



工业数字化绿色化协同转型产品手册 (2026 年)

工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组
2026年6月

版权声明

本产品手册版权属于工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本手册文字或者观点的，应注明“来源：工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组”。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、北京泰尔英福科技有限公司、中国电信集团有限公司、许继集团有限公司、江苏擎天工业互联网有限公司、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、陕西能碳宝科技有限公司、西北大学碳中和学院、格创东智科技有限公司、南京旗云中天科技有限公司

参编人员（排名不分先后）：高艳丽、曾西平、张崇见、仲肇中、仇卫文、苗海涛、董瑞强、王辉、陈京京、任方明、王浩璠、王婧媛、巴成福、李珂亦、张彩云、朱国栋、陈晨、王永等

目 录

版权声明	1
目 录	2
表目录	4
图目录	5
第一部分 开篇与总览	1
一、序言	1
二、核心摘要	2
三、编制说明	3
第二部分 产品体系与生态全景	5
第一章 产品分类框架与逻辑构成	5
一、产品功能分类：六大核心赛道	5
二、产品形态划分：三类交付载体	8
第二章 产品生态概览与特征分析	10
一、产品类型分布：双引擎驱动与新兴潜力	10
二、产品形态分布：平台主导与软硬协同	11
三、创新主体区域分布：集群效应显著	12
四、创新主体类型分布：民企活力与国企担当	13
第三部分 产品分赛道评述与案例分析	15
第三章 数字-绿色能源赛道——构建新型能源系统的数字化基石	15
一、赛道概述：政策强力驱动下的战略基石与规模化市场	15
二、技术路径：从单点智能迈向全链条协同优化	16
三、卓越产品案例	17
四、国际竞争力对标	23
五、发展重点：风光储氢协同调度智能化与参与电力市场交易	24
六、数字-绿色能源代表性产品	25
第四章 数字-碳管理赛道——企业绿色合规与竞争力的数字化底座	29
一、赛道概述：政策法规强力驱动下的合规刚需与价值蓝海	29
二、技术路径：构建贯通数据、模型、业务与资产的碳管理闭环	30
三、卓越产品案例	32
四、国际竞争力对标	37
五、发展重点：碳数据实时化、碳成本内嵌化与碳资产金融化	39
六、数字-碳管理代表性产品	40
第五章 数字-能碳协同优化——工业过程减排的核心引擎	43
一、赛道概述：从单点节能到系统能碳协同的战略升级	43
二、技术路径：形成感知、诊断、优化、控制和评价闭环	44
三、卓越产品案例	46
四、国际竞争力对标	49
五、发展重点：AI 深入工艺级优化与实现预测性能碳管控	50

六、数字-能碳协同优化代表性产品	51
第六章 数字-CCUS 赛道——工业深度脱碳的终极技术保障	53
一、赛道概述：从示范试点迈向商业化运营的关键突破期	53
二、技术路径：从单元技术创新到全链条集成优化	54
三、卓越产品案例	55
四、国际竞争力对标	58
五、发展重点：AI 驱动捕集工艺革命与全链条智能化运营	59
六、数字-CCUS 代表性产品	60
第七章 数字-资源回收与循环利用赛道——闭环经济的数字化基石	63
一、赛道概述：从“成本中心”迈向“价值中心”的产业变革	63
二、技术路径：从分类溯源到产业链协同的全面升级	64
三、卓越产品案例	65
四、国际竞争力对标	68
五、发展重点：AI 与大模型驱动智能升级与区块链构建可信体系	69
六、数字-资源回收与循环利用代表性产品	70
第八章 双化协同-场景包赛道——系统级“交钥匙”解决方案的集成者	72
一、赛道概述：从单点供给到系统集成的价值跃升	72
二、技术路径：从顶层设计到智能运营的全流程集成	73
三、卓越产品案例	74
四、国际竞争力对标	77
五、发展重点：AI 驱动系统自进化与跨域协同价值共享	78
六、双化协同-场景包代表性产品	79
第四部分 洞察与展望	82
第九章 总体洞察——技术市场格局与竞争态势	82
一、技术-市场成熟度矩阵分析	82
二、产品国际竞争力格局总览	84
三、竞争力提升路径：政策、技术与生态协同	86
第十章 趋势展望——融合化、智能化与价值化演进	89
一、协同演进趋势：从技术叠加到系统重构的产业生态融合	89
二、范式变革展望：从数字化赋能到 AI 原生驱动的新生态	90
附录 1：工业数字化绿色化协同转型产品名录	91
附录 2：联系方式与合作入口	91

表目录

表 1	按功能划分的产品六大分类.....	7
表 2	数字-绿色能源类产品对标分析.....	23
表 3	数字-绿色能源代表性产品（节选）.....	25
表 4	数字-碳管理类产品对标分析.....	38
表 5	数字-碳管理代表性产品（节选）.....	40
表 6	数字-能碳协同优化类产品对标分析.....	49
表 7	数字-能碳协同优化代表性产品（节选）.....	51
表 8	数字-CCUS 类产品对标分析.....	58
表 9	数字-CCUS 代表性产品（节选）.....	60
表 10	数字-资源回收与循环利用类产品对标分析.....	68
表 11	数字-资源回收与循环利用代表性产品（节选）.....	70
表 12	双化协同-场景包类产品对标分析.....	77
表 13	双化协同-场景包代表性产品（节选）.....	79

图目录

图 1	六大产品分类逻辑架构	8
图 2	六大产品赛道市场供给结构分布	11
图 3	产品交付形态以软件平台为主导	12
图 4	创新主体呈现显著区域集聚特征	13
图 5	民营企业是技术创新的核心力量	14
图 6	数字-绿色能源赛道产品内部结构分析	16
图 7	数字-碳管理赛道产品内部结构分析	30
图 8	数字-能碳协同优化赛道产品内部结构分析	44
图 9	数字-CCUS 赛道产品内部结构分析	54
图 10	数字-资源回收与循环利用赛道产品内部结构分析	64
图 11	双化协同-场景包赛道产品内部结构分析	73
图 12	六大产品赛道技术-市场成熟度矩阵分析	83

第一部分 开篇与总览

一、序言

全球气候治理加速推进，中国“双碳”战略持续深化，工业作为国民经济主体和能耗、碳排放的关键领域，其绿色低碳转型的成效直接关系到国家目标的实现。在此背景下，一个核心问题亟待回答：当前活跃的数字化绿色化协同转型（以下简称“双化协同”）的供给能力，能否有效匹配并支撑这场系统性变革？产业供给是否存在短板，发力点又在哪里？因此，亟需对当前中国工业“数字化绿色化协同转型”的产品生态进行一次系统的梳理与持续的研究。

针对这个问题，作为产业生态重要的引领、组织协调者，工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组牵头组织了本次大规模的产品征集与研究，在此基础上编制了本手册。本手册的定位，不是一份简单的产品名录罗列或基础信息汇总，而是旨在成为一份为各级政府部门的决策者、产业规划机构、各类企业的管理者、投资界以及技术专家的工具书，在推进“双化协同”这一复杂系统工程时，提供一份可靠、实用、前瞻的核心参考。

在内容架构上，本手册摒弃了平铺直叙的陈列方式，采用“**观点论述 + 分类索引 + 深度案例**”的主体结构，附录部分则辅以详尽的产品数据表格，兼顾确保内容深度与工具书的实用性。力求对每个重点产品和技术赛道都能进行全方位的展示与专业评述。本手册的核心目标：一是**树立标杆**，通过严格的征集与专家评议，从海量产品中优中选优，明确“双化协同”领域产品在技术先进性与市场成熟度方面的评判标准；二是**描绘图谱**，通过科学的产品分类与聚合，呈现中国工业“双化协同”产业生态的全景图及内在逻辑关联；三是**引领方向**，依托对入选产品的深度分析和对产业发展规律的洞察，揭示技术演进路径、市场应用热点以及未来的投资与创新焦点。

本手册计划按年度或技术演进与市场变化的重大节点进行滚动更新，持续反映产业动态，跟踪技术前沿。面对工业绿色低碳转型的复杂性与紧迫性，本手册努力成为

连接创新技术供给与场景需求的桥梁，促进数字化与绿色化这两大转型的深度融合，助力中国工业稳步迈向高质量、可持续发展进程。

二、核心摘要

本次由工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组牵头组织的产品征集与手册编制工作，系统性地梳理和汇聚了当前中国工业“双化协同”领域最具代表性的创新成果。基于对 300 余家企业的 400 余款先进产品进行深度分析，得出以下核心发现：

产业生态初具规模，供给侧创新活力强劲。产品覆盖了从源头供给的“数字-绿色能源”、贯穿全流程的“数字-碳管理”与“数字-能碳协同优化”，到末端治理的“数字-CCUS”与“数字-资源回收与循环利用”，最终集成落地于“双化协同-场景包”的全链条，技术路径多元和解决方案体系完整。从创新主体看，民营企业与国有企业构成了创新的双引擎，其中民营企业展现出极强的市场敏锐度和灵活性，在产品数量和创新多样性上贡献突出；国有企业则在重大工程项目、基础技术研发和标准制定中发挥着至关重要的引领与压舱石作用。我们认为，中国工业“双化协同”的产业生态已度过萌芽期，正步入一个活力迸发、快速成长的新阶段。

技术融合持续深化，平台化、智能化成为主导趋势。人工智能、物联网、大数据、数字孪生等先进的数字技术，已深度嵌入并重塑绿色技术各环节。能碳一体化管理平台、风光储协同控制系统、综合场景解决方案等集成化、平台化的产品形态快速增长，其占比已超过 30%，表明产业正从早期的单点技术突破，加速转向以数据驱动、系统思维为指导的全流程、一体化赋能。在碳管理领域，SaaS 化平台已能实现企业碳排放的实时监测、精准核算与可视化管控；在绿色能源领域，利用 AI 算法优化发电效率、预测性设备维护已成为优秀产品的标配。

市场梯度分明，应用场景向纵深拓展。不同赛道产品的市场成熟度呈现清晰的梯度分布。其中，“数字-绿色能源”和“数字-碳管理”类产品因需求明确、政策驱动性强，市场推广度最高，已进入规模化应用阶段，两者产品数量合计占比超过半数。

“数字-能碳协同优化”和部分“双化协同-场景包”产品正处于快速的应用成长期，成为当前市场竞争的焦点与技术创新的热土。“数字-CCUS”和“数字-资源回收与循

循环利用”中的前沿技术产品，受成本、商业模式等因素制约，虽技术先进性强，大多处于工程示范期，其巨大的市场潜力有待进一步释放。从区域分布看，长三角、珠三角和京津冀三大经济圈集聚了约 70%的“双化协同”创新主体，这与区域的产业基础、人才储备和政策支持力度高度相关。

供给侧基本满足当前战略需求，但前沿领域仍需攻坚。通过对 400 余款产品的综合分析表明，中国工业“双化协同”的产品生态建设已从概念验证和试点示范，迈入了规模化商业应用的关键时期，基本能够支撑国家“双碳”战略在当前阶段的重点任务需求。但在部分前沿和关键领域，如低能耗低成本碳捕集技术、可持续航空燃料(SAF)的规模化生产与商业化应用、复杂危废资源化的高端装备等方面，仍存在技术瓶颈或产业化短板，亟待集中力量突破。

总体判断：当前，中国工业“双化协同”的供给侧呈现出鲜明的“技术驱动、场景牵引、生态协同”的发展特征。展望未来，要全面释放“双化协同”的巨大减排增效潜力，仍需产业界共同努力，进一步推动技术标准的共建与互认，突破关键技术的成本瓶颈，探索可持续的商业模式，鼓励跨领域、跨行业的协同创新。本手册的编制，正是希望通过此次对产业供给侧的精准梳理与深度剖析，为工业绿色化发展转型提供产业图谱参考和行动指南建议。

三、编制说明

为系统梳理并推广工业领域数字化绿色化协同转型的优秀实践，引导产业高质量发展，工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组牵头组织本手册的编制工作。旨在通过科学、严谨的方法论，遴选、展示并推广那些经过实践检验、具备行业借鉴价值的优秀产品与解决方案。

本次产品征集与遴选工作遵循“实用性、代表性、创新性、合规性”四项原则。征集经过初步资格筛选、形式审查以及由领域内权威专家组成的评审委员会进行的多轮评议，确保入选的产品在技术先进性，市场需求、应用效果和合规安全方面表现突出，能够切实代表当前中国工业“双化协同”的发展水平。

为了系统化地呈现产品生态全貌，本手册的架构设计采用了“三大形态、六大功能”的分类框架。三大形态依据产品的最终载体，分为“咨询”、“设备”和“方案”，以区分不同类型产品的价值交付模式。六大功能类别则基于产品在“双化协同”中解决的核心问题与价值主张进行划分：**数字-绿色能源**（赋能清洁能源全生命周期）、**数字-碳管理**（实现碳排精准管控与资产运营）、**数字-能碳协同优化**（聚焦工业过程节能降碳）、**数字-CCUS**（针对难减排环节的兜底技术）、**数字-资源回收与循环利用**（驱动循环经济体系建设）以及**双化协同-场景包**（提供端到端的场景化集成解决方案）。这一框架既体现了从源头到末端、从单元到集成的技术逻辑，也紧密结合了市场需求，为读者提供清晰的导航。

手册的编制是基于对入选产品信息的定量统计与定性分析相结合的综合研判。编制组对产品的技术先进性、市场应用情况、潜在效益贡献等多个维度进行了交叉评价，以确保手册内容的科学性、客观性与权威性。我们期待本手册成为一个动态更新的知识库，持续纳入产业创新实践，成为跟踪中国工业“双化协同”进展的重要窗口和推动产业进步的有效工具。鉴于行业认知以及数据收集的局限性，手册中难免存在疏漏或不尽完善之处，恳请业界同仁不吝指正，共同推动内容的持续优化与提升。

第二部分 产品体系与生态全景

第一章 产品分类框架与逻辑构成

一、产品功能分类：六大核心赛道

本手册的分类框架是基于产品在“双化协同”价值链中所解决的核心问题与创造的核心价值，将产品划分为六大功能赛道。这一分类不仅反映了技术逻辑，更契合了从能源供给侧到消费侧、从单元管理到系统集成的减排降碳实际路径。

1. 数字-绿色能源

- **定义与行业意义：**指应用数字化技术对风、光、储能、海洋能、绿色氢氨醇等清洁能源的“资源评估-规划设计-建设运维-并网交易”全生命周期进行赋能的产品。其战略意义在于推动能源供给结构从高碳的化石能源向零碳的可再生能源根本性转变，是实现“双碳”目标的源头保障。该赛道覆盖了从风机、光伏组件等核心设备的智能化，到风功率预测、电站集群运维、绿电交易等数字化服务。
- **细分领域：**风电、光伏、光热、海洋能、新型储能、绿氢、绿色甲醇、绿色氨、可持续航空燃料（SAF）、新能源接入与管理（如虚拟电厂）等。

2. 数字-碳管理

- **定义与行业意义：**指利用数字化手段实现组织及产品碳排放的“可测量、可报告、可核查”（MRV），并延伸至碳资产运营、ESG 管理与对外披露的产品集合。随着全球碳约束政策（如欧盟 CBAM）趋紧和中国碳市场深化，碳管理已成为企业的合规刚需和核心竞争力。该赛道为企业提供贯穿运营与供应链的“碳尺度”，是衡量一切减排行动效果的基准。
- **细分领域：**碳数据与基础能力（如因因子库、监测设备）、碳核算与清单编制（如企业碳盘查、产品碳足迹）、碳管理与决策分析（如碳驾驶舱）、碳减排项目与资产管理（如 CCER 开发）、碳交易与场景消纳（如碳普惠）、可持续发展报告与 ESG 评级认证等。

3. 数字-能碳协同优化

- **定义与行业意义：**指在工业生产和能源消耗过程中，通过数字化技术实现能源效率提升与碳排放降低协同优化的产品。其核心在于“既节能、又降碳”，聚焦于工业流程的内部挖潜，是当前投入产出比最高、最直接的减排路径。该赛道将数字技术与工业机理深度结合，实现从单台设备节能向全流程系统优化的跃迁。

- **细分领域：**能碳诊断与优化（如能源审计、智能算法）、能源系统技改（如空压站群控、智慧供热）、生产工艺的绿色技改（如氢冶金、绿色化工工艺）等。

4. 数字-CCUS

- **定义与行业意义：**指为二氧化碳的捕集、利用与封存全链条提供数字化监控、模拟、优化和决策支持的产品。CCUS 是应对钢铁、水泥、化工等难减排行业深度脱碳需求的“兜底”技术，数字化则是实现 CCUS 大规模、低成本、安全可靠商业化应用的关键赋能器。

- **细分领域：**碳捕集（如捕集系统数字化控制）、碳利用（如 CO₂ 制燃料、化学品）、碳封存（如地质封存选址与监测）等。

5. 数字-资源回收与循环利用

- **定义与行业意义：**指通过数字化技术提升工业固废、危废、再生资源、废旧动力电池等资源的回收效率、流通透明度和价值创造能力的产品。其目标是构建“资源-产品-再生资源”的数字化闭环，减少前端原材料开采和末端废弃物处置的压力，是实现循环经济和降低全生命周期碳排放的重要手段。

- **细分领域：**工业固废数字化回收与循环利用、危废数字化管控与循环利用、再生资源数字化交易与流通、废旧动力电池数字化回收与梯次利用等。

6. 双化协同-场景包

- **定义与行业意义：**指面向特定物理空间或业务领域（如园区、工厂、建筑、交通、城市），将上述多种数字绿色技术进行集成，形成的端到端、可交付的一体化解决方案。场景包是技术供给与复杂落地场景之间的“桥梁”，它将分散的产品能力整合为面向用户最终价值的“交钥匙工程”，是双化协同成熟度的重要标志。

- **细分领域：**零碳园区、无废城市、绿色（零碳）工厂、绿色（零碳）建筑、零碳交通等。

表 1 按功能划分的产品六大分类

产品赛道	产品类型定义	细分领域	核心目标
数字-绿色能源	以数字化技术赋能清洁能源的全生命周期管理	覆盖风、光、氢、储能、海洋能等绿色能源的资源评估、设备智能化、集中运维管理等环节	推动能源供给端从化石能源向可再生能源转型
数字-碳管理	以数字化手段实现碳排放的计量、核算、报告、核查、交易和治理	包括碳数据基础能力建设、碳核算与清单编制、碳资产管理、碳交易、ESG 评级与认证等领域	为企业提供全链条碳合规与碳资产运营能力
数字-能碳协同优化	在工业生产过程中，通过数字化技术实现能源效率提升与碳排放降低的协同优化	包括能碳诊断与优化、能源系统节能技改、生产工艺的绿色技改等	核心是“既节能又降碳”
数字-CCUS	以数字化技术赋能碳捕集、利用与封存（CCUS）全链条	碳捕集：捕集设备、工艺数字化 碳利用：CO ₂ 转化为化工原料、燃料等 碳封存：地质封存与监测等	针对工业领域难以直接减排的环节提供最终兜底方案
数字-资源回收与循环利用	以数字化手段推动工业固废、危废、再生资源、废旧动力电池等的回收、交易、流通和梯次利用	包括工业固废数字化回收与循环利用、危废数字化管控与循环利用、再生资源数字化交易与流通、废旧动力电池数字化回收与梯次利用等	构建数字化驱动的循环经济体系，实现资源闭环
双化协同-场景包	面向交通、城市、园区、建筑等应用场景，提供端到端数字化绿色化产品解决方案	包括零碳工厂、零碳园区、零碳建筑、零碳交通、无废城市等	将能源、碳管理、能碳优化、CCUS、循环利用按场景需求进行集成，提供一体化交付

这六大功能赛道并非孤立存在，而是构成了一个层次清晰、相互支撑的有机整体：

“数字-绿色能源”是源头替换，提供清洁的能源输入；“数字-能碳协同优化”和“数字-CCUS”是过程优化和末端治理，分别针对可避免的排放和难避免的排放；

“数字-资源回收与循环利用”则贯穿始终，实现资源的闭环流动，减少全社会的物耗和排放。而“数字-碳管理”如同一条主线，为所有环节提供统一的“测碳、管碳、用碳”能力，是衡量和驱动整个系统优化的“仪表盘”和“指挥棒”。最终，“双化协同-场景包”作为集成应用层，将前五类技术根据具体场景的个性化需求进行“组装”和“交付”，实现价值落地。这一框架清晰地勾勒出从基础技术到系统解决方案的双化协同产业生态图谱。

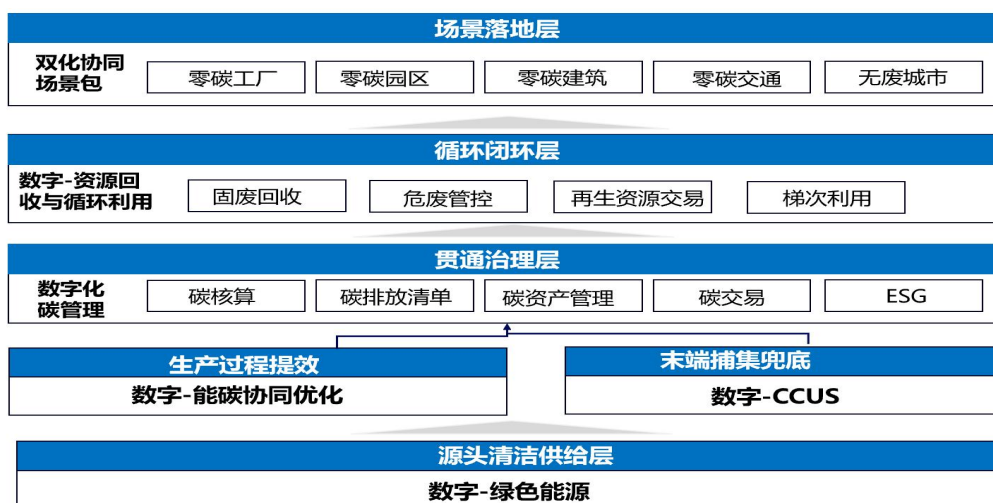


图 1 六大产品分类逻辑架构

二、产品形态划分：三类交付载体

除按功能分类外，本手册还按产品的最终交付形态进行划分，以清晰展现技术价值的载体差异。

1. **咨询产品：**以知识、方法论和专业服务为核心交付物。包括战略规划、可行性研究、体系认证、标准制定、诊断评估、培训等。这类产品价值在于顶层设计与专业洞察，是项目启动和决策的基础，通常定制化程度高，依赖高端人才。
2. **设备/终端产品：**以软硬件一体化的物理实体为核心交付物。包括高精度碳监测仪、智能传感器、节能设备（如高效空压机）、数字化风机、电解槽等。这类产品是实现数据采集和物理过程绿色改造的硬件基础，强调可靠性、精确性和耐用性。

3. **系统/平台/软件/解决方案：**以软件、算法、平台或整体解决方案为核心交付物。包括能碳管理 SaaS 平台、数字孪生系统、优化控制算法、智慧运维方案、集成项目总包等。这类产品是数字化赋能的核心体现，侧重于数据融合、分析决策和跨系统协同，通常具有较高的可复制性和网络效应。

三种形态在产品生态中相辅相成：咨询指明方向，设备采集数据、执行指令，平台/方案则进行集成、分析和优化，共同构成完整的价值交付体系。

第二章 产品生态概览与特征分析

基于对征集的 300 余家供给侧企业/机构、400 余款先进产品的系统性统计分析，本手册从产品类型、产品形态、创新主体区域分布及性质等多个维度，描绘出当前中国工业“双化协同”产品生态的宏观图景与结构性特征。

一、产品类型分布：双引擎驱动与新兴潜力

对六大功能赛道的产品数量统计显示，当前产业生态呈现出“基础支撑领域成熟度高、系统集成与前沿技术领域潜力大”的鲜明特征，供给侧结构与中国工业绿色低碳转型的阶段性需求高度契合。

- **数字-碳管理**与**数字-绿色能源**类产品是显著的供给主力，两者产品数量合计占比高达 51%（其中，**数字-绿色能源**类产品占比约 29%，覆盖风、光、氢、储等；**数字-碳管理**类产品占比约 22%，涵盖碳数据、核算、交易、ESG 等）。这一分布清晰地表明，在国内外“双碳”政策强驱动下，企业对碳排放的精准核算、合规管理（碳管理）以及清洁能源替代（绿色能源）的需求最为迫切和明确，相关产品技术路线成熟，市场已进入规模化应用阶段。例如，碳管理 SaaS 平台（如擎工互联的数字化碳管理系统）和企业级智慧能源管理平台（如华为 FusionSolar）已成为市场标配。
- **数字-能碳协同优化**和**双化协同-场景包**类产品紧随其后，合计占比约 29%。这反映出市场正从单点技术应用向生产过程系统性节能降碳（能碳协同）和复杂场景的端到端解决方案（场景包）深化，标志着产业应用进入成长爆发期，是当前技术融合与商业模式创新的热点。例如，格创东智的“东智 AI 能碳大脑”平台和远景科技的“零碳园区”整体解决方案，正通过数字化技术实现能流与碳流的深度协同优化。
- **数字-CCUS**和**数字-资源回收与循环利用**类产品目前占比相对较小，合计约 20%。这两类产品技术壁垒高、投资规模大、商业模式仍在探索，多处于工程示范或试点阶段，如华能集团的百万吨级燃煤电厂碳捕集技术和宁德时代的动力电池回收

数字化平台。但它们代表了应对工业深度脱碳和构建循环经济的终极技术方向，是产业未来发展的战略制高点和巨大潜力所在。

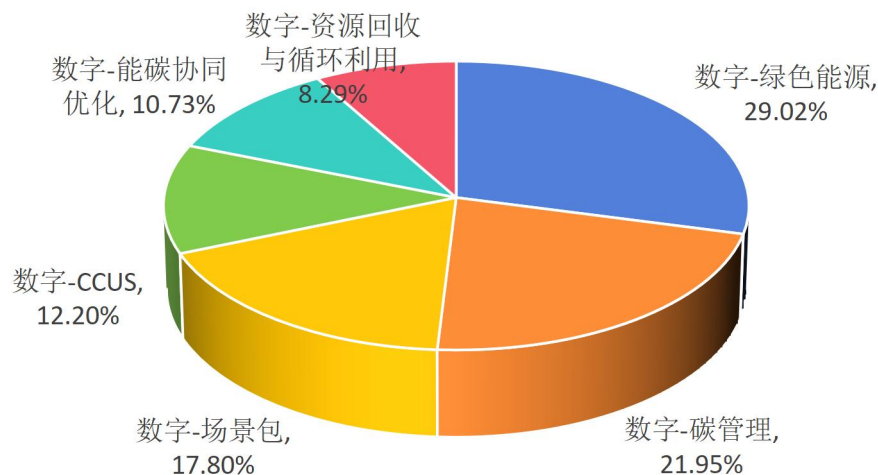


图 2 六大产品赛道市场供给结构分布

二、产品形态分布：平台主导与软硬协同

从产品交付形态看，供给侧呈现出以数字化、智能化解决方案为核心的特征。

- **系统/平台/软件/解决方案**形态的产品占据主导地位，占比达到 **58%**。这凸显了“双化协同”的核心在于通过数据驱动实现系统级优化。SaaS 化的碳管理平台、智慧能源管理系统、数字孪生解决方案等已成为赋能传统产业绿色转型的主要载体。例如，河钢数字的 WiseCarbon 平台和阿里云的能碳协同优化平台，均通过集成数据、算法与业务流，为客户提供一体化价值。
- **设备/终端产品**是实现数据采集和物理世界绿色改造的基石，占比为 **30%**。包括高精度碳排放在线监测仪（CEMS，如雪迪龙产品）、智能传感器、高效节能设备（如高效空压机）、数字化风机（如金风科技 GWH 系列）、电解槽等。这类产品的创新直接关系到底层数据的准确性和绿色技术应用的实效性。
- **咨询产品**作为产业链的顶层设计与价值引导环节，占比为 **12%**。包括零碳战略规划（如中节能的零碳园区规划）、碳足迹核算方法学、ESG 认证服务（如中国质

量认证中心的服务)等。这类产品价值密度高,为硬件设备和软件平台的落地应用提供了关键的前期指导和后期评估,高度依赖复合型专业人才。

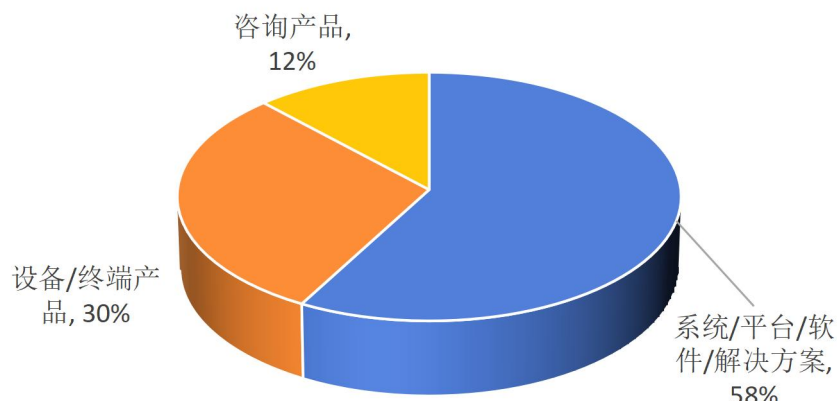


图 3 产品交付形态以软件平台为主导

三、创新主体区域分布：集群效应显著

创新主体的地理分布与区域经济活力、产业基础、人才储备和政策扶持力度高度相关。统计数据显示,约 70%的供给侧企业/机构集中在长三角、珠三角和京津冀三大经济圈。

- **长三角地区（以上海、江苏、浙江为核心）**：占比约 35%。该地区经济发达、工业体系完整、数字化人才密集,在工业互联网平台（如上海宝信软件）、碳管理 SaaS（如江苏擎工互联）、高端节能装备等领域优势明显,形成了良好的软硬件协同生态。
- **珠三角地区（以广东为核心）**：占比约 20%。凭借强大的电子信息产业基础和市场化程度,在智能传感、能源电子（如华为数字能源、格力节能技术）、数字化解决方案方面表现突出,创新活力强劲。
- **京津冀地区（以北京、天津为核心）**：占比约 15%。依托顶尖高校、科研院所和总部资源,在 CCUS（如中石化碳科公司）、碳核算方法学、ESG 认证、顶层规划咨询等前沿和高附加值领域占据领先地位。

- 其他地区，如成渝双城经济圈、中部地区（如湖北、湖南）也涌现出一批特色鲜明的创新企业，但整体集聚度与第一梯队仍有差距。这种分布格局提示政策制定者和投资者需关注区域协同，同时鼓励特色产业集群发展。

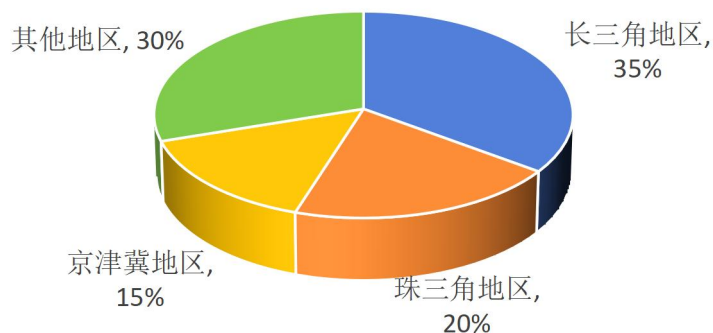


图 4 创新主体呈现显著区域集聚特征

四、创新主体类型分布：民企活力与国企担当

从类型看，创新主体涵盖能源企业、工业企业、数字企业和科研机构；从性质看，供给侧呈现出多元主体共促创新的良好局面，各类主体优势互补，共同推动产业发展。

- **民营企业**：是生态中最活跃的力量，占比超过 **60%**。它们在市场需求敏锐度、产品迭代速度（如远景能源的 EnOS 平台快速迭代）和商业模式创新上表现卓越，是推动技术商业化应用的主力军。
- **国有企业（含央企）**：占比约 **25%**。在资金实力、资源整合和承担国家重大工程方面具有不可替代的作用。它们深度参与风光大基地、百万吨级 CCUS 示范项目（如国家能源集团）、零碳园区建设等，是产业生态的稳定器和压舱石。
- **科研院所与高校**：占比约 **10%**。是前沿技术研究和基础数据积累的源头，如清华大学的天工 LCA 数据库，为整个产业的持续创新提供了坚实的理论基础和技术支撑。
- **其他机构（如混合所有制企业、外资企业等）**：占比约 **5%**。带来了国际先进经验和 技术，丰富了产业生态的多样性。

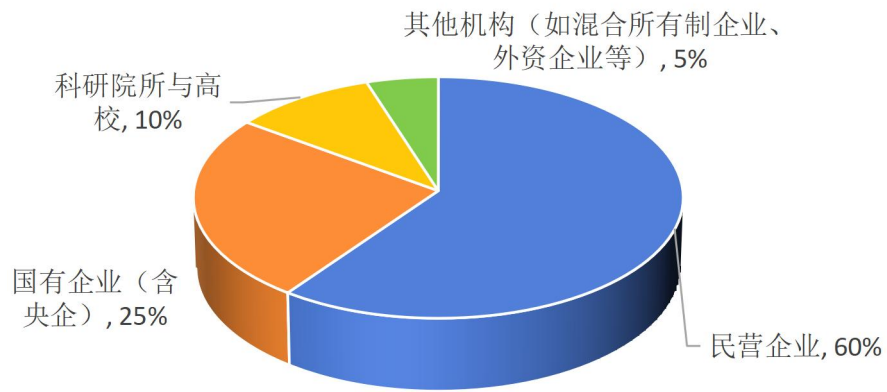


图 5 民营企业是技术创新的核心力量

综上所述，中国工业“双化协同”产品生态已形成规模，结构清晰。以碳管理和绿色能源为当前市场基石，以能碳协同和场景集成为增长焦点，以 CCUS 和资源循环为未来方向。产品形态以软件平台为核心，硬件与咨询为两翼。创新力量在地域上高度集聚，在主体上民企与国企优势互补。这一量化分析的生态格局，为理解产业现状、制定发展战略和精准投入资源提供了科学依据。

第三部分 产品分赛道评述与案例分析

第三章 数字-绿色能源赛道——构建新型能源系统的数字化基石

作为工业“双化协同”的能源供给端核心，数字-绿色能源赛道承载着驱动能源结构从化石燃料向新能源和新型能源体系根本性转变的战略使命。本赛道产品通过数字化技术深度赋能能源的“发-输-配-用-储”全链条，是实现能源系统安全、高效、绿色、创新、智能化运行的关键支撑。其发展水平直接决定了工业领域绿色转型的物理基础是否坚实可靠。

一、赛道概述：政策强力驱动下的战略基石与规模化市场

数字-绿色能源赛道正处于历史性的战略机遇期。在国家“双碳”目标顶层设计下，《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》、《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》《关于促进人工智能与能源双向赋能的行动方案》等纲领性文件，均明确要求构建以新能源为主体的新型电力系统，加力建设新型能源基础设施，并突出数字化智能化技术的赋能作用。这为赛道提供了前所未有的政策确定性。

市场需求呈现爆发式增长。截至 2025 年底，我国风电、太阳能发电总装机容量已突破 18.4 亿千瓦，如此庞大体量的间歇性、波动性电源接入电网，其规划、建设、运营和交易已无法依赖传统模式，必须依托数字化手段实现集中式和分布式、分散式新能源场站“可观、可测、可控、可调”。据本次征集统计，数字-绿色能源类产品占比 29%，是供给侧最活跃、产品最丰富的领域，充分印证了其作为现代化产业基石的现实地位。其核心价值在于，将绿色能源从一种不稳定的自然资源，转化为一种稳定、可靠、可交易、可转换的现代化商品，从而系统性缓解能源“三角难题”——即在保障能源供应安全的前提下，实现经济可承受与环境可持续的统一。产品目录中的金风科技风电智慧运营平台、华为 FusionSolar 智能光伏解决方案、远景能源的风光储制氢氨醇一体化 AI 能源调控系统平台等，正是这一价值的集中体现。

据本次征集统计，在数字-绿色能源产品图谱中，新型储能占据主导地位，占比达 16.00%，是当前布局的核心领域。风机与光伏作为成熟技术代表，占比相当，均为 12.60%。其次为光热，占比 9.20%。其余细分领域占比相对均衡，绿氢、绿氨、绿色甲醇、可持续燃料 SAF、新能源接入与管理均占 8.40%，而海洋能占比最小，为 7.60%。整体来看，储能、风光发电构成了主要增量，氢能及其衍生的绿色燃料则是重要的新兴增长点。

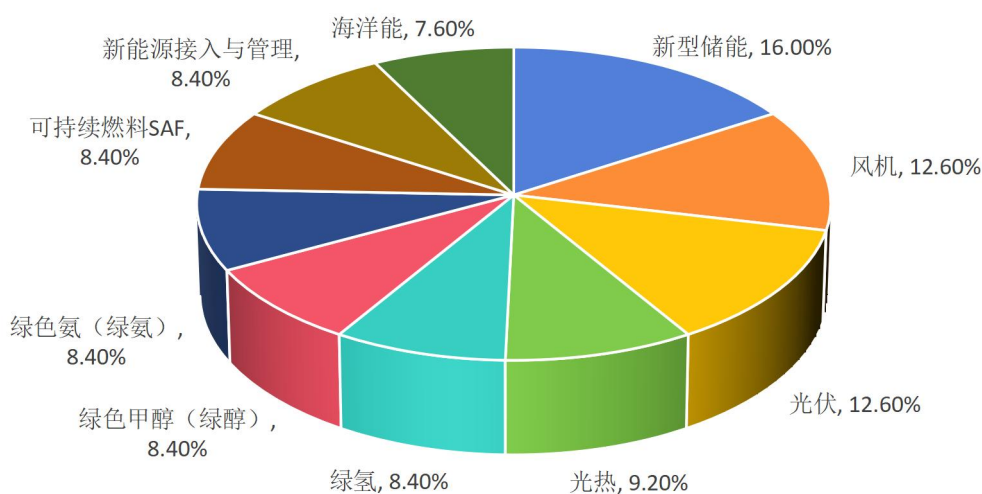


图 6 数字-绿色能源赛道产品内部结构分析

二、技术路径：从单点智能迈向全链条协同优化

本赛道技术演进路径清晰，正从设备级、场站级的单点智能化，迈向区域级、系统级的全链条协同优化。

- **资源评估与项目规划智能化：**已从依赖历史气象数据的统计分析，升级为融合卫星遥感、数值天气预报、GIS 和 AI 算法的动态高精度评估。例如，目录中金风科技的“FreeMeso”平台、远景能源的“格林威治”平台和阳光新能源的“iSolar 系列数智软件”，能够实现风能太阳能资源的公里级乃至百米级微观选址和发电量预测，将项目开发的精准度和投资回报率提升至新高度。

- **设备管理与智慧运维：**核心技术已超越传统的 SCADA 监控，进入基于**物联网、工业互联网、大数据、预测性维护和 AI 智能体**的深度运维阶段。**金风科技的风电智慧运营平台**通过实时监测风机健康状态，利用算法模型提前预警故障，变“被动维修”为“主动干预”，显著提升设备可利用率和全生命周期价值。**华为的智能光伏逆变器**则通过 AI 自优化算法，有效应对阴影遮挡、组件衰减等问题，最大化发电效率。
- **场站集群与多能互补协同：**针对单一风电场、光伏电站的功率预测和优化控制已成熟应用。当前前沿在于“源网荷储一体化”“虚拟电厂（VPP）”“绿色算力调度”“工业绿色微电网”“零碳园区”等技术，它能将分散的风电、分布式光伏、储能、可控负荷等资源聚合起来，形成可控的“虚拟电厂”“零碳园区”等，参与电网调度和市场交易。目录中**新能源云平台、国能日新的新能源功率预测系统**正致力于此，以提升电网对新能源的消纳能力。
- **能源与工业深度融合：**最具前瞻性的探索是“风光储制氢氨醇”一体化系统的数字化管理系统。目录中的**远景能源、上海电气、国家电投**等企业提供的风光储制氢/氨/醇一体化调度控制系统，旨在打通绿电制氢、合成绿色燃料/原料的全流程数据与控制系统，实现能源流与物料流的实时优化匹配，为化工、冶金、航空等难减排行业提供零碳原料和绿色燃料解决方案。

三、卓越产品案例

案例一：远景能源基于 EnOS 工业互联网平台的 AI 智慧能源管控系统平台

- **企业概况：**远景能源是全球领先的绿色科技企业，以“让智慧绿色能源普惠全球”为使命。其打造的 EnOS™智能物联操作系统是全球重要的能源物联网平台，已接入和管理超过数亿级别的风电、光伏、储能、充电桩等智能设备，实现毫秒级实时控制。远景从风电设备制造商成功转型为智慧能源解决方案提供商。
- **创新点：**平台核心创新在于构建了“AI 电力系统”全栈能力：一是“天机”气象大模型融合全球气象数据与物理约束，实现高精度功率预测；二是“天枢”能源

大模型让场站实现智能自主运营；三是基于 EnOS 的源网荷储协同控制，实现“随风而动”的新型电力系统。平台还创新集成电力交易辅助决策模块，在鄂尔多斯零碳产业园实现 80%绿电直供、20%与电网交易的 100%零碳能源模式；在赤峰零碳氢氨项目实现全球首个 100%绿电直连的绿色化工厂，做到风光储与氢氨醇生产的动态耦合。

- **适用场景：**特别适用于大型能源集团、产业园区、零碳园区的分布式能源资产全生命周期集约化管理，以及化工、钢铁、航空等高耗能行业的绿色低碳转型。
- **量化效益：**实际应用表明，该平台帮助接入的储能项目提升收益 15%以上；鄂尔多斯零碳产业园入园企业电价低于自治区工商业标准电价；赤峰项目一期配套 143 万千瓦风光储，年产绿氨 32 万吨，三期全部投产后总产能将达 152 万吨，规模全球领先。
- **专家点评：**该平台代表了新能源数字化转型的领先水准。远景 EnOS 不仅是技术工具，更是重构能源系统和商业模式的基石。其“AI 电力系统”理论将能源从 AI 的配套底座提升为主体工程，证明了数字化对于提升新能源资产价值和实现碳中和目标的巨大潜力，对全球绿色能源变革具有重大示范价值。

案例二：金风科技风电智慧运营平台

- **企业概况：**金风科技是全球领先的风电整机制造商和清洁能源解决方案提供商，其数字化转型深度贯穿风电全生命周期，是从设备制造商向能源服务商成功转型的典范。
- **创新点：**该平台的核心创新在于其以 SOAM™系统为数字中枢，实现了“集团-省级-场站”三级协同的集中监控和智慧运维。它深度融合机理模型与大数据分析，能够对风机核心部件的亚健康状态进行精准识别和剩余寿命预测，实现了运维模式从“按时检修”到“按需检修”的范式变革。平台还集成了高精度风功率预测和电力交易辅助决策模块，帮助业主在日益复杂的电力市场中实现发电收益最大化。
- **适用场景：**特别适用于大型发电集团、新能源运营商对规模化、分布式的风电资产进行全生命周期集约化、精益化管理。

- **量化效益：**实际应用表明，该平台可帮助风电场提升发电量 3-5%，降低运维成本 20%以上，并将非计划停机时间减少 50%。
- **专家点评：**该平台代表了当前风电行业数字化运维的领先水准。它不仅是一个技术工具，更是重构风电资产管理和商业模式的基石。其成功实践证明了数字化对于提升新能源资产投资回报率的巨大价值，对保障大规模新能源基地的高效运行和电网友好接入具有重大产业意义。

案例三：阳光电源 iSolarCloud 智慧光伏云平台

- **企业概况：**阳光电源是全球领先的光伏逆变器、储能系统供应商，其数字化平台与核心硬件设备协同发展，构建了“硬件+软件+服务”的一体化竞争优势。
- **创新点：**iSolarCloud 平台的核心优势在于实现了“光-储-充”一体化协同智能控制。它不仅是电站的“监视器”，更是融合了 AI 算法的“优化器”。平台通过智能 IV 曲线诊断技术，可精准定位到组串级别的故障；其智能调度算法能对储能系统的充放电策略进行多目标优化，实现削峰填谷、需量管理、辅助服务等多重价值。平台的 EMS 模块支持微电网的并离网无缝切换，极大提升了分布式能源系统的供电可靠性。
- **适用场景：**全面覆盖户用、工商业分布式光伏、大型地面电站以及光储充一体化等多种应用场景。
- **量化效益：**该平台可提升光伏系统发电效率 5%以上，通过储能优化策略可降低用户用电成本最高达 30%，并实现运维效率提升 50%。
- **专家点评：**iSolarCloud 是“软件定义能源系统”的杰出代表。它将光伏逆变器这一关键电力转换设备与云端智慧深度耦合，推动了企业从单一的设备供应商向综合能源服务商的战略转型。其光储协同的技术路径和平台化生态模式，为构建以新能源为主体的新型电力系统提供了至关重要的终端解决方案，市场示范效应显著。

案例四：宁德时代储能系统及智慧能量管理平台

- **企业概况：**宁德时代是全球最大的动力电池和储能系统供应商，其储能业务在全球市场占据领先地位，是“中国智造”走向世界的标杆。
- **创新点：**该方案的核心创新在于其**超大容量、高安全、长寿命的锂离子储能电芯与智能化能量管理系统（EMS）的深度融合**。其储能电芯采用 CTP（Cell to Pack）高效成组技术，能量密度和系统集成度全球领先；智慧能量管理平台则通过 AI 算法，实现对储能电站的智能调度、状态预测和故障诊断，支持参与电网调频、峰谷套利等多种应用场景，提升整个电力系统的灵活性和稳定性。
- **适用场景：**广泛应用于发电侧、电网侧和用户侧的大型储能电站，为新能源消纳、电网调频、工商业节能提供关键支撑。
- **量化效益：**其储能系统循环寿命可达 12000 次以上，整体能效超过 90%，助力电站参与调频辅助服务市场可获得显著经济收益。
- **专家点评：**宁德时代储能系统代表了电化学储能领域的全球顶尖水平。其强大的研发制造能力和智能化管理平台，不仅在国内市场占据主导地位，更在国际市场与 Tesla、LG 等巨头同台竞技且优势明显，是中国在绿色能源存储环节掌握全球话语权的关键体现。

案例五：国家电投风光储制氢氨一体化调度控制系统

- **企业概况：**国家电力投资集团有限公司是领先的清洁能源企业，在氢能、储能等前沿领域布局深远。
- **创新点：**该系统是针对“风光氢氨醇”这一前沿路线的**全链条数字化协同控制解决方案**。它创新性地将不稳定的风电、光伏发电，通过储能平滑后，用于电解水制取“绿氢”，再进一步合成“绿氨”或“绿醇”。数字化平台作为“神经中枢”，实现了从可再生能源预测、电解槽群控、合成工艺优化到产品储运调度的全流程智能决策与协同优化，攻克了多能流耦合控制的难题。

- **适用场景：**适用于拥有丰富风光资源、旨在通过绿氢及其衍生品实现深度脱碳和产业升级的区域或大型能源化工基地。
- **量化效益：**此类一体化项目可大幅降低绿氢生产成本，并通过生产绿色化工原料或燃料，为难以直接电气化的工业领域提供可行的零碳解决方案。以国家电投大安风光制绿氢合成氨一体化示范项目为例，该基地配套新能源装机 800MW（风电 700MW+光伏 100MW），经调度控制系统统筹后，实现绿氢年产能约 3.2 万吨、绿氨年产能 18 万吨，折合每年减少碳排放约 65 万吨、节约标煤约 23 万吨。
- **专家点评：**该方案是能源与工业深度融合的典范，代表了能源系统数字化向更高层级——“系统重构”迈进的探索。它不仅是技术集成创新，更是对未来零碳能源化工新业态的前瞻性布局，对中国抢占绿色氢能能源产业链制高点具有重大战略意义。

案例六：华为 FusionSolar 智能光伏解决方案

- **企业概况：**华为数字能源是全球领先的数字能源产品与解决方案提供商，其智能光伏业务连续多年全球发货量第一。
- **创新点：**该解决方案的核心在于将**电力电子技术、数字技术与光储深度融合**。其智能组串式逆变器不仅实现多路 MPPT 提升发电量，更作为光伏电站的“智能大脑”，通过 AI 自学习算法实现智能 IV 曲线诊断，可精准定位故障；方案还深度融合了储能系统，实现光储协同，提升自发自用率和平抑波动。FusionSolar 云平台提供从电站规划、建设到运维的全生命周期数字化管理。
- **适用场景：**覆盖户用、工商业、大型地面电站等全场景。
- **量化效益：**可提升电站发电量 2%以上，运维效率提升 50%，LCOE（平准化度电成本）显著降低。
- **专家点评：**华为 FusionSolar 是“比特管理瓦特”理念的成功实践。其全球化的市场规模和品牌影响力，使其成为中国数字能源技术输出的典范。该方案通过持

续的技术创新和生态构建，不断拉高光伏产业智能化的标杆，推动了全球光伏产业从“补贴依赖”向“平价智能”时代的演进。

案例七：新能源云平台（新型能源数字经济平台）

- **企业概况：**国家电网是全球最大的公用事业企业，以“建设具有中国特色国际领先的能源互联网企业”为战略目标。新能源云是其主导建设的新型能源数字经济平台，于2021年4月正式发布上线，由环境承载、资源分布、规划计划、厂商用户、电价补贴、消纳计算、碳中和支撑服务等15个子平台构成，是全球规模最大的新能源云平台。平台将新一代信息技术与新能源全产业链深度融合，聚集全数据要素，服务新型电力系统构建和新型能源体系规划建设。
- **创新点：**平台核心创新在于构建了“横向协同、纵向贯通”和“全环节、全贯通、全覆盖、全生态、全场景”的新能源开放服务体系，归集发、输、用、储全环节数据和信息。平台实现了新能源业务管理全流程贯通，对外提供“一站式”线上办理服务，涵盖规划选址、接网报装、补贴申报、运行监测、交易结算、碳中和支撑等全链条服务。2022年8月，平台被全球基础设施中心（GIH）列入G20框架下“助力能源数字经济和新基础设施”典型案例，并入选国家能源局和科学技术部《“十四五”能源领域科技创新规划》能源数字化智能化重点任务。
- **适用场景：**特别适用于能源主管部门政策制定、行业协会研究咨询、发电企业设备运维、装备制造企业协同配套、金融机构风险评估，以及广大新能源用户提供全生命周期数字化服务。
- **量化效益：**平台累计接入新能源场站超850万座，装机容量达9.4亿千瓦，服务各类企业超过1.6万家。以浙江丽水某180兆瓦光伏项目为例，线上办理接网批复仅用9天，效率提升显著。
- **专家点评：**该平台代表了能源数字化转型的国家水准，是新型电力系统和新型电网平台的数字基座。它打通了新能源全产业链信息壁垒，为政府决策、企业运营和行业协同提供了统一数据枢纽，对推动能源革命和实现“双碳”目标具有基础性支撑作用，为全球能源数字经济贡献了中国方案。

四、国际竞争力对标

中国在数字-绿色能源赛道的整体实力已跻身全球第一梯队，并在多个细分领域形成领先优势。以下基于产品目录的十个二级分类进行详细对标：

表 2 数字-绿色能源类产品对标分析

对标领域	中国竞争力表现与代表产品	国外主要对手与特点	竞争格局判断
风电数字化	应用规模大，产品迭代快，成本优势明显。代表：金风科技风电智慧运营平台、远景 EnOS 平台、明阳智能风电场监控系统	GE Renewable Energy、西门子歌美飒、Vestas OS。优势在于全球项目经验积累和部分核心算法	我国优势领域。 依托全球最大装机市场，我国平台在复杂地形适应性、大数据处理能力和商业化应用创新上领先
光伏数字化	产业链完整，逆变器智能化水平高，解决方案性价比突出。代表：华为 FusionSolar、阳光电源 iSolarCloud、正泰泰极云	SolarEdge、Enphase、Fronius。优势在于其在微型逆变器、功率优化器等细分领域的技术壁垒和品牌认可度	我国优势领域。 我国产品在系统级优化、光储协同和商业模式创新上已形成全球竞争力
光热数字化	国内示范项目带动控制系统快速发展。代表：浙江可胜技术镜场控制系统、首航高科熔盐储热系统	Solargis（斯洛伐克，资源评估软件）、BrightSource（美国，镜场控制）	国内外技术并跑。 我国在大型工程系统集成上有优势，但基础软件与国际顶尖水平仍有差距
海洋能数字化	多个兆瓦级项目实施，数字化监控起步。代表：浙富控股潮汐能设备、南方电网海岛综合能源系统	OE Energy（英国，波浪能）、Ocean Power Technologies（美国）	国外技术领先。 我国处于工程化探索阶段，整体技术成熟度和商业化程度落后于欧美
新型储能数字化	电芯制造和系统集成产能全球主导，智能化管理平台快速进步。代表：宁德时代储能电池、阳光电源储能 EMS、中储国能压缩空气储能控制软件	Tesla、Fluence、LG Energy Solution。优势在于品牌影响力、特定电网服务算法和全球项目经验	电芯产能优势巨大，系统集成与算法并跑。 我国在市场规模和成本上占优；海外企业在高端市场和应用创新上仍有优势
绿氢数字化	碱性电解槽技术成熟且成本低，PEM 技术加速突破，系统控制开始布局。代表：隆基氢能 ALK 电解槽、国家电投 PEM 电解槽、上海电气制氢醇一体化系统	Nel（挪威）、ITM Power（英国）、Siemens Energy。优势在于 PEM 电解槽寿命、效率等核心指标及长期研发积累	国外技术领先，我国加速追赶。 我国凭借强大的制造能力和风光资源成本优势，正在快速缩小差距，尤其在系统集成环节
绿色甲醇/氨	示范项目驱动系统集成创新。代表：远景赤峰零碳氢氨项目、中能建绿色氢氨新能源一体化系统、电投绿能	Topsoe（丹麦，甲醇/氨合成技术）、Neste（芬兰，SAF）	国外全面领先。 我国在绿色燃料合成催化剂、工艺包和商业化规模上与国

对标领域	中国竞争力表现与代表产品	国外主要对手与特点	竞争格局判断
	(原吉电股份)大安风光制绿氢氨一体化项目、上海电气兆南风电制氢醇一体化项目		外巨头存在显著差距
可持续燃料 SAF	示范项目驱动系统集成创新。代表：中石化镇海炼化 SAF 生产控制系统、连云港嘉澳新能源 SAF	Neste (芬兰)、TotalEnergies (法国)。优势在于产能规模、技术路径多样性和航空业合作深度	国外明显领先。我国在原料供应链、认证体系和商业化应用上存在代际差距
新能源接入与管理	平台聚合能力强，国网“新能源云”等平台覆盖广。代表：新能源云、国能日新功率预测、北京电力交易中心绿电交易平台	AutoGrid (美国, VPP)、Next Kraftwerke (德国, VPP)。优势在于成熟电力市场下的商业模式清晰度	国内外并跑。我国平台技术不落后，但受制于电力市场机制完善度，商业价值未能充分释放

五、发展重点：风光储氢协同调度智能化与参与电力市场交易

数字-绿色能源赛道正跨越单一能源品种的数字化管理阶段，迈向以“系统重构”与“价值共创”为核心的新时期。其演进将围绕系统融合、智能决策、市场博弈与商业模式四大维度深化，推动能源系统从保障供给转向智慧赋能，具体路径如下：

1. 系统融合深化：从“多能互补”到“多流耦合”

未来能源系统将突破风光储协同的框架，向“风光储氢氨醇”等多能源链条与化工、冶金等高耗能产业深度融合演进。数字化平台作为“系统神经中枢”，将实现能源流、碳流、物质流、价值流的四流合一与统筹优化。系统目标从单一能源成本最低，升级为在能-碳-物耦合网络中寻求综合效益最大化的全局最优解。例如，远景科技鄂尔多斯零碳产业园通过数字化平台实现绿电制氢、合成氨醇与工业生产的动态匹配，体现了能源与产业侧深度协同的先锋实践。

2. 智能决策升维：从“分析辅助”到“AI 原生驱动”

人工智能将从提升效率的工具演变为驱动系统运行的核心引擎。具体表现为：

- 预测与运维智能化：AI 大模型将实现超短期功率预测精度的突破，并实现对风机、光伏组件、储能系统等关键设备的自主诊断与预测性维护，变“被动维修”为“主动干预”。

- **调度与决策自主化：**具备自学习能力的“AI 原生能源系统”将基于实时电网信号、市场价格与气象数据，自主制定并执行复杂调度与交易策略，推动能源管理从“人机协同”迈向“系统自主”。

3. 市场参与深化：从“被动接网”到“主动博弈”

随着全国统一电力市场体系成熟，绿色能源产品将深度融入市场化机制。通过高级算法为分布式能源资产提供电力现货、辅助服务、绿证、碳市场等多市场联合出清与风险对冲策略，使波动性绿色能源从需消纳的“负担”转化为可灵活博弈的高价值资产。数字化平台成为能源资产参与市场的“智能代理”，帮助业主在复杂规则中捕捉收益。

4. 商业模式创新：从“产品售卖”到“价值订阅”

商业模式将加速从一次性软硬件销售转向基于长期绩效的“能源即服务”（EaaS）。例如，“能源托管”“节能效益分享”“碳资产协同管理”等模式成为主流，服务商收益与客户实现的节能降碳效果、市场收益直接挂钩，共同分享绿色转型的长期价值。这一转变降低了用户门槛，推动产业进入良性发展快车道。

六、数字-绿色能源代表性产品

经征集遴选，以下产品围绕风光储氢协同、绿电交易与源网荷储调度，体现绿色能源数字化管理的主要技术路线。

表 3 数字-绿色能源代表性产品（节选）

二级分类	产品名称	单位名称	关键功能简介	产品形态
风电	FreeMeso、风匠	金风科技	风电宏观选址、风资源评估分析	咨询
风电	格林威治平台	远景能源	风能资源评估、微观选址、投资决策支持	咨询
风电	风电场集中监控与智慧运维管理系统	明阳智能	新能源远程集中监测和运维	方案
风电	CFD 风力发电工程软件	北京木联能软件	风电场分析与微观选址	咨询
风电	GWH191-7.15.2MW/GWH204 系列风机	金风科技	陆上智能风机，具备自主学习、自适应能力	设备
风电	SI-270150（15MW）风机	三一重能	陆上大容量数字化风机	设备
风电	WD230-10000/15000	运达股份	陆上高性能风机	设备

二级分类	产品名称	单位名称	关键功能简介	产品形态
	(10-15MW) 风机			
风电	MySE25 与 MySE50 双叶轮机 型	明阳智能	海上大容量智能风机，提 升捕风效率	设备
风电	GWH266-16/20MW 海上风机	金风科技	超大容量海上风机	设备
风电	H12-18MW-260 平台机型	东方电气	海上风机平台化设计	设备
风电	金风科技风电智慧运营平台	金风科技	集团级风电资产集中监 控、预测性维护、电力交 易辅助决策	方案
风电	远景 EnOS 工业互联网平台	远景能源	新能源远程集中监测和运 维、多能流协同优化	方案
风电	华能新能源智慧运维系统	华能集团	集团级风电运维、区域级 风电运维、场站级风电运 维	方案
风电	新能源智慧运维平台	朗坤智慧	新能源远程集中监测和运 维	方案
光伏	浙大整县屋顶光伏资源遥感 识别平台	浙江大学滨江学院	屋顶光伏资源评估	咨询
光伏	iSolar 系列数智软件	阳光新能源	地面电站、工商业光伏、 户用光伏全场景智能评估 与设计	咨询
光伏	太阳能资源数据验证与评估 软件	北京木联能软件股 份有限公司	太阳能资源分析计算、评 估	咨询
光伏	太阳能资源评估软件	北京瑞科同创能源 科技公司	太阳能资源评估	咨询
光伏	智能光伏逆变器 SUN2000 组 串式系列	华为数字能源	分布式光伏高效转换，支 持 AI 自优化	设备
光伏	“1+X” 模块化逆变器系列	阳光电源	集中式、分布式光伏高效 逆变	设备
光伏	组串式逆变器	锦浪科技	分布式光伏、户用光伏高 效转换	设备
光伏	iMars XG 系列逆变器	上能电气	集中式、分布式光伏逆变	设备
光伏	iSolarCloud8.0 智慧光伏 云	阳光电源阳光智维 科技	光伏电站运维、能量管理	方案
光伏	FusionSolar9.0 智能光伏 解决方案	华为数字能源	光伏电站监控、运维、AI 优化	方案
光伏	正泰 ePower 智慧光储云平 台	浙江正泰智维能源	总部/区域/电站三级智能 运维管理	方案
光伏	林洋风光储一体化智慧运维	江苏林洋智维科技	集团级/区域级集控、运维	方案

二级分类	产品名称	单位名称	关键功能简介	产品形态
	云平台			
光热	光热项目宏观选址软件平台	中广核新能源光热研究院	智能化光热电站选址推荐和可视化展示	咨询
光热	Prospect（预见）软件	Solargis	光热电站选址评估、发电量模拟	咨询
光热	塔式光热发电定日镜	浙江可胜技术	高精度聚光控制，提升光热转换效率	设备
光热	高精度定日镜	青海华汇新能源	塔式光热电站核心聚光设备	设备
光热	定日镜	首航高科能源	光热电站聚光设备	设备
光热	双罐熔盐储能系统	西子洁能	光热电站储热系统，实现能源平稳输出	设备
光热	塔式熔盐储热系统	首航高科能源	熔融盐储热设备	设备
光热	塔式熔盐储能光热系统	浙江可胜技术	光热发电与储能一体化	设备
光热	镜场控制系统	浙江可胜技术	光热电站镜场智能控制	方案
光热	镜场智能监控系统	首航高科能源	镜场运行监控与优化	方案
光热	镜场控制系统	山东电力建设第三工程	光热电站镜场控制	方案
海洋能	潮汐能发电设备	浙富控股	海洋潮汐能发电	设备
海洋能	潮汐能发电设备	龙源电力	潮汐能发电	设备
海洋能	波浪能发电设备	华电科工	波浪能发电	设备
新型储能	100-300MW 压缩空气储能设备	中储国能（北京）技术有限公司	长时大规模储能，提升电网稳定性	设备
新型储能	10-660MW 压缩空气储能设备	西安陕鼓动力股份有限公司	长时储能系统	设备
新型储能	盐穴压缩空气储能设备	沈阳鼓风机集团股份有限公司	长时储能系统	设备
新型储能	10-660MW 压缩空气储能设备	上海电气	长时储能系统	设备
新型储能	压缩空气储能系统控制软件	中储国能（北京）技术有限公司	长时储能电站设计、工程实施、运营优化	方案
新型储能	压缩空气储能系统控制软件	中国能建	长时储能系统电站设计、工程实施、运营	方案
新型储能	压缩空气储能系统控制软件	中国电建	长时储能系统电站设计、工程实施、运营	方案
新型储能	压缩空气储能系统控制软件	安徽华赛能源科技股份有限公司	长时储能系统电站设计、运营	方案
新型储能	超大容量锂离子储能电池	宁德时代	发电、输配电和用电侧储	设备

二级分类	产品名称	单位名称	关键功能简介	产品形态
			能	
新型储能	刀片式储能系统和魔方储能系统	比亚迪	发电、输配电和用电侧储能	设备
新型储能	储能方形大电芯电池	亿纬锂能	发电、输配电和用电侧储能	设备
新型储能	储能 EMS 软件	阳光电源	地面储能电站、工商业储能、户用储能的管理、运维	方案
新型储能	储能 EMS 软件	长园集团	地面储能电站管理、运维	方案
新型储能	储能 EMS 软件	国电南瑞	地面储能电站管理、运维	方案
新型储能	储能 EMS 软件	许继电气	地面储能电站管理、运维	方案
绿氢	1000-3000Nm ³ /h ALK 电解槽	西安隆基氢能科技有限公司	碱性电解水制氢	设备
绿氢	1000-5000Nm ³ /h ALK 电解槽	江苏双良氢能科技有限公司	碱性电解水制氢	设备
绿氢	1000Nm ³ /h ALK 电解槽	江苏天合元氢科技有限公司	碱性电解水制氢	设备
绿氢	250Nm ³ /h PEM 电解槽	陕西兴燃科技有限公司	质子交换膜电解水制氢	设备
绿氢	250/500Nm ³ /h PEM 电解槽	中国华电科工集团有限公司	质子交换膜电解水制氢	设备
绿氢	250/1000 Nm ³ /h PEM 电解槽	国家电投氢能科技发展有限公司	质子交换膜电解水制氢	设备
绿色甲醇	风光储制氢醇一体化调度控制系统	上海电气集团有限公司	风光储制氢醇项目全流程协同控制	方案
绿色甲醇	风光储制氢醇一体化调度控制系统	国电投绿色能源股份有限公司	风光储制氢醇项目数字化管理	方案
绿色甲醇	风光储制氢醇一体化调度控制系统	能建绿色氢氨新能源（松原）有限公司	风光储制氢醇项目协同优化	方案
绿色氨	风光储制氢氨一体化调度控制系统	远景零碳技术（赤峰）有限公司	风光储制氢氨项目协同控制	方案
绿色氨	风光储制氢氨醇一体化调度控制系统	能建绿色氢氨新能源（松原）有限公司	风光储制氢氨醇项目数字化管理	方案

第四章 数字-碳管理赛道——企业绿色合规与竞争力的数字化底座

作为工业“双化协同”的治理与价值实现核心，数字-碳管理赛道正从边缘合规工具跃升为企业战略决策与核心运营的“神经中枢”。本赛道产品通过数字化技术实现碳数据的“可测、可算、可管、可交易”，是企业在全球绿色贸易规则重构背景下规避风险、塑造优势的关键支撑。其成熟度直接决定了工业领域绿色转型的治理效率与价值深度。

一、赛道概述：政策法规强力驱动下的合规刚需与价值蓝海

数字-碳管理赛道正迎来爆发式增长。在国内，“双碳”1+N政策体系持续完善，《关于加快建立统一规范的碳排放统计核算体系实施方案》、《碳排放权交易管理暂行条例》等政策强力推动企业构建内部碳管理能力。国际上，欧盟碳边境调节机制（CBAM）正式运行，全球可持续披露准则（ISSB）加速推广，倒逼出口导向型企业必须建立符合国际标准的碳足迹核算与披露体系。

市场需求从“被动合规”向“主动创效”快速演进。据本次征集统计，数字-碳管理类产品数量众多，是产品体系最复杂、创新最活跃的领域之一。数字-碳管理赛道已经从政策驱动的早期应用阶段，进入合规刚需、经营管理和价值运营共同驱动的新阶段，AI深度赋能碳核算、预测及优化，能碳一体化、碳与ESG融合成为标配。其竞争焦点将从“能否完成核算”转向“数据是否可信、模型是否适用、业务是否嵌入、资产是否可运营、结果是否可审验”。产品目录中的擎工互联碳擎平台、碳阻迹碳矩阵平台、上海易碳积木LCA平台等产品，反映了该赛道由工具化向平台化、由组织边界向产品和供应链边界、由报表管理向价值管理演进的基本方向。

数字-碳管理已形成“专业服务商+科技巨头+垂直方案商+咨询核查机构”四大阵营，技术融合加速，产品谱系日趋完善。结合功能与应用深度，现有产品可归纳为八大类，并按市场成熟度呈现明显梯队：一是基础核算与合规类产品，占据市场主导。其中，碳核算与清单编制类占比最高，达16.70%；碳减排项目与资产管理类次之，占15.60%；碳交易与场景消纳类占14.40%；碳数据与基础能力类占13.30%；碳管理与决策分析类占13.30%。

这五类合计占比近八成，构成了从底层数据、中台能力到上层交易履约的完整基础底座。二是披露与评价类产品，处于快速成长期。包括 ESG 认证类和可持续发展报告类，各占 10.00%；以及 ESG 评级类，占 6.70%。这类产品正随着全球可持续披露准则的趋严而加速普及。整体而言，市场重心仍集中在组织碳核算与履约管理（如清单编制、减排项目管理）等刚需领域；而随着监管要求细化，ESG 披露与碳交易相关工具正成为新的增长极。

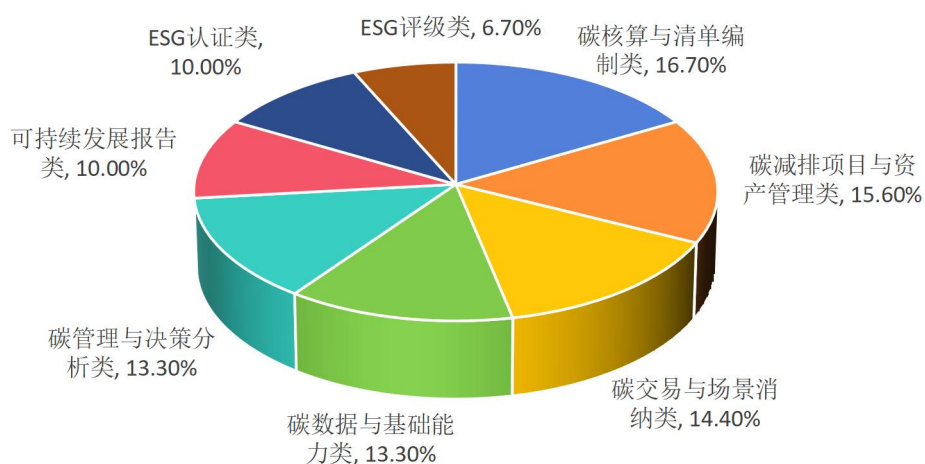


图 7 数字-碳管理赛道产品内部结构分析

二、技术路径：构建贯通数据、模型、业务与资产的碳管理闭环

数字-碳管理的技术路径正在由单一软件功能，演进为“数据采集—数据治理—核算建模—分析决策—披露审验—资产运营”的全链路体系。其关键不在于单次核算结果，而在于形成可持续运行的碳数据治理机制，使碳流能够与能源流、物流、生产流、物流、资金流和责任流建立稳定映射关系。

- **碳数据采集与监测自动化：**该环节是碳管理可信度的基础。技术上主要依托智能仪表、CEMS、工业网关、边缘计算节点、DCS / PLC 接口、能源管理系统接口和 IoT 平台，实现对燃料消耗、外购电力、蒸汽、原辅材料、工况参数和排放源数据的自动采集。相较于人工填报，自动化采集能够显著提升数据时效性、完整性和留痕能力，并通过异常识别、数据校验和多源比对降低核算偏差。江苏擎工互联碳计量边缘一体机、佳华

智联的数字碳表、北京雪迪龙温室气体在线监测系统等产品，体现了碳数据从人工汇总向源头取数、过程留痕、边缘校验转型的方向。

- **碳数据治理与主数据管理：**随着碳管理边界从企业扩展到产品和供应链，数据治理成为平台能力的核心。企业需要建立统一的组织边界、设施边界、产品边界、工序边界、排放源编码、能源介质编码、供应商编码和排放因子版本管理机制，解决同一数据在财务、能源、生产和环保系统中口径不一致的问题。成熟平台通常需要具备数据血缘追踪、版本留存、权限管理、审计日志、质量评分和异常预警能力，以满足核查、审验和外部披露要求。
- **碳核算与模型标准化：**该环节以国家重点行业核算指南、GHG Protocol、ISO 14064、ISO 14067、生命周期评价方法和产品碳足迹规则为基础，建立组织层、设施层、工序层、产品层和供应链层的核算模型。组织碳核算重点关注范围一、范围二及部分范围三排放，产品碳足迹则需要与BOM、工艺路线、供应商数据和生命周期数据库深度关联。上海易碳积木LCA云平台、亿科环境CLCD数据库、清华天工LCA数据库、擎工互联碳擎平台等产品，体现了本土化数据库和模型工具对制造业产品碳足迹管理的重要支撑。
- **碳管理决策智能化：**当碳数据具备连续性和颗粒度后，平台可进一步开展碳排放预测、碳目标分解、碳预算管理、边际减排成本分析、减排项目组合优化和情景模拟。AI算法可用于识别异常排放、预测履约缺口、匹配减排措施、评估技改投资收益，并将碳成本纳入采购、生产、物流和投资决策。河钢数字WiseCarbon平台、远景智能方舟碳管理平台等产品，已体现出碳管理与生产计划、能源系统和集团经营决策联动的趋势。
- **产品碳足迹与供应链协同：**产品碳足迹是碳管理由组织边界向市场边界延伸的关键。技术上需要围绕原材料、制造、运输、使用和回收等环节建立生命周期模型，并通过供应商数据采集、缺省因子补偿、数据质量分级和第三方核验机制提升结果可信度。面向链主企业，供应链碳管理平台还需支持供应商准入评价、低碳采购、绿色设计、碳标签和客户披露响应，形成从单个企业碳账本到产业链碳账本的扩展。

- **碳资产与交易运营数字化：**在全国碳市场扩围和自愿减排交易重启背景下，碳资产管理正在成为企业经营管理的新模块。相关系统需要覆盖配额测算、履约预测、交易策略、CCER 项目开发、碳信用登记注销、绿电绿证协同和碳资产风险预警等功能。其发展方向是将碳核算数据、减排项目数据、交易数据和财务数据贯通，使碳资产从台账管理走向价值评估、风险控制和组合运营。
- **可信流通与安全合规：**碳数据具有监管属性、商业属性和供应链敏感属性，未来跨主体流通必须兼顾可信、可控和合规。可信数据空间、区块链、隐私计算、电子签章、数字身份和数据分级授权等技术，将更多应用于碳足迹溯源、碳信用确权、供应链数据共享和国际客户审验。对工业企业而言，碳管理平台还需满足网络安全、数据安全和工业控制系统安全要求，避免在连接生产系统时引入新的运行风险。

三、卓越产品案例

案例一：擎工互联数字化碳管理与 MRV 系统

- **企业概况：**江苏擎天工业互联网有限公司长期深耕工业企业数字化转型与碳管理场景 17 年，聚焦高耗能行业、重点排放企业和工业园区能碳数据治理需求，形成了覆盖数据采集、碳核算、MRV 管理、监管报送和决策分析的一体化产品体系。
- **创新点：**该系统突出“软硬一体、源头可信、闭环管理”的技术特征。碳计量边缘一体机等设备可对接 DCS、PLC、计量仪表和能源管理系统，采集排放源、能源介质和生产工况数据；平台侧则围绕 MRV 要求，形成监测、核算、报告、核查、留痕和报送的全流程管理能力。系统内置重点行业核算方法，可支撑企业对接政府监管平台和内部管理平台，提升碳数据质量控制水平。
- **适用场景：**适用于纳入全国碳市场或地方碳市场管理的重点排放企业，高耗能制造企业，工业园区，集团型企业，以及对碳数据真实性、连续性、可追溯性和核查通过率要求较高的工业场景。特别适合钢铁、建材、化工、有色、造纸、电力等排放源复杂、计量边界多、数据治理难度高的行业。
- **量化效益：**据公开项目实践反馈，通过碳计量边缘一体机对接现场仪表与控制系统，可将排放源数据自动化采集率由原先不足 5%提升至 95%以上，碳排放核算人工操作耗

时节省约 50%以上，数据核算误差可有效控制在±1%以内；报告生成、多口径对账与核查留痕在平台内闭环完成，显著缩短核算报告编制与核查取证周期，降低人工填报带来的口径偏差与返工风险，单次碳盘查/核查配合工作量可削减约一半，提升企业履约管理的可预期性与可控性。

- **专家点评：**擎工互联数字化碳管理与 MRV 系统的核心价值，在于解决工业企业碳管理中最基础、也最关键的三个问题：碳数据从哪里来、数据是否真实可信、管理能否形成闭环。其“硬件采集+平台治理+MRV 闭环”的协同路径，将碳管理前移至生产现场和计量边界，推动企业从被动填报转向主动管控。该方案不仅有助于提升工业企业碳核算、碳核查和履约管理能力，也为碳数据资产化、园区能碳协同治理和政府监管数字化提供了具有推广价值的实践样板。

案例二：碳足迹碳矩阵数字化碳管理平台

- **企业概况：**碳足迹（北京）科技有限公司是国内较早开展碳管理软件和解决方案服务的企业之一，长期面向消费、互联网、金融、制造等行业提供碳核算、碳披露和碳中和管理服务，具备较强的平台化产品能力和市场应用基础。
- **创新点：**碳矩阵平台基于云原生架构，集成企业碳盘查、排放核算、减排目标管理、披露管理和路径模拟等功能，支持 ISO 14064、GHG Protocol 等主流标准，并内置多行业排放因子库和核算模型。平台可通过 API 与 ERP、能源管理系统、供应链系统等对接，减少人工汇总环节，提高数据一致性和核算效率；其碳中和路径模拟能力，可辅助企业比较不同减排措施的成本、潜力和实施优先级。
- **适用场景：**适用于需要开展组织碳盘查、可持续信息披露、供应链碳管理、碳中和路径规划以及范围三排放管理的大中型企业，尤其适用于供应链层级复杂、披露要求较高的企业集团。
- **量化效益：**典型场景下可将碳盘查报表编制与跨部门/供应链数据整理的人力工时节省约一半，并把核算口径、因子选择与底稿留痕标准化，使盘查周期从数周级压缩至数天级，减少人工口径偏差与返工风险，更好支撑持续披露与审计核查。

- **专家点评：**碳矩阵平台体现了碳管理软件标准化、SaaS化和生态化的发展方向。其价值不仅在于提升核算效率，更在于将碳管理流程转化为可复制、可沉淀、可持续迭代的数字化能力，为企业开展持续性碳管理和外部披露提供了较成熟的工具支撑。

案例三：上海易碳数科积木 LCA 云平台

- **企业概况：**上海易碳数字科技有限公司聚焦产品碳足迹和生命周期评价领域，团队在 LCA 方法、行业数据库和工业产品建模方面具有专业积累，服务对象主要覆盖制造业、出口型企业和绿色供应链相关主体。
- **创新点：**积木 LCA 云平台以“模块化建模”为核心方法，面向工业产品全生命周期碳足迹核算提供 SaaS 化工具。平台依托本土化生命周期数据库，支持用户围绕原材料、制造、运输、使用和回收等环节快速构建产品模型，并生成符合 ISO 14067、PAS 2050 等方法要求的碳足迹报告。该模式有助于降低复杂产品建模门槛，提高产品碳足迹核算的可复用性和可比性。
- **适用场景：**适用于需要开展产品碳足迹核算、绿色设计、出口合规、供应链低碳评价和产品环境声明的制造企业，特别适用于零部件层级多、供应商数量多、国际客户要求高的行业。
- **量化效益：**平台以模块化积木建模替代传统手工盘查，可将报告编制与汇总人工耗时压缩约 60%~80%，典型场景周期从数周级压至数天级；依托欧盟平台互认资质，相关认证周期可从近半年缩至最快约两周，推动碳足迹管理从单次项目转为常态化、可复用能力。
- **专家点评：**积木 LCA 云平台切中了产品碳足迹管理从试点走向规模化应用的关键环节。其核心意义在于将方法、数据库和工具平台进行集成，为我国制造业建立本土化、可追溯、可复核的产品碳足迹能力提供了重要支撑。

案例四：河钢数字 WiseCarbon 综合碳中和平台

- **企业概况：**河钢数字技术股份有限公司依托河钢集团在钢铁流程工业中的生产实践和数字化基础，形成了面向高耗能、高排放行业的碳管理产品与解决方案能力。

- **创新点：**WiseCarbon 平台的特点在于将碳管理与钢铁生产工艺、能源调度和成本管理深度结合。平台围绕铁前、炼钢、轧钢等关键流程，建立碳排放计算、能源平衡、生产计划和减排项目管理模型，实现能源、碳排放和成本的多目标协同分析。其碳资产管理和交易功能，可进一步支撑企业进行履约测算、配额管理和减排项目评估。
- **适用场景：**适用于钢铁、化工、建材、有色等流程工业企业，尤其适用于具有多基地、多工序、多能源介质管理需求的集团型企业。
- **量化效益：**平台在河钢内部实现 40 多道工序、510 万条碳数据的智能采集与自动核算，自动化采集覆盖率达 75% 以上，碳核算与报告编制效率提升约 83%，累计产出碳足迹/碳盘查/CBAM 等报告 60 余款；平台驱动的能碳协同优化助力相关厂区每吨钢综合能耗降低约 1% - 3%、年减 CO₂ 超十万吨，煤气回收利用率稳定提至 98% 以上。目前平台已在唐钢、邯钢、宣钢、承钢等 10 家子分公司落地，EPD (Environmental Product Declaration, 环境产品声明) 报告覆盖年产量约 1,630 万吨，为碳市场履约与 CBAM 等合规场景提供可审计的数据底座。
- **专家点评：**WiseCarbon 平台表明，工业碳管理的深化方向并非停留在报表层面，而是进入生产过程、能源系统和经营决策之中。平台将行业机理、管理规则和数字技术相结合，为流程工业开展可验证、可持续的深度减排提供了具有行业代表性的实践样本。

案例五：远景智能方舟碳管理平台

- **企业概况：**远景科技集团是绿色科技和智能物联网领域的重要企业，远景智能依托 EnOS 物联网操作系统，形成了覆盖新能源、储能、综合能源和碳管理的数字化产品体系。
- **创新点：**方舟碳管理平台基于统一物联网底座，支持企业接入分布式能源、储能设施、生产排放源和供应链相关数据，实现碳排放、绿电使用、碳资产和减排项目的协同管理。平台通过 AI 算法和数据模型，支持绿电采购、碳资产配置、减排路径优化和全球运营网络的碳风险管理，具备跨区域、多资产、多场景协同能力。
- **适用场景：**适用于拥有多地域运营网络、多元绿色能源资产、国际客户和复杂供应链的大型企业集团，以及需要开展全球碳风险识别和绿色能源协同优化的企业。

- **量化效益：**平台目前接入管理能源资产超 1000GW 级、服务全球客户 1000+家；通过 IoT 对接与自动化核算引擎，将组织碳盘查与多标准披露报告底稿整理周期从数周级压缩至数天级，并实现绿证/碳信用 ID 可追溯、可审计的一键式核销，帮助跨国运营企业将绿电采购、碳资产管理与 ESG 披露纳入常态化闭环管理。
- **专家点评：**平台体现了“能源管理+碳管理”一体化的发展趋势。其突出价值在于将碳排放管理与绿色能源供给、用能优化和碳资产配置联动，适应大型企业全球化运营和绿色供应链管理需求，为中国碳管理产品向平台化、国际化方向发展提供了参考。

案例六：软通动力 ESG 与可持续发展整体解决方案

- **企业概况：**软通动力是中国领先的全栈智能化产品与服务提供商，依托 ESG 和数字技术服务领军地位和专业实力，形成了覆盖全生命周期的 ESG 与可持续发展整体解决方案。
- **创新点：**该方案基于多行业、定制化 ESG 与可持续发展管理咨询经验和外化赋能深厚积淀，一体化全链路闭环创新构建“实质性研判→管理体系→战略咨询→碳智能管控→报告及鉴证→评级提升→ESG 培训→供应链赋能”一站式交付模式，搭载自研数字能源“双碳”智能模型产品体系，实现“合规+增效”双向价值。
- **适用场景：**适用于满足合规披露、体系管理、零碳园区、供应链 ESG 管理等要求的大中型企业集团、A 股上市/拟上市公司，以及开展绿色信贷、绿色工厂申报的企业。
- **量化效益：**软通动力 ESG 与双碳交付体系已服务全球 500 强和中国 500 强客户 200 余家，在 98 家央企中累计服务 45 家；其一体化闭环将盘查、问卷与多标准披露收敛到同一套可审计口径，典型场景下披露材料准备周期从数周压缩至数天级，并通过可核查碳账本与绿电溯源帮助企业满足绿色融资的核验前提，降低合规摩擦成本、提升绿色融资可得性。
- **专家点评：**ESG 与可持续发展整体解决方案充分体现了“ESG 从企业成本项变成经营增效抓手”的突出优势。其核心意义在于助力企业实现 ESG 全生命周期可持续管理和高质量合规披露，有效降低企业经营成本，提升“ESG+双碳”整体治理规范化水平。

案例七：能碳宝科技能碳管理平台

- **企业概况：**陕西能碳宝科技公司是一家专注于双碳领域业务深耕的科技型公司，依托于对高污染、高耗能行业以及政府、园区双碳管理的深刻理解，为其提供能源双碳的一体化数据驱动解决方案。
- **创新点：**该平台的核心优势在于其“采集-核算-监测-管理-优化-存证”的全链条闭环能力，**实现企业能耗和碳排的实时监测与精准核算，同时深度融合能源管理与碳资产管理**，通过产品碳足迹追踪、供应链碳管理、减碳潜力识别、碳配额交易等能力，**打通“能-碳-资产-交易”的数据壁垒**。配套企业碳测一体机硬件设备，实现软硬一体化的碳排放全面测量与管控，形成“平台+硬件+服务”的综合赋能模式。
- **适用场景：**适用于有碳合规、碳履约、碳减排需求的大型制造企业、高耗能工业园区及需对接政府监管平台的控排企业，特别是面临碳配额管理、产品碳足迹认证、供应链碳披露要求以及希望系统性推进碳中和的客户。
- **量化效益：**典型场景下，平台可将排放源自动化采集覆盖率提升至70% - 90%，盘查报表与核查底稿准备周期从数周压缩至数天级；通过能效平衡与“能-碳-资产”联动分析减少非必要能耗损失，并以可审计碳账本支撑碳核查、履约台账与政府监管平台对接。
- **专家点评：**企业能碳管理平台展现了能源管理与碳管理深度融合的系统化思维。其“核算模型标准化、数据采集自动化、管理流程闭环化”的设计理念，为企业提供了从合规履约到价值创造的全方位支撑。平台内置了丰富的因子库（国际、国内、行业、地方等），覆盖了碳监测、碳资产、碳足迹、碳交易等核心场景，是能碳数字化管理的标杆实践，尤其在多行业适配与软硬一体化部署方面优势突出。

四、国际竞争力对标

我国数字-碳管理市场具备政策牵引强、应用场景丰富、平台迭代快和本土化交付能力强等优势，在重点排放企业履约管理、园区碳管理、制造业产品碳足迹和供应链低碳协同方面已形成一批可复制实践。与国际领先水平相比，差距主要体现在标准话语权、高质

量基础数据库、全球方法互认、双合规能力、供应链碳管理、高端 LCA 软件、可持续披露工具链、认证公信力和跨国服务网络等方面。未来国际竞争的关键，不仅在于软件功能是否完备，更在于底层数据是否可信、核算方法是否可互认、行业模型是否足够深入以及能否服务企业全球化经营。以下基于产品目录的八个二级分类进行详细对标：

表 4 数字-碳管理类产品对标分析

对标领域	中国竞争力表现与代表产品	国外主要对手与特点	竞争格局判断
碳数据监测设备（CEMS 等）	在常规烟气 CEMS 领域技术成熟，性价比高。代表：北京雪迪龙 CEMS、擎工互联碳计量一体机	ABB、Siemens、Thermo Fisher Scientific。优势在于极高精度、稳定性和复杂工况适应性	国内外并跑。 我国产品能满足大部分国内需求，但在极端测量环境、多组分同时监测等高端市场仍依赖进口
LCA 数据库与核心软件	本土数据库（如易碳 HiQLCD、亿科 CLCD、清华天工 LCA 数据库）快速成长，但覆盖广度和国际认可度有待提升。代表软件：易碳积木 LCA 平台	GaBi（Sphera）、SimaPro（PRé）、Ecoinvent（数据库）。优势在于数十年积累、全球覆盖的数据和权威方法论	国外显著领先。 核心工业软件和底层数据库仍是国外主导，我国处于奋力追赶阶段，本土化数据库是突破关键
企业碳核算与报告 SaaS	应用创新活跃。产品迭代快，更贴合国内政策。代表：碳足迹碳矩阵、擎工互联碳擎系统、朗新科技碳管平台	Persefoni、Watershed、Plan A。优势在于对 ISSB 等国际准则的深度集成、强大的算法模型和全球企业服务经验	国内外并跑，各有侧重。 我国平台在服务本土市场和性价比上占优；国际平台在全球化、算法深度上领先
碳资产管理与交易平台	特定领域领先。全国碳市场交易系统自主可控。企业级碳资产管理系统开始出现。代表：上海环交所交易系统	Xpansiv（CBL 市场）、ACX。优势在于成熟的 VCM（自愿碳市场）生态、金融衍生品和国际化运营	市场机制阶段不同。 我国强制市场基础设施自成一格；但在 VCM 的金融化、国际化方面落后
碳管理与决策分析平台	平台功能从报告向绩效管理延伸。代表：河钢数字 WiseCarbon、远景智能方舟碳管理平台	Workiva、SAP Climate 21。优势在于与 ERP 等核心业务系统深度集成、强大的情景模拟和风险分析功能	国外整体领先。 国外平台在企业级深度集成和复杂决策支持上更为成熟
ESG 数字化管理平台	平台功能从报告向绩效管理、能碳一体化延伸。代表：盟浪 ESG 平台、鲸牛 ESG 平台	Workiva、Datamaran、EcoVadis（平台）。优势在于与全球评级机构数据打通、全球合规覆盖、成熟方法论、强大的风险识别和基准对标功能	国外整体领先。 国外平台在数据治理、行业适配、AI 分析和全球合规方面更为成熟，我国平台正结合

对标领域	中国竞争力表现与代表产品	国外主要对手与特点	竞争格局判断
		能	本土标准向合规融合、AI 深度赋能加速发展
供应链碳足迹溯源	区块链等技术开始试点。代表：一些科技公司的溯源方案	IBM Food Trust、SAP Responsible Design。优势在于跨企业协同架构、成熟的供应链管理系统集成	国外领先。我国处于技术验证和初步应用阶段，整体解决方案成熟度不高
碳普惠平台	结合移动支付、物联网等，模式多样。代表：各地政府碳普惠平台、企业个人碳账户	暂无全球性巨头，多为区域性应用	我国特色领域领先。在推动公众减排和行为引导方面，中国的碳普惠模式和应用规模处于探索前沿

五、发展重点：碳数据实时化、碳成本内嵌化与碳资产金融化

数字-碳管理赛道正经历从被动合规工具向企业核心竞争力和价值运营中枢的战略性跃迁。其发展将围绕数据穿透、业务融合、资产运营与模式创新四大维度深化，推动碳管理成为企业高质量发展的内在驱动力。具体演进路径如下：

1. 系统融合深化：从“合规报表”到“实时碳数据底座”

碳数据管理将突破周期性手工核算模式，迈向基于物联网传感、边缘计算与区块链技术的实时化、自动化、可信化新阶段。企业通过部署在线监测设备与嵌入式碳因子库，实现从能源消耗到生产过程排放的秒级采集与自动核算，显著提升数据的准确性、时效性与可追溯性。这不仅为动态碳管控奠定基石，更为碳数据要素的资产化流通提供可信凭证。

2. 智能决策升维：从“管理工具”到“业务嵌入型智能体”

碳管理将与核心业务流程实现深度耦合，推动碳成本内嵌化。碳管理平台通过与 ERP、SCM、MES 等系统的无缝集成，将碳排放强度作为关键参数嵌入采购决策、生产排程、物流路径优化等环节，驱动业务端自发做出低碳选择。AI 算法将进一步用于产品碳足迹的快速测算与溯源分析，实现从被动核算到主动优化供应链碳效的转变。

3. 市场参与深化：从“本土合规”到“全球碳资产运营”

随着全球碳市场联动增强与跨境碳关税机制（如 CBAM）落地，碳管理平台将强化其国际化与金融化功能。平台需支持多元碳信用标准（如 VCS、GS）项目的开发、交易、质押

与跨境转移，帮助企业将碳约束转化为碳机遇。基于区块链的碳资产存证与核销系统，将确保碳信用在全球范围内的唯一性与可信流转，助力企业参与国际碳金融市场博弈。

4. 商业模式创新：从“软件售卖”向“碳价值订阅”

商业模式将加速从一次性软件授权，转向提供“碳托管”、“减排效益分成”、“ESG绩效提升服务”等基于结果的价值订阅模式。服务商的收益与为客户实际实现的碳减排量、碳资产收益及合规效率提升直接挂钩，推动碳管理从成本中心转化为价值创造中心，实现与服务客户的风险共担、利益共享。

六、数字-碳管理代表性产品

经征集遴选，以下产品涵盖组织碳核算、产品碳足迹、供应链碳管理与披露等环节，体现碳管理数字化的典型实践。

表 5 数字-碳管理代表性产品（节选）

二级分类	产品名称	单位名称	关键功能简介	产品形态
碳数据与基础能力类	天工 LCA 数据库	清华大学	中国首个开放透明的生命周期单元过程数据库，支持 ISO 14040 / 14044 等国际标准	方案
碳数据与基础能力类	亿科数据库（CLCD）	亿科环境科技有限公司	覆盖全球数据的生命周期评价数据库，支持多国环境足迹核算	方案
碳数据与基础能力类	碳排放因子数据库	碳阻迹（北京）科技有限公司	整合全球 IPCC、欧盟及本土碳数据，支持碳核算与预测	方案
碳数据与基础能力类	HiQLCD 中国工业生命周期数据库	上海易碳数字科技有限公司	高质量本土化 LCA 数据集，支持工业产品碳足迹精准核算	方案
碳数据与基础能力类	擎天温室气体核算标准库	江苏擎工互联科技有限公司	集成数百种核算标准及数十万条计算参数	方案
碳数据与基础能力类	星火·链网：可信碳数据空间	北京泰尔英福科技有限公司	建设由核心共识网络和应用互通网络两层架构构建的可信任碳数据网络空间	方案
碳数据与基础能力类	温室气体在线监测系统（CEMS）	北京雪迪龙科技股份有限公司	采用高精度红外 / 激光技术，实时监测 CO ₂ 、CH ₄ 等排放	设备
碳数据与基础能力类	碳计量边缘一体机	江苏擎工互联科技有限公司	边缘侧实时碳排放数据采集与核算，支持多协议接入	设备
碳数据与基础能力类	能效网关 / 智碳传感	河钢数字技术股份	针对重工业场景的能耗与碳排放	设备

二级分类	产品名称	单位名称	关键功能简介	产品形态
能力类	器	有限公司	数据自动化采集	
碳数据与基础能力类	碳计量能耗采集边缘网关	北京华电众信数字科技股份有限公司	多协议转换与边缘计算，实现碳数据本地预处理	设备
碳数据与基础能力类	碳数据体系与指标体系设计咨询	北京中创碳投科技有限公司	企业 / 政府碳管理顶层设计，构建多维双碳指标模型	咨询
碳数据与基础能力类	碳排放数据标准与口径梳理服务	龙源碳资产公司	大型集团碳数据标准化与跨地域盘查支持	咨询
碳数据与基础能力类	数据资产质量评价与价值评估	佳华科技集团股份有限公司	碳数据资产化与质押融资评估服务	咨询
碳核算与清单编制类	产品碳足迹（PCF）核算咨询	亿科环境科技有限公司	基于 CLCD 数据库的全生命周期碳足迹核算	咨询
碳核算与清单编制类	CBAM 碳关税咨询与填报指导	上海易碳数字科技有限公司	欧盟出口合规风险评估与填报支持	咨询
碳核算与清单编制类	电力 / 钢铁行业专项核算方案	龙源碳资产公司	重点行业碳核算口径梳理与方案定制	咨询
碳核算与清单编制类	城市 / 园区温室气体清单编制	博雅智慧（北京）科技有限公司	区域级“碳家底”动态清单更新与管理	咨询
碳核算与清单编制类	便携式温室气体分析仪	北京雪迪龙科技股份有限公司	现场核查与数据比对便携设备	设备
碳核算与清单编制类	数字化碳管理与 MRV 系统	江苏擎工互联科技有限公司	碳数据自动采集、核算、报告、核查一站式平台	方案
碳核算与清单编制类	积木 LCA 云平台	上海易碳数字科技有限公司	图形化产品碳足迹建模，自动生成国际标准报告	方案
碳核算与清单编制类	城市温室气体清单编制工具	北京中创碳投科技有限公司	范围 1 / 2 / 3 全口径数字化清单管理	方案
碳核算与清单编制类	碳排放统计与报送管理系统	河钢数字技术股份有限公司	对接政府监管系统，实现数据自动化报送	方案
碳核算与清单编制类	园区级温室气体核算系统	博雅智慧（北京）科技有限公司	园区碳排实时监测与偏差分析	方案
碳管理与决策分析类	碳管理体系（ISO 14064 / PAS 2060）建设咨询	中国质量认证中心（CQC）	国家级认证机构提供全流程碳管理体系咨询	咨询
碳管理与决策分析类	碳绩效考核方案与指标分解咨询	华测检测认证集团股份有限公司	将减排目标拆解为可监测的部门级 KPI	咨询
碳管理与决策分析类	碳中和管理组织架构与流程优化咨询	方圆标志认证集团（CQM）	制造型企业碳管理职能与流程优化	咨询
碳管理与决策分析类	关键工序组分在线分析仪（CEMS）	北京雪迪龙科技股份有限公司	石化 / 冶金工艺过程气体组分实时分析	设备
碳管理与决策	集团级碳管理可视化	江苏擎工互联科技	决策层碳排态势监控与多目标	方案

二级分类	产品名称	单位名称	关键功能简介	产品形态
分析类	驾驶舱	有限公司	优化	
碳管理与决策分析类	WiseCarbon 综合碳中和平台	河钢数字技术股份有限公司	钢铁行业能源、碳排、成本多目标协同优化	方案
碳管理与决策分析类	双碳路径推演数字化模型	中电金信数字科技有限公司	城市 / 园区碳中和情景模拟与投资优化	方案
碳资产管理类	CCER / 自愿减排项目开发咨询	上海环境能源交易所	国内权威碳资产开发与交易平台咨询	咨询
碳资产管理类	自愿减排项目核证咨询	中环联合认证中心 (CEC)	生态环境部背景的核证权威服务	咨询
碳资产管理类	数字化 MRV 体系设计与实施辅导	上海碳衡科技有限公司	减排项目数据全流程可信追溯与 AI 核算	咨询
碳资产管理类	CCER 减排项目能碳计量一体机	江苏擎工互联科技有限公司	减排项目边界内数据实时监测与资产固化	设备
碳资产管理类	碳资产全生命周期台账管理系统	江苏擎工互联科技有限公司	集团碳资产开发、交易、履约全流程管理	方案
碳资产管理类	Ark 数字化碳管理与 MRV 平台	远景智能 (Envision Digital)	全球化多标准碳资产协同管理平台	方案
ESG 数字化管理类	盟浪 SUSRA 平台	盟浪可持续数字科技 (深圳) 有限责任公司	ESG 数据管理、绩效评价、报告生成	方案
ESG 数字化管理类	格创东智 ESG 数智中台	格创东智科技有限公司	数据与流程管理、绩效分析对标、AI 报告优化	方案
ESG 数字化管理类	Wind ESG 评价体系	万得信息技术股份有限公司	覆盖全部 A 股、港股上市公司与重要发债主体 ESG 评级与数据服务	方案
ESG 数字化管理类	中证 ESG 评价体系	中证指数有限公司	机构投资者 ESG 产品开发基准	方案
ESG 数字化管理类	国证 ESG 评级体系	深圳证券信息有限公司	立足中国国情、覆盖全 A 股 ESG 综合评价工具, 支撑可持续投资与指数编制	咨询
ESG 数字化管理类	ESG 综合服务	中国质量认证中心 (CQC)	可持续发展信披、认证、评价全链条服务	咨询
ESG 数字化管理类	双碳认证评价	中环联合认证中心 (CEC)	产品碳足迹、零碳工厂等权威认证	咨询
ESG 数字化管理类	ESG 认证服务 (零碳工厂 / 园区)	华夏认证中心有限公司	碳中和评价与绿色供应链认证	咨询
ESG 数字化管理类	绿色金融认证与评估	联合赤道环境评价股份有限公司	绿色债券评估与碳减排量认证	咨询

第五章 数字-能碳协同优化——工业过程减排的核心引擎

作为工业“双化协同”在运营层面的核心体现，数字-能碳协同优化赛道聚焦于工业生产过程的内部，通过数字化技术实现能源消耗与碳排放的同步优化与精细管控。本赛道产品直接作用于工业企业的“能源流”与“碳流”，是破解高耗能行业成本压力与碳约束矛盾、实现“节能”与“降碳”协同增效的关键路径。其应用水平直接影响工业领域实质性减排的效率与经济效益。不同于侧重传统核算与管理的“数字化碳管理系统”，该赛道强调实时感知、动态调度与闭环控制，可驱动生产端产生实质性减排效果，是企业构建绿色制造能力的关键引擎。

一、赛道概述：从单点节能到系统能碳协同的战略升级

数字-能碳协同优化赛道是工业端实现降本增效与绿色转型直接的结合点。在国家“十四五”工业绿色发展规划及《工业能效提升行动计划》等政策强力驱动下，企业对通过数字化手段挖掘节能降碳潜力的需求日益迫切。面对能源成本波动与碳市场带来的外部压力，工业企业亟需将能碳管理从分散、粗放的经验式管理，转向一体化、精细化的科学决策。

数字-能碳协同优化正推动工业节能从“单点技改”向“全过程系统治理”跃迁，其技术落地呈现清晰的四层架构：第一层以高耗能设备运行优化为基础，第二层进阶至公辅能源系统协同，第三层为赛道核心，实现关键工业流程的机理与AI优化，第四层是长期发展目标，实现园区及供应链级的跨主体调度与互济。从国内产业落地结构来看，当前产业实践集中于能源系统技改（47.7%）与能碳诊断优化（31.8%）两大领域，而直接决定核心碳排放的生产工艺绿色技改（20.5%）尚处高潜起步期，属于关键增长赛道。行业面临数据质量、算法迁移、收益核算、系统集成与安全信任等核心瓶颈，其深入发展必须依赖深厚的行业知识、工程经验与可信验证体系的共同支撑。

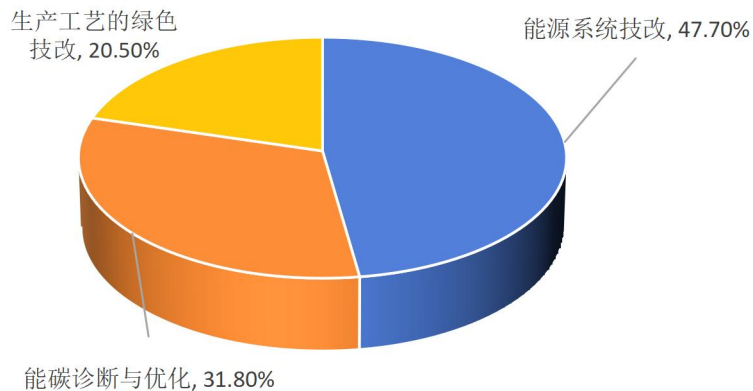


图 8 数字-能碳协同优化赛道产品内部结构分析

数字-能碳协同优化正在由“节能项目”向“工业智能系统”演进。未来竞争优势将更多取决于四类能力：对行业机理和工艺约束的理解能力，对多源数据的治理和建模能力，对复杂系统进行稳定闭环控制的工程能力，以及将节能量、降碳量和经营收益持续量化的验证能力。格创东智 AI 能碳大脑、海尔卡奥斯能碳管理平台、河钢数字 WesEnergy 平台等产品，体现了该赛道从单点设备优化向系统级、工艺级和平台级优化扩展的趋势。

二、技术路径：形成感知、诊断、优化、控制和评价闭环

数字-能碳协同优化的技术路径可概括为“感知—诊断—建模—优化—控制—评价”的闭环。与传统能源管理系统相比，其核心差异在于更强调生产过程耦合、更强调算法与机理结合、更强调实时控制和效果验证，并将能源成本、碳排放、产量质量、安全稳定和设备全生命周期纳入统一优化目标。

- **能碳数据一体化采集与边缘感知：**底层需要对电、蒸汽、燃气、煤气、压缩空气、冷量、热量、水、原辅材料等多类介质进行高频采集，同时接入产线节拍、工艺参数、设备状态、质量指标和环境参数。智能仪表、工业网关、边缘计算节点和边缘控制器共同构成数据入口。安科瑞智能能耗监测终端、北京华电众信碳计量边缘网关等产品，为能碳协同优化提供了从能源侧到生产侧的基础感知能力。
- **能碳基准与绩效诊断：**在数据采集基础上，需要建立设备、工序、产线、产品和组织层面的能碳基准。典型方法包括能流平衡、物料平衡、设备效率曲线、单位产品综合能耗、碳排放强度、能效对标、碳效对标和异常工况识别。该环节的重

点不是简单统计能耗，而是识别“关耗损点位、发生时段、关联工艺变量”，为后续优化控制提供可解释依据。

- **机理模型与数据模型融合：**工业过程往往存在复杂反应机理、传热传质关系、设备约束和安全边界，仅依赖黑箱算法难以保证可靠性。较成熟的技术路径是将机理模型、统计模型、机器学习模型和专家规则结合，形成可解释、可验证、可迭代的混合模型体系。对钢铁、化工、建材等流程工业而言，模型需要理解工序耦合和能源介质网络；对电子、半导体和电池制造而言，则需要处理批次差异、洁净环境和精密设备负荷特征。
- **系统级优化与模型预测控制：**在能源中心、公辅系统、冷站、空压站、锅炉房和蒸汽管网等场景中，模型预测控制、多目标优化和强化学习可用于动态寻优。系统根据负荷预测、设备效率、能源价格、碳因子和运行约束，优化设备启停、负荷分配、压力设定、温度设定和储能充放电策略。蘑菇物联云智控系统、深度智控 DeepControl 系统等产品，体现了通用高耗能系统从经验控制向算法控制升级的路径。
- **工艺级协同优化：**工艺级优化是该赛道的高价值环节，也是技术壁垒最高的方向。其目标是在不影响安全、质量和产量的前提下，对关键工序参数、原料配比、设备负荷、能源介质使用顺序和生产节奏进行协同优化。河钢数字 WesEnergy 平台将能源介质调度、碳排放计算和钢铁生产节奏联动，代表了流程工业由能源系统优化向生产全过程能碳协同优化深化的方向。
- **生产计划、电力市场与碳信号联动：**随着新能源占比提升和电力市场改革推进，工业负荷不再只是被动用能单元，而是可以参与需求响应和源网荷储互动的柔性资源。能碳优化平台需要接入峰谷电价、实时电价、绿电交易、绿证、区域电力碳因子、储能状态和生产订单计划，在满足交付和质量要求前提下进行负荷转移、绿电消纳和低碳调度，实现“按需供能、按价调度、按碳优化”。
- **数字孪生与仿真验证：**数字孪生技术可将设备、产线、能源系统和园区在虚拟空间中进行映射，用于技改方案评估、运行策略仿真、设备故障预测和碳减排效果测算。与静态可视化不同，面向能碳优化的数字孪生需要具备动态预测、参数校准和策略验证能力，使企业能够在实施前比较不同方案的节能量、降碳量、投资回收期 and 运行风险。

- **闭环控制与效果核证：**能碳协同优化最终要落实到控制策略和效果验证。系统需要明确人工建议、半自动控制 and 全自动控制的边界，配套完善安全联锁保护、控制策略紧急回退、分级审批、操作全流程留痕机制。同时，节能量和降碳量需要通过基准期、报告期、边界条件修正和第三方核证方法进行量化，避免因产量变化、天气变化或产品结构变化造成收益失真。可度量、可验证、可持续，是该赛道商业化推广的关键。

三、卓越产品案例

案例一：格创东智 AI 能碳大脑平台

- **企业概况：**格创东智是 TCL 集团孵化的工业互联网平台公司，深耕半导体、新能源电池等高端制造业场景，具备深厚的产业 Know-How。
- **创新点：**该平台的核心创新在于平台突破传统能碳管理系统以监测和分析为主的模式，通过统一数字化平台+AI 能力，实现工业企业能源碳排放管理的自主感知、智能分析和动态优化，形成“预测—优化—控制”闭环。平台实现企业生产制造与公辅动力双向联动，依托 AI 算法及大模型能力，实现生产负荷预测、能源使用优化、设备智能优化控制的闭环，最优化企业能源消耗与碳排放。
- **适用场景：**特别适用于工艺流程复杂、能耗密度高、有碳排放管理与企业可持续发展管理需求的高端制造业，如半导体、新能源电池、精密电子等。
- **量化效益：**在已服务的大量工厂中，平台平均帮助企业提升能效 8%-15%，降低碳排放强度 10%以上，并显著提升碳管理精细化水平。
- **专家点评：**格创东智 AI 能碳大脑是制造业场景深度协同的典范。它成功地将能碳管理从后台支持系统前移至生产运营核心，实现了节能降碳与生产效益的统一，在垂直行业解决方案中构筑了极高的壁垒，代表了能碳协同优化向智能化、场景化发展的前沿方向。

案例二：海尔卡奥斯能碳管理平台

- **企业概况：**海尔卡奥斯能源依托卡奥斯工业互联网平台和海尔集团产业生态，面向制造企业、园区和区域场景提供能源管理、碳管理和综合减碳服务。

- **创新点：**该平台以工业互联网数据中台为基础，集成能耗监测、碳核算、节能诊断、分布式光伏、储能、绿电交易和用能优化等功能，形成“诊断—优化—投资—运营”的综合服务能力。平台不仅提供数字化工具，也可联动生态资源，为企业配置节能技改、新能源建设和绿色电力采购等实施路径，体现了平台型企业在资源整合和场景复制方面的优势。
- **适用场景：**适用于大型制造企业、工业园区和区域管理主体，尤其适用于希望通过平台化方式统筹能耗管理、碳排管理、新能源接入和综合能源服务的用户。
- **量化效益：**平台可帮助企业降低综合用能成本，提高可再生能源使用比例，并通过绿电、储能和节能技改协同降低范围二排放。
- **专家点评：**海尔卡奥斯能碳管理平台体现了工业互联网平台向能碳服务延伸的典型路径。其价值在于打通数据、场景和生态资源，使能碳管理从单一系统建设拓展为持续运营服务，为跨行业复制提供了较好的模式样本。

案例三：蘑菇物联云智控智慧能源管理系统

- **企业概况：**蘑菇物联聚焦通用工业设备的数字化运营和节能优化，在空压站等高耗能公辅系统领域形成了较高的产品化程度和市场应用基础。
- **创新点：**云智控系统采用“云边协同”架构，对多台空压机进行在线监测、负荷预测和群控优化。边缘侧实时采集设备运行参数并执行控制策略，云端算法根据用气需求、压力波动和设备效率曲线动态优化启停组合与运行压力，降低空载、低效运行和过高压力设定带来的能源损耗。
- **适用场景：**适用于广泛使用压缩空气系统的制造业企业，包括汽车、纺织、食品、电子、装备制造等行业，尤其适用于空压站规模较大、运行工况波动明显的工厂。
- **量化效益：**系统通常可为空压站带来较为明确的节电收益，缩短节能改造投资回收周期，并提升设备运行维护的数字化水平。
- **专家点评：**蘑菇物联云智控系统说明，面向通用高耗能设备的深度优化仍是工业节能降碳的重要切入点。该产品以清晰的场景边界、较成熟的算法模型和可验证的节能收益，降低了企业开展能碳协同优化的实施门槛。

案例四：河钢数字 WesEnergy 能碳协同平台

- **企业概况：**河钢数字技术股份有限公司是河钢集团数字化转型的核心载体，对钢铁这一典型流程工业的能碳特性有深刻理解。
- **创新点：**该平台的核心价值在于深度融合钢铁生产工艺，依托“极致能效工程”，实现能源流与碳流的双向联动与多目标协同优化。平台将碳排放在线计算模型嵌入能源调度系统，能够动态优化能源介质的分配与使用顺序，以源网荷储一体化为核心，机理和数据双模型为引擎，通过智能调度闭环控制实现高效执行，构建集“预测、优化、控制、降碳”于一体的工业能源智能管控体系。
- **适用场景：**特别适用于钢铁、化工、建材等复杂流程工业的集团型企业。
- **量化效益：**在河钢集团应用实践中，平台助力吨钢综合能耗和碳排放强度持续降低，实现了能碳成本的协同下降。
- **专家点评：**WesEnergy 平台是流程工业 Know-How 与能碳数字化技术深度融合的标杆。它解决了能碳管理与核心生产流程“两张皮”的难题，实现了从能源系统优化向生产全过程能碳协同优化的跨越，为高耗能流程工业的深度脱碳提供了可复制、可验证的路径。

案例五：深度智控 DeepControl 智慧能源能碳协同优化系统

- **企业概况：**深度智控专注于暖通空调系统和建筑能源系统的智能优化，在大型公共建筑、数据中心和园区能源管理场景中具有技术积累。
- **创新点：**DeepControl 系统采用机理模型与数据驱动算法融合的技术路线，对中央空调冷站系统开展负荷预测、设备效率识别和全自动寻优控制。系统利用数字孪生和模型预测控制技术，动态优化冷水机组、水泵、冷却塔等设备组合和运行参数，在满足舒适性、安全性和工艺需求的前提下提升系统综合能效，并核算相应碳减排效果。
- **适用场景：**适用于大型公共建筑、医院、机场、商业综合体、数据中心以及工业园区中配置大型中央空调系统的场景。
- **量化效益：**系统可提高冷站综合能效，降低建筑或园区运行能耗和碳排放，并提升能源系统自动化运行水平。

- **专家点评：**DeepControl 系统体现了模型预测控制和数字孪生技术在建筑及园区能源系统中的应用价值。意义在于将传统经验控制升级为数据驱动的自适应控制，为数据中心、公共建筑和工业园区降低运行阶段碳排放提供了可复制路径。

四、国际竞争力对标

我国数字—能碳协同优化市场具有应用场景丰富、工程落地速度快、行业定制能力强和性价比优势明显等特点，在钢铁、电子制造、工业园区、公辅系统优化和综合能源服务等领域形成了一批具有代表性的产品。与国际先进企业相比，仍需在跨行业算法平台、复杂工艺机理模型、高可靠工业控制软件、工业数据治理体系、国际化认证和全球项目经验等方面持续提升。未来竞争将从单点节能能力，转向行业模型沉淀、闭环控制可靠性和可验证减碳收益的综合竞争。以下基于产品目录的三个二级分类进行详细对标：

表 6 数字—能碳协同优化类产品对标分析

对标领域	中国竞争力表现与代表产品	国外主要对手与特点	竞争格局判断
能碳诊断与优化	在制造业特别是流程工业领域，平台与生产系统结合紧密。代表：格创东智 AI 能碳大脑、河钢数字 WesEnergy 平台、阿里云 / 腾讯云能碳优化算法	Siemens Opcenter Energy Management, Schneider Electric EcoStruxure Resource Advisor, ABB Ability™ Energy Manager。优势在于深厚的工业自动化根基、全球化的部署经验、强大的跨行业解决方案能力	国内外并跑，各有侧重。 我国平台在特定工业场景（如钢铁、半导体）的深度优化和性价比上占优；国际巨头在平台通用性、全球供应链碳管理和复杂算法模型上领先
能源系统技改	在通用设备节能（如空压机、中央空调）领域，产品化程度高，市场响应快。代表：蘑菇物联云智控、深度智控 DeepControl、海尔智慧楼宇方案	Johnson Controls OpenBlue, Honeywell Forge Energy Optimization, Trane® Tracer® ES。优势在于高端楼宇自控领域的品牌优势、全生命周期服务能力和全球项目经验	细分领域领先。 我国企业在空压站、数据中心制冷等细分市场的解决方案在成本和敏捷性上优势明显，实现市场领先；但在高端商业建筑整体能碳管理方面，国外品牌仍占主导
生产工艺的绿色技改	在氢冶金等前沿工艺改造方面已有大型示范项目。代表：宝钢湛江钢铁氢冶金方案、张宣高科氢基竖炉	Thyssenkrupp Carbon2Chem®, ArcelorMittal Smart Carbon, SSAB HYBRIT。优势在于长期的技术研发积累、与欧洲绿色钢铁标准的	国内外并跑。 我国在示范项目规模和工程实施速度上不落下风，但在核心工艺

对标领域	中国竞争力表现与代表产品	国外主要对手与特点	竞争格局判断
		紧密对接、跨国项目运营经验	包的知识产权、全链条碳减排核算的国际认可度方面仍需追赶

五、发展重点：AI 深入工艺级优化与实现预测性能碳管控

数字-能碳协同优化赛道正经历从单点设备节能向生产过程全链条系统优化的深刻变革。其发展将围绕系统融合、智能决策、价值创造与模式创新四大维度深化，推动工业能碳管理从辅助工具升级为核心生产力。具体演进路径如下：

1. 系统融合深化：从“能流单控”到“能碳双流协同”

能碳优化将突破能源系统与生产流程的数据壁垒，实现能流与碳流的深度融合与闭环管理。通过构建统一的数据底座，平台将实时耦合能源消耗与工艺排产、设备运行状态数据，动态计算并优化单位产品的碳排放强度。这种融合使能碳管理从单一的节能降本，升级为同时追求碳效最优的综合价值创造，为参与碳市场、实现绿色溢价奠定基础。

2. 智能决策升维：从“经验调控”到“AI 工艺级实时优化”

人工智能将深度嵌入工业核心工艺环节，实现能碳优化的范式革命。具体表现为：

- 工艺参数 AI 动态寻优：利用强化学习等算法，对钢铁烧结、化工反应、玻璃熔炼等关键工艺参数进行实时动态寻优，在保障产品质量和产量的前提下，实现能效提升与碳排降低的协同最优。
- 预测性管控与数字孪生：构建高保真的产线级能碳数字孪生体，实现对设备能效衰退、催化剂活性变化的预测性感知。通过在虚拟空间中仿真验证优化策略，大幅降低实体设备调试风险与成本，实现从“事后治理”到“事前预测-事中调控”的转变。
- 源网荷储互动智能化：工业负荷将作为灵活资源，通过数字化平台积极参与电网需求侧响应。AI 算法将基于电价信号、碳排放因子和工艺约束，自动调整可中断负荷的启停时序，在降低用能成本的同时增强电网稳定性。

3. 价值创造拓展：从“内部降本”到“供应链协同与碳资产运营”

优化边界将从单一工厂扩展到整个供应链。平台通过嵌入产品碳足迹核算能力，赋能企业优化绿色采购决策，驱动供应链协同减排。同时，基于精准的碳排放数据，

企业可高效开发碳资产（如 CCER），并参与碳市场交易，将碳约束转化为新的收益来源。

4. 商业模式创新：从“项目制”到“能碳效绩订阅服务”

商业模式将加速从一次性节能改造项目，转向基于长期节能量和碳减排量的“能碳托管”或“效绩分成”订阅服务。服务商的收益与为客户实际实现的能碳协同优化效果直接挂钩，推动其持续利用数据和算法挖掘深度减排潜力，与客户共享绿色转型的价值。

六、数字-能碳协同优化代表性产品

经征集遴选，以下产品覆盖设备、系统、工艺及园区级能碳协同优化，代表该赛道当前的主流供给能力。

表 7 数字-能碳协同优化代表性产品（节选）

二级分类	产品名称	单位名称	关键功能简介	产品形态
能碳诊断与优化	能源审计服务	中环联合（北京）认证中心有限公司	工业企业能源消耗排查、能耗现状分析、节能潜力挖掘	咨询
能碳诊断与优化	能源绩效评价体系咨询	中国标准化研究院	能源绩效指标搭建、评价标准制定、数字化评价流程落地	咨询
能碳诊断与优化	能源数字化诊断服务	北京赛迪工业和信息化研究院有限公司	能源数据采集、传输、分析全流程诊断，识别数字化管控短板	咨询
能碳诊断与优化	智能能耗监测终端（电 / 水 / 气 / 热）	安科瑞电气股份有限公司	工业企业全场景多介质能耗集中采集、实时监测	设备
能碳诊断与优化	电机 / 风机 / 水泵能效测试仪	杭州远方检测仪器有限公司	耗能设备能效检测，识别设备节能潜力	设备
能碳诊断与优化	能碳管理系统平台	江苏擎天工业互联网有限公司	对标国家标准，通过 AI 提升碳排放反演准确性，实时监测能碳数据	方案
能碳诊断与优化	能碳协同优化平台	阿里云智能集团	能耗监测、碳核算、优化调度全流程数字化管理	方案
能碳诊断与优化	AI 能耗优化模型	腾讯科技（深圳）有限公司	基于 AI 技术构建能耗预测、优化调度模型	方案
能碳诊断与优化	WesEnergy 能碳协同平台	河钢数字技术股份有限公司	整合能源与碳排放数据，构建能碳全链条数字化体系，实现能碳双向联动	方案
能碳诊断与优化	碳电智脑平台	北京泰尔英福科技有限公司	进行新型能源调控与碳排放的协同管理，实现“电-碳-数”三流合一的一站式解决方案	方案
能碳诊断	iEMS 能碳一体化管	北京研华兴业电子	服务大型企业园区，涵盖半导	方案

二级分类	产品名称	单位名称	关键功能简介	产品形态
与优化	理解决方案	科技有限公司	体、电子制造等高耗能领域	
能源系统 技改	节能改造可行性咨询	中国节能环保集团有限公司	能源系统节能改造前期调研、技术论证、可行性分析	咨询
能源系统 技改	空压站群控方案	中控技术股份有限公司	工业企业多空压站协同控制、智能调度，实现压缩空气按需供给，降低整体能耗，适配大型工业厂区	方案
生产工艺 绿色技改	氢冶金工艺路线咨询	中冶京诚工程技术有限公司	钢铁企业氢冶金工艺转型调研、技术论证、路线规划，助力企业实现“以氢代碳”低碳转型	咨询
生产工艺 绿色技改	氢基竖炉	河北张宣高科科技有限公司	钢铁企业氢冶金工艺改造核心设备，实现铁矿石氢还原，替代传统高炉，大幅降低碳排放	设备
生产工艺 绿色技改	水泥行业新型干法工艺节能改造方案	中材国际智能科技有限公司	水泥企业传统生产工艺改造为新型干法工艺，优化粉磨、煅烧流程，降低能耗及污染物排放	方案
生产工艺 绿色技改	百万吨级近零碳钢铁产线氢冶金方案	宝钢股份/中国宝武（湛江钢铁）	HyRESP 氢冶金电熔炼工艺路径，实现“氢基竖炉+电炉”短流程生产零碳高等级板材，降碳 50%~80%	方案
生产工艺 绿色技改	钢铁企业短流程炼钢工艺改造方案	河北张宣高科科技有限公司	钢铁企业传统长流程炼钢工艺改造为“氢基竖炉+电炉”短流程，实现低碳、高效炼钢	方案
生产工艺 绿色技改	化工行业循环流化床反应装置	东方电气集团东方锅炉股份有限公司	化工企业反应工艺改造，适配绿色催化、脱硫脱硝等工艺，提升反应效率，降低能耗及污染物排放	设备

第六章 数字-CCUS 赛道——工业深度脱碳的终极技术保障

作为工业“双化协同”的末端治理与闭环关键，数字-CCUS（碳捕集、利用与封存）赛道聚焦于高碳排放行业以及难以通过能效提升或能源替代实现减排的工业过程碳排放，是煤电、煤化工等高排放聚集行业绿色转型的必要技术，也是钢铁、水泥、化工等难减排行业实现深度脱碳乃至负排放的“兜底”技术。本赛道产品通过数字化技术赋能 CCUS 全链条，解决其高成本、高能耗、长周期与安全风险等核心挑战，是确保国家能源安全与工业体系完整性的战略支撑。其技术成熟度与商业化进度，直接关系到中国工业能否如期实现碳中和目标。

一、赛道概述：从示范试点迈向商业化运营的关键突破期

数字-CCUS 赛道正处于从技术示范向商业化初期过渡的历史拐点。在国家《CCUS 技术发展路线图》及各类专项规划政策驱动下，百万吨级示范项目加速落地。随着全国碳市场深化扩容以及欧盟 CBAM 将间接排放纳入核算，高碳出口型企业对 CCUS 的需求从“技术储备”转向“履约刚需”。

据本次征集统计，数字-CCUS 类产品总体数量虽仍有限，但技术壁垒高、战略属性强，正处于从单点示范验证向“捕集-运输-利用-封存”全链条经济性优化跃迁的阶段。从图中结构看：数字化能力沿 CCUS 全链路分布相对均衡——碳封存侧占比最高（36.00%），反映产业重心已不仅是“能不能捕”，而是封存场址选址科学性、长期安全性与可监测可核查（含咸水层封存）；碳捕集（32.00%）与碳利用（32.00%）并驾齐驱，分别对应前端能效与溶剂/工艺路线的智能优化，以及 CO₂ 驱油、化工转化等高值化利用路径的运营决策。其核心价值在于：通过数字孪生、智能调度与全流程数据链，把捕集负荷、管网输送、利用装置工况与封存场址状态连成一个可计算、可推演、可纠偏的系统，从而同时提升捕集效率、利用价值、封存安全性与整体经济性，直击 CCUS 商业化的最大痛点——成本不确定性与运行风险不可见。

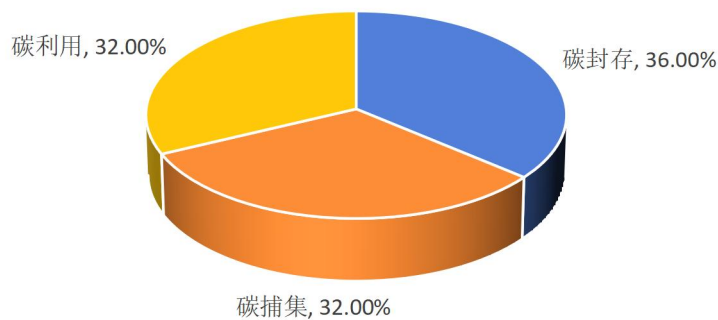


图 9 数字-CCUS 赛道产品内部结构分析

代表性实践已展现出工程化实施能力和数字化治理能力的叠加：华能集团百万吨级燃煤电厂碳捕集项目，体现大型能源基础设施侧“捕集规模 + 运行优化”的硬骨头；中石化百万吨级 CO₂ 驱油与封存（EOR/封存）全流程工程，体现“利用侧价值回流 + 封存侧工程一体化”的商业化打法；西北大学咸水层 CO₂ 地质封存选址及安全性监测方案，则补上关键一环：用地质建模、风险评价与长期监测把封存变成可论证、可监管、可核证的确定性资产（这也是后续碳市场/绿色金融敢为其定价的前提）。数字-CCUS 的核心竞争力，正从单一的捕集规模竞赛，转向覆盖“捕集-运输-利用-封存”全链条的可核算、可控制、可管理的系统能力。其中，封存安全与数据可信是基石——唯有将其做实，CCUS 才能真正从孤立的示范项目，蜕变为可复制、可融资的绿色基础设施。

二、技术路径：从单元技术创新到全链条集成优化

本赛道技术路径紧密围绕 CCUS “捕集-运输-利用-封存”四大环节，数字化技术正从辅助工具升级为优化决策的核心引擎。

- **碳捕集环节的智能化降耗：**核心技术是利用**流程模拟软件、数字孪生和先进过程控制（APC）**，对化学吸收、吸附、膜分离等捕集工艺进行实时优化，降低能耗与溶剂损耗。目录中**浙江大学可再生电力驱动的高效 CO₂ 捕集关键技术**和**中国石化南京化工院的复合胺溶剂**，代表了通过数字化与新材料创新协同降本的高级方向。
- **碳利用环节的价值创造：**前沿方向是构建**CO₂ 转化路径的数字化研发平台与智能控制系统**，优化催化反应过程，提升 CO₂ 制甲醇、燃料、塑料等高附加

值产品的经济性。目录中清华大学 CO₂ 一步法加氢制航煤技术和中国科学院上海高研院的二氧化碳加氢制甲醇催化剂工艺，展现了数字化加速技术创新的潜力。

- **碳封存环节的安全可信：**关键技术是应用地质建模与数值模拟软件、光纤传感与地震监测网络，实现封存场地选址评估、注入过程实时监控与长期泄漏风险预警的数字化、可视化。目录中中国石油集团测井有限公司的井中光纤监测设备和东方地球物理公司的地震监测技术，为封存安全提供了“空-天-地-井”一体化数字保障。
- **全链条协同优化：**最高阶的应用是构建 CCUS 全流程数字化管理平台，通过系统集成与大数据分析，实现源汇匹配优化、物流调度成本最小化以及碳减排量（CCER）的精准核证与资产化管理。

三、卓越产品案例

案例一：华能集团百万吨级燃煤电厂低浓度碳捕集技术与装备

- **企业概况：**中国华能集团是领先的能源央企，其建设的华能正宁电厂 150 万吨/年 CO₂ 捕集项目是我国首个燃煤电厂百万吨级 CCUS 示范工程，具有里程碑意义。
- **创新点：**项目采用全球首创“二塔合一”复合式吸收塔，搭载国内首台套八级超临界二氧化碳压缩机等核心设备，实现关键装备 100% 国产化，并建成国内规模最大的深部咸水层多层封存体系。捕集后的二氧化碳可用于地质封存、油田增采、绿色燃料合成、矿化建材等领域，打通了“捕集-利用-封存”全产业链。
- **适用场景：**主要用于大型燃煤电厂、燃气电厂以及钢铁、水泥等工业窑炉的烟气碳捕集。
- **量化效益：**该项目年捕集 CO₂ 能力达 150 万吨，捕集率超过 90%，捕集出的 CO₂ 纯度超过 99%，为后续利用或封存奠定基础。通过智能优化，单位捕集能耗持续降低。
- **专家点评：**华能 150 万吨/年 CO₂ 捕集项目标志着我国燃煤电厂 CCUS 技术正式迈入大规模商业化示范阶段。其成功的工程实践为全国推广积累了宝贵的

设计、建设和运营经验，极大地提升了我国在传统能源低碳化领域的国际话语权，是 CCUS 从“实验室”走向“工业化”的典范。

案例二：中国石化胜利油田百万吨级 CO₂ 驱油封存（CCUS-EOR）全流程数字化工程

- **企业概况：**中国石油化工股份有限公司是上下游一体化的能源化工巨头，其旗下胜利油田的 CCUS-EOR 项目是全球重要的全链条商业化项目之一。
- **创新点：**该工程的核心创新在于实现了从 CO₂ 捕集、管道运输到驱油封存的全业务流程数字化管理与协同优化。项目将齐鲁石化捕集的工业尾气，通过超临界管道（国内首个百公里 CO₂ 运输管道）输送至胜利油田，用于提高原油采收率并同时实现地质封存。数字化平台实现了对管道压力、流量、注入井工况的实时监控与智能调度，确保安全并最大化驱油和封存效益。
- **适用场景：**特别适用于靠近油田或适合地质封存区域的化工厂、发电厂等大型排放源。
- **量化效益：**该项目每年可减排 CO₂ 百万吨级，同时显著提高原油采收率，实现了“增产”与“减碳”的双赢，探索出了一条具有经济可行性的 CCUS 商业化路径。
- **专家点评：**中石化 CCUS-EOR 项目是“捕集-运输-利用-封存”全链条协同的标杆。它将 CCUS 从纯粹的成本中心转变为能够产生经济效益的价值创造环节，为 CCUS 的大规模商业化推广提供了最具现实意义的商业模式参考，体现了央企在破解跨行业协同难题上的强大执行力。

案例三：西北大学咸水层 CO₂ 地质封存选址及安全性监测数字化方案

- **企业概况：**西北大学碳中和学院是我国 CCUS 领域，特别是地质封存研究的重要学术力量，深度参与了国际 CCUS 标准、IPCC CCUS 方法学、国家 CCUS 技术路线图制定和重大示范项目的前期研究。
- **创新点：**该方案的核心创新在于构建了一套基于多源地质数据融合与数值模拟的咸水层封存场地选址、潜力评价与基于时移三维地震动态监测的风险预警数字化方法论与工具集。方案综合利用地质、地球物理、水文等数据，建

立三维地质模型，通过数值模拟和时移三维地震监测预测 CO₂ 在地下的运移规律和长期封存安全性，为封存场地的科学选址和监测网络布设、以及 CO₂ 羽流动态运移路径和监测赋存区域等提供关键决策依据。

- **适用场景：**适用于各级政府、能源企业进行区域封存潜力评估、具体封存项目选址以及封存期长期地质、环境监测方案的设计。
- **量化效益：**该方案能有效降低封存项目前期勘探的不确定性和投资风险，避免因选址不当导致的封存失效或环境风险，保障 CCUS 项目的环境安全性与长期有效性。
- **专家点评：**西北大学的方案补充了 CCUS 链条中“封存选址和监测”这一关键环节的不足。其科学性、前瞻性是保障 CCUS 大规模安全实施的理论基石，凸显了高校科研力量在攻克“卡脖子”基础技术难题上的核心价值，对于构建社会对 CCUS 技术的信任至关重要。

案例四：深碳科技万吨级直接空气碳捕集与矿化封存系统

- **企业概况：**深碳科技（深圳）有限公司是国内较早探索直接空气捕集（DAC）技术的创新型企业 and 国有民营企业，致力于前沿负排放技术的研发与工程化。
- **创新点：**该系统核心创新在于将直接空气捕集（以下简称 DAC）技术与 CO₂ 矿化封存技术相结合，形成一体化的负排放解决方案。系统直接从大气捕集 CO₂，并通过矿化反应将其转化为稳定的碳酸盐矿物，实现永久性封存。其数字化控制系统优化了吸附-脱附循环和矿化反应条件，以降低系统能耗。
- **适用场景：**适用于需要实现“负碳排放”的场景，如抵消难减排行业的剩余排放、为碳中和目标提供配额、或生产碳中和产品。
- **量化效益：**虽然当前成本较高，但 DAC 技术不依赖排放源，部署灵活，为最终实现全球温控目标提供了关键的技术选项。该系统是万吨级示范，为未来降本增效奠定基础。
- **专家点评：**深碳科技的 DAC 系统代表了 CCUS 技术的前沿探索方向。尽管目前处于示范早期，但其负排放特性具有巨大战略意义。该产品展示了中国企业在全球气候技术前沿领域的创新活力，是应对气候变化“前沿技术创新探索”的重要布局。

案例五：中国石油集团测井有限公司井中光纤监测设备用于 CCUS 封存监测

- **企业概况：**中国石油集团测井有限公司是专业的油气井测井技术服务商，其技术可迁移应用于 CCUS 注入井和监测井的实时动态监测。
- **创新点：**该设备的核心创新在于将分布式光纤传感技术应用于 CO₂ 地质封存过程监测。将光纤布设在注入井和监测井中，可实时、连续、高精度地监测井筒温度、声波振动和应变变化，从而反演 CO₂ 的注入状态、运移前缘和储层压力变化，为封存安全提供“透视眼”。
- **适用场景：**适用于所有 CO₂ 地质封存项目的安全监测与预警，尤其适合咸水层和枯竭油气藏封存。
- **量化效益：**该技术可实现对封存体状态的 7x24 小时不间断监测，比传统点式监测手段更全面、更及时，能极大提升封存项目安全管理水平和公众信心。
- **专家点评：**中石油的井中光纤监测设备是数字化赋能 CCUS 安全闭环的典型范例。它将油气工业积累的高端监测技术成功应用于碳中和新领域，解决了 CCUS 规模化推广中最受关注的安全监管难题，体现了传统能源企业依托现有优势转型绿色科技的巨大潜力。

四、国际竞争力对标

中国在 CCUS 的工程化示范规模上已处于世界前列，但在前沿技术原始创新和核心装备高端材料方面仍与国外领先水平存在差距。以下基于产品目录的三个二级分类进行详细对标：

表 8 数字-CCUS 类产品对标分析

对标领域	中国竞争力表现与代表产品	国外主要对手与特点	竞争格局判断
碳捕集	在百万吨级燃煤电厂烟气捕集等传统 CCUS 工程实施上走在世界前列。 代表：华能/国能百万吨级捕集项目、中石化复合胺溶剂	Shell CANSOLV（溶剂法）、Aker Carbon Capture（吸附法）、Mitsubishi Heavy Industries（捕集技术）。优势在于数十年技术积累、高端溶剂/吸附剂材料、全球化项目经验。在直接空气捕集（DAC）领域，Climeworks、Carbon Engineering 显著领先	国内外并跑，前端领先。我国在工业源大规模捕集工程上不落下风甚至示范规模领先；但在 DAC 等更前沿的负排放技术和核心材料方面差距显著
碳利用	在 CO ₂ 制甲醇、燃料、化学品等路径上均有研	LanzaTech（生物转化）、Carbon Recycling International（制甲醇）、Opus 12（电	国外整体领先。我国在传统化工路径上

对标领域	中国竞争力表现与代表产品	国外主要对手与特点	竞争格局判断
	发示范。代表：清华大学 CO ₂ 制航煤技术、中科院上海高研院制甲醇催化剂	化学转化）。优势在于颠覆性生物/电化学路径、初创企业生态活跃、与消费品品牌合作紧密	快速追赶，但在技术创新性和商业化应用广度上，尤其在生物合成、电催化等新兴领域，国外领先优势明显
碳封存	在陆上咸水层封存、CO ₂ -EOR 等领域已有十万吨至百万吨级项目实践，监测技术扎实。代表：中石化 EOR 项目、西北大学封存选址技术、中石油测井公司光纤监测	Schlumberger、Halliburton（封存技术服务）、Equinor（北海 Sleipner 项目）。优势在于深厚的油气地质经验、全球化数据库、海底封存技术先行	国内外并跑。 我国在陆上封存工程实践和监测技术应用上与国际同步，但在海底封存经验和全球化商业服务能力上仍需积累

五、发展重点：AI 驱动捕集工艺革命与全链条智能化运营

数字-CCUS 赛道正跨越单元技术示范阶段，迈向全链条集成化、低成本化与商业化的攻坚时期。其发展将围绕全链条协同、智能降本、安全可信与模式创新四大维度深化，推动 CCUS 从“不得不用”的兜底技术”升级为“经济可行的减碳选项”。

1. 全链条协同：从“单元示范”到“一体化集成与系统重构”

CCUS 数字化将突破捕集、运输、利用、封存各环节的独立优化，实现全链条数据贯通与协同决策。通过构建统一数字平台，耦合化工、电力、地质等多领域模型，动态优化源汇匹配、管网路由与封存场地调度，显著降低系统能耗与总投资成本。未来，CCUS 项目将从孤立工程转变为区域碳基础设施的核心组成部分，通过数字化调度实现多排放源与多封存地的集群化协同，为高精度碳源汇匹配与规模化部署奠定基础。

2. 智能决策升维：从“经验驱动”到“AI 工艺革命与预测性管控”

人工智能将深度赋能 CCUS 核心环节，攻克经济性瓶颈。具体表现为：

- 捕集工艺 AI 革命性优化：利用机器学习与强化学习算法，对化学吸收剂性能、吸附材料设计、膜分离工艺等进行高通量虚拟筛选与动态优化，大幅降低捕集过程的能耗与物耗，突破传统工艺的效率极限。

- 全链条数字孪生与安全预警：构建注入井、运输管道及地质封存体的高保真数字孪生体，实时模拟 CO₂运移轨迹与地层应力变化，实现泄漏风险超前预测与智能管控，保障项目长期环境安全。
- 智能化运营与维护：基于物联网数据与 AI 算法，实现压缩机、泵阀等关键设备的预测性维护，优化系统启停策略与运行参数，提升整个 CCUS 链条的可用率与运营效率。

3. 安全可信：从“监测合规”到“碳信用高质量签发”

区块链技术与可信监测设备将深度融合，构建 CCUS 项目碳减排量测量、报告与核查（MRV）的信任基石。通过实时数据上链存证，确保减排量计算的透明性、可追溯性与国际互认，为 CCUS 项目产生高质量碳信用（如 CCER）参与国内外碳市场交易提供坚实支撑，解锁其环境价值。

4. 模式创新：从“项目补贴”到“多价值流商业化”

商业模式将加速从依赖政府补贴的示范项目，转向基于“碳信用收益+提高油气采收率（EOR/EGR）价值+绿色产品溢价”的多价值流组合。数字化平台通过精准核算各价值流贡献，为项目融资、碳资产交易和收益分配提供决策支持，推动 CCUS 形成可持续的商业闭环。未来，CCUS 服务将更多以“碳移除即服务”（CRaaS）模式交付，为难以减排的工业客户提供定制化深度脱碳解决方案。

六、数字-CCUS 代表性产品

经征集遴选，以下产品聚焦碳捕集、利用与封存全流程的数字化支撑，反映该赛道高壁垒、高战略价值的技术特征。

表 9 数字-CCUS 代表性产品（节选）

二级分类	产品名称	单位名称	关键功能简介	产品形态
碳捕集	百万吨级燃煤电厂低浓度碳捕集技术装备	中国华能集团	燃煤电厂烟气大规模碳捕集	设备
碳捕集	百万吨级燃煤电厂低浓度碳捕集技术装备	国家能源集团	燃煤电厂烟气大规模碳捕集	设备
碳捕集	CO ₂ 运输管道	中国石油化工股份有限公司	超临界 CO ₂ 长距离输送	设备
碳捕集	50 万吨以上大规模压缩机组	沈鼓/陕鼓集团	CO ₂ 捕集及压缩	设备
碳捕集	可再生电力驱动的高效	浙江大学	低能耗捕集技术与可再生	方案

二级分类	产品名称	单位名称	关键功能简介	产品形态
	CO ₂ 捕集关键技术		能源耦合	
碳捕集	煤炭源头转化 CO ₂ 低能耗捕集技术	大连理工大学	新型煤转化过程低碳化	方案
碳捕集	煤电万吨级低压吸附碳捕集技术	国能北京低碳清洁能源研究院	吸附法碳捕集技术示范	咨询
碳捕集	CO ₂ 捕集复合胺溶剂	中国石化南京化学工业有限公司研究院	高效低耗化学吸收剂	方案
碳捕集	燃煤烟气清洁高效碳捕集技术	清华大学	烟气捕集技术优化	方案
碳捕集	富氧燃烧捕集技术	华中科技大学	新型燃烧与捕集一体化技术	方案
碳捕集	50 万吨以下规模压缩机组	烟台冰轮压缩机有限公司	中小规模 CO ₂ 压缩	设备
碳捕集	高稳定分子结构复合胺吸收剂碳捕集技术	华北电力大学	新型胺溶剂开发	方案
碳捕集	第三代膜碳捕集模块	Cool Planet Technologies	膜分离法碳捕集	设备
碳捕集	膜法 CO ₂ 分离与利用一体化装置	天津大学	膜法捕集与利用耦合	设备
碳捕集	万吨级直接空气碳捕集与矿化封存系统	深碳科技（深圳）有限公司	直接空气捕集（DAC）与永久封存	方案
碳利用	CO ₂ 驱油封存及全流程 CCUS 项目实施	中国石油化工股份有限公司	CO ₂ 驱油封存及 CCUS 全流程工程	方案
碳利用	低孔渗 CO ₂ 驱油封存工程	中国石油天然气集团有限公司	低孔渗 CO ₂ 驱油封存工程	方案
碳利用	低渗油藏 CO ₂ 非混相驱油封存工程	陕西延长石油/西北大学	低渗非混相 CO ₂ 驱油封存工程	方案
碳利用	CO ₂ 矿化固碳（矿化砖）	国家能源集团	CO ₂ 矿化利用	方案
碳利用	CO ₂ 矿化利用	四川大学	CO ₂ 矿化利用	咨询
碳利用	CO ₂ 一步法加氢制航煤技术	清华大学	CO ₂ 转化利用	方案
碳利用	CO ₂ 加氢合成液态烃燃料的基础与工程化	中科院大连化物所	CO ₂ 转化利用	方案
碳利用	大规模 CO ₂ 矿化技术研发	浙江大学	CO ₂ 矿化利用	方案
碳利用	低能耗零氢耗捕集转化一体化制甲烷	西安交通大学	CO ₂ 转化利用	方案
碳利用	二氧化碳加氢制甲醇工业催化剂及其放大生产工艺	中国科学院上海高等研究院	CO ₂ 转化利用	方案
碳利用	二氧化碳加氢制合成气	西北大学	CO ₂ 转化利用	方案/设

二级分类	产品名称	单位名称	关键功能简介	产品形态
	技术及放大工艺			备
碳利用	二氧化碳加氢制汽油	大连理工大学	CO ₂ 转化利用	方案
碳封存	咸水层 CO ₂ 地质封存选址及监测方案	西北大学	排放源就近 CO ₂ 地质封存项目	咨询/方案
碳封存	陆地碳封存模拟及监测	怀柔实验室	CCUS 项目动态模拟及监测	咨询/方案
碳封存	低孔渗咸水层 CO ₂ 地质封存工程示范	中国神华煤制油化工有限公司鄂尔多斯煤制油分公司	咸水层 CO ₂ 地质封存工程	咨询/设备/方案
碳封存	碳封存地质力学与工程技术	中科院武汉岩土力学研究所	地质力学安全评价	咨询/方案
碳封存	海上咸水层 CO ₂ 地质封存工程示范	中国海油深圳分公司	海上碳封存工程	方案
碳封存	CCUS 项目井中光纤监测设备	中国石油集团测井有限公司	CO ₂ 注入井和监测井动态监测	设备
碳封存	低温密闭注入系列装备、高压密相注入装置	中石化胜利油田/中石油吉林油田	CO ₂ 注入工程	设备
碳封存	地震监测技术及装备	东方地球物理公司	CO ₂ 监测	设备
碳封存	CCUS 项目碳减排量核查核算方法	北京师范大学	CCUS 项目净减排量核算	咨询
碳封存	地质封存水文环境监测	中国地质调查局水文地质环境地质调查中心	CCUS 选址及潜力评价	咨询
碳封存	全流程 CCUS-EOR 方案设计及碳资产开发	中国石化碳科公司	CO ₂ 驱油封存项目设计	咨询
碳封存	CO ₂ -ECBM 强化驱煤层气封存技术	中国矿业大学	CO ₂ 驱替煤层气封存项目	咨询
碳封存	CO ₂ 地热储能 - 驱油 - 封存一体化技术	中国石油大学	CCUS 项目机理研究	咨询
碳封存	CO ₂ 数值模拟软件	吉林大学	CO ₂ 封存数值模拟	方案
碳封存	10 万吨级咸水层 CO ₂ 地质封存项目	陕煤榆林化学	咸水层 CO ₂ 地质封存工程	咨询/方案
碳封存	10 万吨级咸水层 CO ₂ 地质封存项目	国能榆林化工	咸水层 CO ₂ 地质封存工程	咨询/方案

第七章 数字-资源回收与循环利用赛道——闭环经济的数字化基石

作为工业领域数字化绿色化“双化协同”在循环经济的核心支撑场景，本赛道聚焦工业生产末端废弃物的资源化再利用，打通“废弃物料”到“生产原料”的转化通道，是建设“无废社会”、落地循环经济发展目标的核心抓手。赛道内产品以数字化技术为核心驱动力，覆盖废弃物精准识别、高效回收、高值化利用、全链路可信溯源全流程，针对性破解传统资源循环行业长期存在的信息不对称、交易成本高、残值挖掘不足等痛点，是新时期提升国家资源安全保障能力、服务国家双碳战略、强化产业链供应链韧性的重要战略布局方向。

一、赛道概述：从“成本中心”迈向“价值中心”的产业变革

当前，数字-资源回收与循环利用赛道正处于系统性深度转型阶段，逐步完成从传统末端环卫处置业态，向覆盖“回收-加工-利用-返链”全流程的现代化资源循环产业的功能升级。近年来，国家层面先后出台“无废城市”建设试点、生产者责任延伸制度、新能源汽车动力电池回收利用管理办法等系列顶层政策，形成了“目标引导+责任约束+考核落地”的完整政策体系，为产业规范化发展明确了方向、划定了边界。

在此背景下，工业生产企业、资源回收运营主体的合规性诉求与增值性需求同步释放，对资源循环全链路的数字化管控、规范化运营、高值化利用的市场需求呈现爆发式增长态势，为赛道技术落地、模式创新提供了坚实的政策基础与广阔的市场空间。据本次征集统计，数字-资源循环类产品已形成覆盖动力电池、工业固废、危废及再生资源四大核心领域的完整矩阵。从数字化渗透的广度来看，各领域发展相对均衡，其中废旧动力电池的数字化回收与梯次利用占比最高

（29.40%），凸显了该领域在全生命周期溯源与高值化利用方面的迫切需求；工业固废、危废以及再生资源的交易与循环利用占比均为 23.50%，表明传统大宗固废与再生商品流通正加速拥抱数字化。这类产品的核心价值在于重构了废弃物的流转体系，通过数据驱动实现了从产生、收集、运输到再生利用的全程透明化管理，最大化挖掘“城市矿产”的潜在价值。以中国宝武固危废智慧管理平台、邦普循环“定向循环”系统等为代表的标杆案例，标志着资源循环产业已全面迈

入数字化、网络化与智能化协同发展的新阶段。

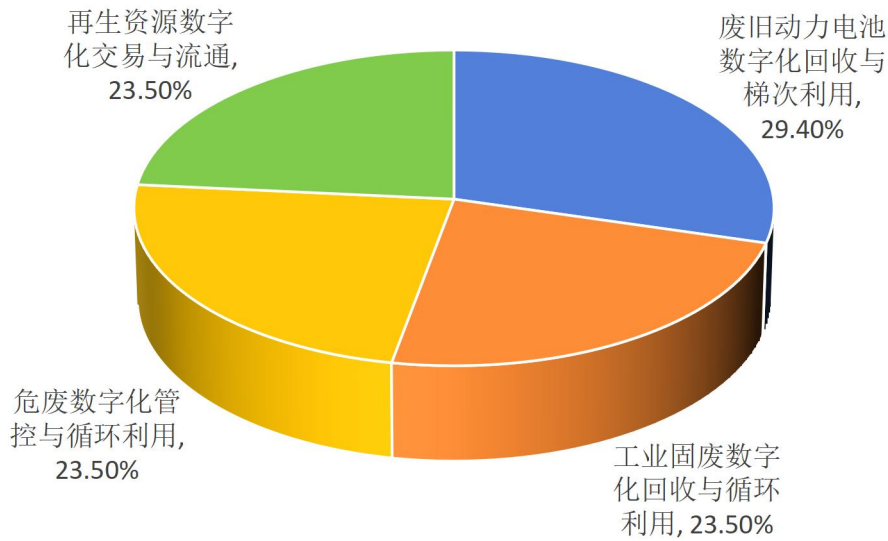


图 10 数字-资源回收与循环利用赛道产品内部结构分析

二、技术路径：从分类溯源到产业链协同的全面升级

本赛道技术路径围绕“废旧物资”资源化全流程，数字化技术正成为提升效率、保障安全、创造价值的新引擎。

- **精准识别与智能分类：**基础技术是利用 AI 视觉识别、近红外光谱（NIR）和机器人技术，实现对固体废旧物资、再生资源的自动化、高精度分选。目录中上海山美环保的智能破碎分选系统和天奇股份的电池包智能拆解线，展现了通过 AI 赋能提升分拣纯度与效率的先进水平。
- **全过程溯源与可信存证：**核心技术是构建基于物联网传感、区块链和数字孪生的废旧物资全生命周期追溯系统。通过给废旧物资赋予“数字身份”，实时记录其产生、转移、处置、再利用的各个环节，确保合规性并为碳减排量核算提供可信数据基础。目录中中国宝武固危废资源智慧管理平台、东江环保智慧危废全生命周期管控平台是这一路径的典型代表。
- **产业链协同与价值优化：**前沿方向是搭建再生资源数字化交易与供应链协同平台，通过大数据匹配供需、优化物流路径、提供供应链金融服务，降低交易成本，提升资源循环效率。目录中欧冶链金物宝再生资源服务平台和中国资源循环集团新再生网，正致力于成为资源循环领域的“淘宝”。

- **高端装备与智能化产线：**最高阶的应用是集成**智能传感、先进过程控制（APC）和预测性维护**的数字化资源化利用产线。通过对回收处理工艺的智能化改造，稳定提升再生品质量与回收率，如**格林美的动力电池回收数字化产线**，**湖南邦普“定向循环”全产业链数字化管理系统**均实现了关键金属回收率超 99%。

三、卓越产品案例

案例一：中国宝武固危废资源智慧管理平台

- **企业概况：**宝武集团环境资源科技有限公司是全球最大钢铁企业中国宝武旗下的专业环保公司，承载着集团内部巨大的固废资源化重任。
- **创新点：**该平台的核心创新在于**实现了钢铁生产过程中产生的钢渣、尘泥、氧化铁皮等大宗工业固废从“产、收、运、处、用”的全过程数字化闭环管理**。平台打通了与各钢厂产线系统的数据接口，构建了固废资源“一张网”，能够实时监控各类固废的产生量、性状、去向和资源化产品价值，实现了固废管理的精细化、可视化与智能化决策。
- **适用场景：**特别适用于钢铁、有色等流程工业大型集团企业的内部固废循环利用管理。
- **量化效益：**平台助力宝武集团固废综合利用率持续提升，有效降低了环境风险与处置成本，并将固废转化为高价值建材原料，创造了显著的经济效益。
- **专家点评：**宝武固废平台是大型重化工企业实现内部循环经济的典范。其成功实践证明了数字化对于管理复杂工业代谢流程的巨大价值，为同类企业提供了可复制的样板，对推动工业生态化转型具有标杆意义。

案例二：邦普循环“定向循环”全产业链数字化管理系统

- **企业概况：**湖南邦普循环科技有限公司是宁德时代旗下专注于电池回收的龙头企业，是全球领先的电池回收与材料再生企业。
- **创新点：**该系统的突出特点是**实现了动力电池“原材料-电池制造-整车应用-回收利用-原材料再造”的闭环数字化管理**。通过赋予电池包唯一编码，系统能够追溯电池全生命周期的碳足迹与材料流。在回收环节，其数字化产线

通过精准控制拆解破碎与化学提纯过程，将镍、钴、锰等关键金属回收率提升至 99%以上，确保再生材料可直接返回电池生产，形成“定向循环”。

- **适用场景：**适用于动力电池生产企业、整车厂、回收拆解企业构建绿色供应链。
- **量化效益：**该系统不仅保障了关键战略金属资源的供应安全，还显著降低了电池生产的碳排放强度，为新能源汽车产业可持续发展提供了核心支撑。
- **专家点评：**邦普“定向循环”系统代表了资源循环领域的最高水平。它成功地将数字化技术与极致回收工艺相结合，实现了产业链的深度协同与价值最大化，是“新能源+循环经济”模式的全球标杆，构筑了强大的技术壁垒和供应链优势。

案例三：中再再生资源数字化交易流通平台

- **企业概况：**中再资源环境股份有限公司是中华全国供销合作总社旗下的再生资源行业龙头企业，拥有覆盖全国废旧物资的回收处理体系。
- **创新点：**该平台的核心优势在于其**覆盖废纸、废塑料、废橡胶等全品类再生资源的线上公开竞价交易、全国仓储网络智能调度、供应链金融与合规溯源一体化服务**。平台发布的“中再再生资源价格指数”已成为国内再生资源行业的重要风向标。它通过数字化手段有效解决了传统再生资源交易信息不对称、交易效率低、融资难等问题。
- **适用场景：**适用于各类再生资源回收企业、利废企业进行大宗商品交易与供应链管理。
- **量化效益：**平台大幅提升了再生资源的交易效率和资源配置效率，通过供应链金融盘活了库存资产，促进了再生资源行业的规范化与规模化发展。
- **专家点评：**中再平台是传统回收行业数字化转型的成功典范。其强大的公信力背景与全面的生态服务能力，使其成为连接回收端与利用端的关键枢纽，对建立规范、透明、高效的全国统一再生资源大市场起到了至关重要的推动作用。

案例四：东江环保智慧危废全生命周期管控平台

- **企业概况：**东江环保股份有限公司（简称“东江环保”）成立于1999年9月16日，公司主营业务涵盖工业和市政废旧物资资源化利用与无害化处理、稀贵金属回收，协同发展水治理、环境工程及检测，拥有44类危险废旧物资经营资质，年处置能力超280万吨。
- **创新点：**建立“一物一码+区块链”存证模式，给每批次危废生成唯一电子身份标识，从产废申报、打包贴码、运输GPS/温湿度实时监控、到厂自动核验、仓储动态管控、处置过程DCS数据上传、资源化产物出仓全环节数据上链不可篡改，同时与国家危废电子联单系统无缝对接，彻底解决危废转移过程中偷排、掉包、台账造假等行业痛点。
- **适用场景：**该平台的适用场景覆盖危废产业全链条参与主体及关联领域，既可为大中小各类产废企业、工业园区集中产废场景提供危废申报、台账自动生成、收运预约、合规提醒等服务，解决中小产废单位危废管理能力不足、合规成本高的问题。
- **量化效益：**系统提升了危废处置的精准性和资源化水平，降低了环境风险与运营成本，实现了危废处置的“无害化、减量化、资源化”。
- **专家点评：**其打通了危废全链条的数据断点，把传统的“事后追溯”升级为“事前预警、事中管控、事后可查”的全周期管理模式，有效破解了危废监管“最后一公里”的难题，在全国工业园区、无废城市建设中具备很高的推广价值。

案例五：天奇股份动力电池回收与梯次利用全链路管控系统

- **企业概况：**天奇自动化工程股份有限公司是国内领先的工业智能装备和循环装备供应商，深度布局动力电池回收领域。
- **创新点：**该系统的创新之处在于自研的自动化拆解、智能分选装备深度集成，实现了动力电池回收从退役电池入厂称重、放电、拆解、极片分选到梯次电池重组、再生冶炼的全流程无人化管控与工艺参数动态优化。系统内置的预测性维护模块能有效降低生产线停机时间，提升整体运营效率。
- **适用场景：**适用于动力电池回收拆解企业、梯次利用企业的智能化工厂建设。

- **量化效益：**系统不仅服务于天奇自身年 10 万吨以上的回收产能，还作为一体化解决方案输出给行业内众多回收企业，推动了整个行业装备与管理的标准化、数字化升级。
- **专家点评：**天齐全链路系统是“智能装备+数字化软件”深度融合的杰出代表。它从装备源头切入，实现了硬软一体化的闭环控制，在动力电池回收这一新兴领域起到了技术引领和标准塑造的作用，市场影响力广泛。

四、国际竞争力对标

中国在资源循环领域的市场规模和部分技术应用上全球领先，尤其在动力电池回收、大宗再生资源交易平台方面优势明显，但在高端分选装备核心部件和全球废旧物资管理服务网络方面仍有差距。

表 10 数字-资源回收与循环利用类产品对标分析

对标领域	中国竞争力表现与代表产品	国外主要对手与特点	竞争格局判断
工业固废数字化回收	在钢铁、有色等特定流程工业的固废协同处置和信息化管理方面实践丰富。代表：中国宝武固废平台、中铝环保铝固废系统	Veolia, SUEZ（法国），Remondis（德国）。优势在于全球化的项目运营经验、跨领域废旧物资综合处理技术、强大的研发能力	国内外并跑。 我国在特定工业场景的数字化管理深度上不落下风；但国际巨头在全球化服务、复杂废旧物资综合解决方案上经验更丰富
危废数字化管控	在危废信息化监管、处置设施智能化方面发展迅速。代表：浙富控股危废系统、东江环保全生命周期平台	Clean Harbors（美国），Heritage-Crystal Clean（美国）。优势在于严格的合规管理体系、高精度分析检测技术、特殊危废处理专长	国内外并跑。 我国市场巨大，数字化平台应用活跃；但在一些极高毒性、专业性极强的危废处理技术和全球化合规服务方面，国外企业仍有优势
再生资源数字化交易	依托巨大的国内市场，涌现出多个大型 B2B 交易平台，模式创新活跃。代表：中再资源平台、欧冶链金平台、易再生网	ScrapWare（美国），RecycleTrack Systems（美国）。优势在于成熟的 SaaS 模式、与下游制造业的深度集成、数据分析和金融服务	中国领先。 我国平台在交易规模、商业模式创新和产业生态整合上更具活力；国外平台则在软件产品的标准化和国际化方面有优势
废旧动力电池数字化回收	依托全球最大的新能源汽车市场，已形成完整产业链和领先的回收规模。代表：邦普循环、格林美、华友循环	Redwood Materials（美国），Li-Cycle（加拿大）。优势在于前瞻性技术布局（如湿冶金回收率）、与欧美整车厂的紧密绑定、品牌影响力	中国领先。 我国在回收产能、工程化应用速度和产业链完备性上显著领先；但国外初创企业在技术创新性和获取国际高端客户方面势头强劲

五、发展重点：AI 与大模型驱动智能升级与区块链构建可信体系

数字-资源回收与循环利用赛道正经历从末端治理辅助工具向驱动循环经济价值创造核心引擎的战略转变。其发展将围绕系统融合、智能决策、价值拓展与模式创新四大维度深化，推动产业从分散、低效的“废弃物处理”迈向精准、高效、高值的“资源闭环管理”。具体演进路径如下：

1. 系统融合深化：从“分类回收”到“全生命周期物料管理”

资源循环管理将突破传统分类、回收、处置的割裂模式，实现与产品设计、生产、消费、回收再制造全链条的深度融合。通过构建覆盖“原料-产品-废弃-再生料”的物料流数字孪生系统，平台能够动态追踪关键资源（如锂、钴、稀土）的流向与折损率，为生态设计（DfE）、生产者责任延伸（EPR）制度的落地提供精准数据支撑，从源头提升产品的可回收性与再生价值。

2. 智能决策升维：从“机械分选”到“AI 视觉与大模型驱动精准拆解”

人工智能技术将彻底革新资源识别与处理环节。具体表现为：

- **AI 视觉识别与机器人协同作业：**深度融合高光谱成像、AI 视觉与机器人技术，实现对复杂废旧物资（如混合塑料、报废汽车、废旧电池包）的精准、快速识别与自动化拆解，大幅提升分选纯度与回收效率。
- **大模型赋能资源化路径优化：**利用行业大模型分析海量物料成分、工艺参数与市场数据，为不同品类、不同状态的废弃物资智能推荐最优资源化路径（如是梯次利用还是再生冶炼），动态优化处理工艺，最大化资源价值回收。
- **逆向物流网络智能调度：**基于实时交通、库存与成本数据，通过算法优化回收网点的布局、收运路径与库存调度，降低逆向物流成本，提升整个回收网络的运转效率。

3. 价值拓展深化：从“废料交易”到“绿色可信资产运营”

区块链技术与物联网的深度融合，将重塑资源循环的价值实现方式。通过为每一批再生资源建立不可篡改的“绿色数字护照”（涵盖碳足迹、回收成分、性能数据），实现再生材料绿色属性的可信存证与流转。这将支撑再生料获得“绿色溢价”，并使其碳减排量能够便捷地参与碳市场交易或用于下游企业的碳足迹抵消，将资源循环的价值从单纯的物料价值拓展至环境价值。

4. 商业模式创新：从“处置服务”到“资源循环即服务（RCaaS）”

商业模式将加速从按吨收费的废料处置服务，转向提供基于资源循环绩效的“资源托管”、“闭环供应链管理”、“再生材料保供”等增值服务。服务商通过承诺回收率、再生材料品质与碳减排量，与制造企业共享资源循环带来的成本节约与绿色品牌收益，推动产业从简单的买卖关系升级为长期共赢的价值共同体。

六、数字-资源回收与循环利用代表性产品

经征集遴选，以下产品聚焦资源回收利用全过程的数字化追溯与智能管控，覆盖退役电池、工业固废、再生金属等重点品类，体现该赛道以数据驱动“变废为宝”的核心能力。

表 11 数字-资源回收与循环利用代表性产品（节选）

二级分类	产品名称	单位名称	关键功能简介	产品形态
工业固废数字化回收与循环利用	中国宝武固危废资源智慧管理平台	宝武集团环境资源科技有限公司	钢铁固废“产、收、运、处、用”全过程数字化闭环管理	方案
工业固废数字化回收与循环利用	铝工业固废全流程数字化循环利用系统	中铝环保节能集团	铝产业链赤泥、铝灰等固废的智能识别、工艺调度与碳足迹核算	方案
工业固废数字化回收与循环利用	再生资源智能装备运营系统 & 数字化供应链平台	中国再生资源开发集团	废钢等再生资源智能分拣、打包、装卸及供应链管理	方案/设备
工业固废数字化回收与循环利用	海螺环保工业固废协同处置方案	海螺环保	水泥窑协同处置固废/危废的数字化管理	方案
工业固废数字化回收与循环利用	金发科技环保高性能再生塑料数字化追溯平台	金发科技	再生塑料全链条追溯与碳足迹管理	方案
工业固废数字化回收与循环利用	大宗冶金固废智慧处置与资源化利用解决方案	中冶建研院	多工艺模块数字化控制、固废源头减量咨询	方案/咨询
工业固废数字化回收与循环利用	SMH 工业固废智能化破碎分选系统	上海山美环保装备股份有限公司	AI 视觉识别分选钢渣、铝灰等	设备
工业固废数字化回收与循环利用	联运环境固废数字化分类管理平台	浙江联运环境	工业/生活固废分类投放清运全流程数字化	方案
危废数字化管控与循环利用	智慧危废全生命周期管控平台	东江环保股份有限公司	危废全流程管控，从“源头收集、智能称重、入库贮存、配伍焚烧、填埋运营”的全生命周期	方案
危废数字化	浙富控股危险废旧	浙富控股	危废无害化处置智能决策与全过程管	方案

二级分类	产品名称	单位名称	关键功能简介	产品形态
管控与循环利用	物资智慧管理系统		控	
危废数字化管控与循环利用	雪迪龙智慧危废在线监测与管控系统	雪迪龙	危废处置设施排放口实时在线监测	方案/设备
危废数字化管控与循环利用	格林美危废资源化综合利用数字化管控系统	格林美	危废收集/处置/资源化全流程数字化	方案
危废数字化管控与循环利用	危废全过程数字化监管平台	中节能清洁技术发展有限公司	危废转移联单执行与处置设施负荷监控	方案
再生资源数字化交易与流通	易再生网	盈创再生资源	废塑料/废纸/废金属全品类再生资源交易与信息	方案
再生资源数字化交易与流通	新再生网	中国资源循环集团	再生资源数字化交易	方案
再生资源数字化交易与流通	再生资源数字化交易流通平台	中再资源环境股份有限公司	再生资源数字化交易	方案
废旧动力电池数字化回收与梯次利用	锂电回收数字化管控平台	宁德时代	动力电池回收全产业链溯源与管理	方案
废旧动力电池数字化回收与梯次利用	铅酸电池回收数字化平台	天能动力	铅酸电池回收/梯次利用/再生铅	方案
废旧动力电池数字化回收与梯次利用	动力电池包智能拆解与梯次利用系统	格林美股份有限公司	废旧动力电池回收	方案

第八章 双化协同-场景包赛道——系统级“交钥匙”解决方案的集成者

作为工业“双化协同”价值的最终出口与呈现形式，双化协同-场景包赛道聚焦于将前述五大核心赛道的技术能力，根据终端用户的实际物理边界和管理需求，进行深度融合与一体化封装，提供面向特定场景的端到端“交钥匙”解决方案。本赛道产品超越了单一技术或环节的优化，实现了从“卖产品”到“交付零碳价值”的商业范式转变，是检验“双化协同”最终成效的试金石，直接决定了绿色低碳转型的落地深度与用户体验。

一、赛道概述：从单点供给到系统集成的价值跃升

双化协同-场景包赛道代表了“双化协同”发展的最高形态，核心是解决技术在复杂现实场景中“水土不服”和“协同失效”的最后一公里；而把这类一体化能力真正推成刚需的，是国家层面把“零碳园区”“无废城市”“绿色工厂”从试点标签推进为可申报、可核算、可核查、可授牌（及事后监管）的制度框架：以《关于开展零碳园区建设的通知》（发改环资〔2025〕910号）明确首批国家级零碳园区建设路径、指标体系与碳排放核算/验收机制，以《“十四五”时期“无废城市”建设工作方案》及配套设施建设推进机制倒逼固废全链条的数字化追溯与资源化处理工程化落地，再以工信部门绿色制造体系（绿色工厂/绿色园区/绿色供应链）培育评价机制与国家标尺《绿色工厂评价通则》（GB/T 36132—2025）把“绿色工厂”从概念性改造拉回“能源低碳化、资源高效化、生产洁净化、数据可计量”的硬指标轨道——三类政策叠加，使地方政府、大型集团和园区运营方对“跨技术/跨系统/跨流程”的一体化解决方案需求呈现爆发式增长。

市场需求正从“购买离散软硬件”向“采购整体解决方案与系统性服务能力”深刻演进。在此趋势下，双化协同-场景包类产品应运而生，其集成复杂度高、单体价值大，代表了数字赋能绿色低碳转型的系统级前沿。这类产品通过顶层设计与跨领域集成，致力于打破单一技术局限，为客户交付可感知、可度量、可复制的整体减碳效益。从具体构成看，其内部结构清晰反映了当前市场的落地重心：零碳园区（28.77%）占据最大份额，凸显园区作为产业与能耗集聚区，其系统化改造已成为规模潜力最大的核心战场；绿色工厂（24.66%）与零碳交通（23.29%）紧随其后，共同构成实体经济深度脱碳的“主阵地”；绿色建筑（12.33%）与无

废城市（10.96%）则完善了城市单元更新与宏观治理的生态拼图。远景鄂尔多斯零碳产业园、金风科技亦庄智慧园区、国家电投氢能交通全场景方案等标杆实践，不仅验证了该路径的可行性，更标志着我国在系统级绿色解决方案的集成创新与工程交付上已具备全球竞争力。

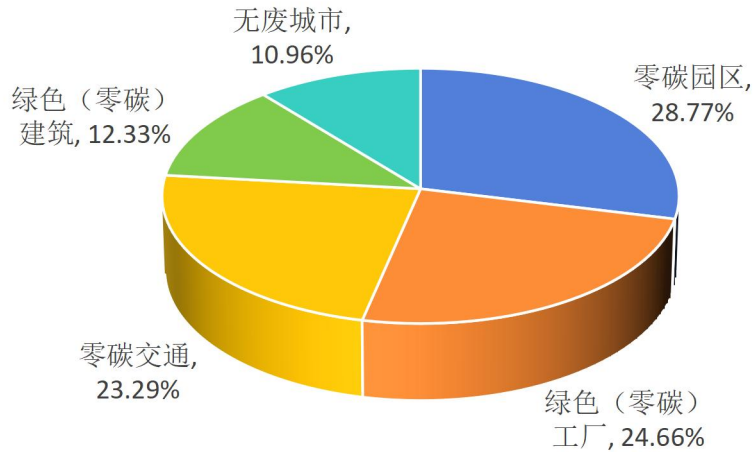


图 11 双化协同-场景包赛道产品内部结构分析

二、技术路径：从顶层设计到智能运营的全流程集成

本赛道技术路径围绕特定场景的“规划-建设-运营-认证”全生命周期，其核心是跨领域知识的系统集成与持续优化能力。

- **顶层规划与多目标优化设计：**基础技术是应用**系统建模、数字孪生和情景模拟算法**，在项目前期进行能源系统、碳流、物质流、资金流的协同规划，寻求技术经济环境等多目标下的最优解。目录中**中国节能环保集团的零碳园区设计规划**和**清华同衡的规划设计咨询服务**，提供了从战略到蓝图的方法论支撑。
- **异构系统集成与数据融合：**核心技术是构建开放的**工业互联网平台架构和统一的数据中台**，打通来自不同供应商的能源管理、碳管理、楼宇自控、安防消防等异构系统，实现数据的互联互通与语义一致。这是所有一体化方案落地的技术基石。
- **基于 AI 的综合能源调度与碳效优化：**前沿方向是开发**区域级综合能源系统 AI 调度模型**，对园区或城市范围内的光伏、储能、充电桩、柔性负荷等进行协同控制，并与碳排放在线监测数据联动，实现能源成本与碳强度协同最优。

目录中国电南瑞的源网荷储一体化设备和特变电工的一体化方案体现了这一方向。

- **全生命周期碳效管理与认证：**最高阶的应用是建立**嵌入项目全过程的数字化碳效管理模块**，从设计阶段的碳足迹模拟，到建设过程的碳核算，再到运营期的碳效追踪与自动生成认证报告，实现碳管理的闭环。随着欧盟碳边境调节机制（CBAM）等国际碳壁垒政策落地，全生命周期碳效管理已成为中国企业参与国际市场竞争的关键能力。目录中**阳光慧碳的零碳工厂一体化解决方案**正致力于此。

三、卓越产品案例

案例一：远景科技集团鄂尔多斯零碳产业园整体解决方案

- **企业概况：**远景科技集团是全球领先的绿色科技公司，其鄂尔多斯零碳产业园项目是全球首个真正实现高比例可再生能源、绿色氢能、数字技术深度融合的零碳产业园区标杆。
- **创新点：**该方案的核心创新在于**构建了“风光氢储车”全产业链闭环的零碳生态系统**。园区通过智能物联网平台 EnOS，统一调度园区内 80%能源来自本地的风电、光伏，并配套绿色氢能制备和储能系统，为入驻的新能源电池、电动汽车等企业提供 100%绿色能源。方案实现了从能源生产、存储、输配到消纳的全链条数字化协同。
- **适用场景：**适用于资源富集地区新建零碳产业园、传统工业园区零碳升级改造。
- **量化效益：**园区已吸引多家全球头部新能源企业入驻，形成了千亿级产业集群。据测算，园区实际实现高达 91%的碳减排，相比传统园区可实现年减排二氧化碳百万吨级，为企业降低用能成本 20%以上。
- **专家点评：**远景鄂尔多斯项目是“零碳产业园”场景包的全球典范。它成功地将零碳能源系统与零碳产业生态相结合，探索出了可复制、可推广的商业模式，展现了数字化在整合复杂系统、创造集群效应上的强大威力，具有划时代的示范意义。

案例二：金风科技亦庄智慧园区零碳解决方案

- **企业概况：**金风科技是全球领先的风电装备制造和清洁能源整体解决方案提供商，其北京亦庄园区是集研发、办公、制造于一体的综合性基地。
- **创新点：**该方案的核心在于**实践并验证了“可再生能源智能微网+精细化能碳管理”在既有园区实现零碳运营的可行性与经济性**。园区部署了4.8MW分散式风电、2MW分布式光伏以及储能系统，年发电量约750万度，承担了园区约50%的电力需求。园区通过金风自主研发的智慧能源管理平台，利用人工智能、物联网和大数据技术实现负荷预测准确率超过90%，并获得北京绿色交易所颁发的“碳中和园区”认证。
- **适用场景：**特别适用于大型制造企业自有园区、科技园区、办公基地的零碳化改造。
- **量化效益：**园区已实现年减排二氧化碳近万吨，可再生能源自洽率超过50%，成为展示金风科技零碳能力的“活广告”。
- **专家点评：**金风亦庄园区是“自我革命”式的成功实践。它证明了领先的工业企业可以利用自身技术优势，将自有园区打造为零碳样板，不仅实现了节能降碳，更形成了强大的品牌溢出效应，为同类企业提供了极具参考价值的实施路径。

案例三：国家电投氢能交通全场景运营解决方案

- **企业概况：**国家电力投资集团有限公司是领先的清洁能源央企，其氢能交通解决方案覆盖氢能制、储、输、用全链条。国家电投已按照交通运输部批复的“交通强国建设试点任务要点”，开展重卡换电站建设组网与运营示范、氢燃料电池研发与氢能交通运营平台应用、城市级绿能交通体系建设与应用等三项试点任务。
- **创新点：**该方案的核心优势在于**提供从绿色氢源保障、加氢站网络建设到氢燃料电池车辆运营管理的“车-站-线”一体化服务**。方案依托国电投的绿电资源，打造“绿电制绿氢”的清洁氢源，并针对公交、重卡、物流等不同场景，提供定制化的车辆和加氢保障方案，通过智慧运营平台实现全链条的安全监控与效率优化。

- **适用场景：**适用于城市公交系统、港口码头、区域物流干线等对零碳交通有迫切需求的场景。
- **量化效益：**已在北京、佛山、武汉等多地推广氢燃料电池公交车和重卡，单个加氢站可服务每日数十辆氢能车的运营需求，实现了交通领域的深度脱碳。
- **专家点评：**国家电投的氢能交通方案是破解“先有鸡还是先有蛋”产业困局的典范。其“央企主导、全链布局”的模式，有效降低了氢能交通推广初期的基础设施和运营风险，加速了氢能在交通领域的商业化进程，体现了国家队在培育新兴产业上的战略定力和担当。

案例四：普洛斯海屹设计院零碳物流园区方案

- **企业概况：**普洛斯是全球领先的现代物流设施提供商，其海屹设计院专注于物流地产领域的绿色低碳技术与设计。
- **创新点：**该方案的突出特点是**将零碳理念深度融入物流园区的规划、设计和运营标准，形成了一套可快速复制的“资产包”**。方案系统性地整合了屋顶分布式光伏、储能系统、智慧能源管理、绿色建筑、电动叉车和充电桩等模块，并通过数字化平台实现所有绿色资产的统一监控、运维和碳效评估，为物流客户提供“拎包入住”式的零碳仓储服务。普洛斯上海新西北物流园作为国内物流行业首个获“卓越级”净零碳园区认证的园区，由海屹设计院提供设计及绿色认证咨询，并已连续两年入选上海市重大项目，荣获城市设计&建筑设计奖年度金奖、零碳地球·锚点奖等多项荣誉。
- **适用场景：**适用于新建或改造的现代化物流园区、仓储中心。
- **量化效益：**采用该方案的物流园，可实现运营阶段碳排放大幅降低，部分园区已实现“碳中和”运营，显著提升了资产价值和客户吸引力。
- **专家点评：**普洛斯方案是绿色科技与资产管理完美结合的典范。它将零碳从“成本项”转化为提升资产竞争力的“价值项”，通过标准化、产品化的方式在庞大的物流资产网络中快速复制，展示了平台型企业在推动行业绿色转型上的巨大杠杆效应。

案例五：中国节能“无废城市”全域创建解决方案

- **企业概况：**中国节能环保集团有限公司是唯一一家以节能环保为主业的中央企业，在固废处理领域布局全面。
- **创新点：**该方案的核心在于**提供覆盖生活垃圾、工业固废、危废、餐厨垃圾等全品类固废的“一站式”综合治理能力，并嵌入数字化管控平台**。方案根据不同城市的特点，定制化地组合垃圾焚烧发电、资源化利用、填埋处置等技术路径，构建城市固废处理体系，并通过智慧环境平台实现从垃圾分类、收集、运输到处置的全过程数字化监管与调度。
- **适用场景：**适用于各级城市政府推进“无废城市”建设。
- **量化效益：**该方案已服务于全国数十个城市，帮助城市提升固废综合处理能力和资源化利用率，有效改善人居环境。
- **专家点评：**中国节能的“无废城市”方案是系统解决城市代谢问题的国家级样板。其强大的集成能力和央企公信力，能够协同多方资源，为城市提供长远可靠的环境保障，是“无废城市”理念从蓝图走向现实的坚实支撑。

四、国际竞争力对标

中国在基于巨大国内市场应用的系统级场景解决方案上展现出强大活力，尤其在园区级、物流级解决方案方面模式创新领先，但在跨国企业全球项目经验和高端数字化建模软件方面仍有提升空间。

表 12 双化协同-场景包类产品对标分析

对标领域	中国竞争力表现与代表产品	国外主要对手与特点	竞争格局判断
零碳园区	依托大规模的园区建设和改造需求，涌现出多种技术融合和商业模式。代表：远景鄂尔多斯产业园、金风亦庄园区、普洛斯零碳物流园	Siemens Smart Infrastructure, Schneider Electric EcoStruxure, Johnson Controls OpenBlue。优势在于全球化项目经验、强大的 BMS/IPMS 底层系统、深厚的行业知识库	中国领先。 我国在基于新能源优势的园区级系统集成和商业模式创新上更为激进和领先；国际巨头在高端商业建筑、数据中心等特定场景的精细化控制和全球化部署上经验丰富
无废城市	拥有全球最大的城市固废处理市场，项目实践经验丰富。代表：中国节能、光大环境	Veolia, SUEZ。优势在于百年积累的工艺技术、全球化的运营管理经验、复杂的危废处理技术。	国内外并跑。 我国企业在国内市场响应速度和规模化应用上占优；国际巨头在技术深度和跨国项目执

对标领域	中国竞争力表现与代表产品	国外主要对手与特点	竞争格局判断
	等提供的全域解决方案		行上仍有优势
绿色（零碳）工厂	在制造业特别是离散制造领域的绿色工厂建设方面实践丰富，数字化赋能程度高。代表：海尔卡奥斯零碳工厂、格力绿色工厂	Siemens Digital Enterprise, RockFactory。优势在于与工业自动化、生产执行系统（MES）的深度原生集成，覆盖工厂全价值链	细分领域领先。 我国在家电、电子等消费品领域绿色工厂建设水平全球领先；但在高端复杂流程工业的深度绿色化方面，与国际先进水平并跑
绿色（零碳）建筑	在超低能耗建筑、光伏建筑一体化等方面发展迅速。代表：中国建科、朗绿科技的零碳建筑方案	Skanska（瑞典），Turner Construction（美国）。优势在于绿色建筑认证体系（如LEED）的深度参与、全生命周期碳评估（LCA）方法和工具的领先	国内外并跑。 我国在建筑节能技术和市场规模上不落下风；但在建筑全生命周期碳管理的方法学和国际化方面仍在追赶
零碳交通	在电动汽车及充换电基础设施领域显著领先，氢能交通示范规模大。代表：国家电网氢能交通、宁德时代换电重卡	Tesla Semi, Nikola Motor。优势在于品牌影响力、前沿技术（如自动驾驶）的整合	中国领先。 我国在新能源汽车全产业链和充换电网络建设上已形成全球优势；在氢能交通的示范推广规模和系统成本上同样领先

五、发展重点：AI 驱动系统自进化与跨域协同价值共享

双化协同-场景包赛道作为“双化协同”价值的最终集成者和输出端，正经历从技术模块拼接向系统性价值交付的深刻转型。其发展将突破传统解决方案的局限，向更智能、更开放、更可持续的方向演进，具体体现在四个关键维度：

1. 解决方案交付：从“异构集成”到“数字孪生驱动的原生一体化”

场景包将超越当前基于接口协议的系统拼接，迈向以高保真数字孪生为底座的原生一体化设计。通过构建覆盖能源、碳流、物料、交通、建筑等多维数据的城市或园区级信息模型（CIM），实现规划、建设、运营全周期的虚拟映射与动态优化。平台将基于统一数据标准与开放架构，无缝集成分布式能源、碳管理、资源循环等子系统，从底层打通数据孤岛。未来的方案生成将更具前瞻性，能够基于AI算法快速模拟并比对多种技术配置路径，为园区、工厂等复杂系统提供动态优化的“交钥匙”工程，实现从静态蓝图到可进化生命体的跨越。

2. 系统智能内核：从“规则运行”到“AI 驱动的自主优化与韧性增强”

人工智能将作为“智慧大脑”，推动场景包从预设规则的自动化运行，迈向具备自学习、自优化能力的自主进化新阶段。这体现在：利用强化学习算法实时调整区域能源调度、交通流线和建筑能耗策略，持续挖掘系统能碳效率潜力；通过数字孪生体结合预测算法，对极端天气、设备故障等风险进行超前模拟与预案制定，显著提升复杂系统的韧性。优化边界将进一步扩展，打破园区、电网、交通系统的管理壁垒，实现跨域基础设施的负荷均衡与协同互济。

3. 价值创造机制：从“节能降碳”到“ESG 综合价值与资产化运营”

场景包的价值主张将从单一的节能降碳，拓展至环境、社会、治理（ESG）多维价值的协同创造。平台通过嵌入全生命周期碳足迹管理、生物多样性影响评估等功能，帮助管理者统筹实现减排目标、生态效益与社会公平。基于区块链的可信数据存证，将使绿色效益可量化、可追溯、可交易，支撑碳减排量等环境权益转化为可融资的资产。商业模式将加速创新，从一次性项目总包转向基于长期运营绩效的“场景运营即服务”订阅模式，如“零碳园区托管”、“绿色交通效能保障”等，使服务商收益与客户实现的碳强度下降、用能成本节约等最终效果深度绑定。

4. 生态协同模式：从“项目合作”到“开放平台与价值共享网络”

未来场景包的成功将愈发依赖生态协同。基于开放平台架构，将吸引第三方开发者、专业服务商共同参与，形成模块化、可复用的解决方案组件库。竞争焦点将从技术集成能力转向生态聚合与标准引领能力。通过构建价值共享机制，如基于平台交易流水的分成模式、绿色资产收益的共享模式等，激励多元主体共建共赢，最终形成持续进化的产业创新共同体。

六、双化协同-场景包代表性产品

经征集遴选，以下产品以零碳园区、无废城市、零碳工厂、零碳建筑系统级场景为载体，代表集成度较高的整体解决方案形态。

表 13 双化协同-场景包代表性产品（节选）

二级分类	产品名称	单位名称	关键功能简介	产品形态
零碳园区	零碳园区设计规划	中国节能环保集团	中节能零碳园区/零碳产业综合解决方案	咨询
零碳园区	零碳园区设计规划	北京清华同衡规划设计研究院	“规划-设计-施工-运管-认证”全周期服务	咨询

二级分类	产品名称	单位名称	关键功能简介	产品形态
零碳园区	零碳园区设计规划	中衡设计集团	产业规划与工程设计融合，适合工业型园区	咨询
零碳园区	绿电直连解决方案	国家电力投资集团有限公司	跨省专线+源网荷储一体化，绿电溯源+碳管理	方案
零碳园区	绿电直连解决方案	中国大唐集团有限公司	发电+用能企业直连，专线+储能+微网	方案
零碳园区	天合光能零碳园区解决方案	天合光能	园区级光储智慧能源解决方案	方案
零碳园区	源网荷储一体化设备	国电南瑞科技股份有限公司	电网级实时调度、千万级节点协同、虚拟惯量支撑	设备
零碳园区	源网荷储一体化方案、设备	特变电工	变压器+逆变器+储能+微网全链条解决方案	方案/设备
零碳园区	零碳园区整体解决方案	远景科技	鄂尔多斯零碳产业园，风光氢储车全产业链闭环	方案
零碳园区	零碳园区整体解决方案	金风科技	北京金风科技亦庄智慧园区，可再生能源直供+智能微网	方案
零碳园区	零檀云数字化碳管理平台	零碳产业运营中心（深圳）有限公司	面向园区及工业企业的全方位碳管理软件	方案
无废城市	“无废城市”建设专项咨询	中国环境科学研究院	包头市无废城市，老工业基地固废治理	咨询
无废城市	“无废城市”建设支撑服务	清华大学	深圳市无废城市，超大型城市固废治理样板	咨询
无废城市	无废城市全域创建解决方案	中国光大环境（集团）有限公司	全产业链固废治理 + 无废城市顶层设计	方案
无废城市	无废城市全域创建解决方案	北京首创生态环保集团股份有限公司	“水-固-气-能”协同治理	方案
绿色（零碳）工厂	绿色工厂盘查评估诊断服务	中节能咨询有限公司	适用于钢铁、化工、建材、装备制造等全行业，尤其高耗能流程制造	咨询
绿色（零碳）工厂	星火·碳账户	北京泰尔英福科技有限公司	基于工业互联网标识，实现供应商碳数据唯一标识、可信存证、多级碳账户管理与碳资产确权；适用于汽配、纺织、电子、轻工、能源等行业园区和工厂	方案
绿色（零碳）工厂	海尔卡奥斯零碳工厂数字化平台	海尔卡奥斯能源	家电/离散制造零碳工厂	方案
绿色（零碳）工厂	绿色/零碳工厂一体化解决方案	阳光慧碳	适用于新能源、光伏、储能、电子、装备制造、汽车、化工等高耗能 / 离散制造，尤其追求“拿证+降本+	方案

二级分类	产品名称	单位名称	关键功能简介	产品形态
厂			减碳”三重目标的企业	
绿色 (零 碳)建 筑	零碳建筑设计规划	中国建科	零碳城市 / 园区顶层设计、零碳建筑全生命周期技术、超低能耗建筑、光伏建筑一体化、能碳智慧管控	咨询
绿色 (零 碳)建 筑	装配式零碳建筑系统	远大科技集团	装配式/被动式零碳建筑	方案
绿色 (零 碳)建 筑	绿色地产零碳建筑全生命周期管理系统	朗诗绿色管理	居住建筑零碳/健康建筑	方案

第四部分 洞察与展望

第九章 总体洞察——技术市场格局与竞争态势

本章对入选的 400 余款产品进行总体分析与趋势研判。通过构建“技术-市场成熟度矩阵”，系统剖析各赛道的竞争格局与发展阶段；结合成本结构与多维视角，揭示供给侧核心痛点；最终展望未来 1-3 年的技术融合与产业演进方向，为战略决策提供精准支撑。

一、技术-市场成熟度矩阵分析

基于对六大产品赛道、30 多个细分领域、400 多款产品的系统分析，我国工业“双化协同”产品体系呈现出清晰的技术-市场演进梯度。通过技术成熟度与市场渗透率的二维矩阵分析（见图 12），产品分布显著呈现“**规模化应用主导、成长型赛道崛起、前沿领域攻坚**”的三级梯队结构。具体来看，约 30% 的细分领域（覆盖碳核算、绿色能源基础应用等）已进入规模推广区，技术成熟、需求刚性；约 52% 的领域（如氢能、零碳园区、低碳交通等）处于应用成长区，技术已验证但竞争聚焦行业深度；约 18% 的领域（如 CCUS 全链、高端资源循环）仍处于前沿探索区，技术壁垒高、商业化路径待完善。这一格局既反映了我国在市场驱动型应用领域的敏捷优势，也凸显了在基础技术及复杂系统集成方面的攻坚挑战。

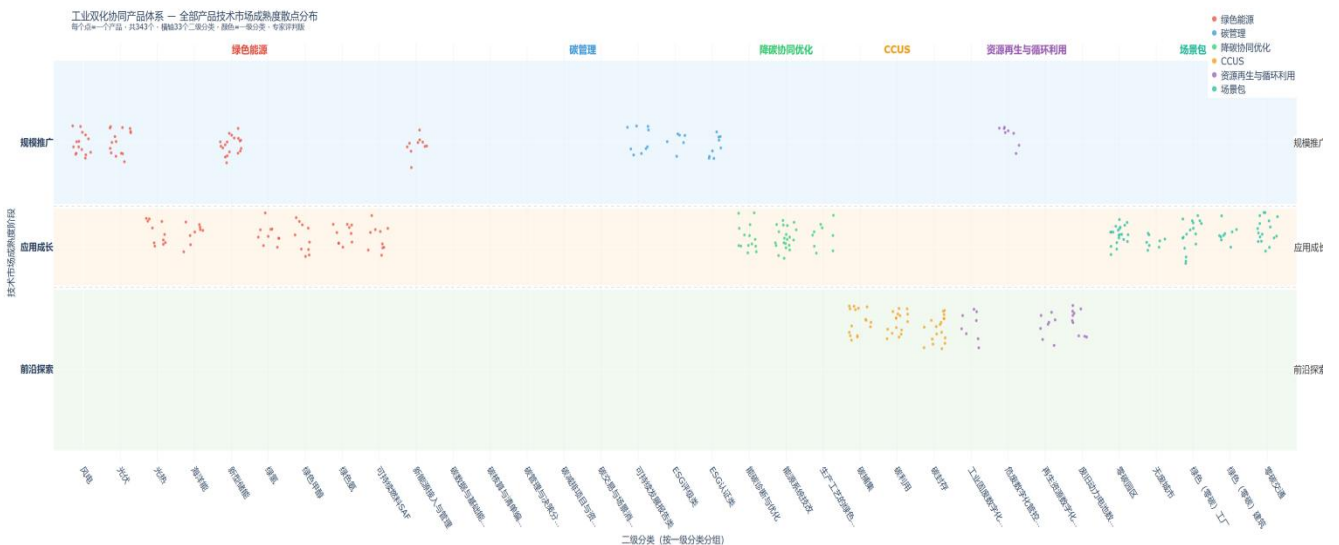


图 12 六大产品赛道技术-市场成熟度矩阵分析

1. 规模推广区：需求刚性化，技术与市场高度协同

规模推广区的产品已成为产业收入的基本盘，其共性特征是政策驱动明确、技术标准化程度高，客户采购从“可选”变为“必选”。

- **绿色能源领域**（风电、光伏、新型储能等）依托全产业链优势，形成“硬件+云平台”闭环生态。例如，金风科技风电场群协同平台、华为 FusionSolar 光伏云平台已实现从单机监控向场群交易升级，头部企业通过绑定客户系统形成高壁垒。
- **碳管理核心工具**（碳核算、ESG 披露认证等）在欧盟 CBAM、国内碳市场等政策强制要求下成为出口型企业刚需。碳足迹碳矩阵平台、擎工互联 MRV 系统等产品通过快速迭代适配国内规则，在服务响应和成本效益上占据优势。
- **危废数字化管控**是资源循环领域唯一规模化赛道，因法规处罚严厉，客户投入刚性，RFID+全周期平台的软硬一体方案已成行业标配。

竞争焦点：从功能实现转向全生命周期服务。例如，储能安全预警从增值服务变为标配，ESG 平台从报告生成器升级为战略运营系统。

2. 应用成长区：差异化竞争主战场，行业 Know-How 决定壁垒

应用成长区是创新最活跃的领域，技术已验证但需深耕行业场景实现规模化落地。竞争维度从“有无”升级为“优劣”。

- **能源新赛道**（氢能、绿色甲醇、SAF）技术路线清晰，但成本与商业模式仍是瓶颈。电解槽智控系统、SAF 数字化管理平台等软件侧机会初现，需依托示范项目突破经济性。
- **能碳协同优化**（如格创东智 AI 能碳大脑、河钢数字 WiseCarbon 平台）深度融合工业机理，实现从单点节能向系统降碳跃迁。竞争关键在于算法与生产流程的耦合深度。
- **场景包集成**（零碳园区、绿色工厂等）需跨能源、建筑、交通多系统整合。远景鄂尔多斯零碳产业园等方案凭借项目实践，在落地速度和成本控制上与国际同行并驾齐驱，但跨行业复制能力仍待提升。

核心挑战：需突破行业知识壁垒，实现从“功能实现”到“价值闭环”的跨越，同时应对国际标准（如 ISSB、CBAM）的合规压力。

3. 前沿探索区：战略制高点，技术经济性亟待突破

前沿探索区产品技术壁垒高、研发周期长，商业化依赖政策补贴与生态协同。

- **CCUS 全链**（碳捕集、利用、封存）中，百万吨级捕集项目（如华能、国家能源集团）仍处于示范阶段，吨碳成本是商业化核心瓶颈；碳利用路线分散（制甲醇、矿化等），缺乏主导技术路径。
- **资源循环高端化**（动力电池智能拆解、复杂固废分选）需解决数据识别与跨产业链协同难题。宁德时代电池回收平台虽在拆解效率上领先，但电池型号标准化、碳足迹核算精度仍是行业痛点。

突围路径：长期研发投入与国家级示范工程牵引，逐步降低技术成本与生态门槛。

当前梯次格局的形成，是政策强力驱动、市场需求分层与技术积累差异共同作用的结果。**政策法规**（如国内“双碳”考核、欧盟 CBAM）直接催生了碳管理、绿色能源等赛道的规模化需求；**市场竞争**推动应用成长区产品从功能竞争升维至行业 Know-How 与生态协同的深度比拼；而**技术壁垒**则使前沿领域仍需依托国家级示范工程突破经济性瓶颈。未来，规模化应用领域将持续夯实产业基座，成长型赛道通过垂直深耕打开新空间，前沿领域的突破将重塑长期产业竞争力。

二、产品国际竞争力格局总览

基于对六大产品大类、30 多个二级分类、400 多款产品的系统评估，我国工业数字化绿色化协同转型产品的国际竞争力格局总体可概括为“**应用领域并跑为主，系统集成局部领跑，基础软件与核心装备仍需追赶**”。具体来看，约 20% 的领域达到国际领跑水平，约 55% 的领域实现并跑，另有约 25% 的领域仍处于奋力追赶阶段。这一结构深刻反映了我国在市场需求拉动、工程能力赋能方面的显著优势，以及在底层技术积累、全球生态构建方面的现实挑战。

从整体分布看，我国“双化协同”产品的竞争力与赛道特性高度关联。**市场需求明确、工程集成门槛较低的领域率先突破**，而依赖长期研发积累、生态协同或国际标准话语权的领域仍需补课。

1. 领跑领域（20%）：规模化应用与模式创新双轮驱动

领跑优势集中在两类赛道：一是具备全产业链协同能力的**数字-绿色能源**，二是依托超大规模市场的**数字-资源回收与循环利用**。

- **数字-绿色能源**在光伏逆变器、储能系统、电网调控等环节已形成全球性产业集群。例如，新能源功率预测系统通过融合气象大数据与AI算法，精度较国际同类产品提升5-10%；特高压柔性直流输电技术更成为我国独有的工程优势。
- **数字-资源回收与循环利用**则凭借再生资源交易平台（如易再生网、链金物宝）的商业模式创新，实现了废钢、废铝等大宗资源跨区域高效配置，其交易规模和数据聚合能力远超欧美同类平台。

共性动因：政策强力引导（如“双碳”目标、循环经济立法）、市场内需庞大、产业链协同效率高，使这些领域在应用层快速形成“规模-成本-创新”的正向循环。

2. 并跑领域（55%）：本土化适配与垂直深耕构筑护城河

并跑领域覆盖了**数字-碳管理**、**数字-能碳协同优化**和**双化协同-场景包**的大部分产品。

- **数字-碳管理**中，企业碳核算SaaS、碳监测设备（CEMS）等产品虽在算法模型和全球化服务上弱于国际头部企业，但凭借对国内碳市场规则、核算指南的快速响应，在钢铁、化工等垂直行业形成深度定制优势。例如，擎工互联碳擎平台通过MRV（监测-报告-核查）闭环管理，将企业碳核算效率提升30%以上。
- **数字-能碳协同优化**则依托流程工业Know-How（如河钢数字WiseCarbon平台），将能效优化与生产工艺耦合，在高耗能行业实现碳排与成本的双控目标。
- **双化协同-场景包**中的零碳园区方案，通过“光伏+储能+微电网”系统集成，在项目落地速度和成本控制上与国际方案持平。

关键短板：并跑产品在单一场景下竞争力突出，但跨行业复用能力较弱，且缺乏对国际标准（如ISSB、CBAM）的原生支持。

3. 追赶领域（25%）：技术生态与标准话语权双重制约

追赶领域集中于**数字-CCUS**整体和**数字-碳管理**中的基础工具层（如LCA数据库、ESG平台）。

- **数字-CCUS** 在百万吨级碳捕集系统、核心工艺软件等领域仍处于工程示范阶段，关键装备（如高压压缩机组）的可靠性与国际顶尖水平存在代差。
- **LCA 数据库与核心软件**（如 GaBi、SimaPro）被欧洲企业垄断长达 20 年，国内数据库（如 CLCD、天工 LCA）虽在本土化数据上取得进展，但全球覆盖度和方法论认可度不足，直接制约产品碳足迹的国际互认。

突围难点：技术研发周期长、跨学科协同要求高、国际生态壁垒坚固，需通过“产学研用”长期投入破局。

三、竞争力提升路径：政策、技术与生态协同

要系统提升我国工业“双化协同”产品的整体国际竞争力，需超越单一赛道思维，构建覆盖政策、技术、产业、标准与商业模式的综合性突围路径。该路径旨在强化应用优势、弥补基础短板、激活生态潜能，推动产品体系从“被动跟随”向“主动塑造”转型。

1. 技术攻坚：实施“基础层-平台层-应用层”分层突破战略

筑牢基础软件与核心数据根基：设立工业绿色发展重大专项，重点攻坚 LCA 核心算法、碳管理引擎、CCUS 工艺仿真软件等“卡脖子”环节。鼓励采用“揭榜挂帅”机制，支持龙头企业联合高校院所共建**开源碳数据社区**，加速国产 LCA 数据库（如 CLCD、天工 LCA）的迭代与国际互认。推动大型国企、园区开放工业碳数据脱敏接口，为数据库注入高质量、中国特色的工业流程数据。

构建共性技术平台：支持建设国家级工业**碳数据空间**和双化协同数字底座，定义统一的数据接口、通信协议和安全标准。引导华为、阿里、腾讯等科技企业将 AI 大模型、数字孪生能力以平台化服务（PaaS）形式输出，赋能中小企业快速开发上层应用，避免重复“造轮子”。

推动应用深度耦合：鼓励**产品能力与行业 Know-How 深度融合**。对于数字-能碳协同优化类产品，重点支持其与 MES、ERP、SCM 等核心生产管理系统的深度集成；对于双化协同-场景包类产品，强化其在多能协同、碳能耦合方面的系统集成能力。通过“灯塔项目”示范，推广河钢数字 WiseCarbon 平台与生产工艺深度结合的模式。

2. 标准引领：构建“国内统一、国际互认”的标准生态

强化国内标准体系的先进性与统一性：加快制定**产品碳足迹核算、零碳工厂/园区评价、工业固废资源化**等关键国家标准，消除市场割裂。鼓励**精工互联、碳足迹**等头部企业将实践中验证有效的核算模型、数据规范转化为团体标准，并逐步升级为国家标准。

深度参与并引领国际规则制定：组建“中国工业双化标准出海联盟”，支持龙头企业、机构深度参与 ISO、IEC 等国际标准组织相关工作组。重点推动具有中国产业优势的领域（如**光伏碳足迹、再生资源数字化交易**等）的标准国际化，将国内先进实践转化为国际标准提案。

推动标准互认与合规衔接：建立与**欧盟 CBAM、美国清洁竞争法案**等国际碳壁垒政策的**应对与互认机制**。支持**上海环交所、北京绿色交易所**等机构开展国际对话，推动**中外碳核算方法学**的对接互认，降低出口企业合规成本。

3. 产业协同：打造“链主引领-集群发展-全球化服务”的生态网络

发挥链主企业的生态带动作用：鼓励**宁德时代、宝武集团、国家电网**等链主企业，将其成熟的**碳管理标准、供应链碳追溯体系**（如**欧冶云商绿链平台**）向上下游中小企业输出，形成“以大带小”的**协同减排和数字化升级**格局。

培育世界级产业集群与专精特新企业：在**长三角、粤港澳**等产业基础好的区域，规划建设“双化协同”特色产业园，集聚**碳管理软件、能源物联网、资源循环技术**等企业，形成**人才、技术、资本的聚集效应**。重点扶持一批在细分领域（如**蘑菇物联的空压站节能、易碳科技的 LCA 软件**）具有独特技术的“隐形冠军”。

构建全球化服务与合作网络：实施“**双化产品出海护航计划**”。鼓励**远景智能、金风科技**等企业依托其海外项目经验，将**零碳园区、智慧能源解决方案**打包成可复制的“交钥匙工程”输出至“一带一路”沿线国家。支持企业通过**并购、合资**等方式整合国际资源，快速构建**跨境服务能力**。

4. 模式创新：推动从“产品工具”到“价值服务”的范式转型

推广“产品+服务+运营”的融合模式：引导企业从**软件销售**向**价值订阅**转型。例如，推广**天合光能“零碳园区光储系统一体化运营服务”、阿里云“能耗优化算法订阅服务”**等模式，降低用户初始投入门槛，共享**长期减排收益**。

探索数据要素化与碳金融创新：推动**工业碳数据资产化**试点，探索基于可信碳数据的**质押融资、绿色信贷优惠**等金融创新。支持**上海环交所**等机构开发**碳期**

货等衍生品，鼓励碳管理平台嵌入碳资产风险管理和交易功能，使碳管理从成本中心转化为价值创造中心。

构建开放平台与开源生态：鼓励头部平台企业（如卡奥斯 COSMOPlat、树根互联根云平台）开放 API，构建开发者生态。借鉴开源模式，在基础软件层建立开源社区，吸引全球开发者贡献代码，快速迭代，形成生态壁垒。

通过上述路径的系统推进，力争实现：**三年内**，关键基础软件对外依存度显著降低，建成 2-3 个具有全球影响力的工业碳数据平台；**五年内**，在数字-绿色能源、资源循环等优势领域形成 3-5 个国际公认的“中国标准”，培育多家能够提供全球化服务的平台型领军企业；最终构建起 **“技术自主可控、应用持续领先、标准国际互认、生态开放繁荣”** 的工业数字化绿色化协同发展新格局。

第十章 趋势展望——融合化、智能化与价值化演进

一、协同演进趋势：从技术叠加到系统重构的产业生态融合

当前，工业“双化协同”正跨越单点技术应用的初级阶段，进入一个以“融合”为核心特征的系统性重构时期。这种演进并非各赛道趋势的简单加总，而是它们在相互作用下催生的产业生态级变革，具体表现为三大融合趋势：

技术路径的深度耦合与价值链重塑。各赛道间的技术边界日益模糊，催生出全新的复合型解决方案。例如，“数字-绿色能源”与“数字-碳管理”的融合，正从数据接口互通迈向底层算法融合，催生出能够同步优化能源成本与碳足迹的“能碳协同”智能中枢；而“数字-CCUS”与“数字-能碳协同优化”的结合，则使碳捕集系统从独立的末端治理设施，转变为嵌入核心工艺流程的智能化控碳单元。这种耦合正在重塑传统的产业价值链，推动供应商从提供单一产品转向提供覆盖“能源-碳-资源”的综合价值解决方案。

应用场景的边界消融与解决方案的一体化交付。市场需求的焦点正从采购离散的技术模块，转向寻求能够交付确定性绿色结果的整体方案。这驱动“双化协同-场景包”赛道成为价值的集成者和输出端。未来的零碳工厂或园区方案，将不再是光伏、储能、能碳平台等技术的堆砌，而是基于统一的数字孪生底座，实现“能源流、碳流、物质流、资金流”的动态优化与闭环管理。解决方案的成功标准，将从技术指标的达成，升级为全生命周期碳效成本的最优和综合竞争力的提升。

数据与标准的基础性作用凸显，驱动产业生态从“链式”协作走向“网状”共生。实现上述融合的前提，是构建跨赛道、跨组织的可信数据流通与标准互认体系。工业碳数据空间、产品碳足迹因子库、绿色氢认证标准等基础要素，将成为未来产业生态的核心基础设施。这将催生新的协作模式：企业不再局限于线性供应链合作，而是围绕共享的数据标准和平台接口，形成动态、网状的价值共创联盟。竞争的关键将从占有技术或设备，转向融入乃至主导关键生态网络的能力。

二、范式变革展望：从数字化赋能到 AI 原生驱动的新生态

超越技术融合层面，一场由人工智能（AI）驱动的更深层次范式变革正在酝酿。工业“双化协同”将从当前以流程自动化和效率提升为主的“数字化赋能”阶段，跃迁至“AI 原生”的新纪元。AI 将不再仅仅是优化工具，而是成为重新定义绿色技术路径、重塑产业生态的基础性力量。

这一范式变革的核心体现是产品与解决方案的 AI 原生重构。未来，将涌现出具备自主学习和决策能力的“碳效优化智能体”，它们能够基于实时数据和复杂算法，主动发现并执行超越人类经验的能碳协同策略；生成式 AI 将用于快速设计和模拟最优的零碳技术配置方案，大幅降低系统规划的门槛和周期；基于 AI 的预测性管控将使能源系统和生产流程实现从“响应”到“预见”的根本转变。

更深层次的影响在于产业生态的重塑。AI 原生环境将催生新的角色与协作模式。例如，可能会出现专业的“绿色算法模型供应商”，以模型即服务（MaaS）模式向行业输出核心 AI 能力；基于区块链和可信计算的数据空间将促进跨组织碳数据的安全共享与协同建模，打破数据孤岛；竞争焦点将从硬件设备或软件功能的比拼，转向算法模型的先进性、高质量数据的获取与治理能力以及跨领域知识融合的创新速度。

最终，这一范式变革要求**政策与治理体系的同步演进**。监管框架需要适应 AI 驱动下快速迭代的技术和商业模式，建立针对 AI 决策可解释性、算法公平性与数据安全的治理规则。同时，政策应鼓励建设开放共享的绿色 AI 基础设施，如行业级预训练模型和基准数据集，降低中小企业应用 AI 的门槛，防止技术鸿沟扩大。

展望未来，中国工业“双化协同”产业生态将在融合化、一体化的大趋势下，加速向 AI 原生的智能新生态演进。这将不仅极大提升减排增效的潜力，更有可能孕育出全新的产业形态和经济增长点，为全球工业绿色转型提供中国方案。

附录 1：工业数字化绿色化协同转型产品名录

（因产品数量较多且部分内容涉及企业商业信息与知识产权保护，名录的完整信息暂不对外公开，如需要详细材料，请联系工作组获取）

附录 2：联系方式与合作入口

碳达峰碳中和工作组（双碳组）是工业互联网产业联盟（AII, Alliance of Industrial Internet, www.aii-alliance.org）下设的专题工作组之一，于 2021 年 7 月在组织架构中正式设立，旨在汇聚工业企业、ICT/能源科技企业、运营商、高校院所、园区与研究机构等多元主体（“政产学研用”），把工业互联网、大数据、AI、标识解析、平台等数字技术与工业节能降碳、园区双碳治理、碳数据管理与绿色供应链贯通起来，推进工业领域“数字化绿色化协同（双化协同）”转型落地。工作组诚挚欢迎产业各界积极加入或开展各类合作，共同推动双化协同技术创新与产业落地，携手构建开放共赢的绿色数字生态。

联系人：

巴老师 13683298183 bachengfu@caict.ac.cn

王老师 13601058423 wangjingyuan@caict.ac.cn