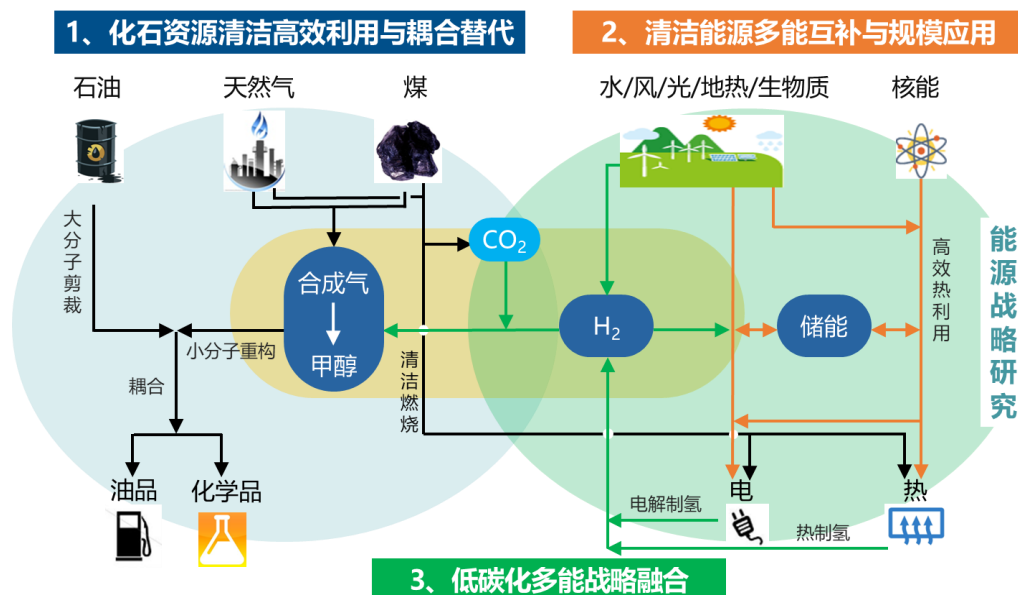




# 洁净能源科技动态监测快报

2022 年第 05 期（总第 31 期）



## 本期看点

- IEA 亚洲低排放煤炭技术报告：共燃技术专题
- 日本 NEDO 资助 CO<sub>2</sub> 转化利用技术
- 欧盟清洁氢能联合行动计划提出至 2027 年研发重点活动
- 美国能源部启动建设国家电网储能平台并实施电网现代化计划
- 日本 NEDO 资助下一代动力电池及电机技术开发
- IEA 发布《直接空气碳捕集》分析报告

# 目 录

2022 年第 05 期 (总第 31 期)

## ◆ 化石资源清洁高效利用

- IEA 亚洲低排放煤炭技术报告：共燃技术专题 ..... 2
- 日本 NEDO 资助 CO<sub>2</sub> 转化利用技术 ..... 8
- 热泵储电的热力学分析及其在燃煤电厂调峰中的应用 ..... 9
- 基于热泵余热回收的热电联产机组热电解耦节能研究 ..... 11

## ◆ 清洁能源多能互补

- 美国能源部资助 2500 万美元开发光储一体化技术 ..... 13
- 美国能源部资助生物能源资源回收和转化技术开发 ..... 14
- 麻省理工学院首次制造转换效率超 40% 的热光伏器件 ..... 14
- 德国伍珀塔尔大学钙钛矿/有机叠层电池转换效率达到 24% ..... 15
- 科学家成功开发商用级别耐湿热钙钛矿太阳能电池 ..... 15
- 新型黑色氧化钨光热催化剂实现 CO<sub>2</sub> 高效催化制甲醇 ..... 15

## ◆ 低碳化多能融合

- 欧盟清洁氢能联合行动计划提出至 2027 年研发重点活动 ..... 16
- 美国启动建设国家电网储能研发平台并实施电网现代化计划 ..... 21
- 日本 NEDO 资助下一代动力电池及电机技术开发 ..... 22
- 英国政府资助颠覆性清洁技术开发 ..... 23
- 新型固态电解铝工艺实现废旧电池高价值回收利用 ..... 24
- 碱金属离子助力强酸介质中 CO<sub>2</sub> 高效还原利用 ..... 25

## ◆ 能源战略研究

- 英国发布《英国能源安全战略》 ..... 27
- 英国牛津能源研究所分析俄乌冲突对中国能源市场的影响 ..... 30
- IEA 发布《直接空气碳捕集》分析报告 ..... 33
- 欧盟联合研究中心提出区块链应用于能源转型的建议 ..... 35

## 本期概要

国际能源署 (IEA) 煤炭工业咨询委员会 (CIAB) 工作组《亚洲净零未来进程中低排放煤炭技术的作用》报告第 3 章针对燃煤电厂共燃技术进行了详细分析: 与煤共燃主要有生物质燃料、氨燃料等。其中, 生物质共燃有多条技术路线, 报告总结了各技术特征及优缺点。日本是氨共燃技术的主要部署国家, 已进行了多次示范并与多国合作建立供应链。生物质共燃结合碳捕集、利用与封存 (BECCS) 可实现净零排放或负排放。

日本新能源产业技术综合开发机构 (NEDO) 宣布 2 项资助, 支持开发 CO<sub>2</sub> 转化利用技术, 以推进发展碳循环产业, 助力实现日本碳中和目标: (1) 投入 25 亿日元支持开发利用回收的 CO<sub>2</sub> 生产化学品、燃料和矿物的碳循环技术; (2) 投入 1145 亿日元开发利用 CO<sub>2</sub> 生产合成燃料、可持续航空燃料、合成甲烷和绿色液化石油气等燃料的制造技术。

欧盟清洁氢合作伙伴关系“清洁氢能联合行动计划” (Clean Hydrogen JU) 发布《2021-2027 年氢能战略研究与创新议程》, 提出了到 2027 年氢能研发重点领域和优先事项, 包括如下领域: (1) 可再生能源制氢; (2) 储氢和氢气分配; (3) 氢能交通应用; (4) 氢能供热和供电; (5) 交叉领域; (6) 氢谷; (7) 供应链相关技术。

美国能源部 (DOE) 先后宣布两项资助计划, 旨在启动建设国家电网储能研发平台, 并支持国家电网现代化转型, 包括: (1) 资助 7500 万美元建设首个电网储能研发平台, 将于 2023 年投入试运行, 并计划于 2025 年开始正式运行; (2) 启动 23 亿美元计划推进电网现代化, 即在未来 5 年每年资助近 5 亿美元以应对火灾、极端天气和其他气候危机导致的自然灾害。

日本新能源产业技术综合开发机构 (NEDO) 宣布在“绿色创新基金”框架下, 投入 1510 亿日元启动“下一代蓄电池和电机开发”项目, 实施期为 2022-2030 年, 目前已确定资助 3 个主题的 18 个课题: (1) 高性能电池及材料研发, 将开发大容量电池 (如全固态电池) 及其材料, 能量密度提升至当前水平 2 倍以上, 即超过 700-800 瓦时/升。同时, 开发替代钴、石墨等的材料和低碳制造工艺; (2) 开发可回收 70% 锂、95% 镍、95% 以上钴的回收技术; (3) 高效、高功率密度电机系统开发, 开发创新的材料、电机结构、逆变器、冷却技术, 提高电机系统效率 (达到 85%), 减小尺寸和重量, 提高功率 (达到 3 千瓦/千克)。

英国政府发布《英国能源安全战略》, 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。

国际能源署 (IEA) 发布《直接空气碳捕集 2022》报告, 指出直接空气碳捕集 (DAC) 技术将在净零排放路径中发挥重要作用, 提出了六大优先事项: 优先开展大规模 DAC 应用; 促进 DAC 价值链的创新; 确定合适场址进行 CO<sub>2</sub> 封存; 制定国际认证的 DAC 核算方法; 评估 DAC 和其他碳去除方法在净零排放战略中的作用; 建立国际合作以加快部署。

# 化石资源清洁高效利用

## IEA 亚洲低排放煤炭技术报告：共燃技术专题

近期，国际能源署（IEA）煤炭工业咨询委员会（CIAB）工作组发布《亚洲净零未来进程中低排放煤炭技术的作用》报告<sup>1</sup>，提出支持先进低排放煤炭技术创新以应对亚洲减排挑战。报告第 3 章针对燃煤电厂共燃技术进行了详细分析，关键要点如下：

### 一、煤与生物质及废物共燃

#### 1、生物质燃料特性

与煤共燃的主要生物质燃料是木材和草或秸秆衍生的草本材料。生物质燃料的性质与煤有显著差异，生物质种类之间也存在差异，这对技术选择、燃料选择、催化剂失活、腐蚀、灰分沉积和共燃时灰分的利用都有影响。总体而言，与煤相比，生物质燃料具有如下特点：①较高的水分含量和较低的堆积密度对生物质的处理、运输和储存造成了限制；②更多的纤维成分会降低可磨性，并导致更大和更不规则形状的颗粒；③生物质通常具有挥发性物质，固定碳含量更高，因此比煤更快热解，并且其燃烧主要形式是通过挥发性物质的气相氧化；④生物质具有较高含量的氯和磷以及碱金属和碱土元素，尤其是在农业残留物中，会导致燃烧器结渣、传热表面结垢，以及流化床燃烧器结块；⑤氯和硫的存在会导致酸性产物的形成，加速燃烧系统内金属表面的腐蚀；⑥由于生物质的氮和硫含量低，氮氧化物和硫氧化物的排放量也很低。

在资源方面，亚洲具有大量和广泛的潜在生物质资源。印度尼西亚和中国森林面积都位居世界前 10 位，可利用林业残留物相关生物质燃料。越南 70% 的固体生物质来自农业生产，其余来自木柴和木材残留物。研究表明，中国可提供约 30.3 亿吨/年的木质纤维素生物质，其中 7.9 亿吨/年来自农业废弃物、3.1 亿吨/年来自林业废弃物、3.2 亿吨/年来自边缘地带种植的能源作物、16.2 亿吨/来自草原种植的能源作物。

### 2、共燃技术

#### （1）技术路线概述

燃煤电厂生物质共燃的方式有直接共燃、间接共燃和并行共燃，如图 1 所示。在直接共燃中，煤和生物质在同一锅炉中燃烧。在现有的煤炭处理和输送系统中，

<sup>1</sup> 本刊上一期报道了报告关键要点。

The role of low emission coal technologies in a net zero Asian future. <https://www.sustainable-carbon.org/report/the-role-of-low-emission-coal-technologies-in-a-net-zero-asian-future/>

生物质与煤炭以适度的共燃比（通常以能源计生物质燃料含量低于 10%）预混合，然后在现有燃煤系统中共同研磨和共燃（如路径 1）。这是最常用的共燃方式，因为可以以最少的资本投资和改造相对快速地实施，主要投资在于生物质存储和处理系统。而在路径 2 中，生物质在单独的、改进的磨煤机中研磨，并在现有燃煤系统中与煤共燃。生物质也可在新配置专用磨机中研磨以提高共燃比（通常高达 50%），随后通过几种方式进行共燃：生物质被注入将煤输送到燃烧器的管道中直接共燃（路径 3）；生物质被注入改进的煤燃烧器直接共燃（路径 4）；生物质被注入到一个新的生物质专用燃烧器中（路径 5）。这些方式比路径 1 和 2 的资本投入更高。

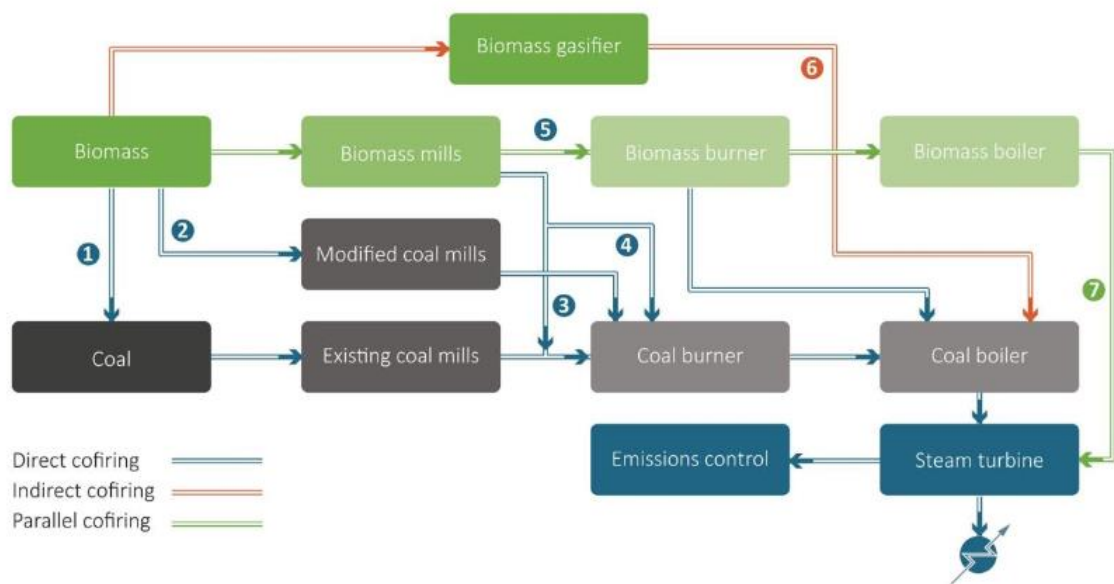


图 1 生物质共燃主要技术路线

在间接共燃中（路径 6），生物质在单独的气化炉中气化，生成的燃料气与煤在同一锅炉中燃烧。并行共燃（路径 7）则具有各自独立的煤和生物质锅炉。间接共燃和并行共燃都可以实现高比例的生物质共燃，并具有更大的燃料灵活性。表 1 总结了生物质共燃技术特点，包括炉排炉、流化床燃烧器（FBC）和煤粉燃烧器等，其中 FBC 包括循环流化床（CFB）和鼓泡流化床（BFB）。

表 1 基于火炉的生物质共燃技术

燃烧系统	优点	缺点
层燃炉	对于小于 20 兆瓦的电厂来说投资成本低，运营成本低；几乎可以使用任何类型的木材；适用于含水量高（10wt%-60wt%）的生物质燃料；适用于灰分含量高和粒径不同的燃料（细颗粒的数量有限制）	可以使用木材混合物作为燃料，但不能使用具有不同燃烧特性和灰熔点的燃料组合（例如，木材与稻草或草的混合物）；温度升高可能会导致灰熔化和腐蚀
流化床燃烧器	燃料在热值、水分和灰分含量方面有很大的灵活性，可以实现燃	尽管燃料规格具有灵活性，但并不是都能够通过预混合燃料（成本最低的选择）来

	料多样化，扩大现有发电厂的燃料选择范围；循环流化床的床层温度较低，氮氧化物排放较少；可最大化低品位能源的燃烧效率；流化床燃烧器的一氧化碳和氮氧化物排放量低，锅炉热效率高（约 90%）；流化床技术可以用相对较少的投资实现生物质/煤共燃	使用现有的生物质进料系统，如果共燃燃料的进料特性与主燃料相差太大，则需要安装单独的进料器；燃烧碱含量高的燃料时，锅炉壁和管道上会产生结渣和污垢；燃烧碱性高和/或铝含量高的燃料时，会使床层结块；传热表面的氯腐蚀（例如过热器管）；高投资成本；颗粒粒径的灵活性低，烟气粉尘负荷高，含灰的床料损失大；尤其在循环流化床中，燃料不能完全燃烧，灰中未燃碳含量高
煤粉燃烧器	由于过氧量低，氮氧化物还原率较高，使用合适的燃烧器时可以提高燃烧效率	生物质燃料粒径限制在<10-20 毫米；气动进料系统需要含水量低的燃料，而且含水量高的燃料将导致燃烧效率降低
气化炉	合成气为锅炉共燃提供了灵活性；潜在生物质燃料类型选择范围广，具有高共燃比潜力	共燃需要改变锅炉中的传热；气化装置的成本相对较高

## (2) 直接共燃

大多数燃煤电厂使用煤粉燃烧器进行共燃，其中有些是大型超超临界电厂，如德国 Uniper 公司 1.1 吉瓦 Maasvlakte MPP 3 电站和法国 Engie 公司 730 兆瓦鹿特丹电站；还有一些发电厂使用 FBC 锅炉；欧洲和加拿大电厂大多采用煤粉炉。通常而言，FBC 锅炉比煤粉锅炉的生物质燃料选择更多。

全球共有 46 台 FBC 共燃机组 (>50 兆瓦)，其中 43 台在运行，3 台在规划中。这些机组大多小于 300 兆瓦，在亚临界蒸汽条件下工作，效率约为 38%-40%。最大的超临界 FBC 发电站是韩国南方电力公司(KOSPO)在三陟市的 2×1100 兆瓦 Green 发电厂，该电厂设计为共燃 5% 的生物质燃料，并有可能提高生物质比例。日本规划中的 112 兆瓦+265 兆瓦的钏路发电厂设计为使用循环流化床锅炉共燃 30% 的木屑和棕榈仁壳，其多燃料锅炉和烟气净化系统由芬兰维美德 (Valmet) 公司和日本 JFE 公司共同提供。印度尼西亚能源公司 PJB 的一项研究表明，共燃 20% 的锯末生物质可以将亚临界燃煤电厂的碳排放量减少 32%。

## (3) 间接共燃

并行共燃需安装单独的生物质处理和燃烧系统，随后生物质燃烧锅炉产生的蒸汽与燃煤锅炉的蒸汽混合。尽管该技术具有较低的运行风险，允许高比例生物质共燃，烟灰可以独立处理，但由于需要额外的基础设施，现有电厂可能存在空间限制，该技术成本更高。

典型间接共燃技术将生物质气化炉与燃煤锅炉耦合，除具备与并行共燃类似的优缺点外，气化共燃还需要改变锅炉中的传热。然而，在中国，共气化是首选方法，因为该方法可以方便地测量共燃生物质含量。2013 年，国电荆门电厂首次进行了 10.8 兆瓦气化炉的试点。CFB 气化炉的原料为稻草，气化效率大于 70%，产气量 14000-

18000 立方米/小时,可燃气体热值为 4-5 兆焦/立方米,气化炉整体热效率超过 85%。高温燃气由引风机送至 600 兆瓦燃煤电站锅炉,经循环分离器、除尘器和换热器适当冷却后,在锅炉两侧的两个专用燃烧器内燃烧。相同的 10.8 兆瓦 CFB 气化炉也应用于襄阳电厂 640 兆瓦超临界 6 号机组,通过气化将农林废弃物型煤转化为燃气后,通过管道输送到 640 兆瓦超临界机组,将其与煤共燃。该项目的关键技术优势如下:①燃料选择的灵活性,使用农业和林业废物为燃料,通过基于灰分烧结温度控制的 CFB 气化技术,可防止由于秸秆原料的高钾和高氯含量而导致的炉渣结块问题;②集成适用于大型煤粉发电机组的二级旋风分离、高温气体温度控制冷却、中温加压输送、气体再燃专用燃烧器等技术;③通过气体成分、流量和温度在线监测来测量气体化学能和显热,作为生物质发电的在线自动测量方式。华电襄阳电厂 5 号机组 CFB 气化装置同样以农林废弃物为原料,从一级旋风分离器产生生物炭,合成气通过管道输送至 5 号超临界机组与煤共燃。

两种 CFB 气化装置的优点如下:①**固定投资低**,利用现有燃煤电厂,仅需对气化设备及相关辅助设备投资;②**高效**,生物质气化产生的高温合成气在 640 兆瓦超临界机组锅炉中直接燃烧;③**灵活运营**,可根据燃料价格和效益确定运营方式,气化炉可通过燃气快速切断阀直接与主锅炉相连或切断,主设备运行不会受到任何影响,经营管理灵活;④**发电测算**,生物质衍生合成气性质可基于测得的热值,通过电输出单独测量;⑤**多元化管理**,5 号机组可通过调节条件生产生物炭,以降低项目运营和政策变化的风险。

总体而言,由于生物质的固有特性,共燃对降低 SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物和汞金属等排放具有积极影响。然而,有证据表明,共燃可以使控制 NO<sub>x</sub> 排放的选择性催化还原催化剂失活,目前已经制定了一些减少催化剂中毒的策略。虽然共燃产生的灰分总量减少,但改变了灰分的化学性质并影响灰分的利用,可以通过浸出和洗涤降低影响。通过蒸汽爆破、烘干、致密化和造粒等方式对生物质资源进行改造,可以显著改善生物质的运输、处理和燃烧特性。造粒是应用最广泛的预处理方法,烘干具有巨大的商业化潜力,蒸汽爆破是一种越来越流行的提高生物质能量密度、增加可磨性的方法。

## 二、煤与氨燃料共燃

### 1、氨燃料特性

低排放氨能够以低碳氢为原料获得,包括通过煤和天然气结合碳捕集、利用与封存(CCUS)制氢,或者使用风能、太阳能或核能产生的清洁电力电解水制氢。由于氨可以在温和条件下液化且易于存储,因此氨也被用作储氢介质。在天然气价格具有竞争力的情况下,天然气制氢与 CCUS 相结合然后制备低碳氨是成本最低的生产路线。在拥有低成本天然气和 CO<sub>2</sub> 地质封存条件的地区,预计 2030 年的低碳氨成

本在 12-24 美元/吉焦，即 230-440 美元/吨。由于可再生电力成本的降低和制造的规模经济效应，电解制氢生产成本正在下降。在风能或太阳能资源良好的地区，预计到 2030 年低碳氨成本在 22-33 美元/吉焦，即 400-620 美元/吨。因此，需要完善的运输和存储基础设施以建立全球供应链，将氨生产成本低的地区与需求中心连接。作为现有的大宗商品，氨的管道输送是一项成熟的技术，使用化学和液化石油气罐车的全球运输也很发达。据估计，在 10 000 公里距离内通过航运运输氨的成本为 2-3 美元/吉焦，而运输液氢的成本为 14-19 美元/吉焦。因此，氨是氢的首选载体，并可作为燃料使用。例如，氨可以在内燃机中直接燃烧，在碱性燃料电池中转化为电能，或裂解为氢气提供燃料。从中期来看，低排放氨用于发电仍成本较高，根据国际能源署（IEA）的分析，预计 2030 年日本燃煤电厂共燃 60% 的低排放氨将使基本负荷下发电成本比能源市场价格高出 30%，但在高峰负荷条件下仅高出 15%。相比之下，在印度尼西亚使用相同的低排放氨将导致发电成本增加四倍。

## 2、共燃技术

现有燃煤电厂相对更易于改造为与氨燃料共燃，需要对锅炉进行改造并投资氨储罐和蒸发器等其他设施。由于氨燃烧的特点是火焰温度低、燃烧极限窄，因此在共燃过程中可能引起火焰稳定性问题。共燃会减少炉内烟尘和煤粉颗粒的数量，降低辐射传热；也会减少传热表面上的灰沉积，改善锅炉性能。目前国际上也在开发基于低碳氨的燃气轮机，既可以燃烧从氨中提取的氢，也就是将氨用作氢载体，也可以燃烧氨/氢混合物，或者直接燃烧氨。目前，该技术的成熟度低于氢共燃。燃气轮机制造商日本三菱重工（MHI）已宣布，计划在 2025 年左右基于其 H25 燃气轮机（输出功率超过 40 兆瓦）推出兆瓦级规模商用氨燃气轮机。

日本经济产业省（METI）已经提出到 2030 年开发出超过 50% 氨共燃比的煤粉燃烧器和可完全燃烧氨的燃气轮机，目标是在 2029-2030 年在已运行发电机组上完成氨共燃燃烧器和氨燃气轮机示范，并准备从 2030 年开始商业安装。为了支持这一目标，日本电力集团 JERA 及其合作伙伴 IHI 开始在碧南（Hekinan）热力发电厂 5 号机组使用少量氨燃料，该机组 48 个燃烧器中的 2 个已更换为试验燃烧器，在 2022 年 3 月前对其性能进行评估，检测不同燃烧器材料和燃烧时间带来的影响，从而确定共燃所需的条件。测试的长期目标是开发共燃燃烧器，到 2024 年以约 20% 的共燃比（基于热值）投入使用，这将是全球首个在大型商用燃煤电厂共燃大量氨燃料的示范项目。

日本三菱动力（Mitsubishi Power）已在 MHI 研究创新中心使用能够模拟燃煤锅炉燃烧条件的燃烧试验炉进行了混氨燃烧试验，用于确定氨煤混烧和 100% 氨燃烧的基本数据。该公司基于氨的燃烧特性确定了最佳的燃烧系统和条件，其中包括氮氧化物的产生以及残留氨的可能性。MHI 之前的测试已经证实燃烧期间火焰保持稳定，



氮氧化物排放符合燃烧测试目标，并且没有残留氨。

日本还与澳大利亚和沙特阿拉伯等能源生产国合作，建立稳定、低成本、灵活的低排放氨供应链。另外，日本贸易公司伊藤忠商事株式会社与马来西亚国家石油公司和一个加拿大基础设施公司合作，生产出口至日本的氨。一座年产 100 万吨氨的工厂将于 2022 年开始建设，使用马来西亚国家石油公司在阿尔伯塔油田的天然气作为原料，并在制造过程中捕集二氧化碳。伊藤忠商事株式会社还与俄罗斯伊尔库茨克石油公司合作，为俄罗斯一家类似的低排放氨生产厂进行可行性研究，同时日本三井集团和美国 CF 工业正在探索在美国开发低排放氨项目的可能性。

### 三、生物能源结合 CCS 技术 (BECCS)

如果共燃与 CCUS 技术相结合，则可以实现净零排放或负排放。例如，在 90% 的碳捕集水平下，10% 的生物质与 90% 的煤炭共燃，将实现名义上的净零排放。将捕集率提高到 90% 以上或将共燃比提高到 10% 以上可以实现二氧化碳负排放。虽然煤与生物质共燃主要应用于发电，但同样可以推广到工业制造以及化学品和氢气生产中。因此，在合适的政策支持下，煤炭与生物质共燃可以作为减排的一种有效方式。各种研究表明，BECCS 技术是以最低成本实现净零排放的重要路径。

这项技术也可以应用于废物发电厂，伴随人口增长和城市化水平进一步提高，这可能是亚洲的一个重要增长领域。废物发电厂利用分类的城市固体废弃物作为发电燃料，并为附近的居民和企业提供低品位热。废弃物燃料中有很一部分来自生物质来源，包括纸张、纸板、木材、食物垃圾和花园装饰物等。如果废物发电厂捕集和封存的二氧化碳高于化石燃料废弃物（如塑料）燃烧产生的二氧化碳，那么工厂总排放量将变为负值，成为温室气体的净吸收器。这不仅可以作为一种有用的热能和电力来源，还解决了填埋空间有限的问题。目前全球有许多废物发电厂在运营，大多数为中等规模，经济型小型捕集设施需求对部署 CCUS 技术至关重要。

图 2 显示了一个基于煤气化的 BECCS 系统配置示例，该配置可在中国应用。研究表明，基于可以从农林废弃物（不包括谷物）和专用能源作物（如芒属或高产作物）供应 19 种木质纤维素生物质原料，BECCS 技术在中国和亚洲提供低排放能源的潜力更大。

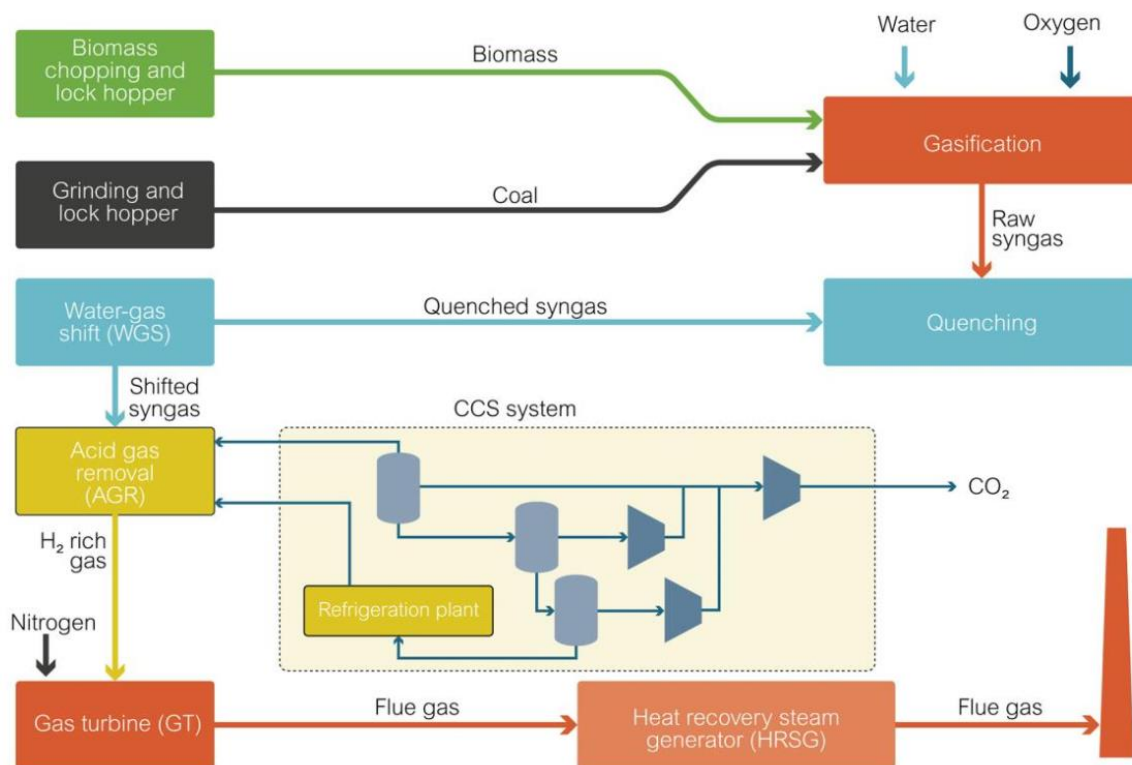


图 1 可应用于中国的基于整体气化联合循环（IGCC）和 CCS 的 BECCS 系统流程图

（贾启慧 岳芳）

## 日本 NEDO 资助 CO<sub>2</sub> 转化利用技术

4 月，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）宣布 2 项资助，支持开发 CO<sub>2</sub> 循环转化利用技术，以推进发展碳循环产业，助力实现日本碳中和目标。详情如下：

### 一、碳循环技术

4 月 7 日，NEDO 宣布在“碳循环利用、下一代火力发电等技术开发”项目中投入 25 亿日元新增资助 6 个课题<sup>2</sup>，在火电厂 CO<sub>2</sub> 分离/回收型吹氧整体煤气化联合循环（IGCC）实证研究基础上，开发利用回收的 CO<sub>2</sub> 生产化学品、燃料和矿物的碳循环技术。此次资助课题实施周期为 2022-2024 年，具体包括：①通过金刚石电极使用燃煤电厂废气中的 CO<sub>2</sub> 生产关键材料；②利用常压等离子体开发新的 CO<sub>2</sub> 分解/还原工艺；③开发能够高效利用 CO<sub>2</sub> 的藻类生物质生产和利用技术；④利用 CO<sub>2</sub> 和工业废弃物合成碳化硅；⑤液化石油气的碳循环制造技术及工艺研发；⑥微藻固定 CO<sub>2</sub> 及生产高值化学品技术研发。

### 二、CO<sub>2</sub> 制燃料技术

4 月 19 日，NEDO 在“绿色创新基金”框架下，投入 1145 亿日元启动“以 CO<sub>2</sub>

<sup>2</sup> カーボンリサイクル実証研究拠点、基礎研究エリアで研究開発に着手。  
[https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_101530.html](https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101530.html)

为原料的燃料制造技术开发”项目<sup>3</sup>，以开发利用 CO<sub>2</sub> 生产合成燃料、可持续航空燃料、合成甲烷和绿色液化石油气等燃料的制造技术。该项目实施期为 2022-2030 年，目前已确定资助 4 个主题的 6 个课题，包括：

### 1、合成燃料

该主题将开发提高液体燃料产量及增强燃料利用相关技术。计划资助 2 个课题：①开发利用 CO<sub>2</sub> 合成反应高效生产液体燃料的技术；②开发提高乘用车和重型车辆对合成燃料利用效率的技术。

### 2、可持续航空燃料

该主题将开发可持续航空燃料相关技术。计划资助 1 个课题：利用最先进的乙醇制航空燃料（ATJ）技术开发和部署示范装置，该技术通过乙醇脱水和乙烯聚合生产乙烯用于制造可持续航空燃料。

### 3、合成甲烷

该主题将开发合成甲烷相关的创新技术。计划资助 2 个课题：①利用固体氧化物电解技术生产合成甲烷，开发由高温电解槽和气体合成反应器组成的集成系统，并完成小规模试验；②开发创新低温法制甲烷技术，将水电解和甲烷合成集成在同一电化学装置中。

### 4、绿色液化石油气

该主题将开发不使用化石燃料的液化石油气绿色合成技术。计划资助 1 个课题：液化石油气绿色合成的创新催化剂和工艺开发及工厂规模示范。

（岳芳）

## 热泵储电的热力学分析及其在燃煤电厂调峰中的应用

当前，由于可再生能源持续并入电网，大规模储能技术备受关注。其中热泵储电，也称卡诺电池，作为一种新兴的大规模储能技术，因其不受地理条件的限制、成本低、储能密度高和系统效率高等优点，有着广阔的应用前景。然而，这种独立的卡诺电池存在热利用效率低的缺陷，可通过系统集成克服这一缺陷。

上海交通大学 Changying Zhao 教授课题组开发并分析了一种基于热泵-有机朗肯循环（HP-ORC）的余热集成储能系统，实现了热泵储电与燃煤电厂的耦合，并通过循环效率和焓效率之间的权衡优化，找到适合现有燃煤电厂的运行参数。相关研究表明，HP-ORC 通常用于中低温储能系统，一般由蒸发器、压缩机、两个蓄热罐（潜热蓄热罐和显热蓄热罐）、膨胀机、冷凝器和泵组成。在储能阶段，有机工质进入蒸发器并由来自燃煤电厂冷却塔前的蒸汽加热蒸发后，在压缩机内被压缩至高温高压状态，潜热蓄热罐中的 LiNO<sub>3</sub>-KNO<sub>3</sub> 熔盐通过相变吸收来自有机工质的部分

<sup>3</sup> グリーンイノベーション基金事業で、CO<sub>2</sub> などの燃料化と利用を推進。  
[https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_101536.html](https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101536.html)

热量，显热蓄热罐中的加压水吸收有机工质的剩余热量，进而实现了电能向热能的转化和存储。在释能阶段，有机工质在高压下被泵送至蓄热罐进行换热，其在显热蓄热罐内预热，在潜热蓄热罐内蒸发至过热状态，并在涡轮机中膨胀做功并驱动发电机产生电能。同时，有机工质的选取会直接影响系统的效率，通过多标准对比，该研究采用丁烯作为有机工质。基于热力学第一定律和热力学第二定律，研究人员对 HP-ORC 系统进行了能量分析和熵分析，以系统的循环效率和熵效率作为评价指标，研究分析了热源温度、有机朗肯循环冷凝温度、换热器夹点温差、压缩机/膨胀机等熵效率对循环效率和熵效率的影响。研究表明，循环效率与热源温度、压缩机/膨胀机等熵效率呈正相关，与朗肯循环冷凝温度、换热器夹点温差呈负相关。在一定的系统参数设定下，显热蓄热罐的熵损失为 41.52 kWh，潜热蓄热罐的熵损失为 36.45 kWh，分别占系统总熵损的 35%和 30.7%，这是由蓄热罐中高温升程传热的不可逆因素所导致的。为进一步优化 HP-ORC 系统，该研究通过多目标遗传算法，以循环效率和熵效率为目标函数，得到了目标函数的最优解集。结果表明，当循环效率从 0.96 增加到 0.99 时，熵效率下降了 1.9%，由于两个目标函数之间的强相关性且目标函数之间的权衡已达到最佳，最优解集的任何一点都可以被选为最优设计。当热源温度和最大储存压力设计为 87.1°C 和 3.6 MPa 时，循环效率和熵效率分别可以达到 0.97 和 0.64。在多目标优化条件下，与额定功率 300 MW 燃煤机组耦合的 HP-ORC 系统，其输出功率受燃煤电厂排汽热和非高峰期用电量的共同影响。当燃煤电厂在 1:00 的非高峰期功率达 155 MW 时，该 HP-ORC 系统可提供 150 MW 的电力，所需的最大热量达到 785 MW，故需要额外的厂外余热；一天的电力需求在 13:00 达到峰值，为 449.9 MW。在这种模式下，该集成系统总共可以提供 890.2 MWh 的电力，集成卡诺电池的燃煤电厂最大调峰能力可达 94.4%。与抽汽加热相比，该集成系统不会降低燃煤电厂的额定功率。此外，充分利用错峰用电进行调峰，系统整体电效率提升了 38.6%。

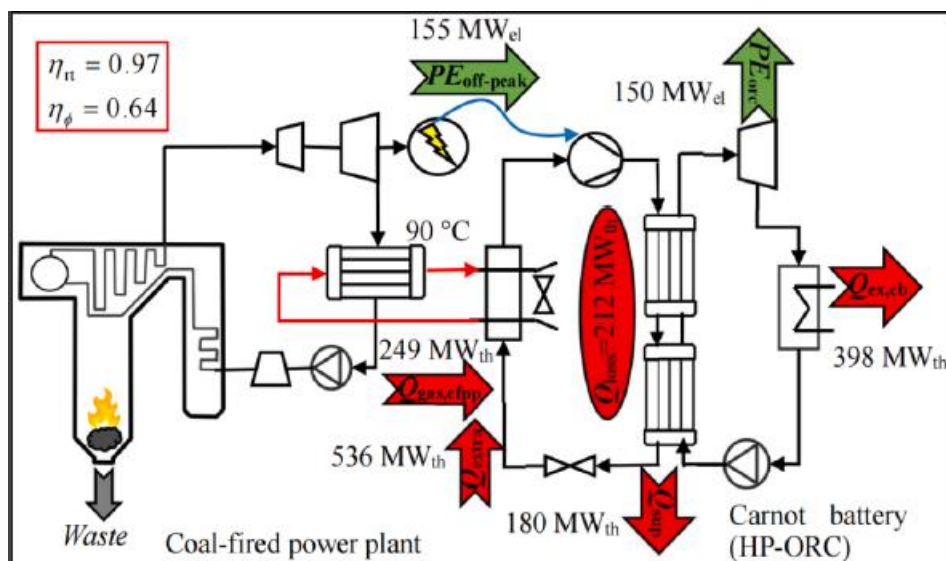


图1 集成 HP-ORC 系统的燃煤电厂运行参数

该项研究分析了热泵-有机朗肯循环系统的热力学特性，探索了其于燃煤电厂集成的可行性，为集成卡诺电池的燃煤电厂调峰运行提供了理论依据和解决方案。相关研究成果发表在《*Energy Conversion and Management*》<sup>4</sup>。

(安旭刚 岳芳)

## 基于热泵余热回收的热电联产机组热电解耦节能研究

热电联产 (CHP) 技术具有较高的整体能源效率，其总效率可达 65%-85%，未来仍有望在能源领域发挥不可或缺的作用。然而，CHP 往往会导致不必要的热电耦合，即热电联产机组输出的热量和功率高度耦合，难以同时满足热、电的需求。事实上，热负荷和功率负荷分布是不同的，有时甚至是矛盾的。因此，有必要采用某种调峰技术来放宽热与电的耦合特性，即热电解耦。然而，很少有研究系统分析废热回收与热-电解耦的能力及其节能潜力。

大连理工大学 Haichao Wang 团队针对 CHP 电厂余热回收系统集成吸收式热泵 (AHP) 和电热泵 (EHP) 的大型调峰技术的热电解耦能力和节能潜力进行了评估。研究人员建立了热电联产机组在动态工况下的热力学系统模型，进行模型验证后，利用该模型分析了 EHP 和 AHP 在动态工况下的调峰能力和节能潜力。利用大型热泵回收余热可以扩大热电联产机组的可行工作区域，在一定程度上放宽了热电耦合性能，当热泵 DH 比( $\chi_{HP}$ )和/或热负荷增加时，功率输出范围变宽，热电解耦效应越大。基于热泵的余热回收系统集成可以为整个系统带来节能效益，前提是性能系数 (COP) 大于不同工况下的临界值。否则，将比传统系统消耗更多的能量，且  $\chi_{HP}$  越大时，临界  $COP_{EHP}$  越小。由于  $COP_{AHP}$  比  $COP_{EHP}$  低得多，因此  $\chi_{HP}$  需要很高才能使整个系统节约能源并具有经济可行性。但  $\chi_{HP}$  不能太大，因为 CHP 机组也需要满足电力需求，而且基于热泵的余热回收系统的主要目的是在满足相同的热、电需求的同时增加热电联产的灵活性。此外，节能潜力还受工作条件的影响，即不同的热电输出组合。随着热需求增加和电力需求减少，节能效果越好，电力需求对节能潜力更为敏感，最好让整个系统在高热需求、低电需求的条件下更广泛地运行，以达到更好的节能潜力。研究结果表明，AHP 和 EHP 均能使系统获得一定程度的热电解耦和节能效果，但 EHP 的节能效果优于 AHP。在热电解耦方面，采用 EHP 废热回收系统优于采用 AHP 系统，且随着电力需求的减少，其优势更加明显。

<sup>4</sup> X.J. Xue, Y. Zhao, C.Y. Zhao. Multi-criteria thermodynamic analysis of pumped-thermal electricity storage with thermal integration and application in electric peak shaving of coal-fired power plant. *Energy Conversion and Management*, 2022, DOI: 10.1016/j.enconman.2022.115502

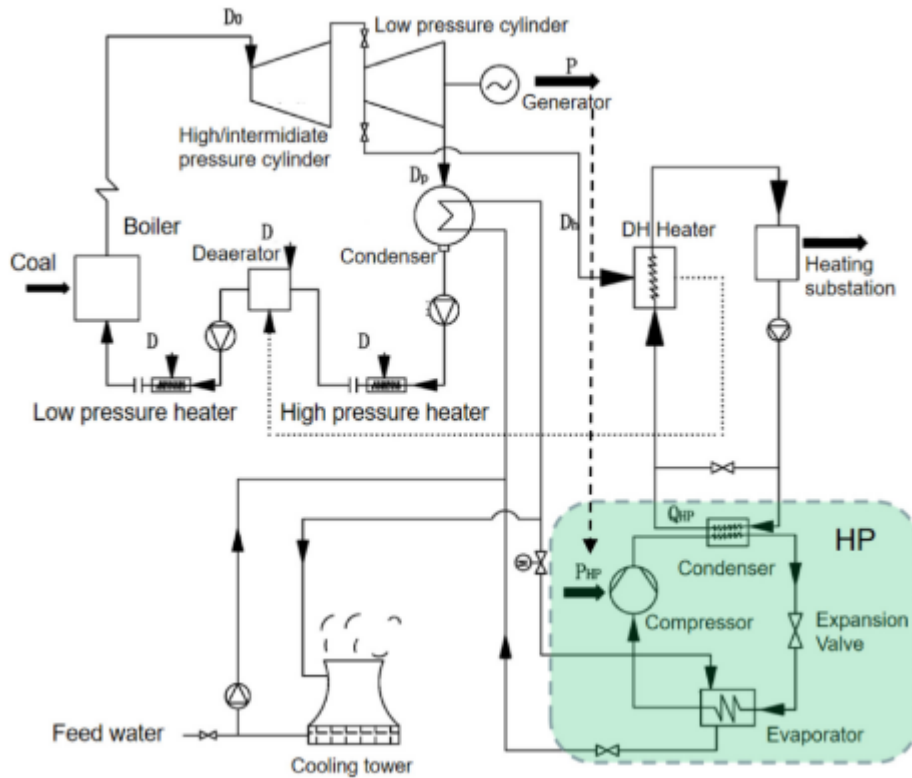


图 1 基于 EHP 余热回收系统的 CHP 机组示意图

该项研究创新地将热泵余热回收系统与热-电解耦高度集成,分析了 EHP 和 AHP 的调峰能力和节能潜力,为热电联产机组热电解耦技术提供了新的解决方案和理论及技术指导。相关研究成果发表在《Energy》<sup>5</sup>。

(薛凯丽 岳芳)

<sup>5</sup> Haichao Wang, Pengmin Hua, Xiaozhou Wu, et al. Heat-power decoupling and energy saving of the CHP unit with heat pump based waste heat recovery system. *Energy*, 2022, DOI: 10.1016/j.energy.2022.123846.

# 清洁能源多能互补

## 美国能源部资助 2500 万美元开发光储一体化技术

4月12日，美国能源部太阳能技术办公室宣布资助2500万美元开发“太阳能+储能”一体化技术，防止极端天气和其他事件造成的电力中断，提高社区能源弹性<sup>6</sup>。具体内容如下：

### 1、基于社区的能源弹性规划框架（资助 6-8 个项目，每个项目 50-100 万美元）

该项目将与多个利益相关方协作，在社区层面制定能源弹性规划框架。项目内容包括开发和整合新的或现有的指标，涵盖：①各种能源终端情景，如气候和天气相关的极端事件；②相关基础设施服务（如供水、通讯、燃料等）可能发生的连锁故障；③以及影响能源弹性的其他因素。根据制定的能源弹性规划框架，将确定“光伏+储能”一体化部署的最佳位置，以提高社区能源弹性。

### 2、快速恢复能源供应的自动化策略（资助 5-6 个项目，每个项目 200-300 美元）

该项目将开发和示范新型传感和通信技术快速识别可用电力资源，以便在极端事件发生后快速恢复电力系统，包括设计和集成分布式太阳能技术的自动化程序，以实现快速恢复，具体包括：①开发低成本传感和通信技术（包括但不限于硬件、软件和控制系統），以提高态势感知能力，传感技术将包括使用经过验证的硬件解决方案，强化光伏发电系统应对极端天气事件的抵御能力；②提供数据分析流程和可操作的信息，以协调和以自动化的方式建立最有效、安全、公平的能源供应恢复路径；③提供项目示范场景，包括“太阳能+储能”一体化系统在重大能源基础设施恢复过程中为社区提供基础服务，以及“太阳能+储能”一体化系统帮助当地电力系统重新供电的策略。

### 3、开发提高光伏电站弹性和稳定性的解决方案（资助 2-3 个项目，每个项目 150-300 万美元）

项目将利用新颖的传感设备、通信策略和数据分析来提高发电侧的弹性和稳定性，以最大限度减少极端气候期间对设备带来的损坏。其中光伏系统重要开发方向包括：①光伏模块；②光伏组件和逆变器之间的电源传输链，如连接器、接线、熔断器、汇流箱等；③光伏组件安装结构，如固定倾斜支架或跟踪设备；④功率转换设备，如逆变器和功率优化器。

（汤匀）

<sup>6</sup> Funding Notice: Renewables Advancing Community Energy Resilience (RACER).  
<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/funding-notice-renewables-advancing-community-energy-resilience-racer>

## 美国能源部资助生物能源资源回收和转化技术开发

3月22日，美国能源部宣布资助3450万美元用于改善现有基础设施，将社区中大量的废物流转化为有价值的生物燃料和生物产品<sup>7</sup>。具体内容如下：

### 1、城市固体废物原料预处理和高价值副产品开发技术

城市生活垃圾馏分的异质性和可变性是城市生活垃圾作为生物能源和生物制品原料的重要障碍，需要先进的预处理技术来生产适合转化的原料流。本领域包括2项子技术：①用于转化原料的先进城市生活垃圾预处理技术；②来自城市生活垃圾的高价值副产品的开发。

### 2、具有长期稳定性、同质性和长寿命的工程化微生物开发

本领域将致力于提高对微生物性能的理解，并利用这一信息克服生产变异性或微生物培养过程中生存能力的丧失，从而提高微生物的生命活力。本领域包括2项子技术：①探索微生物性能差异的原因，开发消除微生物之间变异性的方法手段；②探索微生物在培养过程中丧失生存能力或生产力的原因，提高微生物生产寿命。

### 3、稳健的生物催化转化工艺设计

催化过程是将生物质转化为生物燃料的核心。将生物质转化为燃料或其他有价值的化学品的大多数途径都涉及催化过程，而且往往是多相催化过程。催化剂耐久性、稳定性的改善是非常重要的。本领域侧重于开发将生物质和废弃物转化为可持续航空燃料、可再生柴油和船用燃料的催化剂。

### 4、社区规模的有机废物资源和能源回收

对于许多社区来说，有机废物流对各种经济、环境和社会可持续性带来了不小的挑战，它们是温室气体排放的主要来源，并导致空气和水质退化等其他环境问题。这些废物包括食物垃圾、城市污水污泥、动物粪便和油脂。本领域资助重点是以社区为中心，开发从有机废物流中回收资源和能源的解决方案。

（汤匀）

## 麻省理工学院首次制造转换效率超40%的热光伏器件

4月13日，美国麻省理工学院 Asegun Henry 等人利用双结器件，针对1900-2400°C的发射极温度进行了优化。器件单元利用带边光谱过滤的概念来获得高效率，使用高反射背表面反射器将不可用的带隙辐射反射回发射器。结果表明，器件在2.39瓦/平方厘米的功率密度和2400°C的发射温度条件下达到 $41.1 \pm 1\%$ 的最大转换效率，为目前报道最高水平。相关研究成果发表在《*Science*》<sup>8</sup>。（汤匀）

<sup>7</sup> Department of Energy Announces \$34.5 Million for Improved Bioenergy Resource Recovery and Conversion Systems. <https://www.energy.gov/eere/articles/departement-energy-announces-345-million-improved-bioenergy-resource-recovery-and>

<sup>8</sup> Alina LaPotin, Kevin L. Schulte, Myles A. Steiner, et al. Thermophotovoltaic efficiency of 40%. *Science*, 2022, DOI: 10.1038/s41586-022-04473-y



## 德国伍珀塔尔大学钙钛矿/有机叠层电池转换效率达到 24%

4月13日，德国伍珀塔尔大学 K. O. Brinkmann 和 T. Riedl 等人优化了电荷提取层，实现了钙钛矿子电池的高开路电压（Voc）与填充因子（FF），以及有机子电池在近红外较高的外部量子效率。子电池通过原子层沉积技术制备的超薄（约 1.5 纳米）氧化铟层连接，实现超低的光学/电学损耗。结果表明，该钙钛矿/有机叠层电池转换效率达到 24.0%，认证效率为 23.1%，开路电压高达 2.15 V，其性能与全钙钛矿叠层及钙钛矿/CIGS 叠层器件相当，为钙钛矿叠层电池进一步发展奠定了基础。相关研究成果发表在《Nature》<sup>9</sup>。

（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》<sup>10</sup>。

（汤匀 郭楷模）

## 新型黑色氧化铟光热催化剂实现 CO<sub>2</sub> 高效催化制甲醇

3月21日，加拿大多伦多大学研究人员开发出一种具有光热活性的新型纳米级黑色氧化铟（ $\text{HzIn}_2\text{O}_{3-x}(\text{OH})_y$ ）催化剂，实现 CO<sub>2</sub> 与 H<sub>2</sub> 高效制甲醇（CH<sub>3</sub>OH）。 $\text{HzIn}_2\text{O}_{3-x}(\text{OH})_y$  纳米晶体通过 CO 加氢反应在低氢气浓度（50%）和常压下串联实现了高效制甲醇，其中副产物 CO 用作甲醇合成的原位原料。结果表明，在低氢气浓度下，甲醇选择性达到 33.24%。该项工作克服了甲醇常规合成的热力学限制，在大气压条件下实现了高效制甲醇，为太阳能热化学转化 CO<sub>2</sub> 制甲醇奠定了理论基础。相关研究成果发表在《Nature Communications》<sup>11</sup>。

（汤匀）

<sup>9</sup> Brinkmann K O, Becker T, Zimmermann F, et al. Perovskite-organic tandem solar cells with indium oxide interconnect. *Nature*, 2022, DOI: 10.1038/s41586-022-04455-0

<sup>10</sup> Randi Azmi, Esmat Ugur, Akmaral Seitkhan, et al. Damp Heat-stable Perovskite Solar Cells with Tailored-dimensionality 2D/3D Heterojunctions. *Science*, 2022, DOI: 10.1126/science.abm5784

<sup>11</sup> Zeshu Zhang, Chengliang Mao, Débora Motta Meira, et al. New black indium oxide—tandem photothermal CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> methanol selective catalyst. *Nature Communications*, 2022, DOI: 10.1038/s41467-022-29222-7

# 低碳化多能融合

## 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）<sup>12</sup>发布《2021-2027年氢能战略研究与创新议程》<sup>13</sup>，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/控制工具和方法、高压电堆、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

<sup>12</sup> 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）。

<sup>13</sup> 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](https://www.clean-hydrogen.europa.eu/media/news/research-and-innovation-priorities-clean-hydrogen-2022-02-28_en)

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、现有天然气管道运输氢的技术经济性等。

(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<sub>2</sub> 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：大中型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。

（岳芳）

# 美国启动建设国家电网储能研发平台并实施电网现代化计划

4月，美国能源部（DOE）先后宣布两项资助计划，旨在启动建设国家电网储能研发平台，并启动23亿美元计划支持国家电网现代化转型。具体内容包括：

## 一、资助7500万美元建设国家电网储能研发平台

4月21日，美国能源部（DOE）和西北太平洋国家实验室（PNNL）正式启动建设国家电网储能研发平台（GSL）<sup>14</sup>，以促进清洁能源并网，建立更具弹性、安全性和灵活性的国家电网。该平台由DOE资助7500万美元，将于2023年投入试运行，并计划于2025年开始正式运行，包括以下3大功能：①在电网运行环境下对下一代储能材料、器件和原型系统进行独立测试和验证；②电网规模技术特性表征；③集成现有材料开发能力，并与企业和大学合作。

## 二、启动23亿美元计划推进电网现代化

4月27日，美国能源部（DOE）宣布启动23亿美元资助计划以推进电网现代化，即在未来5年每年资助近5亿美元以应对火灾、极端天气和其他气候危机导致

<sup>14</sup> DOE, PNNL Break Ground on Grid Storage Launchpad. <https://www.energy.gov/oe/articles/doe-pnnl-break-ground-grid-storage-launchpad>

的自然灾害<sup>15</sup>。该项新计划资金由《两党基础设施法案》拨款，并通过美国能源部新的“建设更好电网倡议”<sup>16</sup>进行管理，以实现到 2035 年 100% 清洁电力的目标。

该计划资助的技术类型包括：①电杆管理；②电力线路、设施、变电站等系统加固；③电气设备的地下化部署；④更换旧架空电缆和地下电缆；⑤对低垂电线、电缆进行重新布线；⑥植被和燃料负荷管理；⑦设备的抗老化技术；⑧耐火技术和防火系统；⑨监测和控制技术；⑩分布式能源的应用和建设，以提高电力系统在破坏性事件中的抵御能力，包括微电网和储能装置；⑪自适应保护技术；⑫先进建模技术。

(汤匀)

## 日本 NEDO 资助下一代动力电池及电机技术开发

4 月 19 日，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）宣布在“绿色创新基金”框架下，投入 1510 亿日元启动“下一代蓄电池和电机开发”项目<sup>17</sup>，旨在推进汽车产业向电气化发展，降低全产业链碳排放，实现碳中和目标。该项目的实施期为 2022-2030 年，目前已确定资助 3 个主题的 18 个课题，详情如下：

### 1、高性能电池及材料研发

该主题将开发大容量电池（如全固态电池）及其材料，能量密度提升至当前水平 2 倍以上，即超过 700-800 瓦时/升。同时，开发替代钴、石墨等的材料和低碳制造工艺。计划资助 10 个课题：①下一代全固态电池开发；②建立叠层软包全固态电池（ASSB）试产线生产高性能、低生命周期排放的电池；③通过高性能固态电解质和材料表面处理技术开发先进固态电池；④增加液态锂离子电池容量，开发无钴正极和高密度填充电池设计；⑤开发大容量液态锂离子电池以及无钴正极和高性能负极；⑥通过提高正极材料、负极材料和树脂的性能，开发大容量全树脂电池；⑦大容量材料成分研究/颗粒物性控制、表面处理技术、低排放制造工艺；⑧利用真空蒸镀技术开发全固态电池薄膜锂金属负极制造技术；⑨颗粒形状可控固体电解质大规模制造技术开发；⑩全固态电池超高离子导电聚合物材料开发。

### 2、电池回收利用技术开发

该主题将开发可回收 70% 锂、95% 镍、95% 以上钴的回收技术。计划资助 4 个课题：①开发干式、湿式结合的冶炼技术，以提高回收率并降低成本；②开发湿法解毒预处理及金属回收技术；③开发非焙烧材料分离回收及正极材料直接回收循环利

<sup>15</sup> Biden Administration Launches \$2.5 Billion Program to Strengthen and Modernize America's Power Grid.  
<https://www.energy.gov/articles/biden-administration-launches-25-billion-program-strengthen-and-modernize-americas-power>

<sup>16</sup> 建设更好电网倡议是 2022 年 1 月 22 日由美国能源部启动，以促进全国范围内大容量输电线路改造升级。

<sup>17</sup> グリーンイノベーション基金事業、「次世代蓄電池・次世代モーターの開発」に着手。

[https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_101535.html](https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101535.html)



用技术；④开发回收特定电极材料技术以减少生命周期碳排放。

### 3、高效、高功率密度电机系统开发

该主题将开发创新的材料、电机结构、逆变器、冷却技术，提高电机系统效率（系统平均效率达到 85%），减小尺寸和重量，提高功率（系统输出功率密度达到 3 千瓦/千克）。计划资助 4 个课题：①开发高效电机系统，包括开发轻量化高效超多极结构电机、高性能逆变器、高效轻质磁性材料等；②开发电机系统高效和高功率密度技术，包括轻量化技术、散热技术、控制技术等；③通过不使用磁铁的感应电机，实现更小尺寸、轻质、高输出密度和高效的牵引电机；④利用无镝磁铁和高性能齿轮钢，开发高输出、紧凑、轻量化的高效电动汽车车桥。

（岳芳）

## 英国政府资助颠覆性清洁技术开发

3 月 31 日，英国研究与创新署（UKRI）宣布投入 250 万英镑资助 10 个颠覆性清洁技术开发项目<sup>18</sup>，旨在利用化学工程、材料科学的前沿进展，推进实现向净零排放的可持续、低成本转型。此次资助重点关注农业、交通以及能源系统的绿色转型，项目详情如下：

1、**基于粒子稳定乳液和氢载体的新型混合氧化还原液流电池**。将开发可重复使用氢载体的氧化还原液流电池，无需使用有毒或昂贵组件。

2、**绿氨用作未来交通燃料**。将开发一种与氢混合的新型液氨，可直接用于现有发动机，显著提高发动机性能并降低排放。

3、**用于储能的等离子体电催化技术**。将探索利用等离子体电催化将 CO<sub>2</sub> 转化为碳氢化合物，目标是建成原型设备。

4、**直接空气捕集成负碳化学品**。将直接从空气中捕集 CO<sub>2</sub> 或氮，并与催化过程结合合成负碳排放甲醇。

5、**零碳制热和储热技术**。将探索通过铝、铁等金属粉末的燃烧和再生以提供零碳热量，并作为储能技术。

6、**无过渡金属和无负极的钾金属电池**。开发一种基于钾和硫等廉价材料的无负极电池，可减少碱金属的使用，提高电池能量密度。

7、**将 CO<sub>2</sub> 还原为化学品和燃料的零间隙双极膜电解槽**。将通过创新电极设计、低能耗设计等改进 CO<sub>2</sub> 电催化还原技术。

8、**海水电解可持续制氢技术**。将克服海水电解制氢的技术挑战，利用可再生能源电力生产氢气。

9、**可持续净零农业脱碳固氮技术**。开发一种使用超声波固氮的可持续新方法，

<sup>18</sup> Adventurous ideas to make net zero a reality. <https://www.ukri.org/news/adventurous-ideas-to-make-net-zero-a-reality/>

仅需水、空气和电力，可大幅降低肥料生产碳排放。

**10、利用离子热电技术回收低品位余热。**开发利用离子和带电荷原子的新型发电装置，以实现工业过程低品位热回收，减少碳排放。

(岳芳)

## 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  $\text{MgCl}_2\text{-NaCl-KCl-5 mol\% AlF}_3$  和  $\text{LiCl-KCl-5 mol\% AlF}_3$  为电解质，以典型的铸造合金 AC2A 和最常见压铸合金 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  $\text{Al}_2\text{Cu}$  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  $\text{MgCl}_2$ ，未来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  $65.4 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。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 °C) 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。

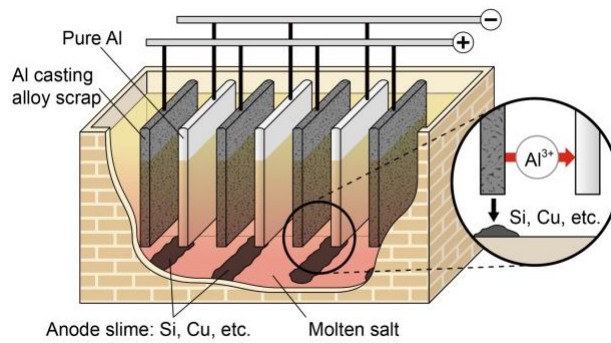


图 1 固态电解 (SSE) 过程的原理示意图

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》<sup>19</sup>。

(严烙意 汤匀)

## 碱金属离子助力强酸介质中 CO<sub>2</sub> 高效还原利用

通过电催化还原 CO<sub>2</sub> 生产化学品和燃料, 被认为是一种潜在的可再生能源储能与 CO<sub>2</sub> 循环利用的解决方案而受到广泛研究。然而二氧化碳与氢氧化物在接近中性或碱性的介质中容易发生反应生成碳酸盐, 而在酸性介质中, 常常发生析氢反应, 严重限制了二氧化碳电还原的效率。

瑞士洛桑联邦理工学院化学科学与工程研究所 Sophia Haussener 教授团队通过使用碱金属阳离子抑制氢析出, 可以在酸性介质中有效促进 CO<sub>2</sub> 电还原, 从而克服碳酸盐问题。在三种典型的催化剂中 (SnO<sub>2</sub>/C、Au/C 和 Cu/C), 实验首先探讨了在 pH=1.0 时, K<sup>+</sup> 在 CO<sub>2</sub> 还原中对 SnO<sub>2</sub>/C 催化剂的影响, 使用带有气体扩散电极 (GDE) 的三电极流通池作为电催化测试的工作电极, 对于 SnO<sub>2</sub>/C, 甲酸是 CO<sub>2</sub> 还原的主要产物, 最大法拉第效率和部分电流密度分别为 88% 和 314 mA cm<sup>-2</sup>, 这些性能指标可与从固态电解槽生产甲酸和在近中性溶液中形成甲酸的最佳水平相媲美。随后探讨了 CO<sub>2</sub> 电还原在酸性、近中性或碱性介质中, 在电流密度为 200 mA cm<sup>-2</sup> 时生产 1 mol CO 和乙烯的能耗。结果表明, 酸性介质的总能耗最低; 在碱性介质中, KOH 电解质的再生对能量的要求最高, 导致总能耗是酸性介质的 3 倍; 在近中性介质中, 欧姆和阳极能量损失高于酸性介质, 导致总能耗比酸性介质高出近 14%。为了了解碱金属 K<sup>+</sup> 如何在强酸性溶液下抑制 SnO<sub>2</sub>、Au 和 Cu 表面的析氢反应, 用旋转圆盘

<sup>19</sup> 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

电极 (RDE) 测量了多晶金在不同电解质溶液中的线性扫描伏安法 (LSV) 曲线, 结果表明碱金属阳离子因抑制了水合氢离子的迁移, 从而抑制了析氢反应的发生。为了探究碱金属阳离子如何抑制水合氢离子的还原, 研究人员基于多离子运移方程 (Poisson-Nernst-Planck, PNP) 模型进行模拟, 研究表明在不含  $K^+$  的介质中, 阴极产生的电场能阻止碱金属的移动, 并且水合氢离子在电场下的迁移促进了水合氢离子向外亥姆霍兹面 (OHP) 的迁移。随着电极电位在阴极发生变化, OHP 处的水合氢离子浓度没有显著变化, 这表明水合氢离子不会随着电流密度的增加而耗尽。在含  $K^+$  的介质中, 由于水合  $K^+$  离子在 OHP 处与水合氢离子竞争吸附, 因此在 OHP 处形成了化学惰性的水合  $K^+$  层, 并在较长的电位窗口中屏蔽了来自阴极的电场。因此, 水合氢离子的迁移被显著抑制。进一步研究表明  $K^+$  离子不仅通过阻碍水合氢离子在扩散层中的迁移来抑制析氢反应, 而且由于电场与吸附中间体偶极矩的相互作用, 促进了  $CO_2$  的电还原。通过 PNP 模型进一步探索了阳离子对阴极附近 pH 值的影响, 模拟结果表明, 惰性碱阳离子在高电流密度下, 碱阳离子对界面 pH 值的增加是必不可少的, 其 pH 值增加主要是由于碱金属阳离子有效屏蔽了电场, 而  $CO_2$  还原产生的  $OH^-$  离子进一步增加了局部 pH 值。最后结合先前的研究, 作者提出, 类似的效果可以抑制水合氢离子向阴极迁移, 从而不利于析氢反应。这种效应可用于在强酸性介质中进行有效的  $CO_2$  电还原。该工作进一步证明了电催化  $CO_2$  还原效率的提高可以通过简单调节电极附近的电场来控制, 有效促进了  $CO_2$  在强酸性介质中的电还原。

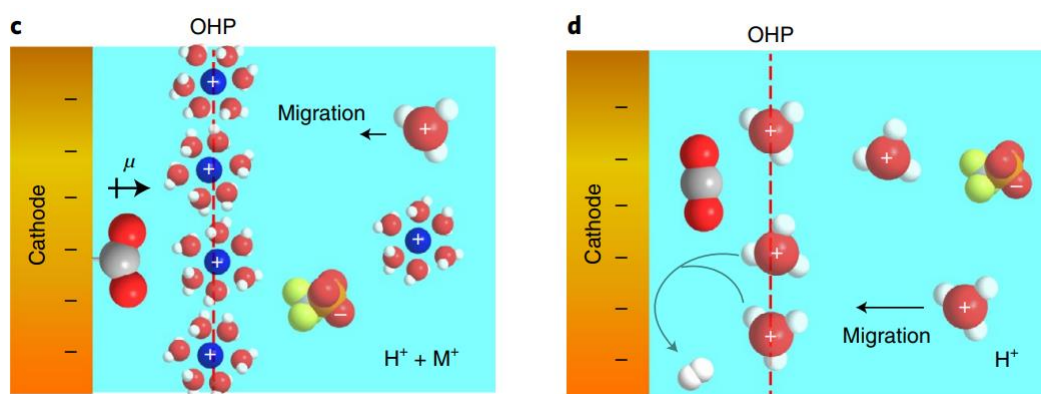


图 1 碱金属阳离子对电场分布的影响示意图

该项研究提出了一种碱金属阳离子抑制水合氢还原并促进  $CO_2$  还原的策略, 实现了在强酸性介质中高效  $CO_2$  电还原, 并证实这种策略对各种催化剂和碱金属阳离子是通用的, 首次揭示了碱金属阳离子诱导的电场调制模式是阳离子效应的决定因素。这项工作有效促进了  $CO_2$  在强酸性介质中的电还原, 为避免  $CO_2$  电还原过程中伴随的碳酸盐干扰问题提供了一种新的解决策略。相关研究成果发表在《*Nature Catalysis*》<sup>20</sup>。

(严烙意 汤匀)

<sup>20</sup> Jun Gu, Shuo Liu, Sophia Haussener, et al. Modulating electric field distribution by alkali cations for  $CO_2$

# 能源战略研究

## 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》<sup>21</sup>，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，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<sub>2</sub>；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

electroreduction in strongly acidic medium. *Nature Catalysis*, 2022, DOI: 10.1038/s41929-022-00761-y

<sup>21</sup> British Energy Security Strategy. <https://www.gov.uk/government/publications/british-energy-security-strategy>

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效率；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式，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；⑪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。

(汤匀)

## 英国牛津能源研究所分析俄乌冲突对中国能源市场的影响

英国牛津能源研究所 Michal Meidan 博士发表《俄乌冲突对中国能源市场的影响》文章<sup>22</sup>，指出自 2 月 24 日俄乌冲突后，全球能源市场陷入动荡。随着市场努力应对制裁的影响以及来自俄罗斯的石油供应减少的预期，石油和天然气价格正在上涨并表现出高波动性。中国深受俄罗斯大宗商品出口和全球市场的影响。此次冲突对中国的短期能源供应、未来一年的政策重点和长期能源政策都产生了深远的影响。短期内，中国将像其他能源进口国一样，遭受更高的能源成本和大宗商品价格。但从长期来看，中国可能会受益于以人民币计价的交易量增加（如果俄罗斯能源卖家选择依赖人民币的话），以及更多地使用中国的支付结算系统。随着俄罗斯在国际社会的孤立程度日益加深，有可能向中国提供价格低廉的天然气管道交易，并为中国企业在俄罗斯能源领域提供新的投资机会。文章关键要点如下：

### 一、俄罗斯长期以来一直向中国出口能源，中国原则上不会切断俄罗斯的供应

俄罗斯是中国第二大石油供应国和第三大天然气供应国（管道气和液化天然气）。2021 年，俄罗斯每天向中国输送 160 万桶原油，占中国石油供应量的 17%；以及 168 亿立方米天然气，占进口天然气的 15%。俄罗斯也是中国第二大煤炭供应国，占总进口量的 17% 左右。煤炭供应的大部分增长发生在 2021 年，当时中国对澳大利亚的供应实施了非正式禁令，国内产量增长也放缓。正如 2022 年 2 月 4 日北京冬奥会开

<sup>22</sup> The Russian invasion of Ukraine and China's energy markets.  
<https://www.oxfordenergy.org/publications/the-russian-invasion-of-ukraine-and-chinas-energy-markets/>



幕前发表的一份联合声明所强调的那样，中俄政治关系也很牢固。此外，俄罗斯石油公司和中国石油公司签署了一项为期 10 年的额外供应 1 亿吨石油协议，这实际上是对即将在 2023 年到期的现有协议的续签。俄罗斯天然气工业股份公司与中国石油公司签署了一项 100 亿立方米天然气供应协议，扩大了现有 380 亿立方米的西伯利亚项目。今年 2 月初签署的这两项协议，证明了两国在能源方面的联系正在加深。天然气供应合同以欧元计价，这是一个强烈的信号，表明两国都希望减少以美元计价的贸易。在俄乌冲突不到一个月后，鉴于欧盟、美国以及其他国家对俄罗斯实施的制裁，一个关键问题是，中国是否会增加从俄罗斯进行大宗商品的进口，而后者目前是其他买家都避之不及的。而据中方最新的官方回应来看，中国原则上不会切断与俄罗斯的能源供应关系。

## **二、通过中国的跨境银行间支付系统 (CIPS)，中俄交易可以转向人民币结算。但中国政府希望避免与对俄制裁的国际环境主动对抗，以免中国企业受到二级制裁**

尽管原则上中国不会切断与俄罗斯的供应关系，然而，现实情况要复杂得多，因为大多数交易仍以美元结算。据报道，SWIFT<sup>23</sup>支付系统的制裁导致中国银行限制了俄罗斯石油和煤炭购买。通过中国的 CIPS，交易可以转向人民币。2015 年，中国开始推行以人民币计价的 CIPS，以取代 SWIFT，但很少有石油市场参与者熟悉它，而且结算量也很小。CIPS 推广需要时间，目前还不清楚俄罗斯卖家愿意在多大程度上大量使用人民币结算。此外，尽管中国政府一直热衷于发展 CIPS 和以人民币计价的交易，但中国政府仍希望避免与当前对俄制裁的国际环境主动对抗，以免中国企业受到二级制裁。因此，中国政府希望保持进口，而不是让这些进口阻碍中国企业进入西方市场。据报道，与俄罗斯的一些交易已经用人民币结算。2021 年，人民币在中俄贸易结算中所占比例超过 17%。因此，俄罗斯政府可以利用其在中国的外汇储备为从该国进口或使用货币互换融资。中国人民银行与俄罗斯中央银行签订了 1500 亿元人民币对 17500 亿卢布的货币互换协议，为企业提供了继续交易保障。此外，截至 2021 年 6 月，俄罗斯外汇储备的 13%（770 亿美元）是中国资产。

## **三、俄罗斯对中国的石油供应将继续，但不太可能大幅增加**

即使短期内由于支付问题而减少，但俄方对中国的石油供应仍将保持。通过 ESPO<sup>24</sup>管道，每天有 60 万桶原油流入中国东北的炼油厂，这些原油都处于预先融资的长期贷款之下，因此不会受到 SWIFT 限制的影响。但是，通过俄罗斯远东地区的科济米诺港口装载的额外的 ESPO 运输量，由苏尔古特石油天然气公司通过现货招标出售给大型贸易公司则需要信用证。中国最大的国有炼油企业中石油和中石化通

<sup>23</sup> SWIFT 是国际结算系统，全称“环球同业银行金融电讯会”，总部在比利时，是国际银行间的国际合作组织。

<sup>24</sup> 东西伯利亚—太平洋运输管道，The Eastern Siberia - Pacific Ocean oil pipeline，简称 ESPO pipeline。俄罗斯为拓展亚太地区石油市场而建造的石油运输工程。

常不需要开设信用证，而信用良好的大型贸易公司和炼油厂可以使用电汇为交易融资，然后出售给通常需要信用证的独立炼油厂。但在这方面，中石化和中石油也将谨慎行事，不参与可能影响其全球交易的活动。

#### **四、中国买家将继续进口俄罗斯天然气，进口量在未来甚至可能进一步增加，中国投资者还将进一步增加对俄罗斯项目的投资**

2022年，通过西伯利亚项目的管道流量将再增加40亿立方米，达到140-150亿立方米。在液化天然气方面，中石油与亚马尔液化天然气签订了每年300万吨的协议（中石油也是其中的股东），并从2023年开始从Arctic LNG 2项目<sup>25</sup>中获得每年460万吨的新供应，中国公司也是该协议的股东。Kpler数据公司表示，目前，俄罗斯的大部分液化天然气来自亚马尔液化天然气，部分来自库页岛液化天然气。近期，由于金融制裁或俄罗斯限制供应的决定，任何有可能无法运往欧洲的液化天然气都可能运往亚洲，但这将增加运输和转运成本，此外现货价格已经处于创纪录高位。然而，今后更多的液化天然气可能会通过北海航线直接运往中国，特别是如果这些航线提供折扣的话，中国投资者还可以进一步增加对俄项目的投资。早在2014年，俄罗斯公司因制裁而无法获得西方的融资，中国公司就已经介入了。2013年，中石油购买了亚马尔液化天然气20%的股份；2015年，丝路基金购买了该项目9.9%的股份。2016年，中资银行还同意向诺瓦泰克提供120亿美元的贷款。诺瓦泰克公司正在开发的“Arctic LNG 2”项目也有中国投资者的参与。中海油和中石油各持有该项目10%的股权。此后，诺瓦泰克与上海能源集团和浙江能源等中国企业签订了供应合同。此时，如果西方公司退出，中国服务公司也可能从制裁中受益。

#### **五、短期内，所有大宗商品价格飙升将对中国经济造成相当大的压力；但长期来看，中国将从俄罗斯转向东方的需求中受益；此外，当前国际环境对俄的制裁将为中国政府提供重要参考经验**

尽管长期来看，中国将从俄罗斯转向东方的需求中受益，但短期内，所有大宗商品价格飙升将给中国经济带来巨大的下行压力。此外，与石油挂钩的天然气和液化天然气价格飙升，将对中国的进口商造成压力（鉴于国内价格管制，普通用户的压力会较小），而发电厂将寻求在可能的情况下重新使用煤炭。鉴于中国对澳大利亚煤炭的非正式禁令以及印尼的煤炭出口禁令，国内煤炭产量可能会增加，这将使中国的环保承诺面临挑战，并在短期供应安全和可持续发展之间进行艰难的权衡。而在地缘政治方面，尽管中国在战略和外交上与俄罗斯保持密切联系，但它仍希望保障自己与全球市场的经济互动。因此，中国希望避免成为二级制裁的目标。俄乌冲突后实施的制裁，将为中国提供关于制裁机制有效性的宝贵见解，以及中国如何保护自己免受美国或西方可能寻求实施的任何潜在制裁的经验。（刘俊 郭楷模）

<sup>25</sup> Arctic LNG 2 是诺瓦泰克公司（俄罗斯第二大天然气生产商）的另一个液化天然气生产相关项目。

## IEA 发布《直接空气碳捕集》分析报告

4月20日，国际能源署（IEA）发布《直接空气碳捕集 2022》报告<sup>26</sup>，指出直接空气碳捕集（DAC）技术将在净零排放路径中发挥重要作用，可直接从空气中捕集 CO<sub>2</sub> 并将其永久封存，从而提供一种平衡的碳排放方法，此外空气中捕集的 CO<sub>2</sub> 还可作为一种重要的气候中性碳源。在 IEA 的 2050 年净零排放情景中，到 2030 年需捕集超过 8500 万吨的 CO<sub>2</sub>，到 2050 年需捕集 9.8 亿吨 CO<sub>2</sub>。目前加拿大、美国、欧洲等国家已有 18 个 DAC 基础设施。报告深入探讨了 DAC 技术的未来增长态势，以及在净零排放目标下面临的机遇和挑战。具体内容如下：

### 1、从空气中捕集 CO<sub>2</sub> 有助于实现净零排放目标

**(1) DAC 是碳去除的关键技术之一。**碳去除不是碳减排的替代方案，是“净”零排放综合战略的一部分，目的是碳排放量与减排量最终达到平衡。碳去除实施范围较广，如基于自然解决方案的植树造林和基于技术解决方案的碳捕集与封存技术。可以地质封存 CO<sub>2</sub> 的 DAC 技术具有几点优势，包括占用水土空间较小、在封存永久性和脱碳量方面具有高度保障性等。

**(2) DAC 的贡献不仅仅限于碳去除。**空气中捕集的 CO<sub>2</sub> 可以用作一种气候中性原料来生产一系列产品，包括饮料、化学品和合成燃料。为实现 2050 年净零排放目标，到 2050 年将有 3.5 亿吨空气中捕集的 CO<sub>2</sub> 被用于生产合成燃料，其中包括难以实现电气化的航空业。

### 2、DAC 技术的未来发展势头强劲

**(1) 未来 DAC 工厂规模有望进一步扩张。**目前，加拿大、美国和欧洲共有 18 个 DAC 设施运行。其中最大的 DAC 工厂于 2021 年 9 月在冰岛投产，能够每年捕集 4000 吨 CO<sub>2</sub> 通过矿化进行封存。目前全球第一座碳捕集量达到 100 万吨/年的大型 DAC 工厂正在进行进一步开发，并预计将于 2025 年在美国投入运营。

**(2) 政府和行业都在支持 DAC 技术推广。**自 2020 年初以来，各国政府承诺将提供近 40 亿美元资金用于 DAC 技术的开发和部署。其中美国计划投资 35 亿美元用于开发 4 个 DAC 中心。同时澳大利亚、加拿大、日本、英国和其他地方也将进行资金投入。私营部门的投资也在增长：自 2020 年初以来，全球领先的 DAC 公司已筹集了约 1.25 亿美元的资金，并且微软、联合航空公司等都在该领域投资了早期相关项目。

### 3、当前 DAC 技术应用成本较高，但未来有望下降

**(1) 从空气中捕集 CO<sub>2</sub> 是最昂贵的碳捕集技术之一。**大气中的 CO<sub>2</sub> 比发电厂或水泥厂的烟气中 CO<sub>2</sub> 稀薄得多，这使得 DAC 的能源需求和成本相对更高。DAC 技术未来成本估算还不确定，主要是目前该技术还处在早期开发阶段，但在已建成

<sup>26</sup> Direct Air Capture 2022. <https://www.iea.org/reports/direct-air-capture-2022>

的大型电厂中应用 DAC 技术的成本预计为 125-335 美元/吨 CO<sub>2</sub>。

**(2)通过技术创新和项目部署示范,预计未来捕集成本可降至 100 美元/吨 CO<sub>2</sub> 以下。** DAC 成本取决于捕集技术(如基于固体或液体)、能源成本(如热能和电力价格)、具体的工厂配置和财务预算。在可再生能源发展潜力较大并使用现有最好的发电和供热技术的地区,到 2030 年 DAC 成本可能降至 100 美元/吨 CO<sub>2</sub> 以下。中东、中国、欧洲、北美将会是部署 DAC 最低成本的区域。然而成本下降很大程度上还取决于公共部门和大众对该技术创新和产业示范的支持。

#### **4、未来 DAC 整个价值链都需要加快创新**

**(1) DAC 技术需要消耗大量能量。**目前两种较为领先的 DAC 技术,固体 DAC (S-DAC)和液体 DAC (L-DAC)正常运行需要使用热能和电力。S-DAC 的低温热需求意味着可以由可再生能源(包括热泵和地热)来提供热量;而 L-DAC 的高温热需求(高于 900°C)依赖于天然气发电供能,在该过程中天然气发电释放的 CO<sub>2</sub> 将全部被捕集。未来用于高温工业热的可再生能源创新技术将最大限度地提高 L-DAC 工厂的碳去除潜力。

**(2) DAC 仍需在在不同条件下进行测试示范。**DAC 的一个主要优势是其选址的灵活性: DAC 工厂可以位于任何具有低碳能源和 CO<sub>2</sub> 封存资源的地区,或者位于具有或计划部署 CO<sub>2</sub> 运输和封存基础设施的附近。然而,这种选址的灵活性也存在局限。迄今为止, DAC 工厂已在欧洲和北美成功运行,但未来仍需在气候极度干燥或潮湿和空气污染较为严重的地区进行进一步测试示范。

#### **5、DAC 可靠性证据将对未来投资提供支撑**

**(1) DAC 的商业模型与高质量碳去除服务和 CO<sub>2</sub> 利用机会相关。**DAC 公司可以向个人和公司提供商业服务。虽然采用 CO<sub>2</sub> 封存的 DAC 是平衡排放的最昂贵选择之一,但仍吸引了寻求高质量碳去除技术的公司的兴趣,这些公司提供了额外、持久和可测量的碳去除工具。

**(2) DAC 技术需要开发国际认证的核算方法。**基于 DAC 的生命周期评估(LCA)开发国际认证的方法和估算框架,以及其他碳去除方法,对于将其纳入受监管的碳市场和国家清单至关重要。值得注意的是,最新的 IPCC 国家温室气体清单指南没有 DAC 的核算方法,这意味着与 DAC 相关的碳去除不能计入《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)下的国际减排目标。目前欧洲和美国已经开始努力开发碳去除认证,包括基于 DAC 的认证。这些努力应与建立国际一致方法的目标相协调。

#### **6、部署 DAC 的六大优先事项**

**(1)优先开展大规模 DAC 应用。**短期示范和部署需要有针对性的政策和方案。各国政府应确保计划中的项目能够顺利运行,并为 DAC 技术和供应链提供必要的支持。

**(2) 促进 DAC 价值链的创新。**创新对以下方面至关重要：降低制造和运营成本，以及 DAC 工厂对能源的需求；支持为高温热提供低排放能源；开发和降低 CO<sub>2</sub> 利用（包括合成燃料）的成本。

**(3) 确定合适场址并进行 CO<sub>2</sub> 封存。**DAC 从大气中大量捕集 CO<sub>2</sub> 的潜力取决于选择合适的地质场址对 CO<sub>2</sub> 进行封存。尽管某些地区封存潜力巨大，但开发这些地区需要长达数十年，这将会阻碍 DAC 在该地区的应用规模扩大。

**(4) 制定国际认证的 DAC 核算方法。**DAC 需要透明和标准化的国际认证核算方法，以促进其在碳交易市场和 IPCC 温室气体清单报告中的广泛应用。

**(5) 评估 DAC 和其他碳去除方法在净零排放战略中的作用。**评估 DAC 和其他碳去除方法在净零排放战略中的预期作用有助于更好确定国家和地区的技术、政策和市场需求。例如，英国的净零排放战略明确到 2050 年需要约 8000 万吨 CO<sub>2</sub>/年的碳去除量。

**(6) 建立国际合作以加快部署。**通过国际组织和倡议进行合作，如国际能源署、清洁能源部长会议、创新使命和温室气体研发技术合作计划（GHG TCP/IEA GHG）等，可以在促进知识共享、减少研究工作重复、协调 LCA 方法和 DAC 技术核算方法等方面发挥重要作用。

（李林聪 汤匀）

## 欧盟联合研究中心提出区块链应用于能源转型的建议

3 月 16 日，欧盟联合研究中心（JRC）发布《能源转型的区块链解决方案》报告<sup>27</sup>，总结近两年的实践案例，提出了利用区块链技术推进能源转型的建议。关键点如下：

### 一、区块链应用于能源领域的主要优势

**1、去中介化。**目前世界上大部分的金融、能源和其他业务都是由银行和市场运营商等中介机构实现的。区块链消除了对此类第三方监督和验证信息/价值交换的需要。

**2、透明度和可验证性。**记录在区块链上的交易能够被独立检查。非法交易将被检测到并被排除在区块链之外，使相关各方无法执行恶意操作。

**3、不变性和安全性。**即使许多节点同时受到攻击，也几乎不可能修改或篡改记录在区块链上的信息。

### 二、应用区块链推进能源转型的建议

**1、安全、隐私和身份。**①定义区块链应用程序确保网络安全和电力供应安全的

<sup>27</sup> Blockchain solutions for the energy transition.  
[https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC128651/blockchain\\_solutions\\_for\\_the\\_energy\\_transition\\_1.pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC128651/blockchain_solutions_for_the_energy_transition_1.pdf)

要求；②进一步开发保障数据安全和完整性的机制；③数据应该受到“设计”的保护，并且只在需要激活同意的区块链服务时共享；④数据保护和网络安全计划之间需要有效的整合策略；⑤从网络安全的角度评估现代电信网络和互联网的弹性和安全性，以评估能源数字化的影响；⑥网络安全认证计划应越来越多地涵盖区块链核心基础设施领域、最终用户应用程序和设备领域（例如物联网）；⑦将强大的身份验证方案嵌入到区块链解决方案设计中。

**2、数据访问、责任和市场。**①设计具有商定的数据访问和使用规则的强大能源数据中心/平台；②调整市场规则以考虑新的“自动代理”参与者的出现；③明确界定和分配电力供应和交付的责任。

**3、公平和接受。**①将公平作为设计更加分散的能源市场的指导原则，不歧视任何参与者，无论是个人还是企业；②进一步鼓励消费者参与并激励投资区块链项目；③平衡消费者赋权和保护。

**4、可扩展性和可持续性。**①欧盟和成员国立法者应继续为数字应用制定一个全面的支持创新的法律框架；②应进一步采用监管试验；③分析正在测试/部署的区块链解决方案的能源足迹时，始终伴随对可扩展性和性能要求的研究。

**5、互操作性和标准。**①欧盟和成员国利益相关方应继续参与国际标准组织的工作；②促进支持区块链的设备（包括仪表、传感器和电器）的合适标准和互操作性。

（岳芳）



## 《洁净能源科技动态监测快报》

编辑出版：中国科学院武汉文献情报中心

联系地址：武汉市武昌区小洪山西 25 号 (430071)

联系人：汤匀 陈伟

联系电话：(027) 87199180

电子邮件：[energy@whlib.ac.cn](mailto:energy@whlib.ac.cn)