



好房子·人居科技实验室
Better House Living Tech Lab



中建协认证中心
JCC CERTIFICATION CENTRE



协兴咨询
XIEXING CONSULTING

中国建筑业 碳达峰碳中和研究报告 (2025)

北京中建协认证中心有限公司
北京中建协兴国际工程咨询有限公司
中碳实验室(北京)数字科技有限公司

AI生成

2026年3月



目 录

引 言.....	1
第一章 碳达峰、碳中和发展背景	1
一、碳达峰、碳中和目标指引.....	1
二、全球气候环境背景与趋势.....	1
（一）全球变暖趋势仍在持续	2
（二）全球主要温室气体浓度逐年上升	4
（三）极端天气气候事件趋多趋重	5
三、全球气候变化治理框架.....	7
（一）《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）的奠基	8
（二）《京都议定书》的确立	9
（三）《巴黎协定》的新治理范式	10
四、国内外碳达峰、碳中和进展.....	10
（一）国际碳达峰、碳中和进展	11
（二）我国的双碳战略：从顶层设计到企业规划	15
第二章 建筑行业碳排放现状分析	24
一、建筑领域在全球的碳排放情况.....	24
二、建筑领域在我国的碳排放情况.....	27
第三章 建筑业企业及项目低碳发展实践	29
一、国外建筑业企业低碳实践案例.....	29
（一）西班牙/德国霍赫蒂芙（GRUPO ACS/HOCHTIEF）	29
（二）法国万喜集团（VINCI）	31
（三）法国布依格（BOUYGUES）	35
（四）奥地利斯特拉巴格公司（STRABAG SE）	36
（五）西班牙阿驰奥纳公司（ACCIONA）	38
（六）瑞典斯堪斯卡公司（SKANSKA）	39
二、国内建筑业企业低碳实践案例.....	39
（一）中交集团	39

（二）中建集团	43
（三）中国铁建	45
（四）中国建筑第八工程局	49
（五）上海建工集团	51
三、国内外建筑项目低碳实践案例	52
（一）国外建筑项目低碳实践案例	52
（二）国内建筑项目低碳实践案例	56
四、国内建筑业企业低碳管理需求调研分析	61
（一）调研概述	61
（二）调研结果及分析	62
（三）调研结论及建议	73
五、国内外典型建筑业企业碳排放披露技术路径对比分析	75
（一）碳排放信息披露情况	76
（二）碳减排技术路径及措施情况	88
（三）对比分析及建议	92
第四章 “十五五”时期住房城乡建设新模式	96
一、城市更新新模式	96
（一）政策背景	96
（二）发展现状	97
（三）城市更新实践案例	98
二、发展绿色建造	99
（一）政策背景	99
（二）发展现状	99
（三）绿色建造实践案例	100
三、推进“好房子”建设	101
（一）“好房子”内涵	101
（二）发展现状	101
（三）国内外“好房子”案例	102
四、新型建材的研发和应用	105

（一）研发和应用新型建材的意义	105
（二）新型建材发展新趋势	106
第五章 建筑行业碳达峰碳中和实施路径	109
一、建筑全生命周期脱碳路径分析	109
（一）建材生产运输阶段脱碳	109
（二）建筑施工阶段脱碳	113
（三）建筑运行阶段脱碳	114
（四）建筑拆除及回收阶段脱碳	119
（五）建筑碳汇	122
二、建筑业绿色低碳领域的人工智能（AI）变革	125
（一）人工智能变革的意义	125
（二）技术革新	125
（三）贯穿建筑生命周期的“智变”	127
（四）多层级场景下的融合应用	129
（五）标杆项目与多层次实践	130
（六）迈向融合共生的产业新生态	131
三、建筑碳足迹新进展	132
（一）建筑碳足迹评价的作用	132
（二）国内外碳排放因子库建设情况	134
四、零碳园区、零碳建筑发展	144
（一）零碳建筑的发展趋势	144
（二）零碳园区的发展趋势	147
五、碳捕获、利用与封存（CCUS）技术应用	149
（一）CCUS 技术概述	149
（二）CCUS 技术在建筑行业的主要应用方式	149
（四）CCUS 技术在建筑行业的应用案例	152
第六章 市场化减碳机制	155
一、碳排放权交易机制	155
（一）概述	155

(二) 碳排放权交易原理	156
(三) 建筑领域的碳排放权交易	158
二、绿色金融赋能建筑业绿色低碳转型	166
(一) 基本概念	166
(二) 绿色金融工具	167
(三) 绿色金融赋能建筑行业发展现状	172
(四) 我国绿色金融标准体系进展	178
(五) 绿色金融赋能建筑行业绿色低碳转型的问题发现	179
(六) 绿色金融赋能建筑行业绿色低碳转型的破局之钥	180
(七) 《绿色金融支持绿色低碳建筑评价标准》介绍	181
(八) 绿色金融典型案例分析	185
第七章 建议与未来展望	188
一、建筑业企业的转型与行动建议	188
(一) 概述	188
(二) 建筑业企业实现绿色低碳转型的重要任务	188
二、建筑业全产业链协同的合作路径与前景展望	191
(一) 概述	191
(二) 推动行业合作落实双碳目标的建议	192
三、国际合作与技术共享	194
参考文献	196

引言

全球变暖趋势的不断加剧，主要温室气体浓度的逐年递增，极端天气气候事件的频繁发生，以及全球海洋变暖的显著加速，都对人类的生存环境、经济发展和社会稳定构成了前所未有的挑战。为应对这一挑战，国际社会逐渐形成了以全球气候变化治理为核心的合作框架，纷纷制定并实施碳达峰、碳中和目标，以应对气候变化的挑战并推动经济社会的绿色转型。我国作为负责任的大国，于 2020 年 9 月承诺在 2030 年前力争实现碳达峰，2060 年前努力实现碳中和，不仅体现了我国对全球气候治理的承诺，也是推动我国经济社会发展低碳转型的重要契机。

2025 年 3 月 5 日，十四届全国人大三次会议上发布的《政府工作报告》中提到需要关注的三大关键词：专项债券、城市更新、绿色低碳。2025 年 12 月召开的全国住房城乡建设工作会议提出了 2026 年的总体思路，认真践行人民城市理念，大力实施城市更新，加快建筑业提质升级，系统推进好房子、好小区、好社区、好城区“四好”建设，建设现代化人民城市。

建筑业作为全球经济的重要支柱产业之一，同时也是能源消耗和碳排放的重要领域之一，《中国城乡建设领域碳排放研究报告（2024 年版）》公布的数据显示，2022 年全国建筑与建筑业建造（含基础设施）碳排放总量为 51.3 亿 tCO₂，占全国能源相关碳排放的比重为 48.3%，比 2021 年全国建筑业全过程碳排放总量（50.1 亿 tCO₂）增长 2.40%。因此，实现建筑行业的碳达峰、碳中和，对于推动我国乃至全球的可持续发展具有至关重要的意义。

本研究报告旨在系统梳理全球气候环境背景、气候变化治理实践、主要国家碳排放现状及各国碳达峰碳中和的进展，以明晰建筑行业在这一宏观背景下面临的机遇与挑战。通过对全球及我国建筑领域碳排放现状的分析，进一步揭示了建筑领域碳减排的紧迫性。

同时，报告聚焦在建筑企业和项目，调研和分析建筑企业和低碳项目的低碳实践案例，提炼出可复制、可推广的低碳发展模式和路径。在此基础上，对国内建筑企业低碳管理需求进行了调研，深入了解建筑行业的实际需求和痛点，

为制定针对性的政策措施和发展策略提供依据。与此同时，本报告对比分析了国内外典型建筑业企业的碳排放披露状况及双碳行动异同点，为国内建筑企业提升 ESG 披露质量、推进低碳转型提供参考。本报告也深入探讨了全国住房城乡建设工作会议上提出的“十五五”时期住房城乡建设的新模式，对城市更新、绿色建造、“好房子”、新型建材的四个新模式进行系统性扩充与深化，剖析其在新政策背景下的战略协同与创新实践。

在研究过程中，报告从建筑全生命周期的各个阶段出发，提出了具体的脱碳路径，同时分析 AI 变革、建筑碳足迹、零碳园区/零碳建筑、碳捕获利用与封存技术（CCUS）等在建筑业低碳发展中的作用与机遇。

在市场化减碳机制方面，报告将深入分析碳排放权交易机制的原理、现状和应用探索，并结合绿色金融支持机制破解“认绿”难题、引导资源配置、管理转型风险，深度赋能建筑行业全生命周期、全产业链的绿色低碳转型。

基于以上研究，为建筑行业和企业低碳转型与行动提出了针对性建议，并展望了国际合作与技术共享的未来方向。希望本报告能为建筑业从业者、政策制定者、咨询认证机构以及关注行业发展的各界人士提供有益的参考，共同推动建筑业向低碳、可持续方向迈进，为全球应对气候变化贡献力量！

第一章 碳达峰、碳中和发展背景

一、碳达峰、碳中和目标指引

气候变化已是全球性挑战，对生态系统、经济发展和社会稳定构成严重威胁。在全球气候变化的大背景下，全球碳中和目标已成为全球各国共同关注的重大议题。根据清华大学碳中和研究院发布的《2025 全球碳中和年度进展报告》，目前全球已有 165 个国家提出了碳中和目标，拥有强制、激励和配套型完整政策体系的国家增至 103 个，86 个国家提出了详细的碳中和路线图^[1]。2025 年 11 月 10 日~22 日在巴西贝伦举行的《联合国气候变化框架公约》第三十次缔约方大会(COP30)，作为《巴黎协定》签署十周年的关键节点，在复杂国际形势下达成了《全球动员（Global Mutirão）：团结协作应对气候变化挑战》的一揽子政治成果文件，推动全球气候治理从“承诺期”向“落实期”迈进。COP30 大会上，确立“到 2035 年将发达国家对发展中国家的适应资金增加两倍”的目标；国家自主贡献(NDC)集体升级，包括中国在内的 122 个缔约方(覆盖全球 74%排放量)提交了 NDC3.0，主要排放国(除印度外)均已提交。

中国作为世界上最大的发展中国家，积极承担国际责任，致力于应对气候变化，推动全球气候治理。2020 年 9 月 22 日，中国国家主席习近平在第 75 届联合国大会一般性辩论上郑重宣示，中国力争于 2030 年前实现碳达峰、努力争取 2060 年前实现碳中和。作为中国的重大战略决策，碳达峰碳中和(简称“双碳”)不仅是中国主动承担应对气候变化责任，对国际社会作出的庄严承诺，也是推动中国高质量发展的内在要求，将为中国经济社会发展全面绿色转型以及全球应对气候变化注入强劲动力。

二、全球气候环境背景与趋势

随着工业化与现代化进程的不断推进，人类活动对地球气候系统的干扰愈发凸显。因温室气体排放量攀升而引发的全球变暖，随之而来的极端天气频发、生态系统恶化与海平面上升等问题日渐凸显，已然成为全球瞩目的焦点议题。气候变化问题不仅对地球自然生态系统的平衡构成严峻威胁，更对人类社会的可持续发展产生了极为深远且严重的负面影响。

2025 年 3 月，世界气象组织（World Meteorological Organization, WMO）发布的《2024 年全球气候状况》（State of the Global Climate 2024）指出，2024 年全球平均近地表温度比工业化前（1850–1900 年）高出 $1.55 \pm 0.13^{\circ}\text{C}$ 。这是有气象记录 175 年以来最热的一年，且首次全年平均超过 1.5°C 。虽然长期升温趋势（30 年滑动平均）仍约为 $1.34\text{--}1.41^{\circ}\text{C}$ ，但单年突破 1.5°C 发出强烈警示^[2]。根据 WMO 与 2025 年 11 月发布的《2025 年全球气候状况 基于 COP30 更新》（State of the Climate Update for COP30）显示，2025 年，由于拉尼娜现象，2025 年 1 至 8 月的全球近地表平均气温低于 2024 年，比工业化前平均水平高出 $1.42^{\circ}\text{C} \pm 0.12^{\circ}\text{C}$ ^[3]。2025 年 5 月，WMO 发布的《全球年度至十年气候最新通报》（WMO Global Annual to Decadal Climate Update (2025-2029)）指出，2025 年至 2029 年，全球平均温度将“居高不下”，有 80% 概率将出现有记录以来“最暖年份”，即这五年中至少有一年的全球平均温度将超过 2024 年刚创下的纪录，2025 年很有可能是有记录以来三个最暖的年份之一^[4]。

2025 年 6 月，由中国气象局牵头，联合国家气候中心、中国科学院、生态环境部等多家权威机构共同编制《中国气候变化蓝皮书（2025）》显示，气候系统变暖趋势持续；自 20 世纪 90 年代以来，全球海洋变暖、海平面上升、冰川消融显著加速。中国是全球气候变化的敏感区和影响显著区，增暖速率高于同期全球平均水平，极端天气气候事件趋多、趋强。2024 年，中国年平均气温、天山乌鲁木齐河源 1 号冰川消融损失量、中国沿海海平面等监测指标均创下新高。全国平均气温达 10.93°C ，较常年（1991–2020 年平均）偏高 0.86°C ，为 1951 年以来最高值。过去十年（2015–2024 年）是中国有记录以来最暖的十年^[5]。气候变化的表现主要体现在如下四个方面。

（一）全球变暖趋势仍在持续

《中国气候变化蓝皮书（2025）》《蓝皮书》显示，2024 年全球地表平均温度创 1850 年有气象观测记录以来新高（图 1-1），2024 年，全球地表平均温度为 1850 年有气象观测记录以来的最高值，近 10 年（2015–2024 年）是有观测记录以来最暖的十年；亚洲区域年平均气温较常年值（报告使用 1991–2020 年气候基准期）偏高 1.04°C ，与 2020 年并列为 1901 年以来最高（如图 1-2）；中国年平均气温较常年值首次高出 1.0°C ，为 1901 年以来的最暖年份。1961–2024 年，中国年平均气温呈显著上升趋势，平均每 10 年升高 0.31°C （如图 1-3）。

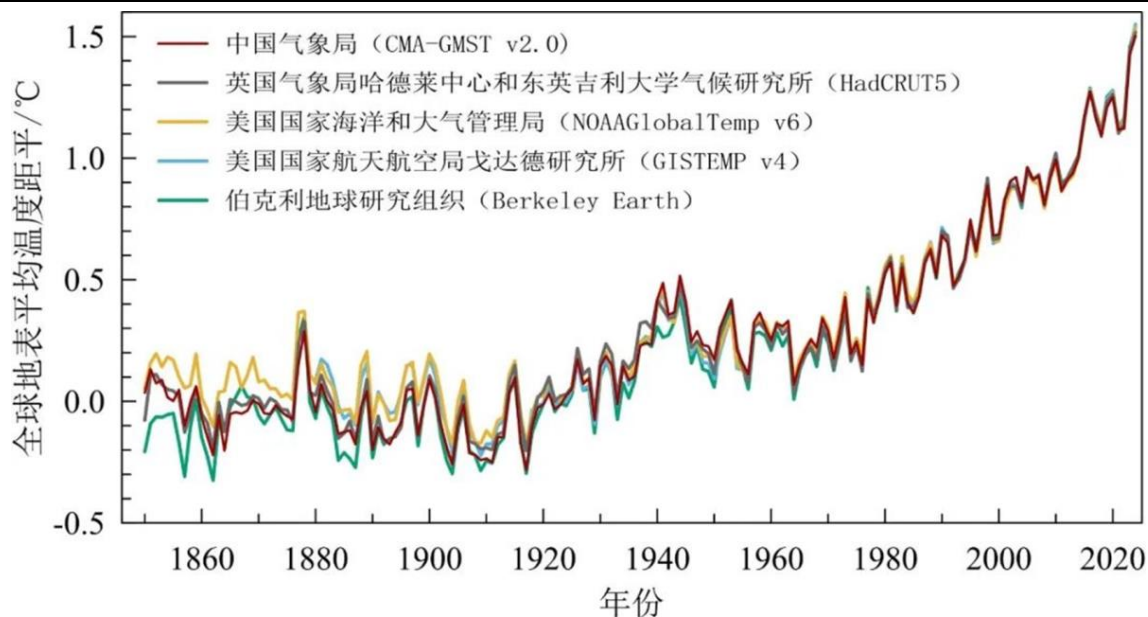


图 1-1 1850~2024 年全球平均温度距平（相对于 1850~1900 年平均值）

（数据来源：《中国气候变化蓝皮书（2025）》）

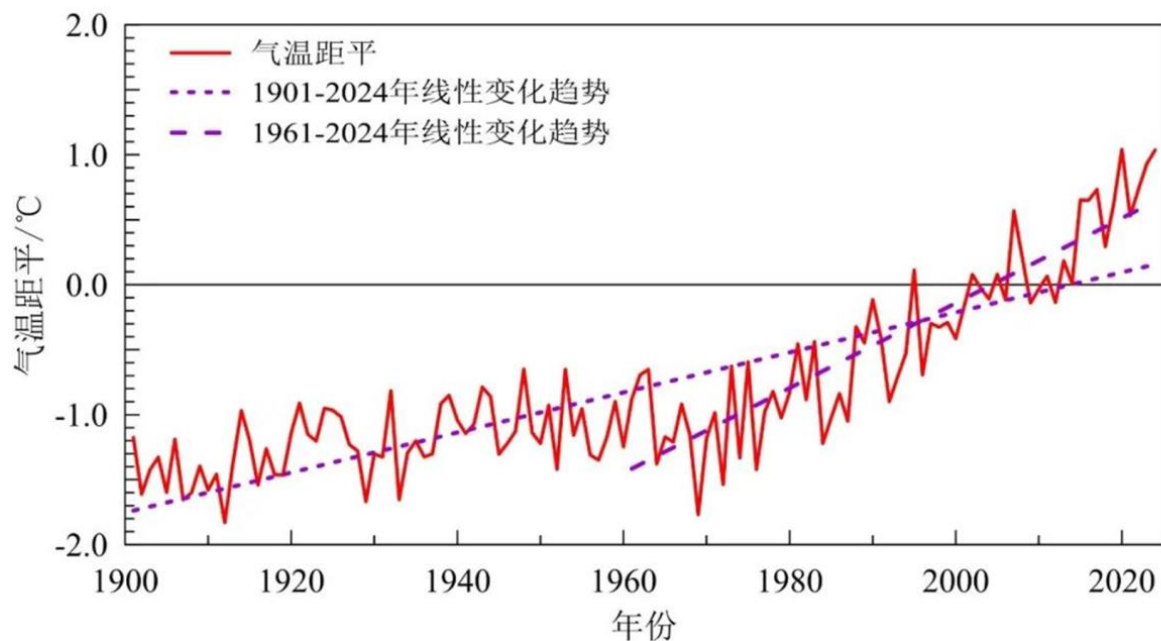


图 1-2 1901~2024 年亚洲陆地表面年平均气温距平（相对于 1991~2020 年平均值）

（数据来源：《中国气候变化蓝皮书（2025）》）

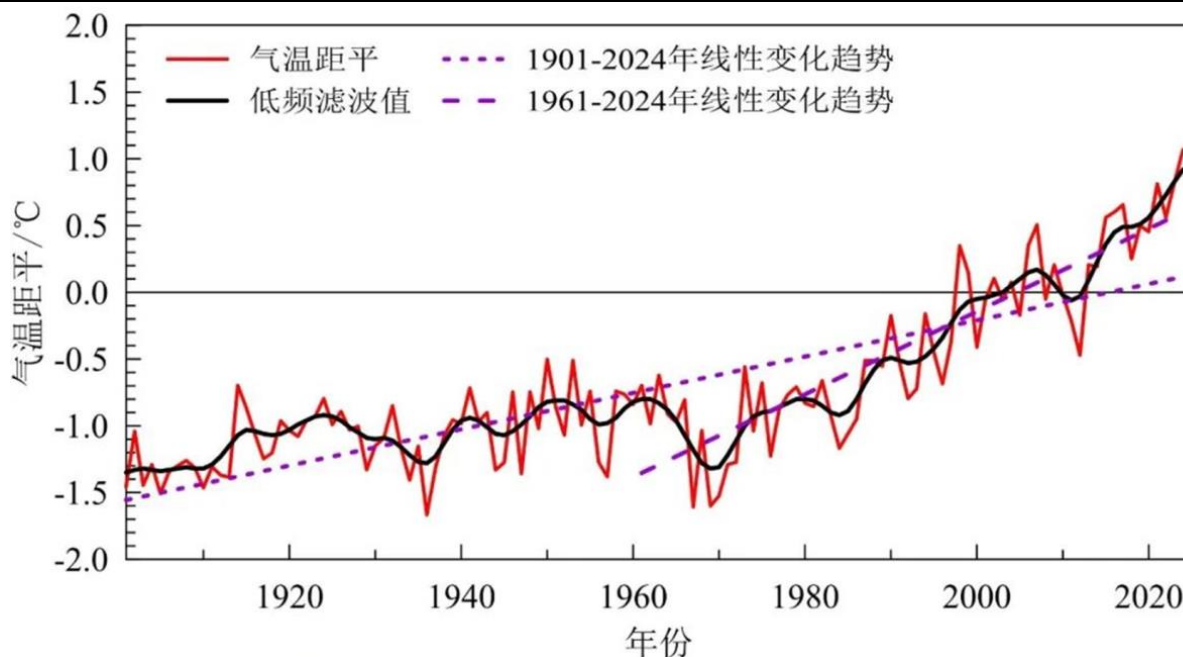


图 1-3 1901~2024 年中国地表年平均气温距平（相对于 1991~2020 年平均值）

（数据来源：《中国气候变化蓝皮书（2025）》）

政府间气候变化专门委员会（IPCC）表示，人类活动是导致全球变暖的主要原因，尤其是二氧化碳等温室气体的排放。

联合国环境规划署（UNEP）于 2025 年 11 月发布的《2025 年排放差距报告：箭头偏离-持续的集体不作为危及全球温控目标》(Emissions Gap Report 2025: Off target - Continued collective inaction puts global temperature goal at risk) 指出，在全面落实各国国家自主贡献 (NDCs) 的前提下，本世纪末的全球气温升幅预计将为 2.3-2.5°C；若仅实施现行政策，升温则可能高达 2.8°C。今年的数字略低于去年报告中预测的 2.6-2.8°C 及 3.1°C^[6]。然而，方法论更新贡献了 0.1°C 的改善，而随着美国退出《巴黎协定》又将抵消另外 0.1°C 的改善。各国在实现《巴黎协定》将升温控制在低于 2°C 之内并努力限制在 1.5°C 之内的目标方面，依然任重道远。

要实现《巴黎协定》2°C 和 1.5°C 的路径，年排放量分别需要比 2019 年水平降低 35% 和 55%。所需减排规模之巨、剩余时间之短，以及政治环境之复杂，意味着气温升幅将超过 1.5°C，且超调极有可能在未来十年内发生。报告显示，必须通过更快速、更大幅的减排限制超调幅度，才能最小化气候风险和损害，并保持升温在 2100 年前回归 1.5°C 的可能性。

（二）全球主要温室气体浓度逐年上升

根据联合国通过的《京都议定书》及其多哈修正案，温室气体主要包括二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、六氟化硫（SF₆）、氢氟碳化物（HFCs）、全氟碳化物（PFCs）、三氟化氮 NF₃）等 7 种气体，这些气体使大气的保温作用增强，从而使全球温度升高。其原理是，太阳发出的短波辐射透过大气层到达地面，而地面增暖后反射出的长波辐射却被这些温室气体吸收。大气中的温室气体不断增多，就好像给地球裹上了一层厚厚的被子，使地表温度逐渐升高。

2025 年 3 月，WMO 发布的《2024 年全球气候状况》指出，2023 年全球大气 CO₂ 浓度达 420.0±0.1 ppm（相当于大气中 3276Gt CO₂），较 2022 年高出 2.3 ppm，为有记录以来的最高水平，是工业化前（1750 年的 280 ppm）的 151%；甲烷（CH₄）和氧化亚氮（N₂O）浓度同样处于历史峰值，分别达到 1934±2ppb、336.9±0.1ppb，分别是工业化前水平的 265%、125%；2024 年实时监测数据显示，三大温室气体浓度仍在持续攀升^[2]。

（三）极端天气气候事件增多趋重

1961~2024 年，中国极端高温和极端强降水事件呈增多趋势（如图 1-4、图 1-5）；20 世纪 90 年代后期以来登陆中国台风的平均强度波动增强（如图 1-6）。20 世纪 90 年代中期以来，中国气候风险指数明显偏高（如图 1-7）；2024 年，中国气候风险指数为 1961 年以来最高，其中雨涝风险和高温风险尤为突出。

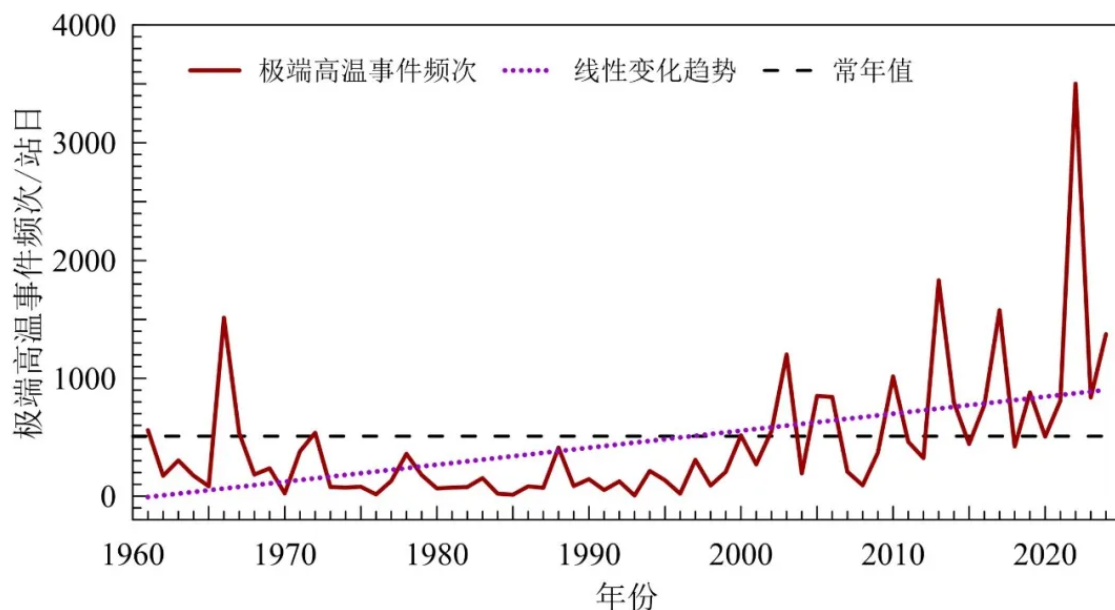


图 1-4 1961~2024 年中国极端高温事件频次

（数据来源：《中国气候变化蓝皮书（2025）》）

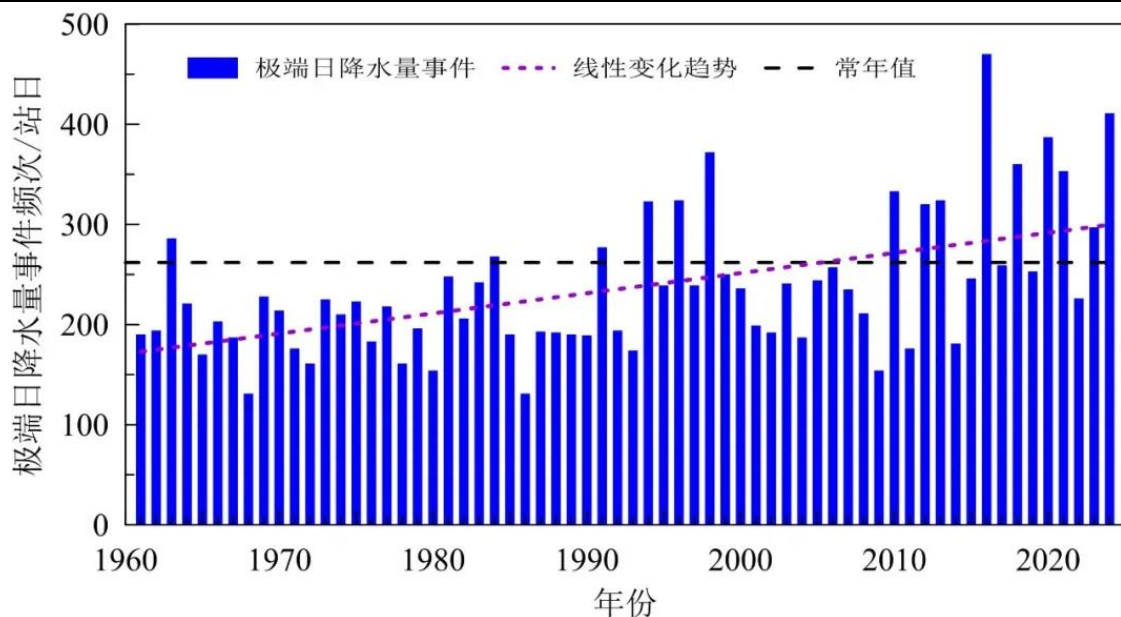


图 1-5 1961~2024 年中国极端日降水量事件频次变化

（数据来源：《中国气候变化蓝皮书（2025）》）

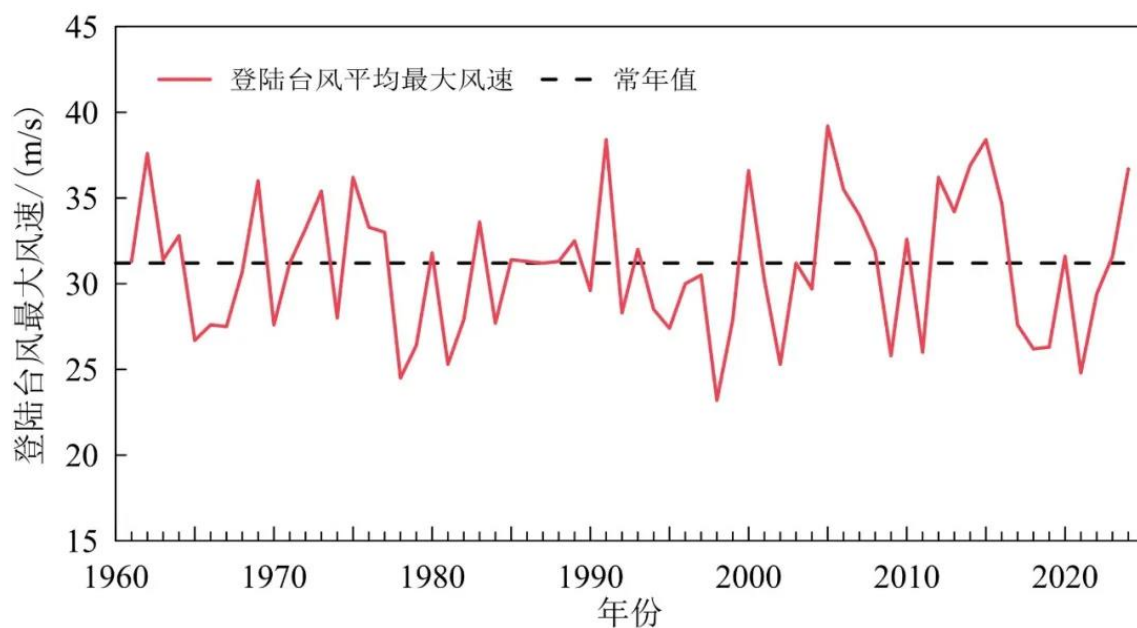


图 1-6 1961~2024 年登陆中国台风平均最大风速变化

（数据来源：《中国气候变化蓝皮书（2025）》）

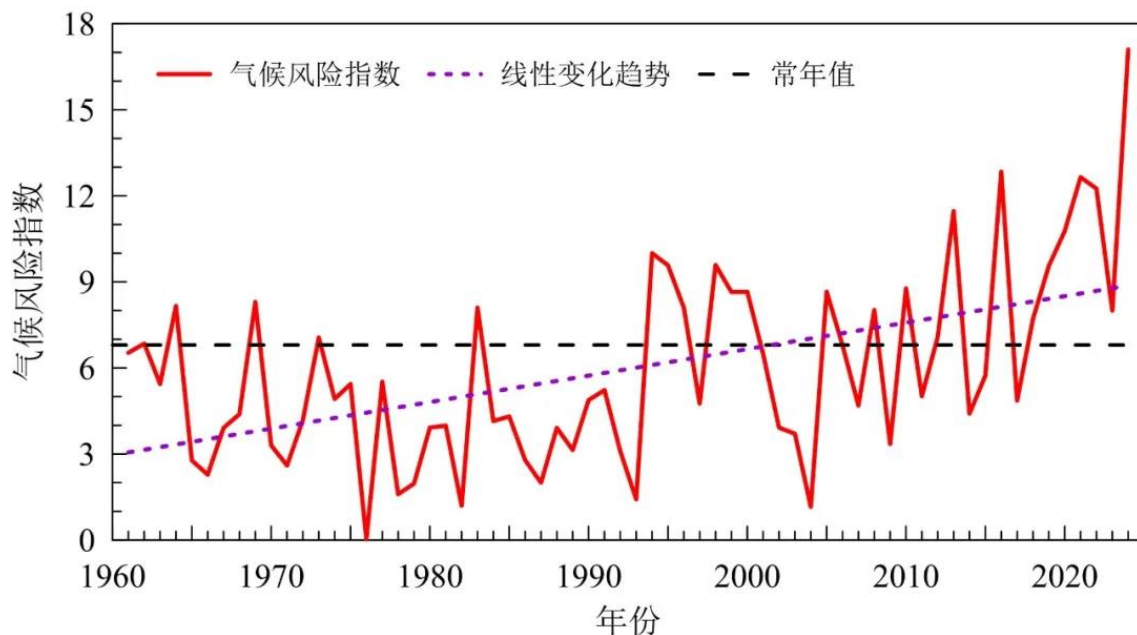


图 1-7 1961~2024 年中国气候风险指数变化

(数据来源:《中国气候变化蓝皮书(2025)》)

《IPCC 第六次气候变化评估报告 (IPCC AR6 报告)》指出,未来地表每 0.5℃的增暖都会显著改变全球大部分地区极端天气与气候事件的频率和强度,包括极端温度、极端降水、台风、干旱等。平均而言,极端降水强度随全球变暖的增幅约为 7%/℃,但会根据增暖以及环流变化会产生一定的区域差异。这将使得极端天气气候事件对全球气候变化的影响更加显著,形成一个恶性循环,不断加剧全球气候系统的不稳定性和极端性^[7]。

三、全球气候变化治理框架

全球气候变化治理是指以《联合国气候变化框架公约》及该框架下的《京都议定书》和《巴黎协定》等为核心制度安排,以国家行为体为主导,为应对由人类活动造成的气候变化及其不利影响而展开的能动过程^[8]。就全球气候变化治理制度体系而言,自 20 世纪 90 年代初以来已有逾 30 年的发展历程,并形成了完善的以《联合国气候变化框架公约》、《京都议定书》、《巴黎协定》为核心的制度框架(图 1-8),为全球应对气候变化的集体行动设定了价值、原则、目标、机制和模式。

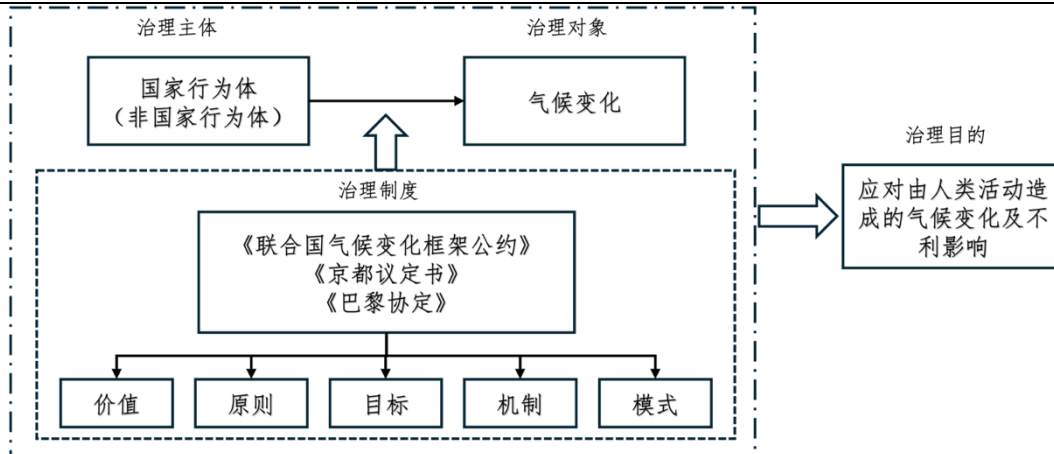


图 1-8 全球气候变化治理框架

（一）《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）的奠基

20 世纪 70 年代以来，全球气候变暖的科学证据不断涌现，1979 年瑞士日内瓦第一次世界气候大会上，科学家明确警告大气中二氧化碳浓度增加将导致地球升温，气候变化首次作为国际社会关注的议题提上议事日程。在此背景下，国际社会开始推动系统性的气候治理机制构建。1992 年 6 月，在巴西里约热内卢举行的联合国环境与发展大会（United Nations Conference on Environment and Development, UNCED）上共同签署通过了《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）。UNFCCC 是世界上第一个为全面控制二氧化碳等温室气体排放，应对全球气候变暖给人类经济和社会带来不利影响的国际公约，作为制度性起点，对其后一系列协议或协定形成了约束，影响并决定了全球气候变化治理发展的方向；同时，也是国际社会在应对全球气候变化问题上进行国际合作的一个基本框架，奠定了应对气候变化国际合作的法律基础。UNFCCC 明确提出将大气中的温室气体浓度稳定在一个水平，防止气候系统受到危险的人为干扰。这一水平应当在足以使生态系统能够自然地适应气候变化、确保粮食生产免受威胁并使经济发展能够可持续地进行的时间范围内实现。同时，确立了“共同但有区别的责任”原则、公平原则、各自能力原则和可持续发展原则等五项原则，与“区别责任”相比，UNFCCC 更强调“共同责任”。

UNFCCC 于 1994 年 3 月 21 日生效，截止 2025 年 11 月，共有 198 个缔约方，实现了全球绝大多数国家和地区的参与，为全球气候变化治理奠定了广泛的国际合作基础。为推动公约落地实施，自 1995 年起，公约缔约方每年召开缔约方会议（COP），评估全球应对气候变化的进展，协调各方行动，成为全球气候变化治理的核心议事机制。

当地时间 2025 年 11 月 10 日~22 日，在巴西贝伦举行的《联合国气候变化框架公约》第三十次缔约方大会(COP30)，作为《巴黎协定》签署十周年的关键节点，在复杂国际形势下达成了《全球动员（Global Mutirão）：团结协作应对气候变化挑战》的政治文件，推动全球气候治理从“承诺期”向“落实期”迈进。

COP30 在气候融资、行动机制和贸易议题上取得突破，但资金落实与化石燃料退出路径仍是核心矛盾。资金方面，发达国家承诺到 2035 年将适应资金提至每年 1200 亿美元，并明确 1.3 万亿美元/年的总体目标，但框架性共识仍难弥合实际缺口。机制创新上，设立“贝伦 1.5°C 使命”与全球实施加速器，推动各国从规划转向行动。122 个缔约方提交了 NDC 3.0，中国承诺 2035 年温室气体净排放量较峰值下降 7%-10%。贸易议题首次纳入成果文件，强调反对单边贸易壁垒，并引入世贸组织等多边机制协调，但对 CBAM 等具体措施的约束力仍待观察。巴西牵头成立合规碳市场联盟，推动碳市场互操作性与标准统一。建筑业被纳入系统性行动核心，发达国家承诺加大适应资金支持气候韧性基建。最大争议集中在化石燃料退出路径。80 余国主张写入“逐步淘汰”路线图，而以沙特、俄罗斯、印度为首的同等数量国家坚决反对，最终未达成统一时间表。

（二）《京都议定书》的确立

UNFCCC 作为基础性框架，仅对缔约方应对气候变化的责任和行动作出了原则性规定，缺乏具体的减排目标和强制性约束机制。为强化公约的实施效果，1995 年起缔约方启动了强化全球气候应对的谈判。1997 年 12 月，于日本京都举行的《联合国气候变化框架公约》第三次缔约方会议（COP3）上，共有 149 个缔约方通过了旨在限制发达国家温室气体排放量以抑制全球变暖的全球第一份具有法律约束的气候协议——《京都议定书》（简称《议定书》），《议定书》设定了第一承诺期（2008-2012 年）的减排目标，要求从 2008 年至 2012 年间，全球主要工业国家的二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、氢氟碳化物（HFCs）、全氟化碳（PFCs）和六氟化硫（SF₆）等六种主要温室气体排放量在 1990 年的基础上平均减少 5.2%；2012 年多哈气候变化大会通过《〈京都议定书〉多哈修正案》，确立了 2013-2020 年的第二承诺期，要求缔约方将温室气体排放量比 1990 年水平至少减少 18%。

《议定书》建立了旨在减排温室气体的三种“灵活机制”——国际排放交易、联合实施（JI）和清洁发展机制（CDM），还建立了严格的监测、报告和核证系统以及履约

系统，确保减排行动的透明度和问责性，并设立适应基金资助发展中国家的气候适应项目。

由于批准过程复杂，《京都议定书》于 2005 年 2 月 16 日才正式生效，截至目前共有 192 个缔约方。值得注意的是，美国虽于 1998 年签署该议定书，但始终未完成国内批准程序，最终退出，一定程度上影响了议定书的全球实施效果。尽管如此，《京都议定书》作为全球气候治理从“原则共识”迈向“强制行动”的关键一步，为后续治理机制的完善积累了宝贵经验。

（三）《巴黎协定》的新治理范式

自 1992 年《联合国气候变化框架公约》和 1997 年《京都议定书》签署以来，国际气候治理取得了一定进展，但仍存在诸多局限。例如，虽然“共区”原则在《议定书》当中得到强化，但发达国家一直对过分强调“区别责任”弱化“共同责任”感到不满。不少国家逐渐退出《议定书》，且美国并未批准该《议定书》，全球气候治理面临集体行动困境，使得其影响力大打折扣，《议定书》的第二承诺期难以兑现。

随着《京都议定书》第二承诺期即将于 2020 年结束，以及全球气候变化形势的日益严峻，国际社会亟需构建一个覆盖全球所有国家、具有前瞻性的长期气候治理框架。2015 年 12 月，《巴黎协定》在法国巴黎举行的第二十一次缔约方大会（COP21）上表决通过，2016 年 11 月《巴黎协定》正式生效实施，截止 2025 年 11 月，共包括中国在内的 195 个缔约方（加上欧盟）共同签署。《巴黎协定》首次在法律意义上明确了气候治理的“硬指标”，提出将全球平均气温升幅控制在工业化前水平以上低于 2°C 以内，并努力将气温升幅限制在工业化前水平以上 1.5°C 以内。

《巴黎协定》在坚持“共区”原则的基础上对其进行了新的补充：强调发展中国家也要在其能力范围内承担起责任。这也就意味着发展中国家在未来将会面临更多的减排责任与减排压力；在动态监督方面，《巴黎协定》要求各缔约方定期更新国家自主贡献承诺，并且建立了全球盘点机制，2023 年进行第一次全球总结，之后每五年进行一次。《巴黎协定》也成为人类历史上应对气候变化的第三个里程碑式的国际法律文本，奠定了 2020 年后全球气候治理格局的基础，它的签署标志着全球气候治理进入了一个新阶段。

四、国内外碳达峰、碳中和进展

（一）国际碳达峰、碳中和进展

根据清华大学碳中和研究院、环境学院在众多业界专家的联合支持下发布的《2025 全球碳中和年度进展报告》中显示，当前全球碳中和进程呈现出结构性特征^[1]：

目标深化：绝大多数国家已提出碳中和目标，国家自主贡献（NDC）目标持续更新，展现了全球范围内的政治承诺。

技术创新：以可再生能源为代表的低碳技术部署加速。报告指出，全球可再生能源电力装机有望实现 2030 年三倍目标，成为推动进程的关键力量。

瓶颈突出：“气候资金”与“国际合作”构成主要短板。清洁氢能、碳捕集利用与封存（CCUS）等关键技术部署严重滞后，同时发展中国家面临的资金缺口持续扩大。

1、欧盟——制度引领的碳中和标杆

（1）核心目标

作为全球气候政策的引领者和先行者，欧盟已通过立法确立了到 2050 年实现气候中和的目标，并设定了 2030 年温室气体净排放量较 1990 年至少减少 55% 的中间目标（即“Fit for 55”一揽子计划）。《欧洲气候法》的确立，使得碳中和目标具备了法律约束力，建立中期减排目标体系，以法规与市场驱动工业与系统性转型。

（2）核心行动

近年来，欧盟的气候政策重心从设定目标转向确保产业竞争力与民生公平下的转型落实，主要行动包括：

1) 多层次政策工具体系的构建

改革现有碳市场（EU ETS）：大幅收紧配额总量，年度折减因子提高至 2.2%，并分别在 2024 年和 2026 年进行一次性配额削减。自 2026 年起，逐步取消对航空业以及受碳边境调节机制（CBAM）覆盖行业的免费配额。

新建第二碳市场（ETS2）：计划于 2027-2028 年生效，首次将建筑供暖和道路运输燃料纳入碳定价体系，标志着碳成本直接向终端消费部门传导。为平衡社会影响，将设立“社会气候基金”以支持弱势群体和中小企业。

CBAM（碳边境调节机制）：针对进口高碳产品（钢铁、铝、水泥、化肥、电力五大行业），形成“内部减排+外部公平”双重机制

可持续金融分类方案：引导资金流向绿色低碳领域。

数字产品护照制度：2025 年 3 月，欧盟将“碳足迹披露”与“数字产品护照”纳入 CE 认证框架，要求通过二维码公开产品碳足迹、可回收含量及维修指南。

2) 多领域协同推进低碳转型，聚焦产业脱碳

在能源转型领域，欧盟大力推进可再生能源替代，目标 2030 年可再生能源占能源消费总量的 40%，重点发展风电、光伏和生物质能，加大对储能技术研发和电网升级的投入。

在工业领域，推动钢铁、水泥等高耗能行业绿色转型，推广碳捕集、利用与封存（CCUS）技术，支持循环经济发展。

在交通领域，逐步淘汰燃油汽车，2035 年起禁止销售新的汽油和柴油汽车，加大电动汽车基础设施建设和补贴力度。

在建筑领域，《建筑碳中和法案》要求自 2025 年起所有新建公共建筑必须实现零碳排放，强制使用再生混凝土和光伏一体化建材。如慕尼黑展览中心已实现 100% 可再生能源供电，包括天然气热电联产、光伏及地热能，每年减少碳排放 6400 吨，并设定 2030 年碳中和目标。

在农业领域，推进可持续农业实践，减少化肥使用和畜禽养殖甲烷排放，强化农田和森林碳汇功能。

2、新加坡——城市国家的系统规划与绿色金融创新

(1) 核心政策体系

作为一个资源稀缺的城市岛国，新加坡于 2020 年推出《新加坡绿色计划 2030》，这是一份涵盖全社会的国家级可持续发展议程，其目标是实现低碳、气候适应性的未来发展。

新加坡的策略体现了全方位的系统规划，尤其在绿色建筑、可持续交通和金融创新方面举措突出。

表 1-1 新加坡绿色计划 2030 关键领域与目标摘要

领域	关键目标
绿色建筑	·到 2030 年，80% 的建筑(按总建筑面积计)实现绿化 ·从 2030 年起，80% 的新建建筑(按总建筑面积计)为超低能耗建筑
可持续交通	·到 2030 年，公共交通在高峰时段出行分担率达 75% ·2040 年前全面淘汰内燃机车辆，所有车辆使用清洁能源

	·2025 年前在所有组屋停车场安装电动汽车充电
能源转型	·到 2030 年，太阳能部署至少达到 2 吉瓦峰值 ·降低海水淡化能耗
绿色经济	·将裕廊岛打造为可持续的能源和化学品园区 ·建设亚洲领先的绿色金融与碳服务中心
可持续生活	·到 2030 年，人均每日送往垃圾填埋场的废物量减少 30% ·增加绿色空间，实现“每户家庭步行 10 分钟可达公园”

2025 年，新加坡明确 2050 年实现净零排放的长期目标，并将碳达峰时间从 2030 年提前至 2028 年，同时在 2035 年国家自主贡献（NDC）中提出将排放量降至 45-50 百万吨二氧化碳当量的中期目标。其核心政策以碳定价为核心抓手，2019 年实施东南亚首个碳税制度，2019-2023 年过渡期碳税水平为 5 新元/吨二氧化碳当量，2024 年起提升至 25 新元/吨，计划 2026-2027 年升至 45 新元/吨，2030 年达到 50-80 新元/吨，通过阶梯式提价强化减排激励。此外，新加坡出台《绿色增长战略》，设立 100 亿新元“未来能源基金”，重点支持低碳技术研发和公共基础设施绿色改造，并建立跨部门协调机制推动政策落地。

（2）引领亚洲绿色金融与碳市场

针对全球自愿碳市场诚信度不足、发展乏力的问题，新加坡政府于 2025 年推出系列举措，旨在建设高诚信度的碳市场枢纽。

1）国家气候变化秘书处等部门联合发布《自愿碳市场指导原则》，为企业高质量利用碳信用提供规范。

2）推动组建由行业主导的“买家联盟”，汇聚对高质量碳信用的需求。

3）新加坡金融管理局设立 1500 万新元的“金融领域碳市场发展补助金”，资助金融机构建设碳市场相关能力与创新。

4）吸引自愿碳市场诚信委员会（ICVCM）在新加坡设立首个实体办公室，提升其在标准制定中的影响力。

5）开展全球碳信用招标，2024 年首次招标吸引 10 亿美元投标，为排放抵消提供市场化解决方案。

（3）特色的政策工具

作为城市国家，新加坡创新性地将碳中和目标与城市规划紧密结合：

1) 通过景观替代区域（LRA）指南，推动城市绿化与生态建设。

2) 会展业设立可持续认证奖项，推动绿色办展。新加坡连续 14 年获评“亚洲最佳会展城市”，年均举办 4000 多个国际性会议展览。

3、德国——能源转型与工业脱碳并重

（1）法律与目标体系

2019 年 11 月通过的《气候保护法》以法律形式确立德国到 2030 年温室气体排放较 1990 年至少减少 55%、2050 年实现碳中和的目标。作为欧盟核心成员国，德国积极参与 EU-ETS 和“Fit for 55”计划，并制定国家级配套政策。

（2）能源转型实践

德国能源转型（Energiewende）政策雄心勃勃，计划到 2030 年可再生能源在电力消费中占比至少达到 80%，发电量从当前不到 270 太瓦时增至 600 太瓦时。2022 年 7 月通过能源紧急一揽子方案，包括《可再生能源法修正案》、《海上风能法》等，为可再生能源大规模扩展扫清障碍。

（3）产业脱碳措施

在工业领域，德国通过“KlimPro 工业”指南和“工业脱碳”资助计划，支持能源密集型行业开发创新型气候保护技术；聚焦钢铁、化工等传统高耗能产业，推广节能技术和循环经济模式，加大对 CCUS 技术研发和应用的投入，支持企业开展低碳技术改造；气候保护合同资助计划为企业投资气候友好型生产设施提供保障，保护其免受氢能或碳价格风险影响。

在能源领域，德国大力发展风电和光伏，2024 年可再生能源发电量占比超 40%，同时推进核电逐步退出，计划 2025 年全面关停核电。

在交通领域，加快电动汽车推广，建设高密度充电网络，推动氢能在重型运输领域的应用。

在建筑领域，实施严格的建筑节能标准，对既有建筑进行低碳改造，推广太阳能供暖。

（4）现实挑战

根据能源智库 Ember 数据，2025 年前四个月德国清洁能源发电量同比骤降 16% 至 80 太瓦时，创 2015 年以来同期最低水平。风力发电量下降 31% 是主要原因，导致化石燃料发电量被迫提升 10%，在发电结构中占比升至 2018 年以来最高水平。这一逆转凸

显了能源转型过程中面临的天气依赖性和系统韧性挑战。

（二）我国的双碳战略：从顶层设计到企业规划

1、国家主管层面政策发布

2020年12月18日，中央经济工作会议将“做好碳达峰、碳中和工作”作为2021年八大重点任务之一进行了部署。2021年中央经济工作会议再次明确要“坚定不移推进碳达峰碳中和”，指出“实现碳达峰碳中和是推动高质量发展的内在要求”，并提出需“创造条件尽早实现能耗‘双控’向碳排放总量和强度‘双控’转变，加快形成减污降碳的激励约束机制”。2024年第二十届三中全会通过的《中共中央关于进一步全面深化改革推进中国式现代化的决定》中，更是提出要积极稳妥推进碳达峰碳中和，建立能耗双控向碳排放双控全面转型的新机制，构建碳排放统计核算体系、产品碳足迹管理体系和健全碳市场交易制度、产品碳标识认证制度、温室气体自愿减排交易制度。为落实中央经济工作会议精神及双碳目标的实现，近年来，我国加速推动建筑领域节能降碳，国家层面建筑碳中和指导性文件相关政策陆续出台，指导并推进建筑双碳工作开展。

2、各省双碳实施方案发布

随着“3060”目标写入“十四五”规划和2035年远景目标纲要，“碳达峰”和“碳中和”正式上升到国家战略层面。我国为实现碳达峰、碳中和目标，构建了“1+N”政策体系。“1”是指《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”指的是各部门和地方政府根据《意见》的要求制定的具体政策和方案，包括建筑领域等。各省市以“1+N”政策为统领，相继出台了地方性的意见、实施方案类文件，见表1-2。

表 1-2 各省市双碳实施方案/意见发布矩阵图

序号	地区	2021 年	2022 年												2023 年								2024 年
		12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	1 月
1	河北省		●					★								▲							
2	浙江省			●★																			
3	湖北省			●																		▲	
4	广东省								●							★							▲
5	广西壮族 自治区					●									★					▲			
6	甘肃省								●										★				
7	西藏自治 区																				★		
8	福建省									●							▲						
9	陕西省									●						★							
10	山东省													●★						▲			
11	重庆市								●							▲							
12	四川省				●										★								
13	上海市								●	★			▲										
14	江西省					●			★			▲											
15	吉林省	●								★											▲		
16	海南省									★													
17	云南省									★				●								▲	
18	天津市										★											▲	
19	宁夏回族 自治区		●									★			▲								
20	辽宁省										★									▲			
21	黑龙江省			●							★	▲											
22	北京市												★										

23	湖南省				●						★						▲						
24	江苏省		●								★			▲									
25	内蒙古自治区						●					★											
26	贵州省											★		▲									
27	安徽省									★			▲	●									
28	青海省				●								★							▲			
29	新疆维吾尔自治区													▲						★			
30	山西省													●★	▲								
31	河南省														★	▲							

注：标●为发布“关于完整准确全面贯彻新发展理念推进碳达峰碳中和工作的实施意见”类文件；
标▲为发布“城乡建设领域碳达峰实施方案”类文件；
标★为发布“碳达峰实施方案”类文件。

3、城乡建设领域碳达峰实施方案

《城乡建设领域碳达峰实施方案》由住房和城乡建设部、国家发展改革委于2022年6月联合印发，旨在贯彻党中央、国务院关于碳达峰碳中和的决策部署，推动城乡建设领域绿色低碳发展。该方案明确提出了城乡建设领域“2030年前实现碳排放达峰，2060年前全面绿色低碳转型”的核心目标，并从多个维度部署了具体任务：

（1）优化城市结构与布局：推广绿色低碳城市建设，控制城市组团规模（单个组团不超过50平方公里），合理布局生态廊道、交通设施，严格限制超高层建筑，盘活存量房屋以减少大拆大建。

（2）建设绿色低碳社区：倡导功能复合的混合街区，按标准配建公共服务设施，构建“15分钟生活圈”。鼓励绿色家电使用、新能源汽车推广，探索零碳社区建设。

（3）提升建筑绿色低碳水平：要求新建建筑全面执行节能标准（如严寒地区居住建筑节能率达83%），推动低碳建筑规模化发展，加强公共建筑能效改造（2030年前重点城市改造后整体能效提升20%以上）。

（4）提高基础设施效率：实施老旧供热管网改造（热损失下降5个百分点），推行垃圾分类与资源化利用（2030年城市垃圾资源化率达65%），推广建筑光伏一体化等可再生能源应用。

4、代表性企业双碳行动方案

2021年，国务院国资委研究修订了《中央企业能源节约与生态环境保护监督管理办法》。其中提及中央企业应“持续提升能源利用效率，减少污染物排放，控制温室气体排放，积极参与‘碳达峰’‘碳中和’行动。”2022年8月，国资委宣布将对《中央企业碳达峰行动方案编制指南》进一步修改完善，组织各中央企业于2022年底前完成自身碳达峰行动方案编制，发挥示范引领作用。部分央企及建筑业企业落实的双碳目标及具体双碳行动方案类文件如表1-3。

表 1-3 部分央企及建筑业企业落实的双碳目标及具体双碳行动方案

企业名称	发布碳达峰时间	发布碳达峰碳中和目标	碳达峰碳中和行动方案概述
中国建筑集团有限公司	2030 年	到 2027 年，万元产值营业收入碳排放强度年均下降 4.22%，相比 2024 年累计下降 12.14%；到 2030 年，实现碳达峰目标。	发布《中国建筑集团有限公司碳达峰行动方案》，提出强化绿色发展顶层设计、开展节能降碳增效行动等碳达峰九大任务。并发布“个十百千万”工程。该工程提出要以创新性产品为导向，采用投建运方式，打造建筑单体、社区（园区）、乡镇（城区）三个层面具有国际领先水平的十大低碳、零碳标杆产品，研发百项绿色低碳关键技术、推广千个绿色低碳技术应用场景等内容，带动万家上下游企业共同节能减碳。
华润集团	2028	华润集团计划于 2028 年整体碳排放量达到峰值，电力、水泥等业务能源利用效率接近世界一流企业先进水平。	华润集团在重点任务中提出了八大行动，分别为：传统业务绿色低碳转型升级行动、能源资源节约降碳行动、绿色低碳科技创新行动、碳中和新型业务培育行动、绿色金融业务创新行动、碳排放管理能力提升行动、绿色低碳全员行动和绿色低碳领域全方位合作行动。
中国中铁股份有限公司	——	到 2025 年，万元产值 CO2 排放量与万元营业收入综合能耗实现同步下降，万元营业收入综合能耗在 2020 年的基础上下降 15%，万元产值二氧化碳排放 在 2020 年的基础上下降 15%。	公司制定了《中国中铁股份有限公司碳达峰行动方案》，公司持续完善环境管理体系，坚持“属地管理”“预防为主，防治结合”“谁污染谁治理”的原则。公司制定了《节能减排监督管理办法》《环境保护管理办法》等一系列规章制度，开展节能减排与生态环境保护工作，提倡绿色办公理念，优化资源使用效率。严格落实节能减排考核奖惩机制。
中国铁道建筑集团有限公司	2030 年前	2030 年前碳排放达峰。	发布碳达峰行动方案，明确 2030 年前碳排放达峰的目标，提出“123456”绿色低碳发展战略，在产业布局、资源节约、低碳科技、碳汇能力等 10 个方面明确重点任务，以“四大工程”为抓手推动碳达峰落地。
中国交通建设集团有限公司	2030 年	到 2025 年，重点业务领域碳排放大幅下降；到 2030 年，基础设施建设领域达到峰值；到 2060 年，全面实现碳中和发展目标。	构建“1+N”的绿色低碳发展体系，“1”是绿色低碳发展指导意见，“N”是绿色低碳管理制度、绿色低碳技术指南、碳排放测算标准、绿色低碳管理平台等绿色低碳相关制度。制定绿色低碳发展行动方案和“十四五”绿色低碳发展规划，明确公司绿色低碳发展目标、实施路径和重点工作方向。
中国能源建设集团有限公司	2030 年前	化石能源消费总量要在 2030 年之前达到峰值，之后逐步下降。推动煤炭消费尽早达峰。力争石油消费在“十五五”期间达峰、天然气消费在 2035 年前后达峰。	提出“1466”发展战略，“1”是行业领先、世界一流“一个愿景”，“4”是在践行国家战略、推动能源革命、高质量发展、建设美好生活上走在“四个前列”，首位“6”是能源一体化方案解决商、工程总承包商、基础设施投资商、生态环境综合治理商、城市综合开发运营商、建材工业产品和装备提供商等争创“六个

			一流”，末位“6”是在推动能源革命和能源转型发展、加快高质量发展、深化系统改革、全面加强科学管理、全面提升企业核心竞争力与组织能力、加强党的全面领导和党的建设上取得“六个突破性进展”。 发布《中国能源建设集团有限公司践行碳达峰、碳中和“30·60”战略目标行动方案（白皮书）》，围绕“30·60”系统解决方案“一个中心”和储能、氢能“两个基本点”，通过具体举措和行动践行“30·60”战略目标。
国家电网有限公司	——	预计 2025、2030 年，非化石能源占一次能源消费比重将达到 20%、25%左右。电能占终端能源消费比重将达到 30%、35%以上。能源电力有望提前实现“碳达峰”。	国家电网将继续加快构建智能电网，推动电网向能源互联网升级，同时通过加大跨区输送清洁能源力度、保障清洁能源及时同步并网等措施着力打造清洁能源优化配置平台；加强“大云物移智链”等技术在能源电力领域的融合创新和应用，加快信息采集、感知、处理、应用等环节建设，推进各能源品种的数据共享和价值挖掘。到 2025 年，初步建成国际领先的能源互联网。
中国华能集团有限公司	——	到 2025 年新增新能源装机 8000 万千瓦机上，清洁能源装机占比 50%以上，到 2035 年清洁能源装机占比 75%以上。	发布《碳达峰行动方案》《科技创新支撑碳达峰碳中和行动方案》和《落实“双碳”目标推动公司中长期能源发展工作方案》，加快构建以新能源、核电、水电转型“三大支撑”，积极建设多能互补大型综合能源基地，培育布局新兴绿色低碳产业，持续加大科技创新力度，加快数字化赋能。
中国华电集团有限公司	2025 年	力争在 2025 年实现碳达峰，新增新能源装机 7500 万 kW，非化石能源装机占比达到 50%以上，全口径碳排放强度较“十三五”末下降 17%；力争到 2030 年，碳排放总量较 2025 年下降 5%，非化石能源装机占比达到 65%，全口径碳排放强度较“十三五”末下降 37%。	发布“碳达峰行动方案”，根据碳达峰行动方案，中国华电将在“十四五”期间，按照“优化发电结构、深挖煤炭潜力、加快科技攻关、创新金融服务、聚合内外力量”五大实施路径，重点开展“可再生能源发展、火电转型升级、煤矿绿色转型、低碳技术攻关、数字化智能化、绿色金融支持、深化国际合作、管理能力提升”八大专项行动。
中国大唐集团有限公司	2030 年	确保在 2030 年前实现碳达峰并力争提前实现碳达峰，度电二氧化碳排放减少 20%左右，非化石能源装机占比升至 60%左右。到 2060 年前实现碳中和并力争提前碳中和，其中非化石能源装机升至 90%以上。	发布《中国大唐集团有限公司碳达峰碳中和行动纲要》，全面推进新能源、水电、综合智慧能源等领域的技术攻坚，重点推进低碳零碳负碳技术的研发、产业化和商业应用，推动实现高水平的科技自立自强；严控火电发展增量，持续推动火电降耗减碳优先发展风电、太阳能、水电开发等非化石能源，努力推动沿海核电开发，积极规划发展储能，打造“风光水火储”多能互补基地；着力打造“清洁能源岛+智慧能源城市”，推动碳达峰、碳中和示范城市建设；加快氢能、综合能源服务、智能微网、碳资产服务等能源新产业发展，助推各类用户节能降碳、实现绿色生产生活。

中国核工业集团有限公司	——	到 2030 年核电装机规模大幅提升，力争当年核风光水等各类清洁能源发电量等效减排二氧化碳超过 5 亿吨，万元产值二氧化碳排放比 2005 年下降超过 65%； 到 2060 年推动核能成为我国的主力能源，形成清洁低碳的先进闭式核燃料循环体系，基本实现核能“三步走战略”，引领全球核工业发展争取提前实现碳中和。	印发《完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作行动纲要》，积极安全有序发展核能 持续提升核电运营水平，大力拓展核能多用途利用，做强做优核能配套产业， 推动核电“走出去”；加强低碳零碳技术创新 加快核心关键技术研发与应用推广，加强低碳领域基础科研，加快数字化转型；积极拓展新能源产业 加快风光水电产业发展，探索进军其他新能源和储能产业，强化绿色低碳产业的国际开发合作；大力推进绿色低碳发展推进绿色节能建筑行业，壮大绿色矿业和绿色制造业，积极发展医疗健康、环保等产业；发挥绿色金融作用探索推进碳资产经营，充分利用绿色金融资产；大力推动节能降碳推进重点环节低碳化改造，倡导绿色低碳生活方式和消费模式。
中国节能环保集团有限公司	2028 年	力争到 2028 年实现二氧化碳排放达峰；努力争取到 2040 年左右实现运营碳中和；力争到 2050 年实现供应链碳中和，力争到 2060 年消除历史化石燃料碳排放。	发布《中国节能环保集团有限公司碳达峰碳中和行动方案》《中国节能“1+4”双碳行动方案编制指南》及《中国节能员工绿色低碳行为倡议》，构建“1+3+3”双碳战略部署。构建服务国家“双碳”战略的业务布局，创新驱动打造新型综合能源服务，着力发展智慧工业与建筑节能服务，积极发展区域综合能源服务，持续推进零碳能源开发服务；强化优势促进减污降碳协同增效，打造低碳化的污染减量化、资源化、无害化解决方案，激发绿色低碳的新动能；积极引领中低排放型企业“双碳”行动，建设数字化智慧化碳管理体系，建立数字化、智慧化碳排放管理系统，建设集团碳资产管理体系等。
招商局集团有限公司	2030 年	集团 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和。	招商局集团发布碳达峰碳中和行动方案，方案中确定了招商局集团碳达峰、碳中和十大行动计划，即围绕“4 个绿色服务”“3 个绿色示范”“2 个绿色产品”和“1 个绿色产业领域”实施十大行动，构建招商局集团“4321”全业务全流程碳达峰、碳中和行动体系。短期以结构减碳、管理减碳为核心，在集团内部推行“4 个绿色服务+2 个绿色产品”计划。长期以技术减碳为根本动力，积极落实“3 个绿色示范+1 个绿色产业领域”计划。
上海建工集团股份有限公司	2030 年	到 2030 年，确保万元产值二氧化碳排放降幅符合政府目标，二氧化碳排放排放量整体达到峰值并实现稳中有降。	推进碳排放核查工作，强化目标管理，优化信息管理及披露体系。 推进绿色建筑设计开发，加强建造过程绿色赋能，拓展建材品类，提升产能。 完善绿色化供应链管理，加强低碳零碳技术创新，协同推进既有建筑节能改造。 倡导绿色发展，构筑生态环境全过程服务链，探索可再生能源开发利用。

华润置地有限公司	2030 年	2030 前实现低峰值达峰，2060 前实现碳中和;2030 年责任碳排放（范围 1&2）经营性不动产项目面积碳排强度较基准年(2018 年)下降 45%。	碳达峰行动方案构建了“三大纬度+九大行动”双碳行动矩阵： 绿色低碳业务能力建设，包括 1.绿色低碳设计能力建设行动；2.绿色低碳建造能力建设行动；3.绿色低碳运营能力建设行动 社会责任与行业生态建设，包括 1.面向供应链的绿色转型行动；2.面向租户的低碳培育行动；3.面向公众的可持续传播行动 可持续发展治理体系建设，包括 1.双碳治理体系构建行动；2.创新与资源转化行动；3.低碳品牌力提升行动
厦门建发股份有限公司	2030 年	到 2030 年，温室气体排放达到峰值； 到 2060 年，实现涵盖范围 1、2、3 温室气体排放，即全价值链的“净零排放”。	碳中和行动包括研发创新绿色低碳产品；推进价值链的低碳发展；推广应用清洁低碳能源；促进资源绿色循环利用；投资绿色低碳环保产业；积极践行绿色低碳行动
保利置业集团有限公司	2030 年	2030 年实现经营性物业范围一及二单位面积碳排放强度降低 20%以上（以 2023 年为基准），争取 2060 年实现碳中和。	秉持绿色投资理念，持续探索绿色建筑材料和绿色建筑技术的应用，推动落实绿色建造，助力创造美好生活环境，引领房地产行业向更加绿色、低碳的未来迈进；精心挑选建筑材料，持续提高绿色建材要求，在注重材料质量和环境适宜性的同时，优先选用低消耗、低能耗、无污染、多功能的材料，以确保建筑的质量和可持续性。
万科企业股份有限公司	2030 年	2030 年实现碳达峰，2060 年实现碳中和。	策略包括深耕绿色设计，推进建筑技术研究、绿色建筑设计、绿色建筑认证等；推进绿色建造，绿色环境治理、绿色材料选择、绿色施工推进、住宅产业化等；践行绿色运营，能效管理、废弃物管理、共创绿色运营等；链接绿色金融，将可持续发展因素纳入融资机制，发行绿色债券和贷款绿色融资工具
中海物业	2030 年	以 2022 年为基准年，2030 年，全面推广落地低碳运营技术，实现范围一及范围二单位面积碳排放强度较基准年降低 15%；2060 年，全面落实可再生能源综合利用，实现运营边界内碳中和。	根据中海物业对公司运营边界碳排放测算和分析，围绕 1 个碳中和愿景和 2 个阶段性碳中和目标，提出了适合中海物业的碳中和行动方案，从 3 个维度、4 个平台、5 个突破、X 个行动，构建中海物业“12345+X”碳中和行动体系。
中国海外发展有限公司	2030 年	以 2019 年为基准，于 2030 年范围一及范围二单位面积碳排放强度降低 30% 以上，努力争取 2060 年实现碳中和。	根据《碳中和白皮书》，将以“双碳”为核心目标，以“全程减碳、领先示范、促进发展”三大核心方向，分阶段制定企业减碳行动，对企业产品的全生命周期进行减碳，深化全产业价值链的低碳转型，打造行业标杆，推广绿色运营及探索绿色新技术和绿色投资新模式。

深圳华侨城股份有限公司	2030 年	在 2030 年之前二氧化碳排放量到达峰值。	策略包括加强环境管理；善用自然资源，包括应对气候变化实施智能改造、推动循环利用、使用清洁能源，水资源管理，污染排放控制；实践绿色运营包括打造绿色建筑、推进绿色商业物业、建立绿色供应链、倡导绿色办公；践行生态理念包括建设海绵城市、保护生态环境、践行环保公益等。
越秀地产股份有限公司	2030 年	公建项目、住宅项目范围一、二排放到 2030 年实现碳达峰，2060 年实现碳中和；公建项目 2030 年较 2019 年单位面积碳排放强度下降 44%；住宅项目 2030 年较 2019 年单位面积碳排放强度下降 23%。	制定《越秀地产双碳行动方案》，制定减碳底线目标，并构建 3 大维度、10 个行动方向，形成越秀地产双碳行动方案。包括：维度一：产品提升—1.绿色产品 2.绿色供应链 3.绿色建造；维度二：运维优化—4.绿色改造 5.绿色租赁 6.绿色商管物管；维度三：管理升级—7.绿色品牌 8.绿色资产 9.绿色管理 10.绿色金融

第二章 建筑行业碳排放现状分析

一、建筑领域在全球的碳排放情况

2025年3月17日，联合国环境规划署(UNEP)和全球建筑和建设联盟(Global Alliance for Buildings and Construction)联合发布了《2024-2025 年全球建筑建造业现状报告——并非只是墙上的又一块砖头》(Global Status Report for Buildings and Construction 2024/25- Not just another brick in the wall)。报告的数据显示，2023 年，建筑建造行业仍然是气候危机的主要驱动因素，是实现全球净零碳和弹性目标的关键领域。消耗了全球 32%的能源，该行业依赖水泥和钢铁等材料，这些材料占全球排放量的 18%，并且是建筑废物的主要来源，与 2022 年相比，下降了约 0.7%^[9]。这标志着持续十年的年度增长趋势发生了逆转，而这一趋势此前平均每年增幅超过 1%。导致这一下降的主要因素是全球冬季气温较为温和，这导致了空间供暖需求的减少，从而抵消了来自其他终端用途领域需求增加的影响。

2023 年，建筑建造行业贡献了全球 34%的二氧化碳排放，成为排放量最高的行业，与建筑能源相关活动的排放量约占建筑运营排放量的 26%，其中 5%来自(水泥、钢铁和铝)行业，另有约 3%与建筑中使用的玻璃和砖块相关。建筑物的运营碳排放量达到了约 9.8 亿吨二氧化碳(GtCO₂)的历史新高，并保持这一水平（如图 2-1）。不过，相比之下，建筑行业中的实体碳排放量在 2023 年呈现小幅下降，较 2022 年降幅 2.5%，降至约 2.9GtCO₂。尽管各方正不断致力于提高能效并加大可再生能源的利用力度，但这一排放量总体上的占比之高突显了在建筑运营中降低能源需求的持续挑战。从发展趋势来看，自 2015 年《巴黎协定》签署以来，建筑领域二氧化碳排放量累计上升 5.4%，远未达到《巴黎协定》要求的 2030 年前减排 28.1%的目标，减排进度滞后明显。

2022-2023 年，全球建筑面积增加了 50 亿平方米，即建筑总量的增幅达到 2%，总建筑量增至超过 2600 亿平方米，这一增幅低于疫情前的变化幅度，反映出全球建筑建设增速持续放缓，从 2010 至 2020 年期间的年增速 2.4%降至 2020

至 2023 年期间的年增速 2.2%(如图 2-2)。在新兴经济体和发展中国家所建造的近 510 亿平方米的建筑面积中，国际能源署(IEA)估计有超过一半的建筑是在未适用任何适用的建筑能源规范的情况下建造的。但值得关注的是，2023 年成为重要转折点——全球建筑面积持续增长的同时，建筑领域温室气体排放首次实现与建筑面积增长的脱钩，排放水平进入平台期，这一变化印证了各国建筑减排政策的初步成效。此外，2015-2023 年间，建筑领域能源强度下降 9.5%，可再生能源在建筑最终能源需求中的占比提升 4.5%，虽未达到预期目标，但均展现出积极的改善态势。

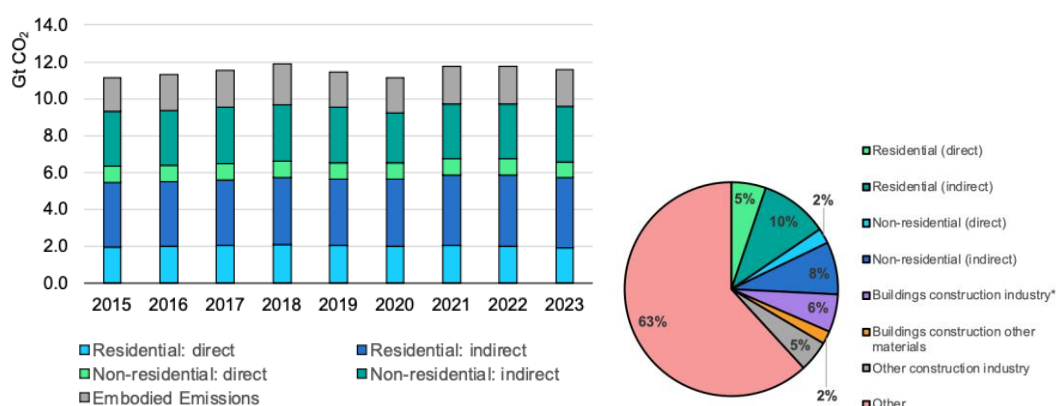


图 2-1 2010–2023 年建筑领域二氧化碳排放量（左图）以及 2023 年建筑部门在全球能源与工业过程排放中所占份额（右图）(IEA, 2024a)

注：

1. Residential: direct 指住宅直接排放；Residential: indirect 指住宅间接排放；

Non-residential: direct 指非住宅直接排放；Non-residential: indirect 指非住宅间接排放；

Embodied Emissions 指隐含碳排放；Buildings construction industry 指建筑施工工业；Buildings construction other materials 指建筑施工其他材料；Other construction industry 指其他施工行业；Other 指其他领域。

2.“建筑施工工业”和“其他施工工业”指的是用于建筑物及基础设施建设的混凝土、钢材和铝材。

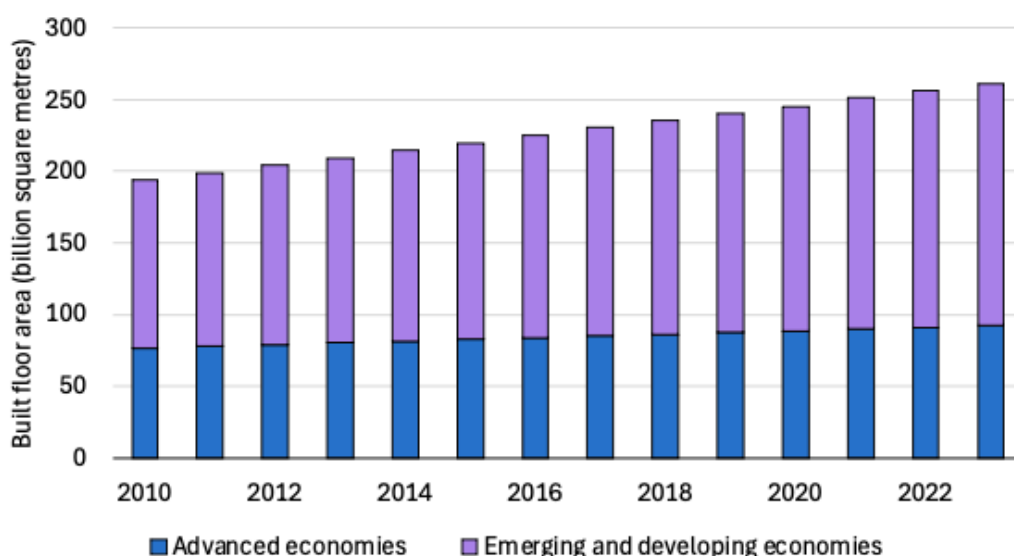


图 2-2 2010-2023 年全球发达国家、新兴经济体和发展中国家建造的建筑面积
(IEA, 2024a)

IPCC 工作组(AR6 WGIII)提出, 已寻求通过促进能效改造、可再生能源和热泵的建筑和建筑行业为实现《巴黎协定》提供重要的全球减排潜力。机会包括提高现有建筑的能效和使用效率、高性能的新建筑、高效的照明装置和建筑设备、将可再生能源集成到建筑中, 以及实现建筑材料生产的脱碳。IPCC 报告的共识是, 与当前水平相比, 建筑物的运营排放量需要减少 95%以上, 并且这些减少是成本效益高的, 对建筑物能源安全有益。

从全生命周期排放构成上看, 建筑领域碳排放覆盖全生命周期各环节, 主要分为隐含碳与运行碳两大核心部分。其中, 水泥、钢铁等建筑材料生产环节产生的隐含碳占全球建筑相关二氧化碳排放量的 18%, 是重要的排放来源之一。这类材料的生产依赖化石燃料消耗, 且石灰石煅烧等工艺会直接释放二氧化碳, 成为建筑领域脱碳的重点难点领域^[1]。建筑运行阶段的碳排放则主要源于采暖、制冷、照明及各类电器设备的能源消耗, 是建筑全生命周期中碳排放占比最高的阶段。国际能源署 (IEA) 数据显示, 该阶段碳排放量约占建筑行业总排放的 70%。2024 年全球建筑领域电力消费量同比增长 5%, 增幅超过 600 太瓦时, 极端天气引发的制冷与采暖用电需求以及数据中心规模激增, 成为建筑电力消费增长的主要驱动因素, 也加剧了运行阶段的减排压力。

从建筑类型来看，全球建筑领域碳排放差异显著，这种差异既体现在运行阶段，也贯穿于材料生产等隐含碳排放环节，且受使用功能、用能强度、结构材料等多重因素驱动。从全球总体排放结构看，住宅建筑与非住宅建筑是两大核心载体，2023 年最新数据显示，全球住宅建筑碳排放占全球总排放的 21%，非住宅建筑碳排放占全球总排放的 9%，两者合计占全球总排放的 30%，剩余 4% 的建筑领域相关排放则来自建筑材料（混凝土、钢材、铝材等）生产及砖瓦、玻璃等辅助材料制造环节。其中，居住建筑因量大面广成为碳排放总量最高的建筑类型，全球多数国家的居住建筑碳排放占比均超过建筑领域总量的 50%，其排放主要集中于运行阶段的采暖、制冷及家用电器能耗，尤其在高纬度地区，冬季采暖能耗占居住建筑总能耗的 30% 以上，夏季空调能耗则可达 40%。

二、建筑领域在我国的碳排放情况

对于建筑能源消耗及碳排放量统计，首先需要明确统计数据所覆盖的范围。2026 年 2 月 4 日，由中国建筑节能协会主办的“中国城乡建设领域碳排放研究报告（2025）发布会”在北京成功召开。会议以“数据赋能碳排双控，双碳引领绿色转型”为主题，正式发布《中国城乡建设领域碳排放研究报告（2025）》^[10]。该报告基于最新的国家宏观统计数据 and 预测方法，测算分析了 2023 年和 2024 年中国城乡建设领域碳排放情况。

2024 年，全国建筑业建造能耗 12.5 亿 tce，比上年下降 0.2 亿 tce；碳排放 27.8 亿 tCO₂，比上年下降 0.6 亿 tCO₂。其中，按过程分：建材能耗和碳排放分别为 11.7 亿 tce 和 26.8 亿 tCO₂，施工能耗和碳排放分别为 0.8 亿 tce 和 1.0 亿 tCO₂；按领域分：房屋建筑建造能耗和碳排放分别为 8.0 亿 tce 和 18.1 亿 tCO₂，土木工程建造能耗和碳排放分别为 4.5 亿 tce 和 9.7 亿 tCO₂。

2024 年，全国民用建筑运行能耗 13.0 亿 tce，比上年增长 0.4 亿 tce，占全国能源消费的比重 21.8%，比上年减少 0.1 个百分点；碳排放为 24.7 亿 tCO₂，比上年增长 0.6 亿 tCO₂，占全国能源碳排放的 22.1%，比上年增加 0.3 个百分点。其中，按排放源分：化石能源消耗和碳排放分别为 2.1 亿 tce 和 4.1 亿 tCO₂，热力消耗和碳排放分别为 1.7 亿 tce 和 4.1 亿 tCO₂，电力消耗和碳排放分别为 9.2

亿 tce 和 16.5 亿 tCO₂；按建筑类型分：公共建筑能耗和碳排放分别为 5.7 亿 tce 和 10.6 亿 tCO₂，城镇居住建筑能耗和碳排放分别为 5.0 亿 tce 和 9.7 亿 tCO₂，农村居住建筑能耗和碳排放分别为 2.3 亿 tce 和 4.4 亿 tCO₂。



图 2-3 2024 年全国房屋建筑运行能耗与碳排放

2023 年，全国新建建筑（当年竣工的房屋建筑）面积总量为 39.34 亿 m²，扣除工业建筑后民用建筑面积为 30.27 亿 m²，隐含碳排放 15.24 亿 tCO₂，单位面积隐含碳 503.47 kgCO₂/m²。其中：公共建筑面积 6.51 亿 m²，隐含碳排放 4.64 亿 tCO₂，单位面积隐含碳 712.75 kgCO₂/m²；居住建筑面积 23.76 亿 m²，隐含碳排放 10.60 亿 tCO₂，单位面积隐含碳 446.13kgCO₂/m²。

第三章 建筑业企业及项目低碳发展实践

一、国外建筑业企业低碳实践案例

（一）西班牙/德国霍赫蒂芙（GRUPO ACS/HOCHTIEF）

西班牙 GRUPO ACS 为应对气候变化作为核心战略议题，明确提出 2045 年前实现全价值链碳中和的目标，较联合国 2030 年可持续发展议程提前 15 年。为保障长期目标落地，集团设定了分阶段量化减排指标：到 2025 年，直接碳排放（Scope 1）减少 15%，间接碳排放（Scope 2）减少 30%；到 2030 年，直接碳排放进一步减少 35%，间接碳排放减少 60%，形成“长期愿景+阶段拆解”的目标体系。ACS 集团旗下独立运营的子公司德国霍赫蒂夫 (HOCHTIEF)，同样承诺在 2045 年实现净零排放。ACS 集团在并购 HOCHTIEF 等公司后，在碳中和目标保持一致的总体要求下，采取了尊重子公司自主经营的策略，HOCHTIEF 可以制定并独立发布自己的可持续发展计划和年度报告。该集团的核心减排策略如下：

1、GRUPO ACS

GRUPO ACS 采取了“2025 年可持续性计划”的核心减排策略，具体策略内容如下：

（1）推进 2045 年碳中和

ACS 强调在提前于联合国 2030 年倡议的 2045 年，实现集团整体碳中和。为尽早达成这一目标，集团的侧重点在减少温室气体排放和气候风险管理。一方面，推进碳足迹测量机制完善以 2025 和 2030 年为节点减少直接和间接碳排放。相较于 2019 年的排放数据，预计到 2025 年减少直接碳排放 15%和间接碳排放 30%，到 2030 年减少直接碳排放 35%和间接碳排放 60%。另一方面，ACS 计划引入国际先进方法，增强气候变化的风险管理，保证碳中和进程不出现意外倒退。

（2）将循环性融入集团活动

ACS 希望以尽可能高占比的循环经济保证集团的资源友好性。在基础的资源配置优化方面，增强建筑工程材料的耐用性，节约资源消耗。并正式建立循环经济，鼓励使用可循环利用的建筑材料，大幅提高循环材料的使用率。同时，将垃圾废物纳入循环经济的进程。重视废物管理，推广废物的分类和再利用意识。对可再利用的安全和危险废物，保证其循环使用率在 80%以上；对可予填埋处理的安全废物，尽可能缩减其填埋量。

（3）通过优化集团活动确保环境保护

ACS 计划进一步改进其业务活动的规范程度和工作方法，确保在集团活动中的环境保护实施。在环境影响的总体方面，设立“零严重环境事故”目标，增强 ISO 14001 认证的环境管理体系，防止和最小化环境影响。对水资源浪费问题，促进水资源的消耗减少和回收利用程序。检测在缺水地区的用水量，力求减少其使用比例。建立测算水足迹的机制方法，以数据支撑保护举措。最后，增强在建设工程中的生物多样性保护，确保生物保护措施的全项目覆盖。

（4）成为可持续基础设施的行业标杆

2025 年确保基础设施销售项目的 45%以上获得可持续性认证，成为可持续性对策提供者的头部企业。

2、德国霍赫蒂芙（HOCHTIEF）

HOCHTIEF 强大的竞争优势源于集团的工程专长、创新数字系统以及供应链和物流解决方案。

HOCHTIEF 承诺，2025 年实现全价值链的净零排放的总体目标，并支持《巴黎协定》的目标，并与客户、商业伙伴和供应商密切合作，实现这一目标。由于长期以来对可持续发展的坚定承诺，HOCHTIEF 的绿色项目几乎占其集团收入的 50%，自 2006 年以来一直被纳入道琼斯可持续发展指数，并致力于实现其 ESG 议程，包括到 2045 年实现净零排放的目标。HOCHTIEF 在道路与公共基础设施、能源与数字等业务领域开发和实施特许经营权及运营项目，为其公共部门合作伙伴提供创新、综合且可持续的解决方案，这些方案覆盖了基础设施项目的整个生命周期。

(1) HOCHTIEF 明确了分阶段量化减排指标^[11]：2025 年，与基准年 2019 年相比公司设施和车辆产生的范围一（Scope 1）直接排放至少减少 20%，购买电力产生的范围二（Scope 2）间接排放至少减少 35%；到 2038 年，实现范围一（Scope 1）、范围二（Scope 2）的碳中和；到 2045 年实现范围三（Scope 3）价值链间接排放的全面中和。

(2) HOCHTIEF 明确了循环经济目标^[11]：实现到 2025 年废弃物的年度回收率至少达到 80%，之后持续提高该比率；通过积极与客户合作，推动生命周期/循环性分析，并在 2025 年前至少完成 200 个建筑项目的此类分析；将建筑项目中数字化记录建筑材料(BIM 6D)的比例每年至少提高 10%；到 2030 年，将自产危险废物减少至总废弃物的 1%以下，促进再利用并稳步提高再生建筑材料的使用率；到 2045 年实现零废物填埋。

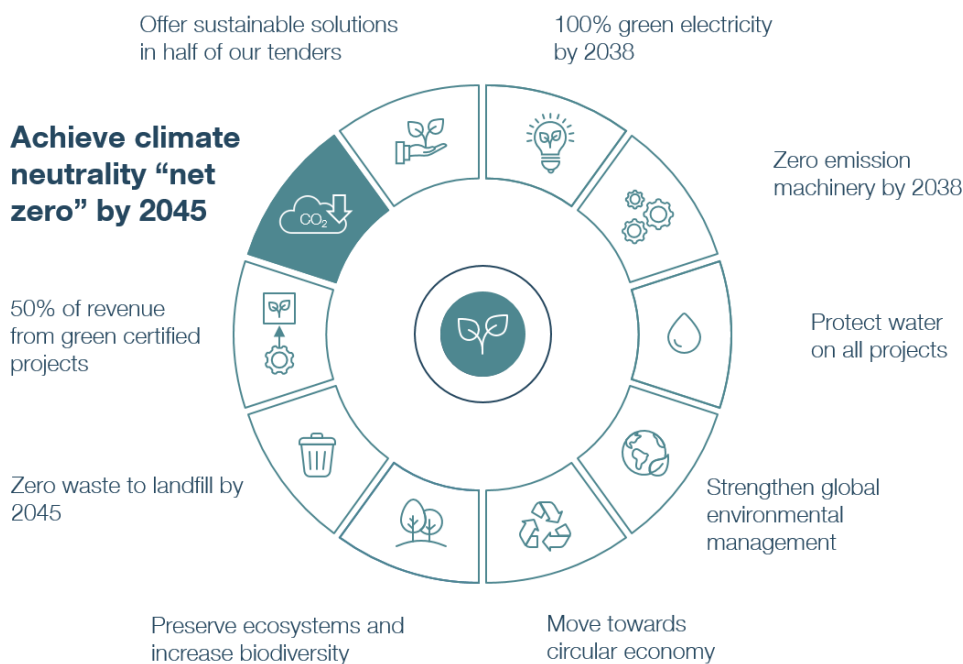


图 3-1 HOCHTIEF 的环境治理亮点

（二）法国万喜集团（VINCI）

为应对气候危机，万喜致力于在建筑环境、基础设施和交通的生态转型中发挥积极作用，作为交通基础设施特许经营商及其建设和安装活动的所有者，它为公共和私人客户提供解决方案、基础设施和建筑，帮助减少人类活动对环

境造成的影响。

万喜集团采用持续改进的策略，调动团队科技和创新潜力，以减少自身活动对气候的影响，同时严格管理和减少项目的碳足迹。万喜集团对所有的生产操作方法和设备进行重新评估，并在全集团推出行动计划，将管理的建筑和基础设施的员工、利益相关方和用户联合起来，共同致力于低碳发展。

同时，万喜启动了研发计划和科学技术伙伴关系，并成立了一个由所有领域的专家组成的工作组，专注于逐步将气候适应能力纳入其提供的产品、项目、结构和解决方案中。

1、为气候变化而行动

万喜集团设立了 2050 年实现碳中和的目标，并承诺到 2030 年将温室气体直接碳排放在 2018 年的基础上减少 40%，间接碳排放较 2019 年减少 20%。通过调整结构和优化业务活动，来提高应对气候变化的能力。

（1）减少直接碳排放

据统计，2021 年，万喜直接碳排放为 230 万吨，其中工业活动占 44%，施工器械和重型车辆占 22%、其他车辆 22%、自有建筑 12%。

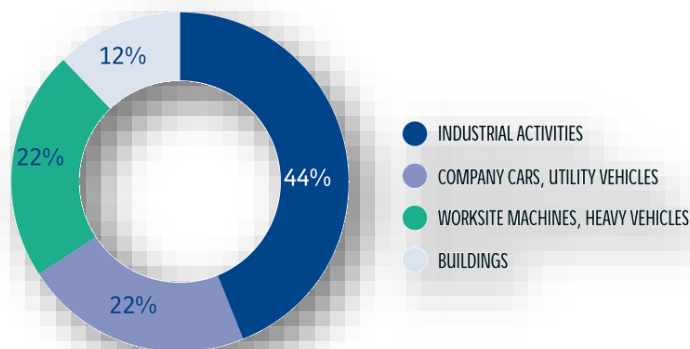


图 3-2 万喜直接碳排放量

万喜通过以下方式来减少直接碳排放：

■ 工地机器和重型车辆

- 用低排放机器替换部分现场设备，推广生态驾驶，安装传感器监测消耗。
- 与现场设备制造商和租赁公司合作，在实际操作条件下测试低碳创新。

- 混合动力、电动或低排放汽车取代轻型和多功能汽车。
- 鼓励员工通过拼车平台、生态驾驶培训和使用非机动车交通工具。
- 使用氢和沼气等燃料用于多用途汽车。

■ 工业活动

•优化工业能源消耗。为了帮助客户减少能源消耗，万喜能源公司开发了一种全面的能源审计服务，关注整个生产系统（从原材料输入到产品输出）。通过计算最低能源需求，与现场实际消耗进行比较，从而制定行动计划，将能源消耗减少到最低。

- 用天然气和可再生能源替代高排放的化学燃料。

■ 建筑物及工地设施

•对集团建筑进行能源效率评估，并实施适当的措施，如热改造、温度控制和生态设计。

- 增加使用高度节能的工地设施。

■ 可再生能源

- 优先使用可再生能源，特别是安装太阳能发电系统等。

（2）减少间接碳排放

对于运营活动产生的间接碳排放，万喜集团也采取了一系列措施来进行溯源和统计，从而制定相应的策略。其中上游碳排放占 39%，主要来源是材料采购 22%；下游占 61%，其中主要来源是交通运输占到 43%。

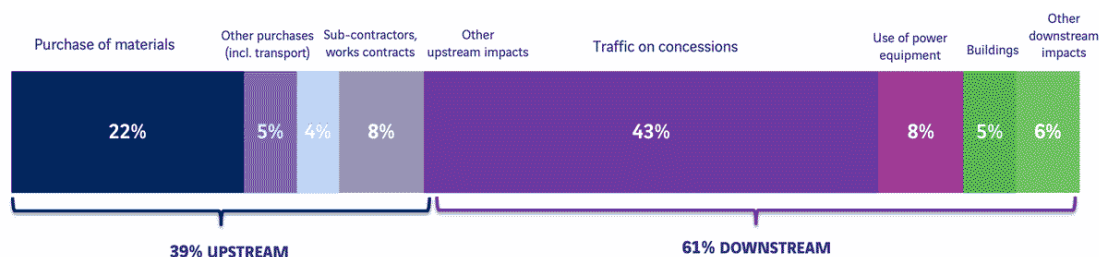


图 3-3 运营活动产生的间接碳排放

万喜采取的具体措施包括：

■ 供应链

- 与战略供应商和分包商进行可持续的低碳改进。
- 将低碳混凝土逐步纳入所有建筑和项目中。万喜的目标是到 2030 年低碳混

凝土达到 90%。

■ 客户解决方案

- 应用环保解决方案，帮助客户减少碳足迹，包括可持续建筑、能源效率，和可持续交通。
- 开发可再生能源的产品、服务和专业知识，助力能源转型和改善未来的能源结构。
- 鼓励用户在高速公路(扩大电动汽车充电能力、共享汽车设施、多式联运枢纽和快速巴士服务)和机场(根据飞机碳排放调整机场税收，并促进发展可持续的生物燃料和氢系统)上转向低碳选择。

■ 生态设计

- 开发工具，在投标阶段量化项目的碳影响，以提出低碳替代方案。
- 在工程中实施低碳战略。
- 系统地设计采用低碳材料的方法。

2、实施低碳战略的指导框架



图 3-4 万喜集团低碳战略步骤

作为建筑行业领先的国际企业，万喜集团制定了其在实施低碳战略的指导框架，为各行业、企业提供一定的参考依据。其制定低碳战略包含以下四个步骤：

（1）识别并分析风险

万喜集团制定环保措施，涉及上游评估项目或作业可能对环境造成的风险和影响，包括：污染和破坏、导致气候变化的温室气体排放和能源消耗、气候风险、原材料的消耗和转化、生物多样性和自然环境的影响；

(2) 制定和实施行动方案以保护环境；

(3) 监督影响并评估绩效；

(4) 针对环境方面的专业知识对员工进行培训并提高环保意识。所有员工和员工代表都需要了解他们所从事的项目所涉及的环境挑战，包括法规要求、风险预防、废物管理和生物多样性保护等。

（三）法国布依格（BOUYGUES）

法国布依格（Bouygues）作为万喜之后的法国第二大建筑公司，近年来在“双碳”目标驱动下，积极践行建筑全生命周期的减排实践。集团已设定明确碳中和路线图，覆盖范围 1、2 及关键范围 3 排放，其建筑业务板块承诺：到 2030 年，新建项目单位面积碳排放较 2019 年降低 40%；到 2050 年实现全价值链净零排放。具体目标细分为：降低与能源消耗相关的直接和间接温室气体排放量 40%，降低与上游生产环节相关的温室气体排放量 30%。

1、设计与规划阶段：绿色创新前置

(1) 低碳材料研发：优先使用可再生、回收或低碳材料，推动供应链减排。

(2) 数字化模拟工具：利用 BIM 和 LCA 软件，在设计阶段优化能效、降低隐含碳。

(3) 生态设计标准：引入生态设计方法，遵循 RE2020 等绿色建筑标准，注重被动式设计 with 全生命周期碳排分析。

2、建造阶段：低碳化与循环经济

(1) 清洁能源与设备：推广电动机械、光伏临时供电，试点氢能设备。

(2) 废弃物管理：目标“零废弃物填埋”，通过分类回收实现施工废料资源化。

(3) 模块化与工业化建造：采用预制构件，减少现场作业与碳排放。

(4) 推广低碳建材：大量使用再生骨料、粉煤灰等替代传统水泥，探索木结构与生物基材料。

3、运营阶段：提升能效与智能管理

(1) 高能效系统：集成地源热泵、智能照明、光伏一体化等，打造近零能耗与能源正效益建筑。

(2) 数字化运维：通过BAS、IoT传感器与AI算法，实时优化能耗，部分项目实现碳足迹监测。

(3) 城市更新改造：对存量建筑进行节能改造，延长使用寿命并降低运营碳排。

4、拆除与循环阶段：闭合资源循环

(1) 选择性拆除与回收：系统拆解建筑构件，目标实现70%以上废弃物再利用，部分项目接近80%。

(2) “城市矿山”理念：建立材料银行，记录建材成分以利未来回收。

(3) 生物基材料应用：探索木材等可降解建材，助力材料回归自然循环。

(4) 矿产废弃物资源化：高效回收沥青、混凝土碎料，用于新工程。

标志性案例如波兰布依格总部办公楼：融合自然通风、地源热泵、光伏屋顶与雨水回收系统，获BREEAM Outstanding认证，成为东欧可持续办公标杆。



图 3-5 波兰布依格总部办公楼

（四）奥地利斯特拉巴格公司（STRABAG SE）

奥地利斯特拉巴格公司拥有超过180年历史，是欧洲领先的建筑工程公司之一。为实现气候中和目标，公司制定了五阶段路线图：2025年实现管理部门气候中和，2030年实现建设项目气候中和，2035年实现建筑运营气候中和，

2040 年实现建筑材料和基础设施气候中和，2050 年助力欧洲实现气候中和。公司聚焦三大转型方向：碳排放、材料与循环、数字化与创新。

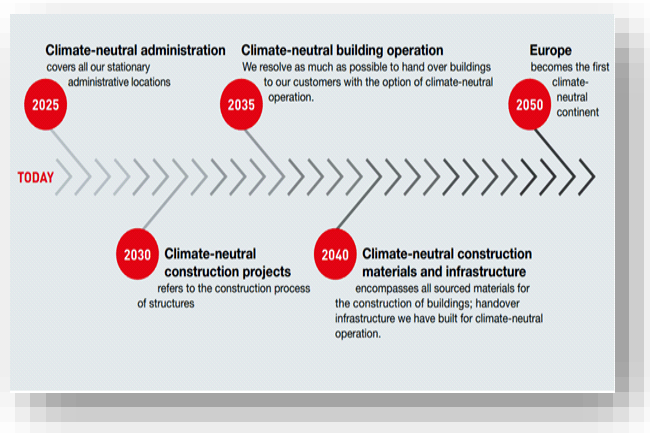


图 3-6 斯特拉巴格气候中和目标

1、碳排放

建筑行业约占全球 35% 的能源消耗和 38% 的相关温室气体排放。斯特拉巴格着力开发覆盖项目全周期的端到端碳足迹计算方法，通过建立数据系统对各国的生产设施和工地数据进行编制、合并、评估与验证，据此确定减排路径。

主要减排措施包括：应用低碳混凝土、气候友好型隔热材料等可持续材料；扩大可再生能源替代化石燃料；优先采用预制构件和模块化建筑；通过输送机上挖掘材料的重量发电，满足采石场约 20% 的电力需求。低碳混凝土可将碳排放削减 30% 至 50%，其在斯图加特创新中心的应用减少了 1050 吨二氧化碳排放，且无需额外测试或批准，不影响混凝土质量。

2、材料与循环

建筑业资源消耗巨大，欧洲 65% 的水泥、33% 的钢材、25% 的铝和 20% 的塑料用于建筑。德国建筑业产生的废物占总废物的 55%，其中仅少量实现高质量回收。斯特拉巴格致力于将线性经济转变为循环经济。

公司对矿产建筑废弃物（如土方挖掘、石料、建筑垃圾、道路拆除物）采取避免浪费、高效回收和再利用措施。从规划阶段即纳入拆除、处理和回收成本，确保资源最大化利用。同时通过环保认证和标签，将可持续发展绩效可视化，提升客户与社会认可度。

MAIN WASTE STREAMS IN 2022 (IN TONNES)¹

	Total handled waste (input)	Waste forwarded for disposal		Total	Waste diverted from disposal					
					Preparation for reuse		Recycling		Other recovery processes	
Total waste	8,774,276	4,662,750		4,844,419	219,525		167,082		4,457,812	
Hazardous	490,241	347,763		183,001	0		2,501		180,500	
		On site	Off site		On site	Off site	On site	Off site	On site	Off site
		2,441	345,322		0	0	2,501	0	178,909	1,591
Non-hazardous	8,284,035	4,314,987		4,661,418	219,525		164,581		4,277,312	
		On site	Off site		On site	Off site	On site	Off site	On site	Off site
		62,360	4,252,627		0	219,525	163,264	1,317	2,207,887	2,069,425

图 3-7 2022 年主要废物流

3、数字化、流程和创新

数字化战略涵盖五个方面：消除信息孤岛、标准化业务流程和应用技术、推进数字业务流程、通过新技术实现一致自动化、确保数字设备适用性与可用性。公司通过稳定的传统 IT 与灵活的数字领域相结合，将数字化应用于新流程和项目，将过程优化转化为商业模式和服务。

创新策略聚焦核心市场技术领先地位，专注于半自主机器和全自动化等施工现场应用。通过 BIM 5D 数字模型在早期阶段规划施工过程，提高效率并开发新的数字化业务模式。目前集团已实施 400 多个可持续发展项目和 250 个创新项目。内部创业计划 ad ASTRA 将员工创意转化为初创企业，以新商业模式应对行业挑战。

（五）西班牙阿驰奥纳公司（ACCIONA）

阿驰奥纳（ACCIONA）是西班牙第一家致力于可持续发展的公司，是世界上最主要的风能公司之一。2015 年巴黎气候峰会之后，阿驰奥纳通过采取各种措施履行其脱碳承诺，并于 2016 年实现了碳中和，是全球首批实现碳中和的企业。采取的碳减排措施主要包括：

（1）在自身业务发展上，该公司拥有目前世界上最大的可再生能源控制中心，管理着分布在全球五大洲的风电场，水电站，太阳能光伏发电厂、热电厂和生物质能发电厂等。

（2）在碳减排目标上，该公司设定了科学碳目标（Science Based Targets, SBT）。ACCIONA 致力于在 2017 年至 2030 年期间将其直接排放和能源消耗排

放减少 60%，同时将价值链排放减少 47%，这些目标与《巴黎协定》的目标相一致，ACCIONA 通过了 SBTi 核证的减排目标。

（3）在自愿减排交易市场上，该公司在墨西哥、印度、智利和哥斯达黎加注册了清洁发展机制（CDM）项目，在美国开展了风电项目的碳标准（VCS）计划认证。

（六）瑞典斯堪斯卡公司（SKANSKA）

为了引领建筑成为一个更可持续的行业，斯堪斯卡对自身的建设方式进行了重新整合，以确保向低碳建筑转型，包括能源效率、回收、可再生能源、电气化和数字化。

建筑的碳排放源于生命周期的各个阶段，为提高能源效率，斯堪斯卡开发使用创新设计、数字碳计算工具、高效运输系统、可再生能源以及电动汽车和机械，以减少碳排放量。在挪威，通过使用一个名为 Dizio 的数字工具来优化施工机器的移动，可以将现场的燃料使用量减少 10%。

斯堪斯卡的瑞典混凝土公司 SKANSKABETONG 于 2019 年推出了一系列低碳混凝土混合物。这些混合物包括钢渣（炼钢厂产生的废料）或电厂产生的粉煤灰代替部分水泥，与传统材料相比，所有这些材料能够减少高达 50% 的气候影响，同时保持其耐用性、强度和可加工性。SKANSKABETONG 在 2022 年生产的混凝土中有 15% 是低碳混凝土，而 2021 年这一比例为 5%。

二、国内建筑业企业低碳实践案例

（一）中交集团

1、战略目标

中交集团明确“成为全球交通基建领域绿色低碳发展引领者”的战略愿景，围绕“666”战略框架和“1545”战略定位全面推进绿色低碳转型。“1545”战略聚焦“五全四大五型”发展路径，将绿色低碳作为核心发展方向。2025 年 12 月，战略务虚会进一步明确了绿色低碳发展的战略地位。

2、战略实施路径

（1）产业升级为牵引：前端布局风电、光伏、水电；中端推动绿色建造与智能建造协同；后端聚焦资源循环利用与碳汇建设，形成闭环管理。

（2）技术标准为支撑：成立绿色低碳发展研究中心和碳资产管理中心，主导构建涵盖 75 项国家标准、90 项行业标准、37 项团体标准、65 项企业标准的交通基建绿色低碳标准体系。

（3）科技创新为驱动：构建“1+N”双碳管理体系，搭建数字“双碳”管理平台，累计获得国家专利 218 项（其中碳排放相关专利 8 项）。公规院主导研发的公路工程建设期碳排放量计算方法获卢森堡国际专利授权，为国际项目碳排放管理提供技术支撑。

（4）共享共赢为目的：坚持“高标准、可持续、惠民生”发展理念，截至 2025 年海外业务属地化率超 80%，外籍员工超 8 万人，为当地创造大量就业机会。

3、低碳技术体系与创新成果

（1）碳排放核算方法体系

公规院自主研发“基于建设工序的公路工程建设期碳排放量计算方法”，将工程碳排放机制与预算编制思路深度融合，建立工序分解与工程量映射的计算模型，配套构建包含近千项公路工程机械的碳排放因子数据库。该技术已形成企业及团体标准，应用于国内 1177 个公路项目。G1816 合赛高速公路集成应用 15 项绿色低碳技术，预测全过程减碳约 8 万吨，降低成本约 6000 万元。2025 年 4 月获卢森堡国际专利授权，为“一带一路”绿色基建项目提供技术保障。

（2）交能融合技术

形成“以路为基，打造零碳标杆”的技术路径：承平高速雾灵山服务区集成光伏、储能、充电桩技术，年发电量 311 万千瓦时，实现用电自足并网，年减碳 2500 吨，入选交通运输部首批零碳项目；开发隧道照明节能系统 CCER 碳汇资产，形成“节能改造+碳汇开发”新业态；江西高速公路整合服务区、隧道、声屏障建设光伏电站，年节约电费 1700 万元，减碳 44 万吨；通过光储充一体

化系统，推动交通基础设施从能源消费者向产销者转变。

（3）智能建造与数字低碳技术

科创大厦项目将数字智慧贯穿设计、施工与运维全过程，累计减碳 6550 吨，实现近零能耗施工与运营；天津港零碳码头应用 AI 智能水平运输管理系统，实现超 L4 级无人驾驶，能耗较传统自动化码头下降 17%；开发国内首创施工期多方主体碳交易系统，完成广西平容高速 400 吨碳排放额度交易，推动基建领域碳交易从单点突破迈向系统深化。

4、典型实践案例

（1）港珠澳大桥生态保护项目

港珠澳大桥是连接香港、珠海和澳门的超大型跨海通道，是粤港澳三地首次合作的超大型跨海交通工程，被誉为“新世界七大奇迹”。



图 3-8 港珠澳大桥

全长 55 公里，横跨中华白海豚国家级自然保护区，是世界最长的跨海大桥之一。该项目采取的低碳实践措施如下：

- 1) 实施“四化”建设理念（大型化、工厂化、标准化、装配化），将大型构件在工厂完成，再运抵海上安装，最大限度减少海上作业时间和人员。
- 2) 应用水下声学屏障技术，减少施工噪音对中华白海豚的影响。
- 3) 组建专业海豚观察员队伍，实时监测白海豚活动，确保施工期间白海豚安全。

4) 建立污染防控体系，防止施工废弃物污染海洋环境。

(2) 埃塞俄比亚河岸绿色发展项目

援埃塞俄比亚河岸绿色发展项目是中埃共建“一带一路”重点项目，是中埃建交 50 周年献礼项目，是落实习近平总书记中非合作论坛北京峰会“八大行动”倡议“绿色发展”行动计划的具体举措，是埃方政府高度重视的“第一优先”项目，也是埃塞俄比亚总理阿比·艾哈迈德“美化亚的斯”倡议的核心示范工程，备受中埃两国政府重视和关注。

该项目采取的低碳实践措施如下：

1) 中国标准示范引领

援埃塞俄比亚河岸绿色发展项目建设过程中，中交一公局集团力推中国标准走出去，项目代表了中国先进景观设计水平和施工工艺水平。通过项目的成功实施，得到了埃塞俄比亚总理的高度赞誉，指出中国的发展模式、中国的先进技术一直是埃塞学习的榜样。

2) 应用推广新技术

项目采用国内先进树木移植标准实施大型树木移植。营养液、生根剂以及防护剂的广泛使用填补了埃塞大型树木移植技术的空白，总理亲自进行技术推广。项目所建人工湖是整个埃塞俄比亚最大的人造湖，人工湖的实施采用国内先进的风积沙防渗毯进行湖底封闭，有效解决人工湖渗、漏水问题。一站式污水处理厂采用半地下结构，较埃塞传统污水处理厂站占地更小，实用价值更高，成为埃塞未来污水处理方面技术典范。

3) 建立“一手册、二报告”绿色管理标准体系（《安全生产、质量监督、节能环保监督标准框架及导则》、节能环保监测统计报告与信息报送制度）。

4) 引入中国温室培育技术，在当地建立温室大棚，为埃塞俄比亚留下可持续发展的绿色希望。



图 3-9 援埃塞俄比亚河岸绿色发展项目全景

（二）中建集团

中国建筑集团有限公司是中国专业化经营历史最久、市场化经营最早、一体化程度最高的建筑业房地产企业集团之一。在国家“双碳”背景下，中建集团顺应时代背景，勇担央企历史使命与责任，积极践行“双碳”新发展理念，推动高质量发展，编制出台《中国建筑集团有限公司碳达峰行动方案》。

1、主要目标

（1）2025年前，集团主营业务转型升级和低碳发展取得明显进展，第二增长曲线初步显现，有利于绿色低碳循环发展的生产和考核体系基本建成，勘察设计产品和投资建设项目全面践行绿色低碳理念；自持物业全部完成节能改造评估和各区域重点项目工程示范。

（2）2030年前，绿色低碳转型全面完成，绿色低碳业务增长点全面形成；成为城乡建设和城市运营绿色低碳综合解决方案提供者，在建筑业碳达峰工作中发挥重要推动和引领作用。

2、重点任务

（1）强化绿色发展顶层设计：统筹减碳与集团发展等重大关系、制定碳达峰发展路线图、开展节能减碳国际合作行动。

(2) 开展节能降碳增效活动：提升节能降碳管理能力、实施节能降碳示范工程、推进办公场所能效提升。

(3) 加强低碳建设投资运营：全面实施绿色低碳地产开发、加快提升新基建投资水平、高质量发展交通基础设施业务、拓展绿色低碳城市更新。

(4) 提升绿色勘查设计水平：推行绿色勘察设计产品、推广绿色设计集成技术、加强绿色乡村规划与设计、开拓建筑碳核算核查新业务。

(5) 推进绿色建造方式改革：大力发展装配式建造方式、加快普及智能建造模式、积极推进绿色建材应用、提升建设领域资源利用效率。

(6) 加强低碳业务转型力度：拓展生态环保领域业务、发展节能低碳数字产业、积极布局建筑用能新产业、大力探索负碳产业方向。

(7) 加快绿色低碳科技创新：建立健全建筑业碳排放标准、组织开展重大项目攻关、加强碳达峰碳中和科技创新平台布局、强化技术集成应用研究与成果转化、加大碳达峰碳中和科技人才培养力度

(8) 布局绿色金融与碳交易：推进绿色金融手段应用、支持绿色低碳项目投资、参与构建行业碳交易机制。

(9) 打造建筑领域碳圈生态：加大政策标准参与力度、倡导建立行业发展联盟、打造绿色建造国际品牌、主动践行央企责任担当、推动 ESG 管理体系建设。

3、绿色低碳实践

中建集团碳盘查工作是我国建筑行业首次开展的大规模碳盘查活动，由中国建筑碳达峰碳中和工作小组办公室统一部署，制定了《中国建筑集团碳盘查工作方案》，并安排多场专项培训提升集团碳盘查工作营专业能力。统一工作标准，确保碳盘查数据的科学性、规范性与准确性。中国建筑集团的系列碳盘查活动，有助于摸清集团总体碳排放数据，挖掘碳减排潜力。此项活动为建团实现碳达峰提供了扎实有力的数据支撑并为集团的碳减排路径提供了初步建议。

在项目实践上，中建国际(苏州)总部项目是典型的碳达峰案例，此项目利用屋面与立面建筑光伏一体化技术以及热泵技术降低建筑电耗、减少间接及直接碳排放。其中，围护结构热工性能较现行《建筑节能与可再生能源利用通用

规范》GB55015 的限值要求均提升 20%，冷热源机组、水泵与风机、变压器、照明灯具等机电设备均选用现行能效标准的一级能效产品或满足节能评价要求的高效设备，此外项目预制率达到 45.3%，并创新性地应用低碳施工技术，可大幅降低建材损耗及施工阶段的环境污染。

此外，中建集团下属单位中建科技的“光储直柔”建筑成为全球首个运行的“光储直柔”建筑，该建筑通过建设光伏发电系统使建筑成为“绿色发电厂”，配备高性能环保锂电池储能系统，采用直流配电与电器直流化设计，建立可视化能源管理平台，实现了建筑“零碳”排放，充分带动了建筑行业向清洁低碳转型，获“创新领先”优秀实践案例。该项目是全球首个运行超一年的“光储直柔”建筑，成为生态环境部《中国应对气候变化的政策与行动 2022 年度报告》中的行业唯一低碳试点示范案例。

（三）中国铁建

1、双碳战略体系与顶层设计

中国铁建制定的“123456”绿色低碳发展战略是公司低碳转型的纲领性文件，其内涵可概括为：

“1”：以 2030 年前实现碳排放达峰为核心目标，统筹规划企业绿色低碳转型路径。

“2”：聚焦国内基建低碳化与国际绿色基建输出两大领域，形成内外联动发展格局。

“3”：构建三大关键路径——技术引领（气凝胶、新能源装备等）、管理协同（成立中碳公司统筹碳资产）、产业联动（带动供应链降碳）。

“4”：以“四大工程”为抓手推动碳达峰落地，包括零碳标杆项目创建、绿色建造技术推广、产业链低碳转型、智慧管控平台建设。

“5”：发展五大技术方向——低碳建材（气凝胶、竹基材料）、清洁能源（风电/光伏/抽水蓄能）、智慧建造（BIM+物联网）、生态修复（红树林保护、沙漠治理）、碳资产管理。

“6”：实施六大专项行动——零碳项目创建、低碳技术攻关、碳资产开发运

营、绿色供应链构建、员工低碳培训、国际标准参与。

2、中国铁建低碳技术研发与创新成果

（1）气凝胶材料技术体系

中国铁建绿色低碳产业技术研究院研发的高性能气凝胶隔热保温材料是公司低碳技术研发的代表性成果之一，已形成完整的技术体系：

1) 技术特性：

- 导热系数低至 0.017-0.018 W/(m·K)
- 防火等级达 A2 级
- 疏水效果佳，使用寿命长
- 透光率高、雾度低，红外阻隔率高于 94%

2) 技术创新：

- 首创动态梯度温压耦合干燥工艺制备气凝胶粉体，实现中低温条件下高效脱除溶剂，设备能耗直降 40%
- 创新化学耦合法制备气凝胶涂料，仅需同类产品 60% 的粉体量，即可达到同等隔热性能

3) 产业化应用：

- 建成年产百吨级气凝胶粉及涂料中试生产线
- 应用于北京朝阳站、厦门北站等高铁站房
- 在中铁建设大厦改造中应用，年节电 20 万度，节能率高出传统机房 43%
- 在海南博雅二期住宅、郑州郑东科创文旅等项目应用

（2）新能源装备技术体系

中国铁建下属的中铁长安重工有限公司和铁建重工在新能源装备领域取得突破性成果，形成了完整的技术体系：

1) 纯电动高原隧道施工装备：

- 适应 -40℃ 至 60℃ 极端环境，工效提升 20%
- 新能源纯电动高原隧道装载机每台每年减排 9.4 吨二氧化碳
- 新能源纯电动高原隧道矿卡单台年减排 347 吨二氧化碳，年节省燃油费用 85 万元

➤ 新能源电机车市场占有率超 75%，间接为客户创造 40 亿元效益

2) 电动宽体自卸车：

➤ 平均每公里消耗 1 度电，对比同款燃油车型每公里油耗 1.2 升

➤ 每日节约 1500 元以上，每年节省费用可达 60 余万元

➤ 已在矿山、砂石料厂、大型水利、市政等基建场地应用

3) 新能源隧道检修车：

➤ 铁建装备为香港铁路有限公司定制的新能源多平台隧道检修车组采用“蓄电池+发电机组”双动力模式

➤ 适应香港地铁不同隧道复杂限界工况，实现零排放

➤ 为“一带一路”沿线基础设施建设提供了“绿色装备+高端服务”的新范式

(3) 竹基复合材料技术体系

竹基复合材料是中国铁建“十四五”期间培育的战略性新兴产业品牌之一，具有显著的低碳减排特性：

1) 技术特性：

➤ 质量轻：密度 0.95-1.0g/cm³，仅为钢材 1/4

➤ 拉伸强度高：轴向拉伸强度达 300MPa，是钢材的 1.5 倍

➤ 耐腐蚀：在黑龙江-40℃至新疆 60℃极端环境通过验证

➤ 寿命长：加拿大测试显示使用寿命超 50 年

➤ 环保特性：生产过程不消耗化石能源，不产生废气、废水

2) 全生命周期碳排放：

➤ 全生命周期碳足迹为-1.53kgCO₂e/kg，实现净固碳

➤ 每吨产品固碳 1.83 吨，减排二氧化碳 10.3 吨

➤ 年产 120 万吨竹缠绕管道可减排约 600 万吨二氧化碳，储碳固碳约 1000 万吨

3) 产业化布局：

➤ 构建了“产业投资+技术研发+设备制造+管道生产+产品营销+工程服务”的全产业生态链

➤ 已建立竹基管道工厂 4 个，投入生产线 7 条，年产能达到 3.5 万吨

➤ 在湖南桃江、福建三明永安市、天津、重庆、河南南阳等地布局竹材加

工基地、原料基地或生产基地

- 全国首个 10 万吨竹缠绕管道管廊全产业链项目一期于 2025 年 9 月在大竹县投产

4) 应用案例：

- 已在全国铺设 500 多公里，应用于铁路、公路、水利市政建设等领域
- 在北京大兴机场供水管廊、浙江农林大学示范建筑等项目应用
- 在新疆塔克拉玛干沙漠锁边工程中应用“光伏+生态”立体治沙示范园区技术

3、典型实践案例

（1）海南博鳌零碳示范区

中国铁建旗下中铁建设集团参与改造施工的博鳌零碳示范区位于海南省琼海市博鳌镇东屿岛，是中国住房和城乡建设部与海南省联合推动的绿色低碳示范工程，于 2022 年 1 月启动创建，2025 年 3 月更名为“博鳌零碳示范区”，总面积 190.15 公顷，该示范区入选了住房和城乡建设部发布的第一批城市更新典型案例——既有建筑更新改造案例。



图 3-10 博鳌零碳示范区

博鳌零碳示范区采取的低碳实践如下：

能源系统创新：建设分布式光伏发电系统、太阳能路灯等设施，实现清洁

能源覆盖率 100%；光伏建筑一体化装机容量 5.1 兆瓦，光储直柔系统配置 10MW/40MWh 全钒液流电池储能。

建筑低碳改造：采用被动式建筑设计、节能门窗更换、屋顶隔热改造等技术，降低建筑能耗 45% 以上；改造后能耗降低 30%。

交通绿色化：建成 1450 个新能源车位及 266 个充电桩，实现充电覆盖率 100% 和交通电气化率 100%；完成高尔夫草坪机械和船舶的电气化改造。

智慧管理平台：开发数字孪生系统实时监测碳排放数据，通过物联网平台实现碳排放精准管理。

碳汇建设：通过红树林修复和高尔夫球场生态改造，新增碳汇面积 1200 亩，年固碳量 5800 吨，已获 VCS 和黄金标准双重认证。

（四）中国建筑第八工程局

作为 2024 年建筑企业 200 强榜首，中建八局在低碳领域开展了多项实践。例如在大型公共建筑中采用高效地源热泵系统，利用浅层地热资源，大幅降低能耗与碳排放；施工现场广泛应用太阳能光伏发电技术，为施工设备和临时设施供电，减少对传统电网的依赖。

1、设计规划方面

优化建筑体型系数：中建八局人才发展中心通过形体模拟，将体型系数由 0.4 降至 0.23，减少热交换面，降低约 15% 的运行碳排放。

采用建筑自遮阳系统：南向房间采用水平遮阳，实现冬季采光、夏季隔热；西向房间采用挡板遮阳，减少西晒影响，降低空调能耗。

应用高效保温隔热材料：人才发展中心采用保温装饰一体化系统，公寓立面使用装配式清水混凝土保温装饰一体化系统，全生命周期节碳约 40%；建筑绿色低碳技术实验室利用“棉被效应”，外墙传热系数降至 $0.19\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ，屋面降至 $0.12\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

配置低辐射玻璃：公寓及教室等部位采用 Low-E 玻璃，冬季保温、夏季隔热。

2、能源利用方面

太阳能综合利用：人才发展中心设置太阳能耦合热水系统，采用“无动力承压式太阳能集热器”与“一次加热式空气源热泵机组”耦合，年均减碳 51.2 吨。建筑绿色低碳技术实验室采用复合立体太阳能，包括 BIPV 光伏幕墙、PVT 光热一体化及 BAPV 分布式光伏板，年发电量约 22200kW·h，可覆盖全年能耗。

地源热泵技术应用：实验室采用地埋管地源热泵复合系统，比传统水系统节能 20%以上；部分北京项目采用地源热泵+空气源热泵+燃气锅炉耦合系统，年均减排 CO₂ 约 1359 吨。

光储直柔技术引入：实验室引入光储直柔技术，设置储能与柔性用电调节装置，与太阳能光伏构成能源闭环，提高发电利用率，降低电力系统波动性。

3、施工建造方面

推广新型施工技术：在西港城市航空服务园区项目，推广应用大截面超厚型钢板剪力墙施工、超高层大截面型钢柱铝合金模板免开孔施工、高大空间机电管线预制装配式施工、机电装饰一体化施工等自主创新低碳建造技术。

加强施工现场管理：严格控制扬尘污染，配备先进除尘设备；通过雨水收集和循环利用系统实现水资源最大化利用；优化施工流程减少材料损耗；实施垃圾分类和资源回收，提高资源利用率。

5、运营管理方面

打造智能机电系统：采用高效机房系统，通过精确温控与智能散热确保设备最佳运行状态；应用新风冷凝热回收系统，回收排风热能；构建智能照明系统，根据环境光线、时间、人员活动智能调节。

搭建智慧运维平台：利用楼宇自控、能耗监测等技术构建低碳高效运维环境；通过数智孪生技术实现设备运维实时监控与优化；健康监测平台实现建筑健康实时监控、数据分析和预警。

倡导绿色生活方式：张江广兰路 TOD 城市综合体项目设置更衣室，鼓励绿色交通出行，应用低碳积分兑换物业费等方式，倡导低碳生活。

（五）上海建工集团

上海建工承建了全国首批零碳建筑“碳 12 坊”，采用光伏产能最大化利用、氢燃料电池热电联供等 12 项节能降碳技术及 1 个能源综合管理平台，一期预计年均光伏发电 210 万度，其他措施节电 170 万度，累计每年减碳 2210 吨。具体的措施如下：

1、能源供应与利用

光伏产能最大化利用：通过合理设计和布局太阳能光伏发电系统，使光伏板能够充分接收阳光照射，将太阳能转化为电能。一期预计年均光伏发电 210 万度，为园区的运营提供大量的清洁电力，减少对传统化石能源的依赖，从而降低碳排放。

光伏产能最大化利用：通过合理设计布局，一期预计年均光伏发电 210 万度，为园区提供大量清洁电力，减少对化石能源的依赖。

氢燃料电池热电联供：利用氢气和氧气的化学反应产生电能和热能，实现能源梯级利用。电能满足用电需求，热能用于供热或其他场景，减少单独供热的能耗与碳排放。

能源综合管理平台：对园区内各类能源数据进行实时监测、分析和管理的，通过智能化调度优化能源分配，提高整体利用效率，避免能源浪费。

2、建筑设计 with 材料

高效保温隔热：采用高性能保温隔热材料和技术，提高建筑围护结构性能，减少冬季采暖和夏季制冷的能耗。

节能门窗应用：选用低辐射玻璃、断桥铝合金窗框等节能型门窗，提高隔热、隔音和密封性能，降低热量传递与空气渗透。

3、运营管理优化

智慧运维管理：利用物联网、大数据、人工智能等技术，实现设备设施智能化运维。通过实时监测、故障预警与智能诊断，确保设备处于最佳运行状态，

提高能效、降低能耗。

低碳行为引导：通过宣传教育、规章制度等方式，引导园区内企业和人员养成绿色出行、节约用电用水、减少一次性用品使用等低碳行为习惯，从细节入手降低碳排放。

三、国内外建筑项目低碳实践案例

（一）国外建筑项目低碳实践案例

1、西门子“水晶大厦”

西门子“水晶大厦”是一座会议中心，也是目前世界上最大的可持续发展城市规划展览中心。与同类办公楼相比，它可节电 50%，减少二氧化碳排放 65%，获得 LEED 和 BREEAM 两项大奖——它们均是针对可持续发展的环保型设计和建筑的严格认证体系。



图 3-11 西门子“水晶大厦”

“水晶大厦”将尖端的技术与先进的设计结合，充分利用每一丝可以利用的能源。

首先，供热与制冷的需求全部来自可再生能源。当需要降低室温时，“水晶大厦”就将热量排入地下。到了冬季，“水晶大厦”再将热能从地下抽上来，为大厦供暖。这一装置的管道埋入地下 150 米深处，系统的热泵可以满足大厦内全部的供暖需求、约三分之二的热水需求以及约三分之二的空调用能需求。

其次，该建筑使用自然光线，屋顶上覆盖的光伏电池组，它可以收集阳光，并利用太阳能发电，可满足“水晶大厦”20%的用电需求。为最大限度提高能源利用率，运用 Desigo 楼宇管理系统采集关于大厦室内外温度、房间占用情况及空气质量等众多信息，来判断是否通过窗户通风就可以保证室内空气的良好流通，以及是否关闭闲置办公室中的供暖设备。如此既可节约成本，又可减少能耗。

2、德国联邦环境局办公楼

德国联邦环境局办公楼（FEA）办公楼新址的场地曾经是一个煤气生产区，土壤和地下水曾被严重污染，且遗留下很多不同程度受损的旧建筑。FEA 办公楼在正式建设之前，先将土壤和地下水净化。接着，保存了一个小工厂和另一个工厂的部分结构，前者现在是图书馆，而后者成了咖啡厅的外墙，而具有明显历史意义的火车站则被改造成 FEA 办公楼的公共信息中心。可持续建筑的重要理念之一就是能够让更多的人享用建筑，所以 FEA 决定要把新办公楼融入周边的市民公园中。



图 3-12 FEA 办公楼

FEA 办公楼采用被动设计优先、减少化石燃料消耗且不降低舒适度的总体能源策略，主要措施如下：

（1）最小化建筑表面热损失：采用紧凑建筑外形；中庭作为热缓冲空间；围护结构具备良好保温隔热性能。

（2）最小化通风过程热损失：提高建筑密封性；排风热量回收；冬季利用

地热交换系统预热送风。

（3）优化夏天热防护：地热交换系统预冷新风；采用三层玻璃隔热；玻璃屋顶设置内遮阳；利用主体结构蓄热能力减少温度波动。

（4）最大化太阳能被动利用：可调节遮阳措施，冬日阳光直射室内；积极利用太阳能吸收器与光电收集器。

（5）利用中庭调节微气候：面向中庭的房间开窗自然通风，废气“溢出”进入中庭；面向外立面的房间同样通过自然对流将废气排入中庭。

（6）最大限度利用自然采光：设计较浅的建筑进深；优化窗墙比（外立面约 35%，中庭立面约 60%）；利用建筑表面传导和反射自然光。

（7）其他生态措施：采用垃圾填埋甲烷进行区域供热；使用循环材料、生态可降解及可再利用材料；屋顶绿化。

（8）可再生能源应用：可再生能源占总体能耗约 10%，包括太阳能光伏、太阳能辅助制冷、地热交换系统。各系统有机整合、互为补充，根据外界气候条件协同运行，最大化利用外部条件。



图 3-13 建筑中庭起到反光作用的小水池

3、丹麦·哥本哈根绿色灯塔

绿色灯塔是哥本哈根联合国气候变化峰会（COP 15）的一个献礼性展示项

目，作为丹麦首个以碳中和为目标的公共建筑，Green Lighthouse（绿色灯塔）自 2009 年落成以来，始终是全球可持续建筑领域的标杆。这座位于哥本哈根大学校园内的圆形建筑，以“能源自给、零碳循环”为核心，不仅验证了碳中和技术的可行性，更通过十余年的运行数据，为全球城市绿色转型提供了可复制的解决方案。

项目通过三大技术体系实现能源革命：被动式节能设计优化建筑朝向，采用双层隔热玻璃与高效保温墙体，冬季减少 70% 热量流失，夏季降低 40% 制冷需求；可再生能源集成方面，屋顶光伏年发电量约 26000 千瓦时，满足 35%-40% 用电需求，地源热泵能效比达 4.2，完全满足冬季供暖；智能化管理系统依托传感器网络实时调控通风、照明与温控，动态匹配能源供需。

运行模式上，建筑构建了“生产-存储-调配-反馈”的能源闭环。光伏余电并入电网，夏季过剩太阳能通过储热罐供冬季使用；地源热泵从地下 80 米提取恒温热能。雨水回收覆盖 80% 非饮用水需求，建筑废弃物回收率达 95%。通过 APP 向用户反馈实时能耗，结合分时电价，夏季制冷能耗降低 22%，冬季采暖需求减少 18%。

十余年运营成果显著：环境效益方面，年均净碳排放-2.3 吨，较传统建筑减排 90% 以上；单位面积年能耗仅 18-20 kWh/m²，比丹麦现行标准低 76%。经济效益方面，年节约能源支出 3.8 万欧元，投资回收期缩短至 9 年；孵化的 12 项光伏材料与 5 种智能算法已商业化，创造价值超 200 万欧元。社会价值方面，累计接待访客超 5 万人次，成为 30 余所高校实践教学基地，并促成哥本哈根 30 余个公共建筑采用同等标准。

能源供给上，光伏与地热覆盖 85% 的需求，剩余 15% 通过采购绿电并购买绿证实现 100% 零碳覆盖。夏季余电并入电网输出清洁能源，结合绿植吸收与碳捕获，年均净吸收 2.3 吨二氧化碳，最终实现负碳运营。



图 3-14 哥本哈根绿色灯塔外景

（二）国内建筑项目低碳实践案例

1、超高层绿色建筑—上海中心大厦

上海中心大厦于 2015 年年中竣工，是一幢综合性超高层建筑，总面积为 50 多万 m^2 ，用地面积 3 万多 m^2 ，获得了国家三星级绿色建筑设计标识证书及美国 LEED 铂金级认证，是集商业、办公、酒店、观光于一体的超高层绿色建筑。



图 3-15 上海中心大厦全貌图

大厦以“体现人文关怀、强化节资高效、保障智能便捷”为技术特色，通过场地规划设计、节能和新能源利用、节水和雨污水回用、节材与材料利用和室内外环境控制等专项技术做到“节地、节能、节水、节材”，降低建筑全生命周期二氧化碳排放。采用的节能降碳技术措施包括：

（1）BIM 技术应用：通过建筑信息模型将建设全过程信息整合为三维空间模型，实现精细化管理，及时发现工程问题，减少材料浪费，同时记录各环节工作情况，提升施工质量。

（2）可再生能源应用：顶层布置 270 台垂直轴涡轮风力发电机，每年提供 1.19 百万度绿色电力，供屋顶及观光层设备使用。

（3）幕墙被动式节能：采用内外双层幕墙设计，外层夹胶玻璃与内层低辐射中空玻璃形成热缓冲，降低传热系数；结合固定水平遮阳板，进一步降低综合遮阳系数，实现节能与美观的统一。

（4）水资源利用：收集塔楼屋面、裙楼屋面雨水及酒店中水，回用于灌溉、冲厕及清洗，整幢建筑节能节水率超过 50%。

（5）“空中花园”设计：在双层幕墙空腔位置设置 24 座空中花园，场地绿化面积超 1 万平方米，绿化率达 33.33%，有效降低热岛效应，增加雨水渗透。

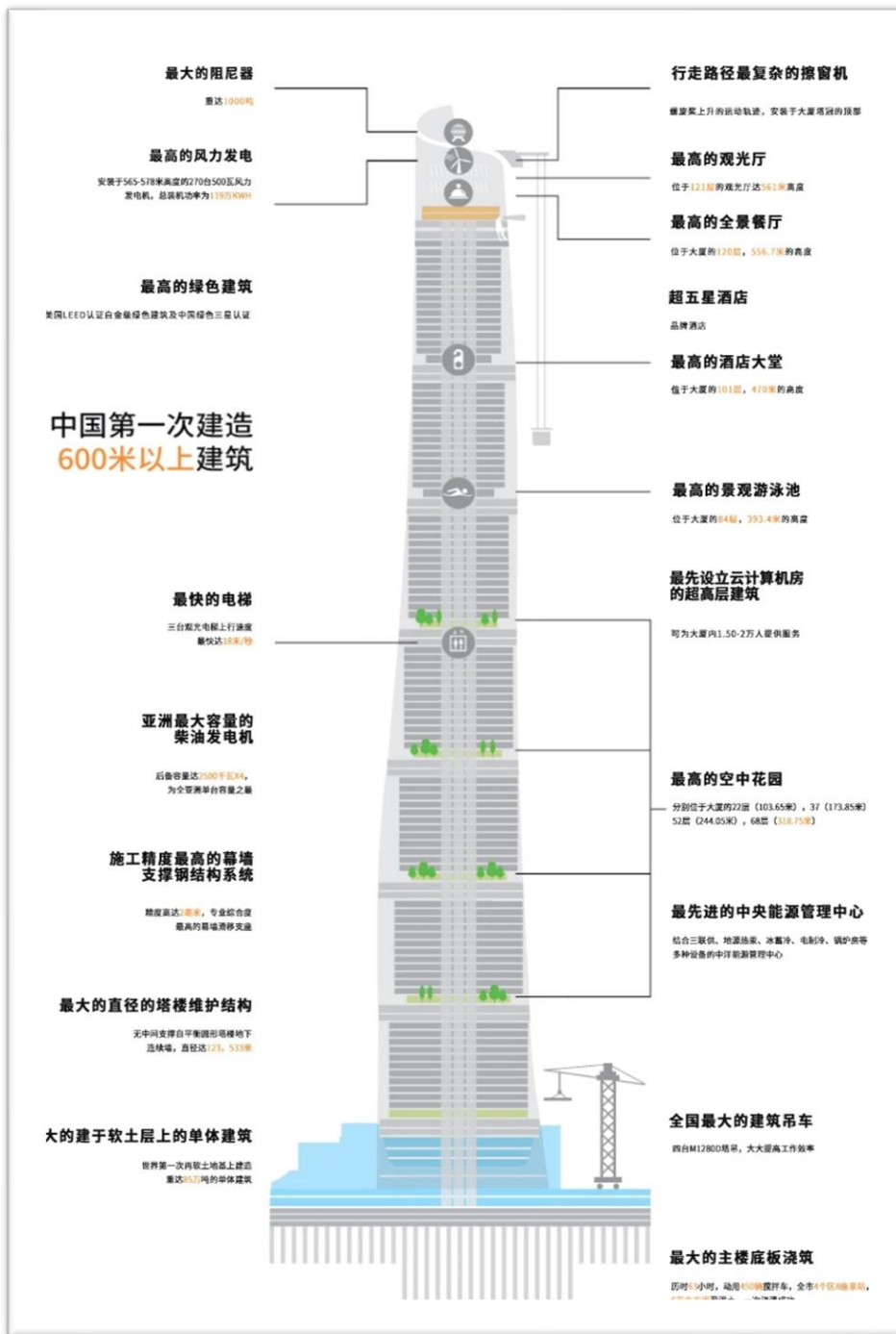


图 3-16 上海中心大厦之最

2、近“零碳”建筑—南京绿色灯塔

南京绿色灯塔位于南京高新区，用地面积为 9456m²，是是中国与丹麦合作的示范项目，设计灵感来自丹麦哥本哈根的绿色灯塔。

南京绿色灯塔设计原则一是尽量减少能耗，通过“智能设计”将能耗降到中

国标准需求基准线的 60%；二是尽量使用可再生能源，通过主动式设计和采用可再生能源，降低能源需求大约 20%。



图 3-17 南京绿色灯塔全貌

建筑设计时在采光模拟计算上花了大量的时间。在多学科小组和 3D 工具优化领域的辅助下，从建筑外立面、建筑表皮、内部中庭到天窗都经过了精确计算，使所有永久工作区域通过复杂的立面设计，达到了 200 lux 自然日光水平。另外，外表呈锯齿状分布的玻璃幕墙，可随光照角度调节强度，在采集太阳能即时数据变化的同时，也有效杜绝了玻璃幕墙导致的光污染。

建筑内部没有传统空调，制冷供暖依靠的是全新的地源热泵技术。每层楼板厚度为 30cm，中间预埋了具有蓄冷蓄热功能的 TABS（Thermally Activated Building System，热辐射建筑系统），分别与地下 21~100m 深井里的 U 形管相连。冬季，热泵机组从岩土体中吸收热量，向建筑物供暖；夏季，热泵机组从室内吸收热量并转移释放到地源中，实现建筑物空调制冷。同时，建筑使用了外中空、内真空的“三玻两腔”玻璃幕墙，实现了有效隔热和保暖，大大降低冷量或热量的损失。

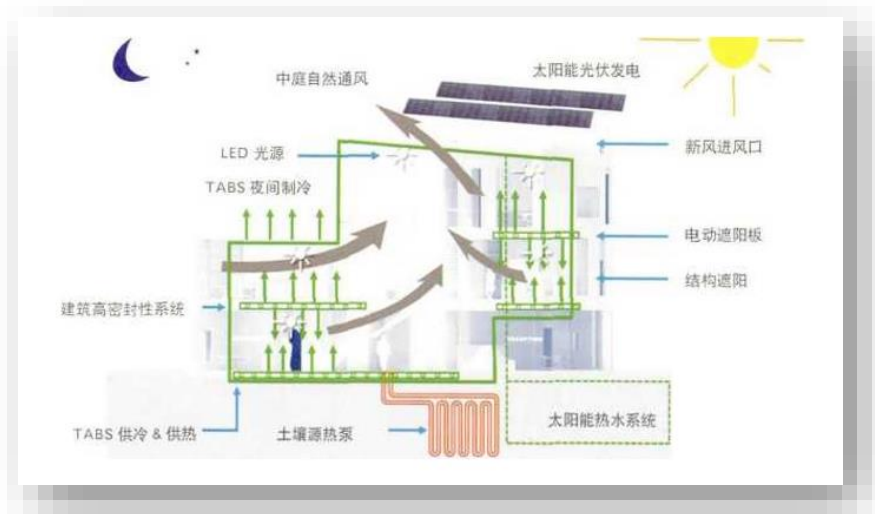


图 3-18 南京绿色灯塔应用的绿色技术

南京绿色灯塔的建成说明只要引起重视可持续精心设计与施工，人们是能够在很大程度上减少化石能源使用，增加可再生能源利用，成为近零碳建筑。

3、台湾超高层绿色建筑—台北 101

台北 101 是位于中国台湾省的地标性摩天大楼。这座建筑地上 101 层，地下 5 层，结构高度达 508 米，有一个位于 89 层的室内观景台和 91 层的室外观景台。它的设计灵感来源于中国传统建筑，大楼造型宛若劲竹节节高升、柔韧有馀，内斜七度的建筑面，层层往上递增；高科技材质及创意照明，以透明、清晰、营造视觉穿透效果，与自然及周遭环境大尺度的融合。2011 年，台北 101 大楼获得了美国 LEED 铂金级认证。



图 3-19 台北 101 全貌

四、国内建筑业企业低碳管理需求调研分析

（一）调研概述

1、调研背景

在“双碳”战略深入推进的背景下，建筑业作为高耗能、高排放行业，其低碳转型进程直接影响全国碳达峰碳中和目标的实现。为精准掌握国内建筑业企业在绿色低碳转型中的实践现状、核心需求及现存挑战，为行业碳达峰碳中和路径优化、政策制定及技术服务升级提供数据支撑和案例参考，特开展本次调研工作。

2、调研方法和范围

本次调研采用问卷调查法，面向国内各类建筑业相关企业发放问卷，涵盖建筑施工、基础设施建设、勘察设计、建材生产供应等多个业务领域，覆盖不同规模、不同地区的企业。本次调研共发放问卷 160 份，收回有效问卷 137 份，

有效回收率为 85.63%，样本量充足、分布合理，能够客观反映国内建筑业企业低碳管理的整体情况。

3、调研目的

- (1) 了解建筑业企业对双碳政策、绿色认证、碳管理相关知识的认知程度；
- (2) 掌握企业在低碳管理体系建设、专业团队配置、数字化工具应用等方面的实践现状；
- (3) 明确企业在低碳管理过程中的核心需求，包括培训、技术、政策等方面的支持需求；
- (4) 分析企业在实现碳达峰碳中和目标中面临的主要挑战，提出针对性的优化建议；
- (5) 为行业主管部门制定相关政策、科研机构开展技术研究、服务机构优化服务内容提供依据。

（二）调研结果及分析

1、基本信息统计分析

本次调研有效样本 137 份，样本企业的基本信息涵盖单位业务类别、企业规模、年营业额、受访者职位四个核心维度，具体统计结果如下，为后续需求分析奠定基础。

（1）企业业务类别统计（多选题）

本次调研样本覆盖建筑业全产业链相关企业，各类业务类别企业分布较为均衡，具体统计如图 3-20 所示：

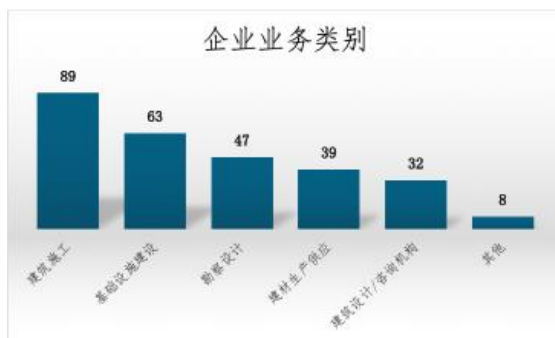


图 3-20 企业业务类别调研结果

注：多选题占比合计超过 100%，下同；“其他”类别主要包括建筑运维、低碳技术研发等相关企业。

（2）企业规模统计

样本企业规模呈现“中型企业为主、大中小型均衡分布”的特点，其中 300-1000 人规模企业占比最高，具体统计如图 3-21 所示。

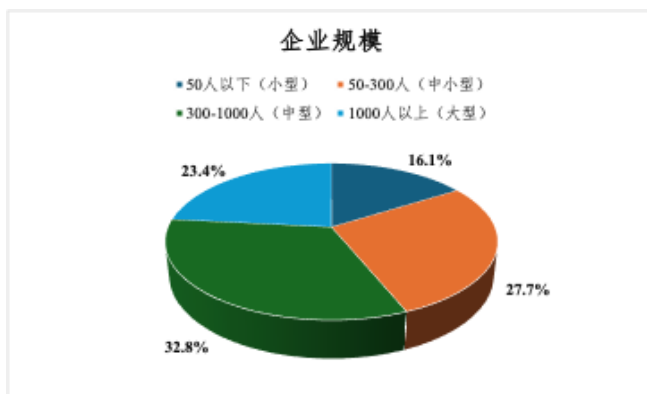


图 3-21 企业规模调研结果

（3）企业年营业额统计

样本企业营业额分布与企业规模呈现正相关，1 亿元-10 亿元营业额企业占比最高，小型企业（1000 万元以下）占比最低，具体如图 3-22 所示：

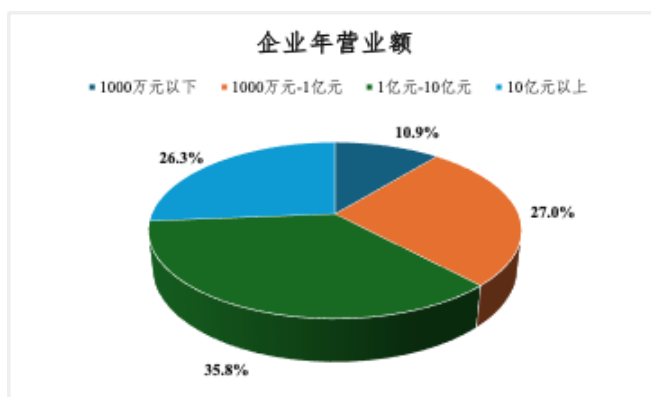


图 3-22 企业年营业额调研结果

（4）受访者职位统计

受访者以中层管理者和基层管理者为主，能够全面反映企业低碳管理的实际执行情况和一线需求，高层管理者的参与也为调研提供了企业战略层面的视角，具体如图 3-23 所示：

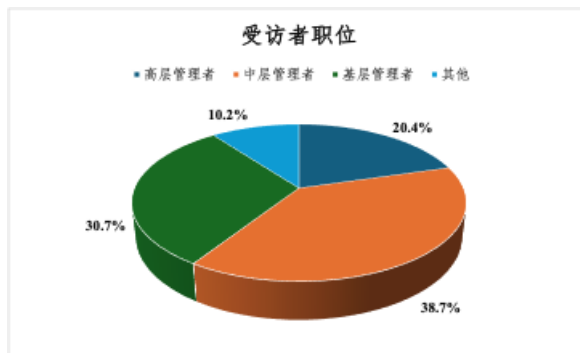


图 3-23 受访者职位调研结果

注：“其他”类别主要包括技术骨干、行政人员等参与企业低碳相关工作的人员。

2、建筑业企业低碳管理现状统计分析

本部分围绕企业对双碳政策的认知、碳管理体系建设、专业团队配置、绿色建材认知、数字化工具应用、双碳战略规划等核心维度，结合 137 份样本数据，分析当前建筑业企业低碳管理的整体现状。

（1）双碳政策认知程度

企业对建筑业双碳相关政策和要求的认知程度，直接影响其低碳转型的主动性和推进效率。本次调研结果显示，多数企业对双碳政策有一定了解，但仍有部分企业认知不足，具体如图 3-24 所示：

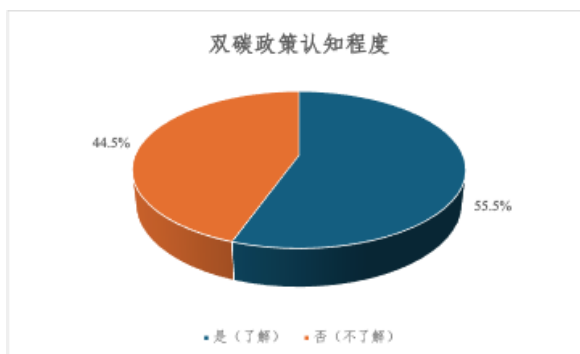


图 3-24 双碳政策认知程度调研结果

分析：超过一半的企业了解双碳相关政策，说明“双碳”战略在建筑业的普及度已达到一定水平，但仍有 44.5% 的企业不了解相关政策，其中以小型企业、基层从业者为主，反映出政策宣传在中小微企业和一线层面仍有提升空间。

（2）碳管理体系建设情况

碳管理体系是企业开展低碳管理、实现碳减排目标的核心支撑，本次调研从体系搭建及运行情况两个维度，统计企业的实际现状，调研结果如图 3-25 所示：

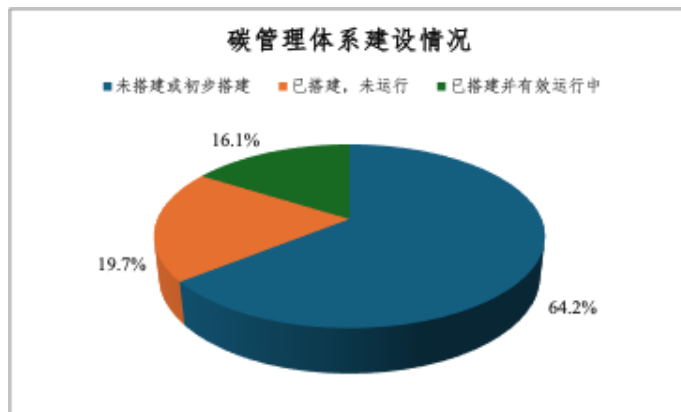


图 3-25 双碳政策认知程度调研结果

分析：仅有 16.1%的企业已搭建并有效运行碳管理体系，64.2%的企业未搭建或仅初步搭建，说明当前建筑业企业碳管理体系建设整体滞后，多数企业尚未形成系统化、规范化的低碳管理模式。其中，大型企业（1000 人以上）有效运行碳管理体系的比例达到 43.8%，显著高于小型企业的 2.3%，反映出企业规模与碳管理体系建设水平呈正相关。

（3）专业碳管理团队配置情况

专业碳管理团队是企业推进低碳管理、落实碳减排措施的关键力量，其配置情况直接影响碳管理工作的落地效果，调研结果如图 3-26 所示：



图 3-26 专业碳管理团队配置情况

分析：超过七成的企业未配备专业碳管理团队，仅有 22.6%的企业拥有专业团队，且主要集中在年营业额 10 亿元以上的大型企业和建筑设计/咨询机构。中小微企业因资金、人才限制，难以配备专业团队，导致低碳管理工作缺乏专

业指导，推进难度较大。

（4）绿色建材认证认知程度

绿色建材是建筑业低碳减排的重要抓手，企业对绿色建材认证及相关政策的认知，直接影响绿色建材的推广应用，调研结果如图 3-27 所示：

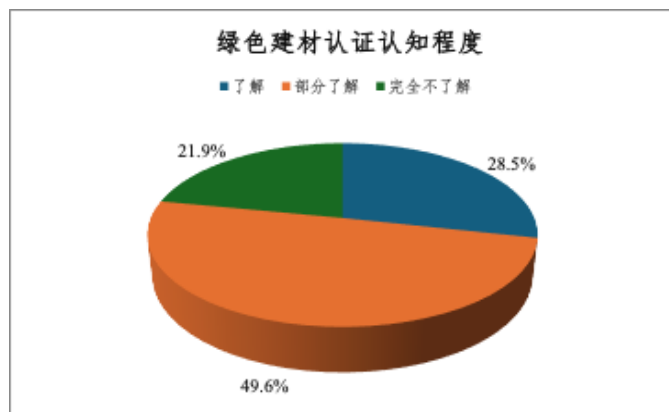


图 3-27 绿色建材认证认知程度调研结果

分析：78.1%的企业对绿色建材认证及相关政策有一定了解（了解+部分了解），说明绿色建材的理念已逐步渗透到建筑业，但仅有 28.5%的企业完全了解，仍有 21.9%的企业完全不了解，反映出绿色建材认证相关政策的宣传仍需加强，尤其是针对建材生产供应、建筑施工类企业的精准宣传。

（5）数字化工具应用情况

数字化工具能够提升碳管理的效率和精准度，是企业低碳转型的重要支撑，本次调研从工具使用、引入计划两个维度统计企业现状，调研结果如图 3-28 所示：

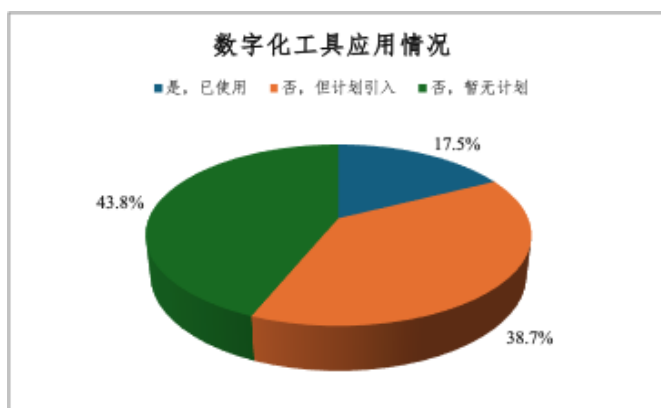


图 3-28 数字化工具应用情况调研结果

分析：仅有 17.5%的企业已使用数字化工具支持碳管理（主要使用能碳智慧管理系统类平台系统），38.7%的企业有引入计划（计划 1-2 年内引入数字化碳管理工具），

43.8%的企业暂无计划（主要因资金不足、缺乏专业人才、认知不足等）。已使用数字化工具的企业主要为大型企业和咨询机构，中小微企业因资金、人才等限制，数字化转型意愿较低，反映出建筑业碳管理数字化水平整体不高，仍有较大提升空间。

（6）数字化工具功能需求（多选题）

对于已使用或计划引入数字化工具的企业（共 77 份样本），其对工具功能的需求如下，反映出企业对数字化碳管理的核心诉求，调研结果如图 3-29 所示：

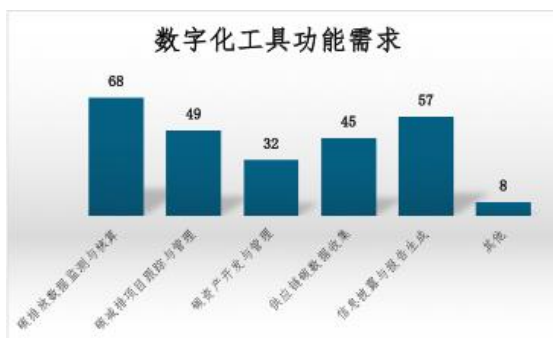


图 3-29 数字化工具功能需求调研结果

核心需求总结：企业对数字化工具的核心需求是碳排放数据监测与核算（88.3%）和信息披露与报告生成（74.0%），这两项功能能够直接解决企业碳管理中“数据不准、报告繁琐”的痛点；碳减排项目跟踪与管理、供应链碳数据收集需求次之，碳资产开发与管理需求相对较低，与企业当前低碳管理阶段相匹配。

（7）双碳战略规划制定情况

双碳战略规划是企业明确碳减排目标、推进低碳转型的核心指引，其制定情况反映了企业对低碳转型的重视程度，调研结果如图 3-30 所示：

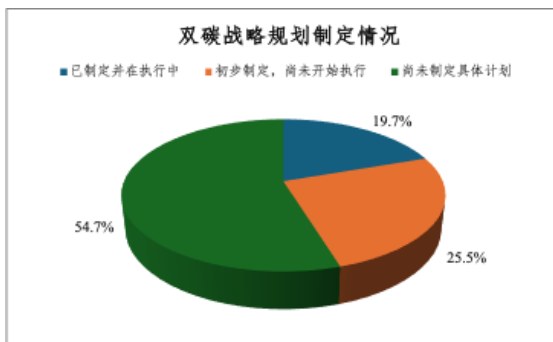


图 3-30 双碳战略规划制定情况调研结果

分析：超过一半（54.7%）的企业尚未制定双碳战略规划，仅有 19.7%的企

业已制定并执行，反映出多数建筑业企业对低碳转型的重视程度不足，缺乏长期、系统的战略布局。其中，大型企业制定并执行双碳战略规划的比例达到50.0%，远高于小型企业的4.5%，企业规模越大，对双碳战略的重视程度越高。

（8）重点碳排放单位认定情况

重点碳排放单位是建筑业碳减排的核心主体，其低碳管理水平对行业整体转型具有重要影响，调研结果如图3-31所示：

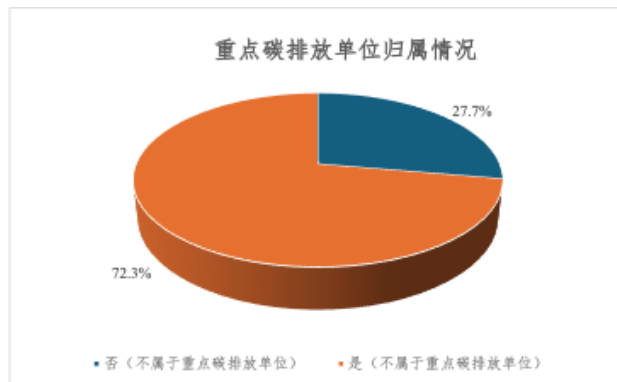


图 3-31 重点碳排放单位归属情况调研结果

分析：72.3%的样本企业属于国家或省市重点碳排放单位，27.7%的企业不属于重点碳排放单位，主要为年营业额10亿元以上的大型建筑施工、基础设施建设及建材生产供应企业。重点碳排放单位因政策约束，低碳管理的主动性和推进力度显著高于非重点单位。

（9）绿色低碳工作开展情况（多选题）

本次调研统计了企业已开展的绿色低碳相关工作，反映企业低碳实践的具体方向，调研结果如图3-32所示：

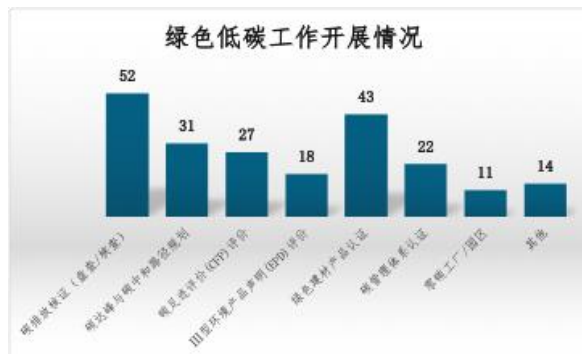


图 3-32 绿色低碳工作开展情况统计表

分析：企业开展最多的绿色低碳工作是碳排放核证（38.0%）和绿色建材产

品认证（31.4%），而零碳工厂/园区建设、III型环境产品声明(EPD)评价等高端低碳工作的开展比例较低，说明当前建筑业企业低碳实践仍处于探索和推进阶段，高端低碳场景建设和深度低碳实践不足。

3、建筑业企业低碳管理核心需求分析

基于调研数据，从碳管理培训、数字化工具功能、能力建设、政策行业支持、碳减排措施优先级等核心维度，梳理建筑业企业低碳管理的核心需求，为后续优化服务、制定政策提供方向。

（1）碳管理培训需求

调研显示，企业对碳管理培训的需求旺盛，具体需求情况如图 3-33 所示：



图 3-33 碳管理培训需求调研结果

进一步调研显示（基于需要培训的 109 份样本），需要培训的企业中，培训内容需求呈现多元化，具体需求情况如图 3-34 所示：

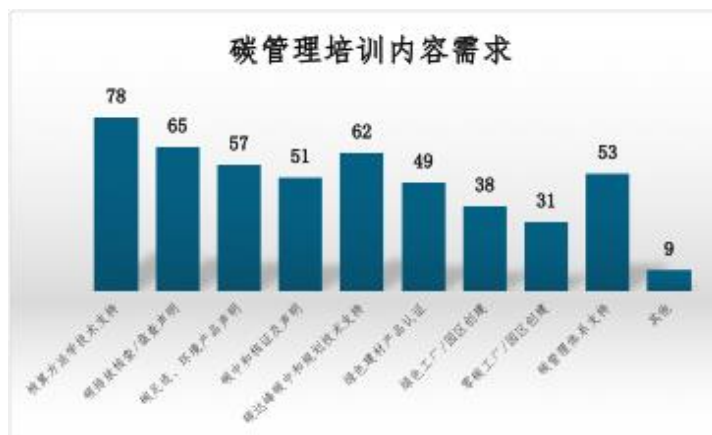


图 3-34 碳管理培训内容需求情况

核心需求总结：79.6%的企业需要碳管理培训，培训需求主要集中在核算方

法学技术支持、碳排放核查/盘查声明、碳达峰碳中和规划技术支持等基础且实用的内容，高端培训内容（如零碳工厂/园区创建）需求相对较低，反映出企业当前低碳管理仍以基础能力提升为主。

（3）低碳管理能力建设需求（多选题）

调研显示，企业在实现碳达峰碳中和过程中，需要加强的能力建设方向呈现多元化，具体需求情况如图 3-35 所示：

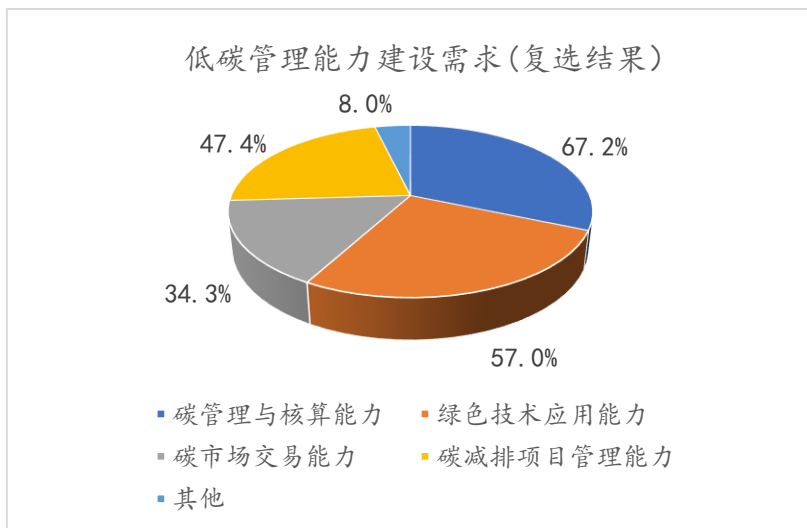


图 3-35 低碳管理能力建设需求情况

核心需求总结：企业最需要加强的能力是碳管理与核算能力（67.2%），其次是绿色技术应用能力（57.0%）和碳减排项目管理能力（47.4%），碳市场交易能力需求相对较低。这说明企业当前最迫切的是提升基础碳管理能力和技术应用能力，以应对日常低碳管理工作，对碳市场相关的进阶能力需求有限。

（4）政策与行业支持需求（多选题）

调研显示，企业在实施碳达峰碳中和过程中，对政策和行业支持的需求强烈，具体需求情况如图 3-36 所示：

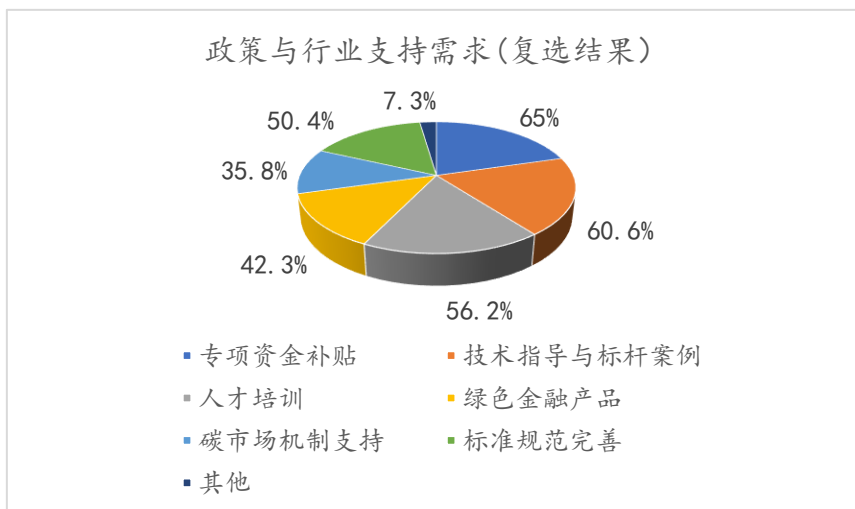


图 3-36 政策与行业支持需求情况

核心需求总结：企业对政策和行业支持的核心需求是专项资金补贴（65.0%）和技术指导与标杆案例（60.6%），其次是人才培养（56.2%）和标准规范完善（50.4%）。这反映出企业在低碳转型过程中，面临资金不足、技术不成熟、标准不清晰等问题，迫切需要政策层面的资金支持和技术引导。

（5）碳减排措施优先级需求（多选题）

调研显示，企业认为建筑企业在碳减排方面应优先考虑的措施如图 3-37，反映出企业对碳减排路径的认知和选择。

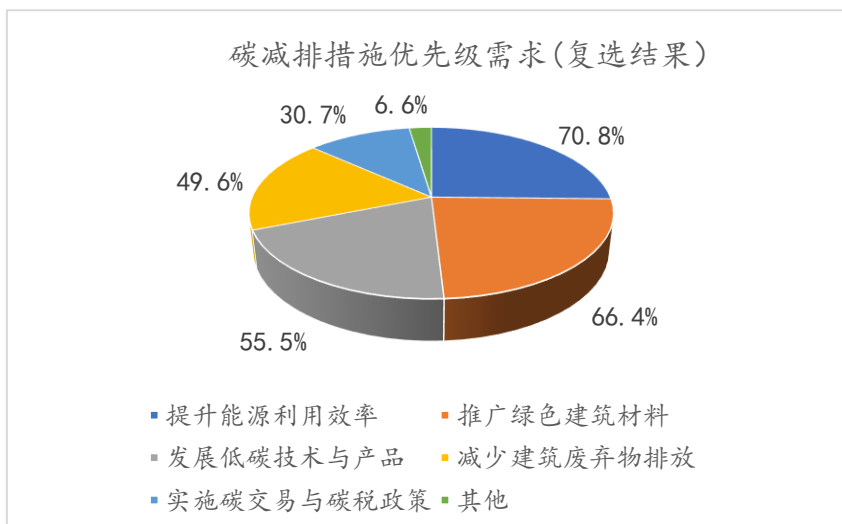


图 3-37 碳减排措施优先级需求情况

核心需求总结：企业认为最应优先考虑的碳减排措施是提升能源利用效率（70.8%）和推广绿色建筑材料（66.4%），这两项措施具有实施难度低、减排

效果显著、投入产出比较高的特点，符合企业当前低碳转型的实际需求；发展低碳技术与产品、减少建筑废弃物排放需求次之，碳交易与碳税政策相关措施需求较低，与企业对碳市场认知不足、参与度不高的现状一致。

（6）技术支持与合作需求

通过开放式问题调研，企业希望中心提供的技术支持和改进建议主要集中在以下几个方面：

- 1) 提供个性化的碳减排路径规划指导，结合企业业务特点，制定可落地的双碳战略规划；
- 2) 提供碳核算、碳核查等专业技术支持，帮助企业解决低碳管理中的技术难题；
- 3) 分享行业内低碳转型标杆案例，为企业提供可借鉴的实践经验；
- 4) 组织碳管理专业培训和交流活动，提升企业相关人员的专业能力；
- 5) 协助企业对接绿色建材供应商、低碳技术服务商，搭建合作平台；
- 6) 提供数字化碳管理工具的选型和应用指导，降低企业数字化转型成本。

4、建筑业企业低碳管理面临的主要挑战分析

结合调研数据，梳理当前建筑业企业在实施碳达峰碳中和过程中面临的主要挑战，明确行业低碳转型的痛点和难点，具体需求情况如图 3-38 所示：

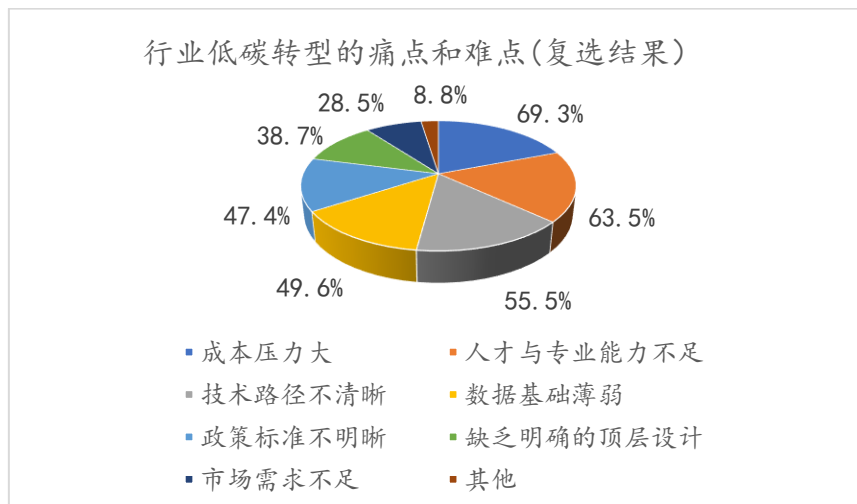


图 3-38 行业低碳转型的痛点和难点

建筑业企业低碳转型面临的主要挑战如下：

（1）成本压力大（69.3%）

低碳转型需大量投入绿色建材、技术改造、数字化工具及专业团队建设，而绿色建材和低碳技术价格普遍高于传统产品，且收益具有长期性与间接性，短期内难见经济效益，导致企业尤其是中小微企业转型积极性不足。

（2）人才与专业能力不足（63.5%）

碳管理涉及碳核算、技术应用、政策解读等多领域知识，复合型人才储备匮乏，企业内部缺乏系统培训，与“77.4%的企业未配备专业碳管理团队”相呼应，致使低碳管理工作难以有效落地。

（3）技术路径不清晰（55.5%）

低碳技术种类繁多，不同技术的适用场景、减排效果与投入成本差异较大，缺乏统一的技术标准和评价体系，企业难以根据自身特点选择合适路径，转型工作盲目推进，减排效果不及预期。

（4）数据基础薄弱（49.6%）

碳核算与减排跟踪依赖能源消耗、建材采购、废弃物排放等精准数据，但多数企业缺乏完善的数据收集与管理体系，统计不规范、不精准，导致核算结果偏差大，影响碳管理工作的科学性与有效性。

（5）政策标准不明晰（47.4%）

双碳相关政策仍在完善中，部分政策缺乏实施细则，地区间要求存在差异；同时，绿色建材认证、碳管理体系等标准不统一，企业缺乏明确的政策指引与标准遵循，转型工作难以有序推进。

（三）调研结论及建议

1、调研结论

本次调研基于 137 份有效样本，覆盖建筑业全产业链不同规模、不同业务类型的企业，全面梳理了国内建筑业企业低碳管理的现状、核心需求及现存挑战，核心结论如下：

（1）认知与实践呈现“两极分化”

55.5% 的企业了解双碳政策，但 44.5% 的企业认知不足，且认知深度与企业规模、营业额正相关；仅 16.1% 的企业已有效运行碳管理体系，19.7% 的企业制定并执行双碳战略规划，大型企业（1000 人以上、年营业额 10 亿元以上）的低碳实践推进力度显著优于中小微企业，重点碳排放单位的转型主动性高于非重点单位。

（2）基础能力与支撑体系滞后

77.4% 的企业未配备专业碳管理团队，仅 17.5% 的企业使用数字化碳管理工具，54.7% 的企业尚未制定双碳战略规划，反映出建筑业企业低碳管理的系统化、专业化、数字化水平整体迟缓，基础支撑能力不足成为转型核心瓶颈。

（3）需求聚焦“基础实用型”服务

79.6% 的企业需要碳管理培训，核心需求集中在核算方法学、碳排放核查等基础内容；数字化工具需求以数据监测核算（88.3%）、报告生成为主（74.0%）；政策支持方面，65.0% 的企业迫切需要专项资金补贴，60.6% 的企业希望获得技术指导与标杆案例，需求呈现“低成本、易落地、强适配”的特点。

（4）核心挑战集中于“成本、人才、技术”

69.3% 的企业认为成本压力大是首要障碍，63.5% 的企业面临人才与专业能力不足问题，55.5% 的企业存在技术路径不清晰的困惑，叠加数据基础薄弱（49.6%）、政策标准不明晰（47.4%）等问题，形成了建筑业低碳转型的多重阻力。

（5）减排路径共识偏向“务实高效”

企业普遍认为应优先通过提升能源利用效率（70.8%）、推广绿色建筑材料（66.4%）等实施难度低、减排效果明确的措施推进碳减排，对碳市场交易等进阶路径的需求和参与意愿相对较低，符合当前行业低碳转型的阶段特征。

2、针对性建议

为推动建筑业企业高效落实双碳目标，提出以下建议：

（1）政策层面：精准扶持+标准引领

针对中小微企业成本压力，设立专项低碳转型补贴，重点支持绿色建材采购、数字化工具引入等刚需场景；推广绿色信贷、碳减排债券等金融产品，降

低融资成本。加快统一绿色建材认证、碳核算方法学等行业标准，针对不同规模企业制定分级政策指引，避免“一刀切”。通过行业协会开展“下沉式”政策培训，采用案例解读、实操教学等形式，消除“政策看不懂、不会用”问题。

（2）企业层面：基础先行+分步推进

中小微企业优先完成碳盘查、推广绿色建材等短期目标，逐步搭建碳管理体系；大型企业制定中长期双碳战略，推动供应链低碳协同。通过“内部培训+外部合作”提升专业能力，中小微企业可通过共享碳管理团队、外包服务等方式降低成本。无数字化工具的企业优先引入轻量化碳核算模块，解决数据不规范问题；有条件的企业逐步拓展碳减排跟踪等功能，避免盲目投入。

（3）行业层面：协同共享+案例赋能

由行业协会整理大型企业低碳实践案例，提炼可复制经验向中小微企业免费开放。搭建产业链协同平台，对接绿色建材供应商、技术服务商，帮助企业降低采购成本、解决“找资源难”问题。联合龙头企业制定碳数据采集统一规范，推广标准化工具，提升行业整体数据质量。

（4）服务机构层面：分层适配+实操导向

针对不同规模企业设计差异化培训课程，中小微企业侧重基础核算与政策解读，大型企业增加碳资产开发等进阶内容。开发适配中小微企业的低成本碳管理工具，提供“一键核算、自动生成报告”等核心功能；为大型企业提供定制化解决方案。整合碳核算、双碳规划、绿色认证等服务，为中小微企业推出“低成本套餐服务”，重点解决碳盘查、政策申报等刚需问题。

五、国内外典型建筑业企业碳排放披露技术路径对比分析

本次调研聚焦国内外优秀的建筑类企业 2024 年 ESG 相关报告披露整体情况，核心选取 7 家国内代表性 A 股上市建筑企业（中国建筑、中国中铁、中国交建、中国中冶、中国电建、中国能建、上海建工）与 6 家国际优秀建筑承包商（法国万喜（VINCI）、ACS 集团/豪赫蒂夫(GRUPO ACS/HOCHTIEF)、法国布伊格(BOUYGUES)、奥地利斯特拉巴格(STRABAG)、西班牙阿驰奥纳（ACCIONA）、瑞典斯堪斯卡集团（SKANSKA GROUP）），围绕碳排放披露结

果（含排放总量、强度、范围界定）及披露技术路径两大核心维度展开对比分析，梳理国内外企业披露差异、优势实践及国内企业可优化方向，为国内建筑企业提升 ESG 披露质量、推进低碳转型提供参考。

调研范围说明：国内企业均为 A 股上市核心建筑央企及地方龙头，覆盖基建、房建、专业工程等主流领域；国际企业均为全球排名靠前、ESG 实践成熟的建筑承包商，涵盖欧洲主要建筑强国，其 ESG 及碳排放披露实践具有行业标杆性。

（一）碳排放信息披露情况

1、国内代表性建筑企业

选取的 7 家国内代表性建筑企业均已完成 2024 年 ESG 相关报告披露，披露率达 100%，体现出国内建筑央企及地方龙头对 ESG 信息披露的重视程度持续提升，其中中央企业披露的报告完整性、规范性整体优于地方龙头企业。披露文件名称以“环境、社会及治理（ESG）报告”为主，部分企业沿用“可持续发展报告”名称，少数子企业同步披露自身 ESG 报告，形成集团层面与子公司层面的多层次披露体系，且多数企业报告编制参考国内监管要求，同时接轨国际主流评级标准。

表 3-1 国内典型建筑业企业 ESG 相关报告披露情况

企业名称	证券代码 (A 股)	2024 年 ESG 相关报告 文件名称	披露补充说明
中国交通建设股份有限公司 (中国交建)	601800.SH	《中国交通建设股份有限公司 2024 年环境、社会及管治报告》	同步披露 ESG 关键指标专项说明，衔接国资委社会责任监管要求
中国建筑股份有限公司（中国建筑）	601668.SH	《中国建筑股份有限公司 2024 年度环境社会治理可持续发展报告》	报告编制接轨 MSCI、标普道琼斯 DJSI 评级标准
中国中铁股份有限公司（中国中铁）	601390.SH	《中国中铁 2024 年度环境、社会与管治报告暨社会责任报告》	重点披露基建项目低碳施工相关信息，明确碳排放核算范围及计算标准

中国冶金科工股份有限公司 (中国中冶)	601618.SH	《中国冶金科工股份有限公司 2024 年环境、社会和公司治理暨可持续发展报告》	聚焦冶金工程绿色转型，补充氢冶金等低碳技术相关碳排放披露
中国电力建设集团有限公司 (中国电建)	601669.SH	《中国电力建设集团有限公司社会责任报告》	中国电建 2030 年碳达峰目标为万元产值(营业收入)收入二氧化碳排放(可比价)比 2020 年下降 33%。
中国能源建设股份有限公司 (中国能建)	601868.SH	《2024 年中国能源建设股份有限公司环境、社会及治理报告》	首次引入第三方审计提升披露透明度，披露全生命周期绿色运营相关碳排放信息，模式被国资委收录为央企治理典型案例
上海建工集团股份有限公司 (上海建工)	600170.SH	《上海建工 2024 年度可持续发展报告》	地方建筑龙头，侧重长三角区域项目 ESG 实践及碳排放披露，衔接地方绿色建筑监管要求

表 3-2 国内典型建筑业企业碳排放披露情况汇总表

企业名称	温室气体排放总量（万 tCO ₂ e）			碳排放强度（万 tCO ₂ e/万元）			披露范围界定	近三年核心披露亮点（含趋势变化）
	2022 年	2023 年	2024 年	2022 年	2023 年	2024 年		
中国交建	453 （含范围一、范围二）	412 （含范围一、范围二）	402 （含范围一、范围二）	0.0627	0.0543	0.0520	范围一、范围二，范围三 近三年均未披露具体数据	近三年碳排放总量及碳排放强度均持续下降。其中，2024 年碳排放总量同比下降 2.43%，碳排放强度同比下降 4.24%，减排成效显著。近三年持续聚焦基建项目低碳施工，推进施工设备节能改造，减排举措落地力度逐年加大。
中国建筑	未披露	未披露	未披露	2023 年，公司万元产值碳排放强度较 2022 年同比下降 4.3%；2024 年，公司完成国资委万元产值碳排放强度考核目标			未披露数据	是我国建筑行业首家进行全面碳盘查的大型企业。2023 年搭建 ESG 数字化平台，2024 年实现部分 ESG 指标收集自动化，逐步推进低碳混凝土、再生骨料应用，子企业披露覆盖面逐年扩大。到 2027 年，万元产值营业收入碳排放强度年均下降 4.22%，相比 2024 年累计下降 12.14%。
中国中铁	1632.94	1727.71	1607.81	0.1502	0.1453，	0.1405，	作为建筑类企业，中国中	近三年主要受业务规模扩张影响，2023

	(仅范围三)	(仅范围三)	(仅范围三)		比去年同期下降3.26%	比去年同期下降3.3%	铁不涉及范围一和范围二的温室气体排放量，只包含范围三范畴	年温室气体排放总量有所增加；但碳排放强度持续下降。2023年开始购入绿色电力，2024年推进施工设备电动化改造，减排举措逐步丰富。
中国中冶	686.18 (含范围一、范围二)	670.12 (含范围一、范围二)，同比下降2.36%	547.18 (含范围一、范围二)，同比下降18.34%	范围一：0.0456，范围二：0.0702	范围一：0.0408，范围二：0.0649	范围一：0.0406，范围二：0.0586	范围一、范围二，范围三近三年均未披露	近三年温室气体排放总量及碳排放强度均呈现逐年下降趋势。中国中冶近三年聚焦冶金工程绿色转型，2023年参与氢冶金项目研发，2024年落地工业废渣资源化利用，减排技术逐步突破。
中国电建	未披露	未披露	未披露	2022年万元收入二氧化碳排放量（可比价）同比下降9.39%	2023年万元收入二氧化碳排放量（可比价）同比下降10.46%	2023年万元收入二氧化碳排放量（可比价）同比下降10.24%	近三年均未披露	在央企中第二家构建起全集团碳盘查和报告机制。非化石能源装机比例逐年提升，2024年达90%以上，研发投入逐年增加，2024年达242.68亿元，清洁能源项目建设成效显著。
中国能建	651.48 (含范围三)	809.41 (含范围三)	778.62 (含范围三)	0.18	0.18	0.18，万	范围一、范围二，2024年	以2021年为基准年，年均万元产值

	一、范围二)	一、范围二)	一、二，及部分范围三)			元营收二氧化碳排放量同比下降2.63%	初步探索范围三披露，2022-2023 年末披露范围三	(收入) 二氧化碳排放量降低 3.9%；2024 年引入第三方审计，建成碳捕集示范系统，2022-2024 年持续完善全生命周期绿色运营，披露透明度和减排成效逐年提升。
上海建工	未明确披露	35.01 (含范围一、范围二)	30.37 (含范围一、范围二)	未明确披露专项强度指标，2022-2024 年持续聚焦绿色建筑项目减排，绿色建筑项目占比逐年提升			范围一、范围二，范围三近三年均未披露	2023 年首次明确披露排放总量，2024 年同比下降 13.25%；近三年侧重长三角区域绿色基建，2023 年推广装配式建筑，2024 年加大低碳建材应用，区域减排特色凸显。

根据表 3-2 的披露结果可知：

(1) 披露范围界定差异显著，范围三披露普遍缺失

7 家企业的碳排放总量披露不均衡且逐步完善，近三年呈现“披露企业数量增多、数据细化程度提升”的趋势，2022 年有 4 家企业明确披露二氧化碳总排放量，2024 年有 5 家企业明确披露二氧化碳总排放量，中国建筑、中国电建始终未披露碳排放总量数据；2022 年有 4 家企业明确披露二氧化碳排放强度的绝对值，中国电建、中国建筑披露了碳排放强度的相对下降率；排放范围始终聚焦范围一（直接排放）、范围二（间接排放），范围三（上下游供应链、项目运营等间接排放）披露持续薄弱，近三年仅少数企业提及供应链碳排放，仅中国中铁（声称无范围一、二的排放，仅披露范围三）、中国能建披露了范围三的数据。

整体来看，范围三（如供应链、项目运维等）的碳排放披露是行业共性短板，多数企业尚未开展范围三具体数据的统计与披露，反映出建筑业企业

在全生命周期碳排放管理与披露方面仍有较大提升空间。

（2）排放数据披露完整性不一，部分企业核心数据缺失

7 家企业在 2022-2024 年温室气体排放总量、碳排放强度两项核心数据的披露完整性上差异较大，可分为三类水平，体现出企业碳排放数据管理能力的不均衡：

1) 数据披露完整且规范：中国交建、中国中铁、中国中冶、中国能建 4 家企业，近三年均完整披露了对应披露范围下的温室气体排放总量（分年份）及碳排放强度（分年份）。

2) 总量缺失、强度披露不完整：中国建筑、中国电建 2 家企业，近三年均未披露温室气体排放总量；碳排放强度方面，中国建筑仅披露了 2023-2024 年的强度变化趋势，未给出具体数值，2022 年强度数据缺失；中国电建披露了 2022-2024 年强度同比下降比例，但未给出各年份具体强度数值，核心数据的完整性不足；上海建工未披露碳排放强度的数据及下降率，仅说明其聚焦绿色建筑项目减排、绿色建筑占比提升，数据披露的连续性有待加强。

（3）减排成效整体向好，总量与强度呈现差异化下降趋势

尽管各企业披露数据完整性不同，但从可获取的信息来看，7 家企业近三年碳排放减排成效整体呈现积极向好态势，排放总量与碳排放强度的变化呈现差异化特征，具体表现为：

1) 总量与强度双降，减排成效显著：中国交建、中国中冶、上海建工 3 家企业，近三年温室气体排放总量及碳排放强度均呈现持续下降趋势。其中中国交建 2024 年排放总量同比下降 2.43%，强度同比下降 4.24%；中国中冶减排幅度最为突出，2024 年排放总量同比下降 18.34%，强度持续稳步下降；上海建工 2023 年首次明确披露总量后，2024 年同比下降 13.25%，减排成效逐步显现。

2) 总量波动、强度持续下降：中国中铁受业务规模扩张影响，2023 年温室气体排放总量（仅范围三）较 2022 年有所增加（从 1632.94 万 tCO₂e 增至 1727.71 万 tCO₂e），但碳排放强度持续下降，2023 年强度同比下降 3.26%，2024 年同比下降 3.3%，体现出企业在业务扩张过程中仍注重低碳管控。

3) 强度稳步下降，明确长期减排目标：中国建筑、中国能建 2 家企业，虽总量披露存在缺失，但强度减排趋势清晰。中国建筑 2023 年强度同比下降 4.3%，2024 年完成国资委考核目标，并明确 2027 年万元产值营业收入碳排放强度较 2024 年累计下降 12.14% 的长期目标；中国能建以 2021 年为基准年，明确年均强度降低 3.9% 的目标，2024 年强度同比下降 2.63%，减排目标落地性较强。

(4) 披露亮点各具特色，减排举措逐步落地且差异化明显

各企业结合自身业务特点，形成了差异化的碳排放披露亮点，近三年核心披露重点逐步从数据披露向“数据+举措+趋势”转型，体现出企业低碳管理能力的提升，具体亮点如下：

1) 聚焦基建项目低碳施工：中国交建持续聚焦基建项目低碳化，推进施工设备节能改造，减排举措落地力度逐年加大，支撑总量与强度双降；中国中铁 2023 年开始购入绿色电力，2024 年推进施工设备电动化改造，减排举措逐步丰富。

2) 搭建数字化平台，完善碳管理体系：中国建筑作为行业首家全面碳盘查的大型企业，2023 年搭建 ESG 数字化平台，2024 年实现部分 ESG 指标收集自动化，同时推进低碳混凝土、再生骨料应用，子企业披露覆盖面逐年扩大，碳管理体系日趋完善。

3) 聚焦技术创新与资源利用：中国中冶聚焦冶金工程绿色转型，2023 年参与氢冶金项目研发，2024 年落地工业废渣资源化利用，通过技术突破推动减排；中国能建 2024 年引入第三方审计，建成碳捕集示范系统，持续完善全生命周期绿色运营，提升披露透明度。

4) 凸显区域减排特色：上海建工侧重长三角区域绿色基建，2023 年推广装配式建筑，2024 年加大低碳建材应用，结合区域发展需求打造减排特色，区域示范效应突出；中国电建侧重清洁能源项目建设，非化石能源装机比例 2024 年达 90% 以上，同时加大研发投入（2024 年达 242.68 亿元），以清洁能源布局推动低碳发展。

2、国外优秀承包商

选取的6家国际优秀建筑承包商均已披露2024年ESG相关报告，披露率达100%，且均形成成熟的披露体系，报告内容聚焦低碳转型、气候变化应对等核心议题，披露规范性、细节度及国际接轨程度较高。披露文件名称以“可持续发展报告”“非财务信息报告”为主，部分企业同步披露碳排放专项报告，多数企业报告通过第三方鉴证，且披露内容严格遵循国际主流框架，部分企业已获得科学碳目标倡议（SBTi）认可。

表 3-3 国外优秀建筑业企业 ESG 相关报告披露情况

企业名称 (中文/英文)	所在国家/地区	2024 年 ESG 相关报告	披露补充说明
法国万喜集团 (VINCI Group)	法国	《VINCI Group 2024 Sustainability Report》	同步披露碳排放专项报告，报告遵循 GRI 标准、ISO 14001 标准，碳减排目标获得 SBTi 认可，详细披露全价值链碳排放核算及减排举措
ACS 集团/豪赫蒂夫 (Grupo ACS/Hochtief)	西班牙/德国	《Consolidated Statement of Non-Financial Information (Sustainability Report) for the year ended 31 December 2024》	豪赫蒂夫作为子集团同步披露自身可持续发展报告，遵循道琼斯可持续发展指数 (DJSI) 标准，聚焦供应链碳排放协同减排，持续优化碳足迹计算方法
法国布伊格集团 (Bouygues Group)	法国	《Bouygues Group 2024 Sustainability Report》	报告聚焦建筑领域低碳转型，遵循 GRI 标准，披露能源消耗及碳排放详细数据，碳减排目标正处于 SBTi 认证过程中，同步推进员工低碳培训
奥地利斯特拉	奥地利	《STRABAG SE 2024	遵循欧盟非财务信息披露

巴格集团 (STRABAG SE)		Sustainability Report》	指令 (NFRD)，重点披露循环经济及低碳建筑相关碳排放，分阶段披露气候中和目标及实施进展
西班牙阿驰奥纳集团 (ACCIONA Group)	西班牙	《ACCIONA Group 2024 Sustainability Report》	全球能源和基础设施领域首家实现碳中和的企业，同步披露碳中和进展专项报告，遵循 GRI、ISO 14001 标准，详细披露碳抵消措施及效果
瑞典斯堪斯卡集团 (Skanska Group)	瑞典	《Skanska Group 2024 Sustainability Report》	报告通过第三方鉴证，遵循 GRI、CDP（碳信息披露项目）标准，开发数字碳计算工具，披露供应链碳排放评估及低碳技术应用细节，通过 ISO 37301 认证

表 3-4 国外优秀建筑业企业碳排放披露情况汇总表

企业名称	2022 年碳排放总量（万吨 CO ₂ e）	2023 年碳排放总量（万吨 CO ₂ e）	2024 年碳排放总量（万吨 CO ₂ e）	碳排放强度（核心指标）	排放范围界定	近三年核心披露亮点（含趋势变化）
法国万喜（VINCI）	2089.5（全范围合计）	1976.8（全范围合计）	1872.3（全范围合计）	范围一、二较 2018 年降幅，2022 年 28%、2023 年 32%、2024 年 35%；范围三较 2019 年降幅，2022 年 10%、2023 年 12%、2024 年 15%	范围一、二、三全覆盖，范围三占比始终超 70%，近三年占比逐年微降	近三年排放总量持续下降，累计降幅 10.4%；2022 年推出数字化能耗检测工具，2023 年提升低碳混凝土使用率，2024 年推进可再生能源规模化应用，阶段性减排目标均超额完成。
ACS 集团/豪赫蒂夫	2412.7（全范围合计）	2289.5（全范围合计）	2156.8（全范围合计）	ISO 14001 认证公司营业额占比，2022 年 82.3%、2023 年 86.7%、2024 年 89.6%，逐年提升	范围一、二、三全覆盖，近三年重点强化供应链碳排放披露	近三年排放总量累计降幅 10.6%；2022 年完善供应链减排标准，2023 年扩大子集团披露覆盖面，2024 年将可持续标准贯穿项目全流程，可持续认证项目占比提升。
法国布伊格（Bouygues）	1892.6（全范围合计）	1794.3（全范围合计）	1693.5（全范围合计）	法国区域能源使用较 2019 年降幅，2022 年 7%、2023 年 9%、2024 年	范围一、二、三全覆盖，侧重建筑全生命周期排放，近三年数据拆分更细	近三年排放总量累计降幅 10.5%；2022 年推进生物基材料研发，2023 年

				10%，完成年度目标；2030年减排目标逐步细化	化	开发材料回收平台，2024年开展员工低碳培训，43%员工完成培训，碳减排目标推进 SBTi 认证。
奥地利斯特拉巴格 (STRABAG)	1732.9 (全范围合计)	1629.8 (全范围合计)	1528.7 (全范围合计)，其中核心业务板块排放 2074.93 吨 CO ₂ e (范围一+范围二)	范围二排放较 2019 年降幅，2022 年 25%、2023 年 30%、2024 年 35%；可再生能源使用率逐年提升	范围一、二、三全覆盖，近三年分阶段披露各领域中和目标进展	近三年排放总量累计降幅 11.8%；2022 年明确分阶段中和目标，2023 年推广预制构件应用，2024 年提升矿产废弃物回收利用率，2025 年管理部门中和目标稳步推进。
西班牙阿驰奥纳 (ACCIONA)	512.7 (全范围合计，含碳抵消)	501.3 (全范围合计，含碳抵消)	489.2 (全范围合计，含碳抵消后净排放)	2017-2030 年减排目标推进，2022 年完成 35%、2023 年完成 42%、2024 年完成 50%，进度符合预期	范围一、二、三全覆盖，近三年重点细化碳抵消措施披露	近三年净排放量持续小幅下降，维持碳中和状态；2022 年扩大可再生能源项目规模，2023 年优化碳抵消方案，2024 年详细披露碳抵消效果，2040 年净零排放目标推进顺利。
瑞典斯堪斯卡 (Skanska)	1689.2 (全范围合计)	1582.7 (全范围合计)	1476.9 (全范围合计)	供应商可持续性评估覆盖率，2022 年	范围一、二、三全覆盖，侧重供应链	近三年排放总量累计降幅 12.5%；

				65%、2023 年 73%、2024 年 80%，逐年提升	和项目设计阶段排 放，近三年核算更 精准	2022 年开发数字碳 计算工具，2023 年 优化绿色供应链标 准，2024 年通过 ISO 37301 认证，将 低碳理念融入项目 设计全过程。
--	--	--	--	--------------------------------------	----------------------------	--

根据表 3-4 的披露结果可知：

（1）排放总量披露完整且持续细化，近三年所有企业均明确披露全范围碳排放总量，且按业务板块、区域拆分的数据逐年细化，披露口径统一，可比性强。

（2）排放范围始终实现全覆盖，近三年均详细披露范围一、范围二、范围三排放数据，其中范围三（供应链、项目运营、废弃物处理等）占比始终最高，且多数企业逐年优化供应链碳排放减排计划，落地力度持续加大。

（3）碳减排目标明确且阶段性推进，近三年均设定中长期（2030 年、2050 年）碳减排目标，部分企业（万喜、阿驰奥纳）目标获得 SBTi 认可，且逐年披露阶段性减排进展，减排成效可量化。

（4）核算标准始终与国际接轨，近三年均遵循 GRI、CDP 等国际主流标准，部分企业结合行业特性优化专项核算方法，数据均通过第三方鉴证，可信度持续提升。

（二）碳减排技术路径及措施情况

1、国内代表性建筑企业

国内建筑企业的减排实践紧密贴合国家“双碳”战略导向，依托基建领域优势，以“全生命周期减排”为核心，侧重施工阶段节能降耗、建材革新与新能源融合，同时兼顾技术自主研发与标准引领，形成了“政策驱动+技术赋能+项目示范”的转型模式。国内代表性建筑企业的碳减排技术路径及措施见表 3-5。

表 3-5 国内代表性建筑企业的碳减排技术路径及减排措施情况

企业名称	核心减排技术路径	具体减排措施
中国建筑（CSCEC）	双碳战略目标：2030 年实现碳达峰，2060 年实现碳中和；战略路径：践行“一六六”战略路径，将应对气候变化深度融入公司发展战略，部署九大“双碳”重点任务，致力推进低碳数字转型。以“绿色建造+智能建造”双轮驱动，构建全产业链绿色低碳体系，聚焦建筑全生命周期减排，推动技术研发、产品应用与项目示范协同落地，打造行业低碳标杆。	1. 绿色建材：自主研发 UHPC 产品、自清洁被动辐射制冷涂料等，推广轻质微孔混凝土装配式复合大板，打造土壤修复“技术-药剂-装备”集成体系； 2. 施工运营：构建被动式低能耗技术体系，用地源/空气源热泵替代传统锅炉，推行光储直柔系统，BIPV 应用发电量占全楼用电量 34%； 3. 数字化管控：搭建碳惠万家智慧运维系统、楼宇自控能碳平台，通过 BIM 数字孪生优化施工，施工碳排放强度降低约 25%，打造中建四局科创大厦等示范项目。
中国交建（CCCC）	双碳战略目标：2030 年前实现碳达峰，2060 年前实现碳中和；战略路径：以“134568”总体思路，走出一条高质低碳、科学发展、融合创新的央企“双碳”发展之路。立足交通基建核心业务，以“绿色疏浚、低碳交通”为突破口，构建交通基础设施绿色低碳技术体系，推动装备升级、施工创新与标准引领协同，打造绿色供应链，助力交通领域双碳目标落地。	1. 装备升级：自主研发全球最大双燃料动力耙吸船、亚洲最大绞吸船，实现大型疏浚装备自主可控； 2. 施工创新：研发外海离岸筑岛、超长排距绿色智能疏浚技术； 3. 标准引领：牵头编制公路水运领域碳排放计算、评价及减碳方法学标准，牵头国资委基础设施绿色低碳原创技术策源地建设，支撑港珠澳大桥等重大低碳工程。
中国中铁（CREC）	双碳战略目标：2030 年实现碳达峰，2060 年实现碳中和；战略路径：以	1. 施工管控：采用“模块化施工+动态场地规划”，依托 BIM 优化工序，减少能耗与材料浪费；

	“绿色施工、智慧管控、低碳运维”三位一体为核心，聚焦轨道交通、铁路基建领域，推动施工减排、能源结构优化与数字化管控深度融合，打造绿色示范工程，引领铁路基建低碳转型。	2. 低碳装备：引入新能源渣土车、电动施工机械，用空气能热水设备替代燃油锅炉，推行建筑垃圾分类回收，单项目年减排约 12 吨； 3. 污染与节能管控：构建扬尘精准监测防控体系，在轨道交通项目推广节能照明、智能通风，打造青岛 AAA 级智慧工地。
中国中冶（MCC）	双碳战略目标：2030 年实现碳达峰，2060 年实现碳中和；战略路径：依托冶金工业优势，以“固废资源化+低碳供热+绿色建筑”为三大核心方向，推动技术创新与产业融合，完善碳资产管理体系，实现多元化、规模化降碳，助力冶金与建筑领域双碳协同。	1. 固废资源化：研发冶金固废透水铺装材料，武青堤项目固废使用量 7500 吨； 2. 低碳供热：示范应用全球首例 110kV 直入式固体电蓄热炉，热效率 96%，可利用风光谷电蓄热，实现零碳供暖并提升电网调峰能力； 3. 绿色建筑与碳管理：推出“吴医降碳”碳信用产品，打造天府永兴实验室近零碳工地，全周期减排超 2000 吨，技术模式覆盖 9 省市及新加坡。
中国电建（POWERCHINA）	双碳战略目标：2030 年实现碳达峰，2060 年实现碳中和；战略路径：按照“2、4、3、12、6”碳达峰战略路线深化低碳转型，及时组织制定《关于践行碳达峰碳中和目标的指导意见》。以“清洁能源开发+低碳基建”深度融合为核心，聚焦可再生能源替代与基建全流程降碳，推动产业链协同减排，打造全产业链绿色发展体系，助力能源与基建领域双碳目标达成。	1. 能源替代：大规模参与水电、风电、光伏项目建设，项目现场推广光伏供电、储能系统，替代燃油与传统电网供电； 2. 施工优化：推行节水节能节材技术，优化施工工艺，减少能耗与污染物排放； 3. 产业链协同：推动建材供应商低碳转型，优先选用低碳建材，加强科研合作，研发低碳施工技术与装备。
中国能建（CEEC）	双碳战略目标：2025 年实现碳达峰，2060 年实现碳中和（行业内率先明确提前达峰）；战略路径：率先提出系统推进“碳达峰·碳中和”的“1253”原则，以“清洁能源创新+全产业链降碳”为核心，聚焦高空风能、储能、氢能等前沿领域，推动清洁能源跨领域应用，打造多元化、高端化双碳减排体系。	1. 高空风能：研发伞梯式陆基高空风电技术，建成全球首个兆瓦级示范项目； 2. 储能：研发压缩空气储能系统，利用电网低谷电储能，高峰释能； 3. 氢能：布局“制储运用”全产业链，推出绿色氢氨醇解决方案，打造吉林松原基地，实施 20 余项氢能示范工程，储备 50 余个总投资超 2000 亿元氢能项目。
上海建工	双碳战略目标：2030 年	1. 固废利用：“双循环”模式将河道老石块、

(SCG)	实现碳达峰，2060 年实现碳中和；战略路径：以“无废城市+生态基建”为核心，聚焦建筑固废资源化与生态工程建设，推动绿色施工标准化、循环利用规模化，打造区域特色低碳示范，助力城市绿色低碳转型。	废旧混凝土等转化为再生建材，打造老港“无废道路示范段”； 2. 生态基建：采用“生态砌块+绿化护坡”柔性护岸，新建19.82公里生态护岸，整治河道形成“三横两纵”水系； 3. 施工管控：推行绿色施工标准化，将绿色理念融入全生命周期，打造可复制绿色基建模式，获多项绿色项目奖项。
-------	--	--

通过调研国内代表性建筑业企业的减排路径及减排措施情况可发现，1) 政策导向明确，紧密贴合国家“双碳”战略，多将减排目标纳入企业发展战略，主动承担央企/地方龙头企业社会责任；2) 侧重施工阶段减排，聚焦装备电动化、施工工艺优化、扬尘治理等，同时逐步延伸至设计、运营全生命周期；3) 依托核心业务优势，形成差异化特色，如中国交建的绿色疏浚、中国中冶的固废利用、中国能建的前沿清洁能源技术；4) 重视技术自主研发与项目示范，推动低碳技术规模化应用，同时牵头编制行业标准，引领行业转型；5) 逐步布局碳资产管理与绿色金融融合，如中国中冶的碳信用产品，推动减排效益市场化转化。

2、国外优秀承包商

国际优秀承包商的减排实践起步较早，依托全球化布局优势，以“全生命周期碳管控”为核心，侧重技术创新、数字化赋能、供应链协同与循环经济，同时注重减排目标的量化与透明化，形成了“市场驱动+技术引领+全球协同”的转型模式，部分企业已实现运营阶段碳中和，在低碳技术研发与应用上具有较强引领性。国外优秀承包商的碳减排技术路径及措施见表 3-6。

表 3-6 国外优秀承包商的碳减排技术路径及减排措施情况

企业名称	核心减排技术路径	具体减排措施
法国万喜 (VINCI)	作为全球领先的综合建筑企业，以“全产业链降碳、技术创新驱动”为核心，承诺 2030 年将碳排放较 2018 年降低 40%，形成“一源一策”降碳、循环经济、管理体系完善三大布局。全产业链降碳、技	1. 目标承诺：2030 年范围 1、2 碳排放较 2018 年降 40%，范围 3 较 2019 年降 20%，2050 年实现净零排放； 2. 直接减排：开发 Edrice 等数字化工具监测能耗碳排放，设备电动化改造，天然气/可再生能源替代燃油，计划 2030 年电动车占车队 25%、2035 年达 45%； 3. 可再生能源：部署光伏设施，签署可再生电力购电协议，保障电力 100%可再生； 4. 低碳建材：研发 Exegy 低碳混凝土，2030 年使用率达 90%，投资 3D 打印混凝土企业；

	术创新驱动，遵循科学碳目标倡议（SBTi），聚焦数字化管控、可再生能源与低碳建材	5. 供应链与循环经济：优化运输、推行绿色包装，建立 CO2NCERNED 碳足迹方法，用 ESG 问卷管控供应商，依托绿色债券与 Leonard 平台推动技术产业化。
ACS 集团/ 豪赫蒂夫 (Grupo ACS/Hochtief) (西班牙/德国)	可持续采暖、全价值链降碳，全球化布局，聚焦暖通转型与全产业链协同	1. 暖通转型：豪赫蒂夫开发远红外碳纤维发热电缆，采用远红外热辐射采暖，替代化石燃料，实现近零碳足迹； 2. 运营管理：遵循 ISO14001 标准，跟踪环境数据，通过“绿色团队”推动产品回收、能源与废弃物管理优化； 3. 技术研发：设计可回收、长寿命产品，践行“高效产品低消耗”； 4. 集团协同：ACS 将环保嵌入全运营环节，要求下属企业遵守全球环保法规，实现经济、生态、社会责任统一。
法国布伊格 (Bouygues)	建筑物热力改造、生态社区建设，将气候战略纳入核心，全产业链减排	1. 目标承诺：2030 年温室气体减排至少 30%，其中直接间接能源排放降 40%，上游生产排放降 30%； 2. 热力改造：发起 Rehagreen 商业建筑翻新计划，2016-2020 年修复项目占商业地产 35%； 3. 生态社区：参与 Greencity 等示范项目，采用生物气候设计、地热能供暖供热水、家庭自动化控制； 4. 循环经济：巴黎场地翻新采用选择性拆除，设 9 个分拣流程，推动建筑废弃物循环利用，绿色理念贯穿全流程。
瑞典斯堪斯卡 (Skanska)	可持续材料、数字化管控，聚焦低碳建材与全流程数字化，2045 年实现价值链碳中和	1. 低碳建材：开发低碳混凝土，用钢厂炉渣、粉煤灰替代水泥，最多减排 50%，捷克推出 100% 可回收混凝土循环方法； 2. 数字化：打造“数字枢纽”（试点新产品）与“数字施工平台”（整合数据，融入物联网、碳足迹跟踪等），优化流程降本降耗； 3. 战略落地：推广 ACT 气候计划，推动建筑使用阶段减排，为客户提供可持续解决方案，2019 年施工碳排放较 2012 年降 28%。
西班牙阿驰奥纳 (ACCIONA)	可再生能源整合、循环经济，低碳建筑先行者，实现运营阶段碳中和，聚焦能源替代与生态修复	1. 能源替代：项目现场部署光伏、小型风电，实现能源自给，推广地源/空气源热泵替代化石能源； 2. 循环经济：推行建筑废弃物“零填埋”，建立分类回收再利用体系，废旧建材加工为再生骨料； 3. 生态修复：基建项目采用生态护坡、水体修复技术，减少环境影响； 4. 技术研发：投入低碳建材、节能施工技术研发，推动 BIM 与数字化管控，优化全生命周期碳足迹，全球化推广低碳理念。
奥地利斯特拉巴格 (STRABAG)	节能施工、低碳运维、绿色供应链，立足欧洲，全方位减排	1. 节能施工：推行节能工艺，优化设备配置，推广电动/混合动力施工机械，控制扬尘与噪声； 2. 低碳运维：聚焦建筑节能改造，推广智能照明、通风、余热回收，建立数字化运维平台精准管控能耗碳排放；

		3. 供应链：严格筛选低碳供应商，优先选用环保建材，签订绿色合作协议明确减排责任； 4. 技术创新：与科研机构合作研发低碳技术与建材，推动建筑废弃物回收，定期披露环境绩效。
--	--	---

通过调研国外优秀承包商的减排路径及减排措施情况可发现，1）起步较早，减排目标量化且明确，多数企业制定了清晰的短期（2030 年）、长期（2045-2050 年）减排目标，且注重环境绩效公开透明；2）侧重全生命周期碳管控，从设计阶段的低碳规划、施工阶段的节能降耗，到运营阶段的精准管控、拆除阶段的废弃物循环，实现全流程覆盖；3）技术创新驱动明显，聚焦低碳建材、数字化管控、可再生能源整合等领域，持续加大研发投入，推动技术产业化应用；4）重视供应链协同与循环经济，将供应商纳入减排体系，推行建筑废弃物循环利用，实现“资源-产品-废弃物-再生资源”的闭环；5）市场化驱动显著，依托绿色金融、碳交易等市场化手段，推动减排技术落地，实现减排效益与经济效益双赢。

（三）对比分析及建议

1、国内外建筑业企业碳排放披露情况的对比分析及建议

（1）总结分析

2022-2024 年，国内 A 股上市建筑企业 ESG 报告披露率从 95%提升至 100%，央企披露规范性整体优于地方企业。国内企业逐步推进碳排放披露优化，减排举措从“理念引导”落地为具体实践，逐步与国际接轨。但与国际优秀建筑承包商相比，仍存在明显差距：一是范围三披露持续缺失，披露口径不统一；二是碳减排目标不够明确，中长期规划未成体系；三是数字化、智能化水平低，核算方法与国际接轨不足；四是第三方鉴证覆盖率低，供应链协同机制未建立。

国际优秀建筑承包商已形成成熟的 ESG 披露及碳排放管理体系，实现全范围碳排放披露、全流程数字化管控，中长期目标与国际标准深度衔接，供应链协同机制完善，减排成效稳定可量化。其范围三核算、数字化工具应用、供应链协同等经验，对国内企业具有重要借鉴价值。

（2）对国内建筑类企业的建议

1) 完善碳排放披露内容：加快推进范围三核算与披露，明确核算范围及细则；统一披露口径，按业务板块、项目类型拆分数据；参考国际企业设定可量化的阶段性目标（如 2030 年、2050 年减排比例），积极申请 SBTi 认可，推动目标体系化。

2) 优化披露技术路径：借鉴万喜、斯堪斯卡等国际企业经验，搭建企业级数字化碳管理平台，实现数据实时采集与精准分析；参考 GRI、CDP 等国际标准优化核算方法，逐步实现单项目、单供应商数据精细化追溯。

3) 健全支撑体系：成立可持续发展部门，统筹碳管理工作；加大低碳技术研发投入；建立供应链碳排放协同管控体系，推动供应商参与减排；扩大第三方鉴证覆盖率，提升数据可信度。

4) 加强国际交流与学习：积极学习国际企业在范围三核算、数字化工具、低碳创新等方面的成熟经验；加强与国际标准组织合作，推动 ESG 披露与国际全面接轨；推动子企业同步提升披露质量，形成多层次、规范化披露体系。

2、国内外建筑业企业碳减排路径和措施的对比分析及建议

（1）核心共性

1) 均以“全生命周期减排”为核心导向，逐步从单一施工阶段减排，延伸至设计、施工、运营、拆除全流程，重视全产业链协同降碳；

2.) 均聚焦三大核心减排方向：建材革新（低碳建材研发与应用）、能源替代（可再生能源融入）、技术赋能（数字化、智能化技术管控能耗与碳排放）；

3) 均重视项目示范与技术推广，通过打造低碳示范项目，验证技术可行性，进而推动规模化应用；

4) 均逐步加强供应链减排管控，推动上下游企业协同转型，形成“企业主导、供应链协同”的减排格局；

5.) 均重视技术研发与标准建设，通过自主研发或合作研发，突破低碳核心技术，同时参与行业标准编制，引领行业转型。

（2）核心差异

表 3-7 国内外建筑业企业的技术路径及减排措施核心差异

对比维度	国内建筑企业	国际优秀承包商
------	--------	---------

减排导向	政策驱动为主，市场驱动为辅，紧密贴合国家“双碳”战略，承担社会责任为重要目标，减排行动与国家政策、行业规划高度契合。	市场驱动为主，政策驱动为辅，依托碳交易、绿色金融等市场化手段，兼顾减排效益与经济效益，注重企业品牌形象与全球可持续发展布局。
技术侧重	侧重施工阶段节能降耗、装备电动化与传统技术优化，依托核心基建业务优势，形成差异化特色技术（如中国交建的绿色疏浚、中国中冶的固废利用）；数字化、智能化技术多应用于施工管控，全生命周期数字化管控仍在完善中；前沿清洁能源技术（如高空风能、氢能）逐步布局，聚焦规模化应用。	侧重全生命周期数字化管控、低碳建材研发与可再生能源深度整合，数字化技术（BIM、物联网、大数据）贯穿设计、施工、运营全流程，实现碳排放精准管控；循环经济模式成熟，建筑废弃物回收利用率高；技术研发聚焦前沿领域，且产业化应用速度快。
目标设定	减排目标多与国家“双碳”目标衔接（2030年碳达峰、2060年碳中和），目标量化程度逐步提升，但部分企业仍以定性目标为主，环境绩效披露的详细度有待提升。	减排目标量化清晰、分阶段推进，多数企业明确2030年、2045-2050年具体减排比例（如万喜2030年减排40%、斯堪斯卡2045年价值链碳中和），环境绩效披露规范、透明，符合国际标准。
供应链管控	供应链减排处于起步阶段，主要通过优先选用低碳建材、签订绿色合作协议等方式推进，对供应商减排的考核、激励机制不够完善，协同深度不足。	供应链减排体系成熟，将供应商减排纳入企业减排战略，建立完善的供应商筛选、考核、激励机制（如万喜的ESG风险问卷），推动供应商共同制定减排目标，协同深度高。
循环经济应用	侧重建筑废弃物回收再利用（如上海建工的固废再生建材），但循环利用的广度与深度不足，多集中于基础材料回收，高端建材循环利用技术有待突破；“无废理念”逐步推广，但尚未形成规模化、标准化模式。	循环经济模式成熟，实现建筑废弃物“分类回收-加工再利用-高端应用”的闭环，如斯堪斯卡的100%可回收混凝土、布伊格的选择性拆除分拣，同时将循环理念融入设计阶段，减少废弃物产生。
全球化布局	主要聚焦国内市场，部分企业（如中国交建、中国电建）通过“一带一路”项目向全球延伸，减排技术与措施的国际化适配性有待提升，国际技术合作较少。	全球化布局完善，业务覆盖全球多个国家和地区，减排技术与措施适配不同国家的政策、标准与环境需求，注重国际技术合作与经验共享，推动低碳技术全球化推广。

（3）差异成因分析

1）发展阶段不同：国内建筑行业低碳转型起步晚于国际，仍处于“追赶阶段”，目前重点解决施工阶段高排放问题，而国际企业已进入“全生命周期精准管控、循环经济规模化应用”的成熟阶段；

2）驱动机制不同：国内以政策驱动为主，国家“双碳”战略、行业标准倒逼

企业减排，而国际企业依托成熟的碳交易市场、绿色金融体系，形成市场化减排驱动机制，企业主动减排意愿更强；

3) 技术基础不同：国际企业在数字化、低碳建材、循环经济等领域积累了长期技术经验，研发投入大、产业化速度快，而国内企业仍需突破部分核心技术瓶颈，数字化管控的深度与广度不足；

4) 市场环境不同：国际市场对低碳建筑的需求旺盛，消费者、投资者对企业减排绩效要求高，倒逼企业提升减排水平，而国内低碳建筑市场仍在培育中，市场驱动作用尚未充分发挥；

5) 企业定位不同：国内头部建筑企业多为央企/地方国企，承担社会责任、落实国家政策是重要定位，而国际企业更注重全球化布局与市场化效益，减排绩效与企业品牌、市场竞争力直接挂钩。

（4）对国内建筑业企业的建议

1) 强化技术创新，加大低碳建材、数字化管控、循环经济等领域研发投入，加强国际技术合作，借鉴万喜、斯堪斯卡等企业的技术经验，推动核心技术突破与产业化应用；

2) 完善减排目标体系，细化量化分阶段减排目标，规范环境绩效披露，提升减排透明度，向国际标准靠拢；

3) 深化供应链协同，建立完善的供应商筛选、考核、激励机制，推动上下游企业协同减排，打造绿色供应链；

4) 推广循环经济模式，扩大建筑废弃物回收利用的广度与深度，学习上海建工“无废理念”实践经验，推动循环理念融入项目全生命周期；

5) 提升全球化适配性，依托“一带一路”等平台，推动低碳技术与措施的国际化适配，加强国际合作，提升全球低碳基建竞争力；

6) 推动政策驱动与市场驱动结合，积极参与碳交易、绿色金融等市场化活动，提升企业主动减排意愿，实现减排效益与经济效益双赢。

第四章“十五五”时期住房城乡建设新模式

“十五五”时期，中国住房城乡建设事业处于转型发展关键期，核心任务是推动发展模式从“规模扩张”向“内涵提质”转变。2025年12月召开的全国住房城乡建设工作会议，以建设“创新、宜居、美丽、韧性、文明、智慧的现代化人民城市”为蓝图，系统部署工作重点，为住建领域落实“双碳”战略、实现高质量发展提供了行动纲领。住建领域是能源消耗和碳排放的主要领域之一，其绿色低碳转型成效直接影响“双碳”目标实现。在此背景下，城市更新、绿色建造、“好房子”、新型建材四大新模式应运而生，以“双碳”战略为引领，契合“内涵式发展”要求，推动住建从规模扩张向质量提升转型，构建绿色低碳城乡发展新格局。本章将深度融合会议精神，对四大新模式进行系统性扩充，剖析其战略协同与创新实践。

一、城市更新新模式

（一）政策背景

在快速城镇化进程中，城市面临土地资源紧张与存量片区改造的双重压力，居民对高品质城市环境的需求日益提升，城市更新已成为提升城市竞争力、促进可持续发展的必由之路。

“十五五”时期，城市更新成为推进以人为本的新型城镇化的核心抓手。2025年中央经济工作会议明确提出“大力实施城市更新”。同年12月召开的全国住房城乡建设工作会议强调，要高质量开展城市更新，编制专项规划，抓好城市体检与更新试点，以“绣花”功夫推进老旧小区改造、完整社区建设、口袋公园、地下管网等民生工程，建立城市体检与更新一体化推进机制，为绿色低碳转型提供方向指引。

同时，生态环境部与住建部联合发布的既有公共建筑能效提升 CCER 方法学，为节能降碳改造提供市场化激励，与社会资本参与、可持续投融资体系建设高度契合。系列政策明确，“十五五”城市更新必须以绿色低碳为核心导向，

统筹历史文化保护与民生福祉提升。

（二）发展现状

我国城市发展已进入存量时代，我国城市更新已从传统的“大拆大建”模式全面转向绿色低碳的有机更新阶段，与 2025 年全国住房城乡建设工作会议提出的“内涵式发展”、“存量提质增效”要求高度契合，全国 15 个省区市二手住宅交易量超过新房，存量建筑绿色改造成为核心发力点。截至 2025 年，全国城镇既有建筑节能改造面积持续增长，完成改造面积较 2023 年增长 2 亿平方米以上，北方采暖地区、重点城市群成为改造重点区域，且改造工作逐步与地下管网改造、综合管廊建设、燃气管道老化更新改造等民生工程统筹推进，全年力争完成改造各类燃气管道 3 万公里的目标正在稳步落实。当前城市更新呈现四大特征。

1、改造规模持续扩大但减碳效能未充分释放

全国需改造的老旧小区面积约 40 亿平方米，年均改造规模超 5 亿平方米，但节能率普遍低于 30%，深度低碳改造占比不足 10%。改造模式仍以“小修小补”为主，系统性节能改造（外围护结构、机电系统、可再生能源一体化）占比偏低，导致改造后建筑碳排放强度仅下降 15%-25%，远低于 30%-50%的技术可行空间。2025 年全国住房城乡建设工作会议强调必须改变这种模式，推动“留改拆”并举，以“需”定“改”，提升改造的深度和广度。

2、全链条技术体系取得突破

城市更新全链条技术体系是指覆盖既有建筑及城区“检测诊断—规划设计—施工建造—运营维护—评估优化”五大环节，融合工业化、数字化、绿色化技术手段，实现精准评估、高效实施、智慧运维的系统性技术集成。2025 年全国住房城乡建设工作会议明确提出完善“城市体检与更新一体化推进机制”，标志着全链条技术体系从理论探索进入制度化实践阶段。

3、地下管网与设施更新成为新增长点

会议将地下管网管廊建设改造、环卫污水处理设备设施更新列为重点。2025 年全国计划改造燃气、供水、排水等管网 10 万公里以上，这些基础设施的更新不仅消除安全隐患，还能减少漏损和能耗。例如，改造后的供水管网漏损率可从 15% 降至 8% 以下，年节水减碳潜力巨大。

4、适老化与无障碍建设同步推进

推动无障碍适老化设施建设成为城市更新的重要内容。在 106 个完整社区试点中，建设改造养老、托育等各类服务设施 2000 多个，新增停车位 2.6 万个，增补公共绿地 71.3 万平方米。这类改造虽然不直接降低建筑运行碳排放，但通过优化社区功能布局、减少居民出行距离，间接交通碳排放可减少 10%-15%。

（三）城市更新实践案例

西城区桦皮厂胡同 8 号楼改造项目是中建集团承建的北京市首个装配式危旧楼改造项目，入选住建部《“好房子”建设经验做法（第一批）》名单，是 MiC 技术“原拆原建”的标杆项目。该楼建于 20 世纪 70 年代，被鉴定为 D 级危房，存在重大安全隐患。

项目位于北京二环内，周边环境复杂。中建集团采用新型建筑工业化建造技术，依托中建海龙原创的 C-MiC 技术（混凝土模块化集成建筑+预制 PC 构件），将 90% 以上工序在工厂完成，现场仅进行模块吊装拼接。

技术流程：将整栋楼分解为 55 个混凝土模块，在工厂集成墙体、楼板、管线及装修；采用自动化生产线，误差控制在毫米级；模块夜间错峰运输；现场智能吊装精准拼接；关键节点现浇加固，抗震满足 8 度设防要求。

技术突破：采用现浇结构与模块墙模结合的复合体系，结构可靠性提升 30%，施工周期缩短 80%。传统 15 个月工期压缩至 3 个月，2023 年 10 月拆除，2024 年 1 月封顶，5 月交付入住，实现“当年拆除、当年入住”。构件精度达毫米级，墙体平整度误差小于 2mm，装修一次成型合格率 99% 以上。

。



图 4-1 改造后的北京市西城区桦皮厂胡同 8 号楼

二、发展绿色建造

（一）政策背景

“十五五”时期，绿色建造被列为建筑领域碳达峰的核心任务，政策体系不断完善并向纵深推进。2025 年 12 月的全国住房城乡建设工作会议进一步明确，要培育发展绿色建筑，推动 50 多类新型建材研发应用，构建绿色建造产业体系，将绿色低碳能力打造为行业核心竞争力，同时优化建筑市场环境，开展房屋市政工程招标投标突出问题系统整治，以标准化、信息化、法治化手段构建诚信守法、公平竞争的建筑市场环境。

（二）发展现状

我国已构建“顶层设计+法律保障+标准支撑+地方落实”的绿色建造政策体系。2025 年全国住建工作会议明确编制“十五五”建筑业发展规划、修订建筑法，形成规划引领与法律护航双重保障。新建建筑全部达到绿色建筑基本级，GB 55038-2025 等全文强制性标准落地实施。地方层面配套政策上下联动，绿色金融、容积率奖励等激励政策与星级绿色建筑挂钩，逐步形成“绿色溢价”市场机制。

绿色建造技术从单一应用转向多技术集成，与智能建造深度融合。新型绿色建材加速普及，高性能围护结构、BIPV、光储直柔等技术广泛推广，新建超低能耗建筑能耗降低 50% 以上。自主可控 BIM 实现全领域应用，结合数字孪生、物联网实现施工能耗实时监测；新型“造楼机”实现智能化施工。21 省市启动 CIM 平台建设，基于 BIM 与物联网的碳排放监测平台在福建示范项目实现平均减碳 22.5%。

绿色建造产业集群加速培育，形成“设计-生产-施工-运维”全链条协同格局。装配式建筑模式逐渐普及，10 余家年产值超千亿的平台型企业涌现，多家国家级产业基地建成。建筑垃圾资源化利用率“十五五”目标提升至 70%。开发企业从“卖房”转向“营房”，施工企业从“按图计价”转向“按性能交付”，推动价值链向全生命周期服务转型。建筑业劳动生产率“十四五”提升约 30%， “十五五”目标突破 50%。

围绕“建立可持续城市建设运营投融资体系”要求，市场化激励机制逐步完善。政府专项债券、财政贴息撬动社会资本，能源费用托管模式实现收益闭环。绿色信贷、绿色债券向绿色建造倾斜。依托“一带一路”，海外绿色建筑项目占比目标从 22% 提升至 50%。全生命周期碳排放核算制度逐步建立，推动绿色建造从政策驱动向市场驱动转型。

（三）绿色建造实践案例

中建集团所属的中建科技研发实施的全球首个运行的“光储直柔”建筑——深汕特别合作区中建绿色产业园办公楼，展现了“光储直柔”建筑节能低碳运转，使建筑成为一座“绿色发电厂”，实现了建筑由能源的消费者向生产者、存储者与调节者的华丽转变。中建科技始终站位低碳发展最前沿，融合绿色超低能耗建筑，贯通建筑清洁能源生产与使用端，将光伏发电、分布式储能、直流电建筑及柔性控制系统四种技术结合整合利用，实现建筑节能低碳运转。

中建科技“光储直柔”建筑运行一年来，实现年碳减排 82.6 吨，作为唯一建筑园区示范案例入选生态环境部《中国应对气候变化的政策与行动 2022 年度报告》。目前，中建科技通过自主研发从发电端到用电端一系列覆盖城市、园区、建筑、家居的具有自主知识产权核心产品，形成了完整的“光储直柔”产品矩阵，

为低碳城市建设管理运营提供系统解决方案，为城市创造绿色低碳、万物互联的幸福空间。



图 4-2 深汕特别合作区中建绿色产业园办公楼

三、推进“好房子”建设

（一）“好房子”内涵

为适应社会主义现代化建设新阶段，2025 年全国住房城乡建设工作会议指出，人民群众对住房的要求从“有没有”转向“好不好”，部署以“好房子”为目标，构建新发展格局。当前，住房建设领域处于大量建设与存量更新并举阶段，虽取得巨大成就，但仍面临居住环境质量不高、资源消耗较大、绿色低碳发展不平衡等问题。新时期，住房建设需在落实“双碳”战略的同时，推动向“安全、舒适、绿色、智慧”的高质量方向转型。

2025 年政府工作报告首次写入“好房子”，强调完善标准规范，满足人民群众高品质居住需求。全国住房城乡建设工作会议明确将“好房子”作为推动房地产高质量发展的核心抓手，以绿色、低碳、智能、安全为核心指标，构建政策、技术、产业三大体系，统筹推进“好房子、好小区、好社区、好城区”建设，标志着“好房子”从单一建筑品质概念上升为系统性城乡建设新模式。

（二）发展现状

（1）从试点探索到规模推广的产业布局

2025 年全国建设改造保障性租赁住房超 200 万套，其中 60%以上按“好房

子”标准实施，涌现出眉山万景·玺悦、西昌正黄·海月潮鸣等高品质项目。政策推动形成“设计-生产-施工-运维”全链条产业体系，第四届长三角智能建造与绿色低碳展览会设立“好房子主题展区”，参展企业超 200 家。成本方面，“好房子”建设平均增加 300-500 元/m²，但规模化应用与智能建造技术使部分项目实现 5-8%溢价率，浙江等地探索立体生态住宅可不作装配率要求，降低技术门槛。

（2）从闭门研发到开放平台的展会活动与行业交流

2025 中国住博会集中展示“好房子”建设新成果，涵盖数字设计、工厂预制、智能建造、城市运维、产品交付五大板块，突出立体车库自动充放电、城市更新等创新成果。第四届长三角智能建造与绿色低碳展览会设立示范环节与新技术发布会，发布 8 项前沿技术。2025 好房子观摩交流会由中国建设科技集团主办，聚焦全龄需求，分享“158”工程经验与企业差异化路径。此外，成都、深圳等地密集举办“好房子”主题论坛，形成“政产学研用”常态化交流机制。

（三）国内外“好房子”案例

1、台北陶朱隐园

陶朱隐园致力于推广碳吸收建筑，以减缓全球气温上升。项目种植乔灌木超过 2.3 万棵，绿植覆盖率达 246%，每年实现 130 吨碳吸收量，为当地激励计划标准的 5 倍。大量植被使大楼成为四季变幻的垂直森林，阳台绿植在提供氧气、湿气的同时，有效吸收环境噪音，并使建筑呈现冬暖夏凉的状态。

项目整合了自然通风烟囱管道、雨水循环利用系统、LED 无线监控、光导系统及太阳能/风能等技术，实现节能减排目标。公寓阳台是绿色生态系统的缩影，每户享有 165 平方米空中花园、270 度全景视野及 14 棵乔木。大楼还设有 6600 平方米地面艺术公园，通过垂直都市农场为住户提供符合自然与气候的全新生活方式，真正实现人与自然共生的愿景。



图 4-3 陶朱隐园

2、英国西格马住宅

在英国，有 27% 的温室气体排放，源头是来自于其国内的 2100 万户的居民住宅。有鉴于此，在可持续住宅法有一套评估准则，按住宅的节能和环保程度，将它们划分为 6 个星级，除作为政府评估管理的基准，并提供民众在购屋选择上能有标准化评估规范的参考依据。

在沃特福德郡的建筑展览会上，Stewart Milne 建筑开发商率先推出英国首栋零碳排放住宅房屋设计：“西格马住宅(Sigma Home)”。这栋住宅的家用电器能源设施设备，包括电视电器、厨房烹调设施、暖气系统、热水供给系统及通风系统能源消耗，均接近零碳排放指标，此已符合英国可持续住宅准则评估第五星级水平，因此获颁英国政府第一张“零碳排放”住宅证书。



图 4-4 西格马住宅

西格马住宅在可再生能源方面，屋顶安装太阳能热水器和涡轮式风力发电机，实现自发绿电。水资源管理上，采用低速流动水降低流量，洗衣、洗澡等废水循环用于冲厕，斜屋顶雨水收集后用于花园灌溉。

隔热设计上，南向窗户安装三层真空玻璃，墙壁夹层填充羊毛隔热层，有效减少冬季热能流失与夏季热辐射，并配备热量感应器控制的通风孔自动调节室内温度。

建筑兼顾居住与办公双重用途，一楼可独立作为公寓或办公室，减少居民通勤交通成本与车辆碳排放。预铸框架式墙体和屋顶设计，缩短建筑周期，比传统砖造住宅每年为四人家庭节省约 800 英镑能源开支。

3、众森·红谷一品

众森·红谷一品，是与欧洲同步、以三星级绿色建筑标准打造的健康住宅，项目位于南昌市红谷滩行政中心、CBD 金融商务中心，用地 500 多亩，总建筑面积 60 多万 m^2 。项目物业涵盖了别墅、法式洋房、湖景高层公寓、高端写字楼、五星级酒店、高端国际幼儿园，项目周边配套齐全，三面环水，市内桃园，“出门繁华，回家静谧”，生活便利的温馨家园。



图 4-5 众森·红谷一品

众森·红谷一品，以国际领先的绿色建筑开发理念，充分发挥了“十大绿色建筑管控系统”低效能运行。利用自研的绿色建筑科技系统（地源热泵系统、舒适恒温系统、空气恒温系统、洁净富氧新风系统、全天候热水供应系统、外墙保温系统、高性能窗户系统、隔热遮阳系统、同层后排水系统、互联网能源管控系统）打造“四恒”健康住宅，实现建筑室内恒温、恒氧、恒湿、恒静，常年保持室内温度在 $20-26^{\circ}\text{C}$ ($\pm 2^{\circ}\text{C}$)，四季如春。是对当前行业主管部门提出“调整房地产发展模式，为人民群众造好房子”的最好诠释。



图 4-6 “四恒”健康模式

四、新型建材的研发和应用

（一）研发和应用新型建材的意义

研发和应用新型建材，是推动建筑业高质量发展、实现“双碳”目标的战略性举措。它既是培育新质生产力、服务绿色低碳发展的关键抓手，也是建设“安全、舒适、绿色、智慧”好房子的物质基础，通过材料源头创新驱动全产业链升级，协同提升宏观战略、产业经济与民生福祉。

2025 年全国住房城乡建设工作会议将新型建材作为“好房子”建设、城市更新和绿色低碳转型的关键支撑。同期发布的《住房城乡建设部关于提升住房品质的意见》提出，加快研发应用隔声降噪、防水防反味、抗菌防霉、保温隔热等功能性材料，持续推进绿色建材产品认证和应用，支持政府投资项目采购绿色建材，鼓励商品住房项目提高应用比例。

（二）新型建材发展新趋势

新型建材是指区别于传统砖瓦灰砂石的新一代建筑材料，具有轻质高强、节能环保、多功能可循环等优势，是推动建筑工业化、绿色化和智能化的重要基础。根据行业共识，新型建材主要包括以下七类：

1、绿色低碳结构与墙体材料

指全生命周期中具有显著节能、减排、可循环特性的建筑结构及围护材料，核心目标是降低建筑隐含碳与运行能耗。主要包括：全固废胶凝材料，以钢渣、粉煤灰等工业固废为主要原料，有效替代高碳排放水泥，北京金隅集团产品已在雄安新区试点应用；碳酸化养护建材，每立方米混凝土可固化 CO_2 10-20kg，中建西部建设已开展示范线；蒸压加气混凝土板（ALC板），密度 400-700 kg/m^3 ，导热系数 0.11-0.16 $\text{W/m}\cdot\text{K}$ ，广泛应用于装配式建筑；免烧泡沫混凝土砌块，比烧结砖减排 80%以上；秸秆/竹木复合墙板，采用无醛胶黏剂，万华禾香板已用于装配式农房；UHPC 轻量化构件，强度达 150MPa 以上，可减薄构件厚度 30-50%。

2、高性能保温隔热材料

具有显著优于传统材料的热工性能、耐久性和防火安全性，支撑超低能耗建筑实施。主要包括：气凝胶复合材料，导热系数 0.012-0.020 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，北京大兴机场部分区域已采用，东方雨虹、纳诺科技已量产；真空绝热板，厚度仅 10-30mm，保温效率为传统 5-10 倍，江苏山由帝杉、福建赛特新材已开发建筑专用产品；石墨改性聚苯板（SEPS），导热系数 0.032-0.035 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，热固复

合聚苯板（TEPS）达 B1 级防火；相变储能保温材料，在 20-30℃ 区间吸放热，平抑室温波动，中建科技在雄安公租房项目试点；保温装饰一体板，工厂预制、现场干作业，亚士创能、三棵树等企业已开展应用。

3、新型防渗漏与防水密封材料

以系统化、绿色化、智能化为特征，有效解决渗漏、串味、返潮等住宅顽疾。主要包括：高分子自粘胶膜防水卷材，预铺反粘技术杜绝窜水，东方雨虹“SAM-930”、科顺“APF-5000”已广泛应用于地铁、管廊；非固化橡胶沥青涂料+高分子卷材复合系统，形成“刚柔并济”体系，适用于复杂屋面、种植顶板；厨卫专用整体防渗漏系统，包括 SMC 整体防水底盘、防串味同层排水密封装置、管道穿楼板专用密封套管系统；改性硅烷密封胶（MS 胶），无溶剂、可涂漆，西卡、瓦克、杭州之江等品牌已广泛应用。

4、健康环保装饰装修材料

在整个生命周期中对人体健康无害、对环境影响极小，并具备改善室内环境能力。主要包括：无醛人造板，万华禾香板以秸秆为原料使用 MDI 胶，完全不含甲醛；健康型墙面材料，硅藻泥可吸附甲醛、调节湿度，兰舍、大津等品牌获“十环+法国 A+”双认证，无机矿物涂料寿命长达 20 年，抗病毒乳胶漆添加银/铜离子可杀灭多种病菌；环保胶粘剂与辅料，MS 改性硅烷胶 VOC 趋近于零，水性白乳胶甲醛释放量 $\leq 0.1\text{g/kg}$ ；健康照明与饰面集成材料，负氧离子石膏板可释放 1000 ions/cm³ 以上，北新建材“龙牌”、三棵树“鲜呼吸”已推出相关产品。

5、隔声降噪功能材料

专门用于阻隔或吸收空气传声与固体传声，提升住宅声环境质量。主要包括：复合隔声石膏板墙体，隔声量 R_w 可达 50-60dB，用于分户墙、酒店客房；ALC 板+隔声砂浆，隔声量达 48dB 以上；浮筑楼板系统，弹性隔声垫层（橡胶垫、IXPE 发泡垫）可使撞击声降至 50-55dB，德国科德宝、国产“绿羽”等品牌已广泛应用；门窗隔声密封系统，夹胶中空玻璃隔声量 $\geq 35\text{dB}$ ，三元乙丙胶条耐老化性能优异。

6、智能与功能性建材

具备感知、响应、调节、自修复或能量转换等先进功能，是建筑智能化转型的核心载体。主要包括：智能调光材料，电致变色玻璃透光率调节范围 10%-70%，可降低空调负荷 20%以上，中国南玻、光羿科技已推出相关产品；光伏建筑一体化材料，包括光伏幕墙、光伏瓦、光伏遮阳百叶，雄安市民服务中心已应用，隆基、晶科推出建筑专用产品线；自修复混凝土，可自主修复 $\leq 0.5\text{mm}$ 裂缝，延长结构寿命 30%以上，中建八局在雄安管廊工程试用微生物自修复混凝土；导电/传感混凝土，可实现结构健康监测与融雪化冰，中交集团试点“智能道路”嵌入传感网络。

7、适用于城市更新与改造的快装材料

专为既有建筑改造设计的工厂预制、干法施工、安装快捷的材料与集成系统，最大限度减少对居民干扰。主要包括：金属/纤维水泥挂板幕墙，轻质耐候，适用于公建及住宅改造；轻钢龙骨复合隔墙，干法作业，隔声量达 45dB 以上，用于老旧小区加装电梯候梯厅；快装集成吊顶，模块化卡扣安装，集成照明、新风功能；架空调平地板，可调支脚结构，无需剔凿找平；锁扣式石塑地板，防水耐磨，直接铺于旧地砖上，施工效率高；碳纤维布加固系统，厚度仅 1-2mm，北京、上海已大量用于老旧住宅抗震加固；UHPC 修补砂浆，1 小时初凝、24 小时达强度，用于混凝土剥落快速修复。

第五章 建筑行业碳达峰碳中和实施路径

一、建筑全生命周期脱碳路径分析

建筑全生命周期包括建材生产、施工、运营、拆除回收四个阶段。实现建筑领域碳达峰碳中和，需要产业链各环节协同推进减碳目标。本节将对四个核心阶段的减碳路径进行剖析，以供从业者、研究者及政策制定者参考。同时，通过列举典型零碳建筑及企业实例，为行业提供可借鉴的实践经验。

（一）建材生产运输阶段脱碳

根据《中国城乡建设领域碳排放研究报告（2024 年版）》，建材生产运输阶段占全国能源相关碳排放的比重为 16.7%^[12]。建筑材料作为构成建筑的基础硬件，种类繁多，包括钢铁、水泥、混凝土等传统结构建材，还包括装饰材料、保温材料、玻璃幕墙等功能性材料。建材生产阶段的脱碳，一方面有赖于能源供给端的清洁化、低碳化，同时也需要在建材各行业推广低碳原料及低碳技术，产出绿色低碳建材。以下就传统结构建材脱碳、低碳建材应用、绿色建材产品认证、建材运输脱碳 4 个方面进行分析。

1、传统产业结构建材脱碳

水泥是应用范围广泛的大宗建材，行业碳排放量显著。2024 年 9 月，生态环境部发布《全国碳排放权交易市场覆盖水泥、钢铁、电解铝行业工作方案(征求意见稿)》提出，积极稳妥有序将水泥、钢铁、电解铝行业纳入全国碳排放权交易市场覆盖范围^[13]。据中国水泥协会方面统计，基于水泥熟料产量计算，每生产一吨水泥熟料约释放 860kg 二氧化碳，折算至水泥产品则约为 597kg^[14]。2023 年我国粗钢产量为 10.19 亿吨，碳排放量约占全国碳排放总量的 15%^[15]，从国际贸易的角度看，我国钢材的出口量连年高于钢材进口量，是钢铁净出口大国，我国钢铁行业的出口贸易在牺牲行业利益，进行不合理的“为碳买单”行为。在发展贸易的同时关切环境，我国钢铁工业的降碳之路任重道远^[16]。因此

钢铁、水泥行业脱碳，对于建材生产阶段脱碳而言至关重要。

1.1 钢铁行业脱碳路径

《钢铁行业碳达峰及降碳行动方案》提出^[17]：2025 年前实现碳排放达峰，2030 年碳排放量较峰值降低 30%，预计减排 4.2 亿吨。主要脱碳路径如下：

（1）消除过剩产能。我国钢铁需求减量发展，但供给保持增长，产能过剩问题突出。通过兼并重组消除过剩产能，可减少相应能耗与碳排放。

（2）发展短流程生产工艺。长流程以铁矿石、焦炭为原料，能耗高、碳排放量大；短流程以废钢为原料，省去炼铁环节，碳排放大幅降低。我国以长流程为主，发展短流程对脱碳意义重大。

（3）发展氢能炼铁技术。传统炼铁使用焦炭作还原剂，产生大量碳排放。瑞典 HYBRIT 项目突破性采用氢气替代焦炭，反应生成水蒸汽，实现零碳排放。该项目 2018 年建设测试炉，2020 年试运行，计划 2025 年建成示范工厂、2026 年产出首批“零碳钢”。我国氢能炼铁处于起步阶段，受成本、电解水、储运等技术制约推广缓慢，未来有望成为重要突破口。

1.2 水泥行业脱碳路径

《建材工业“十四五”发展实施意见》明确^[18]：2025 年建材行业全面达峰，水泥等行业 2023 年前率先达峰。主要脱碳路径如下：

（1）石灰石原料替代。石灰石煅烧产生大量 CO_2 ，矿渣、钢渣等固废化学成分与水泥熟料相近，替代石灰石既可实现固废综合利用，又可大幅降碳。华北、西南地区应用较好，江苏、内蒙古、新疆等钢铁煤炭产区仍有较大潜力。

（2）化石燃料替代。水泥窑协同处置废弃物技术利用高温窑炉焚烧废弃物，有机物分解无害化，热量用于生产减少燃煤，灰渣进入熟料产品。工信部将“水泥窑高比例燃料替代”列为“十四五”降碳重大工程。

（3）提高能源效率。通过先进隔热材料减少筒体热损失，新型燃烧器减少不完全燃烧损失，稳流篦式冷却机减少熟料冷却损失，高效预热器减少废气损失，智能化管理系统优化运行参数。余热发电是回收废气余热的主要方式，目前普及率达 80%，未来将持续提升。

2、低碳建材应用

建筑中应用的建材种类繁多，从使用功能上，分钢铁、水泥、混凝土等主体建材，以及装饰材料、保温材料、玻璃幕墙、防火防水材料等功能性建材；从来源上看，可分为天然建材、再生建材、人工建材，天然建材包括木材、砂石等，再生建材诸如再生钢材、混凝土，废砌块、旧砖等。建筑过程应优先选用天然建材、再生建材，减少因建材生产导致的碳排放量；其次可以选择一些新型建材，如新型胶凝材料、低碳混凝土等，这些建材从源头上减少了水泥消耗，降低碳排放；还有如固碳混凝土、固碳水泥，该类建材可吸收二氧化碳达到固碳作用。天然建材、再生建材、新型建材均属于低碳建材。据统计，每 1m 木材可吸收并固定约 0.9t 二氧化碳，相当于燃烧 350L 汽油产生的碳排放^[19]。

3、绿色建材产品认证

尽管市面已开发各种类别绿色建材，但存在品质参差不齐，原料来源、生产过程能耗及实际碳排放量无从考证等问题，使用方无法从中确认所采购建材是否达到低碳要求。因此，绿色建材的推广还有赖于对建材本身产品开展第三方的认证，以获取信任度。

2015 年 9 月，住建部、工信部联合颁布了《绿色建材评价标识管理办法》，其中定义绿色建材为：在全生命周期内可减少天然资源消耗和减轻对生态环境影响，具有“节能、减排、安全、便利和可循环”特征的建材产品。从定义上，绿色建材涵盖了低碳建材内容，因此开展绿色建材产品认证，是建材生产企业获取绿色低碳建材信任度的有效手段。

2020 年 8 月，市场监管局、住建部、工信部联合颁布了《加快推进绿色建材产品认证及生产应用》，其中将建筑门窗及配件等 51 种产品纳入绿色建材产品认证实施范围，实施分级认证^[20]。2024 年 7 月 23 日，国家市场监督管理总局发布了《市场监管总局 住房和城乡建设部 工业和信息化部关于发布绿色建材产品分级认证目录（第二批）和第二届绿色建材产品认证技术委员会成员名单的公告》，增加了五大类 21 种产品纳入第二批绿色建材产品认证实施范围，实施分级认证^[21]。

以《绿色建材评价 预制构件》标准为例，评价指标要求中资源属性评价内容包括：生产过程固体废弃物使用率、生产废水回收率、生产采用标准化模板

或工具式模板使用率等，对使用再生材料使用提出要求；能源属性评价内容包括单位产品养护能耗占总能耗比例、原材料本地化程度、生产线流水线数量，对节约生产及运输能耗要求；环境属性评价内容包括产品环境影响和碳足迹、生产噪声影响控制，对于产品是否开展全生命周期及碳足迹评价提出了要求；而品质属性则对产品力学性能、外观质量、可追溯性等提出要求^[22]。由上，可以看出标准综合了产品的“节能、减排、安全、便利和可循环”属性，评价综合结果星级越高，即越符合绿色、低碳要求。

4、建材运输脱碳

现阶段我国建材运输仍以中重型燃油卡车为主，其在行驶过程中排放大量二氧化碳，由此降低卡车在运输过程产生的二氧化碳为建材运输脱碳的重要途径。

在交通领域，我国政府大力发展的一项举措为道路全面电气化，也即逐步推广电动新能源汽车。新能源汽车相比燃油汽车不仅绿色环保，而且具有低能耗、高转换率的优点。尽管如此，受限于充电桩布局数量、电池能量密度以及储电量，新能源仍有其不足之处，全面替代燃油汽车尚需时日，但市面上新能源汽车数量的增多已是不争的事实。相信将来随着新能源技术创新，基础设施的完善，以及制造成本的降低，新能源汽车将会是公路运输的不二之选。

新能源汽车中，除了发展电动汽车，另一重要方向为氢能燃料汽车。如果说电动汽车解决了短途运输脱碳，氢能燃料汽车将是长途运输脱碳的重要选择。氢燃料具备零排放、续航里程长等优点，可以为飞机、货船等长途运输工具提供能量。目前氢燃料存在着成本过高，基础设施不完善，燃料安全性仍需提升等问题，大规模的应用仍有待于时间及技术的积累。截至目前，国内已有氢能燃料应用于卡车案例。2021年8月，我国首条百辆级别市场化运营氢能重卡运输线——“容易路氢能重卡示范线”建成。容易路全长59公里，是雄安新区主要建材运输通道之一。该示范线投运的氢能重卡搭载长城旗下未势能源完全自主研发的百千瓦级大功率氢能燃料电池系统，实现了全程运输的“零碳排”；同时示范线搭载有“氢能云”智能平台，可实时监控所有车辆燃料电池系统全生命周期运行健康情况，实现智能网联与智慧交通的深度融合^[23]。

（二）建筑施工阶段脱碳

根据《中国城乡建设领域碳排放研究报告（2024 年版）》，建筑施工阶段占比最小，为 0.7%，但碳排放总量达到 0.7 亿 tCO₂ 的庞大体量，随着中国城市化进程的推进，建筑施工及拆除量将随之增加，因此建筑若要实现全生命周期的碳中和，必须考虑建筑施工环节的节能降碳，通过引进绿色、低碳施工技术及管理手段，减少或抵消施工过程产生的二氧化碳。

本节从建筑施工过程的减碳路径进行分析，包括优化施工工艺与流程、升级施工设备与能源管理、加强施工人员培训与意识提升、创新施工管理模式及数字化及智能化技术应用五个方面。

1、优化施工工艺与流程

（1）采用高效施工技术

预制装配式技术将构件在工厂预制后现场组装，减少现场湿作业和废弃物，相比传统现浇可减少约 20% 施工废弃物，缩短施工周期。铝合金模板可重复使用 300-500 次，大幅减少木材消耗；盘扣式脚手架搭设效率高、稳定性好，降低安全事故导致的资源浪费。

（2）优化施工组织与管理

利用 BIM 技术模拟施工过程，优化施工顺序和资源调配，避免因不合理安排导致的额外碳排放。通过物联网实时监控设备运行和能源消耗，及时发现设备空转、能源浪费等问题并调整，降低能耗。

2、升级施工设备与能源管理

（1）采用节能与清洁能源设备

推广电动挖掘机、电动起重机等设备，电动挖掘机碳排放较燃油设备减少约 90%。在施工现场安装太阳能光伏板和风能发电设备，利用可再生能源供电，减少对传统电网依赖。

（2）提升设备能源管理水平

加强设备日常维护，确保高效运行，及时淘汰老旧高能耗设备。建立施工现场能源管理系统，实时监测分析能耗数据，识别浪费环节，制定针对性节能措施。

3、创新施工管理模式

（1）消除浪费与优化流程

精益建造理念识别并消除过度加工、等待时间、库存积压等浪费。采用准时化供应模式，根据施工进度精确安排材料供应，避免积压；优化施工工序，减少重复操作，提高效率。

（2）持续改进机制

建立持续改进机制，鼓励施工团队发现问题和提出建议。定期复盘施工项目，分析低碳施工不足，总结经验并在后续项目中实施改进。

4、信息化的装配式施工技术

装配式施工将工厂预制的构件通过可靠连接方式进行现场装配，避免传统施工的噪声、粉尘污染，缩短工期，减少原材料消耗。装配式施工与 BIM 技术联合应用，结合物联网、云计算、工业互联网等信息化手段，实现工厂化生产、装配化施工、信息化管理。通过对生产环节的深化设计、材料管理、产品制造，以及施工环节的产品进场、现场堆场、施工预拼装进行管控，实现生产与施工信息共享，确保产品质量与施工效率。

（三）建筑运行阶段脱碳

根据《中国城乡建设领域碳排放研究报告（2024 年版）》，建材运行阶段碳排放占全国建筑与房屋建造总排放量的 21.7%，为全生命周期最高。排放主要来自照明、空调、采暖等设备用电、燃气消耗及北方采暖热力消耗。由于建筑运行期长且存量持续上升，该阶段碳排放呈线性增长趋势，脱碳压力加大。

减碳路径主要包括：优化低碳设计以减少后期运行能耗；引入太阳能、风能、地热能等可再生能源替代传统能源；提升设备能效与能耗管控水平。

1、BIPV 与 BAPV 技术

1.1 BIPV(Building Integrated Photovoltaic)

BIPV 指与建筑物同时设计、同时施工和安装并与建筑物形成完美结合的太阳能光伏发电系统，也称为“构建型”和“建材型”太阳能光伏建筑。它作为建筑物外部结构的一部分，既具有发电功能，又具有建筑构件和建筑材料的功能，

甚至还可以提升建筑物的美感，与建筑物形成完美的统一体。

作为具有发电功能的建筑构件的技术，BIPV 具有如下特点：

（1）美观实用：BIPV 将光伏板与建筑材料融为一体，使得建筑外观更加美观大方，同时又能实现发电功能，提高了建筑的实用性。

（2）节省空间：由于 BIPV 将光伏板直接集成到建筑上，无需额外的安装空间，从而节省了宝贵的土地资源。

（3）节能减排：BIPV 利用太阳能发电，减少了对传统能源的依赖，有助于降低碳排放，实现节能减排的目标。

（4）集成性高：BIPV 作为建筑物外部结构的一部分，不仅具有发电功能，还兼具建筑构件和建筑材料的功能。它能够与建筑物的外观和功能完美融合，甚至提升建筑物的美感。



图 5-1 河北保定的“光伏+被动式+智能示范建筑”

BIPV 适用于新建建筑或需要进行大规模改造的建筑项目，可以实现光伏与建筑的同步设计和施工。BIPV 应用除了屋顶，还可以作为光伏幕墙、光伏遮阳、光伏温室等，应用场景更多。如河北保定的“光伏+被动式+智能示范建筑”（图 5-1）采用新中式风格的建筑设计，集建筑光伏一体化技术、被动式技术、高效节能环保空调系统等绿色技术和智慧能源管控系统为一体，打造出一个涵盖宜居、零碳、绿色、智慧的示范建筑。

1.2 BAPV（Building Attached Photovoltaic）

BAPV 即建筑附加光伏，是将光伏板安装在建筑外墙或屋顶上的技术。其主要功能是发电，与建筑物功能不发生冲突，可以在不破坏或削弱原有建筑物功能的前提下，为建筑物提供清洁的电力供应。

BAPV 技术通过在建筑表面安装光伏板实现建筑低碳运行，具备如下优势：

（1）安装灵活：可以根据建筑的具体情况和需求进行定制安装，无论是新建建筑还是老旧建筑，都可以轻松实现光伏发电。

（2）维护方便：光伏板独立于建筑本身，方便进行维护和更换，降低了维护成本。

（3）经济效益显著：虽然 BAPV 的初始投资可能稍高于 BIPV，但由于其安装灵活，可以适用于更大范围的应用场景，从而实现更高的经济效益。

BAPV 主要应用于建筑闲置空间改造，多通过支架等将普通光伏组件固定在彩钢瓦或者水泥屋顶上。如中建八局的建筑“绿色低碳技术实验室”（图 5-2），设计团队创新性地采用了复合化的立体太阳能，以测试不同类型太阳能的发电效率。



图 5-2 中建八局的建筑“绿色低碳技术实验室”

其中南立面外墙采用 BIPV 光伏幕墙，将光伏组件与建筑围护结构有机结合，让光伏板成为建筑的外立面，形成独特的“建筑表情”。女儿墙南侧采用 PVT 光热一体化技术，将来用于验证太阳能光热两方面的综合利用效率。屋面设置 BAPV 分布式单面及双面单晶硅光伏板，以对比分析双面及单面光伏的发电效率。整个立体太阳能系统装机容量可达 24.3KW，年发电量约 22200KWh，能够覆盖建筑的全年能耗，达成建筑的零碳运行。

2、可再生能源替代

2.1 重力储能

重力储能系统利用多余电力驱动起重机将重物（如混凝土块）提升至高处，将电能转化为势能储存；需要电力时，重物在重力作用下下降，驱动发电机发电，将势能转化为电能。系统效率可达 80%以上，重物可反复使用，寿命长达数十年。与传统储能技术相比，重力储能能量密度较低，但原材料成本低廉，且可通过增加重物数量和高度灵活扩展规模。

2.2 风能利用

风能与建筑结合分为两种形式：直接结合是将风电机组直接集成于建筑物中；间接结合是将风机融合于建筑绿地或周边空地。高层建筑风能资源丰富，是节能降碳的有效手段。主要挑战包括：风机安装对建筑力学和美学的设计要求高，应用成本较高，以及运行中产生的噪声和震动需通过合理设计加以控制。

2.3 地热能利用

地热资源按温度分为高温（ $>150^{\circ}\text{C}$ ，以蒸汽形式存在）、中温（ $90-150^{\circ}\text{C}$ ，水汽混合物）和低温（ $25-90^{\circ}\text{C}$ ，以温水、温热水、热水形式存在）。建筑中对地热能的利用主要包括地源热泵技术和地下季节性储能技术。

2.4 生物质能利用

生物质能是太阳能以化学能形式贮存在生物质中的能量形式，来源于植物光合作用。利用途径包括：直接燃烧（如生活垃圾焚烧发电，将垃圾热值转换为电能）；热化学转换（如生物质气化发电，将农林废弃物、有机垃圾等转化为燃气后发电）；生物化学转换（如沼气发酵，通过微生物将有机物转化为以甲烷为主的可燃气体）。

2.5 氢能利用

我国氢能年产能约4100万吨，其中煤制氢占比63.5%，低碳氢不足3%。未来低碳氢发展取决于制氢技术进步与成本下降。氢能建筑以氢能部分或全部替代市政电网、天然气等传统能源，满足建筑对冷、热、电、生活热水等多种能源需求，有助于优化能源结构、降低碳排放。

3、能效提升

建筑运行阶段通过提升设备能效、智能化控制和管理体系导入，可有效降低能耗与碳排放。

3.1 设备能效提升

（1）照明系统：优先选用 LED 灯具，并根据空间配光要求合理选型，避免照明浪费。研究显示，智能 LED 照明系统可实现约 60% 的节能率。

（2）暖通空调系统：合理选型与布置空调系统，如空气源热泵、地源热泵、蒸发式冷气机等，避免需求端与供给端不匹配造成的能耗浪费。优先选用低 GWP 制冷剂（如 L-41，GWP 为 600），减少制冷剂逸散排放。

（3）给排水及通风系统：水泵、风机优先选用国家节能推荐目录中的一级能效设备，避免“大马拉小车”；采用变频控制，根据实际需求自动启闭并匹配运行功率，减少能耗。

（4）供配电系统：适应光伏、风电等可再生能源接入，发展建筑直流供电和分布式蓄电技术，提升新能源消纳能力。光伏输出直流电不经逆变直接接入用能设施，可实现恒功率取电和建筑末端柔性用电。结合电动汽车充电桩，利用电动汽车电池充放电潜能，将建筑用电从刚性负荷变为弹性负荷，实现“需求侧响应”。智能电网技术通过源头与终端信息交互，实现电力合理分配与智能管理。

3.2 建筑智能化应用

（1）智能照明控制系统：根据室内照度变化、人员出入自动调光或启闭，充分利用自然光，营造舒适氛围。

（2）中央空调智能控制系统：基于物联网，通过智能优化单元改变空调压缩机运行曲线，提高能效、延长设备寿命。

（3）电梯监控系统：垂直电梯采用变频调速（根据载重调节输出功率）和能量回收（将再生能量回馈电网或供周边设备使用）；自动扶梯采用-ΔY 转换模式或变频驱动，适合轻载状态较多的场景。

（4）给排水控制系统：通过传感器监测排水量、水质，实现按需分配、按质分配；雨水收集系统处理屋面雨水补给建筑用水；中水回用系统实现“优质优用，低质低用”。

3.3 管理体系导入

导入 ISO 50001 能源管理体系与 T/CCAA 39 碳管理体系，建立能耗与碳绩效目标考核机制，形成群策群力挖掘节能改进机会的氛围，推动先进适用节能降碳技术的应用。通过 PDCA 循环自纠机制，持续推动能源消耗与碳排放下降。随着“双碳”进程推进，能源与碳管理体系将在建筑运行中发挥日益重要的作用。

（四）建筑拆除及回收阶段脱碳

根据《中国城乡建设领域碳排放研究报告（2024 年版）》，建筑全生命周期中，建筑施工阶段（含拆除）碳排放占比最小，仅为 0.7%。其范围包括建筑工程施工（含新建建筑施工、既有建筑翻修施工和建筑拆除施工）和基础设施工程施工。这表明建筑拆除阶段在整体建筑碳排放中所占比例相对较小，但作为建筑全生命周期的一个重要环节，其碳排放问题仍需关注。

1、拆除方式优化

1.1 选择低碳拆除技术

选择低碳拆除技术是减少建筑拆除阶段碳排放的关键。根据不同的建筑结构和拆除需求，可以采用多种低碳拆除技术来降低碳排放。

（1）机械拆除。虽然机械拆除的碳排放相对较高，但通过采用高效的拆除设备和优化操作流程，可以减少能源消耗。例如，使用电动或混合动力拆除机械替代传统的燃油机械，能够显著降低碳排放。

（2）人工拆除。在一些小型或特定结构的建筑拆除中，人工拆除是一种低碳的选择。人工拆除可以更精确地拆除建筑构件，减少不必要的破坏，从而降低能源消耗和碳排放。此外，人工拆除还可以更好地回收和再利用建筑构件，进一步减少碳排放。

（3）静力拆除。静力拆除技术，如液压劈裂、静力破碎等，具有噪音小、粉尘少、振动小等优点，同时也能有效降低碳排放。液压劈裂技术利用高压液压设备产生的压力使岩石或混凝土结构裂开，其碳排放量相比之下低于传统的爆破拆除。静力破碎技术则通过化学反应或机械力使混凝土等材料破碎，碳排

放量也相对较低。

（4）爆破拆除。在一些大型或特殊结构的建筑拆除中，爆破拆除可能是不可避免的选择。然而，通过采用精准爆破技术和优化爆破方案，可以减少炸药用量和爆破次数，从而降低碳排放。例如，采用微差爆破技术可以减少爆破振动和噪音，同时也能降低碳排放。

1.2 优化拆除流程

优化拆除流程不仅可以提高拆除效率，还能有效减少碳排放。以下是一些优化拆除流程的方法：

（1）前期规划与评估。在拆除工程开始前，进行全面的前期规划和评估，包括建筑结构分析、环境影响评估、资源回收评估等。通过详细的规划和评估，可以制定出最优的拆除方案，减少不必要的拆除工作和资源浪费。例如，对建筑结构进行详细的分析，确定可以回收和再利用的建筑构件，提前规划好回收和再利用的流程，从而减少拆除过程中的碳排放。

（2）分阶段拆除。将拆除工程分为多个阶段进行，每个阶段根据建筑结构和拆除需求采用不同的拆除技术和方法。例如，先拆除建筑的非承重结构，如隔墙、楼板等，再拆除承重结构，如柱子、梁等。这样可以更好地控制拆除过程中的粉尘和噪音，同时也能减少能源消耗和碳排放。

（3）现场管理与协调。加强拆除现场的管理和协调，合理安排人员和设备，避免不必要的等待和闲置时间。通过优化现场管理，可以提高拆除效率，减少能源消耗和碳排放。例如，采用数字化管理系统对拆除现场进行实时监控和调度，可以提高现场管理效率，减少碳排放。

（4）废弃物分类与回收。在拆除过程中，对建筑废弃物进行分类收集和回收利用，可以减少废弃物的运输和处置碳排放。例如，将可回收的金属、木材、玻璃等材料分类收集，送往回收工厂进行再加工；将混凝土、砖块等材料进行破碎处理，用于制作再生骨料等。据估算，废弃物分类与回收可以减少拆除阶段碳排放。

2、建材回收利用

2.1 建材分类回收

建筑拆除后产生的建材废弃物种类繁多，主要包括混凝土、砖瓦、木材、金属、塑料等。有效的分类回收是实现建材资源化利用的前提。据相关研究，建筑废弃物中约 60%为混凝土和砖石类材料，这些材料经过破碎、筛分等处理后，可作为再生骨料用于生产新的建筑材料。木材废弃物可进行分类回收，用于制作木屑板、刨花板等。金属材料如钢筋、铝合金等，经过分类回收和再加工，可重新用于建筑结构或制造其他金属制品，其回收利用价值高。因此，通过科学合理的分类回收，可以最大限度地提高建材的回收利用率，减少废弃物的填埋和焚烧，降低碳排放。

2.2 再生建材生产与应用

（1）再生建材生产

再生建材生产是建筑拆除废弃物资源化利用的关键环节。以再生骨料为例，其生产过程包括原料收集、破碎、筛分、清洗、分级等步骤。通过这些工艺，可将建筑废弃物转化为符合标准的再生骨料。再生骨料的生产不仅减少了对天然骨料的开采，还降低了生产过程中的能源消耗和碳排放。此外，再生建材的生产还包括利用建筑废弃物生产再生砖、再生混凝土砌块、干混砂浆等产品。这些产品在生产过程中采用了先进的工艺技术，如添加外加剂、优化配合比等，以提高产品的质量和性能，使其满足建筑市场的需求。

（2）再生建材应用

再生建材的应用是实现建筑拆除废弃物资源化利用的最终目标。在建筑工程中，再生建材的应用范围不断扩大。再生骨料可用于配制低强度等级的混凝土，用于道路基础、非承重结构等工程。再生砖和再生混凝土砌块可用于建筑墙体、围墙、挡土墙等工程，其施工工艺与传统砖石材料相似，施工方便，成本较低。再生砂浆可用于墙面抹灰、地面找平等工程，其施工性能良好，可提高施工效率和质量。此外，再生建材还可用于海绵城市建设中的透水铺装、雨水花园等工程，具有良好的透水性和保水性，可有效缓解城市内涝问题，同时减少对天然材料的使用，降低碳排放。随着再生建材技术的不断进步和市场认可度的提高，其应用前景将更加广阔，为建筑领域的碳中和目标做出更大的贡献。

（五）建筑碳汇

1、建筑碳汇概念与范畴

2019年6月，住房和城乡建设部发布国家标准 GB/T 51366-2019《建筑碳排放计算标准》。其中在术语中提及建筑碳汇（carbon sink of buildings），其定义是“在划定的建筑物项目范围内，绿化、植被从空气中吸收并存储的二氧化碳量”。建筑碳汇的提出有利于建筑物全生命周期碳排放量的精准测量。

碳减排是从碳排放端解决问题，而碳汇则是从碳吸收端寻找方法，二者相辅相成，可以更好地助力“双碳”目标达成。提高能效、应用新能源、建材低碳化等方式可促进建筑领域的碳达峰的实现，但若要实现碳中和，提高固碳、碳汇能力也是必不可少的路径之一。负碳技术是实现碳达峰的关键环节，其中林业碳汇能起到很大作用。

对于建筑领域而言，应加大小区绿化和城市绿地面积，提高固碳、碳汇能力。对于建筑单体或建筑项目，除了场地景观绿化外，还可进一步考虑屋面绿化、垂直绿化、阳台绿化以及室内绿化等措施提升碳汇能力，实现建筑自身的碳中和。

碳汇从本质上讲是吸收并固定大气中的二氧化碳，从而减少温室气体在大气中浓度的过程、活动或机制，因此碳汇不仅包括土壤、植被和水体等自然要素，还应包括建筑、无机材料等人工因素。建筑能够吸收 CO₂ 主要原理在于作为建筑主要材料的水泥，其化学成分与空气中的 CO₂ 发生化学反应，由不稳定的水化物生成稳定物质的过程，也就是在土木工程领域的碳化反应，建筑通常情况下以碳源的形式存在于全球碳循环过程中，但伴随建筑全生命周期过程，还有一部分 CO₂ 被建筑自身吸收回来。

2、国内外建筑碳汇案例

（1）重庆照母山舜山府小区

重庆龙湖舜山府小区，位于重庆市渝北区照母山森林公园山脚，与森林公园一线毗邻，如图 5-3 所示。在开发之初，就制定了生态破坏最小、可控为开发原则，并积极参与社区生态修复工作。为了能与森林公园的环境协调统一，项

目搭建了衔接住宅小区与照母山森林公园的线性城市公共生态廊道。同时，对裸土区域进行了生态修复，通过污染土壤更换，加种朴树、桂花、红叶李、红叶石楠球、金禾女贞球、麦冬等植物，使得原来裸露的地块全面复绿，成为森林公园的一部分，实现城市景观碳汇^[24]。遵循建筑全生命周期低碳的理念，在增加碳汇的同时，也通过一个一个生态项目，提升人们的居住环境，让城市变得宜居、低碳。



图 5-3 重庆照母山舜山府

（2）“第四代绿色生态住房”——成都七一城市森林花园

国家住建部门相关领导和专家对国内首个由天地建筑创新技术成都有限公司带领多个建筑专家团队共同研发的“第四代绿色生态住房”——成都七一城市森林花园建筑示范项目进行了考察，如图 5-4，城市森林花园建筑理念受到住建部肯定。这将成为人类打破居住局限，正式步入第四代住房的时代^[25]。

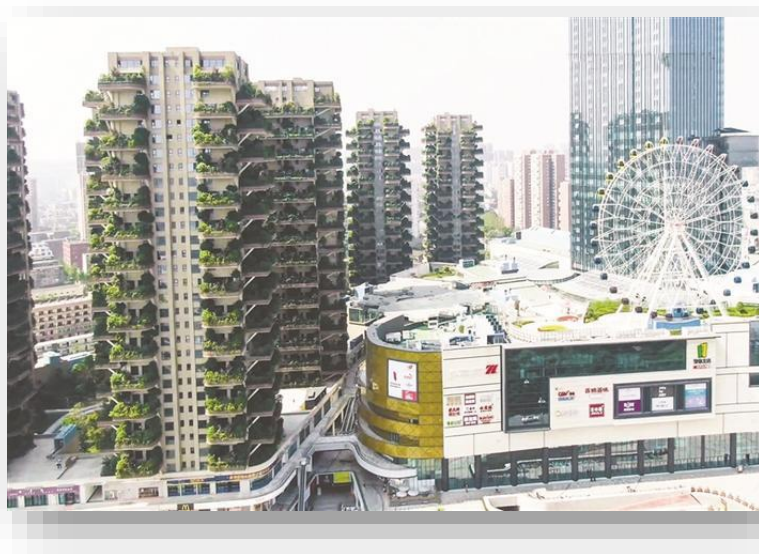


图 5-4 成都七一城市森林花园

第四代住房所涉及的花草树木的养护浇灌，是采用自动滴灌系统进行自动浇灌，住户只需要每两三个月修剪一次枝叶即可。第四代住房的庭院绿植有 60cm-120cm 厚的覆土，可提供充分的植物营养；楼底板和连接墙面做了刚柔结合的多层防护措施，可有效保护建筑不受植物根系破坏。

城市森林花园建筑（第四代住房·庭院房）目前已有几十种户型，面积从 90 平方米至 2000 平方米不等，所配花园面积从 40 平方米至 500 平方米均有，能满足各类住户阶层的不同需求，是未来建筑行业发展的方向，与国家打造绿色建筑、生态建筑的理念相契合。一旦全国推广，电梯房将被淘汰，同时将彻底改变城市钢筋水泥的面貌，改善空气质量，大幅降低城市的热岛效应。

（3）生物碳材料混凝土块

据美国加州大学戴维斯分校（University of California – Davis 简称 UC Davis）2025 年 1 月 9 日提供的消息，创新材料将建筑变成巨大的碳汇(Innovative Materials Turning Buildings Into Massive Carbon Sinks)。加州大学戴维斯分校（UC Davis）和斯坦福大学（Stanford University）研究人员的一项新研究，将二氧化碳储存在普通建筑材料中可以帮助解决气候变化目标。由于全球每年生产的混凝土数量非常大，将碳加入混凝土将特别有影响，图 5-5 为用生物炭材料制成的混凝土块。

在新基础设施中完全用储存 CO₂ 的替代材料取代传统建筑材料，每年可以

储存多达 16.6 ± 2.8 亿吨的 CO_2 ，大约相当于 2021 年人为 CO_2 排放量的 50%^[26]。



图 5-5 生物碳材料混凝土块

二、建筑业绿色低碳领域的人工智能（AI）变革

（一）人工智能变革的意义

人工智能与建筑业的融合正从单点工具应用，迈向驱动全产业链系统性重塑的新阶段。这场变革以“绿色低碳”为核心目标，通过一系列可量化、可验证的前沿技术与标杆案例，正在将建筑从静态的物理空间，转变为能够动态感知、自主学习、实时优化并与环境和谐共生的“智慧体”。

（二）技术革新

当前的技术应用已超越概念验证，进入规模化、体系化落地阶段，实现了从“辅助工具”到“核心生产力”的三大跃迁，主要体现在以下三个维度的深刻革新：

1、建筑机器人：重塑物理建造流程

建筑机器人正从实验室走向各类工地，实现“无人化、少人化”作业。2025

年，在浙建集团浙江三建承建的白马湖实验室总部基地项目中，超过 30 种机器人组成协同作业团，其工作范围涵盖从主体结构到精装修的各项工序。根据浙江三建相关负责人的介绍，砌墙机器人将工效提升 4 倍，劳动强度降低 80%；室内喷涂与抹灰机器人能将空鼓率控制在 0.3% 以下，为传统工艺的十分之一，并实现 24 小时连续作业。在中建三局西北公司承建乌鲁木齐国际路港项目中，测量、磨光、抹灰、砌块搬运等工作使用机器人，可将施工误差控制在毫米级，并将材料浪费率降至 1% 以下。中建五局承建的湖南大学科创港校区项目中，施工方应用 6 种建筑机器人，施工效率提升 30%，安全风险降低 25%。这些“钢铁工匠”不仅解决了高危、繁重、高精度作业的难题，更通过标准化施工从源头上减少了材料浪费和能源消耗，进而提升了施工过程的绿色低碳水平。

2、数据大脑”与 AI 大模型：赋能决策与监管智慧化

当前，建设项目的技术方法正从“经验驱动”转向“数据驱动”。基于“BIM+物联网+AI”的智慧工地管理平台成为项目“中枢神经”。它能实时汇聚现场“人、机、料、法、环”全要素数据，通过智能算法分析进度偏差、预测安全风险，实现动态纠偏与闭环决策，而更高维度的变革在于行业级 AI 大模型的构建。根据《北京市科技支撑建筑领域创新发展行动计划（2025-2027 年）》，北京市计划研究面向设计、施工、运维等场景的建筑领域 AI 大模型，旨在实现从数据分析到智能决策的全流程自动化。浙江省则制定了更为具体的路线图，《浙江省住房城乡建设领域“人工智能+”工作方案（2025-2027 年）》中提出，到 2027 年，消防安全、结构安全等强制性条文的 AI 辅助审查率将达到 80% 以上；搭建“工程造价 AI 助手”智能体，开发材料价格、造价指标、费用计算、定额管理等专项智能工具；此外，全省将培育 10 家建筑业领域科技支撑公司，应用智能建造技术的工程建设项目达到 30% 以上。

3、数字孪生与全流程协同：贯通绿色生命周期

以 BIM 为核心的数字孪生技术，正与 AI 深度结合，实现建筑虚实融合的精准管控，减少资源和能源的浪费。在中建五局湖南大学科创港校区一标段项目中，以“BIM+AI+物联网”为核心，应用自主研发的柔性智能建造平台，对项目

设计、采购、生产、施工、运维等各阶段全要素进行数字化整合，于提前预演中发现并解决了 189 处碰撞问题，将返工率降低了 35%。我们还观察到，中国电建在“数字电建、智创未来”战略引领下，大力推进数字化转型，以 BIM（建筑信息模型）为切入点，打造了覆盖工程设计、施工、运营全过程的数字化建设、管理系统，成功应用于“水能城”等核心业务领域的数百个工程项目。这种深度协同的建造方法与案例，确保了绿色设计意图（如节能模拟、日照分析）能够从规划、设计、施工到运维“一模到底”、无缝传递，是实现建筑全生命周期碳管理的数据基石。此外，还有一些有关数字孪生与 AI 协同促进建筑业绿色低碳发展的案例，见表 5-1。

表 5-1 建筑业绿色低碳 AI 技术应用案例

技术应用领域	核心技术与产品	绿色低碳效能与关键指标	典型案例
智能设计与审查	AI 辅助设计、BIM 正向设计、施工图 AI 审查	从源头优化能耗，规避设计错误，减少返工。浙江省目标：2027 年消防与结构安全 AI 审图率达 80% 以上。	浙江“人工智能+”工作方案
智能建造与施工	建筑机器人军团、5G 远程操控、无人值守智能地磅	施工效率极大提升，施工质量增强，材料浪费率	乌鲁木齐国际路港项目、浙江白马湖项目
智慧运维与监管	智慧工地平台、AI 视频分析、碳排放监测管理平台	实现能耗与碳排放的监测与动态优化，为项目精准减排管理提供数据基础。	中建协认证中心“筑碳慧”碳管理技术应用平台、中建四局碳管理平台、北京“智慧工地”监管
绿色建材与循环	智能生产线、固废利用 AI 配方优化、建材碳足迹追踪	推动低碳/负碳建材研发与应用，提升建筑垃圾资源化利用率。中建四局研发的全固废负碳砖已应用于城市更新。	中建四局低碳建材体系

（三）贯穿建筑生命周期的“智变”

1、在设计与规划端

生成式 AI 与建筑信息模型的深度融合，正在改变设计师的工作范式。例如，

在方案概念阶段，AI 可以根据场地条件、气候数据和节能标准，快速生成并优化数十个甚至上百个备选方案，实现性能与美学的平衡。重庆市的应用案例显示，生成式 AI 辅助设计能使建筑方案生成周期缩短 50%。在“AI 审图”方面，浙江省推动的电子施工图智能审核体系，目标是由 AI 承担绝大部分强制性条文的审查工作，这不仅能将设计师从繁琐的规范核对中解放出来，更能从根本上减少因设计疏漏导致的后期返工与材料浪费。

2、在建造与施工阶段

传统工地正从劳动密集型场所，转变为技术密集的“露天工厂”。在陕西西安的姜仁锦荟城超大型综合体项目中，集成化智能管理系统将人员、进度、设备、安全等模块深度融合，通过 AI 算法进行优化调度，实现了管理人员减少 10% 的高效运行。而新型智能算法的应用则更为直观地改变着生产场景。北京城市副中心行政办公区二期工程项目施工期间，项目深度融合人工智能技术，基于 AI 算法优化大体积混凝土浇筑方案，减少水泥用量约 8%，有效降低隐含碳排放；智能调度系统结合视觉识别与北斗定位，精准管理渣土车运行，空驶率下降 35%，单月节省柴油超 12 吨；塔吊和施工电梯等设备通过 IoT 传感器接入 AI 平台，实现按需启停，施工用电降低 18%；同时，AI 联动 PM2.5 监测与雾炮系统，自动触发抑尘措施，节水 40% 以上。

3、在运营与维护阶段

通过遍布建筑的数以万计的传感器，建筑物的能耗、环境、设备状态等数据被实时采集。AI 驱动的智慧能源管理系统如同一个不知疲倦的“超级管家”，能够深度学习建筑的运行规律和用户习惯，动态调整空调、照明、新风等系统的运行策略。更进一步，建筑还能与城市电网进行智能互动。在用电低谷期自动储能，在高峰期减少用电甚至反向供电，使单体建筑成为城市能源网络的稳定节点，建筑成为“会呼吸、能思考”的智慧体，极大提升了可再生能源的消纳能力。

深圳市福田区委大院通过“AI 施工”推动绿色低碳转型，项目融合人工智能与绿色电力，建设虚拟电厂，利用 AI 算法对分布式光伏、储能和用电负荷进行

智能调度，实现 3 分钟内快速响应用电高峰，大幅提升能效。建筑屋顶及立面铺设约 4500 平方米光伏板，年发电 100 万度，并通过 AI 系统实时监控运维，优化发电效率。依托“双碳云脑”数字平台，AI 对空调、照明等系统实施智慧节能管理，年节电约 200 万度，减碳 1800 吨。

4、在产业链协同与循环层面

基于视觉大模型的数字孪生技术，可以构建与物理工地完全同步的虚拟镜像，实现毫米级建模和分钟级响应，用于进度模拟、碰撞检查和安全预警，显著提升决策效率。在材料的循环利用上，AI 图像识别技术能对建筑垃圾进行快速精准分类，而算法模型可以优化再生骨料、固废胶凝材料的配比。中建四局研发的“全固废负碳砖”等创新产品，正是人工智能赋能绿色建材研发的典型成果。

（四）多层次场景下的融合应用

前沿技术在全国各地的标杆项目中已转化为切实的绿色效益，形成了从单体建筑到城市社区的立体化示范体系。

1、大型公建项目——乌鲁木齐国际路港物流园

该项目集成了“智慧平台+机器人+绿色工艺”的完整解决方案。除了机器人的广泛应用，其绿色实践包括：采用 DPTA 智能装配式机房实现“工厂造、现场装”，大幅减少建筑垃圾；应用雨水回收、AI 智能喷淋、太阳能光伏系统；并引入海绵城市技术，使调蓄雨水面积占比达 30%。这体现了 AI 技术如何系统性地赋能“四节一环保”（节能、节地、节水、节材和环境保护）。

2、城市更新与社区改造——厦门围里社区与贵州建科院园区

AI 与低碳技术在城市更新中焕发新活力。厦门围里社区通过 31 项节能改造和光伏发电，年碳减排 155 吨，并创新引入社区碳普惠机制，激励居民参与低碳行为。贵州建科院园区作为超 50 年老旧园区的零碳改造范例，集成了 60 项低碳技术，改造后实现运营期“零碳”并迈向“负碳”。这些案例证明了 AI 技术对

既有建筑绿色焕新的强大支撑力。

3、重大基础设施——中国电建智能建造创新中心

针对世界级超级水电工程，中国电建牵头成立行业智能建造创新中心，聚焦国产化软件、数字孪生引擎、人工智能系统、无人化装备等“卡脖子”技术攻关，旨在以最智能的方式建造清洁能源“压舱石”工程，推动水电行业从建造向“智造”跃迁。这代表了 AI 在国家重大战略工程中向绿色、高效、安全建造范式转型的最高追求。

（五）标杆项目与多层次实践

前沿技术的生命力，在于其在真实项目中的落地与验证。当前，一批标杆项目已在全国各地涌现，形成了从单体建筑到产业园区，再到城市社区的立体化示范体系。

1、在单体建筑层面

中建四局科创大厦堪称典范。作为全国首座超 170 米的近零能耗建筑，它集成了 13 项专项节能降碳设计。通过高性能围护结构、智能遮阳、高效冷热源及全局优化的 AI 能源管理系统，该项目实现了综合节能率 61%，年减碳 2090 吨的卓越性能。这证明，在高密度城市环境中，通过智能设计与管理实现近零能耗是完全可行的。

2、在产业园区尺度

贵州建科院园区的零碳改造项目提供了老旧设施绿色焕新的完整样本。这个拥有超 50 年历史的老旧园区，通过集成 60 项低碳技术，覆盖了建筑本体、交通系统、能源结构和景观碳汇等多个维度。改造后，其年碳减排量已超过运营碳排放量，实现了从“低碳”到“零碳”并迈向“负碳”的跨越，为大量存量建筑的绿色改造提供了可复制的技术包和商业模式。

3、在城市社区单元

厦门围里社区的探索则更具社会意义。该项目不仅实施了 31 项节能改造，年发电 27 万度的光伏系统，更引入了“社区碳普惠”机制。居民通过绿色用能、垃圾分类、低碳出行等行为积累碳积分，并可兑换奖励。这一机制将自上而下的技术减排与自下而上的行为减排相结合，激发了居民的主体参与感，为低碳社区的可持续运营探索了社会动力。

（六）迈向融合共生的产业新生态

尽管前景广阔，但建筑业这场深刻的“数智”变革仍面临多重挑战。数据壁垒与标准缺失是首要障碍，设计、生产、施工、运维各阶段的数据仍存在断层，“信息孤岛”阻碍了全生命周期管理的真正实现。复合型人才短缺，既懂建筑工程原理又掌握人工智能算法的跨界人才仍较少。此外，初期投入成本较高、中小企业转型困难、数据安全与隐私保护等问题也不容忽视。

1、平台化与生态化竞争

未来的竞争将不再是单一企业或技术的竞争，而是产业互联网平台之间的生态竞争。如浙江省正在推动的“工程造价 AI 助手”、“农污治理 AI 助手”等各类专用智能体，最终将汇聚成一个服务全行业的智能平台。大型企业将致力于打造开放的平台，整合设计方、部件供应商、施工团队、运维服务商，形成数据共享、业务协同的产业共同体。

2、人工智能大模型的行业深度定制

通用大模型在解决建筑行业高度专业、复杂的问题时仍力有不逮。开发训练于海量规范、图纸、工法、案例数据基础上的建筑行业垂直大模型，将成为技术攻关的重点。它将成为从业人员的“超级助理”，在创意设计、规范答疑、风险研判、方案优化等方面提供深度支持。

3、“数字孪生城市”成为城市治理新基座

人工智能的应用范围将从单体项目拓展至城市全域。基于城市信息模型（CIM）平台，整合物联网、大数据和 AI 分析，构建的“城市大脑”能够实现城

市规划、建设、管理的全链条智能决策。从内涝智能预警到桥梁隧道健康监测，从城市部件管理到应急事件响应，人工智能将让城市变得更安全、更韧性、更高效。

4、“以人为本”的智慧空间体验

技术的终极目标是服务于人。未来的“好房子”和智慧社区，将通过人工智能变得真正懂人、贴心。居室环境将自动适应居住者的健康与情绪，社区服务将精准响应居民的需求。人工智能将推动住房建设从提供物理空间，转向提供舒适、健康、便捷的美好生活体验，让绿色低碳、智慧宜居从宏大叙事转化为千家万户可知可感的日常生活。

三、建筑碳足迹新进展

（一）建筑碳足迹评价的作用

建筑碳足迹（Building Carbon Footprint）是指建筑物在整个生命周期中直接或间接产生的温室气体（主要是二氧化碳）排放总量，通常以二氧化碳当量（CO₂e）计量。它涵盖了从建材生产、施工建造、运行维护、建筑拆除到最终拆除的全过程排放，是衡量建筑对环境气候影响的关键指标。

建筑碳足迹评价（Building Carbon Footprint Assessment）是衡量建筑项目在其生命周期内直接或间接产生的温室气体排放（尤其是二氧化碳）的一个重要工具，旨在帮助建筑行业理解、量化和减少建筑项目的碳排放，从而实现更可持续的建筑环境。建筑碳足迹评估通常采用生命周期分析（LCA）方法，量化从建筑材料生产和运输、施工建造、运行维护、到最终拆除的每个阶段的碳排放。通过这一量化，建筑业者、开发商和政策制定者能够准确了解建筑对温室气体排放的贡献，识别碳排放的主要来源，并据此制定有效的碳减排策略。建筑碳足迹评价具有以下作用：

（1）排放源识别：通过碳足迹评价，能够识别建筑项目中碳排放的主要来源，如建筑材料、施工过程、建筑运营阶段（包括能源消耗、设备使用）、建筑拆除等。

(2) 指导建筑选材：评估建筑碳足迹时，可以分析不同建筑材料的碳排放，从而指导建筑设计师选择低碳材料，如替代传统水泥的低碳混凝土、节能玻璃等。

(3) 优化能源系统：通过碳足迹评价，可以了解建筑的能源需求，指导设计团队选择高效的能源系统和绿色建筑技术，采用智能建筑管理系统，优化建筑通风和空调系统，应用光伏等新能源系统。

(4) 绿色建筑认证：绿色建筑认证（例如 LEED、BREEAM、WELL、绿色建筑评价标识等）往往要求建筑项目进行碳足迹评价和提交评价报告，并对项目的碳排放进行量化，以满足低碳目标和环保要求，是绿色建筑认证的重要指标和必须条件。

(5) 政策合规：政府和行业规范逐步要求建筑项目提供生命周期碳足迹评价，以符合碳减排目标和环保政策。在许多地区，建筑的碳排放已经成为政策监督的对象，碳足迹评价可作为政策实施的依据。

(6) 碳补偿措施：碳足迹评估可以帮助建筑企业确定需要通过碳补偿（如植树造林、投资可再生能源项目等）来抵消的碳排放量，从而实现碳中和。

(7) 向利益相关者报告：建筑公司可以通过碳足迹报告向政府、客户和投资者展示其在减少碳排放方面的努力。对投资者而言，碳足迹报告有助于评估企业的可持续发展潜力，并作出投资决策。

(8) 市场竞争力提升：随着消费者和投资者对低碳建筑的需求增加，企业通过提供详细的碳足迹报告，不仅能提升品牌形象，还能在市场中获得竞争优势。

(9) 减少未来成本：通过评估建筑碳足迹，企业可以提前识别出高碳排放环节，避免未来因碳排放超标而面临的潜在处罚或成本。

(10) 企业社会责任（CSR）：碳足迹评估是企业社会责任报告中的重要组成部分，展示企业在减排和环保方面的积极行动，增强企业的社会责任感和公众形象。

(11) 风险评估：投资者可以根据碳足迹评估报告了解建筑项目的环境风险，避免因项目高碳排放带来的市场风险或政策合规风险。

(12) 回报分析：碳足迹评估还可以帮助金融机构和投资者了解项目节能

和减排带来的长期经济效益，为绿色投资提供数据支持。

（二）国内外碳排放因子库建设情况

碳排放因子是碳足迹评估中用于将能源消耗、材料使用等活动量化为相应碳排放量的参数。排放因子通常由政府或国际组织发布，并用于将各种活动转换为碳排放。不同类型的能源（如煤、电力、天然气等）和建筑材料（如水泥、钢铁、木材等）的排放因子不同，评估时需根据具体活动选择合适的因子。

建筑碳因子库指的是存储、管理和发布建筑领域各类活动（如建筑材料、建筑施工、能源使用、运输过程、建筑运营等）的碳排放因子的数据库。这些因子通常以二氧化碳当量（CO₂e）表示，用于量化不同建筑阶段和活动所产生的温室气体排放。碳因子库为建筑碳足迹评价提供了必要的数据库支持，使得建筑生命周期的碳排放计算更加精准和标准化。如上文所述，碳排放因子是开展建筑碳足迹的必要条件。

1、国外碳排放因子库建设情况

（1）政府间气候变化专门委员会排放因子数据库（IPCC EFDB）

政府间气候变化专门委员会排放因子数据库（Intergovernmental Panel on Climate Change Emission Factor Database，缩写为 IPCC EFDB）是由联合国下属的政府间气候变化专门委员会（IPCC）管理的官方数据库，旨在为各国编制国家温室气体清单提供标准化、可追溯的缺省排放因子（default emission factors），是国际碳核算方法论的基石。该数据库数据库系统整合了六大类排放源的因子，包括：能源燃烧（煤炭、石油、天然气等）、工业过程（水泥、钢铁、化工）、农业（反刍动物甲烷、稻田排放）、废弃物处理（填埋场、废水）、土地利用变化与林业（LULUCF）和含氟气体（HFCs、PFCs、SF₆），支持对CO₂、CH₄、N₂O 及多种强效温室气体的量化。该数据库被 ISO 14064、ISO 14067、CDP、TCFD 等国际标准与倡议广泛采纳，是企业、政府与科研机构开展碳足迹核算、碳市场履约、气候政策制定的法定参考依据。

值得注意的是，IPCC EFDB的核心作用是作为排放因子的资料库与图书馆，其目标是提升全球碳核算的透明性、稳定性与可追溯性，而非实时动态更新平台。IPCC EFDB 当前仍以 2006 年《国家温室气体清单指南》及其 2019 年细化报告为基础，未发布“版本 3”或任何新版本。其核心平台（<https://www.ipcc->

nggip.iges.or.jp/EFDB/) 持续提供缺省排放因子与技术文档，作为全球碳核算的权威参考，但自 2020 年以来未进行结构性更新。IPCC 当前工作重心已转向第七次评估报告（AR7）的起草，预计 2026–2027 年发布，未来 EFDB 的更新将与 AR7 技术结论同步推进。

（2）欧盟的碳因子库建设情况

欧盟在建筑领域的碳因子库建设方面起步较早，尤其在建筑生命周期分析和碳排放评估方面。

1) EN 15978 标准：欧洲标准 EN 15978 规定了建筑生命周期环境影响评估的方法，建筑碳因子是生命周期分析的核心组成部分。该标准帮助欧盟成员国建立了统一的建筑碳排放因子数据库，并广泛应用于绿色建筑认证（如 BREEAM 和 LEED）中。

2) ECO-INFORM 项目：欧盟资助的 ECO-INFORM 项目旨在开发一个针对建筑行业的环境影响数据库，该数据库包括了建筑材料的碳排放因子、能源使用因子等，帮助建筑业进行环境评估。该项目为建筑碳因子库的建设提供了丰富的数据支持。

3) BPIE（建筑政策与信息欧洲平台）：BPIE 是一个为欧盟成员国提供建筑能源和环境数据的机构，BPIE 定期发布建筑碳排放的研究报告，并推动各国政府实施低碳建筑政策。

4) Ecoinvent 数据库由 Ecoinvent 协会（Ecoinvent Association）维护，该协会成立于 2003 年，旨在通过提供高质量、全面的生命周期数据，支持环境管理和可持续发展决策。Ecoinvent 数据库目前已成为全球最为广泛使用的 LCA 数据库之一，涵盖了多个行业和产品生命周期数据。该数据库包括多个模块和数据集，涵盖了从原材料开采到最终产品生命周期结束的全过程。数据库的核心内容包括：

-产品系统：Ecoinvent 数据库中的产品系统涵盖了众多行业和领域，包括建筑、能源、交通、制造业、农业、废物管理等。每个系统都提供了关于产品或服务的生命周期数据（如材料消耗、能源消耗、排放数据等）。

-生命周期阶段：数据库中的每个产品系统都分为不同的生命周期阶段，通常包括：

- 原材料提取：如矿产资源、木材、能源等的开采与生产。
- 生产与制造：涉及产品的加工、组装、生产等过程。
- 运输与分配：涵盖产品从生产地点到消费者的运输环节。
- 使用阶段：产品在使用过程中产生的环境影响，如能源消耗、碳排放等。
- 回收与处置：产品的回收、再利用及最终处置环节。

5) GaBi 数据库是世界上应用较为广泛的生命周期评估（LCA）数据库之一，由德国软件公司 thinkstep（现为 Sphera）开发和维护。GaBi 数据库为建筑生命周期评估（LCA）提供了全面的数据支持，用于评估建筑材料、能源使用和施工过程的碳排放和环境影响。具有以下核心特点：

- 数据全面：包含基础、扩展和高阶数据库，覆盖从原材料到废弃的全生命周期数据。
- 质量可靠：数据集由 DEKRA 认证，提供详细开发信息和方法说明。
- 行业适配：提供化学品、金属、电子等行业的专用数据集，支持深入分析。

6) ELCD（European Life Cycle Database）是由欧盟委员会联合研究中心（JRC）主导开发的公共生命周期清单数据库，旨在为欧盟及全球用户提供标准化、透明化的全生命周期评估（LCA）数据支持。其核心特点包括：

- 数据覆盖范围：聚焦欧盟大宗能源、原材料及运输行业，涵盖从原材料提取到产品废弃的全流程排放因子，尤其强化了欧盟本土化数据适配性，减少地域偏差。
- 数据质量与透明度：通过欧盟政府资助和行业协会合作，确保数据来源可靠（如企业实测数据或政府报告），每条数据集附带详细方法论说明，支持用户验证和追溯。
- 应用场景：广泛应用于企业碳足迹核算（如欧盟产品环境声明）、政策制定（如欧盟环保法规合规性评估）及学术研究，助力产品设计优化和供应链减排策略。

7) 边境调节机制（CBAM）默认值体系

近年来，欧盟碳排放因子库的最新进展并非体现在独立数据库的版本迭代，而是通过碳边境调节机制（CBAM）的法定实施，构建了一套政策驱动型、强制性、行业聚焦的默认排放因子体系，成为全球碳核算规则重构的关键节点。

2025 年 12 月 16 日，欧盟委员会发布《欧盟碳边境调节机制（CBAM）默认值实施法规》，自2026 年 1 月 1 日起全面生效。该法规首次以法律形式确立了六大高碳行业（水泥、钢铁、铝、化肥、氢气、电力）的进口商品嵌入排放默认值，作为企业申报碳关税的基准依据。2028 年起，CBAM 将扩展至180 种下游产品（如机械零件、家电、车辆部件），使碳核算从“原材料”延伸至“成品供应链”。

值得注意的是，该默认值体系由欧盟联合研究中心（JRC）基于 EDGAR 模型与成员国统计推算，仅通过CBAM 法规附件发布，而非开放共享型独立数据库，与 IPCC EFDB 无直接数据联动。同时，发展中国家普遍质疑默认值高估其排放强度，缺乏对本国低碳技术的承认，存在贸易争议。

（3）英国的碳因子库建设情况

英国碳排放因子库的建设并非以独立“数据库”形式存在，而是以英国能源安全与净零部（DESNZ）统一编制与发布的《温室气体报告转换因子》（Greenhouse Gas Reporting Conversion Factors）作为核心工具，采用“年度更新+政策需求牵引”模式演进。《温室气体报告转换因子》（Greenhouse Gas Reporting Conversion Factors）的最新版本为2025 年 6 月版本，涵盖燃料燃烧、电力、交通、工业过程、废弃物、含氟气体等六大类排放源，是企业碳披露、碳市场履约与政府核算的法定依据。英国碳排放因子的适用范围随英国碳排放交易体系（UK ETS）的扩展而同步扩展，预计 2026 年将新增海运行业相关排放因子，如船舶燃料（MGO、HFO）排放因子；2028 年将新增垃圾焚烧行业相关排放因子，如废弃物热值与焚烧效率因子。

（4）美国的碳因子库建设情况

美国的碳因子库建设始于 20 世纪 90 年代，主要由美国联邦政府环境保护署、各类学术机构和绿色建筑认证组织主导。

1) USGBC（美国绿色建筑委员会）：USGBC 通过其 LEED 认证系统推动了建筑碳足迹评估的普及，碳因子作为 LEED 评分的一部分，已成为评估建筑环保性能的关键指标。USGBC 还推动了相关碳因子库的建立，并鼓励各州和地方政府使用统一的碳因子。

2) Energy Star 程序：美国环保署（EPA）运营的 Energy Star 项目为建筑碳

足迹评估提供了碳排放因子，特别是在建筑能效方面的碳因子数据。Energy Star 程序不仅提供建筑能效的标准和指南，还通过数据库为低碳建筑项目提供支持。

3) ASHRAE（美国采暖、制冷与空调工程师学会）：ASHRAE 发布的建筑节能设计标准包括了碳排放因子的计算方法，推动了建筑能源系统碳排放评估工具的发展。

4) USLCI（U.S. Life Cycle Inventory Database）是由美国国家可再生能源实验室（NREL）主导开发的公共数据库，专注于提供美国本土产品全生命周期（从原材料提取到废弃物处理）的能源与物质流动数据，支持环境评估与可持续决策。其核心特点包括：

- 数据覆盖范围：涵盖制造业、能源、交通等关键行业，提供“门到门”（gate-to-gate）、“摇篮到门”（cradle-to-gate）和“摇篮到坟墓”（cradle-to-grave）三种核算模式，确保全链条分析。

- 数据质量与透明度：通过严格审查和更新机制维护数据准确性，每条数据集附带详细的方法说明和来源信息，便于用户验证。

- 应用场景：广泛应用于企业碳足迹核算、政策制定（如环保法规合规性评估）及学术研究，助力产品设计优化和供应链管理。

5) EPA WebFIRE 数据库

EPA WebFIRE 数据库由美国联邦政府环境保护署(EPA)直接维护，是美国支持环境数据管理与排放核算的核心工具，被广泛应用于美国及全球碳排放核算、环境评估等领域。该数据库 2023 年更新了供应链排放因子，新增区域化与行业细化数据，2024 年再次更新，目前数据库包含 2.7 万条碳排放因子，数据覆盖能源、工业、交通、农业及废弃物处理等行业。该数据库整合温室气体(CO₂、CH₄、N₂O)与空气污染物(SO₂、NO_x、PM、VOCs 等)，为多领域提供精准的排放核算，支持多目标环境分析，服务于国家、地方、企业及研究机构，支持范围 1(直接排放)、范围 2(间接排放)和范围 3(价值链排放)的核算。

然而，2025 年 1 月 20 日，特朗普政府上台后签发多项行政命令，与气候相关的包括退出《巴黎协定》、取消“绿色新政”，此后美国联邦政府环境保护署(EPA)陆续撤销多项监管措施和温室气体排放限值，随着监管撤销和碳排放政策

转向，Web FIRE 数据库的科学基础、更新维护和政策应用可能受到影响。

（5）日本的碳因子库建设情况

日本在建筑碳因子库建设方面的工作由政府、学术界和私人企业共同推进，特别是在建筑能效和节能技术的应用方面。

1) 日本环境省：日本环境省发布的《建筑温室气体排放核算指导手册》为建筑碳因子库的建设提供了指导，手册涵盖了建筑生命周期的碳排放因子和计算方法。

2) 日本绿色建筑协会：日本绿色建筑协会（GBJ）推动了建筑碳因子数据的标准化，并在其绿色建筑认证体系中加入了碳排放因子评估。

3) 碳排放数据共享平台：一些日本企业和研究机构已开发了碳排放数据共享平台，用于提供建筑材料、能源消耗等环节的碳因子数据，支持绿色建筑设计和节能改造。

4) IDEA（Inventory of Carbon and Energy）是日本开发的权威碳排放因子数据库，由东京大学环境能源工程研究中心主导维护，旨在为生命周期评估（LCA）和碳足迹核算提供精准的日本本土化数据。其核心特点包括：

-数据覆盖范围：聚焦日本国内能源、交通、制造业等关键行业，提供从原材料开采到废弃物处理的全生命周期排放因子，尤其强化了亚洲区域数据适配性，避免直接套用欧美数据库导致的地域偏差。

-数据质量与透明度：通过严格的方法论审核和定期更新机制确保准确性，每条数据集附带详细来源说明（如实测数据或政府报告），支持用户验证和追溯。

-应用场景：广泛应用于企业碳足迹核算（如电子产品、汽车制造）、政策制定（如日本碳中和目标支持）及学术研究，助力产品设计优化和供应链减排策略。

2、我国碳排放因子库建设新进展

中国建设自主、权威的碳排放数据库，其重要性在于这是夯实“双碳”战略数据基石、掌握绿色发展主动权的核心举措：其一，它旨在为各行各业（包括建筑业）的碳排放核算提供科学、透明、本地化的排放因子，结束以往因数据分散、依赖国际数据库导致核算结果代表性不足、可比性差的局面，从源头保障全国碳市场及各类减排政策的公信力；其二，通过建立国家主导、多方共建

共享的机制（如《产品碳足迹因子数据库建设工作指引》所规划），能系统性地破解企业在供应链碳足迹核算中面临的“上游数据缺失”困境，大幅降低全社会核算成本，并利用人工智能等技术提升数据质量与效率；其三，这套自主数据库体系是应对国际绿色贸易规则（如欧盟碳边境调节机制）的基石，通过推动数据国际互认，能为中国产品争取公平的碳定价话语权，避免在“碳壁垒”竞争中陷入被动，从而切实提升国家与企业的国际竞争力。本节将介绍我国在碳排放因子库建设方面的新进展。

（1）国家温室气体排放因子数据库

国家温室气体排放因子数据库是我国统一规范碳排放统计核算体系的核心公共基础数据平台，由生态环境部与国家统计局联合牵头建设，并于 2025 年 1 月正式上线。它的核心定位是为全国和各地区、各行业核算温室气体排放量提供一套官方、统一、透明的基准参数。

该数据库主要提供宏观和行业企业层面的排放因子，例如燃料燃烧、净购入电力和热力等活动的碳排放系数。它主要用于支撑企业或组织层面的碳排放核算工作，帮助计算其直接的燃料燃烧排放（范围 1）和间接的电力热力消耗排放（范围 2）。可以说，它是摸清碳排放“家底”、保障全国碳市场数据质量、以及落实“双碳”政策目标的底层数据基石。

对于建筑领域而言，这个数据库具有直接的支撑价值。在核算一栋建筑的碳足迹时，其运营阶段消耗的电力、热力所产生的间接排放（即运营碳的重要组成部分），以及部分建材在生产过程中的能耗排放（隐含碳的一部分），都需要依据该数据库提供的官方、本地化排放因子进行准确计算，从而确保建筑碳足迹核算结果的科学性、可比性和公信力。

（2）产品碳足迹因子数据库（国家）

产品碳足迹因子数据库是一个专门用于核算具体产品在其全生命周期内碳排放量的核心数据平台。它与前文介绍的“国家温室气体排放因子数据库”紧密相关但又分工明确：后者提供的是核算企业或组织层面碳排放的基础参数（如燃料燃烧、电力消耗的排放因子），而产品碳足迹因子数据库则以此为基础，进一步核算从原材料开采、生产制造、运输、使用到最终废弃回收的整个产品生命周期的碳排放强度。根据国家最新发布的《产品碳足迹因子数据库建设工作

指引》，我国正依托现有的国家温室气体排放因子数据库，建设一个多层次的数据库体系，其中国家数据库将聚焦于基础能源、大宗原材料和交通运输等重点领域，而行业、地方及企业则可以在此基础上，针对特定产品和区域优势产业开发更精细的数据库，形成有效补充。这项工作已经明确了清晰的时间表，目标是到 2027 年初步构建数据库，到 2030 年基本建成一个覆盖范围广、数据质量高且具有国际影响力的数据库。对于建筑业而言，这个数据库建成后，将为准确计算各类建材（如钢材、水泥、玻璃等）的“隐含碳”提供权威、本地化的数据，是构建建筑全生命周期碳足迹精确评价体系不可或缺的基石。

（3）各省市碳足迹平台建设情况

1) 江苏省产品碳足迹公共服务平台。该平台支持企业碳足迹核算与认证，覆盖能源、工业等重点领域，目前已入驻企业超 1000 家，完成 500 份核算报告，出具 230 份认证报告。

2) 山东省企业产品碳足迹一站式服务平台。该平台在山东省生态环境厅指导下开发，支持企业碳足迹核算与供应链管理，旨在提供碳足迹因子库、支持应对绿色贸易壁垒。

3) 浙江省产品碳足迹服务平台。该平台由浙江省发展改革委牵头建设，内置核算方法与数据质量评价体系，支持产品全生命周期碳足迹核算，数据可信度高。

4) 大湾区碳足迹标识认证公共服务平台。该平台实现碳足迹申请、核算、认证一体化管理，覆盖 45 类产品，支持国际标准（ILCD）数据框架，拓展应用场景。

5) 成都市产品碳足迹核算认证公共服务平台。该平台由成都市市场监管局、发改委等推动，旨在构建碳标识与认证体系，支持全生命周期碳排放核算，覆盖原材料获取到废弃物处理。

6) 无锡新能源产品碳足迹公共服务平台。该平台旨在建立满足国际市场要求的新能源产品碳足迹核算能力，从而支持应对国际贸易碳壁垒，提升企业竞争力。

7) 苏州市产品碳足迹管理平台。该平台涵盖 ecoinvent 国际因子库、中国产品全生命周期温室气体排放因子库，能够根据全生命周期方法学计算产品温

室气体排放。

（4）科研院所及企业碳排放因子库建设进展

1）碳足迹因子库与智能服务平台

2025年11月，在COP30（联合国气候变化框架公约的第30次缔约方会议）中国角的“低碳技术创新与产业实践”主题会议上，中国环境科学研究院发布了中国本土的碳足迹因子库与智能服务平台，该平台旨在构建一个覆盖中国全产业链、本土化、高精度且与国际接轨的碳数据库，帮助中国企业在全球绿色贸易规则体系中建立公平的碳核算基础。在生态环境部的指导下，该平台由中国环境科学研究院牵头，联合国内重点行业企业、科研机构等共同构建，目前，平台已研发超过1.2万条本土化底层数据集，广泛覆盖了24个关键基础工业门类（如玻璃、水泥、钢铁、电解铝）以及超过1000种重要终端产品的应用场景（如光伏组件、动力电池、电动汽车）。

2）中国碳排放数据库 CEADs

中国碳排放数据库 CEADs 是国内权威、免费碳排放数据平台之一，由清华大学关大博教授团队主导开发，覆盖了从国家到城市的多尺度排放数据，适合学术研究和政策分析。该数据库覆盖1990年至今的国家、省、城市级能源消耗和CO₂排放数据，以及14种工业流程的CO₂排放数据，并包含能源、工业等领域的排放因子测算方法。

3）中国碳排放因子数据库 CCDB

中国碳排放因子数据库 CCDB 由清华大学关大博教授团队主导开发，是国内首个整合全球碳排放因子信息的专业平台，旨在为组织、企业和个人提供精准的碳排放核算数据支持，助力实现“双碳”目标。该数据库覆盖IPCC、Ecoinvent、Defra、ELCD、EU等五大国际权威数据库，并与国内科研机构合作，收集整理中国本土碳排放数据。

4）中国生命周期基础数据库 CLCD

中国生命周期基础数据库 CLCD 是国内最权威的LCA数据库之一，由四川大学和亿科环境联合开发，覆盖能源、金属、化工等基础行业，数据代表中国市场平均水平，兼容国际主流数据库。它被纳入国际生命周期数据库网络（LCDN），也是GHG Protocol标准唯一推荐的中国数据库。该数据库涵盖资源

消耗、能耗、水耗、温室气体及主要污染物排放，支持节能减排分析，并兼容 Ecoinvent、ELCD 等国际数据库，支持进口原料与出口产品的 LCA 分析

5) “筑碳慧”碳管理技术应用平台

“筑碳慧”碳管理技术应用平台（以下简称“平台”）由北京中建协认证中心有限公司开发，该平台收录了二百余种施工设备单位台班能源消耗量、三十余种化石燃料燃烧碳排放因子、百余种建材生产碳排放因子、二十余种建材运输方式的碳排放因子，以及全国三十个省和直辖市的省级电力平均二氧化碳排放因子，旨在为用户提供建设项目碳排放数据的统计和计算工具，进行建设项目实施过程碳排放数据的预估、实测计算和对比分析，进而形成企业级和行业级建设工程碳排放数据库，最终为企业碳资产管理提供数据支撑和理论基础。平台可通过访问“<https://bcw.nqinb.com/login>”进行登录，其应用场景和功能具体包括：

（a）施工过程碳排放数据管理与测算

平台按照《建筑碳排放计算标准》（GB/T 51366-2019）标准内置计算模型，可以在项目设计阶段对建筑施工、建材生产和运输的碳排放情况进行预估，也可在项目实施阶段或完成后对项目实际碳排放进行计算

（b）汇总报告及温室气体声明

平台可根据用户设定的“时间段”、“项目名称”、“单体名称”和“分部分项工程名称”查询和汇总碳排放数据，自动计算项目总排放量，并生成项目层面的温室气体排放自我声明。同时，用户也可通过平台委托第三方机构对项目温室气体排放进行第三方核查。

（c）碳排放数据对比分析

随用户碳排放数据的积累，平台将提供可视化的碳排放数据对比分析功能，包括：

- 项目实际实施过程与设计阶段预估的碳排放数据对比分析；
- 用户不同历史时间段、不同项目类型、不同地区、不同分子公司的碳排放数据对比分析；
- 相对于传统工艺工法、材料的节碳量及节碳比例；
- 实施节能低碳措施后的节碳量及节碳比例；

-相对于同类项目行业平均水平/先进水平的节碳量及节碳比例。

（d）企业级碳排放数据库

平台以《建筑碳排放计算标准》（GB/T 51366-2019）为基础，结合用户实际情况，为用户建立其公司层级上的碳排放数据库，能够提供不同统计周期、不同项目类型、不同施工单位（分/子公司）、不同材料和供方的碳排放数据。

四、零碳园区、零碳建筑发展

（一）零碳建筑的发展趋势

1、零碳建筑发展概况

近年来，随着国家“双碳”战略的深入推进，零碳建筑作为建筑领域减碳的关键路径，受到政策、技术与市场的多重驱动。2021 年《关于推动城乡建设绿色发展的意见》首次将“零碳建筑”纳入国家顶层设计；2024 年《加快推动建筑领域节能降碳工作方案》进一步明确要求推广超低能耗、近零能耗及零碳建筑，并设定量化目标。在此背景下，各地纷纷出台地方实施方案，如北京市提出新建公共建筑全面执行绿色建筑三星级标准，上海市将零碳建筑纳入城市更新重点任务，重庆市则计划到 2027 年实现新建建筑 100%绿色化。

从技术层面看，国内零碳建筑已形成以“高性能围护结构+高效机电系统+可再生能源集成+智能能源管理”为核心的技术路线。光伏建筑一体化（BIPV）、地源/水源热泵、储能系统、柔性用电等技术在示范项目中广泛应用。同时，全生命周期碳排放理念逐步渗透，隐含碳控制、低碳建材选用、施工过程减排等环节日益受到重视。然而，当前零碳建筑仍面临初始投资高、运维复杂、专业人才不足、跨专业协同机制不健全等现实挑战，规模化推广尚需制度与市场双重支撑。

2、国内零碳建筑优秀案例

在政策引导与技术创新的共同作用下，一批具有代表性的零碳建筑项目在全国范围内落地，形成了可复制、可推广的实践经验。

无锡（国家）软件园五期 9 号楼是国内首批获得官方认证的“零碳+零能耗”双零建筑。该项目通过优化建筑朝向、采用高性能保温隔热系统、配置屋顶与

立面光伏、部署智能微电网及储能系统，实现年发电量大于年用电量，运行阶段净碳排放为负。其提出的“5+3”技术体系（五大技术措施+三大管理机制）已成为多地参考范式。

长三角生态绿色一体化发展示范区内的“水乡客厅”近零碳专项规划，则代表了区域尺度零碳实践的突破。该规划覆盖上海青浦、江苏吴江、浙江嘉善交界区域，创新构建“单元—子单元—地块”三级碳排放管控体系，明确各类用地碳强度上限。核心项目“方厅水院”采用三星级绿色建筑设计，光伏覆盖率超60%，年发电约400万kWh，预计年减碳2100吨，并通过碳汇林地实现剩余排放抵消，迈向真正意义上的零碳运营。

此外，雄安新区市民服务中心、深圳建科院未来大厦、北京城市副中心行政办公区等项目也在不同维度探索零碳路径，涵盖公共建筑、办公园区、城市综合体等多种类型，体现出零碳理念在多元场景中的适应性与扩展性。

3、零碳建筑评价活动

伴随项目实践的深入，我国零碳建筑的评价与认证体系正加速构建。目前，评价活动主要由政府主导、科研机构支撑、第三方参与，呈现“试点先行、逐步规范”的特征。

中国建筑节能协会根据国家标准《近零能耗建筑测评标准》（GB/T 51350-2019）编制了团体标准《近零能耗建筑测评标准》（T/CABEE 003-2019）和《近零能耗建筑测评管理办法》开展近零能耗建筑测评工作，截至2024年8月已发展近零能耗建筑测评机构65家，测评项目近700个，项目面积700多万平方米。2024年，协会先后开启“零碳建筑测评”和“光储直柔测评”工作，旨在规范零碳建筑和光储直柔测评工作。

浙江省2024年开展建筑领域“双碳优秀案例”评选，将制度创新、技术集成、减碳成效作为主要评审维度；上海市发布《近零能耗建筑测评导则》，为零碳建筑提供前置评估工具；广东省则依托绿色建筑评优平台增设“零碳专项奖”，激励市场主体参与。

与此同时，国际评价体系亦被部分高端项目引入作为对标参考，如LEED Zero Carbon、BREEAM Outstanding等，但本土化适配仍是主流方向。未来，建立统一、权威、可操作的国家级零碳建筑评价标准与认证标识，将成为推动行

业规范化发展的关键环节。

4、零碳建筑相关标准建设情况

标准体系建设是零碳建筑规模化发展的基础保障。近年来，我国在国家与地方两个层面同步推进相关标准研制，逐步构建覆盖设计、施工、运行、评价全链条的技术规范体系。

在国家标准层面，2019年，《近零能耗建筑技术标准》（GB/T 51350-2019）发布，该标准适用于新建、改建和扩建的居住建筑与公共建筑，旨在通过被动式建筑设计（如高性能围护结构、自然通风与采光）、主动式技术优化（如高效暖通空调与照明系统）以及可再生能源利用（如太阳能光伏、地源热泵），大幅降低建筑能耗。标准规定，近零能耗建筑的全年供暖、空调、照明等综合能耗应较2015年国家建筑节能设计标准降低60%~75%以上，并对室内环境参数（温度、湿度、新风量等）提出明确要求，确保舒适性与节能性并重。同时，标准明确了能效指标计算方法、测评流程及关键技术参数，为设计、施工、验收和运行提供全过程指导。

地方标准及技术文件方面，先行地区积极探索差异化路径。2024年，上海市发布《零碳建筑技术导则（试行）》，旨在指导本市零碳建筑的规划、设计、建造与运行。该导则明确零碳建筑是以超低能耗为基础，通过最大化提升能效、全面应用可再生能源，并结合绿色电力或碳抵消机制，实现建筑全生命周期或运行阶段碳排放趋近于零。导则从建筑本体节能、能源系统优化、可再生能源利用、碳排放核算与监测等方面提出技术路径和实施要求，适用于新建及改造的公共建筑与居住建筑。浙江省于2023年修订发布《绿色建筑标准》（DB33/1092-2023），首次在省级绿色建筑标准中增设“零碳建筑”专章。该专章明确了零碳建筑的定义，即以超低能耗为基础，通过提升能效、最大化利用可再生能源，并结合绿电或碳抵消，实现运行阶段碳排放趋近于零。标准规定了关键设计控制指标，包括建筑综合节能率、可再生能源利用率和单位面积年碳排放强度等，并提出具体技术路径，涵盖高性能围护结构、高效暖通空调与照明系统、建筑光伏一体化（BIPV）、储能及智能能源管理系统等内容，为新建和改建公共与居住建筑提供零碳设计依据。

团体标准层面，《近零能耗建筑测评标准》（T/CABEE 003-2019）可用来评

估建筑是否达到“近零能耗”水平，适用于新建、改建和扩建的居住建筑与公共建筑。标准以“被动式设计优先、主动式技术优化、可再生能源补充”为核心理念，明确了建筑综合节能率、本体节能率及可再生能源利用率等关键指标要求。其中，居住建筑综合节能率需达到 60%以上，公共建筑则需达到 50%以上，并对围护结构热工性能、气密性、高效暖通空调系统等提出具体技术参数。标准还规定了完整的测评流程，包括文件审查、现场检测与能效模拟等环节

（二）零碳园区的发展趋势

1、我国零碳园区的建设概况

据统计，我国产业园区总数已超过 1.5 万个，其中省级园区逾 2000 个，国家级园区近 700 个。这些园区涵盖工业园区、经济开发区、商业区等多个领域，其能源消费总量占全国比重超 40%，碳排放总量约占全国的 31%，成为我国实现“双碳”目标的重要战场。因此，加快推动零碳园区建设，提升园区能源效率、优化能源结构、加强碳排放管理，已成为我国实现碳达峰、碳中和目标的必然选择。零碳园区是推动区域经济绿色低碳转型的重要举措，也是实现“双碳”目标最有效率的关键经济主体。2024 年 12 月中央经济工作会议提出将“建立一批零碳园区”纳入 2025 年重点任务，这是零碳园区在中央会议中的首次亮相。2025 年两会政府工作报告首提“建立一批零碳园区、零碳工厂”。从顶层设计到具体实施的政策利好，都为零碳园区建设全面拉开帷幕

截至 2025 年底，全国已建成或在建的零碳园区数量超过 200 个，分布在全国各地，涵盖了工业园区、科技园区、物流园区等多种类型。市场规模也随之迅速扩大，吸引了大量社会资本投入，预计未来几年，零碳园区市场将保持高速增长态势。中国节能协会重点聚焦国家级开发区、省级工业园区等区域，推动零碳园区建设。目前，在东部沿海地区，已建成多个具有示范效应的零碳园区，形成了集聚发展态势；在中西部地区，通过与当地政府合作，筛选一批基础条件较好的园区开展零碳园区试点，逐步拓展市场布局。同时，积极引导金融机构加大对零碳园区项目的支持力度，促进零碳园区市场的可持续发展。

2、我国零碳园区建设的示范案例

（1）鄂尔多斯零碳产业园

全球首个落地的零碳产业园，由鄂尔多斯市政府与远景科技集团于 2022 年

合作打造。打造 100%零碳能源系统，形成“风、光、氢、储、车”五大产业矩阵。

（2）通辽市科尔沁区零碳产业园

内蒙古通辽市依托当地丰富的风光资源，聚焦风光储氢氨一体化与新能源装备制造，规划 200 万千瓦新能源消纳项目，布局绿氢电解等项目，探索“新能源-绿氢-绿氨”转化。

（3）中金数据乌兰察布零碳算力产业园

内蒙古首个数据中心领域源网荷储一体化项目，也是“东数西算”国家枢纽节点的核心工程，总投资 61 亿元。配套 30 万千瓦风光储发电系统及 4.5 万千瓦时储能装置，实现绿电自给率超 40%。

（4）青海省零碳产业园区

青藏高原首座零碳产业园区，也是国内规划面积第二大的零碳产业示范园区。依托青海清洁能源装机占比超 90%的优势，构建全绿电供应体系，推进源网荷储一体化项目。

（5）北京金风科技亦庄智慧园区

由风电龙头企业金风科技打造，聚焦可再生能源应用与智慧能源管理，2021 年获北京绿色交易所颁发国内首张可再生能源碳中和证书。部署 4.8 兆瓦分散式风电、1.3 兆瓦分布式光伏，搭配储能装置，年发电量超 750 万千瓦时。

（6）海口江东零碳新城

海南自由贸易港建设的标志性项目，定位为世界一流零碳新城、国家生态文明试验区展示区。构建“区外绿电输入+区内多能互补”模式，引入多种清洁能源，聚焦临空经济等“4+X”低碳产业。

（7）无锡零碳科技产业园

江苏省首个以“零碳”为主题的科技产业园，以“科创+低碳”为核心，推广分布式光伏，建设光储充一体化微电网，探索源网荷储一体化，推动园区清洁能源占比超 35%，已聚集近 300 家低碳企业。

（8）深圳福田近零碳示范区

全国首个以中心城区为单元的近零碳示范区，构建“1+8+18”体系，建设“光储超充、车网互动”一体化停车场，是全国首个参与绿电交易的公共机构。

3、相关评价标准制定情况

2025 年 3 月，由中国节能协会碳中和专业委员会、中国质量认证中心等单位联合编制的《零碳园区评价技术规范》（T/CECA-G 0344-2025）团体标准正式由中国节能协会颁布实施，为零碳园区的建设与评价提供了科学、系统、可操作的标准化依据，有助于引导园区在规划、建设、运营等各个环节落实低碳理念，推动园区绿色高质量发展。该规范构建了一套科学、全面的零碳园区评价指标体系，明确了零碳园区的定义、评价原则、评价指标体系以及评价方法，涵盖能源利用效率、碳排放强度、可再生能源占比、资源循环利用等多个维度。例如，要求零碳园区的能源综合利用率需达到 80% 以上，可再生能源在能源消费结构中的占比不低于 50%，为零碳园区的建设与评价提供了科学、严谨的依据。此外，协会还参与编制《绿色工业园区评价导则》等相关标准，进一步完善零碳园区标准体系，为园区的规划、建设和运营提供明确的规范指引。

五、碳捕获、利用与封存（CCUS）技术应用

本节旨在深入探讨碳捕获、利用与封存（CCUS）技术在建筑行业实现碳达峰碳中和目标中的应用潜力、可行性及面临的挑战。通过系统分析 CCUS 技术在建筑领域应用方式及案例等方面，为推动 CCUS 技术在建筑行业的大规模应用提供理论支持和实践指导，助力建筑行业实现低碳转型。

（一）CCUS 技术概述

CCUS（Carbon Capture, Utilization and Storage）即碳捕集、利用与封存技术，是一种将二氧化碳（CO₂）从工业过程、能源利用或大气中分离出来，直接加以利用或注入地层以实现 CO₂永久减排的过程。其技术流程主要分为碳捕集、碳运输、碳利用、碳封存等环节。

（二）CCUS 技术在建筑行业的主要应用方式

1、混凝土碳化利用

混凝土碳化利用是 CCUS 技术在建筑行业的重要应用方向之一，具有显著的减排潜力和经济效益。

（1）碳化原理与优势

混凝土碳化是指混凝土中的氢氧化钙与空气中的二氧化碳发生化学反应，生成碳酸钙的过程。通过加速混凝土碳化，可以将二氧化碳固定在混凝土中，实现二氧化碳的永久减排。与传统的碳封存方式相比，混凝土碳化利用具有成本低、安全性高、易于操作等优点，同时还能提高混凝土的耐久性和强度。

（2）应用场景与减排潜力

在建筑行业，混凝土是用量最大的建筑材料之一。据估算，每立方米混凝土可吸收二氧化碳约 100 千克。通过优化混凝土配合比和生产工艺，进一步提高混凝土的碳化速率和碳化深度，可显著增加二氧化碳的吸收量。以一座中型建筑为例，若采用碳化混凝土技术，其在整个生命周期内可吸收二氧化碳数千吨，对于建筑行业的碳减排具有重要意义。

（3）技术进展与案例

目前，国内外已有多项混凝土碳化利用技术的研究和应用案例。例如，某科研团队开发了一种加速混凝土碳化的新技术，通过在混凝土中添加特殊的催化剂和调节剂，使混凝土在短时间内完成碳化反应，碳化效率提高了 30% 以上。在实际工程应用中，某大型建筑项目采用了碳化混凝土技术，不仅实现了二氧化碳的减排，还提高了混凝土的抗压强度和抗渗性能。

2、建筑材料生产中的碳捕集

建筑材料生产是建筑行业碳排放的主要环节之一，通过在建筑材料生产过程中应用 CCUS 技术，可以有效减少碳排放。

（1）水泥生产中的碳捕集

水泥生产是建筑材料生产中碳排放最高的环节，其碳排放主要来源于石灰石煅烧和燃料燃烧。目前，水泥行业已有一些碳捕集技术的应用案例。例如，在水泥窑炉尾气中，二氧化碳浓度相对较高，便于捕获。捕获后的二氧化碳可通过矿化反应，与水泥生产过程中的一些原料（如氧化钙等）相结合，生成稳定的碳酸盐矿物，从而降低水泥生产过程中的碳排放。同时，部分企业尝试将捕获的二氧化碳用于制备新型低碳水泥，这种水泥在性能上与传统水泥相当，但生产过程中的碳排放显著降低。

（2）钢铁生产中的碳捕集

钢铁生产过程中也会产生大量的二氧化碳排放，主要集中在炼铁和炼钢环节。在钢铁生产中应用 CCUS 技术，不仅可以减少二氧化碳排放，还能提高能源利用效率。例如，某钢铁企业采用富氧燃烧技术，在炼铁过程中捕集二氧化碳，捕集后的二氧化碳用于生产合成气等化工产品。通过这种方式，该企业每年可减少二氧化碳排放数十万吨。

（3）玻璃生产中的碳捕集

玻璃生产过程中，熔窑的高温加热需要消耗大量的燃料，产生大量的二氧化碳。在玻璃生产中应用 CCUS 技术，可以通过燃烧后捕集技术捕集熔窑烟气中的二氧化碳。某玻璃企业采用膜分离技术捕集二氧化碳，捕集效率达到 85% 以上。捕集后的二氧化碳可用于生产碳酸盐等产品，实现了二氧化碳的资源化利用。

3、建筑施工环节的碳捕集

（1）现场碳捕获设备的应用

在大型建筑施工场地，可设置小型的碳捕获装置，捕获施工过程中机械设备排放的二氧化碳。例如，在一些大型商业建筑或基础设施建设工地，利用移动碳捕获设备，对施工车辆、工程机械排放的尾气进行碳捕获。捕获的二氧化碳可就地储存，用于后续的建筑材料生产或其他用途，减少施工过程中的碳排放。

（2）低碳施工材料与工艺

结合 CCUS 技术开发的低碳施工材料，如二氧化碳基聚合物材料，可用于建筑的非结构部件，如装饰材料、保温材料等。这些材料以二氧化碳为原料，减少了传统材料生产过程中的碳排放。此外，在施工工艺上，采用与 CCUS 技术相关的创新工艺，如利用二氧化碳加速固化某些建筑材料，提高施工效率，同时降低能耗和碳排放。

4、建筑运营环节的 CCUS

（1）建筑内碳捕获与空气净化

在一些大型公共建筑（如商场、写字楼等）内部，安装小型的碳捕获装置，用于捕获室内人员呼吸产生的二氧化碳，改善室内空气质量。捕获的二氧化碳可通过管道输送至建筑楼顶的温室或植物种植区域，作为植物光合作用的原料，促进植物生长，实现碳的循环利用。

（2）与可再生能源结合的能源管理

部分建筑项目将 CCUS 技术与太阳能、风能等可再生能源相结合。例如，在建筑屋顶安装太阳能光伏板发电，为碳捕获设备提供电力支持，实现建筑自身的能源自给自足。同时，将捕获的二氧化碳通过生物转化技术，在特定微生物的作用下转化为生物燃料，这些生物燃料可作为建筑备用能源，用于应急发电或小型设备运行，进一步减少建筑对传统化石能源的依赖，降低碳排放。

5、碳封存与建筑相关的地下空间利用

（1）利用地下空间进行碳封存

对于一些有合适地下空间的建筑项目，如临近废弃矿井、地下溶洞或深部咸水层的建筑，可将捕获的二氧化碳注入这些地下空间进行封存。在封存过程中，需要对地质结构进行详细评估和监测，确保二氧化碳的长期稳定封存，防止泄漏。同时，部分地区尝试将碳封存与地热能开发相结合，在注入二氧化碳的过程中，利用地下热能，实现能源的综合利用。

（2）基于碳封存的基础设施建设

在一些大型基础设施建设项目中，如地下综合管廊、地铁等，考虑在其建设过程中预留或设计专门的空间用于碳封存。通过合理的工程设计和技術措施，将附近工业源或建筑自身产生的二氧化碳进行捕获后，输送至这些地下设施进行封存，实现建筑与碳封存的协同发展。

（四）CCUS 技术在建筑行业的应用案例

1、国内应用案例

（1）齐鲁石化——胜利油田 CCUS 项目

项目背景：该项目是我国首个百万吨级 CCUS 全产业链示范基地，涵盖碳

捕集、利用和封存 3 个环节。

技术路线：齐鲁石化负责二氧化碳的捕集，通过低温精馏技术回收煤气化装置尾气中的高浓度二氧化碳，提纯后纯度达到 99% 以上。捕集的二氧化碳通过管道运输至胜利油田，用于驱油与封存。

实施效果：项目每年可减排二氧化碳 100 万吨，相当于植树近 900 万棵、近 60 万辆经济型轿车停开一年。同时，预计未来 15 年可累计注入二氧化碳 1068 万吨，增油 296.5 万吨。

（2）百万级混凝土 CO₂ 矿化利用示范应用项目

项目背景：国内 CCUS 标杆企业清捕零碳公司联合浙江大学，在浙江省嘉兴市启动百万吨商品混凝土 CO₂ 矿化利用示范项目，同时矿化后的低碳混凝土计划在万纬物流旗下的嘉兴园区建设中率先启动商业试点应用。作为全国目前首个建设规模百万吨规模混凝土的 CO₂ 矿化利用示范工程，以及 2023 年浙江省科技创新“尖兵”项目课题“CO₂ 捕集与资源化利用关键技术和装备”技术产业化落地成果之一，该项目也代表了中国碳捕集、利用与封存技术在建筑领域脱碳的里程碑及新突破。

技术路线：该项目采用目前国内最先进、技术成熟度最高的“二氧化碳微晶化矿化混凝土”技术，在混凝土拌合过程中通过复合相 CO₂ 矿化与低碳助剂强化，在混凝土内部产生活性微晶，提升混凝土性能，并达到高效 CO₂ 利用与封存的效果。复合相 CO₂ 矿化对混凝土的早期微晶化作用可以显著提升混凝土强度，有效减少胶凝材料的使用率 10% 以上，高效固碳的同时实现工业固废资源化利用，生产低碳绿色建材。

实施效果：通过 CCUS 技术工艺“吸碳”后的商品混凝土，通过国内第三方检测机构华测检测的测算，获得了国内首张固碳商品混凝土建材碳足迹证书，与 Ecoinvent 3.9.1 数据库中传统工艺生产的预拌混凝土相比，每立方的碳足迹可减少 70kg CO₂，全生命周期减少约 20% 碳排放。

2、国外应用案例

（1）美国 Weyburn 油田 CCUS 项目

项目背景：该项目是全球最早的大规模 CCUS 项目之一，旨在通过二氧化

碳驱油技术提高油田采收率，同时实现二氧化碳的封存。

技术路线：从 Great Plain Sysfuels Plant 和 SaskPower 电厂捕集二氧化碳，通过管道运输至 Weyburn 油田，用于驱油和封存。

实施效果：自 2000 年开始运行以来，累计封存二氧化碳超过 2600 万吨。同时，显著提高了油田的采收率，延长了油田的生产寿命。

（2）加拿大 Boundary Dam Power 项目

项目背景：该项目是全球第一个成功应用于发电厂的二氧化碳捕集项目，旨在减少燃煤发电过程中的二氧化碳排放。

技术路线：采用燃烧后捕集技术，从 150MW 燃煤发电机的烟气中捕集二氧化碳。捕集后的二氧化碳一部分用于驱油，一部分封存于地下。

实施效果：项目每年可捕集二氧化碳 100 万吨。自 2014 年运行以来，累计捕集二氧化碳超过 60 万吨。

第六章 市场化减碳机制

一、碳排放权交易机制

（一）概述

减碳技术路径应用是实现建筑领域温室气体减排的直接手段，如何让企业愿意加大投入并积极应用脱碳技术则是政府主管部门需要面对的重要议题，也是达成碳减排目标的关键环节。

目前政府主管部门采取的措施包括行政排放管制、价格激励机制两种方式。行政排放管制即以政府为主导，通过行政手段将本国的碳排放目标层层分解至各个地方、企业，由各企业制定执行减排任务，地方政府进行监管，最终实现碳减排目标。价格激励机制包括征收碳税及碳排放权交易。征收碳税同样由政府主导，政府通过制定适宜的碳税提高企业碳排放成本，促使企业降低碳排放量。碳排放权交易为将“碳排放权”作为交易对象，企业通过买卖“碳排放权”实现各自的碳减排任务。相比于政府行政监管及碳税征收“简单直接”的行政手段，碳排放权交易取而代以行政手段和市场手段相结合的方式，刺激各企业以最优成本进行减碳，实现了市场资源的有效配置，更容易为企业所接受。

从各国多年的理论研究和实践结果来看，碳排放权交易是目前达成温室气体减排目标的最佳途径。2005 年欧盟建成的欧盟排放交易系统（EU Emission Trading Scheme, EU ETS）很好地印证了此点。通过 EU ETS 系统的有效运行，欧盟在经济社会发展基本未受到减排的负面影响下，于 2012 年超额完成了《京都议定书》对欧盟设定的减排目标。该交易系统目前已成为全世界最先进、覆盖区域最广、减排效果最好的排放交易系统，是全世界市场化减排的典范，成为很多国家学习和效仿的对象。

我国自 2013 年起先后建成广东、上海、北京、湖北、深圳、重庆、天津、福建 8 个地方碳交易市场。通过各地几年时间碳交易市场的试点运作，积累了经验，为推进全国性碳交易市场奠定了基础。2021 年 7 月全国碳交易市场启动，2162 家发电企业参与其中，年覆盖约 45 亿吨二氧化碳排放量，成为全球规模最

大的碳排放交易市场。相较于欧盟碳交易市场，我国碳交易市场仍处于起步阶段，在政策法规、机制设计、交易品种等方面均有待提升完善。

本章从碳排放权交易内涵及原理出发，分析碳排放交易机制的减碳优势；通过介绍说明碳交易的基本要素，增强对碳交易运行机制的理解；同时通过梳理国内外碳交易市场现状，分析我国目前碳交易仍存在的问题及今后发展方向。

（二）碳排放权交易原理

碳排放权交易体系的基本原理包括总量控制交易机制和基准线信用机制。

总量控制与交易机制指政府机构一方面设定一个温室气体排放总量，另一方面建立对温室气体排放权合理的定价机制，使企业可通过碳排放权交易达到减少温室气体排放的一种市场机制。在此机制下，不同的排放主体由于产业不同，技术水平不同，其减排能力有所差异。减排能力强的主体有配额剩余，减排能力弱的主体配额可能不足，结果会导致配额在不同的排放体间进行流通，成为一种稀有资源。为了有效控制碳排放总体目标，排放主体之间形成了交易关系，通过碳排放权的交易，使不同排放条件的排放主体各自完成碳排放指标。该机制典型应用包括欧盟碳交易市场 EU-ETS、美国区域温室气体减排行动（RGGI）、中国碳交易市场等。

基准线信用机制指当一个项目通过碳减排活动使得实际碳排放量低于常规情景下的排放基准线时，将产生额外的碳减排信用。该碳减排信用可进行出售。碳减排信用的需求来自两个方面：一是基于总量控制交易机制的碳排放权交易体系的抵消机制，碳减排信用可以部分代替碳配额来完成履约责任，以降低履约成本，典型应用诸如《京都议定书》下的 CDM 市场、JI 市场及中国碳交易市场试点下的 CCER 市场；二是自愿市场的交易，企业或个人可以购买减排量来中和自身的碳排放，履行社会责任。

情景一：企业自主减排

假设有 A、B 两个企业，A 企业碳减排成本为 20 元/吨，B 企业减排成本为 10 元/吨。主管部门制定当年度社会总减排量 20 万吨 CO₂ 目标，并通过行政手段要求每家企业分别减排 10 万吨 CO₂，则 A、B 两家企业碳减排成本分别为 200 万元、100 万元，合计总减排成本为 300 万元。即完成 20 万吨减排任务的成本为 300 万元。减排示意图如下图所示。

以下举例说明总量控制与交易机制如何实现全社会低成本减排。

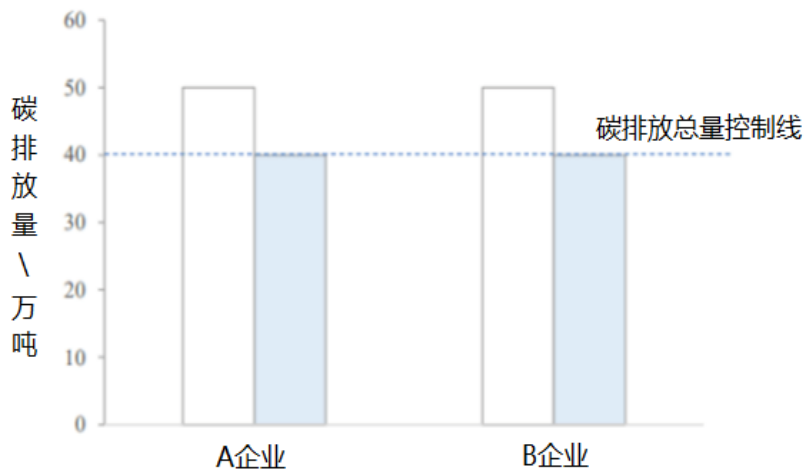


图 6-1 企业自主减排示意图

情景二：企业通过碳排放权交易减排

还是A、B两家企业，两家企业减排成本同上。此时政府建立有碳排放权交易市场，企业可在交易市场买卖碳排放配额。当年度政府主管部门制定的碳减排目标仍为20万吨。A、B两家企业获得的初始配额分别为10万吨CO₂。

通常成熟的碳交易市场中，碳价基本和社会平均减排成本持平，A企业减排成本为20元/吨，B企业减排成本为10元/吨，故全社会的平均减排成本为15元/吨，也即碳价为15元。

对于A企业而言，碳价（15元）低于其减排成本（20元），A企业选择不进行减碳，转而向交易市场购买碳配额完成减排任务。对于B企业，碳价（15元）高于其减排成本（10元），B企业倾向于承担全部20万吨的碳减排任务。

为完成履约，A企业需从B企业购买了10万吨碳配额，购买成本为150万元，即A的减排成本是150万元；对于B企业，完成20万吨减排任务支出了200万元，其通过出售10万吨碳配额给A企业获利150万元，实际减排成本为50万元。由此，全社会的总减排成本为A企业的150万元加上B企业的50万元，一共是200万元，低于A企业自主开展同等减排效果措施的成本（300万元）。

通过碳排放权交易，政府管理层面完成了排目标。各控排企业都节省了减排成本，从而形成多赢局面。

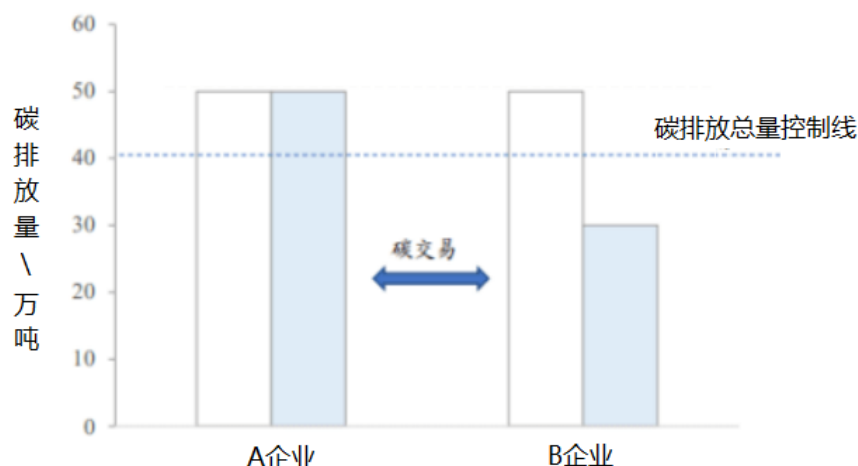


图 6-2 企业通过碳排放权交易减排示意图

（三）建筑领域的碳排放权交易

1、强制性碳排放权交易机制的实践

当前，世界上仍未建成涵盖建筑全产业链的强制性碳排放权交易体系，仅有少量基础建筑材料行业被纳入碳交易体系，如水泥行业、钢铁行业、铝制品行业、玻璃行业等；此外，部分国家及地区将公共建筑运营也纳入碳交易体系。然而，如前文所述，建筑全产业链的碳排放量巨大且与人类生产、生活密切相关，因此已经有越来越多的碳交易体系计划纳入更多的建筑产业，如欧盟的 EU ETS2。

在我国，建筑相关产业也已经参与到强制性碳交易市场中。以水泥行业为例，根据中国水泥网的统计，截止到 2024 年 2 月，北京市、广东省、湖北省、重庆市、天津市、福建省中均有水泥被纳入碳排放履约体系，约 170 家水泥企业参与了地方碳排放权交易试点工作^[27]。在碳排放权配额分配方式上，各试点多采用免费发放为主、有偿为辅的方式，有偿发放配额多采用不定期竞价发放的形式；在碳排放权配额分配方法上，各试点采取的方案包括历史强度法、标杆法和基准线法（其中福建省和广东省对不同规模的熟料生产线设置不同的基准值，生产线规模越大，基准值越低）。2023 年 12 月，中国建筑材料联合会会长阎晓峰在中国建筑材料联合会六届理事会四次会议上表示，水泥行业已实现碳达峰，进入碳中和阶段。从水泥行业参与试点碳交易的实际情况，结合水泥行业实现碳达峰的现状上看，碳排放权交易在一定程度上起到了提升企业碳减

排意识、促进减排技术落地、推进行业整体向低碳化发展的作用。

此外，截止到 2024 年，北京、上海、广东、深圳等试点碳交易省份已将公共建筑运营过程纳入或计划将纳入强制性碳交易体系。在这些碳交易试点省市中，深圳市将单体建筑面积 2 万 m^2 以上的 200 栋建筑纳入了强制性碳交易体系^[28]；上海市将 12 家建筑企业纳入碳排放配额管理^[29]。虽然公共建筑运营过程参与试点碳交易起到了先试先行的示范作用，但就目前国内碳交易试点运行情况来看，仍存在较多问题，首先是公共建筑参与碳交易的数量较少，其影响力及覆盖范围仍较为有限；其次参与碳交易的建筑运营主体多为建筑运营方、物业方或业主方，一般民众对此关注度较低；再者，建筑运营过程的碳排放核算方法学及监测方法仍不完善，且缺乏协调性与统一性。随着我国碳排放权交易体系的不断发展，相信这些问题将会逐步得到有效的解决。

2、自愿性碳排放权交易机制的探索

当前，已有一些国内的建筑业企业开始基于强制性碳排放权交易制度理论探索碳控排路径。2024 年 11 月，中国交通建设集团有限公司（以下简称中交集团）依托广西全州至容县高速公路平乐至昭平段建设项目，在其集团内部开展了建设工程领域的首次碳交易试验活动，交易双方完成了 891 吨二氧化碳排放权的交易转移。该碳交易试验采用基准值法分配免费的碳排放权配额，即通过制定单位产值碳排放强度的基准值，并结合各试点单位的实际产值情况，来发放免费的碳排放权配额。

另一方面，国内外针对建筑领域的温室气体自愿减排量开发与交易也进行了一定的探索。尤其是针对建筑设备能源利用效率及清洁能源使用方面，陆续形成了一系列的自愿减排量开发方法学。

（1）日本 JCM 机制的探索^[30]

随着《巴黎协定》第六条逐步细化和落实，《巴黎协定》市场机制将成为各国国家自主减排贡献（Nationally Determined Contribution, NDC）目标实现的重要路径之一。在此背景下，日本进一步优化其于 2013 年正式启动基于双边抵消信用体系（Bilateral Offset Crediting Scheme, BOCM）机制的联合碳信用机制（Joint Crediting Mechanism, JCM），试图通过这一国际市场机制推动低碳技术

应用，履行日本自身减排目标，探索 JCM 在《巴黎协定》框架下开展 ITMO 跨国转移的先行先试。

1) JCM 的核心原理与目的

JCM 是通过日本与发展中国家签署双边协议的方式，由日本向发展中国家提供低碳环保技术、产品、服务以及基础设施建设等方面的国际援助，通过在东道国投资建设 JCM 项目，换取相应数量的温室气体减排量（或者移除量）用于日本实现温室气体排放减排目标。

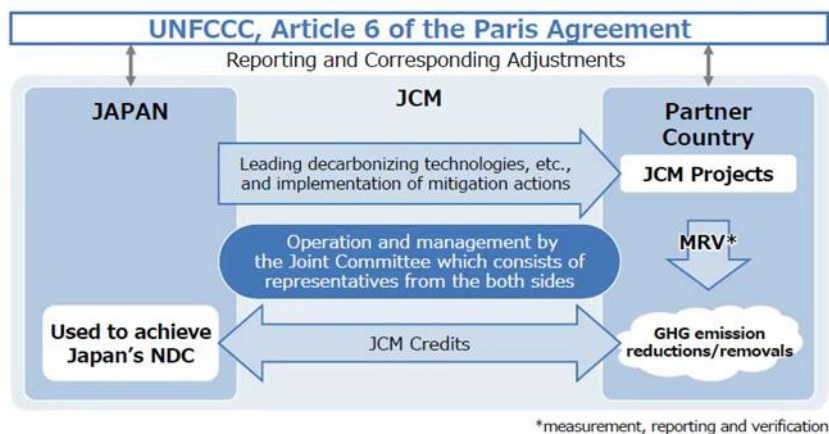


图 6-3 联合碳信用机制（JCM）原理示意图

JCM 设立的目的是帮助日本以最小的成本实现其 2020 年的减排目标，并占领低碳技术产品和服务的出口市场。随着 JCM 的建立，日本企业可以投资发展中国家的减排项目和方案，从而获得抵消信用。

2) JCM 的实施流程与资金支持

日本提供财政支持或对初始成本的投资来激励伙伴国选择采用日本的脱碳技术；而采用先进的脱碳技术设备与设施后，会实现了温室气体的减排。温室气体的减排或移除会产生碳信用额度。日本将获得一部分源自“联合抵换额度机制”的项目所产生的碳信用，用以回报日本的贡献，包括财政支持或对项目的投资等等。

Contribution from Japan (example)

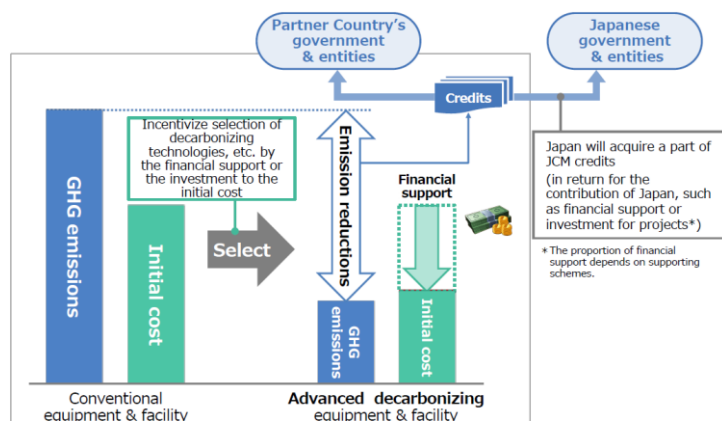


图 6-4 联合抵换额度机制实施流程示意图

图中最上方是日本政府及实体和伙伴国的政府及实体共享“联合抵换额度机制”项目形成的碳信用额度。左下方代表伙伴国传统的生产设备与设施，包括温室气体排放（蓝色柱）和初始成本（绿色柱），包括成本和环境因素促进了伙伴国选取低碳技术。

开发 JCM 项目时一般要在项目实施初期进行融资支持，前期的融资支持是 JCM 项目成功的关键。对 JCM 项目的资金支持有多种渠道，分别是日本政府和亚洲开发银行 JCM 信托基金、联合国工业发展组织、日本国际合作银行。在减排量的发放环节，JCM 签约合作国家双方（即日本与另一发展中国家）均需建立注册登记簿，以确保对 JCM 减排量的发行、持有、转让、收购、撤销、注销。在分配过程中，日方获得的减排量一般不低于 50%。以日本和越南、泰国合作的减排项目为例，泰国的 JCM 项目其减排量的分配比例基本为 5: 5；而日本与越南的分配比例则不同，以日本获得项目大部分减排量的情况居多，具体分配由签约国之间协商确定。

3) JCM 的组织管理与发展现状

JCM 的管理机构是由日本与东道国两国政府代表组成的联合委员会（JC）。联合委员会（JC）在 JCM 机制的执行实施过程中处于核心位置，其主要职责包括制定 JCM 机制执行与实施所需的规则和指南、批准或拒绝提交的 CDM 方法学并开发 JCM 方法学等。在 JCM 机制的基础设施方面，日本与东道国政府将分别建立并负责维护注册登记系统。两国政府基于联合委员会（JC）公布的碳信用签发数量，向各自的登记注册系统签发碳信用。

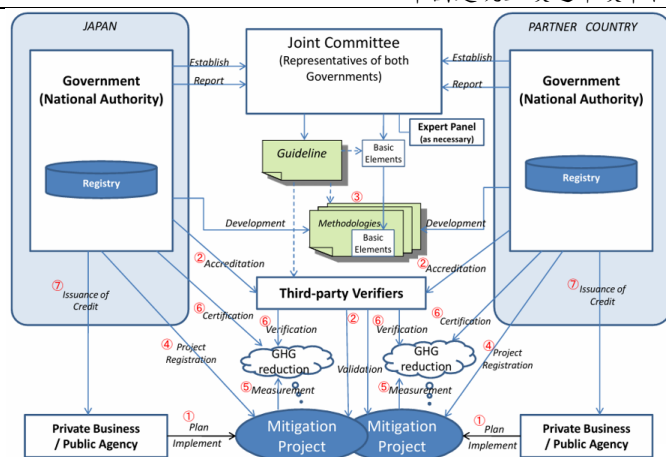


图 6-5 联合碳信用机制（JCM）组织管理示意图

JCM 所涉及的行业有电力生产和运输业、交通业、工业垃圾处理业以及提高能效、可再生能源使用、防止荒漠化等相关行业，范围十分广泛。从 2013 年起，日本进入 JCM 机制的具体实施阶段。2013 年 1 月 8 日，日本与蒙古签署了第一个关于 JCM 机制的双边文件。随着日本的大力推广，截至 2023 年 4 月该机制覆盖的发展中国家目前已包括亚洲、非洲、美洲、大洋洲在内的 26 个发展中国家，计划融资的 JCM 项目 230 个，已完成注册的 JCM 项目 76 个，已签发减排量项目 40 个，签发 JCM 减排量 126,628 吨（涉及 11 个国家），其中日本获减排量 89,124 吨，东道国获减排量 37,504 吨。截至 2025 年 5 月，日本已在 30 个国家建立了 JCM。通过国际间的碳减排合作，日本的目标是到 2030 年 JCM 项目实现累计减排和清除量达到约 1 亿吨二氧化碳，以确保实现其 NDC 目标。

（3）建筑领域 CCER 的探索

国家核证自愿减排量（CCER）是国内碳资产开发的主要形式之一。2025 年 12 月 23 日，生态环境部与住房城乡建设部办公厅联合发布了《温室气体自愿减排项目方法学 既有公共建筑围护结构与供暖通风空调系统能效提升（CCER-06-001-V01）》^[31]。这是我国首个针对既有建筑节能改造的 CCER 方法学，标志着建筑行业的节能降碳行为正式被纳入国家碳减排交易体系，为盘活庞大的存量建筑节能改造市场提供了明确的量化与变现路径。该《方法学》的发布将撬动一批有改造意愿的业主和所有权人加快既有公共建筑节能降碳改造项目实施，进而加快带动整个行业的减排进程。

根据估算，可纳入到该《方法学》支撑范围内的项目，到 2028 年预计年减排量约为 46 万吨二氧化碳，到 2030 年预计年减排量约为 80 万吨二氧化碳，到

2035年预计年减排量可增加至约160万吨二氧化碳^[32]。

1) 可申请该《方法学》CCER的主体

申请主体为建筑产权所有者或其授权的相关法人主体,并取得建筑供暖通风空调系统的所有权或所有权者的授权。主要包括以下几类:建筑所有者、使用权人,或取得相关授权投资运营的第三方机构。

2) 申请该《方法学》CCER需要满足的前提条件

该方法学适用于既有公共建筑(如办公建筑、旅馆建筑、商场建筑、文教建筑、医疗建筑、观演建筑、交通建筑、体育建筑、博览建筑等)在不改变使用功能的前提下,通过围护结构与供暖通风空调系统能效提升的方式实现碳减排的项目。

适用的前提条件如下:

- 建筑在基准期和计入期内的使用功能一致;
- 基准期内建筑除中小学及幼儿园项目1月、2月、7月、8月外,每月使用时间不少于160小时(h);
- 项目改造前节能设计应符合《公共建筑节能设计标准》(GB 50189)^[33]或《建筑节能与可再生能源利用通用规范》(GB 55015)^[34]相关要求;
- 能效提升技术措施应包含附录A中至少一种技术措施,并满足实施比例和能效提升最低性能要求;
- 建筑供暖通风空调系统不包含燃气冷热电联供系统、燃煤锅炉系统,以及外购蒸汽直驱溴化锂吸收式系统;
- 建筑应安装有可连续监测的计量装置并定期记录能耗数据;
- 基准期开始时间应在项目能效提升改造前实现监测数据与全国碳市场管理平台(<https://www.cets.org.cn>)联网(完成联网试运行),减排量产生于项目能效提升改造完成且相关监测数据联网完成联网试运行)之后;
- 项目业主为建筑产权所有者或其授权的相关法人主体,并取得建筑供暖通风空调系统的所有权或所有权者的授权:位于同一省(自治区、直辖市)内多个建筑可合并申请,项目业主应取得全部项目产权所有者的授权,合并后项目年减排量不超过6万吨二氧化碳当量(tCO₂e);
- 未纳入碳排放权交易试点市场管理;

- 项目应符合国家法律、法规、标准要求，符合行业发展政策。

3) 该《方法学》可申请 CCER 的节能方向

该《方法学》围绕既有公共建筑的两大核心节能方向——围护结构（如外墙、屋面、外窗）和暖通空调（HVAC）系统——构建了一套完整的减排量核算框架。全文涵盖项目边界界定、计入期设定、基准线情景识别、排放源分析、减排量计算及监测计划等八大模块，确保减排成果可测量、可核查、可交易。

《方法学》中在围护结构热工性能提升方面，重点关注外墙、门窗以及透明幕墙和采光顶等部位；在供暖通风空调系统改造方面，主要聚焦于建筑冷热源的替换，例如更换高效冷水机组、热泵机组、更换多联式空调（热泵）机组等。

(4) 建筑碳资产开发

随着我国建筑业规模持续扩大，能源消耗不断增加，建筑行业现已成为我国碳排放主要来源。作为建筑业实现“双碳”目标的重要主体，建筑企业的碳资产管理对提升企业低碳发展竞争优势、促进建筑业绿色低碳转型有重要意义。

1) 碳资产的内涵、形式

碳资产开发是指在强制或自愿的碳排放权交易机制下，通过各种手段和措施，直接或间接开展影响组织温室气体排放的活动，进而形成可以交易的碳排放配额或减排信用额。碳资产可被视作基于碳排放量，预期能为企业带来权益的资产，主要有两种形式，一种是碳排放权交易市场的碳排放配额（CEA），初期免费分配给重点控排企业；一种主要是国家核证自愿减排量（CCER），作为补充，包括再生能源项目、节能项目、碳汇项目等，履约时允许重点排放单位用 CCER 进行一定比例的冲抵。

2) 碳资产项目的开发逻辑与国际经验

一个项目能否开发为碳资产，取决于两个关键判断：基准线与额外性。“基准线”指在不实施该项目的情况下，为达到同等产出或服务所发生的排放量。只有项目自身排放低于基准线排放，才产生减排量。“额外性”则需证明，若无碳资产收益，该项目将因财务、技术或政策障碍而无法实施。二者兼备，项目才具备开发价值。

欧盟（包括德国）推动工业部门减少二氧化碳排放的最主要举措之一是将工业企业和发电企业纳入碳排交易体系。德国大多数碳排放高的工业企业和发

电企业，已经在欧盟碳排放交易体系的管辖范围内。对未纳入欧盟碳排放交易体系的工业或者服务业企业，德国政府提出了实施能源审计、建立能源管理体系等要求。

3) 能源托管模式案例

中建生态环境集团有限公司所属中建碳科技承接的中央某大型公共机构能源站运维服务项目即为能源托管模式的典型案例。能源费用托管是合同能源管理的一种形式，是指用能单位委托能够提供用能状况诊断、改造、运行管理等服务的专业化公司（以下称节能服务公司），进行电、气、煤、油、市政热力、水等能源资源系统的运行、管理、维护和改造，用能单位将根据能源基准确定的费用支付给节能服务公司作为托管费用，节能服务公司通过科学的管理运行和节能技术的应用达到节约能源资源、减少费用支出等目的，获取合理的利润。



图 6-6 中建碳科技承接的中央某大型公共机构

该项目能源系统包括供暖系统、空调通风系统、照明系统、变配电系统、广义生产服务系统以及生活热水系统等。项目实行 24 小时专人值守与智能监控，从能源系统高效运维、优化管理及能效提升等方面出发，打造高效、绿色、可持续发展的能源生态系统。后续拟在部分楼宇进行 BIPV 改造、搭建智慧管理平台、深度挖掘节能潜力。托管服务中的节能改造（如光伏项目、超高效制冷设备更新）符合国家 CCER 方法学要求时，理论上可将减排量开发成 CCER。当 CCER 在国家自愿减排交易中心上市交易，即可为项目带来额外收益。

二、绿色金融赋能建筑业绿色低碳转型

住房和城乡建设部、国家发展改革委联合印发的《城乡建设领域碳达峰实施方案》中明确提出到 2025 年全国城镇新建建筑全面执行绿色建筑标准^[35]。

《加快推动建筑领域节能降碳工作方案》中提出，新建超低能耗、近零能耗建筑面积比 2023 年增长 0.2 亿平方米以上，完成既有建筑节能改造面积比 2023 年增长 2 亿平方米以上。到 2027 年，超低能耗建筑实现规模化发展，既有建筑节能改造进一步推进，建筑用能结构更加优化，建成一批绿色低碳高品质建筑^[36]。建筑行业绿色低碳转型之势不可逆转。据住房和城乡建设部估计，“十四五”期间一星级以上绿色建筑在未来可每年建设 4~6 亿平方米，相应地未来每年的绿色建筑开发投入资金需求会在 3~5 万亿元的规模。如此大规模的投资需求绝大部分需要依靠各类社会资本的投入，绿色金融政策和绿色金融工具将发挥重要作用。

因此，需要引导绿色金融活水流向建筑行业，通过构建一套激励相容的市场化机制，破解“认绿”难题、引导资源配置、管理转型风险，深度赋能建筑行业全生命周期、全产业链的绿色低碳转型。

（一）基本概念

在《关于构建绿色金融体系的指导意见》（2016）中，其对绿色金融和绿色金融体系作出了明确的定义：“绿色金融是指为支持环境改善、应对气候变化和资源节约高效利用的经济活动，即对环保、节能、清洁能源、绿色交通、绿色建筑等领域的项目投融资、项目运营、风险管理等所提供的金融服务”^[37]。

绿色金融体系是指通过绿色信贷、绿色债券、绿色股票指数和相关产品、绿色发展基金、绿色保险、碳金融等金融工具和相关政策支持经济向绿色化转型的制度安排”。其核心在于通过金融工具的价格机制和资源配置功能，将经济活动所产生的环境外部性（如碳排放）进行内部化，从而系统性引导资本从高污染、高耗能领域转向绿色、低碳、循环领域。

构建绿色金融体系主要目的是动员和激励更多社会资本投入到绿色产业，同时更有效地抑制污染性投资。构建绿色金融体系，不仅有助于加快我国经济向绿色化转型，支持生态文明建设，也有利于促进环保、新能源、节能等领域

的技术进步，加快培育新的经济增长点，提升经济增长潜力。

（二）绿色金融工具

绿色金融工具是指银行、保险等持牌金融机构，围绕建筑行业绿色低碳转型提供的包括但不限于绿色低碳转型产业项目融资、流动资金类贷款、绿色供应链融资、绿色建筑性能保险、合同能源管理融资、绿色建筑按揭贷款等金融产品。常见的绿色金融工具可归为三大类：绿色信贷、绿色债券及绿色保险。

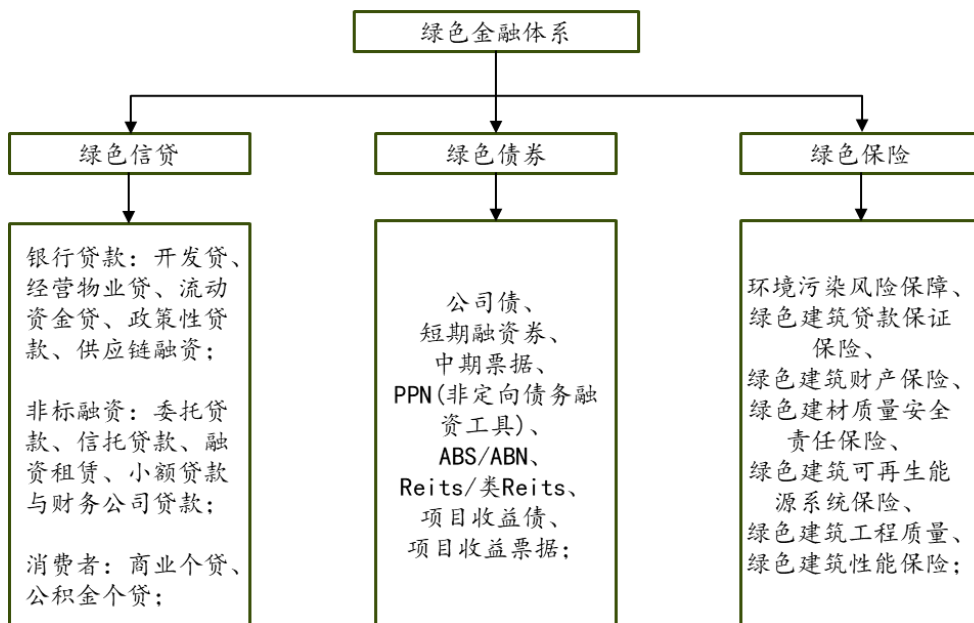


图 6-7 常见绿色金融工具

1、绿色信贷

《2025 年绿色金融创新研究报告》显示，绿色贷款作为中国绿色金融体系的核心支柱，历经十余年发展已形成规模与质量并重的发展格局。截至 2025 年 6 月底，我国绿色贷款本外币余额规模已达 42.3 万亿元，构建了全球规模最大的绿色贷款市场。从 2016 年绿色金融体系正式确立之初不足 10 万亿元规模，到 2022 年末突破 22 万亿元，再到 2024 年末的 36.6 万亿元，年均复合增长率超过 20%。截至 2024 年末，基础设施绿色升级产业贷款余额达 15.68 万亿元，同比增长 19.8%^[38]。

绿色信贷在绿色建筑和建筑节能领域的应用主要体现在进行信贷申请准入时将融资项目及融资主体的环境影响纳入审核框架，基于此对从事绿色低碳建筑相关业务的中小企业降低融资门槛及融资成本。具体包括：

(1) 为绿色低碳建筑开发提供支持；

(2) 对绿色低碳建筑产业链上获得相关绿色认证的企业还可以进一步开展供应链金融服务；

(3) 强化信贷资金投向贷后管理。

从调研情况来看，目前针对新建建筑的绿色信贷属于开发贷范围，认定标准相对明确，从资金规模上占总量比例较大；而针对存量建筑减碳的绿色信贷存在认定标准不够明确等问题，实际规模比较小。

2、绿色债券

绿色债券是指将募集资金专门用于支持符合条件条件的绿色产业、绿色项目或绿色经济活动，依照法定程序发行并按约定还本付息的有价证券，包括但不限于绿色金融债券、绿色企业债券、绿色公司债券、绿色债务融资工具和绿色资产支持证券^[39]。

绿色债券是我国推进构建绿色金融体系的重要组成部分，作为专门针对绿色项目而设立的金融工具，相比绿色信贷其时间期限更长，有助于缓解绿色建筑项目融资中面临的期限较长和期限错配问题。中央国债登记结算有限责任公司发布《中国绿色债券白皮书》（以下简称《白皮书》）显示，我国的绿色债券市场已跃居全球首位，与绿色信贷共同构成绿色金融主渠道，为“双碳”目标的实现提供有力的金融支持^[40]。《中国绿色债券市场发展质量评价白皮书（2025）》中显示，从发行规模来看，2016—2024年，中国绿色债券发行规模从2018亿元增长至6833亿元，年均增长16.5%；市场存续规模从2039亿元增长至21621亿元，年均增长34.3%；绿色债券发行机构数量从35家增长至249家，年均增长27.8%。绿色债券的环境效益日益凸显，2016-2024年，每亿元绿色债券可支持碳减排量从1.3万吨上升至2.8万吨，环境效益日益显著^[41]。中诚信绿金数据显示，截至2025年年末，国内市场累计发行绿色债券超3000只，累计发行规模约5.24万亿元^[42]。中国已成为全球最重要的绿色金融市场之一。

绿色债券作为中长期融资的重要工具，为绿色项目提供了稳定、高效的直接融资支持。通过这一市场，银行将资本市场资金与实体经济绿色项目精准对接，有效拓宽了绿色产业的融资渠道。现有的可用于支持绿色建筑及建筑领域

发展的债权融资产品主要包括以下类别：企业债、公司债、债务融资工具、集合债券及票据、项目债券及票据、资产证券化产品、夹层融资（主要是可转债）以及海外债券等。

3、绿色保险

国家金融监督管理总局关于推动绿色保险高质量发展的指导意见(金规〔2024〕5号)指出，绿色保险是指保险业在环境资源保护与社会治理、绿色产业运行和绿色生活消费等方面提供风险保障和资金支持等经济行为的统称^[43]。指导意见中在推进城乡建设节能降碳增效方面提到，为可再生能源替代、屋顶光伏系统等建筑节能相关风险提供保险保障。发展绿色建筑性能保险、超低能耗建筑性能保险等业务，深入推进建筑节能和绿色建筑领域风险减量服务，对项目规划、设计、施工、运行进行全过程绿色性能风险管控。针对绿色农房、节能低碳设施、可再生能源设备、农村电网等做好保险保障服务。

绿色建筑保险是绿色保险的一种，是为适应绿色经济发展过程中，支持和改善建筑行业环境和资源节约高效利用的需要，对涉及建筑行业的建材质量、建筑碳排放量、可再生能源系统质量与功率、工程质量、绿色性能、物理损害、信贷保证等风险保障方面，为转移风险提供的一类保险保障产品。通常，绿色建筑保险通过承担评级风险、支持节能整改以及保障资金支持三种方式助力绿色建筑发展，覆盖了绿色建筑全生命周期，同时也可以为既有建筑的绿色化改造提供支持。

表 6-1 我国绿色建筑生命周期保险体系

生命周期阶段	保障风险类别	保险产品	保险责任	保障对象	保险公司
建材选择阶段	绿色建材质量风险	太阳能光伏组件长期质量与功率保证保险	保障光伏组件的质量，产品因原材料缺陷或制造缺陷等原因，导致产品质量或发电功率未达到书面质量保证承诺	供应商	人保财险、国寿财险等

生命周期阶段	保障风险类别	保险产品	保险责任	保障对象	保险公司
		绿色建材保证保险	保障绿色建材检测	供应商	人保财险
规划设计到运营与维护阶段	绿色建筑性能风险	绿色建筑性能责任保险	保障范围包括绿色建筑的建设工程责任、安全生产责任以及环境污染责任。在建设工程期间，对设计上的疏忽产生的赔偿风险、发生生产时的安全事故、和污染环境后造成的赔偿风险进行保险	施工单位	恒邦财险牵头组建的共保体
		绿色建筑能耗保险	保障建成后的节能性能	施工单位	人保财险、国寿财险等
		绿色建筑性能责任保险	保障绿色设计、绿色用材、绿色施工、绿色运行管理，以及提供发生绿色星标评级风险后的经济补偿	施工单位、设计单位	人保财险
	设计到运营阶段的设计疏忽、安全事故和污染责任等风险	建筑工程绿色综合保险	保障范围包括建设工程责任、安全生产责任以及环境污染责任	施工单位	恒邦财险牵头组建的共保体
建筑建造到运营维护阶段	绿色装修对人体健康危害的风险	绿色卫士装修污染责任险	保障业主房屋装修后室内空气质量安全、符合居住标准	施工单位、业主、用户	平安财险

从现有案例来看，目前比较主流的绿色建筑保险产品主要有：绿色建材质量安全保险、绿色建筑可再生能源保险、绿色建筑性能责任保险、绿色建筑财产保险、绿色建筑职业责任保险等。

当前服务于建筑行业绿色低碳转型的绿色金融产品已形成多元化的工具箱，主要包括：

表 6-2 我国典型绿色绿色金融产品类型分析表

产品类型	主要特点	适用场景	案例简述
绿色信贷	银行等金融机构向符合绿色标准的项目或企业提供的、利率通常具备一定优惠的贷款，灵活支持项目开发与企业流动资金	1. 新建绿色建筑项目开发融资 2. 既有建筑节能改造项目融资 3. 绿色建材生产企业流动资金贷款 4. 建筑节能技术服务公司融资	中国工商银行“绿色建筑贷款”、中国建设银行“绿色建筑项目贷款”，通常与绿色建筑预评价或能效测评结果挂钩
绿色债券	绿色债券则通过资本市场为大型、长期的绿色建筑项目或资产包提供低成本直接融资。发行人募集资金专门用于符合条件的绿色项目的债务融资工具，需进行第三方认证并持续披露	1. 大型绿色园区/社区开发 2. 持有型绿色商业地产（如绿色商场、写字楼）融资 3. 绿色基础设施（如分布式能源站）建设	万科集团、华润置地、中国金茂等房企发行的绿色中期票据，一般遵循《绿色债券支持项目目录》
可持续发展挂钩贷款/债券 (SLL/SLB)	将融资条款（如利率）与借款人预定的可持续发展绩效目标 (SPT)达成情况动态挂钩的工具	1. 房地产企业降低持有资产碳强度 2. 建筑企业提升绿色施工比例 3. 建材企业降低单位产品碳排放	宝武集团可持续发展挂钩贷款（KPI：2025 年吨钢二氧化碳排放较 2018 年下降 30%）。与建筑领域的 SPT 常包括：绿色建筑面积占比、GRESB 评分提升、碳强度下降等
绿色保险	为绿色建筑项目的环境风险提供保障的保险产品，起到风险转移和信用增级作用	1. 绿色建筑性能保险（保障能效达标） 2. 工程质量潜在缺陷保险（IDI） 3. 气候灾害保险（应对极端天气）	青岛中德生态园落地超低能耗建筑性能保险。保险公司提供全过程风险管理，并对性能不达标进行赔付
绿色资产证券化 (ABS)	以绿色资产或项目产生的未来稳定现金流（如电费、节能收益、租金）为基础资	1. 光伏建筑一体化 (BIPV)项目电费收益权 2. 合同能源管理(EMC)项目节能收益权	中国铁建横琴大厦持有型不动产 ABS，CCER 预期收益与节能收益组合发行 ABS

产品类型	主要特点	适用场景	案例简述
	产发行证券	3. 绿色商业地产租金收益权	
碳金融	围绕碳排放权配额及国家核证自愿减排量（CCER）等碳资产，开发出的包括质押融资、回购、远期、期权等在内的系列金融工具，旨在盘活碳资产、管理碳价格风险	1. 碳配额质押融资 2. CCER 预期收益权质押贷款 3. 碳远期、碳掉期等衍生品交易	建设银行上海分行推出的“建碳贷”为客户提供碳资产质押贷款融资

（三）绿色金融赋能建筑行业发展现状

1、国际绿色金融支持绿色低碳建筑发展现状

从国际实践来看，美国、日本、德国、英国、加拿大、丹麦、新加坡、智利、印度、马来西亚、西班牙、卢森堡等国家在支持绿色建筑发展过程中充分发挥金融的“杠杆效应”，形成了一些做法。这些做法的核心特点在于，尝试将绿色建筑的相关标准与金融手段进行结合。具体做法呈现如下几个方面：

一是以标准为基础：通过法规与认证体系建立可衡量的依据。部分国家首先致力于建立可执行的衡量标准。

➤ 完善建筑节能法律法规：英国先后出台了《建筑法案（1984）》《建筑节能法规（能源证书和检查制度 2010）》等，形成了自上而下的法律法规体系。美国 1977 年颁布《新建筑物结构中的节能法规》，2003 年修订《国家能源政策法》，将建筑节能由“目标”转换为“要求”，2009 年通过《清洁能源和安全法案》，规定绿色建筑与相应的基准标准建筑相比，应实现 30% 的节能目标。

➤ 发展绿色建筑自愿性认证市场：截至 2021 年末，全球已有 74 个绿色建筑认证体系，其中大部分由世界绿色建筑协会（World GBC）的成员来进行管理。如美国的 LEED、英国的 BREEAM、德国的 DGNB、新加坡的 Green Mark 认证体系等，对绿色建筑需满足的标准进行明确规定，有效引导绿色建筑发展。

二是以激励为手段：运用公共资金与财税工具进行引导。在标准基础上，相关国家机构通过多种经济手段试图引导市场行为。

➤ 设立绿色建筑发展基金：多伦多气候基金（TAF）对绿色建筑的额外建造成本提供资金支持。丹麦从农村发展基金中拨出 300 亿丹麦克朗，用于公共住房领域的绿色改造，预计将在 2022 年减少 47 000 吨二氧化碳当量的温室气体排放。美国设立鼓励绿色建筑发展的“节能基金”，对获得节能标识的建筑进行税收减免，为节能住宅提供较低利率的抵押贷款。2020 年 7 月，英国宣布了一项 30 亿英镑的绿色发展计划，其中计划 10 亿英镑将用于改善学校等公共机构的节能减排设备，剩下 20 亿英镑为绿色住房补助金 (Green Homes Grant Voucher Scheme)，用于房屋的节能改造。欧洲能效基金（EEEF）作为欧洲能源复兴计划的一部分，启动资金为 2.65 亿欧元，将在欧盟境内通过多种手段融资，通过市场化运作，重点资助欧洲的创新型中小企业在节能、能效和可再生能源领域的研究和开发项目，包括公共和私人建筑物的节能改造、高效热电联产（包括微型发电和区域供热制冷网络）、分布式可再生能源投资（包括微型发电）、清洁城市交通、基础设施现代化（如照明路灯和智能电网），以及有创新与发展潜力的可持续能源投资。

➤ 建立贷款支持及税收优惠机制：政府对绿色建筑金融产品提供补贴、风险分担、税收优惠机制。如加拿大对建筑使用年限较久、节能改造效益明显的商业楼宇，由政府对节能改造贷款进行补贴。新加坡建设局对符合条件的绿色建筑贷款分担 40% 的贷款违约风险。智利、印度、马来西亚等国家对于绿色建筑的绿色债券完全或部分免税。二是金融机构对绿色建筑、绿色住宅提供低息贷款。如日本住友信托银行对评级四星级以上的新建公寓，提供低于银行公示利率最高 1.5% 的利率优惠。德国复兴信贷银行根据不同等级能源证书提供差异化绿色建筑贷款。三是对绿色建筑提供政策性超长期贷款及优惠。如日本住房金融厅开发“Flat 35”信贷产品，由金融机构提供 35 年期固定利率住宅贷款，贷款额度高甚至可以零首付，申请条件必须符合一定节能标准。

三是以产品为渠道：发展多种与标准关联的金融工具。金融市场基于上述标准，衍生出一些金融产品。

➤ 绿色信贷：美国针对绿色建筑开发商提供的金融产品。美国富国银行为

LEED 认证的节能商业建筑提供再融资，开发商不必为绿色建筑支付初始保险费。New energy Bank 定制专项房屋净值贷款，用于住房太阳能安装，期限 25 年，可享受太阳能贷款利息免税优惠；Citigroup 与 Sharp 签属协议，向购置民用太阳能客户提供融资服务。在日本 Yokohama bank 和 Sumitomo bank 对三星、四星级以上的新建公寓给予优惠利率支持，较市场利率最高低 1.2%。德国复兴信贷银行对单个房屋贷款给予期限不超过 30 年（宽限期 2—3 年），金额不超过 5 万欧元，及 7.5%—17.5% 不等的贴息贷款。2020 年太古地产与华侨银行签署港币 10 亿美元的 5 年期绿色贷款的用途之一就是香港太古坊二座，该项目在 2023 年获得 LEED 铂金级认证。

更为市场化的工具是可持续发展挂钩贷款（SLL）。其核心机制在于将贷款利率与借款人预先设定的、经第三方核验的关键绩效指标（KPI）达成情况动态绑定。例如，新加坡星展银行为承诺科学碳目标（SBTi）的房地产企业提供此类贷款，将利率与“整体物业组合的碳强度下降率”和“获得绿色认证的资产面积占比”等 KPI 直接挂钩。若企业超额完成目标，则利率下调，实现财务节约；反之则利率可能上升，从而将企业的环境战略与财务成本紧密结合，形成持续减排的内在动力。

➤ 绿色债券：在绿色债券方面，绿色建筑是全球绿色债券的主要支持领域之一，根据气候债券倡议组织（CBI）发布的数据，2019 年全球绿色债券发行量为 2577 亿美元，其中，募集资金投向建筑领域的规模达到 773 亿美元，占绿色债券总发行规模的 30%，仅次于能源领域的 31%^[44]。美国房利美在 2019 年发行 187 亿美元绿色债券用于支持绿色建筑。加拿大 Ontario Green bond 在卢森堡证券交易所发行绿色债券用于绿色建筑的建设和维护，票面利率 1.75%，金额 5 亿元，获得 4 倍超额认购。日本全日空航空公司在 2018 年发行了一只 100 亿日元 10 年期无担保绿色债券。募集资金将用于建设一座新的节能建筑用作培训中心。该建筑的设计旨在于东京都政府的绿色建筑计划下实现 33% 的节能率，该等级等同于 CASBEE 认证的 A 级。法国领先的房地产投资公司 ICADE 所发行的绿色债券募集资金被明确规定，必须用于获得或承诺在约定期限内获得 BREEAM “优秀”或“杰出”等级认证的开发与改造项目。

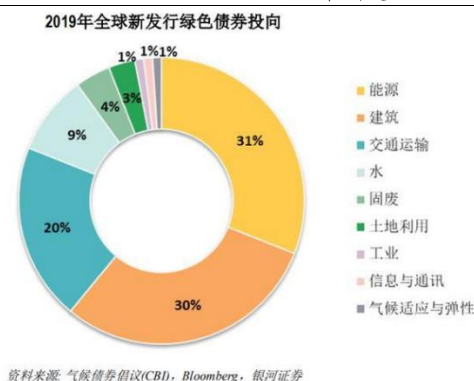


图 6-8 2019 年全球新发行绿色债券投向

➤ 绿色保险：目前国际上绿色建筑保险主要包括针对已竣工建筑的绿色建筑财产保险、针对在建建筑的绿色建筑建设保险、服务消费者贷款的绿色建筑贷款保证保险等。如美国 Fireman's Fund 保险公司针对绿色建筑全流程如建筑设计、施工验收、运营维护、废弃拆除等都提供相关保险产品。创新绿色债券、绿色保险支持绿色建筑的主要做法见表 6-2。

表 6-3 债券、保险产品支持绿色建筑的主要做法

类别	主体	具体内容
绿色债券	立陶宛	发行了 2000 万欧元、10 年期主权绿色债券，募集资金将向立陶宛公共投资发展署提供贷款，用于资助装修，以提高 156 栋多户公寓建筑的能源效益并降低供热成本
	法兰西银行	发行 6000 万美元、7 年期的绿色债券，用于绿色建筑项目的可再生能源和能源效益方面
	苏黎世州银行	发行了 2.1 亿瑞士法郎和 1.15 亿瑞士法郎、7 年期的绿色债券，募集资金将分配给节能建筑绿色贷款组合，并对绿色建筑评级有规定
	日本三菱房地产	发行 100 亿日元、5 年期绿色债券，募集资金用于已获得 DBJ 绿色建筑认证的东京长板桥 A 栋工程
绿色保险	美国	Fireman's Fund 保险公司开发绿色建筑财产险，保障经过绿色认证的建筑物以及期望获得绿色效益的建筑物和设施的业主，对符合 LEED 认证的建筑提供一定折扣
	美国	Argo Limited 保险公司开发了绿色建筑职业责任保险，每张保单的保额上限 100 万美元，为美国绿色建筑委员会成员提供 5% 的保费折扣
	加拿大	加拿大银行法规定，首付款少于房屋价值 20% 或贷款额超过房屋价值 80% 的购房抵押贷款必须有相应的贷款保证保险。加拿大贷款和住房集团对绿色住房项目提供保费优惠

资料来源：根据 www.ica.org 和公开文献整理。

绿色建筑性能保险承保建筑因技术或施工原因未能达到合同约定的绿色认证等级（如 LEED 铂金级）的风险，国际 insurers 如 AIG 和 AXA XL 提供此类产品，若未达标则赔付认证费用或整改成本，保障了项目价值。节能绩效保险专门针对节能改造项目，承保其实际节能量不及合同担保值的风险。例如，全球再保险公司 Swiss Re 为能源服务公司（ESCO）的绩效保证合同提供保险，若节能量不足，保险公司将向业主赔付能源费用的差额，从而消除了业主对改造效果的疑虑，极大促进了 ESCO 商业模式的发展。主流财产险公司如 Allianz 和 Zurich 纷纷对获得高等级绿色认证的资产提供保费折扣或更优的承保条件，这不仅降低了资产的长期持有成本，也从风险管理角度肯定了绿色建筑的额外价值。

➤ 资产证券化：将建筑能效改造贷款等资产进行证券化。美国 Greenworks Lending 于 2017 年 9 月发行了 7500 万美元 C-PACE ABS。C-PACE（商业地产清洁能源评估政府专项融资）是公私合作模式下，为商业物业节能等改造项目提供资金的创新工具。C-PACE ABS 项目允许为各类房产(包括办公楼、制造设施和医院)改进能效和更新能源升级等。C-PACE 融资市场持续扩张，预计 2024 年底累计投资达 100 亿美元。38 个州和哥伦比亚特区的立法为 C-PACE 融资提供法律支持，规定其通过房产税账单偿还，物业转让时融资仍保留。法律还要求加入 C-PACE 需获高级贷款方同意，保障其权益。业主和高级贷款方需遵守相应合规要求。

总结来看，在国际实践中，这些国家实践基于建立标准体系，并围绕该体系设计相应的基金、激励政策、金融产品，以引导资金流向其定义的绿色低碳建筑领域，推动形成市场与政策的互动模式，促进绿色金融与绿色低碳建筑的协同发展。

2、国内绿色金融支持绿色低碳建筑发展现状

中国当前已建成全球最大的绿色金融市场之一，并构建了一套特色鲜明、政策驱动作用突出的绿色金融体系，并在建筑领域实现了从框架搭建到规模应用的快速发展。与国际市场由标准引领、资本驱动的模式相比，中国的实践展

现出强大的顶层设计与政策传导效率，推动金融资源以前所未有的速度和规模涌向建筑绿色低碳转型的关键环节。

政策体系的持续演进与强化构成了这一体系的核心引擎。自 2016 年《关于构建绿色金融体系的指导意见》奠定顶层设计以来，支持政策不断细化和强化。2024 年成为关键的政策密集落地年：中国人民银行等五部委发布《关于进一步强化金融支持绿色低碳发展的指导意见》，明确要求加大对建筑等领域绿色低碳转型的信贷支持^[45]。一系列政策标志着金融支持从普惠性激励进入了体系化、攻坚化的新阶段，为市场释放了清晰且强有力的信号。我国绿色信贷市场持续增长，并逐渐成为我国绿色金融体系中体系化建设最为完善的领域。

中国人民银行发布数据显示，截至 2024 年四季度末，中国的本外币绿色贷款余额已达 36.6 万亿元，基础设施绿色升级产业、清洁能源产业和节能环保产业贷款余额分别为 15.68 万亿元、9.89 万亿元和 5.04 万亿元^[46]。

中国人民银行北京市分行数据显示，在“碳减排支持工具”“京绿融”“京绿通”等结构性货币政策工具引导撬动作用下，截至 2024 年一季度末，北京市绿色信贷余额达 2.05 万亿元，同比增长 24%，其中绿色建筑贷款余额超 2850 亿元，同比增长 36%^[47]。这一增长不仅源于政策驱动，也得益于绿色金融标准体系的完善。中国《绿色债券支持项目目录（2021 年版）》明确将既有建筑节能及绿色化改造、建筑可再生能源应用、绿色建材生产与使用等全链条活动纳入支持范围，为资本配置提供了权威、统一的技术标尺，有效引导资金流向。

在此框架下，国内建筑行业绿色金融的应用呈现如下特征：

一是支持范围实现了从新建绿色建筑向全产业链条的全局化与精准化覆盖，并且需求侧的政府绿色采购政策以公共市场的稳定需求，强力拉动了供给端的绿色变革；二是产品创新正从初期的“绿色标签”式优惠，加速向与具体环境绩效挂钩的精细化模式演进。例如，境内市场发行的“可持续发展挂钩债券”，已明确将债券利率与“绿色建造施工水平星级项目数量”等可量化、可核验的关键绩效指标达成度绑定，实现了融资成本与企业真实减排贡献的动态联动；三是在绿色金融改革创新试验区形成了可复制推广的成熟模式。如浙江湖州构建了“地方绿色建筑融资评价标准+‘绿贷通’线上对接平台+财政配套激励”的完整服务生态，实现了项目绿色认定与银行信贷审批的深度融合。江西南昌探索“绿色

建筑性能保险+信贷”联动，利用保险风险管理和增信功能，有效破解银行对改造项目技术风险的顾虑，为市场化工具体系补充关键的风险缓释环节。此外，科技赋能正成为探索前沿，物联网、大数据等技术已开始试点应用于建筑能耗实时监测与碳数据可信存证，为未来开发基于实时动态数据金融产品奠定基础。

综上所述，中国绿色金融支持建筑行业转型的路径，是一条在强力政策框架引导下，通过统一标准疏通渠道，依托规模市场驱动创新，并借助地方试点破解具体障碍的系统工程。它与国际实践共同揭示了金融在重塑建筑行业未来中的重要作用，即通过一系列制度与工具设计，将绿色低碳这一长期目标，转化为当下可衡量、可定价、可交易的财务语言与市场行动。

（四）我国绿色金融标准体系进展

为贯彻落实国家“双碳”战略，中国绿色金融标准体系以《绿色债券支持项目目录（2021年版）》、《绿色低碳转型产业指导目录（2024年版）》^[48]及最新的《绿色金融支持项目目录（2025年版）》^[49]为标志，实现了从统一框架、拓展边界到系统集成的快速演进。这一迭代过程为建筑与基础设施行业的低碳转型构建了日益精准、全面的金融支持框架，推动了金融资源从广泛支持向精准配置的深刻转变。

绿色金融标准体系的迭代具体表现在以下三个方面：

一是标准的迭代清晰地指向了统一、量化与可操作的目标。《绿色债券支持项目目录（2021年版）》首次统一了绿色债券的认定标准，为建筑绿色项目提供了基础的“正面清单”。《绿色低碳转型产业指导目录（2024年版）》则关键性地纳入了“转型金融”思维，将支持范围拓展至高碳存量资产的低碳改造。在此坚实基础上，《绿色金融支持项目目录（2025年版）》实现了三大关键跃升，彻底解决了“认绿”标准不一、效益难量化等核心问题。

二是对建筑与基础设施行业支持范围的全景深化。《绿色债券支持项目目录（2021年版）》系统纳入了绿色建筑、节能改造等直接活动；《绿色低碳转型产业指导目录（2024年版）》关键性地包含了既有建筑改造和建材行业转型。《绿色金融支持项目目录（2025年版）》在此基础上，构建了对行业“全产业链、全生命周期”的立体化支持网络。

三是驱动行业形成“数据-金融-产业”价值闭环。标准迭代的最终目的是驱动

市场行为深刻变革。《绿色金融支持项目目录（2025年版）》的施行，将推动行业形成新范式。

综上，从《绿色债券支持项目目录（2021年版）》的“统一框架”、《绿色低碳转型产业指导目录（2024年版）》的“拓展边界”到《绿色金融支持项目目录（2025年版）》的“系统集成”，中国绿色金融标准的迭代不仅是技术文件的更新，更是支持逻辑的战略升级。它为建筑与基础设施行业提供了一套从项目识别、效益量化到金融对接的“全景导航图”和“精密度量衡”，驱动行业加速转向“清晰标准引导、硬核数据支撑、市场资本驱动”的高质量发展新范式，为“双碳”目标在建设领域的实现奠定了坚实的制度基础。

（五）绿色金融赋能建筑行业绿色低碳转型的问题发现

尽管政策与市场热情高涨，但绿色金融要在建筑行业发挥深层、高效的赋能作用，仍面临一系列结构性挑战，其核心在于缺乏金融机构与产业项目之间高效、可信、低成本的“认绿”机制。当前“认绿”机制存在如下主要问题：

一是技术标准与金融标准“语言不通”，导致“认绿”依据模糊。

当前，建筑领域的《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378)^[50]、《既有建筑绿色改造评价标准》(GB/T 51141)^[51]、《近零能耗建筑技术标准》(GB/T 51350)^[52]等技术标准，与金融机构信用风险评估所需的标准体系存在显著断层。前者是“技术措施语言”，侧重于建筑项目技术选项采纳、定性/评分卡式评估、专家主观客观评审等，且标准体系技术复杂、评审与监管流程存在不确定性因素影响；而金融机构需要的是“金融绩效语言”，即能够直接影响项目现金流预测、违约概率评估和资产估值的可量化、可货币化的环境绩效数据（如运营阶段单位面积年化碳减排量、对应的能源成本节约金额）。尽管《建筑碳排放计算标准》(GB/T 51366)^[53]提供了计算方法，但与金融信贷审批流程并未打通。二者的脱节，使得金融机构难以将项目的“绿色属性”精准、一致地转化为差异化的“信用评级”和“风险定价”，往往只能依赖简单的“有无绿色标识”进行粗放判断，影响了资源配置效率。

二是数据基础薄弱与信任缺失，引发“绿色信息不对称”。

高质量、可核证的环境效益数据是绿色金融定价和风险管理的基石。然而，建筑领域，尤其是占全生命周期碳排放比重较大的建材隐含碳和长期运营阶段

能耗碳排放，其监测、计量、核算与披露体系尚不健全，存在不同程度的“数据黑洞”和“信息孤岛”问题。数据质量参差不齐、透明度低、缺乏第三方核证，不仅使精准风险定价成为无源之水，也极大增加了“洗绿”风险（如项目获得设计标识后实际运行能效不达标），影响市场整体信心。

三是评价周期与融资需求存在“时间错配”。

绿色建筑的评价认定通常需要在项目竣工或稳定投运一段时间（常为1-2年）后才能获得。然而，项目开发或改造的融资需求峰值出现在建设前期。这种“先投资，后认绿”的时间错配，导致项目在最需要绿色融资支持阶段，缺乏获得绿色信贷或债券的前置认定依据，一定程度上制约了金融资源的及时注入。金融机构因无法在贷前确认项目的最终绿色性能，往往要求更高的风险溢价或更严格的担保条件，变相提高了绿色项目的融资门槛。

四是环境信息披露不足与效益评估体系缺失。

当前建筑项目在绿色低碳属性方面的信息披露缺乏统一、规范、强制性的要求，环境效益（如碳减排量）的核算方法、核证流程和披露格式未完成统一化。金融机构难以对投融资项目的环境绩效进行有效的投后管理和持续追踪，也无法对环境风险进行动态评估，影响了绿色金融的闭环管理和风险控制效能。同时，缺乏对项目环境效益的长期跟踪，也使得绿色金融的激励作用难以在项目全生命周期中持续发挥。

（六）绿色金融赋能建筑行业绿色低碳转型的破局之钥

破局当前绿色金融赋能建筑行业绿色低碳转型融资困境的路径在于构建一套桥梁性的、以金融需求为核心的建筑行业“认绿”标准体系。

该体系需要具备以下主要特征：

一是将建筑行业技术语言转化为金融市场需要的环境绩效语言，提供精准的量化“认绿”依据，为金融机构的合规审查、授信决策、环境绩效披露和监管报备提供一套标准化的评价指标、方法与等级，彻底解决“语言不通”问题。

二是实现项目全周期金融化管理：通过设计涵“融资前预评价（基于设计）、建设中过程验证、运营后持续核证与披露”的全流程评价机制，有效解决融资时间错配问题，并建立长效的环境绩效追踪与风险预警体系。

三是降低综合“认绿”成本与风险：通过标准化、流程化的评价与信息披露，

大幅降低金融机构的尽职调查成本和监管合规成本。同时，该体系可深度融入 ESG 风险管理框架，帮助金融机构更全面、前瞻地识别和管理项目的环境与社会风险，并通过与保险等工具结合，分散技术风险。

该体系构建的核心方向为：

一是指标设计从“措施导向”转向“绩效导向”：评价核心应从“采用了哪些节能技术”转向“实现了多少可量化、可验证的节能减碳效益”。指标体系需紧密对接《建筑碳排放计算标准》(GB/T 51366)等，重点输出单位面积碳排放强度、综合节能率、可再生能源替代率等关键绩效数据（KPI），并设定明确的基准线和分级阈值。

二是输出成果从“技术报告”升级为“金融摘要”：评价的最终产出不应是复杂的技术文档，而应是一份结构化的、金融友好的“绿色金融信用评估摘要”或“评价凭证”。该文件需明确载明项目的绿色绩效等级（如深绿、中绿、浅绿）、核心量化指标预期值/实测值、对应的环境效益（如碳减排量）、以及潜在风险提示，供金融机构在信贷审批、债券发行、资产估值中直接采信和使用。

三是流程创新实现“前置评价与动态挂钩”：允许在项目设计或融资阶段，基于设计图纸、技术方案和性能承诺进行预评价或条件性认定，并出具临时性评价凭证，以此作为获取绿色融资的初步依据。融资合同（如绿色信贷、可持续发展挂钩贷款）中应设立明确条款，将最终利率优惠、贷款发放与项目竣工后或运营期的绩效核验结果动态挂钩，实现“激励与约束”的闭环管理，确保绿色承诺的兑现。

四是推动国际兼容与互认：在标准制定中，积极吸收 LEED、BREEAM、EDGE 等国际绿色建筑标准体系中与金融对接的成熟经验（如美国 LEED 与绿色债券的关联），探索评价结果与国际主流 ESG 评级体系（如 GRESB）的衔接互认路径，助力中国优质绿色建筑项目吸引和利用全球绿色资本，提升国际竞争力。

（七）《绿色金融支持绿色低碳建筑评价标准》介绍

1、标准立项的背景与意义

面对我国建筑业绿色低碳发展存在巨大投融资需求与我国相对全球绿色金

融投融资比例不足的现状，亟需研究制定绿色金融支持建筑行业绿色低碳转型的评价标准，创新激活市场化融资手段，对建筑项目的绿色低碳性能水平进行可信评价，确保其在减排二氧化碳、节约能源与资源、促进循环经济方面的成效。

绿色金融支持目录所列《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378)、《既有建筑绿色改造评价标准》(GB/T 51141)、《近零能耗建筑技术标准》(GB/T 51350)、《建筑碳排放计算标准》(GB/T 51366)等标准对实施绿色低碳建筑的技术措施以及碳排放量的计算虽均有论述，但对于绿色金融机构如何支持绿色低碳建筑还没有形成统一的评价标准。建筑项目绿色低碳信息的披露与金融机构对于项目绿色低碳属性的认定存在较大差异，在实际执行中存在缺乏精准支持的量化依据。

针对以上绿色金融与绿色低碳建筑的渠道断层，北京中建协认证中心有限公司在中国工程建设标准化协会成功立项《绿色金融支持绿色低碳建筑评价标准》。北京中建协认证中心有限公司作为标准主编单位，联合国家市场监督管理总局认证认可技术研究中心、住房和城乡建设部科技与产业化发展中心、中碳实验室（北京）数字科技有限公司、联合赤道环境评价股份有限公司等单位共同编写该项标准，研究制定评价标准的指标体系，建立绿色金融支持绿色低碳建筑的有效通道，为金融机构提供精准支持的量化依据，引导金融机构投向建筑业，促进建筑业碳达峰与碳中和，实现建筑业绿色低碳转型和高质量发展。

该标准实施目标是成为金融与建筑业间架起的“通途”，期望将建筑绿色低碳性能与金融绿色评级数据有效链接，为金融机构投向绿色低碳建筑提供可靠的标准依循，激活绿色债券、信贷等市场化融资手段，彻底打通资金与项目间的“最后一公里”。

2、标准指标体系

该标准将绿色建筑、近零碳建筑、既有建筑绿色改造等国内标准与 LEED、BREEAM、DGNB、EDGE 等国际标准相结合，在 ESG 框架指引下归类、重组，制定出面向绿色金融支持的绿色低碳建筑评价指标体系，对于准确有效的评价建筑的绿色低碳性能尤为必要。本文采用标准的对比分析法，拟定建筑碳排放、资源节约、污染控制、生态修复为 4 个一级指标，各一级指标下分设

若干二级指标指导项目实施，进而搭建一整套全面且系统的绿色低碳性能指标体系，为建筑项目的评估、绿色金融的支持提供科学依据。

3、标准实施路径探索

绿色金融支持绿色低碳建筑项目的申报主体原则上为建设单位，鼓励设计、施工、运营单位联合申报。由申报主体单位对拟开发建设建筑项目或拟改造存量建筑项目提出融资需求，委托咨询方进行项目申报前技术尽调，对项目绿色低碳属性相关的实施方案和实施目标进行形式审查，包括审查审核项目资料的完备性、准确性、真实性，组织申报主体单位进行评审资料的准备，并出具项目自评估报告。

由咨询方委托项目评审方对项目绿色低碳属性进行专业审查，委托相关领域专家对通过形式审查的项目进行专业审查，并出具评审结果。对于通过专业审查的项目授予项目“认绿”证书。同时，申报主体单位也可委托相应的信用评级机构对企业信用进行综合评级，相关评级结果提交金融机构采信。绿色金融支持绿色低碳建筑评价标准实施流程见图 6-9。

申报绿色金融支持的建筑项目取得的“认绿”证书提交金融机构采信，完成金融机构系统平台备案。金融机构对该申报项目进行投贷综合评估，并核准申报主体单位授信额度，完成与申报主体单位的合同签约。项目进入金融机构监控程序，申报主体单位向金融机构提供项目实施情况报告，金融机构也可以委托第三方机构同步跟进项目实施情况，直至项目执行完毕。

对于实施项目最终未达到绿色低碳性能指标的项目，金融机构可取消授信额度中的优惠利率，退出项目支持。

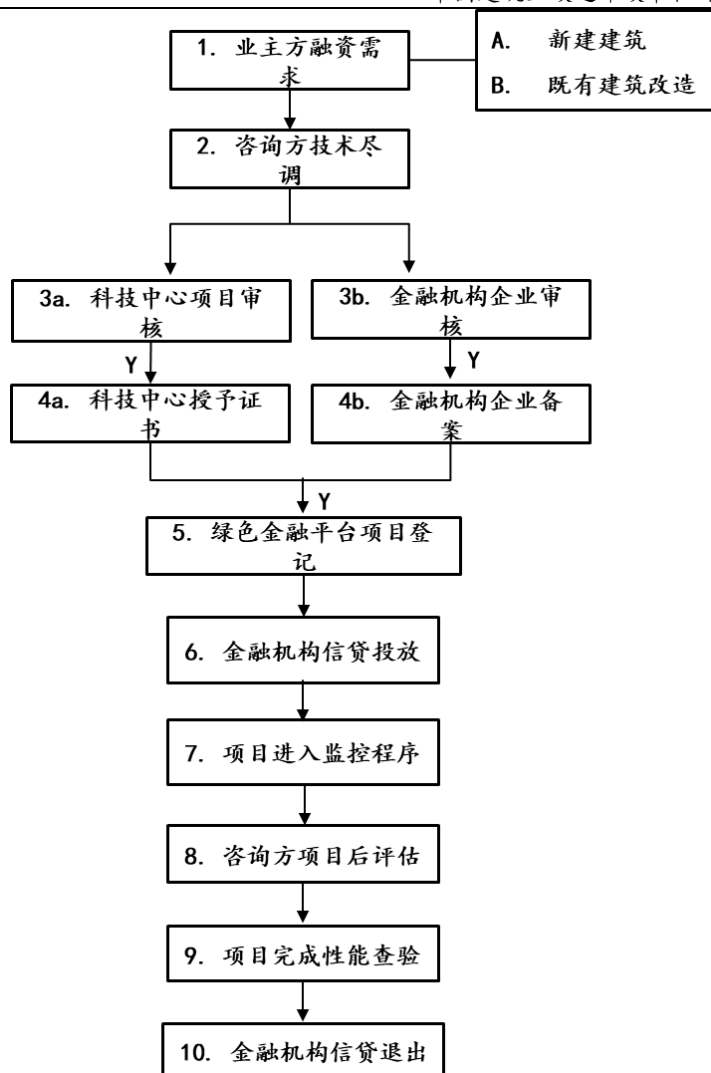


图 6-9 绿色金融支持绿色低碳建筑评价标准实施流程示意图

4、标准实施金融监管

绿色金融的支持方式包括绿色信贷、绿色债券、绿色保险、绿色基金、绿色资产证券化、碳减排支持工具、可持续发展挂钩债券、转型金融支持等。金融机构应结合金融监管政策、地方政策和相关标准的要求，根据不同项目类型、不同评价等级评估项目绿色金融支持可行性，制定实施适宜的绿色金融支持方案。

金融机构对于获得金融支持的项目应实施分类管理的监测评估程序。获得金融支持的项目纳入金融机构的监测评估程序，应按照金融机构约定期限内提交项目继续执行金融支持评估报告。对于监测评估程序执行过程中不达标的项目，金融机构可要求申报企业进行项目整改，如整改完成后仍未达标，金融机

构可执行相关的追缴约定或取消优惠利率。

金融机构建议参照相关政策和标准的要求,定期披露金融机构支持绿色低碳建筑项目实施产生的能源与环境影响,可以对于监测评估程序中达标与不达标的项目进行公示。项目环境信息披露的项目指标应包括综合容积率、碳排放总量、碳排放强度、节水效率、绿色低碳建材利用率等。

（八）绿色金融典型案例分析

案例一：CCER 质押贷款——盘活碳资产，打通融资通道

在国家“双碳”战略驱动下，碳资产开发行业面临将环境权益转化为发展资本的核心需求。北京市首笔 CCER 质押贷款业务，通过“CCER 质押+未来收益权担保+交易所赋能”的复合型融资模式，成功盘活企业存量碳资产，为林业碳汇等绿色项目提供了市场化融资解决方案。

该模式的创新核心在于将企业持有的 CCER 现货及未来收益权，经北京绿色交易所依据历史成交均价进行公允估值后，确立为合格质押物，并在央行征信系统完成质押登记，实现了从“生态资源”到“信贷资源”的关键一跃。为解决金融机构对碳资产价值波动、处置难等风险的顾虑，引入担保公司提供专项增信，形成“质押物冻结+收益权担保”的双重保障，同时由绿色交易所提供估值、登记、冻结等专业服务闭环。这一“银-担-所”协同风控模式，使金融机构敢于向轻资产的碳资产开发企业提供信贷支持。该笔 300 万元贷款全部定向用于林业碳汇项目开发，不仅直接支持了碳汇项目实施，更建立了市场化的激励信号：金融资源依据企业创造可量化环境效益的能力进行配置，形成“开发碳资产—获得融资—扩大开发”的良性循环，加速了生态产品价值向经济价值的转化。

案例二：1.5°C 绩效挂钩贷款——以科学目标驱动建筑脱碳

在建筑行业贡献全球超三分之一能源相关碳排放的背景下，新加坡城市发展集团获得华侨银行 3.382 亿新元“1.5°C 绩效挂钩贷款”。这是一笔将贷款利率与企业年度科学脱碳绩效直接挂钩的转型金融工具，标志着金融资本从支持单体绿色项目升级为激励企业整体投资组合沿着 1.5°C 温控路径进行系统性转型。

该贷款方案的准入前提是必须拥有经科学碳目标倡议（SBTi）验证的、符合 1.5°C 路径的减排目标，覆盖运营、供应链及投资组合，从根本上杜绝“漂绿”风险。贷款协议中，企业达成预先商定的年度脱碳绩效目标（KPIs）是获得

利率优惠的唯一条件，这种动态定价机制将减排从一项成本支出转变为能产生即时财务回报的战略投资。由于 SBTi 目标包含了范围 3（供应链）排放，这笔贷款所激励的行动自然超越企业自身运营边界，推动其在绿色低碳建材、施工流程优化、供应链环境绩效管理等方面采取更积极行动。作为循环信用贷款，其资金可用于再融资、营运资本及一般企业用途，使企业将因绩效达标而节约的利息成本再投资于新的减排技术或绿色资产收购，形成“减排绩效提升—融资成本降低—再投资于减排”的良性循环，全面增强了企业转型战略的财务韧性与执行力。

案例三：绿色建筑认证挂钩贷款——激活既有建筑改造市场

建筑行业深度脱碳的最大难点与潜力在于存量巨大的既有建筑节能改造。瑞安中心获得的 57.5 亿港元可持续发展表现挂钩银团贷款，是大中华区首笔与 IFC Edge 绿色建筑认证直接挂钩的单体建筑融资，通过将贷款利率与获取国际权威认证的量化能效提升目标绑定，为撬动万亿级既有建筑改造市场提供了关键的金融支点。

既有建筑改造长期面临投入高、回报周期长、缺乏公认基准来衡量改造效果等困境，导致金融机构“看不清、算不准、信不过”。该笔贷款的突破在于明确要求瑞安中心必须在五年贷款期内通过改造获得 IFC Edge 认证，并达成超越该认证基准的特定能源节约率。IFC Edge 是世界银行旗下国际金融公司推出的绿色建筑认证体系，提供了一套清晰、量化、国际公认的评估方法论，将复杂的建筑能效水平转化为标准化、可比的“绩效仪表盘”，从根本上解决了信息不对称与度量难题。贷款条款规定，瑞安中心每年需提交可持续发展表现报告，并由 Edge 认证验证其能效提升进度，若年度目标达成即可享受利率折扣。这一机制实现了“绿色投入”与“财务回报”的短期化与显性化，使改造决策从“一项长期且不确定的投资”转变为“一项具有明确年度财务回报的必选项”。该笔银团贷款获得近 1.5 倍超额认购，证明国际资本市场高度认可这种以权威绿色认证为锚的融资结构，为更多单体建筑提供了可复制的融资样板。

案例四：绿色建筑性能保险——弥合设计与运行的性能鸿沟

在建筑行业绿色化转型中，绝大多数获得绿色“设计标识”的建筑，其实际运行能耗与碳排放水平远未达到设计预期，形成巨大的“性能鸿沟”。中华财险

为丰台区青塔村棚户区改造项目出具的绿色建筑性能保险，通过全过程风险评估与金融担保机制，确保绿色承诺从蓝图完整、可靠地转化为实际运营绩效。

截至 2024 年底，获得“绿色运行标识”的建筑项目占比不足 5%，这意味着超过 95%的“绿色建筑”仅停留在设计图纸或竣工节点。这种“漂绿”风险削弱了绿色建筑的市场溢价，也使基于建筑节能量的未来碳资产开发缺乏坚实的数据基底。该保险的核心并非传统的事后损失补偿，而是一种前置的风险减量管理与长期性能担保。保险公司在项目初期便介入，对设计、选材、施工、调试直至运营的全过程进行独立风险评估与监督，将自身利益（降低出险概率）与建筑项目的最终绿色性能深度绑定，极大提升了“绿色承诺”落地的可靠性。保单明确保障建筑达到预定的绿色建筑运行评价星级标准，若未通过运行标识认证或因性能不达标给业主造成损失，保险公司将承担财务赔偿责任。这一设计使开发商必须真正关注建筑的全生命周期性能，而非仅仅满足设计审查。通过保险机制确保建筑达到三星级运行标准，实质上是在提前“认证”该建筑未来将产生高质量、可预测的碳减排量流，为金融机构评估建筑碳资产潜力提供了极高的可信度，成为连接实体建筑减排量与金融化碳资产的关键信用增强工具。

以上案例分别展示了绿色金融在碳资产盘活、建筑脱碳、既有建筑改造、绿色建筑性能保障等关键领域的创新路径。其共性在于：通过标准化、可验证的环境绩效指标与金融工具深度绑定，将长期、不确定的环境收益转化为即时、确定的融资激励，同时引入多方协同的风险分担与信用增强机制，为绿色低碳转型提供了市场化、可复制的解决方案。

第七章 建议与未来展望

一、建筑业企业的转型与行动建议

（一）概述

建筑企业作为国民经济活动的重要参与者，应当重视绿色、低碳转型工作，从技术、人员、生产、管理等各方面实现高质量转型升级，以此来积极响应和践行国家双碳目标，履行建筑企业社会责任、推动建筑业可持续发展。

在“双碳”目标下，传统建筑企业转型为低碳建筑企业，关键在于利用新技术改造提升传统产业，从而促进建筑行业的绿色化。传统建筑企业以资源驱动为主导理念，通过规模化实现盈利，以建筑的建造用能和大规模的能源消耗为主，缺乏考虑环境资源的约束性，建筑总能耗量大，多是“碎片化”产业链的生产方式和粗放式的建造方式。而低碳建筑企业则以绿色化发展为主要目标，以绿色建造为主，核心能力源自绿色建造技术整体集成赋能产业绿色化转型，且技术创新的力度越大，企业可持续性绿色效益越多，建筑企业绿色化转型发展效果也更加显著，并以绿色化服务和产品形态展现。

（二）建筑业企业实现绿色低碳转型的重要任务

1、明确的碳达峰碳中和目标

实现碳达峰碳中和是贯彻新发展理念、构建新发展格局、推动高质量发展的内在要求，是以习近平同志为核心的党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策。央企、国企等企业应顺应时代背景，为稳进推进碳达峰各项工作，应制定明确的碳达峰碳中和目标。包括时间表和减排量等。这有助于企业明确方向，有针对性地制定实施计划。例如中建集团编制出台了《中国建筑集团有限公司碳达峰行动方案》，方案中明确了中建集团的双碳主要目标，以及九大主要任务。

2、建筑全生命周期优化

（1）绿色设计优化

由于我国传统建筑建造模式对于环境及资源利用方面考虑的因素较少，在“双碳”目标背景下，需对建筑设计加入绿色化及节能降碳的要求。建筑企业研发之初需要对建筑物周边环境及资源充分考虑，设计出高匹配性的绿色建造产品。应充分考虑节能和环保的原则。选择环保建材和设备，优化建筑的隔热和保温性能，以减少能源消耗。同时，可以优先采用降低建筑制冷供暖负荷的手段，如地道风、自然采光、采暖分区、自然通风等，以进一步优化建筑的能效。另外，“双碳”目标有力推动数字技术及设计工具与建筑绿色功能研发设计相融合，更有力的实现绿色化与数字化的统一，

（2）绿色建造模式优化

长期以来，资源能耗型建造模式在传统建筑业中始终为主导。基于“双碳”目标的背景，建筑的施工、运营、运输及改造、拆除等，要考虑建筑建造模式绿色化及数字智能化。例如使用绿色建材产品等，以达到控制建造过程中废弃物的排放、提高资源利用率的建造模式。

3、开展节能降碳增效行动

在企业内部，可以构建企业碳排放监管体系，提升企业整体节能降碳监管能力；优化办公场所用能结构，积极成为超低能耗办公场所；还可以对已完成的节能降碳绿色建筑项目开展实施示范工程。

在项目应用上，采用清洁能源，优先选择使用太阳能、风能等清洁能源代替传统的化石燃料。通过安装太阳能光伏板和风力发电设备，减少对传统能源的依赖，从而显著降低碳排放；推广循环经济，积极践行循环经济的理念，优先选择可循环再利用的材料，并在工程结束后进行建筑废弃物的分类和回收利用。这有助于减少资源消耗和环境污染。

4、开展培训提升双碳意识

加强企业员工的双碳意识培训，提高员工的环保意识和技能水平。鼓励员

工积极参与双碳行动，共同推动企业的可持续发展。

5、强化碳排放的监测和管理

建筑企业应建立完善的碳排放监测和管理体系，定期对碳排放情况进行核算和分析，以便及时采取相应的减排措施。通过数据分析，企业可以更准确地了解自身的碳排放状况，并据此制定更有效的减排策略。因此，企业可以申请开展碳盘查来摸底企业自身碳排放量。开展碳管理活动、以使组织能够通过预防、清除、替代或削减碳排放，以及自愿碳减排措施，应对与其活动相关的碳管理风险和机遇，提升碳管理绩效。通过碳管理体系认证，助力企业实现低碳转型和可持续发展，提升企业的市场竞争力，满足政府和市场的环保要求，并为企业决策提供有力支持。

6、绿色供应链的构建

供应商选择与评估：在供应商选择方面，建筑企业应优先考虑那些合规的、具有绿色生产能力的供应商。同时，建立供应商评价体系，对供应商的环境责任和可持续发展能力进行评估，确保供应商在产品质量、环保表现等方面符合企业的要求。先选择绿色环保的材料和设备，降低供应链的碳排放。

推动绿色生产：在生产制造环节，建筑企业应采用节能减排技术，优化生产流程，降低能源消耗和污染排放。同时，鼓励使用可再生资源 and 环保材料，减少对自然资源的依赖和破坏。

优化绿色物流：物流是供应链中不可忽视的一环。建筑企业应建立合理的物流网络，采用节能环保的运输工具，减少物流过程中的碳排放。同时，优化货物包装，减少包装材料的使用，并鼓励使用可回收材料进行包装。

加强监督与持续改进：定期对绿色供应链的实施情况进行监督和评估，发现问题及时改进。同时，建立激励机制，对在绿色供应链管理中表现突出的供应商和员工给予奖励和表彰。

7、碳交易与绿色金融的支持

2020年12月25日由生态环境部部务会议审议通过，自2021年2月1日起

施行《碳排放权交易管理办法（试行）》，为规范碳排放交易市场提供依据；2023 年 10 月以来，生态环境部相继公布《温室气体自愿减排交易管理办法(试行)》以及第一批四类 CCER 项目方法学，基本扫清了 CCER 市场重启的政策和制度障碍，预示着全国 CCER 市场将全面启动。2023 年全国碳排放权交易市场碳排放配额年度成交量 2.12 亿吨，年度成交额 144.44 亿元，日均成交量 87.58 万吨。总体来看，全国碳市场上线运行以来，市场运行健康有序，交易规模逐渐扩大，交易价格稳中有升，企业交易更加积极，市场活力逐步提高。CCER 机制对推动全社会参与碳减排、碳交易、碳中和，落实国家自主贡献，起到了积极作用。积极参与碳交易市场，通过购买和销售碳排放权，实现碳减排的经济激励。同时，利用绿色金融工具和政策，支持企业的双碳目标的实现。

8、加快绿色低碳科技创新

强化技术集成应用研究与成果转化。持续推进开放多元的双碳技术和产品应用模式，形成具有中国建筑特色的双碳产品体系与技术集成应用体系。

双碳人才培养：发现和培养一批科技人才和创新团队，扩大面向实现“双碳”目标的可持续人才队伍。

降低成熟技术造价并推广新技术：通过技术转化、产业本土化、施工做法创新等手段，降低高性能外围护结构等成熟技术的造价，并推广新能源技术应用，如建筑光伏一体化、储能技术、智能充电技术等。这有助于提升建筑能效水平，实现建筑碳中和。

二、建筑业全产业链协同的合作路径与前景展望

（一）概述

建筑业作为国民经济的支柱产业，同时也是能源消耗和碳排放的重点领域，其碳达峰碳中和目标的实现绝非单一企业或环节能够独立完成。行业合作作为整合资源、优化配置、突破技术瓶颈的核心路径，在双碳目标落实进程中具有不可替代的作用。基于建筑业全产业链特点及双碳发展需求，行业合作建议可从以下维度展开。

（二）推动行业合作落实双碳目标的建议

为充分发挥行业合作的作用，加速建筑业双碳目标的实现，需从机制构建、平台搭建、技术创新、政策保障等多方面发力，形成全方位、多层次的合作保障体系。

1、构建跨主体协同机制

由行业协会牵头，联合建设、施工、设计、建材、金融、科研等领域的龙头企业与机构，成立建筑业双碳合作联盟。联盟负责制定合作章程、明确合作目标、协调各方资源，推动形成长期稳定的合作机制。例如，联盟可组织开展联合技术攻关、制定行业低碳标准、搭建碳交易服务平台等。

2、搭建多元化合作平台

（1）建设建筑碳排放在线监测与共享平台

由政府部门或行业协会主导，整合大数据、物联网等技术，构建覆盖建筑全生命周期的碳排放在线监测平台。平台实时采集建材生产、施工、运维等环节的碳排放数据，实现数据跨企业、跨部门共享。同时，平台提供碳核算、碳核查、碳交易等增值服务，为行业合作提供数据支撑。

（2）打造技术交流与成果转化平台

定期组织行业峰会、技术论坛、产学研对接会等活动，为企业、科研院校提供技术交流与合作的渠道。建立低碳技术成果库，整合国内外先进的低碳技术与专利，推动技术成果的转化与应用。例如，平台可搭建技术需求方与供给方的对接桥梁，促进低碳建材、绿色施工技术等的落地应用。

（3）构建绿色供应链合作平台

以龙头施工企业或建材企业为核心，搭建绿色供应链合作平台，整合上下游企业资源，推行绿色采购、绿色生产、绿色运输等全链条低碳管理模式。平台可制定绿色供应链评价标准，对参与企业进行分级认证，引导供应链各环节企业加强低碳合作。

3、聚焦关键技术联合攻关

（1）确立重点合作攻关方向

结合建筑业双碳目标需求，聚焦低碳建材研发、绿色施工技术创新、建筑节能与可再生能源利用、建筑废弃物资源化利用、碳捕捉与封存（CCUS）等关键技术领域，组织企业与科研院校开展联合攻关。例如，联合研发低碳水泥、高性能混凝土等建材，降低建材生产环节碳排放；研发模块化施工、装配式建筑等技术，减少施工过程能源消耗。

（2）加大产学研合作力度

鼓励企业与高校、科研院所建立长期合作关系，共建重点实验室、工程技术研究中心等创新平台，实现人才、技术、资金等创新资源的深度融合。企业提供研发资金与市场需求导向，科研院校提供技术支撑与人才保障，加速技术研发与成果转化。例如，建筑企业与高校合作开展智慧建筑节能系统研发，实现建筑运维环节的精准减碳。

（3）推动技术标准协同统一

联合行业协会、企业、科研机构等力量，共同制定低碳建筑材料、绿色施工、碳核算等方面的行业标准与地方标准，推动形成与国际接轨的标准体系。通过标准协同，减少合作过程中的技术壁垒，提升低碳技术的通用性与适用性。

4、强化政策与金融支撑

（1）完善政策引导机制

政府部门应出台针对性的政策措施，鼓励行业合作。例如，对开展低碳技术联合攻关、绿色供应链合作的企业给予税收减免、财政补贴；将行业合作情况纳入企业双碳考核评价体系，强化政策约束与激励。同时，加强碳市场机制建设，扩大碳市场覆盖范围，将建筑业纳入碳交易体系，通过市场机制倒逼企业加强合作减碳。

（2）加大绿色金融支持力度

引导金融机构创新绿色金融产品与服务，为建筑业行业合作项目提供多元化资金支持。例如，推出绿色信贷、绿色债券、绿色基金等产品，支持低碳建

材研发、绿色建筑项目建设等合作项目；鼓励金融机构开展碳期货、碳期权等碳金融衍生品业务，帮助企业规避碳价格波动风险。

（3）加强行业监管与服务

政府部门应加强对建筑业双碳合作项目的监管，确保合作项目落到实处、取得实效。同时，优化政务服务，简化合作项目的审批流程，为企业合作提供便利条件。行业协会应发挥桥梁纽带作用，加强行业自律，规范合作行为，维护合作秩序。

5、加强人才培养

企业、高校、职业院校应加强合作，建立“校企合作、产教融合”的人才培养模式。高校开设低碳建筑相关专业，培养高层次技术研发人才；职业院校开展技能培训，培养一线施工与运维技术人才；企业为学生提供实习实训基地，实现人才培养与市场需求的无缝对接。同时，加强对现有从业人员的双碳知识与技能培训，提升行业整体人才素质。

三、国际合作与技术共享

国际合作对全球低碳建筑发展具有重要意义。通过跨国合作，低碳建筑技术和创新成果得以广泛共享，促进了全球范围内的绿色建筑技术应用。国际合作为技术转移、知识共享提供了平台，发达国家的低碳技术得以向发展中国家转移，同时也为发达国家提供了发展中国家的实践经验。此外，跨国科研机构和企业共同研发新型低碳建筑材料和智能节能系统，推动了技术的进步。

在标准化方面，国际合作提升了涉碳建筑评估体系的知名度（如 LEED、BREEAM 和 DGNB 等），为全球低碳建筑提供了标准化的评估框架。各国建筑项目能够在符合低碳要求的基础上，可以获取各界广泛认可的低碳证明，进而增强了建筑企业的市场竞争力，客观上推动低碳建筑在全球的普及。未来，国际互认或统一的低碳建筑评价标准将是行业关注的新趋势。

在金融支持方面，国际合作促进了低碳金融的蓬勃发展，推动了资金在全球范围内流向低碳建筑项目。通过绿色债券、绿色贷款等金融工具，跨国企业

和投资者可以为低碳建筑提供资金支持，降低融资成本，促进绿色建筑的可持续发展。

国际合作还助力各国政府在低碳建筑政策和法规方面的对接，通过联合制定政策和法规，加强了各国在低碳建筑领域的协作，促进了全球建筑行业的绿色转型。此外，通过共享最佳低碳建筑案例，互相引进建筑低碳技术，展示了低碳建筑在全球普及的可行性与减排成效。

相信随着国际合作的深入推进，低碳建筑将加速普及，全球建筑行业将迈向更加高质量、可持续和低碳的未来！

参考文献

- [1]王灿,蔡闻佳,谢璨阳,等.《2025 全球碳中和年度进展报告》[EB/OL].清华大学碳中和研究院,清华大学环境学院,
https://www.icon.tsinghua.edu.cn/__local/4/6C/2E/B8F269F9ABA2A584CCE2F6744B2_139D9B1D_1469ED3.pdf,2025-9-26/2025-12-18.
- [2] World Meteorological Organization. State of the Global Climate 2024[R]. Geneva: WMO, 2025. (WMO-No. 1368).
- [3] World Meteorological Organization. State of the Climate Update for COP30[R]. Geneva: WMO, 2025.
- [4] World Meteorological Organization. WMO Global Annual to Decadal Climate Update (2025-2029) [R]. Geneva: WMO, 2025.
- [5]《中国气候变化蓝皮书（2025）》[EB/OL].中国气象局,
https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxxw/2011xqxyw/202506/t20250630_7175137.html, 2025-06-30/2025-12-17.
- [6] United Nations Environment Programme (2025). Emissions Gap Report 2025: Off target – Continued collective inaction puts global temperature goal at risk [Olhoff, A., chief editor; Lamb, W.; Kuramochi, T.; Rogelj, J.; den Elzen, M.; Christensen, J.; Fransen, T.; Pathak, M.; Tong, D. (eds)]. Nairobi.
<https://doi.org/10.59117/20.500.11822/48854>.
- [7]李超.IPCC 第六次评估报告第一工作组报告系列解读②:未来极端天气气候风险加大[EB/OL].中国气象局,
https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxxw/2011xqxyw/202110/t20211021_586219.html, 2021-10-21/2025-01-13.
- [8]隋广军,郁清漪,唐丹玲.全球气候变化治理制度变迁的逻辑:路径、动力和效能[J].改革,2023,(07):57-72.
- [9] United Nations Environment Programme (2025). Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025: Not just another brick in the wall – The

solutions exist. Scaling them will build on progress and cut emissions fast. Paris.
<https://wedocs.unep.org/20.500.11822/47214>.

[10] 中国建筑节能协会建筑能耗与碳排放数据专委会. 中国城乡建设领域碳排放研究报告（2025）[R]. 北京, 2025.

[11] HOCHTIEF. HOCHTIEF Sustainability Plan 2025[EB/OL]. HOCHTIEF,
<https://www.hochtief.com/sustainability/sustainability-plan-2025>.

[12] 中国建筑节能协会建筑能耗与碳排放数据专委会. 中国城乡建设领域碳排放研究报告（2024）[R]. 重庆, 2024.

[13] 关于公开征求《全国碳排放权交易市场覆盖水泥、钢铁、电解铝行业工作方案（征求意见稿）》意见的函[EB/OL]. 中华人民共和国生态环境部,
https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk06/202409/t20240909_1085452.html,
2024-09-09/2025-01-17.

[14] 水泥行业即将纳入碳交易市场，对于水泥企业有何影响？[EB/OL]. 搜狐网,
https://news.sohu.com/a/815558489_121028209, 2024-10-11/2025-01-17.

[15] 肖青. 钢铁企业碳排放核算与碳减排技术探讨[J]. 冶金经济与管理, 2024, (06): 10-13.

[16] 林欣璇. “双碳”目标下我国钢铁工业出口隐含碳研究[J]. 商展经济, 2025, (01): 80-83. DOI: 10.19995/j.cnki.CN10-1617/F7.2025.01.080.

[17] 钢铁行业碳达峰及降碳行动方案成型[EB/OL]. 中国经济网,
http://www.ce.cn/cysc/stwm/gd/202103/30/t20210330_36422068.shtml, 2021-03-30/2025-01-17.

[18] 重磅发布 | 建材工业“十四五”发展实施意见[EB/OL]. 中国建筑材料联合会,
<http://www.cbmf.org/c/2022/09/06/12672.shtml>, 2022-09-06/2025-01-17.

[19] 智库观点 | 徐伟涛：木结构建筑在固碳减排中大有可为——徐伟涛主任木结构领域访谈[EB/OL]. 中林碳服网, <http://www.cfthcbs.com/nd.jsp?id=1024>, 2023-11-17/2025-01-17.

[20] 市场监管总局办公厅 住房和城乡建设部办公厅 工业和信息化部办公厅关于加快推进绿色建材产品认证及生产应用的通知[EB/OL]. 国家认证认可监督管理委员会,

https://www.cnca.gov.cn/zwxx/tz/2020/art/2020/art_814164eac96f451db0f40177ec3d4162.html, 2020-08-03/2025-01-17.

[21] 市场监管总局 住房和城乡建设部 工业和信息化部关于发布绿色建材产品分级认证目录（第二批）和第二届绿色建材产品认证技术委员会成员名单的公告 [EB/OL]. 国家市场监督管理总局,

https://www.samr.gov.cn/zw/zfxxgk/fdzdgknr/rzjgs/art/2024/art_e01acf8526104cd791a7e3de9e0c6f99.html, 2024-07-31/2025-01-17.

[22] T/CECS 10025-2019,《绿色建材评价 预制构件》[S].

[23] 我国首条百辆氢能重卡示范线在保定投运[J].上海节能,2021,(08):858.

[24] 建筑全生命周期低碳探索：系统性、数字化和景观碳汇[EB/OL].中新经纬, <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1721824262521190374&wfr=spider&for=pc>, 2022-01-13/2025-01-17.

[25] 全新智能绿色：中国第四代住房悄然崛起[EB/OL].中国改革报, http://www.cfgw.net.cn/epaper/content/202010/14/content_31003.htm, 2020-10-14/2025-01-17.

[26] 垂直花园大楼 澳大利亚风光回眸[EB/OL].搜狐网, https://www.sohu.com/a/373617396_120471538, 2020-02-17/2025-01-17.

[27] 《绿色发展潮起 水泥行业碳减排在行动》，韩彦峰,中国水泥网, 2024.02.04.

[28] 《既有公共建筑运行碳排放量换算与碳交易现状分析》，张晓冬、高喜玲等, 中国设备工程 2022.12（上）.

[29] 上海市生态环境局关于印发《上海市纳入 2023 年度碳排放配额管理单位名单》和《上海市 2023 年度碳排放配额分配方案》的通知,2024 年 2 月.

[30]KR.日本的“联合抵换额度机制”[EB/OL].(2023-12-18)[2026-03-18].Climate Corner. <https://mp.weixin.qq.com/s/hXeXEF2VxHuhhX9eMQEsrg>.

[31] 生态环境部,住房和城乡建设部.温室气体自愿减排项目方法学 既有公共建筑围护结构与供暖通风空调系统能效提升（CCER-06-001-V01）[S]. 2025-12-23.

[32] 梁传志.建筑领域 CCER 方法学发布,推动建筑节能降碳改造[EB/OL]. 中华人民共和国生态环境部, http://mee.gov.cn/zcwj/zcjd/202512/t20251227_1139127.shtml, 2025-12-27/2026-03-

18.

[33] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50189-2015 公共建筑节能设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.

[34] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 55015-2021 建筑节能与可再生能源利用通用规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.

[35] 住房和城乡建设部, 国家发展改革委. 城乡建设领域碳达峰实施方案[Z]. 2022.

[36] 国务院, 国家发展改革委, 住房城乡建设部等. 加快推动建筑领域节能降碳工作方案（国发〔20XX〕XX号）[Z]. 20XX.

[37] 中国人民银行, 财政部, 发展改革委, 环境保护部, 银监会, 证监会, 保监会. 关于构建绿色金融体系的指导意见（银发〔2016〕228号）[Z]. 2016.

[38] 绿色金融创新研究课题组. 2025年绿色金融创新研究报告[R]. 2025.

[39] 中国人民银行, 国家发展和改革委员会, 中国证券监督管理委员会. 绿色债券支持项目目录（2021年版）（银发〔2021〕96号）[Z]. 2021-04-02.

[40] 中央国债登记结算有限责任公司. 中国绿色债券白皮书[R]. 北京: 中央结算公司, 2024.

[41] 中央国债登记结算有限责任公司. 中国绿色债券市场发展质量评价白皮书（2025）[R]. 北京: 中央结算公司, 2025.

[42] 中诚信绿金. 中国绿色债券市场发展报告（2025）[R]. 2025.

[43] 国家金融监督管理总局. 关于推动绿色保险高质量发展的指导意见（金规〔2024〕5号）[Z]. 2024.

[44] Climate Bonds Initiative. 2019年全球绿色债券发行报告[R]. 伦敦: CBI, 2020.

[45] 中国人民银行, 国家发展改革委, 工业和信息化部, 财政部, 生态环境部, 金融监管总局, 中国证监会. 关于进一步强化金融支持绿色低碳发展的指导意见（银发〔2024〕70号）[Z]. 2024.

[46] 中国人民银行. 2024年四季度金融机构贷款投向统计报告[R/OL]. 中国人民银行, <http://www.pbc.gov.cn>, 2025-01.

[47] 中国人民银行北京市分行. 2024年一季度北京市货币信贷统计数据报告[R/OL]. 中国人民银行北京市分行, <http://beijing.pbc.gov.cn>, 2024-04.

[48] 国家发展改革委, 工业和信息化部, 自然资源部, 生态环境部, 住房城乡建设

- 部, 交通运输部, 中国人民银行, 金融监管总局, 中国证监会, 国家能源局. 绿色低碳转型产业指导目录（2024年版）（发改环资〔2024〕165号）[Z]. 2024-02-02.
- [49] 中国人民银行, 金融监管总局, 中国证监会. 绿色金融支持项目目录（2025年版）[Z]. 2025-06-27.
- [50] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T 50378-2019 绿色建筑评价标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [51] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T 51141-2015 既有建筑绿色改造评价标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [52] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T 51350-2019 近零能耗建筑技术标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [53] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T 51366-2019 建筑碳排放计算标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.

