



# 探索陆上风电新范式， 激发区域发展新动能

—《中国陆上风电开发利用创新模式研究与典型案例》摘编



CHINA ONSHORE WIND POWER

## 前言

在传统的工业发展范式下，能源特别是电力，长期被视作一项基础的成本与约束条件。区域发展规划往往优先考量市场、劳动力与交通等要素，电力保障则扮演着支撑与配套角色。相应地，过去中国的风电与可再生能源开发，也主要遵循一种“项目导向”或“发电导向”模式。这种模式的核心逻辑围绕“发电”本身展开，其关切的重点在于如何将绿色电力开发出来、如何降低其成本以及如何通过特高压等电网设施将其远距离输送出去。简而言之，这是一种“就发电论发电”的线性思维。

然而，随着三北等可再生能源富集区的绿电成本已具备显著优势，我们面临的核心问题已从“如何发出绿电”转变为“如何最大化绿电的价值”。为从根本上扭转传统逻辑，中国可再生能源学会风能专业委员会秘书长秦海岩先生创新性地提出了“以可再生能源为导向的区域经济社会发展新模式”(Renewable Energy-Oriented Development, ROD)。这一模式意图实现从“发电导向”到“产业导向”与“发展导向”的战略性转变。

在能源基金会的支持下，项目组以中国风电行业的先进实践经验与案例为基础，对 ROD 模式的内涵进行了进一步阐释与深化。ROD 模式不再将绿色电力视为发展的终点，而是将其重新定义为区域经济高质量发展的起点与核心杠杆。它旨在通过极具竞争力的绿电优势，吸引和培育高载能产业，将能源资源就地转化为产业竞争力，从而撬动整个区域的产业结构升级与经济社会可持续发展，走出一条“以绿电赋能产业，以产业激活区域”的新路径。



# CONTENTS (目录)

01 — 前言

05 — 中国风电产业发展重心从“用的起”向“用的好”转变

13 — 可再生能源为导向的区域经济社会发展新模式（ROD 模式）  
为陆上风电发展提供新范式

29 — ROD 模式推广政策建议

33 — ROD 模式的典型案例





01

中国风电产业发展重心从“用的起”  
向“用的好”转变





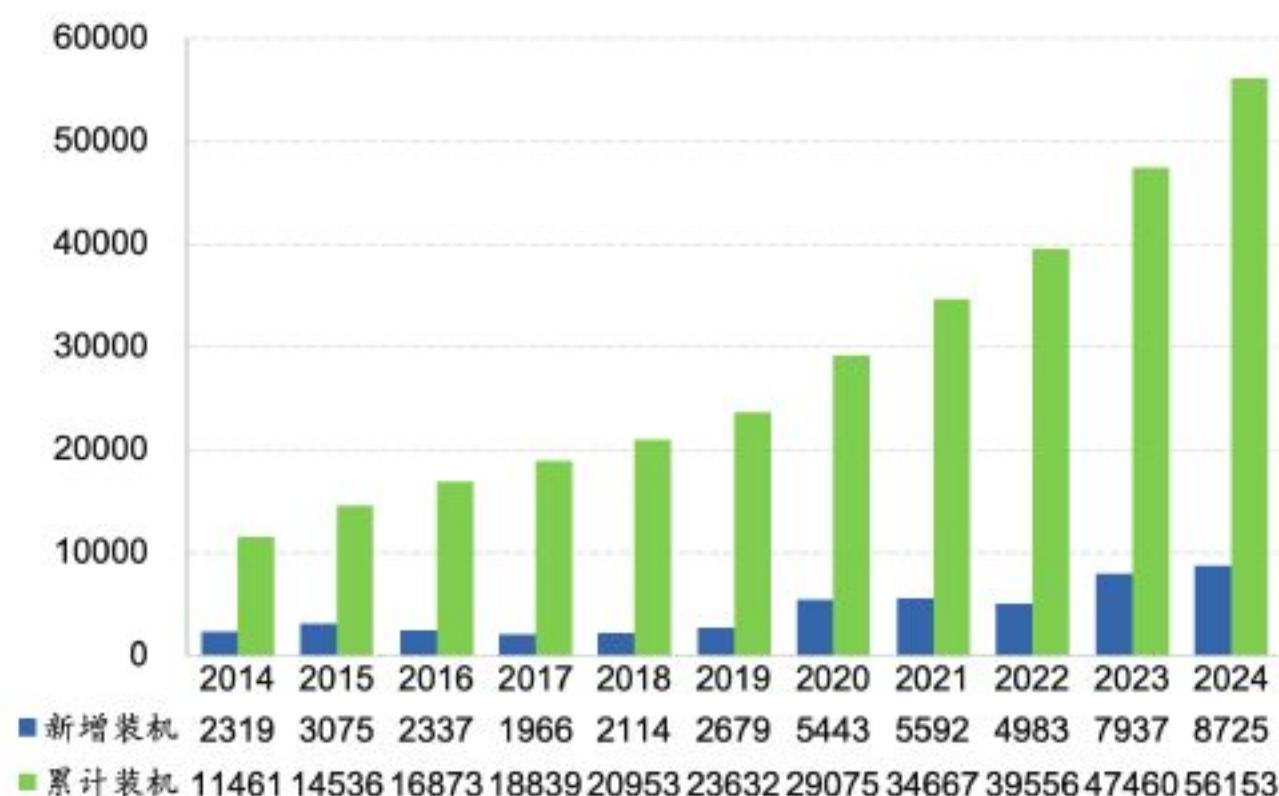


## 中国风能资源丰富，风电发展形成多元化格局

中国陆上风能资源（140m 高度）技术经济可开发量约为 101.8 亿千瓦。其中，三北地区约 77.3 亿千瓦，中东南部地区（含港澳台）约 24.5 亿千瓦。中国海上风能资源（150m 高度，离岸 300km）技术可开发量约 30.8 亿千瓦，其中近海区域（水深在 30-50 米）的海上风能资源可开发量约 10.4 亿千瓦，深远海区域（水深 >50 米）的海上风能资源可开发量约 20.4 亿千瓦。

截至 2024 年底，中国风电累计装机超 5.6 亿千瓦，陆上风电装机规模超 5.1 亿千瓦，已成为最经济的电源。2024 年，全国六大区域的风电新增装机容量占比分别为西北 30.5%、华北 25.6%、华南 15%、东北 14.7%、华中 9.8%、华东 4.5%。“三北”地区的风电新增装机容量占全国的 71%，中东南部地区新增装机容量占全国的 29%。

单位：万千瓦



2014-2024中国风电新增和累积装机规模

数据来源：CWEA



数据来源：CWEA

整体上，中国陆上风电受资源条件、电网配套及政策引导三重驱动已形成“大规模集中开发+分散式补充”的多元格局。西北地区（如内蒙古部分地区、新疆、甘肃）依托广袤戈壁与草原，风能资源极为丰富，集中了500~1000MW及以上的超大型陆上风电场，但大规模风电场也容易面临“弃风限电”问题。华北及东北地区（如河北、辽宁）多为100~500MW的中型风电场，部分地区兼顾资源开发与临近负荷中心，如河北张家口坝上风电支撑京津冀用电。中东南部（如湖北、安徽、云南）则以10~100MW的中小型项目为主，风电项目结合地形以多能互补（如云南“风光水”协同）的形式满足本地与周边能源需求。





## 风能资源端与消费端错配成为关键矛盾

“三北”地区是我国风能资源最为丰富的区域之一，涵盖了多个风能较大区。例如，黑龙江和吉林东部以及辽东半岛沿海，风能密度在  $200\text{W/m}^2$  以上，大于等于  $3\text{m/s}$  和  $6\text{m/s}$  的风速全年累积时数分别为  $5000 \sim 7000$  小时和  $3000$  小时。此外，从三北北部到沿海，风能密度在  $150 \sim 200\text{W/m}^2$  之间，大于等于  $3\text{m/s}$  的风速全年累积为  $4000 \sim 5000$  小时，大于等于  $6\text{m/s}$  的风速全年累积为  $3000$  小时以上。

但是，这些地区的经济发展相对滞后，工业基础较为薄弱，电力消费能力有限。以西北地区为例，自西部大开发战略实施以来，其经济社会发展取得了显著成效，但工业基础仍显薄弱、产业结构同质化问题突出，且与东部发达地区的差距呈现扩大态势。

全国主要地区第二产业增加值与占比

	全国	西北	华北	东北	华东	华南	华中	西南
第二产业增加值（亿元）	479035	31957	53976	20610	195007	64810	61213	51456
第二产业增加值占全国比例		6.60%	11.27%	4.30%	40.71%	13.53%	12.78%	10.74%



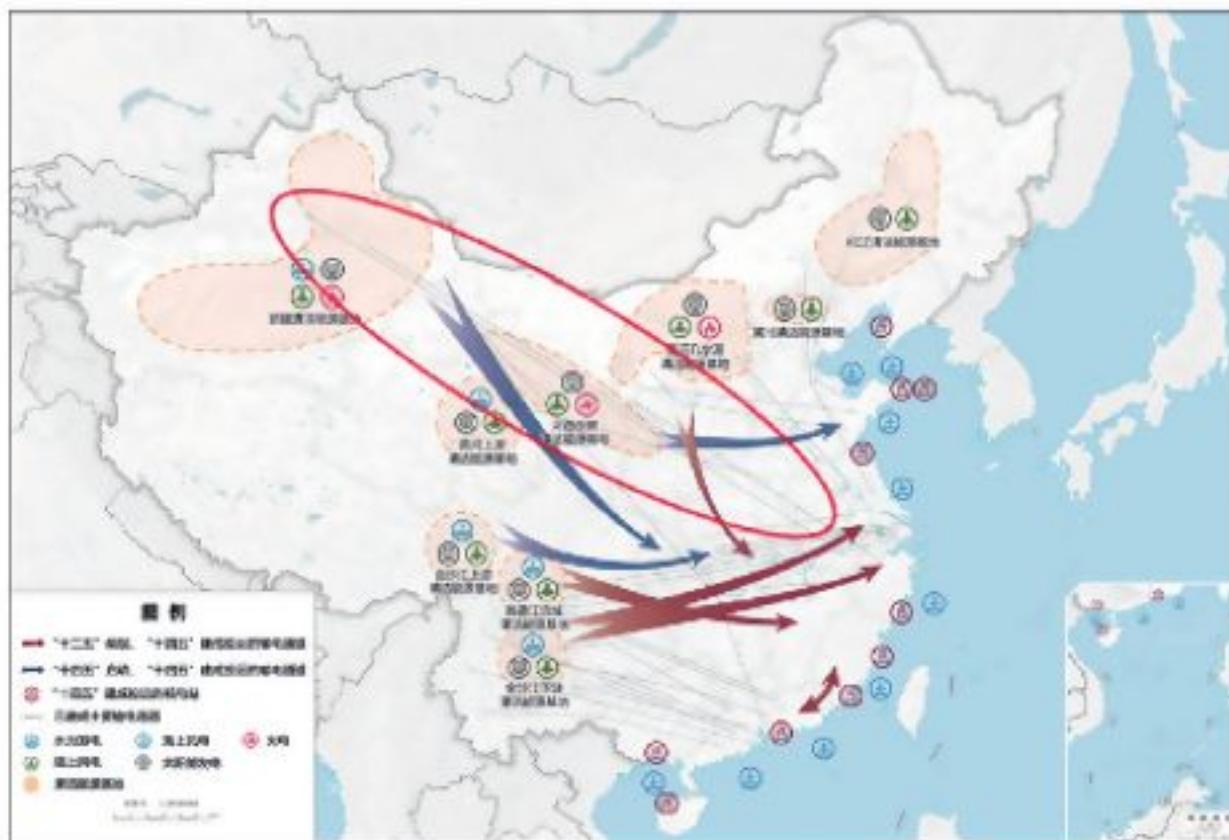


## 特高压外送通道存在建设滞后与外送能力受限等问题

从输电通道的外送能力分析，依据国家电网西北分部规划，至“十四五”末（2025年底），西北地区电力外送规模预计将达到1.19亿千瓦（119GW）。河西走廊作为典型的廊道型输电通道，其物理传输容量已逼近饱和阈值。在此条件下进行保守测算：假定不新增输送通道、不考虑火电与太阳能电力外送，并将通道容量全部用于风电输送，则至2030年，现有通道至多可消纳西北地区约40%的风电装机容量。这意味着，即使在最理想化的情景下，仍有至少60%（约150GW）的风电无法实现外送。

即使考虑新增通道建设因素，其增量与时效性仍面临挑战。目前，特高压通道建设周期通常需2-2.5年。“十五五”期间（2026-2030年）规划新增通道容量约32GW。然而，该增量仅相当于西北地区一年的风电规划装机增量。可见，通道建设的速度仍显著滞后于新能源装机的快速增长需求。

若此状况持续，新能源企业投资将面临重大风险，进而对中国新能源产业的健康可持续发展构成严峻挑战。



“十四五”大型清洁能源基地布局示意图

数据来源：国家能源局



## 电力全额外送面临成本压力

从电力外送的角度分析，西北地区面临显著的资源禀赋与负荷中心逆向分布矛盾：区域内新能源资源富集，但本地消纳能力严重不足，且难以实现有效的区内省际电力互济。因此，大量富余电力需通过远距离输送至工业发达、电力负荷充足的东南部地区。

然而，长距离输电的经济性面临两大核心挑战。一是长距离输电工程造价高企，输电距离的延伸直接导致线路投资、土地征用及建设成本大幅攀升。二是长距离输电损耗显著，线损率是衡量电网运行效率的关键技术经济指标。以南方电网“西电东送”工程中的天广、高肇、兴安三条直流线路及配套交流通道的实证数据为例，其输电损耗与输送功率呈显著正相关——即输送功率越大，电能损耗越高。交流线路输送功率每增加 1GW，输电损耗率增加 1%~2%；直流线路输送功率每增加 1GW，输电损耗率增加 3%~4%。

综合考量高昂的工程造价与不可忽视的线损成本，依赖特高压线路将西北新能源电力进行全额、远距离外送，其整体经济性面临严峻挑战。

## “中东南部”地区风电开发受限，模式创新滞后

尽管中东南地区具备风电就地开发、就近利用的优势，但由于存在核准周期长、建设用地限制多、融资和建设成本高、经济性较差等问题，该地区开发规模和速度一直低于行业预期。

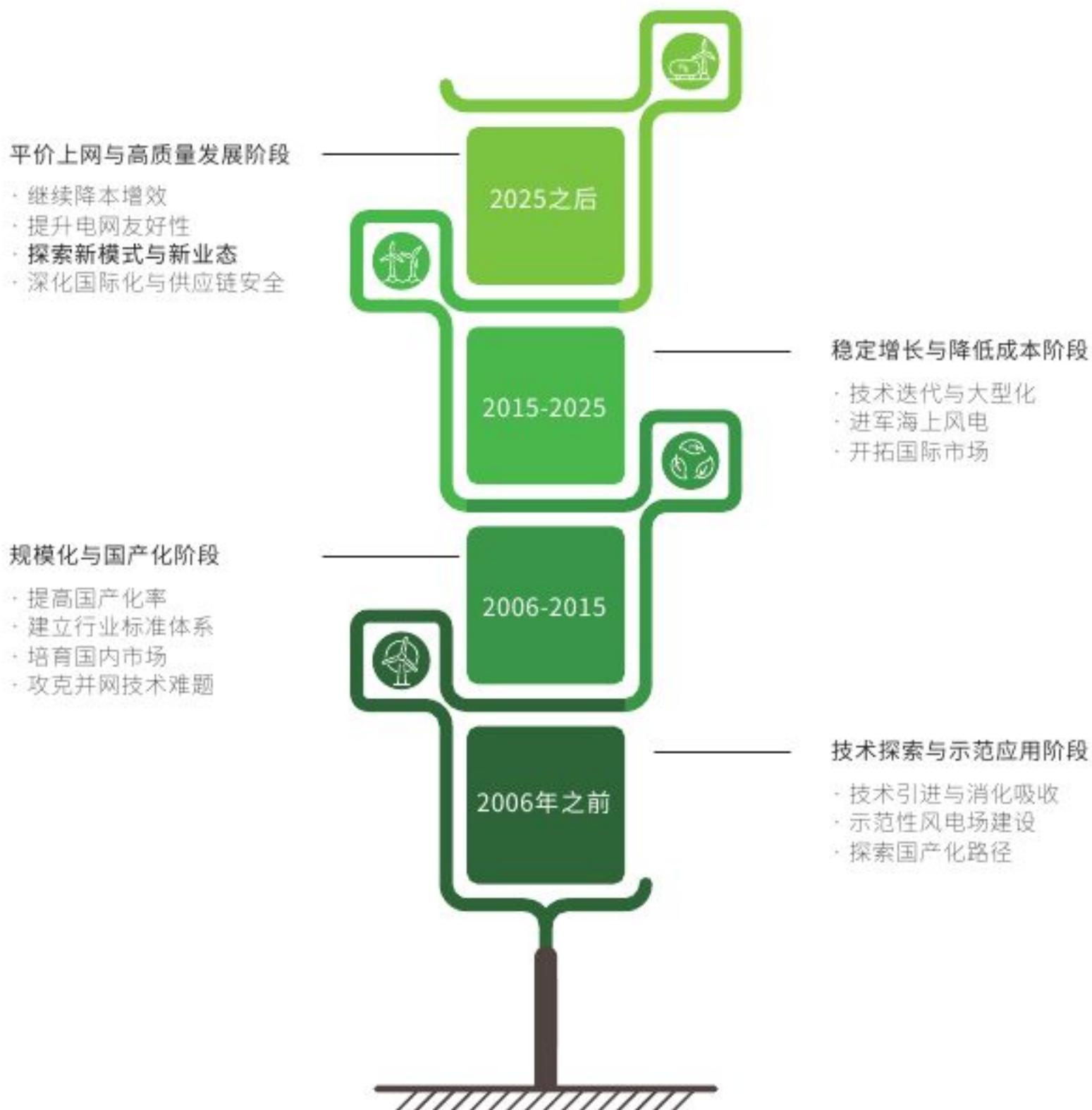




## 中国风电产业进入高质量发展阶段，需探索新模式与新业态

在“双碳”目标的指引下，高比例新能源接入已成为中国电力系统未来发展的必然趋势与核心特征，其中陆上风电作为关键组成部分，发挥着至关重要的作用。当前，陆上风电规模领先，技术成熟，度电成本持续下降，产业链完整，经济社会效益凸显，已经成为中国经济社会发展的重要支撑。

大力发展战略性新兴产业是稳妥推进能源供给革命的关键举措。积极发展清洁能源，推动经济社会绿色低碳转型，已经成为国际社会应对全球气候变化的普遍共识。风电等可再生能源对于优化能源结构、保障能源安全、推动经济社会绿色低碳转型具有重要意义，是实现国家碳达峰、碳中和任务目标的核心支撑产业之一。“十五五”期间风电产业主要发展重心将从“用的起”向“用的好”转变。



## 02

可再生能源为导向的区域经济社会发展新模式  
(ROD 模式) 为陆上风电发展提供新范式







以可再生能源为导向的区域经济社会发展新模式 (Renewable Energy-Oriented Development, 以下简称 ROD 模式) 是以可再生能源开发为引导, 以适于可再生能源特性的新型电力系统为支撑, 以新质生产力和优质产业发展为核心, 通过低价绿色电力支持产业高质量发展, 进而撬动区域经济社会整体协调进步的新模式。

ROD 模式的核心是以风电等可再生能源资源开发为起点, 延伸绿色产业链, 深度融入社会经济生活的综合性发展理念。在可再生能源资源富集地区, 通过大力发展新能源产业, 依托绿电制备氢、氨、醇等方式, 为传统工业开辟贯穿全产业链的零碳新路径, 构建零碳工业体系, 推动区域经济发展。

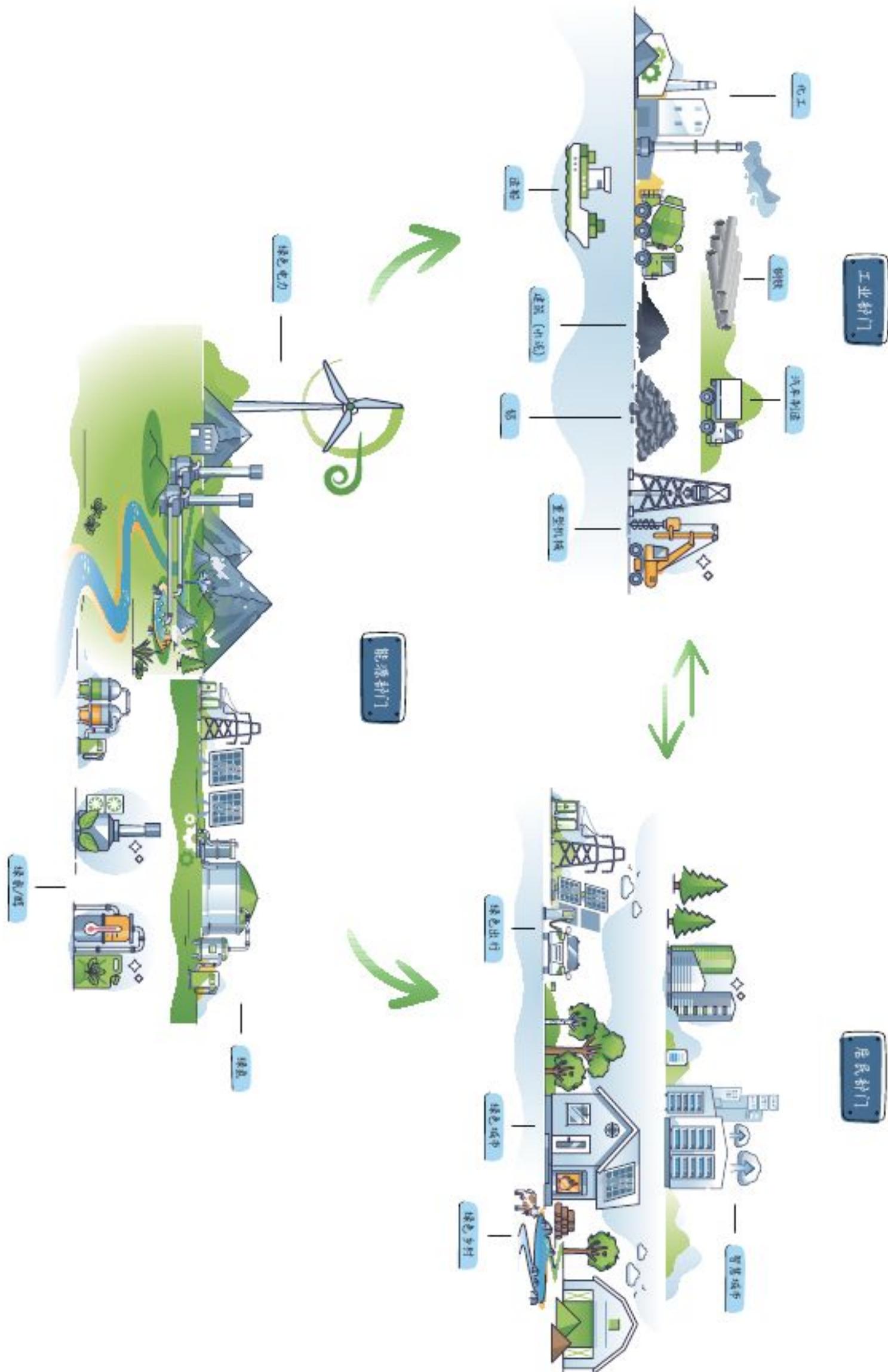


零碳园区是“ROD 模式”的一种具体表现形式。零碳园区所需的电力一般来自附近的零碳的风电场和光伏电站等。产业园内的工业企业, 采用零碳材料、零碳技术进行生产制造, 助力产业零碳工艺转型升级, 实现绿色发展。





ROD模式示意图





## 专 栏

本报告参考 EOD、TOD 和 IOD 等模式，并结合可再生能源发展特点，提出了 ROD 发展模式。

### EOD 模式简介

EOD 模式，全称是以生态环境导向的开发模式（Ecology-Oriented Development），其官方定义出自 2020 年《关于推荐生态环境导向的开发模式试点项目的通知》：是以生态文明思想为引领，以可持续发展为目标，以生态保护和环境治理为基础，以特色产业运营为支撑，以区域综合开发为载体，采取产业链延伸、联合经营、组合开发等方式，推动公益性较强、收益性差的生态环境治理项目与收益较好的关联产业有效融合，统筹推进，一体化实施，将生态环境治理带来的经济价值内部化，是一种创新性的项目组织实施方式。

### TOD 模式简介

TOD 模式，是指以公共交通为导向的开发模式（Transit-Oriented Development），最早由美国城市及建筑设计师彼得·卡尔索普（Peter Calthorpe）提出。

TOD 模式是一种以可持续性和宜居性为发展目标，以集约发展的多中心城市空间网络结构和大运量公共交通主导的交通系统为手段，城市土地利用与城市交通发展紧密结合，最终形成与自然环境要素平衡共处、布局紧凑、功能复合、环境健康、社会公平和富有活力的城市综合发展模式。TOD 模式是指以公共交通为导向的开发模式，以火车站、机场、地铁、轻轨等轨道交通及巴士干线等枢纽站点为中心，将出行、居住、工作、购物、休闲、娱乐等功能集中于一体，形成高效、集约、舒适、绿色的城市空间。

### IOD 模式简介

IOD 模式，即以产业和创新为导向的开发模式（Industry/Innovation Oriented Development）。IOD 的内涵是以“产业基础高级化”和“产业链现代化”为总体指导思想，以促进产业高质量发展为核心诉求，以区域价值提升和产业导入为重要任务，以产业和人口的双集聚为根本目的，对片区土地资源和城市功能进行科学布局和统筹安排，从而实现产业合理布局、土地高效利用和人才安居乐业。



## ROD 模式的意义

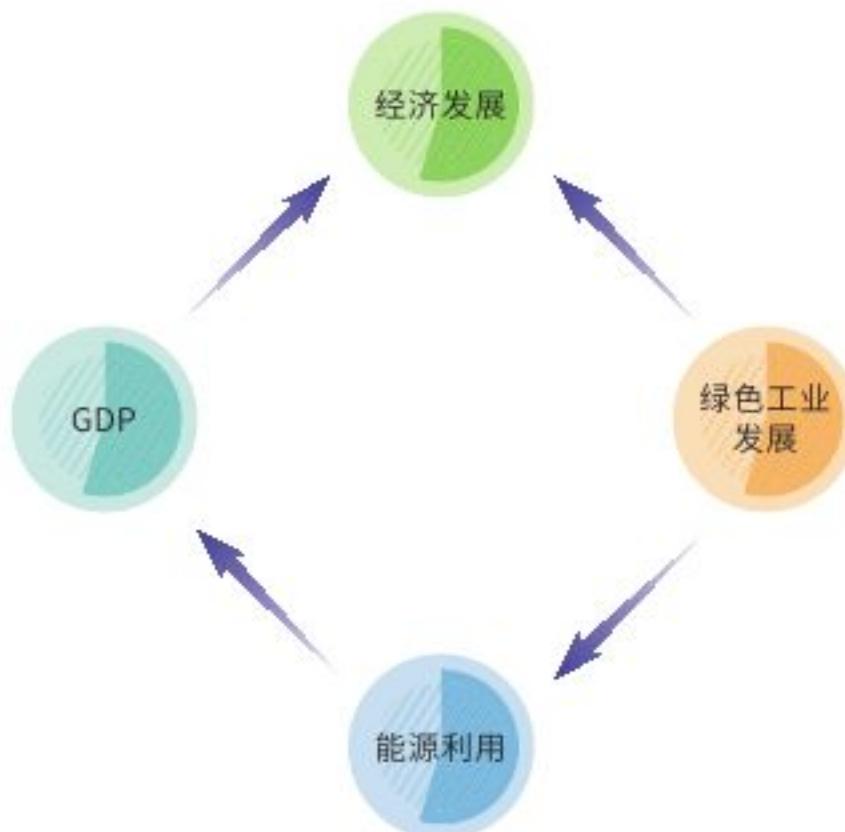
ROD 模式作为一种创新性的区域发展范式，以大规模、低成本绿色电力为核心引擎，系统性地整合能源开发、产业升级与电力系统，是培育新质生产力、盘活绿色经济的全新路径之一。它是破解可持续发展困局的系统性解决方案，是驱动区域经济绿色低碳高质量跃升的核心引擎，更是构建新型能源体系和现代产业体系的战略支点。

可以根本性破解“弃风限电”难题。通过前瞻性地规划与引入高载能产业（如电解铝、绿氢、数据中心、先进材料制造等）和战略性新兴产业（如高端装备制造、新能源材料、集成电路制造等），直接在风电场周边形成庞大、稳定的绿色电力需求池。

可以最大化释放风电开发潜力。ROD 模式通过就地创造大量需求，可突破这一物理和机制限制。在典型的风能资源富集区域实施 ROD 模式，其可开发的风电装机容量潜力可比当前受限于消纳能力的规划规模提升 50% 以上。

可以推动能源融合与新型电力系统构建。ROD 模式通常结合当地资源禀赋，协同其他可再生能源，形成多能互补的清洁能源供应体系，增强了电力系统的灵活性和稳定性，更好地匹配产业负荷需求。

可以驱动高质量产业转移与区域经济转型升级。ROD 模式通过稳定、低廉的绿色电力，吸引高载能产业和能源密集型高科技产业进行战略性转移，将能源优势直接转化为产业优势，实现“能源红利”就地转化，避免能源输出地沦为单纯的“资源输出地”和“产业空心化”。



ROD模式促进社会经济发展示意图

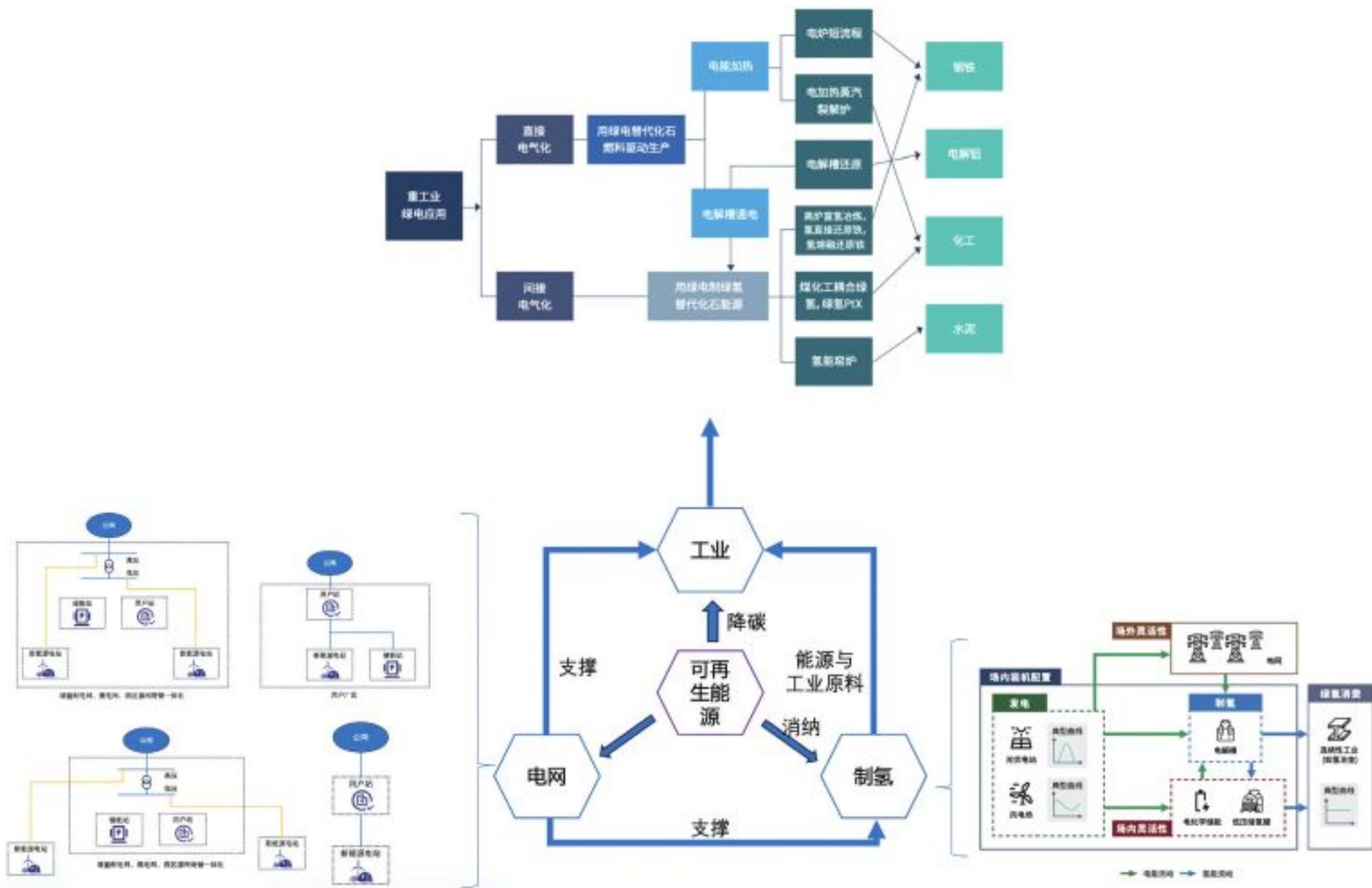


## ROD 模式的发展思路

ROD 模式通过“源 - 网 - 荷 - 储”的深度耦合，构建了一个多环节协同的低碳化系统框架：

在能源生产端，一方面，风能、太阳能等可再生能源通过规模化开发形成基础能源供给，并依托智能电网实现高效传输与灵活消纳，有效缓解间歇性问题，为工业体系提供稳定、清洁的电力支撑。另一方面，通过电解水制氢技术将富余绿电转化为绿氢，既可作为工业原料用于合成氨、甲醇等化工产品，也可作为高能量密度储能介质，提升能源系统调节能力。

在能源消费端，工业环节作为关键应用领域，通过可再生能源直接替代化石能源驱动生产流程，降低碳排放强度，实现绿色转型。





## ROD 模式的发展思路

### 1. 可再生能源发展是基础

可再生能源的发展需构建多层次协同体系：

- 在输入层，需针对风电 / 光伏的间歇性特征，分时段匹配储能技术；
- 调节层需强化调峰电源的灵活性，优先消纳风光电力的同时，通过电解水制氢转化富余绿电；
- 控制层应依托智能调度平台整合气象预测、负荷需求等多元数据，动态优化运行策略；
- 输出层需保障电网稳定接入与绿电高效消纳，既要通过特高压外送通道提升跨区域输电能力，也要推动电解铝、数据中心等高载能产业就近消纳绿电；绿氢制备需同步突破电解效率、储运成本等产业链瓶颈，实现氢能在交通与化工领域的规模化应用。整体需通过“源 - 储 - 网 - 荷”全链条协同，兼顾系统安全、经济性与低碳目标。





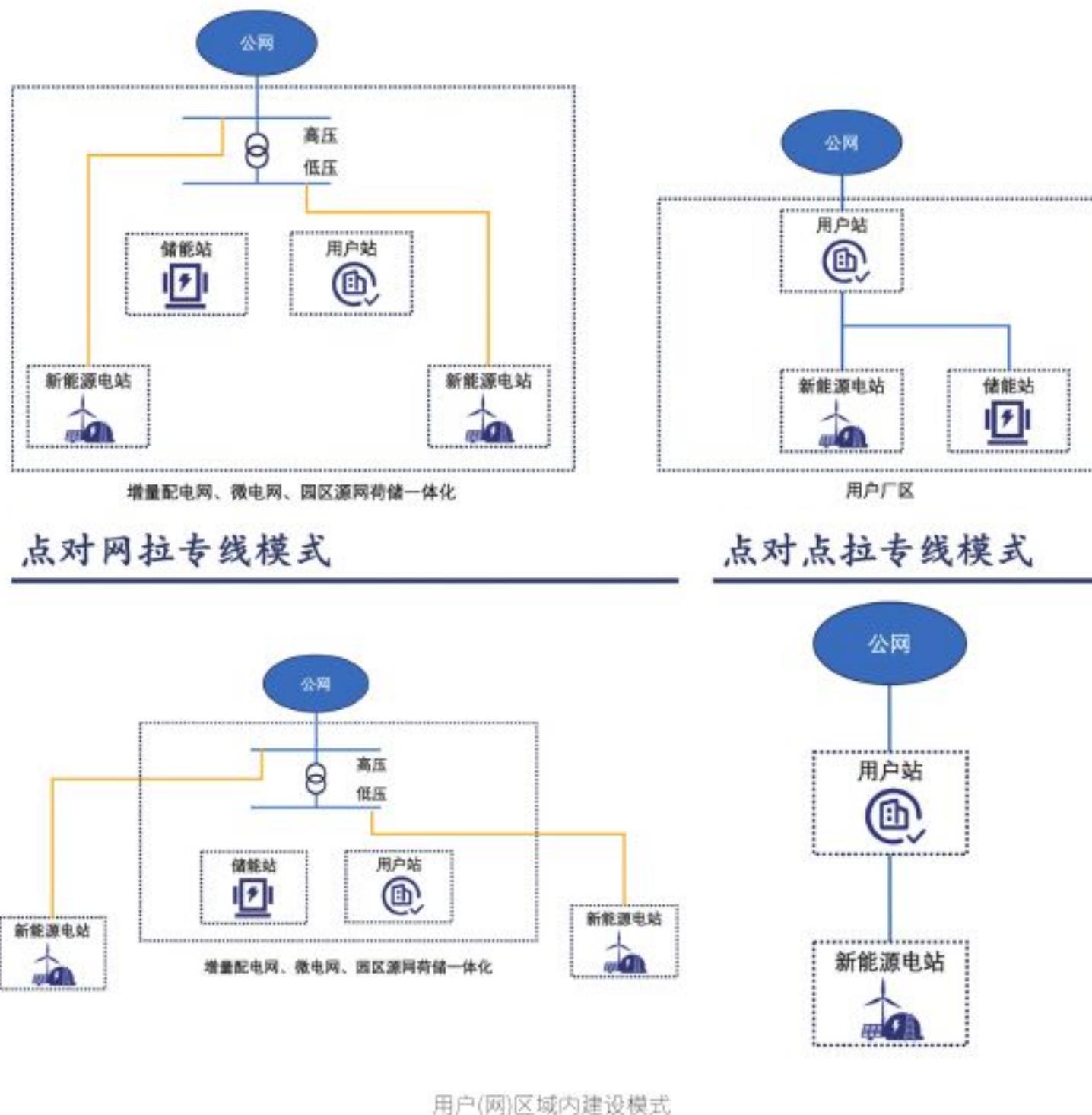
## 2. 电力系统是关键

电网提供三种不同类型的解决方案：

针对区域场景对区域场景，可采用用户（网）区域内建设模式，在用户或增量配电网、微电网、园区级源网荷储一体化区域内建设新能源电站，为用户（网）供电。

针对独立场景对区域场景，可采用点对网拉专线模式，在增量配电网、微电网、园区级源网荷储一体化区域外新建新能源电站通过建设专线向网内负荷供电。

针对独立场景对独立场景情况，可采用点对点拉专线模式，在用户区域外建设新能源电站，通过建设专线给用户供电。





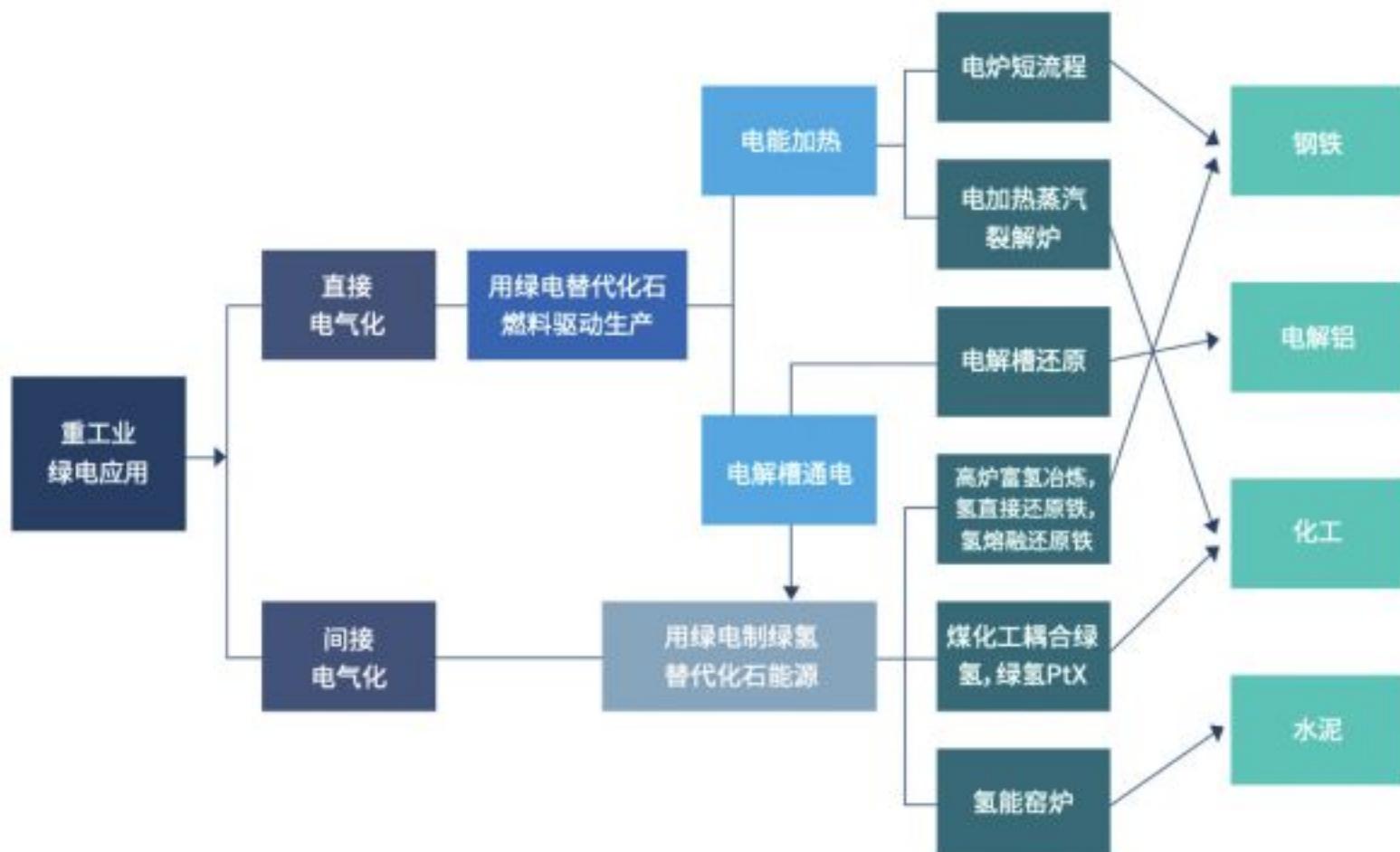
### 3. 工业消纳体系是核心

在直接电气化中，绿电可以通过两种方式来替代化石燃料驱动生产过程：

首先，工业生产流程及化学反应所需要的温度可以通过绿电加热来提供，这包括在钢铁短流程工艺中所使用的电炉技术，及化工行业中所使用的电加热蒸汽裂解炉。

其次，在工业领域运用电解技术生产时可通过绿电来驱动电解槽，常见的电解槽还原氧化铝的制铝工艺就是其中一种做法。而在间接电气化中，绿电可作为最基础的生产资料用于驱动电解槽生产零排放的绿氢，再将绿氢用于工业生产中，由此来替代化石能源。

目前，绿氢已经可以作为替代运用于包括钢铁、化工、水泥等多个生产场景中，这其中包括在水泥生产中以绿氢为燃料的氢能窑炉。未来，随着绿氢产业链的完善以及工业技术的进步，绿氢在工业领域将迎来更大的发挥空间。





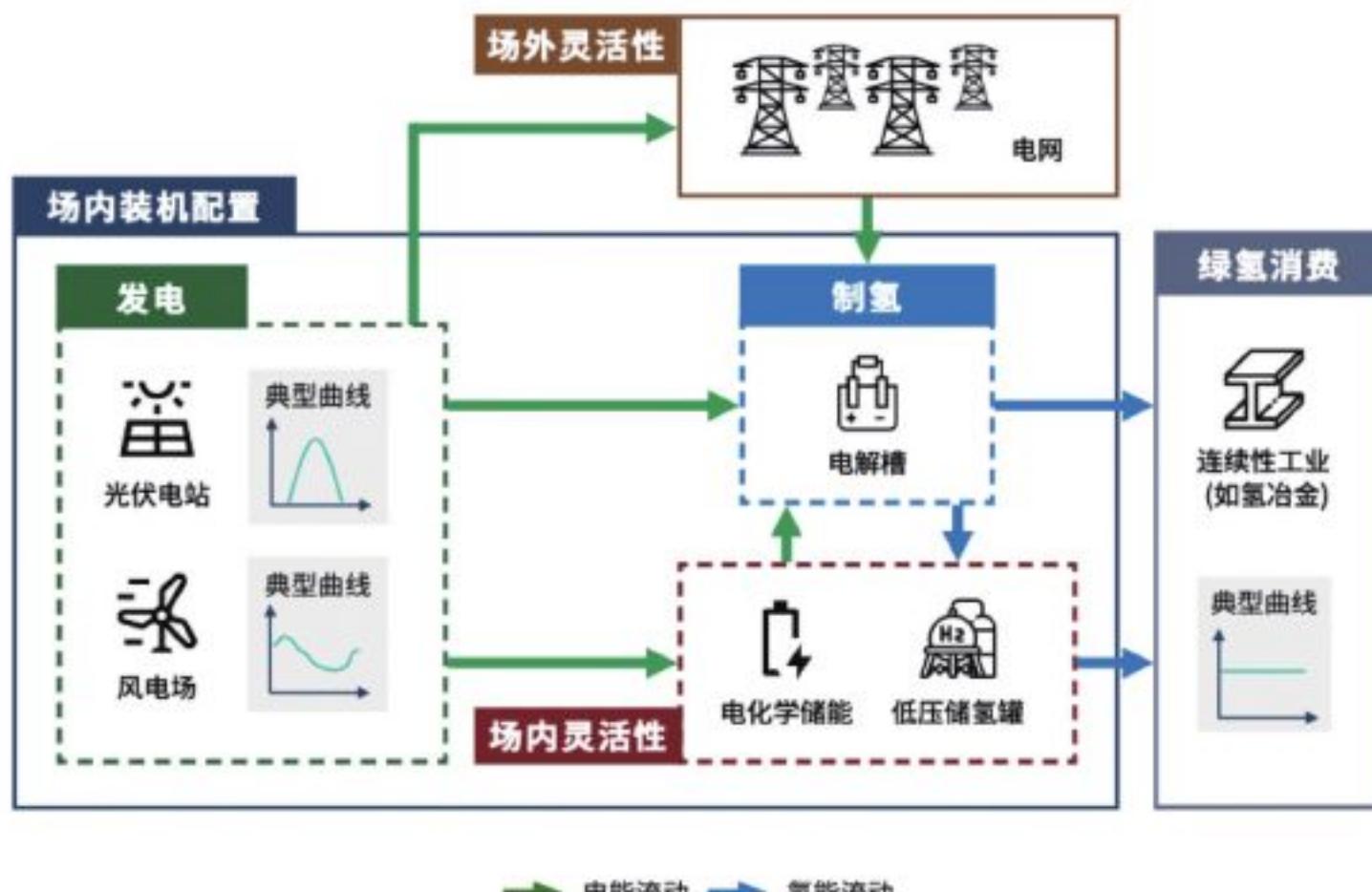
#### 4. 制氢是体系重要支撑

对于难以完全实现电气化的终端用能部门，通过氢能进行温室气体减排尤为关键：

从供给侧看，绿氢生产即其制备所需的可再生电力将主要依托光伏发电和风力发电，其发电出力具有间歇性、波动性、随机性，发电设备的利用小时数较低，日内功率波动幅度大。

而从消费侧看，绿氢在工业等场景中的应用通常对连续性和稳定性具有较强需求，以满足生产过程的安全性和工业品经济性。因此，绿氢项目需要借助电网交互、电化学储能、储氢等必要的技术手段，寻求新能源发电装机、制氢电解槽装机和下游用氢需求之间的平衡点，实现电力系统、氢能系统和终端消费的均衡与协同发展。

从绿氢项目业主的投资与运营角度看，存量项目业主在场外灵活性配置方面最关注上网电价调整趋势，增量项目开发商还重点关注上网电量限制的变化情况；在场内灵活性配置方面，项目业主宜预留好场内灵活性再开发的空间与预案，为中远期灵活性供需关系变化留好应对空间。



新能源制氢并网型项目

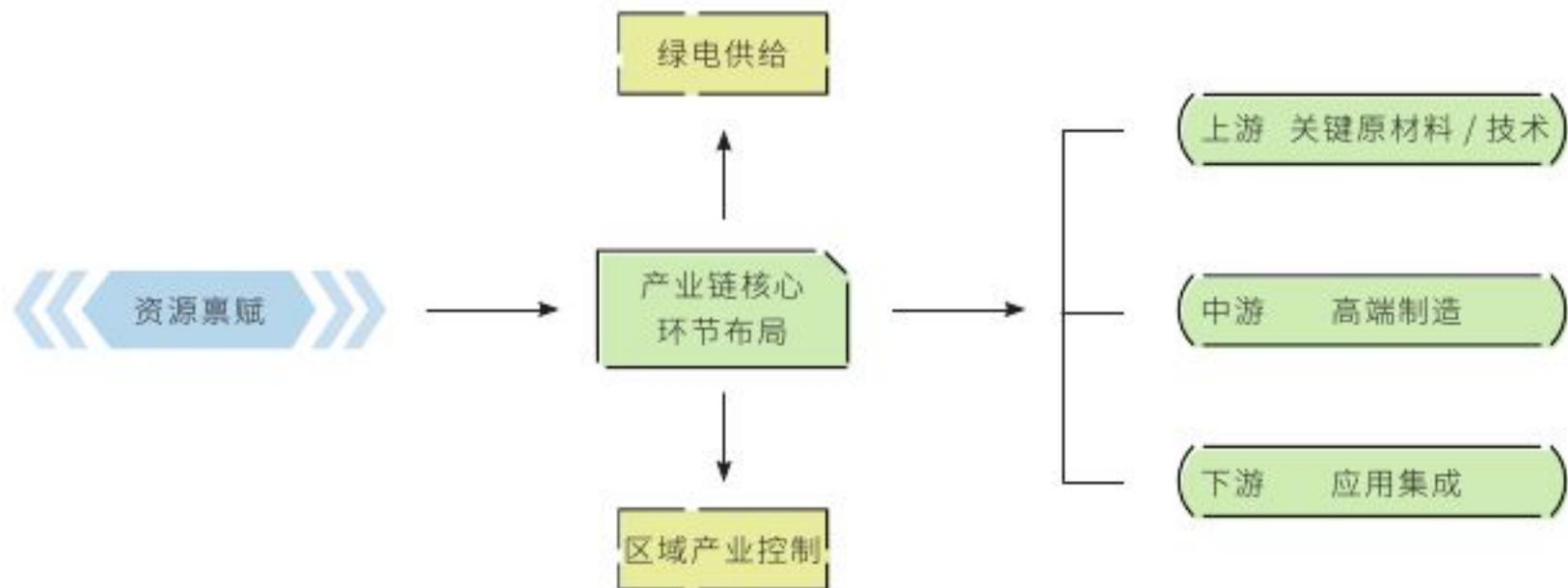


## 打造 ROD 新模式的实施路径

### 1. 产业链核心环节布局

- 聚焦高附加值、强关联性的关键环节纵向整合（如上游原材料→中游核心部件→下游集成应用），形成上下游技术协同与资源闭环；
- 横向耦合互补性产业（如绿电供给与高载能制造），实现能源-生产-创新的空间高效匹配。
- 这种布局不仅强化了区域产业链的内生韧性、成本竞争力和绿色溢价能力，更将资源禀赋转化为产业控制力，推动区域从被动承接产业转移转向主动定义产业生态规则，最终奠定可持续竞争优势的基石。

产业链核心环节布局是 ROD 模式落地的战略中枢，其核心意义在于通过精准构建区域产业生态的“骨架系统”



### 2. 高载能企业引入

高载能企业引入与培育是 ROD 模式落地的价值转化枢纽，其核心意义在于将区域清洁能源优势转化为实体经济竞争力。高载能企业项目如低碳、近零碳钢铁项目普遍面临成本较高的挑战。项目引进过程中采用不同转型路径搭建项目级经济性模型，评估项目净现值、回报周期等指标。分析并量化政策、需求侧、金融等各方支持对项目财务表现的影响，形成多方合力的综合解决方案，可以作为高载能企业投资的参考；同时，动员多个相关方，共同构建有利条件，推动形成有助于钢铁行业低碳发展的生态系统。

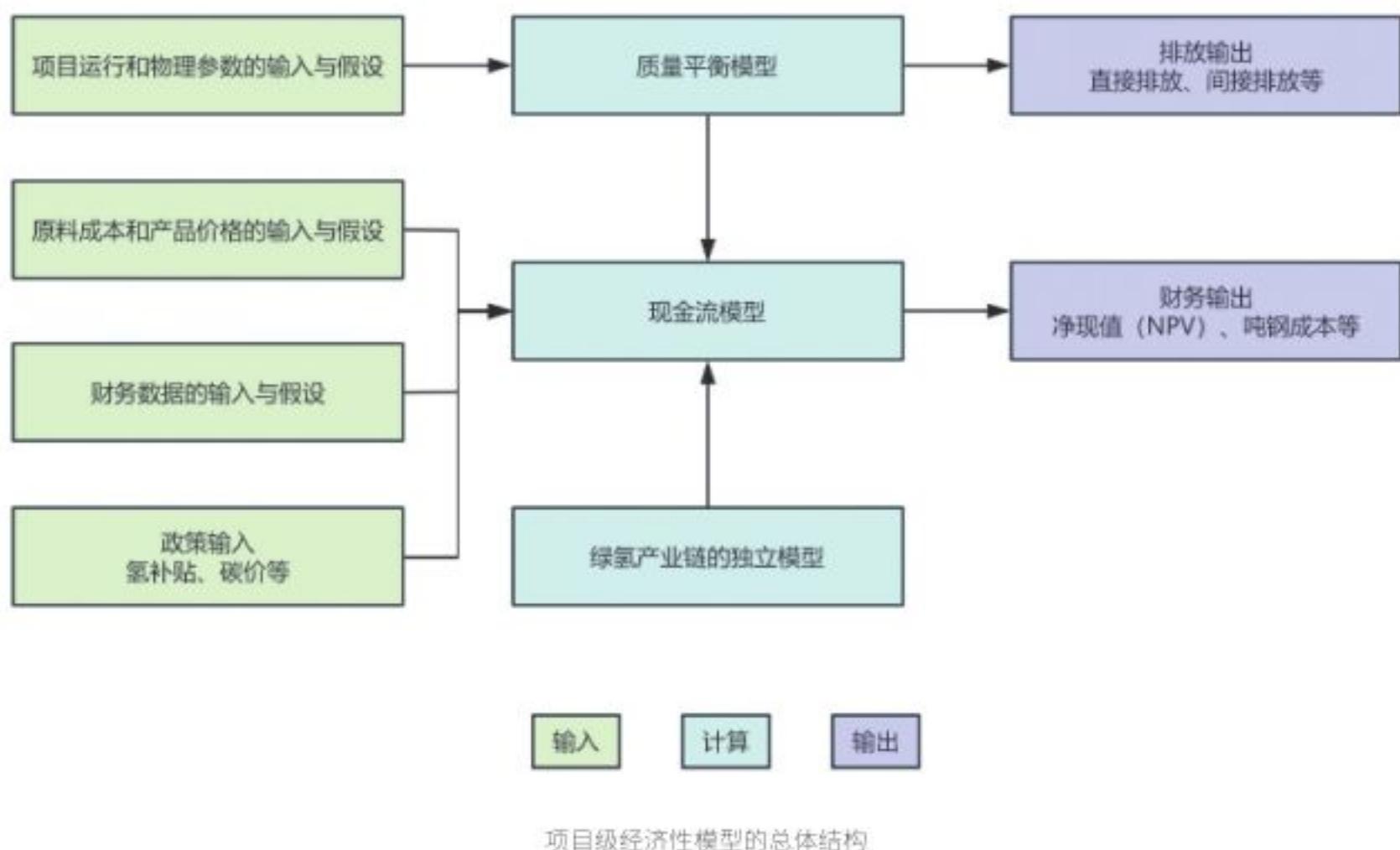
净现值 (NPV) 是一种反映项目获利能力的指标，考虑了未来资金的时间价值，其值越大，项目的获利能力



也越大，但在项目投资额相差较大时，无法判断方案的优劣。公式为

$$NPV = \sum_{n=0}^T F_n (1 + D)^{-n} T$$

式中  $T$  表示寿命周期； $F$  表示第  $n$  年净现金流量（第  $n$  年收入 - 第  $n$  年支出）； $D$  表示贴现率。

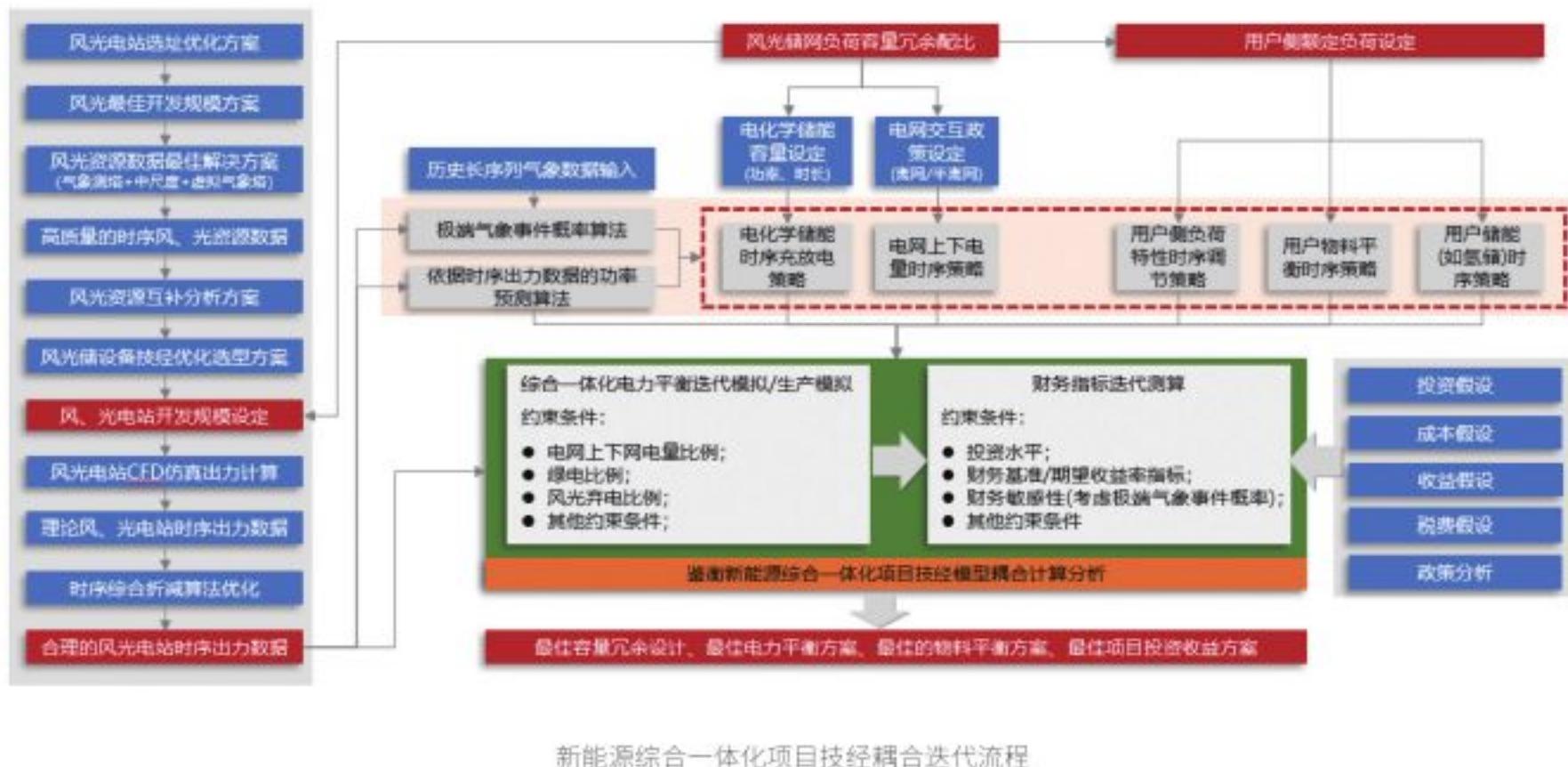


### 3. 供给侧与需求侧配置

通过供给侧与需求侧双向协同优化，构建新能源综合一体化项目的动态迭代框架。

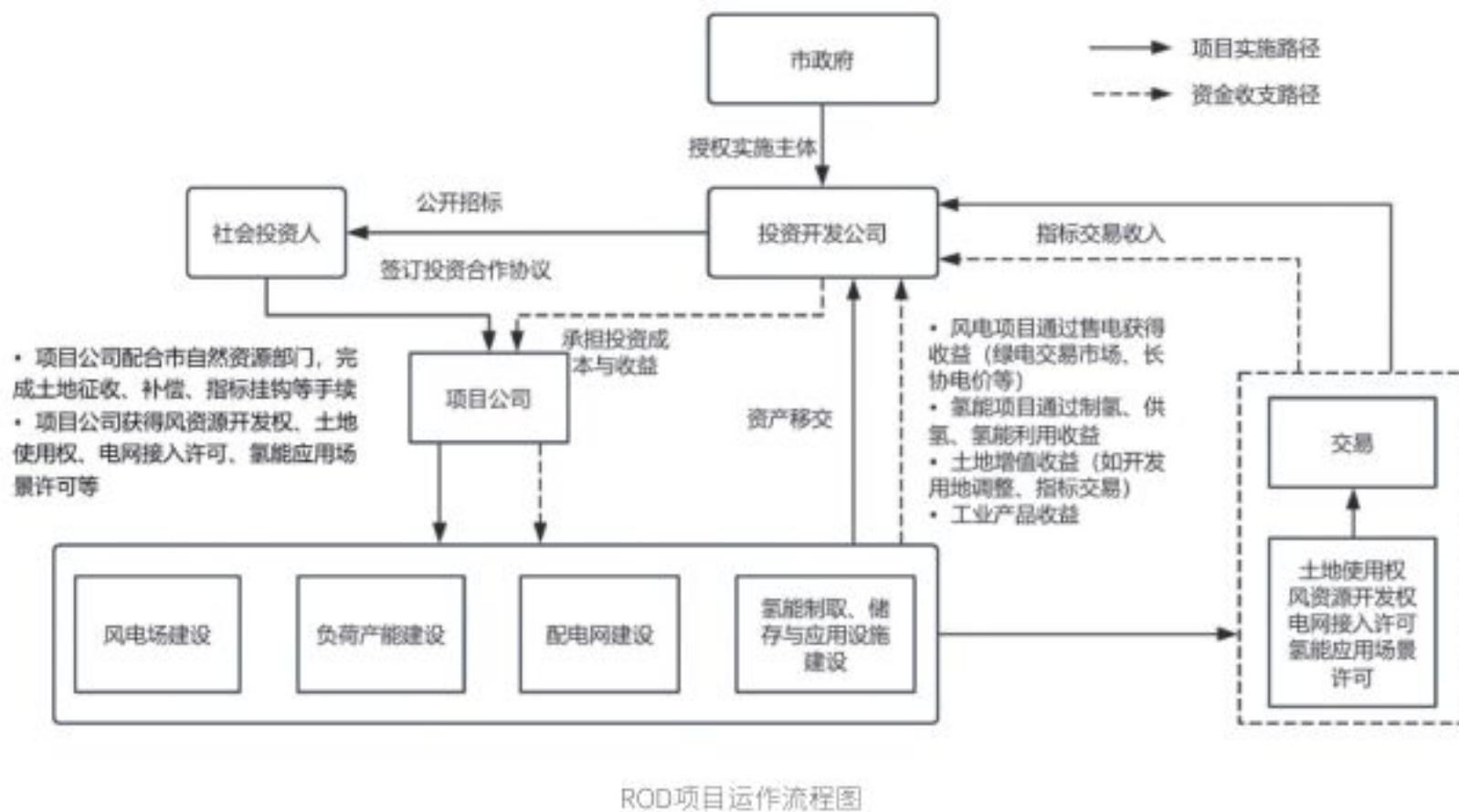
· 在供给侧，依托风光电站选址优化方案与风光储容量冗余配比，系统性整合资源开发与储能配置：基于高精度风、光资源数据与互补分析，匹配设备选址与开发规模，并通过储能的冗余设计（如电化学储能、氢储能）平抑出力波动；同时，引入极端气象概率算法与功率预测模型，动态调整风光储联合出力策略，确保电网上下网电量比例、绿电占比等约束条件达标。

· 需求侧则聚焦用户侧负荷时序调节与物料平衡策略，利用负荷特性分析制定分时储能充放计划（如低电价时段储电、高负荷时段释能），并通过用户侧储能系统与电网调度平台联动，实现电力供需的实时匹配。



## ROD 项目的实施流程

- 政府授权投资开发公司作为项目实施主体，全面负责实施项目；
- 投资开发公司以公开招标方式选择社会投资人，与中标的的社会投资人签订《投资合作协议》，共同成立项目公司，负责项目范围内的勘察、设计、投融资、建设、移交；
- 投资开发公司作为融资主体，进行立项和前期手续的办理；社会投资人负责债务性资金的筹集；
- 合作期内，项目公司按照约定的收入来源和支付路径，取得相应的建设成本及收益，超出的收益部分由市政府享有；项目公司接受政府审核机构对项目成本的审核；
- 合作期满，项目公司进行清算，社会资本方退出。



ROD project operation flowchart

## ROD 项目实施效果评价

ROD mode implementation effect evaluation index

评价维度	核心指标	指标说明/计算方式	数据来源
一、能源效益		聚焦风电消纳与规模扩张	
1.1 风电消纳水平	弃风率 (%)	年弃风电量 / 年总发电量 × 100%	电网调度数据
	就地消纳率 (%) ★	本地产业消纳风电电量 / 总发电量 × 100%	电力交易平台 + 企业用电监测
1.2 开发规模突破	新增风电装机容量 (GW)	实施 ROD 后新增装机 vs 原规划装机	能源局备案数据
	风电开发利用率 (%)	实际开发量 / 可开发资源潜力 × 100%	风资源评估报告
二、产业经济		衡量产业转移与绿色升级	
2.1 产业集聚效应	新增高载能 / 战略新兴产业企业数 (家)	电解铝、数据中心、绿氢制造等企业数量增长	工商注册 + 招商引资台账
	绿电吸附产业占比 (%) ★	绿电依赖型企业产值 / 区域工业总产值 × 100%	统计年鉴 + 企业调研
2.2 经济价值创造	单位绿电 GDP 贡献 (元 / kWh)	区域 GDP 增量 / 本地消纳绿电量	统计局 + 电力数据



评价维度	核心指标	指标说明/计算方式	数据来源
	绿电溢价收益 (亿元/年)	(绿电交易价 - 基准电价) × 本地绿电交易量	电力交易中心
三、系统融合		评估多能协同与系统韧性	
3.1 多能互补效能	风光储协同利用率 (%)	(风电 + 光伏 + 储能) 实际出力 / 总装机容量 × 100%	能源管理系统 (EMS)
	绿电制氢转化率 (%)	用于制氢的富余绿电量 / 总富余电量 × 100%	制氢项目运营数据
3.2 新型系统构建	源网荷储匹配度 (指数)	负荷需求曲线与电源出力曲线的相似度 (需建模计算)	电网公司调度模型
	分散式能源渗透率 (%)	分散式风光 + 储能装机 / 区域总装机 × 100%	能源主管部门统计
四、社会生态		兼顾民生与低碳效益	
4.1 减污降碳贡献	年度碳减排量 (万吨 CO <sub>2</sub> )	绿电替代化石能源的减排量 + 产业工艺脱碳量	碳排放监测平台
	单位工业产值碳排放 (吨 / 万元)	区域工业碳排放总量 / 工业总产值	环境统计年鉴
4.2 区域发展带动	就业人口 (人 / GW)	全周期可再生能源及关联产业新增就业人数 / 每 GW 装机	人社部门登记
	地方财政收入增幅 (%)	(ROD 相关税收 + 绿电收益) / 原财政收入 × 100%	财政局
五、战略价值		衡量长期竞争力与国家目标契合度	
5.1 产业竞争力	绿色产品出口占比 (%)	绿电生产的铝 / 硅 / 氢等产品出口额 / 总出口额 × 100%	海关数据 + 企业溯源认证
	绿电认证覆盖率 (%) ★	获得国际绿证的企业数量 / 规上企业总数 × 100%	第三方认证机构
5.2 模式可推广性	跨区域合作项目数 (个)	输出 ROD 经验的联合开发区、飞地产业园数量	政府合作协议
	政策创新指数	出台的 ROD 专项政策数量 (用地、电价、审批等)	政策文件汇编

## 指标使用说明：

- ★ 核心指标：标注★的为 ROD 模式特色性指标（如就地消纳率、绿电吸附产业占比），需重点监测。
- 数据优先级：一级来源：电网/交易平台数据、统计局年鉴（权威定量）；二级来源：企业台账、环境监测（需交叉验证）；三级来源：调研问卷、专家评分（用于定性补充）。
- 动态调整机制：根据 ROD 项目阶段（建设期/运营期）调整权重（如初期重装机规模，后期重产业效益）；每2年迭代指标，纳入新技术方向（如碳捕集配套率）。

03

## ROD 模式推广政策建议







## 建立健全相关政策机制

涉及方面	具体举措
建立灵活的电价机制	<ul style="list-style-type: none"> <li>加快推进电力市场改革，建立更加灵活的电价体系，如实时电价、动态电价等，真实反映电力供需关系和成本变化，引导用户合理用电，激励储能和需求侧资源的参与。</li> </ul>
市场机制完善	<ul style="list-style-type: none"> <li>健全绿证绿电交易制度，推动绿证与碳减排量认证衔接，允许高载能企业通过采购绿电抵扣碳排放量。</li> <li>扩大可再生能源市场化交易比例，鼓励签订长期购电协议（PPA），稳定投资预期。</li> </ul>
绿电直连政策完善	<ul style="list-style-type: none"> <li>进一步完善输配电价和政府附加收费机制，针对直供项目探索灵活的定价方式，确保用电企业能够获得较低的绿电价格，降低用户成本。</li> </ul>
外溢价值制度化	<ul style="list-style-type: none"> <li>建立价值识别机制。开发多维度社会效益评估框架，系统量化 ROD 项目在减碳、电网调峰、区域发展等方面的正向外部作用。</li> <li>开辟市场化转化路径。通过绿色权益交易、生态补偿认证等工具，将隐性社会价值转化为项目可获取的经济收益。</li> <li>出台差异化激励政策。针对社会效益显著的项目，设计梯度化补贴与税收优惠组合，强化正外部性回报机制。</li> </ul>

## 产业融合与集群培育

涉及方面	具体举措
高载能产业绿色升级	<ul style="list-style-type: none"> <li>在可再生能源富集区域针对性布局“绿电+高载能”特色园区，推动电解铝、多晶硅、数据中心等高载电产业向绿电优势区集聚。</li> <li>建立绿色电力溯源认证体系，对使用绿电达到一定比例的企业颁发“零碳工厂”认证，给予税收减免和信贷支持。</li> <li>制定《高载能产业绿电消纳导则》，明确重点行业绿电最低使用比例和时间要求。</li> </ul>
产业循环链接	<ul style="list-style-type: none"> <li>构建“源网荷储”一体化循环体系，通过虚拟电厂（VPP）技术聚合绿色电源、储能设施和可调负荷。</li> <li>实现园区内能源梯级利用与智能调配。</li> </ul>
新型产业集群培育	<ul style="list-style-type: none"> <li>聚焦绿氢制备与利用、储能材料制造、碳捕集装备等新兴产业，打造绿色技术创新集群。</li> <li>支持在可再生能源基地建设规模化绿氢项目，配套发展氢燃料电池、绿氨合成等下游产业。</li> </ul>



## 投融资支持政策

涉及方面	具体举措
财政资金引导	<ul style="list-style-type: none"><li>地方政府可发行绿色专项债券，支持零碳园区基础设施和配套储能建设。</li><li>落实《零碳园区建设通知》要求，“统筹利用现有资金渠道支持零碳园区建设”，鼓励地方政府通过专项债券支持合格项目。</li></ul>
产业循环链接	<ul style="list-style-type: none"><li>开发“项目贷+绿证收益权质押”组合产品，将未来绿证收益纳入信贷评估体系。</li><li>鼓励政策性银行提供中长期优惠贷款破解可再生能源项目融资期限错配难题。</li><li>推广可再生能源REITs试点，将存量风光资产证券化，盘活企业现金流。</li></ul>
新型产业集群培育	<ul style="list-style-type: none"><li>推广“ROD+PPP”合作模式，项目运营过程探索ROT模式（改造-运营-移交），激活闲置资源。</li><li>建立绿电开发收益共享机制，允许地方政府将土地租金折算入股，获取长期分红。</li><li>支持符合条件的ROD主体发行碳中和债券、绿色ABS等创新工具，拓宽融资渠道。</li></ul>

## 技术支撑与能力建设

涉及方面	具体举措
智能电网与数字化管理	<ul style="list-style-type: none"><li>部署柔性直流输电、智能无功补偿等关键技术，提升电网对高比例可再生能源的承载能力。</li><li>建设园区级“能碳双控”管理平台，集成负荷预测、源网协调、碳排追踪等功能，实现对能源生产消费的全过程监控。</li><li>推广AI优化调度系统，通过机器学习算法提升风光预测精度和储能充放电策略效率。</li></ul>
技术创新与标准体系	<ul style="list-style-type: none"><li>组建“国家ROD技术创新联盟”，联合企业、高校攻关低成本高效储能、氢能冶炼等关键技术。</li><li>制定《ROD项目技术导则》，规范系统设计、设备选型和运营标准。建立可再生能源开发生态影响评估标准，将生态修复要求纳入项目设计。</li><li>定期发布《ROD最佳实践白皮书》，推广创新技术和管理模式。</li></ul>



04

## ROD 模式的典型应用案例







### 实施ROD模式的参考案例与典型应用场景

项目类型	案例	适用特点
ROD 模式在不同地区推广案例	依托绿电资源优势打造数据中心： 伊吾算力产业创新发展	<ul style="list-style-type: none"> <li>·1000P 算力每年用电 940 万千瓦时</li> <li>·在伊吾建设同等规模算力中心，仅电费每年可降低成本 40% 以上</li> <li>·随着绿色电力项目建设的持续推进，区域电价将逐步降低，为算力产业发展提供低成本能源支撑</li> </ul>
	新能源与电解铝产业互促发展： 霍林河循环经济产业园	<ul style="list-style-type: none"> <li>·风光资源得天独厚，本地消纳与外送通道畅通有保障</li> <li>·输电成本低，能够提供“绿色电、便宜电、可靠电”</li> <li>·绿电铝快速发展成为新能源消纳重要手段</li> </ul>
	云南充分发挥绿色能源、硅矿资源、 光伏资源优势建设全国领先的硅光伏产业	<ul style="list-style-type: none"> <li>·在水力资源方面，云南境内汇集六大水系，其中金沙江、南盘江分别属长江和珠江流域，其余四水系为国际河流，纵贯东南亚多国</li> <li>·在矿产资源方面，省内硅矿储量大、分布集中、易开采，主要分布在昭通地区及滇西的保山、德宏等州市</li> <li>·云南省已形成工业硅产能 115 万吨、单晶硅片产能 124 吉瓦，分别占全国总产能的 18% 和 15%，两类产能规模均位居全国第二</li> </ul>
ROD 模式以“风电+”产业融合形式推广案例	长江流域首个实现规模化可再生能源供电的“零碳岛”——国家电投集团棉船岛项目	<ul style="list-style-type: none"> <li>·零碳交通：光伏车棚→80 车位充电→电动渡船（在建）</li> <li>·零碳农业：光伏油菜→绿氢温室→有机品牌“棉船零碳菜”</li> <li>·零碳民宿→碳中和研学路线，油菜花海</li> <li>·有机肥→秸秆沼气→光伏灌溉</li> <li>·“天枢一号”智慧管控系统→碳资产交易→长江流域岛屿碳普惠接口</li> </ul>



## ROD 模式在不同地区推广案例一： 依托绿电资源优势打造数据中心—伊吾算力产业创新发展

近两年作为哈密市算力产业核心承载区的伊吾县，算力产业发展步入了快车道——2024年4月实现128P智算中心投产运行后，2024年9月哈密城市算力网“国产V2V自主可控协议体系支撑东西部算力一体化协同”项目荣获“全国一体化算力网应用优秀案例”，并入选“数字中国建设典型案例”50强；哈密市“锚定算力产业新赛道 激活数字经济新动能”项目入选中国改革2024年度地方全面深化改革典型案例名单；伊吾县国资控股企业——新疆数算电科技技术有限公司荣获2024中国超级算力大会三项殊荣。2025年1月，伊吾县人工智能大模型智算中心千P级智算中心点亮。2月，由伊吾县投资3.82亿元建设的先进计算集群二期项目陆续迎来15家企业入驻，项目算力规模超6万P。

源于高效转化能源资源，激发澎湃发展动能。伊吾县是一座在“煤海”上发展、于“风光”中成长的城市，是全国传统能源和可再生能源组合开发条件最好的地区之一。



哈密市伊吾县算力创新示范区外景



源于稳定充沛的绿色电力供给，点亮互利共赢的可持续未来。伊吾县风能资源十分丰富，是哈密市百万千瓦级风电基地规划重点建设的3个区域之一，技术可开发量为4897万千瓦；太阳能资源丰富，年平均太阳总辐射量为6214.66兆焦/平方米，光伏技术可开发量达2亿千瓦以上，是全国日照时数最充裕地区之一，为国家百万千瓦级光伏发电试验基地之一。同时具备丰富的新能源资源和建设大型新能源发电站的土地资源，且地势比较平坦，开发利用成本较低，空间资源也极其丰富。新能源产业已成为伊吾经济发展的新增长极。

加快新能源产业快速发展，是国家“双碳”战略指引下的必然选择。伊吾县积极用好“风光无限”的资源优势，统筹推进“风光储能算”循环利用一体化建设。2025年，伊吾县在建新能源装机规模796万千瓦，年内并网发电规模696万千瓦，新能源正成为伊吾一张亮丽新名片。

算力是新质生产力的代表，其核心支撑是电力。消纳绿色电力，支持企业发展绿色算力成为促进伊吾县经济社会发展的一项重要共识。经评估，一般1000P算力每年用电940万千瓦时。按照当前国内算力平均成本核算，在伊吾建设同等规模算力中心，仅电费每年可降低成本40%以上。伊吾算力产业园220千伏输变电工程于2025年5月23日开工建设，年内便可以投入运行；20万千瓦“绿电直连”项目正在加速推进。随着绿色电力项目建设的持续推进，区域电价将逐步降低，为算力产业发展提供低成本能源支撑。



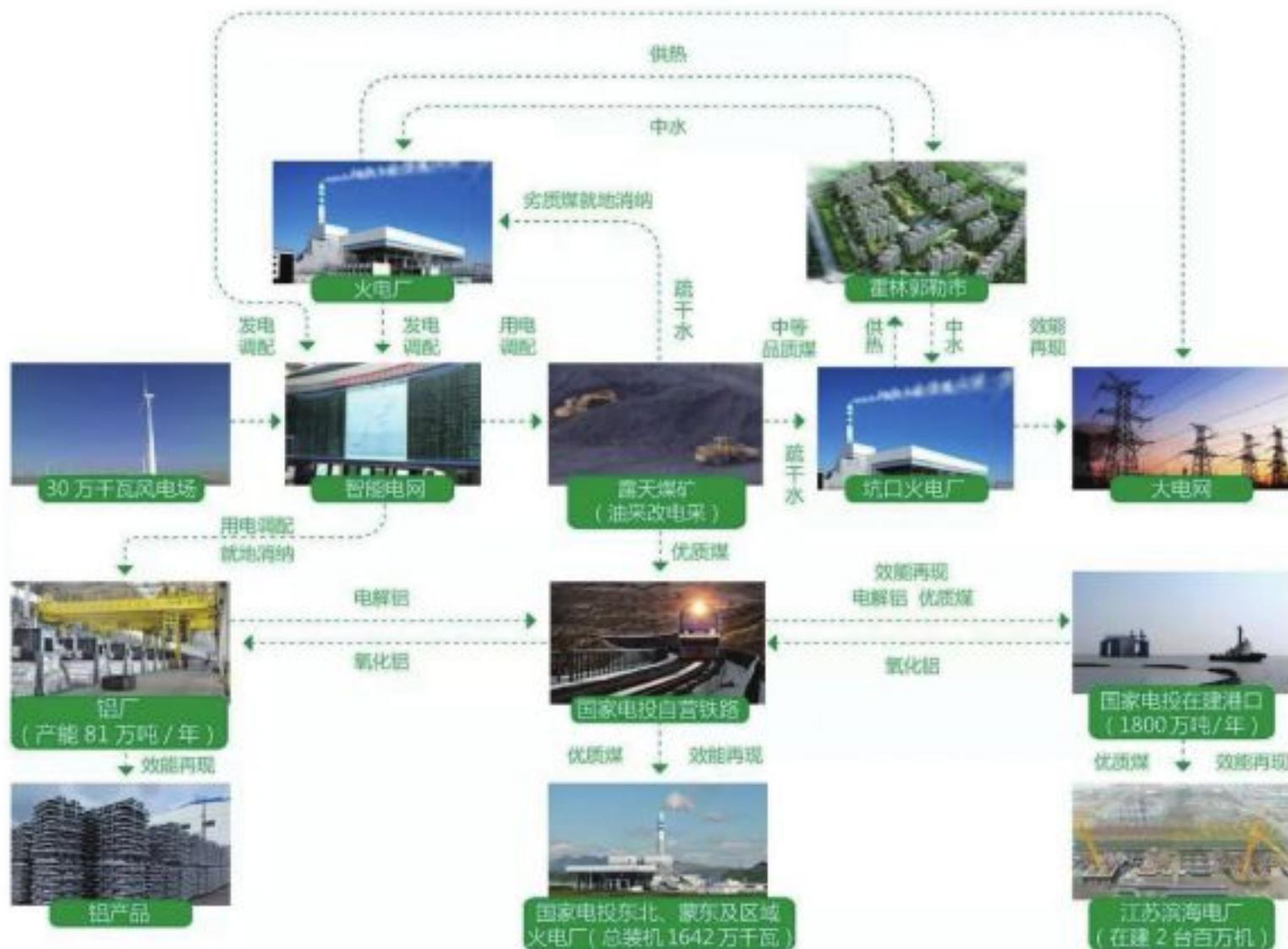
国投伊吾县10万千瓦光储项目全景



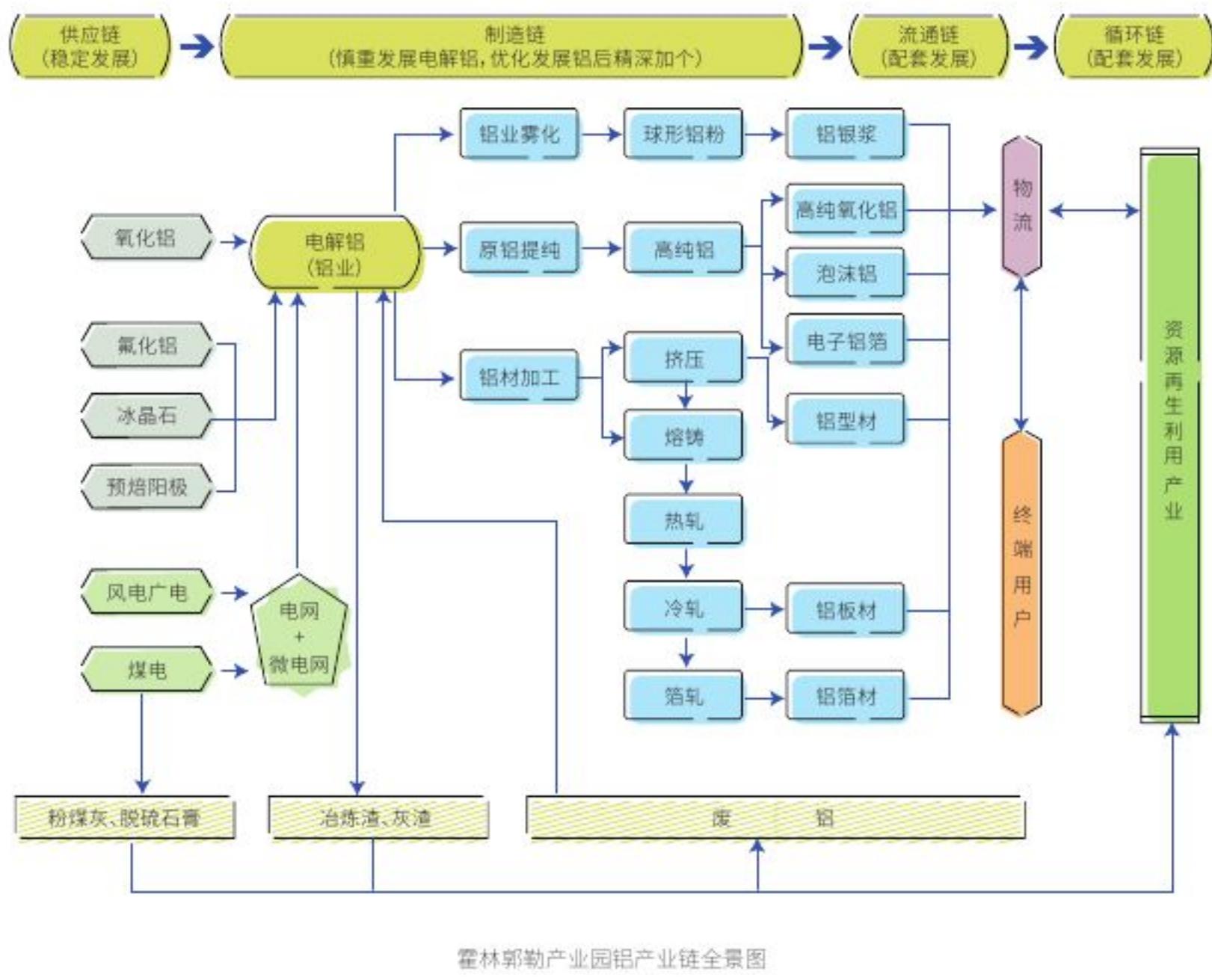
## ROD 模式在不同地区推广案例二： 新能源与电解铝产业互促发展——霍林河循环经济产业园

电投能源在霍林河区域打造了独特的霍林河循环经济产业园。内蒙古的风、光、煤资源均是全国前三。霍林河产业循环经济形成了年消耗约 900 万吨煤炭的 1.8GW 火电装机 +1.05GW 绿电装机、年产 86 万吨电解铝的霍林河循环经济示范项目。目前每年有 30 亿千瓦时绿电输送至下游电解铝产业，且循环经济可最大化利用新能源发电，电力成本优势尤为突显，其中循环经济四期风电最高年利用小时数超过 4000 小时，弃风率趋近于零，居全国首位。霍林河循环经济产业园以电解铝产品为载体，实现了劣质煤和新能源的转化与储存，上游煤炭、电力成本低且稳定可控，下游铝制品产业集群需求持续增长。

目前，当地现已建成霍煤鸿骏、锦联铝材、创源金属 3 家投资超百亿的电解铝企业，先后建设了霍煤车轮、联晟轻合金创源铝加工等项目，拥有铝箔、板带、精铝、铝轮毂、铝粉、各类铝型材及压铸件等 120 余个种类。一方面，铝深加工企业 70% 以上采取铝液直供进行生产，每吨产品可降低加工成本 600 元；另一方面，当地预计 2025 年电价降至 0.35 元 / 千瓦时，电价低廉，且绿电占比高，为产品带来高竞争力。



霍林河循环经济产业集群：煤-电+绿电-铝一体化模式



霍林郭勒产业园铝产业链全景图

### ROD 模式在不同地区推广案例三：

#### 云南充分发挥绿色能源、硅矿资源、光伏资源优势建设全国领先的硅光伏产业

云南省拥有突出的自然资源禀赋，为区域工业发展奠定了坚实基础。在水力资源方面，云南境内汇集六大水系，其中金沙江、南盘江分别属长江和珠江流域，其余四水系为国际河流，纵贯东南亚多国，蕴藏丰富的水能资源。在矿产资源方面，省内硅矿储量大、分布集中、易开采，主要分布在昭通地区及滇西的保山、德宏等州市。这些地区的硅矿资源已探明硅藏量超过 30 亿吨，硅矿纯，杂质少，开采价值高，为光伏产业链提供了充足的原材料保障。

依托优越的水电条件，云南省逐步构建起以大工业为主导的产业发展路径。首先，通过在各主要流域建设梯级水电站，形成规模化的电力供应能力。然而，由于本省电力消纳能力有限，为有效利用富裕电力，云南省



积极拓展三大消纳渠道：一是实施“西电东送”，跨区域调配电力资源；二是推动电力外送，对接东南亚国家电力市场；三是在省内布局高载能产业，通过招商引资，集聚了数十家电解铝企业及工业硅企业，并成功引入隆基、晶科、晶澳、通威等光伏制造龙头企业，逐步构建起从硅石开采、工业硅、多晶硅、硅片，到电池片及组件的完整光伏产业链，使云南成为我国光伏产业的重要生产基地。

在政策支持方面，云南省政府制定并执行了支持性的政策措施和明确的发展规划，将光伏产业作为重点发展的新兴产业之一，先后出台《云南省光伏产业发展三年行动(2022—2024年)》《云南省绿色能源发展“十四五”规划》等推动光伏产业发展系列政策文件，着力打造光伏全产业链生态体系，推动云南光伏产业迈向价值链高端。

根据云南省绿色能源行业协会数据，截至2023年，云南省已形成工业硅产能115万吨、单晶硅片产能124吉瓦，分别占全国总产能的18%和15%，两类产能规模均位居全国第二。在产能稳步布局的推动下，该省硅光伏产业整体规模持续扩大。2022年，全省硅光伏产业产值首次突破千亿元；2023年进一步达到1094亿元，产业增加值同比增长36.7%。进入2024年上半年，硅光伏产业实现产值386.09亿元，增加值继续保持19.6%的较快增长。隆基在云南建成全球最大的硅棒、硅片生产基地；通威在保山建成全球单体最大的多晶硅生产基地。

由此，云南省充分发挥绿色能源、硅矿资源、光伏资源等优势，以硅光伏产业为主攻方向，协同推进全产业链发展，云南省硅光伏产业的产能规模在全国名列前茅，同时拉动了当地的建筑业、设备制造业和相关服务业。该工业化路径不仅促进了资源的高效转化，也显著带动了地方经济发展与社会进步，帮助云南从一个传统的烟草、矿产、旅游为主导的省份，向先进制造业和高技术产业转型升级。



通威水电硅材高纯晶硅绿色能源项目生产基地



## “风电+”产业融合的形式是在中东南地区推广 ROD 模式的先进思路

一、风电+乡村融合发展模式	二、风电+厂区融合发展模式	三、风电+交通融合发展模式
<p>是以乡村振兴为基础，叠加并融合了风电的优势和特色。该模式是指国内同一行政管辖区内地理位置毗邻的自然村落与村落之间，通过分散式风电项目的规划、开发、建设及并网，实现村落间区域清洁能源的互联互通。</p>	<p>·配套钢铁、化工等高载能企业绿电需求，建设绿电直供风电项目，推动零碳产业园建设。</p>	<p>·沿高速公路、铁路枢纽布局分散式机组，为电动重卡换电站、港口岸电提供清洁能源。</p>

### “风电+”产业融合实施效果预测

融合模式	预计到2030年带动新增风电装机 (GW)	直接投资 (亿元)	社会经济效益量化成果
风电+乡村	45	2700	1. 农业增值：带动产值提升 21%，集约用地 65 万亩
			2. 减碳：年减排 CO <sub>2</sub> 980 万吨（等效造林 98 万公顷）
			3. 就业：创造岗位 25 万个（含运维岗 12.6 万）
风电+厂区	40	2500	1. 工业降本：高载能企业用能成本降低 18%
			2. 减碳：重点园区碳排放强度下降 35%
			3. 就业：新增高端技术岗 30 万个（碳管理 / 智能运维）
风电+交通	30	2400	1. 氢能替代：绿氢产能达 220 万吨 / 年，成本降至 12 元 / 公斤
			2. 减碳：年减碳量 3000 万吨（占交通减排 17%）
			3. 就业：新增高端技术岗 35 万个（碳管理 / 智能运维）
合计	115	7600	1. 总投资拉动 GDP 增长约 1%
			2. 创造就业约百万个



## ROD 模式以“风电 +”产业融合形式推广案例：

### 长江流域首个实现规模化可再生能源供电的“零碳岛”——国家电投集团棉船岛项目

棉船岛位于江西省九江市彭泽县东北角，是长江中下游的一座江心岛，总面积超 100 平方千米，常住人口 3.2 万。2024 年 5 月，国家电投集团江西核电携手当地政府推进棉船“零碳岛”项目，探索将“风、光、储、氢、农、渔、旅”等资源有机结合，在当地构建风电、光伏、氢能等清洁能源矩阵，打造长江流域低碳发展样板。其中风电项目年发电量 2.44 亿千瓦时，可满足全岛用电并外输 2 亿千瓦时绿电，年减排二氧化碳 24 万吨，彻底解决孤岛单电源供电难题。“零碳岛”项目的建设，让老百姓的用电更加可靠。同时，项目建设还实现新增就业 500 人，每年新增产值 2 亿元，新增利税 1500 万元，为当地的发展注入了新的生机和活力。构建“能源供给—民生改善—生态优化”闭环体系，解决传统孤岛“用电难”问题，为内河岛屿提供可复制的低碳转型范式。



江西九江彭泽县棉船100MW风电项目

项目产业链全景图

上游	中游	下游
35 千伏集电线路	风电场（100 兆瓦）	零碳交通：光伏车棚→80 车位充电→电动渡船（在建）
110 千伏升压站	分布式光伏（15 兆瓦）	零碳农业：光伏油菜→绿氢温室→有机品牌“棉船零碳菜”
港口扩建	储能站（10 兆瓦 /10 兆瓦时）	零碳民宿→碳中和研学路线，油菜花海
	氢能备用（500 标方 / 时）	有机肥→秸秆沼气→光伏灌溉
	无铁芯永磁风光互补智慧路灯（10 台）	“天枢一号”智慧管控系统→碳资产交易→长江流域岛屿碳普惠接口



Recyclable  
使用可回收材料制作

### 北京鉴衡认证中心

地址:北京市东城区和平里北街6号远东文化园26号楼3层  
邮编: 100013  
电话: +86 10 59796665