



中国环境与发展国际合作委员会
China Council for International Cooperation
on Environment and Development

绿色创新

2023年关注问题报告



【编写说明】

中国环境与发展国际合作委员会（简称国合会）成立于1992年，是经中国政府批准成立的国际性高层政策咨询机构。伴随中国经济和社会的快速发展，国合会见证并参与了中国发展理念和发展方式的历史性变迁，在中国可持续发展进程中发挥了独特而重要的作用。国合会打开了一扇大门，把国际可持续发展先进理念带入中国；国合会架设了一座桥梁，促进中国与国际社会在环境与发展领域的交流与互鉴；国合会提供了一个平台，通过中外坦诚对话，促进世界了解中国，推动中国走向世界。

根据国合会政策研究机制，自2002年起，国合会首席顾问编写年度《关注问题报告》，聚焦当年中国和世界环境与发展重点问题，为国合会政策建议提供设计框架，为委员讨论形成国合会给中国政府的年度政策建议提供参考。

2023年关注问题报告是国合会第22份关注问题报告，以“绿色创新”为题，关注在全球经济亟待复苏的背景下，如何从市场和协同角度赋能绿色创新，推动高质量发展。本报告由首席顾问魏仲加和刘世锦先生牵头编制，外方首席顾问支持专家组和中方团队¹提供支持。

一、背景

全球经济继续面临波动、通货膨胀和地缘经济分裂的挑战，经济增长率、失业率、贸易和外国直接投资均受影响。2023年6月世界银行《全球经济展望》报告警告，未来经济前景堪忧，特别是对许多新兴和发展中国家而言。世界贸易组织（WTO）的贸易统计数据显示，2022年出口管制的使用在增加，中间商品²贸易下降。受到疫情限制、房地产行业不确定性、出口需求疲软等因素的影响，中国的经济复苏速度也低于预期。

与此同时，气候变化相关的极端天气事件造成的损失与日俱增。2023年，世界平均气温达到有记录以来的最高值。中国多个地区经历了创纪录热浪和严重洪涝灾害。加拿大的野火席卷了北美大片地区，使数百万人长期暴露于空气污染，并造成数十亿美元的经济损失。世界气象组织（WMO）发布的《2022年全球气候状况》报告预测，未来几年内，由温室气体和厄尔尼诺共同造成的极端天气事件将进一步恶化，影响粮食安全，受灾人群达数百万人。

多边环境承诺：尽管地缘政治碎片化整体加剧，但国际环境合作领域仍有一些重要突破。2022年12月，联合国《生物多样性公约》第十五次缔约方大会成功通过了《昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架（GBF）》，超出了大多数人的预期。各国承诺遏制并扭转生物多样性丧失，实现“30x30”的自然保

护目标，并调动更多新的财力资源。2023年6月，全球环境基金（GEF）设立新的全球生物多样性框架信托基金，这是落实“昆明框架”的重要一步。其他重要进展包括2023年3月达成的《〈联合国海洋法公约〉下关于养护和可持续利用国家管辖外海域海洋生物多样性的协定》，以及正在进行的全球塑料条约谈判。

碳排放控制制度：2023年7月，习近平总书记明确要从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。实现向碳排放控制制度全面转型的重点要素包括：激励机制、碳市场和绿色金融。这些要素与碳排放相关的法规和标准协同发挥作用，同时促进供给端的低碳技术和需求端的使用效率提升。有些国家和地区通过了气候变化相关法案，为相应的监管提供支撑，也有助于提升宣传和执法效果。此外，国家及省级碳预算和实时温室气体排放报告也是碳排放控制体系的支撑制度，用以评估双碳目标的落实进程。

从权衡取舍到腾飞：中国可再生能源的装机规模超过了规划目标。据估计，2023年中国太阳能和风能新增装机容量将超过150千兆瓦。可再生能源的增长快于预期，进一步表明能源安全或低碳能源与经济发展之间的原有权衡取舍关系已不再适用³。

² 是用于生产最终产品的商品，主要包括农作物、纺织品和金属等，是供应链活动一个重要指标。

³ 中国是可再生能源突破的主要推动者。根据国家能源局统计，2022年太阳能发电装机容量同比增长28.1%，达到3.9亿千瓦；风电装机容量同比增长11.2%，达到3.7亿千瓦。随着2023年计划新增160吉瓦装机容量，太阳能和风能的装机容量达到中国水电装机总量（2022年为4.1亿千瓦）的两倍以上。根据彭博社近期估计，按当前趋势，中国的可再生能源新增装机容量将在2024年超过2亿千瓦。

¹ 外方首席顾问支持专家组主要成员包括艾弗森先生和龙迪先生。中方团队包括张慧勇、穆泉等。

高质量绿色发展的新范式蒸蒸日上，创造了数百万个新就业岗位，扩大了市场规模。国际可再生能源机构（IRENA）的报告显示，2022 年光伏发电、陆上风力发电和海上风力涡轮机的投资达 5000 亿美元，电动车销量持续增长。世界经济论坛的最新贸易与气候情景分析预估，到 2030 年，全球 15% 的商品贸易将由低碳商品组成。

绿色创新：高质量绿色发展的核心是创新。没有两种完全相同的创新模式，创新的蓝图也没有标准路径。然而，绿色低碳技术与数字化之间的协同已日渐成为绿色创新的一个重要组成部分。伦敦政治经济学院的尼古拉斯·斯特恩（Nicholas Stern）教授和朱民教授最近对中国的气候政策进行了回顾，强调需要一个全面的创新体系来落实双碳目标。国会中方首席顾问刘世锦最近在“2023 中国发展论坛”上指出了低碳技术、数字化和市场化创新之间的动态关系。

数字化和气候存在多层面的关联。作为重要的能源用户，腾讯和微软等领先企业

所运营的数据中心正在雄心勃勃地实施零排放和负碳排放目标，包括使用绿色电力（如可行范围的大规模绿色电力采购协议）、投资新的太阳能和风能装机、提高能效以及采用直接空气捕集（DAC）技术⁴。数据中心和数字基础设施也增强了抵御极端天气事件（如洪水）的能力。

需要指出的是，最重要的协同是数字化应用于多领域的最低成本减排路径的识别，包括新兴的智能、低碳和韧性城市，以及难以减排的工业领域。平台协同方面，C40 的智慧城市项目可以分享低碳路径的案例研究。新兴的数字技术和工业互联网平台相结合，可以为减排困难的钢铁等重工业制造过程提供低碳工程解决方案。数字化、脱碳和可持续发展成果关联的应用案例包括：寻找新的方式向在线消费者提供可持续的时尚选择；基于数字模块优化棕榈油和大豆等软商品价值链的可追溯性系统；提供精确、实时的环境与气候监测。

二、以市场释放创新潜能

私营部门是将实验室发明转化为市场新产品的有效推动者。政府则在激励发明和创新方面发挥着至关重要的作用，同时还是采购的先行者。新一轮的绿色产业政策，包括对大规模电池储能系统等绿色技术的规模化补贴，可降低投资公司和消费者群体的脱碳成本。

碳市场是绿色发展创新的组成部分和重要工具。根据世界银行统计，包括中国的全国碳市场在内，全球共有 70 多个国家和地区建立了碳市场。经济合作与发展组织（OECD）分析显示，由于煤炭对与碳价相关的交叉价格供应弹性的反应最为灵敏，碳市场对电力市场的脱碳化尤为有效。

能源政策和气候政策协调的一个重要方面是在碳市场的预期定价效应与更广泛的电力市场改革之间找到协同。中国正在推动建立全国统一的电力市场，以提高电力公司在不同辖区间的相互联通能力，并改善可再生能源的资源整合。在国家发展和改革委员会的领导下，第一轮改革将于 2025 年完成。

中国的全国碳排放交易体系（ETS）有望成为释放市场活力和提高资源配置效率的关键催化剂，从而通过鼓励创新，实现双碳目标。然而，在当前电力市场改革的大背景下，还需考虑四个方面的设计调整，以充分释放碳市场潜力。

首先，将碳排放交易体系的覆盖范围从目前的电力行业扩大到钢铁、水泥、铝、化工等其他行业，不同行业的边际减排成本不同，这将促进资源在不同行业间的有效配置。

第二，从基于排放强度的体系转向碳排放总量体系，发出明确信号，表明碳信用额供应的稀缺性。第三，基于产出的定价体系或基于绩效的体系是一个特别有效的市场化工具，适用于钢铁、水泥、铝等大型、能源密集、国际贸易竞争激烈的固定排放源行业。该体系将基于行业的排放因子平均值与相应的碳定价挂钩。虽然不同市场的碳价格有所差异，但国际货币基金组织（IMF）建议的 2030 年 75 美元 / 吨的碳价可为中国碳定价提供基准参考。第四，要明确碳排放交易体系的角色和责任，包括高质量温室气体数据系统的支持作用，通过培训与教育促进履约和执法。

系统全局性路径：如前所述，中国在可再生能源领域居世界领先地位。仅在 2023 年，中国新增的太阳能和风能装机容量就可能超过欧盟或美国的全部可再生能源产能。据估计，2024 年中国新增可再生能源装机容量将达到 2 亿千瓦。与此同时，自 2021 年以来，化石燃料发电的新装机容量也有所增加。虽然许多老旧低效的煤电厂已经退役，但近期新核准煤电项目增加后，中国的燃煤发电量预计将增长 10%，相当于 100 座新电厂的发电总量。

鉴于可再生能源的扩张速度领先于规划速度，加上即将到来的电力市场改革，有必要对最近核准的煤电项目进行再评估。同时，可再生能源的新增量可弥补水电发电量不足。

灵活的电网创新：创建现代化、综合性和绿色的电力系统面临的一个关键的挑战是

⁴直接空气捕获（DAC）技术直接从大气中提取二氧化碳，用于二氧化碳储存或利用。

确保发电系统的所有部分都具有创新功能。国合会 2023 年研究和国际能源署 (IEA) 中国 2022 年报告的结论均强调综合系统的重要性, 后者还推荐采用灵活的电力系统。将可再生能源与更灵活的需求侧模式相结合的创新案例不胜枚举, 可再生能源生产端的创新正与能源输送以及定价模式的创新相匹配, 例如按需付费、即插即用等。

中国的县域屋顶太阳能计划允许灵活的所有权和租赁安排, 以扩大住宅和商业建筑中的屋顶太阳能电池板规模。分析认为, 这种做法具有两方面的灵活性: 将太阳能电池板出售给业主, 业主再将剩余电量卖给项目开发商; 或者开发商保留太阳能电池板的所有权, 以折扣价向业主提供电力。迄今为止, 该计划已在全国 600 多个县实施。

输电网系统是连接清洁可再生能源生产和消费之间的关键环节。中国正继续对超高压输电线路 (UHV) 新增重大投资, 据报道, 2022 年下半年投资额达 1500 亿元人民币 (220 亿美元)。新的电网模式方兴未艾, 包括智能电网、电池储能银行、分布式发电、嵌入式传感器、数字化和人工智能功能、柔性交流输电系统 (FACTS) 的应用研究和其他功能。总体而言, 更具创新性的输电系统已被塑造为电网技术“从机电到电子, 从刚性物理到可编程电网模型”大规模转型的潮头。

新一代电网模式层出不穷。加州能源委员会计划到 2045 年前安装 49 吉瓦的电池储能容量, 作为实现碳中和目标的重要组成部分⁵。在德国, 面对输电线路老旧问题, 他们没有采取全面替换的方法, 而是通过安装传感器、提升数字能力来升级老旧线路, 实现连续监测, 可在气温较低时将输电效率提高三分之一。

大多数电网运营商实际上都是国家垄断企业: 基础设施及其运营成本高, 公共规划往往需要复杂的公共审查和批准流程, 可靠性需要与所有社区的可达性和可负担性相匹配。尽管如此, 中国可考虑将电网运营置于更具竞争性的市场环境中。这方面的国际案例包括在加拿大 (安大略省和阿尔伯塔省) 运营的省级电网实体、英国天然气和电力市场办公室、德克萨斯州指定的竞争性可再生能源区 (Competitive Renewable Energy Zones)⁶。

中国电网向市场开放的第一步是要为家庭和企业购买绿色电力提供更多选择。例如, 加利福尼亚州的可再生能源拍卖机制和英国的差价合约计划下的拍卖系统, 可促进可再生能源的投资。随着越来越多的公司设立净零目标, 由亚马逊、微软、谷歌和沃尔玛牵头的大型绿色购电协议在 2022 年已超过 36 吉瓦。

监管与市场的协同: 虽然碳市场是实现双碳目标的重要工具, 但要在监管和强制性标准的前提下, 碳市场才能发挥最大作用。数十年来, 针对家用、办公和商用电器的强制性能效标准促进了创新产品市场的蓬勃发展, 如空调、照明、制冷和供暖系统。相应的产业雇用了数百万人, 惠及数十亿家庭, 成为世界贸易体系的重要组成部分, 在节约能源的同时还减少了温室气体的排放。据国际能源机构估计, 在许多国家和地区, 按强制性标准每年节约的能源相当于能源使用总量的 15%, 而在中国、欧盟和美国, 每年可减少 7 亿吨温室气体排放。

碳履约市场和碳封存: 如前所述, 越来越多的国家和地区拥有碳履约市场, 包括中国的碳排放交易体系、欧盟碳排放交易体系、加拿大的分级联邦碳价, 以及次联邦系统——美国区域温室气体倡议, 涵盖加州、魁北克和美国东北部各州。

政府和企业正越来越关注碳抵消市场在降碳路径方面的作用。例如, 通过抵消机制, 中国允许企业最大抵消 5% 的碳排放量。自愿碳市场继续面临严重的信誉问题, 强制碳市场产生的信用额度仍然是首选。随着国内碳市场的扩大, 需要做更多的工作来确保不同管辖级别的治理体系到位。比如, 只有在

以下情况下才能发放信用额度: 遵守基于政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 稳健、透明的碳汇方法学; 使用适合森林⁷等不同生态系统的模型、清单和实地测试; 信用额度审批方面有明确的角色和责任; 采用稳健、透明的会计核算标准。

新兴的碳捕集与封存技术 (CCUS) 正受到特别关注。而事实上, 当前约 60 个 CCUS 项目的碳封存总量仅占碳汇总量的 0.5%, 而海洋、森林、泥炭地和其他生态系统等基于自然的解决方案的碳汇贡献率高达 99.5%。在 IPCC 报告指出 CCUS 的潜在作用后, 许多行业正在增加 CCUS 投资, 特别是碳密集型行业。

核算特定陆地或海域的碳汇量比监测固定源或其他源的温室气体排放更为复杂。最近发布的强制性气候风险披露和报告标准, 如欧盟的《可持续发展相关披露条例》、美国证券交易委员会的《气候披露规则》草案 (其最终版本再次推迟) 以及国际财务报告准则基金会的 ISSB 气候披露规则, 都包含了企业披露碳抵消的框架。对中国来说, 在气候相关财务信息披露工作组 (TCFD) 基础上制定披露规则时, 应该与国际社会的披露规则具有可比性和互用性。

⁵ 美国国家可再生能源实验室 (NREL) 的研究表明, 要满足 120 小时的电力持续储存, 成本最低的方法是将氢系统与地质储存相结合, 以及将天然气与碳捕获相结合。

⁶ 对东盟能源方面的国有企业的分析表明, 能源国有企业 (SOEs) 面临的一个重要挑战是获得足够的私营资本来实现电网和其他业务的现代化。

⁷ 在卫星数据与定制模型相结合基础上, 不同规模的森林资源调查已取得进展。中国森林资源调查监测 (CNFRI) 每五年开展一次, 是国家层面调查的典型实例。将该数据与中国森林生态系统清查系统 (CFEIS) 等其他数据以及模型算法 (线性回归、随机森林和极端梯度提升) 相结合, 用于估算中国湖南省亚热带森林的生物量。2015–2016 年, 贵州省通过森林资源规划设计调查开展了第四次森林资源调查监测。在调查过程中, 共记录了约 300 万个林分, 包括土地利用类型、林地类型、植物类型、优势树种、平均树龄、龄级 / 组、每公顷林分蓄积、林分面积、起源、土壤类型、群落结构、灾害等级、健康等级等数据点。其他例子包括《1990–2018 年美国农业温室气体清单》: 以每公顷二氧化碳当量表示的碳密度和碳库的计值。

三、协同

绿色创新为加快实现中国的双碳目标提供了巨大机遇。与此同时，创新也带来了政策协同方面的挑战，至少体现在以下四个层面：

发展优先：中国 2023 年两会上强调了协调发展、社会繁荣、经济安全，以及双碳目标的重要性。

保障就业和劳动力市场、确保家庭和社区层面稳定是很多国家和地区气候减缓政策的重点。加拿大、欧盟、法国和其他国家正在实施公正转型相关项目，要求通过公共政策支持夕阳产业和碳密集型产业的就业岗位和地区发展，同时为绿色朝阳产业提供新的就业岗位。由于这些转变与贸易竞争相关的结构性变化具有可比性，贸易政策的经验可为绿色转型提供借鉴。

越来越多的研究表明，绿色转型将带来就业净增长。据世界贸易组织和国际能源署估计，中国有超过 200 万个工作岗位与绿色电力有关。牛津大学的研究指出，与高碳和污染行业相比，绿色转型带来了更高的就业率、更好的经济回报和更广泛的社会效益。

一个有助于发展、可持续性、自然向好、气候进步的新兴工具是通过创新地使用强化的国际绿色信贷安排。2023 年 6 月中国国务院总理李强出席新全球融资契约峰会，主要成果之一是成立新的特别工作组，以研究使用债务换气候等新债务工具。国际货币基金组织指出，这类工具有可能帮助新兴和发展中经济体实现巴黎协定的国家自主贡献目标，并解决不断上升的债务困境。

协同治理：协同的第二个特点是 2022 年召开的中国共产党第二十次全国代表大会强调的“降碳减污扩绿增长”。国合会 2023 年“减污降碳扩绿增长协同机制”专题政策研究表明，协同治理温室气体和空气污染物能够带来多重效益，包括减少长期暴露于 PM_{2.5}、光化学烟雾和其他污染物所带来的巨大公共健康效益。

气候行动协同：协同的第三个特点是整合越来越多的政策工具，共同实现碳中和目标。几乎所有净零碳排放政策框架的特点都非常相似，包括基于行业与更广泛的目标，和在此基础上制定的碳市场、绿色补贴、研发投资、法规和强制性标准、绿色金融以及绿色采购、政府绿色化运作等措施。为了明

确气候行动的范围，英国的气候框架制定了 360 多个支持性指标，以跟踪进展情况。欧盟、法国、瑞典、加拿大和新西兰等国家和地区正在实施数十项脱碳措施。

世界资源研究所（WRI）最近总结了国家层面实现碳中和的良好实践，其中包括关键的协同治理机制。英国的气候政策概览分析整理了数百个节点数据信息，向决策者和公众展示温室气体减排的主要进展趋势。法国开始从气候治理角度审查所有的预算安排。

在设计低碳政策时，要重视性别平等，特别需要关注劳动力市场变化时，如何支持失业工人和社区的社会保障型政策。性别议题是国合会的持续关注重点，基于 2022-2023 年国合会专题政策研究撰写的性别主流化报告即将发布。

创新中的公共和私营伙伴关系：最后一项挑战涉及私营部门与政府之间的有效合作。美国国家科学、工程和医学科学院牵头的一项研究识别了创新的共同瓶颈，如不同的风险接受程度，初创制造业、金融、消费市场和全球供应链等创新环节之间的复杂互动。政府可以通过清除堵点来帮助打通创新之路。例如，提供多年期研发资助、调整销售税以激励研发、增加资助机构内部和跨资助机构的研发拨款，降低先发风险以及一些运营成本，如设备安装、专利申请、劳动力技能不足和新技术推广。

总结：绿色创新是实现双碳目标的核心催化剂，同时也是污染治理和生态系统管理的重点。气候行动涉及整个经济系统的所有重要部门，与绿色创新配套的国家体制机制和政策之间的协同是关键。

