碳导向下寒地小型办公建筑设计参数多阶段多目标优化研究 [D]. 沈阳建筑大学, 2023.
- [3] 陈弋冉. 低碳目标导向下武汉市碳排放碳汇水平评估及土地利用优化研究 [D]. 华中农业大学, 2023.
- [4] 王丽娟. 低碳转型导向下 N 厂精益成本管理体系构建与实践研究 [D]. 重庆工商大学, 2022.
- [5] 李思萌. 低碳目标导向下寒冷地区装配式公寓外界面窗口优化设计研究 [D]. 山东建筑大学, 2022.
- [6] 拉瓜登顿. 低碳节能理念在建筑设计中的运用 [J]. 现代装饰 (理论), 2014, 000(12): 219-219
- [7] 陈源强, 陈鑫. 低碳理念下的建筑设计应对策略 [J]. 中国建筑装饰装修, 2022(22): 70-72.
- [8] 陈俊, 单萧龙. 低碳概念下的建筑设计应对策略 [J]. 建材发展导向, 2023, 21(17): 191-194
- [9] 张希晨. 低碳概念下的建筑设计应对策略 [J]. 城市发展研究, 2010, 000(007): 45-51.
- [10] 覃波. 低碳建筑项目的碳排放核算及节能减排策略探究 [J]. 建材发展导向, 2023, 21(3): 192-194.