



碳达峰碳中和蓝皮书

(2025 年)

工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组
中国互联网协会网络绿色发展工作委员会
2025年3月

版权声明

本蓝皮书版权属于工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组和中国互联网协会网络绿色发展工作委员会，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本蓝皮书文字或者观点的，应注明“来源：工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组和中国互联网协会网络绿色发展工作委员会”。违反上述声明者，编者将追究其相关法律责任。

参编单位（排名不分先后）：中国信息通信研究院、国家电网有限公司、中国电信集团有限公司、许继集团有限公司、河钢数字技术股份有限公司、北京盈碳科技发展有限公司、软通动力信息技术（集团）股份有限公司、格创东智科技有限公司、罗克韦尔自动化、中国科学院空天信息创新研究院、北京泰尔英福科技有限公司、上海易碳数字科技有限公司、江苏擎天工业互联网有限公司、陕西能碳宝科技有限公司、中化能科碳资产运营有限公司、湖州新能源云碳中和研究院、上海智洋数能科技有限公司、北京建谊集团、鲲鹏智慧健康科技（深圳）有限公司、徐工汉云技术股份有限公司、中国联合网络通信集团有限公司、南京旗云中天科技有限公司、罗克佳华科技集团股份有限公司、中海华壹科技、中电科普天科技股份有限公司、普天通信有限责任公司

前 言

双碳战略目标的实现是一项跨领域、多维度的系统工程，涵盖战略规划、政策法规、技术创新与产业转型等多重挑战。自国家双碳战略实施以来，政产学研各界积极探索实践，但整体进展滞后于预期，根源在于行业认知碎片化、实施路径不清晰、落地抓手缺位——究其根源，既有系统性知识图谱的缺失，亦缺乏全景式行业洞察与可复用的方法论支撑。为此，工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组联合中国互联网协会网络绿色发展工作委员会，凝聚产业生态合力，组织 30 余家企业和科研院所，系统梳理 2024 年前后国内外双碳发展态势，跟踪政策动向与技术创新方向，提炼规律性认知，构建兼具理论深度与实践价值的体系化框架，为产业界提供可参考的行动坐标。

本蓝皮书作为双碳领域阶段性研究成果，虽经严谨编撰仍难免疏漏，恳请各界不吝指正；文中数据皆引自政府官网、国际组织报告、相关企业年报、官方公告等公开披露的信息，因统计口径差异或信息更新延迟可能存在一定误差，尚祈各界同仁理解包涵。研究团队将持续跟踪产业动态，滚动更新研究成果，通过蓝皮书版本迭代为双碳进程注入持续动能。

目 录

版权声明	1
前 言	2
一、 综述：碳达峰碳中和在探索中砥砺前行	1
（一） 国际双碳战略动态调整，气候与政治经济博弈交织	1
（二） 我国双碳政策密集出台，行业和地方积极探索	3
（三） 能源结构转型深入推进，清洁能源消费占比稳步提升	6
（四） 全球最大碳市场运行平稳，市场活跃度有待提升	8
（五） 产品碳足迹倒逼制造业向新能源富集区转移	9
（六） 巨头积极打造绿色低碳服务能力，谋求形成新优势	10
（七） 我国新能源企业产能先进峥嵘初现，海外发展瞩目	11
（八） 多举措应对 AI 和大模型需求快速增长对能源的压力	13
（九） 我国循环经济仍需加强，废弃物循环利用体系亟待建立	14
二、 场景：政府、行业、企业、公众积极拥抱碳中和	16
（一） 各级政府多措并举落实双碳战略	17
（二） 重点行业多环节技术创新驱动低碳转型	19
（三） 能碳双管打造零碳/近零碳园区	36
（四） 龙头企业与发达地区引领碳足迹管理体系建设	38
（五） ESG 披露由选答题变必答题，重塑企业可持续发展范式	39
（六） 碳普惠机制创新，从行为量化到生态共建的全民低碳实践	41
三、 产业：碳达峰碳中和相关技术产业蓄势待发	42
（一） 新能源技术推动能源结构重大转型	43
（二） 绿色材料和工艺驱动高耗能工业深度脱碳	45
（三） 数字化+AI 深度赋能制造业节能管碳	47
（四） 碳监测和碳计量领域产学研机构各显其能	49
（五） 产品碳足迹专业技术服务体系加速构建	51
（六） 第三方 ESG 服务进入发展黄金期	53
（七） 碳市场和碳金融形成多元化服务格局	55
（八） 强化区域碳中和顶层设计统筹推进双碳实施	57
四、 展望：绿色低碳成为发展引擎和新质生产力典型代表	58
（一） 工业绿色化成为新型工业化破局的关键引擎	58
（二） 绿色低碳成为区域经济竞速的核心赛道	59
（三） 数字化绿色化协同发展相互促进效应倍增	59
（四） 碳治理国际化从被动应对转向主动布局	60
（五） 产业低碳转型正从局部优化升维至全链重构	60
（六） 负碳技术从补充选项跃升为碳中和时代战略必争之地	61

图目录

图 1	省级双化协同系统架构.....	18
图 2	BIM 装配式装修示意图.....	28
图 3	A 股独立 ESG 报告披露数量和披露率（数据来源：Wind）.....	40
图 4	A 股按行业独立 ESG 报告披露率（数据来源：Wind）.....	40
图 5	A 股上市公司 Wind ESG 评级分布（数据来源：Wind）.....	55

表目录

表 1	2024 年全局性主要双碳政策列表.....	3
表 2	2024 年部委联合制定主要实施方案、意见列表.....	4
表 3	双碳最佳实践能效标杆示范厂.....	23

一、综述：碳达峰碳中和在探索中砥砺前行

当前，全球经济复苏承压，迈入深度调整与结构性变革交织的新周期。可持续发展理念加速重构全球治理体系，气候行动跃升为多边议程的核心命题。传统能源系统面临供需矛盾加剧与气候危机持续升级的双重挑战，绿色低碳转型成为国际共识性突围方向。本章通过全景扫描全球双碳政策演进、技术迭代、产业重构及市场博弈，聚焦前沿热点并剖析底层逻辑，为应对变局提供系统性洞察。

（一）国际双碳战略动态调整，气候与政治经济博弈交织

全球气候变化推动各国加速气候治理升级。IPCC（联合国气候机构）第六次评估报告（2023）指出，全球温升已达 1.1°C 以上，极端天气经济损失年均超 3000 亿美元，迫使各国进入减碳政策“超频升级”周期。欧盟通过《净零工业法案》明确 2040 年减排 90% 目标，并计划在 2025 年审议是否提升至 95%，同步要求航运业 2030 年使用可持续燃料占比达 6%；日本修订《绿色转型推进战略》，计划通过碳循环冶金技术实现钢铁业 2050 年碳中和，并发行 20 万亿日元转型债券支持传统产业升级；加拿大《碳管理战略》计划 2035 年通过 CCUS 技术实现年封存 1500 万吨 CO_2 ，并设立 50 亿加元基金支持碳捕集商业化；这一轮全球政策迭代表明，碳中和竞赛已从减排目标比拼转向负碳技术主导权争夺，各国正通过立法强制、资本杠杆与产业联盟构建新型气候治理壁垒，重塑全球经济秩序。

双碳政策加码实施促进全球新能源产业高速发展。国际能源署（IEA）《2024 年全球能源投资报告》显示，2024 年全球清洁能源投资突破 2.4 万亿美元（约为化石能源投资的 2.5 倍），技术突破与地缘博弈双重驱动下，各国竞速布局未来能源主权：美国以《通胀削减法案》升级版为杠杆，向 18 个州的 32 个新能源项目追加 50 亿美元拨款，重点支持固态电池、钙钛矿光伏等前沿技术产业化，构建本土化供应链并创造 1.8 万个高技能岗位；德国实施《国家氢能战略 2.0》，将 2030 年电解氢目标从 10GW 上调至 15GW，投入 150 亿欧元建设输氢管网并启动全球首个工业级“绿氢期货”市场；日本通过《蓝色能源法案》加速漂浮式海上风电商业化，2024 年投运全球最大 16MW 样机并设立 20 亿美元专项基金突破叶片材料技术，目标 2035 年装机达 30GW；中国则以“沙戈荒”大基地、深远海风电等超级工程为牵引，2024 年新增可再生能源装机超 350GW（占全球新增 60%），

风光发电量占比突破 17.5%，全产业链就业规模逾 500 万人。这一轮以“绿电替代-负碳技术-循环经济”为内核的产业爆发，正重塑全球能源地缘格局并为碳中和进程注入确定性动能。

地缘政治博弈与经济复苏压力引发全球碳中和进程震荡。2024 年多国政策呈现战略回摆：美国特朗普政府重启后签署《美国能源独立行政令》，正式启动退出《巴黎协定》程序（需一年过渡期），并冻结《清洁电力计划》等 15 项减排法规，导致其 2030 年减排目标从 50%下调至 35%；欧盟受能源安全焦虑加剧影响，德国联邦议院否决《可再生能源法》修正案（2035 年 100%绿电目标落空），转而通过《煤电应急法案》延长 12 座燃煤电厂运营至 2038 年，荷兰批准新建 4 座 LNG 接收站并放宽天然气田开采限制；英国将燃气锅炉淘汰期限从 2035 年延至 2040 年，同步削减电动汽车购置补贴；澳大利亚发布《关键矿产战略》大幅放宽煤矿审批，2024 年煤炭出口量逆势增长 8.2%，可再生能源投资占比跌至能源总预算的 19%。这种集体性政策倒退已产生连锁反应——全球碳价体系出现割裂，发展中国家清洁技术引进进程延缓，国际气候治理陷入“高承诺-低执行”的信任危机。深层次矛盾在于，碳中和目标与短期经济利益的结构性冲突在能源通胀周期中被急剧放大，政治短视正侵蚀《格拉斯哥气候公约》奠定的多边协作根基。

欧美绿色贸易壁垒加速升级，对中国高碳产业链形成系统性压制。欧盟《电池与废电池法规》实施细则于 2024 年 6 月更新，将碳足迹声明门槛提前至 2025 年 1 月（原 2025 年 8 月），并新增“电池关键原材料供应链 ESG 尽职调查”条款，要求 2028 年前锂、钴等材料 70%来自经认证的低碳矿区（中国当前占比不足 30%）；碳关税（CBAM）过渡期于 2024 年 12 月结束前，欧盟议会通过修正案，将征收范围从钢铁、铝等 6 类扩展至机械部件（含电机、齿轮箱）、合成氨及部分塑料制品，并设定 2027 年出口产品隐含碳排放量不得高于欧盟同类产品 15% 的硬性约束，中国钢铁企业为达标需额外承担每吨 120 欧元（当前中欧碳价差约 85 欧元）的成本溢价，预计对欧出口份额将缩减 20%-30%。美国《清洁竞争法案》（CCA）虽未正式立法，但 2024 年 10 月美商务部启动“气候倾销调查”，对中国光伏组件、电解铝等产品征收临时性“碳边境调节费”（税率 4.6%-7.2%），并联合 G7 国家推进“碳俱乐部”认证互认，进一步挤压中国高碳产品国际市场

空间。深层冲击在于，中国出口导向型产业被迫加速“绿色断链”——头部企业三年内需投入至少 8%营收用于碳足迹管理体系建设，而中小型供应商因无力承担核查成本面临订单流失。此轮博弈标志着全球贸易规则从“关税壁垒”向“碳壁垒”的范式迁移，倒逼中国制造向“零碳竞争力”跃迁。

（二）我国双碳政策密集出台,行业和地方积极探索

双碳政策体系加速构建，全面助力经济社会绿色高质量发展。在国务院统筹引领下，国家发展改革委、生态环境部、工信部、住建部等多部门协同发力，央地联动形成政策矩阵，围绕双碳战略纵深推进，构建起多维立体的政策框架。立足经济社会系统性绿色变革，通过健全碳排放双控制度、强化数字技术赋能绿色转型等创新机制，加速构建资源集约型空间格局、培育绿色低碳产业体系、革新清洁化生产模式和倡导简约适度生活方式，推动我国生态文明建设向更深层次、更广维度迈进。

表 1 2024 年全局性主要双碳政策列表

时间	相关政策	主要内容
2024 年 3 月	国务院印发《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》	实施设备更新、消费品以旧换新、回收循环利用、标准提升四大行动，大力促进先进设备生产应用，推动先进产能比重持续提升，推动高质量耐用消费品更多进入居民生活，畅通资源循环利用链条，大幅提高国民经济循环质量和水平。
2024 年 7 月	中共中央 国务院印发了《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》	指出协同推进降碳、减污、扩绿、增长，深化生态文明体制改革，健全绿色低碳发展机制，分阶段提出了 2030、2035 年发展目标。
2024 年 8 月	国务院办公厅印发《加快构建碳排放双控制度体系工作方案》	要求将碳排放指标及相关要求纳入国家规划，明确了“十五五”时期要建立强度控制为主、总量控制为辅的碳排放双控制度，建立碳达峰碳中和综合评价考核制度，强调要如期实现碳达峰目标。
2024 年 8 月底	中央网信办、国家发展改革委、工信部等九个部门印发《数字化绿色化协同转型发展实施指南》	提出了“323”总体框架，指出要发挥政府、行业协会和企业三类主体作用，加快数字产业绿色低碳发展和以数字技术赋能九个重点领域的绿色化转型的两大发力方向，要积极开展双化协同基础能力、融合技术体系、融合产业体系三方面布局。

部委形成政策合力，系统部署减污降碳协同治理工作。协同增效是积极稳妥推进碳达峰碳中和的重要任务举措，2024 年初，全国生态环境保护大会对推动减污降碳协同增效作出战略部署，要求开展多领域、多层次减污降碳协同创新试点，随后出台的《中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》进一步明确了减污降碳协同增效的相关举措和安排。此后，生态环境部、工信部、国家发展改革委、财政部等多个国家部委纷纷联合制定政策，部署了源头防控、突出重点领域、开展模式创新、优化环境治理等任务分工，从监管、制度、标准、能力方面形成合力，系统推进减污降碳扩绿增效相关领域工作落实。

表 2 2024 年部委联合制定主要实施方案、意见列表

时间	相关政策	主要内容
2024 年 7 月	生态环境部、工信部、国家发展改革委《关于建立碳足迹管理体系的实施方案》	为加强碳足迹的管理，2024 年 6 月等多部门联合印发，拓展推广产品碳足迹应用场景，推动重点行业企业先行先试，形成推广产品碳足迹合力和共建、共担、共享工作格局。
2024 年 8 月	国家发展改革委、工信部、财政部等多部委印发《关于统筹节能降碳和回收利用加快重点领域产品设备更新改造的指导意见》	统筹节能降碳和回收利用，加快重点领域产品设备更新改造，对加快构建新发展格局、畅通国内大循环、扩大有效投资和消费、积极稳妥推进碳达峰碳中和具有重要意义。
2024 年 8 月	国家发展改革委、市场监管总局、生态环境部联合发布《关于进一步强化碳达峰碳中和标准计量体系建设行动方案（2024—2025 年）的通知》	提出要发布产品碳足迹量化要求通则国家标准，统一具体产品的碳足迹核算原则、核算方法、数据质量等要求，加快研制新能源汽车、光伏、锂电池等产品碳足迹国家标准，服务外贸出口新优势，同时开展电子电器、塑料、建材等重点产品碳足迹标准研制等。
2024 年 9 月	市场监管总局等四部门印发《关于开展产品碳足迹标识认证试点工作的通知》	通过开展试点，引导政府、行业、企业等各层级力量广泛参与产品碳足迹标识认证工作。优先聚焦市场需求迫切、外贸压力严峻、减排贡献突出、数据收集完整、产业链供应链带动明显的锂电池、光伏产品、钢铁、纺织品、电子电器、轮胎、水泥、电解铝、尿素、磷铵、木制品等产品。

重点行业政策走深走实，广泛赋能核心领域深度脱碳。在能源电力领域，《关

于加强电网调峰储能和智能化调度能力建设的指导意见》、《关于加强绿色电力证书与节能降碳政策衔接 大力促进非化石能源消费的通知》等一批政策提升电力系统调节能力，加快构建新型电力系统，深入推进能源消费革命。在工业制造业领域，2023-2024 年，《工业领域碳达峰碳中和标准体系建设指南》《加快传统制造业转型升级》《关于推动能源电子产业发展的指导意见》《绿色工厂梯度培育及管理暂行办法》《绿色建材产业高质量发展实施方案》等政策纷纷出台，在印染、纺织、炼油、锅炉、合成氨、电石等行业制定了转型升级实施方案、规范条件，在铜冶炼、铅冶炼、电解锰、烧碱、聚氯乙烯行业搭建了清洁生产评价指标体系，出台了石化、钢铁、建材、有色、汽车、机械、电力设备、轻工业等系列性稳增长工作方案，工业制造业领域双碳政策、标准、评价得到深化细化。

涉碳产业政策推陈出新，助力绿色发展增收增效。通过健全林草碳汇计量监测评估体系，积极推进海洋碳汇标准体系建设，制定《生态保护补偿条例》等政策合力，促进生态碳汇基础不断夯实。在绿色金融领域，《关于进一步强化金融支持绿色低碳发展的指导意见》提出，未来 5 年内基本建成国际领先的金融支持绿色低碳发展体系，金融基础设施、环境信息披露、风险管理、金融产品和市场、政策支持体系及绿色金融标准体系不断健全。在全国碳排放权交易市场（简称碳市场）建设方面，国务院于 2024 年 5 月颁布《碳排放权交易管理暂行条例》，明确了碳市场监督管理体制、构建碳排放权交易管理基本制度框架、防范和惩处碳排放数据造假行为等内容，为保障全国碳市场健康运行提供法律依据。

先进适用性双碳技术得到政策支持，绿色低碳创新机制持续完善。为进一步推动和落实《科技支撑碳达峰碳中和实施方案》，大力支持先进低碳技术推广应用，科技部等相关部委联合制定了《国家重点低碳技术征集推广实施方案》，明确征集和推广 5 大重点方向 16 类低碳技术，包括能源绿色低碳转型、工业等重点领域降碳、储碳固碳、数智赋能、非二氧化碳减排等技术类型。此外，发改委统筹组织实施“绿色低碳先进技术示范工程”，公布首批 47 个绿色低碳先进技术示范项目清单，正式启动第二批示范项目申报工作；发布《国家绿色低碳先进技术成果目录》，建立了“十四五”能源科技规划实施监测项目库，第一批入库项目超过 700 项，进一步加速绿色技术创新与产业化步伐。

区域试点路径逐渐清晰，打造多类型绿色发展样板。近年来，各地区积极出

台本地区碳达峰实施方案，各部委通过试点示范，引导地区探索双碳实施路径，扎实推进本地区绿色低碳发展。2022 年中央网信办、国家发展改革委等五部委选择张家口市、深圳市、拉萨市等 10 个地区作为双化协同（数字化绿色化协同转型）综合试点。国家发展改革委在 2023 年组织开展国家碳达峰试点建设，确定首批 35 个试点城市和园区，为全国提供了一批可操作、可复制、可推广的经验做法。2024 年 1 月，生态环境部发布首批 21 个城市、43 个产业园区减污降碳协同创新试点名单，衔接污染防治攻坚任务。此外国家发展改革委与河北省联合部署**推进雄安新区低碳试点建设**，提出雄安新区 2030 年、2035 年和本世纪中叶绿色化建设目标，从构建现代产业体系、打造低碳安全能源体系等 9 方面提出形成绿色低碳产业体系、大力发展绿色能源等 30 项重点任务。

（三）能源结构转型深入推进,清洁能源消费占比稳步提升

我国能源结构绿色低碳转型的质量和效率效益进一步提升。根据国家能源局信息，截至 2024 年 12 月底，全国累计发电装机容量约 33.49 亿 KW，其中，太阳能发电装机容量约 8.87 亿 KW，同比增长 45.2%，风电装机容量约 5.21 亿 KW，同比增长 18.0%。我国新能源装机累计已超过 12 亿 KW，提前实现“2030 碳达峰”新能源装机的承诺目标。新能源云（又称**新型能源数字经济平台**）作为全球规模最大的国家级资源优化配置平台，自 2020 年 1 月投运以来，有力推动了新能源行业的高质量发展，一是实现了风光新能源、新型储能和常规电源项目全流程一站式线上接网服务，将新能源项目的接网效率提升了 3 倍以上；二是解决了长期困扰新能源行业发展的补贴资金全流程核查和发放难题，消除了新能源行业发展的金融风险；三是通过全域省间协同开展消纳计算，有效解决了各省年度计划和中长期新能源开发规模的问题，避免了新能源资源的过度配置和闲置问题。

我国能源转型路径和关键举措进一步明确。自构建以新能源为主体的新型电力系统战略目标提出以来，在新能源领域，我国 2021-2030 年规划布局了超过 6.7 亿 KW 的新能源装机容量。电网公司加快“新型电力系统”建设，按照国家《关于开展风电和光伏发电资源普查试点工作的通知》《加快构建新型电力系统行动方案(2024—2027 年)》《配电网高质量发展行动实施方案（2024—2027 年）》等一系列政策要求，我国 2024-2030 年将进入省市县乡级新型电力系统试点示范和

应用推广的高峰期。同时，“风光储制氢氨醇一体化”项目的可行性日益凸显，二十大报告提出的“加快规划建设新型能源体系”的要求正在内蒙古、吉林、辽宁、黑龙江、新疆、甘肃、宁夏等新能源富集省区，以“风光储制氢”“风光储制氢氨醇一体化项目”的形式加快布局，成为消纳新能源和新型绿色能源生产的新赛道。

我国新能源装备创新能力和全球竞争力进一步增强。新能源装机规模的快速增长带动新能源装备技术、质量、成本、数字化和竞争力的提升。在风电领域，根据 Wood Mackenzie（伍德麦肯兹）的统计，2023 年全球 15 大整机企业中有 10 家中国企业，10 家企业装机容量合计 75.2GW，约占全球总装机 114.5GW 的 65.67%，前三家分别是金风科技、远景能源、运达股份。我国陆上风机的单机容量已达 15MW，叶片长度约 131m、轮毂中心高度约 180m，海上风机的认证单机容量已达 25MW，叶片长度超过 150m。在光伏领域，根据国际可再生能源机构（IRENA）发布的《2024 年可再生能源容量统计报告(Renewable Capacity Statistics 2024)》，2023 年全球太阳能光伏装机量新增 345.5GW，我国光伏新增装机容量 216.88GW，占同期全球光伏新增装机容量的 62.77%。全球光伏组件出货前 10 名均为中国企业，前三名依次为晶科能源（78.52GW）、隆基绿能、天合光能。

我国终端清洁能源生产和消费方式日益多样化。新能源的快速增长推动了清洁能源消费比重的稳步提升。根据国家能源局数据，2022 年、2023 年，我国风电发电量分别为 7624 亿 kWh、8858 亿 kWh，太阳能发电量分别为 4276 亿 kWh、5833 亿 kWh，风电和光伏发电量全年占比分别为 13.6%、15.8%。在能源消费端，“十四五”国家政策大力推进“千家万户沐光行动”“千乡万村驭风行动”等，“光伏+”应用场景呈现爆发性增长，集中式光伏有农光互补、牧光互补、渔光互补、林光互补等应用场景，分布式光伏有居民/公共机构/工厂屋顶、高速公路、地铁、机场、港口码头、大数据中心、加油站、通讯基站、充电桩、冷库等应用场景，乡村风电正呈现快速试点和增长态势。以新能源为核心的“源网荷储一体化”、微能网、虚拟电厂、“风光储制氢”、“风光储制氢氨醇一体化”等新能源消费新业态、新模式正加快推动能源消费革命的跃升式发展。

（四）全球最大碳市场运行平稳,市场活跃度有待提升

我国碳排放权交易市场已成为全球覆盖排放量最大的碳交易体系。2024 年，纳入全国碳排放权交易市场的发电行业重点排放单位共计 2096 家，年覆盖二氧化碳排放量约 52 亿吨。截至 2024 年 12 月 31 日，全国碳排放权交易市场配额累计成交量 6.3 亿吨，累计成交额 430.33 亿元；市场运行质效显著提升，全年配额成交量 1.89 亿吨，成交额 181.14 亿元创历史新高，碳价稳定在 69-106 元/吨区间。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）》，将水泥、钢铁、电解铝纳入全国碳排放权交易市场管理，新增重点排放单位约 1500 家，覆盖排放量新增加约 30 亿吨。由此，我国碳市场年覆盖量将达到 80 亿吨以上，全球最大碳交易体系的规模优势进一步凸显。

中国国家核证自愿减排量（CCER）市场重启。CCER 是对碳市场的重要补充，企业可以更自由地选择碳排放权或者 CCER 项目进行碳配额清缴。CCER 市场在 2024 年 1 月 22 日正式重启，标志着中国碳市场体系进一步完善，各类企业都有机会参与，国内碳市场活跃度将进一步提升，碳定价效率也将有所提高，同时有利于促进清洁能源、林业碳汇、甲烷利用等减排项目发展，进而推动低碳技术进一步更新升级，因为 CCER 为这些减排项目提供了更多市场激励和资金支持渠道。未来全国 CCER 市场规模有可能爆发，CCER 价格预期呈现上涨态势，并有望与国际碳市场接轨，参与国际碳信用交易，同时吸引更多国际资金支持中国双碳建设。

中国碳期货市场发展空间广阔。欧盟碳期货市场一直占据主导地位，交易量十分可观。以欧盟碳排放许可（EUA）期货为例，在活跃交易时段，日均交易量可达数百万份合约，年交易额占全球碳衍生品交易量的 80%以上。美国区域温室气体倡议（RGGI）规模相较于欧盟市场较小，但其碳期货交易也较为稳定。我国目前已上市 143 个期货期权品种，广泛覆盖农产品、金属、能源、化工、建材、航运、金融等国民经济主要领域，品种向新能源、新材料领域拓展。虽然尚未正式推出全国性的碳期货产品，但随着碳现货市场逐步成熟，市场扩容和政策支持为碳期货市场的发展提供了基础，碳期货市场空间广阔。

全球碳市场互联互通虽是大势所趋，但实现路径仍面临结构性障碍。当前各

国碳配额分配机制（如欧盟以拍卖为主、中国初期以免费分配为主）、交易规则体系（覆盖行业范围、价格调控机制、惩罚力度等）以及碳信用认证标准（如 CDM、VCS、CCER 等）存在显著差异，加之碳数据监测技术水平和监管严格程度参差不齐，导致跨境交易中存在数据可信度不足、市场公平性与有效性受损等问题。为此亟须推进全球互认的碳交易标准体系建设，重点建立统一的碳排放核算、报告与核查（MRV）标准框架，强化数据准确性与国际可比性基础；同时通过跨区域碳交易平台链接与合作机制创新，逐步将更多行业和地区纳入协同体系，最终实现碳资产在全球市场的自由流通和高效配置。

（五）产品碳足迹倒逼制造业向新能源富集区转移

地方新兴产业支持政策吸引，叠加欧美等“碳关税”政策影响，促使国内装备制造企业加快向新能源资源富集和装机高增长地区转移。为加快能源清洁低碳转型和绿色产业发展，发挥本地区资源优势，地方政府按照“省/直辖市/自治区碳达峰实施方案”要求，加快推动新能源资源的规划和开发利用，同时按照产业链布局要求，加快支持装备制造业产能基地建设。内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、甘肃、青海、新疆、宁夏、山东、江苏、浙江、福建、广东、广西、海南等省份借助陆地和海洋新能源资源优势，在风电、光伏、动力电池、储能等产业链政策支持下，为行业龙头企业产能基地新增布局提供了良好的依据，也为地方政府加快能源结构调整和绿色低碳产业发展夯实了基础。

先进制造业集群加快绿色低碳转型的步伐。拥有一批有国际竞争力的先进制造业集群是制造强国的重要标志，绿色化和低碳化是先进制造业集群发展的共性诉求。2022-2024 年，国家先后两批公布了 80 家国家级先进制造业产业集群，覆盖新一代信息技术（含集成电路）、航空航天、船舶与海洋工程装备、现代农机装备、安全应急装备、高端装备、新材料（含超导材料）、新能源、家电、纺织服装、食品、生物医药及高端医疗装备等领域。依托集群产业链供应链建立统一完善的区域绿色产业链供应链服务体系，依托集群内企业供应链耦合关系，联合实施绿色低碳升级改造，针对共性工艺环节探索建立高标准绿色工厂、零碳工厂，系统性提升集群绿色发展水平；集群可以根据产业链上下游生产过程用能特点，

建设产品碳足迹公共服务平台和新型能源综合供应系统，实现集群规模化应用绿电、绿氢、绿色甲醇等，提高能源资源综合利用水平，有效降低产品碳足迹。

新能源富集区促进新型绿色能源产业发展。一方面，新能源装备制造企业加快新建生产基地，带动本地相关产业链布局、零碳产业园区建设和零碳产业聚集区发展；另一方面，“风光储制氢”“风光储制氢氨醇一体化”模式带动绿氢、绿氨、绿色甲醇、可持续航空燃料等新型绿色能源产业发展，为大规模新能源开发和能源清洁低碳转型奠定了基础。2022年4月，远景能源在鄂尔多斯打造了全球首个真正落地的零碳产业园，基于风电、光伏、储能、绿氢相结合的能源岛，使园区80%能源由本地风电、光伏直供，20%与电网进行绿电交易，从而实现100%绿色零碳能源供给，该园区也成为风光储氢绿色新工业产业聚集区。基于零碳产业园模式，远景在赤峰投资建设了全球首个商业化运营的百万吨级绿色氢氨项目，2024年3月，项目第一阶段30万吨绿色氢氨首期工程已经顺利投产。

（六）巨头积极打造绿色低碳服务能力,谋求形成新优势

国际巨头正通过低碳技术研发和长期投资推动气候行动。以马士基为例，其于2023年推出全球首艘绿色甲醇动力集装箱船“Laura Maersk”，并通过船体优化与能效管理持续降低船队碳强度，2023年较2008年基准下降近50%。亚马逊则在可再生能源领域加速布局，截至2023年底已启动500余个风能和太阳能项目，目标在2025年前实现100%可再生能源供电；同时承诺到2030年实现设备包装100%可回收，并逐步确保包装木纤维来自合理管理森林或可回收资源。根据国际能源署预测，为实现净零目标，全球需在2030年前将年碳捕集量提升至13亿吨，并在2040年进一步扩大至数十亿吨级别，当前领先企业的实践为行业转型提供了重要参考。

国内制造业龙头立足产业根基,开辟绿色增长新赛道。河钢集团以“高端化、智能化、绿色化”为战略核心，创新提出“人、钢铁、环境和谐共生”发展理念，构建“1+1+5”绿色低碳管理体系，自2013年起率先推进从大规模厂区综合治理、创建世界最清洁工厂到产能区位优化的系统性变革，完成超低排放改造并在行业率先发布低碳发展行动计划，形成“6+2”低碳技术路线图，建成全球首例氢冶金示范工程。在此基础上，发布“6+6+5”低碳钢、绿钢及近零碳排放钢产品

矩阵，集成节能、减污、降碳、循环与协同管理能力，构建覆盖生产全链的绿色解决方案，为钢铁行业提供可复制的低碳转型路径，同时通过技术标准输出、产业链协同及跨领域联盟共建，赋能上下游超百家企业，树立“内生转型驱动外生赋能”的产研融合典范。TCL集团依托深厚制造基因，战略孵化成立格创东智科技有限公司，自主研发基于多智能体AI架构的能碳垂直领域大模型——“企业能碳大脑平台”，以数字化驱动双碳转型。该系统对内实现TCL旗下20余家工厂的能碳数字化管理全覆盖，对外输出至半导体、新能源、汽车等20多个行业，服务超过60家制造企业，形成“内生实践-技术沉淀-跨业赋能”的闭环，成为传统制造业巨头以科技创新布局双碳赛道的标杆范式。

国内数字行业巨头降低自身能耗，共建绿色低碳产业链。腾讯以2030年全面碳中和为目标，加速推进清洁能源替代。2023年自发新能源装机量超32MW，2024年绿电签约目标16亿度，目前自有数据中心绿电占比55%，自建园区绿电覆盖率达74%。华为聚焦技术创新与产业链牵引，其数据中心7大低碳技术（模块化UPS、间接蒸发冷却等）入选2024年工信部节能目录，其中爱尔兰某数据中心采用间接蒸发冷却方案实现PUE 1.15，深圳港数据中心通过智能微模块与iCooling技术提升能效25%；同时以绿色采购规则驱动供应商碳强度年均下降超5%，实现供应链碳足迹透明化管理。中国移动则通过基站深度休眠技术降低设备满载功耗20%，并与华为联合打造“5G+工业互联网”标杆项目：在湖南华菱湘钢“5G+智慧工厂”中，依托云网融合技术使生产效率提升30%、良品率与能效同步优化；广西柳钢智慧钢铁、四川攀钢智慧矿山等案例进一步验证数字技术对传统产业绿色转型的驱动效应。

（七）我国新能源企业产能先进峥嵘初现，海外发展瞩目

我国新能源企业强链补链延链投资带来产业竞争优势和全产业链成本优势。为加快落实能源转型和服务气候目标，我国新能源装机年度新增规模连续几年占据全球新增装机的主导地位。根据能源研究院2024年9月发布《世界能源统计年鉴》，截至2023年，中国新能源装机全球占比达到43.18%；2023年中国新增新能源装机全球占比达63.38%；中国仍然是全球清洁技术供应链投资的最大贡献者（38%），投资额高达6760亿美元左右，欧盟和美国分别约为3400亿美元

和 3030 亿美元。中国已在全球太阳能光伏产业链、陆海风电产业链等装备中占据主导地位。2023 年中国风机全球供货占比超过 60%，光伏组件供货全球占比达到 84.6%，动力电池全球供货占比超过 50%，新型储能呈现爆发式增长，新增规模约 2260 万千瓦，是 2022 年末新型储能规模的 2.6 倍。2024 年 6 月，水电水利规划设计总院发布《中国可再生能源工程造价管理报告 2023 年度》显示，2023 年，我国陆上风电项目平均单位造价约 4500 元/kW、海上风电项目平均单位造价在 9500~14000 元/kW 区间、集中式光伏电站项目平均单位造价约为 3900 元/kW，我国新能源场站建设成本全球竞争优势明显。

我国光伏风电储能企业继续夯实全球生产链布局优势。积极应对欧美碳关税等绿色贸易壁垒政策，我国光伏、动力电池、储能系统等企业加快欧美等海外产业布局。目前，在光伏发电设备产业链领域，隆基绿能、天合光能等在海外已开展生产和运营；在动力电池设备产业链领域，远景动力、宁德时代等均在海外开展生产基地布局；在风电设备产业链领域，由于受欧美地缘政治和贸易政策影响，中国风电企业对欧美产能布局持谨慎态度，目前中国企业已在印度、巴西投产了整机总装、叶片以及齿轮箱的属地化工厂。

我国风光储产品升级换代加快，技术优势凸显。我国风电、光伏、动力电池企业升级换代步伐加快，大容量陆上风机、海上风机、风机核心部件、光伏 TOPCon 电池组件、光伏 BC 电池组件、钙钛矿电池组件、新型动力电池、储能、固态电池等产业升级和技术发展迈入快车道。一是陆海风机容量和技术不断突破，国内风机第一梯队基本实现 10MW 陆上风机批量供货，三一重能等 15-16MW 陆上风机进入示范阶段，金风科技、东方风电、明阳智能、电气风电等纷纷进入 18-25MW 海上风机示范阶段；二是光伏产业材料与制造端，绿色低能耗替代高能耗，光伏 N 型技术成为主流，以电池环节的 N 型主流技术为代表，催生更低成本、更高效率、更强的发电可靠性、更加绿色低碳的光伏产品；三是新能源装备企业在风电、光伏、动力电池、储能、固态电池等生产领域全面推广智能制造、5G、工业互联网平台和绿色制造融合，企业智能制造能力成熟度评价等级持续提升。

新能源产业链全球合作是全球能源转型和碳中和目标实现的关键。2023 年 10 月，北京国际风能大会上，100 多家中外风电企业代表与多个行业组织共同签署并发布了《全球风电产业链供应链安全宣言》，致力于构筑安全稳定、畅通高

效、开放包容、互利共赢的全球风电产业链供应链体系，推动全球风电高质量发展。一是实现全球可持续发展离不开全球新能源产业链供应链的支撑，中国风电产业链供应链高度国际化，众多国际知名企业参与其中，中国产业链为全球产业链的发展奠定高质量的基础；二是要实现本世纪末地球温升控制在 1.5℃ 以内，全球新能源装机必须在 2023 年的基础上每年新增 3 倍以上的容量；三是我国加快推进绿色能源合作，为“一带一路”国家能源绿色转型和碳中和目标实现提供了独有的优势力量，特别是随着“风光储制氢”“风光储制氢氨醇一体化”经济性和商业化进展加快，将为世界构建绿色氢氨醇等新型能源消费体系提供中国的解决方案。

（八）多举措应对 AI 和大模型需求快速增长对能源的压力

蓬勃发展的人工智能正消耗着越来越多的电力和水资源，产生着越来越多的碳排放。人工智能产业呈现出应用场景多元化拓展、数据体量爆发式增长、模型参数指数级增加的发展态势，对能源的高需求已经成为一个亟待解决的问题，尤其是在数据中心和大模型训练中。例如，ChatGPT-3 单次训练需要消耗约 1287MWh 电力，相当于 43800 个家庭一天的用电量¹，在此过程中约产生 550 吨的碳排放，约等于 8 辆普通汽油乘用车 20 年的碳排放量。据预测到 2030 年，中国智算中心年用电量在 0.6-1.3 万亿度，约占当年全社会用电量的 5%-10%，智算带来的新增用电占全社会新增用电的 27%以上²。国家最新出台的一系列降碳低碳专项计划，将数据中心与煤电、钢铁等传统重点用能行业一同纳入并同期发布，凸显了数据中心在能耗管控与绿色发展方面的重要性和紧迫性。

全球 AI 巨头通过“清洁能源直供+智能调度”策略应对算力基础设施的能耗挑战，以绿电并网与分布式能源互补推动数据中心绿色转型。谷歌在其 100%电气化的 Bay View 园区部署地源热泵与 7MW 屋顶太阳能系统（覆盖 9 万块光伏板），实现建筑级清洁供能；亚马逊 AWS 于 2024 年 3 月与 Constellation Energy 达成协议，在宾夕法尼亚州 Susquehanna 核电站旁建设数据中心，分阶段采购 960MW 核能电力以保障零碳基载电力；微软则联手布鲁克菲尔德签署全球最大规模企业可再生能源协议，计划至 2030 年在欧美投建 10.5GW 风光项目，年均减碳

¹ The “No-Excuse” Framework to Accelerate the Path to Net-Zero Manufacturing and Value Chains.

² 《AI 改变能源》，未尽研究，2024 年 8 月

500 万吨，同步研发 AI 驱动的智能电网调度技术优化绿电消纳效率，形成从能源源头到算力负载的全链条低碳闭环。

我国高度重视发展绿色供能和绿色算力。清洁能源的开发和利用是解决 AI 能耗问题的长远之计。发展太阳能光伏、风能等可再生能源，并将其应用于数据中心供电，是减少对传统能源依赖的有效途径。一些公司甚至考虑在小型核电站内部署数据中心，以直接采购清洁能源。我国“东数西算”工程全面启动以来，在全国 8 个算力枢纽节点，数据中心集群建设稳步推进。宁夏、甘肃、河北、内蒙古、贵州、广东等国家级算力枢纽节点充分利用地域能源的差异化优势，积极推动智算中心引入风能、太阳能、氢能等新能源，协同发展绿色供能和绿色算力。然而，风能和太阳能等新能源由于其间歇性特征，常常导致发电功率波动较大。因此，未来智算中心将建立智能储能系统，以平衡新能源发电的负荷。这一举措不仅能够提升能源利用效率，还将促使新能源行业在输电、储能和能源回收利用等多个环节实现产业升级与发展。

业界正从算法革新、硬件升级、算力协同三向发力破解智算能耗难题。以算法与架构优化为先导，通过混合精度训练框架、内存优化、负载均衡策略及硬件利用率提升等综合手段降低算力需求，如深度求索（DeepSeek）2024 年数据显示，其大模型在性能对标行业标杆的同时，训练耗时压缩至 10% 以内、算力资源消耗减少 90%，综合训练成本仅为传统模式的 1%，印证算法级优化的巨大节能潜力；细分领域则倾向采用特定任务小模型（SLMs），以轻量化架构实现同等精度下能耗倍降。与此同时，硬件能效革命同步推进——阿里倚天 710 芯片通过架构迭代实现单位算力功耗锐减 60%，英伟达 Grace CPU Superchip 较传统方案省电 50%，超维计算、存内计算等新型范式亦为低功耗 AI 芯片奠定基础。算力资源布局层面，云计算与边缘计算的协同调度正成为主流，运营商与云服务商基于新能源富集区构建分布式算力网络，通过任务就近处理降低传输损耗，叠加智能负载分配策略，实现全局能效最优，形成从芯片级到系统级的全栈节能闭环。

（九）我国循环经济仍需加强，废弃物循环利用体系亟待建立

我国废弃物循环利用体系建设正处于由规模扩张向质效提升转型的关键阶段，当前在系统集成度、技术穿透力和制度协同性等方面仍需加强。与国际先

进水平相比，部分品类再生资源回收效率尚存提升空间，资源转化路径仍需向高值化延伸，例如在复杂废弃物的精细化分选、再制造工艺创新等领域存在技术迭代需求。制度创新层面，跨部门协同机制和全产业链数据贯通能力建设尚待深化，工业系统与城市固废系统的耦合共生潜力有待释放。在国家“无废城市”建设和生产者责任延伸制度推进下，正通过建立再生原料分级认证体系、培育专业化循环经济服务平台、构建区域再生资源交易数据中枢等系统性举措，加速形成覆盖回收网络智能化、资源利用功能化、产业链接生态化的新型循环经济范式，为提升资源安全保障水平和培育绿色增长极提供支撑。

光伏组件循环回收已成为全球资源再生与低碳转型的关键领域。据国际能源署测算，到2030年全球光伏累计装机将达1,630GW，对应首轮报废组件规模约800万吨。值得注意的是，我国因光伏产业化进程早、技术迭代快等特点，组件报废高峰或将较国际周期更早到来。技术层面，废旧组件中玻璃、金属框架及硅基材料占比超90%，通过物理分选可提取硅粉（纯度>98%）、高导铜材（回收率>95%）等再生原料。目前主流工艺涵盖机械拆解、热解分离等多元化技术路线，适配晶硅与薄膜组件的差异化处理需求。据中国科学院电工研究所测算，2030年我国退役光伏系统将释放可循环材料超300万吨，其中含145万吨碳钢、110万吨光伏玻璃、26万吨铝、17万吨铜及550吨稀有金属银，资源价值总量突破400亿元。

动力电池回收产业加速向规模化跃迁。2024年全球锂电回收市场规模达283亿美元（约合人民币1950亿元）（据Circular Energy Storage《2024全球锂电池回收年报》实际交易数据），中国市场表现尤为突出：工信部统计显示，全年备案白名单企业回收产能突破520万吨/年，实际规范回收量达97.6万吨，再生利用占比提升至53.8%（52.5万吨），梯次利用占比15.2%（14.8万吨），资源综合利用率创69%新高。技术迭代方面，头部企业湿法冶金锂回收率突破93%，磷酸铁锂直接再生工业化效率达95%-97%。欧盟《新电池法》实施首年数据显示，锂回收率已从2023年的4.7%提升至12.3%，政策倒逼下全球锂资源回收率2030年达标预期强化。预计到2025年末，中国动力电池规范化回收率将超75%，技术红利与政策刚性驱动千亿级市场加速兑现。

循环经济在发达国家已成为一种重要的经济模式。循环经济产业规模占GDP 比重普遍超 15%，技术成熟度与系统化水平全球领先。以美国为例，"资源保护与回收法案"推动全国固废回收率提升至 35.4%，并通过税收杠杆刺激再生塑料利用率突破 28%；欧盟依托《循环经济行动计划》构建全生命周期管理体系，使成员国工业固废再生利用率均值达 67%，德国更以"双轨制"回收体系实现包装废弃物 96%的回收率。在技术端，生物基材料研发投入占全球 75%的发达国家，已实现光伏面板银浆闭环回收率 98%、锂离子电池金属再生率超 95%的突破性进展。这些实践印证，法治约束（如生产者责任延伸制度）、市场激励（碳关税调节机制）与技术创新（工业生物技术）的三维协同，是驱动循环经济跨越式发展的关键引擎。

我国已明确构建废弃物循环利用体系的战略路径。设定 2025 年大宗固废年利用量达 40 亿吨（综合利用率 60%）、主要再生资源利用量突破 4.5 亿吨、产业产值冲刺 5 万亿元的目标，并计划 2030 年全面建成高效规范的循环体系，实现再生材料对原生资源的大规模替代。为实现这一蓝图，中央通过二十届三中全会顶层部署，建立循环经济统计评价体系与全链条数据平台，推动京津冀、长三角等区域建成 15 个国家级"无废城市"集群，同步实施工业固废资源化技术攻关专项，2024 年突破冶金渣制备低碳水泥等 48 项关键技术。市场机制创新方面，2024 年 10 月 18 日揭牌的中国资源循环集团，整合 23 家省级回收龙头企业，构建起覆盖 90%地级市的智能回收网络，其首年运营即带动再生钢铁原料替代铁矿石比例提升至 26.3%。在"双碳"目标驱动下，我国正以制度创新牵引技术革命，2024 年资源循环领域研发投入同比激增 37%，欧盟碳边境调节机制倒逼下，动力电池再生材料出口量跃升 82%，标志着循环经济从政策布局迈向全球价值链重塑的新阶段。

二、场景：政府、行业、企业、公众积极拥抱碳中和

双碳目标下，围绕能源体系转型、行业深度减排、绿色技术突破、全民低碳生活、国际气候合作、政策与市场协同等命题，政府锚定顶层设计，行业绘制低碳图谱，企业攻坚零碳技术，公众践行低碳生活，通过“政策引领方向、产业贯通链条、技术突破边界、社会凝聚共识”的四维协同，中国正在重塑全

球气候治理的底层逻辑与执行范式，为全球碳中和贡献兼具规模性与创新性的中国方案。

（一）各级政府多措并举落实双碳战略

深化碳市场国际合作与绿色能源机制协同，多维推进双碳战略全球对接。中国以制度创新牵引全球气候治理协同，通过碳市场规则对接、绿色基建输出与跨境金融工具联动，加速双碳战略的全球化布局。2024 年 6 月，生态环境部与欧盟委员会签署《中欧碳排放权交易合作框架协议》，不仅建立碳核算互认技术工作组，更在辽宁、浙江设立中欧碳市场链接试点，探索基于区块链的跨境碳配额追踪系统，预计 2026 年实现双方 3% 配额双向流通。2024 年 7 月，中国贸促会 CBAM 智慧应对平台上线后，集成 AI 驱动的碳关税模拟器，可自动匹配欧盟 ETD（Embedded Emission Trading Data）数据库，实现出口产品碳排放强度秒级核验，平台注册企业月均规避碳关税损失超 12 亿元。2024 年 10 月，"一带一路"绿色能源合作五年行动纲要明确技术输出路径：在印尼、哈萨克斯坦建设的 12 个零碳产业园，全面导入中国自主研发的第四代高温气冷堆核能制氢、光伏-氢能-储能耦合系统，并设立 200 亿元专项基金，其中 60% 定向支持中国低碳技术设备出口，40% 用于东道国绿氢制备、碳捕集设施本土化建设，形成"技术+资本+标准"三位一体的南南合作新模式。

全国碳监测和碳交易体系加速推进。国家发展改革委 2024 年 10 月印发《省级碳排放预算管理指引》，要求 31 个省份建立"五年总量+年度强度"双控机制。生态环境部碳监测网络已覆盖全国 90% 重点工业集群及 38 个中心城市，布设高精度温室气体监测站超 1200 个。全国碳市场 2024 年 12 月完成首次扩围，新增水泥、钢铁、电解铝三大行业，纳入重点排放单位 1500 余家，配额总量突破 80 亿吨。国家能源局数据显示，截至 2024 年 8 月，国家绿证核发交易系统累计签发绿证 9.87 亿个（折合 987 亿千瓦时），其中无补贴绿证占比提升至 63%，绿电交易规模较 2023 年同期增长 217%。

地方政府积极推进省市两级双碳数字化平台建设，形成差异化功能布局。浙江省构建省级碳中和支撑服务平台、产品碳足迹服务平台，湖州市上线市级碳中和支撑服务平台与碳账户系统，覆盖全市 11500 家工业企业碳效码评价及技改管

理；衢州市部署碳普惠平台，联动工业碳效码与绿色金融服务；杭州市萧山区建立县级碳中和服务平台，实现区域级碳监测。江苏省打造省级产品碳足迹平台，苏州市运营双碳综合服务平台，盐城市建设碳管理平台，提供企业碳核算与监测服务。广东省上线粤港澳大湾区产品碳足迹认证平台，广州市搭建企业碳账户系统，实现碳数据管理与绿色金融对接。山东省推出企业产品碳足迹一站式平台，集成节能监察与能耗数据管理；河北省（沧州）建成“一站式”双碳公共服务平台；上海市上线工业碳管理平台，为企业提供高效碳量化工具。各平台深度融合碳中和支撑、产品碳足迹溯源、产业链低碳化及碳金融四大模块，形成“双化协同”解决方案。

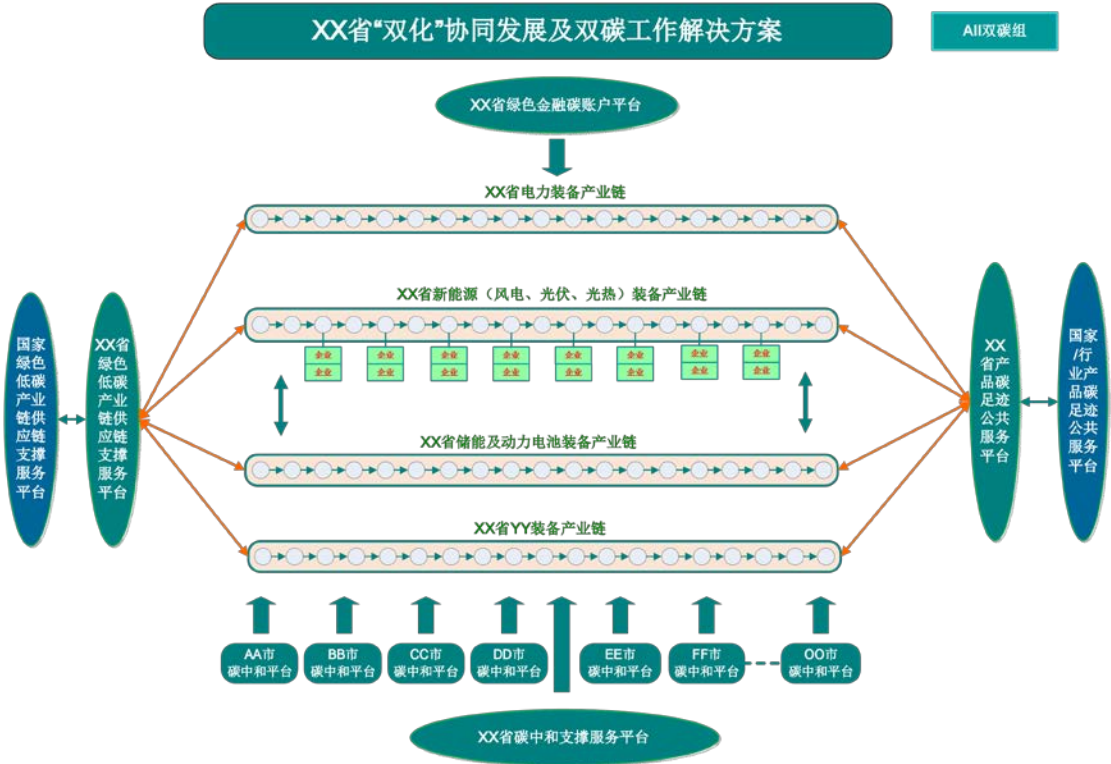


图 1 省级双化协同系统架构

产业生态协同构建双碳服务矩阵。咨询服务企业、地方投资和数据运营企业、双碳平台类开发建设企业、第三方双碳服务企业、绿色金融机构合力推动省、市、县级双碳平台生态服务体系建设。中国信通院、工业互联网产业联盟等联合各省

市碳中和研究院（中心/所）/智库开展双碳体系建设咨询、设计、评价和标准服务，为重点行业碳管理以及区域平台建设提供方法论支持；各省市地方政府和国资委加快省市两级数据集团建设，为各省市数据集团联合各省市投资集团、省市能源集团、交投集团、电力能源央企产业单位、上市公司等开展双碳平台投资、建设和运营奠定组织基础；工业互联网产业联盟双碳成员单位发挥双碳平台设计/建设/运维、能碳数据治理、节能降碳服务、装备生产制造、绿色金融服务的优势，为地方平台投资运营企业、碳排放企业、碳减排企业、碳汇企业、产品碳足迹管理企业、金融机构等提供全面的碳服务，形成覆盖“监测—诊断—治理—金融”的全周期服务能力。

（二）重点行业多环节技术创新驱动低碳转型

立足国家政策导向，聚焦电力、钢铁、石化、建材、建筑、机械、电子信息制造及信息通信八大重点行业，系统解构其绿色低碳转型路径。

1. 电力行业

我国以构建新型能源体系为核心，通过新型电力系统建设与终端用能清洁替代（绿电、绿氢、绿氨、绿色甲醇等）加速能源结构深度调整。电力行业涵盖常规发电（燃煤、燃气、核电、水电）、新能源发电（风电、光伏、光热、海洋能、燃料电池）、电网（输变配电及调度）、终端用能与电力设备全链条，储能技术贯穿发输配用各环节。

燃煤发电和燃气发电领域是我国碳排放和绿色减碳的主力。燃煤发电主要通过以大换小、燃机替代、生物质掺烧、绿氨掺烧以及碳捕集、利用与封存（CCUS）等煤电节能和煤电低碳化改造技术降低供电标准煤耗和污染物排放量，实现煤电清洁化发展，燃气发电主要通过 CCUS 等实现燃气发电清洁化发展。2023 年 4 月，皖能铜陵发电有限公司 300MW 燃煤机组实现燃煤掺氨比例 10-35%多种工况的锅炉安全平稳运行，最大掺氨量大于 21 吨/小时，氨燃尽率达到 99.99%，试验填补多项技术空白。2023 年 12 月，中国神华台山电厂 630MW 燃煤发电机组第一阶段成功实现了 500MW、300MW 等多个负荷工况下燃煤锅炉掺氨燃烧平稳运行，目前容量 1000MW 燃煤机组、掺氨燃烧比例超过 50%的工程化试验计

划正在推进中。国电电力国家 CCUS 研发中心重点实施的“能源金三角地区 600MW 等级煤电 400 万吨级全烟气 CCUS 关键技术与工程示范”项目列入国家发展改革委 2024 年第二批“两重”建设项目清单(重点领域节能降碳改造)。2024 年 11 月,中国华能、中国石油牵头成立的中央企业 CCUS 创新联合体正式启动,通过融合优质资源,加速 CCUS 市场化、商业化步伐。

新能源发电成为我国电源建设和能源结构调整的主力。一方面国家电网公司通过深化“新能源云”平台建设,加快发电公司接网新能源的建设和新型电力系统技术创新,不断提升新能源装机和发电量在电力结构中的比重。截至 2024 年底,平台已接入新能源场站(含风电场、光伏电站)42.6 万座,覆盖全国 31 个省(市、区),累计接入装机容量突破 12.8 亿千瓦,实现从项目备案、并网审批到发电量监测的全流程数字化管理,支撑新能源发电利用率稳定在 97.2%以上。另一方面,中国能建、中广核、中国大唐、国家能源集团、中国中煤、国家电投、金风科技、远景能源、中国天楹、明阳能源等企业通过推进“风光储制氢氨醇一体化项目”示范,为陆海交通和航空提供绿色能源,实现弱联网或离网新能源的大规模开发和利用,减轻电网消纳难题。2024 年 2 月,远景能源在内蒙古建成我国首个投产的“风光储氢氨醇”一体化示范项目,年产绿氨 2 万吨,后续 30 万吨绿氨生产项目正加快推进。中能建敖汉旗及元宝山区风光制氢氨一体化项目已获批准,这是中能建氢能源有限公司在内蒙古自治区开发的首个绿氨项目。

新型电网、数字孪生电网、透明电网等建设推进新型电力系统创新发展。电网公司一方面通过特高压交直流电网建设助力沙戈荒新能源大基地的开发建设,另一方面通过柔性直流输电网、构网型新能源技术、构网型储能技术、电网侧新型储能技术、新型变电站技术、新型配电系统技术等创新提升新能源消纳比例,同时通过数字化、智能化、绿色化技术融合应用,提升电网数智化成熟度能力,助力“清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能”的新型电力系统建设。用电侧通过工商业光伏(装机占比提升至 58%)、用户侧储能(渗透率达 12%)、源网荷储一体化(项目规模突破 120GW)、虚拟电厂(聚合资源超 80GW)及绿氢/绿氨/绿色甲醇替代(冶金化工领域替代率 18%)等技术矩阵,实现终端用能清洁化率同比提升 9.6 个百分点,重点行业产品碳足迹强度下降 14%。

电力设备领域积极推进绿色低碳转型。一是研发高效率低损耗设备,通过技

术创新，开发新型绝缘材料、冷却技术及磁性材料，提高变压器、开关设备、电缆等电力传输和分配设备的效率，减少能耗和热损失。二是推广使用环保型绝缘介质，逐步淘汰 SF₆（六氟化硫）等温室效应强的绝缘气体，在断路器、GIS（气体绝缘开关设备）等领域采用干燥空气、N₂（氮气）或其他低碳替代物作为绝缘介质，减少温室气体排放。三是增强可再生能源接入能力，升级电网基础设施，提高风电、光伏等可再生能源的接入容量和比例，通过智能化调度和储能技术，提升电网的灵活性和稳定性，以适应间歇式能源的波动性。四是数字化和智能化改造，利用物联网、云计算、大数据、人工智能等信息技术，实现电力设备的状态监测、故障预警和远程运维，提高设备运行效率和维护响应速度，延长使用寿命。五是循环经济理念融入设备全生命周期，在设计阶段就考虑产品的可回收性和易拆解性；推行设备租赁共享模式，减少新设备的制造需求；建立废旧设备回收处理体系，回收有价值的部件和原材料，减少废弃物产生和环境污染。六是标准化和政策驱动，制定和完善电力设备的能效标准和环保法规，鼓励企业主动采取绿色低碳措施；通过财政补贴、税收优惠等政策手段，激励电力设备制造商和用户采纳节能降碳技术。

2. 钢铁行业

我国钢铁业以长流程为主的生产工艺，以高碳化石能源为主的能源结构决定了行业能耗高、碳排放量大、减碳困难。行业碳排放量占全国排放总量的 15% 以上，仅次于电力行业。随着碳主题贸易规则和供应链碳中和要求不断提高，绿色低碳发展已成为全球钢铁行业战略竞争的制高点。

工艺流程变革。摆脱传统工艺流程和装备的束缚，寻求关键技术变革性创新。推动电炉短流程、研发氢冶金等颠覆性技术应用是钢铁行业落实双碳工作的重要抓手。在电炉短流程技术应用方面，中国全废钢电炉流程所占比例与世界先进水平有一定差距，但是电炉钢碳排放较传统高炉-转炉长流程炼钢具有明显低碳优势。目前，国内钢铁行业在积极推广短流程炼钢，发展新型电炉装备，加快推动有条件的高炉-转炉长流程炼钢转型为电炉短流程炼钢。在实施先进冶炼技术方面，氢能作为清洁能源在钢铁行业有广泛的应用场景，其中氢冶金技术研究是关注焦点。国内外氢冶金技术在项目布局与研发层面刚刚起步，目前国内钢铁行业

企业在主流的两种富氢冶金技术包括在高炉风口加氢代替喷煤和焦炭、非高炉氢气直接还原技术都开展技术攻关，取得了显著成效。

案例专栏：河钢集团积极推动钢厂工艺流程变革
河钢集团积极实施工艺流程结构性变革，推动电炉短流程发展应用，研发氢冶金颠覆性技术，建成全废钢电炉短流程特钢厂、全球首例氢冶金示范工程和绿色化智能化新一代大型联合钢厂，开辟出降低碳排放强度的重要路径。 1. 建成全球首例氢冶金示范工程：河钢集团大力发展氢冶金技术，建成全球首例 120 万吨焦炉煤气零重整氢冶金示范工程，利用氢作为还原剂代替碳还原，有效减少二氧化碳排放，项目稳定连续生产，各项指标达到世界领先水平，成为钢铁行业实现绿色可持续发展的样板，引领钢铁行业迈入“以氢代煤”冶炼“绿钢”时代。河钢氢冶金示范工程，首创“焦炉煤气零重整竖炉直接还原”工艺技术；与同等生产规模的传统高炉-转炉长流程工艺相比，每年可减少 80 万吨、约 70%的碳排放，相当于塞罕坝林场 1 年的固碳量，并在降低污染物排放方面，实现二氧化硫 30%、氮氧化物 70%、粉尘颗粒 80%以上的减排量。 2. 建成国内首家全废钢电炉短流程特钢厂：河钢集团结合工业化进程的加快推进和废钢资源逐步积聚，集成应用 70 多项国际先进的节能减排技术，积极发展“废钢-电炉”短流程炼钢，建成国内首家“全废钢电炉短流程”绿色低碳特钢企业——石钢新区，以废钢为原料，以电和天然气为主要能源，实现零煤、零焦清洁生产，能耗和污染物排放大幅降低，成为钢厂与城市协同发展的示范。为行业内首家采用分质盐结晶技术实现浓盐水资源化的企业，达到废水零排放，成为钢铁行业与城市水环境深度融合的样板。在国家生态环境部 2022 钢铁行业绿色发展水平评估中，获得最高级别的“绿色发展领先水平”评价。

系统能效提升。通过深度节能技术应用与装备升级改造，创新关键界面技术，加强全流程物质流与能量流协同耦合，实现能源精细化管控，余热余能应收尽收，做到全系统极致能效。加强钢铁生产工序衔接改造，推广铁水一罐到底、热装热送、近终形连铸、无头轧制等工序间界面衔接技术。提升设备能效，推广应用大型高效链算机-回转窑、带式焙烧机、万能轧机等专用设备和封闭式机械化料场，加强用能设备系统匹配性改造和运行控制优化。围绕极致能效工程，中国钢铁行业制定了“钢铁行业能效标杆三年行动方案（2022～2025 年）”，以能效标杆为切入点，推进覆盖全行业 and 全产能的第三大钢铁改造工程（产能置换、超低排放改造、极致能效工程）。以“双碳最佳实践能效标杆示范厂”培育为抓手，共开展 3 批完成 117 家钢铁企业入选“双碳最佳实践能效标杆示范厂”。

表 3 双碳最佳实践能效标杆示范厂

第一批“双碳最佳实践能效标杆示范厂”培育企业名单

1	江苏沙钢集团有限公司
2	山钢股份莱芜分公司
3	山西太钢不锈钢股份有限公司
4	首钢股份迁安钢铁公司
5	河钢乐亭钢铁有限责任公司
6	安阳钢铁股份有限公司
7	宁波钢铁有限公司
8	石家庄钢铁有限责任公司
9	本钢板材股份有限公司
10	新余钢铁集团有限公司
11	天津市新天钢铁联合特钢有限公司
12	本溪北营钢铁（集团）股份有限公司
13	石横特钢集团有限公司
14	攀钢集团西昌钢铁有限公司
15	山东泰山钢铁集团有限公司
16	宝山钢铁股份有限公司（宝山基地）
17	宝钢湛江钢铁有限公司
18	鞍钢股份有限公司鲅鱼圈钢铁分公司
19	马鞍山钢铁股份有限公司
20	首钢京唐钢铁联合有限责任公司
21	南京钢铁股份有限公司

第二批“双碳最佳实践能效标杆示范厂”培育企业名单

1	安徽首矿大昌金属材料有限公司	20	内蒙古包钢钢铁股份有限公司
2	鞍钢股份有限公司	21	青岛特殊钢铁有限公司
3	鞍钢集团朝阳钢铁有限公司	22	山东钢铁集团日照有限公司
4	宝武集团鄂城钢铁有限公司	23	山东钢铁集团永锋临港有限公司
5	大冶特殊钢有限公司	24	山东莱钢永锋钢铁有限公司
6	甘肃酒钢集团宏兴钢铁股份有限公司	25	山西建龙实业有限公司
7	广东中南钢铁股份有限公司	26	山西晋南钢铁集团有限公司
8	广西钢铁集团有限公司	27	山西通才工贸有限公司
9	广西柳州钢铁集团有限公司	28	陕钢集团汉中钢铁有限责任公司
10	邯钢华丰能源有限公司	29	陕西龙门钢铁有限责任公司
11	邯钢集团邯宝钢铁有限公司	30	上海梅山钢铁股份有限公司
12	邯钢集团嘉钢钢铁有限公司	31	唐山佳华煤化工有限公司
13	河北津西钢铁集团股份有限公司	32	芜湖新兴铸管有限责任公司
14	河北普阳钢铁有限公司	33	武钢集团昆明钢铁股份有限公司
15	河北天柱钢铁集团有限公司	34	武汉钢铁有限公司
16	江苏永钢集团有限公司	35	舞阳钢铁有限责任公司
17	江阴兴澄特种钢铁有限公司	36	新兴铸管股份有限公司
18	凌源钢铁集团有限责任公司	37	中新钢铁集团有限公司
19	吕梁建龙实业有限公司		

能源结构优化。通过调整和优化钢铁行业能源使用结构，减少高碳能源的依赖，提高清洁能源和可再生能源的占比，从而实现钢铁行业碳排放的大幅降低。为此，钢铁行业采取了多项举措，例如：新建钢铁项目原则上不再新增自备燃煤机组，支持既有自备燃煤机组实施清洁能源替代。支持有条件的钢铁企业建设工业绿色微电网，加快风能、太阳能等可再生能源的一体化开发利用。提高能源利用效率，加强钢铁行业余热利用改造，有序开展余热发电装备更新，优化二次能源直接利用方式，减少能源转化次数。

案例专栏：河钢集团系统推进清洁能源替代

河钢集团以氢能、绿电和全钒液流电池储能为突破口，逐步构建多元互补清洁能源体系，摆脱化石能源依赖，推动钢铁行业的可持续发展。在氢能应用方面，依托河钢集团庞大的物流业务基础，推动氢能应用于物流全链条，加快物流运输去碳化进程，并逐步推动氢能在生产工艺应用，提高氢能使用比例。

一是在业内率先实施“焦炉煤气制氢+加氢服务网点+氢能重卡运营单元”氢能物流一体化运营，大宗物料和产品清洁运输比例达 80%以上。

二是依托丰富的焦炉煤气副产品氢气，实施加氢站建设，在邯郸、唐山建成我国钢铁行业首批 3 座固定式加氢站，联合长城汽车建设氢电能源站，并与中石油合作布局河北省 30 座加氢站，在建和建成的加氢站预计可服务近 400 辆氢能重卡。

三是投运我国首条市场化运营的氢能重卡运输线，为我国氢能产业的发展开辟

了一条除城市公交、城市物流以外，全新的服务于工业企业的重卡运输示范道路，该项目被中国物流与采购联合会授予“优秀氢能应用案例”。

四是推动氢能应用冶炼生产工艺。加快应用高炉富氢冶炼低碳冶金技术，通过向高炉内喷吹焦炉煤气、天然气等富氢气体或氢气，建成了高富氢气体高炉喷吹低碳冶炼技术示范。

资源循环利用。建设高效循环利用互为资源化的工业生态圈，将工业生产流程以及社会产生的二次资源，通过循环高效再利用，实现资源利用价值最大化。提高废钢利用率，支持废钢资源高质高效利用，扩大再生钢铁原料进口，推进废钢回收、拆解、加工、分类、配送一体化发展，完善废钢回收加工配送体系建设。推动副产品资源化，利用钢铁副产煤气生产高附加值化工产品，推动以高炉矿渣、钢渣替代水泥和混凝土原辅料，实现资源的循环利用。近年来，钢铁行业不断推广废水循环利用新技术、新工艺的积极实践，通过将湿法除尘改为干法、焦炉配套干熄焦工艺、气化冷却等措施，不仅实现了源头节水，还提高了废水循环利用水平，取得了显著成效。截至 2023 年底，重点钢铁企业的工业废水重复利用率已经达到了 98.3%，较 2015 年提高了 0.8 个百分点。

案例专栏：河钢乐亭钢铁有限公司工业废水重复利用

河钢乐亭钢铁有限公司采用用水过程循环模式，将铁、钢、轧生产过程循环用水系统进行优化改造，包括软循环、净循环和浊循环，通过 15 个回收泵站，集中回收至水处理中心，水处理中心采用超滤-反渗透双膜法处理系统，配套浓盐水超浓缩处理系统，进一步提高高盐废水处理能力，处理能力达 2500 立方米/小时，实现废水全部回收利用。同时搭建全数据管控“智慧水网络管控平台”，实现用水系统精细化管控，吨钢取水量下降 0.75 立方米/吨。

碳捕集封存利用。碳捕集封存利用（CCUS）是在低成本、高效率的前提下，将二氧化碳从制造排放源中分离，并经济高效封存、固化或资源化利用。CCUS 技术作为零碳的兜底保障，是钢铁行业需要重点布局的突破性降碳技术，国内钢铁行业积极探索 CCUS 技术实施的可行性以及降低碳排放的强度。河钢集团成功研发具有国际领先水平的 CCUS 技术，将 CO₂ 捕集并精制成工业级液体二氧化碳和食品级液体二氧化碳，目前已在河钢产线应用，每生产一吨直接还原铁可捕集约 125 千克二氧化碳，年生产二氧化碳副产品约 6 万吨。牵头成立“河北省

CCUS 产业技术联盟”，依托河钢丰富的应用场景，构建覆盖碳捕集、碳利用、碳封存、碳核证、碳监测、碳资产的 CCUS 全流程发展体系，形成了可复制、可推广的钢铁行业深度脱碳全流程、一体化解决方案。

数字化碳管理能力建设。在能耗双控逐步向碳排放双控转变且钢铁行业即将被纳入碳排放交易市场的背景下，准确可靠的碳排放数据核算是钢铁行业企业开展碳交易、低碳管控的关键所在。为此，钢铁行业亟需深化与数字化技术的融合，构建一系列涵盖碳数据监测与存证、碳核算报告与核查、碳足迹认证与披露、碳资产开发与评价、碳信用抵消与管理的核心能力，旨在实现碳排放的精准核算、智慧化减排以及碳资产的优化管理，进而提高钢铁行业的双碳管理能力和效率，实现数字化赋能绿色化，助力双碳目标的实现。依托河钢集团在钢铁制造领域的丰富实践场景，盈碳科技自主研发了 WisCarbon 碳中和数字化平台，集成碳数据管理、碳足迹追踪、CBAM 服务、绿色供应链等八大核心功能模块，实现从数据自动采集、排放智能核算、降碳智慧模拟的全流程碳数据管理和一站式碳服务，目前已为钢铁及上下游供应链开展产品碳足迹和降碳模拟分析近百份，为全产业链、全过程的绿色低碳协同发展，以及低碳产业生态圈构建提供重要的量化工具和平台支撑。

3. 石化行业

作为支撑国民经济发展的基础性支柱产业，石化行业在保障能源安全与工业原料供给中发挥着不可替代的作用，但同时也面临着能源消费总量大、生产过程碳排放强度高的双重挑战。在国家“双碳”战略目标引领下，该行业正通过技术创新与系统重构加速绿色转型，率先构建起涵盖清洁能源替代、低碳工艺革新、产品结构优化的全链条减碳体系。

能源结构转型与低碳工艺革新。石化行业正以绿氢替代与可再生能源耦合为核心，加速重构能源体系并突破工艺脱碳瓶颈。2024 年合成氨行业绿氢渗透率已提升至 18%，宁夏宝丰能源投产全球最大绿氢合成氨项目（年产 20 万吨），通过绿氢直接替代化石能源制氢，吨氨碳排放强度从传统工艺的 4.5 吨骤降至 0.8 吨，降幅达 82%，为合成氨零碳转型提供标杆范例；宁波石化经开区构建“光伏+氢能”多能互补系统，覆盖园区 35%能源需求，年减排 CO₂ 达 68 万吨，获评工

信部“绿色低碳示范园区”，验证了可再生能源与传统能源协同供能的可行性；巴斯夫全球首座电加热蒸汽裂解炉（2024 年投产）采用 100%绿电供热，相较传统工艺减少 92%碳排放，推动乙烯行业单位产品碳强度降至 0.8 吨 CO₂/吨（国际均值 1.5 吨），标志着高温工艺电气化技术的重大突破。

能效提升与产业集约化发展。通过能效分级管控与装备升级迭代，石化行业正淘汰落后产能并重塑高效生产体系。2024 年炼油、乙烯行业能效标杆产能比例分别达 28%和 25%，镇海炼化依托高效裂解炉与余热回收技术，将乙烯装置能耗降至 575 千克标煤/吨（低于国际标杆值 590），年节约标煤 12 万吨，示范效应显著；炼油行业加氢裂化技术普及率突破 70%，推动单位原油加工能耗下降 20%，中石化燕山基地通过装置集成优化减少燃料气消耗 1.2 亿立方米/年，印证了流程集约化对降耗的倍增价值；工信部数据显示，2024 年石化行业节能技术市场规模超 800 亿元，磁悬浮压缩机等高效装备普及率达 40%，支撑全行业单位产值能耗同比下降 6.2%，产业能效提升进入快车道。

负碳技术与数智化协同。CCUS 规模化应用与数智化管控正形成“末端治理+系统优化”的深度减碳合力。2024 年全国 CCUS 项目累计封存 CO₂达 1500 万吨，齐鲁石化-胜利油田百万吨级项目升级后年封存能力增至 200 万吨，CO₂驱油效率从 2022 年的 65%跃升至 85%，预计未来 10 年可增产原油 500 万吨，实现封存与经济效益双赢；中石化“能碳一体平台”覆盖 90%以上重点装置，实时优化能源配置与碳排放溯源，2024 年试点企业综合能效提升 15%，数据误差率低于 2%；阿里云“碳眼”系统为 30 家石化企业提供动态碳评估，减排决策效率提升 40%，推动企业碳数据纳入全球 CDP 披露体系，数字化正成为能碳协同管控的核心引擎。

碳资产管理与市场化增值。碳足迹核算与碳金融创新驱动碳资产向生产力转化，助力行业融入全球气候治理体系。2024 年石化产品碳标签认证覆盖率提升至 20%，万华化学水性涂料凭借较同类产品低 30%的碳足迹获欧盟碳关税豁免，年出口额增长 25%，凸显碳标签对国际竞争力的赋能价值；全国碳市场石化行业配额成交额突破 80 亿元，上海石化通过 CCER 交易实现碳资产收益 2.3 亿元，并以碳配额质押融资 15 亿元，验证了碳金融工具的市场活力；据全球气候债券倡议组织统计，2024 年中国石化行业绿色债券发行规模超 300 亿元，碳资产正从

成本项转型为创收项，为行业低碳转型注入资本动能。

4. 建材行业

建材行业作为建筑全生命周期碳减排的关键环节，正以政策牵引、技术迭代与模式创新加速绿色转型。在“双碳”目标驱动下，行业通过绿色建材规模化应用、生产工艺低碳化改造及智能供应链协同，构建起覆盖“生产-流通-施工”的全链条减碳体系。

政策驱动绿色建材规模化应用，试点城市引领采购革新。以政府采购为杠杆，通过试点示范与电子化平台建设，倒逼绿色建材市场渗透率快速提升。2024年全国48个试点城市绿色建材采购额突破800亿元，占政府工程建材采购总量的35%，西安市依托“政府采购支持绿色建材发展服务平台”实现供应商、产品、项目全流程线上管理，平台入驻企业超1200家，绿色建材使用比例较试点前提升40%；试点项目“西安国际会展中心二期”采用再生骨料混凝土和低碳钢结构，建材运输半径从500公里压缩至200公里，降低碳排放22%，带动西北地区绿色建材产业规模增长25%。

技术赋能建筑全链条减碳，CCUS与装配式协同破局。聚焦生产端碳捕集与施工端模块化创新，构建覆盖“建材生产-建筑运维”的深度减碳体系。技术突破成为降低建筑碳强度的核心动能：海螺水泥2024年投运全球首条百万吨级水泥窑CO₂捕集项目，通过“化学吸收+驱油封存”技术实现年减排50万吨，碳捕集成本降至行业最低的35美元/吨；装配式装修全国渗透率提升至47%，中建科技雄安新区项目采用“BIM+九大集成系统”，实现装修垃圾减少80%、工期压缩50%，单项目综合降碳达1600吨；住建部预测，2025年装配式装修市场规模将超5000亿元，带动水泥、钢铁等高碳行业减排10%以上。

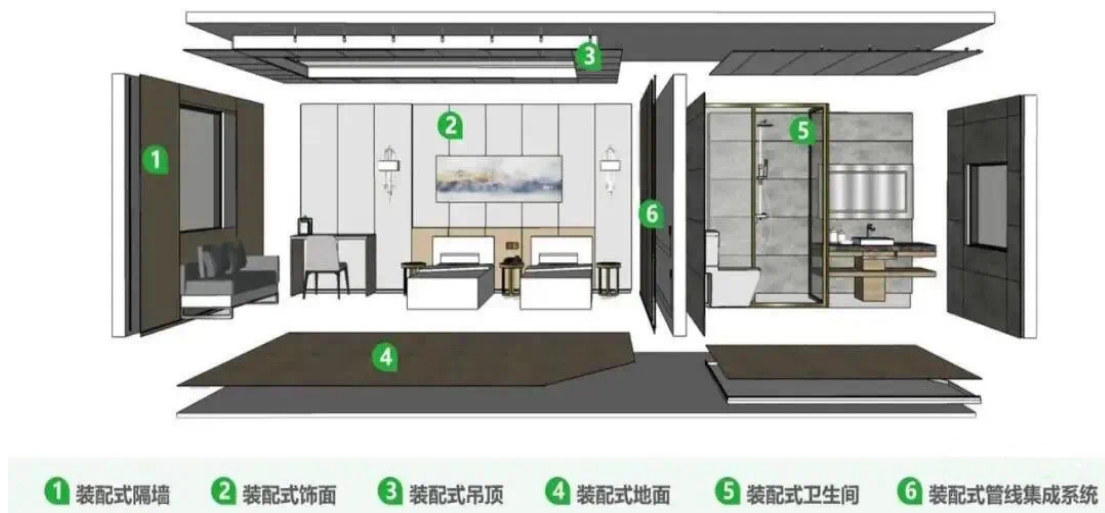


图 2 BIM 装配式装修示意图

人工智能重构供应链生态，“四流合一”激活产业效能。以区块链与 AI 技术打通产业链“四流”，实现绿色建材精准匹配与碳数据可信溯源。嘉评链产业大脑 2024 年链接供应商超 5000 家，交易规模突破 200 亿元，为中建三局广州白云机场 T3 航站楼项目智能匹配低碳建材，降低采购成本 18%，减少因选材误差导致的碳排放 12%；平台“四流合一”模式（商流、物流、资金流、信息流）获工信部推广，中铁二十局西安奥体中心配套项目借助 AI 碳核算模型，将建材碳足迹误差率控制在 3% 以内，成为行业首个通过 CDP（全球环境信息研究中心）认证的智能建造项目。行业预计，2025 年 AI 绿色供应链将覆盖 30% 以上工程项目，推动全行业物流效率提升 50%、碳管理成本下降 40%。

5. 建筑行业

建筑行业正以全生命周期视角推动系统性变革，通过标准体系构建、技术创新迭代与数字技术赋能，重构设计建造、运维管理到拆除回收的全链条低碳路径。在政策驱动与市场倒逼下，行业加速推进绿色建造技术普及、装配式建筑规模化应用及资源循环体系完善，逐步形成“源头减量-过程优化-末端再生”的可持续发展范式。

全生命周期碳计量体系引领行业规范。标准化是破解建筑碳排数据“孤岛效应”、激活碳资产价值的底层逻辑。当前建筑碳核算存在口径不一、追溯困难等痛点，导致碳交易与监管难以落地。通过建立覆盖全生命周期的计量标准（如《城

乡建设领域碳计量核算标准》），可统一碳排数据采集、核算与认证规则，降低产业链协同成本，为碳金融、碳关税等市场化机制铺路。2024年《民用建筑钢构件碳排放计量标准》实施后，北京建谊集团在雄安政务中心项目中实现钢构件碳足迹误差率从30%降至8%，精准核算支撑碳配额交易，单项目获利超800万元。全国碳市场建筑板块年交易额突破50亿元（2024年），标准化正推动碳资产从“成本项”向“收益项”转型。碳数据透明化迫使高碳工艺退出，2024年传统现浇混凝土市场份额下降至55%（2020年75%），装配式钢结构因碳排可追溯性优势占比提升至35%。

被动式设计+装配式技术重构低碳根基。设计阶段决定建筑全生命周期80%的碳排潜力，被动式设计与装配式技术从源头破解“高碳锁定”。被动式设计通过最大化利用自然条件（通风、采光、隔热）减少能源需求，避免后期高能耗补救；装配式技术通过工厂预制、现场拼装减少施工扰动，二者协同可降低建造阶段碳排40%以上。北京城市副中心行政办公区二期采用立体绿化+光伏幕墙，年节电120万千瓦时，减少空调负荷40%；中建科技雄安未来城项目通过95%预制率实现建造垃圾减少80%，碳排放强度降至 $18\text{kgCO}_2/\text{m}^2$ （传统建筑 50kg ）。香港华艺设计主导的深圳留仙洞七街坊联建大厦项目，运用单元式幕墙、预制内隔墙等装配式构件及BIM协同技术，实现施工流程标准化。通过工厂预制减少20%碳排并缩短30%-50%工期，结合BIM模型进行管线综合、碰撞检测及施工模拟，有效降低返工率及二次碳排放，打造高效低碳建造范式。2024年中建科技展“好房子”项目由中海地产主导，以全生命周期碳管理为核心，集成装配式建造、低碳建材及智能控制技术，实现建材环节碳排降低15%，单位面积碳排较2005年锐减60%，项目采用零化石能源供热系统，生活热水清洁化率达100%，建筑电气化率超80%，形成“节能设计-清洁供能-智慧调控”一体化可持续人居解决方案。2024年装配式建造成本与传统现浇差距缩至5%，政策补贴加速技术普及。数字孪生技术正成为设计优化的核心工具，头部企业设计碳排放模拟准确率达90%，动态优化使方案碳排降低15%-30%。

光储直柔+AI 算法驱动运维智慧升级。建筑运维碳排放占全生命周期60%以上，需通过“能源结构清洁化+管理智能化”双路径破局。光储直柔（光伏、储能、直流配电、柔性调控）实现建筑能源自给与电网互动，AI算法通过预测-诊

断-优化闭环提升能效，二者结合可削减运维碳排 50%-70%。中国建研院近零能耗示范楼 2.0 版（2024 年）集成地源热泵与光储直柔系统，年能耗仅 15kWh/m²，碳排强度较国标下降 90%；腾讯光明数据中心 AI 智控模型使 PUE 从 1.5 优化至 1.2，年节电 2.4 亿度，等效减碳 14 万吨。2024 年全国建筑能源管理平台覆盖率超 65%，AI 驱动空调系统能效提升 30%。光储直柔系统成本降至 350 元/m²（2020 年 800 元），投资回收期缩至 5-8 年，激发商业地产改造热潮。智洋数能、中海华壹、科大讯飞、绿米联创联合打造中建科创平台“未来人居实验室”项目，采用系统节碳、产品节碳、AI 节碳实现全屋智慧能源管理，引入光伏、空气源热泵以及储能系统，采用“光储直柔”大幅减少能源在转换和传输环节的浪费，并通过智能托管，对空调、照明进行 AI 调控，提供个性化节能建议。

案例专栏：中国电信积极推动公共建筑节能降碳
中国电信物联网公司依托“潮汐节能大脑平台”，通过“物联网+AI”技术为政府楼宇、校园、医院等公共机构构建智慧节能体系：空调系统实施分体机远程管理、多联机群组调度及中央空调 AI 变频改造，综合能效提升 14%；照明系统采用停车场人车感应调光（节能率超 80%）与办公区恒照度联动策略，消除无效能耗；部署分层计量与电力指纹技术实现用能监测及安全隐患预警，同步整合光伏、储能与充电桩形成“光-储-充”清洁能源网络，并通过可信碳计量平台实现碳排放监测、分析与一键报告生成。目前该方案已覆盖全国 31 省 270 市，改造设备近百万台，年节电超 8000 万度、降碳 8 万吨（等效植树 400 万棵），形成“技术+服务”双轮驱动的可复制模式，为公共机构低碳转型提供实践范例。

精准拆解+数字监管激活再生价值。传统建筑拆除产生巨量垃圾与碳排，需通过“精细化拆解-数字化回收-高值化利用”重构循环经济。精准拆解保留建材完整性，数字平台（AI 识别+区块链溯源）提升资源匹配效率，使再生建材溢价率达 20%-30%，破解回收经济性难题。北京丽泽商务区实验楼拆除项目（2024 年）实现 92%材料回收，再生骨料用于雄安道路基层，减少填埋碳排 70%；上海虹桥再生建材产业园年处理垃圾 500 万吨，资源化产品产值 20 亿元，利润率超

传统填埋 3 倍。2024 年全国建筑垃圾资源化利用率达 35%（2020 年 10%），拆除阶段碳排贡献率从 5%升至 15%。住建部“拆除碳配额”制度（2024 年试点）将填埋垃圾量与碳配额挂钩，倒逼企业选择拆解再生路径，预计 2025 年再生建材市场规模突破万亿元。

6. 机械行业

机械行业作为工业碳排放大户，正通过“新能源替代、循环再造、智能增效”三位一体战略重塑产业生态——以电动化、氢能化加速新能源替代进程，以再制造产业化深化循环再造体系，以智能化技术重构生产作业范式，推动全产业链向绿色低碳转型，引领全球工程机械产业迈入可持续发展新阶段。

新能源工程机械规模化突围。新能源工程机械的规模化落地依赖政策强制约束与技术痛点突破的双向驱动。政策端通过场景化电动化率（如矿山、港口 50%）划定刚性目标，倒逼企业技术迭代；技术端则需解决电池低温衰减、氢能成本高等核心瓶颈，形成“场景适配-技术突破-成本下降”正循环。此外，中国供应链优势（如动力电池、换电设备）为全球市场提供高性价比解决方案，加速技术输出。三一重工“全域热管理技术”攻克-30℃极寒工况电池续航难题，电动挖掘机单次充电作业时长提升至 8 小时，国内市场占有率突破 40%；徐工氢燃料电池装载机中标澳大利亚铁矿项目（订单 20 亿元），氢耗 4.5kg/h（较柴油减排 100%）；宁德时代工程机械专用电池包支持 5 分钟换电，推动 2024 年全球电动工程机械销量突破 15 万台，中国品牌市占率 35%。

从“废件重生”到“碳资产增值”再制造产业化。再制造产业的本质是循环经济与碳金融的深度融合。通过高精度修复技术（如激光熔覆、纳米涂层）提升旧件性能，再制造产品成本仅为新品 40%-60%，而碳减排量可达新品生产的 70%-90%。政策端需建立碳减排核算标准，将再制造纳入碳交易体系，使企业通过“再制造减排量交易”获得额外收益，从而破解经济性难题。产业与资本联动（如绿色信贷、ESG 投资）将进一步放大规模效应。中联重科长沙基地采用激光熔覆技术修复液压泵，旧件寿命延长 2 倍，年处理废旧件 10 万吨，碳减排 120 万吨 CO₂。工信部 2024 年发布《工程机械再制造碳减排核算指南》，允许再制造减排量参与碳交易，徐工集团通过再制造碳资产交易获利 3.2 亿元。卡特彼勒再制造挖掘

机出口东南亚价格优势达 30%，带动 2024 年再制造市场规模 1800 亿元，头部企业毛利率超 35%。

从“人机协同”到“碳效最优”智能化重构作业范式。智能化技术通过作业精准化与运维预防性实现能效跃升。AI 算法优化设备动作轨迹（如泵车布料、挖掘机铲斗路径），减少无效能耗；数字孪生技术模拟设备运行状态，预判故障并优化维护周期，降低停机损耗。更深层的价值在于数据驱动的碳效管理——实时监测设备碳排放强度，动态调整作业策略，使单位工程量碳排下降 20%-30%。三一重工“灯塔工厂”数字孪生技术实时优化泵车臂架动作，布料精度 $\pm 2\text{cm}$ ，能耗降低 18%，年节省燃油成本 500 万元/台。铁建重工盾构机预测性维护系统故障识别准确率 95%，设备寿命延长 30%，2024 年后市场服务碳减排贡献率提升至 15%。小松智能矿山系统（2024 版）通过 AI 调度算法优化装载机与卡车协同，运输效率提升 40%，燃油消耗下降 25%，单矿年减碳 10 万吨。

从“材料革命”到“零废制造”绿色设计闭环。绿色设计的核心是全生命周期碳排最小化，需贯穿材料选择、结构设计、制造工艺三大环节。轻量化材料（如镁合金、碳纤维）降低设备自重，减少运行能耗；模块化设计提升拆解回收率，使再生材料利用率超 80%；制造端通过工艺革新（如干式切削、激光切割 AI 排样）将原材料损耗压缩至 5%以内，最终形成“低碳材料-高效制造-循环再生”闭环，隐含碳（Embodied Carbon）较传统产品下降 50%以上。柳工联合宝武集团研发低碳高强钢，2024 年工程机械用再生钢材占比 40%，单台装载机隐含碳下降 1.2 吨。中联重科 C 系列起重机采用镁合金轻量化臂架（减重 35%），搭载生物基润滑油，全生命周期碳排降低 50%。山河智能长沙基地激光切割 AI 排样系统使板材利用率从 78%提升至 95%，年减少废钢 3 万吨；徐工液压件工厂干式切削工艺减少冷却液消耗 90%，危废处理成本下降 70%。

7. 电子信息制造行业

电子信息制造业作为技术密集型产业，正以绿色设计、智能制造、节能技术、数智化转型与零碳运营五大维度构建全链条低碳生态体系，推动行业从高耗能向高效能转型。在欧盟碳关税扩围、全球供应链碳约束趋紧的背景下，中国企业通过技术创新与模式革新，将低碳理念融入研发、生产、运营全流程，不仅破解“高

碳锁定”困境，更以“中国方案”引领全球电子制造可持续发展浪潮。

绿色设计革新从源头破解高碳难题。面对消费者需求升级与国际贸易碳壁垒的双重压力，绿色设计成为电子信息制造业打破“高碳产品-高碳供应链”恶性循环的核心抓手。联想联宝科技 2024 年推出全球首款“零碳认证”笔记本电脑，通过 40%再生铝机身、生物基塑料外壳和主板面积缩减 30%的设计，将产品全生命周期碳排降低 58%，同时采用模块化设计使电池、屏幕等关键部件更换率提升 90%，维修碳排放下降 70%；TCL 华星光电“超薄集成化显示模组”通过电路精简设计与低温焊接工艺，生产能耗降低 25%，产品能效提升 20%，2024 年此类绿色设计产品营收占比达 45%，验证了“低碳即竞争力”的市场逻辑。行业数据显示，2024 年电子制造业再生材料使用率提升至 38%，模块化设计渗透率超 50%，绿色设计正从“成本负担”转向“价值引擎”。

以工艺革命突破“高精度-高能耗”定义制造新范式。在半导体先进制程竞争与消费电子迭代提速的驱动下，行业通过纳米级材料革新与 AI 动态调控技术，重构高精度制造的能效极限。宁德新能源 ATL 2024 年量产的“无钴高镍”固态电池采用干法电极工艺，电极生产能耗从 1.2kWh/kg 降至 0.5kWh/kg，单条产线年减碳 8000 吨，同时电池能量密度提升至 320Wh/kg，破解了续航与碳排的“跷跷板效应”；比亚迪电子深圳基地引入 AI 驱动的压缩空气动态调控系统，实时匹配生产线气压需求，使空压机能效提升 40%，年节电超 2000 万度，单位产值能耗强度降至行业均值的 60%。半导体领域，中芯国际上海工厂通过极紫外（EUV）光刻与原子层沉积（ALD）技术，将 28nm 芯片生产的单位能耗降至 0.8kWh/片（传统工艺 1.5kWh），成为全球首个“半导体零碳晶圆厂”，其 3nm 工艺研发线碳排强度较台积电同代技术低 15%，彰显中国技术突围的全球影响力。

从单点突破到系统协同释放全链路能效潜力。针对电子制造多环节、多能种的复杂用能特征，企业通过热力学优化与跨系统集成，构建“设备-产线-工厂”三级节能体系。京东方重庆 8.5 代线 2024 年完成全厂热回收系统改造，利用面板生产过程中 90℃ 以上的废热为园区供暖，年回收热能相当于 1.2 万吨标煤，减少燃气消耗 35%，同时降低冷却塔负荷 40%；工业富联郑州工厂应用磁悬浮冷水机组与 AI 能效优化算法，将数据中心 PUE（能耗效率）从 1.6 降至 1.25，年减碳 5 万吨，IT 设备负载率提升至 85%。中芯国际北京工厂通过设备升级与余热

回收改造，关键机台能效提升 30%，锅炉天然气消耗减少 60%，温室气体逸散排放下降 45%，系统性节能改造推动头部企业年均能效提升 8%，2024 年行业单位产值能耗强度较 2020 年下降 28%。

破解碳数据孤岛，构建透明可信的碳流管理体系。在欧盟《数字产品护照》等法规倒逼下，行业以物联网感知、数字孪生与 AI 决策构建“监测-模拟-优化”闭环。微星科技深圳恩斯迈工厂 2024 年建成电子行业首个“能碳一体化数字平台”，集成 5 万+传感器实时采集水、电、气、热数据，通过数字孪生模拟生成 216 种排产方案，动态选择碳效最优路径，单位产值碳排下降 28%，订单交付周期缩短 20%；台积电台南 3nm 晶圆厂利用 AI 预测性维护系统，提前 72 小时预警设备故障，减少非计划停机损失，年节省维护能耗 1.8 亿度，良率提升至 98.5%。工信部数据显示，2024 年全国电子制造业关键工序数控化率达 75%，数字技术对行业碳减排贡献率超 30%，碳数据追溯准确率从 50%提升至 90%，数智化成为能碳协同的核心引擎。

从单体工厂到全链生态实现零碳运营。在 RE100 与 EP100 国际倡议驱动下，中国企业通过基础设施革新与供应链协同，将零碳实践从工厂扩展至全产业链。TCL 武汉华星 t5 工厂 2024 年投运，集成光伏幕墙（年发电 3800 万度）、地源热泵（替代中央空调能耗 60%）与雨水回收系统（节水 45%），获评全球首座“UL 零碳认证”显示面板工厂，其生产废水回用率达 95%，废弃物资源化率超 90%；立讯精密昆山基地通过无人化仓储与氢燃料电池叉车，物流环节碳排下降 90%，厂区绿化碳汇吸收剩余 10%排放，实现运营端“净零碳”，并通过区块链技术追踪供应链中 300 家核心供应商的碳数据，协同减碳覆盖率提升至 65%。行业标杆效应显著——2024 年全国电子制造业新建工厂 100%达到绿色建筑三星标准，零碳工厂数量突破 50 家（较 2022 年增长 400%），绿电消费占比提升至 45%，中国方案正重塑全球电子制造可持续发展范式。

8. 信息通信行业

信息通信行业作为数字经济的核心引擎，正从传统能源消费者向“绿色能源生产者+低碳技术赋能者”双重角色转型。在“双碳”目标引领下，通信运营商通过技术创新、模式革新与战略协同，构建“自身减碳+社会赋能”双轮驱动体

系，推动 5G 网络、数据中心等新型基础设施向绿色化、智能化升级，为千行百业低碳转型提供数字底座与解决方案，重塑产业链可持续发展范式。

顶层设计锚定双碳路径，三大运营商差异化破局。面对国家双碳目标与全球 ESG 治理趋势，通信运营商以系统性战略规划明确减碳路径。中国电信发布“1248”双碳行动计划，以绿色数据中心建设为核心，目标 2025 年单位能耗与碳排强度下降 23%，其青海零碳数据中心 2024 年实现全年自然冷却 314 天，PUE 低至 1.15，年减碳超 30 万吨；中国移动提出“三能六绿”发展模式，聚焦节能（技术降耗）、洁能（清洁能源替代）、赋能（数字化提效），目标到 2025 年单位业务量能耗与碳排强度较“十三五”末下降 20%、25%；中国联通通过“绿色低碳”五大行动，推动网络架构优化与清洁能源替代，2024 年其深汕云数据中心 PUE 达 1.23，风光电占比提升至 35%。差异化战略下，三大运营商 2024 年单位业务能耗平均下降 18%，绿电消费占比突破 40%，行业减碳“头雁效应”凸显。

能效革命驱动网络基础设施绿色升级。通信行业以硬核技术突破破解 5G 高能耗难题，重塑网络能效标杆。硬件层面，Massive MIMO 技术使 5G 基站能效较 4G 提升 3 倍，中国移动 2024 年新增 5G 单站能效同比提升 12%，超大规模数据中心 PUE 降至 1.25；软件层面，AI 节能系统实现动态调优，中国电信自主研发的基站智慧节能系统覆盖 31 省，5G 节能效率达 18%，年节电 7 亿度，减碳 36 万吨；中国联通智能节能机器人在 300+地市部署，基站能效提升 22%，年节电 2.5 亿度。颠覆性技术如浸没式液冷将空调能耗降低 30%，中国电信海南海底数据中心通过海水自然冷却，PUE 低至 1.08，淡水消耗趋近于零。2024 年全行业 5G 基站能效较 2020 年提升 45%，数字基建绿色化转型步入快车道。

共享共建与绿色运营重构产业生态。运营商通过资源共享、能源替代与运营体系革新，构建低碳共赢生态。共建共享方面，中国电信与中国联通 5G 基站共建率超 98%，2024 年节电超 130 亿度，减少碳排放 700 万吨；智能休眠技术使夜间基站能耗下降 25%，中国移动通过潮汐调度算法，动态关闭冗余设备，年省电 9 亿度。绿色能源应用层面，中国电信广西“光氢储”基站实现光伏+氢能 100% 供能，年减碳 800 吨；中国联通内蒙古数据中心风光电占比达 70%，使当地风光资源利用率提升至 95%。运营体系上，三大运营商 2024 年采购绿色硬件占比超 60%，供应链碳排强度下降 28%，带动华为、中兴等设备商推出全生命周期碳足

迹可溯的 5G 基站产品。

算力网络协同赋能全国低碳布局。“东数西算”国家战略下，通信运营商优化算力资源布局，构建东西协同、绿色集约的算力网络。中国电信将东西部数据中心比例从 7:3 调整至 6:4，2024 年西部数据中心绿电使用率达 85%，青海零碳数据中心实现 100%清洁能源可溯源；中国移动打造“云边端”三级算力网，内蒙古枢纽节点 PUE 低至 1.2，风光电直供比例 60%，年减碳 50 万吨；中国联通成渝枢纽节点采用余热回收技术为周边社区供暖，能源综合利用率提升 40%。三大运营商联合制定《西部绿色数据中心技术规范》，推动液冷、氢能等 30 项技术标准，2024 年西部数据中心平均 PUE 降至 1.25，较东部下降 15%，算力网络碳效优势全面释放。

数字技术激活千行百业低碳转型。通信运营商以 5G+AIoT 技术为底座，赋能工业、交通、建筑等领域低碳转型。在能源领域，中国移动与国家电网共建“5G+智能电网”，实时调控分布式能源，2024 年风光电并网效率提升 25%，弃电率下降至 3%；中国电信三一重工“5G 零碳工厂”项目，通过数字孪生优化生产流程，单台挖掘机生产碳排下降 30%。在交通领域，中国联通赋能天津港建成全球首个“氢能+5G”智慧码头，无人集卡与氢能重卡协同作业，年减碳 4 万吨；中国移动“5G+北斗”精准定位系统助力物流路径优化，车辆空驶率下降 18%。2024 年三大运营商累计落地绿色赋能项目超 2000 个，拉动社会减碳 1.2 亿吨，数字技术减碳乘数效应加速显现。

（三）能碳双管打造零碳/近零碳园区

零碳园区建设是系统性重构能源、产业与治理体系的创新实践，需以“供给清洁化、用能高效化、产业协同化”为内核，打通绿色基建、能碳管控与循环经济三大闭环。通过可再生能源替代、智能微网调控、全链条碳治理及产业生态共生等路径，推动园区从能源结构优化、消费侧行为引导到产业链深度耦合的立体转型，形成生产、生活、生态“三生融合”的可持续发展范式。

加强新能源供给和绿色基础设施建设。园区以“清洁能源+智慧调控”为核心构建零碳供能用能体系：优先开发分布式光伏、风能等可再生能源提升绿电占比，配套新型储能设施增强本地消纳能力，集成“电-热-冷-气-氢”多能耦合系

统实现能源梯级利用；同步建设智能微电网，通过数字化电力基础设施聚合新能源、柔性负荷与储能设备，实现源网荷储动态协同；应用绿色建材与低碳建造工艺全域推广超低能耗建筑，并打造新能源车辆全覆盖的零碳交通网络，形成“发-储-用-控”一体化的能源转型闭环。青岛中德生态园作为中德两国政府首个可持续发展合作示范项目，通过多维度技术整合实现零碳目标：依托泛能网技术构建太阳能、风能、地热能及空气能等多元清洁能源体系，其中分布式光伏装机规模达 16MW，覆盖近 100 万平方米供能面积；创新“智能绿塔”模式，将新型光伏板集成于建筑幕墙，结合储能系统实现电力自给与负荷平衡；全域推广被动式超低能耗建筑与装配式技术，100%落实绿色施工标准；同步建设零碳操作系统，以数字化手段实现碳排放全流程监测管理，形成“清洁供能-低碳建筑-智慧管控”三位一体的园区碳中和解决方案。

强化消费侧绿色低碳引导和管理。通过统一能源管理机制设定工业增加值综合能耗标准，引导企业应用节能技术装备改造存量项目，依托能源梯级利用、绿色供冷供热及余热余压回收等综合服务提升能碳治理效率；同步推进废弃物源头减量与资源化利用，提高工业固废、生产用水循环利用率；创新建立碳排放导向管理机制，推动企业开展碳核查、碳资产与产品碳足迹管理，接入能碳管理平台实现碳监测、减排规划、资产运营及碳普惠服务，并联动绿电交易、碳市场与环境信息披露，形成“控排-减排-变现”的碳价值闭环。北京金风科技亦庄智慧园区以可再生能源为核心，融合智能微网、智慧水务及绿色循环体系，构建零碳示范样本：通过部署 4.8MW 分散式风电、1.3MW 分布式光伏，搭配锂电池与超级电容组成智能微电网，实现清洁能源供电占比 50%；采用地源热泵供冷供热、水蓄冷及空调照明智能调控技术提升能效；依托雨水收集（年回收 525 吨）与水处理二次利用（年节水 5.8 万吨），累计年节约新鲜水 5.85 万吨；同步设置垃圾分类回收、低碳置换屋等设施，并通过购买 CCER 抵消剩余碳排放，最终建成涵盖绿色能源、循环资源、低碳生活的零碳园区。

可再生能源与绿色产业协同布局。园区以可再生能源禀赋为基，优先选址资源优渥区域，通过产业协同布局（绿电-绿锂-绿氢耦合）、土地集约利用及 30% 以上绿化空间预留，构建“绿色基建+循环产业”生态；同步推行绿色制造认证与产业循环链接机制，引导企业间能源梯级利用与副产品交换。以青海零碳产业

园为例，中铁第五勘察设计院规划三大核心路径：空间层面整合风光资源搭建绿电基底，产业层面聚焦绿锂（盐湖提锂）、绿硅（光伏材料）、绿氢（电解制氢）、绿色畜牧四大支柱产业，系统层面配套锂电池回收、新能源装备制造及碳汇增值服务，形成“资源提纯-材料加工-装备应用-回收再生”全链条闭环，叠加物流金融等生产性服务业，最终打造千亿级零碳产业集群，为高载能区域绿色转型提供“清洁替代+产业共生”的可复制范式。

（四）龙头企业与发达地区引领碳足迹管理体系建设

龙头企业全产业链协同，构建碳足迹管理行业标杆。国内钢铁、新能源、动力电池等领域的龙头企业正以“标准制定-技术突破-供应链联动”三位一体模式，推动产品碳足迹管理从单点突破向全链协同升级。钢铁行业龙头宝武集团依托零碳平台，将碳核算服务延伸至上游矿石开采与下游深加工环节，2024 年签约供应链企业突破 1500 家，覆盖产品类别超 4000 项，带动产业链平均碳排强度下降 18%；风电龙头金风科技主导制定的《风力发电机组产品碳足迹评价标准》填补国内空白，2024 年完成全球首台风电机组 EPD（环境产品声明）国际认证，并推动中欧风电碳足迹核算规则互认；光伏企业隆基绿能全系列硅片通过法国 ECS、CBAM 双重认证，天合光能 N 型组件碳足迹较 PERC 组件降低 30%，2024 年海外市场占有率提升至 25%；动力电池龙头宁德时代在四川宜宾、青海海西新建两大“绿电+零碳电池”产业基地，绿电自给率超 90%，单 GWh 电池碳排强度降至行业均值 50%；比亚迪成立集团级碳排放管控委员会，建立覆盖 600 家核心供应商的碳管理体系，2024 年新能源汽车全生命周期碳排强度较 2020 年下降 45%，供应链绿电使用率提升至 65%。

发达地区搭建碳足迹平台，破解中小企业碳管理瓶颈。粤港澳大湾区、长三角等发达地区通过公共服务平台建设，为企业提供标准化、普惠化的碳足迹管理支持。2024 年粤港澳大湾区碳足迹标识认证平台升级至 2.0 版本，覆盖能源、化工、电子等 15 个行业 200 类产品，核算模型兼容 ISO 14067、欧盟 PEF 等国际标准，实现与德国、新加坡等 30 国认证互认；平台为中小企业提供全额补贴，2024 年服务企业超 5000 家，认证产品达 8000 项，单家企业碳核算成本下降 80%；深圳市联合华为、腾讯开发 AI 碳核算引擎，将碳足迹报告生成时间从 30 天压缩

至 3 天，数据误差率低于 5%。该模式已复制至长三角（苏州工业园）、京津冀（天津经开区）等地，2024 年全国通过区域平台认证的产品碳标签超 1.2 万项，中小企业碳管理覆盖率从 15% 提升至 40%，为全国统一大市场碳规则衔接奠定基础。

国际标准互认与产业协同，提升全球碳规则话语权。龙头企业与区域平台联动，以“技术输出+标准对接”突破国际贸易绿色壁垒。金风科技主导的风电碳足迹标准被国际电工委员会（IEC）纳入修订草案，2024 年推动中欧风电碳标签互认；宝武集团联合必和必拓、淡水河谷建立全球钢铁碳足迹数据联盟，实现铁矿石开采-炼钢-轧制全链条碳数据互通；宁德时代电池碳足迹模型获美国 UL、日本 JIS 认证，2024 年动力电池出口碳关税成本下降 12%；粤港澳平台与新加坡碳信用交易所（CIX）达成合作，800 项认证产品可直接转换为国际碳积分交易。2024 年我国工业品碳足迹国际互认覆盖率提升至 35%，较 2022 年翻倍，为“新三样”（新能源汽车、锂电池、光伏）出口节省碳关税成本超 200 亿元。

（五）ESG 披露由选答题变必答题，重塑企业可持续发展范式

中国 ESG 信息披露由自愿向强制逐步过渡。ESG 是一场巨大的经济社会变革。随着双碳目标深入推进，利益相关方开始更多关注企业 ESG 表现，并以此作为长期投资价值评判依据。积极践行 ESG，主动融入绿色转型洪流，已然成为企业可持续发展的必由之路。2024 年，中国 ESG 发展迎来重要里程碑，真正开启了 ESG 强制披露时代，ESG 报告将成为与企业财报同等重要的“第二张报表”。中国企业 ESG 实践仍处于起步阶段，2024 年 A 股 ESG 报告披露率为 42%，可持续信披将逐步从上市公司向非上市公司扩展，从大型企业向中小企业扩展，从定性向定量扩展。彭博预测，到 2025 年，全球 ESG 资产规模有望超 53 万亿美元。企业非财务指标所彰显的重要意义和隐形价值将愈加明显。ESG 国际标准统一性趋势加速，中国将建设接轨国际、有中国特色的 ESG 标准体系，未来 ESG 标准既要有战略前瞻性，又要能规范指导现实实践，既要满足国家战略和企业发展需要，形成 ESG 标准范式，又必须得到国际社会认可。



图 3 A 股独立 ESG 报告披露数量和披露率（数据来源：Wind）

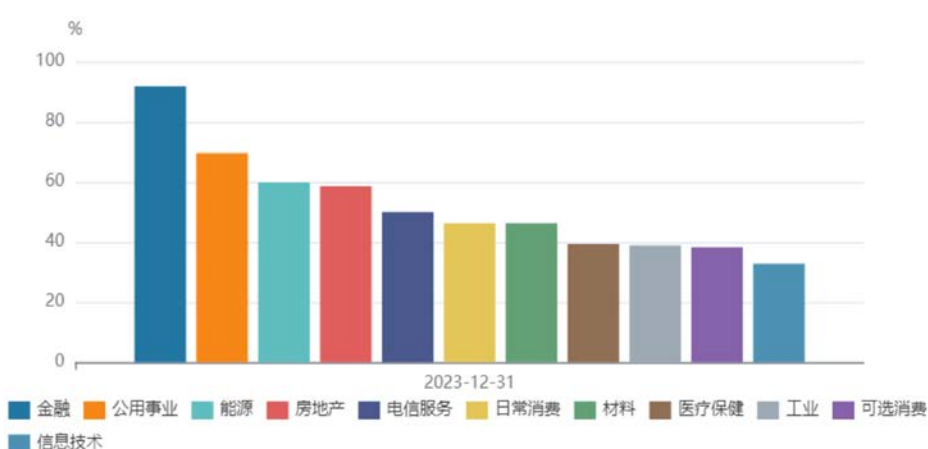


图 4 A 股按行业独立 ESG 报告披露率（数据来源：Wind）

AI 赋能企业 ESG 从经验决策转向数据决策。利益相关方对 ESG 信披质量要求提高，企业迫切需建立完善的 ESG 标准化管理体系、信披流程制度，以确保提供及时、重要、可信、可理解和可验证的 ESG 信息，包括双重重要性分析。而新质生产力与 ESG 的深度融合，提供了丰富场景和智能化工具，助力企业 ESG 向专业、高效、安全、智能化方向迈进。AI 赋能 ESG 成为企业破局共识。2024 年 10 月，中国企业改革与发展研究会、责任云、浩鲸科技联合发布“中国首个 ESG 大模型——鲸牛 ESG”，结合专业知识引擎和海量领域深度训练，开启 web 端、移动端、私域一体机、数字化平台等全渠道落地实践，助力企业 ESG 知识解答、数据治理、管理提升和信息披露。

ESG 从“成本负担”逐步转向“价值引擎”。ESG 理念指引，头部企业通过战略级 ESG 布局，按照可持续商业逻辑挖掘资源配置、业务发展、技术创新及应用中的非财务价值，将解决社会、环境问题转化为发展良机，CSR（企业社会责任）本位分配转向 ESG 多元共赢已成趋势，ESG 正在从被普遍理解的“成本负担”

转变为推动企业持续增长的“价值引擎”。软通动力信息技术（集团）股份有限公司作为中国数字技术产品和服务创新领导企业，围绕智能化、自主化、绿色化和国际化战略，坚持 ESG 与数字技术创新赋能绿色转型，持续推进 All in AI，自研 AI for Science 科学平台，包括 iSSMeta-Green 碳智能管理平台、智能化虚拟电厂平台、AI 模型驱动与数智化平台等，提供数字化绿色化解决方案，赋能企业实现碳数据精准量化、认证及多场景节能降碳。联想集团有限公司提出“Smart AI for All（人工智能普惠）”愿景与 AI 终端“一体多端”战略，通过普惠 AI、负责 AI 和绿色 AI 推动 ESG 深入发展，将 AI 技术应用于低碳技术、绿色科技与算力，自研 AI+IoT+ESG 楼宇/园区减碳先进技术，以智能化自动化低碳运行产品助力行业低碳转型。

（六）碳普惠机制创新，从行为量化到生态共建的全民低碳实践

政策引领与平台建设，促进地方碳普惠实践多点开花。碳普惠机制通过量化个人、社区及中小微企业的低碳行为减排量，打通绿色行为与市场价值转化通道，成为推动全民低碳生活的重要引擎。2024 年，浙江、上海、湖北等地加速构建多层次碳普惠平台：浙江湖州“碳达人惠湖州”平台接入 2.1 万居民分布式光伏项目，户均年增收超 800 元，并首创“碳汇池”交易机制，累计促成企业认购核证减排量 5000 吨，以及司法碳汇修复、劳役代偿等创新机制落地；湖北武汉“武碳江湖”平台聚焦公交、地铁、新能源车出行等场景，注册用户突破 80 万，日均低碳行为记录超 10 万次；上海市级碳普惠平台与“随申办”政务系统打通，个人碳账户覆盖衣、食、行、用等 20 个场景，用户超 300 万，积分兑换绿色商品转化率达 65%；江苏公共机构碳普惠平台接入滴滴、美团等 10 余个商业平台，累计减碳量超 5 万吨，机关单位人均碳足迹同比下降 18%。四川省机关事务管理局依托中国电信打造公共机构碳普惠平台，纳入全省近 5 万个事业单位 1800 万用户，设置单位积分和个人积分，聚焦个人日常行为，覆盖光盘行动、绿色出行、绿色消费、低碳办公、垃圾分类等多个场景，促使低碳理念融入日常生活，引导机构全方位规划实施节能降碳举措，发挥示范引领作用。

市场化机制创新激活碳资产内生动力。碳普惠平台正从“政府输血”转向“市场造血”，通过交易机制设计释放绿色行为经济价值。湖州“碳达人”平台构建

“减排量-碳积分-权益兑换”闭环,企业可采购碳汇用于碳中和或品牌形象提升,2024 年促成大型活动碳中和交易 512 吨,司法碳汇修复基金规模突破 1000 万元;蚂蚁森林、滴滴出行等商业平台嵌入碳账户功能,用户低碳行为可兑换消费折扣或公益捐赠权益,2024 年蚂蚁森林累计种树超 3 亿棵,带动 5 亿用户参与;金融系统加速入场——建设银行“碳惠通”平台实现碳积分与信用卡积分互通,2024 年绿色消费信贷规模超 200 亿元,用户碳账户活跃度提升 40%。中国电信为南平市搭建的“一元碳汇”平台(1 元=10 千克 CO₂)以市场化交易推动生态与经济协同发展:上线半年促成 1817 人次认购 1.34 万吨碳汇,创收 133.14 万元,惠及 1769 户林农(含脱贫户),通过碳汇销售、劳务增收及“森林生态银行”碳汇质押贷款破解林农资金难题;同步创新司法“碳汇赔偿”机制替代传统生态修复模式,以司法认购强化公众环保认知,构建“增汇-富民-护绿”可持续闭环。

方法学创新构建精准量化基石。各省市以方法学创新夯实碳普惠科学性,破解减排量核算难题。2024 年浙江发布《屋顶分布式光伏碳减排量核证规范》《纯电动车出行核算规范》等 6 项地方标准,居民空调节能、垃圾分类等场景减排量误差率降至 5%以内;上海出台《分布式光伏发电方法学》,推动工商业屋顶光伏碳普惠交易规模突破 10 万吨;重庆“碳惠通”平台将林业碳汇、湿地修复纳入核算范围,开发碳汇质押融资产品,2024 年生态修复项目融资超 5 亿元;全国碳普惠方法学互认试点启动,京津冀、长三角、成渝地区实现核算规则互通,跨区域减排量交易占比提升至 15%。

构建可持续普惠生态势在必行。尽管进展显著,碳普惠机制仍面临多重挑战:2024 年全国地市级平台覆盖率仅 30%,中西部地区多数城市尚未启动建设;80%平台依赖碳积分兑换,单次低碳行为经济价值不足 0.5 元,用户持续参与率低于 40%;跨平台行为数据无法聚合,同一用户在不同场景减排量重复计算率超 25%;交通出行类场景碳核算误差率高达 20%,家居能耗等细分领域缺乏监测手段;60 岁以上用户平台使用率不足 10%,操作流程复杂度成主要障碍。破局需多方协同:政府层面加快立法,企业探索“碳积分+碳金融”复合激励,技术端研发低成本 IoT 监测设备。

三、产业：碳达峰碳中和相关技术产业蓄势待发

双碳目标背景下，双碳产业发展潜力巨大且前景广阔，技术创新主导，新兴产业崛起，巨额投资需求，促进经济转型，带动大量就业，政策持续发力引导资源汇聚并规范市场，同时国际合作不断强化。

（一）新能源技术推动能源结构重大转型

新能源装备技术进步推动“制储输用”绿氢全产业链装备和技术加快发展。一是制氢成本降低与效率提升。隆基氢能、阳光氢能、稳石氢能、天合元氢、国氢科技、安思卓、未来氢能等通过改进大容量电解槽的设计和使用更高效的催化剂材料，显著降低电解水制氢的能耗和成本。二是储运技术革新。舜华新能源、氢枫能源、蓝能氢能、中科富海等研发出了更为轻量化、高强度的储氢罐，提高了车载储氢系统的安全性及容量。探索使用金属有机框架材料(MOFs)、复合金属氢化物等新型材料，提高储氢密度、释放效率、储氢体积和解决储运安全问题。三是多个国家和地区加快了加氢站的建设和布局，以支持氢能汽车市场的快速发展，构建起更加完善的氢能供应链。四是跨行业应用拓展。中国科学技术大学曾杰教授团队在氨动力发动机研究领域取得重要进展，将甲烷燃烧与尾气原位处理相结合，间接实现了氨气的燃烧，潍柴动力在氨燃料发动机技术不断取得新进展，绿色氢基动力卡车和氢基动力船舶的研发取得重要进展，解决了传统电动驱动在长途和载重大应用场景下的续航限制。

新型电力系统技术和示范应用提升新能源消纳能力。一是灵活调节能力提升加快。通过大中型抽水蓄能电站建设、火电厂灵活调节能力改造、“源网荷”侧新型储能建设、虚拟电厂、新能源微电网、微能源网、源网荷储一体化、电动汽车 V2G、光储直柔建筑、分频输电示范等多措并举，各级电网加快提升源侧、网侧、荷侧灵活调节能力。**二是加快建设新型电力系统资源分析和规划计划能力。**国家政策支持开展风电和光伏发电资源普查试点工作，国家发展改革委等印发《加快构建新型电力系统行动方案(2024—2027 年)》，国家能源局印发《配电网高质量发展行动实施方案(2024—2027 年)》、编制新型电力系统行动方案(2024—2027 年)、编制配电网高质量发展行动实施方案(2024—2027 年)，新能源行业金风科技、中电建集团、瑞科科技等加快开展风资源分析平台建设，省市级电网公司借助新能源云资源分布平台示范加快分布式光伏资源分析和规

划平台等建设工作，夯实新能源新型电力系统规划计划基础工作。三是加快建设**各级储能服务平台**。中国电力企业联合会根据《国家电化学储能电站安全监测信息平台电站接入规范(试行版)》建设了国家电化学储能电站安全监测信息平台，国家电网建设了新能源云储能服务平台和省级储能集控系统示范，南方电网储能公司建设了区域储能监控系统，为电力系统调节能力优化和支撑新型调度、新型电力系统仿真业务夯实基础。四是**新能源新型电力系统运维能力不断提升**。金风科技、三一重能、隆基绿能、宁德时代、特变电工等风电、光伏、储能、电力装备制造企业加快 5G 全连接工厂建设，5G+工业互联网应用场景日益丰富。金风科技、上海电气、中国海装、运达风电、正泰新能源、阳光电源、中车株洲所、华能集团等下属新能源运维产品开发企业加快基于工业互联网的新能源智慧运维平台应用推广，为风电、光伏、光热、储能等建设和运维企业提供光伏资源评估与工程设计、新能源场站在线监测、新能源功率预测、新能源场站气象和环境监测、新能源场站设备故障预警、场站设备全生命周期评估、新能源绿电和绿证标识服务等功能，有效提升新能源场站的运维效率和效益。

风光储制氢和风光储制氢氨醇一体化技术助力清洁低碳、安全高效的新型能源体系规划建设。绿氢、绿醇、绿氨、生物液体燃料、可持续航空燃料（SAF）等是新型能源的核心组成，通过大规模风光储项目的开发生产绿色氢基能源，已成为我国发挥新能源设备产能和成本优势，解决新能源资源大规模开发和绿色氢基能源生产的重要途径。一是**国家和地方政府给与产业政策支持**，我国新颁布的《能源法》大力支持氢能开发利用、生物燃料、新型燃料、工业原料等替代能源开发和利用，内蒙古、黑龙江等地方法规支持风光储制氢氨醇一体化项目或基地建设。二是**新能源产业链投资企业、工程建设企业和装备企业积极布局风光储氢氨醇一体化项目**，中能建、中广核、中煤集团、国电投、国家能源集团、三峡集团、中国华电、中国华能、金风科技、远景能源、中国天楹等纷纷推进示范项目建设。三是**绿色航运燃料、可持续航空燃料（SAF）、煤电掺氨、低空经济发展提供了绿色能源消纳的广阔消费前景**，中国石化、中国石油、中国海油布局绿色甲醇项目，世界航运巨头马士基积极采购绿醇绿氨船舶，上海洋山深水港实现绿色甲醇加注体系常态化建设，大连港也都在积极提升绿色甲醇加注能力等。四是**国际需求和合作前景广阔**。我国加快推动“一带一路”绿色能源合作，绿醇、绿

氨、绿色生物质燃料、可持续航空燃料（SAF）生产和消费正受到各国政府的日益重视，欧盟航运层面、国际航运层面均提出了绿色船运燃料的可持续要求。

光伏智能运维技术在新能源管理中发挥着关键作用。国家能源集团、国家电投集团、中国华能集团、中国华电集团、中国大唐集团、中国能建集团、中国电建集团、天合光能、浙江正泰、阳光电源、旗云中天纷纷布局光伏电站积尘灵敏感知、精准功率预测和智能运维融合技术，通过集成物联网、大数据分析和人工智能算法，智能光伏运维平台可实现对光伏电站的全方位监控和精细化管理。平台通过实时收集气象数据，结合积尘监测结果，智能调整光伏板运行参数和清洗策略，确保在极端气候条件下保持最佳发电效率。结合无人机巡检与多项运行状态参数，利用智能预测模型，提前识别潜在故障，减少停机时间，提高电站的整体运行稳定性。前沿技术的综合应用可充分提高光伏电站的发电效率并显著降低运维成本，为光伏产业的可持续发展提供有力支撑。

（二）绿色材料和工艺驱动高耗能工业深度脱碳

新型节能及新能源材料技术重构高耗能工业降碳路径。以材料创新驱动能源结构底层变革。2024 年数据显示，隆基绿能研发的 HPBC Pro 光伏电池量产效率突破 26.5%，其氢钝化非晶硅/晶体硅异质结材料使组件发电效率同比提升 10%；宁德时代推出的第三代钠离子电池采用普鲁士白正极材料，能量密度达 160Wh/kg，配套的零碳智能储能系统已在宝武集团湛江钢铁基地部署 40MWh，实现厂区 8%能耗清洁替代。氢能材料领域，中材锂膜开发的 12 μm 超薄增强型复合质子交换膜使电解槽能耗降至 4.1kWh/Nm³，阳光电源基于该材料打造的制氢系统在荣程钢铁完成工业级验证，绿氢成本降至 19.8 元/kg。生物质材料技术方面，格林美开发的木质素基催化材料使生物航煤转化效率提升至 89%，其建设的 30 万吨/年生物质燃料产线已向东方航空稳定供货。2024 年数据显示，这些材料技术推动钢铁/水泥/化工行业单位产值能耗同比下降 8.3%，清洁能源消费占比突破 34.5%。

工艺低碳前沿技术正在系统性重构高耗能工业的生产范式。高耗能工业行业从行业自身角度开展关键技术变革性创新，摆脱传统工艺流程和装备的束缚。寻求通过绿色原料替代技术，替代有害或高污染的原材料（如石油基原料）与可持

续的绿色原料（如生物质、可再生资源）来改进生产工艺，降低环境影响，减少二氧化碳排放。实施先进工艺技术，如低碳冶金（氢基直接还原、富氢熔融还原、电炉短流程炼钢等）、新型低碳胶凝材料、二氧化碳耦合制甲醇、高效低碳铝电解、高参数煤气发电、二氧化碳驱油、超低氮多孔介质无焰燃烧等技术。中建材合肥院研发的粉煤灰基低碳胶凝材料（熟料替代率 45%）在华润水泥肇庆基地规模化应用，单线年减排 CO₂18 万吨，产品获欧盟 ETV 认证。上海电气集团为鞍钢营口基地提供全球最大富氢熔融还原系统（HYBRIT 2.0），氢气利用率突破 95%，吨铁工序能耗降至 14.8GJ（较传统高炉下降 58%）。贵阳铝镁设计院研发的 600kA 智能预焙阳极电解槽（电流效率 97.2%）在云南宏泰投运，吨铝直流电耗 12,000kW·h，较国际先进水平低 9.3%。杭氧集团开发的第三代多孔介质无焰燃烧系统在沙钢集团 1780 热轧线投用，热效率提升至 93.7%，年节约天然气 1.2 亿立方米。

二次资源循环技术构建产业共生新生态。工业生产流程产生的固、液、气等二次资源以及社会产生的二次资源，通过循环高效再利用，实现资源利用价值最大化，有序统筹钢铁、石化、建材、化工等多产业链协同，建设高效循环利用互为资源化的工业生态圈。构建各产业链的闭环系统，上下游企业之间实现资源共享。钢铁企业推动废钢资源高质高效利用，扩大再生钢铁原料进口，推进废钢回收、拆解、加工、分类、配送一体化发展，完善废钢回收加工配送体系建设，推动废钢加工标准化和产业化。中国宝武欧冶链金建成全球最大废钢智能加工中心，2024 年投运 50 万吨级破碎线，杂质分选精度达 99.5%，吨钢加工成本下降 35%。铝行业通过提高废铝回收利用比例的绿色技术，生产 1 吨再生铝相比原生铝的生产，可减少 0.8 吨二氧化碳排放。中铝集团福州铝业建成 20 万吨/年再生铝保级利用产线，采用双室熔炼炉+电磁搅拌技术，铝直收率提升至 91%。

CCUS 技术工程化助力高耗能工业深度脱碳。CCUS 技术通过化学法、吸附法、膜法等技术路径，实现燃煤锅炉烟气中二氧化碳的高效捕集与资源化利用。2024 年 5 月，由腾讯组织发起的中国 CCUS 领域首个“碳寻计划”公布终选名单，华能清能院研发的中空纤维膜捕集技术（捕集效率 98.5%、能耗 < 2.4GJ/tCO₂）入选示范项目，其 50 万吨级燃煤电厂碳捕集装置在内蒙古达拉特旗投运，捕集成本降至 240 元/吨；原初科技的化学链矿化技术通过钢渣-二氧化碳协同矿化反

应，在沙钢集团建成全球首条百万吨级工业产线，年封存 CO₂ 35 万吨，矿化砖抗压强度达 38.5MPa（国家建材测试中心 2024 年认证）。前沿技术探索层面，中国科学院过程工程研究所的“钢铁行业二氧化碳吸附捕集及炉渣循环利用技术”已在鞍钢鲅鱼圈基地实现烟气 CO₂ 捕集率 91%、钢渣资源化率 95%；合成生物技术企业蓝晶微生物开发的二氧化碳噬菌菌株配套绿电电解制航煤技术，为中国商飞提供首批碳中和航空燃料。

（三）数字化+AI 深度赋能制造业节能管碳

数字化+AI 全面赋能制造业节能管碳的四大应用环节。企业实现双碳目标需对能源从源头到末端控制，主要包括用能供给、过程消耗、碳排管理、直接除碳四大路径。首先在能源供应端，数字化+AI 管控风光储充等新能源设施，实现工厂能源的运营和调度控制。其次在能源消耗过程，运用数字化+AI 对水电气等能源介质进行过程管控和能耗分析。再次在碳排放过程，数字化+AI 对工厂碳排放进行精准快速核查，并对碳资产进行增值化有效管理。最终在碳排放发生后，数字化+AI 技术增效 CCUS 技术的应用能力。整个过程中，数字化+AI 是实现目标和经济效益的重要工具，拥有庞大的市场规模和巨大的市场潜力。

在用能供给环节，数字化+AI 技术赋能制造业提升能源调度效率。依托机器学习等技术分析天气和环境数据，预测太阳能和风能的发电情况，优化能源储存和使用，帮助制造业工厂高效整合可再生能源。同时企业可利用数字化+AI 技术将不同能源整合入微电网，通过分布式能源管理提高能源的独立性和灵活性。此外 AI 大模型技术可进一步进行负荷平衡，分析能源需求与供应曲线，自动调整工厂的用电负荷，并且根据负荷帮助协调不同能源的发电、存储和使用，确保能源供需平衡。华为能源云基于 腾 AI 开发的“风光功率预测系统”在宁德时代宜宾工厂实现 96 小时预测误差<10%、风光储协同调度效率提升 30%；金风科技智能微电网调度平台 2024 年装机容量达 4.3GW，通过强化学习算法将分布式能源利用率提升至 89%，年峰谷套利收益约 2500 万元。国家能源局数据显示，AI 技术推动 2024 年新能源消纳率同比提升 7.5 个百分点，其中 AI 直接贡献约 3 个百分点。

在过程消耗环节，数字化+AI 技术助力企业能耗碳排数据全链路贯通，识别

赋能节能潜力场景，驱动节能降碳与运营效率协同提升。首先数智技术可全面、实时监测系统内能源的供给和消耗情况，开展综合能效分析和多环节协调管控优化，运用 AI 智能分析能源系统的数据，定位重点用能场景，识别潜在的能源浪费和低效，并提供针对性节能优化建议。其次以大数据融合企业数据流、业务流，结合 AI 技术构建企业特色化的能碳管理体系，并制定场景化绩效指标，形成 PDCA（“计划-执行-检查-行动”循环）管理闭环。在细分能源场景，数字化+AI 算法大模型结合行业 know-how 机理模型，对工厂设备的节能策略实现优化控制。例如，国际巨头施耐德、国内厂商格创东智等，基于工业互联网平台，为企业提供 AI 数字化管理平台 and 综合解决方案；深度智控、蘑菇物联等企业基于 AI 与机理模型提供暖通、空压细分垂直场景的节能优化。格创东智研发的智慧能碳管理平台，2024 年助力 TCL 华星实现节电近 5 亿度目标，减碳约 28.46 万吨，年能源成本降低 3%~4%（平台接入百余家工厂）。

在碳排管理环节，数字化+AI 技术从排放监测、排放情景预测和减排增效多角度助力企业碳中和。在排放监测方面，通过数字化技术开展碳排放数据的盘查，实施碳排放数据监测、统计、核算等。以数据驱动 AI 技术分析碳排来源，确定减排重点。在情景预测方面，AI 模型算法运用历史碳排数据可进行规律性分析，精准预测碳排放量，模拟企业碳中和路径，指引设定减排目标。在减排增效方面，AI 算法可对碳配额进行预测，对比未来碳排，对企业配额、CCER 等提供配置策略建议。同时 AI 算法可根据历史价格进行碳交易策略制定，为企业碳资产增效。国内服务厂商如碳阻迹，基于碳云平台，运用 AI 大模型为企业提供碳核算、碳减排、碳中和等一站式服务；中创碳投研发的“碳知”大模型接入全国碳市场约 1900 家重点企业数据（占比 88%），碳价 7 日滚动预测平均误差率 3.2%，在试点合作中，该模型协助华润水泥等企业优化 CCER 交易策略，降低履约成本约 1.1 亿元。

在直接除碳环节，数字化+AI 技术增效二氧化碳捕集利用与封存（CCUS）捕集、输送、利用与封存各环节，巩固提升碳汇能力。在 CCUS 技术领域建立 AI 大模型，快速预测深层地质构造中有效的二氧化碳捕获和储存，分析适合封存的场地和对应的 CO₂ 泄漏风险，如强化学习算法用于优化碳捕获过程参数、深度学习模型预测地质封存安全性等，有助于提升 CCUS 技术的经济性和可靠性。例如

全球领先的油田技术服务公司斯伦贝谢运用数字孪生技术，通过其 Lumi 数据与 AI 平台覆盖 CCUS 全生命周期的建模、模拟和监测，为中石化胜利油田 CCUS 项目构建三维地质模型，封存安全性预测准确率达 95%，CO₂ 注入效率提升 22%。原初科技在沙钢集团建成全球首条钢渣矿化封存产线，AI 驱动的反应动力学模型使矿化效率提升至 90%。生态环境部数据显示，2024 年 AI 技术推动 CCUS 单位成本降至 230 元/吨，同比降低 15%。

（四）碳监测和碳计量领域产学研机构各显其能

碳监测和碳计量是实现温室气体排放“可测量、可报告、可核查”目标的重要保障，对如期实现双碳目标具有重要意义。各厂商机构应用 5G、物联网、大数据、云计算、区块链等现代信息技术，优化数据采集、处理、存储方式，为系统掌握碳排放总体情况提供坚实的技术保障。

我国碳排放监测统计核算体系加速完善，核算法与监测法并行推进。核算法通过活动数据乘以排放因子或通过生产过程中的碳质量平衡来量化温室气体排放量，该方法具有方法简单、成本低、易量化等优点，但是也存在人为干扰多、滞后性、数据采集连续性不强等问题。该方法符合行业普遍采用的监测、报送和核查（MRV）的碳排放管理要求，是目前行业通常采用的碳监测方法。监测法则通过连续排放监测系统直接测量烟气流速和烟气中二氧化碳浓度来计算温室气体的排放量，或通过碳观测卫星探测大气中二氧化碳含量，并提供其浓度的时间和空间趋势信息。该方法具有人为干扰少、数据采集连续性的优点，但是存在建设成本高等缺点。罗克佳华科技集团股份有限公司综合运用物联网、大数据、区块链、标识解析、人工智能等数字化技术手段，打造了“政府碳账本、企业数字碳表、行业碳服务平台”等系列产品，成功入选“2024 数据要素×”绿色低碳领域典型案例。江苏擎天工业互联网有限公司打造的“碳计量边缘一体机”，通过安装在线监测装置采集企业碳排放边界内各种排放源进行计量核算。北京雪迪龙科技股份有限公司以固定源烟气排放监测为核心，研发“红外法烟气连续监测系统（SCS-900C）”及“傅里叶变换红外光谱监测系统（SCS-900FT）”，通过实时采集 CO 浓度、流速等参数，支持企业碳排放动态核算。其智慧环保平台可联动全国碳市场数据，提供碳配额盈亏预警功能；中国科学院空天信息创新研究

院开展空天地一体化碳监测技术研发，面向高时空分辨率、广域覆盖、高精度的“星空地”碳浓度与通量监测技术，实现对温室气体浓度和来源的大场景观察分析。

电力间接碳排放法包括边际排放因子法、合作博弈法及碳排放流追踪法，综合考虑了电力市场、碳市场与绿色证书市场互动的发展趋势。边际排放因子法量化了电力消费变化所对应的碳排放责任；合作博弈方法通过灵活定义用户碳排放贡献，考虑电力市场及绿色证书交易影响，实现碳排放责任分配的潜力；碳排放流追踪法从源端到网络侧再到负荷侧，定量描述了电力系统中碳排放的流动过程。国家电网公司基于碳电耦合因子测算方法、碳在线实测架构、碳效码评价模型的碳计量全场景应用体系，服务浙江省 4.9 万家规模以上企业。上海智洋数能科技有限公司的源网荷储能碳管理平台及“节能医生”算法，帮助工商业用户节能降碳的同时也推动用户的数字化转型升级。

市场监管总局先后批准筹建内蒙古、广东、山东和福建 4 家国家碳计量中心。4 家中心聚焦不同碳排放重点行业，积极开展碳计量技术研究和碳计量服务建设等工作。内蒙古国家碳计量中心聚焦黄河流域中上游煤化工、林草碳汇等重点领域，开发“碳达峰碳中和在线监测系统”，建立地方碳因子实测背景数据库和碳足迹核算模型。广东国家碳计量中心着力围绕碳排放量化方法开展燃料消耗量溯源、碳核算关键参数的测量及溯源、碳排放在线监测系统等研究，有效提升碳核算数据质量甄别能力，保证火电企业碳核算数据质量。山东国家碳计量中心重点聚焦黄河流域下游有色金属和化工行业需求，建立碳计量公共服务平台。福建国家碳计量中心聚焦福建优势产业，瞄准平板玻璃、钢铁两大行业开展“两大研究”和多元化服务，形成应用创新示范。

产学研机构积极推进各行业碳监测计量核算方法研究。2024 年 6 月，中国计量协会组织多家单位共同参与编制的《企业温室气体排放计量器具配备和管理通则》，详细规定了企业温室气体排放计量范围、计量方法、计量器具配备原则、配备要求以及管理要求等。国家碳计量中心(内蒙古)陆续组织编制了《重点行业生产企业碳排放计量量值溯源体系建设指南》《行业碳排放量计量监测实施方案》《碳达峰碳中和在线监测系统——发电企业碳计量系统接口协议规范》《固定污染源温室气体排放连续监测系统校准规范》等行业规范。以上研究为企业开展温

室气体排放计量器具配备和管理提供一套科学、规范的指导方案，进一步推动企业温室气体排放的精准计量和有效管理。

国产卫星温室气体遥感反演关键技术实现持续创新。高精度温室气体卫星反演算法作为支撑碳排放核算工作的关键技术手段，其原理基于二氧化碳分子在特定波段的吸收谱线特性，通过筛选全波段吸收谱线并结合遥感监测需求构建了匹配的 CO₂ 吸收特征库。科研团队基于光腔衰荡光谱技术（CRDS）搭建了 CO₂ 分子线强测量系统，利用自主研制的 CO₂ 标准气体获得不确定度优于 0.2% 的分子线强数据，建立了满足卫星遥感 0.3% 灵敏度需求的吸收光谱库；同时针对卫星云干扰问题，利用氧 A 波段（760nm）和 2.0 微米波段的高光谱数据开发了基于光谱特征空间的快速云识别算法，经 MODIS 云产品验证识别精度达 95% 以上；在国产高分五号卫星 CO₂ 浓度反演算法中，改进了阻尼牛顿迭代方案，结合 CO₂ 历史观测数据建立先验初值预测模型，并基于大气模式与 HIRAS 热红外卫星数据构建了 CO₂ 先验廓线数据集，利用 2023 年高分五号温室气体监测仪（GMI）观测数据反演全球 CO₂ 浓度产品，与 TCCON 地面站点比对显示总体偏差小于 2ppm（百万分之一），反演精度优于 0.5%，达到国际同类卫星最高水平，该成果可显著提升碳排放核算精度，为碳市场核查及气候政策制定提供可靠技术支撑。

（五）产品碳足迹专业技术服务体系加速构建

我国碳足迹服务供给体系已形成多维度技术阵营，涌现出盈碳科技、易碳数科、罗克韦尔、擎工互联等专业的双碳服务公司，各技术路线和阵营在数据颗粒度、行业适配性、服务深度等方面形成差异化竞争力，满足不同行业不同产品多批次碳足迹管理的需求。

LCA 建模与动态分析技术路线。该路线聚焦全生命周期方法学创新，以盈碳科技、擎工互联为代表，通过动态因子库构建与 LCA 求解方式优化技术突破传统核算瓶颈。盈碳科技 WisCarbon 平台将钢铁生产拆解为 20 余个工序环节，嵌入 300 余项动态参数（如高炉煤气利用率、余热回收效率），使核算误差率控制在 ±5% 以内，2024 年完成 4.5 万次工业产品碳足迹计算。擎工互联“碳擎”通过矩阵运算计算大型稀疏线性方程组的方式优化了求解路径，有效改善了传统 LCA 软件在循环引用的 LCA 模型的计算周期冗长问题，显著提升计算效率和系

统响应速度，现在一个复杂的产品碳足迹计算在“碳擎”中的速度可以保证在5秒内完成。该路线优势在于方法论严谨性与国际标准兼容性，但面临中小供应商数据缺失率超40%的挑战，需依赖行业联盟推动数据互认。

数字孪生与流程优化技术路线。以罗克韦尔自动化、DeepSeek 为核心的技术阵营，深度融合 IoT 与 AI 实现生产流程碳流实时映射。罗克韦尔 Rockii Net-Zero 平台构建轮胎、玻璃、化工、冶金、快消等行业制造数字孪生体，通过 OPC UA 协议实时采集设备电流、电压、转速，能源介质温度、压力、流量等各类过程参数，建立能耗-产量-碳排放动态 AI 模型，助力企业实现节能降碳 3-10%，并量化全生命周期的碳足迹减排量。DeepSeek 开发的数字孪生沙盘系统支持全链碳流模拟，某医药企业通过冷链运输模式优化实现 12% 物流碳减排。该路线在流程工业降碳场景优势显著，但数字孪生模型建设成本较高（中型系统需部署 200+ 传感节点），且跨行业迁移需重构设备能效基准值。

公共数据库与区域化服务平台。易碳数科、浙江省生态环境低碳发展中心主导该路线，通过构建本土化数据库破解国际因子适配难题。易碳数科聚焦工业制造业基础能源和基础原材料领域，利用本土碳量化工业软件，协助各地政府搭建覆盖广泛工业场景、服务中小企业的碳管理服务平台，如粤港澳大湾区碳足迹标识认证公共服务平台、上海市工业碳管理公共服务平台，提供低成本、高效率、常态化的产品碳足迹核算服务。其 HiQLCD 数据库，是依据 ILCD 格式要求开发的中国生命周期数据库，数据库覆盖电力、热力、煤炭、油气、钢铁、有色金属、金属合金、化学品、建材、光伏、锂电池、电子电器、废物处理、运输等多类产品类别，共计 6 万余条数据集，是一个综合性的 LCA 背景数据库。浙江省建成覆盖涤纶、锦纶等纺织材料的本土化数据库，相较国际数据库因子覆盖度提升 30%，并通过区块链三级核验机制将中小企业碳报告编制周期从 45 天压缩至 7 天。该路线显著降低中小企业技术门槛，但需持续应对数据安全与商业机密保护难题。

SaaS 化工具与供应链协同平台。碳阻迹、舜通能碳等机构推动碳管理工具向轻量化、普惠化转型。碳阻迹碳云数据库运用 NLP 技术解析 80 万条 ESG 报告数据，结合电网实时碳强度生成动态因子，在消费电子领域使供应链数据采集效率提升 60%。舜通能碳城市大脑平台开发轻量化工具，内置 200+ 行业参数配

置模板，中小企业数据录入效率提升 50%，并通过与 TÜV 莱茵合作实现 CBAM 系统兼容性对接。SaaS 模式实现低成本订阅（基础版年费 3.5 万元起），但需平衡模型蒸馏带来的计算精度损失（中科院研究显示误差率增加 2-5 个百分点）。

国际互认与标准共建生态。中国质量认证中心（CQC）主导制定的《产品碳足迹评价通则》深度衔接 ISO 14067 国际标准，为隆基绿能等龙头企业提供技术支撑，其 PERC 电池碳足迹降至 0.28kg CO₂e/W，逼近欧洲 SolarPower 认证的 0.25kg CO₂e/W 国际标杆水平。ecoinvent 与中科院合作构建的“中国区域化生命周期数据库”取得突破，稀土冶炼、多晶硅提纯等关键工艺因子互认率超 50%，但受制于电力因子计算边界差异，深度校准仍需技术攻坚。对此，国家标准化委员会加速推进《生命周期评价数据集构建导则》编制（计划号 2024-123），通过统一数据采集规则、量化环境流分配方法，破解“双重核算”壁垒。

（六）第三方 ESG 服务进入发展黄金期

2024 年是中国 ESG 从“分散探索”转向“系统构建”的关键节点，第三方服务市场在政策红利下快速扩容，形成“咨询-鉴证-评级”全链条服务矩阵，各类服务商加速技术迭代与模式创新。本土机构在数据适配性、行业垂直服务上形成差异化竞争力，国际机构则依托全球网络与标准制定优势占据高端市场，服务生态呈现多元竞合和快速增长态势。

ESG 咨询服务赋能企业高质量可持续信息披露。国际机构以德勤、麦肯锡等为代表，依托全球方法论库提供标准化解决方案。德勤可持续发展业务聚焦气候变化与脱碳管理、可持续金融、ESG 报告、可持续供应链和循环经济五大板块，ESG 咨询服务包括 ESG 战略、ESG 管理/评级提升、ESG 信披、数字化管理等，德勤低碳亚洲主要提供企业可持续发展和碳管理策略咨询、减少温室气体排放等咨询服务。国内机构主要包括商道纵横、博续科技、责任云研究院等，深耕本土化需求。其中，商道纵横专注于 ESG、责任投资（SRI）与 CSR 领域咨询服务，包括 ESG/CSR 报告与评级咨询，CSR 战略咨询、案例开发与培训等。博续科技精通 ESG 理论与实践，涵盖碳中和、绿色金融和气候投融资等多领域，主要提供 ESG 与碳中和的深度咨询服务以及端到端的软件产品和解决方案，致力于用人工智能、大数据和软硬件等技术赋能企业。

ESG 鉴证服务以独立第三方评估验证企业 ESG 表现。鉴证（审验）是 ESG 报告的重要环节，只有保证数据有效性、真实性和公信力，才能对利益相关方起到制衡作用。但是，当前我国企业 ESG 报告第三方鉴证率仍比较低，ESG 鉴证机构评价标准、鉴证方法尚未达成一致，缺乏权威、统一标准认证鉴证机构资质。国内 ESG 鉴证服务商主要包括毕马威、德勤、普华永道等会计师事务所，依据国际审计与鉴证准则理事会（IAASB）鉴证业务准则。中国证监会将研究推动 ESG 信息外部审验和鉴证，持续提升上市公司 ESG 数据准确性和披露质量。ESG 鉴证服务主要是对企业 ESG 报告及温室气体（GHG）盘查报告进行鉴证，其中毕马威主要通过确定企业适用的 ESG 报告标准、ESG 披露及数据要求，建立健全的 ESG 治理体系，将 ESG 数据流程数字化并确保质量等，助力企业提升 ESG 鉴证成熟度。

ESG 评级服务助力筛选更具可持续发展能力的公司。ESG 评级通过多指标综合评估企业 ESG 表现并进行分档排名，获得较高评分才能从行业中脱颖而出，获得投资者青睐。国内市场正处于起步阶段，本土评级机构主要包括 Wind（万得）、中诚信绿金等金融服务公司，商道融绿等咨询公司，中财绿金院等研究机构，以及华证、中证、上证、国证指数等信息服务公司。其中，Wind ESG 评级覆盖大中华地区超过 12,000 家公司主体，8,000 支公募基金，利用数据治理能力整合国内外主流 ESG 准则体系，构建标准化底层指标库，根据 ESG 内在逻辑自下而上搭建评级框架，遵循“财务重要性+影响实质性”双重重要性原则，确保最终评级结果可解释性与可靠性。国际知名 ESG 评级机构包括 MSCI（明晟）、Sustainalytics(晨星)、S&P Global(标普全球)、CDP（全球环境信息研究中心）等均在中国市场开展相关业务。

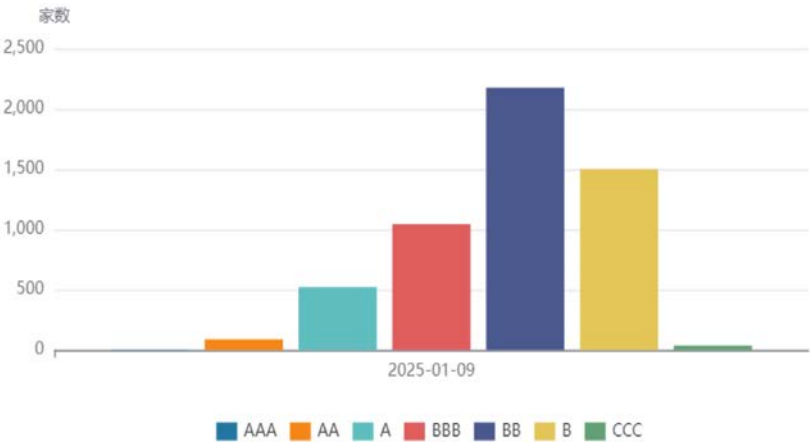


图 5 A 股上市公司 Wind ESG 评级分布（数据来源：Wind）

2024 年，国际 ESG 评价体系下 A 股上市公司 ESG 评级覆盖度与评级总体结果虽有所提升，但整体偏低。据新浪财经 ESG 评级中心统计数据，截至 2025 年 1 月，MSCI ESG 评级已覆盖我国 A 股上市公司 694 家、中概股上市公司 395 家，分别较去年同期增长 7.60%、17.56%。据上交所发布消息，截至 2024 年底，沪市共有 342 家上市公司被纳入 MSCI ESG 评级，其中 100 家公司在最新一次评级中获得等级提升，仅 8 家公司评级获得 AAA 级。在新兴资本市场规模日趋增长背景下，国际 ESG 评级体系的不适用会在一定程度上影响境外投资者的投资信心。因此，中国的 ESG 标准、可持续披露准则接轨国际的同时，亟须构建一套具有国际影响力的本土化 ESG 评级体系，以纠正投资者的认知偏差，增强其对中国资本市场的信心。

（七）碳市场和碳金融形成多元化服务格局

我国碳市场与碳金融服务业通过政策端强化碳排放权金融属性、市场机构技术赋能提升资产流转效率、金融机构创新碳金融工具，结合区域试点在跨境交易与碳账户等领域的制度突破，构建了多层次协同发展的供给体系。

绿色金融与转型金融助力双碳任务实施。我国绿色金融体系持续完善，绿色信贷、绿色债券规模稳居全球前列，转型金融框架逐步覆盖钢铁、化工等高碳行业。商业银行试点推出碳强度挂钩贷款产品，动态优化融资成本；国家绿色发展基金通过碳中和资产支持证券（ABS）等工具支持风电、光伏项目融资。中国质量认证中心等第三方机构为工业园区提供零碳转型认证服务，推动隆基绿能、宁德时代等企业构建绿色供应链。国际层面，新加坡 Climate Impact X（CIX）等平台探索标准化碳信用交易模式，为跨境气候治理合作提供市场化路径。

碳排放权交易市场促进金融市场繁荣。全国碳市场活跃度持续提升，2024 年配额成交量与成交额预计再创新高。金融机构推出多层次碳金融产品，包括碳配额质押贷款、碳配额回购交易及履约保证保险以及碳中和资产支持证券。第三方核查机构应用区块链、AI 技术提升数据精度，国检集团等机构通过实时监测技术强化核查能力。区域市场试点深化创新，湖北碳市场探索绿电采购与

CCER 预签发联动机制，推动环境权益协同流转。

温室气体减排交易市场推动金融产品创新。 CCER 市场重启后，金融机构与认证机构协同构建多层次碳金融产品体系。福建省三明市联合兴业银行落地林业碳汇 CCER 质押贷款试点，中国质量认证中心（CQC）为 30 万亩林场项目提供核证服务；浦发银行推出“碳中和挂钩贷款”，动态绑定光伏项目发电量与融资成本，深圳能源集团通过上海环交所碳账户完成配额质押融资。自然碳汇研究院（青岛）联合山东海洋集团开展海洋碳汇方法学研究，青岛银行据此发行全国首单蓝碳质押贷款，中国船级社（CCS）提供全周期监测认证。国际层面，中国质量认证中心（CQC）与新加坡 Climate Impact X（CIX）合作挂牌东南亚碳汇项目，海南国际碳排放权交易中心应用蚂蚁链技术实现跨境溯源；香港交易所探索推出离岸人民币碳期货合约，推动粤港澳大湾区碳市场互联互通。

碳期货市场建设与碳金融服务相互协同。 广州期货交易所已完成碳排放权期货合约设计，证监会 2024 年明确支持其研发上市；上海期货交易所发布“长三角碳价格指数”，联动 30 家控排企业数据，为期货定价提供基准。当前挑战在于跨部门规则协同，例如地方试点市场与全国碳市场的配额转换机制尚未统一。国际经验表明，欧盟通过洲际交易所（ICE）的 EUA 期货占据全球碳衍生品交易量的近 60%，而我国碳市场流动性仍显著落后。未来可探索标准化合约与碳关税对冲工具，如中信证券为出口企业设计的 CBAM 应对方案，缓解欧盟碳成本压力。新加坡 CIX 等平台的标准化模式为跨境交易提供参考，但需结合国内实际创新突破。

政策助力碳市场和碳金融产业发展。 央行等七部门 2024 年印发《关于进一步强化金融支持绿色低碳发展的指导意见》，明确要求商业银行试点将碳足迹核算嵌入钢铁、水泥等高碳行业授信流程，中国银行业协会建议优先覆盖八大高载能行业；同时延续碳减排支持工具，并鼓励地方对光伏治沙、绿氢炼化等项目试点专项低息再贷款。沪深交易所《可持续发展报告指引（2024 年修订）》推动上市公司逐步披露范围三碳排放数据，生态环境部联合行业协会制定分行业气候信息披露目录，计划 2025 年完成钢铁、电力等首批行业标准。地方层面，四川通过碳账户 2.0 整合 42 个行业动态排放因子库，实现碳效与信贷

利率智能联动；海南国际碳排放权交易中心完成首单跨境碳交易，采用人民币结算与区块链溯源技术，为“一带一路”绿色投融资提供实践范例。

（八）强化区域碳中和顶层设计统筹推进双碳实施

区域碳中和顶层设计的核心在于以系统性、科学性和前瞻性思维统筹全局，通过跨部门协同、跨领域耦合与多尺度嵌套，破解“政策碎片化、主体责任模糊、减排动力不足”等治理困境。唯有夯实顶层设计的“导航系统”与“施工蓝图”，才能确保后续建设实施和服务运行环节精准衔接，推动碳中和从宏观愿景向可量化、可追溯、可交易的治理实践转化。

构建区域碳中和治理体系。需整合区域资源禀赋、产业特征及排放清单，科学量化“碳预算-行业分配-企业配额”的递阶分解路径，制定能源替代时序、产业低碳转型路线图等刚性约束框架。明确四方面建设策略：一是打造区域碳核算能力，构建自上而下的区域碳监测、碳计量及产品碳足迹体系，建立自下而上的重点排放单位核算基础设施，依托“绿色大脑”提升双碳决策的数据支撑能力；二是推进存量减排增效，聚焦能源供输需三端转型、重点行业降碳改造，推动绿色建筑、低碳交通、社区微循环及居民碳普惠体系落地；三是做强碳增值服务，通过配额管理、碳市场服务、绿色金融和产业集聚形成经济新增量；四是完善区域支撑体系，建立双碳目标指标、标准规范及领导小组机制，配套人才、财税等保障政策。

部署实施区域双碳重点任务。一是建设双碳基础设施，自上而下部署区域级碳源汇监测设施，打造能碳数据管理平台，运用物联网、大数据技术实现能源管网智慧化监控；二是依托碳排放大数据平台与智能算法模型，建立碳排放“监测-预警-调控”的动态决策中枢，即构建数据驱动的绿色大脑，建立碳排放数据目录与标准，强化区域总体达峰中和路径推演能力，探索碳排放与碳资产的数据联动应用；三是因地制宜推进产业低碳转型：服务业发达地区重点建设零碳园区/社区，工业主导区域强化“两高”行业转型并探索零碳工厂，农业主导区域推动农产品全产业链绿色化升级。

培育区域双碳配套服务产业。一是发展基础服务产业，以第三方产业联盟、培训机构和本地高校为载体，开展标准制定、教育培训及产教融合服务；二是创

新绿色金融工具，依托省级金融机构开发碳基金、绿色债券等产品，构建多元化融资渠道；三是打造绿色产业生态链，为地方政府提供招商策略设计、应用场景开发及企业撮合服务，加速绿色科技企业集聚。通过差异化政策工具组合（如碳市场激励、绿色金融扶持、生态补偿联动）构建多方利益平衡点，激活政府、企业、公众协同参与的内生动力。通过数字技术、绿色技术和行业技术互相融合，培育双碳领域创新服务业态，实现区域经济产业的新增长。

科研院所支撑顶层设计。科研院所依托国家政策支撑优势以及产业生态资源整合优势，为区域和行业提供双碳规划、设计、建设、运营、评估全流程服务，帮助区域和行业构建碳中和体系架构，统筹各项任务高质量实施。中国信息通信研究院作为数字中国和数字经济领域政策研究以及技术支撑的国家队，支撑相关部委制定行业碳达峰碳中和、数字化绿色化协同转型等多项政策，形成覆盖省市园区以及重点行业的双碳规划实施方法论体系；中国国际工程咨询有限公司重点推进产业竞争力路径、碳预算管理及产品碳足迹研究；中国建筑科学研究院深耕建筑节能领域，主导零碳建筑和社区技术标准制定，在雄安新区开展建筑全周期碳减排的标杆实践。

四、展望：绿色低碳成为发展引擎和新质生产力典型代表

（一）工业绿色化成为新型工业化破局的关键引擎

工业绿色发展正加速从政策倡导升维为国家战略核心，成为新型工业化破局的关键引擎。国家明确将工业绿色转型置于经济系统重构的枢纽地位，以“双碳”目标倒逼全产业链价值重塑：通过构建覆盖原材料开采、生产制造、产品流通全过程的碳足迹核算体系，推动制造业从末端治理转向源头控碳；依托工业互联网与数字孪生技术实现能耗动态优化，催生智能微电网、零碳工厂等新业态；以绿色金融工具激活企业技改动能，引导电解铝、钢铁等高载能行业完成清洁能源替代革命。更深层次看，这种变革正重构全球产业链竞争规则，中国工业必须抢占绿色技术标准话语权。工业绿色化已演化为培育新质生产力、抢占全球价值链制高点的系统性工程，其本质是通过技术革命、能源革命与制度革命的“三重叠加”，推动中国制造向“智造+绿造”

的范式跃迁，为高质量发展注入可持续动能。

（二）绿色低碳成为区域经济竞速的核心赛道

绿色低碳正从区域经济发展的“成本项”蜕变为“增长极”。从雄安新区“绿色、创新、智慧”理念的全域渗透，到海南自贸港“向海、向天、向陆、向绿、向未来”的战略锚定，再到青海依托盐湖提锂与绿电制氢锻造千亿级零碳产业集群，各地顶层设计已将绿色低碳深度嵌入发展基因，驱动生产生活方式系统性变革。清洁能源基地、零碳产业园等重大工程拉动万亿级有效投资，带动光伏组件、氢能装备、碳捕集设备等产业链上下游协同升级；碳市场、绿证交易与生态产品价值实现机制，使工业降碳从“被动合规”转向“主动创收”，催生碳资产管理、绿色金融等新兴服务业态。更深层变革在于绿色低碳重构区域竞争优势——中西部借风光资源与低成本优势吸引数据中心、电解铝等高载能产业，东部通过碳关税应对服务、低碳技术输出构建外向型经济新壁垒。区域间基于绿电直供、用能权交易的协作网络加速形成，推动全国统一大市场向“低碳要素市场化配置”深化。

（三）数字化绿色化协同发展相互促进效应倍增

数字化与绿色化正从并行发展迈向基因融合，以“技术互驱-场景共生-价值倍增”的逻辑重构可持续发展范式。“双化协同”已突破工具赋能层面，演化为产业系统变革的内生动力：数字技术深度嵌入能源革命、循环经济、碳治理等绿色化核心场景，而绿色化进程产生的海量环境数据又反向催生边缘计算、数字孪生等新技术迭代。二者在资源要素配置中形成闭环——工业互联网平台整合分布式光伏出力与柔性负荷需求，使绿电消纳率提升；产品碳足迹区块链认证系统贯通全球供应链，倒逼出口企业重构生产流程；CCUS项目与数据中心余热回收耦合，达成降本减碳双重收益。在此进程中，“数字新能源服务商”“零碳云工厂”等跨界业态层出不穷，驱动产业效率从线性增长转向指数跃迁。这种协同不仅体现为技术叠加，更是通过“数字精准治碳”重塑产业规则，最终形成“数字化定义减排路径，绿色化锚定转型方向”的乘数效应，为中国应对全球产业低碳竞争提供助力。

（四）碳治理国际化从被动应对转向主动布局

欧盟碳边境调节机制的纵深推进倒逼中国加速构建“碳市场-碳标准-碳数据”三位一体的制度型开放体系：碳市场层面，全国 ETS 加速扩容至水泥、航空等八大高载能行业，并通过引入拍卖机制、衍生品工具及跨境碳信用抵销通道，力争 2026 年前形成与欧盟碳价动态平衡的定价体系，破解“碳关税剪刀差”对出口竞争力的挤压；碳标准层面，以 LCA 全生命周期方法论为核心，推动钢铁、电解铝等重点行业碳核算规则与欧盟 PEFCR 互认，同步主导制定光伏组件、新能源汽车等优势产业国际碳足迹标准，抢占绿色贸易规则话语权；碳数据层面，依托区块链溯源与物联网计量技术构建国家级碳排放因子数据库，实现企业活动数据（如燃煤热值、工艺排放系数）全链条可核查、可审计，并通过参与相关国际标准修订，推动中国电网排放因子、区域绿电认证规则纳入全球互认框架。本质是以“制度创新+数字基座”重构中国在全球碳治理中的角色——从规则接受者转向规则共建者，通过输出“中国版”MRV（监测-报告-核查）体系、培育国际碳审计服务机构，为“一带一路”沿线国家提供低碳转型解决方案。

（五）产业低碳转型正从局部优化升维至全链重构

链主企业被赋予“技术攻坚枢纽+生态整合中枢”的双重使命，驱动行业绿色竞争力系统性突破。政策着力点已从单一环节技改转向全价值链深度协同——钢铁、石化等支柱行业以“氢基直接还原铁工艺”“绿氢炼化”等颠覆性技术为突破口，通过链主企业牵头组建创新联合体，构建自主可控的碳技术体系；同时依托链主企业的生态位势，将 ESG 评级、碳关税压力转化为供应链升级动能，探索制定覆盖原料、生产、物流的绿色供应链认证标准，并将绿电使用率、再生材料占比等指标嵌入采购协议，倒逼供应商完成低碳工艺改造。更深层次变革在于，链主企业正通过“标准输出+数据确权”重构全球绿色贸易规则——宁德时代主导的动力电池碳足迹核算规则被纳入联合国 UNECE 标准框架，隆基绿能创建的硅片生产 MRV 体系成为光伏行业国际认证基准，这种“技术专利化-专利标准化-标准国际化”的跃迁路径，标志着中国产业链从被动适应全球碳壁垒转向主动定义碳中和游戏规则，为构建具有全

球话语权的绿色产业生态奠定根基。

（六）负碳技术从补充选项跃升为碳中和时代战略必争之地

国家政策将负碳技术定位为“实现双碳目标的兜底性工程”，推动技术攻关、产业培育与制度型创新三位一体协同突破。面对欧盟将航运业纳入 EU ETS 的倒逼压力，中国以“场景驱动-标准引领-生态构建”加速破局：在技术侧，聚焦火电、钢铁、航运三大场景，构建“碳捕集+资源化利用”技术矩阵，突破低成本捕集材料、长效封存监测等卡脖子环节；在产业侧，依托内蒙古鄂尔多斯、新疆准东等能源基地打造全球最大负碳技术产业带，通过千万吨级 CCUS 示范工程验证地质封存安全性与经济性；在制度侧，研究碳捕集项目碳资产核算方法，推动捕集碳量纳入全国碳市场抵销范畴，参与制定碳捕捉相关国际标准。这种布局不仅为重点行业锁定深度脱碳路径，更通过实证项目输出和规则协同探索，推动中国从气候治理参与者向规则共建者升级，为构建全球气候治理共同体提供技术锚点与制度接口。

（联系人：王老师 13601058423，巴老师 13683298183）