



2024

第03期
总第032期

双碳情报动态

本|期|聚|焦

- 全球碳管理战略最新进展分析
- 2024年全国两会“双碳”热点观察
- 二氧化碳地质封存技术研究进展分析
- 可持续航空燃料国际政策、技术与产业发展现状

中国科学院发展规划局
中国科学院文献情报中心

本期聚焦

全球碳管理战略最新进展分析1

2024 年 2 月, 美国更新 2024 年版关键和新兴技术清单, 首次纳入碳管理技术, 表明碳管理技术已成为保障美国的技术领导力、保持关键领域的竞争优势并有效应对国家安全威胁的技术种类之一。2024 年 2 月以来, 欧盟、德国相继发布碳管理相关战略, 旨在完善碳管理政策并扩大碳管理技术应用规模。本文将重点梳理主要国家和地区近期碳管理战略动态、分析其战略特点以供参考。

2024 年全国两会“双碳”热点观察5

2024 年全国两会期间, 李强总理在政府工作报告中提出了 2024 年重点工作, 涉及“双碳”的内容包括: 积极稳妥推进碳达峰碳中和, 扎实开展“碳达峰十大行动”等等。政府工作报告引发社会各界热议, 本文梳理归纳了代表委员们在“双碳”领域的提案议案要点。

二氧化碳地质封存技术研究进展分析14

二氧化碳地质封存是减少温室气体排放和应对气候变化的重要技术措施, 对于促进化石能源低碳化利用、保障国家能源安全具有重要意义。近年来, 以美国能源部化石能源和碳管理办公室 (FECM)、清洁能源示范办公室 (OCED) 为代表的政府相关部门陆续在针对该技术领域发布了一系列资助计划, 以期推进相关技术及基础设施的研究、开发和部署。本文开展近期全球二氧化碳地质封存技术研发与产业发展进展分析, 供决策参考。

可持续航空燃料国际政策、技术与产业发展现状14

2021 年 7 月, 国际能源署生物能源部发布《生物喷气/可持续航空燃料商业化进展: 技术、潜力和挑战》报告; 2023 年 9 月, 德勤中国发布《中国的可持续航空燃料——航空业碳中和之路》报告; 2023 年 10 月, 落基山研究所发布《航空零碳必由之路——下一代可持续航空煤油技术发展前景》报告。本文综合以上报告, 并结合最新研究进展, 概述可持续航空燃料相关国际政策、技术进展和产业化情况, 并针对我国可持续航空燃料发展面临的问题, 提出解决方案。

重要动态

日本 NEDO 启动废弃物与资源循环利用碳中和项目	29
韩国实施“温室气体国际减排项目”	29
<i>Science</i> 刊文指出大规模造林会降低森林减碳效益	30
欧盟为 12 个环境气候战略项目资助 2.33 亿欧元	30
美国能源部投入 3000 万美元支持两项碳管理优先事项	30
IRENA 等联合发布发展中国家绿氢发展相关研究报告	31
英国投资航空、汽车、清洁能源领域低碳技术研发和制造	31
日本 NEDO 启动下一代船舶开发新项目	31
美国能源部向清洁能源制造投入 4.25 亿美元	32

更多信息详见：

- ◆ “双碳情报” 微信公众号
- ◆ 碳达峰碳中和情报支持平台

<http://scieye.llas.ac.cn/carbon>



全球碳管理战略最新进展分析

碳管理技术包括碳捕集、利用与封存（CCUS）技术以及多种碳去除（CDR）方法（基于工程而非自然方式）。2024 年 2 月，美国更新 2024 年版关键和新兴技术清单，首次纳入碳管理技术¹，表明碳管理技术已成为保障美国的技术领导力、保持关键领域的竞争优势并有效应对国家安全威胁的技术种类之一。2 月以来，欧盟、德国相继发布碳管理相关战略，旨在完善碳管理政策并扩大碳管理技术应用规模。本文将重点梳理主要国家和地区近期碳管理战略动态、分析其战略特点以供参考。

一、国际倡议强调碳管理在气候减缓中的重要性

2023 年 4 月，美国、英国、澳大利亚等在主要经济体论坛上发起“碳管理挑战”倡议²，强调碳管理是将全球变暖限制在 1.5 °C 以内的重要支柱，提出全球应共同努力加速扩大 CCUS 以及 CDR 技术应用，以实现到 2030 年全球碳管理规模达到 10 亿吨。2023 年 12 月，COP28 阿联酋主席国与碳管理挑战倡议的发起国共同主办了“碳管理：保持 1.5 °C 目标的重要支柱”高级别活动³，活动重申了碳管理是必不可少的气候减缓工具以及扩大碳管理技术的重要性，并得到主要国家的认可，目前已有 20 个国家和地区加入了“碳管理挑战”倡议⁴。

二、美国积极推动碳管理技术商业化

美国碳中和目标提出后，碳管理成为能源部一项重要的优先事项，

¹ White House Office of Science and Technology Policy (OSTP). Critical and Emerging Technologies List Update.(2024-02-)<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2024/02/Critical-and-Emerging-Technologies-List-2024-Update.pdf>

² Carbon Management Challenge (CMC). <https://www.carbonmanagementchallenge.org/cmc/>

³ COP28 UAE. Carbon Management: Essential Pillar to Keep 1.5 °C Alive. <https://www.cop28.com/en/schedule/carbon-management-essential-pillar-to-keep-1-5c-alive>

⁴ Carbon Management Challenge (CMC). <https://www.carbonmanagementchallenge.org/cmc/participants>

美国能源部化石能源办公室也于 2021 年 7 月 4 日变更为“化石能源与碳管理办公室（FECM）”，将“碳管理”一词添加到办公室名称中¹。2022 年 4 月，化石能源与碳管理办公室发布《化石能源和碳管理在实现温室气体净零排放中的作用》战略愿景²，提出推进碳管理技术应用以实现深度脱碳，并提出点源碳捕集、二氧化碳转化、碳去除技术以及专用、可靠的碳封存和运输技术四项碳管理优先事项。2023 年 4 月，美国能源部发布《碳管理商业化道路》³，讨论了大规模部署碳管理技术的障碍，并提出了碳管理规模化发展路径：①近期（到 2030 年）：积极开发具有高纯度 CO₂ 行业（例如乙醇、天然气加工）的碳管理技术项目，并投入运营；开展钢铁、水泥等较低纯度 CO₂ 行业的碳管理技术应用示范项目，为更广泛的部署奠定基础；建设公共承运商运输和封存基础设施。②长期（2030 年后）：提高较低纯度 CO₂ 和分布式工艺排放的行业碳管理技术项目经济性，以便在缺乏其他驱动因素（例如监管）的情况下进行大规模部署；通过低碳产品（例如低碳钢和混凝土）的政策支持或技术溢价的增加扩大更多的 CCUS 和 CDR 项目。此外，为鼓励和支持开发商和其他行业人员在碳管理项目中追求更好的环境和社会效益，2023 年 8 月，化石能源与碳管理办公室宣布启动“负责任的碳管理”倡议⁴。该倡议分为两个阶段，第一个阶段是制定负责的碳管理项目实施原则，第二阶段是通过资助机会公告（FOA）提供技术援助。能源部预计将在 2024 年初至中期启动该倡议的第一阶段⁵。

¹ DOE. DOE's Office of Fossil Energy and Carbon Management Makes Historic Shift to Center Work on Climate Change. <https://www.energy.gov/fecm/articles/does-office-fossil-energy-and-carbon-management-makes-historic-shift-center-work>

² DOE. FECM Releases Strategic Vision, Outlining Priorities That Will Support The U.S. Government In Achieving Net-Zero Emissions By 2050. <https://www.energy.gov/fecm/articles/fecm-releases-strategic-vision-outlining-priorities-will-support-us-government>

³ DOE. DOE Releases Fourth Pathways to Commercial Liftoff Report in Carbon Management. <https://www.energy.gov/oced/articles/doe-releases-fourth-pathways-commercial-liftoff-report-carbon-management>

⁴ DOE. U.S. Department of Energy Announces its Intent to Launch a Responsible Carbon Management Initiative. <https://www.energy.gov/fecm/articles/us-department-energy-announces-its-intent-launch-responsible-carbon-management>

⁵ U.S. Department of Energy's Office of Fossil Energy and Carbon Management. Responsible Carbon Management Initiative. <https://www.energy.gov/fecm/responsible-carbon-management-initiative>

三、欧盟致力于建设单一二氧化碳交易市场

2024 年 2 月 6 日，欧盟委员会通过《工业碳管理战略》¹，阐述了如何可持续地发展 CCUS 技术，以实现 2050 年“净零”温室气体排放目标。该战略提出了欧洲工业碳管理发展的三个阶段：①到 2030 年，欧盟的战略目标是每年至少封存 5000 万吨的二氧化碳，以及建设由管道、船舶、铁路和公路组成的相关运输基础设施。②到 2040 年，大多数地区的碳价值链应具有经济可行性，二氧化碳应成为欧盟单一市场内封存或利用的可交易商品。所捕集的二氧化碳中有多达三分之一将被利用。③2040 年后，工业碳管理应成为欧盟经济体系的一个组成部分，生物源碳（biogenic carbon）或大气碳应成为碳基工业过程或运输燃料的主要来源。该战略还确定了在欧盟和国家层面采取的一系列行动，以使欧洲能够在未来几十年内建立一个单一的二氧化碳市场。欧盟的行动主要包括制定有利于碳管理发展的政策框架，并创造具有吸引力的投资环境，包括：①制定 CO₂ 运输与封存基础设施监管制度；②明确欧盟范围内的 CO₂ 运输基础设施规划机制；③制定项目许可程序的指导方针、工业碳管理的行业路线图；④研究制定工业碳去除的政策选择和支持机制，包括是否以及如何将其纳入欧盟碳排放交易体系；⑤促进对可持续碳资源产品的采购与使用；⑥通过欧洲地平线和创新基金等资助计划，推动欧盟对碳管理技术的研究、创新与示范；⑦扩大国际合作等。

目前已有 20 个欧盟成员国将工业碳管理解决方案纳入其国家能源和气候计划草案，7 个成员国将 CCUS 技术纳入其恢复与复原力计划。丹麦和荷兰已经制定了有效的碳捕集国家补贴计划，并与挪威、冰岛一同率先进行工业规模的二氧化碳地质封存，对陆上和海上封存许可证的商业兴趣越来越大。2024 年 2 月 26 日，德国联邦经济事务

¹ European Commission. Towards an ambitious Industrial Carbon Management for the EU. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2024%3A62%3AFIN&qid=1707312980822>

和气候行动部（BMWK）发布《碳管理战略要点》¹，阐述了德国在碳管理方面的主要决策。法国和奥地利目前也正在制定碳管理战略。

四、加拿大积极发展稳健的碳管理解决方案

加拿大拥有丰富的有利于 CO₂ 封存的地质条件、世界首批大型示范项目、先进的研究和测试设施、以及强有力的政策和监管环境等优势，使其成为全球碳管理的先行者，并具有较强的国际竞争力。加拿大在全球碳捕集与封存项目部署中名列全球第 3²，并在全球碳捕集与封存法律和监管指标的评价中名列全球第 5³。2022 年，加拿大发布《2030 年减排计划：关于加拿大清洁空气和强大经济计划的下一步行动》⁴，提出要制定 CCUS 战略，继续推进其在 CCUS 方面的领导作用。作为 2030 年减排计划的响应，2023 年 9 月，加拿大发布《碳管理战略》⁵，概述了加拿大促进具有竞争力和稳健的碳管理发展的五个关键优先领域，包括加速创新与研发、推进政策法规、吸引投资与贸易机会、扩大项目与基础设施、建立伙伴关系并培养劳动力，并提出碳管理发展路线图：①到 2030 年，CCUS 部署将支持许多行业的脱碳，同时加快开发早期阶段的碳管理解决方案。②到 2040 年，减排技术将在工业领域得到快速应用，碳去除技术也将扩大规模。③到 2050 年，在多个工业部门和地区广泛部署碳管理技术，并通过碳管理技术实现加拿大净零排放目标。

五、总结与展望

美欧等将碳管理技术定位为实现碳中和目标必不可少技术，在其

¹ Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Bundesminister Habeck will den Einsatz von CCS ermöglichen: „Ohne CCS können wir unmöglich die Klimaziele erreichen.“ <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/02/20240226-habeck-will-den-einsatz-von-ccs-ermoeglichen.html>

² Global CCS Institute. Global Status of CCS report 2023. <https://status23.globalccsinstitute.com/>

³ Global CCS Institute. CCS Legal and Regulatory Indicator 2023. <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2023/10/CCS-Legal-and-Regulatory-Indicator-Report-Global-CCS-Institute-.pdf>

⁴ Government of Canada. 2030 Emissions Reduction Plan – Canada’s Next Steps for Clean Air and a Strong Economy. <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/news/2022/03/2030-emissions-reduction-plan--canadas-next-steps-for-clean-air-and-a-strong-economy.html>

⁵ Natural Resources Canada. Minister Wilkinson Releases Canada’s Carbon Management Strategy. <https://www.canada.ca/en/natural-resources-canada/news/2023/09/minister-wilkinson-releases-canadas-carbon-management-strategy.html>

各自的碳管理战略中指出，实现碳中和目标需要碳管理技术贡献相当量的二氧化碳减排量，如美国到 2050 年每年需要捕集和封存 4~18 亿吨二氧化碳。德国前几届政府对碳捕集与封存态度比较谨慎，2012 年曾发布法律限制碳捕集与封存使用，但 2023 年将碳捕集与封存定位为气候和工业议程的一部分，2024 年 2 月 26 日发布的《碳管理要点》标志着德国政府对碳捕集与封存技术态度的最终彻底转变¹。由此可以看出，全球推动碳管理的共识正在逐步扩大，碳管理将得到越来越广泛的认可和重视，发展前景广阔。

同时，碳管理技术应用也面临着一些挑战，如前期投资成本高、低碳产品供需匹配的关注度低、贯穿整个价值链的综合监管框架缺乏、跨价值链风险（如泄漏责任、运输或封存基础设施的不健全等）以及对私人与公共投资的激励措施不足等。因此，若要促进碳管理的快速发展，在国家层面需要建立强有力的支持政策和监管环境以降低碳管理部署的成本；在国际层面需要扩大国际合作与交流，开展技术创新合作以降低行业应用成本，同时在统一碳管理活动的报告和核算方面需推进国际标准的制定。

（秦阿宁 孙玉玲）

2024 年全国两会“双碳”热点观察

2024 年 3 月 4 日—11 日，全国两会在北京召开。李强总理在政府工作报告中提出了 2024 年重点工作，涉及“双碳”的内容包括：积极稳妥推进碳达峰碳中和，扎实开展“碳达峰十大行动”；提升碳排放统计核算核查能力，建立碳足迹管理体系，扩大全国碳市场行业覆盖范围；深入推进能源革命，控制化石能源消费，加快建设新型能源体系；加强大型风电光伏基地和外送通道建设，推动分布式能源开发利用，发展新型储能，促进绿电使用和国际互认；发挥煤炭、煤电

¹ Global CCS Institute. CCS in Germany's Decarbonisation Pathway: State of Play and Way Forward. <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2024/03/CCS-in-Germany-05032024-2.pdf>

兜底作用，确保经济社会发展用能需求。政府工作报告引发社会各界热议，本文梳理归纳了代表委员们在“双碳”领域的部分提案议案相关内容。

一、强化能源资源安全保障

随着全球能源体系加快向绿色低碳转型，能源资源安全将成为国际竞争的新高地。

一是提升战略性关键矿产保障能力。①增加矿产资源勘查和开采能力，全面开展镍、钴及稀贵金属等资源成矿靶区遴选、资源潜力评价；②设立国家关键矿产资源综合利用重点研发专项，开展高效和高质化利用研究；③成立国家战略性矿产资源综合利用研发中心，开展资源普查、共享资源空间数据、联合开展技术攻关，创新开发低成本回收工艺；④加快推进储备体系建设，充分发挥我国港口库存“稳定器”的作用，平抑价格波动、服务保供稳价；⑤加强二次资源循环利用，鼓励支持锂冶炼渣资源化利用，整合各方力量，共同攻克锂冶炼渣回收处理难题。

二是强化油气勘探开发和储备。①统筹做好重点盆地油气资源勘探开发工作，谋划建设国家级油气生产大基地，有效提升我国油气自主供应能力；②设立页岩油气勘探开发的政策试点，鼓励增储上产，强化推动我国页岩油气革命政策顶层设计；③加强“一带一路”沿线国家能源合作，保障能源供给安全。

三是夯实煤炭主体能源根基。①做好煤炭地质普查，积极开展煤炭精查，加快增加煤炭资源储量，规划建设新的大型煤炭矿区，提高煤炭资源支撑保障能力；②在总量控制和确保能源安全的前提下，优先核增大型煤炭矿区产能项目，增强大型煤炭矿区稳产增产潜力。

二、因地制宜发展新质生产力

发展新质生产力，为新时代新征程加快科技创新、推动高质量发

展提供了科学指引，对加快推进高质量发展和绿色转型发展具有十分重要的指导意义。

一是构建新型能源体系。①推进可再生能源科学有序发展，以提升电源构成的清洁化水平；②加快建设数智化坚强电网，支撑源网荷储数碳互动，以技术革命性突破、生产要素创新性配置、产业深度转型升级推动发展新质生产力；③统筹发展常规电源与新能源，实现电力电量供需时空均衡发展，推动分布式新能源全额上网电量进入电力市场；④推进抽水蓄能、新型储能建设，以增强电力系统的灵活调节能力，不断提升新能源的消纳水平；⑤持续完善需求响应政策机制，引导用户调整用电习惯；⑥发展智慧能源技术，提升用户侧节能降耗水平。

二是向科技创新要答案。①布局面向未来的可替代化石资源产品的基础研究和新技术研发，着力基础材料、关键零部件、核心工艺等领域寻求突破；②坚持竞争点前移，超前布局、超前投入，以率先实现前沿技术突破，引领培育发展战略性新兴产业和未来产业，以新兴产业发展引领新质生产力形成；③继续攻坚石油天然气关键核心技术，加强炼油化工基础性、前沿性、颠覆性技术攻关，加快产出一批原创性、引领性、战略性科技创新成果；④加快实施先进核能技术战略，进一步加强核技术应用产业创新基础能力建设，设立核技术应用国家重大科技专项，支持基础、前沿、高价值的核技术应用研究；⑤加强氢能产业关键技术攻关，设立国家级的氢燃料内燃机动力系统的关键技术攻关科技研发专项；⑥加快建设新型储能材料及技术国家实验室，加快突破一批关键瓶颈技术，为实现“双碳”目标提供更多技术保障；⑦发挥好行业“国家队”关键核心技术“保供”和“托底”的作用，围绕像稀土、半导体集成电路等重点产业链，加快实现关键核心技术突破，保证国家重点产业链安全可靠、有竞争力。

三是积极培育战略性新兴产业。瞄准能源科技前沿，聚焦能源关键领域和重大需求，思考如何立足“水风光”清洁能源资源禀赋优势，

合理选择技术路线，推进新型能源体系协调发展，同时聚焦电子信息产业发展先进计算、光电科技等业态，加快推进数字经济与实体经济深度融合，促进新质生产力发展。

三、加快形成绿色低碳供应链

实现绿色低碳发展，是产业发展方向的选择问题，更是关系到产业集群存续的根本性问题，碳达峰、碳中和是实现经济高质量发展的必然要求。

一是加快先进降碳技术研发攻关。①发挥国家级重大工程示范引领作用，因地制宜构建新能源电力能源供给体系，探索新能源技术及装备在工程建设过程中的应用落地，引导推动重大工程建设作业装备的电动化、绿色化、低碳化示范；②加快推进煤矿装备再制造配套产业建设，提高核心工艺水平，着重突破掘进类设备再制造技术，推动再制造技术标准体系建设；③聚焦先进技术合力开展攻关，加强绿色低碳技术攻关，加快推动工业转化、迭代升级，努力产出更多原创性引领性科技成果，特别是深入开展 CCUS 技术研发与推广应用，探索“煤电+CCUS”试点示范，持续推进海底碳封存示范项目建设，深化京津冀地质碳汇协同联动。

二是打造绿色能源产业链供应链。①增加电煤稳定可靠供应。进一步加快优质煤炭产能释放，支持尽快释放先进产能；②统筹水电开发与生态保护，科学规划和合理安排流域水电以及龙头水库电站等重要梯级电站建设，确保流域水电的有序开发建设，充分发挥水电支撑电力保供的重要作用；③加强电源与电网的统筹规划，打造适合新能源高比例发展的新型电力系统，推动风光电转化为持续稳定可靠电力供应主体，更好发挥保供增供作用；④积极安全有序发展核能产业，统筹优化核电建设布局，推进核能全面纳入绿色低碳政策体系，加快核能供热、海水淡化、制氢等多元化应用；⑤在特定区域打造绿色能源产业链，提升我国绿色能源产业发展水平；⑥确保我国船用绿色燃

料供应，提升我国产业链供应链的韧性和安全水平。

三是推动全行业绿色低碳转型。①建立健全建筑绿色低碳发展政策机制和保障措施，制定实施用能总量、用能强度、碳排放控制等管理制度；②加快钢铁工业绿色转型示范区试点建设，推进钢铁与城市发展减污降碳深度融合，加快开展顶层设计，推动钢铁工业固废、水、热与城市发展高效协同；③支持建材行业率先开展数字化转型评价，加大优势先进产品的质量提升与应用；④加速纺织业绿色低碳转型升级，建立绿色供应链系统和全生命周期追溯机制，提升全产业链装备智能制造水平。

四是完善碳足迹管理机制。①制定面向“双碳”目标的碳市场发展战略和路线图，建立碳价格机制和配额分配机制，加快碳市场覆盖行业和参与主体的扩容，形成系统性碳约束与激励机制；②加快我国重要行业碳排放核算标准体系与基础数据库建设，进一步完善碳排放MRV（监测、报告与核查）体系；③做好配额市场和自愿减排市场的协同，促进更多参与主体受益，充分调动全社会的力量共同参与碳减排；④推进全国碳市场与国际碳市场的互认互通，加强与国际碳市场的规则对接与政策协调，积极应对欧盟“碳关税”；⑤建立统一规范的制造业、汽车、电网、家电等产品碳足迹标准体系，明确碳足迹核算的范围和边界、数据来源和精度等要求，完善产品碳足迹认证体系和制度。

四、加快构建氢能前沿新兴产业生态

氢能产业在新材料技术研发、新业态模式创造、新能源形式拓展方面具有全面引领能力，是新质生产力的典型代表。

一是完善氢能产业规模化发展政策体系。①统筹建立氢能发展组织协调机制与跨部门联席机制，及时解决产业发展过程中出现的各项重大问题，研究制定国家层面统一的氢能管理制度，同时鼓励有条件的地方稳步开展试点示范；②系统构建规模化低成本“绿氢”供应财

政支持政策，完善国家和地方的补贴机制，优化审批和支付流程，解决补贴发放延滞问题，支持绿氢产业发展，鼓励“风光氢储用”一体化项目示范；③制定全国统一的加氢站规划、建设和审批办法及流程，提高审批效率，加快加氢站建设和提升商业化运营能力；④以市场应用为牵引，有序推进氢能在交通领域的示范应用，拓展在储能、发电、冶金、化工等领域的应用，推动产业规模化发展。

二是加快氢能技术创新与场景应用。①支持绿氢装备的全国产化研发，降低绿氢生产成本；②支持利用现有加油站或加气站的土地，建设油气氢电等综合能源补给站点，加快加氢基础设施建设，提升土地利用效率；③增加氢能重卡产业生态的覆盖范围，支持扩大优先使用氢燃料电池汽车的场景；④组织制定氢燃料电池汽车等氢能项目的碳减排标准，将氢能项目开发的碳资产纳入碳市场交易范围；⑤积极开展海洋氢能应用示范，推动形成国内自主化、可持续、可扩展的发展模式。

三有序引导推进地方氢能政策布局。①在五大示范城市群的基础上，推动示范城市群扩容，加快推进第三批示范城市群申报及审批相关工作；②加快氢能行业相关标准制定，保障氢能行业市场的健康发展，加速推动氢能行业的发展。

五、壮大智能化新能源汽车产业

发展智能网联新能源汽车是培育新质生产力的重要抓手。

一是增强产业链供应链自主能力。①强化制造技术政策引导，集中攻克关键设计短板，全面提升核心制造能力；②促进先进智能技术与制造业融合创新，加速工业大模型部署；③发挥体制机制优势，联合多方建立产学研用融通平台，依托平台共建共用国际领先的驾乘模拟大科学装置及配套软件库、场景库，填补国内空白。

二是健全动力电池回收利用体系。①改进动力电池设计，实现标准化、易拆解、易回收，创新回收利用商业模式，规范回收渠道和完

善回收网络；②加快完善动力电池回收相关法律法规和监管体系，明确企业的回收责任和义务，并建立统一的回收渠道和管理平台，确保电池的规范回收和处理；③鼓励和支持企业开展动力电池回收利用的技术研发和创新，注重环境保护，推动电池的二次利用，实现可持续发展目标；④建立完善的动力电池产业链全生命周期碳足迹数据库，健全动力电池回收环节碳足迹计算标准。

三是促进电动汽车与电网融合。①从国家层面建立跨领域、跨部门工作协同机制，明确面向双碳目标的新能源汽车与新型电力系统协同发展总体目标与路线图；②加快研究制定电动汽车参与电网储能的相关配套政策措施，不断提高电动汽车与电网协调运行的可靠性、经济性，推动电动汽车以市场化方式参与电网储能服务；③推广新能源汽车与电网融合双向互动，充分调动与提高车企、充电设备商、基础设施运营企业等不同社会主体的参与性与协同性，为电力系统供需平衡提供有效的解决方案；④探索有序充电、光储充换一体、聚合参与辅助服务、离网运行、“能源岛”、V2G等模式的创新实践，形成可复制可推广经验。

六、发展新型储能

我国新型储能已进入大规模发展期，亟需政策导向从“单纯激励开发建设”向“激励高质量建设和高效率利用并重”转变。

一是统筹推进新型储能产业发展。①加强新型储能统一规划，因地制宜统筹做好新型储能与其他调节性支撑性资源的优化配置，按需发展多元化储能技术路线，优化应用场景、发展规模、布局及时序；②优化新型储能调度运行机制，合理制定纳入统一调度的新型储能范围，结合新型储能不同类型和应用场景，科学确定调度界面和调度运行方式；③加大力度推动新型储能发展，支持其参与调峰调频的投资和建设，引导和鼓励市场主体参与储能业务，用市场化机制解决储能面临的问题；④充分考虑合理容量需求、价格可承受上限、电价疏导

渠道等因素，研究采用竞价等市场化方式进行容量分配并形成容量价格；⑤着眼于解决储能配比“一刀切”问题，加强发展模式创新探索，引导企业采用自建、租赁、共享等多种方式解决灵活性调节资源需求，探索设立储能等灵活性资源建设专项基金；⑥支持骨干国有企业通过产业联盟、产业链链长等形式开展先进技术、关键装备和核心材料研发攻关，推动新型储能创新链与产业链融合对接。

二是持续完善容量价格市场机制。①研究完善新型储能参与电力市场的实施细则，提升辅助服务市场补偿标准，建立容量补偿机制，为新型储能参与市场获取合理收益创造条件；②出台电网侧替代性储能纳入输配电价核价范围的实施细则，明确认定标准和认定程序；③深化分时电价政策，研究建立尖峰电价机制，进一步拉大峰谷价差，促进用户侧储能发展；④统筹各类容量资源建立“同工同酬、同质同价”的电价机制，研究新型储能的容量电价机制，通过合理的成本疏导，补偿新型储能容量成本。

三是规范新型储能标准体系。①完善行业标准体系，加快国家层面的标准建设，布局各层级标准发展策略，促进国标、行标、地标等协调发展；②完善行业监管机制，进一步推动建立电力市场运行评价体系，加大电力市场运行情况的监测和监管力度；③加快电化学储能的标准创制，提升行业话语权，通过“补链”“强链”加快国产替代；④加快组织制定退役电化学电池安全回收处置国家级标准，重点开展回收处置体系建设，推动建立覆盖电化学电池设计、生产、使用、回收处置全过程的统一标准化体系。

四是推进储能产业融合发展与场景应用。①鼓励集中式和分布式光伏配置储能，以及独立储能建设，进一步完善电网调度机制，充分发挥源网荷侧的储能作用；②完善新能源、储能参与电力市场交易机制，通过容量电价机制、现货、辅助服务等方式，保障新能源配储、独立储能成本疏导和相应收益。

七、加强国际合作

欧美等地相继出台“反补贴”“碳关税”等政策，给国内新能源产业全球化蒙上阴影。

在新能源汽车方面，建立汽车行业统一的产品碳足迹管理体系，推动汽车碳足迹核算标准、方法和数据的国际互认，特别是加强与欧盟的低碳发展合作；对出海的零部件企业进行深入调研，识别有潜力且积极出海的零部件企业，鼓励优质供应链出海，与优质车企在海外协同合力发展，发挥中国汽车在供应端、制造端、产品端的综合竞争力；加快出台重点行业碳减排扶持政策，推进全国碳市场建设，并通过市场机制促进企业有规划的碳减排；加强数字化碳管理工具的规范化管理。

在氢能产业方面，加强与国际组织合作，积极加入国际组织，促进国内外技术和政策的交流，不断提升氢能全球话语权和影响力；扩大与共建“一带一路”国家和地区的区域合作，开展氢能全技术链的产学研应用等合作，提升技术发展水平，建立氢能同盟关系；密切跟踪国内外氢能技术专利的发展动态，着力从氢能源相关基础材料、关键零部件、核心工艺等领域突破；积极参与国际规则、国际标准的制定工作，吸纳国内外权威氢能机构与龙头企业，构建技术、专利、标准联动创新体系。

在核电优势产业方面，抓住国际核电发展新需求新机遇，通过组织国际交流和经验分享，持续深化国际合作，推动“国和一号”等中国先进核电型号“走出去”，为“一带一路”建设和全球气候治理发挥中国核电力量，巩固提升中国核能核电的国际影响力。

八、完善能源相关法律保障体系

我国能源安全面临着严峻挑战，健全和完善能源法律体系，将为我国能源安全提供有力保障。

在总体层面，以能源安全为立法主线和基本价值目标，加快制定、通过能源法，夯实能源安全价值目标和法律制度，确保国家能源安全。

在细分领域，推动《可再生能源法》修订，完善全额保障性收购制度，制定合理的可再生能源利用率目标，明确由电网企业、售电企业和电力用户共同承担全额保障性收购责任的法律定位；制订科学合理的考核机制，建议在法律中明确规定可再生能源目标引导以及可再生能源电力消纳责任权重考核机制；优化调整电价补贴，加快完善可再生能源上网电价市场化形成机制；细化相关法律责任条款，强化电网、石油、燃气、热力等企业的法律责任。完善《矿产资源法》，鼓励采矿权人立体勘查，简化探矿权向采矿权转化手续，稳定加快油气勘探开发的进程。

（李岚春）

二氧化碳地质封存技术研究进展分析

二氧化碳地质封存通过工程技术手段将捕集的 CO₂ 封存在陆上咸水层、海底咸水层或枯竭油气田等地质体中，是减少温室气体排放和应对气候变化的重要技术措施，对于促进化石能源低碳化利用具有重要意义。2023 年 12 月，美国能源部化石能源和碳管理办公室（FECM）宣布¹投入 22.5 亿美元支持为期五年的研发示范项目，以去除或永久封存从工业和发电设施中捕集的 CO₂。美国能源部清洁能源示范办公室（OCED）宣布为三个碳捕集与封存项目提供 8.9 亿美元的资金支持²，以实现每年约 775 万吨的减排目标。本文分析近期全球二氧化碳地质封存技术研发与产业化进展，并对今年两会期间代表委员们提出的碳地质封存相关提案议案进行梳理，以供决策参考。

一、研究进展

1、枯竭油气藏成为重要的封存场地

枯竭油气藏被认为是最佳的二氧化碳封存选择之一，其封存能力、

¹ DOE Re-Opens Funding Opportunity to Expand National Carbon Dioxide Storage Infrastructure.

<https://www.energy.gov/fecm/articles/doe-re-opens-funding-opportunity-expand-national-carbon-dioxide-storage>

² OCED Selects Three Projects in CA, ND, and TX to Reduce Harmful Carbon Pollution, Create New Economic Opportunities, and Advance Carbon Reducing Technologies. <https://www.energy.gov/oced/articles/oced-selects-three-projects-ca-nd-and-tx-reduce-harmful-carbon-pollution-create-new>

渗透率、孔隙度、盖层和密封质量等参数已知，且注入井和管道等原有基础设施可以直接用于地质封存¹。据统计，全球目前枯竭油气田可以封存约 9230 亿吨 CO₂，与全球化石燃料发电厂排放的 CO₂ 相当。

2023 年 2 月 21 日，美国能源部（DOE）宣布投入 270 万美元支持 5 个 CCUS 项目²，其中包括利用先进技术和创新的技术工作流程，制定枯竭气藏 CO₂ 注入计划。在英国，截至 2023 年 9 月，共有 14 家公司获得了 21 个枯竭油气藏和咸水层的许可证，到 2030 年这些地点每年可封存 3000 万吨 CO₂，占英国 2021 年碳排放的 10%³。

斯坦福大学牵头的研究指出⁴，大幅增加地下 CO₂ 封存最安全和最实际的策略是重点关注不完全枯竭油气藏分布量较大的地区。这些地区油气藏大多具备充分的储藏能力，其地质学和水动力学环境已获得充分认识，相比咸水含水层更不易受到注水诱发地震活动的影响。一旦启动 CO₂ 封存设施并投入运营，即可用于封存多个来源的 CO₂。该研究还指出将碳捕集和封存（CCS）与制氢相结合将成为未来 10 年一项经济可行的大幅减少温室气体排放的战略。

2、新技术新方法评估封存潜力

开展二氧化碳封存潜力评估是有效开展二氧化碳地质封存的基础。CCUS 技术发展过程中，新技术新方法不断应用于二氧化碳封存潜力评估。英国利兹大学学者提出将核磁共振技术用于测量储层的孔隙度，有助于对目标储层进行评估⁵。澳大利亚 CSIRO 与澳大利亚全球碳捕集与封存研究院科研人员组成的团队⁶对玄武岩中二氧

¹ Aminu MD, Nabavi SA, Rochelle CA, et al. A Review of Developments in Carbon Dioxide Storage [J]. *Applied Energy*, 2017, 208: 1389-1419.

² DOE Invests \$2.7 Million in Carbon Capture and Storage Technologies, Working Alongside International Partners to Reduce Global Greenhouse Gas Emissions. <https://www.energy.gov/fecm/articles/doe-invests-27-million-carbon-capture-and-storage-technologies-working-alongside>

³ North Sea Transition Authority. Net Zero Boost As Carbon Storage Licences Accepted <https://www.nstaauthority.co.uk/news-publications/net-zero-boost-as-carbon-storage-licences-accepted/>

⁴ Mark Zoback, Dirk Smit. Meeting the Challenges of Large-scale Carbon Storage and Hydrogen Production[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.(2023-03-06) <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2202397120>

⁵ Quantifying the Porosity of Natural Reservoirs with Nuclear Magnetic Resonance. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00441-w>

⁶ Chen Y, Seyyedi M, Clennell B. Petrophysical Recipe for in-situ CO₂ Mineralization in Basalt Rocks[J]. *Advances in Geo-Energy Research*, 2024, 11(2): 152-160. <https://doi.org/10.46690/ager.2024.02.07>.

化碳矿化封存的潜力和有利储层条件进行了研究，采用地球化学模拟方法，探索了有利于玄武岩中 CO_2 矿化的压力、温度和矿物组成条件，计算了 CO_2 与玄武岩之间的动态水岩反应。研究发现深度 600 米、温度 50 $^{\circ}\text{C}$ 是经济有效的 CO_2 矿化深度和温度，含镁橄榄岩组分是实现 CO_2 矿化的有利矿物组分。研究为实施全尺度全周期玄武岩中 CO_2 的永久固化封存奠定了基础。

我国海域碳封存与二氧化碳水合物封存潜力评估取得重要进展。中国地质调查局创新提出了符合我国海域地质条件的 CO_2 地质封存潜力评价方法与适宜性评价方法，首次系统开展我国海域主要沉积盆地 CO_2 地质封存潜力和适宜性评价，发现我国海域 CO_2 地质封存潜力潜力达 2.58 万亿吨¹。中国科学院深海科学与工程研究所吴时国团队与俄罗斯科学院研究人员合作发表论文，聚焦沉积物中二氧化碳水合物封存潜力，以琼东南盆地为目标靶区，结合相平衡机理形成考虑温度、压力和水深等因素的二氧化碳水合物理论封存量计算方法。发现在研究区温度压力条件下，有利于二氧化碳水合物封存的最小水深为 415 米，确定了琼东南区域二氧化碳水合物封存有效厚度及区域范围²。

3、诱发地震监测与机制研究是热点

诱发地震活动是全球十亿吨级 CO_2 地质封存的主要风险之一，实时监测地震活动和认知注入诱发的地震活动的机制非常重要。

在现场试验中，加州理工学院科研人员提出一种基于相对极性和振幅比例的光纤传感方法，能够更精确确定一组地震的“复合”震源机制，甚至适用于更小震级的地震，为解决碳封存过程中断层滑动、诱发地震等风险提供了可行的解决思路³。美国科学

¹ 中国地质调查局. 工人日报：我国海域二氧化碳地质封存预测潜力达 2.58 万亿吨.
https://www.cgs.gov.cn/xwl/ddyw/202301/t20230116_723106.html

² Zhou X, Wu S, Bosin A, et al. Evaluation of CO_2 Hydrate Storage Potential in the Qiongdongnan Basin via Combining the Phase Equilibrium Mechanism and the Volumetric Method[J]. Advances in Geo-Energy Research, 2024, 11(3): 220-229. <https://doi.org/10.46690/ager.2024.03.06>

³ Li J, Zhu W, Biondi E, et al. Earthquake focal mechanisms with distributed acoustic sensing[J]. Nat Commun 14, 4181 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39639-3>.

家通过在堪萨斯州一压裂现场安装地震仪,监测了超临界 CO₂ 注入之前、期间和之后的地震活动,发现 CO₂ 注入在该地区引起了数百次震动,震级从-1~1 不等,且震颤信号的分布仅限于超临界 CO₂ 注入期间。研究工作揭示了震颤信号源自流体注入时断层滑动产生,这是一种重要的地下流体注入引起的变形模式,有助于研究相关应力、地震活动和地震触发机制以及追踪包括超临界 CO₂ 在内的所有流体注入期间的断层活动过程¹。

室内试验方面,德国地球科学研究中心和挪威奥斯陆大学的研究人员将实验室断层流体注入声发射试验和数值模拟相结合,研究了断层几何形状和应力差异性对流体注入诱发断层滑动及相关地震特性的影响,发现断层的粗糙度减缓了注入诱发的断层滑动,降低了宏观滑动速度,应力差异性和断层粗糙度控制着注入诱发的声发射的次中心分布、频率-震级特征和来源机制。研究成果有效揭示了断层表面粗糙度对诱发地震活动的影响机制²。

4、泄漏风险监测评价技术至关重要

为了确保二氧化碳地质封存的利益最大化和灾害风险最小化,有必要对封存过程中可能出现的二氧化碳泄漏风险进行灾害监测和评价。

2022 年 12 月 21 日,德国联邦内阁通过《二氧化碳封存法》评估报告³,提出要制定透明的监测、报告和核查制度,要求评估碳封存技术的碳足迹,将其作为碳循环的一部分。2023 年 2 月 21 日,美国能源部(DOE)宣布投入 270 万美元支持 5 个 CCUS 项目⁴,其中包括为海中玄武岩碳封存的储层选择、CO₂ 输送、注入和监测提供详细的解决方案;开发一个低成本监测系统,包括地球物理监测和自动一

¹ Shankho Niyogi <https://doi.org/10.1126/science.adh133>, Abhijit Ghosh, Abhash Kumar, et al. Tremor Signals During Fluid Injection are Generated by Fault Slip[J]Science.2023,381(6657):553-558. DOI: 10.1126/science.adh133.

² Lei Wang, Grzegorz Kwiatek, François Renard, et al. Fault Roughness Controls Injection-Induced Seismicity[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2024; 121 (3) DOI: 10.1073/pnas.2310039121

³ Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action. Federal Cabinet Adopts Evaluation Report on the Carbon Dioxide Storage Act. <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2022/12/20221221-federal-cabinet-adopts-evaluation-report-on-the-carbon-dioxide-storage-act.html>

⁴ DOE Invests \$2.7 Million in Carbon Capture and Storage Technologies, Working Alongside International Partners to Reduce Global Greenhouse Gas Emissions. <https://www.energy.gov/fecm/articles/doe-invests-27-million-carbon-capture-and-storage-technologies-working-alongside>

致性评估。

在我国，自然资源部南海生态中心联合集美大学极地与海洋研究院和中海油北京研究中心在南海北部文昌和恩平油田附近海域开展多个碳酸盐体系的联合调查航次，是全国首个二氧化碳海底封存现场监测技术研究¹。

5、能源资源协同化开发利用前景广阔

由于 CO₂ 物化性质优越，被广泛用于能源资源开发利用，例如 CO₂ 驱油（CO₂-EOR）、CO₂ 驱替煤层气（CO₂-ECBM）、CO₂ 开发干热岩（CO₂-EGS）、CO₂ 置换天然气水合物等。随着各国加强对碳排放的管控、碳税和碳价的上涨，采用 CO₂ 进行规模化驱替应用和能源资源的协同化开发利用，会使 CCUS 成本显著降低，具有广阔的应用前景。

CO₂ 置换开采天然气水合物技术作为近年来发展起来的一种新方法，可以实现天然气水合物开采与二氧化碳封存的双赢，应用潜力巨大。该方法的原理最早由美国研究人员 Ebinuma 于 1993 年提出。未来天然气水合物的开发将是一个将海上风能、潮汐能等多种低品位可再生能源联合生产 CO₂ 驱替天然气水合物以获得优质能源的过程²。

干热岩的开发利用一直是世界各国研究的热点，其中 CO₂-EGS 得到了广泛研究。大量的科学论证和试验研究表明，CO₂ 由于其较强的渗流能力，较传统干热岩开发模式具有更高的优越性。然而，现有配套设施和技术发展处于起步阶段³，CO₂-EGS 成本高，需要不断完善压裂、防腐和储层改善等技术，防止开发过程中诱发地震，监管和评价机制也需进一步完善。

中国石油大学（北京）芮振华团队提出了一种 CO₂ 地热储能和地质利用封存一体化方法⁴，明确了 CO₂ 提高原油采收率-地质

¹ Deng W, Yang W, Tang H, et al. Dynamics of the Surface Carbonate System in Oil Fields With a High Concentration of Wells on the Northwestern South China Sea shelf[J]. Science of The Total Environment, 2024,170261.

² Wang Y, Lang X, Fan S, et al. Review on Enhanced Technology of Natural Gas Hydrate Recovery by Carbon Dioxide Replacement[J]. Energy & Fuels, 2021, 35(11).

³ 贺凯.二氧化碳开发干热岩技术展望[J].现代化工,2018,38(06):56-58+60.

⁴ Yueliang Liu, Ting Hu, Zhenhua Rui, et al. An Integrated Framework for Geothermal Energy Storage

封存-地热储能协同耦合机理，建立了以 CO₂ 为介质的提高原油采收率与封存储能一体化模拟方法，验证了 CO₂ 提采-封存-储能协同耦合的可行性。该方法可以实现油气采收率提高 10.1%，储层利用率提高 31%，每百万吨 CO₂ 储能达到 2.60×10⁶ 兆焦耳，为 CO₂ 高效地质利用提供了新的路径。

二、产业发展

1、全球首个碳酸盐岩 CCS 项目落户阿联酋

2023 年 1 月 18 日，阿联酋阿布扎比国家石油公司（ADNOC）宣布启动碳酸盐岩高矿化度水层 CO₂ 注入井开发工作¹，这是全球首个在碳酸盐岩高矿化度水层中 100%封存 CO₂ 的项目。用于封存的高矿化度水层中含有橄榄石，能与气体反应形成固体矿物，保证永久封存。该项目是 ADNOC 投入 150 亿美元的多年期低碳增长战略行动计划的一部分，预计投入运营后每年可捕集 80 多万吨 CO₂。

2、全球主要国家海洋碳封存取得多项突破

近海盆地在海洋碳封存方面具有分布广、封存容量大、安全性与稳定性高等优势²。已有研究表明，全球海域沉积盆地的二氧化碳封存容量可达到总量的 40%³。自 20 世纪 90 年代以来，部分国家已经开始实施海洋碳封存项目。近两年，美国、德国和澳大利亚等积极推进海洋碳封存项目的实施，为海洋碳封存提供政策和资金支持。2023 年 10 月 26 日，美国能源部（DOE）宣布加速海洋碳捕集与封存技术的开发⁴，共计为 8 个州的 11 个项目提供 3600 万美元资金支持。这些项目由“通过海洋观测感知人为碳排放（SEA-CO₂）”计划资助，旨在支持测量、

with CO₂ Sequestration and Utilization[J].Engineering,2023,30(11):121-130.

¹ ADNOC. ADNOC Announces World First Fully Sequestered CO₂ Injection Project.

<https://www.adnoc.ae/en/news-and-media/press-releases/2023/adnoc-announces-world-first-fully-sequestered-co2-injection-project>

² 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（CCUS）年度报告（2023）[R].北京：中国 21 世纪议程管理中心，2023.

³ 李琦,李彦尊,许晓艺,等.海上 CO₂ 地质封存监测现状及建议[J].高校地质学报,2023(1):1-12.

⁴ DOE. DOE Announces \$36 Million To Advance Marine Carbon Dioxide Removal Techniques and Slash Harmful Greenhouse Gas Pollution. <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-36-million-advance-marine-carbon-dioxide-removal-techniques-and-slash>

报告和验证海洋碳去除新技术，并确定经济高效的碳去除解决方案。2024年2月26日，德国联邦经济事务和气候行动部（BMWK）发布修订版《碳封存法案》¹，允许在海底区域进行二氧化碳运输和封存（海洋保护区除外），以帮助其在2045年实现碳中和目标。2023年8月，来自德国、挪威、美国和印度的十家商业公司和研究机构加入在大陆边缘玄武岩中永久封存数十亿吨 CO₂ 的联盟（Permanent sequestration of gigatons of CO₂ in continental margin basalt deposits, PERBAS），研究在海洋玄武岩结构中封存 CO₂ 的可能性，并为工业规划提供信息，该项目得到为期3年360万欧元的资金支持²。2023年11月1日，澳大利亚能源公司 Pilot Energy 宣布与韩国承包商三星物产合作，推进其在澳大利亚近海的 Cliff Head 碳捕集与封存（CCS）项目³。

在我国，2023年6月1日⁴，中国海洋石油集团有限公司成功实施首个百万吨级海洋二氧化碳封存项目，预计每年可封存二氧化碳30万吨，累计可封存146万吨以上。总体而言，我国海底 CO₂ 地质封存以及封存区泄露致灾研究尚处于起步阶段，因此可以借鉴针对海底浅层气、甲烷水合物等气体释放泄漏监测等成熟的地球物理手段来发展海底碳封存区环境地质监测技术。对于海底碳封存区需要更加重视 CO₂ 泄漏致灾机理研究以及环境地质灾害监测与预警工作，构建多方面、多层次、多灾种的协同智能监测技术⁵。

3、我国积极推进碳封存地质调查工作

为服务“双碳”目标实现，我国积极推进碳封存地质调查及相关技术试验并取得一系列新进展。目前我国持续深化碳封存机理、选址、监测等技术研究，探索开展人工干预增加岩溶碳汇试验，推进陕北百万

¹ Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Habeck will den Einsatz von CCS ermöglichen: Ohne CCS können wir unmöglich die Klimaziele erreichen.
<https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/02/20240226-habeck-will-den-einsatz-von-ccs-ermoeneglichen.html>

² GEOMAR. PERBAS: In Search of Safe Carbon Dioxide Storage in Offshore Basalt Rocks.
<https://www.geomar.de/en/news/article/perbas-in-search-of-safe-carbon-dioxide-storage-in-offshore-basalt-rocks>

³ <https://www.upstreamonline.com/carbon-capture/south-korean-heavyweight-on-board-australian-offshore-ccs-project/2-1-1545929>

⁴ 本刊讯,国内首个海上二氧化碳封存示范工程设备建造完工[J].中国船检,2022(6):38.

⁵ 张少鹏,刘晓磊,程光伟,等.海底碳封存环境地质灾害风险及监测技术研究[J].中国工程科学,2023,25(3):122-130.

吨级碳封存重大示范选址、黄河三角洲地质储能先导性试验。目前渤海、南黄海等重点海域碳封存选区评价已经完成。江西、山东探索开展沉积盆地咸水层碳储存潜力评价与碳封存试验。广西首次开展地下河流域岩溶碳汇调查评价。2024 年，我国将继续开展地质碳储碳汇国情调查，完成全国岩溶碳汇潜力评估；加强重点盆地碳封存潜力评价，圈定一批目标靶区；深化地表基质调查，启动黄淮海产粮区、青藏高原多年冻土区等地表基质调查，带动各省积极参与；实施土地质量地球化学调查，建设完善国家-区域两级土地质量地区化学监测网络¹。

（李娜娜）

可持续航空燃料国际政策、技术与产业发展现状

当前，航空业正在为实现到 2050 年净零排放的全球长期共同目标而积极行动。考虑到航空业的减排难，发展可持续航空燃料（Sustainable Aviation Fuel, SAF）被视为实现净零排放目标的最有潜力的减排措施。国际航空运输协会（IATA）预测，到 2050 年，65%的减排将通过使用 SAF 来实现²。作为传统航油的一种低碳替代品，SAF 主要由废油脂、农林废弃物、城市废弃物、非粮食作物，或者绿电和 CO₂ 等加工合成而来，因此被认为是“可持续的”航空燃料。使用 SAF 几乎不需要对现有的飞行器及航空基础设施进行额外改动，但与当前用于航空的主流航油相比，SAF 可减少 80%的 CO₂ 排放³。2021 年 7 月，国际能源署生物能源部发布《生物喷气/可持续航空燃料（Biojet/SAF）商业化进展：技术、潜力和挑战》⁴报告，介绍了全球可持续航空燃料商业化过程中面临的机遇和挑战。2023 年 10 月，落基山研究所发布《航空零碳必由之路——下一代可持续航空煤油技术发展前景》⁵报告，介绍了全球可持续

¹ 我国积极推进碳封存地质调查工作。

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1790947241593254421&wfr=spider&for=pc>

² 丁水汀，杨晓军，甘宸宇，等. 负碳航空燃料的新路径探讨[J]. 航空动力. 2022(06): 16-19.

³ Kramer S, Andac G, Heyne J, et al. Perspectives on Fully Synthesized Sustainable Aviation Fuels: Direction and Opportunities[J]. Frontiers in Energy Research. 2022, 9.

⁴ Progress in Commercialization of Biojet/Sustainable Aviation Fuels (SAF): Technologies, Potential and Challenges. <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/06/Task-39-Progress-in-the-commercialisation-of-biojet-fuels-FINAL-May-2021.pdf>

⁵ RMI. 航空零碳必由之路——下一代可持续航空煤油技术发展前景. <https://rmi.org.cn/wp->

航空燃料技术和产业化情况。2023 年 9 月，德勤中国发布《中国的可持续航空燃料——航空业碳中和之路》¹报告，详细分析了我国可持续航空燃料发展现状和面临问题。本文综合以上报告，并结合最新研究进展，概述可持续航空燃料相关国际政策、技术进展和产业化情况，并针对我国可持续航空燃料发展面临的问题，提出发展建议。

一、全球政策

美国的可持续航空燃料政策更多以鼓励性、支持性为主，主要运用财政补贴、税务减免等支持手段带动可持续航空燃料发展。2021 年，美国政府发布了《美国航空业气候行动计划》²，该计划确认了 2050 年美国航空业碳中和的长期目标，此后，美国先后发布了《可持续天空法案》³、《可持续航空燃料大挑战路线图》⁴、清洁能源革命计划、《通胀削减法案》等相关鼓励政策，提出可持续航空燃料产量到 2050 年扩大至 350 亿加仑/年，同时航空业 100%普及可持续航空燃料的发展目标。白宫 2023 年发布的《国家航空科技优先事项》明确提出加快可持续航空燃料的开发、测试和认证⁵，同时，美国能源部（DOE）陆续启动多个资助项目^{6,7,8}，加大对可持续航空燃料的研发和投入以及相关基础设施建设。

content/uploads/2023/10/%E8%88%AA%E7%A9%BA%E9%9B%B6%E7%A2%B3%E5%BF%85%E7%94%B1%E4%B9%8B%E8%B7%AF%E2%80%94%E2%80%94%E4%B8%8B%E4%B8%80%E4%BB%A3%E5%8F%AF%E6%8C%81%E7%BB%AD%E8%88%AA%E7%A9%BA%E7%85%A4%E6%B2%B9%E6%8A%80%E6%9C%AF%E5%8F%91%E5%B1%95%E5%89%8D%E6%99%AF.pdf

¹ 中国的可持续航空燃料——航空业碳中和之路. <https://www2.deloitte.com/cn/zh/pages/energy-and-resources/articles/saf-in-china.html>

² Federal Aviation Administration. United States Aviation Climate Action Plan. https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2021-11/Aviation_Climate_Action_Plan.pdf

³ Congress. Sustainable Skies Act. <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/3440>

⁴ Sustainable Aviation Fuel Grand Challenge. <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/sustainable-aviation-fuel-grand-challenge>

⁵ The White House. NSTC: National Aeronautics Science & Technology Priorities. <https://www.whitehouse.gov/ostp/news-updates/2023/03/17/nstc-national-aeronautics-science-technology-priorities/>

⁶ DOE. U.S. Department of Energy Awards \$118 Million to Accelerate Domestic Biofuel Production. <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/articles/us-department-energy-awards-118-million-accelerate-domestic-biofuel>

⁷ DOE. Biden-Harris Administration Announces \$150 Million Through Investing in America Agenda for the National Renewable Energy Laboratory. <https://www.energy.gov/articles/biden-harris-administration-announces-150-million-through-investing-america-agenda>

⁸ DOE. Biden-Harris Administration Announces \$7 Billion For America's First Clean Hydrogen Hubs, Driving Clean Manufacturing and Delivering New Economic Opportunities Nationwide. <https://www.energy.gov/articles/biden-harris-administration-announces-7-billion-americas-first-clean-hydrogen-hubs-driving>

欧盟为了应对气候变化，在推动可持续航空燃料方面较为强硬。欧盟在 2020 年提出了欧洲绿色新政（European Green Deal）长期发展战略，旨在通过立法的形式确保 2050 年实现碳中和。在此战略下，欧盟先后提出了一系列政策提案，统称为 Fit for 55 一揽子政策组合（简称 FF55，其中“55”指欧盟将在 2030 年前实现温室气体净排放量与 1990 年相比至少减少 55% 的中期目标）。其中，欧洲碳排放交易体系（EU Emissions Trading System, ETS）的修改提案、《ReFuelEU 航空提案》（ReFuelEU Aviation Initiative）和 2021 修订版的能源税指令（Energy Taxation Directive, ETD）对可持续航煤产业的影响最大。

《ReFuelEU 航空提案》规定从 2025 年起燃料供应商提供的航空燃料必须混掺可持续燃料，至 2050 年可持续航空燃料含量须提升至 70%。

英国可持续航空燃料政策基本与欧盟同步，同时也在紧密制定相关立法。2020 年，英国政府《绿色工业革命十点计划》（The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution）提出“净零飞行（Jet Zero）”计划¹，表示到 2030 年将投资研发可持续航空燃料技术，使得英国能够独立生产可持续航空燃料。2022 年，《航空零排放战略》（Jet Zero Strategy）²提出立法强制可持续航空燃料混掺比例，要求到 2030 年可持续燃料在航空燃料中的占比达到 10%，并计划在 2022—2025 年投资 1.8 亿美元用于可持续燃料工厂和燃料测试的商业化。

我国将航空业纳入了碳市场重点碳排放行业名单中，以可持续航空燃料作为航空业脱碳的重要抓手。十四五规划和相关政策中多次出现了与碳减排和可持续航煤相关的内容：《“十四五”民航绿色发展专项规划》明确设立了至 2025 年可持续航煤消耗量需达 5 万吨的目标；《“十四五”民用航空发展规划》提到要推进可持续航煤常态化试点和可持续认证机制，以及推动建立符合国情和行业发展阶段的航空碳减排市场机制；《“十四五”生物经济发展规划》提到鼓励可持续航煤的试点项目；

¹ Department for Energy Security and Net Zero. The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution. <https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution>

² Department for Transport. Jet Zero Strategy: Delivering Net Zero Aviation by 2050. <https://www.gov.uk/government/publications/jet-zero-strategy-delivering-net-zero-aviation-by-2050>

国家发改委和国家能源局《“十四五”可再生能源发展规划》提出，大力发展非粮生物质液体燃料，促进生物柴油和航空生物燃料生产；《2030年前碳达峰行动方案》指出要大力推进先进生物液体燃料、可持续航空燃料替代传统燃油；国家发改委印发的《绿色低碳先进技术示范工程实施方案》提到在过程降碳端推进可持续航空燃料的研发生产供应等示范项目；民航局航空器适航审定司牵头起草《航空替代燃料可持续性要求（征求意见稿）》，建立既满足国际通用要求又适合中国情况的航空替代燃料的可持续认证体系建设。

二、技术发展

截至2023年4月，美国材料与试验协会已审批通过包括醇制航煤（alcohols-to-jet, ATJ）、油制航煤（oil-to-jet, OTJ）、气制航煤（gas-to-jet, GTJ）以及糖制航煤（sugar-to-jet, STJ）在内的9种技术工艺，减排潜力巨大且原料可长期无限量供应的电力驱动合成燃料（Power-to-Liquid, PTL）工艺仍处于待批状态。当前大多数可持续航煤生产企业采用的都是酯和脂肪酸加氢（hydroprocessed esters and fatty acids, HEFA）路线，而其他技术由于技术或产业链尚不成熟，只存在小规模或实验性的生产项目。

（1）油制航煤常用原料包括植物油、餐饮废油、藻油、热解油等。油制航煤技术的主要路径有：酯和脂肪酸加氢、催化水热解（catalytic hydrothermolysis jet, CHJ）、热解等。HEFA和CHJ是将原料（植物油、地沟油、藻油和油料作物等）中的脂肪酸和脂肪酸酯转化成航煤，而热解是将原料先转化为热解油，然后再将热解油升级成航煤。热解中比较知名的方法有加氢解聚纤维素（hydrotreated depolymerized cellulosic jet, HDCJ），由KIOR公司研发，得到的热解油氧含量高，需经过处理得到航煤组分。

（2）气制航煤是指将沼气、天然气或合成气转化成生物航煤。最主要的GTJ方法有费托法（Fischer-Tropsch process, FT）和气体发

醇法。费托合成的原理是将原料气化形成氢气和一氧化碳混合的合成气，再加入费托反应器，在催化剂的作用下形成碳氢化合物。费托合成的转化率大约为 20%，最高能实现约 90%的碳减排。气体发酵利用微生物将合成气转化为醇类，然后通过醇制航煤工艺制备燃料。

表 1 可持续航空燃料主流技术路线和代表性企业

技术工艺	原料	关键中间体	碳减排潜力	技术成熟度	代表性企业
油制航煤	废弃油脂或油料作物	脂类	73%~84%	规模化生产	霍尼韦尔、道达尔能源（Total Energies）、纳斯特（Neste）、壳牌、美国 World Energy、中国镇海炼化、中国君恒实业
醇制航煤	甘蔗、糖浆、玉米等可转化为醇类的生物质原料	乙醇、丁醇和异丁醇	85%~94%	小规模商业示范	美国 Gevo 公司、美国 LanzaJet、霍尼韦尔、Axens 公司
气制航煤	农业与林业废物、城市固体废物、种植的纤维素能源作物	合成气	85%~94%	小规模商业示范	美国 Fulcrum Bioenergy、庄信万丰（Johnson Matthey）、
糖制航煤	包括甘蔗、甜菜、玉米以及经过预处理的木质纤维素生物质	碳氢化合物	90%	小规模商业示范	美国 Armyris 公司、Renewable Energy 集团
电力驱动合成燃料技术	二氧化碳和使用清洁电力生产的绿氢	绿色氢气	99%	发展初始阶段	霍尼韦尔公司、波兰 ORLEN 公司

（3）醇制航煤的主要原料为任何可以转化为醇类物质的生物质原料，包括农林废弃物、玉米、甘蔗等。醇制油技术能够将醇类物质通过脱水、低聚、加氢转化以及蒸馏等一系列工艺流程最终转化为可持续航煤。该技术的转化率约为 13%，碳减排潜力约为 90%。醇制航煤目前尚在小规模商业示范项目阶段，目前全球年产量约为 100 吨左右，未实现规模化量产。

（4）糖制航煤与 ATJ 工艺将糖发酵成乙醇，再将乙醇转化成航煤不同，糖类可以通过厌氧发酵直接生成烷烃类燃料，该方法称为直接糖制碳氢化合物（Direct Sugar to Hydrocarbons, DSHC），或直接

发酵糖制航煤（Direct Fermentation of Sugar to Jet, DFSTJ）。除了生化途径，糖也可以通过热化学方法转化为喷气燃料，如水相重整（Aqueous-Phase Reforming, APR）等。DSHC 发酵的产物与原材料、发酵过程、微生物的种类都有关。Amyris 公司利用酵母细胞中的甲羟戊酸将糖发酵成法呢烯，再生产航煤等。APR 可以将可溶性植物糖转化为醇、酮、醛、酸、呋喃等化学中间体，然后进一步将这些中间体转化为航煤。

（5）电力驱动合成燃料技术（Power-to-Liquid, PtL）使用清洁电力生产的绿氢与二氧化碳合成转化为碳氢化合物。根据测算，合成燃料技术能达到接近 99% 的碳减排。PtL 规模化应用需要大量的清洁电力储备和成熟的碳捕获技术，受限于当前过高的生产成本，PtL 目前还在技术发展初期。2022 年英国庄信万丰（Johnson Matthey）推出了反向水煤气变换技术—HyCOgen，将绿氢和 CO₂ 转化成合成气，再制造生物燃料，HyCOgen 与 FT CANS 技术集成，成功将 95% 的 CO₂ 转化为高质量航空燃料。

四、产业现状

美国覆盖了全球 25% 的航空活动。美国的可持续航煤产业在政策目标的积极推动下正在迅速扩张，目前可持续航煤产量已经从 2021 年的 1.5 万吨跃升到了 2022 年的 4.65 万吨¹。美国已投产的技术路线最为多样，醇制油和费托合成等下一代技术已经实现了小规模量产。全美范围内，已宣布的规划产能共计约 520 万吨，其中 HEFA 技术将承担 400 万吨的产能，剩余部分规划产能分别来源于费托合成和醇制油技术。美国可持续航煤企业 World Energy 使用霍尼韦尔授权的 Ecofining 技术（HEFA）利用动物脂肪和厨余油脂，年产 8 万吨。

欧盟产生了全球约 15% 的航空活动。在欧盟积极的减排政策引领下，欧洲的可可持续航煤产量也在全球首屈一指。据统计截至 2023 年 6

¹ U.S. Government Accountability Office. Sustainable Aviation Fuel: Agencies Should Track Progress Toward Ambitious Federal Goals. <https://www.gao.gov/products/gao-23-105300>

月，欧盟已建成投产产能约 28.6 万吨，其中除 400 吨为合成燃料路线外，其余均使用 HEFA 技术¹。欧盟国家未来还将继续加大对可持续航煤的投资，据统计截至 2023 年 6 月，欧盟境内已投产或已宣布的可持续航煤项目总共产能约 400 万吨，其中 HEFA 路线将承担其中 280 万吨的产能，其他三种新一代技术则将共同承担剩余 120 万吨产能。

我国可持续航煤产业起步较晚，目前仍然处于早期探索阶段。在这一阶段，产业主要以小规模实验性应用项目为主。我国废弃食用油脂和生物质资源丰富，具有发展可持续航空燃料的巨大潜力。2011 年，镇海炼化首次利用 HEFA 技术生产出可持续航煤，后由于经济可行性，试点暂停，2022 年重启可持续航煤项目并实现了规模化生产，随后嘉澳环保、东华能源等传统生物质燃料龙头企业也相继宣布开始进行可持续航煤的生产和研发布局。目前，我国已宣布的可持续航煤项目总规划产能约 390 万吨。在目前已经建成或已宣布的项目中，HEFA 技术路线的总产能为 350 万吨，仍然是行业最主流的技术路线选择。其中，跨国企业霍尼韦尔将与三家本土企业合作，以技术提供商的方式授权 HEFA 技术工艺，总规划产能达 230 万吨。除此以外，目前已有的生物柴油企业也可以通过工艺改造转而生产可持续航煤。

五、我国可持续航空燃料发展面临挑战和解决方案

我国虽然在可持续航空燃料虽然已经取得重要突破，但实现规模化生产还面临多重挑战。

首先，原料来源不稳定且成本高昂，占生产成本的 70%~80%。生产主要依赖废气烹饪油和木本油料作物，但废弃烹饪油回收难度大，木本油料作物受季节影响，种植难度大，且需基因工程提高产量和含油量。例如，我国棕榈油依赖进口，价格波动大，存在碳排放争议。海藻作为原料也面临基因变异、收集和萃取技术难题。

其次，生产工艺不够成熟，现有加氢脱氧和异构化工艺存在问题，

¹ European Union Aviation Safety Agency. European Aviation Environmental Report. <https://www.eurocontrol.int/publication/european-aviation-environmental-report-2022>

如深度加氢导致芳烃量低，脂肪酸酯类残存影响燃料稳定性。费托合成燃料润滑性不佳，新技术研发周期长、成本高。国际上，芬兰、美国等采用更广泛的工艺，但技术转让费用高昂。

最后，关键技术有待突破，国际民航组织（ICAO）要求航空燃料满足更严格的质量标准，确保生物燃料的安全性和可持续性。然而，技术创新是限制航空生物燃料产业发展的关键因素。中国在原料作物培育、基因改造、催化剂开发等领域研发不成熟，成本高，缺乏竞争力。为实现 ICAO 的碳排放目标，需要加大研发投入，突破关键技术，降低生产成本，提高生物航空煤油的市场竞争力。

针对以上问题，提出如下发展建议：

首先，为了降低生物航煤生产成本，应增加原料供应，主要使用生物质和动物油脂作为生产原料。生物质能源的发展应遵循不占用耕地和居民用地的原则，多采用适应恶劣环境的作物为原料，例如耐旱、耐盐碱等环境的生物质。建设生物质能源林基地、增加原料供给是降低生物航煤生产成本、推进其商业化应用的重要途径。此外，林业生物质能源林基地的建设还可以增加地方就业率和收入。

其次，规定航空公司碳排放配额，疏导航空生物燃料销售渠道。可以借鉴欧盟航空公司碳排放交易体系，制定各航空公司的碳排放配额。通过这种方式，可以促进航空生物燃料技术发展和 CO₂ 排放量的减少。

最后，政府应建立补偿机制和相关政策，促进生物航空煤油炼制企业的发展。生物航空煤油炼制企业的原料来源不稳定，原料的处理及生产过程复杂、成本高，相比传统航空煤油生产企业缺乏竞争力。政府可以通过赋税减免、补贴和资金支持措施，以促进生物航空燃料炼制企业的健康发展。同时，在餐饮废弃油的回收上建立适当的补偿机制，提高生物航煤原料的稳定性。

（吴晓燕 曾静静 秦冰雪 陈方）

● 2月15日，日本新能源产业技术开发机构（NEDO）启动绿色创新基金资助的“在废弃物与资源循环利用领域实现碳中和”项目，总预算为445亿日元（约3亿美元）¹。该项目的目标是将废弃物焚烧和填埋处理过程产生的二氧化碳和甲烷等大气排放量降到最低，稳定、有效地回收废弃物中的碳元素，实现温室气体排放量为零，并将开发和实证以生物碳为资源循环供给产业的“碳中和型碳循环系统”。NEDO最终选定了4个主题：以二氧化碳分离回收为前提的碳中和型废弃物焚烧处理整体系统开发；二氧化碳高浓度化废弃物燃烧技术的开发；利用气化改性和微生物制造乙醇的废弃物化学回收技术的开发；生物甲烷化技术的开发。

● 2月19日，韩国产业通商资源部（MOTIE）宣布实施“温室气体国际减排项目”，扩大对海外温室气体减排的支持，以履行国家温室气体减排目标、抢占未来潜力市场²。为实现韩国减排计划中的3750万吨海外碳减排目标，韩国政府推出2点措施：①MOTIE提供的海外温室气体减排项目总投资将从2023年的60亿韩元增加到2024年的330亿韩元，其中每个项目的支持资金从30亿韩元增加到最高60亿韩元，将对可再生、高效率、低碳设施的购买和安装以及运行测试等费用提供50%的支持，企业将在未来约10年内通过温室气体减排量来偿还该笔款项；②MOTIE新设立可行性研究支持项目，帮助企业进行海外减排量的计算和碳排放国内转移可能性的调研协商，为大企业和中小企业分别提供所需金额的50%、80%，帮助企业及时研究有潜力的项目，从而推进海外碳减排、抢先开展相关业务。

¹ 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構. グリーンイノベーション基金事業「廃棄物・資源循環分野におけるカーボンニュートラル実現」に着手.

https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101724.html

² 한국산업통상자원부. 국외감축 시범사업 관 키운다.

<https://www.motie.go.kr/kor/article/ATCL3f49a5a8c/168623/view?mno=&pageIndex=1&rowPageC=0&displayAuthor=&searchCategory=0&schClear=on&startDtD=&endDtD=&searchCondition=1&searchKeyword=#>

● 2月22日，**Science** 刊文指出，大规模造林反而会使森林减碳效益降低近三分之一¹。英国谢菲尔德大学等机构的研究团队利用先进的气候模型—UKESM1 和 CESM2，模拟未来情景下植树造林对气候变化和二氧化碳去除的影响。结果表明，由于植树造林改变了大气成分、降低了地表反照率，两种变化的叠加间接抵消部分森林减碳效益。因此，植树造林措施应与其他减碳战略一起实施，才能实现吸收大气中二氧化碳的最终目标。

● 2月22日，欧盟委员会宣布将在“环境与气候行动” LIFE 计划下向全欧洲 12 个新战略项目投入超过 2.33 亿欧元，以支持欧洲绿色协议的欧盟环境和气候目标的实现²。这些战略项目预计将动用多种欧盟资金，包括农业、结构、区域和研究基金，以及从欧盟国家政府和私营部门获得的大量额外资金。这 12 个项目涉及环境（3 个）、促进自然和生物生物多样性发展（6 个）、气候变化（3 个），将支持保加利亚、捷克、爱尔兰、西班牙、法国、意大利、立陶宛、奥地利、波兰和芬兰这 10 个国家实现该国的环境和气候目标，扩大它们为欧盟绿色转型作出的贡献。

● 2月29日，美国能源部（DOE）化石能源与碳管理办公室（FECM）宣布，将追加高达 3000 万美元的资金，用于支持两项碳管理优先事项³。这两项事项分别是：将二氧化碳转化为既具有生态价值又具有经济价值的产品，以及开发低成本、高效率的技术（二氧化碳的非光合生物转化，将二氧化碳转化为塑料，将二氧化碳转化为固体碳产品）；从工业设施和发电厂获取碳的低成本、高效率技术，用于安全的地质碳储存或转化为长效产品，如合成集料、建筑材料和混凝土。推进上述技术的发展，将有助于美国建立起一个成功的碳捕获、

¹ *Science*. Chemistry-albedo Feedbacks Offset up to a Third of Forestation's CO₂ Removal Benefits. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adg6196>

² European Commission. Commission invests over €233 million in Strategic Environment and Climate Projects across Europe. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_949

³ U.S. Department of Energy. DOE Announces \$30 Million to Advance Carbon Dioxide Capture and Conversion Technologies. <https://www.energy.gov/fecm/articles/doe-announces-30-million-advance-carbon-dioxide-capture-and-conversion-technologies>

储存和转化产业，同时也将助力拜登-哈里斯政府实现其雄心勃勃的气候目标。

● 2 月，国际可再生能源署（IRENA）、联合国工业发展组织（UNIDO）和德国发展与可持续性研究所（IDOS）联合发布《绿氢促进可持续工业发展：发展中国家政策工具包》报告¹。该报告阐述了绿氢对发展中国家可持续发展的推动作用，并强调了政策协调对实现绿氢产业公正转型的重要性，具体结论包括：①绿氢发展的机遇和挑战并存，必须采取协调一致的政策行动；②政府制定全面的国家氢能战略，并通过参与产业链上下游活动扩大国内绿氢生产规模至关重要；③技术进步和可持续的能源供应是推动绿氢发展的关键；④政府需要采取多种措施刺激绿色产品的市场需求；⑤在跨境运输的背景下，制定绿氢运输战略对发展中国家参与国际贸易至关重要；⑥实现全球绿氢快速发展需要在科学、技术和创新领域进行多边合作。

● 3 月 4 日，英国政府宣布一揽子重大投资计划，以 3.6 亿的政府资金，联合行业投资，共同推进低碳航空、电池存储、碳捕集、电动汽车、医药领域的研发和制造项目²。其中，英国先进推进中心（APC）和行业联合为零尾气排放车辆技术以及磷酸铁锂电池材料开发投资约 7300 万英镑；英国航空航天技术研究所（ATI）和行业联合为节能和零碳航空技术开发投资近 2 亿英镑；此外，绿色产业增长加速器（GIGA）获得 1.2 亿英镑支持，总额达到了近 11 亿英镑，其中约 3.9 亿英镑专用于扩大本国电网和海上风电领域的供应链，约 3.9 亿英镑将分配给碳捕集、利用和封存以及氢工业，剩余 3 亿英镑已在此前被宣布用于生产相关燃料，为高科技新型核反应堆（被称为 HALEU—高丰度低浓缩铀燃料棒技术）提供动力。

● 3 月 7 日，日本新能源产业技术开发机构（NEDO）启动下一

¹ IRENA. Green Hydrogen for Sustainable Industrial Development-A Policy Toolkit For Developing Countries. <https://www.irena.org/Publications/2024/Feb/Green-hydrogen-for-sustainable-industrial-development-A-policy-toolkit-for-developing-countries>

² GOV.UK. £360 Million to Boost British Manufacturing and R&D. <https://www.gov.uk/government/news/360-million-to-boost-british-manufacturing-and-rd>

代船舶开发新项目¹。该项目是绿色创新基金的一部分，以其重点关注领域中的“船舶产业”为支持对象。此次资助重点关注两个主题：①NEDO 资助 13 亿日元开发搭载氨燃料船的 N₂O 反应器，包括装置、催化剂以及后续的陆地实验和实船实验；②NEDO 资助 3 亿日元开发氨燃料船供应链构建的外围设备，包括开发氨的高灵敏度测量、微量泄漏检测、回收再利用技术，以及将开发的技术和机器通过陆地试验并进行实船验证。

● 3 月 8 日，美国能源部宣布提供 4.25 亿美元的资金，用于减少工业排放和推进对美国能源供应链至关重要的清洁能源制造²。该项目是由两党基础设施法资助，由制造和能源供应链办公室（MESC）管理的先进制造和回收拨款计划的第二轮投资，建立在 2023 年成功的第一轮投资的基础上（资助 7 个项目 2.75 亿美元），将支持当前和以前的煤炭社区的中小型制造商，这些制造商专注于生产和回收清洁能源产品，并在其设施中投资脱碳。此轮资助将优先考虑 2 个主题：①清洁能源制造和回收（在第一轮计划中获得资助），旨在建立、重新装备或扩建现有的制造或回收设施，以生产或回收先进能源；②工业脱碳（第二轮计划关注的新领域），重点是建设或升级制造设施，以大幅减少温室气体排放并创造低碳材料。

¹ 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構. グリーンイノベーション基金事業「次世代船舶の開発」で新たなテーマに着手. https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101727.html

² Department of Energy. Biden-Harris Administration Announces \$425 Million to Decarbonize and Manufacture Clean Energy Products in Former Coal Communities as Part of Investing in America Agenda. <https://www.energy.gov/articles/biden-harris-administration-announces-425-million-decarbonize-and-manufacture-clean-energy>

双碳情报动态

主办：中国科学院发展规划局
中国科学院文献情报中心

出版：“双碳行动情报支撑与战略研究”任务组

编委会主任：翟立新

编委会副主任：刘细文 陶宗宝 曲建升

编委会成员：蔡睿 蔡翔舟 柴麒敏 陈方 陈伟 冯志纲

(姓氏拼音排序) 甘泉 郭剑锋 江会锋 李扬 刘晓东 刘艳丽

陆颖 马廷灿 牛振恒 任珩 孙玉玲 唐川

王金平 王小伟 王学昭 王征 岳芳 曾静静

张贤 张娴 张香平 赵亚娟 赵晏强 郑军卫

朱庆山

主 编：曲建升

副 主 编：甘泉 刘晓东 王小伟

陈伟 曾静静 孙玉玲 陈方

本期责编：陈方

电子信箱：chenf@clas.ac.cn

联 系 人：刘燕飞

电子信箱：liuyf@llas.ac.cn