

#### 4.2 生态网络重构：韧性基质与阶梯缓冲带建立

生态安全是首要考量因素。通过最小累积阻力模型识别关键生态源地，并通过林地修复与湿地微生境营造，提升生态基质的连通性；对于农业生产网络，整合碎片化耕地为“条田-防护林带-集雨窖”复合单元，减少农业耕作对生态系统的干扰。在聚落与生态用地的界面设置阶梯式“缓冲带”，设置从宏观尺度到微观尺度的缓冲带，种植多层次植被，实现生态过渡，在过渡带中保留原生草甸，并限制人类活动，以促进自然恢复和生态稳定。

不同尺度缓冲带需相互衔接。以表2为依据，宏观生态缓冲带的植被类型应与中观廊道缓冲带形成过渡，避免出现生态功能空缺。红寺堡区年均降水量251mm，土壤以灰钙土为主，属干旱半干旱气候。<sup>[10]</sup>宏观缓冲带选择柠条、沙棘等耐旱灌木。中观廊道以紫丁香与苜蓿搭配，兼具了景观性与水土保持性；同时考虑到红寺堡区干旱半干旱气候，缓冲带内植被需选择耐旱、耐贫瘠品种，并预留灌溉设施接口，以备适应气候变化情况。红寺堡苹果园种植体量大，可根据这一现实情况采用“果树+牧草”复合方式，兼具生态与经济价值。

表2 建立阶梯式缓冲区主要应用场景及设计要点

| 应用场景        | 尺度    | 功能定位           | 设计要点                                |
|-------------|-------|----------------|-------------------------------------|
| 聚落与区域生态源地之间 | 宏观尺度  | 隔离开发干扰，保障生态连通性 | 种植本地耐旱植被（如柠条、沙棘），保留自然地貌，设置动物迁徙通道。   |
| 主核一次核两侧     | 中观尺度  | 连接核心聚落，提升景观连通性 | 结合绿道与慢行系统，种植开花乔木（如紫丁香）与草本植物，形成景观廊道。 |
| 村落与农田/牧场之间  | 中微观尺度 | 过滤农业污染，划分功能边界  | 采用“果树+牧草”复合模式，如苹果树+苜蓿，兼具生态与经济价值。    |

#### 4.3 文化-生态协同：乡土基因转译与参与式设计

为了避免景观同质化，本研究提取了移民原居地西海固地区的“黄土窑洞-旱作梯田-水窖”空间基因，经转化演绎成当代生态景观语言。以传统水窖结级为“生态蓄滞窖”，把桶缸加盖的积水窖改为覆土顶植从植木、栽种叶片硕大能蓄水保土的植物的综合截留净化“生态蓄滞窖”，使其既是净化晾晒明沟水的基池“景观节点”，又是地方标志性、文化性的记忆塑形载体。实施社区“低维护景观共建”行动，运用废料打造休憩空间，实现资源循环利用的同时赋予建筑更多地域特色；生态廊道沿线建立“文化标识系统”，通过二维码牌联通移民口述史料、植被修复等数据信息，营造本土特色景观风貌。生态蓄滞窖的设计原型主要借鉴的是甘肃省庆阳市窑洞水窖改造方案<sup>[11]</sup>而在中高密度区也可以规划一些多功能广场，提升群聚式的共享场所的功能性和社区凝聚力。

级网络化结构+生态缓冲带，优化移民生产及生态空间分布与融合格局，持续发挥生态功能，达到生态恢复的保育效果。并利于改善周边农业生产条件，结合“黄土窑洞-旱作梯田-水窖”传统空间基因的现代转译，实现了移民文化延续、增强社区凝聚力的目的。为干旱区移民安置区国土空间优化提供了一种新的科学设计范式，推动生态与生产兼容共存的同时助力乡村振兴与新型城镇化的融合发展，并为其他生态移民区提供景观设计优化的参考案例。

### 5 总结

该文从景观设计角度出发，以移民聚落空间演进特征及景观格局指数动态变化作为研究对象，通过对红寺堡区“三区三线”管控要求、“一屏双核、三带四区”国土空间格局等背景要求的认识，提出创新性的“多尺度韧性嵌套”规划方案，并通过对其规划框架下的空间结构优化、生态网络重构、社区韧性增强和文化-生态相融等方面的解读，指出了规划落实过程中需要重点关注的问题。

#### 参考文献

- [1] 朱竝,陈晓亮,袁振杰,等. 全球化背景下城市移民的人地互动与地方协商研究——以珠三角为例[J]. 科技成果管理与研究,2023.
- [2] 王志章,孙晗霖,张国栋.生态移民的理论与实践创新:宁夏的经验[J].山东大学学报(哲学社会科学版),2020.
- [3] 孟向京.中国生态移民的理论与实践研究[M].中国人民大学出版社:2016.
- [4] 吴忠市委宣传部.(2021).红寺堡区关于国家乡村振兴重点帮扶县工作进展情况汇报.红寺堡数据库. <http://www.nxjlxk.com/hspq/>.
- [5] 贾耀锋.中国生态移民效益评估研究综述[J].资源科学,2016.
- [6] 邵秀军,赵翌彤.宁夏生态移民户的社会融合与子女教育期望[J].西北人口,2018.
- [7] 郑芳,王鑫,侯迎.生态移民社会空间研究进展与研究框架[J].社会科学前沿,2023.
- [8] 赵多平,赵伟佚,黄凤萍,等.宁夏闽宁镇生态移民社区空间动态演化类型、特征与影响因素研究[J].地理科学,2021.
- [9] 丁凤琴,刘钊,景娟娟.宁夏中部干旱带生态移民文化适应的代际差异[J].农业经济问题,2016.
- [10] 曲潇琳,龙怀玉,谢平,等.宁夏中部地区典型灰钙土的发育特性及系统分类研究[J].土壤学报,2018.
- [11] 陈李波,马冰洁,樊驰弘.窑洞建筑的地域美学:甘肃省庆阳市地域建筑的艺术考察[J].创意设计源,2018.

# New Energy and Environmental Protection Strategies in a Low-Carbon Economy

Ruotao Wang

Beijing Energy International Holdings Co., Ltd., Beijing, 10000, China

## Abstract

The global economy is undergoing a profound and urgent transformation towards low-carbonization. The new energy industry is regarded as the core path to drive sustainable growth and alleviate environmental pressure. This research, based on extensive empirical analysis and case studies, reveals the current status of the deployment of new energy technologies, the existing structural obstacles, and their complex relationship with ecological protection: The rapid industrialization of wind power and photovoltaic technologies has significantly weakened carbon emission intensity, but the bottleneck of grid connection and resource misallocation have greatly suppressed the full release of their environmental benefits;

## Keywords

Low-carbon economy; Renewable energy; Environmental carrying capacity; System coupling; Policy synergy

## 低碳经济下的新能源与环境保护策略

王若涛

北京市能源国际控股有限公司，中国·北京 100000

## 摘要

全球经济正经历向低碳化深刻转型的紧迫过程，新能源产业被视为驱动可持续增长并缓解环境压力的核心路径。本研究基于大量实证分析与案例调查，揭示新能源技术部署的现状、现存结构性障碍及其与生态保护的复杂关系：风电、光伏技术的快速产业化极大削弱了碳排放强度，但并网瓶颈与资源错配大幅压制了其环境红利的完全释放；储能系统的技术跃进使电力系统对波动性可再生能源的消纳能力显著提升，例如特定地区的弃风率能从峰值18%急剧压缩至5%以下；环境保护策略必须从单一排放指标转向涵盖水土涵养、生物多样性修复的综合生态系统服务评估，中国西部光伏电站与水权交易整合的试点已显示出区域协同优化的潜能。创新政策工具如绿色金融认证机制与动态生态补偿基金需要被加速嵌入市场体系框架，为深度脱碳提供制度保障。

## 关键词

低碳经济；可再生能源；环境承载力；系统耦合；政策协同

## 1 引言

碳中和目标驱动全球能源结构重构，但新能源大规模应用仍陷于三重矛盾：发电效率波动性制约电网稳定性、土地资源竞争激化生态保护冲突、技术成本门槛延缓市场化进程。国际能源署报告显示，2022年可再生能源装机量增长40%却仅覆盖全球16%的能源需求，暴露供给能力与系统消纳的鸿沟。中国以“双碳”战略为轴心推进能源革命，但西北风电基地弃风率达12%的现状警示——环境承载力与能源规划的脱节亟待解决。本研究突破传统技术路径框架，首次将环境修复成本纳入新能源项目全周期评估体系，基于内蒙古草原风电集群的生态补偿实践，探索低碳经济下的可

持续开发范式。

化石能源消费模式的累积性环境后果已演化为严峻气候危机，联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）第六次评估报告发出严厉警告——全球表面温度较工业化前水平上升幅度很可能在2030年触及1.5摄氏度的临界阈值。这一宏观背景驱使各国将新能源部署提升至国家安全与产业重构的战略高度，欧洲“绿色新政”与中国“双碳”目标体系均体现此逻辑。然而当前发展呈现显著的要素分割：技术研发偏好度密集聚焦于转化效率的量级提升，而对全产业链条的资源环境影响、设备退役阶段的回收再利用路径重视不足，例如风电叶片的复合树脂材料目前再利用率低于30%；政策制定者倾向以装机容量扩张为主要调控指标，却缺乏与区域环境承载力相匹配的刚性约束阈值，宁夏光伏发电装机超配已诱发局地水资源供需矛盾激化。本文研究目标在于基于实证链条建立低碳技术—环境响应—制度设计的

【作者简介】王若涛（1988-），男，蒙古族，中国内蒙古包头人，硕士，工程师，从事电力经营管理研究。

解耦模型，探索系统性优化路径。

## 2 新能源发展与环境保护概述

### 2.1 新能源发展的现实瓶颈

新能源产业化进程面临多重“卡点”。电网接纳能力成为首要硬约束，风力与光伏发电天然具有波动性与不可调度特征，我国三北地区频繁出现弃电矛盾，历史最高弃风率达到18%，其深层症结在于跨省区电力输送通道与灵活调节资源的双重缺失；现有土地管理政策对风电、光伏阵列占用规则尚未形成统一生态兼容标准，导致项目审批周期漫长甚至引发土地使用冲突，某东部省份因未达成耕地占用平衡补偿协议拖延光伏启动超一年；关键矿物供应链存在严重的地缘政治依赖性，中国光伏硅片制造占据全球产量97%，但对上游高纯石英砂的进口依存度高达85%，供应链韧性脆弱。这些瓶颈本质上源于政策工具与经济规律的错位——发电侧补贴政策驱动装机过度扩容，但未同步构建适配电网改造与储能配套的成本疏导机制。

### 2.2 环境协同的实证链条

风电光伏替代传统燃煤具有明确减碳效益，生命周期评估(LCA)模型显示中国光伏系统碳足迹约为38gCO<sub>2</sub>e/kWh，显著低于燃煤电厂的820gCO<sub>2</sub>e/kWh。德国2023年数据显示，可再生能源供电占比从40%跃升至52%的两年内，电力系统碳排放强度从318g/kWh降至230g/kWh；然而单纯能源结构转型远不足以解决生态系统承载力的全局退化。大型光伏阵列在干旱区大规模铺装导致地表反照率上升、局地蒸散发下降，引发土壤含水层不可逆耗损趋势，敦煌百万千瓦光伏基地监测到周边地下水水位年均下降1.2米；风机叶片制造过程中使用的环氧树脂在化学合成阶段释放双酚A等生态毒素，其累积浓度对土壤微生物多样性构成显著抑制效应。因此必须建立“能源转型—水—土—生物”四位一体系统评估模型，才能规避新的环境风险转移。

### 2.3 政策框架的渐进改革

现有政策体系在协同性层面存在显著短板。中国新能源电价补贴政策长期按发电量直接退坡计算，但2023年绿色电力证书体系的启动首次引入基于区域电网消纳能力的动态配额制度——消纳率低于95%地区的新证书发放速度需同比压缩10%，该设计推动投资向高消纳区域集中；储能项目早期建设高度依赖政府专项财政奖励，造成资源错配与低效建设，青海海西州液流电池储能电站曾因充放电效率不足陷入亏损，2024年国家发展改革委推出《电力辅助服务成本分摊办法》明确将储能响应服务纳入输配电价核价范围，形成市场化激励机制。然而更根本的改革应着眼国土空间规划：将风—光资源开发区纳入统一生态控制单元，配置刚性生态用水指标（如规定每10MW光伏发电量需配套置换农业节水灌溉面积20公顷），并在项目环评中引入生物扰动恢复性指标的法定强制考核体系<sup>[1]</sup>。

## 3 新能源发展的主要问题

### 3.1 传统能源的高昂成本

煤电主导的能源结构形成沉重环境债务。中国燃煤电厂每年二氧化硫排放超400万吨，导致酸雨区面积占国土32%，氮氧化物转化形成PM<sub>2.5</sub>细颗粒物贡献率达40%以上；化石开采诱发的地层沉降问题同样严重，山西煤炭采空区达2.7万平方公里，其中近半区域面临居民迁移压力；燃煤发电产生的巨量粉煤灰累计堆存已超50亿吨，所含重金属锌、铅等经雨水淋滤渗透污染地下水系速率超自然背景值35倍。这些隐蔽成本被长期外部化，若计入终端电价将使燃煤发电实际成本上升0.25-0.4元/kWh，与光伏成本差距基本抹平<sup>[2]</sup>。

### 3.2 新能源的减排当量

风电光伏生命周期碳减排存在显著区域异质性。以内蒙古风电场为例，因其高风速特性（年均风速7.3m/s）促成单台5MW机组年满发小时超2400小时，单度电减排量达0.87kgCO<sub>2</sub>，相较河南某低风速区项目（满发1600小时/年）提升36%；储能技术对减排的贡献正加速跃升。特斯拉在南澳大利亚部署的100MW/129MWh锂电池储能系统，通过精确吸收风电高峰时段的弃电并平移至晚间负荷峰值，年度增发清洁电能18万MWh，等效削减燃煤发电4万吨；新能源制造端的减排创新也至关重要：通威股份采用闭环硅料生产工艺，降低电耗55%，产品碳足迹较行业均值削减40%，该类技术进步使产业自身碳强度持续下降。

### 3.3 系统优化的关键路径

构建多能互补的能源系统是平衡资源禀赋的核心路径。青海海西特高压直流工程将3.6GW光伏与1.5GW光热电站捆绑配套（光热机组提供稳定晚高峰供电），提升跨省外送消纳能力26%的同时，减少弃光电量7.8亿kWh；荷兰鹿特丹港区利用潮汐能与近海风电组成微电网，依托电解水制氢装置实现30%过载功率就地转化储存，系统可靠性达到99.92%；在资源稀缺地区，政策创新更为重要：以色列规定新建工业建筑屋顶30%面积强制铺设光伏组件，并以净计量电价保障投资回报周期缩至5年，推动分布式装机年增长率达42%<sup>[3]</sup>。

## 4 低碳经济下的新能源与环境保护策略

### 4.1 数字赋能的系统升级

智能预测算法可大幅提升新能源消纳效率。远景科技在江苏实施的智慧风场项目，采用AI建模实现风功率预测误差控制在5%以内，较传统数值气象模型精度提升40%，使得该风电场2023年参与现货市场投标收益增加1200万元；特变电工在新疆部署的集中式光伏智慧运维系统，通过清洗机机器人路线优化与逆变器数据实时诊断，将发电损失降低8.5%，运维人力成本压缩60%。数字技术还驱动环境成本动态量化：三峡集团开发基于区块链的“碳迹追踪平台”，对风机制造过程中环氧树脂用量、运输里程与安装流程建立全链碳排