

智能建造背景下建筑业绿色低碳转型的路径与政策

王波¹, 陈家任¹, 廖方伟², 敖仪斌³

1. 西南科技大学土木工程与建筑学院, 绵阳 621010

2. 中国科学技术大学管理学院, 合肥 230026

3. 成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059

摘要 建筑业是国民经济的重要支柱产业, 又是高碳排放十分严重的产业, 实现建筑业绿色低碳转型, 迫切需要智能建造与建筑技术深度融合。基于“双碳”目标对建筑业绿色发展的现实要求, 分析了国外主要发达国家建筑业低碳发展经验和中国建筑业低碳发展趋势, 结合智能建造为建筑业绿色低碳转型带来的重要机遇, 从建筑设计、建材生产、建筑施工、智慧运营等4个维度提出了智能建造背景下建筑业绿色低碳转型的路径, 从加强顶层制度设计、健全配套政策体系、加快企业创新发展和构建良性产业生态4个层面提出了智能建造背景下建筑业绿色低碳转型的政策建议。

关键词 建筑业; 智能建造; 绿色低碳转型

2020年9月, 习近平主席在第75届联合国大会提出了中国2030年前碳达峰、2060年前碳中和目标。2021年9月, 中共中央、国务院印发《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》, 要求“推进城乡建设和管理模式低碳转型、大力发展节能低碳建筑、加快优化建筑用能结构”^[1]。党的二十大报告指出: “推动经济社会发展

绿色化、低碳化是实现高质量发展的关键环节, 要加强推动能源清洁低碳高效利用, 推进工业、建筑、交通等领域清洁低碳转型”^[2]。近年来, 中国在新一代信息技术产业、智能制造与机器人技术等重点和优势领域体现出巨大的战略韧性和持续的国际竞争力。2020年7月, 国家住房和城乡建设部联合多部委发布了《关于推动智能建造与建筑工业化协同

收稿日期: 2022-12-05; 修回日期: 2023-02-10

基金项目: 国家社会科学基金项目(22BJY142)

作者简介: 王波, 教授, 研究方向为绿色建筑、智能建造、城市治理, 电子信箱: boy@swust.edu.cn

引用格式: 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; doi:10.3981/j.

issn.1000-7857.2023.05.006

发展的指导意见》,指出智能建造与建筑工业化融合发展,对推动建筑业转型升级和高质量发展意义重大。2022年1月,国家住房和城乡建设部印发《“十四五”建筑业发展规划》,提出以建设世界建造强国为目标,大力发展并形成涵盖全产业链的智能建造产业体系。实现建筑业绿色低碳转型,需要通过信息技术与建造技术的深度融合^[9]。因此,在智能建造背景下,探讨建筑业绿色低碳转型的路径与政策,无论是对于丰富建筑经济理论体系,还是破除制约建筑业绿色低碳转型的体制机制障碍,对实现“双碳”目标都具有重要的战略意义。

1 “双碳”目标对建筑业绿色发展的现实要求

美国、德国、日本等国制定有关于建筑业低碳发展规划,甚至将这些规划纳入国家战略,保障建筑业绿色可持续发展。美国《能源政策法案》针对大型公共建筑规定有节能和节水的措施,《节能政策法》也制定有建筑节能的管理体系^[4]。针对建筑业节能技术和绿色发展,美国的《节能建筑认证法案》也都有明确的规范和要求。2017年,美国白宫发布《美国基础设施重建战略规划》,将韧性、绿色和耐久作为评价建筑产品和基础设施可持续发展的重要指标,并提出到2030年,建筑工程建设百分之百要实现碳中性设计。美国绿色建筑协会建立的《绿色建筑评估体系》已成为世界各国建筑绿色可持续发展评价最有影响力的标准。德国颁布有《建筑节能法》,其《建筑保温条例》《供暖设备条例》等法律和条例也都规定了不同领域的建筑在节能技术和绿色可持续发展方面的要求。在建筑业低碳发展方面,德国颁布有《建筑节能条例》和《可持续建筑评价标准》,着眼于建筑全生命周期,将建筑业可持续发展、减少能源消耗和温室气体排放的理念融入建筑技术领域^[9]。同时,为加强对建筑物能耗和碳排放的监管,德国还制定有建筑能源证书制度和既有建筑改造制度,以确保建筑节能减排目标的实现。2008年,日本在第七次修订版的《建筑基准法》针对建筑业碳减排进行了明确的规定。《住宅

节省能源基准》《建筑废弃物再资源化》《低碳城市促进法》等法律都对建筑能源消耗标准、建筑废弃物回收、低碳建筑的认证条件做了规定^[6]。日本的《建筑物综合环境性能评价体系》针对不同用途、不同规模的建筑物制定有特定环境性能下的环境效率评价方法。同时,针对建筑工地上高碳排放、管理水平低、安全和质量问题,日本也制定了“i-Construction(建设工地生产力革命)”战略,从建筑产品的质量品质、施工安全、环境效益和绿色创新等方面进行部署和要求。

建筑业为推动中国经济发展、造福社会、改善人类生存环境、提高人们生活水平做出了重要贡献^[7-8]。但是建筑业在快速发展的同时也消耗了大量的自然资源,排放了大量的废弃物,造成环境压力。“十四五”是中国碳达峰的窗口期,建筑业具有巨大的碳减排潜力和市场发展潜力。面对资源供需紧张、环境污染严重、生态系统受损的严峻形势,推进建筑业绿色发展,既是统筹发展与安全,提升人民群众幸福感、满足感的重要路径,也是顺应数字化、智能化发展趋势,培育壮大经济发展新动能的关键举措。

一方面,从中国建筑业绿色低碳发展的现状来看。张凯等^[9]认为,绿色建筑节能减排低碳的内涵特征符合双碳目标的方向,然而当前社会主体参与度、接受度并不高。Zhang等^[10]认为,中国建筑业碳排放呈现明显的上升趋势,建筑业碳排放量呈现出明显的区域差异性,东南部地区排放量较大,其他区域排放量较低。Li等^[11]认为,当前针对建筑业领域的相关研究主要针对建筑运营阶段的节能减排,而忽视了工程建设项目的立项策划、设计与施工等关键阶段对建筑行业实现“双碳”战略的重要影响。Utomo等^[12]认为,工业化水平提高、居民消费水平增长、城市化快速扩张及环境规制缺失是导致建筑业高碳排放的主要驱动因素。

另一方面,从中国建筑业绿色低碳转型的路径来看。岳清瑞^[13]认为,建筑业碳排放仅次于煤电、工业生产及交通运输领域,总体排量较高,推进智能建造与新型建筑工业化全产业链转型升级,加快数字技术与精益制造、绿色建造的深度融合,是建

筑业低碳转型的重要路径。肖绪文^[14]认为,强化政策引导、“双碳”工作路线图、总承包模式创新和示范工程对实现“资源节约、环境友好、品质保障”的建造目标至关重要。陈湘生^[15]认为,低碳建设和智能运维有利于保障中国建筑业可持续健康发展。郭红领等^[16]认为,在碳达峰、碳中和背景下,绿色建造和智能建造是建筑业转型升级的主要方向和主要目标。

2 智能建造是建筑业绿色低碳转型的必然选择

智能建造是以现代信息技术为基础,以数字化技术为支撑,实现建造过程一体化和协同化,推动工程建造工业化、服务化和平台化变革,从而交付以人为本的绿色工程产品^[17]。建筑业实现绿色低碳转型,必须从“数量取胜”转向“质量取胜”,从“经济效益优先”转向“绿色发展优先”,从“要素驱动”转向“创新驱动”^[18]。实现这些转变,智能建造是重要手段(图1)。因此,智能建造为建筑业绿色低碳转型提供新的战略机遇,为建筑业绿色低碳转型提供科学技术支撑,有助于提高建筑业绿色低碳转型过程多元主体协同治理效率。

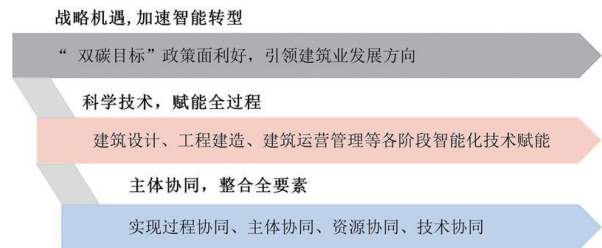


图1 智能建造为建筑业绿色低碳转型带来新的机遇

2.1 智能建造为建筑业绿色低碳转型提供新的战略机遇

伴随着中国经济由高速增长逐步转向高质量发展,建筑业发展正面临诸多挑战,一是建筑业作为中国国民经济的重要支柱产业,存在资源浪费、环境污染和效率低下等问题;二是建筑施工环境差、劳动密集、施工效率不高的情况依然存在;三是建筑产业链成本高、新型技术材料应用率低的情况

依然严重;四是传统建造手段的智能化水平不高、信息化技术推进速度慢的情况依然突出。国家住房和城乡建设部先后发布了《关于推进建筑信息模型应用的指导意见》(2015)、《2016—2020年建筑业信息化发展纲要》、《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》(2020)等文件,明确了发展智能建造的指导思想、发展目标和路线图。近年来,建筑信息模型(BIM)技术迅速发展,建筑施工机器人、人工智能工具已开始在建造成阶段应用,5G、物联网、大数据等形成的数字化管控平台已开始在建造成运营与维护中发挥重要作用^[19]。因此,从建筑工程建造产业链来看,建筑业向智能建造方向转型已是大势所趋,数字化、智能化、智慧化已成为全球建筑产业未来发展的主要方向(图2)。无论是建筑设计、施工建造还是建筑运营管理都在向智能化快速迈进,智能建造为建筑业绿色低碳转型提供新的战略机遇。

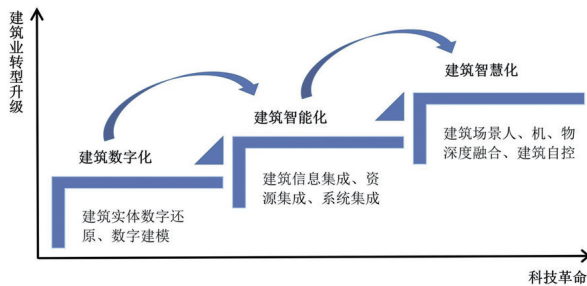


图2 智能建造背景下建筑产业发展趋势

2.2 智能建造为建筑业绿色低碳转型提供科学技术支撑

智能建造强调利用现代信息技术手段与建筑技术相结合,实现智能化、信息化建筑工程建造。在智能建造背景下,建筑业要实现绿色低碳转型,不管是建筑设计、建筑施工、建筑运营与管理,需要现代信息技术、大数据、人工智能(AI)、物联网等新兴技术的强力支撑。首先,在建筑设计阶段,建筑信息模型(BIM)有助于建筑结构、给排水和暖通以及电气工程等基于同一体系展开设计,将在建筑规划决策和方案设计中发挥重要作用。其次,在工程建设阶段,BIM技术、5G、人工智能技术(AI)已开始应用于建筑施工管理当中,建筑施工智能机器人在极端建造环境中发挥越来越重要的作用,由传感

器、大数据、云计算等技术与机械协同工作,提高了建筑施工过程信息互通能力和建造效率。最后,在建筑运营与管理阶段,利用先进信息技术手段,通过互联网、物联网的全面互联,实现建设过程感知信息(数据)的高速和实时传输,利用大数据技术打造智慧管理平台,及时汇聚建筑环境中的海量数据,发布安全预警和处理对策预案,通过智慧平台对采集的数据进行分析、处理、模拟,提高了建筑环境的态势感知能力和突发事件应急能力。有了这些智能化的技术赋能,建筑设计论证更加科学,工程建设风险降低,施工人员管理效率提升,同时最大限度地降低成本、节约资源,也降低了碳排放和减少了环境污染与破坏。

2.3 智能建造有助于实现建筑业多元主体低碳协同治理

《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》(2020)明确提出,围绕建筑业高质量发展总体目标,以大力发展建筑工业化为载体,以数字化、智能化升级为动力,形成涵盖科研、设计、生产加工、施工装配、运营等全产业链融合一体的智能建造产业体系^[20]。但是,中国建筑业在绿色低碳协同发展方面还是存在一些突出问题。一是建筑工业过程协同度不够。建筑工程立项规划、建筑设计、建筑施工、建筑运营各个阶段各自为政,对提升建筑工程的整体质量和促进建筑业低碳转型不利。二是政府、设计方、开发商、建造商、消费者等多元主体在推进绿色低碳建造过程中的配合度不够。一方面体现为政府层面的顶层设计与地方配套政

策的衔接不够。另一方面体现为行业和企业层面在绿色建造的推广宣传、政策落实、人才培养、标准制定等方面的工作存在不足,设计方、开发商、建造方企业普遍缺乏绿色建造复合型人才,企业绿色低碳发展的意识不足,政府、行业和企业推进绿色建造的协同联动不够。三是绿色建造技术对建筑业绿色低碳转型的支撑力不够。智能建造推进总体滞后,原创性技术不多,少有自主知识产权的文字和图形处理的基础性软件系统,少有高效实用的人工智能工具和施工现场作业机器人,缺乏切实推动工程项目智能建造有效实施的数字化管控平台,促进行业转型升级的效果不明显。同时,现有的智能建造技术更多的是关注单项专业技术的创新研究,忽略基于建筑全生命期建造综合技术的协同创新^[21]。当前,中国高度重视信息技术与建筑产业的协同发展与融合,以数字化、信息化、智能化为手段带动建筑业转型升级,对实现建筑业多元主体低碳协同治理具有重要的战略意义。

3 智能建造背景下建筑业绿色低碳转型的路径

将BIM技术、大数据、人工智能、物联网等新兴信息技术与建筑业绿色低碳转型相融合,形成涵盖设计规划、建材生产、施工建造、运营管理为一体的智能建造产业体系(图3),有助于解决传统建造方式产生的各种问题,加快实现建筑业绿色低碳转型升级。

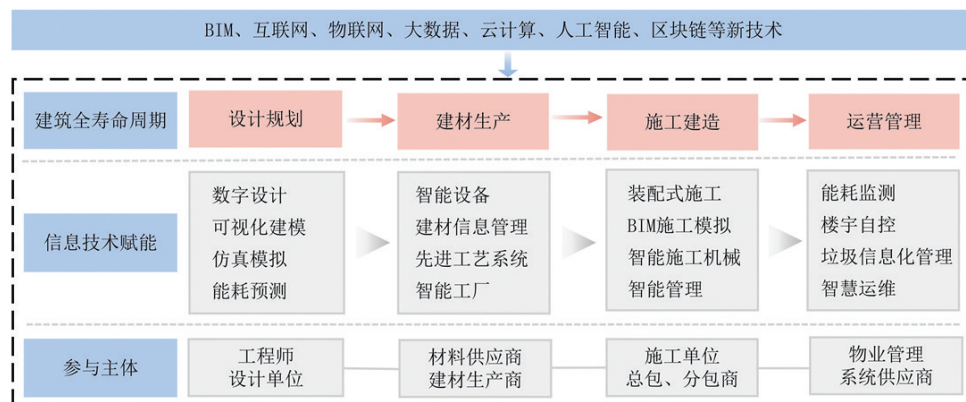


图3 智能建造背景下建筑业绿色低碳转型的路径

3.1 以设计为引领,推动建筑设计可视化

随着“绿色、低碳、节能”的发展理念深入人心,建筑设计在追求功能适用和经济效益的基础上对技术先进性和环境协调性提出了更高要求,可视化协同设计是智能建造的基础,建立“可视化”理念是智能建造推进的充分和必要条件。加快大数据、物联网、互联网、人工智能等前沿技术在建筑设计阶段的应用,基于顶层设计的视角确立建筑节能低碳发展路线和布局。依托数字技术为基础构造的建筑信息模型软件,利用其三维可视化、模型仿真设计、数据共享与协同等功能,进行建筑室内外环境分析、建筑节能分析、建筑材料整合利用分析、建筑规划布局分析等,并以此建立建筑信息的数据库,实现对整个项目的协同和管理。利用BIM技术在建筑设计阶段进行采光、室内外风、日照、太阳辐射和热工模拟,以此确定最合理的绿色建造设计方案,减少在施工和运营阶段的资源浪费和碳排放。同时,着力推进土建与机电设备的施工图与专项施工图设计及其可视化设计、工程组织设计、工程施工组织设计、工程施工方案设计的“工程项目4个同步设计”。因此,通过互联网、物联网等可视化技术与建筑设计情景相融合,能确保建筑技术先进性和资源节约性,为后期施工和运营奠定坚实的基础。

3.2 以建材为抓手,助力建材生产智力化

建筑材料是建筑产业链中的重要组织部分。加速探索开发和应用绿色建材技术,实现建材生产的高质量、高效率、高环保的智力转型,迫切需要从施工产品设计、原材料生产、建筑设计改造入手,提高建材生产过程资源和能源的综合作用率,保护生态环境,减少空气污染,降低企业生产成本,减少建筑建材垃圾^[29]。基于BIM技术、物联网、云计算、工业互联网、移动互联网技术,建立智能化建材研发与生产控制系统,以实现建材产品精准设计和精准生产为目标。通过智力化的建材生产管控系统明确建材生产各主体协同工作流程和成果交付内容,依据设计图纸结合生产制造要求建立设计模型,实现建材生产“收、发、存、领、用、退”全过程的有效管理。通过人员定位、安全应急、门禁管理、运行管理、维护巡检管理、设备管理等功能的应用,构建安

全、生产、运维的三维一体化管理体系,实现建材生产管理全过程管控的可视、可知、可控。通过智能生产、智能分析、智能决策,帮助建材生产企业减少原材料浪费、降低成本和环境污染,提高了建材企业的生产效率和产品质量。

3.3 以施工为重点,强化建筑施工数字化

建筑生产作业环境往往具有“脏、危、杂、重”的特点,随着中国建筑业逐渐步入工业化、智能化、绿色化阶段,对建筑产品的生产和建造过程提出了更高要求^[29]。依托数字化时代下BIM和VR技术的结合应用,对施工现场情景进行模型化和数据化,构建可视化的虚拟施工现场,实现施工现场的精细化管理。推广建筑机器人等智能施工机械在施工现场的应用,优化智能施工机械之间的协同作业能力,构建工程建造信息模型(engineering information modeling, EIM)管控平台,建立工程项目建造的全过程、全参与方和全要素的系统化管控数字化管控系统,在EIM管控平台和建筑信息模型技术的驱动下,机器人代替人完成工程量大、重复作业多、危险环境、繁重体力消耗等情况下的施工作业。建立“互联网+监测”的智能管理方式,在建筑施工现场积极执行建筑节能与绿色建筑标准规范,使用计算机技术对施工现场电力系统、空调系统、供水系统、给排水系统等各系统的运行进行全面实时监控,统筹资源间的最优分配,实现施工现场能耗管理智能化。推进“BIM+装配式建筑”在建筑施工领域的应用,将BIM技术引入到预制构件生产、运输和安装全过程,助力实现施工现场数字化、低碳化。推动智慧工地建设,加快施工现场管理向数字化转型,在满足工程质量的同时使施工现场环境更加和谐,节约施工成本、减少环境污染和提高施工效率。

3.4 以运营为抓手,实现建筑运营信息化

从建筑全生命周期的角度来看,建筑运营阶段所产生的碳排放占60%~80%^[29]。因此,从根本上转变“重建设轻运营”的观念,利用新一代的信息技术对运营阶段的碳排放进行全面实时监控,实现建筑的绿色运营管理。建立城市碳排放管理平台,针对当下对建筑碳排放量信息收集不足等问题,充分利用大数据和互联网等信息技术,及时采集建筑能源

消耗和碳排放数据,摸清建筑能源消耗和碳排放的空间分布特征,为进一步进行设备升级或节能管控提供准确的数据支撑。推进智慧物业建设,建立完善的智慧物业信息管理平台,基于大数据、物联网和云计算等技术建立建筑能耗管理系统,从节能、节水、垃圾分类、环境绿化、污染防治等方面进行系统管控,有效避免设备过度运行导致能源浪费的情况,从而实现建筑的绿色物业管理。逐步完善社会供水、供电、供气、供热等相关行业数据共享,通过地理信息系统、大数据、物联网等信息技术构建城市信息模型,有效将城市用电、用水、用气、用热等数据高效整合至一个信息系统中,实现对各类能源的统一调配,减少过程浪费。加快推进智慧建筑发展下远程监控服务的建设,通过“5G+物联网”技术的应用,业主可通过互联网进入房屋能源监控平台,在任何地方可远程对房间的能耗情况进行实时

把控,并通过智慧分析系统对房间照明、制冷、供热等进行统一控制,减少不必要的能源损耗。因此,通过多样化的现代信息技术对建筑运营阶段的碳排放和能源消耗进行实时全面的监管和统计,避免了各类资源浪费,减少了环境污染,提高了建筑主体的环境管理能力和突发公共事件应急管理能力。

4 智能建造背景下建筑业绿色低碳转型的政策建议

当前,智能建造在中国建筑领域的市场普及率依然较低,加快建筑业绿色低碳转型,必须坚持“全国一盘棋”,因地制宜,上下联动,加强建筑业多元主体协同共治,不断完善智能建造背景下中国建筑行业绿色低碳转型的政策体系(图4)。

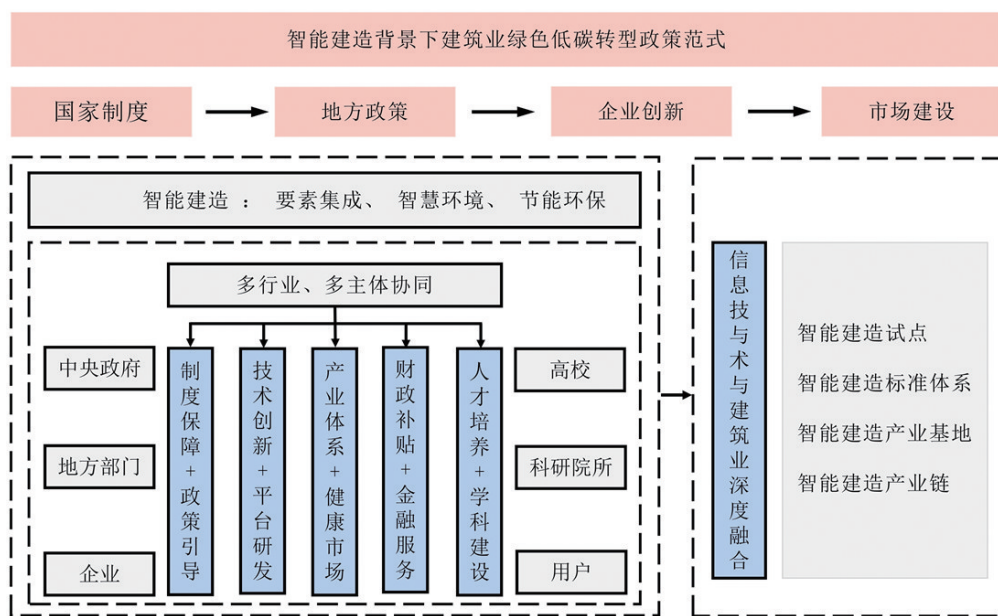


图4 智能建造背景下建筑业绿色低碳转型的政策体系

4.1 加强顶层制度设计,统筹各类资源要素

加强国家在制度保障、标准引领、科技支撑、财政供给方面的顶层设计,统筹规划、整体布局。第一,在制度保障方面,不断加强中国建筑业绿色低碳发展的法律法规体系建设,加快制定建筑业智能建造技术引领性政策,将各类产业支持政策向智能建造领域倾斜;建立政府主导的建筑业智能建造区

域联络机制,考虑区域资源禀赋与政策差异,有序协调区域建筑业绿色低碳转型发展,提高中国建筑业绿色低碳转型的整体性和协调性。第二,在标准引领方面,推进中国智能建造与建筑业绿色低碳转型融合发展,结合智能建造技术背景,有针对性地修订与完善建筑全生命周期内绿色建设标准,积极引导地方有关部门编制有区域特色的工程建设标

准。第三,在科技支撑方面,围绕建筑业绿色低碳转型的现实需求,进一步完善智能建造领域的科技创新体系,不断提高大数据、人工智能、物联网等原创性智能建造技术研发能力和科技成果转化能力,依托现代信息技术,集中优势资源在建筑业智能建造的关键技术和重大装备上取得突破,积极展开国际科技合作与交流,为中国建筑业绿色低碳转型提供科技支撑。第四,在财政供给方面,加强财政性政策的调节作用,不断完善税收政策,对行业内低碳、零碳、负碳等关键核心技术和“卡脖子”环节等研发项目进行财政补贴和政策优惠,通过财政引导和政策优惠,在全国范围内建成一批建筑行业智能建造示范工程。

4.2 健全配套政策体系,强化多元主体协同

各地方政府和部门以智能建造为目标导向,积极落实国家“双碳”目标战略,结合区域特点和社会经济发展,不断完善“1+N”的政策体系,加强在试点示范、平台建设、政策扶持和人才培养等方面的政策支持力度,为实现智能建造背景下建筑业绿色低碳转型提供良好的政策环境。第一,实施智能建造试点示范创建项目,培育一批产业基地,形成可复制、可实施和可推广的智能建造技术体系、应用体系、管理体系和评价体系,为推动智能建造背景下的中国建筑业绿色低碳转型提供经验借鉴。第二,积极搭建智能建造技术平台,积极组织开展智能建造核心技术研究、基础数据平台搭建和先进设备研制,鼓励建筑企业、互联网企业、科研院所等协同合作,打造建筑产业互联网平台等关键基础设施,加强信息共享和供需协调,提升建筑产业链整体效能。第三,设立绿色建筑和智能建造专项资金,对实行绿色建筑和智能建造标准生产模式的企业提供降息、免息、融资贴息支持,通过积极的财政补贴推动地区高校、科研机构、龙头企业等多方主体协同参与智能建造技术创新研究。第四,加大复合型人才培养力度,制定专项人才培养方案,积极引导本地高校开展智能建造相关学科建设,积极引导建筑领域从业人员组织开展多元化的智能建造技术实践活动。

4.3 加快企业创新发展,促进技术转型升级

建筑企业应充分把握智能建造和国家“双碳”目标给建筑业带来的战略机遇,积极整合企业内外部资源,推动实现建筑业智能建造发展和绿色低碳转型。第一,积极推进技术协同攻关。鼓励并支持龙头企业推进自主可控智能信息软件研发,积极引导企业加强与地方政府、高校和科研机构在智能建造技术方面的协同攻关与合作,有效整合各方资源优势,突破技术瓶颈,实现对工程项目建造的全过程、全参与方和全要素进行系统化管控。第二,积极推进数字化平台建设。企业应打破知识壁垒,以实现数字化管理为目标,积极推进集设计、施工、运输、管理、信息技术等多专业、多行业、多领域的现代化信息技术平台建设,实现对工程项目的工程立项、设计、施工和运维进行全过程、全系统数字化管理。第三,发挥龙头企业在建筑领域的示范引领作用,以点带面积极带动广大中小企业向智能建造转型升级,形成开放型建筑业产业结构。第四,加强企业内部人才培养,以企业内部培训为抓手持续提升企业员工信息化技术应用水平,并有重点地培养和引进大数据工程师和智能建造师等具有多元学科能力的工程科技人员。

4.4 健全现代市场体系,构建良性产业生态

健全智能建造市场体系,不断完善市场竞争机制,发挥市场机制在资源配置中的决定性作用。第一,搭建多元主体市场交流平台,充分调动智能建造市场多元主体的积极性,完善建筑产品设计、建造和运营全生命周期市场要素体系,积极引导建筑行业产业链多元主体协同推进智能建造与发展。第二,建立以政府扶持为引导、企业投入为主体、多元社会资金参与的创新投入机制,提升市场资源配置效率,推动孵化新技术、新产品。第三,完善绿色金融市场体系,支持符合上市条件的企业上市融资,通过建立多主体、多阶段、多途径的金融政策,打通融资渠道,鼓励企业发行绿色债券,通过绿色信贷、购买绿色保险等方式为企业加快智能建造提供便利的融资环境。第四,建立碳排放信息披露机制,引导企业进行碳排放信息披露,不断加强绿色

建筑认证体系建设。第五,完善智能建造市场监督机制,建立智能建造技术评估机制,对智能建造关键技术与应用水平进行客观评估。同时,建立规范有序的市场环境,构建公平竞争的商业市场体系,建立各部门联动、市场主体广泛参与的建筑业低碳转型市场监管机制。

5 结论

在制造强国建设背景下,通过现代信息技术与建筑业建造技术的深度融合,大力发展并形成涵盖建筑业全产业链的智能建造产业体系,实现建筑业绿色低碳转型,对提升建筑业高质量发展水平和实现中国“双碳”目标都具有重要的战略意义。本文首先基于“双碳”目标对建筑业绿色发展的现实要求,分析了国外主要发达国家建筑业低碳发展经验和中国建筑业低碳发展趋势;其次结合智能建造为建筑业绿色低碳转型带来的重要机遇,从建筑设计、建材生产、建筑施工、智慧运营等4个维度提出了智能建造背景下建筑业绿色低碳转型的路径;最后从加强顶层制度设、健全配套政策体系、加快企业创新发展和构建良性产业生态4个层面提出了智能建造背景下建筑业绿色低碳转型的政策建议,为实施制造强国战略和新时期持续推进建筑业高质量发展提供了新思路。

同时需要认识到,智能建造在中国仍处于起步阶段。党的二十大报告强调,要深入实施创新驱动发展战略,并积极稳妥推进碳达峰碳中和,这为建筑业未来的发展指明了前进方向。智能建造不仅是实现建造技术的进步,更重要的是要变革生产方式,实现基于工程全生命周期的信息集成与业务协同。以发展智能建造为契机,加快建筑业绿色低碳转型,促进社会多元主体协同推进仍然是未来工作的重点。智能建造的最终目的是提供以人为本、智能化的绿色可持续的工程产品与服务。智能建造背景下实现建筑业绿色低碳转型,需要进一步把绿色生态思想与智能建造理念紧密结合起来,需要社会各界多方协同共治,不断增强市场多方参与主体对智能建造和建筑业绿色低碳转型的重视度,提升

政府、相关企业、社会机构、民众等多方主体的协同度,通过全社会共同努力,实现推动制造强国建设、智能建造发展和建筑业高质量发展的目标。

参考文献 (References)

- [1] 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[N]. 人民日报, 2021-10-25 (1).
- [2] 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[EB/OL]. [2022-10-25]. http://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm.
- [3] Sulafa B, Niamh M. Green supply chain management in construction: A systematic literature review and future research agenda[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019(6): 1-12.
- [4] 崔鹏, 李德智, 金常忠. 发达国家建筑业低碳发展成熟经验[J]. *建筑*, 2019(23): 56-59.
- [5] 高晓江, 郭红领, 方东平. 基于德国的建筑业职业教育发展建议[J]. *土木工程与管理学报*, 2021(4): 30-33.
- [6] 王贺, 章胤硕, 杨毅, 等. 碳中和视角下的日本减碳策略与效果浅析[J]. *暖通空调*, 2022(11): 35-41.
- [7] Wang B, Han S, Ao Y B, et al. The impact of public opinion pressure on construction company green innovations: The mediating effect of leaders' environmental intention and the moderating effect of environmental regulation[J]. *Frontiers in Psychology*, 2022, 13: 936058.
- [8] 肖绪文, 刘星. 关于绿色建造与碳达峰、碳中和的思考[J]. *施工技术*, 2021, 50(13): 1-5.
- [9] 张凯, 陆玉梅, 陆海曙. 双碳目标背景下我国绿色建筑高质量发展对策研究[J]. *建筑经济*, 2022, 43(3): 14-20.
- [10] Zhang P, Hu J, Zhao K X, et al. Dynamics and decoupling analysis of carbon emissions from construction industry in China[J]. *Buildings*, 2022, 12(3): 1-17.
- [11] Li X Q, Lu Y L. How green credit policy shapes financial performance: Evidence from Chinese listed construction energy-saving enterprise[J]. *Frontiers in Environmental Science*, 2022(9): 1-16.
- [12] Utomo C, Astarini S, Rahmawati F, et al. The influence of green building application on high-rise building life cycle cost and valuation in indonesia[J]. *Buildings*, 2022, 12(12): 1-14.
- [13] 岳清瑞. 钢结构与可持续发展[J]. *建筑*, 2021(13): 20-23.

- [14] 肖绪文. 以绿色建造引领和推动建筑业高质量发展[J]. 建筑, 2021(4): 22-23.
- [15] 陈湘生. “两碳”战略下城市建设的思考[J]. 建筑, 2021(13): 17-19.
- [16] 郭红领, 马羚, 叶啸天, 等. 人机迫近交互下智能施工机械安全运行决策方法[J]. 土木工程学报, 2022, 55(5): 107-115.
- [17] 丁烈云. 面向数字经济的复合型人才培养探讨[J]. 高等教育教育研究, 2022(6): 1-4.
- [18] Zhao X, Jing X L, Luan C J, et al. Reconstruction and practice of digital construction collaborative innovation teaching system under the background of construction industry transformation and upgrading[J]. *Frontiers in Educational Research*, 2022, 5(3): 1-14.
- [19] 钱七虎. 关于绿色发展与智能建造的若干思考[J]. 建筑技术, 2022, 53(7): 951-952.
- [20] 《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》[EB/OL]. (2020-07-03) [2022-11-10]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-07/28/content_5530762.htm.
- [21] 蔡伟光. 中国建筑行业碳排放现状、趋势及达峰路径[EB/OL]. [2022-11-10]. http://www.precast.com.cn/index.php/subject_detail-id-18192.html.
- [22] 刘红伟. 推动住房和城乡建设事业高质量发展——住房和城乡建设部相关负责人谈2022年重点工作[J]. 中国勘察设计, 2022(4): 12-17.
- [23] 姚仰平, 丛易敏行, 罗汀, 等. 山区高填方机场的智能建造与安全运营[J]. 科技导报, 2018, 36(17): 106-110.
- [24] 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.

Path and policy of green and low-carbon transformation of construction industry in the context of intelligent construction

WANG Bo¹, CHEN Jiaren¹, LIAO Fangwei², AO Yibin³

1. School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China
2. School of Management, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China
3. College of Environmental and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract Based on the realistic requirements of "double carbon" goal for the green development of the construction industry, this paper analyzes the low-carbon development experience of construction industry in the major developed countries and the low-carbon development trend of China's construction industry. Combined with the important opportunities brought by intelligent construction for the green and low-carbon transformation, this paper proposes the path of green and low-carbon transformation for the construction industry in the context of intelligent construction from four dimensions: architectural design, building materials production, building construction, and smart operation, and puts forward the policy suggestions in the context of intelligent construction from four aspects: strengthening top-level system design, improving the supporting policy system, accelerating the innovative development of enterprises and building a healthy industrial ecology. The paper may provide reference for implementing the manufacturing power strategy and the continuous promotion of high-quality development of construction industry of China in the new era.

Keywords construction industry; intelligent construction; green and low-carbon transformation ●



(责任编辑 卫夏雯)