

基于云平台的建筑碳排放大数据监测与低碳转型策略

杨震¹ 弭嵩²

1. 山东省农村信用社联合社 山东济南 250014

2. 济南市历下控股集团有限公司 山东济南 250014

摘要: 建筑行业是全球碳排放的重要源头,其低碳化发展对应对气候变化具有关键意义。云计算、大数据等信息技术的进步,为依托云平台实施建筑碳排放大数据监测、推动低碳转型提供了新途径。本文系统论述了基于云平台的建筑碳排放大数据监测体系的结构、功能与核心技术,剖析了当前建筑碳排放现状及挑战,并重点探讨了如何利用监测数据驱动建筑低碳转型的策略,以为行业可持续发展提供理论支撑与实践参考。

关键词: 云平台; 建筑碳排放; 大数据监测; 低碳转型

引言

应对全球气候变化,减少碳排放已成为国际共识。建筑行业在从建材生产、建造到运营维护的全生命周期中,能源消耗巨大,碳排放显著^[1]。研究数据表明,2022年我国建筑与建筑业建造能耗总量达24.2亿吨标准煤,占全国能源消费总量的44.8%;其碳排放总量高达51.3亿吨二氧化碳,占全国能源相关碳排放的48.3%。因此,加速建筑行业低碳转型至关重要^[2]。

传统建筑碳排放监测方法常面临数据覆盖不全、分析效率低下、实时性不足等问题,难以支撑转型需求。云平台凭借其强大的计算、存储与高效数据传输能力,能够有效整合海量建筑碳排放数据。结合大数据分析技术,可对这些数据进行深度挖掘,为低碳决策提供精准依据。基于云平台的建筑碳排放大数据监测系统,正日益成为支撑建筑行业低碳发展的关键基础设施。

1 基于云平台的建筑碳排放大数据监测系统

1.1 系统架构

该系统采用四层云平台架构,包含数据采集层、数据传输层、云平台层和应用层。

数据采集层通过多功能电表(如安科瑞 AEM96 三相电表)、燃气表、水表及环境传感器等设备,实时获取建筑能源消耗(电、气、热等)、设备运行状态和室内外环境参数等数据。这些数据覆盖建筑运行全环节,为碳排放监测提供基础支撑。以 AEM96 电表为例,除测量三相电参数和分时计量外,还能基于电碳折算因子自动计算碳排放量。

数据传输层依托 NB-IoT、LoRa、5G 等物联网通信技术,将采集数据安全高效传输至云平台。此类技术具备低功耗、广覆盖和高可靠性优势,适配建筑内不同设备的传输需求,保障数据的实时性与完整性^[3]。

云平台层作为核心处理单元,利用云计算资源实现数据清洗、预处理及分布式存储。通过大数据分析引擎和机器学习算法对数据进行深度挖掘,并可根据业务需求弹性扩展计算与存储资源,应对数据规模和分析复杂度的增长。

应用层提供 Web/ 移动端交互界面,支持实时查看碳排放数据、能耗报告及设备状态。同时集成碳排放预警、节能优化建议和碳足迹管理等智能化功能,辅助用户决策。

1.2 系统功能

①实时监测与数据可视化:实时采集建筑能耗与碳排放数据,通过图表(如柱状图对比不同时段能耗、折线图显示碳排放趋势)直观展示在用户界面。用户可清晰掌握实时状态,如总耗电量、当前碳排放量。类似湖州市“碳效码”平台,其大屏以颜色区分展示接入的大型公共建筑碳效等级、排名、实时能耗及碳排放强度等关键信息,便于用户快速了解全局^[4]。

②碳排放核算与分析:基于能耗数据和对应碳排放因子,精准计算建筑不同时段(日/月/年)的碳排放量。分析碳排放结构,明确电力、燃气等不同能源消耗的碳排放贡献占比。通过横向(不同建筑)或纵向(同建筑不同时期)数据对比,识别规律与差异,为制定针对性减排方案提供依据。例如,分析发现某建筑空调系统能耗相关碳排放占比达

40%，从而确定其为节能改造重点。

③能耗异常预警与故障诊断：利用大数据和机器学习建立能耗与碳排放正常模型。监测数据一旦偏离正常范围，系统即刻发出预警，提示潜在能耗异常或设备故障。同时，深入分析相关数据，初步定位故障原因及位置，辅助维修人员快速解决问题。如系统检测到某区域电耗突增，分析判定为某设备电机故障所致，及时通知维修，避免了能源浪费及安全隐患。

④节能优化建议与策略制定：深度挖掘能耗与碳排放数据，为用户提供个性化节能建议。例如，根据用电峰谷时段数据，建议调整设备运行时间以避开高峰降低成本；针对高能耗设备，推荐更换高效设备或优化运行参数等改造方案。系统可模拟不同节能策略下的能耗与排放变化，辅助用户制定最优低碳转型策略，助力实现减排目标。

1.3 关键技术

物联网技术：依托物联网实现建筑内各类设备与系统的互联，从而全面高效地采集数据。通过在设备上广泛部署传感器和智能终端，可实时获取运行状态和能耗等信息，并将这些数据上传至云平台。例如，基于物联网可动态追踪建筑内空调、电梯、照明等设备的实时能耗状态，为精确核算碳排放奠定详实的数据基础。

大数据存储与处理技术：建筑碳排放大数据具备海量性、多样性、实时性等特征。采用分布式存储技术（如 HDFS）可将海量数据分散存储在多个节点上，提升存储可靠性和扩展性。数据处理方面，借助 MapReduce 模型和 Spark 框架，能对大规模数据进行并行计算与实时处理，高效完成数据清洗、分析与挖掘任务。例如，运用 Spark 可在短时间内分析海量建筑能耗数据，快速计算出不同建筑的能耗指标及碳排放强度。

机器学习与人工智能算法：机器学习算法在建筑碳排放监测与分析中作用关键。通过对历史数据的学习，构建如能耗预测模型、碳排放评估模型等。例如，利用神经网络算法建立的能耗预测模型，可综合历史能耗、天气条件、建筑使用状态等因素，精准预测未来能耗趋势。人工智能算法还能应用于设备故障诊断、节能策略优化等场景，通过自主学习和持续优化，提升系统智能化水平和决策精度。

数据安全与隐私保护技术：在数据传输与存储环节，采用 SSL/TLS 等加密协议保障数据安全。实施严格的用户身

份认证与权限管理机制，确保仅授权用户访问相关数据。同时，遵循法规要求，对涉及用户隐私的信息进行妥善保护和处理，防范数据泄露与滥用，切实维护用户合法权益。

2 建筑碳排放现状及面临的挑战

2.1 建筑碳排放现状

总量规模显著：2022 年全国建筑建造与运行能耗达 24.2 亿 tce，碳排放总量 51.3 亿 tCO₂，接近全国能源相关碳排放总量的 50%。建筑业建造能耗和建筑运行能耗在全国能源消费中占比突出，碳排放规模凸显该行业对环境的压力^[5]。

公共建筑主导排放：公共建筑占建筑运行碳排放的 40%，成为最大排放源。其功能复杂性、长使用时间及高人流量密度导致能耗强度居高不下。典型案例如商场、写字楼、酒店等需持续维持室内环境舒适度，空调、照明、电梯等高耗能设备推升碳排放。

区域分布不均：北方严寒地区因冬季供暖能耗高，碳排放显著；经济发达区域因建筑密集、功能多元及生活品质需求，能耗与碳排放同步攀升。以东北为例，漫长供暖期使供暖能耗占比突出，碳排放总量远超南方部分区域。

2.2 低碳转型挑战

技术应用局限：现有节能低碳技术存在成本高、能效低、适配性弱等瓶颈。例如建筑光伏系统初始投入大且发电受天气制约；环保建材价格高昂阻碍规模化推广。多技术系统集成与协同优化亦需深化研究。

改造成本压力：低碳转型需巨额资金支持节能改造、技术研发及设备更新。既有建筑改造涉及围护结构、暖通、照明等系统，成本高且回报周期长，削弱业主积极性；新建项目采用低碳方案增加建设成本，开发商可能因市场竞争放弃低碳选择。

运营管理短板：粗放式管理模式普遍，缺乏能源与碳排放精细化管理能力。管理人员对节能技术认知不足，难以有效实施减排措施。多设备系统协同需依托智能化平台与高效管理机制，以实现低碳高效运行。

政策机制待完善：现行节能低碳政策存在执行弱、标准散、激励不足等问题。部分地区监管缺位导致建筑能效不达标；碳交易市场机制不成熟、碳价波动抑制企业减排动力。建筑碳排放法规体系尚未健全，责任界定与处罚机制缺失制约转型进程。

3 基于监测数据的建筑低碳转型策略

3.1 优化设计规划

大数据能耗模拟：利用云平台数据和模拟软件，输入建筑参数（位置、朝向、结构、设备等），预测不同设计方案能耗与碳排放。优化选材（如外墙保温）、窗墙比等，从源头降耗减碳。

低碳城市规划：基于监测数据分析区域碳排放特征，指导规划。新区规划促进职住平衡，建设综合社区，减少通勤碳排放；优化公共交通，鼓励绿色出行；增加绿地水体，改善微气候降能耗。针对既有高排放区域进行更新改造。

3.2 推广绿色建筑技术

完善绿建标准：依据监测数据，将碳排放指标纳入评价体系，设定不同类型建筑碳限额。加强标准执行监管，通过财税优惠、容积率奖励等政策激励高星级绿建开发与应用。

应用创新节能技术：基于能耗数据识别关键耗能环节，针对性推广技术。如：推广 LED 智能照明系统；采用高效空调设备（地源 / 空气源热泵）。鼓励利用大数据、AI 研发创新节能技术（如智能建筑能源管理系统）。

3.3 强化运营维护

精细能源管理：利用监测系统建立能源管理中心，制定能耗定额与考核指标。实时监测分析数据，识别浪费与设备异常，及时优化调整。加强节能宣传教育。

智能设备维护更新：基于设备状态数据制定维护计划，预测性维护避免故障。及时淘汰高耗能老旧设备，更新时优选高能效、全生命周期成本低的节能设备。

3.4 参与碳交易与碳金融

碳交易策略：通过监测系统准确核算碳排放量。根据碳配额制定交易策略：出售富余配额获利，购买不足配额合规。利用数据分析市场价格，优化交易时机与成本。

碳金融支持：金融机构基于碳排放数据开发产品：提供低碳项目优惠绿色信贷；开展碳资产质押贷款；探索发行绿色债券、设立碳基金，吸引社会资本支持建筑低碳转型。

4 结论与展望

4.1 结论

监测系统优势在于采用云平台架构（含数据采集、传输、平台、应用四层），结合物联网、大数据与人工智能技术，实现建筑能耗与碳排放数据的全流程高效管理，有效克服了

传统监测短板；而当前行业现状与挑战表现为建筑碳排放总量高、公共建筑问题突出且区域差异显著，低碳转型面临技术瓶颈、成本压力、管理复杂性及政策法规不完善等多重障碍；在此基础上，通过优化设计、推广绿色技术、强化运维管理及参与碳市场等转型策略，可显著降低能耗与排放，最终实现经济。

4.2 展望

技术融合持续深化，区块链技术通过提升数据可信度有效支撑碳交易，而 5G 则显著增强了实时数据传输能力，推动复杂物联网应用的发展。智能化水平不断升级，机器学习与 AI 被深度应用于能耗精准预测、排放评估及节能策略优化，实现建筑自主低碳调控。监测范围从单栋建筑扩展至城市层面，区域协同能力增强，通过数据共享优化区域能源配置与协同减排效果。外部环境也在不断优化：政策层面，碳达峰和碳中和目标驱动法规完善，健全了建筑碳排放的约束与激励机制；市场层面，成熟的碳交易市场与丰富的碳金融产品为转型提供了资金保障；公众参与方面，开放的碳排放数据平台引导公众通过移动端便捷参与节能行动，共同营造社会共治氛围。

总结：云平台监测技术为建筑低碳转型提供核心支撑，结合持续创新的技术、政策与市场机制，建筑行业将有效贡献全球气候治理目标。

参考文献：

- [1] 屈颂杰, 郭敏. 碳排放定价策略研究与碳储存功能价值评估——以陕西省为例 [J/OL]. 宁夏大学学报 (自然科学版), 1-8 [2025-07-09].
- [2] 王兴亮. 低碳经济背景下建筑工程施工管理办法探索与实践 [J]. 建材发展导向, 2025, 23(06): 76-78.
- [3] 刘飞飞. 基于大数据的智慧消防系统设计与优化研究 [J]. 消防界 (电子版), 2024, 10(06): 45-47.
- [4] 吴红涛, 陈伟, 路则耀, 等. 绿色低碳改造关键技术研究与应用 [J]. 建设科技, 2024, (07): 34-37.
- [5] 马晨晨. 政策暖风频吹绿色建筑“下半场”还有哪些堵点 [N]. 第一财经日报, 2025-05-12 (A06).

作者简介：杨震（1995—），男，回族，山东省济南市，中级工程师，硕士，研究方向为大数据、云计算工程。