

人工智能技术赋能建筑低碳能耗优化的应用路径与实践进展

曹姗姗

渭南职业技术学院，陕西 渭南 714026

DOI:10.61369/UAID.2026010039

摘 要： 为消除传统建筑低碳能耗管理中环境、应用习惯等动态干扰，提高低碳管理效果，优化建筑能耗。本文将当前先进的人工智能技术作为依托，探究建筑低碳能耗优化的应用路径，包括基于动态推演和多目标协同的设计优化、基于数据驱动的能耗问题精准定位诊断、基于智能决策的建筑运行动态精准调控、基于持续进化的全生命周期碳管理优化等。并从应用方向、核心挑战、突破路径三个维度探讨其实践进展。以期建筑低碳能耗优化中的人工智能技术实践应用提供参考。

关 键 词： 人工智能技术；建筑低碳管理；建筑能耗优化；智能决策；全生命周期管理

The Application Path and Practical Progress of Artificial Intelligence Technology Empowering Low-Carbon Energy Consumption Optimization in Buildings

Cao Shanshan

Weinan Vocational & Technical College, Weinan, Shaanxi 714026

Abstract： In order to eliminate the traditional low-carbon building energy management environment, application habits and other dynamic interference, improve low-carbon management effect, optimize building energy consumption. Based on the advanced artificial intelligence technology, this paper explores the application path of low-carbon energy consumption optimization in buildings, including design optimization based on dynamic inference and multi-objective collaboration, precise positioning diagnosis based on data-driven energy consumption problem, dynamic precise regulation based on intelligent decision, and carbon management optimization based on continuous evolution in the whole life cycle. It also discusses the practical progress from three dimensions: application direction, core challenge and breakthrough path. It is expected to provide reference for the application of artificial intelligence technology in the optimization of building low carbon energy consumption.

Keywords： artificial intelligence technology; building low-carbon management; building energy consumption optimization; intelligent decision-making; full life cycle management

前言

在当前的“双碳”目标引领下，建筑行业开始朝着低碳节能方向转型。由于建筑全生命周期均存在较高碳排放与能耗，因此在转型过程中，低碳与能耗优化已成为核心工作任务。而在传统低碳管理模式下，建筑能耗的主要优化方式依赖于静态分析和经验判断，环境和应用习惯等动态因素引起的建筑能耗变化难以得到积极应对，能耗优化精度较低，效果不够稳定。在该背景下，将人工智能技术合理引入，借助该技术强大的动态推演、智能决策和数据处理等能力，可对建筑能耗规律做到精准捕捉，并深度挖掘建筑节能潜力，结合智能分析结果，为其提供全新的低碳能耗优化解决方案。

一、人工智能技术赋能建筑低碳低耗优化的基本技术架构

在人工智能技术赋能下，建筑低碳能耗优化的基本技术架构

可按四个层级划分。第一是感知层，将智能仪表、传感器等设备部署在建筑内外，对建筑运行中的热力、电力和煤气等能源数据，温湿度、风速、光照等环境数据，照明设备、电梯、空调运行参数等设备数据，室内人员数量、用能时段等用户行为数据进

作者简介：曹姗姗（1989-），女，汉族，陕西渭南人，讲师，硕士，研究方向：建筑工程技术。

行实时采集；基于采集结果建立多维度、高精度的数据资源池，为后续建筑低碳与能耗优化分析提供全面精准的数据支撑。第二是技术层，将云计算、大数据和物联网等技术整合在该层级，满足感知层数据的实时预处理、储存和传输等需求。利用数据清洗、归一化和特征提取等方式将冗余数据信息剔除，可进一步提高数据质量。第三是算法层，将机器学习、深度学习和强化学习等先进人工智能算法搭载到该层级，结合实际情况合理选择并设置人工智能算法模型，通过人工智能模型深度分析预处理后的建筑运行数据，挖掘建筑能耗的主要影响因素及其内在关联；并结合实际情况，为建筑能耗预测、问题诊断和低碳能耗优化等提供智能决策。第四是应用层，将算法层的输出决策作为依据，针对建筑设计、运行调控和全生命周期管理等应用场景，为建筑低碳能耗优化提供合理的应用方案，使人工智能优势有效转化成建筑运行中的低碳节能效益。通过上述四个分布式层级的紧密衔接与协同作用，可在建筑低碳能耗优化中形成完整的数据感知、处理、分析和应用链路，确保低碳能耗优化的高效性和精准性^[1]。

二、人工智能技术赋能建筑低碳能耗优化的关键应用路径

（一）基于动态推演和多目标协同的设计优化

建筑设计效果对后续碳排放与能耗具有直接影响，通过该阶段的合理优化，可从源头上达到减排效果，提高建筑节能潜力。基于该目标，设计时可利用人工智能技术为其构建动态推演和多目标协同优化模型，解决传统建筑设计中静态分析与优化目标单一性等局限，达到低碳降耗设计效果。

动态推演时，设计者可将深度学习算法作为基础，为建筑能耗构建动态化预测模型，将建筑体型系数、围护结构热工性能、窗墙比和设备选型等设计参数设为输入变量，将碳排放量和能耗设为输出变量，根据同类建筑历史数据和区域气候数据等，对不同设计方案下的建筑碳排放与能耗进行动态模拟推演，基本模型如下。

$$E = f(\alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots + \alpha_n X_n, \beta_1 Y_1 + \beta_2 Y_2 + \dots + \beta_m Y_m) \quad (1)$$

式中， E 代表建筑能耗预测值； f 代表卷积神经网络映射函数； $X_1 - X_n$ 代表建筑设计参数； n 代表建筑设计参数指标总数； $\alpha_1 - \alpha_n$ 代表各设计参数权重系数； $Y_1 - Y_m$ 代表建筑所在区域环境影响参数； m 代表环境影响指标总数； $\beta_1 - \beta_m$ 代表各环境参数指标权重。

多目标协同优化时，设计者可将低碳、经济、舒适作为主要优化目标，为建筑构建低碳降耗构建多目标优化模型，利用非支配顺序遗传算法对最优设计方案进行求解，基本模型如下。

$$\min F = [F_1(X), F_2(X), F_3(X)] \quad (2)$$

式中， $\min F$ 代表碳排放和能耗最低方案； $F_1(X)$ 代表建筑全生命周期碳排放总量预测值； X 代表设计参数向量； $F_2(X)$ 代表建筑设计和建造成本估算值； $F_3(X)$ 代表建筑室内热舒适度偏差值。通过平衡以上三个优化目标，可使建筑应用舒适度、经济性得到良好保障的同时，实现设计阶段碳足迹的最大化降低。

（二）基于数据驱动的能耗问题精准定位诊断

在建筑运行过程中，参数失衡、设备老化或用户使用不规范等情况都可能引起能耗异常。为实现能耗问题的精准定位，工程单位可将人工智能诊断技术引入，深度分析建筑运行数据，精准定位并高效诊断运行能耗问题。基于该目标，工程单位应构建智能化建筑能耗异常诊断模型，先利用感知层对建筑能耗与设备运行等数据进行实时采集，利用拉格朗日差值法填补缺失数据，并利用拉依达准则将异常值剔除，然后对数据实施统一化处理，使其尺度保持统一，防止量级差异影响模型分析效果^[2]。再利用特征工程技术进行关键特征提取，通过互信息法从中筛选和能耗异常高度相关的特征变量，如能耗和环境参数匹配度、设备运行规律波动、不同时段建筑能耗比值等，在此基础上完成特征向量构建。之后通过机器学习算法建立能耗问题诊断模型，利用均方误差法计算模型损失函数，基本公式如下。

$$MSE = (1/N) \sum_i^n (E_i - \hat{E}_i)^2 \quad (3)$$

式中， MSE 代表模型损失函数均方误差； N 代表样本数量； E_i 代表第 i 个样本实际能耗值； $\hat{E}_i$ 代表第 i 个样本模型预测能耗值。最后基于决策树算法分类诊断建筑能耗异常类型，明确具体异常原因，如能源泄露、参数设置不合理、设备故障等，并精准确定异常位置。从而实现建筑能耗异常情况的实时监测和精准定位，显著提高建筑能耗问题诊断效率，降低漏诊率，确保建筑节能问题整改的及时性。

（三）基于智能决策的建筑运行动态精准调控

为精准调控建筑运行状态，确保低碳能耗优化效果，工程单位可基于人工智能技术，为建筑运行构建智能决策模型，利用该模型动态化、精准化调控设备运行情况，确保室内舒适度，使建筑运行能耗最大化降低。基于该目标，工程单位可将建筑能耗、环境与用户行为等实时数据作为基础，利用强化学习和模型预测控制法，建立动态化建筑运行调控模型。将建筑设备调控系统设为强化学习算法智能体，将建筑室内舒适度和能耗水平设为环境反馈奖励信号，将照明亮度、新风量、空调温度设定值等调控参数设为智能体执行动作，使智能体和环境保持实时交互，持续学习最佳调控策略。模型预测控制时，可通过未来一段时间环境参数和用户需求的智能预测，明确设备运行需求，提前完成运行参数调整，防止被动调控引起能耗浪费^[3]。比如在空调系统动态调控中，工程单位可利用深度强化学习算法构建智能化调控模型，将室内温度22~26℃与空调能耗最小化作为基本目标，将室内外温度、室内人员数量、空调运行效率等设为模型动态空间，将新风阀开度和空调压缩机频率设为模型动作空间，按以下模型设计奖励函数。

$$R = \omega_1 R_1 + \omega_2 R_2 \quad (4)$$

式中， R 代表总奖励值； ω_1 代表舒适度权重系数； ω_2 代表能耗奖励权重系数； R_1 代表舒适度值； R_2 代表能耗奖励，根据实际需求智能调节空调参数，在确保舒适度的前提下，最大化降低空调运行能耗，满足建筑实际运行与节能需求。

（四）基于持续进化的全生命周期碳管理优化

建筑全生命周期主要包含设计、施工、运行和拆除回收四个

阶段，其中的每个阶段都涉及碳排放。基于此，工程单位可在人工智能技术支持下，对建筑全生命周期碳管理进行优化。将大数据和机器学习算法作为支持技术，通过各阶段碳排放因子和基础数据的全面整合，精准核算全生命周期碳排放。如根据建筑工程材料类型，加工工艺、区域差异等特点，基于随机森林算法建立以下碳排放因子预测模型。

$$C = \sum_i^n (M_i \times f_i) \quad (5)$$

式中， C 代表建筑全生命周期碳排放量预测值； n 代表建筑材料类型总数； M_i 代表第 i 类建筑材料用量或能耗量； f_i 代表第 i 类材料活能量的碳排放因子，该参数通过随机森林模型预测确定。

同时应将强化学习和遗传算法等人工智能技术作为基础，为建筑工程碳排放构建持续优化模型，融合全生命周期各阶段技术、成本和碳排放等数据，对建筑工程各阶段低碳策略进行持续优化，确保低碳管理效果。同时应为建筑全生命周期建立信息化碳管理平台，通过各阶段数据和优化模型的全面整合，实时监测建筑工程碳排放情况，为其提供动态化预警和智能化决策，实现建筑工程全生命周期碳排放量的智能化与可视化管理。

三、人工智能技术赋能建筑低碳能耗优化的实践进展

（一）应用方向

在当前，人工智能技术已在很多建筑工程低碳能耗优化场景中实现了规模化应用。在医院、商场、大型写字楼等公共建筑领域，通过通风、照明和空调等设备的智能化动态调控，可显著降低碳排放量与建筑运行能耗。在居住类建筑领域，通过智能化住宅系统的应用和普及，可智能监测和调控用户家庭能耗，提高清洁能源利用率，使建筑运行达到良好的低碳节能效果^[1]。在建筑全生命周期碳排放和能耗管理领域，通过人工智能管理平台的应用和推广，可集中监测和管理目标区域内的建筑物全生命周期碳排放与能耗情况，为建筑行业的低碳、节能化绿色转型提供智能技术支持。

（二）核心挑战

虽然人工智能技术在现代建筑低碳和能耗优化领域中获得了一定的应用进展，但由于该技术处于初步应用阶段，实际应用中依然面临一些挑战。首先是数据质量控制和共享难度较大，由于建筑能耗和环境等数据采集主体分散，标准并不统一，采集时易出现数据冗余或缺失等问题，质量控制难度较大；且部分项目数据共享机制不够健全，人工智能模型难以对数据进行全面性、高质量获取，从而影响模型预测精度，降低管理效果。其次是人工智能算法模型的适应性和泛化能力存在不足，既有的人工智能模型大多基于特定场景训练，针对不同建筑类型、结构和用户使用

参考文献

习惯等差异性，无法做到快速适应，泛化能力较差且迁移成本较高。再次是技术融合与协同难度较大，由于建筑低碳能耗优化过程中涉及多个领域技术，包括建筑能源和人工智能等，而目前的技术体系之间存在一定壁垒，深度融合效果不佳，建筑设备和人工智能调控系统接口不兼容情况常见，使部分调控指令无法精准执行。最后是标准体系和监管机制不够完善，由于当前建筑市场对人工智能技术赋能的低碳能耗优化缺乏统一技术标准和评价体系，技术应用不规范情况比较常见；且管理机制的缺失也使人工智能系统运行稳定性和数据安全性难以保障，对技术发展造成一定制约。

（三）突破路径

针对现代建筑低碳能耗优化领域中人工智能技术的应用挑战，相关单位可采取以下策略一一突破。首先是加强数据治理和共享，为建筑低碳节能数据建立统一化标准，由建筑所在区域地方管理部门、企业和科研机构共同构建数据共享平台，利用区块链技术为数据隐私和安全提供保障，确保数据质量和完整性。其次是对 AI 模型算法进行合理优化，结合实际情况积极引入联邦学习、迁移学习等人工智能技术，基于大数据技术挖掘和获取各类建筑运行中的碳排放和能耗等数据，为人工智能模型提供更加全面的训练数据集，进一步提高算法适应性和泛化能力，降低模型迁移成本。再次是跨领域技术融合的进一步加强，工程单位应与建筑设备厂商、人工智能企业等展开密切合作，统一各设备接口标准，使其与人工智能系统实现无缝对接，从而有效消除不同技术体系的衔接障碍，确保技术融合效果，提高协同水平^[5]。最后是技术标准体系和监管机制的合理完善，管理部门与相关单位应为人工智能赋能下的建筑低碳能耗优化制定系统性、完善性的技术标准、评价指标和验收规范等，并建立常态化监督机制，使人工智能技术实现规范有序地应用，确保人工智能技术的应用效果。

四、结束语

综上所述，将当前先进的人工智能技术引入建筑低碳能耗优化领域中，可为其提供更加精准化、高效化的解决方案，推动建筑工程行业的低碳节能绿色化转型。基于该目标，相关单位应将人工智能技术作为基础，为建筑低碳能耗优化构建分布式分层架构体系，深入研究动态推演式设计优化、数据驱动式异常诊断、智能决策式运行调控与持续进化式全生命周期管理等人工智能技术应用路径；并从数据、技术、成本和指标等多个维度，应对人工智能技术的应用挑战。如此方可充分发挥人工智能技术的应用优势，为现代建筑低碳能耗优化赋能，满足现代建筑工程的绿色化和智能化发展需求。

[1] 简一心，黄辰宇，苏汶山，等. 人工智能在可持续低碳建筑设计中的研究进展 [J]. 世界建筑导报，2025(5):22-25.

[2] 陈思贵. 数据中心建筑结构低碳设计与全周期碳管理研究 [J]. 中国建筑装饰装修，2025(18):93-95.

[3] 席江涛，袁诚飞，查波. 智慧供热系统低碳运行的设计与研究 [J]. 暖通空调，2024(2):56-62.

[4] 陈力，郁锦平，关牧野，等. 生成式人工智能辅助绿色建筑设计的操作与展望 [J]. 建筑与文化，2025(8):291-294.

[5] 吉灼辉. 节能低碳办公建筑智能化设计研究 [J]. 工程技术研究，2023(3):179-181.