中国可再生能源与生物多样性协同发展的机遇与挑战（征求意见稿）

SYNERGY OF RENEWABLE ENERGY AND BIODIVERSITY IN CHINA
OPPORTUNITIES AND CHALLENGES (DRAFT FOR COMMENTS)

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）

北京大学自然保护与社会发展研究中心
北京市朝阳区自然之友环境研究所

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
naturewatch@shanshui.org
北京市海淀区山水自然保护中心
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

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者同意的情况下将本报告用于任何商业用途。

Copyright © 2024 Shan Shui. All Rights Reserved.

引用建议：陈安禹 , 陈文静 , 张梦 , 蔡志扬 , 何艺妮 , 王紫萱 , 冯时 , 赖怡蒨 , 徐安琪 , 史湘莹 , 赵翔 & 程琛 . (2024). 中国可再生能源与生物多样性协同发展的机遇与挑战 . 山水自然保护中心 .

目 录 CONTENTS

目 录 03 执行摘要 05 Executive Summary 08

PART1
背景 10

1 应对危机，需要协同生物多样性保护和气候的行动 11
2 亟需减小可再生能源发展的生物多样性负面影响，避免顾此失彼 13

PART2
风电、光伏对生物多样性的影响 15

1 风力发电对生物多样性的主要影响 17
2 光伏发电对生物多样性的影响 19

PART3
我国可再生能源开发的生物多样性保护现状 20

1 我国对生物多样性保护的法律法规和制度保障 21
2 风电、光伏开发带来的挑战 26

PART4
解决方案以及协同发展的机遇 36

1 应用减缓层级来减少可再生能源项目开发过程中的生物多样性影响 37
2 生物多样性敏感性地图——为规划、选址、环评识别保护优先区域 40

PART5
报告建议 45

报告建议 46

报告小结 48
参考文献 49
作　　者 53
致　　谢 54
合作伙伴介绍 56

执行摘要

气候变化、生物多样性丧失和环境污染已成为全球三大生态危机。为积极应对气候变化，我国提出了2030年“碳达峰”与2060年“碳中和”的“双碳目标”和“1+N”政策体系，其中大力发展以风力、光伏发电为代表的可再生能源是我国实现能源结构转型、推进低碳发展的重要途径，为全球绿色转型做出了重大贡献。截至2023年底，全国可再生能源发电总装机达15.16亿千瓦，占全国发电总装机的51.9%，在全球可再生能源发电总装机中占比近40%。可再生能源在高速发展和大规模开发过程中需要利用大面积的地表和海面，与此同时，土地利用变化被认为是造成生物多样性丧失的直接驱动因素之一。研究发现，若可再生能源项目选址时未客观、充分地评估选址区域的生物多样性情况及影响，开发建设对所涉区域的土地或海洋利用变化可能会造成物种栖息地的丧失。因此，**如何实现生物多样性保护和可再生能源发展的协同，实现高质量发展**，受到了越来越多的关注。

鉴于鸟类对栖息地和环境变化非常敏感，鸟类受威胁的程度和保护级别较高，以及鸟类的数量、分布和追踪数据和相关研究较多，因此鸟类被认为是衡量生态系统和环境变化影响的重要指标类群。本报告工作组在文献检索和实地调研的基础上，以沿海迁徙候鸟保护为主要切入点，综述了风电、光伏项目建设对生物多样性的影响，以及全球范围内促进风电、光伏生物多样性友好的政策和技术措施，并梳理了专项规划和环评等现行制度存在的不足和提升完善的相关建议。希望能够助力于生物多样性与可再生能源协同发展，促进人与自然和谐共生。

关于影响：首先，风电和光伏项目的基础设施以及日后营运很可能会直接影响该地区的生物多样性。例如，一些鸟类会与风机或输电线路发生碰撞或触电导致其受伤甚至死亡；其次，风电、光伏项目开发涉及风电机组安装、光伏组件铺设以及配套基础设施等的安装，占地面积相对较大，若选址不当会加剧栖息地破碎化，导致物种的栖息地丧失，不利于物种的迁徙活动，对物种种群数量造成累积影响。其中，沿海滩涂作为较脆弱的生态系统，一旦破坏后修复难度极高，又是许多珍稀濒危水鸟的重要停歇地和觅食地，如勺嘴鹬（*Calidris pygmaea*）等濒危鸻鹬类对中国沿海地区滩涂湿地有着极高忠诚度和依赖性，这些滩涂湿地一旦被占用，将可能导致此类物种全球种群数量的减少。

目前现状：在2022年底COP15上通过的《昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架》（简称“昆蒙框架”）目标14中要求“确保将生物多样性及其多重价值观充分纳入各级政府和所有部门的政策、法规、规划和发展进程、消除贫困战略、战略环境评估、环境影响评估（简称‘环评’）”等，我国作为《生物多样性公约》缔约国以及全球生物多样性保护的引领者，已经建立了较为完整的保护候鸟和沿海生态系统保护的法律体系，以及规划和建设项目环评等配套制度。不过，在观察和实践中发现这些制度仍存在部分亟待完善的问题，比如一些地区的可再生能源规划与生物多样性保护优先区域、重点保护物种栖息地存在冲突。一些“渔光互补”“农光互补”光伏项目，事实上占用珍稀濒危水鸟觅食地和高潮停歇地，但环评报告中鸟类调查不够全面，导致低估项目对鸟类的影响。

鸟类被认为是衡量生态系统和环境变化影响的重要指标类群。

解决方案：国际案例中常遵照减缓层级措施（Mitigation Hierarchy）来减缓特定项目对生物多样性的负面影响。减缓层级措施依次为“避让、最小化、修复、补偿”四个层级，其首要措施是避让并远离野生物种的重要栖息地等环境敏感区，考虑替代方案。无法避让时可提出较为有效的减缓措施，包括在涡轮叶片上增加标记使得鸟类更清楚地看到涡轮叶片，降低碰撞几率，但目前其成效仍待明确；还可利用新技术通过在风机上增加图像检测和雷达技术，实时监测项目区域及附近的鸟类活动，精准暂时关闭特定风机，有效降低风险。本报告首次尝试制作了生物多样性敏感地图，助力识别热点地区。该地图通过判断建设选址是否可避免或减小对迁徙鸟类造成的影响，科学规划项目选址，并且建议在无法避让时采取相应防鸟撞措施，包括实时监测项目区域及附近的鸟类活动，精准暂时关闭特定风机，有效降低风险。

基于以上观察，本报告针对我国风电、光伏项目向生物多样性友好转型提出四点建议。

1 主管部门应加强和落实可再生能源发展中生物多样性保护的要求。

建议立法和行政机关未来在相关法律法规的制定和修订中，增加对于可再生能源发展和生物多样保护协同的条款；建议自然资源主管部门和发改委部门协调可再生能源专项规划布局避开野生动物栖息地等生物多样性敏感区域；林草部门应提高对“林光（风）互补”、“牧光（风）互补”、“草光（风）互补”等一体化项目中涉及野生动物重要栖息地的准入门槛等。

2 可再生能源企业需提高生物多样性保护意识，对建设项目开展全流程的生物多样性管理。

对于涉及珍稀濒危物种栖息地的已建风电和光伏发电项目，需要尽早对项目区域内的生物多样性情况展开调查，并开展长期监测和及时采取有效的减缓措施。对于计划开发的项目，建设单位应在当地主管部门帮助下，与研究机构、社会组织、社区居民等多利益相关方积极沟通，通过开展工作坊或研讨会等多方参与的形式充分了解获取各方信息，并参阅相关文献报告，在选址阶段充分了解当地生物多样性分布情况，避免项目建设对濒危保护物种的重要栖息地造成不可逆的影响。随着可再生能源产业出海，企业也应该尽快增加对于海外项目涉及国家和区域的生物多样性保护信息和政策的了解，确保我们可再生能源产业的良性发展。

3 亟需开展可再生能源对鸟类和其他类群物种影响的研究，提出科学的生物多样性与气候变化协同的解决方案。

本研究调研中发现，近年来风电和光伏产业迅速发展，然而科学研究对生物多样性影响的认识和研究往往滞后。针对不同技术类型和生物类群，以及在减缓影响措施的有效性方面，仍然存在相当大的研究空缺。例如，国内针对陆上风电导致鸟类碰撞风险的研究远多于海上风电，而对欧洲和北美研究较多的蝙蝠种群影响却知之甚少。另外与风电相比，目前全球范围内有关光伏开发对生物多样性和生态系统影响的研究非常有限，尤其是光伏开发对滩涂等湿地生态系统的影响。在我国风电、光伏发电规模高速增长的情况下，科学界和保护界亟需尽快开展相关研究。

4 企业、研究机构、社会组织等各利益相关方之间应积极交流对话，展开合作，打破国内外以及不同领域间的信息壁垒，以尽早探索出更因地制宜的生物多样性友好风电或光伏开发解决方案。

一方面应加强国内外交流，借鉴国际优秀案例，取长补短、因地制宜地针对野生动物生存现状提出可执行的阶段性目标和方案；另一方面，应促进国内外可再生能源投资方、开发商、风电或光伏装备制造企业与从事生物多样性保护的研究机构、民间组织等多方对话，提高信息透明度，通过建立利益相关者网络等方式，搭建交流合作的平台，以实现生物多样性友好的可再生能源开发。

Executive Summary

Climate change, biodiversity loss and pollution now stand as the triple planetary crises. To proactively fight climate change, China proposed dual carbon goals of achieving carbon peaking by 2030 and carbon neutrality by 2060, and also a “1+N” policy framework. Among that, a transition to renewable energy focused on wind and photovoltaic (PV) power plays an important role. However, rapid expansion of renewables demand requires a sheer amount of land area, thus resulting in changes in sea and land use which is identified as one of the main direct drivers of biodiversity loss. Without sufficient and effective assessments of site appropriateness and environmental impacts in the early stages of project development, sea/land use changes of sited area may lead to habitat loss and irreversible impacts on local biodiversity. Therefore, the synergy between biodiversity conservation and renewable energy draws increasing attention worldwide.

Given comparatively high sensitivity to habitat changes, many species at higher risk and under stricter protection, and credible avian data and studies, birds are considered as an important indicator of ecosystem health and the environmental changes. Based on desktop and on-site research concerning to the protection of coastal migratory birds, this report reviews the biodiversity impacts of wind and PV power, summarizes the policies and measures that promote biodiversity-friendly wind and PV solutions worldwide, and identifies issues and recommendations in existing plannings and environmental impact assessments.

Impacts: Firstly, the infrastructure of wind and PV projects can directly impact the local biodiversity. For example, birds may collide with wind turbines or transmission lines, resulting in injuries or even fatalities. Secondly, construction of wind turbines, PV panel and supporting infrastructure, occupies a relatively large area. If poorly sited, it can lead to habitat loss, exacerbate habitat fragmentation and barrier effects to species migration, and lead to considerable cumulative impacts on species populations. Coastal mudflats, as fragile ecosystems, are particularly difficult to restore once damaged. They serve as crucial stopover and foraging sites for many endangered waterbirds. For instance, shorebirds like spoonbill sandpipers (*Calidris pygmaea*) show a high site fidelity to the intertidal mudflats. The use of these habitats for renewable energy will directly lead to a global population decline of such species.

Policies: In the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework, adopted at the 15th Conference of the Parties to the United Nations Convention on Biological Diversity (COP15) at the end of 2022, Target 14 calls for “ensuring the full integration of biodiversity and its multiple values into policies, regulations, planning and development processes, strategic environmental assessments, environmental impact assessments (EIA) ” within and across all levels of government and across all sectors. As a leader in global biodiversity conservation, China has formulated a relatively complete legal system for the protection of migratory birds and coastal ecosystem. This includes implementing laws and regulations through planning and construction project EIAs. However, observation and practice have revealed some issues that need urgent improvement. For instance, there are conflicts between renewable energy planning and prioritized areas for biodiversity conservation and key species habitats. Some "fishing-solar hybrid" and "agriculture-solar hybrid" projects have actually occupied foraging and high-tide roosting sites for endangered waterbirds. Yet, EIA reports often have insufficient bird surveys, leading to an underestimation of the project's impact on bird populations.

Mitigation instruments: International cases often follow the Mitigation Hierarchy to mitigate the negative impacts on biodiversity from specific projects. The Mitigation Hierarchy consists of four steps, ‘Avoid, Minimize, Restore and Offset’. The primary measure is to avoid and steer clear of critical habitats of wildlife and other environmentally sensitive areas. When avoidance is not possible, effective mitigation measures can be proposed. These include adding markers on turbine blades to make them more visible to birds, thus reducing collision risks. New technologies can also be utilized, such as installing image detection and radar technology on turbines to monitor bird activity in real-time and temporarily shutting down specific turbines to effectively reduce risks. This report has made a first attempt to create a biodiversity sensitivity map to help identify hotspot areas. This map helps in planning and project siting by assessing whether the chosen location can avoid or reduce impacts on migratory birds. It also recommends taking appropriate bird collision prevention measures when avoidance is not possible, including real-time monitoring of bird activity in and around the project area and temporarily shutting down specific turbines to effectively reduce risks.

Based on the above observation, this report summarizes several suggestions for the biodiversity-friendly transformation of wind and photovoltaic power projects in China:

1 Authorities should enhance the requirements on biodiversity conservation in the renewable energy policy framework.

Legislative and administrative authorities are suggested to include provisions for the mainstreaming of biodiversity into renewable energy in laws and regulations. It is suggested that the bureaus and departments of both Ministry of Natural Resources and National Development and Reform Commission coordinate the renewable energy special planning to avoid biodiversity-sensitive areas, such as wildlife habitats. Additionally, Forestry and Grassland Administration should raise the entry thresholds for integrated projects involving important wildlife habitats in “forest-solar (or wind),” “pasture-solar (or wind),” and “grass-solar (or wind) ” projects.

2 Renewable energy enterprises should raise the awareness of biodiversity conservation and implement comprehensive biodiversity management throughout the construction process.

For the existing wind and PV projects involving habitats of endangered species, companies should promptly conduct biodiversity assessments and establish long-term monitoring, implementing effective mitigation measures as necessary. For future projects, developers should actively engage with various stakeholders, including local authorities, researchers, NGOs, and communities to gather diverse information and insights and understand local biodiversity distribution during the siting phase, avoiding irreversible impacts on critical habitats of endangered species. As the renewable energy business expands internationally, companies should also quickly familiarize themselves with biodiversity knowledge and policies in the project countries and regions to ensure the competency of the renewable energy industry amidst increasingly uncertain international policy environments.

3 Researchers and conservationists urgently need to conduct research on the impacts of renewable energy on birds and other species, proposing scientifically sound solutions that integrate both biodiversity and climate change considerations.

This study found that while the wind and solar industries have rapidly developed in recent years, scientific and conservation research on their biodiversity impacts has lagged. Significant research gaps remain concerning different technology types and species groups, as well as the effectiveness of mitigation measures. For instance, in China research on the collision risks posed by onshore wind turbines to birds is far more prevalent than that on offshore wind turbines, and little is known about the impacts on bat populations, which are well-studied in Europe and North America. Moreover, compared to wind energy, there is very limited global research on the impacts of solar energy development on biodiversity and ecosystems, particularly the effects of solar development on coastal and wetland ecosystems. Given the rapid expansion of wind and solar power in China, the scientific and conservation communities must urgently conduct relevant research.

4 It is necessary to enhance multi-stakeholder communication to break down information barriers across different fields and regions, aiming to develop more locally tailored biodiversity-friendly wind or solar development solutions.

On one hand, international exchanges should be strengthened to learn from excellent global case studies, adapt successful practices to China's wildlife conservation status, and set executable phased goals and plans. On the other hand, dialogues should be promoted among domestic and international renewable energy investors, developers, wind or solar equipment manufacturers, and biodiversity conservation research institutions and NGOs to increase information transparency. Establishing stakeholder networks and building platforms for communication and collaboration will help achieve biodiversity-friendly renewable energy development.

图 / 董正一

PART1

背景

1 应对危机，需要协同生物多样性保护和气候的行动

人类仍面临着生物多样性丧失的危机。在世界自然基金会（World Wildlife Fund，WWF）发布的《地球生命力报告 2022》年指出，全球监测范围内的野生动物种群数据（包括哺乳动物、鸟类、两栖动物、爬行动物和鱼类），自 1970 年以来平均下降了 69%，其中由于人类活动和经济发展等造成的土地利用变化导致陆地、淡水和海洋中许多动植物物种的自然栖息地破碎化加剧和消失，仍然是当前对全球野生动物种群的最大威胁 (WWF, 2022)。另一方面，全球商业部门开始意识到生物多样性与经济发展密不可分的关系。世界经济论坛（World Economic Forum，WEF）发布的《自然风险上升》报告发现，全球超过一半的 GDP 中度或高度依赖于自然和生态系统服务，因此可能面临着自然损失带来的风险 (WEF, 2020)。

在国际治理上，全球 196 个国家达成共识，在 2022 年底联合国《生物多样性公约》第十五次缔约方大会（COP15）上，通过了《昆明 - 蒙特利尔全球生物多样性框架》（简称“昆蒙框架”）。作为 2030 年前全球生物多样性治理的新蓝图，昆蒙框架提出了四个总体目标与 23 个具体行动目标，除“全球至少 30% 的陆地和海洋区域得到保护”的 3030 目标外，对社会各部门都提出了如何促进生物多样性主流化的目标指导。这包括在行动目标 14 中要求“确保将生物多样性及其多重价值观纳入各级政府和所有部门的政策、法规、规划和发展进程、消除贫困战略、战略环境评估、环境影响评估”中。另外，在行动目标 15 中，也对商业部门提出“确保所有大型跨国公司和金融机构定期监测、评估和透明地披露其对生物多样性的风险、依赖程度和影响，包括对所有大型跨国和金融机构及其运营、供应链和价值链和投资组合的要求”。**积极动员包括企业和金融机构等商业部门参与到生物多样性主流化的进程将是未来可持续发展的主要方向之一**。

另一方面，**气候变化已成为全球可持续发展面临的最大威胁之一**。为了实现《巴黎协定》的控温目标，并避免最严重的气候变化风险，就要求在能源、土地使用、城市基础设施等领域采取变革行动。其中，从以化石燃料为主传统能源发电模式转型成以风能和太阳能等可再生能源为主的新型电力系统，是全球减缓气候变化的关键行动之一。在 2023 年举办的《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会（COP28）上，各国针对实现能源转型的具体基准达成“阿联酋共识”，在该文本中明确提出“到 2030 年将全球可再生能源装机产能增加两倍，将能效提高一倍”和脱离化石燃料，2050 年前实现净零排放等具体目标。

图 / 徐健

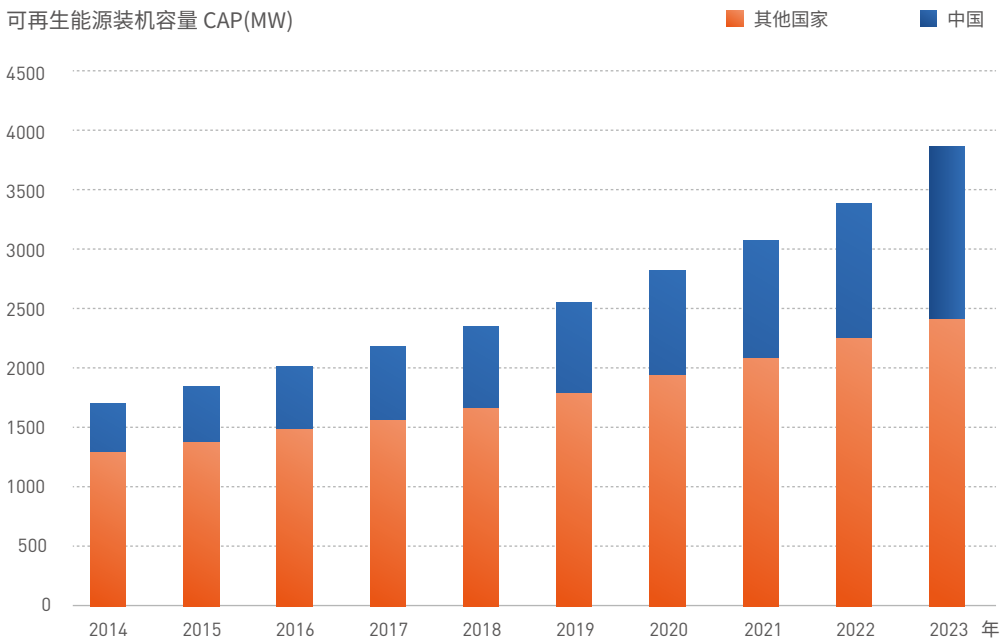


图1 2014年-2023年全球可再生能源装机量增长情况(IRENA,2024)

作为人类共同面对的危机，气候变化和生物多样性丧失的协同增效开始受到越来越多的关注。在 COP28 上，阿联酋与中国牵头发起了《联合国第 28 次气候变化大会（COP28）关于“气候、自然和人”的联合声明》，承诺将在国家气候、生物多样性和土地恢复规划与战略规划，气候和自然的融资和投资等方面通过自愿伙伴关系、倡议和联盟等方式共同努力，并明确将**“鼓励气候变化、生物多样性和可持续土地管理工作中数据源和数据收集、指标和方法以及自愿报告框架的一致性和互操作性”**纳入目标中，鼓励政府、私营部门、学术机构和非政府组织等开展数据合作。

2 亟需减小可再生能源发展的生物多样性负面影响，避免顾此失彼

近年来，我国积极发展风力、光伏发电等可再生能源。为应对气候变化，我国提出了2030 年“碳达峰”与 2060 年“碳中和”的双碳目标和能源绿色低碳转型等政策，其中大力发展以风力、光伏发电为代表的可再生能源是我国实现能源转型的重要途径。

根据国家能源局 (2023)，截至 2022 年底

我国可再生能源装机突破 12 亿千瓦，
达到 **12.13** 亿千瓦
占全国发电总装机的 **47.3%**

其中 风电 **3.65** 亿千瓦
太阳能发电 **3.93** 亿千瓦
占可再生能源发电总装机的 **62.49%**

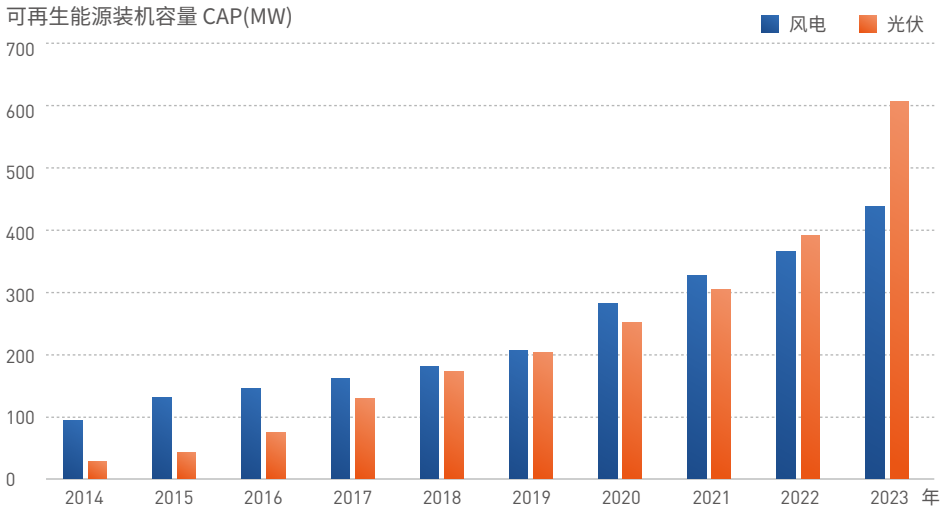


图2 2014年-2023年 中国风电、光伏装机量增长情况(IRENA, 2024)

土地利用的变化是导致生物多样性丧失的主要原因之一，然而风电、光伏在开发过程中，尤其是集中式风电场或光伏电站，常需要占用大片土地。若选址不当，有可能会存在一定的生态问题。例如，在山东长岛、贵州黔南州、山东微山县等地风电或光伏项目由于违规占用国家级或省级自然保护区，破坏生态环境等原因，建成后被要求拆除 (北极星风力发电网 , 2017; 界面新闻 , 2017; 北极星风力发电网 , 2021)。未来，在 3030 目标和我国生态保护政策不断加严的趋势下，如何持续开发风能和太阳能并合理利用土地资源将成为可再生能源发展的挑战之一 (Zhang et al., 2023)。

风电、光伏作为目前可再生能源，其开发利用对气候变化的总体影响远小于传统化石燃料。然而，风电、光伏开发如果规划和选址不当，其开发过程可能会占用具有独特或者丰富生物多样性的区域，导致自然土地和海洋损失（Kiesecker et al.,2019; Rehbein et al., 2020）。另外，风电、光伏开发所需的相关基础设施，例如风机等还会造成物种直接死伤（Bennun et al., 2021）。近年我国风电、光伏项目正在海上、海岸、荒漠戈壁、草原、森林等自然或半人工区域，农田、鱼塘和盐田等人工区域大规模建设中，其中部分项目已经对多种生态系统的生物多样性造成影响，而更多项目正在相关区域继续开发，急需引起关注（见表 1）。

表1 我国常见风电、光伏开发项目类型

建设项目涉及用地类型	举例	可能改变的生态系统
林地 + 风电 / 光伏	“林光互补”	森林生态系统
草原 + 风电 / 光伏	“草光互补”	草原生态系统
滨海湿地 + 风电 / 光伏	滩涂风电、滩涂光伏	滩涂生态系统
海洋 + 风电 / 光伏	海上风电、海上光伏	海洋生态系统
农田 + 风电 / 光伏	“农光互补”、“风光农互补”	农田生态系统
沙漠 / 戈壁 / 荒漠 + 风电 / 光伏	“光伏治沙”	荒漠生态系统
河道 / 湖泊 + 风电 / 光伏	“水面光伏”	淡水生态系统（河流、湖泊等）

气候变化与生物多样性丧失都是人类过度开发自然造成的生态危机。在能源转型中，避免和减小可再生能源开发对生物多样性的影响，是气候变化和生物多样性协同治理的重要挑战和课题。为应对我国范围内的这一挑战，本报告将以风电、光伏为例，（一）简要综述风电和光伏开发对生物多样性的影响研究；（二）通过对已有政策的梳理和案例研究，呈现目前我国风电光伏开发中对生物多样性的影响现状；（三）总结国际上已有的解决方案和优秀案例，识别对我国的机遇；（四）提出针对政府、企业等不同利益相关方的建议。

图 / 董正一

PART2

风电、光伏对生物多样性的影响

与所有能源开发一样，占用土地或海洋是可再生能源最显著的影响之一。实际上，单位能源开发所需的陆地或海洋面积通常为：地热、集中太阳能、天然气、煤炭、核能 < 水力、光伏、石油开采 < 风力 < 生物燃料，其中风电和光伏并不比传统能源中的煤炭、石油等更小，而由于其迅速扩大的规模，光伏和风电项目正在利用巨大面积的土地和海洋，对生物多样性造成不可忽视的风险(McDonald et al., 2009)。在 Bennun 等人 (2021) 发表的《减缓太阳能与风能开发对生物多样性的影响》（*Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development*）报告中，详细总结了光伏发电（简称“PV”）、海上风电和陆上风电开发对生物多样性的潜在影响（见表 2）。其影响不仅包含项目运营本身，还必须考虑基础建设过程、道路、输电设施等不同阶段，以及直接、间接、累积等不同类型。下面将从野生动物物种和生态系统两个角度进行说明。

表2 光伏发电、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
根据(Bennun et al., 2021)整理后绘制

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	√	√	√
昆虫等由于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量变化导致生境退化	√		
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	√	√	√
由光伏板的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			√
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			√

1 风力发电对生物多样性的主要影响

我国集中式风力发电目前以陆上风电为主，近年海上风电也在产业政策支持下得到了大力发展。**陆上风电和海上风电开发**由于需要占据大量陆地或海洋区域、铺设远距离输电通道等，**已证明会对野生动物，尤其是鸟类和蝙蝠造成影响**。

1.1 对野生动物的影响

由于鸟类的飞行和迁徙与风电建设依赖相似的风资源，许多风电场建在鸟类数量较多的区域，大型陆上风电场由于大量风机的存在，会导致鸟类与风机碰撞死亡，其中猛禽与风机发生碰撞的几率更高 (Wang et al., 2015; 朱永可 et al., 2016)。沿海地区的海上风电场同样会对鸟类造成影响。一项在我国江苏盐城滨海地区风电场的研究发现，一年内在风机周围发现了 10 科 12 种鸟类尸体，占研究区域内分布鸟类种数的 22.6%(Zhang et al., 2022)。另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%(许燕华 et al., 2010)。

风电场的建设开发，以及相关的输电线和道路等，会造成许多野生动物的栖息地丧失，尤其是鸟类和蝙蝠。以鸟类为例，Leddy 等 (1999) 指出，风电场的风机及相关设备会影响鸟类对栖息地的利用，在没有风机或与风机距离超过 80m 的草原上，鸟类种群密度显著高于风电场区域。同样，美国明尼苏达州的研究也表明，鸟类和其他野生动物会尽量避免在风电场的风机附近区域栖息 (Osborn et al., 2000)。

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。目前应用较广泛的措施是**在风电场选址阶段，避开鸟类迁徙通道或生物多样性丰富的区域** (Bennun et al., 2021)。

1.2 对生态系统的影响

风电场对于生物多样性的影响不仅限于物种和栖息地层面，也不仅限于风电场所在的区域本身 (Niebuhr et al., 2022)，其影响应当从生态系统的角度进行考察，并考虑其外部效应。然而，目前对于这一问题的系统性研究较少，仍有比较明显的研究空缺。从空间上看，可能造成外溢效应的负面因素包括为基础设施修建的道路带来的干扰（盗猎、人类活动增多）、栖息地破碎化和连通度丧失 (Torres et al., 2016)。例如葡萄牙距离风电场 3km 范围内的狼群繁殖成功率会显著下降 (Mascarenhas et al., 2018)。对迁徙物种而言，其生活史中部分栖息地的损失也可能具有延滞效应（carry-over effect），造成更广泛的影响；这些问题对于大型基础设施建设来说都是通病，而可再生能源建设概莫能外。

相较于其他能源基础设施，风电场较为特有的负面影响主要体现蝙蝠以及大型鸟类中。而蝙蝠支持了重要的生态过程 (Castillo-Figueroa, 2020)，且提供了独特而不可替代的生态系统服务 (Kunz et al., 2011)，包括但不限于取食大量农业害虫 (Maslo et al., 2022)、提供传粉和种子扩散服务 (Aziz et al., 2021) 等，其种群数量的巨大变化可能带来生态风险。由风电对蝙蝠种群带来的影响已经有一些研究，然而其对于生态系统和人类生产带来的进一步影响则少有研究。大型鸟类在生态系统中一般扮演顶级捕食者的角色（大型水鸟、猛禽），而顶级捕食者在稳定生态系统中的作用不言而喻。印度一项研究显示风电场显著减少了当地的捕食性鸟类，使蜥蜴密度上升，风电成为了新的“顶级捕食者”，研究提出风电场的影响可能被大大低估了，急需开展生态系统范围的研究 (Thaker et al., 2018)。

海上风电和滨海风电对于蝙蝠的负面影响可能较陆上风电小，但对于水鸟的迁徙仍然有一定的负面影响。此外，海上风电场对海洋生态系统产生的影响已经有初步研究进行关注，其可能带来的效果包括海上风电的硬质基座对以软性物质为基底的生境造成改变，带来生境异质性增加，而其后果可能包括带来多样性的上升（鱼类和无脊椎动物），也可能作为入侵物种的基石 (Causon & Gill, 2018)。这些负面影响的未来后果仍不明确，但值得进一步研究；此外，风电的噪声和电磁干扰对海洋生物有潜在的负面影响 (Bergström et al., 2014; Galparsoro et al., 2022)。

2 光伏发电对生物多样性的影响

光伏发电指使用太阳能板通过光伏效应将光能转化为电能。光伏发电项目的规模差别很大，涵盖了从通常安装在单个建筑物/住宅屋顶上的分布式光伏到覆盖大片土地的集中式光伏。近年来，以水上漂浮式和桩基式为主的海上光伏电站也开始受到关注。与风能开发相比，目前有关光伏对生物多样性的科学证据非常有限，从现有文献来看光伏发电的潜在生物多样性影响除了占用物种栖息地等负面影响外，也有文献认为可对生物多样性产生积极影响。

2.1 对物种的影响

在光伏开发过程中，一些野生动物可能会与项目基础设施（反射镜、光伏板、建筑物、输电线）**发生碰撞，导致个体伤亡。**鸟类在飞行过程中可能由于光伏面板反射的偏振光，将光伏面板当作水面 (Horváth et al., 2009)。并在试图降落时增加碰撞和烧伤的风险而受伤，最后由于活动能力受限被捕食而死亡 (Huso et al., 2016; Kagan et al., 2014)。根据 Smallwood 的一项研究 (2022)，美国加利福尼亚州 2020 年光热发电和光伏发电装机容量分别达 1948.8 兆瓦和 12220 兆瓦，全年共报告了 37546 只鸟类和 207 只蝙蝠个体死亡，并且在光伏发电项目中，平均每年每兆瓦死亡 11.61 只鸟类和 0.06 只蝙蝠。许多大型鸟类容易与输电线发生碰撞，高翼载（即重量与翼面积之比）的物种由于机动性低而面临更大风险，例如鸨类（bustards）、鹤类（cranes）、鹳类（storks）、雁类（geese）、天鹅（swans）以及雕类（eagles）和鹫类（vultures）等大型猛禽 (Bernardino et al., 2019)。

在沿海滩涂修建光伏在我国江苏、浙江等省大量出现，关于这类滩涂光伏项目对底栖生物以及候鸟的影响，目前还缺乏监测和研究。实际上开发建设对滩涂的影响研究总体较为缺乏，已有关于天然气开采的研究发表，但由于施工形式不同，仅可供参考 (de la Barra et al., 2023)。

2.2 对生态系统的影响

集中式光伏开发项目可以导致大片土地区域被光伏板阵列和相关基础设施覆盖，有时也需要在未被人为开发过的原始土地上架设输电线等，因此，土地覆被变化和土壤扰动可能会造成大量栖息地丧失和破碎化。比如，有研究发现在未来气候变化情景和可再生能源扩展的双重压力下，会使圣华金敏狐（*Vulpes macrotis mutica*）等物种的栖息地损失扩大 (Ashraf et al., 2024)。光伏电池板造成的阴影效应，可能会改变下层栖息地的物种组成和多样性。比如 Armstrong 等人 (2016) 发现，在英国一家光伏发电厂中的植被恢复过程中，由于土壤和空气温度的差异，光伏板下的物种多样性相比较低。

由于受到太阳能分布的影响，大型光伏项目可能会集中在干旱环境，比如荒漠生态系统等。有研究认为，在干旱或半干旱地区，光伏电站由于建设施工造成的土壤侵蚀相比化石能源较少 (Hamed & Alshare, 2022; Turney & Fthenakis, 2011; 刘冬晓 , 2020)，从而对土壤植被的扰动影响较小，配合人工治沙措施，可一定程度上实现防沙、治沙功能 (彭昀月 et al., 2023)。

PART3

我国可再生能源开发的生物多样性保护现状

1 我国对生物多样性保护的法律法规和制度保障

为防止基础建设加剧生物多样性丧失，我国已经通过法律法规中对物种、生态系统等明确了保护原则，在规划中划定了生态保护红线、自然保护地体系等来限制土地利用，还建立和完善建设项目环境影响评价（以下简称“环评”）制度来评估影响和相应措施。

1.1 我国已有严格的生物多样性保护相关的法律法规

生物多样性保护相关法律法规是开展相关工作的重要前提和制度保障。近年来我国已先后出台了《中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》《关于划定并严守生态保护红线的若干意见》《关于进一步加强生物多样性保护的意见》等政策，都强调了生物多样性在经济发展中的重要性。虽然目前尚未制定专门的生物多样性保护法律，不过我国已有了严格的生物多样性保护相关的法律法规以要求减少开发利用对生物多样性的不利影响。

表3 我国可再生能源相关的生物多样性保护法律法规

名称	内容
《国家发展和改革委员会、国土资源部、国家环境保护总局关于印发<风电场工程建设用地和环境保护管理暂行办法>的通知》（发改能源[2005]1511号）	风电场工程建设用地应本着节约和集约利用土地的原则，尽量使用未利用土地，少占或不占耕地，并尽量避开省级以上政府部门依法批准的需要特殊保护的区域。
《国家林业和草原局规范风电场项目建设使用林地的通知》（林资发〔2019〕17号）	自然遗产地、国家公园、自然保护区、森林公园、湿地公园、地质公园、风景名胜区、鸟类主要迁徙通道和迁徙地等区域以及沿海基干林带和消浪林带，为**风电场项目**禁止建设区域。
《中华人民共和国野生动物保护法》（2022年修订）第十三条	县级以上人民政府及其有关部门在编制有关开发利用规划时，应当充分考虑野生动物及其栖息地保护的需要，分析、预测和评估规划实施可能对野生动物及其栖息地保护产生的整体影响，避免或者减少规划实施可能造成的不利后果。禁止在自然保护地建设法律法规规定不得建设的项目。机场、铁路、公路、航道、水利水电、**风电**、**光伏发电**、围堰、围填海等建设项目的选址选线，应当避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；确实无法避让的，应当采取修建野生动物通道、过鱼设施等措施，消除或者减少对野生动物的不利影响
《中华人民共和国野生动物保护法》（2022年修订）第二十条第二款	野生动物迁徙洄游期间，在前款规定区域外的迁徙洄游通道内，禁止猎捕并**严格限制其他妨碍野生动物生息繁衍的活动**。县级以上人民政府或者其野生动物保护主管部门应当规定并公布迁徙洄游通道的范围以及妨碍野生动物生息繁衍活动的内容。
《水利部关于加强河湖水域岸线空间管控的指导意见》（水河湖〔2022〕216号）	**光伏电站、风力发电等项目**不得在河道、湖泊、水库内建设。在湖泊周边、水库库汊建设光伏、风电项目的，要科学论证，严格管控，不得布设在具有防洪、供水功能和水生态、水环境保护需求的区域，不得妨碍行洪通畅，不得危害水库大坝和堤防等水利工程设施安全，不得影响河势稳定和航运安全。

名称	内容
《自然资源部办公厅　国家林业和草原局办公室 国家能源局综合司关于支持光伏发电产业发展规范用地管理有关工作的通知》(自然资办发〔2023〕12号)	项目选址应当避让耕地、生态保护红线、历史文化保护线、特殊自然景观价值和文化标识区域、天然林地、国家沙化土地封禁保护区(光伏发电项目输出线路允许穿越国家沙化土地封禁保护区)等;涉及自然保护地的,还应当符合自然保护地相关法规和政策要求。新建、扩建光伏发电项目,一律不得占用永久基本农田、基本草原、Ⅰ级保护林地和东北内蒙古重点国有林区。
《中华人民共和国湿地保护法》第三十条	县级以上人民政府应当加强对国家重点保护野生动植物集中分布湿地的保护。**任何单位和个人不得破坏鸟类和水生生物的生存环境。**禁止在以水鸟为保护对象的自然保护地及其他重要栖息地从事捕鱼、挖捕底栖生物、捡拾鸟蛋、破坏鸟巢等危及水鸟生存、繁衍的活动。开展观鸟、科学研究以及科普活动等应当保持安全距离,避免影响鸟类正常觅食和繁殖。在重要水生生物产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道等重要栖息地应当实施保护措施。经依法批准在洄游通道建闸、筑坝,可能对水生生物洄游产生影响的,建设单位应当建造过鱼设施或者采取其他补救措施。

湿地占补平衡

可再生能源项目如涉及占用湿地，按照《中华人民共和国湿地保护法》《湿地保护修复制度方案》《湿地保护管理规定》的要求，经批准征收、占用湿地并转为其他用途的，用地单位要负责恢复或重建与所占湿地面积和质量相当的湿地，确保湿地面积不减少；没有条件恢复、重建的，应当缴纳湿地恢复费。然而，实践中存在光伏项目占用天然湿地，同面积补充人工湿地，造成占补湿地的质量不相当的情况。如浙江沿海某光伏项目，占用天然的滨海滩涂湿地 0.81 公顷，同面积补人工湿地水库 0.81 公顷，补充的人工湿地在性质和质量上与被占用的天然湿地有着不能弥补的差距，无法认定为质量相当。具体来说，天然的滨海湿地是众多迁徙水鸟的觅食地，而项目补充的湿地为人工静水的水库湿地，无法支持利用被占用的天然滨海湿地觅食的鸟类生存。此外，天然滨海湿地还有丰富的底栖动物，补充湿地作为淡水湿地，显然不具有作为替代生境的功能。在提供生物多样性支持方面，补充湿地不能提供与被占湿地类似的功能，其支持的生物多样性比被占湿地差。然而，该项目最终也获得相应审批手续开工建设。

这些问题反映出，**目前国内缺乏专门有关湿地占补平衡的规范，执行部门和要求不清晰，缺乏公开征求意见、专家评审等必要环节，不利于客观上实现湿地的占补平衡**。由此可见，制度层面亟待完善湿地占补平衡的具体管理要求，明确“质量相当”的具体含义和评价标准，确定具体的审批部门，要求审批前公示和专家评审等环节，避免这一制度在实践执行中落空，造成我国的湿地资源减损，尤其是天然湿地的面积减少和生态功能丧失。

部分风电、光伏建设项目环评低估了生物多样性影响

在实际情况中，风电建设项目环评的生态影响评价还没有统一的规范。国外风电项目环评评价因子侧重于鸟类、自然保护区、土地使用等生态因素以及景观视觉等；我国风电项目环评评价因子则主要集中在水土、污染物排放以及动植物、自然保护区等生态以及噪声、电磁环境等方面（吴菲 & 朱林，2011)。对于生物多样性的损害评估较为薄弱。光伏发电项目属于生态影响为主的建设项目，部分地区将环境污染作为评价和审批重点，而忽视运营期长期的生态影响，审批重点不突出；部分地区要求对光伏板清洗废水进行收集、处理及回用，措施针对性不足、可操作性较差。另外，环评时多数只是做了宏观选址，在环评中审核不到位。光伏电站在施工阶段的爆破、大型设备运行以及施工噪音会导致电站周边的野生动物受到惊吓，尤其对迁移鸟类影响较大（王祯仪 et al., 2019)。鸟类在季节性迁徙过程中有撞击到电站内发电装置而死亡的可能，而光伏组件本身的反光也会对鸟类带来危机 (Rose & Wollert, 2015)，如张立博、李春荣等在 2020 年 10 月至 2021 年 9 月于江苏盐城滨海地区开展了 22 次连续的调查监测，获得了研究区域内鸟类多样性以及风机致死鸟类的种群和数量等情况。研究表明，近一年的时间中，江苏省盐城市滨海地区，包括射阳县及滨海县部分区域风机下共发现死亡鸟类 41 只，其中大部分为留鸟（如环颈雉（*Phasianus colchicus*）、珠颈斑鸠（*Streptopelia chinensis*）等）或在江苏盐城滨海湿地繁殖的鸟类（如白鹭（*Egretta garzetta*）、夜鹭（*Nycticorax nycticorax*）、黑水鸡（*Gallinula chloropus*）等），环颈雉死亡数量最多 (Zhang et al., 2022)。

在某滩涂渔光互补项目建设的环评报告中环评主要针对生活污水处理提出措施，就未涉及因光照条件变化引起的滩涂的水质影响。并且，该环评只考虑了施工期的生态环境影响，未考虑运营期由于光伏板的遮挡，带来的光热条件、风速、蒸发量、空气湿度等区域小气候的变化对生态环境的长期累积影响，提出的生态环境保护与恢复措施针对性不足（王临清 et al., 2023)；同时，对光伏发电项目生态环境保护措施效果缺乏跟踪。

生态目标、生物多样性目标以及生态文明的指导是这个时代的必要要求，不能以牺牲一个可持续发展目标为代价去实现另一个目标。只有充分考虑评估项目对生物多样性的影响，并提出可行的保护措施和补偿计划，才可以努力实现可再生能源发展与生物多样性保护的平衡，确保我们获得可再生能源的同时，维护生态系统的原有功能。

图 / 郭亮

1.2 生物多样性目前已纳入风电、光伏项目布局规划依据和环评审批流程中

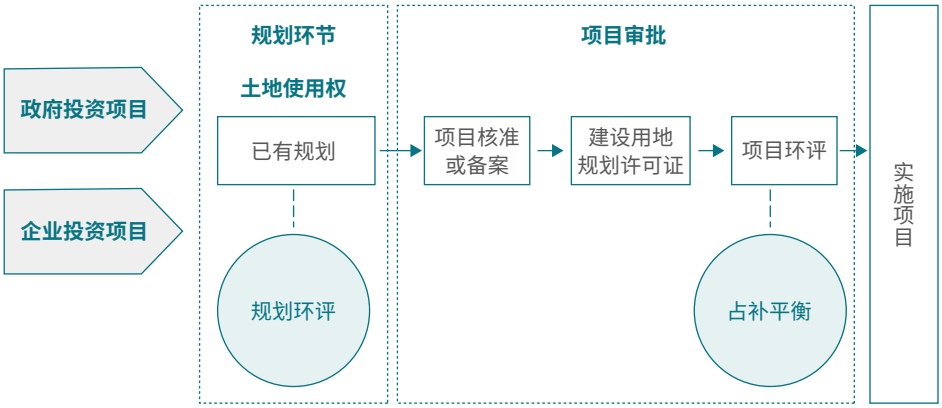


图3 可再生能源项目开发规划和环评审核流程

可再生能源项目开发建设过程中，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下开展。根据项目的投资主体，可再生能源项目一般分为政府投资项目和企业投资项目。无论是哪种投资项目，在项目选址阶段都需要符合该地的国土空间规划，确保风电和光伏项目不触及生态保护红线等法定生态保护区域 (郭锐 et al., 2019)。

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，若选址不当，则存在违规占用耕地、林地或涉及自然保护地等风险。根据《中华人民共和国城乡规划法》，以出让或划拨方式获得土地使用权的建设项目，都需要获得有关部门的批准、核准、备案。以涉及林地、草原的光伏用地政策为例，除不得占用永久基本农田、基本草原、I 级保护林地和东北内蒙古重点国有林区之外，若涉及其他农用地、乔木林地、灌木林地、基本草原外草原等不同土地类型，都规定了相应的用地用林用草要求，并由各地自然资源、林草主管部门进行审查，并向当地县级自然资源和林草主管部门备案。

获得建设项目的批准、核准、备案文件后，需要获得地方各部门的选址意见书(函)，包括国土部门、林业部门等，说明该项目选址不涉及敏感因素。在以上各部门批复同意下，可进一步向城乡规划主管部门提出建设用地许可申请，由城乡规划主管部门核发建设用地许可证。随着我国机构改革和“多规合一”改革的深化，逐渐简化建设项目行政审批流程。根据 2019 年《自然资源部关于以“多规合一”为基础推进规划用地“多审合一、多证合一”改革的通知》，自然资源主管部门统一核发建设项目用地预审与选址意见书。并由市、县自然资源主管部门向建设单位核发用地规划许可证。

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建设项目环境影响评价（简称 项目环评）。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》，涉及环境敏感区的总装机容量 5 万千瓦及以上的陆上风力发电需编制环评报告书；总容量大于 6000 千瓦，且接入电压等级不小于 10 千瓦的地面集中光伏电站以及其他风力发电需编制环评报告表；其他光伏发电需编制登记表，并由地方生态环境主管部门审批。在环评等各项专题报告获批后，建设单位可进一步推进项目实施过程。

除已被划入自然保护区和生态保护红线的区域之外，在临近自然保护地的区域也有许多野生动物觅食或停留，生物多样性价值较高的区域，但并未受法律保护。据分析，以 801 个物种为例（包含陆生哺乳动物、鸟类、爬行类、两栖类和维管植物等多个类群）目前平均约有 95% 的重点保护物种栖息地位于国家级自然保护区之外（吕植 et al., 2016）。因此，一方面需要通过完善自然保护地体系，扩大受保护区域范围来保护野生动物栖息地，另一方面也需要提高建设项目环评中对生物多样性保护的准入门槛，通过多重制度体系来避免可再生能源开发对生物多样性造成负面影响。

在针对沿海湿地和候鸟保护相关的准入风电、光伏项目时，通过案例观察到由于数据缺乏，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（国家林业和草原局，2022）。对此，我国虽有相关法律法规，但仍需完善和落实。

图 / 雷波

2 风电、光伏开发带来的挑战

2.1 开发区域与具有生物多样性保护价值的地区存在重叠

可再生能源替代化石能源作为我国实现双碳目标的重要途径之一，已有多项政策文件规定了可再生能源的优先发展区域，并且这些区域与生物多样性保护优先区域以及候鸟迁徙路线部分重合。

根据《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》，构建现代能源体系，主要包括：风电、光伏发电、海上风电、水电基地等，共规划了 9 大能源基地，此外还包括广东、福建、江苏、浙江、山东等海上风电基地（见图 4）。

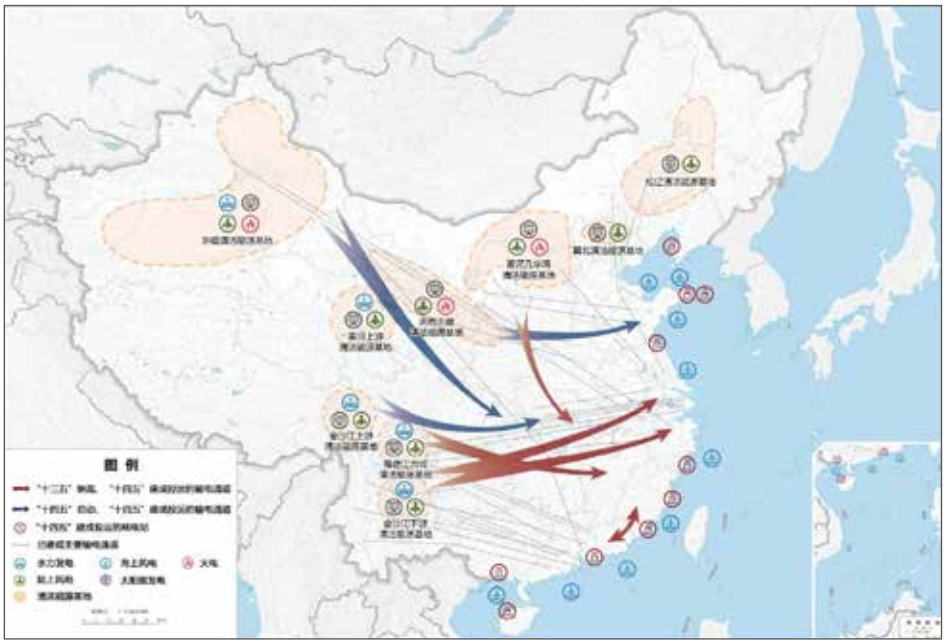


图4 “十四五”大型清洁能源基地布局示意图

根据已公示的《中国生物多样性保护战略与行动计划》（2011-2030 年）与《中国生物多样性保护优先区域范围》，共规划 35 个生物多样性保护优先区（32 个陆域，3 个海域）（见图 5）。

图5 中国生物多样性保护优先区域分布(原环境保护部, 2015)

经比对发现，我国 9 大能源基地分别与松嫩平原生物多样性保护优先区域、阿尔泰山生物多样性保护优先区域、天山 - 准噶尔盆地西南部生物多样性保护优先区域、塔里木河流域生物多样性保护优先区域、祁连山生物多样性保护优先区域、西鄂尔多斯 - 贺兰山 - 阴山生物多样性保护优先区域、羌塘 - 三江源生物多样性保护优先区域、喜马拉雅东南部生物多样性保护优先区域、横断山南段生物多样性保护优先区域重合；海上风电基地与 3 个海洋与海岸线生物多样性保护优先区域部分重合。其中，**与重点保护物种为丹顶鹤（*Grus japonensis*）、白鹤（*Egretta garzetta*）、白枕鹤（*Antigone vipio*）、东方白鹳（*Ciconia boyciana Swinhoe*）等鸟类的松嫩平原生物多样性保护优先区域，以及东海及台湾海峡保护区域重点保护海洋生态廊道，重叠度较高**（见表 4 和表 5）。

表4 海上风电基地和海洋与海岸线生物多样性保护优先区域重叠情况

海上风电基地	海洋与海岸生物多样性保护优先区域（《中国生物多样性保护战略与行动计划》（2011-2030 年））	
福建	东海及台湾海峡保护区域	上海奉贤杭州湾北岸滨海湿地、青草沙、横沙浅滩，浙江杭州湾南岸、温州湾海岸及瓯江河口三角洲滨海湿地，渔山列岛、披山列岛、洞头列岛、铜盘岛、北麂列岛及其邻近海域，大陈、象山港、三门湾海域，福建三沙湾、罗源湾、兴化湾、湄洲湾、泉州湾滨海湿地，东山湾、闽江口、杏林湾海域，东山南澳海洋生态廊道，黑潮流域大海洋生态系。
浙江		
江苏		

海上风电基地	海洋与海岸生物多样性保护优先区域（《中国生物多样性保护战略与行动计划》（2011-2030 年））	
广东	南海保护区域	东潮州及汕头中国鲎、阳江文昌鱼、茂名江豚等海洋物种栖息地，汕尾、惠州红树林生态系统分布区，阳江、湛江海草床生态系统分布区，深圳、珠海珊瑚及珊瑚礁生态系统分布区，中山滨海湿地、珠海海岛生态区，江门镇海湾、茂名近海、汕头近岸、惠来前詹、广州南沙坦头、汕尾汇聚流海洋生态区，惠东港口海龟分布区、珠江口中华白海豚分布区，广西涠洲岛珊瑚礁分布区、茅尾海域、大风江河口海域、钦州三娘湾中华白海豚栖息地、防城港东湾红树林分布区，海南文昌、琼海珊瑚礁海草床分布区，万宁、蜈支洲、双帆石、东锣、西鼓、昌江海尾、儋州大铲礁软珊瑚、柳珊瑚和珊瑚礁分布区，鹦哥海盐场湿地、黑脸琵鹭分布区，以及西沙、中沙和南沙珊瑚礁分布区等。
山东	黄渤海保护区域	营口连山、盖州团山滨海湿地，盘锦辽东湾海域、兴城菊花岛海域、普兰店皮口海域，锦州大、小笔架山岛，长兴岛石林、金州湾范驼子连岛沙坝体系，大连黑石礁礁群、金州黑岛、庄河青碓湾，河北唐海、黄骅滨海湿地，天津汉沽、塘沽和大港盐田湿地，汉沽浅海生态系、山东沾化、刁口湾、胶州湾、灵山湾、五垒岛湾，靖海湾、乳山湾、烟台金山港、蓬莱—龙口滨海湿地，山东主要入海河口及其邻近海域，潍坊莱州湾、烟台套子湾、荣成桑沟湾，莱州刁龙咀沙堤及三山岛，北黄海近海大型海藻床分布区，江苏废黄河口三角洲侵蚀性海岸滨海湿地、灌河口，苏北辐射沙洲北翼淤涨型海岸滨海湿地、苏北辐射沙洲南翼人工干预型滨海湿地、苏北外沙洲湿地等，以及黄海中央冷水团海域。

表5 大型可再生能源基地与生物多样性保护优先区域重叠情况

大型可再生能源基地	生物多样性保护优先区域（《中国生物多样性保护优先区域范围》）		
松辽	松嫩平原生物多样性保护优先区域	内蒙古自治区、吉林省和黑龙江省三省（区）交界处。优先区域总面积为36860 平方公里，涉及 3 个省（区）的 25 个县级行政区，包括 8 个国家级自然保护区。	保护重点为沼泽湿地生态系统以及丹顶鹤、白鹤、白枕鹤、东方白鹳等重要物种及其栖息地
新疆	阿尔泰山生物多样性保护优先区域	新疆自治区北部阿尔泰山区。优先区域总面积为 36,756 平方公里，涉及1个自治区的6个县级行政区，包括2个国家级自然保护区	保护重点为泰加林、西伯利亚落叶松林等生态系统以及蒙古野驴、雪豹、河狸等重要物种及其栖息地。
	天山 - 准噶尔盆地西南部生物多样性保护优先区域	新疆自治区天山和伊犁谷地一带。优先区域总面积188,764平方公里，涉及1个自治区的40个县级行政区，包括6 个国家级自然保护区。	保护重点为雪岭云杉林、黑松林、高山松林等生态系统以及雪豹、北山羊、金雕、新疆北鲵等重要物种及其栖息地。

大型可再生能源基地	生物多样性保护优先区域（《中国生物多样性保护优先区域范围》）		
新疆	塔里木河流域生物多样性保护优先区域	新疆自治区塔里木盆地北缘。优先区域总面积 43,245 平方公里，涉及 1 个自治区的 13 个县级行政区，包括 1 个国家级自然保护区。	保护重点为胡杨林、灰杨林、柽柳林等荒漠生态系统以及双峰驼、塔里木马鹿、鹅喉羚、塔里木兔等重要物种及其栖息地。
河西走廊	祁连山生物多样性保护优先区域	甘肃省西部与青海省东北部交界处。优先区域总面积 100,463 平方公里，涉及 2 个省的 18 个县级行政区，包括 5 个国家级自然保护区。	保护重点为水源林、河源湿地、祁连圆柏林、青海云杉林等生态系统以及双峰驼、雪豹、盘羊、普氏原羚等重要物种及其栖息地。
冀北	西鄂尔多斯 - 贺兰山 - 阴山生物多样性保护优先区域	地跨内蒙古自治区、甘肃省和宁夏自治区。优先区域总面积为 94,611 平方公里，涉及 3 个省（区）的 39 个县级行政区，包括 10 个国家级自然保护区。	保护重点为荒漠生态系统以及四合木、沙冬青、半月花、棉刺等重要物种及其栖息地。
黄河上游和几字湾	羌塘 - 三江源生物多样性保护优先区域	青藏高原腹地，包括四川省、西藏自治区、甘肃省、青海省和新疆自治区的部分地区。优先区域总面积 770,777 平方公里，涉及 5 个省（区）的 39 个县级行政区，包括 9 个国家级自然保护区。	保护重点为高原高寒草甸、湿地生态系统以及藏野驴、野牦牛、藏羚、藏原羚等重要物种及其栖息地
雅鲁藏布江下游	喜马拉雅东南部生物多样性保护优先区域	雅鲁藏布江中游河谷黑颈鹤国家级自然保护区（山南） 雅鲁藏布江大峡谷国家级自然保护区（林芝）	保护重点为川滇高山栎林和乔松林等重要生态系统以及金铁锁、巨柏、棕尾虹雉、孟加拉虎、叶猴类、豹类、麝类等重要物种及其栖息地
金沙江上下游 雅砻江流域	横断山南段生物多样性保护优先区域	雅江县、甘孜县、德格县、石渠县等	保护重点为包石栎林、川滇冷杉林、川西云杉林、高山松林等生态系统以及贡山润楠、金铁锁、平当树、大熊猫、滇金丝猴等重要物种及其栖息地

根据国家林业和草原局发布的《全国鸟类迁徙通道保护行动方案（2021—2035 年）》，在全球 9 条候鸟迁徙路线中，有 4 条路线穿越我国，自西向东分别是西亚—东非迁徙路线、中亚迁徙路线、东亚—澳大利西亚迁徙路线和西太平洋迁徙路线。在我国可分为东线、中线、西线三个候鸟迁徙路线。

东线主要位于我国的**东部沿海**，属于东亚 - 澳大利西亚国际迁徙线，是所有迁徙路线中最拥挤的一条，每年吸引来**超过 5000 万只候鸟**，其中有**全球范围的受威胁鸟类 36 种**。其中白鹤（*Grus leucogeranus*）是我国东线上的代表性候鸟，是国际的极度濒危物种，国家一级保护动物。**中线**主要位于我国的**中部地区**，也属于东亚 - 澳大利西亚国际迁徙线，所以在候鸟种类上与东线多有重合，中线候鸟的北方家园位于**内蒙古东、中部草原、华北西部和陕西等地区**。迁徙物种代表包括大天鹅（*Cygnus cygnus*）、灰鹤（*Grus grus*）等。**西线**所在区域是**多条国际候鸟迁徙线路的交汇地区**，不仅有东亚 - 澳大利西亚迁徙线，还有西亚 - 东非迁徙线和中亚迁徙线，因此这里的候鸟种类十分多样，既有青藏高原特有的黑颈鹤（*Grus nigricollis*），又有可以远离海洋生活的普通海鸥（*Larus canus*）、红嘴鸥（*Chroicocephalus ridibundus*）和渔鸥（*Ichthyaetus ichthyaetus*），西线候鸟的北方家园，位于**内蒙古西部、新疆和甘肃等西部地区以及西藏和青海等高原草甸**。

将我国主要能源基地和 3 条迁徙路线对比可发现，**与中国境内的 3 条候鸟迁徙廊道均有不同程度的重合**。在《全国鸟类迁徙通道保护行动方案 2021—2035 年》中明确指出“**我国的清洁能源水电、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**”。受到风能和太阳能资源分布的影响，许多风电和光伏发电的宏观选址与生物多样性高价值区域存在重叠，然而在项目具体选址和地方规划中，仍可以通过将生物多样性因素纳入决策和规划考虑因素中来避免或减少对濒危物种或栖息地造成影响。另一方面，目前许多地方缺乏例如针对沿海鸟类迁徙路线等详实的生物多样性数据来进行良好的战略规划，而鸟类调查数据和这些迁徙路线的追踪数据收集工作可能需要多年时间。2023 年下半年我国发布了首批 789 处陆生野生动物重要栖息地名录，其中 98% 都属于国家公园、自然保护区、自然公园等自然保护区体系，仅 14 处在此之前未被任何法定形式所保护。因此，未来相关部门需加快更新和完善野生动物重要栖息地名录和分布，以及公开其保护边界以提高公众参与，以避免在可再生能源高速发展过程中，对生物多样性造成不可避免的影响。

案例分析　德国如何协调瓦登海（Wadden Sea）生物多样性保护和可再生能源开发

欧洲瓦登海作为全球第一块潮间带世界自然遗产，拥有世界上最大最完整的潮间沙滩带和泥沼地，也是全球仅存的大规模完整的潮间带生态系统之一，主要由德国、荷兰和丹麦多边合作进行保护。其中，德国作为欧洲海上发电的主要发展国家之一，对瓦登海环境保护相关的法律法规及其可再生能源项目的许可审批流程较为系统完备。德国其立法中还包括较为有针对性的标准，具有较为清晰的约束性和较强的可执行性，同时相关立法重视事前环境影响评价，重视环境信息的公开，重视公众参与。

在法律层面，德国瓦登海区域的保护与管理需要同时符合国际、欧盟、德国国内法三个层面的法律法规。而这些法律法规又可以按照内容大致分为程序性法律法规，有关源头的法律法规，以及有关保护对象的法律法规（见图 6）。程序性法律法规包括各类环境评价导则等；有关源头的法律法规，指的是水法、海洋法、《国际防止船舶造成污染公约》等从源头控制以保护生态环境的法律法规；而有关保护对象的法律法规，是针对例如迁徙鸟类、海豹等物种的特殊法律保护。

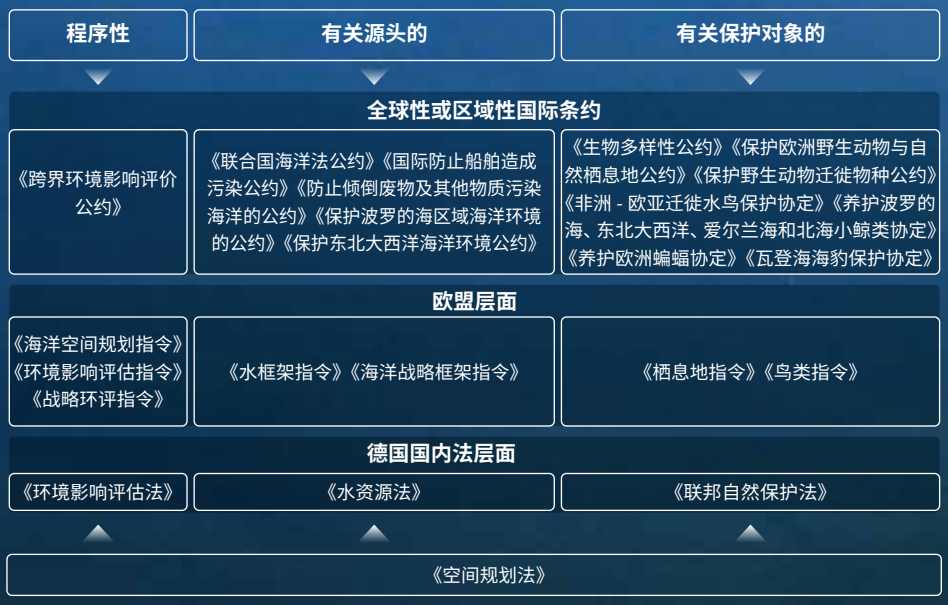


图6 德国瓦登海保护法律保护框架(BSH, 2021a)

除了严格的政策法律体系，海上风电的规划流程中通过**战略环境评价**（Strategic Environmental Assessment，SEA）贯穿了对生物多样性的保护。德国专属经济区范围内的海上风电项目采用了多阶段的规划和审批程序，每一阶段的规划都需要开展战略环评，并且针对具体项目同样需要开展项目环评。首先，海洋空间规划（Maritime Spatial Plan）作为瓦登海所属的整个北海专属经济区的整体规划，需要协调区域内的经济、生态和科学等方面的需要，包括每个海洋地块的使用功能。针对每个海洋地块，再需要开展地块开发规划（Site Development Plan）以有序地规划海上风能和电网的使用，包括风机、电网连接路线和海底电缆系统等，针对地块开发计划同样需要进行战略环评。接着在规划风机的场地，需要进行现场调查和战略环评以确定该地点是否适合建造和运行海上风机。在所有战略环评都确认该区域可开发海上风电项目后，才可由开发商推进接下来的环评等项目审批流程，并且在每次战略环评中都要求充分调查环境和生物多样性数据和影响以及确保数据共享 (BSH, 2021b)。

德国海上风电项目的许可审批和环评审批要求充分考虑社会组织、专家评审建议等**多利益相关方参与**。在审批前期阶段，审批部门需征求联邦环境局或联邦自然保护局等公共利益事业机构的意见，并可要求开发商修改其提案。第二轮参与性审查需征求自然保护协会、海洋协会等公众利益团体，另外公众可通过信息公示参与监督。在公众参与后将开展公众座谈会，由项目申请方详细向利益相关方介绍其项目的机会，包括针对海洋环境所需的事前研究等。申请会议结束后，联邦海事和水文局会制定调查框架，以确定项目对海洋环境的影响。在下一阶段，项目申请方将准备一系列必要的环境评估报告书，如动植物栖息地影响评估，以及超过 20 台风机项目的环境影响评估等。之后，在公众咨询阶段，前期第一轮和第二轮的参与者可提交新的声明。在公开听证会上，所有利益相关方将对调查结果和意见进行讨论。然后，审批部门将根据所有提交的文件和陈述就规划许可做出决定。此外，还规定了 25 年的批准时效，确保了生物多样性保护主体责任的可追溯性 (European Commission, 2013)。

除此之外，我们也针对江浙地区的光伏风电项目是否对生物多样性有潜在影响的分析进行了尝试。江浙两省地处长三角地区，有着丰富的生物多样性，分别记录到国家重点保护物种176种和307种，是勺嘴鹬（*Calidris pygmaea*）、中华凤头燕鸥（*Thalasseus bernsteini*）等许多珍稀濒危水鸟重要的觅食地和栖息地。同时，江浙两省也是能源消费的重点区域，和能源转型的重要发展区域。截至2022年，江苏、浙江分别实现累计光伏并网容量 2508.5、2539.0 万千瓦，分别位列全国第三、第四（国家能源局,2023）。“十四五”计划全国四个海上风电基地中，也包括浙江海上风电基地和江苏海上风电基地，预计未来两省风电和光伏规模将继续扩大。

江浙两省作为我国的经济大省，土地资源紧张，同时又是生物多样性保护的重要地区，。因此，如何在有限土地资源情况下，减少可再生能源对生物多样性的潜在影响，有效节约集约化开发可再生能源用地，将成为未来可再生能源开发的重点关注议题之一。同时随着我国生态环境保护政策的加严，因可再生能源项目的生物多样性风险也逐渐对企业带来了挑战，包括企业生产经营活动中断或终止、声誉损害、供应链中断等，因此如何建立和加强生物多样性风险管理也将为可再生能源企业带来新的挑战和机遇。本章节通过分析已有风电、光伏发电分布与生物多样性的关系，希望未来开发中增加对生物多样性保护的关注，将生物多样性进一步纳入土地规划和开发过程中。

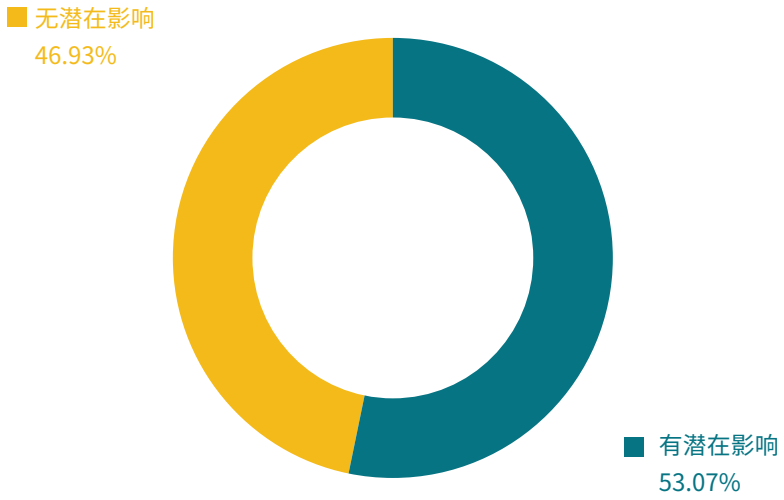


图7 江浙两省已建风机对生物多样性的潜在影响情况

对可获取的公开数据分析后发现，截至2022年底，江浙两省陆地及滩涂范围内有53.07%的已建风机对生物多样性有潜在影响，即其位置距濒危保护物种分布记录不足7千米或距国家级自然保护区不足5千米。有潜在影响的风机集中分布在两省沿海陆地、滩涂和海上范围，原因可能为该区域为多种濒危迁徙鸟类提供重要的取食和休憩作用。例如，在《中国沿海水鸟重要栖息地报告》中，全国沿海132块水鸟重要栖息地江苏省占8块、浙江省占15块，并且江苏连云港（临洪口埒子口）和南通市如东滩涂（包括小洋口）被列为Ⅰ类保护优先等级地块（段后浪 et al., 2021）。因此，沿海地区风电等可再生能源的开发需要综合考虑生物多样性情况，以减少对部分物种的潜在影响。

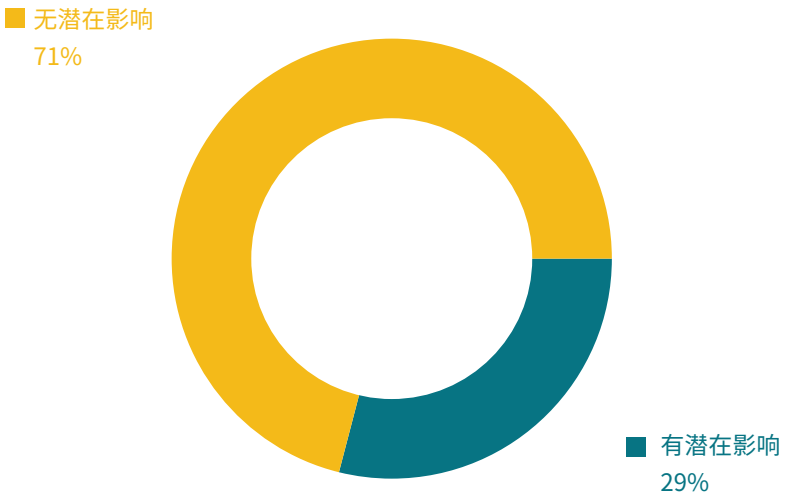


图7 江浙两省已建风机对生物多样性的潜在影响情况

对可获取的公开数据分析后发现，截至2022年底，江浙两省陆地及滩涂范围内有28.99%的已建光伏电站对生物多样性有潜在影响，即其位置距濒危保护物种分布记录不足7千米或距国家级自然保护区不足5千米。整体上，有潜在影响的光伏电站分布部分集中于沿海滩涂地区，但相比风机分布较为分散，其中原因可能与江浙地区农光互补、渔光互补项目较多有关，更多与农田、鱼塘分布重合。

图 / 董磊

PART4

解决方案以及协同发展的机遇

图 / 徐健

1 应用减缓层级来减少可再生能源项目开发过程中的生物多样性影响

减缓层级（Mitigation Hierarchy）常被用于减缓项目开发中对生物多样性和生态系统服务的负面影响，包括直接、间接和累积影响。减缓层级依次由四个部分组成，即避免（Avoid）、最小化（Minimize）、修复（Restore）和补偿（Compensation）（CSBI，2015）。

减缓层级的首要原则即为避免从一开始就产生影响而采取的措施，其中在项目规划阶段，通过优化选址等方式避免对生物多样性的影响，是最有效措施之一（Bennun et al., 2021）。最小化影响，是指在实际可行的情况下，为减少无法完全避免的影响的持续时间、强度和或范围而采取的措施。在早期规划和制定备选设计方案时，可确定潜在的最小化措施，并可贯穿从设计到施工期、运营期和退役期整个项目周期。

避免和最小化措施可防止或减少影响，而修复和补偿措施的目的更着重于补救已发生的影响。修复是指在修复因无法完全避免或最小化影响而受损的特定生物多样性特征或生态系统服务的措施。作为减缓层级中的一步，修复通常在施工期间进行，例如解决临时设施（如修建道路）造成的影响。而补偿则是为了抵消无法避免、最小化或修复的重大不利影响而采取的措施，只有在用尽所有避免、最小化和修复方案之后，才可考虑将补偿作为解决对生物多样性残余影响的最后手段。政府监管机构越来越多地要求生物多样性补偿以解决残余影响并实现无净损失，例如，根据《湿地保护管理规定》（2017 修改）第三十条，规定了“建设项目应当不占或者少占湿地，经批准确需征收、占用湿地并转为其他用途的，用地单位应当按照‘先补后占、占补平衡’的原则，依法办理相关手续”，除此之外我国已经有了针对林地、湿地和耕地等自然生态空间的占补平衡初步规定。

根据减缓层级，在风能或光伏发电项目的整个规划和设计阶段，需首要考虑的是确定避免和最小化措施。在具体项目中，一项减缓措施是否可被视为避免或最小化，往往取决于具体情况和规模。例如，通过选址将计划中的风电场迁移到完全避开鸟类重要迁徙通道的位置，可视为避免。在鸟类活动频繁的时期关闭风机，以减少鸟类与风机叶片碰撞的次数，则可视为最小化。要在项目开发周期内有效避免和最小化影响，通常需要充分了解可能受影响物种的行为，才能避免在敏感的繁殖期和迁徙期施工。因此，在项目选址前和早期设计阶段，充分的生物多样性基线调查对于评估发生影响的风险以及确定适当的避免和最小化措施至关重要。目前被认为最为有效的避免影响措施，首先应是利用绘制敏感性地图等避让生物多样性敏感区域，其次应针对具体受影响物种的行为特征，采取特定的最小化影响手段。

1.1 识别需要避让的生物多样性敏感区域

在风能或太阳能开发时选择生物多样性敏感度较低的地区，可最大限度地避免建设前后对生物多样性造成影响。若在生物多样性敏感度较高的地区实施开发项目时，可能会导致当地生态系统被破坏，生态系统服务价值受损，并且因受到我国生物多样性保护相关法律等限制，建设方有可能面临更高的要求和风险，减缓措施的成本更高。**在早期规划中通过合理选址来规避影响，是可再生能源开发过程中可采取的最有效的减缓措施**。

表6 生物多样性友好的可再生能源选址方法和工具

名称	开发机构	区域	简要介绍
鸟类敏感性工具 AVISTEP	国际鸟盟（BirdLife International）	印度、尼泊尔、泰国、越南	展示了针对陆上风电、海上风电、光伏设施、中低压电缆和高压电缆五类能源基础设施的鸟类敏感性评估，为风能选址决策提供参考(Serratosa & Allinson, 2022)。
翱翔型鸟类敏感地图工具（Soaring Bird Sensitivity Mapping Tool）	国际鸟盟	地中海、中东和北非地区	用户可以划定潜在风电场的边界，并快速生成一份相关翱翔型鸟类数据的报告，报告中包括划定区域的敏感度分数和相关敏感度类别，从而可以对潜在地点进行客观评估和比较(Allinson, 2017)。
SiteRight工具	大自然保护协会（TNC）	美国、印度	该工具通过将敏感度较高的栖息地和物种与风速、土地利用方式信息等叠加，确定社会环境价值低、发电潜力大的地点，可以在生物多样性敏感度较低的地区确定风能和光伏开发的合适区域(Hise et al., 2022; Kiesecker et al., 2020)。
《生态友好的中国可再生能源发展空间布局（2016-2030）》	大自然保护协会、国家发展改革委能源研究所（ERI）	中国	通过识别高生态价值保护对象，分别给出了发展规避区和高风险发展区两个区域，认为绝大多数省份都可以在避让高风险区和规避区的情况下，达到风电光伏发展的目标。截至2015年，部分现有集中式风能发电和光伏发电项目位于高风险开发区，甚至是规避区。
生物多样性综合评估工具（Integrated Biodiversity Assessment Tool，IBAT）	IBAT联盟	全球	数据主要包括世界自然保护地数据库、世界主要生物多样性区域数据库和IUCN濒危物种红色名录的全球分布数据。通过交互式地图工具，用户可以获得确定项目边界内或附近的生物多样性风险和机遇等，并即时生成报告。
生物多样性影响评估（Biodiversity impact Assessment，BiA）工具	山水自然保护中心	中国	整合了超过30万条物种分布数据，1100多条各类型自然保护地数据，以及超过18万个环评建设项目信息，将为生物多样性指标提供基础数据支撑，评估投资项目可能带来的生物多样性和金融风险。
重要地点网络工具（Critical Sites Network Tool）	国际鸟盟、国际湿地（Wetlands International）、联合国环境规划署世界保护监测中心（UNEP-WCMC）	非洲和欧亚大陆西部	近300种水鸟的迁徙路线以及利用湿地的信息，为整个迁徙路线途经国家的水鸟保护工作提供了决策依据。

1.2 通过减缓措施最小化对特定物种或生态系统的影响

减缓措施通常指在项目设计和运营中采取有效的缓解措施，以最大限度地降低对特定物种或涉及生态系统的影响。减缓措施可大致分为三类：物理控制措施、运营控制措施和减排措施。物理控制措施指调整项目基础设施的物理设计，以减少潜在影响，例如通过安装暗渠来减少栖息地破碎化或在输电线路上安装驱鸟器等。运营措施则为管理和规范项目人员的行动而采取的措施，例如限制进入项目区内的敏感地点、在施工期间尽量减少对原生植被土地的清理。而减排措施指为降低可能对生物多样性产生负面影响的污染物（如光、噪音、气体或液体）排放而采取的措施，例如避免照亮野生动物敏感区域等 (Bennun et al., 2021)。风电和光伏项目在项目建设中对生物多样性产生的影响的共同点包括铺设电缆电线野生物种的影响，在建设期对土地的清理平整以及项目周期内造成的污染等，都可以通过以上及其他常用减缓措施来处理。针对由于风电或光伏开发中对生物多样性造成的不同影响，目前更多的是在设计阶段采取一定的物理控制措施来控制。

针对光伏发电项目，为减少对栖息地退化或损失影响，常在设计阶段采用沉桩或螺旋地桩等取代沟槽填土或大体积混凝土地基等影响更大的地基类型，并且可利用其过滤和缓冲特性，一定程度上同时保持地下和地上生物的栖息地 (Building Research Establishment, 2013; Peschel, 2010; Science for Environment Policy, 2014)。为减小集中式光伏电站造成的屏障效应，还可通过在围栏底部与地面之间保持一定间隙、修改围栏编织结构等来改造围栏，以方便动物移动 (Building Research Establishment, 2014; Peschel, 2010)。以上物理控制措施的现有案例主要集中于农业光伏、“农光互补”等项目，目前尚未发现在森林、草原、滩涂等生态系统采取减缓措施的有效案例。

针对鸟类与风机撞击造成的伤亡，最常见的物理控制措施是通过将叶片涂成深色以增加叶片对于鸟类的可见性 (Hodos, 2003)。在一项挪威的研究中发现，将风机单个叶片的三分之二涂成黑色后与邻近未喷漆的对照组风机相比，鸟类的年死亡率降低了 70% 以上 (May et al., 2020)。但整体而言，目前对于该方法成效的研究仍相对较少，未来仍需要更多监测研究支持其有效性。

另一方面，结合风电场所在地的鸟类监测情况，**在鸟类碰撞风向高发时期和地区，适时关闭风机被认为是最有效的减缓措施**，关闭时间可能持续在数周到数月不等 (Marques et al., 2014)。由于传统的人工监测和定时关闭风机常会造成发电损失，提高运营成本，且多数风电场周围出现物种的可预测性较低，利用相机和雷达设备监测来实时关闭指定风机可能是更符合实际的方法 (Birdlife International, 2015; Tomé et al., 2017)。通过在风机上安装相机可捕捉鸟类的数字静态图像或视频序列，而雷达系统则根据体型大小、回声特征或拍翅频率可识别鸟类或蝙蝠，再搭配计算机软件对图像进行自动分析，最后操作员可在收到系统提供的实时信息后启动关机或自动关机 (Birdlife International, 2015)。已配备相机或雷达系统的风电场较集中于美国、澳洲和部分欧洲国家，但实际成效研究仍然极少，仅在一项西班牙风电场研究中发现，通过 STRIX BirdTrack 雷达系统和人工监测，连续五个秋季未发现翱翔型鸟类（soaring birds）因碰撞而死亡 (Tomé et al., 2017)。

2 生物多样性敏感性地图——为规划、选址、环评识别保护优先区域

敏感地图是识别可再生能源开发利用项目建设应避让区域的有效手段，有利于在规划和选址阶段就着手进行可再生能源发展与生物多样性保护的协调，在开发建设之初为战略规划决策提供信息，在世界各地被政府与非政府组织广泛使用。本报告以沿海某省为例，尝试制作关于迁徙水鸟的敏感地图示例，并为该省风电场的规划、管理提出建议。

具体而言，报告基于国家级自然保护区数据、物种分布记录数据、鸟类 GPS 追踪数据、重要鸟区以及相关研究划定的重要水鸟栖息地等多个生物多样性数据集，根据专家意见建立敏感等级分级标准，借助地理信息系统进行多数据的叠置分析，识别出高、中敏感区；并用国家一级保护动物黑脸琵鹭的 GPS 追踪数据在敏感区以外标记出飞经栅格，作为风电场应该采取防鸟撞措施的区域，得到某省关于迁移水鸟的敏感地图。在此基础上，将其与生态保护红线和风机点位进行叠置分析，以展示敏感地图的应用潜力。

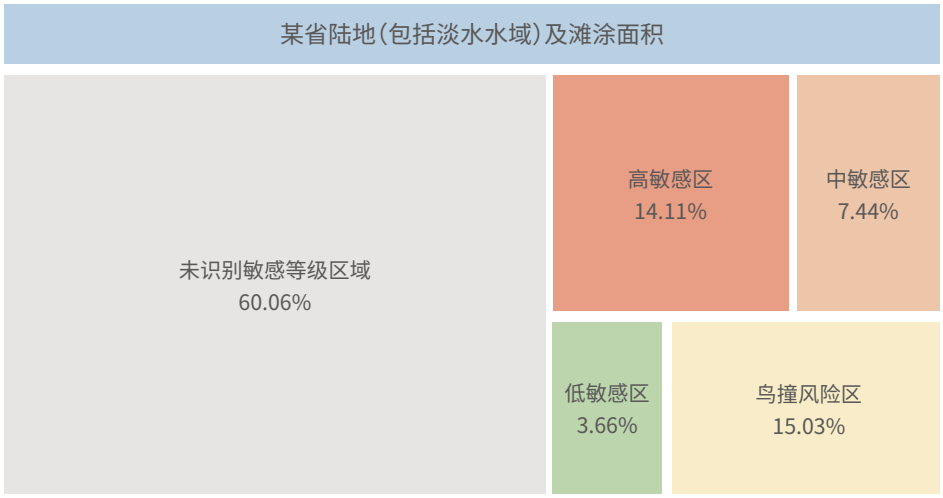
表7 敏感等级分级标准

敏感等级	分级标准
高敏感	01 国家级自然保护区所覆盖的栅格区域； 02 重点鸟种数多于1种或重点鸟种的记录数多于3条的栅格区域。
中敏感	01 重点鸟种的记录数多于1条的栅格区域； 02 重点鸟区或重要水鸟栖息地覆盖的栅格区域。
低敏感	只有1条重点鸟种记录
建议风电场采取防鸟撞措施	黑脸琵鹭飞行途经的非敏感栅格区域
未识别	基于目前已得数据未识别出敏感等级的区域

2.1 可再生能源开发应尽量避让潮间带等湿地生态系统

迁徙水鸟用于觅食的潮间带滩涂湿地、高潮时停歇的天然和人工湿地在敏感地图中皆被识别为不能被可再生能源建设所占用的区域，即建议严格避让的区域（敏感区域）。本报告根据前文所述敏感等级的判定方法，识别出建议可再生建设工程避让的高、中敏感区。

需要强调的是，本章节的研究是利用敏感地图应用于可再生能源选址的一次尝试，希望为可再生能源与生物多样性协同发展提供实践经验，分析结果仅供参考。



注：考虑到数据时效性、数据空缺等局限性，本报告结果仅供参考，建议实际选址时，对在地实际情况进行二次核实，并审慎评估和考虑建设项目开发可能导致的生物多样性影响和风险。

图9 敏感地图分析结果图

经分析，敏感地图共识别高、中和低敏感栅格共1119个，中-高敏感栅格共968个，占该省陆地（包括淡水水域）及其滩涂面积（下称该省面积）的21.55%，其中高敏感栅格634个，占该省面积的14.11%。绝大部分高敏感区连片集中在沿海滩涂区域，部分分散在该省部分湖泊周围。中敏感栅格共识别出334个，占该省面积的7.44%，主要分布在陆地与滨海湿地的交界处以及部分内陆地区。此外还识别出低敏感栅格151个，占该省面积的3.66%，主要零散分布在该省南部地区。其余的大片区域均是由于缺少调查数据而不能识别敏感等级的未识别区域。

对于高敏感区域，建议可再生能源建设项目在前期选址时尽量完全避让；对于中敏感区域，原则上建议建设项目避让，如有必须建设的需求，应客观评估和最小化项目建设对生物多样性的不利影响，例如在迁徙季有固定停工时间，并加装鸟撞装置和鸟撞检测装置。

对于处于中、高敏感区的已运营项目，尽快开展监测并公开数据。我们呼吁运营主体与研究及保护机构合作，优先对位于高敏感区域的现有项目开展生物多样性影响监测（尤其是对鸟撞的直接监测）及评估，并在后续针对识别出的影响部署进一步的解决方案（包括但不限于可能的暂时停机、驱鸟方案、栖息地补偿等等），覆盖项目运营的全生命周期。高敏感区有众多国家重点保护野生动物栖息，如果项目造成重大生物多样性损失，可能带来不必要的法律和舆论风险。监测可以明确这类风险发生的可能性，并在造成损失前将各类影响降到最低。目前，能源行业中，亦有国家电网等企业正积极探索生产和生物多样性保护的协同工作，基于野外巡线作业和野生动物调查数据，开展护线护鸟行动，探索出了“鸟 - 线”和谐共生的可持续解决方案。这样的监测数据及解决方案对于可再生能源行业领头企业而言，是履行企业社会责任的重要部分。对于监管机构和行业而言，只有获得明确的监测及评估数据，并在实践中完善了解决方案，才能有效地服务于解决应对气候变化及生物多样性两大危机。

迁徙水鸟的停歇、取食非常依赖滩涂、湖泊与河流等地类。沿海滩涂及内陆湖泊、河流对于水鸟迁徙都具有重要意义，需要加大关注、保护和监察力度，尽可能避免可再生能源建设对水鸟栖息地造成侵占，以实现气候变化应对与生物多样性保护协同发展。

2.2 应在保护物种迁飞期间对风机采用防鸟撞措施

除了迁徙水鸟的取食滩涂和高潮停歇地，鸟类日常以及迁徙飞行路径上的风机也可能会对迁徙水鸟造成伤害。以国家一级保护动物黑脸琵鹭为例，黑脸琵鹭飞行高度主要集中在海拔 20 米至 120 米之间，而目前主流风机叶片的尺寸约在 70 米左右，最大可达 115 米，风机的机身高度和叶片扫风范围与黑脸琵鹭的飞行高度重叠度较高，因而只要风机位于黑脸琵鹭的飞行路径上就会有撞击和干扰的隐患。

因此，本报告进一步在敏感区域以外识别出黑脸琵鹭飞行途经区域的栅格，作为鸟撞风险区。经统计，在敏感区域以外，本报告共识别出675个栅格为鸟撞风险区，占地1.69万平方公里，占总面积的15.03%（见图9）。

黑脸琵鹭的迁徙高峰期在每年5月及11月前后的上午8点到11点和晚上9点到凌晨3点。**在其飞行时段内，建议飞行路径上相应的风机应加装防鸟撞装置或暂时停运，防止鸟类在高速飞行时因撞上风机而伤亡**，且考虑到鸟类飞行的不确定性，建议适当延长采取防鸟撞措施的时间。

本报告首次利用黑脸琵鹭GPS追踪数据对鸟撞风险区进行了探索。虽然鸟类在一定情况下可能可以绕行风机所在区域进行活动。然而，绕行可能会影响迁徙水鸟的活动时间节律，或造成实际可用栖息地的减少，实际上最终对于个体的身体状况、繁殖成功率乃至种群的存续可能仍有负面影响。相较于鸟撞这种可能的直接致命因素，对非致死效应的监测需要研究机构长期的努力，这对于了解野生动物种群的动态是不可或缺的。因此，针对已在建议采取防鸟撞措施区域内的风机，应尽早开展相应的监测，并推进解决方案。

2.3 敏感地图的应用探索

敏感地图不仅可以用于项目早期的选址、规划，规避生物多样性风险，降低经济损失，还存在着广阔的应用空间。本报告尝试多样化应用敏感地图，抛砖引玉，以期敏感地图的广泛应用。

利用敏感地图为生态保护区域规划提供参考[1]

将前文所得敏感地图与该省生态保护红线进行叠置分析后发现，敏感地图所得的高、中敏感区与生态保护红线区域存在部分重叠，有 16.57% 的生态保护红线区域被包含在高、中敏感区中，这主要是因为本报告关于迁徙水鸟的生物多样性数据主要集中在沿海滩涂及内陆重要湖泊周围，缺乏其他省内陆和管辖海域的相关数据和研究。若未来生物多样性数据得到补充，相信该百分比会进一步提升。反过来看，生态保护红线覆盖了 18.49% 的高、中敏感区，若将视线仅集中在高敏感区，其覆盖率则提升到了 23.26%，生态保护红线比较重视高度敏感区域。

由以上分析可知，生态保护红线区域以外仍然分布着广泛的高敏感区，这些区域的生物多样性价值并不低于保护区和生态保护红线以内的区域，也需要受到重视。建议国家有关部门及时补充、更新物种分布数据库，在应用物种分布模型（Species Distribution Models，SDMs）预测区域物种分布概率的同时，采纳可靠的物种实际分布范围，更新生态保护红线。本报告所划定的高敏感区即通过物种实际的分布点位记录数据得到，具有一定的参考价值。

利用敏感地图为已建风电场提供监测和防鸟撞建议[2]

将前文所得敏感地图与该省已建设的风机点位进行叠置分析后可知，目前已有41.86%的风机建在高、中、低敏感区和建议采取放鸟撞措施的区域，并且31.14%的风机建在高敏感区内。本报告共统计了高、中、低敏感区和建议采取防鸟撞措施的区域共1794个栅格，其中有193个栅格已经建设了风机，而在这193个栅格内有135个是高敏感栅格，占69.95%，并且风机建造的高热点区域集中在部分沿海区域。因此，建议优先就这些区域内的风机对鸟类造成的影响展开长期持续性的定量监测，采取有效的防鸟撞措施，并在鸟类迁徙期间对风机进行严格管理。

---

1 注：本文所用生态保护区域数据均从公开数据获取。作为首次尝试，本章节的分析受限于多种客观局限性，存在较多不足之处，结果仅供参考。

2 注：本文所用已建风电场数据均从公开数据获取。作为首次尝试，本章节的分析受限于多种客观局限性，存在较多不足之处，结果仅供参考。

PART5

报告建议

主管部门应加强和落实可再生能源发展中生物多样性保护的要求。 1

建议立法和行政机关未来在相关法律法规的制定和修订中，增加对于可再生能源发展和生物多样保护协同的条款，相关起草单位或审议机关应增加确保不影响候鸟迁徙等与生物多样性保护相关的条款；建议自然资源主管部门和发改委部门协调可再生能源专项规划布局避开野生动物栖息地等生物多样性敏感区域；生态环境部门应提高对可再生能源项目环境影响评价中的生物多样性相关影响的审批要求，利用敏感地图等工具，对敏感区域内的项目选址和环评重点审查和客观评估，尽早将生物多样性纳入生态质量监测体系等，提高对项目建设前中后全生命周期的生物多样性影响监督水平；林草部门应提高对“林光（风）互补”、“牧光（风）互补”、“草光（风）互补”等一体化项目中涉及野生动物重要栖息地的准入门槛，并尽早增加和加强针对在滩涂等重要生态系统光伏、风电开发用地管理规范的生物多样性要求。

风电和光伏行业企业需提高生物多样性保护意识，以加强生物多样性风险管理。 2

在公司治理方面，项目开发商应加强生物多样性保护意识，通过与相关研究机构、社会组织等合作的形式，和各种数据工具，在企业发展战略和治理架构中加入生物多样性考虑因素，包括将减缓层级纳入和落实到项目开发流程中，并针对各环节采取具体措施，例如参考上文中已展示的敏感地图工具或其他选址研究等。

在地方项目开发上，对于涉及珍稀濒危物种栖息地的已建风电和光伏发电项目，尽早对项目区域内的生物多样性情况展开调查，并开展长期监测和相应的减缓措施。对于计划开发的项目，建设单位应与当地政府部门、研究机构、社会组织、社区居民等积极沟通。另外，可以利用生物多样性影响（Biodiversity impact Assessment，BiA）工具作为早期选址工具筛查出可能有影响的项目区域，并在选址阶段实地了解当地生物多样性分布情况，避免对濒危保护物种的重要栖息地造成不可逆的影响。随着可再生能源产业出海，企业也应该尽快增加对于海外项目涉及国家和区域的生物多样性保护信息和政策的了解，确保我们可再生能源产业的良性发展。

3 亟需开展可再生能源对鸟类和其他类群物种影响的定量研究，提出科学的生物多样性与气候变化协同的解决方案。

本研究调研中发现，近年来风电和光伏产业迅速发展，然而科学研究对生物多样性影响的认识和研究往往滞后。针对不同技术类型和生物类群，以及在减缓影响措施的有效性方面，仍然存在相当大的研究空缺。例如，国内针对陆上风电导致鸟类碰撞风险的研究远多于海上风电，而对欧洲和北美研究较多的蝙蝠种群影响却知之甚少。另外与风电相比，目前全球范围内有关光伏开发对生物多样性和生态系统影响的研究非常有限，尤其是光伏开发对滩涂等湿地生态系统的影响。在我国风电、光伏发电规模高速增长的情况下，科学界和保护界亟需尽快开展相关研究。

4 企业、研究机构、社会组织等各利益相关方之间应积极交流对话，展开合作，打破国内外以及不同领域间的信息壁垒，以尽早探索出更因地制宜的生物多样性友好风电或光伏开发解决方案。

一方面应加强国内外交流，借鉴国际优秀案例，取长补短、因地制宜地针对野生动物生存现状提出可执行的阶段性目标和方案；另一方面，应促进国内外可再生能源开发商、风电或光伏设备制造企业与从事生物多样性保护的研究机构、民间组织等多方对话，提高信息透明度和数据共享，通过建立利益相关者网络等方式，搭建交流合作的平台，以实现生物多样性友好的可再生能源开发。

报告小结

本报告是山水自然保护中心基于 2022 年发布的“企业生物多样性评价体系”系列报告之后，首次针对具体行业开展的深入观察。针对气候变化和生物多样性丧失这两大全球环境危机，本报告希望能引起更多相关人士的关注，将气候变化与生物多样性丧失协同治理落实到经济发展和转型中，尽早在造成重大负面影响前，制定出科学有效且可执行的协同治理解决方案。

本报告主要基于已有文献和实际调研对我国风电、光伏发电对沿海地区迁徙鸟类的影响现状开展了重点分析，然而对于其它生态系统和生物类群亟需更多研究，以全面分析可再生能源对生物多样性的影响，例如我国海上风电和海上光伏对海洋生态系统以及海洋生物多样性可能造成的影响，我国西北地区大力发展的风电光伏项目可能对戈壁滩等荒漠生态系统以及本地野生动物造成的影响等。因此，针对本研究已有局限性，希望未来能有更多相关方对于报告中提出的问题开展讨论，我们也期待与立法和行政机关、环评审批和监管部门、可再生能源企业等共同探讨解决方案，以回应气候变化与生物多样性丧失协同治理的时代发展需求。

参考文献

Allinson, T. (2017). Introducing a New Avian Sensitivity Mapping Tool to Support the Siting of Wind Farms and Power Lines in the Middle East and Northeast Africa. In J. Köppel (Ed.), Wind Energy and Wildlife Interactions: *Presentations from the CWW2015 Conference* (pp. 207–218). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51272-3_12

Armstrong, A., Ostle, N. J., & Whitaker, J. (2016). Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters, 11*(7), 074016. https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074016

Ashraf, U., Morelli, T. L., Smith, A. B., & Hernandez, R. R. (2024). Aligning renewable energy expansion with climate-driven range shifts. *Nature Climate Change, 14*(3), 242–246. https://doi.org/10.1038/s41558-024-01941-3

Aziz, S. A., McConkey, K. R., Tanalgo, K., Sritongchuay, T., Low, M.-R., Yong, J. Y., Mildenstein, T. L., Nuevo-Diego, C. E., Lim, V.-C., & Racey, P. A. (2021). The Critical Importance of Old World Fruit Bats for Healthy Ecosystems and Economies. *Frontiers in Ecology and Evolution, 9*, 641411. https://doi.org/10.3389/fevo.2021.641411

Bennun, L., Van Bochove, J., Ng, C., Fletcher, C., Wilson, D., Phair, N., & Carbone, G. (2021). *Mitigating biodiversity mpacts associated with solar and wind energy development: Guidelines for project developers*. IUCN, International Union for Conservation of Nature. https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2021.04.en

Bennun, L., Van Bochove, J., Ng, C., Fletcher, C., Wilson, D., Phair, N., & Carbone, G. (2021). *Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development: Guidelines for project developers*. IUCN, International Union for Conservation of Nature. https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2021.04.en

Bergström, L., Kautsky, L., Malm, T., Rosenberg, R., Wahlberg, M., Åstrand Capetillo, N., & Wilhelmsson, D. (2014). Effects of offshore wind farms on marine wildlife—A generalized impact assessment. *Environmental Research Letters, 9*(3), 034012. https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/034012

Bernardino, J., Martins, R. C., Bispo, R., & Moreira, F. (2019). Re-assessing the effectiveness of wire-marking to mitigate bird collisions with power lines: A meta-analysis and guidelines for field studies. *Journal of Environmental Management, 252,* 109651. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109651

Birdlife International. (2015). *Review and guidance on use of "shutdown-on-demand" for wind turbines to conserve migrating soaring birds in the Rift Valley/Red Sea Flyway.*

BSH. (2021a). *Environmental Report on the Spatial Plan for the German Exclusive Economic Zone in the North Sea (unofficial translation)*. https://www.bsh.de/EN/TOPICS/Offshore/Maritime_spatial_planning/Maritime_Spatial_Plan_2021/_Anlagen/Downloads/ROP_2021/Environmental_Report_North_Sea.pdf?__blob=publicationFile&v=5

BSH. (2021b). *Maritime Spatial Plan 2021.* https://www.bsh.de/EN/TOPICS/Offshore/Maritime_spatial_planning/Maritime_Spatial_Plan_2021/_Anlagen/Downloads/ROP_2021/Environmental_Report_North_Sea.pdf?__blob=publicationFile&v=5

Building Research Establishment. (2013). *Planning guidance for the development of large scale ground mounted solar PV systems.* BRE National Solar Centre.

Building Research Establishment. (2014). *Biodiversity Guidance for Solar Developments.* BRE National Solar Centre.

Castillo-Figueroa, D. (2020). Why bats matters: A critical assessment of Bat-Mediated Ecological Processes in the Neotropics. *European Journal of Ecology, 6*(1), 77–101. https://doi.org/10.17161/eurojecol.v6i1.13824

Causon, P. D., & Gill, A. B. (2018). Linking ecosystem services with epibenthic biodiversity change following installation of offshore wind farms. *Environmental Science & Policy, 89*, 340–347. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.08.013

de la Barra, P., Aarts, G., & Bijleveld, A. (2023). The effects of gas extraction under intertidal mudflats on sediment and macrozoobenthic communities. *Journal of Applied Ecology*, 1365-2664.14530. https://doi.org/10.1111/1365-2664.14530

European Commission. (2013). *Streamlining Environmental Assessment Procedures for Energy Infrastructure "Projects of Common Interest"* (PCIs) [Guidance Document].

Galparsoro, I., Menchaca, I., Garmendia, J. M., Borja, Á., Maldonado, A. D., Iglesias, G., & Bald, J. (2022). Reviewing the ecological impacts of offshore wind farms. *Npj Ocean Sustainability, 1*(1), 1. https://doi.org/10.1038/s44183-022-00003-5

Hamed, T. A., & Alshare, A. (2022). Environmental Impact of Solar and Wind energy- A Review. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 10*(2), 1–23. https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d9.0387

Hise, C., Obermeyer, B., Ahlering, M., Wilkinson, J., & Fargione, J. (2022). Site Wind Right: Identifying Low-Impact Wind Development Areas in the Central United States. *Land, 11*(4). https://doi.org/10.3390/land11040462

Hodos, W. (2003). *Minimization of Motion Smear: Reducing Avian Collision with Wind Turbines* (NREL/SR-500-33249, 15004460; p. NREL/SR-500-33249, 15004460). https://doi.org/10.2172/15004460

Horváth, G., Kriska, G., Malik, P., & Robertson, B. (2009). Polarized light pollution: A new kind of ecological photopollution. *Frontiers in Ecology and the Environment, 7*(6), 317–325. https://doi.org/10.1890/080129

Huso, M. M., Dietsch, T., & Nicolai, C. (2016). *Mortality monitoring design for utility-scale solar power facilities* (Report 2016–1087; Open-File Report, p. 54). USGS Publications Warehouse. https://doi.org/10.3133/ofr20161087

IRENA. (2024). *Renewable capacity statistics 2024.* International Renewable Energy Agency.

Kagan, R. A., Viner, T. C., & Trail, P. W. (2014). *Avian Mortality at Solar Energy Facilities in Southern California: A Preliminary Analysis.* National Fish and Wildlife Forensics Laboratory.

Kiesecker, J., Baruch-Mordo, S., Heiner, M., Negandhi, D., Oakleaf, J., Kennedy, C., & Chauhan, P. (2020). Renewable Energy and Land Use in India: A Vision to Facilitate Sustainable Development. *Sustainability, 12* (1). https://doi.org/10.3390/su12010281

Kunz, T. H., Braun De Torrez, E., Bauer, D., Lobova, T., & Fleming, T. H. (2011). Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1223*(1), 1–38. https://-doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06004.x

Leddy, K. L., Higgins, K. F., & Naugle, D. E. (1999). Effects of wind turbines on upland nesting birds in Conservation Reserve Program grasslands. *The Wilson Bulletin.*

Marques, A. T., Batalha, H., Rodrigues, S., Costa, H., Pereira, M. J. R., Fonseca, C., Mascarenhas, M., & Bernardino, J. (2014). Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation, 179*, 40–52. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.08.017

Mascarenhas, M., Marques, A. T., Ramalho, R., Santos, D., Bernardino, J., & Fonseca, C. (Eds.). (2018). *Biodiversity and Wind Farms in Portugal*. Springer International Publishing. https://-doi.org/10.1007/978-3-319-60351-3

Maslo, B., Mau, R. L., Kerwin, K., McDonough, R., McHale, E., & Foster, J. T. (2022). Bats provide a critical ecosystem service by consuming a large diversity of agricultural pest insects. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 324*, 107722. https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107722

May, R., Nygård, T., Falkdalen, U., Åström, J., Hamre, Ø., & Stokke, B. G. (2020). Paint it black: Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities. *Ecology and Evolution, 10*(16), 8927–8935. https://doi.org/10.1002/ece3.6592

McDonald, R. I., Fargione, J., Kiesecker, J., Miller, W. M., & Powell, J. (2009). Energy Sprawl or Energy Efficiency: Climate Policy Impacts on Natural Habitat for the United States of America. *PLoS ONE, 4*(8), e6802. https://-doi.org/10.1371/journal.pone.0006802

Niebuhr, B. B., Sant'Ana, D., Panzacchi, M., Van Moorter, B., Sandström, P., Morato, R. G., & Skarin, A. (2022). Renewable energy infrastructure impacts biodiversity beyond the area it occupies. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 119*(48), e2208815119. https://doi.org/10.1073/pnas.2208815119

Osborn, R. G., Higgins, K. F., Usgaard, R. E., Dieter, C. D., & Neiger, R. D. (2000). Bird Mortality Associated with Wind Turbines at the Buffalo Ridge Wind Resource Area, Minnesota. *The American Midland Naturalist, 143* (1), 41–52. https://doi.org/10.1674/0003-0031(2000)143[0041:BMAWWT]2.0.CO;2

Peschel, T. (2010). *Solar parks—Opportunities for biodiversity. A report on biodiversity in and around ground-mounted photovoltaic plants.* German Renewable Energies Agency.

Science for Environment Policy. (2014). *Science for Environment Policy Future Brief: Wind & solar energy and nature conservation*. Publications Office.

Serratosa, J., & Allinson, T. (2022). *AVISTEP: the Avian Sensitivity Tool for Energy Planning. Technical Manual*.

Smallwood, K. S. (2022). Utility‐scale solar impacts to volant wildlife. *The Journal of Wildlife Management, 86*(4), e22216. https://doi.org/10.1002/jwmg.22216

Thaker, M., Zambre, A., & Bhosale, H. (2018). Wind farms have cascading impacts on ecosystems across trophic levels. *Nature Ecology & Evolution, 2*(12), 1854–1858. https://doi.org/10.1038/s41559-018-0707-z

Tomé, R., Canário, F., Leitão, A. H., Pires, N., & Repas, M. (2017). Radar Assisted Shutdown on Demand Ensures Zero Soaring Bird Mortality at a Wind Farm Located in a Migratory Flyway. In J. Köppel (Ed.), *Wind Energy and Wildlife Interactions* (pp. 119–133). Springer International Publishing. https://-doi.org/10.1007/978-3-319-51272-3_7

Torres, A., Jaeger, J. A. G., & Alonso, J. C. (2016). Assessing large-scale wildlife responses to human infrastructure development. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 113*(30), 8472–8477. https://-doi.org/10.1073/pnas.1522488113

Turney, D., & Fthenakis, V. (2011). Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15*(6), 3261–3270. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.023

Wang, S., Wang, S., & Smith, P. (2015). Ecological impacts of wind farms on birds: Questions, hypotheses, and research needs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44*, 599–607. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.031

WEF. (2020). *Nature Risk Rising: Why the Crisis Engulfing Nature Matters for Business and the Economy*.

WWF. (2022). *Living Planet Report 2022—Building a nature-positive society*.

Zhang, L., Li, C., Chen, G., Liu, F., Luo, J., Zhou, Y., Feng, C., Wang, W., & 1. Institute of Ecology, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 1000122. Yancheng National Rare Waterfowls Nature Reserve in Yancheng, Jiangsu 224002. (2022). Impact of wind turbines on birds in the coastal area of Yancheng, Jiangsu, China. *Biodiversity Science, 30*(11), 22173. https://doi.org/10.17520/biods.2022173

Zhang, N., Duan, H., Shan, Y., Miller, T. R., Yang, J., & Bai, X. (2023). Booming solar energy is encroaching on cropland. *Nature Geoscience, 16*(11), 932–934. https://doi.org/10.1038/s41561-023-01304-1

刘冬晓. (2020). 生态环境保护视域下的太阳能光伏发电站管理. 区域治理, 2020年第3期|176-178. https://doc.taix-ueshu.com/journal/20200319qyzl.html

北极星风力发电网. (2017). *山东长岛48台风机全部拆除的来龙去脉*. 北极星风力发电网. https://news.bjx.com.cn/html/20210324/1143770.shtml

北极星风力发电网. (2021). *大唐新能源17台风机被责令拆除*. 北极星风力发电网. https://news.bjx.com.cn/html/20210324/1143770.shtml

原环境保护部. (2015). 关于发布*《中国生物多样性保护优先区域范围》*的公告.

吕植, 王昊, 顾垒, 闻丞, 张迪, 罗玫, 胡若成, 顾燚芸, 姚锦仙, 张晓川, 吴恺悦, 史湘莹, 朱子云, 靳彤, 张颖溢, 拱子凌, 冯杰, 赵翔, & 李小龙. (2016). *中国自然观察2016.*

国家林业和草原局. (2022). *全国鸟类迁徙通道保护行动方案（2021-2035年）*.

国家能源局. (2023). *国家能源局发布2022年可再生能源发展情况并介绍完善可再生能源绿色电力证书制度有关工作进展等情况.* https://www.gov.cn/xinwen/2023-02/14/content_5741481.htm

彭昀月, 罗永梅, 徐泽楠, & 靳彤. (2023). 集中式大型光伏及风电电场生态影响研究：进展与展望. 生物多样性, 32(2):98-113

朱永可, 李阳端, 楼瑛强, 周江, & 孙悦华. (2016). 风力发电对鸟类的影响以及应对措施. 动物学杂志, 4, 682–691. https://doi.org/10.13859/j.cjz.201604022

界面新闻. (2017). *山东微山拆除6个光伏电站，损失或达数十亿.* 界面新闻. https://www.jiemian.com/article/1587759.html

许燕华, 钱谊, 陈雁, & 石崇. (2010). 东沙沙洲离岸潮间带风电场建设对鸟类的影响. 环境监测管理与技术, 22(2), 19–23.

郭锐, 陈东, & 樊杰. (2019). 国土空间规划体系与不同层级规划间的衔接. 地理研究, 38(10), 2518. https://doi.org/10.11821/dlyj020171118

作 者

本报告由山水自然保护中心开展研究，并组织撰写。

作 者

陈安禹、陈文静、张琴、蔡志扬、何艺妮、王紫萱、冯时、赖怡蒨、徐安琪、史湘莹、赵翔、程琛

致谢

本研究报告的顺利完成，得到了多个专业机构及专家的支持和建议。在此谨向所有做出过贡献，给予过支持鼓励的单位和个人致以最诚挚的谢意！

专家组（排名按首字母顺序）

陈志鸿（岩鹭）	厦门市滨海湿地与鸟类研究中心
康蔼黎	野生生物保护学会
贾亦飞	北京林业大学
靳彤	大自然保护协会（TNC）
梁彬 [1]	风电 ESG 研究专家
梁丹	普林斯顿大学
李静	勺嘴鹬在中国
刘志	北京大学—林肯研究院城市发展与土地政策研究中心
李文洁	广州珠湾人和生态环境研究中心
马鸣	中国科学院新疆生态与地理研究所
马志军	复旦大学
慕童	普林斯顿大学
王昊	北京大学自然保护与社会发展研究中心
王伟	中国环境科学研究院
王晓书 [2]	ESG 与气候研究专家
王迎	生态环境部对外合作与交流中心
向春	广州绿网环境保护服务中心
夏心悦	重庆江北飞地猫盟生态科普保护中心
周大庆	生态环境部南京环境科学研究所
自然之友法律与政策倡导 团队	北京市朝阳区自然之友环境研究所

1 注：梁彬女士对于本项目的支持仅代表个人立场，不代表任何单位或机构的立场

2 注：王晓书女士对于本项目的支持仅代表个人立场，不代表任何单位或机构的立场

数据贡献

本评估的完成，得到了多位专业人士和机构在数据上的公益性支持与配合，在此谨向数据合作单位致以最诚挚的谢意！

感谢昆山杜克大学蔡志扬研究组提供黑脸琵鹭和半蹼鹬的GPS追踪数据，以及感谢Dr. Kisup Lee（Waterbird Network Korea, Seoul, Republic of Korea）和Dr. Inki Kwon（Research Center for Endangered Species, National Institute of Ecology, Yeongyang, Republic of Korea）参与黑脸琵鹭追踪器佩戴的工作！

其他致谢

感谢山水自然保护中心理事会吕植女士为本报告提供的指导与支持。

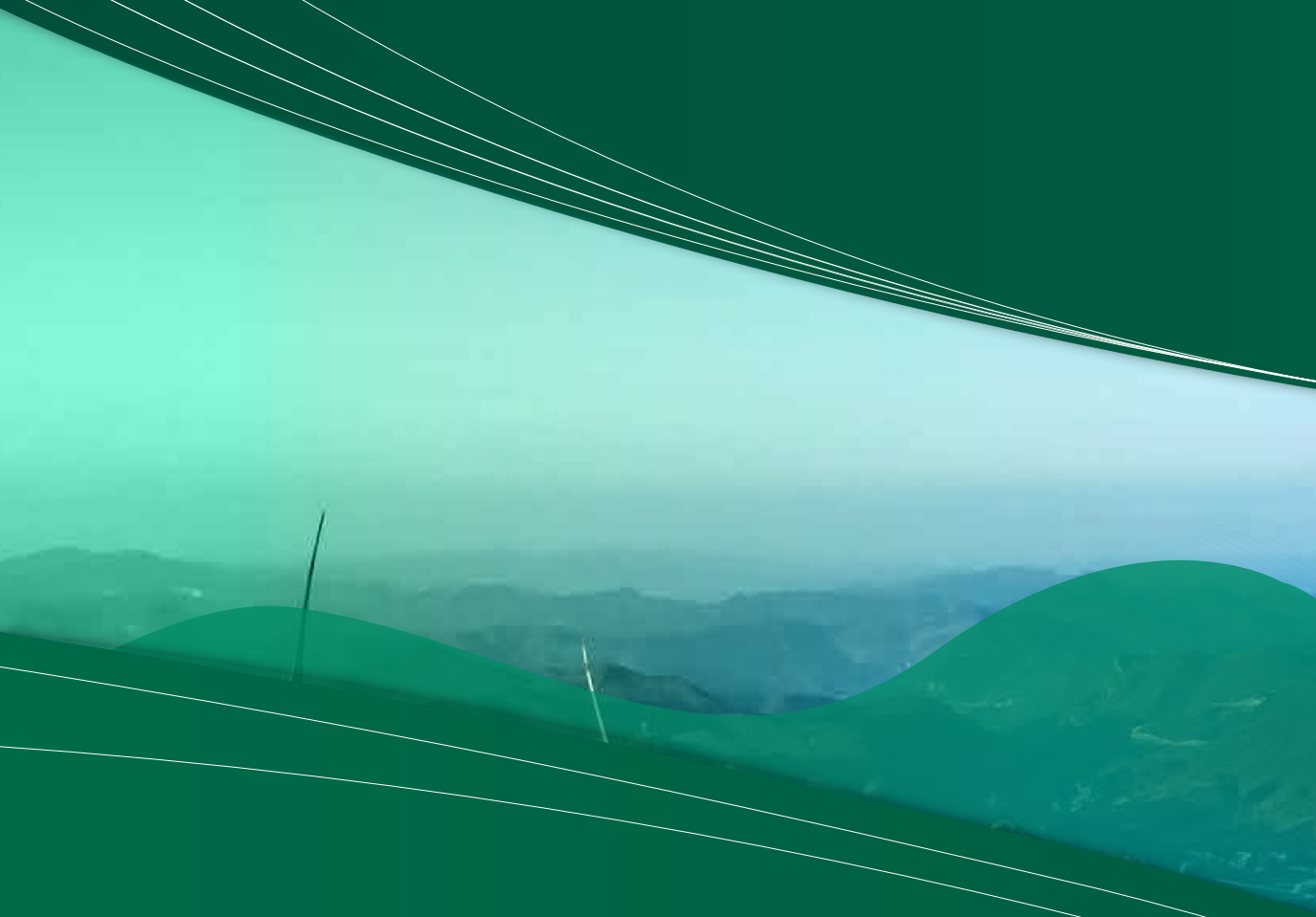
合作伙伴介绍

自然之友
FRIENDS OF NATURE

自然之友成立于1993年，是中国成立最早的环保社会组织之一。一直以来，自然之友通过环境教育、生态社区、公众参与、法律行动以及政策倡导等方式，运用一系列创新工作手法和动员方法，重建人与自然的连接，守护珍贵的生态环境，推动越来越多绿色公民的出现与成长。

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、鼓励和整合协调国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。



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

山水
山水自然保护中心
Shan Shui Conservation Center

自然之友
FRIENDS OF NATURE