

坚持绿色开放合作 推进现代化发展

中国环境与发展国际合作委员会年度政策报告

2024

编辑委员会

刘世锦 魏仲加 (Scott Vaughan, 加拿大) 赵英民
周国梅 李永红 艾弗森 (Knut Alfsen, 挪威)
龙迪 (Dimitri de Boer, 荷兰) 巴克斯 (Jan Bakkes, 荷兰)

编辑委员会技术团队

张慧勇 刘 侃 庞 骁 唐华清 穆 泉 费成博
谢园园 陈新颖 赵海珊 高凌云 王 冉 王婉超
郑 琦 张妍哲 王美真



中国环境与发展国际合作委员会
年度政策报告

坚持绿色开放合作 推进现代化发展

中国环境与发展国际合作委员会秘书处 编著

2024

中国环境出版集团·北京

图书在版编目（CIP）数据

坚持绿色开放合作 推进现代化发展：中国环境与
发展国际合作委员会年度政策报告：2024/ 中国环境与
发展国际合作委员会秘书处编著. — 北京：中国环境出
版集团，2025. 9. — ISBN 978-7-5111-6361-5
I. X-12
中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025VJ6772 号

责任编辑 黄 颖
装帧设计 宋 瑞

出版发行 中国环境出版集团
（100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号）
网 址：<http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱：bjgl@cesp.com.cn
联系电话：010-67112765（编辑管理部）
010-67147349（第四分社）
发行热线：010-67125803，010-67113405（传真）

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2025 年 9 月第 1 版
印 次 2025 年 9 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 30
字 数 550 千字
定 价 168.00 元

【版权所有。未经许可，请勿翻印、转载，违者必究。】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本集团更换。

中国环境出版集团郑重承诺：

中国环境出版集团合作的印刷单位、材料单位均具有中国环境标志产品认证。

出版说明

当前，全球经济面临整体下行的态势，世界处于震荡变革期。地缘政治格局深度调整、技术变革重塑产业生态、气候变化与生物多样性丧失交织，百年未有之大变局加速演进。2024年是美丽中国建设全面推进的一年，也是实现“十四五”规划目标任务的关键一年。同时，全球环境与气候治理进程也在震荡前行，联合国2030年可持续发展目标的实现任重道远，国际社会亟须凝聚共识、深化合作，以创新思维共同应对人类可持续发展面临的系统性挑战。

作为致力于推动可持续发展的高级别、国际性咨询机构和双向交流平台，中国环境与发展国际合作委员会（简称国合会）坚持以构建全球包容、开放合作、互惠发展的新型环境与发展国际合作平台为目标，按照主席团批准的工作计划，紧扣“坚持绿色开放合作 推进现代化发展”的年度主题，开展政策研究和交流活动，为推进中国环境与发展事业建言献策，为建设清洁美丽世界贡献智慧和力量。

为了更好地凝聚绿色发展的共识，推动绿色转型和变革，国合会秘书处每年将中外团队研究成果、关注问题报告、中国环境与发展重要政策进展与国合会政策影响以及国合会给中国政府的政策建议等汇编成册，形成系列出版物——“中国环境与发展国际合作委员会年度政策报告”，与国内外各级决策者、专家学者、公众，分享国合会中外委员、特邀顾问及研究人员对环境与发展热点问题的观察和思考，建睿智之言、献务实之策。

2024年“中国环境与发展国际合作委员会年度政策报告”涵盖了《进一步全面深化改革，抓住科技革命与产业变革新机遇，加快推进经济社会全面绿色转型——中国环境与发展国际合作委员会2024年年会给中国政府的政策建议》《中国环境与发展国际合作委员会2024年关注问题报告》《中国环境与发展重要政策进展与国合会政策建议影响报告（2023—2024年）》《2023—2024年专题政策研究性别主流化报告》，以及《中国碳中和实现路径与全球气候治理》《碳中和愿景下可持续海洋治理》《生物多样性保护和“昆蒙框架”落实》《降碳减污扩绿增长协同机制》《城乡建设绿色发展与气候适应》《数字化与绿色技术促进可持续发展》《环境与气候可持续投资创新机制》《可持续贸易与可持续供应链》《绿色对外开放与南南合作》9个专题政策研究报告和《绿色低碳转型科技创新》《中国超越GDP之路》《碳定价》《循环经济》《中国传统能源地区低碳转型》5个前期研究报告的内容。

代序¹

黄润秋

生态文明是人类文明发展的历史趋势，建设清洁美丽世界是人类的共同梦想。近年来，环境污染、气候变化、生物多样性丧失，给人类生存和发展带来严峻挑战，全球环境治理的复杂性、严峻性、不确定性上升，国际社会对携手加强全球环境治理，实现更加强劲、绿色、健康的全球发展的期盼更加殷切。

作为全球生态文明建设的重要参与者、贡献者、引领者，中国一贯高度重视生态文明建设和生态环境保护工作。近年来，在习近平生态文明思想指引下，我们坚定不移走生态优先、绿色发展之路，以美丽中国建设全面推进人与自然和谐共生的现代化，生态文明建设从理论到实践都发生了历史性、转折性、全局性变化，美丽中国建设迈出重大步伐。

我们全面推进生态文明体制改革，生态环境治理现代化水平持续提升。坚持在法治化轨道上推动生态文明建设，将生态文明写入宪法，制定、修订环境保护法等 30 余部生态环境法律法规，建立实施中央生态环境保护督察等一系列重大制度，生态环境治理体系明显完善，治理能力明显提升。去年以来，接续发布了《中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》和《中共中央 国务院关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》，出台实施《加快构建碳排放双控制度体系工作方案》《空气质量持续改善行动计划》。前不久胜利闭幕的中共二十届三中全会，对深化生态文明体制改革作出系统部署，将为美丽中国建设提供强大动力和制度支撑。

¹ 本文为生态环境部部长黄润秋 2024 年 10 月 10 日在中国环境与发展国际合作委员会 2024 年年会开幕式上讲话的摘编。

我们深入打好污染防治攻坚战，生态环境质量明显改善。坚持精准、科学、依法治污，以更高标准打好蓝天、碧水、净土保卫战，2023 年，全国细颗粒物（PM_{2.5}）浓度为 30 μg/m³，比十年前下降了 54%；全国地表水优良水质断面比例达到 89.4%，比十年前提高了 25.3 个百分点；近岸海域水质优良比例达到 85%，创造了历史新高。土壤环境风险得到有效管控，农村生活污水治理率达到 45% 以上。113 个城市和 8 个地区加快推进“无废城市”建设。

我们统筹推动减污降碳协同增效，绿色低碳转型步伐坚定有力。积极培育和发展新质生产力、绿色生产力，促进经济社会绿色低碳发展。大力推进产业结构优化调整，截至 2023 年底，累计淘汰落后煤炭产能 10 亿 t、钢铁产能 3 亿 t、水泥产能 4 亿 t，95% 以上煤电机组和 45% 以上的粗钢产能完成超低排放改造。加快推进能源转型，煤炭消费占一次能源消费的比重从十年前的 67.4% 下降至去年的 55.3%；累计完成北方地区 3 900 万户的清洁取暖和散煤治理改造；新能源公交车占比由十年前的不到 20% 提高到去年的 80% 以上。建成全球规模最大的碳排放权交易市场，启动全国温室气体自愿减排交易市场，发布首个产品碳足迹核算通则标准，碳足迹管理体系加快建立。

我们持续加强生态保护修复，生态系统质量稳步提升。推进山水林田湖草沙一体化保护和系统治理，陆域生态保护红线面积占比超过 30%，以国家公园为主体的自然保护地体系基本建立，90% 的陆地生态系统类型和 74% 的国家重点野生动植物种群得到有效妥善保护，生物多样性持续恢复。实施 52 个山水林田湖草沙一体化保护和修复工程，累计完成修复治理面积超过 1 亿亩¹。全国森林覆盖率达到 24.02%，本世纪以来全球新增绿化面积约 1/4 来自中国。

在全面做好国内工作的同时，我们秉持人类命运共同体理念，积极建设性参与全球环境与气候治理，为推动构建公平合理、合作共赢的全球环境治理体系，共建清洁美丽世界作出重要贡献。

一是深度参与全球气候治理。推动《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会（COP28）完成《巴黎协定》首次全球盘点，达成“阿联酋共识”。今年 6 月，举行了第五次中欧环境与气候高层对话，努力推动绿色转型合作取得更加丰硕成果。7 月，成功主办第八届气候行动部长级会议（MoCA），近 30 个国家的部长级代表出席会议，就减缓、适应、支持等共同关心的议题充分交换意见，为推动 COP29 取得积极成果奠定了良好基础。同月，还举办了“基础四国”气候变化部长级会议，共同协商应对气候危机、推动气候治理多边进程的解决方案。

¹ 1 亩 = 1/15 hm²。

二是持续推进全球生物多样性进程。中国牵头发起“昆明－蒙特利尔全球生物多样性框架”（以下简称“昆蒙框架”）实施倡议，目前已有 26 个缔约方及相关国际组织响应。发布《中国生物多样性保护战略与行动计划（2023—2030 年）》，成为“昆蒙框架”通过以来全球第七个，也是发展中国家第一个完成战略行动计划更新的国家。中国率先出资成立的昆明生物多样性基金正式启动，争取在 COP16 前推动首批项目落地，为有需要的发展中国家保护生物多样性提供力所能及的帮助。

三是积极开展双多边环境治理合作。全面履行已批准加入的 30 多项国际环境公约及议定书义务。今年以来，中方成功举办上海合作组织国家绿色发展论坛、东亚绿色复苏和低碳发展智库对话、中非环境与气候圆桌对话等一系列活动，参加第十次金砖国家环境部长会议、第六次大湄公河次区域环境部长会议，积极参与塑料污染政府间谈判委员会第四次会议，推动广泛凝聚全球环境保护和可持续发展共识。

四是深入推进绿色“一带一路”建设。中国与其他共建国家、国际组织签署了 200 余份共建“一带一路”合作文件，正式发布《“一带一路”绿色发展北京倡议》，推动打造投融资沟通合作平台，并提供务实解决方案。实施绿色丝路使者计划和“一带一路”应对气候变化南南合作计划，与 42 个发展中国家签署 52 份气候变化南南合作谅解备忘录，累计为 120 多个国家培训生态环境管理人员 3 000 多人次。

当前，中国生态文明建设仍处于压力叠加、负重前行的关键期，绿色低碳转型任务依然艰巨。我们将以习近平生态文明思想为指导，深入贯彻落实中共二十届三中全会精神，充分发挥生态环境引领、优化和倒逼作用，以高水平保护支撑高质量发展，努力建设人与自然和谐共生的美丽中国。

一是更加注重源头预防，形成高水平的调控体系，从根源上降低碳排放和污染物排放。二是更加注重精准管控，形成高水平的治理体系，精准识别生态环境问题成因，靶向治疗、精准施策。三是更加注重规范倒逼，形成高水平的标准体系，推动行业技术进步，引领绿色转型。四是更加注重市场引导，形成高水平的政策体系，激发保护生态环境的内生动力。五是更加注重科技赋能，形成高水平的技术体系，提升美丽中国建设科技支撑能力。六是更加注重开放共赢，形成高水平的合作体系，共谋发展与合作协同的全球合作新路径。

过去一年，在各位委员、特邀顾问和国内外 300 多位专家的积极参与，特别是合作伙伴的大力支持下，国合会围绕碳中和实现路径、生物多样性保护、气候适应、能源低碳转型、数字化、可持续投融资机制和南南合作等议题，开展中外联合研究，形成专题报告 30 余份，向中国国务院提交以《保持双碳战略定力，探索多目标协同创新

路径，加快推进绿色低碳高质量发展》为题的年度政策建议，召开线上及线下重要会议和活动 30 余场，组织课题组开展国内外调研活动，有力服务中国环境与发展事业，并为全球可持续发展贡献中国方案。

展望未来，我们应当保持绿色低碳转型定力，加强全球环境治理合作，携手应对全球性环境风险和挑战，共建清洁美丽世界。

一是在深化中国生态文明体制改革上作出新贡献。围绕完善生态文明基础体制、健全生态环境治理体系、健全绿色低碳发展机制等重点改革任务，开展战略性、基础性、全局性研究，为谋划中国“十五五”生态环境保护规划、推进美丽中国建设提供决策参考和智力支持。

二是在深化全球环境治理体系上作出新贡献。围绕气候变化、生物多样性丧失、塑料污染等全球性环境危机，以及协助气候脆弱国家实现绿色低碳转型等议题，研究提出综合解决方案和实现路径，共同应对和化解危机，推动共建地球生命共同体。

三是在深化国际合作对话交流上作出新贡献。发挥国合会联通中外的独特优势，围绕制定符合自身国情的国家自主贡献（NDC）、构建兼顾安全和清洁的能源国际合作体系、可持续的全球可再生能源产业链等热点议题，开展广泛对话交流，进一步增信释疑、凝聚共识。

目 录

第一篇 全球环境治理创新 /1

第一章 中国碳中和实现路径与全球气候治理 /2

- 一、引言 /2
- 二、全球气候治理形势分析 /3
- 三、中国推进全面绿色低碳转型的进展与挑战 /8
- 四、中国促进全球绿色低碳转型的贡献与障碍 /22
- 五、气候变化中性别主流化的路径分析 /28
- 六、政策建议 /32
- 参考文献 /36

第二章 碳中和愿景下可持续海洋治理 /40

- 一、引言 /40
- 二、问题的提出 /40
- 三、海洋经济与蓝色金融 /44
- 四、产业设计与转型 /53
- 参考文献 /67

第三章 生物多样性保护和“昆蒙框架”落实 /69

- 一、引言 /69
- 二、背景 /69
- 三、面向“30×30”目标的生物多样性就地保护经验及策略研究 /70
- 四、农业生物多样性可持续利用的管理经验与策略研究 /79
- 五、生物多样性保护资源调动策略研究 /88

六、政策建议 /96

参考文献 /99

第二篇 国家绿色治理体系 /105

第四章 降碳减污扩绿增长协同机制 /106

一、扩绿增长：减排如何促进经济增长 /106

二、空气质量标准升级时间表、污染减排的源头控制和脱碳潜力评估 /114

三、降碳减污：促进电力部门低碳转型 /124

四、降碳减污：推动工业用热电气化转型 /133

五、降碳减污法规制定与执行报告 /140

六、政策建议 /152

参考文献 /155

第五章 城乡建设绿色发展与气候适应 /158

一、引言：全面实施气候适应战略的紧迫性 /158

二、认识框架：明晰气候适应的重点目标 /159

三、实证研究：识别城乡气候适应的短板与优先事项 /162

四、案例借鉴：从灾害中吸取经验教训 /177

五、公平和性别：关注弱势人群和地区 /182

六、重要经验：空间、时间和治理维度 /185

七、评估操作框架：为城乡气候适应评估提供有效的工具 /195

八、政策建议 /199

参考文献 /202

第六章 绿色低碳科技创新 /207

一、研究意义 /207

二、研究重点 /207

三、主要政策建议 /208

第七章 中国超越 GDP 之路 /210

参考文献 /211

第三篇 可持续生产、消费 /213

第八章 数字化与绿色技术促进可持续发展 /214

- 一、引言 /214
- 二、可持续城市未来的数字能力 /216
- 三、双转型与经济可持续发展 /224
- 四、双转型与社会可持续发展 /231
- 五、双转型与环境可持续发展 /243
- 六、政策建议 /257
- 七、结语 /263
- 参考文献 /265

第九章 环境与气候可持续投资创新机制 /276

- 一、引言 /276
- 二、绿色转型的新任务：突破式技术创新 /277
- 三、绿色金融的新阶段：科技金融属性增强 /284
- 四、资本市场是绿色金融新阶段的重要抓手 /291
- 五、中国资本市场支持绿色技术创新面临的挑战 /298
- 六、政策建议 /304
- 参考文献 /313

第十章 碳定价 /317

第十一章 循环经济 /319

第四篇 低碳包容转型 /321

第十二章 可持续贸易与可持续供应链 /322

- 一、引言 /322
- 二、文献综述 /323
- 三、数据 /326

- 四、全球低碳技术贸易概览 /328
- 五、实证设计 /333
- 六、实证结果 /336
- 七、政策建议 /346
- 八、结论 /350
- 参考文献 /352

第十三章 绿色对外开放与南南合作 /356

- 一、引言 /356
- 二、绿色对外开放与南南合作的历程、框架与前景 /356
- 三、中国－东盟绿色南南合作：进展、机遇与展望 /370
- 四、中非绿色南南合作：进展、机遇与展望 /384
- 五、推动绿色对外开放与南南合作的政策建议 /395
- 参考文献 /401

第十四章 中国传统能源地区低碳转型 /406

第五篇 中国环境与发展国际合作委员会 2024 年年会重要文件 /409

第十五章 中国环境与发展国际合作委员会 2024 年关注问题报告 /410

**第十六章 进一步全面深化改革，抓住科技革命与产业变革新机遇，
加快推进经济社会全面绿色转型
——中国环境与发展国际合作委员会 2024 年年会给中国政府的
政策建议 /416**

- 一、推动“十五五”时期社会经济全面绿色转型 /418
- 二、大力推进绿色低碳产业发展 /419
- 三、发挥绿色金融对可持续发展各领域的推动作用 /420
- 四、深化环境与气候国际合作，推动全球环境治理进程 /421

第十七章 中国环境与发展重要政策进展与国合会政策建议 影响报告（2023—2024 年）/423

- 一、引言 /423
- 二、环境与发展规划 /424
- 三、治理与法治 /427
- 四、能源、环境与气候 /433
- 五、污染防治 /439
- 六、生态系统和生物多样性保护 /442
- 七、区域和国际参与 /445
- 八、结语 /449
- 参考文献 /451

第十八章 2023—2024 年专题政策研究性别主流化报告 /456

附 录

- 第七届中国环境与发展国际合作委员会组成人员名单（截至 2025 年 9 月）/459



第一篇

全球环境治理创新

第一章 中国碳中和实现路径与全球气候治理¹

一、引言

气候变化已经成为全球危机，应对气候变化成为全人类共同面临的紧迫任务。尽管当前国际形势存在影响全球气候治理的不确定性，但大部分变化形势是积极的，应对气候变化前景可期。《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会（COP28）提出的“以公正、有序和公平的方式转型脱离化石能源”彰显了全球气候多边进程的有效性和生命力，全球 2030 年可再生能源装机容量增至 3 倍、能效水平提升 2 倍的目标为全球绿色创新与投资提供了明确的信号。中美《关于加强合作应对气候危机的阳光之乡声明》凸显了国际合作在加速能源转型中的重要性。因此，我们需要保持气候雄心 and 信心，进一步加快能源结构调整和产业绿色低碳转型，推动企业和地方的合作，通过加强行动来落实雄心。

当前，全球面临经济衰退的压力，要将绿色产业培育成绿色增长新动能，以绿色创新带动投资、生产和建设，以投资拉动经济增长，实现减碳和增长的双赢。这是中国和全球其他国家（尤其是广大发展中国家）在发展过程中实现绿色转型的清晰路径。

目前，中国正在研究和编制下一轮国家自主贡献，推动“十五五”规划与国家自主贡献（NDC）更新相结合。2035 年是中国的关键节点，既是基本实现现代化的目标年，也是碳达峰后迈向碳中和的一个关键的五年期，还是下一轮国家自主贡献目标年。我们需要提出一个有力的 2035 年目标，使转型信号进一步明确，并在未来的几年中加速行动，为转型奠定基础。

在此背景下，“中国碳中和实现路径与全球气候治理”专题政策研究课题组将梳理当前全球气候治理形势与变化，分析中国和全球气候行动进展，总结中国的经验；在不确定的国际形势下构建绿色金融、绿色投资贸易和供应链的新设想，通过“二轨”对话，加强理解和共识；并加强气候议题性别平等的研究；争取为制定新一轮新的国

1 本章内容摘编自 2023—2024 年国合会“中国碳中和实现路径与全球气候治理”专题政策研究项目主要研究成果。

家自主贡献目标和“十五五”规划提出适合中国国情、积极推动全球气候行动的具体务实的政策建议。

本章共分为六个部分。第一部分为引言；第二部分分析全球气候治理的最新形势；第三部分梳理中国在产业结构调整、双碳“1+N”政策体系构建、能源清洁低碳转型、重点领域节能降碳、碳减排市场机制改革、甲烷减排、生态系统碳汇能力提升等方面的进展，并分析中国绿色低碳转型存在的挑战；第四部分总结中国为促进全球绿色低碳转型作出的贡献，以及绿色低碳转型国际合作当前面临的障碍；第五部分明确女性在气候变化工作领域的参与和贡献能够发挥重要作用，提出性别主流化在气候领域发挥作用的具体建议；第六部分为中国实施和更新 NDC、制定“十五五”规划，以及参与应对气候变化国际合作提出了对策建议。

二、全球气候治理形势分析

（一）COP28 已达成加强的、平衡的、历史性的气候行动一揽子计划，未来气候治理需要重视目标力度和务实解决方案的平衡

COP28 完成了《巴黎协定》下的首次全球盘点、全球适应目标框架、减缓工作方案等磋商，并基于此形成了一份“阿联酋共识”。在全球盘点议程下，各缔约方首次就制定“以公正、有序和公平的方式转型脱离化石燃料”的路线图达成一致，被大会视为“化石燃料时代逐步退出的开始”。COP28 明确了全球 2030 年可再生能源发展和能效目标，高度关注非二氧化碳温室气体尤其是甲烷减排问题，并就气候损失与损害基金达成历史性协议。同时，COP28 鼓励各国在 2025 年前更新国家自主贡献，提出具有雄心的全经济范围减排目标，并纳入所有温室气体、部门和类别，以符合落实 1.5℃ 温控目标的要求。但本次大会未就一些议题达成共识，包括沙姆沙伊赫农业和粮食安全气候行动实施联合工作方案、《巴黎协定》第 6.2 条和第 6.4 条机制、气候赋权行动等。

在 COP28 上，各方仍不断强调实现 1.5℃ 目标的紧迫性。COP28 以保持 1.5℃ 目标的可达性作为谈判核心，且在首次全球盘点的评估报告中，强调将温升限制在 1.5℃ 以内将大大降低气候变化的风险和影响，并重申采取行动的重要性。COP28 主席国希望通过此盘点缩小各国 NDC 和行动力度与其减排义务之间的差距，实现目标力度循环。在会议最后达成的“阿联酋共识”中，阿联酋、阿塞拜疆和巴西三个轮值主席国将推进“1.5℃ 使命路线图”，并鼓励各国在 2025 年提交全经济范围内的国家自主贡献、制定与 1.5℃ 温控目标一致的行动计划、采取更多行动增强适应能力、提供更多资金、提

高透明度并加快实施速度。

然而，越来越多的国家意识到需要采取务实气候行动，而不是一味地提高目标。这包括加强可再生能源的开发和利用、提高能效、推动绿色技术创新等方面。越来越多的国家逐渐认识到，仅仅提高目标并不足以解决问题，必须采取务实的、可执行的行动，才能真正推动社会朝着可持续的方向发展。

2024 年，《联合国气候变化框架公约》第二十九次缔约方大会（COP29）将在阿塞拜疆举办，会议将以气候资金新集体量化目标（NCQG）为核心。目前，气候资金流总和远不足以支持发展中国家清洁能源转型、实施国家气候计划。根据经济合作与发展组织（OECD）的报告，发达国家 2009 年向发展中国家承诺的到 2020 年每年提供 1 000 亿美元气候资金支持的目标已于 2022 年实现，但对于气候资金的定义等问题仍存争议。NCQG 将以每年 1 000 亿美元的基线为起点，帮助支持新一轮国家自主贡献的实施。气候资金集体量化目标以及国际金融体系改革预计将成为国际社会在全球气候治理领域的主要议题。

（二）气候与贸易、绿色供应链等议题交织，气候治理的复杂性和不确定性增加

2024 年 1 月 31 日，拜登政府任命约翰·波德斯塔（John Podesta）为新任美国总统气候特使。不同于前特使约翰·克里（John Kerry）强调气候议题独立于贸易政策的气候政策，约翰·波德斯塔提出气候与贸易协同并进，指出将在白宫成立气候与贸易工作组，聚焦开发气候与贸易政策工具、掌握数据和助力企业三个领域，将地缘政治竞争理念引入国际气候领域，同美国盟国和伙伴国优先进行气候合作成为明确战略。

欧盟碳边境调节机制（CBAM）已经进入过渡期，2026 年起进入实质性实施阶段。短期来看，CBAM 对中国出口贸易的影响总体可控，钢铁和铝是主要受冲击部门。然而从中长期看，欧盟碳市场的免费配额将逐渐减少，CBAM 的征收范围也将逐渐扩大，并且 CBAM 的制度设计具有很大的灵活调整空间，以中国为代表的制造大国的贸易体系将持续承压。

实际上，碳边境调节机制自被提出以来就面临较大争议。首先，由于经济结构、能源禀赋以及政策上的差异，各个国家和地区的碳市场建立与发展状况不尽相同，这也将导致碳边境调整机制难以真实反映相关行业先进减排成果，容易出现全球最先进的行业减排行为依然需要额外支付碳税的现象，不符合公正转型的基本原则。其次，发展中国家往往更依赖高碳产品的出口，因此单边碳关税政策可能给发展中国家造成

过度负担，通过贸易让发展中国家承担不公平的减排责任。有观点认为，碳边境调节机制表面上是一种碳减排约束制度，但本质上为单边贸易保护主义。在 2024 年 7 月 21 日召开的“基础四国”气候变化部长级会议中，部长们反对一些发达国家以气候行动为借口推行歧视性、不公正的“碳边境调节机制”，并决心共同努力确保发展中国家不受这些破坏多边主义、威胁可持续发展单边措施的不利影响。

此外，发达经济体还有意建立“气候联盟”，如 G7“气候俱乐部”，计划建立以“国际目标碳价”为核心的气候同盟，对非参与国的进口商品征收统一碳关税，并试图利用其在经济和贸易领域的影响力将机制和配套的标准扩大到全球范围，主导全球碳定价规则。

自然和农业食品系统绿色转型也是全球气候目标达成的关键。其中，包括大豆、牛肉、棕榈油、纸和纸浆在内的软性大宗商品是全球森林砍伐和土地用途转换的关键驱动因素，而土地利用变化和农业是全球第二大温室气体排放来源。近年来，各国均立法提高对合法性和可持续性的要求，推动软性大宗商品贸易向更加环保和可持续的方向发展。欧盟 2023 年 6 月出台《欧盟零毁林法案》（EUDR），要求 2024 年底前彻底停止进口和出口供应链任何环节牵涉毁林的产品，促进对森林友好型产品的生产和消费。这些措施也引发了关于发达国家和发展中国家之间责任和义务分配的讨论。对于中国而言，软性商品价值链的绿色化趋势虽然提高了软性商品的生产成本，致使出口企业在满足更高的环保和可持续性标准方面面临更大压力，但这一趋势也为企业转型升级提供了机遇。中国可借此机会加强对国内生产环节的监管，积极推进贸易自由化和经济全球化，为大宗商品贸易提供更加便利的政策环境。

（三）绿色低碳产业技术脱钩断链趋势加剧，全球低碳转型速度受到冲击

低碳技术是解决气候问题的关键，降低成本是低碳技术大规模部署的必要条件。然而，当前部分国家以国家安全、供应链稳定等名义，推动绿色低碳领域的脱钩和本土化。产业技术脱钩断链不利于降低低碳技术成本。

低碳领域的国际合作大大降低了气候治理成本。研究显示，2008—2020 年，与本地化供应链相比，全球化的光伏组件生产为中国的光伏装机累计节省了 260 亿～450 亿美元，为美国节省了 190 亿～310 亿美元，为德国节省了 50 亿～90 亿美元。“脱钩”可能会挫伤全球减缓气候变化的努力，因为实现全球应对气候变化的目标需要大规模快速推广安装可再生能源，各国依赖自己本土生产将推高可再生能源成本，进而影响应对气候变化目标的实现。根据研究的情景，如果 2020—2030 年，各国光伏组件逐步

转向国内生产，那么到 2030 年光伏组件生产成本可能会增加 20% ~ 30%，这可能导致部署速度放缓^[1]。

（四）主要国家与地区选举影响气候施政纲领，全球气候领导力格局将随之改变

2024 年是全球选举大年。据不完全统计，2024 年全球将有 76 个国家和地区举行大选，将发生 100 多场选举活动，覆盖 41.7 亿人口，超过世界总人口的一半^[2]。北美洲、欧洲、亚洲、非洲等地区多个国家都将经历重要的政治选举。政局的变动将带来不确定的前景，成为全球气候治理格局的重要变量。

美国两党竞争结果将导致截然不同的气候政策。若民主党候选人当选，美国预计将进一步提高减排目标和加强气候政策，继续拜登政府对能源转型和《通胀削减法案》的关注。相信美国可以在继续生产化石燃料的同时发展清洁能源经济。若共和党候选人当选，美国预计将减少对气候的关注，增加对化石燃料的支持；将试图废除《通胀削减法案》，或者通过取消资金或设置行政障碍，以阻碍《通胀削减法案》的成功；减少国际气候合作，再次退出《巴黎协定》。

欧盟议会选举中，右翼和民粹主义政党获得更多席位，保守党仍是最大赢家，冯德莱恩连任，未来五年大概率仍将保持稳定、连续的气候政策。欧盟希望在加快绿色转型、确保在供应链韧性和经济竞争力之间寻求平衡。欧盟将发布清洁产业新政（Clean Industrial Deal），将投资基础设施和产业，希望建立本土化绿色产能，但补贴力度小，本地化成本高。欧盟将继续通过严格的气候环境法规标准，影响境外政策。另外，英国工党以压倒性优势从大选中胜出，预计英国新一届政府将支持更强有力的绿色议程。

与此同时，全球气候谈判格局日趋复杂化、碎片化，主权国家间的利益分化严重，越来越难以达成共识。各种集团和联盟为了满足其多元化的利益诉求，在条约框架外寻求其他合作机制。

（五）气候风险成为影响人类社会的最主要风险之一，“高碳系统”向“低碳 / 零碳系统”转变的趋势不可逆转，应对气候变化仍是国际合作的重要窗口

世界经济论坛发布的《2024 年全球风险报告》显示，极端天气事件可能成为全球首要风险来源。同时，不断加剧的环境风险可能达到无法挽回的地步，而各国在紧迫

全球问题上的合作仍显不足。该报告指出，在十年的长期趋势下，与环境有关的风险类型成为最重要的风险来源，这些风险与多个系统紧密相连，一旦恶化将对经济社会、粮食、水和公众健康产生威胁，形成恶性循环，对全球稳定和人类生存产生重大影响。在地缘政治局势动荡、全球经济增长继续放缓的背景下，应对气候变化仍是国际合作的重要窗口，各国需重建信任，共同应对气候危机。

主要国家及国际组织在气候治理、国际合作方面的政治意愿比较显著，欧美仍然期待同包括中国等新兴大国在内的全球南方国家在气候治理方面开展一定程度的合作。COP28 召开前夕，中美两国共同发表《关于加强合作应对气候危机的阳光之乡声明》，宣布重启中美能效论坛，支持两国的地方政府和跨国企业积极推动在省、州和城市层面，围绕电力、交通、建筑和废弃物等领域开展气候合作，释放应对全球气候变化的积极信号。2024 年 5 月初，中美新任气候特使首次会面，围绕该声明确定的合作领域开展深入讨论，并就与推动 COP29 在阿塞拜疆巴库成功举办相关的多边议题展开合作。2024 年 5 月底，中美地方气候行动高级别活动在美国加利福尼亚州举行，标志着中美应对气候变化合作在机制化、具体化、务实化方面迈出了重要一步。2024 年 5 月，中国、法国、欧盟领导人通过三方会晤就共同应对气候变化达成合作共识。

全球气候治理和清洁能源转型投资展现出强劲的增长势头。多重危机下，清洁能源转型仍存在一定韧性。2023 年，全球关于低碳能源转型的投资增长 17%，创下 1.77 万亿美元的新纪录^[3]。其中，作为目前能源转型支出的最大领域，电气化交通领域投资增长 36%，达到 6 340 亿美元；可再生能源领域投资增长 8%，达到 6 230 亿美元；电网投资作为能源转型投资的第三大领域，达到 3 100 亿美元。氢能和碳捕集与封存技术（CCS）作为新兴领域，分别实现了 200% 和 100% 的投资增长，储能投资增长 76%（见图 1-1）。2023 年，全球清洁能源供应链的投资创造了 1 350 亿美元的新纪录。根据目前宣布的投资计划，这一数额将在未来两年内进一步飙升，到 2025 年将升至 2 590 亿美元。

总之，应对气候危机是一个全球性问题，需世界各国凝聚合力，从全人类共同利益出发，推动多边和双边气候对话，寻求合作共识，同时积极落实在多边和双边对话框架下达成的共识和承诺。

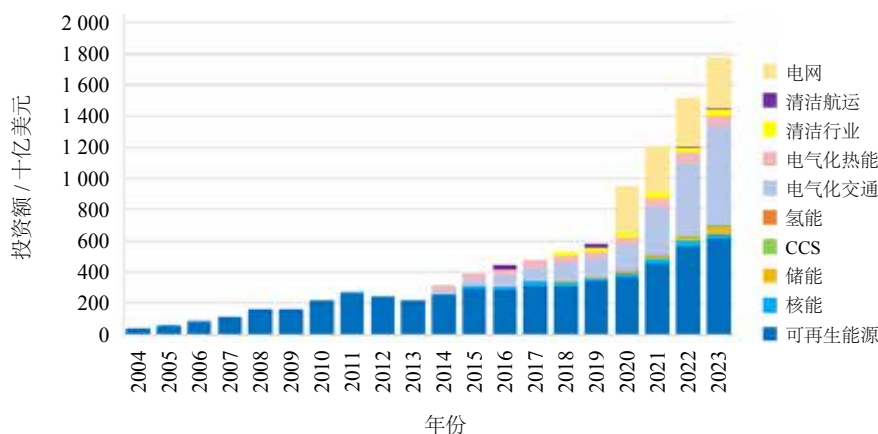


图 1-1 2004—2023 年全球能源转型投资概况（按行业划分）

资料来源：彭博新能源。

三、中国推进全面绿色低碳转型的进展与挑战

（一）经济社会高质量发展与“双碳”工作协同推进，绿色低碳产业成为推动经济增长新动能

中国仍是全球经济增长的重要引擎。2023 年，中国 GDP 超过 126 万亿元，按不变价格计算，相较 2022 年增长 5.2%，居世界主要经济体前列（见图 1-2），对世界经济增长的贡献率有望超过 30%。

中国的产业结构向绿色化、低碳化方向持续优化。2014—2023 年，中国第三产业增加值在 GDP 中的比重逐年提升。2023 年，中国第三产业增加值为 68.8 万亿元，同比增长 5.8%，占全国 GDP 总量的 54.6%，比 2014 年提高了 6.3%（见图 1-3）。

中国战略性新兴产业增长态势良好，持续发挥经济引擎作用。自 2010 年发布《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》以来，中国战略性新兴产业经过十余年的稳步发展，呈现重点领域发展壮大、新增长点涌现、创新能力跃升、竞争实力增强的良好局面，成为推动产业转型和经济长期稳定的新动能。2014—2023 年，中国战略性新兴产业增加值占 GDP 比重由 7.6% 升至 13% 以上^[4]。战略性新兴产业已成为推动中国产业结构转型升级，引领中国经济向高质量发展阶段迈进的主要动力源。

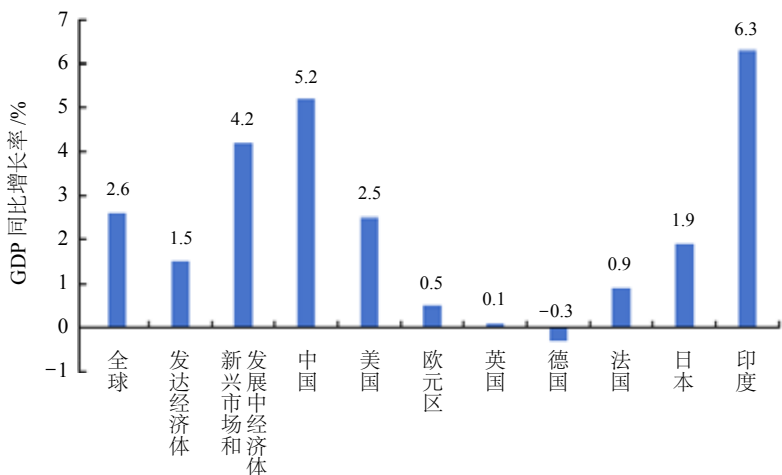


图 1-2 2023 年全球及主要经济体经济增速对比

资料来源：全球和印度数据来自世界银行 2024 年 1 月发布的报告，其余数据分别来自中国国家统计局、美国商务部、欧盟统计局、英国国家统计局、德国联邦统计局、法国国家统计和经济研究所、日本内阁府。

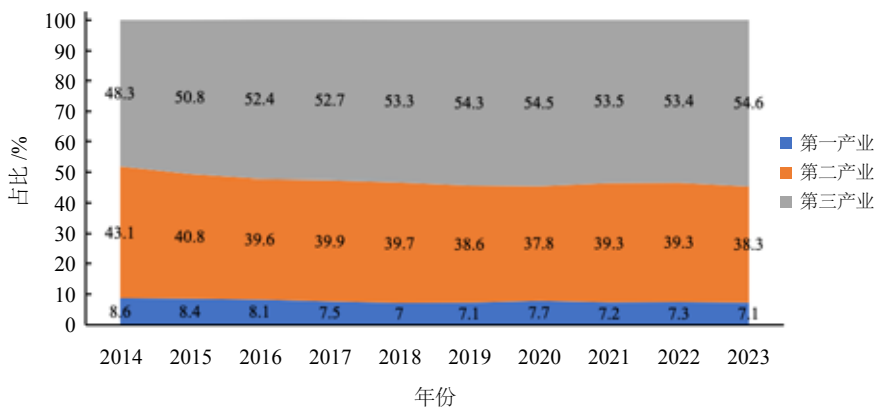


图 1-3 2014—2023 年中国三大产业增加值占 GDP 比重的变化情况

资料来源：中国国家统计局。

新能源产业创新能力和产业实力大幅提升，已建成全球最大、最完整和最具竞争力的清洁能源产业链^[5]。中国风电机组制造产能占全球总产能的六成，全球前 10 大风电整机企业中有 6 家是中国企业，主要零部件国产化率达 95%^[6]。在相关政策的推动下，中国新能源汽车产业也在蓬勃发展。2023 年，中国新能源汽车产销量分别为 958.7 万辆和 949.5 万辆，同比分别增长 35.8% 和 37.9%，占全球总销量的比重超过 60%；新能源汽车出口量达 120.3 万辆，同比增长 77.6%，出口地涵盖欧洲、亚洲、大洋洲、美洲、

非洲等地区的 180 多个国家^[7]。

新型储能、氢能等产业发展迅速。2023 年，全球新增新型储能装机规模创历史新高，中国占比接近 50%。中国国家能源局的数据显示，截至 2023 年底，全国已经建成投运新型储能项目累计装机规模达 3 139 万 kW/6 687 万 kW·h，平均储能时长 2.1 h；2023 年，全国新增装机规模约为 2 260 万 kW/4 870 万 kW·h，较 2022 年底增长超过 260%，近 10 倍于“十三五”时期末的装机规模。从投资规模来看，“十四五”以来，新增新型储能装机容量直接推动经济投资超 1 000 亿元，带动产业链上下游进一步拓展，成为中国经济发展“新动能”。作为全球最大的氢能生产和消费国，截至 2022 年，中国已建成并运营 36 个可再生能源制氢项目，总产能约 3.7 万 t/a，正在规划的绿氢项目超过 300 个，预计产能将达 350 万 t/a^[8]。根据中国氢能联盟发布的数据，2023 年中国氢能产量约 3 550 万 t，供需基本平衡。

服务业绿色转型取得进展。在与数字技术的融合中，移动支付、平台经济等多种新模式和新业态得到创新和发展，降低了生产、消费和流通等多个环节的能源消耗和碳排放，提高了资源的利用率，有力推动了绿色消费发展。以智能化、绿色化、融合化为方向，现代化服务业体系的技术水平、生产效率、质量效益进一步提升。

（二）双碳“1+N”政策体系构建完成并持续落地，建立能耗双控向碳排放双控全面转型新机制

当前，中国双碳“1+N”政策体系已经建成。双碳“1+N”政策体系的“1”由《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》和《2030 年前碳达峰行动方案》组成，“N”由重点领域、重点行业实施方案及相关政策保障方案组成。双碳“1+N”政策体系为中国的双碳工作提供了全方位、多层次的指导，具体有以下几个特点：一是政策设计覆盖碳排放相关的所有关键领域和重点部门，包括能源、工业、城乡建设、交通运输、减污降碳等重点领域，以及钢铁、有色金属、石化、建材等重点行业的行动方案。二是注重通过科技创新、财政支持、价格改革、科技支撑、人才培养等支持措施为“双碳”工作提供切实保障。三是体现了全社会广泛参与，是国家治理体系和治理能力现代化的生动体现，参与主体涉及国家部委、地方政府、行业、园区、企业及个人等。四是“1+N”政策体系还力图促进更广泛的合作，包括“一带一路”能源绿色发展，以及各行业、各部门中的国际合作政策设计。“1+N”政策体系为“双碳”工作提供了总体框架和近、中期的工作重点，但与此同时，“双碳”工作的长期性和艰巨性对中国提出了新的要求，其路径和政策需要在国内外

形势变化中保持韧性，并不断作出动态调整。

因此，在以降碳为重点战略方向的“十四五”时期，中国提出进一步完善能耗双控制度，并稳步转向碳排放双控（碳排放总量和强度控制），助力发掘可再生能源发展潜力，促进社会经济结构的全面绿色转型，并在“十四五”规划中明确了要实施“以碳强度控制为主、碳排放总量控制为辅的制度”。近年来中国碳排放双控政策脉络见表 1-1。

表 1-1 近年来中国碳排放双控政策脉络

政策文件名称或出处	时间	主要内容
《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》	2021 年 10 月	严格控制能耗和二氧化碳排放强度，合理控制能源消费总量，统筹建立二氧化碳排放总量控制制度
《2030 年前碳达峰行动方案》	2021 年 10 月	实施以碳强度控制为主、碳排放总量控制为辅的制度，对能源消费和碳排放指标实行协同管理、协同分解、协同考核，逐步建立系统完善的碳达峰碳中和综合评价考核制度
中央经济工作会议	2021 年 12 月	创造条件尽早实现能耗“双控”向碳排放总量和强度“双控”转变
党的二十大报告	2022 年 10 月	重点控制化石能源消费，逐步转向碳排放总量和强度“双控”制度
《关于推动能耗双控逐步转向碳排放双控的意见》	2023 年 7 月	立足生态文明建设已进入以降碳为重点战略方向的关键时期，完善能源消耗总量和强度调控，逐步转向碳排放总量和强度双控制度
《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》	2024 年 7 月	建立能耗双控向碳排放双控全面转型新机制
《加快构建碳排放双控制度体系工作方案》	2024 年 8 月	到 2025 年，碳排放统计核算体系进一步完善；“十五五”时期，实施以强度控制为主、总量控制为辅的碳排放双控制度，建立碳达峰碳中和综合评价考核制度；碳达峰后，实施以总量控制为主、强度控制为辅的碳排放双控制度，建立碳中和目标评价考核制度

2021 年 9 月 22 日，《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》指出“坚持节能优先的能源发展战略，严格控制能耗和二氧化碳排放强度，合理控制能源消费总量，统筹建立二氧化碳排放总量控制制度”。

2021年10月24日,《2030年前碳达峰行动方案》提出“实施以碳强度控制为主、碳排放总量控制为辅的制度,对能源消费和碳排放指标实行协同管理、协同分解、协同考核,逐步建立系统完善的碳达峰碳中和综合评价考核制度”;2021年12月,中央经济工作会议提出“创造条件尽早实现能耗‘双控’向碳排放总量和强度‘双控’转变”,推动中国能源系统向更符合“双碳”目标实施的方向迈进;2022年10月,党的二十大报告指出,“重点控制化石能源消费,逐步转向碳排放总量和强度‘双控’制度”;2023年7月,中央全面深化改革委员会第二次会议正式审议通过《关于推动能耗双控逐步转向碳排放双控的意见》,提出了有计划、分步骤推动“能耗双控”转向“碳排放双控”制度的工作安排和实施路径,标志着在能耗双控政策体系完善后,已经初步具备了转向碳排放双控的工作基础。2024年7月21日发布的《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》提到“建立能耗双控向碳排放双控全面转型新机制”;2024年8月,《加快构建碳排放双控制度体系工作方案》指出,“‘十五五’时期,实施以强度控制为主、总量控制为辅的碳排放双控制度,建立碳达峰碳中和综合评价考核制度,加强重点领域和行业碳排放核算能力,健全重点用能和碳排放单位管理制度,开展固定资产投资项目碳排放评价,构建符合中国国情的产品碳足迹管理体系和产品碳标识认证制度,确保如期实现碳达峰目标。碳达峰后,实施以总量控制为主、强度控制为辅的碳排放双控制度,建立碳中和目标评价考核制度”,标志着能耗双控向碳排放双控全面转型取得重大进展。

从能耗双控向碳排放双控制度的转变是实现“双碳”目标的必由之路。碳排放双控制度的实施能够实现能源节约和应对气候变化两手同时发力,推动能源结构不断优化,是加快经济社会发展全面绿色转型的重要保障,也是中国实现“双碳”目标的重要抓手之一。因此,要积极推动构建碳排放双控制度体系,助力发掘可再生能源发展潜力,促进社会经济结构的全面绿色转型。

（三）能源转型进展举世瞩目，新型电力系统建设稳步推进

清洁能源消费占比显著提升,绿色低碳转型不断加快。国家统计局发布的《中华人民共和国2023年国民经济和社会发展统计公报》显示,2023年中国能源消费总量为57.2亿t标准煤,比上年增长5.7%,其中,煤炭消费量增长5.6%,原油消费量增长9.1%,天然气消费量增长7.2%,电力消费量增长6.7%。2014—2023年,中国煤炭消费量占比从65.8%降低到55.5%,而非化石能源消费量占比从11.3%增长到17.7%(见图1-4)。

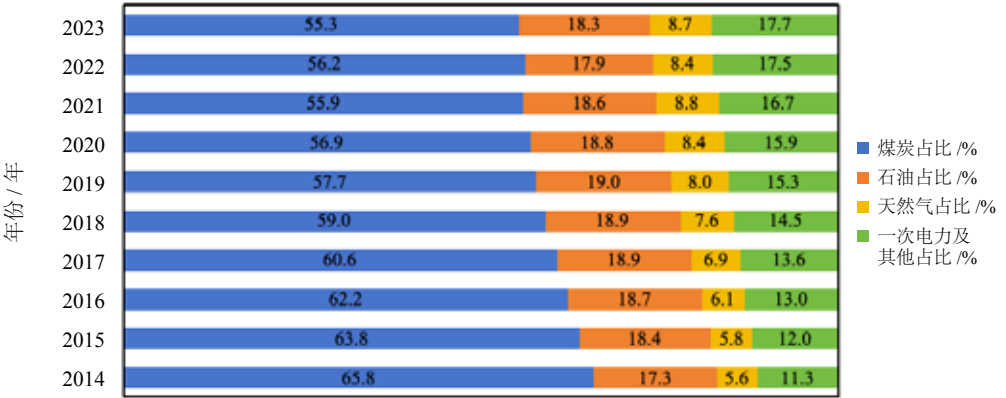
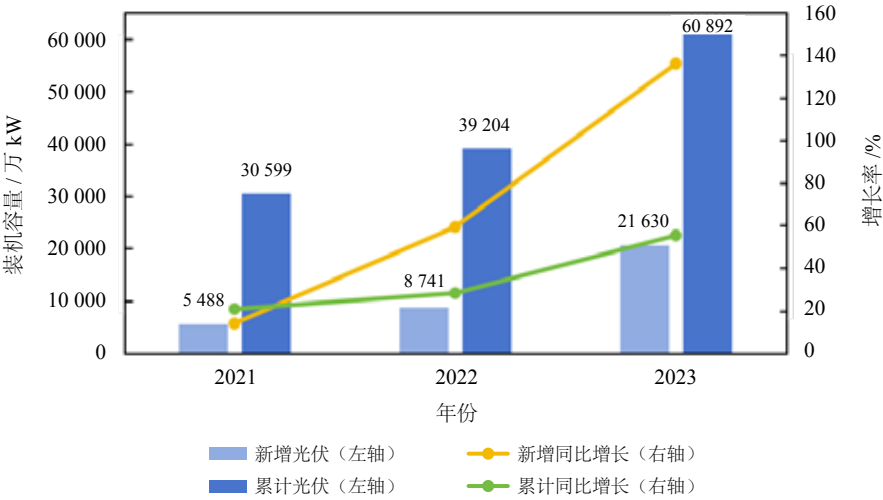


图 1-4 2014—2023 年中国能源消费结构

资料来源：中国国家统计局。

能源利用效率显著提高。2012—2023 年，中国以年均 3% 的能源消费增速支撑了年均超过 6% 的经济增长，单位 GDP 能耗下降 26.8%。

可再生能源发展举世瞩目，逐渐成为满足新增用电需求的主体。截至 2023 年底，中国可再生能源发电装机容量累计为 14.5 亿 kW，占全国发电总装机容量的 50% 以上，历史性地超过火电装机容量。其中，风电、光伏总装机容量超 10 亿 kW，预计到 2030 年将超额完成原定 NDC 中风电、光伏装机容量目标。“十四五”前三年，中国新增光伏并网装机容量和风电装机容量年均增速分别为 98.1% 和 26.3%（见图 1-5）。另据国家能源局的统计，2023 年中国可再生能源新增装机容量超 3 亿 kW，占全部新增发电装机容量的 85%。国际能源署报告指出，2023 年全球可再生能源新增装机容量为 5.1 亿 kW，中国贡献超过一半，为全球可再生能源发电增长作出了巨大贡献。



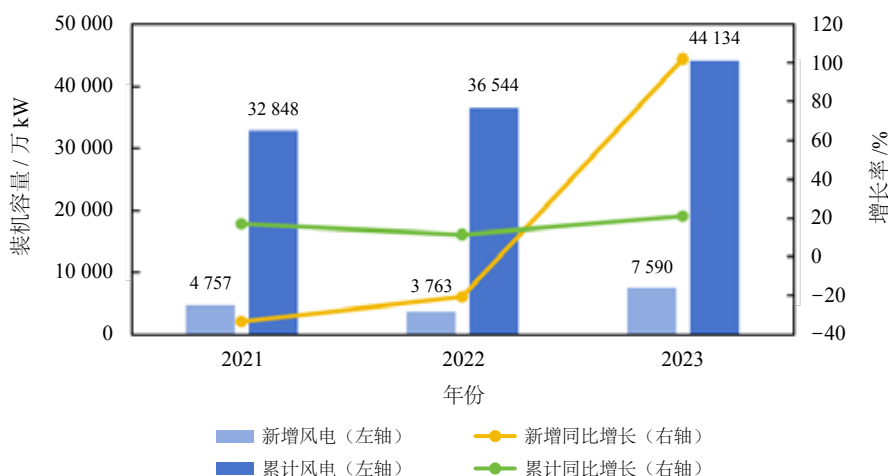


图 1-5 2021—2023 年中国光伏并网和风电新增 / 累计装机容量及其增长率

资料来源：中国国家统计局。

电力系统正在向清洁低碳、安全可控、灵活高效、开放互动、智能友好的新型电力系统演进。在顶层设计上，2023 年 7 月召开的中央全面深化改革委员会第二次会议审议通过《关于深化电力体制改革加快构建新型电力系统的指导意见》，强调要深化电力体制改革，加快构建清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能的新型电力系统，更好推动能源生产和消费革命，保障国家能源安全；2023 年 9 月，国家发展改革委、国家能源局联合印发《关于加强新形势下电力系统稳定工作的指导意见》，提出了新形势下做好电力系统稳定工作的思路与策略^[9]。在实践方面，第一，新型储能技术不断涌现，应用场景不断拓展，在促进新能源开发消纳、提高系统安全稳定运行水平和服务用户灵活高效用能方面发挥功效，有力支撑了新型电力系统构建。目前，虽然锂离子电池储能仍占主导地位，但压缩空气储能、液流电池储能、飞轮储能等非锂储能技术已逐渐实现应用突破，为新型电力系统建设和多元用户侧场景提供了更多的技术选择。截至 2023 年底，已投运锂离子电池储能占比为 97.4%，铅炭电池储能占比为 0.5%，压缩空气储能占比为 0.5%，液流电池储能占比为 0.4%，其他新型储能技术占比为 1.2%^[10]。“十四五”前三年，新型储能装机规模快速增长。2023 年，新型储能新增装机容量为 2 260 万 kW（见图 1-6）。第二，电网企业发挥电网基础性、先导性作用，加快构建新型电力系统，服务国家重大战略需求。近年来，国家电网投运多项特高压工程，不仅全面突破特高压输电技术，构建起完善的特高压试验和研究体系，还率先构建完整的特高压试验、研究、技术标准体系，研发世界首套完全可控换相技

术换流阀，自主研制特高压换流变有载分接开关工程样机，建成新一代电磁暂态仿真平台；由于风电、光伏发电具有间歇性、不稳定性的特点，南方电网推动数字电网建设，使各类电力资源可感知、可预测、可控制，支撑复杂大电网安全稳定运行，目前，南方电网风电、光伏短期预测准确率分别达到 85%、91%，可减少数百万千瓦的调节电源建设。此外，国家电网推动大型风光电基地和储能设施建设，目前，经营区风光新能源累计并网容量近 8.7 亿 kW，利用率保持 97% 以上；不仅如此，客户侧能源量测数据交换协议在国家电网经营区智能电表上的应用规模正逐步扩大，进一步提升了用电信息采集系统的互联水平和数据交换能力。

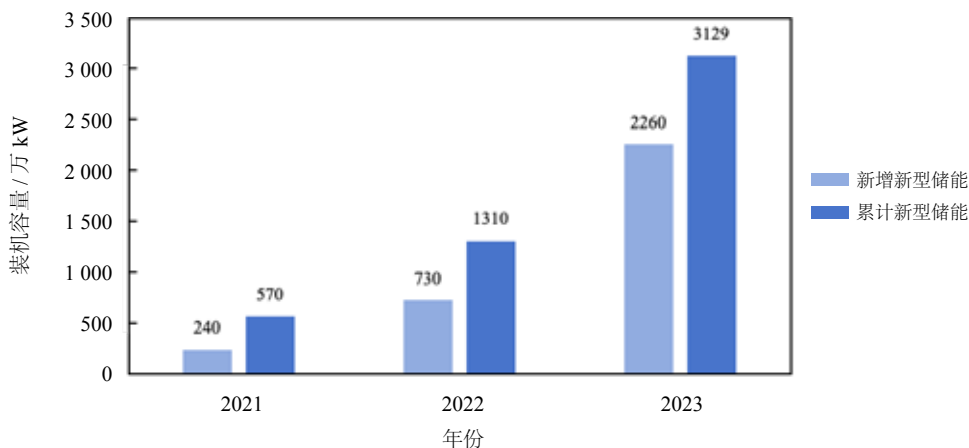


图 1-6 2021—2023 年中国新增 / 累计新型储能装机容量

（四）重点领域、行业和产品设备节能降碳更新改造加快推进

工业领域节能降耗成效逐步显现。“十四五”以来，中国加快推进重点领域节能降碳，相关措施包括煤炭清洁利用，钢铁、石化、有色金属、建材行业等领域落后产能出清，以及生产设备、储能设备、用能设备更新和技术改造等。在钢铁行业，实施由中国钢铁工业协会提出的“极致能效”工程；在建材行业，推进“六零”（即零外购电、零化石能源、零一次资源、零碳排放、零废弃物排放、零员工）示范工厂建设；在有色行业，着力提高能源利用效率；在化工行业，加快发展新材料、高端专用化学品等战略性新兴产业。一些重点大中型企业能耗、水耗达到世界先进水平，水泥、电解铝、晶硅、炼油、乙烯等部分产品能效指标领跑全球。据统计，2021—2023 年，全国完成煤电节能降碳改造、灵活性改造、供热改造超 7 亿 kW，火电平均供电煤耗

降低 0.9%；钢铁、电解铝、水泥、炼油、乙烯、合成氨等行业能效标杆水平以上产能占比平均提高 6%^[11]。

建筑领域绿色转型成效显著。为加快推动建筑领域节能降碳，住房和城乡建设部于 2022 年发布《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》，明确了到 2025 年的建筑节能改造目标。“十四五”以来，中国已累计完成既有建筑节能降碳改造 24 亿 m²，超低能耗建筑、近零能耗建筑、装配式建筑加快发展。截至 2023 年底，全国城镇累计建成绿色建筑面积约 118.5 亿 m²，获得绿色建筑标识项目累计 2.7 万余个。2023 年全年，城镇新建绿色建筑面积约 20.7 亿 m²，占城镇新建建筑面积的 94%^[12]。

绿色低碳交通运输体系加速构建。在交通运输结构调整方面，持续推进大宗货物和中长距离货物运输“公转铁”和“公转水”。2018—2023 年，中国铁路和水路货运量占比由 25.2% 上升至 26.3%，公路货运量占比由 74.8% 下降至 73.7%。在交通用能多元化发展方面，持续提升公路沿线充电服务保障能力，推进新能源、清洁能源应用。截至 2023 年，中国新能源汽车保有量占全球总保有量一半以上，城市新能源公共汽车占比超过 77%，部分城市已实现公共汽车“全面电动化”，公路货运新能源与清洁能源车辆比例持续提升^[13]。在绿色交通设施建设方面，加快交通领域绿色投资，发展交通领域绿色金融。截至 2023 年底，中国充电基础设施累计达 859.6 万台，已建成世界上数量最多、辐射面积最大、服务车辆最全的充电基础设施体系^[14]。在生活方式转型方面，倡导推广简约适度、绿色低碳的交通出行方式。目前中国城市公共交通和绿色出行发展已取得显著成效。2024 年 6 月发布的《交通运输大规模设备更新行动方案》提出，将通过提供资金补贴淘汰更新老旧大规模交通设施，争取在 2028 年实现交通运输行业碳排放强度和污染物排放总量与强度进一步下降。

用能产品设备能效提升工作稳步推进。数据显示，中国在运主要用能产品设备保有量超过 50 亿台（套），年能耗量约占全国能耗总量的 80%，一些设备能效水平偏低，更新改造潜力巨大^[15]。为推动完成“十四五”能耗强度下降约束性指标，2024 年，国务院发布《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》、国家发展改革委发布《重点用能产品设备能效先进水平、节能水平和准入水平（2024 年版）》，对扩大能效水平覆盖范围、提升节能降碳标准要求、产品设备更新改造和回收利用等工作进行部署，将促进先进设备生产应用和先进产能比重提升，引领产业绿色转型和高质量发展。

（五）碳市场机制不断完善，未来将在“双碳”制度体系中发挥更大作用

2021 年起，中国全国碳市场正式运行，截至目前，全国碳市场覆盖年二氧化碳排

放量约 51 亿 t，纳入重点排放单位 2 257 家，成为全球覆盖温室气体排放量最大的碳市场。截至 2023 年 12 月 31 日，全国碳市场碳排放配额累计成交 4.42 亿 t，累计成交额 249.19 亿元。

《碳排放权交易管理暂行条例》于 2024 年 5 月 1 日起施行，为全国碳排放权交易市场运行管理提供明确法律依据。《碳排放权交易管理暂行条例》以数据质量管理为重点，有效提升了全国碳排放权交易市场立法层级，形成了完备的制度体系；规范了温室气体排放数据质量管理体系；明确了碳排放权交易违法行为及其法律责任，将为构建高水平碳排放数据质量管理体系、建设高标准市场体系提供坚实的法律支撑。

2024 年初，全国温室气体自愿减排交易市场启动^[15]。作为调动全社会力量共同参与温室气体减排行动的一项制度创新，全国温室气体自愿减排交易市场有望推动形成强制碳市场和自愿碳市场互补衔接、互联互通的全国碳市场体系。2023 年 3 月 30 日至 4 月 30 日，生态环境部向社会公开征集到 300 多个中国核证自愿减排量（CCER）方法学建议，最终制定发布了首批 4 项方法学，包括造林碳汇、并网光热发电、并网海上风力发电、红树林营造。展望未来，碳市场的扩围有望在 2024—2025 年实现。

2023 年 12 月 27 日，《中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》对全国碳市场建设作出全面部署，要求进一步发展全国碳市场，稳步扩大行业覆盖范围，丰富交易品种和方式，建设完善全国温室气体自愿减排交易市场^[16]。2024 年，《政府工作报告》明确将扩大全国碳市场行业覆盖范围作为政府年度工作任务^[17]。2024 年 2 月，生态环境部副部长赵英民在国务院新闻办公室举行的政策例行吹风会上透露，生态环境部已开展全国碳市场扩围的专项研究。相关的技术文件起草工作已经基本完成，生态环境部正在积极推动，争取尽快实现中国碳排放权交易市场的首次扩围，届时将囊括发电、钢铁、建材、有色、石化、化工、造纸、航空八个重点行业，这八个行业的二氧化碳排放量占到中国二氧化碳排放总量的 75% 左右^[18]。2024 年 3 月、4 月，生态环境部先后发布铝冶炼行业、水泥熟料行业的碳排放核算、报告与核查指南的征求意见稿^[19-20]。2024 年 5 月 1 日，国务院《碳排放权交易管理暂行条例》正式施行，为进一步推动碳市场有序发展提供了法律层面的支持^[21]。

2024 年 9 月 9 日发布的《全国碳排放权交易市场覆盖水泥、钢铁、电解铝行业工作方案（征求意见稿）》，提出要按照“边实施、边完善”的工作思路，分两个阶段做好水泥、钢铁、电解铝行业纳入全国碳排放权交易市场相关工作，积极稳妥有序扩大全国碳排放权交易市场覆盖范围。未来，全国碳排放权交易市场将进一步优化制度框架，扩展覆盖更多高排放行业，引导生产要素向低碳、绿色流动，使行业内部优质

产能得到充分释放，更好地增强碳市场的减碳效果、优化产业结构。

（六）发布甲烷控排顶层设计文件，设定能源、农业和废弃物处理行业甲烷回收利用量化目标

长期以来，中国积极开展甲烷控排工作，采取多种政策和经济措施控制能源、农业及废弃物处理等领域甲烷排放的增长。根据《中华人民共和国气候变化第三次两年更新报告》，2018 年中国甲烷排放共计 6 411.3 万 t，折合为 13.46 亿 tCO₂e。其中，能源活动是第一大甲烷排放源，主要是煤矿开采产生的排放，在甲烷总排放量中的占比约为 44.7%；其次是农业活动的甲烷排放，在甲烷总排放量中的占比约为 37.2%；第三大甲烷排放源是废弃物处理，在甲烷总排放量中的占比约为 11.9%。

“双碳”目标下，中国重视开展甲烷减排工作。碳达峰碳中和“1+N”政策体系中的《农业农村减排固碳实施方案》《中国应对气候变化国家方案》《“十二五”控制温室气体排放工作方案》《“十三五”控制温室气体排放工作方案》《“十三五”生态环境保护规划》等重要政策文件均对甲烷排放控制作出要求。《关于深化生态保护补偿制度改革的意见》《绿色债券支持项目目录（2021 年版）》《产业结构调整指导目录（2019 年本）》等政策强化利用经济手段支持甲烷排放控制。

2023 年 11 月，生态环境部等十一个部门联合发布《甲烷排放控制行动方案》，设定能源、农业和废弃物处理行业甲烷回收利用量化目标，见表 1-2。作为中国开展甲烷排放管理控制的顶层设计文件，《甲烷排放控制行动方案》提出了中国 2025 年和 2030 年分部门、分领域甲烷控排的主要目标，部署了加强甲烷排放监测、核算、报告和核查体系建设，重点推进能源、农业、垃圾和污水处理等领域的甲烷排放控制，加强污染物与甲烷协同控制，加强技术创新和甲烷排放控制监管等八项重点任务。在现有针对甲烷资源（以高浓度煤矿瓦斯和煤层气为主）回收利用的补贴和税收优惠的基础上，《甲烷排放控制行动方案》完善了对其他重点控排领域的经济激励政策，包括将甲烷减排项目纳入生态环境导向的开发项目，研究农业甲烷减排奖励补偿政策，以及再次强调将符合条件的甲烷利用和减排项目纳入温室气体自愿减排交易机制涵盖范围^[22]。

表 1-2 甲烷排放控制行动方案中部分量化目标

行业	目标
能源	• 到 2025 年，煤矿瓦斯年利用量达到 60 亿 m³； • 到 2030 年，油田伴生气集气率达到国际先进水平

行业	目标
农业	•到 2025 年，畜禽粪污综合利用率达到 80% 以上，2030 年达到 85% 以上
废弃物处理	•到 2025 年，全国城市生活垃圾资源化利用率达到 60% 左右

（七）强化与生物多样性保护工作的协同，生态系统碳汇稳步提升

气候变化与生物多样性之间具有紧密、复杂的耦合关系，协同应对气候变化与保护生物多样性已成为国际和国内环境治理中不可或缺的重要任务。生态系统的生物多样性越丰富，其恢复能力、碳储存与吸收能力就越强。因此，保护生物多样性对减缓和适应气候变化具有重要意义。2021 年，全国森林植被生物量达 218.86 亿 t，全国林草植被总碳储量达 114.43 亿 t。其中，林木植被碳储量为 107.23 亿 t，草原植被碳储量为 7.20 亿 t。林草植被年固碳量为 3.49 亿 t，年吸收二氧化碳当量为 12.80 亿 t^[23]。2023 年 4 月，全国生态保护红线全面划定，涵盖绝大部分重要的自然生态系统。同月，《生态系统碳汇能力巩固提升实施方案》发布，分别提出了到 2025 年、2030 年巩固和提升生态系统碳汇的主要目标和重点任务。林草碳汇、湿地碳汇和农田土壤碳汇的提升取得良好成效，生态系统固碳作用进一步稳定。

在法律体系和政策框架方面，中国形成了以环境保护法、野生动物保护法、森林法、野生植物保护条例、自然保护区条例等为基础的生物多样性保护和可持续利用法律法规体系。作为《生物多样性公约》第十五次缔约方大会（COP15）主席国，中国持续推动“昆蒙框架”落实，发布《中国生物多样性保护战略与行动计划（2023—2030 年）》，明确了新时期生物多样性保护战略，部署了生物多样性主流化、应对生物多样性丧失威胁、生物多样性可持续利用与惠益分享、生物多样性治理能力现代化等优先领域，以及每个优先领域下的优先行动，为各部门、各地区推进生物多样性保护工作提供指引。当前，中国已经构建起一套相对完备的生态系统保护屏障体系，全方位保护野生动植物种群及生物遗传资源，这对维护生物多样性具有深远意义。同时，通过实施精细化的国土空间规划策略，明确划定自然保护地范围，依据生态系统的特定功能区域进行科学划分，合理确定了土地的开发利用强度与方式。这一举措不仅能促进生态系统功能的最大化发挥，还显著增强了生态系统在面对气候变化等外部风险时的自我恢复与适应能力，为构建生态安全屏障、实现人与自然和谐共生奠定坚实基础，不断增强抵御气候风险的韧性。

此外，中国大力支持发展中国家保护和恢复生物多样性，在 COP15 上承诺将率先出资 15 亿元成立昆明生物多样性基金，并于 2024 年 5 月正式签署昆明生物多样性基

金合作协议。昆明生物多样性基金的正式启动将为促进“昆蒙框架”成功实施、加速全球气候变化与生物多样性的协同性治理进程贡献中国力量。

（八）中国绿色低碳转型过程仍面临多重挑战，需进一步释放市场、技术和政策潜力

“十四五”时期能源消费和碳排放指标完成情况不及“十三五”时期。截至目前，《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》（以下简称“十四五”规划）实施已实现时间过半，并且总体任务过半。此前，国家发展改革委发布的《〈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〉实施中期评估报告》显示，在“十四五”规划设置的20项主要指标中，有4项指标的进展滞后于预期，其中包括两项低碳转型关键指标，分别为单位GDP能源消耗降低、单位GDP二氧化碳排放降低。2024年《政府工作报告》明确提出，今年发展主要预期目标之一是单位GDP能耗降低2.5%左右，生态环境质量持续改善。这一量化目标将进一步推动中国的能源结构转型、产业结构转型和能源效率提升。在未来一段时期内，中国能源消费总量仍将保持刚性增长，完成“十四五”全国能耗强度和碳排放强度降低的约束性指标仍然面临多重挑战。

能源和电力消费仍处于刚性增长区间。中国经济仍处于稳定增长阶段，能源和电力消费在碳达峰前仍有一定增长空间。2023年，中国人均一次能源消费量为4.09 t标准煤，约为加拿大的1/3、美国的2/5、德国的87.4%，未来能源消费仍有一定增长空间^[24]。2023年，中国能源和电力消费弹性系数均超过1（见图1-7）。一方面，全国终端用能电气化水平提升仍在持续推进，《新型电力系统发展蓝皮书》提出，2030年终端用能电气化水平提升至35%左右。终端电能替代需求将持续拉动电力消费增长。另一方面，光伏产业、新能源汽车产业、AI产业等新兴产业处于高速增长阶段，新兴产业在经济结构中占比提升或将持续抬升电力消费弹性。

可再生能源消纳将成为未来一段时间低碳转型的工作重点。2015—2023年，中国可再生能源装机容量占全国发电总装机容量的比重由30%左右提升至50%左右，增长约20%，而可再生能源发电量占全社会用电量的比重由20%左右提升至30%左右（见图1-8）。在能源转型背景下，风电、光伏是当前最有条件和可能性支持中国电力需求增长的电源。当前可再生能源发展面临包括分布式可再生能源用户消纳不足、电网接纳能力和动力不足、传输通道不畅和储能成本分摊机制尚未落实等挑战，一方面需要与大规模可再生能源相匹配的综合性系统转型，另一方面需要进一步发展可再生能源技术。

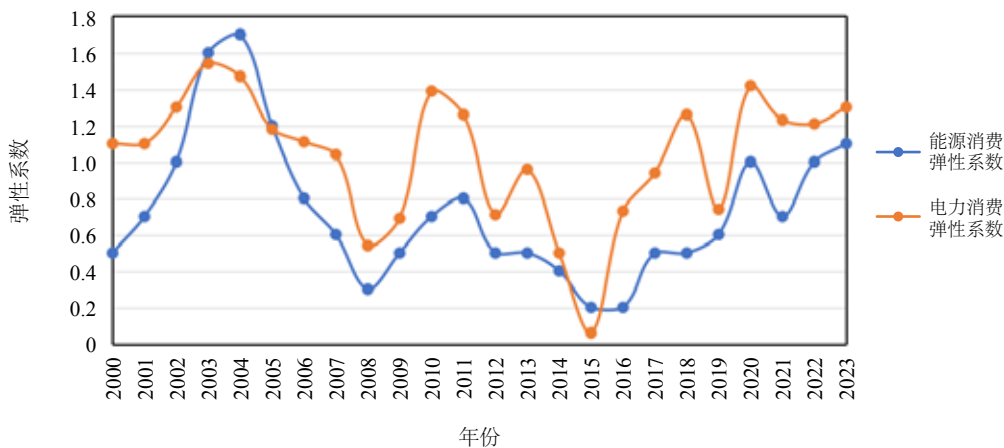


图 1-7 中国 2000—2023 年能源消费弹性系数和电力消费弹性系数变化趋势

资料来源：中国国家统计局。

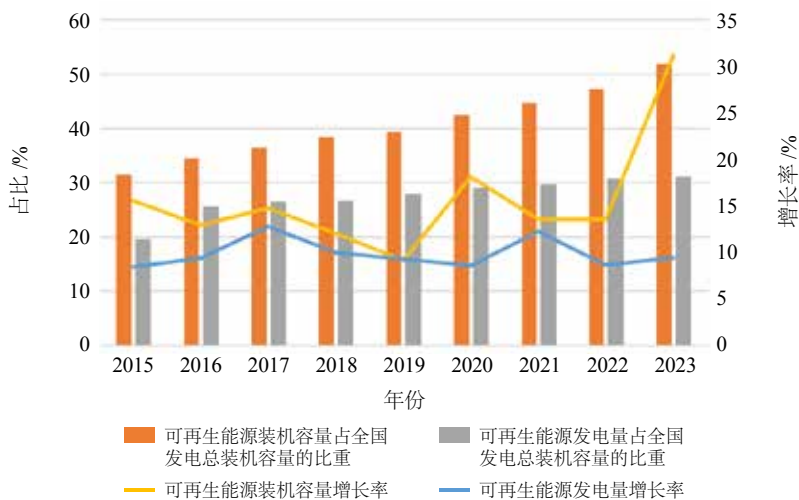


图 1-8 2015—2023 年中国可再生能源装机容量增长率

基础研发能力有待加强，关键低碳、零碳、负碳技术储备不足。中国原创性科技成果较少，对颠覆性、系统性的低碳、零碳、负碳技术关注不足，诸多体制机制对科技成果转化造成滞碍，创新要素尚未实现高效配置。技术创新是实现深度减排的核心和关键所在，未来随着国际经济利益博弈与贸易保护的深化，技术的转移与合作将面临更大阻力。

支撑碳达峰及达峰后排放下降的制度体系仍需完善。一是碳达峰、碳中和缺乏基本的法律制度支撑。应对气候变化和“双碳”相关的专门法律体系尚未建立，能源法

仍在制定过程中，与气候变化相关的《中华人民共和国电力法》《中华人民共和国煤炭法》《中华人民共和国可再生能源法》《中华人民共和国节约能源法》等相关法律也都没有将碳减排作为一项重要的制度安排纳入其中。二是碳排放交易作为实现“双碳”目标的重要市场化手段，目前尚未能和碳排放总量控制目标有效衔接。三是随着新能源产业进入新发展阶段，需对财税政策体系进行优化和完善，包括及时清理低效补贴、产业政策要更多支持绿色低碳创新而非产能扩充，以及制定和实施地方政策时应注重公平性和一致性。

四、中国促进全球绿色低碳转型的贡献与障碍

（一）中国清洁能源产品为降低全球清洁能源使用成本、加速低碳技术部署、提高能源可及性作出重要贡献

2023 年，全球清洁能源蓬勃发展，新增可再生能源装机容量 5.1 亿 kW，比 2022 年增加 50%，其中中国贡献超一半^[25]。在实现自身清洁低碳发展的同时，中国也为全球能源转型和应对气候变化提供优质可再生能源产品和产能，让可再生能源在全球范围（尤其是发展中国家）得到广泛应用。通过向全球近 200 个国家和地区出口风电、光伏产品，中国正在帮助广大发展中国家获得清洁、可靠、便宜的能源。据统计，2022 年，中国可再生能源发电量相当于国内减排二氧化碳约 22.6 亿 t，出口的风电、光伏产品为其他国家减排二氧化碳约 5.73 亿 t，合计减排超 28 亿 t，约占全球同期可再生能源折算碳减排量的 41%^[26]。中国出口的电动汽车、锂电池、光伏产品等清洁能源产品不仅丰富了全球供给，缓解了全球通胀压力，也为全球应对气候变化和绿色低碳转型作出巨大贡献。

中国的绿色技术、绿色产品具有明显的正外部性，清洁能源技术创新不断取得突破，为全球绿色低碳转型提供重要助力。自 2012 年以来，中国不断推动清洁能源技术创新。在装备制造方面，目前中国已培育出一批国际一流能源装备制造企业，全球前 5 大风电整机企业中有 4 家中国企业，前 10 大电动汽车电池制造商中有 6 家中国企业，成为稳定全球清洁能源产业链供应链的重要力量。中国在提高可再生能源装机规模和降低可再生能源发电成本方面均处于世界领先地位。过去十年来，全球光伏、陆上风电、海上风电的装机规模不断增加，加权平均平准化电力成本（LCOE）不断下降（见图 1-9）。其中，光伏发电成本下降幅度最大，从 2010 年的 0.45 美元 /（kW·h）降至 2022 年的 0.049 美元 /（kW·h），下降接近 90%。



图 1-9 2010—2023 年全球光伏、风电装机规模和发电成本变化趋势

资料来源：国际可再生能源署。

COP28 上，各缔约方就“到 2030 年，可再生能源装机容量增至三倍”达成共识。为实现这一目标，到 2030 年，全球平均每年新增可再生能源装机容量需达到 1 100 GW，也就是在 2023 年的基础上再增加一倍。但目前的预测表明，如果不采取紧急的干预政策，这一目标将遥不可及。以二十国集团（G20）国家为例，2023 年 G20 成员国的可再生能源发电装机容量增加了 416.2 GW，同比增长 15.0%，累计装机容量达到 3 084 GW。但要实现 2030 年可再生能源目标，G20 成员国必须在 2030 年前每年新增可再生能源发电装机容量 900 GW 以上^[27]。

中国在可再生能源国际合作方面的进展与高质量共建“一带一路”密不可分。共建“一带一路”国家的太阳能资源丰富，其年光伏发电潜力总量可达 448.9 万亿 kW·h，但在全球 6.75 亿无法获取电力的人口中，共建“一带一路”国家的人口占比近 30%^[28]，光伏发电等绿色电力将为实现能源可及提供重要助力。2021 年 9 月，中国国家主席习近平在第七十六届联合国大会一般性辩论上表示，中国将大力支持发展中国家能源绿色低碳发展，不再新建境外煤电项目。从投资规模上看，中国主要企业在 2015—2023 年，投资海外可再生能源的总规模达到 311 亿美元^[29]。2023 年，中国企业新签约境外电力项目 727 个，合同额总计 513.64 亿美元，同比增长 51.1%，装机容量总计 72.9 GW。其中，签约光伏发电项目 180 个，项目金额 171.6 亿美元，同比增长 72.2%，继续保持高增速。新项目主要集中在亚洲（77 个），其次为非洲（45 个）、欧洲（39 个），南美洲、大洋洲、北美洲签约项目较少^[30]。中国还与哈萨克斯坦、吉

尔吉斯斯坦等国家在太阳能资源开发、光伏电站建设等方面开展了合作，为当地提供了可持续的能源供应，促进了当地经济的发展。当前，“一带一路”能源合作“朋友圈”持续扩大，能源合作伙伴关系成员国数量已达到 33 个，打造了亚太经合组织可持续能源中心、中国－东盟清洁能源合作中心等 6 个区域能源合作平台^[31]，促进相关国家和地区在能源领域的共同发展、共同繁荣。

（二）中国积极拥抱国际可持续贸易体系，参与和引领全球软性商品绿色价值链建设

中国在推动全球软性大宗商品供应链的绿色低碳转型方面拥有巨大潜力。作为世界货物贸易第一大国，中国处于全球软性商品价值链的核心。受经济实力提升和国内生产需求扩大等因素推动，中国对大豆、林产品、牛肉和棕榈油等软性大宗商品的进口量逐年增加。2023 年，中国全年大豆消费量占世界总产量的 1/3 左右，大豆进口量约占全球大豆进口总量的 64%。2019 年，中国成为仅次于印度的世界第二大棕榈油进口国、世界第三大棕榈油消费国。中国牛肉进口增长迅速，自 2018 年以来已成为进口数量超过美国、价值量仅次于美国的世界第二大牛肉进口国。中国也是世界上最大的林产品进口国，2022 年中国木材（包括原木和锯木）进口量约占全球木材进口总量的 40%^[32]。

中国积极参与加快软性大宗商品供应链绿色转型相关工作。在战略层面，2021 年 10 月，中国和欧盟举行第二次中欧环境与气候高层对话，并发布联合新闻公报，就加强在森林资源保护及可持续管理、可持续供应链、打击木材非法采伐及相关贸易领域的合作达成共识。中国于《联合国气候变化框架公约》第二十六次缔约方大会（COP26）上签署《关于森林和土地使用的格拉斯哥领导人宣言》，承诺到 2030 年停止并扭转全球森林丧失和土地退化。在 COP26 召开期间，中美双方联合发布《中美关于在 21 世纪 20 年代强化气候行动的格拉斯哥联合宣言》，也提出将通过有效执行各自关于禁止非法进口的法律，共同支持消除全球非法毁林^[33]。中国也在积极推动“一带一路”绿色供应链合作。2017 年，环境保护部、外交部、商务部和国家发展改革委联合发布了《关于推进绿色“一带一路”建设的指导意见》，强调要加强绿色供应链管理，促进绿色生产、采购和消费，加强绿色供应链的国际合作与协调。

中国企业积极参与价值链绿色化的国际合作。2018 年，中国食品土畜进出口商会（CFNA）参与发起成立中国可持续棕榈油联盟，为棕榈油供应链的利益相关方提供合作平台，推动可持续棕榈油的生产、贸易和消费。2021 年，中国肉类协会发布了《肉

类产业绿色贸易规范》，将“避免采购毁林高风险地区的产品”纳入规范；共有 408 家中国公司加入科学碳目标倡议（SBTi），致力于气候行动和减排，其中，379 家企业提交了气候目标，并表示将优先塑造绿色供应链，如对供应链进行碳盘查、采购经可持续认证的产品；174 家企业提交的气候目标已获得通过。中粮集团通过提供技术指导和科技支持，促进了泰国、柬埔寨、缅甸、老挝等共建“一带一路”国家的农业生产力和可持续发展，在提高合作国家农产品质量和产量的同时保护当地生态环境，实现了经济效益与环境保护的双赢。在第六届中国国际进口博览会期间，中粮国际与蒙牛旗下现代牧业就采购“零毁林”巴西大豆达成协议。自 2014 年进入巴西市场以来，中粮国际通过推动供应链上下游各方共同行动，在当地建立了以农产品可追溯性为核心的可持续大豆供应链。目前，中粮国际已实现巴西直接采购大豆的 100% 可追溯^[34]。大豆、牛肉、木材、棕榈油等行业的可持续供应链建设可以降低毁林和原生植被转化导致的碳排放风险。

（三）绿色低碳转型国际合作存在的问题

1. 贸易单边措施，关税和非关税壁垒为全球绿色低碳转型带来不确定性

自欧盟制定《碳边境调节机制》（CBAM）以来，贸易与气候议题越来越紧密地联系在一起。美国新任气候特使约翰·波德斯塔（John Podesta）的施政核心就是贸易，重点强调与盟国和伙伴国合作，减少对绿色产业链的依赖性。2024 年 5 月 14 日，白宫发表声明，宣布拜登政府将继续保留其前任特朗普政府实施的关税政策，并加征对其他中国商品的关税，涵盖钢铁和铝、半导体、电池、关键矿物、太阳能电池和起重机等商品。其中，对中国电动汽车征收的进口关税将由 25% 激增至 100%。美国《通胀削减法案》还规定，2024 年之后，使用中国电池组件制造的车辆将无法获得税收抵免，此后美国政府宣布给予电动车企业和电池制造商两年宽限期。此外，英国政府于 2023 年 12 月 18 日正式宣布，将从 2027 年起实施英国碳边境调节机制，日本、加拿大等国家也在开展 CBAM 相关研究和讨论，并可能在未来几年内推出相关政策。

研究表明，根据当前规则，CBAM 对欧盟贸易伙伴的影响在一定程度上取决于这些贸易伙伴对该机制的应对方式，总体而言，对中国出口产品的影响较小，钢铁和铝是主要受冲击部门。但与此同时也要认识到，气候贸易措施将本应由发达国家承担的消费排放责任转移到发展中国家，增加了发展中国家的减排负担，对发展中国家的出口、产业转型和社会福利造成负面影响。研究表明，CBAM 将恶化全球的收入分配，加剧发达国家和发展中国家之间的福利差距，“气候俱乐部”施加惩罚性关税本身对减排

意义不大，但会给非俱乐部成员国带来巨大的成本压力。CBAM 对低收入和中等收入国家的影响尤为严重，导致其贸易额与高收入经济体相比出现下降，这对受影响行业的就业保障构成严重挑战。此外，CBAM 可能会对世界贸易组织（WTO）和《联合国气候变化框架公约》等多边体系以及“共同但有区别的责任”原则等规则带来冲击。

非关税壁垒也在增加。对于锂离子电池和光伏产品，欧盟《电池和废电池条例》于 2023 年 8 月 17 日正式生效，该条例虽旨在建立可持续的电池管理模式，但事实上也提高了欧盟以外地区生产的电池产品以及新能源汽车进入欧盟市场的门槛。自美国所谓的“维吾尔强迫劳动预防法案”发布以来，美国海关已经扣留了多达 3 GW 的太阳能组件。

单边贸易措施（尤其是高额的关税和各种非关税壁垒）阻碍了技术和产品在全球范围内的流通和优化，对国际合作与信任构建造成了影响，产业技术脱钩断链将大幅提高全球气候治理的成本。为真正推动全球绿色低碳转型，国际社会需要更加公正和包容的多边贸易和环境政策，以确保所有国家都能在减碳的道路上共同前行。

2. 发展中国家财政空间紧张，在实现气候目标和可持续发展目标方面面临较高的转型成本

对于资金不足的发展中国家来说，应对气候变化常常与消除贫困等目标产生冲突。部分发展中国家还处于快速工业化、城市化阶段，能源需求量较大，过快推动能源转型可能会导致能源供应短缺和更高的转型成本。为了满足能源需求的增长，发展中国家不得不在经济发展和碳减排之间进行权衡。

发展中国家受财政收入停滞、借贷成本上升和货币贬值影响，偿债负担加重，投资可持续发展的能力也因此受限。由于主要发达国家中央银行实施货币紧缩产生重大的溢出效应，许多债务水平较高且以美元或欧元计价的发展中国家面临着借贷成本居高不下、进入国际资本市场受限和汇率贬值等问题。2022 年 3 月，美联储停止净资产购买后的 6 个月内，新兴市场经济体货币对美元集体贬值约 9%。自 2022 年第一季度以来的利率大幅上升以及流动性状况趋紧对财政平衡产生了不利影响，重新引发了世界各国对财政赤字和债务可持续性的担忧。对于许多发展中国家来说，日益紧缩的财政空间限制了其投资可持续发展和应对气候危机的能力。2022 年，50 多个发展中经济体用于支付利息的支出超过政府总收入的 10%，25 个国家超过 20%。从中期来看，发展中国家不仅增长前景低迷，还需要增加对教育、卫生和基础设施的投资，政府预算面临多重压力，加剧了财政脆弱性。

发展中国家获取足够的外部融资，以刺激投资和增长、应对气候变化相关风险并

加快实现可持续发展目标存在一定困难。自《巴黎协定》之后，全球经济能源转型资金的支出处于增长态势，但在发达国家和发展中国家之间存在显著差距。自2015年《巴黎协定》通过以来，可再生能源领域的国际投资增加了近两倍，但大部分集中在发达国家；发展中国家每年需要约1.7万亿美元的可再生能源投资，但在2022年仅吸引了5440亿美元的清洁能源外国直接投资。发展中国家可持续发展目标的年度资金缺口为4万亿美元，发达国家称向发展中国家承诺的每年提供1000亿美元资金支持的目标刚刚实现，但国际社会对气候资金定义等方面仍存争议，而发展中国家较高的风险评级又缺乏对国际私人投资的吸引力。在发达国家的资金流动和交易量因多重危机驱动（如俄乌冲突、高价食品和能源以及债务压力）减少的情况下，针对发展中国家气候转型投资的下行压力将继续存在^[35]。

3. 平衡全球绿色价值链的收益分配存在挑战

全球价值链向绿色化转型有望实现更广泛的环境效益和社会效益，但在国家之间和国家内部公平地实现经济收益分配仍存在挑战。发达国家由于较早布局绿色产业，凭借技术优势和资本力量，居于价值链中的较高位置，如技术标准制定、核心设备生产；发展中国家和最不发达国家则多局限于价值链的底端，如原材料提供和初级加工，难以获得相应的高附加值收益。从发展角度来看，发展中国家和最不发达国家在经济结构转型方面进展缓慢，在全球绿色价值链中处于较低位置^[36]。从生态角度来看，发展中国家，包括最不发达国家仍然是世界市场上大多数生态资源的净提供者，促成其他区域的消费与碳排放，始终位于碳密集型全球价值链底端^[37]。

在全球价值链的框架下，成本与收益的分配不均问题尤为凸显，在软性商品领域显得更为普遍。出口国如巴西和阿根廷，尽管提供了大量的大豆和牛肉，却面临生态破坏和资源枯竭的风险，收益相对较低；进口国方面，虽然可以通过全球贸易体系满足国内市场需求，但在全球价值链中往往处于成本高昂而收益微薄的不利位置，同时还需承担推动供应链绿色化的重大责任与压力。与之相反，跨国公司（如嘉吉和邦吉）通过控制贸易和加工环节，拥有利润分配和赋值能力，实现了高额利润。这些企业通过规模化运营与市场垄断地位，将基础原材料转化为高附加值产品（如精炼豆油、加工牛肉），从而在价值链中占据了大部分利润，进一步加剧了软性商品绿色价值链中成本与收益分配的不均衡。

为解决这一困境，各国亟须加强合作与对话，提升供应链的透明度，制定和执行旨在平衡各方利益的政策与市场机制，积极推动供应链的绿色转型。同时，跨国公司也应扮演关键角色，通过实施可持续采购政策、建立环境管理体系，确保供应链的透

明度与可追溯性，共同推动软性商品价值链的绿色重塑，以期实现更加公平、可持续的全球价值链体系。

新兴绿色产业有望成为发展中国家和最不发达国家在全球价值链中实现转型的重要机会。以新能源汽车产业链为例，相较于传统汽车，新能源汽车不再受限于发动机技术系统限制，所需零部件大幅减少，动力电池在生产过程中增加值占比较高。在动力电池以及新能源汽车生产领域，发展中经济体的国际市场占有率显著提高。2023年，中国新能源汽车出口量达120.3万辆，同比增长77.6%，增速超过传统燃油车；光伏组件产量多年居全球首位，多晶硅、硅片、电池片、组件等产量产能的全球占比均超80%^[38]，为发展中经济体提供了重要的发展经验。

五、气候变化中性别主流化的路径分析

（一）性别议题在应对气候变化和全球气候治理中的重要性

妇女和女童占世界人口的一半。性别平等是一项基本人权，也是充分发挥人类潜力、推动可持续发展并最终实现和平社会的重要前提。增强妇女权能对生产力提高和经济增长也有促进作用。

男女在传统社会经济结构中的不同作用和地位影响了他们获得相关的资源、权利与权力，包括获取土地资源、对清洁能源的投资以及适应气候变化的解决方案等，也影响他们参与和领导家庭与公共领域决策的能力与权力。因此，面对气候变化的影响，女性比男性更加脆弱。

由于社会文化规范的原因，女性往往承担更多照顾家庭的责任，气候变化可能使女性在维持家庭卫生、健康方面付出更多代价，加剧女性在资源获得方面的不平等。尤其是对于贫困女性群体而言，她们受到自然灾害、严重天气事件和气候变化的影响，更有可能陷入贫困，依赖自然资源维持生计，并承担使用和管理自然资源的责任，无法获得或控制资源以适应或减轻气候变化的影响。同时，女性由于承担了更多维持家庭生计的工作，对本地气候和环境条件有更多的认识和理解，可以为适应和减缓气候变化提供更加切实可行的方案。但是，由于在公共和决策论坛及治理结构中被边缘化，她们的独特观点往往得不到充分代表或有效反馈。因此，在气候变化工作中，也应充分考虑女性的参与和贡献，确保女性的视角得到表达和体现，实现气候行动和性别平等可持续发展目标的协同。

（二）全球气候治理中的性别议题不断凸显，需进一步推动多边合作，确保女性在气候议题上的平等权益

近年来，性别议题在《联合国气候变化框架公约》下更加突出。根据联合国的报告，各国对性别与气候变化之间联系的认识有所提高。100多个国家任命了国家性别和气候变化联络人；截至2022年底，“97%的国家适应计划（NAPs）和77%的适应信息通报明确提及性别问题”^[39]；根据2023年发布的最新国家自主贡献综合报告，有79%的缔约方在其国家自主贡献中提供了性别相关信息，但表示将在气候行动中考虑性别因素的缔约方只有33%^[42]。

推动气候治理多边框架中的性别平等至关重要，主要有以下几种方式。

一是在联合国气候变化大会等国际会议中，确保女性代表的比例，提高她们在决策过程中的发言权和影响力。COP28更新的性别结构报告^[40]指出，2023年，女性成员所占比例各异，从技术执行委员会的14%到适应委员会的75%不等。2023年，有五个组成机构报告称已实现性别平衡目标。2022年，女性占组成机构所有职位的比例为39%，2023年这一比例为38%。

二是可以通过多边国际组织提供的融资支持和能力建设，推动发展中国家和贫困地区将性别平等与气候变化和能源转型等议题协同考量，帮助发展中国家实现环境与社会公平的长效发展。例如，亚洲基础设施投资银行承诺向东南亚的中小企业提供高达1000万美元的融资，用于投资处于成长阶段的企业以弥合性别差距，促进该地区的性别平等。联合国环境规划署（UNEP）和联合国妇女署（UN Women）为推动亚太地区气候变化和防御灾害风险中的性别平等，于2018年联合提出和实施“赋权：女性促进气候适应型社会计划”（EmPower: Women for Climate-Resilient Societies），已在孟加拉国、柬埔寨、越南、菲律宾、印度尼西亚等国开展了卓有成效的务实工作^[41]。该项目为弱势群体创造了新的生计机会，利用可再生能源解决方案减少了排放，推动了政府间承诺在整个地区采取性别包容性政策和行动，并将下一阶段进一步扩大该项目^[42]。

三是在多边机制和国际合作中，可以通过建立气候领域的性别基金，专门支持性别平等与应对气候变化，提供资金支持妇女参与气候行动和获得相关技术培训；或者在已有的气候基金中增加对性别平等项目的资助，确保妇女在应对气候变化中获得同样的权益和权利。

四是多边平台可以推动跨国和跨区域的技术合作，帮助发展中国家提高女性在新能源和绿色技术领域的能力和技能，或者设立国际培训项目，提升女性在气候变化相关领域的技术水平和管理能力。

（三）推动国内公正转型，增加女性在转型中的绿色就业机会

近年来，中国在促进性别平等方面取得了显著进展。根据中国国家统计局的数据，2020 年妇女的劳动参与率为 61.4%，远高于 47% 的全球平均水平。中国政府已在政策框架中强调了性别平等的重要性，包括“十四五”规划强调了性别平等以及“推动妇女参与经济社会发展”的必要性^[42]。此外，《中国妇女发展纲要（2021—2030 年）》也提出为妇女提供多样化的职业培训项目，特别是在高新技术产业、战略性新兴产业为女性提供更多的职业发展机会^[43]。然而，在重大的经济转型进程中，女性往往比男性面临更多的挑战。在“双碳”目标的引领下，绿色经济转型带来了新的挑战和机遇，根据国际能源署的预测，绿色转型会为中国的能源行业额外创造 360 万个就业岗位^[44]，需要出台有针对性的政策，保障和促进妇女的就业和发展权益。

当前，女性在更容易受到绿色转型影响的行业中的比例较高。在煤炭行业，在整体就业规模下降的背景下，女性就业比例从 2003 年的 21.9% 降至 2020 年的 13.3%。因此，当煤炭行业面临转型、规模萎缩时，女性就业者更容易首先受到影响，转型的风险更高^[45]。有研究指出，中国应将应对气候变化和社会经济政策有机结合，将支持妇女发展的包容性气候行动纳入转型的政策^[46]。能源转型可以在创造新就业机会的同时，帮助受影响的工人和社区实现“公正转型”。通过利用这些政策领域之间的协同作用，中国在实现气候目标的同时，可以促进经济发展、可持续增长和妇女发展。具体建议如下。

一是提供再培训和技能提升机会，帮助女性劳动者适应新的绿色技术和工作要求。这包括：设立专门的绿色技术培训项目，帮助女性劳动者掌握最新的绿色技术；为传统行业女性工人提供职业转换培训，涵盖可再生能源、绿色制造、环境保护等新兴行业的技能；开发和推广在线培训平台，提供灵活的学习模式，确保无法全职参加培训的女性有机会完成课程。

二是加强社会保障，为受到转型影响的女性劳动者提供更加完善的社会保障，确保她们在过渡期间的生活稳定。

三是建立相应政策机制，鼓励女性参与新兴绿色行业，包括通过教育和职业指导，建立公平的人才吸纳机制，鼓励和支持女性进入技术密集型和高增长的绿色行业。

（四）推动发展中国家绿色公正转型中的性别平等，发挥中国在全球气候治理中的引领作用

增强发展中国家和贫困地区女性在绿色低碳领域的适应性和影响力，有助于推动

落实全球气候转型目标并兼顾性别平等与公平正义。目前,发展中国家女性受制于相对较低的教育水平和社会经济地位等因素,在本地应对气候变化行动中的参与度仍然较低。联合国的数据显示,当极端天气灾害发生时,妇女和儿童死亡的可能性是男性的14倍,主要原因是其获取信息的途径、行动能力、决策能力以及资源均十分有限,且女性基本上被排除在制定应对灾害风险和复原力的政策、战略和方案之外^[47]。

近年来,随着国际气候公约和国际援助方案逐渐将性别平等纳入其气候合作机制的考量范畴,发展中国家开始关注性别平等在能源和气候变化中的重要性,以支持其在能源替代、气候投融资、绿色低碳供应链等领域的公正转型,具体实践与进展如下。

一是发展中国家陆续制定并出台有关性别平等的政策和法律法规,为本国气候变化行动兼顾性别平等创造良好的政策环境。例如,越南性别平等指数近年来明显提高,得益于越南制定“国家性别平等战略”并配套构建了日渐完善的有关性别平等的法律体系。

二是通过当地政府和民间机构为发展中国家和贫困地区的女性提供绿色产业相关的教育与培训资源,并为女性创业者提供资金、技术支持和市场准入机会。国际可再生能源署的数据显示,尽管女性占全球劳动力的48%,但女性在传统能源部门和可再生能源部门中的就业比例仅分别为22%和32%^[48],发展中国家比例更低。在极不发达地区或者农村地区,面临普遍的能源可及性不足,而离网可再生能源解决方案因其分布式特性,能够为当地家庭妇女提供参与机会。例如,非营利性组织“太阳能姐妹”(Solar Sister)为撒哈拉以南非洲能源服务不足的社区提供离网电力和清洁烹饪方案,并为当地女性提供就业机会。该项目已招募超过10 000名当地女性企业家,所推动的社区清洁能源产品惠及超过430万人,为离网社区创造了超过3亿美元的经济效益,并减少了超过143.3万t的二氧化碳当量排放^[49]。另外,印度尼西亚于2023年新设本土的努桑塔拉基金(Nusantara Fund),该基金直接向本地社区提供气候资金,并在践行中支持性别平等,为本地农村妇女提供更多培训机会^[50]。

国家间的跨境投资和援助应统筹考虑对接收国经济、社会和环境诸多方面产生的综合影响,应考虑当地女性群体的脆弱性,避免因投资和援助项目造成或强化当地性别不平等现象。以中国海外投资和援助项目(尤其是绿色海外投资和援助项目)为例,中国在海外绿色投资和援助中应考虑性别因素、推动性别平等,从而避免项目的社会影响风险,促进接收国的社会发展,有助于获得当地社会认可,提高中国作为负责任大国的国际声誉。具体建议如下。

一是要完善海外投资与援助的标准与指导意见,将性别平等纳入考量范围。在环境保护方面,生态环境部、商务部于2022年联合印发《对外投资合作建设项目生态环

境保护指南》^[51]，为中国企业境外投资、开展环境影响评估与环境管理提供指导和规范。未来，可以考虑出台有关海外投资社会影响的指导意见，推动中资在进行海外绿色投资和援助时，对项目的社会影响进行全面评估，包括开展性别主流化分析。

二是考虑以境外投资自律公约的方式，将性别问题纳入海外投资项目信息披露维度中。中国企业在进行海外投资和援助时，应注意向当地社区、政府、公众和其他利益相关者公开项目的有关信息，包括项目的目标、计划，以及可能的性别、社会影响，并提升项目的可持续性和社会影响力。可考虑由相关部门推出《中国企业境外投资自律公约》，参与企业自愿遵守公约，按照公约履行社会责任和被监督义务，并将性别问题纳入该公约的行为准则和原则，提升中国企业的形象和竞争力。

三是要结合当地产业、文化特色，为女性提供培训和技术支持。在向当地提供培训和技术支持时，要确保女性的参与比例。将性别平等与项目可持续性 & 本地化相结合，推动海外投资项目释放长期的社会效益。

四是要加强国际合作，促进知识分享和性别议题主流化，带动更多利益相关方参与性别平等议题。2023 年在阿联酋迪拜举行的 COP28 专门设立了“性别平等”主题日，聚焦气候问题下女性的脆弱与力量，突出强调性别平等在气候行动中的重要意义。未来，中国可继续借助国际合作机制与平台，就性别议题与当地政府、国际组织、非政府组织和其他利益相关者建立合作伙伴关系，确保项目的社会影响和可持续性得到充分考虑，为女性和弱势群体提供更好的支持。

六、政策建议

“十五五”时期是中国“双碳”进程中的关键阶段，碳排放将在此期间达峰，此后进入下降通道。碳排放趋势的转折性变化，使碳排放管理和政策需要进一步完善。与此同时，当前地缘政治、安全泛化以及贸易问题不断介入绿色转型过程，气候问题愈加复杂化。因此，相关部门需要进行更加有创意的思考并形成解决方案，将国内的产业政策、贸易措施、投资措施结合在一起，促进形成新的市场均衡，以合作实现气候目标、经济繁荣和安全问题的协同推进。

（一）以更新国家自主贡献为契机发挥气候领导力，并将雄心目标与务实行动有机结合

日益廉价可靠的非化石能源发电的增长可以满足新增用电需求，并可逐步替代现

有的化石能源存量。非化石能源具备更大减排潜力和更低减排成本。因此，大力快速发展非化石能源发电将成为决定中国二氧化碳总体排放轨迹的重要因素。过去 10 多年，可再生能源和储能技术、产业的发展为我们提供了现实的可能性，并将进一步支撑 2035 年远景目标的实现。

坚守“3060”目标底线不动摇，坚持“共同但有区别的责任”原则和“各自能力”原则，设定符合中国国情的国家自主贡献更新目标。一是以碳排放峰值为基准，研究提出 2035 年二氧化碳排放的绝对减排目标，具体目标形式可以是一个下降比例或区间。二是应在国家自主贡献更新中体现全温室气体减排努力，建议将甲烷量化减排目标和行动纳入新一轮国家自主贡献更新目标中，并纳入其他温室气体的减排行动。三是提出到 2035 年的非水可再生能源装机容量目标。加强可再生能源海外投资，引领全球新能源产业发展，为发展中国家能源低碳转型提供支持，助力“到 2030 年全球可再生能源装机容量增至三倍”目标的实现。四是研究提出 2035 年储能或新型储能的装机容量目标，以保持储能产业发展的领先优势，助力中国构建以可再生能源为主体的新型能源体系，确保能源供应的安全性、稳定性和可持续性。五是研究提出 2035 年充换电、加氢等基础设施建设目标，为新能源汽车成为新销售车辆的主流提供保障。六是兼顾雄心目标与务实行动，除具体目标外，在国家自主贡献更新中要着重强调中国将采取务实行动推动国内低碳转型，与发展中国家开展务实合作，促进全球气候治理行稳致远。

（二）通过绿色产业分类、市场机制、补贴等多种组合措施，因地制宜推动风电光伏消纳，支持更多低碳技术创新和产业化

一是通过研发、投资、商业模式和体制机制创新，打通需求侧“堵点”，解决大基地风光的就地消纳和长输通道建设约束问题，支持分布式可再生能源的配网、微网重塑，以及通过在农村安装屋顶光伏、储能、热泵等设施设备，推动农村建筑电气化、农机具电气化和电动车下乡，开发创造新的需求，为产业链上游较为充裕的风光装备产能扩大市场需求空间，为经济持续增长提供新的动能。二是开展绿色产业分类。依据技术成熟度、技术复杂性、技术规模等识别跨越多部门的关键共性技术，特别关注居于供应链、价值链核心地位的新兴低碳技术并提供优先支持。建立绿色产业分类的动态调整机制。鼓励具有比较优势、符合绿色产业分类条件的地区创建新兴绿色产业集群，并推广最佳实践。同时，关注小型、分散、定制化的低碳技术的商业化，为创新型小企业提供支持措施。三是针对新兴低碳技术部署新一轮产业政策。着眼构建新的低碳竞争优势，对能效提升技术、工业热泵技术和绿氢技术等兼具巨大减排潜力、

产业带动能力并且未完全商业化的技术，提供税收减免、补贴、优惠贷款、拍卖等措施组合，支持其实现产业化、规模化。并建立技术评定标准，定期评估政策效果，调整政策力度。提高低碳技术研发预算。构建行业、学术界与政府机构间的产业政策对话平台与交流机制，为先进技术选择、支持力度和政策退出时间释放信号。推动公正转型，增加女性在转型中的绿色就业机会。四是注重新一轮产业政策与现有政策的衔接，将碳排放交易收入，以及对高耗能产业实行的能耗、碳排放等控制政策的收入，以竞争性补贴的形式转化为对新兴绿色低碳产业的支持。五是將省（市）层面的碳排放指标考核与转移支付相结合。

（三）推动碳排放“双控”制度落实，不断完善“双碳”制度体系建设

一是与国家自主贡献更新有机结合，在碳排放总量框架下设计制度完善路线图。“十五五”期间在全国范围内推动落实碳排放“双控”制度，以碳强度为约束性指标，碳排放总量为预期性指标，并将目标分解至各省级行政区，设定各省级行政区碳排放强度基本目标和激励目标，对于达成碳排放强度激励目标的省级行政区，免于碳排放总量考核。2030年后，建立以碳排放总量控制为核心的“双碳”制度体系。二是完善“双碳”法律法规体系。一方面，继续研究推动应对气候变化专项立法进程；另一方面，生态环境法典、能源法、可再生能源法、节能法、电力法等“双碳”相关法律法规的制（修）订，应有助于推动系统转型，发挥“双碳”法律体系效应。三是进一步改革碳市场，推动碳排放总量与碳市场相结合。近期，研究建立电力行业碳市场总量控制目标和十年总量递减预期，逐步扩大碳市场覆盖范围，按照“先易后难、减排效果好、国际贸易影响大、低碳技术选择多”的原则，分阶段有序纳入重点行业。加快建设全国统一大市场，加强绿电、绿证、碳交易等市场化机制的政策协同，避免环境权益在不同的市场被重复计算和交易，充分发挥可再生能源的环境溢价，助力中国“双碳”目标的实现。四是将研究和应对CBAM与国内碳市场发展协同起来，评估CBAM实施对重点行业的影响，推动国内碳市场规则与公平合理的国际规则渐进接轨，探索与国际碳市场的跨境链接机制，在《巴黎协定》第六条框架下与共建“一带一路”国家合作探索建立新的国际碳信用机制。

（四）推动“新三样”产业链、供应链的本地化和国际化相结合，积极倡导和推动全球贸易投资自由化、便利化

一是建议设立跨部门的工作组，研究推动气候与贸易政策的协调。二是平衡国际

国内两个市场，畅通两个大循环。打通国内需求侧堵点，以供求一体化推进风光消纳，进而为产业链上游较充裕的新能源装备产能扩大市场需求空间。在产业链上游重在重塑产业组织，强化准入门槛，保持适度竞争水平和合理定价水平，提高产业效率，鼓励技术创新，保证产业健康有序发展。三是推动新兴低碳产业链、供应链的国际化，积极参与全球产业链布局，保障全球绿色低碳供应链的安全与可持续。坚持从东道国需求入手，坚持互惠互利原则，向发展中国家转移低碳产能和技术，并注重产能落地过程中的全产业链低碳可持续发展，支持发展中国家清洁增长，加速全球碳中和进程。在助力发展中国家绿色转型的过程中，注重推动性别平等，发挥中国在全球气候治理中的引领作用。四是推动低碳产品和技术的自由贸易。利用现有多边机制，建立围绕低碳产业投资和贸易的交流平台，加强对话，寻找各方可接受的解决方案。积极参与或发起多双边投资贸易保护协定谈判，推动 WTO《环境产品协定》谈判重启和 APEC 环境产品扩围，发起低碳产品贸易自由化和零关税联盟，促进国际贸易合作和人才技术交流，加速低碳技术全球传播和应用。

（五）积极参与和推动国际金融架构改革，将气候要素纳入出口信贷政策和海外投融资决策

一是坚持气候资金议题的谈判应在《联合国气候变化框架公约》及其《巴黎协定》框架下开展，明确发达国家为出资责任主体，推动 NCQG 谈判取得务实成果。二是积极参与国际金融架构改革的讨论和实践，与国际社会一道明确气候资金的定义，进一步推动多边开发机构加大气候融资支持，并注重与减贫、基础设施建设等领域的有机结合。三是与国际社会合力探索援助、慈善、商业化等多元资金的治理模式，强化资金使用能力，为不同的能源转型场景和气候解决方案提供可落地、可持续的商业模式。四是将气候要素纳入出口信贷政策和海外投融资决策，同时加强海外项目的气候信息披露要求。五是提升企业气候风险评估能力，对海外项目资产负债表进行气候压力测试，将气候变化风险纳入信用评级和保险设计。六是加大气候变化南南合作的资金支持力度和透明度。鼓励银行、各类投资机构进一步增加对发展中国家气候变化与新能源发展等领域的支持。打通部门壁垒，做好气候变化南南合作项目及资金信息的统计和披露工作。

参考文献

- [1] HELVESTON J P, HE G, DAVIDSON M R. Quantifying the cost savings of global solar photovoltaic supply chains[J]. Nature, 2022, 612(7938): 83-87.
- [2] AUSTRALIAN GOVERNMENT. World—Record elections scheduled in 2024 increase policy uncertainty[EB/OL]. [2024-08-15]. <https://www.exportfinance.gov.au/resources/world-risk-developments/2023/november/world-record-elections-scheduled-in-2024-increase-policy-uncertainty/>.
- [3] BLOOMBERG NEF. Global Clean Energy Investment Jumps 17%, Hits \$1.8 Trillion in 2023[EB/OL]. (2024-01-30) [2024-08-15]. <https://about.bnef.com/blog/global-clean-energy-investment-jumps-17-hits-1-8-trillion-in-2023-according-to-bloombergnef-report/>.
- [4] 国家统计局. 中华人民共和国 2023 年国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL]. (2024-02-29) [2024-08-15]. https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202402/content_6934935.htm.
- [5] 人民日报. 落实“双碳”行动建设美丽中国 [EB/OL]. (2024-04-28) [2024-08-15]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202404/content_6948005.htm.
- [6] 中国产业经济信息网. 我国风电装备全球竞争优势明显 [EB/OL]. (2024-04-20) [2024-08-15]. <http://www.cinic.org.cn/xw/schj/1533061.html>.
- [7] 国家发展改革委. 立足比较优势 造福世界人民: 中国新能源汽车发展述评 [EB/OL]. (2024-05-01) [2024-08-15]. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/202405/t20240521_1386406.html.
- [8] 世界经济论坛. 中国绿氢产业蓬勃发展 推动全球绿色低碳转型 [EB/OL]. (2023-06-27) [2024-08-15]. <https://cn.weforum.org/agenda/2023/06/blooming-green-hydrogen-industry-in-china/>.
- [9] 中国能源研究院. 年度重磅 | 能源发展回顾与展望 (2023): 能源篇 [EB/OL]. (2024-01-08) [2024-08-15]. https://cpnn.com.cn/news/baogao2023/202401/t20240108_1667140.html.
- [10] 国家能源局. 边广琦: 截至 2023 年底, 全国已建成投运新型储能项目累计装机规模达 3 139 万千瓦 /6 687 万千瓦时 [EB/OL]. (2024-01-25) [2024-08-15]. https://www.nea.gov.cn/2024-01/25/c_1310761952.htm.
- [11] 人民日报. 人民日报 | 更高水平更高质量做好节能降碳工作 [EB/OL]. (2024-05-14) [2024-08-15]. https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/wld/zcx/lddt/202405/t20240514_1386175.html.
- [12] 中国建设报. 坚持以人民为中心的发展思想, 推动绿色建筑高质量发展 [EB/OL]. (2024-05-22) [2024-08-15]. https://www.mohurd.gov.cn/xinwen/jsyw/202405/20240522_778125.html.
- [13] 方海, 谢宇航, 沈孟加. 着力推动交通运输结构向绿色转型 [EB/OL]. (2024-06-24) [2024-08-15]. https://www.cntheory.com/lily/202406/t20240624_65430.html.
- [14] 人民日报. 截至 2023 年底我国累计建成充电基础设施 859.6 万台 [EB/OL]. (2024-03-18) [2024-08-15]. https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202403/content_6939863.htm.
- [15] 国家发展改革委. 国家发展改革委有关负责同志就《重点用能产品设备能效先进水平、节能水平和准入水平(2024 年版)》答记者问 [EB/OL]. (2024-02-09) [2024-08-15]. https://www.gov.cn/zhengce/202402/content_6951571.htm.

- [16] 中国政府网. 中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见 [EB/OL]. (2023-12-27) [2024-08-15]. https://www.gov.cn/gongbao/2024/issue_11126/202401/content_6928805.html.
- [17] 中国政府网. 政府工作报告：2024 年 3 月 5 日在第十四届全国人民代表大会第二次会议上 [EB/OL]. (2024-03-12) [2024-08-15]. https://www.gov.cn/gongbao/2024/issue_11246/202403/content_6941846.html.
- [18] 广东省交通运输厅. 国新办举行《碳排放权交易管理暂行条例》国务院政策例行吹风会 [EB/OL]. (2024-02-27) [2024-08-15]. https://td.gd.gov.cn/gkmlpt/content/4/4381/post_4381748.html#3962.
- [19] 生态环境部办公厅. 关于公开征求《企业温室气体排放核算与报告指南 铝冶炼行业》《企业温室气体排放核算与报告指南 铝冶炼行业》意见的通知 [EB/OL]. (2024-03-15) [2024-08-15]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202403/t20240315_1068508.html.
- [20] 生态环境部办公厅. 关于公开征求《企业温室气体排放核算与报告指南 水泥熟料生产》《企业温室气体排放核算与报告指南 水泥熟料生产》意见的通知 [EB/OL]. (2024-04-03) [2024-08-15]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202404/t20240403_1069931.html.
- [21] 国务院. 碳排放权交易管理暂行条例 [EB/OL]. (2024-02-04) [2024-08-15]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202402/content_6930138.htm.
- [22] 傅莎, 梅程程, 陈灵艳, 等. 《甲烷排放控制行动方案》发布, 中国开启甲烷减排新征程 [EB/OL]. (2023-12-26) [2024-08-15]. <https://www.efchina.org/Blog-zh/blog-20231226-6-zh>.
- [23] 21 世纪经济报道. 碳讯周报 (2023 年 5 月 30 日—6 月 3 日) | 解振华: 大力推动绿色低碳科技进展; 李高: 争取今年内重启 CCER; 2022 年我国万元 GDP 碳排放下降 0.8% [EB/OL]. (2023-06-30) [2024-08-15]. https://www.eco.gov.cn/news_info/65055.html.
- [24] OUR WORLD IN DATA. Energy use per person [EB/OL]. [2024-08-15]. <https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-energy-use?tab=chart>.
- [25] IEA. Executive summary—Renewables 2023—Analysis [EB/OL]. (2024-01-11) [2025-07-29]. <https://www.iea.org/reports/renewables-2023/executive-summary>.
- [26] 经济日报. 为全球能源转型注入强劲动力 [EB/OL]. (2024-02-17) [2024-08-15]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202402/content_6931661.htm.
- [27] IRENA. Tracking COP28 outcomes: Tripling renewable power capacity by 2030 [R/OL]. (2024-03-18) [2024-08-15]. <https://www.irena.org/Publications/2024/Mar/Tracking-COP28-outcomes-Tripling-renewable-power-capacity-by-2030>.
- [28] 袁全红. “一带一路”给中国光伏产业带来的机遇与挑战 [J]. Solar Energy, 2020(8): 10-13.
- [29] 苗中泉, 营泳仿. 全球能源 2024 年发展趋势 [N]. 中国电力报. 2024-01-26.
- [30] 中国机电产品进出口商会. 2023 年中国企业境外电力项目签约排行榜 [EB/OL]. (2024-03-01) [2024-08-15]. <https://www.cccme.org.cn/news/details.aspx?id=E21C5593F06366730DFAFF230C8B53FC&classid=73DE9790C2E56969&xgid=F868932F64EB7AAE>.
- [31] 刘永红. 清研智谈 | “一带一路”之下绿色能源强劲发展 [EB/OL]. (2023-10-27) [2024-08-16]. <https://www.163.com/dy/article/II399OJT0518TPIG.html>.

- [32] 联合国粮食及农业组织. 粮农组织统计数据库 (FAOSTAT)[DS/OL]. [2024-08-16]. <https://www.fao.org/faostat/zh/#home>.
- [33] 邓茗文. 守护全球森林的共同未来 | 世界经济论坛联合我刊发布最新白皮书 [EB/OL]. (2022-12-22) [2024-08-15]. <https://www.sdg-china.net/NewsList/info.aspx?itemid=68273>.
- [34] 中粮集团有限公司. 中粮集团成功交付国内首单“零毁林和零植被破坏”巴西大豆 [EB/OL]. (2024-05-31) [2024-08-15]. <https://www.cofco.com/cn/IndexSecond/2024/0531/54241.html>.
- [35] 联合国. 贸发会议: 发展中国家需紧急支持, 为清洁能源转型吸引大量投资 [EB/OL]. (2023-07-05) [2024-08-15]. <https://news.un.org/zh/story/2023/07/1119412>.
- [36] BANK A D. Global Value Chain Development Report 2023: Resilient and Sustainable GVCs in Turbulent Times[EB/OL]. (2023-11-16) [2024-08-16]. <https://www.adb.org/publications/global-value-chain-development-report-2023>.
- [37] 联合国贸易和发展会议. 2023 年最不发达国家报告: 可抵御危机的发展融资概述 [R/OL]. (2023-11-07) [2024-08-16]. https://unctad.org/system/files/official-document/ldc2023overview_ch.pdf.
- [38] 经济日报. 合力推动全球价值链健康发展理论 [EB/OL]. (2024-03-08) [2024-08-15]. <http://theory.people.com.cn/n1/2024/0308/c40531-40191539.html>.
- [39] 《联合国气候变化框架公约》秘书处. 缔约方将在今年决定联合国气候变化进程中性别议程的未来 [EB/OL]. (2024-01-31) [2024-08-15]. https://unfccc.int/zh/news/diyuefangjiangzaijin_ni_anjuedinglianheguoqihoubianhuajinchengzhongxingbieyichengdeweilai.
- [40] 《联合国气候变化框架公约》秘书处. 缔约方会议第二十八届会议性别结构秘书处的报告 [R/OL]. (2023-12-05) [2024-08-16]. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cp2023_04C.pdf.
- [41] UN WOMEN. EmPower: Women for Climate-Resilient Societies[EB/OL]. [2024-08-16]. <https://asiapacific.unwomen.org/en/focus-areas/humanitarian-action-and-disaster-risk-reduction/gende>.
- [42] 新华社. 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 [EB/OL]. (2021-03-13) [2024-08-15]. https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm.
- [43] 国务院. 国务院关于印发中国妇女发展纲要和中国儿童发展纲要的通知 [EB/OL]. (2021-09-27) [2024-08-15]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2021-09/27/content_5639412.htm.
- [44] IEA. An energy sector roadmap to carbon neutrality in China[EB/OL]. (2021-09-29) [2024-08-15]. <https://www.iea.org/reports/an-energy-sector-roadmap-to-carbon-neutrality-in-china>.
- [45] 北京大学能源研究院. 走向公正转型的未来: 中国绿色转型对就业的影响 [R/OL]. (2023-06-29) [2024-08-16]. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2023-08/paiban9gao0807_cn_zou_xianggongzhengzhuanxingdeweilaizhongguolusezhuanxingduiuiyuedeyingxiang.pdf.
- [46] JEFFS N. Climate action in China[R/OL]. (2023-03-06) [2024-08-16]. <https://chathamhouse.soutron.net/Portal/Public/en-GB/RecordView/Index/202852>.
- [47] 联合国. 为什么妇女是气候行动的关键 [EB/OL]. [2024-08-15]. <https://www.un.org/zh/climate-change/science/climate-issues/women>.

- [48] AMIN A Z. Renewable energy: A gender perspective[M/OL]. [2024-08-16]. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/IRENA_Gender_perspective_2019.pdf.
- [49] 妮哈·米斯拉. “人人享有可持续能源”：增强妇女权能[EB/OL]. (2015-11-23) [2024-08-15]. <https://www.un.org/hi/node/20924>.
- [50] 费德利斯·萨特里亚斯蒂. 印尼新设的气候基金，正在直接资助土著社区[EB/OL]. (2023-06-30) [2024-08-15]. <https://dialogue.earth/zh/3/106256/>.
- [51] 生态环境部办公厅, 商务部办公厅. 关于印发《对外投资合作建设项目生态环境保护指南》的通知[EB/OL]. (2022-01-06) [2024-08-15]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk05/202201/t20220110_966571.html.

第二章 碳中和愿景下可持续海洋治理¹

一、引言

碳中和愿景下可持续海洋治理专题政策研究（海洋 SPS）旨在研究并提出有助于加速蓝色经济的治理体系、蓝色金融体系和绿色技术，同时以实现碳中和目标为契机，确保海洋经济全面、公平地向可持续蓝色经济（Sustainable Blue Economy, SBE）转型。此外，我们的目标是研究海洋产业之间如何协同以促进可持续蓝色经济的发展，并推动落实面向碳中和的海洋解决方案。

海洋治理专题政策研究将在 5 年研究期内围绕总体目标，针对 7 个特定主题（包括 4 个行业主题）进行研究，分别包括海洋经济与蓝色金融*、海洋碳中和解决方案、基于科学和基于社会公平的生态系统修复、产业设计和转型（海洋能源*、海底采矿*、深海养殖*、海洋旅游）。其中标有星号的主题表示已启动的研究，是构成本章的基础。4 个主题已各自形成一份研究报告，本章概述了与这 4 个主题有关的挑战、机遇和潜在的政策建议方向，支持性细节和背景资料分别在主题报告中呈现。

在这些主题研究中，我们将特别关注海洋生物多样性，如遵循《生物多样性公约》第十五次缔约方大会达成的到 2030 年保护 30% 陆地和海洋的协议，以及保护和可持续利用国家管辖范围以外地区的海洋生物多样性，以促进对海洋及其生物多样性的保护及对海洋资源和生态系统服务的公平共享。

二、问题的提出

（一）全球背景

海洋的空间和资源正不断被人类探索和发掘，其所产生的经济价值也在不断扩大

¹ 本章内容摘编自 2023—2024 年国合会“碳中和愿景下可持续海洋治理”专题政策研究项目主要研究成果。

与增长。与海洋和海岸带相关的既有和新兴经济活动,即所谓的海洋经济或蓝色经济,涵盖了广泛的相互关联的传统与新兴产业。全球海洋经济目前的估值为每年 2.5 万亿美元^[1], 占全球 GDP 的 3.3%^[2], 相当于世界第七大经济体的规模。根据经济合作与发展组织(OECD)的预测,2010—2030 年,海洋产业的经济价值将翻一番;到 2030 年,蓝色经济在增加值和就业方面的增长将很可能超越全球经济的整体增长^[3]。未来的海洋经济将在创新、就业和经济增长方面大有可为。近年来,蓝色经济在政治话语中的传播越来越受到关注,但对于蓝色经济仍然没有标准化的定义^[4]。

此外,除了提供经济价值,在缓解气候变化方面,海洋还提供了一系列潜在的解决方案,助力人类实现碳中和目标。这些方案内涵丰富,至少包括:培育高效的碳汇生态系统(“蓝色森林”或“蓝碳”),开发利用海洋能源,最大限度地减少航运等涉海活动的碳足迹,保持并且增强海底储碳的能力[碳捕集与封存(CCS)],以及调整粮食政策和渔业管理以体现渔业和水产养殖产品的应有价值,将其作为低碳海洋蛋白质和微量营养素的主要来源。

社会是构成一个地区或国家的个人、社区和群体的集合。它包含了不同的利益相关方,包括工人、雇主、政策制定者、边缘化人群、妇女和其他弱势群体、民间社会组织 and 子孙后代等。他们在海洋的福祉和与海洋相关的机会方面都有不同的利益。所有这些群体的不同需求、权利和贡献都是海洋综合管理的重要方面,必须加以考虑。

健康的海洋环境是发挥海洋生态服务功能的先决条件,有必要通过海洋综合管理来实现环境和社会之间的平衡,以及短期经济收益和生态系统服务长期繁荣之间的平衡。因此,必须以全面和可持续的方式构建未来的海洋治理框架。实施谨慎、全面和战略性的海洋综合管理,可以使海洋在减缓当前全球气候变化、生物多样性丧失和污染等三重危机方面发挥更加重要的作用。

(二) 国内背景

海洋提供了不可替代的自然资产、商品和服务,海洋经济为中国的长期繁荣作出了重要的贡献。从海洋空间资源看,中国领海辽阔,大陆海岸线长约 1.8 万 km,天然深水岸线长 400 多 km。有 60 多个深水港、3.8 万 km² 的潮间带和 7 300 多个 500 m² 以上的岛屿。中国有记录的海洋物种有 2 万多种,其中包括 3 000 多种鱼类。中国拥有红树林、盐沼、海草床、珊瑚礁、巨藻林和牡蛎床等多种海洋生态系统,它们在支持粮食安全、提升气候适应能力和支撑旅游业等方面发挥着重要作用。同时,这种多样的海洋生态系统支持着中国在总体规模上领先世界的海产品产业,包括野生捕捞渔

业和水产养殖业。海岸线的魅力也支撑了不断发展的滨海旅游业。中国绵长的海岸线及其优良条件有利于发展海洋可再生能源产业。海洋可再生能源是中国增长最快的海洋产业，目前拥有全球近 40% 的海上风电装机容量，因此中国的海洋可再生能源也是世界上最大的海洋产业。此外，基于可持续的管理和运行，蓝色经济或将成为最具开发价值和发展潜力的产业，包括替代能源和生物活性物质开发等。

中国的滨海旅游、海洋运输、海洋渔业、海洋生物医药等产业的规模不断扩大，已成为国民经济的重要组成部分。中国海洋经济统计公报（2021 年、2022 年）显示，中国海洋产业 2021 年的生产总值约为 3.8 万亿元（0.54 万亿美元），2022 年约为 3.9 万亿元（0.56 万亿美元），约占中国国内生产总值（GDP）的 3%。此外，根据《振兴中国海洋经济：赋能可持续发展》报告，中国的海洋资产价值约为 54 万亿元（7.7 万亿美元）。

中国 50% 以上的大城市、40% 以上的人口和 60% 以上的 GDP 集中在沿海城市。沿海（特大）城市能够并且应该成为发展蓝色经济和实现碳中和目标之间协同增效的引擎。随着世界范围内海洋产业的蓬勃发展，中国的沿海地区正在建设越来越多的海洋产业园区。海洋产业园区可以通过整合和协同海洋相关产业，成为中国海洋经济（海洋强省、海洋强市、海洋之都）发展规划的重要组成部分。

经过几十年的发展和产业的不断调整，目前中国海洋经济总体趋稳。然而，人们还没有充分认识到开发和利用海洋给海洋生态系统造成的巨大压力。气候变化、生物多样性丧失、污染等问题都直接或间接地威胁着海洋经济发展。

作为海洋大国和世界第二大经济体，中国正在积极建设“海洋强国”。在中国发展的新时代，海洋健康和海洋经济可持续发展被提升至新的战略高度。不断探索建设“海洋生态文明”，努力构建“海洋命运共同体”，体现了中国的大国意识和大国担当。这不仅需要政府的领导，也需要学术研究的支持、公众的理解与配合，以及环保非政府组织的协助。

（三）可持续蓝色经济

可持续发展是关系到社会发展和人民福祉的全球性议题。蓝色经济和绿色经济都是不同时期为促进可持续发展而提出的发展理念。在全球气候变化的背景下，污染和其他人类活动也加剧了气候变化，生物多样性和人们的生计都面临着越来越大的风险和挑战。如若缺乏有效监管，当前的海洋经济可能会对海洋的生态环境健康造成威胁，因此海洋经济部门亟须向可持续的蓝色经济转型，并成为应对气候变化的一种解决方

案。为了更加积极并切实推动海洋经济的蓝色转型，应该明确可持续蓝色经济的定义和原则，将其纳入国家最高级别政策框架，并纳入下一个五年计划。

世界银行对蓝色经济的定义是“可持续利用海洋资源以促进经济增长、改善生计和就业以及海洋生态系统健康”。但是，该定义并没有为确保和实施经济发展的可持续性、性别平等和社会公平性以及环境保护等在内的多重目标提供原则或指导。蓝色经济的核心是通过海洋相关的产业和活动实现社会经济发展，并将此过程中的环境和生态系统退化和威胁降至最低^[6]，因此“蓝色经济”的概念对海洋经济的可持续发展提出了新的要求。

随着可持续蓝色经济概念在全球范围内的广泛传播，发展可持续蓝色经济的国际共识正日益增强。随着蓝色经济逐渐被纳入区域发展战略框架，一些组织已经提出了蓝色经济发展的指导原则、重点优先领域以及倡议和建议。例如，世界自然基金会于2018年与欧盟委员会、欧洲投资银行和威尔士亲王国际可持续发展部共同制定了《可持续蓝色经济金融原则》；自2019年以来，联合国环境规划署财政倡议（UNEP FI）一直在推广可持续蓝色经济的财务原则；二十国集团也于2023年发布《二十国集团可持续和气候适应型蓝色经济高级别原则》。

（四）平等与公平

不论性别、能力、性取向、年龄、种族和宗教，所有人都有平等的权利和机会参与社会活动。性别平等被视为有效保护海洋、可持续管理海洋与海洋资源以及实现联合国可持续发展目标（SDGs）的关键。其中，SDG5指出，性别平等包括男女之间权利、影响力和资源的公平分配。通过制定促进性别平等的办法和执行框架，使所有妇女和女孩有平等的机会和能力参与到各级行动的决策过程中，这将更有可能促进整体的社会福利。因此，海洋治理，包括可持续蓝色经济的转型，需要在项目、政策和基层群众等层面充分考虑性别敏感性、性别差异和需求，并依此制定规划和实施方案，并开展监测和评价。

包括中国在内的大多数国家都签署了国际承诺，有义务促进性别平等，消除歧视，并将性别问题纳入立法、政策和项目（包括环境和气候变化项目）。这些承诺包括《联合国气候变化框架公约》、《联合国生物多样性公约》、《消除对妇女一切形式歧视公约》、《北京行动纲领》和可持续发展目标（SGDs）。

然而，尽管有上述这些承诺，且男女在海洋治理中享有平等的利益，但在参与蓝色经济的人数和工作类型方面，男女之间仍然存在明显差距。传统上，文化规范和惯

例更倾向男性参与海洋领域的活动，而女性往往比男性更难获得资源与权利，也更少参与决策。

在海洋领域，妇女更多地从事工资较低、非正式和仅能维持生计的活动，如小规模渔业、海产品加工和沿海旅游；男性则主导较正式、工资较高的部门，如工业捕鱼、海上运输、近海石油和天然气以及海洋工程。这些部门通常有更大的工作保障和更高的收入潜力。同时，男性更有可能担任领导角色，影响并塑造蓝色经济的政策和决策过程。这种差异降低了与女性及其社区相关问题处理的优先度。

因此，海洋产业中妇女的经济收益往往较低，因为她们主要从事工资较低的工作。这导致了更广泛的经济不平等，并限制了她们的经济赋权。因此，未来的海洋治理框架必须考虑这些不平等现象，并积极努力为社会各阶层，包括妇女和其他边缘化群体，争取公平参与蓝色经济的机会和成本。

任何实现男女平等的有效行动，首先需要确保获得清晰可靠的数据，以便在决策过程中更清晰有效地面对性别挑战。此外，我们所倡导的平等还涉及确保女性在与小企业有关的活动中获得平等教育和培训的机会以及参与决策过程和享有财政资源。据此，2024 年联合国海洋十年会议特别关注了可持续海洋的性别平等问题，该会议提出了建议并呼吁采取行动，以缩小性别差距，为年轻女性提供教育机会，并承认妇女在海洋保护工作中的贡献¹。

三、海洋经济与蓝色金融

（一）引言

海洋是支撑未来发展的资源宝库和战略空间，蓝色经济是沿海地区经济增长的重要引擎。

2018 年 3 月，习近平总书记强调，“发达的海洋经济是建设海洋强国的重要支撑，要加快建设世界一流的海洋港口、完善的现代海洋产业体系、绿色可持续的海洋生态环境，为海洋强国建设作出贡献”²。2019 年 4 月，习近平总书记再次强调“我们要像对待生命一样关爱海洋”。^[7] 2023 年 7 月，全国生态环境保护工作会议也强调，要构建从山顶到海洋的综合保护治理格局，加强海洋和沿海地区的空间治理。经过多年努力，中国海洋经济提质增效转型取得显著成效，海洋生态文明建设加快推进，海

¹ <https://www.unesco.org/en/articles/gender-equality-ocean-sustainability>.

² 2018 年 3 月 8 日，十三届全国人民代表大会第一次会议，习近平总书记同山东代表团讨论时的讲话。

洋科技创新取得突破性成果。

同时，蓝色经济的发展也面临着诸多挑战：高强度的海洋开发利用导致海岸带生态系统的资源环境承载力下降，近岸环境质量差，海洋和海岸带生态系统退化；陆源污染问题依然突出，海洋垃圾污染问题逐渐显现；赤潮、绿潮等海洋生态灾害频发以及生物多样性丧失。海洋产业自主创新能力不足，在绿色发展、数智化发展等方面与国际先进竞争对手差距较大。此外，“双碳”目标的实施也对海洋运输、海洋船舶等行业的发展提出了新的阶段性挑战。如何发展可持续蓝色经济是实现联合国可持续发展目标（SDG 14）、实现“昆蒙框架”和《巴黎协定》以及实现中国海洋强国建设所面临的重要挑战，需要政府、私营部门、科研机构和民间社会组织等利益相关方的共同努力。

（二）机遇与挑战

1. 识别中国在蓝色经济框架和政策方向制定中的潜在差距和不足

近年来，“蓝色经济”的概念在国内外得到了广泛讨论，并达成了越来越多的共识。在全球范围内，“蓝色经济”的价值和战略意义逐渐受到各国的高度重视，并被提上了国际政策议程。中国高度重视蓝色经济发展，并为推动蓝色经济发展提出了“21世纪海上丝绸之路”倡议，加强建设“蓝色伙伴关系”。然而，事实上蓝色经济在中国的发展还不成熟。

“可持续蓝色经济”一词仍有各种不同的表述。在所有官方文件或报告中都使用“海洋经济”的概念，而“蓝色经济”一词大多出现在省级活动或部委下属研究所举办的研讨场合。这些术语通常是指可持续的、现代的和（或）高科技的海洋经济。然而，中国对“蓝色经济”的定义尚未达成共识，许多关于“蓝色经济”的认知和观点主要来自国际层面。许多国际组织提供了“可持续蓝色经济”或“蓝色经济”的定义，包括联合国环境规划署（UNEP）、世界自然基金会（WWF）、世界资源研究所（WRI）等。虽然这些定义有不同的含义，但它们都旨在将与海洋有关的经济活动缩小到可持续的范式中。与此同时，对于“蓝色经济”的边界也缺乏足够的讨论，这直接导致了“蓝色经济”“绿色经济”“海洋经济”这三个术语经常被混淆，主要表现在两个方面：一是将“蓝色经济”等同于“海洋经济”，忽视了蓝色经济所强调的环境可持续性、公平和包容性以及气候适应能力；二是大多数人认为“蓝色经济”就是“绿色经济”，没有认识到蓝色经济可以在实现低碳、环保和资源可持续利用的同时，通过经济增长实现可持续发展。

中国尚未制定全国性或省域范围内系统的蓝色经济发展战略规划。在国际层面，可持续蓝色经济旨在促进低碳、环保和可持续利用资源，同时努力保护和改善居民的生计。然而，中国与蓝色经济相关的主要政策更多地强调海洋生态保护与海洋经济发展的协同作用，忽视了对居民（包括妇女和其他边缘化群体）生计的保护和改善，在这一层面缺乏与全球蓝色经济对话的一致性。

目前在推动相关实体实践可持续蓝色经济方面尚缺乏足够的政策工具或实用方法。因此，至少应从三个方面着手开发相应方法。首先，需明确可持续蓝色经济的定义及其原则，并明确其筛选工具（如分类法），用以界定哪些行业或实践符合可持续蓝色经济标准。这些工具可以为发展部门制定促进政策、中央银行设计激励措施、金融监督管理部门规范金融机构行为，以及统计管理部门计算可持续蓝色经济的数量和规模提供指导。同时，对于可持续蓝色经济感兴趣的投资者也应该有合适的方法来识别相关项目，包括为准备资助的可持续项目筛选特定子行业的工具等。其次，鉴于海洋是当前最不为人所知的生态系统，可持续蓝色经济相较于其他与生态系统相关的投资都更具活力和挑战。因此，开发一套评估海洋经济活动的工具包显得尤为重要。最后，上述评估工具包的主要用户应涵盖国内外的保护组织和研究机构。

没有一个共同的目标是可持续蓝色经济的另一个缺陷。中国在气候议程中以碳达峰碳中和目标而闻名于世。这一共同目标促使所有相关管理部门制定相应的政策，并使企业能够“做正确的事情”。其指标——“碳”很容易分解，因此在减缓气候变化领域充当了一种“货币”。显然，今天的海洋经济与共同目标之间存在差距。不仅中国，世界上其他国家也面临着同样的挑战。在一定程度上，可以以海洋经济核算的一些尝试为基准，如海洋 GEP 或重振海洋经济。不过，未来还需要相对简单明了的指标及其测量方法，以便所有利益相关者都能了解自己的规模和进展。

地方政府或实体发展可持续蓝色经济的积极性仍然较低。目前，几个地区正在建设海洋经济发展示范区，每个地区都有一个特定的部门来孵化其优势产业。2024 年 1 月，在深入研究国内外绿色金融创新实践和蓝色金融发展路径的基础上，结合威海市的产业特点和实际情况，威海市制定并发布了中国首个蓝色产业可持续投融资支持目录。目录第一级分为海洋生态保护与恢复利用、海洋环境保护、海洋碳减排与高效产业、海洋清洁能源产业、海洋基础设施绿色升级、蓝色资源高效利用、海洋绿色服务七大类。这一举措是威海发展蓝色经济的创新样本，将促进产业要素与金融资本的有效融合，引导金融资源向蓝色经济集中。这样的规划是明智的，因为中央政府试图最大限度地利用有限的海洋资源，避免重复投资。但是，应该调动更多的资源来配合这些政策。

促进与海洋相关的可持续经济将为应对气候变化作出重要贡献。在碳减排政策和激励机制的共同推动下，中国可再生能源的价格大幅降低，中小企业甚至个人都能从中受益。同样，允许这些群体实践蓝色经济的政策，为创新活动提供激励性补贴，建设工业园区等产业集群，以及适当的能力建设都将有助于发展蓝色经济。资源节约对于缓解气候变化和发展可持续蓝色经济同等重要。因此，还应进一步寻求调动资源的创新解决方案。制定这些激励措施正是为了推动上述各方面的进步。

2. 海洋经济部门和海洋保护的治理体系

目前，在国家层面，中国缺乏具体可操作的“蓝色经济”政策和国家“蓝色经济”战略或发展规划，在海洋经济统计中也没有对可持续和不可持续的产业或产品进行区分。这种现状可能不利于整合资源分配以支持可持续蓝色经济的发展。此外，中国在强调发展海洋经济和建设海洋生态文明的同时，应该明确内部管理部门的职责。因此，结合这两层含义的“蓝色经济”一词将更适合对外合作，也更容易为国际社会所接受。然而，目前在国家政策层面缺乏对“蓝色经济”或“可持续蓝色经济”的明确定义，这不利于有关部门系统把握海洋经济发展与生态保护之间的平衡关系，不利于促进可持续发展。

此外，可持续蓝色经济是跨领域的，目前没有主导的部委或行政部门对其负责，导致缺乏一个主导的政府部门。然而，在各级政府中缺乏跨领域、跨部门、跨层级的海洋综合治理将很容易导致政策冲突，这可能会影响蓝色经济的发展进程。

《中华人民共和国海洋基本法》立法尚未完成。现有的海洋立法在一定程度上呈现出碎片化和区域化的趋势，调整范围相对单一，不同海洋立法之间缺乏有效协调和衔接，在海洋保护与开发、海洋综合管理等方面缺乏有效的整合，这些都在一定程度上阻碍了海洋经济的发展。此外，许多对蓝色经济可持续发展有重大影响的海洋新兴领域的立法仍存在空白，缺乏对特定海洋产业可持续发展的整体规划和战略。

党的二十届三中全会决议宣布，中国正在制定一部生态环境法典¹，这将是继2020年完成的民法典之后，中国的第二部法律法典。据报道，生态环境法典草案包括总则、污染防治、生态保护、绿色低碳发展和法律责任。该草案预计于2024年提交全国人大常委会进行初步审查，预计生态环境法典最终将于2026年完成。这是一个将可持续蓝色经济的原则及其相关法规引入准则，以支持和实现各层级政策一致性的重要机遇。

¹ 《中共中央关于进一步全面深化改革推进现代化建设的决议》于2024年7月18日经中国共产党第二十届中央委员会第三次全体会议通过。

3. 可持续蓝色经济转型过程中的包容性和社区民生

(1) 从行业的角度看包容性

即使在 21 世纪，海洋经济中的工业活动高速增长（称为“蓝色加速”），小规模（在某些情况下是手工）渔业仍然是海洋经济中最大的产业。最近的估算表明，渔业从业者包括世界各地大量仅为维持生计而从事渔业的人们，这表明海洋渔业和小规模渔业可以提供重要的安全网，帮助防止贫困和促进粮食安全。因此，任何改变海洋利用的政策或行动都需要充分考虑这些海洋使用者及其更广泛的沿海社区的生计和利益，以确保他们的权利和传统用途作为公平的蓝色经济的一部分而得到充分的保护。事实上，国际政策目标（可持续发展目标 SDG14.b）和相应的文件已经达成一致，以便在日益拥挤的海洋中为小规模渔业提供安全空间。一些学者建议政府可以将海岸带地区划为小规模渔业区域，这是一些国家已经在使用的一种政策工具。无论具体的政策工具是什么，将沿海社区置于未来海洋利用决策的中心都需要多管齐下的工具和方法，这也可能决定蓝色经济是否具有可持续的未来。

在整个海洋渔业供应链中，妇女在渔网修理和准备鱼饵等捕捞前期工作以及沿海浅水捕捞方面都作出了重大的贡献。她们的渔获对家庭的营养和收入都至关重要。尽管妇女在渔业等海洋经济部门发挥着重要作用，但她们往往担任低级别、低薪资或非正式的职位。在海洋经济部门，妇女很难获得管理职位、资本、信贷或培训等资源。而当前的社会规范和家庭责任进一步限制了她们^[8]的机会。因此，与可持续蓝色经济相关的政策应具有包容性，以重视妇女的贡献，并承认她们的独特作用为基础，确保她们有公平的谋生机会。

(2) 更加广泛的公众参与

可持续蓝色经济的成功实施和可持续性在很大程度上取决于公众的参与和接受程度。如果不能让社区参与到这个过程中，就会在很大程度上削弱对蓝色经济发展的认可度和蓝色经济的有效性。生态环境部海洋生态环境司近日推出了一个在线平台 and 应用程序，鼓励公众参与海洋环境保护，并收集沿海居民对沿海开发和保护的意見。由于沿海居民，尤其是妇女获得信息和参加公共论坛的机会往往比较有限，我们还需要作出更多努力，向社区宣传沿海和海洋保护的重要性。上述这些平台可以作为教育工具，并利用社区集体的智慧，为国家和地方一级制定发展可持续蓝色经济的政策提供信息。

4. 海洋价值的计量与核算

目前，世界范围内的海洋经济价值评估主要集中在海洋产业，而海洋生态系统服务

价值评估仍处于相对早期的阶段，仍在确定具体的方法和参数。此外，海洋特定数据往往与陆地数据合并汇总（如将海洋和淡水渔业一起核算），因此全面了解海洋健康及其经济规模更加困难。虽然中国已经为其海洋产业建立了相对完善的统计调查和核算体系，但在海洋生态系统核算方面仍存在差距，需要采取更多的改进措施。尤其需要指出的是，对于深海生态系统，目前的知识盲区仍然很大，阻碍了对相关深海生态系统价值的潜在评估和量化。这进一步凸显了持续进行深海测绘和研究工作的重要性。

（1）推进海洋生态系统服务价值评估

海洋的价值不仅在于为我们提供了必要的资源，还在于提供了重要的生态系统服务，如气候调节、水资源保护和文化价值等。我们必须认识到这些价值对海洋经济和海洋可持续发展至关重要。虽然评估海洋生态系统服务是复杂的，但世界自然基金会的共享财富基金等努力提供了一个起点。中国应制定评估海洋生态系统服务价值的国家方法，并将这些价值纳入政策和经济发展决策中。全面的海洋数据对制定可持续的蓝色经济发展规划和提高海洋产业效率至关重要。然而，中国缺乏完善的海洋信息共享法律法规。克服这些挑战需要调整政策，以加强数据收集和分析，激励公私伙伴关系，并利用技术创新。

（2）完善海洋产业的统计核算

从统计数据来看，中国对海洋经济的定义一直与其他国家有所不同。英国、法国、美国等国的海洋经济在其 GDP 中的占比通常为 1% ~ 2%，但由于统计口径不同，中国的该占比达 6%，其中广东省的该占比甚至达 16%。目前，可持续海洋经济在中国还没有官方的定义且其含义与其他国家不匹配，因此现在是一个很好的澄清这个术语的时机。为了与国际接轨，中国需要明确海洋经济的定义并完善海洋产业统计指数。这包括纳入海洋资本、劳动力投入和科技创新等广泛的指标。重要的是，要确保有关人员的数据，如劳工应该按性别分类，以便更充分地了解妇女和男性对海洋产业的不同影响和贡献。此外，定期修订海洋产业统计核算系统和产业数字化也是必要的。

海洋经济统计核算包括海洋产业核算、海洋生态系统服务价值核算等。这些领域的改进将有助于可持续蓝色经济的相关决策。目前来看，有必要对中国的海洋经济核算体系以及许多海洋经济活动所依赖的海洋环境和健康状况的评价体系进行改进。已经有一项建议，将与海洋健康、生态系统服务提供以及自然资本与经济生产力之间的连通性有关的指标纳入国民核算体系，并将其作为实施可持续蓝色经济的关键工具。对于中国来说，将更多与环境和自然资本相关的信息纳入其现有的核算体系，并全面、系统地反映海洋环境的健康状况、蓝色经济的发展状况及其对社会的贡献，将是海洋

经济向可持续蓝色经济转型的重要一步。要做到这一点，需要从公共和私营部门收集大量数据。在此背景下，中国可以从参与“全球海洋账户伙伴关系”中受益，该伙伴关系在国际层面开展工作，整合海洋部门和环境的数据并将其纳入国家层面的决策。

5. 海洋空间规划和基于生态系统的管理

历次国家海洋经济发展规划在推动省、市、县级海洋规划的同时，也在不断完善中国的海洋空间规划（MSP）制度。有两项大政方针规范了中国海洋空间的使用，分别是海洋主体功能区划和海域保护、利用和管理条例。它们共同提供了一个基于三种特定功能的政策框架，确定不同海洋空间的用途分配，即工业使用和城镇化、农业和水产养殖以及提供生态系统服务。基于这三个功能，沿海和海洋空间被分为四种类型（优化开发区、重点开发区、限制开发区、禁止开发区），具有不同的自然资本价值。其中，“禁止开发区”专门用于自然资本的保护。这一分类将适用于全国范围内的县级行政单位和自然边界。为了有效管理中国的海岸带区域，建议这些分类尽快实施。

为了更准确地反映自然资本的价值，还需在四种类型的沿海和海洋空间中纳入对生态系统服务真实价值的考虑，并在各种开发类型（包括城市和工业化环境）中最大化自然和生态系统服务的无价作用。在共享空间中整合多个行业或将成为可持续发展的现实途径。此外，通过基于生态系统的海洋综合治理来整合海洋和海岸带管理，是实现可持续蓝色经济的关键。中国目前正在进行国土空间规划系统的改革，政府不再独立编制国家层面的海洋主体功能区划和海岸带保护、利用和管理条例，而是试图将这些计划整合到国土空间规划和海岸带区域综合保护与利用计划中。这些综合治理计划重点关注陆海统筹、综合制定陆海空间的保护与利用，以减少和避免各行业之间的冲突，特别是在新兴产业（尤其是海上可再生能源）出现，而其他产业合并或减少的情况下。在此过程中，需要考虑生态系统边界设定限制，以允许可持续生产和利用，同时保护和保存重要的生态系统服务，而这一切都需要以可靠的科学为基础。

6. 关于建立推动海洋可持续发展的蓝色金融机制的指导方针

中国现行产业政策缺乏五年规划和明确的有利于蓝色经济发展的政策信号。

在融资政策层面，首先，国家层面没有技术标准或分类法来定义和识别蓝色产业及其经营活动。这不仅难以全面覆盖所有可持续发展的海洋产业，还给项目投融资活动带来较高的评估偏差风险，限制了蓝色金融在中国的大规模发展。其次，蓝色经济相关信息披露的缺乏，致使资本市场缺乏评估企业环境效益或绿色绩效的依据，也无法按其绩效高低排序，从而限制了金融机构投资蓝色企业和蓝色项目的积极性。再次，作为更广泛的环境支撑的一部分，需要设计蓝色投资的去风险机制以吸引私营部门的

参与。最后，中国目前缺乏激励政策和机制来支持金融机构参与可持续蓝色经济活动。具体来说，金融机构尚未将蓝色经济活动纳入其对海洋保护区（MPA）的评估。此外，地方政府缺乏对支持可持续蓝色经济项目的企业和金融机构的激励机制。

7. 推动促进可持续蓝色经济发展的国际合作

海洋覆盖了地球表面约 71%，因此海洋治理需要国际合作来管理日益增长的环境影响并减少冲突。作为可持续蓝色经济承诺的一部分，中国应促进全球海洋治理的国际合作，并努力推动向可持续蓝色经济体系转型成为国际主流。一个备受关注的方面是国际合作在帮助资金向更可持续的海洋使用中过渡的作用，特别是为这一过渡提供公共产品（如保护规则的制定和实施、清理等）。我们还应与国际社会一道，加入可持续蓝色经济、气候行动和生物多样性保护协议，实现《巴黎协定》《生物多样性公约》《2030 年可持续发展议程》确定的目标。

（1）促进蓝色金融国际领域的合作与协作

蓝色金融的国际合作是促进国内外可持续蓝色经济发展的有效途径。这可能包括在深圳建立一个国际海洋开发银行，旨在促进世界海洋经济的可持续发展。还应进一步探索中国和国际合作伙伴在可持续蓝色经济融资方面的合作方式，这可能包括以保本为目的开发的混合资本类型的机会；合作应对公海融资挑战的途径；或与经济合作与发展组织发展援助委员会（OECD DAC）成员国合作，为全球可持续蓝色经济项目提供优惠融资。

（2）履行全球气候承诺

气候变化对世界各国，尤其是沿海地区构成了重大威胁，损害了可持续蓝色经济所依赖的自然资本。《中国气候变化蓝皮书 2020》指出，全球平均海表温度呈明显上升趋势，2019 年的平均海平面达到自有卫星观测记录以来的历史最高水平。可持续蓝色经济在中国的气候适应力中发挥着重要作用，因为健康的生态系统能够更好地承受气候影响，并提供有价值的基于自然的解决方案，如岸线保护和碳封存。中国在保护和恢复因气候变化而严重受损的生态系统方面已经取得了进展，包括对滨海湿地、红树林、珊瑚礁和海草床的保护和修复。然而，中国可以通过扩大现有成就以及在国际上推广类似解决方案，进一步展示实现碳中和和可持续蓝色经济发展的雄心。

（3）促进海洋治理领域的国际合作

在“一带一路”倡议国际绿色发展联盟的基础上，中国有机会促进各国和地区共识，共同推动国家和区域的可持续发展，实现可持续发展目标（SDGs）。在此背景下，开展基础设施开发中生物多样性的风险识别和评估，减缓和控制建设和运营对海洋生物

多样性的负面影响，实现生态、经济和社会效益的协同优化等，具有重要的现实意义。此外，建议利用现有的生态学手段，如战略环境影响评价（SEA）和自然资本核算方法，尤其是针对生态敏感区域，更要加强其相应的评价与核算，从而推动“一带一路”倡议的落实。

中国广泛参与了与海洋相关的国际组织和公约，并曾联合欧盟、葡萄牙、塞舌尔和莫桑比克提出旨在促进包括科技创新、基于生态系统的综合海洋分区管理以及增强能力建设等多项措施的“蓝色伙伴关系”。在2022年里斯本联合国海洋大会上，中国发布了16项蓝色伙伴关系原则，以支持此类双边倡议，其核心重点是海洋生态保护合作、应对气候变化、减少海洋污染和可持续利用海洋资源。可持续蓝色伙伴关系合作网络也已启动，旨在将蓝色伙伴关系原则作为联合行动的指南，增进各利益相关方之间的合作。2022年世界贸易组织《渔业补贴协定》的通过，也充分体现了中国在禁止非法、不报告和不管制捕捞，以及缓解全球过度捕捞压力的国际合作中发挥的积极作用。在目前关于深海海底采矿的国际研讨中，为保护脆弱的海洋生态系统，中国考虑采取预防措施来规范海底采矿活动也很重要。

气候变化对世界各国，特别是沿海国家构成重大威胁。这威胁到了可持续蓝色经济所依赖的自然资本。中国在保护和恢复受气候变化严重影响的生态系统方面取得了重大进展。因此，中国可以在现有进展的基础上，通过在国际范围内推广类似的解决方案，提高在发展基于可持续蓝色经济的气候问题解决方案上的领导力。为进一步促进全球海洋治理并支持可持续蓝色经济的发展，中国应继续积极参与国际谈判进程，倡导和践行生态文明理念，支持可持续的海洋资源管理、环境和生物多样性保护，并致力于在全球范围内减缓气候变化。

（三）政策建议

1) 研究并明确可持续蓝色经济的定义和原则，纳入“十五五”规划并围绕其制定激励性政策，包括海洋综合治理和可持续蓝色经济的转型规划。可持续发展议程应与保护、恢复和可持续管理海洋和沿海生态系统相辅相成。将海洋生态系统的健康作为可持续蓝色经济的基石，从而促进长期的社会、经济和环境的健康和恢复力。

2) 必须为定义蓝色金融分类的可用工具和投资机会提供明确的指导，兼顾国家目标和国际合作方案，并创造有利的政策环境，采取激励和约束措施，为可持续蓝色经济倡议引入新的可持续融资形式。

3) 针对可持续蓝色经济中一些正在扩张的行业，如沿海基础设施、能源、航运、

蓝色食物等，需要将环境可持续性考虑纳入其财务审批程序和监测计划，建立具体指标以制定基线和跟踪机制。

四、产业设计与转型

（一）引言

确保中国未来的繁荣，同时保持海洋生态价值不变的关键之一，是推动蓝色经济部门向可持续发展转型，加快海洋产业低碳发展。许多解决方案已与中国海洋经济五年规划高度契合。重要的是，理解蓝色经济各产业在环境方面的影响。在这一背景下，推广对生态系统服务的理解，提高工商界对其活动环境影响的认识，并建立基于科学的管理以减轻不良影响及促进不同部门可持续发展目标的实现等都至关重要。

（二）海洋可再生能源

1. 引言

各种海洋可再生能源技术（风能、波浪能、洋流能、潮汐能、海洋热能）正处于不同的发展阶段，并将面临各自独特的挑战。海洋可再生能源（ORE）装机容量快速增长，尤其是海上风电，需要考虑环境、社会经济和技术挑战。作为全球最大的能源消费国，中国正在加大力度发展海上可再生能源，提出更高的绿色能源消费目标。实现所需的可再生能源转型不仅可以缓解气候变化，还可以刺激经济增长，增进人类福祉，并促进全球就业。ORE 是一个快速增长的海洋经济形态，正在推进低碳和循环经济的目标。尽管海上风电最近才达到政策转折点，而其他 ORE 技术仍处于早期发展阶段，但令人鼓舞的是，有迹象表明技术投资成本和发电价格将进一步降低，朝着商业可行的能源发电方向发展。加强对 ORE 技术潜在影响的了解对于制订未来增长计划和有效为 ORE 活动颁发许可证至关重要。对与不断增长的 ORE 部门和新兴 ORE 技术相关的环境影响进行持续评估，将确保决策者、开发者和利益相关者获得最佳和最新的信息。此外，将新兴 ORE 技术整合到军事应用、偏远社区发电、淡水生产或水产养殖应用中，可能会产生越来越多的机会。ORE 技术为中国提供了发展新产业、创造就业机会并利用其在全球市场上的竞争优势的机会。

2. 机遇与挑战

（1）问题

识别海洋能源产业设计与转型的问题及其对面向碳中和的蓝色经济的贡献，对未

来政策和发展方针的制定将起到非常重要的作用。因此，需要明确和阐明几个关键因素，并扩展到不同范围和产业部门，而不仅限于碳或海洋产业。应进一步开展以下研究，以帮助我们了解海洋能源产业设计和转型的未来挑战。

1) 在全社会迈向碳中和的过程中，探讨海洋能源逐步演变为未来替代能源，甚至主流能源的可能性。

2) 开发新方法来精确估算海洋能源产业对蓝色经济的具体经济贡献，考虑可持续发展和全面的经济 — 环境 — 社会效益和影响。

3) 识别海洋能源产业可能造成的负面影响，包括其长期和大规模扩张带来的潜在甚至不可预见的威胁。

4) 考虑更广泛的社会因素，这些因素可能成为阻碍海洋能源产业快速发展的障碍。

在不考虑可控核聚变等新一代发电技术爆发的情况下，海洋能源利用的持续增长是明显和可预期的。因此，清除海洋能源产业在转型和新产业塑造道路上的障碍是非常必要的。这些问题已经被总结并融合成了一个主要方向，需要在接下来的产业促进行动中加以解决。

(2) 挑战

在当今能源产业中，电气化能源系统显然比化石燃料能源系统效率更高。在全球范围内，英国政府已经将其对清洁和可持续能源供应的需求翻了一番。因此，预计向电力的转变将成为未来能源转型的关键目标，它将使能源需求与化石燃料供应脱钩，从而明确地对碳中和作出贡献。海洋能源产业从海上石油和天然气、海上风能、海洋可再生能源到绿色氢能的生产，甚至深海能源的提取，已经显示出新型能源产业的特点，并与能源转型趋势高度一致。然而，更多的挑战也随之而来，因为海洋能源产业属于高科技和高风险行业，需要克服的不仅有由强大而恶劣的海洋环境引起的自然风险和困难，还有由行业转型带来的新挑战。

针对我们目前已经识别出主要的挑战，能源产业界正在进行新的研究以探索和寻找最佳解决方案。一些研究结果已经显示出实现这一目标的巨大可能性，并为未来克服新挑战设定了更详细的目标。国际能源产业界已经识别并列出了以下挑战。

1) 传统海上石油天然气行业的绿色转型：提高海上石油天然气平台的电气化水平，并与海上绿色能源进行大规模连接。

2) 由于绿色电力转型导致的成本增加。

3) 海上油气行业技术基础设施的彻底变革。

4) 缺乏新的工程设施。

5) 全球海上风电产业进入深远海时代：海上浮式风机技术快速发展，浮式风电场快速增长。

6) 水深的增加导致海上风力涡轮机安装成本的快速增长。

7) 深远海域的长距离运输致使运维过程非常困难。

8) 深远海域海上风力涡轮机的生存能力和可靠性。

9) 产业培育和加速发展有前景的海洋能源产业：显著提高海上太阳能、波浪 / 潮汐能和天然气水合物开发的技术成熟度 (TRL)。

10) 波浪 / 潮流能的示范规模有限。

11) 高成本和相对低的可靠性。

12) 由于缺乏信心和商业视角，在新行业的技术探索方面存在障碍。

13) 实施海上绿色氢气的工业化生产：在发电规模和成本上实现海上绿色氢气的工业化生产，显著降低海上可再生能源的电能生产成本，并为海上可再生能源制造绿色氢气的竞争力。

14) 广泛了解绿色氢能和绿色燃料的使用。

15) 制氢的安全性和稳定性控制。

16) 储存和运输技术。

3. 政策建议

中国的海洋能源产业刚刚进入快速增长阶段，但仍处于旧的产业设计之下。因此，非常需要产业转型和新设计，用 5 ~ 10 年提高当前的产业水平，并增强对蓝色经济的产出和贡献。因此，为了确保产业在正确的路径上实现转型并塑造新产业，产业政策将非常敏感和重要。

基于最新的研究和总结，本章提出了以下政策建议，这些建议可以作为研究成果和指导，支持并促进可持续蓝色经济实现碳中和。

1) 加强海洋能源产业的顶层设计，包括国家战略规划、综合性 / 复合性资源分布、产业促进行动计划以及财政支持政策等，构建海洋能源产业工业设计与转型的基础。

2) 推动海洋能源产业的多场景应用和示范，重点聚焦海上光伏、波浪 / 潮汐能以及海上绿色制氢等有前景的战略方向，使海洋能源产业对可持续蓝色经济发展的贡献更加清晰可见。

3) 在将海洋能源打造为未来中国和全球碳中和主要贡献者的过程中，加强研究、创新和综合海洋管理的引领作用。加强科技创新及海洋综合管理对海洋能源产业转型升级的引导作用，以创新推动海洋能源成为未来支撑中国乃至全球实现碳中和的主力军。

4) 扩大与国际学术界或产业界伙伴的合作范围，整合全球知识和研究成果。

(三) 深海矿产资源开发

1. 引言

深海采矿涉及从矿床勘探、开采、矿石运输、初步加工到深度炼制的复杂过程。在这个过程中，不仅会产生直接的经济效益，还会带来一系列环境和社会影响。

环境方面，深海采矿可能会对海底生态系统造成不可逆转的破坏，产生沉积物羽流和金属类化学污染，影响海洋生物多样性和生态系统功能。根据目前的研究，一旦深海生态系统因人类活动而遭到破坏，其恢复将十分困难且非常昂贵。有关沉积物羽流对生态系统影响的研究仍然非常有限，其长期后果仍然存在很大的不确定性。经济方面，深海采矿具有高投入、高回报的特点，但同时也面临高风险和不确定性。

社会方面，深海采矿活动可能会引发许多社会和伦理问题，如对沿海社区的影响、资源分配，尤其是对妇女和边缘化群体的公平性，以及环境正义等。特别是妇女和边缘化群体往往不成比例地承受深海采矿造成的环境退化和社会破坏的影响。例如，由于渔业受到影响，沿海社区的妇女可能面临更大的粮食安全负担，因为她们往往依赖渔业获得粮食和收入。此外，这些群体往往很少有机会获得深海采矿活动所产生的经济利益，从而加剧了现有的社会和经济不平等。未来，根据《联合国海洋法公约》，深海采矿的财政和其他经济利益将由全人类平等分享。此外，深海采矿项目还支持海洋学研究和旨在增加妇女和边缘化群体参与海洋科学工作的倡议。

为了促进性别平等和包容，深海采矿项目必须让妇女和边缘化群体积极参与决策的各个阶段。这不仅意味着确保他们能够获得相关信息和资源，还意味着创建一个公平的平台，让他们的声音能够被听到以及他们的关切能够得到解决，如举行社区磋商。

深海采矿作为一种新的资源开发方式，其碳排放和环境影响需要进行全面评估。深海采矿过程中的碳排放主要来自设备运行、矿石运输和冶炼等环节；同时，海底有机碳的降解也会产生潜在的碳排放。尽管如此，深海采矿仍有其独特的优势，如高金属浓度和低有害元素含量，可能比传统陆地采矿更具环境友好性。然而，实现这一目标仍面临技术、管理和政策方面的挑战，需要以坚实的科学研究为基础，制定有效的政策和措施，以确保深海采矿的可持续性。

2. 机遇和挑战

(1) 深海采矿过程中的碳排放计算

深海采矿碳核算面临多种挑战，包括数据获取和精度问题、核算方法复杂性，以

及技术与政策方面的障碍。在数据采集上, 难度高、成本大且数据精度不足, 直接影响核算结果的准确性; 核算方法复杂, 需要在不同环节采用不同的计算方法, 如 LCA 和碳足迹计算, 同时还需考虑间接碳排放。核算边界不统一, 缺乏统一标准和规范, 难以比较和综合不同研究结果。

目前, 针对深海采矿过程潜在碳排放的讨论十分有限, 讨论集中于沉积物羽流, 即沉积物再悬浮所造成的有机碳分解过程。然而一些研究表明, 海底采矿作业造成的沉积物再悬浮可能仅仅局限于相对较小的时间和空间范围内。例如, Spearman 等结合现场观测和数值模拟, 发现海底采矿期间被搅动的沉积物绝大部分将沉降在扰动中心 1 km 以内^[9]。全球海洋矿产资源公司 (GSR) 在夏威夷和墨西哥之间的 Clarion Clipperton 海域对沉积物羽流的行为进行了跟踪, 初步结果表明, 沉积物主要散布在矿区附近, 再悬浮现象则局限于海床以上 5 m 之内, 远低于一些自然海洋环境中的沉积物再悬浮高度。与此同时, 沉积物羽流的快速沉降也能有效减少因有机碳氧化造成的碳排放。例如, 模型计算表明采矿未知的羽流浓度将在采矿停止一天内迅速稀释到自然背景的背景浓度水平^[10]。此外, Haffert 等在秘鲁盆地 DISCOL 试验区的研究发现, 在海底采矿撞击之后一年, 沉积物中的生物地球化学过程已经恢复到撞击前的状态^[11]。因此, 采矿过程中的潜在碳排放影响范围较小, 处于可控范围之内。

然而, 这些预测的前提是在短时间内, 在小尺度的范围内对现场原型采矿设备进行非常小规模的小规模试验。此外, 大多数研究只集中于一种资源类型, 即深海平原上发现的多金属结核, 而没有考虑在海底山和热液喷口发现的另外两种深海矿物资源, 即地壳和硫化物。虽然有助于建模, 但从这种单一实验得出的预测可能并不准确。事实上, 已经有令人信服的研究表明真实的情况可能并非如此。另外, 海洋有机碳的分解和固定机制十分复杂。在一些情况下, 沉积物的再悬浮并不一定造成显著的有机碳氧化和 CO₂ 排放。相比海洋环境中的背景沉积速度, 作业扰动后沉积物沉降速度更快, 更有利于保护和埋藏有机碳。对原有沉积环境的扰动也可能触发其他储碳机制, 从而造成碳的埋藏。例如, 沉积物再悬浮过程中, 海水中的溶解碳可能吸附在沉积物颗粒上, 随着颗粒快速沉降从而得到保存^[12]。又如, 虽然矿床开采会对海底生态系统造成不可避免的破坏, 但小型生物残体的快速沉降和保存也能储存一部分生物碳。因此, 除明显的燃料动力过程中的碳排放外, 深海采矿潜在的碳排放也是需要进一步仔细评估与研究的。

(2) 深海采矿的环境影响

尽管深海采矿被视为新经济的前沿, 代表着未来“蓝色经济”新的增长点, 可以

满足新能源等高科技行业所需原材料日益增长的需求，然而其在科学、技术、管理和地缘政治方面都面临着挑战。例如，当前深海生物科学认知存在巨大空白、深海采矿相关的环境监测和评估等技术手段不足、开发规章等国际制度缺失、缺乏一定的数据透明度和严格的基于科学的标准和指南，以及深海采矿的惠益分享及对陆地金属矿产资源国家的影响所产生的地缘政治问题等。事实上，2024年7月发表的一项新研究表明，一些深海资源（多金属结核）可能产生氧气。如果该研究得到进一步证实，这将是一个突破性的发现^[13]。一些环保主义者甚至认为，如果在不久的将来没有足够保障措施的情况下进行深海采矿活动，将“代表着一场大规模非受控实验的开始”，因此，深海采矿的合法性正被严重质疑^[14]。

（3）深海绿色采矿技术

深海绿色采矿技术的开发与应用面临多方面的挑战，具体如下。

1）资源潜力与需求增长。全球对金属资源的需求不断增长，尤其是新能源电池、电子设备和可再生能源设备等高科技领域，对钴、镍、铜等金属材料的需求日益迫切。与此同时，许多领域发生了大规模的技术变革。例如，电动汽车电池技术（包括中国）随着磷酸铁锂电池的发展，电池所需的矿物质发生了重大变化，从而减少甚至可能消除对深海矿产金属（如钴）的需求，尽管这些资源在各个行业仍然至关重要^[15]。以磷酸铁锂电池为例，其市场份额在过去两年中翻了一番，目前占全球电池市场的42%，未来的研究和创新可能会进一步减少对深海矿物的需求。随着替代方案取得的一系列进展，以及全社会在建设循环经济方面增加的投资，深海采矿的盈利能力将面临进一步的不确定性。

陆地上的矿产资源在经过长期大规模开采后，储量日益减少，勘探难度加大，开采成本上升。然而，世界各地对矿产需求的增加也导致更多的陆地矿藏被发现。地面采矿技术的发展也使以往由于技术原因不可开采的矿藏成为可开采矿藏。深海矿产资源在储量和质量上都具备开采的潜力，特别是含有多种关键金属的多金属结核和多金属硫化物具有广阔的开发前景。但必须指出的是，对深海矿产的加工能力仍在发展之中，进一步加工和提炼这些矿物资源的效率仍然较低。最后，越来越多的金融机构、全球工业和主要企业承诺不支持深海采矿活动，这也可能影响到对深海矿产的需求及其盈利能力。

2）环境挑战与风险。深海采矿活动对海洋环境的潜在影响是当前技术和科学评估的难点。例如，海底采矿可能扰动大量沉积物，形成悬浮泥沙羽流，对周边生态系统造成不可逆的破坏；海底集矿活动产生的噪声和振动，会给深海生物群落的生存和繁

衍带来压力。此外，由于科技手段和监测设备的限制，对这些环境影响的长期、系统性研究相对缺乏，环境风险在一定程度上不可控。绿色采矿技术需要通过技术革新和科学评估，最大限度地降低这些环境风险，实现生态保护与资源开发的平衡。

3) 技术“瓶颈”与研发需求。深海环境极其特殊，具有高压、低温、黑暗等特点，对采矿设备和技术提出了极高要求。例如，海底作业设备需要具备抗高压、耐腐蚀、高效率等特性，这对材料科学、机械工程、控制技术等多个领域提出了新的挑战。同时，由于深海采矿的环境特殊性和复杂性，常常需要结合多种先进技术，如机器人技术、自动化技术、远程操控技术和智能化系统等，以应对采矿过程中的各种复杂情况。

4) 依照法理学和国际规范，深海区域通常被界定为国际公共区，其资源开发需要遵循国际海洋法和相关国际条约的规定。国际海底管理局（ISA）是依据《联合国海洋法公约》设立的组织，负责管理和监督国际海底区域的矿产资源开发活动在有效保护海洋环境的前提之下进行。尽管已有一些初步的法规 and 环境保护指南，但在具体实施过程中仍存在漏洞和不完善之处。实际上，关于未来的开采活动，国际海底管理局的谈判仍在进行，要求暂停的呼声越来越高。不少成员国指出，仍有许多关键的突出领域未得到解决，因此一方面需要更多的关注；另一方面需要在监管框架中增加更多的保障措施，包括更多的科学及其他形式的相关知识。此外，各国在深海矿产开发方面的利益诉求和环境保护责任需要通过更加详细、科学的法规和国际合作来协调。

（4）深海采矿与“双碳”战略

尽管深海采矿可以提供电动汽车电池所需的钴和镍等关键金属，有助于能源转型，但它仍面临多重挑战。深海矿区远离陆地，矿体埋藏在数千米深的海底，矿体环境复杂，开采技术不成熟，很可能成本高昂，因此迄今为止尚无商业化开采的实例。最近的技术创新也导致深海采矿缺乏实际的必要性。同时，深海拥有独特而脆弱的生态系统，包括可用于制药的重要生物和遗传资源，因此深海采矿可能造成重大且不可逆转的损害。此外，正如联合国人权事务专员警告的那样，深海采矿也可能造成严重的侵犯人权行为，包括侵犯享有健康和富有生产力的海洋的权利。此外，深海矿产资源常为多金属共生矿，选冶工艺流程长、能耗大，导致深海矿产选冶成本较高。据多金属结核采矿技术经济评价，选冶成本占总成本的一半以上^[16]。

生产过程中需要供应能源，这必然导致碳排放。深海生态系统对海洋碳循环极为重要，采矿活动可能导致海洋碳循环失衡，影响碳的吸收和储存，从而间接增加碳排放^[17]。因此，联合国环境规划署（UNEP）金融倡议指出，目前所理解的深海采矿不

应成为可持续蓝色经济的一部分。

3. 政策建议

（1）制定综合性深海采矿碳排放评估框架

1) 建立综合的深海采矿碳排放评估方法：在深海采矿选址和作业之前，针对潜在碳排放开展基础调查和小型现场试验。例如，了解采矿地点的碳储能力和生态系统碳排放健康极限值，从而为制定有效的碳排放评估方法提供依据。

2) 建立海洋保护区与深海采矿区潜在碳排放对比清单：根据不同生态系统的环境脆弱程度、生态价值、储碳能力，分级分批制定深海采矿规划，确保科学、全面评估深海采矿的碳排放影响。

（2）推动深海采矿绿色技术发展

1) 发展负责任的采矿技术：建设对环境影响较小的海底采集和沉积物羽流排放系统；建立原位尾矿处理系统，通过在深海原位处置矿山废料和尾矿，从而减少碳排放。

2) 创新绿色低碳深海选冶技术装备：研发环保、高效、低碳的深海矿产选冶技术，提高有价值金属选矿回收率，同时实现碳达峰和碳中和目标。

（3）强化监测和管理系统

1) 建立海底采矿碳排放监测和连续观测系统：深入研究采矿作业对海洋环境碳储能力的影响，开展全面观测，切实跟踪、计算和评估海底采矿的碳足迹。

2) 加强科学研究和环境管理制度建设：搜集可靠的环境基线数据，研究深海采矿的潜在环境影响，突破环境监测、评估及修复的关键技术，协商制定深海采矿的环境管理制度，确保科学技术和手段的完备性，为负责任且有效的决策提供充分的科学信息。

（4）加强国际合作和法规体系建设

1) 加强全球国际合作：提升深海矿产资源开发的国际地位，制订国际合作科学计划，凝聚国际科研力量，促进科学知识交流；加强与国际标准化组织和国际海底管理局的合作，用标准化推动高质量发展。

2) 构建完善的国际法律法规体系：在联合国机制下，推动《“区域”内矿产资源开发规章》的制定，确保国际海域矿产资源治理更加公正合理，鼓励承包者进行技术创新和清洁能源应用。

3) 确保未来的深海采矿活动与最近通过的国际协议保持一致，包括 BBNJ 协定、“昆蒙框架”，以及其他适用于海洋环境的国际协议，并评估深海采矿活动对这些国际协定所设定的义务、愿景、目标和指标可能性的潜在影响。

（5）推广清洁能源应用

发展非化石可再生清洁能源：降低深海采矿碳排放强度，积极采用核能、海洋能、太阳能、风能、海水氢能等可再生清洁能源，建设海上能源综合供给平台，实现规模化的清洁能源供给及其高效利用，确保对海洋环境的有效保护。

（6）提高公众意识和行业透明度

1) 加强公众和行业认知：通过普及科学知识、鼓励公开辩论、促进包容性和尊重公众知情权的决策，提高社会对深海采矿的环境影响的认识。尤其重要的是要确保妇女和边缘化群体能够参与这些讨论，他们经常被排除在公共论坛之外，却是受影响最大的群体之一。

2) 执行性别主流化政策：为妇女和边缘化群体的参与和反馈创建专门的平台。这可能包括组织对这些群体开放的社区磋商和公共论坛，用易于理解的当地语言和方式提供信息，并确保在决策过程中纳入他们的独特观点。

3) 制定包容性的战略和机制：建立利益分享机制，满足妇女和边缘化群体的需求，确保他们公平地分享深海采矿带来的经济利益。例如，将一部分采矿收入分配给使这些群体直接受益的社区发展项目。

4) 促进教育和能力建设的倡议：提供旨在增加妇女和边缘群体参与深海采矿部门的培训和教育方案。这可能包括技术培训、领导能力发展和能力建设倡议，使这些群体能够参与采矿活动并从中受益。

（四）深远海养殖

1. 引言

随着世界人口的持续快速增长，加上人类生活水平的改善，在可见的未来，人们将会对高质量动物蛋白提出越来越高的需求。在水产品生产部门中，捕捞渔业由于长期以来的过度捕捞，正处于削减产能、优化生产结构的阶段，水产养殖是增长的主要动力。

过高强度的近岸养殖不仅通过水体污染、病害传播等方式危及水产品自身的产量和安全性，还对海岸带生态系统和社会经济系统产生了深刻的负面干扰^[18-20]。养殖活动排放的超量营养盐和药物损害了生态环境质量，养殖设施侵占了红树林、海草床、盐沼等海岸带生物的重要栖息地；并且随着人类对海洋开发利用的形式日趋多样，养殖业还会与航运业、生态旅游业、海洋清洁能源业等支柱性海洋产业形成空间竞争。

促进海水养殖从近岸向深远海空间拓展已成为当前阶段迫切的需要。根据最新的

统计年鉴数据显示,中国 2022 年的深水网箱(> 20 m 水深)养殖产量近 40 万 t,尽管只占海水养殖总产量的不到 2%,但考虑深水网箱养殖对象几乎全部为鱼类,其产量已经占到海洋鱼类养殖产量的 1/5^[21]。得益于国家政策的促进作用,深水网箱养殖产量在过去 10 年间增长了 4 倍,其中自 2017 年以来增长尤其迅速,同时也有一批全球首创性的智能化大型养殖设施得以建成^[22]。已有实地监测研究表明了深远海养殖确实在环境影响方面具备优势^[23]。但需要注意的是,深远海养殖产业总体上还是处于起步阶段,全球学术界和产业界对深远海养殖的定义、扩张潜力、技术趋势、主要风险等尚未形成足够坚实的共识。因此,还需收集更加充分的科学知识、组织更多利益相关方共同参与决策过程,从而为深远海养殖的未来发展勾画出更加清晰的战略路径。

2. 机遇与挑战

(1) 生态风险

水产养殖活动对自然生态环境的影响是近数十年来广受重视的议题。相比近岸海水养殖,深远海养殖的区域受人类活动干扰更小,水交换条件更好,污染消纳能力更强。然而,深远海养殖也有着相当高的生态风险,一部分是水产养殖活动的内在特性引起的,另一部分是深远海环境的特殊性赋予的。

1) 深远海养殖最典型的一项生态风险是对野生饵料鱼资源的使用。环境的适宜性和经济回报的高要求共同导致了当前深远海养殖的主要目标物种是高价值的肉食性鱼类。这些高营养级物种的养殖不可避免地对鱼粉和鱼油有很强的依赖性,而鱼粉和鱼油都来自野生捕捞的饵料鱼资源^[24]。由此导致的潜在负面影响包括:加剧了对饵料鱼种群的过度捕捞;影响了饵料鱼作为海洋食物网关键中层要素的功能,降低海洋生态系统质量;减小了饵料鱼渔获物被人类直接食用的比例,危害特定区域的粮食安全;助长低选择性的、高环境足迹的捕捞方式的应用。鱼粉和鱼油价格的上涨,在一定程度上推动了水产饲料配方的重大进步,部分研究充分物种(如三文鱼)的饲料转化效率已经大幅上升,并开发了鱼粉和鱼油的替代品^[25-26]。然而,这些替代品(如大豆粉和昆虫粉)是否有更低的生态足迹和碳足迹尚待验证。还有一些深远海养殖的目标物种尚未开展充分的饲料营养研究,需要继续优化饲料转化效率、微量营养素输运、蛋白质吸收效率等性能指标。若上述挑战得不到很好的解决,深远海养殖的自然资源利用效率可能会处于低水平,从而造成不利的生态风险。

2) 深远海养殖不仅通过使用外部的生物资源造成生态风险,养殖设施自身对周围环境构成的生态风险也值得关注。由于深远海养殖的主要目标物种是高营养级鱼类,如果残存的饲料和鱼类的代谢产物过于密集,就会产生额外的营养盐足迹,从而改变

周围的生态系统结构。尽管理论上深远海的水交换动力条件更好,更容易化解额外营养盐输入的影响,但当前针对运行中的深远海养殖设施的相关实证研究还很匮乏,需要进一步验证。同时,由于风浪损坏、鲨鱼侵袭、设备故障等潜在原因带来的养殖生物逃逸的风险同样需要注意防范。此外,必须强化研究深远海养殖与受胁野生动物之间的相互作用关系。相比近岸养殖,深远海养殖所处的区域受人类活动压力更小,这也就意味着相应区域内的受胁野生动物活动可能更加频繁。尽管养殖活动与海洋保护区不会重叠运营,但在深远海养殖的选址过程中,还是要加强事前的现场生物调查,或者采用物种分布模型等模拟手段,以尽可能确保潜在的养殖区域不在受胁野生动物的栖息地和洄游通道内。养殖设施的设计过程中也应注意防止受胁野生动物发生缠绕,特别是容易受到养殖鱼类吸引的鲸、海豚、海龟等大型旗舰物种。

(2) 经济风险

总体而言,深远海养殖在水产食品生产部门中属于高风险、高回报的类型。从中国的现状来看,深远海养殖的经济效益良好,加上政府实施了一系列激励性的产业政策,但企业投入深远海养殖的积极性仍然有限,经济风险是其中最为主要的原因之一^[27]。深远海养殖的经济风险主要包括以下方面。

1) 相比近岸海域,深远海区域的物理和生物环境更为复杂,体现在天气、海流、生物污损、鲨鱼袭击等诸多方面,其中以海上风浪最为突出。特别是在深远海养殖实践相对集中的中国东南沿海,夏季是台风灾害频发期,其对养殖设施的影响是毁灭性的。尽管近岸养殖同样会受到台风和其他极端天气事件的影响,但滩涂、海湾等地形仍可对风浪起到一定的缓冲作用,而陆基循环水养殖工厂受到的影响更小。此外,深远海养殖的设施和养殖对象也更为昂贵,面对外部风险的脆弱性更高。最关键的问题是,当前专门针对深远海养殖的保险制度发展迟缓,即使已经萌生了一些产品,但投保条款异常苛刻,远不足以解决养殖企业的后顾之忧^[27]。

2) 由于深远海养殖的设施需要有抵御风浪的能力,建造和运营成本高,需要确保其生产的产品在市场上具有一定竞争优势,且有足够的消费者愿意为此付出更高的价格。这需要深远海养殖的对象与近岸网箱养殖、池塘养殖、陆基工厂养殖等传统方式的养殖对象有所差异,方能实现错位竞争。一方面,上述要求使深远海养殖可以选择的养殖物种落在一个狭窄的范围内,而这些物种是否能够在深远海的自然环境与集约化的养殖工况下有着出色的生长表现,还缺乏足够的经验验证和技术保障;另一方面,将深远海养殖的水产品进行高值化利用的配套产业体系建设还不完善,难以保证有足够的市场空间,更不用说当深远海养殖规模扩大后还会涌现出更多的竞品。在当下的

发展阶段，这些因素也构成了深远海养殖面临的重要经济风险。

3) 近年来，随着深远海养殖的日渐兴起，海洋工程装备企业不断加大深远海养殖设施的研发投入，当前的养殖设施已经在抗风浪、自动化操作、清洁能源应用等方面取得了显著进步，但这也致使养殖设施的价格越来越高。在回报的不确定性未能有效解决的前提下，高昂的初始投入更加加剧了深远海养殖的经济风险。一项中国的研究发现，在当前中国投入运行的深远海养殖设施中，3 000 万元以下的多由民营企业投资，而1亿元及以上的大型设施几乎全部由国有企业投资；甚至有一台大型装备的所有权从民营企业转移到了国有企业^[28]。当前深远海养殖在经济方面的准入门槛相当高，也反映了纯粹的市场机制及其配套制度无法充分激发民营资本的投入意愿，只有依靠政府介入才能发展，这无疑是亟须改变的。

(3) 社会风险

水产品生产在维护全球庞大人口的粮食安全与营养安全的同时，也为许多人提供了必要的生计。全球共有约6 000万人直接从事捕捞渔业和水产养殖工作^[29]，其中大部分是小规模从业者，以个人或家庭为单位来开展基本的生产。日渐兴起的深远海养殖却与整个水产品行业的上述特性并不相似，其资金投入高、技术要求高、产品价格高，必须依托有一定规模和实力的企业才能开展。在此背景下，深远海养殖行业究竟能否将自己产出的利益转化为公平的社会福祉，是一个值得仔细审视的问题。

1) 当前深远海养殖的行业定位是水产品生产中相对高端的一种形式。在资本投入方面，其养殖设施单体规模庞大、价格昂贵，自动化程度较高的网箱造价都在千万元数量级，还有小部分的造价在亿元以上。对于小规模从业者而言，即使是数个家庭联合，也与准入门槛相距甚远。在技术投入方面，其养殖装备结构复杂、养殖对象普遍为需要投饲的高营养级鱼类，因此需要从业者具备工程技术或在水产养殖方面具备较为丰富的专业知识，同时由于作业的自动化程度较近岸养殖更高，对初级劳动力的需求有所降低。这导致一般沿岸社区内的生计渔民较难直接从事深远海养殖工作。当深远海养殖作为探索性试点时，这种社会风险并不突出，然而一旦深远海养殖的规模迅速扩大，就会对近岸养殖和小规模捕捞渔业产生显著的取代，将原本的生计渔民阻挡在准入门槛以外，从而造成严峻的社会问题。与此同时，深远海养殖的社会风险不仅会波及从业者，还可能影响消费者。考虑盈利能力，深远海养殖的产品均为高价值的海产品，如果这一行业迅速扩张并取代了一部分传统的水产品生产，也会随之改变水产品的市场结构。低收入群体能够负担的廉价水产品（如藻类、贝类、小型中上层鱼类等）的供给将会减少，从而给特定区域的粮食安全和营养安全造成负面影响。

2) 性别平等问题也是审视一个行业社会风险时的主要焦点之一。尽管目前还没有针对性的研究来揭示深远海养殖中的性别平等状况,但从整个水产品生产行业的角度来看,现实并不乐观。在包括收获前和收获后的整个水产品价值链中,女性从业人员占比达到一半,尽管女性发挥着大量重要作用,但水产品生产仍是传统观念下的男性主导行业,女性常只能从事非正规、低报酬、不稳定、技术门槛低的工作^[29]。近年一项美国的实证研究表明,贝类和藻类养殖等低门槛、低回报的水产品生产形式的扩张更有利于女性在生产中的直接参与;进一步地,在这类生产形式的范围内,收益相对低的产业(藻类养殖)有着更高的女性参与率,收益相对高的产业(牡蛎养殖)对女性从业者的纳入则仍较为有限^[30]。深远海养殖恰恰是高门槛、高回报的水产品生产形式的代表,其就业机会对于整个渔民群体来说都是高度稀缺资源,女性在其中的就业状况势必是令人担忧的。然而,这并不意味着没有改革的机遇。女性在水产品生产中的弱势地位往往是因为在资产传承的传统制度下,女性难以拥有渔船、鱼塘等生产资料所属权^[31]。而深远海养殖的兴起并不是传统水产品生产形式(尤其是小规模生产)自然演化的结果,很大程度上依赖政策治理引导。在促进产业转型过程中,无论是捕捞渔业还是近岸养殖向深远海养殖的转型,政府都可以有针对性地面向渔业社区中的女性开展能力建设,如养殖工作本身或上下游产业(鱼苗养殖、产品加工等)所需的技术培训。特别是针对在传统生产形式下无法获得足够收获机会的女性,应当为她们创造更多非男性中心的交流与学习空间。考虑女性往往有能力比男性做出更加生态环境友好、更加符合可持续目标的决策^[32],借助深远海养殖产业转型的机遇来开展性别包容导向的改革,增加女性在水产品生产及管理决策中的参与,非常有必要。

3. 政策建议

深远海养殖的规模化可持续发展不仅回应了人类对高质量水生食物来源的重要需求,也是纾解当前用海活动过于饱和的困境、实现多个蓝色经济部门高效协同发展的有力手段。中国作为深远海养殖的龙头大国,需要与其他主要生产国家一同致力于施行有力的产业治理政策,并在决策过程中包容地纳入沿海社区及产业价值链上的各个利益相关群体的诉求,同时积极开展国际层面的科学交流与管理合作。深远海养殖产业治理的主要原则包括:①科学评估养殖活动的生态环境效应,确保向深远海养殖的转型能够与海洋生态保护最大限度地协同;②减少养殖活动及上下游产业的碳排放,并探索负排放海水养殖在深远海实践的可能性;③保障弱势群体能够平等地享受深远海养殖产出的福祉;④降低深远海养殖的经营风险及准入门槛,形成更加多元化的市场格局。在此基础上,本章确立了若干优先行动,具体建议如下。

1) 准确评估不同类型的海水养殖对自然资源的利用效率，识别适宜转向深远海的养殖类型和适宜留在近岸或陆基的养殖类型，贯彻有序分类的治理导向。

2) 强化深远海养殖的空间规划，特别关注与海洋保护区外围、重要生物栖息地和洄游通道等生态重要区域的相互作用，并探索与生态旅游、海洋能源等产业的协同互利。

3) 推动面向深远海养殖的海洋工程装备前沿技术研究，尤其是加强对极端天气事件的防护功能，以及对可再生清洁能源的使用。

4) 加强深远海养殖目标物种的相关生物学机制研究，优化选育适宜养殖的品种，并加快开发相应的生态足迹更低的水产饲料原料。

5) 完善深远海养殖的上下游配套产业链，特别关注如何让小规模从业者和女性这些弱势群体直接参与养殖生产，以及产品的运输、加工、认证和销售。

6) 根据市场规律进行必要的政府干预，如设立养殖保险、实施生态补贴、加速激励产业转型等。

参考文献

- [1] UNCTAD. Towards a Harmonized International Trade Classification for the Development of Sustainable Ocean-Based Economies[M]. 2021. UNCTAD/DITC/TEC/2020/4.
- [2] HOEGH-GULDBERG O, et al. Reviving the Ocean Economy: the case for action-2015[M]. WWF International, Gland, Switzerland., Geneva, 2015: 60.
- [3] OECD. The Ocean Economy in 2030[M]. Paris: OECD Publishing, 2016.
- [4] WUWUNG L, CROFT F, BENZAKEN D, et al. Global blue economy governance—A methodological approach to investigating blue economy implementation[J]. Front. Mar. Sci., 2022,(9): 1043881.
- [5] DEPARTMENT OF MARINE STRATEGIC PLANNING AND ECONOMICS. Ministry of Natural Resources China, Marine Economic Statistics Bulletin[M], 2021 and 2022.
- [6] WORLD BANK AND UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. The Potential of the Blue Economy: Increasing Long-term Benefits of the Sustainable Use of Marine Resources for Small Island Developing States and Coastal Least Developed Countries[M]. Washington DC: World Bank, 2017.
- [7] 习近平. 推动构建海洋命运共同体 [M]//《习近平谈治国理政》(第三卷). 北京: 外文出版社, 2020: 463-464.
- [8] INTERNATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (IIED), Steering Gender to the Centre of the Blue Economy[M]. 2019.
- [9] SPEARMAN J, TAYLOR J, CROSSOUARD N, et al. Measurement and modelling of deep sea sediment plumes and implications for deep sea mining[J]. Scientific Reports, 2020, 10: 5075.
- [10] GILLARD B, PURKIANI K, CHATZIEVANGELOU D, et al. Physical and hydrodynamic properties of deep sea mining-generated, abyssal sediment plumes in the Clarion Clipperton Fracture Zone (eastern-central Pacific)[J]. Elementa: Science of the Anthropocene, 2019, 7(5).
- [11] HAFFERT L, HAECKEL M, DE STIGTER H, et al. Assessing the temporal scale of deep-sea mining impacts on sediment biogeochemistry[J]. Biogeosciences, 2020, 17: 2767-2789.
- [12] HANSELL D A. Recalcitrant dissolved organic carbon fractions[J]. Annual Review of Marine Science, 2013, 5: 421-445
- [13] SWEETMAN A K, SMITH A J, DE JONGE D S W, et al. Evidence of dark oxygen production at the abyssal seafloor[J]. Nature Geoscience, 2024, 17: 737-739.
- [14] JAECKEL A, HARDEN-DAVIES H, AMON D J, et al. Deep seabed mining lacks social legitimacy[J]. NPJ Ocean Sustainability, 2023, 2: 1.
- [15] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Global Critical Minerals Outlook 2024[R]. Paris: IEA, 2024. Available at: <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2024>.
- [16] ZHUO X J, WANG W T, XU X W, et al. Scientific and Technological Development Report on the Exploitation and Utilization of Deep-sea Mineral Resources 2024[R]. 2024.

- [17] THE UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Deep-Sea Mining[EB/OL]. (2024-06-01)[2025-07-30]. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/45494/deep_sea_mining.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
- [18] CAO L, HALPERN B S, TROELL M, et al. Vulnerability of blue foods to human-induced environmental change[J]. *Nature Sustainability*, 2023(6): 1186-1198.
- [19] GEPHART J A, HENRIKSSON P J, PARKER R W, et al. Environmental performance of blue foods[J]. *Nature*, 2021, 597(7876): 360-365.
- [20] CAO L, WANG W, YANG Y, et al. Environmental impact of aquaculture and countermeasures to aquaculture pollution in China[J]. *Environmental Science and Pollution Research-International*, 2007(14): 452-462.
- [21] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2023 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2023.
- [22] LONG L, LIU H, CUI M, et al. Offshore aquaculture in China[J]. *Reviews in Aquaculture*, 2024, 16(1): 254-270.
- [23] WELCH A W, KNAPP A N, EL TOURKY S, et al. The nutrient footprint of a submerged -cage offshore aquaculture facility located in the tropical Caribbean[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2019, 50(2): 299-316.
- [24] FROEHLICH H E, JACOBSEN N S, ESSINGTON T E, et al. Avoiding the ecological limits of forage fish for fed aquaculture[J]. *Nature Sustainability*, 2018, 1(6): 298-303.
- [25] NAYLOR R L, HARDY R W, BUSCHMANN A H, et al. A 20-year retrospective review of global aquaculture[J]. *Nature*, 2021, 591(7851): 551-563.
- [26] COTTRELL R S, BLANCHARD J L, HALPERN B S, et al. Global adoption of novel aquaculture feeds could substantially reduce forage fish demand by 2030[J]. *Nature Food*, 2020, 1(5): 301-308.
- [27] 林鸣. 发展大规模深远海养殖: 问题、模式与实现路径 [J]. *管理世界*, 2022, 38(12): 39-60.
- [28] 李大海, 孙文慧, 于会娟, 等. 我国深远海养殖业的现状特点和发展建议 [J]. *中国渔业经济*, 2023, 41(5): 39-49.
- [29] FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022[M]. Rome: FAO, 2022.
- [30] MCCLLENACHAN L, MOULTON A. Transitions from wild-caught fisheries to shellfish and seaweed aquaculture increase gender equity in Maine[J]. *Marine Policy*, 2022, 146: 105312.
- [31] ELIAS M, ZAREMBA H, TAVENNER K, et al. Towards gender equality in forestry, livestock, fisheries and aquaculture[J]. *Global Food Security*, 2024, 41: 100761.
- [32] UNFCCC. Dimensions and examples of the gender-differentiated impacts of climate change, the role of women as agents of change and opportunities for women[M/OL], 2023. <https://unfccc.int/documents/494455>.

第三章 生物多样性保护和“昆蒙框架”落实¹

一、引言

国合会在“全球环境治理创新”课题下设立了“生物多样性保护和‘昆蒙框架’落实”专题政策研究，2024年1月10日正式启动，涉及四部分内容：①中国生物多样性就地保护经验分析及其对“30×30”目标落实的启示；②针对“30×30”目标的生物多样性就地保护协同分析；③保护地外农业生物多样性可持续利用和管理研究；④生物多样性保护资源调动中的融资机制与激励策略研究。该项目组建了中外研究团队，为中国及全球推动生物多样性保护和“昆蒙框架”的落实提供政策建议。

此外，当前国际社会日益意识到女性在全球环境治理方面所发挥的重要作用，“昆蒙框架”也将促进性别平等纳入生物多样性保护新增目标，未来还需深入开展纳入性别视角的生物多样性保护和“昆蒙框架”落实研究。

二、背景

（一）全球生物多样性丧失趋势尚未扭转，生物多样性压力持续加剧

《全球生物多样性展望5》指出，全球生物多样性丧失仍在加剧，且对生物多样性的压力不断加剧^[1]。如果国际社会不采取行动，全球物种灭绝的速度将加快，目前已经比过去1000万年的平均速度快了几十倍甚至几百倍^[2-5]。

（二）加强生物多样性保护是国际共识

2022年，《生物多样性公约》（Convention on Biological Diversity, CBD）第十五次缔约方大会（Conference of the Parties, COP15）通过了“昆蒙框架”，为未来10年及以后全球生物多样性治理绘制了行动蓝图和框架。中国作为COP15主席国，率先推

¹ 本章内容摘编自2023—2024年国合会“生物多样性保护和‘昆蒙框架’落实”专题政策研究项目主要研究成果。

动“昆蒙框架”谈判圆满结束，鼓励全球共同推动实现 CBD 生物多样性保护、可持续利用和惠益分享三大目标。

三、面向“30×30”目标的生物多样性就地保护经验及策略研究

（一）“30×30”目标的重要性及挑战

为有效制止和扭转生物多样性的丧失，基于《2011—2020 年生物多样性战略计划》及其成果、差距和经验教训以及其他相关多边环境协定的经验和成果，“昆蒙框架”提出了一项雄心勃勃的计划：4 个长期目标（到 2050 年）和 23 个行动目标（到 2030 年）。尤为重要的是目标 3 中的“30×30”目标设定为到 2030 年保护至少 30% 的全球陆地和海洋（见图 3-1）。



（二）中国自然保护地体系建设进展及其对落实“30×30”目标的有效性分析

1. 中国自然保护地体系建设进展

近十来年，中国自然保护地体系从 2013 年提出建立国家公园体制，到 2017 年首次提出“建立以国家公园为主体的自然保护地体系”重大政策转变，再到 2021 年正式设立首批国家公园^[6]。相关时间线如下。

1) 建立各类自然保护地（2013 年之前）。

- 2) 探索国家公园体制试点作为中国策略(2013—2016年)。
- 3) 明确以国家公园为主体的自然保护地体系建设方向(2017—2020年)。
- 4) 加快建立以国家公园为主体的自然保护地体系(2021年至今)^[7-10]。

2. 中国自然保护地体系建设对落实“30×30”目标的有效性分析

截至2021年底,中国已建立近万处各级各类自然保护地,约占国土面积的18%^[11-12],目前约90%的陆地生态系统类型和65%的高等植物群落被保护区覆盖^[13-14],然而重要物种栖息地^[15]、生物多样性关键区域^[16-17]、重要生态系统服务区域^[18-19]、碳汇区域^[20]、海洋保护方面^[21-22]的代表性仍需加强。从管理成效看,社会经济发展较好的省级行政区保护力度大、建立时间长的自然保护区状况相对较好^[23-25]。超过半数的国家级自然保护区对减少森林损失发挥了积极作用^[26],超过2/3的国际重要湿地(拉姆萨尔湿地)有效遏制了湿地的快速减少^[27]。10个国家公园体制试点在重要物种保护方面取得了积极成果^[28]。但对其他类型的自然保护地尚缺少系统评估^[29-30],对草原、草甸、荒漠、海洋及滨海生态系统的保护成效研究较少,许多物种的管理面临数据本底资料不足的挑战^[31],自然保护地的保护成效仍需进一步认定^[32]。

2024年1月,中国发布《中国生物多样性保护战略与行动计划(2023—2030年)》(NBSAP)^[33],部署了四大优先领域,包括:①生物多样性主流化;②应对生物多样性丧失威胁;③生物多样性可持续利用和惠益分享;④生物多样性治理能力现代化。NBSAP指出,根据“昆蒙框架”实施机制,截至2021年,中国陆地自然保护区面积占中国陆地总面积的18%左右。此外,中国已建立35个生物多样性保护优先区域,占全国面积的29.1%。

(三) 中国生态保护红线划定进展及其对落实“30×30”目标的有效性分析

1. 中国生态保护红线建设进展

生态保护红线是中国学者几年前提出的首创性概念,已上升至国家战略和立法高度^[34]。生态保护红线主要保护三大领域:①重要生态功能,维护生态系统服务功能,保障生态产品供给,为经济可持续发展提供生态支撑;②生态敏感区,减轻和控制生态灾害,构筑人居环境生态屏障;③关键物种和生态系统,维护生物多样性,促进生物资源可持续利用。“确保生态功能不降低、面积不减少、性质不改变”是严守生态保护红线的管控目标^[35]。

中国生态保护红线与世界自然保护联盟（International Union for Conservation of Nature, IUCN）保护地在划分方法、管理方法、管理模式、空间布局等方面存在明显差异。生态保护红线主要由自然保护地、自然保护地外生态功能极重要且生态极脆弱区域和具有潜在重要生态价值的区域组成。因此，自然保护地只是生态保护红线的一个组成部分，目前陆域生态保护红线划定面积为 304 万 km²，覆盖中国 31.7% 的陆域国土面积，其中，自然保护地面积约 170 万 km²，占陆地生态保护红线总面积的 56%；海洋生态保护红线划定面积为 15 万 km²，其中自然保护地面积约 9.6 万 km²，占海洋生态保护红线总面积的 64%^[36]。

中国政府已建立以“事前严防、事中严管、事后奖惩”全过程管理为主线，综合多种政策措施的生态保护红线管理体系^[35]。生态环境部 2022 年 12 月印发《生态保护红线生态环境监督办法（试行）》，围绕生态保护红线，在法治、财税政策、标准制定、监管执法等方面建立监管制度。

2. 中国生态保护红线落实“30×30”目标的有效性分析

从生态保护红线划定面积比例来看，中国陆域生态保护红线划定面积为 304 万 km²，占陆域国土面积的比例为 31.7%，如果生态保护红线在长期内被证明是保护生物多样性的有效工具，这将实现“昆蒙框架”“30×30”目标中“保护 30% 陆地”的要求。海域生态保护红线划定面积为 15 万 km²，占海域面积比例为 5%。生态保护红线的划定，涵盖了中国四大类重点生态功能区、三大类 23 片生态敏感区与脆弱区，将最具保护价值的“绿水青山”和“优质生态产品”，以及事关国家生态安全的“命门”保护起来，保护了 95% 以上的国家重点保护物种、90% 以上的优良生态系统和自然景观、210 条三级以上河流源头区，对净化大气、扩展水环境容量、提供生态产品具有重要作用。可以说，生态保护红线“一张图”在空间上涵盖了国土生态空间最具保护意义的关键区域，使生物多样性得到了有效的就地保护。

从生态保护红线管理方面来看，“确保功能不降低、面积不减少、性质不改变”是严守生态保护红线的管控目标，这区别于传统的自然保护地以生态要素规模和数量作为管控的政策要求，成为我国生态保护红线制度的核心要求。2018 年起，生态环境部开始建设“国家生态保护红线监管平台”，利用卫星遥感、云计算、地理信息系统等技术，构建“天—空—地—一体化”生态保护红线区监管技术体系，实现对全国生态保护红线区人类干扰活动、生态系统状况、生态环境风险、生态系统资产等的及时监测和评估。可以说，中国政府通过建立严格的生态保护红线管理制度，使红线划定区域内重要生态系统生态功能、生物多样性得到有效的就地保护。

（四）国际生物多样性就地保护进展及其对实现“30×30”目标的有效性分析

大多数国家尚未向《生物多样性公约》提交更新后的国家生物多样性战略和行动计划（National Biodiversity Strategies and Action Plans, NBSAPs）及符合“昆蒙框架”要求的国家目标，现在就目标 3 的成功或失败作出明确陈述为时过早。然而，缔约方和捐助者对目标 3 给予了相当多的关注，因为这是“昆蒙框架”中更具操作性和更易理解的目标之一。全球环境基金已发布了一份完整的实施指南，同时开发了一个网络平台来支持实施。迄今为止，已有 118 个国家加入了人与自然高雄心联盟，该联盟呼吁成员国承诺实现“30×30”目标，以加强其在“昆蒙框架”下的义务。同时，该联盟正在与捐助国政府合作，筹集和分配资金以推进实际行动。一个非政府组织联盟正在全球拟议的 20 个国家实施永久性项目融资，以提供额外资金来实现这一目标。各国正在探索其 NBSAPs 实施进程中的各种方案，尤其是其他基于区域的有效保护措施（Other Effective Area-Based Conservation Measures, OECMs）方案。2024 年 5 月在内罗毕举行的 SBSTTA 会议上宣布了一些新的 NBSAPs，预计在 COP16 会议上将有更多。CBD 秘书处一直在举办参与人数众多的区域目标 3 研讨会，为各国提供实施支持。

各国需在 COP17 和 COP19 前及时提交进展报告，而全球报告计划在 COP18 和 COP19 提交，即 2030 年 6 月之前。图 3-2 所示为提交进展报告的初步时间节点。



图 3-2 提交进展报告的初步时间节点

资料来源：Aubert 和 Dudley，2024 年《欧洲议会简报》。

1. 国际社会保护地体系和保护措施的现状、代表性和有效性

根据世界保护地数据库，截至 2024 年 1 月，全球保护地数量为 295 579 个，面积

为 66 748 700 km² [39]。其中, 陆地和内陆水域保护地覆盖 16.06% 的陆域表面, 海洋保护地覆盖 8.16% 的沿海和海洋地区。通过对美国、加拿大、巴西、澳大利亚、英国、德国、俄罗斯、韩国、日本和印度的保护地覆盖率进行详细分析, 发现 OECMs 数量在快速增加, 这些数字可能继续快速变化, OECMs 保护下的陆地和海洋将占总面积的更大比例 [40]。大多数保护地 (至少按面积计算) 由政府控制和管理, 但私人保护区域、由土著人民和当地社区管理和控制的区域也在增加, 各种形式的共同管理越发普遍。

保护科学家主张将地球表面 25% ~ 75% 的土地纳入保护地以有效保护生物多样性 [37-39]。“2020 年后全球生物多样性框架”提出了 30% 的保护目标 [40], 预计能增加高级别 (法律严格) 保护地的数量, 例如, 旨在保护地球表面 50% 的雄心勃勃的“半个地球”倡议 [41], 拟保护约 85% 的物种免于灭绝。

人们对保护地管理有效性的了解相对较少, 联合国环境规划署世界保护监测中心列出了已接受评估的 19 707 个保护地, 但全球评估结果已近 15 年未更新。上一次评估发现, 约 40% 的保护地存在重大管理缺陷 [42]。提高管理有效性是实现目标 3 的主要挑战之一, 现有的评估方法大多数与 IUCN 世界保护地委员会制定的管理有效性框架有关 [43]。全球约有 77 个保护地和 OECMs 已接受“绿色名录”的评估, “绿色名录”是 IUCN (International Union for Conservation of Nature's) 根据商定的标准衡量保护地成功与否的认证体系。

2.OECMs 定义的挑战及实现“30×30”目标的重要性

OECMs 作为实现“30×30”目标的重要新型保护工具, 旨在通过识别和认可保护地外“得到有效保护”的区域, 促进全球生物多样性的就地保护, 从而保护生物多样性。OECMs 的识别与认定要求利益相关方的参与和支持, 从而促进全球保护工作中建立更公平的伙伴关系。OECMs 首次出现在 2010 年《生物多样性公约》第十次缔约方大会 (COP10) 达成的“爱知目标”中。《生物多样性公约》第十四次缔约方大会 (COP14) 通过了关于 OECMs 的第 14/8 号决议, 明确了 OECMs 的定义: OECMs 是保护地以外的地理区域, 其治理和管理可以为生物多样性就地保护实现积极、持续的长期成果, 并取得相关的生态系统功能和服务, 以及在适用情况下实现文化、精神、社会经济和其他当地相关的价值 [44]。

2019 年, IUCN 发布的“*Recognizing and reporting other effective area-based conservation measures*”提供了案例研究、OECMs 筛选工具以及监测和报告流程 [44]。2023 年, IUCN 世界保护地委员会 (The World Commission on Protected Areas, WCPA) 发布了《其他有效的区域保护措施(OECMs)地点识别工具(第一版)》[45]。继 2022 年 12 月确定“30×30”

目标后，各国政府开始实施 OECMs，了解保护地、OECMs 和生态保护红线体系之间的相互关系，是在中国乃至世界范围内建立有效保护网络的重要一步。

OECMs 是有力的生物多样性保护工具，但只有正确应用才能发挥作用。OECMs 能有效地实现生物多样性保护，这一点已通过高效、定期的监测得到证实。在某些方面，现在对 OECMs 的要求比对保护地的要求更为严格。

目前 OECMs 面临的挑战如下。

1) 关于牲畜牧场、管理森林和某些农业系统在多大程度上应该被认定为 OECMs 存在分歧。

2) 在海洋以及较小范围的淡水 OECMs 中可接受哪些类型的捕捞是不确定的。

3) 是否可以在进行修复的地区认可“潜在的 OECMs”（如作为对“昆蒙框架”目标 2 和联合国生态系统修复十年的贡献）。

4) 鉴于许多 OECMs 由不熟悉生物多样性保护或者对生物多样性保护不感兴趣的人管理^[46-47]，该如何组织监测 OECMs？

3. 国际社会实施“30×30”目标的有效性分析

全球保护地面积一直呈增加趋势，但在现有模式下，增长的后劲已很乏力。根据 IUCN 世界保护地的统计数据，全球陆地保护地的面积覆盖率由 1990 年的 8.2% 增长至 2020 年的 15%，海洋保护地面积覆盖率由 2000 年的 3% 增加至 2020 年的 7%；到 2024 年，全球陆地和内陆水域保护地的面积覆盖率达到 16.11%，海洋保护地面积覆盖率达到 8.06%。显然，全球陆地和海洋保护地的面积一直在增加，但再增加的难度巨大，且较“昆蒙框架”提出的“30×30”保护目标仍有很大差距。

在采取 OECMs 后，全球陆地及内陆水域的 OECMs 覆盖率达到 1.18%，全球海洋 OECMs 覆盖率达到 0.11%。显然，依靠该措施，保护地可增加的面积非常有限。另外，过度追求不同组织划定的 OECMs 保护地，极可能出现为达到“30×30”目标而凑数的现象。此外，没有整体规划布局、过度分散的小斑块对生物多样性保护的作用非常有限。

由此可见，在目前的保护模式下，要在未来不到 6 年的时间内完成 12.71% 的陆域保护和 21.83% 的海洋保护目标面临相当大的困境。此外，当前全球保护地正处于日益孤立、侵占和退化的状态。为此，亟须探索建立新的、有效的保护模式。

4. 全球实现目标 3 的前景分析

“爱知目标”的目标 11 是“昆蒙框架”目标 3 的前身。广义来讲，它至少在陆地上实现了面积部分（17%）的目标，在实现海洋目标方面取得了巨大进展（目标为

10%)。然而, 在实现其他要素方面, 如生态代表性、管理有效性, 特别是在处理社会问题(如性别问题)方面^[2], 进展还差得多。此外, 研究表明, 政府往往选择实现生态代表性目标, 而在世界上许多地方仍然存在社会问题。

如今, 各国对实现目标 3 作出了强有力的承诺, 然而, 主要指标仍侧重保护地和 OECMs 面积。因此, 政府和其他机构有责任采用比以往更全面的方式监测目标实现情况, 包括以下目标。

1) 生物多样性, 不仅是标志性物种, 而且是所有群体的代表。

2) 生态系统服务(尤其包括水、碳、减少灾害风险和粮食安全), 在目标 3 商定的措辞中比以往更加重要。

3) 管理有效性, 要求至少在所有保护地和 OECMs 中应用基本的关键指标。

4) 保护地和 OECMs 与更广阔景观的融合, 以生态连通性指标为代表。

5) 权利和公平, 特别是针对土著人民和当地社区的权利和公平, 这意味着社会影响和治理评估的改进和广泛应用。

6) 保护地和 OECMs 中可接受的可持续利用类型, 以及与如何衡量可持续性达成一致。

5. 在选择区域和建立“社会保护许可证”、利用社区支持并为其创造社会经济效益方面面临的挑战和最佳实践

如果要保证保护地和 OECMs 长期有效, 就要得到周边社区多数人的支持。这意味着, 选址不可避免地需要在生物多样性保护角度下最理想和社会与政治角度下可接受之间进行权衡, 协商这些权衡是目标 3 的关键部分^[48]。对土著人民来说, 正式要求在其传统土地或水域上进行任何活动都必须获得事先知情同意^[49], 只要他们充分参与并支持识别和管理过程, 土著人民和当地社区可以成为保护地或保育地非常有效的守护者。这意味着, 现在建立保护地或 OECMs 通常比过去政府自上而下作出决定、协商较少的方式耗时更久, 但结果可能会更有效。目前, 在对速度的需求(2030 年的最后期限)和让人们参与所有保护计划的需求之间存在矛盾。自下而上的保护过程还有许多需要学习的地方, 但幸运的是, 已经有很多很好的例子可以借鉴。

(五) 面向“30×30”目标的生物多样性保护政策建议

本章提出以下建议, 为中国及其他国家落实“30×30”目标提供参考。

1. 自然保护地和 OECMs 系统规划与有效性

迫切需要统筹实施重要生态系统保护与修复、生物多样性保护和减缓气候变化

重大工程，特别是海洋和淡水生态系统方面；加强对中国国家公园和其他自然保护地相关措施的经济可行性和长远发展的分析，从而为最有效的管理措施提供科学支撑；制定并出台中国落实“30×30”目标的计划，承诺在可能的情况下超过全球30%的目标。

1) 系统规划：实施自然保护地整合优化方案，应统筹不同类型生态系统与人为影响因素的相互作用，优化保护地体系的空间布局。协同建设国家公园、自然保护区和自然公园，并将 OECMs 作为生态廊道、踏脚石等的保护网络，实现物种种群及其栖息地的保护与恢复，以及保障和提升生态系统服务的目标。

2) 管理有效性：我们注意到政府正在强调管理有效性并支持这一点，采取行动提高自然保护地保护和管理的**有效性**，确保各类生态系统、物种及其栖息地得到有效保护。实现有效性的步骤包括设定基线（可能广泛实施）和商定方法来监测管理行动的执行情况与生物多样性及生态系统服务的趋势。我们建议在全国范围内使用符合《生物多样性公约》和世界自然保护联盟商定的框架的标准方法。

3) 推动 OECMs 标准化进程：各国应注重根据本国国情确定 OECMs 的划定标准，明确当前 OECMs 实施面临的挑战和将 OECMs 纳入“30×30”目标的实施路径，深入理解和辨识 OECMs 的内涵与外延，使其成为保护地的重要补充。

4) 可持续利用：鉴于目标 3 中包含了“可持续利用”，因此，就保护地和 OECMs 中可包含的内容达成指导意见非常重要。

5) 注重公平与性别平等：在实现“30×30”目标时，要涵盖所有方面，包括扩大利益相关方的参与和影响力，包括土著人民和当地社区，并注重公平和性别平等。根据目标 23，这将包括应用“昆蒙框架”、《生物多样性公约》和《联合国气候变化框架公约》性别行动计划的措施，以确保有预算对性别问题做出响应，并制定和实施参与气候和生物多样性效益、治理和决策的性别平等目标。

2. 加强生态保护红线模式的推广应用

推广和应用中国生态保护红线模式，建立符合国际标准的区域生态保护模式，推动全球共同落实“30×30”目标。

1) 加强生态保护红线与 IUCN 保护地及 OECMs 的衔接。中国生态保护红线的理念和方法创新了 IUCN 保护地体系的生态保护模式，未来在推广应用过程中需要加强与 IUCN 保护地体系的衔接。此外，生态保护红线中的生态公益林、极小种群分布地、重要湿地、高山圣湖等，这些区域的首要保护目标是维持重要生态功能，在管理上禁止开发性、生产性建设活动，产生了实际的生物多样性保护效果，可以被认定为

OECMs。下一步，建议界定清楚生态保护红线与自然保护地、OECMs 的区别，逐步形成与国际接轨的生态保护红线模式的划定及管理等一系列技术支撑文件，进而更好地支持“昆蒙框架”目标的实现。

2) 开发生态保护红线全球划定一体化技术包。经过多年的理论探索和地方实践，中国已经建立了系统完善的生态保护红线划定技术方法。为推进生态保护红线国际化应用，建议在现有指南的基础上，根据“昆蒙框架”的相关要求，建立国际版生态保护红线划定指南，开发生态保护红线全球划定一体化技术包。政府机构、规划主管部门、区域机构、企业、环保人士等用户可利用保护红线划定技术包，在区域、地区、国家和国际层面开展生态保护红线划定。各国还可根据当地的实际情况，对技术包中的参数进行优化，以更有利于在其他国家的推广和本地化应用。

3) 加强生态保护红线效益评估与应用。生态保护红线产生的效益可分为生态效益、经济效益、社会效益等，建议综合运用经济核算、价值评估、公共政策、环境影响评价等多种技术手段，对生态保护红线效益进行综合评估。评估中应关注潜在的不平等问题，如性别不平等，定期监测评估生态保护红线保护效力，并编写年度评估报告，这将有助于中国作为缔约方更好地落实“昆蒙框架”。

4) 开展生态保护红线国家推广应用试点。30% 是一个公认的全球目标，考虑中国已经通过划定生态保护红线达到了目标要求，建议尽快在国际社会推广应用生态保护红线模式，挑选确定拟推广试点国家，开展试点国家生态保护红线划定工作，建立技术人才交流机制，进一步扩大生态保护红线应用范围和深度，助力其他国家尽早实现“30×30”目标。

3. 总结推广中国政策经验

系统梳理中国生物多样性就地保护的政策演变及各项创新举措与经验，分析中国生物多样性就地保护举措对支持落实“昆蒙框架”、《联合国气候变化框架公约》和联合国可持续发展目标（Sustainable Development Goals, SDGs）的影响和作用，从而为国际社会提供可复制、可推广的目标实现模式。生态保护红线是中国学者提出的首创性概念，已成为中国重要的国家生态保护战略。中国已在全国层面完成生态保护红线划定工作，共划定陆域生态保护红线面积约 304 万 km²，覆盖超过 30% 的陆域国土面积，实现了对重要自然资源、生态空间、珍稀濒危物种和栖息地的大规模、整体性保护，被证明是一种行之有效的生物多样性保护模式。

四、农业生物多样性可持续利用的管理经验与策略研究

（一）农业生物多样性可持续利用的重要性及挑战

农业生物多样性是《生物多样性公约》议程中的重要议题，对农业可持续发展、全球粮食安全及碳中和具有重大现实意义。农业生物多样性是一个广义的术语，涵盖粮食、农业、生态环境等相关领域的所有生物多样性组成部分，包括支持农业生态系统关键功能、结构和过程所需的基因、物种及生态系统中各种动植物、真菌和微生物的种类与变异性。农业生物多样性受到遗传资源、环境及农民管理体系和实践的相互作用影响。“昆蒙框架”为未来农业生物多样性的保护提供了明确的方向，其中目标 7（减少污染）和目标 10（可持续管理）与农业生物多样性息息相关。目标 7 旨在通过减少营养物质的流失、降低农药和有毒化学物质的风险以及消除塑料污染，到 2030 年减少污染对生物多样性的威胁。目标 10 则提议通过可持续集约化、生态农业及其他创新方式，确保农业、水产养殖、渔业和林业的可持续管理，提升生产系统的复原力、长期效率和生产力，从而促进粮食安全，保护和恢复生物多样性，确保自然资源的持续稳定供给。

目前，普遍认为现代工业化和集约化的农业生产方式对生态环境造成了负面影响，这些影响不仅逐渐削弱农业的长期可持续性和复原力，还包括农业生产力本身^[50]。

（二）中国农业生物多样性保护措施对落实“昆蒙框架”目标的积极作用

1. 积极推动落实“昆蒙框架”目标 7 农业污染风险防控目标

（1）化学肥料和农药使用量显著下降，绿色投入品比重逐步上升

2022 年 12 月，农业农村部发布了《到 2025 年化学农药减量化行动方案》^[51]和《到 2025 年化肥减量化行动方案》^[52]等政策文件，有效推动了农药和化肥的减量及结构调整工作。根据国家统计局的数据，中国的农药总施用量从 2004 年的 138.6 万 t 增长到 2013 年的峰值 180.8 万 t，随后回落至 2021 年的 123.92 万 t，较 2013 年下降了 31.4%。在 2016 年前后，农药使用结构发生了变化，杀虫剂使用量减少，而除草剂、生长调节剂和助剂的使用量有所增加，杀菌剂用量保持稳定。2020 年，微毒和低毒农药占比达到 98.1%，高毒农药占比不足 1%，当年生物农药的使用量增至 8.3 万 t，年均增长 3.4%。在化肥方面，施用总量自 2015 年达到峰值 6 022.6 万 t 后，逐年下降至 2022 年的 5 079.2 万 t。中国的化肥使用结构也发生了变化，复合肥的使用比例不断提升^[53]。

（2）农田农膜残留量负增长，回收利用率逐年提高

自 2012 年起，农业农村部（原农业部）发布了《农膜回收行动方案》《农用薄膜管理办法》《关于加快推进农用地膜污染防治的意见》等政策文件，明确提出到 2020 年全国地膜覆盖面积基本实现零增长，到 2025 年农膜基本实现全回收，地膜残留量实现负增长，有效控制农田的白色污染。从 2016 年起，农膜的年用量开始逐年下降，到 2021 年，农用塑料薄膜使用量降至 235.8 万 t，较 2015 年减少了 9.4%^[54]。北京、重庆等地积极推广可降解农膜，作为解决农田塑料污染的有效手段。截至 2021 年，重庆已实现涉农区县可降解地膜试点的全面覆盖。

（3）农药包装废弃物管理法制化，回收与资源化体系建成

2020 年 7 月，农业农村部 and 生态环境部联合发布了《农药包装废弃物回收处理管理办法》，推动建立“统一回收、集中运输、全程无害化处理”的新型回收处置模式，强化了对农药包装废弃物在生产、销售、使用、回收、处置等环节的全过程监督管理，并明确了各方的法律责任。2021 年，农业农村部发布了《农业农村部关于贯彻实施〈中华人民共和国固体废物污染环境防治法〉的通知》，强调农药包装废弃物的回收处理工作，要求各方严格遵守“谁生产、谁经营、谁使用、谁回收”的原则，督促相关责任主体履行回收和处理义务。2022 年 2 月，农业农村部牵头制定了《“十四五”全国农药产业发展规划》，提出了推进农药包装废弃物回收利用的具体措施，包括制定回收和资源化利用规范、建立回收处理体系、开展回收试点、建设回收储运站点、鼓励农药企业改进包装工艺等，到 2025 年农药包装废弃物回收率将达 80% 以上。

（4）畜禽粪污还田扎实推进，污染防治措施同步实施

2019 年 12 月，农业农村部办公厅、生态环境部办公厅等八部门联合印发了《关于促进畜禽粪污还田利用依法加强养殖污染治理的指导意见》，指出要深化种养结合发展，加快推进畜禽粪污还田利用，进一步明确畜禽养殖污染治理路径，提高粪污资源化利用水平，促进生态环境保护和畜牧业协调发展；尤其提出，要规范养殖过程中饲料和兽药的使用，开展兽用抗菌药使用减量化行动，严格执行《饲料添加剂安全使用规范》，减少促生长兽用抗菌药物和矿物元素饲料添加剂的使用，从源头减少抗菌药物和重金属残留，控制利用风险。2020 年 6 月，农业农村部办公厅和生态环境部办公厅联合印发《关于进一步明确畜禽粪污还田利用要求强化养殖污染监管的通知》，明确了畜禽粪污还田利用的标准和要求，强调加强事中事后监管，完善粪肥管理制度，并推动建立种养结合、农牧循环的可持续发展新格局。2020 年 9 月施行的《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》规定了畜禽规模养殖应建设粪污无害化处理和资源

化利用设施，并确保其正常运行。

化肥和农药的减量与结构优化、农膜的减量与回收利用、农药包装废弃物的回收与资源化处理，以及畜禽粪污的还田利用与污染防治和“昆蒙框架”目标密切相关，有助于降低农业污染和维持农业生态系统健康，促进农业生物多样性保护。

2. 深入推动落实“昆蒙框架”目标 10 农业可持续管理目标

（1）有机农业持续发展壮大，中国成为全球第四大有机种植国

《2023 年度有机产品认证和产业发展报告》显示，截至 2022 年我国有机作物生产面积已达到 475.2 万 hm^2 ，成为全球第四大有机农业种植国；有机产品销售额高达 877.6 亿元，连续多年位列全球第四。认证的有机产品中，种植类、畜禽、水产和加工品产量分别为 2 143 万 t、282 万 t、44 万 t 和 539 万 t，其中种植类作物占比超过 70%。截至 2022 年底，全国有 1.6 万家企业获得了 2.6 万多张有机产品认证证书，发证数量相较于 2015 年增幅达 99.8%。

（2）农业废弃物利用途径多样化，资源化水平和能力稳步提升

自党的十八大以来，我国农业生态环境建设取得了显著成效，农业废弃物利用水平稳步提升。截至目前，全国畜禽粪污综合利用率达到 78%，种养结合、农牧循环的新发展格局初步形成。此外，各地因地制宜地推行秸秆翻埋还田、碎混还田和覆盖还田等科学还田措施，有效增强了还田效果。农业农村部 2022 年发布的《全国农作物秸秆综合利用情况报告》^[55] 显示，2021 年全国秸秆利用量 6.47 亿 t，综合利用率达 88.1%，较 2018 年增长了 3.4 个百分点。玉米、水稻和小麦三大粮食作物的秸秆综合利用率分别为 87%、89.6% 和 92.1%，均处于较高利用水平。秸秆的肥料化、饲料化、燃料化、基料化、原料化利用率分别为 60.0%、18.0%、8.5%、0.7% 和 0.9%，形成了“农用为主、五化并举”的格局，秸秆综合利用水平和能力不断提升。此外，根据农业农村部在全国主要农区 32 个点位的监测数据，秸秆还田后土壤有机质增幅在 5% ~ 7%，作物增产幅度在 2% ~ 4.5%。

（3）农业生产力评估指标显著提升，农田综合生产力大幅提升

采用农用措施，如低耕作（或“保护性耕作”）、有机农业^[56]、间作（包括等高间作^[57]和作物轮作^[58-59]）及增加作物多样性^[60]和覆盖作物等，均在土壤健康培育、农田生产力提升、节本增效、土壤碳汇等方面产生了显著成效。《东北黑土地保护与利用报告（2022 年）》显示，2020—2022 年，东北地区已累计在 223 个项目实施县实施保护性耕作 2.01 亿亩次，2022 年实施面积约 8 300 万亩，黑龙江省、吉林省、辽宁省、内蒙古自治区实施保护性耕作面积分别达到 2 550 万亩、3 283 万亩、1 000 万亩、

1 440 万亩，超额完成 8 000 万亩任务面积。共建成了 56 个整体推进县和 712 个县乡级高标准应用基地，其中 25 个县实施面积超过 100 万亩。

（4）农业资源保护成效显著，新增国家资源库 91 项

2020 年 2 月，国务院办公厅发布了《关于加强农业种质资源保护与利用的意见》，提出要开展农业种质资源（主要包括作物、畜禽、水产、农业微生物种质资源）全面普查、系统调查与抢救性收集，实现应保尽保。中国已建立了国家农作物种质资源保存长期库、中期库、种质圃、原生境保护点和国家基因库相结合的种质资源保护体系，基本覆盖了全国各类农业生态区，共收集、编目、繁殖入国家库和种质圃长期保存样本 48 万份。野生稻、野生大豆、小麦野生亲缘植物、野生果树等 39 个原产于中国且处于濒危状态的野生物种得到妥善保护。建立国家药用植物种质资源库，收集药用植物离体种质近 3 万份；在 20 个省（自治区）布局建设了 28 个中药材种子种苗繁育基地、180 个子基地，总面积 4 667 hm^2 ；繁育 120 种中药材的种子种苗（珍稀濒危 28 种）；并在海南和四川建立了 2 个中药材种质资源库，共保存中药资源普查工作中收集的种质资源 2.4 万份。建立了中国西南野生生物种质资源库，收集和保存了我国 228 科 2 005 属 10 013 种 79 123 份野生植物的种子，种类占我国有花植物物种总数的 1/3，其中包括珍稀濒危物种 669 种，中国特有种 4 035 种（占总保存物种数的 40.30%）；植物离体培养材料 1 850 种 20 810 份；DNA 分子材料 5 642 种 49 815 份。持续完善畜禽遗传资源保护体系，国家级保种场、保护区和基因库已达 187 个，90% 以上的国家级畜禽遗传资源保护名录品种建立了相应的国家级保种单位。

野生物种具有抗病虫害、耐旱的特性，能应对气候变化、环境压力和利于促进作物产量增加等，对未来农业生产的健康至关重要。植物育种是中国“十四五”规划（2021—2025 年）农业两大重点之一。2023 年，中国政府批准并资助了 72 个国家作物种质资源库和 19 个国家微生物资源库^[61]。

（5）膳食结构呈现多元化，“大食物观”逐步形成

2023 年中央一号文件指出，“树立大食物观”，加快构建粮经饲统筹、农林牧渔结合、植物动物微生物并举的多元化食物供给体系。同时，Fan 等撰写的《2023 年中国与全球食物政策报告》提出，更健康的饮食结构可以减轻对生态系统的压力^[62]。2019 年，EAT-Lancet 委员会也建议可持续和健康的饮食结构。该报告建议中国人增加全谷物、水果和大豆制品消费，减少对“超加工食品”、精制谷物和红肉的消费，这将有损于人类健康，同时减少对国内生产和粮食进口的总体需求。为了进一步推进“大食物观”，确保来自森林、草原和水生生态系统食物的可持续性至关重要。

“大食物观”行动倡议的可能包括以下组成部分。

- 1) 建立跨部门的综合管理和决策体系，完善支持农粮系统转型的体制机制。
- 2) 将当前的激励机制从单纯的产量驱动转变为多重效益驱动。
- 3) 确定切实可行的实施办法，提高农粮生产系统的气候适应能力，保证粮食供应的稳定性。
- 4) 提高资源利用效率和作物生产力，同时最大限度地减少对环境的影响，如土壤退化和水污染。
- 5) 确定粮食来源多样化的可行技术，并制定支持其研发的政策。
- 6) 制定适合中国国情的指导方针，以实现更健康和可持续的饮食模式，包括更多样化的食物摄入和行为，以减少食物浪费。
- 7) 提高国际贸易中粮食供应的复原力。

中国农业发展呈现从“数量型”向“质量型”转变；在保证粮食安全的前提下，更加注重农产品质量、农田生态与土壤安全、有机农业及农田生态系统保护的协同发展。有机农业发展、农业废弃物综合利用、农业生产力提升、农业资源保护和“大食物观”实施对促进农业可持续管理和农业生物多样性保护的协调发展具有重要意义。

（三）国际农业生物多样性保护的主要共识和措施

CBD、UNFCCC 和《联合国防治荒漠化公约》（*United Nations Convention on Desertification*, UNCCD）¹ 都认识到更可持续的农业方法对农业生物多样性、气候变化和土地复原力的重要性。各国政府和其他相关行为体也认识到，当前高投入的农业模式对于保障未来的农业生物多样性、粮食安全和生态恢复力是不可持续的，长期的粮食安全和生态恢复力的关键在于健康的土壤。健康的土壤不仅是农业生产力的基础，也是促进农业生物多样性、维持生态系统功能和应对气候变化的关键要素。事实上，国合会最近的研究证实了这一共识，包括流域高质量发展与适应气候变化的 SPS 和土地综合管理范围的研究。

2019 年 12 月，新一届欧盟委员会发布了《欧洲绿色协议》（*The European Green*

¹ 每一项公约都承认，农业既受到各自使命的威胁，又找到了解决办法。《联合国气候变化框架公约》承认生物多样性（包括传粉者、土壤和景观多样性以及遗传多样性）对支持农业的重要性，反之亦然。目标 10 呼吁采取可持续和生物多样性友好型农业做法。《联合国气候变化框架公约》进行了为期四年的沙姆沙伊赫农业和粮食安全气候行动联合工作。《联合国气候变化框架公约》早些时候指示科技咨询机构和履行机构通过 Koronivia 农业方面的联合工作，重点开展与农业技术研发有关的工作（如改善土壤健康和水管理）。最后，《联合国防治荒漠化公约》明确呼吁将农民和牧民及其代表组织纳入政策规划、决策和实施，同时在国家行动方案中建议采取具体的农业和粮食系统措施。此外，《联合国防治荒漠化公约》承认农业是土地转换和退化的重要驱动因素，应在制定土地零退化目标时加以解决。

Deal），并围绕其制定和修订了一系列配套支持政策，被称为欧盟绿色新政，其中实现农业领域绿色低碳发展是欧盟绿色新政的重要组成部分。2020年5月，欧盟委员会基于《欧洲绿色协议》又发布了《从农场到餐桌战略》和《生物多样性战略》，将大自然、农民、企业和消费者有机联系在一起，致力于遏制欧洲和世界范围内的生物多样性丧失，推动将欧盟的食品体系转变为全球标准。随后，又发布了欧盟共同农业政策（Common Agricultural Policy, CAP），进一步推动农业领域绿色转型。CAP鼓励发展有机农业和促进农业生物多样性发展，休耕保育土地，减少杀虫剂和化肥使用，研发替代方法和新技术，减少对抗生素的依赖，保护栖息地，促进生物自然授粉，保护农业遗产景观特征，开展有利于动物健康和福利的投资，建立生态重点保护区域，通过农村发展政策鼓励农民实施生物多样性保护行动等。同时，欧盟支持农业生产向无碳经济转变，鼓励农民使用食物和饲料残留物、农业废料或其他生物资源生产纺织品、天然包装（代替塑料）、建筑材料（减少钢材和水泥等能源密集型材料的使用）和清洁能源（如沼气），这不仅有利于实现农业可持续性管理的目标，也有利于农民收入多样化。

尽管发展中国家的经济发展相对落后，但它们在生物多样性方面仍具有明显优势。通过完善的自然资源管理战略，也能为这些地区的发展提供机会。如非洲的野生动物资源可以带来巨大的经济价值和机会。但农业生物多样性丰富的地理区域与高度贫困的地理区域之间的高度重叠表明，生物多样性的存在不足以确保农民获得更好的产量或更好的生活。因此，如何在保护农业生物多样性的基础上提高农民的生活质量，成为发展中国家面临的主要挑战^[63]。此外，气候变化也是影响发展中国家物种重新分布的重要因素。目前，品种或作物的改变已成为发展中国家应对气候变化的首选策略。如在埃塞俄比亚地区，不少农民正通过采用新品种或作物来应对气候变暖^[64]。

2024年8月，项目研究小组访问了巴西，强调了中国农产品进口与生产国生物多样性保护面临的挑战之间的关系。在过去50年中，自然生态系统转变为农作物生产或牧场的过程是导致栖息地和生物多样性丧失的主要驱动因素。据研究，在热带地区，约69%的为扩大农业用地而进行的森林砍伐（即毁林开垦）活动违反了相关国家的法律法规。作为全球主要农产品进口国，中国已承诺与农业生产大国（如巴西）及其他市场国家或地区（如欧盟和美国）开展合作，通过实施各自的禁止非法进出口法律，共同支持制止全球森林损失和消除国际非法砍伐。巴西及其他地区正在努力证明，通过加强对已开垦土地的管理，可以保障粮食安全和经济回报。以巴西的帕拉州为例，

当地的政治领导人支持牛肉可追溯性,这不仅有利于牛肉生产,也能有效避免森林砍伐。

对于中国来说,选择合适的绿色发展路径至关重要。在资源约束和环境条件日趋紧张的今天,农业如果不走绿色发展道路恐怕难以长久维持。借鉴欧盟的经验,中国可以结合国家农业政策与生态环境保护政策,协调农业、环境和经济的发展,推动绿色农业转型;进一步推广有机农业、休耕保育等措施,提升农业生物多样性的可持续性;选择环境抗性强的新作物和品种,增强农业系统的韧性。同时,中国积极履行生物多样性相关国际公约并促进公约间协同增效,坚持开展双(多)边合作,向其他发展中国家提供力所能及的帮助,展现负责任大国形象。

(四) 中国农业生物多样性可持续发展的理论与实践

健康的生态系统是农业生物多样性可持续发展的基础,稳定健康的生物多样性对于维持农业可持续发展至关重要。围绕这个理论,中国正在不断推进可持续和可再生农业的理论和实践,应对生物多样性丧失、气候变化和土地退化等全球挑战。在这一过程中,农业生物多样性可持续管理实践将更加注重生态与生产的协调发展,推动农业生产与自然资源的长期共存。

中国正通过采用可持续的农业技术,增加农业生态系统的弹性、韧性和生产力,促进农业生物多样性保护。如间作、轮作和保护性耕作等农艺措施,不仅可以提高产量,减少对肥料和农药等投入的需求;还能够保育土壤,促进土壤生态健康和农业可持续发展。例如,宁夏的农民实行小麦/玉米间作,甘肃则采用亚麻、大豆和玉米的间作系统,新疆的南疆地区实施杏/棉花和枣/洋葱间作,而福建推广烟草/花生间作。此外,广西的香蕉/辣椒、柑橘/马铃薯及柑橘/萝卜间作也得到了广泛应用。在云南,烟草/玉米、甘蔗/玉米以及小麦/蚕豆的间作系统实现了33%~85%的超产率,超产主要源于烟草/玉米和甘蔗/玉米间作中玉米的额外产量,以及小麦/蚕豆间作中的额外蚕豆产量。这些间作系统不仅提升了产量,还有效避免了作物受多种疾病的侵害^[65]。相对于单一栽培,间作的产量效益随着时间的推移而增加,同时间作还可以增加土壤有机质、总氮和大团聚体含量,从而提高土壤肥力^[66]。大自然保护协会(The Nature Conservancy, TNC)在2021—2022年于华北平原(河北、河南、山东和安徽)开展的示范项目表明,通过实施保护性耕作,土壤肥力提高了约10%,土壤水分储存提高了约7%,地下生物多样性显著提高。此外,由于机械操作的简化,燃料使用减少了约58%,成本降低了约17%,而农民收入增加了20%。在碳封存方面,保护性耕作也表现出良好效果,0~40 cm深度的碳封存量提高了约7%。这些成果不仅显示了可持

续农业技术对提升农业生产力的潜力，也强调了其在促进生态健康和农业生物多样性可持续发展方面的重要性。

此外，生态循环模式和降碳增效的生态模式也成为现代化农业可持续发展的重点。上海松林生态产业园已初步形成种养结合的生态循环模式和降碳增效的生态模式。该项目占地 102 亩，总投资达 2.3 亿元，于 2021 年 8 月正式投产。依托于上海市目前规模最大的现代化楼房养猪场，该园区实现了农业废弃物猪粪的 100% 资源化利用。通过沼液浓缩和沼气提纯，该园区年产有机液肥 7 200 t，创收超过 300 万元，年天然气产量达到 175 万 m³，创收 350 万元。每年减碳量达到 18 986 t，额外创收 60 万元。此外，沼液还田近 8 万 t，减少化肥使用 30% ~ 50%，有效提升了土壤有机质，提高了土壤生物多样性，每亩减少化肥使用可增加收入 417 元。2008—2023 年，该项目累计带动农民增收 60 574.63 万元。这一成功案例不仅展示了生态农业的经济效益和生态效益，也为农业可持续发展提供了宝贵的经验。

（五）农业生物多样性可持续发展政策建议

1. 完善政策制度，落实农业生物多样性保护

完善农业生物多样性保护的政策、法律和生态补偿措施，落实《中国生物多样性保护战略与行动计划（2023—2030 年）》。根据《生态保护补偿条例》等法律法规，建立健全农业生物多样性保护生态补偿机制，对受破坏的农业生态系统进行补偿。完善农药废弃包装物和农膜回收利用相关的法律法规与经济激励措施，明确责任主体，鼓励生产者、销售者和使用者参与回收利用。

2. 加大行动举措，践行农业生物多样性保护

1) 研发绿色替代品：大力发展化肥和化学品的绿色替代品，减少对化学品投入的过度依赖，促进可持续农业发展和环境保护。

2) 推广可持续农业技术：采用精准施肥、低耕作、覆盖和轮作及间作等技术，减少化学投入、减少径流、提高土壤保水性和抗洪抗旱能力，并确保拥有长期生产力。

3) 推进可降解包装材料研发：积极推进可降解或易回收的农药包装材料和农膜的研发，开发高效回收处理技术，降低回收成本，提高回收利用效率。

4) 发展绿色有机现代化农业：根据区域特点和资源条件，大力发展绿色有机现代化农业，推广绿肥种植、秸秆还田、轮作休耕等生态农业模式，加大对绿色有机农业科研的投入和支持，推广节水灌溉、精准施肥、生物防治病虫害等农业技术。

5) 优化土地利用：利用中国大规模土地利用规划工具，如生态保护红线系统，确

定当前可用和潜在的农业用地，进行相关分析，预测气候变化的影响，实现土地的优化利用。

6) 完善土壤健康评估体系：将生物多样性指标纳入农田土壤健康和农业生态发展成果的评估体系，选择合适的指标来量化评价农业措施对生物多样性的影响，如土壤微生物多样性、植物种类丰富度、农田生物栖息环境的数量及质量，以及关键物种的存续情况等。

3. 加强能力建设，推动农业生物多样性保护

1) 知识与技能培训：加强绿色有机农业知识和技能培训，鼓励女性在农业生产管理中发挥更大作用，提高有机农业生产管理水平。

2) 智能数字农业技术应用：推动智能农业和数字化技术的应用，如精准农业和气候智能型农业，提高生产效率和资源利用率，减少对环境的影响，进一步推动农业的可持续发展。

3) 农业回收设施建设：在农村地区加大农药包装废弃物和农膜回收装置的投放与回收站点建设力度，建设回收示范工程，积累经验并广泛推广。

4) 支持可追溯系统：鼓励商品进口商和其他相关公司支持食品和农产品追溯系统的发展，确保食品供应链的透明性和可持续性，确保采购不涉及森林砍伐和栖息地转换等不利于农业可持续发展的行为。

5) 推广农业示范区：推广生物多样性友好型农业示范区，建立农业生物多样性监测网络，定期开展农业生物多样性调查和评估，总结经验，逐步推广成功做法。

4. 提升思想意识，倡导农业生物多样性保护

推进“大食物观”，减轻国内外粮食生产生态系统的压力，鼓励饮食结构向食用全谷物、水果、蔬菜和豆制品转变，摒弃超加工食品、精制谷物和红肉，确保可持续放牧用地，保持健康和高产的野生捕捞渔业以及陆地和沿海水产养殖。

5. 强化保障措施，增强农业生物多样性保护

加大对农业生物多样性保护的财政投入，确保资金用于科学研究、监测、宣传教育和生态修复；加大对有机农业和可持续农业的政策扶持力度，通过财政补贴、税收优惠等措施，降低农业生产成本，鼓励农民转向生态友好的农业实践，鼓励农民参与多样性友好的种植和养殖方式，减少对单一作物的依赖，增强农业生物多样性；确保财政资金的有效使用，制定明确的资金使用规划，优先支持与农业生物多样性相关的项目和活动，强化对资金使用效果的评估和监管，确保资金落到实处。

五、生物多样性保护资源调动策略研究

自《生物多样性公约》第一次缔约方大会（COP1）以来，资源调动和《生物多样性公约》的财务机制一直是缔约方大会的议程，其重点往往是《生物多样性公约》的官方财务机制——全球环境基金（Global Environment Facility, GEF）的资金使用情况，包括其分配方式和优先供资领域。与环境领域的大多数公约一样，《生物多样性公约》在实现其既定目标和雄心方面长期面临资金不足的问题。

要实现“30×30”目标等宏伟的历史性生物多样性保护目标，需要大量的资金投入。“昆蒙框架”目标 19 提出，为逐步缩小当前估计每年高达 7 000 亿美元的生物多样性资金缺口，国际社会需共同努力，到 2030 年，每年至少要筹集 2 000 亿美元的资金，以逐步缩小这一缺口。因此，资金机制安排将直接关系到《生物多样性公约》的实施和“昆蒙框架”的落实。

作为最大的发展中国家和 COP15 主席国，中国在资源调动方面发挥着重要作用，可以显著促进国际社会在融资问题上的共识和行动。中国将总结国内外援助和实施资金的现状和问题，特别是结合中国的经验，并在国内外经验的基础上，为中国政府和国际组织如何加强资源调动以实施“昆蒙框架”提出建议。

（一）生物多样性保护的国际合作与资源调动

近年来，国际社会越来越重视探索生物多样性保护的多元化融资机制，包括为生态系统服务付费、生物多样性友好型补贴、生物多样性税费征收、生物多样性认证、众筹机制、财政转移、债务—自然交换和生态产品销售等。联合国开发计划署（The United Nations Development Programme, UNDP）发布了生物多样性融资倡议（Biodiversity Financing Initiative, BIOFIN）、COP15 提出的建立新的生物多样性框架基金、欧盟在生物多样性领域的外国援助、GEF、国际保护非政府组织和国际基金的资源调动等方面的融资机会。SCI Research 估计，截至 2023 年第三季度，134 个生物多样性相关基金的投资额为 590 亿美元。

中国的对外援助政策包括支持“一带一路”倡议、环境保护、应对气候变化、促进可持续发展等项目^[67-69]。2013—2018 年，中国对外援助金额达 2 702 亿元（378.7 亿美元）¹，据不完全统计，2006—2020 年，中国实施了 70 多个与生物多样性保护相关

¹ 按实时汇率计算，下同。

的援外项目，资金来源包括中央财政援外资金、专项资金、地方政府援外资金、国际组织捐赠等^[70]。2021年10月，国家主席习近平在COP15领导人峰会上宣布，中国将牵头出资15亿元（2.1亿美元）设立昆明生物多样性基金，支持发展中国家生物多样性保护，在全球治理中发挥更大作用^[71]。

（二）保护生物多样性的国内财政和税收政策及激励措施

根据经济合作与发展组织的估算，全球生物多样性资金每年为780亿~910亿美元，其中各国国内公共资金投入每年约678亿美元，国际公共资金投入每年39亿~93亿美元，其余为私营部门投入。与此同时，由The B Team委托并由Business for Nature支持的一项新研究调查了各行各业对环境有害补贴（Environmentally Harmful Subsidy, EHS），估计世界每年至少支出1.8万亿美元，相当于全球GDP的2%，用于导致生态系统破坏和物种灭绝的补贴。

2011—2020年，中国生物多样性保护核心资金累计投入2.16万亿元（3 027亿美元），广义资金累计投入4.14万亿元（5 803亿美元），综合资金累计投入4.86万亿元。2011—2020年，中国广义资金和综合资金年投入规模分别增加3 074.00亿元（430.8亿美元）和3 606.14亿元（505.5亿美元）。

生物多样性补偿或对自然生态系统不可避免的影响的补偿要求已经被纳入环境影响评估框架，并以“谁污染谁治理”原则为基础。这些政策有可能减少对生物多样性的影响，并为保护活动提供大量资金^[72]。然而，大多数政策没有达到要求，难以在可持续的基础上实现零净损失。例如，在要求或引入生物多样性补偿的国家中，只有不到1/4的国家要求补偿作为实施其他减缓措施外的最后手段。在最新的《中国生物多样性保护战略与行动计划（2023—2030年）》中，中国将完善生态保护补偿机制列为优先事项。中国的生态补偿机制主要分为两大类：一类是综合补偿制度，核心是重点生态功能区转移支付制度；另一类是要素分类补偿机制，主要包括森林生态补偿、草原补偿机制、湿地生态效益补偿等。

中国共有28个省级行政区探索实施排污权交易，河北等19个省级行政区开展了初始排污权核定工作。2022年，中国水权交易所完成交易3 507宗，比2021年翻了一番。自2015年国家公园体制建立以来，三江源、武夷山、大熊猫等一批国家公园相继试点并制定了特许经营相关制度。

2021年4月，中国提出了鼓励保护和恢复生态环境、经营和开发生态产品的建议，目的如下^[73]。

- 1) 增加绿色财政支持。
- 2) 鼓励银行机构加大对生态产品开发和运营的中长期信贷支持力度。
- 3) 鼓励政府融资担保机构为符合条件的生态产品经营开发主体提供融资担保服务。
- 4) 探索生态产品资产证券化的路径和模式。

2016 年以来，中国环保公益捐赠总额已达 25.23 亿元（3.54 亿美元），其中与生物多样性相关的资助 17.57 亿元（2.46 亿美元），占比 69%。2016—2020 年，用于生物多样性保护的公益捐赠增速也保持较快，分别达到 21%、35%、43% 和 29%^[74]。其中，物种保护捐赠占 23%，民间社会资金主要集中在江豚、雪豹和沿海鸟类保护等方面。此外，还有 6 000 多万元（841 万美元）的捐赠用于国家公园和其他自然保护区。2020 年，中国设立国家绿色发展基金，首期募集规模为 885 亿元（124 亿美元），构建了政府主导的绿色金融责任体系，引导和鼓励更多社会资本投资绿色产业^[65-66]。

（三）基于市场的生物多样性保护创新融资机制

本章还考虑了一系列创新机制，如绿色金融、企业投资、生态系统服务付费和慈善捐赠。中国的“NBSAP”多次提到资金支持，并在战略任务中强调探索社会化、市场化投融资机制。建立多元化的生物多样性保护投融资机制应是一项优先行动，应鼓励金融机构将生物多样性纳入投融资项目决策中，为生物多样性保护调动更多资源。地方层面可结合地区自然生态禀赋以及重点产业对生态系统服务的依赖，识别更多支持生物多样性的经济活动并拓展目录范围，提高金融机构的投资意愿，促进多元化融资。中国不同地区可根据自身的生态和经济状况，优先发展不同的市场化机制。

1. 私营部门的透明度和对国内和国际自然积极投资的支持

“昆蒙框架”和第 15/7 号决定“资源调动”强调了通过扶持行动、增加国际生物多样性相关资金流动和所有来源的资金、大幅增加所有来源的国内资源调动等方式加强生物多样性资源调动。“昆蒙框架”具体目标 19（c）和 19（d）指出了最有前途的私营部门融资机制，包括混合融资、影响基金和新的金融解决方案，如生物多样性信用和抵消、生态系统服务支付及绿色债券等与债务相关的工具。这些是 UNDP 生物金融倡议《生物多样性融资解决方案目录》中确定的一系列广泛融资解决方案的一部分。

本章特别值得关注的两个生物多样性融资解决方案是高度完整的生物多样性信贷和与可持续发展挂钩的债务工具，因为两者都有可能从私营部门调动大量资金资源，并且在国际上具有广泛的适用性。

2. 生物多样性信用、抵消和相关机制

生物多样性信用在“昆蒙框架”中被确定为一种帮助实现生物多样性积极成效的可能的新工具。生物多样性信用，一种可代表基于自然的解决方案（Nature-based Solutions, NbS）项目所取得的正向生物多样性成果的交易单位，目前对生物多样性信用的工作定义是“生物多样性信用是一种可测量、追踪和交易的单位，用于投资通过特定行动对生物多样性（如物种及其栖息地、生态系统、自然环境）产生正面影响的项目”。

生物多样性抵消的前提是已经造成了生物多样性损失，是基于“污染者付费”模式的经济手段，目标是实现生物多样性“无净损失”，通常是获得国家批准的开发许可等法律要求的合规工具。与碳或生物多样性抵消不同，生物多样性信用通过投资来“正向”引导或者推动生物多样性的保护与管理，是企业等实体的积极保护自然的投资与行动，并没有法律要求，被视为自愿市场的工具，而不是对造成的损害的补偿，会对生物多样性产生积极的贡献。但前提是保持高度完整性，确保生物多样性增益真实有效、核算明确，并构建完善、包容、公平的治理体系。目前，生物多样性信用额度的潜在市场规模尚不清楚，但对全球市场的一项估计表明，到 2030 年，这类信用额度可能达到 20 亿美元，到 2050 年将超过 690 亿美元。

越来越多的国家有不同形式的生物多样性抵消市场，如澳大利亚的自然修复市场、英国的生物多样性净收益要求、哥伦比亚的生物多样性抵消法规。这些受监管的市场进一步推动了人们对生物多样性信用产生兴趣。

中国目前还没有这样的生物多样性信用市场，但在过去 20 年里，中国在自然市场的发展方面积累了丰富的经验。近年来，各大商业银行和政策性银行积极推广林权抵押和按揭贷款、生态补偿收益权和林草业经营收益权质押贷款，同时积极开展林业全周期信贷产品业务，推进林业绿色信贷产品创新，大力支持绿色林业产业发展。另一个创新举措是生态系统资产使用权的交易，包括碳信用额的交易。虽然仍处于初步阶段，但已开展试点项目。

在自然市场发展进程中，关键点是将以自然为中心的项目纳入中国绿色分类标准。这一举措有效吸引了私营部门对生态倡议的投资，绿色金融部门的不断增长促进了这一发展。

生物多样性信用联盟^[76]最近发表的一篇论文指出，不断发展的生物多样性信用市场可以参考碳市场的有效见解，并避免诸如诚信度低、信用质量差、需求疲软、供应有限、采用缓慢、成本高、缺乏效果和潜在的市场失灵等问题。然而，认识到生物

多样性市场和碳市场之间的根本差异至关重要，这需要在生物多样性领域采取创新方法。在考虑发展生物多样性信用市场时，原住民和当地社区的参与至关重要。建立一个基准来界定生物多样性信用项目及其成果的完整性和建立能够使购买者提出可信索赔的系统尤为重要。

在过去两年，各方提出了一些合作倡议，寻求在地方、国家和国际层面推进生物多样性信用的工作。这些组织包括生物多样性信用联盟、自然市场工作组、世界经济论坛（World Economic Forum, WEF）、世界可持续发展工商理事会（World Business Council for Sustainable Development, WBCSD）和生物多样性信用国际咨询小组（International Advisory Panel on Biodiversity Credits, IAPB）。IAPB 由法国和英国政府于 2023 年 6 月在巴黎峰会上发起，旨在达成一项新的全球融资公约，以帮助制定利用生物多样性信贷造福人类和地球的全球路线图。在多方利益相关方专家小组的指导下，IAPB 正在解决与发展高完整性生物多样性信用市场相关的五个关键挑战，涉及核算、需求、供给、管理和治理，有望于 2024 年 10 月在哥伦比亚举行的 COP16 提出一份基于广泛调查结果的建议报告^[70]。

中国在发展生物多样性信用市场方面有相当大的空间，可借鉴碳信用市场和其他自然市场方面的经验。生物多样性信用国际咨询小组及其他国际受众的欢迎积极参与 IAPB 的工作来分享生物多样性信用市场的发展经验。

3. 可持续发展挂钩债务工具

根据世界银行的《国际债务报告》^[71]（2023 年 12 月出版），发展中国家在 2022 年花费了创纪录的 4 435 亿美元来偿还其外部公共债务和公共担保债务。同年，全球公共债务达到 92 万亿美元^[78]。根据最新的国际货币基金组织和世界银行债务可持续性框架，一半以上的低收入国家，即 69 个国家中的 37 个，被评估为处于高风险或债务困境。

可持续发展挂钩债务可以从几个方面推动解决主权债务问题。首先，当国家取得积极的自然和气候成果时，它会以较低的债务偿还成本直接奖励这些国家。其次，它鼓励降低风险、增强韧性和经济生产力的投资，最终降低整个国家的债务偿还成本。再次，它通过促进经济增长和提高生产力，并为增加公共支出提供财政灵活性，支持更广泛的可持续发展。最后，它通过促进债务人和债权人之间更明智地分担风险，降低了复杂债务重组的必要性。

可持续挂钩主权债务中心近期发布的一项报告强调了中国在积极参与可持续发展挂钩债务中的潜力（<https://www.ssdh.net/>）。报告指出，中国的外债总量及相对外债

占比显著上升，占亚太地区公共和公共担保外债总敞口的 7.1%，这为中国在亚太地区和其他作为双边债权国的地方，展示其在使用与自然相关的债务工具方面的领导作用提供了一个机会，既可以减轻债务国的部分债务负担，同时也能支持“昆蒙框架”及其他国际自然和气候相关的国际协议的落实。

可持续发展挂钩债务和信贷前景可观。由大自然保护协会（The Nature Conservancy, TNC）率先发起的商业债务互换机制，为各国能够在不增加甚至减少债务负担的情况下提供了资助生物多样性保护和履行气候承诺的途径。但其也面临诸多挑战：对于发行者，尤其是资源不足的主权政府来说，制定雄心勃勃的目标和项目渠道以及健全的关键绩效指标可能既昂贵又耗时。因此，它们可能需要多边开发银行或发展金融机构增加信用，如信用担保和政治风险保险，以便降低风险并吸引足够的资本进入相对较新的金融工具。有一些组织可以持续为这一领域提供支持，如由自然金融主办的可持续发展主权挂钩债务中心^[79]。

在 2023 年 12 月召开的《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方会议上，世界上最大的几家多边开发银行和国际组织发布联合声明，并成立工作组，以促进与可持续发展相关的自然和气候主权融资，这一努力也得到了有影响力的保险公司的支持。参与机构将通过风险缓解和信用增强工具的获取途径和可负担性，合作扩大主权国家和其他公共部门实体与气候和自然相关的融资规模。

可持续发展挂钩融资结构的关键绩效指标（Key Performance Indicator, KPI）可以跟踪广泛的气候、自然和生物多样性目标和问题，包括森林覆盖、农业和土地利用做法、自然资源枯竭、陆地和海洋保护区、物种灭绝风险等。国际资本市场协会正在编制一个可供可持续发展相关交易参考的说明性生物多样性 KPI 的公共登记系统。其他 KPI 是特定的点位或国家。重要的是，KPI 应根据有关基础数据的透明度、可追溯性和完整性的最佳实践来制定，以获得债权人的信任，并在使用 KPI 的利益相关方中建立信誉。

4. 根据全球生物多样性框架的主流化方法调整资金流

国际社会对生物多样性和金融的认知所取得的最重大的进展之一，是认识到对生物多样性有害的资金流动规模远远超过对生物多样性有益的资金流动规模。重新调整有害的补贴和激励措施（包括在“昆蒙框架”目标 18 中）需要成为其中的一个重要因素，但这只是实现“昆蒙框架”目标所必需的财政调整的一部分。

“昆蒙框架”目标 D 和具体目标 14 明确承认了这一点，并明确期望所有相关的公共和私人活动、财政和资金流动应逐步与“昆蒙框架”保持一致。这实际上是呼吁

主权国家政府、私营部门公司、私营金融机构和公共开发银行采取行动。

过去两年，作为更广泛的自然和气候转型规划的一部分，人们越来越关注衡量不同类型机构的失调程度，然后支持它们改善这种情况。建立衡量和披露与自然有关的风险、影响、依赖关系和机会的框架一直是自然相关财务信息披露工作组的重点，也是私营公司和金融机构开始与“昆蒙框架”保持一致的重要起点。在这方面，可以使用一系列工具来支持公司和金融机构。

但强有力的政策和监管信号也是不可或缺的行动的一部分，目的是调整有害的金融流动，无论它们属于哪个经济部门。中国有机会在国内实现这一目标，并与更广泛的国际受众分享其经验。

（四）生物多样性融资和气候融资的协同机制

1. 优先考虑应对多重威胁的解决方案

气候变化和人类活动共同塑造了地球生物多样性的格局。不同维度和营养级的生物多样性变化反过来又或多或少地影响着气候变化和人类活动，即生物多样性的反馈效应。因此，必须积极推动生物多样性保护和气候变化应对的发展和协同，推广基于自然的解决方案，在协调应对生物多样性危机和气候变化危机中发挥有效作用，并筹集资金支持生物多样性保护和气候变化应对的协同推进。

2. 确保生物多样性和气候效益的财务协同和保障的关键机制

促进气候变化与生物多样性之间的协同，整合减少碳排放的货币政策工具，优化生物多样性与气候投融资的共同利益，确定生物多样性与其他社会挑战间的协同作用，特别是水安全、粮食安全及人类健康。

（五）生物多样性保护资源调动政策建议

生物多样性保护和“昆蒙框架”落实的任务艰巨，需付出长期努力。需要不断完善相关立法，加大财政投入，加强国家调控，提高资金使用效率，建立健全生物多样性保护融资机制，助力“昆蒙框架”目标的实现。

健全的资金机制是实现生物多样性保护和公共福利的重要条件和基础。目前，中国生物多样性保护投融资机制尚处于探索和建设阶段，面临较大的资金需求。中央政府在生物多样性保护资源调动方面相对积极，但远未达到对气候变化的重视程度。多元融资渠道缺乏、相关法律法规不健全、财政投入不稳定等问题，导致社会资本和公益资金难以进入。以下建议旨在解决这些限制。

1. 国内层面

1) 大幅增加与生物多样性相关的国内公共支出,尽可能使公共财政逐步与“昆蒙框架”的目标和指标相一致。这涉及以国家公园为主体的自然保护地体系的投入,以及普遍增加生物多样性保护的可用资金,目前,资金不足导致一些绿色中小企业难以获得贷款,财政资金对绿色项目的投入将有效解决民间资金不足的问题。“昆蒙框架”和《中国生物多样性保护战略与行动计划(2023—2030年)》的实施,需要绿色财税政策发挥更大的杠杆作用,助力生物多样性保护项目的市场化。

2) 要在融资、政策等方面给予生物多样性保护优先支持。完善税收制度,通过适当减税或增税等方式对环境友好型企业进行正向激励,对生物多样性和自然资源有负面影响的企业予以处罚。同时,在生态环境治理领域,尤其是生物多样性治理领域,很多项目存在一定的风险,收益较低,一旦投资失败,损失惨重。因此,要进一步完善绿色投融资政策,通过绿色金融的优惠政策引导绿色投资,使这些绿色金融产品成为激励或约束的有力工具。动员和引导企业、女性、青年、土著居民和当地社区等利益相关方参与生物多样性治理,构建国家行动的制度体系和协调机制。

3) 建立中国生物多样性专项基金,通过政府引导,整合、协调分散的保护资源。完善支持生物多样性保护的转移支付、财政、投资、价格政策和相关市场化机制,参照国际上成熟的混合融资方式,引导社会资本参与,降低社会资本投入成本,帮助自然保护区建设等生物多样性保护项目获得更多资金支持,促进这些领域的发展。同时,快速推动昆明生物多样性基金取得实效。

4) 促进生物多样性金融产品的创新,以改善金融服务,缩小资金缺口。通过森林固碳与应对气候变化之间的协同作用,生物多样性保护活动可提供多重效益。为减轻对生物多样性的负面影响,可通过湿地补偿等方法提供生态补偿。金融机构可通过发行生物多样性债券,在生物多样性保护项目融资方面发挥关键作用。通过重点开发创新型金融产品,可获得必要的保护资金,从而扩大整体影响。探索将生物多样性纳入绿色金融评价结果,纳入金融机构考核,调动金融机构积极性,助力实现“昆蒙框架”目标、支持生物多样性保护和可持续发展方面就有可能取得更大突破。

5) 消除有害激励措施。对生物多样性有害的补贴在农业、建筑/住房、林业、化石燃料、海洋捕捞渔业、运输业等很多行业中都广泛存在,影响生态系统的健康。中国应发挥领导作用,确定、取消、逐步淘汰或改革对生物多样性最有害的激励措施,适当利用财政工具在关键部门增加对生物多样性有利的激励措施,以促进目标18的实现。加强生物多样性相关风险管理,有效识别和评估金融机构投融资项目生物多样性

相关风险，在各个绿色金融改革创新试验区开展生物多样性风险相关试点工作，帮助金融机构有效识别和评估投融资项目生物多样性相关风险。

6) 提高透明度。中国应迅速推出私营部门信息披露要求，探索建立统一规范的生物多样性信息披露标准和框架，并将在海外和国内运营的中国公司的报告要求纳入其中，不断提高市场透明度并引导自然向好的投资决策。

7) 生物多样性信用。作为将自然市场纳入经济框架的更广泛一部分，无论是在国内还是在中国企业海外业务中，中国都应探索扩大完整性生物信用市场的潜力，并积极参与相关国际论坛，包括生物多样性信用国际咨询小组（IAPB），分享这些新自然市场的经验。

8) 债务工具。中国应探索可持续发展挂钩主权债务工具的使用范围，包括新贷款和现有贷款的再融资或重组，并为中国在该领域展示重要国际领导作用提供机会。

2. 国际层面

上述建议有助于中国在国内实现“昆蒙框架”的资源调动目标，这为中国提供了一个极好的机会来保持和加强已有的国际领导力。特别是消除对生物多样性有害的激励措施的行动，关注生物多样性信用和 IAPB 的工作等新的市场工具，以及可持续发展挂钩主权债务工具，许多发展中国家和新兴国家的重要债权人的地位及“一带一路”倡议，使中国在国际上发挥了独特的领导作用。将生态保护红线原则和实践应用到中国在海外资助的基础设施和其他发展项目中也值得探索，以减少此类项目的环境和社会影响，提高其对生物多样性保护的贡献。中国也将利用自身的发展援助资金和昆明生物多样性基金，加强对其他发展中国家、不发达国家和小岛屿发展中国家履行“昆蒙框架”的支持义务，特别是针对能力建设及相关问题、南南合作、南北合作和三方合作的目标 20。通过公共和私营部门的能力建设，金融部门将更好地支持和促进发展中国家的生物多样性保护。

六、政策建议

（一）在现有保护地和生态保护红线基础上，建立符合国际标准的区域生态保护模式，并推动在全球范围内落实“30×30”目标，展现中国在该领域的领导力

一是开展生态保护红线在国际上的应用推广。30% 是全球目标，在实践中可能不适用于所有国家。考虑中国在实现三个目标方面取得的重大进展，到 2030 年全面实现

并超过 30% 目标的雄心承诺，这将巩固中国（作为即将卸任的 COP15 主席国）的引领作用，并鼓励其他国家到 2030 年在保护地和 OECMs 方面也超过 30%。中国还可以在支持其他国家，特别是发展中经济体实现“30×30”目标以及“一带一路”倡议等外交目标方面发挥重要作用。二是加强对《生物多样性公约》和 IUCN 定义的自然保护地、生态保护红线以及 OECMs 的概念、空间划定与识别标准的区别研究，逐步形成与国际接轨的红线划定管理意见、方案、标准、指南、导则等一系列技术支撑文件，以支持全球落实“昆蒙框架”目标 1、目标 2 和目标 3。三是加快出台中国“30×30”目标落实方案，在现有保护地和生态保护红线基础上，建立符合国际标准的区域生态保护模式。中国加强生态保护红线在国际上应用的普适性模型研究，与利益相关方和国际社会、组织合作，建立生态保护红线在其他司法管辖区划定的集成化技术包。

（二）进一步加强全球自然保护地的代表性和保护成效评估，推动物种栖息地和关键生态系统的高质量保护

一是系统梳理全球现有就地自然保护地体系中的创新举措和经验教训，建设国家公园，构建与优化有效的自然保护地体系，包括保护地的提质增效以及将合适场地识别为 OECMs。二是重点关注就地自然保护体系在代表性、生态系统完整性保护、治理和管理等方面的综合效果；完善体制机制，提升保护地管理成效；用这些信息支撑落实“30×30”目标的保护地体系模式，特别关注海洋和内陆水域生态系统。三是强化保护地间联通技术的研究，加强生态廊道构建与维护，确保生态廊道质量与有效性。四是完善自然保护地管理有效性的保护成效评估体系，包括社会公平、性别平等和人权等相关问题。五是强化对物种栖息地和关键生态系统开展生物多样性调查、监测与评估的技术方法创新，完善空—天—地一体化生物多样性监测体系。

（三）加快发展更可持续的农业生产方法，在确保粮食安全的基础上，提升农业生态功能和生物多样性

一是深入推进和落实“昆蒙框架”目标 7，继续减少农业污染。加强农田绿色投入品研发和使用，禁止生产和使用高毒性、高风险的化肥和农药，鼓励有机肥和生物农药的使用；提高农业有机废弃物综合利用和污染防治能力，加强农田有毒有害化学/生物污染监测和防控水平；加强农药包装和农膜等可降解材料研发和高效回收处理技术，进一步提高回收利用效率。二是深入推进和落实“昆蒙框架”目标 10，推动农业可持续管理。探索高产、稳产的农业可持续和再生农业发展模式，推广农业可持续技术，

确保农业长期生产力；完善农田土壤健康和农业生态发展评估体系，将土壤生物多样性指标纳入农田土壤健康和农业生态发展评估体系。三是以农业新质生产力为发展目标，加强能力建设。推动智能农业和数字化技术的应用，提高农业生产效率和资源利用率，全面提升农业生物多样性保护水平。四是进一步宣传和倡导“大食物观”，通过促进膳食结构多元化转变，推动工业化集约化依赖型的农作物供给向多源化食物供给发展，协调发展来自农田、森林、草原和水生等多种生态系统的食物生产力，以保持农业生物多样性的可持续性。五是加强农业基础保障措施的有效执行，通过加大对农业生物多样性保护的财政投入，确保资金用于科学研究、监测、宣传教育和生态修复；通过财政补贴、税收优惠等措施，降低农业生产成本，加大对有机农业和可持续农业的政策扶持力度，鼓励农民参与生物多样性友好的种植和养殖方式，增强农业生物多样性实施措施的执行力。

（四）持续发挥中国政府在生物多样性保护资源调动与资金投入方面的领导力，加快完善市场激励政策，识别、减少、逐步取消或改革对生物多样性有害的激励措施

一是全球仍期待中国在生物多样性保护领域发挥引领作用，推动生物多样性保护框架基金实施，完善昆明生物多样性基金机制，向发展中国家提供生物多样性保护资金、标准、经验和技术等方面的支持，实施国家生物多样性融资计划，用于建设“昆蒙框架”等优先事项。二是充分衔接碳减排货币政策工具和气候投融资机制，积极推动生物多样性保护与应对气候变化行动的协同，不断增强生物多样性保护和气候变化等资源调动与资金投入的共同惠益，并与其他从事自然和气候金融工作的国家和机构分享中国经验。三是统筹发挥政府、金融机构及私营部门等多渠道资金效益，探索结合可持续挂钩债务工具，进行新贷款和现有贷款的再融资或重组。

参考文献

- [1] CBD (CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY). Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework (CBD/COP/DEC/15/4) [EB/OL]. 2022. <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-en.pdf>.
- [2] WWF AND IUCN WCPA. A Guide to Inclusive, Equitable and Effective Implementation of Target 3 of the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework[EB/OL]. 2023. <https://www.worldwildlife.org/publications/30×30-a-guide-to-inclusive-equitable-and-effective-implementation-of-target-3-of-the-kunming-montreal-global-biodiversity-framework>.
- [3] WATSON JEM, VENEGAS -LI R, GRANTHAM H, et al. Priorities for protected area expansion so nations can meet their Kunming -Montreal Global Biodiversity Framework commitments[J]. Integrative Conservation, 2023, 2(3): 140-155.
- [4] DUDLEY N. Guidelines for Applying Protected Area Management Categories[M]. Gland, Switzerland: IUCN, 2008.
- [5] 王伟, 周越, 田瑜, 等. 自然保护区生物多样性保护研究进展 [J]. 生物多样性, 2022, 30(10): 22459.
- [6] 高吉喜, 徐梦佳, 邹长新. 中国自然保护区 70 年发展历程与成效 [J]. 中国环境管理, 2019, 11(4): 25-29.
- [7] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 关于建立以国家公园为主体的自然保护区体系的指导意见 [EB/OL]. 2019. http://www.gov.cn/zhengce/2019-06/26/content_5403497.htm.
- [8] 臧振华, 杜傲, 孔令桥, 等. 中国首批国家公园体制试点的经验与成效, 问题与建议 [J]. 生态学报, 2020, 40(24): 8839-8850.
- [9] 崔国发. 关于自然保护区整合优化工作中几个关键问题的讨论与建议 [J]. 生物多样性, 2023, 31(9): 22447.
- [10] 生态环境部. 中国履行《生物多样性公约》第六次国家报告 [M]. 北京: 中国环境出版集团, 2019.
- [11] 中华人民共和国国务院新闻办公室. 《中国的生物多样性保护》白皮书 [EB/OL]. 2021. https://www.gov.cn/zhengce/2021-10/08/content_5641289.htm.
- [12] 中国科学院生物多样性委员会. 中国生物多样性状况报告 (2021—2022) [J]. 生物多样性, 2024, 32(增刊): 1-34, 23286.
- [13] 生态环境部. 中国生物多样性保护战略与行动计划 (2023—2030 年) [EB/OL]. 2024. <https://www.mee.gov.cn/ywdt/hjywnews/202401/W020240123333807288143.pdf>.
- [14] FAN X, XU W, ZANG Z, et al. Representativeness of China's Protected Areas in Conserving Its Diverse Terrestrial Ecosystems[J]. Ecosystem Health and Sustainability, 2023, 9: 29.
- [15] YANG B, QIN S, XU W, et al. Gap Analysis of Giant Panda Conservation as an Example for Planning China's National Park System[J]. Current Biology, 2020, 30(7): 1287-1291.
- [16] YU H, ZHONG L, WANG Q. Identification and analysis of conservation gap of national nature

reserves in China[J]. *Ecological Indicators*, 2024, 158: 111525.

- [17] ZHANG S-Y, GHEYRET G, CHI X, et al. Representativeness of threatened terrestrial vertebrates in nature reserves in China[J]. *Biological Conservation*, 2020, 246: 108599.
- [18] XU W, XIAO Y, ZHANG J, et al. Strengthening protected areas for biodiversity and ecosystem services in China[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, 114(7): 1601-1606.
- [19] LÜ Y, ZHANG L, ZENG Y, et al. Representation of critical natural capital in China[J]. *Conservation Biology*, 2017, 31(4): 894-902.
- [20] TIAN J, FENG C, FU G, et al. Contribution of different types of terrestrial protected areas to carbon sequestration services in China: 1980–2020[J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2023, 11: 1074410.
- [21] LI X, WANG H, MCCAULEY D J, et al. A wide megafauna gap undermines China's expanding coastal ecosystem conservation[J]. *Science Advances*, 2023, 9(32): 3800.
- [22] 陈航通, 姚锦仙, 卜思涵, 等. 基于我国受威胁海洋鱼类分布与捕捞压力的保护空缺分析 [J]. *北京大学学报 (自然科学版)*, 2020, 56(5): 917-930.
- [23] 冯春婷, 罗建武, 刘方正, 等. 长江经济带国家级自然保护区管理状况评价 [J]. *环境科学研究*, 2020, 33(3): 709-717.
- [24] 王伟, 李俊生. 中国生物多样性就地保护成效与展望 [J]. *生物多样性*, 2021, 29(2): 133-149.
- [25] 李俊生, 罗建武, 王伟, 等. 中国国家级自然保护区绿皮书: 国家级自然保护区发展报告 [M]. 北京: 中国环境出版社, 2015.
- [26] FENG C, CAO M, WANG W, et al. Which management measures lead to better performance of China's protected areas in reducing forest loss? [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 764: 142895.
- [27] MAO D, WANG Z, WANG Y, et al. Remote Observations in China's Ramsar Sites: Wetland Dynamics, Anthropogenic Threats, and Implications for Sustainable Development Goals[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2021: 9849343.
- [28] 祝常悦, 钟旭凯, 王昱心, 等. 海南热带雨林国家公园旗舰种海南长臂猿保护的历史与未来 [J]. *国家公园 (中英文)*, 2023, 1(4): 213-222.
- [29] 张凤春, 刘文慧, 李俊生. 中国生物多样性主流化现状与对策 [J]. *环境与可持续发展*, 2015, 40(2): 13-18.
- [30] ZHAO Z C, YANG R. The Concept of Authenticity and Integrity of National Parks in China and Its Evaluation Framework[J]. *Biodiversity Science*, 2021, 29(10): 1271-1278.
- [31] 马克平, 任海, 龙春林. 生物多样性保护需要更多的研究 [J]. *广西植物*, 2023, 43(8): 1347-1349.
- [32] 徐卫华, 赵磊, 韩梅, 等. 国家公园空间布局物种保护状况评估 [J]. *国家公园 (中英文)*, 2023, 1 (1): 11-16.
- [33] 生态环境部. 中国生物多样性保护战略与行动计划 (2023—2030 年) [EB/OL]. 2024. <https://>

www.mee.gov.cn/ywdt/hjywnews/202401/W020240123333807288143.pdf.

- [34] 徐德琳, 邹长新, 徐梦佳, 等. 基于生态保护红线的生态安全格局构建[J]. 生物多样性, 2015(6): 740-746.
- [35] 张琨, 邹长新, 张怡, 等. 从划定历程与属性特征正确认识生态保护红线内涵[J]. 生物多样性, 2022(4): 4-10.
- [36] 自然资源部. 中国生态保护红线蓝皮书(2023年)[M]. 北京: 中国大地出版社, 2023.
- [37] DI MININ E, SOUTULLO A, BARTESAGHI L, et al. Integrating biodiversity, ecosystem services and socio-economic data to identify priority areas and landowners for conservation actions at the national scale[J]. *Biological Conservation*, 2017, 206: 56-64.
- [38] DINERSTEIN E, OLSON D, JOSHI A, et al. An Ecoregion-Based Approach to Protecting Half the Terrestrial Realm[J]. *BioScience*, 2017: 1-12.
- [39] LEHTOMÄKI J, KUSUMOTO B, SHIONO T, et al. Spatial conservation prioritization for the East Asian islands: A balanced representation of multitaxon biogeography in a protected area network[J]. *Diversity and Distributions*. 2019, 25: 414-429.
- [40] BICKNELL E K, COLLINS B M, PICKLES S A R, et al. Designing protected area networks that translate international conservation commitments into national action[J]. *Biological Conservation*, 2017, 214: 168-175.
- [41] WILSON E O. Half-earth: our planet's fight for life[M]. New York: W.W. Norton, 2016.
- [42] LEVERINGTON F, LEMOS COSTA K, PAVESE H. et al. A global analysis of protected area management effectiveness[J]. *Environmental Management*, 2010, 46: 685-698.
- [43] HOCKINGS M, STOLTON S, LEVERINGTON F, et al. Evaluating Effectiveness: A Framework for Assessing Management Effectiveness of Protected Areas:2nd Edition[M]. IUCN, Gland, Switzerland, 2006.
- [44] IUCN-WCPA Task Force on OECMs. Recognizing and reporting other effective area-based conservation measures[M]. Gland, Switzerland: IUCN, 2019.
- [45] JONAS H D, MACKINNON K, MARNEWICK D, et al. Site-level tool for identifying other effective area-based conservation measures (OECMs)[M]. First edition. IUCN WCPA Technical Report Series No. 6. Gland, Switzerland: IUCN, 2023.
- [46] SHARMA M, PASHA M K S, NIGHTINGALE M, et al. Status of Other Effective Area-Based Conservation Measures (OECMs) in Asia[R]. Bangkok, Thailand: IUCN Asia Regional Office, 2023.
- [47] MARNEWICK D, STEVENS C, JONAS H, et al. Assessing the extent and contribution of OECMs in South Africa[J]. *PARKs* Vol. 2021, 27(1): 57-70.
- [48] CBD decision 14/8 on protected areas and other effective area-based conservation measures[EB/OL]. <http://www.cbd.int/doc/decisions/cop-14/cop-14-dec-08-en.pdf>.
- [49] OXFAM AUSTRALIA. Guide to Free, Prior and Informed Consent[R]. Victoria, 2010.
- [50] UNCCD, Global Land Outlook,[R] 2024.

- [51] MINISTRY OF AGRICULTURE AND RURAL AFFAIRS. Zero Growth Action Plan for Fertilizer Use by 2020[EB/OL]. 2015. http://www.moa.gov.cn/nybggb/2015/san/201711/t20171129_5923401.htm.
- [52] MINISTRY OF AGRICULTURE AND RURAL AFFAIRS. Zero Growth Action Plan for Pesticide Use by 2020[EB/OL]. 2015. http://www.moa.gov.cn/nybggb/2015/san/201711/t20171129_5923401.htm.
- [53] 李友顺, 白小宁, 李富根, 等. 2023 年及近年我国农药登记情况和特点分析 [J]. 农药科学与管理, 2024, 45(2): 10-19, 28.
- [54] Nbs. China Statistical Yearbook 2023[M]. China Statistics Press, 2023.
- [55] 全国农作物秸秆综合利用情况报告 [R]. 中华人民共和国农业农村部, 2022.
- [56] STATE ADMINISTRATION FOR MARKET REGULATION. 2023 annual organic product certification and industry development report[R]. 2023.
- [57] YIN R, HE Q. The spatial and temporal effects of paulownia intercropping-The case of northern China[J]. Agroforestry Systems, 1997, 37(1): 91-109.
- [58] FANG S, LI H, SUN Q, et al. Biomass production and carbon stocks in poplar-crop intercropping systems: a case study in northwestern Jiangsu, China[J]. Agroforestry Systems, 2010, 79(2): 213-222.
- [59] SUN H, TANG Y, XIE J. Contour hedgerow intercropping in the mountains of China: a review[J]. Agroforestry Systems, 2008, 73(1): 65-76.
- [60] LI C, HE X, ZHU S, et al. Crop Diversity for Yield Increase[J]. Plos One, 2009, 4(11): e8049.
- [61] ZHU Y Y, CHEN H R, FAN J H, et al. Genetic diversity and disease control in rice[J]. Nature, 2000, 406(6797): 718-722.
- [62] Fan G, Chen Z, Si W. China and Global Food Policy Report 2023[C]. Academy of Global Food Economics and Policy, plus partners. Beijing, 2023.
- [63] SNAPP S S, BLACKIE M J, GILBERT R A, et al. Biodiversity can support a greener revolution in Africa[J]. PNAS, 2010, 107(48): 20840-20845.
- [64] KASSIE B T, HENGSDIJK H, ROTTER R, et al. Adapting to Climate Variability and Change: Experiences from Cereal-Based Farming in the Central Rift and Kobo Valleys, Ethiopia[J]. Environmental Management, 2013, 52: 1115-1131.
- [65] LI C, HE X, ZHU S, et al. Crop Diversity for Yield Increase[J]. Plos One, 2009, 4(11).
- [66] LI X-F, WANG Z-G, BAO X-G, et al. Long-term increased grain yield and soil fertility from intercropping[J]. Nature Sustainability, 2021, 4(11): 943-950.
- [67] 赵阳, 李宏涛. 以经济手段促进生物多样性保护 [J]. 生物多样性, 2022, 30(11): 18-26.
- [68] LU D Y. On Promoting Biodiversity Conservation through Economic Measures[J]. Environment and Sustainable Development, 2022, 47(4): 50-54.
- [69] HE J, XIE J, LIU G H. Economic Policy Analysis and Prospect of Biodiversity Conservation[J]. Environment and Sustainable Development, 2017, 42(6): 20-25.

- [70] 韦红, 张辰. 中国与湄公河国家的生物多样性保护合作与澜湄生命共同体构建 [J]. 云南师范大学学报 (哲学社会科学版), 2022, 54 (4): 145-156.
- [71] LV X X. International Framework for Biodiversity Finance[D]. The Paper, 2024.
- [72] DEUTZ A. et al. Financing Nature: Closing the Biodiversity Finance Gap[J]. The Nature Conservancy, 2020.
- [73] 崔楚云, 侯一蕾, 王天一, 等. 金融支持生物多样性保护: 全球实践及政策启示 [J]. 生物多样性, 2022, 30(11): 49-59.
- [74] 李亦欣, 李圆圆, 张杨心怡, 等, 《生物多样性公约》资金问题最新进展及展望 [J]. 生物多样性, 2023, 31(4): 25-30.
- [75] BIODIVERSITY CREDIT ALLIANCE. 2023. Demand side sources and motivation for biocredits.
- [76] 世界经济论坛. BIOFIN: Biodiversity Credits: Demand Analysis and Market Outlook[R]. 2023.
- [77] WORLD BANK. International Debt Report 2023[R]. Washington, D.C.: World Bank, 2023.
- [78] UNCTAD. A World of Debt: Report 2024[R]. Geneva, 2024.
- [79] UNDP 2023. (Re)orienting Sovereign Debt to Support Nature and the SDGs: Instruments and their Application in Asia-Pacific Developing Economies. Bangkok: UNDP Bangkok Regional Hub, Thailand. eISBN: 9789210027960.

第二篇

国家绿色治理体系

第四章 降碳减污扩绿增长协同机制¹

一、扩绿增长：减排如何促进经济增长

协同推进“降碳、减污、扩绿、增长”为“双碳”目标下兼顾降碳减污和经济增长提出了新的要求和方向。传统观念认为减排是经济增长的阻碍，没有正确认识到减排与经济增长之间的相互促进关系，从而阻碍了以发展新质生产力推动降碳减污协同发展的进程。在新的发展理念下，需要转变传统发展思路，以“降碳减污”为抓手，通过技术创新、产业结构优化、产业空间优化和绿色产业发展，实现全域环境质量的持续改善与经济增长的良性循环。同时，应认识到性别主流化在减排促进经济增长中发挥的作用，以系统性观念，持续推动“双碳”目标下的公正转型。

（一）减排促进经济增长的潜力与障碍

1. 减排促进经济增长的潜力

第一，减排成为推升绿色经济新增长关键因素。降碳减污过程可以被视为熊彼特式的“创造性破坏”，即减排的过程是将旧的高碳经济结构逐步淘汰，新的绿色经济快速崛起的过程。以电力部门为例，减排推动了绿色新能源产业快速发展，在诸多领域迅速替代了化石能源。中国在新增风电和太阳能发电装机容量方面已占据全球主导地位。2023年，中国新增太阳能发电装机容量占全球太阳能发电装机总量的51%，风能发电装机容量占全球风能发电装机总量的65%。在汽车行业中，中国新能源汽车市场占有率逐年攀升。根据中国汽车工业协会发布的数据，2024年前5个月市场占有率已达到33.9%，表明行业发展迈入加速轨道。中国可再生能源与新能源汽车产业的发展及高速增长得益于国家“双碳”战略和多年以来绿色低碳转型的发展成效，相关政策措施激励了技术研发和市场推广，推动了充电桩等相关配套基础设施的建设，为产

¹ 本章内容摘编自2023—2024年国会会“降碳减污扩绿增长协同机制”专题政策研究项目主要研究成果。

业增长注入了强劲动力，进而带动绿色新经济迅猛发展，促进并扩大和丰富了全球绿色产品和服务的供给，使中国继续保持全球最大的电动汽车市场地位。

第二，减排“倒逼”传统经济单元技术进步和效率提升。降碳减污使环境因素成为影响经济发展的重要因素之一，推进政策形成了经济激励和环境约束的平衡机制，迫使传统高碳行业进行技术升级和效率提升，以强化经济增长的核心能力。中国钢铁行业是碳排放的主要来源之一，占全国工业碳排放的 20% 左右。在“双碳”目标导向下，随着环境政策的日益收紧，超低排放及其改造成为刚需，低碳技术不断改进和进步，行业竞争力和可持续发展能力不断增强。2022 年 2 月，工业和信息化部等部委联合发布《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》，提出制定氢冶金行动方案，加快推进低碳冶炼技术研发应用。一旦突破低成本绿氢技术，将能从根源上改变钢铁行业高碳属性^[1]。

第三，减排提升经济增长的整体质量。减排促进生态环境改善，提高了生态环境的资源价值，多维度提升区域经济增长的整体质量。以区域经济发展为例，碳减排提升本地区空气质量，显著降低公共健康支出，提高当地劳动健康度及生产能力，增加旅游产业市场价值，提高生产经营效率与效益，优化产业招商环境与建设条件，从各个方面改善经济发展所需的环境条件。自 2013 年 9 月实施“蓝天保卫战”以来，依托实施工业企业提标改造、推进清洁能源替代等一系列减排措施，京津冀地区空气污染治理取得了显著成效。北京市 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度从 2013 年的 $89.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至 2023 年的 $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。已有大量研究对环境质量提升带来的社会总福利的增加进行了评估，发现当前环境质量改善的边际福利远高于边际成本，尤其是在污染严重地区^[2]。

第四，减排增强经济增长韧性及运行效率。能源结构改革和主动调整可以减少对进口化石燃料的依赖，有效降低经济系统对化石燃料的依赖度，并削弱相关冲击，降低经济运行基础风险，规避国际环境恶化带来的潜在经济损失，提高国内经济的韧性和适应能力。降污减排扩大并丰富了绿色基础设施建设需求，提高了城市应对气候变化和自然灾害的能力，增强了城市与经济的气候适应性。比如当前开展的“低碳城市”“海绵城市”“气候适应型城市”等相关“韧性城市”的试点政策，本质上都是在重塑人与自然的关系统^[3]，客观上促进了绿色基础设施和可再生能源的投资增长，丰富了经济发展方式，提升长周期的经济可持续性。

2. 减排促进经济增长的阻碍

第一，认识与观念的局限性。减排对经济可持续发展的影响具有一定的系统性和长期性，造成部分主体尚未充分认识到重要性、必要性和内在关系，绿色发展理念落

实难、实施难。受传统工业文明思维的制约，以及宏观经济与微观经济、具体经济行为为差异的影响，部分企业未能认知或仍不认同环境保护与企业长期发展的科学关系，而是将环保及投入仅当成一种负担，无法准确辨析并把握减排带来的绿色发展机遇及其对经济增长的促进作用，尚未形成“减排即发展”的管理理论和新发展观。在一些经济欠发达地区，部分地方政府为了追求短期经济增长，有意或无意忽视环境保护的重要性，最终阻碍了经济的可持续发展。

第二，传统发展模式及其带来的惯性。传统的高碳发展模式在经济增长中占据主导地位，逐渐成为一种“已被验证的成功经验”，而此模式及惯性给发展模式转变带来巨大阻碍。这种惯性不仅体现在生产方式上，也反映在资源配置和政策制定等方面。近年各级地方政府通过推进钢铁企业的超低排放及改造，取得了一定成效，但部分企业对清洁生产的核心技术突破应用尤其是绿色生产方式的创新存在疑虑，导致传统高污染、高能耗的生产方式退出缓慢。

第三，短期成本冲击及其衍生的不平等性。减排需要短期内的高额投入，带来企业生产成本和社会消费成本短暂上升，或出现产业转型造成的收入或就业的下降。这种短期成本与即时收益的冲击，必然首先对化石能源相关行业、化石能源资源禀赋丰裕区域和相关行业从业人员带来较大的经济压力。在中国煤炭主要产区，环保政策迫使非优质的矿产减产和矿井关闭，造成相关行业就业人数骤减，煤炭行业的萎缩直接影响地方经济和就业。因此，一些过去以煤炭产业作为支柱产业的部门对碳减排持拖延的态度。绿色转型对高碳资源密集型行业的就业产生了巨大冲击，易对经济整体产生较强的不对称影响。

第四，政策机制传导存在客观障碍。在政策实施过程中，同时存在多种客观性传导障碍。一方面，部分地方政策未能充分考虑不同地区和行业的具体情况，存在“一刀切”现象，缺乏有效的“双碳”目标实现机制。如前几年部分地区为控制能耗强度和总量，采取了拉闸限电措施，未能兼顾减排与经济的关系，导致社会经济生活受到负面影响。另一方面，部分领域缺乏灵活的引导性政策，导致市场机制无法充分发挥作用。根据中国人民银行绿色金融与发展中心的相关数据，2023年全国碳交易市场的总成交量仅为2.12亿tCO₂e，而欧盟碳市场的同期成交量为约80亿tCO₂e。数据表明，目前中国碳市场的覆盖面和交易量有限，碳交易市场能力未能完全释放，政策措施及传导机制有待进一步明晰与优化。

（二）政策研究主要集中的四大专题

1. 如何通过提高效率同步促进经济增长和减排？

提高效率是减碳且促进经济增长的关键环节。企业可以通过效率提升降低能源和资源消耗,降低生产成本,提高竞争力。主要措施包括投资创新技术、采用效率提升措施、采用清洁生产方法等。从宏观层面来说,提高效率可以提高全产业生产力,降低生产成本,增加就业机会,创造新需求和新市场,从而推动经济整体增长。

第一,投资创新技术。2023 年中国新能源领域投资主要集中在体系建设,主要技术投资则集中在高效电机、节能变频器和智能电网等共性或基础型创新技术。海尔集团通过建设运营智能制造平台 COSMOPlat,促进了数字化管理机制的推广应用,缓解生产制造供需矛盾,强化产业链配合及链接能力,从而提高了生产效率并降低了能源消耗。2023 年,海尔集团的智能工厂实现了单位能耗降低 18%,生产效率提升 28% 的显著成效,在生产制造环节基本实现减排与经济增长的同步。

第二,采用能源和资源效率措施。高效能源资源利用可同步减少排放和费用成本,减少原材料浪费和废弃物生成,改善企业运营能力与生产经营效益,增强企业经济的韧性和可持续性。2020 年中国主要资源产出率比 2015 年提高了约 26%,单位 GDP 能源消耗继续大幅下降,单位 GDP 用水量累计降低 28%。京东集团在其物流中心推广智能仓储和包装材料循环利用技术,使物流效率提升 22%,包装材料消耗减少 32%,降低了运营成本,减少了碳足迹,直接产生环境经济效益。

第三,使用清洁生产方法。中国政府在 2012 年重新修订了《中华人民共和国清洁生产促进法》,为企业清洁生产方式,提高资源利用效率,减少和避免污染物的产生,提供了政策支持和技术指导。而清洁生产技术措施不仅改善了环境质量,还可能带来生产成本降低。鞍钢集团的吨钢综合能耗、万元产值二氧化碳排放、吨钢耗新水较“十四五”初期分别降低 3.7%、1.2%、7.4%;二氧化硫、氮氧化物、化学需氧量等主要污染物排放量分别下降 22%、8%、35%,降低排放治理成本,触发技术升级,带动效益增长。

第四,增加就业机会和创造新市场。减排将改变经济方式和需求内容,从而创造新的就业机会和市场。根据中国人力资源和社会保障部的数据,绿色经济转型预计在未来五年内为中国创造上千万个新增就业机会,相应提升了市场需求和社会消费能力。2023 年,中广核集团新能源项目(风电和光伏发电)创造了超过 2.5 万个就业岗位,活跃了劳动市场,促进了就业及消费,带动了多个产业链的协同发展。

2. 如何有效将外部成本内部化？

碳定价、碳排放权交易和环境保护税等多种措施的出台，使企业承担环境和社会影响的成本产生变化，促进减排的同时实现经济增长目标。在政策鼓励下，企业将主动采取减排措施，拓宽经济发展资金渠道，内部化外部成本，改善资源配置机制，推动可持续生产和消费。通过强调企业和个人的环境责任，促使更多的主体或资本采取环保行动，从而积极开展减少碳排放和资源消耗的工作。

碳定价为市场机制的政策运行提供基准和参考。碳定价是一种重要政策工具，通过对二氧化碳排放设定价格，激励企业减少排放并投资清洁技术。碳交易市场初期，各经济主体风险厌恶的属性，导致碳市场需要一个较低且权威的价格指导，有利于政策过渡，形成各方的预期，加快市场机制的形成与传导。伴随碳交易的不断扩大，以及能源转型的深入推进，有必要进一步放开价格控制，通过基于市场的过程来调控价格。

碳排放交易系统可以激活市场机制，避免非必要的交易成本。系统允许企业在规定的排放配额内进行交易，通过市场机制实现排放总体目标。2023 年，全国碳市场的累计交易量达到 2.12 亿 t，交易额为 144.4 亿元。除了国家的整体布局，地方政府也在不断地推行和完善碳交易系统。北京市在全国碳市场的基础上，进一步细化和完善了地方碳交易机制，通过优化配额分配和加强监督管理，使碳市场运行更加高效。

环境保护税等命令控制型政策加速市场机制形成。作为一种政策工具，环境保护税通过经济手段减少环境污染。自 2018 年起，中国以环境保护税替代之前的排污费制度。根据财政部的数据，2022 年全国环境保护税收入达 211 亿元，同比增长 3.9%。该措施有效推动了企业减少污染排放，倒逼企业绿色转型。

绿色金融撬动资金杠杆，社会共担成本与风险。中国在绿色金融领域的创新和发展为企业和个人的环保行动提供了资金支持。一方面，为碳中和科技创新提供超过以往规模的高科技风险投融资；另一方面，帮助高碳产业适应碳中和政策环境的金融产品，支持产业结构转型。此外，直接参加国际零碳金融市场建设的竞争与合作也是一项重要工作。借助零碳金融，可以极大地撬动社会资本，使转型的成本得以分散、风险得以共担^[4]。

政策引导和公众宣传，鼓励企业和个人承担环境责任。相关政策引导配合公众宣传，可以促使更多社会资源和人员采取环保行动，减少碳排放和资源消耗。当前，ESG 投资迎来热潮，ESG 建设有助于构建企业负责任的社会形象，既是企业整合内外部资源和高质量发展的需要，也是对于公众日益增长的可持续发展需求的回应。

3. 减排如何推动经济“创造性破坏”？

减排可以创造新的市场机会、产业和劳动分工，引导创新和转型，推动经济进入更具竞争力的劳动分工新结构。这种“创造性破坏”有助于经济增长的同时降低排放和资源消耗。

第一，减排创造了新的就业机会和市场，形成了新的经济增长极。围绕碳减排的绿色能源和技术创新等方面进行投资，为经济增长以及拓展市场和扩大就业创造出了巨大机会。例如，中国可再生能源快速增长减少了生产生活各个领域的碳排放，推动了相关产业链的升级和发展，拓展出新的能源消费，创造了相应的就业机会和市场需求，进一步推动了多个产业绿色升级。比亚迪作为全球领先的新能源汽车制造商，通过不断创新和技术进步，在为中国及全球提供绿色低碳产品的同时，也推动了整个行业的快速发展。

第二，减排改变了传统产业结构，促进了生产分工的重组。减排压力迫使传统的高能耗或高污染的行业利用减排实现技术升级和绿色转型，通过降低环境影响提高竞争力。2022年全国水泥行业的二氧化碳排放强度比2020年下降了13.9%，其中主要因素是采用新型材料和生产工艺，以及原材料的绿色替代、工艺的绿色升级等减排行为，推动了企业工艺重构和产业结构重组。从劳动力方面来看，尽管减排可能会导致一定数量的就业岗位消失，但同时也创造出新的行业和就业岗位，带来了对冲、补偿或增大，实现了劳动力的转型及社会生产分工重构。从就业主体来看，减排可以带来女性和其他不同群体的参与和赋权，尤其是涉及更多不同于传统生产行为的创新性活动时，不同群体的参与可以丰富决策渠道。

第三，减排形成了新的资源概念，加速了产业布局的空间重构。由于绿色发展具有不同的发展内容，具有新的资源概念，由此带来不同地区新的资源优势。一方面，从过去单纯的矿产资源等转向更广泛的绿色资源，包括生态服务、文化资源，甚至气候。近年来，贵州凭借其新能源产业快速发展，以风电、光伏等为代表的新能源逐渐扩张，截至2023年6月底，贵州省新能源装机总容量累计超过2000万kW，消纳新能源创历史新高。并且，光伏竞价项目全部位于乌蒙山地区、滇黔桂集中连片贫困地区和石漠化严重地区，开辟了产业扶贫新途径。另一方面，支持产业空间优化的基础设施也随之重新布局。尤其是快速交通体系和互联网，深刻改变了传统的空间概念，进一步方便了各区域优势互补。

第四，减排产生了新的商业模式、产品和服务，推动了经济模式的变革。减排政策和绿色技术的发展对创造新的商业模式和服务具有明确作用。以资源能源节约为导

向的共享经济和循环经济模式通过资源共享和再利用，降低了资源消耗和环境负荷，形成了新的商业模式与消费方式。

4. 减排如何促进经济更加非物质化？

要实现非物质化经济增长，经济结构需要更多依赖非物质投入，如技术、知识、文化、生态服务、环境和创意，利用精神资源实现经济发展的创新、赋能、增值。

第一，投资于技术创新和知识产权保护。以促进高科技和数字经济的发展，提高和丰富生产力类型，创造新的市场机会，推动非物质经济稳步增长，增强经济发展的驱动力。华为公司依托在技术创新上的长期战略布局，通过大规模投资研发和知识产权保护，成为全球技术创新的领导者，实现了新兴数字经济和绿色效益的连续增长。2023年，华为的研发投入达到1 647亿元，占总收入的23.4%，推动了5G技术的全球普及，带动了上下游产业链的协同发展，获得了良好的经营收益与经济效益。

第二，鼓励文化和创意产业的发展。鼓励文化和创意产业的发展，在包括数字媒体、艺术和娱乐领域提供文化资金、知识产权保护和市场推广等政策性支持，可以丰富精神产品供给，刺激精神产品消费，促进产业稳步增长。腾讯公司利用游戏和社交媒体平台（如微信和QQ）创造了巨大的数字经济价值，通过其投资支持了多个初创企业 and 创新项目，逐渐成为专注发展数字娱乐和创意内容的全球最大社交与游戏公司之一。

第三，投资于可持续农业和食品产业。投资于可持续农业和食品产业，鼓励有机农业和农业科技的发展，积极改变农业和食品业等传统产业发展方式，提高食品质量和农业可持续性。京东农场通过推广智能农业技术和有机农业模式，利用大数据和物联网技术优化农产品供应链，提升了农业生产效率和产品质量，并通过与农民合作社合作，推动了农村经济的发展。

第四，鼓励生态服务和自然资本的保护及可持续利用。确保自然资源的可持续性，维护生态系统，提供水源保护和气候调节等可持续的生态服务。蚂蚁集团通过其绿色计划，开展蚂蚁森林等各类生态公益活动，投资于生态保护和可持续发展项目，为当地居民提供劳动增收机会，提升了企业形象，放大了品牌价值，获得良好的环境效益和经济效益。

第五，鼓励和支持非物质经济增长。通过创新政策、教育和培训，提高劳动力的技能和创造力，利用减排实现更加可持续、创造性和非物质化的经济增长。深圳市通过实施一系列创新政策和教育培训计划，培育了大量高技能人才，为经济增长提供了动力。2023年，深圳市的高新技术企业数量达到2.47万家，科技创新对经济增长的贡献率超过60%，不仅提升了城市的创新能力，还促进了经济的非物质化转型。

（三）“双碳”背景下女性参与和性别主流化对减排促进经济增长的作用

在环境决策和政策制定中注重性别平等，可以更好地实现可持续发展目标。于是我们需要明晰女性参与和性别主流化在减排促进经济增长中发挥的具体作用。

第一，鼓励女性参与减排政策制定和实施可以提高社会公平性。性别平等是可持续发展的核心原则之一，确保妇女在减排决策中发挥作用有助于减少性别不平等，促进社会公平和经济均衡发展。政府和组织应制定性别平等政策，鼓励女性参与减排决策和项目，确保女性在政府、企业 and 非政府组织中获得相应的代表数量和领导地位。此外，培训可以帮助政策制定者更好地理解性别差异，并确保政策考虑这些差异。因此，应通过性别意识培训和教育，增强各界对性别平等问题的认识。例如，在城市空间规划设计中的性别考量可提高城市效率 and 安全性，同时解决清洁空气、安全用水和卫生设施等方面的性别差异影响。

第二，性别主流化可以丰富决策过程。妇女的参与意味着可以带来更多元化的意见和经验，改善政策的制定和执行流程。性别多样性有助于避免偏见和盲点，提高政策的质量和效力。鼓励女性参与可以补充不同思维下的环保技术和可持续解决方案，从而促进经济增长。因此，在制定减排政策时，要注重性别平等，考虑邀请比例合适的女性专家参与政策的制定和评估。

第三，缓解就业性别歧视问题并撬动社会资本。鉴于妇女在社区和家庭中发挥着重要作用，女性参与可以在社区层面带动环保倡议，并影响家庭和企业的可持续行为，从而在生活及消费层面提供更多的减排支持。考虑现有就业中客观存在着一定的性别歧视，重视并发挥女性在减排政策中的作用既可以一定程度上缓解性别歧视问题，又可以通过女性间接推动减排的社会资本的参与度。此外，减排政策和绿色经济领域的发展为女性创造了就业机会，尤其是在清洁技术、可再生能源和环境服务领域。这有助于提高女性就业率，提升社会经济地位，促进社会消费。在新兴产业、第三产业及服务行业，专门针对女性开展技能培训和就业支持，帮助她们在适合的行业或领域找到就业机会。通过这种方式，不仅可以提高女性就业率，还可推动当地减排与经济发展。

（四）政策建议

第一，改变减排负担论的传统观念，建立减排促进增长新的政策论述。强化旧的发展观念无法支持人类可持续发展的意识，明确减排将淘汰旧的高碳经济结构，推动新的绿色经济快速崛起，进而实现经济的“创造性毁灭”。积极宣传减排创造出新的就业机会 and 市场、产生新的商业模式、产品服务，以及劳动分工和产业链条的变革等绿色发展

机遇。通过理论培训、公共宣传和教育，提高政府、行业、公众的绿色发展理念及环保意识，增强社会对减排政策的支持和参与，形成全社会参与的绿色发展共识。

第二，重视技术创新，实现技术推动的绿色低碳创新发展。持续完善严格的环境标准和监测机制，确保减排政策的有效实施，为传统行业进行技术改造和升级营造良好的政策环境。根据减排举措的演进，灵活调整各部门职责任务，以动态、发展的视角进行战略布局，尽早减少对传统高碳产业的依赖，加快发展低碳和无碳产业，尤其是针对特定高前期成本行业，政府要予以专项资金支持。投资技术创新和知识产权保护，以促进高科技和数字经济的发展，增加和丰富生产力类型，创造新的市场机会，推动非物质经济增长，增强经济发展的驱动力。

第三，秉承绿色发展理念，大力推动绿色消费并倒逼绿色生产。投资向可持续农业和食品产业重点倾斜，大力支持文化和创意产业等非物质化的经济发展，鼓励生态服务和自然资本的保护及可持续利用。

第四，以系统性观念，推动“双碳”目标下的公正转型。充分考虑减排可能带来的各种不对称影响（包括性别主流化），兼顾各主体的切实利益，减少机会主义的滋生机会，厘清阻碍减排与经济增长的协同推进的因素，追求合理且可行的绿色公正转型。在制定政策、设计机制时，充分考虑性别主流化、区域协调等因素，以求科学决策。同时，以系统全局的观念，加强国际减排合作，积极调整全球分工与价值链参与策略，争取真正意义上的绿色公正转型，与各国共同应对气候变化带来的全球性挑战。

二、空气质量标准升级时间表、污染减排的源头控制和脱碳潜力评估

中国在持续推进大气污染控制方面取得了良好的成绩，但当前空气质量水平与空气质量标准仍与国外存在较大差距。随着中国进入新发展阶段，当前空气质量标准对进一步持续推进减污降碳的约束力已在逐步降低，仍然需要进一步探索和推动空气质量标准和管理体系的优化和创新。推动空气质量的根本性好转需要认识到其与“双碳”目标实现之间的内在联系。协同推进减污降碳，有利于中国从根本上推动环境的持续向好，是早日实现“美丽中国”目标的重要举措。

（一）背景

2013年以来，为改善空气质量，我国先后颁布了《大气污染防治行动计划》《打

赢蓝天保卫战三年行动计划》《空气质量持续改善行动计划》等政策，瞄准关键症结，大力推动能源、产业、交通结构调整，并实现全国环境空气质量显著改善^[5]。2013—2023年，全国细颗粒物（PM_{2.5}）、二氧化硫（SO₂）平均浓度分别下降54%、81%，重污染天数减少90%，改善速度之快前所未有，在世界大气污染治理进程中也史无前例。

在美丽中国建设迈出重大步伐的同时，我们清醒地认识到，大气污染形势尚未根本缓解。2023年全国PM_{2.5}平均浓度较世界卫生组织（WHO）最新准则值高出6倍，是欧美等发达国家的2~3倍；当前环境空气质量与公共健康保护的需求间仍有巨大差距。同时，随着空气质量的持续改善，现行《环境空气质量标准》（GB 3095—2012）的约束性逐渐降低，2023年全国339个地级及以上城市中有68%的城市实现PM_{2.5}年均值浓度达标，标准对进一步推动空气改善的牵引力不足^[6]。

同时，作为全球最大的能源消费国，中国也面临着减少二氧化碳排放的迫切需求。2020年中国政府承诺将在2030年前实现二氧化碳排放达峰，并在2060年前实现碳中和。鉴于空气污染物和温室气体的同根同源性，可以实施协同控制策略^[7]。中国政府于2022年6月颁布了《减污降碳协同增效实施方案》。这份首次将大气污染控制和碳减排目标紧密结合的行动方案，标志着中国在协同控制大气污染和温室气体排放方面进入了一个新时期。该方案强调结构调整的关键作用，有望从根本上同时减少碳污排放，实现空气质量改善和碳减排的协同效应。

（二）环境空气质量标准修订历程回顾

1. 发达国家、地区和组织相关空气质量标准

WHO于1987年发布了首个基于健康保护的《欧洲空气质量准则》，随后不定期更新并发布基于健康风险评估的空气质量指导值。基于大气污染对人体健康更全面、系统的危害认识，2021年版准则再次将PM_{2.5}、二氧化氮（NO₂）等年均浓度指导值降低，同时设置各污染物不同过渡阶段目标值。

美国国家环境保护局（EPA）于1971年颁布首个全美空气质量标准。50多年来，EPA定期对6类污染物〔地表臭氧（O₃）、颗粒物、一氧化碳（CO）、铅（Pb）、SO₂、氮氧化物（NO_x）〕的浓度标准进行审议和修订（见图4-1）。2024年将PM_{2.5}年均浓度一级标准由12 μg/m³加严为9 μg/m³。2015年将小时平均O₃浓度限值收紧为70 ppb¹。

1 ppb是“Part per billion”的缩写，意为十亿分之一，是一个无量纲量，用于描述溶液中溶质的浓度或某物质在一百亿份中的比例。

20 世纪 80 年代，欧盟首次颁布了空气质量限值，随后逐步修订完善（图 4-1）。最近一版欧盟空气质量标准指令（2008/50/EC）在 2008 年颁布。为应对日益严峻的空气污染问题，欧盟委员会于 2022 年 10 月提议修订欧盟《环境空气质量指令》，为严重影响人类健康的污染物设定了更严格的限值和目标值，预计于 2030 年 1 月实施^[8]。

2. 我国环境空气质量标准制修订历程

我国大气环境质量标准于 1982 年颁布实施。1996 年，在煤烟型大气污染环境管理需求的基础上，考虑机动车排放污染防治需求，对《大气环境质量标准》进行第 1 次修订，并更名为《环境空气质量标准》。考虑煤烟—机动车复合型污染造成的区域性 $\text{PM}_{2.5}$ 大气环境问题日趋严重，我国于 2012 年完成了第 2 次标准修订，增加了 $\text{PM}_{2.5}$ 和 8h-O_3 及其浓度限值，收紧可吸入颗粒物（ PM_{10} ）和 NO_2 等浓度限值等^[9]（见图 4-1）。

相比美国、欧盟和 WHO 的标准（或指导值），我国 6 种基本污染物浓度限值整体较为宽松。以 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度为例，WHO 建议 $\text{PM}_{2.5}$ 的长期暴露指导值为 $5\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，短期暴露指导值为 $15\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；欧盟和美国基于健康的 $\text{PM}_{2.5}$ 年均一级标准限值分别为 $10\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ （预期修改值）和 $9\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；而我国年均一级标准限值为 $15\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，24 h 平均浓度限值为 $35\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，二级标准年平均浓度限值为 $35\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，24 h 平均浓度限值为 $75\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。类似地，我国 $\text{O}_3 8\text{h}$ 浓度限值是美国和欧洲限值的 2 ~ 3 倍。考虑我国《环境空气质量标准》发布已经超过 10 年，全国和重点区域环境空气质量形势明显改善，国际上美国和欧盟均已提出了新的修改建议，我国有必要开展环境空气质量标准的评估与修订研究工作。

3. 我国环境空气质量评价方法建议

（1）标准修订应参考我国及国际先进研究成果

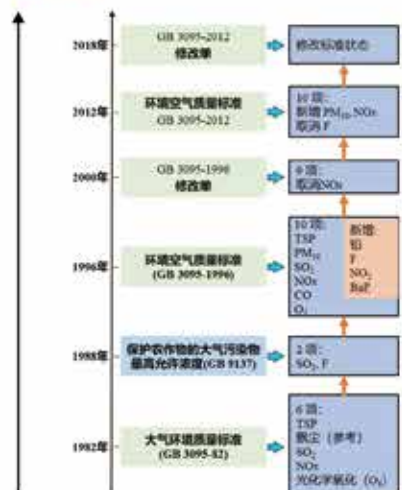
空气质量标准修订应参考大气污染对人体健康影响的最新研究成果^[10]。当前 WHO 的全球空气质量指标值主要依据欧美等发达国家和地区的环境污染暴露与人体健康影响研究成果。而我国与欧美国家在背景浓度、污染物来源和组成、人群暴露特征和健康效应响应等方面存在显著差异。因此，建议基于本土化环境健康研究成果选取适合我国的污染物浓度标准限值。

（2）同步优化空气质量评价考核方法

空气质量标准修订需同步优化空气质量评价方法。从空间分布来看，现行空气质量评价方法使用的点位主要分布于城市建成区。随着空气质量监测网络在区县、乡镇等地进一步拓展，呈现区别于城市的污染物浓度空间分布特征，因此需扩展建立全地域空气质量评价方法。从平均时间和限值水平来看，我国的空气质量评价方式与欧美

争取“十五五”
更新标准

中国



美国



欧盟

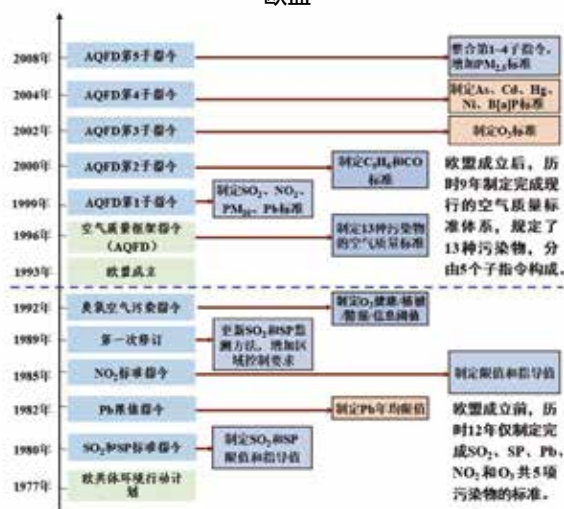


图 4-1 我国和发达国家或地区环境空气质量标准制(修)订历程

存在一定差异。建议不断优化和完善约束性指标设计方法，尽可能降低气象波动等不确定性因素对约束性指标考核造成的影响。

（3）标准限值的修订需支撑“美丽中国”建设和“双碳”目标要求

为实现“美丽中国”建设目标，我国将进一步采取措施、加大污染减排，促使生态环境根本好转。因此，我国在修订环境空气质量标准时应具有一定前瞻性，能够支撑“美丽中国”目标基本实现。此外，我国明确提出“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”的目标，因此，应充分考虑应对气候变化的降碳减污协同作用，设置合理的标准限值，同时基于我国国土面积大、区域发展不平衡的情况，对于达标难度比较大的部分地区应设置过渡期目标值。

（三）空气污染与碳排放协同控制路径

1. 我国结构调整行动进展

向低碳生产结构转型和应用先进的能源与减排技术是减少二氧化碳和大气污染物排放的基础。2021 年对中国空气污染和温室气体排放协同控制具有重要意义，因为这一年在关键领域取得了多个里程碑。

中国在优化能源结构方面取得了显著进展。到 2021 年，全国非化石燃料发电装机容量增至 11.2 亿 kW，占全国总装机容量的 47.0%，首次超过煤电装机容量（46.7%）^[1]。同时，中国的水电、风电、太阳能和生物质能装机容量均位居世界第一，能源效率也在不断提高。尽管 2020—2021 年全国能源消费总量增长了 5.2%，但中国仍实现了单位 GDP 能耗下降 2.7%、单位 GDP 碳排放减少 3.8%。

作为中国碳中和政策的重要组成部分，随着可再生能源的装机容量不断扩大，中国正在通过建设以可再生能源为主的新型电力系统来改造其电力系统。2022 年，中国平均风电利用率为 96.8%，平均光伏利用率为 98.3%，全年全国弃风率、弃光率较 2017 年分别下降了 8.8%、4.3%。

中国在产业转型和结构调整方面取得了显著成就。2021 年，高技术制造业占规模以上工业增加值的比重提高到 15.1%。同时，在重点重工业领域也取得了显著进展。例如，2021 年，粗钢和水泥产量在多年增长后有所下降，分别比上年减少 3.0% 和 1.2%。预计随着结构调整措施的有效实施，工业部门将在“十四五”期间实现碳排放峰值，并在峰值后稳步下降。

中国在建立低碳交通系统方面取得了重大进展。电动汽车的推广显著加快，2022 年新能源汽车的渗透率提高到 25.6%。交通结构也逐渐优化，2022 年全国铁路和水路

货运量分别增加了 4.5% 和 3.8%，这些运输方式货运量的增加有助于缓解公路货运部门的压力及相关环境影响。

2. 降碳减污协同治理进展与成效

随着大气污染治理及温室气体减排政策的持续推进，我国在降碳减污协同治理方面取得了显著进展，特别是在结构调整措施广泛落实的行业及区域，降碳减污正向协同改善趋势显著。如图 4-2 所示，从全国尺度看，2015—2021 年，工业和民用部门正实现二氧化碳（CO₂）排放与 PM_{2.5} 污染协同改善，正协同效应尤以燃煤过程最为显著；但部分“煤改气”政策的实施也使燃气过程中 CO₂ 排放（51%～79%，0.8 亿～5 亿 t）与 PM_{2.5} 污染（86%～142%，约 0.01 μg/m³）有所上涨。交通行业中，得益于能效提升措施，非道路机械初步实现了正向协同改善；而道路机械的 PM_{2.5} 浓度虽进一步降低，但 CO₂ 排放仍呈现较明显的上涨态势（约 17%）。电力供热行业 CO₂ 减排与 PM_{2.5} 改善呈显著负效应：煤电的深度末端控制政策使 PM_{2.5} 浓度降低 60% 以上，但煤电规模的持续增长，以及近年来气电设施的明显增加，导致电力供热的 CO₂ 排放大幅上涨 30% 以上（约 13 亿 t）。

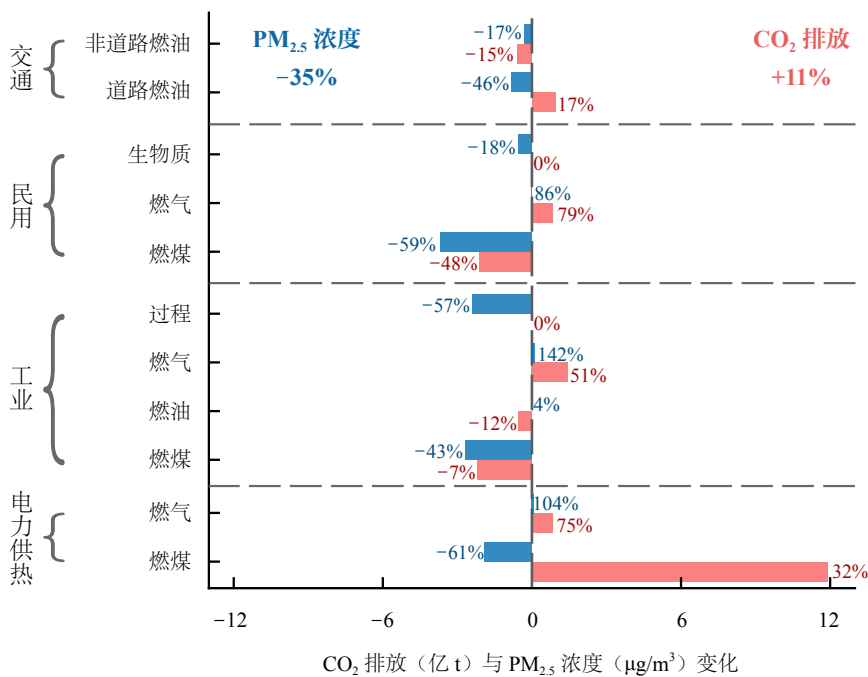


图 4-2 2015—2021 年中国 CO₂ 排放与 PM_{2.5} 污染协同控制进展

3. 碳中和路径下的空气质量路径

“双碳”背景下，我国 CO₂ 排放将于 2030 年前达峰已成为基本共识。碳中和目标下的深度低碳能源转型和清洁空气协同是我国中长期气候环境治理、空气质量深度改善的必由之路。根据生态环境部环境规划院和清华大学的测算^[12-13]，实现“双碳”目标对推动大气污染物协同减排及空气质量达标具有显著作用。On-time peak-net zero-clean air 情景和 CAEP-CP 情景是两组碳达峰、碳中和与清洁空气协同情景，融合了“双碳”目标与最佳污染控制政策，主要包括在工业行业加强工业节能、推进工业电气化进程，在交通行业加快电动汽车普及、推动提高燃油经济性，在民用部门减少住宅用煤、加强建筑能源规范等控碳措施，以及加强末端治理、促进技术升级等减污措施，从而推动碳排放和污染物排放协同减少。在此努力下，碳达峰目标的实现可推动 2030 年全国 PM_{2.5} 年均浓度将下降至 25 μg/m³ 左右（均值为 24.6 μg/m³，不同情景下 PM_{2.5} 年均浓度为 22.1 ~ 27.0 μg/m³），碳中和目标的实现可促使 2060 年全国 PM_{2.5} 年均浓度下降至 10 μg/m³ 左右（均值为 8.76 μg/m³，不同情景下 PM_{2.5} 年均浓度为 7.64 ~ 11.0 μg/m³）。

通过提升可再生能源的发电比例，加速终端用能电气化转型和节能改造，可进一步推动碳排放提前达峰。若强化 2030 年前的碳减排政策以实现提前达峰（2025 年左右），则相比当前碳达峰碳中和路径，将在 2030 年、2040 年、2050 年额外产出 2.54 μg/m³、2.00 μg/m³、0.98 μg/m³ 的 PM_{2.5} 浓度下降收益。

然而，协同改善效益并非一成不变，不同的碳中和技术路径选择带来的空气质量改善协同效益具有明显差异^[14]。例如，以可再生能源为主的碳中和路径将比以 CCS 为主的路径带来 35% 的额外空气质量改善效益。近年来，我国风电、光伏和生物质发电等零碳技术，以及以 CCUS 为代表负碳技术的全面发展，为实现碳中和目标提供了不同的低碳、零碳、负碳技术选择；而不同的碳中和路径将会使中国能源系统经历不同的深刻变革，进而在 2060 年形成差异化的能源产业排放源格局。将空气质量协同效益纳入碳中和技术路径选择的决策因素，将对未来中长期环境深度改善、切实保障公众健康具有关键意义。尽早实现碳排放达峰，妥善选择以可再生能源为主导的碳中和技术路径，建立零碳能源产业系统，更有益于我国中长期空气质量的深度改善。需要强调的是，2021 年 WHO 加严了空气质量指导值，从保障公众健康角度为我国“双碳”路径下的空气质量协同改善提出了更高要求。

由于我国各区域能源结构及产业结构的不同，碳中和目标下我国各区域的空气污染物协同减排效果差异显著。清华大学测算结果表明^[15]，京津冀及周边地区由于钢铁

和水泥行业比重较大且难以脱碳，化石能源占比及碳排放强度最高，且向非化石能源转换缓慢，抑制了该区域的协同减排效果。2030 年碳达峰和 2060 年碳中和目标实现时，其化石能源比重仍分别高达 75.2% 和 43.6%，同时 $\text{PM}_{2.5}$ 暴露水平分别高达 $35.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $14.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。珠三角地区重点发展金融保险等高端服务业和现代轻工纺织等先进制造业，资本技术密集，化石能源占比低，当前碳排放强度最低；碳减排潜力主要来自电力和交通运输部门，碳达峰及碳中和时化石能源比重将分别达到 43.9% 和 15.9%， $\text{PM}_{2.5}$ 暴露水平分别降至 $11.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。长三角地区重点发展装备制造等先进制造业和现代金融等高端服务业，化石能源占比和碳排放强度居中；其碳减排潜力主要来自电力行业和工业部门，对 NO_x 和 $\text{PM}_{2.5}$ 减排具有较高的协同作用， $\text{PM}_{2.5}$ 暴露水平在实现碳达峰及碳中和时分别达到 $21.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $7.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。由此可见，碳中和路径结合清洁空气行动可使 2060 年碳中和目标实现时，珠三角地区 $\text{PM}_{2.5}$ 暴露水平达世界卫生组织最新指导值 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；但是，京津冀及周边地区、长三角地区 $\text{PM}_{2.5}$ 仍超标高达 188% 和 48%。这表明在碳中和目标下，必须因地制宜制定降碳减污协同路径，以期在实现“双碳”目标的同时，最大效能发挥降碳减污的协同效应。

类似地，不同行业协同减排潜力也存在较大差别。随着污染治理进程的持续深入，中国电力行业末端治理的降碳及污染物协同减排潜力日渐收窄，能源结构转型和靶向治理策略将成为充分释放电力行业协同减排潜力的关键举措。在碳达峰减排路径中，中国电力行业可再生能源和核能发电量占比将在 2050 年提高至 80%，东部及南部地区火电厂 SO_2 、 NO_x 排放量将降低 50% 以上，我国人口密集区域的空气质量得到显著改善。在此基础上，通过实施与碳减排路径协同的高污染机组提前淘汰和逐步加严污染控制水平等靶向治理策略，大力释放碳减排路径的协同减排潜力，能够实现空气质量协同改善效益的最大化。终端用能电气化是电力以外其他行业实现碳及污染物协同减排的重要途径，能够实现不同程度的正向协同减排。对于交通行业，电动汽车的推广能够显著降低 CO_2 及关键前体污染物 VOCs 和 NO_x 排放，为城市人口密集区域带来可观的环境效益。实现乘用车 27% 的电动化比例及其他公共车队更高比例的电动化，能够有效削减京津冀、长三角、珠三角地区年均 $\text{PM}_{2.5}$ 人口加权浓度 $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，同时降低各地 O_3 污染，其中北京、广州等 O_3 8h 最高浓度削减量可达 3 ppb。在电气化进程稳步推进的背景下，电力行业要承担其他行业电气化带来的转移，打造清洁、低碳、安全、高效的电力系统也成为充分释放各行业碳减排协同潜力的必由之路。

综上，区域及行业的能源结构及产业结构差异导致其碳减排路径及其污染物协同

减排潜力呈现明显的异质性，不同技术偏好下的碳中和路径也将对空气质量产生显著影响。识别关键产业、制定因地制宜的降碳减污协同路径将更高效地推动我国“双碳”目标的实现，促进空气质量和人群健康持续改善。

（四）协同控制政策及工具

1. 降碳减污协同治理体系建设

伴随着我国进入新发展阶段，进一步深入理解、认识、实践习近平生态文明思想将在持续推动中国特色社会主义建设中发挥更加重要的作用。在这一背景下，“减污”与“降碳”的相互支撑和相互促进成为“十四五”期间在生态环境领域贯彻新发展理念、构建新发展格局的重要体现。

在国家层面，2021年以来出台的“十四五”及更长时间的战略和规划文件中，都体现出了减污和降碳相互交融、相互协同的新要求。2021年3月发布的《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》、2022年6月生态环境部等七部门联合印发的《减污降碳协同增效实施方案》等，进一步明确了以降碳为引领推动经济社会发展全面绿色转型、强化多污染物与温室气体协同控制，为以减污为重要手段促进降碳目标实现提供了方向和指引。

管理制度的跟进是保障战略规划落地的重要前提。生态环境部以贯彻落实《关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工作的指导意见》为契机，围绕降碳减污协同，在环境影响评价、环境监测、环境监管、环境统计等领域完善既有的管理制度，推动将碳排放管理需求融入生态环境管理制度中，陆续出台了《关于加强高耗能、高排放建设项目的生态环境源头防控指导意见》《碳监测评估试点工作方案》《企业温室气体排放报告核查指南（试行）》《排放源统计调查制度》等政策。

2. 降碳减污协同控制评价指标体系

建立科学合理的降碳减污协同控制评价方法是实现对协同效果和措施进展情况定量化跟踪、评估、反馈的基础。降碳减污协同增效评价目的主要有三个方面：一是发现工作推进过程中各地工作的薄弱领域和存在的主要问题，找到潜在的不协同和不够协同的领域，为及时调整工作重点提供依据；二是通过统一基线的评价工作，实现各地工作的横向比较，进而为梳理总结特色工作，推广先进工作经验提供基础；三是在综合评价的基础上，提高对降碳减污协同增效成果的系统认识，推动降碳减污工作策略及时优化调整，为实现碳达峰碳中和以及美丽中国建设目标提供支撑。

为实现上述三个方面的目标，评价体系的设计需要与降碳减污协同增效的工作目

标和工作任务紧密衔接,并尽可能在四个方面突出特色。一是要实现定量评价。尽量使用可量化的评价指标、设计有说服力的权重体系,通过最终的评价得分实现横向、纵向间比较。二是要适用逐级评价。尽可能保证系统的延展性,能够实现自上而下的评价;不仅在不同层级的评价中实现核心结论和核心指标的相互印证,也要在同一层级的评价中实现横向可比。三是要关注评价重点。整个评价体系的设计要围绕降碳减污工作重点展开,结合我国生态环境管理工作组织的特点,兼顾工作效果、工作任务和管理体系等方面。在工作效果方面,重点关注空气质量改善与碳减排的协同效果;在工作任务方面,针对结构调整、源头防控、协同治理等方面的工作重点,对工作的任务措施、实施进度进行客观评价;在管理体系方面,侧重支撑降碳减污协同增效的管理手段和政策机制创新,评价治理体系和能力现代化的进展。四是要具备评价弹性。结合各地资源禀赋、发展阶段特点和工作重点,在评价指标的选择上提供一定弹性;结合各地工作的不断推进,适时对部分指标进行调整,以反映不同阶段的工作重点。

为实现降碳减污协同评价目标,生态环境部环境规划院构建了降碳减污协同(Index for Synergies in Environmental Protection and Carbon Reduction, ISEC)指数。降碳减污协同指数是以评价降碳减污协同增效水平和效果为核心的综合性指数体系,既考虑环境质量改善与降碳效果协同,又考虑降碳减污工作措施一体谋划以及协同管理机制的统筹融合,其内涵主要体现在以下三个方面:①协同效果:能够体现环境质量与碳排放的现状与变化情况,并量化环境污染和温室气体治理的协同控制效果。②协同路径:能够体现能源结构、产业结构和交通运输结构优化等相关措施的协同度,以及大气污染治理路径及末端治理措施的降碳减污协同效应。③协同管理:能够从碳评、降碳减污财政支出、降碳减污试点项目、政策机制创新等角度,有效反映并度量不同管理政策的降碳减污协同效应。基于以上内涵,构建涵盖环境质量、碳排放水平、协同耦合度、结构调整措施协同度、治理路径协同度、生态环境管理协同度6个一级指标的评价体系。各项指标和计算参数的权重依据其重要程度进行确定,最终实现对减污降碳协同效果和措施进展的定量跟踪评估。

亚洲开发银行构建了类似的降碳减污评价体系,将空气污染物减排量与碳排放量合二为一,提出了“减排当量”的概念与相关政策建议。为了评估协同控制成效,可采用两种关键方法,包括绝对分析和相对分析:①评估空气污染物和温室气体之间的物理协同作用,以二氧化碳当量衡量减排效果,以确定共同控制的必要性;②经济成本(和效益)的评价,这将决定协同控制的经济可行性。

（五）政策建议

1) 适时修订空气质量标准。我国当前环境空气质量标准已实施 10 余年，而我国大气污染特征已发生显著变化，导致大气环境管理方法的约束性较差，并且与国际、欧美发达国家存在较大差距。因此，建议基于本土空气污染现状、健康效应和基准研究，借鉴世界卫生组织和其他发达国家已有研究、指南和方法，尽快启动环境空气质量标准的修订工作，加严颗粒物、臭氧、二氧化氮等污染物浓度限值要求，强化以空气质量达标为核心的城市空气质量管理体系。建议 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度标准低于 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，并增设暖季 O_3 峰值浓度指标。建议开展对具有短期温室效应大气污染物的浓度限值标准、污染管控措施等相关研究。

2) 设计满足多目标条件的协同减排路径。不同的碳中和技术路径选择会使我国能源系统经历不同的深刻变革，同时带来的空气质量改善协同效益具有明显差异。因此，建议从健康效益、经济成本的双约束条件出发，将空气质量协同效益纳入碳中和技术路径选择的决策因素，开展基于多目标管控的精细化策略研究，这对未来中长期环境深度改善、切实保障公众健康具有关键意义，从而尽早实现碳排放达峰。妥善选择以可再生能源为主导的碳中和技术路径，更有益于中长期空气质量的深度改善。

3) 强化重点区域、关键领域的协同治理路径。我国各区域能源结构、产业结构和能效水平各有差异，行业间协同减排潜力也存在较大差别。随着污染治理进程的持续深入，各行业末端治理技术的碳及污染物协同减排潜力日渐收窄，能源结构转型和靶向治理策略将成为充分释放协同减排潜力的关键举措。因此，识别关键产业，制定因地制宜的降碳减污协同路径，充分释放各行业碳减排协同潜力，将更高效推动我国“双碳”目标的实现、促进空气质量和人群健康持续改善。

三、降碳减污：促进电力部门低碳转型

研究表明，终端电气化是成本最低的减碳途径，尽快实现电力部门的降碳减污是实现中国碳中和目标的重要举措。在零碳情景下，终端电力需求将持续大幅增加，需要在满足电力负荷持续增长的同时实现电力脱碳。随着规模增长，风能、太阳能和储能经济竞争性持续提升，为实现温室气体和传统污染排放减少提供了机遇。建议中国政府制定更为明确的国家目标，到 2030 年，可再生能源发电量占比超过 50%（零碳能源占比 60%）；到 2040 年，可再生能源发电量占比超过 80%（零碳能源占比

90%)。为配合这一目标并促进电力脱碳,建议到2030年碳排放强度比2020年降低25%,到2040年降低65%。为了建立经济、可靠、清洁的电力系统,需要在土地使用、电力交易市场、可靠性要求、金融支持及研发等方面制定配套政策。

(一) 电力系统降碳减污的国际进展与启示借鉴

全球电力行业碳排放正在迅速下降。由于大规模部署了具有成本效益的风能和太阳能,即使电力需求量仍在继续增长,全球电力部门碳排放量仍将在2024年达峰。主要国家纷纷制定政策,要求电力公司大规模部署可再生能源,并越来越多地通过竞争机制来实现这一目标,推动创新和降低成本。这些政策主要归纳为标准设立、经济激励以及研发支持政策三类,且这三类政策相辅相成,共同促进了风能、太阳能和储能的大规模发展^[16]。

随着国际社会对应对气候变化的关注,政策标准逐渐从针对特定技术的目标转变为基于碳排放的技术中立标准。例如,美国有30多个州制定了可再生能源发电目标,但占全国电力消费量54%的23个州制定了到2050年或更早实现100%零碳电力的目标,并将核电、碳捕获与封存(CCS)和氢能等不可再生的无碳技术纳入其中^[17]。这些技术的额外投入较低,在某些情况下甚至为负,2023年平均占美国各州年电力成本的3.5%^[18]。

目标设计中优先考虑已商业化的成熟技术,同时也为长期持续的降碳作出规划。例如,纽约州制定了到2030年70%的可再生能源目标,以支持其到2040年100%的零碳电力标准。欧盟制定了到2030年可再生能源占45%的目标,以支持其到2030年可再生能源占55%和到2040年可再生能源占90%的整体经济减排目标。同时,有些地方设定了碳减排目标。例如,北卡罗来纳州为其最大的电力公司设定了到2030年电力减排70%的目标,而科罗拉多州也设定了到2030年减排80%的目标。

清洁能源标准为电力公司和电力交易市场参与者提供明确信号,有助于其在发电、输电等领域进行综合的最低成本规划。例如,为实现《巴黎协定》规定的2030年目标,澳大利亚能源市场运营商起草了2024年综合系统计划,提出了以低成本、可靠的方式实现到2030年可再生能源比例达到82%的目标的路径^[19]。美国加利福尼亚州在通过100%零碳电力标准后,空气质量和公用事业监管机构联合制定了基于碳排放质量的目标,对公用事业和输电运营商未来10年提出明确要求,督促其以最低成本实现目标。美国联邦能源监管局通过了一项区域规划框架,要求区域输电组织将各州目标纳入长期区域输电计划。

容量目标的设定对于支持新兴技术的部署和成本降低也很重要。英国成功地利用容量目标来部署和降低海上风电的成本。2019 年，英国政府宣布了到 2030 年海上风电装机容量达到 30 GW 的目标，并在 2022 年 4 月将这一目标提高到 50 GW，作为 2050 年实现碳中和战略的一部分。目前，英国已部署了 14 GW 的海上风力发电装机，2015—2022 年，海上风力发电价格下降了 63%^[20]。同样，英国在 2010 年完成了 1.3 GW 的储能部署。随着储能成本的下降，加利福尼亚州提前几年实现了这一目标，使其成为全国乃至全球高性价比电池储能的领导者，截至 2024 年 6 月，加利福尼亚州已部署了 10 GW 的电池储能^[21]。

碳强度和其他空气污染标准是另一种广泛使用的碳减排机制。2024 年，美国国家环境保护局（EPA）制定了限制现有燃煤和新建燃气发电厂污染强度的性能标准。在国家政策和经济因素影响下可再生能源部署增加的同时，这些标准确保化石燃料发电厂排放减少。EPA 预测，这些目标将推动可再生能源发展以及 CCS 投资。EPA 最初试图制定电力部门的排放标准 [$\text{CO}_2/(\text{MW}\cdot\text{h})$]，允许电力公司作出最经济的减排选择，但法律禁止这样做。

清洁能源部署和碳排放控制目标为电力公司投资清洁资源和减少排放指明了方向。为了实现这些目标，需要在市场、土地利用和可靠性等领域出台配套政策。这些政策主要有以下 6 种形式。

1) 市场：为了以较低的成本实现目标，公用事业公司和客户必须构建交易机制，以支持清洁能源发展。例如，德国、英国和澳大利亚都使用差价合约（Contract for Difference, CfD）为参与实时能源市场的清洁能源提供价格下限，通过市场促进清洁能源发展^[22-23]。

2) 电价：灵活性是可变可再生能源的必要补充，随着交通、工业和建筑的电气化，灵活性变得更加重要。分时电价和虚拟电厂等定价政策有助于用户激励与系统成本更加一致，并支持可再生能源的高效整合。

3) 价格支持：长期合同或直接补贴有助于促进清洁能源资源的收入稳定性。对可再生能源的补贴在一些经济体中仍很普遍，如美国，其 10 年的生产税减免有助于吸引资本进入可再生能源项目，以代替国家清洁电力标准。特别补贴有助于推动新技术参与竞争并扩大规模。

4) 碳定价：提高化石燃料的成本以反映其社会危害，可以增强清洁能源的竞争力。抬高碳价可以使低碳能源更有利可图，德国，以及美国的加利福尼亚州和东北部地区都在采取这类措施。

5) 土地使用政策：可再生能源开发与农业生产可以结合发展，但农业区划可能没有反映出这种双重用途的潜力。海上风能开发水域面临着许多现有用途的挑战，包括渔业、军事用途、贸易路线和生态问题。澳大利亚在其 2024 年综合系统计划中提出，积极主动地绘制地图以确定清洁能源开发和电力输送区域。政策制定者还可以向开发商提供可访问的地图，以提高透明度，从而引导在低冲突地区进行投资。如美国的西部电力协调委员会在其环境数据查看器中就提供了此项服务。

6) 可靠性：高可再生能源和储能系统比目前的电网更加可靠，但它们需要新的方法来量化和补偿可靠性。系统运营商不应只采用单一资源的可靠性方法，而应采用现代建模技术（包括详细的天气数据集和概率风险评估）对组合进行评估。此外，政策制定者应鼓励系统运营商评估灵活性、惯性等新的可靠性服务，以保持电网的稳定和可靠。

(二) 中国电力供需发展态势及驱动因素分析

国际社会已在电力低碳转型方面取得了积极进展。中国经济仍处于快速增长期，也带动电力需求持续增长，与发达国家相比，电力低碳转型既有共性也有特性。

1. 中国电力需求增速超预期

2023 年，中国全社会用电量达到 9.2 万亿 kW·h，同比增长 6.8%。2016 年以来，全社会用电量却超预期大幅增长，2016—2023 年年均增速高达 6.6%，2020—2023 年连续 4 年电力消费弹性系数超过 1.2（见图 4-3）。尽管 2016—2023 年各部门用电量均稳步增长，但第二产业用电量占比呈现明显的下降趋势，而第三产业用电量占比基本稳步上升。

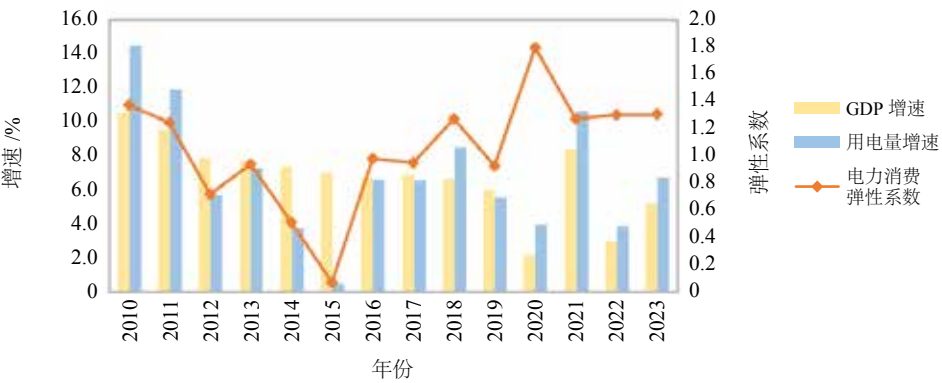


图 4-3 2010—2023 年中国全社会用电量增长情况

资料来源：中国国家统计局。

2. 驱动力分析

经济增长是用电量增长的直接驱动因素。随着疫情之后的经济复苏和稳增长、扩内需等政策效果逐步释放，中国的经济活动稳步恢复，2021—2023 年 GDP 平均增长速度达到 5%，带动了全社会用电量的高速增长。除疫情之后经济增速反弹因素外，终端用能电气化、数字经济发展、新能源相关产品产量快速增长等也对全社会用电量增长有较大影响。从终端能源消费结构来看，电力所占比例总体呈现稳步上升的趋势，从 2011 年的 18.6% 提高到 2021 年的 27%。2018 年起，“以电代煤、以电代油”加快推进，产生的电能替代总量超过 1 500 亿 kW·h，相当于当年全社会用电量的 2.3%。此后，重点行业的电能替代持续推进，战略性新兴产业发展带动工业部门用电高速增长，热泵、电制冷、供暖的应用场景不断创新和深化。2023 年底，新能源车渗透率提高至 6.1%，带动交通部门电气化程度快速提高。

随着数字化进程不断加深，数据传输、存储、计算、应用环节和互联设备用电量迅速增长。根据中国电子技术标准化研究院发布的《绿色数据中心白皮书》，随着云计算、AI、超算等应用的发展，数据中心机柜平均功率密度数将逐年提升，同时带来更高的热负荷和散热需求，意味着辅助设施用电量的上升。据中国信息通信研究院的测算，2020—2022 年，中国信息通信领域规模以上数据中心用电量持续保持年均 15% 的增长速度，并在 2022 年达到 2 700 亿 kW·h，占全社会用电量的 3%。

制造业内部结构调整也带来用电格局的变化，拉动了用电量快速增长。新能源汽车、动力和储能电池以及光伏电池等“新三样”产品产量增加导致第二产业用电量超预期增长，主要体现在汽车制造业、电气机械和器材制造业和非金属矿物制造业的用电量迅速攀升。近几年新能源汽车、光伏和电气设备制造业用电量增长迅速，其中 2023 年占中国全国用电负荷增长的 16% 左右。此外，近年来极端天气频发也导致了电力需求增长。2023 年夏季，中国平均气温 22.0℃，较常年同期偏高 0.8℃。

（三）降碳减污目标下中国电力系统发展展望

1. 经济增长与终端电气化推动电力需求持续增长

中国经济增长拉动了电力消费的增长。2030 年电力需求量将从 2023 年的 9.4 万亿 kW·h 增长到 13 万亿~14 万亿 kW·h，2040 年增长到 16 万亿~18 万亿 kW·h（见图 4-4）。传统产业的智能化转型、高新技术产业发展、数据中心等数字基础设施建设等都是对电力具有高需求的增长极，至 2030 年电力需求增长速度很有可能快于经济增长速度。从部门来看，工业是电力需求量最大的终端部门，占终端电力需求的一半

以上；建筑是第二大电力需求终端部门，但随着人口数量和建筑面积的逐步饱和，用电量增速逐步放缓；目前，交通部门用电量规模不大，但增速很快，主要源于电动汽车的加速普及推广。

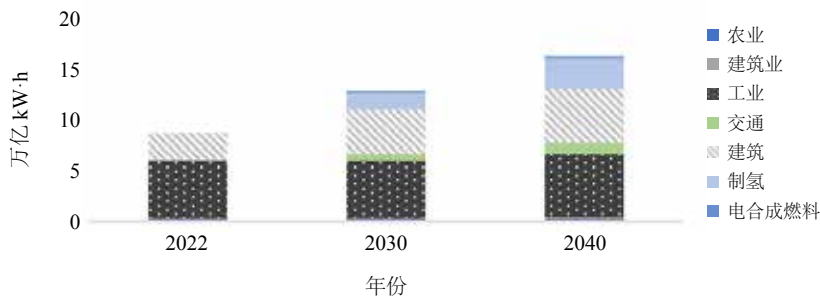


图 4-4 2030 年、2040 年中国电力消费量及部门电力消费结构展望

数据来源：中国国家统计局。

终端电气化率提升推动电力需求持续增长。电力是未来新型能源系统的核心，终端电气化率的提升是构建新型电力系统的关键之一。中国终端电气化率会从目前的 26.8%，分别提升至 2030 年、2040 年的 33% ~ 35%、40% ~ 45%。从部门层面来看，建筑部门的电气化率最高，2040 年接近 70%，工业部门的电气化率增长平稳，交通部门的电气化率最低，但增速很快。

2. 非化石能源支撑新型电力系统发展

风、光、水、核等非化石能源装机将继续延续快速增长趋势。2030 年非化石能源装机占比从目前的 53% 提升至 60% ~ 69%，2040 年提升至 75% ~ 91%，成为电力系统的主体，支撑新型电力系统发展。相较而言，煤电装机持续下降，从目前的 40% 降低至 2030 年的 27% ~ 30%、2040 年的 7% ~ 20%（见图 4-5）。

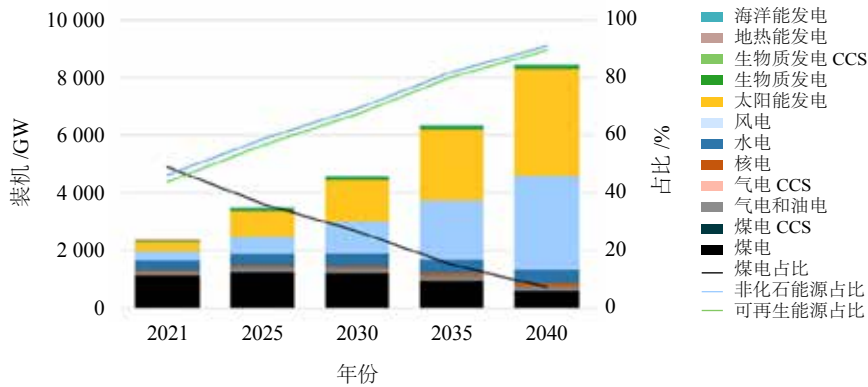


图 4-5 未来不同电源装机结构展望

由于目前风电、光伏年发电小时数有限，近期非化石能源发电量增长慢于装机的增长速度，但随着火电定位由基荷电源加速向调峰电源转变，中期非化石能源发电量增长有望超过装机容量的增长速度。2030 年非化石能源发电量占比从目前的 33.7% 增长至 50% ~ 54%，2040 年有望增长至 90% ~ 96%。2030 年，煤电在电力系统中仍作为重要的调节性电源，发电量占比为 46% ~ 49%；2040 年，其他灵活性资源部分替代了煤电的调节作用，煤电发电量占比可降至 10% 以内。

3. 储能成为新型电力系统的重要支撑

风电、光伏发电量取决于风能、太阳能的可用性，发电量可以预测但无法控制。相较于火电或核电机组，单一风电、光伏机组规模较小，由技术原因突然停机导致的风险较小。因此新型电力系统需要通过实施灵活性电价政策提高需求侧响应能力，并通过增加储能、补充灵活性发电等方式提高电力系统稳定性。2030 年以后，需求侧响应、新型储能、抽水蓄能等灵活性资源在电网调节中发挥更加重要的作用，2030 年达到 8.9 亿 ~ 9.5 亿 kW，2040 年达到 23 亿 ~ 26 亿 kW，其中需求侧响应提供一半左右的调节能力。需求侧响应包括电动汽车智能充电、工业需求响应、电锅炉和热泵。随着电动汽车数量的不断提高、充电基础设施的逐步完善，电动汽车智能充电成为规模扩张最快新兴灵活性资源。另外，也可通过鼓励资源共享和跨区输电来减少调峰需求。

4. 跨省跨区输送电量将持续增长

从跨区域输电路径来看，到 2030 年，西北到华中、东北到华北、华北到华东等是主要的跨区输电通道。而到 2040 年，跨区输电将更加频繁，除了上述三条从“三北”向中东部负荷中心送电的传统跨区输电通道，华东到华中、华中到华东、华南到华中等中部—东南部之间跨区输电的重要性也将凸显，为区域电力互济提供支撑。2030 年跨区输电量超过 6.1 万亿 kWh，2040 年跨区输电量超过 8.6 万亿 kWh（全国分为东北、华北、西北、华中、南方、华东六个区域）。

分技术种类来看，集中式光伏主要部署在光照资源充沛、土地条件较为宽松、跨省区输电网建设具有一定优势的“三北”地区。2040 年，“三北”的集中式光伏装机占比将达到 68%，其中一半以上位于西北地区，中部—东部—南部地区集中式和分布式开发并重。海上风电主要部署于华东和南方地区，其中华东地区海岸线更长、项目开发条件更好，在海上风电发展中占据主导地位。到 2040 年，华东地区的海上风电装机占比达到 81%；南方地区次之，达到 11%。

5. 电力部门低碳转型加速

中国电力部门在“十四五”时期调峰煤电装机，“以大代小”煤电装机还会

有所增加，电力部门碳排放将在 2030 年前后达峰，二氧化碳排放峰值为 58 亿 t 左右。电力部门碳排放量达峰后会持续下降，2040 年降低到 9 亿~15 亿 tCO₂（不考虑 CCUS）。

中国电力碳排放强度预计在“十五五”时期加速下降，2030 年碳排放下降至 0.43~0.47 kgCO₂/(kW·h)。2030 年以后，电力碳排放强度下降速度进一步加快，2040 年达到 0.15~0.30 kgCO₂/(kW·h)（见图 4-6）。



图 4-6 中国电力平均碳排放因子（虚线为预测值）

（四）政策建议

1. 积极促进非化石能源发展，推动电力部门低碳转型

将大规模发展以风电、光伏为主的非化石能源作为落实中国“双碳”目标、加快建设新型能源体系的重要实现路径，到 2030 年风电、光伏发电装机超过 24 亿 kW，发电量占比超过 50%，1 kW·h 二氧化碳排放比 2020 年下降 25% 左右；到 2040 年风电、光伏发电装机超过 60 亿 kW，发电量占比超过 80%，1 kW·h 二氧化碳排放比 2020 年下降 65% 以上。

做好可再生能源产业发展规划与国土空间规划的衔接。加强可再生能源资源开发储量评估，由国家发展改革委牵头建立全国可开发资源数据库，及时将可开发利用范围等空间信息纳入同级国土空间基础信息平台 and 国土空间规划“一张图”，合理安排可再生能源项目新增用地规模、布局和开发建设时序。

在大力发展绿电的基础上，加快电解水制氢、电制液体燃料等领域示范及应用，以绿电发展带动绿色燃料、绿色化工发展，推动在交通、工业部门实现绿电对油气的替代。

2. 持续推进煤电升级改造，提升煤电高效、清洁、低碳、灵活、智能化水平

深入推进煤电清洁低碳改造。着力提高大容量、高参数、低污染清洁高效煤电机组比例，探索“煤电+可再生能源+储能”发展模式，深度拓展煤电调节能力，加大CCUS示范应用，推动煤电机组在加快超低排放改造的基础上实现超净排放。

推进煤电向基础保障性和系统调节性电源转变。持续加大煤电灵活性改造技术方面的科技投入，完善煤电机组最小出力技术标准，促进深度调峰煤电和到役机组转应急备用的适应性改造，推动煤电向提供可靠容量、调峰调频服务加快转型。因地制宜持续优化智能调度运行方式，提高可再生能源相关气象观测、资源评价及预测预报技术能力，提升对风电和光伏出力的预测精度，实现煤电与新能源耦合运行和在满足灵活性需求的前提下发电效率最优。

优化配套政策支持。加大燃煤机组改造升级专项资金/贷款支持力度，分区域、分机组、分改造内容出台燃煤机组改造升级金融、减税退税等支持政策。加快完善现货市场、辅助服务机制等，加大有偿调峰补偿力度，对煤电企业适当给予新能源指标倾斜。完善煤电退役、备用、延寿相关机制与改造升级要求的协同。

3. 构建适应新型电力系统的储能体系，提升电网稳定性

积极引导新能源与储能协同发展，对新能源配储规模和比例开展科学论证，创新“新能源+储能”融合发展模式，加强智慧集控技术应用推广，发挥储能布局灵活、响应速度快、调节能力强等优势，实现风光储协调互补。

推动源、网、荷各环节新型储能规模化发展。推进电化学储能、压缩空气储能、热储能、重力储能、氢能等各类短、中、长期储能发展。统筹分布新能源、可调节工业负荷、建筑柔性负荷、电动汽车、新型储能等资源，推动源网荷储一体化项目示范应用。

建立“源荷互动”的能源供需新模式。充分挖掘电解槽等工业柔性负荷，以及建筑空调、新型储能、电动汽车等需求侧资源调节潜力；推动电力需求响应主体不断增加、规模不断扩大。推广完善充电桩峰谷电价，提高智能有序充电、双向充放电等车网互动的积极性，充分发挥广泛分布的电动汽车的储能调节潜力。

4. 加快重大前沿能源技术创新发展，夯实能源低碳转型基础

加强电力前沿尖端技术的研究，着力解决电力关键核心技术难题。鼓励“专精特新”企业开展钙钛矿光伏、全固态电池、CCUS、新型储能等关键技术突破。加大对新能源产业智能制造和数字化升级支持力度，实现新能源产业与信息技术深度融合。

积极培育能源领域“颠覆性技术”和“未来产业”。加大对长时储能、电制燃料、

能源区块链、量子电池、可控核聚变等新一代能源“颠覆性技术”的基础研究，重点突破量子电池、可控核聚变等技术的新观点、新原理，创建能源“颠覆性技术”知识创新体系。完善长时储能、电制燃料、能源区块链等技术产业政策支持体系，探索形成有效的产业发展商业化路径。

5. 建设统一现代能源电力市场体系，促进电力资源在全国范围优化配置

加快全国统一电力市场体系建设，引导各层次电力市场协同运行。加快推进电能量市场、容量市场、辅助服务市场等高效协同的电力市场体系建设，重点建立健全新能源、新型主体等参与电力市场相关机制。

加强全国电力互联互通，推动清洁能源在更大范围优化配置，打破长期以来以电网经营区为范围的电力输送局限。加强蒙西电网与国家电网的互联互通，推动内蒙古风光资源更多输送到京津冀、长三角等东部地区。优化完善政策机制，实现国家电网、南方电网以及蒙西电网之间的跨经营区电力输送与互济。

加强机制衔接协调，明晰环境价值流转路径。促进绿电市场、绿证市场、碳交易市场之间的有机衔接，实现“电—证—碳”市场耦合发展，避免环境价值重复付费和重复激励。加强绿电、绿证、碳市场之间的数据互通互认，建立绿电环境价值转移的全流程统一监管平台。

四、降碳减污：推动工业用热电气化转型

工业部门是中国碳污排放的主要贡献者，加强工业加热过程的电气化是推进工业部门降碳减污的重要举措。以工业热泵和热电池为主的工业用热电气化技术在技术经济、能耗和碳污排放控制方面已具有一定优势。然而，推动中国工业用热的电气化仍存在阻碍，能源价格之间的差异和电气化设备的可用性等因素严重限制了中国工业用热电气化的进程。未来需以工业部门降碳减污协同治理为抓手，进一步对新技术采取财政激励、制定能效与排放标准、支持研发、工业企业教育等一系列措施促进工业用热电气化的推广。

（一）背景

中国制造业产生的二氧化碳排放量占全国总排放量的 61%，其中近 3/4 与工业加热过程有关。为实现中国的气候目标和工业部门净零碳，必须对工业加热过程进行脱碳。如果中国电网同样实现脱碳，那么直接电气化就是规模、高效供应这些热量的

最实用手段。

中国的制造业以五个能源密集型子行业为主：黑色金属、化工、非金属矿物（如水泥）、石油精炼和有色金属，2021 年，这五个行业的能源使用量占中国制造业能源使用总量的 86%。制造业终端能源使用约 70% 为化石燃料，而电力仅占 24%。同时，2023 年，中国总发电量中燃煤发电占 66.3%^[24]。

工业加热占中国制造业总能耗的 73%^[25]，从金属冶炼到不同材料和化学品的加热、干燥和蒸馏，工业加热涉及多种工艺流程。中国几乎 100% 的工业加热能源都由化石燃料提供。这些生产工艺对温度的要求各不相同，而升温范围对于确定最合适的电力技术供热至关重要。黑色金属和非金属矿物是中国需要大量高温（超过 1 100°C）工艺热量的两个行业；中国超过 1/3 的工业供热需求属于这一温度范围。

除温度因素外，化工和石油精炼等行业可能拥有非常复杂的集成系统来满足热能和能源需求，这可能会增加电气化过程的复杂性^[26]。而食品、饮料和纺织等其他行业的系统可能相对简单，更容易实现电气化。

（二）工业加热电气化技术

各种电气化技术都能为工业流程制热。本章的技术经济比较部分重点关注三种特定的电气化技术：电阻式电锅炉、工业热泵和热电池，因为这些技术广泛适用于许多工业行业（包括蒸汽发电），并可与化石燃料替代品〔如天然气或燃煤锅炉和热电联产（CHP）系统〕进行比较。其他电气化技术的适用范围通常较窄（如用于切割和焊接金属部件的激光、用于干燥油漆和涂层的红外加热，或用于熔化钢材和切割金属板的电弧）。

电阻锅炉为人熟知，但工业热泵和热电池鲜为人知。与其他电气化技术相比，热泵和热电池可以降低工业企业的用电成本。热泵由于能源效率极高而降低了成本，而热电池则使企业能够购买特别便宜的电力（在电网供过于求的时段或从廉价的离网风力和太阳能发电中购买电力）。以下介绍工业热泵和热电池技术的侧重性能和效率。

1. 工业热泵

热泵是为工业流程提供低温热量最有效和最具成本效益的方法。热泵的效率可比其他电气化技术高出数倍，因为热泵不是将输入的电能转化为热量，而是将热量从低温区域转移到高温区域，操作方式与冰箱或空调非常相似。

工业热泵可以从热源（如空气、地面或其他工业流程产生的废热）提取热量，并输出温度高达 165°C 的热量。温度升得越高，热泵的效率就越低。热泵的效率用性能

系数（COP）表示，100% 的电热转换相当于 COP 为 1。将温度提高 40 ~ 60℃ 的热泵的 COP 通常为 3 ~ 4，这意味着它们的效率是理想电阻加热器的 3 ~ 4 倍。即使是将输出温度配置在 165℃（将温度升高约 130℃）上限范围内的热泵，其 COP 也为 1.5，比理想化的电阻加热器节能 50%。

热泵效率提高的独特性不管如何强调都不为过：没有任何电加热技术或燃料燃烧方法的制热效率能超过 100%。因此，对于低温供暖而言，通过热泵直接电气化是一条极具成本效益的途径。

尽管如此，将工业设施升级为使用热泵在技术上仍具有挑战。热泵的物理尺寸通常大于具有同等热输出能力的蒸汽锅炉，这可能会在改造空间有限的现有设施时造成困难；此外，目前最高产能的热泵的最大输出功率（每秒热量输出）低于最高产能的锅炉。^[27] 尽管这可以通过在一段时间内均衡蒸汽需求来解决（因此需要最大功率较低）和（或）通过使用两台热泵，其输出功率可根据蒸汽需求的变化进行调节，这与运行一台大型锅炉相比可以节约能源。

工业热泵在满足中国工业需求方面潜力巨大。2021 年，中国约有 7 000 PJ 的工业非电能需求，即 13% 的工业非电能需求属于热泵的可行温度范围（本章采用的温度上限为 165℃）^[25]。这一结论与国际能源署和清华大学的研究人员的估计完全一致，他们发现，假设热泵的供热温度高达 200℃，理论上热泵可以满足中国 15% 的工业用热需求^[27]。随着热泵技术的改进和中国工业从能源密集型向低能耗型工业的转型，工业热泵的潜力将继续增加。能够有效利用热泵的行业包括食品和饮料（干燥、巴氏杀菌、煮沸、熏制）、纸浆和造纸（干燥、漂白）、金属制品（酸洗、脱脂、电镀）、塑料制品（注塑成型）、纺织品（着色、干燥、洗涤、漂白）和木制品（干燥、染色、胶合），以及其他各种需要热水或蒸汽的行业^[28]。

2. 热电池

大多数工业用热需求的温度太高，热泵则无法提供。对于这些工艺，热电池通常是一种可行的选择。热电池又称热能电池，可将电能转化为热能，并可储存数小时至数天，在需要时再释放出来。它们能够在高达 1 700℃ 的温度下提供热量^[29]。这样的温度足以满足中国至少 2/3 的工业供热需求（最高达 1 100℃），以及超过 1 100℃ 的部分需求。热电池是大多数工业用热需求的可行选择，但主要的例外情况是初级钢铁（需要通过化学方法将铁矿石还原成金属铁）、激光焊接或等离子切割等精密应用，以及利用电加热特殊性能的应用（如无线电波能够均匀地穿透并加热材料的内部和外部）。

热电池包含大量的蓄热材料（如砖块或石墨），这些材料具有很高的比热容，在

高温下可抵抗化学分解。蓄热材料被封闭在一个高度隔热的外壳中，以最大限度地减少热量损失，在某些系统中，每天的热量损失率仅为 1%^[29]。电线与电池内部的电阻加热器相连，电阻加热器将电能转化为热量，被储存材料吸收。当工业设施准备使用这些热量时，可通过两种方式从电池中提取热量：①通过蓄热材料用泵输送空气或蒸汽，吸收热量后用于工业流程或热交换器；②打开电池外壳上的百叶窗，通过从加热的蓄热材料中发射红外线和可见光来传输能量。这种将热量储存在电池中，然后提取出来的过程非常高效，往返效率高达 95%^[29]。

虽然锂离子等其他电池也具有储能的能力，但热电池的单位容量购置成本要低得多。本章所述的工业热能电池是一种新技术，目前仅有小规模生产，因此有关其购置成本的信息非常有限。但一旦大规模生产热能电池，估计其单位容量成本仅为 27 美元 / (kW·h)，而锂离子电池为 150 美元 / (kW·h)^[29-30]。这一价格优势得益于其简单的组件，包括不依赖稀土金属。工业热电池可在离网或并网配置中使用，并从中获利，但在每种情况下所带来的效益都不尽相同。

（三）技术经济比较

1. 数据输入和假设

以中国为重点，对三种电气化加热技术及其他替代技术进行了详细的比较分析。下面将讨论分析结果。

2. 数据分析结果

（1）成本比较

低温工业热泵的平准化成本为 38 美元 / MWHth（260 元 / MWHth），比燃煤热电联产低 15%、比天然气热电联产低 20%、比天然气锅炉制热便宜 27%、比电锅炉制热便宜 60%。

在没有政策或其他市场干预的情况下（如不考虑未来的碳成本），中国的燃煤锅炉目前供热平准化成本最低。然而，如果考虑 2030 年的预计碳成本（130 元 / tCO₂ 或 19.5 美元 / tCO₂），工业热泵将是为温度低于 100℃ 的工业供热成本最低的选择。

对于 100 ~ 165℃ 的工业用热，使用工业热泵制热的平准化成本约为 58 美元 / MWHth（391 元 / MWHth），比在 80 ~ 100℃ 运行的热泵高出约 50%，这主要是由于热泵在提供更高的温度时效率较低。高温工业热泵产生的热量比天然气锅炉和天然气热电联产产生的热量的成本分别只高出 10% 和 20%（考虑 2030 年的预期碳价，这些成本差距会更小），因此热泵在这些温度范围内可以与天然气竞争，特别是因为高温

工业热泵的价格可能会下降,而且随着研发和生产规模的扩大,效率可能会进一步提高。

我们对热泵成本的研究结果与国际能源署和清华大学的研究结果一致,他们发现 COP 值为 3 的工业热泵介于本章中两种热泵的 COP 值之间(2.2 和 3.7)。成本为 40 美元/MWHth^[27],与本章两种热泵变体(2.2 和 3.7)的估算成本相差无几。

工业热电池可满足温度远高于热泵的供热需求,成本为 46 美元/MWHth(314 元/MWHth),介于两种热泵变体之间。目前,热电池与两种天然气锅炉技术相比具有竞争力,考虑 2030 年的碳价后,与燃煤技术相比也同样具有竞争力。

请注意,成本并没有考虑化石燃料的使用所造成的公共健康损害,如颗粒物排放导致的过早死亡。也没有显示温室气体(GHG)排放对气候损害的货币化(除了考虑明确的每吨二氧化碳 130 元的碳价,该价格可能不够高,不足以完全涵盖所有气候损害的价值)。此外,燃煤设备必须满足当地空气质量影响的严格标准,这涉及废气处理的前期资本和持续运营成本。

(2) 能耗

工业热泵的能效比本章中的所有其他制热技术都要高得多。例如,低温工业热泵的单位产热能耗仅为燃煤锅炉的 20%。高温工业热泵生产相同数量热量所消耗的最终能源只有燃煤锅炉的 1/3。即使与热电联产系统、电锅炉和热电池等其他替代品相比,工业热泵的供热效率也要高得多。

非热泵技术之间的效率差异较小,但由于电阻与燃烧相比效率更高,通常更倾向电气化技术。在温度较高和没有余热回收的应用中(锅炉通常会重新使用热冷凝水,并可能使用热废气预热给水),电阻技术相对于燃烧技术的效率优势会更加明显。

(3) CO₂ 排放量

从 CO₂ 排放量来看,工业热泵是中国热能生产中碳强度最低的选择之一。如果将热泵发电产生的 CO₂ 排放量计算在内,低温(80 ~ 100℃)工业热泵的 CO₂ 排放量分别比天然气、煤炭和电锅炉低 26%、60% 和 73%。与燃煤热电联产系统相比,低温工业热泵的 CO₂ 排放量减少了 53%。对于温度较高(100 ~ 165℃)的工业热泵,每单位热量的 CO₂ 排放量分别比燃煤热电联产机组、燃煤锅炉和电锅炉低 21%、33% 和 55%。

如上所述,本章采用中国 2021 年的电网排放系数[0.581 tCO₂/(MW·h)]来计算所有电力技术制热的 CO₂ 排放强度。热电池的排放强度略高于电锅炉,因为热电池在储热时会有热损失,而锅炉会立即使用其产生的热量。此外,我们假定热电联产装置产生的电力将减少从电网购电的需求,因此热电联产技术的直接排放部分被无须耗

电而避免的排放所抵消。考虑天然气热电联产机组能够抵消中国重煤电网产生的二氧化碳排放，以及天然气相对于煤炭的二氧化碳排放强度较低，天然气热电联产机组是2021年中国工业热力生产中二氧化碳排放强度最低的选择。然而，随着中国电网的脱碳，结果将大不相同。

研究表明，要实现中国的碳中和目标，中国的电力行业需要在2050年前实现零排放或负排放^[31]。假设中国实现了这一目标，那么2050年中国的电网排放系数将为零。因此，工业热泵、热电池和电锅炉将不会排放二氧化碳。同时，热电联产机组将不再抵消电网的CO₂排放，因此其排放强度将高于2021年。这一结果突出表明，要通过电气化实现工业用热的脱碳，中国电力行业必须先实现脱碳。

（4）常规污染物排放

除温室气体外，化石燃料燃烧还会排放常规污染物，如氮氧化物（NO_x）、氧化硫（SO_x）、可吸入颗粒物（PM₁₀）和细颗粒物（PM_{2.5}）。这些污染物会导致肺病、哮喘、心脏病发作和过早死亡等健康问题。2021年，电力技术的污染物排放量低于燃煤锅炉和燃煤热电联产，但高于天然气技术，这反映了中国电网的电力来源组合。到2050年，假定中国实现目标、电网实现脱碳，电加热技术则不会造成常规污染物排放。

（5）分析结果摘要

总体而言，分析结果表明，根据工业热泵和热电池的平准化制热成本，它们在中国具有很强的竞争力。在不考虑碳价的情况下，低温工业热泵的成本在所分析的替代技术中仅次于燃煤锅炉。但如果考虑将来的碳成本，低温工业热泵就是最便宜的技术。热电池和高温工业热泵的成本较高，但与化石技术相比仍具有广泛的竞争力，尤其是在考虑碳成本、环境限制和当地可再生资源的情况下。

与本章中考虑的所有其他技术相比，工业热泵的高能效可节省50%~80%的最终能源使用总量。与化石替代品相比，热电池只能节约少量能源，但它们允许在电网电力过剩时购买能源，从而限制了工业用电需求对新电网基础设施或发电能力需求的影响。从二氧化碳排放量来看，考虑天然气热电联产机组抵消电网电力购买的部分，2021年天然气热电联产机组的排放量最低，但随着中国电网的脱碳，所有电力技术都将实现零排放（热电联产技术的排放强度将上升），因此电力技术是工业供热脱碳的最佳长期解决方案，符合中国的国家排放目标。

（6）障碍与政策选择

虽然在中国工业供热中采用清洁直接电气化是实现国家排放目标的关键一步，但这一能源转型仍面临几大障碍。其中最主要的是可再生能源电力与化石燃料（尤其是

煤炭)之间的价格差异,以及电力部门完全转向零碳能源所面临的更广泛挑战。此外,某些类型工业设备的电气化技术有限,以及其他技术障碍也会带来挑战。

克服障碍和促进工业电气化的主要政策方法如下。

1) 对新技术的财政激励(资本支出):政府可提供设备退税,以降低新工业设备的成本,并提供改造补助金,帮助支付设备安装费用,补偿企业损失的生产时间。政府还可通过低息贷款、贷款损失准备金、贷款担保或出售免税债券等工具,为工业电气化项目融资,从而改善获得低成本融资的途径。

2) 能效和排放标准:温室气体或常规污染物排放标准可以鼓励电气化,从而消除工业设施的排放。能效标准应该中立于技术和燃料,这样企业就可以通过改用比化石燃料使用效率更高的电力来达到标准。标准的设计应随着时间的推移而不断收紧,从而推动持续创新和改进。

3) 绿色政府采购:政府可以从用于购买工业产品(如公共建筑和基础设施中使用的钢材或水泥)的资金中拨出一部分,用于采购温室气体排放量低或为零的材料,从而为清洁技术创造一个有保证买家的受保护市场,使其能够扩大规模。

4) 研发支持:政府可为研发提供资金支持,以改进清洁工业技术;政府实验室可与私营企业和学术机构合作(公私合作伙伴关系);还可资助试验或示范工厂,以帮助技术从实验室过渡到市场。

5) 免于停产令:在重污染日停产令要求中,给予使用电气化加热设备的企业豁免以持续运营。

6) 企业培训:教育活动、技术指南和案例研究可帮助工业企业管理者熟悉电气化技术方案及其益处。

7) 通过补贴清洁供热生产或使用清洁供热生产的商品材料、资助电力系统升级(如向工业设施输送电力的线路和变压器)、扩大国家排放交易计划系统以涵盖工业企业、使用碳差价合约来缩小支付碳价与采用清洁生产方法之间的成本差距,从而促进煤电价格平价。

8) 扩大省际电力交易,将可再生能源发电能力丰富的西部省级行政区的可再生能源输送给制造商。步骤包括扩大输电基础设施和发展省际现货电力市场。

9) 利用中国绿色能源证书(GEC)制度的最佳实践,确保清洁能源不被重复计算,并帮助企业在国内和国际上获得使用清洁能源的信用。

10) 逐步淘汰工业设施的自备化石燃料发电:中国13%的火力发电能力不来自发电厂,而是在工业设施自备发电,其中97%依赖煤炭。这些设施应转向购买电网电力

（或在可行的情况下通过零排放资源自发自用）。

（四）政策建议

中国制造业的CO₂放量占全国总量的61%，其中近3/4与工业加热过程有关。因此，要实现中国的气候目标，就必须实现中国工业加热过程的脱碳。如果能得到快速脱碳的电网的支持，直接电气化将是供应这些热量的最实用、最节能的方式。幸运的是，电气化技术可以在不同行业所需的各种温度范围内提供热量。工业热泵在较低温度范围内（165℃以下）具有无可比拟的效率，因此非常适合食品、饮料、纺织和其他行业。在较高温度范围内，热电池可提供高达1700℃的热量。在并网和离网配置下，配合增长的可再生能源部署，热电池可大幅降低企业用电成本，帮助缩小企业面临的电力与煤炭之间的价格差距。当并网使用时，热电池应用企业可以在电力充足时用电、在电力不足时不用电，以平衡电网。

为促进这些技术的应用，有必要采取政策干预措施，包括支持研发、教育工业企业、促进煤电平价的机制、清洁生产的财政激励措施，以及能效和排放标准。政策制定者应优先考虑能带来最大效益的工业设施电气化地区，如电网脱碳程度较高的地区、受本地排放污染影响的地区以及有低碳发展目标的地区。在具体行业中，政策制定者可根据技术成熟度和电气化设备的经济承受能力，优先考虑某些类型设备的电气化。此外，中国的政策制定者还可以利用有针对性的电力部门改革，使工业企业更容易采购清洁电力，如扩大现货市场的省际电力交易，并使中国的绿色电力证书与国际最佳实践保持一致。

工业热泵和热电池在性能、成本竞争力和减排方面表现优异，建议在部署这些技术时首先制订计划，支持中国在这两项技术方面开展工业试点项目。这将积累该领域工程性能及长期运营成本方面的数据，并向工业企业证明，这些技术将是实现其设施脱碳的有效解决方案，且不会降低成本、性能或产品质量方面的竞争力。

尽管未来的挑战是复杂和多方面的，但中国庞大的现代化工业产能意味着中国有潜力成为电气化工业加热设备的最大制造商和最大用户。有了正确的政策方针，中国可以成为清洁工业技术的领导者，并实现其气候目标。

五、降碳减污法规制定与执行报告

降碳减污协同增效理念的推行需要在法律法规体系建设层面进行深度融合与高效

执行。当前,我国环境法律法规体系虽已粗具规模,但在应对气候变化、促进碳减排与污染治理协同方面仍显不足。法律空白、立法分散、规范冲突及执行乏力等问题亟待解决。随着生态环境法典编纂的推进及环境公益诉讼的兴起,为构建更加系统、协同的法律框架提供了新契机。环境立法需要进一步深入剖析如何在法典编纂中融入降碳减污协同理念,优化环境法基本制度,同时探索通过公益诉讼制度创新,强化司法力量在环境保护特别是碳减排领域的作用。通过完善环境公益诉讼落实降碳减污协同理念也是加强降碳减污法规执行的重要环节,通过保障多元主体参与环境公益诉讼,促进环境立法的有效实施。

(一) 背景

本部分旨在对降碳减污协同增效理念在法律法规制定与执行中的贯彻问题进行研究,为国会研究工作提供前期支撑。现行环境法律法规及其执行与降碳减污协同增效理念的要求尚存差距。一是目前尚未制定法律位阶的应对气候变化法。该法酝酿多年但尚未被列入全国人大常委会立法规划的正式立法项目。二是已有气候变化立法来源分散且位阶不高。《碳排放权交易管理暂行条例》只是针对单项制度的规定,大部分气候变化立法是生态环境部、国家发展改革委等部委发布的部门规章以下的规范性文件。三是气候立法与相关环境、资源、能源法规的关系不明。目前,我国已在生态环境保护领域颁行 30 多部法律、近 100 部行政法规,涉及污染控制、自然生态保护、绿色低碳发展等各领域,内容分散且相互重复、冲突,需要按照降碳减污理念推进整体性、系统性、协同性立法。四是气候法规执行不力。行政监管执法面临碳排放来源广泛且体量巨大的挑战,公益诉讼司法面临预防气候风险不确定性的挑战,公众参与面临气候问题复杂性、利益广泛性等特征的挑战。

现行的立法与司法实践为落实降碳减污协同增效提供了机会。在法规制定层面,可以借助生态环境法典编纂的契机在更高的整体层面增进降碳减污规则的协同。现行大气污染防治、森林等生态系统保护、可再生能源、资源综合利用等领域的环境法律法规需与气候变化法相协调,规划、监测、标准、环评、许可、应急、修复等环境法基本制度也均有拓展降碳功能的空间。在法规执行机制层面,旨在调动司法力量保护环境的公益诉讼制度亟须适应降碳减污的需要进行创新。目前,检察机关是提起民事与行政公益诉讼的主力军,需要在大气污染防治等公益诉讼案件中拓展降碳减污协同诉求,并且与法院一同探索降碳减污协同增效的裁判规则。不仅如此,气候变化问题错综复杂且牵涉广泛的社会利益,环境公益诉讼也要为公众与社会组织理性参与气候

法规的执行提供渠道。

本部分将探讨与分析如何按照降碳减污协同增效理念更新现行法律法规及其执行,并且以正在编纂中的生态环境法典及蓬勃发展中的环境公益诉讼为重点。首先,探讨通过生态环境法典编纂贯彻降碳减污协同理念的基本思路,以及在总则编、污染控制编、绿色低碳发展编中的具体贯彻路径。其次,分析通过完善环境公益诉讼来落实降碳减污协同理念的基本思路,以及在民事公益诉讼、行政公益诉讼中的具体落实路径。最后,提出针对降碳减污法规制定与执行的政策建议。

（二）通过生态环境法典编纂贯彻降碳减污协同理念

1. 生态环境法典编纂贯彻降碳减污协同理念的基本思路

（1）生态环境法典编纂的工作进展、基本结构与主要内容

生态环境法典编纂旨在梳理、分类与整合目前以 30 余部环境法律为主的环境立法体系,并且按照生态文明理念全面、系统地更新现行环境法律制度。目前生态环境法典编纂已被列入十四届全国人大常委会立法规划的一类立法项目,即将提交全国人大常委会审议。经过学界与实务界的前期研究,生态环境法典编纂将以“可持续发展”为价值核心和逻辑主线,以“生态环境法典”命名,选择“适度法典化”模式,采用“总则一分编”结构^[32]。

2019 年以来中国法学会环境资源法学研究会组织全国环境法学者,起草了由总则、污染控制编、自然生态保护编、绿色低碳发展编、生态环境责任编构成的《生态环境法典专家建议稿(草案)》,这一五编制结构为全国人大常委会大法工委开展法典编纂工作奠定了基础。其中,总则编提取现行立法的共通性规范,包含立法目的、基本原则、基本制度等内容。污染控制编以编订为主,优化提炼污染控制法律规范,建立以保障公众健康为核心的污染控制法律制度体系。自然生态保护编以纂修为主,系统整合自然保护法律规范,建立“山水林田湖草沙”统筹治理的自然生态保护法律制度体系。绿色低碳发展编统筹编订纂修,补充完善绿色低碳发展法律规范,建立“尊重自然、顺应自然”的绿色低碳发展法律制度体系。生态环境责任编通过界定“生态环境法律责任”的概念建构法律责任制度及其救济体系,提高生态环境法典的裁判规则供给能力。在法典编纂完成后,现行污染防治类单行法将被废止,相关自然生态保护类单行法则将根据法典进行全面修订,绿色低碳发展类单行法则视具体情形被废止或修订。

（2）贯彻降碳减污协同理念的基本思路

生态环境部 2021 年发布的《关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工

作的指导意见》（环综合〔2021〕4号）将“突出协同增效”确立为基本原则之一，要求“协同控制温室气体与污染物排放，协同推进适应气候变化与生态保护修复等工作，支撑深入打好污染防治攻坚战和二氧化碳排放达峰行动”。以“降碳减污协同增效”为重点的“双碳”法治建设不是针对单一事项立法，而是要求秉持整体法治理念，重视立法对象之间的内在关联性，在制度设计上为大气污染物和温室气体排放协同治理提供法律依据，这一综合性立法需求只能通过当前的生态环境法典编纂得以实现。

在生态环境法典的五编制结构中，总则编、污染控制编与绿色低碳发展编是贯彻降碳减污协同理念的重点部分。总则编作为统领法典各编的基础性与综合性规范，需在立法目的与基本原则层面上融入降碳减污协同增效理念，并且拓展生态环境规划、标准、调查监测、环境影响评价、许可等基本制度的降碳减污协同功能^[34]。污染控制编将整合与更新目前所有的污染防治立法，尤其是大气污染防治立法，拓展在环境质量标准与污染物排放标准、污染控制规划、排污许可、环境保护税等污染控制制度的降碳功能。在此基础上，绿色低碳发展编重点提供超出总则编与污染控制编调整范围的专门降碳法律制度，吸收现行可再生能源法、节约能源法、循环经济促进法、清洁生产促进法等绿色低碳发展立法，并对应对气候变化作出专门规定。

2. 降碳减污协同理念在污染控制编的贯彻

（1）污染控制编的核心理念、基本结构与主要内容

污染控制编以现行污染防治立法为基础进行编纂，以科学整理现行污染防治单行法以实现其体系化和吸纳打赢“污染防治攻坚战”“降碳减污协同增效”等最新的生态文明体制机制改革制度成果为预期目标^[35]。污染控制编的编纂以可持续发展为逻辑主线，预期贯彻的核心理念是坚持可持续发展系统理论下污染控制的整体观，可持续发展空间维度下环境要素之间的联系观，可持续发展“以人为本”理念下保障人类健康的价值观。

在基本结构及其主要内容上，污染控制编共有十章内容，整体上按照“总一分”逻辑结构具体展开制度设计：第一章为“一般规定”，主要规定的是污染控制基本规定，以及污染防治规划、污染控制领域基准与标准、排污许可与重点污染物总量控制、环境保护税等一般制度；第二章至第九章分别规定的是水污染控制、海洋环境污染控制、大气污染控制、土壤污染控制、固体废物污染控制、噪声污染控制、放射性污染与电磁辐射污染控制、有毒有害化学物质与新污染物环境风险管控；第十章规定行政法律后果，包括第一节规定的污染控制法律责任一般规定，以及第二节至第九节分别对应第二章至第九章规定的污染控制行政法律责任。

（2）降碳减污协同理念在章节设置与条文内容中的体现

我国在推进“双碳”工作时，既明确了以“降碳”为战略方向，又确定了“降碳减污协同增效”的实现路径。污染控制编以现行污染防治立法为基础进行编纂，这是创设降碳减污协同治理制度的重点^[36]，主要体现在以下三个方面。

第一，更新污染控制立法理念。包括以下几个方面的内容：其一，完善法律原则，在“坚持预防为主、防治结合、综合治理、污染担责原则”基础上引入“降碳减污协同治理原则”，以发挥原则条款的立法功能，为污染控制编具体制度部分增设协同规定温室气体排放制度提供指引与依据。目前，对仅在总则编中规定基本原则条款，还是同时在各分编中规定原则条款，尚在讨论中，未形成定论。本章建议在总则编规定基本原则的基础上，污染控制编将“降碳减污协同治理原则”纳入其中。其二，完善“政府环境污染防治监督管理职责”条款，规定为“地方各级人民政府应当对本行政区域的环境质量负责，加强对环境污染防治工作的领导，采取措施防治环境污染，组织、协调、督促有关部门依法履行污染防治以及协同控制温室气体的监督管理职责”。其三，完善“环境污染控制监督管理机构”条款，该条款可以完善为“国务院生态环境主管部门对全国环境污染防治工作与温室气体减排工作实施统一监督管理”。

第二，完善污染控制一般制度。污染控制编的一般制度是普遍适用于多种类型的环境污染控制的共性制度。目前，污染控制编规定的污染控制的一般制度主要包括“污染控制规划”“污染控制领域基准与标准”“排污许可与重点污染物总量控制”“环境保护税”等，可契合降碳减污协同治理需求完善以下几个方面：其一，完善污染控制规划制度，将大气污染物与温室气体协同控制的目标及其要求纳入污染防治规划。其二，完善污染控制领域基准与标准制度，在厘清降碳减污复杂多元效应关系的基础上，将温室气体控制要求融入环境质量标准与污染排放标准体系中，强化污染物排放标准与碳排放标准的衔接与融合，为降碳减污协同治理制度实施提供支撑。其三，完善排污许可制度，在污染控制编的排污许可制度中融入与整合碳排放许可制度内容，发挥排污许可制度实现降碳减污协同治理的基础性制度功能。

第三，在大气污染控制专章针对性创设专项制度。污染控制编设置大气污染控制专章，在一般规定基础上针对重点区域、重点行业的大气污染行为构建具体制度。为实现大气污染物与温室气体的协同控制，重点区域、主要行业及关键环节的协同治理是重点，具体制度路径包括：其一，在重点区域大气污染联合防治制度中增设降碳减污协同治理的规定。进一步完善“统筹协调重点区域内大气污染防治工作”“制定重点区域大气污染联合防治行动计划，明确控制目标，优化区域经济布局，统筹交通管理，

发展清洁能源,提出重点防治任务和措施,促进重点区域大气环境质量改善”的规定,将统筹温室气体控制与大气污染物控制作为促进重点区域大气环境质量改善的重要组成部分。其二,大气污染控制专章中大部分条款是针对燃煤、工业、机动车船、扬尘、农业和其他大气污染等领域行业分别制定具体的大气污染控制制度,建议在这些具体规定之前,增加一个条文,规定根据不同行业的大气污染物与温室气体控制的效果与路径,制定协同减排的指标体系、开展综合目标管理。其三,针对重点行业、重点大气污染物治理的特殊性,精准精细地制定大气污染防治协同控制制度体系,包括:制定重点行业大气污染深度治理与节能降碳一体推进制度,制定钢铁、水泥、焦化行业及锅炉超低排放改造制度,制定大气污染物与温室气体排放协同控制改造提升工程激励与试点制度,制定 VOCs 等大气污染物治理源头替代措施优先制度,制定大气污染治理设备节能降耗、激励大气污染治理设备自动化智能化运行制度,制定移动源大气污染物排放和碳排放协同治理制度。

3. 降碳减污协同理念在绿色低碳发展编的贯彻

(1) 绿色低碳发展编的核心理念、基本结构与主要内容

党的二十届三中全会明确要求“加快经济社会发展全面绿色转型”,推进“绿色低碳发展”。在此基础上,中共中央、国务院印发了《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》,这是中央层面首次对加快经济社会发展全面绿色转型进行系统部署。绿色低碳发展致力于实现经济可持续,故绿色低碳发展编的调整范畴兼顾环境保护和经济发展两大领域,并通过推动经济发展低碳转型升级以落实“绿水青山就是金山银山”理念,实现环保和经济发展的统一^[37]。由此,该编治理手段倚重倡导性、鼓励性、柔性手段的运用,并辅之以义务性、强制性手段。

绿色低碳发展编以“先总后分再总、先国内后国际、先既定后未定”为编纂思路,以“清洁生产(前端)—绿色流通(中端)—绿色消费(后端)”的经济闭环为形成逻辑,对既有法律规范予以取舍;同时保持法律体系的适度开放性与发展性,根据绿色低碳发展的政策启示与时代要求关照到绿色能源、气候变化应对、国际合作等社会重要问题。据此,本编可形成“基本规定+资源能源综合利用+气候治理+行政法律后果”的结构框架,具体落实为“一般规定、清洁生产、绿色流通、绿色消费、绿色能源、气候变化应对、绿色低碳发展国际合作、行政法律责任”共八章的篇章体例。

(2) 降碳减污协同理念在章节设置与条文内容中的体现

第一,在一般规定章的整体体现。一是完善基本原则。在“统筹规划、合理布局、政府推动、市场导向、共同参与”等基本内容规定的基础上,增加了“协同推进降碳、

减污、扩绿、增长”的内容，以进一步突出基本原则的功能性价值，为绿色低碳发展编落实降碳减污协同理念提供原则性和整体性指引。二是优化职责配置内容。“国务院发展改革部门负责综合协调全国的绿色低碳发展工作。国务院生态环境等有关主管部门，按照各自的职责，负责有关的绿色低碳发展监督管理工作”的基本体制规定，实际上为协同推动降碳减污确定了整体工作机制依据。三是确定降碳减污协同理念落实的基准制度。通过建立“绿色低碳发展标准体系”“温室气体排放控制制度”等法律制度，为协同推动降碳减污提供统一的基准，为进一步开展工作提供基本的依据。四是实施推动协同降碳减污的具体方式。通过设立“鼓励发展节能环保产业”“创新管理”“鼓励支持制度”等具体制度的条款，为推动协同降碳减污的具体实现提供重要的方式支撑。

第二，在资源综合利用环节的具体体现。首先，清洁生产作为前端性控制环节，推行清洁生产工作是实现“降碳减污协同增效”的重要手段，降碳减污协同既是推行企业清洁生产工作的基本理念，又是考核企业清洁生产工作的重要指标。其次，“绿色流通”从广义的流通角度贯彻了降碳减污协同理念，具化为“绿色物流”和“循环利用”两部分。遵循以下逻辑：一是，“绿色物流”一节包含“流通减耗要求”“绿色物流体系”等物流环节的一般性规定，具体性条款依照“包装—运输—仓储”的物流活动环节依次进行规定。在具体条文上，通过“循环和综合利用”“降低资源能源消耗减少废物产生”“减量化和再利用”“绿色、减量化、可循环”等表述予以内化降碳减污协同理念。二是，“循环利用”一节包含“再制造”“废物回收体系”“产业废物交换信息系统”“循环利用国家标准”进行普遍性规定，并在接下来的条款中对重点涉及降低碳排放、减少污染以及二者协同的“循环利用国家标准”进行了详细规定，包含农业领域、林草领域、工业领域、采矿领域、建筑领域以及其他关键、新兴领域等。综上，“绿色流通”章从全环节和多领域诠释了降碳减污协同理念，为降碳减污协同治理实施提供了制度支撑。最后，“绿色消费”章制度编排依循消费流程的基本规律，在消费流程前端，注重绿色低碳产品的认证、标识、推广及使用；在消费流程中端，主要规制重点领域的消费绿色转型；在消费流程末端，主要规制绿色消费的保障，从而实现资源节约型、环境友好型消费。

第三，在绿色能源章的具体体现。大气污染物和温室气体的排放集中在能源的开发利用过程中，实现能源结构的转型升级是落实降碳减污协同理念的重要路径。目前，促进能源结构调整的法律文本主要包括《中华人民共和国可再生能源法》《中华人民共和国节约能源法》等，“能源发展”章应以此类规范为参考，遵循可再生能源增加与能源

节约的编纂思路，开展制度规范的设定。首先，促进可再生能源增加，具体包括：一是强调可再生能源开发利用总量目标，“通过制定可再生能源开发利用总量目标并采取相应措施，推动可再生能源市场的建立和发展”。二是提升可再生能源电力消纳能力，“建立健全可再生能源电力消纳保障机制”。三是强调可再生能源具体类型的发展导向，规定“生物质燃料发展”“太阳能利用促进”等内容。其次，节约能源，具体包括：一是明确节能的规划和标准，“将节能工作纳入国民经济和社会发展规划、年度计划”，并“依法组织制定并适时修订有关节能的国家标准、行业标准，建立健全节能标准体系”。二是涵盖具体节能领域，如“建筑物节能”“交通节能”等。最后，采取能源发展保障措施，通过制定有利的产业政策并运用财税等手段，为能源发展提供助力。

第四，在应对气候变化、国际合作章的具体体现。一是整体结构上，应对气候变化章、国际合作章以深入推动应对气候变化国家战略为规范目的，围绕当前中国气候变化应对既有的法律条文与政策文件，吸收了产业结构、温室气体排放控制、碳汇能力建设等关键性问题的针对性机制，为贯彻降碳减污协同理念的工作提供了方向。二是在应对气候变化章中，应对气候变化章围绕减缓与适应的编纂逻辑进行展开，通过温室气体排放总量和强度控制制度、气候变化统计核算制度、碳排放配额分配制度、碳排放权交易制度、碳排放监管制度、温室气体自愿减排交易制度、气候风险评估制度、提升碳汇能力制度等规定，为协同推动降碳减污提供了制度基础，为进一步开展工作提供实施依据。三是在国际合作章中，国际合作章聚焦绿色低碳发展国际合作的深化和“一带一路”倡议的推进，制定目的在于促进国际合作向绿色低碳发展，使国内与国际协同应对气候变化。通过绿色能源国际合作、绿色产品国际贸易、绿色金融国际合作、基础设施国际合作等绿色发展国际合作重要领域的规定，细化了降碳减污协同的工作方向，推动国内与国际共同推动降碳减污协同行动的展开。

（三）通过完善环境公益诉讼落实降碳减污协同理念

1. 环境公益诉讼概况与落实降碳减污协同理念的基本思路

（1）环境公益诉讼概况

环境公益诉讼是指为保护生态环境和防治污染而提起的诉讼，旨在维护社会公共利益。它包括民事公益诉讼和行政公益诉讼两种类型。民事公益诉讼是指检察机关、社会组织等主体对污染环境、破坏生态的行为提起的民事诉讼。行政公益诉讼是指检察机关对行政机关在环境保护领域违法行为提起的诉讼。根据最高人民法院院长张军于2023年10月21日在第十四届全国人民代表大会常务委员会第六次会议上作的《最

最高人民法院关于人民法院环境资源审判工作情况的报告》，2018年1月至2023年9月，全国法院系统共审结不同主体提起的环境公益诉讼案件2.3万件。检察机关在民事和行政公益诉讼中发挥着日趋核心的作用。仅2023年，全国检察机关办理生态环境和资源保护领域民事和行政公益诉讼案件8万多件，为美丽中国建设贡献法治力量。

（2）贯彻降碳减污协同理念的基本思路

从整体上把握降碳减污协同治理理念，需要立足大气污染公益诉讼，充分认识到其与气候变化诉讼的重要关系。

贯彻降碳减污协同治理理念的重要抓手是大气污染公益诉讼^[38]。大气污染和气候变化同源，是指二者主要都是因传统化石燃料燃烧排放物质造成的大气的不利改变。煤炭等化石燃料在燃烧过程中既会排放颗粒物、二氧化硫、氮氧化物等大气污染物，也会排放二氧化碳、黑碳等气候污染物^[39]。此外，大气污染物与温室气体密切联系，在一定条件下还可能相互作用。一方面，大量温室气体排放所引起的气候变暖会加重和放大大气污染对人体健康和生态系统的影响；另一方面，大气污染也会加剧全球变暖效应。例如，辐射强度大、温度高的气候条件下，空气中的氮氧化物和挥发性有机物经由一连串的光化学反应生成臭氧、甲醛、乙醛等多种二次污染物。而臭氧本身既是空气污染的元凶，也是导致全球变暖的短寿命气候污染物。

由于大气污染和气候变化具有同源性，大气污染物排放的控制和温室气体减排具有协同效应。这种协同效应包含两个方面的内容：一方面是控制温室气体排放会减少大气污染物排放（如二氧化硫、一氧化碳等），另一方面是在控制大气污染物的排放及生态建设过程中减少或吸收二氧化碳等温室气体。在同源性的视角下，大气污染公益诉讼所推动的大气污染物减排也会产生一定的碳减排效应。因此，目前的大气污染公益诉讼本可以直接服务于气候变化诉讼的目的，通过司法从末端倒逼产业结构和能源结构调整，减少温室气体的排放。而如果二氧化碳被定性为大气污染物，纳入与大气污染物协同治理的轨道，大气污染公益诉讼甚至可以成为气候变化诉讼的直接路径。目前，欧盟将未纳入《欧盟排放交易指令》的二氧化碳排放纳入污染物管理，适用《工业污染物排放指令》；美国也在马萨诸塞州诉联邦环保署一案中明确了二氧化碳等温室气体符合《清洁空气法》下“空气污染物”的广泛定义，因而美国环境保护署有权对温室气体排放进行监管。

2. 落实降碳减污协同理念的民事公益诉讼路径

（1）民事公益诉讼制度与实践概况

我国的民事公益诉讼制度最早于2013年在《中华人民共和国民事诉讼法》第55

条中提出，对污染环境损害众多消费者合法权益等损害社会公共利益的行为，法律规定的机关和有关组织可以向人民法院提起诉讼，这是在我国的基本法律中首次对公益诉讼的规定。然而，由于当时的相关法律法规未能进一步详细规定何为机关与有关组织，在 2013 年民事诉讼法修改后，法院仍然难以受理公益诉讼案件。《中华人民共和国环境保护法》（2014 年 4 月修订）被称为史上最严的环保法，其中第 58 条明确了社会公益组织的原告资格；2017 年，《中华人民共和国民事诉讼法》再次修改其中第 55 条，又补充增加了人民检察院作为环境民事公益诉讼的原告。2023 年，检察院办理民事公益诉讼案件 22 109 件，最终提起民事公益诉讼 11 303 件，其中多为刑事附带民事公益诉讼（8 654 件，占检察机关 2023 年起诉总量的 89.9%）。检察机关已成为环境民事公益诉讼的主要提起人，社会公益组织提起的民事公益诉讼数量较少。

在“双碳”领域，2023 年最高人民法院发布司法服务“双碳”指导意见，发出“双碳”自主行动司法动员令。甘肃省高级人民法院在审理中国气候变化诉讼首案“自然之友诉国家电网弃风弃光”民事公益诉讼案中，协调引导违反可再生能源法规定、未全额收购当地风电和光伏发电（称作“弃风弃光”）的被告电力公司，与相关社会组织达成调解协议，电力公司承诺投资至少 9.13 亿元用于风电、光伏发电等新能源配套电网建设，有效保障可再生能源推广，促进防治大气污染、减少温室气体排放。

除了“弃风弃光案”这一针对范围内的间接排放而提起的民事公益诉讼，大气污染民事公益诉讼同样是民事公益诉讼践行“降碳减污协同理念”的主要路径。从入选“2016 年度人民法院十大民事行政案件”的山东德州全国首例大气污染民事公益诉讼，到 2017 年检察院开始探索提起的大气污染行政公益诉讼，再到 2018 年北京首例由检察院提起的大气污染民事公益诉讼胜诉，大气污染公益诉讼的理论与司法实践近年来得到了长足的发展。

（2）通过民事公益诉讼落实降碳减污理念的具体路径

如前文所述，大气污染与气候变化之间具有同源性与同步性，在减排方面具有协同效应，大气污染民事公益诉讼中成功的司法经验可以为中国气候变化诉讼提供重要思路。本章认为，对大气污染民事公益诉讼的有益探索不仅可以帮助气候司法扫清规范障碍，甚至还可以成为未来气候变化诉讼的直接渠道。

首先，在被告与所涉具体污染行为层面，大气污染民事公益诉讼的被告与气候变化诉讼中的被告具有高度一致性。石油化工行业、传统制造业和汽车制造商是大气污染民事公益诉讼中最常见的被告，这些企业在排放大气污染物的同时，产生大量的温

室气体。除此之外，养殖场在产生恶臭气体的同时，也会产生大量的甲烷气体。可见，大气污染物的排放“大户”，往往也是温室气体的排放“大户”。

其次，就损害后果而言，在大气污染民事公益诉讼中，尽管损害的程度仍须原告证明，但只要涉及超标排放或未经许可排放，损害的存在就不证自明。就因果关系而言，大气污染民事公益诉讼采取了证明责任倒置的规则。这两项规则若适用于气候变化诉讼，将极大减轻原告的举证责任。当然，这些规则是否完全适用于未来的气候变化诉讼，还有赖于相关环境政策和法律制度的发展与逐步完善。由于当前中国尚不存在温室气体减排的法律强制性规制措施，因此也就不存在“超标排放”或“无证排放”的问题。不过生态环境部的设立，使实现大气污染物和气候污染物的协同控制成为可能，大气污染民事公益诉讼确定的司法规则仍然有望在未来的气候变化诉讼中运用。

最后，法院选择何种救济方式是决定影响大气污染民事公益诉讼是否能同时减少气候污染物排放的重要因素。由于中国尚未实现大气污染物与温室气体排放的协同控制，有些减少大气污染物排放的措施可能会增加温室气体的排放。有鉴于此，工厂完全停产、停止焚烧危险废物或关停污染严重的生产装置等“停止侵害”的救济方式，会直接对温室气体减排产生积极影响；要求“改建环保治理项目以实现达标排放”的方式则不一定会导致温室气体的减排。

通过以上分析，大气污染民事公益诉讼对气候变化诉讼的适用性，可总结为以下情形：第一，当温室气体和大气污染物未实现协同控制时，若法院判令大气污染民事公益诉讼的被告停止或减少大气污染物的排放，尤其是在完全停止排放时，大气污染民事公益诉讼将成为实现气候变化诉讼目的的有效渠道。但若法院仅判令被告治理污染物，此时难以确定大气污染民事公益诉讼是否能成为气候变化诉讼的间接路径。第二，在温室气体和大气污染物协同控制得到保证时，尤其是温室气体列入大气污染物时，无论是判令治理还是停排或减排，大气污染民事公益诉讼都将成为气候变化诉讼的直接路径。

在此基础上，社会组织、检察机关等公益诉讼原告还可依托现有法律框架，探索以减缓温室气体非法排放、预防气候风险、加强适应气候变化为目的的环境公益诉讼。切入点可集中在气候风险信息披露、打击漂绿行为、严控高耗能高排放项目审批与建设、碳排放交易、打击甲烷和氟化温室气体非法排放等方面。例如，公益诉讼原告可结合环境信息披露和环境影响评价等制度，对投资高能耗、高排放项目的行为探索预防性公益诉讼。又如，公益诉讼原告可督促在高气候风险、高洪涝风险区的空间规

划中纳入预防性举措，确保气候变化适应措施落实到位。

（四）政策建议

1. 生态环境法典污染控制编拓展污染控制制度的降碳功能

一是更新立法理念引入“降碳减污协同治理原则”，明确各级人民政府及其生态环境部门依法履行污染防治，以及协同控制温室气体的监督管理职责。二是完善污染控制一般制度契合降碳减污协同治理需求，包括污染控制规划、调查监测、污染控制领域基准与标准、环境影响评价、排污许可与重点污染物总量控制、环境保护税等。三是在大气污染控制专章针对性创设专项制度，针对重点区域、重点行业的大气污染行为构建大气污染物与温室气体的协同控制制度。

2. 生态环境法典绿色低碳发展编提供降碳的专门法律制度

一是在资源综合利用环节专章中，通过生产、物流、消费等全环节的节能低碳，以及农业、工业、采矿、建筑等多领域的循环利用来推动降碳减污协同。二是在绿色能源专章中，遵循可再生能源增加与能源节约的编纂思路开展制度规范的设定，通过能源结构的转型升级来从源头上实现降碳减污协同。三是在应对气候变化专章中围绕减缓与适应展开，规定温室气体排放总量和强度控制制度、气候变化统计核算制度、碳排放配额分配制度、碳排放权交易制度、碳排放监管制度、温室气体自愿减排交易制度、气候风险评估制度、提升碳汇能力制度等专门法律制度。

3. 多元主体参与环境公益诉讼落实降碳减污协同增效理念

一是检察院进一步探索在大气污染防治、碳汇保护等领域探索民事与行政公益诉讼的开展思路，确保高排放项目（尤其涉及传统排放且温室气体排放高的项目）的审批严格依法进行，企业排放数据和公开披露信息真实准确等。二是政府尝试提起同降碳减污协同相关的生态环境损害赔偿诉讼，适度拓展生态环境损害赔偿诉讼的气候变化应对功能。三是保障社会公众组织提起降碳减污协同相关的民事公益诉讼的路径，理顺包括原告资格、诉讼费用在内的社会组织为原告的民事公益诉讼的提起机制。四是法院探索降碳减污协同公益诉讼案件审理中涉及因果关系、救济方式等在内的气候司法疑难问题，创新司法适用的理念、理论，适时发布指导性案例，明确环境公益诉讼和生态环境损害赔偿的法律适用及裁判标准。

六、政策建议

（一）建立减排促进增长的新政策论述，结合政策与市场，丰富减排技术资金供给，改善制度环境，推动绿色发展，实现公正转型

1) 通过理论培训、公共宣传和教育，提高政府、行业、公众的绿色发展理念，宣传推广减排所创造出的绿色发展机遇，形成全社会参与的绿色发展共识。

2) 加强政策引导，激发绿色金融和碳交易系统的活力，吸引社会资本。构建市场为主、政府支撑的资金政策体系。改进绩效考核，强调“降碳、减污、扩绿、增长”的协同。通过严格环境标准，促使传统行业升级，加快低碳产业发展，扩大可再生能源投资，确保经济可持续性。

3) 倡导绿色发展，促进经济非物质化，重点投资可持续农业、食品、文化创意产业，支持生态服务与自然资本保护，兼顾各方利益，追求绿色公正转型，加强国际减排合作。确保对新建基础设施或者存量设施修复时的大规模投资符合最高的环境和温室气体标准。同时需注意，在 2050 年以前，大部分关键设施是最后一次更新。

（二）及时修订空气质量标准，设计多目标协同减排路径，加强重点区域和关键领域的协同治理

1) 根据本土空气污染现状、健康效应和基准研究，借鉴世界卫生组织和其他发达国家的研究、指南和方法，尽快修订环境空气质量标准，严格颗粒物浓度限值，强化以空气质量达标为核心的城市空气质量管理体系。建议将 $\text{PM}_{2.5}$ 年均值标准设为 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 或更严格，并开展将 O_3 暖季峰值浓度纳入环境空气质量标准指标的研究。

2) 从健康效益和经济成本出发，将空气质量协同效益纳入碳中和技术路径选择的决策因素，进行多目标管控策略研究。选择以可再生能源为主的碳中和路径，建立零碳能源产业系统，推动中长期空气质量深度改善。

3) 识别关键产业、制定因地制宜的降碳减污协同路径，充分释放各行业碳减排协同潜力，高效推动我国“双碳”目标的实现、服务空气质量和人群健康持续改善。

（三）积极促进非化石能源的发展，持续推进煤电升级改造，构建并增强储能体系，提升电网稳定性，推动电力部门低碳转型

1) 制定明确的可再生能源发展目标：到 2030 年，风电和光伏发电装机容量将

超过 2 400 GW，发电量占比超过 50%，单位发电量的二氧化碳排放量较 2020 年下降约 25%；到 2040 年，风电和光伏发电装机容量将超过 6 000 GW，发电量占比超过 80%，单位发电量的二氧化碳排放量较 2020 年下降 65% 以上。做好可再生能源产业发展规划与国土空间规划的衔接，并促进绿电市场、绿证市场和碳交易市场之间的有机衔接。

2) 随着时间的推移，清洁能源技术的广泛应用会越来越多地替代煤炭。从美国的退煤经验和我国清洁能源的快速增长来看，我们乐观地认为，这一过渡可以很快完成。我们必须确保过渡方案可以同时提高能源安全。在降低煤电比例的基础上，进一步通过“煤电 + 储能”及碳捕获、利用与封存（CCUS）等技术助力煤电脱碳，推动煤电机组实现超净排放。

3) 推进电化学储能、热储能、压缩空气储能、重力储能、氢能等各类短期、中期和长期储能的发展。统筹分布式新能源、可调节工业负荷、建筑柔性负荷、电动汽车和新型储能等资源，推动源网荷储一体化项目的示范应用。加强全国电力互联互通，推动清洁能源在更大范围内的优化配置，打破长期以来以电网经营区为范围的电力输送局限。

（四）推动工业用热的电气化转型，推广工业热泵、热电池等技术应用，并利用财税政策促进技术研发和实现煤电平价，从而加快工业电气化进程

工业热泵和热电池技术是实现工业低温（165℃及以下）和中高温（1 700℃及以下）电气化的可靠技术，可满足超过 2/3 的工业加热需求。由于当前煤电成本差异、电气化工业设备的可得性不足及电网高碳强度等障碍，推动工业用热电气化以实现工业脱碳仍面临挑战。建议通过以下措施提高电气化设备的供给和采用，并降低电网碳强度。

1) 利用设备退税、设备更换补助和低息贷款来鼓励电气化，以降低采用这些技术所需的投资成本。

2) 加强既有的能源效率标准、排放标准和绿色政府采购计划亦可促进向直接电气化的转型。

3) 研究机构，如中国科学院运营的实验室，可以与私营企业合作推行研发项目，以推动早期技术的发展。同时，研发资金也可以不仅限于支持实验室规模的研发，还可以资助试点或示范工厂以对技术进行验证。

4) 促进煤电平价，这可以通过制定碳价或补贴洁净电力和支持电气化升级来实现。

5) 跨省电力交易和改善中国的绿色电力证书系统也可帮助普及清洁电力。

（五）生态环境法典的总则编和污染控制编扩展污染控制制度的降碳功能，绿色低碳发展编则提供降碳的专门法律制度，鼓励多元主体参与环境公益诉讼，落实降碳减污协同增效理念

1) 更新立法理念，提出“降碳减污协同治理原则”，明确各级人民政府及其生态环境部门依法履行污染防治和协同控制温室气体的监督管理职责。

2) 完善污染控制的一般制度，以契合降碳减污协同治理的需求，并在大气污染控制专章中创设专项制度，针对重点区域和重点行业的大气污染行为，构建大气污染物与温室气体的协同控制制度体系。绿色低碳发展编提供降碳的专门法律制度，涵盖多个环节和领域，制定节能低碳的制度规范，完善法律制度要求。

3) 检察院在碳汇保护和大气污染公益诉讼等领域，进一步探索民事与行政公益诉讼的开展思路；政府则尝试提起与降碳减污协同相关的生态环境损害赔偿诉讼，拓展生态环境损害赔偿诉讼应对气候变化的功能，保障社会公众组织提起降碳减污协同相关民事公益诉讼的路径。

参考文献

- [1] 潘聪超, 庞建明. 氢冶金技术的发展溯源与应用前景 [J]. 中国冶金, 2021.
- [2] EBENSTEIN A, M FAN, M GREENSTONE, et al. Growth, Pollution, and Life Expectancy: China from 1991-2012[J]. American Economic Review, 2015.
- [3] 郑艳, 翟建青, 武占云, 等. 基于适应性周期的韧性城市分类评价: 以我国海绵城市与气候适应型城市试点为例 [J]. 中国人口·资源与环境, 2018.
- [4] 朱民, NICHOLAS STERN, JOSEPH E STIGLITZ 等. 拥抱绿色发展新范式: 中国碳中和政策框架研究 [J]. 世界经济, 2023.
- [5] ZHANG Q, ZHENG Y, TONG D, et al. Drivers of improved PM_{2.5} air quality in China from 2013-2017[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2019.
- [6] 中华人民共和国生态环境部. 2023 年中国生态环境状况公报 [R/OL]. (2024). <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202406/P020240604551536165161.pdf>.
- [7] 郑逸璇, 宋晓晖, 周佳, 等. 减污降碳协同增效的关键路径与政策研究 [J]. 中国环境管理, 2021. DOI:10.16868/j.cnki.1674-6252.2021.05.045.
- [8] 褚明晰, 韩文超, 张海杰, 等. 关于我国环境空气质量标准修订技术方法体系的思考 [J]. 环境保护, 2023.
- [9] 王宗爽, 郭敏, 谭玉菲, 等. 关于我国环境空气质量标准未来发展的建议 [J]. 环境保护, 2023.
- [10] XUE T, WANG R, WANG M, et al. Health benefits from the rapid reduction in ambient exposure to air pollutants after China's clean air actions: progress in efficacy and geographic equality[J]. National Science Review, 2024.
- [11] CHINA N B of S of. China Energy Statistical Yearbook 2011[R/OL]. (2022). <http://www.stats.gov.cn/english/>.
- [12] CHENG J, TONG D, LIU Y, et al. A synergistic approach to air pollution control and carbon neutrality in China can avoid millions of premature deaths annually by 2060[J]. One Earth, 2023.
- [13] SHI X, ZHENG Y, LEI Y, et al. Air quality benefits of achieving carbon neutrality in China[J]. Science of the Total Environment, 2021.
- [14] LEI Y, YIN Z, LU X, et al. The 2022 report of synergetic roadmap on carbon neutrality and clean air for China: Accelerating transition in key sectors[J]. Environmental Science and Ecotechnology, 2024.
- [15] 中国碳中和与清洁空气协同路径年度报告工作组. 中国碳中和与清洁空气协同路径 2023—降碳 减污 扩绿 增长 [R]. 2023.
- [16] HARVEY H, ORVIS R, RISSMAN J. Designing Climate Solutions A Policy Guide for Low-Carbon Energy[M/OL]. 1 版. Washington, DC.: Island Press Washington, D.C., 2018. DOI:<https://doi.org/10.5822/978-1-61091-957-9>.
- [17] CLEANENERGY STATS ALLIANCE. Table of 100% Clean Energy States[EB/OL] [2024-01-01]. <https://www.cesa.org/projects/100-clean-energy-collaborative/guide/table-of-100-clean-energy-states/>.

- [18] BARBOSE G U S. State Renewables Portfolio & Clean Electricity Standards: 2023 Status Update[EB/OL]//Berkeley Lab. (2023). https://live-etabiblio.pantheonsite.io/sites/default/files/lbnl_rps_ces_status_report_2023_edition.pdf.
- [19] AEMO. Draft 2024 Integrated System Plan: For the National Electricity Market[R/OL]. (2024). https://aemo.com.au/-/media/files/stakeholder_consultation/consultations/nem-consultations/2023/draft-2024-isp-consultation/draft-2024-isp.pdf?la=en.
- [20] EVANS S. Record-low price for UK offshore wind is nine times cheaper than gas[EB/OL]//CarbonBrief. (2022). <https://www.carbonbrief.org/analysis-record-low-price-for-uk-offshore-wind-is-four-times-cheaper-than-gas/>.
- [21] COMMISSION C E. California Energy Storage System Survey[EB/OL]//California Energy Commission. (2024). <https://www.energy.ca.gov/data-reports/energy-almanac/california-electricity-data/california-energy-storage-system-survey>.
- [22] BEITER P, HEETER J, SPITSEN P, et al. Comparing Offshore Wind Energy Procurement and Project Revenue Sources Across U.S. States[R/OL]. (2020). <https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/76079.pdf>.
- [23] HARVEY H, O'BOYLE M, GOPAL A, et al. Accelerating U.S. Clean Energy Deployment Through Investment_Grade Policy[R/OL]. (2023). <https://energyinnovation.org/wp-content/uploads/2023/08/Investment-Grade-Policy.pdf>.
- [24] 中国电力企业联合会 . 中国电力行业年度发展报告 2022[R/OL]. (2022). <https://www.cec.org.cn/upload/zt/fzbgzt2021/zt2021/index.html>.
- [25] SAWE N, YU H, RISSMAN J, et al. Clean Industry in China: A Techno- Economic Comparison of Electrified Heat Technologies, Barriers, and Policy Options[J/OL]. Lawrence Berkeley National Laboratory, 2024. <https://escholarship.org/uc/item/7tg4x3n3>.
- [26] DEASON J, WEI M, LEVENTIS G, et al. Electrification of Buildings and Industry in the United States: Drivers, Barriers, Prospects, and Policy Approaches[J/OL]. Lawrence Berkeley National Lab. (LBNL), Berkeley, CA (United States)., 2018. https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/electrification_of_buildings_and_industry_final_0.pdf.
- [27] UNIVERSITY. I E A & T. The Future of Heat Pumps in China[R/OL]. (2024). <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps-in-china>.
- [28] ARPAGAU C, BLESS F, UHLMANN M, et al. High temperature heat pumps: Market overview, state of the art, research status, refrigerants, and application potentials[J/OL]. Energy, 2018. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.166>.
- [29] RISSMAN J, GIMON E. Industrial Thermal Batteries: Decarbonizing U.S. Industry While Supporting a High-Renewables Grid[J/OL]. Energy Innovation LLC, 2023. <https://energyinnovation.org/wp-content/uploads/2023/07/2023-07-13-Industrial-Thermal-Batteries-Report-v133.pdf>.
- [30] HENZE V. Lithium-ion Battery Pack Prices Rise for First Time to an Average of \$151/kWh[J/ OL]. BloombergNEF, 2022. <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-rise-for-first-time-to-an-average-of-151-kwh/>.

- [31] YU S, FU S, BEHRENDT J, et al. Synthesis Report 2022 on China's Carbon Neutrality: Electrification in China's Carbon Neutrality Pathways[J/OL]. Energy Foundation China, 2022. <https://www.efchina.org/Attachments/Report/report-lceg-20221104/Synthesis-Report-2022-Electrification-in-Chinas-Carbon-Neutrality-Pathway.pdf>.
- [32] 吕忠梅. 生态环境法典编纂的立法选择[J]. 江淮论坛, 2024(1): 117-128, 2.
- [33] 汪劲. 生态环境法典的编纂思路和构建方法: 以实现可持续发展为价值目标和逻辑主线[J]. 江淮论坛, 2024(1): 129-136, 193.
- [34] 吴凯杰. 法典化背景下环境法基本制度的法理反思与体系建构[J]. 法学研究, 2024, 46(2): 135-154.
- [35] 刘超. “双碳”目标下“减污降碳协同增效”在生态环境法典中的立法表达[J]. 政法论丛, 2024(2): 40-50.
- [36] 陈梓铭. 减污降碳协同治理的环境法典表达[J]. 南京工业大学学报(社会科学版), 2022, 21(5): 47-59, 115-116.
- [37] 张忠民. 环境法典绿色低碳发展编的编纂逻辑与规范表达[J]. 政法论坛, 2022, 40(2): 32-43.
- [38] 赵悦. 气候变化诉讼在中国的路径探究: 基于 41 个大气污染公益诉讼案件的实证分析[J]. 山东大学学报(哲学社会科学版), 2019(6): 26-35.
- [39] 王金南, 宁淼, 严刚, 等. 实施气候友好的大气污染防治战略[J]. 中国软科学, 2010(10): 28-36, 111.

第五章 城乡建设绿色发展与气候适应¹

一、引言：全面实施气候适应战略的紧迫性

气候变化危机已经到来！2014—2023 年成为有记录以来最热的十年，更频繁、更严重的极端天气事件导致全球范围内的人员伤亡、经济损失、社会动荡和生物多样性的丧失^[1]。人类和大自然已经遭受前所未有的洪水、干旱和热浪灾害。而导致这些变化的气温升高问题在未来几十年甚至几百年内仍将延续。这一趋势将导致更多的不利影响和风险，包括海平面上升、水资源短缺等。仅仅采取气候减缓措施、减少温室气体排放已不足以消除气候变化带来的不利影响，必须坚持气候减缓与气候适应并重，从而有效管理当前和预期对人类和自然的影响^[2]。

虽然气候变化是全球性问题，但实现气候适应需要因地制宜。城市是各类要素资源和经济社会活动最集中的区域，也是遭受气候变化风险损失最为严重的区域。例如，近年来中国的郑州 7·20 特大暴雨、成渝地区高温干旱、京津冀特大暴雨、深圳特大暴雨、长江中下游特大洪水等灾害事件，造成了巨大的生命财产损失。特别是长三角、珠三角、莱茵河三角洲等河口三角洲地区城市化与工业化程度较高，人口、产业活动高度聚集，面临更加突出的气候风险。不仅是城市，农村地区也面临气候变化的不利影响，包括对居民生命安全和农业生产的威胁和挑战。气候变化导致的农业歉收将导致食品价格过高，引发饥荒、贫困等风险，因此需要转变农业生产方式以适应气候变化。

由于日趋频繁的洪涝灾害和干旱期间的水资源短缺等问题，流域综合管理比以往任何时候都更加重要。因此，上游、下游地区的水资源管理必须相协调，以防止暴雨导致的洪涝灾害，确保干旱时的用水供应，同时保持航道通航。为了实现共同应对气候变化，需要加强跨国、跨地区及与国际组织的合作，以确保气候适应措施的有效性

¹ 本章内容摘编自 2023—2024 年国合会“城乡建设绿色发展与气候适应”专题政策研究项目主要研究成果。

和及时性。此外，必须采取气候适应措施保护生物多样性。气候变化对社会公平的负面影响也不容忽视，妇女、老人和儿童等弱势人群受到的气候变化不利影响更加严重。农村地区居民的生活水平低于城市，为必要的气候适应措施的投入资源和能力有限，面临气候灾害时的脆弱性更加突出。因此，必须重视气候适应中的社会公平问题，包括国家之间、区域之间和代际的公平。

气候变化的长期性，加上人口密集地区的持续扩张提高了实现气候适应的难度。人口密集的城乡区域既是气候变化影响的重点地区，也可以成为适应气候变化的转型中心。近年来世界各国已发起了许多气候适应领域的倡议和规划，如荷兰政府 2015 年发布的《三角洲空间适应决策》（*Delta Decision for Spatial Adaptation*），2022 年中国 17 个政府部门联合发布的《国家适应气候变化战略 2035》，以及开展的气候适应型城市建设试点行动。这些政策是气候适应行动的良好开端。但当前气候适应行动仍然面临多方面问题，如对气候变化带来的多系统叠加风险预警能力不足、城市空间与关键性基础设施适应能力不足、气候适应工作系统性和跨部门协同性不足等。因此，有必要将气候适应上升为国家战略，系统全面开展城市气候适应行动。

本章围绕如何提升城乡建设领域的气候适应能力展开研究。研究目标之一是提供符合中国城乡建设领域实际特点的气候适应评估框架，识别城乡适应能力短板，明确气候适应的优先事项。本章同时探讨了不同国家应对气候变化和气候灾害的案例，总结了其中可以吸取的经验教训。相关的研究结论是通过实证研究、案例分析、广泛地征求专家意见和在中国、欧洲实地工作方位得出的。通过研究，总结面向气候适应目标建立气候韧性的关键能力，以及如何加强这些能力的措施方法。

本章明确指出了立即采取气候适应行动、开展城市气候适应能力评估、推动政府、社会等利益相关主体之间开展合作的紧迫性，以及将有关气候适应中的社会公平问题、长期和短期气候变化事件的科学研究结论纳入政府决策的必要性。

二、认识框架：明晰气候适应的重点目标

在当前气候变化风险加剧，气候适应能力差距普遍存在的背景下，需要一个对气候适应能力和气候韧性能力的评估概念框架，以系统地评估不同国家和地区的气候韧性能力和适应政策与措施。该框架还旨在分析从气候灾害和险情中吸取的经验教训。它适用于不同的空间和时间尺度，从地方到河流流域，从造成山洪暴发的短期暴雨事件到海平面上升、干旱风险增加等长期缓慢增加的灾害风险。评估应基于对当地地理

状况的分析、从过去灾害中吸取的经验教训以及对多种气候风险的系统分析，同时考虑未来预期的社会经济发展趋势和自然地理环境变化。评估可为政府、企业和居民提出可行的建议。

（一）城乡气候适应能力评估方法

近年来，为推动气候适应措施的有效实施和加快转型，联合国等国际组织和世界各国都在加强对气候适应措施的监测和评估。联合国、美国政府和欧盟等、“全球 100 韧性城市”^[3]等国际组织、科研机构、咨询公司推出了多种评估方法，以评估气候适应的必要性、气候适应措施的收益、加速气候适应的外部条件情况。其中，一些方法支持对气候风险和适应机会进行定性评估，而另一些方法采用定量评估的方式。方法的理论背景也不完全相同，一些源自韧性和减少灾害风险的研究，另一些参考了可持续发展理论。课题重点参考的研究包括 IPCC 报告^[3]、《美国第五次国家气候评估》^[4]、《欧盟适应气候变化战略》^[5]、Leeuwen 等^[6]、联合国国际减灾战略^[7]、De Graaf-van Dinther 和 Ovink^[8]、可持续发展城市指数^[9]、纽约和比利时佛兰德斯地区气候适应规划等^[9]研究。

尽管不同研究的气候适应评估框架并不统一，但可以确定构建气候适应和气候韧性能力的 3 个阶段：准备和预防、抵御、恢复和重建。因此，本章综合相关研究基础，通过建立一个能够“容纳”其他评估方法框架的通用性概念框架结构，与现有评估方法协同工作，并可根据评估地区面临的灾害风险类型、地理、经济、文化及政策背景来调整细化框架。由于气候变化的长期趋势存在不确定性，未来的城乡发展需求也是未知的，抵御气候风险的基础设施的使用年限一般都是几十年甚至上百年，因此评估框架应着眼长远，考虑长期动态评估的要求。该框架建立在对当地和区域（流域）范围内的生态环境、社会和经济系统全面分析的基础上，深入分析评估现有系统的脆弱性、暴露度和相关影响因素。

该框架不应只关注减少“短期”的灾害风险，如洪水和干旱等“突发性”灾害，还应包括平均气温升高、海平面上升等长期缓慢变化导致的风险。该框架应有助于明确提高抗灾能力的潜在政策建议，包括短期适应性和长期变革性变化，以及在治理结构、资金支持、标准和立法等支持气候适应根本性变革所需的有利条件。

（二）增强气候适应韧性的五种能力

气候变化导致的各类风险正在不断加剧，中国和全球各地的极端天气及相关灾害

事件频率持续增加。因此,推动气候适应的关键是建立气候韧性能力。要科学规划和实施气候适应措施,首要目标是最大限度地降低气候极端事件的风险。同时,气候适应的作用不仅是减少灾害风险,如果合理设计和实施气候适应措施,还能产生巨大的经济、社会和生态系统服务效益。因此如何同时最大限度地降低风险,最大限度地发挥综合效益,是气候适应的核心挑战。

综合的气候韧性能力应该包括 5 种能力。围绕评估城乡地区的预防能力、抵御能力、恢复能力、适应能力和变革能力,以及研究创造变革能力的条件,可以构建城乡气候适应能力的评估框架。

1. 气候韧性的五种能力

下文简要介绍这五种能力。

1) 预防能力:指城乡地区通过防灾设施建设等手段提高致灾阈值和降低灾害风险的能力。例如,在防洪工作中,可以通过修建河堤和提高河道泄洪能力,提高河流应对洪水流量的阈值。确定预防灾害最大阈值和防灾设计标准既需要考虑过去的历史灾害数据,也需要考虑未来的气候变化、海平面上升等趋势。

2) 抵御能力:指极端天气导致的灾害发生后,城乡地区减少灾害损失的能力。例如,降低洪灾中人员和经济损失的能力,或者在干旱灾害中减少水资源损失的能力。抵御能力的影响因素包括是否采取降低灾害损失的措施、有效的预警系统、公众宣传和教育、合理的防灾救灾管理机制等方面。

3) 恢复能力:指城乡地区在受灾后,恢复到与灾前一致或更好状态(重建得更好)的能力。该项能力的目标重点是实现灾害快速、有效的恢复重建。影响因素包括资金、技术、专业人员等方面的投入。根据灾害影响的空间范围和灾害严重程度,灾后恢复的时间从几周到数十年不等。

4) 适应能力:指应对未来气候变化不确定性,以及人口、经济、技术等方面发展不确定性的能力。提高基础设施的长期适应能力,保持开放和多样性的气候适应措施设计,都有助于提高适应能力。

5) 变革能力:指当前的社会、经济和治理系统在面对预期的灾害风险(如气候变化影响)时,通过创造有利的政策及其他环境条件,转变为具有不同系统特征的新系统,进而实现主动改变和适应变化转型的能力。

2. 培育 5 种能力的必要条件

要采取行动提高气候适应的 5 种能力,就必须创造相应的有利条件。如果这些条件没有得到充分满足,现有基础设施和有关政策的调整将面临巨大困难。建立和提升

这 5 种能力的有利因素条件包括以下几个方面。^[10-13]

宣传气候适应的紧迫性：向社会公众、政府决策者提供气候变化相关数据信息，提高开展气候适应行动的积极性。

跨地区、跨领域的系统性适应方法：统筹考虑生态环境、经济和社会系统。

能力培训：加强个人、社区和组织相关的知识和技能培训，以制定、实施和保持创造气候韧性能力的干预措施。

可信的数据和信息：开展独立研究和提供公开透明的数据和信息，并面向全社会共享。

资金支持：为相关措施提供充足、协调的资金，公平公正地分配气候适应的投资责任和收益。

公众参与：推动公民、企业、非政府组织等主体共同参与气候适应。

政策、法律和治理框架支持：加强政策、立法、法规、规划战略的支持，促进气候适应措施的制定和实施。

创新：针对现有气候适应面临问题探索新技术、新模式和新产品，创造新价值，推广成功案例经验。结合空间规划设计方法进行气候适应研究。

政府和社会多元主体合作：通过共同合作开展气候适应措施。由政府保障早期资金支持以带动投资。

公平分担风险和收益机制：重视社会的公平性和包容性。公平面对气候变化的风险和分配收益，保护弱势群体。

（三）小结

综上所述，预防能力、抵御能力和恢复能力与减少灾害风险以及为地区创造其他领域的综合价值有关。适应能力重点通过提高基础设施的应对能力，从而适应气候变化背景下的新条件和新要求。而变革能力与社会发展、政府治理机制及其对社会、经济、环境和空间转型发展的支撑能力有关，即通过引导创造有利条件，促进社会、经济、环境和空间系统面向气候适应目标实现全面转型。

三、实证研究：识别城乡气候适应的短板与优先事项

世界各国在遭受气候灾害后普遍开始采取气候适应行动。由于开始意识到气候变化及其对极端天气事件的不利影响，各国不同层级的政府机构对气候适应的态度更加

积极主动，努力提高面对气温升高、极端天气事件频率和强度增加、海平面上升及其不利影响的韧性抵御能力。其中，人口稠密的大河流域和河口三角洲地区受气候变化和极端天气事件的冲击和影响十分明显，如中国长江上游的成渝地区、长江下游的太湖流域、珠江口地区，以及欧洲西北部莱茵河—默兹河—舍尔特河三角洲等近年来都受到严重极端天气事件的挑战。本部分针对上述 4 个地区，提供了在中国、西北欧和欧盟进行的案例研究的结果，包括面临的灾害问题、实施的气候适应实践，以及从提高气候韧性的 5 种能力和创造必要有利条件的角度评估当前气候适应领域存在的差距。

（一）成渝地区案例研究

1. 气候变化趋势

成渝地区属于湿润的亚热带季风气候和高原高山气候区，年均气温 4 ~ 20.9℃，年降水量 800 ~ 1 200 mm。近 50 年来，该地区气温整体呈波动上升趋势，年均上升速率约为 0.14℃ /10a，降水则呈线性减少趋势，下降速率约为 17.5 mm/10a。地区极端天气事件增多，如高温和暴雨。旱涝急转的发生频率减少但强度增加，表现出气候变化的极端化特征（见图 5-1）。

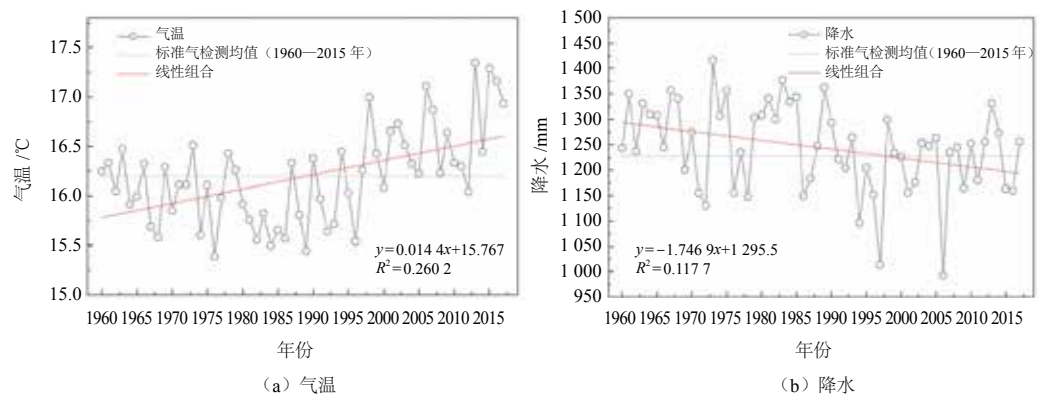


图 5-1 近 50 年成渝地区降水及气温变化趋势统计图^[14]

2. 气候变化引发的主要灾害和问题

短期暴雨引发洪涝灾害。夏季暴雨是成渝地区最常见的极端天气，近年极端气象水文事件趋多增强，尤其是重庆遭受了多次大洪水和内涝侵袭的灾害，强度和频次较

往年有明显增加。如 2020 年 7—8 月，长江上游发生大范围、长历时、高强度降雨，32 条江河超警戒水位、超保证水位，重庆遭受历史罕见特大洪水，致主城区及潼南等 15 个区县 26.32 万人受灾，直接经济损失 24.5 亿元。

高温干旱引发山火灾害。成渝地区森林资源丰富，植被覆盖率高，伴随近年高温、干旱等极端天气的不断出现，森林山火呈多发频发态势。2022 年夏季，重庆市遭遇了长时间的极端高温和干旱天气，35℃ 以上气温持续时间长达 37 天，先后发生森林火灾 32 起，北碚、巴南等 12 个区县于 8 月 17 日至 26 日集中爆发山火。单起山火扑灭时间长达 1~5 天，过火总面积达 22.62 km²（受害森林面积 3 023.5 亩）。

高温干旱引发能源短缺。成渝地区能源结构以水电、煤电和天然气为主，其中四川省水电占比接近 80%，在枯水期产能下降明显，导致电力供应不足。同时，作为“西电东输”工程主要省级行政区，四川省每年超过 30% 的发电量外输其他省级行政区，进一步导致本地电力供应紧张，尤其是在高温干旱等特定时期出现严重电力短缺。2022 年夏季，四川省遭遇了 41 天的极端高温干旱天气，最高气温达到 44℃。其间，全社会最高用电负荷达 5 988.8 万 kW，同比增长 1.3%，创历史新高。同时，干旱期间全省降水量较多年平均偏少 43%，水电发电量由同期 9 亿 kW·h 断崖式降至 4.4 亿 kW·h（日均降幅 2%），降幅超 50%，造成严重的供电缺口。

高温干旱引发农业减产。得益于近年来农业资金及科技力度的大幅投入，成渝地区粮食总产量由 2003 年的 4 271 万 t 提升至 2023 年的 4 690 万 t，粮食产量受气候变化的影响程度在逐渐减弱，但极端气候，特别是因干旱导致农业灌溉用水紧缺、粮食减产的情况仍有发生。2022 年 6—10 月四川省干旱灾害造成 20 市（州）138 县（市、区）761.6 万人次受灾，农作物受灾面积 52.2 万 hm²，直接经济损失 48 亿元，为近 10 年以来最重。

高温热浪威胁健康安全^[15]。极端高温、连续高温成为成渝地区的显著气候现象，使居民饮用水、电力需求不断升高，而干旱缺水、发电不足等进一步加剧高脆弱性人群用水困难，并引发中暑、脱水、心脑血管疾病、呼吸系统疾病、热射病等健康危害。2022 年夏季，重庆市高温热浪持续 41 天，市急救中心急诊部不到半个月接诊 11 例热射病患者，其中 1 人死亡。

3. 已采取的气候适应重点措施

（1）推进防灾减灾工程建设

基本形成以三峡水库为核心的长江上游水库群，防洪库容总计约 387 亿 m³，有效发挥拦洪削峰错峰作用；持续推进河道堤防达标建设，提升洪涝灾害防御能力；组织

挖掘防火隔离带，并优化基础设施布局和设计，提升基础设施运营管理水平等。

（2）强化气候监测预警

如新建地面气象监测站，建成由地面气象观测站、高空气象观测站等组成的地空天三位一体综合气象观测系统。强化风险调研判别，组织地质工程师和网格员执行汛期和雨情“三查”，细化强降水预警颗粒度，提升气候变化监测预警和风险管理能力。

（3）健全应急响应机制

包括市级统筹实行灾情日调度制度，制定《高温干旱天气粮油作物生产应对技术措施》等技术指南，充分利用水利设施增加应急灌溉能力，组织晚秋生产补歉，组织抗旱农技服务队深入农村、加强区域协调及人员物资调动能力等。如“8·20”特大洪水期间紧急避险 25.1 万人，紧急转移安置 13.27 万人。2022 年高温山火期间，及时启动应急响应，调派甘肃、四川、云南 3 个森林消防救援总队，共 1 500 余人投入重庆山火救援一线。

（4）提升经济社会系统适应能力

开展适应气候的多元供能保障提升工程、电力协同保障工程等，新开辟应急水源，对地处偏远、缺水严重的地方及特殊困难群体开展分片应急送水，以增强经济社会系统对气候变化的适应能力。此外，印发《重庆市适应气候变化行动方案》《四川省适应气候变化行动方案》，提出以气候适应推动地区经济社会绿色发展转型。

4. 当前气候适应方面存在的差距

（1）预防能力

成渝地区应对多类气候灾害的能力存在不足。应对洪涝灾害方面，“水进入退、水退人进”的洪涝应对模式没有得到有效推广，重庆中心城区 50 年一遇防洪护岸工程达标率不足 50%^[16]。应对森林火灾方面，林分结构适应性不足，耐火型、耐旱型林树种比例不足，山火阻隔系统建设有待提升。应对干旱带来的农业减产方面，成渝部分地区的农作物品种选择不适应气候变化，缺乏抗病虫、抗旱、抗涝等能力，同时，缺乏对“堰塘一冲田”系统的系统性保护和修复，以及塘田渠局部破坏导致旱涝调节能力下降。

（2）抵御能力

一是气候变化风险预测能力不强，风险精准识别评估与规划应对能力较弱。成渝地区区域气候预估模式不健全，气候预测预报模型粗略，制约风险预警能力。如 2020 年 8 月重庆罕见大洪水期间，由于预报信息及时性不足，物资来不及转移，加重

了受灾损失。气候灾害风险地图系统还未建立，缺乏针对灾害的实时识别与防控体系，灾前、灾中无法精准识别受灾空间范围及影响烈度，致使规划及应急预案存在滞后性^[17]。

二是公众防灾救灾意识和应对气候变化的宣传有待加强。如2020年8月重庆遭遇罕见大洪水时，部分受威胁商户因对洪水强度认识不足，存在侥幸心理拒绝转移，最终因灾造成损失。成渝地区农村地区的信息传播条件有限，农民群体难以获取到最新的气候变化信息和科学知识，如高温干旱期间部分农民认为灾害是自然现象，无法避免，缺乏应对的主动性和积极性。对高脆弱性人群的关注不足，2020—2022年高温灾害期间，政府、卫生机构宣传多以面向用人单位为主，集中于高温津贴、高温假、农民工群体权益保护等内容，缺乏对老人、儿童等高脆弱性群体的关怀。

三是供电、供水、排水等城市生命线系统还存在基本功能难以保障的问题。如森林防火通道狭窄、坡度陡，大型车辆及机械难以上山，山火期间救援物资运送不及时。成渝地区骨干供水管网范围较小，无法为广大农村地区补充水源，同时山地农村缺乏备用水源，且未形成“大中小微”并举的水资源配置网络，导致在高温热浪时山地农村出现饮水困难的现象。

（3）适应能力

一是重点设施适应能力存在不足，包括防洪工程、特高压直流工程、水利灌溉工程、城市降温设施、应急饮水工程等方面。例如，陇电、藏电、疆电入川等特高压直流工程体系尚未形成，沿江污水处理设施及管网抗压能力不足，农田水利工程与农业灌溉系统还不够完善等。

二是电力供应受气候影响显著。重庆自有能源资源开发潜力不大，可供开发利用的清洁能源非常有限，四川能源结构较单一，主要能源供应来自水力发电，发电量受气候影响显著。另外，成渝地区电力输送以外送为主，约占自身水力发电量的30%，应急能源保障不足。

（4）变更能力

一是成渝地区存在部门协作不足、信息共享不畅问题。水资源、能源等方面跨区域联合调度机制还有待完善，在干旱与洪涝发生时，难以实现对洪水防控、农业灌溉等方面的总体调度协调；区域联动的森林山火救援机制、抗灾救援机制等有待完善。二是公众对气候变化适应行动的认识和参与意识相对薄弱，绿色低碳的生产生活方式还未得到推广。

（二）太湖流域案例研究

1. 气候变化趋势

太湖流域近年来汛期降雨显著增加，极端天气频发。区域年降雨量整体上升，环太湖区域、浦东浦西区和杭嘉湖区西部降雨增幅较大。汛期均降雨量占年均降雨量的59%，基本与年降雨量保持同频变动。近年来，随着气候变化的加剧，流域整体面临海平面上升、强对流天气多发、暴雨强度加大等新形势。同时，流域增温趋势明显，1990年以来，流域内气温波动幅度整体呈增长趋势，整体平均气温每十年上升0.29℃。特别是上海高温热浪的影响不断加剧，2022年创下多个高温纪录^[18]。

2. 气候变化引发的主要灾害和问题

（1）极端降雨发生频率和强度明显增强，多碰头事件转为洪涝防御重点

短历时强对流天气易造成城市局地性内涝。根据上海市2004—2015年的数据，夏季当处于副高控制之下时，平均每11天就会有1天出现热对流降水。以2023年上海7·21大暴雨为例，中心城区、青浦区和闵行区北部持续降水6h，2h内超100mm的雨量站点达71个。单站最大降水量为170.0mm，最大60min降水量121.5mm，超百年一遇小时雨强，导致市区多处发生积水，下立交积水最深处约120cm，道路最大积水为0.3~0.57m。

台风频发，“风、暴、潮、洪”四碰头致灾最为严重。历年来上海市的灾害以风、暴、潮“三碰头”为主，风、暴、潮、洪四碰头事件自2010年至今，累计发生过2次，分别为2013年“菲特”、2021年“烟花”。以台风“烟花”为例，台风期间恰逢天文大潮汛，受黄浦江上游来水影响，米市渡站创历史新高达4.79m（超历史最高水位达20cm）。

（2）高温热浪—水文干旱带来的汛期反枯、咸潮入侵等复合灾害链影响逐步加大

持续性高温少雨天气易导致流域“汛期反枯”。2022年7—10月长江流域降水整体较常年同期偏少40%以上，局部地区偏少80%，局部地区高温天气超过40天。在旱涝变化异常叠加全球气候变暖背景下，长历时的高温少雨天气及“汛期反枯”极端水文事件应当引起重视。

咸潮入侵影响上海长江原水安全稳定供应。长江口咸潮入侵时，上溯咸水会造成长江口水源地取水口含氯浓度超标，严重影响水源水质。监测数据显示，2022年发生的长江口咸潮使上海沿江3处水源地的连续不可取水天数均超过27天，极大制约全市水资源保障^[19]。

（3）上海等长江下游沿海城市受海平面上升威胁加大

持续高温加剧海平面上升威胁。持续增温进一步加快海平面上升速度，上海、杭

州、宁波等沿海城市风险加剧。根据吴淞验潮站观测数据,1912—1960 年上升速率为 0.92 mm/a,1960 年至今明显加快,达到 2.03 mm/a,预计至 2050 年,海平面将较 2020 年上升 160 mm,黄浦江防汛墙现有 1 000 年一遇防洪标准将降低至 150 年一遇,江海防线面临严峻考验。

3. 已采取的气候适应重点措施

(1) 以大圩区为单元,不断扩大城市防洪设防范围与提高防御标准

通过小圩变大圩、联圩并圩等方式,流域内重要城市防洪标准基本都达到 50 年一遇及以上标准。截至 2020 年,流域内共建成圩区 3 195 座,总排涝动力达 20 664 m³/s。单个大圩区由 10 ~ 20 km² 扩张至如今的 50 ~ 150 km²,排涝模数达到每平方千米 3 m³/s 以上,是流域平均排涝水平的 2.1 倍。

(2) 逐步拓展城市生态空间,高温适应能力有所增强

在全球碳中和趋势下,太湖流域通过扩大绿地面积、提高绿地覆盖率等方式,增加城市的绿色空间。各市积极开展绿化空间拓展工程,既有效抑制城市的无序蔓延,也缓解城市热岛效应。2022 年,流域建成区绿化率达 41.03%,较 2010 年增长 12.0%,超过全国平均水平(39.29%)。

4. 当前气候适应方面存在的差距

(1) 预防能力

一是局部防洪排涝设施在应对巨灾时存在短板。目前,上海市防汛工程体系基本完善,但仍然存在 236.4 km 主海塘(占全市 47.4%)尚未达到 200 年一遇设防标准、黄浦江约 90 km 防汛墙安全超高不足、外围水闸及泵站规划实施率仅达到 72% 及 43%、中心城雨水管渠仅 19.43% 达到 3 ~ 5 年一遇标准等问题。2021 年“烟花”台风期间,黄浦江中上游局部段防汛墙出现越浪和漫溢,浦南东片部分区域内涝严重,暴露区域防洪除涝能力还存在一定短板。

二是自然调蓄空间减少,扩张性建设加剧内涝风险。根据土地利用变化分析,2000—2010 年、2010—2020 年两阶段建设用地面积分别增长了 56.0%、40.3%,而承担重要调蓄功能的二、三级河道分别锐减 19.9%、38.3%,导致汇流速度加快,流域调蓄能力总体降低;此外,受联圩并圩和新建圩区影响,圩外河网洪水调蓄能力不足流域 100 年一遇洪水总量(163 亿 m³)的 20%,圩区运行调度难以充分发挥圩内调蓄效用,仍以满足城镇自身排水需求为先。

(2) 抵御能力

一是突发气象灾害预警、极端灾害预测水平有待提升。2020 年上海市突发强天气

有效预警时间提前至 42 min, 仅高于全国平均水平 2 min, 灾害性天气预警时间和准确率有待进一步提升。以 2021 年 7 月 21 日为例, 上海中心气象台于 15 时 51 分发布暴雨蓝色预警信号, 预测 6 h 内本市大部地区将出现 1 小时 35 mm 以上的短时强降水, 16 时 02 分发布暴雨黄色预警, 实际 16 时至 18 时超 100 mm 的雨量站点达 71 个, 部分区域已超过暴雨红色预警信号。在突发事件关联性、耦合性不断增强的情况下, 各类突发事件风险的交织叠加增加了应急处置的复杂性, 当前上海市尽管对单灾种风险预测体系较为完善, 但对“四碰头”事件等极端灾害、关联性灾害模拟预测相对不足。

二是虽然应急预案体系框架基本建立, 但衔接度和精准度不高, 综合指导作用未能充分发挥。以上海市为例, 现行的综合性保障预案难以适应极端灾害事故灾害场景下的城市运行状态; 如气象灾害、海洋灾害、旅游突发事件等多个专项预案多为 2015 年以前编制, 尚未根据新兴安全问题、防灾减灾技术进步等因素作出及时调整, 对灾害应对的综合指导作用有待加强。

三是韧性防灾相关规划对高风险地区、基层治理单元等特定空间对象指引不足。现行综合防灾规划只考虑了市一区一街道(乡镇)三级防灾分区, 对社区层面应急能源冗余设计、应急物资配送通道、社区空间平急转换等安全防控体系缺少详细指引。此外, 对于高风险性和高脆弱性地区, 较少考虑中老年人及弱势群体在灾害应对中的空间需求。

四是社区等基层安全防灾设施配套不足, 公众防灾意识不强。目前城市在 15 min 生活圈建设中, 对气候适应与安全韧性需求考虑较少, 防灾减灾设施配套不足, 街道、社区等治理基层单元灾害应对的综合性、专业性人才队伍建设相对薄弱, 社区应急预案实际操作难度大、预案演练经验匮乏。应急宣传教育组织呈现“碎片化”状态, 居民对面临风险缺乏充分认知, 对提升个体、家庭及社区应灾能力还不够重视。

(3) 适应能力

一是流域上下游城市间防洪标准缺乏协同, 城市间雨洪管理统筹难度大。目前, 无锡、嘉兴等上游城市中心城区防洪标准达 300 年一遇, 而下游上海地区中心城市防洪标准为 200 年一遇, 上海黄浦江上游郊区段防洪标准为 100 年一遇, 上下游城市间防洪标准缺乏协同。

二是水源地之间联动能力较弱, 持续高温叠加海平面上升影响, 供水安全性存在风险。受全球气温升高、海平面上升等因素影响, 取水口遭遇咸潮风险增大; 此外, 受上游来水重金属超标、船舶污染等影响, 黄浦江上游水源地水质面临风险。然而, 当前上海市长江、黄浦江水源地及其原水系统都相对独立, 关联性弱, 难以应对某个

水源发生故障时及时调配水源的挑战。

（4）变更能力

一是对气候变化带来的各类新环境变化认识不足。近年来太湖流域地理环境发生了较大变化，但当前流域层面对极端自然灾害形成机理、潜在隐患认识还不够。例如受上游来沙减少、涨落潮动力变化等因素影响，上海青草沙水库存在堤防结构垮塌风险，严重威胁城市供水安全。

二是应急管理部门的统筹协调职能未充分发挥。目前流域内一些地方的应急协调机构，如应急委、减灾委等，执行办公室分别设置在不同部门，导致难以高效发挥专业指挥、物资调配、力量协调等统筹协调作用，需要进一步完善多部门统筹协调机制。

（三）珠江口地区案例研究

1. 气候变化趋势

近年来，珠江口地区暴雨频率和强度增加，且呈现历时短、降雨强度高、局地性强的特点。暴雨中心向高度城镇化区域转移，极端降雨量每十年上升 44.3 mm，极端降雨频次每十年上升 1.6 次。同时，海平面上升叠加风暴潮威胁珠江口近海脆弱区域。

2. 气候变化引发的主要灾害和问题

（1）极端暴雨灾害

暴雨洪涝灾害致灾因子包括导致暴雨积水无法及时排出的一切人为因素，如城市防洪排涝系统不达标、下水道修建位置不合理、下水道入口管理维护不到位等。气候变暖增加了城市地区极端降雨的频率和强度，导致城市地区的灾害频率和受灾程度上升。暴雨洪涝灾害还具有连锁性与突变性，连锁性是指生命线系统在关键点或面上因洪涝而遭受损害，系统内或系统间形成连锁反应，出现灾害影响范围与灾情急剧扩展的现象；突变性是指随着工程建设标准的提高，标准内的洪涝可以得到有效抑制，一旦超出防御能力，灾害损失与影响急剧上升的现象。由于城镇高度依赖生命线系统，致使洪灾影响范围超出受淹范围，间接损失甚至超出直接损失。

以深圳市 2023 年“9·7”特大暴雨为例。受台风“海葵”残余环流、季风和弱冷空气共同影响，深圳市“9·7”特大暴雨强度超强、持续时间超长、强降雨范围超大。全市平均雨量 281.7 mm，最大为罗湖 466.2 mm，最大 2 h、3 h、6 h、12 h、24 h、48 h、72 h 雨量打破深圳市 1952 年有气象记录以来七项历史极值。全市 31 宗水库超汛限水位。引发大面积内涝、河道漫溢、地下空间被淹、山体滑坡等次生衍生灾害，

全市受淹范围超 18 km²，紧急转移 22 万多人，220 个建筑地下室和 7 个地铁站进水。

（2）海平面上升

海平面上升的灾害效应与海岸带系统的地质构造、陆地地貌、海岸类型、海岸冲淤动态、水动力条件等条件有关，将加强潮汐和波浪等海洋动力作用，加剧河口海岸地区咸潮灾害发生，延长咸潮持续时间，同时加强沿海地区的海水拖顶效应，使城市自然排水能力下降，城市污水排放困难甚至倒灌，加大泄洪和排涝难度，加重洪涝灾害。

以珠江口海平面上升情况为例。根据中国香港天文总台的数据，1954—2023 年维多利亚港的平均海平面上升速度为每十年 31 mm。《中国海平面公报》显示，2022 年珠江口沿海海平面达到 1980 年以来最高，较常年（1993—2011 年）高 138 mm，也高于中国沿海海平面平均水平（较常年高 94 mm）。以深圳蛇口为例，假设 2100 年海平面升高 1 m，100 年一遇最高潮位重现期将减为小于 10 年一遇，50 年一遇和 100 年一遇最高潮位分别为 3 m 和 3.3 m，威胁沿岸工程设施安全^[20]。

（3）咸潮上溯和水资源危机

气候干旱年份淡水河流流量不足，海水倒灌是珠三角河口地区形成咸潮的主要原因，海平面上升、滥采河沙导致江河下游河床坡度减小、生产和生活用水急剧增加导致江河水流量减少，是进一步扩大咸潮上溯范围的客观因素。当咸潮上溯范围扩大至水厂取水口，会影响水资源正常供应，使自来水变得咸苦，含盐量、含氯量上升，危害人体健康，还可影响工业企业正常生产。目前，珠三角城市供水以河道取水为主，提水量占比超过 50%，本地水库调蓄能力和应急备用水源不足，外调水量更是严重不足，占比低于 10%，因此在枯水季节，河道径流量减少，河道取水口极易受咸潮影响^[21]。另一方面，由于人口和经济活动高度集聚，珠江三角洲城市水资源需求总量大，对水资源供给带来巨大的压力，珠三角东部以 43% 的水资源支撑 68% 的常住人口和 74% 的经济总量。供水危机将导致居民用水短缺、工业用水短缺、农业用水短缺和生态市政用水短缺等一系列次生灾害。

自 2021 年底开始，珠江流域降雨持续偏少，珠江流域遭遇 60 年来最严重干旱。主要江河来水偏少 30% ~ 70%，其中东江、韩江来水偏少 70%。2022 年 2 月 15 日前后正值天文大潮，潮位偏高、潮差较大，叠加 6 级至 7 级东北风的不利气象条件，珠江三角洲河口地区咸潮上溯、海水倒灌现象多次发生。根据南海区海洋灾害公报，珠江口咸潮上溯距离最远超过 60 km。受此影响，广东省珠海、中山、东莞、广州等地区部分地区供水安全面临挑战。水资源供给危机灾害链传播示意图 5-2 所示。

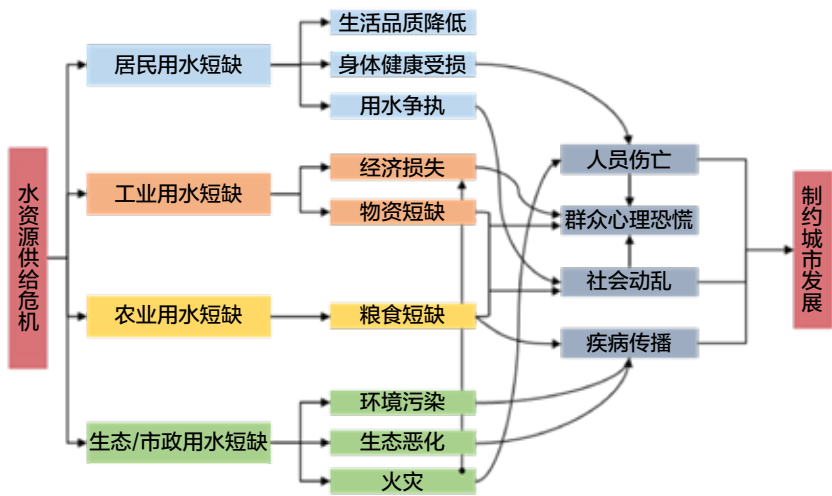


图 5-2 水资源供给危机灾害链传播示意

3. 已采取的气候适应重点措施

（1）珠江流域部门联动应对咸潮上溯灾害

2022 年珠三角咸潮上溯灾害期间，水利部坚持以流域为单元，调度西江、东江流域水库群为下游补水压咸，并部署珠江水利委员会与福建省、广西壮族自治区和广东省水利厅协作，实施西北江、东江和韩江水量调度，向下游集中补水、压咸，使有限的水源发挥了最大的抗旱效益。

（2）粤港澳深度合作展开气候应对与海上应急救援

2019 年，广东省政府与香港特别行政区成立建设“粤港环保及应对气候变化合作小组”，致力于改善珠江口地区的区域空气质量、保护水环境、林业护理、海洋资源护理和应对气候变化等工作。2024 年广东省政府与香港特别行政区、澳门特别行政区签署《粤港澳应急管理合作暨大湾区应急救援行动合作框架协议》，加强粤港澳三地在应急管理救援的合作和交流。

（3）港深联合社会力量共同应对气候变化——以红树林保护修复为例

学习国际经验、加强与香港特别行政区的合作，深圳等城市开始积极引入 NGO 组织也开始加入保护和管理红树林的行列。如在深圳发展起来的红树林基金会（MCF），既是中国第一个由民间发起的环保基金会，也是中国大陆唯一一个运营和维护红树林自然保护区和红树林公园的非营利社会组织。2020 年，深圳市政府与 MCF 签订了《深圳湾滨海湿地保护和发展合作框架协议》，旨在创建滨海湿地保护的深圳模式，成为

全球湿地保护的样板。

4. 当前气候适应方面存在的差距

(1) 预防能力

一是城市空间格局韧性不足。城市空间形态无法适应极端暴雨，部分排洪河道局部过流能力不足，上游水位壅高，造成排水不畅；部分城市建设位于低洼地区，易形成区域性洪涝灾害。

二是地下空间等城市脆弱节点防灾能力不强。如深圳市地铁系统为百年一遇防洪标准，但与之相连的地下人行通道、停车场、商场等防洪标准低于地铁，成为防内涝短板。深圳、广州等珠三角城市拥有多业态的地下交通超级综合体，如岗厦北、春风隧道等，深度大、范围广、业态复杂，风险隐患多，逃生救灾难度大。

(2) 抵御能力

一是气象灾害监测预警能力存在短板。气象灾害监测和预警能力总体领先，虽然已建立空间和时间分辨率较高的立体观测网，并将其应用于城市防灾减灾工作中，但交通设施等专项预警能力存在短板。大量基础设施在高运行强度下安全隐患逐步增加，防控压力逐年增大，遇强降雨等极端天气易发生坍塌事故。目前，设施隐患检测以人工巡查为主，传统检测方式时效性和全面性不足，先进检测手段应用范围有限。

二是城市生命线工程等重大基础设施防灾韧性有待提升。在“9·7”暴雨中，深圳多个小区由于二次供水设施、供电设施被淹致使断水、断电，应急排水设施短缺导致灾后积水无法迅速排除，供水供电设施无法及时修复，居民生活和企业生产活动难以迅速恢复正常，造成经济损失。

三是社区及居民防灾意识有待增强。“9·7”暴雨中，多个小区积水严重，地下车库受淹，因未提前组织开展车库车辆转移，大量车辆被淹没，居民财产遭受损失。虽然气象、应急等部门提前以短信、电视、微信等方式发布应急预警公告，但仍出现居民在红色预警期间未及时避险，企业未按规定停工造成受伤的情况。

(3) 恢复能力

部分城市的地下空间内部配置的抽排设施数量和抽排能力不足，抽水泵等防汛设备储备和跨部门调派机制不完善，导致地下停车场等设施被淹后不能及时恢复。

(4) 适应能力

一是海平面升高加剧了年度风暴潮和滨海城市洪涝的致灾程度，导致城市实际的防洪潮和防风暴潮灾害能力下降。核电站等重大基础设施的防潮水位达不到设计水位要求，在海平面上升的长期影响下，对未来可能发生的超常规灾害认识不足。

二是对咸潮入侵和海岸侵蚀的适应能力不足，沿海生态系统易受到破坏。

（5）变革能力

防灾工作系统性和跨部门协同仍待进一步完善。区域和流域的防洪统筹协调仍有待完善，珠三角跨区域河道上下游、左右岸治理标准存在差距，当出现流域性洪水时，洪涝灾害易在流域上下游传导。珠三角地区水资源区域协同机制有待完善，在咸潮上溯导致城市供水不足时，流域水资源调配机制存在不足。

（四）莱茵河—默兹河—斯海尔德河三角洲案例研究

莱茵河—默兹河—斯海尔德河三角洲涉及三个国家、众多地区、省份、水务局以及数百个城市和市政当局。每个管辖区都有自己的政府、立法、法规、惯例和文化，并受到欧洲立法和惯例的制约。尽管存在各种差异，适应气候仍是它们的优先事项。该地区地势平坦、低洼，但人口稠密、高度城市化、工业化和农业密集。这使他们的脆弱性或损害敏感性非常高，以致气候灾害在经济和社会上都是不可接受的。过去几十年极端天气事件和险些酿成的灾难不断增多，极端天气暴露和海平面上升的情况将严重加剧，适应气候变化迫在眉睫。

欧盟、各国家、各地区、各市政当局和水利部门都制定了促进适应的法律法规，积累关于适应措施及其有效性、实施和维护需求方面的知识、经验和技能。它们都在规划和实施大大小小的适应项目，并且都为此提供了预算，重点主要在河流、冲积层和沿海防洪上，而较少关注干旱和高温，以及与之相关的水质、盐碱化、通航能力、土地沉降和野火等问题。

欧洲的目标是使气候适应以地方为基础，具有系统性和包容性，重点包括：①支持地区和地方政府在当地努力加强物质和社会适应能力；②投资加强大型河流系统、湖泊和海岸防御的适应能力。集中加强预防能力（提高灾害发生的阈值），旨在避免极端事件损害的投资；而对于创建气候韧性所需的抵御能力、恢复能力、适应能力和变革能力的关注似乎较少。

1. 预防能力

滞留能力或海绵能力被认为是在极端降雨、干旱和热浪时期避免损失的关键：一方面可以避免峰值排水和洪水，另一方面可以使水资源满足基本用水需求。已经投入了大量资金，在莱茵河支流、马斯河、斯海尔德河及其支流沿岸建立更多的滞洪能力，以抵御洪水。用于抗旱的滞留通常与地下水资源管理和地表水盐度控制有关，是国家气候适应政策和投资的另一个目标，如佛兰德蓝色协议和荷兰三角洲淡水计划。干旱

或滞留措施的空间整合需要对土地提出大量要求，因此具有挑战性。

2. 抵御能力

规划和设计目标应包括最大限度地减少极端事件造成的损失，这些极端事件超出了供水系统的阈值或设计能力，如 2021 年的“水炸弹”和 2018 年的干旱。像荷兰所做的那样，利用此类极端事件对城市地区和区域进行气候压力测试，是实现风险对话和适应的重要第一步。正如在德国埃森埃施韦勒及其周边地区所看到的那样，由于现有的城市结构、既得经济利益和对空间的争夺，将重要的关键基础设施、脆弱人群和功能重新分配到该地区最安全的地方在实践中证明是非常困难的。智能建筑和基础设施有助于降低极端天气对城市和农村地区造成破坏的风险。德国和荷兰正在考虑制定新的建筑法规，但尚未全部实施。有效的早期预警和应急规划对于减少损失同样重要，2021 年 7 月德国鲁尔河和阿尔—埃尔夫特河流域的洪灾就令人痛心证明了这一点。

3. 恢复能力

在整个三角洲地区，灾后恢复的准备工作都有限。在某些情况下，如在佛兰德斯，恢复的资金部分由私人保险承担；通常情况下，国家政府必须承担损失。而且，正如在德国和比利时所看到的那样，“重建得更好”并不总是被允许的。法规规定，你必须只重建失去的东西，因为这可以加强对遭受创伤的受害者的恢复组织和社会心理帮助。德国的研究表明，与受过高等教育、富裕和健康的社会群体相比，社会弱势群体更容易受到极端天气的影响。在灾后恢复中应考虑这种不平等现象。

4. 适应能力

刚性、灰色的适应措施是稳健的，使用寿命长。但是，考虑新的条件和（或）新出现的社会需求，过长的使用寿命可能会适得其反。荷兰的研究表明，当当地条件在未来发生变化时，大多数以自然为基础的蓝绿色解决方案能够更好地适应和（或）形成新的平衡。为了最大限度地减少极端事件造成的破坏（提高应对能力），同时最大限度地发挥蓝绿基础设施提供的效益和生态系统服务，欧洲各地目前正在开发绿色和灰色基础设施的创新型智能组合。荷兰海牙的智能绿色屋顶和城市水缓冲区就是很好的例子。

5. 变革能力

正如荷兰三角洲计划、佛兰德斯的蓝色交易和西格玛项目、北莱茵—威斯特法伦州和莱茵兰—法尔茨州的洪灾恢复活动以及欧盟气候适应特派团所证明的那样，气候适应是一个持续的合作学习过程，需要研究新的解决方案、途径和方法。事实证明，

“基于研究的设计”是应对这一复杂挑战的宝贵方法，可以制定出长期灵活的创新解决方案。荷兰以适应为目标的“设计研究”以“2023年领土展望”和“三角洲方案”等情景研究为基础，这些研究显示了潜在决策可能带来的未来空间发展。这种方法允许专家与当地利益相关者合作共同制订计划。荷兰的地方城市适应项目表明，共同制订计划有助于提高公众对问题的认识，并加深对干预措施特点的理解。

新的规划和设计原则正在（将要）出台，如荷兰国家政策简介“水与地下水领域”，其中包括气候问题绝不能被转移的原则，既不能在空间上转移到相邻地区，也不能在时间上转移到下一代人身上，更不能从私人土地转移到公共空间中。目前，公众认为适应气候变化是政府的责任。人们和企业意识到了气候变化，但没有意识到需要为更频繁、更严重的极端天气事件做好准备，仍缺乏对现有行动前景的了解和宣传。为适应措施提供持续的资金至关重要。与比利时佛兰德斯地区“西格玛”计划项目的不定期资助相比，荷兰三角洲基金提供了持续的资金支持。为适应措施保留的长期预算也为促进政府与社会资本合作、知识研究和创新提供了连续性。

（五）小结

从四个地区的案例来看，普遍存在的气候变化对城市的挑战包括：①极端天气（特别是极端降水）的频率和强度总体呈上升趋势，加剧了城镇空间的洪涝灾害风险。②海平面上升带来的各类灾害风险加剧，叠加沿海城市总体向海发展的明显态势，放大了气候变化带来的风险。③高温热浪不仅引发了山火灾害和能源短缺的危机，同时叠加城市高密度开发的热岛效应，加剧了对市民健康乃至生命的危害。④极端干旱不仅对城市生活、工业用水保障带来负面影响，也会对内河航运、水生态质量产生威胁。

尽管各地区在地理条件、气候、人口、福利、政治和行政制度等方面存在很大差异，但这四个地区在应对气候危机的能力方面都暴露出非常相似的不足，包括：①城市空间格局适应气候变化的韧性不足，以蓝色和绿色自然为基础的解决能力不够。城市生命线工程等重大基础设施仍存在短板。②社会对气候变化带来的各类新环境变化认识不足，应对气候变化的法规、规程和标准仍有待提升。③城市防灾工作的跨部门协同不足，应急管理部门的统筹协调职能未充分发挥，对突发气象灾害预警、极端灾害预测水平有待提升。④社区居民的风险意识、气候风险评估能力和降低风险的干预措施不足。⑤区域合作的机制仍有待完善，城市间的气候危机应对预案仍有待衔接。⑥除超特大城市外，中小城市、小城镇和乡村因财政资金匮乏、基础设施建设较为落后等因气候变化面临的风险也在加剧。

为了应对这些挑战，必须进一步了解当地特有的气候脆弱性，并确定气候适应措施是否能满足本地城乡发展和居民生活改善的需求。城乡应对气候变化的 5 种关键能力建设行动不应该千篇一律、没有区别，迫切需要制定因地制宜但又协调一致的气候适应战略。

四、案例借鉴：从灾害中吸取经验教训

本部分对全球各类案例进行了反思——大多数学习案例都是由严重出错的事情引发的，并且与气候变化有关。这些案例的反思基于报告提出的气候评估的认识框架，包括气候适应的 5 种关键能力和 10 种有利条件。为便于介绍，案例和相关分析结论按照三个典型阶段进行了分类。一是防灾预警阶段；二是救灾阶段，涉及灾后援助、复合风险、脆弱性等概念；三是重建阶段，涉及适应、复原力、创新等概念。

气候相关灾难及其后续影响为我们提供了宝贵的经验，有助于更好地防范、应对气候灾害并实现灾后恢复。这些经验对于建设具有气候韧性的环境至关重要。本部分反思了全球范围内的一系列案例，这些案例大部分对应严重的气候灾害事件和深刻的教训。

图 5-3 概述了本部分的逻辑思路，也说明了气候适应关键能力、必要的有利条件和减少气候灾害风险之间的关系。



图 5-3 减少灾害风险的各个阶段和发展气候韧性能力的 5 种关键能力及其有利条件关系示意

本部分基于第三节的 4 个主要案例，以及其他 16 个案例进行讨论与分析。

专栏 5-1：案例名录

主要案例（第 3 节）

- 案例 1：成渝地区案例
- 案例 2：太湖流域案例
- 案例 3：珠江口地区案例
- 案例 4：莱茵河—默兹河—斯梅尔德河三角洲案例

防灾预警类案例

- 案例 5：2021 年“7·20”郑州特大暴雨灾害
- 案例 6：全民预警倡议（联合国）
- 案例 7：孟加拉国预警系统^[22]
- 案例 8：新加坡——智慧水项目^[23, 24]

救灾类案例

- 案例 9：2020 年 8 月 20 日重庆罕见特大洪水
- 案例 10：美国加利福尼亚州山火^[25]
- 案例 11：肯尼亚内罗毕反复遭受洪水侵袭
- 案例 12：2022 年德国亚琛地区的洪水灾后重建

重建类案例

- 案例 13：2023 年京津冀特大暴雨灾害
- 案例 14：纽约——飓风桑迪的应对^[26-29]
- 案例 15：佛兰德斯——洪水后的流域韧性规划^[30]

其他案例

- 案例 16：川渝地区高温干旱灾害
- 案例 17：莫桑比克
- 案例 18：秘鲁——应对洪水的韧性工作组
- 案例 19：水是气候行动的核心
- 案例 20：水作为杠杆——创新准备

注：更多洪水相关案例分析，参见 <https://www.zurich.com/knowledge/topics/flood-resilience/zurichs-flood-resilience-program>。

（一）防灾预警类案例

事实证明，提高预警能力并建立相关系统，是有效保护社会免受自然灾害影响的关键措施。通过加强数字监测和风险监测系统，协同受灾社区完善紧急响应计划，并提升公众的风险意识，可以大幅减少人员伤亡。研究显示，早期预警覆盖面广的国家（涵盖政府预警和公众防灾意识）的灾害死亡率比覆盖面有限的国家低 8 倍^[31]。对于灾难性事件，只要提前 24 小时预警，就能将重大损失减少 30%（全球适应委员会）^[32]。在全球范围内，由于缺乏适当的预警系统和防灾能力，气候的极端天气事件对非洲、南亚、南美和中美洲以及小岛国的风险是其他地区的 15 倍之多^[33]。

（二）救灾类案例——援助、复合风险、脆弱性

救灾是减少灾害风险的关键组成部分。这包括在灾前、灾中或灾后直接采取各项行动，以挽救生命、减少对健康的影响、确保公共安全，并满足受灾民众的基本需求（联合国防灾减灾署）^[34]。这些措施包括建立快速响应的应急管理体系，进行现场评估，开展搜救工作，提供医疗救治，并确保安全疏散。灾后，还需要应对一系列后勤保障挑战，如为受灾民众提供临时住所、食物、饮用水、卫生设施、医疗和心理支持，同时修复包括通信在内的重要基础设施。援助必须及时送达受灾最严重的地区。尤其是对贫困者、老年人、儿童、残疾人和伤员等脆弱群体的个性化救援响应更为至关重要。及时的救援行动还能够有效遏制次生灾害的发生，如洪水后可能引发的疾病传播等。

相比之下，本章中的第 11 个案例——内罗毕的洪灾案例情况则完全不同，其中没有任何积极行动或可供学习的经验。实际上，这是一个消极的洪水案例，对洪水风险较高的河流沿岸的非正式住区造成了严重影响。这些极度脆弱的社区不但未得到援助，当地民众还在灾后被驱逐，且未得到任何补偿。

有效的救援需要政府迅速响应，同时为社区和个人提供能力建设支持，使他们能在灾后采取应对行动。这通常要求不同层级的机构间协调。例如，在重庆案例（案例 9）中，地方、国家政府通力协作。应急救援、警察和消防部门在灾后搜救、保护人员和财产等方面发挥至关重要的作用。同时，民间社会和公众也扮演着重要角色，提供可靠信息、资源、相互援助，并与地方政府合作，确保救援工作的顺利进行。

救灾工作通常会持续很长时间，远超过灾后的初期救灾阶段，并有助于提升社区的长期韧性。

（三）重建类案例——适应、复原力、创新

在全球范围内，在灾后进行总结反思似乎成为一种普遍现象。然而，如何更迅速地吸取教训并在全球范围内实现创新以加强防灾、救灾和重建能力，成为当前一个亟待解决的重大挑战。投资于气候准备工作不仅能显著减少损失和降低风险，其投资回报率更可高达 5 ~ 10 倍，甚至更多。这类投资带来了多方面益处，如健康状况的改善、安全性的提升、生态环境的优化、性别差距的缩小以及青年能力的增强等，其综合效益更是不可估量^[35-38]。

面对灾害，防灾和灾后重建都至关重要。全球范围内灾害的影响凸显了脆弱性——建立在硬化不透水地面的城市人工系统显然难以适应未来的变化。近年来，全球城市扩张主要集中在洪水风险最高的区域^[39]。许多城市缺乏应对暴雨内涝的能力，也缺少足够的公园绿地或绿色屋顶来缓解热岛效应；同时，排水系统更是在极端天气下频频失效。这不仅威胁到城市气候韧性，还对边缘化社区和生物多样性产生了灾难性影响，进而威胁到粮食安全和经济发展。因此，必须加快学习步伐，明确该如何减轻灾害影响和适应气候变化，提前做好准备，并投资于可持续的未来，确保不让任何人掉队。然而，这些教训的代价往往是十分昂贵的。实践表明，是时候采取行动了，需要通过创新和韧性应对当前的社会、经济、文化和生态挑战。

（四）经验教训总结

1. 宏观视角下的微观细节

灾害如同对城市的 X 光检查，气候相关灾害尤为如此。气候变化作为一个风险放大器，会加剧凸显城市中固有的问题。回顾历史可以清楚地发现，一个国家的城市发展和土地利用规划是人类不断适应环境、寻找安全居所的过程。在气候变化日益加剧的背景下，必须把眼光放远，在规划空间适应性时，从更长的时间跨度、更广泛的空间区域以及更多层级的极端情景出发，制定出更加全面有效的应对策略。

首先，从更长远的历史角度来看，灾害始终伴随着城市发展。从灾害中学习，不仅仅是从一两场灾害中吸取教训，更要从历史中汲取智慧。因此，有必要回顾历史上的重大灾害事件，并借鉴其中的传统智慧。情景分析方法为此提供了有力支持，有助于评估城市在极端情况下可能遭遇的潜在问题，进而明确影响范围、识别各系统的脆弱性，并规划出可行的应对措施。这一过程必须与城市的防洪设计安全标准相结合，考虑洪水或历史洪水的重现频率。

其次,灾害的源头不仅限于城市内部,更可能来自外部,特别是流域地区。因此,进行气候适应性评估时,必须涵盖不同的空间尺度,特别是流域尺度,以评估城市风险及上下游、左右岸之间的相互影响。在追求安全的同时,高质量的空间发展还需要兼顾环境保护和生态系统恢复的需求,力求找到全面而均衡的解决方案。

2. 重要经验教训与指导原则

在更广阔的视角下,可以从实际发生的灾害案例中提炼出七个方面的重点经验和教训。

1) 本部分聚焦“灾害”,强调了灾后创造气候适应机遇的重要性,即打破常规做法和习惯,以及采用特殊方法来实现这些突破。这些常规措施往往阻碍了气候适应行动的实施、开展合作和进行非传统思考,而这些都是实现韧性能力转型提升所必需的。

2) 在重建以及重建后的治理运营过程中,必须坚定地面向未来,而非沉溺于过去。本部分的案例展示了如何以更加美好、更具韧性的未来为导向,运用创新的方法和工具来探索未来并验证想法。

3) 在应对脆弱性方面,基于风险的基础设施和服务至关重要。如本部分所述,相关工具正在逐步完善。因此,应将气候风险信息纳入空间规划、城市基础设施和运行服务的各个环节,同时加强地方适应能力,推广成功案例和对失败措施进行问责。

4) 在灾害事件发生后暂时停下脚步,进行深入反思和学习。然而,鉴于灾难带来的混乱与痛苦,以及人们对迅速响应和重建行动的期待,这通常是一个艰难的决定。但无论如何,从工程和其他角度深入理解问题的根源,对于更好地重建至关重要^[40, 41]。

5) 从灾难中吸取教训,代价高昂且令人痛苦。相比之下,从其他地方发生的灾难中吸取教训,并进行共享建立集体智慧,显然是更好的选择。与同行网络建立联系、参与联合国倡议、分享创新方法经验(如“全民预警”“水作为杠杆”),这些都是重要的机会^[42]。

6) 案例表明,创新技术都是应对气候变化及其引发风险的关键,贯穿从监测预警到实施决策的各个环节(如压力测试、气候监测网络、预警系统、洪旱风险评估、数字孪生技术等)中。创新技术的应用可以在方法论和战略层面为提升气候适应能力提供有力支撑。

7) 所有案例都强调了治理和流程的重要性。包括有为的政府机构、政治意愿和领导力、信任与抱负。短视的政策议程严重阻碍了适应规划的进程。实现气候韧性需要将国家层面的战略和资源与地方的具体情况、机遇和需求相结合,跨越各种分歧实现广泛参与和社会公平,以及为创新和试验提供支持。

以上案例中记录的一连串极端天气事件、灾害和个人损失让人想起第 44 任美国总统贝拉克·侯赛因·奥巴马的一句话：“我们是感受到气候变化影响的第一代人，也是能够为此做些事情的最后一代人。”^[43] 实际上，中国、美国等世界主要国家政府都十分关注气候适应问题。2024 年 1 月，中国国家主席习近平发表文章，提出提升适应气候变化能力，守牢美丽中国建设安全底线。2024 年 7 月，美国总统和副总统再次强调将适应气候变化问题作为国家的长期挑战^[44]，提出运用科技创新来提高气候适应韧性。

五、公平和性别：关注弱势人群和地区

大量证据表明，气候变化背景下，在社会和经济上处于不利地位的地区和人群受到气候变化的不利影响更为严重，导致社会不公平问题进一步严重（“气候正义”议程）。因此，在气候适应中要更加关注增强乡村和欠发达地区、女性等弱势群体的气候适应能力，提高社会与性别公平。

（一）气候变化中存在的社会与性别不公平

大量证据表明，在社会和经济上处于不利地位的人更大比例地遭受气候变化的影响。^[45, 46] 研究一再发现，经济资源和政策参与度是应对气候风险能力的关键驱动因素^[47]。抵御气候变化的生活方式的能力取决于社会经济变量，这些变量决定了人们是否有能力搬迁到更安全的地区，确保自己的资产，并获得便利设施、服务和社会保护。例如，贫民窟等非正规住区中存在的贫困、严重缺乏住房和基本生活服务（如水、卫生设施、电力）等问题，加剧了其中居民面对气候变化影响的脆弱性，并使他们进一步陷入贫困。全球有超过 11 亿人生活在贫民窟等非正规住区，预计到 2050 年还将有 20 亿人生活这样的环境中^[48]。因此，提供低碳、气候适应性强的基础设施和服务是对最脆弱人群的影响降至最低的关键要求。

1. 城乡和区域差距

在中国和全球许多其他国家，城乡差距、区域差距依然十分明显。乡村和欠发达地区由于基础设施的相对落后、经济资源的有限性以及公共服务的不足，往往缺乏足够的能力来应对极端天气事件和带来的突发灾害，如洪水、干旱和风暴等，以及气候变化带来的长期影响，如海平面上升和生态系统退化。与此形成鲜明对比的是，城市地区通常拥有更为完善的基础设施、更强的经济实力和更丰富的资源。这些优势使城

市能得以更有效地投资于气候适应措施，如建设高效的防洪系统、提升建筑物的能源效率、开发城市绿地和公园等，以减轻气候变化带来的负面影响。在亚洲和撒哈拉以南非洲的欠发达国家和低收入国家中，快速发展的城市地区面临着三重挑战：缺乏基本的基础设施和公共服务、人口不断增长及极端高温和洪水等不断增加的气候灾害。此外，由于农村地区的干旱和其他气候影响，大量气候移民涌入城市寻找发展机会。大城市、小城市都还没有为快速迁入的人口做好气候适应方面的准备。

同时，乡村和欠发达地区面对气候变化的脆弱性还与其人口结构的不合理性密切相关。相较于城市地区，这些地区的老年人、儿童和妇女人口比例更高，而这些群体在面对气候灾害时往往更为脆弱，需要更多的保护和支持。此外，农田的退化现象，如土壤盐碱化，以及供水水源的不稳定性，也加剧了这些地区的脆弱性。这些问题不仅影响了当地居民的生计，也对粮食安全和生态平衡构成了威胁。

2. 性别差距

目前气候适应方面的性别差异研究还处于探索阶段^[49]。但来自世界各地的多方面数据表明，女性面对气候变化的脆弱性更明显，受到不成比例的多种不利影响，包括灾害伤亡、流离失所、性别暴力，以及生计和多种权利的侵犯。同时考虑其他弱势人群也面临和女性类似的高脆弱性问题，因此本部分更强调包括女性、老年人、儿童等在内的广义的弱势群体面临的气候变化风险差距问题，在制定和实施气候适应政策时必须考虑这种差异。例如，根据联合国环境规划署的数据，因气候变化而流离失所的人中 80% 为女性^[50]。面对气候变化风险，孕妇、贫困、边缘化和农村年轻妇女的健康受影响最大。在巴基斯坦洪灾期间，近 70 万孕妇得不到孕产妇医疗护理，她们自己和新生儿缺乏食物、安全或基本医疗护理，自然流产率急剧上升。^[51]

女性除了面临更大的灾害风险，同时还缺乏足够的迁移能力和资源用于应对灾害^[52, 53]。很多贫困妇女居住于偏远地区，在面临气候灾害时，很难获得足够的政府资金支持和服务。^[54]

（二）气候适应行动可能会进一步扩大社会不公平

多项研究表明，气候适应行动可能会加剧现有的不公平问题^[51, 55]。气候适应行动往往被视为政府的责任，而不是社会公众的事物，在决策和实施过程中多元利益主体的公共参与程度有限，导致落后地区或女性等弱势群体被忽视或被排除在气候适应措施之外。特别是乡村、小城市和欠发达地区，因为经济条件的限制、基础设施的短板和政府关注度的不足，难以获得必要的资源来应对气候变化带来的挑战。气候适应行动

有时也会忽视最弱势群体的具体需求。包括在贫困情况下因照顾他人的责任而面临气候变化带来的更大负担的妇女^[51]，还有老人、儿童、非正规住区的居民，以及在建筑、环卫和快递运输等行业工作的低收入户外工作者。

总的来说，政府在制定和实施气候适应政策时的偏向性是加剧社会不公平的重要原因。不合理的气候适应行动的意外后果包括社会不平等、弱势地区和群体被忽视和不合理的土地利用规划^[56, 57]。城市因其经济和政治的重要性，往往成为政策制定和资源配置的焦点，而乡村和欠发达地区相对边缘化，难以获得同等的政策支持和资源投入。这种政策上的不均衡分配，不仅加剧了城乡发展的差距，也削弱了乡村地区应对气候变化的能力，使这些地区在气候变化面前更加脆弱。此外，很多国家的小城市和城郊地区面临着最大的人口增长压力，而气候适应规划的制定能力和获得的资源支持却最低。因此，即使是同一国家的城市地区之间，以及欠发达国家和较发达国家的城市地区之间，气候适应差距也非常大。以上这些由社会经济发展水平差异导致的适应政策不公平，对全球实现应对气候变化的均衡适应和长远可持续发展构成了严峻挑战^[2]。

（三）气候适应行动中的社会公平策略建议

社会平等是所有人的责任，气候变化适应政策必须将不加剧社会不公平作为基本目标。换句话说，在制定和实施气候适应干预措施时，应将“不造成伤害”作为一项原则（类似医学的伦理学原则“do no harm”）^[58, 59]。目前全球政策和学术界公认，在进行城市气候变化适应政策和规划时，一方面，规划过程必须具有包容性，让每个人都参与进来（IISD）；另一方面，干预措施应确保公平的政策结果，即需要确定适应政策决策的受益者和受损者，评估其如何影响各类弱势群体的脆弱性。^[60]

结合实地调研工作，研究团队探讨了城市和农村的各种气候适应案例，后者往往具有更大规模的区域影响。无论是比利时佛兰德斯的“西格玛”计划，还是荷兰泥炭地地区的农业创新实验，以及德国亚琛露天矿的生态恢复计划，都对农村环境以及附近的城镇产生了直接影响。这些案例表明，必须以综合的方式解决城乡问题。事实上，城乡之间的城郊地区对于建设城市和区域的气候韧性能力至关重要。可以从小规模的地方试点项目开始，尽可能多地听取本地居民和利益相关者的意见。同时，还需要对更大范围内的城乡相互联系建立总体的认识。因此，对空间和社会系统采取综合干预措施是必不可少的。例如，保护和恢复绿色和蓝色空间（公园、农田、森林、湖泊、河流和其他水体）可在城市和区域层面上抵御洪水和高温风险，同时提高宜居性，改善公共卫生，并为市民创造经济机会。以气候风险评估结果为依据进行空间和土地利

用规划，有助于防止在风险易发地区进行新的开发，使市民远离危险。

对气候适应具有共同的认识和共同学习是气候适应取得良好成效的关键^[61]。开放共享的信息提供，有助于让气候适应重要的利益相关者参与进来，实现可持续转型。因此，关于提高气候适应包容性和公平性的一项建议是，在相关规划和实施过程中通过公众参与促进共同学习，以共同制定对未来的共同愿景，从而提高气候适应的支持度和有效性。

（四）“共同富裕”可作为实现气候适应公平的政策工具

2021年《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》发布，将“共同富裕”作为国家政策框架的基石，旨在加强社会公平和区域均衡，缩小城乡差距。它代表着一种发展战略的转变，即通过改善农村基础设施（公共服务、数字连接等）和缩小经济差距，从注重（城市）增长和财富积累转向更加均衡和包容的发展模式^[62]。这对可持续空间发展和气候适应具有直接影响。它还旨在减少碳排放和恢复生态环境质量。

目前，中国城市和农村在应对洪水风险和适应措施方面仍存在显著差异。^[63]城市地区在人口密度和经济方面极易受到洪水的影响，虽然并不是每次都能抵御灾害影响，但通常具备更好的气候变化影响抵御能力。在每年的汛期，农村地区通常受灾最重。为抵御中国未来最主要的3种气候风险，即农业旱灾风险、城市内涝风险和沿海风暴潮风险，需要对提升城乡地区气候适应能力的基础设施进行大量投资。^[64]

城市的适应措施有时甚至会对农村地区造成巨大的空间影响，这是一种气候适应中的社会不公平。此外，社会往往可能忽视农村地区面临的风险问题会影响到每个人的食品安全保障。^[65, 66]

因此，中国应将“共同富裕”的政策目标扩展到气候适应领域，围绕社会公平发展、增进人民福祉的要求，精心设计气候适应与投资规划，合理安排实施行动和分配资源，鼓励当地居民和社会组织参与气候适应行动，保障气候适应政策的公平性。

六、重要经验：空间、时间和治理维度

本部分概括了在不同类型空间（如城市、农村、三角洲、山区及丘陵地带）和时间范围（长期、中期、短期）内加速气候适应的新认识。它着重指出了不同地区面临的脆弱性，如城市地区由于极端天气事件和基础设施短板面临的供水挑战，农村地区

由旱灾导致的供水和供电问题，沿海城市群的海水入侵问题，以及山区和丘陵地区的山洪和滑坡风险。为了加强构建气候韧性所需的五种能力所需的基础条件，需要对政策制度和融资机制进行变革。本部分还总结了各种适应措施和吸取的教训，为制定后续政策建议奠定基础。

在综合报告案例、参考文献，以及课题组在中国和欧洲的工作访问经历中，本部分提炼总结相关的重要经验。除评估气候适应的五项核心能力外，本部分在总结经验时还充分考虑了各地情况和条件的特殊性。这些特殊性涵盖了自然地理特征及其带来的特定风险、有利或不利条件，以及“治理机制”，即政府各层级和各部门之间的关系和政府当局与私人个体、社会组织之间的职责划分。总体经验如下。

1) 需要抓紧行动。鉴于现有的气候适应差距、准备适应行动所需的准备时间以及令人担忧的气候预测结果，必须加速气候适应行动。“准备时间在延长，而预警时间却在缩短。”^[67]

2) 需要转变零散和被动的适应方法。这些方法只能恢复现状，或充其量带来渐进式的变化——但目前气候适应需要实现变革性的改变。

3) 需要因地制宜，构建集体智慧。各国政府，以及像欧盟和联合国这样的国际政府间组织，必须发挥引领作用，特别是在设定目标水平、扩大和传播科学知识、推动创新设计，以及在各层级开展气候适应评估和推动合作等方面。

4) 需要加强不同政府机构之间的协调。因为空间规划、发展规划、基础设施建设、雨水管理、防洪、绿地管理和社区治理等都承担着适应气候变化工作的部分责任，但往往在各个层面上都缺乏协同合作的协调机制。

5) 面向多重目标（包括人类福祉、气候和生物多样性）设定适应目标。这可以促进达成一致的气候适应目标，并有助于在实施过程中进行权衡取舍。在设计和实施适应措施时，应考虑公平性问题，因为不同个体在应对气候变化风险和参与适应方面的能力存在差异。

总体而言，本部分提出在不同层面上评估气候韧性的有前景且实用的工具、方法，可为气候适应措施的规划提供支持。同时，本部分也指出了目前研究方面的不足，例如，在当前的国合会的研究计划中，对气候适应的经济和融资问题的重视程度仍有待加强。

（一）与空间尺度有关的新认识

1. 城市地区

气候适应工作往往聚焦城市地区，因此案例研究结合各地城市具体情况，分析了

相关的脆弱性、适应差距和经验教训等内容。然而，依然存在一个长期挑战：如何超越既有的在特定时间和地点针对灾害事件的被动适应，从而实现适应措施的转型。本部分认为以下方面应还有改进空间。

1) 采取着眼长远和获得广泛支持的任务导向型方法。

2) 从其他地区吸取经验教训——借助如 C-40 城市气候领导联盟、大自然保护协会等同行学习网络，荷兰三角洲研究院（Deltares）等独立科研机构，以及联合国“全民预警”倡议等联合国计划。

3) 结合对国家或区域层面的评估开展城市气候适应评估——推动地方城市实施适应评估举措，构建长期气候韧性能力。本章在案例研究和实地工作访问发现了可推广的实际案例。

具体经验是城市扩张加剧了与水相关的脆弱性。

1) 极端天气事件（风暴、强降雨、洪水、高温和干旱）发生频率的增加对城市水管理构成了严峻挑战。

2) 城市扩张将城市周边空间纳入城市边界，使更多人生活在城区内。然而，很多地区加速的城市化进程超过了供水等基础设施的建设速度。人口增长与基础设施适应能力之间的不匹配，极大增加了城市供水系统的脆弱性。

3) 在城市扩张过程中，为了建设而拆除了原有的供水和水利设施，这进一步增加了洪水风险和供水的脆弱性。

4) 排水、供水基础设施的老化以及因此产生的更新需求是近期迅速增加的挑战。此外，这些基础设施并未针对未来的气候条件进行设计和建设。

为了减少气候变化带来的负面影响，城市扩张与更新必须考虑中长期气候变化的影响。特别是，面向长期的区域和国土空间规划，需要更加重视气候适应策略。可采取的措施或策略如下。

1) 保护城市地下空间（如停车场、地下购物中心、火车站和隧道），并将其视为潜在资源，用于构建更加灵活且可持续的水管理系统。考虑地下空间开发的易灾性、利用的局限性以及救援困难等问题，应加强其合理规划和安全控制。由于不同管理机构间的地下空间所有权可能错综复杂，因此对地下空间的规划需要更加谨慎细致。

2) 通过“压力测试”来评估基于自然的解决方案在极端天气条件下失效的风险，并考虑将基于自然的“绿色”解决方案与“灰色”工程基础设施相结合，从而形成多层次的、“蓝绿—灰色结合”的防洪和雨水利用系统。

3) 尽量减少极端天气事件对排水系统容量造成的破坏。为此，应采用能最大化居

民和生态系统日常效益和服务的解决方案。

一个相关的案例是湖南省湘潭市开发的气候适应支持工具系统。它为用户提供防洪工程、水资源管理和生态保护等多方面的适应措施建议。该系统能够辅助用户分析降雨、水位变化、土壤类型和土地利用等数据。它为湘潭市在城市空间规划中考虑气候适应问题提供了一个有效的工具，并且可以根据其他地区的需要进行调整和优化。^[68]

2. 农村地区

与全球其他国家相比，中国农村地区因其高人口密度、高度依赖农业、基础设施薄弱以及显著的城乡差距，面临着更突出的气候变化挑战。这些挑战包括居民健康风险、农业减产，以及农村地区的水电供应中断问题。实施这些措施不仅能保护农村地区，还能有效缓解城市地区面临的洪水、水资源短缺和水质问题。

农村地区应对干旱和洪水的适应措施和经验教训如下。

1) 需要通过改进既有基础设施和扩大雨水收集系统（如比利时佛兰德斯地区的成功实践）来提高水资源管理的效率。

2) 需要增强公众对旱灾的关注度和参与度。西欧的许多从业者都强调，社会对话是适应气候变化的基础，因此需要政治支持和信息工具来推动这一对话。

3) 社会资本和社区文化在洪灾造成的精神损失和社会损失的恢复过程中发挥着至关重要的作用（如德国鲁尔河和阿尔—埃尔夫特河流域“水炸弹”灾后重建案例）。

4) 加大对农村地区的财政投入，以改善老旧基础设施、提升农业生产能力和水资源管理能力等，从而促进城乡之间的协调发展。

3. 河口三角洲地区

相关研究关于河口三角洲地区目前已达成以下共识：一是当前战略过于侧重短期解决方案，这限制了设计可持续、长期解决方案的能力。因此，从被动和渐进的适应性规划转向有计划的适应性规划，积极主动地应对未来的挑战。二是对河口三角洲地区的综合理解和认识还存在显著差距，特别是对其动态和复杂行为的认识不足。采用基于系统的方法对于有效管理河口三角洲至关重要，可确保解决方案在不断变化的气候条件下既可持续又具有韧性。从案例中体现的具体问题如下。

1) 沿海城市群海水入侵问题日益加剧，需要采取高成本的解决方案。如连接多条河流的入海口或将淡水注入地下，以确保未来的用水供应水平。尽管海水入侵问题由来已久，但情况正在恶化，成为沿海地区水资源管理者和海平面上升早期预警信号之一，同时也对农业适应性构成了威胁。

2) 除了永久冻土地区, 土壤沉降通常与地下水(如抽取、软土地区的地下水位管理)密切相关, 是洪水风险管理中的一个复杂因素。这种现象不仅出现在世界各地的许多大都市, 也出现在如莱茵河—马斯河三角洲的泥炭地区。土地沉降、雨水或河流洪水风险以及海平面上升是相互叠加的, 并且都与气候变化有关。特别是当许多河口三角洲地区特有的泥炭土发生氧化时, 沉降会迅速发生并带来问题。因此, 持久的解决方案必须考虑地下水状况, 从而解决土地的利用问题, 无论是用于城市、农业或其他经济目的, 还是用于自然生态保护。

4. 山区与丘陵地带

山区与丘陵地带因其独特的地形特点, 在极端暴雨情况下极易发生山洪和泥石流, 这两类灾害具有突发性和难以预测性, 常导致巨大损失。自 1949 年以来, 中国山区已有超过 19 万人因山洪而丧生。最近的一个例子是四川康定发生的山洪泥石流灾害: 2024 年 8 月 3 日凌晨, 康定市三个村庄在短时间内遭遇了突如其来的极端降雨, 进而引发了山洪灾害, 导致 12 人死亡、15 人失踪。

人们发现, 在狭窄的山谷中, 桥梁和小涵洞在洪水期间会显著加剧破坏程度, 因此应改变建设方式。尽管蓄水容量有限, 但许多分散的蓄水设施仍然有助于降低洪水风险。在山区和丘陵地区修建水库时, 必须考虑溃坝的风险、气候变化的应对措施, 并普遍提高人们对次生灾害风险的认识。

5. 流域层面

综合流域管理将整个流域视为一个统一的整体, 进而制订协同的管理和发展计划。这种管理方式会全面考虑不同层面的相互依存关系, 包括流域层面(如上下游、左右岸、干流和支流)、城乡层面(如城市、农村和自然区域), 以及不同区域政府(城市/直辖市、省或国家, 取决于河流是否为跨境河流)。在规划阶段, 为确保实现计划的目标和任务, 必须确保在所有空间尺度上的干预措施都保持协调一致。河流沿岸和蓄滞洪区的土地利用规划在洪水、干旱和水质问题的管理中扮演着至关重要的角色。在运营阶段, 流域管理的工程措施和非工程措施对于提高气候适应能力至关重要, 即需要采取这些措施最大限度地减少极端事件造成的损失。同时, 监测、预警和实时控制方面的新工具和技术, 如数字孪生技术、大数据和云计算等技术, 也在迅速发展。

例如, 中国通过加强各省级行政区之间的合作, 对长江流域进行综合治理, 提高长江流域抵御暴雨、洪水和干旱等极端天气事件的能力。长江流域的水库调度在缓解水旱灾害方面发挥着至关重要的作用。2022 年大旱期间, 上游 51 座水库为下游补水

83 亿 m^3 。2024 年第 1 号、第 2 号洪水期间，流域水库群拦蓄水量 233.5 亿 m^3 ，缓解了下游的防洪压力。2023 年，湖北省发布了《湖北省流域综合治理和统筹发展规划纲要》，从省级层面强调了流域综合治理。

（二）与时间维度、投资和金融有关的新认识

1. 不同时间尺度的策略

有效适应气候变化需要针对不同时间尺度（长期为几十年、中期为数月至数年、短期为数小时至数月）持续实施有差异但方向一致的战略。规划战略适用于中长期，而应急行动策略适用于短期。那些之前未考虑气候变化的重大基础设施和房地产开发项目需要进行调整，以提高它们对长期保护某一地区所需的预防能力、适应能力的贡献。虽然建议对在建的基础设施和城市开发项目进行评估，但这一过程可能会带来一些挑战。需要在调整建设方案对应的时间、资金成本和提升气候适应能力目标之间作出权衡。

一是建议将防洪和水管理系统、城乡空间规划以及城市更新项目的规划期限设定为 2050 年，并考虑至 2100 年的远景展望。这是因为海平面上升、降雨模式和水资源变化等长期的气候影响将在长期内对这些设施和项目的作用产生深远影响。同样地，社会系统也常常需要长期规划来实现变革。以教育系统为例，在欧洲的经验表明职业培训，特别是针对实际工作人员的培训，必须跟上气候适应技术快速发展的步伐。这一需求不仅存在于工程领域，也存在于法律和传媒等领域。

二是在中期时间尺度内（数月至数年），需要采用调整建筑标准、优化交通系统等措施来适应气候变化带来的挑战，并且要与技术进步、经济发展和社会需求的变化相协调。

三是在短期时间尺度内（数小时至数月），可以采取应急策略来提高适应能力，如建立紧急响应机制、优化水资源调配以及提升公众的环保意识。

如果要保持预防能力、应对能力和恢复能力的最新状态，需要每 5 ~ 10 年进行一次评估。应反复进行评估和压力测试，以发现人口稠密地区在气候韧性方面存在的新缺陷。

2. 投资与融资领域的认识

（1）采用气候适应收入流的新视角

气候适应投资的经济回报和融资机制与气候缓解存在显著差异，主要体现在收入流方面。气候适应可以避免巨大的损失和灾难，同时蓝绿和灰色结合的气候适应措施

也能带来多重生态系统服务和社会效益。然而，这些措施往往不会产生直接的收入现金流，且成本效益平衡通常需要数年时间才能显现。

在项目层面，有时可以采用公私混合的融资方式。目前存在利用这种方式获得适应性资金的商业模式案例，其会计核算区分了货币成本和收入，如旅游业增长带来的税收优惠，以及非货币性利益，如降低洪水风险。然而，这需要精心管理各方期望，清晰核算各类成本和收益，并在项目的公私合作伙伴之间达成明确的法律协议。

例如，中国长江三峡集团有限公司（以下简称三峡集团）通过设立生态补偿基金，积极参与了长江流域的生态恢复与保护工作。自 2013 年起，三峡集团围绕“不造成净损失”的目标，在长江流域实施了一系列珍稀鱼类栖息地保护举措。这些努力有助于维护水生生物多样性，增强生态系统的稳定性和韧性，从而更好地适应气候变化。此外，三峡集团还利用绿色债券和绿色金融产品等多样化手段，为生态补偿项目提供稳定的资金支持，实现了生态效益与经济效益的双赢。同时，三峡集团还加强与资本市场的合作，吸引更多社会资本参与绿色投资，共同推动气候变化应对和可持续发展目标的实现。

在全球范围内，人们越来越关注基础设施投资，旨在减轻气候相关灾害的经济影响，并促进经济稳健恢复。然而，目前仍过分偏重灰色基础设施。这表明迫切需要证明对可持续蓝绿基础设施（BGI）投资的经济可行性，并营造有利环境以扩大这些举措。基础设施投资不应仅限于新项目的建设和维护，还应包括现有基础设施的升级和更新，以确保在面对未来挑战时具备韧性和可持续性。

气候变化可能会导致基础设施资产闲置，既包括过时的基础设施，也包括适应能力不足的新基础设施。因此，适应新的、尚不完全了解的气候条件和其他需求，是明智投资的关键。

目前，国合会（CCICED）研究计划对气候适应融资问题的探讨并不充分。这是一个有待研究的重要问题，但也超出了本期报告的研究范围，有待后续深入研究。

（2）存量基础设施和建筑的改造

未来几年，建筑和基础设施的改造、城市更新项目，以及空间布局和土地利用的调整项目将大幅增加。在中国，对建筑和基础设施进行改造或更新的需求往往比西方国家更为迫切。中国建筑的设计使用年限往往为 30 年，而中国城市的大量建筑已经接近或达到这一楼龄。深圳就是一个鲜明的例子，其大部分建筑是在过去 30 ~ 40 年建设的。对基础设施和建筑的更新改造促进了中国适应能力的提升，并解释了其相对较高的“绿色转型”速度。

在许多西方国家，建筑和重要基础设施大多建于“二战”后。如今，随着技术进步、气候变化、能源转型、人口变化和社会需求的不断发展，这些设施也亟须进行大规模维护和重新评估。这再次凸显了中国过去七十余年发展相对于其他国家，在时间维度上被压缩的特征。

考虑基础设施更新改造的长期性和所涉及高额投资，明智地利用基础设施更新既是一个主要的机遇，也是一个巨大的挑战。中欧水资源交流平台提出的一个观念非常有用，它提醒我们需要在升级或改造现有基础设施，以及设计和安装新基础设施的同时，尽量降低成本，最大化社会效益。

（3）对当前的投资组合的影响

当前面临的主要挑战是在十年内实现气候适应能力的快速提高。通常，大规模的长期政策项目存在许多提高气候韧性的良好机会，而这些项目的启动往往并非出于气候原因。例如，中国的产业升级、各地的大规模城市更新项目，以及之前提到的基础设施改造项目。因此，有必要审查和调整各地所有正在实施的重大投资项目。

因此，在许多国家的城市和近郊地区，有必要启动一个覆盖 2025 年至 2035 年的加速行动计划。这一计划需明确具体的气候风险（若尚未明确），并评估本章及其他资料中定义的五项关键适应能力方面的表现。为实现气候适应的公平，既需要发挥创造性和从实际出发，又需要特别关注弱势群体的需求。

（4）金融业对气候适应的响应

在德国和荷兰等国家，如果灾害保险制度设计不合理，可能会严重阻碍灾后的恢复重建工作。鉴于过去的错误教训和未来的气候变化趋势，如果将灾后重建的要求定为恢复到灾前状态的原样（如原址重建），实际上可能会导致重建效果更差（不适应）。因此，灾后重建是提升气候韧性的宝贵机会，应该被充分利用。

对金融行业及其贷款和投资组合的总体监管中，国家监管机构越来越关注气候风险，并要求贷款机构评估和限制其贷款组合中的气候和生物多样性风险。尽管这种增强的监管本身并未直接产生本章所定义的适应能力，但它确实促进了一种商业环境的形成，使人们越来越意识到气候变化对传统投资构成的风险，并使投资者意识到自己在这些方面的责任。央行和监管机构绿色金融网络（NGFS）是这一领域的关键组织，其成员包括 139 家监管机构，中国人民银行也位列其中。^[69]

（三）与治理有关的新认识

1. 国家、地区和部门层面的合作经验

在积极应对、高效且公平地适应气候变化的过程中，一个主要挑战在于打破政府机构内部不同层级和地区政府、不同部门之间，以及政府与私营部门之间的壁垒。与气候变化适应相关的区域协调合作呈现多样化的形式。本章涉及的实例包括：①为太湖治理工作设立的太湖流域管理局；②中国广东省与香港特别行政区、澳门特别行政区之间的定期合作；③中国主要流域的水利委员会；④欧洲委员会及其水框架指令；⑤保护莱茵河国际委员会；⑥区域性联盟，如由四个相邻城市共同发起和维护的荷兰三角洲大都市协会（Deltametropool），专注通过设计进行空间规划和分析。此外，还有之前流域相关 SPS 提到的美国密西西比三角洲海湾研究所。

2. 治理方法和工具方面的经验

由于涉及大量资金，需要由国家政府负责建立和维护科学咨询机构以应对气候变化。这要求满足两个关键条件：稳定的资金来源，以及向政府和社会各界提供独立且主动的咨询建议的授权。本章所分析的案例和工作访问中，有 5 种工具或方法可供参考。

（1）压力测试方法

为了解城市和区域面临的气候脆弱性，压力测试是一种有效工具。其核心问题在于评估在区域内，系统、组织及五种关键能力如何应对极端天气事件。压力测试可以应用于不同的空间层次，如城市群、交通枢纽或医院等具体地点。欧洲在金融行业（“压力测试”一词的起源领域）已广泛接受与气候变化相关的压力测试方法。

为了获得实用且现实的结果，压力测试也应用于流域。流域范围通常超过单个城市，或包含多个行政区，因此组织起来可能较为复杂，但这一步骤至关重要。

一旦应用于整个地区甚至小国家，将压力测试结果提供给规划者和广大公众是有益的。一个很好的例子是这个在线地图集（www.klimaatadaptatienederland.nl）。荷兰的气候扫描网站（www.climatecan.nl）上，可以获得一份关于全球已实施气候适应措施的全面概览。该在线地图集为用户提供了大量与气候变化适应相关的信息，包括最新的研究成果、实用的工具和指南，以及最新的活动信息。因此，该地图集为不同群体提供了学习和理解气候变化适应的机会，同时也提高了公众对气候适应的认识。^[70]

（2）情景分析法

全面应用情景分析法将带来诸多益处。特别是，针对社会经济发展趋势（如技术创新、人口、产业）进行的空间差异化情景分析，有助于制定具备综合、长期视角的适应策略。

（3）战略探索与规划气候适应干预措施的发展

这是一项复杂的挑战。通过设计研究和协同创意规划流程，涉及多学科专家和所有直接利益相关者，是识别关键决策并制定广受认可的适应计划的重要步骤。这些计划将显著提升地区的宜居性和居民的福祉。

（4）有效预警系统的发展

有效的预警系统能够保护人们免受自然灾害的侵袭。近年来，全球预警系统的发展日新月异。2022年3月，联合国秘书长安东尼奥·古特雷斯启动了全球“全民预警”倡议。世界气象组织、联合国减少灾害风险办公室、国际电信联盟和国际红十字与红新月会联合会及其合作伙伴，共同推出了以人为本的多灾种早期预警系统（MHEWS）。

（5）数字孪生技术已成为流域管理的重要工具，有助于提升对气候变化的适应性

该技术通过将现实世界映射到数字世界，能够全面反映真实流域的全生命周期过程。在极端天气事件发生时，数字孪生流域系统基于实时监测能够助力管理人员进行预警、预览和制定预案，以及提供风险评估和决策支持。

此外，对气候风险和适应能力进行定期、系统和权威的评估，对推动适应行动、加强合作、提高公众参与、评估公平性和公正性、探索新信息和技术至关重要。气候适应评估可以系统地识别城市和地区所面临的气候风险和适应差距，评估结果可为制定有效的适应战略和行动计划提供科学依据。

关于中国的气候适应评估有以下两个总结性认识。

一是在城市层面。正如上文所述，建立城市气候适应评估体系既是必要的，也是适时的。这一机遇来自住房和城乡建设部开展的“城市体检”工作，该项工作可为构建气候适应评估体系提供机制基础。

二是在国家层面。本章的中国案例未过多提及国家总体层面的情况。然而，对国家气候适应政策进行客观和权威的评估，对制定国家指导方针和适应目标至关重要。这需要加强政府机构之间的合作，为气候适应项目和研究提供稳定的资金支持，在空间规划上作出明确决策，并宣传相关信息。此外，评估还应关注战略性和长期性问题，如海平面上升，以及针对高温和干旱等气候变化趋势调整农业生产方式等。

七、评估操作框架：为城乡气候适应评估提供有效的工具

气候评估概念框架用于指引案例研究和从灾害中学习经验教训，对当前气候韧性能力的差距和短板提出了新的见解，包括物质系统方面以及制度和治理系统方面。基于气候适应评估的概念认识框架以及案例经验，本章提出建立一个通用性的气候适应评估操作框架，为不同国家的城乡地区气候适应评估明确全面、一致的气候适应评估内容和环节步骤。

（一）框架作用

气候适应评估是将气候适应紧迫性的认识与气候适应措施行动联系起来的重要纽带。建立通用性的评估操作框架，通过明确全面一致的分析评估内容和统一的评估环节流程，可以为地方、区域和流域等不同尺度制定有效的气候适应规划提供支撑。通过应用该框架，可以识别城市和农村地区面临的主要气候风险，分析构建气候适应性城市和社会所需 5 种关键能力及必要条件的现状情况和不足。评估也是气候适应规划或计划的重要前提，可为规划和计划确定目标提供支撑，评价规划气候适应措施的有效性，并为明确地方、区域和流域等不同尺度地区气候适应的政策优先事项提供支持。

气候适应评估概念框架提出的 5 种关键能力和 10 种有利条件则涵盖了气候韧性各种潜在的薄弱环节，包括恢复能力、长期适应能力和社会的变革能力。此外，该认识框架从长远角度出发明确了气候适应对应的发展机遇，即最大限度地减少极端事件可能造成的损害，同时最大限度地提高气候适应措施提供的综合效益。这为如何创造具有气候韧性的环境以及及时实现所需适应的瓶颈提供了新的思路。因此，将气候适应评估的操作框架纳入气候韧性的 5 种关键能力，在评估内容中对其进行重点分析，从而为气候适应规划制定及其成功实施奠定坚实的基础。

（二）评估内容与环节

气候适应评估需要具有全面性，即需要综合考虑气候变化风险和适应措施对安全、经济、社会、环境和文化的影响。综合全球（IPCC）、国家（美国等）、城市（纽约、东京等）等不同层级的气候适应评估相关案例经验，城乡地区气候适应评估框架可以分为 4 个部分或步骤。4 个部分应按顺序依次开展，形成全面的气候适应评估结论。此外，从地方到区域、流域等不同的空间层次，应按照一致的步骤环节开展气候

适应评估，同时考虑自身特征，在具体评估内容中进行差异化的评估。城乡建设领域气候适应能力评估框架如图 5-4 所示。

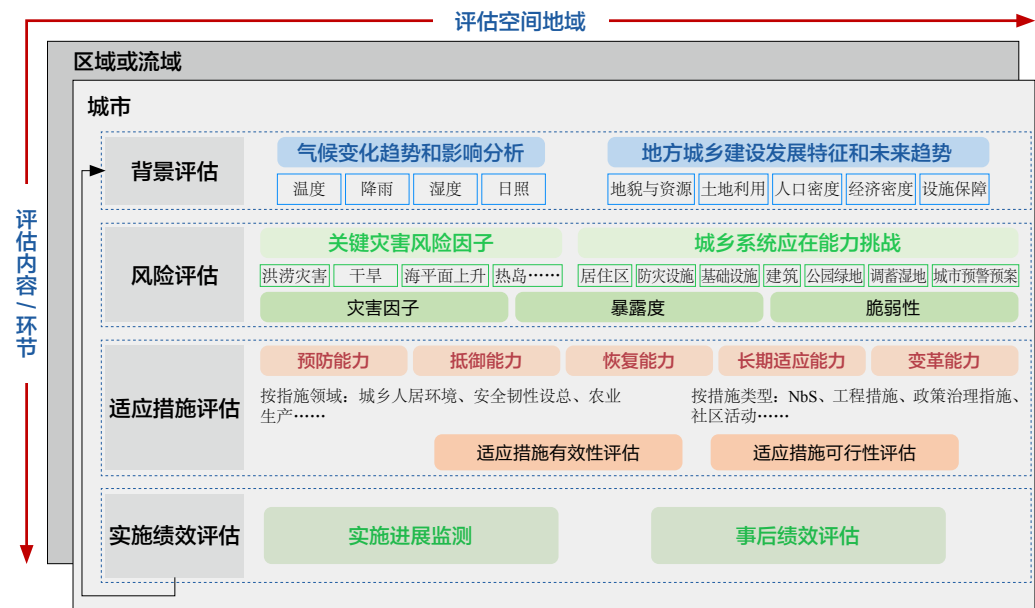


图 5-4 城乡建设领域气候适应能力评估框架

1. 气候适应背景评估

一方面是对气候变化趋势及其影响开展评估，评估应在与评估地区相关的更大空间范围内开展；另一方面是对本地城乡地区的基本特征、发展趋势和未来情景开展评估，包括地形地貌、土地利用、社会经济现状特征和未来预测情景、基础设施条件等。

2. 气候变化风险与机遇评估

通过利用极端气候事件进行“气候 - 压力测试”，从灾害因素、暴露度、脆弱性（改编自 IPCC，2012 年）等方面评估不同地区面临的气候变化风险。在此基础上对照地域特征，重点识别本地面临的关键灾害风险（Key Risk）和脆弱性方面存在的突出问题，以及基础设施、政府治理等系统应对风险面临的主要挑战和差距。

此外，还应分析气候适应措施对城乡可持续发展带来的协同效益和多重机遇，以便后续推动气候适应措施同其他政策措施协同开展，如带动投资、加快技术创新、优化空间格局、推动绿色发展。

3. 气候适应措施评估

从提高地区气候适应能力的目标出发，可以从创造气候韧性能力的 5 种能力（预防能力、抵御能力、恢复能力、适应能力、创新变革能力）以及建立这些能力所需的有利条件的角度开展气候适应措施评估，重点在于通过识别其中的薄弱环节来指引制定气候适应措施。基于设计的研究（Research by Design）经常用于制定全面的计划方案，并提炼出推荐方案，由来自不同学科的专家组成的联合设计团队，包括相关的多元利益主体，可为复杂规划问题提供替代解决方案。规划的气候适应措施，应开展有效性评估和可行性评估。此外，适应的公平性和公众参与也是制订气候适应行动计划的重要方面。

该步骤应促进气候适应规划与其他空间尺度的气候适应战略和规划协调一致。即地方规划应与城市层级的规划相协调，城市层级的规划应与区域层级的规划相协调，区域规划应与流域层级或国家层级的规划相协调。

4. 实施绩效评估

气候适应行动的实施和适应能力的建设，往往需要长期的工作和资金支持。因此，实施进展监测和事后续效评估既是保障目前计划实施的必要方法，也是推动新一轮气候适应规划的起点。由于新数据不断涌现，新的外部发展条件和要求也会随时间推移而变化，应定期开展气候适应评估，比如至少每 10 年开展一轮评估。

（三）评估重点

1. 加强跨区域、跨部门的协同，共同开展城乡气候适应能力的综合评估

在气候适应评估中应加强不同区域、不同政府部门的协同。包括应明确统一的气候适应愿景目标，统筹不同地区、不同部门之间的风险和利益；通过信息共享等机制建设，建立统一的气候适应评估框架和数据、方法基础；建立跨地区、跨部门以及城市内部不同层级治理主体之间的协同机制。需要将对单项灾害的分项评估、对单个措施的“成本—效益”评价决策，转向基于综合风险和机遇管理的多目标决策评估，并在考虑未来长期发展的不确定性的情况下提出评估结论。

2. 评估地区面临的重点气候风险，分析关键设施的适应能力和组织机制的变革能力

首先，不同地区、城市应基于自身地域特征，开展气候变化风险评估，重点识别本地面临的重点灾害风险和突出问题。其次，应对照关键风险，定量评估城乡地区现有基础和公共服务设施的适应能力、使用寿命和面对极端灾害风险的脆弱性。固定资

产投资是否会因为设施老化或气候适应政策的变化导致资产“搁浅”或贬值。此外，还应评估有关政府部门、企业和社会组织面向气候适应的转型发展能力，外部环境是否具备充分的有利条件支持面向未来的转型。

3. 加强不同气候灾害风险间的相关性分析，开展气候适应的情景分析和压力测试

气候适应评估应根据气候变化及其他社会、经济和科技发展的不同可能情景，在基于对单种类型风险发生概率和灾害损失预测的基础上，开展对风险、适应措施的情景分析，以指引制定动态适应方案。既要考虑短期面临的气候变化风险和问题，也要研判未来长期气候变化趋势导致的风险，进行综合评估。应重点关注不同风险灾害之间的关联性和相互影响，以及城乡地区不同类型设施、城乡系统与所处区域和流域在面对气候灾害风险时的相互影响。

4. 根据地区特征和空间差异，开展差异化的评估

从地理空间单元和层级差异的角度出发，充分考虑不同区域和流域之间、城乡之间存在的显著差异，开展差异化的评估。需要针对不同空间区域的城乡聚落系统，结合自身特征建立气候适应评估框架和明确评估重点，如河口三角洲地区、流域中下游的人口密集地区、流域上游的生态脆弱地区等。

5. 重视对气候适应措施可行性、实施绩效的评估

应综合科学研究结论、财务资金分析等多方面因素，对气候适应具体措施的可行性、有效性进行评估。目前常用的“成本—效益”评估方法难以准确评估气候适应措施的收益，特别是长期收益。部分原因为缺乏对适应措施绩效收益准确、可靠的监测数据，以及合理公平的成本和收益共担机制。因此，需要对气候适应措施和政策的效果开展长期监测评估，从而为完善气候适应的经济投资和金融支持决策模型提供信息支撑。

6. 应将适应公平、公众参与作为气候适应评估的重要方面

气候适应评估应加强对欠发达地区、弱势群体面临气候变化风险、自身脆弱性的关注，评估气候适应措施是否体现了社会公平和性别平等原则。在气候适应评估中加强公众参与，鼓励公众、企业等利益相关方与政府部门共同开展气候适应评估和适应措施的制定和实施。

八、政策建议

（一）气候风险日益加剧，灾害损失巨大，全面实施气候适应行动刻不容缓

气候变化是一个风险倍增器，气候变化和极端天气的加剧对城市和乡村造成的破坏和不利影响已经超出了所有科学预期，严重威胁到城乡居民生活和生命财产安全。迫切需要把增强气候适应安全和气候韧性上升至国家最重要的重大战略层面，如同气候减缓、绿色低碳战略。

1) 应立即提高气候适应在国家发展政策和治理体系中的优先地位，加快各个领域的气候适应工作；从国家到地方各级全面增强气候适应的 5 种关键能力建设（预防能力、抵御能力、恢复能力、适应能力和变革能力），以消除气候适应差距。

2) 气候适应战略既要应对近期极端天气灾害的挑战，也要应对缓慢发生的长期气候变化影响，如海平面上升、气温升高、盐碱化、季节性降雨模式变化、水资源供应和生态系统变化。增强城乡地区政府和基层社区从规划、建设、运营到灾害救助、灾后重建全过程的安全韧性。

（二）建立从中央到地方，跨区域与流域、跨部门，政府、社会与公众协同的系统性行动框架

气候适应不是一项独立的挑战，需要同时考虑从中央到地方，具体地区到宏观区域和流域，以及城乡聚落多层次的气候适应方法，并纳入各层级、各部门的发展战略。应坚持国家主导、区域统筹、多元主体协同的行动框架，建立跨地区、跨部门以及政府与多元主体之间的气候适应行动协调机制。

1) 面向 2035 年、2050 年长期目标和 2100 年的远景展望，从国家到地方政府制定和实施系统性的气候适应综合方案和近期行动计划，并纳入各层级、各部门的政府发展战略。

2) 在所有政策领域制定和致力于实现积极主动、面向未来的气候适应目标和具体指标，建立支持气候适应战略的法规体系、行政体系、财政金融体系、政策体系和知识数据体系等基础性制度。

3) 针对气候变化影响的长期性，加大对气候适应的长期财政投入，统筹生态修复、防灾救灾、城市基础设施建设等不同领域的政府投资。

4) 借鉴国际经验，推动长江三角洲、粤港澳大湾区、成渝地区等人口经济高密度

的重点地区在气候适应领域的区域协同和跨地区合作。

（三）建立气候适应评估机制，识别关键领域、关键设施的气候适应短板和优先事项，为城乡聚落提高气候适应能力奠定扎实的基础

结合各地的自然资源禀赋、气候变化特征、社会经济发展水平，建立本地化的城乡气候适应评估框架。由政府组织开展区域、市域、城区多层级的气候适应评估，推动与政府其他评估工作的衔接协同。例如，在中国可将气候适应评估工作纳入当前住房和城乡建设部门、自然资源部门的“城市体检评估”制度。

1) 评估既要分析气候风险和导致的问题，也要明确城乡聚落气候适应能力存在的差距；通过评估识别关键气候风险、关键领域和关键设施的适应短板，明确气候适应行动的优先事项和实施方案。

2) 根据气候适应的要求对现有法律法规、防灾与基础设施技术标准，教育培训计划和资助机制开展评估，并根据气候适应能力建设的要求对其进行调整。

3) 定期向区域、地方政府提供气候研究的最新研究成果和建议，以及对各级政府气候适应政策和措施的评估结果。

（四）重视气候适应中的社会公平与性别议题，加快提高欠发达地区、乡村地区、小城镇，以及妇女、儿童、低收入人群等弱势群体的气候适应能力

社会公平和性别研究及相应的政策制定应成为气候适应战略研究与政策行动的重要组成部分。应当特别关注上述各类地区城镇与人群的气候适应能力提升，以及相应的安全及福祉保障。

1) 针对乡村、中小城市和小城镇气候灾害抵御能力弱的现实问题，尽快提高这些地区的防灾基础设施建设标准，加大资金投入，加快设施和能力建设。

2) 改善面向妇女、老人、儿童等弱势人群面对灾害的应急救助服务能力，降低他们的气候灾害风险。

3) 广泛开展气候适应和防灾减灾宣传科普活动，开展公众参与活动，提高社会公众对于气候适应的了解和支持。

（五）加强国际合作，开展多专业多学科联合研究，为气候适应战略奠定重要的科学基础

气候适应的相关研究和政策实践仍处于起步阶段，因此应加强气候变化和气候适应基础理论和技术方法研究，鼓励科研机构、高校和第三方机构参与气候适应评估和研究工作，积极推动跨国、跨地区的国际合作和交流。

1) 应加强持续和深入的国际合作，学习世界各地的气候适应成功经验，帮助在气候适应政策的制定方面实现跨越式发展。

2) 开展跨学科、跨政策领域的综合、长期和任务导向的政策研究；针对未来发展的不确定性，提出具有高度适应性的气候适应措施建议，避免气候适应措施造成负面效果。

3) 建议国合会支持开展对气候适应融资问题的专项研究。气候适应的资金保障是影响各国实施气候适应行动的重点问题，目前相关研究和实践都处于起步阶段，亟待加强。

参考文献

- [1] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). State of the Global Climate 2023[R/OL]. (2024-03-14)[2024-12-05]. <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2023>.
- [2] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I , II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R/OL]. (2024-05-23)[2024-12-05]. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf.
- [3] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation[M]. Field C B, Barros V, Stocker T F, et al. (Eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 2012: 582.
- [4] U.S. GLOBAL CHANGE RESEARCH PROGRAM. National Climate Assessment 2023[R]. U.S. Global Change Research Program, 2023.
- [5] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability[M]. Pörtner H-O, Roberts D C, Tignor M, et al. (Eds.). Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2022: 3056.
- [6] VAN LEEUWEN, C J, FRIJNS J, VAN WEZEL A, et al. City blueprints: 24 indicators to assess the sustainability of the urban water cycle[J]. Water Resources Management, 2012, 26(7), 2177-2197.
- [7] UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNISDR). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015—2030[R]. UNISDR, 2015.
- [8] DE GRAAF-VAN DINTHER R, OVINK H. The five pillars of climate resilience[M]. In: DE GRAAF-VAN DINTHER R (Ed.). Climate resilient urban areas: Governance, design, and development in coastal delta cities[M]. Palgrave Macmillan, 2021: 1-19.
- [9] ARCADIS. The Arcadis Sustainable Cities Index 2024: 2,000 days to deliver a sustainable future[EB/OL]. (2024-06-12)[2024-12-05]. <https://connect.arcadis.com/sustainable-cities-index-report-2024-global>.
- [10] MAZZUCATO M. Governing missions in the European Union[R/OL]. (2019-07-03)[2024-12-05]. European Commission, DG for Research and Innovation. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/governing-missions-european-union_en.
- [11] SOMMER K H. Study and portfolio review of the projects on industrial symbiosis in DG Research and Innovation: Findings and recommendations[R]. European Union, 2019.
- [12] BROWN R R, CLARKE J. Transitioning to Water Sensitive Urban Design: The story of Melbourne, Australia [R]. FAWB, Monash University, 2007.
- [13] ARB. Resultaatgericht Beleid: Advies bij Beleidsontwikkeling, Communicatie en Samenwerking[R]. Ministry of Transport and Water Management (Ministerie van Verkeer en Waterstaat), 1997.
- [14] 陈忠升, 高翊富, 赵仕梅. 1960-2017 年成渝经济区气候变化时空特征分析 [J]. 西华师范大

- 学学报（自然科学版），2019, 40(3): 296-303.
- [15] 冯雷, 李旭东. 高温热浪对人类健康影响的研究进展 [J]. 环境与健康杂志, 2016, 33(2): 182-188.
- [16] 胡庆芳, 张建云, 苏鑫, 等. 重庆中心城区洪涝灾害防御与韧性提升路径 [J]. 中国水利, 2023(14): 15-23.
- [17] 宋刚勇, 田伟. 浅谈如何做好防洪调度——以重庆市“2020.8”洪水防御为例 [J]. 中国防汛抗旱, 2020, 30(12): 4.
- [18] 何昶, 邓建明, 李雪纯, 等. 太湖流域近 60 年气温多时间尺度波动幅度的长期变化特征 [J]. 河南师范大学学报（自然科学版）, 2022, 50 (6): 130-138.
- [19] 李文善, 王慧, 左常圣, 等. 长江口咸潮入侵变化特征及成因分析 [J]. 海洋学报, 2020, 42(7): 32-40.
- [20] 李猷, 王仰麟, 彭建等. 海平面上升的生态损失评估——以深圳市蛇口半岛为例 [J]. 地理科学进展, 2009, 28 (3): 417-423.
- [21] 戚志明, 包芸. 珠三角咸水入侵变化趋势及其动力因素影响分析 [J]. 广东广播电视大学学报, 2009, 18(3): 43-47.
- [22] THE WORLD BANK. How Bangladesh can protect its development gains through coastal resilience and a changing climate[OL]. (2022-09-12)[2024-12-05]. <https://blogs.worldbank.org/en/endpovertyinsouthasia/how-bangladesh-can-protect-its-development-gains-through-coastal-resilience>.
- [23] PUBLIC UTILITIES BOARD (PUB). Four national taps[R/OL]. (2014-01-15)[2024-12-05]. <https://www.pub.gov.sg/>
- [24] PUBLIC UTILITIES BOARD (PUB). Our Water, Our Future[R]. (2016-06-01)[2024-12-05]. <https://www.pub.gov.sg/Resources/Publications>.
- [25] SIERRA NEVADA CONSERVANCY, TUOLUMNE COUNTY, USDA FOREST SERVICE REGION 9. The Community and Watershed Resilience Program[R/OL]. (2018-12-10)[2024-12-05]. <https://resilientca.org/projects/30aeca00-7ebf-4af0-a57d-7bcc6fb33ce6>.
- [26] REBUILD BY DESIGN. Hurricane Sandy design competition[R/OL]. (2013-06-20)[2024-12-05]. <https://rebuildbydesign.org/hurricane-sandy-design-competition/>.
- [27] REBUILD BY DESIGN. Books[EB/OL]. (2017-02-01)[2024-12-05]. <https://rebuildbydesign.org/digital-media/books/>.
- [28] NAI010 PUBLISHERS. Too Big?[EB/OL]. (2018-03-01)[2024-12-05]. <https://www.nai010.com/en/product/too-big/>.
- [29] OVINK H. Rebuild by Design: Redesign the Design Competition[R/OL]. Singapore: Centre for Liveable Cities, (2016-07-18)[2024-12-05]. https://www.clc.gov.sg/docs/default-source/urban-solutions/urb-sol-iss-9-pdfs/essay-rebuild-by-design.pdf?sfvrsn=63c0e49c_2.
- [30] VLAAMSE MILIEUMAATSCHAPPIJ (VMM). Weerbaar waterland. Advies van het expertenpanel hoogwaterbeveiliging aan de Vlaase Regering[R/OL]. (2022-08-12)[2024-12-05]. <https://www.vmm.be/nieuws/archief/advies-weerbaar-waterland.pdf/view>.

- [31] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). The global assessment report on disaster risk reduction 2022[R]. UNEP, 2022.
- [32] UNITED NATIONS. Secretary-General's message for World Meteorological Day[R]. (2022-03-23)[2024-12-05]. <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2022-03-23/secretary-generals-message-world-meteorological-day>.
- [33] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). WMO and the Early Warnings for All Initiative[EB/OL]. (2023-12-03)[2024-12-05]. <https://wmo.int/activities/early-warnings-all/wmo-and-early-warnings-all-initiative>.
- [34] UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). The Sendai Framework Terminology on Disaster Risk Reduction, "Response" [EB/OL]. [2024-12-05]. <https://www.undrr.org/terminology/response>.
- [35] WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI), Global Commission on Adaptation (GCA). Adapt Now: A Global Call for Leadership on Climate Resilience[R/OL]. (2019-09-10)[2024-12-05]. <https://gca.org/reports/adapt-now-a-global-call-for-leadership-on-climate-resilience/>.
- [36] U.S. CHAMBER OF COMMERCE. The Preparedness Payoff: The Economic Benefits of Investing in Climate Resilience[R/OL]. (2024-06-25)[2024-12-05]. Produced in partnership by the U.S. Chamber of Commerce, Allstate, and the U.S. Chamber of Commerce Foundation. https://www.uschamber.com/assets/documents/USCC_2024_Allstate_Climate_Resiliency_Report.pdf.
- [37] INTERNATIONAL MONETARY FUND (IMF). The Macroeconomic Returns of Investment in Resilience to Natural Disasters under Climate Change: A DSGE Approach[R/OL]. Fernandez-Corugedo E, Gonzalez-Gomez A, Guerson A. (2023-06-30)[2024-12-05]. IMF Working Paper WP/23/138. <https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WP/2023/English/wpia2023138-print-pdf.ashx>.
- [38] S&P GLOBAL. Investment in climate adaptation needs have high returns on growth. Lower- and lower-middle-income economies risk losing 12% of GDP to hazards such as storms, but investing up to 0.6% of GDP in adaptation will have high returns[R/OL]. Amiot M, Munday P (Eds.). (2024-01-10)[2024-12-05]. <https://www.spglobal.com/en/research-insights/special-reports/look-forward/investment-in-climate-adaptation-needs-have-high-returns-on-growth>.
- [39] MARUYAMA R J E, AVNER P, MARCONCINI M, et al. Rapid Urban Growth in Flood Zones: Global Evidence since 1985[R/OL]. No 10014. Policy Research Working Paper Series. Washington, D.C.: The World Bank, (2022-04-01)[2024-12-05]. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:wbk:wbrwps:10014>.
- [40] ZURICH. Zurich's flood resilience program[R/OL]. (2014-6-12)[2024-12-05]. <https://www.zurich.com/knowledge/topics/flood-resilience/zurichs-flood-resilience-program>.
- [41] OVINK H, BOEIJENGA J. Too Big. Rebuild by Design: A Transformative Approach to Climate Change[M]. 2018. ISBN: 978-94-6208-315-8.
- [42] WORLD WATER ATLAS. Water as leverage Programma[EB/OL]. (2021-12-02)[2024-12-05]. <https://www.worldwateratlas.org/curated/water-as-leverage>.
- [43] THE WHITE HOUSE. Remarks by President Obama at the UN Climate Change Summit[EB/OL].

- (2014-9-23)[2024-12-05]. <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2014/09/23/remarks-president-un-climate-change-summit>.
- [44] THE WHITE HOUSE. The Climate Resilience Game Changers Assessment[R/OL]. (2024-07-06)[2024-12-05]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2024/07/Climate-Resilience-Game-Changers-Assessment.pdf>.
- [45] STEELE W, MACCALLUM D, BYRNE J, et al. Planning the climate-just city[J]. *International Planning Studies*, 2012, 17(1): 67-83.
- [46] UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAM. Cities and climate change: Global report on human settlements 2011[M]. London: Earthscan, 2011.
- [47] HALLEGATTE S, FAY M, BARBIER E B. Poverty and climate change: Introduction[J]. *Environment and Development Economics*, 2018, 23(3): 217-233.
- [48] UNITED NATIONS. Sustainable Development Goals Report 2023: Goal 11[R/OL]. (2023-07-01)[2024-12-05]. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/goal-11/>.
- [49] ROY J, PRAKASH A, SOME S, et al. Synergies and trade-offs between climate change adaptation options and gender equality: a review of the global literature[J]. *Humanit Soc Sci Commun*, 2022, 9: 251.
- [50] WORLD ECONOMIC FORUM. Climate Change Impacts Women More. We Must Legislate to Protect Their Health[EB/OL]. (2024-1-16)[2024-12-05]. <https://www.weforum.org/agenda/2024/01/women-health-climate-change/#:~:text=According%20to%20UN%20Environment,%2080%%20of%20the%20people%20displaced%20by>.
- [51] WATER AID. Climate emergency: Women and girls living in Pakistan flood zone suffering from urinary tract infections and reproductive complications in part due to lack of clean water, sanitation and hygiene[R/OL]. (2022-11-14)[2024-12-05]. <https://www.wateraid.org/uk/media/climate-emergency-women-and-girls-living-in-pakistan-flood-zone-suffering-from-urinary-tract>.
- [52] UN WOMEN. Why climate change matters for women[EB/OL]. (2023-12-04)[2024-12-05]. <https://data.unwomen.org/features/why-climate-change-matters-women>.
- [53] UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP). Human Development Report 2007/8[R/OL]. (2007-11-28)[2024-12-05]. hdr.undp.org/system/files/documents/2008-english.2008-english.
- [54] 孙大江, 赵群. 气候变化影响与适应性社会性别分析 [M]. 北京: 社会科学出版社, 2016.
- [55] BARNETT J. Climate change, insecurity, and injustice[C]//Adger W, Paavola J, Huq S, et al. (Eds.). *Fairness to adaptation to climate change*. Cambridge: MIT Press, 2006: 115-130.
- [56] ANGUELOVSKI I, SHI L, CHI E, et al. Equity impacts of urban land use planning for climate adaptation: Critical perspectives from the Global North and South[J]. *Journal of Planning Education and Research*, 2016, 36(3), 333-348.
- [57] SOVACOOOL B, LINNÉ B, GOODSITE M. The political economy of climate adaptation. *Nature Climate Change*[J]. 2015, 5(7): 616-618.
- [58] WIKIPEDIA. Hippocratic Oath[EB/OL]. [2024-12-05]. https://en.wikipedia.org/wiki/Hippocratic_

Oath.

- [59] WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO launches first ever patient safety rights charter [EB/OL]. (2024-4-18)[2024-12-05]. <https://www.who.int/news/item/18-04-2024-who-launches-first-ever-patient-safety-rights-charter>.
- [60] GLOBAL COMMISSION ON ADAPTATION (GCA), World Resources Institute (WRI). Unlocking the potential for transformative climate adaptation in cities[R/OL]. (2019-10-1)[2024-12-05]. <https://gca.org/reports/unlocking-the-potential-for-transformative-climate-adaptation-in-cities/>.
- [61] DEN HARTOG H. Tensions and opportunities at Shanghai's waterfronts: Laboratories for institutional strategies toward sustainable urban planning and delta design transitions[J]. *Architecture and the Built Environment*, 2023, 13(18): 1-272.
- [62] PAN J. Ecological civilization: A new development paradigm[R/OL]. The Integrated Assessment Society (TIAS), (2020-7-13)[2024-12-05]. <https://cciced.eco/environmental-industries/ecological-civilization-a-new-development-paradigm/>
- [63] PALMER J. Record flooding highlights rural-urban divide in China[EB/OL]. *Foreign Policy*, (2023-08-08)[2024-12-05]. <https://foreignpolicy.com/2023/08/08/china-floods-beijing-diversion-hebei-rural-urban-divide>
- [64] WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). Accelerating Climate-resilient Infrastructure Investment in China[R]. WRI China, 2021.
- [65] DEN HARTOG H. Searching for reconnection: Environmental challenges and course changes in spatial development along Shanghai's shipping channels[J]. *Urban Planning*, 2023, 8(3).
- [66] LIU D, CHOW D. Chinese farmers hit by floods and drought say extreme weather is getting worse[EB/OL]. *NBC News*, [2024-12-05]. <https://www.nbcnews.com/news/world/china-floods-drought-farming-wheat-climate-change-rcna96111>
- [67] MINISTRY OF INFRASTRUCTURE AND WATER MANAGEMENT, MINISTRY OF AGRICULTURE, NATURE AND FOOD QUALITY, MINISTRY OF THE INTERIOR AND KINGDOM RELATIONS, THE NETHERLANDS. National Delta Programme[R/OL]. (2023-09-19)[2024-12-05]. <https://english.deltaprogramma.nl>.
- [68] DELTARES. Xiangtan Adaptation Support Tool[EB/OL]. (2021-01-26)[2024-12-05]. https://xiangtan.crctool.org/zh_cn/
- [69] NETWORK FOR GREENING THE FINANCIAL SYSTEM (NGFS)[EB/OL]. (2017-12-12)[2024-12-05]. <https://www.ngfs.net>
- [70] CLIMATE ADAPTATION NETHERLANDS[EB/OL]. (2016-12-2)[2024-12-05]. <https://klimaatadaptatieneerland.nl/>

第六章 绿色低碳科技创新¹

一、研究意义

2024年7月发布的《中共中央 国务院关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》指出，要坚持创新转型。强化支撑绿色转型的科技创新、政策制度创新、商业模式创新，推进绿色低碳科技革命，因地制宜发展新质生产力，完善生态文明制度体系，为绿色转型提供更强创新动能和制度保障。本章旨在从政策视角，开展绿色低碳转型科技创新的前期探索性研究，为国合会后续研究工作部署提供支撑。

二、研究重点

首先，本章揭示了绿色低碳转型科技创新的重要意义，指出其不仅是实现碳中和目标的关键，还为经济社会全面绿色转型发展提供了新动能。其次，本章分析了发达国家在绿色低碳转型科技创新中的关键领域和方向，总结了这些国家在政策设计和实施中的成功经验。最后，本章提出了针对未来绿色低碳转型科技创新的政策建议，强调了通过政策引导来加速绿色低碳科技创新、提升新质生产力的必要性。

在政策研究的框架下，特别聚焦如何通过政策引导加速绿色低碳科技创新，以提升新质生产力。本章强调了政策体系在推动绿色低碳科技创新中的关键作用，指出各国需要在政策设计中平衡生态环境与经济社会发展的协调性，并构建系统化的政策支持体系。通过一系列相互关联的政策工具，包括财政政策、金融政策、绿色低碳标准、碳市场以及战略规划等，各国可以有效规范创新行为、提供经济激励，并创造支持性环境，从而激发创新动力，推动从政策制定到创新落地的完整路径形成。

此外，本章对中国在绿色低碳转型科技创新中的优势与面临的挑战进行了分析，

¹ 本章内容摘编自 2023—2024 年国合会“绿色低碳转型科技创新”前期项目主要研究成果。

指出中国在市场规模、经济增长潜力及工程技术能力方面的优势，同时也揭示了在创新环境、政策支持和融资渠道等方面的不足。

三、主要政策建议

（一）关于国合会绿色低碳科技创新的下一步工作建议

1. 发达国家绿色低碳科技创新模式和政策研究

一是梳理发达国家和地区（包括美国、欧盟、英国、德国、日本等）面向绿色低碳转型科技创新部署和行动，分析其科技创新模式和路径，梳理主要经济体重点部署的下一代绿色低碳科技创新和颠覆性技术清单。二是对比中国与发达国家在绿色低碳转型科技创新方面的差距，识别需要改进的领域。三是分类评估发达国家绿色低碳科技创新的政策效果，分析不同政策的适用条件，总结经验教训，为中国政策制定提供启示。

2. 中国近中远期绿色低碳科技创新的路线图研究

一是组织多领域专家学者研究制定中国绿色低碳科技创新的路线图，设定近（5～10年）、中（10～20年）、远期（20～30年）各阶段明确的目标，具体路线图可考虑分领域制定，建议分为能源转型、工业、交通、建筑、农业与土地利用、循环经济、数字技术与绿色低碳融合、颠覆性和代际性技术等板块。二是综合考虑减排潜力、经济社会拉动效应、国际科技竞争等因素，研究设定各领域技术遴选标准。尊重科技创新规律，充分考虑科技创新过程的不确定性，引入科技创新路线图的定期评估和调整机制。

3. 新时期中国绿色低碳科技创新政策体系构建研究

针对中国“双碳”目标要求下构建绿色低碳科技创新体系的需求，从创新环境、财税政策、融资机制、创新主体等维度研究中国当前绿色低碳科技创新体系中的问题和不足，提出完善的建议。尤其是针对绿色低碳科技领域的原始创新和颠覆性创新，促进中国为全球提供更具竞争力的绿色低碳公共品，提出对策建议。

（二）中国推动绿色低碳转型科技创新的决策建议

1. 着力引导培育有利于创新的环境

一是统筹布局国家中长期科学和技术发展规划，保障技术驱动“双碳”目标实现的长期性和稳定性。二是弘扬企业家精神。营造鼓励创新、宽容失败的社会氛围，依

法保护企业家创新权益，吸收更多企业家参与绿色低碳科技创新规划、政策、标准制定等工作。以科技创新券、大型仪器设备租赁费、使用费出资入股试点等政策激励科研基础设施向企业开放、共享、共用。三是提升中国基础研究的开放度。围绕绿色低碳前瞻性、颠覆性、突破性技术，与国际组织第三方联合设立专项基金，鼓励国内外能源企业、高校、科研机构与行业组织形成技术创新联合体，支持吸引世界各国优秀人才来中国从事绿色低碳科学技术研究和交流合作。

2. 调整新一轮绿色产业政策着力点

一是制定以创新为导向的新一轮绿色产业政策，避免盲目扩大产能，确保有限的财政资源更多流向绿色低碳技术创新。二是建立绿色低碳产业和技术公共信息监测平台，适时发布产能利用、市场供需，以及技术投资和应用等方面的数据和信息。三是开展绿色低碳技术分类，技术分类的标准要兼顾减排效益、成本、产业带动能力等方面，并根据分类标准开展定期评估，设定技术目录调整和退出机制，将技术分类与补贴、融资等政策衔接。四是加强政府采购对绿色低碳产品的支持，推动政府、事业单位等公共部门优先采购绿色低碳技术和产品。

3. 加强多元资金治理，为引领性绿色低碳转型技术创新提供融资支持

一是建立以碳减排量为标准的绿色低碳科技创新融资政策体系。通过引导多元资金，包括银行贷款、股权投资、绿色债券等，形成多层次、多渠道的绿色金融体系，满足不同类型、不同阶段的绿色低碳创新项目的融资需求。二是强化风险投资对绿色低碳科技原始和颠覆性创新的支持作用。建立以风险投资为主体、股票市场为支撑的金融服务体系。三是将碳交易市场收入和其他碳减排规制性政策的罚没收入，以竞争性补贴的形式支持绿色低碳科技创新。

第七章 中国超越 GDP 之路¹

世界正面临前所未有的挑战，呼吁我们从根本上改变定义和衡量国家进步的方式。在过去的 75 年里，无论是中国还是世界各国，都把进步等同于以 GDP 衡量的市场经济产出的增长。尽管这极大满足了人们的物质需求，但许多人发现，以经济增长为核心的主流发展范式在人类世界并不适用。尤其是气候变化，被视为重新思考如何衡量发展的一个重要原因。联合国秘书长指出，全球决策忽略了决策的长期后果，我们需要根据当今的现实而不是过时的观念来评估进展。他呼吁制定新的衡量标准，重视生命和福祉，而非短期利益。

尽管共识正在逐步达成，即各国必须超越 GDP，采用新的发展指标，但具体应选用哪些指标仍然存在争议。在选择这些指标时需要深思熟虑，由于 GDP 仍受决策者的青睐，变革很可能会遇到阻力。然而，正如剑桥大学经济学家 Partha Dasgupta 爵士所说，GDP 可能“在短期宏观经济分析和管理中不可或缺，但完全不适用于……识别可持续发展”^[1]。相反，“为了判断国家所选择的经济发展道路是否可持续，各国需要采用一种经济核算体系来记录对其财富的包容性衡量”^[2]。越来越多的专家同意这一观点，他们认为，决策者需要关注财富管理，以确保发展的可持续性——但不仅仅是传统意义上的财富衡量。更确切地说，他们坚持：除生产资本和金融资本之外，各国还必须跟踪其人力资本、自然资本和社会资本的演变。这种广泛的资产组合被称为包容性财富或综合财富，以反映它涵盖了所有可能的资产类型（在此，我们称其为“综合”财富）。

推动超越 GDP 的发展，领导力不可或缺。中国国际经济交流中心副理事长、国际货币基金组织（IMF）前副总裁朱民教授^[2]等认为，中国的“双碳”承诺隐含着“加快全面建设社会主义现代化国家”的决策，而中国完全有能力在这一跨时代的变革中发挥领导作用。要扮演好这一角色，在此建议中国环境与发展国际合作委员会（CCICED）从 2025 年开始启动一项专项政策研究，以便：

¹ 本章内容摘编自 2023—2024 年国合会“中国超越 GDP 之路”前期项目主要研究成果。

1)促使国家发展改革委及中国政府的其他中央机构参与讨论超越 GDP 的重要性,以及综合财富作为五年规划工具之一的价值,并为中国领导层寻求机会,促进综合财富作为超越 GDP 的一种方式,并参与地区和全球综合财富的持续发展。

2)以综合财富为基础,编制中国超越 GDP 的概念框架,并考虑该框架如何与中国现有的衡量福祉相关的努力相协调,包括绿色 GDP、生态生产总值和其他重要指标。

3)为中国某一地区(如鄂尔多斯市)或某一国有企业编制试点提供综合财富数据,重点关注可利用现有数据来衡量的综合财富组合要素。

从长远来看,中国政府应让其决策者及其他国家的决策者参与到有关综合财富及其在超越 GDP 方面所能发挥的作用的讨论中。中国还应资助国家统计局开展必要的研究和数据开发,以衡量国家的综合财富组合。综合财富指标应与 GDP 同时公布。先进的国家统计局——如中国国家统计局,只要有足够的资金和协同努力,就应该能够在两年内作出有用的估算。最后,中国应致力于将综合财富指标纳入决策过程。这意味着将财富的衡量和管理作为五年规划过程的核心部分,并确保对官员的激励与财富最大化而非收入最大化相一致。如此将确保一种更加平衡的视角取代当今的短期偏见,而这种视角应完全着眼长远利益——世界所有公民的可持续福祉。

参考文献

- [1] HM TREASURY, THE ECONOMICS OF BIODIVERSITY: The Dasgupta Review (Final Report) [EB/OL]. 2021. <https://www.gov.uk/government/publications/final-report-the-economics-of-biodiversity-the-dasgupta-review>.
- [2] LSE GRANTHAM RESEARCH INSTITUTE. Embracing the New Paradigm of Green Development[EB/OL]. 2023. <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/publication/embracing-the-new-paradigm-of-green-development/>.

第三篇

可持续生产、消费

第八章 数字化与绿色技术促进可持续发展¹

一、引言

本章旨在深入探讨如何在中国城市层面全面整合数字化和绿色转型。为创建可持续发展的智慧城市，我们建议将久经考验的可持续发展能力与具有创新性和前瞻性的数字设备相结合。通过理论和实证研究，本章为中国政府促进数字化和绿色转型的协调发展提供政策建议，从而更有效地推动可持续发展。实证研究既包括对国内外具体城市的案例研究，也包括对全球城市数字化绿色双转型前沿实践的探索。这些全球层面的研究为中国城市提供了有益的标杆和对最佳实践的借鉴。

城市对于实现 2030 年可持续发展议程和可持续发展目标（SDGs）至关重要。目前，全球超过 50% 的人口居住在城市。到 2050 年，68% 的全球人口将生活在城市和城区^[1]。如果使用钢材和水泥等传统材料，新基础设施的建设将消耗大部分 CO₂ 预算（1.5℃ 情景）。近几十年来，建筑业已占全球能源需求的 34% 左右，占能源和工艺相关的二氧化碳排放量的 37%，成为最大的排放行业^[2-3]。

如今，城市仅占陆地面积的 3%，却产生了 50% 的废物，排放了 60%～80% 的温室气体，消耗了 75% 的资源^[4]，仅建筑业就消耗了全球开采资源的 40%～50%^[5-6]。2022 年，中国的城市化率达到 65.22%，到 2050 年可能上升至 71.2%。在城市化进程中，中国出现了人口超过 1 000 万人的特大城市，包括上海、北京、深圳、重庆、广州、成都、天津、东莞、武汉和杭州。

以数字化城市管理试点为标志，我国智慧城市建设实践始于 2005 年。2014 年，国家发展改革委等部门出台了《关于促进智慧城市健康发展的指导意见》，并于同年建立了相关的部际协调机制。自此，智慧城市建设成为中国国家层面的官方政策。2016 年，国家发展改革委会同国家网信办、国家标准化管理委员会制定了《新型智慧

¹ 本章内容摘编自 2023—2024 年国合会“数字化与绿色技术促进可持续发展”专题政策研究项目主要研究成果。

城市评价指标》，随后多次更新。2023 年，中国政府印发了《数字中国建设整体布局规划》，这意味着智慧城市建设进入了一个新的、更加重要的阶段。

过去二十年来，中国对智慧城市进行了战略性投资，从密集的城市传感器网络到基于云的人工智能计算，再到智能应用，提高了汽车运输效率，减少了交通拥堵。然而，尽管中国的智慧城市能力令人印象深刻，中国也秉持人与自然和谐共生的理念，将二氧化碳减排、污染控制、生物多样性保护放在首位，寻求绿色发展，但城市仍然是中国二氧化碳排放和空气污染的主要来源。

在此背景下，数字技术与可持续发展能力的融合（也称“双重转型”）显然尚未在中国实施，而且正如我们在下文中将论证的那样，实现净零排放城市的转型将从根本上取决于迈向可持续的智能城市的双重转型的战略实施。

因此，我们建议探讨如何调动数字技术来应对城市中的全球性挑战。具体来说，我们建议研究以下一系列问题：①如何引导数字基础设施实现可持续性？②如何提高数字能力以提供有效的可持续解决方案？③哪些指标有助于监测进展情况？④如何管理与数字化相关的风险？

我们建议在中国智慧城市的规划和发展中将可持续发展的智慧城市的整体理解纳入主流。根据联合国的定义，可持续发展的智慧城市是“利用信息通信技术和其他手段提高生活质量、城市运行和服务效率以及竞争力，同时确保满足当代人和子孙后代在经济、社会、环境和文化方面需求的创新型城市”^[7]。

本章的主体部分将阐述在城市发展的重要领域整合可持续发展和数字化的最重要战略。第一，本章旨在讨论中国城市的发展现状，以及在数字化和气候变化时代城市所经历的根本性变化。第二，探讨了通过数字化手段实现城市经济、能源系统和产业的可持续转型。第三，讨论了公民参与、以人为本的城市规划以及对社会包容和性别偏见的考虑。第四，涉及紧凑型 and 绿色城市的设计、公共交通和环境治理。在整个研究中，简短的案例研究展示了数字和可持续最佳实践的实际应用。

本章最后提出了一系列关键政策杠杆和可操作的政策建议，为实施可持续的智能城市铺平道路。这些杠杆点提供了以下方面的指导：①人工智能和数据治理；②绿色能源和工业基础设施；③智慧的、可持续的城市规划；④社会参与和包容；⑤知识生成和获取；⑥监测和学习。

数字绿色双转型与城市可持续发展：概念和分析框架如图 8-1 所示。

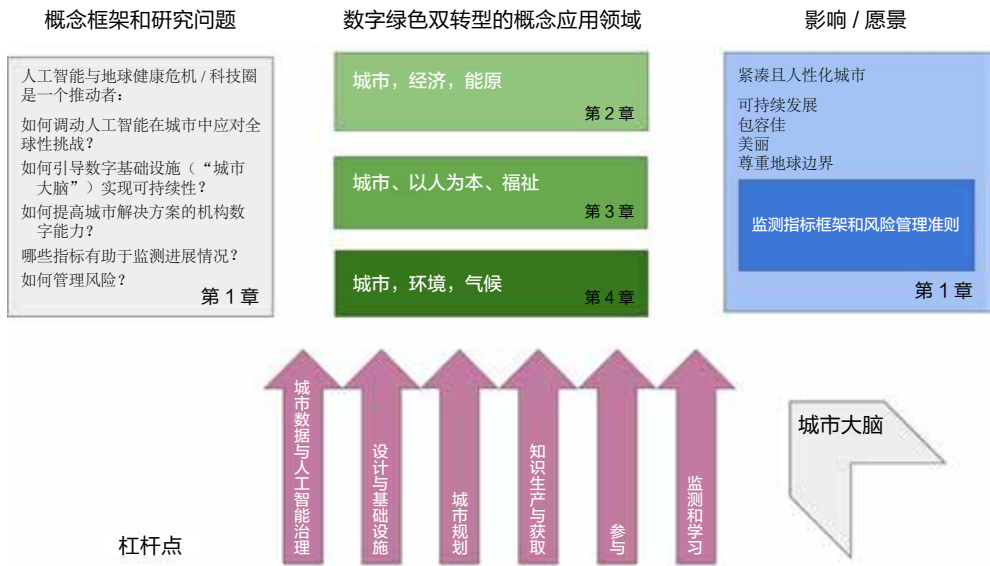


图 8-1 数字绿色双转型与城市可持续发展：概念和分析框架

二、可持续城市未来的数字能力

面对气候危机、经济动荡和社会紧张局势，城市发展正面临日益严峻的挑战。与此同时，数字化为提升城市治理能力和拓展城市发展边界提供了前所未有的机遇。本部分建立了 SPS 研究的概念框架，内容组织如下：第一，讨论了城市发展的驱动力和边界，并介绍了“城市大脑”的概念；第二，阐述了城市所拥有的主要可持续发展能力；第三，探讨了城市数字化带来的重要潜力和风险。

（一）数字时代的城市是技术—经济—社会的复杂系统

城市是包含技术、经济、政治、社会、文化和生态诸多子系统的复杂巨系统。作为城市环境因素的基础设施和生态环境承载能力，是城市发展的限制因素。而技术系统和经济系统互动过程中产生的科技创新和产业变革能力是突破城市成长边界的关键。进入 21 世纪，全球科技创新越来越聚焦于人工智能，正在形成人智协同的科技创新范式和生产方式，为构筑数字能力实现城市经济、社会 and 生态的统筹协调发展创造了条件。

1. 城市发展的动因和边界

工业革命之前，城市规模有限且发展速度缓慢。工业革命以来，科技创新驱动的经济活动和人口在地理空间的集聚，是城市的根本动因。爱德华·格莱泽认为，城市

发展的奥秘在于经济活动主体密度的增加带来的交易增长和效率提升^[8]。人口和经济活动的空间集聚促进财富创造的机制包括共享、匹配和学习^[9]。共享主要是指城市交通等公共基础设施的分享。匹配是供给和需求的对应，尤其是人与工作的匹配。学习则是指因集聚而带来的正式和非正式信息和知识流动，是科技创新的基础。城市，尤其是超大规模城市创造了超过 80% 的人类财富和几乎全部科技创新成果^[10]。

作为人口和经济活动集聚的空间载体，城市是具有多重属性和功能的复杂网络。其中，包括交通在内的基础设施网络是城市发展的物质基础，决定了城市人口和企业聚集的规模和效率。同时，城市财富创造能力还取决于包括正式和非正式制度、教育水平、人才数量和质量在内的诸多关键因素。

城市人口和经济活动的集聚在带来财富增长的同时，带来了新的问题和挑战。例如，犯罪率上升、疾病传播、交通拥堵和环境污染。聚集的外部消极效应推动人口和经济活动从城市中心向郊区的迁移，成为城市扩张的限制。同时，随着气候变化和生态危机的出现，城市发展面临更加严峻的挑战。

从经济学视角看，如果人口和经济活动集聚是城市发展的根本驱动力量，那么城市增长停滞的条件便是集聚的边际收益等于边际成本。从这个基本条件出发，可以发现影响城市边界扩张的因素包括：第一，基础设施建设的限制。一方面基础设施建设需要大规模资金投入；另一方面在特定的城市空间范围内，城市基础设施建设不可能是无止境的。第二，生态和环境承载能力。第三，科技创新。从城市发展历史看，科技创新是城市发展的永恒动力。科技创新带来的基础设施改善和环境承载能力提升，在促进了人口和经济活动的进一步集聚的同时，能够带来经济效率的持续提升。

在三类因素中，假设生态和环境承载能力是一定的，基础设施和科技创新是决定城市规模扩张的基本因素。在既定技术条件下，基础设施投资和建设属于亚线性增长，对人口和经济活动集聚的影响是报酬递减的；与之相反，科技创新则属于超线性增长，对人口和经济活动集聚的影响是报酬递增的。

科技创新对城市边界扩张的报酬递增效应表现在三个方面：一是创造新基础设施投资机会，降低和提高现有基础设施建设的成本和效率；二是提高经济活动的效率，包括生产效率和交易效率；三是改善和提高生态和环境承载能力。例如，绿色能源的使用和共享经济的发展。

2. 数字能力和城市增长边界的扩张

一般而言，对城市发展产生重大影响的技术体系变革属于通用目的技术创新。通过在城市各个层次网络的创新应用，通用目的技术不仅能够促进生产效率的提升，而

且能够给社会和生态发展带来影响。

人工智能是第四次工业革命的核心引擎，将对城市发展带来深刻影响。作为通用目的技术，人工智能属于技术体系变革。首先，作为人类脑力的替代，人工智能是包括智能芯片、计算架构、机器学习平台和关键硬件在内的巨复杂技术体系。其次，人工智能属于基于网络空间发展的数据智能。人工智能能够通过网络空间的数据、算法优化和控制物理空间、社会空间，实现城市资源配置方式变革。再次，人工智能能够引发经济社会结构变革。人工智能的广泛应用不仅能够变革现有产业结构，而且能够带来创新范式、生产和生活方式变革，是经济社会结构性变革的关键推动力量。最后，人工智能能够提升生态和环境承载能力。到目前为止，人工智能已经被广泛应用于包括智慧交通和水污染治理在内的生态环境改善和保护领域。

基于网络空间发展的人工智能通过推动城市数字化转型过程中数字能力的构筑，对城市发展带来深刻影响。主要表现在如下方面。

1) 随着人工智能的创新应用，城市发展将不再完全依赖物理空间基础设施，而是更加依赖网络空间基础设施。同时，人工智能对物理空间基础设施的改造会进一步提高现有基础设施的运行效率。

2) 网络空间是新的资源配置方式。在理论上，交易活动在网络空间的聚集是无限的。网络空间打破了斯密定理的物理空间界限，市场不再由物理空间定义，而是由网络空间定义。网络空间交易活动的发展可以在更大范围内促进劳动分工和专业化的深化和发展。

3) 人工智能能够促进交通和物流效率的提升。尤其是通过共享交通工具的方式，能够使公共基础设施支撑能力快速扩张。

4) 人工智能+能够带来产业结构变革，尤其是能够消除“鲍莫尔病”的限制，促进第三产业生产效率的提升。经济增长和财富创造对地理空间人口集聚的依赖程度仍在降低；人工智能促进科技创新范式的变革。近年来，“AI for Science”的兴起和应用，极大化解了科学研究中的数据维度灾难，极大推进了自然和社会科学的发展。

5) 人工智能促进了城市经济、社会和生态的统筹协调发展。到目前为止，人工智能不仅带来经济效率提升，而且有助于“社会痛点”问题的化解和促进生态环境的保护。

6) 人工智能的创新应用能够提高城市韧性和对环境的适应能力。尤其是在面对极端天气变化频繁发生的背景下，更强、更敏感的城市感知和决策系统使城市敏捷地对包括自然灾害和流行疾病做出反应。

人工智能推动的城市数字化是数字能力的构筑过程。对城市而言，数字能力是指运用数字技术解决城市经济、社会和生态协调发展问题的能力。数字能力是通用性的，既能够解决经济效率提升问题，又能够化解社会和生态发展问题。从近年来中国智慧城市发展的实践来看，城市大脑是构筑城市数字能力的基石和载体。

3. 城市大脑

面对日益严峻的城市交通问题，2016年4月，中国科学家王坚首次提出了“城市大脑”概念。在他看来，“城市大脑”是基于网络空间发展的融合数据和算力的城市数字基础设施^[1]。网络空间的发展能够打破原有条块分割，通过将数据资源运用于城市运营，实现从局部优化到整体优化的转型，进而统筹经济、社会和生态协调发展。

城市大脑是基于网络空间技术体系发展而形成的新的城市资源配置方式和机制。作为一个复杂巨系统，城市各个子系统的局部最优结果有可能导致城市系统的整体崩溃。城市大脑通过大数据关联和算法实现城市的整体优化和效率提升。

城市大脑是由物联网、大数据、人工智能、云计算、边缘计算、5G、信息物理系统和数字孪生在内的相互嵌套技术构成的复杂技术体系。由人工智能技术体系所形成的智能属于类脑智能。人类的智慧和机器智能的协同，是城市大脑和智慧城市发展的根本驱动力。在人工智能技术的支撑下，城市构建感知神经系统、决策系统和推行系统，从整体最优的视角为人类的决策行为提供支持和帮助。

同时，城市大脑是基于网络空间的资源配置方式，通过网络空间、物理空间和社会空间互动，优化和控制物理空间和社会空间经济和社会活动，实现资源整体优化配置。作为一个复杂巨系统，城市系统包括交通、经济、社会和生态诸多子系统。城市大脑能够从整体上超越各个子系统进行资源优化配置，为城市的发展提供持续动力。

2016年以来，包括北京、深圳、上海、杭州、广州、重庆、成都、青岛、天津、南京、郑州、武汉、西安和济南在内的中国城市纷纷提出适合自身城市发展的城市大脑计划。尽管城市大脑计划由政府推动，但技术创新仍是由企业主导的。在中国，包括华为、阿里云、中国移动和中国联通在内的科技企业是城市大脑建设的创新主体。以华为为代表的头部科技企业是基础软硬件技术体系和产业创新生态的主导者，推动垂直领域软硬件技术体系的发展和应用领域的扩展。头部科技企业主导的城市大脑产业创新生态不仅包括头部科技企业自身，而且涵盖高校、科研院所、新创企业和传统产业企业。头部科技企业主导的中国城市大脑企业集群结构通过基础和垂直软硬件技术体系的开发和应用，推动城市大脑在各个领域的应用。从中国城市大脑企业赋能的领域看，广泛涉及城市治理、智慧交通、智慧政务、新型基础设施、智慧安防、智慧能源、智慧

社区、智慧园区、智慧校园、智慧建筑、智慧水务、智慧环保、智慧气象在内的诸多领域。

城市大脑计划的建设、中国城市的数字化转型过程中积累起包括基础和垂直领域软硬件技术体系在内的数字技术和能力。其中，头部科技企业和人工智能中小企业的协同构成的企业集群是数字技术和能力的搭建者。数字能力的积累不仅支撑城市经济、社会和生态的统筹和协调发展，而且为城市的人口和经济的持续集聚创造了条件。更加值得关注的是，在人工智能支撑下，新的网络空间产业体系在资源配置上打破传统的地理空间限制，正在构建新的城市与城市和城市与乡村关系。城市大脑的建设是塑造城市未来的关键变量。

（二）实现城市可持续性的途径

城市可以通过多种方式发展关键能力，提升其可持续性，从而提高市民的整体生活质量。在此，本章介绍三个核心概念，即未来城市的愿景、作为可持续发展焦点的紧凑型城市以及作为综合性可持续城市发展途径的新欧洲包豪斯。

1. 未来城市的愿景

德国环境署的出版物《明日城市》为未来的城市生活提供了一个愿景，重点是创建可持续发展、宜居和高效的城市，强调城市发展需要一种平衡环境、社会和经济因素的综合方法。该计划提出了 10 项协调措施，以建设拥有紧凑型住宅和多功能区、无障碍绿地、环保交通和低噪声水平的城市。

2. 紧凑型城市作为可持续性的焦点

紧凑型城市是可持续城市发展的一个重要范例，具有多重优势。在紧凑型城市中，距离很短，结构紧凑，四通八达的城市无须汽车即可到达，对汽车的依赖降至最低，这为环境的可持续发展、公共卫生和社会公平提供了巨大优势。在紧凑型城市中，保持较短的距离可确保步行或骑自行车即可到达基本服务和目的地。这就减少了长时间通勤的需要，降低了交通排放，并促进了体育锻炼。此外，优化建筑设计以提高能效有助于大幅降低能耗，从而减少温室气体排放和运营成本。鼓励人们从驾驶汽车转向步行和骑行，可大幅减少城市空气污染，缓解交通拥堵，并通过增加体育锻炼来改善公众健康。

3. 新欧洲包豪斯作为可持续城市发展的综合途径

新欧洲包豪斯（NEB）是一种以过程为导向的未来城市生活愿景，并坚持以人为本的变革理论。新欧洲包豪斯由欧盟委员会主席冯德莱恩在其 2020 年国情咨文中提出，

旨在将文化和创意融入欧洲绿色交易。冯德莱恩将其描述为“塑造我们希望生活的世界”(2020年)的一种方式,而不是被动地让未经审查的社会和技术发展来塑造这个世界。

该倡议的重点是设想和实现环境可持续、包容和美丽的城市未来。它提倡将变革作为一个民主、共同创造的过程,鼓励在各种规模上采用自下而上的方法,从设计可持续家具到重建社会弱势社区。这种方法利用了大量的社会和技术创新,同时强调可持续性、包容性和美感是未来城市生活的核心参数。但城市建筑、交通和蓝绿基础设施创新的实施取决于当地的有利条件,而这些条件在很大程度上受到地方和国家治理的影响^[12]。

“新包豪斯地球”(Neues Bauhaus Erde)计划旨在解决建筑行业亟须革新的问题,因为建筑行业是全球二氧化碳排放的主要来源。“新包豪斯地球”的主要内容包括可持续建筑——新包豪斯地球提倡使用木材和竹子等有机和可再生建筑材料,而不是混凝土和钢材等传统材料。这种转变可以大大减少建筑物的碳足迹,并形成一个新的巨大的二氧化碳汇。

(三) 数字化与可持续性的联系：协同作用与风险

为了扩大可持续发展能力在城市发展中的潜力,我们建议将其与数字技术相结合,如上文介绍的人工智能驱动的城市大脑。虽然整合将为城市可持续性带来改善,但城市数字化本身也带来了风险,值得进一步阐述。

1. 数字化促进城市可持续发展的潜力

数字化和绿色化协同是生态文明战略的内在要求,强调运用数字化技术实现绿色化,通过绿色化带动和引领数字化发展,实现可持续发展。同时,从工业发展的视角看,数字化和绿色化协同不仅包括生产的智能化和低碳化,而且包括产品和产业的高端化。数字化和绿色化协同发展包括两层含义:一是数字化是实现绿色化的技术基础。在数据要素的驱动下,我们可以通过网络空间优化和控制物理空间,从而为绿色化和低碳化提供技术路径和解决方案。尤其是基于网络空间的优化属于整体性优化,对节能减排降碳具有十分重要的意义和价值,能够促进经济、社会和生态效益的统筹和协调;二是绿色化为数字技术应用提供场景,能够促进数字技术应用和数字经济发展。绿色化一方面包括新能源和低碳技术的运用,另一方面包括现有能源使用效率的提升。数字技术在这两个方面都能够发挥良好作用。

同时,在数字化核心产业部门中要高度重视绿色技术的运用。尤其是随着生成式人工智能大模型的创新应用,算力及其绿色化技术运用成为数字核心产业部门发展中

引起高度关注的问题。因而在数字经济时代，数字化和绿色化协同发展对全球经济长期发展具有十分重大的战略价值。

2. 数字化和人工智能的能源需求

数字化促进经济和社会发展在促进能源利用效率提高的同时，同样存在碳足迹^[13]。数据显示，2021年全国数据中心的总耗电量达到2 166亿kW·h，碳排放量达到1.35亿t，占全国二氧化碳排放量的1.14%左右。中国信通院的《中国综合算力指数（2023）》显示，我国算力产业保持高速增长，其中人工智能算力在整个算力结构中的占比已经超过25%。截至2023年6月，我国算力的规模已突破了1 080E Byte（1E=100万T）。

2022年以来，随着OpenAI提出ChatGPT生成式人工智能大模型，国内人工智能企业加快大模型的研发，人工智能算力需求快速增长。大模型的开发和应用推动的城市数字化转型的加速，将进一步带动智能算力的快速增长。算力的快速增长带来的碳足迹需要发展绿色能源。尽管绿色能源具有环保、可再生性和安全性等优势，但是受到成本、技术和市场接受度的制约，绿色能源发展和广泛应用受到制约。激励政策和人工智能应用有助于减少这些障碍。

3. 人工智能部署的系统性风险

在智慧城市和云运营中部署人工智能会带来重大但不确定的系统性风险（见图8-2）。这些技术会集中经济力量，扩大贫富差距，破坏社会结构的稳定，加剧城市紧张局势^[14]。人工智能驱动的错误信息和两极分化会破坏社会凝聚力。此外，虽然人工智能可以提高机构决策和效率，但它也可能产生依赖性，削弱独立运作，使治理容易受到失败和网络攻击的影响。

在深圳、杭州、北京和上海等中国智慧城市的背景下，有必要进行谨慎管理，以降低这些风险。针对人工智能素养、全民基本收入和再就业计划的促进政策有助于公平分配人工智能带来的好处。健全的事实核查算法和透明的机制对于打击错误信息至关重要。通过匿名数据和合成总体（模拟的人口数据）确保人工智能监控中的隐私和人权，可以防止数据滥用。适当的监督、授权机构和人类自主权的保障对于在保护社会利益的同时充分发挥人工智能潜力至关重要。

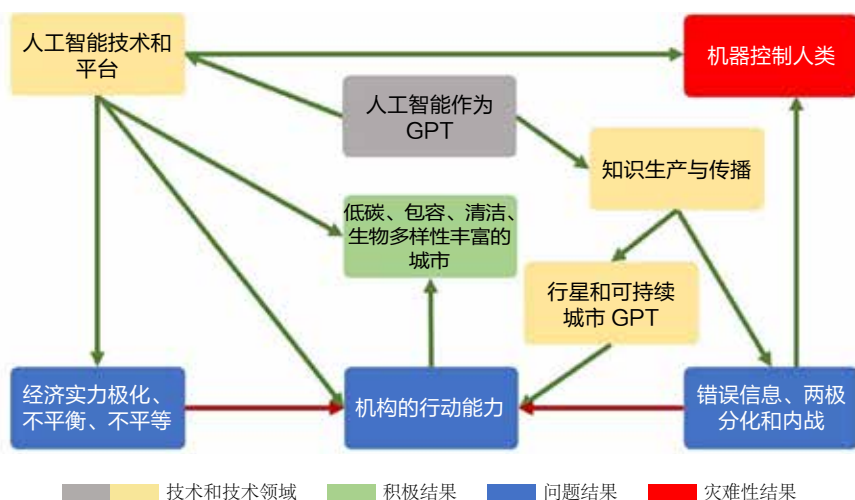


图 8-2 城市人工智能部署的系统性风险

4. 人工智能既是技术领域的推动力，也是解决方案

华为、百度、腾讯、阿里巴巴等人工智能超级平台企业正在绿色能源和社会领域广泛布局人工智能。华为数字能源部聚焦碳中和过程中的能源化、智能化、移动化转型，强调智能光伏储能发电机，将光伏、风电、储能一体化，建设高品质、数字化的清洁能源基地。华为计划到 2024 年至少建设 10 万个超级充电站，支持新能源汽车的发展。在教育和卫生领域，华为通过技术创新推动数字化进程。数字化与绿色化的协同对可持续发展至关重要，通过数字化途径优化和控制物理空间，实现低碳化；绿色化为应用数字技术、提高能效、支持数字经济提供了应用场景。绿色技术与数字产业的融合，尤其是与人工智能大模型的融合，对中国数字时代的经济发展至关重要。

5. 性别数据差距与偏见

数字技术，尤其是人工智能以及它们的设计方式，并非不分性别，而是包含了性别偏见。性别偏见可以理解为“基于性别的偏见行动或思想，认为女性在权利和尊严上与男性不平等”^[15]。这种偏见是特定社会文化背景的一部分，也是作为分析基础的数据和算法的一部分。这些都会影响数字技术的设计^[16]。例如，生成式人工智能往往会复制现有的刻板印象，而近期旨在纠正这种影响的实验尚未取得成功。

数字技术中的性别偏见往往是性别数据差距造成的，即缺乏按性别分列的可靠数据，导致对现实的了解不全面^[17]。因此，不存在关于性别差异的数据意味着城市规划往往对性别问题视而不见^[18]。目前，根据联合国的估计，中国在可持续发展目标方面

的性别数据差距为 78%，这使大规模、可持续和包容性地使用人工智能变得更加复杂^[19]。此外，负责设计和开发人工智能解决方案的软件工程人员中男性居多，这也会在一定程度上造成偏见。如果系统不是由多元化团队开发的，则很可能无法满足所有人的需求^[20]。

虽然在缩小性别数据差距和管理性别偏见方面没有放之四海而皆准的解决方案，但关键方法包括按性别分类的开放数据集和积极主动的偏见管理。在可持续智慧城市背景下解决性别数据差距和性别偏见问题，可提高城市安全性和宜居性，造福所有人^[21]。

三、双转型与经济可持续发展

本部分旨在阐明城市经济的绿色转型和数字转型，重点关注可持续发展的经济层面。在讨论了城市层面可持续经济增长的供需双方之后，分别讨论了双转型对城市经济结构和就业的影响，以及对共享经济和循环经济的影响。本部分着重强调技术创新的重要性。

（一）通过技术创新实现可持续经济增长

通过技术创新，解决城市发展的供需两端问题，可以极大推动可持续经济增长。在供给方面，投资可再生能源和数字化能源系统可以提高效率、减少碳足迹，从而推动建立更清洁、更具弹性的能源基础设施。同时，在需求方面，城市可以利用数字平台来优化资源利用、改善公共服务，并在居民中推广可持续做法。通过将智能技术融入城市规划和服务提供，城市可以提高经济效益，创造绿色就业机会，营造更可持续的城市环境，从而实现经济增长与环境管理的和谐统一。

1. 可再生能源和数字化能源系统

数字化为提高能源供应系统的效率、可持续性和可靠性提供了重要机遇。能源供应方面的主要措施如下。

电网管理。人工智能可以通过多种方式优化可再生能源与电网的整合。它可以帮助预测风能、太阳能和其他可再生能源的生产模式，从而确保稳定可靠的能源供应，尽管可再生能源本身存在变数。

智能电器。利用人工智能的智能电器可以减少家庭能源需求和碳足迹，并使需求与间歇性可再生能源供应更好地匹配，进而减少对不稳定且成本较高的煤炭发电依赖。因此，人工智能有助于进一步提高需求的“灵活性”，从而与可变可再生能源相匹配。

预测性维护。人工智能驱动预测性维护能在能源基础设施发生故障前识别出潜在故障，从而确保不间断的能源供应并延长电网组件的使用寿命。

改进预测和规划。人工智能模型可根据历史数据和实时输入预测未来的能源需求，从而更好地规划和分配资源，满足预期需求。

资源管理。人工智能通过管理发电厂燃料等原材料的采购和分配，优化能源生产供应链，确保及时、经济高效地交付。

物流与配送。数字化工具简化了物流和分销网络，实现了循环，减少了延误，并将与能源资源运输相关的碳足迹降至最低。

通过利用这些数字和人工智能驱动的创新，数字化可以成为电气化的关键推动因素。在能源供应系统变得更加高效、可靠和可持续的同时，它们还有助于城市能源转型，确保在面对日益增长的需求和环境挑战时仍能稳定供应能源。

为了实现这一转变，治理创新和新的基础设施将至关重要。现代化和数字一体化城市的特点是电力和数据密度更高，需要对电网和数据连接基础设施进行前期投资。在利用资金的同时需要进行电力市场改革，以允许激励计划和实时定价，并与管理系统可靠性和弹性的行为者共享设备控制。

2. 需求方措施在建筑和交通领域

实现可持续城市需要在建筑、交通、城市规划和工业等各个领域进行快速而广泛的系统转型。这种转型涉及几个关键战略：避免战略，旨在大幅减少能源和材料需求，例如，推广远程办公以减少对交通的需求；转变战略，涉及利用共享和循环经济平台实现资源共享和协同消费；改进战略，侧重提高现有技术的效率，包括高效设计、施工、改造，以及通过材料替代和交通电气化最大限度减少能源和材料消耗的战略。

在全球与能源相关的二氧化碳排放量中，建筑和制造业占了近 40%^[22]。这些排放源于不同阶段：施工期间，使用水泥和钢材等碳密集型材料；运行期间，供暖、制冷和其他用途的能源消耗以及制冷系统的制冷剂泄漏；拆除期间^[23]。

实施充分性措施至关重要，其中包括限制建筑面积增长、优化供暖和制冷室温等战略^[24]。减少建筑面积可大幅降低建筑材料需求以及空间供暖和制冷所需的能源。推广联合办公和共同居住可以进一步减少人均建筑面积，促进服务共享^[25-27]。鼓励改变行为和生活方式，如调节室内温度可以在减少能源需求方面发挥重要作用^[26]。城市规划应支持紧凑型建筑和城市形态，从单户住宅转向更紧凑的多户住宅，以避免无序扩张，并发挥建筑和交通部门在减排方面的协同作用^[28-29]。循环方法为避免浪费和减少对原材料的需求提供了重要机会。重新利用现有建筑比新建建筑产生的排放要少得多，

应优先考虑重新利用现有建筑^[25, 30]。此外,非物质化、轻量化设计和城市采矿(包括城市建筑报废后的材料回收和再利用)等战略有助于减少拆除废物和对新材料的需求^[31]。以自然为基础的解决方案在应对减缓和适应挑战方面具有巨大潜力,同时可提供一系列共同效益^[32]。绿色屋顶和外墙可吸收二氧化碳,改善空气质量,并提高城市居民的生活质量^[33]。为了更有效地促进节能行为,可实施行为暗示和邻里竞赛等策略以利用社会和心理影响来鼓励家庭采用更高效的做法。分区法应有利于多户住宅,并应投资于支持紧凑型城市发展的基础设施。为建筑物的再利用提供税收激励或补贴,强制使用回收和再利用材料,以及城市采矿计划,这些都是提高建筑环境可持续性的综合政策方法的重要组成部分。

建筑战略应侧重加快从化石燃料系统向高效可再生能源和供暖、制冷、烹饪和照明电气化的过渡,这对减少温室气体排放至关重要^[34-35]。这一过渡包括采用热泵、太阳能光伏发电和高效电器等技术^[36]。摒弃传统的生物质和煤炭,尤其是在低收入地区,不仅对减缓气候变化至关重要,而且对减轻贫困和通过减少室内空气污染改善公众健康也至关重要^[37]。政策应鼓励使用现场可再生能源,如太阳能光伏发电、风力涡轮机和城市一体化分布式发电,这可以提高能源供应的可靠性并减少碳足迹。此外,在人口稠密的城市地区实施区域供热和制冷系统可持续满足建筑能源需求,同时进一步减少对环境的影响^[26, 38]。

减少建筑物温室气体排放的改进战略和政策建议应侧重提高现有技术的效率,这可占潜在减排量的30%~70%^[39]。优先考虑高能效建筑围护结构和被动房,包括隔热和适应气候的设计策略,可以显著降低运行能耗需求,同时改善室内舒适度^[34, 40-41]。需要改进的关键领域包括采用低排放技术系统,如先进的供暖、通风和空调系统,以及推广节能电器和照明。新建建筑和现有建筑都能以与传统建筑相当的成本达到净零能耗标准,因此它们对实现净零能耗目标至关重要^[42]。建筑改造战略应针对特定的气候条件,以有效减少供暖和制冷需求。政府应支持这些努力,按照净能耗标准改造公共建筑,并利用智能家居技术和物联网来优化建筑运行,鼓励节能行为。采用低碳和生物基材料,如木材、竹子和生物质,可减少碳排放并提供长期碳储存,到2050年,管理良好的生物基材料可减少高达40%的行业排放^[34, 43-44]。除使混凝土、钢材和铝材等传统材料脱碳之外,还需要财政和政策支持来推广这些材料,因为这些材料是全球排放的重要来源。利用可再生能源实现生产电气化、增加再生材料的使用以及促进创新是改造建筑环境和实现大幅减排的必要步骤。

数字化显著提高了电气化、现代化和城市一体化可再生能源等转变措施的效果。

虽然数字化在避免和改进措施（如非物质化和节能建筑围护结构）中发挥了一定作用，但其最显著的影响在于推动高效智能家居技术的发展，从而促进经济增长并减少对环境的影响（见表 8-1）。

表 8-1 数字化对最大限度地发挥建筑需求方措施的潜力以实现节能减排和经济增长的影响

需求方措施		数字化对最大限度发挥潜能的影响
避免	减少建筑面积	中（通过远程办公）
	改变行为和生活方式	中（通过新的智能电器和小工具）
	紧凑型建筑和城市形态	低
	避免材料浪费，重新利用	低
	非物质化、轻量化设计	中高（通过 3D 打印）
	基于自然的解决方案	低（通过智能设计）
轮班	电气化	高
	太阳能光伏发电等现场可再生能源	高
	城市一体化分布式发电	高
改进	节能建筑围护结构	中—高
	智能家居技术	高
	低碳和生物基材料	低

交通系统是减少温室气体排放、改善城市空气质量以及通过最大限度减少人为热量来降低城市温度的核心。因此，改造城市交通对于发展可持续的宜居城市至关重要。按照人工智能方法，城市交通部门的脱碳战略主要如下。

电子通勤和线上办公。尽管据估计，总的减排量不超过运输温室气体排放总量的 1%^[39, 45]。城市规划、街道空间的重新分配、智能物流系统和街道连通性的提高缩短了出行距离，在减少出行需求方面具有巨大潜力^[39]。对于新建城市而言，这些策略可在 2050 年前将城市能源使用量减少 25%^[46]。城市规划和分区策略对于减少长途通勤需求和鼓励可持续交通方式至关重要。设计土地混合使用、高密度开发、靠近公共交通枢纽的城市有助于推广步行和骑行的出行方式。扩大 15 分钟城市或超级街区等概念的实施范围，可以进一步提高这些效益^[47-48]。发展积极的交通基础设施，如安全便捷的步行和骑行设施，鼓励非机动化交通，从而减少短途汽车出行，改善公众健康。这种方法在结构紧凑、适宜步行的城市尤为有效。

推广高效、便捷的公共交通系统，如公共汽车、有轨电车、地铁和轻轨，鼓励使

用共享交通工具而非私家车，从而降低总体排放量。共享交通解决方案，包括汽车共享和自行车共享，通过减少汽车保有量和提高负载率，进一步支持去碳化。在“移动即服务”的推动下，将各种交通模式整合到一个统一的移动系统中，可以简化城市出行，鼓励人们放弃私家车。实施城市货运物流解决方案，如电动货运自行车、整合交付路线和安全的非机动化“最后一公里”交付基础设施，可大幅减少排放。此外，发展城市物流微型枢纽和集运中心，通过增加非机动化交付的比例，有助于进一步减少排放。这些策略在规划完善、布局紧凑的城市地区尤为有效。

电气化是减少交通排放的重要战略。鼓励私人客运、商业和快递车队向电动汽车（EV）转变，可以显著减少排放。为促进这一转变，提供补贴、税收减免和电动汽车免费停车等激励措施，可有效提高个人车主的采用率。此外，公交车、出租车和其他共享交通工具的电动化也能进一步降低排放，尤其是在以汽车为中心的城市，其他解决方案可能不会产生立竿见影的效果。协调这些政策可以创建更宜居的城市。要成功实现城市交通的去碳化，需要采取综合方法，将城市规划、技术、政策和社区参与结合起来，并根据每个城市的具体需求量身定制。

总之，数字化对减排措施（如远程办公和远程工作）有很大影响，可以显著减少能源使用和排放，其好处也延伸到建筑领域。在换乘措施方面，数字化大幅提高了公共交通、共享交通基础设施和城市货运物流解决方案的效率。在改进现有系统方面，车辆电气化极大地受益于数字和技术的进步，为提高能效和减少环境影响提供了巨大潜力（见表 8-2）。从材料的角度来看，工业部门的战略将在建筑部门中讨论。

表 8-2 数字化对最大限度地发挥交通需求方措施的潜力以减少能源消耗和排放以及经济增长的影响

需求方措施		数字化对最大限度发挥潜能的影响
避免	远程办公	高
	城市规划和分区战略	低（通过新的智能应用和传感器）
	主动移动	中（通过智能应用程序和平台）
轮班	公共交通	中—高
	共享交通	中—高
	城市货运物流解决方案	中—高
改进	电气化（电动汽车）	高

（二）双转型与产业结构调整

绿色与智能技术不仅能够提升城市运行效率和表现，同时也在不断重塑城市结构和功能。特别应该注意到，城市作为人口的集中地，城市的双转型将会影响到居民的生活质量，而且不一定全部正面。

1. 经济结构调整

城市双转型已经成为新技术部门发展的新土壤，它使新型通信技术、大数据、人工智能等部门成为城市发展的关键驱动力^[49]。这些前沿动态在重构经济激励结构和治理框架，更多利益相关方特别是新兴技术领域的企业和个人都成为城市的重要力量^[51]；在城市商业领域，新的商业模式和框架^[52]、数字化平台^[53]将会层出不穷而且难以预测。

与此同时，城市管理者也必须构建新的城市治理体系以适应城市双转型的需要^[54]。在新的情景下，越来越多的数据和技术被广泛地应用于绿色建筑，垃圾管理、水管理、可持续交通、智慧教育、智慧医疗等领域，进而推动这些传统经济部门在新的愿景下转型并持续发展。欣欣向荣的智慧城市对城市管理者而言，机遇和挑战并存。例如，大数据分析可以在城市危险材料运输^[55]和城市大脑^[56]等方面有广泛的应用。

可以预见，智慧城市将会消耗大量的能源，所以绿色能源部门的发展是城市双转型的核心。与传统城市发展模式不同，如今的智慧城市在同等规模上的能源消耗更高，因此，智慧城市必须在强化绿色能源和降低环境和公众健康等方面做好工作。

数字技术融入城市发展同样为各类相关资本，例如，金融资本、物质资本和人力资本等，在一定程度上锁定了未来收益^[57]。数字化转型引发的其他经济部门到数字部门的资本再配置对城市经济的影响同样深远^[58]。一些与数字经济联系较少的部门将会逐渐衰落；相反，联系紧密的部门将会蓬勃发展。

在新情景下，城市的数据管理和能源供应等越来越依赖城市之外甚至地理上很远的经济活动。因此，城市间的空间依赖程度以及城乡关系将呈现前所未有的特征，例如，智慧城市不会导致较远距离城市产生额外的能源消耗，相反将会有显著的正向溢出。所以，可以预见的是，城市经济活动的空间结构和组织将会被重塑，不过目前我们对城市间的差距的判断还知之甚少。

2. 就业结构

城市的双转型原则上会促进经济利益，但对民众生活质量的影响是复杂的。就业就是其中很关键的方面。由于智慧城市在新技术和基建的大量投入，城市就业水平得以提升是很合理且可预期的^[59]。

数字化转型使得企业用高级工具和技术来替代工人并降低成本，特别是在非生产环节的低技能工人和管理人员受影响更大^[60]。不过，数字化驱动的智慧城市会将创造新的工作机会^[61]并且使个人可以更灵活的方式就业进而提升整体就业规模^[62]。

而且，城市可持续转型将会创造更多的绿色工作^[63]。例如，与环境保护和自然资源相关的商品和服务会带来绿色工作需求的增长，劳动市场的绿色转型会将劳动力更多地重新配置到可再生能源技术、绿色建筑和新兴基础设施建设等部门^[64]。

与双转型相适应的新工作创造同样将会重塑就业和技能结构。面对劳动需求和产业部门的调整，不同地区通常有特定的技能和默会知识，都要做相应回应。拥有与双转型适应的本地化多样性能力的城市在劳动力方面显示出了较强的韧性。不过，目前我们还处于可持续转型的前夕，企业和产业间应该为未来更深层次的转型及时更新能力基础^[65]。

低技能弱势群体受可持续和智能转型影响较大^[66]。劳动市场上的弱势群体受影响更大。例如，年轻一代劳动者在2008年国际金融危机以来一直饱受影响，而如今他们又不得不面对双转型的影响而去重新获得必要的技能^[67]。

（三）数字解决方案对共享和循环经济的推动力

中国市场对数字化解决方案的采用兑现了“第四次工业革命”的承诺^[68-69]，将为国家经济发展作出巨大贡献的承诺。我们曾多次尝试衡量这些贡献，2011年数字化解决方案对经济发展的贡献约为国内生产总值的4.8%，2016年则跃升至20%以上^[70]。以下机构提出的审查建议综述显示，信息和通信技术（ICT）部门和严重依赖该部门的制造业活动对经济增长和总体生产率表现都大有裨益：2001—2018年，信息和通信技术（ICT）部门和严重依赖该部门的制造业活动分别以15.7%和11.4%的年增长率大大超过了所有其他经济部门。这些部门也是对全要素生产率增长贡献最大的部门。对最后一个变量的影响已通过对中国各省（区、市）的额外研究得到进一步证实。之前的文献也证明了数字经济有助于改善环境。虽然这种影响的方向和表现形式不尽相同，但中国所有省（区、市）的数据都反映了数字技术的使用对环境的积极贡献^[71]。数字技术产生积极影响的一些渠道包括，例如，通过减少能源损耗和降低能源需求来提高能源产出^[73-74]。

共享经济这一理念背后的推理源于以下认识^[75]，在发达国家，有相当一部分商品和资源是私人持有的，而且往往分配不当或使用严重不足。本章认为，保障多用户使用这些资源将减少浪费和低效使用。迄今为止，还没有哪个国家能像中国这样充分挖

掘共享经济的经济潜力。2014 年，中国共享经济的规模为 150 亿美元，预计到 2025 年将飙升至数千亿美元^[76-77]。中国拥有世界上最大的共享经济公司：截至 2023 年，美团拥有约 115 000 名全职员工，总收入达 2 760 亿元，是 2019 年的 3 倍。

数字解决方案的采用有可能极大地促进共享经济和循环经济的发展。例如，活跃在循环经济领域的公司所面临的主要挑战之一就是如何保证其产品来源的可追溯性^[78-80]。创建数字产品护照有助于解决可追溯性问题，使消费者更清楚地了解所购产品的材料来源，并使公司对其供应链战略更加负责^[81]。这些解决方案大多基于区块链技术，而中国在这一领域的研发已处于全球领先地位^[82]。然而，尽管区块链有助于改善公司业绩，但中国公司似乎仍未能充分挖掘这项技术的潜力^[83]。来自中国碳市场行业开发者的见解可能表明，以下领域仍可能对该技术的充分利用构成挑战：普遍态度和社会规范、数据准确性和真实性、刺激采用的融资机会、可使用户和非专业人士更容易采用该技术的功能特性^[84]。更广泛地采用区块链技术或其他技术驱动的监测和跟踪服务，也有可能解决共享经济倡议所需的信任度问题，但这种信任度往往是缺乏的^[85]。

数字解决方案还有可能帮助处理大量产生的城市固体废物（MSW），这是快速城市化的一个特征性副产品^[86]。中国的快速城市化加剧了这一问题^[87]。为推动当地循环经济产业的发展，同时解决城市范围内空间有限的问题，中国香港因使用数字解决方案改进都市固体废物的收集、分类和编目工作而备受赞誉^[89]。通过其与厦门市的比较得出，中国大城市在城市固体废物领域采用数字化解决方案的潜力仍然巨大。

四、双转型与社会可持续发展

社会可持续发展对成功实现双转型至关重要。城市不仅是物理单位的聚集，也是一个复杂的系统以满足城市居民的需求。促进绿色和数字化转型与城市生活质量的各个方面相关，如教育、医疗保健和交通便利性。在此背景下，我们提出了一个可持续性术语，其中包括社会方面，并提倡以人为本的可持续智慧城市。为了确定如何加强数据和人工智能驱动的城市发展与人们参与创建宜居城市的相互结合，本部分探讨了在人工智能时代，城市社会可持续发展的几个关键方面。

（一）道德因素

在数字时代，健全的隐私和安全框架对建立政府与公民之间的信任至关重要。优先采取这些措施可以确保道德标准，增强公众信心，支持社会包容和利益相关者的有

效参与。信任是社会包容和利益相关者有效参与的基石，它取决于个人数据是否得到最大限度的尊重和保护。政策制定者必须优先考虑严格的隐私保障和强有力的安全措施，以防止未经授权的访问和滥用敏感信息。这样做不仅符合道德标准，还能增强公众对数字计划的信心。这种信任对于鼓励社区积极参与，确保技术进步，积极促进社会公平和包容，从而加强数字时代透明度和问责制的基本价值观至关重要。

（二）政府服务数字化

政府服务的数字化是指将传统的、基于纸质的政府运作和服务转变为可在线访问和使用的数字形式的过程。这种转变旨在使政府服务变为更加高效、可及和用户友好型服务。

同时，城市基础设施的可及性、公平性和包容性是政府服务数字化过程中的重要考虑因素。城市基础设施的可及性、公平性和包容性指的是城市中所有居民，无论其社会经济地位、性别、种族、年龄或健康状况如何，都能公平享受基础设施服务。政府服务的数字化转型通过消除数字鸿沟来改善城市基础设施的可及性。它旨在将那些数字素养最低、最难采用数字技术的群体也纳入数字城市基础设施的范畴。这也意味着道路、水、电力和支付系统等基础设施服务在数字化过程中不应导致群体歧视。

城市数字基础设施中的可及性差距通常表现为连通性、数字素养和技术公平使用方面的差异。为了有效弥合这些差距，评估关键利益相关者的角色及其在数字化过程中面临的复杂性至关重要。例如，新兴技术如智慧城市、物联网（IoT）和人工智能（AI）的整合有潜力改善城市生活。然而，如果这些进步没有包容性的设计和治理，可能会无意中扩大数字鸿沟^[90]。

首先，服务系统整合。成功数字化转型的政府服务具有全程在线办理的特点，政府服务事项无论是线上还是线下接收和处理都遵循相同的标准，没有区别。这要求在系统建设中实现服务内容和组织结构的一致性，从政府服务的最高行政部门到线下服务窗口、自助终端、服务中心、便民服务中心和移动终端应用程序，实现信息的互联互通。数字和物理操作具有同等效力，实现实时交互验证和线上线下协同操作。例如，在线申请后可以线下领取结果，或者在线下提交材料后可以在线查看进度、修正材料并领取结果。国家统计局的能源统计服务负责收集和分析全国能源生产、消耗和效率数据。数字化可以提高数据收集效率，增强数据分析能力，为能源政策制定提供更准确的依据。

其次，服务操作标准化。政府服务系统的建设应遵循统一标准。各级政府服务的

垂直整合服务平台和基于功能的服务平台应按统一标准建设。否则，可能会出现信息瓶颈甚至信息孤岛，导致政府服务信息流通不畅，影响用户体验。系统建设标准包括各种业务流程、数据应用终端和政府服务平台的管理。各项政府服务事项应实施详细的标准化，明确政府服务事项的名称、代码、类型和依据等基本内容，纳入统一管理系统进行一致管理和发布。同时，政府服务机构应根据规定及时更新政府服务事项的相关内容和信息，并及时向公众公开服务指南。

最后，用户便利性。政府服务平台和终端应在各种适用设备上进行自适应部署，包括但不限于移动设备。政府服务机构应根据实际情况推动政府服务事项向移动平台和自助终端引入。对于申请材料多、信息不清晰导致的多次往返和办理时间长等问题，应在各级政府服务终端平台上明确标注接收单位、受理条件、所需材料和可暂时省略的材料清单，并动态更新。特别要关注特殊群体、老年人等数字弱势群体，提供无障碍、便捷的政府服务和申请指南。

数字化转型面临的挑战包括数据隐私、网络安全、技术成本以及基础设施缺乏等问题，特别是在边缘化社区^[91-92]。为克服这些障碍，以利益相关者为导向的方法至关重要。这包括促进公私伙伴关系，政府机构制定鼓励数字包容的政策，而私营实体提供基础设施支持和创新^[93]。另外，还必须解决可负担性问题，确保所有公民都能获得必要资源，且不会造成经济压力。在数字化服务薄弱的地区加强基础设施建设，实施数字素养提升项目，培养社区管理者的数字化能力，可以在缩小数字鸿沟方面发挥关键作用^[94]。另一个关键的包容性战略在于有意识地让代表性不足的群体参与数字服务的设计和实施。这包括非歧视性地获取数字身份证，并确保妇女和女童从数字公共基础设施项目中受益^[95]。

维也纳案例研究

为了成为一个开放的数字化城市，维也纳逐步实现了所有程序的数字化。在决定哪些程序优先于其他程序时，对气候变化的影响和市民的需求是两个关键因素。更具体地说，该市商定了12项数字化原则，如性别平等或环境可持续性。这些原则已在各种数字化战略和项目中付诸实践，如“数字健康”或数字平台“Sag’sWien”（告知维也纳），市民可以在该平台上报告任何基础设施故障或问题，然后由城市进行处理。

该市拥有数字化能力，并将继续推进和调整数字化能力，即该市有一名首席技术官和一名首席创新官，促进各部门之间的合作，与维也纳城市创新

公司（以下简称创新公司）和各公司密切合作。例如，在与创新公司的合作中，城市利用卫星数据监测绿地、土地覆盖变化或停车场使用情况，并利用机器学习检测公共空间的使用模式。

1. 政府结构和关键利益相关者

利益相关者指对特定主题、业务、问题或产品有直接或间接利益的任何人。直接利益相关者包括员工、管理层、客户、供应商、承包商和股东；间接利益相关者可能包括压力团体、政府、监管机构、竞争对手、代理商、潜在合作伙伴，甚至一般公众。基于利益相关者的治理理论认为，多个利益相关者或利益相关者群体必须包括在利益相关者范围内，如公司的员工、客户、供应商、融资方、社区、政府机构、政治团体、行业协会、工会，甚至竞争对手，因为他们也会影响公司。

在数字化过程中，从数据角度看，任何提供数据或受数据影响的个人或组织都应成为数字政府服务的利益相关者。提供数据的利益相关者基于准确信息为数字政府服务的具体实施提供决策依据。在利益相关者效用最大化的同时，政府服务的实施激励利益相关者持续提供相关数据以支持后续政府服务。从社会角度看，个人信息数据的开放和共享最终会产生外部性，而这些外部性是积极的还是消极的取决于政府服务提供的质量。

公私伙伴关系（PPPs）也在弥合数字鸿沟方面发挥着基础性作用。通过利用私营部门的创新和资源，PPPs 可以提高数字基础设施的可及性和质量，使数字服务更具包容性。例如，那些由于缺乏技术获取而可能被边缘化的社区可以从这种旨在将数字服务扩展到所有社会经济群体的合作中受益^[96-97]。

社区参与作为包容性数字治理的关键组成部分脱颖而出。当社区成员积极参与数字举措的设计和实施时，其采用率会显著提高。这种方法确保数字解决方案能够有效地针对地方挑战和需求进行定制。众包平台和开放数据倡议等技术不仅让公民参与治理过程，还通过将社区见解纳入城市规划和服务提供来刺激创新。

总之，城市基础设施数字化转型的包容性取决于确保广泛获取数字服务、利用 PPPs 优势、满足人口多样化需求以及积极让社区参与治理过程的策略。这些策略代表了构建公平、响应迅速和包容性数字治理生态系统的整体方法，从而提高整体城市生活质量和治理水平。

公共部门数字化转型举措的一个关键方面是关键利益相关者的动态参与。利益相关者包括各级政府部门、私营部门合作伙伴、公民团体、学术机构和普通公众。每个

利益相关者在塑造和指导数字化项目成果方面都发挥着独特作用。

例如，政府实体通常为发起和资助数字化转型而努力，这是由提高服务交付和运营效率的需求驱动的。同时，私营部门贡献技术专长和创新解决方案，这些对于实现老旧基础设施和流程的现代化至关重要^[96-97]。公共机构和私营企业之间的协同合作可以带来更强大和有效的数字基础设施，正如 Agbeko 等的研究中指出的加纳成功实施电子采购系统所例证的那样^[96]。

此外，公民团体和当地社区在提供实地反馈和倡导数字服务包容性方面发挥着关键作用。他们的参与确保数字化转型不仅能满足技术方面的需求，还能解决社会需求和可及性问题。正如 ScholarSpace^[96] 所描述的，理解和纳入利益相关者的观点和反应对于减少项目失败和提高数字化举措的有效性至关重要。

作为数字政府服务的用户，普通公众可能是最关键的利益相关者。他们对数字平台的采用和接受程度衡量了转型努力的成功。反馈机制，如调查、用户反馈平台和公共论坛，使政策制定者能够收集有关用户体验和需要改进领域的见解。

总之，这些关键利益相关者的参与不仅带来了多样化的观点和专业知识，还确保了数字化举措得到广泛支持和采用。它强调成功实现城市基础设施数字化转型所需的复杂相互依存关系和合作。

2. 数字化和包容性策略

数字化转型是一个多方面且复杂的过程，尤其是在考虑转变城市基础设施以弥合可及性差距时。在分析利益相关者在这一数字化过程中的作用时，至关重要的是要理解利益相关者不仅包括政府实体，还包括私营部门参与者、非政府组织、社区和国际组织。他们的合作对推动以利益相关者为导向的数字化转型至关重要，这种转型将可及性和包容性置于优先地位。

例如，建立专门的国家数字包容办公室可以作为一个强有力的协调机构，倡导政策变革并确保问责制，正如 Ehimuan^[98] 所建议的。这些办公室可以密切监控数字包容举措，根据需要进行调整，以确保实现包容性目标。

此外，利用公私伙伴关系，如 Ehimuan^[98] 和 MonikaPalani^[91] 所述，可以汇集各个部门的资源和专业知识，将连通性扩展到服务不足的人群，这是一个重大挑战。这种伙伴关系常常产生创新解决方案，如社区网络或促进数字健康创新的采用^[99]，这可以增加获取医疗保健和其他关键服务的机会。

另外，如 Nick Awad 指出的^[99]，解决互联网服务和设备的可负担性对于弥合数字鸿沟至关重要。像 FCC 的 Lifeline 计划这样的项目可以减轻低收入家庭的经济负担，

促进数字获取的更公平分配。

GustavoStreger 的见解表明，边缘化社区由于获取数字资源的机会不平等而面临重大劣势^[100]。因此，专注扩展宽带基础设施、提高数字素养和实施可负担性措施的策略是数字包容综合方法的关键组成部分。

可以得出的结论是，以利益相关者为导向的数字化转型方法涉及旨在提高数字素养、促进创新和实施政策改革以支持包容性数字生态系统的协调一致的努力。策略应该是具体情境的，并解决不同人口群体面临的独特挑战，确保技术进步不会让任何人落后，而是作为一座桥梁，缩小数字赋权者和服务不足者之间的差距。

3. 政府服务的数字化未来

政府服务数字化的好处是多方面且广泛的，深刻地革新了政府机构与公民互动和管理运营的方式。从本质上讲，数字化旨在提高效率、推动成本节约并显著提升客户满意度^[101]。例如，采用在线平台、电子签名和聊天机器人简化了服务交付，并促进了政府机构与公民之间更具响应性的互动^[101]。

除了服务交易的即时改进，数字化转型将其好处延伸到治理的更深层次的战略层面。通过采用先进的数据管理技术，如数据湖和人工智能（AI），政府可以有效分析大型数据集，从而作出更明智的政策决策和服务改进^[101]。这种转变不仅增强了服务能力，还加强了网络安全措施，为应对网络犯罪分子日益增长的威胁提供了强有力的保护。考虑政府持有信息的敏感性，这一点至关重要^[101]。

数字化还开启了前所未有的透明度和问责制。政府现在可以提供开放数据平台和在线绩效仪表板，与公众分享有关服务交付和政策决策的重要信息，从而营造信任和协作治理的氛围^[101]。后端流程的自动化和数字化不仅改进了内部工作流程，还为实现快速成果提供了重要机会，这可以使公众对数字举措产生好感和信任^[102]。

因此，数字政府不仅仅是技术升级，而是对公共部门服务设计、交付和与社会互动的根本性重新构想。它承诺重塑对社会福利至关重要的部门，包括医疗保健、教育、基础设施和更广泛的治理，确保这些关键服务能够在日益数字化的世界中适应、维持和蓬勃发展^[103]。

在城市基础设施的数字化转型中吸引关键利益相关者的参与对确保包容性和弥合可及性差距至关重要。政府、私营部门实体、社区组织和居民都必须在这一过程中发挥积极作用。这些群体之间的合作有助于创建对每个人都可及的数字服务，包括残障人士，从而增强社区赋权并确保公平获取政府服务和城市设施。

总之，在弥合城市数字基础设施可及性差距方面吸引关键利益相关者的参与需要

多层次的方法。它要求政府、私营部门、社区组织和居民之间的合作。每个主体在确保数字城市服务具有包容性、可及性并响应所有社区成员需求方面发挥着独特作用。这种协作方法不仅提高了数字服务的效力，还培养了社区所有权和赋权感，有助于建设更公平和包容的城市环境。

（三）绿色转型背景下数字化对城市社会规划的影响

城市社会规划在双转型中发挥着核心作用。通过社会可接受的城市规划和流程设计方法，结合不同参与者的经验和知识，将绿色和数字发展结合起来，使所有人口群体的生活条件都能得到公平对待。需要强调的是，面向绿色和数字城市的双转型不仅要在国家甚至城市层面上作出决定，还需要考虑社区层面。未来的绿色城市和数字城市将“更紧密”“更公共”“更灵活”^[104]。因此，当地社区（居民和其他利益群体）的参与是一个至关重要的方面。

南京市栖霞区案例研究

栖霞区政府在管理和服务多样化人口方面面临着巨大挑战。随着官员游戏规则的改变，栖霞区领导层最先迷茫的是如何执行上级政府在“五位一体”计划下的新指示。

为了实现目标，栖霞区的年轻干部在2016年主动出击，建立了747个微信群，覆盖全区119个街道社区。虽然微信是一个非正式、私密交流的社交媒体，但区干部看到了利用微信创新治理的机会。到2018年已经吸引了全区15万多订阅者，并利用微信的多种功能创建公告栏、专门群组等服务功能。对于问题、意见和举报，官方承诺在2h内及时回复。他们还信守承诺，对每项请求都作出回应。这些年轻的官员在职业发展上非常依赖绩效，但他们在行政选择上仍然积极主动，勇于创新。

1. 城市数字孪生作为加强地方社区参与的工具

从根本上说，城市数字孪生能在多大程度上改善当地社区生活质量取决于综合数据的质量和数量。本部分的重点是可持续发展的社会方面，因此所有相关数据包括个人数据（与个人相关）、公共数据（由政府机构收集或付费）、企业数据（由市场机构收集，但与个人信息无关）和商业数据（由公司商业化的专有数据）。

因此，由谁来控制数据的收集和使用就成了最重要的问题。为了使数字孪生对社区有意义，所包含的数据应该以社区为导向。如果不显著缩短出行距离，将交通方式

转向多模式和更积极的出行方式，数字绿色双转型就不会成功。这种转变的规划数据只能在个人的帮助下收集。中国有在地方规划过程中使用参与式地理信息系统（PGIS）和公众参与式地理信息系统（PPGIS）的成功范例。这可以系统地纳入地方层面的城市数字孪生项目。鼓励以公民科学为基础的项目，方便让社区参与进来，并收集有关噪声和其他威胁健康问题的数据，促进数字孪生项目的发展。

人工智能在复杂城市系统中的应用迅速增加，因此有必要制定一套规则，并解决由谁来控制算法的问题，特别是像“城市大脑”那样，由私营公司提供软件，由公共机构提供用于训练系统和维持系统运行的数据。为了建立人们对绿色化和数字化转型的信任，他们需要明确自己的权利，需要知道自己的权利是否得到尊重，并知道自己的数据是否被正确运用。在这方面，《中华人民共和国个人信息保护法》提供了重要的指导原则，但必须不断加以审查和更新。

全世界和中国的智慧城市论述都把重点放在特大城市、大城市和新开发的居住区上，这意味着缺乏资源和信息技术知识的小社区有被抛在后面的危险。这与社区层面数字转型发展的理念背道而驰。

为社会目的的开发和使用“城市数字孪生”需要一种整体方法，在技术进步与社会公平、隐私和道德考虑之间取得平衡。通过优先考虑利益相关者的参与、数据的可获取性和持续改进，城市可以利用数字孪生体提高复原力、可持续性和所有居民的生活质量。

2. 地方社区参与绿色智慧城市设计

数字技术有可能为人们及其社区服务，改善所有人的生活条件（以人为本的智慧城市）。要以有针对性和以人为本的方式使用数字技术，每个人都需要参与其中。此外，不仅是数字问题，气候问题也与社会问题密切相关。社区层面在此发挥着核心作用，这不仅体现在规划本身，还体现在社区被认为是社会凝聚力的核心，并带来了成功转型的关键因素。通过让当地社区参与进来，可以更好地了解当地情况（“Eigenart”），并以人为本地解决问题。

实现双转型的一个杠杆在于社区的参与，公正的转型要考虑社区的需求和关切。转型进程的目标应是加强社会结构和改善社区福祉。所有公民都应能平等地从进步中受益，平等地享受数字化和可持续发展的优势。如果不充分考虑社会方面的问题，双转型就可能会导致某些人群与技术的隔绝，现有的不平等现象也会加剧。

在中国，数字技术具有改变环境政策的潜力。基于信息和通信技术的中国环境研究表明了这一点。根据该研究，信息和通信技术提高了透明度、问责制、公民与政府

之间的沟通、效率和服务的提供。然而，这种潜力主要被那些在数字和环保方面已经十分活跃的群体所利用。这些工具没有让新的社会群体参与进程。这就造成了数字技术可能加剧社会政治不平等的风险。此外研究表明，中国公民往往将解决环境问题的责任归于政府，从而推卸个人责任^[105]。

社区参与智慧城市设计，为城市注入了显著附加值，数字化手段在此扮演了关键角色。它不仅简化了复杂关系，提高了公众对自身影响力的认知与敏感度，还促进了公民科学的数据收集与民众间的互动。具体而言，透明化的数字规划表展现了规划进程，可视化、增强现实及游戏化工具寓教于乐，情景制图直观呈现问题，数字参与平台构建了利益相关者网络，而制图 App 等便捷了数据驱动的公众参与^[105]。在使用新数字方法与格式的同时，我们亟须提升知识的获取与传递效率。因此，目标应聚焦用新兴数字形式，丰富并优化现有的模拟参与手段，以拓宽城市社会中各目标群体的参与渠道。实现这一目标的先决条件在于，这些数字基础设施必须设计得简单直观、趣味盎然，并能为个人带来实际价值。此外，这些工具应服务于社区与城市规划，促进公众对城市及其发展进程的深入理解，共同推动构建可持续发展的未来城市。通过这一系列措施，我们不仅能加深社区融合，还能激发更多创新思维，共同绘制智慧城市的美好蓝图。

社区参与的核心目标在于促进包容与融合，这一理念尤其强调对弱势群体如残障人士、缺乏数字媒体经验的老年人、语言障碍者及女性的关注。为实现这一目标，首要任务是设计多样化的数字产品，确保这些产品能够适应不同人群的能力需求，即遵循“为所有人设计”的原则。在将数字工具引入智慧城市设计流程之前，需要深入了解市民的需求，包括他们对这些工具的认知水平、潜在担忧以及对数字解决方案的接受程度。为此，需针对特定目标群体提供定制化支持，如建立支持体系、提供指导与建立交流网络，以确保新群体也能有效参与设计过程。同时，公共场所的数字设备与软件应具备高度的可及性，使公众能够轻松信赖并有效利用这些数字基础设施。重要的是，城市应保障居民在无法或不愿使用数字手段时，仍能通过传统方式获得必要服务，确保服务的全面覆盖与无障碍获取^[106]。

维也纳案例研究

维也纳以其庞大的建筑存量著称，拥有约 220 000 座建筑，这一特点在推进建筑领域的气候适应行动时成为独特优势，尤其是在私人所有权普遍构成挑战的背景下。维也纳能够凭借广泛的公共建筑所有权，独立于私人市场，

有效实施如“Raus aus Gas”（至 2040 年建筑供暖淘汰化石燃料计划）等大规模去碳化举措，展现了其在绿色建筑转型中的引领地位。

（四）交叉性：妇女、移徙工人和老年人

200 多年来财富和收入分配的历史趋势表明，平等是一个缓慢的趋势。然而，在过去十年中，全球范围内的不平等现象有所加剧^[107]。本部分的目标是平衡地阐述智慧城市、数据和数字技术如何促进这一趋势的发展，并展望如何利用这些技术进行补救。关键概念是交叉性和性别平等。交叉性是指两种或两种以上的身份重叠，从而导致某些类型的不平等。例如，老年妇女可能因其性别和年龄而遭受不同形式或综合形式的不平等。如果所有性别身份的人都享有同样的权利、责任和机会，那么性别平等就实现了。我们认为，交叉性使性别不平等变得更加突出。在中国，不平等现象呈全面上升趋势，且交叉性更强。自 20 世纪 80 年代以来，中国的基尼系数从 0.25 左右上升至 0.4 以上。然而，与 20 世纪 80 年代相比，中国取得了巨大进步，成功地使 7.7 亿中国人摆脱了绝对贫困。

1. 妇女

在过去的 50 年里，中国的性别平等状况与全国的趋势同步恶化，尽管从绝对值来看，妇女在接受教育、医疗保健和获得财富方面的状况有了显著改善。中国是少数几个不走“U”形曲线的国家之一：妇女的相对社会地位通常会随着工业社会向服务型社会的过渡而提高。相反，中国的发展更像一个“L”形曲线，没有相对改善的迹象^[108]。迄今为止，智慧城市的发展也助长了这一趋势。例如，在开发和管理智慧城市所需的高薪 STEM 劳动力中，女性所占比例不到 30%。

不同性别的人在城市中的经历有很大差异。妇女往往身兼数职，需要高效的交通系统来满足不同的需求，而且通常交通预算较少^[109]。男性主要表现为线性移动模式，而女性在旅途中兼具多种目的^[110]。例如，在北京女性的所有出行中，通勤出行只占 39.67%，男性则少 10%。35% 的女性出行是为了购物，比男性多 13%；8.91% 的出行是为了接人，比男性多 2%^[109-110]。此外，许多数字出行服务并不符合护理出行的需求，如共享单车不适合运送货物或接送儿童^[111]。

城市环境中的安全问题是性别主流化的核心问题。在武汉和乌鲁木齐进行的一项对比调查发现，70% 的女性在公共交通中表示焦虑^[109]。与此同时，性骚扰事件的报告率很高：武汉为 24.6%，乌鲁木齐为 19.3%，而未报告的案件数量很可能要高得多^[110]。

妇女遭遇的大多数性骚扰和暴力事件都发生在公共交通工具上，但也有许多妇女在车站或途中受到攻击^[112]。这些动态解释了为什么中高收入妇女更倾向选择更安全的私人交通工具^[113]。

最后，许多妇女进入了“零工经济”，这是当今智慧城市不可或缺的一部分，它提供了灵活工作和怀孕后重新就业的低门槛等机会。2021年，约有2亿人受雇于中国的“零工经济”，预计到2036年，这一数字将翻一番^[114]。虽然没有关于“零工经济”中男女比例的可靠总体数据，但2021年，在滴滴出行的1300万名员工中，有237万名女性，略高于18%^[115]。在“零工经济”中，女性往往会受到厌恶女性的刻板印象和暴力侵害。不稳定的工作、没有居住权以及在工作之余独自承担养育子女的责任等不利因素对女性的影响尤为严重。最近的一项研究发现，许多经济平台对工作场所的性骚扰指控反应迟钝，一般不容易追究责任^[115]。

2. 移徙工人

关于农民工家庭¹，存在两大挑战：首先，对智慧城市的大力关注可能会将资源引向富裕的城市。其次，中国7.34亿劳动力中有近3亿人是农民工，由于他们所从事的行业受到数字化进程的威胁，他们可能会被甩在后面。在外来务工人员中，女性尤其脆弱，平均而言，她们更集中于低技能工作，健康水平低于男性。

教育是了解农民工状况的一个关键指标。在全中国，只有36.6%的劳动适龄人口（25~64岁）受过高中教育（OECD平均水平为83%），10%的人拥有学士学位（OECD平均水平为19%），硕士和博士学位占1%（OECD平均水平为14%）。尽管没有关于城乡教育差距的现成数据，但一些估计表明，21%的女性农民工受过小学及以下教育，而男性农民工中只有9%受过小学及以下教育。然而，在工作中使用计算机的女性外来务工人员较少，只有44%的女性使用计算机，而男性为50%^[116]。总之，斯科特·罗泽尔（Scott Rozell）对“隐形”中国农村的研究充分说明，中国在经合组织中的地位较低，主要是因为农村人口的教育水平较低，农民工的教育水平也较低。由于自动化和智慧城市的发展不仅需要大量人才，而且可能减少对低技能劳动力的需求，因此相对缺乏技能的农村劳动力（其中许多是农民工）面临被抛在后面的风险^[117]。

许多非技术工人和农民工受益于“零工经济”。但除了经济上岌岌可危的处境，“零工”还反映平台经济导致社会关系破裂。以滴滴司机为例，过去出租车司机的工作时间是有规定的，这意味着他们要与其他出租车司机共享一些时间。此外，他们必

1 在中国，农民工一般被理解为居住在城市的具有农村户籍的工人。

须取回并交还自己的汽车，这也是他们见面聊天的机会。现在，每个人都有自己的车，工作从出门就开始了^[118]。

3. 老年人口

2020—2022年，60岁以上人口在中国劳动力中所占比例将从8.8%上升至12.8%。预计60岁以上人口占总人口的比例将从略高于20%上升至30%左右。国家基础养老金很低，每月最低为123元，许多退休人员现在只有一个子女供养他们。农村老年妇女的处境尤为不利，因为她们的平均收入仅够支付21%的开支^[119]。老年妇女往往比男性长寿，但与男性相比，她们更容易罹患慢性疾病，健康状况普遍较差^[120]。妇女未得到满足的老年护理，其需求也更高^[121]。

迄今为止，数字工具、智能城市和平台的出现并没有起到补救作用，反而有可能使老年人更加落后。关于所谓“灰色数字鸿沟”的文献将老年人参与数字化转型的四大障碍分为动机、物质障碍、技能和使用。城市环境中的老年人使用各种各样的数字设备，但许多人反映存在问题。这些问题既包括视力等健康问题，也包括缺乏理解能力。尤其是数字化转型的速度和深度让老年人对未来是否有他们的位置感到焦虑。

政府为改变这种状况而采取的干预措施面临一个棘手的挑战。一方面，老年人希望政府介入并支持他们；另一方面，他们中的大部分人又不愿意向家庭以外的人寻求帮助，特别是不愿意向政府项目寻求帮助^[122]。

4. 多元共融规划与数字工具的价值

为了创建可持续的智慧城市，建议将城市设计建立在具有包容性的多方利益相关者规划基础上，并使用数字工具来推动。

首先，包容性的多利益相关方规划。中国的智慧城市通常以命令和控制的方式实施。因此，当地社区和利益群体很少参与规划和决策。不过，也有例外：联合国开发计划署与贵州省共同开发了一种方法，让当地社区参与进来，纳入他们的直接需求，并制定反映这些需求的指标。这种方法明显不同于中国政府的智慧城市标准，即最近批准的《新型智慧城市评价指标》（GB/T 33356—2022）。此外，诸如环境保护、社会和谐等领域未能作为独立部门，系统性地融入规划与决策框架中，导致这些领域的诉求被边缘化。此现状下，地方政府机构间信息共享渠道不畅，尤其是关乎可持续发展干预措施规划与决策的核心数据难以顺畅流通，限制了政策制定的全面性和有效性。

印度的多方利益相关者合作数据平台

印度城市数据交换（IUDX）平台通过实现城市与各利益相关方之间安全、实时的数据共享，推动印度未来城市的发展。作为一个开源项目，IUDX 促进了印度 40 多个城市的城市官员、私营部门合作伙伴和民间社会之间的合作。IUDX 依靠的是高质量的数据、利益相关者之间的合作、数据价值教育以及促进数据共享的政策。例如，在浦那，IUDX 支持一款通过数据分析帮助市民找到最安全路径的应用程序。它整合了社区反馈、街道照明和犯罪统计等各种来源的实时数据，为人们推荐路线，最大限度地降低不安全因素的影响，尤其是对于妇女和儿童而言。该应用程序已在印度许多城市推出，并在全球范围内使用，如哥伦比亚波哥大。

第二，数字技术可以发挥关键作用，将性别平等主流化纳入城市规划，确保城市的公平性和包容性^[21, 123, 124]。性别平等主流化和社会公平规划要求将具体需求纳入政策和决策的各个方面^[21]。数字工具可以帮助规划者了解和分析这些动态变化^[114]。

马尼拉人工智能赋能的城市规划

在德国国际合作机构数据实验室的支持下，德国国际合作机构的“亚洲国家可持续发展交通倡议”和“TUMI 妇女动员妇女项目采用了一种基于人工智能的方法，以包容和交叉的方式审视城市规划，创建了人工智能生成的马尼拉真实地点的图像。这些图像纳入了安全设施（如照明、摄像头、女性安保人员）、残疾人无障碍基础设施（如坡道、触觉人行道）以及满足人口不同需求的公共设施（如无障碍厕所、绿地）等元素，帮助参与者和决策者更好地直观了解城市空间的潜在改进措施。因此，人工智能可以在创造更安全、更具包容性的城市环境中发挥至关重要的作用。

智慧城市、数据和数字技术是否会助长全球日益加剧的不平等现象，抑或是一种补救措施，我们已经非常清楚地认识到，技术本身并不能解决问题，但谨慎、具有社会意识，尤其是具有包容性地使用技术，可以为促进社会公平的发展。

五、双转型与环境可持续发展

气候变化、原材料过度消耗或土地占用率高等多重环境挑战表明，必须转变城市

发展方式，实现可持续城市发展，包括建设紧凑、安全和健康的住区，提供可持续和高效的出行方式，并增强抵御气候变化的能力^[125]。面对气候变化、环境污染和生物多样性丧失，需要加快全球城市的可持续环境发展，以保护宜居和具有气候复原力的城市地区。数字化可以推动这一发展。从环境角度来看，有必要分析数字化如何有利于可持续发展，以及技术创新和数字化如何与可持续发展相联系。本部分展示了数字化基础设施和工具，作为通过城市规划实现预定可持续环境发展目标的手段。本部分就如何释放数字化潜力并将其引导到正确的渠道提出了建议。

（一）面向未来城市的城市与环境综合规划和发展

自 2016 年 1 月 1 日《2030 年可持续发展议程》的 17 个可持续发展目标（SDGs）实施以来，联合国秘书处和各大国际组织一直致力于评估可持续发展目标的进展情况。从已有的评估结果来看，地球、人类、环境和生态系统的复原力和福祉正在退化，世界“严重偏离”了在 2030 年的最后期限前实现可持续发展目标的轨道。依据《2024 年可持续发展目标报告》，中国生态环境领域涉及的 7 项 SDGs 和 33 项评价指标中，水下生物（SDG14）和陆地生物（SDG15）评价为“红色”，清洁饮水和卫生设施（SDG6）、经济适用的清洁能源（SDG7）和可持续城市和社区（SDG11）评价为“橙色”，无绿色 SDGs，中国生态环境领域可持续发展目标在全球排名中处于相对落后的状态，亟须以减污降碳为主抓手推进绿色转型，推动现代化、智慧化城市环境基础设施建设，提高自然资源使用效率，保护和恢复淡水生态系统，遏制生物栖息地和生物多样性的减少；在全球发展倡议框架下深化国际数据合作，以“数据之治”助力落实联合国《2030 年可持续发展议程》，携手构建开放共赢的数据领域国际合作格局，为可持续发展提供新的动力和活力。

德国环境署提出未来城市愿景^[126]。该愿景旨在建设紧凑型绿色城市、多功能区、环保交通和减少噪声。它提出了未来城市生活的愿景，重点是创建可持续发展、宜居和高效的城市，强调城市发展需要采取综合方法，平衡环境因素、社会因素和经济因素。它提出了十项相互关联的“一揽子”措施，旨在系统地解决这些问题，应对交通拥堵、空气污染、噪声和缺乏绿地等核心挑战。

1) 紧凑型多功能城市。这一愿景提倡更密集、混合用途的城市发展，以尽量减少长时间的通勤并加强社区联系。这种方法被称为“双重内部发展”，旨在创建住宅、商业和娱乐空间共存的社区。例如，可以将城市汽车密度降低到每千名居民 150 辆。

2) 城市绿地和公共区域。增加绿地对于改善空气质量和娱乐活动至关重要。愿景

包括公园、绿色屋顶和垂直花园，建议将未充分利用的区域改造成绿色地带。例如，将旧工业用地改造成社区公园，带来显著的环境效益和社会效益。

3) 减少噪声。防治噪声污染的策略包括限速、减少噪声的路面和安静区。愿景设定了雄心勃勃的目标，如遵守世界卫生组织关于夜间噪声水平不超过 40 dB 的建议。实施这些措施可以减轻压力，改善城市生活条件。

4) 完善交通网络。加强步行和骑自行车的基础设施至关重要。愿景要求建立连续、安全、有吸引力的人行道和自行车道网络。例如，发展自行车道和人行道网络可以大大减少对汽车的依赖，促进更健康的生活方式。

5) 综合交通服务和电动交通。未来的城市交通应将各种交通方式整合成一个可通过数字平台访问的无缝系统。这一愿景支持电动汽车和汽车共享计划，以及强大的充电基础设施。奥斯陆等城市已成功普及电动汽车充电站，支持向电动交通过渡。

6) 改善公共交通。提高公共交通的质量和便利性至关重要。这一愿景包括增加服务频率和可靠性，以及过渡到电动公交车和火车。例如，布赖斯高地区弗赖堡已将电动有轨电车和公共汽车整合在一起，大大减少了城市废气排放。

7) 可持续城市物流。城市物流应有利于环境，减少送货车辆及其影响。这一愿景提倡将电动货运自行车用于“最后一英里”配送和城市集运中心。例如，阿姆斯特丹已采用电动货运自行车来简化送货流程，减少交通拥堵。

8) 管理机动车交通。交通管理战略包括征收拥堵费、停车管理和低排放区。该愿景旨在减少交通流量，促进可持续交通。伦敦的拥堵收费区就是一个例子，它有效地减少了中心城区的交通量和排放量。

9) 生态友好型数字化城市规划。数字工具和智慧城市概念在现代城市规划中至关重要。该愿景鼓励开放数据、智能交通管理和数字平台，以提高公众参与度。巴塞罗那的智慧城市计划利用实时数据有效管理交通和公共服务。

10) 参与式合作规划。让市民参与规划过程，对于创造符合居民需求和愿望的城市环境至关重要。该愿景主张采用参与式方法，如生活实验室和对话论坛，确保社区参与。它还建议使用数字工具和平台来促进这种参与，使居民更容易为规划和决策过程作出贡献。这方面的例子包括维也纳的参与式城市规划项目，让居民参与决策过程。

这些措施的实施需要中央和地方政府的共同努力，也需要私营部门和社区的参与。实施这些措施需要大量投资、支持性法律框架、中央和地方各级增加资金投入，以及重新分配现有资金。由于公共财政有限，中央措施包括取消对环境有害的补贴，

并将这些资金转用于可持续城市发展举措。在市政一级，综合城市规划是城市实现这些目标的关键机制。

紧凑型城市以及对有限城市空间资源的多功能和高效利用，是气候友好型城市发展的关键^[127]。策略包括利用重新密集化的潜力以及对现有建筑的保护、翻新和改造。与此同时，紧凑的建筑结构必须与充足且方便使用的开放空间和绿地相结合，以避免在健康、气候适应能力（如城市热岛效应）和生活质量方面出现偏差。三重内部城市发展的城市规划模式是一种综合规划和设计方案，旨在对建筑、交通和绿地进行新的空间分配^[128]，其目标是将城市中紧凑型建筑的发展与绿色和开放空间的安全和质量保证，以及减少私人机动化交通以利于公共交通和主动交通联系起来。对交通区域进行（重新）设计和重新分配会对气候保护和适应、提供休闲场所和城市自然环境、提高空气质量和减少噪声污染，进而对人类健康有着至关重要的影响。三重内部城市发展得益于全面且最新的地理数据，这些数据是建筑物和空地登记、绿地信息系统、交通建模甚至数字孪生模型的来源。

除分区规划和综合城市发展概念等传统的综合城市规划工具外，各城市正在越来越多地开发气候、环境和资源保护方面的智能概念。《德国智能城市宪章》就城市如何以可持续和积极的方式实现数字化提出了指导方针和建议^[129]。数字化工具可以从不同方面支持城市规划。首先，城市和环境规划的数字化为数据收集和环境监测提供了新的可能性，可以根据新的、可靠的数据，更经济地确定和采取措施。其次，数字化工具可以成为措施本身的一部分，这在交通领域最为突出。最后，数字工具可以支持所有相关利益方进行新形式的沟通，支持公众参与规划过程。

对数字化和城市可持续发展的案例研究分析表明，智能解决方案只有与城市可持续发展的非数字化措施（如城市基础设施的改造或扩建）相结合，才能为实现气候和环境政策的总体目标作出重大贡献^[130]。例如，要实现自行车交通模式的转变，除了智能交通灯，还需要扩大自行车交通基础设施。最后，提出了以下建议，以更好地整合智慧城市和城市环境保护概念^[130]。

- 1) 智能解决方案的设计应无害环境，利用其潜力，避免可能的风险和反弹效应。
- 2) 应实施智慧城市的城市环境监测和评估系统，以确保透明度和可比性。
- 3) 在数字化和智慧城市的资助计划中，应解决保护城市环境的问题。
- 4) 应加强所有相关利益方（城市管理部门、基础设施公司、服务提供商、市民等）在开发环保型智能解决方案方面的意见和信息交流。
- 5) 应为环保型智能解决方案提供试验平台。

人工智能促进可持续城市规划

越来越多地获取大数据和可扩展的人工智能模型使城市可持续性解决方案进入了一个新时代^[13]，通过高分辨率和高度情景化的方法开展工作。数据可用性、先进的分析模型和前瞻性能力的协同增效，标志着我们在设计和实施有效的本地化城市可持续发展战略的能力方面实现了重大飞跃。例如，基于人工智能的城市规划可根据不同城市地区的具体需求和背景量身定制可持续性和气候解决方案，同时将生物多样性、绿色发展或包容性等其他优先事项纳入分析。

（二）以数字创新再造城市环境保护与发展

环境治理是“治理”概念在生态环境领域的延伸与应用，目的在解决环境污染、生态破坏、气候变化、生物多样性丧失等突出问题，实现人与自然是和谐共生。把数字创新和智慧环保作为智慧城市的重要内容，是全球城市环境治理共同的诉求和大势所趋。

1. 数字化创新与城市环境治理

数字技术创新生态治理路径和模式，为公众提供系统化的环境服务、为政府提供智慧化的环境决策。作为一种现代化的城市生态环境治理方式，数字化导向下的生态环境智慧治理建设通过将大数据、5G、人工智能等数字技术有机嵌入城市生态环境保护与建设，在数字化与绿色化的深度融合中，不断提升城市生态环境治理的科学化、精细化、智能化水平。建设生态环境智慧治理，重点在于统筹好数字化和绿色化的关系，推动二者相互促进、协同发展。推进数字化建设，借助人工智能等技术发现数据背后的规律，能够为生态环境治理提供重要引擎，有助于达到高效、可持续的生态环境治理效果。推进绿色化发展，是建设数字生态文明的应有之义。

以数字技术创新拓展城市生态环境治理路径，实现城市生态环境的“数据之治”。借助海量数据和强大算力，运用大数据、云计算、人工智能等数字技术手段，能够有效提升生态环境保护的系统性、协同性、精准性，推动山水林田湖草沙一体化保护和系统治理。例如，为推进精准治污、科学治污、依法治污，我国一些地方运用数理统计、数字模拟、基因算法、大数据、机器学习等智能手段，融合多维环境数据，着力构建从污染源排放到环境质量变化的完整数据链，为在污染防治中实现精准溯源和精准预测提供了有力技术支撑。数字技术的广泛应用，为生态环境治理装上了高效监测和主动预警提供了科学分析和有效应对，丰富和拓宽了生态环境治理的路径。

以数字技术创新推动生态环境治理向系统化、协同化转变。长期以来，由于生态

环境数据信息在区域、部门、单位之间共享不够，生态环境治理在一定程度上存在碎片化现象，一些地方生态环境治理中“反复治理、治理反复”的问题较为突出。通过高效的数据汇聚和人工智能、云计算、数字孪生等先进技术，可以有效提升环境治理所必需的统揽全局能力、顶层设计能力、监测感知能力、预警预报能力、智慧决策能力和应急处置能力，为生态治理全系统全流程提供智慧支撑，为人民群众提供系统化的环境服务。以城市水系统为例，随着城镇化进程加快，城市水系统面临城市水安全风险、水生态破坏、水资源短缺、水环境污染等挑战。通过建立基于 AI+ 大数据的城市水环境智慧管控系统，联动城市厂—站—网—河体系，通盘考虑城市水资源、水环境、水生态、水安全、水文化，可以实现对地表水、污水、生态用水、自然降水、地下水等统筹管理、综合保护与系统利用。

以数字技术促进城市发展方式绿色升级，帮助企业推进绿色转型。数字技术的快速发展为促进减污降碳协同增效提供了新思路、新方法，推动污染防治从末端治理转向源头控制，在数字化、绿色化协同转型中建立健全绿色低碳循环发展经济体系，推动经济社会发展全面绿色转型。数字技术有助于节能减排，通过采集、加工、处理生产数据，数字技术可以对生产全链条进行实时监测，并能根据需求变化精准调控生产管理方式，提升资源配置效率，减少资源能源的消耗和浪费。例如，在能源转型升级方面，鄂尔多斯市利用数字技术和智慧能源技术建设新型电力系统，推动数字化、大数据、人工智能技术与能源清洁高效开发利用技术有机融合，发掘和培育能源产业转型升级的增长点。

生态工业园区案例研究

在生态工业园区建设方面，天津市经济技术开发区综合运用工业物联网、标识解析、人工智能等技术构建起集安监、环保、能源等多元化监管与应急联控于一体的“工业环境大脑”，为建设资源友好、绿色可持续发展的智慧工业园区积累了宝贵经验。数字技术可以为企业提供信息共享平台，降低企业研发创新的不确定性，支持企业从事创新活动，提升企业生产效率，降低单位产值的碳排放量与污染物排放量。生产运营数字化已经成为企业重要的减碳着力点，与人工智能相关的技术减碳贡献占比将逐年提升，发挥越来越重要的作用。

以数字化应用引领和推动城市居民养成可持续生活方式和消费模式。绿色发展既是生产方式的变革，也意味着生活方式的转变。随着数字技术的发展，绿色消费、绿

色出行、绿色家居等方面的数字化应用在日常生活中更加普及，正在吸引越来越多的人加入绿色智慧生活的行列中。目前，深圳市在智慧社区建设中坚持以群众需求为导向，积极拓展数字技术的应用服务场景，着力创新政务服务、公共服务方式，推动就业、健康、卫生、医疗等服务“指尖办”“网上办”“就近办”，通过让数据多跑路、群众少跑腿，高效聚合社区周边生活服务资源，建设便民惠民智慧生活服务圈，更好满足社区居民的多元化生活需求。此外，线上课堂、智慧医疗、智慧图书馆等数字技术的场景应用，在给社会生活带来便利，满足群众日益多样化、个性化需求的同时，也从技术层面强化了全社会的节约意识、环保意识、生态意识。

2. 在可持续环境中应用大数据分析和人工智能

人工智能和大数据技术的应用，为改善城市环境质量带来了新的机遇。智能交通系统、智能垃圾处理以及智能环境监测等应用可以有效减少交通拥堵、改善垃圾处理效率和优化环境污染控制。同时，通过大数据的分析，可以实现科学的城市规划、精细化的环境治理以及智慧城市管理。建设生态环境智慧治理可重点从平台构建、数据挖掘、数智融合、政策保障等方面协同发力，形成“一张网”“一张图”，研发数据价值挖掘算法，推进数字技术在生态环境领域的深度应用，发挥好数字生态环境科技在美丽中国建设中的基础性、引领性作用。

根据地方特点，中国自 2016 年以来选择有代表性的地区开展生态环境大数据创新应用，探索应用模式，推动试点成果的推广和实施。经过近十年的发展实践，大数据和人工智能已经被证明环境监管和治理的有效措施，并被作为环境保护和管理的新模式得到广泛推广。

1) 建设生态环境全要素监测系统，覆盖大气、水、土壤、固体废物、噪声等，实现全面监测功能。通过科学部署感知终端与感知网络，建立覆盖辖区范围内各项生态环境要素的监测网络，实现感知信息数据的实时传输。

2) 建设生态环境综合业务应用系统，实现管理考评与监察执法功能。以污染源全生命周期的监督管理为主线，对政府责任部门、排污单位、治污企业等监管对象，进行精准化监督管理与考核评价，建立起“横向到边、纵向到底”的网格化环境监管体系。如环境监察移动执法系统、环境网格化管理系统、IC 卡排污总量控制系统、污染源“一企一档”系统等。

3) 建设生态环境决策支持管理系统，实现决策指挥功能。融合生态环境监测数据资源和其他专业数据资源，建立“环保一张图”智能决策管理系统，为政府部门提供准确、及时的数据信息和科学、高效的指挥平台（如苏州工业园区搭建的环境综合

管理应急监测预警及指挥平台)。在发生环境事件时,系统可以实时提供现场情况、应急方案,污染溯源管理等功能,辅助环境决策。

4) 建设智慧环保民生服务系统,实现公众服务功能。通过智慧环保平台的开放应用,进行环境质量发布、环境问题投诉、行政许可申办、行政处罚公示等,形成政府与公众良性互动、共建共享的生态格局

5) 探索大数据和人工智能在环境治理中的应用场景。人工智能技术通过计算机视觉技术和机器学习算法,可以对垃圾进行分类和识别,实现自动化处理,提高垃圾分类的效率和准确性。

大数据和人工智能在环境治理中的应用场景

法国苏伊士集团创新研发技术“Autodiag”智能识别技术的固体废物处理中心,该中心负责巴黎地区100多个城市的固体废物垃圾的收集和分拣。据悉,有了这项直接在垃圾分拣线上连续自动作业的质量控制技术,垃圾分拣效率将更高且结果也更可靠。Autodiag智能识别技术已成功应用于塑料垃圾的分类检测,成功率高达约98.5%。2023年,北京市怀柔区庙城镇投入127套垃圾分类智能监控系统,工作人员在办公室就能实时监测20个社区(村)的127个垃圾分类驿站的垃圾分类情况,从而有针对性地开展分类工作,以24h智能监测模式替代人工督导模式,节省人力、物力的同时提高生活垃圾分拣率。浙江省平湖市曹桥街道景都佳苑内,AI机器人以“智”替人,这一人工机器人能够24h开启智能督导模式,降低人工成本,并且通过对问题发现、取证、宣教的闭环管理,建立垃圾分类长效化监管机制,解决了社区在垃圾分类工作中人工督导成本高、违规取证难、执法难、整改清理不及时、业务数据不准确等管理痛点问题,为城市的垃圾分类工作打开了新模式,助力垃圾分类加速实现智能化、数治化、精准化。

尽管人工智能帮助环保机构和相关企业更加高效和精准地进行环境监测、垃圾分类、碳排放监测、环境规划和环境治理等方面的工作,也有广泛的应用前景,不过,其大范围应用也面临一些挑战。例如,数据对环境具有重要意义,只有对现状的准确认知,才能做好总量控制。但人工智能技术需要大量的数据来进行训练和学习,目前,人工智能还需要加强环境数据的收集和管理,提高数据的质量和数量,以支持其技术的应用。同时,人工智能的前期投入十分巨大,无论是技术、人力还是硬件基础设施,都有十分庞大的需求。并且,其框架搭建的过程需要一定时间,运行期间的费用也十

分高昂，对于体量较小、经济薄弱的城市而言存在较大压力。

（三）人人享有可持续的城市交通

交通区域是城市环境发展的关键，其原因有三个^[132]。首先，交通区域占城市空间的很大一部分，可用于气候适应措施等。其次，大部分交通区域密封性很强，增加了气候风险（如降水径流或热岛效应）。最后，这些区域主要用于机动化的个人交通，这种空间效率低、排放密集型的交通模式加剧了气候变化，成为上述风险的驱动因素。交通转型是解决这三种影响以及与交通相关的当地环境问题（如空气污染或噪声）、交通安全或社会公正和性别问题（如交通可达性、空间分布）的过程。其目标可概括为避免不必要的交通（如规划紧凑型城市）、从个人机动化交通转向公共交通或主动机动化交通（步行、骑自行车等），以及提高以（化石）燃料为基础的个人交通的效率（如改用电力驱动^[134]）。然而，改进措施很少产生有益的空间效应。

交通转型作为城市可持续发展的一种手段，可在多个方面受益于数字化。自动驾驶和联网驾驶将改变人们的出行行为，创造新的商业模式，并对交通系统产生巨大影响^[135]。这种影响是否符合城市可持续发展的目标，取决于工具的使用和影响。可以通过强制要求对各种交通模式进行技术评估来避免潜在风险，以防止对环境友好型交通产生负面影响。利用数字工具可以带来不同：自动驾驶汽车可以提高个人交通或公共交通的吸引力。这可以通过与技术进步同步的法规来管理。例如，统一数据和强调开放数据的法规将有可能增加依赖共享数据的多式联运 App 和平台的有益影响，并促进从个体机动交通向公共交通的转变。但也可以通过资金进行管理，如公共研究基金优先考虑公共交通的自动化研发，而不是机动化的私人交通。此外，在利用数字创新提高效率的同时，还应为减少汽车保有量制定有针对性的政策，如管制空驶或为共享车辆减税。

另外，由于自动驾驶汽车的通勤更具吸引力，无节制的交通数字化可能会导致城市无序扩张和更长的旅行距离。

利用机器学习推断建成环境的交通排放

Nachtigall 等人最近的一项研究（2023 年）^[136] 解决了在考虑居民自我选择偏差的同时准确估算建成环境对诱发的交通二氧化碳排放的影响这一难题。该研究提出了一个双机器学习框架，其中包含——两个机器学习模型：一个用于估算居民自我选择偏差，另一个用于预测诱发的交通二氧化碳排放，同

时考虑这种偏差。研究结果表明，所提出的双重机器学习方法在考虑居民自我选择和提高估算与建成环境相关的交通二氧化碳排放量的准确性方面非常有效。

例如，基于对柏林的案例研究和 32 000 名居民的旅行日记，他们发现建成环境导致柏林中心区和郊区的家庭旅行相关二氧化碳排放量大不相同，这主要是由于目的地的可达性不同。通过适当考虑居民的自我选择偏差，模型对建成环境因素对交通排放的因果影响提供了更可靠的估计。这对城市规划和政策制定具有重要意义，因为这样可以作出更明智的决策。总之，这项研究强调了在城市可持续性研究中采用先进的机器学习技术的重要性。

（四）城市发展中的碳减排、资源效率和零污染

本部分概述了数字化和人工智能如何帮助释放各种工具和方法，并将其主流化，以实现建筑物和基础设施的建筑环境转型。根据联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）的数据，通过在建筑领域采取减排措施，工业化国家可减少高达 90% 的温室气体排放，发展中国家可减少 80% 的温室气体排放^[3]。本部分将概述数字化如何在塑造资源节约型、气候友好型和无污染型城市发展道路方面作出决定性贡献，从而为人类和环境带来积极成果。数字化工具、标准化方法和流程可以系统地绘制和评估应对现有建筑翻新挑战所需的信息，制定翻新和新建建筑的能源、材料和污染标准，从而帮助管理日益复杂的问题，为实现欧盟绿色新政提出的到 2050 年在建筑领域实现温室气体中和的政治目标。以及中国在 2030 年前达到二氧化碳排放峰值并在 2060 年前实现二氧化碳中和的政治目标作出贡献。

了解建筑物的全部环境成本，将此作为发展的基础。变革的一个关键杠杆是围绕满足关键的社会需求调整建筑经济的重点，同时抑制不必要的过度生产，从而避免出现未充分利用或空置的建筑，造成高昂的环境和社会成本。需求往往可以在现有建筑中得到满足。政策应抑制拆除行为，消除对建筑再利用、再使用、改造、扩建和密集化的监管障碍，促进城市的紧凑、混合使用和以人为本，同时避免或减少与新建建筑和城市扩张相关的碳排放、材料投资和进一步的环境干扰。一个关键的政策杠杆是在规划阶段进行环境影响评估，承认并评估现有建筑的内含碳量，从而抑制拆除行为。丹麦等国的创新规划立法^[137]表明，数字化、易于获取的工具可帮助将全生命周期碳核算纳入主流，为将规划许可与碳预算（当地确定的最大碳排放和资源消耗目标）挂钩奠定基础，并有助于：①在可节省排放和资源的情况下，优先考虑现有建筑的再利用、

翻新或者扩建，而非拆除；②在可能的情况下，激励优先使用可持续的自然材料和回收产品，而非传统的高能耗和碳密集型材料。

使用新材料进行规划和设计。由于改进了隔热性能和其他措施，建筑物运行（供暖、制冷、热水等）造成的温室气体排放比例正在不断下降^[4]，据预测，这一比例将从目前的 70% 下降至 50%。因此，建筑物的环境足迹中越来越重要的一个因素是建筑物的隐含碳排放量，即建造和安装所需材料的开采和生产所产生的排放量。因此，新建建筑和翻新建筑材料的选择对于实现预期的碳减排、资源效率和零污染目标至关重要。指导方针和数字化规划与评估工具对于将气候友好型和资源节约型设计主流化至关重要，可确保在建筑物的整个生命周期内最大限度地减少碳排放，优化材料效率和废物减量，并提供广泛的可持续材料选择。

气候友好型材料应遵循“避免—替代—改进”的模式。一方面应利用需求杠杆来避免不必要的材料投资，另一方面应充分利用各种努力来使主要由混凝土和钢材组成的城市建筑材料组合脱碳。这两项措施都不可能在短期内扭转建筑行业对气候的影响，因为大多数脱碳方案和低温温室气体强度到零温室气体强度的生产工艺仍处于试验到接近商业化的阶段^[138]，成本高昂，且尚未得到大规模验证。因此，除在使用混凝土和钢材时提高效率外，还需要对建筑行业进行系统性改革，同时用各种再生、生物基和土基材料取代大量的碳密集型材料需求，以满足迫切的住房和基础设施需求及全球现有住房的改造需求。这将包括基于自然的碳捕获力量和基于建筑的碳储存潜力，而不是将重点放在对生产和施工阶段可能产生重大影响的基本上未经证实的技术解决方案上。

建筑业从化石经济向生物经济过渡，为更均衡地分配社会经济机会提供了机遇。罗斯瓦格 - 克林格等^[139]证实，通过在建筑施工和长期维护中大量使用木材和木质材料，建筑行业在一定条件下可以实现温室气体中和。木材的使用可以抵消施工阶段大量减少的、必要的混凝土构件所产生的温室气体排放。目前正在开发遥感等数字工具和人工智能，以更好地评估和指导自然材料的可持续采购，评估数量和安全供应链，或帮助了解如何优化更广泛的自然材料的应用。可数字化评估的环境产品申报标准化系统可确保只有由可持续采购的可再生原材料（如生物基材料或二次材料）（在某些情况下是脱碳矿物材料）制成的建筑产品才能在市场上销售，并满足以下有关循环性的要求。

确保循环性。在设计阶段之外，相关数据记录和所有相关数据的长期可用性是确保翻新或新建结构的材料投资不会被浪费的关键。简单易用的标准化程序和文件，如产品和建筑护照、建筑数据库或数字孪生，是以经济可行的方式管理建筑材料循环的

关键因素。这些数字协议可以成为拆卸设计方法的一部分，提前规划未来的再利用性，并在后续建筑中逐级使用建筑部件，以最大限度地延长材料寿命和提高可回收性。在将这些工具纳入主流的同时，还需要进行监管干预：只有完全可回收或至少增加了可回收材料的比例、有害物质含量低、可多次使用、经久耐用且可修复的建筑产品才能投放市场^[140]。对建筑材料和结构以及建筑材料和产品的可回收性进行相关评估需要方法和原则。必须进一步制定这些方法和原则，并以与基本数据一样普遍适用的方式向利益相关者提供和传播^[141]。数字化支持、模块化、系列化的建筑和翻新对于通用建筑类型的翻新尤其具有前景。节约成本、缩短施工时间、为工厂生产高效采购材料、消除施工现场的浪费、提高回收材料的利用率以及模块的再利用都是经常提到的优势。

解决污染问题。建筑物及其建造、运行和拆除也会造成空气、水和土壤污染，从而导致相关污染，特别是在城市中心。要求用于翻新和新建的建筑材料必须保证基本不含有害物质，旨在解决化学品造成的污染问题。例如，从抹灰、外墙涂料（如杀菌剂）或屋顶防水卷材（如根部保护剂）中渗出的有机添加剂。建筑产品也是室内污染物的主要来源。由于建筑产品事后很难更换，在规划阶段选择材料和建筑产品时，需要了解建筑产品所含物质的相关知识。这可能包括事先对建筑产品进行检测，只有这样才能做出明智的决定，避免日后采取成本高昂的拆除措施。此外，无污染的建筑材料是其回收利用的先决条件^[140]。

让社会接受并创造动力。即使现在很多技术已经可以实现，但社会讨论和接受度以及政治手段和措施也很重要。可持续性证书、最佳实践范例、生态标签或奖项可以提高公众意识。以市场为基础的手段，如二氧化碳影子价格、可持续融资手段或货币激励措施，可以支持建筑业主选择可持续材料和施工方法。针对公共建筑业主的规范是影响市场的一种选择。此外，还有许多可能的监管措施，如碳足迹阈值、低排放要求、能效要求等。

（五）绿蓝城市促进气候适应、生物多样性保护和人类福祉

鉴于世界范围内持续的城市化以及气候变化和生物多样性丧失等多重危机，城市绿地在国际上越来越受到重视^[142-145]。基于自然的解决方案，包括蓝色（水）和绿色（植被）基础设施，对于减缓、适应、人类福祉和城市生物多样性至关重要。它们可提供多种生态系统服务，如调节温度、水量平衡、改善空气质量、提供娱乐和社交空间等^[146]。因此，城市蓝绿基础设施是城市生活和环境质量的关键因素，与技术、数字和社会基础设施同等重要。

必须根据五项规划原则战略性地开发和维护城市绿蓝基础设施，这五项原则包括提高质量、创建绿蓝城市网络、促进多种用途、同步开发绿色和灰色基础设施以及鼓励跨机构合作与协作^[147]。实施手段包括城市、开放空间和部门规划工具，以及为建立和管理城市蓝绿色基础设施提供充足的资金。另一个重要手段是将开放空间供应的量化水平以及绿色和蓝色空间的可达性与质量要求相结合。维也纳就是一个最佳实践范例，该市规定了绿地和开放空间供应参数，作为城市扩建项目和现有城市结构的最低量化要求。

关于气候变化不可避免的影响，城市密集的人口和重叠的基础设施增加了气候诱发的风险，尤其是热浪或暴雨造成的风险。与此同时，如果将气候适应理解为一个转变过程，而不是任何城市基础设施抵御外部影响的能力，那么城市将为利用气候适应、公共服务和环境保护之间的协同作用提供许多机会^[132]。海绵城市概念侧重城市绿蓝基础设施在城市水循环中的功能，旨在提高城市的抗灾能力^[148]。它标志着一种范式的转变，即从传统的将水尽快排出城市的方法转变为重新思考城市空间的能力，即分散储存雨水、允许雨水渗入或以较低的速度排出雨水。这样可以缓解废水处理基础设施的压力，使其更具弹性^[149-150]。此外，雨水还可用于管理城市植被，从而节约淡水资源。

数字解决方案能够以多种方式支持城市生物多样性、基于自然的解决方案和蓝绿色基础设施的建模、规划和监测。遥感技术有助于绘制城市蓝绿色基础设施地图，作为支持城市规划过程的绿地信息系统的数据基础。例如，德国的 Urban Green Eye 项目旨在建立用于确定气候适应相关参数的卫星数据，作为市政管理和规划过程的工具^[151]。数字气候建模工具有助于估算现有和新建建筑结构对未来气候的影响。此外，数字解决方案还可支持城市绿色基础设施的管理，如通过与天气预报的耦合优化雨水管理，或利用传感器监测树木状况。

利用机器学习了解城市形态特征和温度变化

Zekar 等最近的一项研究（2023 年）^[152] 调查了城市形态特征如何影响柏林、苏黎世和塞维利亚环境温度的时空变化。该研究探讨了了解城市热岛效应及其对当地气候条件影响的重要性。通过比较不同的城市形态，旨在找出造成所研究城市环境温度变化的主要特征。为了开展研究，使用机器学习模型分析了城市形态特征与环境温度变化之间的关系。所提出的模型能够绘制出城市内部的温度差异和空间变暖模式，并为受影响地区的决策提供有价值的见解。

分析土地利用对白天和夜间的影响表明,柏林的水体和植被对白天的气温影响很大,最多可降低 2°C 。相反,密集发展区的存在在夜间气温波动中非常明显,对城市变暖产生了显著影响。所绘制的热图提供了对城市单位层面小气候的详细了解,有助于确定需要有针对性气候解决方案的优先区域,以降低热强度,尤其是在易受不利影响的社区。

1. 城市地区生物系统的质量和稳定性

城市生态系统是城市居民与周围生物和非生物环境相互作用而形成的一类具有一定功能的网络结构,也是人类在改造和适应自然环境的基础上建立起来的特殊的人工生态系统,由自然系统、经济系统和社会系统复合而成,这三大系统之间通过高度密集的物质流、能量流和信息流相互联系,其中人类的管理和决策起着决定性的调控作用。城市生态系统作为人类起主导作用的人工生态系统,其人为性、开放性和不完整性决定了它的脆弱性。增加物种数量和营养结构的复杂程度,可提高城市生态系统抵抗力与稳定性。当前,城市生态系统质量提升的重点在于增加城市生物多样性,减少硬化空间,发展海绵城市,加大城市代谢途径研究,维持城市生态系统的稳定性,并提升其韧性。

根据生态优先、绿色发展的要求,中国实施加强生态保护修复、提升生物多样性和生态系统功能、促进人与自然和谐共生、保障经济社会可持续发展等国土空间管控的自然资源管理实践,确定了生态环境管控的“三线一单”和城市发展的国土空间规划融合管理体系,基于生态保护、农业生产、城镇建设3类空间划定需求,差异化构建评价体系,将土地资源、水资源、矿产资源及环境、生态、灾害6个单项要素,集成为国土空间在生态保护、农业生产、城镇建设3个功能指向下的承载能力等级,确定城市发展定位和规模,整合自然、绿色基础设施与无生命的灰色基础设施,构建集生物多样性保护、水土气安全、防灾避险、文化休闲等功能于一体的生态网络,提升城镇空间生态景观的连通性,促进城镇内部的水系、绿地和城镇外围的河湖、森林、耕地之间的联系,形成协同共生的生产生活生态支撑体系。

2. 基于生物多样性的城市公园建设与管理

世界工业化、城市化进程在创造巨大的物质财富和精神文化的同时,也产生了城市空间无边界扩张、要素资源低效率占用、公共服务供给不足、城市形态千城一面等必须正视和解决的严峻挑战,亟待全新的城市理念和城市形态来提供“整体解决方案”。城市公园的建设,要以瞄准公园城市的发展需求,统筹城市管理人口和服务人

口需求，构建绿色生活生态消费应用场景，推行小尺度街区、人性化空间、窄密路网和口袋公园。

传统的城市公园往往作为城市景观或城市绿色基础设施，满足城市居民的休闲需要，提供休息、游览、锻炼、交往，以及举办各种集体文化活动的场所。因此，城市公园往往是政府财政投资驱动下进行建设的，是投资导向的，但并未形成良好的经济效益。公园城市，就是希望通过数字技术手段展示城市的真实特征，通过整合、调配与设计各类资源要素提升城市品质，让“人”获得更好的居、业、游体验。公园城市建设的核心就是要充分利用数字化技术生成空间形态方案，建立“人行活动”与“城市空间形态”的相互作用路径，统筹城市空间的生态营造、人文营造、产业营造，推进以数字产业、生态居住为主导的产城融合，探索自然与人无界共生的未来城市。

六、政策建议

城市是人类文明的核心，其创造了超过 80% 的社会财富和 90% 的技术成果。然而，人口和经济活动在城市地区的集聚也带来了社会痛点、环境退化等挑战。进入 21 世纪第二个十年后，人工智能领域的创新变得日益重要，为更好地了解城市进程，并通过有针对性的激励措施适应未来发展创造了新的机会。面对气候变化和地缘政治对经济带来冲击，如何推动数字和绿色化双转型，实现超过 5% 的绿色经济增长是中国经济面临的挑战。围绕六大核心行动领域，本部分给出了一系列具有操作性的政策建议，帮助政策制定者推进城市的可持续性和数字化转型，并在最后提出了三项总体战略。

智慧城市的发展没有标准的解决方案。每个城市的人口、发展水平、经济结构、历史和文化各不相同，这决定了智慧城市建设的路径也千差万别。在完善智慧城市顶层设计的过程中，必须强调因地制宜、坚持务实导向、贯彻包容性可持续发展原则。在实际政策制定层面，中国城市应首先确定最重要的方针和战略，在提升技术效率的同时，发展充满活力的社会网络和社区。COVID-19 疫情期间的经验表明，网络和社区能够迅速应对新兴挑战并调动各种资源，成为城市韧性的强大源泉。

（一）行动领域之一：人工智能和数据治理

加强城市数据治理需要同时解决能力和控制两方面的问题。关键措施包括加强数字基础设施建设，以确保数据收集、存储和处理的能力强大且安全。进一步加强市政

数据治理，人为决策和领导的制度化至关重要。确保决策者信息畅通并能够解读复杂数据有助于保持透明度和推行问责制。此外，应促进学术界、行业和民间社团等各方利益相关者之间的合作，通过吸纳不同的观点和专业知识以增强治理框架。这有助于在城市规划项目中涵盖各种场景、降低参与门槛。具体而言，城市可以通过实施以下政策，健全和发展数据和人工智能治理能力。

1. 以人为本，以市场获得感为出发点，推动人工智能应用和数据治理

城市数字化转型过程中要以人为本，满足人民日益增长的物质和文化需求。随着城市发展，居民的需求不仅多样化而且质量越来越高。例如，对绿色交通出行的需求，对教育的需求。通过数字和绿色技术解决居民的刚性需求，在使居民拥有获得感的同时，能够带动新兴技术和产业的发展。

2. 控制算法，确保其服务于公共利益，并遵循道德和透明的使用原则

首先，确保算法的透明度，要求供应商和开发人员提供关于算法运作、决策及使用数据的清晰文档，同时对城市官员和公众开放。其次，应用监管框架来监督算法的使用，包括制定人工智能道德准则、进行定期审计以及设立独立监督机构进行合规性监测并防止偏见。再次，算法开源，促进行业审查和协作，允许公民和专家审查和改进这些系统。从次，建立反馈和补救机制，允许公民报告对算法决策的担忧，并确保这些问题得到有效解决。最后，制定并实施全面的数字隐私和安全框架，保护公民个人数据，确保透明度和问责制并防止数据滥用。该框架应包括数据收集、存储和共享的明确指导方针，以及预防数据泄露的严格措施。此外，还应定期进行审计和评估，以确保遵守隐私标准。

3. 改进数据治理，优化数据资源

数据是智慧城市运行的核心，是连接数字能力和解决方案的纽带。《数字中国建设整体布局规划》指出，为夯实数字中国的基础，一方面要建设充足且高效的数字基础设施，另一方面要促进数据资源的顺畅流通，这一原则同样适用于新型智慧城市建设，加强数据作为关键生产要素的赋能作用。应改善数据治理，强调数据共享，建立开放的数据管理系统，避免数据重复采集和封闭使用导致的“数据孤岛”问题和资源浪费，发挥数据促进民生及经济发展的作用。在数据收集方面，依托智能交通和智能能耗系统，加强对个人、家庭和组织层面的可持续性相关数据（如“碳足迹”和“碳信用额”）的收集。

4. 降低环境和社会风险

首先，与专业机构合作、关注性别角度、共享智慧城市数据，确保人工智能系统

的设计采用多样化的数据集，减少性别数据差距和偏见，提高城市发展的包容性。其次，定期评估智慧城市中人工智能和数字化工作对环境的影响，建立监测系统，跟踪数据中心和人工智能业务的能源消耗和碳排放，动态调整政策，保持数字增长和可持续发展目标之间的平衡。

（二）行动领域之二：绿色能源和工业基础设施

确保能源需求和能源供应能够灵活匹配，支持将间歇性可再生能源整合到能源系统中，依赖智能工业和智能家居系统，并辅以动态定价。具体来说，城市可实施以下政策，利用数字化手段改造能源部门和工业基础。

1. 针对城市经济绿色和可持续转型的目标，调整金融结构和资金流向

首先，有针对性地提供补贴和税收优惠，鼓励广泛采用数字服务和绿色技术，鼓励数据中心使用新建的可再生能源（太阳能、风能）供电。其次，引导公共和私人投资于绿色和数字技术研发，建立创新中心并形成战略合作伙伴关系。最后，促进公共部门、企业和学术界之间的合作，以开发可持续的商业模式。调整税收政策以鼓励绿色化和数字化解决方案。

2. 制定促进技术和基础设施发展的政策措施

首先，实施市场改革，消除绿色和数字技术应用的障碍。更新法规，整合可再生能源，支持分散式生产，促进工业、交通和废物管理等领域的创新。其次，协调地方和国家多层次治理体系，确保政策的一致性、资源分配的高效性，以及与气候目标的协同。最后，投资人工智能和数据驱动平台，优化工业系统和城市的可持续发展，在数据开发开放的过程中保护隐私。

（三）行动领域之三：智慧的、可持续的城市规划

将城市大脑技术融入城市规划，利用人工智能模拟和预测交通及建筑领域的干预措施对温室气体排放以及气候适应力的影响，提升城市发展的可持续性。促进人工智能在交通领域的应用，使用高分辨率的空间数据及先进的数据驱动方式，制定城市规划战略并指导城市可持续发展，提升居民生活质量。具体而言，城市可以通过实施以下政策，利用数字化手段发展可持续的城市规划。

第一，设计紧凑、绿色、空间灵活、环保出行及低噪声的智慧城市，其核心在于采用新的方式管理有限的城市空间。“三重城市内部发展”的规划模型促进了城市土地的重新分配，并与海绵城市理念相一致。基于人工智能的城市规划工具能够迅速

监测、评估、预测并指导低碳和有韧性的居民区建设，其发展潜力巨大。

第二，鼓励交通领域的数字化创新，同时解决因效率提升而可能产生的副作用。公共交通和私人出行方式构成了可持续城市交通系统的主干，对减少城市交通空间的需求至关重要。应研究城市出行数据、实施法律和财政机制、利用数字化手段提升城市交通的高效和安全性。

第三，发展标准和主流的存量建筑数字评估工具以及易获取的生命周期碳核算工具，用于确定建筑行业中的脱碳、降低有害物质、减少资源消耗，为可持续转型设定监测目标和指标，从而实现气候友好和以人为本的建筑环境。

第四，立法应明确低碳、可拆卸、零污染建筑的环境目标，通过财政激励与监管措施推动实施，并建立监测体系。逐步淘汰水泥、钢结构等高碳建材，并通过建筑教育领域的革新项目，积极倡导可再生建筑材料的广泛应用。此外，应向采用创新材料的建筑企业提供财政资助与风险缓释机制，以激发市场活力。在可持续智慧城市发展过程中，城市环境保护需融入监管，建筑转型配以可持续融资与激励，如可持续性认证、最佳实践及生态标签，共筑智慧绿色城市。

第五，从居住环境到城市区域，保护、开发和提升网络化、多功能和可接入的城市绿蓝基础设施。通过综合基础设施的规划和管理，为城市空间的开放性和便捷性设定量化指标，并通过可持续的融资支持来实现。数字工具应支持城市绿蓝系统的建模、规划和监测。

第六，借助数字技术创新，推动城市生态环境管理的系统化和协同化。未来城市建设应考虑将人工智能等数字技术有机嵌入城市生态环境治理。为此，应支持生态环境数据收集，鼓励城市居民采用可持续的生活和消费模式，为美丽中国建设和城市环境可持续发展目标的实现提供强大动力。

（四）行动领域之四：社会参与和包容

向市民提供数字素养培训项目，旨在提升其理解和批判算法系统的能力。通过引入参与式设计流程，让社区成员、专家及城市官员共同参与，确保算法开发过程中融入多元化意见，从而应对潜在偏见，并与社区价值观保持一致。此外，通过公众咨询、研讨会和论坛等形式让市民广泛参与，进一步揭开技术的神秘面纱，增强他们在治理过程中的主动参与度。具体而言，城市可通过实施以下政策来确保数字参与的普及性和社会发展的包容性。

1. 防止不平等现象加剧，促进社会公平规划

首先，为老年人、儿童和经济欠发达地区居民等弱势群体提供培训，确保他们能够享受到数字城市服务。其次，在利用数字技术解决城市挑战、促进城市发展的各个阶段融入性别平等因素。通过纳入所有性别的视角，智能设备能够平衡其使用数据中存在的偏见。

2. 构建高效有力的治理体系，以激励变革

首先，向政府提供科学研究成果，支持其在社区参与下设计可持续的智慧城市方案（实现知识自上而下的传递），同时开展城市间的同行评审。其次，在国家层面设计并推广员工培训项目，提升公务员的能力，使其能够支持绿色智慧城市的设计过程。最后，采用积极的参与方式，确保所有相关利益方的参与并提供包括性别预算在内的充足预算支持，以确保资源的公平分配。

（五）行动领域之五：知识生成和获取

建立数据门户网站，提供可持续发展相关指标的访问途径，通过预测性人工智能建模，采取循证气候行动。通过让公众获取数据并参与其中，可以提高城市可持续发展工作的透明度和包容性。此外，还应让数据使用方式更便捷。未来的城市应拥有研讨和实验的空间，使不同的参与者（市民、公司、科学家和雇主）都能根据自己的需求使用数据、创造知识。

1. 生成并提供与城市可持续发展相关的数据

首先，开发低碳城市规划预测模型，利用高分辨率空间数据和人工智能提高能源效率。人工智能方法可以确定低碳城市规划战略，例如，最大限度地减少新定居点，从而减少新增交通量。算法还可以通过分析建筑形态来推断建筑年代，并找出从节能改造中获益最多的旧建筑。这种数据驱动的洞察力能让城市更有效地分配资源，确保改造工作带来最大的环境效益。

其次，获取全面的移动性数据，包括 GPS 数据和交通使用模式，帮助城市规划者设计更高效的公共交通网络。通过分析这些数据，城市可以识别服务不足的区域，并优化交通路线，以减少与出行相关的温室气体排放。

最后，通过绘制城市热力图加强气候适应能力。详细的城市温度空间数据有助于识别极端天气事件中热应力最脆弱的区域。机器学习模型可以分析温度变化，并将其与城市形态特征（如绿地和建筑密度）相关联。这种方法使城市能够实施有针对性的干预措施，如在易受热浪影响的地区增加城市绿化，以缓解热浪的影响。

2. 支持技术应用的社会创新

首先，通过公共活动、教育和激励措施鼓励可持续发展行动，促进节能、可持续运输和减少废物排放。其次，支持开发以循环经济和可持续性为重点的商业模式，利用数字平台减少浪费，创造新的经济机会。

（六）行动领域之六：监测和学习

智慧城市指数是明确双转型长期愿景和方向的重要工具，用于衡量进展、在过程中进行灵活调整并评估成果。智慧城市指数应考虑一系列广泛的标准，以评估城市的数字化和绿色化进展。城市未来的任务之一应是研究现有各学科监测系统之间的协同效应，并确定可持续智慧指标。具体而言，城市可通过实施以下政策，推进可持续智慧城市的发展。

1. 制定针对具体城市的指标，综合监测数字化和可持续转型

首先，应尽早制定智慧城市指标，综合考虑发展（投入和产出）及其影响，将研究结果作为政府部门有针对性规划和决策的基础，并通过宣传和沟通提高公众意识^[35]。其次，反映每个城市的具体特点，确保政策的相关性和有效性。应由各利益相关群体共同设计制定指标及其收集方式。最后，在监测城市绿色化和数字化进程的框架中纳入伦理因素，考虑代际公正、社会公正、环境公正、财务公正、自治程度、诚实度和问责制等问题。

2. 改进现有的评估指标体系

《新型智慧城市评价指标》（GB/T 33356—2022）从两个角度对智慧城市建设进行评价：一是客观指标，包括公共服务、治理结构、生态宜居、信息基础设施、信息资源、产业发展、信息安全和创新发展；二是主观指标，即市民体验。该指标体系涵盖了智慧城市建设的各个主要方面，主要针对地级及以上城市。2019 年共有 275 个城市参与评估。目前，如何完善《新型智慧城市评价指标》（GB/T 33356—2022）中的“生态宜居”部分的内容和权重值得思考。

（七）总体战略

中国的智慧城市项目已覆盖全国各省、自治区、直辖市。所有副省级城市、95% 以上的地级市和 50% 以上的县级市都已正式规划建设智慧城市。近期，结合新基础设施建设，如 5G、大数据中心、人工智能和工业互联网等，智慧城市建设正在加速推进。据统计，2023 年中国智慧城市产业规模达到了 11 535.4 亿元。然而，尽管取得了巨大成就，

中国智慧城市和绿色城市的发展仍处于两条不同的轨道上。总体而言，智慧城市建设需要吸纳可持续发展因素，提供智能和可持续的解决方案，并推进关键技术的创新，促进数字化和绿色化转型的协同发展。

1. 实施以人为本的“可持续智慧城市”战略

中国城市需将“可持续智慧城市”理念作为下一阶段智慧城市发展的主要范式。为此，政府应成立专门的可持续智慧城市委员会，并将可持续性理念全面融入智慧城市建设的各项工作，涵盖环境层面（如温室气体排放、数据中心能耗、环境污染、电子废弃物等）、社会层面（如性别平等、隐私保护、数字弱势群体等）以及治理层面（科学决策、公众参与、透明度等）。需要将可持续性因素纳入智慧城市建设的各个阶段和各个方面，如数字能力建设投资、提供可持续解决方案和管理数据资源等。积极促进公民和组织的参与，加强社会网络和地方社区建设，确保智慧城市发展以人为中心。

2. 加快城市数字能力构建，提供可持续解决方案

可持续智慧城市的建设既要考虑数字能力的建设，也要考虑智慧和可持续解决方案的提供。城市数字能力包括信息与传播技术基础设施（硬件、软件）、信息与传播技术服务、城市人工智能系统（城市大脑、智慧城市管理中心）等方面；而智慧与可持续解决方案包括数字孪生城市、智慧交通、智慧能源、智慧工业园区等一般应用场景，解决地方特色城市问题和痛点的具体应用场景，以及各类弱势群体的特殊需求。提升可持续解决方案的数字能力既需要技术赋能，也需要制度创新。

3. 推动数字和绿色创新融合关键技术的突破

数字和绿色创新在推动经济和社会转型和升级中发挥着至关重要的作用。将人工智能等数字技术与绿色技术相结合，是实现中国城市可持续发展的关键。应通过对资源利用的更有效、快速的流程规划及基础设施的战略性使用以加强城市空间的弹性。进一步完善国家和部门创新体系，开发和部署促进数字—绿色创新相融合的关键技术。

七、结语

城市大脑是智慧城市运行的核心。在人工智能、大数据和云计算的推动下，城市大脑可以极大提高城市运行效率，为可持续发展奠定基础。其中的关键在于不仅要试点和单独的应用领域测试城市大脑，还要收集和分析其与城市可持续发展能力相结合的证据。然而，一个城市只有高效的大脑是不够的，还要有一颗温暖的心。这颗心关注环境和自然，热爱城市中的每一个人。既有高效的大脑，又有仁爱之心，是城

市成功实现数字化和绿色化双转型的关键。此外，双转型的核心是人，为了更好地服务于人对美好生活的追求，有效的市场和有为的政府都应发挥作用。在高效大脑和仁爱之心的指挥下，无形的手和有形的手将共同发挥作用，只有两者相互协作，才能创造可持续发展的城市未来。

参考文献

- [1] UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision[M]. New York: United Nations, 2018.
- [2] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector[EB/OL]. [2022-03-24]. <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>.
- [3] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Circular Economy as an Enabler for Responsible Banking: Circular Solutions to Achieve Climate Targets in the Buildings and Construction Sector[EB/OL]. [2024-07-24]. https://www.unepfi.org/wordpress/wp-content/uploads/2024/07/PRB_CE-nexus_buildings-supplement.pdf.
- [4] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Building Materials and the Climate: Constructing a New Future[EB/OL]. [2023-03-24]. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/43293>.
- [5] WORLD GREEN BUILDING COUNCIL. Beyond Buildings: An integrated approach to a sustainable built environment: the co-benefits of resources & circularity [EB/OL]. [2021-03-24]. <https://worldgbc.org/article/an-integrated-approach-to-a-sustainable-built-environment-the-co-benefits-of-resources-circularity/>.
- [6] WORLD GREEN BUILDING COUNCIL. Beyond the Business Case[EB/OL]. [2021-03-24]. <https://viewer.ipaper.io/worldgbc/beyond-the-business-case/?page=2>.
- [7] UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE. People-Smart Sustainable Cities[EB/OL]. [2020-03-24]. <https://unece.org/housing/smart-sustainable-cities>.
- [8] EDWARD GLAZER. The Triumph of the City (Chinese version)[M]. Shanghai: Shanghai Social Sciences Press, 2012.
- [9] SMITH A. The Wealth of Nations[M]. Hu Changming(trans), Chongqing: Chongqing Publishing House, 2015.
- [10] SCOTT A J, STORPER M. The Nature of cities: the scope and limits of urban theory[J]. International Journal of Urban & Regional Research, 2014, 39(1): 1-15.
- [11] ZHANG J. The Law of Scale: Exploring the Universal Law from Fragility to Urban Development[M]. People's Posts and Telecommunications Press, 2023: 117.
- [12] CONRAD A, DETROY S E, DROSS M, et al. Advancing the New European Bauhaus: Sustainable Mobility and Resilient Urban Spaces for a Better Quality of Life-the AdNEB project[J]. Environmental Law Network International Review, 2022, 22(4), 26-29.
- [13] KAACK L H, DONTI P L, STRUBELL E, et al. Aligning artificial intelligence with climate change mitigation[J]. Nature Climate Change, 2022, 12(6): 518-527.
- [14] CREUTZIG F, ACEMOGLU D, BAI X, et al. Digitalization and the Anthropocene[J]. Annual

- review of environment and resources, 2022, 47(1): 479-509.
- [15] EIGE. Gender Bias[EB/OL]. [2023-02-03]. <https://eige.europa.eu/thesaurus/terms/1155>.
- [16] O'CONNOR S, LIU H. Gender bias perpetuation and mitigation in AI technologies: challenges and opportunities[J]. *AI & Soc*, 2024, 39: 2045-2057.
- [17] GAUVIN L, TIZZONI M, PIAGGESI S, et al. Gender gaps in urban mobility[J]. *Humanit Soc Sci Commun*, 2020, 7: 11.
- [18] BUVINIC M, LEVINE R. Closing the Gender Data Gap[J]. *Significance*, 2016, 13(2): 34-37.
- [19] UN WOMEN. Country Fact Sheet China[EB/OL]. [2024-08-26]. <https://data.unwomen.org/country/china>.
- [20] UNESCO. The Race to Save Earth's Climate[EB/OL]. [2024-08-29]. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388971>.
- [21] GERMAN S, METTERNICHT G, LAFFAN S, et al. Intelligent spatial technologies for gender inclusive urban environments in today's smart cities[J]. *Intelligent Environments*, 2023: 285-322.
- [22] OECD, "China", in *Education at a Glance 2022: OECD Indicators*[EB/OL]. [2022-03-24]. <https://doi.org/10.1787/165b07ff-en>.
- [23] LEI B, YANG W, YAN Y, et al. Carbon Emission Reduction Evaluation of End-of-Life Buildings Based on Multiple Recycling Strategies[J]. *Sustainability*, 2023, 15: 15711.
- [24] SANDBERG, MARIA. Sufficiency transitions: A review of consumption changes for environmental sustainability[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 293: 126097.
- [25] PAULIUK S, HEEREN N, BERRILL P, et al. Global scenarios of resource and emission savings from material efficiency in residential buildings and cars[J/OL]. *Nat Commun*, 2021, 12: 5097. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25300-4>.
- [26] NIAMIR LEILA, OLGA IVANOVA, TATIANA FILATOVA, et al. Demand-side solutions for climate mitigation: Bottom-up drivers of household energy behavior change in the Netherlands and Spain[J]. *Energy Research & Social Science*, 2020, 62: 101356.
- [27] LEVESQUE ANTOINE, ROBERT C PIETZCKER, GUNNAR LUDERER. Halving energy demand from buildings: The impact of low consumption practices[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2019, 146: 253-266.
- [28] CREUTZIG FELIX, LEILA NIAMIR, XUEMEI BAI, et al. Demand-side solutions to climate change mitigation consistent with high levels of well-being[J]. *Nature Climate Change*, 2022, 12(1): 36-46.
- [29] WIEDENHOFER DOMINIK, BARBARA SMETSCHKA, LEWIS AKENJI, et al. Household time use, carbon footprints, and urban form: a review of the potential contributions of everyday living to the 1.5 °C climate target[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2018, 30: 7-17.
- [30] HOSSAIN MD, UZZAL S, THOMAS NG, et al. Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, 130: 109948.

- [31] KOUTAMANIS ALEXANDER, BOUKJE VAN REIJN, ELLEN VAN BUEREN. Urban mining and buildings: A review of possibilities and limitations[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2018, 138: 32-39.
- [32] ATANASOVA NATAŠA, JOANA A C, CASTELLAR, et al. Nature-Based Solutions and Circularity in Cities[J]. *Circular Economy and Sustainability*, 2021, 1(1): 319-332.
- [33] PRIVITERA RICCARDO, GIANPIERO EVOLA, DANIELE LA ROSA, et al. Green Infrastructure to Reduce the Energy Demand of Cities[M/OL]//Palme M, Salvati A. *Urban Microclimate Modelling for Comfort and Energy Studies*. Cham: Springer International Publishing, 2021: 485-503[2023-12-04]. http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-65421-4_23.
- [34] MASTRUCCI ALESSIO, LEILA NIAMIR, BENIGNA BOZA-KISS, et al. Modeling Low Energy Demand Futures for Buildings: Current State and Research Needs[J]. *Annual Review of Environment and Resources*, 2023, 48(1): 761-792.
- [35] DAIQLOU VASSILIS, EFSTRATIOS MIKROPOULOS, DAVID GERNAAT, et al. Efficiency improvement and technology choice for energy and emission reductions of the residential sector[J]. *Energy*, 2022, 243: 122994.
- [36] NIAMIR LEILA, GREGOR KIESEWETTER, FABIAN WAGNER, et al. Assessing the macroeconomic impacts of individual behavioral changes on carbon emissions[J]. *Climatic Change*, 2020, 158: 141-160.
- [37] PACHAURI SHONALI, MIGUEL POBLETE-CAZENAVE, ARDA AKTAS, et al. Access to clean cooking services in energy and emission scenarios after COVID-19[J]. *Nature Energy*, 2021, 6(11): 1067-1076.
- [38] LAKE ANDREW, BEHNAZ REZAIE, STEVEN BEYERLEIN. Review of district heating and cooling systems for a sustainable future[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 67: 417-425.
- [39] CREUTZIG F, J ROY, P DEVINE-WRIGHT, et al. “Chapter 5: Demand, Services and Social Aspects of Mitigation.” in *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, 2022.
- [40] NIAMIR LEILA, KEYWAN RIAHI, ELINA BRUTSCHIN, et al. Cities Transformation[R/OL]. Zenodo, 2024[2024-09-12]. <https://zenodo.org/records/11445181>. DOI:10.5281/zenodo.11445181.
- [41] DEQUAIRE XAVIER. Passivhaus as a low-energy building standard: contribution to a typology[J/OL]. *Energy Efficiency*, 2012, 5(3): 377-391.
- [42] ÜRGE-VORSATZ DIANA, RADHIKA KHOSLA, ROB BERNHARDT, et al. Advances Toward a Net-Zero Global Building Sector[J]. *Annual Review of Environment and Resources*, 2020, 45(1): 227-269.
- [43] AL-OBAIDI KARAM M, MOHATAZ HOSSAIN, NAYEF A M ALDUAIS, et al. A Review of Using IoT for Energy Efficient Buildings and Cities: A Built Environment Perspective[J]. *Energies*, 2022, 15(16): 5991.

- [44] WILSON CHARLIE, LAURIE KERR, FRANCES SPREI, et al. Potential Climate Benefits of Digital Consumer Innovations[J]. *Annual Review of Environment and Resources*, 2020, 45(1): 113-144.
- [45] SHABANPOUR RAMIN, NIMA GOLSHANI, MOHAMMAD TAYARANI, et al. Analysis of Telecommuting Behavior and Impacts on Travel Demand and the Environment[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2018, 62: 563-76.
- [46] CREUTZIG F, BAIOCCHI G, BIERKANDT R, et al. Global typology of urban energy use and potentials for an urbanization mitigation wedge[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, 12(20), 6283-6288.
- [47] LOGAN T M, M H HOBBS, L C CONROW, et al. The X-Minute City: Measuring the 10, 15, 20-Minute City and an Evaluation of Its Use for Sustainable Urban Design[J]. *Cities*, 2022, 131: 103924.
- [48] LOPEZ-CARREIRO IRIA, ANDRES MONZON, ELENA LOPEZ, et al. Urban Mobility in the Digital Era: An Exploration of Travellers' Expectations of MaaS Mobile-Technologies[J]. *Technology in Society* 63:101392. doi: 10.1016/j.techsoc.2020.101392.
- [49] ALLAM Z BIG DATA, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AND THE RISE OF AUTONOMOUS SMART CITIES[M]. In: *The Rise of Autonomous Smart Cities. Sustainable Urban Futures*. Palgrave Macmillan, Cham, 2021.
- [50] CHANDLER C. Contested autonomy in “smart” and “inclusive” innovation: test-driving transportation technology and policy in Pittsburgh[J]. *Urban Geography*, 2023, 44(8): 1608-1627.
- [51] BROCHLER R, SEIFERT M. STP Development in the Context of Smart City[J]. *World Technopolis Review*, 2019, 8(2): 74-81.
- [52] TIMEUS K, VINAIXA J, PARDO-BOSCH F. Creating business models for smart cities: a practical framework[J/OL]. *Public Management Review*, 2020, 22(5): 72-745. <https://doi.org/10.1080/14719037.2020.1718187>.
- [53] SMITH A, MARTÍN P P. Going beyond the smart city? Implementing technopolitical platforms for urban democracy in Madrid and Barcelona[M]. In: *Smart sustainable city Transitions*. Routledge, 2022: 280-299.
- [54] ERSOY A , ALBERTO K C. Understanding urban infrastructure via big data: the case of Belo Horizonte[J]. *Regional Studies Regional Science*, 2019, 6(1):374-379.
- [55] YE L, PAN S L, WANG J WU, et al. Big data analytics for sustainable cities: An information triangulation study of hazardous materials transportation[J]. *Journal of Business Research*, 2021, 128(5): 381-390.
- [56] NOESSELT N. City brains and smart urbanization: regulating “sharing economy” innovation in China[J]. *Journal of Chinese Governance*, 2020, 5(4): 546-567.
- [57] DE JONG M, JOSS S, TAEIHAGH A. Smart city development as spatial manifestations of 21st century capitalism[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2024, 202: 123299.
- [58] ALBERT C, BUSTOS P, PONTICELLI J. The Effects of Climate Change on Labor and Capital

- Reallocation (No. w28995)[J]. National Bureau of Economic Research, 2021.
- [59] LUPU D, MAHA L G, VIORICA E D. The relevance of smart cities' features in exploring urban labour market resilience: the specificity of post-transition economies[J]. *Regional Studies*, 2023, 57(12): 2406-2425.
- [60] CAO Y, HU Y, LIU Q, et al. Job creation or disruption? Unraveling the effects of smart city construction on corporate employment in China[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2023, 195: 122783.
- [61] CORTES G M, JAIMOVICH N, SIU H E. Disappearing routine jobs: Who, how, and why? [J]. *Journal of Monetary Economics*, 2017, 91: 69-87.
- [62] ACEMOGLU D, RESTREPO P. The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment[J]. *American Economic Review*, 2018, 108(6): 1488-1542.
- [63] SULICH A, SOODUCHO-PELC L. The circular economy and the Green Jobs creation[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(10): 14231-14247.
- [64] VONA F. Labour markets and the green transition: a practitioner's guide to the task-based approach[M]. Publications Office of the European Union, 2021.
- [65] BARBIERI N, CONSOLI D. Regional diversification and green employment in US metropolitan areas[J]. *Research Policy*, 2019, 48(3): 693-705.
- [66] HOFMAN J, BRUCKMAYER M, FEYERABEND K, et al. Green Jobs and Skills Development for Disadvantaged Groups[EB/OL]. [2022-03-24]. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA1603-1.html.
- [67] SULICH A, RUTKOWSKA M, POPŁAWSKI Ł. Green jobs, definitional issues, and the employment of young people: An analysis of three European Union countries[J]. *Journal of Environmental Management*, 2020, 262: 110314.
- [68] PHILBECK T, DAVIS N. The Fourth Industrial Revolution: Shaping a New Era[J]. *Journal of International Affairs*, 2018, 72(1): 17-22.
- [69] SCHWAB K. The Fourth Industrial Revolution[M]. World Economic Forum, 2016.
- [70] ITO A. Digital China: A Fourth Industrial Revolution with Chinese Characteristics? [J]. *Asia-Pacific Review*, 2019, 26(2): 50-75.
- [71] WU H X, YU C. The impact of the digital economy on China's economic growth and productivity performance[J]. *China Economic Journal*, Routledge, 2022, 15(2): 153-170.
- [72] LI Z, WANG J. The Dynamic Impact of Digital Economy on Carbon Emission Reduction:Evidence City-level Empirical Data in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 351: 131570.
- [73] WANG J, MA X, ZHANG J, et al. Impacts of digital technology on energy sustainability: China case study[J]. *Applied Energy*, 2022, 323: 119329.
- [74] ZHU Y, LAN M. Digital economy and carbon rebound effect: Evidence from Chinese cities[J]. *Energy Economics*, 2023, 126: 106957.

- [75] BOTSMAN R, ROGERS R. What's Mine Is Yours: The Rise of Collaborative Consumption[M]. Harper Collins, 2010.
- [76] LI D, SCHOENHERR T. The institutionalization of sharing economy platforms in China[J]. *Journal of Operations Management*, 2023, 69(5): 764-793.
- [77] MARUKAWA T. Sharing economy in China and Japan[J]. *The Japanese Political Economy*, 2017, 43(1-4): 61-78.
- [78] CENTOBELLI P, CERCHIONE R, VECCHIO P D, et al. Blockchain technology for bridging trust, traceability and transparency in circular supply chain[J]. *Information & Management*, 2022, 59(7): 103508.
- [79] FRANCISCO LUIS B-M, PEDRO VÍCTOR N-C-U, VALENTÍN M-M, et al. Blockchain as a Service: A Holistic Approach to Traceability in the Circular Economy[M]. In: S. S. Muthu (Ed.), *Blockchain Technologies for Sustainability*. Springer, 2022: 119-133.
- [80] GIOVANARDI M, KONSTANTINOU T, POLLO R, et al. Internet of Things for building façade traceability: A theoretical framework to enable circular economy through life-cycle information flows[J/OL], *Journal of Cleaner Production*, 2023, 382: 135261. [https://doi: 10.1016/j.jclepro.2022.135261](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135261).
- [81] VOULGARIDIS K, LAGKAS T, ANGELOPOULOS C M, et al. Digital product passports as enablers of digital circular economy: A framework based on technological perspective[J]. *Telecommunication Systems*, 2024, 85(4): 699-715.
- [82] WANG Q, SU M, LI R. Is China the world's blockchain leader? Evidence, evolution and outlook of China's blockchain research[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 264: 121742.
- [83] TSENG F-M, LIANG C.-W, NGUYEN N B. Blockchain technology adoption and business performance in large enterprises: A comparison of the United States and China[J]. *Technology in Society*, 2023, 73: 102230.
- [84] CHEN X, LLOYD A D. Understanding the challenges of blockchain technology adoption: Evidence from China's developing carbon markets[J]. *Information Technology & People*, 2025, 38(3): 1328-1362. <https://doi.org/10.1108/ITP-05-2021-0379>.
- [85] HAWLITSCHKE F, NOTHEISEN B, TEUBNER T. The limits of trust-free systems: A literature review on blockchain technology and trust in the sharing economy[J]. *Electronic Commerce Research and Applications*, 2018, 29: 50-63.
- [86] CHEN Y.-C. Effects of urbanization on municipal solid waste composition[J]. *Waste Management*, 2018, 79: 828-836.
- [87] MA M, TAM V W Y, LE K, et al. Challenges in current construction and demolition waste recycling: A China study[J]. *Waste Management*, 2020, 118: 610-625.
- [88] WU Z, ZHANG Y, CHEN Q, et al. Attitude of Chinese public towards municipal solid waste sorting policy: A text mining study[J]. *Science of The Total Environment*, 2021, 756: 142674.
- [89] KURNIAWAN T A, LO W, SINGH D, et al. A societal transition of MSW management in Xiamen (China) toward a circular economy through integrated waste recycling and technological

- digitization[J]. *Environmental Pollution*, 2021, 277: 116741.
- [90] DEEP G. Digital transformation in the public sector: Opportunities and challenges[EB/OL]. [2023-12-03]. <https://ijsra.net/sites/default/files/IJSRA-2023-0995.pdf>.
- [91] MONIKA PALANI. Bridging the Digital Divide: Ensuring Equitable Access to Future Urban Technologies[EB/OL]. [2023-07-13]. <https://www.linkedin.com/pulse/bridging-digital-divide-ensuring-equitable-access-future-palani>.
- [92] TANVIR C. Identifying Challenges, Enabling Practices, and Reviewing Existing Policies Regarding Digital Equity and Digital Divide Toward Smart and Healthy Cities: Protocol for an Integrative Review [EB/OL]. [2022-12-08]. <https://www.researchprotocols.org/2022/12/e40068/>.
- [93] SUPERIOR ESSEX COMMUNICATIONS. Bridging the Digital Divide with Communication Infrastructure [EB/OL]. [2023-06-06]. <https://superioressexcommunications.com/news/bridging-the-digital-divide-with-communication-infrastructure>.
- [94] LEMONADECARES. How can city governments incorporate digitalization when building urban resilience? [EB/OL]. [2023-12-21]. <https://futureready.resilientcitiesnetwork.org/how-can-city-governments-incorporate-digitalization-when-building-urban-resilience/>.
- [95] THE WORLD ECONOMIC FORUM. Does digital public infrastructure work for women and girls? [EB/OL]. [2024-06-12]. <https://www.weforum.org/agenda/2024/03/digital-public-infrastructure-blessing-or-curse-for-women-and-girls/>.
- [96] AGBEKO MN, EFFAH J, BOATENG R. Digital Transformation Initiative in a Public Sector Organization[EB/OL]. (2024-06-17). <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/bitstreams/4fd87cf5-68ea-4efa-8413-cbf4d633d133/download>.
- [97] NAWEL LAFIOUNE. Managing urban infrastructure assets in the digital era: challenges of municipal digital transformation[J]. *Digital Transformation and Society*, 2024, 3(1): 3-22.
- [98] EHIMUAN B. Digital transformation: Governance and policy implications. *International Journal of Science and Research Archive*[EB/OL]. (2024-06-30). <https://ijsra.net/sites/default/files/IJSRA-2024-0061.pdf>.
- [99] NICK AWAD. Common Digital Inclusion Strategies[EB/OL]. [2023-09-22]. <https://www.accessibility.com/blog/common-digital-inclusion-strategies>.
- [100] GUSTAVO STREGER. What is digital equity? [EB/OL]. [2023-06-21]. <https://www.isocfoundation.org/2023/06/what-is-digital-equity/>.
- [101] LONDON PREMIER CENTRE. Digital Transformation in the Public Sector: Opportunities and Challenges[EB/OL]. 2023. <https://www.lpcentre.com/articles/digital-transformation-in-the-public-sector-opportunities-and-challenges>.
- [102] MCKINSEY COMPANY. Digital public services: How to achieve fast transformation at scale[EB/OL]. [2024-09-01]. <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Public%20and%20Social%20Sector/Our%20Insights/Digital%20public%20services%20How%20to%20achieve%20fast%20transformation%20at%20scale/Digital-public-services-How-to-achieve-fast-transformation-at-scale-vF.pdf>.

- [103] BANDHIYA I. Government Digitization: Transforming Public Sector[EB/OL]. [2024-02-01]. <https://evincedev.com/blog/government-digitization-for-revolutionizing-the-public-sector/>
- [104] SCHNEIDEWIND U, BAEDEKER C, BIERWIRTH A, et al. Näher, öffentlicher, agiler: Bausteine einer resilienten Post-Corona-Stadt, GAIA 29/2, 2020. https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7552/file/7552_Schneidewind.pdf.
- [105] MARIA BONDES, GENIA KOSTKA, WIEBKE RABE. ICT-based environmental participation in China: Same, same but digital? [J]. Environmental Science & Policy, 2024, 154: 103688. Accelerated Change and Resilience. Guidelines for the Development of Resilient Cities in the Digital Age, 2023.
- [106] ACCELERATED CHANGE AND RESILIENCE. Guidelines for the Development of Resilient Cities in the Digital Age[R], 2023.
- [107] PIKETTY T. Une breve histoire de l'egalite[M]. Seuil, 2021.
- [108] BRUSSEVICH M, DABLA-NORRIS E, LI B G. China's Rebalancing and Gender Inequality[R]. IMF, 2021.
- [109] YANG Y. Building gender equality into intelligent transport systems in China[EB/OL]. [2024-08-22]. <https://blogs.worldbank.org/en/eastasiapacific/building-gender-equality-into-intelligent-transport-systems-in-china> (accessed August 22, 2024).
- [110] WoRLD BANK. Assessment of gender impacts ofITS[R]. 2016.
- [111] CHRISTENSEN H R. Smart biking as gendered innovations and smart city experiment?: The case of Mobike in China[M]. In Gendering Smart Mobilities. London: Routledge, 2019: 210-228.
- [112] MARCHI G. China's women-only subway cars, where men rush in[N]. New York Times, 2018, 4.
- [113] ALLEN H. Approaches for gender responsive urban mobility: A sourcebook for policy-makers in developing cities[EB/OL]. Sustainable Urban Transport Project.
- [114] XU Z. The gig economy in China[M]//Ness, I. (Hrsg.), The Routledge Handbook of the Gig Economy (Chapter 27). Routledge, 2022.
- [115] KWAN H. Women's solidarity, communicative space, the gig economy's social reproduction and labour process: The case of female platform drivers in China[J]. Critical Sociology, 2022, 48(7-8): 1221-1236.
- [116] WANG L, KLUGMAN J. How women have fared in the labour market with China's rise as a global economic power[J]. Asia Pacific Policy Studies, 2020, 7(1): 43-64.
- [117] ROZELLE S, HELL N. Invisible China: How the urban-rural divide threatens China's rise[M]. University of Chicago Press, 2020.
- [118] XING J L. Why do some taxi drivers in China turn down e-hailing? [R]. MoLab Inventory of Mobilities and Socioeconomic Changes, 2022.
- [119] FENG L, HE Y, ZHAN P. Economic independence and living arrangements of older women with agricultural Hukou in China[J]. China Economic Review, 2023: 81.
- [120] CHU L. Gender disparities in health and well-being among older adults in China[J]. Journal of

- Women & Aging, 2023, 35(3): 299-317.
- [121] CHEN X, GILES J, WANG Y, et al. Gender patterns of eldercare in China[J]. Feminist Economics, 2018, 24(2), 54-76.
- [122] Li H, Kostka G. Navigating the digital age: The gray digital divide and digital inclusion in China[J]. Media, Culture & Society, 2024.
- [123] MACAYA J F M, DHAOU S B, CUNHA M A. Gendering the Smart Cities: Addressing gender inequalities in urban spaces[C]. Proceedings of the 14th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance, 2021: 398-405.
- [124] HAWKEN S, LEO S, GUDES O, et al. Gendering the Smart Cities: Addressing gender inequalities in urban spaces[C]. Proceedings of the 14th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance, 2021: 398-405.
- [125] SACHS J D, SCHMIDT-TRAUB G, MAZZUCATO M, et al. Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals[J]. Nature Sustainability, 2019, 2: 805-814.
- [126] GERMAN ENVIRONMENT AGENCY. Tomorrow's cities. Environmentally friendly mobility, low noise, green spaces, compact housing and mixed-use districts[EB/OL]. [2017-03-24]. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/tomorrows-cities>.
- [127] REITEMEYER E, FRITZ D, JACOBI N, et al. Quantification of urban mitigation potentials - coping with data heterogeneity[J]. Heliyon, 2023, 9(6).
- [128] SCHUBERT S, ECKERT K, DROSS M, et al. Triple Inner Urban Development - Definition, Tasks and Opportunities for an Environmentally Oriented Urban Development[R]. 2023. <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/triple-inner-urban-development-definition-tasks>.
- [129] BBSR/BMUB 2021: Smart City Charta. Neuauflage der Smart City Charta | Smart City Dialog (smart-city-dialog.de).
- [130] KEPPNER B, KAHLENBORN W, LIBBE J, et al. Smart Cities werden nachhaltig: Empfehlungen für den Bund[R]. [2020-03-24]. Dessau-Roßlau.
- [131] F CREUTZIG, S LOHREY, X BAI, et al. Upscaling urban data science for global climate solutions[J]. Global Sustainability, 2019.
- [132] GLOCK J-P, HARTL R, KRIEG M, et al. No Climate-Resilient Society Without a Resilient Transport System[M]//The Palgrave Handbook of Climate Resilient Societies.
- [133] BANISTER D. The sustainable mobility paradigm[J/OL]. Transport Policy, 2008, 15(2): 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005>.
- [134] BONGARD D, STILLER L, SWART A, et al. Sustainable Urban Transport: Avoid-Shift-Improve (A-S-I) [EB/OL]. [2019-04-24]. https://www.transformative-mobility.org/wp-content/uploads/2023/03/ASI_TUMI_SUTP_iNUA_No-9_April-2019-Mykme0.pdf.
- [135] ALBRECHT T, KÜHNE B, VERSE B. Digitalisierung und Automatisierung im Verkehr. Ein regulativer Rahmen für eine nachhaltige Entwicklung, 2023. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/digitalisierung-automatisierung-im-verkehr>.

- [136] NACHTIGALL F, WAGNER F, BERRILL P, et al. The built environment and induced transport CO₂ emissions: A double machine learning approach to account for residential self-selection [EB/OL]. [2023-12-24]. arXiv preprint arXiv:2312.06616.
- [137] MINISTRY OF SOCIAL AFFAIRS, HOUSING AND SENIOR CITIZENS' AFFAIRS. Supplementary agreement between the government (Social Democrats, Liberals and Moderates) and the Socialist People's Party, the Conservative Folkeparti, Enhedslisten, Radikale Venstre and Alternativet on national strategy for sustainable construction: Social-, bolig- og Ældreministeriet[M]. 2024.
- [138] LEE H, CALVIN K, DASGUPTA D, et al. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Intergovernmental Panel on Climate Change (2023): Sections[R]: IPCC, 2023.
- [139] ROSWAG-KLINGE E, NEUMANN E, KLINGE A. Climate impacts of wood/timber as a building material—investigated on three urban quarters in Germany (CIW) [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 1078(1): 12029.
- [140] BARTKE S, BECKEN K, BREITMEIER M, et al. Umwelt und Klima schützen - Wohnraum schaffen-Lebensqualität verbessern[EB/OL]. [2023-03-24]. <https://openumwelt.de/handle/123456789/1215>.
- [141] HILLEBRANDT A, SCHWEDE D A, Steretzeder J. Transformation zu einer zirkulären Bauwirtschaft als Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung: Position der Kommission Nachhaltiges Bauen am Umweltbundesamt (KNBau) [EB/OL]. [2024-06-03]. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/knbau_transformation_zu_einer_zirkulaeren_bauwirtschaft.pdf.
- [142] CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY/CBD. Decision X/22 Plan of Action on Subnational Governments, Cities and Other Local Authorities for Biodiversity[EB/OL]. [2010-10-29]. Nagoya. Decision X/22 (cbd.int).
- [143] CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY/CBD. Decision 15/12 Engagement with subnational governments, cities and other local authorities to enhance implementation of the Kunming- Montreal Global Biodiversity Framework[EB/OL]. [2022-12-29]. Montreal. Engagement with subnational governments, cities and other local authorities to enhance implementation of the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework (cbd.int).
- [144] EUROPEAN COMMISSION/COM/2013/0249 FINAL. Green Infrastructure (GI)—Enhancing Europe's Natural Capital[EB/OL]. [2013-05-06]. https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/index_en.htm.
- [145] EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL. Regulation of the European Parliament and of the Council on Nature Restoration and Amending Regulation (EU) 2022/869[EB/OL]. 2024. pdf (europa.eu).
- [146] KOWARIK I, BARTZ R, BRENCK M, et al. Ecosystem Services in the City-Protecting Health and Enhancing Quality of Life. Summary for decision-makers[EB/OL]. [2017-03-24]. 190507_

TEEB_De_Broschuere_KF_Bericht3_Stadt_engl_web.pdf (ufz.de).

- [147] BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ/BFN (Federal Agency for Nature Conservation). Urban green infrastructure—A foundation of attractive and sustainable cities. Notes for municipal practice[EB/OL]. 2024. Urban green infrastructure—A foundation of attractive and sustainable cities (bfh.de).
- [148] YU K. Letters to the Leaders of China: Kongjian Yu and the Future of the Chinese City[M]. New York: Terreform, 2018.
- [149] WONG T H F, BROWN R R. The water sensitive city: principles for practice[J]. Water Science and Technology, 2009, 60(3): 673-682.
- [150] CHAN F K S, GRIFFITHS J A, HIGGITT D, et al. “Sponge City” in China—a breakthrough of planning and flood risk management in the urban context[J]. Land Use Policy, 2018, 76: 772-778.
- [151] LUFTBILD UMWELT PLANUNG GMBH/LUP. Regionales Vegetations- und Flächenmonitoring für die Klimaanpassung [EB/OL]. [2022-03-24]. <http://urbangreeneye.de/>.
- [152] ZEKAR A, MILOJEVIC-DUPONT N, ZUMWALD M, et al. Urban form features determine spatio-temporal variation of ambient temperature: A comparative study of three European cities[J]. Urban Climate, 2023, 49: 101467.

第九章 环境与气候可持续投资创新机制¹

一、引言

中国绿色转型取得的成就，一定程度上体现了规模经济与市场竞争在绿色转型中所发挥的持续降低新能源成本的作用。然而，主要依靠现有成熟技术产业的产能扩张，推动绿色转型面临的挑战将越来越大。我们认为，主要有三个方面的原因：一是随着中国碳达峰任务即将完成，碳中和将成为绿色转型的主要目标，而实现碳中和主要依靠技术创新；二是随着绿色产业对土地资源需求的扩张，土地的规模不经济对发挥规模经济优势的制约作用将越来越大；三是全球各国在新的地缘政治格局下，更加强调安全而非经济效率，全球市场的碎片化限制中国绿色产业发挥规模效应。

随着绿色转型的任务发生变化，绿色金融也进入新阶段，即绿色技术的突破式创新。开展突破式创新最大的挑战是技术路线的不确定性。对于金融机构而言，不确定性意味着更大的风险。理论上，以资本市场为基础的直接融资系统对风险的承担能力更强，将不同风险偏好的资本与不同技术的融资需求的匹配效率更高，更适合支持中国绿色转型下一阶段的技术创新活动。因此，问题的关键在于如何推动资本市场更好地发挥枢纽功能，为绿色技术创新的新任务提供有效支撑。

研究中国资本市场如何支撑绿色技术创新至少还在两个层面有其重大意义。第一，从中国推动高质量发展的层面来看，研究金融支持绿色技术创新能够为金融支持新质生产力发展提供重要的实践经验。中国近期提出的新质生产力概念旨在推动经济结构的优化升级和实现经济高质量发展转型。新质生产力的内涵虽然仍在不断丰富，但其核心特征之一已明确指向推动经济社会可持续发展的能力。党的二十届三中全会更是将科技创新作为发展新质生产力的关键驱动力，并提出“构建同科技创新相适应的科技金融体制”^[1]，促进科技与金融深度融合。我们认为这充分说明金融体系向更适应

1 本章内容摘编自 2023—2024 年国合会“环境与气候可持续投资创新机制”专题政策研究项目主要研究成果。

突破式创新的体制转变是中国经济向高质量发展转型的必然要求。第二，从全球推动绿色转型的层面来看，研究中国资本市场支持绿色技术创新能够为发展中国家资本市场提供更切实的实践经验。一方面，根据国际能源署（IEA）的测算，到 2070 年累计需减少的二氧化碳排放量中，有近 35% 来自目前尚处于早期阶段的技术，如果不给予合适的金融支持，全球绿色转型将难以完成。^[2] 另一方面，根据 Pitchbook 的数据，全球私募股权市场在气候领域的投资中，气候科技相关的投资仅占 1/10 左右，且主要集中在美欧等发达经济体，中国是为数不多在气候技术领域有一定规模投资的发展中国家私募股权市场。而且，中国经验更接近发展中国家的国情，有更直接的借鉴意义。

自 2023 年以来，中金研究院与自然资源保护协会（NRDC）成立中外联合课题组，在“环境与气候可持续投资创新机制”这一主题下开展专题政策研究。2023 年，课题组聚焦如何推动主权资产所有者通过资本市场参与可持续投资，并引导更多资金流向绿色转型的相关领域。2024 年，课题组再次将视角放在了资本市场，但进一步聚焦中国绿色转型面临的新任务，即推动突破式创新。具体而言，课题组将重点梳理和分析：①中国绿色金融体系的发展历程，金融支持政策和低碳发展主要矛盾的匹配性；②厘清绿色技术创新的发展特征和政策支持体系，分析当前金融支持绿色技术创新的具体诉求；③探讨如何创建一个包容性的金融环境为绿色技术创新提供有效的支持。

二、绿色转型的新任务：突破式技术创新

中国绿色转型的成就主要归功于两点：首先，中国庞大的人口和经济体量制造业的发展提供了规模上的先天优势，特别是在推广成熟技术时，能够实现规模经济；其次，中国在绿色技术领域的投资并未形成市场垄断，确保了产能增长的同时，市场竞争也保持了活力。这种规模经济的优势为中国绿色产业的低成本生产提供了可能，而市场的竞争又助推了这一优势的实际体现。中国在绿色产能和制造业方面的低成本优势，对全球绿色转型起到了积极推动作用。尽管如此，依赖现有成熟技术的产能扩张来推动绿色转型，未来将面临更多挑战。这主要基于三个原因：首先，随着中国碳达峰目标即将实现，碳中和将成为新的转型目标，而这一目标的实现需要技术创新的支持；其次，随着绿色产业对土地资源需求的增加，土地规模的不经济性可能会成为制约规模经济优势的一个因素；最后，在全球新的地缘政治环境下，各国更注重安全而非单纯的经济效率，这可能导致全球市场的分化，从而影响中国绿色产业规模效应的发挥。

（一）中国着重在供给侧发力推动绿色转型

对于如何实现绿色转型的目标，各国尤其是大国间的选择并不完全一致（见图 9-1）。以经济规模相当且减排力度较大的中国与欧盟为例，欧盟主要是从需求侧发力，试图通过碳定价来减少化石能源使用，进而实现 2030 年排放量相比 2005 年下降 43% 的目标。2023 年欧盟将减排目标进一步提升至 62%，与之相应的是欧盟碳价达到了 80 ~ 100 欧元 /tCO₂ 排放的水平，远超中国碳价。^[3] 中国则主要从供给侧支持新能源汽车等绿色产业的发展，相关支持措施包括政府采购、购置税减免、动力电池白名单等；对于方兴未艾的储能领域，也有可再生能源配储要求、分时电价机制和电力市场机制等政策激励。美国的转型政策则介于中国和欧盟之间，最初集中于需求侧，现在则逐步引入供给侧政策。



图 9-1 公共政策的两条路径

资料来源：中金研究院，《从绿色转型看新质生产力发展：规模经济、产能过剩与国际贸易》，2024 年 5 月。

中国和欧盟的不同路径都有利于全球绿色转型，但二者的产业结果截然不同。中国以光伏和风电为代表的绿电产能快速增长，并带来了中国绿电价格不断下降。2009—2021 年中国政府对上网电价进行补贴，2021 年后由地方政府补贴接棒中央政府补贴。目前，中国部分新能源发电技术已经实现平价上网，没有补贴的发电成本也已低于燃煤。中国新能源汽车的产能也迅速增长，当前比亚迪电动车的年产量已经超过特斯拉，2023 年跃居全球第一。相比之下，欧盟的绿色产业发展滞后，从光伏和风电所衡量的新能源累计装机规模来看，过去十年欧盟从接近中国的 2 倍到目前仅有中国

的一半。虽然欧盟的碳价抬高了欧洲制造业的成本，提升了对绿色技术的需求，但是传统车企的成功和对传统汽车的市场依赖，也在很大程度上阻碍了欧盟新能源汽车技术的发展和扩散，结果是欧盟的新能源需求与中国和美国的新能源产能相结合，欧盟从中国和美国大量进口新能源产品。

（二）规模经济与市场竞争有效助力中国绿色溢价下降

中国绿色转型的成功，一定程度上体现了规模经济与市场竞争在绿色转型中所发挥的持续降低新能源成本的作用。

1. 绿色规模经济

到目前为止，中国的绿色转型主要依靠的是渐进式创新技术的持续产能扩张。对于成熟技术而言，扩大产能可以有效促进绿色溢价降低，而产能扩张中存在规模经济。规模经济是不少制造业中普遍存在的一种经济现象，即单位产品的成本随着生产和销售规模的扩大而下降。究其原因，通常与制造业的固定资本投入大、要求配套的基础设施有关。同时，制造业发展所伴随的知识积累、人力资本积累和产业集聚具有正外部性，使生产规模大的企业更多受益于现有经济中积累的正外部性。当绿色经济发展表现为相关制造业的产能扩张时，绿色经济的规模经济效应就比较突出。

中国由于具有巨大的人口规模和经济总量，因此具有发展制造业的规模优势。在上一阶段的绿色转型中，中国充分发挥了绿色制造业产能扩张的规模经济优势。以风电、光伏技术为例，20世纪80年代，二者已经出现主导设计并开始在欧美市场推广，相较而言，中国在技术和市场应用方面均是后发者。光伏方面，根据IEA测算，在光伏技术引入期研发对促进光伏应用成本下降的贡献超过60%，但随着晶硅太阳能光伏产品设计定型，产能扩张对降低应用成本贡献了近50%的成本降幅。^[3]中国于2009年开始实施“金太阳”示范工程，并在2011年推出标杆上网电价政策。在政策激励下，国内光伏装机量大幅提升，推动了国内光伏产能持续扩张。风电领域也是如此，2005—2009年中国国内政府对风电设备提出70%的国产化率要求，2009年起采取风电标杆上网电价政策（见图9-2），电装机量迅速增长。2023年，全国光伏和风电装机容量分别达6.1亿kW和4.4亿kW，跃升为中国火电后的第二、第三大电源，^[4]全国可再生能源总装机量历史性超过火电装机。锂电池和电动汽车领域，中国也通过渐进式创新和产能扩张享受了规模经济效应。通过对新能源汽车的大量补贴，中国电动汽车产量从2015年仅15万辆快速增长至2023年的450万辆，锂电池产能2023年据估算超过2600GW·h。



图 9-2 中国光伏、风电产业发展历程

资料来源：国际新能源网，国际能源网，《中国青年报》，北极星太阳能光伏网，《中国能源报》，WindEurope，中金研究院。

2. 竞争的力量

尽管中国对绿色产业进行了大量的补贴，但中国市场仍然是高度竞争性的。在风光电、新能源汽车、储能以及新材料电池等技术领域，中国的绿色投资从未导致市场垄断。这很大程度上基于三个原因。

第一，中国的市场规模巨大，可以容纳多家企业并产生激烈竞争。中国的宏观投资总额居世界各国首位。虽然中国的宏观消费率不及全球大部分国家，但是中国经济总量大，因此截至 2023 年，中国的消费总额仍然高居全球第二位，商品消费则位居全球第一。^[6] 巨大的投资和商品消费需求，孕育了巨大的本国商品市场。任何一家企业，其绿色产能都难以实现对国内市场的垄断，这是绿色产业竞争激烈的基础。

第二，中国的地方政府具有强烈的经济增长动机，广泛参与制定绿色转型的产业政策 and 从事绿色投资，因此中国绿色产业存在一定程度重复投资。带来的结果是，每个行业中存在众多企业，而产品市场的地方垄断基本被打破，因此保持激烈的市场竞争。

第三，中国存在充足的企业家精神和可用的创业资源。经过四十多年改革开放，民营经济在中国经济中发挥了重要作用。加上加入 WTO 后二十多年与国际市场和跨国公司的深层次交流合作，中国具有充足的企业家和企业家人才。较高的宏观储蓄率和强大的银行体系，使中国企业家较容易获得资金。20 世纪末的高等教育改革带来了大学的扩张，使中国在过去二十多年积累起了大量受过高等教育的人才，尤其是理工类和管理类专业人才，为企业提供了丰富的人力资源。

上述原因使中国的产能扩张过程伴随着充分的市场竞争。中国的规模经济优势使

中国绿色产业的低成本成为可能；而中国的市场竞争压力则使中国绿色产业的低成本成为现实。中国所积累的绿色产能和低成本绿色制造业，有利于全球绿色转型，是推动全球绿色转型的重要力量。

（三）中国绿色转型面临突破式创新的新任务

过去十多年，中国能够持续推进绿色转型的主要驱动力是绿色产业的快速发展。然而，主要依靠现有成熟技术产业的产能扩张，推动绿色转型的挑战将越来越大。一方面，在实现碳达峰后，中国的主要任务将转变为碳中和，而实现碳中和的技术目前大多还处在早期阶段。根据 IEA 的研究，全球约 35% 的减排量需要依赖尚未市场化的新兴技术，如氢能和碳捕集、利用与封存（CCUS）等。^[7] 相关的新兴产业目前仍处在引入期，其产品和技术工艺路线尚存较大不确定性，需要经历持续试错过程。另一方面，已处于成长期的绿色产业，虽然主技术路线相对确定，但是也需要持续进行创新升级。例如，风机大型化、光伏组件从 P 型向 N 型技术的转换，以及固态电池和锂硫电池等动力电池技术的多样化发展等，这些进步都凸显了技术创新在现阶段的重要性。

1. 新的绿色转型主线任务需要突破式技术创新

目前，中国绿色转型已经进入到新阶段的发展，表现为新兴绿色技术的初创期和成熟绿色技术的转型升级期并存，相对于上一阶段成熟绿色技术的扩产和规模化应用而言，在新阶段则以突破式创新为核心，因此尤其需重视研发投入。绿色技术创新的必要性来源于当前绿色技术面临的技术“瓶颈”、资源约束，以及实现净零排放的目标约束。

首先，光伏等现有绿色技术面临发展瓶颈，需要突破能效极限。当前光伏市场仍以第一代晶硅 PERC 电池技术为主，单晶硅 PERC 电池量产转换效率达到 23.5%，已经接近理论极限 24.5%。^[8] 光伏电池的突破式创新存在两大方向：通过材料替换向晶硅 N 型电池升级和第三代钙钛矿技术。得益于光伏产业链上下游的技术突破，2023—2024 年光伏电池光电转换效率由 23.2% 提升至 26% 以上，实现了 P 型向 N 型的市场转化，转化效率也已经接近理论极限 29.4%。^[9] 光伏电池的另一创新方向钙钛矿电池的潜力效率更高，最高可超过 50%，远高于晶硅 N 型电池的 29%，但是容易发生降解，稳定性差，还需进一步研发。

其次，仅依赖目前广泛市场化应用的清洁能源技术，无法实现净零排放的目标。IEA 预计到 2030 年，大部分碳减排能够通过目前已市场化的技术来实现，但展望 2060 年，大约 40% 的碳减排量需要运用目前开发中的新技术。^[10] 特别是在重工业和长途交

通运输领域，脱碳进程将主要依赖电气化、氢能、碳捕集、利用与封存（CCUS）技术以及先进生物燃料。IEA 测算表明为实现碳中和目标，中国需要在 2030 年之后大规模采用这些新技术。

1) CCUS：该技术是唯一能够大量减少工业流程温室气体排放的手段。IEA 指出，如果要在 2070 年实现全球净零排放目标，除能源结构调整之外，工业和运输行业有约 29 亿 t 二氧化碳需要利用 CCUS 进行储存和消纳。^[11] 在中国 2060 年实现碳中和的情景下，CCUS 年减排量约 10.41 亿 t，累积减排贡献为 14.6%。^[12]

2) 氢能一方面有助于难减排的钢铁、石化、交运等行业脱碳，另一方面可作为季节性长时储能的载体，进一步提升绿电渗透率。中国氢能联盟预计，2025 年中国氢能产业产值将达到 1 万亿元，上下游产业链年产值达到 12 万亿元，氢能在中国终端能源体系中的占比将超过 10%。^[13]

3) 终端电气化。中国碳中和目标，要求电气化覆盖几乎整个能源系统，直接实现 2020—2060 年累计减排量的 13%，并能通过提高能效，间接减少排放。终端能源消费中的电力占比在 2060 年提高到 70% 以上。^[14]

上述三类技术方向尚在发展初期，未形成主导技术，仍存在技术路线竞争，各国也在积极从事研究、示范和应用。除上述关键技术以外，仍有大量新兴绿色技术在研发初期，有待创新突破。根据 IEA 2020 年的统计，处在初始构想、小型试验、大型试验、示范阶段和早期应用的绿色技术数量远超目前已经实现成熟应用的绿色技术数量（见图 9-3）。

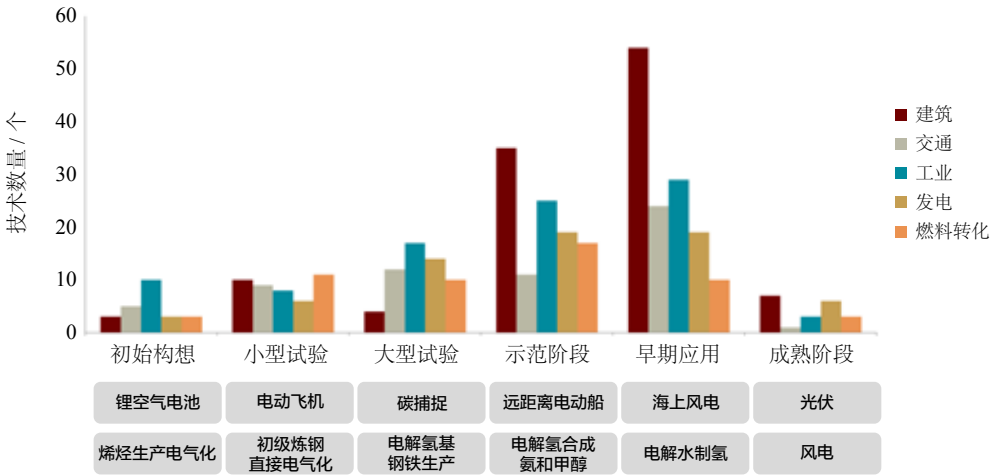


图 9-3 “ETP 清洁能源技术指引”中当前各阶段清洁能源技术数量（2020 年记录）

资料来源：ETP 清洁能源技术指引数据统计，国际能源署，中金研究院。

2. 土地的规模不经济制约新能源产业的规模经济优势

土地作为一种生产要素，往往具有规模不经济的特征。土地具有天然的排他性和竞争性，在生产中不产生规模经济所通常要求的正外部性。更重要的是，土地具有异质性，即肥沃程度不同和杜能所强调的区位差异。土地的异质性导致其规模报酬递减，即扩大生产规模将不可避免地使用肥力更差^[15]或区位更差的土地^[16]，导致单位面积产出下降或单位产品成本上升。这就是土地的规模不经济特性。在土地规模不经济的作用下，空间规模大小不同的经济体，在获取规模经济的能力方面具有不对称性。空间规模大的经济体具有更大的获取规模经济的能力，但随着规模扩大到一定程度，我们认为这种规模优势也将被土地的规模不经济抵消。

绿色转型导致经济对土地的需求大幅提升，土地规模不经济特性在绿色转型中更为显著。能源的生产需要土地，单位面积土地所产生的能量功率可衡量不同能源生产的功率密度。由于清洁能源的功率密度大幅低于化石能源，这意味着绿色转型需要更多的用地进行能源生产。相关研究估计¹，现阶段全球能源生产共占用0.4%^[17]的土地面积。即便是对能源需求较大的美国，化石燃料开采业仅约占国土面积的0.5%。^[18]有学者估算如果用清洁能源替代现有化石能源，所需土地将至少占到全球土地面积的2.6%，将是目前的6倍以上，几乎与印度的国土面积相当。^[19]同时，清洁能源对地形、光照和风力等自然条件有一定要求。光伏需要光照充足、集中连片的地区。这与粮食生产和保护生物多样性存在用地上的冲突。^[20]虽然中国仍有丰富的未利用土地，但2017年以来主要的新能源电力装机量几乎都位于农业和建设用地上。^[21]国际对比来看，中国的清洁能源对林地、湿地、灌木林地等类型的土地也存在较多使用，不利于保护生物多样性。^[22]为了降低土地的规模不经济，必须更多依赖突破式绿色技术创新来提高。

3. 地缘政治因素限制绿色经济的规模优势

全球各国在新的地缘政治格局下，更加强调安全而非经济效率。由此，世界经济呈现逆全球化的趋势。美国所推动的制造业回岸和友岸，也强化了业已存在的经贸壁垒。俄乌冲突也加剧了世界经济的逆全球化，一些国家表现出过度强调安全的倾向。

在这样的背景下，中国绿色转型通过财政补贴和政策性信贷而积累起来的绿色产能优势，可能一定程度上存在需求不足的问题。需要指出的是，全球绿色转型所需要的绿色产能远没有饱和；但是由于地缘政治风险的加剧，中国的绿色产能在对接其他国家的绿色需求时面临各种壁垒和额外的成本。这使中国绿色产能的扩张受到现实的

1 所需陆地面积为文章中乐观与悲观情形的均值。当前全部能源包括各类化石和清洁能源，但各自年份存在差别，具体可参考原文。

制约。中国要出口绿色产品，将更加依赖突破式绿色技术创新来确立市场优势地位，而不是基于产能扩张的规模优势和制造业的低成本优势。

三、绿色金融的新阶段：科技金融属性增强

随着绿色转型迎来支持突破式创新这一新任务，服务于绿色转型的绿色金融体系也应作出相应调整。理论上讲，绿色技术创新面临技术创新带来的正外部性，即创新活动和减碳活动都会给全社会带来额外利益，但这些利益并未在市场交易中得到相应的补偿，换句话说，市场机制无法充分激励企业进行绿色技术创新。只有通过实施有效的政策手段才能纠正市场失灵，使金融资源流入绿色技术创新领域。上一阶段的绿色转型以产能扩张为主线，对渐进式创新的需求更强，中国的绿色金融主要体现为政策性金融属性，纠正市场失灵的绿色金融政策主要围绕债权融资设计和实施。绿色金融新阶段，支持突破式创新应该主要依靠资本市场，政策干预资本市场本身的空间有限，这意味着绿色金融的科技金融属性增强。

（一）应对双重外部性需要绿色金融兼具双重属性

关于绿色金融的定义，中国央行和联合国环境规划署（UNEP）在 2015 年联合发布的报告将绿色金融定义为通过多种金融服务“将社会资金引导到环保、节能、清洁能源、清洁交通等绿色产业发展的一系列政策、制度安排和相关的基础设施建设”，^[23]这与 G20 在 2016 年的定义——“能产生环境效益以支持可持续发展的金融活动”^[24]——基本一致。简而言之，绿色金融涵盖了应对气候变化、环境保护和污染防治的各项金融活动安排。

绿色转型有双重外部性，体现在排碳的负外部性和转型过程中的绿色科技创新的正外部性。一方面，碳排放经济活动让私人受益，由此带来的气候变化和空气污染等损害由全体社会承担。这种负外部性使自由市场形成的商品和服务价格不符合社会利益，体现为化石能源的市场价格太低、消费量太高。另一方面，绿色科技创新有正外部性，绿色技术创新通过促进碳减排对环境产生积极影响，它还在绿色产品与服务的研发设计过程中产生新知识，带来知识溢出效应，进一步推动社会进步。绿色科技创新的正外部性代表着绿色技术创新不仅能为投资者带来经济收益，还能为社会创造难以量化的公共价值。由于私人投资者无法获得这些正外部性的全部收益，他们的投资规模会小于社会最优水平。因此，在外部性逐渐收敛的过程中，即绿色技术创新从基础研究

到商业化推广的阶段中，政府需要介入，通过补贴、税收优惠、法规制定等方式建立市场环境，将这双重外部性内部化，纠正市场失灵，吸引更多投资者的参与（见图 9-4）。

解决碳排放的外部性问题，一方面，需要依靠碳市场，把碳排放的社会成本转为用户成本，促使经济主体降低能耗，从使用化石能源转向使用清洁能源；另一方面，需要产业政策给予特定绿色行业产业支持，引导资金流向绿色领域，推动绿色产业的发展。现实的情况是，中国的碳市场建设尚不完善，活跃度不高，绿色金融主要是依靠以“财政补贴+优惠贷款”的形式，实现了对绿色产业的资源倾斜。由于在此过程中的绿色转型以政府为主导，因此绿色金融也是政策性金融。而为解决创新外部性问题也需要绿色金融发挥“科技金融的属性”，即构建以资本市场为枢纽的科技金融模式来促进绿色技术突破式创新。而突破式创新具有颠覆性强、发展路径不确定性高、失败风险大的特点，需要建设包容性的政策体系来指引资本市场对于绿色技术创新的支持。鉴于绿色技术的突破性创新在中国实现“双碳”目标中扮演着日益关键的角色，绿色金融的科技特征将逐步得到强化。

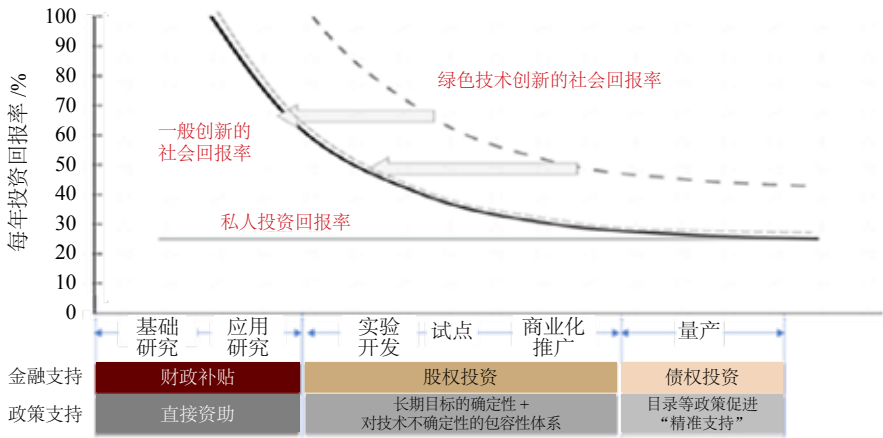


图 9-4 应对双重外部性，绿色技术领域科技金融需提供全链条支持

资料来源：中金研究院。

（二）在产能扩张阶段，主要体现为政策性金融属性

当光伏、风能等产业进入产能扩张阶段，资本开支将加速上升，这意味着与该产业自身发展的其他阶段相比，这一阶段对融资成本更加敏感，或者可以简单理解为“缺资金”时期。中国太阳能电池、风电、新能源车、锂电池等绿色产业过去一个时

期是处在这一发展阶段，因此，绿色金融的主要任务就是将更多、更低成本的资金引入这些产业，服务于这些产业的产能扩张。为实现产能扩张这一确定性产业发展目标，政策自然也应给予资本明确的方向指引。

一种有效的方式是为绿色领域提供财政补贴以快速促进绿色产品广泛应用。中国对新能源汽车行业的财政补贴，旨在降低其成本，提高市场竞争力，从而推动了清洁能源汽车的普及和绿色交通的发展。根据工业和信息化部发布的统计数据，从2010年政策起步到2020年，新能源汽车补贴已经超过1521亿元，至少覆盖了317万辆汽车。^[25]此外，自2006年起，中国就开始对可再生能源发电实行基于固定电价下的补贴政策，鼓励更多的企业和个人采用清洁能源。截至2021年初，中央财政已累计拨付可再生能源发电补贴资金超过6000亿元。^[26]

此外，还要引导资金流向需要确定资金流向的领域。中国的绿色金融政策在具体实践中主要是通过制定绿色项目分类目录，向金融机构发出明确信号，并按此目录建立激励和约束机制。具体而言，对于绿色信贷，2019年国家发展改革委等部委联合印发的《绿色产业指导目录（2019年版）》^[27]将节能环保产业、清洁生产产业、清洁能源产业作为绿色产业的核心内容，也结合国情将燃煤电厂超低排放改造、煤炭的清洁利用、煤炭消费的减量替代、符合国Ⅵ标准的汽油、柴油产品的生产等项目也纳入了绿色产业中，对绿色信贷投向起到了积极的引导作用。在绿色债券方面，2015年12月，中国人民银行发布《绿色债券支持项目目录》，标志着中国绿色债券市场正式起步。此后，《绿色债券支持项目目录（2021年版）》^[28]基于四级分类，覆盖节能环保、清洁生产、清洁能源、生态环境、基础设施绿色升级、绿色服务六大领域，并且在2015年版基础上取消了对化石能源清洁利用的支持。

另外，为提升市场的透明度，进一步加强绿色投资环境的确定性，中国的绿色金融体系也重在完善信息披露规范，防范“洗绿”的假转型风险，帮助绿色产业资金合规高效使用。例如，2012年，银监会印发《绿色信贷指引》^[29]，要求金融机构定期向金融统计监测管理信息系统报送绿色贷款专项数据；2018年，中国人民银行发布《关于加强绿色金融债券存续期监督管理有关事宜的通知》^[30]，强调了人民银行对存续期绿色金融债券的监管职责，要求金融机构和银行间市场交易商协会承担信息披露、完善、报送、修改等责任；2021年9月，中国人民银行发布首批绿色金融信息披露标准，即《金融机构环境信息披露指南》^[31]，覆盖商业银行、资管机构、信托公司和保险公司四类机构，针对服务产品创新、风险管理流程、环境风险测算表达等方面的信息披露制定了框架，并规定了披露的术语、频次和形式，为规范绿色金融披露提供了支持。

（三）为绿色技术创新，科技金融属性增强

1. 绿色技术创新具有高度不确定性

如前所述，CCUS、氢能、终端电气化技术等早期绿色技术将在中国碳中和的进程中发挥重要作用，但是，早期技术研发和筛选需要时间，并且由于缺少可遵循的经验，可行的技术路线也尚不明朗，具有较高的不确定性。具体而言有以下三点原因。

一是技术路线具有多元性，在细分标准上各有优劣，难以判断何种技术将率先突破、未来综合效益最高。早期技术路径的可能性较多，在理论层面上可以探讨各种技术的优劣，但预测哪条技术路线综合最佳、能够率先成功并大规模应用相当困难。同时，技术创新本身不确定性高，难以预测技术何时能够突破“瓶颈”，实现质变。此外，绿色技术往往涉及不同技术的组合应用，技术之间的互动关系增加了技术发展的不确定性，技术组合可能产生协同效应，但也可能因为技术的不匹配而导致整体性能下降。例如，CCUS 涉及捕集、输送、封存、利用四方面技术，理论上每方面都有多条技术路线能够实现目标，但大部分技术尚未能够进行推广应用。在捕获后的分离技术方面，化学吸收法已商业化数十年，但因溶剂再生能耗高和挥发性强一直尚未实现技术突破，同时，各科研机构也在探索电化学、膜吸收等新技术。^[32] 这些技术处于不同的研发阶段，在能耗、反应条件、持久性、吸附容量、应用领域方面各有优劣，无法直接判断出哪项技术综合最佳、值得更多关注和投入。氢能呈现相似的特征：在制氢方面，灰氢技术成熟、成本低，但化石能源紧缺、排放量高、杂质多需要提纯；而以零碳电力为基础的“绿氢”在电解水制氢和质子交换膜法方面也分别面临电解率低和催化材料成本高的挑战。同时，“蓝氢”的制备借助 CCUS 技术，技术的交叉融合使技术路线发展前景预测难度大大增加（见图 9-5）。

二是应用技术的初始成本高，成本可能体现在新材料、设备、基础设施等方面，商业化阻力大，技术难以在“干中学”中走向成熟，容易长期停滞在原型或示范阶段，不确定性持续时间长。CCUS 设备成本高，在现有技术条件下安装二氧化碳捕集装置后，火电成本将增加 0.26 ~ 0.4 元 / (kW·h)，吸收每吨二氧化碳将使煤电成本增加 140 ~ 600 元。^[36] 在氢能方面，中国绿氢上游生产多集中在华北、西北、东北等可再生能源较为丰富的地区，下游需求多分布在华东、华南等经济发达地区，而因氢气有易燃、易爆、易腐蚀、氢脆等缺点，需要依靠长距离、高安全性的储运技术才能实现氢能跨区域统筹利用。终端用能的电气化也面临高昂的成本，电气化意味着新型电力系统“源—网—荷—储”的整体更新换代，低碳发电设施、电力基础设施、终端电气化均将大规模扩展和改造，调整的复杂性和高成本可能会减缓绿色技术的采用。这种

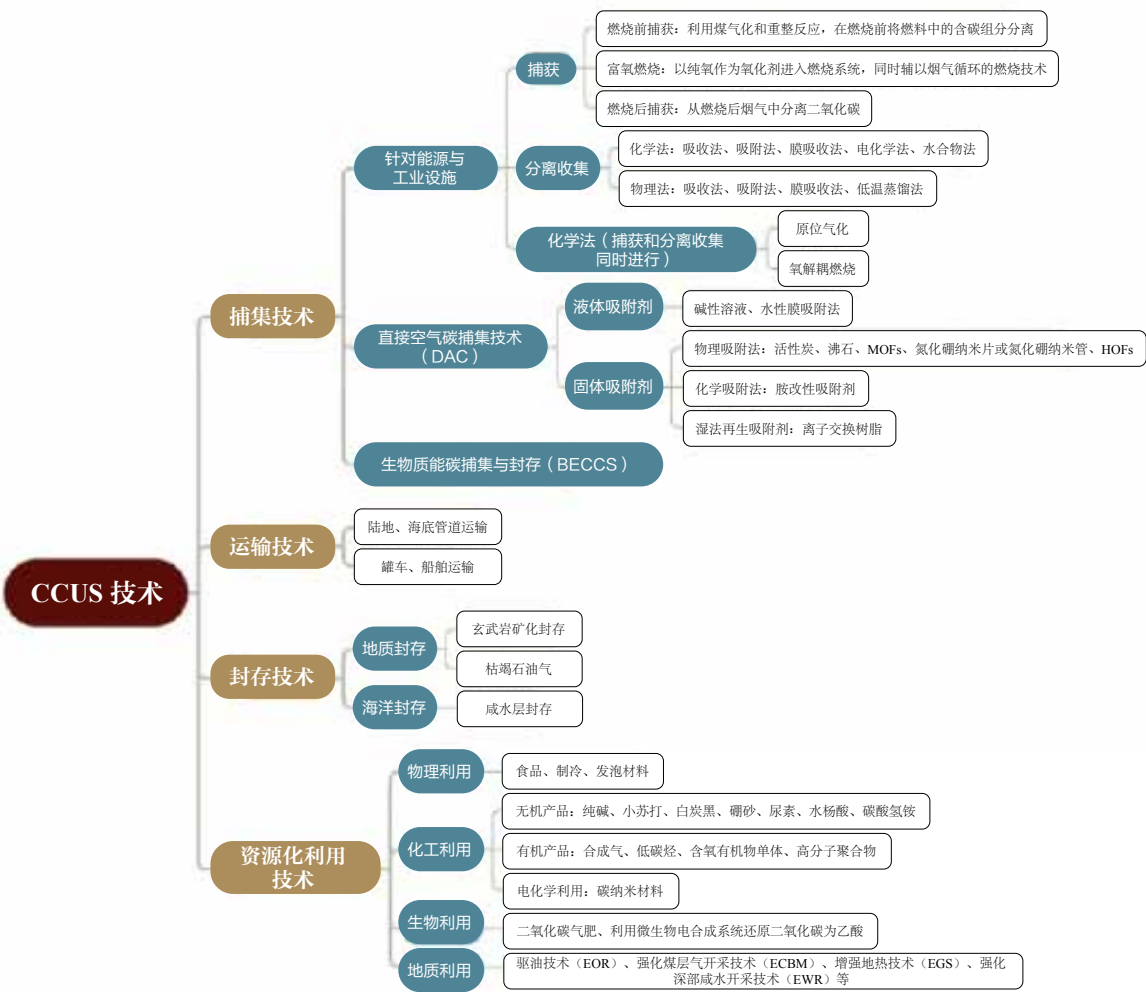


图 9-5 CCUS 技术路线

资料来源: IEA; 中国 21 世纪议程管理中心、全球碳捕集与封存研究院、清华大学; [33] 阳平坚等 [34-35], 中金研究院。

情形下，企业陷入技术采纳困境，应用新技术的意愿受到初期高成本和不确定收益的负面影响，导致新技术难以实现规模化和产业化进步，进而无法通过规模效应和经验积累来降低成本。那么，技术可能停留在原型或示范阶段的“死亡之谷”中，无法快速通过市场检验得出技术是否可行的确定答案（见图 9-6）。

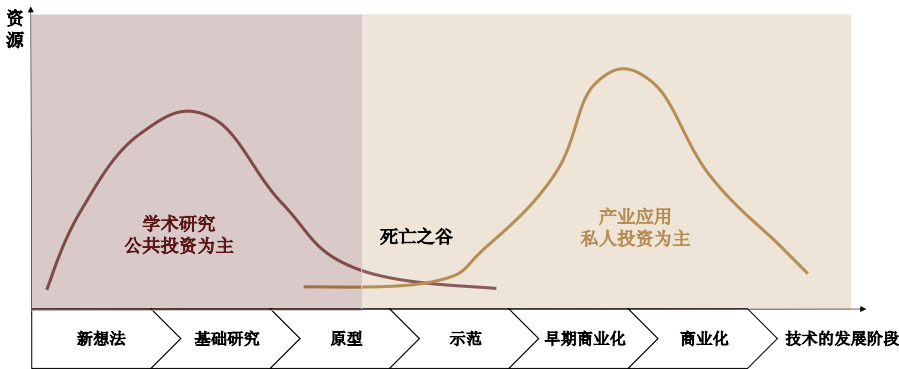


图 9-6 技术成果转化的“死亡之谷”

资料来源：IEA，中金研究院。

三是制度和市场环境的滞后性增加了绿色技术创新的不确定性。例如，二氧化碳捕集存储技术的发展建立在使用该技术减少碳排“有利可图”的基础上，因此 CCUS 的技术研发确定性实际上与碳市场上的碳价息息相关。联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）研究认为，CCUS 技术规模推广的极限值为二氧化碳捕集和封存总成本为 163 ~ 195 元/t。^[37]而 2022 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日，中国碳市场的挂牌价格为 70 ~ 100 元/t，^[38]导致企业直接购买碳排放权成为比投建 CCUS 项目更经济的选择，难以有动力大规模推广应用 CCUS 技术。同理，终端用能电气化也存在堵点：新能源并网缓慢、发电侧未全部进入市场导致可供交易的电力供应不足，国家层面的电力交易机构尚未组建，全国统一的电力市场发展也相对迟缓等。因此，碳市场、电力市场建设与完善的时间滞后性使技术进步更难以自发、短时间展现出确定的前景。

2. 绿色金融新政策应确保预期稳定性与技术包容性

正因为绿色转型的新任务是绿色技术创新，而绿色技术创新具有较大的不确定性，我们认为需要构建一个既能够提供“长期的稳定预期”又具备“技术包容性”的政策框架，以支持绿色技术创新的发展。这样的政策体系应当能够：①创造远期增长预期，降低创新风险，激励企业和研究机构投入绿色技术的研发与应用，使被投资赛道拥有

长期收益预期，从而实现环境效益与经济效益的双赢；②还应该尊重科学的自主性和创造性，给予创新企业或团队足够的空间自由发展，包容技术路线的多元性，并由广大社会群体完成最优技术的筛选过程。具体而言：

第一，政府可通过多种方式向市场传达明确信号，表明技术在远期具有稳定需求的预期。技术创新的生产工艺、应用领域以及所需的基础设施建设方面，都展现出显著的多样性和复杂性。每条技术路径都有失败的可能性，这种不确定性带来的亏损风险往往使投资者的投资意愿不足，需要政府释放“稳预期”的信号。学术界通过对中国上市公司并购活动的实证研究已证实，政府对特定产业推出的鼓励性政策，能够有效地激发市场活力，促进资本向这些领域的流动，从而带动相关产业的投资热潮。因此，政府可以通过长期战略或购买承诺等方式明确该技术在未来具有稳定的市场需求，提升被投资行业在未来的收益确定性，增强投资者对相关技术未来发展潜力的信心，以吸引投资者的参与，为不同技术竞争提供沃土。

第二，金融的支持应当着眼于更加长期的回报而非短期的收益性，让各种技术有充足的空间自由竞争发展。兼具“技术可行性”和“经济可行性”的绿色技术往往需要经过长时间的不断筛选才能显现，这种对于长期的重视能够为技术创新提供更加灵活的容错空间。绿色技术创新领域充满未知与变数，其技术发展路径和实际应用场景的不确定性要求我们在策略上采取多线并行的方法。这种多元化的技术发展策略意味着不应将所有资源和希望寄托于单一的技术路线或解决方案。相反，应鼓励和支持多种技术思路和应用模式的探索与实验。在技术发展的长河中，历史见证了无数技术从诞生到成熟，再到可能的衰退或转型。原本因其初期的高成本和低效率而不被看好的技术，随着不断的创新和改进，可能在未来成为市场上的主导力量。例如，早期的蒸汽机效率低下，但随着技术的改进，蒸汽机的效益不断显现，而最终推动了工业革命。这表明，在技术发展的进程中，识别并采纳更优的技术路线是一个逐步展开的过程。如果仅关注短期收益，为避免风险只对当前具有明显收益潜力的技术路线进行资金支持，短期内确实可能加速该技术路线的发展，但在长期内机会成本可能是丧失发现更优技术路径的机会。

第三，从创新链视角来看，在研发成果由科技创新向产业创新扩散的过程中，需要市场上的各类机构共同发挥协力，即构建更完备的生态系统建设。促进绿色技术创新除了要考虑作为融资载体的金融机构，还要科研机构、高等院校、企业和科技中介等各主体发挥自身比较优势，建立有效的“产学研金介协同”机制来提高创新要素的配置效率。值得注意的是，人才对于绿色技术创新生态系统建设至关重要，在此过程中，

也应当着重考虑性别的包容性。联合国 2019 年的《性别平等在可持续能源转型中的作用》报告中指出, 调查显示在全球范围内, 从事科学研究和开发工作中的人中, 女性仅占不到 30%。鉴于绿色技术创新具有显著的时空外部效应, 其最终的使用者和受益者是整个人类社会。然而, 女性在绿色技术的使用和参与方面的不足, 可能会导致所选择的技术发展路径无法实现社会整体利益的最大化。因此, 应当在绿色技术领域的就业机会上给予女性更多的关注, 并在设计和部署绿色技术的过程中, 更多地考虑女性的需求和视角。

四、资本市场是绿色金融新阶段的重要抓手

(一) 资本市场应该发挥重要作用

在中国, 绿色产能的迅速增长主要依赖以银行系统为核心的债权融资的大力支持, 这一现象与中国特有的金融体系结构密切相关。中国的金融体系本身就以银行为主导, 对于实体经济的支持方式主要是银行信贷、债券等债权融资工具, 与美国等国家有本质的不同(见图 9-7)。根据中国人民银行发布的《2023 年金融统计数据报告》, 2023 年全年社会融资规模增量累计为 35.59 万亿元, 其中, 人民币贷款占同期社会融资规模的 62.4%, 政府债券占比 27%, 企业债券占比 4.6%, 而非金融企业境内股票融资仅占比 2.2%。同时, 与其他国家相比, 中国股票市场规模相对于经济规模的比例较低, 根据 Macro Micro 的最新数据, 截至 2024 年 8 月,^[40] 中国股票总市值占 GDP 比重仅为 44.98%, 远低于同期美国的 195.83%、日本的 158.65% 和印度的 125.37%。

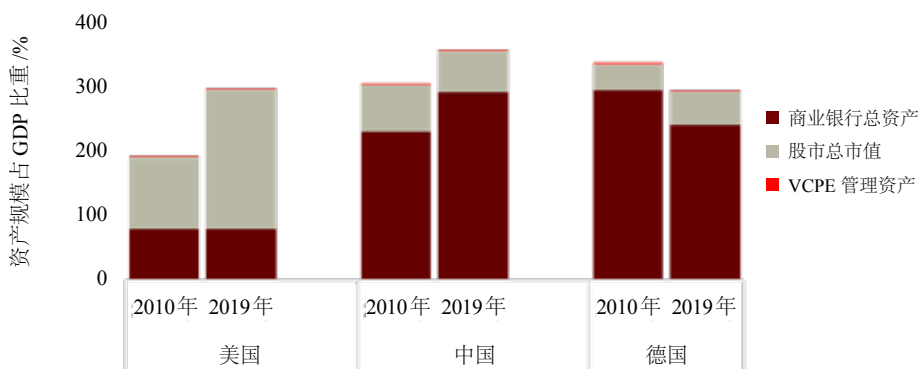


图 9-7 中、美、德金融结构：资产规模 / GDP

资料来源：德国私募和创投协会，日本私募协会，Pitchbook，中金研究院。

如上文所述，中国绿色金融体系在发展的初期阶段，得益于在明确的发展路径上通过《绿色产业指导目录》等政策工具明晰支持产业边界、实施精准的资金支持策略，绿色债权融资规模实现了稳健的成长和逐步壮大。近些年，中国以“绿色信贷”和“绿色债券”为主的绿色金融市场迅速扩张。从绿色金融市场的发展规模上看，中国 2023 年绿色信贷的增长率一直高于金融机构各项贷款总余额增长率。根据中国人民银行发布的数据，截至 2023 年末，中国本外币绿色贷款余额为 30.08 万亿元，居全球首位，七年间年平均增速保持 20% 以上；中国境内贴标绿色债券累计发行规模超 3.4 万亿元，居全球第二位，自 2019 年之后增速一直高于一般贷款总额增速。相比之下，根据清科数据，^[41] 中国 2015—2022 年股权投资市场绿色产业投资累计金额仅为 5 692 亿元，与债权融资规模差距较大。从绿色金融资源投向上看，中国的绿色债权融资有力地推动了绿色产业的迅速扩张。根据中国人民银行统计数据，中国绿色信贷大部分流入了涵盖绿色交通、绿色能源基础设施等领域的“基础设施绿色升级产业”类别和太阳能、风能生产等“清洁能源产业”类别（见图 9-8）。2020—2023 年“基础设施绿色升级产业”类别和“清洁能源产业”类别的绿色贷款增速都在 30% 以上。^[42] 同时，2022 年绿色债券超过一半流入了清洁能源领域。

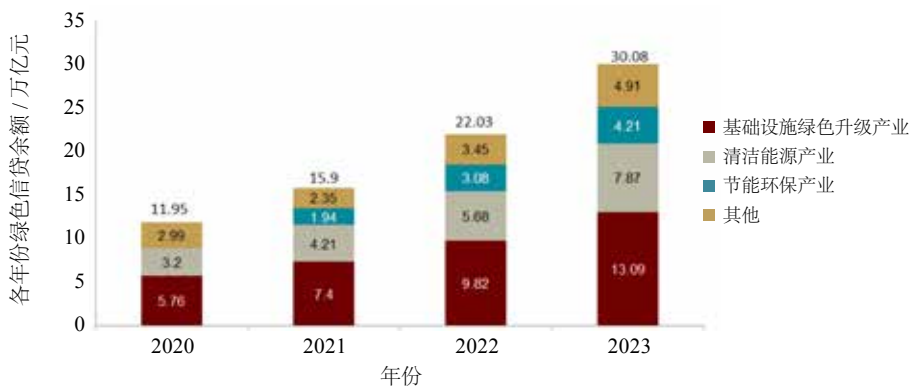


图 9-8 中国绿色信贷余额（分产业，2020—2023 年）

资料来源：中国人民银行，中金研究院。

银行信贷、绿色债券等债权融资因其风险偏好较低，资金量大、到位快，与需要扩张的绿色产业特征相匹配。一方面，如上文所述，风电和太阳能技术已经相对成熟，并已经有了广泛的应用和市场基础。这些技术的性能、成本和可靠性已经被市场验证，具备稳定的市场需求，因此产能扩张的过程相对明确和可预测。而债权融资恰好由于

其风险偏好较低，更适宜于支持那些已经展现出清晰市场需求、技术较为成熟稳定的产业。另一方面，光伏、风能等绿色产业具备制造业属性，属于资本密集型行业，它们需要大量的资金来建设基础设施，如风力发电站、太阳能光伏板和相关的电网配套设施。债权融资工具的手续周期较短，加之银行系统拥有庞大的资金储备，恰好能够高效地满足这些绿色产能的扩张需求。

然而，绿色金融的发展需要与时俱进，不断创新和完善匹配相应发展阶段的金融产品和服务。随着绿色技术的创新在推动绿色转型中的核心作用日益凸显，如何有效应对技术创新过程中的“不确定”，已成为我们面临的新挑战。这种挑战导致绿色金融的主要矛盾逐渐从“资金短缺”转变为“缺乏风险承担者”。传统的债权融资模式不足以应对这一新挑战，其局限性日益明显，已不足以支撑绿色发展的新一轮需求。我们认为绿色技术创新迫切需要通过股权融资承担更加核心的责任，从而促进绿色技术的研发，加速绿色技术的应用，为中国绿色经济的持续发展注入新的活力和动力。股权融资和支持绿色技术创新的适配性主要体现在以下三个方面。

第一，绿色科技创新路线不确定，抵押品少，而股权融资具有更高的风险承受能力。从产业特征来看，绿色技术创新企业大多数是轻资产的中小民营企业，依赖品牌、技术、知识产权等无形资产运营，而缺少可抵押的实物资产。股权投资者所投入的资金着眼于企业的长期增值潜力及其未来收益权。这种增值潜力主要基于技术发展的前瞻性和实操性，而非债权融资所侧重的企业现有资产价值。从技术发展角度来看，如上文所述，绿色技术创新面临路线多元、综合效益短期难以判断等不确定性。根据国家知识产权局的数据，2022年，中国初创企业的发明专利产业化率为22%，即在初创企业中，只有22%的专利最终被用于生产出产品并投放市场。股权投资者倾向于承担较高的风险，原因在于他们关注的不仅是投资的成功率，更看重的是一旦项目成功实现产业化，所带来的潜在高额投资回报。

第二，绿色科技创新走向商业化的周期长且不确定，而股权融资对于投资回报周期具有更强的耐心。早期技术创新需经过路线筛选和经济潜力的逐步展现，这一过程往往耗时较长。从历史的经验上看，光伏、风电、核电等技术在商业化之前，均经历20年左右的研发期（见图9-9），^[43]因此需要长期限资本的支持。有报告曾指出，大多数绿色科技企业的投资周期长达5~10年，^[44]但中国银行传统信贷的平均期限只有2~3年。而绿色债券的发行期限分布也相对集中在1~5年期（见图9-10），难以与绿色科技创新的研发周期相匹配。相比之下，由于股权投资者通常寻求长期回报，更愿意接受短期内的不确定性和波动，能够给予绿色科技创新“耐心”的支持。

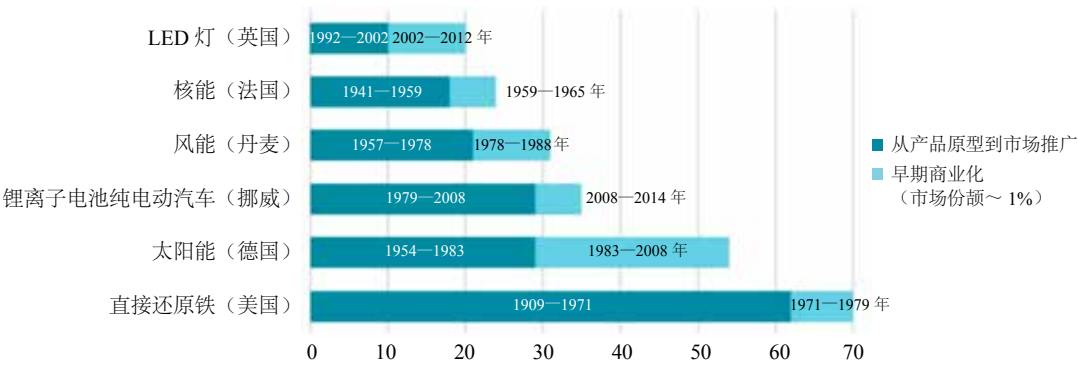


图 9-9 典型绿色技术研发及商业化周期

资料来源：IEA，中金研究院。

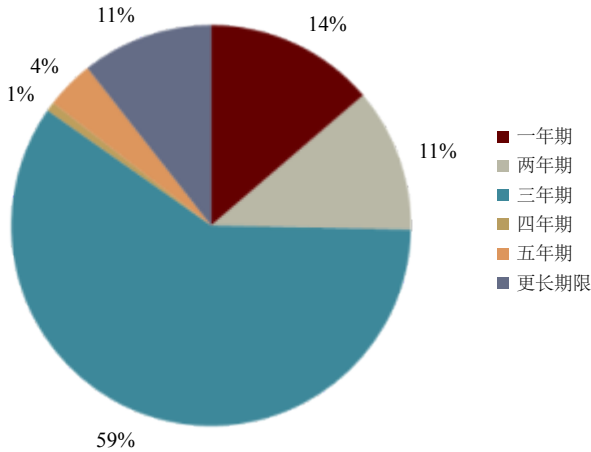


图 9-10 2023 年贴标绿债发行期限结构分布

资料来源：中国绿色债券环境效益信息数据库，中金研究院。

第三，股权投资者更广泛，能够促进绿色技术创新的筛选和应用。民用技术、产品和商业模式需要在市场经济中充分竞争，创新的“赢家”在长期演化过程中涌现，应当由广大终端用户来选择。^[45] 由于氢能、CCUS 等绿色科技的终端消费者是广大企业和每个人，他们的偏好多样化且常常变化，技术路线、产品和商业模式就需要“大浪淘沙”地更替以迎合客户需求。与传统的债权市场相比，股权市场的参与者构成更为多元和复杂。债权市场的主要参与者通常为银行，它们在项目筛选和需求评估方面的作用相对有限。相反，股权市场的参与者不仅包括私募股权基金和其他金融机构，还涵盖了产业资本背后的实体企业、政府主导的引导基金，以及天使投资者、风险投

资家等。这些股权投资者中不乏绿色科技创新的直接应用者，他们能够从多元化的视角出发，结合各自的专业偏好，通过投资行为促进绿色技术的快速筛选和优化。这一过程不仅加速了创新技术与市场需求的对接，而且确保了所支持的技术解决方案能够切实满足终端用户的实际需求，从而提高科技创新的成功率和市场适应性。

因此，支持绿色技术创新的关键在于发挥资本市场的枢纽功能。资本市场具有较高的风险承受能力，对于投资回报周期也展现出更强的耐心。同时，资本市场属于分散化的投融资体系，投资者的分散决策及投资行为使资本市场能够为不同领域、不同技术路线的创新活动均提供资金支持，有助于构建不同领域相互促进、不同技术路线相互竞争的创新生态体系。这意味着资本市场对科技创新的融资模式具备很强的包容性，与技术路线存在极大不确定性的绿色科技创新活动十分契合。下文将对资本市场如何更好地支持绿色科技创新展开分析。

（二）资本市场的独特优势在于生态效应和筛选效应

我们认为，资本市场促进突破式创新还存在两个独特优势：生态效应和筛选效应。

生态效应是指分散决策的资本市场能够为更多领域均提供资金支持，进而有利于形成各个领域相互促进、共同发展的创新生态体系。财政、银行主导的科技融资模式均属于集中决策的投融资模式，存在决策主体单一的问题。这意味着，当由财政、银行主导科技融资过程时，其不可避免地会因为决策主体单一的风险偏好、单一的投资偏好或认知偏误等原因而使其仅对部分领域提供支持，不利于形成各领域共同发展、相互促进的创新生态体系。与之相比，资本市场由风险偏好及投资偏好各异、知识体系不同的众多投资者构成，属于分散决策的投融资体系，即使部分投资者排斥对某些领域进行投资，也仍会有其他投资者看好这些领域而进行投资，因而资本市场更有能力为各个领域均提供资金支持，更有助于形成有利于突破式创新发展的创新生态体系。

筛选效应是指资本市场更有能力筛选出最终成功的技术路线。突破式创新的未来发展路径充满了不确定性，即使确定了某一领域是重要的，该领域中往往也存在多条技术路线，在未来某一技术路线最终成功之前，没有人可以事前准确预测哪条技术路线能够成功。在实践中，面对突破式创新的这种动态不确定性，资本市场主导的科技融资模式表现出了更强的筛选出成功技术路径的能力，这主要是因为两方面的因素：一方面，资本市场属于分散决策的投融资体系，由风险偏好、投资偏好、知识体系各异的众多投资者构成，这意味着资本市场能够为各条技术路线均提供资金支持，例如，

当前光伏的各条技术路线中均有大量投资者进行了投资，即使是一些冷门的仍处于研究早期的技术路线，也仍有部分投资者对其进行了投资，换言之，对于未来存在极大不确定性的突破式创新而言，资本市场之所以能够筛选出最终成功的技术路线，不是因为资本市场投资者足够聪明，而是因为资本市场对各条技术路线均进行了投资；另一方面，一条技术路线能否最终获得成功，关键是其产品能否获得消费者的广泛认可，而资本市场中众多的投资者恰恰也是现实中的消费者，众多投资者作为消费者的良好代表，其对特定技术路线的认可很大程度上反映了消费者对该技术及其产品的认可，因而获得资本市场支持的技术路线在推向市场后往往有着更高的成功概率，这提升了资本市场筛选出最终成功技术路线的概率。

简言之，资本市场促进突破式创新通过发挥生态效应和筛选效应来构建有利于不同领域、不同技术路线相互促进、共同发展的创新生态体系，并最终获得持续的突破式创新能力。

值得注意的是，资本市场促进突破式创新，不仅需要股权市场发挥作用，更依赖风投与股市的有效互动。资本市场可分为私募股权市场（简称股权市场）¹和公开股票市场（简称股票市场）两部分，二者的核心区别在于是否向公众公开发行证券融资，这进一步导致了二者在监管严格程度、信息披露、投资者构成、流动性等方面的差异。通常而言，初创中小企业由于规模小、盈利不稳定，往往难以获得银行及公开股票市场的资金支持，而股权市场主要由私募股权（PE）、风险投资（VC）等专业投资者构成，资金总规模虽然不大但风险偏好相对较高，更有意愿和能力支持风险相对更高但单个项目资金需求相对较小的初创中小企业的突破式创新活动，即针对未上市企业的股权市场是促进突破式创新的主战场。

与股权市场相比，股票市场投资者数量众多、能提供的资金规模更大，但股票市场对于上市公司资产、盈利等财务指标往往有一定要求，初创中小企业达到相关上市要求存在一定难度，因而股票市场更能够支持大企业的渐进式创新。此外，实证研究表明，一方面，首次公开募股（IPO）增强了企业资金实力，提升了企业通过并购去促进创新的能力，有助于提升 IPO 后企业创新数量（见图 9-11）；另一方面，企业上市后将面临更强的外部约束，例如，上市后公司内部技术骨干流失概率上升、股价高波动降低了企业从事高风险的突破式创新意愿、更加严格的信息披露降低了突破式创

¹ 风投定义有广义和狭义之分：广义风投包含独立风投、政府风投、企业风投等投资机构对非上市公司的股权投资；狭义风投通常是指对初创企业的风险投资，与之相并列的还有投资更早期的天使投资以及投资中后期的 PE 投资。本书所称的风投均是指广义风投，内涵与广义私募股权投资基本一致，类似地，本章所称的风投市场也是指广义风投概念，其内涵与私募股权市场基本一致。

新可能给企业带来的预期回报等，这些因素导致 IPO 后企业突破式创新占比明显下降，而渐进式创新占比明显提升。

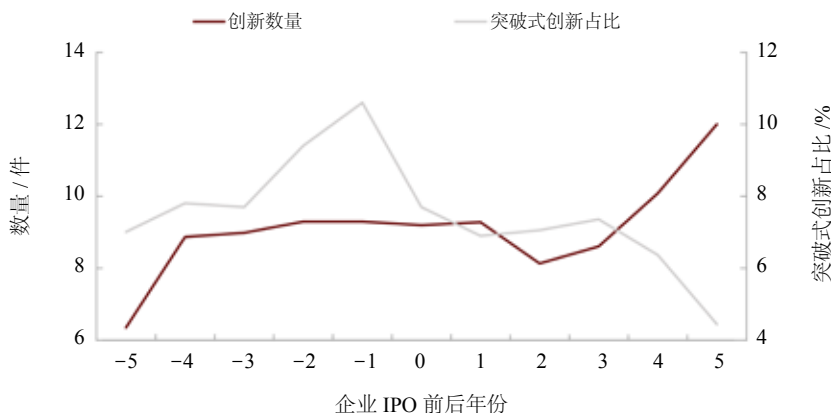


图 9-11 IPO 后，企业创新数量增加，但突破式创新占比下降

资料来源：Simone Wies, C. Moorman, Going public: How stock market listing changes firm innovation behavior, Journal of Marketing Research, 2015，中金研究院。

VC 等风险投资者之所以愿意为初创中小企业的高风险突破式创新活动提供资金支持，其目的不是促进突破式创新，而是未来能够顺利退出并获得理想的投资回报，因而退出渠道是否通畅对于风险投资者的投资意愿有重要影响。在实践中，IPO 和并购是风险投资者最主要的两类退出方式（见图 9-12），这两类退出渠道的畅通与否均与股票市场的繁荣密切相关（见图 9-13）。一方面，繁荣的股票市场能够容纳更多上市公司，提供更多 IPO 退出机会，且统计数据表明通过 IPO 退出的投资收益率要明显高于通过并购等方式退出的收益率，^[46] 因而繁荣的股票市场通过为风险投资者提供 IPO 退出渠道、创造更高的投资回报率，能够提升风险投资者的投资意愿和未来用于新一轮风险投资的资金规模；另一方面，对美国资本市场的研究表明，上市公司是美国并购市场的重要并购主体，以并购规模统计，美国并购市场中超 60% 交易的并购方是美股上市公司，且上市公司在并购交易中大量使用股票作为支付手段。当股票市场繁荣时，被并购方对于并购方股票的接受度会明显提升，且股价上涨提升了上市公司在并购交易中心的支付能力，这有利于风投等风险投资者通过并购方式退出投资，统计数据也表明美国 VC 并购退出规模与美国股市涨跌高度正相关。这意味着，构建资本市场主导的科技融资体系以促进绿色技术领域的突破式创新，不仅需要重视股权市场对于突破式创新的直接促进作用，也需要重视股票市场在疏通风险投资者退出渠道

方面的积极意义，通过股权市场与繁荣股票市场的有效互动来共同促进绿色技术领域的突破式创新。

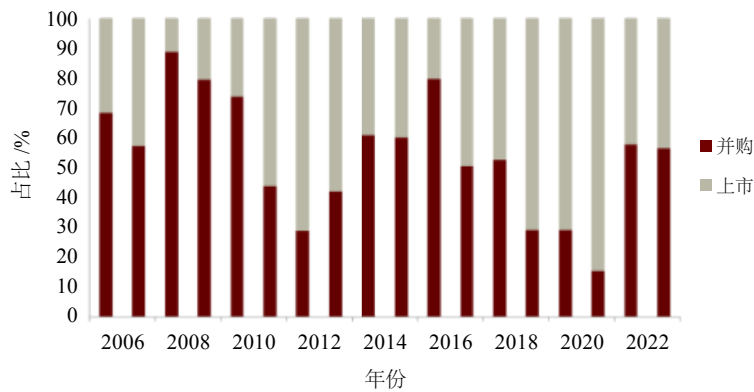


图 9-12 并购与上市在美国 VC 退出方式中的规模占比

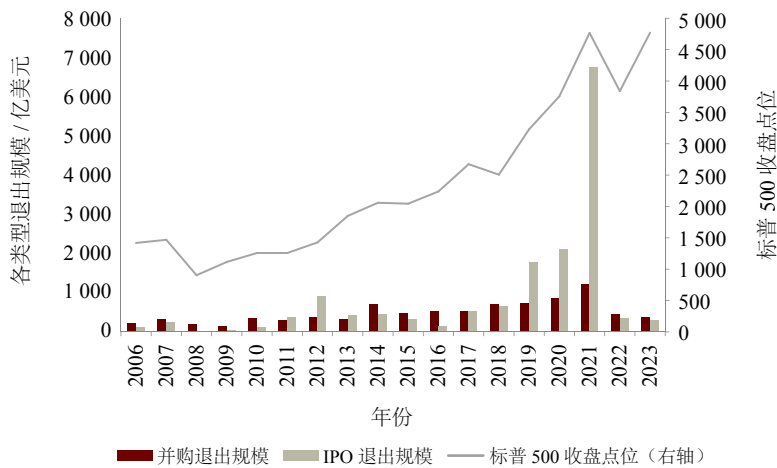


图 9-13 繁荣的股票市场有利于疏通 VC 退出渠道

数据来源：Pitchbook，Wind，中金研究院。

五、中国资本市场支持绿色技术创新面临的挑战

过去几年，中国股权市场与股票市场发展均面临一些挑战，如国内股权市场募资困难、投资主体及投资偏好单一等问题降低了其促进突破式创新的效率，进而降低了风险投资回报率、加大了风投募资困难问题。此外，退出渠道也加剧了国内股权市场

投资偏好日渐单一的问题，不利于发挥资本市场生态效应及筛选效应来促进突破式创新。具体来看，当前国内资本市场在支持突破式创新方面的挑战如下。

（一）募资端：国内股权市场募资困难问题越发突出

当前国内股权市场面临募资困难问题，降低了其促进绿色领域突破式创新的能力。2018 年中国 VC 年募资额为 1 314 亿美元，而到 2022 年中国 VC 年募资额已经下降至 528 亿美元，同期美国 VC 年募资额由 2018 年的 718 亿美元升至 2022 年的 1 884 亿美元（见图 9-14）。考虑募资是投资的必要前提，国内股权市场募资额持续减少，使其能够为绿色领域提供的资金支持越发有限，不利于支持绿色领域的突破式创新。

研究表明，《关于规范金融机构资产管理业务的指导意见》（以下简称《资管新规》）与募资息息相关。^[48]2018 年《资管新规》明确要求“金融机构不得为其他金融机构的资产管理产品提供规避投资范围、杠杆约束等监管要求的通道服务。资产管理产品可以再投资一层资产管理产品，但所投资的资产管理产品不得再投资公募证券投资基金以外的资产管理产品”，^[49]《资管新规》在治理金融乱象、防范系统性金融风险方面发挥了积极作用，但其同时也会影响银行资金通过信托等方式进入股权市场的渠道。

此外，股票市场会影响股权投资者对于绿色领域的投资意愿。根据 Wind 数据库的统计，过去 3 年风电、光伏、锂电池新增 IPO 数量及融资规模占同期 A 股 IPO 总数及总融资规模比重持续下降。由于 IPO 是国内股权投资者最主要的退出渠道，绿色领域 IPO 退出的困难进一步降低了股权投资者对绿色领域初创中小公司提供支持的意愿，使国内专注绿色领域的股权基金及投资人面临更大的募资压力。

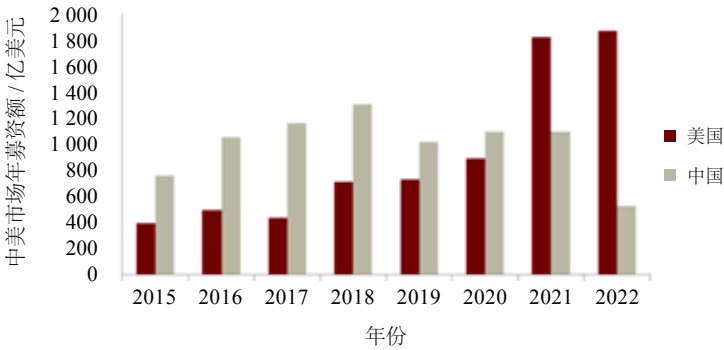


图 9-14 中美风投市场年募资额对比

资料来源：Pitchbook，中金研究院。

（二）投资及管理端：投资日渐低风险化、短期化，管理能力有待提升

在募资困难的背景下，产业引导基金等政府背景资金对于国内股权市场募资而言越发重要。以产业引导基金¹占国内私募股权基金认缴出资额的比重为例，2017年仅为22%，2023年已经上升至37%（见图9-15）。考虑产业资本中还有大量国企出资人，根据清科私募通对国内股权基金募资额统计，整个政府背景的资金已占到了中国股权市场出资额的一半以上，其中大量资金来自地方政府，这为缓解股权市场募资困难作出了较大贡献。

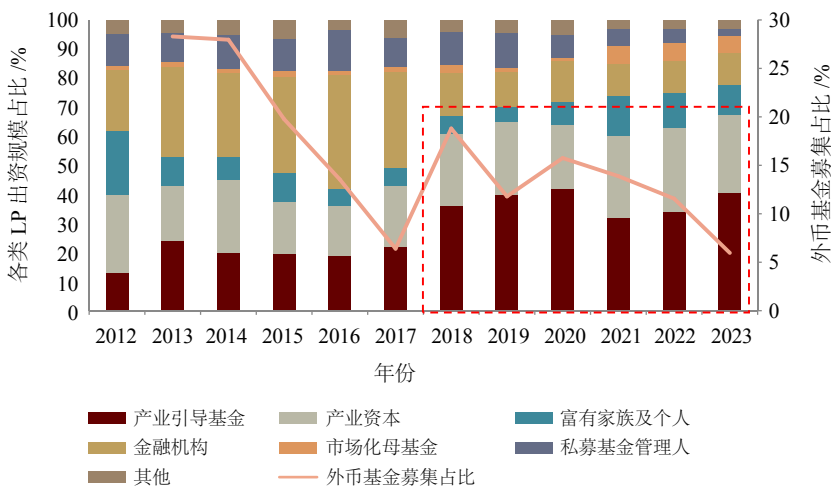


图9-15 中国股权市场各类LP出资规模占比

资料来源：清科私募通，中金研究院。

但产业引导基金在投资及运营过程中也存在一些现实约束，使其部分特点无法与促进绿色产业突破式创新的需求完美契合，这主要体现在如下几个方面。

首先，产业引导基金存在较强的求稳诉求，压制了其投资时的风险偏好，不利于支持高风险的突破式创新活动。突破式创新是具有高度不确定性的经济活动，且其颠覆性、引领性越强意味着投资者需要承担的风险就越大。因此，风投通常不是通过被投项目的高成功率来实现盈利的，而是在承担高失败率风险的同时，通过少数成功项目的高回报来实现盈利的。但产业引导基金具有公共资金属性，其既不追求单个项目的高回报，也不愿意承担较高的失败风险，尤为值得重视的是，近些年有两个因素强化了股权市场中产业引导基金的求稳诉求：一是在尚未建立起能够有效厘清被投项目

¹ 除政府引导基金外，还包括政府机构、政府出资平台等，这些资金的投资偏好、管理模式等比较类似，为简便起见，不再严格区分，统称产业引导基金。

失败原因机制的背景下，不断加大的追责压力促使产业引导基金越发求稳；二是随着产业引导基金规模的壮大，舆论关注度也在快速上升，由投资失败引发舆情的风险上升，也在强化产业引导基金的求稳偏好（见图 9-16）。据统计，截至 2021 年，产业引导基金对绿色领域的直投项目中，扩张期及成熟期项目的数量占比为 73.4%、投资规模占比为 85.6%，而对于产业引导基金通过子基金方式所投资的绿色产业股权基金中，成长基金和并购基金规模占比接近 70%。投资时偏向中后期项目及子基金，体现出产业引导基金在绿色领域投资者存在较强的求稳诉求和较低的风险偏好。^[50]

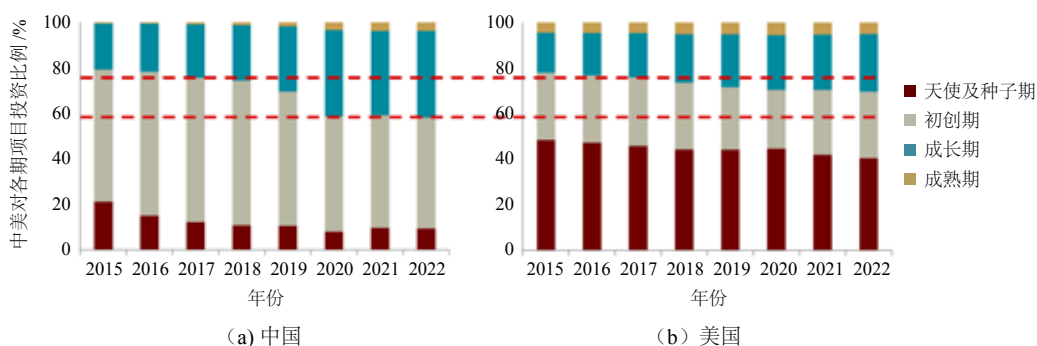


图 9-16 伴随着产业引导基金等公共资金占比提升，国内股权市场风险偏好明显下降

资料来源：Pitchbook，中金研究院。

注：此处是投资笔数的占比，种子期对应 PitchBook 投资类型中 Angle and Seed 类别，初创期对应 Early-Stage VC 类别，扩张期对应 Late-Stage VC 类别，成熟期对应 Venture Growth 类别。

其次，产业引导基金投资时更倾向于投资于短平快项目，这与绿色领域突破式创新的长线资金需求不符。突破式创新活动通常具有不确定性高、研发周期长的特点，因而更加需要长线资金的支持，而长线资金相对短缺恰恰是国内股权市场的重要短板。以风投项目的平均持有期为例，2010—2023 年，美国 VC 退出项目平均持有期为 4.8 年，而中国仅为 2.8 年。这背后的成因比较复杂，在产业引导基金等政府背景资金业已主导中国股权投资市场的背景下，产业引导基金较短的考核周期、地方领导偏短的任期约束是不容忽视的原因之一。具体到绿色技术领域，根据清科数据库统计，2010—2023 年，中国风投对清洁能源领域（含新能源、新材料、环保、其他清洁技术 4 个子行业）股权投资平均持有期为 2.6 年，其中对新能源、新材料等细分领域的平均持有期分别为 2.5 年、3.6 年，较短的持有期不利于支持绿色领域的突破式创新。

最后，产业引导基金也存在运营专业化程度有待提升、强化市场分割、资金投入持续性差等问题，限制了其发挥促进绿色领域突破式创新的功能。①在基金运营方面，

代表政府有限合伙人（LP）的具体工作人员缺乏专业经验的现象并不少见，使市场化普通合伙人（GP）与政府背景 LP 之间存在较大沟通成本，2021 年一项对 361 位 GP 所做的调查统计表明，政府 LP 过多的投资干预是 GP 认为政府资金所存在的最大缺点。^[51] 此外，对于采用直管模式的产业引导基金，当前部分基金也存在团队设置繁复、职能部门占比偏高、投资决策流程较长且需要多层级审核等问题。②在投资目标方面，虽然很多产业引导基金是以推动科技创新的名义成立的，但创设初衷更多的是试图通过股权财政实现招商引资，因而其在投资方向、投资区域、返投比例等方面往往存在一些硬性要求，上述要求可能会进一步加剧市场分割风险，不利于发挥中国的规模经济优势来促进创新。③在资金持续性方面，在当前地方政府普遍面临较大债务压力的背景下，地方政府还有多少资金能够投入到产业引导基金中，存在不确定性。

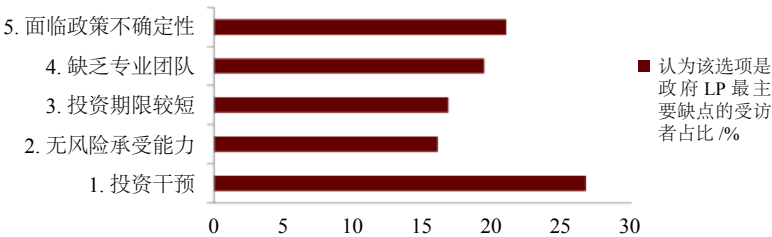


图 9-17 GP 认为政府 LP 主要缺点

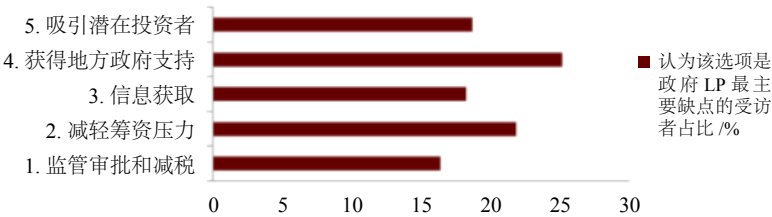


图 9-18 GP 认为政府 LP 主要优点

数据来源：Emanuele Colonnelli, Bo Li, and Ernest Liu. Investing with the Government: A Field Experiment in China. Journal of Political Economy, 2024，中金研究院。

（三）退出端：股权市场投资有单一化倾向

如前所述，资本市场促进绿色领域突破式创新依赖股权市场与股票市场的有效互动，对于国内股权投资者而言，IPO 是其最重要的退出渠道之一。

面对当前中国在半导体等部分领域存在的“卡脖子”风险，以 2019 年科创板成立为标志，A 股市场积极支持硬科技公司上市、助力中国破解“卡脖子”风险。在此背景下，硬科技公司在 A 股市场 IPO 中占比逐步提升。以半导体行业为例，2019 年，A 股半导

体公司 IPO 数量为 1 家，IPO 募资额为 28 亿元，占该年度 A 股 IPO 总数及总募资额的比重分别为 0.5%、1.1%，而 2023 年 A 股半导体公司 IPO 数量为 23 家，总募资额为 708 亿元，占该年度 A 股 IPO 总数及总募资额的比重分别升至 7.3%、19.9%（见图 9-19）。A 股 IPO 对硬科技企业的高度偏好使国内股权市场投资越来越向硬科技领域集中（见图 9-20）。据清科私募通统计，2019—2022 年，对硬科技领域股权投资额占国内股权市场年投资总额的比例由 28% 升至 61%，2022 年硬科技领域股权投资中超过一半投向了半导体及电子设备行业。上述数据表明，过去几年国内资本市场为促进硬科技产业发展、推动破解“卡脖子”风险发挥了很大作用，但资本市场资金持续向硬科技领域聚集，也一定程度上使绿色产业股权市场面临增量资金不足的情况，对绿色领域持续实现技术突破性创新形成了一定挑战。

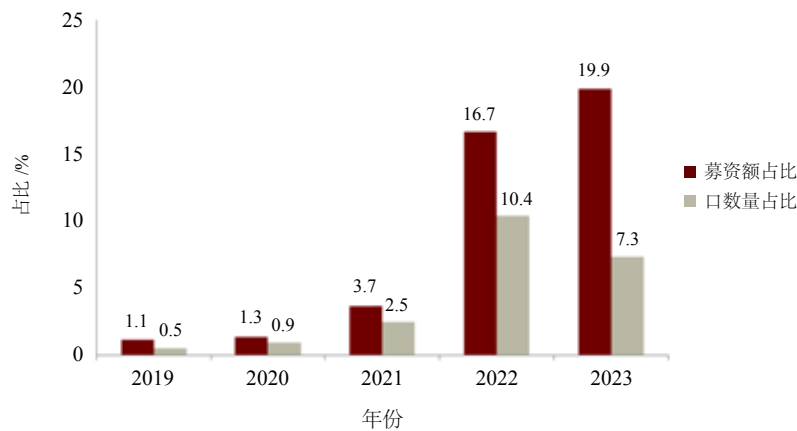


图 9-19 近年来，A 股 IPO 中半导体等硬科技公司募资额占比持续提升

资料来源：Wind，中金研究院。

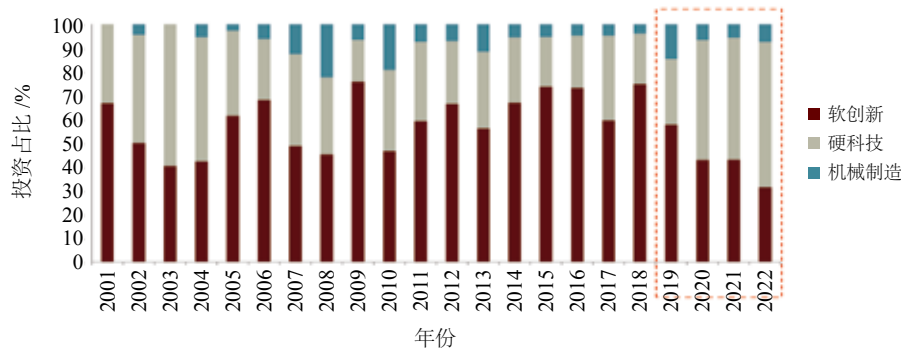


图 9-20 国内股权市场投资日渐向硬科技领域集中

资料来源：清科私募通，中金研究院。
注：硬科技主要包括半导体及电子设备、清洁技术以及生物技术 / 医疗健康；软创新主要包括互联网、IT、电信及增值业务、金融、娱乐传媒。

需要强调的是，企业当前是否盈利与其未来是否具备较强创新能力之间并不存在直接联系，亚马逊、特斯拉、Meta（原 Facebook）等美股科技龙头在 IPO 时也均属于尚未盈利企业。此外，考虑绿色领域突破式创新活动往往具有研发周期长、前期投入大、前期盈利困难或者盈利不稳定等特点，绿色领域从事突破性创新活动的企业尚未盈利属于普遍现象，例如光伏电池钙钛矿技术于 2008 年首次提出，目前国内有多家未上市公司从事对该前沿技术路线的研发及商业应用，但受限于材料稳定性、效率衰减、使用寿命等问题，钙钛矿电池尚未得到大范围应用，相关企业也大多处于未盈利状态。绿色领域从事突破式创新活动的企业可能尚未盈利，但需要资金支持，因此需要更畅通的退出渠道促进中国绿色产业通过持续的突破式创新实现技术迭代升级。

六、政策建议

（一）实体经济政策：创造绿色需求，改善绿色回报

支持绿色技术创新的实体经济政策需要以“技术中性”为基础，即从过去以选择具体技术为核心转向技术中性的政策体系，为充分发挥资本市场生态效应和筛选效应奠定基础。具体而言，可以从两个方面着手：一是发挥财政的积极作用，二是完善碳市场定价体系。在展开论述具体建议之前，我们想做如下特别说明：碳市场的建设和完善是一项复杂的工程，需要逐步推进，其作用的发挥可能较为缓慢。相较而言，财政通过政府采购和直接补贴的方式来创造绿色技术的需求市场支持绿色技术创新更为直接。同时，当前中国针对绿色技术创新的一般性财政支持手段已经较为完善，包括针对绿色产品的购买补贴、以旧换新财政补助以及财政部现有的 400 亿元绿色建筑采购等政策均能发挥作用，下文不再赘述。本书的政策建议将聚焦财政如何直接推动突破式创新。

建议 1：在绿色采购的竞标机制中，采用“量化降碳绩效”的模式而非“采购清单”模式

根据世界银行的研究，政府的公共采购将直接或间接地影响全球 15% 的温室气体排放，^[52] 这是整个航空业排放量的 7 倍，因此应该考虑强化绿色采购在绿色转型中的作用。当前中国的绿色采购制度以政府采购清单的模式为核心，我们认为，在此模式下推动不确定性较大的突破式创新难度较大。一种更直接的方式可能是“量化降碳绩效”模式。在这种模式下，首先，需要尽可能明确绿色产品需要达到的量化减排目标和性能标准，为产品供应商及相关投资者提供明确的指导和稳定预期。其次，需要鼓励采

用竞争性招标机制，这是因为市场最终需要的是兼具“技术可行性”和“经济可行性”的绿色技术，而竞标有利于为生产商的创新带来强大动力，政府可利用“产品生命周期碳强度”和“生产成本”等指标作为竞标基准，不断选择和支持最优绿色技术。最后，为突破性技术提供额外采购价格优惠，促进生产商的不断创新并激励长期投资，如在纽约州《低碳混凝土领导力法案》中，对具有碳捕获和利用、碳矿化或其他技术突破的投标报价给予更多的采购折扣，促进了生产商不断创新低碳解决方案。^[53]

澳大利亚政府的十年期低碳电力购买协议为我们提供了很好的政府绿色采购范例。政府通过提供十年期的购买低碳电力承诺，为低碳电力技术领域提供了一个可预测的市场需求，从而增强了投资者对低碳电力产业具有长期增长潜力的信心。但同时，政府不干预技术竞争，避免对特定技术路径的偏好性支持，创造了一个公平的技术发展环境，不仅促进了技术创新的多样性，还确保了技术进步与市场需求之间的紧密对接，为低碳电力技术的持续优化和成本降低提供了强有力的市场激励。

建议 2：建立与金融市场衔接的绿色绩效拍卖基金

金融市场在解决绿色转型中的信息不对称问题上具有天然优势，能够更有效地为企业的绿色行为定价。充分发挥金融市场的作用，有助于使绿色转型的过程更加平稳、高效。然而，在现实中，金融市场与绿色转型政策在激励机制上存在错位，导致无法有效调动金融市场的积极性，绿色转型中金融市场参与度低。为此，我们建议通过绿色拍卖（Green Auctions）的方式，从供给侧入手，将政府的激励措施与金融市场的定价能力及私营部门的灵活性、创新性相结合，以解决绿色转型中的外部性与规模约束问题。

绿色拍卖基金由公共资本注册成立，其运行可以分为三个阶段。第一阶段，绿色拍卖基金向社会公告，说明当期支持绿色转型的项目资金额和年限。第二阶段，基金接受企业就减排量和资金需求提交的竞价申请，依据各企业的竞价，基金将为最具竞争力的绿色转型项目提供碳减排量（或绿色技术的等价碳减排量）购买承诺，但此阶段不预先支付资金。第三阶段，拍卖获胜企业在规定期限内完成绿色转型项目后，基金将根据企业实际产生的碳减排量或绿色技术的等价碳减排量，按照承诺支付竞标企业的资金。如果碳市场价格超过基金承诺的购买价格，企业就可保留在其他市场出售碳减排量的权利。

建立结果导向型的绿色拍卖基金，有助于绿色转型与金融市场建立起激励相容的关系，扩大金融市场在绿色转型中的参与度，并确保公共资金使用效果，还可以针对性地克服诸如规模约束等难题。首先，绿色拍卖的过程可以由金融机构主导。金融机构熟悉市场操作经验，可以用专业的估值方法预估资金量与年限，接受市场监督，确

保拍卖过程的规范和高效。其次，绿色拍卖基金的市场化激励，可以鼓励金融机构为拍卖企业提供前期资金支持，可以针对性地解决规模约束的问题。由于有绿色拍卖基金的偿付资金作为保障，企业的研发具有较为确定的未来现金收益，因此金融机构有激励通过贷款、风险投资等债权或股权融资方式资助企业，分享项目成功后的收益。风险投资等专业化机构的进入，也可以给企业带来公司治理经验和行业资源，同时通过多种监督方式，提升项目成功率。最后，金融市场可以为企业的绿色转型成果提供高效的市场定价。无论是碳减排量的核算，还是绿色技术的市场价值估算，企业都需要第三方专业化服务和信誉背书。而更加市场化的竞争，可以让金融市场为这些估算活动提供更专业化的服务。

事实上，国际上已有类似拍卖基金的实践。例如，世界银行开发的国际上针对甲烷气体的试点拍卖机制（Pilot Auction Facility, PAF）项目。^[54] 其旨在刺激减少温室气体排放的项目投资，同时最大化公共资金的影响并利用私营部门融资。PAF 的主要目标是通过提供碳减排信用的保证最低价格来激励私营部门在发展中国家的投资和气候行动。PAF 通过拍卖可交易的看跌期权来实现这一目标，这些期权赋予持有者以预定价格（期权“执行”价格）向 PAF 出售未来减排量的权利，但不是义务。如果碳市场价格高于执行价格，期权持有者可以选择将碳信用额度出售给其他买家，而不是 PAF。如果市场价格低于执行价格，期权持有者有权以执行价格将减排量出售给 PAF。PAF 的期权是可交易的，使持有者能够转让所有权，从而最大化 PAF 实现减排量的可能性。PAF 通过在线拍卖以竞争性和透明的方式确定价格保证的价值。拍卖的竞争激烈性揭示了私营部门进行减排投资所需的最低价格。PAF 已经成功举办了幾次拍賣，其中包括針對垃圾填埋場、動物廢物和廢水處理場的甲烷減排項目，以及針對硝酸生產中的氧化亞氮排放的拍賣。

建议 3：补贴绿色技术创新生态，支持绿色技术孵化 / 加速项目，培养绿色技术经理人队伍，完善绿色技术创新服务体系

上文提及，对于突破式创新而言，技术可能停留在原型或示范阶段的“死亡之谷”中，无法快速通过市场检验得出技术是否可行的确定答案。因此，除针对基础研发激励和商业阶段需求市场补贴以外，财政尤其需要考虑助力技术在示范阶段的市场应用，推动市场检验相关技术路径是否具备商业化落地的潜力。我们认为，需要从补贴绿色技术，向补贴绿色技术创新生态转变。具体而言，首先，引导资金投向绿色技术相关的加速器和孵化器等。目前，绿色技术创新领域的孵化器平台仍处在试点阶段，2022 年中国第一个“双碳”孵化器在上海市长宁区落地，^[55]2023 年 5 月上海交通大学也与

闵行区共同出资成立了上海大零号湾科技发展有限公司，^[56] 力图打破科技成果转化应用的“最后一公里”。其次，加快绿色技术转移转化专业队伍建设，培养国内绿色技术经理人，逐步建立和完善绿色技术转移服务体系：一方面，财政可以出资补助高校和企业等绿色经理人¹的培训；^[57] 另一方面，推动市场成立绿色技术转化相关的第三方服务公司，打通技术落地应用转化的市场渠道。

建议 4：推动碳市场建设的“两个加速”，降低创新技术的绿色溢价

一个更有约束力的碳市场可以推动更多行业、更大力度地应用绿色技术，加速市场扩容，加速碳配额竞价机制建设，有利于实现这一目标。

一是加速碳市场扩容，创造更多行业的减排技术需求。首先，需要构建完善的碳排放统计核算体系，建立健全行业碳管控、企业碳管理、项目碳评价、产品碳足迹等政策制度和管理机制，并与全国碳排放权交易市场有效衔接。目前，中国正在出台相关碳核算方案，逐步完善各个行业的碳排放监测体系。其次，需逐步扩大碳配额交易市场覆盖的行业范围，从而增加高耗能等行业的技术需求。目前，建材（水泥）、钢铁、有色金属（电解铝）三大行业，从 2024 年起被正式纳入全国碳排放权交易市场的管理范围。再次，还可以加强碳市场 CCER 机制联动，完善 CCER 市场交易政策规则和基础设施建设，加大减排量核证和公示的监管力度，激发更多市场主体以加强自主绿色技术创新的形式开展自愿减排项目的积极性。

二是加速建立碳配额的竞价机制，逐步推动碳价提升，并用碳配额拍卖收入支持绿色技术创新。虽然在《碳排放权交易管理暂行条例（草案修改稿）》^[58] 中已经明确规定碳配额逐渐向有偿分配过渡，某些地方已经开始有偿分配试点，但目前中国碳市场整体配额仍然为免费分配。借鉴欧盟的经验，可以通过碳配额竞价机制，逐步扩大碳配额的有偿分配比例和行业覆盖范围，让碳配额的价格由市场供需关系决定，从而提升碳市场的市场效率。这种机制迫使碳排放企业为了降低购买配额的成本，将更加积极地投身于技术革新和设施升级。此外，我们还可以借鉴其他发达经济体的成熟做法，利用碳市场所得收益设立专项创新基金，进一步加大对国内绿色科技项目的投资力度。

（二）资本市场政策：激活耐心资本，打造多样性

1. 投资生态

如前所述，当技术创新成为中国绿色转型的新主线任务，股权融资需要发挥更大

¹ 目前，国家已经开始重视绿色技术创新到转化阶段的难点，2024 年 7 月，中国电工技术学会在中国科协、科技部的指导下，组织开展绿色技术领域技术经理人能力评价的工作。

的作用，特别是资本市场可以更好地发挥枢纽功能。然而，相较于银行体系，中国的资本市场有更大的提升空间，需要加速建设和完善，以便更有效地支撑绿色技术创新的紧迫需求。

建议 5：探索银行资金支持股权市场发展的可行路径，引导富裕家庭资金、养老金等长线资金入市

一是基于中国金融资源大多数集中在银行体系的客观现实，探索有序、适度引导银行资源通过资本市场支持绿色领域突破式创新的新路径。由于银行大部分资金来自广大储户，一旦银行因过多参与股权市场而出现大额亏损，便可能会产生系统性金融风险，因此利用银行支持股权市场以促进绿色领域突破式创新，需要格外注意创新收益与金融风险的平衡问题，限制规模是平衡两者的一个重要方式。以美国为例，美国监管部门要求美国各银行对中小企业投资公司 SBIC 的投资不得超过银行资本及盈余的 5%，同时，当 SBIC 股权风险敞口与银行任何股权风险敞口之和大于总资本的 10% 时，不超过总资本 10% 的股权风险敞口金额予以 100% 的风险权重，^[59] 其他股权风险敞口予以 300% 或 400% 的风险权重，上述规定有效约束了银行系 SBIC 的金融风险过度扩张。除限制规模外，鼓励银行更多参与到风险相对较低的股权市场中后期投资，例如由银行为并购等风险较低的股权投资活动提供多样化财务工具支持，也能实现创新收益与金融风险的平衡。2018 年，以黑石为首的投资者通过杠杆收购获得了路孚特 55% 的股权，11 亿美元的收购款项中约 10 亿来自美国银行、巴克莱等银行机构提供的银团贷款，^[60] 便是银行参与到股权市场中后期投资中的典型案例。对于中国而言，在当前理财产品打破刚兑、普遍净值化的背景下，可以尝试发挥银行理财子公司在募集资金方面的优势：一方面，以绿色领域为试点，探索银行体系适度、有序增加对国内股权市场支持的可行方式；另一方面，可以鼓励银行更多参与到绿色领域并购市场中，提升绿色领域股权交易活跃度。

二是从静态财富效应和动态财富效应入手，引导富裕家庭资金和养老金等长线资金入市。过去十几年内资已成为中国风投募资的主要来源，因而破解募资困难的关键也在于如何吸引内资入市。考虑银行支持风投存在创新收益与金融风险的平衡问题，在介入风投阶段与资金量上存在约束，因而如何吸引富裕家庭资金、养老金等长线资金入市成为破解国内股权市场募资困难的希望所在。研究表明，长线资金投资意愿与静态、动态财富效应之间存在密切联系。静态维度的财富效应是指在边际效应递减原理作用下，随着投资者财富增加，流动性偏好下降、风险偏好及风险投资规模上升。基于 2006—2018 年美国个人投资者的实证研究发现，收入每增长 10%，风险规避程度

便降低 1.5%。^[61] 考虑捐赠资金也是主要来自富裕家庭后，来自美国富裕家庭资金占美国风投募资额的比重始终位居前列，募资占比远超险资、外资、企业等其他资金来源。这意味着，为解决国内股权市场募资困难问题，中国可以构建有利于富裕家庭进行股权投资的友好社会环境，如积极发展私人银行等财富管理业务，探索以绿色领域捐赠抵免为试点，通过“遗产税+捐赠抵免”的方式引导富裕家庭储蓄转化为绿色领域股权市场长线资金。动态维度的财富效应是指因为风投能够带来丰厚回报才会吸引养老金等长线资金介入，而不是因为养老金是长线资金才去介入风投。实证研究也表明，美国各州和地方养老金之所以增加对风投等另类资产的投资，主要是因为这些资产相对股票的风险调整后收益更高。^[62] 基于 1989—2008 年美国私人部门养老金的研究表明，养老金资产配置的目标是盈利，否则会面临未来无法按时支付养老金福利的风险，因而资本市场如果无利可图，养老金就会撤出。^[63] 换言之，即便是从养老金的角度来看，能否发挥长线资金的角色，还是取决于股权投资能否带来丰厚回报，这在很大程度上又取决于是否存在一个繁荣的股市以及畅通的退出渠道。

建议 6：优化产业引导基金考核方式，提升产业引导基金投资及管理能力，设立绿色风投计划，重视优秀外资风投和企业风险投资（CVC）的积极作用

一是优化产业引导基金考核方式，提升产业引导基金投资及管理能力。针对产业引导基金风险偏好低、投资期限短的问题，需要进一步明确产业引导基金推动科技创新的定位，而不是单纯致力于股权财政，优化对产业引导基金的考核要求。例如：一方面，需建立起针对失败项目的合理明晰的责任判定机制，避免因过度追责而压低产业引导基金风险偏好；另一方面，则需要改变当前按年度考核产业引导基金业绩的做法，注重基金整体业绩和长期回报，从多年平均业绩或全生命周期业绩的角度进行考核，给予产业引导基金进行长期投资的灵活性。针对产业引导基金运营效率低下的问题，需要在减少政府直投基金的比重，增加产业引导母基金的占比，充分发挥市场化 GP 的专业投资能力，同时在其运营过程中充分尊重市场化 GP 的专业能力，做好市场化 GP 与政府 LP 的合理分工。针对产业引导基金可能造成市场分割的问题，建议在设立产业引导基金时，增加跨区域的国家级基金占比、减少市县级基金占比，如可以考虑在长三角、珠三角等发达地区试点建立跨区域的一体化产业引导基金，通过平衡地方竞争激励与发挥规模优势之间的矛盾来更好地促进科技创新，削弱返投过度分割市场的风险，待该模式成熟后可推广至更多地区。特别地，考虑各地对于绿色技术均存在较强的投资意愿，且绿色技术领域较强的制造业属性意味着其健康发展需要完整的产业链配套、不同地区可以通过分工协作以提升整体效率，因而在探索设立跨区域产

业引导基金时，初期可以绿色技术领域为抓手来进行试点。

二是创设绿色风投计划，构建政府与市场化 GP 有效合作以促进绿色领域突破式创新的新模式。从美国经验来看，SBIC 是政府与社会资本合作共同推动中小企业发展的良好方式，中国也可以效仿美国 SBIC 发展模式，由中央政府成立绿色担保基金，同时通过一定的条件筛选出那些满足一定要求的专注绿色领域股权投资的市场化基金，并由绿色担保基金为这些市场化基金提供与其募资额同等规模的融资担保，从而放大市场化基金的可投资资金规模，此外，为鼓励市场化基金投早投小，在设置筛选条件时可以着重支持规模在 10 亿元以下的基金，或者规定政府对单支市场化基金的担保规模不超过 10 亿元。采用此模式支持绿色领域突破式创新，具有四个方面优势：首先，在当前各级政府普遍面临较大财政收支平衡压力的背景下，产业引导基金未来的资金可持续性存疑，而在这一新模式中，政府通过对市场化基金提供融资担保能够帮助市场化基金吸纳更多社会资本，从而在不增加政府支出压力的情况下为绿色领域股权基金提供更多资金支持；其次，由政府直接出资改为政府担保出资，意味着政府对于市场化 GP 的干预将有所减少，这有利于发挥市场化 GP 在投资及投后管理方面的专业能力，提升国内股权市场整体的投资及管理效率；再次，除内在的求稳诉求外，造成当前产业引导基金更偏好中后期成熟项目的另一个重要因素是产业引导基金规模通常较大，如果投早投小，则意味着其将对非常多企业或项目进行投资，这不利于产业引导基金的管理，因而为方便管理，产业引导基金业更倾向参与到资金需求量大的中后期成熟项目的投资中，而在此新模式中，由于设定了政府担保上限或者市场化基金的募资上限，这使得受到担保支持的基金大多是小规模基金，其更有意愿投早投小，更有助于促进绿色领域的突破式创新；最后，在新模式下，政府担保的存在一定程度上降低了投资者参与股权市场投资所面临的风险，能够吸引更多投资者参与到股权市场中来，股权市场投资者类型的丰富更有助于资本市场生态效应和筛选效应的发挥，从而通过构建一个各领域、各技术路线相互促进、共同发展的创新生态来推动绿色领域的突破式创新。

三是加大金融对外开放力度，吸引优质外资 GP 进入中国股权市场。仅从募资金额角度看，外资早已不是中国股权市场的主导力量，但之所以外资撤出的影响超出了募资规模占比所体现的作用，不仅是因为外资撤出在边际上加剧了中国股权市场的募资困难问题，更重要的是由于来中国展业的美元基金基本上都是经验丰富的头部机构，其撤出中国对于国内股权市场投后管理能力与竞争格局产生了不利冲击。中金研究院的实证研究也印证了这一点。基于 2001—2023 年投资于中国企业的 8 071 个风险投资

退出案例，中金研究院对于内资 GP 和外资 GP 内部回报率（IRR）进行了比较分析，发现在相同基金币种和同等投资规模下，外资 GP 所投项目回报率在统计意义上显著高于内资 GP。因此，加大金融对外开放力度，积极吸引外资尤其是美资优秀 GP 进入中国，虽对于破解募资困难作用有限，但对于提升国内股权市场投后管理能力却大有裨益，特别地，考虑碳中和已是目前全球发展共识和未来发展大趋势，且中国在绿色产业很多领域均处于全球领先地位，因而中国绿色产业对于国外股权投资者而言仍具备很强的吸引力，可以绿色领域股权投资为抓手，通过出台便利外资跨境流动、便利外资工商注册及来华展业等方面的优惠政策，吸引更多优秀外资风投来对中国绿色领域进行投资。

四是优化反垄断理念，重视（CVC）在投资及管理方面的积极作用。相较于独立风投公司（IVC），CVC 是指企业以其自有资金所成立的风投子公司或投资部门。由于 CVC 资金主要来自企业自有资金，只要企业本身存续不存在问题，CVC 几乎就不会面临硬性的退出期限约束，因而具备更显著的长线资金特征。更重要的是，由于 CVC 投资时更多聚焦于服务母公司整体发展战略，投资方向也更多倾向与母公司业务相关的初创公司，因而其可以利用母公司销售渠道等资源赋能被投企业，体现出较强的投后管理能力。研究表明，由 CVC 支持的初创企业在上市前 3 年内比 IVC 支持的初创企业，取得的专利数量平均多出 27%，被引用量平均高出 18%，而在上市后 4 年内，CVC 支持初创企业所获专利数量较 IVC 支持企业平均多出 45%，被引用量平均高出 13%。^[64]但过去几年国内 CVC 投资活跃度明显下降。对此，对于大型企业 CVC 的反垄断思考，或需摒弃结构主义的市场份额视角，更多关注行为主义的可竞争性视角，即不能简单地因为企业规模或市场份额较高则认为其构成垄断，而是要更多地关注企业是否存在不公平竞争行为，如果企业不存在不公平竞争行为或其未对市场公平竞争施加不恰当影响，则不应简单因其对外投资或规模扩张而对其进行反垄断制裁。从结构主义转为行为主义，也正是过去 100 多年美国反垄断的经验。对于绿色技术领域，建议在优化反垄断理念的基础上，鼓励绿色领域头部企业积极参与股权市场投资，为绿色技术领域中小企业的突破式创新活动提供更多资金和资源支持。

建议 7：为绿色领域公司 IPO 创建良好的环境，畅通并购等多元退出渠道，推动交易所公司制改革

一是给予更多非硬科技公司、未盈利公司上市的机会。一方面，考虑绿色转型的重要性，需要给予绿色领域公司更多上市的机会，这是鼓励风投等股权投资者增加对绿色领域股权投资的必要前提；另一方面，考虑绿色领域从事突破式创新的企业大多

存在前期投入大、盈利不稳定甚至尚未盈利的情况，若仅以公司当前是否盈利来判断其是否属于优质创新企业，进而决定是否允许其上市，这可能会使风投等股权投资者越发追求对已盈利的成熟企业进行投资，不利于股权市场发挥投早投小、促进突破式创新的作用，建议针对绿色领域创新公司特征，设立包括研发投入、营收规模、技术领先性等多样化的 IPO 标准，给予绿色领域尚未盈利的优质公司上市的机会，这也有助于吸引股权投资者增加对绿色领域创新公司的投资。

二是鼓励上市公司参与并购交易，发展并购基金，构建多元退出路径。除 IPO 外，并购也是风投重要的退出渠道，特别是在当前 A 股 IPO 节奏明显放缓的背景下，更需要重视并购退出对于活跃股权市场的重要意义。考虑上市公司和并购基金是并购活动的主要参与主体，为畅通并购退出渠道，一方面，可以逐步探索优化 A 股上市公司参与并购交易的条件，增加上市公司并购交易的配套融资工具，同时可以通过发展“PE+上市公司”等并购新模式来提升上市公司参与并购交易的能力及意愿，如可以 A 股绿色领域上市公司为试点，来探索、总结如何更好地支持上市公司参与到并购市场中来，鼓励绿色领域龙头企业通过并购做大做强，整合产业链资源，进一步提升其运营效率。另一方面，可以积极吸引优秀外资并购机构来华设立展业，设立外资并购基金，同时鼓励国内股权投资机构更多参与到并购投资中来。此外，并购市场的发展离不开一系列配套政策予以保障，如适当简化反垄断等审查程序以鼓励头部企业通过并购做大做强、完善失业保障等社会安全网建设进而为并购主体改善被并购标的业绩提供必要的社会环境、完善股权交易中心平台功能以推动私募股权二级市场发展等。

三是重视推动交易所市场化改革，以增强其自下而上增加包容性的自主空间。美国是资本市场促进科技创新的典范，在此过程中，能够及时响应企业融资需求的美国各交易所发挥了重要作用，背后是交易所在运行机制上存在盈利与竞争激励。也正是得益于这种机制，在纽交所排斥“同股不同权”的 20 世纪 80 年代初期，纳斯达克才有动力通过接受“同股不同权”的方式来支持高科技企业上市，造就了美国后来的“新经济时代”。目前国内主要交易所本质上均属于事业单位，主动增加包容性以响应市场融资需求的激励不足，同时，国内多层次股票市场作为自上而下规划发展的产物，各上市板块间相对较小的竞争压力进一步抑制了国内交易所及时、主动响应市场融资需求的动力。更重要的是，市场融资需求变化比较快，在如何提高包容性以发挥生态效应方面，交易所可以发挥更大的作用。未来可以重视优化国内各交易所的制度安排，从制度制定方面自下而上地增强 A 股 IPO 包容性。

参考文献

- [1] 张晓晶. 构建同科技创新相适应的科技金融体制 [EB/OL]. 人民网理论频道, (2024-08-21) [2024-10-01]. <http://theory.people.com.cn/n1/2024/0821/c40531-40302945.html>.
- [2] IEA. Clean Energy Innovation [EB/OL]. (2024.08). <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation?mode=overview>.
- [3] 中金研究院. 规模效应和绿色转型的新供给经济学 [R]. 2023.
- [4] IEA, Clean Energy Innovation[R], 2020.
- [5] 国家能源局. 经济日报. 可再生能源装机实现两大突破 [EB/OL]. (2024-07-08). https://www.nea.gov.cn/2024-07/12/c_1310781449.htm
- [6] 中国政府网. 我国是全球第二大消费市场和全球第一货物贸易大国 [EB/OL]. (2023-12-18). https://www.gov.cn/xinwen/jdzc/202312/content_6921147.htm.
- [7] IEA. Clean Energy Innovation[EB/OL]. (2024.08). <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation?mode=overview>.
- [8] 杨漾. 光伏电池效率迈向 30% 大关: 异质结降本提速, 叠层电池产业化曙光已现 [EB/OL]. 澎湃新闻, (2023-06-17). https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_23521249.
- [9] SMM 光伏视界. 光伏电池之争: BC 市场迎来增量 [EB/OL]. (2024-09-25). <https://news.smm.cn/gonggao/102955735>.
- [10] IEA. 中国能源体系碳中和路线图 [R/OL]. 2021. <https://www.efchina.org/Attachments/Report/report-lceg-20220303-2/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E8%83%BD%E6%BA%90%E4%BD%93%E7%B3%BB%E7%A2%B3%E4%B8%AD%E5%92%8C%E8%B7%AF%E7%BA%BF%E5%9B%BE.pdf>.
- [11] IEA. CCUS in Clean Energy Transitions[R/OL]. Paris: IEA, 2020. <https://www.iea.org/reports/ccus-in-clean-energy-transitions>,
- [12] 李阳. 碳中和与碳捕集利用封存技术进展 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2021.
- [13] 北极星氢能网. 谭天伟院士: 到 2050 年氢能需求量将接近 6 千万吨 [EB/OL]. (2021-06-04). <https://news.bjx.com.cn/html/20210604/1156483.shtml>.
- [14] 张希良, 黄晓丹, 张达, 等. 碳中和目标下的能源经济转型路径与政策研究 [J]. 管理世界, 2022, 38(1): 35-66.
- [15] 大卫·李嘉图. 政治经济学和税收原理 [M]. 北京: 商务印书馆, 1817.
- [16] 约翰·海因里希·冯·杜能. 孤立国 [M]. 北京: 商务印书馆, 1826.
- [17] LOVERING J, SWAIN M, BLOMQVISTET L, et al. Land-use intensity of electricity production and tomorrow's energy landscape[J]. PLoS One, 2022, 17(3): e0265432.
- [18] GROSS S. Renewables, Land use, and Local Opposition in the US[R]. Washington, DC: Brookings Institution, 2020.
- [19] RENNUT-MORTENSEN, A. W. How replacing fossil fuels with electrofuels could influence the

- demand for renewable energy and land area[J]. Smart Energy, 2023, 12(5): 100987.
- [20] RENNUIT-MORTENSEN A W, RASMUSSEN K D, GRAHN M. How replacing fossil fuels with electrofuels could influence the demand for renewable energy and land area[J/OL]. Smart Energy, 2023(10).<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266695522300014X>.
- [21] RENNUIT-MORTENSEN A W. How replacing fossil fuels with electrofuels could influence the demand for renewable energy and land area[J]. Smart Energy, 2023, 12(5): 100987.
- [22] KRUITWAGEN L. A global inventory of photovoltaic solar energy generating units[J]. Nature, 2021, 598(7881): 512-517.
- [23] 中国人民银行, 联合国环境规划署. 构建中国绿色金融体系 [M]. 北京: 中国金融出版社, 2015.
- [24] G20. 绿色金融综合报告 [R]. 杭州: G20 峰会组委会, 2016.
- [25] 新浪财经. 工信部: 2010 年至 2020 年新能源汽车补贴已经超过 1521 亿元, 覆盖 317 万辆汽车 [EB/OL]. (2023-01-10)[2024-08-01]. <https://finance.sina.cn/tech/2023-01-10/detail-imxztfei9057142.d.html>
- [26] 财政部. 财政部对十三届全国人大四次会议第 9142 号建议的答复 [EB/OL]. (2021-07-15) [2024-08-01]. <https://www.faxin.cn/lib/zyfl/zyflcontent.aspx?gid=A311843&libid=010104>.
- [27] 国家发展改革委, 工业和信息化部, 自然资源部. 关于印发《绿色产业指导目录(2019 年版)》的通知 [EB/OL]. (2019-02-14)[2024-08-01]. <https://www.ncsti.gov.cn/kjdt/tzgg/202109/P020210910637720844002.pdf>
- [28] 国务院. 国务院关于落实《政府工作报告》重点工作分工的意见 [EB/OL]. (2022-03-24)[2024-08-01]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-03/25/content_5681343.htm.
- [29] 中国银行业监督管理委员会. 银监会关于印发绿色信贷指引的通知 [EB/OL]. (2012-01-29) [2024-08-01]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2012/content_2163593.htm
- [30] 中国人民银行. 中国货币政策执行报告 [R]. 中国人民银行货币政策分析小组. 2021.
- [31] 中国人民银行. 金融机构环境信息披露指南 [S/OL]. (2021-07-22)[2024-08-01]. https://group1.ccb.com/cn/group/regime/upload/20220726_1658822708/20220726160537518146.pdf.
- [32] 陈曦, 王海妹. CCUS 技术发展的方向及挑战 [OL]. 中国石化报, (2023-05-15)[2024-08-01]. <https://ricn.sjtu.edu.cn/Web/Show/1182>.
- [33] 中国 21 世纪议程管理中心, 全球碳捕集与封存研究院, 清华大学. 中国二氧化碳捕集利用与封存年度报告(2023) [R]. 北京: 科学出版社, 2023.
- [34] 阳平坚, 彭栓, 王静, 等. 碳捕集、利用和封存 (CCUS) 技术发展现状及应用展望 [J]. 中国环境科学, 2024, 1: 404-416.
- [35] 中国科学院, 清华大学, 等. 中国二氧化碳捕集利用与封存 (CCUS) 年度报告 (2021) [R], 2021.
- [36] 刘斌. 油气田企业推进 CCUS 技术应用面临的挑战及对策 [J]. 石油科技论坛, 2022, 41(4): 34-42.
- [37] 生态环境部. 全国碳市场发展报告 2024 [R]. 2024.

- [38] HUA G, ZHOU S, ZHANG S, et al. Industry policy, investor sentiment, and cross-industry capital flow: Evidence from Chinese listed companies' cross-industry M&As[J]. *International Business and Finance*, 2024, 72: 101892.
- [39] UNESCO. Gender equality in the sustainable energy transition[R]. Paris: UNESCO, 2019.
- [40] 世界市场资本市值占 GDP 比例 [EB/OL]. (2023-07-15)[2024-08-01]. <https://sc.macromicro.me/charts/99946/world-market-cap-to-gdp>
- [41] 清科研究中心. 2023 年中国股权投资机构 ESG 研究报告及榜单发布 [R]. 2023.
- [42] 中国人民银行. 金融机构信贷投向统计报告 [R]. 2020—2023.
- [43] IEA. Innovation needs in the Sustainable Development Scenario[R]. Paris: IEA, 2023.
- [44] 清华大学国家金融研究院. 绿色金融支持绿色科技创新研究 [R]. 2019.
- [45] 中金研究院. 产业追赶的“举国体制”：来自发达国家的经验 [R]. 北京：中金公司，2022.
- [46] GMPERS P A. Optimal investment, monitoring, and the staging of venture capital. In *Venture Capital*). Routledge, 2022, 285-313.
- [47] MASSOUD N, SONG K, TRAN N. Lender effects on gains from mergers and acquisitions[J]. *Journal of Banking & Finance*, 2024, 158: 106823.
- [48] 中金研究院, 中金公司研究部. 第十六章 创新金融：并非资本市场的独角戏 [M]// 创新：不灭的火炬. 北京：中信出版社，2021: 321-345.
- [49] 国务院. 国务院关于促进外资增长若干措施的通知 [EB/OL]. (2017-08-16)[2024-08-01]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2017-08/16/content_5218057.htm.
- [50] 澎湃新闻. 多地放宽新能源汽车限购政策 [OL]. (2023-07-20)[2024-08-01].
- [51] COLONNELLI E, LI B, LIU E. Investing with the Government: A Field Experiment in China[J]. *Journal of Political Economy*, 2024, 132(5): 1234-1278.
- [52] WORLD BANK. How can green public procurement contribute to a more sustainable future[R]. Washington, DC: World Bank, 2023.
- [53] 潘支明. 通过绿色采购政策提高对低碳水泥的市场需求 [EB/OL]. NRDC. (2022-04-08). <http://www.nrdc.cn/news/newsinfo?id=899&cid=48>.
- [54] 试点拍卖设施项目. 关于 PAF [EB/OL]. (2023-06-01)[2024-08-01]. <https://www.pilotauctionfacility.org/content/about-paf>
- [55] 腾讯新闻. 2022 年新能源汽车销量突破 687 万辆 [EB/OL]. (2022-01-25)[2024-08-01]. <https://new.qq.com/rain/a/20220125A02PWW00>.
- [56] 上海交通大学. 碳中和技术发展趋势 [EB/OL]. (2024-05-27)[2024-08-01]. <https://news.sjtu.edu.cn/mtjj/20240527/197978.html>.
- [57] 中国环境科学学会. 中国碳排放权交易市场年度报告 [EB/OL]. (2024-07-10)[2024-08-01]. <https://www.ces.org.cn/xhtml/report/24071017-1.htm>.
- [58] 生态环境部. 关于加强高耗能、高排放建设项目生态环境源头防控的指导意见 [EB/OL]. (2021-03-30)[2024-08-01]. <https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk06/202103/W020210>

330371577301435.pdf.

- [59] 美国货币监理署 . 社区发展洞察 [R]. Washington, DC: OCC, 2015.
- [60] REUTERS. More banks set to join financing for Blackstone's Thomson Reuters buyout[EB/OL]. (2023-07-15)[2024-08-01]. <https://www.reuters.com/article/business/more-banks-set-to-join-financing-for-blackstone-s-thomson-reuters-buyout-idUSKCN1GD5WX>.
- [61] MEEUWIS M. Wealth fluctuations and risk preferences: Evidence from US investor portfolios[R/OL]. (2019-12-30). https://www.stern.nyu.edu/sites/default/files/assets/documents/Meeuwis_JMP.pdf#:~:text=Using%20data%20on%20the%20portfolio%20holdings%20and%20income,to%20a%20small%20decline%20in%20the%20equity%20share.
- [62] BEGENAU J, LIANG P, SIRIWARDANE E. The Rise of Alternatives[D/OL]. 2024. <https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=66392>.
- [63] INVESTMENT COMPANY INSTITUTE, SECURITIES INDUSTRY AND FINANCIAL MARKETS ASSOCIATION. Equity and bond ownership in America, 2008[R/OL]. 2008. https://www.ici.org/doc-server/pdf%3Arpt_08_equity_owners.pdf.
- [64] CHEMMANUR T J, LOUTSKINA E, TIAN X. Corporate venture capital, value creation, and innovation[J]. *The Review of Financial Studies*, 2014, 27(8): 2434-2473.

第十章 碳定价¹

中国的国家碳市场正在经历一系列重大的改革，包括扩大行业覆盖面、从基于排放强度的体系转向基于限额的体系、从免费配额分配逐步过渡到拍卖制度等。本章探讨了碳市场近期的一些趋势，并注意到碳市场在全球范围内的日益普及。联合国全球盘点和其他评估已经确认，为实现《巴黎协定》的目标，需要采取更多、更大胆的气候减缓行动，包括碳市场提高定价、取消化石燃料补贴、通过以公平为导向的豁免和退税来识别和抵销碳定价的潜在负面或倒车效应、提高可预测性并确保系统内部和系统之间的灵活性等。

国合会的特邀专家慷慨地分享了他们的观点和建议，使本研究受益匪浅。报告第一部分强调了加强气候减缓行动的紧迫性，介绍了最新的气候科学研究及其影响，国内行动与《巴黎协定》目标之间日益扩大的差距，以及采取更严格、更全面的气候减缓措施的必要性。第二部分概述了碳定价的相对益处，特别是能激励需求向低碳替代品转移，提高材料和能源效率，以及提高碳中和领域长期资本投资路径的确定性。第三部分和第四部分探讨了碳定价的一些设计特点，包括分配效应和互补性的支持系统，以促进公平性，并在减排确定性与各种灵活机制之间取得平衡。第五部分回顾了中国全国碳市场的一些最新发展。中国正在从电力部门向更广泛的行业覆盖范围过渡，从免费分配向拍卖制度过渡，以及最重要的是从基于排放强度的体系向基于限额的体系过渡。本部分着重讨论了这个过程中的各种设计方案。第六部分研究了加拿大国家碳定价体系的经验教训，指出了与价格可预测性、分配效应和系统灵活性有关的经验教训。

鉴于以上所述的研究，在此提出四项建议。

战略：中国的碳定价体系可以在绿色转型中发挥更大作用。随着“双碳”目标从碳达峰走向碳中和，碳定价应成为在整个经济和具体行业层面实现低碳路径的主要措施之一。

¹ 本章内容摘编自 2023—2024 年国合会“碳定价”前期项目主要研究成果。

价格水平：碳价格应随着时间的推移而上升，以贴近不断增加的气候相关外部性，并更接近《巴黎协定》所需的最佳水平。

公平：随着碳市场行业覆盖面的扩大，公平性应在设计时给予优先考虑，例如在碳定价最终收入中拨出专款，以支持受影响过大的家庭以及绿色创新基金等。

互补性措施：确保政策的全面性和连贯性，尤其是在现行能源市场改革中绿色通道的推广与下一阶段全国碳市场的铺开之间做好衔接。调整目前基于排放者绩效标准的碳定价体系，使其覆盖可再生能源的配额。互补性的政策还应包括可再生能源组合的标准。

第十一章 循环经济¹

根据联合国环境规划署（2024）的数据，全球年度材料开采量已从 1970 年的 309 亿 t 增长到 2020 年的 951 亿 t，预计 2024 年将达到 1 066 亿 t。因此，全球材料需求的持续增长与重大环境问题紧密相连。此外，原材料的高消耗也是能源和原材料供应方面的一个风险因素。循环经济的原则为解决原材料高消耗和固有的环境问题提供了清晰的路径。通过闭合材料循环，循环经济还能帮助克服资源短缺和供应风险。

中国在循环经济和相关政策方面有着长期传统。总体上，社会各界对循环经济在中国的重要性及其实施的成效与挑战已达成广泛共识。为解决这些问题并缩小循环经济领域的聚焦范围，我们通过案头研究、专家访谈、北京实地考察和专家在线咨询等形式，确定了重点行业和潜在的专题政策研究（SPS）领域。这些行业包括塑料（包括包装）、电池、可再生能源技术、纺织和建筑。

每个行业都可能存在多个 SPS 选项，但根据专家的反馈，我们推荐以下方向。

- 1) 剖析中国塑料行业（涵盖包装业）对温室气体排放的贡献，并评估减排潜力。
- 2) 描绘中国电动汽车电池回收的价值链，分析材料和经济流动以及电池回收的成本和效益。
- 3) 探索提高可再生能源技术原材料收集和回收效率的政策工具。
- 4) 分析废旧纺织品市场、物料流动和市场参与者的情况，同时评估在中国实施纤维到纤维回收技术的环境与经济潜力。
- 5) 筹备关于在中国废弃电子电气设备（WEEE）、包装废弃物及报废车辆（ELV）领域实施生产者责任延伸制度（EPR）的可行性研究。
- 6) 评估中国建筑与建设行业循环公共采购的可行性，并据此为一般性的循环公共采购策略提炼结论。

目前，全球及中国国内的广泛讨论均指向了循环经济在实现工业脱碳和气候中和

¹ 本章内容摘编自 2023—2024 年国合会“循环经济”前期项目主要研究成果。

方面的潜力与影响。为深入探讨这一问题，我们提议构建全面的循环经济模型作为潜在的跨行业政策研究专题。

针对那些具有高度相关性和影响力的政策，前期研究提出了以下三项建议，旨在为中国制定“十五五”规划及修订循环经济促进法提供参考。

1) 继续设定明确的资源生产率数值目标和指标，旨在推动中国实现负责任的原材料消费。同时，在相关领域增设减废目标，积极实施废物层级原则（R-策略），依据环境影响和回收效率对不同回收选项进行明确排序，并设定行业级和材料级的再生成分含量目标。

2) 实施雄心勃勃的框架制定工具，如设立最低生态设计标准、推广循环型公共采购、在相关部门实施生产者延伸责任制度以及构建金融机制，旨在为循环型商业模式创造一个公平的竞争环境。

3) 将循环经济与中国的工业脱碳及气候中和目标紧密结合，明确将循环经济措施纳入中国的国家自主贡献目标之中。

本章为中德两国在中德环境伙伴关系项目框架下深化循环经济领域的双边合作奠定了坚实的基础。

第四篇

低碳包容转型

第十二章 可持续贸易与可持续供应链¹

一、引言

在气候变化和能源脱碳的时代，全球范围向可持续贸易与可持续供应链的转型显得至关重要。低碳技术及相关矿产处于这一转型的前沿，在减少温室气体排放和促进可持续发展方面发挥着关键作用。包括可再生能源、能效、能源储存和电动汽车在内的低碳技术产品国际贸易，对促进全球气候友好型发展意义重大，尤其是对南方国家。考虑中国在低碳技术市场中的重要作用，本章旨在提供对低碳技术贸易的全面分析，重点关注各国与中国的双边贸易、其环境影响以及塑造这些趋势的经济因素。

随着全球对低碳技术产品需求的激增，各国越发认识到低碳转型中蕴含的经济机会。这在国际贸易中尤为明显，政策支持和国际合作显著影响了这些技术的传播和采用。中国作为低碳技术生产和出口的全球领导者，凸显了国际低碳技术市场的动态变化。在过去 30 年里，中国实现了从净进口国到净出口国的转变，这主要得益于对国内清洁技术制造的巨大投资和政府的支持政策。这一转变不仅增强了中国在全球市场中的地位，也为全球供应了大量经济实惠的先进低碳技术。理解中国的角色及其成功的驱动因素，对于深入理解低碳技术贸易的广泛机制提供了宝贵的见解。

中国在国际低碳技术贸易中日益增长的重要性对发达国家和发展中国家皆有深远影响。对发达国家而言，中国日益增长的市场份额促进了低碳技术市场的竞争和效率，并导致贸易平衡的显著变化，即发达国家随着时间推移成为净进口国。对于发展中国家而言，中国的低碳技术产品提供了环境和技术两方面的机遇。中国的贸易伙伴得益于可负担的低碳技术供应，可以加快向可持续发展目标迈进。这些目标通过低碳技术的直接环境影响和通过贸易的技术扩散得以实现。因此，识别塑造各国与中国贸易模式的关键因素并识别从中国进口低碳技术的气候和环境影响是非常重要的。

¹ 本章内容摘编自 2023—2024 年国合会“可持续贸易与可持续供应链”专题政策研究项目主要研究成果。

在本章中，我们研究了过去 30 年全球低碳技术贸易的发展。基于国际贸易文献，我们识别并分析了塑造各国与中国低碳技术贸易的关键经济因素。在实证部分，我们首先详细概述了 1992—2022 年全球低碳技术贸易趋势。我们从国际货币基金组织（IMF）和联合国统计司的商品贸易统计（Comtrade）数据库等来源编制了一个原创数据集，识别了出口和进口模式、贸易平衡的显著变化，以及高收入国家和新兴市场及发展中经济体的演变角色。

在统计分析中，我们采用引力模型研究了与中国的低碳技术和矿产贸易的决定因素及其对环境结果的影响。我们发现了经济发展、贸易开放和汇率稳定等因素的重要性。此外，分析揭示了从中国进口低碳技术产品在环境上的好处，特别是在减少各个部门的碳排放方面。人力资本、政治稳定和外国直接投资被证实是促进从中国获得的低碳技术吸收效果的重要渠道。这些发现通过提供对低碳技术贸易动态及其环境影响的深入分析，丰富了关于可持续贸易和供应链的文献。我们还发现，劳动力中的性别平等与对中国低碳技术和关键矿产的更高出口呈正相关关系。这表明，性别平等对各国在全球低碳技术贸易和供应链中的竞争力有显著贡献，并减少了与中国的低碳技术贸易逆差。

最后，我们基于分析提供了政策建议。具体而言，我们提倡在可再生能源技术方面持续进行研发投入，维持稳定的出口价格，鼓励对外直接投资，进一步扩大贸易开放，并改进关于产能过剩的沟通。这些见解对于致力于推进全球可持续性和应对中国及其他地区气候变化紧迫挑战的政策制定者、行业领导者和研究人员具有重要价值。

二、文献综述

（一）低碳技术贸易的相关文献

关于低碳技术贸易的研究涉及技术扩散、政策支持和国际合作等方面。Porter 和 Van der Linde^[41] 提出，严格的环境法规可以刺激创新并增强低碳技术产品的竞争力，这一观点被称为“波特假说”。Jaffe 等^[2] 分析了环境政策对技术创新和扩散的影响，发现政策支持对促进低碳技术至关重要。近年来，Popp^[3] 和 Johnstone 等^[4] 研究了可再生能源技术的国际贸易，指出政策激励和国际合作是低碳技术扩散的主要推动力。Dechezleprêtre 等^[5] 研究发现，跨国公司在低碳技术的研究和推广中发挥着重要作用。

中国作为世界上最重要的低碳技术生产国和出口国之一，其低碳技术发展引起了学术界的关注。Zhang 和 Gallagher^[6] 发现，中国的政策支持和市场规模是推动其低碳

技术出口的主要因素。Wang 和 Qin^[7] 分析了“一带一路”倡议对低碳技术贸易的影响，发现该倡议显著促进了中国与“一带一路”共建国家之间的低碳技术合作。一些研究探讨了“一带一路”倡议内低碳技术的推广。Xie 等^[8] 发现，“一带一路”倡议显著促进了中国与“一带一路”共建国家的低碳技术合作。Zhang 等^[9] 研究指出，中国通过技术转移和项目合作在推动绿色“一带一路”建设中起着关键作用，从而提高了“一带一路”共建国家的低碳技术水平。

在通过贸易而逐渐采用低碳技术的过程中，三个因素起着至关重要的作用。第一，人力资本可以影响低碳技术的采用和扩散，从而影响贸易模式。通过教育和培训发展人力资本，提高了一个国家创新和利用先进技术的能力，其中就包括了低碳技术。Nelson 和 Phelps^[10] 认为，一个国家的人力资本存量决定了其采用新技术的能力。这一理论强调了教育和技能发展的重要性，它们能够促进低碳技术的采用并且增强在贸易中的竞争力。第二，政治稳定性是影响推动低碳技术政策有效性及其对贸易影响的关键因素。一些研究表明，政治不稳定会通过增加不确定性而阻碍投资和技术采用，从而对经济增长产生不利影响^[11]。这一发现表明，稳定的政治环境有利于低碳技术的采用和贸易的扩大。第三，外商直接投资（FDI）是低碳技术转移及其整合到全球贸易体系中的重要渠道。Harrison 和 Rodríguez-Clare^[12] 回顾了有关贸易和外商直接投资的文献，强调 FDI 如何提高东道国的技术能力。他们发现，技术改进特别是在低碳技术领域，导致了低碳商品和服务贸易的增加。

已有文献在低碳技术贸易中政策和国际合作的作用方面作了大量研究，但在将低碳技术贸易与更广泛的经济和环境模型整合方面的发展较少。此外，实证研究缺乏将低碳技术贸易与具体环境产出联系起来的数据。另外，关于新兴经济体在全球低碳技术市场中的角色的实证研究也较为缺乏。例如，Wang 和 Qin^[7] 以及 Xie 等^[8] 的研究强调了“一带一路”倡议对低碳技术贸易的影响，但建议需要更详细的分析来理解这一动态影响效应。

本章在三个方面对现有文献作出贡献。第一，通过探讨过去数十年中低碳技术贸易的趋势来确定影响中国低碳技术贸易的因素，从而增强对驱动低碳技术贸易因素的理解。具体而言，在 Popp^[3]、Johnstone 等^[4] 的基础上，本章确定了政策激励和国际合作是低碳技术扩散的关键驱动因素。第二，对中国低碳技术进口对经济增长和环境结果的影响进行实证分析，为低碳技术贸易的直接和间接影响提供了有价值的证据，有助于理解低碳技术贸易对可持续发展的影响。此外，机制的探讨与发现扩展了 Levinson 和 Taylor^[13]、Kellenberg^[14] 等关于贸易、环境法规和污染天堂效应之间的关

系。第三，本章突出了新兴经济体在全球低碳技术市场中的重要角色，补充了 Zhang 和 Gallagher^[6] 讨论的新兴国家参与低碳技术贸易的研究空缺。

（二）贸易对环境的影响的相关文献

部分文献探讨了贸易对环境的直接影响。Low 和 Yeats^[15] 以及 Tobey^[16] 研究了国际环境协议对贸易的影响，发现这些协议可以促进清洁技术的国际扩散。此外，Antweiler 等^[17] 提出，贸易通过规模效应、结构效应和技术效应影响环境质量。Copeland 和 Taylor^[18] 进一步探讨了贸易自由化对环境的影响，认为贸易可以通过技术扩散和收入效应改善环境，但也可能加剧污染。Cole 和 Elliott^[19] 实证研究发现，一些发展中国家确实吸引了大量污染密集型产业。Levinson 和 Taylor^[13] 进一步验证了这一假说，表明环境法规差异显著影响了产业迁移和贸易模式。Kellenberg^[14] 指出，拥有严格环境法规的国家可以通过技术创新和产业升级在全球市场中获得竞争优势。Zhou 等^[20] 探讨了中国与其他国家之间贸易的环境影响，发现中国的环境政策逐渐改善了贸易带来的负面环境影响。越来越多的研究也关注贸易开放对环境的具体影响。例如，Wang 等^[21] 发现，贸易开放可以通过促进技术进步和产业升级来减少碳排放。Hertwich 和 Peters^[22] 指出，全球供应链对碳足迹的贡献，强调了国际贸易在碳排放中的作用。

也有研究讨论了通过经济增长对环境的间接影响。Grossman 和 Krueger^[23] 提出了环境库兹涅茨曲线，认为环境污染在经济增长的初期增加，但在达到一定水平后开始下降。Stern^[24] 和 Dinda^[25] 的研究支持这一假设，认为经济增长带来的技术进步和环境意识的提高可以减轻污染。Taguchi^[26] 考察了环境库兹涅茨曲线在不同国家的适用性，发现中等收入国家的污染水平逐渐下降，尽管这项研究仅限于一部分污染物并且未发现人均 GDP 和温室气体排放间的相关性。

（三）引力模型的相关文献

引力模型在国际贸易研究中一直是一项重要的工具。Tinbergen^[27] 和 Pöyhönen^[28] 最早将引力模型应用于贸易研究，发现国家之间的贸易量与其经济规模成正比，与其地理距离成反比，随后该模型被广泛应用和扩展。Linnemann^[29] 通过考虑人口和经济合作等因素扩展了模型。Anderson^[30] 提出了多产品框架，改进了传统的引力模型，使其更具解释力。Bergstrand^[31] 通过引入非关税壁垒和货币因素丰富了引力模型的应用。Deardorff^[32] 认为，引力模型不仅适用于预测贸易流量，还能解释贸易模式和政策影响。

随着时间推移，引力模型的应用扩展到了不同的研究领域。Eichengreen 和 Irwin^[33]

研究了历史贸易政策对贸易流量的影响。Rose^[34]实证分析了双边投资条约与贸易流量之间的关系。近年来, Egger^[35]、Baier 和 Bergstrand^[36]等学者使用引力模型研究了区域贸易协定的效果, 发现这些协定显著促进了成员国之间的贸易流量。Fally^[37]使用引力模型分析了全球价值链内的贸易流量, 探究了全球化对贸易流量的影响。

此外, 一些研究讨论了该模型的理论 and 估计方法。Head 和 Mayer^[38]回顾了引力模型的发展, 强调了其理论基础和实证应用。Anderson 和 Yotov^[39]通过研究引力模型中的多个变量, 提出了更精确的估计方法。Santos Silva 和 Tenreyro^[40]引入了 PPML 方法, 有效解决了引力模型中的异方差问题。

三、数据

为识别低碳技术产品的贸易情况, 我们参考了国际货币基金组织发布的《绿色世界数据: 实践者与政策制定者指南》^[6]中的分类方法。该清单包括 124 个按照国际通用的协调制度六位代码分类的产品。协调制度是一套由全球海关机构用于关税计算的国际标准商品命名和编码系统。我们的主要数据来源是联合国统计司的商品贸易统计数据库 (Comtrade), 该数据库记录了用于海关和关税目的的双边贸易数据, 这些数据是开放获取的, 也是目前使用最广泛的贸易数据来源之一。本章覆盖的时间段从 1992—2022 年, 选择这个时间段是因为自 1992 年起中国的贸易数据才开始完整可用。研究涉及的主要国家和地区包括高收入经济体、新兴市场和发展中经济体 (不包括中国), 以及根据世界经济展望的分类定义的中国。此外, 我们还参考了世界银行在《气候行动转型矿物》报告中提供的关键转型矿物列表, 作为分析国际转型矿物贸易趋势的主要分类依据。与这 13 种转型矿物相关的贸易数据也来源于 Comtrade 数据库。

国际货币基金组织的低碳技术产品清单综合了 3 个主要来源之前发布的低碳产品列表。最多的 54 种产品源自亚太经合组织 2012 年发布的环境产品清单^[41], 该组织制定此清单的目的是通过承诺到 2015 年降低所列产品的关税来促进贸易。世界银行在 2008 年的出版物《国际贸易与气候变化: 经济、法律和制度视角》中也提出了对所识别的 43 种产品进行贸易自由化的建议。第三个来源是 Glachant^[42]、Dussaux^[43]和 Dechezleprêtre^[5]的一系列学术出版物, 他们在其中识别了 30 种与气候变化相关的技术产品。这三个来源之间存在部分重叠。因此, 在世界银行的另一本出版物《低碳发展的技术转移和创新》中, Pigato 等^[44]将这三份列表合并, 形成了包含 107 种低碳技术产品的综合列表。最终, 本章所使用的国际货币基金组织低碳技术商品清单还额外

包括了 17 种主要与电动车及电池组件（如锂）相关的产品。

国际货币基金组织的清单方便了对双边低碳技术产品贸易总体趋势的分析。然而，由于该清单未按行业或部门对单个产品进行分类，因此不便于进行按部门的深入分析。这种分析对于系统评估高收入经济体与新兴市场经济体之间的低碳技术供应链至关重要。本章的一个主要创新是开发了一个分类系统，该系统根据部门和技术类型将国际货币基金组织清单中的 124 种产品聚合到更广泛的类别中。我们为国际货币基金组织清单上的每种产品分配了从建筑、能源储存、污染控制、发电、家用电器、交通运输到环境监测等不同部门的行业分类。此外，我们还为每个产品分配了相应的技术类别。例如，发电技术类别包括生物能源、地热、水电、太阳能、风能及可再生能源模块部件等。

我们使用了上述数据来源中现有的描述来创建这些聚合行业类型并分配相应的技术类别。经济合作与发展组织的环境产品清单和世界银行的清单都为每个产品的功能提供了详细的低碳技术描述。我们利用这些描述来确定每个产品的技术类别。此外，对经济合作与发展组织清单的分析性研究，以及 Glachant^[42]、Dussaux^[43] 和 Dechezleprêtre^[5] 的工作使用了一些聚合类别来描述他们的数据。我们整合了这些现有类别，并新增了如交通运输这样的新类别，以对电动和混合动力车辆进行分类。表 12-1 展示了最终的分类结果。

表 12-1 低碳技术产品分类

序号	领域	技术类别
1	建筑	供暖 / 制冷 绝缘 照明 其他
2	能源存储	电池
3	污染控制	空气 固体废物 水
4	发电	生物能源 地热 水力发电 核能 太阳能 风能 可再生能源模块部件

序号	领域	技术类别
5	家用电器	节能
6	交通	电动车（EV） 混合动力车 其他
7	环境监测	空气 其他 水

大部分产品（30 种）归属于发电领域，这些产品的贸易量非常庞大。在发电领域内，这些产品分布于各个技术类别中，包括生物能源、地热、水力发电、核能、太阳能、风能及可再生能源模块部件。建筑、能源存储、污染控制、家用电器、交通和环境监测分别包括 20 种、13 种、24 种、10 种、9 种和 17 种产品，且这些产品主要在各自的技术类别中均匀分布。此外，值得注意的是，除锂以外，这份低碳技术产品清单不包括其他转型矿物。锂在这种情况下同时被列入低碳技术产品和转型矿物清单，并且包括在与每个清单相关的贸易数据分析中。

这个数据集的一个主要限制是，国际货币基金组织的清单可能不是低碳技术的输入品和产品的详尽清单。例如，除清单中包含的锂离子电池外，氢燃料电池和飞轮系统也是提高能效的能源存储系统的组成部分，但这些产品并未被国际货币基金组织的清单包括。另一个例子是，用于联合热电技术的基础组件，如往复式发动机和微型涡轮机，这些都是常见的节能低碳技术产品，但也未被包含在内。因此，这项研究并未涵盖所有的低碳技术产品贸易。尽管如此，这仍是目前可获得的最全面的清单。未来的工作应专注于对这份清单进行细化，包括所有相关的产品，这些产品是生产低碳技术产品的输入品。数据集的另一个弱点是可能高估了低碳技术产品的贸易价值。例如，环境监测部分包括多用途测量设备，如光谱仪、色谱仪和测量设备，但并非所有这些设备都会用于环境监测。类似的情况还有发电部分的可再生能源模块化部件。该类别下的产品包括电力发电机、变压器以及电力分配用的板和面板；与环境监测下的设备一样，并非所有这些产品都将用于可再生能源生成。这个问题是不可避免的，因为在国家层面跟踪产品使用信息是不可能的。

四、全球低碳技术贸易概览

全球低碳技术贸易正逐渐成为推动世界向碳中和转型的关键因素。本章将提供过

去 30 年低碳技术贸易的重要趋势概述，强调市场动态的演变以及主要国家，尤其是中国，在其中所扮演的核心角色。随着 2030 年的临近以及对气候变化行动的限制，理解这些趋势对政策制定者、行业领袖和专注于培育全球弹性低碳经济的研究人员变得至关重要。

与全球经济一样，过去 30 年全球低碳技术贸易的结构也经历了巨大的变化。传统上主导出口市场的高收入国家，其份额从 1992 年的 93.8% 下降至 2007 年的 81.4%，再进一步下降至 2022 年的 62%。相较之下，发展中国家，特别是中国，在出口市场的份额显著增加。从 1992 年的 1.1% 稳步上升至 2007 年的 12.2%，2007 年以后，中国的低碳技术出口量快速增长，到 2022 年时占全球总量的 22.8%。同期，除中国外的其他发展中经济体的出口也翻了 1 倍多，从 6.4% 增加到全球总出口的 15.1%^[45]。

在进口市场上，高收入国家在过去 30 年间一直是低碳技术的主要进口者。它们的进口份额略有下降，从 1992 年的 74.1% 降至 2007 年的 71.9%，并进一步降至 2022 年的 69.3%。这一大份额表明，尽管高收入国家继续在低碳技术进口方面领先，全球低碳技术进口动态正逐渐多元化。在全球南方，中国在低碳技术进口市场的份额最初有所增加，从 1992 年的 5.1% 上升至 2007 年的 14.3%。然而，这一趋势在随后几年中逆转，到 2022 年中国的进口份额降至 8.6%。这种下降主要由于其国内低碳技术产业的发展，随着本地生产能力和技术的提升，减少了对进口的依赖。

与此相反，其他发展中经济体的进口份额变化方向则恰恰相反。从 1992 年到 2007 年约下降 7% 之后，它们的进口份额显著反弹，超过 1992 年的水平，到 2022 年达到 22.1%。这种增长表明，这些经济体在低碳技术方面的参与和投资正在增长，可能是由于环境意识的提高、国际气候承诺和低碳技术成本的下降使这些技术更易于获取。

进出口市场的这些变化显著影响了低碳技术的贸易平衡。中国成为全球低碳技术市场结构变化的主要受益者。从历史上看，直到 2008 年，中国一直是低碳技术产品的净进口国。然而，2008 年之后，得益于政府强有力的产业政策支持，清洁技术制造业得到了培育，中国转变为净出口国。这一转变使中国能够以成本效益高的低碳技术产品充斥全球市场。到 2022 年，中国的低碳技术净出口额飙升至 1 621 亿美元，确立了其在全球市场的主导地位。

相比之下，直到 2021 年，高收入国家集体为低碳技术的净出口国，但随着中国的清洁技术产业的扩张，这些国家转变为净进口国。具体而言，这些国家的贸易平衡从 2007 年的正 670 亿美元转变为 2022 年的负 630 亿美元。这一变化反映了高收入国家日益依赖进口以满足其不断增长的低碳技术需求的动态变化，部分原因是来自中国的价

格竞争力和先进技术。对于发展中国家群体而言，其贸易逆差也在这些年里有所恶化。尽管这一逆差不断增加，但也反映了发展中国家群体内多种因素的复杂相互作用：一方面，这些经济体可能因国内生产能力不足及迫切需要达到环境目标而经历了低碳技术贸易逆差的增加。另一方面，这也可能造成依赖性，除非发展中国家通过支持性政策来建设国内低碳技术领域，否则可能会抑制本地产业的发展。

中国 2007 年之后出口的增加与其国内低碳技术产业的大量投资相关^[46, 47]。这种增长可以归因于技术获取的改善，无论是国际上还是国内对气候和环境行动的支持，还是提升本地实施支持低碳技术产业政策的能力。随着中国在可再生能源技术、电动车和能效等领域制造能力的提升，其对进口的依赖减少了。价格合理的中国低碳技术产品已渗透全球市场。这一转变不仅支持了中国的能源安全 and 经济战略，也使其有望成为未来低碳技术的潜在出口国而非净进口国。

此外，除中国外其他新兴市场及发展中经济体进口的增加强调了一个更广泛的趋势，即这些地区在低碳部署方面正在赶上。这种增长反映了这些经济体与全球低碳倡议的日益扩大的互动，并表明它们对可持续技术的需求和能力在增长。这种转变至关重要，因为它凸显了全球低碳技术市场的动态性质，经济发展、技术进步和政策框架的相互作用，重塑了这些关键技术的国际贸易格局。然而，这些非中国 EMDEs 的国内低碳技术产业落后于低碳技术市场的扩张，导致了巨大的贸易逆差，主要是它们的市场对中国产品的进口。这些国家在全球贸易中所占比例虽小，但经历了显著的贸易失衡。考虑这些地区未来排放的轨迹，这种情况令人关注，但也为南南合作提供了机会，特别是与中国的合作。此类合作应促进本地产业的发展，促进本地低碳技术创新，减少对进口的依赖，并增强区域能力以满足日益增长的低碳技术需求。

总体来看，数据表明全球低碳技术贸易从发达经济体向全球南部发生了显著的新定向。尽管高收入国家仍占据市场的主要部分，但它们正在失去对发展中经济体，特别是中国的出口市场。随着中国和其他发展中经济体继续提升它们的能力并增加它们的市场份额，它们可能会多样化全球低碳技术生产并加速全球能源转型。

贸易平衡的结构变化不仅凸显了全球制造业格局的变动，也反映了不同低碳技术领域的发展和投资动态。随着时间推移，全球对各种低碳技术需求格局的实质性扩张和变化。总体来看，出口市场的总值从 1992 年的 710 亿美元增长至 2022 年的 11 190 亿美元。其中，清洁发电技术，主要包括太阳能和风能，在 2000 年代初已经超越所有其他领域，并在 2022 年进一步增长至 281 亿美元。

2017 年，全球低碳技术出口领域又迎来了重大发展，特别是清洁交通领域包括新

能源汽车的出口急剧增长，标志着低碳技术贸易组成的重大转变。其在总低碳技术出口中的份额从 2016 年的仅 0.02% 飙升至 2017 年的 5.9%，并在 2022 年进一步增加到超过 20%。这一激增反映了全球优先级和创新的广泛趋势，尤其是电动车和其他可持续交通解决方案的快速采纳和发展，与全球应对城市污染和气候变化的努力相符。这种增长不仅突出了重大的气候行动，还表明电动车和能源存储技术已成熟发展，成为整体低碳技术市场的重要组成部分^[48, 49, 50]。

这些全球低碳技术出口市场的趋势显示了一个明确且持续的脱碳推动的基础。从 2008 年后市场的复苏以及自 2012 年以来克服各种贸易壁垒的能力来看，这一市场的韧性显示了全球对向更可持续的能源和交通系统过渡的坚定承诺。随着技术进步和全球对低碳技术进一步激励政策的实施，这一领域的增长有望持续。

中国的低碳技术出口虽然与全球趋势一致，但也具有其独有的特征。中国在脱碳的先进技术，如清洁发电技术（特别是风能和太阳能）、能源存储和交通运输技术上投入重点，这些领域共同构成了其低碳技术出口的大部分。

自 2004 年以来，中国在清洁发电领域的出口显著增长，达到超过 140 亿美元，占全球总出口的 14%。然而，在 21 世纪 10 年代，由于美国和欧洲对中国太阳能产品实施的反倾销关税，这一领域的出口量经历了停滞和波动，出口额在长达数年间未能实现突破性增长。尽管面临这些挑战，到 2021 年出口价值增至 940 亿美元，较疫情前增长了 37%，并自此保持全球总量的 30% 以上。这些数据突出了中国在全球低碳技术市场中的关键作用，特别是在其成功克服重大贸易壁垒并保持竞争优势的领域。

中国的其他先进清洁技术产品在全球市场上也日益具有竞争力。2001 年，中国的能源存储出口达到了 10 亿美元，虽然这个数字在绝对值上看似较小，但占全球份额的 11%，使中国在能源存储市场中具有竞争优势。在接下来的近 20 年中，中国能源存储产品的出口持续强劲增长，2015 年达到 100 亿美元，2020 年翻倍至 200 亿美元。在疫情后时期，中国产品的市场份额显著扩大，2022 年达到 580 亿美元，占全球总量的 30% 以上。同样，中国在全球清洁交通技术市场的份额也呈现了这种增长模式，表明其与全球低碳经济关键领域需求趋势的战略对齐。2017 年，中国低碳交通产品的出口经历了显著增长，推动了全球电动汽车行业的扩张。在 2016 年之前几乎未占全球清洁交通出口市场的任何份额，中国的份额在 2017 年戏剧性增长至 5%。到 2022 年，这一数字已增至 290 亿美元，占全球总量的 13%。

2022 年，清洁发电、能源存储和交通产品的组合的出口总额达到 1 740 亿美元，占了中国低碳技术出口总额的 68%。这一模式凸显了中国在提升其在先进清洁技术领

域的能力上的战略重点，这是全球能源转型的关键领域。市场份额的大幅增加，特别是在疫情之后的几年，突出了中国清洁能源产业在技术成就和克服市场壁垒方面的韧性，使其定位为全球市场的领先者（见表 12-2）。

表 12-2 中国低碳技术出口百分比份额（按贸易伙伴收入和地区分布） 单位：%

收入群体	1992 年	2007 年	2022 年
高收入	63.8	79.6	70.1
中上等收入	13.7	0.5	15.9
中下等收入	21.5	7.0	13.6
低收入	1.0	12.9	0.5
地区	1992 年	2007 年	2022 年
东亚与太平洋	61.4	50.9	30.8
欧洲与中亚	10	24.4	37
拉丁美洲与加勒比	0.8	4.4	6.9
中东与北非	4.4	2.3	4.7
北美	6.7	13.2	13.1
南亚	16.1	3.5	5.3
撒哈拉以南非洲	0.6	1.3	2.2

在目的地方面，中国低碳技术产品的主要消费者是高收入国家。表 12-2 显示了中国低碳技术出口的地区分布，突出显示了对高收入国家的显著偏好，这些国家占总出口的 70% 以上。值得注意的是，对欧洲的出口显示出实质性增长，从 1992 年的 10% 增加到 2007 年的 24.4%，并进一步增加到 2022 年的 37%。相比之下，对北美的出口多年来相对稳定。合并来看，对欧洲和北美的出口约占中国低碳技术出口总量的 43%。

其他收入群体也见证了对中国低碳技术的进口增长。对中上收入和中下收入国家的出口分别占 15.9% 和 13.6%。然而，对低收入国家的出口份额在 21 世纪前十年曾相当可观，但在随后的年份中有所下降，2022 年仅占中国出口的 0.5%。这一趋势在区域数据中也有体现，撒哈拉以南非洲地区在 2022 年仅购买了中国 2.2% 的出口产品。有趣的是，中国对东亚及太平洋地区的低碳技术出口份额显著下降，从 2007 年前的 50% 以上下降至 2022 年的仅 30%。这些出口市场的变化强调了低碳技术需求的发展，表明出口倾向于具有更进步气候政策的国家，特别是在欧洲和北美，这些地区对低碳技术

的投资持续增长。与此同时，对低收入地区的相对低数字暗示了潜在的有限市场需求，这可能由于经济负担能力不足或缺乏支持低碳技术的基础设施。

五、实证设计

（一）影响中国低碳技术产品贸易的决定因素

在创建低碳技术产品贸易货物数据集后，我们在引力方程框架内对中国低碳技术产品贸易进行实证分析。引力模型的发展已在文献综述部分进行了讨论。为了构建结果和控制变量，我们主要从世界发展指标（WDI）数据库中获取国家级时变变量。在回归前，所有解释变量都被标准化为 Z 分数。表 12-3 列出了所有变量的原始值汇总统计。

表 12-3 统计数据汇（原始值）

变量	(1) 预测值	(2) 均值	(3) 标准差	(4) 最小值	(5) 最大值
出口至中国的低碳技术（1 000 美元）	2 964	419 596.861	2 291 309.087	0.001	29 231 552.000
从中国进口的低碳技术（1 000 美元）	4 697	260 305.829	1 095 671.068	0.024	19 581 512.000
出口至中国的矿产（1 000 美元）	2 164	797 745.334	4 432 737.489	0.007	78 880 472.000
从中国进口的矿产（1 000 美元）	1 941	9 474.610	66 353.792	0.001	1 559 630.000
义务教育	3 447	9 305	2.212	4.000	16.000
腐败治理（世界银行指数值）	3 640	-0.058	1.001	-1.849	2.459
国内信贷（占 GDP 的比重）	3 666	48.904	51.091	0.002	525.704
外国直接投资流入（占 GDP 的比重）	4 554	4.935	15.212	-57.532	449.081
GDP 增速（百分比）	4 569	3.661	5.697	-50.339	149.973
国内储蓄额（占 GDP 的比重）	4 091	19.596	16.948	-86.912	87.827
通货膨胀（%）	4 266	14.789	131.869	-16.860	4 734.914
人均外国援助（美元）	3 487	99.975	266.329	-131.942	4 732.423
政治稳定性（世界银行指数值）	3 655	-0.067	0.979	-3.313	1.759
人口增长（%）	4 697	1.505	1.604	-16.049	19.360
实际利率（%）	2 903	6.578	12.519	-93.513	139.964
监管质量（世界银行指数值）	3 631	-0.061	0.982	-2.548	2.255
加权平均关税（百分比）	3 206	7.077	10.332	0.000	421.500
国内人均生产总值（取自然对数）	4 480	9.159	1.189	6.079	11.701

变量	(1) 预测值	(2) 均值	(3) 标准差	(4) 最小值	(5) 最大值
总储量（占 GDP 的比重）	4 183	16.882	17.400	0.029	229.480
实际有效汇率指数（滚动标准差）	2.288	5.387	7.449	0.143	110.278
通货膨胀（滚动标准差）	4 047	11.673	104.557	0.080	3 655.932
贸易开放度	4 107	0.597	0.347	0.092	3.445
国内生产总值（取自然对数）	4 619	23.851	2.354	17.150	30.694
二氧化碳排放量（kt） （取自然对数）	4 697	9.357	2.413	1.887	15.569
二氧化碳排放量（t/人）	4 697	4.372	5.643	0.022	47.657
二氧化碳排放量 （kg 每购买力平价 GDP）	4 528	0.290	0.257	0.034	2.382
二氧化碳排放量（kg 每 2017 年基准 购买力平价 GDP）	4 490	0.240	0.202	0.022	2.085

如前文分析，在过去几年，中国和其贸易伙伴之间的低碳技术产品贸易一直在大幅增长。然而，低碳技术产品贸易的增长在不同国家中呈现出异质性。因此，在这部分分析中，我们研究中国和其贸易伙伴间进行低碳技术产品贸易的潜在决定因素，回归模型设定如下：

$$LCT_{i,t} = \alpha + \beta X_{i,t-1} + \varphi_i + \eta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (12-1)$$

式中： $LCT_{i,t}$ 为中国在 t 年向贸易伙伴 i 出口或进口的低碳技术产品贸易总量； $X_{i,t-1}$ 为滞后一期的 $t-1$ 年中，可能影响中国与贸易伙伴 i 的低碳技术产品贸易的所有变量，解释变量的选择遵循引力方程的文献； φ_i 为贸易伙伴固定效应； η_t 为年份固定效应。

（二）影响中国矿物贸易的决定因素

由于转型矿物在低碳技术供应链中发挥着重要作用，我们进一步研究中国与其贸易伙伴间转型矿物贸易的潜在决定因素，建立回归模型如下：

$$Minerals_{i,t} = \alpha + \beta X_{i,t-1} + \varphi_i + \eta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (12-2)$$

式中： $Minerals_{i,t}$ 为中国在 t 年向贸易伙伴 i 出口或进口的转型矿物总量； $X_{i,t-1}$ 为滞后一期的 $t-1$ 年中，可能影响中国与贸易伙伴 i 矿物贸易的所有变量；解释变量的选择遵循引力方程的文献； φ_i 为贸易伙伴固定效应； η_t 为年份固定效应。

（三）中国低碳技术产品贸易对贸易伙伴环境的影响

在这部分分析中，我们将从中国进口的低碳技术产品贸易作为自变量，研究与中国开展低碳技术产品贸易对一国环境绩效的影响。这些变量包括总量和行业层面的二氧化碳、氮和甲烷排放量。低碳技术产品贸易进口对环境的潜在影响可能通过直接渠道（如采用较新的低碳技术）和间接渠道（如在贸易中学习）产生。

我们预计，从中国进口低碳产品能够在绝对排放量、人均排放量和单位 GDP 排放三个维度上降低一个国家的碳排放水平。我们还预计，该影响在不同部门间呈现出异质性。例如，进口中国的电车来取代化石燃料汽车会减少贸易伙伴在运输部门的碳排放。

除关键的核心变量外，我们还引入了包括 GDP 增长率、对数转换的 GDP 规模、人均 GDP、国内储蓄总额、金融部门提供的国内信贷、通货膨胀和通货膨胀的滚动标准差、实际利率、实际有效汇率的滚动标准差、总储备、贸易开放度、人口增长等一系列控制变量。所有变量均来源于世界发展指标（WDI）数据库。

具体来说，为了估计中国低碳技术商品的进出口对一国经济和环境绩效的影响，我们构建了以下回归模型：

$$Y_{i,t} = \alpha + \beta LCT_{i,t} + L'X_{i,t-1} + \varphi_i + \eta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (12-3)$$

式中： $Y_{i,t}$ 为 t 年贸易伙伴 i 的环境结果变量；考虑采用低碳技术所需的时间， $LCT_{i,t}$ 为滞后一期的 $t-1$ 年中，中国向贸易伙伴 i 的低碳技术产品贸易出口总额； $X_{i,t-1}$ 为滞后一期的 $t-1$ 年中，包含的贸易伙伴 i 的所有控制变量； φ_i 为贸易伙伴固定效应； η_t 为年份固定效应。

（四）经济机制

基准回归反映了从中国进口的低碳技术产品贸易对一个国家环境变量的总体影响，我们进一步开展经济机制分析，回归模型设定如下：

$$Y_{i,t} = \alpha + \beta_1 LCT_{i,t-1} \times CV_{i,t-1} + \beta_2 CV_{i,t-1} + L'X_{i,t-1} + \varphi_i + \eta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (12-4)$$

除变量 $CV_{i,t-1}$ 外，方程中变量含义与方程（3）相同。 $CV_{i,t-1}$ 表示 $t-1$ 年贸易伙伴 i 的渠道变量。 $CV_{i,t-1}$ 通过交互项 $LCT_{i,t-1} \times CV_{i,t-1}$ 影响 $LCT_{i,t-1}$ 的环境绩效。根据文献综述中讨论的经济增长和贸易相关理论，我们认为以下变量可以作为潜在的渠

道变量：人力资本、政治稳定性、外国直接投资流入以及收到的外国援助。尽管研究中将所有模型右侧变量进行了滞后处理，以避免反向因果关系，但当前部分的实证设计可能仍存在内生性问题，我们计划在未来的研究中进一步解决这个问题。

六、实证结果

（一）中国低碳技术产品贸易的决定因素

我们在表 12-4 中列出了中国低碳技术产品贸易决定因素的回归结果。第（1）列是从中国进口的低碳技术产品贸易，第（2）列是向中国出口的低碳技术产品贸易。首先，国内生产总值（GDP）规模越大的国家倾向于从中国进口更多的低碳技术产品，这与数据和引力模型的预测一致；同时，以人均国内生产总值为基准的经济发展水平对中国低碳技术产品进出口产生负面影响：人均 GDP 较高的国家从中国进口较少的低碳技术产品，而向中国出口较多的低碳技术产品。其次，通货膨胀和通货膨胀的不确定性（以 4 年滚动标准差衡量）与中国的低碳技术产品进出口贸易负相关。此外，回归结果显示实际有效汇率的 4 年滚动标准差与中国的低碳技术产品贸易之间存在正相关关系。最后，贸易开放度和政治稳定能推动从中国进口低碳技术产品，而关税在中国的低碳技术产品贸易中作用不显著。

表 12-4 中国低碳技术产品贸易的决定因素

因素	从中国进口 LCT（取自然对数）	出口到中国 LCT（取自然对数）
	（1）	（2）
国内生产总值	4.081*** （7.87）	-2.179 （-1.43）
GDP 增速	0.051 （0.98）	-0.201 （-1.44）
人均 GDP	-2.007*** （-4.28）	4.993*** （3.50）
国内储蓄总额	0.118 （1.25）	0.406 （1.56）
国内信贷	-0.041 （-0.68）	-0.037 （-0.26）
通货膨胀	-2.766* （-1.78）	-14.001*** （-3.46）

因素	从中国进口 LCT（取自然对数）	出口到中国 LCT（取自然对数）
	(1)	(2)
通货膨胀（滚动标准差）	0.052	-2.149***
	(0.19)	(-3.30)
实际利率	0.062	0.179
	(1.45)	(1.45)
实际有效汇率指数 （滚动标准差）	0.111**	0.494***
	(2.11)	(3.51)
总储量	-0.352***	0.005
	(-3.42)	(0.02)
贸易开放度	0.411***	0.147
	(6.10)	(0.87)
人口增长速度	0.021	-0.030
	(0.29)	(-0.16)
加权平均关税	-0.025	0.306
	(-0.23)	(0.89)
腐败治理	-0.074	-1.478***
	(-0.52)	(-3.87)
政治稳定性	0.251***	0.094
	(2.96)	(0.41)
监管质量	0.172	0.258
	(1.17)	(0.65)
贸易伙伴固定效应	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes
观测值	830	725

注：本表列出了从中国进口低碳技术产品和向中国出口低碳技术产品的决定因素。所有自变量均进行了标准化和滞后一期处理，每个模型均固定了截面和年份效应，括号中数值为 t 统计量，***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平下显著。

（二）中国矿物贸易的决定因素

表 12-5 中列出了矿物贸易决定因素的回归结果。与低碳技术产品贸易不同，矿物进出口与加权平均关税密切相关。提高加权平均关税将减少来自中国的矿物进口和对中国的矿物出口。受贸易多样化的影响，贸易开放度对从中国进口矿物产生了负面影响。

有少量证据显示，经济上较发达的国家倾向于从中国进口更多的矿物，而向中国出口少量矿物。最后，以滚动标准差表示的汇率不确定性将减少对中国的矿物出口。

表 12-5 中国矿物贸易的决定因素

因素	从中国进口矿物（取自然对数）	向中国出口矿物（取自然对数）
	（1）	（2）
国内生产总值	0.420	2.100
	（0.23）	（1.02）
GDP 增速	-0.127	-0.120
	（-0.63）	（-0.55）
人均 GDP	3.224*	-0.706
	（1.84）	（-0.36）
国内储蓄总额	-0.336	0.297
	（-0.88）	（0.76）
国内信贷	-0.274	-0.096
	（-1.05）	（-0.27）
通货膨胀	18.891**	-10.693
	（2.23）	（-1.09）
通货膨胀（滚动标准差）	0.317	1.192
	（0.37）	（1.37）
实际利率	0.212	-0.104
	（0.86）	（-0.40）
实际有效汇率指数 （滚动标准差）	0.215	-0.389**
	（1.35）	（-2.06）
总储量	0.211	-0.105
	（0.67）	（-0.25）
贸易开放度	-0.813***	-0.346
	（-3.99）	（-1.34）
人口增长速度	0.095	-0.049
	（0.32）	（-0.18）
加权平均关税	-0.942**	-0.837*
	（-2.13）	（-1.91）
腐败治理	0.066	-0.056
	（0.13）	（-0.09）

因素	从中国进口矿物（取自然对数）	向中国出口矿物（取自然对数）
	(1)	(2)
政治稳定性	0.382	0.300
	(1.45)	(0.90)
监管质量	-0.069	0.240
	(-0.14)	(0.39)
贸易伙伴固定效应	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes
观测值	504	545

注：本表列出了从中国进口矿物和向中国出口矿物的决定因素。所有自变量均进行了标准化和滞后一期处理，每个模型均固定了截面和年份效应，括号中数值为 *t* 统计量，***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平下显著。

（三）中国低碳技术产品贸易对贸易伙伴环境的影响

中国低碳技术产品贸易对贸易伙伴环境的回归结果在表 12-6 中列出。第（1）列至第（4）列，报告了从中国进口低碳技术产品对进口国二氧化碳排放的影响。具体而言，第（1）列为对数化处理的二氧化碳排放量（单位：kt）；第（2）列为人均碳排放量（单位：t）；第（3）列和第（4）列为单位 GDP 碳排放量（单位：kg）。我们发现，在不同碳排放衡量标准下，从中国进口低碳技术产品可以显著减少进口国的二氧化碳排放量。使用细分行业数据，我们进一步发现，运输部门的液体燃料和燃料燃烧是碳排放减少最多的燃料类别。对这一发现的解释是，由于从中国进口电动汽车或相关技术的增加，进口国汽车使用的液体燃料已经减少。最后，我们发现从中国进口低碳技术产品对进口国 NO 和 PM_{2.5} 环境的影响尚未被记录。

表 12-6 中国低碳技术产品贸易对贸易伙伴环境的影响

因变量： 二氧化碳排放量	总量				液体燃料	交通领域
	kt（取自然对数）	t/ 人均	kg/（每单位 GDP）	kg/（每单位 GDP，2017 年基准）	kt（取自然对数）	液体燃料排放百分比占比
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
从中国进口的 LCT	-0.023***	-0.288***	-0.017***	-0.009***	-0.022***	-0.822***
	(-3.51)	(-9.63)	(-6.34)	(-7.05)	(-3.10)	(-5.46)
GDP 增速	0.030***	0.049	0.017***	0.005**	0.035***	-0.404
	(3.07)	(1.10)	(4.24)	(2.45)	(2.82)	(-1.39)

因变量： 二氧化碳排放量	总量				液体燃料	交通领域
	kt（取自然对数）	t/ 人均	kg/（每单位 GDP）	kg/（每单位 GDP，2017 年基准）	kt（取自然对数）	液体燃料排放百分比占比
	（1）	（2）	（3）	（4）	（5）	（6）
人均 GDP	-0.321*** （-4.27）	1.828*** （5.39）	-0.229*** （-7.45）	-0.140*** （-9.54）	-0.499*** （-4.62）	-11.683*** （-4.27）
通货膨胀	0.140*** （2.83）	0.173 （0.78）	0.091*** （4.48）	0.029*** （3.03）	0.064 （1.08）	-1.070 （-1.06）
贸易开放度	-0.071*** （-4.68）	-0.242*** （-3.52）	-0.052*** （-8.33）	-0.023*** （-7.82）	-0.056*** （-2.93）	1.215*** （3.19）
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
贸易伙伴固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值	1 018	1 018	1 018	1 018	853	607

注：本表列出了从中国进口低碳技术产品对二氧化碳排放的影响。所有自变量均进行了标准化和滞后一期处理，每个模型均固定了截面和年份效应，括号中数值为 *t* 统计量，***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平下显著。

（四）经济机制

1. 人力资本

根据方程（12-4），我们进一步分析进口国的人力资本是否会影响从中国进口低碳技术产品的环境效应。因此，我们在回归中引入义务教育以及低碳技术产品进口与义务教育的交互项。如表 12-7 所示，低碳技术产品进口和义务教育的交互项与四种二氧化碳排放衡量指标都呈负相关关系。结果表明，进口国的教育水平放大了从中国进口低碳技术产品的环境效益，可能的原因是人力资本不仅和研发回报相联系，并且在采用国外获得的低碳技术产品方面也发挥着关键作用。

表 12-7 经济机制：人力资本

因变量： 二氧化碳排放量	总量			
	kt（取自然对数）	t/ 人均	kg/（每单位 GDP）	kg/ 每（单位 GDP，2017 年基准）
	（1）	（2）	（3）	（4）
LCT 进口 × 义务教育	-0.021*** （-2.99）	-0.312*** （-9.58）	-0.006* （-1.92）	-0.004** （-2.44）

因变量： 二氧化碳排放量	总量			
	kt（取自然对数）	t/ 人均	kg/（每单位 GDP）	kg/ 每（单位 GDP， 2017 年基准）
	(1)	(2)	(3)	(4)
从中国进口 LCT	-0.001	0.024	-0.008*	-0.004**
	(-0.07)	(0.58)	(-1.77)	(-2.26)
义务教育	0.038***	0.244***	0.019***	0.011***
	(3.65)	(5.07)	(3.94)	(5.18)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
贸易伙伴固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值	825	825	825	825

注：本表为从中国进口低碳技术产品与以义务教育为代理变量的人力资本对二氧化碳排放的联合效应。所有自变量均进行了标准化和滞后一期处理，每个模型均固定了截面和年份效应，括号中数值为 t 统计量，***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平下显著。

2. 政治稳定性

第二个潜在影响机制是政治稳定性。进口国的制度环境可能影响从中国进口低碳技术产品的有效使用。政治稳定性较高的国家能够规划和实现长期目标，特别是与环境和技术相关的长期目标。因此，我们将低碳技术产品进口和政治稳定性的交互项引入回归模型中。回归结果如表 12-8 所示，第（1）列、第（2）列和第（4）列中，交互项的估计值均为负值，且通过显著性检验，这表明从中国进口低碳技术产品在政治稳定性更高的国家减排效应更明显。

表 12-8 经济机制：政治稳定性

因变量： 二氧化碳排放量	总量			
	kt（取自然对数）	t/ 人均	kg/（每单位 GDP）	kg/（每单位 GDP， 2017 年基准）
	(1)	(2)	(3)	(4)
LCT 进口 × 政治稳定性	-0.025**	-0.161***	-0.001	-0.004*
	(-2.16)	(-3.17)	(-0.27)	(-1.75)
从中国进口 LCT	-0.008	-0.192***	-0.013***	-0.006***
	(-0.88)	(-4.92)	(-3.81)	(-3.44)
政治稳定性	0.091***	0.145*	0.042***	0.022***
	(4.97)	(1.82)	(6.03)	(6.39)

因变量： 二氧化碳排放量	总量			
	kt（取自然对数）	t/ 人均	kg/（每单位 GDP）	kg/（每单位 GDP， 2017 年基准）
	（1）	（2）	（3）	（4）
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
贸易伙伴固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值	879	879	879	879

注：本表为从中国进口低碳技术产品与政治稳定对二氧化碳排放的联合效应。所有自变量均进行了标准化和滞后一期处理，每个模型均固定了截面和年份效应，括号中数值为 *t* 统计量，***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平下显著。

3. 外国直接投资

外国直接投资流入是另一个可能提高中国低碳技术产品有效使用的变量。根据以往的研究，外国直接投资通常与较高的技术和人力资本存量有关，而技术和人力资本存量对低碳技术产品有效使用具有重要的作用。因此，我们将低碳技术产品进口和对外资本流入的交互项引入回归模型中。回归结果如表 12-9 所示，在第（1）列和第（2）列中，交互项的估计值为负值，且通过显著性检验。这说明外国直接投资流入量增加，从中国进口低碳技术产品则可以减少更多的二氧化碳排放。然而，外国直接投资流入未对单位 GDP 的二氧化碳排放量产生影响。

表 12-9 经济机制：外国直接投资

因变量： 二氧化碳排放量	总量			
	kt（取自然对数）	t/ 人均	kg/（每单位 GDP）	kg/（每单位 GDP， 2017 年基准）
	（1）	（2）	（3）	（4）
LCT 进口 × 外国直接投资流入	-0.109**	-0.710***	0.005	-0.005
	(-2.37)	(-3.40)	(0.25)	(-0.57)
从中国进口 LCT	-0.034***	-0.352***	-0.017***	-0.010***
	(-4.36)	(-10.10)	(-5.35)	(-6.41)
外国直接投资流入	0.020	-0.018	0.012*	0.006*
	(1.25)	(-0.25)	(1*82)	(1.82)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
贸易伙伴固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes

因变量： 二氧化碳排放量	总量			
	kt（取自然对数）	t/ 人均	kg/（每单位 GDP）	kg/（每单位 GDP， 2017 年基准）
	（1）	（2）	（3）	（4）
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值	1 018	1 018	1 018	1 018

注：本表为从中国进口低碳技术产品和外国直接投资流入对二氧化碳排放的联合效应。所有自变量均进行了标准化和滞后一期处理，每个模型均固定了截面和年份效应，括号中数值为 *t* 统计量，***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平下显著。

4. 外国援助

从外国获得的发展援助是推动低碳技术产品使用的另一个影响因素。大部分外国援助由发达国家提供，这些国家通常拥有先进的技术和人力资本，这种技术和人力资本知识可能会外溢到援助接受国。因此，我们在模型中引入了低碳技术产品进口和收到外国援助的交互项。回归结果如表 12-10 所示，第（1）列至第（4）列交互项的估计值均为负值，并且通过显著性检验。这说明进口国接受外国援助时，从中国进口低碳技术产品的环境减排效应会增强。

表 12-10 经济机制：外国援助

因变量： 二氧化碳排放量	总量			
	kt（取自然对数）	t/ 人均	kg/（每单位 GDP）	kg/（单位 GDP， 2017 年基准）
	（1）	（2）	（3）	（4）
LCT 进口 × 接受的外国救助	-3.751***	-9.938***	-1.824***	-0.564**
	(-2.93)	(-3.14)	(-4.98)	(-2.42)
从中国进口 LCT	-1.107***	-2.785***	-0.555***	-0.167**
	(-2.92)	(-2.98)	(-5.11)	(-2.42)
接受的外国救助	-0.778***	-2.234***	-0.378***	-0.102**
	(-2.75)	(-3.20)	(-4.67)	(-1.98)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
贸易伙伴固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值	625	625	625	625

注：本表为从中国进口低碳技术产品与接受的国外救助对二氧化碳排放的联合效应。所有自变量均进行了标准化和滞后一期处理，每个模型均固定了截面和年份效应，括号中数值为 *t* 统计量，***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平下显著。

（五）性别分析

随着性别平等的提高,人才库得以扩充以推动经济增长,尤其是在低碳技术和矿产贸易领域带来了更多经济机会,接下来我们将基于实证框架进行性别分析,以探讨性别平等与低碳技术贸易之间的关系。具体来说,我们在式(12-1)和式(12-2)中加入了额外的性别相关变量,以检验低碳技术和矿产贸易是否与女性在职场中的表现相关。需要注意的是,之前确定的低碳技术和矿产贸易的决定因素仍被作为控制变量纳入,但为了简化表格,未报告其估计值。低碳技术贸易的结果见表12-11,矿产贸易的结果见表12-12。

首先,我们发现性别平等与各国对华低碳技术出口高度相关。例如,女性雇主占总女性就业的比例、女性就业率以及服务业女性就业比例均与对华低碳技术出口呈正相关关系,这表明职场女性尤其是领导岗位的女性,是推动低碳技术出口的最重要因素之一。相反,来自中国的低碳技术进口与进口国的性别特定表现的相关性较低,除了工业领域的女性就业比例与来自中国的低碳技术进口呈负相关关系。

表12-12中的结果显示,来自中国的矿产进口和对华矿产出口均与性别变量的表现显著相关。具体而言,女性雇主占总女性就业的比例以及女性与男性劳动参与率的比例均对来自中国的矿产进口有正向贡献。这意味着,社会中女性的相对表现是矿产进口的决定因素之一。此外,工业和服务业的女性就业比例以及女性的一般劳动参与率均与对华矿产出口呈正相关关系。换句话说,女性在工业和服务业中的存在对矿产出口以及总体经济具有特别重要的作用。

总而言之,性别分析提供的证据表明,女性在低碳技术和矿产国际贸易中的表现非常重要。女性参与和社会包容环境对经济竞争力有贡献。具有更好女性劳动力包容性的国家能够更好地抓住可持续贸易和可持续供应链所带来的经济和环境机会。

表 12-11 中国低碳技术产品贸易的性别相关决定因素

因素	从中国进口 LCT（取自然对数）	向中国出口 LCT（取自然对数）
	(1)	(2)
女性雇主	0.054 (0.87)	0.366** (2.20)
女性就业	0.257 (0.63)	2.195** (2.02)

因素	从中国进口 LCT（取自然对数）	向中国出口 LCT（取自然对数）
	(1)	(2)
女性在工业中的就业	-0.281*	0.177
	(-1.96)	(0.45)
女性在服务业中的就业	0.254	2.426***
	(0.79)	(2.84)
女性劳动力参与率	0.060	-1.261
	(0.11)	(-0.89)
女性相较于男性劳动力参与率	-0.342	-0.436
	(-1.03)	(-0.51)
控制变量	Yes	Yes
贸易伙伴固定效应	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes
观测值	802	707

注：本表列出了从中国进口低碳技术产品和向中国出口低碳技术产品与性别相关的决定因素。所有自变量均进行了标准化和滞后一期处理，括号内为 t 统计量，***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平下显著。

表 12-12 中国矿物贸易的性别相关决定因素

因素	从中国进口矿物（取自然对数）	向中国出口矿物（取自然对数）
	(1)	(2)
女性雇主	0.494**	-0.224
	(2.32)	(-0.86)
女性就业	-1.223	-3.342*
	(-0.82)	(-1.94)
女性在工业中的就业	-1.094*	1.800***
	(-1.87)	(3.01)
女性在服务业中的就业	-0.154	4.240***
	(-0.12)	(3.01)
女性劳动力参与率	-0.521	3.895*
	(-0.27)	(1.70)
女性相较于男性劳动力参与率	3.134***	-1.984
	(2.83)	(-1.40)
控制变量	Yes	Yes
贸易伙伴固定效应	Yes	Yes

因素	从中国进口矿物（取自然对数）	向中国出口矿物（取自然对数）
	(1)	(2)
年份固定效应	Yes	Yes
观测值	504	545

注：本表列出了从中国进口矿物和向中国出口矿物与性别相关的决定因素。所有自变量均进行了标准化和滞后一期处理，括号内为 *t* 统计量，***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平下显著。

七、政策建议

（一）加大可再生能源研发补贴力度以推动创新，引领全球能源安全

中国应保持并可能增加对可再生能源技术的研发补贴。这一支持不仅应促进出口，还应侧重提高国内可再生能源解决方案的采纳率。通过在国内推动创新和技术进步，中国可以巩固其作为全球可再生能源领导者的地位，同时解决国内能源需求和环境挑战。持续的研发补贴将推动创新，使中国的可再生能源技术在全球更具竞争力，减少对化石燃料的依赖，降低碳排放并提高能源安全性。具体而言，中国可以建立专门的国家基金来资助可再生能源的研发项目，向投资于可再生能源研发的公司和研究机构提供税收优惠，在区域内设立专注可再生能源研发的创新中心以推动区域经济增长和专业化，并在金融和研发领域加强南南合作。

建立国家可再生能源研发基金。为基金分配年度预算，来源包括政府收入、国际赠款和私营部门的捐助。实施竞争性拨款计划，支持太阳能、风能、生物质能等可再生能源技术的创新项目。鼓励大学、研究机构和私营公司之间的合作，以促进创新和技术转移。建立健全监测和评估框架，以确保基金支出的透明性和有效性，并衡量资助项目的影响。

为可再生能源研发提供税收激励。引入相当于公司在可再生能源技术研发过程中产生的研发费用一定比例的税收抵免。允许可再生能源研发设备和设施相关资本支出加速折旧。对直接参与可再生能源研发的科学家、工程师和其他人员的工资提供额外的税收扣除。对通过可再生能源研发活动产生的专利和知识产权所得提供税收减免或豁免。

建设区域可再生能源创新中心。在可再生能源潜力大的关键地区投资建设最先进的研究设施和实验室。为位于这些创新中心的可再生能源初创企业提供种子资金、指导计划和企业孵化服务。促进地方政府、学术机构和私营企业之间的合作，共同开展大规模研发项目。通过提供资助、奖学金和优越的生活条件，吸引并留住可再生能源领域的顶尖国内外人才。

建立中国政策性银行与全球南方国家同行之间的合作伙伴关系。建立可再生能源项目管道设施及其他合作伙伴关系，以降低可再生能源的资本成本和从中国向全球南方转移技术的交易成本。加强中国与全球南方国家在研发方面的合作。这些合作伙伴关系应特别关注主要出口绿色转型关键矿物的贸易伙伴。通过这些合作伙伴关系，帮助贸易伙伴减少矿物生产过程中的碳排放，并在关键矿物价值链上提升位置。

（二）稳定出口价格，促进与合作伙伴之间稳定的贸易和投资关系

中国应实施政策以便与主要贸易伙伴保持稳定的出口价格。稳定的出口价格减少了出口商、进口商和投资者的不确定性，促进了稳定的贸易和投资关系。具体而言，中国可以监测出口价格数据以进行预测和预警，扩大和加强与主要贸易伙伴的双边货币互换协议，定期与主要贸易伙伴进行宏观经济政策协调以促进出口价格稳定。

监测出口价格数据以进行预测和预警。建立一个全面的出口价格监测体系，特别是在低碳技术及相关矿产等关键领域。通过追踪价格趋势、市场需求和全球经济因素，中国能够及早发现价格波动的预警信号并采取主动应对措施。该监测体系可以包括数据分析工具，用于预测潜在的价格波动，从而使出口商能够提前调整战略。定期将这些预测和预警信息传达给相关利益方，有助于降低风险并在长期内稳定出口价格。

加强双边货币互换协议。与主要贸易伙伴协商并建立双边货币互换协议，以便在不依赖第三方货币的情况下促进贸易和投资。设定清晰的货币互换条款和条件，包括互换金额、期限和利率，以确保互惠互利和稳定。在金融压力期间利用货币互换提供流动性支持，从而减少价格压力和波动。监控和定期审查货币互换协议的有效性，并根据需要进行调整以优化其对出口价格稳定的影响。

与主要贸易伙伴协调宏观经济政策。建立正式机制，定期就宏观经济政策与主要贸易伙伴进行对话和协调，重点关注货币、财政和贸易政策。对其利率政策和通胀目标，以缩小可能导致出口价格波动的差异。在全球经济发展方面进行经济预测和政策响应的合作，以确保同步和相互支持的经济战略。促进国家之间的透明度和数据共享，以建立信任并促进有关出口价格管理政策的决策。

（三）鼓励可再生能源和低碳技术领域的对外直接投资，促进全球合作

中国应继续鼓励和促进在可再生能源和低碳技术领域的对外直接投资，尤其是对主要贸易伙伴国的投资。对外直接投资有助于中国更深入地融入全球经济，促进更强的经济联系和合作。企业可以因此进入新的市场获得资源和技术，从而提高生产力和

竞争力。对外直接投资还可以使收入来源多样化，减少国内市场波动对经济的脆弱性，特别是对于可再生能源产业。具体而言，中国可以建立综合的财政激励和支持机制，以鼓励中国企业在国外投资可再生能源和低碳技术领域，促进双边和多边合作，以促进技术转让和改善中国可再生能源和低碳技术公司的市场准入，并在此过程中着重关注南南合作。

提供对外直接投资的财务激励和支持。为在国外市场投资于可再生能源和低碳技术的公司实施税收优惠、低息贷款和补助。创建专门的基金或金融机构，为这些领域的海外投资提供资本。提供风险缓解工具，如保险和担保，以保护在东道国的政治和经济风险。此外，简化行政程序，减少对外直接投资的行政障碍，使企业更容易应对监管环境。

发展双边和多边技术转让和市场准入的合作伙伴关系。与东道国协商并建立促进技术交流、合资企业和可再生能源与低碳部门合作研发的协议。通过外交努力创造有利的监管环境，包括消除贸易壁垒和确保公平竞争。与国际组织和发展银行合作，共同融资和支持涉及中国公司的大规模可再生能源项目。在国际贸易博览会和论坛上推广中国的可再生能源和低碳技术，以吸引潜在合作伙伴和投资者。

加强南南合作。中国应积极追求并加强与全球南方国家的南南合作，建立合资企业与外国企业建立投资伙伴关系。这些举措应着重促进可再生能源和低碳技术的转让，推动关键矿物的开采和加工，并通过全面的技术转让和培训计划来增强当地的能力。这样做，中国可以确保发展中国家从技术进步中共同受益并提升其价值链，从而实现可持续的经济增长和减少碳排放。加强南南合作不仅将支持合作伙伴国家的发展，还将提升中国在全球绿色技术倡议中的领导地位。一个例子便是中国在过去几年对匈牙利进行的新能源汽车行业投资。

（四）推进贸易自由化，促进可持续贸易实践和全球供应链互联

中国应追求进一步的贸易自由化，以促进可持续贸易和供应链的发展。进一步的贸易自由化可以为国内可再生能源领域的企业创造更多商业机会，提高其生产力和竞争力。具体而言，中国可以推进出口目的地多元化、扩大进口规模、服务贸易特色化、多层次的区域经济合作以及“一带一路”倡议的差异化。

出口目的地多元化。当下国际形势复杂多变，中国出口企业在继续开拓欧美成熟市场，应更加积极地开拓新兴国家市场，如金砖国家、中亚地区等。并且在向不同国家市场出口产品时，中国企业应根据目的地收入水平和现实情况提供差异化产品，在更好满足当地需求的同时增强竞争力。

进口规模扩大化。从宏观政策上看,应持续扩大进口,降低关税,减少贸易成本。这样一来,更多产品可以进入国内市场,有助于提高消费者的幸福感和获得感。从企业的角度来讲,若进口的是中间品,成本下降有利于企业利润的可持续增长以及地方财政利税的增加;若进口的是最终品,关税下降短期会带来竞争,但在长期优胜劣汰中会使行业生产率上升,为行业发展带来利好。

服务贸易特色化。中国已经是全球货物贸易第一大国,但服务贸易还有较大发展空间,应从扩总量、调结构、树特色等方面努力。从总量上看,之前发布的《中国服务贸易发展报告 2022》显示,中国服务进出口规模总额达到 8 891 亿美元。这一数据和美国的服务贸易总量还有一定差距。从结构上看,中国服务贸易在主要产业方面逆差较大,如教育服务是逆差最大的产业之一,应采取措施扩大服务贸易顺差;随着国门开放,中国丰富的旅游资源应得到更多国外游客的青睐,但软设施做得还不够,旅行服务质量有待提升。从特色上看,应找到中国服务贸易产业的比较优势来树立特色,如中医药产业就是可以努力的方向之一。将可再生能源解决方案与产品相结合,以增强可持续性并减少碳足迹的清洁能源服务,可能成为另一个增长来源。

地区经贸合作层次化。目前中国正在推进加入全面与进步跨太平洋伙伴关系协定(CPTPP)进程,但因其成员国多、情况相对复杂,短期内实现较为困难。从要素开放到制度开放,推进中日韩自贸区建设也很重要。中、日、韩三国地缘近、优势互补,扩大中日韩经贸合作有助于促进区域经济一体化,强化地区产业链合作。

“一带一路”差异化。如今共建“一带一路”已经进入下一个十年,未来,陆上丝绸之路建设的重点应放在向东加强和俄罗斯远东地区的经贸合作,海上丝绸之路建设的重点应“两头并进”,一方面向北推进中日韩自贸区建设,另一方面考虑加强和中东、西亚、北非的经贸合作,特别是推进跟伊朗、沙特和埃及等的自贸区建设。如果陆上丝绸之路向东发展、海上丝绸之路向北发展,就可以构建东北海陆大通道,重塑我国对外开放战略版图。

(五) 改进对外沟通,消除关于中国产能过剩的误解

中国的产能过剩常被误解,尤其是在国际语境中,错误地与对发达国家如美国的产品倾销挂钩。为有效应对这些误解,中国应加强对外沟通策略,包括确保国内外平台信息传递的一致性,并在全球语境中清晰且自信地阐述中国的立场。具体而言,中国应重点关注产能过剩的内涵、产能过剩的成因、产业政策的解读及美国反倾销措施中的谬误。

把握产能过剩的含义。中国是否存在产能过剩的问题,取决于如何衡量产能过剩。

如果按照潜在生产量与实际生产量之间的差额来界定产能过剩，那么中国在某种程度上确实存在一定的产能过剩现象。但是，中国所提及的产能过剩与美国所宣称的因产能过剩而导致倾销，两者之间存在本质区别，从这个角度来讲，产能过剩是个伪命题。

剖析产能过剩的成因。产能过剩是全球经济发展的共性问题，根据我们的测算，中国产能利用率同欧盟、美国、巴西等地区或国家一样，都处在所谓的产能过剩合理区间。既然是共性问题，就需要进一步探讨产能过剩产生的根源。关于产能过剩的原因，主要有以下四个方面：一是市场因素。主要表现为有效需求不足，当前的产能过剩主要源于 2008 年国际金融危机之后的需求乏力。二是企业因素。大家对新赛道蜂拥而至，主要表现为“潮涌现象”或“羊群效应”。三是行业因素。某些行业未深入挖掘新质生产力，投资方式粗放，进入门槛低。四是地方政府因素。财政投入成为导致产能过剩的重要推力。以上因素中，有效需求不足是形成产能过剩最主要的因素。当前中国面临的产能过剩，其根源主要在于全球市场的有效需求不足。为应对这一问题，我们积极致力于构建全国统一大市场，以有效缓解世界有效需求不足带来的压力。

解读中国的产业补贴政策。正确认识所谓“产业补贴导致产能过剩，产能过剩导致产品倾销”的逻辑错误。在评判产业补贴是否对出口构成影响时，其标准应为中国的产业补贴政策是否与世界贸易组织（WTO）所确立的相关规则相悖。当前，中国的产业补贴以研发型补贴为主体，目的是技术创新，并未违反 WTO 中红色补贴的规定，且补贴受益者涵盖国有企业、民营企业、外资企业等多种所有制结构企业。

阐释美国对中国采取反倾销的谬误。一是证据不足。中国进口汽车并未对美国本土汽车产业构成实质性损害。中国向美国出口的新能源汽车仅占美国汽车总销量的 1%，这一比例并不足以对美国本土汽车产业造成实质性伤害。实际上，美国汽车产业所面临的挑战主要源于其自身的产业空心化和价值链不完整，这些因素制约了其汽车产业的发展，而非仅因为中国进口汽车的竞争。二是力度无理。美国的平均税率在 37% 左右，将中国界定为非市场经济国家，并对中国新能源汽车收取高达 100% 的反倾销税，这一举措显然存在极大的不合理性。建立社会主义市场经济体制是中国特色社会主义的伟大创造，尽管中国经济一定程度上存在不平衡、不充分发展的问题，但中国经济毫无疑问是市场经济，市场在资源配置中一直发挥着决定性的作用。

八、结论

过去 30 年，低碳技术及相关矿产的全球贸易经历了重大转型，主要受到政策支持、

技术进步以及中国等关键国家战略角色的推动。本章提供了对可持续贸易和供应链的全面分析，强调了低碳技术在应对气候变化和促进可持续发展方面的重要作用。通过研究低碳技术贸易的动态、其环境影响以及影响这些趋势的因素，本章为贸易政策、技术和产业发展以及气候可持续性之间的复杂相互作用提供了宝贵见解。

报告全面理解了当前可持续贸易和供应链的现状、环境效益以及提高其有效性所需的步骤。利用双边低碳技术贸易的创新数据集，我们发现自 21 世纪 00 年代后期以来，中国已成为净出口国。贸易伙伴的经济发展和贸易开放是促成这一趋势的关键因素。更好的性别平等可以提高各国在全球清洁技术市场的竞争力。更重要的是，通过国际贸易吸收低碳技术商品与减少碳排放相关。

研究结果表明，中国可以通过国际合作在可持续贸易方面发挥领导作用。为促进全球低碳技术贸易的可持续发展和加快能源转型，建议中国政府应加强在可再生能源领域的战略投资，保持稳定的出口价格，推动对可再生能源部门的对外直接投资，并追求负责任的贸易与投资，特别是在全球南方国家，将环境和社会保护纳入其中，并进一步改进有关产能过剩的对外沟通。这些措施对于促进经济增长和全球可持续性至关重要。此外，通过合资企业和外商直接投资伙伴关系加强南南合作，将有助于技术转移、产能建设和发展中国家的经济发展。通过利用其专业知识和资源，中国可以帮助贸易伙伴在价值链上取得进展并实现可持续增长，从而创造一个更加公平和环境可持续的全球经济。

该报告呼吁政策制定者、企业和国际组织共同努力，致力于实现可持续的未来。通过将经济活动与环境目标对齐，有可能建立既有助于经济发展又能保护地球的具备韧性和可持续性的贸易网络。

虽然本章提供了对全球低碳技术贸易及中国在其中作用的全面分析，但深化对全球低碳技术产业整个供应链的理解仍然至关重要。特别是，全球转型矿物的贸易是另一个亟须系统研究的重要问题。受到全球低碳技术市场迅速发展的推动，对锂、钴和镍等过渡材料的需求显著增加。这种需求的上升凸显了潜在的风险，包括供应高度集中以及过渡材料产业链中的严重环境和社会影响。因此，中国与矿产出口国之间的贸易关系、中国在矿业部门的外国直接投资，以及与之相关的社会生态和地缘政治风险尤为重要。此外，日益激烈的地缘政治竞争对供应链稳定性构成了重大威胁，进而影响全球低碳技术市场的稳定。在下一份 SPS 报告中，我们将在本文基础上对转型矿物供应链进行更加深入的调查。

参考文献

- [1] PORTER M E, VAN DER LINDE C. Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship[J]. *Journal of Economic Perspectives*, 1995, 9(4): 97-118.
- [2] JAFFE A B, NEWELL R G, STAVINS R N. A Tale of Two Market Failures: Technology and Environmental Policy[J]. *Ecological Economics*, 2005, 54(2/3): 164-174.
- [3] POPP D. International Innovation and Diffusion of Air Pollution Control Technologies: The Effects of NO_x and SO₂ Regulation in the US, Japan, and Germany[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2006, 51(1): 46-71.
- [4] JOHNSTONE N, HAŠ Ť I, POPP D. Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2010, 45(1): 133-155.
- [5] DECHEZLEPRÊTRE A, GLACHANT M, MÉNIÈRE Y. What Drives the International Transfer of Climate Change Mitigation Technologies? Empirical Evidence from Patent Data[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2011, 54(2): 161-178.
- [6] ZHANG F, GALLAGHER K S. Innovation and Technology Transfer through Global Value Chains: Evidence from China's PV Industry[J]. *Energy Policy*, 2016, 94: 191-203.
- [7] WANG Z, QIN H. The Impact of the Belt and Road Initiative on the Internationalization of China's Low-Carbon Technologies[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 188: 43-51.
- [8] XIE Y, WANG S, ZHANG X. The impact of the Belt and Road Initiative on low-carbon technology transfer: empirical evidence from China and its partner countries[J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, 278: 111517.
- [9] ZHANG Y, LI X, LIU J. Green Development and Environmental Protection in China's Belt and Road Initiative: A Comparative Study[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 211: 507-520.
- [10] NELSON R R, PHELPS E S. Investment in humans, technological diffusion, and economic growth[J]. *American Economic Review*, 1966, 56(2): 69-75.
- [11] ALESINA A, PEROTTI R. Income Distribution, Political Instability, and Investment[J]. *European Economic Review*, 1996, 40(6): 1203-1228.
- [12] HARRISON A, RODRÍGUEZ-CLARE A. Trade, Foreign Investment, and Industrial Policy for Developing Countries[J]. *Handbook of Development Economics*, 2010, 5: 4039-4214.
- [13] LEVINSON A, TAYLOR M S. Unmasking the Pollution Haven Effect[J]. *International Economic Review*, 2008, 49(1): 223-254.
- [14] KELLENBERG D K. An Empirical Investigation of the Pollution Haven Effect with Strategic Environment and Trade Policy[J]. *Journal of International Economics*, 2009, 78(2): 242-255.
- [15] LOW P, YEATS A. Do "dirty" industries migrate?[M] // *International trade and the environment*. Washington D.C.: World Bank, 1992: 159. (World Bank Discussion Papers, 159).
- [16] TOBEY J A. The effects of domestic environmental policies on patterns of world trade: an

- empirical test[J]. *Kyklos*, 1990, 43(2): 191-209.
- [17] ANTWEILER W, COPELAND B R, TAYLOR M S. Is Free Trade Good for the Environment?[J]. *American Economic Review*, 2001, 91(4): 877-908.
- [18] COPELAND B R, TAYLOR M S. Trade, Growth, and the Environment[J]. *Journal of Economic Literature*, 2004, 42(1): 7-71.
- [19] COLE M A, ELLIOTT R J R. Do Environmental Regulations Influence Trade Patterns? Testing Old and New Trade Theories[J]. *World Economy*, 2003, 26(8): 1163-1186.
- [20] ZHOU X, ZHANG J, LI J. Industrial Structural Transformation and Carbon Emissions in China[J]. *Energy Policy*, 2017, 102: 412-421.
- [21] WANG Q, ZHANG F, WEI Y. Trade Openness, Global Value Chain Participation and Environmental Performance in China's Manufacturing Sector[J]. *Energy Economics*, 2020, 90: 104849.
- [22] HERTWICH E G, PETERS G P. Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-linked Analysis[J]. *Environmental Science & Technology*, 2009, 43(16): 6414-6420.
- [23] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement (NBER Working Paper No. 3914)[R]. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 1991.
- [24] STERN D I. The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve[J]. *World Development*, 2004, 32(8): 1419-1439.
- [25] DINDA S. Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey[J]. *Ecological Economics*, 2004, 49(4): 431-455.
- [26] TAGUCHI H. The environmental Kuznets curve in Asia: the case of sulfur and carbon emissions[J]. *Asia-Pacific Development Journal*, 2013, 20(2): 29-49.
- [27] TINBERGEN J. Shaping the world economy: suggestions for an international economic policy[M]. New York: The Twentieth Century Fund, 1962.
- [28] PÖYHÖNEN P. A tentative model for the volume of trade between countries[J]. *Weltwirtschaftliches Archiv*, 1963, 90(1): 93-99.
- [29] LINNEMANN H. An econometric study of international trade flows[M]. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1966.
- [30] ANDERSON J E. A Theoretical Foundation for the Gravity Equation[J]. *American Economic Review*, 1979, 69(1): 106-116.
- [31] BERGSTRAND J H. The Gravity Equation in International Trade: Some Microeconomic Foundations and Empirical Evidence[J]. *Review of Economics and Statistics*, 1985, 67(3): 474-481.
- [32] DEARDORFF A V. Determinants of bilateral trade: does gravity work in a neoclassical world?[M] // *The regionalization of the world economy*. Chicago: University of Chicago Press, 1998.
- [33] EICHENGREEN B, IRWIN D, A TRADE BLOCS. Currency Blocs and the Reorientation of

- World Trade in the 1930s[J]. *Journal of International Economics*, 1995, 38(1/2): 1-24.
- [34] BAIER S L, BERGSTRAND J H. Do free trade agreements actually increase members' international trade?[J]. *Journal of International Economics*, 2007, 71(1): 72-95.
- [35] EGGER P. An Econometric View on the Estimation of Gravity Models and the Calculation of Trade Potentials[J]. *World Economy*, 2002, 25(2): 297-312.
- [36] BAIER S L, BERGSTRAND J H. Do Free Trade Agreements Actually Increase Members' International Trade?. *Journal of International Economics*, 2007, 71(1): 72-95.
- [37] FALLY T. Structural Gravity and Fixed Effects[J]. *Journal of International Economics*, 2015, 97(1): 76-85.
- [38] HEAD K, MAYER T. Gravity Equations: Workhorse, Toolkit, and Cookbook[J]. In *Handbook of International Economics*. Elsevier, 2014, 4: 131-195.
- [39] ANDERSON J E, YOTOV Y V. Short Run Gravity[J]. *Journal of International Economics*, 2020, 126, 103341.
- [40] SANTOS SILVA, J M C, TENREYRO S. The Log of Gravity[J]. *The Review of Economics and Statistics*, 2006, 88(4): 641-658.
- [41] KURIYAMA CARLOS. A Review of the APEC List of Environmental Goods[J/OL]. Singapore: APEC. [2024-06-01]. https://www.apec.org/docs/default-source/publications/2021/10/a-review-of-the-apec-list-of-environmental-goods/221_psu_review-of-apec-list-of-environmental-goods.pdf.
- [42] GLACHANT M, D DUSSAUX, Y MENIERE, et al. Promoting the International Transfer of Low-Carbon Technologies: Evidence and Policy Challenges[R]. Report for the Commissariat général à la stratégie et à la prospective (French Center for Policy and Planning), MINES ParisTech, 2013.
- [43] DUSSAUX D, DECHEZLEPRÊTRE A, GLACHANT M. Intellectual property rights protection and the international transfer of low-carbon technologies (Working Paper No. 288)[R]. London: Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, 2018.
- [44] PIGATO MIRIA A, BLACK S J, DUSSAUX D, et al. Technology transfer and innovation for low-carbon development[EB/OL]. Washington, DC: World Bank, 2020. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1500-3>.
- [45] BANDARA P, LU J, GALLAGHER K, RAY B. Low carbon trade in the world economy: a new dataset (Global Development Policy Center Working Paper)[R]. Boston: Boston University, Forthcoming.
- [46] NEMET G F. How solar energy became cheap: a model for low-carbon innovation[M]. New York: Routledge, 2019.
- [47] JACKSON MARGARET M, JOANNA I LEWIS, XILIAN ZHANG. A green expansion: China's role in the global deployment and transfer of solar photovoltaic technology[J]. *Energy for Sustainable Development*, 2021, 60: 90-101.
- [48] JONES BEN, ROBERT JR ELLIOTT, VIET NGUYEN-TIEN. The EV revolution: The road ahead for critical raw materials demand[J]. *Applied Energy*, 2020, 280: 115072.

- [49] SUN X, OUYANG M, HAO H. Surging lithium price will not impede the electric vehicle boom[J]. Joule, 2022, 6(8): 1738-1742.
- [50] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Global EV outlook 2023[R]. Paris: IEA, 2023. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>.

第十三章 绿色对外开放与南南合作¹

一、引言

作为发展中大国，中国始终是南南合作坚定的支持者和参与者，倡导广大发展中国家在南南合作框架下，共享发展经验，共促经济贸易发展。几十年来，中国积极推进南方国家间知识、经验、政策、技术和资源等发展方案交流，合作领域覆盖气候变化、农业、卫生、基础设施等^[1]。联合国南南合作办公室主任迪玛·哈提卜在第 78 届联合国大会一般性辩论期间中方主办的全球发展倡议合作成果展示高级别会议上发言时表示，中国对南南合作和三方合作的坚定支持，以及在消除极端贫困方面的成功，为其他发展中国家“树立了榜样”^[2]。

绿色发展作为全球可持续发展必须重视的议题，需要各国通力合作、携手应对。《京都议定书》《巴黎协定》等重要国际协定的达成、国际社会对联合国 2030 年可持续发展议程的支持，不仅代表了各国认可共同推进绿色治理的责任与义务，也意味着南北合作、南南合作需要共同发力，助力绿色发展国际合作^[3]。

二、绿色对外开放与南南合作的历程、框架与前景

（一）南南合作发展历程

从全球格局来看，中国是南方力量的重要支撑，也是推动南南合作的重要一员。中国开展南南合作有近 70 年的历史，中国的国际发展合作跟随南南合作进程一同进步，一同拓展。为厘清中国和其他发展中国家合作模式的转变、相互影响、政治背景以及中国角色，需要从中国南南合作发展历程出发，对比同时期南方国家的合作需求、南北合作的挑战，剖析中国南南合作模式演进的必然性与合理性。

¹ 本章内容摘编自 2023—2024 年国合会“绿色对外开放与南南合作”专题政策研究项目主要研究成果。

1. 中国南南合作发展历程

从万隆会议到改革开放前,1955—1972年,中国南南合作侧重政治和外交目标,并且以无偿援助为主^[4]。1948年联合国大会首次将世界划分为南方国家和北方国家两大阵营后,新兴南方国家开始寻求其作为独立主权国家间的合作途径^[5]。1955年4月召开的万隆会议是亚非民族独立国家单独举行的第一次国际性会议,旨在反对殖民主义,形成发展中国家合力。它不仅是第三世界兴起的标志,而且是南南合作的开端。南南合作作为集体外交运动,在该时间段更为侧重政治外交考量^[6]。中华人民共和国成立后,以苏联为代表的社会主义和人民民主主义国家、以美国为首的资本主义国家、亚非拉美等通过民族解放运动反对殖民主义获得国家主权地位的国家构成了当时世界的政治格局^[7]。中国作为社会主义新兴国家,需要通过南南合作平台,拓展国际合作伙伴圈。因此中国积极支持万隆会议十项原则的达成,从发展中国家角度出发,尊重各国国家主权,打破中国外交困境。在这一时期,中国的南南合作早期以赠款为主,在很大程度上等同于对外援助,以维护南方国家主权为主要考量^[8]。随着时间的推移,中国开展南南合作的内容和地域范围不断扩大,由重点伙伴国家拓展到亚太地区合作,由以政治外交为重拓展到经济技术合作^[9]。

改革开放后,经济技术合作逐步成为中国开展南南合作的重要内容^[10]。随着中国进入社会主义市场经济发展阶段,南方国家相继取得国家主权地位后,意识到了区域合作和参与国际经济合作的重要性。南方国家愈加重视彼此间的合作,并建立了西非经济共同体、拉丁美洲经济体系、海湾合作委员会等以发展中国家为主体的区域性经济合作组织。中国逐步将经济互利互惠作为南南合作的重要考量,通过贸易合作、货币金融合作、技术合作等方式,积极推动南方国家间的经贸合作。20世纪60—70年代,发展中国家倡议建立联合国贸易和发展会议(UNCTAD)以及国际经济新秩序(NIEO)等合作机制,推动建立更公正的全球贸易体系。南方国家间的经济贸易合作目标是消除在关税及贸易总协定(GATT)和华盛顿共识等框架下对发达国家有利的不平等现象。到20世纪90年代,亚非拉发展中国家已先后建立起数十个以推动区域经贸合作、加强南方国家间的经济技术交流为目标的区域性合作平台。随着经济技术实力的不断进步,从中华人民共和国成立前至1977年中国参加的国际科技组织累计共70个,1978—1993年则达850个。截至2008年,中国已与世界上96个国家和地区签订了103个政府间科技合作协议或政府间经济、技术合作协议^[11]。南南合作向经济技术合作转向这一趋势,不仅加大了中国参与国际经济技术合作的力度,还更加密切了与发展中国家的经济联系,也使中国推进南南合作的方式更加多样化。

党的十八大以来，全球南方互利共赢的发展合作模式不仅促进了南方国家间共同发展，也为全球发展注入了新动能。

在经济层面，基于南方国家区域经贸合作基础，中国积极呼吁改革以西方国家为主导的国际经济体系，提高南方国家在国际经济秩序中的话语权。中国通过主办金砖峰会、中非合作论坛、中拉合作论坛等区域交流平台，积极引领南南合作进程。同时，以中国为代表的新兴国家力争创建基于南方国家发展国情的国际金融机构。中国推动的亚洲基础设施投资银行、金砖国家新开发银行等新机制，为发展中国家经济增长和民生改善增添了新动力。除金融体系建设外，基础设施建设仍是发展中国家经济发展缺乏的重要支撑，这与“一带一路”倡议重点不谋而合，目前南南合作项目也过半集中在基础设施建设领域^[12]。

在治理层面，南方国家拥有丰富的文化背景和独具特色的社会管理结构。为更好地推动南南合作，中国积极对接南方国家需求，呼吁在国际交往中尊重各国文化传统和社会制度差异。中国的全球治理理念以共同进步、多边合作为重点，与传统的北方主导下的全球治理形成鲜明对比。中国提出的构建人类命运共同体理念和全球发展倡议，为构建一个更为包容和共生的国际秩序贡献了独特的智慧。治理合作成为对传统的资金和技术援助合作的有力补充。2015年成立的南南合作与发展学院系统总结中国在经济、国家治理等方面经验，帮助发展中国家培养政府管理高端人才，为推动发展中国家治理体系和治理能力现代化提供了宝贵的智力支撑。

正是得益于南方国家在南南合作中构建的相互信任相互理解的关系，因此中国开展南南合作的模式并不是一成不变的，而是在不断完善优化的过程中。过去南南合作的成功经验是中国和其他南方国家相互学习的成果积累，是推进南方国家间合作的基础，也是深化未来合作的动力。

2. 其他国家开展南北合作与南南合作的经验

在过去几十年中，国际发展合作的范围不断扩大，逐渐成为全球经济的重要组成部分。这一趋势在绿色发展领域尤为明显。传统上，大部分国际发展合作均在工业化国家间发起，新兴国家和发展中国家主要为接收方。然而，该模式正在发生重大转变。

首先，随着清洁能源投资和制造从工业化国家向新兴经济体转移，可持续经济发展的概念也在新兴市场日益盛行。其次，新兴经济体和发展中经济体正逐步在创新和生产清洁能源技术方面发挥积极作用。这一演变表明，清洁能源发展的地理格局正在发生变化，并凸显了国际清洁能源合作在促进知识共享和利用跨国互补性方面的关键作用。

南北合作框架的双边合作与多边合作模式为提高南南合作的成效提供了不少重要借鉴。欧盟和非盟等多边机制积极支持清洁能源的跨国和跨洲合作项目。此外，国际能源机构技术合作计划（IEA Technology Collaboration Programmes）、创新使命（Mission Innovation）和清洁能源部长级会议（Clean Energy Ministerial）等提出的倡议在促进清洁能源技术合作方面发挥了重要作用。这类国际机构促进国与国之间的科学交流与合作，分享最佳实践经验，动员政府和私营部门参与，以加快向可持续能源转型的步伐。

除发挥多边合作的战略作用外，双边合作也是重要南北合作的方式之一。其中，美国、加拿大、欧洲、中国、日本和南非等作为气候和能源多边合作的主要参与者，都积极参与了相关双边合作，推动技术为导向的联合投资和研究。双边合作典范之一为中美清洁能源合作。1991—2020年，美国和中国共签订了103项以能源和气候为重点的双边协议，其中50项明确强调了合作研发计划。

南南合作的主要机制包括金砖国家、亚洲基础设施投资银行（AIIB，以下简称亚投行）、伊斯兰开发银行（IsDB）和“一带一路”倡议（BRI）等。与南北合作相比，上述南南合作机构主要有以下两点差异。第一，南南合作非常重视基础设施建设和国内制造能力的提升。这一重点反映了全球南方国家之间的共识，即强大的基础设施和充满活力的制造业对经济稳定和增长至关重要。第二，传统南北合作往往由北方国家主导，合作中往往明显以援助方为主导。南南合作则以互惠交流和共同出资为基础，是一种更公平的伙伴关系模式。例如，在国际气候融资方面，各国共同投资气候金融，不仅有利于该地区应对能源安全、气候变化、农业发展等共同挑战，还有助于参与国之间更均匀地分配成本和风险，培养南方国家开展国际合作项目的主人翁意识。尤其是在清洁技术合作中，发展中国家之间的转让往往是交换，而不是单方面的馈赠，每个国家均会提供互补的专业技术。

（二）当前背景下绿色对外开放与南南合作对中国的重要意义

1. 中国和其他发展中国家共同面临的发展挑战

面对全球环境的快速变化和经济格局的不断演变，中国在全球南方治理，尤其是在绿色发展和可持续发展领域的作用变得越发重要。作为发展中国家，中国和其他南方国家一样，面临一系列因环境和气候变化而加剧的发展挑战。例如，不可预测的天气模式和水资源短缺日益威胁着粮食安全，影响着全球的农业产出，尤其是气候脆弱地区的农业产出^[13]。特别是，《2024年世界粮食安全和营养状况报告》^[14]估计，2023年有约有7.33亿人面临饥饿，全球饥饿水平连续第三年居高不下，2022—2023年，西亚、

加勒比和非洲大多数次区域饥饿形势呈现加剧趋势。仅在非洲，小麦、玉米、水稻和大豆等主要粮食作物预计将因气候变化而减产 40% ~ 72%，而茶叶和咖啡等经济作物预计将减产高达 40%^[15]。

此外，由于气温升高、极端天气、海平面上升或荒漠化导致一些地区变得不适合居住，气候移民变得越来越普遍，影响到埃塞俄比亚、孟加拉国和太平洋岛国等发展中国家。2000—2014 年，超 490 万人因气候威胁申请移民到欧盟国家，其中绝大部分来自全球南部地区。预计到 21 世纪末，这一数字将增长 28% ~ 188%。这种大规模的移民潮反过来也会影响地区的社会、经济和政治稳定。

为应对气候变化，全球对低碳技术的需求达到历史最高水平。出口市场总值从 1992 年的 710 亿美元增长到 2022 年的 11 190 亿美元。考虑关键国家社会经济和安全，许多国家根据全球能源转型重新调整贸易和经济战略。与能源转型相关的产业和技术现在被许多国家视为战略性产业和技术。对钴和锂等绿色转型所需的关键矿产的争夺，造成了所谓的新地缘政治斗争。刚果民主共和国、阿根廷、玻利维亚和智利等国拥有丰富的矿产储量，并处于关键矿产地缘政治的中心^[16]。

同时，全球环境和气候的快速变化还可能加剧性别不平等问题，由其衍生的一系列粮食和水资源短缺、极端灾害频发、难移民危机加剧等挑战，对女性权益造成了不成比例的影响。首先，由于社会角色分工和经济地位差异，女性往往更易受到极端气候的不利影响。根据联合国粮农组织的数据，尽管女性占全球农业劳动力的 40% 以上，但只有不到 15% 的土地所有者是女性。^[17] 贫困地区女性通常负责农业生产、打水、收集燃料等家务劳动，恶劣气候大大增加了女性的负担。气候变化造成作物减产、资源匮乏后，生计无法得到保障的女性权益首先受到冲击。因缺乏抗旱作物、电力、农业设备等基础支持，女性适应环境变化能力较弱。其次，气候变化限制了女性接受教育和医疗服务的机会。受环境压力影响，贫困家庭通常更倾向于让男孩继续接受教育，进一步恶化了性别不平等问题。最后，女性通常无法充分参与气候变化应对、绿色发展等相关政策规划的决策过程，也无法影响相关项目的设计实施。^[18]

2. 共同机遇

推动全球绿色转型，为全球南部地区带来了更多的经济机会和环境红利。电动汽车和可再生能源技术市场的高速扩张就是一个很好的例子。印度和越南等国正在成为制造太阳能电池板的新生力量，这不仅是为了满足各自的国内需求，也创造了巨大的出口潜力。

此外，南南合作为提高弱势群体的话语权和能力提供了一条途径。通过分享技术、

政策和融资模式，各国可以实施更强有力的应对气候变化框架。例如，中国与非洲国家在太阳能项目上的合作不仅促进了技术转让，还为当地创造就业机会和实现能源独立提供了支持。

同时，绿色对外开放与南南合作为女性发声提供了平台。国际社会已逐步认可女性在应对气候变化、推动绿色转型中的重要意义。国际组织及联合国机构均积极助推性别议题主流化，《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）缔约方已在公约下设立专门议程，讨论性别和气候变化问题。全球环境基金、绿色气候基金已将性别政策纳入机构政策体系，并积极在项目层面推动性别政策的实施。

3. 中国与发展中国家的关系

中国从发展中国家崛起为具有全球影响力的经济大国，其发展轨迹为通过绿色政策实现可持续发展提供了深刻的启示和模式。中国的重大举措，如“三北”防护林工程和清洁公共交通系统，都是其他发展中国家可以借鉴和采用的战略典范。此外，中国在提供流动性和发展融资方面发挥了关键作用，率先创建了南方主导的金融机构，不仅扩大了全球南方在国际经济治理中的影响力，还提供了至关重要的替代资金来源。这些举措有助于发展中国家在塑造其发展轨迹方面获得更大的自主权和代理权。

根据波士顿大学全球发展政策研究中心（GDP 中心）的研究^[19]，中国一直是全球南方国家强有力的合作伙伴，尤其是在“一带一路”倡议（BRI）中。2008—2021 年，中国的开发性金融机构（DFIs）共发放了约 5 000 亿美元的资金，其中 2013—2021 年至少有 3 310 亿美元用于“一带一路”倡议。具体到非洲，2008—2021 年，中国开发性金融机构的融资额达到了 1 230 亿美元，其中 910 亿美元是在“一带一路”倡议期间提供的。此外，2008—2021 年，中国的商业实体和其他机构还向非洲各国政府提供了 300 亿美元的额外资金，其中 230 亿美元是通过“一带一路”倡议提供的。

中国在全球南方的发展和投资对当地发展产生了重大影响。最近发布的 GDP 中心工作论文显示^[20]，中国的基础设施项目在撒哈拉以南非洲的经济发展中发挥着至关重要的作用。由中国投资的基础设施项目可使该地区的经济表现直接提高 5%（用夜间光亮度测量），并使该地区的经济发展间接提高 15%。这表明，中国的基础设施投资大大缩小了南方国家的发展差距，使发展中国家实现了长远的实质性可持续发展。

然而，从历史上看，中国在全球南方的发展融资主要集中在工业和基础设施项目上，这与世界银行等传统发展融资机构不同，后者更注重机构能力建设。因此，中国的融资更直接地通过缓解基础设施限制和提高能源获取率来刺激经济增长。因此，中国在绿色南南合作方面可以并且应当发挥更大作用。中国在南南合作中的作用举足

轻重,尤其是当中国自身转向更可持续的实践,并通过“一带一路”倡议等推广这些做法。“一带一路”倡议与可持续发展目标的结合为基础设施项目提供了模板,有助于实现经济增长与环境管理平衡。总之,中国参与绿色开放和南南合作对于推进全球环境治理和可持续发展至关重要。通过应对共同挑战、利用绿色发展机遇、加强合作关系,中国可以极大地影响全球议程,从而实现更加公平和可持续的未来。

(三) 中国绿色对外开放与南南合作的现有框架

作为经济和政治影响力都快速上升的发展中大国,中国推进绿色对外开放与南南合作的背景比发达国家和其他发展中国家更复杂。一方面,作为发展中国家,中国曾经是全球最大的环境和气候领域援助接收方,同时根据共同但有区别的责任原则,无须承担与发达国家同等的环境保护责任,中国在对外提供援助时是自愿出资的;另一方面,作为全球第二大经济体,中国发展中国家地位也面临国际质疑,如美国通过“结束中国发展中国家地位法案”,希望在国际合作中将中国视作“发达国家”或“高收入国家”。中国如何能在坚定维护自身发展中国家地位的同时,处理好受援方和援助方的双重身份、正确认识中国作为发展中大国的国际义务和权利,是未来扩大南南合作影响力必须回答的问题。绿色对外开放作为低政治敏感性议题,也是需要发达国家和发展中国家紧密配合的领域,或可成为回答上述问题的切入点。中国不仅有与自然和谐共生的文化渊源与历史传承,还有多个政府部门从多领域角度协同管理南南合作事宜,并推出了一系列支持和引导政策,结合私营部门、民间社会、国际机构力量共同助推绿色对外开放与南南合作。

1. 文化与价值观

绿色发展在中国的传统价值观中一脉相承,并与国际规范同步发展。从以“天人合一”为代表的主张开始,中国传统价值观就融合了生态利民、道法自然等宣扬人与自然和谐共生的理念。“绿水青山就是金山银山”“人与自然和谐共生”等思想主张是对中国优秀传统生态文化的传承,也赋予了绿色发展新的时代内涵。2015年,党的十八届五中全会首次提出了“创新、协调、绿色、开放、共享”的新发展理念。随着人民生活水平的不断提升,社会对于生活环境和生态的关注度会越来越高,绿色将逐步成为中国走出去、引进来的重要课题^[21]。

中华人民共和国成立后,中国对绿色发展的态度历经变革,由被动发声到保守参与,再到开放主动、密切协作。新中国成立初期,需要举全国之力大兴建设,西方国家彼时已历经两次工业革命,深受快速工业发展带来的环境问题困扰,环境保护成为国际

重点关注议题。当时中国正值快速发展阶段，需要不断调整国内国际政策以适应国家发展需求和国际政治环境变化。1971年中国获得联合国合法席位后，受邀参加联合国人类环境会议。尽管中国是被动参加国际会议，但中国在会议期间积极发声，阐述了广大发展中国家的发展需求，也借由同发达国家的谈判拓宽了对于环境问题的理解^[22]。

改革开放后，中国进入了社会主义市场经济时期，对绿色发展理念开始持谨慎接受态度。随着经济快速发展，国内环境问题也开始逐步显现，1983年第二次全国环境保护会议，把保护环境确立为基本国策。1992年里约联合国环境与发展大会后，中国响应联合国可持续发展战略，发布《中国关于环境与发展问题的十大对策》，并于1994年发布《中国21世纪议程——中国21世纪人口、环境与发展白皮书》，成为世界上第一个编制21世纪议程行动方案的国家^[23]。2006年中国作为发展中大国率先出台《应对气候变化国家方案》，并于2007年和发达国家、发展中国家就温室气体减排义务进行谈判，共同达成《巴厘路线图》。此后，中国积极主动参与绿色发展国际合作，并不断完善国内绿色发展理念体系。2015年中共中央、国务院印发《生态文明体制改革总体方案》，生态文明成为中国特色社会主义事业的重要内容，并融入国内经济建设、政治建设、文化建设、社会建设各方面和全过程。2023年《新时代的中国绿色发展》白皮书正式发布，阐述了中国绿色发展的核心理念和低碳经济发展实践经验。

绿色发展是结合了经济、社会与自然系统共同发展的多元目标，这与中国传统价值观中的“天人合一”思想不谋而合。在经济层面，中国绿色发展聚焦低污染排放、低资源消耗，强调绿色科技、能源、资本对经济的带动作用。在社会层面，绿色发展将人类社会视为共同体，强调全球治理的重要性，不仅发达国家需要为发展中国家提供技术和资金支持，发展中国家也应建立基于本国国情的绿色发展战略^[24]。目前，官方文件和学术界尚未对绿色对外开放概念和内涵的界定有明确表述。广义上看，绿色开放将绿色发展融入对外开放这一基本国策，是高水平对外开放的路径之一，是达到绿色标准、贯穿绿色理念的国际发展合作。狭义上看，绿色开放由走出去、引进来、互利共赢构成。走出去包括扩大绿色开放范围，涵盖更多经济领域和行业、拓宽开放地域范围等；引进来包括对接国际先进标准、学习国际绿色技术、构建开放型制度体系等；互利共赢包括建立绿色发展国际合作平台、完善绿色多边合作政策体系和法律法规等。

2. 机构设置与分工

南南合作覆盖发展中国家多层次、多领域的国际合作，包括双多边及区域合作，以及金融、贸易、环境、农业、卫生等领域，政治、经济、外交等层面的共享交流。

对外援助作为南南合作的一种重要表现形式，归属中央负责，各部委根据各自职责负责相关领域的政策制定和资金分配，并进行一定的协调合作。2018 年政府机构改革后，国家国际发展合作署（国合署）负责拟订对外援助战略方针、规划、政策，统筹协调援外重大问题并提出建议，推进援外方式改革，编制对外援助方案和计划，确定对外援助项目并监督评估实施情况、统筹管理全球发展和南南合作基金等。对外援助资金年度预决算由财政部负责编制并组织执行，各部委将各自对外援助预算汇总至国合署，国合署统筹汇总后报送财政部。商务部作为对外援助主要执行部门，负责开展援外培训、物资援助、成套项目、南南基金项目等。

全球发展项目库是在全球发展倡议框架下，为充分汇集国际发展合作资源、更好匹配发展中国家实际发展需求而设立的项目库，首批项目清单中共有 7 个绿色发展相关项目，囊括政策框架制定、技术培训、能力建设等多种合作方式，领域覆盖农业、林业、生态环境保护等各方面。其中一个项目案例便是支持蒙古“种植十亿棵树”计划，中方积极安排蒙方到宁夏、内蒙古学习“绿进沙退”经验，计划建立 3 个植树防沙的大型示范区和 7 个防治沙尘暴的监测点，开展 10 期培训项目^[25]（见表 13-1）。

表 13-1 全球发展倡议项目库首批项目清单中绿色发展相关项目^[26]

序号	受益国 / 地区	项目	所属领域	执行单位
1	蒙古	提供森林消防器材，提升森林消防能力	气候变化和绿色发展	国合署、商务部、联合国开发计划署
2	尼日利亚、塞拉利昂、多哥、埃及、索马里、埃塞俄比亚、乌干达、南非等 19 个非洲国家	促进非洲区域和国家政策框架同环境领域可持续发展目标的整合	气候变化和绿色发展	联合国环境规划署
3	太平洋岛国	亚太林业技术培训中心项目	减贫、气候变化和绿色发展	亚太森林组织
4	全球	“以竹代塑创新产品研发和应用”项目	气候变化和绿色发展	国际竹藤组织
5	斐济	斐济菌草技术示范中心第三期技术援助项目	减贫、气候变化和绿色发展	国合署、商务部
6	澜湄五国	澜湄国家热带果蔬加工与检测合作平台建设	减贫、绿色发展	中国热带农业科学院香料饮料研究所
7	印度尼西亚、泰国、越南、马来西亚等东盟国家	基于自然的气候解决方案：中国 - 东盟红树林保护合作伙伴关系与区域示范	气候变化和绿色发展	生态环境部中国 - 东盟环境保护合作中心

在经济贸易领域，中国和其他发展中国家的多双边经济技术合作主要由财政部、

商务部、国家发展改革委负责。财政部负责推进国际绿色金融合作，一是推动亚投行、新开发银行、世界银行等国际金融机构加大对其他发展中国家绿色发展资源的投入力度。二是协调世界银行、亚投行、国际农发基金等国际资金，支持发展中国家开展绿色发展能力建设、技术输出、绿色能源建设等项目。三是支持建设多边开发融资合作中心（MCDF），推动国际金融机构为“一带一路”基础设施项目提供支持。

商务部负责拓展中非、中拉、中阿等区域和国际经贸合作，通过建设自由贸易区、签订贸易合作协定、举办经贸博览会方式，促进合作国家及区域的绿色转型。从 2021 年开始，商务部主办的中国国际服务贸易交易会就开始融入南南合作议题，聚焦可持续农业、新能源转型、绿色生产等议题开展交流讨论。2023 年 10 月，在第三届“一带一路”国际合作高峰论坛贸易畅通专题论坛期间，中国和 35 个国家共同发布了《数字经济和绿色发展国际经贸合作框架倡议》，加强贸易合作促进绿色和可持续发展、鼓励绿色技术和服务的交流与投资合作等^[27]。

国家发展改革委负责牵头推进实施“一带一路”建设，承担统筹协调走出去有关工作；推进实施可持续发展战略，推动生态文明建设和改革，协调生态环境保护与修复、能源资源节约和综合利用等工作。其下设的“一带一路”建设促进中心负责推进“一带一路”建设金融创新，完善政策性金融机构和丝路基金等多双边合作基金撬动私人资金参与南南合作的能力；指导“走出去”企业完善风险防控机制，促进私营企业有效参与南南合作^[28]。

在政治外交领域，南南合作需要外交部按照外交总体布局，就南南合作重点国家、重点领域、气候谈判、生物多样性谈判等向党中央、国务院报告情况、提出建议，并综合考虑 77 国集团、澜湄专项合作、金砖国家等机制平台的合作动能。在国际机构合作方面，中国在联合国等国际合作平台的外交工作致力于推动南南合作与南北合作的共同发展，并坚定维护发展中国家的根本利益、维护发展中国家能够平等参与并发声的世界政治经济秩序^[29]。在地区合作方面，中国通过签署《中非应对气候变化合作宣言》等表态性文件，虽不具备强制约束力，却从政治外交角度释放了中非绿色开放与南南合作的友好信号，推动了更多绿色南南合作与三方合作项目文件的签署。

除对外援助、经贸交流、外交合作外，生态环境部、农业农村部、科技部、水利部、国家林业和草原局、中国气象局、国家能源局等专业部门均在各自负责的领域推进绿色南南合作发展。生态环境部为负责应对气候变化、开展生态环境国际交流合作的主管部门，牵头承担联合国气候变化框架公约履约及相关国际谈判，协调开展应对气候变化国际合作和能力建设，管理气候变化南南合作基金、昆明生物多样性基

金，负责气候变化南南合作物资援助项目具体执行工作。农业农村部发挥农业南南合作的优势基础，同东盟、非洲、拉丁美洲等地区国家开展双多边绿色农业合作，通过举办区域农业合作论坛、推进农业技术示范项目、协助建立农产品出口标准体系、制订区域农业绿色发展行动计划等方式，提升其他发展中国家农业绿色、循环、可持续发展水平^[30]。科技部通过技术转移、能力建设等方式提升其他发展中国家生产力，并在2019年联合国南南合作日纪念大会期间，成立“技术转移南南合作中心”，在联合国框架下开展南南可持续发展技术转移^[31]。水利部在绿色能源领域积极推广中国小水电项目建设经验，持续加强水电等绿色能源领域的南南合作；国家能源局在新能源技术方面，带动中国先进节能技术产品、标准、业态模式走出去；中国气象局支持“一带一路”全民早期预警三方合作协议，支持发展中国家提高早期预警和适应气候变化能力（见图13-1）。

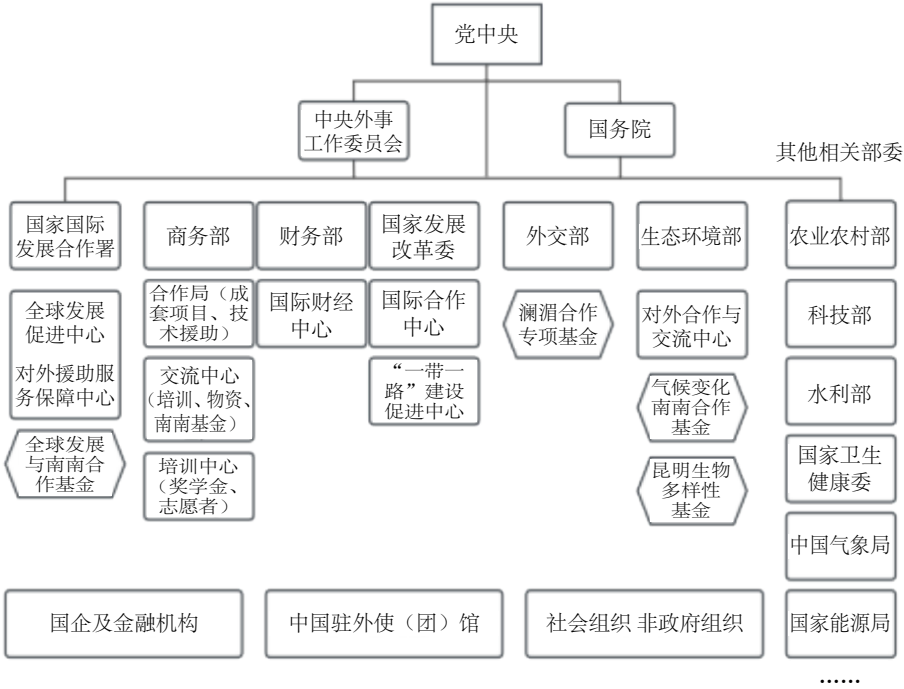


图 13-1 中国绿色开放与南南合作相关机构概况

3. 政策体系

中国对绿色对外开放与南南合作有长期的政策积累和顶层设计，并为绿色南南合作制定了一系列政策、规划、指南和行动方案。绿色对外开放理念是2015年党的十八

届五中全会提出的“创新、协调、绿色、开放、共享”新发展理念的重要组成部分，但绿色对外开放并不是 2015 年新提出的概念，而是中国在绿色发展国际合作领域长期深耕的总结，包含应对气候变化、生物多样性恢复、生境保护等国际合作议题。中国早在 20 世纪 60 年代就已开始推进绿色南南合作项目，包括在亚洲和非洲的沼气工程、小型水利工程、太阳能与风电项目，以及气候变化应对、森林保护与荒漠化恢复等培训。2006 年发布的《中国对非洲政策文件》就明确提出，“积极推动中非在气候变化、水资源保护、防治荒漠化和生物多样性等环境保护领域的合作”。

在宏观规划层面，自“十二五”开始，中国就将单位国内生产总值二氧化碳排放（碳排放强度）下降幅度作为约束性指标纳入国民经济和社会发展规划纲要，始终强调共同但有区别的责任及气候变化南南合作的重要性，并逐步发展为支持全球气候治理体系建设、全球伙伴关系建设（见表 13-2）。

表 13-2 “十二五”规划、“十三五”规划、“十四五”规划关于中国开展绿色南南合作相关内容

时间	文件	相关内容
2011 年 3 月	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》	坚持共同但有区别的责任原则，积极参与国际谈判，推动建立公平合理的应对气候变化国际制度。加强气候变化领域国际交流和战略政策对话，在科学研究、技术研发和能力建设等方面开展务实合作，推动建立资金、技术转让国际合作平台和管理制度。为发展中国家应对气候变化提供支持和帮助。 利用亚太经合组织等各类国际区域和次区域合作机制，加强与其他国家和地区的区域合作。加强南南合作
2016 年 3 月	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》	积极参与应对全球气候变化谈判，推动建立公平合理、合作共赢的全球气候治理体系。深化气候变化多双边对话交流与务实合作。充分发挥气候变化南南合作基金作用，支持其他发展中国家加强应对气候变化能力。 优化对外贸易布局，推动出口市场多元化，提高新兴市场比重，巩固传统市场份额。鼓励发展新型贸易方式
2021 年 3 月	《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》	坚持公平、共同但有区别的责任及各自能力原则，建设性参与和引领应对气候变化国际合作，推动落实联合国气候变化框架公约及其巴黎协定，积极开展气候变化南南合作。 积极发展全球伙伴关系，推进大国协调和合作，深化同周边国家关系，加强同发展中国家团结合作。深化对外援助体制机制改革，优化对外援助布局，向发展中国家特别是最不发达国家提供力所能及的帮助，加强医疗卫生、科技教育、绿色发展、减贫、人力资源开发、紧急人道主义等领域对外合作和援助。积极落实联合国 2030 年可持续发展议程

在具体政策层面，绿色对外开放与南南合作相关政策以规范性、指导性文件为主，覆盖中国企业走出去、绿色金融体系建设、绿色“一带一路”建设、全球气候治理、对接国际绿色标准等重点议题。除指导意见和工作指引外，针对应对气候变化南南合

作基金、全球发展和南南合作基金、全球发展倡议项目库、全球发展倡议资金库，中国还设立了一系列管理办法与准则，明确了项目筹备、执行、评估等流程的权责分配和重点事项（见表 13-3）。

表 13-3 2013—2024 年中国发布的关于绿色对外开放南南合作的政策文件		
时间	文件及签发部门	相关内容
2013 年 2 月	商务部、环境保护部《对外投资合作环境保护指南》	指导中国企业进一步规范对外投资合作活动中的环境保护行为，及时识别和防范环境风险，引导企业积极履行环境保护社会责任，树立中国企业良好对外形象，支持东道国的可持续发展
2016 年 8 月	中国人民银行、财政部、国家发展改革委、环境保护部、中国银行业监督管理委员会、中国证券监督管理委员会、中国保险监督管理委员会联合印发《关于构建绿色金融体系的指导意见》	支持社会资本和国际资本设立各类民间绿色投资基金。通过“一带一路”倡议，上海合作组织、中国 - 东盟等区域合作机制和南南合作，以及亚洲基础设施投资银行和金砖国家新开发银行撬动民间绿色投资的作用，推动区域性绿色金融国际合作，支持相关国家的绿色投资
2017 年 4 月	环境保护部、外交部、国家发展改革委、商务部《关于推进绿色“一带一路”建设的指导意见》	阐述了建设绿色“一带一路”的重要意义，并对加强交流和宣传、保障投资活动生态环境安全、搭建绿色合作平台、完善政策措施、发挥地方优势等方面作出了详细安排
2020 年 11 月	生态环境部、国家国际发展合作署《应对气候变化南南合作物资援助项目管理暂行办法》	规范和加强应对气候变化南南合作物资援助项目的实施管理，保证项目质量和援助效益
2021 年 2 月	国务院《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》	建议加强与世界各个国家和地区在绿色低碳循环发展领域的政策沟通、技术交流、项目合作、人才培养等，积极参与和引领全球气候治理
2021 年 7 月	生态环境部、商务部《对外投资合作绿色发展工作指引》	加快推动对外投资和绿色发展，建立健全绿色低碳循环发展经济体系，在国际合作与竞争中赢得主动，更好服务构建新发展格局
2021 年 8 月	国家国际发展合作署、外交部、商务部《对外援助管理办法》	明确了国合署与援外执行部门的协作机制和渠道，并提出对外援助致力于帮助受援方减轻与消除贫困，改善受援方民生和生态环境，促进受援方经济发展和社会进步，增强受援方自主可持续发展能力，巩固和发展与受援方的友好合作关系，促进高质量共建“一带一路”，推动构建新型国际关系，推动构建人类命运共同体
2021 年 10 月	中共中央 国务院《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》	积极参与应对气候变化国际谈判，坚持我国发展中国家定位，坚持共同但有区别的责任原则、公平原则和各自能力原则，维护我国发展权益。积极参与国际规则和标准制定，推动建立公平合理、合作共赢的全球气候治理体系。加强应对气候变化国际交流合作，统筹国内外工作，主动参与全球气候和环境治理

时间	文件及签发部门	相关内容
2022 年 1 月	生态环境部、商务部《对外投资合作建设项目生态环境保护指南》	规范和优化企业境外投资建设项目全生命周期生态环境和气候管理
2022 年 3 月	国家发展改革委、外交部、生态环境部、商务部《关于推进共建“一带一路”绿色发展的意见》	相较 2017 年版，在政策沟通和规则共建、绿色产业合作和项目落地、绿色金融市场双向开放和赋能三个层面进行了重大升级
	生态环境部《应对气候变化南南合作物资援助项目监督管理实施细则（征求意见稿）》	加强应对气候变化南南合作物资援助项目的监督管理，强化项目事中监管，督促中标企业落实中标合同履行主体责任
	生态环境部《应对气候变化南南合作物资援助项目评估管理实施细则（征求意见稿）》	为加强应对气候变化南南合作物资援助项目的评估管理，规范评估程序，提高管理水平，提升物资援助综合效益
2024 年 2 月	工业和信息化部、国家发展改革委、财政部、生态环境部、中国人民银行、国务院国资委、市场监管总局《关于加快推动制造业绿色化发展的指导意见》	利用现有双多边机制，加强绿色发展战略、规划、政策、标准和合格评定交流对接。深化与各国在绿色技术、绿色产品、绿色装备、绿色服务以及产品碳足迹管理等方面的交流与合作，推动我国新能源、新能源汽车、绿色环保等技术装备有序走出去
	国家发展改革委等部门关于印发《绿色低碳转型产业指导目录（2024 年版）》	进一步加强国际国内交流，推广支持相关产业发展的经验做法，推动绿色标准国际合作，逐步建立《目录》与相关国际绿色标准之间的互认机制
2024 年 4 月	中国人民银行联合国家发展改革委、工业和信息化部、财政部、生态环境部、金融监管总局和中国证监会印发《关于进一步强化金融支持绿色低碳发展的指导意见》	深化绿色金融合作并推动“一带一路”绿色投资，逐步将气候变化相关风险 ¹ 纳入宏观审慎政策框架，引导金融机构支持绿色低碳发展，推动金融机构定期向金融管理部门报送高碳资产规模、占比和风险敞口等信息

4. 资金机制

（1）公共资金覆盖面广且总额高

南南合作公共资金主要由援外资金构成，包括全球发展和南南合作基金、澜湄合作专项基金、气候变化和南南合作基金、中国－东盟海上合作基金等。2011—2014 年，中国累计提供了 2.7 亿元资金，用于推进气候变化南南合作^[32]。2015 年设立的南南合作援助基金，由中国首期提供 20 亿美元，支持发展中国家落实 2030 年可持续发展议程。2022 年，南南合作援助基金升级为“全球发展合作和南南合作基金”，并增资至

1 如何确定气候相关金融风险有待持续讨论，根据中国人民银行研究局课题组 2020 年发布的《气候相关金融风险——基于央行职能的分析》一文，气候相关风险可分为两类：物理风险和转型风险。物理风险是指异常天气事件严重损害企业、家庭、银行和保险公司的资产负债表，导致金融和宏观经济不稳定的风险。转型风险是指在向低碳经济转型过程中，气候政策、技术、市场情绪等发生变化，导致资产价格变动或广义的经济危机。

40 亿美元^[33]。2015 年，中国拿出 200 亿元设立“气候变化南南合作基金”，并提出应对气候变化南南合作“十百千”倡议和“一带一路”应对气候变化南南合作计划，力图在资金、能力建设、基础设施建设等方面支持发展中国家应对气候变化并帮助其向绿色低碳发展转型^[34]。2016 年设立的澜湄合作专项基金，在 5 年内提供 3 亿美元支持东南亚澜沧江和湄公河沿岸六国提出的中小型合作项目。澜湄合作专项基金作为南南合作的“金色样板”，积极推进区域内绿色发展和环境保护工作。目前，澜湄基金已支持六国开展了 500 多个惠民项目，金额逾 10 亿元^[35]。2021 年 10 月《生物多样性公约》第十五次缔约方大会领导人峰会期间，中国宣布成立昆明生物多样性基金并率先出资 15 亿元，支持发展中国家生物多样性保护事业^[36]。

（2）持续发挥公共资金撬动作用，推动优质中国企业走出去

目前公共资金存量和绿色对外开放与南南合作需求间存在巨大缺口，私营部门的创新参与被寄予众望。国际社会希望私营部门能够通过信用担保、联合融资等方式倍增南南合作项目规模与影响力，减轻合作国政府机构负担，弥补政府资源的不足。2011 年，《国家环境保护“十二五”规划》中就明确鼓励多渠道建立环保产业发展基金，引导各类创业投资企业、股权投资企业、社会捐赠资金和国际援助资金增加对环境保护领域的投入^[37]。目前中国在调动私营部门资金方面已初见成效，在全球发展倡议框架内，2023 年国合署首次调动国内外金融机构 120 亿美元专项资金。2023 年 7 月全球共享行动论坛期间，中华人民共和国国际发展合作署还发布了《全球发展资金库准则》（试行），旨在汇集国际发展合作各参与主体发展合作资金，促进多方合作，形成规模化效应，让国际发展资源更好匹配发展中国家实际发展需求。在“一带一路”倡议下，中国积极推动多边开发融资合作中心（MCDF）建设，并已提供 1 262 万美元赠款。截至 2023 年 4 月，MCDF 已向印度尼西亚、柬埔寨、老挝等国家 10 个项目提供 1 262 万美元赠款，用于支持基础设施项目前期准备和能力建设。这些项目由亚投行和非开行作为执行机构，与商业性、开发性金融机构等合作伙伴联合实施，预计动员资金 28 亿美元^[38]。

三、中国 - 东盟绿色南南合作：进展、机遇与展望

（一）东南亚能源与经济发展格局

1. 东南亚低碳转型：实现能源安全，应对气候变化

东南亚地区预计将在 2030 年成为世界第四大经济体，地区生产总值达到 8 万亿美

元。随着经济的不断发展，能源消耗也将持续增长。到 2050 年，东南亚地区的能源需求预计将在 2020 年的基础上增加 2 倍。以石油和煤炭为主的化石燃料将仍是电力生产、运输和工业的主要能源。截至 2020 年，化石燃料占一次能源供应总量（TPES）的 83%，而可再生能源仅占该地区一次能源供应总量的 14.2%（见图 13-2）。

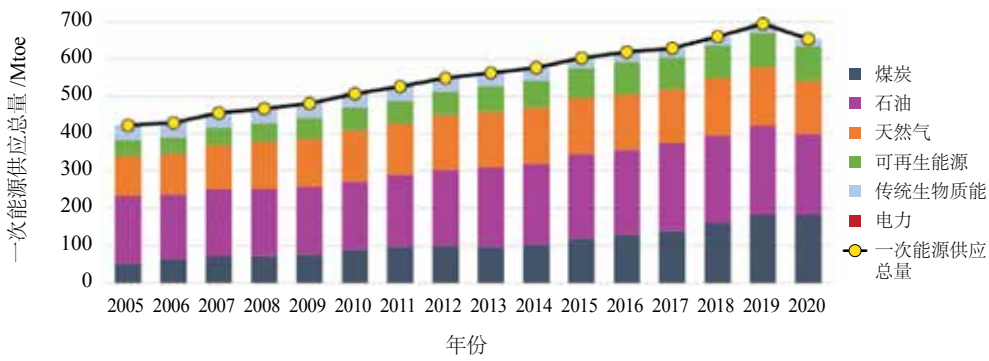


图 13-2 2005—2020 年东盟地区一次能源供应总量（按燃料划分）

注：Mtoe，百万吨油当量；可再生能源不包括家用传统生物质能。

若无重大政策调整，预计 2050 年东盟地区因化石燃料使用导致的二氧化碳排放量将高达 27 亿 t。二氧化碳排放将加剧东盟地区的气候变化进程，导致经济和非经济损失。预计到 2050 年，气候相关影响将导致东盟地区生产总值下降 35%。二氧化碳排放的主要来源是电力部门（58%）、交通部门（21%）和工业部门（18%）。要实现东盟地区的可持续经济增长，这些部门的去碳化势在必行。

在重工业化的趋势下，东盟国家的能源需求将在 2050 年之前持续上升。尽管东盟地区努力推动能源转型，化石燃料在其能源结构中仍占有较大份额。根据《东盟能源合作行动计划（APAEC）》，到 2050 年，煤炭、石油和天然气将占东盟一次能源供应总量的 70% 左右。若东盟国家能在 2025 年前达成可再生能源占比 23% 的区域目标，那么该地区可再生能源的占比将在 2034 年超过化石燃料。

东盟成员国严重依赖来自东盟内部和全球贸易的进口化石燃料来满足国内能源需求。东盟能源中心估计，在“一切照旧（BAU）”的情景下，东盟将在 2025 年成为天然气净进口地区，在 2039 年成为煤炭净进口地区。在全球石油贸易方面，东盟已于 2021 年成为石油净进口地区。由于全球供应链不稳定，东盟对化石燃料的依赖给该地区的能源安全带来了风险。化石燃料市场的通货膨胀和价格波动也让能源价格变得难以承受。

不同于《东盟能源合作行动计划 (APAEC)》的预测,国际可再生能源机构 (IRENA) 基于《巴黎协定》目标作出的东南亚展望预计该地区的可再生能源在一次能源组成中的比例将在 2050 年增至 60%。对东盟地区而言,实现弹性能源供应的关键是提高本地可再生能源发电的普及率,逐步减少化石燃料使用,加快开发本地可再生能源,促进东盟国家的能源安全和能源独立。东南亚也面临气候变化影响加剧的挑战。全球气候风险指数表明,缅甸、菲律宾、泰国、越南和柬埔寨这五个东盟成员国属于极易受气候变化影响的国家。气候变化风险严重影响着东盟国家的生产性经济部门,如农业、旅游业和渔业。到 21 世纪中叶,如果全球气温上升 2℃ 以上,东盟地区生产总值或将下降 35% ~ 37%。这也意味着印度尼西亚、马来西亚、菲律宾、新加坡和泰国的经济总值将急剧下滑。据估计,由于气候变化的极端影响,到 2050 年,这些国家损失的经济潜力相当于其 2019 年国内生产总值的 7 倍。

东盟有志于在 2030 年成为“增长中心”,而上述系列气候风险将影响该愿景的实现。气候变化风险导致的潜在经济损失给该地区及成员国的减贫工作和可持续发展目标等行动带来了挑战。一份针对东盟气候与能源系统的评估指出,该地区气候行动缺乏连续性可能会影响地区未来发展。评估认为发展中国家普遍面临一个困境,即气候行动成本高且阻碍经济发展,这也是造成政策不一致的原因。需要采取综合全面的方法解决当前的困境。政策行动不应相互矛盾,而应共同着眼于气候减缓行动所带来的经济发展机遇。快速向可持续低碳能源过渡,将为协同经济发展与气候变化减缓行动提供一个解决方案。对于东盟而言,低碳转型既能促进经济增长,又能减少能源和工业等关键行业的排放。

2. 东盟去碳化的挑战与机遇

(1) 东盟去碳化的路径

世界银行报告表明,2006—2023 年,东南亚作为一个凝聚力强的地区,经济增长率保持在 1% ~ 1.3%。长期的稳定发展为该地区提供了独一无二的机会,使其能够有计划地实现去碳化,积极应对全球温室气体排放问题。去碳化转型这一倡议和改革行动能够刺激经济增长,同时促进就业机会。然而,这一转型也会给严重依赖化石燃料的现有经济体系带来风险。要平衡机遇和威胁,东盟必须拥抱转型,追求绿色发展战略,在确保环境可持续发展的同时,实现未来的繁荣。

电力行业是东盟地区的主要排放来源。根据《东盟能源展望》,2020 年东盟的电力生产主要依赖化石燃料,仅有 23.3% 来自可再生能源。除此之外,东盟加快低碳转型的背后还存在其他潜在因素,本部分将探讨这些潜在因素,确定实现转型的障碍,

包括政策不稳定、社会环保意识有限、能源转型的政治意愿不足、技术和资本脱节以及区域协调挑战等。

(2) 东盟国家在能源领域的合作与愿景

“东盟式”外交的特点是互不干涉内政，各成员国认为国内问题应在国内解决。尽管东盟频繁召开会议，建立各种机制，但这个致力于实现地区一体化的国际组织却很难在外交政策上协调一致。通过本章，我们相信得益于气候减缓方面的全球规则、丰富的可再生能源资源和低碳能源转型的战略性全球绿色价值链的形成，东盟将成为其他化石燃料消耗高的新兴国家在绿色发展方面的榜样。

东盟成员国倡导可持续发展和环境责任，明确表达了对能源转型的承诺。这一共同愿景与国际社会为实现净零排放和遵守《巴黎协定》等全球协定所作出的努力一致。然而，实现这一愿景需要多方面的战略、强有力的政策、技术创新和充足投资。去碳化进程包括优化可再生能源使用、提高能源效率和应对系统性挑战。为应对这一复杂局面，东盟国家需要在经济增长与环境保护之间取得平衡，充分利用区域合作和国际伙伴关系（见表 13-4）。

表 13-4 东盟国家能源转型目标

国家	目标
文莱	到 2035 年，实现可再生能源发电占比达到 30% 的目标
柬埔寨	到 2030 年，总装机容量中水力发电达到 55%，生物质发电达到 6.5%，太阳能光伏发电达到 3.5%
印度尼西亚	可再生能源在一次能源供应中的比例将在 2025 年提高至 23%，在 2050 年提高至 31%
老挝	从 2021 年到 2030 年，可再生能源将占新增发电能力的 52%
马来西亚	到 2025 年，可再生能源将占能源消耗总量的 30%
缅甸	到 2025 年，可再生能源占电力容量的比例达到 20%，可再生能源装机容量占电力容量的比例达到 31%
菲律宾	到 2025 年，可再生能源装机容量的比例达到 20%
新加坡	到 2030 年，太阳能光伏发电的装机容量将达到 2 000 MW
泰国	到 2037 年，泰国的目标是将可再生能源在最终能源消费总量中的比例提高到 30%，可再生能源发电容量提高到 36%，发电比例提高到 20%
越南	到 2036 年，越南可再生能源占交通能源消耗的比例将提高至 25%。到 2030 年，可再生能源将占一次能源消费量的 15% ~ 20%，到 2050 年该比例提升至 25% ~ 30%。太阳能光伏发电和风能的装机容量在 3.1 万 ~ 3.8 万 MW。海上风力发电装机容量为 4 000 MW，到 2045 年将达到 3.6 万 MW

资料来源：东盟碳中和相关政策的现状、困境和转型路径 (Yang & Li, 2024)，由作者整理。
注：东盟成员国的减排目标既包括无条件的，也包括有条件的。本表引用的是有条件的减排目标下的可再生能源目标。

东盟能源中心作为区域能源转型的协调机构，制定了《东盟能源合作行动计划（APAEC）》（以下简称《计划》），旨在通过加强东盟地区的能源连通性和市场一体化，确保能源安全以及能源的可获取性、可负担性和可持续性，扩大创新与合作，加速能源过渡，提高能源供应韧性，最终实现电力部门去碳化。《计划》提出了七个优先领域：①东盟电网；②跨东盟天然气管道；③煤炭和清洁煤炭技术；④能源效率和节能；⑤可再生能源；⑥区域能源政策和规划；⑦民用核能。

虽然《计划》囊括了全方位的战略实施来应对地区能源转型挑战，但仍面临几方面挑战：首先，《计划》未充分强调各国之间密切沟通、知识共享和行动规划的重要性；其次，《计划》应就“低碳经济”等术语达成共识；最后，《计划》应确保在能源转型过程中，各国以公正、包容和平等的姿态迎接系统性变革，没有任何一个国家掉队。此外，考虑当前的合作情况，东盟国家必须加倍努力，参考本章建议，实现未来愿景。

然而，以上能力的实现需要外国直接投资的无条件支持，让东盟的灰色投资转变为绿色投资。2005—2022年，中国是东盟外国直接投资排名前五的国家之一，其中能源是中国对东盟投资最多的领域（见图13-3）。尽管总体来看中国对可再生能源的投资低于化石燃料，但在习近平主席2021年承诺不再新建海外煤电项目并加大对绿色低碳能源发展的支持后，中国的能源投资已经逐渐倾斜至可再生能源。

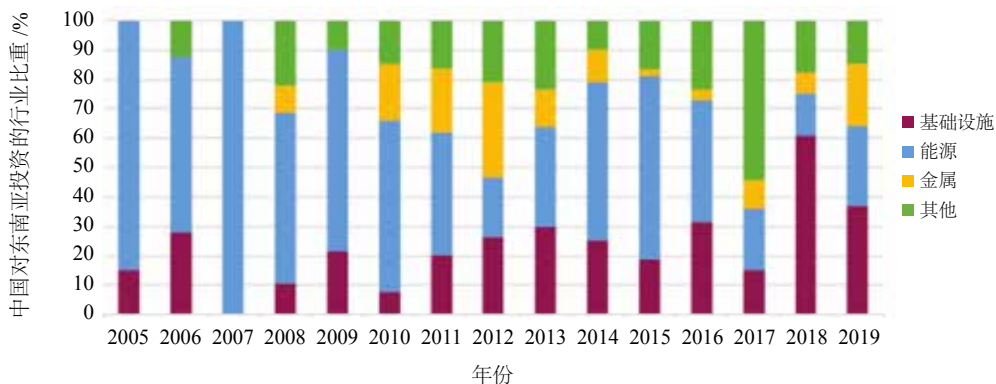


图 13-3 中国在东南亚的投资情况（按工业部门划分）

资料来源：中国对东盟国家投资情况 (ISEAS, 2023)。

（3）可再生能源增长情景和影响

东盟能源中心和国际可再生能源机构等国际组织模拟了基线情景模式、适度模式

和积极模式三种情景下东南亚地区可再生能源的预计份额。部署可再生能源是东盟最容易实现的减排行动，因为东盟各成员国已表达了合作的愿望和目标，且该地区具备挖掘可再生能源资源的地理潜力。此外，东盟地区还拥有制造可再生能源的全球价值链。最重要的是，东盟的实力和影响力可使其成为亚洲能源转型的中坚力量（见表 13-5）。

表 13-5 东盟可再生能源在装机容量中的份额预测

机构		2025 年	2030 年	2050 年
东盟能源中心（ACE）	积极模式	41.5%	47.8%	63.2%
	适度模式	38.1%	42.9%	57.6%
	基线情景	34.5%	36.1%	35%
国际可再生能源机构（IRENA）	积极模式	不适用	57%	88%
	适度模式	不适用	53%	86%
	基线情景	不适用	46%	77%

资料来源：《东盟能源展望（第七版）》和《东盟可再生能源展望（第二版）》（ACE, 2022; IRENA, 2022），由作者整理。

东盟地区可再生能源份额的预测结果凸显了可再生能源资源的潜力和可获取性。然而，若要有效促进能源转型的实现，则需制定具体的干预措施，包括以下几个方面。

- 1) 投资需求：当前，应对资金短缺挑战是东盟国家的首要关切。根据《东盟能源展望（第七版）》，基准情景下，到 2050 年，东盟实现去碳化所需的投资预计为 1.07 万亿美元，其中可再生能源开发投资占总投资的 59% ~ 77%。中国的支持将为东盟国家加速减排提供巨大机遇。
- 2) 风险管控：由于东盟旨在获得国际社会的坚定支持，因此评估不同解决方案的本地风险十分重要，包括评估政策稳定性、市场动态和技术进步相关的投资风险。通过做好风险管控，东盟国家将更好地保护投资者的利益。
- 3) 私营部门参与：私人投资者、风险资本和公私合作伙伴的积极参与至关重要。私营部门的参与可提高创造性，提供必要的资源，从而加快转型进程。
- 4) 技术创新：与学术机构和行业组织建立合作伙伴关系，有利于促进新理念和新解决方案的开发。对技能发展的投资则可以提高技术熟练程度，促进知识交流。
- 5) 环境和社会管理：认真做好环境和社会管理，参与社区活动、实施环境保护措施和创造就业机会都有助于实现迈向可持续能源的全面持久转型。

（4）东盟成员国的可再生能源发展

2005 年以来，东盟成员国一直积极参与可再生能源的开发，以应对气候变化。这些尝试包括水力发电、地热能源和生物能源。2005—2020 年，东盟电力总装机容量增长了 166.9%，其中太阳能光伏发电的增长最为显著，从 2005 年的 1 MW 增至 2020 年的 23 058 MW，占东盟总装机容量的 8%（见图 13-4）。《东盟能源展望（2022 年）》表明，2020 年东盟地区可再生能源在能源供应总量中的占比已从 2005 年的 19.1% 增至 33.3%。

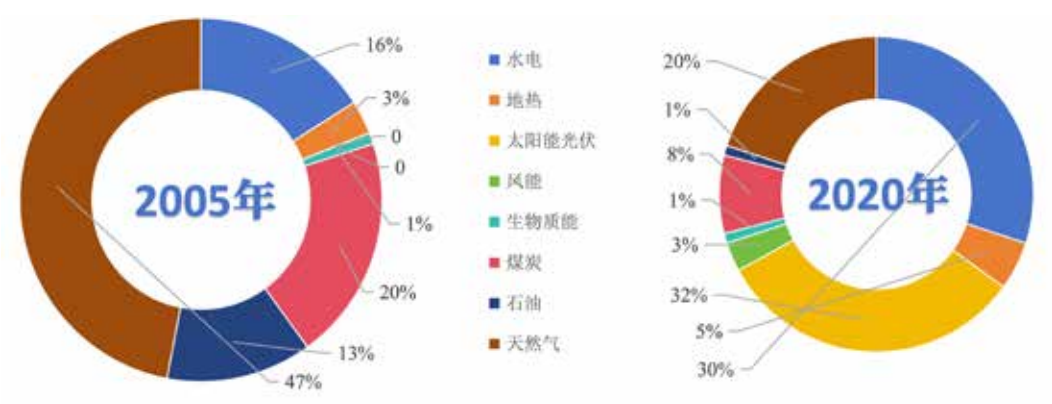


图 13-4 2005 年和 2020 年部分东盟国家能源结构对比

数据来源：《东盟能源展望（第七版）》（ACE, 2022）。

在 2020 年可再生能源总量中，太阳能、风能和部分水电等可变可再生能源（VRE）所占的比例不到 30%，这些能源不会受到自然变化和资源枯竭的重大影响。这种特殊形式的可再生能源相较于其他可再生能源具有明显优势，有潜力成为东盟能源结构的基础，因此必须增加其比重。

印度尼西亚基础服务改革研究所的研究表明，要履行《巴黎协定》承诺，可再生能源组合占比应达到 55%，其中可变可再生能源应占 42%。除越南、柬埔寨和菲律宾外，其余国家的可变可再生能源普及率尚未达到 5%。必须增加可变可再生能源占比，支持东盟地区可再生能源的未来发展。目前，东盟成员国可再生能源的装机容量和设定的目标都不高，难以达成将全球气温升幅限制在 1.5℃ 的目标（见表 13-6）。

表 13-6 东盟国家的可再生能源装机容量和目标

国家	装机容量 / 万 kW	目标 / 万 kW	国家	装机容量 / 万 kW	目标 / 万 kW
文莱	10	954 kW·h（2025 年）	缅甸	351	40（2020 年）
柬埔寨	233	220（2020 年）	菲律宾	777	1 530（2030 年）
印度尼西亚	1 311	4 630（2025 年）	新加坡	580	1 530（2030 年）
老挝	3	90（2025 年）	泰国	1 255	1 968（2036 年）
马来西亚	900	2 137（2050 年）	越南	1 710	4 580（2030 年）

资料来源：可再生能源容量追踪，东南亚可再生能源概览，由作者整理。

打造可再生能源产业是东盟国家成为亚洲乃至全球能源安全和减排行动重要参与者的战略切入点。东南亚地理位置优越，是可再生能源生产中心。全球 9% ~ 10% 的太阳能光伏电池和组件是在东南亚地区生产的，一半以上的镍和其他重要矿产都是在东南亚地区开采的。东南亚的两轮电动车产量也占全球产量的 6% ~ 10%。因此，在促进本地区可再生能源增长和扩大东南亚可再生能源产业制造能力方面的行动可成为区域合作的重要里程碑。

（5）扩大绿色工业和可再生能源技术的生产规模

1）绿色工业。截至 2020 年，东盟地区电力行业的能源消费占比排名第二，高达 22.7%。工业和交通部门一直是主要用电部门，分别占 38.4% 和 35.5%。因此，工业部门成为东盟国家加快环境可持续发展行动的关键点。目前，大部分工业仍靠自备燃煤发电厂为其运营提供电力和供暖等。此外，这些发电厂主要位于工业设施集群中，相对独立运营，未并入主要的国家电网（见图 13-5）。

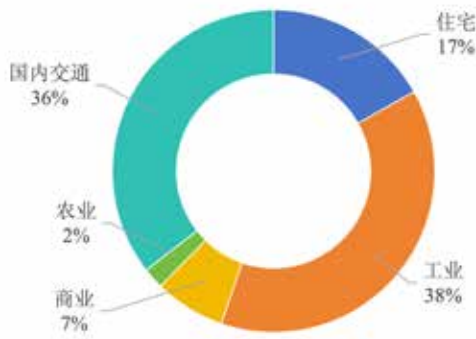


图 13-5 2020 年东盟能源消费总量（按行业划分）

资料来源：《东盟能源展望（第七版）》（ACE, 2022），由作者整理。

全球能源监测数据显示，几乎所有东盟国家仍然依靠燃煤发电厂提供能源。1975—2023 年，东盟国家的燃煤发电厂总装机容量约为 9 700 万 kW。1992—2023 年，除文莱外的所有东盟国家合计建有 1 400 万 kW 左右自备燃煤发电厂，装机容量相当可观。东南亚国家已建立的自备燃煤发电厂占各国国家电网燃煤发电总量的 13%～87%。以印度尼西亚为例，尽管第 112/2022 号总统条例对新建燃煤发电站加以限制，但这些条例并不适用于自备电厂。由于水泥、化工、纺织、纸浆和造纸、钢铁等重工业的增长，印度尼西亚的自备电厂数量大幅增长。此外，印度尼西亚政府最近还致力于探索关键矿产行业，这些行业的工业园区也依赖自备电厂供电。

中国海外工业园区以拓展全球市场和建立全球价值链为目标，对促进工业部门的绿色发展至关重要。根据中国商务部的数据，截至 2019 年中国共建设 113 个海外经济贸易园区，分布在 46 个不同国家，包括东南亚国家。为响应绿色发展倡议，中国生态环境部发布了《对外投资合作建设项目生态环境保护指南》等促进环境友好型对外投资合作的指导方针，鼓励企业建立、建设和发展绿色产业。得益于中国在东南亚工业领域的影响力，中国可以与东盟在绿色发展方面强化合作，加强工业碳减排工作，促进节能技术本地化应用。

2) 可再生能源技术与制造。可变可再生能源预计将在未来成为占比 70% 的全球主导能源。在此趋势下，东盟地区必须争取适当的区域地位，扩大可变可再生能源的生产，争取主导全球供应。东盟地区周边拥有用于可再生能源技术生产的重要矿产资源，因此可再生能源技术产业的发展有利于东盟实现成为世界气候领导者的战略前景。此外，在全球价值链中，可再生能源产业也拥有坚实的制造基础。目前，东南亚生产的太阳能光伏电池和组件占全球的 9%～10%，生产的两轮电动车占全球的 6%～10%，这为强化东盟的可再生能源技术地位、扩大中国与东盟的绿色技术与制造产业合作奠定良好基础。

（二）通过国际合作实现东南亚去碳化：中国－东盟可再生能源发展与合作

1. 共建“一带一路”为中国－东盟绿色能源合作提供了广阔空间

2021 年 6 月，包括中国、东盟国家、中亚国家和部分阿拉伯国家在内的 29 个国家共同发起了“一带一路”绿色发展伙伴关系倡议，强调各国应根据公平原则、共同但有区别的责任原则和各自能力原则，结合各自国情，采取行动应对气候变化。倡议还提出各方应在深化环境合作、推动绿色可持续发展、促进清洁能源开发利用、加强可

再生能源国际合作方面加强合作，鼓励各国和国际金融机构发展绿色金融。

在共建“一带一路”过程中，中国与东盟国家积极推动绿色政策协调、绿色基础设施互联互通、绿色贸易畅通、绿色金融融通。中国主动对接共建国家发展战略，制定了《中国－东盟环境合作行动计划》《澜沧江－湄公河合作五年行动计划（2023—2027）》等发展规划，积极参与共建国家绿色产业发展、清洁能源转型、绿色技术创新、气候治理、生态城市建设等。

《2016—2025 年东盟能源合作行动计划（APAEC）》提出要加强东盟能源互联互通和市场一体化建设，让人人都能享受安全、可获取、可负担和可持续的能源。2019 年 6 月发布的《东盟印太展望》优先考虑将区域发展议程与可持续低碳发展目标相结合。

中国外交部 2022 年发表《关于加强中国－东盟共同体的可持续发展联合声明》，对东盟共同体 2025 年愿景、东盟印太展望、“一带一路”倡议和东盟提出的其他相关内容表示热烈欢迎和赞赏。同时，声明进一步提出要加强双方在新能源技术研发应用、绿色投融资、能力建设等方面的合作，推动能源转型和产业结构升级，建立中国－东盟清洁能源合作中心，实现经济低碳发展和可持续的绿色增长。

2. 中国－东盟清洁能源技术创新和投资合作取得显著成果

在绿色发展理念的指引下，中国与东盟国家在清洁能源领域的合作日益深化。2021 年 11 月，在中国－东盟建立对话关系 30 周年纪念峰会上，中国和东盟发表联合声明，宣布双方将加强在绿色投融资、新能源技术等领域的合作，推动地区能源体系、经济和产业结构转型优化，共同实现低碳发展和可持续的绿色增长。此外，在本次峰会上，双方还决定成立中国－东盟清洁能源合作中心，促进清洁能源技术共享，加大金融支持力度，为地区能源转型和可持续发展提供有力支撑。

自 2017 年以来，中国与东盟国家在清洁能源领域形成了东亚峰会、东盟与中日韩（10+3）、东盟与中国（10+1）三个合作机制。双方在综合治理、政策规划、市场培育、清洁能源联合研究等方面开展了深入合作，形成了深度良好的合作关系。双方还建立了东亚峰会清洁能源论坛、东盟+3 清洁能源圆桌对话、中国－东盟清洁能源能力建设计划等专业合作与交流机制，为推动双方在清洁能源领域的务实合作提供了有力支撑。在中国－东盟清洁能源能力建设计划下已成功开展五个交流项目，涵盖可持续水电开发、大规模风电和太阳能发电开发、多能互补技术与应用等多个主题，为东盟国家培训了 1 000 多名学员。

中国与东盟国家累计双向投资已超过 3 800 亿美元，涉及新能源、电动汽车等多个领域。据东盟能源中心统计，2000—2020 年，东盟在可再生能源项目上获得的外国

公共投资中，中国投资占 60%。截至目前，中国企业在东盟国家投资或参与开发的清洁能源项目众多，涉及水电、风电、太阳能光伏发电、生物质发电、电网、绿色装备制造等领域。典型项目包括柬埔寨桑河二级水电站项目、老挝南欧江流域梯级水电项目、印度尼西亚上西索堪抽水蓄能电站、越南平大海风电项目、越南朔庄四号海上风电项目、菲律宾桑切斯米拉风电项目、泰国 EA 二期风电项目、越南富美太阳能光伏发电项目、越南禄宁太阳能光伏发电项目等。

目前，中国企业太阳能光伏组件制造技术和生产能力处于世界领先地位，全球市场份额超过 80%。中国多家太阳能光伏组件制造企业已将东盟国家作为最重要的海外生产基地，如中国晶科能源在马来西亚槟城投资建设太阳能电池及组件生产工厂，并建立光伏联合研发中心。隆基集团自 2015 年起积极拓展亚太地区业务，先后在马来西亚和越南投资建厂。这些制造业的投资大大提升了东盟国家在光伏组件研发、制造和应用方面的技术能力，对当地可再生能源产业的整体发展起到了推动作用。

总之，应对全球气候变化和实现国家能源安全是中国和东盟国家面临的共同挑战。在此过程中，中国与东盟国家本着共建绿色“一带一路”的愿景，建立了成熟的合作机制。双方取得了显著合作成果，建立了坚实的合作基础，积累了丰富的合作经验，为未来开展深入广泛的合作提供了有力支撑。这将进一步推动东盟国家早日实现净零排放目标。

（三）中国－东盟可再生能源合作最佳实践

1. 印度尼西亚奇拉塔漂浮光伏发电项目

印度尼西亚奇拉塔漂浮光伏发电项目是东南亚最大的漂浮光伏项目，总装机容量达 192 MW，由印度尼西亚国家电力公司和阿布扎比未来能源公司合资开发，由中国电建集团总承包建设。该项目入选为印度尼西亚国家级重点战略方针项目，对印度尼西亚发展清洁能源、实现能源转型具有重要的里程碑意义。

奇拉塔漂浮光伏发电项目位于印度尼西亚西爪哇省的奇拉塔水库，项目水面部分共有 13 个独立的漂浮光伏阵列，每个阵列约 430 m 长、230 m 宽，包含 48 个子阵列，由超过 2.8 万块光伏板组成。奇拉塔漂浮光伏发电项目是全球首个百米水深的漂浮光伏项目。

项目建成后，年发电量预计可达 30 万 MW·h，可为约 5 万户家庭提供清洁电力，每年可为当地节约标煤 11.7 万 t，使二氧化碳、煤粉尘、二氧化硫、氮氧化物排放每年分别减少 21.4 万 t、8.2 万 t、0.9 万 t、4 500 t。该项目可有效提升西爪哇省电力系统

的供电能力，改善当地能源结构，提高可再生能源占比，对印度尼西亚实现碳中和目标具有重大战略意义。

2. 印度尼西亚太阳能光伏出口新加坡

新加坡位于马来半岛南端附近，是世界重要的中转港和航空中心，也是东南亚唯一的发达国家。新加坡人口超 550 万，但国土面积只有 728.6 km²，人口密度高，土地资源十分有限，不适宜建设大规模可再生能源电力项目。目前，新加坡电力供应以天然气发电为主，占总能源消耗的 95% 以上。随着全球应对气候变化努力的推进，新加坡于 2021 年发布“2030 年新加坡绿色发展蓝图”，提出到 2050 年实现温室气体净零排放的长期发展目标。新加坡要实现低碳电力供应目标，进口电力成为重要选项。

2021 年 10 月，新加坡电力市场管理局（EMA）宣布计划从海外进口 4 GW 电力，吸引了众多新加坡本地和国际电力投资者的关注。印度尼西亚与新加坡相邻，印度尼西亚巴淡岛与新加坡直线距离不超过 20 km。印度尼西亚太阳能资源丰富，大片土地适合发展太阳能项目。在新加坡附近岛屿开发建设太阳能光伏发电及储能项目，通过海底电缆将绿色电力送往新加坡，是双方实现优势互补的最佳选择。2023 年 4 月，在第六届新加坡－印度尼西亚领导人非正式会议上，两国签署了可再生能源合作谅解备忘录，旨在进一步推动可再生能源领域的合作，扩大两国绿色电力交易，完善电力输送的合作框架和基础设施。目前，已有包括中国电建、隆基、华为等多家中国企业积极参与了项目的前期工作，各方都在努力通过发挥自身优势，力争项目早日开工建设并投入商业化运营，造福项目所在国人民。

3. 老挝风电出口越南

近年来，越南经济快速发展，国内电力需求也增长迅速。为解决日益严峻的电力短缺问题，越南进一步加大从邻国进口电力的力度。老挝是与越南同水同山的邻国，其中部地区也拥有大量的风能资源。大力开发老挝丰富的风能资源，建设风电项目，将老挝生产的绿色电力送往越南，是两国实现资源与需求优势互补、可持续发展的双赢之道。

老挝孟松 600 MW 风电项目应运而生。该项目位于老挝中南部色贡省和阿速坡省的低山区，是老挝建设的首个风电项目，也是目前东南亚地区投资规模最大的单体风电项目。整个项目占地 1 100 hm²，共安装 133 台由中国风电机组制造企业远景能源生产的大型风电机组，单机容量为 4.51 MW。风电场还将建设 5 座升压站和近 2 km 的 500 kV 送出线路。该项目由泰国 Impact Energy Asia Development (IEAD) 公司投资开发，亚洲开发银行（ADB）及多家商业银行联合为项目提供融资方案，该项目是东盟国家

间最大的可再生能源项目银团融资交易。中国电建集团作为项目的总承包商承担了本项目的设计、采购、建设和调试等任务，该项目也是目前中国企业在东盟国家建设的单体规模最大的风电项目。

（四）中国－东盟绿色发展合作潜力巨大

近年来，为积极应对日益严峻的气候变化、环境风险挑战、能源资源约束等全球性问题，中国政府提出“推动经济社会发展全面绿色转型”的发展战略，加快构建清洁低碳能源体系，为中国经济社会持续健康发展提供支撑，为维护世界能源安全、应对全球气候变化、促进世界经济增长作出积极贡献。中国能源行业在市场规模、技术创新发展、技术标准体系建设、产业链与能力建设等方面取得了显著成就，无疑为推进中国与东盟国家绿色能源合作奠定了坚实基础。

1. 中国是世界上最大的清洁能源市场

经过近十年的快速发展，中国已成为全球最大的绿色清洁能源生产国和消费国，整体市场规模多年保持全球第一。根据国际可再生能源机构（IRENA）发布的数据，截至 2023 年底，中国可再生能源装机总量为 1 453.7 GW，位居全球第一。

具体而言，截至 2023 年末，中国水电总装机规模达 421.5 GW，占全球水电总装机容量的 29.9%。其中，中国抽水蓄能电站总装机容量为 50.94 GW，占全球抽水蓄能总装机容量的 36.4%。中国风电装机容量为 441.9 GW，占全球风电总装机容量的 43.4%。其中，海上风电总装机容量为 37.29 GW，占全球海上风电总装机容量的 51.32%；中国太阳能发电装机容量已达 609.9 GW，占全球太阳能发电总装机容量的 43.0%。根据中国国家统计局公布的数据，2023 年，中国水电、风电、太阳能发电合计发电量已达到 27 558.7 亿 kW·h，占全国总发电量的 29% 以上。可再生能源发电已成为中国电力系统中增长最快的部分，为整个电力系统的节能减排和绿色低碳发展作出了重大贡献。

中国幅员辽阔，区域差异明显，资源禀赋差异显著，导致可再生能源发展过程中形成了多种开发应用场景，包括江河梯级开发调度模式、风电和太阳能发电大规模开发模式、水电、风电、太阳能互补开发模式、农光互补模式、渔光互补模式等。多场景开发模式也为其他国家和地区的可再生能源发展提供了有益借鉴。

2. 领先的可再生能源技术优势

中国可再生能源的快速发展，离不开中国在可再生能源技术上的不断创新和进步。在水电领域，中国企业在大型水电站的勘测、设计和建设方面处于世界领先地位，

在修建高坝、加固边坡、控制大流量泄洪和修建深层隧道等方面取得了突破性进展。隧道掘进机（TBM）施工方面的进步也有助于电站建设过程中应对复杂的地质条件。风电方面，中国企业也在风电机组单机容量、可靠性等重要指标上不断创造新纪录。中国在风电工程设计、施工和风电机组吊装方面的能力也在快速提升。各种新型、超高风电机组塔架技术不断涌现，海上风电设计、施工技术不断取得突破。太阳能发电方面，中国企业在体现核心竞争力的光伏电池转换效率、成本控制等多个方面，连续多年保持全球领先。近年来，中国光伏制造企业大力推进光伏智能制造提升计划，通过资源动态配置、过程精准控制、人机协同、精益管理等方式，提升光伏基础材料、电池片、组件等智能制造水平，推动智能生产装备研发应用，提升整体制造流程智能化连接，建设新型智能制造示范工厂。

3. 全面的可再生能源技术标准体系

随着可再生能源产业发展和技术进步，中国在建立可再生能源技术标准体系方面也取得了巨大成就。中国已建立起完整的新能源标准化管理机制，同时还建立了初步的制度体系，对不同层次的可再生能源技术标准进行衔接和补充。在标准体系建设方面，中国在水电、风电、太阳能等以新能源和可再生能源为代表的多个领域都建立了较为完善的技术标准体系。

在水电领域，现有的技术标准体系涵盖了水电工程各个环节和专业技术标准，包括总体要求、规划设计、设备、施工验收、运行维护、工程造价、更新退役等，涉及800多项具体技术标准。在风电技术领域，整个标准体系涉及风电场规划设计、建设安装、运维管理、风电并网管理技术、风电机组设备、风电电气设备等180多个方面。在太阳能光伏发电领域，现有的标准体系包括通用要求、光伏设备制造、光伏材料、光伏电池及组件、光伏零部件、光伏系统及应用等7个方向、35个小类。

此外，近年来，中国主管部门和相关机构大力推动可再生能源技术标准的“引进来”和“走出去”。一是加大中国标准与国际标准的对接和相互促进；二是加入国际标准化组织，积极参与国际标准制定；三是继续加强中国可再生能源技术标准的转化，依托与“一带一路”共建国家的合作，提升中国可再生能源技术标准的影响力和应用水平。如老挝南立1-2水电站、柬埔寨桑河下游二级水电站、巴基斯坦卡洛特水电站等项目的设计建设过程中，均采用了中国水电技术标准。埃塞俄比亚阿达玛风电场的设计建设也全面采用了中国标准。未来，在中国-东盟能源合作框架下，双方可进一步加强可再生能源技术标准领域的交流合作与互认，为双方在可再生能源领域的合作贡献中国智慧和经验。

4. 强大的可再生能源开发产能优势

中国在可再生能源领域的快速发展，离不开强大产能优势的支撑。目前，中国已经建立了全球最完善的制造业体系，为可再生能源领域各类能源设备的研发、制造、运维提供了极大便利，也为中国企业“走出去”开展国际合作提供了便利。在水电领域，2023 年中国新增水电装机容量达到 8.04 GW，已批准和在建抽水蓄能电站容量超过 158 GW。在风电领域，得益于中国风电市场的快速发展，中国风电制造企业表现优异。全球新增产能排名前五的风机制造商中，中国企业占据四席，优势巨大。2023 年全球风电新增装机容量达到 118 GW，而中国市场占 77 GW，贡献率高达 65%，成为全球风电增长的主要动力。在风电机组零部件供应方面，包括叶片、轴、齿轮箱、发电机、控制系统等环节，中国也已建立起完整的产业链和生产能力。在太阳能发电领域，2023 年全球前十大光伏组件厂商全部为中国企业，中国企业在全球光伏市场的市场份额超过 80%。根据中国光伏行业协会公布的数据，2023 年，中国光伏企业出口硅片 70.3 GW，同比增长超过 93.6%；电池出口 39.3 GW，同比增长 65.5%；组件出口 211.7 GW，同比增长 37.9%。中国光伏制造企业为全球太阳能光伏发电的快速发展提供了有力支撑。

综上所述，历经过去数十年艰苦的发展过程，中国建立起庞大、成熟的可再生能源市场体系，形成了完善的技术标准体系和科研创新能力，构建了全球最完整的可再生能源装备研发、制造产业链。中国企业在可再生能源领域的能力和优势，为未来中国与世界各国，特别是东盟国家的合作奠定了坚实的物质基础。

四、中非绿色南南合作：进展、机遇与展望

在全球气候变化背景下，非洲面临发展与气候行动的双重挑战。许多非洲国家政府在这方面富有雄心壮志。超过 90% 的非洲国家已向《联合国气候变化框架公约》提交了国家自主贡献，70% 的非洲国家设定了相当具体的可再生能源目标，超过 25% 的非洲国家承诺实现净零排放目标。然而，资金严重不足、能源基础设施薄弱等给非洲大陆应对气候变化带来了挑战。非洲开发银行估计，与气候相关的灾害每年可能给非洲国家造成 70 亿～150 亿美元的损失，到 2030 年可能增至 500 亿美元。为实现气候变化相关目标，非洲开展了一系列行动，包括在《内罗毕宣言》中设定“到 2030 年将非洲可再生能源发电能力从 2022 年的 56 GW 增加到至少 300 GW”的目标。实现这些目标的关键是与能够提供必要支持的其他国家或区域机构建立战略伙伴关系，南南

合作可以帮助非洲应对这一双重挑战。特别是通过中非合作论坛（FOCAC）和“一带一路”倡议，非洲国家能够从中国获得大量资金用于能源（包括可再生能源）以及绿色交通，同时中国企业在日益增加对于公私合作伙伴关系（PPP）、私营工厂和其他基础设施的投资。

（一）非洲的气候行动与绿色发展战略

非洲国家深受气候变化的影响。早在十几年前，发达国家就承诺将向发展中国家提供每年 1 000 亿美元的气候资金^[39]。然而，直到 2022 年，这一承诺仍未兑现，导致包括非洲国家在内的气候脆弱国家在应对气候变化方面面临巨大困难^[40]。同样，在《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会期间各国作出了雄心勃勃的资金承诺，特别是损失和损害基金（总额超过 7 亿美元），但这笔资金仍不足以支持非洲国家的气候行动^[41]。在向非洲提供气候资金方面取得的其他进展也很有限。例如，帮助非洲能源向可再生能源过渡的资金承诺不足。

尽管非洲国家面对气候变化高度脆弱，但它们在发展可再生能源方面拥有巨大潜力，包括太阳能、风能、水能、地热能和生物质能。与此同时，非洲各国在应对气候变化方面也有雄心和决心。目前非洲已经制定了气候行动与绿色发展战略，并通过大洲和区域层面的政策框架进行实施。

1. 非洲联盟的气候相关政策

非洲的气候行动以非洲联盟《2063 年议程》、联合国可持续发展目标（SDGs）和《巴黎协定》为指导。《2063 年议程》于 2015 年通过，跨度 50 年，是非洲实现可持续发展的规划蓝图，旨在建设一个“由非洲公民推动建立的一体化与和平繁荣的新非洲，并在国际社会上发挥积极作用”^[42]。《2063 年议程》的目标 7 与联合国可持续发展目标 13 紧密相关，要求采取紧急行动应对气候变化及其影响^[43]，展现了非洲国家应对气候变化的坚定决心。2021 年以来，非洲发布了更多关于应对气候变化的战略文件，包括 2021 年的《绿色复苏行动计划》和 2022 年的《气候变化与韧性发展战略和行动计划》等。

首届非洲气候峰会于 2023 年 9 月在肯尼亚首都内罗毕举行。会议充分展现了非洲国家为应对全球气候变化寻求解决方案的坚定决心。作为峰会的主要成果，《非洲领导人关于气候变化的内罗毕宣言及行动呼吁》（以下简称《内罗毕宣言》）统一了非洲国家在气候行动问题上的立场。宣言呼吁国际金融体系进行改革，通过促进气候融资和征收全球碳税为气候行动募集资金。宣言还提出了一个宏伟目标，即“在 2023 年

至 2030 年，将非洲可再生能源发电容量从 56 GW 提升至至少 300 GW”。

2. 非洲国家的新能源政策

为促进可再生能源发展，30 个非洲国家已经制定了专门的政策框架或可持续发展目标¹。从 2008 年开始，一些国家陆续为可再生能源在总发电量中的占比制定了目标。这些目标主要在国家能源（效率）战略或气候与可持续发展政策中进行体现。但目标占比通常低于 50%，大部分缺少详细的路线图或行动计划。自 2015 年以来，在各发展伙伴的帮助下，12 个西非国家通过了国家可再生能源行动计划（NREAPs）。这些计划提供了可再生能源发展情况的基线数据，概括了为实现可再生能源目标将实施的各项措施。其中，加纳和尼日利亚还在 2019 年和 2021 年分别发布了可再生能源总体规划，同时南非、乌干达和赞比亚等西非以外的其他非洲国家也加入进来。截至 2023 年，制定了可再生能源专门政策的非洲国家达到了 19 个²。

3. 非洲国家自主贡献（NDCs）中的气候雄心

目前，53 个非洲国家向《联合国气候变化框架公约》提交了国家自主贡献报告，其中 43 个国家提交了更新的国家自主贡献文件（增强国家自主贡献），仅有利比亚和阿拉伯撒哈拉民主共和国（西撒哈拉）尚未提交国家自主贡献报告。这些更新国家自主贡献报告充分显示出非洲各国致力于减缓气候变化，追求可持续发展的坚定决心。

根据最新的国家自主贡献数据，51 个非洲国家已经公布了减缓与适应气候变化的融资需求。非洲融资需求总计约 2 万亿美元，其中融资需求最大的是埃塞俄比亚、埃及和尼日利亚，融资需求最小的是利比里亚、圣多美和普林西比以及冈比亚。

49 个非洲国家提出了减缓和适应气候变化的需求，圣多美和普林西比以及津巴布韦只提供了适应气候变化的成本估算结果。由于各国的融资成本分析详细程度不一致，从非洲层面可以进行的分析十分有限，但根据数据可以得出，非洲适应气候变化的融资需求约为 4 380 亿美元，而减缓气候变化的融资需求要高出近 1 倍，约为 8 700 亿美元。

（1）气候适应

35 个非洲国家对适应气候变化的融资成本进行了详细分解。其中融资需求最大的是埃及（500 亿美元）、索马里（485 亿美元）和肯尼亚（439.3 亿美元），共占非洲适应气候变化融资需求总额的 33%。

¹ 基于公开信息整理，包括国家官网、SEforALL 和国际能源署。

² 包括南非、乌干达、赞比亚、尼日利亚、加纳、几内亚比绍、纳米比亚、科特迪瓦、尼日利亚、尼日尔、阿尔及利亚、贝宁、布基纳法索、加纳、利比里亚、马里、塞内加尔、塞拉利昂、多哥、利比亚、埃及。

(2) 气候减缓

38 个非洲国家在其国家自主贡献中提出了缓解气候变化的融资需求。其中需求最大的是埃塞俄比亚和埃及，共计 4 175 亿美元，占非洲减缓气候变化融资需求总额的 54%。

4. 非洲绿色发展的需求与潜力

与世界上其他地区相比，非洲可再生能源发展非常缓慢。2022 年全球可再生能源装机容量达到 3 382 GW，其中中国占 1 161 GW（34.4%），而 54 个非洲国家合计只占约 59 GW，仅占全球总量的 1.7%。

表 13-7 2022 年可再生能源发电装机容量 单位：GW

	可再生能源	水能	太阳能	风能
非洲	58.7（1.7%）	39.0（2.8%）	11.4（1.1%）	7.7（0.8%）
中国	1 160.8（34.3%）	413.5（29.7%）	392.4（37.1%）	366.0（40.7%）
全球	3 381.8（100%）	1 392.5（100%）	1 055.0（100%）	898.8（100%）

资料来源：国际可再生能源署，《2023 年全球可再生能源统计年鉴》，<https://www.irena.org/Publications/2023/Jul/Renewable-energy-statistics-2023>。

非洲国家拥有丰富的太阳能、风能、水能和地热能资源，是发展清洁能源的理想之地。目前，非洲有 17 个国家的可再生能源发电总装机容量已占全国发电总装机容量的 50% 以上。然而，尽管潜力巨大，由于金融资源有限、缺乏可投资和财务可行的项目，非洲整体能源产业发展缓慢。从平均值来看，非洲可再生能源发电总装机仅占发电总装机的 23.1%，而全球平均值为 38.3%^[44]。充分释放尚未开发的可再生能源资源潜力可以使非洲国家立于可持续发展的前沿并为全球低碳转型贡献力量。

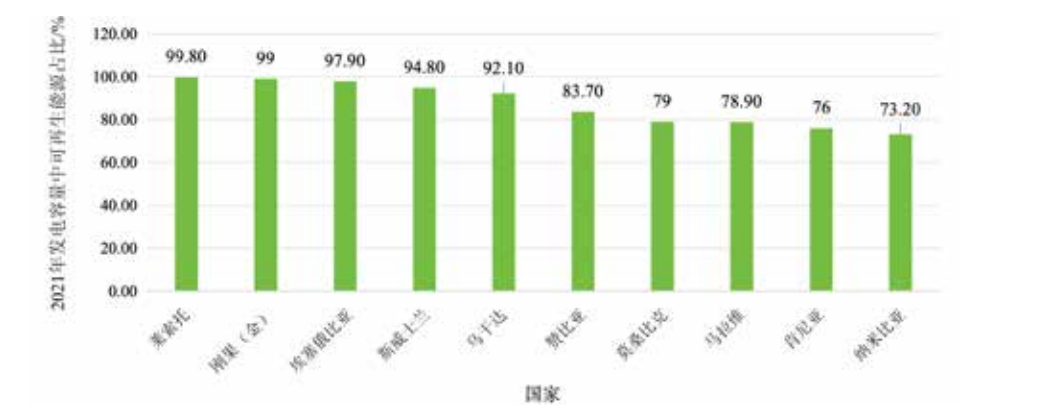


图 13-6 2021 年发电容量中可再生能源占比前十的非洲国家

同时，发展可再生能源对于性别平等和妇女发展也有重要意义。首先，通过提供稳定的清洁电力供应，改善了当地居民的生活质量，妇女和儿童的夜间学习和生活条件因此得到提升。另外，也为非洲国家创造了就业特别是妇女就业的机遇。根据国际可再生能源署的数据，在太阳能光伏领域，女性占全职职位的 40%，几乎是石油和天然气行业的约 1.8 倍（22%）^[45]。

（1）太阳能

非洲发展太阳能拥有得天独厚的条件。全球能源监测网站数据显示，非洲的公用事业规模太阳能装置的平均长期实际发电量（4.51 kW·h/d）高于中国（3.88 kW·h/d）和全球平均水平（4.19 kW·h/d）；但是，目前非洲公用事业规模太阳能运行容量仅为 9 478 MW^[46]，相当于中国的 32.3% 和全球总容量的 1.7%。其中北部非洲和南部非洲的太阳能发电潜力值最大，纳米比亚、埃及、莱索托、利比亚和博茨瓦纳是平均潜力值最高的五个国家。

（2）风能

非洲开发风能潜力巨大。非洲的海上风电潜力达每年 180 000 TW·h，是非洲电力需求的 250 倍。非洲超过 2/3 风电潜力分布于平均风速为 7.5 m/s 以上的风电密集区，具备风轮机运行的理想条件。但是，非洲的风电装机容量仅占全球总量的不到 1%^[47]。东非和北非风电资源禀赋优势明显。乍得、莱索托、吉布提、佛得角和摩洛哥是风能资源最丰富的五个非洲国家。

（3）关键矿产

关键矿产是发展清洁科技和环境产品制造所必需的原材料^[48]。非洲拥有全球 30% 的矿产资源储量，包括多种用于可再生和清洁能源科技产品生产的关键矿产^[49]。例如，非洲拥有全球大约 1/3 的铝土矿资源，常用于生产太阳能电池板部件。钴是用于制造电动汽车和储能锂电池的关键矿产，仅刚果民主共和国的钴矿资源储量就占全球总储量的 70%。表 13-8 展示了非洲的一些核心关键矿产及其在环境产品中的应用。

表 13-8 非洲的关键矿产及其在环境产品制造中的应用

关键矿产	主要生产国	在环境产品中的用途
铝	几内亚	太阳能光伏、电动汽车和蓄电池
铜	刚果（金）、赞比亚	太阳能光伏、风轮机、电动汽车和蓄电池
钴	刚果（金）	电动汽车和蓄电池
石墨	莫桑比克、马达加斯加	电动汽车和能源存储

关键矿产	主要生产国	在环境产品中的用途
镍	南非	电动汽车和蓄电池、风轮机
锂	马里	电动汽车和蓄电池
锰	加蓬、加纳、南非	太阳能光伏、电动汽车和能源存储
稀土元素	南非、莫桑比克、纳米比亚 ^[50]	风轮机、电动汽车和蓄电池

《内罗毕宣言》提出非洲必须“实现经济转型与气候需求和谐发展的愿景”并强调要采取行动“将能源密集型原材料初级加工出口转移回非洲”^[51]。同时，随着绿色发展成为全球趋势，非洲的关键矿产储备更具吸引力。在这一背景下，很多非洲国家开始重新审视自身在矿产领域的战略计划。非洲仍有很多机会在关键矿产和环境产品制造价值链中实现产业升级。研究显示，除矿产开采与精炼外，零部件生产与设备组装可以带来可观的附加值——南非的电池组装产业就是一个例子^[52]。此外，如果政策鼓励下游应用，对数字科技不断增长的需求不仅有利于小规模经济发展，还能很大程度上消除对二手进口产品的担忧，而配套的数字服务也能带来诸多机遇，创造大量就业岗位，如通过再利用和再回收，电池生产流程可以实现从线性向循环型转变。

（4）环境产品制造

可再生能源部署与环境产品之间存在相互依赖关系¹。这意味着发展制造业供应链至关重要，同时也能促进非洲的低碳转型。对非洲国家而言，环境产品贸易能够同时实现引进更多的绿色科技。纵观全球，过去 30 年间环境产品贸易迅速增长，1994—2021 年，环境产品出口额翻了 8 倍，从 2 193 亿美元增至 1.76 万亿美元。但是，在一片繁荣之下，非洲的环境产品贸易额仅占全球总额的 1%，而其中 77.5% 都来自进口。这就意味着非洲的本土制造业仍处于初期阶段^[53]。在非洲大陆内部，各国的环境产品贸易发展程度也存在巨大差异。南非、埃及、突尼斯和摩洛哥四国的环境产品出口额占非洲总额的 90%，其中南非一国就占 55.8%。

目前，非洲已经在大洲、区域和国家层面出台了环境、气候变化和可持续发展相关政策。但是，这些政策大多倾向于可再生能源项目或环境产品贸易。比如，肯尼亚^[54]、马达加斯加^[55]和尼日利亚^[56]对包括太阳能和风能发电设备在内的可再生能源产品进口免税。这些政策虽然给当地环境产品市场注入了新的活力，但同时在一定程度上对发

1 环境商品（EGs）是指旨在测量、预防、限制、最小化或纠正对水、空气和土壤的环境破坏，以及解决废物、噪音和生态系统相关问题的产品和服务。亚太经合组织将其定义为四大类：环境保护（EP）、可再生能源（RE）、环境监测与评估（EMA）以及环境友好产品（EPP）。

展本土环境产品制造带来影响，尤其是鉴于目前还没有任何一个非洲国家针对环境产品制造制定了完善的政策。尽管如此，一些国家已经出台了价值链本地化的政策，并采取行动支持非洲本地环境产品制造商，例如 2023 年发布的非洲可再生能源产业发展倡议^[57]。

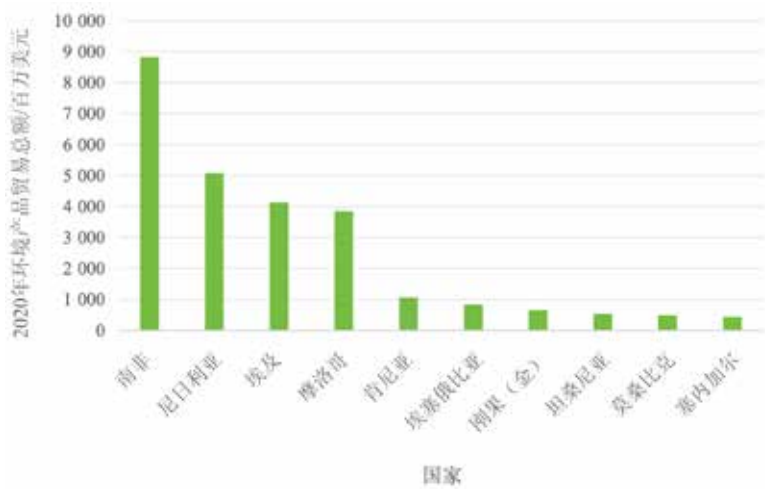


图 13-7 2020 年环境产品贸易总额前十的非洲国家

资料来源：由笔者根据国际货币基金组织“环境商品贸易”数据库整理而得。

（二）中国 - 非洲可再生能源合作现状与挑战

1. 中非可再生能源发展合作进展

根据中国全球能源融资（CGEF）数据库^[58]，中国国家开发银行和中国进出口银行在 2000—2022 年向非洲国家提供了 490 亿美元的能源项目贷款。其中，130 亿美元用于水能，6.11 亿美元用于风能，4.8 亿美元用于地热能，3.67 亿美元用于太阳能，其余资金用于其他能源项目。

埃塞俄比亚是获得中国可再生能源发展支持的主要国家之一。多年来，中国企业在埃塞俄比亚资助了多个能源发电项目，总价值超过 40 亿美元，占该国新增发电能力的 50% 以上。肯尼亚是另一个获得中国可再生能源投资的主要国家。中国在肯尼亚资助并建设了多个大型太阳能和风能发电项目，推动可再生能源普及，尤其是在农村地区。其中最为知名的是非洲最大风电场——装机容量 310 MW 的图尔卡纳湖风电项目。该项目由中国企业联合建设，于 2018 年上线，为肯尼亚提供约 15% 的电力。中国以

多种方式参与了这些项目，包括作为出资方、开发商和 EPC 承包商，也包括和其他国家开展第三方合作。这些项目不仅提供了清洁能源，还通过创造就业、改善教育和生活条件，为非洲妇女儿童的发展带来了实质性的好处（见表 13-9）。

表 13-9 中国支持的部分可再生能源项目

国家	项目	装机容量 / GW	介绍
埃塞俄比亚	阿达玛一期 & 二期项目	204	由中国进出口银行出资，由中国电力建设集团和中地海外集团建造，于 2015 年投入使用
南非	德阿风电项目	244.5	龙源电力承建，2017 年 11 月投产
肯尼亚	图尔卡纳湖风电项目	310	由欧洲投资银行、非洲开发银行出资，由中国南瑞集团公司和中国电建集团贵州工程公司共同承建，2018 年投产
肯尼亚	加里萨光伏电站	54.5	由中国进出口银行出资，中国江西国际经济技术合作有限公司与晶科能源控股有限公司承建，于 2019 年 12 月投产
中非	萨卡伊光伏电站	15	中国政府资助，由中国能源建设集团天津电力建设公司（TEPC）建设，于 2022 年投产
尼日利亚	宗格鲁水电站	700	由中国进出口银行出资，由中国电工和中国电建联合承建，首台机组于 2022 年投产
埃塞俄比亚	阿伊萨风电项目	120	东方电气承建，2022 年投产
马里	古伊那水电站	140	由中国进出口银行出资，中国电建承建，2022 年投产
赞比亚	下凯富峡水电站	750	中国电建承建，2023 年投产
肯尼亚	梅嫩加伊地热项目	35	由私人开发商 Sosian Energy 开发；由开山集团作为运营商；由中国电建承建；2023 年投产
乌干达	卡鲁玛水电站	600	由中国进出口银行出资，中国电建承建，2024 年投产
卢旺达	那巴龙格河二号水电站	43.5	由中国进出口银行出资（2.14 亿美元），2024 年投产
埃及	苏伊士湾风电项目	500	日本住友占股 40%，中国电建为 EPC 承包商，将于 2025 年投产
埃塞俄比亚	图鲁莫耶地热电站	150	日本三菱商事与中国电建旗下山东电力建设第三工程有限公司以联合体模式承建，预计 2025 年投产
埃塞俄比亚	阿鲁托朗加诺地热站	70	由世界银行出资，中国山东科瑞石油承包，将于 2025 年投产

来源：笔者整理。

与水电和风电项目相比，非洲的大型太阳能光伏项目较少。然而，太阳能光伏可以用于支持微电网，可有效满足非洲无电人口的能源需求。2023 年 9 月，中国生态环境部宣布实施“非洲光带”项目，通过中非合作建设气候友好的“光伏+”项目，推

动气候及光伏发展交流对话、开展光伏战略规划和配套政策研究及实施能力建设项目等方式，解决至少 5 万户非洲地区无电贫困家庭用电照明问题，目前已与乍得、圣多美和普林西比等国签署合作谅解备忘录。

2. 非洲绿色发展面临的挑战与中国的角色

尽管非洲国家有应对气候变化的雄心且可再生能源资源储量丰富，但气候融资不足是非洲实现绿色发展的一大障碍。2020—2030 年，非洲需要至少 2.8 万亿美元应对气候变化，即每年 2 500 亿美元^[59]。但是，目前非洲每年得到的气候融资远无法满足其需求。例如，2020 年非洲获得的气候融资约为 300 亿美元，仅相当于当年公布的气候融资需求的 12%。

中国一直致力于帮助非洲获得气候融资，发展清洁能源产业，并持续开发创新型融资工具。自 2000 年开始，中国已经为非洲的清洁能源产业提供了 250 亿美元的融资贷款^[60]。2021 年，中非合作论坛第八届部长级会议通过《中非应对气候变化合作宣言》，至今已有 95 个有中国资金参与的气候行动项目得以启动，涵盖可再生能源、气候友好型基础设施、清洁科技和交通运输，以及能力建设^[61]。在去年举办的第三届“一带一路”国际合作高峰论坛上，中国发起了一系列绿色金融支持倡议，包括启动绿色发展投融资伙伴关系（GIFP），以及中国国家开发银行、中国进出口银行各设立 3 500 亿元融资窗口，丝路基金新增资金 800 亿元，为共建“一带一路”国家提供融资支持^[62]。根据前文分析，将这笔资金中的大部分用于开发非洲的绿色发展潜能对中国而言不失为一项成功的战略举措。具体实施可采用以下三种模式。

（1）模式一：为绿色基础设施提供优惠融资

根据国际可再生能源机构（IRENA），非洲的可再生能源发电装机占全球比重仅为 3%^[63]。国际能源署（IEA）资料显示，非洲拥有全球 20% 的人口，但清洁能源投资仅占全球的 2%^[64]。要实现《内罗毕宣言》提出的目标，即到 2030 年将可再生能源发电容量提升至 300GW，就意味着非洲需要在不到 10 年时间里将可再生能源发电容量在当前 56GW 的基础上增加 400%。要满足这一需求就需要建设更多的国内和跨国绿色基础设施。

但绿色基础设施建设需要耐心资本。在建设的前 20 ~ 30 年，绿色基础设施项目将为成千上万无力支付相关费用的贫困居民提供公共产品。随着物流和基础设施的不断完善，这些项目将产生更大的效益，创造就业岗位，拉动经济增长。中国可以作为非洲的重要合作伙伴，因地制宜帮助非洲建设清洁、可负担的电力基础设施。在过去 10 ~ 15 年，中国对非可再生能源投资中有 58% 用于建设水电项目。这些项目大多使

用来自国家开发银行和中国进出口银行等提供的优惠和半优惠融资。这一融资模式应继续实施并推广到交通基础设施领域，从而在非洲各国间打造一个更加完善、高效的物流网络。

（2）模式二：发展与环境产品和关键矿产相关的绿色工业化

有效的工业政策和市场激励措施是实现增长的关键^[65]。在全球绿色转型的大背景下，如果没有持续稳定的可再生能源供给，欧盟碳边境调节机制（CBAM）等类似政策的实施将使非洲的下游产业失去竞争力^[66]。实现绿色工业化的一个重要途径就是在区域经济集团和非洲大陆自由贸易区框架下，寻求区域协作和一体化，利用非洲的关键原材料，融入区域乃至全球高附加值制造业供应链，比如环境产品制造业。虽然大部分国家在制造业上只有一两项竞争优势，如关键矿产储量、国内政策和市场、全球贸易网络 and 低廉的劳动力成本，但跨国协作就能够形成合力。例如，在南部非洲发展共同体（SADC）内部，刚果、津巴布韦和赞比亚拥有镍、锰、钴等关键矿产，南非拥有工业基础、劳动力资源和全球贸易市场优势，两者结合可以打造一个强大的区域供应链生态系统。

在这方面，中国的工业化经验可以为非洲提供借鉴。例如，作为全球第一大环境产品出口国，2020年中国的环境产品出口额占全球总额的17.3%。作为非洲重要的合作伙伴，中国可以充分发挥非洲在环境产品制造供应链中的战略作用，尤其是光伏产品、锂电池和新能源汽车制造。在这些领域，中国已经建成了世界最先进的制造业生态系统。此外，中国在发展经济特区、跨国（跨省）物流、可再生能源产业和以增值为导向的贸易政策框架方面的优秀实践可以为相关战略部署提供帮助。中国的国有企业已经深耕非洲市场20余年，拥有整合区域资源的强大能力。此外，中国在打造产业相关职业技能培训体系方面的丰富经验也对非洲发展本土环境产品制造业有巨大帮助。

（3）模式三：在非洲试点创新型 PPP 模式部署太阳能和风力发电项目

在推动新能源发电上网的同时，积极推广离网型解决方案对非洲的发展也起到了关键作用，尤其是在农村地区。很多高收入国家和开发银行都愿意为此类项目提供支持，包括通过向私营企业和旗下发展融资机构的投资者提供补贴的方式实现“去风险”。由于中国在非的大部分太阳能和风能项目，尤其是离网型新能源发电项目多由私营企业承建，要想实现效益，就需要与非洲政府合作，通过激励措施和金融工具大幅降低此类项目的借贷成本，从而使中国利益相关方的报价能在竞争者中脱颖而出。

开展“公私合作”（PPP）创新试点是一个可行方案，尤其适用于开展适应气候变化工作和在农村部署新能源发电项目。中国的生态保护、乡村振兴和生态退化地区

振兴就采用了 PPP 模式。中国从 2012 年开始推动生态文明建设，并于 2018 年将“美丽中国”纳入宪法。在实践中，地方政府与私营企业合作，后者在进行环境保护和 / 或修复工作的同时享受该地区未来产生的溢出效益，包括旅游业、农产品或能源生产的收益。这一模式可以在一些非洲国家进行创新试点，调动私营部门资源，促进绿色、韧性发展。在具体实践中，或可将部署太阳能和风能作为一项准入要求^[67]。

3. 非洲可再生能源制造业潜力

可再生能源制造业对于非洲的经济发展至关重要，可以刺激经济增长和创造就业机会，同时改善贸易平衡和社会经济。根据“人人享有可持续能源”组织（SE for All）^[68]的数据，同样是每投资 100 万美元，能源转型技术投资比化石燃料投资创造出的工作岗位多 3 倍。到 2030 年，非洲可能会通过政府公共服务支出和转型技术投资创造出 800 万～1 400 万个能源转型工作岗位。

中国在非洲制造可再生能源产品的意义重大。非洲在全球价值链中处于底端，其全球制造业份额仅约为 1.9%^[69]。近几年，新冠疫情等事件暴露出非洲国家对全球供应链的过度依赖，非洲制造业价值链本地化的呼声因此越发强烈。根据国际能源署的数据，在净零排放情景下，2050 年^[70]非洲太阳能光伏发电量将达到 1 859 TW·h，风能发电量将达到 593 TW·h，即约 930 GW 的太阳能光伏装机容量和 200 GW 的风电装机容量。可再生能源市场如此之大，不可能也不应该全部从域外进口，应培养太阳能光伏和风电的本地制造能力，以满足其能源需求和可持续发展目标。而且，非洲在可再生能源产品的关键原材料方面资源丰富，拥有大量的钴、锰和锂等储备，能够吸引想在资源供应链附近部署可再生能源制造设备的企业。

2023 年阿布扎比可持续发展周活动期间，“人人享有可持续能源”组织（SE for ALL）、非洲气候基金会、彭博慈善基金会、气候工作基金会和中国可再生能源行业协会（CREIA）联合发起了“非洲可再生能源产业发展倡议”（Africa REMI），旨在推动政府间机构、企业、金融机构、可再生能源领域和绿色产业研究机构合作，帮助非洲国家培养和扩大其可再生能源制造能力。在绿色转型情景下，非洲将释放 1.2 TW 的能源潜力，新增 1 400 万个工作岗位，拉动地区生产总值 6.4%，而这一新的国际倡议将有助于推动非洲清洁能源发展和转型所需的金融、技术和社会经济投资。

中国在可再生能源产品制造方面处于领先地位，以太阳能光伏为例，截至 2023 年底，中国各光伏设备总生产能力约为 1 000 GW，而当年全球市场需求仅为 400 GW。由于近年来美国和欧洲设置关税壁垒，中国的部分太阳能产业产能已转移至东南亚。然而到目前为止，中国在非洲可再生能源制造领域的知名投资仅有一例：2014 年 8 月，

晶科能源在南非开普敦开设了一家装机容量 120 MW 的太阳能光板制造工厂，成为首家在非洲建立制造能力的中国太阳能光伏企业。

中国在可再生能源生产方面的竞争优势得益于政府支持政策、市场规模以及现成的劳动力和原材料供应。根据我们对中国投资者的调查，若要进一步推动中国在非洲太阳能光伏及其他可再生能源制造能力的投资，需要具备若干因素来助推投资。

第一，当地市场规模是中国制造商在非洲建厂的前提。中国企业希望看到非洲能够通过国家计划、光伏上网电价补贴等政策支持刺激太阳能和可再生能源需求，例如为电力生产商提供有保障的购电协议。大多数非洲国家缺乏足够的激励措施来提升本国和区域对可再生能源产品的需求。例如，许多国家缺乏明确的太阳能政策和上网电价制度，以鼓励大规模太阳能光板制造。缺乏本地需求是阻碍投资者发展可再生能源的关键因素。

第二，需要增强本地生产要素，如熟练劳动力、稳定的水电供应和完善的交通基础设施。例如，某些情况下，电力成本本就高昂，供应不稳定更是让情况雪上加霜。此外，交通基础设施欠发达（如道路和港口）也是障碍之一。

第三，本地供应链需要逐步建立。目前，非洲太阳能光伏或其他可再生能源所需零部件的本地供应能力严重不足。许多非洲国家缺乏配套产业，如玻璃、铝和硫酸。这种劣势需要制造商投入额外时间和资金来保障供应链生产。

第四，现有制造业本地化的鼓励性法规数量有限。许多国家缺乏设计和实施可再生能源制造项目的综合性监管框架，缺乏吸引可再生能源制造商和鼓励本地价值创造的激励措施。

五、推动绿色对外开放与南南合作的政策建议

（一）制定绿色对外开放与南南合作推进路线图

1. 短期举措

1) 完善绿色对外开放与南南合作的高级别协调机制。基于现有的南南合作、气候变化合作、绿色能源转型合作等部门管理基础，邀请国合署或国合署下属机构作为指导委员会加入国合会有关工作，以便就绿色对外开放与南南合作相关问题与国际社会更好互动。

2) 相关部委机构可将绿色对外开放与南南合作作为重要议题纳入各项国际合作工作中，包括国际合作目标设定、政策规划、管理规章制度制定、监督评估等，建议在政

策制定、专家咨商工作中扩大对环境和气候领域专家的咨询。

3) 拓展南南合作筹资方式。最大限度地利用现有资金,尤其是绿色发展和应对气候变化领域专门资金,如气候变化南南合作基金、中国对全球环境基金捐款,并对其使用效率进行试点评估。此外,可以通过吸引私营部门投资、探索创新财政支持方式等途径拓展南南合作筹资渠道。

4) 将预可行性研究纳入项目评估。为最小化潜在的环境和社会经济风险,中国政府和资金接收国政府应该要求所有能源项目进行预可行性研究。能源项目融资方和开发者应该进行全面的预可行性评估,其中包括以下几个关键点:①厘清项目用地的使用权:这里涉及获取购买或租赁项目所需土地的权利,这是一个至关重要的步骤,因为资金提供方通常要求在提供可行性资金之前确保土地的使用权。②进行全面评估:这个阶段应该包括对基本场地特征、环境影响、电网连接可能性以及太阳能和风力资源评估的评估。此外,应进行厂址容量和技术选项的分析。③财务和成本分析:开发者应该制定一个高层次的财务模型,其中包括基于评估的指示性电费。这种结构化方法确保在项目开发继续之前,所有潜在风险都得到了充分的解决。

2. 中期战略

1) 制定政策框架和发展战略,以确保绿色对外开放与南南合作项目推进具有一致性。政策框架以及发展战略制定需综合考虑发展中国家需求,并结合中国在绿色领域的比较优势和输出能力,从制定优先领域合作规划出发,针对重点合作国别和地区完善具体合作方案,并配套强有力的惩戒机制和监管制度。

2) 完善绿色对外开放与南南合作各行业的实操建议,充分发挥贸易、投资、工业、信息、农业、气候等领域先进技术和资源,对南南合作形成项目实践层面的积极指导。

3) 调动更多合作方参与绿色开放与南南合作,不仅包括政府部门、企业、国际组织等,还包括非政府组织、社会团体以及积极调动中国地方政府特别是边境省级行政区、“走出去”企业和非政府组织的积极性,探讨与其他援助方开展三方合作,促进多元主体广泛参与。

4) 加强绿色对外开放与南南合作相关人才培养工作,加强国内相关部门工作人员的能力建设,尤其需要强化政府部门人员中绿色发展相关的行业专家储备、国际交流合作人才储备。加强绿色对外开放与南南合作政策制定理论基础的同时,提升和国际机构的交流合作,对接国际绿色发展合作的话语体系。

5) 改变过去以国家为中心的合作方式,采用全新以问题为导向的合作模式。过去,中国在南南合作中的做法主要是以国家为中心。未来,中国在南南合作中可以采取问

题导向模式，以应对气候变化和可持续发展为中心，强调应对南方国家共同面对的全球性问题，如气候危机，而不再集中在个别国家。这种系统化的合作模式将使中国和全球南方能够作为一个团结的整体应对全球性的系统性挑战，有助于增强全球南方共同应对危机的能力。

3. 长期愿景

完善绿色对外开放与南南合作的全流程管理：一是立项阶段将环境、社会、治理等综合影响指标纳入南南合作的评价体系，并基于前期的需求调研、国别方案，吸引更多领域的绿色发展项目主体考虑开展南南合作。二是项目实施阶段有完备的法制体系、政策规划、行业指南为项目实施主体提供保护和指导，在推动中国优势行业走出去的同时，能够保障相关机构或企业权益，也能提升项目实施效率。三是项目实施期间加强绿色开放和南南合作的对外宣传工作，对外阐释中国绿色开放的内涵，以及南南合作项目的进展情况。四是项目完成后的后评估机制建设，需要结合国内已有实践和国际经验，基于不同行业领域制定评价指标，并将绿色开放相关指标作为重要评价依据，包括项目带来的生态环境影响、技术转移程度对当地绿色发展转型的影响等。同时，可考虑将性别平等相关标准纳入项目设计、实施、评估全流程管理。性别主流化作为重要社会发展议题，也是“软援助”的重要组成部分，不仅能够有效对接国际标准、提升绿色南南合作项目国际认可度，还能够聚焦脆弱群体，实现南南合作项目的“软硬结合”。

（二）推动中国－东盟可再生能源合作提质加速

1. 加强中国－东盟清洁绿色能源开发和能源基础设施互联互通区域全面战略伙伴关系

建议在现有伙伴关系的基础上，扩大中国－东盟全面战略伙伴关系，将清洁能源开发、绿色工业园区和基础设施脱碳合作纳入其中。中国的支持对东盟地区加快发展可再生能源至关重要，双方应进一步扩大伙伴关系协议的范围，解决气候相关问题，推动绿色经济增长，保障能源安全。中国在全球应对气候变化方面的承诺体现在建立旨在支持能源转型的区域合作框架上。中国－东盟全面战略伙伴关系框架下，双方有机会启动区域可再生能源项目开发，有助于扩大和加强区域能源基础设施互联互通，通过支持东盟电网计划，实现互联互通目标。

2. 通过绿色电力和绿色加工推动东盟清洁能源技术产品和货物绿色制造

随着东盟地区工业发展步伐加快，碳排放量预计会相应上升。为解决排放问题，

建议鼓励中国企业在东盟地区推广低碳技术和制造工艺。通过技术援助、投资合作促进技术转让，加速部署绿色电力和绿色加工的工业脱碳措施。其中一个潜在的合作领域是利用印度尼西亚镍矿设施的自备燃煤电厂改造作为中国－东盟低碳工业化合作的试点。此外，通过引导东盟的工业转型向生产出口导向型清洁能源技术的方向发展，可为区域绿色发展做出贡献。

3. 提升中国－东盟清洁能源合作中心知识共享和能力建设平台作用

中国－东盟清洁能源合作中心是促进创新研究和开发最先进清洁能源技术的枢纽。中心的专业知识助力东盟解决可再生能源实施相关的技术障碍，与在东盟运营的中国私企合作，通过技术分析、战略项目可行性和提供投资促进建议来支持清洁能源投资。

4. 制定区域指南，以负责任的方式管理转型矿产加工和绿色清洁能源技术供应链

随着中国－东盟地区对矿产勘探和加工可持续发展的关注度不断提高，合作开展必须优先确保符合环境、社会和治理（ESG）标准。从转型矿产到清洁能源技术材料，符合 ESG 标准将确保加工过程不会导致碳排放增加或对环境产生不利影响。东盟推出了可持续金融分类法，为有意支持环保或绿色项目的投资者提供指导。同样，中国制定了《“一带一路”项目绿色发展指南》《对外投资合作建设项目生态环境保护指南》等，重点关注实现气候目标，促进可持续发展。相关举措可共同鼓励和引领中国－东盟地区的可持续投资，为转型矿产提供具体的投资指南。

5. 建立项目储备库支持并网及离网公用事业可再生能源项目开发应用

东盟可再生能源发展滞后的原因之一是缺乏可融资的项目。由于政策不稳定，投资者对可再生能源项目开发的风险认知较高。亟须建立专门的、快速响应的项目支持渠道和机制，降低可再生能源项目开发的金融风险，为项目融资提供便利。特别是该项目储备库的建立旨在为东盟国家提供一个从中国获取资金支持可再生能源项目渠道，还可以作为项目开发早期阶段的孵化器，通过确定技术和财务上合理的项目来提交给投资者。通过这项措施，贷款机构还可以通过提供信用担保或股权等降低风险的工具，确定哪些项目需要杠杆来获得必要的融资。为确保该项目储备库的运行，建议该设施成为区域全面战略伙伴关系下的可交付成果之一。与国家层面的能源部门利益攸关方接触对于帮助他们做好准备也至关重要。

（三）激发中国－非洲可再生能源合作潜能

1. 为气候合作制定更多务实目标

作为全球应对气候变化行动的一部分，中非政府在非洲气候行动和绿色发展合作

方面做出了强有力的政策承诺，这些政策承诺已转化为清洁能源项目的实施。中非合作论坛（FOCAC）作为促进中非伙伴关系的主要平台，已将重点转向气候和环境合作。作为非洲可持续发展的坚定支持者，中国在中非合作论坛框架下推出了 100 多个清洁能源和绿色发展项目，帮助非洲国家更好地利用太阳能、水电、风能、沼气和其他可再生能源。下一步应继续利用好中非合作论坛等高层对话契机，发挥“一带一路”绿色发展国际联盟、中非环境合作中心等平台作用，扩大太阳能光伏和风能等可再生能源合作。探索在气候投融资和能力建设等方面制定更加务实的行动计划和目标，比如针对能源产业制定海外可再生能源装机目标和投资目标，在贸易领域制定与增值投资和关键矿产基础设施相关的目标。更加具体和务实的目标能够确保各方都有足够的信心和动力尝试 PPP 等创新性模式，并使各参与方能够朝着共同的目标努力。

2. 为非洲提供低成本、耐心、高效的气候投融资

进一步拓展丰富中非绿色发展领域融资模式，为非洲持续提供低成本、耐心、高效的气候投融资，加大“小而美”项目投资力度。非洲实现气候雄心面临巨大的资金缺口。因此，中国应重点关注水电等优势产业继续提供贷款，尤其是长期贷款和优惠贷款。支持区域性绿色基础设施建设是推动非洲国家绿色经济转型的关键。此外，更多中国私企参与太阳能、风能、环境产品制造和其他环境友好型“小而美”项目投资将为非洲的绿色发展注入新活力。充分利用现有中非绿色合作领域专项资金，如中国气候变化南南合作基金、中国对全球环境基金捐款，提升资金使用效率。利用“绿色发展投融资合作伙伴关系”等合作项目，开发创新型金融工具和混合融资范式，探索创新财政支持方式，撬动私营部门参与，鼓励多元主体参与混合融资，打造南北南三方合作范式和项目试点，形成资源与优势互补。协调国际融资机构和双边发展合作伙伴，鼓励第三方市场合作，邀请国际投资者与中国投资者共同开发可再生能源工业园区。

3. 支持非洲建立有利于绿色低碳合作的营商环境

支持非洲建立有利于绿色低碳合作的营商环境，帮助非洲融入全球环境产品供应链，包括完善财政激励措施、成立合资公司、培育非洲绿色制造商等推进产业链本地化举措。加强可再生能源等绿色领域政策对话，为非洲政府制定绿色低碳发展顶层设计赋能，为中国企业赴非投资合作打造良好的营商环境。鼓励与非洲企业成立合资企业，培育非洲本土绿色产业环境。依托“绿色丝路使者计划”和“一带一路”生态人才环保互通计划等合作倡议，加强非洲相关产业工程技术人员的技能培训，推动当地就业和技术人员职业发展。支持区域性绿色基础设施建设，完善区域物流网络。帮助非洲融入环境产品全球供应链，鼓励中国企业对非洲国家的制造业进行投资，成立合资公

司推动环境产品制造的本土化，促进就业并降低对进口的依赖。

4. 采用“以再促再”模式建设可再生能源工业园区

基于政策承诺，非洲政府应在中国的支持下重点关注两个主要领域：①扩大可再生能源部署，特别是太阳能光伏和风能；②通过建立可再生能源工业园区，发展本地可再生能源制造能力。事实上，这种可再生能源工业园区可以设计为“以再促再”模式，即工业园区的电力供应尽可能来自太阳能光伏电站和风电场等可再生能源；同时，工业园区可以组装和制造太阳能光板和风电设备等可再生能源设备所需的零部件，以扩大这些设备在非洲国家的部署。考虑现阶段非洲部分国家的国内绿色产品市场相对较小，可在枢纽型城市节点建立绿色产业园区，由相关国家联合开发，并向周边国家供应可再生能源设备和零部件。通过这种模式，推动工业园区的电力供应可再生能源化和新能源装备制造业发展的双向促进。

5. 支持提升非洲可再生能源发展的能力

支持非洲政府制定正确投资政策的能力，以吸引可再生能源制造领域的投资者。依托“绿色丝路使者”计划和“一带一路”生态人才环保互通计划等加强非洲太阳能光伏及相关关键行业人才培养。资助非洲工程师和技术人员的培训、就业和职业发展，重点关注太阳能光伏及相关关键行业；分享最佳实践，以满足产业链本地化、技术应用和项目开发的需求。

参考文献

- [1] 新华社. 为南南合作树立良好典范 [EB/OL]. (2023-09-12)[2024-06-24]. https://www.gov.cn/yaowen/tupian/202309/content_6903494.htm#1.
- [2] UNITED NATIONS OFFICE FOR SOUTH-SOUTH COOPERATION. Global Development Initiative Supported by China Emphasizes Inclusive Growth[EB/OL]. (2023-09-28)[2024-06-24]. <https://unsouthsouth.org/2023/09/28/chinas-global-development-initiative-emphasizes-inclusive-growth/>.
- [3] 李彦. 中国应对气候变化南南合作历程和成效 [J]. 世界环境, 2020(6): 77-78.
- [4] 黄梅波, 唐露萍. 南南合作与中国对外援助 [J]. 国际经济合作, 2013(5): 66-71.
- [5] 陈曦. 栉风沐雨: 南南合作 75 年 [EB/OL]. (2023-08-16)[2024-06-24]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1774356460498625858&wfr=spider&for=pc>.
- [6] 查道炯. 南南合作运动历程: 对“一带一路”的启示 [J]. 中国国际战略评论, 2018, (1): 196-207.
- [7] 石仲泉. 周恩来与日内瓦会议和万隆亚非会议——纪念周恩来诞辰 125 周年 [J]. 毛泽东思想研究, 2023, 40(2): 36-63.
- [8] 刘如. 我国企业参与应对气候变化南南合作的主要挑战和政策建议 [J]. 科技中国, 2023(2): 59-62.
- [9] 杨娜. 新中国成立 70 年来参与南南合作的历程及其启示 [J]. 教学与研究, 2019(9): 71-81.
- [10] 和平发展引领下的中国南南合作成功经验与战略走势 [J]. 管理观察, 2015(27): 35-53.
- [11] 程如烟. 30 年来中国国际科技合作战略和政策演变 [J]. 中国科技论坛, 2008(7): 7-11.
- [12] 环球网. 专访联合国南南合作办公室副主任王晓军: 南南合作已与“一带一路”对接多个项目 [EB/OL]. (2018-06-04)[2024-06-24]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1602322696446969374&wfr=spider&for=pc>.
- [13] JOSEF S, N F T. Global food security under climate change[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, 104(50): 19703-19708.
- [14] 联合国粮食及农业组织, 国际农业发展基金, 联合国儿童基金会, 联合国世界粮食计划署, 世界卫生组织. 2024 年《世界粮食安全和营养状况》报告 [R]. 罗马: 粮农组织. 2024.
- [15] ADHIKARI UMESH NEJADHASHEMI A. Pouyan Woznicki Sean A. Climate change and eastern Africa: a review of impact on major crops[J]. Food and Energy Security, 2015, 4(2): 110-132.
- [16] VLADO V, RON M, NEIL M. A critical minerals perspective on the emergence of geopolitical trade blocs[J]. Resources Policy, 2024.
- [17] FAO. The gender gap in land rights[EB/OL]. [2024-08-15]. <http://www.fao.org/3/I8796EN/i8796en.pdf>.
- [18] 刘蕾. 应对气候变化进程中纳入性别考虑的进展与启示 [J]. 气候变化研究进展, 2021(5 vo 17): 548-558.

- [19] KEVIN P GALLAGHER, WILLIAM KRING, REBECCA RAY, et al. The BRI at Ten: Maximizing the Benefits and Minimizing the Risks of China's Belt and Road Initiative[R/OL]. Massachusetts: Global Development Policy Center. 2023. <https://www.bu.edu/gdp/2023/10/09/the-bri-at-ten-maximizing-the-benefits-and-minimizing-the-risks-of-chinas-belt-and-road-initiative/>.
- [20] Wang Yan, Xu Yinyin. Direct Impacts and Spatial Spillovers: The Impact of Chinese Infrastructure Projects on Economic Activities in Sub-Saharan Africa[R/OL]. Massachusetts: Global Development Policy Center. 2024. <https://www.bu.edu/gdp/2024/05/20/direct-impacts-and-spatial-spillovers-the-impact-of-chinese-infrastructure-projects-on-economic-activities-in-sub-saharan-africa/>.
- [21] 俞海, 宁晓巍, 姜现. 人与自然和谐共生的中国式现代化: 历史逻辑、内在特征与战略部署 [EB/OL]. (2023-09-04)[2024-05-20]. http://www.prcee.org/yjly/hjzl/cg/202309/t20230919_1041252.html.
- [22] 朱焱. 中国气候外交研究 [D]. 北京: 中共中央党校, 2014.
- [23] 新华网. 新中国峥嵘岁月 | 可持续发展战略 [EB/OL]. (2019-10-29)[2024-06-25]. http://www.xinhuanet.com/politics/2019-10/29/c_1125165645.htm.
- [24] 胡鞍钢, 周绍杰. 绿色发展: 功能界定、机制分析与发展战略 [J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(1): 14-20.
- [25] 新华财经. 【高端访谈】国家国际发展合作署汤瑛: 共商共建全球发展项目库资金库让有限资金资源发挥最大效应 [EB/OL]. (2023-11-22)[2024-06-25]. <https://gdpc.org.cn/article/4FSdMisU8ld>.
- [26] 国家国际发展合作署. 全球发展倡议首批项目清单 [EB/OL]. [2024-06-25]. <http://www.cidca.gov.cn/download/qgfzcymqd.pdf>.
- [27] 中华人民共和国商务部. 《数字经济和绿色发展国际经贸合作框架倡议》在京发布 [EB/OL]. (2023-10-26)[2024-06-25]. <http://hu.mofcom.gov.cn/article/jmxw/202310/20231003449352.shtml>.
- [28] 中国国家发展和改革委员会. 职能配置与内设机构 [EB/OL]. [2024-05-22]. <https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/bnpz/>.
- [29] 朱洪. 中国参与南南合作的比较优势 [J]. 国际经济合作, 2009(11): 13-16.
- [30] 杨一. 促进绿色循环低碳有韧性的农业发展 [EB/OL]. (2024-04-02)[2024-06-25]. 人民日报, <http://world.people.com.cn/n1/2024/0403/c1002-40208864.html>.
- [31] 科学技术部. “技术转移南南合作中心”揭牌 [EB/OL]. (2019-09-18)[2024-06-25]. https://www.most.gov.cn/kjbgz/201909/t20190918_148821.html.
- [32] 屈彩云. 南南气候合作, 中国是怎样“量力而行、尽力而为”的? [EB/OL]. (2021-09-30)[2024-06-25]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1712319886563726630&wfr=spider&for=pc>.
- [33] 中国政府网. 中国与南南合作 [EB/OL]. (2015-09-27)[2024-06-25]. https://www.gov.cn/xinwen/2015-09/27/content_2939505.htm.
- [34] “一带一路”能源合作网. 中国气候变化南南合作基金 [EB/OL]. (2018-01-22)[2024-07-01]. http://obor.nea.gov.cn/v_finance/toFinancialDetails.html?countryId=215&status=2.

- [35] 澜沧江 - 湄公河合作中国秘书处. 一江连六国五载结硕果——澜湄合作专项基金成果展在京开幕[EB/OL].(2021-04-23)[2024-07-01]. http://www.lmcchina.org/2021-04/23/content_41540856.htm.
- [36] 中国政府网. 习近平出席《生物多样性公约》第十五次缔约方大会领导人峰会并发表主旨讲话[EB/OL].(2021-10-12)[2024-07-01]. https://www.gov.cn/xinwen/2021-10/12/content_5642065.htm.
- [37] 中国政府网. 国务院关于印发国家环境保护“十二五”规划的通知[EB/OL].(2011-12-15)[2024-07-01]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2012/content_2034724.htm.
- [38] 财政部. 协调有关国际金融机构参与高质量共建“一带一路”, 促进“一带一路”资金融通[EB/OL].(2023-07-11)[2024-07-01]. <http://ex.chinadaily.com.cn/exchange/partners/82/rss/channel/cn/columns/h72une/stories/WS64acbd78a3109d7585e44571.html>.
- [39] UN. Finance and Justice[EB/OL]. [2024-06-15]. <https://www.un.org/en/climatechange/raising-ambition/climate-finance>.
- [40] CARBON BRIEF. Rich countries fall \$10bn short in climate finance pledges[EB/OL].(2021-10-16)[2024-06-15]. <https://www.carbonbrief.org/daily-brief/rich-countries-fall-10bn-short-in-climate-finance-pledges/>.
- [41] PAYTON, BEN. COP28 provided a mixed picture for Africa[EB/OL].(2023-12-18)[2024-06-16].
- [42] AFRICAN BUSINESS. <https://african.business/2023/12/long-reads/cop28-provides-a-mixed-picture-for-africa> African Union, Agenda 2063: The Africa We Want[EB/OL]. [2024-07-01]. <https://au.int/en/agenda2063/overview>.
- [43] UN. Sustainable Development Goals: Goal 13[EB/OL]. [2024-06-16]. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/climate-change/>.
- [44] IRENA. Renewable Energy Capacity Statistics 2022[R]. Abu Dhabi: The International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2022.pdf.
- [45] IRENA. Renewable energy and jobs: Annual review 2023[R/OL]. IRENA. September 2023. <https://www.irena.org/Publications/2023/Sep/Renewable-energy-and-jobs-Annual-review-2023>.
- [46] GLOBAL ENERGY MONITOR. Global Solar Power Tracker[EB/OL]. 2023. <https://globalenergymonitor.org/projects/global-solar-power-tracker/>.
- [47] MUNYENGETERWA, LINDA AND SEAN WHITTAKER. Powering Africa's sustainable development through wind[EB/OL].(2021-06-24)[2024-06-16]. World Bank. <https://blogs.worldbank.org/en/climatechange/powering-africas-sustainable-development-through-wind>.
- [48] IEA. The role of critical minerals in clean energy transitions[EB/OL]. [2024-06-16]. <https://www.iea.org/topics/critical-minerals>.
- [49] CHANDLER, BEN. Africa's critical minerals. Africa at the heart of a low-carbon future[EB/OL]. [2024-06-16]. Mo Ibrahim Foundation. <https://mo.ibrahim.foundation/sites/default/files/2022-11/minerals-resource-governance.pdf>.
- [50] AFRICAN DEVELOPMENT BANK. Rare Earth Elements (REE): Value Chain Analysis for

- Mineral Based Industrialization in Africa[EB/OL].(2021-08-17)[2024-06-16]. <https://www.afdb.org/fr/documents/rare-earth-elements-ree-value-chain-analysis-mineral-based-industrialization-africa>.
- [51] AFRICAN DEVELOPMENT BANK. Nairobi Declaration on Climate Change[EB/OL].(2023-09-08) [2024-06-16]. https://www.afdb.org/sites/default/files/2023/09/08/the_african_leaders_nairobi_declaration_on_climate_change-rev-eng.pdf.
- [52] KUHUDZAI, REMEREDZAI JOSEPH. Construction Has Started at Africa's First Dedicated Gigawatt- Hour Battery Factory in Cape Town[EB/OL].(2023-08-23)[2024-06-26].<https://cleantechnica.com/2023/08/23/construction-has-started-at-africas-first-dedicated-gigawatt-hour-battery-factory-in-cape-town/>
- [53] DEVELOPMENT REIMAGINED. Unleashing Africa's Untapped Potential for Environmental Goods Manufacturing[R]. October 2023. <https://developmentreimagined.com/report-new-dr-report-unveils-how-to-unleash-africas-untapped-potential-on-environmental-goods-manufacturing/>.
- [54] GOGLA. A big win for Kenya: Government reinstates VAT exemption on renewable energy products[EB/OL].(2021-07-02)[2024-06-26]. <https://www.gogla.org/a-big-win-for-kenya-government-reinstates-vat-exemption-on-renewable-energy-products/>.
- [55] GET. Invest. Madagascar[EB/OL].[2024-06-26].. <https://www.get-invest.eu/market-information/madagascar/>.
- [56] OROBIYI. Adewole and Saheed Shanu. Nigeria's Tax Incentives Will Spur Investment in Energy Sector[EB/OL].(2023-11-21)[2024-06-26]. <https://news.bloombergtax.com/daily-tax-report-international/nigerias-tax-incentives-will-spur-investment-in-energy-sector#>.
- [57] SEFORALL. African Renewable Energy Manufacturing Initiative[EB/OL].[2024-06-26]. <https://www.seforall.org/programmes/un-energy/South-South-Cooperation/aremi>.
- [58] GLOBAL DEVELOPMENT POLICY CENTER. China's Global Energy Finance Database[EB/OL].[2024-06-26]. <https://www.bu.edu/cgef/#/intro>.
- [59] CLIMATE POLICY INITIATIVE. Climate Finance Needs of African Countries[EB/OL].(2022-06-28) [2024-06-26]. <https://www.climatepolicyinitiative.org/publication/climate-finance-needs-of-african-countries/>.
- [60] DEVELOPMENT REIMAGINED. Bolstering Africa's Strategic Climate Change Engagement with China[R]. Development Reimagined. 2022. <https://developmentreimagined.com/2022-report-bolstering-africas-strategic-climate-engagement-with-africa/>.
- [61] DEVELOPMENT REIMAGINED, DATABASE: UNDERSTANDING THE PROGRESS OF CHINA-AFRICA CLIMATE ACTIONS SINCE FOCAC 8[EB/OL].[2024-06-26]. <https://developmentreimagined.com/tracking-progress-in-china-africa-climate-declarations-since-focac-8-2021/>.
- [62] THE THIRD BELT AND ROAD FORUM FOR INTERNATIONAL COOPERATION. Building an Open, Inclusive and Interconnected World for Common Development[EB/OL].(2023-10-18) [2024-07-02]. <http://www.beltandroadforum.org/english/n101/2023/1018/c124-1175.html>.

- [63] IRENA AND AFDB. Renewable Energy Market Analysis: Africa and Its Regions—A Summary for Policy Makers[R/OL]. IRENA. 2022. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jan/IRENA_Market_Africa_2022_Summary.pdf.
- [64] IEA. Financing Clean Energy in Africa[R/OL]. IEA. 2023. <https://www.iea.org/reports/financing-clean-energy-in-africa>.
- [65] ILO. Transforming Economies: Making industrial policy work for growth, jobs and development [R/OL]. ILO. 2014. https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@_dgreports/@dcomm/@publ/documents/publication/wcms_242878.pdf.
- [66] PEYPER, LIESL AFRICA WARNED AGAINST IMPOSING EXPORT BANKS ON MINERALS. [EB/OL]. [2024-07-02].<https://www.miningmx.com/news/markets/55860-africa-warned-against-imposing-export-bans-on-critical-minerals/#:~:text=In%20June%202023%2C%20Ghana%20placed,of%20raw%20lithium%20months%20earlier>.
- [67] LE MAURICIEN. University of Mauritius Unveils UoM-Huawei Innovative Solar Energy Laboratory[EB/OL].(2023-02-24)[2024-07-02] . <https://www.lemauricien.com/actualites/university-of-mauritius-unveils-uom-huawei-innovative-solar-energy-laboratory/541644/>.
- [68] SEFORALL. Africa Renewable Energy Manufacturing: Opportunity and Advancement[R]. SEforAll. 2022. https://www.seforall.org/system/files/2023-01/%5BFINAL%5D%2020220115_ZOD_SEForAll_AfricanManufacturingReport.pdf.
- [69] UNCTAD. The Potential of Africa to Capture Technology-Intensive Global Supply Chains[EB/OL].(2023-08-16)[2024-07-02]. <https://news.un.org/en/story/2023/08/1139782#:~:text=Grynspar%20noted%20that%20Africa's%20tech,chance%20to%20capture%20technology%2Dintensive>.
- [70] IEA, WORLD ENERGY OUTLOOK 2023[R/OL]. IEA. 2023. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/86ede39e-4436-42d7-ba2a-edf61467e070/WorldEnergyOutlook2023.pdf>.

第十四章 中国传统能源地区低碳转型¹

一、转型摆脱化石能源已成为各国政府和国际社会共同的责任，能源分布区域性差异是实现能源转型的重要影响因素。化石燃料的使用是导致全球气候变化加剧的主要原因之一，实现《巴黎协定》1.5℃长期温控目标需要持续的减排努力。《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会（COP28）明确提出各国要“以公正、有序和公平的方式，在能源系统中转型摆脱化石燃料”，并且提出到2030年全球可再生能源装机容量相对于2022年提高3倍，加速从化石燃料向可再生能源的转型。同时，COP28指出能源分布区域性差异是实现能源转型的重要影响因素。

二、在此首次提出“中国煤炭三角区”概念，研究该地区低碳转型对推动我国乃至世界能源转型具有重要意义。首次提出“中国煤炭三角区”概念，包括内蒙古、宁夏、陕西和山西四省（区）。煤炭三角区是中国重要的能源和煤炭基地，煤炭资源丰富。2023年四省（区）煤炭产量分别达到12.1亿t、1亿t、7.6亿t和13.8亿t，占全国原煤产量的74%。煤炭三角区是中国典型的，甚至是唯一一个大型煤炭能源聚集区，长期以来形成了对煤炭资源过度依赖的经济发展和产业模式，内蒙古、宁夏、陕西和山西四省（区）二氧化碳排放总量、人均碳排放和碳强度均处于全国前列。煤炭三角区在中国碳达峰碳中和战略下，面临巨大挑战，但同时也迎来了千载难逢的战略机遇。针对煤炭三角区开展能源转型和产业升级相关研究，可以为全国乃至全球传统能源地区提供非常宝贵的经验。

三、煤炭三角区的能源转型研究对促进区域可持续协调发展和推动公正转型发挥重要作用。煤炭三角区长期以来对煤炭资源过度开采和依赖，面临环境污染和资源枯竭等问题，转型过程中公平问题没有得到足够重视。因此，本章对煤炭三角区能源转型进行研究，制定相关战略规划、配套政策和资金支持，为促进煤炭三角区能源转型与产业转型、区域经济、社会发展，实现煤炭三角区区域公平、生态公平和就业公平

¹ 本章内容摘编自2023—2024年国合会“中国传统能源地区低碳转型”前期项目主要研究成果。

提供可行路径。

四、基于中国中长期排放路径模型（CAEP-CP 2.0），建立煤炭三角区“黑色能源—蓝色能源—绿色能源”能源转型路径。基于项目组建立的中国中长期排放路径模型，充分考虑三角区内资源禀赋、能源生产、能源消费、跨省电力交换、电网规划等数据，科学评估煤炭三角区可再生能源潜力，建立在二氧化碳排放目标约束下的煤炭三角区能源转型路径，推动煤炭三角区实现“黑色能源（现状）—蓝色能源（2035年）—绿色能源（2060年）”的转型之路。

五、提出煤炭三角区在传统煤炭产业退出和新能源一体化发展下的产业转型方向。在“双碳”目标约束下，基于产业现状、国际国内经验和最新研究进展，研判煤炭三角区煤炭相关产业绿色低碳转型和新能源产业一体化发展转型方向，挖掘产业能源一体化发展模式，并依托新能源资源和制造业要素等区域优势资源，综合新能源装备制造、新能源电力消纳、氢能—存储、CCUS等维度进行分析，提出区域内“风光+”产业链的上下游产业体系，为煤炭三角区能源转型提供技术指导。

六、识别煤炭三角区能源转型路径下区域、就业和生态公平协同发展新机遇。研究基于实现区域经济和区域协调发展理念，分析能源转型与煤炭三角区产业转型带来的区域经济发展机遇，结合能源转型与煤炭三角区产业转型、乡村振兴的关系，识别区域公平、就业公平、生态公平等公正转型视角下的发展新机遇，并提出保障公正转型的决策建议。

七、建立煤炭三角区低碳转型的国家级协调机制，以全国一盘棋的大局，为中国化石能源聚集区的低碳转型开辟道路、建章立制。建议成立煤炭三角区低碳转型领导小组，建立煤炭三角区一体化转型协作机制。合理确定煤炭三角区在全国一盘棋下梯次达峰的功能定位，充分考虑国家能源安全和能源需求，明确全国对煤炭三角区的煤炭和煤电外送需求，建立煤炭产能储备制度，制定鼓励新能源发电的优惠政策，建立电网消纳的绿色通道，激励非化石能源发电出力。优化煤炭三角区碳达峰时间表、路线图和考核办法。同时，充分考虑传统能源低碳转型对弱势人群、就业、生态等造成的冲击和影响，探索建立公正转型机制。鼓励煤炭三角区与国际煤炭地区建立交流渠道，引领全球煤炭地区低碳转型。

八、举煤炭三角区全区之力建立“零碳电力产业和贸易特区”（简称“零碳特区”），为面向出口的企业提供“零碳电力”认证，以特区的外溢效应带动煤炭三角区产业突破性转型。建议煤炭三角区依托自身资源禀赋，全面建立“零碳特区”机制，发挥土地广阔、新能源装机量大且与化石能源灵活互补潜力优势，利用区域微电网新业态，

以全区电力系统保障特区的零碳电力长期连续供应，并提供优惠的进出口税收政策，面向全球大力吸引出口型企业入驻“零碳特区”。“零碳特区”内部建设零碳数字认证体系，为产品提供全生命周期碳足迹认证，赋予园区内产品可追溯、符合国际标准的“零碳认证”标识。建立“零碳电力产业和贸易特区”有望突破煤炭三角区新能源消纳和产业转型困境，有助于我国探索有效应对国际贸易碳关税。

九、设立煤炭三角区低碳转型基金，撬动全区低碳转型技术升级和保障公平公正。建议采取“政府引导基金+风险投资/股权投资机构+企业投资者”的混合融资模式，通过公共资本和国际开发资本以优惠价格提供资本，驱动以市场价格提供资金的私营资本进场。其中，由煤炭三角区各省（区、市）国资控股集团及各类绿色产业资金等组成催化资本，由来自煤炭税收和政府一般公共预算投资组成公共资本，吸引私营资本。可由煤炭三角区省级金融控股集团共同组建基金管理公司，负责转型基金的专业化管理。

第五篇

中国环境与发展国际合作委员会 2024 年年会重要文件

第十五章 中国环境与发展国际合作委员会 2024 年关注问题报告¹

中国环境与发展国际合作委员会（简称国合会）2024 年年会主题是“开放包容创新合作，共建清洁美丽世界”。2023—2024 年度国合会政策研究工作是三十多年来规模最大的一年，共涉及 17 个研究组和支持工作组。本章重点概述了 2024 年年会相关的主题和议题。

（一）相互关联的连锁风险

历史上，环境保护工作往往关注特定的单一污染物和压力源。然而，越来越多的现实事件表明气候变化、生物多样性丧失和污染之间有着深刻的相互关联，需要以系统性方法应对。

气候变化：面对环境与气候的急剧恶化，全球亟须采取紧急且雄心勃勃的大规模行动，以共建一个清洁美丽的世界。超过一个世纪的气象记录显示，2023 年是 174 年观测记录中最热的一年，打破了以往海洋增温、海平面上升、南极海冰消失和冰川退缩等纪录。2023 年全球平均气温达到了 14.98℃，是有记录以来的最高值，可能已经超过《巴黎协定》中至关重要的 1.5℃ 全球平均温升目标。一些专家也已在研究全球气候过冲情景，而 2023 年《全球临界点报告》警告，一旦全球平均气温升高幅度超过 1.5℃，连锁、非线性且不可逆的系统性气候变化的风险将大幅增加。

生物多样性丧失：关于生物多样性丧失的估算数据各不相同，最近发表在《科学》杂志的估算表明，全球生物多样性丧失的平均值在 2% ~ 11%。生物多样性丧失的最重要驱动因素之一是土地利用变化，其中，土地被用于粮食生产仍然是生物多样性丧失的主要原因。最新证据表明，土地利用变化与气候变化的结合将加速全球各地区的生物多样性丧失，这凸显了气候变化与生态系统之间的相互联系。

污染：空气、水和其他类型的污染同样因气温升高和生态系统功能丧失而加剧。

¹ 本章内容摘编自《中国环境与发展国际合作委员会 2024 年关注问题报告》。

污染还带来其他影响，如居住在主要公路附近的女性患乳腺癌的风险更高，暴露于燃煤发电环境的人群患肺癌的风险更大。水污染仍然是人类传染病的主要来源之一，2022 年以洪水为首的极端天气事件频率和强度增加，影响了约 16 亿人。

（二）行动面临的风险

气候减缓：中国将力争在 2030 年前实现碳达峰目标，进而有望在 2060 年前从碳达峰转向实现碳中和。第十五个五年规划期间，以及更新的《联合国气候变化框架公约》国家自主贡献目标期间是转型的重要时期，2024 年里有多项研究对这两个关键领域提出了建议。

多个国会工作组探讨了各有不同但相辅相成的低碳措施。举例来说，推动电网中的清洁能源使用，不仅能减少煤炭使用，也能通过现代工业供热与制冷技术，在难以减排的行业中提供协同效益；此外，还需继续推动电网现代化和交通电气化的发展，后者得益于全球最大的电动汽车充电网络。人工智能正加速应用于提升绿色电力和净零工业系统的效率，但同时也需加倍努力以减少人工智能和数据中心日益增长的碳足迹。

配套措施包括《中华人民共和国能源法》的持续改革，预计该法将加强绿色能源渠道，促进省际绿色能源贸易，并支持更多的市场导向的定价。这样的重要步骤可以与全国碳市场的预期扩张形成政策协同效应。

化石燃料与搁浅资产：《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会（COP28）呼吁对化石燃料的转型，从各种层面来看都是一个突破性的时刻。随着这一决定出台，其对化石燃料行业的长期影响变得更加明确，如“搁浅资产”一词正在开始被广泛使用。然而，搁浅资产的普遍使用与其在公司财务会计标准和规则下的实际应用不相匹配。目前，针对搁浅资产尚无具体标准，这意味着一个自愿为此调低公司资产价值的公司管理者可能会面临违法指控，并可能因此被解雇。

用会计标准处理资产估值问题，通常依赖历史数据或最近的公允价值标准进行当前资产估值。公司和家庭普遍采用的会计规则是标准的资产折旧率，但这些折旧率与 COP28 化石燃料转型情景里的搁浅资产概念相差甚远。最接近的参照标准是减值资产标准，即由以下三个因素导致的资产贬值：技术创新使现有技术过时、消费者需求转向新产品和服务，以及政府强制性法规要求淘汰旧技术。

这三种情况均在向碳中和的转型过程中出现。然而，随着石油巨头坚持继续增加其总产量至 2050 年，更严格的强制性标准显得愈发重要。中国国内的相关实践包括最低能效标准和“燃料消耗量”标准及内燃机淘汰政策；多边合作的案例则以《蒙特利

尔议定书》逐步淘汰各类臭氧消耗物为代表。

国际社会可以共同采取行动控制甲烷排放，减少甲烷排放可以在短期内产生最大的气候减缓效益，避免高达 0.5℃ 的全球温升。

气候适应：随着全球气温创下新纪录，更多国家、社区和家庭受到极端天气的影响，包括洪水、长期干旱、野火和热浪等紧急事件，以及病媒传播疾病多发和食品安全风险增加等慢性效应。尽管气候变化是全球性挑战，但有效的气候适应行动须在地方层面实施，这些行动需要根据地方社区及其公民的具体特点量身定制。

2023 年，联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）指出各地区和各行业在适应规划方面取得了进展，涵盖多个领域，从灌溉和专门设计的早期预警系统，到农林复合经营和更好的土地利用规划，这些都依赖于准确的洪水地图，通常利用人工智能进行改进。然而，不良适应仍普遍存在，主要的阻碍包括信息不足、资金缺乏和僵化的法规——要求照原样重建资产而非激励重建更好的设施。

国合会的 2023—2024 年度工作包括了首次的气候适应研究。一个关键特点是识别出有效适应行动所需的关键的适应能力或执行能力；另一个关键特点是与自然系统的合作，统称为基于自然的解决方案（NbS），包括海绵城市和其他绿色基础设施。关键挑战包括从过去的错误中吸取教训、加强中央机构与地方政府之间的联系，以及推动气候适应融资。

生物多样性与海洋：如前所述，“昆蒙框架”为遏制和逆转生物多样性丧失制定了蓝图。该项工作仍在推进中，旨在实现到 2030 年覆盖陆地和海洋“30×30”的目标。遥感技术和生态保护红线等工具正为中国实现这一关键目标赋能，目前，中国约 10000 个自然保护区构成的网络，覆盖了 18% 的陆地面积。然而，大多数国家在确保保护区内的生态完整性，以及在陆地与海洋保护区的进展匹配方面仍需更多努力。面临的挑战包括开发能够提供可比较的量化数据的测量系统，以帮助评估到 2030 年目标的进展。

除“30×30”目标外，国合会关于“昆蒙框架”实施的工作已经启动了涉及更广泛的资源可持续利用挑战的研究，包括农业和自然资源领域。越来越多成功的再生食品系统方法展示了减少污染和土壤流失、增强气候韧性及与生态系统合作的实际解决方案，从而使农民、其家庭和社区从这种转型中受益。然而，这些和其他“昆蒙框架”目标将受到持续存在的对环境有害的补贴的阻碍，这些补贴在 2023 年的估算为每年 6350 亿美元，这导致化肥、杀虫剂和其他农业投入的过度使用，将持续加剧土壤污染和土地退化。

从各种角度来看，海洋正处于三重危机的前沿，包括鱼类资源的过度开发和关键

海洋栖息地的丧失，陆源污染和塑料制品，以及海洋部门的碳足迹。随着海平面加速上升，沿海社区正面临着越来越多的极端天气事件的风险，如台风和洪水。国合会的工作将继续探讨向更可持续的蓝色经济转型的机会，其中碳中和的海上作业及海洋碳汇系统将在中国的“双控”和生物多样性目标中发挥关键作用。

国际合作与规则导向的竞争：随着地缘政治的紧张局势和不确定性的增加，要实现可持续发展目标（SDGs）、《巴黎协定》、“昆蒙框架”等其他目标，国际合作凸显出前所未有的重要性和挑战性。国合会在 2024 年的研究重点之一是推动南南合作，通过这些渠道，中国与发展中国家合作，从而帮助实现气候和其他目标。

鉴于中国在减排方面的成效，中国可以与其他国家分享其策略，特别是发展中国家，以增强这些国家在实现其国家自主贡献（NDCs）方面的信心。

截至目前，涉及绿色商品和服务（如可再生能源或净零工业技术）的贸易主要集中在经合组织（OECD）国家和中国之间。相比之下，非洲国家的绿色商品和服务贸易中，技术进口占比为 77.5%，而东盟国家绿色技术进口占比为 65%。国合会的研究专注增加合作机会，如中国—巴西和中国—印度尼西亚之间的重大双边合作机会，涵盖可持续采购如大豆和棕榈油等软商品、增加的清洁技术融资以及全球供应链中对绿色转型至关重要的矿产和金属的合作。

国合会还关注了绿色技术贸易的日益增长，其中太阳能相关产品和电动汽车（EVs）处于领先地位。世界贸易组织（WTO）的估算表明，环保商品和服务的贸易增长速度略高于其他贸易商品和服务。到 2030 年，绿色商品的贸易总量可能达到所有商品贸易的 15%。中国已成为多种绿色技术的领先出口国。

规则导向的贸易体系正面临越来越大的压力。在《关税与贸易总协定》（GATT）和世界贸易组织（WTO）发展早期的几十年中，国家安全被用作出口限制的情况很少，而现在已有数百项基于国家安全条款的出口限制，其中许多涉及绿色转型的核心材料。其他一些措施，如碳边境调节机制（CBAM）和《欧盟零毁林法案》（EUDR），使贸易与环境之间的关系更受关注。多边解决方案（如 WTO 或区域协议）在支持规则导向体系方面更具优势，这也是国合会的一项重要发现。

（三）综合解决方案

协同解决方案：国合会的研究工作以应对气候变化、生物多样性丧失和环境污染三重危机为重点。几乎所有工作组的研究成果都强调需要政策解决方案来放大绿色低碳路径、生态系统保护和进一步减少污染三者之间的协同效应。案例包括利用绿色基

基础设施和基于自然的解决方案(NbS),以及同时减少氮氧化物(NO_x)、二氧化硫(SO_2)、细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)等污染物和温室气体的协调控制系统等。

绿色工业政策:越来越多的国家正在推动以低碳转型为重点的工业政策复兴,国际货币基金组织(IMF)的全球贸易预警系统在2023年追踪了2500多项工业政策措施,其中很大一部分与气候缓解和供应链韧性有关。一些常见的工业政策特点包括,通过投资推动和需求拉动相结合,扩大绿色技术和系统的规模,并运用加强监管和标准、基于市场的定价措施、绿色公共采购等一系列政策工具。其共同的挑战是应对许多工业政策带来的贸易扭曲效应。

近期,中国倡导“新质生产力”作为其经济发展的新基础。这一概念的核心是高质量绿色发展,由太阳能电池板、电动汽车和长期电池储存技术这三大绿色技术引领。将绿色创新作为经济增长和生产力的主要引擎,继续推动中国的电力和汽车行业转型。中国目前生产了全球约80%的太阳能电池板,并成为电动汽车领域的全球领先者。

而持续创新是一大挑战。2024年德拉吉报告关于欧盟竞争力的研究指出,增加公共融资、简化监管和标准系统,以及通过规模效应实现协同效应等措施可以缩小创新鸿沟。一个关键机会在于那些能够大规模开创下一代绿色技术的公司,如绿氢、净零钢铁和碳储存技术。对于中国而言,增加绿色技术研发的公共融资应与资本市场活动(如风险投资)更紧密地联系,以加速新绿色技术的商业化。

私营部门创新:国合会2024年的研究强调了私营部门在绿色成果中的重要作用。案例包括商品生产商在全球软商品供应链中实施零毁林政策,以保护生物多样性并减少热带森林丧失带来的重大气候影响;创新的时尚和纺织公司通过减少其碳、水和污染足迹,响应消费者(尤其是年轻消费者)对绿色生活方式的诉求。国合会工作的一个核心重点,则是将人工智能和数字化的潜力与绿色创新相匹配。

缩小实施差距:当前多边议程的一个独特之处,在于其明确了实现2030年及21世纪中叶目标所需的行动。《巴黎协定》的1.5℃温升目标,以及可再生能源三倍、能源效率翻倍、增加气候融资等配套目标,为国内行动和国际合作指明了方向。“昆蒙框架”中的23项目标旨在共同行动、遏制并扭转生物多样性丧失。通过《蒙特利尔议定书》的承诺、逐步淘汰计划和向发展中国家提供的资金支持,淘汰氢氟碳化物(HFC)已带来了诸多协同效益,既保护了平流层臭氧层,又减少了一种强效的短期气候污染物。类似地,解决甲烷这一强效温室气体也能带来相应的增益。国际空气质量标准、饮用水标准等在制定行动基准中也发挥了类似作用。

可持续发展目标(SDGs)涵盖了上述及更多领域的行动,强调了政策之间的协同

效应、共同利益和相互联系的重要性，并指出国际合作对于实现成果的必要性。

国合会近期工作的一个主要重点仍聚焦在实施层面。在绿色转型及相关的工业政策涵盖大多数经济部门、全经济层面措施和需求驱动的情况下，实现连贯、协调、高效且成本效益高的实施结果至关重要。

然而，随着政策和措施日益全面化，证据表明，它们在许多地区的效果不尽如人意。以气候变化为例，国际能源署认为 2023 年的温室气体排放量达到历史最高，世界气象组织表示全球平均气温创下历史新高，极端天气事件造成的灾害增加。

近期，一个热门的研究重点是分析为何气候减缓和其他措施未能实现预期效果。2024 年，世界审计组织推出了“气候扫描仪”，以共享对公共政策、治理系统和资金实施审计的结果。大多数政府面临的一大共同挑战是各部门之间、各级政府之间、国家与地方政府和市级政府之间的政策一致性。波茨坦气候影响研究所最近领导的一项研究分析了 41 个国家的约 1 500 项气候缓解措施，研究表明，其中只有 63 项能有效减排。同时，其分析了四类气候缓解政策实施结果的研究，也揭示了有效政策、无效政策及其背后的原因。

政策有效实施面临的障碍包括每年对化石燃料企业的数十亿元补贴，以及来自农业、自然资源等部门的对环境有负面影响的补贴。以绩效标准要求或碳定价严格程度来衡量的政策雄心，是影响结果的决定性因素。分析还表明，更多的政策并不总意味着更好的成果：有效气候缓解措施的一个关键因素是市场定价措施与一小部分精心设计的绿色补贴、绩效标准等措施之间的相互作用。

构建包容性和公平性：在减少污染、应对气候变化和保护自然的行动中，一个最重要的教训是，除非政策在设计之初就具有包容性与公平性，能征求各方意见、推动共同决策，并通过高质量的工作岗位、清洁社区和更广泛的公平回报（包括提高性别平等的具体措施）提供更多机会，否则它们将难以发挥预想作用。年轻人对上述价值观尤其能够产生共鸣，并希望采取更雄心勃勃的环境与气候行动。

2024 年 9 月联合国未来峰会通过的承诺中，包括承诺大幅增加投资以缩小性别差距，包括加强对性别平等和妇女赋权的机构支持，包括推进改革，赋予妇女获得经济资源、所有权、金融服务、继承权、自然资源和适当新技术的平等权利。国合会将在各工作组中继续开展性别平等工作。

支持公平和包容性的众多工具和衡量体系之一是包容性财富框架，旨在通过综合衡量体系促进以人为本的福祉，将社会、人力和自然资本与生产和金融资本放在同等重要的地位。通过超越 GDP，这样的框架将对 2035 年“美丽中国”的实现起到支持作用。

第十六章 进一步全面深化改革， 抓住科技革命与产业变革新机遇， 加快推进经济社会全面绿色转型¹

——中国环境与发展国际合作委员会 2024 年年会 给中国政府的政策建议

世界气象组织报告显示，2014—2023 年是有记录以来全球最暖 10 年，2023 年温升幅度高达 1.45℃ 左右，到达全球临界点前的时间窗口正在缩小，《巴黎协定》和其他多边协议的落实面临现实紧迫危机。然而，世界经济面临增长动能总体不足、国际贸易碎片化与地缘政治紧张等多重挑战，落实联合国可持续发展目标（SDGs）的全球差距正在扩大，国际合作的重要性越发凸显。在《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会（COP28）上通过的《阿联酋共识》明确提出，到 2030 年将全球可再生能源产能增加两倍、能效提高一倍，并在能源系统中逐步转型脱离化石燃料，这反映出各方对应气候变化紧迫性的高度共识。

与此同时，以数字化、绿色化、低碳化为主要特征的新一轮科技革命和绿色产业变革迅猛发展，未来增长和发展的新前沿已经初现端倪，为应对气候变化、能源危机等人类社会重大挑战探索出新路径。中国的可再生能源与储能技术正以前所未有的速度发展，已提前六年实现可再生能源装机容量目标、提前十一年实现新能源汽车 50% 渗透率目标。中国提供的高质量、可负担绿色技术也为全球绿色转型进程与《巴黎协定》目标的实现注入信心。

中国环境与发展国际合作委员会（国合会）委员高度赞赏中国在生态文明建设方面取得的巨大成就，以及中国在气候、生物多样性等全球环境治理进程中发挥的关键作用，认为中国正在为世界提供领先的绿色技术与产品，为全球绿色转型进程作出

1 本章内容摘编自《国合会 2024 年年会给中国政府的政策建议》。

重要贡献。

基于中外专家联合政策研究成果，经 2024 年年会讨论，形成“进一步全面深化改革，抓住科技革命与产业变革新机遇，加快推进经济社会全面绿色转型”的政策建议，供各国政府及国际社会参考。

应以系统性和综合性方法应对环境、气候与发展挑战，推动全球可持续发展。面对实现 2030 年可持续发展目标的紧迫要求，要依靠有为政府和有效市场的协同发力，以系统性方法将全球环境问题与经济、社会、能源、交通、粮食、健康、工业、农业、贸易与金融等各领域统筹规划，促进各项政策协同增效，推动实现高质量可持续发展。新一轮经济刺激政策要更紧密地与减污降碳、环境质量改善、能源转型以及气候适应衔接，做到精准施策。

面对气候变化巨大的外部性，长期、分段式定量减排目标所提供的确定性对经济发展至关重要。当前，中国和世界已为实现碳中和目标投入了大量的资源，必须保持“双碳”战略目标定力。在这一形势下，更新的国家自主贡献可包含到 2030 年 2035 年的量化目标，以加强对市场释放刺激性需求信号。排放配额总量设定等政策工具能够体现广泛而系统的绿色转型决心，将为绿色低碳产业和产品的投资、研发与创新设立中长期明确预期，有助于扩大绿色消费，形成绿色生活方式。

要与时俱进提高可再生能源发展目标，推动经济与气候双赢发展。推动设定符合经济发展规律的可再生能源目标，并加快部署。推动把碳排放双控目标转化为具体的量化指标，分解到重点行业、企业和各级政府，形成需求刺激，建立有效的气候目标监测与问责机制。推动国内外绿色技术产品加速迭代。形成绿色产业的规模经济效应，增强绿色竞争力。

将气候适应作为政治和治理优先事项，并制定近期、中期和远期规划。中央及各级地方政府应该发挥主导作用，制定系统性行动规划，提供气候脆弱性评估框架，推动各利益相关方积极参与，并建立早期预警系统等快速数据分享系统。主动识别城乡地区气候韧性能力缺口，将人口稠密城市及沿海脆弱地区作为气候变化适应的重点区域。

深化气候和环境国际合作，进一步完善国际治理体系。全球生态环境破坏正在快速濒临不可逆转的一系列重要临界点，但有关国家针对绿色产品与技术的贸易保护主义造成全球绿色转型进程迟滞风险，使《巴黎协定》目标更加遥不可及，必须避免类似于贸易壁垒的出现。我们需要加强国际合作，协同气候、生物多样性、海洋和环境保护行动，通过绿色“一带一路”倡议和南北南合作，共同维护国际贸易规则，共建清洁美丽世界。

具体建议如下。

一、推动“十五五”时期社会经济全面绿色转型

1. 以更新国家自主贡献（NDC）为契机，通过设立高雄心、量化的限时目标，加速绿色低碳转型进程。国家自主贡献的更新将释放各国政府坚定不移落实《巴黎协定》目标、推动高质量发展、推进经济社会全面绿色转型的鲜明信号。优先制定 2030 年和 2035 年二氧化碳和甲烷等非二氧化碳减排目标。加强可再生能源与新型电网的协同发展，推动风电光伏的消纳。加速发展太阳能、风能、绿氢、大规模储能、电动车、智能电网等关键技术。探索为新型二氧化碳移除技术（如直接空气捕集）应用制定战略路线图。进一步发挥基于自然的解决方案（NbS）作用。

2. 推动编纂中的生态环境法典与相关法规协同增效，全面深化生态文明体制改革。推进应对气候变化与“双碳”目标相关法律制定。推动编纂中的生态环境法典与相关法规协同增效，探索将应对气候变化纳入环境公益诉讼制度。进一步改革碳市场，研究建立电力行业总量控制目标和十年总量递减预期。逐步扩大碳市场覆盖行业范围，按照“先易后难、减排效果好、国际贸易影响大、低碳技术选择多”等原则，分阶段有序纳入重点行业。完善碳定价机制，推动国内碳市场规则与国际衔接。

3. 政府要加强绿色科技相关信息集成和发布，制定以创新为导向的新一轮绿色产业政策。通过建立绿色低碳产业和技术公共信息监测平台，发布产能利用、市场供需及技术投资和应用等方面的数据和信息。建立兼顾减排效益、成本、产业创新的绿色低碳技术目录，与补贴、融资等政策衔接。开展定期评估，设定技术目录调整和退出机制。修正对环境有负面影响的补贴与税收政策，加强政府采购对绿色低碳产品的支持。考虑在时尚服装行业开展绿色可持续消费试点，吸引青年引领绿色消费。

4. 推动绿色产业链的国内外协同发展。建议设立跨部门的工作组，研究推动气候与贸易政策的协同。在产业链上游重塑产业组织结构、提高产业效率、强化准入门槛，保持适度竞争和合理定价，鼓励技术创新，保证产业健康有序发展。加速可再生能源等绿色产业链供应链的全球合作，推动发展中国家能源低碳转型，助力 2030 年全球可再生能源装机增至三倍目标实现。

5. 将国家气候变化适应战略提升为最高级别的国家发展战略之一，以反映气候适应的紧迫性。将气候适应目标和要求纳入“十五五”规划，特别是国土空间规划等综合性规划中。推进支持气候适应战略的法规政策、财政金融和知识数据体系等基础性

制度建设。全面推动建立从国家到地方的多层次气候适应评估机制。针对气候风险，制定气候适应近期行动计划与面向 2035 年、2050 年、2100 年的中长期规划与愿景。

二、大力推进绿色低碳产业发展

6. 加速绿色低碳产业发展，扩大绿色经济规模效应。促进绿电市场、绿证市场、可再生能源电力配额、绿色采购和碳交易市场之间的有机衔接，充分发挥绿色经济规模效应，支撑绿色低碳产业发展。提升人工智能在脱碳进程中的作用。可考虑制定明确的可再生能源发展目标，以稳定市场预期，扩大市场规模，例如到 2030 年，风电和光伏发电装机容量超过 2 400 GW，发电量占比超过 50%；到 2040 年，风电和光伏发电装机容量超过 6 000 GW，发电量占比超过 80%。

7. 推广工业热泵、热电池、零碳钢等创新技术应用，利用财税政策、生产者责任延伸与循环经济等政策工具加快重点行业脱碳进程，并提升资源利用效率。给予热泵、热电池等电气化技术研发资金和财税政策支持，逐步淘汰工业自备化石燃料电厂，逐步提高能效和排放标准，加速工业脱碳进程。通过促进省际电力交易、加强使用智能电网、市场导向的绿色电价及车电互联等创新手段，加快电网脱碳。推广循环经济最佳实践，推行产品生态设计标准，探索为电池、塑料制品、纺织品和电子产品等重点行业制定生产者责任延伸制度。减少数据中心、人工智能和数字经济的碳足迹。制定针对算法和数据治理的监管框架，确保其在使用过程中的透明度与合规性。

8. 建立公正转型机制，加强传统能源地区产业绿色低碳转型。针对煤炭等传统能源依赖度较高地区，设立国家级协调机制，进一步明确“双碳”目标下的煤炭发展目标预期，加快具有可再生能源优势地区的绿色转型。设立如“煤炭转型基金”等资金机制，支持传统能源地区的绿氢，储能，煤化工技术，碳捕集、利用与封存及生态修复等低碳转型技术发展。在绿色转型和应对气候变化中注重资源再分配，建立公正转型机制，减轻低碳转型对部分地区弱势群体、产业从业人员、女性群体和社会经济的影响，并加强与存在类似问题地区的国际交流，推动各国探索适合本国国情的公正转型方案，确保在绿色转型中不让任何一个人掉队。

9. 继续发挥联合国《生物多样性公约》第十五次缔约方大会主席国作用，积极落实“昆蒙框架”及其实施倡议。扩大国家公园规模，建立和优化保护区体系，完善保护区管理治理机制。扩大海洋保护区面积，开发沿海气候适应综合试点。加强保护区体系、生态保护红线和其他有效区域保护措施（OECM）等政策工具的研究和分

享，推动建立具有国际视野的生态保护红线模式，统筹应对生物多样性丧失和其他重要挑战。

10. 通过海洋综合管理实现环境和社会发展之间的平衡，以“双碳”目标和科技创新引领海洋产业绿色转型。明确可持续蓝色经济的定义、原则和经济行业分类，将可持续蓝色经济发展纳入“十五五”规划并制定相关激励性政策。将环境可持续性考虑纳入沿海基础设施、海洋能源、航运、海洋食品等增长迅速的行业审批程序和监测规划，并建立具体指标与跟踪机制。综合考虑生态系统及产业价值链各利益相关方意见，加强远海水产养殖行业的战略制定与空间规划，特别关注与海洋保护区外围、重要生物栖息地和洄游通道等生态热点的相互作用。加强对渔业与水产养殖产业链中的女性和弱势群体的关注。

11. 加强海洋能源产业的顶层设计，构建海洋能源产业工业设计与转型基础。扩大离岸风电等海洋可再生能源成熟技术的应用，推动漂浮式风电、波浪潮汐能、海上绿色制氢等新兴和战略性技术的示范，使海洋能源产业对可持续蓝色经济发展的贡献更加清晰可见，推动碳中和背景下的海洋可再生能源产业可持续发展。

12. 加快构建绿色可持续的农业新质生产力，提升农业生态功能和生物多样性，确保粮食生产生态安全。采用作物多样化方式提高农田生物多样性和土壤生产力。将土壤生物多样性指标纳入农田土壤健康、农业生态评估体系，积极探索高产稳产的可再生农业、绿色有机现代化农业转型路径，加快构建农业新质生产力。充分结合农业生产、消费及膳食结构，开展农田土壤健康评估与治理，鼓励施用有机肥。发展生态型种植，构建农田、生态岛一体化的农田空间布局结构，促进农业生产方式转变。

三、发挥绿色金融对可持续发展各领域的推动作用

13. 充分调动公共及私营部门资金，建立推动绿色低碳技术创新的综合性长期融资政策体系。调动包括银行贷款、股权投资、绿色债券等多来源资金，形成多层次、多渠道的绿色金融体系。构建以风险资本为核心、股票市场为支撑的金融服务体系，支持原创性、变革性绿色低碳技术创新。增强证券市场对IPO的包容性，打造有利于不同领域、不同技术路径相互促进的创新生态系统。制定更灵活的科技属性评估标准，更好支持创新型的中小型企业。积极探索面向绿色技术与产品服务的低碳采购试点。

14. 鼓励长期或耐心资本基金成为绿色投资的主要来源。鼓励银行资金支持绿色产业风险投资市场，引导高净值群体资金、养老金及其他长期资金投资低碳技术。完善

绿色产业基金指导评估，提升其投资和管理能力。针对产业引导基金可能造成的市场分割问题，在设立产业引导基金时增加国家级基金的比例，减少市县级基金的比例。

15. 加强国内外企业气候风险评估和信息披露标准的一致性和对应性。鼓励企业执行和落实国际可持续发展准则理事会（ISSB）的可持续信息披露标准，积极考虑全价值链中产生的其他间接温室气体排放和海外项目气候信息披露。加快融入国际绿色金融市场，拓宽气候与绿色融资渠道。增加金融开放，吸引境外优质普通合伙人进入中国风险投资市场，重视优秀外国风险投资和企业风险投资（CVC）的积极作用。优化反垄断概念，重视 CVC 在投资和管理中的积极作用。

16. 积极参与全球可持续贸易与绿色价值链体系建设。坚持互惠互利，向发展中国家转移低碳产能和技术，注重产能落地过程中的全产业链低碳可持续发展，支持发展中国家实现绿色增长。设立专项基金为海外低碳技术投资提供资本，并配套如保险和担保等风险管理工具。建立有利于对外直接投资的政策环境，与主要贸易伙伴扩大低碳技术及相关矿产品的贸易。加强出口目的地多元化，扩大与新兴经济体的低碳环保产品及服务贸易，支持技术转移，促进绿色技术与产品市场准入。

17. 利用多种融资手段为生物多样性保护提供支持。通过昆明生物多样性基金、全球环境基金、联合国开发计划署生物多样性金融倡议（BIOFIN）等平台，扩大生物多样性保护的私营部门资金支持。根据“昆蒙框架”和国际标准及实践，加强上市公司生物多样性相关信息的披露。将生物多样性融资纳入中国碳市场，推动生物多样性保护和应对气候变化行动协同发展，让保护生物多样性成为社会经济发展转型中的一部分。

四、深化环境与气候国际合作，推动全球环境治理进程

18. 积极引领与推动全球环境与气候治理进程。推动在《巴黎协定》第6条下的多边合作。通过多层次筹资模式，推动全球气候融资与减贫、基础设施建设和可持续发展目标的结合。加强气候适应国际合作与研究，交流经验、做法和教训。推动如期达成务实、平衡、具有法律约束力的塑料污染国际文书。

19. 积极倡导和推动全球投资贸易绿色化。评估碳边宽调整机制（CBAM）对关键行业的影响。利用现有多边机制，建立围绕低碳产业投资和贸易的交流平台，加强对话，寻找各方可接受的解决方案。积极参与或发起多双边投资贸易合作协定谈判，推动世界贸易组织《环境产品协定》谈判重启和亚太经济合作组织环境产品扩围，发起低碳产品贸易自由化和零关税联盟，促进国际贸易合作和人才技术交流，加速低碳技术全

球传播和应用。

增强对“一带一路”绿色项目的评估管理及融资支持。利用绿色发展投融资合作伙伴关系及混合融资等平台与工具，增加私营部门在新兴经济体绿色融资项目中的投资，提升低收入国家公共融资杠杆能力。进一步将气候要素纳入出口信贷政策及海外投融资决策中，鼓励对海外项目的资产负债表进行气候压力测试。推动低成本资本和耐心资本、合资企业、风险投资、股权投资等多样化海外融资模式。

第十七章 中国环境与发展重要政策进展与 国合会政策建议影响报告（2023—2024 年）¹

一、引言

过去一年，面对异常复杂的国际环境和艰巨繁重的改革发展稳定任务，中国政府顶住外部压力、克服内部困难，付出艰辛努力，全面建设社会主义现代化国家迈出坚实步伐。今后 5 年是美丽中国建设的重要时期，中国政府继续将加强生态文明建设，推进绿色低碳发展作为工作任务的重要内容之一，深入贯彻新时代中国特色社会主义思想。

过去一年，是生态环境领域具有重要里程碑意义的一年。全国生态环境系统坚定践行习近平生态文明思想，协同推进经济高质量发展和生态环境高水平保护，大力推进美丽中国建设，生态环境治理取得新成效。生态环境质量改善指标均顺利完成年度目标，好于“十四五”规划目标时序进度要求。

过去一年，中国生态环境立法和督察执法不断强化，生态环境治理效能持续提升；深入推进重点领域节能降碳，加快推进绿色低碳技术的创新和应用，推动经济社会发展绿色化、低碳化，稳妥推进碳达峰碳中和。深化碳监测评估试点工作，启动全国温室气体自愿减排交易市场，推动全国碳排放权交易市场第二个履约周期顺利收官，深入实施应对气候变化国家战略。

过去一年，中国坚持精准、科学、依法治污，蓝天、碧水、净土保卫战稳步深入推进，加强固体废物和新污染物治理，污染防治攻坚战取得新的明显成效；加快推进重要生态系统保护和修复重大工程，实施生物多样性保护重大工程，荒漠化防治、湿地保护等跨部门生态监管工作取得制度性进展。

过去一年，中国深度参与全球环境和气候治理。积极稳妥开展双多边环境与气候交流，深度参与全球气候谈判，提出“昆蒙框架”实施倡议，着力推动 COP15 成果落

¹ 本章内容摘编自《中国环境与发展重要政策进展（2023—2024）与国合会政策建议影响报告》。

实落地。持续推动国际环境公约履约与国际谈判。

作为促进中外环境与发展领域的交流与合作的纽带、桥梁和窗口，国合会持续发挥其直通车、国际性、综合性优势，汇集国内外顶级专家的集体智慧，为落实“双碳”目标，探索多目标协同创新路径，加快推进绿色低碳高质量发展，提出了诸多政策建议并被中国政府参考或采纳，为中国可持续发展作出贡献。

二、环境与发展规划

（一）全面推进美丽中国建设，实现人与自然和谐共生

1. 国家层面

2023 年 12 月，中共中央、国务院印发《关于全面推进美丽中国建设的意见》（以下简称《意见》）。建设美丽中国是全面建设社会主义现代化国家的重要目标，是实现中华民族伟大复兴中国梦的重要内容。新征程上，必须把美丽中国建设摆在强国建设、民族复兴的突出位置，保持加强生态文明建设的战略定力，坚定不移走生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路，建设天蓝、地绿、水清的美好家园。

根据《意见》，到 2027 年，美丽中国建设成效显著。绿色低碳发展深入推进，主要污染物排放总量持续减少，生态环境质量持续提升，国土空间开发保护格局得到优化，生态系统服务功能不断增强，城乡人居环境明显改善，国家生态安全有效保障，生态环境治理体系更加健全，形成一批实践样板。到 2035 年，美丽中国目标基本实现。广泛形成绿色生产生活方式，碳排放达峰后稳中有降，生态环境根本好转，国土空间开发保护新格局全面形成，生态系统多样性、稳定性、持续性显著提升，国家生态安全更加稳固，生态环境治理体系和治理能力现代化基本实现。展望 21 世纪中叶，美丽中国全面建成。生态文明全面提升，绿色发展方式和生活方式全面形成，重点领域实现深度脱碳，生态环境健康优美，生态环境治理体系和治理能力现代化全面实现。

《意见》指出，全面推进美丽中国建设，旨在实现人与自然和谐共生，推动绿色低碳发展。通过强化生态保护，优化国土空间布局，推动经济社会绿色转型，加快生态文明建设进程。以绿色低碳发展为主线，促进生态环境全面改善，为建设美丽中国奠定坚实基础。^[1]

2. 地方和行业层面

各地方在实践上全面贯彻建设美丽中国的核心思想，持续推动生态文明建设落实。

2024 年 1 月，国家发展改革委、河北省人民政府发布《关于推动雄安新区建设绿

色发展城市典范的意见》，提出推动雄安新区绿色发展，建设生态宜居、低碳智能的现代化城市，到 2030 年和 2035 年分别实现绿色发展和现代化目标。

为发挥生态文明示范建设的引领带动作用，2024 年 2 月，生态环境部办公厅修订印发了《生态文明建设示范区（市）建设指标》《生态文明建设示范区（县）建设指标》《生态文明建设示范区管理规程》《“绿水青山就是金山银山”实践创新基地建设管理规程》。通过构建指标体系，规范化生态文明示范区建设管理工作，总结推广典型经验模式，积极探索“绿水青山就是金山银山”有效转化路径。

2024 年 2 月，国家发展改革委、北京市人民政府关于印发《北京城市副中心建设国家绿色发展示范区实施方案》的通知，以实现“双碳”目标为引领，聚焦建筑、交通、产业三大关键领域，强化能源、生态、文化三大重点支撑，推进北京城市副中心建设国家绿色发展示范区。

2024 年 2 月，生态环境部发布《关于加强环境影响评价管理推动民用运输机场绿色发展的通知》，通知要求加强民用运输机场环境影响评价管理，确保生态保护，降低环境影响，推动绿色低碳发展。^[2]

2024 年 3 月，国家发展改革委等部门发布《关于支持内蒙古绿色低碳高质量发展若干政策措施》的通知，支持内蒙古绿色低碳高质量发展。内容涵盖能源转型、产业升级、科技创新、生态环境保护等多方面。^[3]

（二）明确新时期生物多样性保护战略，部署行动路线图

2024 年 1 月，经国务院批准，生态环境部发布《中国生物多样性保护战略与行动计划（2023—2030 年）》（以下简称《行动计划》）。《行动计划》落实系列重大决策部署，明确提出了全国今后一段时期的生物多样性保护工作部署和优先领域，突出系统谋划、目标明确、重点突出、分步推进，提出了到 2030 年中国生物多样性保护较为细化的具体目标，例如持续推进生物多样性保护优先区域和国家战略区域的生物多样性本底调查与评估，对标“昆蒙框架”的“30×30”目标等。同时提出了到 2035 年保护能力全面完善、保护格局统一有序、生态系统碳汇能力稳固提升等中长期目标，展望到 2050 年建成人与自然和谐共生的美丽中国、实现人与自然和谐共生的愿景目标。

（三）部署首批碳达峰试点，推动各地区全面绿色转型

2023 年 10 月，国家发展改革委印发了《国家碳达峰试点建设方案》（以下简称《方案》）。为落实《2030 年前碳达峰行动方案》有关部署，《方案》在全国范围内选择

100 个具有典型代表性的城市和园区开展碳达峰试点建设，探索不同资源禀赋和发展基础的城市和园区碳达峰路径，为全国提供可操作、可复制、可推广的经验做法。^[4]

2023 年 11 月，国家发展改革委办公厅印发了《首批碳达峰试点名单》，确定了张家口市等 25 个城市、长治高新技术产业开发区等 10 个园区为首批碳达峰试点城市和园区。各试点城市和园区要切实履行主体责任，把碳达峰试点建设作为促进本地区经济社会发展全面绿色转型的关键抓手，统筹谋划重点任务、研究推出改革举措、扎实推进重大项目，并结合自身实际科学编制试点实施方案。^[5]

（四）国合会相关政策建议情况

对于美丽中国建设，国合会 2023 年建议，中国应继续保持战略定力，以绿色低碳为内生动力，统筹推进多目标协同的高质量发展，在协同推进降碳减污的同时，统筹降碳、减污、能源、供应链和粮食安全。加快传统产业数字化和绿色化，建设绿色金融体系和新型电力系统，完善法治保障，助力人与自然和谐共生，促进国际合作。国合会 2021 年建议，将城市更新作为绿色城镇化转型的重大契机。设立绿色城市更新目标以及设计建造标准，鼓励能够带来生态环境保护、公共健康、人力资本、生活品质提升等多重优势的最佳实践。

对于生物多样性保护，国合会 2023 年建议，从协议到协力，落实“昆蒙框架”，依据“昆蒙框架”目标，尽早更新《国家生物多样性战略和行动计划》的政策措施和路线图。作为主席国，继续与缔约方、观察员国以及其他利益相关方保持沟通，推动生物多样性保护相关行动倡议，在实现“30×30”目标等方面尽早采取行动，快速取得早期成果，提振“昆蒙框架”落实信心。国合会 2022 年建议促进基于自然的解决方案的主流化及持续推动双多边气候与生物多样性对话。国合会 2021 年建议，推动 2020 年后全球生物多样性框架全面落实，分享生态保护红线、生态补偿等创新目标落实机制，建立可靠的、操作性强的进展评估指标体系，充分考虑自然资本和生态系统服务价值，为联合国生态系统恢复十年行动计划目标作出积极贡献。

对于环境基础设施建设，国合会 2023 年建议，继续完善新能源重型货车推广的政策组合。包括制定行业标准，实施免征车辆购置税等财政激励，路权优先制度等非财政激励，并明确商业车队新能源车辆采购要求。加快充电站、换电站等新能源重型货车基础设施建设。设定新能源重卡长期销售比重目标，2030 年为 45%，2035 年达 75%，2040 年达 100%。建立离网储能系统用于道路充电，出台新能源重卡“双积分”政策。国合会 2021 年建议，加大城市绿色低碳基础设施改造力度。加快城市雨洪体系

建设和管理，包括采用海绵城市等基于自然的解决方案。国会 2020 年建议，推动绿色出行，鼓励步行、自行车和公共交通等低碳出行方式，加大新能源汽车推广和使用力度。制定汽车行业全产业链绿色政策体系；加大电动车充电基础设施建设力度，建立电动车电池回收体系；加强税收优惠政策，鼓励汽车行业节能减排，扩大购买和使用绿色机动车经济激励。针对汽车和航空业制定的支持举措必须考虑生态环保要求。加强铁路货运和可持续城市物流，如货运铁路的数字化和自动化。

对于碳达峰试点建设，国会 2023 年建议，“十四五”中后期，选取部分省市、重点行业开展碳排放双控试点；“十五五”前期，在全国范围试行碳排放双控制度，将碳强度作为约束性指标，碳总量作为预期性指标；2030 年后，完善以碳总量控制为主的碳减排制度体系。

三、治理与法治

（一）高质量立法保障推动绿色发展

稳中求进推动立法工作高质量发展，是中国式现代化全面推进强国建设、民族复兴伟业的坚实法治保障。加强组织领导，密切协作配合，广泛吸纳民意、汇集民智，对现行生态环境法律制度规范进行系统整合、编订纂修，形成高质量的生态环境法典草案，^[6]并紧扣中国式现代化的立法需求，准确把握“国之大者”，坚持突出重点、急用先行、统筹兼顾，科学合理安排立法项目。

2024 年 5 月 9 日，国务院办公厅印发《国务院 2024 年度立法工作计划》，其中明确了围绕推动绿色发展的多个立法目标。该计划提出拟审议国家公园法草案，制定《碳排放权交易管理条例》和《生态保护补偿条例》，并预备制定《生态环境监测条例》等。这些法律法规的制定与审议，旨在强化生态环境保护，推动绿色低碳发展。^[7]目前，中国制（修）订环境保护法、环境保护税法、长江保护法以及大气、水、土壤污染防治法等法律，形成“1+N+4”生态环境保护法律体系。立法力度之大、执法尺度之严、成效之显著前所未有。

（二）规范生态环境规划编制

生态环境保护规划作为国家规划体系中的专项规划之一，系统分析其发展历程，总结发展经验，进一步坚持和完善生态环境规划制度，对促进国家规划体系发展，支撑美丽中国建设，协同推进经济高质量发展和生态环境高水平保护十分重要。生态环境规划

编制支撑推进经济社会高质量发展的全局谋划，注重系统观念在生态环境保护中的科学运用和实践深化，遵循生态系统的整体性、系统性及其内在发展规律，不断提高生态环境治理的系统性、整体性和协同性，持续推动源头治理、系统治理和整体治理。^[8]

2024年5月11日，为贯彻多项环境保护法律，指导和规范生态环境规划编制工作，生态环境部发布《生态环境规划编制技术导则 总纲》（以下简称《总纲》），《总纲》为国家生态环境标准，并且规定了生态环境规划编制的一般性原则、程序、内容、方法和要求。^[8]

在《总纲》的规范指导下，各地在生态环境规划编制方面取得显著成效。安徽省合肥市高新区坚持以工业“高质量、高科技、高效益、低污染、生态化”为方向，编制工业园区绿色发展规划，创新建立绿色低碳发展评价指标体系。开展产城融合综合设计，推进城市空间盘活升级，促进空间利用集约紧凑、功能复合、低碳高效。将减污降碳协同增效作为优化产业结构、实现高质量发展的着力点。^[9]广州市规划和自然资源局以番禺区为案例，探索可持续发展的绿色基础设施规划建设实践，结合岭南水乡地区自然禀赋与生态特征，以实施山水林田湖草沙一体化保护和系统治理工作为引领，构建可持续绿色基础设施规划实施路径，积极支撑绿美广州建设。

（三）加强生态环境分区管控

实施生态环境分区管控是生态环境空间管控领域的重大探索，也是生态环境保护领域的一项基础性、前瞻性和长久性的工作。自党的十八大以来，习近平总书记多次强调加快划定并严守生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线。明确了生态环境分区管控制度建设的总体要求、机制建设、实施应用、监督考核和组织保障全链条制度建设体系。实现人与自然和谐共生，推动生态文明建设迈上新台阶，助力美丽中国的建设。^[10]

2024年3月18日，中共中央办公厅，国务院办公厅发布《关于加强生态环境分区管控的意见》提出要加强生态环境分区管控，以保障生态功能和改善环境质量，促进高质量发展。通过制定管控方案、确定管控单元、编制准入清单、信息共享、动态更新等措施，服务国家重大战略，促进绿色低碳发展，实现高水平生态环境保护，努力建设人与自然和谐共生的美丽中国。^[11]

各地在积极落实生态环境分区管控过程中涌现出大批典型案例：在重庆市奉节县，菜籽坝抽水蓄能电站正在建设中。在电站选址时，曾有多多个地点备选。当地运用生态环境分区管控成果为项目准入和选址提供全程指导服务，避开自然保护区、饮用水

水源保护区等环境敏感区域，最终确定了电站现在的选址，对重点管控单元，以解决突出生态环境问题为目标，推进产业布局优化和结构升级，有效遏制“两高一低”项目盲目发展。对优先保护单元，聚焦生态环境保护，确保生态安全格局总体稳定。^[12]“中国家电之都”广东省佛山市顺德区，结合行业发展要求和管控单元生态环境禀赋，制定针对性生态环境准入清单，如在水环境重点管控区，要求受纳水体或监控断面不达标的，不得新建、扩建向河涌直接排放废水的项目，福建厦门通过生态环境分区管控的应用，深化部门协同协作，指导近万个项目进行布局优化或调整工艺，避免投资损失近 8 亿元。^[13]

（四）规范全国碳交易市场与自愿减排交易

建设统一的全国碳市场，是推动中国经济社会绿色化、低碳化发展的重大制度创新。全国碳市场不仅可以发挥市场在碳排放资源配置中的决定性作用，还可以实现有效市场和有为政府的有机结合，是实现全社会降碳低成本的政策工具。碳市场在推进实现国家碳达峰和碳中和目标，促进环保技术创新和绿色产业发展，推动中国生态文明建设迈上新台阶，助力全球气候治理目标的实现。^[14]

2024 年 2 月 4 日，国务院发布《碳排放权交易管理暂行条例》（以下简称《条例》）。《条例》作为中国应对气候变化领域的第一部专门法规，重点就明确体制机制、规范交易活动、保障数据质量、惩处违法行为等方面作出规定，首次以行政法规的形式明确了碳排放权市场交易制度，对中国实现“双碳”目标和推动全社会绿色低碳转型具有重要意义。^[15]上线交易以来，全国碳排放权交易市场运行整体平稳，年均覆盖二氧化碳排放量约 51 亿 t，占全国总排放量的比例超过 40%。截至 2023 年底，全国碳排放权交易市场共纳入 2257 家发电企业，累计成交量约 4.4 亿 t，成交额约 249 亿元，碳排放权交易的政策效应初步显现。^[16]

2023 年 10 月 19 日，生态环境部发布《温室气体自愿减排交易管理办法（试行）》。该文件指出在规范全国温室气体自愿减排交易活动，促进市场化减排机制发展，通过鼓励企业和其他主体参与自愿减排交易，推动低碳发展和绿色经济转型。规范自愿减排交易，确保公平、公开，设定监管机构职责及交易规则，推动“双碳”目标。启动自愿减排交易市场有利于支持林业碳汇、可再生能源、甲烷减排、节能增效等项目发展，有利于激励更广泛的行业、企业和社会各界参与温室气体减排行动，对推动经济社会绿色低碳转型、实现高质量发展具有积极意义。^[17]同时发布了《关于全国温室气体自愿减排交易市场有关工作事项安排的通告》，细致了具体细节和事项管理安排。^[18]

各部委与企业积极响应减少温室气体排放政策，推动全国碳交易市场建立。例如 2023 年 10 月 8 日，生态环境部发布了《关于做好 2023—2025 年部分重点行业企业温室气体排放报告与核查工作的通知》，要求各地生态环境部门组织重点行业企业报告温室气体排放数据，石化、化工、建材、钢铁、有色、造纸、民航等重点行业，年度温室气体排放量达 2.6 万 tCO₂e（综合能源消费量约 1 万 t 标准煤）及以上的重点企业纳入本通知年度温室气体排放报告与核查工作范围。并核查报告准确性，以推动全国碳市场建设。需确保按时完成任务，提前安排工作经费，并加强监管和能力建设。^[19]2024 年 5 月 29 日，生态环境部发布了《火电行业建设项目温室气体排放环境影响评价技术指南（试行）》，将温室气体管控纳入环评管理，规范重点行业温室气体排放环境影响评价技术方法。进一步加强了温室气体排放管控与要求，推动碳达峰碳中和进程，建设美丽中国。^[20]

（五）立法维护和改善海洋生态环境

2023 年 10 月 24 日，十四届全国人大常委会第六次会议表决通过新修订的《中华人民共和国海洋环境保护法》。修订后的海洋环境保护法涵盖海洋环境管理、污染防治、生态保护及法律责任，坚持陆海统筹、区域联动，全面加强海洋污染防治，完善海洋生态保护，强化海洋环境监督管理，推进海洋环境保护法律域外适用。本法自 2024 年 1 月 1 日起施行。

（六）确立生态保护补偿基本制度规则

生态保护补偿制度是生态文明制度的重要组成部分。自 2012 年以来，中国政府将建立健全生态保护补偿机制作为建设生态文明的重要举措，统筹谋划、全面推进生态保护补偿制度及相关领域改革，生态保护补偿工作加速推进。目前，中国基本建成世界上覆盖范围最广、受益人口最多、投入力度最大的生态保护补偿机制，为巩固生态文明建设成果、巩固拓展脱贫攻坚成果、推动区域协调可持续发展等发挥了重要作用。^[21]

2024 年 4 月 6 日，国务院发布《生态保护补偿条例》（以下简称《补偿条例》），该条例通过法律手段规范生态保护补偿，旨在调动各方积极性，形成全社会共同参与生态保护的良好局面。《补偿条例》通过明确法律依据和具体措施，构建了一个多层次、多渠道的生态保护补偿体系，强调政府主导、市场调节、社会参与的综合机制。通过财政、市场和社会多方面的努力，条例旨在推动中国生态保护工作迈上新台阶，实现生态效益、经济效益和社会效益的统一，为建设美丽中国提供有力保障。^[22]

中国生态保护补偿制度最早可追溯到 1998 年，以退耕还林还草等重点生态工程启动实施为标志拉开了中国生态保护补偿的帷幕。历经二十多年的不懈努力，中国已经建成了世界上覆盖范围最广、受益人口最多、投入力度最大的生态保护补偿机制，实现了让青山有“价”、绿水含“金”，生态保护主体的获得感不断增强，实实在在地落实了生态保护权责，有效地调动了各方参与生态保护积极性，为生态文明建设和绘就美丽中国建设新画卷贡献了特别重要的制度力量。^[23]例如，中国自 2003 年实施退牧还草工程，后推行草原保护补助奖励机制，目前已实施第三轮，显著提升草地质量。使中国从草原退化面积占总面积 90%，转变为植被恢复面积占总面积 48%，草地综合指标盖度增加 5.26%，北方草地植被净初级生产力增加 9.2%。^[24]

目前，每年国家财政补偿资金规模已经达到 2 000 亿元的水平，全国重要生态系统和生态功能重要区域的保护水平持续提升，一半左右的森林和草原纳入补偿范围，三分之一的县域得到了重点生态功能区转移支付，21 个省级行政区签订了跨省流域横向生态保护补偿协议，涉及 20 个跨省流域（河段）。^[25]

（七）完善生态与环境风险管理制度

完善生态与环境风险管理是实现美丽中国建设的重要基础，尊重自然、顺应自然、保护自然，坚持生态保护第一、自然恢复为主、守住自然生态安全边界，坚持统筹协调、分类施策、科学防控、系统治理。这些原则的确立，将在优化生态安全格局、整体保护重要生态系统、系统修复退化生态系统、防控生态风险、削减人类活动的生态影响等方面发挥重要指导作用，为保障生态安全、建设生态文明高地、促进经济社会可持续发展、实现人与自然和谐共生提供法律支撑。^[26]

2024 年 3 月 21 日，生态环境部发布国家生态环境标准《化学物质环境管理命名规范》的公告，进一步规范化学物质命名，并支持环境管理登记和风险评估。^[27]

中国曾于 2013 年、2016 年两次开展全国重点行业化学品生产使用信息调查工作，企业填报的大量化学物质的名称不规范，如洗涤剂 209、净洗剂 6501、添加剂、增塑剂、珠光粉等，导致无法判断其有效成分，也无法进一步识别和表征其危害、环境风险。因此，化学物质的规范名称是开展化学物质相关信息收集的基本前提，也是化学物质环境风险评估和环境风险管控的重要基础。^[28]

（八）规范有序推进生态环境导向的开发模式创新

生态环境导向的开发模式创新是实现绿色发展和生态文明建设的关键。以习近平

生态文明思想为引领，通过产业链延伸、组合开发、联合经营等方式，推动公益性较强的生态环境治理与收益较好的关联产业有效融合、增值反哺、统筹推进、市场化运作、一体化实施、可持续运营，以生态环境治理提升关联产业经营收益、以产业增值收益反哺生态环境治理投入，实现生态环境治理外部经济性内部化的创新性项目组织实施方式，是践行绿水青山就是金山银山理念的项目实践，有利于积极稳妥推进生态产品经营开发，推动生态产品价值有效实现。^[29]

2023年12月27日，生态环境部等四部门发布了《关于印发〈生态环境导向的开发（EOD）项目实施导则（试行）〉的通知》。该通知指出，规范有序推进生态环境导向的开发模式创新，提升项目质量，促进生态环境保护与经济发展相协调。该通知还强调，项目谋划和质量把控的重要性，要求各地方加强资源保障，加快项目落地，并推动项目与周边项目协同发展。地方政府需加强项目跟踪和总结，推广典型案例，确保项目实施的示范效果。风险防控是关键，各方需严格遵守法律法规，加强金融监管，确保项目资金的合理使用，保障项目可持续发展。这一导则将有助于实现绿色发展目标，提升生态环境质量，推动产业高质量发展。^[30]

各地积极响应并且结合实际开展政策创新。安徽、福建、江苏、山东、浙江、湖北、广西等省级行政区相继开展省级EOD试点，纷纷出台创新政策。江苏省对EOD项目优先提供“环保贷”“环保担”支持，省财政给予资金奖励。广西开发“桂惠贷－生态贷”，贴息比例为3%，贴息一年，最高可贴息500万元。安徽、福建等省级行政区对EOD项目予以绿色金融倾斜支持，优先给予要素保障。^[31]安徽省开展蚌埠市禹会区天河湖生态环境治理与乡村振兴融合发展项目，项目总投资约32亿元，项目针对天河湖湖区管理实际、周边及污染来源现状、水生态环境保护需求等，开展天河湖清淤扩容及水生态环境综合治理工程，并依托天河湖周边万亩农田湿地，深入挖掘大禹文化、淮河文化等，探索通过“水资源＋文化旅游＋生态农业＋生态工业”等举措，加快水旅融合、水农融合、水工融合，形成生态环境与产业关联联动的良性循环。

（九）国合会相关政策建议情况

2023年国合会在治理与法治方面提出了诸多有价值的政策建议，具体如下。

推进立法、司法和行政机关形成践行生态文明的合力，建立健全现代化环境治理体系，提高绿色治理的协调性和效率：探索更具科学性、合理性、实用性的自然资本价值核算方法和实现机制。拓展视野、深化认识，将环境因素纳入更广泛的经济社会规划与政策。推动碳排放权交易等绿色市场体系建设。完善绿色标准体系、绿色财税

体系和绿色金融体系，形成与绿色发展相协调的政策激励措施，并通过政策合规和监管执法促进政策落地。

健全绿色低碳转型的治理体系，加强机构创新性与灵活性能力建设：优先制定气候变化相关法律，探索预防性公益诉讼，研究制定框架性的应对气候变化法或碳中和促进法。将碳减排措施融入交通、建筑和城市相关领域法律法规。制定省市级落实“1+N”政策体系的行动方案，从目标设定、数据分析技术、公众参与、持续监测评估和动态调整等方面入手，完善管理机制。将气候变化诉讼纳入环境公益诉讼范围，建立预防性环境公益诉讼制度，制定审理气候变化案件的司法指南，特别关注短寿命温室气体。并进一步推动提高能源利用效率，加强需求侧管理。尽快将高排放行业纳入碳市场。提供长期、明确、稳定的市场预期和有效的价格传导机制，完善国家碳排放权交易体系建设。

识别对环境有害的激励、规定、空间规划、补贴等并推动改革：如取消对环境有害的农业补贴，支持低碳、再生农业实践等。因地制宜出台便捷、可量化的补贴认定标准。增加对农业绿色科技创新和技术推广的投入。注重对女性农民的支持，开展针对性的知识和技能培训。严守生态保护红线和空间规划，保护生态系统和生态走廊，设立基于生态保护红线和保护区的生态廊道建设目标，构建高效、稳定的生态安全网络，保护生态系统完整性。

将生态保护、修复与再生作为绿色金融的重要领域：进一步识别必要举措，开展生态保护金融试点、风险披露、报告、压力测试及私营部门投资公共责任等，确保公共和私营部门资金流向符合生物多样性目标。促进金融科技在生物多样性保护领域的应用，包括建立“金融科技 + 生物多样性保护”试点示范区。确保当地社区从自然保护中获益。关注绿色债务安排等生态保护金融国际新兴实践。积极构建多元化资金投融资机制。基于气候、生物多样性、污染风险披露和转型时间表，以转型金融助力企业绿色转型，并建立蓝色金融框架，强化对可持续蓝色经济的金融支持。加强资助和协调与可持续蓝色经济和海洋碳减排有关的国际科研合作。

四、能源、环境与气候

（一）系统部署甲烷控制，强化降碳减污协同增效

甲烷是仅次于二氧化碳的全球第二大温室气体，根据联合国政府间气候变化专门委员会（简称 IPCC）的第六次评估报告，甲烷 20 年水平的全球增温潜势（或称暖

化效应，GWP）约为二氧化碳的 81.2 倍，100 年尺度下约为二氧化碳的 28 倍^[32]。由于甲烷在大气中的寿命较短（12 年左右），很多专家认为甲烷减排相对于二氧化碳减排见效更快，对缓解迫在眉睫的气候危机意义重大。

2023 年 11 月，中美发布《关于加强合作应对气候危机的阳光之乡声明》^[33]，其中专门提及甲烷和其他非二氧化碳温室气体排放，提出两国将落实各自国家甲烷行动计划并计划视情细化进一步措施。

同月底，生态环境部等 11 部门联合印发《甲烷排放控制行动方案》^[34]（简称《甲烷方案》）。该方案是中国政府首个全领域聚焦甲烷排放控制的政策文件，对未来中国整体甲烷排放控制提出了总体规划和具体行动部署。

《甲烷方案》首次明确了到 2030 年中国重点领域甲烷排放控制目标，提出“十四五”“十五五”期间甲烷排放控制主要目标。同时，《甲烷方案》提出了加强甲烷监测核算报告和核查体系建设，加快推进能源、农业、垃圾和污水处理等领域排放控制，加强污染物与甲烷协同控制，加强技术创新和甲烷排放控制监管，加快构建法规标准政策体系等八项重点任务。从加强监测、核算、报告、监管体系建设等顶层设计，到重点领域具体行动、激励政策和社会动员，再到各政府部门间协同机制等落实保障政策，《甲烷方案》为中国甲烷减排首次提出了完整的蓝图，必将对中国全面绿色低碳转型、建设人与自然和谐共生的现代化产生重要影响。

（二）加大节能降碳力度，尽最大努力完成“十四五”目标

节能降碳是积极稳妥推进碳达峰碳中和、全面推进美丽中国建设、促进经济社会发展全面绿色转型的重要举措。

2024 年 3 月，国务院印发《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》^[35]，提出到 2027 年，工业、农业、建筑、交通、教育、文旅、医疗等领域设备投资规模较 2023 年增长 25% 以上；重点行业主要用能设备能效基本达到节能水平，环保绩效达到 A 级水平的产能比例大幅提升等目标，释放提升各行业节能降碳水平，推动新一轮全社会节能降碳行动的明确信号。

其中，围绕推进新型工业化，以节能降碳、超低排放、安全生产、数字化转型、智能化升级为主要方向，聚焦钢铁、有色、石化、化工、建材、电力、机械、航空、船舶、轻纺、电子等重点行业，大力推动生产设备、用能设备、发输配电设备等更新和技术改造。加快推广能效达到先进水平和节能水平的用能设备，分行业分领域实施节能降碳改造。

2024 年 5 月，国务院印发《2024—2025 年节能降碳行动方案》（以下简称《行动方案》）^[36]。提出 2024 年单位国内生产总值能源消耗和二氧化碳排放分别降低 2.5% 左右、3.9% 左右，规模以上工业单位增加值能源消耗降低 3.5% 左右，非化石能源消费占比达到 18.9% 左右，重点领域和行业节能降碳改造形成节能量约 5 000 万 t 标准煤、减排二氧化碳约 1.3 亿 t。

中国在“十四五”规划纲要中确定了单位国内生产总值能耗降低 13.5% 的约束性指标。“十四五”前 3 年，中国全国能耗强度累计降低约 7.3%，受新冠疫情等因素的影响，全国能耗强度降低仍滞后于时序进度，部分地区节能降碳形势较为严峻。

在此背景下，中国政府研究制定了《行动方案》，其主要目的是锚定“十四五”目标任务，分领域分行业实施节能降碳专项行动，加大节能降碳攻坚力度，以期尽最大努力完成“十四五”目标。《行动方案》围绕能源、工业、建筑、交通、公共机构、用能设备等重点领域和重点行业，部署了节能降碳十大行动，提出了健全制度标准、完善价格政策、加强资金支持、强化科技引领、健全市场化机制、实施全民行动六方面工作举措，为落实节能降碳目标任务提供支撑^[37]。

（三）加快建立碳足迹管理体系，推动绿色低碳技术应用

1. 加快碳足迹管理体系的建立

随着全球绿色低碳转型不断推进，产品碳足迹的理念在各国生产实践中不断加强。欧盟于 2022 年率先宣布启动碳边境调节机制，2023 年公布了《欧盟电池和废电池法规》，规定了电池生产的碳足迹相关要求。有专家认为，此举开启了全球碳关税的时代。在新的国际形势下，管理生产产品的碳足迹是中国开展国际贸易合作必须应对的新问题新挑战。中国政府发布的《2030 年前碳达峰行动方案》提出“探索建立重点产品全生命周期碳足迹标准”。2024 年政府工作报告明确提出“建立碳足迹管理体系”的任务要求。

2023 年 11 月，国家发展改革委等部门发布了《关于加快建立产品碳足迹管理体系的意见》^[38]，提出“到 2025 年，国家层面出台 50 个左右重点产品碳足迹核算规则 and 标准，一批重点行业碳足迹背景数据库初步建成，国家产品碳标识认证制度基本建立，若干重点产品碳足迹核算规则、标准和碳标识实现国际互认；到 2030 年，国家层面出台 200 个左右重点产品碳足迹核算规则 and 标准……主要产品碳足迹核算规则、标准和碳标识得到国际广泛认可，产品碳足迹管理体系为经济社会发展全面绿色转型提供有力保障”。

2024年4月，国家认证认可监督管理委员会（国家认监委）发布了《国家认监委关于明确直接涉碳类认证规则备案要求的通知》^[39]，进一步明确了直接涉碳类认证规则备案要求，使得关于碳足迹等温室气体排放量化标准的认证更加规范，为下一步加强碳足迹管理打下基础。

2024年6月，生态环境部、财政部、中国人民银行等15部门联合印发《关于建立碳足迹管理体系的实施方案》^[40]（以下简称《实施方案》）。《实施方案》指出，到2027年，碳足迹管理体系初步建立；到2030年，碳足迹管理体系更加完善，应用场景更加丰富。《实施方案》从建立管理体系、构建工作格局、推动规则国际互信、加强能力建设四个方面明确碳足迹工作目标和任务分工，重点任务更细化、措施手段更聚焦，是今后一个时期中国产品碳足迹管理体系建设的“任务书”和“施工图”。

2. 推动绿色低碳技术的应用

2023年中央经济工作会议指出，2024年的经济工作将更加注重科技引领、产业创新以及扩大内需，并强调了绿色低碳和科技创新的双轮驱动作用。根据国际能源署评估结果，全球2050年实现净零排放的关键技术中，有50%尚未成熟。加快推进绿色低碳技术的创新和应用是中国实现“双碳”目标的必然要求，也是推动新质生产力发展的重要手段。

2023年9月，科技部发布《国家绿色低碳先进技术成果目录》^[41]。2024年2月，生态环境部等六部门印发《国家重点低碳技术征集推广实施方案》^[42]，旨在大力支持先进适用低碳技术推广应用，充分发挥低碳技术在推动实现“双碳”目标中的重要作用。

2024年3月，国家发展改革委印发《绿色低碳先进技术示范项目清单（第一批）》^[43]，旨在通过实施绿色低碳先进技术示范工程，布局一批技术水平领先、减排效果突出、减污降碳协同、示范效应明显的示范项目，加快发展全球领先的绿色低碳技术和产业高地，为实现碳达峰碳中和目标提供有力支撑，为经济社会高质量发展提供绿色动能。

（四）深化应对和适应气候变化，提升气候韧性

作为易受气候变化不利影响的最大发展中国家，气候变化已经成为建设美丽中国和推进中国式现代化进程中的重要风险。近年来，中国天气气候更加复杂，极端降水、台风、高温、寒潮等极端天气气候事件多发。特别是自汛期以来，区域性、阶段性洪涝干旱灾害明显。主动适应气候变化是中国和全球当前面临的现实而紧迫的任务。

2023年12月，《中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》将“有效

应对气候变化不利影响和风险”作为“守牢美丽中国建设安全底线”的重要方面之一，明确提出要“坚持减缓和适应并重，提升适应气候变化能力”。

2024 年 6 月 7 日，《中国适应气候变化进展报告（2023）》^[44]正式印发，从政策建设、监测预警、自然生态、经济社会、区域规划、保障机制等维度，系统梳理了《国家适应气候变化战略 2035》印发以来中国适应气候变化工作进展和成效。

（五）完善气候投融资体系，强化金融支持绿色低碳发展

2024 年 3 月 27 日，中国人民银行、国家发展改革委、工业和信息化部、财政部、生态环境部、国家金融监管总局、中国证监会印发《关于进一步强化金融支持绿色低碳发展的指导意见》^[45]。该指导意见强调了加强金融支持绿色低碳发展的重要性，通过这些措施，旨在推动中国经济向着绿色低碳方向转型，应对气候变化挑战，实现经济可持续发展。

（六）促进投资和消费，增强回收循环利用

2024 年 2 月 6 日，国务院办公厅印发《关于加快构建废弃物循环利用体系的意见》^[46]。该意见以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻习近平生态文明思想，推动高质量发展的总体要求。着力推进废弃物精细管理、有效回收，培育资源循环利用产业，完善政策机制，强化组织实施。

2024 年 3 月 7 日，《国务院关于印发〈推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案〉的通知》^[47]。该方案旨在促进投资和消费，加速产业结构调整，实施设备更新、消费品以旧换新、回收循环利用、标准提升四大行动。截至 2027 年，目标是实现设备投资规模增长、产能比例提升，以及废旧产品回收量的显著提升。

2024 年 4 月 17 日，工业和信息化部办公厅、住房和城乡建设部办公厅、农业农村部办公厅、商务部办公厅、国家市场监督管理总局办公厅以及国家广播电视总局办公厅联合发布《关于全面开展绿色建材下乡活动的通知》^[48]。该通知表示各部门共同开展绿色建材下乡活动，推进绿色建材产业高质量发展，加速产品认证和推广，探索新业态新模式，促进城乡绿色建设，助力乡村振兴。

（七）规范生态环境监测，增进环境质量评估科学性

2023 年 10 月 13 日，国务院关于印发《国家生态环境监测标准预研究工作细则（试行）》的通知^[49]。该工作细则明确了管理部门、技术支持单位和承担单位的职责，强

调了征集、研究、结题论证和立项等各个环节的重要性。该细则旨在规范预研究工作流程，提高标准制修订的质量和效率，确保标准的科学性和实用性，以更好地支持生态环境监测工作。

2024年6月7日，生态环境部印发《中国适应气候变化进展报告（2023）》^[44]。

《中国适应气候变化进展报告（2023）》旨在加强气候变化监测预警与风险评估，推进应对策略与技术支持。制定省级行动方案，加强区域防灾减灾，提高气象预警准确性，保障公共安全，注重科技创新，推动绿色低碳发展，加快能源转型，促进经济社会可持续发展。

（八）国合会相关政策建议情况

2023年国合会在能源、环境与气候方面提出了诸多有价值的政策建议，具体如下：

特别关注短寿命温室气体。国合会2023年政策建议中特别提出，要特别关注短寿命温室气体。国合会《温室气体排放和碳封存监测创新技术》前期研究报告中提出，准确测量甲烷是中国实现“双碳”目标的关键，提出以遥感、卫星监测平台引导的新一代自上而下监测系统，为自下而上监测系统提供有力补充。

建立绿色低碳生产指标体系。围绕碳生产率、能效、水和材料消耗量等核心指标，构建绿色低碳生产指标体系。利用数字化加强持续的碳监测，识别碳减排重点；为关键制造业建立碳资产管理系统，逐步推动企业气候相关信息披露；以供应链为体系，激励上下游公司追踪碳排放数据和产品碳足迹。国合会2023年发布的《数字化与绿色技术促进可持续发展》报告提出，要管理电子设备全生命周期碳排放数据。

依托数字技术创新，加快传统产业数字化、绿色化升级改造。推进全产业链绿色创新应用，加速新型电力体系建设。采取政策措施，激励开发适应气候变化的数字解决方案。

利用数字技术提升气候适应能力。加大气候建模、模拟和气候风险评估，提升气象预报和灾害监测能力。加快制定长江流域发展规划和国土空间规划，建立流域综合评估机制，系统评估气候变化的短期冲击和长期压力影响。将气候适应能力评估纳入政策制定和建设项目决策过程。

利用包括税收、价格、补偿、采购在内的综合激励手段，塑造多元化绿色气候投融资机制。加快推动分类目录、转型金融规则与标准制定，重视气候、环境与生物多样性丧失风险的信息披露，规范环境、社会、治理（ESG）投资市场。保持绿色分类标准与国际标准的一致性，扩大披露范围，参考国际可持续准则理事会有关ESG的国

际财务报告准则，为即将出台的生物多样性风险披露标准做好准备。

加大循环经济发展的推动力度。在消费环节废弃物产生量大的电子、家电、快递物流等行业强制推行生产者责任延伸制度。同时，把生产者对其产品承担的资源环境责任从生产环节延伸到产品设计、生产过程控制、智慧物流、回收利用、废物处理处置的全生命周期，通过生态设计、清洁生产、绿色供应链管理等措施，促进绿色消费品和服务的资源消耗集约化、污染物和温室气体排放最小化、居民消费可承受，进而形成绿色消费的习惯。

推动绿色家用。鼓励消费者选用节能家电、高效照明产品、节水器具、绿色建材等绿色产品，鼓励企业提供并允许消费者选择可重复使用、耐用和可维修的产品，支持发展共享经济，鼓励个人闲置资源有效再利用，完善社会再生资源回收体系，推进快递包装的绿色化、减量化和可循环，严格执行政府对节能环保产品的优先采购和强制采购制度，扩大政府绿色采购范围和规模。

重视以主权财富基金和社保基金为主的主权资产绿色低碳投资潜力。鼓励主权资产所有者开展可持续投融资试点示范，将气候生态环境价值纳入绩效评估体系，为相关投融资活动在投资回报考核、风险分担工具使用等方面提供灵活支持。建立主权资产所有者的可持续投资原则，包括明确的战略目标和组织架构保障。鼓励主权资产所有者与国际伙伴开展可持续投融资交流合作。

研究制定框架性的应对气候变化法或碳中和促进法。将碳减排措施融入交通、建筑和城市相关领域法律法规。制定省市级落实“1+N”政策体系的行动方案，从目标设定、数据分析技术、公众参与、持续监测评估和动态调整等方面入手，完善管理机制。

五、污染防治

（一）深入推进空气质量持续改善

大气环境质量与人民群众身体健康息息相关。中国政府高度重视大气污染防治工作，近年来通过制定实施《大气污染防治行动计划》《打赢蓝天保卫战三年行动计划》不断改善中国环境空气质量。

2023 年 11 月，国务院印发《空气质量持续改善行动计划》（以下简称《计划》），作为第三个“大气十条”，《计划》以持续改善空气质量为核心，大力推动 PM_{2.5}、NO_x、VOCs 等多污染物协同减排，突出精准、科学、依法治污，扎实推进产业、能源、交通绿色低碳转型，持续深入打好蓝天保卫战。为贯彻落实该计划，2023 年 12 月，生

态环境部联合国家发展改革委等 10 家单位和北京市人民政府在内的 7 家地方政府，共同印发《京津冀及周边地区、汾渭平原 2023—2024 年秋冬季大气污染综合治理攻坚方案》（以下简称《攻坚方案》）。《攻坚方案》聚焦重点地区、重点时段、重点领域，以减少重污染天气和降低细颗粒物浓度为主要目标，强化多污染物协同控制，持续开展秋冬季大气污染综合治理攻坚行动。2024 年 1 月，生态环境部发布《关于进一步优化重污染天气应对机制的指导意见》，提出优化重污染天气应对机制，包括优化应急响应规则、规范应对工作、强化应急联动、修订应急预案和加强效果评估等方面的内容，以科学、依法、精准的方式应对重污染天气，确保人民健康和环境持续改善。

根据生态环境部公布的数据，2023 年全国空气质量保持长期向好态势，全国地级以上城市的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度年均值达到 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，优良天数比例为 85.5%，重度及以上污染天数比例为 0.8%。

为适应排污许可现行环境管理需要，2024 年 4 月，生态环境部发布《排污许可管理办法》（以下简称《办法》）。《办法》以将排污登记单位纳入管理范围、规范管理流程和细化依证监管内容作为修订重点，强化排污单位的主体责任，全面指导实现排污许可全覆盖。2023 年 9 月，生态环境部办公厅发布《关于开展工业噪声排污许可管理工作的通知》，重点提出了推动落实工业噪声纳入排污许可管理的具体措施，主要体现在实施范围、实施时限、实施方式以及审核管理等方面。

（二）进一步加强水污染精准防治

中国持续深入打好碧水保卫战，落实《水污染防治行动计划》，推进水环境治理协同控制，不断提升水环境质量的同时统筹水资源、水环境、水生态韧性。

2023 年 8 月，生态环境部办公厅联合水利部办公厅、自然资源部办公厅共同发布了《地下水污染防治重点区划定技术指南》（以下简称《指南》）。《指南》明确了地下水污染防治重点区的分类与内涵，优化了分区划定的技术方法和工作流程，有效保障地下水质量和可持续利用。各地方积极推进落实地下水污染防治重点区划定工作。截至 2023 年 10 月 16 日，全国 83 个地市已完成地市级地下水污染防治重点区划定，黑龙江、上海、江苏和浙江等省份已完成省级地下水污染防治重点区划定。^[50]

2023 年 12 月，生态环境部办公厅牵头水利部办公厅等 2 家单位联合印发《农村黑臭水体治理工作指南》，明确农村黑臭水体的识别要求，开展清单管理；建立农村黑臭水治理长效管护机制，杜绝返黑返臭情形。

2023 年 12 月，国家发展改革委牵头住房城乡建设部等 2 家单位联合印发《关于推

进污水处理减污降碳协同增效的实施意见》，协同推进污水处理全过程污染物削减与温室气体减排，开展源头节水增效、处理过程节能降碳、污水污泥资源化利用，全面提高污水处理综合效能。

（三）加快推动土壤污染管控与修复

中国不断提升土壤污染治理的技术与管理水平，通过全过程质量控制与监管，全面提升土壤污染状况调查评估水平，推进多学科、多方法、多手段调查技术的融合，精准刻画污染范围和污染程度。

2023 年 12 月，生态环境部办公厅发布了《关于促进土壤污染风险管控和绿色低碳修复的指导意见》，推动中国建设用地土壤污染风险管控和绿色低碳修复，提升资源能源高效利用和二次污染防控水平，引导风险管控和修复活动向绿色、低碳和可持续目标迈进。

2024 年 4 月，自然资源部牵头六家单位联合发布《关于进一步加强绿色矿山建设的通知》，强调通过政府引导、部门协作、企业自建、社会监督，将绿色发展理念贯穿于矿产资源勘查开发全过程，加快矿业绿色低碳转型发展，全面推进绿色矿山建设。

（四）规范化固体废物评估与管理

中国不断深化对化学品和固体废物的管理工作，包括加强新污染物治理，以及在塑料污染治理国际公约谈判进程中，持续推进固体废物控制和试点工作。

2023 年 11 月，生态环境部办公厅发布《关于进一步加强危险废物规范化环境管理有关工作的通知》，围绕提升危险废物规范化环境管理水平，从深化规范化评估、运用信息化手段和强化评估结果应用三个方面推动地方政府和相关部门落实监管责任，督促危险废物相关单位落实法律制度。

2024 年 1 月，生态环境部发布《固体废物分类与代码目录》，提出关于固体废物转移管理、信息公开和工业固体废物管理台账、排污许可、环境统计等要求，提升固体废物管理规范化、精细化、信息化水平。

（五）国合会相关政策建议情况

在 2023 年国合会向国务院提交的政策建议中提出持续优化产业结构，推进降碳减污协同增效：

持续调整优化能源、产业、交通、用地等结构，加快推动末端治理转向源头治理，

推进多领域降碳减污协同增效。加快工业领域源头减排、过程控制、末端治理、综合利用，促进全流程绿色发展。

加强大气、水、土壤、固体废物等污染防治领域协同，继续深入打好污染防治攻坚战。一体推进重点行业大气污染深度治理与节能降碳行动。建立环境质量、污染控制和温室气体减排的协同目标与评价体系，加强细颗粒物和臭氧协同控制。利用数字化技术提高污染治理的执法效率。推进水环境治理协同控制，统筹水资源、水环境，提升水生态韧性。加强土壤污染治理协同控制，鼓励绿色低碳土壤修复。推进固体废物污染防治协同控制，加强“无废城市”建设。增进自然恢复和人工修复手段的有机结合。

构建进出口区域与企业之间的新型合作关系。推动优化全球产业链供应链布局，保障绿色低碳产业对关键矿物、材料和组件的需求。构建“一带一路”绿色创新伙伴关系。围绕产业链供应链韧性可持续发展，建立部际协调机制。

对中国污染控制和治理提出了全面综合的政策建议，对中国不断提升环境质量，减少大气环境、水环境中的污染，以及固体废物治理，并提升对化学品的管理水平具有重要推动作用。

六、生态系统和生物多样性保护

中国发起《昆明－蒙特利尔全球生物多样性保护战略与行动计划（2023—2030年）》实施倡议、更新发布《中国生物多样性保护战略与行动计划（2023—2030年）》、启动昆明生物多样性基金，国合会开展生物多样性保护和“昆蒙框架”落实专题政策研究，呼吁各方携手努力，推动全面有效落实“昆蒙框架”，协力推进有效、包容和可持续的全球生物多样性保护行动。新发布主要生物多样性保护政策如下。

2023年12月27日，中共中央、国务院印发《关于全面推进美丽中国建设的意见》，将提升生态系统多样性稳定性持续性作为扎实推进美丽中国建设的重点任务之一。要求全面推进以国家公园为主体的自然保护地体系建设，加快实施重要生态系统保护和修复重大工程、生物多样性保护重大工程。强化生态保护修复统一监管，开展生态状况监测评估和生态保护修复成效评估，健全生态产品价值实现机制，推进重点生态功能区、生态保护红线、重要生态系统等保护补偿机制。

（一）系统构建生态管理与生物多样性保护战略体系

2024年1月18日，生态环境部发布《中国生物多样性保护战略与行动计划（2023—

2030 年）》。该计划根据“昆蒙框架”最新要求，明确了生物多样性主流化、应对生物多样性丧失威胁、生物多样性可持续利用与惠益分享、生物多样性治理能力现代化四个优先领域，每个优先领域下设 6～8 个优先行动，广泛涵盖法律法规、政策规划、执法监督、宣传教育、社会参与、调查监测评估、保护恢复、生物安全管理、生物资源可持续管理、生态产品价值实现、城市生物多样性、惠益分享、气候与环境治理、投融资、国际履约与合作等内容，为各部门、各地区推进生物多样性保护工作提供指引。

该计划明确，到 2030 年，生物多样性丧失趋势得到有效缓解，生物多样性保护与管理水平显著提升，形成全民共同参与生物多样性保护的良好局面。至少 30% 的陆地、内陆水域、沿海和海洋退化生态系统得到有效恢复，至少 30% 的陆地、内陆水域、沿海和海洋区域得到有效保护和管理。到 2035 年，形成统一有序、结构连通、动态调整的全国生物多样性保护空间格局；到 2050 年，全面形成绿色发展方式和生活方式，建成人与自然和谐共生的美丽中国，实现人与自然和谐共生的美好愿景。

2024 年 4 月 6 日，国务院第 26 次常务会议通过《生态保护补偿条例》。作为首部专门针对生态保护补偿的行政法规，该条例以立法形式确立生态保护补偿基本制度规则，明确生态保护补偿的制度与机制安排，通过财政纵向补偿、地区间横向补偿和市场机制补偿等方式对开展生态保护的单位和个人进行补偿，充分调动各方参与生态保护的积极性。目前中国已基本建成世界上覆盖范围最广、受益人口最多、投入力度最大的生态保护补偿机制。

（二）山水林田湖草沙一体化治理成效显著

2021—2030 年是“三北”工程六期工程建设期，是巩固拓展防沙治沙成果的关键期，是推动“三北”工程高质量发展的攻坚期¹。2023 年“三北”工程攻坚战全面启动，依照统筹推进山水林田湖草沙一体化治理、强化区域联防联控、发挥科技与机制创新支撑作用的根本遵循，一年来“三北”工程区各地坚持治沙致富并重、增绿增收并举，防沙治沙取得显著成效，实现生态与经济双赢。黄河“几字弯”攻坚战、科尔沁、浑善达克两大沙地歼灭战和河西走廊—塔克拉玛干沙漠边缘阻击战三大标志性战役实现良好开局。

山水林田湖草沙一体化保护和系统治理取得重要成果。截至 2023 年底，国家围绕重要生态安全屏障部署实施了 50 多个山水林田湖草沙一体化保护和修复工程，累计完

¹ <https://www.forestry.gov.cn/c/xbys/sjjs/532107.jhtml>

成治理面积 8 000 万亩¹。

2024 年 3 月，中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于加强生态环境分区管控的意见》。立足于生态系统复杂多样、生态环境空间异质性特点，满足精细化的生态环境保护 and 治理需要，该意见从政策制定、环境准入、环境管理三个方面细化了应用主体、应用方向和应用路径。

（三）促进水生生物多样性恢复和水域生态修复

2024 年 3 月，国务院办公厅印发《关于坚定不移推进长江十年禁渔工作的意见》，从优化统筹协调的工作推进机制、持续做好安置保障、持续加强执法监管、加快推进生态修复方面巩固好禁捕退捕工作成果，加快促进长江水生生物多样性和水域生态修复。目前，在各部门的共同努力下，长江十年禁渔已取得了重要的阶段性成效：2023 年群众举报的非法捕捞数量同比下降 28%，非法捕捞高发频发态势得到了有效遏制；2022 年标志性物种长江江豚的种群数量达到 1 249 头，比 2017 年普查时增加了 237 头，实现历史性止跌回升；长江刀鱼溯河洄游至洞庭湖，已到了历史最远的分布水域²。

（四）规范农田生态系统损害鉴定评估

2024 年 3 月，生态环境部发布了国家生态环境标准《生态环境损害鉴定评估技术指南 生态系统 第 1 部分：农田生态系统》（GB/T 4387.7—2024）。作为中国第一个支撑生态系统损害鉴定评估的国家标准，该标准规定了农田生态系统损害鉴定评估的内容、工作程序、方法和技术要求，规范破坏生态或污染环境行为导致的农田生态系统损害鉴定评估工作。为农田生态系统和农业生物多样性保护做好技术和制度支撑。

（五）国合会相关政策建议情况

2023 年国合会在生态系统和生物多样性保护方面给中国政府提出了诸多建议。

确保绿色金融分类标准对于“昆蒙框架”中生物多样性保护融资目标的适用性。逐步在市场层面实施与国际接轨的强制性的生物多样性披露标准。以农林渔业为试点，构建系统全面方法评估补贴政策的生态环境影响。

与经济部门联动，倡导系统性可持续土地利用方式，促进生物多样性保护主流化。基于生态系统的服务功能，重新评估和优化土地利用方式，并将基于科学的气候与自

¹ https://www.gov.cn/yaowen/shipin/202312/content_6919490.htm.

² <https://www.gov.cn/xinwen/2024zccfh/11/index.htm>.

然目标纳入决策和运营。以农业为切入点，研究“昆蒙框架”下可持续利用行动目标的实现路径与方法。实施再生农业和保护性耕作试点项目并及时总结经验。

建立生物多样性专家组，支持国家层面和国际层面的参与、协调和落实工作。对具有挑战性的具体目标，鼓励制定、推广和应用有助于实现目标的方法、工具，以相应激励机制助力目标实现。

七、区域和国际参与

（一）加强合作，推动全球气候治理进程

气候变化是全人类的共同挑战。中国政府高度重视应对气候变化，深入参与气候多边进程，为推动构建公平合理、合作共赢的全球气候治理体系贡献积极力量。

2023 年 10 月 18 日，习近平主席在出席第三届“一带一路”国际合作高峰论坛开幕式时指出，中方将持续深化绿色基建、绿色能源、绿色交通等领域合作，加大对“一带一路”绿色发展国际联盟的支持，继续举办“一带一路”绿色创新大会，建设光伏产业对话交流机制和绿色低碳专家网络。落实“一带一路”绿色投资原则，到 2030 年为伙伴国开展 10 万人次培训。^[51]

2023 年 10 月 25 日，习近平主席在会见美国加利福尼亚州州长纽森时表示，中美在绿色发展、应对气候变化等领域合作潜力巨大，双方可以加强这方面合作，将其打造成中美关系发展新亮点。^[52]

2023 年 11 月 15 日，中美双方发表《关于加强合作应对气候危机的阳光之乡声明》，决定启动“21 世纪 20 年代强化气候行动工作组”，在能源转型、甲烷和其他非二氧化碳温室气体排放、循环经济和资源利用效率、地方合作、森林、温室气体和大气污染物减排协同、2035 年国家自主贡献、COP28 等重点领域加速具体行动，特别是切实可行和实实在在的合作计划和项目。^[53]

2023 年 12 月 1 日，习近平主席特别代表、国务院副总理丁薛祥在迪拜出席世界气候行动峰会并发表致辞，强调中国大力推进绿色发展、能源革命和应对气候变化国际合作，支持广大发展中国家提升应对气候变化能力；提出各国应增强共同应对气候变化的决心和能力，践行多边主义，加速绿色转型，强化落实行动。^[54]

2023 年 12 月 2 日，习近平主席特别代表、国务院副总理丁薛祥出席在迪拜举行的“77 国集团和中国”气候变化领导人峰会并发表致辞，表示中国积极稳妥推进碳达峰碳中和，扎实推进应对气候变化南南合作和绿色“一带一路”建设，77 国集团和中

国应共同推动可持续发展，强化绿色转型发展战略对接，加强互帮互助，探索发展和保护相协同的新路径。^[55]

2024年2月28日，生态环境部部长黄润秋在参加第六届联合国环境大会期间表示，气候变化、生物多样性丧失、环境污染等全球环境挑战相互关联、相互影响，必须采取综合、协同、整体的方法应对。多边环境协议以及协议间的协同增效，既是推进全球环境治理的重要方法，更是应对全球环境挑战的有力举措。^[56]

（二）积极推动多边环境协议落实

近年来，气候变化、生物多样性丧失、荒漠化加剧、极端气候事件频发，给人类生存和发展带来严峻挑战。在此背景下，中国积极参与全球治理，推动各方维护多边共识、聚焦务实行动、加速绿色转型，为共同建设清洁美丽的世界注入信心和力量。

2023年9月20日，中国在纽约联合国总部签署《〈联合国海洋法公约〉下国家管辖范围以外区域海洋生物多样性的养护和可持续利用协定》（以下简称《协定》）。该协定主要内容包括海洋遗传资源获取和分享、海洋保护区设立、环境影响评价、能力建设和海洋技术转让等。中国在《协定》开放签署首日即签署这一重要法律文件，反映了中国在积极、深度参与全球环境治理、海洋保护与可持续利用等方面的决心和努力。^[57]

2023年12月9日，中国生态环境部部长黄润秋视频出席推动实施“昆蒙框架”下“30×30”目标高级别活动，以《生物多样性公约》第十五次缔约方大会主席身份宣布，中方正式牵头发起“昆蒙框架”实施倡议，愿与国际社会一道，携手应对生物多样性丧失、气候变化等全球性挑战，共同推动COP28取得成功，共建人与自然和谐共生的地球家园。^[58-59]

2024年2月26日至3月1日，第六届联合国环境大会在肯尼亚内罗毕联合国环境署总部举行。生态环境部部长黄润秋任团长，生态环境部、外交部、水利部、中国气象局等有关部门，以及中国驻肯尼亚大使馆、常驻联合国环境署代表处人员组成的中国政府代表团与会。黄润秋在大会上表示，中方愿与各方一道，坚持人类命运共同体理念，维护和践行真正的多边主义，推动构建公平合理、合作共赢的全球环境治理体系，合力保护好全人类共同的地球家园。本届大会以“采取有效、包容和可持续的多边行动，应对气候变化、生物多样性丧失和污染”为主题。^[60]

2024年4月23日至29日，塑料国际文书政府间谈判委员会第四次（INC-4）会议在加拿大渥太华举行。中国生态环境部、工业和信息化部等相关部委组成中国代表

团参加了会议。本次 INC-4 会议主要审议 INC-3 会后发出的《具有法律约束力的塑料污染（包括海洋环境中的塑料污染）国际文书的修订案文草案》，聚焦修订版零案文文书第一部分和第二部分等 13 个实施相关议题及包括国家报告、履约和履约机制、资金计划等谈判履约及法律事项。^[61]

2024 年 5 月 3 日，《中欧环境与气候合作：进展与展望》智库报告发布。中欧环境与气候合作成为双边战略伙伴关系的亮点，具有广泛共识和深度合作。双方在绿色低碳发展方面具有强大的合作基础，对全球环境治理具有重要意义。报告呼吁加强合作机制，创新合作模式，为地球环境保护作出贡献。^[62]

2024 年 5 月 28 日，中共中央政治局常委、国务院副总理丁薛祥在北京出席昆明生物多样性基金合作协议签字仪式并致辞。丁薛祥指出，在习近平生态文明思想指引下，中国坚定不移走生态优先、绿色低碳的高质量发展之路，推动生物多样性保护取得显著成效。中国作为《生物多样性公约》第十五次缔约方大会主席国，引领达成“昆明－蒙特利尔全球生物多样性框架”，率先出资成立昆明生物多样性基金，为全球生物多样性保护作出重要贡献。中国生态环境部与联合国有关机构签署了合作协议。^[63]

（三）深入推进南南合作

2023 年 12 月 2 日，习近平主席特别代表、中共中央政治局常委、国务院副总理丁薛祥在出席“77 国集团和中国”气候变化领导人峰会时发表致辞，强调完善全球气候治理依然任重道远，77 国集团和中国理应进一步发出共同声音，维护共同权益。要共同推动可持续发展，强化绿色转型发展战略对接，加强互帮互助，探索发展和保护相协同的新路径。^[55]

2023 年 11 月 21 日，中国－哈萨克斯坦环保合作委员会第十次会议以视频形式召开。会议由中哈环委会中方主席、生态环境部副部长赵英民和哈方主席、哈萨克斯坦共和国生态和自然资源部副部长奥舒尔巴耶夫共同主持。会议回顾了中哈环委会第九次会议以来的合作进展，对全面完成年度计划任务和双方合作进展予以充分肯定并批准 2024 年工作计划，强调加强生态环保合作与技术交流，提升在“一带一路”、上合组织、亚信等多边框架下生态环保合作水平，共同应对全球环境挑战。^[64]

2023 年 12 月 8 日，中国代表团在《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会（COP28）中国角成功举办第十一届应对气候变化南南合作高级别论坛。COP28 大会主席、《联合国气候变化框架公约》秘书处执行秘书、联合国南南合作办

公室主任，以及来自博茨瓦纳、乍得、基里巴斯、老挝、马拉维、尼日利亚、柬埔寨、加纳等国的部长或部长级代表出席论坛。《联合国气候变化框架公约》执行秘书斯蒂尔表示，南南合作对应对气候变化十分重要，是助力发展中国家实现自主贡献目标的重要途径，应该进一步关注发展中国家在应对气候变化领域的需求，加大对发展中国家的支持。联合国南南合作办公室主任迪马·哈提卜表示，应对气候变化南南合作对发展中国家实现绿色低碳转型尤为重要，中国提出的“一带一路”倡议为发展中国家加强气候变化合作提供了一个良好的平台和机会，作出了表率并起到了示范作用。与会外国部长高度评价中国在应对气候变化南南合作方面作出的努力，赞赏中方所提供的援助，期待与中方在包括新能源、减缓和适应、气候投融资等应对气候变化领域继续加强合作。^[65]

（四）国合会相关政策建议情况

近年来，国合会在加强环境和气候领域区域合作，推动国际参与方面提出了诸多政策建议，具体如下。

坚持绿色开放，助力全球低碳转型。国合会 2022 年建议，依托中欧环境与气候高层对话、气候行动部长级会议等机制，积极开展气候 2 轨和 1.5 轨对话，交流二氧化碳和非二氧化碳温室气体减排。国合会 2023 年建议，建立“一带一路”气候投融资与绿色信贷体系，降低低碳项目融资成本。通过“一带一路”绿色发展国际联盟等多边合作平台，加强对话交流。利用第三届“一带一路”国际合作高峰论坛契机，提出绿色低碳发展国际合作等相关倡议。统筹各方资源，开展“光伏+”等创新应用场景的示范合作，探索符合发展中国家特点的绿色合作项目盈利模式。

加强环境治理体系建设，增进多边环境公约间协同增效。国合会 2019 年建议，支持全球创新性海洋治理，在深海资源开发方面，中国应积极参与相关国际规范的制定与修订，注重与“一带一路”共建国家共同发展可持续海洋经济。

国合会 2023 年建议，识别进一步解决塑料污染问题的关键步骤。在全球塑料条约通过后制订相关行动计划，并考虑启动系列旨在重复使用、减少和回收塑料的试点项目。国合会 2021 年建议，强化海洋塑料污染和微塑料的源头管控，减少塑料污染，增强废物管理和处置能力。

国合会 2022 年建议，加强政策统筹，构建多目标协同机制，最大化发挥降碳、减污、扩绿、增长等多方面的协同效应。持续推动双多边气候与生物多样性对话。推动全球气候与生物多样性治理融入全球发展倡议。在联合国《生物多样性公约》缔约方大会

第十五次会议（COP15）进程中，为“2020年后全球生物多样性框架”的实施做好准备，包括更新《国家生物多样性战略和行动计划》（NBSAP）。在 COP15 第二阶段会议中加强对气候变化协同治理的讨论；期待《联合国气候变化框架公约》第二十七次缔约方会议就生物多样性和应对气候变化的协同取得更大进展。在全球塑料污染治理条约正式出台前，鼓励塑料减量化、再利用、回收和替代，加强国际合作，启动试点项目。

国合会 2023 年建议，中国应继续保持战略定力，以绿色低碳为内生动力，统筹推进多目标协同的高质量发展。依据“昆蒙框架”目标，尽早更新《国家生物多样性战略和行动计划》的政策措施和路线图。作为主席国，继续与缔约方、观察员国以及其他利益相关方保持沟通，推动生物多样性保护相关行动倡议，在实现“30×30”目标等方面尽早采取行动，快速取得早期成果，提振“昆蒙框架”落实信心。呼吁并欢迎各缔约方出资支持昆明生物多样性基金，整合协同不同来源的国际融资，支持发展中国家生物多样性保护。

在南南合作框架下建立绿色项目开发平台。国合会 2021 年及 2022 年建议，结合“一带一路”应对气候变化南南合作计划、绿色丝路使者计划，进一步实施能力建设项目，向共建国家积极宣传绿色解决方案的优势，打造更紧密的绿色、可持续发展伙伴关系。帮助共建国家提升应对气候变化、实现包容性复苏的能力。

八、结语

目前，中国生态文明建设处于压力叠加、负重前行的关键期，国合会持续发挥推动中国环境与发展事业的高端智库作用，提出了诸多前瞻性、建设性建议，充分反映了中外委员对国内外形势的高超预判能力以及对环境与发展规律的洞悉。

过去一年，国合会在污染控制、清洁生产、生物多样性保护、能源与环境、低碳经济、生态补偿机制、绿色金融等领域提出的前瞻性建议得到中国政府的高度重视，对未来生态文明建设工作具有重要的参考借鉴意义。中国积极稳妥开展多边环境与气候交流，实现由全球环境治理参与者到引领者的重大转变，在绿色发展、应对全球气候变化、南南合作、国际环境公约履约与国际谈判等方面均有所进展。未来中国将持续以更加开放的姿态积极开展国际合作，为促进世界绿色繁荣发展贡献力量。

新时代生态文明建设的成就举世瞩目，过去一年来，中国环境质量持续改善，在世界上率先实现荒漠化土地和沙化土地面积“双减少”；绿色转型稳步推进，已建成全球规模最大的碳市场和清洁发电体系；生态文明“四梁八柱”性质的制度体系基本

形成。同时中国站在对人类文明负责的高度，积极共建清洁美丽世界。

2024年是新中国成立75周年，也是全面推进美丽中国建设的重要一年，展望未来，国合会在研究中将更加精准地把握中国内与国际环境与发展总体趋势与导向，聚焦研究成果的“创新性”“前瞻性”，针对国内外高度关注的环境治理创新、绿色治理体系、可持续生产与消费、低碳包容转型等议题提出具有创新性、引领性的政策建议。

参考文献

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见 [EB/OL]. (2024-01-11) [2024-07-01]. https://www.gov.cn/gongbao/2024/issue_11126/202401/content_6928805.html.
- [2] 中华人民共和国中央人民政府. 国家发展改革委 北京市人民政府关于印发《北京城市副中心建设国家绿色发展示范区实施方案》的通知 [EB/OL]. (2024-02-28) [2024-07-01]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202403/content_6939703.htm.
- [3] 中华人民共和国中央人民政府. 国家发展改革委等部门关于支持内蒙古绿色低碳高质量发展若干政策措施的通知 [EB/OL]. (2024-03-26) [2024-07-01]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202404/content_6943622.htm.
- [4] 国家发展改革委. 国家发展改革委关于印发《国家碳达峰试点建设方案》的通知 [EB/OL]. (2023-10-20) [2024-07-01]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202311/t20231106_1361804.html.
- [5] 中华人民共和国中央人民政府. 国家发展改革委办公厅关于印发首批碳达峰试点名单的通知 [EB/OL]. (2023-11-28) [2024-07-01]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202312/content_6918763.html.
- [6] 全国人大代表网. 为推进中国式现代化建设夯实法治基础 [EB/OL]. (2024-06-18) [2024-07-01]. https://www.gdpc.gov.cn/gdrdw/zixun/quanguorenda/content/post_198352.html.
- [7] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院办公厅关于印发《国务院 2024 年度立法工作计划》的通知 [EB/OL]. (2024-05-06) [2024-07-01]. https://www.gov.cn/zhengce/content/202405/content_6950093.htm.
- [8] 生态环境部. 生态环境规划编制技术导则 总纲 [EB/OL]. (2024-05-17) [2024-07-01]. <https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/stzl/202405/W020240517504537984552.pdf>.
- [9] 中国生态环境网. 以山为幕 以绿为笔——南京汤山矿坑公园生态修复 [EB/OL]. (2023-12-28) [2024-07-01]. https://www.eco.gov.cn/news_info/67911.html.
- [10] 生态环境部. 加强生态环境分区管控 全面推进美丽中国建设 [EB/OL]. (2024-03-24) [2024-07-01]. https://www.mee.gov.cn/zcwj/zcjd/202403/t20240324_1069077.shtml.
- [11] 生态环境部. 中共中央办公厅 国务院办公厅关于加强生态环境分区管控的意见 [EB/OL]. (2024-03-18) [2024-07-01]. https://www.mee.gov.cn/zcwj/zyygwj/202403/t20240318_1068588.shtml.
- [12] 重庆市奉节县人民政府. 重庆市奉节菜籽坝抽水蓄能电站正式开工建设 [EB/OL]. (2023-06-28) [2024-07-01]. http://www.cqfg.gov.cn/sy_168/qxdt/202306/t20230628_12100928.html.
- [13] 中华人民共和国中央人民政府. 生态环境分区管控，如何服务项目落地？ [EB/OL]. (2024-03-19) [2024-07-01]. https://www.gov.cn/zhengce/202403/content_6940267.htm.
- [14] 生态环境部. 国新办举行《碳排放权交易管理暂行条例》国务院政策例行吹风会 [EB/OL]. (2024-02-26) [2024-07-01]. https://www.mee.gov.cn/zcwj/zclcfh/202402/t20240226_1066968.shtml.
- [15] 生态环境部. 碳排放权交易管理暂行条例 [EB/OL]. (2024-02-05) [2024-07-01]. https://www.mee.gov.cn/zcwj/gwywj/202402/t20240205_1065850.shtml.

- [16] 中华人民共和国中央人民政府. 开启碳排放权交易的法治新局面 [EB/OL]. (2024-02-05) [2024-07-01]. https://www.gov.cn/zhengce/202402/content_6930484.htm.
- [17] 生态环境部. 生态环境部、市场监管总局联合发布《温室气体自愿减排交易管理办法（试行）》[EB/OL]. (2023-10-21) [2024-07-01]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/xdqhbh/wsqtz/202310/t20231021_1043700.shtml.
- [18] 中华人民共和国中央人民政府. 关于全国温室气体自愿减排交易市场有关工作事项安排的通告 [EB/OL]. (2023-10) [2024-07-01]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202310/content_6912025.htm.
- [19] 生态环境部. 关于做好 2023—2025 年部分重点行业企业温室气体排放报告与核查工作的通知 [EB/OL]. (2023-10-18) [2024-07-01]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202310/t20231018_1043427.html.
- [20] 生态环境部. 火电行业建设项目温室气体排放环境影响评价技术指南（试行）[EB/OL]. (2024-05-29) [2024-07-01]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202405/t20240529_1074379.html.
- [21] 中华人民共和国中央人民政府. 司法部、国家发展改革委负责人就《生态保护补偿条例》答记者问 [EB/OL]. (2024-04-12) [2024-07-01]. https://www.gov.cn/zhengce/202404/content_6944848.htm.
- [22] 生态环境部. 生态保护补偿条例 [EB/OL]. (2024-04-10) [2024-07-01]. https://www.mee.gov.cn/zcwj/gwywj/202404/t20240410_1070369.shtml.
- [23] 中华人民共和国国家发展与改革委员会. 全面开启生态补偿新篇章保驾护航生态文明新征程 [EB/OL]. (2024- 05-20) [2024-07-01]. https://www.gdpc.gov.cn/gdrdw/zixun/quanguorenda/content/post_198352.html.
- [24] 人民网. 《生态保护补偿条例》实施在即 推动有效市场和有为政府更好结合 [EB/OL]. (2024-05-25) [2024-07-01]. <http://finance.people.com.cn/n1/2024/0525/c1004-40243336.html>.
- [25] 中华人民共和国国家发展与改革委员会. 全面开启生态补偿新篇章保驾护航生态文明新征程 [EB/OL]. (2024- 05-20) [2024-07-01]. https://www.gdpc.gov.cn/gdrdw/zixun/quanguorenda/content/post_198352.html.
- [26] 生态环境部. 生态环境保护法规标准解读 [EB/OL]. (2023-05-02) [2024-07-01]. https://www.mee.gov.cn/home/ztbd/2022/sthjpf/fgbjd/202307/t20230711_1035898.shtml.
- [27] 生态环境部. 化学物质环境管理命名规范 [EB/OL]. (2024-03-21) [2024-07-01]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/gthw/qtxgbz/202403/t20240327_1069391.shtml.
- [28] 生态环境部. 《化学物质环境管理命名规范（征求意见稿）》编制说明 [EB/OL]. (2023-05) [2024-07-01]. <https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202305/W020230505325468802513.pdf>.
- [29] 百度百家号. 政策解读《EOD 项目实施导则》全文深度解析 [EB/OL]. (2024-01-04) [2024-07-01]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1787119520522865845>.
- [30] 中华人民共和国中央人民政府. 关于印发《生态环境导向的开发(EOD)项目实施导则(试行)》的通知 [EB/OL]. (2023-12-22) [2024-07-01]. <https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202401/con>

tent_6923890.htm.

- [31] 搜狐. EOD 项目究竟是什么? 怎样开展项目? 开发模式、申报流程、案例汇编 [EB/OL]. (2024-06-20) [2024-07-01]. https://www.sohu.com/a/787259395_121357745.
- [32] IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [EB/OL]. (2023-06-29) [2024-07-11]. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-7/>.
- [33] 生态环境部. 关于加强合作应对气候危机的阳光之乡声明 [EB/OL]. (2023-11-15) [2024-07-10]. https://www.mee.gov.cn/ywdt/hjywnews/202311/t20231115_1056452.shtml.
- [34] 中国政府网. 生态环境部等 11 部门关于印发《甲烷排放控制行动方案》的通知 [EB/OL]. (2023-11-07) [2024-07-10]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202311/content_6914109.htm.
- [35] 中国政府网. 国务院关于印发《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》的通知 [EB/OL]. (2024-03-13) [2024-07-10]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202403/content_6939233.htm.
- [36] 中国政府网. 国务院关于印发《2024—2025 年节能降碳行动方案》的通知 [EB/OL]. (2024-05-29) [2024-07-10]. https://www.gov.cn/zhengce/content/202405/content_6954322.htm.
- [37] 国家发展改革委. 国家发展改革委负责同志就《2024—2025 年节能降碳行动方案》答记者问 [EB/OL]. (2024-05-30) [2024-07-10]. https://www.gov.cn/zhengce/202405/content_6954583.htm.
- [38] 中国政府网. 国家发展改革委等部门关于加快建立产品碳足迹管理体系的意见 [EB/OL]. (2024-11-13) [2024-07-10]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202311/content_6917087.htm.
- [39] 中国政府网. 《国家认监委关于明确直接涉碳类认证规则备案要求的通知》 [EB/OL]. (2024-04-02) [2024-07-10]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202404/content_6944116.htm.
- [40] 生态环境部. 关于印发《关于建立碳足迹管理体系的实施方案》的通知 [EB/OL]. (2024-06-04) [2024-07-10]. https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk/xxgk03/202406/t20240604_1074986.html.
- [41] 科技部. 科技部关于发布国家绿色低碳先进技术成果目录的公告 [EB/OL]. (2023-09-12) [2024-07-10]. https://www.most.gov.cn/tztg/202309/t20230912_187832.html.
- [42] 生态环境部. 关于印发《国家重点低碳技术征集推广实施方案》的通知 [EB/OL]. (2024-02-18) [2024-07-10]. https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk/xxgk05/202402/t20240222_1066647.html.
- [43] 中国政府网. 国家发展改革委办公厅关于印发《绿色低碳先进技术示范项目清单 (第一批)》的通知 [EB/OL]. (2024-03-30) [2024-07-10]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202404/content_6945545.htm.
- [44] 生态环境部. 关于印发《中国适应气候变化进展报告 (2023)》的函 [EB/OL]. (2024-06-07) [2024-07-10]. https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk/xxgk06/202406/t20240607_1075247.html.
- [45] 中华人民共和国中央人民政府. 中国人民银行 国家发展改革委 工业和信息化部 财政部 生态环境部 金融监管总局 中国证监会关于进一步强化金融支持绿色低碳发展的指导意见 [EB/OL]. (2024-03-27) [2024-03-27]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202404/content_6944452.htm.

- [46] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院办公厅关于加快构建废弃物循环利用体系的意见 [EB/OL]. (2024-02-06) [2024-02-09]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202402/content_6931080.htm.
- [47] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于印发《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》的通知 [EB/OL]. (2024-03-07) [2024-03-13]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202403/content_6939233.htm.
- [48] 中华人民共和国中央人民政府. 工业和信息化部办公厅 住房和城乡建设部办公厅 农业农村部办公厅 商务部办公厅 国家市场监督管理总局办公厅 国家广播电视总局办公厅关于全面开展绿色建材下乡活动的通知 [EB/OL]. (2024-04-17) [2024-04-17]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202404/content_6947673.htm.
- [49] 中华人民共和国生态环境部. 关于印发《国家生态环境监测标准预研究工作细则（试行）》的通知 [EB/OL]. (2023-10-13) [2023-10-13]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202310/content_6910522.htm.
- [50] 生态环境部土壤生态环境司负责人就《地下水污染防治重点区划定技术指南（试行）》有关问题答记者问 [EB/OL]. (2023-10-16). https://www.mee.gov.cn/ywdt/zbft/202310/t20231016_1043246.shtml.
- [51] 中华人民共和国中央人民政府. 习近平在第三届“一带一路”国际合作高峰论坛开幕式上的主旨演讲（中英全文） [EB/OL]. (2023-10-18) [2024-07-08]. https://kw.mofcom.gov.cn/ywkw/art/2023/art_d1916f4361654270bd49e6a2e64d5fd5.html.
- [52] 中华人民共和国中央人民政府. 习近平会见美国加利福尼亚州州长纽森 [EB/OL]. (2023-10-25) [2024-07-08]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202310/content_6911812.htm.
- [53] 新华社. 中美发布关于加强合作应对气候危机的阳光之乡声明 [EB/OL]. (2023-11-15) [2024-07-08]. http://www.xinhuanet.com/2023-11/15/c_1129976165.htm.
- [54] 中华人民共和国中央人民政府. 丁薛祥在联合国气候变化迪拜大会世界气候行动峰会上的发言（全文） [EB/OL]. (2023-12-02) [2024-07-08]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202312/content_6918159.htm.
- [55] 中华人民共和国中央人民政府. 丁薛祥在“77 国集团和中国”气候变化领导人峰会上的致辞（全文） [EB/OL]. (2023-12-03) [2024-07-08]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202312/content_6918226.htm.
- [56] 生态环境部. COP15 主席、生态环境部部长黄润秋在第六届联合国环境大会期间积极推动“昆明－蒙特利尔 全球生物多样性框架”落实 [EB/OL]. (2024-03-02) [2024-07-08]. https://www.mee.gov.cn/ywdt/hjywnews/202403/t20240302_1067451.shtml.
- [57] 中国网. 签署《海洋生物多样性协定》，为全球海洋治理贡献中国智慧 [EB/OL]. (2023-09-27) [2024-07-08]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1778152968371139437&wfr=spider&for=pc>.
- [58] 环球时报. 中国宣布牵头发起“昆蒙框架”实施倡议 [EB/OL]. (2023-12-11) [2024-07-08]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=178494777679531472&wfr=spider&for=pc>.
- [59] 生态环境部. 生态环境部发布《中国生物多样性保护战略与行动计划（2023—2030 年）》. [EB/OL]. (2024-01-18) [2024-07-08].

- [60] 生态环境部. 生态环境部部长黄润秋出席第六届联合国环境大会 [EB/OL]. (2024-03-01) [2024-07-08]. https://www.mee.gov.cn/ywdt/hjywnews/202403/t20240301_1067432.shtml.
- [61] 中国塑协塑编专委会. 塑料国际文书政府间谈判委员会第四次会议结束 [EB/OL]. (2024-05-14)[2024-07-08]. https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzUzMjg0NzIyMg==&mid=2247501597&idx=1&sn=339c677f4709d55043ebf280855b0665&chksm=fba1ce3369723d068181674b524e058417ae36ca8c7e48b20e046560c4f92492889b2f1b61af&scene=27.
- [62] 生态环境部. 《中欧环境与气候合作：进展与展望》智库报告发布 [EB/OL]. (2024-05-04) [2024-07-08]. https://www.mee.gov.cn/ywdt/hjywnews/202405/t20240507_1072386.shtml.
- [63] 中国政府网. 丁薛祥出席昆明生物多样性基金合作协议签字仪式并致辞 [EB/OL]. (2024-05-28) [2024-07-08]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202405/content_6954095.htm.
- [64] 中华人民共和国生态环境部：中哈环保合作委员会第十次会议召开 [EB/OL]. (2023-11-22) [2024-07-09]. https://www.mee.gov.cn/ywdt/hjywnews/202311/t20231122_1057011.shtml.
- [65] 中华人民共和国生态环境部：第十一届应对气候变化南南合作高级别论坛在 COP28 “中国角” 成功举办 [EB/ OL]. (2023-12-09) [2024-07-09]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/ymqhbh/qhbhlf/202312/t20231209_1058594.shtml.

第十八章 2023—2024 年 专题政策研究性别主流化报告¹

自 2018 年以来，性别主流化一直是中国环境与发展国际合作委员会（国合会）主席团的重要承诺。为支持在专题政策研究中纳入性别考量，每个专题政策研究团队在研究过程启动时及草拟过程中的多个环节都会获得性别主流化的指导。这些指导旨在为性别平等相关的研究提供可能的方向，并在每个研究主题中突出公平和多样性视角的潜在切入点。

除提供针对性的指导外，国合会在 2022 年更新了《性别平等与环境可持续性工具包》。该工具包为专题政团队提供了实用工具，确保在工作过程中充分考虑性别平等、多样性和包容性，以提高政策和项目的有效性和效率，增强和促进可持续性，并在可持续发展背景下保障所有人的人权。

近年来，《2030 年可持续发展议程》的实施进程受到气候变化、污染和生物多样性丧失等“全球三重危机”前所未有的影响。越来越多的人认识到，这些问题是相互关联的，每一个问题都在相互叠加，并对更广泛的可持续发展目标（SDGs）造成影响。鉴于其跨领域的性质，性别平等必须在任何变革性的环境和气候行动中保持优先地位。2023 年 3 月，联合国人权与环境问题特别报告员在题为《妇女、女童和享有清洁、健康和可持续环境的权利》的附录文件中强调了这一点，并指出“女性和女孩在全球三重危机中持续承受了沉重的负担，同时在大多数环境和气候决策过程中被排除在外”。他强调，“在性别平等、环境行动和气候行动交汇处立即采取性别转型行动，是解决这一三重危机的前提”。值得注意的是，在 2023 年 11 月的第 26 届联合国气候变化大会上，通过了《格拉斯哥气候公约》，取得了重要进展。该协议呼吁各方遵守人权义务，促进性别平等，赋予女性权力，确保她们在气候行动中具有实质性和平等的参与权利，以及青年、土著人民和地方社区的参与。

¹ 本章内容摘编自 2023—2024 年国合会“性别主流化”专题政策研究项目主要研究成果。

国合会在 2023—2024 年进行了九项专题政策研究，聚焦四个关键主题：“全球环境治理创新”“国家绿色治理体系”“可持续生产、消费”“低碳包容转型”。这些研究包含了若干与性别平等相关的关键性建议，为进一步研究提供了重要切入点，特别是如何将这些建议转化为实践，以取得切实的成果。

1. 全球环境治理创新

气候：制定政策，为女性提供再培训、技能提升和社会保障保护。针对性地鼓励女性参与和她们的技能发展，以便其应用于新兴绿色技术和新能源领域，包括通过区域和国际技术合作及培训项目，同时考虑跨境投资中气候项目的社会 and 性别影响。

海洋：提供技术培训，创造包容性学习空间，以增强女性在各类水产养殖领域的参与。促进女性在海洋水产养殖的产业转型中参与，以创造更公平和可持续的成果。

生物多样性：改善环境保护区有效性的评估系统，包括涉及社会公平、性别公平和人权的问题。

2. 国家绿色治理体系

共同管理：在制定减排政策和设计机制时，充分考虑性别主流化。包括鼓励女性参与减排政策的制定和实施，以及通过强调女性角色和针对性技能发展与培训，解决就业中的性别歧视。

适应：关注气候适应中的社会公平和性别问题（包括评估、政策和项目），加速增强欠发达地区和脆弱群体的气候适应能力。

3. 可持续生产、消费

数字化：利用信息通信技术（ICT），增加多方利益相关者在确保服务提供的性别响应性和包容性方面的参与；在智慧城市发展中纳入更广泛的代表社会和环境利益的机构；将农村地区纳入智慧城市的覆盖范围，以确保城乡不平等不被加剧。

金融：促进女性在绿色技术领域的教育、培训、就业和创业机会，消除妨碍她们参与的障碍，并积极将她们的观点纳入绿色技术的设计和实施的。

4. 低碳包容转型

贸易：承认劳动力中更高水平的性别平等可以使国家利用可持续贸易和供应链所带来的经济与环境机遇。

南南合作：承认南南合作在推进性别平等方面可以产生巨大影响。

国合会 2023—2024 年度专题政策研究项目包含以下几个最佳实践，这些实践应继续纳入专题政策研究课题的研究和开发中。

在规划过程早期进行初步性别分析。尽早进行初步性别分析，可以帮助识别与研

究主题最相关的性别平等问题，并利用已有的充分研究。这将为现有专题政策研究团队成员或外部专家适当配置研究和撰写该部分的资源提供基础；然后，负责该部分的研究人员可以进行更深入的性别分析。

在专题政策研究中包含一个性别重点章节。在专题政策研究中包含一个以性别为重点的章节可以提升与性别平等相关考量的可见性，并提供足够的背景信息，以提升对性别平等与研究主题相关性的认识。之前的专家政策研究已经通过性别重点章节或部分，以文本框的形式呈现这些内容。

在专题政策研究中贯穿整合性别考量。除在专题政策研究中设立以性别为重点的章节外，在相关内容中整合性别考量也是可采取的。在文本中整合性别问题可以建立在性别重点章节所提供的背景之上，或者可以独立于该背景存在。大多数研究主题有性别维度，因此在整个过程中整合性别考量通常是相关的。

包括多元化的利益相关人群参与其中。当讨论利益相关者的参与时，促进女性和多样化人群的有意义参与是一种良好实践，特别是那些因交叉身份而被边缘化的群体。这种参与在政策制定、决策及咨询过程中都至关重要。

附 录

第七届中国环境与发展国际合作委员会组成人员名单 (截至 2025 年 9 月)

中方委员

1. 丁薛祥	国务院副总理	主 席
2. 黄润秋	生态环境部部长	执行副主席
3. 解振华	中国气候变化事务特使	副主席
4. 周生贤	原环境保护部部长	副主席
5. 郭 芳	生态环境部副部长	秘书长
6. 刘世锦	国务院发展研究中心原副主任	首席顾问
7. 马朝旭	外交部党委委员、副部长（分管外交日常业务工作，正部长级）	
8. 王受文	原商务部党组副书记、国际贸易谈判代表（正部长级）兼副部长	
9. 严鹏程	中央财经委员会办公室副主任	
10. 赵辰昕	原国家发展和改革委员会党组成员、副主任	
11. 廖 岷	财政部党组成员、副部长	
12. 孙书贤	自然资源部党组成员、副部长，国家海洋局局长	
13. 李 扬	交通运输部党组成员、副部长	
14. 张兴旺	农业农村部党组成员、副部长	
15. 肖炎舜	国务院研究室党组成员、副主任	
16. 谢远生	工业和信息化部副部长	
17. 赵英民	十四届全国政协委员、“一带一路”绿色发展国际联盟理事长、生态环境部原副部长	
18. 任 勇	生态环境部总工程师、行政体制与人事司司长	
19. 窦树华	第十三届全国人大环境与资源保护委员会副主任委员	
20. 张亚平	中国科学院原副院长，中国科学院院士	

- 21. 蔡 昉 中国人民银行货币政策委员会委员，中国社会科学院国家高端智库首席、学部委员
- 22. 张宇燕 中国社会科学院大学国际政治经济学院院长
- 23. 张祖强 中国气象局党组成员、副局长
- 24. 邓秀新 中国工程院副院长、院士，中国科学技术协会副主席
- 25. 仇保兴 国际欧亚科学院院士、住房和城乡建设部原副部长
- 26. 罗 晖（女） 中国科协党组成员兼中国科协国际合作部（港澳台办公室）部长（主任）
- 27. 薛 澜 清华大学苏世民书院院长、清华大学全球可持续发展研究院联席院长、清华大学文科资深教授
- 28. 贺克斌 清华大学碳中和研究院院长，清华大学环境学院教授，中国工程院院士
- 29. 张远航 北京大学信息与工程科学部副主任，中国工程院院士
- 30. 戴民汉 厦门大学讲席教授、中国科学院院士
- 31. 方精云 北京大学城市与环境学院教授、云南大学校长，中国科学院院士
- 32. 王金南 中国工程院院士，全国政协人口资源环境委员会副主任
- 33. 张小曳 西北大学榆林碳中和学院院长，中国工程院院士
- 34. 王 毅 全国人民代表大会常务委员会委员、环境与资源保护委员会委员，国家气候变化专家委员会副主任，中国科学院大学公管学院教授
- 35. 王天义 香港科技大学（广州）教授
- 36. 杨敏德（女） 溢达集团董事长

外方委员

- 1. 吉尔博 加拿大环境与气候变化部部长，加拿大环境与气候变化部原部长 执行副主席
- 2. 施泰纳 联合国开发计划署署长 副主席
- 3. 安德森（女） 联合国环境规划署执行主任、联合国副秘书长 副主席
- 4. 哈尔沃森（女） 挪威奥斯陆国际气候与环境研究中心主任，挪威前副首相、财政和教育大臣 副主席
- 5. 魏仲加 国际可持续发展研究院高级研究员 首席顾问
- 6. 潘安杰 亚洲基础设施投资银行副行长
- 7. 阿吉拉（女） 世界自然保护联盟总干事
- 8. 昂奎斯特 瑞典化学品管理局局长
- 9. 贝德凯 世界可持续发展工商理事会会长兼首席执行官
- 10. 巴布纳 自然资源保护协会总裁兼首席执行官

11. 布伦德 世界经济论坛总裁
12. 布 朗 加州 - 中国气候研究院主席
13. 卡梅拉 国际可再生能源署总干事
14. 克里斯滕森 欧盟能源与住房事务专员高级顾问、前丹麦气候大使
15. 达礼斯 柬埔寨土地管理、城市规划和建设部国务秘书
16. 达斯古普塔 世界资源研究所总裁兼首席执行官
17. 德尔贝克 欧洲投资银行气候政策和国际碳市场首任主席
18. 埃斯皮诺萨（女） 1.5 度机构（onepoint5）首席执行官、创始合伙人，《联合国气候变化框架公约》前执行秘书
19. 富 勒（女） 国际可持续发展研究院总裁兼首席执行官
20. 庄鹤扬 荷兰基础设施与水管理部秘书长
21. 韩佩东（女） 儿童投资基金会（英国）首席执行官
22. 汉 森 国际可持续发展研究院高级顾问、原院长
23. 何 豪 能源创新政策与技术中心创始人
24. 哈里森 美国环保协会全球执行副总裁
25. 汉 兹 洛克菲勒兄弟基金会总裁兼首席执行官
26. 石井菜穗子（女） 东京大学理事、未来愿景研究中心教授、全球公共中心主任、全球环境基金原首席执行官兼主席
27. 兰博蒂尼 自然向好倡议召集人
28. 罗家良 新加坡永续发展与环境部常任秘书
29. 麦克尔罗伊 哈佛大学环境科学教授
30. 梅森纳 德国联邦环保署署长
31. 南川秀树 日本环境卫生中心理事长、环境省原事务次官
32. 莫睿思（女） 大自然保护协会首席执行官
33. 莫里斯 亚洲开发银行副行长
34. 穆 勒 联合国工发组织总干事
35. 奥伯尔 世界资源论坛主席、国际资源委员会主席
36. 潘安杰 亚洲基础设施投资银行副行长
37. 潘 兴 威廉和弗洛拉·休利特基金会的环境项目主任
38. 罗德里格斯 全球环境基金首席执行官
39. 克思婷（女） 世界自然基金会总干事
40. 索尔海姆 世界资源研究所高级顾问
41. 斯蒂尔 伦敦政治经济学院全球可持续发展学院教授，贝索斯地球基金前总裁兼首席执行官

- 42. 陈江和 新加坡金鹰集团主席
- 43. 克拉克（女） 克莱恩斯欧洲环保协会首席执行官
- 44. 托 尼（女） 巴西环境与气候部气候秘书长
- 45. 沙巴拉拉（女） 南非林业、渔业和环境部秘书长
- 46. 图比娅娜（女） 欧洲气候基金会首席执行官
- 47. 廷德尔（女） 经济合作与发展组织环境总司司长
- 48. 吴思缙（女） 红杉气候基金会总裁
- 49. 范登贝格 欧盟委员会气候行动总司长（副部级）
- 50. 伏格乐 世界银行副行长
- 51. 温 特 挪威北极大学副校长、挪威极地研究所科研主任
- 52. 张红军 霍兰德奈特律师事务所合伙人，能源基金会董事会主席

第七届国合会特邀顾问名单（截至 2025 年 6 月）

中方特邀顾问

- 1. 吉拥军 中国人民对外友好协会亚非工作部主任、中国非洲人民友好协会秘书长
- 2. 张 勇 中远海运集团副总经理
- 3. 陈文玲（女） 中国国际经济交流中心总经济师
- 4. 张燕生 中国国际经济交流中心首席研究员
- 5. 李海生 中国环境科学研究院首席科学家；中国环境科学研究院原院长、党委书记
- 6. 郭 敬 生态环境部国际合作司原司长
- 7. 王 信 中国人民银行研究局（参事室）局长（主任），G20 可持续金融工作组联合主席
- 8. 周 恒 中国气象局国际司原司长、一级巡视员
- 9. 叶燕斐 国家金融总局政策研究局一级巡视员
- 10. 胡保林 原国务院三峡工程建设委员会办公室副主任（副部长级）
- 11. 翟盘茂 中国气象科学研究院首席科学家、研究员、博士生导师，政府间气候变化专门委员会第一工作组联合主席，国家气候变化专家委员会委员
- 12. 张永生 中国社会科学院生态文明研究所所长、研究员
- 13. 马 骏 中国金融学会绿色金融专业委员会主任、北京绿色金融与可持续发展研究院院长

- 14. 李晓江 中国城市规划设计研究院原院长、全国工程勘察设计大师、中央京津冀协同发展专家咨询委员会专家、第四届中国城市规划协会副会长
- 15. 于 平 中国国际贸易促进会原副会长
- 16. 翟 齐 中国可持续发展工商理事会副秘书长
- 17. 唐 杰 香港中文大学（深圳）理事，深圳市原副市长
- 18. 胡 清（女） 南方科技大学环境科学与工程学院教授、工程技术创新中心（北京）主任
- 19. 徐 林 中美绿色基金董事长、长三角生态绿色一体化发展示范区理事会理事、国家发展改革委原规划司司长
- 20. 李振国 隆基股份公司创始人、总裁
- 21. 王玉锁 新奥集团创始人、董事局主席

外方特邀顾问

- 1. 阿基扎诺夫 亚洲开发银行中亚区域经济合作学院副院长
- 2. 拜姆森 澳大利亚国立大学全球治理与监管学院名誉教授、全球水伙伴原主席、原联合国绿色气候基金执行主任
- 3. 龙 迪 克莱恩斯欧洲环保协会亚洲区主任、北京代表处首席代表
- 4. 卡斯缔尔加 全球粮食未来联盟高级顾问
- 5. 科 恩（女） 以色列国家安全研究所气候变化与国家安全项目主任
- 6. 库 柏 牛津大学访问学者、《生物多样性公约》秘书处原代理执行秘书
- 7. 爱德华兹（女） 加拿大环境与气候变化部双边事务和贸易司代理司长
- 8. 凯 文 波士顿大学全球发展政策中心主任
- 9. 格伦斯塔德 挪威水研究所资深政策顾问
- 10. 郭慎宇（女） 洛克菲勒兄弟基金会中国项目主任、北京代表处首席代表
- 11. 康提思 F20 基金会平台可持续发展目标特邀顾问
- 12. 哈 雷 国际可持续发展研究院前欧洲代表兼投资与贸易主管
- 13. 希尔特（女） 德国联邦环境、自然保护、核安全与消费者保护部国际政策司副司长
- 14. 李永怡（女） 英国皇家国际事务研究所国际经济金融研究主任
- 15. 雷红鹏 儿童投资基金会全球气候项目主任
- 16. 刘 健 联合国环境规划署预警和评估司司长
- 17. 卢思骋 红杉气候基金会中国及东南亚项目总监
- 18. 玛梅多夫 中亚区域环境中心执行主任
- 19. 莫马斯 荷兰环境评估委员会主席

- 20. 梁锦慧（女） 世界经济论坛执行董事、自然与气候中心全球总负责人
- 21. 尼科尔斯（女） 加州 - 中国气候研究院副主席
- 22. 奥 云（女） 绿色气候基金对外合作局主任
- 23. 斯图尔特（女） 加拿大气候变化大使
- 24. 蒂艾宁 芬兰环境部行政及国际事务司司长
- 25. 邹 骥 能源基金会首席执行官兼中国区总裁
- 26. 孟 菲（女） 能源创新中心中国项目高级主任
- 27. 张晓华 气候工作基金会（美国）北京代表处首席代表