

可再生能源 护栏原则

——能源、自然、社会和谐共生

Guardrail Principles for Renewable Energy:
Harmonizing Energy, Nature, and Society



北京大学能源研究院
INSTITUTE OF ENERGY



北京大学自然保护与社会发展研究中心
Center for Nature and Society



山水自然保护中心
Shan Shui Conservation Center

关于山水自然保护中心

北京市海淀区山水自然保护中心成立于2007年,专注于物种和栖息地的保护,希望通过生态保护与经济社会发展的平衡,示范解决人与自然和谐共生的路径和方法。我们关注的,既有青藏高原的雪豹,西南山地的大熊猫、金丝猴等物种,也有城市周边的大自然。我们携手当地社区开展保护实践,基于公民科学进行系统研究,探索创新的解决方案,提炼保护知识和经验,以期实现生态公平。



合作单位 (排名不分先后)



北京大学能源研究院
北京大学自然保护与社会发展研究中心

联系我们



联系人：程琛 山水自然保护中心 自然观察项目 主任
邮 箱：naturewatch@shanshui.org
单 位：北京市海淀区山水自然保护中心
地 址：北京市海淀区颐和园路5号北京大学保护生物学楼（100871）
电 话：010-62761034

作 者



陈安禹、范越、王杜予、成超涵、史湘莹、赵翔、程琛

版权声明



本报告中发表的所有文字、图片、地图等版权归编写者所有，未经书面许可，不得以任何目的、以任何形式或手段复制。本报告仅可用于公益、教育、保护等非商业领域，无需版权使用许可，但必须标明出处。禁止在未获得版权所有人同意的情况下将本报告用于任何商业用途。

Copyright © 2025 Shan Shui. All Rights Reserved.

陈安禹, 范越, 王杜予, 成超涵, 史湘莹, 赵翔 & 程琛 . (2025). 可再生能源护栏原则——能源、自然、社会和谐共生 . 山水自然保护中心 .

免责声明



本报告编写所需要数据和信息均基于公开、可得的数据源，报告内容是对所研究领域的初步探索，旨在加强相关领域的讨论交流，如有不足之处，敬请谅解并指正。报告中主要结论及观点仅代表作者迄今为止的认识，不反映作者所属机构以及研究支持方的立场。



目录

CONTENTS

| | |
|------------|----|
| 执行摘要 | 05 |
| 术语表 | 17 |

01 背景

CHAPT

| | |
|------------------------------------|----|
| 1.1 中国可再生能源发展为全球应对气候变化作出重要贡献 | 10 |
| 1.2 可再生能源发展面临生态和社会的多重新挑战 | 11 |
| 1.3 研究内容和对象 | 12 |

02 基于生命周期视角的可再生能源项目影响

CHAPT

| | |
|----------------|----|
| 2.1 生态影响 | 15 |
| 2.2 社会影响 | 24 |
| 2.3 小结 | 27 |



03 实现可再生能源可持续发展的政策趋势

CHAPT

- 3.1 加强供应链上游尽职调查与管理以实现负责任采购 30
- 3.2 在项目审批阶段严格控制生态与社会层面准入门槛 35
- 3.3 加速完善风电光伏设备退役制度以促进循环经济构建 41

04 从红线到绿线——护栏原则

CHAPT

- 4.1 可再生能源可持续发展中建立护栏原则的必要性 47
- 4.2 护栏原则的定义和基本内容 48
- 4.3 未来展望 50

参考文献 51

合作单位介绍 57

执行摘要

面对气候变化危机，全球正在采取各种积极行动。其中，推动以可再生能源为主的能源转型不仅是技术革命，更是全球气候与环境治理体系的关键途径。我国在能源转型方面正发挥着领军作用，多年来风电和光伏装机规模稳居世界第一，有力地推动了全球可再生能源产业链的高速发展。而这样的高速发展也引起了人们对于大规模风电和光伏项目部署和其供应链上下游产生的生态和社会层面影响的担忧。

基于此背景，本报告从全生命周期的角度回顾了风电和光伏在原材料开采与加工、设备制造与生产、电站开发与运营以及项目退役与设备回收这四个阶段产生的生态和社会影响，并梳理了国内外政策制定者和多边开发银行在供应链管理、项目审批、项目退役与回收方面的实践。综合目前已有的科学进展和监管的未来趋势，提出实现可再生能源可持续发展的护栏原则，以帮助可再生能源企业应对不断变化的监管趋势，采取负责的设备生产和项目开发实践，增强我国可再生能源企业在全产业链中的竞争力。

面对全球能源需求的不断增长，用风电和光伏来替代传统能源能有效减少温室气体排放，加速项目所在地区的经济发展，有助于给部分偏远地区创造新收入来源并提高当地基础设施。然而，可再生能源生命周期中每个阶段都可能以正面或负面的方式影响生物多样性和社会反响，而影响因素和程度根据技术类型、选址位置以及建设、运营、退役和回收方式的不同而有所差异。其中包括设备原材料需求带来的矿产和林业开发、电站开发和运营给电站及其周边区域带来的扰动以及大规模风光设备退役处置和回收制度和技术的完善所带来的潜在

风险。同时，这三个关键议题之间也存在紧密关系，例如，大规模的风电和光伏项目开发以及设备原材料的矿产需求都会导致大面积的土地利用变化从而改变当地的生物多样性，而风电和光伏项目和设备的增长在多大程度上推动矿产需求的扩大，也部分取决于退役风光设备的处置和回收方式和程度。

可再生能源各个环节参与的企业众多，其中风电和光伏项目的开发商和运营商以及设备供应商通过对上游原材料供应商以及下游回收退役设备回收商的购买力，最能推动整个全生命周期生态和社会正面影响的最大化。国内外政府和金融机构正在制定和完善各种监管政策和标准指南来管理和指导这些企业降低各个阶段对生物多样性的影响。我国和欧盟政府高度重视风电和光伏项目的生态和社会影响，在供应链上游负责任采购、项目招投标和审批以及下游项目和设备退役等环节都已建立较为完备和严格监管政策。部分多边开发银行则通过项目前期的环境与社会保障政策或绩效标准等制度来避免以上环节产生相应的生态和社会风险。

面对日益严格的监管政策和可持续发展要求，为帮助我国可再生能源企业应对风险、提升竞争力，本报告提出了**可再生能源可持续发展的“护栏原则”**。该原则旨在引导企业在追求经济效益的同时，积极关注并减少生态和社会影响，实现气候、生态、社会效益的多赢。

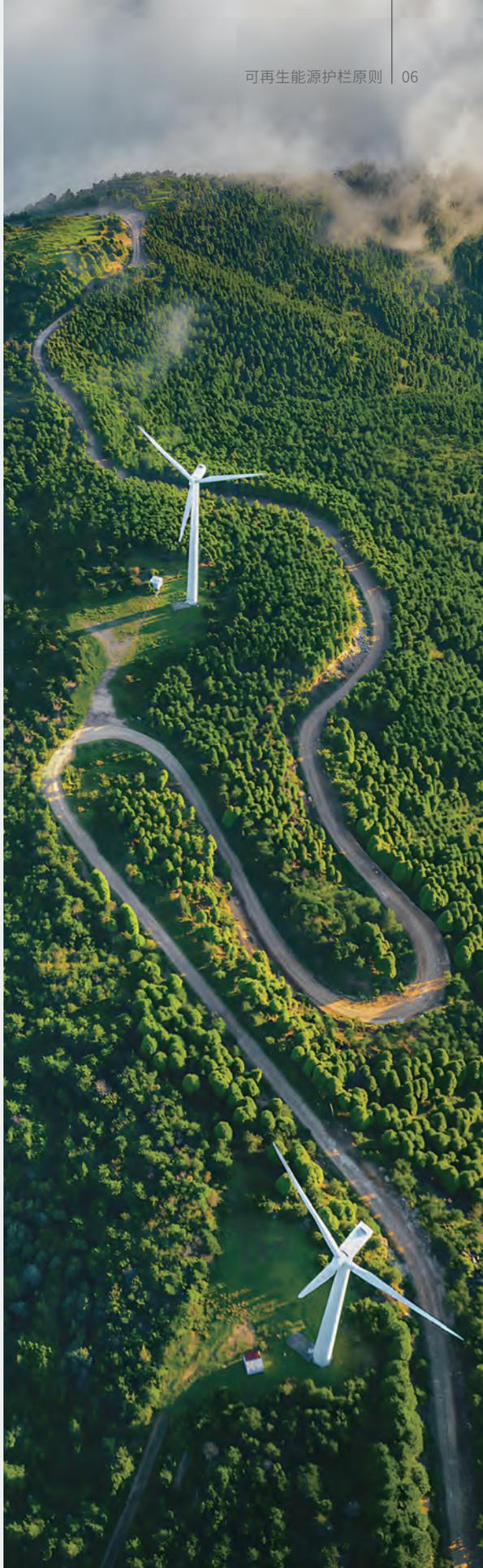


护栏原则包含以下五点核心内容：

- ▶ 1. 确保可再生能源开发对土地、森林、草原、湿地、海域等自然资源的可持续利用；
- ▶ 2. 避免或减小对自然的影响，并将生物多样性友好的理念贯穿项目全生命周期，采取积极措施实现生物多样性净增益；
- ▶ 3. 建立可再生能源项目的社区参与机制，关注和尊重本地社区的宗教信仰、文化习俗等人文传统；
- ▶ 4. 提高对可再生能源上游供应链的负责任管理，避免和减小原材料开发的生物多样性和社会影响；
- ▶ 5. 制定项目退役的生物多样性和社会保障规则，开展生态恢复。

以上五点作为提出护栏原则的第一步，希望能为可再生能源企业今后实现气候、生态和社会多重效益提供战略建议，未来我们也将加强与多利益相关方的交流，不断完善护栏原则，并关注其在不同场景下的具体应用，例如通过生物多样性敏感地图规避潜在风险。

我国风电和光伏企业是全球可再生能源价值链中的关键角色和领军力量。因此，强化与国际良好实践的对接也同样重要。我们希望通过跨界的研究合作、经验交流和联合开发，提升各国将生物多样性主流化的能力，以实现应对气候变化、保护生物多样性和实现可持续发展目标的多赢局面。



术语表

| 序号 | 术语 | 释义 |
|----|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 本地社区 | 社会群体聚集在某一地理领域形成的有生活关联的集体。 ^[1] |
| 2 | 边缘化群体 | 在多元文化冲突中的边缘群体因不被主流社会接纳而产生的心理失落现象,后逐渐扩展为对政治、经济和文化等所有领域里的“非中心”、“非主流”现象及其形成过程的描述。 ^[2] |
| 3 | 供应链 | 生产及流通过程中,涉及将产品提供给最终客户所形成的网链结构。供应链可包括供应商、制造商、物流商、内部配送中心、分销商、批发商以及联系最终用户的其他实体。 ^[3] |
| 4 | 价值链 | 价值链是一个产品从构思到最终消费者使用及后续的整个过程中所涉及的所有企业活动。它包括设计、生产、营销、分销和向最终消费者提供支持服务等多种活动。 ^[4] |
| 5 | 可再生能源 | 原指风能、太阳能、水能、生物质能、地热能、海洋能等非化石能源。本报告中主要指以风力发电和光伏发电技术为代表的风能和太阳能。 |
| 6 | 绿色供应链 | 将环境保护和资源节约的理念贯穿于企业从产品设计到原材料采购、生产、运输、储存、销售、使用和报废处理的全过程,使企业的经济活动于环境保护相协调的上下游供应关系。 ^[5] |

| 序号 | 术语 | 释义 |
|----|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7 | 社会影响 | 社会影响是指任何公共或私人行为所带来的后果，这些后果会改变人们的生活方式、工作方式、娱乐方式、人际关系或组织方式，从而影响他们作为社会成员的需求满足和生计保障。这个词也包括对人们传统、价值观、信仰等社会认知体系的文化上的影响。 ^[6] |
| 8 | 生命周期 | 产品（或服务）系统中前后衔接的一系列阶段，从自然界或从自然资源中获取原材料，直至最终处置。 ^[7] |
| 9 | 生态影响 | 工程占用、施工活动干扰、环境条件改变、时间或空间累积作用等，直接或间接导致物种、种群、生物群落、生境、生态系统以及自然景观、自然遗迹等发生的变化。生态影响包括直接、间接和累积的影响。 ^[8] |
| 10 | 生物多样性 | 所有来源的活的生物体中的变异性，这些来源除其他外包括陆地、海洋和其他水生生态系统及其所构成的生态综合体；这包括物种内、物种之间和生态系统的多样性。 ^[9] |
| 11 | 转型矿产 | 在生产、储存、运输和使用能源过程中，从化石能源向可再生能源转型所需要的 26 种矿物和金属。一般包括铝、硼、镓、铬、铜、镓、锗、金、石墨、铟、铅、锂、锰、钼、镍、铂族矿物、稀土、硅、银、碲、锡、钛、钒和锌。 ^[10] |
| 12 | 自然资源 | 自然资源是天然存在、有使用价值、可提高人类当前和未来福祉的自然环境因素的总和。 ^[11] |



01

CHAPT

背景

- 1.1 中国可再生能源发展为全球应对气候变化作出重要贡献
- 1.2 可再生能源发展面临生态和社会的多重新挑战
- 1.3 研究内容和对象

1.1 中国可再生能源发展为全球应对气候变化作出重要贡献

21世纪以来，全球气候变化已成为人类生存与发展的最大威胁之一。联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第六次评估报告明确指出，若全球温升超过1.5°C，极端天气、海平面上升、生态系统崩溃等风险将迅速加剧^[12]。在此情况下，全球范围内制定气候减缓和适应的政策目标与行动计划更为迫切。可再生能源作为各国气候行动的焦点，其发展一直备受瞩目。截至2024年5月，全球已有151个国家提出碳中和目标。截至2023年底，已有133个国家提出了可再生能源发电目标^[13]。能源转型不仅是技术革命，更是全球气候与环境治理体系的关键领域。

截止到2024年

全球国家提出碳中和目标国家 **151** 个

截止到2023年

全球提出可再生能源发电目标国家 **133** 个

作为全球最大的发展中国家和碳排放国，中国在气候变化议题上作出承诺。在2020年第75届联合国大会一般性辩论上，我国提出“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现“碳中和”的双碳目标，标志着中国从气候治理的参与者向领跑者转变。作为全球可再生能源增长的主要驱动力，2023年，中国风电、光伏新增装机量在全球新增规模中分别占比63%和62%^[14]。同时中国政府自2021年宣布不再新增海外煤电厂后，逐渐通过“一带一路”绿色投资等机制，支持发展中国家的能源转型。截至2024年6月，在央企海外风电和光伏投资装机量排名前十的国家中，有六个为发展中国家，其中装机量最高的为巴西，拥有132个中资风电和光伏机组，装机量占所有海外投资装机总量的44.90%^[15]。

2023年

中国风电新增装机量
在全球新增规模中分别占比 **63%**

中国光伏新增装机量
在全球新增规模中分别占比 **62%**

1.2 可再生能源发展面临生态和社会的多重新挑战

推动可再生能源的发展已经成为我国绿色经济转型，实现“双碳”目标的关键路径。2013年至2023年，清洁能源消费比重从15.5%提高到26.4%，发电量也从25%左右提高到了39.7%^[14]。同时，美丽中国建设的深入推进也对可再生能源的发展提出了新的挑战。近年来，由于项目对大面积土地的需求，部分风电光伏项目被报道因占用基本农田、生态红线等而被整改、拆除或罚款。2024年，自然资源部发布了《自然资源部关于保护和永续利用自然资源扎实推进美丽中国建设的实施意见》，对我国产业如何实现可持续发展作出了进一步部署，包括明确不同产业限制不同类型的用地、严格控制建设项目的土地占用等要求^[16]。同年，在自然资源部、国家发改委、国家林草局共同发布的《自然资源要素支撑产业高质量发展指导目录（2024年本）》中，首次明确提出需要对滩涂、沼泽等湿地上的光伏项目进行限制，并提高利用湿地、林地、草地等的用地要求^[17]。

社会层面的问题受到了更多关注。2020年，大唐桂林某风电场项目施工过程中由于受到村民抗议，导致工程全面停工22天，经估算损失达233万余元。2024年，江西省南昌市红谷滩区某村的一项千亩鱼塘光伏项目，由于在用地补偿和对农田影响的问题上未达成一致，导致在部分设备已进场的情况下，不得不暂时停工。类似冲突事件频发，说明若缺乏充分的信息沟通和公平合理的利益分配，可再生能源项目会影响厂区及周边居民的生活方式和生计模式，可能成为社会冲突和矛盾的导火索。

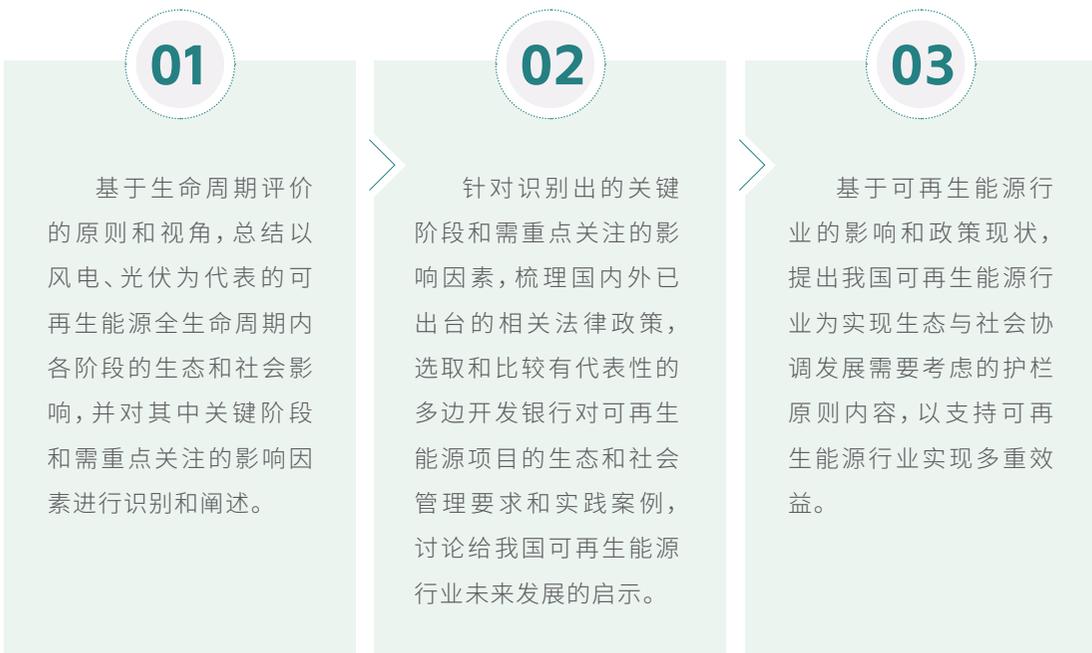
可再生能源全生命周期中的生态和社会影响也引起了关注。风电和光伏项目所需设备和基础设施通常工艺复杂，供应链较长，如风机和光伏板等装备所需的原材料往往来自铜、镍、锰、稀土等多种矿产资源，而这些矿产的开采会对山体和植被造成不可逆的影响，可能会对生态环境和本地社区造成不利影响。另外，随着第一批大规模的风电场和光伏电站接近其设计周期尾声，社会公众对这些风电场和光伏电站退役后的环境和社会影响的担忧也日益凸显。例如，基础设施拆除对周围生态环境和周边居民产生负面的扰动、退役设备和废弃物的回收和处理不当造成环境污染等。

同时，可持续发展已成为国际共识，企业环境、社会和治理（ESG）表现日益受到关注，国内外可持续发展信息披露相关标准陆续出台并日趋完善。2024年到2025年初，沪深北交易所分别发布了《上市公司可持续发展报告指引》和《上市公司可持续发展报告编制指南》，中国上市公司可持续发展信息披露框架体系基本形成。今年，财政部也发布了《企业可持续披露准则——基本准则（征求意见稿）》，标志着国家统一的可持续披露准则体系建设拉开了序幕。国际上，国际可持续准则理事会（ISSB）在2023年正式发布了首批国际财务报告可持续披露准则的一般要求和气候披露准则后，于2024年开展了对“生物多样性、生态系统和生态系统服务”和“人力资本”两项主题的研究，并将根据研究结果考虑增加准则内容。面对不断细化和完善的规则和政策，可再生能源企业作为绿色经济的领头羊，需要积极适应和衔接国内外规则变化，并采取行动减小由此带来的转型风险。

1.3 研究内容和对象

本报告主要采取文献调研和专家访谈等方式，收集行业相关信息和关注点，在此基础上梳理了可再生能源中风电、光伏产业在生态和社会议题上的国内外政策和案例，探讨了相关挑战。并在此基础上提出了可再生能源产业需要考虑的护栏原则。虽然集中式和分布式项目都是风电和光伏产业的重要类型，但受篇幅和资源的限制，若无特别说明，本报告所提的可再生能源项目主要指集中式风电或光伏项目。

具体研究内容主要有以下三点：



02 CHAPT

基于生命周期视角的 可再生能源项目影响

2.1 生态影响

2.2 社会影响

2.3 小结



随着风电和光伏发电的装机并网规模迅速增长，如何全面和科学的识别和评估可再生能​​源项目在不同阶段产生的影响已成为了政府、研究人员和公众所共同关注的问题。全面了解风电和光伏发电对生态和社会的影响，能在减缓气候变化和能​​源转型的同时，确保可再生能​​源的发展与生物多样性保护和可持续发展目标相一致。



图1 可再生能​​源生命项目生命周期和参与企业

可再生能​​源项目整个生命周期内涉及的参与企业众多，见图1。风机和光伏组件设备及其零部件的供应链非常复杂，包括矿产企业、各种零部件供应商、风机整机制造商或光伏组件制造商等各类企业。以风电场项目为例，原材料开采与加工阶段主要由原材料供应商生产和制造各种零部件所需要的原材料，例如矿产企业负责开采供应风机需要用到的永磁材料、稀土等，并将这些原材料加工成零部件制造商可使用的形式。在设备制造与生产阶段，零部件制造商负责生产用于制造部件的较小零件，例如螺栓、轴承、电气零件等，或提供制造风机部件所需的钢材、稀土和玻璃纤维等主要材料。这些主要材料和较小零部件进一步被用来制造风机所需的关键部件，如叶片、控制系统和塔筒等。最终由整机制造商将组件组装成最终安装在陆上或海上的风机。在风电场开发与运营阶段，开发商或业主采购和安装这些风机，完成施工后，风电场运营商则会在为期20年左右的运营周期里定期维护这些风机。当风电场超过其设计年限，退役的风机将会进一步由相应的拆解承包商进行拆除，并交给废弃物管理和回收公司进行分解并回收其中可以被再次利用的材料。

为了能更完整和系统地理解风电和光伏发电从设备生产、项目开发到产业发展所导致的外部效应（或溢出效应externalities），本章将从生命周期的视角，关注风电和光伏发电项目以及相关设备从原材料开采到最终处置这个过程中，对生态和社会产生的直接或间接影响。在流程上，本文会从原材料开采与加工、设备制造与生产、电站开发与建设与运营和项目退役与设备回收这四个阶段来梳理和总结可再生能​​源相关的影响。

2.1 生态影响

可再生能源项目在其生命周期中的各个阶段，会通过工程占用、施工活动干扰、改变环境条件等各种方式，直接或间接影响生物多样性和生态系统。根据生物多样性和生态系统服务政府间科学政策平台 (IPBES) 的报告和相关研究，本章将可再生能源项目相关的生态影响因素主要分为以下六种：陆地或海洋利用改变、直接利用生物体、污染、气候变化、外来入侵物种和水资源利用^[18,19]。根据不同的原材料来源、建设和运营方式和退役与回收的方式，影响因素的类型和程度也不一样。例如，鸟类和蝙蝠与风机碰撞导致受伤或死亡是风电运营和维护阶段普遍受到关注的问题。风机和光伏组件的零部件生产过程导致相关矿产开采活动增加，由此带来的生态威胁也让可再生能源产业近年来备受关注。

虽然可再生能源的发展有利于减少对煤炭的开采需求，但由于相关设备在制造过程中需要用到大量金属或非金属矿产以及木材等自然资源作为原材料，可再生能源项目的迅速增长将导致部分矿产和木材的开采活动增加，因此，可再生能源的原材料开采与加工过程会对生物多样性和生态系统产生更为深远的影响，尤其是在土地利用改变、直接利用生物体和水资源利用等方面。另外，由于转型矿产资源的分布比石油、天然气等传统能源更为集中，且靠近自然保护区等生物多样性价值较高的区域，未来可再生能源相关的原材料开采的生态影响将可能会超过传统能源^[20]。

在设备制造与生产阶段，风机和光伏板的一些关键零部件的制造过程需要大量能源投入，并且相比于电站的开发建设和运营维护，会产生更多的污染。风电和光伏发电因其温室气体减排效果显著而被认为是绿色能源技术。然而，可再生能源的设备制造与生产阶段同样会产生一定的污染，尤其是多晶硅光伏在生产过程中还需要利用大量水资源，在部分国家平均耗水量高达2.1-2.3升/千瓦时^[19]。

电站的开发建设和运营维护阶段通常被认为是温室气体和其他污染排放最少的阶段^[19]。然而，近年来风电场和光伏电站在施工和运营期对生物多样性的影响受到关注越来越多，例如，施工期植被清理和土地平整导致野生动物栖息地丧失，以及运营期鸟类和蝙蝠与风机的碰撞和光伏板清洗导致水资源需求的增加等^[21]。



近年来,新建风电场和光伏电站的规划和部署日益受到重视,但其达到使用寿命后的退役处置问题仍存在许多空缺。随着首批风电、光伏设备逐步接近25年设计寿命,预计2025年其将迎来退役高峰期^[22]。届时,可再生能源行业需应对处置过程对当地生物多样性、生态系统以及资源利用的潜在生态影响。由于对废弃风机和光伏生态风险的认识和相关研究十分有限,目前无法对退役和回收阶段的生态影响进行适当和完整的评估。但为避免未来造成不可预测的环境后果,此议题亟需引起重视并采取综合措施^[23]。

表1 可再生能源项目生命周期各阶段生态影响概况

| | 影响因素 | 原材料开采与加工 | 设备制造与生产 | 电站开发与建设 | 退役与回收 |
|------|-----------|----------|---------|---------|-------|
| 生态影响 | 陆地或海洋利用改变 | 很高 | ND | 很高 | TBD |
| | 直接利用生物体 | 很高 | ND | 中 | TBD |
| | 污染 | 中 | 低 | 低 | TBD |
| | 气候变化 | 中 | 低 | 低 | TBD |
| | 外来入侵物种 | ND | ND | ND | ND |
| | 水资源利用 | 很高 | 中 | 中 | TBD |

很高

高

中

低

有待研究(TBD)

无数据(ND)

基于对国内外风电和光伏项目全生命周期生态影响相关研究的综合分析,本文对不同阶段的影响因素类型和程度进行了比较,结果见表1。对比结果表明,风电和光伏项目在全生命周期各阶段均可能产生生态影响;其中,设备制造与生产阶段受所在区域内生态环境管理政策的约束更为严格。根据现有文献,上游原材料开采与加工、电站开发建设与运营,以及项目退役与设备回收阶段的生态影响尤其值得关注。因此,本文将针对这三个阶段,分别讨论其对生物多样性和生态系统产生的潜在影响。

2.1.1 上游原材料开发阶段

可再生能源项目的建设依赖于庞大的产业链支撑,尤其在设备制造环节,风电项目中的风机叶片、塔筒、发电机组,以及光伏项目中的光伏组件、电缆系统和支架等设备,需要使用大量铜、铝、锂、镍、稀土、硅等矿产资源。除了矿产资源,风机叶片制造还需要使用巴沙木等木材作为填充芯材。为了建设实现气候变化目标(例如将全球温度升高控制在1.5°C以下)所需的可再生能源基础设施,将加剧对相关资源的需求。根据世界银行预计,能源转型已经导致了对金属和矿物需求量的激增,到2050年某些金属的需求增长将接近500%^[24]。

对风电和光伏发电生产所需矿物和木材的需求增加,使得矿业和林业作为可再生能源上游的关键行业对全球生物多样性和生态系统造成了威胁。林业和矿业等自然资源依赖性行业被认为是对生物多样性造成最大压力的行业之一^[25]。无论是露天采矿还是地下矿场,采矿活动通过移除地表植被、改变水土结构及排放各类污染等,对动植物生长、生物群落结构、动物行为、动植物栖息地等方面产生负面影响,并进而破坏生物多样性的完整性^[26];林业方面,若未严格执行采伐规范,森林退化与碎片化问题将进一步削弱生态系统的完整性与恢复能力^[25]。因此,在推动风电光伏规模化发展的同时,加强对其上游原材料开采与加工阶段的生物多样性影响的认识也极为重要。

2.1.1.1 与风电光伏设备相关转型矿产

对于风电能源来说,在项目建设过程中其供应链一共涉及14种金属,其中铜、镍、锰、铬、钼、稀土、铝等常因其重要程度和需求量被认为是能源转型中的关键矿产^[24,27]。光伏所需关键金属种类远低于风电能源。国际能源署指出,太阳能光伏的矿物需求主要集中在铜、硅、银、铝这四类矿物上^[24,27]。这些矿产开采活动对生物多样性的影响不仅取决于矿山的开采方式,同时也与所开采矿产的类型密切相关。不同类型的矿产在其开采和加工过程中,采用的采矿技术、矿石加工方式以及废弃物处理机制等因素有所不同,导致对生态系统的干扰程度也存在差异^[20]。

风电与光伏设备的制造高度依赖矿产资源,然而,对于铝、铜、锂和镍等转型矿产的开采却可能影响地球5000万平方公里的陆地表面^[28]。这是由于金属多数以露天或浅层矿方式开采,开采时需清除大量地表植被并改变地形地貌结构。例如,铜是全球使用最为广泛的金属之一,但由于铜矿通常规模巨大,矿坑的直径可达到近一英里,深度也可超过数千英尺,使得铜矿在开采过程中须砍伐大量的森林,这极有可能威胁到重要的动植物栖息地^[29]。又例如,铝土矿开采在印度、几内亚和澳大利亚等地已经导致了植被的消失以及栖息地的破碎化^[29]。这种空间上的大规模土地转化,将会进一步的导致物种迁移路径受限,并降低生态系统的整体稳定性和恢复能力。

矿业活动在开采、运输与冶炼等过程中伴随着多种形式的污染，尤其是重金属释放、酸性矿井排水和颗粒物排放等，会对周边生态系统造成持续性冲击。例如，稀土作为风机制造不可或缺的重要矿产资源，可能会因重金属和其他污染物排放造成水体污染，严重破坏生态环境^[30]。此外，在风电和光伏制造均需要的重要矿产铝土矿开采过程中，粉尘污染也是一个重要问题，因为粉尘不仅导致空气污染，还会直接影响植被的生产力，进一步加剧生物多样性丧失^[29]。

在矿区开发与矿产资源运输的过程中，大量新建道路、输电线路、管道及临时营地造成了土地利用的变化，这往往为入侵物种在受干扰地区定居创造了“机会之窗”^[31]。人类活动密度的增加与栖息地破碎化结合，也为入侵物种创造了更有利的条件，增加了它们扩散的几率。例如，在阿巴拉契亚历史采矿区发现了入侵物种日本小檗 (*Berberis thunbergii*) 和野蔷薇 (*Rosa multiflora*)，这两类入侵物种在采矿停止后迅速扩散，对本土物种的恢复产生了负面影响^[31]。入侵物种通过与本地物种竞争资源、传播病害等方式对本地生态系统构成压制，尤其在濒危物种栖息地周边，容易对物种多样性形成深远冲击。

若采矿区位于水资源稀缺或生态脆弱地区，则其影响更为显著。例如，露天采矿作业往往通过改变地表径流模式，导致地表水源的枯竭和河流断流；而地下采矿则可能引起地下水位的显著下降，从而形成“积疏干漏斗”效应^[26]。这些水文变化会显著扰动矿区周边的湿地、河流、湖泊等水生生态系统的正常水循环，进而影响水生生物的栖息地和迁徙路径，最终导致水生生物多样性的下降与丧失。

采矿的间接影响往往大于直接影响，可能延伸到采矿边界50至70公里以外。例如，巴西亚马逊地区的大规模工业采矿导致70公里以外的森林遭到砍伐，新几内亚西巴布亚的格拉斯伯格露天矿导致的森林损失是采矿区本身的42倍多^[32,33]。矿业造成的影响深远且复杂，因此矿产的开采带来的环境问题引发了对可再生能源产业可持续性的质疑。尽管这些矿产对绿色能源技术至关重要，但其开采过程中引发的生态破坏、生物多样性丧失和环境污染却是不可忽视的。如何在满足可再生能源需求的同时，确保矿产资源的可持续开采，成为了全球能源转型过程中亟待解决的关键问题。



2.1.1.2 风机叶片原材料巴沙木

叶片作为风机设备的核心部件之一，其性能直接影响风电机组的运行效率与使用寿命。为了保证强度的同时减轻整体重量，巴沙木（又称轻木）因其低密度与良好的结构强度比而被广泛用于叶片的夹芯材料，成为风机制造不可或缺的原材料之一^[34]。在全球能源结构向低碳化、可再生能源转型的背景下，风电装机容量迅速增长，进而带动了对巴沙木的国际需求，尤其是在中国、欧洲等主要风电设备制造市场。巴沙木作为热带美洲的本土树种，主要生长于厄瓜多尔、秘鲁等国家。因其生长周期短、材质优良，使其具有高度吸引力。然而，这种经济价值的提升亦伴随着采伐行为的非理性扩大。具体来说，在巨大市场的驱动下，大量原生与次生林被用于采伐与开发，森林资源面临前所未有的压力，目前对巴沙木锯材的需求量在每年40万到46.5万立方米之间^[34]。而森林砍伐的直接后果不仅是林地面积的减少，更是对整个生态系统功能的系统性扰动。

森林砍伐通常会导致土地利用方式发生显著变化，例如从森林生态系统转变为农业用地或城市区域。森林的丧失意味着许多物种失去了其赖以生存的家園，包括树木本身以及依赖森林栖息地的众多动植物。由于栖息地的丧失，一些物种可能面临灭绝的风险，而其他物种则可能被迫迁移到新的区域，从而改变了原有的生态系统平衡^[35]。此外，土地利用方式的改变还可能导致栖息地的破碎化，使得物种的分布范围缩小，进而影响物种的长期存活能力^[35]。

森林砍伐以及天然林向人工林的转化等人类活动，不仅直接扰动了森林生态系统的结构与功能，还通过改变生态环境条件和破碎化栖息地等方式，为外来物种的入侵提供了有利途径，进而对森林的生态功能和生物多样性产生直接和间接的负面影响^[36]。

森林作为全球碳汇系统，其砍伐显著影响气候变化进程，进而间接影响生物多样性。森林植被在光合作用中固碳并调节微气候，当其被砍伐后，大量碳以二氧化碳形式释放，加剧全球变暖^[35]。

森林砍伐可能会破坏水循环过程，导致降水模式的改变、地表径流的增加以及水分蒸发的减少^[37]。例如，地表径流的增加可能会导致水土流失，使水体中的泥沙含量增加，降低水质的透明度，影响水生植物的光合作用和水生动物的生存环境^[35]。



案例 | 巴沙木采伐的环境与社会影响：以厄瓜多尔与秘鲁为例

厄瓜多尔的“巴沙热”

巴沙木主要产于拉丁美洲，特别是厄瓜多尔。据统计，全球约90%的巴沙木锯材出口来自该国^[34]。随着全球风电能源产业的迅速扩张，厄瓜多尔的巴沙木出口总额在短时间内迅速增长，2020年达到4.02亿美元，中国成为最大进口国，占当年出口量的85%^[38]。如此快速的市场拉动效应，导致该国境内巴沙木采伐活动剧增，集中发生在奥雷利亚纳州等热带林地。

尽管巴沙木为本土树种，但其人工种植和砍伐量的迅速增长会干扰森林生态系统的自然演替过程，进而削弱了固氮能力、土壤结构稳定性和水源涵养等关键生态系统服务功能，并导致碳储量变化或栖息地的丧失。数据显示，奥雷利亚纳州在2018至2020年间森林净损失面积高达8417公顷，2022年又减少了6170公顷森林覆盖^[39]。另外，森林监管机制的不完善进一步加剧了环境退化问题。尽管环境部(MAATE)和农业部(MAGAP)共同负责森林管理，但由于执法透明度低、监督机制缺失，非法采伐现象普遍。腐败与欺诈行为使得大量非法木材通过伪造许可证进入合法市场。地方政府监管资源不足，也使非法活动得以持续存在^[34]。

巴沙木的过度开发不仅破坏了生态环境，也对当地社区造成了深远影响。采伐活动造成社区内部因土地边界与资源分配而产生冲突，亲属间纠纷频发；社区成员被吸纳进木材采伐链条后，逐渐脱离原有的社会文化活动，削弱了社区凝聚力与文化传统的延续性^[38]。

秘鲁的非法采伐与跨境贸易问题

作为厄瓜多尔的邻国，秘鲁也在巴沙木贸易中扮演了重要角色。Zunino等人^[34]的研究指出，该国37%-90%的木材贸易存在非法成分。受到“巴沙热”风电制造业暴涨的原材料需求的影响，秘鲁显著提高了巴沙木的采伐量。2021年几乎所有采伐的巴沙木都通过与厄瓜多尔的边境贸易混入出口流程，流入国际市场。在秘鲁亚马逊地区，土著社区还面临越境伐木的侵扰，万皮斯民族报告称非法伐木者从厄瓜多尔进入其领地采伐，尽管社区尝试组织阻拦，但执法机关常常未予有效响应。

巴沙木采伐对社区的影响不仅限于生态系统退化，也引发了社会层面的冲突与矛盾。由于资源收益分配不均和经济利益纠纷，社区内部的信任关系不断被侵蚀，传统的社会结构和文化价值观受到冲击。这种持续的社会张力不仅削弱了社区的内部治理能力，也提高了其对外部干预与冲突的敏感性，从而加剧了整个地区生态与社会系统的脆弱性^[40]。



2.1.2 可再生能源电站开发建设和运营阶段

可再生能源电站里大量风机、光伏板等设备的布设,可能会对野生动物造成负面影响,包括直接碰撞、栖息地破坏和影响野生动物迁徙等^[41]。风电场和光伏电站受到其设备最大使用寿命的限制,正式投入使用的电站设计年限通常在20-25年左右,因此,25年之久的运营期可能对所在地区的生态环境造成深远的影响。另一方面,需要大面积的陆地或海洋用地是可再生能源项目开发建设阶段的主要特点之一,而土地或海洋利用的改变是导致生物多样性丧失的直接驱动因素之一。因此,国内外对于风电和光伏项目开发建设和运营维护阶段对生物多样性和生态系统的影响已有了较多研究,可见表2。结合目前被关注和讨论最多的问题,下文将主要介绍迁徙物种与设备碰撞、项目用地导致栖息地丧失以及噪音等污染对动植物的影响。

表2 陆上风电和海上风电开发对生物多样性和生态系统的主要影响

| 主要影响 | 光伏发电 | 陆上风电 | 海上风电 |
|------------------------|------|------|------|
| 自然土地/海洋利用改变造成栖息地丧失 | √ | √ | √ |
| 鸟类或蝙蝠与光伏板/风机和输电线路相撞 | √ | √ | √ |
| 鸟类和蝙蝠在输电线上触电致死 | √ | √ | √ |
| 昆虫等被光伏板的反射表面吸引 | √ | | |
| 对陆地生物多样性迁移的屏障效应 | √ | √ | |
| 由于水文和水资源以及水质变化导致生境退化 | √ | | |
| 污染(例如尘土、光、噪音、固体废物等) | √ | √ | √ |
| 土地利用再度改变、人为活动范围扩大的间接影响 | √ | √ | √ |
| 相关的生态系统服务影响 | √ | √ | √ |
| 由微气候效应变化引起的生境改变 | √ | | |
| 引进外来物种 | √ | √ | √ |
| 对食物链产生级联效应 | | √ | √ |
| 流体动力学改变 | | | √ |
| 新栖息地 | | | √ |
| 与船舶相关的个体死亡、受伤和行为影响 | | | √ |
| 与水下噪音相关的个体死亡、受伤和行为影响 | | | √ |
| 与海底电缆电磁场相关的行为影响 | | | √ |

资料来源:根据世界自然保护联盟(IUCN)的《Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development》报告内容整理而成。

鸟类和蝙蝠与风机碰撞造成死亡是风电场建设和运营过程中最被关注的问题,猛禽等是与风机发生碰撞的几率更高的类群^[42]。沿海地区的海上风电场同样会对鸟类造成影响,一项在盐城东沙沙洲的研究发现,风电建设将使鸟类栖息地面积减少13.9%^[43]。风电场可能会改变鸟类迁徙行为,研究发现黑脸琵鹭(*Platalea minor*)在穿越黄海时由于遇到连续的海上风电场,发生了延迟迁徙时间、中断迁徙,甚至因精疲力竭而死亡的情况^[44]。虽然许多研究已发现风电场的建设可能会导致鸟类死亡率的上升,但鸟类行为与碰撞风险之间的关系仍然尚未明确,尤其是在风机叶片掠过区域附近。

与传统化石能源一样，需要大面积的土地或海洋是可再生能源最显著的特点之一。根据《电力工程项目建设用地指标（风电场）》的规定，我国风电和光伏及其配套设施占地面积一般为20-150平方米/千瓦，保守计算至少需要30万平方公里、超过3%的国土面积才能实现2060年碳中和^[45]。通常，风电场和光伏电站施工期为方便安装相关设备，需要进行大量挖土和回填土工程以配合修建道路、平整土地等。这不仅会导致建设期间施工区域的植被群落生产力下降，运行期间也可能间接造成周边地区植被生产力下降^[46,47]。运营阶段，一些光伏电站会通过喷洒除草剂、平铺碎石或定期除草来管理光伏板周围的植被。这些行为都可能导致生境碎片化、栖息地退化或丧失等，影响物种迁移或死亡，进而影响物种丰富度和密度的下降^[21]。

风电场和光伏电站在开发建设和运营维护阶段大量工程行为会造成不同程度的废水、废气、扬尘、光、噪音、电磁干扰等污染^[48]。部分动植物可能会受到噪音、光污染的干扰而受到影响。例如，有研究发现青海茶卡盐湖湿地附近的野生动物由于受到周边青海湖区域内风电场施工噪音的影响，产生了规避反应，远离了栖息地^[49]。

另外，大规模的光伏项目可能会造成水资源的消耗。光伏项目在运营过程中需要定期用水清洗光伏板或抑制扬尘以维持设备正常运转，因此对项目所在地有一定的取水和用水需求^[50]。大规模的光伏项目可能会影响依赖或对水资源敏感的荒漠生态系统以及总体分布范围较小或只依赖于沙漠或戈壁这些特殊生境或地形特征的物种^[51]。例如，我国沙戈荒地区大面积的光伏项目造成的地下水消耗可能会导致长时间尺度下荒漠生态系统的多样性和稳定下降^[52]。

2.1.3 项目退役和设备回收阶段

随着我国风电和光伏产业步入设备更新与集中退役的关键时期，风电和光伏项目的退役阶段日益成为可再生能源发展与生态保护交汇的关键节点。有研究预计^[22]，中国风电产业2025年第一批大规模退役潮规模将超过1.2GW，2030年光伏组件报废密集期可回收容量高达17.8GW。

退役阶段通常包含项目退役与设备回收两个核心环节，目前我国已对风电和光伏项目的项目退役和设备回收提出了一定程度的规范要求。以风电为例，前者涉及风电场运营合法性与生态适应性的判定，后者则聚焦于设备材料的资源再利用及其对环境的潜在影响。在项目退役环节，依据《关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》等规定，若风电场位于生态保护红线范围内，企业不得扩大现有规模与范围，项目到期后需实施生态修复措施；而对于位于非生态红线范围、同时符合国土空间规划与环境评估相关规定的风电项目，则涉及三种后续经营路径：其一，项目完全取消并实施退役，将设备拆除并对土地进行复原；其二，以大换小的改造方式，即在不改变风机布点位置的前提下，用更高功率、更高塔筒或更长叶片的新风机替代原有设备，从而提升单位土地的风能利用效率；其三，继续维持现有风机容量和布局，在符合安全与环境标准的条件下延长设备服役周期。



在设备回收环节，退役风电设备通常包含塔筒、机舱、发电机组和叶片等部件，其中金属材料与复合材料的回收方式存在显著分化。首先，在金属回收方面，部分金属，如塔筒、机舱和发电机中所含的铝、铜具有较成熟的回收路径，然而，也有一些金属如稀土、锂和锰等回收率仍有提升空间^[53]。有效回收金属不仅具有显著的经济价值，更能在生态层面上减少上游矿业资源开采的初级需求，进而降低对原始生境的干扰与破坏，对生物多样性形成积极的保护效应。其次，在叶片回收方面，由于风机叶片普遍采用玻璃纤维或碳纤维增强树脂复合材料制成，具有高强度、难降解等特性，导致其回收成为当前风电设备退役处理中的主要技术难点与生态挑战。

目前，国内外已探索出五种主要回收技术路径，分别为机械处理、填埋处理、化学溶解处理、焚烧处理以及热解处理。这些处理方法各有特点，且对环境和生物多样性带来的影响也不尽相同^[54]。总体而言，项目退役阶段的路径选择及设备回收不仅关系到资源循环，也与生态系统健康与生物多样性保护密切相关。

风电与光伏设施在项目选址过程中，通常优先布局于荒漠、草原、高原及沿海地带等人类活动相对较少的区域。然而，这些区域往往具有较高的生态敏感性，是多种濒危物种的栖息地、繁殖地或迁徙廊道^[55]。退役过程中如涉及基础设施的拆除、运输道路的扩建或用地复垦处理不当，将进一步加剧对原有栖息地的干扰和破碎化。以风电产业为例，风机叶片的回收和处置已成为全球重要议题。在美国，据专家预计未来20年将有超过72万吨的巨型风力涡轮机叶片最终被填埋^[56]。叶片多由玻璃纤维增强树脂或碳纤维复合材料构成，具有难以自然降解的特性，长期填埋将严重占用土地资源并改变土地利用方式。

化学污染与生态毒性问题在设备拆解与材料回收环节尤为突出。风电和光伏设备中包含多种有毒有害物质，例如风电机组中的润滑油、稀土磁性材料，光伏组件中的重金属，如铅、镉等。据统计，2021年全球仅约10%的废弃光伏板实现了有效回收，其余大多通过填埋方式处理，进而在处理区域造成重金属污染^[56]。而这些污染将进一步负面性的影响动植物生理功能及种群健康。此外，风机叶片采用的玻璃纤维和环氧树脂复合材料在机械破碎、焚烧或热解处理过程中可能释放微粒、有机废气甚至二噁英类污染物，对周边动植物构成长期毒性威胁^[57]。

风电与光伏退役过程中对水资源的潜在影响同样不容忽视。一方面，设备拆解和运输可能破坏地表植被和土壤结构，导致水土流失风险增加。化学回收工艺在处理光伏组件及风机叶片等含有树脂和重金属成分的复合材料时，通常伴随高强度的水资源消耗。例如，在化学溶解过程中，大量有机溶剂（如二醇类、酮类化合物）需要以水为介质进行中和、冷却和后续清洗操作；同时，设备在拆解和去污过程中，亦需使用大量清洗用水以去除残留润滑油、粉尘和金属碎屑^[57]。

2.2 社会影响

风电和光伏发电项目在推动能源转型和区域经济发展的同时，往往伴随着深刻的社会结构变迁和人群生活方式的调整，其带来的社会影响复杂而广泛。可再生能源项目从矿产资源等原材料开采到电站的开发和运营，都可对所有利益相关方产生各种生态和社会影响。虽然已有大量研究讨论了可再生能源造成的正面或负面生态影响，但对其产生的社会影响的研究相对较少^[58]。通过对风电和光伏发电项目社会影响的评估和梳理，可以提出和减少对各种利益相关方可能导致的不利影响，降低社会风险和成本，确保项目增加可再生能源发展的社会效应^[59]。

虽然具体项目社会影响的评估内容和方法会因所影响的利益相关方和所处的社会经济环境等不同而有所差异，但所有项目社会影响评估和分析的主要目的和基本框架大多一致^[59]。由于目前对于国内可再生能源开发产生的社会影响研究较为有限，根据已有国内外文献中对建设项目社会影响评估的研究和实践，本文将社会影响主要分为土地与迁移、劳动与就业、社区基础设施、文化遗产、社区参与这五个方面来总结和梳理其可能带来的社会影响^[60,61]。

2.2.1 土地与迁移

可再生能源项目，尤其是陆上风电和地面光伏项目，通常需要占用大面积土地，这在项目选址与建设阶段可能导致耕地、林地、草地的转用，甚至涉及对村庄整体迁移的需求。具体而言，包括土地收储手续的办理进度、土地用途的合规性，以及土地征用过程中与地方政府、当地农民的协调等，土地问题的处理不当可能会严重影响项目的进度和成本^[62]。当然，若土地征收过程公开透明、补偿机制合理，并结合基础设施投资同步推进，确实有可能改善被征地农户的生活条件，带来长远的社区发展机遇^[63]。然而，在实际操作中，部分项目因缺乏前期社会风险识别，常出现补偿不公、信息不对称和强制迁移等问题^[64]。风电项目的“点征”方式实际上将大片的完整土地切割成若干个小块造成了“隐形圈地”模式，既破坏一些脆弱生态系统的功能，也忽略了对部分边疆地区和民族地区传统生活方式和居民生计的影响^[65]。此外，对于本地社区而言，土地往往不仅是经济资源，失去土地可能会带来深远的社会心理与文化影响。

2.2.2 劳动与就业

可再生能源项目在建设初期可以创造大量临时就业机会（如土建施工、设备安装和运输物流等），运营阶段也可能提供部分技术岗位并推动职业技能培训，能够短期缓解项目地区的就业压力，并为当地带来短期经济收益，这对于经济欠发达地区尤为重要。根据国际可再生能源机构（IRENA）的调查，2023年，全球可再生能源工作岗位的增幅达到历史最高水平，从2022年的1370万个增加到1620万个。据估计，中国提供了740万个可再生能源工作岗位，占全球总数的46%，居世界首位^[66]。然而，建设期过后，项目转入运营阶段所需人力显著减少，尤其是风电、光伏等新能源项目自动化程度较高，仅需少量技术人员进行维护与监控，导致本地劳动力很难长期受益^[67]。此外，项目对高技能人才的需求通常难以在本地实现供给，往往依赖外部聘用。而传统的农业、渔业或牧业群体可能因项目带来的土地变化或生态影响而失去原有生计方式，若缺乏转型支持或技能培训，容易引发新的社会脆弱性，形成结构性失业风险^[68]。

2.2.3 社区基础设施

作为大型资本密集型投资,可再生能源项目常常伴随一定程度的基础设施投入,例如为运输设备新建或升级道路,改善电力接入条件,更新供水与排水系统等,这些社区基础设施对提升项目地区及周边地区的公共服务水平具有积极意义。此外,部分项目开发商也会通过履行企业社会责任(CSR),设立专项基金为地方提供教育、医疗、休闲空间等资源,助力整体社会福祉提升^[69]。然而,基础设施改善的分布常具有不平衡性,靠近项目中心区的社区可能受益更多,边远或弱势群体则受益有限。

与此同时,施工期可能造成尘土飞扬、噪音污染、水土流失等环境问题,影响居民身体健康与生活质量;退役阶段若未妥善规划设备退役和废弃物处理机制,如风电叶片、光伏板等材料处置不当,可能带来潜在的污染与二次影响^[70]。除此之外,风机和光伏板等基础设施的大量出现,也会改变原有的景观模式,对周边环境造成影响,例如光伏板的外形边界特征明显,易破坏农村和城市地区的景观质量和导致眩光问题等^[71]。

2.2.4 文化遗产

我国可再生能源分布与民族地区存在高度一致性,部分项目选址位于或靠近自然景观优美、历史文化资源丰富的区域^[72]。尤其在少数民族聚居地,一些宗教场所、传统居住形态、节庆习俗等非物质文化遗产可能面临被边缘化或中断的风险。施工与外来人口的大量流入也可能冲击传统宗教信仰与生活方式,造成非物质文化遗产的流失。此外,自然景观作为文化认同的载体也可能因风机布设、光伏阵列或电塔施工而遭到破坏,影响社区的审美与精神空间,破坏了特有的自然生态环境^[73]。但另一方面,若项目充分尊重本地文化、在选址与设计融入地方特色,或通过合作保护计划对文化遗产进行挖掘与修复,也可能成为推动文化保护和传播的积极力量^[74]。例如,企业可以通过资助民族手工艺发展,提升社区文化自信与认同。

2.2.5 社区参与

社区参与是评估可再生能源项目的社会可接受度和长期稳定运行能力的核心因素。高质量的社区参与应贯穿项目的整个生命周期,从最初的选址讨论到建设期的环境监测,再到运营与退役阶段的影响管理,都应鼓励利益相关方表达意见并参与决策^[75]。有效、深入、包容的社区参与可以帮助降低潜在冲突的风险,增强当地社区的社会资本,甚至提高项目的可持续性和成功率^[76]。

但在实践中,社区参与常因程序复杂、信息不对称或语言文化障碍而难以落实,往往只停留于形式上的告知与征求意见,缺乏实质性的协商与决策权。同时,在社区参与过程中,女性、残疾人、少数民族等边缘群体往往因缺乏代表权或表达渠道而被排除在外,导致项目规划偏向主流群体的需求,掩盖了真实的社会差异^[77]。



案例 | 河南风电项目建设破坏古长城文化遗产

近年来,随着中国大力推进能源结构转型,可再生能源项目迅速在中西部地区布局。然而在推进过程中,部分项目因前期规划和审批流程不完善,已对重要文化遗产造成了不可逆的破坏。河南省的两起风电项目对古长城遗址的破坏事件,凸显了“绿色发展”与“文化保育”之间的矛盾。

2015年6月,辉县市吉电新能源有限公司在未取得相关审批手续的情况下,擅自启动“南旋风电项目”建设,项目涉及赵长城遗址共8段,总长15.7公里。2017年12月,项目建设工程完工,但对赵长城遗址本体和环境风貌造成了严重破坏,涉及破坏长城756米,其中351米遭到损毁或严重损坏,405米遭到不同程度的损坏。事件曝光后,河南省委、省政府高度重视,责令辉县市人民政府作出深刻检查,对辉县市7名主要领导进行追责,对辉县市国土、建设、规划、文物部门的20名相关人员进行追责。对辉县市吉电新能源有限公司处以50万元罚款,并限期拆除3座风机和6座高压线塔,恢复赵长城遗址原貌^[78]。

2016年11月,河南豫能新能源有限公司投资建设的桐柏凤凰风电项目获得南阳市发改委核准,规划装机容量10万千瓦。尽管项目方取得了相关部门的林地使用和采伐许可,但在实际施工过程中,存在未按照批准文件采伐林木和占用林地的情况。更严重的是,项目施工涉嫌破坏省级文物保护单位楚长城遗址。据调查,施工过程中非法砍伐了大量树木,楚长城遗址(含烽火台)淮源镇与大河镇段被夷为平地,北杨庄段被挖断,造成了无法弥补的生态和文化损失。此外,项目的环境影响评价也存在问题,未如实反映项目所在地存在省级文物保护单位的事实,违反了相关法规^[79]。

两起事件都造成了无法恢复的历史文化损失,同时也表明,绿色转型若忽视社会风险识别与文化敏感性,可能在生态收益之外带来深远的社会代价。可再生能源的发展必须以更完善的社会影响评价和公众参与机制为支撑,实现生态、文化与社会多重维度的协调共进。



2.3 小结

综上,本章节调研了可再生能源项目从项目开发、原材料供应到设备退役处理的全流程,揭示了可再生能源全生命周期多个会对生物多样性和本地社区等产生潜在影响的环节。从上游的矿产资源开采和巴沙木砍伐,到下游风电场的科学选址与风机材料的回收处理,这些关键环节都与生态系统、生物多样性以及对应开发区域的本地社区息息相关,并将随着可再生能源规模的进一步扩大产生深远影响。

矿产资源开采



巴沙木砍伐



风电场的科学选址



风机材料的回收处理





03

CHAPT

实现可再生能源 可持续发展的政策趋势

- 3.1 加强供应链上游尽职调查与管理以实现负责任采购
- 3.2 在项目审批阶段严格控制生态与社会层面准入门槛
- 3.3 加速完善风电光伏设备退役制度以促进循环经济构建

针对上述问题,许多国家面临着挑战:如何在阻止和扭转生物多样性丧失和人与自然和谐共生的愿景下,继续增加以风电和光伏为主的可再生能源的部署。因此,这就要求各国政府将生态和社会发展目标系统地纳入到整个可再生能源规划和政策中,以同时实现《巴黎协定》和《昆蒙框架》的目标。面对可再生能源与生态保护和社会发展之间的矛盾,一些国家和地区取得了一些制度和政策上的进展和创新。

本章系统梳理了国内外降低可再生能源发展的生态和社会影响的关键政策,阐述了国内外政策的发展历史、适用情况及未来趋势。本章将从前文中识别出的原材料开采与加工、电站开发与运营、项目退役与设备回收三个重点阶段存在的问题,延伸到可再生能源企业在应对供应链上游原材料采购、项目开发及项目退役与设备回收时面临的政策风险。目前,欧盟和部分多边开发银行在政策上高度重视可再生能源项目的环境和社会影响,在目标制定、空间规划、公众参与、影响评估等方面都走在全球前列。因此,本文将以欧盟和部分多边开发银行的已有政策为代表,讨论目前的政策进展和监管趋势。

然而,当前政策工具在覆盖可再生能源全生命周期影响方面仍存在不完善、难以落地等问题,未来需要构建更为全面和可执行的政策体系,以填补上游原材料开采、中游开发建设及下游废弃回收等环节的治理盲区,最终助力能源转型与生物多样性保护目标的协同推进。



3.1 加强供应链上游尽职调查与管理以实现负责任采购

风电和光伏设备制造企业的供应链通常规模庞大，包括矿产企业、整机商和光伏组件制造商、开发商以及最终使用者之间的众多阶段和参与者。开发商通常不直接参与原材料矿产的采购，而是从整机制造商或光伏组件制造商（一级供应商）采购风机或太阳能光伏板。在整个供应链中，风电和光伏项目开发商和一级供应商最有可能利用其购买力来推动整个上游供应链的负责任采购实践^[29]。因此，本节将梳理中国和欧盟针对可再生能源供应链上游的环境与社会监管要求，以分析风电和光伏项目开发商或一级供应商所面对的供应链管理压力。

3.1.1 中国风电光伏供应链上游政策要求

纵观近十年间的政策发展，首先可以观察到大多数风电光伏的供应链政策是更大范围内国家战略的一个部分，而针对风电和光伏产业的具体政策较少。在政策方向上，根据不同的时期可以分为三个主要分类：在2020年之前，风电和光伏供应链的政策主要体现在绿色制造业发展的相关政策上。在2021年，“十四五”指导下的循环经济、能源、清洁生产和工业绿色发展规划中都有一些涉及风电和光伏产业供应链政策的内容。从2022年起到目前，一系列目的为达到碳达峰碳中和的政策也将风电和光伏产业供应链绿色转型纳入到计划范围内。

2020年
之前

风电和光伏供应链的政策主要体现在绿色制造业发展的相关政策上。

2021年

“十四五”指导下的循环经济、能源、清洁生产和工业绿色发展规划中都有一些涉及风电和光伏产业供应链政策的内容。

2022年
至今

一系列目的为达到碳达峰碳中和的政策也将风电和光伏产业供应链绿色转型纳入到计划范围内。



较早有关绿色制造业供应链管理的政策是 2012 年发布、2017 年修定的《绿色制造—制造企业绿色供应链管理导则》(GB/T33635-2017)。这个政策是我国第一项国家绿色供应链管理国家标准。接着, 2014 年颁布的《企业绿色采购指南》对绿色供应链绿色采购方面的要求进行了细化。2015 年国务院发布的《中国制造 2025》国发〔2015〕28 号和 2016 年的《绿色制造工程实施指南(2016-2020 年)》进一步指出应该提高企业全生命周期的质量追溯能力、强化产品全生命周期的绿色管理、加快构建绿色制造体系等。

2021 年, 在“十四五”纲领下发布或修改的四个文件均涉及供应链转型方面的内容, 并适用于风电和光伏企业。《“十四五”循环经济发展规划》对一些高排放行业例如建材、有色金属等行业制定了“一行一策”的计划。《“十四五”能源领域科技创新规划》针对能源行业, 提倡在风电和光伏行业补全供应链的短板, 并开展退役风电和光伏组件的回收处理和再利用项目。《“十四五”全国清洁生产推行方案》提出了一些生产模式绿色转型的要求, 例如绿色设计和建筑业清洁生产。《“十四五”工业绿色发展规划》提出了在主要产业中建立绿色供应链的管理模式, 例如矿山的绿色开发、有色金属的高值化循环利用等^[80]。

一方面, 可以看出以上“十四五”规划是相关绿色制造业政策的进一步巩固和细化, 在绿色供应链、供应链安全、绿色设计方面都有延续的内容。另一方面, “十四五”规划大多是针对某行业的单独的规划, 例如“一行一策”的规划, 具有各行业的独立性。在风电和光伏供应链管理的链条中, 政策对于相关产业例如上游的矿业、中游的制造业和下游的回收业之间的联系和协同合作稍显不足。

至于针对于具体风电和光伏产业的政策, 2020 年中国光伏行业协会等颁布的《光伏企业绿色供应链管理规范》(T-CPIA 0027-2020) 是一个聚焦于光伏企业的绿色供应链管理规范。具体包括绿色设计和信息披露的一些要求^[81]。另外, 2021 年《风力发电装备制造业绿色供应链管理评价规范》也由国家能源局颁布, 具体在供应链管理战略、绿色设计、绿色采购和供应商管理、绿色生产、绿色物流和回收体系、绿色信息收集监测披露平台等方面提出了评价标准。

从 2021 年起, 和碳排放相关的政策也陆续出台, 其中部分政策对风电和光伏行业的供应链管理提出了要求。2021 年的《关于推进中央企业高质量发展做好碳达峰碳中和工作的指导意见》强调了绿色低碳供应链在实现碳达峰任务中的重要性。2022 年发布的《工业领域碳达峰实施方案》提出绿色低碳供应链和绿色制造是工业领域碳达峰的重要任务之一。另外, 《建立健全碳达峰碳中和标准计量体系实施方案》提出探索建立重点产品全生命周期碳足迹标准^[82]。在电力行业, 2022 年的《加快电力装备绿色低碳创新发展行动计划》鼓励电力装备技术方面提高供应链管理的能力。

整体来看, 针对风电和光伏的具体的行业法规和政策较少。在三组根据时间的政策分类中, 绿色制造和绿色供应链管理是不同环保目标中都涉及的内容。然而, 在更大尺度上的政策对于风电和光伏行业中具体问题的关注度稍显不足。

3.1.2 欧盟风电光伏供应链政策要求

在风电和光伏供应链的环境和社会可持续影响上, 欧盟在外地劳工、供应链的可持续、韧性和碳足迹、原材料开采、工业设计和信息披露方面都出台了相关的法律。一些法律并不是聚焦于光伏和风电行业, 但是一些宏观的工业政策也适用于风电和光伏产业。

在社会影响上，欧盟的一系列政策面向改善公司外派劳务和供应链中的劳动情况。2019年前欧盟政策主要关注欧盟内部供应链的劳工问题，对欧盟外部供应链的情况关注有限。例如，早在2008年，《欧盟临时代理工作指令》(EU Directive on Temporary Agency Work, Directive 2008/104/EC)就让风电和光伏产业中的临时工作者也能受到和本地工作者同等的保护。2018年《欧盟派遣工人指令》(EU Posted Workers Directive, Directive 96/71/EC)进一步细化了派遣到其他欧盟成员国的工人的各项权利和保障。2019年《欧盟透明和可预测工作条件的指令》(EU Directive on Transparent and Predictable Working Conditions, Directive (EU) 2019/1152)使工人的知情权得到进一步保证，工人能够就其工作情况得到透明的信息。2024年实施的《禁止强迫劳动法案》(Forced Labour Ban Regulation, Regulation (EU) 2024/3015)使欧盟外部供应链的劳工情况也得到了规范。该法令禁止在欧盟市场销售通过强迫劳动生产的物品。其范围适用于出口、进口和内销产品。欧盟出台了方法论来计算相关风险、调查公民社会、建立风险信息库并要求提供公司尽职调查的信息来推进法令的实施。

在环境影响上，上游的供应链管理包括了原材料开采、工业设计、可持续性、韧性、碳足迹和信息披露的要求。在原材料开采上，2023年的《关键原材料法案》(The Critical Raw Materials Act, COM(2023) 160)旨在改善关键原材料的循环利用和可持续性。政策范围包括了供应链上游第三世界国家的劳动权利、人权和环境保护。关键原材料的可持续采购能够帮助第三世界国家实现经济发展、可持续管理、人权、冲突的解决和区域的稳定。在工业设计上，同年出台的《生态设计和能源标签计划(2022—2024年)》(Ecodesign and Energy Labelling Working Plan 2022-2024)制定了光伏组件、逆变器和系统的生态设计、能效标签和碳足迹要求，提高了光伏产品的市场准入门槛^[83]。

在供应链的可持续性上，2013年出台的《产品环境足迹类别规则：光伏发电系统用于发电的光伏组件》(PEFCR: PV electricity v. 1.1)是光伏产品的碳足迹的计算方法和核算边界范围的指导文件。2023年的《绿色协议工业计划》(Green Plan Industrial Plan)的目的是为了在绿色转型的商业模式中建立有韧性的供应链。计划在原材料的消费国和供应国之间建立联系来提高供应链的韧性和管理能力。该计划也是清洁科技和净零工业合作的组成部分。在2024年，《净零工业法案》(Net Zero Industry Act, Regulation (EU) 2024/1735)进一步指出在风电和光伏项目的政府招投标中，可持续指标是最基本的标准。供应链的安全、韧性和负责的公司行动也是政府应该重点考虑的因素^[81]。

在信息披露的要求上，欧盟在2023年出台的《企业可持续发展报告指令》(Corporate Sustainability Reporting Directive, Directive (EU) 2022/2464)和《企业可持续发展尽职调查指令》(Directive on corporate sustainability due diligence, Directive (EU) 2024/1760)对风电和光伏行业供应链的可持续行为增加了更多管控。例如，《企业可持续发展报告指令》要求上市的风电和光伏公司提供详实的、全方面的可持续行动报告，包括对人权方面进行尽职调查的详细内容。该法令是为了给投资者更详细的信息，来了解他们投资的公司对可持续发展的影响。《企业可持续发展尽职调查指令》强制要求在欧盟范围内经营的公司进行环境和人权尽职调查。因此，风电和光伏公司需要识别、避免和减轻他们整个供应链在人权和环境方面的不良影响。

总体来说，欧盟在供应链上游的管理比较全面，覆盖了社会和环境问题等多个方面。在劳工问题、原材料开发、工业设计、供应链管理和信息披露方面都出台了相应的法律，推动了光伏和风电供应链方面的可持续发展。



3.1.3 多边开发银行的风电光伏供应链管理机制与实践

多边开发银行和国际组织在风电和光伏的供应链管理机制上既有社会层面、又有环境层面的内容。鉴于本次的调查有限，本段将列举部分案例来阐述供应链管理的常用机制。

广义的供应链管理可以在一些多边开发银行的环境和社会可持续标准中得到体现。比如，国际金融公司(IFC)和世界银行在其环境和社会绩效标准或框架(Performance Standards on Environmental and Social Sustainability)中提出，如果客户(例如零部件供应商)购买的初级生产产品(特别是但不仅限于食品和纤维商品)据知产自那些有可能大幅度改变自然和/或重要栖息地的地区，客户应采取系统核实措施来对其主要供应商进行评估，以此作为客户环境和社会管理系统的一部分。该系统核实措施应：(1) 确定供应来源和该地区的栖息地类型；(2) 对客户主要供应链进行持续审核；(3) 仅限于从那些可以证明不会促成自然和/或重要栖息地的重大改变的供应商处采购产品(证明方式可以通过提供经认证产品，或在特定商品和/或地点上根据可靠的计划获得核实或认证)；(4) 在可能的情况下，要求采取行动，在一定时间内转变客户的主要供应链，转向那些可以证明他们不会对这些区域造成重大不利影响的供应商。客户解决这些风险的能力将取决于客户对其主要供应商的管理控制程度或影响程度。2009年，亚洲开发银行(ADB)的《保障政策声明》(Safeguard Policy Statement)通过评估或排除一些对生态造成不良影响的供应商等方法，强调了可持续采购和供应链风险管理的重要性。

一些多边开发银行也特别出台了针对风电和光伏行业供应链管理的政策。例如，西非开发银行在2020年推行了《环境和社会风险管理——为了金融服务提供者的离网独立太阳能的行业导则》(Environmental and Social Risk Management (ESRM) Sector Guide on Off Grid Stand-alone Solar for Financial Service Providers)。该导则指出在供应链方面，金融机构应该了解光伏公司在供应链方面的环境和社会可持续情况，例如童工等。在废物管理方面，导则建议应该将使用过的光伏板、电池、和能源单位(包括铅酸和锂离子)作为有害废弃物进行管理^[84]。2024年，欧洲复兴开发银行推行的《行业供应链导则——风能》(Sector Supply-Chain Guidance - Wind Energy)和《行业供应链导则——太阳能》(Sector Supply-Chain Guidance - Solar Energy)导则建议项目出资者或者开发商对风电和光伏项目应该采取相应措施来帮助管理风力和光伏发电机组在供应链方面的重要的社会和环境风险^[85,86]。

综上，多边开发银行在管理风电和光伏供应链上涉及社会和环境问题。供应链的社会问题中的劳工和社会冲突可以为出海的公司参考。在环境问题上，提高原材料开采的可持续管理能力和采购能力，以及一些针对整个供应链的可持续机制是一些常见的管理方法。



三 部分可再生能源项目供应链管理情况

通过整理多边开发银行项目的公开披露信息，发现目前大部分可再生能源项目虽然已有针对供应链的管理要求，但主要关注的议题大多是人权和劳工问题，在生态影响管理方面仍存在明显不足，未能覆盖供应链的全生命周期（见表3）。虽然部分项目对供应链进行了一定程度的尽职调查，但更多侧重于合规性，而对生态系统的影响缺乏系统性监测与管理。例如，虽然部分项目对木材和矿产的使用有初步的监管措施，但这些措施多停留在环境法规的最低要求上，缺乏对资源可持续性、生态修复、以及对生物多样性长远影响的详细规划。此外，供应链上的生态监测数据透明度低，缺少针对污染排放、资源枯竭、水土流失等问题的动态追踪和公开报告，导致项目难以有效评估和应对整个供应链对环境的综合影响。

表3 部分国际开发银行可再生能源项目的供应链管理情况

| 案例 | 国家 | 涉及的生态系统 | 供应链管理 | | | |
|----------------------------------------------|--------|----------|----------------|---------------|------|----|
| | | | 是否制定相关制度/政策/规定 | 是否包含环境和/或社区参与 | 详细程度 | |
| | | | | | 提及 | 具体 |
| 柬埔寨国家太阳能公园项目 | 柬埔寨 | 农田、森林、草地 | | | | |
| Sherabad太阳能发电项目 | 乌兹别克斯坦 | 草地、灌丛 | √ | | | √ |
| 埃及Amunet风电场项目 | 埃及 | 沙漠 | | | | |
| Ørsted的Hornsea风电场 | 英国 | 海洋 | √ | √ | | √ |
| Zhanatas 100 MW 风力发电厂和二期Shokpar 100 MW 风力发电厂 | 哈萨克斯坦 | 戈壁草原 | √ | √ | √ | |
| Monsoon 600 MW 跨境风电项目 | 老挝 | 山地森林 | √ | | √ | |
| Lotus 风电项目 | 越南 | 山地森林 | √ | | √ | |

资料来源：研究团队根据世界银行、IFC、ADB和亚洲基础设施投资银行（AIIB）等多边开发银行的公开资料整理而成。



3.2 在项目审批阶段严格控制生态与社会层面准入门槛

3.2.1 中国风电光伏项目开发生态与社会管理政策要求

我国针对光伏和风电发展的生态和社会影响问题,主要通过在项目审批环节设置严格的准入门槛来进行把关。可再生能源项目建设过程中,从项目选址、招标、备案到开展可行性研究、环评以及审批后施工等环节都受到相关法律法规的约束并需要在获得各主管部门的批复后开展(见图2)。

项目环评环节对于用地以及环境影响评价和社会稳定风险评估(以下简称“环评”和“社稳”)的政策最为严格,最初在2005年国家发展改革委、原国土资源部和原国家环保总局发布的《风电场工程建设用地和环境保护管理暂行办法》中就规定了尽量少占耕地、集体土地和保护区域的基本原则,强调了环评的重要性。

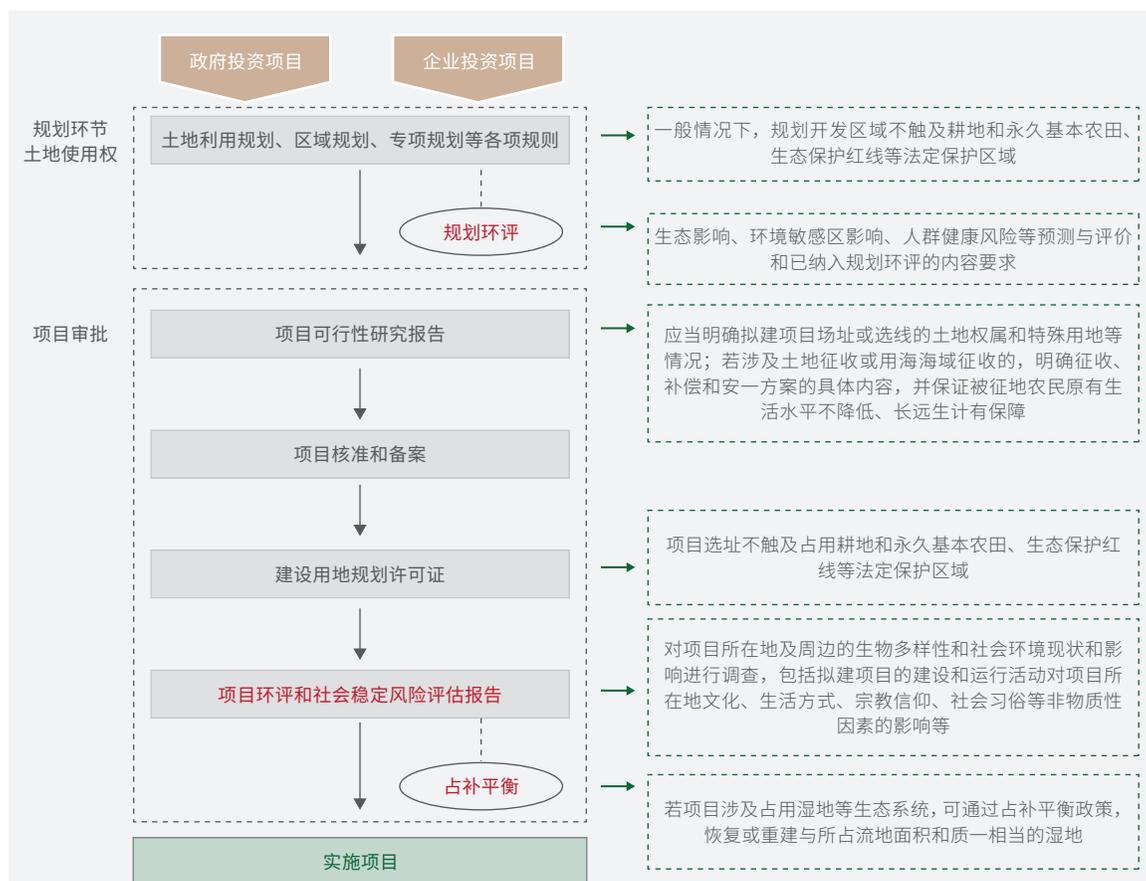


图2 生态和社会考量已严格纳入我国可再生能源项目审批环节



与传统能源项目类似，风力或光伏发电都需要大面积土地架设风机或光伏板，涉及用地类型较多，尤其是大面积的风电机组用地和光伏方阵用地，容易产生占用耕地、林地或涉及自然保护地等风险。因此，获得项目批准、核准或备案文件后，需要获得地方各部门的选址意见书（函），包括自然资源部门、林草部门、生态环境部门、文物保护主管部门等，说明该项目选址不涉及敏感区域。

与传统能源项目类似，风力或光伏发电都需要大面积土地架设风机或光伏板，涉及用地类型较多，尤其是大面积的风电机组用地和光伏方阵用地，容易产生占用耕地、林地或涉及自然保护地等风险。因此，获得项目批准、核准或备案文件后，需要获得地方各部门的选址意见书（函），包括自然资源部门、林草部门、生态环境部门、文物保护主管部门等，说明该项目选址不涉及敏感区域。

近年来，由于风电和光伏装机规模的高速增长，项目用地问题愈加凸显，多个部门发布了相应的政策以面对此挑战。2019年开始，国家林业和草原局、水利部、自然资源部、国家能源局等多个部门都陆续分别发布了针对林地、河湖水域、耕地等地块类型的管控政策。在2024年底，自然资源部、国家发展和改革委员会和国家林业和草原局联合发布的《自然资源要素支撑产业高质量发展指导目录(2024年本)》中，首次将滩涂、沼泽等湿地上的新建光伏项目纳入限制类，并且明确禁止占用永久基本草原、基本农田、一级保护林地和在东北内蒙古重点国有林区新建或扩增光伏项目，禁止占用河道、湖泊、水库建设风电或光伏项目等。

建设单位获得土地使用权并进行项目可行性研究后，需进一步委托第三方开展环评，重大项目还应开展社会稳定风险评估，以在项目前期对项目可能的风险点进行防范。作为项目开工建设的前置条件，环评和社稳制度均已有了较为完整的法规政策和标准规范，例如针对环评制度的《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境保护管理条例》、《环境影响评价技术导则生态影响》，以及针对社稳的《关于建立健全重大决策社会稳定风险评估机制的指导意见（试行）》和《国家发展改革委重大固定资产投资项目社会稳定风险评估暂行办法》等。虽然在我国风电和光伏项目的社会支持率总体较高，但对于生态和社会影响仍存在一定担忧。2024年底，生态环境部发布《关于加强陆域风电、光伏发电建设项目生态环境保护工作的通知（征求意见稿）》，不仅明确要求避让特殊保护区域，还强调了加强和完善对可再生能源项目全生命周期的管理，并减小噪声、光影闪烁对周边居民的影响。

以上制度在实际落实过程中也存在不足。例如在针对沿海湿地和候鸟保护相关的风电、光伏项目准入时，由于数据缺乏，多方参与不足等原因，现行制度的实施目前存在着一些问题。例如许多环评报告中生物多样性的本底调查不全面，缺乏可靠的本地数据和严谨、科学的影响评估论证，以至于低估生物多样性影响。我国的可再生能源水电、风电和光伏发电的发展，特别是风电发展，造成候鸟重要栖息地被侵占和破坏，已严重影响候鸟的迁徙通道与迁徙安全^[67]。对此，我国虽有相关法律法规，但仍需完善和落实。

3.2.2 欧盟风电光伏项目开发生态与社会管理政策要求

欧盟作为最早开发风电和光伏项目的地区之一，十分重视可再生能源项目的前期环境影响评估和公众参与。其中，欧盟出台的一系列指令构成了其生态保护的法律基础，从类型上可分为三类。一是《水框架指令》(Water Framework Directive, Directive 2000/60/EC)和《海洋战略框架指令》(Marine Strategy Framework Directive, Directive 2008/56/EC)等从源头控制以保护生态环境的法律法规；二是从保护对象出发，例如《栖息地指令》(Habitats Directive, Directive 92/43/EEC)、《鸟类指令》(Birds Directive, Directive 2009/147/EC)和《养护欧洲蝙蝠协定》(Agreement on the Conservation of Populations of European Bats, EUROBATS)等；三则是与规划和环评有关的程序性指令，包括《海洋空间规划指令》(Maritime Spatial Planning Directive, Directive 2014/89/EU)、《环境影响评估指令》(Environmental Impact Assessment Directive, Directive 2011/92/EU)和《战略环境影响评价指令》(Strategic Environmental Assessment Directive, Directive 2001/42/EC)等。另外，欧盟还发布了《风能开发与欧盟自然立法指导文件》(Guidance document on wind energy developments and EU nature legislation)来指导开发商、第三方机构和主管部门等相关方通过规划、环评和长期监测等方式，来确保从开发设计、建设施工、运营维护到退役回收阶段都符合以上指令的规定[88]。在符合这些指令的前提下，各国还颁布相应的法律法规以针对本国的特点进行政策上的指导。

除此之外，近年来欧盟还在一些项目审批更早期的招投标环节开始如非价格标准这样的制度创新。非价格标准(Non-price-criteria, NPC)是指投标、竞标或建议书中使用的除价格以外的所有其他标准，也是推动海上风电开发商更多地将生态和社会因素和全生命周期管理等纳入早期投资决策的一种方式^[89,90]。非价格标准目前主要应用于欧洲发达国家，欧盟在《净零工业法案》(Net Zero Industry Act)、《欧盟电力市场设计指令》(EU Electricity Market Design Directive, Directive (EU) 2024/1711)和《欧洲风电一揽子计划》(EU Wind Power Package)等政策文件中，都提及了允许成员国在拍卖中使用非价格标准对竞标进行排序，各国政府依据实际情况进行调整，最终非价格标准应在政府和行业之间的协商过程中实施。例如，在《气候、环境保护和能源国家援助指南》(EU Guidelines on State Aid for Climate, Environmental Protection and Energy 2022, CEEAG)提出允许政府在其拍卖的选择标准中加入高达30%的非价格标准。

目前非价格标准主要涉及四个方向，即生态环境保护、当地社区、供应链和系统集成。生态环境保护方向侧重于从温室气体和生物多样性的角度减少风电场的影响。例如，德国在2023年引入了一项标准，以减少地基安装对海洋哺乳动物的噪音影响。该标准根据不使用冲击桩或重力式基础安装地基的比例进行评分。同样，荷兰也纳入了一项标准，旨在减少风电场建设和运营期间对海洋哺乳动物的“干扰天数”。其他标准包括减少鸟类伤亡、减少生境迁移和减少光污染。而当地社区则强调通过专用资金和资源支持和提升当地社区，以确保风电项目不仅加强了国内产业的发展，还为当地社区创造就业机会。例如，比利时即将举行的海上风电场招标可能包括公民参与的标准，要求公民或公民社区至少投入总投资的1%。供应链标准涉及当地资产的使用，包括人员、基础设施和供应商等，并且供应链标准可以包含当地社区参与、生态环境保护 and 回收循环利用等。例如2023年挪威启动了首次海上风电拍卖，其中规定的三类非价格标准，包含了涉及在本地供应链中发展技能，基于利用中小型公司来发展他们在海上风电行业的经验，以及涉及开发商加强和支持当地供应链绿色转型的计划。



采用非价格标准保证了生物多样性、社区参与等因素能在最早期纳入项目决策中，例如荷兰Hollandse Kust West项目是荷兰第三个无补贴海上风电招标项目。项目招标容量为1.5 GW，由荷兰政府划分为两个地点，其中场址六将一半的得分标准集中在有利于荷兰北海生物多样性的投资或创新上。而Hollandse Kust West VI (Ecowende) 项目将成为荷兰第一个以生态为重点的海上风电场。从设计和建造到持续运行、研究和知识共享，这项工程旨在尽量减少对海洋哺乳动物、鸟类、蝙蝠和其他海洋生物的影响。为实现这一目标，未来将实施针对每个物种的监测活动并公开数据。由于前期评估过程的很大一部分依赖于非价格标准，本案例研究强调了透明的进度报告和公平的惩罚制度的重要性，以确保投标人能够提供承诺的价值。

3.2.3 多边开发银行风电光伏项目开发生态与社会管理机制与实践

许多多边开发银行在已有的针对一般项目的政策框架中都对生物多样性、本地社区权益、多利益相关方沟通等议题出台了相关规定，下表是目前已收集到的由多边开发银行出台的部分文献。

● 国际金融公司 (IFC) 环境和社会可持续性绩效标准 (以下简称“IFC绩效标准”)

文件描述了国际金融公司在环境和社会可持续性方面的承诺、角色和责任。其中绩效标准1将社区参与作为管理环境和社会风险的关键组成部分，概述了客户在设计和实施社区参与方法时应考虑的关键步骤。绩效标准5承认与项目有关的土地征用和土地使用限制可能对使用该土地的社区和个人产生不利影响。它指出，在管理土地征用和安置过程时，客户应通过绩效标准1中所述的利益相关者参与过程，与受影响社区进行接触。它还指出，客户应该在项目开发阶段尽早建立与绩效标准1一致的申诉机制。绩效标准6生物多样性保护和生物自然资源的可持续管理则要求重点关注栖息地丧失、外来物种入侵、过度开采、水文变化和环境污染等。对于涉及到有高度生物多样性价值的重要栖息地，原则上不可开发任何项目，若在无其他替代方案的情况下，必须在管理计划中纳入完整、合理的长期生物多样性监测和评估计划。

● 世界银行环境与社会框架文件

阐明了世界银行对可持续发展的承诺，旨在支持借款国的项目，以消除极端贫困和促进共享繁荣。该框架规定了世行对其通过投资项目融资所支持的项目必须遵循的要求，并且大部分与IFC的环境和社会可持续性绩效标准基本一致，不同的是增加了针对环境与社会标准 (Environmental and Social Standard, ESS) 9金融中介机构和ESS10利益相关方参与和信息公开的具体要求。其中环境与社会标准10承认借款人与项目利益相关者之间公开透明的接触是良好国际惯例的重要组成部分。这项标准概述了项目准备和实施阶段的利益相关者参与方法，还介绍了建立申诉机制的方法。

● 赤道原则

是金融机构采用的一种风险管理框架，用于确定、评估和管理项目中的环境和社会风险，并适用于全球的所有行业部门和四种金融产品。目前，38个国家的金融机构中有104家机构正式采用了赤道原则，涵盖了发达市场和新兴市场的大部分国际项目融资债务。因为赤道原则是基于IFC绩效标准进一步研究开发的，所有项目须符合东道国相关的法律法规或者IFC绩效标准，包括对于生物多样性和社区参与等规定。在此基础上，原则10提及，将鼓励客户与全球生物多样性信息机构 (GBIF) 以及相关的国家和全球数据存储库共享商业上非敏感的项目特定生物多样性数据。而原则5规定，遵循赤道原则的金融机构将要求客户展示有效的、持续的利益相关者参与，以结构化和文化上适当的方式，与受影响的社区、工人和相关其他利益相关者进行交涉。对于可能对受影响社区产生重大不利影响的项目，客户将进行知情咨询和开展参与流程。

部分可再生能源项目生物多样性和社区参与情况

通过搜集国内外采取了良好生态、社会影响管理措施的可再生能源相关案例，发现有以下特点(见表4)。

表4 部分国际开发银行可再生能源项目的生物多样性和社区参与情况

| 案例 | 国家 | 涉及生态系统 | 项目开发在建设 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------|--------|----------|---------|-------|------|-----|-------|------|----|----|------|------|------|-----------|-------------|--------|------|----|-----|
| | | | 生物多样性 | | | | | 社区参与 | | | | | | | | | | | |
| | | | 现状评估 | 运营期监测 | 具体措施 | | | 参与程度 | | | | 组建团队 | 专项资金 | 评估与后续监测公式 | 考虑土著人民等少数群体 | 惠益分享机制 | 具体措施 | | |
| | | | | | 避免 | 最小化 | 修复/补偿 | 告知 | 咨询 | 协商 | 共同决策 | | | | | | 授权 | 避免 | 最小化 |
| 柬埔寨国家太阳能公园项目 | 柬埔寨 | 农田、森林、草地 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| Sherabad 太阳能发电项目 | 乌兹别克斯坦 | 草地、灌丛 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | √ | √ | | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 埃及Amunet 风电场项目 | 埃及 | 沙漠 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| Ørsted Hornsea 风电场项目 | 英国 | 海洋 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| Zhanatas 100 MW 风力发电厂和二期 Shokpar 100 MW 风力发电厂 | 哈萨克斯坦 | 戈壁草原 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | √ |
| Monsoon 600 MW 跨境风电项目 | 老挝 | 山地森林 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| Lotus风电项目 | 越南 | 山地森林 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |

资料来源：研究团队根据世界银行、IFC、ADB和AIIB等多边开发银行的公开资料整理而成

在生物多样性影响方面

多数项目都在文件中体现了“避免、最小化、修复/补偿”的减缓层级，但在具体实施上存在差异。部分项目仅限于初步评估和简单的监测，缺少长期的生态保护规划，特别是在应对栖息地破坏方面，措施深度不足。尽管采取了修复和补偿的策略，但实际效果受限于执行的广度和持续性。未来的项目应更加系统化，增加关于生物多样性损害基线的描述，确保项目在开始前全面评估生态现状并制定个性化的保护措施。在每个减缓层级都应设计明确的执行机制（特别是在长期监测和生态恢复方面），定期开展第三方生态评估，并通过独立机构进行监督，以确保生态保护措施的透明度和效果。



在社区参与方面

大多数案例提到了一定程度的社区参与，主要表现为告知和咨询。然而，社区参与的深度仍然不足，缺乏系统的协商和共同决策机制。未来项目的社区参与应逐步从被动的“告知和咨询”拓展为赋权机制，真正实现“共同决策”。可以采用参与式规划方法，如焦点小组访谈、社区代表定期会议，确保社区的需求在项目各阶段得到及时反馈和落实。此外，可以探索建立社区代表大会或听证会制度，以实现社区成员在项目规划、资源分配和环境管理等关键决策中的发言权，确保社区的实际需求被纳入考虑，提高项目的可持续性和社会认可度。

在土著居民等少数群体的权益保障方面

各案例普遍强调遵循“自由、事先和知情同意”（FPIC）原则，尤其在涉及土著居民权益时，该原则被广泛应用以确保他们在项目规划和执行过程中的参与权和权益保障。然而，尽管FPIC的原则得到了广泛认同，实际执行过程中常面临挑战，例如信息透明度不足、协商流程形式化、少数群体的意见未能得到真正反映。因此，未来需要建立更加有效的参与和监督机制，如探索设立独立土著顾问委员会，为土著居民提供长期支持，确保项目中的土著社区能够公平参与。此外，建议建立信息公开平台，按阶段向土著居民公开项目的影响数据，以实现协商过程的公开透明，确保土著居民的需求得到真实的尊重和满足。

另外，在资源配置上部分案例中设立了专项基金，主要用于改善社区的物质生活条件和短期补助。然而，与传统基础设施援建项目不同，专项基金更应注重支持系统性的社区社会发展项目，以确保长期的综合性发展成果。例如，基金可采用分阶段发展计划，初期集中支持社区的健康和教育服务，随后逐步增加职业技能培训、就业促进和小型企业扶持等内容。这种规划可以帮助社区在项目结束后依然具备经济和社会活力，提升其自我发展能力。为确保基金的合理使用，可设立社区发展监督小组，由社区成员和利益相关方代表组成，以监督专项基金的分配和使用情况，保证长期有效性。

3.3 加速完善风电光伏设备退役制度以促进循环经济构建

3.3.1 中国风电光伏项目退役和设备回收利用政策要求

面对即将来临的“退役潮”，近年来，我国多个部门连续出台了相关政策，在电场升级改造和退役以及退役设备回收和循环利用问题上，国家层面政策框架逐渐完善。和供应链相关的政策相比，一些项目退役和设备回收方面也属于绿色供应链管理的组成部分。所以，它也是一些国家重大战略例如“十四五”计划、“碳达峰”等的组成部分。另外，近两年的政策也显示有越来越多的针对于风电和光伏行业的具体导则可以为企业提供参考。

早在2017到2018年，国家的一些文件例如《国家鼓励发展的重大环保技术装备目录（2017年版）》和《“可再生能源与氢能技术”重点专项2018年度项目申报指南》就预见到了光伏组件大规模退役之后会遇到退役和回收处理的问题。因此，这两个文件鼓励发展相关的配套技术能力，例如“废弃晶硅太阳能电池板资源回收成套装备”的技术标准和创新能力。

2021到2022年，国家战略“十四五”计划和“碳达峰碳中和”也对风电和光伏产业的退役和设备回收提出了要求。例如，2021年发改委发布的《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》指出应加强大型固废综合利用模式的要求，而退役光伏组件和风电机组叶片属于新型固废，其相应的回收和再利用处理能力应该予以重视。同年国务院推行的《2030年前碳达峰行动方案》强调了光伏组件、风电机组叶片等新型产业废物的循环利用和再生金属的回收政策。《“十四五”循环经济发展规划》重申了光伏组件和风电机组等新型废旧产品大幅增长、回收难度大、稀有金属回收能力不高的问题，并制定了在2025年之前循环生产的方式大幅提升的目标^[91]。

在工业领域，2022年实施的《关于加快推动工业资源综合利用的实施方案》和《工业领域碳达峰实施方案》进一步在工业领域方面提出了减少碳排放的目标。相关的具体内容包括推进再生资源规范化利用、探索废旧光伏组件、风电叶片等新兴固废的综合利用路径和技术路线等。具体到光伏行业，三个文件《智能光伏产业创新发展行动计划（2021-2025年）》、《关于促进光伏产业链供应链协同发展的通知》和《关于推动能源电子产业发展的指导意见》分别对光伏行业的全链条绿色发展目标、生命周期碳足迹评价标准、退役回收组件资源化利用、光伏产业链碳足迹核算、废弃组件回收的产业化研究和全生命周期管理等方面给出了意见。

从2023年到2024年，更多关于风电和光伏具体行业的退役和回收政策得到推行（见表5）。



表5 国家层面推进风电光伏电场退役以及退役设备循环利用的相关政策

| 发布时间 | 类型 | 发布单位 | 名称 | 部分相关内容 |
|---------|------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2024.01 | 行政法规 | 国务院 | 《关于全面推进美丽中国建设的意见》 | 建立绿色制造体系和服务体系。开展资源综合利用提质增效行动。加快构建废弃物循环利用体系，促进废旧风机叶片、光伏组件、动力电池、快递包装等废弃物循环利用。推进原材料节约和资源循环利用，大力发展再制造产业。 |
| 2024.02 | 行政法规 | 国务院办公厅 | 《关于加快构建废弃物循环利用体系的意见》 | 促进退役风电、光伏设备循环利用，建立健全风电和光伏发电企业退役设备处理责任机制。 |
| 2023.06 | 部门规章 | 国家能源局 | 《风电场改造升级和退役管理办法》 | 电网企业负责风电场改造升级配套送出工程的改扩建，拆除退役风电场的配套送出工程以及生态修复。发电企业具体实施风电场改造升级和退役以及生态修复，实施中加强全过程安全管理，并按规定接受质量监督。生态保护红线和自然保护地内的风电场原则上不进行改造升级，严禁扩大现有规模与范围，项目到期退役后由建设单位负责做好生态修复。 |
| 2023.07 | 部门规章 | 国家发改委等 | 《关于促进退役风电、光伏设备循环利用的指导意见》 | <ul style="list-style-type: none"> 督促指导发电企业拆除风电、光伏设备后及时做好周边环境修复。 加大对退役风电、光伏设备回收利用处置全过程环境污染防治的监管力度，严格退役设备无害化处置的污染控制要求，确保符合国家环境保护标准，减少终端固体废物带来的环境污染风险。 |
| 2024.05 | 行业标准 | 国家能源局 | 《陆上风电场工程拆除技术规范》 | 对陆上风电场工程改造升级拆除和退役拆除的场地整治与生态修复作出了一般规定和具体要求，包括原地类为沙漠、戈壁、荒地等的应结合具体地貌条件进行整治等。 |
| 2024.11 | 国家标准 | 国家市场监督管理总局等 | 《退役光伏组件梯次利用通用规范》 | 在退役光伏组件的梯次利用过程中产生的不合格产品以及梯次利用产品报废后，应由具有相关资质的回收处理企业进行回收处理，不应随意丢弃或直接填埋。 |
| 2024.12 | 行业标准 | (起草单位) 水电水利规划设计总院等 | 《陆上风电场工程改造拆除与循环利用设计导则》 | <ul style="list-style-type: none"> 风电机组布置应结合风能资源分布和场址范围复核原机位可用性，并应考虑生态红线、基本农田、基本草原、国家一级公益林及二级公益林有林地、生态保护区、文物保护区、军事保护区、水源等地限制性因素。 改造升级工程场地的生态恢复应选择原地类修复方向。 |

在风电方面

《风电场改造升级和退役管理办法》、《关于促进退役风电、光伏设备循环利用的指导意见》、《陆上风电场工程拆除技术规范》和《陆上风电场工程改造拆除与循环利用设计导则》对风电场退役和回收的相关问题做出了指导。文件具体包括电网企业需要负责风电场退役和生态修复工作、风电场在退役拆除时周围环境的生态环境修复要求、退役的设备应该进行无害化处理、减少固体废弃物带来的环境污染风险等。其中，风电场的生态修复在不同的场址例如生态保护红线、自然保护区、沙漠、戈壁、荒地等有不同的要求，而企业应该结合上述文件进行更深入的理解。



在光伏行业的退役和回收方面

《关于促进退役风电、光伏设备循环利用的指导意见》和《退役光伏组件梯次利用通用规范》对于报废产品的回收处理、退役设备的生态修复和固体废弃物的环保处理等方面做出了要求。在此期间，具体行业回收和退役导则的增加也是在政策大方向上更加关注废弃物回收利用的趋势下。例如，2024年的《关于加快构建废弃物循环利用体系的意见》提出了促进退役风电、光伏设备循环利用的要求。



在地方层面上

部分省、市和自治区也在相关国家政策的指导下，出台了配套政策文件，例如内蒙古自治区能源局在2025年3月出台了《内蒙古自治区风电场改造升级和退役管理实施细则（征求意见稿）》，文件规定风电场退役需一次性解列并拆除全部设施，完成植被恢复和生态环境修复，并且明确限制改造升级项目占用生态保护红线或自然保护区，强调原址优先改造以减少土地扰动等。



综上，在风电和光伏行业的退役和回收上，相关政策原本为国家战略的一小部分。然而，随着政府对废弃物回收的关注增加，近年来针对行业的一些退役和回收的通知也逐渐出台。根据这个趋势，未来针对风电和光伏行业的更细化、更具体的退役和回收政策也许能够得到重视和推动。

3.3.2 欧盟风电光伏项目退役和设备回收利用政策要求

欧盟对于风电和光伏项目退役和设备回收的政策比较全面和细致，涉及设备退役、废弃物、电子设备和电池的回收技术标准、包装回收、原材料开采和工业设计中考虑回收的因素、建筑产品回收、回收和再利用组件的标签和注册、循环经济和公司信息披露等。这之中既有很多技术型的导则和指引、又有一些行政和市场方面的政策例如标签、注册和披露等等。

可以发现的是欧盟对于风电和光伏退役问题的关注较早。1992年的《保护东北大西洋海洋环境公约》(OSPAR Convention)就包括了在海洋风电和光伏退役期需要的规范。为了让海洋环境恢复原有的状态，在海洋环境中添加的建筑物需要被移除，包括风机组件、电网基础设施、冲刷防护或者在建造过程中添加的任何建筑物。另外，在拆除过程中也要考虑对生物多样性产生的影响^[92]。

在废弃物管理方面，《废弃物框架指令》(Waste Framework Directive, Directive 2008/98/EC)建立了“生产者责任延伸制度”，要求生产者对在其生产中产生的水泥、混凝土、金属、玻璃等废物管理上承担财务和机构方面的责任^[93]。2018年的《循环经济一揽子计划》(Circular Economy Package)和《循环经济行动计划》(Circular Economy Action Plan)设定了在2030年前禁止填埋分别收集的垃圾，例如水泥、金属、和塑料垃圾的比例，为风机和光伏组件回收也提出了要求^[94,95]。

在标签和信息披露方面也有一些关于回收方面的法规。2017年的《能源标签法规》(Energy Labelling Regulation, Regulation (EU) 2017/1369)规定了一个适用于投放到市场上的各种能源相关的产品框架，如能源效率、能源消费和其他产品使用和相关信息方面的产品标准。在光伏行业，2022年的《D3.2 二手光伏组件的标签和认证规则》(D3.2 Labelling and certification protocols for second life PV modules)是光伏板再利用的基准线和分类框架标准。在信息披露方面，2023年颁布的《可持续金融披露条例》(Sustainable Finance Disclosure Regulation, Regulation (EU) 2023/363)要求投资者披露其持有和发行资产的“对于可持续发展的不良影响，而“废弃物”是64个“不良影响”中18个强制性指标之一。

综上所述，欧盟对风电和光伏的退役和回收方面已经有较为全面的政策，涉及电子设备组件、建筑产品、包装、废弃物等多方面。管理的方法也比较多样，既有技术要求、又有市场要求等，可以为我国法律的进一步完善作为借鉴。



3.3.3 多边开发银行的项目退役和设备回收利用管理机制与实践

目前多边开发银行在环境和社会管理政策并未针对项目退役或回收利用单独设立标准，而是要求其客户在符合污染防治，生物多样性保护，社区健康、安全和治安等标准时，将项目退役阶段产生的土地扰动和相关废弃物影响一并纳入考量之中，例如IFC要求应采用对人类或环境无害的方式来处理或回收其废弃物等。或者如前文所介绍的，将供应链上游和下游回收的管理结合到一起，因此针对多边开发银行，供应链下游回收的部分不再设立相关章节阐述管理机制。

部分可再生能源项目退役和回收管理情况

通过对部分多边开发银行可再生能源项目的项目退役和设备回收管理情况分析后发现，大多数项目在退役期的生态修复和社区保障措施上考虑不足，往往缺乏明确的计划和应对策略，忽视了项目生命周期结束后的长期可持续性管理（见表6）。虽然一些项目提到了生态修复的必要性，但具体措施和资源分配不够完善，导致项目结束后可能出现生态退化或社区经济失衡的问题。此外，项目设计时对于退役期的社会影响评估也较为薄弱，缺乏对社区长远发展和利益保护的系统性安排。因此，应在项目启动时就纳入详细的退役期规划，包括生态修复、社区支持和长期可持续发展策略。此外，项目在退役前应与社会充分沟通，以透明的方式告知退出安排和应对措施，确保项目生命周期结束后仍然能为环境和社区带来长期正面影响。

表6 部分国际开发银行可再生能源项目的退役和回收管理情况

| 案例 | 国家 | 涉及的生态系统 | 退役期 | | |
|----------------------------------------------|--------|----------|----------------|-----------|----------|
| | | | 是否制定相关制度/政策/规定 | 是否涉及回收再利用 | 是否制定预算计划 |
| 柬埔寨国家太阳能公园项目 | 柬埔寨 | 农田、森林、草地 | | | |
| Sherabad太阳能发电项目 | 乌兹别克斯坦 | 草地、灌丛 | | | |
| 埃及Amunet风电场项目 | 埃及 | 沙漠 | √ | √ | |
| Ørsted的Hornsea风电场 | 英国 | 海洋 | √ | √ | |
| Zhanatas 100 MW 风力发电厂和二期Shokpar 100 MW 风力发电厂 | 哈萨克斯坦 | 戈壁草原 | √ | √ | |
| Monsoon 600 MW 跨境风电项目 | 老挝 | 山地森林 | | | |
| Lotus 风电项目 | 越南 | 山地森林 | √ | | √ |

资料来源：研究团队根据世界银行、IFC、ADB和AIIB等多边开发银行的公开资料整理而成

04

CHAPT

从红线到绿线——护栏原则

- 4.1 可再生能源可持续发展中建立护栏原则的必要性
- 4.2 护栏原则的定义和基本内容
- 4.3 未来展望



4.1 可再生能源可持续发展中建立护栏原则的必要性

可再生能源作为应对气候危机的关键，正迎来前所未有的发展机遇。然而，可再生能源项目的全生命周期，从设备原材料的开采、项目的开发与建设，到退役回收利用，都可能因土地利用、污染和水资源利用等方式，对项目所在地、原材料开采地及其周边地区产生深远的生态和社会影响。面对这一挑战，国内外日趋重视，例如欧美等国已将绿色供应链、生态保护和社区参与等非价格标准纳入海上风电的前期投标拍卖环节。本节旨在强调，在可再生能源快速发展的新阶段，仅满足合规要求，做好风险规避（“红线”）已远远不够，我们需要建立一套护栏原则，引导整个行业积极提升生态、社会和经济效益，实现价值创造（“绿线”），确保可再生能源的可持续发展。

目前我国政策层面已采取行动，如《自然资源要素支撑产业高质量发展指导目录（2024年本）》，“在滩涂、沼泽等湿地上的新建光伏发电项目”属于“限制类”项目，体现了对湿地生态系统保护的优先性。2024年底生态环境部发布的《关于加强陆域风电、光伏发电建设项目生态环境保护工作的通知（征求意见稿）》也显著体现了对于可再生能源项目从项目设计到退役回收的生态环境评估要求日益严格的趋势。但在实际操作中仍存在诸多挑战。政策不确定性、受影响和保护区域不明确、公众参与较少等问题，导致一些项目在征用农民集体土地时损害农民利益，或因新增生态保护区域而面临停工和拆除^[96,97]。大规模风电光伏项目的快速部署，也可能存在生态和社会上的风险，例如沙戈荒地区大面积的光伏项目可能会导致长时间尺度下荒漠生态系统的多样性和稳定下降^[52]；而风电项目的“点征”方式则可能破坏一些脆弱生态系统的功能和影响部分原住民的生计^[65]。此外，全球化的风电光伏产业链也可能导致原材料开采地的生物多样性和社会问题，最终影响企业的市场竞争力^[98]。这些问题警示我们，可再生能源发展必须将生态和社会可持续性置于核心位置。

因此，为了帮助可再生能源行业应对未来风险，提升全生命周期和供应链的可持续性，本章将尝试提出一套实现可再生能源可持续发展的护栏原则。这些原则旨在帮助企业应对不断变化的监管趋势，采取负责任的生产设备和项目开发实践，增强我国可再生能源企业在全产业链中的竞争力。

4.2 护栏原则的定义和基本内容

护栏原则定义：在可再生能源开发的全生命周期中，既要确保在实现可再生能源目标的同时，不触碰生态和社会发展的底线，更要积极提升生态和社会效益，实现可再生能源行业在生态和社会层面协调发展的目标。

基于以上定义和对现有问题的分析，我们提出以下五点内容为护栏原则的基本内容，旨在帮助可再生能源企业有效规避风险，并积极创造价值：

01 确保可再生能源开发对土地、森林、草原、湿地、海域等自然资源的可持续利用

本文的案例简要介绍了新能源项目全供应链对不同生态系统例如农田、森林、草地、灌丛、河流、盐湖、沙漠和海洋的影响。例如，光伏发电的用地可能会占用和破坏农田、森林、草地、灌丛等生态系统。在原材料的开采方面，金属如铜矿的开采会污染草地、河流、森林、农田等生境。风电的选址常位于沙漠、戈壁、海洋、山地等，其建设和运营期会对生态系统，和依赖于这些生态系统的物种们造成不良的影响。这反映了在新能源整个供应链的上下游，对生态系统造成的破坏是不同和复杂的。因此，相关的研究和探索其适合的监测、保护和可持续利用模式是必要的。

02 避免或减小对自然的影响，并将生物多样性友好的理念贯穿项目全生命周期，采取积极措施实现生物多样性净增益

项目建设中应重视和遵守当地的生态环境影响法律法规。研究表明，风电和光伏建设会导致生态干扰、栖息地破碎化和连通度降低等等。例如，风电项目会影响候鸟的迁徙通道和迁徙安全，并影响沿海和海洋生态。另外，考虑到仍有很多濒危的物种并不生活在自然保护区之内，企业除了遵守现有的环评和用地政策之外，还应格外注意整个项目过程中对本土物种和生态系统的影响，并建立“全周期、多维度”的生物多样性动态监测机制。在项目选址阶段，联合第三方机构对规划区域开展生物多样性本底调查，整合地理信息系统(GIS)、物种分布模型(SDM)及红外相机监测数据，建立“生物多样性本底数据库”，并对施工期和运营期的生态干扰进行跟踪监测，重点关注例如风电项目对迁徙鸟类死亡率、光伏项目对地表植被覆盖指数的动态影响等。其他的政策例如竞标方面中的非价格标准也可以用于生态环境的保护。在局限性方面，发现现有的措施多停留在环境法规的最低要求上，而缺乏对资源可持续性和生物多样性长远影响的规划。此外，供应链上的生态监测数据透明度仍较低，缺少对一些专项例如污染排放、资源枯竭和水土流失等问题的动态跟踪。因此，建议企业针对这些局限完善供应链全生命周期的生态环境管理。

03 完善可再生能源项目的社区参与机制，保证能源转型中的公平公正

风电和光伏项目，以及其产业链相关的木材、矿产项目对社会经济发展和社区福祉有着深远影响。在“一带一路”沿线地区的发展中国家，可能已经面临社会信任缺失、法律体系不健全、和社会自治能力薄弱的问题，所以社区参与的挑战可能较为复杂。企业应该结合本地社会文化和社区利益，例如通过建立参与式互动平台和教育示范等方式、建立和当地居民长期的信任关系。也可以考虑建立相关告知、咨询、反馈和落实机制，提高当地居民在项目规划、资源分配、环境管理等关键决策中的发言权。另外，也可以设置专项基金，例如用于支持社区教育和健康发展、增加职业技能培训和促进小型企业生计等方面将社区发展和项目建设有机结合。

可再生能源企业在项目过程中应尊重当地居民的宗教信仰、人文地理保存遗址和少数民族的习俗传统。在涉及少数民族裔和原住民的项目中，对文化敏感性的重视，如宗教信仰、风俗习惯、历史遗产保护等方面的理解和尊重往往可以减少社会冲突，更好地保护本地不同社群的利益。例如，“一带一路”沿线国家民族众多，宗教多元，其中宗教信仰是重要的变量，对不同文化背景群体的了解可以帮助企业在建立参与机制时综合考虑并平衡宗教文化对于经济、政治以及社会的普遍影响。

04 提高对可再生能源上游供应链的负责任管理，避免和减小原材料开发的生物多样性和社会影响

在上游的原材料和矿产开采方面，风电和光伏产业严重的生态影响仍未得到政策的有效控制。上游的原材料包括树脂、巴沙木、稀土元素、铁、铜、铝等。其中，巴沙木、铜、铝等原材料大量依赖进口，其开采过程中对生态的影响和破坏可能导致本地社区的抵制，从而增高运营风险和降低产业链的稳定性，需要被重点关注。供应链上游的金属和木材开采会导致土地、水源、和生物多样性等方面的污染和不良影响。金属是可再生能源企业重要的原材料。开采铜矿时会对地下水和水层产生重要影响，进而污染鱼类、野生动物的生境和农田，并产生大量的废物。开采镍矿会砍伐大量的热带雨林，处理不当的尾矿会使很多的重金属及其他污染物渗入地下和海洋，对野生动植物和生态系统构成威胁。开采过程中的重金属会积聚在食物链中，其释放的灰尘和颗粒物会对动物的呼吸系统产生不利影响。

针对以上问题，需明确多方主体的协同治理框架：能源、自然资源和生态环境部门应联合制定可再生能源原材料溯源要求，强制企业追溯矿产来源地数据，并对涉及天然林砍伐的供应商实施进口禁令；有相关资质的行业协会或认证机构应制定相应的分级认证标准，定期评估供应商生态和社会风险；风机制造和光伏组件组装企业须在采购合同中增加生态保护底线要求，提高供应商的准入捆绑责任。

05 制定项目退役的生物多样性和社会保障规则，开展生态恢复

企业和相关决策者加强重视退役的风电场和光伏电站的生态影响。本报告发现，现有企业对于风电和光伏产业回收的技术、意识和实践均不高，尤其部分电站选址多位于偏远的沙漠、戈壁、高山、海洋等地区，高难度的运输成本让很多企业却步。其次，现有的回收技术仍不成熟，成本高、效率低。在风机的退役和回收上，叶片的主要材料为玻璃纤维和碳纤维嵌入树脂中后不可逆固化的复合材料，很难后期将其分离。另外，玻璃钢等材料自然降解难度大，通过堆放和掩埋方式处理叶片会造成大量土地的一次或二次污染。建议在现有的一系列回收技术例如化学溶解处理、焚烧处理、水泥窑协调处理和热解处理方面探索更为环保和经济的回收方式。另外，开展回收能够在源头上节约原材料的开采，减少资源浪费。

在项目退役前至少2-3年，开展全面的生态环境评估，识别项目对土壤、水体、植被、动物等的影响程度。根据评估的结果，明确生态恢复的目标，例如恢复到退役前的自然状态，或者根据当地生态环境特点，设定更具适应性的目标。生态恢复目标应具有可测量性，便于后期评估。根据评估结果和生态恢复目标，制定详细的生态恢复方案，包括恢复方法、时间表、预算、责任方等，并且生态恢复方案需要充分考虑当地的自然条件和社会经济条件。在社会保障方面，应及时为本地社区提供补偿和发展帮助，鼓励当地居民参与退役计划的制定和实施，充分听取居民的意见和建议。

4.3 未来展望

本报告作为护栏原则系列的第一份报告，根据对目前已有科学研究和监管政策的梳理，识别出了可再生能源为减小科学和政策上相关风险的五项基本内容。未来我们将继续加强与多利益相关方的交流和对话，继续完善和更新护栏原则的基本内容，以促进高速发展阶段的风电和光伏产业和相关技术在生态和社会效益上的持续进步，同时保持对生态和社会层面相关风险的警惕性。

作为护栏原则概念和框架提出的第一步，本报告主要总结了可再生能源产业发展需要注意和遵守的整体内容，但每个实际问题和场景的具体应用，会因时间和空间上的异质性而不同。未来，我们也将关注护栏原则每项基本内容在不同政策和地区场景下如何具象化，帮助可再生能源设备制造商和开发商避免相关风险。比如根据《野生动物保护法》，风电和光伏发电项目选址应避免让自然保护地以及其他野生动物重要栖息地、迁徙洄游通道。然而，由于这些区域目前尚无法律文件来明确其地理边界，一些企业可能在项目选址过程中未能避免触碰相关的政策红线，导致项目中断或终止，而通过开发具体的评估方法和数据工具可以有效减小或避免这些风险，例如采用空间规划和生物多样性敏感性地图结合的方式等^[99]。

我们也希望根据护栏原则，继续完善一系列的指标体系，采取定性和定量结合的方法，帮助政府、市场和社会各界评估一个可再生能源项目的可持续性。这一指标体系应涵盖生态和社会等多个维度，评估项目在原材料利用、电站建设与运营、设备退役和回收等方面的影响。

最后，未来我们也期待与不同利益相关方共同探讨如何通过多利益相关方的参与来更灵活地支持决策，帮助监管部门和企业通过积极行动管理风险。一个充分的利益相关方参与方式应能识别所有关键的潜在风险，包括与生态、社会和其他不利于可持续发展目标的风险，以及科学上的不确定性，以确保可再生能源行业在促进能源转型、减缓气候变化的同时，给广大的人民群众带来惠益。

参考文献

- [1] 李保平, 薛达元.《生物多样性公约》中"土著和地方社区"术语在中国的适用性和评价指标体系[J/OL]. 生物多样性, 2021, 29(2): 193-199. DOI:10.17520/biods.2020477.
- [2] 饶勇. 旅游开发背景下的精英劳动力迁入与本地社区边缘化——以海南三亚为例[J]. 旅游学刊, 2013, 28(01): 46-53.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 绿色制造 制造企业绿色供应链管理 导则[S]. 2017.
- [4] OECD. 互联经济体——受益于全球价值链[M/OL]. OECD, 2014[2025-05-16]. https://www.oecd.org/zh/-publications/interconnected-economies_9789264174443-zh.html. DOI:10.1787/9789264174443-zh.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 绿色制造 制造企业绿色供应链管理 导则: GB/T 33635-2017[S]. 2017.
- [6] U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Guidelines and Principles For Social Impact Assessment[R]. 1994: 2.
- [7] 全国环境管理标准化技术委员会. 环境管理 生命周期评价 原则与框架: GB/T 24040-2008[S]. 2008.
- [8] 生态环境部. 环境影响评价技术导则 生态影响: HJ 19-2022[S]. 2022.
- [9] 联合国. 生物多样性公约[Z]. 1992.
- [10] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Critical Transitions: Circularity, equity, and responsibility in the quest for energy transition minerals[M/OL]. United Nations Environment Programme, 2024 [2025-05-16]. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/46623/critical_transitions.pdf?sequence=3&isAllowed=y. DOI:10.59117/20.500.11822/46623.
- [11] 付宇佳, 谭昌海, 刘晓煌, 等. 自然资源定义、分类, 观测监测及其在国土规划治理中的应用[J]. 中国地质, 2022, 49(4): 1048-1063.
- [12] LEE H, CALVIN K, DASGUPTA D, 等. Climate Change 2023: Synthesis Report[R/OL]. First. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023[2025-05-19]. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. DOI:10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- [13] 清华大学碳中和研究院. 2024全球碳中和年度进展报告[R/OL]. (2024). https://www.icon.tsinghua.edu.cn/__local/5/AC/99/278BC9259FBD3D1A9A59AE1ADB7_1F00B863_178308D.pdf.
- [14] 国务院新闻办公室. 中国的能源转型[R]. 2024.
- [15] 李雨潇. 中国企业新能源海外投资现状[R]. 绿色和平, 2024.
- [16] 自然资源部. 自然资源部关于保护和永续利用自然资源扎实推进美丽中国建设的实施意见[EB/OL]. (2024). https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202408/content_6969604.htm.
- [17] 自然资源部, 国家发展改革委, 国家林草局. 自然资源要素支撑产业高质量发展指导目录(2024年本)[EB/OL]. (2024). https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202412/content_6994373.htm.

- [18] IPBES. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services[R]. Bonn, Germany: IPBES secretariat, 2019.
- [19] UNECE. Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources[M/OL]. United Nations, 2022[2025-05-06]. <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789210014854>. DOI:10.18356/9789210014854.
- [20] SUN L, YU H, CHEN B, 等. Safeguarding biodiversity from critical mineral mining in China[J/OL]. Nexus, 2024, 1(4): 100042. DOI:10.1016/j.ynexs.2024.100042.
- [21] BENNUN L, VAN BOCHOVE J, NG C, 等. Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development: guidelines for project developers[M/OL]. IUCN, International Union for Conservation of Nature, 2021[2023-12-20]. <https://portals.iucn.org/library/node/49283>. DOI:10.2305/IUCN.CH.2021.04.en.
- [22] 绿色和平. 可再生能源零废未来: 风电光伏回收产业发展研究[R/OL]. (2022). https://www.greenpeace.org.cn/wp-content/uploads/2022/07/renewable_zerowaste_2022.pdf.
- [23] 马伟波, 张龙江, 李海东. 亟须构建报废光伏生态环境风险防范体系[J]. 环境经济, 2024(20): 60-63.
- [24] HUND K, LA PORTA D, FABREGAS T P, 等. Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition[M/OL]. World Bank, 2023[2025-03-07]. <https://hdl.handle.net/10986/40002>. DOI:10.1596/40002.
- [25] KURTH T, WÜBBELS G, PORTAFAIX A, 等. The Biodiversity Crisis Is a Business Crisis[R]. Boston Consulting Group, 2021.
- [26] 杨春, 常方蓉, 杨珊. 矿业生物多样性保护初探[M]. 中南大学出版社, 2023.
- [27] IEA. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions[R/OL]. IEA, 2021. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>.
- [28] SONTER L J, DADE M C, WATSON J E M, 等. Renewable energy production will exacerbate mining threats to biodiversity[J/OL]. Nature Communications, 2020, 11(1):4174. DOI:10.1038/s41467-020-17928-5.
- [29] FLETCHER C, BENNUN L, JOBSON B, 等. Biodiversity and responsible sourcing for wind and solar developments: An overview and action agenda[R/OL]. IUCN, 2025. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2025-002-En.pdf>.
- [30] 新华社. 中国的稀土状况与政策[R/OL]. (2012). https://www.gov.cn/zhengce/2012-06/20/content_2618561.htm.
- [31] CALINGER K, CALHOON E, CHANG H chi, 等. Historic Mining and Agriculture as Indicators of Occurrence and Abundance of Widespread Invasive Plant Species[J/OL]. PLOS ONE, 2015, 10(6) [2025-05-19]. <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0128161>. DOI:10.1371/journal.pone.0128161.

- [32] ALONZO M, VAN DEN HOEK J, AHMED N. Capturing coupled riparian and coastal disturbance from industrial mining using cloud-resilient satellite time series analysis[J/OL]. *Scientific Reports*, 2016, 6(1): 35129. DOI:10.1038/srep35129.
- [33] SONTER L J, HERRERA D, BARRETT D J, 等. Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon[J/OL]. *Nature Communications*, 2017, 8(1): 1013. DOI:10.1038/s41467-017-00557-w.
- [34] ZUNINO A R, NORMAN M, FENTON S A T. Gone With the Wind[R]. *Forest Trends*, 2022.
- [35] 赵新, 徐文军. 林业采伐工程对生态环境的影响[J/OL]. *现代工程项目管理*, 2024, 3(20): 211-213. DOI:10.37155/2811-0625-0320-71.
- [36] BROWN K A, GUREVITCH J. Long-term impacts of logging on forest diversity in Madagascar[J/OL]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2004, 101(16): 6045-6049. DOI:10.1073/pnas.0401456101.
- [37] XU X, ZHANG X, RILEY W J, 等. Deforestation triggering irreversible transition in Amazon hydrological cycle[J/OL]. *Environmental Research Letters*, 2022, 17(3): 034037. DOI:10.1088/1748-9326/ac4c1d.
- [38] BAQUERO D C. Indigenous Amazonian communities bear the burden of Ecuador's balsa boom[N/OL]. *Mongabay*, 2021. <https://news.mongabay.com/2021/08/indigenous-amazonian-communities-bear-the-burden-of-ecuadors-balsa-boom/>.
- [39] ALVARADO A C. Oil palm and balsa plantations trigger deforestation in Ecuadorian Amazon[EB/OL]. (2023). <https://news.mongabay.com/2023/08/oil-palm-and-balsa-plantations-trigger-deforestation-in-ecuadorian-amazon/>.
- [40] DIALOGUE EARTH. 'Balsa fever' brought hope and havoc in the Amazon. What happened next? [EB/OL]. (2024). <https://dialogue.earth/en/forests/balsa-fever-brought-hope-and-havoc-in-the-amazon-what-happened-next/>.
- [41] NAZIR M S, ALI N, BILAL M, 等. Potential environmental impacts of wind energy development: A global perspective[J/OL]. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2020, 13: 85-90. DOI:10.1016/j.coesh.2020.01.002.
- [42] MARQUES A T, BATALHA H, RODRIGUES S, 等. Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies[J/OL]. *Biological Conservation*, 2014, 179: 40-52. DOI:10.1016/j.biocon.2014.08.017.
- [43] 许燕华, 钱谊, 陈雁, 等. 东沙沙洲离岸潮间带风电场建设对鸟类的影响[J]. *环境监测管理与技术*, 2010, 22(2): 19-23.
- [44] LAI Y, CHOI C, LEE K, 等. Endangered Black - faced Spoonbills alter migration across the Yellow Sea due to offshore wind farms[J/OL]. *Ecology*, 2025, 106(1): e4485. DOI:10.1002/ecy.4485.
- [45] 柴麒麟. 碳中和、新能源与土地[J]. *世界环境*, 2022, 02.
- [46] 马松尧, 陈龙, 滕泽宇, 等. 荒漠草原区风力发电场建设前后的植被变化[J]. *中国沙漠*, 2019, 39(02).
- [47] GAO L, WU Q, QIU J, 等. The impact of wind energy on plant biomass production in China[J/OL]. *Scientific Reports*, 2023, 13(1): 22366. DOI:10.1038/s41598-023-49650-9.
- [48] 彭昀月, 罗永梅, 徐泽楠, 等. 集中式大型光伏及风电电场生态影响研究: 进展与展望[J]. *生物多样性*, 2023: 0-0.

- [49] 王志科, 张嘉宸, 李廷山, 等. 高海拔地区风电场建设对环境的影响及水土保持对策探讨——以共和县切吉乡1000MW风电项目为例[J/OL]. 绿色科技, 2020, 20. DOI:10.16663/j.cnki.lskj.2020.20.044.[50]
- [50] RÖHRKASTEN S, SCHÄUBLE D, HELGENBERGER S. Secure and Sustainable Energy in a Water-Constrained World[J/PDF]. IASS Policy Brief, 2016[2025-05-15]. https://publications.rifs-potsdam.de/pubman/item/item_1469897. DOI:10.2312/IASS.2016.006.
- [51] BENNUN L, FLETCHER C, COOK A, 等. Guidance on biodiversity cumulative impact assessment for wind and solar developments and associated infrastructure[R]. IUCN and The Biodiversity Consultancy, 2024.
- [52] 傅伯杰, 刘焱序, 王帅, 等. 科学改善荒漠化地区人与自然关系[J/OL]. 中国科学院院刊, 2024, 39(12): 2027-2036. DOI:10.16418/j.issn.1000-3045.20240714001.
- [53] DOMINISH E, FLORIN N, TESKE S. Responsible minerals sourcing for renewable energy[R]. Institute for Sustainable Futures, 2019.
- [54] 马文静, 张宇彤, 杨春振, 等. 大宗风电退役风机叶片资源化回收利用技术研究进展[J]. 洁净煤技术, 2023, 29(10): 17-26.
- [55] 王璐, 于瑶, 王铭禹. 技术、市场跟不上 风光设备退役难“风光”[N/OL]. 经济参考报, 2023. <https://www.stcn.com/article/detail/1051037.html>.
- [56] ATASU A, DURAN S, VAN WASSENHOVE L. The Dark Side of Solar Power[R]. Harvard Business Review, 2021.
- [57] 安宝山, 王慧军, 孙利. 未来退役风电叶片的回收和利用[J]. 工程塑料应用, 2011, 39(06).
- [58] KARYTSAS S, MENDRINOS D, KARYTSAS C. Measurement methods of socioeconomic impacts of renewable energy projects[J/OL]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 410(1): 012087. DOI:10.1088/1755-1315/410/1/012087.
- [59] 中国国际工程咨询公司. 中国投资项目社会评价指南[M]. 北京: 中国计划出版社, 2004.
- [60] 世界银行. 世界银行环境和社会框架[R]. 华盛顿特区, 2016.
- [61] 李强, 史玲玲, 叶鹏飞, 等. 探索适合中国国情的社会影响评价指标体系[J]. 河北学刊, 2010, 30(01).
- [62] 祝培甜, 马永欢, 陈相利. 双碳背景下绿色能源用地研究——以风力发电和光伏发电为例[J]. 宏观经济管理, 2024, 11: 45-51.
- [63] 董珮瑶. 中国风力和光伏新能源发电现状与对策分析[J]. 中国资源综合利用, 2025, 43(3): 220-223.
- [64] 蔡乐渭. 中国土地征收补偿制度的演进、现状与前景[J]. 政法论坛, 2017, 35(06): 96-108.
- [65] 刘斌, 张晶晶. 关于内蒙古自治区能源项目征地补偿机制有关问题的探讨[J]. 内蒙古师范大学学报(哲学社会科学版), 2013, 42(01): 28-32.
- [66] IRENA, ILO. Renewable energy and jobs: Annual review 2024[R]. International Renewable Energy Agency and International Labour Organization, 2024.
- [67] GARRETT-PELTIER H. The Employment Impacts of Economy-wide Investments in Renewable Energy and Energy Efficiency[D]. University of Massachusetts Amherst, 2010.
- [68] 何凌云, 杨晓蕾, 钟章奇. 我国可再生能源投资的就业效应研究:整体和行业视角[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2019, 25(03): 84-95.

- [69] HUSSAIN T, WANG D, BENQIAN L. Examining the role of responsible management, CSR, and TQM in enhancing renewable energy projects: An empirical analysis[J/OL]. *Ecological Frontiers*, 2024, 44(3): 478-488. DOI:10.1016/j.chnaes.2023.06.010.
- [70] 刘华兴. 大型工程对社区基础设施变迁的影响研究——港口湾水库实证[D]. 江苏: 东南大学, 2015.
- [71] 杨章琳. 基于视觉质量评价的光伏景观设计研究[D]. 中国矿业大学, 2025.
- [72] 史锦华, 刘成杰. 民族地区发展可再生能源的现实分析及政策选择[J]. *广西民族研究*, 2008(04): 149-154.
- [73] 岳怀让, 马作鹏. 淮南八公山风景区违法建设风电项目: 多次责令拆除仍投入使用[EB]. 2016.
- [74] 于龙成. 大型基本建设与文化遗产的研究、保护和利用——“南水北调”中线工程河南段基本建设与文化遗产的共生双赢[D]. 中国社会科学院, 2013.
- [75] HICKS J, ISON N. An exploration of the boundaries of ‘community’ in community renewable energy projects: Navigating between motivations and context[J/OL]. *Energy Policy*, 2018, 113: 523-534. DOI:10.1016/j.enpol.2017.10.031.
- [76] AITKEN M, HAGGETT C, RUDOLPH D. Practices and rationales of community engagement with wind farms: awareness raising, consultation, empowerment[J/OL]. *Planning Theory & Practice*, 2016, 17(4): 557-576. DOI:10.1080/14649357.2016.1218919.
- [77] GROSSE C, MARK B. Does renewable electricity promote Indigenous sovereignty? Reviewing support, barriers, and recommendations for solar and wind energy development on Native lands in the United States[J/OL]. *Energy Research & Social Science*, 2023. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:260821778>.
- [78] 国家文物局. 河南对赵长城遭破坏案处理坚决态度鲜明措施有力[EB/OL]. (2018). <https://collection.sina.com.cn/yjjj/2018-06-14/doc-ihcwpcmr1089651.shtml>.
- [79] 杨凯奇. 河南风电项目破坏“楚长城”调查[EB/OL]. (2019). <https://mp.weixin.qq.com/s/W0Mp-flsD6hwo5-qgFFXhMg>.
- [80] 李韬. 绿色供应链管理下对企业环境绩效的影响研究——以隆基绿能为例[D]. 云南财经大学, 2024.
- [81] 毛涛, 扶亚兰. 我国光伏产业出海面临的“绿色壁垒”及应对建议[J]. *中国国情国力*, 2024(06): 4-9.
- [82] 王法军. 风电企业绿色供应链管理体系构建研究[J]. *物流工程与管理*, 2023, 45(09): 96-98.
- [83] SOLARPOWER EUROPE. Sustainable Solar. Environmental, social, and governance actions along the value chain[R]. 2024: 71,82,83.
- [84] CEDEAD-ECOWAS, BANQUE OUEST AFRICAINE DE DÉVELOPPEMENT. Environmental and Social Risk Management (ESRM) Sector Guide on OffGrid Standalone Solar for Financial Service Providers[R]. 2020: 16,19-20, 23.
- [85] EUROPEAN BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT. Sector Supply-chain Guidance – Wind Energy[R]. 2024.
- [86] EUROPEAN BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT. Sector Supply-chain Guidance – Solar Energy[R]. 2024.
- [87] 国家林业和草原局. 全国鸟类迁徙通道保护行动方案(2021-2035年)[EB]. 2022.

- [88] EUROPEAN COMMISSION. Guidance Document on Wind Energy Developments and EU Nature Legislation[R]. 2020.
- [89] JAMES M, JANNUSCH K, KOENIG K, 等. Using Non-Price Criteria in State Offshore Wind Solicitations to Advance Net Positive Biodiversity Goals[R]. The Institute for Energy and the Environment at Vermont Law and Graduate School, 2023.
- [90] SIJTSMA L. Financial Auctions for Offshore Wind[EB/OL]. (2023). <https://guidehouse.com/insights/energy/2023/financial-auctions-for-offshore-wind>.
- [91] 景家锤. 基于绿色供应链的废旧光伏组件回收模式与优化研究[D]. 天津理工大学, 2024.
- [92] NATUUR MILIEU. Conditions for sustainable decommissioning of offshore wind turbines[R]. 2024: 12.
- [93] SOLARPOWER EUROPE. End-of-life Management, Best Practice Guidelines[R]. 2024: 13.
- [94] WINDEUROPE. Decommissioning of Onshore Wind Turbines – Industry Guidance Document[R]. 2020.
- [95] BIOWIND. Summary report of the workshop on sustainable approaches to wind turbine decommissioning[R]. 2024.
- [96] 李帅. 争议违建光伏电站[J]. 能源, 2017(09): 30-31.
- [97] 鄂晓明. 新能源发电项目用地法律风险及政策建议[J]. 中国电力企业管理, 2022(13): 80-81.
- [98] OECD. Extended Producer Responsibility: Updated Guidance for Efficient Waste Management[M/OL]. OECD, 2016[2025-05-15]. https://www.oecd.org/en/publications/extended-producer-responsibility_9789264256385-en.html. DOI:10.1787/9789264256385-en.
- [99] 彭昀月, 罗永梅, 靳彤, 等. 减缓陆上集中式光伏及风电电场生态影响的早期选址规划方法与工具[J/OL]. 生物多样性, 2025, 33: 1-10. DOI:10.17520/biods.2024063.

致谢

在本报告撰写过程中，许多专家和学者为报告提供了宝贵的意见和建议。在此我们要特别感谢以下专家对报告内容的指导（以姓氏首字母排序）：

蔡志扬、丁姗姗、高巍、郭虹宇、贾亦飞、康蔼黎、黎萌、梁彬、刘秋林、王可珂、王卫权、温子莹、吴倩茜、徐熙婷、杨春、杨富强、杨雪晴、姚霖、张帆、张圣、赵亮

他们为本报告的顺利完成作出了很大贡献，在此我们表示衷心的感谢！

合作伙伴介绍



北京大学能源研究院
INSTITUTE OF ENERGY

北京大学能源研究院是北京大学下属独立科研实体机构。研究院以国家能源发展战略需求为导向，立足能源领域全局及国际前沿，利用北京大学学科门类齐全的优势，聚焦制约我国能源行业发展的重大战略和科技问题，按照“需求导向、学科引领、软硬结合、交叉创新、突出重点、形成特色”的宗旨，推动能源科技进展，促进能源清洁转型，开展专业及公众教育，致力于打造国际水平的能源智库和能源科技研发推广平台。



北京大学自然保护与社会发展研究中心
Center for Nature and Society

北京大学自然保护与社会发展研究中心于2008年成立，致力于在自然保护与可持续发展领域开展长期监测和基础研究、建立决策信息和多学科知识平台，培养领导力。工作包括野生动物和自然保护相关的生态学基础研究、保护成效评估、保护与可持续发展政策和策略研究；建立与政策部门和立法机构的直接互动，及时掌握政策和法律的需求，吸纳、鼓励和整合协调。内外学术机构的相关研究，对中国自然保护和可持续发展的政策制订提出依据和解决方案。与此同时，中心与保护一线的实践者保持紧密的合作，把通过有效实践案例尝试、检验新的思路和方法、提取具有提升和扩大潜力的做法和模式。与此同时，充分利用北大和中心在全国乃至全球的网络，结合环境保护和可持续发展的最佳实践案例，根据中国国情，开展针对政府、非政府组织、企业、学者、媒体可持续发展领导力培训。我们的目标是推动中国自然保护与可持续发展高水平、高质量的理论研究和实践示范，为世界可持续发展创造具有中国特色的范例。





扫码关注
山水自然保护中心
微信公众号