DOI 10.15302/J-SSCAE-2023.05.020

“双碳”目标下建筑业低碳转型对策研究

吴泽洲[1,2,3]，黄浩全[1,2,3]，陈湘生[1,2,3]，李建军[4*]，何秋凤[1,2,3]，李奥[1,2,3]，黄均[1,2,3]，林雨瀚[1,2,3]，刘星语[1,2,3]，王佳豪[1,2,3]

（1. 滨海城市韧性基础设施教育部重点实验室（深圳大学），广东深圳 518060；2. 深圳大学未来地下城市研究院，广东深圳 518060；3. 深圳大学土木与交通工程学院，广东深圳 518060；4. 安徽理工大学材料科学与工程学院，安徽淮南 232001）

摘要：建筑业碳减排是实现“双碳”战略目标的重要依托，也是推进建筑业低碳转型的内在要求。本文分析了我国建筑业碳排放的现状，识别出建材生产阶段、建筑运行阶段是建筑全过程碳排放的关键阶段，建筑业碳排放增速持续放缓且碳排放呈现自南向北、自西向东递增的空间特征；剖析了包括政策标准体系、节能降碳技术、既有建筑碳排放、碳排放统计监测、绿色金融体系、减排降碳意识等我国建筑业碳减排及低碳发展面临的关键问题；以“系统推进、分类施策、双轮驱动、稳妥有序”为指导方针，提出了建筑业低碳转型的“分步走”目标。结合建筑业低碳发展的内在需求，研究建议，完善制度及标准体系、优化节能技术使用、推动既有建筑降碳、推进绿色金融引领、提高碳排放监测能力、提升节能降碳意识，以期为推动我国建筑业高质量发展提供参考。

关键词：“双碳”目标；建筑业；碳排放；低碳转型

中图分类号：TE341　　**文献标识码：**A

Countermeasures for Low-Carbon Transformation of Construction Industry in China Toward the Carbon Peaking and Carbon Neutrality Goals

Wu Zezhou[1,2,3], Huang Haoquan[1,2,3], Chen Xiangsheng[1,2,3], Li Jianjun[4*], He Qiufeng[1,2,3], Li Ao[1,2,3], Huang Jun[1,2,3], Lin Yuhan[1,2,3], Liu Xingyu[1,2,3], Wang Jiahao[1,2,3]

(1. Key Laboratory of Coastal Urban Resilient Infrastructures (Shenzhen University), Ministry of Education, Shenzhen 518060, Guangdong, China; 2. Underground Polis Academy, Guandong, Shenzhen University, Guandong, Shenzhen 518060, Guangdong, China; 3. College of Civil and Transportation Engineering, Shenzhen University, Guandong, Shenzhen 518060, Guangdong, China; 4. School of Materials Science and Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, Anhui, China)

Abstract: Carbon emission reduction in the construction industry is crucial for promoting low-carbon transformation of the industry and for realizing the carbon peaking and carbon neutrality goals. This study analyzes the current status of carbon emissions in Chinese construction industry. It identifies that the production of building materials and the operation of buildings are the primary sources of carbon emissions in the overall construction process. Moreover, the growth rate of carbon emissions from the construction industry in China is decelerating, and the spatial characteristics of carbon emissions demonstrate an increase from the south to the north and from

收稿日期：2023-09-22；**修回日期：**2023-10-11

通讯作者：*李建军，安徽理工大学材料科学与工程学院教授，研究方向为矿业固废资源化、深度水处理；E-mail: ljj.hero@126.com

资助项目：中国工程院咨询项目“安徽省‘双碳’发展战略研究”(2022-DFZD-18)

本刊网址：www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

the west to the east. We have identified six key challenges that must be addressed to achieve carbon peaking and carbon neutrality in the construction industry of China: policy and standards framework, energy-efficient and carbon-reducing technologies, reduction of carbon emissions from existing buildings, carbon emission data collection and monitoring systems, green financial system, and increased awareness of carbon reduction. Staged goals for the low-carbon development of the construction industry are also proposed. Furthermore, we suggest improving related policies and standards system, optimizing the use of energy-saving technologies, reducing carbon emissions in existing buildings, developing green finance, improving the ability to monitor carbon emissions, and enhancing the awareness of energy conservation and carbon reduction, so as to provide references for the low-carbon transformation and high-quality development of China's construction industry.

Keywords: carbon peaking and carbon neutrality goals; construction industry; carbon emissions; low-carbon transformation

一、前言

温室气体的超负荷排放使全球气候问题日益严峻[1]，碳减排是减缓气候变化的首要任务。随着经济发展和城镇化进程演进，我国温室气体排放量增加显著[2]。为积极参与和应对气候变化全球治理，推进碳减排工作，我国于2020年提出了“双碳”战略目标，稳妥推进碳达峰、碳中和。建筑业是我国碳排放的主要行业之一[3]，在实现“双碳”战略目标方面承担着重要任务。为做好建筑业节能降碳工作，我国近年来出台了多项推动建筑业绿色低碳发展的政策举措。2020年，住房和城乡建设部等7部门发布的《绿色建筑创建行动方案》提出，发展超低能耗建筑和近零能耗建筑；2021年，国务院办公厅在《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》中提出，大力发展节能低碳建筑，全面推广绿色低碳建材；2022年，住房和城乡建设部在《“十四五”绿色建筑与建筑节能发展规划》中进一步详细指明了各地区要因地制宜地执行节能低碳标准，并以更高的要求明确了到2025年我国低能耗建筑和绿色建筑的占比面积。

2020年，我国建筑业的碳排放量占全国碳排放总量的50.9%[4]。建筑业碳减排潜力大，若采用合理适度的人均建造面积，在建筑材料生产阶段可实现的碳减排量达58%；若采用被动式建筑设计以及应用高效的暖通空调系统技术，可实现25%的建筑碳减排，应用数字化、可再生能源技术可进一步将碳排放量降低7%[5,6]。与普通建筑相比，绿色建筑、超低能耗建筑全生命周期碳排放量可分别减少20%、56%[7]。然而，我国建筑业长期以来按粗放模式发展，导致目前既有建筑能源消耗巨大[8]。与发达国家相比，我国面临人居密度大、城市高质量更新技术复杂、城镇化水平仍将持续提高等多重挑战[9]，实现建筑业“双碳”目标的任务艰巨。

本文在识别我国建筑业低碳转型面临的挑战和分析建筑业碳排放及低碳发展现状的基础上，提出建筑业低碳发展目标，剖析建筑业实现“双碳”目标所面临的关键问题，并针对性提出对策建议，以期为建筑业高质量发展提供参考。

二、建筑业碳排放及低碳发展现状

建筑在建造和投入运营的过程中产生的碳排放主要来自机械使用、人员活动以及电力、热力和能源消耗等。建筑业碳排放总量的核算方法在学术研究中应用较多的是碳排放系数法[10~12]、投入产出法[13~15]等。据此，应用投入产出法测算得出，2020年，我国建筑业全生命周期的碳排放量为5.08×10^9 tCO_2，占全国碳排放总量的50.9%[4]，超过工业、交通等领域，成为我国碳排放最多的领域[9]。

（一）建筑业全生命周期的碳排放现状

建筑全生命周期涵盖建材生产、建筑施工和建筑运行3个阶段。从碳排放流向来看（见图1），建材生产阶段、建筑运行阶段是建筑碳排放量的主要贡献者，分别为2.82×10^9 tCO_2、2.16×10^9 tCO_2，约占建筑全生命周期碳排放总量的98%；建筑施工阶段的碳排放量仅占2%[4]。建材生产阶段的碳排放主要源自水泥、钢铁等建材，约占全部建材生产碳排放总量的96%；建筑运行阶段主要分为公共建筑、城镇居建和农村居建3类，其碳排放量占比分别为38%、42%和20%[4]。

目前，我国建筑业碳排放仍呈增长态势，但增速持续放缓。据测算，建筑业的碳排放量由2005年的2.23×10^9 tCO_2增加至2020年的5.08×10^9 tCO_2，年均增速为5.6%，其中“十一五”“十二五”和“十三五”时期的年均增速分别为7.8%、6.8%和2.3%，

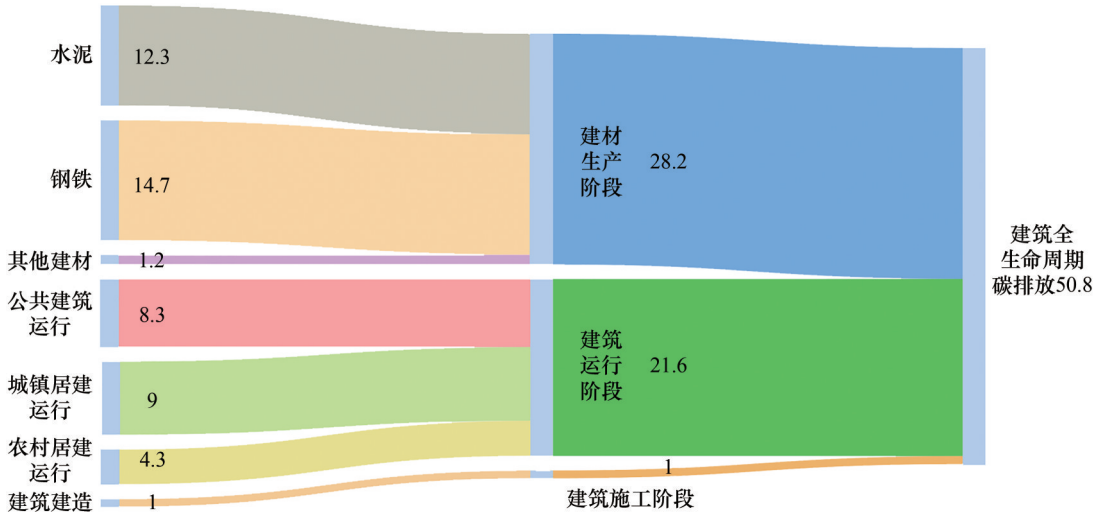

图1　建筑全生命周期碳排放流向图（单位：$\times 10^8$ tCO_2）

建筑业碳排放增速放缓[4]。从建筑全生命周期的不同阶段来看，建材生产阶段受钢铁、水泥等消耗量增速缓慢影响，碳排放增速明显下降；建筑施工阶段通过提高施工管理的精细化和绿色化要求，碳排放增速持续减缓；建筑运行阶段得益于建筑能源结构优化及电气化应用的提升，直接碳排放在2016年后呈现下降趋势[16]。

（二）建筑业碳排放空间特征

我国不同区域的建筑业碳排放空间特征差异明显，呈现出显著的自南向北、自西向东递增的分布态势，区域间差异较大[17]。我国建筑业碳排放量自南向北呈递增状态，按我国建筑气候区划分析，温和及夏热冬暖地区城市的建筑碳排放量约占全国建筑碳排放总量的13%，夏热冬冷地区城市的建筑碳排放量占比为30%，寒冷及严寒地区城市的建筑碳排放量最多，约占57%。寒冷及严寒地区城市的人居建筑碳排放量为夏热冬冷地区城市和温和及夏热冬暖地区城市的2倍，为2.09 tCO_2/人[4]。受经济发展及人口分布差异影响，建筑业碳排放量自东部地区、中部地区、西部地区依次递减，东部地区的建筑碳排放量约占全国建筑碳排放总量的51%，中部地区和西部地区的占比分别为26%、23%；东部地区的建筑人均碳排放量为1.75 tCO_2，中部地区、西部地区的建筑人均碳排放量接近，分别为1.28 tCO_2、1.27 tCO_2[4]。

（三）建筑业减碳技术发展现状

实现建筑业低碳发展亟需探索适合我国国情的减碳技术路径。我国建筑业低碳转型技术主要集中在建筑设计、建筑节能和可再生能源技术3个方面。① 低碳建筑设计可从源头上控制建筑在全生命周期中的碳排放和能源消耗。目前，我国要求新建建筑需严格执行《绿色建筑评价标准》（GB/T50378—2019），在设计评审阶段就纳入可持续理念。同时我国建立了全国绿色建材采信应用数据库，发布标识产品推广目录，以期满足设计师对绿色建材功能型号的设计需求。以建筑信息模型（BIM）为主的信息化技术的逐步成熟更是为可持设计方案提供了优化决策途径。② 建筑节能技术主要有维护结构节能、供热系统节能、供冷系统节能、照明节能和电器节能5类。目前，我国持续推进建筑供热网管及智能调温调控，应用建筑设备优化控制策略，以提高采暖空调系统和电器系统效率；进一步推广发光二级管等高效节能灯具，建设照明数字化系统。③ 建筑可再生能源利用则集中在风能、太阳能和地热能等非化石能源的应用方面，其中以太阳能光伏技术应用最广，预计2025年新建公共建筑和厂房光伏覆盖率将达50%，城镇建筑可再生能源替代率达8%。目前，我国超低/近零能耗建筑技术标准体系完善，核心技术成熟，具有规模化推广潜力，已在多地开展示范应用；在高效用能系统方面，高效照明智能控制技术、高效制冷机房系统、智能楼宇技术等的技术成熟度和市场化率逐步提高。

三、建筑业低碳发展目标及面临的关键问题

（一）发展目标

建筑业低碳转型与我国城镇化规模、碳减排政策实施紧密相关。本文以“系统推进、分类施策、双轮驱动、稳妥有序”为指导方针，基于系统观念，统筹发展和质量，以推进城镇和乡村节能改造、开展可持续建设行动、加快转变城乡建设方式、提升绿色低碳发展质量为行动指引，提出如下建筑业低碳转型发展目标。

2023—2030 年，随着城镇化规模扩大、建筑累计建成面积不断增加，建筑业碳排放量将持续增长。建筑业碳减排应强化顶层设计、分类施策，以“1+N”政策体系为引领；推动建设高品质绿色建筑，加快既有建筑节能改造，不断提高节能标准，提升建筑电气化率；加强碳排放核算监测能力，提升信息化实测水平；完善绿色金融体系，发挥市场化机制的作用；全面推进用建筑能结构优化与可再生能源应用；持续开展超低能耗建筑、近零能耗建筑、零碳建筑建设示范，推广节能低碳技术。

2031—2050 年，建筑节能改造不断深入，建筑业碳排放量实现稳步下降。可再生能源替代率稳步上升，智能光伏与绿色建筑深度融合，建筑能效水平持续提升；绿色交易市场建设完备，通过碳交易市场化手段促进自主节能减排；绿色建材得到全面推广，零碳建筑大规模推广应用，智能建造、“光储直柔”等技术逐渐成熟应用。

2051—2060 年，建筑业进入深入降碳阶段，可再生能源获得大规模稳定应用，各类交易市场机制的衔接和政策协同进一步强化；深入挖掘乡镇和农村的减排潜力，最大程度推进建筑业实现零排放。

（二）面临的关键问题

1. 政策和标准体系有待完善

建筑业“双碳”工作涉及领域广、产业链条长、利益主体众多，需要加强与完善政策和标准体系的指引。目前，我国已制定了一系列有关碳减排的政策与标准，但在落实层面仍有待完善。部分法规政策缺失明晰的解读，导致公众参与度不高；相关监管部门的执法力度相对薄弱，未能严格按照相应的法律法规进行监督执法。在标准体系建设方面，覆盖面仍有待完善，如建筑节能和绿色建筑标准体系没有涵盖建筑全生命周期的各阶段。此外，“双碳”目标的实现需要更为具体有力的激励措施、支持政策作为支撑，以鼓励和推动企业、行业采取减排行动。目前的激励措施主要包括财政补贴、税收优惠、信贷优惠等，但存在相关激励措施难以落实或执行情况不如预期的情况。因此，相关政府主管部门需要完善法规政策，加快标准体系建设，落实激励政策，引导建筑业发展方式转型升级，推进社会发展绿色低碳转型。

2. 节能降碳技术应用不足

节能降碳技术是实现我国建筑业“双碳”目标的重要手段。在实际应用中，仍存在节能技术普及率相对较低、建筑效能有待提升等问题。究其原因主要是在原材料的选择、建筑外墙保温隔热、采暖设备配置等方面未能充分考虑节能要求。一些新型节能设备和技术如“光储直柔”、地源热泵、高效隔热材料等未得到广泛应用，智能家居、智能微电网等仍处于深化研发和技术攻关阶段未大规模应用。此外，BIM、工程物联网、建筑施工机器人、工程大数据等智能建造技术的市场普及率依然较低[18,19]。未来需进一步推动节能技术的市场化应用以及关键节能技术攻关等工作。

3. 既有建筑碳排放量巨大

2021 年，我国城乡建筑累计建成面积约为 6.77×10^{10} m^2 [20]，建筑规模持续扩大，既有建筑运行的碳排放量大。尽管我国在推进建筑业节能减碳进程中取得了一定的成果，但仍存在既有建筑节能管理模式滞后、节能改造针对性不强、拆除工作混乱、闲置建筑功能转型困难、基础设施运行体系不完善等问题，阻碍了既有建筑节能改造工作的推进，亟需对既有建筑节能管理和改造模式进行创新，加强节能管理和拆除管理，完善基础设施运行节能方式。

4. 绿色金融体系有待完善

目前，建筑业低碳转型主要依靠行政手段和财政资金支持，绿色金融等市场化机制的作用尚未得到充分发挥。房地产宏观调控未对绿色建筑实行差别化处理，降低了金融机构对绿色建筑的支持意愿；行业监管部门和金融机构未能对运营阶段的建筑进行有效地跟踪评价与监督，建筑运行标识的管理方法和评估机制仍然缺位。例如，绿色建材企业

和节能技术服务公司等中小企业难以提供金融机构接受的抵押担保品，面临一定的融资困境。用于支持建筑业绿色低碳发展的金融工具品类不足，金融机构创新能力有待提升，由绿色金融引导企业积极投资低碳建筑的市场化机制尚未形成。此外，经济激励投入和绿色建筑融资周期存在错配，难以使绿色建筑项目及时享受到绿色金融、绿色债券等优惠政策。

5. 碳排放统计监测能力有待提高

碳排放统计监测体系是推动我国建筑业实现“双碳”目标的重要基础和关键环节。目前，我国现有的建筑业碳排放核算体系不健全，缺乏完善的碳排放因子数据库。构建碳排放因子库是碳核算的基础性工作，直接影响着建筑碳核算的准确度。现有的建筑碳排放监测系统存在一定的局限性。一是监测的对象基本为公共建筑，以监测其耗电量为主，对与公共建筑相关的化石能源燃烧所释放的CO_2并未进行监测。二是建筑用电、用气、用水、用热等数据共享渠道尚未打通，缺乏碳排放数据共享制度。三是碳排放监测系统没有数据统计分析功能，存在碳数据碎片化呈现、实时数据填报困难等问题，鲜有运用大数据、物联网、云计算等信息技术对建筑碳排放数据进行实时采集和上传。此外，需建立建筑能耗监测平台，不断完善监测功能，增加建筑类型的丰富度，探索针对居民建筑能耗监测的实施方案。

6. 建筑业减排降碳意识不足

增强建筑业减排降碳意识是实现建筑全过程碳减排的重要举措。从建筑全生命周期视角来看，碳排放贯穿建材生产、规划设计、施工建造、运行和拆除全过程，与建筑全产业链密切相关，要实现建筑全过程碳减排需要企业与业主具备减排降碳意识。目前，建筑企业在减排降碳意识方面存在多重矛盾，如企业增产、成本上涨和技术转换等都与企业减碳相矛盾。为此，亟需利用政策激励等方式协助企业化解矛盾，加强宣传企业在建筑减排降碳方面的贡献与效果，增强建筑业相关企业的减排降碳意识，鼓励企业制定“减碳办法”，同时应提高企业对智能建造的认知，增强企业自主应用意愿。大众是建筑的使用主体，增强大众减排降碳意识对实现建筑业“双碳”目标具有重大作用，但目前大众的建筑减排降碳意识较为薄弱，仍需加大宣传和引导力度。

四、对策建议

（一）完善政策和标准体系

一是健全政策法规。健全推动建筑业碳减排的配套政策，做好相应的政策解读，建立更为严格的碳排放监管制度。明确企业的碳排放指标和限额，并加强执法力度，对不符合标准的项目进行追责和处罚，确保碳排放管理和减排措施有效实施。各级地方主管部门也应根据自身的发展情况，因地制宜地编制碳减排专项规划条例，并与其他相关专项规划相衔接。

二是完善标准体系。在建筑全专业（包括结构、电气、暖通等）及生命周期全过程（包括设计、施工、检测、运维、评价等）严格执行《民用建筑通用规范》（GB/55031—2022）、《绿色建筑评价标准》（GB/T50378—2019）、《建筑节能与可再生能源利用通用规范》（GB/55015—2021）等规范及建筑标准，推动建筑节能与绿色建筑评价标准体系的有效落实；各级相关主管部门也应结合地方的实际发展情况，编制细化的地方性标准。

三是落实激励政策。确保建筑业稳定、常态化减排降碳工作的财政投入，积极采取以奖代补的方式对近零碳建筑等示范性低排放建筑及“光储直柔”等技术攻关项目予以支持。落实政府绿色采购方案，支持对绿色低碳产品及技术的优先采购。推进建筑低碳产业的招商引资和招才引智工作，鼓励创新，实现创新引领高质量发展。

（二）优化节能技术使用

一是推动可再生能源的利用。积极推广太阳能光伏建筑一体化的设计方案，构建集光伏发电、储能、直流配电和柔性用电等功能于一体的建筑示范区。在适宜的区域建设风力发电设施，引进新一代低风速风机技术，提高风能的利用效率，同时，加强与电网的连接，实现可再生能源与建筑之间的互动。

二是加速提升建筑的电气化水平。推动终端电气化设备的节能与增效研究，推广高效直流电设备的应用，积极引导生活热水、炊事、供暖、照明等朝电气化方向发展，提高建筑能耗中的电力消费比重。

三是实行建筑废弃物管理。建立废弃物分类和

回收利用系统，推动建筑废弃物的回收和再利用，并积极研发建筑废弃物资源化利用技术，将废弃物转化为可再生能源或再生建材以减少碳排放。

四是推行智能家居技术。将物联网、人工智能和自动化技术应用于家居设备及系统，实现智能化的能源管理和生活方式。通过智能家居系统，居民可以实时监测和控制建筑的能源消耗，进行精确的用能管理，有效减少能源浪费和碳排放。例如，智能温控系统可以自动调节室内温度，智能照明系统可以感知人员活动并进行精确照明控制。

五是推动智能建造技术融入建筑全过程。智慧建造是建筑业低碳转型的重要依托，应加强建筑多元主体协同共治，使建筑设计、施工建造、建筑运维管理协同向智能化迈进；强化标准引领作用，打造以 BIM 为核心、面向全产业链的一体化软件生态，对不同建设主体进行全方位赋能。

（三）推动既有建筑降碳

一是加强既有建筑的节能管理。完善建筑碳排放监测平台，建立建筑用能数据共享机制，开展建筑基本信息和能源消耗数据年度统计与更新常态化工作，增强数据的统计分析能力。加强监督管理工作，有关职能部门需要对申报改造项目依法进行严格的核准及审批，开展节能论证，确保节能标准规范的落实。

二是加强既有建筑的节能改造。虽然节能建筑已超过城市建筑面积的 50% 以上，但大量建筑仍有节能改造的潜力[21]。应注重投融资模式的创新，利用市场化机制，配合老旧小区改造，构建长效有序的管理机制。注重改造建筑围护结构的热工性能，增强保温隔热功能，采用智能化的高效暖通空调系统技术；对于符合铺设条件的建筑，推广和搭建太阳能光伏设施，充分利用可再生能源。

（四）推进绿色金融引领

一是强化建筑业绿色金融产品创新，鼓励金融机构推出与企业碳资产、碳减排等相适应的绿色债券、绿色信贷、绿色票据等金融工具，同时鼓励金融机构对各类低碳建材或碳减排技术的消费给予差异化的绿色金融支持。拓宽企业绿色金融服务路径和直接融资渠道，支持对符合条件的绿色建筑或碳减排项目优先进行绿色金融支持，解决企业资金流动性困难等问题。完善建筑碳减排项目的绿色金融申请认定标准，健全绿色金融监管及金融风险应对体系，防止和管控企业的“洗绿”行为，完善绿色金融的韧性机制。

二是推动优质资源向绿色低碳建筑业集中，引导资本市场资金向绿色低碳企业或碳减排项目聚集，促进建筑产业链上各方主体积极涌入绿色低碳市场。强化绿色金融供给与需求的适配性，实现资本市场与碳减排市场的联动，提高建筑业向绿色低碳转型的效率。健全绿色低碳建筑市场各方主体的责任机制，激发绿色金融的市场引导效能。

三是健全建筑企业环境、社会责任、公司治理（ESG）管理标准，ESG 信息披露规范，ESG 监管机制和 ESG 宣传引导政策，强化企业 ESG 管理理念，提升企业 ESG 信息披露的质量，为建筑业碳减排项目融资市场提供高质量、信息对称的数据信息。鼓励企业充分利用新一代信息技术进行 ESG 信息数字化管理，探索建立企业“碳账户”，实现碳数据的信息溯源，强化绿色金融风险管控。

（五）提高碳排放监测能力

一是建立建筑能耗与碳排放监测技术标准，实现建筑用能数据共享。鼓励大型公共建筑采用“业主自建+数据共享”模式对建筑运行能耗及能效进行监测管理，为降低公共建筑碳排放提供数据支撑。制定碳排放监测技术标准，统一碳排放计算口径及模型，实现建筑用能数据共享。

二是发展能源监测及碳排放管理系统，助力企业实施“双碳”管理。利用能源监测及碳排放管理系统对企业的碳排放数据进行实时监测，实现碳排放数据的可追溯、可管理，为企业开展碳减排及碳交易提供决策依据，促进企业向绿色低碳化转型。

三是从多维度完善建筑能耗监测平台，促进能耗精细化管理。综合采用 BIM、大数据、物联网等智慧建造技术，构建智慧能耗监测平台，从基础设施、可再生能源、碳汇等综合维度对建筑碳排放进行评价。通过技术手段，保证相关数据的准确性、系统的稳定性，减少虚假数据，为建筑碳排放管理、运营状态以及信息发布、预警的可视化提供数据支撑。

（六）提升节能降碳意识

一是加强对减碳行动的宣传教育。加强公众对

生态文明科普教育知识的了解，普及减排降碳基础知识。赢得居民对绿色理念的理解和认同，践行绿色生活方式，营造绿色、低碳的生活氛围，动员社会各界积极参与到减碳行动中。

二是推广绿色低碳生活方式。从生活源头减少碳排放量，鼓励市民在居家生活中，使用节能、环保的家用电器，引导形成绿色、健康的生活方式。通过全民降碳意识的增强，降低建筑运行阶段所产生的碳排放量。

三是积极宣传建筑全过程节能减排收益效果。通过对低能耗建筑示范项目的全过程数据统计及分析，向公众展示建筑节能减排取得的收益，增强公众对绿色建筑前期投入的信心。鼓励企业开展针对节能管理方式的经验交流会，增强员工节能意识，使建筑低碳管理日常化、体系化。

四是加大对国家战略及政策的宣传力度。针对“双碳”战略及相关政策，细化政策及相关规范的解读，增强公众对政策必要性的认同，强化舆论引导，发挥优秀示范项目的引领作用。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: September 22, 2023; **Revised date:** October 11, 2023

Corresponding author: Li Jianjun is a professor from the School of Materials Science and Engineering of Anhui University of Science & Technology. His major research fields include utilization of mining solid waste resources and advanced water treatment. E-mail: ljj.hero@126.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on the Development Strategy of ‘Dual Carbon’ in Anhui Province” (2022-DFZD-18)

参考文献

[1] 米志付, 张浩然. IPCC AR6 WGIII 报告解读: 城市系统减缓气候变化 [J]. 气候变化研究进展, 2023, 19(2): 139–150.
Mi Z F, Zhang H R. Interpretation of IPCC AR6 report: Climate change mitigation of urban systems [J]. Climate Change Research, 2023, 19(2): 139–150.

[2] 胡广文, 顾一帆, 吴玉锋, 等. 中国实现碳中和: 降碳风险的识别与应对 [J/OL]. 北京工业大学学报(社会科学版): 1–12 [2023-07-29]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4558.G.20230725.1854.002.html.
Hu G W, Gu Y F, Wu Y F, et al. Achieving China’s carbon neutrality target: Decarbonization risk identification and countermeasure design [J/OL]. Journal of Beijing University of Technology (Social Sciences Edition): 1–12 [2023-07-29]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4558.G.20230725.1854.002.html.

[3] 黄海霞, 程帆, 苏义脑, 等. 碳达峰目标下我国节能潜力分析及对策 [J]. 中国工程科学, 2021, 23(6): 81–91.
Huang H X, Cheng F, Su Y N, et al. Energy-saving potential analysis and countermeasures for carbon peaking in China [J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23(6): 81–91.

[4] 中国建筑节能协会. 2022 中国建筑能耗与碳排放研究报告 [R]. 重庆: 中国建筑节能协会, 2022.
China Association of Building Energy Efficiency. 2022 research report of China building energy consumption and carbon emissions [R]. Chongqing: China Association of Building Energy Efficiency, 2022.

[5] 白泉, 胡姗, 谷立静. 对 IPCC AR6 报告建筑章节的介绍和解读 [J]. 气候变化研究进展, 2022, 18(5): 557–566
Bai Q, Hu S, Gu L J. Interpretation of IPCC AR6 on buildings [J]. Climate Change Research, 2022, 18(5): 557–566

[6] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2022: Mitigation of climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2022

[7] 常莎莎, 冯国会, 崔航, 等. 建筑行业碳排放特征及减排潜力预测分析 [J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2023, 39(1): 139–146.
Chang S S, Feng G H, Cui H, et al. Research on carbon emission characteristics and emission reduction potential prediction of construction Industry [J]. Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science), 2023, 39(1):139–146.

[8] 肖建庄, 夏冰, 肖绪文, 等. 建筑结构隐含碳排放限值预设方法研究 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(2): 187–197.
Xiao J Z, Xia B, Xiao X W, et al. Presetting method for embodied carbon emission limit of building structures [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(2): 187–197.

[9] 庄惟敏, 刘加平, 王建国, 等. 建筑碳中和的关键前沿基础科学问题 [J]. 中国科学基金, 2023, 37(3): 348–352.
Zhuang W M, Liu J P, Wang J G, et al. Key frontier basic scientific issues in building carbon neutrality [J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2023, 37(3): 348–352.

[10] 赵冬蕾, 刘伊生, 刘珊珊. 中国区域建筑业碳排放脱钩态势及脱钩潜力研究 [J]. 建筑节能, 2020, 48(6): 105–111.
Zhao D L, Liu Y S, Liu S S. Decoupling situation of carbon emissions and the decoupling potential in China’s regional construction industry [J]. Building Energy Efficiency, 2020, 48(6): 105–111.

[11] 范建双, 周琳. 中国建筑业碳排放时空特征及分省贡献 [J]. 资源科学, 2019, 41(5): 897–907.
Fan J S, Zhou L. Spatiotemporal distribution and provincial contribution decomposition of carbon emissions for the construction industry in China [J]. Resources Science, 2019, 41(5): 897–907

[12] 金柏辉, 李玮, 张荣霞, 等. 中国建筑业碳排放影响因素空间效应分析 [J]. 科技管理研究, 2018, 38(24): 238–245.
Jin B H, Li W, Zhang R X, et al. Spatial analysis of provincial carbon emissions in China construction industry [J]. Science and Technology Management Research, 2018, 38(24): 238–245.

[13] 张智慧, 刘睿劼. 基于投入产出分析的建筑业碳排放核算 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2013, 53(1): 53–57.
Zhang Z H, Liu R J. Carbon emissions in the construction sector based on input-output analyses [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2013, 53(1): 53–57.

[14] 杜强, 冯新宇, 孙强. 市域建筑业碳排放与经济发展关系及影响因

素研究——以西安市为例 [J]. 环境工程, 2017, 35(2): 174–179.
Du Q, Feng X Y, Sun Q. Study on relationship between carbon emissions and economic development in municipal construction industry: A case study of Xi'an [J]. Environmental Engineering, 2017, 35(2): 174–179.

[15] 王连, 华欢欢, 王世伟. 基于投入产出模型的建筑业碳排放效应测算 [J]. 统计与决策, 2016 (21): 77–79.
Wang L, Hua H H, Wang S W. Measurement of the carbon emission effect of the construction industry based on input-output modeling [J]. Statistics and Decision, 2016 (21): 77–79.

[16] 黄震, 谢晓敏, 张庭婷. "双碳"背景下我国中长期能源需求预测与转型路径研究 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(6): 8–18.
Huang Z, Xie X M, Zhang T T. Medium-and long-term energy demand of China and energy transition pathway toward carbon neutrality [J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(6): 8–18.

[17] 范建双, 周琳. 中国建筑业碳排放时空特征及分省贡 [J]. 资源科学, 2019, 41(5): 897–907.
Fan J S, Zhou L. Spatiotemporal distribution and provincial contribution decomposition of carbon emissions for the construction industry in China [J]. Resources Science, 2019, 41(5): 897–907.

[18] 陈珂, 丁烈云. 我国智能建造关键领域技术发展的战略思考 [J]. 中国工程科学, 2021, 23(4): 64–70.
Chen K, Ding L Y. Development of key domain-relevant technologies for smart construction in China [J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23(4): 64–70.

[19] 王波, 陈家任, 廖方伟, 等. 智能建造背景下建筑业绿色低碳转型的路径与政策 [J]. 科技导报, 2023, 41(5): 60–68.
Wang B, Chen J R, Liao F W, et al. Path and policy of green and low-carbon transformation of construction industry in the context of intelligent construction [J]. Science & Technology Review, 2023, 41(5): 60–68.

[20] 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(城市能源系统专题) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2023.
Building Energy Efficiency Research Centre of Tsinghua University. China building energy efficiency annual development research report 2023 (urban energy systems theme) [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2023.

[21] 黄昱杰, 刘贵贤, 薄宇, 等. 京津冀协同推进碳达峰碳中和路径研究 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(2): 160–172.
Huang Y J, Liu G X, Bo Y, et al. Beijing–Tianjin–Hebei coordinated development toward the carbon peaking and carbon neutrality goals [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(2): 160–172.