中国科学院A类战略性先导科技专项

变革性洁净能源关键技术与示范

Transformational Technologies
for Clean Energy and Demonstration

研究发展动态

2022年第2期（总第16期）

中国科学院大连化学物理研究所
中国科学院武汉文献情报中心

目录

2022 年第 2 期(总第 16 期)
2022 年 07 月 13 日出版

责任编辑：迟成 卫小芳 中科院洁净能源先导专项办公室

专项研发进展

兆瓦级超临界二氧化碳发电实验机组取得新进展

工程热物理所研发团队开展了兆瓦级超临界二氧化碳发电实验机组膨胀机冷态冲转试验、压缩机大循环试验（锅炉冷态）、压缩机与锅炉联调试验（热态）。

4 月 20 日，完成膨胀机首次冷态冲转试验，膨胀机运行稳定，形成《超临界二氧化碳示范机组膨胀机冷态冲转实验报告》。

4 月 27 日和 5 月 26 日，完成了两次压缩机大循环试验，达到试验目的，机组运行稳定，形成《超临界二氧化碳发电实验机组试验报告（压缩机首次大循环）》和《超临界二氧化碳发电实验机组试验报告（压缩机大循环）》。

6 月 25 日~26 日，完成了首次压缩机与锅炉热态联调联试试验，烟温首次达到 300℃以上并能稳定运行，为后续锅炉满负荷运转积累了经验。

[中国科学院工程热物理研究所 梁世强]

炭载钴基浆态床合成气制油技术通过科技成果鉴定

5 月 14 日，大连化物所丁云杰和朱何俊团队开发的新一代煤制油技术——“炭载钴基浆态床合成气制油技术”通过了石化联合会专家的科技成果鉴定。鉴定委员会认为，该技术创新性强，整体技术达到国际先进水平。

该技术首次采用浆态床技术，建成了 15 万吨/年钴基浆态床工业示范装置。2013 年开工建设，2017 年 40%负荷运行，2019 年实现 85%负荷运行，2020 年 7 月实现 100%负荷运行，2020 年 8 月通过石化联合会工业示范 72 小时考核标定，合成气总转化率 98.7%，CH_4 选择性 6.7%，C3+烃类选择性 86.4% （C3+烃和醇的总选择性 92.7%），CO_2 选择性 0.006%。

该技术填补国内钴基费托合成浆态床工业的技术空白，形成了钴基浆态床费托合成成套技术，技术创新性强，整体技术达到国际先进水平，为缓解我国石油供应不足，实现石油化工原料替代、油品清洁化和煤炭清洁高效利用，保障国家能源安全具有战略意义。

[中国科学院大连化学物理研究所　赵子昂 冯四全]

5 万吨/年乙烯多相氢甲酰化及其加氢制正丙醇工业化技术通过科技成果鉴定

5 月 14 日，大连化物所丁云杰和严丽团队开发的“5 万吨/年乙烯多相氢甲酰化及其加氢制正丙醇工业化技术”通过石化联合会专家的科技成果鉴定。鉴定委员会认为，该技术属于首创技术，整体技术达到国际领先水平。

该工业示范由大化所提供核心催化技术，上海寰球设计、宁波巨化投资建设，于 2020 年 8 月投料开车，平稳运行至今。并于 2021 年 10 月完成 72 小时考核标定，乙烯总转化率为 99.26%，丙醛加氢总转化率为 99.58%，丙醛和正丙醇的选择性分别为 99.51%和 98.64%。

该技术首次采用金属 Rh 单原子多相催化剂，不仅为单原子催化剂的工业应用提供了成功范例，丰富了单原子催化应用基础研究。同时，该技术还可以拓展到其它烯烃的氢甲酰化生产醛工业应用，对缓解我国醇、酸、脂等重要化工原料的供需矛盾具有重要意义。

[中国科学院大连化学物理研究所 姜淼 冯四全]

全球规模最大煤基乙醇项目（50 万吨/年）在陕建成中交

6 月 30 日，中科院大连化物所刘中民、朱文良团队提供技术支撑的总投资 69.8 亿元的延长石油榆神 50 万吨/年煤基乙醇项目在陕西榆林榆神工业园建成中交。这是该技术继 2017 年全球首套 10 万吨/年煤基乙醇科技示范项目成功实施之后的工业放大项目，也是全球目前规模最大的煤基乙醇项目。

乙醇是世界公认的优良汽油添加剂，也是重要的基础化学品。目前，全世界乙醇生产主要依靠粮食等生物质原料制备，但我国人多地少的现实情况决定了以粮食为原料制备乙醇不适合大范围推广，而我国以煤炭为主的能源结构，为煤基乙醇提供了广阔的市场前景。

据介绍，按照 3 吨粮食生产 1 吨乙醇测算，榆神 50 万吨/年煤基乙醇项目建成投产后，每年可节约生物乙醇原料粮 150 万吨，相当于榆林市全年粮食产量（年均 230 万吨）的 65%。项目计划年内试车投产，预计每年可实现营业收入 30.71 亿元、利润总额 11.26 亿元、财政贡献 5.67 亿元，带动就业 1000 余人。

[中国科学院大连化学物理研究所　朱文良　杨伟伟]

10 万吨级甲醇制碳酸酯新技术通过科技成果鉴定

5 月 11 日， 由过程所离子液体团队开发的甲醇为原料制备碳酸二甲酯新技术及工业示范通过了中国石油和化学工业联合会组织的科技成果鉴定。鉴定委员会专家一致认为：该成果创新性强，减碳效果好，处于国际领先水平。

研发团队联合深圳新宙邦科技股份有限公司等单位合作开发，实现了离子液体催化剂-反应器-工艺过程的系统创新，经联合攻关在广东惠州大亚湾国家级石化区建成了 10 万吨级离子液体催化 CO_2 合成碳酸酯工业装置。2021 年 3 月至今已连续稳定运行 15 个月，碳酸酯（包括碳酸乙烯酯、碳酸二甲酯等）产品达到电子级标准，乙二醇产品达到聚酯级标准，系统能耗降低 37%，经济效益好，减碳效果显著，应用前景广阔。

该成果的突出优势是利用工业排放的 CO_2 生产电子级碳酸酯联产聚酯级乙二醇。利用高活性环氧乙烷诱导活化惰性 CO_2 分子提升反应热力学驱动力，通过正负离子协同介导降低过渡态活化能，实现了原子经济性反应“固碳”，突破了 CO_2 活化难的问题；通过联产聚酯级乙二醇，进一步提高了成套装置的经济效益，解决了制约其大规模应用的难题。

基于对离子液体 Z 键特性、离子微环境、微观动力学及反应机制的长期研究积累，过程工程所离子液体团队设计开发了正负离子协同强化的离子液体催化剂及其规模化制备技术，突破了离子液体活性低、成本高、长周期运行稳定性差等难题；攻克了大型离子液体反应器气液均匀分布、反应-传递高效匹配等关键技术，有效抑制副反应，实现了原料的高效高选择性转化；研发了梯次转化-降膜分离-闭路循环的反应新系统，实现了高活性环氧乙烷、强放热反应过程的安全可控；开发了反应-分离耦合过程强化及能量梯级优化利用技术，大幅提高了单程转化率，显著降低系统能耗。

[中国科学院过程工程研究所　成卫国]

燃气直燃超低氮燃烧器实现小规模应用

截至 6 月 30 日，应用大连化物所团队开发的层流燃烧技术的燃气直燃超低氮燃烧器已在北京、上海、浙江、江苏、广东、河南等 17 省 28 市推广应用 200 多台，燃烧器功率范围涵盖 210kW、350kW 和 700kW，应用于 20 余种炉型和用途的锅炉。经过一年多的市场检验，燃气直燃超低氮燃烧器性能稳定可靠，一氧化碳趋近于零，氮氧化物低于 30 毫克/标方，获得行业和用户高度认可。

5 月 25 日，为中科催化新技术（大连）股份有限公司完成 10000T/a 催化剂焙烧窑节能减碳降氮改造项目，采用直燃超低氮燃烧器替代原先的工业烧嘴，实现节电 72%，节省燃气 53%，CO_2 减排 53%，NOx 减排 88%有益效果，月度节电 5760 度，省气 23400 方，每月节约能源费用达 17 万元，取得显著降本效果。分析发现这样显著的节能效果来源于层流火焰燃烧火焰短的优点，比常规长火焰扩散燃烧能更有效的加热炉管，同时降低了排烟量和排烟温度，大大减少了排烟热损失。

直燃超低氮燃烧器的推广应用将为燃气锅炉和燃气窑炉行业节能减碳降氮做出重要贡献。

[中国科学院大连化学物理研究所　李为臻]

配电网多站融合系统在张家口黄帝城小镇示范运行

2022 年 6 月，电工所团队研发的配电网多站融合系统在张家口黄帝城小镇满功率投运。该示范工程为首个基于柔性多状态开关的新型模块化多站融合集成示范系统，系统内“源-网-荷-储”高度融合与集成，为一站式综合能源发展提供了一种典型解决方案；同时，在柔性储能电站方向取得新的研究进展，研发团队首次提出柔性储能电站概念，通过容量共享和灵活的潮流调度，可促进储能容量的全面释放。通过双层运行优化研究，柔性储能电站的所需容量仅为传统储能电站的 70%。相关研究成果发表最新一期 Energy Reports 上。

在实现运行的配电网多站融合系统中运用了功能复用技术和多级协调控制技术，将柔性多状态开关站、光伏新能源站、储能站、变电站和充电站等功能站高度集成并协同运行，具有系统潮流调控、多能互补、分级供电等能力，实现了多站合一、一站多用、一机多能、多能源融合、信息能量流融合，提升了多能源站综合效能，为多能源融合及可再生能源应用提供了可复制可推广的新模式。

[中国科学院电工研究所　霍群海]

千吨/年级秸秆清洁预处理及一锅法糖化关键技术示范进展顺利

针对双碳战略性下秸秆废弃生物质高效清洁利用重大科技需求，青岛能源所以打造清洁、低成本秸秆糖平台为目标，发展了全新的半干法木质纤维清洁预处理技术，使过程成本减少 60%，同时成功实现前期创立具有成本优势的整合生物糖化（CBS）工艺的迭代升级，使糖化周期缩短到 4 天。联合山东省龙头企业建立了千吨级预处理-糖化示范装置，吨糖成本可以控制到与糖蜜价格相当。基于千吨级示范的运行情况，正在推进十万吨级秸秆预处理糖化集成工艺包的编制，为技术的进一步放大验证和推广应用奠定基础。

清洁、廉价秸秆糖平台的建立，可以为秸秆的资源化、能源化和材料化

利用提供重要的技术支撑，有助于实现低值秸秆的高值利用，通过开展纤维素燃料乙醇/丁醇和秸秆生物质精炼的产业化应用，可以有力促进化石资源替代，具有显著的潜在经济、社会和环境效益。

[中国科学院青岛生物能源与过程研究所 刘亚君 李滨]

大连化物所与比利时科尔德集团 EcoSourcen 公司签订新一代液流电池技术许可合同

大连化物所李先锋研究员团队与比利时科尔德（Cordeel）集团控股 EcoSourcen 公司签署了新一代液流电池技术许可合同，共同推动该技术在欧洲市场的推广应用。这也是新一代液流电池技术首次输出至发达国家。

新一代液流电池技术许可合同的签署是基于 2021 年 4 月双方签订的合作备忘录，以及近日成功在比利时 EcoSourcen 公司调试和试运行、由大连化物所提供的 20kWh 新一代液流电池储能系统。合同约定，将结合大连化物所新一代液流电池技术优势和 Cordeel 集团在建筑领域的丰富经验，围绕可再生能源、氢能和储能，打造零碳示范园区。此外，双方还就新型有机液流电池的研究签订了技术开发合同，共同推动低成本、高能量密度液流电池技术的可持续发展。

[中国科学院大连化学物理研究所 刘慧颖]

“先进压缩空气储能技术”获第 49 届日内瓦国际发明展金奖

近日，工程热物理研究所“先进压缩空气储能技术（Advanced Compressed Air Energy Storage Technology）”荣获第 49 届日内瓦国际发明展金奖。

日内瓦国际发明展创办于 1973 年，由世界知识产权组织、瑞士联邦政府共同举办的全球历史最长、规模最大的发明展之一。研究所储能研发中心团队的“先进压缩空气储能技术”项目参加了 2022 年的第 49 届日内瓦国际发明展并获金奖。


DIPLÔME

Inventions Geneva

SALON INTERNATIONAL DES INVENTIONS GENÈVE

Après examen, le Jury a décidé

de remettre à: Haisheng Chen, Yujie Xu, Liang Wang, Wen Li, Zhitao Zuo, Yangli Zhu, Yong Sheng, Xuehui Zhang, Xipeng Lin, Xuezhi Zhou, Lyu Ji

pour l'invention: Advanced compressed air energy storage technology

MÉDAILLE D'OR GOLD MEDAL GOLDMEDAILLE

Genève, le 28 mars 2022

工程热物理研究所自 2005 年起开始从事大规模先进压缩空气储能技术研发，原创性地提出“超临界空气储能”等先进压缩空气储能技术，先后获得中国、美国、欧盟和日本等国发明专利授权，申请压缩空气储能相关专利 300 余项，获得授权专利 200 余项（其中国际专利 20 项），在国内外期刊发表论文 400 余篇，论文总被引 18000 余次，压缩空气储能方向的专利数、SCI 论文数和引用数均居世界首位。建成了“国家能源大规模物理储能技术研发中心”，攻克了压缩空气储能系统总体设计、关键部件、整机集成与控制等关键技术，研制并建成了国际首套 1.5MW、10MW 和 100MW 先进压缩空气

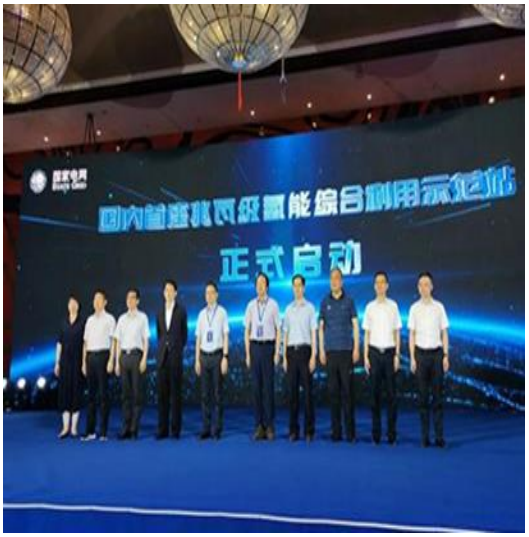
储能示范系统，效率优于国际同等规模压缩空气储能机组。其中，以知识产权作价 17.5 亿元入股成立 100MW 先进压缩空气储能技术的产业化公司——中储国能（北京）技术有限公司，在建和获批压缩空气储能项目总装机超过 2000MW。

[中国科学院工程热物理研究所 赵钢炜]

兆瓦级 PEM 电解水制氢系统和氢燃料电池发电系统交付投运

7 月 6 日，大连化物所邵志刚研究员团队研制的兆瓦级质子交换膜（PEM）电解水制氢系统、兆瓦级氢质子交换膜燃料电池发电系统顺利通过工程验收，并交付国网安徽省电力有限公司（以下简称“国网安徽”），正式投入运行。

目前建成的示范站位于安徽省六安市金安区，主要配备了研制的兆瓦级 PEM 制氢系统、兆瓦级氢燃料电池发电系统，结合站内风光发电系统和电网“谷电”，探索示范电网削峰填谷、绿氢生产供应、燃料电池热电联供等氢能综合利用新模式。



近年来，大连化物所在大功率 PEM 电解水制氢、新一代氢燃料电池核心部件和电堆系统等方面取得了一系列进展，通过专利普通许可等实现了膜电极、电堆等产品在公交车、物流车等交通领域的商业化应用。本次成功交

付投运，标志着我国自主知识产权的兆瓦级 PEM 电解水制氢和兆瓦级氢燃料电池技术得到了工程化验证，有望促进我国燃料电池技术在分布式发电等领域的技术进步和规模化应用、探索绿色制氢及其综合利用新模式，助力实现我国“双碳”目标。

［中国科学院大连化学物理研究所　袁秀忠］

专项过程管理

9 个项目完成 2022 年度年中检查交流

根据专项总体工作安排，洁净能源先导专项总体组办公室于 2022 年 6 月组织各项目陆续完成了 2022 年度年中交流汇报。

各任务分别从总目标完成情况、2022 年工作计划与完成进度、重要工作进展、存在问题及举措以及 2022 年下半年工作计划和预期成果进行了汇报。会议组织情况如下：

项目号	项目名称	时间	形式及地点
项目 1	战略研究与专项总体	6 月 26 日（上午）	视频
项目 2	合成气下游及耦合转化利用	6 月 24 日（上午）	视频
项目 3	甲醇下游及耦合转化利用	6 月 17 日（下午）	视频
项目 4	高效清洁燃烧关键技术与示范	6 月 24 日（下午）	视频
项目 5	张家口黄帝城小镇 100%可再生能源示范	6 月 30 日（下午）	视频
项目 6	可再生能源关键技术与示范	6 月 22 日（上午）	视频
项目 7	大规模储能关键技术与应用示范	6 月 19 日（上午）	视频
项目 8	核能非电综合利用	6 月 25 日（上午）	视频
项目 9	可再生能源制氢/液体燃料关键技术与应用	6 月 25 日（下午）	视频

院重大任务局、专项监理部及监理组专家、专项总体组、各项目负责人、专项办及各项目承担单位科研管理骨干等参加了相关会议。

[中国科学院大连化学物理研究所 卫小芳]

专项完成 2022 年度年中工作交流暨总体组会议

洁净能源先导专项 2022 年年中工作交流会议暨总体组会议于 2022 年 7 月 7 日通过视频形式召开。

会议听取了 9 个项目总体目标完成情况、重要工作进展及亮点成果等方面的工作报告，与会人员就项目推进过程重大产出及存在问题进行了深入交流。并对后续工作提出了三点要求：一是专项已经进入收官阶段，要严格对照立项指标做好结题验收工作；二是要发挥国家战略科技力量主力军的作用，以专项重要成果为基础，积极争取承担国家重大任务；三是要凝练专项成果，组织梳理重大成果产出，加强宣传，以优异的成绩迎接二十大胜利召开。

院重大任务局、专项总体组、监理组、项目组及专项办等 60 余名科研及管理人员参加了会议。

[中国科学院大连化学物理研究所 迟成　卫小芳]

国内视点

《“十四五”能源领域科技创新规划》要点

4 月 2 日，国家能源局、科学技术部印发《“十四五”能源领域科技创新规划》[1]（以下简称《规划》），提出了“十四五”时期我国能源科技创新的目标及关集中攻关、示范试验和应用推广任务，以专栏形式部署了相关示范工程，并制定了技术路线图。要点如下：

一、发展目标

总体目标：能源领域现存的主要短板技术装备基本实现突破。前瞻性、颠覆性能源技术快速兴起，新业态、新模式持续涌现，形成一批能源长板技术新优势。能源科技创新体系进一步健全。能源科技创新有力支撑引领能源产业高质量发展。

《规划》从引领新能源占比逐渐提高的新型电力系统建设、支撑在确保安全的前提下积极有序发展核电、推动化石能源清洁低碳高效开发利用、促进能源产业数字化智能化升级等方面提出了相关具体目标。

二、重点任务

《规划》围绕先进可再生能源、新型电力系统、安全高效核能、绿色高效化石能源开发利用、能源数字化智能化等方面，确定了相关集中攻关、示范试验和应用推广任务。

一是先进可再生能源发电及综合利用技术方面。提出聚焦大规模高比例可再生能源开发利用，研发更高效、更经济、更可靠的水能、风能、太阳能、生物质能、地热能以及海洋能等可再生能源先进发电及综合利用技术，支撑可再生能源产业高质量开发利用；攻克高效氢气制备、储运、加注和燃料电池关键技术，推动氢能与可再生能源融

[1] 关于印发《“十四五”能源领域科技创新规划》的通知. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-04/03/content_5683361.htm

合发展。重点任务涉及如下技术：

1、水能发电技术：①水电基地可再生能源协同开发运行关键技术；②水电工程健康诊断、升级改造和灾害防控技术。

2、风力发电技术：①深远海域海上风电开发及超大型海上风机技术；②退役风电机组回收与再利用技术。

3、太阳能发电及利用技术：①新型光伏系统及关键部件技术；②高效钙钛矿电池制备与产业化生产技术；③高效低成本光伏电池技术；④光伏组件回收处理与再利用技术；⑤太阳能热发电与综合利用技术。

4、其他可再生能源发电及利用技术：①生物质能转化与利用技术；②地热能开发与利用技术；③海洋能发电及综合利用技术。

5、氢能和燃料电池技术：①氢气制备关键技术；②氢气储运关键技术；③氢气加注关键技术；④燃料电池设备及系统集成关键技术；⑤氢安全防控及氢气品质保障技术。

二是新型电力系统及其支撑技术方面。提出加快战略性、前瞻性电网核心技术攻关，支撑建设适应大规模可再生能源和分布式电源友好并网、源网荷双向互动、智能高效的先进电网；突破能量型、功率型等储能本体及系统集成关键技术和核心装备，满足能源系统不同应用场景储能发展需要。重点任务涉及如下技术：

1、适应大规模高比例新能源友好并网的先进电网技术：①新能源发电并网及主动支撑技术；②电力系统仿真分析及安全高效运行技术；③交直流混合配电网灵活规划运行技术；④新型直流输电装备技术；⑤新型柔性输配电装备技术；⑥源网荷储一体化和多能互补集成设计及运行技术；⑦大容量远海风电友好送出技术。

2、储能技术：①能量型/容量型储能技术装备及系统集成技术；②功率型/备用型储能技术装备与系统集成技术；③储能电池共性关键技术；③大型变速抽水蓄能及海水抽水蓄能关键技术；④分布式储

能与分布式电源协同聚合技术。

三是安全高效核能技术方面。提出围绕提升核电技术装备水平及项目经济性，开展三代核电关键技术优化研究，支撑建立标准化型号和型号谱系；加强战略性、前瞻性核能技术创新，开展小型模块化反应堆、(超)高温气冷堆、熔盐堆等新一代先进核能系统关键核心技术攻关；开展放射性废物处理处置、核电站长期运行、延寿等关键技术研究，推进核能全产业链上下游可持续发展。重点任务涉及如下技术：

1、核电优化升级技术：①三代核电技术型号优化升级；②核能综合利用技术。

2、小型模块化反应堆技术：①小型智能模块化反应堆技术；②小型供热堆技术；③浮动堆技术；④移动式反应堆技术。

3、新一代核电技术：①（超）高温气冷堆技术；②钍基熔盐堆技术。

4、全产业链上下游可持续支撑技术：①放射性废物处理处置关键技术；②核电机组长期运行及延寿技术；③核电科技创新重大基础设施支撑技术。

四是绿色高效化石能源开发利用技术方面。提出聚焦增强油气安全保障能力，开展常规油气和非常规油气勘探开发、输运和炼化领域相关关键核心技术攻关，有效支撑油气勘探开发和天然气产供销体系建设。聚焦煤炭绿色智能开采、重大灾害防控、分质分级转化、污染物控制等重大需求，形成煤炭绿色智能高效开发利用技术体系。突破燃气轮机相关瓶颈技术，提升燃气发电技术水平。重点任务涉及如下技术：

1、油气安全保障供应技术

（1）陆上常规油气勘探开发技术：①低渗透老油田大幅提高采收率技术；②高含水油田精细化/智能化分层注采技术；③深层油气勘探目标精准描述和评价技术。

（2）非常规油气勘探开发技术：①深层页岩气开发技术；②非海相非常规天然气开发技术；③陆相中高成熟度页岩油勘探开发技术；④中低成熟度页岩油和油页岩地下原位转化技术；⑤地下原位煤气化技术；⑥海域天然气水合物试采技术及装备。

（3）油气工程技术：①地震探测智能化节点采集技术与装备；②超高温高压测井与远探测测井技术与装备；③抗高温抗盐环保型井筒工作液与智能化复杂地层窄安全密度窗口承压堵漏技术；④高效压裂改造技术与大功率电动压裂装备；⑤地下储气库建库工程技术

（4）管输技术：新一代大输量天然气管道工程建设关键技术与装备。

（5）炼化技术：①特种专用橡胶技术；②高端润滑油脂技术；③分子炼油与分子转化平台技术。

2、煤炭清洁低碳高效开发利用技术

（1）煤炭绿色智能开采技术：①煤矿智能开采关键技术与装备；②煤炭绿色开采和废弃物资源化利用技术；③煤矿重大灾害及粉尘智能监控预警与防控技术；④煤炭及共伴生资源综合开发技术。

（2）煤炭清洁高效转化技术：①煤炭精准智能化洗选加工技术；②新型柔性气化和煤与有机废弃物协同气化技术；③煤制油工艺升级及产品高端化技术；④低阶煤分质利用关键技术；⑤煤转化过程中多种污染物协同控制技术。

（3）先进燃煤发电技术：①先进高参数超超临界燃煤发电技术；②高效超低排放循环流化床锅炉发电技术；③超临界 CO_2（S-CO_2）发电技术；④整体煤气化蒸汽燃气联合循环发电（IGCC）及燃料电池发电（IGFC）系统集成优化技术；⑤高效低成本的 CO2 捕集、利用与封存（CCUS）技术；⑥老旧煤电机组延寿及灵活高效改造技术；⑦燃煤电厂节能环保、灵活性提升及耦合生物质发电等改造技术。

（4）燃气发电技术：①燃气轮机非常规燃料燃烧技术；②中小

型燃气轮机关键技术；③重型燃气轮机关键技术。

五是能源系统数字化智能化技术方面。提出聚焦新一代信息技术和能源融合发展，开展能源领域用数字化、智能化共性关键技术研究，推动煤炭、油气、电厂、电网等传统行业与数字化、智能化技术深度融合，开展各种能源厂站和区域智慧能源系统集成试点示范，引领能源产业转型升级。重点任务涉及如下技术：

1、基础共性技术：①智能传感与智能量测技术；②特种智能机器人技术；③能源装备数字孪生技术；④人工智能与区块链技术；⑤能源大数据与云计算技术；⑥能源物联网技术。

2、行业智能升级技术：①油气田与炼化企业数字化智能化技术；②水电数字化智能化技术；③风电机组与风电场数字化智能化技术；④光伏发电数字化智能化技术；⑤电网智能调度运行控制与智能运维技术；⑥核电数字化智能化技术；煤矿数字化智能化技术；⑦火电厂数字化智能化技术。

3、智慧系统集成与综合能源服务技术：①区域综合智慧能源系统关键技术；②多元用户友好智能供需互动技术。

[中国科学院武汉文献情报中心 岳芳]

《“十四五”可再生能源发展规划》要点

6月1日，国家发改委、国家能源局、财政部、自然资源部、生态环境部、住房城乡建设部、农业农村部、气象局、林草局等部门联合印发《“十四五”可再生能源发展规划》[2]（以下简称《规划》）明确了“十四五”我国可再生能源的发展目标、主要任务和保障措施。《规划》要点如下：

一、总体要求

1、指导思想

[2] 关于印发“十四五”可再生能源发展规划的通知. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202206/t20220601_1326720.html?code=&state=123

《规划》以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的十九大和十九届二中、三中、四中、五中、六中全会精神，完整、准确、全面贯彻新发展理念，深入实施能源安全新战略，坚持稳中求进工作总基调，锚定碳达峰、碳中和目标，促进可再生能源**大规模、高比例、市场化、高质量**发展，有效支撑清洁低碳、安全高效的能源体系建设。

2、总体特征

“十四五”期间，可再生能源发展将呈现“6 新”：**一是“新形势”**，全球能源将加速向低碳、零碳方向演进，可再生能源将逐步成长为支撑经济社会发展的主力能源；**二是“新要求”**，我国将坚决落实碳达峰、碳中和目标任务，大力推进能源革命向纵深发展；**三是“新阶段”**，我国可再生能源将进入高质量跃升发展新阶段；四是“新特征”，即呈现大规模发展、大规模发展、市场化发展、高质量发展特征；**五是“新目标”**，2025 年可再生能源消费总量达到 10 亿吨标准煤左右；**六是“新举措”**，实施可再生能源替代行动，提高可再生能源消纳和存储能力，巩固提升可再生能源产业核心竞争力，加快构建新型电力系统。

3、基本原则

“十四五”期间，可再生能源发展要坚持 6 个基本原则和 5 个“并举”。6 个基本原则为：坚持创新驱动，坚持多元迭代，坚持系统观念，坚持市场主导，坚持生态优先，坚持协同融合。5 个“并举”为：集中式与分布式并举、陆上与海上并举、就地消纳与外送消纳并举、单品种开发与多品种互补并举、单一场景与综合场景并举。

4、发展目标

《规划》锚定碳达峰、碳中和目标和 2035 年远景目标，按照 2025 年非化石能源消费占比 20%左右任务要求，设置了“十四五”可再生能源的四方面主要目标：

总量目标：2025 年，可再生能源消费总量达到 10 亿吨标准煤左右，占一次能源消费的 18%左右。“十四五”期间，可再生能源在一次消费增量中占比超过 50%。

发电目标：2025 年，可再生能源年发电量达到 3.3 万亿千瓦时左右。“十四五”期间，可再生能源发电量增量在全社会用电量增量中的占比超过 50%，风电和太阳能发电量实现翻倍。

电力消纳目标：2025 年，全国可再生能源电力总量消纳责任权重达到 33%左右，可再生能源电力非水电消纳责任权重达到 18%左右，可再生能源利用率保持在合理水平。

非电利用目标：2025 年，地热能供暖、生物质供热、生物质燃料、太阳能热利用等非电利用规模达到 6000 万吨标准煤以上。

5、发展方式

以区域布局优化发展、以重大基地支撑发展、以示范工程引领发展、以行动计划落实发展。

二、主要任务

“十四五”期间，可再生能源发展的主要任务将围绕“四个革命、一个合作”开展：

1、供给革命

将“优化发展方式，大规模开发可再生能源”，包括如下方面：

一是大力推进风电和光伏发电基地化开发。统筹推进陆上风电和光伏发电基地建设；加快推进以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电太阳能发电基地；有序推进海上风电基地建设。将部署“十四五”重大陆上新能源基地，包括新疆新能源基地、黄河上游新能源基地、河西走廊新能源基地、黄河几字弯新能源基地、冀北新能源基地、松辽新能源基地、黄河下游绿色能源廊道。“十四五”海上风电开发建设重点为：海上风电基地集群、深远海海上风电平价示范、海上能源岛示范、海上风电与海洋油气田深度融合发展示范。

二是积极推进风电和光伏发电分布式开发。积极推动风电分布式就近开发；大力推动光伏发电多场景融合开发。将采取如下风电和光伏发电分布式开发行动：城镇屋顶光伏行动、“光伏+”综合利用行动、千乡万村驭风行动、千家万户沐光行动、新能源电站升级改造行动、光伏廊道示范。

三是统筹推进水风光综合基地一体化开发。科学有序推进大型水电基地建设；积极推进大型水电站优化升级，发挥水电调节潜力；做好生态环境保护与移民安置；依托西南水电基地统筹推进水风光综合基地开发建设。建设“十四五”水风光综合基地：川滇黔桂水风光综合基地、藏东南水风光综合基地。

四是稳步推进生物质能多元化开发。稳步发展生物质发电；积极发展生物质能清洁供暖；加快发展生物天然气；大力发展非粮生物质液体燃料。重点推进：生物天然气示范、生物质发电市场化示范、生物质能清洁供暖示范。

五是积极推进地热能规模化开发。积极推进中深层地热能供暖制冷；全面推进浅层地热能开发；有序推动地热能发电发展。地热能规模化开发重点为：中深层地热能开发、浅层地热能开发。

六是稳妥推进海洋能示范化开发。稳步发展潮汐能发电；开展潮流能和波浪能示范；探索开发海岛可再生能源。

2、消费革命

将“促进消纳存储，高比例利用可再生能源”，包括如下方面：

一是提升可再生能源存储能力。加快推进抽水蓄能电站建设；推进黄河上游梯级电站大型储能试点项目建设；有序推进长时储热型太阳能热发电发展；推动其他新型储能规模化应用。“十四五”抽水蓄能电站开发建设重点为：重点开工抽水蓄能项目、抽水蓄能资源调查行动、中小型抽水蓄能示范。

二是促进可再生能源就地就近消纳。加强电网基础设施建设及智

能化升级，提升电网对可再生能源的支撑保障能力；提升可再生能源就地消纳能力。

三是推动可再生能源外送消纳。加强送受端电网支撑，提升“三北”地区既有特高压输电通道新能源外送规模；提升基础设施利用率，推动既有火电“点对网”专用输电通道外送新能源；优化新建通道布局，推动可再生能源跨省跨区消纳。

四是加强可再生能源多元直接利用。推动可再生能源发电在终端直接应用；扩大可再生能源非电直接利用规模；开展高比例可再生能源应用示范。可再生能源多元直接利用方面，将重点推进：可再生能源规模化供热行动、发供用高比例新能源示范、绿色能源示范县（园）、清洁能源示范省。

五是推动可再生能源规模化制氢利用。开展规模化可再生能源制氢示范；推进化工、煤矿、交通等重点领域绿氢替代。将重点推进可再生能源规模化制氢利用。

六是扩大乡村可再生能源综合利用。加快构建以可再生能源为基础的乡村清洁能源利用体系；持续推进农村电网巩固提升；提升乡村可再生能源普遍服务水平。将推进乡村可再生能源综合利用：乡村能源站行动、农村电网巩固提升行动、村镇新能源微能网示范。

3、技术革命

将“坚持创新驱动，高质量发展可再生能源”，包括如下方面：

一是加大可再生能源技术创新攻关力度。推行“揭榜挂帅”、“赛马制”等创新机制，提升新型电力系统稳定性可靠性；加强可再生能源前沿技术和核心技术装备攻关；持续推进可再生能源工程技术创新及应用。推进可再生能源技术创新示范：可再生能源技术创新示范、光伏发电户外实证、新型高效光伏电池技术、地热能发电技术、中深层地热供暖技术。

二是培育可再生能源发展新模式新业态。推动可再生能源智慧化

发展；大力发展综合能源服务；推动可再生能源与电动汽车融合发展；创新推动光伏治沙规模化发展。

三是提升可再生能源产业链供应链现代化水平。锻造产业链供应链长板；补齐产业链供应链短板；完善产业标准认证体系。

四是完善可再生能源创新链。加强科技创新支撑；打通科技成果转化通道。

4、体制革命

将“健全体制机制，市场化发展可再生能源”，包括如下方面：

一是深化可再生能源行业“放管服”改革。加大简政放权力度；完善监督管理机制；提升政务服务水平。

二是健全可再生能源电力消纳保障机制。强化可再生能源电力消纳责任权重引导；加强可再生能源电力消纳责任权重评价考核；建立健全可再生能源电力消纳长效机制。

三是完善可再生能源市场化发展机制。健全可再生能源开发建设管理机制；完善可再生能源全额保障性收购制度；完善可再生能源价格形成和补偿机制；构建可再生能源参与市场交易机制。

四是建立健全绿色能源消费机制。完善绿色电力证书机制；建立绿色能源消费评价、认证与标识体系；积极引导绿色能源消费。

5、国际合作

将“坚持开放融入，深化可再生能源国际合作”，包括如下方面：

一是持续参与全球绿色低碳能源体系建设。持续完善国际合作交流机制和平台；积极参与全球能源与气候治理。

二是深化推进国际技术与产能合作。加强可再生能源与新能源技术创新合作；推进可再生能源产业国际化和国际产能合作。

三是积极参与可再生能源国际标准体系建设。

三、保障措施

1、保障可再生能源快速发展

一是完善可再生能源资源评估和服务体系。加强可再生能源开发生态环境保护关键技术研究；加强可再生能源资源开发储量评估；构建资源详查评估服务体系。**二是加强可再生能源土地和环境支持保障。三是加强可再生能源财政政策支持。四是完善可再生能源绿色金融体系。**

2、保障规划实施

一是加强规划衔接。二是细化任务落实。三是加强国家统筹。四是加强监测评估。

[中国科学院武汉文献情报中心 岳芳 根据国家发改委解读新闻编辑]

《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》解读

5 月 14 日，国家发展改革委、国家能源局联合印发《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》[3]（以下简称《实施方案》），提出要实现到 2030 年风电、太阳能发电总装机容量达到 12 亿千瓦以上的目标，加快构建清洁低碳、安全高效的能源体系。《实施方案》围绕更好发挥新能源在能源保供增供方面的作用等，提出了 7 个方面、21 项具体政策举措。要点解读如下：

一、《实施方案》出台背景

近年来，我国以风电、光伏发电为代表的新能源发展成效显著，装机规模稳居全球首位，发电量占比稳步提升，成本快速下降，已基本进入平价无补贴发展的新阶段。同时，新能源开发利用仍存在电力系统对大规模高比例新能源接网和消纳的适应性不足、土地资源约束明显等制约因素。2020 年 9 月起，国家发展改革委、能源局认真贯彻落实党中央、国务院决策部署，紧扣**新时代、新能源、高质量发展三大主题**，聚焦影响新能源大规模高比例发展的堵点、难点、痛点和空白点，会同国家发展改革委、科技部、工业和信息化部、财政部、

[3] 国务院办公厅转发国家发展改革委 国家能源局关于促进新时代新能源高质量发展实施方案的通知. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-04/03/content_5683361.htm

自然资源部、生态环境部、水利部、农业农村部、人民银行、税务总局、市场监管总局、国管局、气象局、银保监会、证监会等 15 个国务院部门，组织行业力量，深入系统研究，广泛听取意见，历时近两年，研究形成了《实施方案》。

二、《实施方案》的特点

国家能源局新能源司主要负责人表示，《实施方案》定位为推动以风电、光伏发电为代表的新能源高质量发展的政策性文件。主要突出以下三个特点：

一是坚持目标导向。《实施方案》锚定我国在 2020 年 9 月提出的“到 2030 年我国非化石能源占一次能源消费比重达到 25%左右”，在 2020 年 12 月 12 日气候雄心峰会上提出的“到 2030 年，风电、太阳能发电总装机容量将达到 12 亿千瓦以上”，以及在 2021 年 3 月中央财经委员会第九次会议上提出要“构建以新能源为主体的新型电力系统”等一系列重大目标要求，聚焦以风电、光伏发电为代表的新能源大规模、高比例、高质量发展，完善政策措施，为我国如期实现碳达峰碳中和奠定坚实的新能源发展基础。

二是强调“先立后破、以立为先”。《实施方案》按照 2021 年 12 月中央经济工作会上“传统能源逐步退出要建立在新能源安全可靠的替代基础上”相关要求，通过“加快推进以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电太阳能发电基地建设”、“按照推动煤炭和新能源优化组合的要求，鼓励煤电与新能源企业开展实质性联营”、“促进新能源开发利用与乡村振兴融合发展”、“推动新能源在工业和建筑领域应用”、“全面提升电力系统调节能力和灵活性”、“着力提高配电网接纳分布式新能源的能力”等一系列政策措施，坚持系统思维，统筹发展和安全，先立后破，重点解决新能源“立”的问题，更好发挥新能源在能源保供增供方面的作用。

三是突出问题导向。《实施方案》针对制约新能源大规模、高比

例发展的开发建设用地矛盾、电力系统对新能源接网消纳的适应性不足、全社会绿色消费意识不强等关键性、要害性、实质性、核心性政策堵点、痛点、空白点，提出切实可行和具备操作性的政策措施，为新能源又好又快发展保驾护航。例如，对于新能源发展用地问题，文件提出要保障新能源发展合理空间需求，“完善新能源项目用地管制规则，建立自然资源、生态环境与能源主管部门等相关单位的协同机制，地方政府应严格依法征收土地使用税费，不得超出法律规定征收其他费用”。对于提高电力系统对新能源接网消纳的适应性问题，文件提出了“全面提升电力系统调节能力和灵活性“、“着力提高配电网接纳分布式新能源的能力”、“稳妥推进新能源参与电力市场交易”等多项措施。

三、《实施方案》提出的政策举措

《实施方案》围绕更好发挥新能源在能源保供增供方面的作用等，提出了 7 个方面、21 项具体政策举措，主要包括：

1、创新新能源开发利用模式

《实施方案》坚持统筹新能源开发和利用，坚持分布式和集中式并举，突出模式和制度创新，在四个方面提出了新能源开发利用的举措，推动全民参与和共享发展。一是加快推进以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏发电基地建设。二是促进新能源开发利用与乡村振兴融合发展。三是推动新能源在工业和建筑领域应用。四是引导全社会消费新能源等绿色电力。

2、加快构建适应新能源占比逐渐提高的新型电力系统

传统电力系统是以化石能源为主来打造规划设计理念和调度运行规则等。实现碳达峰碳中和，必须加快构建新型电力系统，适应新能源比例持续提高的要求，在规划理念革新、硬件设施配置、运行方式变革、体制机制创新上做系统性安排。一是全面提升电力系统调节能力和灵活性。二是着力提高配电网接纳分布式新能源的能力。三是

稳妥推进新能源参与电力市场交易。四是完善可再生能源电力消纳责任权重制度。

3、深化新能源领域“放管服”改革

鉴于新能源项目点多面广、单体规模小、建设周期短等，《实施方案》立足新能源项目建设的规模化、市场化发展需求，继续深化“放管服”改革，重点在简化管理程序、提升服务水平上。一是持续提高项目审批效率。二是优化新能源项目接网流程。三是健全新能源相关公共服务体系。

4、支持引导新能源产业健康有序发展

经过多年发展，我国已经形成了较为完善并具有一定优势的新能源产业链体系。新形势下，我国新能源产业必须强化创新驱动，统筹发展与安全，促进形成以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局。为此，《实施方案》从以下方面支持引导新能源产业健康有序发展。一是推进科技创新与产业升级。二是保障产业链供应链安全。三是提高新能源产业国际化水平。

5、保障新能源发展合理空间需求

与传统能源相比，新能源能量密度较低，占地面积大。随着新能源规模快速扩大，土地资源已经成为影响新能源发展的重要因素。《实施方案》进一步强化新能源发展用地用海保障，推动解决制约新能源行业发展的用地困境。一是完善新能源项目用地管制规则。二是提高国土空间资源利用效率。

6、充分发挥新能源的生态环境保护效益

新能源与生态环境协调发展是未来新能源大规模发展的难点。《实施方案》从以下方面来发挥新能源的生态环境保护效益。一是大力推广生态修复类新能源项目。二是助力农村人居环境整治提升。

7、完善支持新能源发展的财政金融政策

“十四五”风光等主要新能源已实现平价无补贴上网，财政政策

支持的方向和模式需要与时俱进，金融支持政策力度需要加大，进一步发挥财政、金融政策的作用。《实施方案》提出三方面政策举措：一是优化财政资金使用。二是完善金融相关支持措施。三是丰富绿色金融产品服务。

[中国科学院武汉文献情报中心 岳芳 根据国家发改委、能源局答记者问和中国能源报新闻编辑]

《关于“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见》要点

3 月 28 日，工业和信息化部、发展改革委、科技部、生态环境部、应急部、能源局联合发布《关于“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见》[4]（以下简称《意见》），提出了“十四五”时期我国石化行业的发展目标和重点举措。相关要点如下：

一、《意见》主要目标

《意见》提出了“十四五”期间高质量发展的主要目标：到 2025 年，石化化工行业基本形成自主创新能力强、结构布局合理、绿色安全低碳的高质量发展格局，高端产品保障能力大幅提高，核心竞争能力明显增强，高水平自立自强迈出坚实步伐。

集中体现在 5 个方面：**一是加快创新发展**，到 2025 年，规上企业研发投入占主营业务收入比重达 1.5%以上。突破 20 项以上关键共性技术和 40 项以上关键新产品。**二是调整产业结构**，大宗化工产品生产集中度进一步提高，产能利用率达到 80%以上；乙烯当量保障水平大幅提升，化工新材料保障水平达 75%以上。**三是优化产业布局**，城镇人口密集区危险化学品生产企业搬迁改造任务全面完成，形成 70 个左右具有竞争优势的化工园区。到 2025 年，化工园区产值占行

[4] 工业和信息化部 国家发展和改革委员会 科学技术部 生态环境部 应急管理部 国家能源局关于“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见.
http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-04/08/content_5683972.htm

业总产值 70%以上。**四是推动数字化转型**，石化、煤化工等重点领域企业主要生产装置自控率 95%以上，建成 30 个左右智能制造示范工厂、50 家左右智慧化工示范园区。**五是坚守绿色安全**，大宗产品单位产品能耗和碳排放明显下降，挥发性有机物排放总量比“十三五”降低 10%以上，本质安全水平显著提高，有效遏制重特大生产安全事故。

二、《意见》重点任务

《意见》围绕主要目标，聚焦创新发展、产业结构、产业布局、数字化转型、绿色低碳、安全发展等 6 个重点难点，凝炼出 6 大重点任务。

（一）提升创新发展水平。一是完善创新机制，强化企业创新主体地位，构建重点实验室、重点领域创新中心、共性技术研发机构“三位一体”创新体系。二是攻克核心技术，加快重要装备及零部件制造技术攻关，开发推广先进感知技术以及过程控制软件、全流程智能控制系统、故障诊断与预测性维护等控制技术，增强创新发展动力。三是实施“三品”行动，增加材料品种规格，加快发展高端化工新材料产品，积极布局前沿化工新材料，提高绿色化工产品占比，鼓励企业培育创建品牌。

（二）推动产业结构调整。一是强化分类施策，科学调控石油化工、煤化工等传统化工行业产业规模，有序推进炼化项目“降油增化”，**促进煤化工产业高端化、多元化、低碳化发展**。二是动态更新石化化工行业鼓励推广应用的技术和产品目录，加快先进适用技术改造提升，**优化烯烃、芳烃原料结构，加快煤制化学品、煤制油气向高附加值产品延伸**，提高技术水平和竞争力。

（三）优化调整产业布局。一是统筹项目布局，推进新建石化化工项目向资源环境优势基地集中，推动现代煤化工产业示范区转型升级。持续推进城镇人口密集区危险化学品生产企业搬迁改造。二是引

导化工项目进区入园，推动化工园区规范发展。新建危险化学品生产项目必须进入一般或较低安全风险的化工园区（与其他行业生产装置配套建设的项目除外），引导其他石化化工项目在化工园区发展。

（四）推进产业数字化转型。一是加快新技术、新模式与石化化工行业融合，不断增强化工过程数据获取能力，强化全过程一体化管控，推进数字孪生创新应用，打造 3-5 家面向行业的特色专业型工业互联网平台及化肥、轮胎等基于工业互联网的产业链监测系统。二是发布石化化工行业智能制造标准体系建设指南，推进数字化车间、智能工厂、智慧园区等示范标杆引领，强化工业互联网赋能。

（五）加快绿色低碳发展。一是发挥碳固定碳消纳优势，有序推动石化化工行业重点领域节能降碳，**推进炼化、煤化工与“绿电”、“绿氢”等产业耦合以及二氧化碳规模化捕集、封存、驱油和制化学品等示范**。二是发展清洁生产，构建全生命周期绿色制造体系。**积极发展生物化工**，基于非粮生物质制造大宗化学品，强化生物基大宗化学品与现有化工产业链衔接，实现对传统化石基产品的部分替代。三是促进行业间耦合发展，提高资源循环利用效率。有序发展和科学推广生物可降解塑料，推动废塑料、废弃橡胶等废旧化工材料循环利用。

（六）夯实安全发展基础。一是提升技术和管理水平，压实安全生产主体责任，推进实施责任关怀。鼓励企业采用先进适用技术改造提升，推进高危工艺安全化改造和替代，提升本质安全水平。二是增强炼化行业轻质低碳原料、化肥行业磷钾矿产资源保障，稳妥推进磷化工“以渣定产”，确保化肥稳定供应，保护性开采萤石资源，鼓励开发利用伴生氟资源，维护产业链供应链安全稳定。

三、《意见》保障措施

为保障主要目标和重点任务顺利实施，《意见》着眼打好“组合拳”，提出以下三项措施。**一是强化组织实施。**加强部门协同和上下联动，强化事中事后监管。发挥行业组织桥梁纽带作用，强化行业自

律。加强政策宣贯解读，积极回应社会舆论和民众合理关切，切实提升社会公众对石化化工的科学理性认知。**二是完善配套政策。**加强财政、金融、区域、投资、进出口、能源、生态环境、价格等政策与产业政策的协同，推进银企对接和产融合作，强化知识产权保护，加强化工专业人才培养和从业员工培训，推动首台（套）装备、首批次材料示范应用。**三是健全标准体系。**建立完善相关产品标准体系、评价标识管理体系和绿色用能监测与评价体系；完善重点产品能耗限额、有毒有害化学物质含量限值和污染物排放限额；制修订含碳化工产品碳排放核算以及低碳产品评价等标准。

[中国科学院武汉文献情报中心 岳芳 根据工业和信息化部解读文章编辑]

财政部发文支持能源体系构建及重点行业低碳转型

5 月 25 日，财政部印发《财政支持做好碳达峰碳中和工作的意见》[5]（以下简称《意见》)指出，到 2025 年，财政政策工具不断丰富，有利于绿色低碳发展的财税政策框架初步建立，有力支持各地区各行业加快绿色低碳转型。2030 年前，有利于绿色低碳发展的财税政策体系基本形成，促进绿色低碳发展的长效机制逐步建立，推动碳达峰目标顺利实现。2060 年前，财政支持绿色低碳发展政策体系成熟健全，推动碳中和目标顺利实现。意见强调支持构建能源体系及重点行业绿色低碳转型，详情如下：

一、支持构建清洁低碳安全高效的能源体系

有序减量替代，推进煤炭消费转型升级。优化清洁能源支持政策，大力支持可再生能源高比例应用，推动构建新能源占比逐渐提高的新型电力系统。支持光伏、风电、生物质能等可再生能源，以及出力平稳的新能源替代化石能源。完善支持政策，激励非常规天然气开采增产上量。鼓励有条件的地区先行先试，因地制宜发展新型储能、抽水

[5] 关于印发《财政支持做好碳达峰碳中和工作的意见》的通知. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-05/31/content_5693162.htm

蓄能等，加快形成以储能和调峰能力为基础支撑的电力发展机制。加强对重点行业、重点设备的节能监察，组织开展能源计量审查。

二、支持重点行业领域绿色低碳转型

支持工业部门向高端化智能化绿色化先进制造发展。深化城乡交通运输一体化示范县创建，提升城乡交通运输服务均等化水平。支持优化调整运输结构。大力支持发展新能源汽车，完善充换电基础设施支持政策，稳妥推动燃料电池汽车示范应用工作。推动减污降碳协同增效，持续开展燃煤锅炉、工业炉窑综合治理，扩大北方地区冬季清洁取暖支持范围，鼓励因地制宜采用清洁能源供暖供热。支持北方采暖地区开展既有城镇居住建筑节能改造和农房节能改造，促进城乡建设领域实现碳达峰碳中和。持续推进工业、交通、建筑、农业农村等领域电能替代，实施“以电代煤”、“以电代油”。

[中国科学院武汉文献情报中心 岳芳]

氮掺杂碳壳包覆 Ni 基催化剂大幅提升碱性聚合物电解质燃料电池性能

以燃料电池为代表的氢能电化学技术是实现碳中和的重要途径。碱性聚合物电解质燃料电池（APEFC）作为一种极具发展前景的氢燃料电池技术，因其具有完全不需要贵金属催化剂的优势而备受关注。然而，在碱性介质中，氢氧化反应（HOR）的缓慢动力学阻碍了其应用。

武汉大学肖丽/庄林团队和康奈尔大学 Héctor D. Abruña 院士等人合作设计了一种具有 2 nm 氮掺杂碳壳包覆的镍（Ni）基电催化剂（$Ni@CN_x$），其中 CN_x 作为保护层，显著提高了氢氧化反应（HOR）动力学。在一个完全不使用贵金属催化剂的碱性燃料电池中，其中 $Ni@CN_x$ 作为阳极催化剂、$MnCo_2O_4$ 尖晶石作为阴极催化剂，该电池的峰值功率密度达到了 200 mW cm^{-2}，是目前使用全非贵金属催化剂

低温燃料电池的最高性能报道。

该项研究开发出一种氮掺杂碳壳包覆的 Ni 基电催化剂（Ni@CN_x），由于 CN_x 层的保护，导致 Ni@CN_x 的抗氧化性得到增强，因此，与 Ni 纳米颗粒催化剂相比，Ni@CN_x 具有更好的耐久性。该项研究为今后开发高性能碱性聚合物电解质燃料电池提供了新的思路。研究成果发表在《*Proceedings of the National Academy of Sciences*》[6]。

[中国科学院武汉文献情报中心 岳芳 根据武汉大学新闻编辑]

聚离子液体水凝胶电解质实现-80℃工作柔性水溶液锂离子电池

廉价、安全、环保的水电解质在 Li+、Na+、Zn^{2+}、K^+水离子电池(AMBs)中的应用越来越受到可再生能源器件发展的关注。然而，这些水电池在实际应用中面临的一些挑战是低电化学窗口（1.23 V）和高凝固点（0 ℃）的水。在超低温度下，电解质的冻结导致离子导电性不足，电解质-电极界面劣化，进一步削弱电池的容量。基于这些缺点，开发在低温应用的水电池的耐低温电解质极为必要。

苏州大学严锋教授和南京大学王晓亮副教授等人受盐和醇类低温保护剂防冻性能的启发，研制了一种用于水溶液锂离子电池（ALIBs）的羟基功能化聚离子液体（PIL-OH）水凝胶电解质。得益于优异的超低温耐受性，制备的 PIL-OH 水凝胶具有高度增强的低温适应性，在−80 ℃ 时具有 0.08 mS cm^{-1} 的高离子电导率。以 PIL-OH 水凝胶为基础的柔性 ALIBs 具有优异的柔性耐久性和良好的循环稳定性，在−80℃下循环 200 次以上，容量保持率为 93%，比容量为 40 mAh g^{-1}，在 0.1C 下库仑效率为 99%。

[6] Yunfei Gao, Yao Yang, Roberto Schimmenti, et al. A completely precious metal–free alkaline fuel cell with enhanced performance using a carbon-coated nickel anode. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2022, DOI: 10.1073/pnas.2119883119

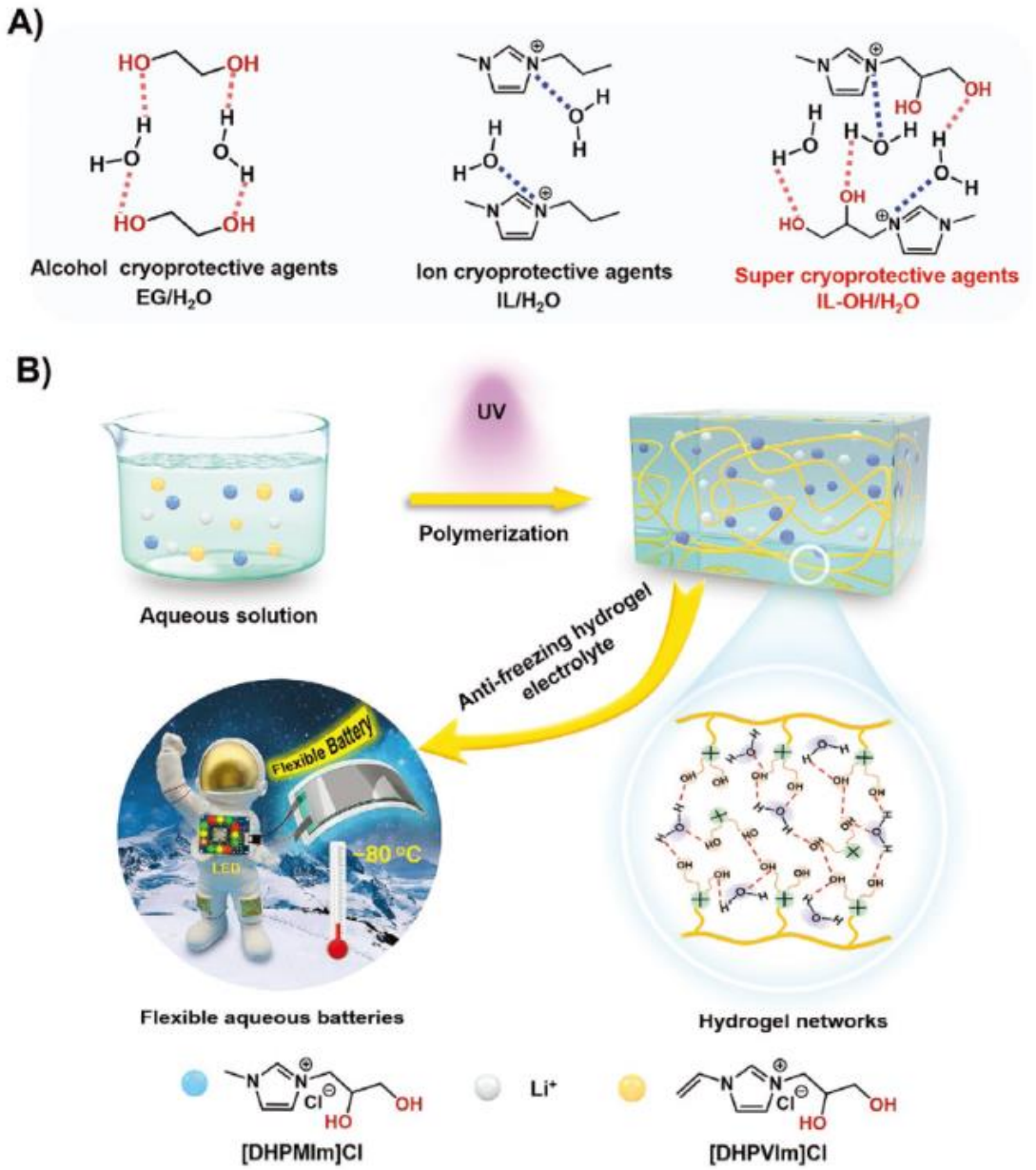


图 1 PIL-OH 防冻凝胶的设计与合成

该研究工作受乙醇低温保护剂耐冻机理的启发，制备了一种新型的 PIL-OH 水凝胶，并将其应用于柔性水性锂离子电池的电解质中，这种柔性电池在弯曲和切割等极其恶劣的条件下表现出较高的机械灵活性和稳定的电化学性能。该方法为开发超低温柔性水能器件提供了有价值的途径。相关研究成果发表在《*Advanced Functional Materials*》[7]。

[中国科学院武汉文献情报中心 汤匀 根据能源学人新闻编辑]

[7] Yin Hu,Rongwei Shi,Yongyuan Ren, et al, A "Two-in-One" Strategy for Flexible Aqueous Batteries Operated at −80 ℃, *Advanced Functional Materials*, 2022, DOI: 10.1002/adfm.202203081

$Pt/CeCrO_{2-x}$ 催化剂实现木质纤维素完全原位加氢液化

一锅催化将木质生物质原料转化为有价值的化学品和燃料是缓解能源消耗的一种有前途的策略。利用高效金属催化剂催化加氢和酸催化脱氧的有效组合，是实现木质生物质高选择性加氢脱氧（HDO）转化为液体燃料和化学品的关键。

中国石油大学的刘东教授团队将高分散和超细铂纳米颗粒结合在 Cr 掺杂的二氧化铈上，可以将未经预处理的木质生物质几乎完全转化为二元醇和单酚，获得高能量密度的高附加值化学品和生物燃料。该方法的关键部分在于灵活利用由氧化还原电位 $CeCrO_{2-x}$、平衡的酸碱性质和强的金属-载体相互作用组成的协同催化系统。适当的 Cr 掺杂使催化剂具有丰富的氧空位和增强的润湿性。该催化剂利用内源氢通过 Guerbet 反应实现了木质纤维素的催化自转移氢水解，具有较高的稳定性，不易烧结和结焦。

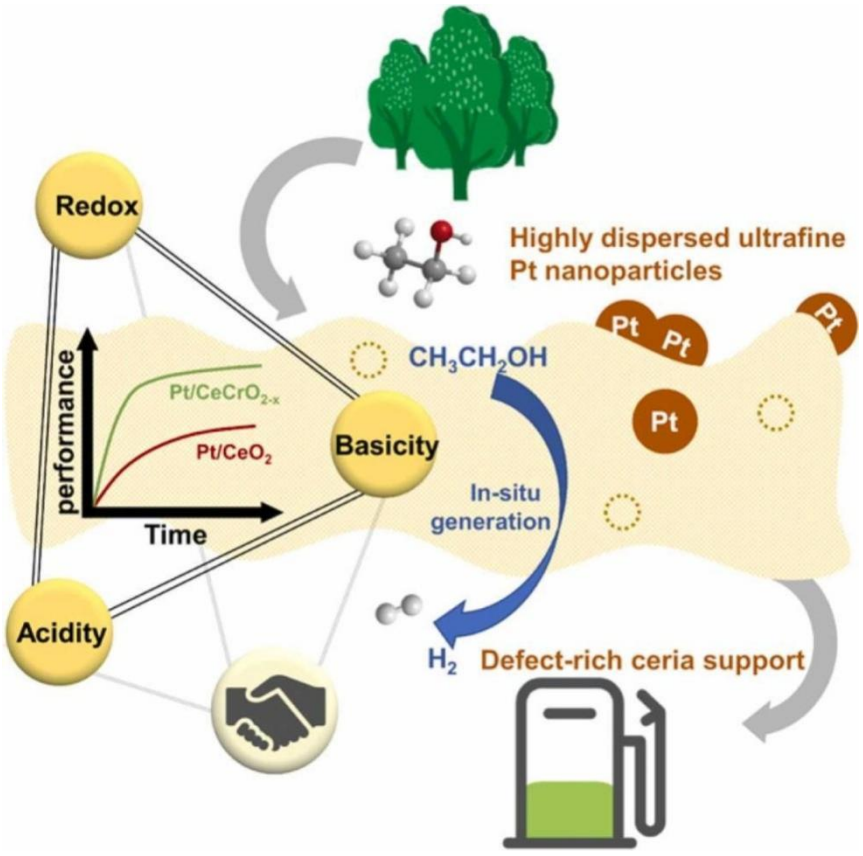


图 1 高性能 Pt/CeCrO2-x 催化剂催化机理示意图

该项研究设计了一种多功能 $Pt/CeCrO_{2-x}$ 催化剂，由超细高度分散的铂和平衡的酸基位点组成，由于协同效应，可以实现近 100%的生物质转化。这一工作将启发可持续生物炼制的工业化发展，提高生物质利用率。相关研究成果发表在《*Applied Catalysis B: Environmental*》[8]。

[中国科学院武汉文献情报中心 汤匀 根据“生物质前沿”新闻编辑]

[8] Fengliang Wang, Ruiqi Fang, Xin Zhao, et al, Ultrathin Nanosheet Assembled Multishelled Superstructures for Photocatalytic CO2 Reduction, *ACS Nano*, 2022, DOI: 10.1021/acsnano.1c10958

国际瞭望

BP《世界能源统计年鉴 2022》要点解读

6 月 28 日，英国石油公司（BP）发布《世界能源统计年鉴 2022》[9]指出，全球能源系统面临着近 50 年来的最严峻挑战和不确定性，当前恶化的国际形势导致的供应短缺和价格飙升使得如何解决“安全”“经济”和“低碳”能源三难问题变得愈发重要。随着全球防疫封控的放松和经济活动的复苏，2021 年全球能源消费和碳排放已反弹至疫情前的水平，逆转了 2020 年由于疫情原因出现的短暂下滑。从长远来看，各国政府虽已作出了雄心勃勃的净零排放政治承诺，但如何转化为脚踏实地的行动和看得到的进展还未可知。具体内容如下：

一、2021 年全球一次能源需求创纪录增长

2021 年全球一次能源需求同比增长 31 艾焦（涨幅 5.8%），创下史上最大增幅，扭转了 2020 年的急剧下降趋势，且比 2019 年水平仍高出 8 艾焦（1.3%）。2019-2021 年全球可再生能源消费量增长超过 8 艾焦，而化石能源消费量基本上保持不变，石油需求下降（-8 艾焦）被天然气（+5 艾焦）和煤炭需求（+3 艾焦）增长抵消，如图 1 所示。2021 年化石能源在一次能源消费中占比已从 2019 年的 83%降至 82%，而在五年前这一数字为 85%，如图 2 所示。

[9] BP Statistical Review of World Energy 2022. https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf

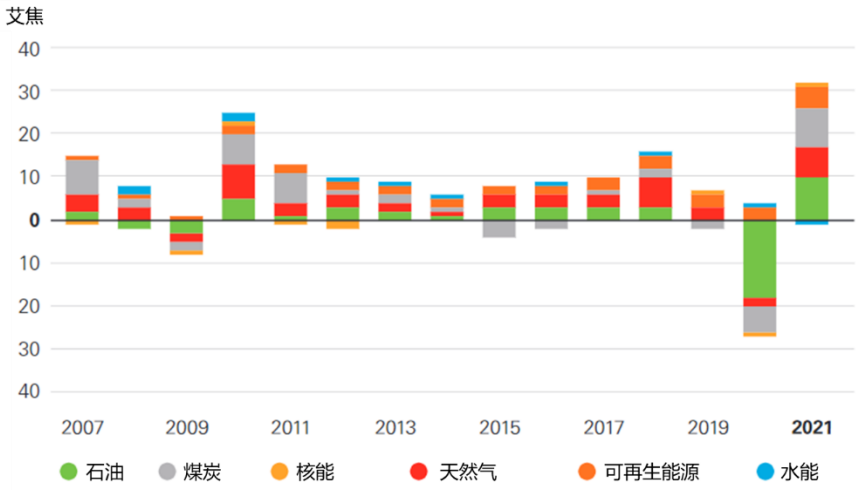


图 1 2007-2021 年按能源品种划分的全球一次能源需求同比变量（单位：艾焦）

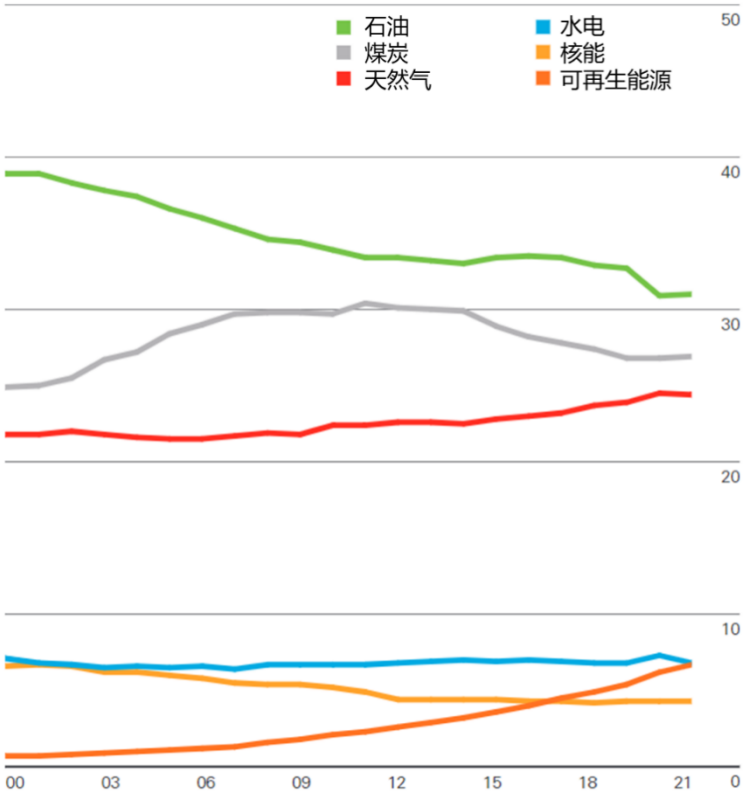


图 2 2000-2021 年全球一次能源消费结构变化（单位：%）

就地区而言（图 3），2021 年全球一次能源需求增长主要由新兴经济体（+13 艾焦）贡献，尤其是中国增长了 10 艾焦。2020 年和 2021 年，新兴经济体一次能源需求共增长 15 艾焦，其中中国贡献了 13 艾焦的增量。相比之下，同期发达经济体的一次能源需求降低 7 艾焦。

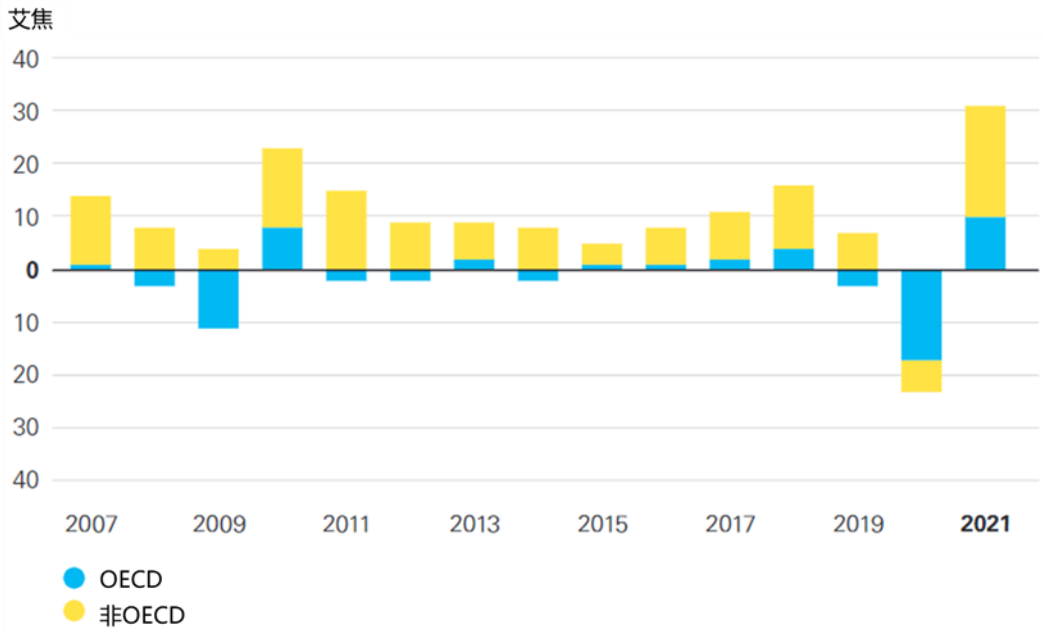


图 3 2007-2021 年按地区划分的全球一次能源需求同比变量（单位：艾焦）

二、2021 年全球能源相关碳排放已反弹至 2019 年水平

2021 年全球能源消费、工业过程、空燃和甲烷等造成的碳排放总量同比增长 5.7%，达到 390 亿吨二氧化碳当量。其中，源自能源消费的碳排放量同比增加 5.9%，达到 339 亿吨二氧化碳当量，接近 2019 年的水平；而源自工业过程与甲烷和空燃的碳排放量同比增幅相对更小，分别为 4.6%和 2.9%。能源相关碳排放增长的主要原因是经济的反弹（图 4），随着新冠疫情封控措施缓解，经济得以复苏，能源消费急剧增加。相比之下，碳强度和能源强度导致的碳排放变量很小。

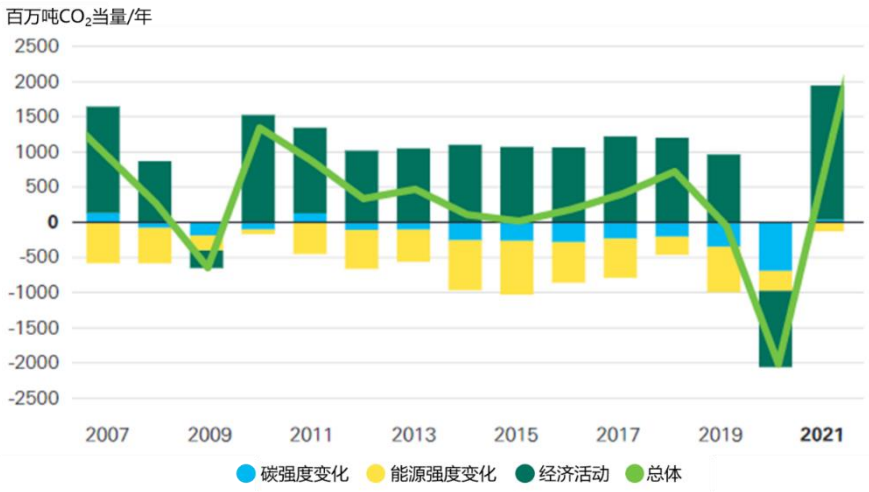


图 4 2007-2021 年不同因素导致的全球碳排放同比变量（单位：百万吨 CO_2 当量）

三、受航空需求影响，2021 年全球石油消费仍低于 2019 年水平

2021 年，全球石油消费量同比增长 530 万桶/日，但仍比 2019 年低 370 万桶/日，主要体现在航空相关需求，其比 2019 年下降 250 万桶/天，降幅达到 33%。2021 年全球石油消费增量主体来自汽油（+180 万桶/日）和柴油（+130 万桶/日），但仅有石脑油和其他石油产品需求高于 2019 年水平，如图 5 所示。从地域来看，主要增长来自美国（+150 万桶/日）、中国（+130 万桶/日）和欧盟（+57 万桶/日）。

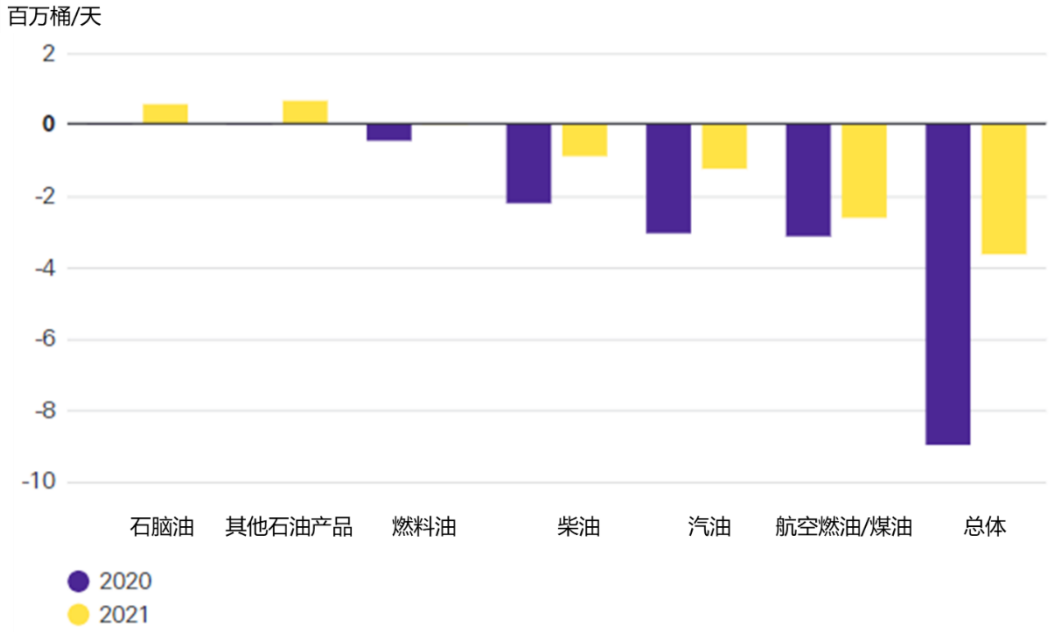


图 5 2021 和 2022 年全球石油需求相比 2019 年的变化量（单位：百万桶/日）

2021 年全球石油产量同比增长 140 万桶/日，“欧佩克+”组织[10]（OPEC+）占到增量的 3/4 以上。在所有国家中，利比亚（+84 万桶/日）、伊朗（+54 万桶/日）和加拿大（+30 万桶/日）增产最多；而尼日利亚（-20 万桶/日）、英国（-17 万桶/日）和安哥拉（-15 万桶/日）减产最多。

2021 年全球炼油产能出现近 30 年来的首次下降，减少约 50 万桶/日，主要是由于经合组织（OECD）国家产能大幅降低（-110 万桶/日），已达到自 1998 年以来的最低水平。

四、2021 年全球天然气需求增长 5.3%，超出疫情前水平

[10] “欧佩克+”（OPEC+）组织由石油输出国组织欧佩克和以俄罗斯为首的 10 个非欧佩克产油国组成。

2021年全球天然气需求增长5.3%，已高于2019年疫情前的水平，首次超过了4万亿立方米的节点，但在一次能源消费中的份额同比没有变化，仍是24%。2021年全球LNG供应量增长了5.6%（+260亿立方米），达到5160亿立方米，增幅是自2015年以来的最低值（除了2020年）。美国供应的LNG增长340亿立方米，几乎占到所有新增量，并且还抵消了来自大西洋盆地其他天然气出口国的减少量。2021年中国超过日本成为全球最大的LNG进口国，占到全球LNG需求增量的近60%。阿尔及利亚向欧洲出口的管道天然气是后者管道供应天然气最大的增量来源（+130亿立方米），其次是阿塞拜疆（+60亿立方米）。虽然俄罗斯向欧洲供应的管道天然气稳定在1670亿立方米，但其向欧盟国家的出口量下降了8.2%（-120亿立方米）。

五、2021年全球煤炭消费达到2014年以来的最高水平

2021年全球煤炭消费增长超过6%，达到160艾焦，略高于2019年，是自2014年以来的最高水平。中国和印度占到煤炭需求增量的70%以上，分别增加3.7艾焦和2.7艾焦。

2021年全球煤炭产量与消费量同步增长，增量达4.4亿吨。增长仍主要来自中国和印度，大部分产煤用于国内消费；印度尼西亚也占到产煤增量的相当部分，主要用于更多的出口。值得注意的是，欧洲和北美地区虽然近10年来煤炭消费逐年下降，但2021年出现了增长趋势。

六、2021年全球可再生能源消费增长15%高于其他燃料，核能出现2004年以来最大增幅

2021年全球非水电可再生能源（包括生物燃料）消费量增长约5.1艾焦，年增幅15%，高于2020年的9%，也要高于2021年其他任何燃料的增长。2021年全球太阳能和风能电力装机容量持续快速增长，增量达226吉瓦，接近2020年236吉瓦创纪录的增量。中国仍是主要驱动因素，分别占到2021年全球太阳能和风能电力装机增

量的 36%和 40%。2021 年全球水力发电量减少约 1.4%，自 2015 年首次出现下降。相反，全球核能发电量增长 4.2%，是自 2004 年以来的最强劲增长，主要由中国驱动。

七、2021 年全球发电量强劲增长 6.2%，风光在发电结构中占比首次突破 10%

2021 年全球发电量增长 6.2%，类似于 2010 年在经历全球金融危机后出现的强劲反弹（6.4%）。可再生能源取得明显进展，增长约 17%，占到过去两年全球发电增量的一半以上，其中风电和太阳能发电在发电量中占比达到 10.2%，首次在全球电力结构中突破 10%大关，超过了核电份额，可再生能源（不包括水电）在全球电力占比已达到 13%；但煤炭仍是全球电力的主要来源，其占比从 2020 年的 35.1%提高到 36%；天然气发电量虽然增加了 2.6%，但其占比从 2020 年的 23.7%降至 22.9%，保持在近 10 年平均水平附近，如图 6 所示。

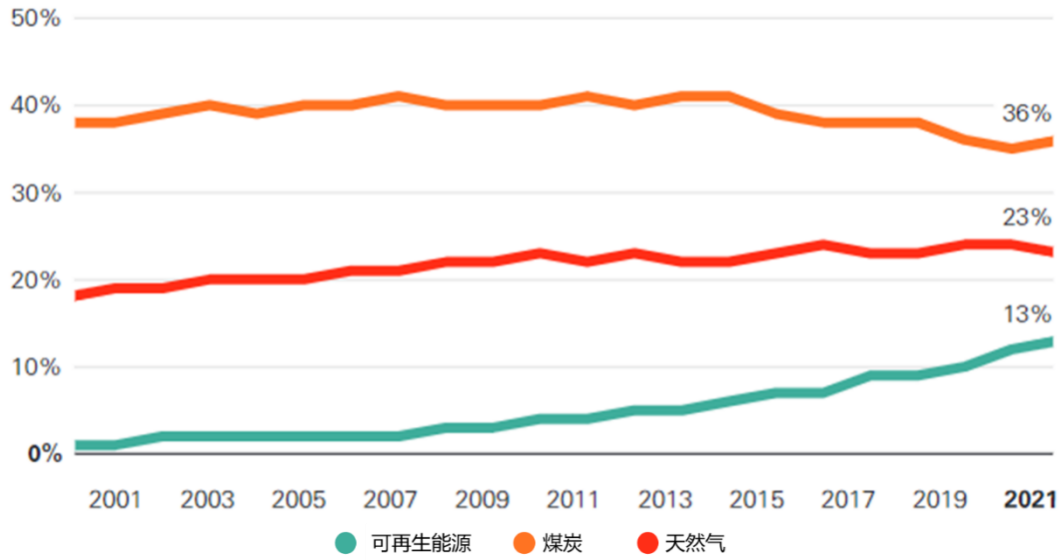


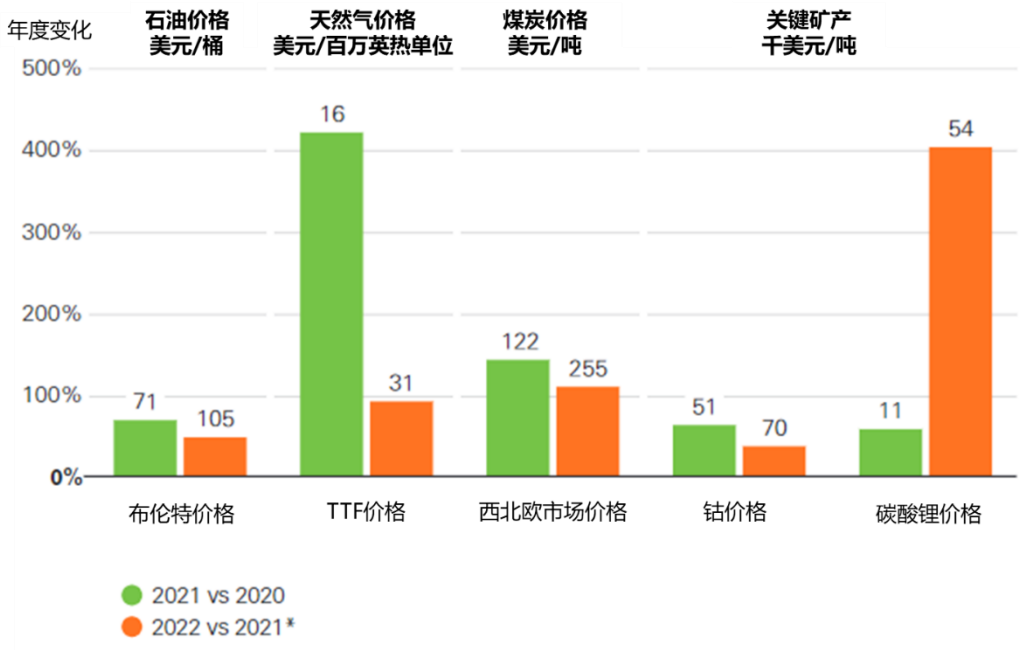
图 6 2001-2021 年可再生能源、煤炭和天然气在全球发电量占比（单位：%）

八、2021 年全球能源及矿产价格大幅上涨，在 2022 年仍将保持增长势头

2021 年，全球能源大宗商品及关键矿产价格大幅上涨（图 7）。其中，天然气价格涨幅最大：欧洲气价上涨 4 倍，达到创纪录水平，欧洲天然气基准价格 TTF 平均达到 16 美元/百万英热单位；亚洲液化

天然气（LNG）现货市场价格增至三倍，普氏日韩标杆指数 JKM 平均达到 18.6 美元/百万英热单位；美国亨利中心天然气期货价格近乎翻番，达到平均 3.8 美元/百万英热单位，是自 2014 年以来的最高水平。石油价格上涨约 70%，布伦特原油均价达到 70.91 美元/桶，是自 2015 年以来第二高的年份。2021 年全球煤价大幅上涨：欧洲煤价平均达到 121 美元/吨；而亚洲市场价格达到 145 美元/吨，是自 2008 年以来的最高值。

2021 年全球钴价上涨 63%，达到平均 5.1 万美元/吨。同样地，碳酸锂价格上涨 58%，达到平均 1.1 万美元/吨。而 2022 年到目前为止，矿产价格仍在持续飙升，前五个月碳酸锂价格飙升 400%以上，达到平均 5.4 万美元/吨的创纪录水平。2021 年全球锂产量大幅增长 27%，而钴产量仅提高了 4%。



注：2022 年数据截至 2022 年 6 月，柱状图上数值是指年度平均值。

图 7 2021 和 2022 年能源大宗商品及关键矿产价格变化（单位：%）

九、2021 年欧盟对俄罗斯能源依赖处于高位

2021 年，欧盟天然气消费总量的 40%、石油进口总量的 25%和煤炭消费总量的 20%依赖俄罗斯进口，如图 8 所示。

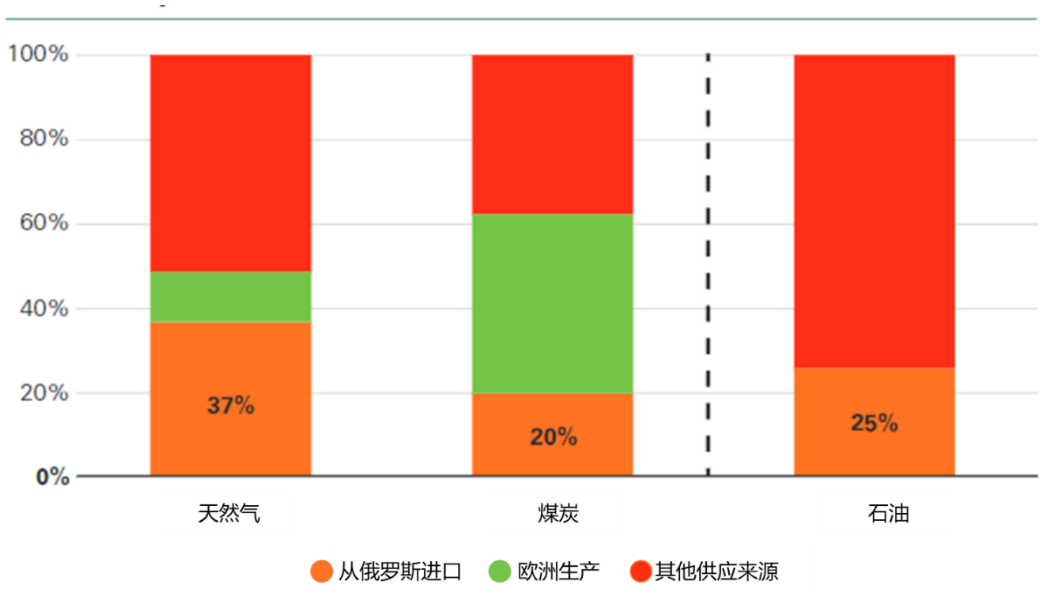


图 8 2021 年俄罗斯占欧盟 27 国天然气和煤炭消费、石油进口的比例（单位：%）

[中国科学院武汉文献情报中心 陈伟 岳芳]

DOE 战略愿景提出化石能源 7 项技术未来研发方向

4 月 5 日，美国能源部化石能源和碳管理办公室（FECM）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》战略愿景报告[11]，重点针对 7 项化石能源技术主题提出了未来研发方向，包括：点源碳捕集；二氧化碳（CO_2）转化；碳去除；专用、可靠的碳封存和运输；氢能及碳管理；关键矿产；甲烷减排。详情如下：

一、点源碳捕集（PSC）

1、天然气发电厂点源碳捕集技术。包括：①支持前端工程设计（FEED）研究，并通过 CarbonSAFE 项目支持现有天然气发电厂脱碳或碳捕集（CCS）中心；②通过多种点源碳捕集技术组合以优化成本和性能，小型和大型试点项目的性能验证；③支持开发和扩大低碳供应链和低碳建筑材料（水泥、混凝土、钢材）生产的点源碳捕集技术，以及使用低碳燃料的先进天然气发电技术；④通过跨领域项目扩

[11] Strategic Vision: The Role of Fossil Energy and Carbon Management in Achieving Net-Zero Greenhouse Gas Emissions.
https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-04/2022-Strategic-Vision-The-Role-of-Fossil-Energy-and-Carbon-Management-in-Achieving-Net-Zero-Greenhouse-Gas-Emissions.pdf

大天然气发电厂的点源碳捕集技术应用规模，并将其与长期碳封存或转化（反应性转化、矿化）、生物质碳去除和封存（BiCRS）、储能等技术集成；⑤提升动态过程建模、技术经济性评估和生命周期评估能力。

2、工业应用点源碳捕集技术。包括：①支持与 CarbonSAFE 项目（短期）或区域中心项目（长期）相关的前端工程设计研究；②通过试点项目验证工业设施中的燃烧前和燃烧后点源碳捕集技术，以提高成本和性能，并量化该技术的协同效应（标准污染物去除）；③开发利用低碳原料和燃料（氢气、可持续生物质、生物燃料）完全集成的工业点源碳捕集工艺；④通过跨领域项目在工业设施中扩大点源碳捕集技术应用规模，并与工业过程、长期碳封存、碳转化和碳去除相结合；⑤通过生产低碳建筑材料（水泥、钢材）来满足低碳供应链需求。

二、CO_2 转化技术

1、藻类转化。包括：①通过整合碳捕集或中间输运过程开发新的 CO_2 转化机制，以提高生产力和转化效率；②与生物能源技术办公室的先进藻类系统计划合作，更好地分析现有藻类系统性能，包括成本、转化能力、纯度和消耗率，以确保藻类转化技术发展到商业规模；③与生物能源技术办公室合作，通过提高产品产量、促进许可和解决消费者问题等手段加速生物产品的市场渗透。

2、催化转化。包括：①重点关注利用现有供应链的转化途径（如聚合物膜电解质电解技术），以工业可行为前提开发新催化剂或改进现有催化剂，进行大规模反应器设计并整合催化剂研究，建立基准以标准化扩大催化剂规模（用于电化学转化的氯碱系统）；②通过 CO_2 转化生产非传统产品，例如具有 C-C 键的产品（碳纳米管、聚合物和乙烯等）。

3、矿化技术。包括：①进一步了解碳酸化和水合的相对速率以

控制碳酸化或固化反应；②调查采矿废物和采出水等作为矿化反应的碱度来源；③设计将碳捕集与矿物碳酸化技术集成的工艺；④推进测试并满足美国材料与试验协会（ASTM）或美国国家公路和运输协会（AASHTO）的规范和标准。

三、**CO_2 去除技术**

该领域研发示范活动将重点关注设施规模和系统规模的碳去除设计和部署，尤其是与开发和部署区域中心相关的分析、设计和实验研究，包括在地质、地理、社会和经济方面的约束和潜力。

四、专用、可靠的碳封存和运输技术

1、扩展可靠的碳封存基础设施。包括：①将 CarbonSAFE 项目扩展至碳封存综合项目，开发商业容量超过 5000 万吨 CO_2 的碳封存综合设施；②建立碳封存技术和运营研究设施（CarbonSTORE），该设施为长期碳封存现场实验室，可测试新的监测技术，验证模拟工具并示范通过机器学习实现先进运行控制和决策，以配合 CarbonSAFE 项目设施的运营；③将陆地和海上油田基础设施重新用于 CO_2 运输和封存，具体包括对现有井筒的表征、评估和管理，重新利用酸性气体管道，表征用于碳封存的储层，以及用于监测 CO_2 羽流、储层压力和井筒完整性的仪器设备；④加速封存资源的评估和表征，通过减少不确定性和完善现有的国家和地区封存资源评估，提升数十亿吨封存资源的商业可行性水平。

2、CO_2 运输基础设施规划。包括：①为建立健全、安全和高效的国家级 CO_2 运输基础设施制定最佳计划，该规划过程将纳入广泛的利益相关者，包括与煤炭、发电厂附近和其他弱势社区成员的互动，以识别和解决环境正义问题；②支持管道设计研究，解决优化管道路线的其他技术问题，确定与材料和缓解泄漏相关的研发差距，并估计投资成本。

3、支持研发以提高碳封存和运输的性能和可靠性。包括：①将

碳封存项目数据与机器学习相结合，以推进技术部署，包括通过“以科学为依据的机器学习加速碳封存实时决策”（SMART-CS）计划支持可增强实时可视化、预测以及虚拟学习能力的技术，以提高项目绩效并为决策提供信息，通过“国家风险评估伙伴关系”（NRAP）项目验证地质封存相关风险评估技术，从而提高运营商、监管机构和公众的信心；②支持开发提高封存性能和完整性的技术，包括高分辨率地下成像，影响地震活动的地下应力条件研究，探测和解释井筒附近和盖层上方的 CO_2 迁移，改进地下压力管理策略。

五、氢能及碳管理

1、氢能存储及分配基础设施。包括：①氢能安全研究（短期，6个月内），评估氢燃气轮机、氢燃料固体氧化物燃料电池（SOFC）以及通过天然气重整、固体燃料气化或固体氧化物电解槽（SOEC）批量生产氢气的安全问题；②用于长期储能的地质储氢研究（中期，5 年内），将与 DOE 其他部门合作开展储氢设施材料、地质特征、安全法规和技术经济性评估等研究；③区域清洁氢中心（中期，10年内），通过部署氢基础设施区域中心以形成规模经济，包括通过 CO_2、氢气和增值化学品的生产、运输和存储加速清洁氢能中心部署，实施成本分摊的试点项目并建立示范规模设施以验证其技术经济性等；④部署先进制氢技术（长期，20 年内），将利用 CCS 等技术使用碳基原料开发先进制氢方法，包括工艺优化、材料改进和系统集成等。

2、配备 CCS 的模块化气化制氢。进一步研发废塑料（或城市固废）、生物质和废煤的共气化技术，降低成本并实现模块化生产，将示范用于清洁制氢的 10-25 兆瓦联合气化技术，结合 CCS 到 2050 年实现净零或负温室气体排放。

3、可逆固体氧化物燃料电池。将与 DOE 氢能和燃料电池技术办公室合作，示范一个模块化可逆固体氧化物燃料电池系统，以根据电

网需求生产氢气或电力。

4、氢燃气轮机。将示范利用现有火电厂设施验证下一代清洁制氢和氢燃气轮机技术，尤其关注验证使用混氢及纯氢燃料的燃气轮机的低氮氧化物（NOx）燃烧技术。

5、清洁氢中心。将选择至少四个区域清洁氢中心进行开发，其中至少一个将示范配备 CCS 的碳基燃料制氢。

六、关键矿产

1、资源表征及技术开发。FECM 将开发新的方法、工具和技术，用于识别和评估利用美国各地非常规资源和二次资源可持续生产关键矿产和含碳矿石的质量（如成分和杂质）和数量，特别是与化石能源社区相关的地区。将开发新的先进表征、分析和评估技术，包括地球物理方法、新型地球化学传感器、地理空间统计方法、数据分析以及人工智能和机器学习技术，以实现对特定地点资源的定量评估。

2、可持续资源开采技术开发。FECM 的研究、开发、部署和商业应用将重点关注开发新技术和先进技术，以实现从非常规资源和二次资源中经济高效且可持续地生产稀土元素/关键矿产，包括：①通过传统开采技术的进步、改进和优化，以在未来几年内大规模提升其环境、成本效益；②评估和开发变革性技术（如微生物工艺、原位矿物开采、二氧化碳辅助分离等），目标是在 2032 年之前准备好大规模部署。

3、加工、精炼和合金化技术开发。FECM 的研究、开发、部署和商业应用将推进环境友好和经济高效的加工技术，包括开采、纯化和还原、精炼和合金化技术，以生产包括稀土金属在内的高纯度关键矿产，以及制造高价值碳产品。此外，FECM 还将专注于开发具有成本效益和环境友好的加工设施，这些设施可以使用来自非常规资源和二次资源的原材料和加工材料，且具有足够的灵活性，可以与其他原料一起使用，并为多种有价值的最终用途生产材料。

4、标准及供应链技术开发。FECM 将参与跨领域活动，促进与关键矿产的标准和贸易政策相关组织的国际合作。

七、甲烷减排

FECM 将重点关注如下方向：①识别、表征和盘点废弃井和相关管道及基础设施；②测量、估计和跟踪与废弃井相关的甲烷和其他气体的排放；③确定废弃井封堵、修复、重新使用的优先次序；④明确与废弃井的堵塞、修复和重新使用相关的成本。

[中国科学院武汉文献情报中心 岳芳]

欧盟 REPowerEU 能源计划推进加快能源转型和结束对俄依赖

5 月 18 日，欧盟正式通过“REPowerEU”能源计划[12]，旨在加速能源系统变革以应对俄乌冲突造成的全球能源市场混乱和欧洲能源安全问题。该计划认为，欧洲能源系统变革具有双重紧迫性，一方面结束对俄罗斯化石能源的依赖，另一方面应对气候危机。为此，欧盟将在“减碳 55%”（Fit for 55）一揽子计划基础上，到 2027 年额外投资 2100 亿欧元，从节能、能源供应多样化、加速推广可再生能源三方面减少终端部门化石燃料消费，快速推动欧洲清洁能源转型，构建更具弹性的能源系统，以实现化石能源“脱俄”。关键要点如下：

一、节能

节能被认为是解决当前能源危机最快且成本最低的举措。降低能耗可在短期和长期内减少家庭和企业的能源成本，并降低对俄化石能源进口。提高能效是清洁能源转型的重要组成部分，可增强欧盟经济弹性，并保护其面对高价格化石能源的竞争力。

欧盟提出了一个双管齐下的方法，即通过中长期能效措施加强结构变革，以及行为改变实现即时节能。中长期内，欧盟建议将“减碳 55%”一揽子计划中约束性能效目标由 9%提高至 13%，并快速部署

[12] REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_3131

包括建筑等一系列产品能效指令以实现额外的节能增效。短期内，通过行为改变快速节约能源。欧盟委员会与国际能源署合作发起了一项减少欧盟能源使用的“发挥我的作用”计划，预计可在短期内减少5%的油气需求。欧盟提倡成员国采取财政措施以鼓励节能，如降低高效供暖系统和建筑隔热等产品的增值税税率、采取能源定价等，鼓励热泵等高效设备的使用。此外，欧盟计划公布最新的《国家能源和气候计划》（NECP）指南，鼓励各国加强 NECP 投资。各地区和城市要在制定当地节能措施、能源审计和管理等方面发挥主导作用，确保民众广泛参与，例如欧洲气候中性城市倡议。

二、能源进口多样化

几个月以来，欧盟一直与国际伙伴保持密切合作，利用能源供应多样化缓解能源价格上涨造成的影响。2022 年 3 月，欧盟新设能源平台，通过汇集需求、优化基础设施使用、协调与供应商联系等方式，帮助各成员国联合购买天然气、液化天然气和氢气。下一步，欧盟将考虑建立一个自愿行动的“联合购买机制”，代表成员国谈判和签订天然气采购合同。欧盟委员会还将考虑立法措施，要求成员国实现天然气供应的多样化。该平台还将实现联合购买可再生氢。

欧盟当日还通过了《欧盟外部能源战略》[13]，以促进能源供应多样化并与供应商建立氢能等绿色技术的长期合作伙伴关系。该战略优先考虑欧盟对全球绿色和公正能源转型的承诺，促进节能和提高能源效率以减轻价格压力，促进可再生能源和氢能的发展，并加强能源外交。欧盟将在地中海和北海开发主要的氢走廊。欧盟将支持乌克兰、摩尔多瓦、西巴尔干地区国家等，与乌克兰继续合作确保供应安全和能源部门正常运转，同时为未来的电力和可再生氢贸易铺平道路，并根据 REPowerUkraine 倡议重建能源系统。

三、加速推进可再生能源替代化石能源

[13] EU external energy engagement in a changing world.https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=JOIN%3A2022%3A23%3AFIN&qid=1653033264976

可再生能源在发电、工业、建筑和交通领域的大规模应用，将加速实现能源独立，推动欧洲绿色转型。欧盟建议根据“减碳 55%”一揽子计划，将 2030 年可再生能源在能源结构中占比目标从 40%提高到 45%，可再生能源装机容量从 1067 吉瓦提高到 1236 吉瓦。具体举措如下：

（1）太阳能。发布《欧盟太阳能战略》[14]，到 2025 年太阳能光伏装机容量翻一番至 320 吉瓦以上，到 2030 年接近 600 吉瓦。实施“屋顶太阳能计划”，分阶段在新建公共和商业建筑、住宅安装太阳能电池板。

（2）风能。进一步加强风能产业竞争力，完善供应链。

（3）热泵。将热泵的部署速度提高一倍，未来五年累计部署 1000 万台，并采取措施将地热、太阳能供热集成到现代公共供暖系统中。

（4）优化监管许可。欧盟委员会建议解决重大可再生能源项目审批缓慢和复杂的问题，并有针对性地修订《可再生能源指令》，将可再生能源视为优先公共利益。成员国应设立专门的可再生能源“首选”区域，并在环境风险较低的区域缩短和简化许可流程。为了帮助快速识别此类“首选”区域，欧盟委员会提供环境敏感区域数据集，作为其与能源、工业和基础设施相关地理数据的数字地图工具的一部分。

（5）氢能。欧盟设定了到 2030 年实现可再生制氢产量 1000 万吨和进口 1000 万吨的目标，以替代难脱碳工业和交通部门的化石燃料。“地平线欧洲”科研框架计划将为“清洁氢能联合行动计划”（Clean Hydrogen JU）提供 2 亿欧元资助氢能项目，实现“氢谷”数量翻倍。加快氢能基础设施建设，推动跨境氢能基础设施部署，支持在地中海、北海地区和乌克兰建立 3 个氢进口走廊。

[14] EU Solar Energy Strategy. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A221%3AFIN&qid=1653034500503

（6）生物甲烷。设立“生物甲烷行动计划”[15]，建立生物甲烷工业合作伙伴关系，实施财政激励措施，到 2030 年将可持续生物甲烷产量提高至 350 亿立方米。

（7）减少工业和交通难脱碳部门的化石能源消费。在工业过程中替代煤炭、石油和天然气将减少温室气体排放并增强安全性和竞争力。到 2030 年，通过节能、提高能效、燃料替代、电气化、绿氢、生物甲烷等措施，工业部门可节省超过 350 亿立方米天然气消费，超出“减碳 55%”预期目标。**针对工业部门将采取如下措施：**①推出碳价合同以支持工业部门采用绿氢；②在“创新基金”（Innovation Fund）框架下为 REPowerEU 提供专项支持，今年秋季将“创新基金”资金增加一倍达到 30 亿欧元，其中针对 REPowerEU 将重点支持工业电气化和氢能应用，清洁技术制造（如电解槽、燃料电池、创新可再生能源设备、工业用储能或热泵），验证、测试和优化高度创新解决方案的中型试点项目；③向成员国发布关于可再生能源和电力购买协议的指导意见。**针对交通部门将采取如下措施：**①考虑立法措施，提高零排放车辆在一定规模以上公共和企业车队中的比例；②提出一个绿色货运计划，显著提高其能效；③呼吁共同立法者迅速通过关于替代燃料和其他支持绿色交通的相关提案。为了实现太阳能和氢能等领域的技术和工业领先地位，并支持发展劳动力队伍，欧盟委员会提议建立欧盟太阳能产业联盟和大规模的技能伙伴关系。欧盟委员会还将加强关键原材料供应方面的工作，并准备立法提案。

四、智慧投资

到 2027 年，实现 REPowerEU 目标还需要额外投资 2100 亿欧元。到 2030 年，“减碳 55%”和 REPowerEU 计划的实施，将为欧盟每年减少近 1000 亿欧元向俄罗斯进口化石燃料的支出，包括 800 亿欧

[15] Implementing the REPower EU Action Plan: Investment Needs, Hydrogen Accelerator and Achieving the Bio-Methane Targets.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=SWD%3A2022%3A230%3AFIN&qid=1653033922121

元天然气、120 亿欧元石油和 17 亿欧元煤炭支出。欧盟将采取如下措施：

（1）欧洲基础设施互连。通过跨欧洲能源网络（TEN-E）建立更具弹性的欧洲天然气基础设施，实现供应多样化。同时，通过减少需求、增加国内沼气/生物甲烷和氢气的产量以及增加有限的天然气基础设施，可以完全补偿相当于俄罗斯进口的天然气需求。为了确保从其他国家进口足够的液化天然气和管道天然气，到 2030 年需投入 100 亿欧元建设天然气基础设施。同时，需要进行针对性投资确保石油供应安全，包括建设输油管道保证成员国供应安全、重组和升级石油产品精炼厂等，总投资预计为 15-20 亿欧元。到 2030 年，电网需要额外投资 290 亿欧元，以适应增加的电力使用和生产。欧盟委员会还鼓励关键的海上电网和跨境氢能基础设施的迅速发展。

（2）国家改革和投资。许多措施需要欧盟成员国负责实施，因此要有针对性的改革和投资。欧盟委员会建议成员国在现有“复苏和弹性计划”（RRP）中增加专门措施，以实现 REPowerEU 的能源供应多样化和减少化石能源依赖的目标。

（3）融资。为支持 REPowerEU 计划，欧洲复苏基金（RRF）已准备了 2250 亿欧元贷款，欧盟委员会建议通过拍卖当前排放交易系统（ETS）配额筹集 200 亿欧元。在当前财政预算下，凝聚力政策将通过投资可再生能源、氢能和基础设施来支持高达 1000 亿欧元的脱碳和绿色转型项目，其中 269 亿欧元将提供给 RRF，共同农业政策也将提供 75 亿欧元。通过各类资金补充，预计 RRF 将达到总计近 3000 亿欧元的资金规模。

表 1　REPowerEU 投资资金需求

领域	子领域	资金需求/亿欧元
节能	能效和热泵	560
	能效和电气化	410
燃料多样性	生物甲烷	370

	可再生氢能	270
可再生能源发电	太阳能和风电	860
基础设施	电网	290
	储能	100
	油气安全	100

[中国科学院武汉文献情报中心 李岚春 岳芳]

欧盟清洁氢能联合行动计划提出至 2027 年研发重点活动

2 月 28 日，欧盟清洁氢合作伙伴关系“清洁氢能联合行动计划”（Clean Hydrogen JU）[16]发布《2021-2027 年氢能战略研究与创新议程》[17]，提出了到 2027 年氢能研发重点领域和优先事项。欧盟在“地平线欧洲”框架下向 Clean Hydrogen JU 投入 10 亿欧元用于资助氢能研发示范，此次出台的议程明确了研发重点领域，包括：可再生能源制氢；氢能存储和分配；氢能终端应用；交叉领域研究；氢谷示范项目；供应链相关技术。各领域的研发和创新活动如下：

一、可再生能源制氢

1、电解制氢

（1）早期研究活动。通过开发新材料/制造工艺/概念以降低不同电解技术的成本并延长寿命，涉及新型电极/膜/催化剂材料开发、电堆设计、系统集成等，重点技术包括紧凑型碱性电解槽、无铂族金属质子交换膜电解槽、固体氧化物电解槽加压电堆、阴离子交换膜电解槽、管状或平面质子导体陶瓷电解槽、非纯水电解等。

（2）技术开发活动。涉及新型电池/电堆设计、更大面积电池/电堆组件、辅助系统（BoP）设计、电解系统监测/诊断/控制工具和

[16] Clean Hydrogen JU 是欧盟推进氢能研发创新的重要平台，是“燃料电池与氢能联合行动计划”（FCH-JU）及其二期计划的后续，成员包括欧盟委员会、“氢能欧洲”组织（Hydrogen Europe，代表欧洲工业界）和欧洲氢能研究协会（Hydrogen Europe Research，代表欧洲研究机构）。

[17] New research and innovation priorities for Europe’s Clean Hydrogen Partnership. https://www.clean-hydrogen.europa.eu/media/news/research-and-innovation-priorities-clean-hydrogen-2022-02-28_en

方法、高压力电堆、可逆燃料电池和共电解概念、副产品氧气和废热利用等。

（3）示范活动。涉及电解技术新型集成概念、案例或商业模型示范，连续大批量生产电池/电堆组件的自动化和质量控制流程，阴离子交换膜电解槽和质子导体陶瓷电解槽等新型电解技术的兆瓦级示范，经济性和环境影响，电解制氢与可再生能源、工业生产、原油炼化、化学品生产等的集成示范。

（4）旗舰行动。支持开发和示范大型电解槽（单个模块数十兆瓦规模）及其集成系统，实现数百兆瓦容量，用于并网或离网、陆上或海上，以进一步降低成本。

2、其他替代技术

（1）早期研究活动。涉及生物质和生物废物气化制氢、生物法制氢、微生物电解制氢、直接太阳能制氢等技术。

（2）技术开发活动。涉及沼气重整制氢、生物质和生物废物气化制氢（如混合系统、太阳能气化等）、生物法制氢、微生物电解制氢及其与可再生能源结合、太阳能制氢等。

（3）示范活动。涉及垃圾和生物质气化制氢工厂、沼气生产可再生氢工厂、全尺寸生物制氢反应器、中等规模（数百千瓦时）太阳能制氢等的示范。

（4）旗舰行动。支持大规模部署最具潜力的太阳能制氢技术。

二、储氢和氢气分配

1、储氢

（1）早期研究活动。开发可降低成本并提高储氢效率的新概念，包括使用低压容器与低成本氢化物或具有高可逆性（至少 1000 次循环后仍保持超过 90%的原始储氢容量）的吸附储氢材料。

（2）技术开发活动。开发成熟的地上和地下储氢概念，并集成到能源系统中，涉及地下储氢井、地下衬砌洞穴储氢、地下储氢的微

生物活动和影响、地上储罐、固体纳米结构材料吸附储氢、金属氢化物和吸附储氢材料、储氢容器设计、地下储氢技术经济分析、氢气对天然气地下存储主要基础设施影响。

（3）示范活动。通过地上和地下储氢示范项目降低成本并提高效率，包括验证和优化地上储氢方案的中等规模项目、大规模地下储氢示范。

（4）旗舰行动。包括至少 25 万立方米的大规模地下储氢示范、能源或其他工业应用的大规模储氢需求的政策研究。

2、氢气用于天然气网络

（1）早期研究活动。涉及氢气对不同管道材料、管道及焊接接头、配送网中的金属材料、仪表设备中的弹性体材料等的影响，以及氢气（包括混氢气体）的安全风险模拟、现有输配网中污染对氢气纯度影响。

（2）技术开发活动。包括减小氢气对现有输配网影响的方法、优化氢气输送的新材料、用于混氢气体的计价仪表、泄漏监测/跟踪工具、紧凑型氢气注入装置、氢气对输配网压缩设备或调压站组件的影响、现有天然气管道输运氢的技术经济性等。

（3）示范活动。包括将当前离网项目与天然气市场连接、建设混氢和纯氢跨境管道示范项目。

（4）旗舰行动。示范跨境输送项目，重点关注混氢技术，以及将氢气用于工业、交通和住宅等。

3、液态氢载体

（1）早期研究活动。涉及新型氢液化技术及材料、氢载体技术等。

（2）技术开发活动。包括新型小规模液氢生产技术、氢载体技术的规模扩大、大容量加氢/脱氢装置的设计与优化等。

（3）示范活动。包括氢气液化示范，以及将最具前景概念部署在实际应用中。

（4）旗舰行动。在技术就绪且成本够低的情况下，支持针对不同终端应用的不同氢气输运方案的旗舰项目。

4、改进现有氢气输运方式

（1）早期研究活动。涉及耐纯氢新型高强度轻质材料、适用于纯氢的焊接工艺、氢脆/渗透研、氢气加臭研究。

（2）技术开发活动。涉及大容量高压长管拖车、液氢道路运输和存储、纯氢专用终端和/或液化天然气与氢气共存终端。

（3）示范活动。比较不同氢气输运方式的技术经济性，并探索其整合和优化方法。

5、氢气压缩、净化

（1）早期研究活动。包括化学、电化学、低温压缩等新型压缩技术，膜、电化学、热化学等新型净化/分离技术，天然气管道中氢气和杂质比例的纯度管理技术，临氢材料测试。

（2）技术开发活动。包括现场压缩装置、将氢气注入天然气管道的大型压缩技术、氢气分离技术、抗氢中毒技术等。

（3）示范活动。示范真实场景下的新型压缩概念、氢气净化/分离概念等，以及将新型测量、管道和仪表技术整合到氢能项目中。

6、加氢站

（1）早期研究活动。包括加氢技术优化、更低入口压力的加氢技术、重型车辆加氢的特殊部件。

（2）技术开发活动。包括降低加氢站碳足迹及成本、大型车辆大规模加氢站、通过低入口压力和灵活运行技术促进对可再生氢的使用。

（3）示范活动。包括用于重型车辆、大型船舶、火车或公交加氢站设备、组件、标准及按需加氢、紧凑型移动加氢站等新型商业模式。

（4）旗舰行动。支持加氢站运营商投资新技术，降低成本，以建立部署燃料电池汽车所需的初始网络。

三、氢能交通应用

1、模块化组件

（1）早期研究活动。涉及改进燃料电池及组件性能和成本，开发高压车载储氢技术及快速加氢技术，固体储氢、低温液态储氢等新型储氢技术。

（2）技术开发活动。涉及优化燃料电池堆性能、制造、回收等，改进燃料电池系统设计和可制造性，开发和验证车载储氢集成及安全性技术。

2、重型车辆

（1）早期研究活动。涉及辅助系统组件、用于低成本大规模制造的重型车辆系统、车载储氢技术等。

（2）技术开发活动。包括：燃料电池重型车辆规范，建模和优化设计，生命周期成本分析工具，控制、诊断和预测程序，集成燃料电池系统和储氢系统，健康状态监测新概念，重型车辆燃料电池电堆，工程卡车、越野车等的辅助动力装置概念。

（3）示范活动。包括真实环境中的性能验证、维护人员技术培训、车辆性能及加氢基础设施相关数据的收集和分析、测试最具应用潜力的重型车辆应用。

（4）旗舰行动。开发和实施创新商业模式以降低风险、推进对供应链的开发，确保燃料电池重型车辆在运营生命周期得到充分支持。

3、船舶

（1）早期研究活动。涉及低温和高温质子交换膜燃料电池、燃料灵活的固体氧化物燃料电池、船载储氢技术、氢载体重整技术、安全性规范和法规（协议和标准）。

（2）技术开发活动。包括燃料电池集成设计，运行灵活性和耐用性，安全、高效存储和集成大量氢气及其衍生燃料的技术，港口新型大规模储氢和加氢技术。

（3）示范活动。包括燃料电池和氢基燃料存储在船舶的部署，港口大容量加氢基础设施，大型船舶的新型燃料电池技术验证。

（4）旗舰行动。开发和实施创新商业模式以适应当地管理风险和氢供应链发展，确保船舶在运营生命周期得到充分支持。

4、铁路

（1）技术开发活动。涉及低温压缩储氢或液态储氢等车载储氢概念、列车专用燃料电池系统架构、燃料电池与新一代电力电子和电池技术相结合、大容量加氢站。

（3）示范活动。示范不同类型氢能列车，商业可行性和环境性能，测试用于铁路的大容量加氢站，制定列车维护和支持策略。

（4）旗舰行动。部署约 100 辆氢能列车，支持欧洲大陆加氢基础设施整合。

5、航空

（1）早期研究活动。涉及航空燃料电池膜电极组件、液氢罐、气氢压缩机、液氢泵、阀门和传感器。

（2）技术开发活动。包括开发可扩展燃料电池模块、高质量密度燃料电池辅助系统、大容量液氢罐、液氢燃料处理技术、新型组件和系统控制技术、低氮排放高效氢燃烧室、评估/量化氢动力飞机的非 CO_2 影响。

（3）示范活动。包括燃料电池及液氢系统的安全相关系统架构和航空集成示范、加氢可行性示范等。

四、氢能供热和供电

1、固定式燃料电池

（1）早期研究活动。包括开发新型材料、电堆技术、组件及制造工艺，以及基于离子导体和质子陶瓷导体的先进可逆燃料电池概念。

（2）技术开发活动。包括：辅助系统组件和运行过程的标准化，燃料电池与（智能）电网、离网和分布式可再生能源集成系统，新型大规模制造方法，商业/工业规模热电联产装置和/或主发电装置，可逆燃料电池集成技术。

（3）示范活动。包括示范微型热电联产系统、下一代商业/工业规模热电联产和/或主发电装置、食品/生物产业等的燃料电池热电联产技术、可逆燃料电池与现场可再生能源发电和/或沼气/合成气的集成、自动化生产及质量保证工具和技术。

（4）旗舰行动。支持通过燃料电池热电联产满足工业和其他大规模应用的发电和中、低品位热需求。

2、氢燃气轮机、锅炉和燃烧器

（1）早期研究活动。纯氢燃气轮机的燃烧物理、火焰稳定性和燃烧动力学研究，关注开发新型干式低排放燃烧技术。

（2）技术开发活动。包括：开发电厂集成概念、商业模型和相关价值链，安全概念、标准和规范，工业锅炉纯氢燃烧器，氢气和更高供气压力对密封性和热老化行为的影响。

（3）示范活动。示范在选定工业基地（规模从几十至数百兆瓦）使用先进燃气轮机供电和供热，包括升级现有工厂以安全使用氢气。

（4）旗舰行动。支持通过燃料电池热电联产满足工业和其他大规模应用的发电和中、低品位热需求。

五、交叉领域

1、生命周期可持续性评估、回收和生态设计

（1）早期研究活动。进一步优化质子交换膜燃料电池、固体氧化物燃料电池和电解工艺的回收技术，如回收贵金属和关键材料。

（2）技术开发活动。开发质子交换膜电解槽、阴离子交换膜电解槽、碱性电解槽、聚合物电解质燃料电池以及储氢材料的回收工艺。

（3）协调和支持行动。包括：生态设计/可持续设计准则，燃料电池和氢基技术制造的生态效率，产品环境足迹分类规则（PEFCR），区域生命周期可持续性评估，供应链生命周期分析和生命周期成本核，生命周期可持续性评估指标数据库。

2、教育和公众接受度

（1）早期研究活动。采用最新 IT 技术开发创新教育方法，并在利益相关者的培训中实施，如数字模型、数字孪生、应用实验室等。

（2）技术开发活动。包括与社会科学相结合发展公众教育以提升公众信任度，发展和建立氢能及燃料电池技术相关的虚拟大学。

（3）协调和支持行动。包括教育、培训的多语言材料，专业技能人员培训计划。

3、安全、规范、法规、标准

（1）早期研究活动。包括：气氢、液氢意外释放时的行为和影响，非金属材料中的氢脆、热侵蚀和影响，氢气安全加注和存储协议，燃料电池和车载储氢健康状态识别，加氢过程审查，氢气对燃气器具燃烧和性能影响，氢气生产、分配、存储和应用的性能测试标准化，氢气以及氢/甲烷混合物价值计算，住宅和商业建筑中引入氢能的相关标准。

（2）协调和支持行动。包括制定相关法律和许可法规、支持培训、开发开放的风险评估工具包、明确监管障碍。

六、氢谷

研发优先事项包括：在港口、机场等部署氢气生产、输运及应用，结合氢气生产、输运、储存的工业中心，结合氢气生产和使用的物流枢纽，开发区域氢能中心。

七、供应链相关技术

（1）早期研究活动。涉及新型制造技术和工艺、快速缺陷检测等。

（2）技术开发活动。包括：氢能供应链关键组件和子系统的供应、弱点和瓶颈的持续监测和差距分析，改进制造方法以提高生产速度和循环性，确定不同应用中的临氢材料，生产技能培训，整合新的制造技术，使用人工智能等数字技术改进燃料电池即关键设备的制造和/或维护，开发数字孪生工具，探索分布式账本技术。

（3）示范活动。包括：大中规模制造能力范围内的供应链创新方法与质量措施实施，开发泛欧技术（测试）平台。

[中国科学院武汉文献情报中心 岳芳]

英国发布《英国能源安全战略》

4 月 7 日，英国政府发布《英国能源安全战略》[18]，系统阐述了加快风能、先进核能、太阳能和氢能等清洁能源部署的相关举措，旨在到 2030 年实现 95%的电力来自低碳能源，到 2035 年实现电力系统的完全脱碳。同时，英国提出未来将减少对俄罗斯进口石油和天然气的依赖，减少对化石燃料的依赖，重振英国北海的海上油气生产，降低家庭能源费用。具体内容如下：

1、能源账单援助

针对家庭援助，将启动 91 亿英镑的一揽子援助计划，从 2023 年开始将能源价格上涨的冲击分摊到 5 年内，并另外资助 5 亿英镑设立家庭援助基金，供地方政府用于支持贫困人群获得食物和免费的水电。

针对企业援助，将把能源密集型产业（EII）补偿计划延长 3 年，

[18] British Energy Security Strategy. https://www.gov.uk/government/publications/british-energy-security-strategy

并将援助强度提高到 100%。此外还将考虑其他支持企业的措施，包括将可续期债务豁免增至 100%。

2、能效

加快提高能源效率部署并逐步淘汰化石燃料的使用。到 2025 年，英国将有 70 万套房屋进行升级改造；到 2050 年将对英国所有建筑进行低碳供暖改造实现节能，实现供暖系统净零排放。具体包括：①发布《供热与建筑战略》，并提供 39 亿英镑予以支持；②针对低收入家庭，提供房屋升级改造补助金和社会住房脱碳基金补助共计 18 亿英镑；③从 2022 年到 2026 年，将对能源公司提供每年 10 亿英镑的补助，用于每年帮助 13 万户以上的低收入家庭提高能效；④到 2035 年逐步停止销售新的燃气锅炉，并推广替代产品；⑤引入一揽子措施，到 2028 年将热泵的部署量增加到每年 60 万台；⑥未来五年安装节能材料（包括隔热材料和低碳加热装置）实行零税率；⑦启动 4.5 亿英镑的锅炉升级计划。通过市场、政府和指定规划框架三重手段促进能效低成本融资，推动能效进一步快速提升。

3、石油和天然气

目前大约一半的天然气需求量是通过国内供应予以满足，为减少对外进口化石燃料的依赖，需充分利用英国北海储量，并利用氢能作为天然气的替代品，以实现到 2030 年，天然气消耗量减少 40%以上，碳捕集、利用和封存（CCUS）量达到 2000-3000 万吨 CO_2；到 2050 年石油和天然气行业实现净零排放。具体措施包括：①建立石油和天然气新项目监管平台，促进项目快速发展；②通过推动海上电气化转型，进一步减少海上石油和天然气的碳排放，以确保天然气仍是低碳选择；③到 2030 年在英国东北和西北地区，提供 10 亿英镑进行 4 个 CCUS 项目的试点部署；④发布 CCUS 和氢能交付路线图，为行业提供明确的信号；⑤到 2022 年底逐步摆脱俄罗斯石油和煤炭进口，此后尽快摆脱俄罗斯液化天然气进口。

4、海上风电

英国致力于成为全球海上风电的领导者，到 2030 年需达到 50 吉瓦的海上风电装机规模，其中包括 5 吉瓦的漂浮式海上风电，到 2050 年通过风能和太阳能组合发电，实现低成本电力系统净零排放。为此将进行以下行动：①到 2022 年底发布电网战略框架，确定风电技术核心作用，启动海上风电协调支持计划，并加快风电设施交付运行；②通过年度竞标提供明确的可投资信号，有助于 2023 年 3 月份举行的下一轮竞标中通过竞争降低成本；③将在港口和供应链方面投资 1.6 亿英镑，在研发方面投资 3100 万英镑；④在 2023 年制定海上风电环境改善计划。

5、陆上风电

陆上风电是最便宜的可再生能源种类之一。英国已拥有超过 14 吉瓦的陆上风电装机规模。未来将不会对目前的陆上风电规划进行全年修改，但到 2022 年底会为支持少数社区发展与合作伙伴进行协商，建设新的陆上风电基础设施，降低用能费用。

6、太阳能和其他技术

目前，英国拥有 14 吉瓦的太阳能发电装机规模，预计到 2035 年太阳能发电装机规模将增加五倍，达到 70 吉瓦。到 2050 年通过风能和太阳能组合发电，实现低成本电力系统净零排放。为此将采取以下行动：①针对地面太阳能光伏，在保护土地开发的基础上，确保社区继续拥有发言权，环境保护措施依然是根本；②将继续支持太阳能与其他技术相结合（如陆上风力发电、储能、农业等），最大限度地提高土地利用率；③针对屋顶太阳能，将从根本上简化流程，就相关许可开发权进行磋商，降低屋顶太阳能的使用费用并增加就业，并将优先考虑利用公共部门屋顶作为示范；④目前已经取消了住宅安装太阳能电池板的增值税，未来将考虑零售商低成本融资，以推动屋顶太阳能光伏部署进度和提高能效。并在新住宅和建筑物审核中设立可再生

能源安装（包括太阳能光伏）的性能指标。⑤作为一个水资源丰富的岛国，未来积极探索地理和地质条件提供的可再生能源技术，包括潮汐能和地热能。与国际团队合作，以提供清洁、负担得起的安全电力。

7、核能

为实现到2050年民用核电的装机规模达到24吉瓦（是目前的3倍）、占电力需求25%的目标，将采取以下行动：①2022年4月启动1.2亿英镑的未来核能使命基金；②2022年将建立英国核电计划，其任务是与产业界合作，以英国工业优势和专业知识为基础，帮助核能项目完成开发过程中的每个阶段；③为英国核电公司提供资金支持，以完成其建设项目；④到2030年，英国将在8个地点设立核电装置，欣克利角（Hinkley）、塞兹维尔（Sizewell）、希舍姆（Heysham）、哈特尔浦（Hartlepool）、布拉德韦尔（Bradwell）、威尔法（Wylfa）、奥尔德伯里（Oldbury）和穆尔赛德（Moorside），并计划制定长期的选址战略，促使新反应堆顺利示范运行；⑤在不影响英国监管制度提供的安保和环境保护情况下，政府将与监管机构合作，了解简化核电装置中重复建造的可能性；⑥与其他国家合作，加快先进核技术开发，包括小型模块化反应堆和先进模块化反应堆。

8、氢能

可再生能源的发展使得绿氢对于电网灵活性和作为储能解决方案具有重要意义。到2030年，英国计划将氢气产量翻一番，达到10吉瓦，其中至少一半来自电解制氢；到2050年低碳氢供应量将达到240-500太瓦时。为实现该目标，将开展以下行动：①到2022年底启动英国低碳氢能标准制定，设立氢能基金并分配资金；②到2023年将天然气管道掺氢率提高至20%；③将电解制氢的目标进行年度分配，在法律和市场条件允许的情况下，到2025年实现1吉瓦的“绿氢”（电解制氢）规模和1吉瓦的“蓝氢”（集成CCUS技术）规模；④到2025年，为氢气运输和存储基础设施设计新的商业模型，以促进

氢经济发展；⑤在 2025 年之前建立氢认证计划来创造公平的竞争环境，确保任何进口氢气符合英国标准。

9、电网现代化

将构建现代化电网基础架构所需的时间减半，具体行动包括：①在可能的情况下尽快建立未来系统运营商，以推动电网系统整体转型并监督英国能源系统；②委任一支电力网络专员团队，就政策和监管变化向政府提出建议，以加快电网基础设施的推进；③到 2022 年底，在整体电网设计（HND）和集中战略电网计划（CSNP）中为整个电网系统制定蓝图。其中 HND 中将确定到 2030 年海上风电输电所需的战略基础设施；④更新国家政策声明，以在规划系统中识别新制定的蓝图；⑤提高与开发商和供应链合作，提高电网建设的可见性和确定性，帮助加快采购时间；⑥将陆上输电基础设施的建设时间至少缩短 3 年，与网络运营商和供应链合作，进一步节省成本；⑦为确保当地社区能够从其所在地区的陆上基础设施发展中受益，将进一步就社区福利方案进行磋商。推出海上协调支持计划，以降低先进海上风电输电的风险；⑧鼓励各种形式的投资，通过制定适当的政策来实现投资，提供足够大规模、长周期的电力存储，以平衡整个电网系统；⑨确保考虑氢电解槽的选址，以利用多余的低碳电力并减少电网限制；⑩通过电动汽车的使用时间关税和电池储能，制定更灵活的定价使得系统更加智能化；Ω确保所有新房设计安装智能电表，到 2024 年实现未来住宅和建筑标准。

10、国际行动

未来将与国际伙伴合作，以维持稳定的能源市场和价格，同时减少对俄罗斯化石燃料的依赖，英国将继续以下行动：①承诺到 2022 年底逐步淘汰俄罗斯的石油和煤炭进口，此后尽快停止进口俄罗斯液化天然气；②建立国际支持以减少俄罗斯的能源收入；③与非俄罗斯欧佩克国家和美国建立重要伙伴关系，通过提供替代性石油和天然气

供应促进市场稳定；④今年5月举办首届英国-卡塔尔战略能源对话，进一步深化现有的能源合作；⑤与美国在天然气方面密切合作，推动与欧洲合作伙伴的合作，以提高电力互联互通，降低消费者成本；⑥为非俄罗斯天然气供应提供关键的欧盟接入点，并促进天然气基础设施为运输氢气做好准备。此外，未来支持其他国家向清洁、经济、可靠的能源过渡，英国应做出以下行动：①主导清洁绿色倡议；②承诺在未来5年内将国际气候融资增加一倍，达到116亿英镑；③与合作伙伴合作，减少对化石燃料的依赖，英国在铀浓缩和燃料制造方面拥有数十年的经验，以支持俄罗斯燃料的替代品研发，与原子能机构和其他伙伴合作，结成联盟，制定国际法规，推动小型核反应堆的部署。

[中国科学院武汉文献情报中心 汤匀]

美国能源部资助5.05亿美元促进长时储能技术示范部署

5月12日，美国能源部宣布根据《两党基础设施法案》拨款，在四年内共资助5.05亿美元促进长时储能技术开发[19]，通过降低成本推动储能系统更广泛的商业示范部署，以实现到2035年100%清洁电力目标。具体内容如下：

1、技术示范阶段

该阶段将开发一批具有应用潜力的实用规模技术示范。该示范规模计划控制在100千瓦或更小规模，并已通过实验室规模验证。

2、项目验证阶段

该阶段在更大规模部署之前进行最终技术验证以降低风险，使首创的新型技术在实用规模上具有可行性。本阶段将需要提供至少10小时的额定功率数据，并经过第三方测试认证，并证实储能成本控制在0.05美元/千瓦时以内。

3、项目试点阶段

[19] Biden Administration Launches Bipartisan Infrastructure Law's $505 Million Initiative to Boost Deployment and Cut Costs of Increase Long Duration Energy Storage. https://www.energy.gov/articles/biden-administration-launches-bipartisan-infrastructure-laws-505-million-initiative-boost

该阶段资助的项目将解决市场上技术被采用所面临的制度性障碍。即在一项新技术应用、运行过程中向用户、社区或电力系统证明该技术的优势。本阶段将促进符合条件的实体（包括州能源办公室、部落、高校、公共事业部门和储能公司）能够加大对储能领域的投资。

[中国科学院武汉文献情报中心 汤匀]

日本 NEDO 启动全球首个 IGFC 示范项目第三阶段验证试验

4 月 19 日，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）宣布 NEDO 与大崎 CoolGen 公司共同推进的全球首个整体煤气化燃料电池联合循环发电（IGFC）示范项目“CO_2 分离/回收型吹氧 IGFC 示范”已启动第三阶段验证试验[20]，旨在实现创新的低碳燃煤发电技术。详情如下：

该项目第一阶段于 2017 年 3 月启动，实现了 170 兆瓦规模 IGFC 示范电站的全球最高送电端效率（40.8%，基于高热值）。2019 年 12 月开始的第二阶段验证试验，实现了 CO_2 分离/回收设备的 CO_2 回收率超过 90%、回收纯度超过 99%。第三阶段验证试验已于 4 月 18 日开始测试，将 2×600 千瓦固体氧化物燃料电池（SOFC）集成至系统，示范从煤气化装置中分离回收 CO_2，产生的高浓度氢气输送至 SOFC 用于发电，分析 SOFC 的发电特性和内部温度分布，了解并验证两个 SOFC 模块并行运行的可操作性。此外还将假设与燃气轮机系统连接，研究提升 SOFC 工作压力以将其废气输送至燃气轮机的可能影响，目的是实现未来 500 兆瓦商用电站在 90%CO_2 回收率条件下送电端效率约 47%（基于高热值）。

[中国科学院武汉文献情报中心 岳芳]

Sn-Bi 双金属界面材料有效促进 CO_2 高效电还原

CO_2 电还原反应（CO_2RR）是一种新兴技术，可用于存储可再生

[20] 石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）の実証試験を開始. https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101534.html

能源产生的间歇性电力。在众多可能的产品中，甲酸或甲酸盐因其在甲酸燃料电池中的广泛应用而备受关注。而在较低的活化电位下，提高反应的局部电流密度和稳定性是一大挑战。

加拿大滑铁卢大学 Luis Ricardez–Sandoval 教授课题组报告了在原位 CO_2RR 下精细控制过电位电沉积，可构建由纳米褶皱形貌诱导的大量暴露的活性 Sn-Bi 界面，这为提高低电位下甲酸盐生产的局部电流密度，提供了一条有效途径，同时这种设计理念也可以推广到其他双金属催化体系的高活性和稳定的界面设计。为全面了解 Sn-Bi 体系的催化活性与其电子结构和双金属谱图之间的关系，研究人员进行了计算分析，发现界面上 Sn 与 Bi 相互作用是最有利于 HCOOH 形成的结构。这种结构被证明能有效减弱 Sn-C 杂交反应中 COOH*中间体的竞争作用，并有效促进 Sn-O 与 HCOO*的结合。在理论研究的指导下，为构建更活跃的 Sn-Bi 界面，在 CO_2RR 条件下通过原位电沉积实验设计了纳米褶皱诱导的 Sn-Bi 界面结构。通过扫描电子显微镜（SEM）、高分辨率透射电子显微镜（HRTEM）、X 射线能谱分析（EDS）等表征手段，确认了 Sn-Bi 双金属界面结构，并根据 DFT 计算，表明该结构具有丰富的活性位点，褶皱诱导的 Sn-Bi 材料对 CO_2RR 具有更高的活性。为进一步了解 Sn-Bi 合金的晶体结构和电子结构，进行了 XRD、2D-XRD、XAS、XPS 测试，XRD 和 2D-XRD 表明在电沉积合成过程中几乎没有形成 Sn-Bi 块状合金；X 射线吸收光谱（XAS）表明，材料中的 Bi 主要以金属态为主；与 Bi 箔相比，Sn 元素相互作用后电子密度从 Sn 转移到 Bi；其与 Sn-Bi 合金相比，表明了双金属界面结构中 Sn 的氧化态较低。最后 XPS 测试进一步表明，与纯金属相比，Sn-Bi 界面材料中存在着适度的电子转移。为了研究该材料 CO_2 电还原催化性能，采用 Sn-Bi 双金属界面材料和 Sn-Bi 合金进行评估。结果表明，Sn-Bi 双电极界面材料在低电位（-0.84 V）时的甲酸盐最大法拉第效率（FE）为 96.4±2.5%；而 Sn-Bi 合金在稍

高电位（-0.94 V）时的 FE 仅为 89.9±2.5%；在较宽的电位窗口（−0.74 ~−1.14 V）下，双电极材料 FE 保持在 90%以上，这可能归因于多孔微花结构能有效促进质量传输，确保了活性位点附近理想的局部环境，这表明褶皱诱导的 Sn-Bi 界面材料在较低的过电位下实现了较高的甲酸盐选择性。与纯 Sn、Bi、SnO_x 和 Sn-Bi 合金相比，Sn-Bi 界面材料的 HCOOH 局部电流密度（PCD）最高；更重要的是，界面材料的 PCD 在低电位（-0.74 至-1.14 V）下，优于大多数已报道的锡基和铋基催化剂，具有高法拉第效率。Sn-Bi 界面材料在-0.94 V 下的 PCD 与使用三维铋催化剂的最高报道性能相当；且在-1.24 V 下实现了 140 mA cm^{-2} 的卓越 PCD。稳定性测试结果表明，Sn-Bi 界面材料具有约 40 mA cm^{-2} 的稳定电流密度和 160 小时 90% 以上的 FE，这远远高于目前报道的的 Sn 基或 Bi 基材料的最佳水平。从实验和理论上证明，与纯 Sn 和 Sn-Bi 块状合金相比，微调暴露的 Sn-Bi 界面是 HCOOH 形成的最有利结构。

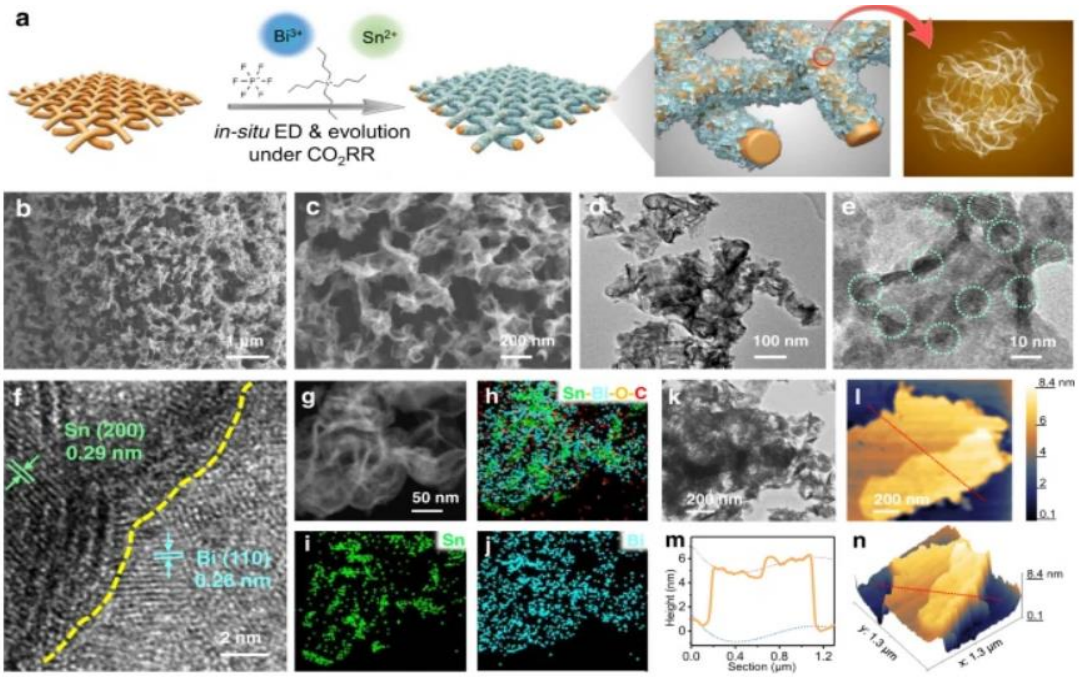


图 1 Sn-Bi 界面材料的制备与表征

该项研究在 CO_2 电解条件下，通过调控电沉积原位开发出一种纳米褶皱诱导的富 Sn-Bi 双金属界面材料，有效提升了 CO_2 电还原制甲

酸盐的生产效率。甲酸盐局部电流密度高达 140 mA cm^{-2}，且高法拉第效率（> 90％）保持在宽电位窗口，耐久性为 160 小时。该项工作制备的 Sn-Bi 双金属界面材料的局部电流密度是目前文献中已报道的最高水平，为实现高效的 CO_2 电还原提供了一种新的设计思路。相关研究成果发表在《*Nature Communications*》[21]。

[中国科学院武汉文献情报中心 汤匀]

新型固态电解铝工艺实现废旧电池高价值回收利用

利用重熔技术回收电池中铝废料会降低铝的品位，而这种降级的再生铝的最终沉降物是铸铝合金。随着电动汽车广泛应用，对高等级铝的需求预计将增加，而低等级再生铝的需求将下降。为了满足未来对高品位铝的需求，需要一种新的铝回收方法。

日本东北大学 Tetsuya Nagasaka 教授课题组提出了一种固态电解（SSE）工艺，该工艺使用熔盐来升级回收电池中的铝（Al）废料。SSE 生产的铝纯度与铝合金铸造原铝相当，达到 99.9%。电解实验在 500℃下，使用熔融的 $MgCl_2$-NaCl-KCl-5 mol% AlF_3 和 LiCl-KCl-5 mol% AlF_3 为电解质，以典型的铸造合金 AC2A 和最常见的压铸合金 AD12 作为阳极。并且通过扫描电子显微镜（SEM）表征发现铝溶解后阳极泥层呈现多孔结构；X 射线衍射仪技术（XRD）结果表明，典型的合金元素在阳极泥中以 Si 和 Al_2Cu 的形式从初始铸铝合金中分离出来；电感耦合等离子体原子发射光谱（ICP-AES）结果表明在阴极沉积的铝的纯度为 99.9%，并且在阳极泥中富集了硅、铜和铁。根据阳极泥中的铝渣量和沉积在阴极上的铝渣量，计算出初始铝合金中 95%的铝均沉积在阴极上，证明了这种方法的有效性。除此之外，利用 SSE 进行升级再造的铝铸件或压铸合金实现了较低的 Mg 含量，一个 10 kA 的电解槽连续工作近一年才在阴极中积累 280 kg 的 $MgCl_2$，未来

[21] Bohua Ren, Guobin Wen, Luis Ricardez–Sandoval et al. Nano-crumples induced Sn-Bi bimetallic interface pattern with moderate electron bank for highly efficient CO_2 electroreduction. *Nature Communications*, 2022, DOI: 10.1038/s41467-022-29861-w

一年仅需更换一次电解槽电解质。为了进一步了解 SSE 工艺性能，将其与当前的原铝生产（Hall-Héroult 工艺）、提纯（三层电解）和回收（重熔）的工业工艺进行比较。结果发现，在这四种工艺中，唯一能够快速升级铝铸件废料的回收工艺是拟议的 SSE 工艺。通过参考 Hall-Héroult 过程的实际电解电压，估计工业 SSE 的实际电解电压约为 2.22 V（1.94~2.80 V）。整个 SSE 过程的总能量需求，包括废料的熔化、将其浇铸到电极中以及在 SSE 过程后将沉积的铝重熔成锭，能量消耗平均仅为 65.4 $MJ \cdot kg^{-1}$。电解槽的垂直对称设计、较低的理论电解电压（在 0 V 左右）、较低的电解温度（500 ℃）和电解质的高电导率都有助于降低能耗。使用这种 SSE 工艺，废铝可以升级为纯度和质量与原铝相当的铝，并有效防止“死金属”的产生。此外，通过使用 SSE 工艺生产的铝，与生产相同数量的原铝相比，碳排放量将显著降低。

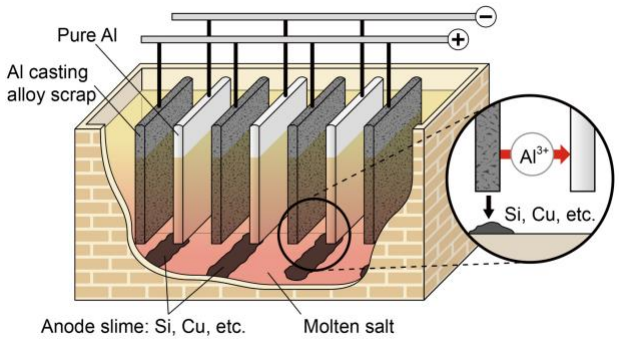


图 1 固态电解（SSE）过程的原理示意图

本项研究提出了一种使用熔盐作为电解质的新型固态电解（SSE）工艺来升级回收铝废料。即使用 1 吨电解质可以电解超过 24 吨铝合金，且连续运行一年的时间后，才需要进行维护，拥有去除杂质的能力和低能耗等技术优势。该方法具有取代现有的降低铝品位的回收技术的潜力，改变电池废料精炼的现状，为实现铝业可持续发展铺平道路。相关研究成果发表在《*Nature*》[22]。

[中国科学院武汉文献情报中心 汤匀]

[22] Xin Lu, Zhengyang Zhang, Takehito Hiraki et al. A solid-state electrolysis process for upcycling aluminium scrap. *Nature*, 2022, DOI: 10.1038/s41586-022-04748-4

铽掺杂和双钝化实现无机钙钛矿太阳能电池性能大幅提升

目前有机-无机杂化钙钛矿太阳能电池（PSC）单结和叠层的最高光电转换效率（PCE）分别达 25.7%和 29.8%。然而，杂化钙钛矿的有机阳离子组分热稳定性较差，全无机 $CsPbX_3$（X = I, Br and Cl）钙钛矿则表现出优秀的光、湿气和热稳定性，为实现长期稳定的 PSC 提供了可能的途径。$CsPbI_2Br$ 钙钛矿具有 1.91 eV 的带隙和显著改善的环境稳定性，显示出串联和半透明光伏应用的潜力，但其在环境空气中的相稳定性仍需提高。虽然金属离子掺杂可以稳定钙钛矿，但它也会促进较小晶粒和针孔的形成，导致载流子复合。通过钙钛矿整体钝化（BP）和表面钝化（SP）技术降低浅层和深层电荷陷阱的密度非常重要。

韩国光州国立大学 Chang Kook Hong 课题组报道了用 Tb^{3+}掺杂金属离子，结合 BP 和 SP 策略，实现了高效和稳定γ–$CsPb_{1-X}Tb_XI_2Br$ 钙钛矿型太阳能电池。实验发现，在 Pb^{2+}位置掺杂 Tb^{3+}对暴露于环境空气中黑相的γ–$CsPbI_2Br$ 薄膜表面形貌和相稳定性有显著影响，并改善使用这些薄膜的器件光伏性能。通过双重（钙钛矿整体和表面）钝化策略，将 $CsPb_{0.95}Tb_{0.05}I_2Br$ 量子点添加到钙钛矿薄膜中显示出显著改善的稳定性和光伏性能。与未掺杂的 $CsPbI_2Br$ 相比，第一性原理电子结构计算表明，Tb 掺杂的 $CsPbI_2Br$ 相对于分解的组分原子具有更高的结合能，说明其热力学稳定性增强。此外，Tb^{3+}的引入通过在导带边缘引入附加态来调节 $CsPbI_2Br$ 的电子结构。当在 PSC 中使用掺 Tb 的 $CsPbI_2Br$ 层时，可以获得 17.51%的转换效率，并且器件在 600 小时内保持了其初始效率的 90%以上。此外，当该策略应用到大面积器件（25 cm^2），在 30 天内实现了 10.94%的转换效率和 80%的初始稳定性，朝着商业化、低成本光伏迈出了一大步。采用相同方法的替代低带隙材料得到 19.01%（经过认证 18.43%）的效率。因此，在 $CsPbI_2Br$ 薄膜中引入 Tb^{3+}，能够较好改善稳定性，为在环境空气

中制备高效、稳定的全无机 $CsPbI_2Br$ PSC 提供了一种很有前景的方法。

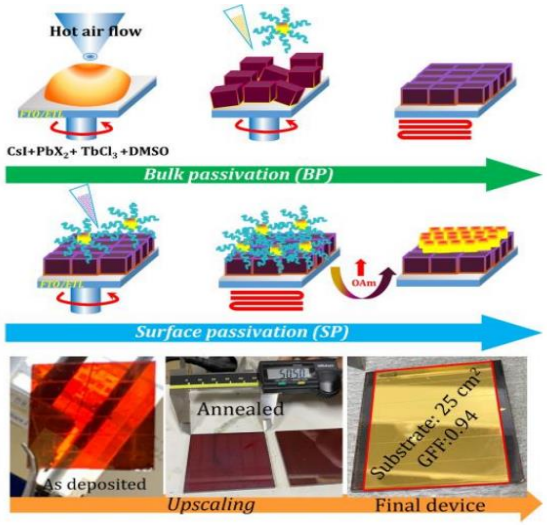


图 1 铽掺杂双钝化γ–$CsPb_{1-X}Tb_XI_2Br$ 钙钛矿型太阳能电池的制备

该项研究用 Tb^{3+}掺杂金属离子，结合 B 钙钛矿整体钝化（BP）和表面钝化（SP）技术策略，实现了高效和稳定γ–$CsPb_{1-X}Tb_XI_2Br$ 钙钛矿型太阳能电池。结果表明，基于该策略制备的钙钛矿太阳能电池转换效率达到 17.51%，并且器件在 600 小时内保持了其初始效率的 90%以上。此外，当该策略应用到大面积器件（25 cm^2），在 30 天内实现了 10.94%的转换效率和 80%的初始稳定性，朝着商业化、低成本光伏迈出了一大步。相关研究成果发表在《*Advanced Materials*》[23]。

[中国科学院武汉文献情报中心 汤匀]

科学家成功开发商用级别耐湿热钙钛矿太阳能电池

沙特阿拉伯阿卜杜拉国王科技大学 Stefaan De Wolf 教授团队通过应用油胺碘（OLAI）分子形成二维（2D）钙钛矿层，有效抑制了三维（3D）钙钛矿的表面缺陷，使其能在 3D 钙钛矿顶部表面生长 2D 钙钛矿层，产生 2D/3D 钙钛矿异质结，基于异质结的电池器件具

[23] Mali S S, Patil J V, Rondiya S R, et al. Terbium‐doped and dual passivated γ–CsPb(I1‐XBrX)3 inorganic perovskite solar cells with improved air‐thermal stability and high efficiency. *Advanced Materials*, 2022, DOI: 10.1002/adma.202203204

备优异的耐湿热特性。实验结果显示，基于 2D/3D 异质结的倒置钙钛矿太阳能电池光电转换效率达到 24.3%，并在工业标准的双 85 环境（85℃高温、85%湿度）下经过 1000 小时测试，光电转换效率仍可保持 95%以上的初始效率，满足商业化应用标准。相关研究成果发表在《*Science*》[24]。

[中国科学院武汉文献情报中心 汤匀 郭楷模]

[24] Randi Azmi, Esma Ugur, Akmaral Seitkhan, et al. Damp Heat-stable Perovskite Solar Cells with Tailored-dimensionality 2D/3D Heterojunctions. *Science*, 2022, DOI: 10.1126/science.abm5784

版权及合理使用声明

中国科学院大连化学物理研究所

地址：大连市中山路457号
电话：0411-84379960

中国科学院武汉文献情报中心

地址：武汉市武昌区小洪山西25号
电话：027-87199180