

中美装配式建筑在碳中和背景下的发展策略

陆俊

苏州嘉盛宝成建筑科技有限公司, 江苏 苏州 215101

DOI:10.61369/ADA.2025010013

摘要：中美两国作为建筑体量大国与碳排放主要来源，其装配式建筑发展路径与碳减排策略在政策导向、产业结构、技术演进及治理机制等层面呈现显著差异。本文系统梳理中美装配式建筑在碳中和背景下的发展逻辑重塑过程，深入对比双方近年来的发展现状与典型碳减排路径，进而提出具有战略性、前瞻性与可操作性的未来发展策略。分析发现，中国装配式建筑更倚重政策引导与体系推进，而美国则强调市场驱动与模块技术创新。面向未来，需重构建筑全生命周期的碳绩效体系，构建区域绿色建造生态，并强化金融机制、设计范式与智能系统的多维协同，以实现建筑业深度脱碳的目标。

关键词：装配式建筑；碳中和；中美对比；碳绩效；绿色建造

Development strategies of prefabricated buildings in China and the United States in the context of carbon neutrality

Lu Jun

Suzhou Jiasheng Baocheng Building Technology Co., LTD. Suzhou, Jiangsu 215101

Abstract：As major countries in terms of building volume and primary sources of carbon emissions, China and the United States exhibit significant differences in their development paths and carbon reduction strategies for prefabricated buildings, particularly in policy direction, industrial structure, technological evolution, and governance mechanisms. This article systematically examines the process of reshaping the development logic of prefabricated buildings under the backdrop of carbon neutrality in both countries. It provides a deep comparison of the current development status and typical carbon reduction pathways of both countries in recent years, and proposes strategic, forward-looking, and actionable future development strategies. The analysis reveals that China's prefabricated building sector relies more on policy guidance and system promotion, while the United States emphasizes market-driven approaches and module technology innovation. Looking ahead, it is essential to reconstruct the carbon performance system throughout the entire lifecycle of buildings, establish a regional green construction ecosystem, and enhance the multidimensional coordination of financial mechanisms, design paradigms, and intelligent systems to achieve the goal of deep decarbonization in the construction industry.

Keywords：prefabricated building; carbon neutrality; China and the United States comparison; carbon performance; green construction

引言

随着全球气候变化治理进入深度减排阶段，碳中和目标已由倡议走向强制履约。建筑行业作为能源消费与碳排放的核心部门，其减排路径直接关系国家“双碳”战略的实现路径与全球减碳进程的推进效率。装配式建筑以其工业化、集成化、标准化的建造逻辑，在资源节约、环境友好和能效提升等方面展现出巨大潜力，正逐渐从边缘技术选项转变为主流低碳建造范式。在此趋势下，中美两国在装配式建筑领域的实践路径与战略部署愈发值得系统性比较与交叉验证。

一、装配式建筑概述

装配式建筑是指把传统建造方式中的大量现场作业工作转移到工厂进行，在工厂加工制作好建筑用构件和配件（如楼板、墙

板、楼梯、阳台等），运输到建筑施工现场，通过可靠的连接方式在现场装配安装而成的建筑。装配式建筑主要包括预制装配式混凝土结构、钢结构、现代木结构建筑等，因为采用标准化设计、工厂化生产、装配化施工、信息化管理、智能化应用，是现

代工业化生产方式的代表^[1]。

装配式建筑具有以下优点：节能环保：装配式建筑通过标准化设计和工厂化生产，能够有效节约资源和减少施工污染。提高效率：这种建筑方式可以提升劳动生产效率和施工质量。广泛应用：在欧美和日本等国家，装配式建筑已经得到了广泛应用，类似于乐高积木的拼装方式。这种建筑方式不仅符合绿色建筑的要求，还能促进建筑业与信息化的深度融合。

二、中美装配式建筑发展现状与碳减排路径对比

（一）中美装配式建筑发展现状

1. 中国：政策驱动与高速发展

在碳达峰、碳中和战略指引下，中国的装配式建筑在近三年呈现高速发展态势。国家层面将装配式建筑视为绿色低碳转型的重要抓手，住房和城乡建设部（住建部）等部门相继出台政策规划，明确要求提高新建建筑中装配式比例。例如，中国设定到2025年新建建筑中装配式建造方式的占比达到30%的目标。各地落实这一目标，在住宅和公共建筑领域推行装配式建筑标准化设计与施工。政策扶持下，全国装配式建筑新开工面积快速攀升，2023年新开工装配式建筑面积约7.5亿平方米，占当年新建建筑面积的28.5%。这一比例较2015年的2.7%有显著跃升，表明了中国近年大力推广装配式建筑成效显著。技术路线上，中国以预制装配的钢筋混凝土和钢结构为主：2023年新开工装配式混凝土结构建筑约占65%，钢结构约占30%（其余为木结构等）。庞大的产能体系逐步形成，全国预制构件设计产能超2亿立方米，数千家构件生产企业支撑着住宅和公共建筑的构件供应。标准体系方面，中国已建立起完备的装配式建筑评价标准和技术规程，对构件生产、设计施工、验收运行等全过程加以规范^[2]。

2. 美国：市场导向与稳步推进

相较于中国，美国装配式建筑的发展更多由市场和技术推动，近年来在碳中和背景下也呈稳步上升趋势^[3]。联邦层面虽无强制性装配式建筑比例目标，但通过能源部、环保署等机构倡导，提高建筑业生产力与减碳效果的新兴技术。美国能源部于近年推动“先进建筑建造”（Advanced Building Construction, ABC）计划，资助工业化建造技术研发与示范，旨在以装配化手段实现高性能、零碳的新建和改造建筑^[4]。例如，2022年能源部拨款3.18亿美元支持7个团队示范快速、低成本且低碳的建筑建造技术，用于社区住房改造。在市场层面，美国装配式建筑主要以模块化建筑（工厂预制模块单元）和预制构件形式应用于住宅、公寓、学校、办公楼等领域。据模块化建筑研究所（MBI）编制的北美商业模块化建筑行业2024年年度报告，2023年北美商业模块化建筑新建项目价值约146亿美元，占新开工建筑的6.64%，较2015年的2.14%大幅提升，显示出装配式在美国正被日益接受。其中，美国模块化建筑广泛应用于多单元住宅（约占20%）、办公及政府建筑（18%）、教育建筑（15%）等公共建筑领域。技术路径上，美国偏好采用木结构和钢结构的装配化：2023年商业模块化项目中木框架结构约占50%，钢框架约42.9%，混凝土预制仅约7.1%。这一材料选择差异体现出美国多用于中低层住宅和临建模块。产业发展方面，美国拥有大量中小型模块化建筑企业，据模块化建筑协会统计，北美约有255家从事商业装配式建造的制

造企业。虽缺乏中国式的集中规划，但行业协会（如美国模块化建筑研究院）和地方政府在推动标准化方面发挥作用。

（二）中美装配式建筑碳减排路径对比

1. 绿色建材应用方面

中国大力推动绿色建材认证与低碳材料的规模化应用，以降低装配式建筑的碳足迹^[5]。近三年，住建部联合相关部门完善绿色建材标准体系，到2024年已发布87项绿色建材标准，51类建材产品建立了碳核算与分级认证规则，大宗建材的环境产品声明逐步普及。截至2022年，全国已有48个城市和地区试点政府采购优先采用绿色建材，用公共项目带动低碳材料市场。在装配式建筑中，中国广泛使用高性能低碳混凝土、再生钢材和新型保温材料，并推广装配式内装减少装修浪费^[6]。这些举措有力减少了建筑材料生产和施工过程中的隐含碳排放。相比之下，美国主要通过市场和法规引导绿色材料使用。联邦政府于2022年启动“清洁采购”（Buy Clean）计划，在基础设施和联邦项目中优先选用低碳水泥、钢铁等材料，部分州（如加州、华盛顿州）也立法要求提交建筑材料碳强度报告并设定上限^[7]。同时，USGBC在LEED认证中引入低碳材料优选和全生命周期碳绩效评分，鼓励开发商采用经环境认证的建材。美国装配式建筑企业尤其注重采用可再生木材（如CLT板材）等低碳材料构件，这不仅降低了embodied carbon（隐含碳），也符合当地建筑规范对可持续性的要求。

2. BIM+LCA 协同机制方面

中国和美国均认识到将建筑信息模型（BIM）与生命周期评估（LCA）相结合，是优化装配式建筑设计、降低碳排放的有效手段。中国近年在大型公共建筑和住宅项目中试行“BIM正向设计+碳排放核算”模式，通过在BIM模型中集成各构件的碳排放因子，实现设计阶段的碳足迹模拟和优化。住建部出台的绿色建筑评价标准和建筑碳排放计算规范中，开始纳入全生命周期碳评估要求，并鼓励依托BIM进行数据采集与计算^[8]。部分领先企业建立了基于BIM的建材碳数据库，实现设计方案变更时即时更新碳排放量。据报道，中国典型公共建筑的单位面积全生命周期碳排放量约为美国的两倍（与电力结构和建造方式差异有关），因此中国正加速探索通过BIM+LCA协同来缩小差距。而在美国，BIM和LCA的结合应用已由行业自发实践并逐步制度化。众多设计公司使用插件工具（如Tally、One Click LCA）直接从BIM模型提取工程数量，用于快速生成LCA报告，比较不同材料和构造方案的碳排放。LEED v4.1就已设立全生命周期碳分析的试点学分，而LEED v5（2025年发布）更将LCA纳入强制评估，并把近一半的认证权重与碳减排挂钩。由此，2022年以来美国许多大型项目在设计阶段即开展结构和围护系统的碳优化分析，以选择低碳方案。相较中国的自上而下要求，美国是在市场需求和认证导向下自下而上地实施BIM+LCA协同机制，但目标一致：提高数据透明度和决策科学性，在设计源头减少不必要的碳排放。

3. 智能建造系统方面

智能建造的导入为装配式建筑提质增效、减碳降耗提供了新路径。中国将“智能建造与建筑工业化协同发展”作为战略方向，推广建筑机器人、物联网监测、大数据分析等技术在预制构件生产和施工现场的应用。近年来出现了全自动钢筋加工流水线、智能混凝土预制工厂、现场装配机器人等，使构件生产精度

和施工效率大幅提高，施工现场人员和机械的碳排放相应降低。政府支持建设了一批“智慧工地”，利用传感器网络实时监控能耗和排放，实现精细化管理^[9]。装配式建筑与智能装配装备的结合，在桥梁、高层建筑等项目上取得显著成效。例如，中国首个全装配式建造的高桩码头项目通过智能化装配，码头装配率达到72%以上，较传统结构预制构件数量减少80%以上，缩短建设工期40%以上，节约钢筋混凝土用量30%以上，水上周转材料使用量减少90%以上”。这证明智能建造与装配式技术结合能够大幅提升资源利用效率。反观美国，智能建造更多由科技公司和先行企业推动。在装配式住宅工厂中，美国企业开始采用机器人焊接、自动化木构件切割等技术，提高生产精度和减少材料浪费。建筑工地上则应用无人机和3D扫描进行施工进度和质量监控，减少因误差造成的返工材料浪费。美国能源部的ABC项目亦关注这一领域，如支持研制自主喷涂绝缘机器人大幅降低人工能耗。

三、中美装配式建筑在碳中和背景下的未来发展策略

在建筑业加速脱碳转型的全球背景下，中美两国装配式建筑体系的发展已步入战略重构期，其未来发展路径将不再局限于构件预制与工厂化施工等传统范畴，而是围绕碳中和目标进行系统性再定义。

中国装配式建筑未来发展策略应聚焦三大核心维度：全生命周期碳绩效引导、区域低碳建造生态重塑、以及系统集成能力再构建。在碳绩效引导机制方面，必须强化装配式建筑碳指标的硬约束地位。未来应制定装配式建筑专属碳排放基准值体系，并在项目立项、设计审查、竣工验收等阶段嵌入碳审计程序，建立从设计源头到运维终点的碳路径评价模型，推动BIM与碳评估工具的深度集成。此外，应建立装配式建筑项目的碳信用量化机制，构建建筑碳账户制度，以数据化手段提升碳管理的可视化与决策透明性。在区域层面，建议着眼于低碳建造生态系统构建，推动以装配式建筑为核心节点的绿色产业集群协同。具体可考虑在具备工业基础的城市设立碳中和建造产业特区，鼓励构件生产、绿色材料、数字平台与碳资产运营企业聚合发展，打通建材、设计、施工、运维全过程碳闭环链条^[10]。系统集成能力方面，需打

破当前装配式项目中部件优先与系统滞后的结构性失衡，构建以装配式主体、机电、内装、运维一体化的集成建造体系，提升协同效率与减碳效能的边际回报率。

美国在装配式建筑未来发展中，应强化以低碳设计驱动的模块创新机制、跨产业协同模型以及绿色投资金融体系的制度支撑。在设计导向层面，建议拓展“构造—性能—碳足迹”三元耦合设计范式，以模块单元为基础引入可复用、可拆卸、可扩展的构造机制，提升装配式建筑在使用周期中的灵活性与碳减排适应性。在此基础上，强化高集成度建造系统包的研发与迭代，形成低碳结构+机电集成+隔热一体化的工业产品线，取代传统现场装配逻辑。在协同模型层面，应深化与能源、交通、市政等部门的数据共享与系统对接，以构建多规融合的区域碳排放动态响应系统，提升装配式建筑在城市低碳系统中的嵌入性与响应能力。与此同时，应推动地方政府制定针对装配式建筑的净零性能地图，把能源消费、材料碳强度与结构系统集成度指标分区设限，引导开发商采纳低碳技术组合。在投融资体系方面，联邦及州政府需建立装配式建筑绿色金融试点，设立碳中和建筑专项债券，鼓励银行等金融机构嵌入建筑碳绩效评估机制，推动绿色评级与融资成本挂钩，提升资本对低碳建筑价值的识别与响应能力。

四、结语

在碳中和战略约束下，中美两国装配式建筑正面临由量的扩张向质的跃迁转型，如何实现高质量、低碳化、系统性发展，成为未来战略部署的关键议题。分析表明，中国应继续深化以碳绩效为核心的政策架构构建，通过完善全过程碳定额机制、推进区域建造生态协同及优化集成建造系统，提升装配式建筑在碳管理体系中的制度嵌入度与执行效能。而美国则应基于其模块化建造优势，强化低碳设计范式与技术集成路径，推动绿色投融资机制常态化，构建高效灵活的市场响应体系。在两种发展模式之外，构建中美双边绿色建造合作机制亦具有现实意义，通过碳数据互通、标准协同、金融工具共享等方式实现治理经验与低碳技术的互补共赢。

参考文献

[1] 刘亮俊,李鹏飞,秦志浩.碳中和背景下绿色装配式建筑发展前景展望[J].绿色环保建材,2021,(06):132-133.
[2] 赵茜茜.碳中和背景下装配式住宅建筑设计技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(13):85-87.
[3] 陈广城,顾连胜.“双碳”目标下装配式建筑碳减排路径研究[J].中华民居,2024,17(09):48-50.
[4] 张思凡,杨晖,汤小芳,等.装配式建筑碳排放量核算与减排策略研究综述[J].煤气与热力,2024,44(03):11-16.
[5] 孙利军.推广装配式建筑助力碳达峰碳中和[J].浙江经济,2023,(08):76-77.
[6] 刘永国,韩立红.装配式建筑碳排放影响因素及减排路径研究:基于改进的DEMATEL-ISM方法[J].工程管理学报,2024,38(04):26-31.
[7] 韩宇恒,于哲,陈滕.基于碳排放系数法对不同装配率的装配式建筑碳排放测算与分析[J].建筑结构,2023,53(S1):1337-1342.
[8] 贾潇,刘刚,占升.“双碳”背景下装配式建筑的技术发展[J].智能建筑与智慧城市,2023,(01):115-117.
[9] 徐静.双碳背景下建筑企业装配式建筑业务绿色低碳发展路径研究[J].价值工程,2022,41(17):165-168.
[10] 徐辛.明日世界:“双碳”目标下的未来城市与建筑的思考[J].建筑与文化,2023,(03):39-41.