

# 低碳理念下高层建筑设计的理论体系与实践路径

涂 坤

中南建筑设计院股份有限公司 湖北 武汉 430000

**摘要：**高层建筑作为城市空间集约利用的核心载体，其高能耗特征与低碳发展目标存在结构性矛盾。本文基于全生命周期理论，构建涵盖规划设计、材料选择、能源利用、施工建造及运营管理的高层建筑低碳设计理论体系，提出被动式设计优先、主动式技术集成与全生命周期管理三大原则，结合围护结构优化、能源系统创新等关键技术，形成规划选址、性能化设计、低碳建造与智慧运维的实践路径。研究表明，系统性低碳设计可实现建筑能耗降低30%-50%，为高层建筑绿色转型提供理论支撑与技术参考。

**关键词：**低碳理念；高层建筑设计；全生命周期；被动式设计；性能化设计

## 引言

全球建筑行业碳排放占全球总量的39%，其中运营阶段能耗占比约28%，建材生产与施工建造占比约11%<sup>[1]</sup>。在我国“双碳”战略背景下，建筑领域碳减排已成为实现2030年碳达峰目标的关键环节。高层建筑因土地集约利用效率高，成为城市化进程中的主流建筑形态，但其空调、照明、垂直交通等系统能耗密度显著高于普通建筑，形成“高集中度-高能耗”的结构性矛盾。

我国高层建筑低碳实践起步较晚，现有研究多聚焦单一技术环节，缺乏对全生命周期碳排放的系统性管控框架。2022年《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》明确提出<sup>[2]</sup>，到2025年城镇新建建筑全面执行绿色建筑标准，新建公共建筑能效水平提升20%。如何实现这一目标，需要建立从规划设计到拆除处置的全流程理论体系。本文试图整合被动式设计、主动式技术与管理策略，构建高层建筑低碳设计的理论框架，并结合工程实践提出可操作的实施路径。

## 1 理论基础与文献综述

### 1.1 低碳建筑的核心概念

低碳建筑概念源于2003年英国政府提出的“低碳经济”战略，后在建筑领域逐步深化。学界对其界定存在两种取向：技术维度强调通过节能材料、可再生能源应用降低运行能耗；系统维度则关注建材生产、施工建造、运营维护至拆除处置的全流程碳排放控制<sup>[3]</sup>。本文采纳系统维度定义，将低碳建筑理解为：在建筑全生命周期内，通过设计优化、技术集成与管理创新，实现化石能源消耗与温室气体排放最小化的建筑发展模式。

该模式依托四大核心要素：节能聚焦能源利用效率

提升，通过被动式设计与可再生能源替代降低运行能耗；减排强调建材生产、施工过程及运营阶段的温室气体管控；循环注重建筑材料的回收再利用与建筑垃圾资源化；生态则要求建筑与周边自然系统协同，减少对本地生态的干扰。

### 1.2 国内外研究进展

发达国家低碳建筑实践起步较早。德国“被动房”标准通过超高性能围护结构、无热桥设计与高效热回收新风系统<sup>[4]</sup>，实现采暖需求降至15kWh/(m<sup>2</sup>·a)以下，形成可复制的技术体系。日本基于地震多发国情，发展出兼顾抗震与低碳的装配式技术体系，其预制混凝土结构应用率达80%以上，显著降低施工阶段碳排放。

我国低碳建筑政策经历了从示范引导到标准强化的演变。2006年《绿色建筑评价标准》首次建立绿色建筑评价体系；2019年《近零能耗建筑技术标准》提出超低能耗、近零能耗、零能耗三级能效指标体系<sup>[2]</sup>。然而，当前实践仍面临技术成本偏高、全生命周期碳核算方法缺失等瓶颈，制约了低碳技术的规模化推广。

### 1.3 理论支撑体系

本文的理论框架整合三个维度：可持续发展理论要求建筑发展兼顾当代需求与代际公平，为全生命周期管理提供伦理基础；生态建筑学理论强调建筑与自然环境的物质能量交换，指导被动式设计策略；循环经济理论倡导“减量化、再利用、资源化”原则，推动建材循环与建筑拆除废弃物管理。

## 2 低碳理念下高层建筑设计的理论体系

### 2.1 设计原则

被动式设计优先。被动式设计依托建筑本体形态与构造，最大化利用自然条件降低能耗。具体策略包括：通过建筑朝向优化与窗墙比控制，提升自然采光利用率，减

(注：文档部分内容可能由AI生成)

少人工照明负荷；利用热压与风压原理组织室内通风，降低空调系统能耗；采用可调节外遮阳构件，根据太阳高度角变化控制太阳辐射得热。研究表明，被动式设计可降低空调能耗20%-40%<sup>[4]</sup>，是低成本高效益的优先策略。

**主动式技术集成。**主动式技术作为被动式设计的补充，聚焦可再生能源与智能系统的应用。光伏建筑一体化技术将发电功能与围护结构结合，晶体硅光伏幕墙光电转换效率达15%-20%；地源热泵系统利用浅层地热能，能效比较传统空调提升30%-50%；智能控制系统通过实时监测与动态调节，实现能源供需精准匹配。

**全生命周期管理。**建立覆盖建材生产、施工建造、运营维护、拆除处置的碳足迹管控体系。设计阶段采用建筑信息模型技术进行碳排放模拟预判；施工阶段优化工艺与物流，减少材料损耗；运营阶段实施能耗分项计量与诊断；拆除阶段制定材料回收方案，提升资源化利用率。

## 2.2 关键技术体系

**围护结构热工性能优化。**围护结构传热损失占高层建筑总能耗的30%-50%。高性能保温系统采用真空绝热板或气凝胶材料，导热系数低至0.004-0.008W/(m·K)；低辐射中空玻璃传热系数可降至1.0W/(m<sup>2</sup>·K)以下；动态遮阳系统根据室外光照自动调节<sup>[5]</sup>，兼顾采光与隔热需求。

**多元化能源系统。**构建"可再生能源+高效设备+储能调节"的复合能源系统。分布式光伏系统可覆盖建筑用电需求的20%-40%；冰蓄冷技术利用夜间低谷电价制冰，白天融冰供冷，降低运行成本30%以上；余热回收装置捕获排风中的能量，用于新风预处理，热回收效率达60%-80%。

**水资源可持续利用。**建立"节流-开源-循环"的水资源管理体系。节水器具较传统设备节水30%以上；雨水收集系统通过屋面导流与地面渗透，可实现绿化灌溉用水自给；中水回用技术将生活污水处理后用于冲厕、洗车，替代自来水消耗40%-60%。

**绿色建材应用。**优先选用本地建材，减少运输碳排放；推广粉煤灰混凝土、再生骨料等工业固废建材，降低水泥用量；木结构与竹材等生物基材料具有碳汇功能，可部分抵消建筑碳排放。

## 2.3 数字化技术赋能

**建筑信息模型技术全周期应用。**设计阶段整合建筑、结构、机电多专业模型，进行能耗模拟与碳排放计算；施工阶段通过4D模拟优化工序，减少变更与浪费；运营阶段关联楼宇自控系统，实现设备状态监测与故障预警。

**人工智能优化。**机器学习算法分析历史能耗数据，建立预测模型，提前调节设备运行参数；深度学习识别用户行为模式，自动优化室内环境控制策略，在保障舒适

度的前提下降低能耗10%-15%。

## 3 低碳理念下高层建筑设计实践路径

### 3.1 规划阶段：场地设计与微气候优化

**建筑朝向与形体优化。**基于项目所在地气象数据，通过日照模拟确定最优朝向。寒冷地区优先采用南北向布局，最大化冬季太阳辐射得热；夏热冬暖地区则通过偏转角度避免西晒。上海中心大厦通过120°螺旋扭转形体<sup>[6]</sup>，将风荷载减少24%，降低结构用钢量约25%，同时形成独特的自然通风路径。

**缓解城市热岛效应。**采用错落式布局预留通风廊道，引导夏季主导风穿透场地；增加透水铺装与绿化覆盖率，降低地表温度；合理控制建筑密度与高度，避免形成风影区与污染物积聚。

### 3.2 设计阶段：性能化设计方法

**参数化设计工具应用。**利用参数化建模平台，联动环境分析插件，实时评估不同方案的采光、能耗与风环境表现。通过遗传算法等优化工具，自动搜索最优解集，辅助设计决策。

**多维度模拟分析。**能耗模拟预测全年空调能耗；采光模拟验证室内照度达标情况；计算流体力学模拟分析风压分布与自然通风潜力。深圳万科中心通过性能化设计，采用绿色屋顶与贯通式中庭，实现自然通风时间占比超过60%，空调能耗降低35%。

### 3.3 施工阶段：低碳建造技术

**装配式建造。**预制构件工厂化生产，减少现场湿作业，降低施工扬尘与噪声污染；标准化模具提高材料利用率，减少建筑垃圾30%以上；机械化安装缩短工期，降低临时设施能耗。

**施工过程管理。**建立废弃物分类回收体系，混凝土废料破碎后作为再生骨料，钢筋废料回炉再利用；优化运输路线与装卸方案，采用新能源运输车辆，减少物流碳排放。

### 3.4 运营阶段：智慧运维与碳管理

**物联网监测与诊断。**部署传感器网络，实时采集电、水、气消耗数据及室内环境参数；基于云平台进行数据挖掘，识别能耗异常与节能潜力；数字孪生技术构建虚拟建筑模型，预演不同控制策略的效果。

**碳资产管理。**依据《建筑碳排放计算标准》，核算建筑运行阶段碳排放量；参与碳交易市场，将节能降碳产生的配额转化为经济收益；建立碳账户体系，记录建筑全生命周期碳足迹。

## 4 高层建筑低碳设计的挑战与对策

### 4.1 现存挑战

经济性瓶颈。高性能围护结构、可再生能源系统等增量成本约占建安成本的5%-15%，投资回收期5-10年<sup>[7]</sup>，开发商短期收益导向制约技术应用。

标准体系不完善。缺乏全国统一的全生命周期碳核算标准，设计、施工、运营阶段碳排放数据割裂，难以形成闭环管理。

市场认知不足。用户对低碳建筑的舒适度优势与长期经济效益认知有限，支付意愿不强；行业缺乏低碳建筑性能后评估与信息披露机制。

#### 4.2 应对策略

政策激励。完善绿色金融支持，对低碳建筑项目提供低息贷款与容积率奖励；推行碳标签制度，强制披露建筑碳排放信息；探索建筑碳交易机制，将减排效益转化为经济回报。

技术创新。加强产学研协同，突破高性能保温材料、高效光伏组件等核心技术；推进建筑信息模型与人工智能技术融合，提升设计精度与运维效率；建立本土化技术体系，适应不同气候区需求。

社会参与。通过碳普惠机制，将个人节能行为转化为可量化的碳积分；加强低碳建筑科普宣传，提升公众认知度与接受度；培育第三方服务机构，提供碳核算、认证与交易服务。

#### 结束语

高层建筑低碳设计是应对气候变化、实现城市可持

续发展的关键路径。本文构建的全生命周期理论体系，整合被动式设计、主动式技术与智慧化管理，为行业提供了系统性的方法论。未来需进一步强化政策引导、突破技术瓶颈、完善市场机制，推动高层建筑从能源消耗主体向低碳技术集成载体转型，为实现碳中和目标提供支撑。

#### 参考文献

- [1]联合国环境规划署.2022年全球建筑建造业现状报告[R].内罗毕:UNEP,2022.
- [2]住房和城乡建设部."十四五"建筑节能与绿色建筑发展规划[Z].建标〔2022〕24号,2022.
- [3]龙惟定,白玮,范蕊,等.低碳城市的城市形态与能源规划[J].城市规划学刊,2011(3):72-78.
- [4]Feist W.Passivehouse:A standard for energy efficient buildings[J].Energy Efficiency,2007,1(1):41-56.
- [5]徐伟,邹瑜,陈曦,等.近零能耗建筑技术标准实施指南[M].北京:中国建筑工业出版社,2020.
- [6]Gensler.上海中心大厦设计白皮书[R].上海:Gensler建筑事务所,2015.
- [7]尹波,李宏军,宋凌.绿色建筑增量成本与效益分析[J].建筑经济,2015,36(8):68-71.
- [8]王清勤,孟冲,陈国义.我国绿色建筑发展现状与展望[J].建筑科学,2022,38(9):1-10.