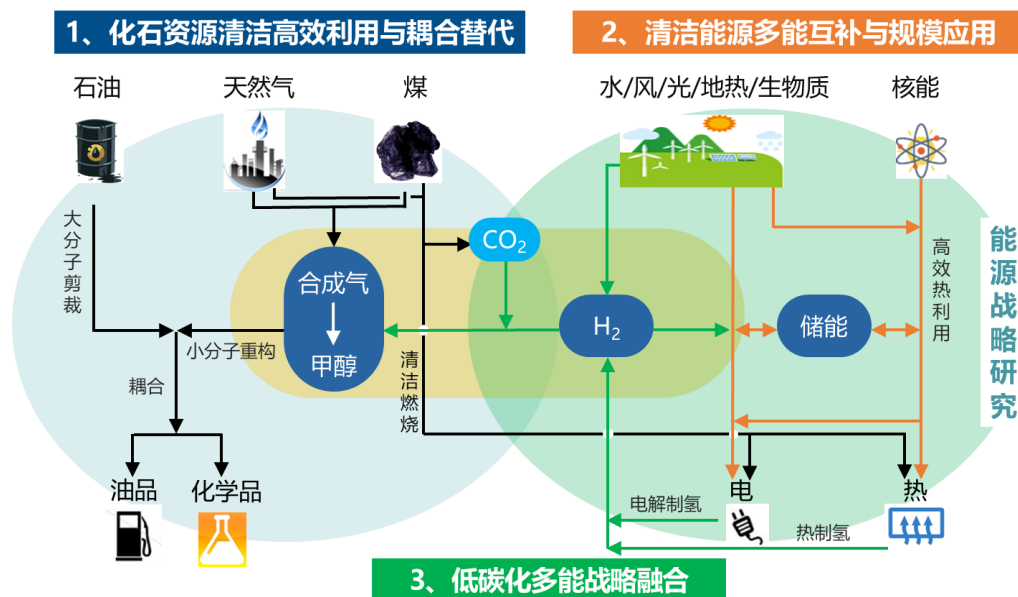




# 洁净能源科技动态监测快报

2021 年第 09 期（总第 23 期）



## 本期看点

- 美科学院提出美国能源系统脱碳五大关键行动建议
- 英国投入 1.7 亿英镑开发下一代先进模块化高温气冷反应堆
- 欧盟能源数字化转型行动计划提出五项主要行动
- DOE 启动长时储能攻关计划实现储能成本十年降低 90% 目标
- 英国发布国家氢能战略绘制 2030 氢经济路线图
- BP: 一次能源需求快速下降 可再生能源持续增长

# 目 录

2021 年第 09 期 (总第 23 期)

## ◆ 化石资源清洁高效利用

- DOE 资助开发煤基和替代资源生产稀土和关键矿物加工工艺 ..... 2
- 日本批准大型商用液化天然气电厂混氢燃烧示范项目 ..... 3
- NETL 评估稀土元素供应链研究重要进展 ..... 4

## ◆ 清洁能源多能互补

- 美科学院提出美国能源系统脱碳五大关键行动建议 ..... 5
- 英国投入 1.7 亿英镑开发下一代先进模块化高温气冷反应堆 ..... 6
- DOE 资助 3400 万美元支持先进生物能源转化技术研发 ..... 7
- DOE 资助 2700 万美元加速推进波浪能技术研发和市场化 ..... 8
- 新钝化工艺助力倒置结构钙钛矿电池创下 22.9%效率纪录 ..... 8

## ◆ 低碳化多能融合

- 欧盟能源数字化转型行动计划提出五项主要行动 ..... 10
- DOE 启动长时储能攻关计划实现储能成本十年降低 90%目标 ..... 12
- 英国发布国家氢能战略绘制 2030 氢经济路线图 ..... 12
- 日本 NEDO 资助大规模示范项目打造氢能产业供应链 ..... 14
- 日本 NEDO 推进燃料电池创新研发 ..... 16
- 利用 MoS<sub>2</sub> 分子工程基面成功开发超高性能水系锌离子电池 ..... 17
- 阳极氧化钛催化剂实现 CO<sub>2</sub> 高效串联电还原制甲醇 ..... 18

## ◆ 能源战略研究

- BP: 一次能源需求快速下降 可再生能源持续增长 ..... 20
- IEA: 清洁能源转型需注重新兴安全问题 ..... 23

## 本期概要

美国国家科学、工程和医学研究院 (NASEM) 发布《加速美国能源系统脱碳》报告, 呼吁能源系统领域各利益相关方应该加大合作力度推进能源技术创新和颠覆性技术突破, 解决能源系统低碳转型面临的一系列挑战, 并针对未来十年 (2021-2030) 提出了五大关键行动建议, 包括: (1) 提升能效和生产率; (2) 提升电气化水平; (3) 提供零碳电力; (4) 建造新型基础设施和改造现有能源基础设施; (5) 丰富减排创新工具箱。

英国商业、能源和工业战略部 (BEIS) 宣布计划投入 1.7 亿英镑支持英国首台先进模块化高温气冷反应堆 (AMR) 示范装置建造: 此次资助建设的 AMR 示范装置将于 2030 年代早期交付, 除了提供脱碳电力, 还将用于生产氢气。此外, 由于高温气冷反应堆能产生极高温过程热, 计划于 2040 年代将其用于工业和区域供暖, 显著减少水泥、造纸、玻璃和化工生产的碳排放。

欧盟委员会启动能源部门数字化行动计划, 旨在推动欧洲能源生产、消费、基础设施全系统数字化转型, 建立一个电气化、更高效、更灵活、更智能的现代能源体系, 实施五大行动包括: (1) 开发欧洲能源数据共享的基础设施; (2) 开发用户友好型数据访问和智能计量应用工具; (3) 能源技术与数字技术融合创新; (4) 强化能源部门网络安全; (5) 开发信息通信部门碳中和解决方案。

美国能源部 (DOE) 宣布发起“长时储能攻关”计划, 主要目标是在未来十年内, 将数百吉瓦的清洁能源引入电网, 将储能时间超过 10 小时的电网规模储能系统成本降低 90%: “长时储能攻关”计划将考虑所有类型的储能技术, 包括电化学储能、机械储能、储热、化学储能, 以及可满足电网灵活性所需的持续时间和成本目标的任何储能技术组合。美国能源部 2022 财年预算中将提供 11.6 亿美元, 以解决储能发展的技术挑战和成本障碍, 建立一个美国本土储能制造业, 帮助实现气候和经济竞争力目标。

英国商业、能源和工业战略部 (BEIS) 发布《英国氢能战略》, 提出了到 2030 年英国氢能经济发展的愿景目标及路线图: (1) 2020 年代早期 (2022-2024 年), 发展小规模电解制氢, 构建氢能网络, 开展社区供热试验。(2) 2020 年代中期 (2025-2027 年), 至少在一个地区部署配备 CCUS 的大规模低碳制氢设施, 建立小规模集群的专用氢能管道网络, 发展氢能工业应用。(3) 2020 年代后期 (2028-2030 年), 部署多个配备 CCUS 的大型制氢项目和大型电解制氢项目, 建立大规模集群网络和大规模储氢设施, 在工业领域实现氢能的广泛应用。(4) 2030 年代中期以后, 进一步扩大低碳制氢规模, 建立区域或国家氢能网络, 氢能全面应用于工业终端用户。

英国石油公司 (BP) 发布《世界能源统计年鉴 2021》报告指出, 2020 年全球一次能源消费下降了 4.5%, 为 1945 年以来最大降幅。尽管能源需求总体下降, 但风能、太阳能和水力发电都有所增长: 全球石油消费下降 9.3%, 为 2011 年以来最低水平; 天然气消费下降 2.3%, 但占一次能源份额 (24.7%) 持续上升; 煤炭消费下降 5.2%; 非水可再生能源消费增长 9.7%, 低于近十年平均值; 核电消费下降 4.1%。2020 年能源消费的碳排放量下降了 6.3%, 为二战以来最大降幅, 降至 2011 年以来最低水平。

# 化石资源清洁高效利用

## DOE 资助开发煤基和替代资源生产稀土和关键矿物加工工艺

8月23日，美国能源部化石能源和碳管理办公室（FECM）宣布资助100万美元，用于开发工业和制造领域稀土元素和关键矿物的先进加工工艺<sup>1</sup>，以构建可持续的关键矿物供应链。关键矿物（CM）是制造高科技设备不可缺少的原材料，特别是用于国防领域和绿色增长相关产业技术，而美国目前关键矿物进口量超过50%，国内生产严重缺乏。DOE特别提到，主要用于制造手机、LED屏幕、太阳能电池板、能源基础设施、国防和其他必要高科技产品的稀土元素，目前80%从中国进口，这对供应链完整性和美国国家安全带来了巨大风险，需加强构建国内可持续的关键矿物供应链以实现经济、能源和环境可持续发展。具体项目内容如下：

### 1、研发利用煤基和替代资源生产稀土金属并产关键矿物的先进工艺

**（1）开发利用磷酸盐污泥原料规模生产高纯度稀土金属技术与集成工艺（DOE 资助金额：15 万美元；承担机构匹配金额：3.7 万美元）**

项目由佛罗里达理工大学牵头，联合佛罗里达国际大学和西北太平洋国家实验室将制定一项综合技术研究计划，基于混合稀土氧化物回收、分离和提纯的先进工艺，实现利用磷酸盐污泥原料规模生产稀土金属。工业合作伙伴包括作为原材料供应商的 Mosaic 公司和稀土产品终端用户的美国稀土公司。

**（2）开发稀土金属和关键矿物生产和精炼的多来源集成加工工艺（DOE 资助金额：15 万美元；承担机构匹配金额：6.1 万美元）**

项目由肯塔基大学牵头，联合学术界、工业界和国家实验室合作伙伴将开发单独分离的高纯度金属氧化物/盐生产和还原先进工艺，实现环境影响最小化，生产成本和运营成本较传统工艺减少20%以上，同时提供至少5种纯度大于99.5%的稀土元素和5种纯度大于90%的关键矿物。

**（3）开发可调谐电化学制高纯度稀土金属和关键矿物的工艺路线（DOE 资助金额：15 万美元；承担机构匹配金额：3.75 万美元）**

项目由北达科他大学能源研究中心牵头，联合学术界、工业界合作伙伴将制定一项技术研究计划，以定义和评估一种可调谐电化学工艺路线的技术经济可行性，这一工艺路线利用威利斯顿盆地的褐煤及其燃烧副产物，生产单独分离的高纯度稀土金属和关键矿物。

<sup>1</sup> DOE Invests Nearly \$1 Million for Projects to Create A Sustainable Supply Chain of Critical Minerals.  
<https://www.energy.gov/fe/articles/doe-invests-nearly-1-million-projects-create-sustainable-supply-chain-critical-minerals>



**(4) 开发从煤基及相关资源中提取、分离和生产高纯度稀土元素及关键矿物的工艺过程**（DOE 资助金额：15 万美元；承担机构匹配金额：3.75 万美元）

项目由犹他大学牵头，联合工业界合作伙伴旨在对废煤渣进行再利用制稀土元素和关键矿物，以重建美国的制造能力，促进经济增长，并减少整体环境碳足迹。研究人员和工业合作伙伴将确定目标稀土元素和关键矿物的市场、年产量、需求和中间/终端应用产品，并基于市场应用确定一组有针对性的关键材料作为对象，开发先进的提纯、分离和还原工艺。

**(5) 开发从煤基及相关资源中提取、分离和生产高纯度稀土元素及关键矿物的工艺过程**（DOE 资助金额：15 万美元；承担机构匹配金额：3.75 万美元）

项目由西弗吉尼亚大学研究中心牵头，联合学术界、工业界合作伙伴开发从酸性矿井废水中提取稀土元素/关键矿物精矿工艺，将提取出的精矿加工成适合国内制造商需求的高纯度金属元素。

## 2、开发利用煤基和替代资源生产关键矿物的工艺过程（不包括稀土元素）

**(1) 进行工业生产锗和镓精矿工艺开发**（DOE 资助金额：15 万美元；承担机构匹配金额：4 万美元）

项目由微束技术公司牵头，联合工业界、学术界合作伙伴开发从混合稀土精矿中提取、分离、回收和提纯锗（Ge）和镓（Ga）的工艺流程。这一流程将集成到北达科他大学的稀土开采流程中，设计用来联产 Ge 和 Ga 精矿。

（汤匀）

## 日本批准大型商用液化天然气电厂混氢燃烧示范项目

8 月 26 日，日本东京电力公司（JERA）宣布在日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）资助下，实施大规模液化天然气（LNG）电厂掺混 30% 氢燃料的燃烧示范项目<sup>2</sup>。这是日本首次在大型商用 LNG 电厂中使用大量氢气作为燃料。

JERA 计划通过使用氢和氨作为燃料，开发在发电过程中无二氧化碳排放的“零排放火电”，以减少化石燃料的使用。具体而言，JERA 将通过逐步提高燃料中氢和氨的含量来减少碳排放。由于 JERA 希望在现有的 LNG 发电厂实现氢气的应用，该项目将把部分 LNG 燃料转换为氢气，并评估由此产生的运行和环境影响。JERA 将在项目初期进行可行性研究，并基于该结果在 LNG 电厂中建设氢气供应设施和其他相关设施，在燃气轮机中安装能够燃烧氢气和 LNG 混合气体的燃烧室，实现到 2025 年使用氢气体积含量达 30% 的混合燃料。该项目由 NEDO 的“绿色创新基金”资助，将于 2021 年 10 月启动，2025 年 3 月结束。

（岳芳）

<sup>2</sup> JERA Starts Hydrogen Utilization Demonstration Project at an LNG Thermal Power Plant in Japan. [https://www.jera.co.jp/english/information/20210826\\_748](https://www.jera.co.jp/english/information/20210826_748)

## NETL 评估稀土元素供应链研究重要进展

8月31日，美国能源部国家能源技术实验室（NETL）发布在线文章<sup>3</sup>，评估总结了其在稀土元素供应链研究中的重要进展。稀土元素对能源、国防、医疗等领域的制造业至关重要，但美国的稀土元素资源较为稀缺。因此，NETL 致力于利用国内的含碳矿石、酸性矿山废水等非常规来源开发稀土元素供应链，已在传感器和地球科学技术应用方面取得了一些关键成果。

NETL 稀土元素等关键矿物研究工作旨在实现如下目标：①开发有前景的非常规关键矿物储层定位技术；②开发和测试从含碳矿石来源提取和浓缩关键矿物的技术，重点关注解决传统能源生产环境影响或减少废物的有益路线；③通过建模和分析进行快速工艺优化和放大，确定工艺瓶颈并指导商业化工作，增加商业化潜力。针对上述目标，NETL 获得了如下成果：

（1）开发了一种领先的“实时传感器”，可将样品中稀土元素含量的分析时间从几小时缩短到几分钟甚至几秒钟。基于该技术完成了相关设备的成功示范和商业化，能够对稀土元素勘探进行实时过程控制。

（2）开发了一种非常规稀土和关键矿物模型和工具，改进了对含有高丰度稀土元素的国内含碳矿石资源位置的预测和识别。

（3）开发了低成本、环境友好的稀土元素提取路线。几乎所有传统稀土元素提取工艺都使用刺激性化学品，并且经常在高温下运行。为了确保稀土元素提取工作的长期可持续性，NETL 研究人员开发了多种低成本、环境友好的提取技术路线，能够在常温常压或接近上述条件下运行，且使用环境友好的化学品或根本不使用化学品。

（4）研发了稀土元素提取工艺的筛选技术，并针对其开发的提取技术路线完成了两项技术-经济性的评估，为工艺开发提供信息支持。

（岳芳）

---

<sup>3</sup> NETL Achieves Technological Milestones in Rare Earth Element Supply Chain Research.  
<https://www.netl.doe.gov/node/11129>

# 清洁能源多能互补

## 美科学院提出美国能源系统脱碳五大关键行动建议

近期，美国国家科学、工程和医学研究院（NASEM）发布了《加速美国能源系统脱碳》报告<sup>4</sup>指出，实现碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，涉及社会生活的方方面面，而能源系统的低碳转型则是上述变革的关键组成。因此加速推进美国能源系统的低碳转型，对美国实现 2050 年碳中和愿景意义重大。报告呼吁能源领域各利益相关方应该加大合作力度，推进能源技术创新和颠覆性技术突破，解决能源系统低碳转型面临的一系列挑战，并针对未来十年（2021-2030）提出了五大关键行动建议，具体内容如下：

### 行动 1——提升能效和生产率

就近期（2021-2030）而言，提高能源和材料使用效率是减少能源需求和相关排放的最具成本效益的方法之一。这一方法包括采用可以提升车辆燃油效率新技术；提高建筑围护结构的隔热效率，并在建筑物内安装高能效的电器和设备；提高制造业和其他工业生产流程能源效率，以及发电站的能源生产率；以及通过更广泛的能源系统集成来提高系统效率。

### 行动 2——提升电气化水平

在几乎所有深度脱碳方案中，提升能源服务电气化水平（如提升建筑、交通和工业用能电气化水平）与促进发电行业脱碳已成为一个核心因素。就近期而言，深度电气化潜力最大的领域是建筑和交通部门。在建筑中，采用热泵替代传统的化石燃料燃烧系统用于建筑空间的供热制冷，有助于降低碳排放。就轻型汽车领域而言，电动汽车预计将在未来十年达到与内燃机汽车相当的价格，再加上相对低碳的电力，这有助于减少排放。工业过程存在一些潜在的电气化机遇，工业电气化技术正处于发展的早期阶段，预计能够发挥更大作用的时间节点在 2030 年之后。随着电气化技术不断成熟，成本持续下降，其将得到大规模应用部署。

### 行动 3——提供零碳电力

电力部门在脱碳方面发挥着关键作用，不仅需要减少电力生产和使用的温室气体排放，还可以支持其他部门的脱碳。自 2005 年以来，零碳电力（包括核电、水电、风电、太阳能发电、生物质发电和地热发电等）的份额已经从 28% 增加到 37%。增长主要驱动力来自风能和太阳能，主要原因是成本降低和政策激励。基于电力平准

<sup>4</sup> Accelerating Decarbonization of the U.S. Energy System  
<https://www.nap.edu/catalog/25932/accelerating-decarbonization-of-the-us-energy-system>

化成本、资本成本和燃料交付价格的地区差异，风能或太阳能现在是美国 34% 的郡最便宜的发电来源。2021-2030 年将是建设电力输配基础设施的关键十年，这些电力基础设施需要适应商业成熟的零碳电力资源的接入。

#### **行动 4——建造新型基础设施和改造现有能源基础设施**

未来十年，必须开始建立有利于低碳转型的基础设施。其中包括电动汽车充电网络建设，以实现汽车全面电气化转型；建造长距离高压输电线路，将偏远的电力资源传输到人口密集中心，因为高质量的可再生能源往往不在主要用能负荷中心附近；对配电网进行升级，以实现供暖和交通的电气化；可再生燃料（如氢气）运输和储存基础设施。国家二氧化碳管道系统的规划和选址应立即开始，因为前五年的发展将决定二氧化碳基础设施（包括运输管道和储存地点）是否需要在 2030 年或 2040 年中期得到大规模建设。

#### **行动 5——丰富减排创新工具箱**

对于一些排放源，尤其是那些难以减排的行业，低碳替代品仍处于试点阶段或仍处于探索阶段。对于这些部门来说，近期的减排机会仅限于提高能源效率、材料利用效率、需求管理和其他减少这些部门排放强度的工具。但随着时间推移上述工具减排潜力将会消耗殆尽，因此需要进一步丰富减排工具箱。将新能源技术原型推向市场可能需要 20-70 年的时间，而推动新兴行业的成熟和成本下降则又需要 10 年或更长时间。考虑到上述时间问题，在未来 10 年，需要大力推进新兴减排技术研发和市场化，以扩大新兴低碳能源技术部署规模。

（王珍 郭楷模）

## **英国投入 1.7 亿英镑开发下一代先进模块化高温气冷反应堆**

7 月 29 日，英国商业、能源和工业战略部（BEIS）宣布将在“先进核能基金”<sup>5</sup>框架下投入 1.7 亿英镑<sup>6</sup>，开发英国首台先进模块化反应堆（AMR）示范装置，旨在探索 AMR 商业示范的最有前景方式，助力英国实现脱碳目标。

AMR 比传统核电站更小、更灵活，建造成本也大幅降低。由于使用新型冷却剂和燃料，比当前运行的传统轻水堆（LWR）具有更高温度输出和更小单位功率输出，其输出的高温过程热有助于制氢和工业脱碳。当前国际上提出了 6 种可进一步研发的 AMR 技术，包括：气冷快堆（GFR）、铅冷快堆（LFR）、熔盐堆（MSR）、超临界水冷堆（SCWR）、钠冷快堆（SFR）、高温气冷堆（HTGR）。英国政府考虑基于 HTGR 技术开发 AMR 示范装置，BEIS 当日宣布就此次资助征求公众意见。同

<sup>5</sup> “先进核能基金”由英国“绿色工业革命十点计划”（Ten Point Plan）提出，总额为 3.85 亿英镑，目的是开发下一代先进核能技术。

<sup>6</sup> Government progresses demonstration of next generation nuclear reactor.

<https://www.gov.uk/government/news/government-progresses-demonstration-of-next-generation-nuclear-reactor>



时，英国政府还将继续支持各类核技术开发，宣布将在普雷斯顿试点由国家核实验室建立的核能创新中心，汇聚工业界和学术界力量，共同开展有助于先进核技术开发和商业化的项目。

此次资助建设的 AMR 示范装置将于 2030 年代早期交付，除了提供脱碳电力，还将用于生产氢气。此外，由于 HTGR 能产生极高温过程热，计划于 2040 年代将其用于工业和区域供暖，显著减少水泥、造纸、玻璃和化工生产的碳排放。

（岳芳）

## DOE 资助 3400 万美元支持先进生物能源转化技术研发

8 月 3 日，美国能源部（DOE）宣布资助 3400 万美元支持废弃物和藻类生物能源转化技术研发<sup>7</sup>，以生产生物燃料和生物基产品。这些生物资源来自于城市固体废弃物和藻类，并转化为低碳燃料，将有效促进航空和海运等难脱碳部门转型。此外，生物能源是石油的低碳替代品，可用于生产塑料、化肥、润滑油和工业化学品等碳密集型产品。因此，发展生物能源对美国实现 2050 净零排放具有重要意义。本次资助研究项目主要涵盖两大主题领域，具体内容如下：

### 1、研究和开发城市废弃物的能量转化（资助金额：1500 万美元）

该主题共支持 5 个项目，包括：①统计全美城市固体废弃物特征和废弃物转化为生物燃料的可行技术；②系统描述城市生活垃圾的可用性以识别燃料生产过程中关键材料的属性特征；③利用激光诱导击穿光谱技术-拉曼技术-人工智能集成系统用于城市生活垃圾实时、原位化学分析；④利用多感官信息增强的人工智能高光谱成像技术，用于快速/实时分析不可回收的城市生活垃圾并将其转化为能源；⑤开发基于城市生活垃圾污染特征的人工神经网络。

### 2、研究不同藻类品种养殖方法，并探索提高藻类生长的新方法，将其转化为各种生物燃料和生物基产品（资助金额：1870 万美元）

该主题共支持 6 个项目，包括：①开发促进用于生物燃料和聚氨酯前驱体的藻类生长新方法；②通过培养作业和品种性状的创新促进藻类生产；③开发生态监测技术以提高大规模微藻栽培稳定性和生产力；④开发直接空气碳捕集与藻类生物催化制燃料的集成技术；⑤在二氧化碳直接捕集培养中提高藻类制生物燃料转化率；⑥通过减少有机碳损失以提高直接空气捕集栽培的藻类制生物燃料转化率。

（汤匀）

<sup>7</sup> DOE Announces Nearly \$34 Million to Advance Waste and Algae Bioenergy Technology.  
<https://www.energy.gov/articles/doe-announces-nearly-34-million-advance-waste-and-algae-bioenergy-technology>

## DOE 资助 2700 万美元加速推进波浪能技术研发和市场化

7月6日，美国能源部（DOE）宣布资助2700万美元支持波浪能发电技术研发及其市场化<sup>8</sup>，旨在将海洋波浪能高效转化为清洁电力并加快技术的商业化进程。本次资助主要聚焦三大主题领域：

**1、在 PacWave South 设施开展波浪能转换装置技术测试（资助金额：1500 万美元）：**重点测试用于偏远地区和微电网的新型波浪能转换装置设计，测试获得的数据将构建一个开放数据共享网络，便于相关研究人员的数据访问和开展科研工作。

**2、创新波浪能转换装置的设计（资助金额：500 万美元）：**开展新型的波浪能转换装置设计以更加高效地将波浪能转换为电能，以产生离网或并网电力。在项目结束时，基于新设计系统将在 PacWave South 设施上开展原型测试。

**3、开放式主题创新（资助金额：700 万美元）：**利用 PacWave 测试设施进行有效的波浪能研发，包括先进的波浪能转换装置、波浪能发电系统组件、环境监测技术、波浪测量系统和其他相关支撑技术研发。

编者按：2016年，DOE与俄勒冈州立大学合作在俄勒冈州纽波特海岸附近建造了 PacWave South 波浪能测试设施，该站点成为美国第一个获得认可、并网、预先许可的开放水域波浪能测试设施。

（王珍 郭楷模）

## 新钝化工艺助力倒置结构钙钛矿电池创下 22.9%效率纪录

钙钛矿太阳能电池的开路电压受到钙钛矿/载流子传输层（CTL）界面处的非辐射复合限制，克服上述界面处的复合损失是增强电池性能关键。目前研究人员广泛采用的方法是钝化钙钛矿薄膜顶层界面（钙钛矿薄膜和空穴传输层接触界面），而忽略了钙钛矿薄膜的掩埋界面（钙钛矿薄膜和载流子传输层接触界面）。因此开展掩埋界面的钝化处理具有显著的科学价值和意义。

加拿大多伦多大学 Edward H. Sargent 教授研究团队设计制备了一种含有丰富 NH<sub>2</sub> 官能团的钙钛矿薄膜并在此基础上组装成倒置结构钙钛矿电池，由于 H 键能够与金属氧化物载流子传输层中配位不足的 O 键具有强烈的键合作用，使得钙钛矿薄膜的掩埋界面自发形成了二维钙钛矿钝化层，有效地抑制了上述界面处的非辐射载流子复合损失，显著增强了电池的开路电压，获得 22.9% 光电转换效率，这是倒置结构钙钛矿太阳能电池效率的最高值。传统的钙钛矿界面钝化工艺是在钙钛矿薄膜顶层界面额外旋涂一层薄膜作为钝化层，这种方法形成的钝化层容易在旋涂空穴传输层的时候被破坏，导致钝化效果被削弱。为此研究人员在钙钛矿前驱体中引入一种含

<sup>8</sup> DOE Announces \$27 Million To Accelerate Ocean Wave Energy Technology To Market.  
<https://www.energy.gov/articles/doe-announces-27-million-accelerate-ocean-wave-energy-technology-market>

有丰富  $\text{NH}_2$  基团有机阳离子，该基团中丰富的 H 键能够强烈键合载流子传输层中配位不足的 O 化学键，这有助于在钙钛矿掩埋层形成择优的结晶取向，有利于载流子传输。为了对比研究，研究人员同时制备了无有机阳离子的钙钛矿前驱体，随后在氧化镍 ( $\text{NiO}_x$ ) 衬底上通过旋涂法制备出了两种薄膜，扫描电镜表征显示在含有有机阳离子钙钛矿薄膜中出现了择优取向的两维钙钛矿结晶相，有利于载流子传输；且没有出现铅碘溴 ( $\text{PbI}_{2-x}\text{Br}_x$ ) 复合物相，相关研究表明这种复合物相会阻碍空穴传输；相反，在无有机阳离子钙钛矿薄膜中没有出现两维钙钛矿结晶相，但却出现了  $\text{PbI}_{2-x}\text{Br}_x$  复合物相。上述实验结果表明，有机阳离子引入能够改善钙钛矿结晶。掠入射广角 X 射线散射测试分析结果显示，两维钙钛矿结晶相是存在于钙钛矿薄膜的掩埋界面充当钝化层，这有助于抑制载流子在上述界面处的非辐射复合损失。接着以上述钙钛矿薄膜分别组装出两个倒置结构的钙钛矿电池并进行电化学性能测试，结果显示基于含有有机阳离子的钙钛矿薄膜电池器件开路电压明显增加，其中采用  $\text{NiO}_x$  衬底的增加了 65 mV，使得电池效率达到了 20.1%，而采用二氧化锡 ( $\text{SnO}_2$ ) 衬底的开路电压更是大幅增加了 100 mV，相应电池效率突破了 22% 达到了 22.9%，这是迄今为止倒置结构钙钛矿太阳电池转换效率的最高值。

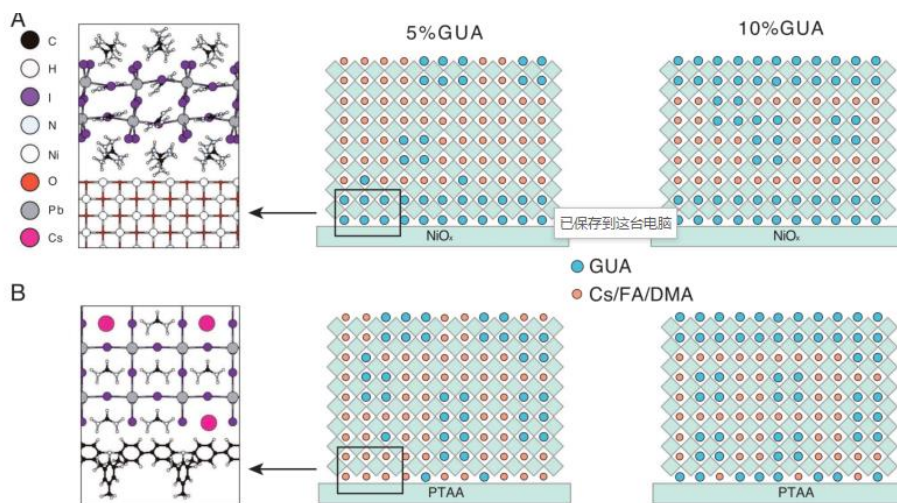


图 1 含有丰富  $\text{NH}_2$  官能团有机阳离子钙钛矿薄膜掩埋面结晶过程的示意图

该项研究通过在钙钛矿前驱体中引入含有丰富  $\text{NH}_2$  官能团的有机阳离子， $\text{NH}_2$  中大量的 H 键能够与金属氧化物载流子传输层中配位不足的 O 化学键键合，促使在钙钛矿的掩埋面形成了择优结晶取向的两维钙钛矿钝化层，有效地减少了钙钛矿薄膜和载流子传输层接触界面的非辐射复合损失，进而增强了电池性能，获得了迄今为止倒置结构钙钛矿太阳电池效率的最高值 22.9%，为开发高性能钙钛矿电池指明了新方向。相关研究成果发表在《Advanced Materials》<sup>9</sup>。

(王珍 郭楷模)

<sup>9</sup> in Chen, Hao Chen, Yi Hou, et al. Passivation of the Buried Interface via Preferential Crystallization of 2D Perovskite on Metal Oxide Transport Layers. *Advanced Materials*, 2021, DOI: 10.1002/adma.202103394

# 低碳化多能融合

## 欧盟能源数字化转型行动计划提出五项主要行动

7月23日，欧盟委员会启动了能源部门数字化行动计划<sup>10</sup>，旨在推动欧洲能源生产、消费、基础设施全系统数字化转型，建立一个电气化、更高效、更灵活、更智能的现代能源体系。能源部门的数字化转型有助于创造就业机会，提高欧洲的竞争力和创新能力，为产品和服务开拓新的国际市场。但也带来了新的挑战，如网络安全、数据访问监管、数据保护和隐私，以及信息技术部门不断增长的能源消耗。针对挑战，欧盟提出了五大行动，包括：①开发欧洲能源数据共享的基础设施；②开发用户友好型数据访问和智能计量应用工具；③能源技术与数字技术融合创新；④强化能源部门网络安全；⑤开发信息通信部门碳中和解决方案。具体内容如下：

### 一、启动能源数字化转型行动计划背景

欧盟启动能源数字化转型行动是为了实现《欧洲绿色协议》中绿色和数字化双重转型目标，以构建一个功能更完善、智能、集成和清洁的能源系统。在能源系统中使用信息和通信技术（ICT）已成为推动能源变革的重要途径，在未来几十年中，这种变革的速度和规模都将大幅增加。数字化正在改变能源供应、采购和使用的方式，以及可以采用的系统脱碳方法。因此，能源系统数字化是能源系统转型的一个重要组成部分。在能源供应链每一环节，它都会影响能源系统的管理，并为其提供新的工具，或为（新的）市场参与者提供数据驱动的能源服务创造机会。与此同时，基于波动性分布式能源发电和更大规模的电气化水平，向脱碳和分布式能源系统的转变正在发生。

数字技术在能源转型方面有很大的应用潜力。例如，它可以进行系统优化和运用技术实施网络优化；还支持能源系统集成，允许多个能源系统耦合互联，并提供必要的信息，以实现实时匹配地方或系统级别的供应和需求。此外，数字化可以优化现有的电网容量，并更快地识别电网峰值，这将提高实现碳中和目标所需的电气化水平，对部署充电桩等基础设施也有促进作用。

### 二、能源数字化转型面临五大问题

**（1）缺乏在欧盟层面出台一个整体战略。**如果没有一个整体战略来协调国家和欧盟层面各种法律规章，以及数据建设项目的资金分配问题，可能会导致不同欧盟成员国能源系统数字化建设进展形成显著的差异性，反而抑制了欧盟整体能源数字

<sup>10</sup> Action plan on the digitalisation of the energy sector – roadmap launched.  
[https://ec.europa.eu/info/news/action-plan-digitalisation-energy-sector-roadmap-launched-2021-jul-27\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/action-plan-digitalisation-energy-sector-roadmap-launched-2021-jul-27_en)



化发展进程。

**(2) 公众缺乏对数字化能源服务的接受度。**公民对数据驱动的能源服务的信任、对新技术的接收度、数据保护和隐私问题、数字鸿沟和缺乏足够的操作技能是数字化能源系统需要解决的主要社会挑战。需要评估现有的工具是否能够使公民和消费者在数字化能源市场中有效行使他们的权力。

**(3) 能源部门所有参与者尚未完全从数字技术中受益。**为充分发挥在能源供应、需求和输配领域开发、实施和升级数字解决方案的潜力，需进一步推广最佳实践案例，如将天气预报和传感器等收集的数据集成到风电设备中，以降低运维成本，增加风力发电量，最终降低可再生能源发电成本。

**(4) 网络安全面临挑战。**数字化使得能源系统可能面临更多的危害能源供应安全的网络攻击事件。

**(5) 能源消耗不断增加。**数字化正在导致 ICT 技术能源消耗整体增长，需要大力发展能效技术减少能耗。

### 三、能源数字化行动计划的五项行动

为了有效应对上述数字化发展中面临的问题，欧盟提出了五项行动建议：

**(1) 开发欧洲能源数据共享的基础设施，**为能源服务创造一个有竞争力的市场，重视需求侧的灵活性，支持能源基础设施的规划和监测。创建一个与欧盟其他数据设施兼容的欧洲能源数据共享基础设施，促进互操作性框架的开发，并解决数据的监管问题。

**(2) 开发用户友好型数据访问和智能计量应用工具。**行动计划将探讨如何推广研发项目的最佳实践经验，这些项目开发了新的服务和/或用户友好型工具/应用，让公民能够安全高效地访问数据，并使公民更容易作为消费者和/或投资者积极参与能源数字化转型。

**(3) 能源技术与数字技术融合创新。**能源系统的数字化转型不仅要求能源技术取得创新突破，同时也需要数字技术做出与之匹配的进步。

**(4) 加强能源部门的网络安全。**行动计划将与网络安全的总体框架保持一致，特别是拟议的网络和信息网络安全指令（NIS-2 指令）以及计划于 2022 年底采用的跨境电网安全网络规范，并将评估是否需要在其他方面采取额外措施，以增强数字化能源系统抵抗各类网络攻击的能力。

**(5) 开发信息通信部门碳中和解决方案。**能源系统的数字化转型需要依托 ICT 技术，而 ICT 部门存在能源消耗问题，因此需要探索 ICT 部门的净零排放解决方案，以确保能源系统数字化转型与“欧洲绿色协议”的碳中和目标保持一致。

（汤匀 郭楷模）



## DOE 启动长时储能攻关计划实现储能成本十年降低 90%目标

7月14日，美国能源部（DOE）宣布发起“长时储能攻关”计划（Long Duration Storage Shot），目的是在未来十年内实现将电网规模、长时储能成本降低90%的新目标<sup>11</sup>。作为DOE“能源攻关计划”（Energy Earthshots Initiative）框架下启动的第二个领域攻关计划<sup>12</sup>，“长时储能攻关”计划将加速清洁电力储能关键技术突破，并支持更丰富、经济和可靠的清洁能源解决方案，以实现拜登政府到2035年100%清洁电力和2050年净零排放的目标。

“长时储能攻关”计划主要目标是<sup>13</sup>：在未来十年内，将数百吉瓦的清洁能源引入电网，将储能时间超过10小时的系统成本降低90%。储能具有加速电网完全脱碳的潜力，虽然目前正在发展短时储能技术以支持当前的可再生能源发电，但随着更多的可再生能源并网，需要部署更长时的储能技术。“长时储能攻关”计划将考虑所有类型的储能技术，包括电化学储能、机械储能、储热、化学储能，以及可满足电网灵活性所需的持续时间和成本目标的任何储能技术组合。当前，抽水蓄能是电网系统中最大规模的长时储能技术，而锂离子电池是美国电网部署的新型储能技术中短时储能的主要技术。

美国能源部2022财年预算中将为储能大挑战计划<sup>14</sup>资助11.6亿美元，以解决储能发展的技术挑战和成本障碍，建立一个美国本土储能制造业，帮助实现气候和经济竞争力目标。

（汤匀）

## 英国发布国家氢能战略绘制 2030 氢经济路线图

8月17日，英国商业、能源和工业战略部（BEIS）发布《英国氢能战略》<sup>15</sup>，提出了到2030年英国氢能发展的愿景目标及路线图。该项战略建立在英国“绿色工业革命十点计划”基础上，旨在到2030年实现5吉瓦的低碳氢生产能力。该战略提出了氢能生产、输配网络及存储、氢能利用等领域的分阶段目标和关键行动。详情如下：

### 一、愿景目标

<sup>11</sup> Secretary Granholm Announces New Goal to Cut Costs of Long Duration Energy Storage by 90 Percent. <https://www.energy.gov/articles/secretary-granholm-announces-new-goal-cut-costs-long-duration-energy-storage-90-percent>

<sup>12</sup> 美国能源部于6月7日启动了第一个能源领域攻关计划——氢能攻关计划。参见本刊第7期报道。

<sup>13</sup> Long Duration Storage Shot: An Introduction. [https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-07/Storage%20shot%20fact%20sheet\\_071321\\_%20final.pdf](https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-07/Storage%20shot%20fact%20sheet_071321_%20final.pdf)

<sup>14</sup> 储能大挑战计划是美国能源部制定的一个旨在加速下一代储能技术开发、商业化应用的全面计划，促使美国在储能领域占据全球领先地位。而长时储能攻关计划是储能大挑战计划中的一部分。

<sup>15</sup> UK Hydrogen Strategy.

[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/1011283/UK-Hydrogen-Strategy\\_web.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1011283/UK-Hydrogen-Strategy_web.pdf)

到 2025 年，英国实现 1 吉瓦低碳制氢产能；到 2030 年，成为全球氢能领导者，实现 5 吉瓦的低碳制氢能力以推动整个经济脱碳，并制定明确的计划以在未来进一步扩大规模，助力实现第 6 次碳预算（CB6）和净零排放目标，同时促进新的就业和清洁增长。

具体而言，到 2030 年将实现如下成果：通过碳捕集、利用与封存（CCUS）和/或电解制氢实现脱碳氢供应；借鉴早期项目、更成熟的市场和技术创新，推动低碳制氢成本下降；建立面向多类型用户的端到端氢气系统；提高公众和消费者意识，使其接受在能源系统中使用氢能；成为国际氢能市场领先者，吸引大量外来投资；通过氢能为减排目标做出重大贡献；基础设施、技术、监管和市场框架均到位，为 2030 年后的市场扩张奠定基础；总结创新和部署项目经验，为政策制定和完善提供支撑。

根据 BEIS 的估计，到 2030 年实现 5 吉瓦的低碳制氢能力将创造一个繁荣的氢能产业，氢能市场总附加值达到 9 亿英镑，撬动 40 亿英镑的私人投资，创造超过 9000 个工作岗位。在“高氢”情景下，到 2050 年英国氢经济可产生 10 万个工作岗位和 130 亿英镑总附加值。

## 二、氢经济路线图

### 1、2020 年代早期（2022-2024 年）：

**（1）发展重点：**①制氢方面，发展小规模电解制氢；②氢能网络方面，发展直接管道运输、区域中心、卡车运输（非管道）或现场使用；③应用方面，发展氢能交通（公交、重型货车、铁路和航空试验），工业示范，社区供热试验。

**（2）关键行动和里程碑：**①2022 年早期启动“净零氢能基金”（NZHF），投入 2.4 亿英镑支持部署低碳制氢项目；②2021 年决定第一阶段 CCUS 集群；③2022 年确定最终的低碳氢标准；④2022 年确定氢能商业模式；⑤2023 年开展社区供热试验；⑥2022 年第三季度确定将氢气掺混进天然气网络案例的推广价值。

### 2、2020 年代中期（2025-2027 年）

**（1）发展重点：**①制氢方面，至少在一个地区部署配备 CCUS 的大规模低碳制氢设施，扩大电解制氢规模；②氢能网络方面，建立小规模集群的专用管道网络，扩大卡车运输和小规模存储；③应用方面，发展工业应用，开展氢能重型货车和轨道交通试验、村庄供热试验以及氢气掺混进天然气网络试验。

**（2）关键行动和里程碑：**①2025 年低碳制氢产能达到 1 吉瓦；②到 2025 年至少建立 2 个 CCUS 集群；③2025 年进行村庄供热试验；④2026 年决定氢能供热；⑤2020 年代中期部署氢能重型货车。

### 3、2020 年代后期（2028-2030 年）

**（1）发展重点：**①制氢方面，部署多个配备 CCUS 的大型制氢项目和大型电解

制氢项目；②氢能网络方面，建立大规模集群网络和大规模储氢设施，将氢气网络与天然气网络集成；③应用方面，在工业中广泛应用，部署氢能发电并提供灵活性，发展氢能重型货车和航运，开展城镇供热试验。

**(2) 关键行动和里程碑：**①到 2030 年低碳制氢产能达到 5 吉瓦；②到 2030 年建立 4 个 CCUS 集群；③到 2030 年部署氢能试点城市；④到 2030 年实现 40 吉瓦海上风电。

#### 4、2030 年代中期以后

**(1) 发展重点：**①制氢方面，扩大低碳制氢规模，发展其他制氢技术（如核能制氢、生物质制氢）；②氢能网络方面，建立区域或国家氢能网络，将大规模储氢与 CCUS、天然气和电力网络集成；③应用方面，氢能全面应用于工业终端用户，建立氢能发电系统，更大规模的氢能航运和航空，推进天然气网络向氢气网络转换。

**(2) 关键行动和里程碑：**①实现第 6 次碳预算目标。

（岳芳）

## 日本 NEDO 资助大规模示范项目打造氢能产业供应链

8 月 26 日，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）宣布将在“绿色创新基金”资助框架下，启动“大规模氢供应链建设”和“利用可再生能源等电力电解制氢”示范项目<sup>16</sup>，旨在推进构建氢能产业供应链，通过电力转换为其他载体（Power to X）技术促进氢能的普及，助力实现 2050 碳中和目标。日本政府为实现碳中和目标启动了总额达 2 万亿日元的“绿色创新基金”，此次资助项目为其首批资助，详情如下：

### 1、大规模氢供应链建设项目

该项目将通过建立国际氢能供应链，降低供氢成本，构建氢能大规模利用的供氢模式，主要涉及“国际氢能供应链技术开发及液氢相关设备评估平台建设”和“氢能发电（混氢燃烧、纯氢燃烧）技术开发”两个子领域，共确定资助 8 个课题，包括：

液氢供应链有 2 个课题，资助金额共约 2200 亿日元：

**(1) 液氢供应链规模化示范。**该课题执行期为 2021-2029 年，将通过对现有项目开发的大规模运氢技术进行商业示范，构建液氢商业供应链（单个供应链的供应规模达到数万吨/年），以实现到 2030 年海上运氢的船上交货成本 30 日元/标准立方米。

**(2) 创新液化技术开发。**该课题执行期为 2021-2030 年，将开发提高氢气液化效率的创新技术，以实现到 2050 年氢能供应成本降至 20 日元/标准立方米及以下。

<sup>16</sup> グリーンイノベーション基金事業、第 1 号案件として水素に関する実証研究事業に着手。  
[https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_101471.html](https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101471.html)

储氢载体甲基环己烷（MCH）供应链有 2 个课题，资助金额共约 630 亿日元：

**(3) 储氢载体甲基环己烷（MCH）供应链大规模示范。**该课题执行期为 2021-2030 年，将开展商业示范项目，构建 MCH 供应链（单个供应链的供应规模达到数万吨/年），利用炼油厂设备进行 MCH 脱氢，以实现到 2030 年供氢成本 30 日元/标准立方米。该项目将通过规范 MCH 品质、包装技术、审批和许可流程等，推进进入国际市场。

**(4) 直接电解合成 MCH 技术开发。**该课题执行期为 2021-2030 年，将开发直接电解合成 MCH 的技术，通过减少中间转化步骤大幅降低成本，以实现到 2050 年氢能供应成本降至 20 日元/标准立方米。

液氢相关设备评估平台建设有 1 个课题，资助金额约 30 亿日元：

**(5) 开发材料评价平台以支持液氢相关设备的研发。**该课题执行期为 2021-2025 年，将开发在低温氢气环境下统一评估材料力学性能的方法，以降低液氢生产、运输、储存、利用等相关设备成本。此外，将与相关公司合作，对金属原材料和焊接构件的力学性能进行评估，建立材料数据库。

氢能发电（混氢燃烧、纯氢燃烧）技术开发有 3 个课题：

**(6) 大型燃气轮机混氢燃烧**（2021-2025 年，资助约 70 亿日元）；**(7) 中型燃气轮机混氢/纯氢燃烧**（2021-2026 年，资助约 100 亿日元）；**(8) 大型燃气轮机纯氢燃烧**（2021-2030 年，资助约 140 亿日元）。通过将现有的混氢/纯氢燃气轮机在实际电厂中示范运行，以验证其燃烧稳定性，同时与各种国际氢供应链示范项目进行密切合作，旨在到 2030 年实现其发电技术的商业化（其中混氢燃烧的掺氢比例达到 30%）。

## 2、可再生能源电解水制氢

该项目将促进碱性电解槽、聚合物电解质膜（PEM）电解槽等技术的规模化和模块化开发，进一步降低可再生能源电解制氢成本，同时还将进行相关应用技术的实证研究，主要涉及“电解槽规模化技术开发及 Power to X 技术大规模示范”和“电解槽性能评估技术开发”两个子领域，共确立资助 3 个课题，包括：

**(1) 大型碱性电解槽开发及绿色化学品示范。**该课题执行期为 2021-2030 年，资助金额约 540 亿日元。目标是到 2030 年将碱性电解槽成本降至 52000 日元/千瓦，建立利用过剩可再生能源电力制氢的基地，并在国际市场上占据领先地位。该课题将以福岛作为首个候选基地，利用现有项目成果并进行电解槽规模化和模块化技术开发，结合制氨等生产工艺，开发集成控制系统。随后将利用电解槽模块安装 40 兆瓦规模大型电解槽，在进行多模块运行的同时示范合成基础化学品。

**(2) 大型 PEM 电解槽开发及供热示范。**该课题执行期为 2021-2025 年，资助金额约 100 亿日元。目标是到 2030 年将 PEM 电解槽成本降至 65000 日元/千瓦，建



立利用过剩可再生能源电力制氢的基地，并在国际市场上占据领先地位。该课题将开发 PEM 电解槽的大型化和模块化、具有优异耐久性和导电性的膜以及提高燃氢锅炉效率相关的技术。此外，将开发 16 兆瓦级电解槽及相关设备的模块化技术，提供成套安装技术，并利用燃氢锅炉进行脱碳供热示范。

**(3) 电解槽性能评估技术开发。**该课题执行期为 2021-2025 年，资助金额约 30 亿日元。将通过实现电解槽性能的统一评估，预测海外市场的增长，明确技术出口发展方向。具体而言，将根据需要与海外机构合作，尤其关注针对欧洲运行环境的验证，包括：①大型电堆（500 千瓦级）的加速老化试验；②高压条件（超过 1 兆帕）下的电堆（500 千瓦级）测试；③建立模拟国外可再生能源发电条件下的大型电解槽（兆瓦级）试验综合评估方法，力争实现国际标准化。

（岳芳）

## 日本 NEDO 推进燃料电池创新研发

7 月 15 日，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）宣布将在“燃料电池大规模扩展应用产学研协同攻关项目”框架下，2021 年投入 66.7 亿日元支持 3 个项目共 24 个研发主题<sup>17</sup>，推进氢燃料电池研发以进一步增强日本的技术竞争力，在全球市场建立稳固地位。详情如下：

### 1、基础技术开发

该子项目重点开发聚合物电解质燃料电池（PEFC）技术，包括如下主题：①使用钙钛矿型二氧化钛薄膜的低接触电阻、高耐久性隔膜表面处理技术的开发；②燃料电池电堆密封用交联弹性体材料开发；③高效低成本气体扩散层一体式平板隔层开发；④PEFC 不锈钢双极板高耐腐蚀性和低接触电阻涂层技术研发；⑤导电纳米纤维微孔层的研发；⑥金属/聚合物纳米复合隔膜研发。

### 2、氢能利用等先进技术开发

该子项目重点开发 PEFC、固体氧化物燃料电池（SOFC）和储氢技术，包括如下主题：①基于弯曲石墨的新型碳合金 PEFC 阴极催化剂研发；②金属酶非铂电极催化剂的研发；③通过催化剂载体表面化学改性开发 PEFC 超高性能界面；④用于燃料电池高温低湿运行的羟基和玻璃基无机电解质膜的研发；⑤基于 1nm 铂催化剂结构/组成控制的高活性 PEFC 阴极催化剂；⑥可逆运行质子导体陶瓷燃料电池安全性评价/分析技术开发；⑦低温运行透氢膜支持的燃料电池研发；⑧创新低成本燃料电池无损检测、在线监测、损伤容限技术开发，保障车用高压储氢容器运行健康；⑨利用非纤维缠绕/分割预成型及和新型树脂（氧化还原树脂）开发创新的高压储氢制造工艺；⑩研发提高储氢效率的储氢罐；⑪基于机器学习的复合材料高压储氢容

<sup>17</sup> 燃料電池の飛躍的な普及拡大に向けた新たな研究開発に着手。  
[https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_101458.html](https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101458.html)



器优化设计的理论与实证研究。

### 3、燃料电池多功能应用技术

该子项目重点开发将燃料电池用于汽车、固定应用及更多用途的技术，将支持相关技术示范以及创新的生产和检测技术，包括如下主题：①可用于多种用途的兼容型燃料电池发电模块开发；②搭载燃料电池系统的液压挖掘机研发与实证；③燃料电池船舶和能源供应系统的开发和示范，使商业运营成为可能；④燃料电池农用拖拉机的实证研究；⑤用于港口货物装卸的橡胶轮胎门式起重机氢燃料电池动力开发；⑥开发创新的 X 射线检测技术，实现高压储氢罐和膜电组件的高速检测；⑦将高性能 SOFC 电堆与能量管理系统结合，开发无人机等实用技术。

(岳芳)

## 利用 MoS<sub>2</sub> 分子工程基面成功开发超高性能水系锌离子电池

水系锌离子电池 (AZIBs) 因其理论容量高、与水溶液相容性好、无毒、锌负极成本低等优点而备受关注。然而，二价锌离子与宿主材料之间的强静电作用导致锌离子迁移动力学缓慢以及电极结构退化等弊端，限制其广泛应用。因此，亟需开发适合锌离子高效、快速、稳定存储的 AZIBs 正极材料。

北京科技大学刘永畅教授和李平教授的研究团队通过原位分子工程成功开发出一种新型材料，得益于在二硫化钼 (MoS<sub>2</sub>) 中植入结构缺陷和晶格氧 (D-MoS<sub>2</sub>-O) 的存在，基于 MoS<sub>2</sub> 基面，实现了锌离子传统二维扩散向高效三维扩散的转变，从而使得 AZIBs 表现出前所未有的高倍率性能和超长循环耐久性。相关研究表明，MoS<sub>2</sub> 由于其简单的二维离子扩散通道，被认为是 AZIBs 的候选正极。然而，在 MoS<sub>2</sub> 中锌离子的扩散仍然依赖于传统的沿 ab 平面的二维输运。因此，解锁 MoS<sub>2</sub> 的基面，同时增加 MoS<sub>2</sub> 的层间距、亲水性和电导率，使传统二维 Zn<sup>2+</sup> 在 MoS<sub>2</sub> 中的扩散转变为更方便的 3D 模式提供了一个新的途径。为此，研究人员采用一步水热法在碳布上垂直生长 D-MoS<sub>2</sub>-O 纳米片，在相对较低的合成温度下，钼酸盐和硫脲前驱体反应不充分，因此结构缺陷和晶格氧被原位植入 D-MoS<sub>2</sub>-O 结构中。通过 EPR、XPS、XRD、Raman 光谱、SEM、HRTEM 以及 HAADF-TEM 对其结构和形貌进行表征，结果表明结构缺陷和晶格氧被成功引入 D-MoS<sub>2</sub>-O 体相结构中，层间距从 6.2 Å 扩大至 9.6 Å。此外，结构缺陷广泛分布在 D-MoS<sub>2</sub>-O 基面上，提供了更多沿 c 轴的锌离子传输通道和储锌位点。电化学测试表明，D-MoS<sub>2</sub>-O 正极材料在 AZIBs 中表现出优异的电化学性能，在 0.1 A g<sup>-1</sup> 时为 261 mAh g<sup>-1</sup>，10 A g<sup>-1</sup> 时为 102.4 mAh g<sup>-1</sup>。在 1 A g<sup>-1</sup> 下 1000 次循环后的容量保持率高达 90.5%，显示优异的循环稳定性。密度泛函理论 (DFT) 计算表明 D-MoS<sub>2</sub>-O 电极不仅允许 Zn<sup>2+</sup> 沿 ab 面和 c 轴的有效三维传输，而且具有低的 Zn<sup>2+</sup> 迁移势垒和高的电子电导率特征，保证了快速的电荷储存

动力学和优异的电化学能力。这些都证实了  $\text{Zn}^{2+}$  在 D-MoS<sub>2</sub>-O 电极上的快速扩散动力学和三维迁移行为。此外，用 D-MoS<sub>2</sub>-O 正极组装的耐磨准固态锌离子电池在不同的弯曲条件下表现出极大的稳定性。将制备的无粘结剂 D-MoS<sub>2</sub>-O 正极、PVA/Zn(CF<sub>3</sub>SO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 凝胶电解质和锌箔负极组装准固态电池，表现出优异的循环稳定性和柔韧性，且在穿戴状态下能够点亮 LED 灯带，显示良好应用潜力。

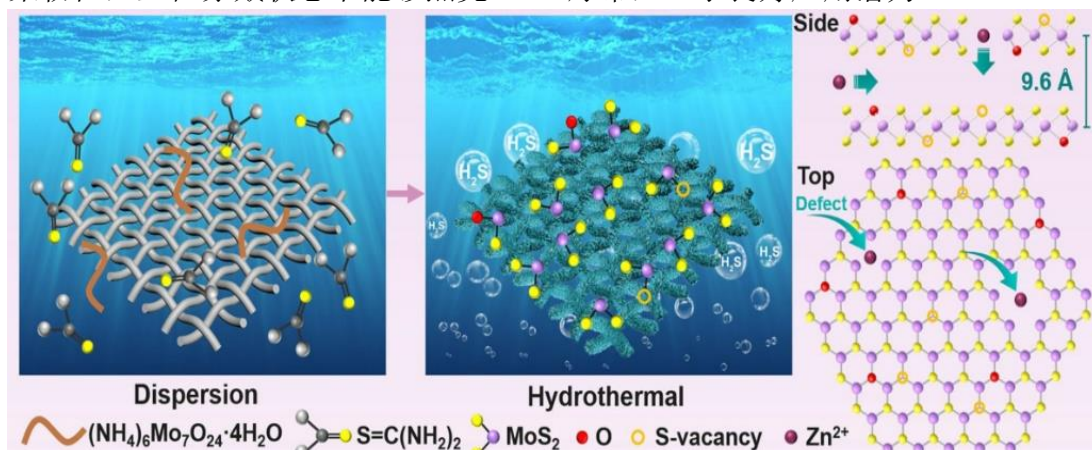


图 1 D-MoS<sub>2</sub>-O 的制备工艺和晶体结构示意图

该项研究设计开发了全新的 D-MoS<sub>2</sub>-O 材料，受益于结构缺陷和氧的掺杂，成功地解锁了 MoS<sub>2</sub> 基面，增加了层间距，提高了 MoS<sub>2</sub> 的亲水性和导电性。因此，定制的 D-MoS<sub>2</sub>-O 正极在 AZIBs 中表现出前所未有的高电化学性能和超长循环稳定性。该项工作提出了一种新的概念，将传统的二维离子在层状材料中的输运转变为更方便的三维模式，以获得高性能的水系锌离子电池。相关研究成果发表在《*Angewandte Chemie International Edition*》<sup>18</sup>。

(占威 汤匀)

## 阳极氧化钛催化剂实现 CO<sub>2</sub> 高效串联电还原制甲醇

甲醇(CH<sub>3</sub>OH)是一种主要的运输燃料和化工原料，全世界每年产量 9500 万吨。然而，传统甲醇生产工艺会导致大量的二氧化碳排放。利用可再生能源发电，电还原二氧化碳(CO<sub>2</sub>RR)是合成甲醇的一条很有吸引力的路线，然而，该反应仍然缺少高效的电催化剂，亟需开发一种良好活性和高选择性的催化剂。

新加坡国立大学 Boon Siang Yeo 和巴塞罗那大学 Federico Calle-Vallejo 等联合团队，提出了一种将 CO<sub>2</sub> 还原为 HCOOH，然后将 HCOOH 还原为 CH<sub>3</sub>OH 的策略，得益于阳极氧化钛(Ti<sub>an</sub>)催化剂的使用，将电化学惰性的 HCOOH 还原为 CH<sub>3</sub>OH，提高羧酸的电还原能力，为 CO<sub>2</sub> 电还原制甲醇开辟了新的途径，展现出了工业化应用潜力。研究人员采用串联策略，首先将 CO<sub>2</sub> 还原为甲酸(HCOOH)，然后将后者

<sup>18</sup> Shengwei Li, Yongchang Liu, Xudong Zhao, et al., Molecular Engineering on MoS<sub>2</sub> Enables Large Interlayers and Unlocked Basal Planes for High-Performance Aqueous Zn-Ion Storage. *Angewandte Chemie International Edition*, 2021, DOI: 10.1002/anie.202108317

还原为  $\text{CH}_3\text{OH}$ ；第二步，即甲酸还原（FAR）因为  $\text{HCOOH}$  具有电化学惰性，使得后一步反应极其困难。为此，研究人员对地球上丰富且相对便宜的元素钛进行阳极氧化处理（ $\text{Ti}_{\text{an}}$ ），开发了一种包含  $\text{Ti}^{3+}$  位点和氧空位的阳极氧化钛催化剂（TOVs）。表征研究表明， $\text{Ti}_{\text{an}}$  催化剂是高度无定形的，并且在电催化 FAR 过程中具有 TOVs 位点。研究人员证明 TOVs 位点的数量与  $\text{CH}_3\text{OH}$  的产生呈正相关，它不仅提高了 FAR 的  $\text{CH}_3\text{OH}$  选择性，同时抑制了竞争的 HER。电化学测试表明  $\text{Ti}_{\text{an}}$  对 FAR 还原  $\text{CH}_3\text{OH}$  表现出明显的电催化活性，法拉第效率达 12.6%，部分电流密度为  $-2 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 。进一步测试表明  $\text{CH}_3\text{OH}$  是通过  $\text{CH}_2\text{O}$  的 Cannizzaro 歧化反应形成的，而不是电催化还原。DFT 计算表明，最有利的反应途径是通过  $^*\text{H}_2\text{COOH}$  中间体的质子化产生  $\text{CH}_3\text{OH}$  和  $^*\text{O}$ ，填补先前形成的空位。随后氢化为  $^*\text{OH}$  和  $\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$  再生 TOV，完成催化循环。

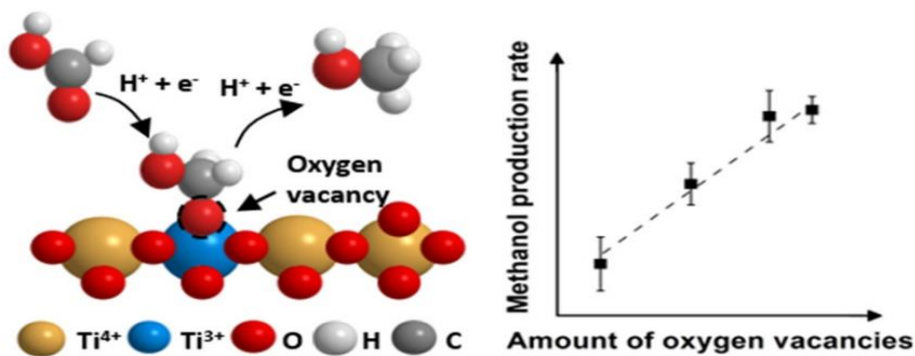


图 1 TOVs 示意图（左）和氧空位与甲醇产率线性图（右）

该项研究设计开发了全新的阳极氧化钛催化剂，受益于含  $\text{Ti}^{3+}$  位点和氧空位，将电化学惰性甲酸成功还原成  $\text{CH}_3\text{OH}$ ，从而实现了通过串联电催化还原  $\text{CO}_2$  合成  $\text{CH}_3\text{OH}$ 。该项研究表明，在仅以水为氢源的环境条件下，脂肪族羧酸可以直接电还原为醇。这与传统的使用化学计量试剂（如  $\text{LiAlH}_4$ ）还原羧酸形成对比，后者会产生大量的锂和铝废料。这项工作还提供了将长链脂肪酸转化为有价值的醇（例如正丙醇）的替代途径，为从串联  $\text{CO}_2$  电解合成  $\text{CH}_3\text{OH}$  的催化剂高通量自动化设计开辟道路。相关研究成果发表在《*ACS Catalysis*》<sup>19</sup>。

（占威 汤匀）

<sup>19</sup> Wei Jie Teh, Oriol Piqué, Qi Hang Low, et al. Toward Efficient Tandem Electroreduction of  $\text{CO}_2$  to Methanol using Anodized Titanium. *ACS Catalysis*, 2021, 11, 14: 8467–8475

# 能源战略研究

## BP：一次能源需求快速下降 可再生能源持续增长

7月8日，英国石油公司（BP）发布《世界能源统计年鉴 2021》报告<sup>20</sup>指出，2020年全球一次能源消费下降了4.5%，为1945年以来最大降幅。尽管能源需求总体下降，但风能、太阳能和水力发电都有所增长。全球石油消费下降9.3%，为2011年以来最低水平；天然气消费下降2.3%，但占一次能源份额（24.7%）持续上升；煤炭消费下降5.2%；非水可再生能源消费增长9.7%，低于近十年平均值；核电消费下降4.1%。2020年能源消费的碳排放量下降了6.3%，为二战以来最大降幅，降至2011年以来最低水平。关键点如下：

**一、全球一次能源消费首次下降4.5%，CO<sub>2</sub>排放量下降6.3%，除了可再生能源以外，所有燃料消费量均有所下降**

2020年，全球一次能源消费自2009年来首次下降，降幅达4.5%（图1）。除了非水可再生能源（+9.7%）和水力发电（+1.0%）之外，所有燃料品种的消费均出现下降情况。下降最大驱动力来自石油，其消费下降了9.7%，占能源消费总量降幅的近四分之三。但石油仍占据一次能源结构的最大份额（31.2%），第二大燃料煤炭占比为27.2%，略高于2019年水平（27.1%）。天然气、非水可再生能源分别为24.7%、5.7%，核能仅为4.3%。全球各地区一次能源消费结构差异明显：石油仍然是非洲、欧洲和美洲地区的主要燃料；天然气在独联体和中东地区占主导地位；煤炭是亚太地区的主要燃料，北美和欧洲地区的一次能源消费结构中煤炭份额已下降到最低水平，分别为12%和9%。截至2020年底，全球能源消费的CO<sub>2</sub>排放量下降了6.3%，降至2011年以来最低水平，与一次能源消费一样，这是自二战结束以来的最大降幅。

**二、全球石油探明储量还能够满足未来50年人类社会生产活动需求，欧佩克国家石油产量显著降低，中国引领石油消费增长**

截至2020年底，全球石油探明储量为1.732万亿桶，较2019年减少20亿桶，根据2020年的石油储产比，全球石油储量还能够满足人类社会生产活动50年需求（以现有生产水平计算）。2020年，全球石油消费自2009年以来首次大幅下降至910万桶/日，中国是2020年石油消费增长的少数几个国家之一，石油消费量增幅为22万桶/日。OECD国家、独联体和中东地区人均石油消费量超过60吉焦耳/人；而中国、印度、非洲等发展中经济体人均石油消费量在20吉焦耳/人以下。受欧佩克国

<sup>20</sup> Statistical Review of World Energy 2021. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>



家（-430 万桶/日）和非欧佩克国家（-230 万桶/日）石油产量下降的推动，2020 年世界石油日产量自 2009 年以来首次下降，降幅为 660 万桶/日。利比亚（-92 万桶/日）和沙特阿拉伯（-79 万桶/日）是欧佩克组织内降幅最大的国家，俄罗斯（-100 万桶/日）和美国（-60 万桶/日）则是非欧佩克产量降幅最大的国家。国际油价受到重大地缘政治事件的影响出现了明显波动。2020 年油价在 41.84 美元/桶以下，为 2004 年以来的最低水平。2020 年，全球炼油厂利用率大幅下降至 74.1%，为有记录（1985 年）以来最大年度降幅。

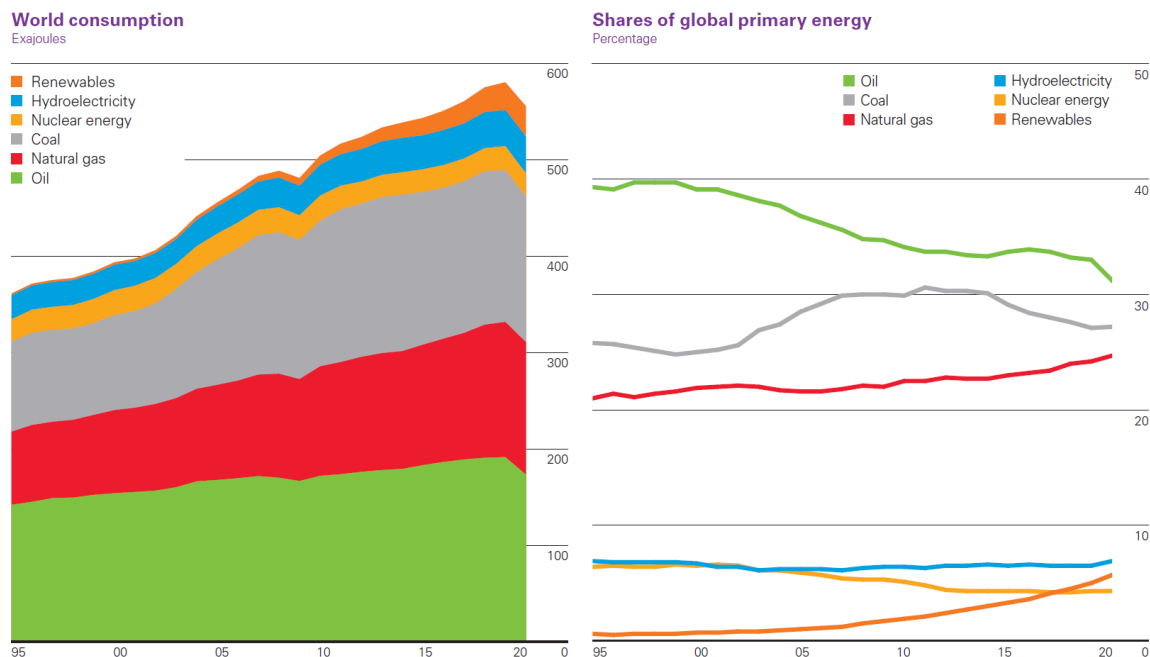


图 1 1995-2020 年全球一次能源消费结构变化态势

### 三、全球天然气消费大幅下降，但在一次能源中的占比持续上升

2020 年，世界天然气探明储量减少了 2.2%，降至 188.1 万亿立方米，天然气储量能支撑未来 48.8 年需求（以现有生产水平计算）。其中，俄罗斯（37 万亿立方米）、伊朗（32 万亿立方米）和卡塔尔（25 万亿立方米）是天然气储量最高的三个国家。2020 年，全球天然气消费量下降了 2.3%，降至 810 亿立方米，与 2009 年金融危机期间的降幅相当。大多数地区天然气消费量下降 2.6% 左右，而中国天然气需求增加了 6.9%。全球天然气产量下降了 1230 亿立方米（-3.3%），其中降幅最大的是俄罗斯（-410 亿立方米）和美国（-150 亿立方米）。2010 年以来主要地区天然气价格呈现下行趋势，美国天然气价格处于全球最低位，2020 年美国亨利枢纽平均价格为 1.99 美元/百万英热单位，为 1995 年以来最低水平；亚洲天然气价格最高，为 4.39 美元/百万英热单位。

### 四、全球煤炭探明储量可维持 139 年，煤炭消费出现六年来第四次大幅下降（-4.2%）

2020 年，世界煤炭探明储量为 1.074 万亿吨，主要集中在少数几个国家：美国



(23%)、俄罗斯(15%)、澳大利亚(14%)和中国(13%)。全球煤炭消费量下降4.2%(-6.9 艾焦耳)，为六年来第四次下降。中国(+0.5 艾焦耳)和马来西亚(+0.2 艾焦耳)小幅增加；以美国(-19.1%)和韩国(-12.2%)为首的经合组织国家煤炭需求急剧下降，为1965年以来的最低水平。2020年全球煤炭产量同样下降了8.3 艾焦耳，降幅为5.2%，中国(+1.1 艾焦耳)是增长最显著的国家。产量下降最大的国家为美国(-3.6 艾焦耳)、印度尼西亚(-1.3 艾焦耳)和哥伦比亚(-1.0 艾焦耳)。煤炭价格连续第二年下降，主要原因是煤炭消费需求下降。其中，北美地区煤炭价格下降最大，降幅达到为25%，其次是北欧(17.4%)。由于中国煤炭消费量的上升，中国煤炭价格相对具有弹性，仅下跌了3%。

### 五、全球核能消费量大幅下降，水电消费量低于近十年平均值

2020年全球核能消费量下降了4.1%，是福岛核事故以来的最大降幅。疫情和相关经济冲击导致发电量下降，其中，法国(-0.4 艾焦耳)和美国(-0.2 艾焦耳)的核能发电量降幅最大。

2020年全球水电消费增长1%，低于近10年平均值(+2.1%)。中国(+0.4 艾焦耳)和俄罗斯(+0.2 艾焦耳)为增长最高的两个国家。而整个中南美洲水电消费普遍下降。

### 六、全球可再生能源消费增幅低于过去十年平均水平

2020年全球可再生能源消费量(包括生物燃料，但不含水电)增长2.9 艾焦耳，涨幅9.7%，低于过去十年平均水平(13.4%)。中国是可再生能源增长最大贡献者(+1.0 艾焦耳)，紧随其后的是美国(+0.4 艾焦耳)和欧洲(+0.7 艾焦耳)。在非水可再生能源发电中，风力发电贡献最大(+1591 太瓦时)，其次是太阳能发电(+856 太瓦时)。2020年全球生物燃料产量下降了6%(-11.3 万桶油当量/日)，而近十年的平均增长率为6%，亚洲小幅增长(+0.4 万桶油当量/日)，而美国(-6.4 万桶油当量/日)、阿根廷(-1.9 万桶油当量/日)和巴西(-1.6 万桶油当量/日)出现了不同程度的下降。在生物燃料中，生物柴油增长最大(+10.7 万桶油当量/日)。2020年全球生物燃料消费量下降了5%(-9.2 万桶油当量/日)，美国降幅最大(-6.8 万桶油当量/日)，其次是阿根廷(-1.3 万桶油当量/日)。

### 七、全球各地区电力结构多元化差异较为明显，煤炭发电占比降至历史最低水平

北美、独联体、中东和非洲地区主要发电燃料为天然气。中南美洲一半以上的电力来自水电，其份额远远高于其他地区。亚洲主要发电燃料为煤炭(57%)，欧洲最大电力来源为可再生能源(23.8%)，首次超过核电(16.9%)，其电力结构较为均衡。煤炭仍为全球主要的发电燃料，但2020年份额下降1.3个百分点，达到历史最低水平(35.1%)。2020年天然气、非水可再生能源发电占比分别达到23.4%和

11.7%，首次与燃煤发电占比相当。全球各地区非水可再生能源在电力结构中占比差异明显。欧洲非水可再生能源在电力结构中的占比份额达到 23.8%，超过核能（21.6%），成为首要发电来源（图 2）。

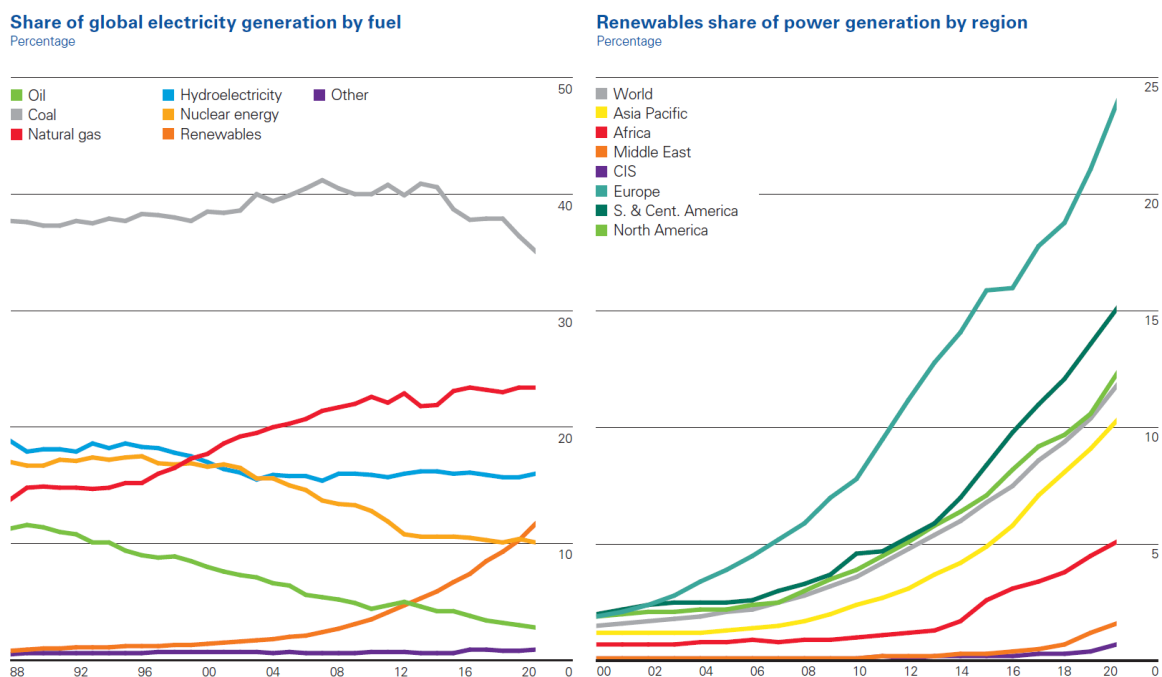


图 2 1988-2020 年全球电力结构变化态势及各地区可再生能源电力占比

### 八、关键矿产资源将成为影响新能源发展的重要因素

2020 年，由于澳大利亚产量下降，全球锂产量下降 4.6%，钴产量下降 2.9%。而全球稀土金属产量继续增长，涨幅高达 23.2%，主要由澳大利亚和美国驱动。2020 年，全球金属钴和碳酸锂的价格均下跌，分别下跌 5%和 40%，降至 2016 年来最低水平。

（汤匀 郭楷模）

## IEA：清洁能源转型需注重新兴安全问题

7 月 22 日，国际能源署（IEA）通过评估清洁能源转型背景下能源安全的演变过程，发布了《清洁能源转型的安全性》报告<sup>21</sup>。报告指出随着对可再生电力、关键矿产和电网数字化依赖的不断增加，以及石油和天然气在能源系统中占比的不断变化，能源安全的决定性因素也在不断演变。各国政府和工业部门必须提高抵御更频繁的能源威胁能力，尤其是新兴的能源安全问题。报告提出在未来能源转型过程中，需不断加强国际合作，特别是在二十国集团（G20）内部加强合作交流，以实现本世纪中叶或本世纪下半叶净零排放。报告具体要点如下：

### 1、能源效率是实现清洁能源转型的首要条件

<sup>21</sup> Security of Clean Energy Transitions. <https://www.iea.org/reports/security-of-clean-energy-transitions-2>

能源效率是“第一燃料”，用更少的能源做更多事情是能源安全的基础。能源效率是实现减排目标和支持终端应用电气化的关键支柱。这是各国家和地区近期或长期实现能源安全的一项具有成本效益的战略。目前，建筑、交通、电力和工业过程都有诸多节能解决方案，这些成熟的技术方法将对碳减排起到关键作用。预计到2050年，世界人口将增长40%，而能源消费量将较目前减少8%。鉴于近年来全球能效提升速度放缓，未来能效目标和实施进度需大幅提高，智能电网、数字化和相关技术的创新是提高全系统能效的有利工具。此外，大量的资金投入是扩大能效的必要条件。

## 2、提高电力系统灵活性推动波动性可再生能源并网

全面且完善的可再生能源组合有助于增强能源种类多样性和能源系统恢复力，抵御能源危机。预测到2025年，全球可再生能源发电量将超过燃煤发电量，在成本大幅下降、资源广泛获取和强有力的政策支持下，太阳能光伏和风力发电量将率先实现大幅增长。目前，在大多数经济体，太阳能光伏和风力发电是最具成本效益的清洁电力来源，需要不断提高电力系统灵活性以推动其大规模并网，这是保障电力安全的关键因素。

目前，无论是化石燃料还是可再生能源，传统发电厂都为电力系统提供了较大的灵活性。燃煤发电厂是中国和印度电力的主要来源；而天然气发电厂是欧洲和美国电力的主要来源；在巴西、加拿大和欧盟等一些国家，水力发电则是当地电力系统贡献最大的来源；而在法国，核能对其电力系统具有重要贡献。在欧洲部分国家，需求响应和储能技术正成为电力系统灵活性的关键因素（图1）。未来，各国政府应积极采取行动，积极推进电力系统基础设施投资，进行燃煤和燃气发电厂改造/转换为生物质共燃发电模式，以更低的负荷系数进行更灵活的供电。推进市场监管改革，激励清洁能源发电，以更低的碳排放巩固电力安全。

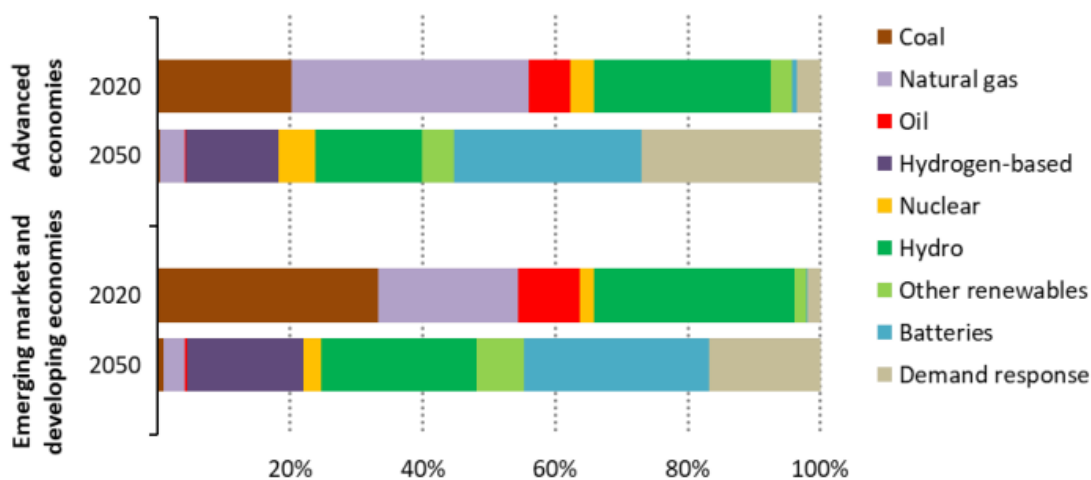


图1 2020年和2050年不同技术支撑电力系统灵活性

## 3、推进低碳发电组合多样化维持电力系统安全

发电系统多样性是能源安全的最佳保障，一个充分多样化的发电组合可以有效缓解电力供应中断和价格波动带来的风险，维持电力系统安全。风能和太阳能光伏增长推动了全球发电组合的灵活性。水力发电是当今全球最大的低碳电力来源，而土地和水资源的限制是加快建设新水电面临的一个重要障碍，且现有的水力发电设施老化程度较高，全球超过 40% 的水力发电设施使用年限超过 40 年。太阳能热和地热能可以提供具有较高年容量因子的可调度电力，但由于近年来投资滞后，新增装机容量不到全球每年新增可再生电力总装机量的 1%。生物能源（生物质或沼气）可实现燃煤发电的共燃转换，但对于大型燃煤电厂使用生物质能需要专门的设施。核能是仅次于水电的第二大低碳能源，小型模块化机组正推广建设，到 2050 年全球核电装机容量将翻一番，从而有助于电力行业碳减排。此外，一些 G20 国家正在引领碳捕集、利用和封存（CCUS）技术的开发和应用。其他低碳燃料，如氨、氢、生物燃料和合成甲烷以及配备 CCUS 技术的天然气，比直接燃烧化石燃料的碳排放水平更低，从而在减排的同时能够提高电力系统的灵活性。

#### **4、确保有效利用现有的能源基础设施**

清洁能源转型不仅包括对提高能源效率和新型低碳能源的投资，还包括对现有能源基础设施的有效利用，如现有的油气管道、炼油厂、燃煤电厂、大型水电厂、建筑物和城市其他基础设施。不同地区现有基础设施碳排放水平差异明显，发达经济体的基础设施往往比新兴经济体和发展中经济体的基础设施使用时间更长，尤其在电力行业，如中国燃煤电厂平均使用年限为 13 年，亚洲其他地区为 16 年，而欧洲约为 35 年，美国约为 40 年。在清洁能源转型中，现有的燃煤和燃气电厂可以提供具有成本效益的选择，以提供充足的电力和辅助服务。为实现对现有基础设施的碳减排，一种选择是为现有传统工厂配备 CCUS 技术以减少排放，另一个选择是改造和重新利用现有电厂，使用低碳燃料进行共燃发电。截至 2019 年底，全球只有 49 个国家（大部分是欧盟成员国）制定了使用可再生能源供热和制冷的国家目标。未来需加速推进可再生能源供热和制冷区域系统转型路径的探索研究，包括以可再生能源为基础的电气化、燃烧可再生气体和可持续的生物质，以及直接利用太阳热能和地热能等措施。

#### **5、推进石油和天然气系统现代化转型**

虽然在清洁能源转型过程中，石油、天然气和煤炭总体消费量在下降，但这并不意味着没有燃料供应危机。由于能效标准、行为方式、政策和电动汽车的发展存在不确定因素，传统能源安全隐患仍然存在。虽然传统能源的供应量在减少，但石油和天然气行业与氢能、CCUS 技术和海上风能等相关领域合作密切，对于难以脱碳的碳密集型领域，低碳技术的应用仍具有挑战。石油向更清洁能源转型将加速炼油行业的变革，对能源安全产生影响。石油产品结构将有显著变化，运输部门燃料



需求将下降，炼油部门需要适应产品组合的动态变化，确保足够的产品存储能力，以应对未来可能的供应链中断。生物燃料将扩大其在清洁能源转型中的作用，随着其在能源供应中所占的份额越来越大，生物燃料的生产、运输和储存都将面临新的挑战。建立透明的市场和可持续的供应链对确保生物燃料供应安全至关重要。随着世界在清洁能源道路上不断迈进，国际能源署各成员国的石油应急储备系统将继续成为确保石油供应安全的关键工具。

## **6、数字化为能源安全提供了机遇但也带来了新的风险**

数字化正在迅速改变能源系统，利用数字技术能释放更多的需求响应机会、整合更高占比的可再生能源，电动汽车将采用智能充电等方式实现电力供应和需求的智能平衡，加速清洁能源转型。化石燃料供应链通过数字化技术实现了高度的自动化。但与此同时，互联互通和自动化程度的提高也增加了网络攻击的安全风险。恶意攻击可能导致能源系统设备和进程失去控制，进而造成物理破坏和广泛的能源服务中断。联网设备和分布式能源的不断扩展加剧了能源系统网络安全问题。政府在增强网络安全、抵御攻击事件中将发挥关键作用，包括提高安全意识，与利益相关方合作，不断识别、管理和沟通新出现的漏洞和风险。

## **7、稳定的关键矿物供应链对清洁能源技术发展具有重要作用**

清洁能源技术的部署依赖于充足的关键矿物供应，如锂、钴、铜、镍等关键矿物是制造各种清洁能源设备的基础。虽然清洁能源设备中关键矿物的消耗量因设备而异，但总体需求量较大，例如一辆普通的电动汽车对矿物的需求量是普通汽车的6倍；建造陆上风力发电厂所需要的矿物是同等容量燃气电厂的9倍。此外，锂、钴和镍对电池制造至关重要；稀土元素对风力涡轮机和电动汽车至关重要；电网电缆需要消耗大量的铜和铝；氢电解槽和燃料电池则需要镍和铂族金属。由于关键矿物供应短缺和市场价格波动，这将严重阻碍清洁能源技术的进一步大规模应用。清洁能源转型的成功将在很大程度上取决于关键矿物的供应情况，关键矿物的加工和精炼过程可能对环境带来危害，需严格的法规和监督，以确保社会可接受性，并降低供应方面的不确定性。

## **8、在清洁能源转型过程中注重以人为本**

以人为本的能源转型将构建一个更加包容、公平的社会。随着越来越多的国家加速推进能源清洁转型，人们日常生活将发生诸多变化，需不断推进公众对能源清洁转型的支持，以加强能源供应和获取的安全性和可靠性。政府需制定政策，降低能源获取成本，特别是对条件贫困的人群，以普遍获得更清洁的空气和更健康的生活条件。此外，需要开拓新的就业渠道，创造可持续的就业和职业，为就职于传统能源行业的从业人员提供新的就业机会。

(汤匀)





## 《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：陈伟 郭楷模 岳芳

联系电话：(027) 87199180

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