

低碳建筑设计、能耗预测与优化技术在建筑工程中的应用

姜成昊 411627199903164438

摘要：双碳目标背景下，建筑行业作为我国能源消耗与碳排放的核心领域，推进低碳转型已经成为行业发展的必然趋势。本文围绕低碳建筑设计、能耗预测与优化技术三大核心内容，分析各类技术在建筑工程中的应用路径，探讨低碳技术应用对降低建筑全生命周期碳排放、提升能源利用效率的实际价值，总结当前应用中存在的问题，并提出针对性优化方向，为建筑工程领域的低碳发展提供实践参考。

关键词：低碳建筑设计；能耗预测；优化技术；建筑工程

一、引言

随着我国双碳战略的推进，建筑行业的低碳转型已经成为落实国家减排目标的核心环节。根据相关统计数据，我国建筑全生命周期碳排放占全国总碳排放的比重超过 50%，建筑运行阶段能耗占全国能源消费总量的比重接近 30%，是实现碳达峰碳中和目标必须重点突破的领域。低碳建筑技术体系整合了设计方法、模拟预测与性能优化三大模块，能够从项目规划阶段就嵌入低碳理念，贯穿建筑施工、运行、拆除全生命周期，实现碳排放与能耗的精准管控。本文从三大核心技术出发，梳理其在建筑工程中的实际应用逻辑与应用效果，为建筑工程低碳化改造与新建项目提供支撑。

二、低碳建筑设计在建筑工程中的核心应用

低碳建筑设计是从源头降低建筑碳排放的核心环节，区别于传统建筑设计以功能与成本为核心的思路，低碳设计将全生命周期碳排放作为核心约束条件，从场地规划、建筑布局、材料选择、围护结构设计等多个维度融入低碳理念。在场地规划层面，低碳设计优先利用场地自然条件实现被动式节能，例如通过合理布局建筑朝向，最大化利用自然采光与自然通风，降低建筑运行阶段的照明与空调能耗。在夏热冬冷地区，南北朝向的建筑布局可使空调能耗降低 10%到 15%，同时自然采光可减少约 30%的日间照明用电。

在围护结构设计层面，低碳设计注重提升围护结构的热工性能，采用高性能保温材料、low-e 中空玻璃等低碳节能材料，降低冷热负荷的传递，减少空调系

统的运行能耗。例如在北方寒冷地区，外墙采用厚度为 100mm 的石墨聚苯板保温层，可使外墙传热系数降低至 $0.4\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 以下，大幅降低冬季采暖能耗。在建筑材料选择方面，低碳设计优先选用低碳排放、可循环利用的建材，例如采用再生骨料混凝土替代天然骨料混凝土，可降低建材生产阶段碳排放约 20%到 30%，同时减少矿产资源开采带来的环境破坏。此外，低碳建筑设计还整合了太阳能、地源热泵等可再生能源利用系统的一体化设计，将光伏发电与建筑屋面、外墙一体化结合，实现建筑用电的部分自给，进一步降低建筑对化石能源的依赖。

三、建筑能耗预测技术的应用路径与价值

建筑能耗预测是实现低碳建筑管控的核心技术支撑，通过建立科学的能耗预测模型，可以在建筑设计阶段精准预判建筑运行阶段的能耗水平与碳排放强度，为设计方案优化提供数据依据。当前建筑能耗预测技术主要分为两大类，一类是基于物理模型的预测方法，另一类是基于数据驱动的机器学习预测方法。基于物理模型的预测方法以建筑热工原理为基础，结合建筑围护结构参数、气候条件、人员使用习惯等参数，通过动态模拟计算建筑能耗，常用工具包括 DeST、EnergyPlus、DesignBuilder 等。这类方法的优势在于物理逻辑清晰，预测精度较高，适合在设计阶段对不同方案进行比选。例如在某办公建筑项目设计中，设计团队采用 DeST 软件对三种不同的围护结构方案进行能耗模拟预测，结果显示采用高性能保温+low-e 玻璃的方案年空调采暖能耗比传统方案降低 22.6%，为方案决策提供了直接的数据支撑。

基于数据驱动的能耗预测方法则依托大量已建成建筑的运行能耗数据，通过机器学习算法挖掘建筑参数与能耗之间的关联关系，实现对新建建筑能耗的快速预测，常用算法包括随机森林、支持向量机、神经网络等。这类方法的优势在于预测速度快，不需要繁琐的物理参数输入，适合在方案规划阶段进行快速估算。随着建筑能耗监测系统的普及，大量运行数据的积累使得数据驱动预测模型的精度不断提升，目前在商业建筑与居住建筑的能耗预测中，精度可以达到 90%以上。能耗预测技术的应用，改变了传统设计依靠经验判断的模式，让低碳建筑设计建立在量化分析的基础上，有效避免了设计方案的不合理性，保证了建筑低碳性能的落地。

四、低碳建筑优化技术的应用实践

在能耗预测的基础上，通过优化技术对建筑设计方案、设备系统运行策略进行调整，能够进一步降低建筑能耗与碳排放，实现低碳性能的最大化。当前应用较为广泛的优化技术主要包括多目标优化算法优化、被动式技术优先优化、设备

系统运行优化三类。多目标优化技术以碳排放、能耗、建造成本为优化目标，通过优化算法对多个设计变量进行迭代寻优，找到满足多目标要求的最优设计方案。例如针对建筑朝向、窗墙比、保温层厚度三个设计变量，采用遗传算法进行多目标优化，可以在控制建造成本增幅不超过 5%的前提下，降低建筑年能耗 15%以上，实现经济效益与环境效益的平衡。

被动式优化技术则遵循被动优先、主动优化的原则，优先通过被动式设计措施降低建筑的冷热负荷，再优化主动设备系统的容量与效率，这种优化路径可以大幅降低设备系统的初始投资与运行能耗，是当前低碳建筑优化的核心思路。在设备系统运行优化层面，依托建筑能耗监测系统与智能控制技术，根据建筑内人员的使用情况、室外气候条件动态调整空调、照明、通风设备的运行参数，实现按需供能，避免不必要的能源浪费。

五、当前应用存在的问题与优化方向

当前低碳建筑设计、能耗预测与优化技术在我国建筑工程中的应用已经取得了一定进展，但仍然存在一些需要解决的问题。一是部分中小建筑设计单位对低碳技术的掌握程度不足，缺乏专业的模拟分析人才，导致低碳设计无法落地；二是能耗预测模型对我国不同气候区、不同建筑类型的适配性不足，部分模型预测误差较大，影响了方案优化的准确性；三是低碳技术应用往往会带来初始建造成本的增加，部分开发企业缺乏应用低碳技术的动力。针对这些问题，未来首先需要加强低碳技术的推广与人才培养，建立标准化的低碳设计流程与模拟指南，降低中小设计单位的应用门槛；其次需要结合我国建筑的实际运行数据，优化能耗预测模型的参数，提升模型的本土化适配性与预测精度；最后需要出台相关的激励政策，对低碳建筑项目给予税收、信贷方面的优惠，降低开发企业的成本压力，提升应用低碳技术的积极性。

六、结论

低碳建筑设计、能耗预测与优化技术构成了完整的建筑工程低碳技术体系，从设计源头、量化分析、性能优化三个层面实现了建筑全生命周期碳排放的管控，对推动建筑行业低碳转型具有重要的支撑作用。在双碳目标背景下，随着技术的不断推广与完善，三大技术将在更多新建建筑与既有建筑改造项目中得到应用，为实现建筑行业碳达峰碳中和目标提供核心保障。

参考文献

- [1] 江亿. 我国建筑节能与低碳发展展望[J]. 建筑学报, 2021(01): 1-6.
- [2] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2023[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2023.
- [3] 刘加平, 董美丽. 低碳建筑设计方法与技术路径[J]. 建筑科学, 2022, 38(05): 1-8+16.