

双碳目标导向下建筑碳排放数字治理与区域适配技术体系研究

冯皓天

北方工业大学, 北京 100144

摘要: 双碳目标下建筑碳排放治理面临系统性变革需求, 数字技术赋能成为实现精准管控的关键路径。当前建筑碳排放在线监测、动态评估和智能调控等技术体系尚未成熟, 亟需构建覆盖全生命周期的数字治理框架。通过物联网感知、大数据分析和人工智能决策等技术融合, 可突破传统粗放式管理局限, 形成科学量化的碳排放治理新模式, 为建筑领域低碳转型提供技术支撑。

关键词: 双碳目标导向; 建筑碳排放; 数字治理; 区域适配技术体系

0 引言

区域差异化特征对建筑碳减排技术应用提出适配性要求, 需建立因地制宜的技术解决方案。我国气候区划多样、经济发展不均衡, 单一减排模式难以满足不同区域需求。研究重点在于开发可配置、模块化的技术体系, 通过数字孪生等技术手段实现减排策略的区域适配优化, 形成兼顾减排效果与经济可行性的技术路径, 助力城乡建设领域碳中和目标实现。

1 建筑全生命周期碳排放理论

建筑全生命周期碳排放理论是系统研究建筑物从建材生产、施工建造、运营使用到最终拆除处置各阶段温室气体排放的完整分析框架。该理论突破了传统仅关注建筑运行阶段能耗的局限, 将碳足迹评估边界扩展到包含隐含碳和运营碳的完整链条。在建材生产阶段, 重点考察钢材、水泥等高碳排材料的提取加工过程; 施工阶段关注运输吊装、现场作业等建造活动产生的直接与间接排放; 运营阶段则系统评估供热制冷、照明设备等用能系统的持续碳排; 拆除处置阶段计算建筑废弃物处理及资源回收的碳排放影响。理论体系强调各阶段的关联性与系统性, 通过建立标准化的碳排放因子数据库和计算方法, 实现全生命周期碳排的精准量化。同时引入动态评估理念, 考虑建筑使用功能变更、设备更新改造等变量因素对长期碳排的影响, 为低碳建筑设计、绿色施工和智慧运维提供理论基础和决策依据, 推动建筑行业向全链条低碳化方向发展。该理论不仅完善了建筑环境绩效评估体系, 也为制定差异化的碳减排政策提供了科学支撑。

2 建筑碳排放治理挑战

2.1 碳排放监测体系不健全

当前建筑碳排放监测缺乏统一标准和规范, 监测范围覆盖不全, 难以实现全生命周期精准计量。既有建筑能耗数据采集主要依赖人工统计, 实时性和准确性不足。新建建筑虽逐步安装计量装置, 但各系统数据格式不统一, 难以互联互通。施工阶段碳排放监测手段落后, 材料生产运输环节数据缺失严重。监测设备成本较高, 中小型项目难以承担。数据采集频率和颗粒度不能满足精细化分析需求, 影响减排决策的科学性。

2.2 减排技术区域适配性差

现有低碳技术在不同气候区和建筑类型的适用性研究不足, 寒冷地区被动式建筑技术与南方湿热气候存在明显不适配。可再生能源利用未充分考虑区域资源禀赋差异, 系统效率低下。建材选择缺乏地域化考量, 高碳材料长途运输增加隐含碳排放。既有建筑改造技术单一, 未能针对不同年代建筑特点制定差异化方案。技术推广存在“一刀切”现象, 导致实际减排效果与预期差距较大。

2.3 政策执行机制不完善

建筑碳减排政策多为指导性意见, 缺乏强制性约束和实施细则。地方政府对政策理解存在偏差, 执行力度参差不齐。激励措施主要集中在设计阶段, 对施工和运维环节关注不足。监管体系不健全, 碳排放数据造假行为时有发生。碳交易机制在建筑领域应用尚未破题, 市场主体参与度低。跨部门协调机制缺失, 住建、发改、环保等部门政策衔接不畅。

2.4 市场主体动力不足

建筑产业链各环节减排责任划分不明确,

推诿现象普遍。开发商更关注短期成本,低碳技术应用增加初期投资。设计单位缺乏碳核算专业能力,减排方案设计流于形式。施工单位沿用传统工艺,对低碳工法掌握不足。物业管理方节能改造意愿弱,运维阶段能效提升措施有限。消费者绿色消费意识不强,低碳建筑市场溢价难以体现。专业人才短缺制约新技术推广应用,产业转型速度缓慢。

2.5 数据治理与隐私保护困境

建筑碳排放治理涉及大量能耗和用户行为数据的采集与分析,但数据治理体系尚未健全。能耗监测可能涉及用户隐私信息,数据采集边界不清晰导致合规风险。不同主体间的数据共享机制缺失,形成信息壁垒影响整体减排决策。数据质量参差不齐,部分历史数据存在缺失或失真问题。数据安全防护措施不到位,存在被恶意攻击或篡改的风险。缺乏统一的数据标准和交互协议,跨平台数据整合难度大。数据权属界定模糊,影响数据要素的市场化流通与应用。这些数据治理难题制约了基于大数据的精准减排策略制定。

3 建筑碳排放数字治理平台构建

3.1 平台架构设计

建筑碳排放数字治理平台应采用分层模块化架构,底层构建物联网感知层,部署智能电表、环境传感器等终端设备,实现能耗及环境数据的实时采集。中间层搭建数据处理中心,集成数据清洗、存储和分析功能,通过边缘计算提升响应速度。应用层开发可视化监测、智能预警和决策支持等核心功能模块。平台支持多源异构数据接入,建立统一的数据标准和接口规范,确保各级系统的互联互通。架构设计需具备弹性扩展能力,满足未来功能模块的灵活增添和升级需求。

3.2 数据治理体系

平台需建立完善的数据治理机制,制定统一的数据采集标准和质量管理规范。构建建筑碳排放因子数据库,覆盖建材生产、施工运输、运营维护等全生命周期环节。开发数据质量控制算法,自动识别异常数据并进行校正处理。建立数据分级分类保护制度,确保敏感信息的安全性。设计数据溯源机制,记录数据流转全过程,保障碳排放数据的真实性和可追溯性。形成数据共享交换规则,平衡数据开放需求与隐私保护要求。

3.3 智能分析功能

平台应集成多维智能分析算法,包括建筑碳排放基准值自动生成、用能行为模式识别、

碳排趋势预测等功能。开发机器学习模型,实现建筑能效的智能诊断与优化建议。构建碳排强度动态评估体系,支持不同时间维度的对比分析。设计情景模拟工具,预判节能改造措施的减排效果。融合 GIS 技术,实现区域建筑碳排的空间可视化分析。通过算法持续迭代优化,提升分析结果的准确性和实用性。

3.4 运行管理机制

平台运行需建立配套的管理制度和 workflows。明确各级用户的权限管理和责任分工,形成多级联动的运维体系。制定平台操作规程,规范日常监测、异常处置等工作流程。建立服务质量评价机制,定期评估平台运行效能。完善安全保障措施,防范网络攻击和数据泄露风险。设计持续改进机制,根据用户反馈和业务需求优化平台功能。建立应急响应预案,确保系统故障时的快速恢复能力。

3.5 应用服务拓展

平台应支持多样化的应用服务拓展,面向政府部门提供建筑碳排监管和决策支持服务,为业主单位提供能效管理和减排指导,向设计机构输出低碳设计辅助工具。开发移动端应用,实现随时随地接入服务。搭建知识共享模块,汇集建筑低碳技术案例和最佳实践。探索与碳交易市场的对接机制,支持碳排放权的精准核算与交易。通过开放 API 接口,实现与既有建筑管理系统的无缝衔接,逐步构建完善的建筑碳治理生态系统。

4 区域适配技术体系设计

4.1 区域特征识别与评估

构建区域适配技术体系的首要环节是建立科学完善的区域特征识别评估框架。重点分析不同区域的气候条件特征,包括温度、湿度、太阳辐射等关键气象参数,明确其对建筑能耗模式的影响机制。同时评估区域经济发展水平,考量当地财政承受能力和技术应用成本门槛。研究地域文化特色和居民生活习惯,把握其对建筑使用方式的潜在影响。还需关注区域能源资源禀赋差异,分析可再生能源可利用程度。通过构建多维度的区域特征评价指标体系,采用聚类分析方法识别具有相似特征的区域组团,为后续差异化技术配置奠定基础。该评估过程应保持动态更新,及时反映区域发展变化对技术需求的影响。

4.2 技术模块化分解

为实现技术体系的区域适配性,需对建筑碳减排技术进行系统性解构和模块化重组。按照技术功能属性划分为能源供应、围护结构、

设备系统、智慧管控等基础模块。每个模块进一步细分为若干技术单元,如围护结构模块可分解为外墙保温、门窗节能、屋面隔热等子项。明确各技术单元的性能参数、适用条件和相互兼容关系,建立标准化技术参数库。重点开发可调节、可替换的柔性技术单元,支持不同区域间的灵活组合应用。同时预留技术接口,便于新兴技术的后续接入。通过模块化分解,形成像“技术积木”一样的配置体系,为区域适配提供充分的技术选项。

4.3 适配优化模型构建

区域适配技术体系需建立科学的优化决策模型,平衡技术效果与区域特征的匹配度。开发多目标优化算法,综合考虑减排效益、经济成本、实施难度等关键指标。构建区域特征与技术参数的映射关系矩阵,量化不同技术组合的适配程度。引入机器学习方法,通过历史数据分析优化技术配置方案。考虑区域发展阶段差异性,建立近期实用型和远期引领型技术配置策略。设计情景模拟工具,预测不同技术路径的长期减排潜力。模型构建需注重可解释性,使决策者能够理解技术推荐的内在逻辑,并根据实际情况进行必要调整,实现科学决策与经验判断的有机结合。

4.4 标准规范体系建设

完善的标准化体系是区域适配技术落地实施的重要保障。制定差异化的技术应用标准,明确不同区域的技术性能指标要求。建立技术配置指导规范,规定各类区域特征下的推荐技术清单。完善技术评价方法标准,统一减排效果测算口径。研发标准化设计工具和图集,降低技术应用门槛。构建工程质量验收标准,确保技术实施效果。同时保持标准体系的开放性,建立定期更新机制,及时吸纳新技术成果和实践经验。通过标准化建设,既能保证技术应用的基本质量,又能保留适应区域特色的创新空间,实现规范性与灵活性的统一。

4.5 实施保障机制设计

区域适配技术体系的落地需要配套的实施保障机制。建立技术推广服务平台,提供方案设计、设备选型等专业支持。完善人才培养体系,提升当地技术人员应用能力。设计多元化的激励政策,降低技术应用初期的成本障碍。构建效果跟踪评估机制,及时反馈技术应用成效。建立区域间经验交流平台,促进最佳实践共享。探索市场化推广模式,培育本地化技术服务商。加强部门协同机制,统筹规划、建设、运营各环节管理要求。通过系统性的实施保障设计,打通从技术研发到实际应用的最后一公里,确保适配技术能够在区域层面真正发挥减排效益,

推动建筑领域碳中和目标的实现。

4.6 动态反馈与迭代优化机制

区域适配技术体系需建立动态演进的自我完善机制,通过持续反馈和迭代升级保持技术体系的先进性。构建覆盖技术应用全周期的监测评估网络,实时采集技术运行数据和实际减排效果。设计基于大数据的智能诊断系统,自动识别技术适配偏差和性能短板。建立区域技术应用案例库,通过横向比较分析提炼优化经验。设置定期评估节点,综合考量技术进步、政策调整、需求变化等外部因素影响。开发技术体系版本管理工具,支持不同迭代版本的追溯对比。开放专家评议通道,吸收行业最新研究成果和实践智慧。形成从问题发现到方案优化的闭环管理流程,使技术体系能够伴随区域发展持续进化,始终保持最优适配状态。这一机制既能及时修正技术应用中的偏差,又能推动技术体系向更高水平发展。

5 结束语

建筑碳排放数字治理与区域适配技术研究将持续深化,未来需加强多学科交叉融合创新。重点突破碳排放实时监测、智能诊断和预测调控等关键技术,完善区域差异化技术标准体系。通过数字治理平台建设和区域示范应用,推动技术成果转化落地,构建科学精准的建筑碳减排管理体系,为落实国家双碳战略提供重要技术支撑和实践路径。

参考文献:

- [1] 路振伟.建筑全生命周期碳排放核算系统的开发[D].山东建筑大学,2024.
- [2] 王福熙.基于全生命周期理论的建筑碳排放与成本优化研究[D].燕山大学,2024.
- [3] 葛星.吉林省民用建筑碳排放影响机理及减排策略研究[D].吉林建筑大学,2024.
- [4] 黄小恒.重庆市民用建筑碳排放影响因素研究及达峰预测[D].重庆交通大学,2024.
- [5] 郑诗弋.不同气候区建筑碳排放预测及减排路径研究[D].华中科技大学,2024.
- [6] 张森森.江苏省建筑碳排放情景预测与脱钩分析研究[D].扬州大学,2024.
- [7] 王永坤,张云辉,梁旻.基于LMDI和泰尔指数的长江经济带公共建筑碳排放变化研究[J].建筑节能(中英文),2024,52(04):119-126+133.
- [8] 罗之汐.商场建筑碳排放限额分析研究[J].建筑技术开发,2024,51(04):138-140.

作者简介:冯皓天,(1998.6—),男,回族,研究方向:低碳建筑。