

双碳能源动态信息

2023年03期



中国科学院兰州化学物理研究所科研与规划处

2023年9月12日

CONTENTS 目录

◆ 深度分析

英国碳中和战略政策体系研究与启示	1
全球新型储能研究前沿与技术发展趋势	6

◆ 国际观察

全球碳捕集与封存研究院发布《中国 CCUS 进展》报告	10
英国政府设立新部门促进保障净零排放	10
国际可再生能源机构发布《2023 世界能源转型展望》预览报告	11
国际能源署发布《2022 年全球二氧化碳排放》报告	11
欧盟新法案定义可再生氢及其生命周期排放计算方法	12
欧盟出台《净零工业法案》以提高清洁技术竞争力	12
欧盟大幅提高 2030 年可再生能源目标	13
美国能源部提出加速氢能、储能和先进核能商业扩张路径	13
韩国发布工业部门碳中和技术创新推进战略	14
韩国政府发布实现 2050 碳中和绿色增长蓝图	14

◆ 项目资助

欧盟宣布资助 25 亿欧元支持清洁能源技术示范应用	16
英国宣布促进能源安全和净零增长新战略	16
英国发布碳捕集、利用和封存净零投资路线图	17
日本投资超过 150 万亿日元实现绿色转型	17
日本绿色创新基金支持通过生物技术促进 CO ₂ 转化研究	18

美国能源部近期投入近 22 亿美元支持低碳能源研发示范.....	18
美国能源部投入超 25 亿美元推进碳捕集、利用与封存.....	19
美国能源部投入近 5 亿美元支持低碳能源技术开发和示范.....	19
美国能源部拨款 4700 万美元支持油气行业甲烷减排项目.....	21
澳大利亚联邦科学与工业研究组织资助开发新型 CCS 技术.....	21

◆ 研究进展

原位表征技术揭示铜催化剂在 CO ₂ 电还原中的演化过程.....	22
催化剂微环境调节可实现强酸条件下 CO ₂ 高效转化.....	22
MgAl 纳米片新载体设计 Cu 基催化剂增强 CO 电还原效率.....	22
氮还原-氢氧化耦合连续流电解槽实现高效电合成氨.....	23
新型固体电解质驱动室温锂-空气电池能量密度新突破.....	23
日本开发首个氢燃气轮机热电联产系统.....	24
美国首个核能制氢示范项目投入使用.....	24
美研发出新型直接空气捕集装置大幅提升捕集效率.....	24
多伦多大学实现在温和条件下 CO 选择性合成丁烷.....	25
枯叶高值转化为光催化剂和生物塑料等多功能材料.....	25
Pd-PdO/ZnSO ₄ 催化剂闪速热解木质纤维素高效制备糠醛.....	26
麻省理工学院发现低碳混凝土生产新途径.....	26
英科学家研发一种利用多矿物岩石捕集 CO ₂ 新工艺.....	26
生物电解集成系统将 CO ₂ 转化成聚酯产品.....	27

◆ 政策速览

政策速览 (2023 年 1—5 月)	28
-----------------------------	----

英国碳中和战略政策体系研究与启示¹

党的二十大报告指出，“积极稳妥推进碳达峰碳中和”。这是党中央对新阶段高质量实现碳达峰、碳中和(以下简称“双碳”)目标作出的最新研判和战略部署。我国作为负责任大国和碳中和的积极倡议国，深度参与全球碳中和治理体系建设，并逐步构建起“双碳”“1+N”政策体系^①，“双碳”行动实现良好开局。

① “1+N”政策体系中“1”指“双碳”顶层设计文件，目前包括《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》《2030年前碳达峰行动方案》；“N”指分领域分行业实施方案和支撑保障政策及各省(自治区、直辖市)行动方案。

英国作为全球主要发达国家和传统工业强国，其历史累计排放量及人均排放量均较高，故一直以来极为重视温室气体排放治理，是全球最早以法律形式确立减排目标和碳中和战略的国家。在碳中和战略实践中，英国有着清晰的宏观、中观、微观特征，在净零目标约束和总体战略指导下，密集出台部门减排战略、行动计划、路线图等一系列政策，与我国“1+N”政策体系相类似，且其经济发展轨迹、气候战略演变等规律，对我国推进“双碳”进程具有一定参考价值。

1 全球治理视角下英国气候战略演变特征

本文基于全球应对气候变化治理体系的发展历程和特点，系统梳理了英国政府过去数十年应对气候变化的战略政策，总结出英国气候战略演变典型特征，可分为治理起步期(1990—1999年)、治理探索期(2000—2009年)、改革转型期(2010—2018年)、净零推进期(2019年至今)4个发展阶段。

治理起步期(1990—1999年)：20世纪80年代末，国际社会开始重视气候风险问题，联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)应运而生。1992年通过的《联合国气候变化框架公约》促使气候治理成为全球性议题；1997年通过框架下减排条约《京都议定书》，推动全球气候治理机制初步建成。在此期间，英国政府采取积极严格的措施以应对日益凸显的大气污染问题，颁布《电力法》《环境保护法》等多部法案，积极推动天然气和电力市场化改革，启动建立多种大

¹ 李岚春, 陈伟, 岳芳, 等. 英国碳中和战略政策体系研究与启示[J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(3):465-476. DOI: [10.16418/j.issn.1000-3045.20220822003](https://doi.org/10.16418/j.issn.1000-3045.20220822003).

气污染物控制体系。

治理探索期(2000—2009年)：2009年《哥本哈根协议》维护应对气候变化“双轨制”谈判底线，并再次凝聚了全球金融危机下发达国家和发展中国家行动共识。英国深刻意识到工业革命所带来的气候负面影响，试行世界首个国家碳排放市场交易体系(UK ETS)，颁布全球首个具有约束力的国家《气候变化法》，成立国家气候变化委员会(CCC)，出台首个《低碳转型计划》。

改革转型期(2010—2018年)：2015年达成全球首个普遍适用的治理体系——《巴黎协定》，以“自下而上”的国家自主贡献形式激发各方气候治理意愿和活力。这一阶段英国碳减排治理取得一定成效，修订《英国能源法》推动低碳电力成为未来能源供应主力，并提出煤电淘汰日程。2016年，英国将能源、气候等相关部门整合重组大部制——商业、能源与工业战略部(BEIS)。2017年发布的《清洁增长战略》把减排作为英国工业战略的核心，制定各领域减排目标，并进一步强调降低脱碳成本。

净零推进期(2019年至今)：这一阶段英国碳排放趋势有所反弹，政府快速部署“脱欧”之后国家气候战略，以重新领导全球气候治理体系。2019年，英国政府完成《气候变化法》修法，成为全球首个立法承诺2050年实现净零排放的主要经济体，正式迈入碳中和治理的全新阶段。此后，政府出台《绿色工业革命十点计划》(以下简称“十点计划”)纲领性战略，并密集发布《2050年净零排放战略》《工业脱碳战略》《交通脱碳计划》《氢能战略》《净零研究创新框架》等一揽子体系化政策。同时，英国成立由首相主持的内阁级国家科学技术委员会(NSTC)，设立由科学家领导、多个部委参与的科技战略办公室(OSTS)，将净零排放战略与生命健康、国家安全、数字经济列为国家四大关键科技领域。

2 英国碳中和战略政策体系

2.1 总体层面：基本形成碳中和战略“1+1+N+X”政策体系

英国在碳中和行动实践中，其中央政府充分汲取智库建议，修法强化净零排放约束目标，出台“十点计划”制定未来数十年净零行动路径；管理部门相继发布减排脱碳战略、行动计划、技术路线图等一系列政策；国家智库机构提交数份政策建议、监测评估、行业指导等战略咨询报告，由此形成1份立法文件、1份顶层规划、N个行动计划、X份战略咨询的“1+1+N+X”政策体系。

通过对战略政策的文本挖掘和迭代分析，基本勾勒出英国碳中和战略的总体思路和特征。英国为谋求世纪疫情、能源危机和“脱欧”风波等多重危机下的经济复苏，制定了法律法规、国家战略、政策举措、科技计划、行业目标和路线图等一揽子碳中和政策，旨在通过引领全球绿色工业革命浪潮再造碳中和时代绿色工业“发源地”。

2.2 宏观战略：重视系统全面性、决策科学性、反馈有效性

基于对政策文本数据结构化处理和归类，英国碳中和政策体系从“战略咨询—战略决策—战略执行—外部评估”4个阶段螺旋式推进。①战略咨询层。主要为政府资助成立的智库机构，由相应领域科学家、战略专家及政府管理人员等组成，以国家碳中和战略需求为导向提供具体的科学建议。②战略决策层。作为国家战略和政策最高制定者，为应对气候变化、经济增长等制定行动纲领。③战略执行层。由多个政府职能部门和监管机构组成，负责制定分部门分阶段的行动计划和路线图。④外部评估层。为第三方专业机构，实时监测和评估碳中和行动绩效，并提出下一阶段改进措施的建议，形成及时有效的反馈。

2.3 中观架构：政府、智库、金融多方协同促成全社会共识

在政策组织实施上，英国形成中央政府统筹部署、主管机构分工推进、私营部门协同发力、智库机构支撑决策的4类主体协同推进机制，进而服务于维护国家绿色变革的战略导向。①中央政府统筹部署。中央政府审定发布了具有法律约束力的碳中和雄心目标，统筹制定未来30年内的碳中和战略总领计划，全面拉开英国绿色工业革命序幕。②主管机构分工推进。政府职能机构出台更加详细的中长期战略、领域行动计划、技术路线图及投融资计划，机构之间举措相互呼应、分工协作，形成自上而下的政策体系。③私营部门协同发力。英国极为注重私营部门的协同作用，并专门成立投资办公室(Office for Investment)、设立基础设施投资银行，各项政策也提出吸引私营投资的具体举措，以此推动国内绿色产业的培育和壮大。④智库机构支撑决策。

3 中英两国碳中和战略政策的对比分析

目前，我国已出台国家层面的“双碳”整体战略，并成立国家“双碳”工作领导小组和推进小组，战略行动迈入了实质性落实阶段，各省市“双碳”规划基本制定完成，行业领域相继发布相应行动计划。

通过与英国碳中和战略体系相比较，可以看出，在立法约束、领域中长期行动计划、战略咨询体系等方面我国仍存在不足。同时，相比英国政策倾向于创造就业，我国出台了“双碳”财政、人才计划及央企行动指南，更加重视在科技人才和平台支撑上的体系化部署。此外，我国在能源电力、工业、交通、建筑及金融等部门的远期行动计划还需进一步完善(表 1)。

表 1 中英两国碳中和战略政策体系对比
Table 1 Comparison of carbon neutral strategic policy systems between China and UK

政策体系	英国	中国
1: 立法文件	《气候变化法》	无相关文件
1: 顶层规划	《绿色工业革命十点计划》 《2050年净零排放战略》	《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》 《2030年前碳达峰行动方案》
N: 行动 计划	能源电力 中期计划: 《2035年电力系统脱碳计划》	中期计划: 《“十四五”现代能源体系规划》
	工业 中长期计划: 《工业脱碳战略》	中期计划: 《工业领域碳达峰实施方案》
	交通 中长期计划: 《交通脱碳计划》	中期计划: 《交通运输部 国家铁路局 中国民用航空局 国家邮政局贯彻落实〈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〉的实施意见》
	建筑 中长期计划: 《供热和建筑战略》	中期计划: 《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》
	农林 中长期计划: 《自然恢复网络计划》	中期计划: 《农业农村减排固碳实施方案》
	科技 中期计划: 《净零研究与创新框架》	中期计划: 《科技支撑碳达峰碳中和实施方案(2022—2030年)》
	财政 中长期计划: 《国家基础设施战略》	中长期计划: 《财政支持做好碳达峰碳中和工作的意见》
	教育 无相关文件	中长期计划: 《高等学校碳中和科技创新行动计划》
	企业 无相关文件	中长期计划: 《关于推进中央企业高质量发展做好碳达峰碳中和工作的指导意见》
	金融 中长期计划: 《绿色金融: 可持续投资路线图》	无相关文件
X: 战略咨询	气候变化委员会、净零创新委员会等	无相关文件

4 对我国完善“双碳”政策体系的启示与建议

我国“双碳”战略政策体系要充分理解气候治理与经济转型、能源革命之间的逻辑关系，既要面向长期减排目标以及不同排放部门，又要覆盖经济产业结构全领域，且健全建立在总体规划和战略引领下的“双碳”执行和支撑体系，持续推进我国“1+N”政策部署。

(1)加强“双碳”战略相关法律保障，持续完善气候治理监督管理体系。加快“双碳”立法进程，赋予国家层面的法律约束保障，完善大气防治、碳排放交易、碳污染治理等相关法律体系，以保持长期深度减排目标的稳定性，并制定不同排放部门治污和减排约束目标。

(2)健全部委协同、地方联动、行业融合覆盖经济社会全领域的战略推进体

系。进一步完善“双碳”政策的推进体制机制，构建统筹国内国外、近中远期的跨部门、跨地区、跨行业推进体系。

(3)制定碳中和行动细分领域中长期发展目标、阶段安排、重点任务。①面向能源和电力、工业、交通、建筑等主要排放部门，持续更新完善具体部门的远期行动计划和减排战略。②面向化石能源、光伏、风电、氢能、先进核能、电动汽车、CCUS 及循环利用等关键产业，围绕产业集群、技术创新、资金投入、税收工具等方面，制定产业发展中长期路线图、施工图，深入结合当前绿色清洁产业发展特征合理制定相关政策。③面向政府、企业、研究机构、社会组织及个人等不同层面，制定有针对性的碳中和行动指引。

(4)尽快完善碳中和行动相关技术创新指南和路线图。依托《科技支撑碳达峰碳中和实施方案(2022—2030)》，明确提出“双碳”相关技术及主要排放部门的近、中、远期发展目标和路线图，引导各类科技资源投入。每年更新碳中和关键技术清单及重要度排序研究，加大光伏、风电、电动汽车等优势技术的示范和应用支持力度，继续保持全球技术竞争力。加快部署尚处于发展早期阶段的前沿绿色低碳和新兴技术研发创新，推动前沿技术、颠覆性技术的重点突破。加快推进低碳、脱碳、零碳、负碳关键技术攻关、示范和转化，高效节能低碳技术及 CCUS、生态增汇等技术示范应用，推动新一代数字化技术在清洁能源、节能和能效等领域的融合创新。

(5)构建国家“双碳”战略行动监测评估与咨询支撑体系。当前，我国在高校、科研院所、企业已成立了多个“双碳”研究平台，但在战略决策支撑体系建设方面相对较为欠缺，也极为迫切。建议发挥中国科学院、中国工程院等国家高端智库在“双碳”态势研判、进程评估、重大部署等方面的决策咨询作用，构建国家高端智库“双碳”战略研究支撑体系。①组建高级别、跨部门、综合性“双碳”战略决策咨询委员会，系统跟踪评估我国经济转型、能源和工业革命、气候治理、技术创新等发展水平，适时向国家最高决策层提出支撑建议。②建立“双碳”战略行动实施成效的监测评估机制，提前委托第三方机构开展科学评估方法体系的研究，成熟后适时开展“双碳”行动进展的定期评估，并前瞻提出下一阶段战略部署的政策建议。③针对排放部门、产业企业、社会大众等层面，定期发布“双碳”行动白皮书报告与参考指南，引导全社会深度参与。

5 结语

未来，以碳中和为核心的能源安全、经济增长、绿色革命等议题加剧国际博弈态势，能源市场振荡、气候行动壁垒、绿色贸易保护主义等因素对我国的冲击影响将常态化、扩大化。为此，我国应在全球碳中和变革中加快推进系统部署，发挥新型举国体制优势，从法律保障、体制机制、实施路径、科技创新、智库支撑等 5 个维度，针对不同减排部门、不同产业技术以及政府、行业、企业、社会等多个层面，持续完善我国“双碳”战略政策体系。

全球新型储能研究前沿与技术发展趋势²

随着全世界各国陆续宣布碳中和目标，太阳能、风能等可再生能源的发展取得了显著进步。但其在时间上具有间歇性、在空间上具有分布不均的特点，如果直接并网将对电网产生强烈冲击。因此，储能系统的建立，尤其是将储能与数字化、智能化技术深度融合形成的新型储能技术，能有效融合电、热、冷、气、氢等多个能源子系统，实现多能协同，是未来能源革命的关键支撑技术。本文基于文献计量、专利分析等方法，分析了近十年（2013—2022 年）锂离子电池、钠离子电池、液流电池、金属-空气电池、压缩空气储能、重力储能等 6 项新型储能技术的研究前沿、技术布局和发展趋势。

1、新型储能基础研究前沿主题

全球新型储能基础研究论文发文量在近 10 年快速增长，其中锂离子电池领域发文量最多（占比 73.4%）。尤其是近 2 年，全球新型储能发文量占近 10 年总量的 41.9%，其中金属-空气电池和重力储能技术方向占比均超过 50%。全球主要国家均在新型储能领域开展广泛研究，中国表现尤为突出，以 70091 篇发文量位居全球首位（占比 53.5%），其次是美国（16.6%）和韩国（8.4%）。中国钠离子电池和锂离子电池发文量全球占比最大（65.0%和 59.5%），且具备相对较高的影响力，高被引论文数量占全球的 76.0%，尤其是钠离子电池和金属-空气电池的高被引论文超过全球 8 成（84.7%和 88.5%）。基于主题新颖度、主题强度、主题影响力、主题增长度 4 个论文计量指标的表现，综合指数 2 排名前

² 双碳动态情报，2023（04），中国科学院发展规划局，中国科学院文献情报中心。

3 位的新型储能基础研究前沿主题如表 1 所示。

表 1 2020—2022 年全球新型储能基础研究前沿主题

技术	研究前沿主题	技术	研究前沿主题
锂离子电池	锂离子电池电极材料及性能研究	钠离子电池	钠离子电池电极材料及性能研究
	锂离子电池固态电解质材料及性能研究		钠离子电池电解质材料及性能研究
	锂离子电池传输性能优化研究		钠离子电池纳米/复合/框架材料及其性能研究
液流电池	液流电池离子交换膜材料及其性能研究	金属-空气电池	金属-空气电池新型催化剂开发及其性能研究
	液流电池电极材料及其性能研究		金属-空气电池高活性电催化剂开发及其性能研究
	液流电池高效催化剂开发及其优化		金属-空气电池电解质材料及性能研究
压缩空气储能	压缩空气储能与可再生能源耦合系统开发及其性能研究	重力储能	重力储能存储效率及其性能比较研究
	绝热压缩空气储能系统开发及其性能研究		新型重力储能系统建模与性能研究
	基于热电联产的压缩空气储能系统开发及其性能研究		重力储能与可再生能源协同并网优化配置研究

2、新型储能技术布局重点方向

针对近 3 年（2020—2022 年）6 种新型储能技术相关专利进行主题聚类词云分析发现（图 1），技术布局如下：①循环稳定性材料，包括负极材料、正极材料、锂电池隔膜、前驱体材料、热失控等；②合成工艺，如预测模型、电化学模型等；③锂电池，侧重于锂电池组、电极材料等；④钠离子电池，包括正极材料、电解液添加剂、固态电解质材料等；⑤物理储能系统，侧重于压缩空气储能、重力储能等。

分析近 3 年新型储能技术发明专利前 15 位国际专利分类号（IPC），可获知其主要布局方向，如表 2 所示。

3、新型储能技术发展趋势

锂离子电池：预计到 2030 年，锂电池储能系统的平准化成本可以降低到 0.2~0.3 元/千瓦时，在灵活性调节资源中逐步具有竞争力。在技术突破方面，锂离子电池需要解决适应高安全、低成本、大容量应用需求的电池体系和材料、工艺及设备国产化问题；研究锂电池储能系统的故障机理、安全设计、成套设备及智能运维；锂矿资源高效开采、提炼及锂资源循环利用技术。

表 2 2020—2022 年全球新型储能技术发明专利主要布局方向

技术布局方向	IPC 分类号
二次电极、一次电池和混合电池及其制造	H01M10; H01M6; H01M12
电池电极、非活性部件、电极隔膜、导电联接等组件及制造	H01M4; H01M50; H01M2
电池材料, 如碳材料及其化合物、镍化学物、磷材料及其化合物、硅材料及其化合物等	C01B32; C01G53; C01B25; C01B33
用于材料或表面科学的纳米技术及纳米结构制造、处理方法	B82Y30; B82Y40
电池性能测试及故障探测装置, 充放电电路设置等	G01R31; H02J7
电池安全管理系统, 如火灾预防、灭火等方法	A62C3

钠离子电池：目前仅处于研发示范阶段，未来商业化应用后其平准化成本预计比锂离子电池低 20% 左右，有望在固定式储能领域替代锂离子电池。重点需要突破以下技术方向：开发综合性能优异的正极材料，低成本、长循环、高能量密度、高倍率、无毒无害、加工简单是正极材料主要追求的性能；开发综合性能优异负极材料，同时如何兼顾合金或转换类的高容量与循环稳定性也是未来的发展方向；不断提高电池的能量密度，除了要提高材料本身性能之外，还需要在锂离子电池制造工艺的基础上探索适合于钠离子电池特点的制造工艺。

液流电池：未来全钒液流电池最具发展前景的方向是构建商用液流电池系统电站。预计到 2030 年平准化成本达到 0.2~0.3 元/千瓦时，将出现一定规模的商业化应用，随后将随着产业规模扩大成本进一步下降，并在长时、大容量储能中占据一定的份额。未来研究和开发将集中在：使用无腐蚀性、安全、低成本氧化还原活性的有机材料；通过开发氧化还原活性材料增加电池能量密度；通过电极表面改性修饰，提高电极表面电流密度；利用高度可逆的氧化还原电偶增加电池寿命；通过扩大活性物质的浓度以及降低电解液沉淀实现整个电池系统能效的提高。

金属-空气电池：金属-空气电池以其超高的能量密度在下一代储能设备研究中占有重要地位。未来需在以下领域开展研究：金属-空气电池的材料设计，通过提高金属电极的可逆性，抑制副反应，优先解决可再充电能力问题；除了开发提高电池性能的材料设计方法外，还需寻找适用于大容量储能的应用，以实现金属-空气电池大规模商业化发展；电池结构的设计，如循环电解质流动的

电池结构。

压缩空气储能：作为最具发展潜力的大规模物理储能技术，到 2030 年先进压缩空气储能将在长时储能领域成为抽水蓄能的重要补充，并且每千瓦时装机成本预计将在目前的 0.25~0.3 元基础上再降低 20%~30%。未来发展趋势包括：积极研究开发人造洞室、金属材料及复合材料储气等新型储气形式，摆脱压缩空气储能系统对地理条件的依赖，促进其大规模推广应用；开展精准热力学模型、地下洞穴稳定性评价和复合材料储气结构特性等方面的研究，为压缩空气储能系统储气装置的选型与应用提供理论指导依据；开发热塑性复合材料以取代金属材料用于压缩空气储能系统。

重力储能：目前，重力储能技术正处于探索发展阶段，大规模投入生产应用的项目案例鲜有报道。未来研究重点主要包括：大功率电动/发电机及其运行控制，发电机连接轴承研制和其他转动方法开发；重力储能电站上下仓布置方法，重物输送系统节能增效；重力储能系统集群运行与控制，重力储能系统的稳定性和全天候适应性；重物材料及来源的可循环性等。

全球碳捕集与封存研究院发布《中国 CCUS 进展》报告

3月17日，全球碳捕集与封存研究院（GCCSI）发布《中国 CCUS 进展》报告，概述了中国 CCUS 取得的部分进展，指出中国商业规模的综合 CCUS 项目仍面临诸多挑战，如 CO₂ 减排成本高、缺乏有效的商业模式、激励和监管措施不足、源汇匹配问题等，最后提出了相关的政策建议。进展包括：①捕集技术相对先进；②公路运输和内河船舶运输均已投入商业应用；③CO₂ 生物或化学利用技术总体处于工业中试阶段，CO₂ 合成化学材料技术已处于工业示范阶段，CO₂ 气驱强化采油技术（CO₂-EOR）相对成熟，处于工业示范和商业应用阶段；④与 2021 年相比，CCUS 示范项目在数量和规模上均有显著增长，示范项目的总成本处于中低水平，具有成本优势；⑤CCUS 技术在工业领域的减排潜力已经得到验证。建议包括：①明确 CCUS 是中国实现双碳目标技术组合的重要组成部分；②构建面向双碳目标的 CCUS 技术规划，加快前瞻性部署技术研发和大规模集成示范；③建立和完善相关机构、法规和标准，加强 CCUS 能力建设；④探索激励机制，促进有效商业模式形成；⑤深化国际合作与交流。

英国政府设立新部门促进保障净零排放³

2月7日，英国首相里希·苏纳克宣布设立四个新的政府部门，分别是能源安全和净零排放部，科学、创新和技术部，商业和贸易部以及文化、媒体和体育部。其中，能源安全和净零排放部将专注于为英国提供更便宜、更清洁、更安全的能源，并减少英国对国际能源供应的依赖。该部门的优先完成事项包括：①确保长期能源供应安全，降低能源费用和通货膨胀；②确保英国按计划履行净零排放承诺，并通过大幅加快网络基础设施交付和国内能源生产来支持经济增长；③提高英国家庭、企业和公共部门建筑的能源效率，以达到能源需求减少 15% 的目标；④为支撑能源消费者支付账单提供调整方案，并制定长期改革方案，以改善电力市场为家庭和企业服务的方式；⑤把握净零排放带来的经济

³双碳动态情报，2023（03），中国科学院发展规划局，中国科学院文献情报中心。

利益，包括通过投资新兴绿色产业创造就业机会和经济增长；⑥批准通过能源法案，以支持新兴碳捕集、利用与封存技术和氢能行业发展，更新能源系统的治理，并缩短审批海上风电所需的时间。

国际可再生能源机构发布《2023 世界能源转型展望》预览报告

3月28日，国际可再生能源机构(IRENA)发布《2023 世界能源转型展望：1.5 °C路径》预览报告。要点包括：①能源转型形势紧迫，每年投资必须增加四倍以上才能确保迈向1.5 °C路径，其中到2030年累计投资需达到44万亿美元（技术投资占80%，即35万亿美元）。②可再生能源投资差距持续扩大，未来几年必须优先考虑能源效率、电气化、电网扩张和灵活性技术投资。③全球能源体系必须在30年内发生系统性深刻变革，转向以可再生能源为基础的减排、弹性和经济的新型能源体系。④未来优先行动包括：净零目标立法；能源基础设施长期投资；加强可再生能源、能源效率、电气化、现代生物质、氢能等投资和政策支持及持续创新。⑤加强和重新设计能源国际合作。

国际能源署发布《2022 年全球二氧化碳排放》报告

3月2日，国际能源署发布《2022 年全球二氧化碳排放》报告，详细分析了2022年全球温室气体排放的变化趋势。主要包括：①2022年，全球温室气体排放和二氧化碳排放分别达到了413亿吨CO₂当量和368亿吨，与2021年相比分别增加了1.0%和0.9%。②不同部门（或能源类型）二氧化碳排放变化趋势存在显著差异。从部门来看，二氧化碳排放增长主要来自电力和运输部门，分别增加了2.61亿吨和2.54亿吨。从能源类型来看，主要来自石油和煤炭，分别增加了2.5%和1.6%。③不同地区二氧化碳排放趋势存在明显不同。受到疫情影响，2022年中国的二氧化碳排放量变化很小，与2021年相比，下降了0.2%，降至121亿吨。能源危机促使欧盟通过清洁电力以及减少需求等措施降低了2022年的二氧化碳排放，与2021年相比下降了2.5%。在天然气消费不断上升的推动下，2022年，美国二氧化碳排放量呈现增加趋势，与2021年相比增长

了 0.8%，增至 47 亿吨。尽管 2022 年出现了能源价格冲击、通胀上升和传统能源贸易流中断等现象，但并没有出现人们担心的全球二氧化碳排放大幅增加趋势。这主要归因于可再生能源、电动汽车、热泵等清洁能源技术的部署与应用，避免了 5.5 亿吨的额外二氧化碳排放。

欧盟新法案定义可再生氢及其生命周期排放计算方法

2 月 13 日，欧盟委员会通过了两项《可再生能源指令》要求的授权法案，提出了详细规则以定义可再生氢的构成，将确保所有非生物来源可再生燃料（RFNBO）均由可再生能源电力生产。第一项授权法案《关于欧盟 RFNBO 的授权法案》定义了何种条件下氢、氢基燃料或其它能源载体可被视为 RFNBO，生产氢气的电解槽必须与新的可再生能源电力生产连接，旨在确保可再生氢的生产能够激励可再生能源并网。第二项授权法案《循环碳燃料温室气体减排最低阈值的授权法案》提供了计算 RFNBO 生命周期温室气体排放的方法，该方法考虑了燃料整个生命周期的温室气体排放，并阐明了如何计算可再生氢及其衍生物的温室气体排放量。

来源：European Commission.Commission Sets Out Rules for Renewable Hydrogen⁴

欧盟出台《净零工业法案》以提高清洁技术竞争力

3 月 16 日，欧盟委员会出台《净零工业法案》⁵，提出到 2030 年欧盟战略性净零技术的本土制造能力将接近或达到年度部署需求的 40%。法案将太阳能光伏和光热、陆上风能和海上可再生能源、电池和储能、热泵和地热能、电解槽和燃料电池、沼气/生物甲烷、碳捕集和封存、电网技术、可持续的替代燃料和先进核能列为战略性净零技术。同时该法案还提出了改善净零技术投资条件的七项关键行动，包括：①简化行政和许可授予流程，改善净零技术投资的条件；②加速二氧化碳捕集进程，到 2030 年实现欧洲碳封存年注入量达 5000 万吨；③促进净零技术市场准入，要求政府部门在公共采购和拍卖中需考虑到净

⁴ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_594

⁵双碳动态情报，2023（04），中国科学院发展规划局，中国科学院文献情报中心。

零技术的可持续性和弹性；④技能提升，设立净零排放工业学院以确保净零行业所需的熟练劳动力的可用性；⑤促进创新，允许成员国设立监管沙盒，开展净零技术的测试和激励；⑥建立净零欧洲平台，统筹欧盟委员会和成员国以及相关净零工业伙伴关系的协调行动与交流信息。

欧盟大幅提高 2030 年可再生能源目标

3月30日，欧盟议会和各成员国就《可再生能源指令》修订达成临时协议，重申了欧盟决心通过加快部署本土可再生能源来实现能源独立，并实现欧盟2030年温室气体减排55%的目标。该协议将欧盟2030年具有约束力的可再生能源占比目标从目前的32%提高到至少42.5%（几乎是现有份额的两倍），指导性目标将提高到45%。该协议还对交通、工业、建筑以及供暖制冷等领域制定了具体的目标：①在交通领域，2030年前可再生能源利用占比需要达到29%，其中必须包括至少5.5%的先进生物燃料和可再生生物燃料，以及1%的非生物来源的可再生燃料；②在工业领域，目标是每年增加1.6%的可再生能源占比，到2030年工业氢消费总量中可再生能源制氢的占比应达到42%；③在建筑领域，到2030年建筑能耗为49%，可再生能源使用年增长率达1.6%；④该临时协议还通过了电气化和废热吸收支持能源系统整合的条款，给予了核电有限认可。

美国能源部提出加速氢能、储能和先进核能商业扩张路径

3月21日，美国能源部（DOE）发布“商业扩张之路”首批系列报告，关注氢能、长时储能和先进核能技术，旨在引导私人投资、促进公私合作，以加速关键清洁能源技术的商业化和部署。

（1）清洁氢能：①近期扩张（2023—2026年），在税收抵免激励下，清洁氢取代当前的碳密集型氢，主要用于工业/化工领域，包括制氢和炼油；②产业规模化（2027—2034年），制氢成本将继续下降，私人投资的氢基础设施项目上线，推动清洁氢在交通、发电、储能等领域的应用；③长期增长（2035年以后），税收抵免到期后，由于清洁电力和设备成本下降、可靠的规模化储氢和氢

能分配基础设施的高利用率使得氢能成本下降，清洁氢市场能够保持自我发展。

(2) 长时储能：①到 2028—2030 年，长时储能成本比当前最先进技术下降 45%~55%，到 2030 年往返效率提高 7%~15%；②通过补偿或估价等机制确保市场对储能全部价值的认可，到 2030 年通过公用事业委员会补偿约 50~75 美元/千瓦以激励私人投资，或是通过拨款、碳支付等政策和监管机制；③扩张供应链，到 2030 年实现 3 吉瓦/年的制造和部署能力，到 2035 年实现 10~15 吉瓦。

(3) 先进核能：①到 2025 年需要部署 5~10 个第三代+和小型模块化反应堆的承诺订单，随后推出第四代反应堆；②到 2035 年期间，需准时交付第一批部署订单，以确保持续需求和商业化动力；③到 2050 年，先进核能处于产业化阶段，新项目可在政府支持力度大幅减少的情况下逐步交付，需要相应扩大劳动力、供应链和许可能力。

韩国发布工业部门碳中和技术研究与创新推进战略

2 月 22 日，韩国产业通商资源部发布工业部门碳中和技术研究与创新推进战略。聚焦钢铁、水泥、化工、半导体四大高碳行业，通过加快技术研发、加大投资力度、完善制度等举措，推动产业结构绿色转型。具体内容包括：①在原料燃料替代、效率提高、资源循环利用等方向，开发适合各行业的最佳减排技术；②针对氢还原、电加热、水泥复合材料、电子特种气体等技术，加强应用试验；③构建以成果传播为目的的针对性推进体系，并减轻企业技术研发的负担；④加强核心技术研究的国际合作；⑤扩大工业领域碳中和技术投资税收抵免的范围；⑥通过政策性金融、专项融资和科技基金等手段加大投资；⑦改善监管制度，实现法规和技术的匹配；⑧通过制定百项碳中和技术国家标准，加快推动碳中和技术标准的国际化。

韩国政府发布实现 2050 碳中和绿色增长蓝图

3 月 21 日，韩国政府发布了碳中和绿色发展基本计划纲要和具体实施方案。

为实现 2030 温室气体减排目标和 2050 碳中和，韩国制定了十大中长期温室气体减排政策，包括：①转型过渡：煤炭、核电和可再生能源脱碳组合（降低煤炭比重，提升核电和可再生能源比重）、可再生能源基础设施建设（电网、储能系统）、信息与通信技术（ICT）应用提升效率；②工业：通过技术创新基金、扩大补贴贷款支持减排技术，提升排放效率标准和推进有偿分配；③建筑：利用零能耗建筑、绿色改造提升性能，利用评价管理和性能公开提升效率；④交通：普及电动汽车、氢能汽车；⑤农畜水产行业：低碳农业结构转型（智能农场、低甲烷饲料）、低碳渔船和渔业设施；⑥降低废弃物排放量，促进循环利用和高附加值回收；⑦生态碳汇：提高森林负碳能力、加强沿海湿地、城市森林新汇；⑧氢能：开发基于水电解制氢核心技术，建立和扩大地方氢能集群、城市生态系统；⑨碳捕集、利用与封存（CCUS）：颁布 CCUS 法案，促进关键技术研发；⑩国际减排：建立商业准则、签署协议巩固实施基础，开发减排投资和采购项目。政府针对 6 大领域提出了 45 项政策建议：应对极端气候，支持低碳新产业成长，支援劳动者转行培训，扩大碳中和支援中心、打造碳中和城市，培养新技术人才和扩大实践，扩大韩国国际绿色开发援助等，以推动各方协调一致迈向碳中和社会。具体设定了四项国家战略：高效碳中和、民间主导创新型碳中和绿色增长、共同合作的碳中和、适应气候和引领国际社会的主动碳中和。

欧盟宣布资助 25 亿欧元支持清洁能源技术示范应用

2月，欧盟宣布资助 25.09 亿欧元（约合 26.70 亿美元）支持法国、丹麦和罗马尼亚清洁能源技术示范应用。具体资助内容如下：①资助 20.8 亿欧元支持法国海上风电技术，到 2028 年在法国南部沿海建成该国首个漂浮式海上风电场。该风电场装机容量预计达到 230~270 兆瓦，风力发电产能将达到 1 太瓦时/年，每年将减少 43 万吨 CO₂ 减排量。②资助 1.7 亿欧元资助丹麦制氢技术，支持可再生能源电解制氢及其衍生物（如氨、甲醇等）技术。该计划将建造装机容量为 100~200 兆瓦的电解槽，实现在工业、交通和能源领域每年减少约 7 万吨 CO₂ 减排量。③资助 2.59 亿欧元支持罗马尼亚光伏技术发展，包括电池单元、光伏电池和电池面板的生产、组装和回收技术。

英国宣布促进能源安全和净零增长新战略

3月30日，英国能源安全和净零排放部（DESNZ）发布一揽子计划——《为英国提供动力》（Powering Up Britain），整合了能源安全计划和净零增长计划，作为国家未来能源发展蓝图提出如下措施：①发展清洁能源，将在产业集群推出第一批碳捕集集群，推动新建核电项目交付并开发先进小型模块化反应堆，投入 2.4 亿英镑资助 20 个氢能项目，通过差价合同计划进行 2.05 亿英镑的第五轮可再生能源项目招标，并投入 1.6 亿英镑启动漂浮式海上风电港口基础设施项目。②提高能效以减少能源需求，将推出“英国隔热计划”改善家庭能效，投入 3000 万英镑促进热泵制造和供应。③加快规划进程、发展绿色经济、吸引资金，将加快能源基础设施规划审批，投入近 4 亿英镑支持电动汽车充电基础设施建设，1.65 亿英镑支持可持续航空燃料，发布新版绿色金融战略调动数十亿英镑私人投资，提供 100 亿英镑促进绿色技术出口等。

当日，DESNZ 还发布《2022—2025 年净零研究和创新框架实施计划》，投入超过 40 亿英镑支持下一代净零技术，包括 14.3 亿英镑支持低碳电力技术，5.11 亿英镑促进工业转型和发展低碳氢，2.17 亿英镑支持建筑与供热，17.24 亿英镑发展清洁交通技术和设施，1.47 亿英镑用于自然资源、废物和含氟气体的

管理，1.7 亿英镑建立跨部门全系统方法。

英国发布碳捕集、利用和封存净零投资路线图

4 月 5 日，英国能源安全和净零排放部发布《碳捕集、利用和封存 (CCUS) 净零投资路线图》，概述了政府的 CCUS 政策和可用的投资机会，主要包括：① 21 世纪 20 年代中期至 2030 年部署四个 CCUS 集群，目标是每年捕集 3000 万吨 CO₂。② 解决投资障碍：建立工业碳捕集商业模式，设计和开发结合碳捕集与封存的生物能源 (BECCS)、温室气体清除 (GGR) 商业模式等，CCUS 早期部署可用资金达 200 亿英镑 (248.7 亿美元)。③ 构建强大的 CCUS 供应链：通过 CCUS 供应链战略、政产合作、发展海外网络等措施构建强大供应链。④ 资助技能培训与研发创新：为英国各地技术学院提供 1.2 亿英镑培训支持，2024—2025 年教育部将额外投资 38 亿英镑用以技能培训。在支持创新方面，已成立工业脱碳研究与创新中心，工业战略挑战基金和净零投资组合将为 CCUS 技术研发提供资助，后者将提供 1.15 亿英镑资金支持开发创新技术。

日本投资超过 150 万亿日元实现绿色转型

2 月 10 日，日本内阁批准“实现绿色转型的基本方针”，未来 10 年日本政府和私营部门投资将超过 150 万亿日元 (约 1.1 万亿美元) 实现绿色转型并同步脱碳、稳定能源供应和促进经济增长。主要方针包括：① 确保能源稳定供应。重点推进节能减排和发展可再生能源，安全利用核电，促进氢和氨使用，发展储能电池产业，促进交通绿色转型和扩大以脱碳为目的的数字投资等；② 发行债券投资企业绿色转型。日本政府将发行 20 万亿日元的 (约 1.5 千亿美元) “绿色经济转型债券”进行前期投资，鼓励企业采用可再生能源、核电等非化石能源以及研发节能减排、资源循环利用和固碳技术等；③ 碳定价和碳税。通过以增长为导向的碳定价来激励投资，包括全面运行“排污权交易体系”、分阶段引入发电企业“有偿拍卖”、引入“碳税”作为碳排放的统一碳定价、成立“绿色转型推进机构”负责碳定价的实施；④ 新金融手段。通过债券、商业担保等作为风险补充投资。此外，文件还详细阐述了未来 10 年重点行业发展方向，如钢铁行业电气化，化工行业开发 CO₂ 制化学品技术，交通领域加快引入电动汽车等。

日本绿色创新基金支持通过生物技术促进 CO₂ 转化研究

3月22日，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）在“绿色创新基金”框架下，投入1767亿日元（约合13.37亿美元）启动“通过生物制造技术促进以CO₂为直接原料的碳循环”项目，以推进发展碳回收材料产业发展，助力实现碳中和目标。该项目实施周期为2023—2030年，目前已确定资助3个主题的6个课题，包括：①CO₂固定微生物利用平台的构建；②开发和实证以CO₂为原料的微生物制造技术；③开发以CO₂为原料生产高价值化学品的生物制造技术；④开发利用氢细菌、以CO₂和H₂为原料的转化技术；⑤利用CO₂直接合成聚合物的微生物技术；⑥基于光合作用的CO₂直接利用技术。

美国能源部近期投入近22亿美元支持低碳能源研发示范

3~4月，美国能源部（DOE）宣布多项资助信息，共计投入近22亿美元，支持低碳能源基础研究、技术开发和示范，详情如下：

3月17日，投入7.5亿美元推进清洁氢能技术研发和示范，包括电解槽制造、组件和供应链开发，燃料电池组件、电堆制造，以及电解槽和燃料电池回收再利用等。

3月17日，为五大湖生物能源研究中心、生物能源创新中心、联合生物能源研究所、先进生物能源和生物产品创新中心资助5.9亿美元，支持直接利用柳枝稷、杨树等非粮生物质生产产品和燃料。

3月21日，投入1.5亿美元进行氢能、长时储能、负碳技术、增强型地热系统、浮动式海上风电、工业供热跨领域基础科学研究，实现“能源攻关计划”目标。

3月22日，DOE宣布拨款超过2亿美元，促进水电设施现代化和扩建，并研发新型海洋能技术。

3月30日，DOE先进能源研究计划署（ARPA-E）宣布投入4000万美元支持开发经济安全的地下电力传输技术，包括：①地下线路安装高速施工工具；②识别地下公共设施和障碍物的传感器；③自动电缆拼接系统。

4月4日，DOE宣布投入4.5亿美元支持在现有和废旧矿区部署清洁能源示范项目，部署的技术包括太阳能、微电网、地热能、直接空气碳捕集、配备

碳捕集封存利用的化石燃料发电、储能、先进核能等。

美国能源部投入超 25 亿美元推进碳捕集、利用与封存

2 月，美国能源部（DOE）两次宣布资助信息，共计提供 25.23 亿美元促进碳捕集、利用和封存（CCUS）技术研发和示范，包括：

2 月 23 日，DOE 宣布为 2 个碳管理计划提供 25.2 亿美元，以促进对变革性碳捕集系统和碳运输与封存技术的投资。分别为：①碳捕集大规模试点计划。投入 8.2 亿美元支持 10 个项目，涉及两个领域：非发电工业设施的碳捕集大型试点项目，煤炭或天然气发电设施的碳捕集大型试点项目，这一计划专注于降低碳捕集技术的风险，从电力和工业部门源头降低碳排放，并对新型碳捕集技术进行规模放大。②碳捕集示范项目计划。投资 17 亿美元部署 6 个碳捕集设施，示范将商业规模碳捕集技术与 CO₂ 运输和地质封存基础设施相结合。

2 月 21 日，DOE 宣布投入 270 万美元支持 5 个 CCUS 项目，包括：①3 个碳封存项目。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致性评估；利用先进技术和创新的技术工作流程，为枯竭气藏制定 CO₂ 注入计划。②2 个碳转化项目。利用 3D 打印技术生产水泥建筑材料；在一个 CO₂ 排放源直接将 CO₂ 转化为产品，如燃料、化学品、建筑材料。

美国能源部投入近 5 亿美元支持低碳能源技术开发和示范

2 月，美国能源部（DOE）宣布多项资助信息⁶，共计投入近 5 亿美元，支持低碳能源技术开发和示范，详情如下：

1、能源装备制造和回收再利用

2 月 10 日，DOE 宣布投资 3000 万美元，以推进轻质复合材料等低成本材料制造，促进风力发电技术发展。资助主题包括：①大型风机叶片的增材制造；②风力涡轮机非叶片组件的增材制造；③解决风力涡轮机制造面临的其他挑战，并围绕自动化、数字化、风机叶片可持续性以及模块化叶片结构与连接等重点

⁶<https://www.energy.gov/articles/us-department-energy-announces-30-million-materials-and-manufacturing-lower-costs-large>

关注领域取得新的突破。

2月13日，DOE宣布根据《两党基础设施法案》拨款，在“先进能源制造和回收补贴计划”框架下投入3.5亿美元，向中小型制造商提供补助金，用于在煤矿或退役燃煤电厂新建或改造现有制造和工业设施，以生产或回收先进能源产品。关注主题包括：①新建设施，将建立一个新的制造或回收设施，用于生产或回收先进能源设备；②重建或扩大现有设施，包括重新利用关停煤电厂，燃煤电厂锅炉和涡轮机再利用以实现热电联产，现有废物流的二次利用，改造或扩建现有设施，配备工业设施以促进用能电气化、使用低碳燃料、进行碳捕集或智能能源管理，同时重新配备设施以生产或回收先进的能源设备。

2、生物质能技术

2月8日，DOE生物能源技术办公室宣布在“降低农业碳强度和保护藻类作物”资助框架下拨款2550万美元，支持利用生物质和废物资源（如农业残留物和藻类）生产低碳生物燃料和生物制品。主要关注2个主题领域：①低碳强度原料的气候智能型农业，将投入1550万美元支持3~4个项目，包括利用农业废弃物生产低氯原料的气候智能型农业、提高土壤固碳水平和能源作物农业效益的生物炭策略等；②藻类作物保护，将投入1000万美元支持4~5个项目，着重开发农作物保护藻类培养系统的方法和策略。

3、化石燃料低碳利用技术

（1）化石燃料生产相关废水再利用

2月10日，DOE宣布投入1800万美元，支持开发油气生产相关废水的性能表征、处理和管理技术，以及燃煤发电设施相关废水的管理技术，实现废水的有效再利用，如用于灌溉非食用作物、制氢、含水层补充和恢复等，同时回收稀土元素等关键矿产资源。此次资助还涉及基础设施开发，以有效运输和处理废水，减少环境影响。

（2）煤基高价值产品技术

2月16日，DOE宣布将在“碳矿石加工计划”框架下，投入600万美元支持6个将煤转化为高价值石墨和碳金属复合材料的项目，以开发煤炭及其废物的创新用途。包括：①用于储能的煤基超级电容器材料；②煤电化学转化制二维材料；③煤制碳金属复合材料；④煤基石墨烯-铜纳米复合材料的喷雾沉积；⑤

用于高性能散热器的煤基碳金属复合材料的实验室规模增材制造；⑥用于工业应用的煤制石墨烯材料。

4、电网可靠性和弹性

2月24日，DOE宣布投入4800万美元，支持开发先进电力电子技术，以增强电网弹性、可靠性和电力流控制，重点关注如下技术领域：①半导体材料、器件和/或功率模块改进，使其可在更大电流和更高电压下实现更快的开关和/或触发；②增强抗电磁干扰能力；③传感、封装和热管理技术。

美国能源部拨款 4700 万美元支持油气行业甲烷减排项目

3月13日，美国能源部宣布为22个油气行业甲烷减排创新项目资助4700万美元，旨在推动甲烷监测与测量技术发展。22个项目分为5大类：①改造升级和研制油气开采设备，控制上游/中游甲烷排放；②建立地基甲烷监测和测量系统试点示范，收集和汇编地表甲烷排放数据；③围绕油气供应链中开采、运输、存储等环节，进行甲烷排放量估算，制定排放清单，探索特定产油、产气盆地的甲烷减排策略；④设计针对综合甲烷监测平台，持续收集和分析整个供应链的甲烷排放情况，确定甲烷快速、慢速排放特征；⑤评估和量化储罐排放，长期监测储罐等油气存储设施的甲烷泄漏情况，找出泄漏根本原因。

澳大利亚联邦科学与工业研究组织资助开发新型 CCS 技术

3月8日，澳大利亚联邦科学与工业研究组织(CSIRO)宣布启动价值2000万澳元(约合1340万美元)的研究项目“碳锁”(CarbonLock)，以开发下一代创新技术和利用新兴科学领域从大气中移除并永久封存CO₂。“碳锁”是CSIRO“未来科学平台”的一系列项目之一，重点关注如何创新澳大利亚的负排放技术。项目还将研究能够加速和扩大直接空气碳捕集效率的新型复合材料，以及训练人工智能和开发CCS技术集成系统的网络技术，旨在推动应对气候变化的科学突破。

原位表征技术揭示铜催化剂在 CO₂ 电还原中的演化过程

2月8日，美国加州大学伯克利分校研究人员利用多项动态现场原位 (operando) 表征技术，全面揭示了铜纳米催化剂在 CO₂ 电还原反应过程中的演化过程。研究发现在电还原过程中，7 纳米的铜纳米颗粒 (nanoparticle) 会演变成金属铜纳米晶粒 (nanograins)。反应结束后，金属铜纳米晶粒在暴露的空气中会迅速氧化，变成单晶的氧化亚铜立方体。金属铜纳米晶粒比例越高，C₂₊选择性越高。该研究为探究 CO₂ 电催化催化的活性位点提供了关键支持。

来源：Nature. Operando Studies Reveal Active Cu Nanograins for CO₂Electroreduction⁷

催化剂微环境调节可实现强酸条件下 CO₂ 高效转化

2月9日，多伦多大学和悉尼大学研究人员发现通过控制催化剂微环境可在强酸条件下将 CO₂ 高效转化为 C₂₊产物。研究人员研发出一种由共价有机框架纳米颗粒和阳离子交换离聚物组成的非均相催化剂层，其抑制了电解过程中的析氢副反应，从而实现了在强酸电解质条件下 CO₂ 高效转化。研究结果表明在电流密度为 200 毫安每平方厘米 (mAcm⁻²) 条件下，C₂₊产物的法拉第效率达到了 75%，CO₂ 向 C₂₊产物转化的总能源效率达到了 25%，是之前文献报道效率的两倍。

来源：Nature Synthesis. Conversion of CO₂ to Multicarbon Products in Strong Acid by Controlling the Catalyst Microenvironment⁸

MgAl 纳米片新载体设计 Cu 基催化剂增强 CO 电还原效率

2月16日，新加坡国立大学研究人员设计出一种 MgAl 双层氢氧化物纳米片“纸牌屋”基底上分散的 CuO 衍生催化剂。得益于该载体-催化剂设计策略，在 -0.7 伏特电位下，CO 还原为 C₂₊产物的电流密度 (jC₂₊) 高达 -1251 毫安每平方

⁷ <https://www.nature.com/articles/s41586-022-05540-0>

⁸ <https://www.nature.com/articles/s44160-022-00234-x>

厘米，与未负载 OD-Cu 的催化剂相比提升了 14 倍。同时，乙醇和 C₂H₄ 产物的电流密度也分别高达-369 和-816 毫安每平方厘米。研究表明，LDH 纳米片基底的孔隙可以促进 CO 通过 Cu 位点的传输。该研究采用 MgAl 双层氢氧化物纳米片“纸牌屋”载体设计出的 Cu 催化剂，是实现工业规模 CO 还原制备多碳产物的重要一步。

来源: *Angewandte Chemie*. Enhanced Carbon Monoxide Electroreduction to >1 A · cm⁻²C₂₊Products Using Copper Catalysts Dispersed on MgAl Layered Double Hydroxide Nanosheet House-of-Cards Scaffolds⁹

氮还原-氢氧化耦合连续流电解槽实现高效电合成氨

2 月 16 日，丹麦技术大学的研究人员报告了一个配备 25 平方厘米有效面积的气体扩散电极的连续流电解槽，其中氮还原与氢氧化耦合。研究发现，经典催化剂铂在有机电解质中催化氢氧化不稳定，但铂合金降低了阳极电位，避免了有机电解质的递减分解。在最佳运行条件下，在 1 巴压强下，电流密度为 -6 毫安每平方厘米时，合成氨的法拉第效率可以高达 61±1%，能源效率可以高达 13±1%。

来源: *Science*. Continuous-flow Electrosynthesis of Ammonia by Nitrogen Reduction and Hydrogen Oxidation¹⁰

新型固体电解质驱动室温锂-空气电池能量密度新突破

2 月 2 日，美国伊利诺伊理工大学研究团队设计了一种基于锂氧化物(Li₂O)形成的锂-空气电池。该电池固态电解质 (SSE) 是由硅烷偶联剂 mPEO-TMS (3-[甲氧基(聚乙烯氧基)6-9 丙基]三甲氧基硅烷) 制备而成。实验表明这种固态锂空气电池单元的工作容量可达 10.4 毫安时/平方厘米，比能量高达 685 瓦时/千克。此外，该电池的体积能量密度约为 614 瓦时/升，且在空气中运行稳定。构建基于 SSE 的锂空气电池架构，有利于四电子 Li₂O 反应，并有望开发出比能量超过 1000 瓦时/千克的电池单元，超出锂离子电池最高水平。

⁹ <https://doi.org/10.1002/ange.202217252>

¹⁰ <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adf4403>

来源：Science. A Room Temperature Rechargeable Li₂O-based Lithium-Air Battery Enabled by a Solid Electrolyte

日本开发首个氢燃气轮机热电联产系统

2月28日，日本东京燃气和住友电气集团公司共同开发了日本首个氢燃气轮机热电联产系统。要点包括：①由于氢燃烧速度快、火焰温度高，容易导致喷嘴烧损以及热力型NO_x的排放增多，东京燃气公司根据氢气燃烧特性，优化了喷嘴形状，实现了NO_x的低排放。②燃气轮机通过附带的加热燃烧器，进一步加热燃气轮机排放的废气，增加废热锅炉产生的热量，提高能源利用效率，可以大量运用在蒸汽需求较多的化工厂、造纸厂等。③该燃烧器通过与100%氢气发电的燃气轮机组合，实现了燃气轮机整体的CO₂零排放，能够为工业领域碳中和做出贡献。

美国首个核能制氢示范项目投入使用

3月7日，美国能源部宣布位于纽约州九英里峰核电站的1兆瓦核能制氢示范项目投入运行，成为美国首个利用核能制备清洁氢设施。该核电站采用质子交换膜（PEM）低温电解制氢技术路线，每天可产生560千克氢气，能够满足核电站发电机冷却等现场用氢需求。此外，DOE还支持了另外三种核能制氢技术路线，分别是戴维斯-贝斯核电站1~3兆瓦规模的低温电解制氢、草原岛核电站的高温蒸汽电解制氢和帕洛弗迪核电站的低温电解制氢，计划于2023年、2024年相继投运。

美研发出新型直接空气捕集装置大幅提升捕集效率

3月8日，美国理海大学与佐治亚理工学院的研究人员研发出新型直接空气碳捕集（DAC）装置，可大幅提升碳捕集效率。该研究提出了一种路易斯酸碱相互作用衍生的杂化吸附剂与聚胺-Cu(II)配合物形成的复合材料（Polyam-N-Cu²⁺），可以作为一种高容量阴离子吸附剂。该材料既可以在不到90°C的温度下再生，也可以使用海水作为再生剂，将CO₂转化为无害、化学稳

定的碳酸氢盐进行封存，可实现每千克吸附剂超过 5.0 摩尔的 CO₂ 捕集效率，约为传统直接空气碳捕集装置的两到三倍。该装置将有助于利用海洋碳汇功能，以扩大 DAC 的应用机会。

来源： *Science Advance*. Direct Air Capture (DAC) and Sequestration of CO₂: Dramatic Effect of Coordinated Cu(II) onto a Chelating Weak Base Ion Exchanger¹¹

多伦多大学实现在温和条件下 CO 选择性合成丁烷

4 月 3 日，多伦多大学研究人员提出了 C1-C2-C4 级联系统，通过将 CO₂ 或 CO 电解槽连接到液相 C₂H₄ 二聚化反应器上，在常温常压环境条件下实现 CO 选择性合成 C₄H₁₀，CO 到 C₄H₁₀ 级联选择性为 43%。研究发现，与 C₂H₄ 同时存在的 CO 可提高 C₂H₄ 二聚化的选择性，C₂H₄ 到 C₄H₁₀ 的转化率可达 95%，远高于 CO₂ 电解槽。此外，研究人员通过密度泛函理论计算对其机理进行研究，发现增加 CO 的覆盖有利于 C₂H₄ 二聚化和 *C_xH_y 吸附物的氢化，并使 *C₄H₉ 中间体变得不稳定，从而促进目标烷烃的选择性合成。

来源： *Nature Catalysis*. Selective Synthesis of Butane from Carbon Monoxide Using Cascade Electrolysis and Thermocatalysis at Ambient Conditions¹²

枯叶高值转化为光催化剂和生物塑料等多功能材料

3 月 2 日，密歇根理工大学 Yun Hang Hu 牵头的研究团队以枯叶为前驱体，以草酸钙石作为木质素和纤维素的强粘合剂，合成了一种活性多功能薄膜材料 (AMM)。该 AMM 薄膜拥有全太阳光谱吸收能力和促进电荷分离的异质结结构，在太阳能蒸发器、光催化制氢等方面表现出很大潜力，实现了 0.8 千克每平方米每小时的高蒸发率，且在模拟太阳光照射（1 千瓦每平方米）下，其产氢率高达 12.4 微摩尔每小时每平方厘米。此外 AMM 薄膜的杨氏模量和韧性分别为 50402 兆帕和 344 千焦每立方米，是一种极具潜力的可降解生物塑料，该研究为有效利用废弃生物质制备功能材料提供了新思路。

来源： *Nature Communications*. Turning Dead Leaves into an Active

¹¹ <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adg1956>

¹² <https://www.nature.com/articles/s41929-023-00937-0>

Pd-PdO/ZnSO₄ 催化剂闪速热解木质纤维素高效制备糠醛

3月21日，澳大利亚莫纳什大学的研究人员报道了一种可重复使用的新型多相催化剂，含有1.1%钯(Pd)的Pd-PdO/ZnSO₄，用于在400°C下快速热解木质纤维素生产糠醛。干、湿C6纤维素及其单体的糠醛产率可达74%~82%，而C5木聚糖为96%，甘蔗渣和玉米芯为23%~33%。该催化剂具有明确的结构和双功能特性，包括用于葡萄糖脱水和异构化的ZnSO₄载体，以及由氧化物(PdO)层封装的金属PdO的局部核-壳结构。PdO层有助于葡萄糖中甲醛(HCHO)的Groβ断裂反应，随后原位蒸汽转化为合成气(即H₂和CO)，而Pd⁰核则有助于促进最后一步脱水形成糠醛。

来源：*Nature Communications*. High Production of Furfural by Flash Pyrolysis of C6 Sugars and Lignocellulose by Pd-PdO/ZnSO₄ Catalyst¹⁴

麻省理工学院发现低碳混凝土生产新途径

3月28日，美国麻省理工学院研究人员发现，在现有的混凝土制造工艺中添加碳酸氢钠可显著减少碳足迹，而不会改变混凝土的性能。该研究采用原位水下拉曼光谱成像的方法，对其早期水化动力学过程进行了研究。在反应过程中，水合位点处无序氢氧化钙的碳酸化形成碳酸钙，它们作为成核位点形成碳酸钙和硅酸钙水合物的复合材料，加速了固化过程。经实验室测试表明，该工艺能够在混凝土搅拌和浇筑过程的早期形成碳酸盐，与水泥生产相关的CO₂被矿化的比例高达15%，在很大程度上消除了材料固化后不利于CO₂吸收的影响。

来源：*Proceedings of the National Academy of Sciences Nexus*. Cementing CO₂ into C-S-H: A Step toward Concrete Carbon Neutrality¹⁵

英科学家研发一种利用多矿物岩石捕集CO₂新工艺

3月13日，英国斯特拉斯克莱德大学的研究团队公开了一种利用硅酸盐岩

¹³ <https://www.nature.com/articles/s41467-023-36783-8>

¹⁴ <https://www.nature.com/articles/s41467-023-37250-0>

¹⁵ <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30555-6>

石捕集 CO₂ 的新工艺。研究团队在 CO₂ 气氛中进行的研磨实验表明，花岗岩、玄武岩等多矿物岩石能够更有效地捕集 CO₂。与以往基于碳酸盐形成金属的碳酸化不同，CO₂ 被化学吸附到矿物岩石的晶体结构中。在环境温度条件下，多矿物岩石每克可以捕获超过 13.4 毫克的 CO₂ 并成为热稳定的不溶性 CO₂。因此，多矿物岩石经机械化学处理后均可稳定地捕集大量 CO₂，且在生产中不会带来额外能源需求。多矿物岩石在世界范围内被大量破碎以生产建筑骨料，如果破碎过程可以在排放的 CO₂ 气体流（如水泥产生）中进行，那么每生产 1 亿吨硬岩骨料，将有 40~50 万吨 CO₂ 被截留在采石场的细料中。

来源： *Nature Sustainability*. Mechanochemical Processing of Silicate Rocks to Trap CO₂¹⁶

生物电解集成系统将 CO₂ 转化成聚酯产品

3 月 27 日，韩国科学技术院研究人员报道了一个 CO₂ 电解与微生物发酵的集成系统，可将 CO₂ 转化为聚 3-羟基丁酸脂（PHB）。在该生物集成系统中，气体扩散电极上沉积的锡催化剂将 CO₂ 电化学转化为甲酸盐，然后在发酵罐中由钩虫贪铜菌（*Cupriavidus necator*）将甲酸盐转化为 PHB，证明了 CO₂ 电解与微生物发酵的集成可以有效地从气态 CO₂ 中生产高附加值的多碳产品。此外，将含有甲酸盐的电解质溶液在该电解槽和发酵罐中不断循环，PHB 在钩虫贪铜菌细胞中的积累量可达到干细胞质量的 83%，且通过添加新鲜钩虫贪铜菌和移除生产的 PHB，该系统可稳定且持续地生产 PHB。

来源： *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Biohybrid CO₂ Electrolysis for the Direct Synthesis of Polyesters from CO₂¹⁷

¹⁶ <https://www.nature.com/articles/s41893-023-01083-y>

¹⁷ <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2221438120>

政策速览（2023年1—5月）

▶ 1月11日，国务院办公厅转发商务部、科学技术部《关于进一步鼓励外商投资设立研发中心若干措施》。该措施旨在加快实施创新驱动发展战略，扩大国际科技交流合作，加大对外商投资在华设立研发中心开展科技研发创新活动的支持力度，更好发挥其服务构建新发展格局、推动高质量发展的积极作用。

（来源：中国政府网）

▶ 1月13日，《工业和信息化部等十六部门关于促进数据安全产业发展的指导意见》印发。该意见提出，到2025年，数据安全产业基础能力和综合实力明显增强。产业生态和创新体系初步建立，标准供给结构和覆盖范围显著优化，产品和服务供给能力大幅提升，重点行业领域应用水平持续深化，人才培养体系基本形成。到2035年，数据安全产业进入繁荣成熟期。产业政策体系进一步健全，数据安全关键核心技术、重点产品发展水平和专业服务能力跻身世界先进行列，各领域数据安全应用意识和应用能力显著提高，涌现出一批具有国际竞争力的领军企业，产业人才规模与质量实现双提升，对数字中国建设和数字经济发展的支撑作用大幅提升。

（来源：工业和信息化部）

▶ 2月18日，国家卫生健康委员会、教育部、科学技术部等四部门印发《涉及人的生命科学和医学研究伦理审查办法》。该办法经国家科技伦理委员会审议通过，旨在保护人的生命和健康，维护人格尊严，尊重和保护研究参与者的合法权益，促进生命科学和医学研究健康发展，规范涉及人的生命科学和医学研究伦理审查工作。该办法适用于在中华人民共和国境内的医疗卫生机构、高等学校、科研院所等开展涉及人的生命科学和医学研究伦理审查工作。该办法所称涉及人的生命科学和医学研究是指以人为受试者或者使用人（统称研究参与者）的生物样本、信息数据开展以下研究活动：①采用物理学、化学、生物学、中医药学等方法对人的生殖、生长、发育、衰老等进行研究的活动；②采用物理学、化学、生物学、中医药学和心理学等方法对人的生理、心理行为、病理现象、疾病病因和发病机制，以及疾病的预防、诊断、治疗和康复等进行研究

的活动；③采用新技术或者新产品在人体上进行试验研究的活动；④采用流行病学、社会学、心理学等方法收集、记录、使用、报告或者储存有关人的涉及生命科学和医学问题的生物样本、信息数据（包括健康记录、行为等）等科学研究资料的活动。

（来源：中国政府网）

▶ 3月20日，科学技术部印发《社会力量设立科学技术奖管理办法》。该办法旨在引导社会力量设立科学技术奖（以下简称“社会科技奖”）规范健康发展，提高社会科技奖整体水平；内容共6章35条，主要从社会科技奖的设立、运行、指导服务和监督管理等方面明确基本要求：①鼓励设立社会科技奖，引导扶持培育品牌。②规范社会科技奖运行，促进健康有序发展。③强化指导服务，加强事中事后监管。

（来源：科学技术部）

▶ 据《人民日报》3月23日消息，国家能源局印发《加快油气勘探开发与新能源融合发展行动方案（2023—2025年）》。该方案提出，大力推动油气勘探开发与新能源融合发展，积极扩大油气企业开发利用绿电规模。到2025年，通过低成本绿电支撑减氧空气驱、二氧化碳驱、稠油热采电加热辅助等三次采油方式累计增产原油200万吨以上；加快开发利用地热、风能和太阳能资源，积极推进环境友好、节能减排、多能融合的油气生产体系，努力打造“低碳”“零碳”油气田。

（来源：中国政府网）

▶ 4月12日，科学技术部、国家发展和改革委员会、教育部等印发《关于进一步支持西部科学城加快建设的意见》。该意见提出，以西部（成都）科学城、重庆两江协同创新区、西部（重庆）科学城、中国（绵阳）科技城作为先行启动区，加快形成连片发展态势和集聚发展效应，有力带动成渝地区全面发展，形成定位清晰、优势互补、分工明确的协同创新网络，逐步构建“核心带动、多点支撑、整体协同”的发展态势。到2025年，西部科学城建成若干国际领先的重大创新平台和研究基地，集聚一批具有国际影响力的高校、科研机构、创新型企业，在物质科学、核科学等基础学科领域实现原创引领，壮大战略性新兴产业，在物质科学、核科学等基础学科领域实现原创引领，壮大战略性新兴产业

产业集群，“科教产城人”融合发展体系基本建立，全社会研发经费投入占地区生产总值比重超过5%，万人高价值发明专利达到80件以上，国家高新技术企业7000家以上，高技术产业营收年均增速8%，技术合同成交额年均增速5%以上。到2035年，西部科学城建成综合性科学中心，科技综合实力迈入全国前列，集聚世界顶尖科学家群体，重点领域实现全球领先原创成果突破，主导产业迈入全球价值链高端，营造全球一流创新生态，引领成渝地区建成具有全国影响力的科技创新中心。

（来源：科学技术部）

► 5月8日，中国科技评估与成果管理研究会发布实施 T/CA STEM 1010—2023《科技创新政策评估规范》团体标准。该标准规定了科技创新政策评估的基本原则、评估对象、评估框架与指标体系、评估方法和程序等内容，适用于各类科技创新政策评估活动，包括政策预评估（事前评估）、实施进展评估（事中评估）和后评估（事后评估）等，适用于委托、组织、实施、应用和管理科技创新政策评估的相关机构、组织和人员。其他领域的政策评估可参照使用。

（来源：国家科技评估中心）

► 5月17日，科学技术部、北京市人民政府、国家发展和改革委员会等印发《深入贯彻落实习近平总书记重要批示精神加快推动北京国际科技创新中心建设的工作方案》。该方案提出，到2025年，北京国际科技创新中心基本形成，成为世界科学前沿和新兴产业技术创新策源地、全球创新要素汇聚地。包括：世界主要科学中心建设取得重要成效；全球主要创新高地建设取得明显进展；具有全球竞争力的创新生态基本形成。

（来源：科学技术部）